



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**«Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας»
« Hydroelectric Power Plants »**

Υπό
Λεωνίδα Ζωγράφου

Πτυχιακή Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για
την απόκτηση του Πτυχίου του Τμήματος Συστημάτων Ενέργειας

Επιβλέπων
Στυλιανός Βαγρόπουλος,
Επικ. Καθηγητής.

Λάρισα, 2023

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

- Πρώτος Εξεταστής Δρ. Βαγρόπουλος Στυλιανός
(Επιβλέπων) Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας, Σχολή
Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Χουλιάρης Ιωάννης
Καθηγητής, Καθηγητής, Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας, Σχολή Τεχνολογίας,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Τρίτος Εξεταστής Δρ. Νταφόπουλος Βασίλειος
Καθηγητής, Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας, Σχολή Τεχνολογίας, Πανεπιστή-
μιο Θεσσαλίας.

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ

Με το παρόν κείμενο βεβαιώνω ότι ο κάτωθι υπογράφων είμαι συγγραφέας της παρούσης πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των απαιτήσεων του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Συστημάτων Ενέργειας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και η οποία παραδόθηκε, μετά από έγκριση του επιβλέποντας καθηγητή μου, σε έντυπη και ψηφιακή μορφή στη Γραμματεία του Τμήματος. Επίσης δηλώνω πως κάθε πηγή που χρησιμοποίησα (βιβλιογραφία, αρθρογραφία, δικτυογραφία), για την υποστήριξη των υποθέσεων της μελέτης και της ερευνάς μου, είναι πλήρως συμβατή με τα ακολουθούμενα επιστημονικά πρότυπα και, επιπλέον, αναφέρεται ρητά, υπό μορφή αναφοράς-παραπομπής, σε όλο το φάσμα κειμένων της παρούσης εργασίας. Το αυτό ισχύει για τη χρήση δευτερογενών δεδομένων (πίνακων, διαγραμμάτων και εικόνων), ιδεών και λέξεων, τα οποία και αναφέρονται είτε ακριβώς όπως υπάρχουν στις πηγές είτε μεθερμηνεύονται από εμένα.

ΕΠΩΝΥΜΟ	Ζωγράφος
ΟΝΟΜΑ	Λεωνίδα
ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ	2919016
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	14/6/2023
ΥΠΟΓΡΑΦΗ	

© 2023. ΛΕΩΝΙΔΑΣ ΖΩΓΡΑΦΟΣ

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας της Σχολής Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Επίκουρο Καθηγητή κ. Βαγρόπουλο Στυλιανό, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της εργασίας μου.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον υπ. Διδάκτωρ του Τμήματος Κωνσταντίνο Αφεντούλη για την πολύτιμη βοήθεια κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της εργασίας μου.

Τέλος, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, Γεωργία και Γρήγορη για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια. Αφιερώνω αυτή την εργασία στην μητέρα μου και στον πατέρα μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διπλωματική εργασία αναφέρεται στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Η ανάπτυξη της διπλωματικής εργασίας γίνεται σε οκτώ (8) κεφάλαια. Το 1ο κεφάλαιο της εργασίας αναφέρεται αρχικά σε βασικούς ορους για την υδροηλεκτρική ενέργεια και στην συνέχεια παρουσιάζει την κατάσταση στην Ελλάδα, το ιστορικό της υδροηλεκτρικής ενέργειας στην χώρα, τα σημαντικότερα υδροηλεκτρικά έργα της Ελλάδας. Επίσης παρουσιάζεται η κατάσταση στην Ευρώπη και όλο τον κόσμο και τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα στην Ευρώπη και τον κόσμο. Το 2ο κεφάλαιο αναφέρεται στη δημιουργία φραγμάτων και παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι φραγμάτων, τα βοηθητικά μέρη ενός υδροηλεκτρικού σταθμού και η κατηγοριοποίηση των υδροηλεκτρικών σταθμών ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ΥΗΣ, ο ενεργειακός υπολογισμός των ΥΗΣ και ο υπολογισμός των απωλειών. Στο 3ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στους υδροστρόβιλους που χρησιμοποιούνται στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς, παρουσιάζονται οι υδροστρόβιλοι δράσης και αντίδρασης και τα χαρακτηριστικά τους. Έπειτα γίνεται μια σύγκριση των υδροστρόβιλων σε παρόμοιες συνθήκες λειτουργίας. Στο 4ο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο τυπικός εξοπλισμός ενός μΥΗΣ και συγκεκριμένα ο εξοπλισμός του μΥΗΣ του Γλαυκού. Το 5ο κεφάλαιο αναφέρεται στους ταμιευτήρες που χρησιμοποιούν οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί για αποθήκευση νερού. Το 6ο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζει τα υδροηλεκτρικά συστήματα αμφίδρομης λειτουργίας. Στο 7ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία της μελέτης εγκατάστασης ενός μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού. Τέλος, στο 8ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας.

SUMMARY

The thesis work is about hydroelectric power plants. The development of the thesis is done in eight (8) chapters. The 1st chapter of the thesis firstly refers to basic terms about hydropower and then presents the situation in Greece, the history of hydropower in the country, the most important hydropower projects in Greece, also the situation in Europe and around the world and the major hydropower projects in Europe and the world are presented. The 2nd chapter is about the creation of dams and the different types of dams are presented, the auxiliary parts of a hydropower plant, and the categorization of hydroelectric power plants according to their characteristics, then the advantages and disadvantages of hydroelectric power plants are presented, the energy calculation of hydroelectric power plants and the calculation of losses. In chapter 3, reference is made to the hydro turbines that are to be used in a hydroelectric power station, the action and reaction hydro turbines and their characteristics are presented, followed by a comparison of hydro turbines in various cases. Chapter 4 presents the typical equipment of a hydropower plant and in particular the equipment of the Glafko hydropower plant. Chapter 5 deals with the reservoirs used by hydropower plants for water storage. Chapter 6 of the thesis presents bi-directional hydropower systems. In chapter 7 presents the process of designing the installation of a small hydroelectric power plant. Finally, chapter 8 presents the conclusions of the thesis.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ. -----	10
1.1 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ-ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ -----	11
1.2 ΥΔΑΤΙΝΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ -----	11
1.3 ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ -----	12
1.4 ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ -----	12
1.5 ΙΣΤΟΡΙΚΟ -----	13
1.6 ΜΕΓΑΛΟΙ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ-----	13
1.7 ΜΙΚΡΟΙ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ (ΜΥΗΣ) -----	14
1.8 ΙΔΙΩΤΙΚΟΙ ΜΥΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ-----	15
1.9 ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ -----	15
1.10 ΜΕΓΑΛΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΈΡΓΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ. -----	17
1.11 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΈΡΓΕΙΑ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ -----	20
1.12 ΠΈΝΤΕ (5) ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟΙ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ -----	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΦΡΆΓΜΑΤΑ-----	25
2.1 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ -----	25
2.2 ΦΡΆΓΜΑΤΑ -----	25
2.3 ΤΥΠΟΙ ΦΡΆΓΜΑΤΩΝ -----	27
2.4 ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΜΕΡΗ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ -----	32
2.5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΪΗΣΗ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ-----	37
2.6 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΆΛΛΕΣ ΜΟΝΆΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΈΡΓΕΙΑΣ : -----	37
2.6 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΩΝ-----	39
2.7 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ -----	39
2.8 ΑΠΩΛΕΙΕΣ -----	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ.-----	42
3.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ -----	42
3.2 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ ΔΡΆΣΗΣ (ΤΥΠΟΥ PELTON)-----	45
3.3 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ ΑΝΤΙΔΡΆΣΗΣ -----	47
3.4 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΆΣΕΙΣ ΜΙΚΡΟΥ ΎΨΟΥΣ ΠΤΩΣΗΣ -----	50
3.5 ΙΣΧΥΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΔΡΆΣΕΩΣ -----	51
3.6 ΙΣΧΥΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΑΝΤΙΔΡΆΣΕΩΣ.-----	51
3.7 ΑΠΟΔΟΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ -----	52
3.8 ΣΠΗΛΑΪΩΣΗ -----	54
3.9 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΥΠΩΝ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ-----	56
3.10 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΤΟΥ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ. -----	59
3.11 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΆΜΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ -----	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΤΥΠΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΕΝΟΣ ΜΥΗΣ. -----	63
4.1 ΤΥΠΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΕΝΟΣ ΜΥΗΣ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΜΥΗΣ ΓΛΆΥΚΟΥ) -----	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ. -----	71
5.1 ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ-----	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΑΜΦΪΔΡΟΜΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ. -----	73
6.1 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΑΜΦΪΔΡΟΜΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ. -----	73

6.2 ΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΜΦΙΔΡΟΜΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ. -----	74
--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΙΚΡΟΥ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ. ----- 77

7.1 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ. -----	77
7.2 ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ. -----	77
7.3 ΤΥΠΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ -----	78
7.4 ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ -----	79
7.5 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ -----	79
7.6 ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗ -----	80
7.7 ΈΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΤΕΥΞΕΩΣ ΤΟΥ ΣΤΟΧΟΥ -----	81

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ. ----- 82

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ----- 83

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1.1 Χάρτης υδροηλεκτρικών μονάδων, (πτυχιακή Καπωνης Νιερρης.pdf (teiwest.gr)).....	14
Εικόνα 1.2, Υδροηλεκτρικό εργοστάσιο στον ποταμό Tamega.	18
Εικόνα 1.3,Υδροηλεκτρικό εργοστάσιο Krasnoyarsk.	19
Εικόνα 1.4,Φράγμα Grande Dixence.	20
Εικόνα 1.5 Σταθμός υδροηλεκτρικής ενέργειας Yangtze).....	21
Εικόνα 1.6 Υδροηλεκτρικό εργοστάσιο Itaipu.	22
Εικόνα 1.7 Σταθμός υδροηλεκτρικής ενέργειας Xiluodu.	23
Εικόνα 1.8 Υδροηλεκτρικός σταθμός Guri.....	24
Εικόνα 2.1 Δυνάμεις στα φράγματα βαρύτητας.	29
Εικόνα 2.2,Τοξωτό φράγμα.	30
Εικόνα 2.3, Είδη φραγμάτων	31
Εικόνα 2.4 Χωμάτινο φράγμα Μαυροματίου Σούρπης Μαγνησίας	32
Εικόνα 2.5 Υπερχειλιστής φράγματος Πηνειού	33
Εικόνα 2.6 Αγωγός προσαγωγής ΥΗΣ Γλαύκου	35
Εικόνα 2.7 Ηλεκτρικό τοξωτό θυρόφραγμα και αυτόματο θυρόφραγμα με αντίβαρο ΥΗΣ Γλαύκου	36
Εικόνα 3.1 Υδροστρόβιλος Turgo.	46
Εικόνα 3.2 και 3.3.	47
Εικόνα 3.4,Υδροστρόβιλος Francis	48
Εικόνα 3.5 Υδροστρόβιλος Kaplan.	50
Εικόνα 3.6 Διάγραμμα του εύρους λειτουργίας των υδροστροβίλων	60
Εικόνα 4.1 Σύγχρονη γεννήτρια έκτυπων πόλων	64
Εικόνα 4.2 Σύγχρονη γεννήτρια κυλινδρικού δρομέα	65
Εικόνες 4.3 και 4.4 Ασύγχρονη γεννήτρια	66
Εικόνα 4.5 Μετασχηματιστής ΥΗΣ Γλαύκου.....	69

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1, Εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής ενέργειας και συντελεστής δυναμικότητας ανά κράτος μέλος, για το έτος 2021.....	17
--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Εισαγωγή στα υδροηλεκτρικά συστήματα.

1.1 Υδροηλεκτρικό σύστημα-Υδροηλεκτρικό εργοστάσιο

Υδροηλεκτρικά συστήματα ονομάζονται τα υδροδυναμικά συστήματα τα οποία εκμεταλλεύονται τη μηχανική ενέργεια του νερού για να παράξουν ηλεκτρική ισχύ. Τα υδροηλεκτρικά συστήματα, ή οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από την μηχανική ενέργεια του νερού, θεωρούνται συνήθως μέρος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας λόγω του γεγονότος ότι δεν παράγουν ρύπους κατά τη λειτουργία τους.

1.2 Υδάτινο δυναμικό

Η μελέτη του υδάτινου δυναμικού αποτελεί το πρώτο στάδιο για τις υδροηλεκτρικές και τις υδρομηχανικές εφαρμογές. Η εκμετάλλευση του υδάτινου δυναμικού γίνεται στα σημεία όπου υπάρχει μεγάλη και ικανή παροχή νερού δηλαδή κατά μήκος ενός ποταμού όπου υπάρχει μεγάλη κινητική ενέργεια ή δυναμική ενέργεια σε έναν ταμιευτήρα. Για να εκτιμηθεί η παραγόμενη ενέργεια ενός υδροηλεκτρικού σταθμού πρέπει να γίνονται πολυετείς μετρήσεις για την μέση ημερήσια ροή του ποταμού, ώστε τα δεδομένα της μέσης ροής να επαρκούν για την αξιόπιστη αναπαράσταση της πραγματικής ποσότητας της φυσικής ροής του ποταμού. Όμως, επειδή σπανίως υπάρχουν τόσο μακροχρόνιες μετρήσεις στα σημεία που πρόκειται να εγκατασταθούν υδροηλεκτρικοί σταθμοί συνήθως χρησιμοποιούνται στοιχεία τα οποία προέρχονται από περιοχές με παρόμοια χαρακτηριστικά, όπως το κλίμα, η γεωλογία, η βλάστηση κ.λπ., ή προκύπτουν από σημεία μέτρησης σε ποταμούς με βάση δεδομένα από τη γεωγραφία της περιοχής.

Υδρογράφημα και καμπύλη διάρκειας παροχής

Το υδρογράφημα αναφέρεται στο γραφικό διάγραμμα που απεικονίζει τη μέση ημερήσια ροή ενός ποταμού σε ένα συγκεκριμένο σημείο κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος. Από το υδρογράφημα προκύπτει και η καμπύλη διάρκειας παροχής, η οποία αναπαριστά το ποσοστό του ετήσιου χρόνου t κατά το οποίο η παροχή νερού είναι ίση ή υπερβαίνει μια συγκεκριμένη τιμή. Η καμπύλη διάρκειας παροχής αποτελεί ένα από τα κύρια στοιχεία για την αξιολόγηση του υδάτινου δυναμικού και τον αρχικό σχεδιασμό ενός υδροηλεκτρικού έργου, καθώς παρέχει πληροφορίες σχετικά με την προτεινόμενη ισχύ, τον αριθμό των μονάδων και την οικονομική αποδοτικότητα του έργου.

Υδρολογικός κύκλος

Περιγράφει την αιώνια κίνηση του νερού της γης στην επιφάνεια της και κάτω από την επιφάνεια της. Τεράστιες ποσότητες νερού από τις θάλασσες, τις λίμνες και τα ποταμιά εξατμίζονται εξαιτίας της θερμικής ενέργειας του ήλιου. Στην συνέχεια οι υδρατμοί συμπυκνώνονται σε νέφη εξαιτίας της χαμηλής θερμοκρασίας που υπάρχει σε υψηλά υψόμετρα με αποτέλεσμα την πτώση τους στην επιφάνεια της γης με την μορφή βροχής ή χιονιού. Κατ' αυτόν τον τρόπο, το νερό απορροφάται από το έδαφος ή συσσωρεύεται επιφανειακά σε θάλασσες, λίμνες και ποτάμια.

1.3 Οικολογική παροχή

Τα περισσότερα υδροηλεκτρικά συστήματα εδράζονται σε ποταμούς και με την βοήθεια ενός αγωγού εκτρέπουν το νερό από το ρεύμα του ποταμού προς την κατεύθυνση του υδροστροβίλου που βρίσκεται σε μικρότερο υψόμετρο. Επιπλέον, τα συστήματα με ταμιευτήρα κρατούν σε αποθήκη την ποσότητα του νερού. Αυτό οδηγεί σε μείωση του ρυθμού ροής του νερού. στο σημείο όπου βρίσκεται το υδροηλεκτρικό έργο με αρνητικές συνέπειες στη χλωρίδα και την πανίδα της περιοχής. Η ποσότητα του νερού που ρέει προς τον υδροστροβίλο είναι μικρότερη από τη διαθέσιμη ποσότητα νερού κατά ένα ποσοστό που ονομάζεται οικολογική παροχή Q_{eco} η οποία παρακάμπτει τον υδροστροβίλο. Η οικολογική παροχή αναφέρεται στην ελάχιστη ποσότητα νερού που πρέπει να διατηρείται κατά μήκος ενός ποταμού. Ο υπολογισμός της οικολογικής παροχής γίνεται βάσει των στατικών χαρακτηριστικών των ποταμών, των διατομών τους και των όγκων νερού που απαιτούνται για τη διατήρηση συγκεκριμένων υδροβιότοπων. Στην Ελλάδα η οικολογική παροχή είναι ίση με την μεγαλύτερη από τις παρακάτω ποσότητες: 30% της μέσης παροχής του Ιουνίου -Ιουλίου - Αυγούστου ή το 50% του Σεπτεμβρίου. Σε καμία περίπτωση όμως η οικολογική δε πρέπει να είναι μικρότερη από 30 lt/sec [3].

1.4 Κατάσταση στην Ελλάδα

Σύμφωνα με το Α.Δ.Μ.Η.Ε. το 2022 στην Ελλάδα η συνολική παραγωγή ήταν 47,7 TWh, το 50,1% από αυτές δηλαδή οι 23,7 TWh παράχθηκαν από τις Α.Π.Ε (από την υδροηλεκτρική ενέργεια παράχθηκαν 4 TWh που αντιστοιχούν στο 8% της συνολικής παραγωγής). Στη δεύτερη θέση βρίσκεται το φυσικό αέριο το οποίο παρήγαγε 17,9 TWh που αντιστοιχούν στο 38% της συνολικής παραγωγής. Στη τελευταία θέση συναντάμε τον λιγνίτη ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για να παραχθούν 5,6 TWh δηλαδή το 11,8% της συνολικής παραγωγής [4],[5].

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με έντονα ορεινά χαρακτηριστικά, αφού πάνω από το 80% της έκτασής της αποτελείται από ορεινές περιοχές. Ειδικότερα, το βορειοδυτικό μέρος της χώρας που συγκεντρώνει τα περισσότερα όρη, αναδεικνύεται ως ιδανική περιοχή για την ανάπτυξη υδροηλεκτρικής ενέργειας. Το θεωρητικό υδροδυναμικό δυναμικό της χώρας υπολογίζεται σε περίπου 80 TWh, ενώ οι οικονομικά εκμεταλλεύσιμες πηγές υδροδυναμικής ενέργειας ανέρχονται σε περίπου 12 TWh. Αυτά τα στοιχεία καταδεικνύουν την υψηλή δυναμική της Ελλάδας στον τομέα της υδροηλεκτρικής ενέργειας.

1.5 Ιστορικό

Η ανάπτυξη του υδροδυναμικού δυναμικού της Ελλάδας έχει κυρίως σημειωθεί μετά την ίδρυση της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.) το 1950. Πριν από αυτήν την ίδρυση, λειτούργησαν πολύ μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί στην περίοδο από το 1927 έως το 1931, όπως οι σταθμοί Γλαύκος, Βέρμιο και Αλμυρός Χανίων, οι οποίοι είχαν συνολική ισχύ περίπου 6 MW. Η εν λόγω περίοδος αποτελεί την πρώτη προσπάθεια αξιοποίησης της υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Τη χρονική περίοδο 1950-1975 δημιουργήθηκαν οχτώ (8) μεγάλοι ΥΗΣ (Άγρας, Λάδωνας, Λούρος, Ταυρωπός/Πλαστήρας, Κρεμαστά, Καστράκι, Εδεσσαίος και Πολύφυτο) με συνολική ισχύ 1411MW. Αυτήν την περίοδο κατασκευαστήκαν και οι τρεις μεγαλύτεροι υδροηλεκτρικοί σταθμοί στα Κρεμαστά, το Καστράκι και το Πολύφυτο. Από το 1976 έχουν κατασκευαστεί οκτώ μεγάλοι και τρεις μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί, μεταξύ των οποίων οι Πουρνάρι I και II, Σφηκιά, Ασωμάτων, Στράτος I, Στράτος II, Πηγές Αώου, Θησαυρός, Πλατανόβρυση, Γκιώνα και Μακροχώρι. Συλλογικά, οι σταθμοί αυτοί έχουν συνολική εγκατεστημένη ισχύ 1630 MW. Υπό κατασκευή βρίσκονται δυο (2) μεγάλοι ΥΗΣ στην Μεσοχώρα και το Μετσοβίτικο συνολικής ισχύος 200 MW που προγραμματίζονται να τεθούν σε λειτουργία έως το 2026 [6],[7].

Σύμφωνα με την Δ.Ε.Η. η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των υδροηλεκτρικών σταθμών είναι 3217.4 MW, ενώ η ετήσια υδροηλεκτρική παραγωγή ενέργειας ισούται περίπου με 4020 GWh ετησίως και καλύπτει περίπου το 9% της συνολικής παραγωγής ενέργειας της εταιρίας. Το 2020 η ετήσια υδροηλεκτρική παραγωγή ανήλθε σε 5282 GWh

1.6 Μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί στην Ελλάδα

Αυτή την στιγμή στην χώρα υπάρχουν 16 μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί με ισχύ μεγαλύτερη από 15 MW οι οποίοι χωρίζονται σε τέσσερα συγκροτήματα και δυο ανεξάρτητους υδροηλεκτρικούς σταθμούς (εικόνα 1.1), με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 3170,7 MW. Το συγκρότημα του Αλιάκμονα (Ιλαρίων, Πολύφυτο, Σφηκιά, Ανώματα/ Άγρας,

Εδεσσαίος) είναι το συγκρότημα που έχει και την μεγαλύτερη εγκαταστημένη ισχύ ίση με 1020 MW . Το συγκρότημα του Αχελώου αποτελείται από τους ΥΗΣ στα Κρεμαστά ,στο Καστράκι και το Στράτος I και έχει συνολική εγκαταστημένη ισχύς 907,2 MW. Το συγκρότημα του Αράχθου (Πηγές Αώου, Πουρνάρι I, Πουρνάρι II) βρίσκεται στην Ήπειρο και έχει εγκαταστημένη ισχύς 543,6 MW και τέλος το συγκρότημα στον ποταμό Νέστο στην ανατολική Μακεδονία αποτελείται από του υδροηλεκτρικούς σταθμούς στο Θησαυρό και στην Πλατανόβρυση με συνολική εγκαταστημένη ισχύς 500 MW. Οι δυο ανεξάρτητοι ΥΗΣ είναι το υδροηλεκτρικό εργοστάσιο στη λίμνη Πλαστήρα με συνολική ισχύ 129,9 MW και ο υδροηλεκτρικός σταθμός της Λαδώνας με συνολική εγκαταστημένη ισχύ 70 MW [6].



Εικόνα 1.1 Χάρτης υδροηλεκτρικών μονάδων [6].

1.7 Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί (μΥΗΣ)

Σύμφωνα με την Δ/ση Υδροηλεκτρικής Παραγωγής της Δ.Ε.Η. σήμερα διατηρούνται 18 μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί οι οποίοι το 2020 παρήγαγαν 136 GWh ηλεκτρικής ενέργειας και κάλυψαν τις ενεργειακές ανάγκες 37.104 ελληνικών νοικοκυριών [7].

- μΥΗΣ Στράτου ΙΙ στον ποταμό Αχελώο (Δυτική Ελλάδα). Εγκατεστημένη Ισχύς 6,2MW.
- μΥΗΣ Γκιώνας στον ποταμό Μόρνο (Κεντρική Ελλάδα). Εγκατεστημένη Ισχύς 8,5MW.
- μΥΗΣ Γλαύκος στον ποταμό Γλαύκο (Νοτιοδυτική Ελλάδα). 3 Εγκατεστημένη Ισχύς 4,1MW.
- μΥΗΣ Αγίας Βαρβάρας στον ποταμό Αλιάκμονα (Βόρεια Ελλάδα). Εγκατεστημένη Ισχύς 0,92MW.
- μΥΗΣ Μακροχωρίου στον ποταμό Αλιάκμονα (Βόρεια Ελλάδα). Εγκατεστημένη Ισχύς 10,8MW.
- μΥΗΣ Βερμίου στον ποταμό Τριπόταμο (Βόρεια Ελλάδα). Εγκατεστημένη Ισχύς 1,34MW.
- μΥΗΣ Λούρος στον ποταμό Λούρο (Δυτική Ελλάδα). Εγκατεστημένη Ισχύς 10,3MW.
- μΥΗΣ Αλμυρός στον ποταμό Αλμυρό (Κρήτη). Εγκατεστημένη Ισχύς 0,3MW

1.8 Ιδιωτικοί μΥΗΣ στην Ελλάδα

Σύμφωνα με τις πληροφορίες των τελευταίων χρονών του Ε.Σ.Μ.Υ.Ε.(Ελληνικός σύνδεσμος μικρών υδροηλεκτρικών έργων, στην Ελλάδα η ανάπτυξη των μΥΗΣ είναι μικρή, πολύ κάτω από τις δυνατότητες και του δυναμικού της Ελλάδας και υστερεί στην προσπάθεια χρήσης των εγχώριων φυσικών πόρων για την επίτευξη των ενεργειακών στόχων.

Χαρακτηριστικά, ο ρυθμός ανάπτυξης των μΥΗΣ δεν έχει ξεπεράσει το 2-3% τα τελευταία χρόνια ενώ ο αντίστοιχος ρυθμός ανάπτυξης άλλων τεχνολογιών (αιολικά – φωτοβολταϊκά) είναι ο δεκαπλάσιος με ποσοστό που ξεπερνά το 30% [8].

Σύμφωνα με τον Ε.Σ.Μ.Υ.Ε. σήμερα στην Ελλάδα λειτουργούν περίπου 120 ιδιωτικοί μΥΗΣ με εγκαταστημένη ισχύ 240 MW. Σύμφωνα με επίσημες πληροφορίες του ΔΑΠΕΕΠ Α.Ε. [9] για ολόκληρο το 2020 παρήχθησαν 541 GWh εξαιτίας της χαμηλής υδραυλικότητας της χρονιάς (η παραγωγή στο υδραυλικό έτος είναι περίπου 800 GWh). Τα επόμενα έτη αναμένεται να υλοποιηθούν έργα ισχύος 70 MW [8].

1.9 Κατάσταση στην Ευρώπη

Η εγκαταστημένη ισχύς υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη είναι 256 GW. Η ετήσια παραγωγή ενέργειας για το 2021 ανέρχεται στις 620 TWh. Η ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας των υδροηλεκτρικών σταθμών της Ευρώπης είναι 220 TWh.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.), η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των υδροηλεκτρικών σταθμών (ΥΗΣ) ανέρχεται σε 151 GW, ενώ η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας από αυτούς ανέρχεται σε 360 TWh. Αυτός ο αριθμός αντιπροσωπεύει το δεύτερο υψηλότερο ποσοστό ανανεώσιμης ενέργειας στην Ε.Ε., πίσω από την αιολική ενέργεια. Επιπλέον, η Ευρωπαϊκή Ένωση διαθέτει 44 GW ικανότητας αντλησιοταμίευσης για την αποθήκευση υδραυλικής ενέργειας, η οποία αντιστοιχεί στο ένα τέταρτο της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος σε αυτήν την τεχνολογία.

Η Νορβηγία ήταν η ευρωπαϊκή χώρα με την υψηλότερη υδροηλεκτρική δυναμικότητα το 2020-2021(+396 MW) και ακολουθούν η Αυστρία (+150 MW), η Ελλάδα (+21 MW), η Ισπανία (+16 MW), η Ελβετία (+12 MW) (λαμβάνοντας υπόψη δεδομένα από IHA 2021 και IHA (International Hydropower Association). Υπήρξαν επεκτάσεις δυναμικότητας αφού ΕΕ αναπτύχθηκε δημιουργώντας μεγάλους και μικρούς ΥΗΣ κυρίως στην Πορτογαλία, την Αυστρία, την Ιταλία και τη Γαλλία.

Την τελευταία δεκαετία, η ετήσια υδροηλεκτρική ενέργεια της ΕΕ κυμαίνεται μεταξύ 322 και 398 TWh/έτος. Ανάλογα με τις υδρολογικές συνθήκες, είναι κατά μέσο όρο 363 TWh/a. Αυτό είναι κατά μέσο όρο το 12,5% από τη συνολική καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ και αντιπροσωπεύει το ένα τρίτο της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

Στον παρακάτω πίνακα (1.1) απεικονίζεται η εγκαταστημένη υδροηλεκτρική ισχύ και ο συντελεστής δυναμικότητας ανά κράτος μέλος, για το έτος 2021 σύμφωνα με την IHA (International Hydropower Association) [10].

Acronym	Country	Installed power GW	PHS Power GW	Annual energy generation TWh	CF	share of total electricity generation*
AT	Austria	14.747	5.596	41	0.32	56.5%
BE	Belarus	0.097	-	0.4	0.47	-
BG	Belgium	1.427	1.307	1.12	0.09	1.3%
CZ	Czechia	2.281	1.172	4	0.20	4.9%
DK	Denmark	0.007	-	0.02	0.33	0.1%
DE	Germany	10.883	6.199	24	0.25	4.2%
EE	Estonia	0.004	-	0.02	0.57	0.3%
IE	Ireland	0.508	0.292	1	0.22	3.1%
EL	Greece	3.421	0.699	6	0.20	12.4%
ES	Spain	20.425	6.117	32	0.18	12.2%
FR	France	25.494	5.837	63	0.28	11.9%
HR	Croatia	2.155	0.281	7	0.37	52.3%
IT	Italy	22.593	7.685	47.98	0.24	17.1%
CY	Cyprus	-	-	-	-	-
LV	Latvia	1.588	-	3	0.22	52.4%
LT	Lithuania	1.028	0.9	0.93	0.10	17.5%
LU	Luxembourg	1.33	1.296	0.95	0.08	42.5%
HU	Hungary	0.058	-	0.21	0.41	0.6%
MT	Malta	-	-	-	-	-
NL	Netherlands	0.038	-	0.06	0.18	0.0%
PL	Poland	2.385	1.78	3	0.14	1.9%
PT	Portugal	7.199	2.829	13	0.21	24.5%
RO	Romania	6.313	0.092	17	0.31	30.4%
SI	Slovenia	1.301	0.18	5	0.44	29.1%
SK	Slovakia	2.522	1.017	4	0.18	13.9%
FI	Finland	3.263	-	16	0.56	23.3%
SE	Sweden	16.478	0.099	71	0.49	43.3%

Πίνακας 1.1, Εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής ενέργειας και συντελεστής δυναμικότητας ανά κράτος μέλος, για το έτος 2021 (από IHA,2022)(*με βάση τα στοιχεία της Eurostat του 2020)[10].

1.10 Μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα στην Ευρώπη.

Υδροηλεκτρικό εργοστάσιο στον ποταμό Tamega.

Το μεγαλύτερο υδροηλεκτρικό εργοστάσιο της Ευρώπης βρίσκεται στην Πορτογαλία. Η Ισπανική πολυεθνική Iberdola εγκαινίασε τη μεγαλύτερη υποδομή αποθήκευσης ενέργειας

στην Ευρώπη. Ο σταθμός κατασκευάστηκε στον ποταμό Tamega στην βόρεια Πορτογαλία, κοντά στο Πόρτο και τα ισπανικά σύνορα. Το υδροηλεκτρικό εργοστάσιο απαιτούσε την κατασκευή τριών φραγμάτων και την κατασκευή τριών ΥΗΣ των Gouvaes, Daívoes και Alto Tamega. Οι μονάδες μπορούν να παράγουν 1766 GWh, ενώ ο σχεδιασμός του συγκροτήματος επιτρέπει την αποθήκευση ύδατος στην δεξαμενή Gouvaes με ένα σύστημα άντλησης που παίρνει νερό από το σταθμό Daívoes.



Εικόνα 1.2, Υδροηλεκτρικό εργοστάσιο στον ποταμό Tamega, βόρεια Πορτογαλία ([Στην Πορτογαλία το μεγαλύτερο υδροηλεκτρικό εργοστάσιο! - Cars Electric](#)).

Υδροηλεκτρικό εργοστάσιο Krasnoyarsk

Το Krasnoyarsk είναι ένα έργο υδροηλεκτρικής ενέργειας με εγκαταστημένη ισχύ 6.000 MW (εικόνα 1.3). Βρίσκεται στον ποταμό του Γενισέι στην περιοχή Κρασονογιάρσκ της Ρωσίας. Το έργο είναι επί του παρόντος ενεργό και αναπτύχθηκε σε μία φάση. Η κατασκευή του έργου ξεκίνησε το 1956 και η εμπορική λειτουργία ξεκίνησε το 1972.

Η χωρητικότητα του ταμιευτήρα είναι 73,3 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Το καθαρό μήκος του φράγματος του έργου είναι 93 μέτρα. Ο υδροηλεκτρικός σταθμός Krasnoyarsk αποκαταστάθηκε και εκσυγχρονίστηκε το 2014. Το έργο μπορεί να παράγει 18.300 GWh ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως.

Η Power Machines επιλέχθηκε ως προμηθευτής τουρμπίνας για το έργο. Η εταιρεία παρέχει 12 τουρμπίνες, η καθεμία με χωρητικότητα 500 MW [11].



Εικόνα 1.3,Υδροηλεκτρικό εργοστάσιο Krasnoyarsk , Ρωσία ([Το φράγμα Krasnoyarsk είναι ισχυρή σιβηρική υδροηλεκτρική ενέργεια Στοκ Εικόνες - εικόνα από : 106884390 \(dreamstime.com\)](#)).

Υδροηλεκτρικό εργοστάσιο Grande Dixence.

Το φράγμα Grande Dixence (εικόνα 1.4), είναι ένα από τα μεγαλύτερα φράγματα βαρύτητας στον κόσμο, είναι μέρος ενός τεράστιου συγκροτήματος που περιλαμβάνει τέσσερα αντλιοστάσια (Z'Mutt, Stafel, Ferpècle και Arolla) και τρεις σταθμούς παραγωγής ενέργειας (Fionnaye, Nendaz και Bieudron) με συνολική απόδοση 2.000 MW. Μόνο ο ηλεκτροπαραγωγικός σταθμός Bieudron κατέχει τρία παγκόσμια ρεκόρ: το ύψος πτώσης (1.883 m), την ισχύ κάθε τουρμπίνας Pelton (3 x 423 MW) και την ισχύ σε κάθε πόλο των γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος (35,7 MVA).

Σήραγγες μήκους 100 χιλιομέτρων στη μέση της ορεινής περιοχής συγκεντρώνουν το λιωμένο νερό από 35 παγετώνες στο καντόνι Valais. Χάρη σε 75 σημεία απορροής νερού, το νερό που τροφοδοτεί τους στρόβιλους προέρχεται από μια τεράστια περιοχή, σε όλη τη διαδρομή από την κοιλάδα Mattertal (περιοχή Zermatt) μέχρι το Val d'Hérens.

Ο υδροηλεκτρικός σταθμός Grande Dixence παράγει περίπου 2 TWh ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως, αντιπροσωπεύοντας το 20% της ικανότητας αποθήκευσης ενέργειας της Ελβετίας. Παρέχει αρκετή ενέργεια για να τροφοδοτήσει 500.000 σπίτια [12].



Εικόνα 1.4, Φράγμα Grande Dixence ([Grande Dixence Dam - Wikipedia](#)).

1.11 Υδροηλεκτρική ενέργεια παγκοσμίως

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η πρώτη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας στον κόσμο. Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύ έχει ξεπεράσει τις 1000 GW και η παραγωγή έφτασε τις 1437 TWh το 2014 που αντιπροσωπεύει το 14% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας μειώθηκε κατά 15 TWh (μείωση 0,4%) το 2021, μειούμενη σε 4327 TWh, παρά τη σταδιακή αύξηση της αύξησης της δυναμικότητας. Η μείωση προκλήθηκε από ξηρασίες σε διάφορα μέρη του κόσμου. Παρ' όλα αυτά, η υδροηλεκτρική ενέργεια παραμένει η μεγαλύτερη ανανεώσιμη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, παράγοντας περισσότερο από ό,τι όλες οι άλλες ανανεώσιμες τεχνολογίες μαζί. Στο σενάριο για καθαρές μηδενικές εκπομπές έως το 2050, η υδροηλεκτρική ενέργεια διατηρεί μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης της παραγωγής της τάξης του 3% την περίοδο 2022-2030 για να παρέχει περίπου 5700 TWh ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως. Την τελευταία πενταετία ο ρυθμός αύξησης ήταν μόλις το ένα τρίτο του απαιτούμενου, γεγονός που σηματοδοτεί την ανάγκη για σημαντικά ισχυρότερες προσπάθειες.

Το αναπτυξιακό δυναμικό της υδροηλεκτρικής τεχνολογίας είναι πολύ μεγάλο ανά τον κόσμο ειδικά στην Αφρική, την Ασία και την Λατινική Αμερική. Ο διεθνής οργανισμός ενέργειας προβλέπει ότι μέχρι το 2050 η παγκόσμια εγκαταστημένη χωρητικότητα θα διπλασιαστεί σε σχεδόν 2000 GW. Με την παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μεγαλύτερη 7000 TWh.

Η Κίνα αποτελεί τον μεγαλύτερο παραγωγό υδροηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο και ακολουθεί η Βραζιλία, ο Καναδάς, οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και η Ρωσία. Η Κίνα θα παραμείνει η μεγαλύτερη αγορά υδροηλεκτρικής ενέργειας μέχρι το 2030, αντιπροσωπεύοντας το 40% της παγκόσμιας αύξησης της δυναμικότητας [13].

1.12 Πέντε (5) μεγαλύτεροι υδροηλεκτρικοί σταθμοί παγκοσμίως

Σταθμός υδροηλεκτρικής ενέργειας Yangtze



Εικόνα 1.5 Σταθμός υδροηλεκτρικής ενέργειας Yangtze ([Τα υπερηλεκτρικά εργοστάσια στον κόσμο | Πράσινες ανανεώσιμες πηγές \(renovablesverdes.com\)](#)).

Η μεγαλύτερη υδροηλεκτρική μονάδα στον κόσμο βρίσκεται στην Κίνα στον ποταμό Yangtze στην επαρχία Hubei. Πρόκειται για μια συμβατική υδροηλεκτρική εγκατάσταση δεξαμενών που εκμεταλλεύεται τα νερά από τον ποταμό (εικόνα 1.5). Η μονάδα έχει εγκαταστημένη ισχύ 22.500 MW. Η κατασκευή του σταθμού άρχισε το 1993 και τέλειωσε το 2012. Το φράγμα έχει 181 μετρά ύψους και 2,3 χιλιόμετρα μήκος. Ο υδροηλεκτρικός σταθμός περιέχει 32 στροβίλους 700 MW ο καθένας και δυο μονάδες παραγωγής 50 MW. Η ετήσια παραγωγή το 2014 ήταν 98,8 TWh που είναι και παγκόσμιο ρεκόρ και μπορεί να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια σε εννέα επαρχίες και δυο πόλεις μεταξύ των οποίων και η Σαγκάη.

Υδροηλεκτρικό εργοστάσιο Ιταιρι



Εικόνα 1.6 Υδροηλεκτρικό εργοστάσιο Itaipu ([Τα υπερηλεκτρικά εργοστάσια στον κόσμο | Πράσινες ανανεώσιμες πηγές \(renovablesverdes.com\)](https://www.renovablesverdes.com)).

Αυτή η μονάδα βρίσκεται στα σύνορα της Βραζιλίας με την Παραγουάη, έχει εγκατεστημένη ισχύ 14.000 MW και αποτελεί την δεύτερη μεγαλύτερη υδροηλεκτρική μονάδα στον κόσμο (εικόνα 1.6). Τα έργα για την κατασκευή της μονάδας ξεκίνησαν το 1975 και ολοκληρώθηκαν το 1982, ενώ το εργοστάσιο μπήκε σε λειτουργία το 1984. Ο ΥΗΣ του Itaipu παρέχει το 17,4% την κατανάλωσης ενέργειας στην Βραζιλία και το εντυπωσιακό 72,3% της κατανάλωσης ενέργειας της Παραγουάης. Το εργοστάσιο αποτελείται από 20 μονάδες παραγωγής ισχύος 700 MW η καθεμιά.

Σταθμός υδροηλεκτρικής ενέργειας Xiluodu



Εικόνα 1.7 Σταθμός υδροηλεκτρικής ενέργειας Xiluodu ([Τα υπερηλεκτρικά εργοστάσια στον κόσμο | Πράσινες ανανεώσιμες πηγές \(renovablesverdes.com\)](#)).

Αυτό το εργοστάσιο βρίσκεται στη Κίνα στον ποταμό Jinsha που είναι παραπόταμος του ποταμού Yangtze. Ο σταθμός έχει εγκατεστημένη ισχύ 13.860 MW και αποτελεί τον τρίτο μεγαλύτερο σταθμό παραγωγής ενέργειας στον κόσμο και τον δεύτερο μεγαλύτερο στην Κίνα (εικόνα 1.7). Όταν ο σταθμός λειτουργεί πλήρως μπορεί να παράγει 64 TWh ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος. Τα έργα κατασκευής ξεκίνησαν το 2005 και ολοκληρώθηκαν το 2013 οπότε ο σταθμός μπήκε και σε λειτουργία. Το έργο αποτελείται από ένα φράγμα με ύψος 285,5 μέτρα που δημιουργεί μια δεξαμενή με χωρητικότητα 12.670 εκατομμύριων κυβικών μέτρων. Ο εξοπλισμός των εγκαταστάσεων αποτελείται από 18 γεννήτριες στροβίλων Francis με χωρητικότητα 770 MW η καθεμία και από μια αερόψυκτη γεννήτρια με έξοδο 856,6 MW.

Υδροηλεκτρικός σταθμός Guri.



Εικόνα 1.8 Υδροηλεκτρικός σταθμός Guri ([Τα υπερηλεκτρικά εργοστάσια στον κόσμο | Πράσινες ανανεώσιμες πηγές \(renovablesverdes.com\)](#)).

Το εργοστάσιο βρίσκεται στην νοτιοανατολική Βενεζουέλα στον ποταμό Caron και είναι γνωστό ως το υδροηλεκτρικό εργοστάσιο του Simon Bolívar (εικόνα 1.8). Είναι ένα από τα μεγαλύτερα υδροηλεκτρικά έργα στον κόσμο με εγκαταστημένη ισχύ 10.235 MW. Η κατασκευή του έργου ξεκίνησε το 1963 και η πρώτη φάση της κατασκευής ολοκληρώθηκε το 1978 ενώ η δεύτερη φάση το 1986. Η εγκατάσταση έχει 20 μονάδες παραγωγής με διαφορετική χωρητικότητα η κάθε μια που κυμαίνεται από 130 MW μέχρι 700 MW. Το 2007 ο σταθμός ανακαινίστηκε και προστέθηκαν τέσσερις γεννήτριες τω 400 MW και πέντε των 630 MW. Μετά τις ανακαινίσεις στον εξοπλισμό το εργοστάσιο παράγει με ισχύ που ξεπερνά τα 12.900 MW/h.

Υδροηλεκτρικό εργοστάσιο Tucuru

Το εργοστάσιο βρίσκεται στη Βραζιλία στο κάτω μέρος του ποταμού Tocantins, στο Tucuruí, και είναι η πέμπτη μεγαλύτερη υδροηλεκτρική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο με εγκαταστημένη ισχύς 8.370 MW. Η κατασκευή του έργου ξεκίνησε το 1975 και ολοκληρώθηκε το 1984. Το εργοστάσιο αποτελείται από ένα φράγμα ύψους 78 μέτρων και μήκους 12,5 χιλιομέτρων. Η εγκατάσταση περιέχει 12 μονάδες παραγωγής με χωρητικότητα 330 MW η καθεμιά και δυο βοηθητικές μονάδες των 25 MW. Το 2010 προστέθηκε ένας νέος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που περιέχει 11 μονάδες παραγωγής ισχύος 370 MW η καθεμιά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Υδροηλεκτρικά συστήματα και φράγματα

2.1 Υδροηλεκτρικά συστήματα

Τα υδροηλεκτρικά συστήματα είναι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που εκμεταλλεύονται τη δύναμη του ρεύματός των ποταμών ή των πτώσεων του νερού για να κινήσουν ένα στρόβιλο και να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Δηλαδή δύναμη του νερού μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια, η οποία κινεί τους άξονες του γεννητριών και παράγει ηλεκτρικό ρεύμα. Τα υδροηλεκτρικά συστήματα μπορούν να έχουν διάφορες μορφές, όπως φράγματα, δεξαμενές, υπογειοποίηση ποταμών και μικρές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Η επιλογή του τύπου υδροηλεκτρικού συστήματος εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα και τον όγκο του νερού, τη γεωγραφία και τις περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής.

2.2 Φράγματα

Η κατασκευή φραγμάτων είναι ένα περίπλοκο τεχνικό έργο με πολλαπλές οικονομικές και άλλες επιπτώσεις. Τα φράγματα και τα συναφή έργα έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην οικονομία, την κοινωνία και το περιβάλλον. Η βελτίωση της τεχνολογίας κατασκευής, η ανάπτυξη της επιστημονικής γνώσης και η διάθεση περισσότερων οικονομικών πόρων έχουν δημιουργήσει τις προϋποθέσεις για την κατασκευή μεγάλων φραγμάτων.

Το φράγμα ή υδατοφράκτης αποτελεί ένα τεχνικό έργο που κατασκευάζεται κάθετα στην κοίτη ενός ποταμού με σκοπό τη διακοπή της ροής του νερού. Μέσω του φράγματος, εξασφαλίζεται η σταθερή προμήθεια υδάτων προς το σύστημα, χωρίς διακυμάνσεις, ενώ επιτρέπει επίσης την αποθήκευση ενέργειας στον ταμιευτήρα. Εκτός αυτού, το φράγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άλλους σκοπούς, όπως για την οδοποιία ή για την χρήση των υδάτων για άρδευση.

Οι στόχοι για την δημιουργία ενός φράγματος είναι:

- Με την κατασκευή του φράγματος, δημιουργείται ένας ταμιευτήρας νερού ο οποίος συμβάλλει στην ανεξαρτητοποίηση του υδροηλεκτρικού σταθμού από τις διακυμάνσεις στην παροχή του ποταμού. Αυτός ο ταμιευτήρας αποθηκεύει το νερό και εξασφαλίζει μια σταθερή παροχή νερού προς τον υδροηλεκτρικό σταθμό, ανεξαρτήτως των διακυμάνσεων στη ροή του ποταμού.

- Με την αύξηση της στάθμης του νερού του ταμιευτήρα, επιτυγχάνεται μία αύξηση στο ύψος της πτώσης, η οποία επιφέρει οφέλη στη λειτουργία του υδροηλεκτρικού σταθμού.
- Μείωση της πλημμυρικής ροής του ποταμού μέσω της δημιουργίας ενός φράγματος .
- Παράλληλα, παρέχεται νερό για πόσιμο και αρδευτικό σκοπό μέσω των απαραίτητων υδραυλικών δομών και δικτύων υδρεύσεως.
- Η δημιουργία ενός φράγματος παρέχει δυνατότητες για δραστηριότητες ψυχαγωγίας και θαλάσσια σπορ, καθώς και δυνατότητα αλιείας.

Κατασκευή φραγμάτων

Η κατασκευή ενός φράγματος είναι ένα έργο με σημαντικό αρχικό κόστος, αλλά με σημαντικά μακροπρόθεσμα οικονομικά οφέλη, γεγονός που το καθιστά μια ιδιαίτερα κερδοφόρα επένδυση. Ο συνήθης χρόνος κατασκευής είναι μακρύς και κυμαίνεται μεταξύ 3 και 8 ετών, ανάλογα με την προσβασιμότητα της περιοχής όπου πρόκειται να κατασκευαστεί. Η κατασκευή ενός φράγματος εξετάζεται και υλοποιείται ανάλογα με τον σκοπό που πρόκειται να εξυπηρετήσει, τη λειτουργικότητα, τους φυσικούς παράγοντες και το φυσικό περιβάλλον του. Το φράγμα κατασκευάζεται σε κατάλληλη τοποθεσία εντός της κοίτης του ποταμού, η οποία επιλέγεται βάσει συγκεκριμένων προϋποθέσεων. Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη κατά την κατασκευή ενός φράγματος περιλαμβάνουν:

1. Ευκολία κατασκευής: Η διαδικασία θεωρείται ευκολότερη όταν το φράγμα έχει μικρό πλάτος και μπορεί να γίνει εύκολα η θεμελίωση.
2. Δημιουργία υδατοστεγούς ταμιευτήρα μεγάλης χωρητικότητας: Το φράγμα πρέπει να μπορεί να αποθηκεύει μεγάλο όγκο νερού σε ένα αδιάβροχο υπέδαφος.
3. Πρόκληση μεγάλης υδραυλικής πτώσης: Η τοποθεσία του φράγματος πρέπει να επιτρέπει τη δημιουργία μεγάλης διαφοράς υψομέτρου ανάμεσα στο επάνω και το κάτω μέρος του φράγματος, έτσι ώστε να παράγεται υψηλή υδραυλική πτώση.
4. Ένα φράγμα που είναι εύκολα προσβάσιμο και βρίσκεται σε περιοχή με καλή οδική σύνδεση, θα έχει χαμηλότερο κόστος κατασκευής σε σχέση με ένα φράγμα που βρίσκεται σε απομακρυσμένη περιοχή με περιορισμένη πρόσβαση.
5. Επιπλέον, ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει το κόστος είναι το μήκος του αγωγού προσαγωγής και της σήραγγας εκτροπής του ποταμού. Όταν αυτά τα μήκη είναι μικρά,

η κατασκευή αυτών των υποδομών είναι φθηνότερη σε σχέση με μεγαλύτερα μήκη που απαιτούν περισσότερο υλικό και εργασία.

Η τοποθεσία του φράγματος επηρεάζει τόσο το μέγεθος όσο και τον τύπο του φράγματος, με την επιλογή του να εξαρτάται από το ύψος του φράγματος. Σε χαμηλά ύψη, ενδείκνυται η κατασκευή ευθύγραμμων φραγμάτων από ενισχυμένο σκυρόδεμα, ενώ σε μεσαία και υψηλά ύψη, είναι καλύτερη η κατασκευή τοξωτών φραγμάτων. Η κατασκευή ενός φράγματος έχει ως αποτέλεσμα την συσσώρευση νερού σε μια τεχνητή λίμνη και μπορεί να προκαλέσει αναταραχές στο φυσικό περιβάλλον, ειδικά στην περιοχή που γεμίζει από το νερό του ποταμού. Η υπερβολική πίεση του νερού μπορεί να προκαλέσει διαβρώσεις, διαρροές και ακόμα και κατολισθήσεις, οπότε είναι σημαντικό να ληφθούν κατάλληλα μέτρα πρόληψης και ασφαλείας.

Μεταξύ των κύριων αιτιών καταστροφής των φραγμάτων σε όλο τον κόσμο περιλαμβάνονται:

- Η ελλιπής μελέτη των γεωλογικών συνθηκών στην περιοχή του φράγματος.
- Λάθη στη μελέτη, κατασκευή και επιθεώρηση του φράγματος.
- Λάθος διαχείριση των υδάτινων πόρων, απρόβλεπτη ένταση και έκταση νεροποντής.
- Σεισμοί μεγάλης έντασης.

2.3 Τύποι φραγμάτων

Ανάλογα με τον σκοπό τους, τα φράγματα μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες:

1. Φράγματα που υψώνουν το επίπεδο του νερού.
2. Φράγματα αποθήκευσης.
3. Φράγματα παροχέτευσης.

Ανάλογα με την κατασκευή τους, μπορούν να διαχωριστούν σε μονιμά και κινητά.

Τα μονιμά φράγματα διακρίνονται σε άκαμπτα, εύκαμπτα, βαρύτητας, χωμάτινα, αντιριδωτά, λίθινα, θολωτά. Ενώ τα κινητά σε κατακλινόμενα και κατακόρυφα ανυψούμενα .

Φράγματα βαρύτητας

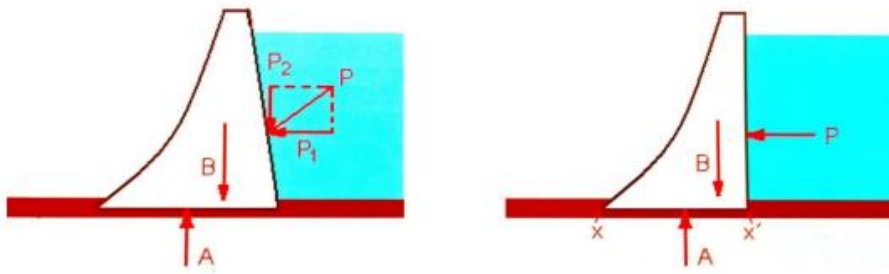
Τα φράγματα βαρύτητας οικοδομούνται με σκοπό να αντέχουν την υδροστατική πίεση του νερού, και αυτό κατορθώνεται μέσω του μεγάλου τους βάρους. Η σχεδίαση του φράγματος

μπορεί να είναι ευθεία ή καμπύλη στην οριζόντια επιφάνεια, ανάλογα με την τοπογραφία της περιοχής και τις λειτουργικές απαιτήσεις του φράγματος.

Οι δυνάμεις που ασκούνται στο φράγμα είναι:

1. Βάρος του Φράγματος (B): Αυτή είναι η κύρια δύναμη που δρα κατακόρυφα και αντιστέκεται στις άλλες δυνάμεις που προσπαθούν να ανατρέψουν το φράγμα. Το μεγάλο βάρος του φράγματος είναι αυτό που εξασφαλίζει την ισορροπία του.
2. Πίεση του νερού (P): Αυτή είναι η συμπληρωματική δύναμη που ασκείται στην κατακόρυφη πλευρά του φράγματος. Όταν η κατεύθυνση της κίνησης του νερού δεν είναι κατακόρυφη, υπάρχουν δύο πιέσεις: μια οριζόντια πίεση (P_1) και μια κατακόρυφη πίεση (P_2).
3. Άνωση (A): Αυτή προκαλείται από την υποπίεση του νερού που διέρχεται κάτω από το φράγμα. Η άνωση υπάρχει πάντα, ανεξάρτητα από τα μέτρα στεγανοποίησης που έχουν ληφθεί.
4. Πίεση των φερτών υλικών: Αυτή η δύναμη είναι μικρή και δεν ασκεί σπουδαία επίδραση στην ισορροπία του φράγματος. Ωστόσο, πρέπει να υπολογίζεται ο όγκος των μεταφερόμενων υλικών από τον ποταμό, διότι επιδρούν στον όγκο της με τις διαρκείς αποθέσεις.
5. Πίεση των πάγων: Η πίεση των πάγων προκύπτει από το βάρος του πάγου πάνω στο φράγμα. Η πάχυνση του πάγου μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την εποχή και τις κλιματολογικές συνθήκες. Είναι σημαντικό κατά τον σχεδιασμό και την κατασκευή ενός φράγματος σε περιοχές με πάγους να λαμβάνονται υπόψη οι δυνάμεις που ασκούνται από τους πάγους, καθώς και οι δυνητικές επιπτώσεις τους στην ασφάλεια και τη λειτουργία του φράγματος.
6. Σεισμική πίεση νερού που προκαλείται από τις σεισμικές δονήσεις: Οι σεισμικές δονήσεις μπορούν να προκαλέσουν σεισμική πίεση στα φράγματα λόγω της κίνησης του εδάφους και του νερού. Κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, το έδαφος μπορεί να δονηθεί δυνατά, και αυτό μπορεί να μεταφερθεί στο νερό που βρίσκεται πίσω από το φράγμα. Για αυτόν τον λόγο, κατά τον σχεδιασμό και την κατασκευή φραγμάτων σε περιοχές με σεισμική δραστηριότητα, λαμβάνονται υπόψη οι προδιαγραφές ανθεκτικότητας στους σεισμούς.

Στην παρακάτω εικόνα (2.1) αναλύονται οι δυνάμεις που ασκούνται στα φράγματα βαρύτητας.



Εικόνα 2.1 Δυνάμεις στα φράγματα βαρύτητας (Απόστολος Πολυζάκης, κεφάλαιο 9ο, Ρευστοδυναμικές Μηχανές Στροβιλομηχανές - Υδροδυναμικές μηχανές).

Τοξωτά φράγματα

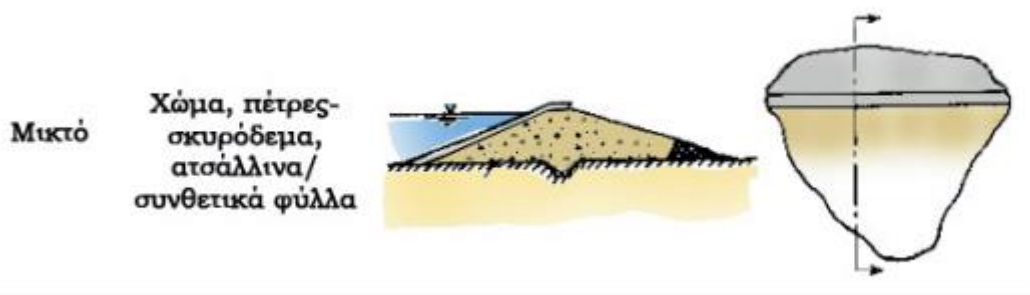
Τα τοξωτά φράγματα αναφέρονται σε κατασκευές με κυρτή τοξοειδή μορφή (εικόνα 2.2). Η πίεση του νερού ασκείται στην κυρτή επιφάνεια του φράγματος και μεταφέρεται στις όχθες του ρεύματος. Αυτοί οι τύποι φραγμάτων κατασκευάζονται με τα κοίλα μέρη να είναι στραμμένα προς τα κάτω και υπόκεινται σε τάσεις θλίψης. Η διατομή των τοξωτών φραγμάτων είναι λεπτή και μπορεί να αποτελέσει έως και το 60% του όγκου ενός αντίστοιχου φράγματος βαρύτητας. Στο πεδίο των υπολογισμών, ένα τοξωτό φράγμα αποτελείται από μια λεπτή πλάκα απλής ή διπλής καμπυλότητας, η οποία στηρίζεται σε δύο σημεία. Η βασική αρχή υπολογισμού ενός τοξωτού φράγματος είναι η διάκρισή του σε οριζόντιες και κατακόρυφες σειρές τόξων και η αυτόνομη στατική ανάλυση κάθε τόξου ώστε να μην υπάρχει σύνδεση με το προηγούμενο τόξο.

Η δημιουργία ενός θολωτού φράγματος βασίζεται στην υπόθεση ότι ελάχιστη επένδυση κεφαλαίου για την κατασκευή συμπίπτει με τον ελάχιστο όγκο του φράγματος. Ο ελάχιστος όγκος επιτυγχάνεται όταν η κεντρική γωνία του θολωτού φράγματος είναι περίπου 120 μοίρες. Τόσο η μορφή του τόξου όσο και η μορφή της κοίλης περιοχής επηρεάζουν την επιλογή του φράγματος. Συνήθως, η κατασκευή θολωτών φραγμάτων απαιτείται όταν η κοίτη έχει απότομες κλίσεις και το φράγμα πρέπει να είναι υψηλό. Αυτό συμβαίνει διότι η κατασκευή οποιουδήποτε άλλου τύπου φραγμάτων θα απαιτούσε εξωφρενικά μεγάλο πλάτος βάσης και φυσικό όγκο.



Εικόνα 2.2, Τοξωτό φράγμα, ([Ασκήσεις Τεχνικής Γεωλογίας 6 η Άσκηση Επιλογή καταλληλότητας θέσης και τύπου φράγματος - PDF ΔΩΡΕΑΝ Λήψη \(docplayer.gr\)](#)).

Τύπος Φράγματος	Υλικό	Σκαρίφημα Τομής	Σκαρίφημα Κάτοψης
Βαρύτητας	Σκυρόδεμα αργολιθοδομή		
Τοξωτό	Σκυρόδεμα		
Αντηριδωτό	Σκυρόδεμα ξύλο, κάλυβας		
Γεώφραγμα	Χώμα, πέτρες		



Εικόνα 2.3, Είδη φραγμάτων [14]

Χωμάτινα φράγματα

Τα χωμάτινα φράγματα αναφέρονται σε φράγματα που κατασκευάζονται από εδάφη ή άλλα γαιώδη υλικά. Η διαμόρφωση τους έχει τραπεζοειδή διατομή και σκέψη που διαρρυθμισμένη σε δρόμο.

Συνήθως επιλέγονται σε συνθήκες όπου δεν είναι απαραίτητο μεγάλο ύψος και μήκος φραγμάτων και σε περιπτώσεις με μη καλό έδαφος θεμελίωσης. Σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι προτιμότερη η ευέλικτη κατασκευή από γαιώδη υλικά που μπορούν να παραποιηθούν και να ελέγξουν μικρές μετακινήσεις της εδραίωσης χωρίς να ταραχθεί η συνοχή τους.

Συνήθως, τα χωμάτινα φράγματα είναι πιο οικονομικά από τα φράγματα με σκυρόδεμα, εκτός από συγκεκριμένα παραδείγματα όπου οι δανειοθάλαμοι πρέπει να κατασκευαστούν με ειδικά υλικά, όπως ο άργιλος, που ενδέχεται να είναι διαθέσιμος μακριά από την περιοχή στην οποία κατασκευάζεται το φράγμα. Ο όγκος ενός χωμάτινου φράγματος είναι μεγάλος και η μεταφορά αυτών των μεγάλων ποσοτήτων καθορίζει οικονομικά το έργο. Τα γεωδαιτικά υλικά που χρησιμοποιούνται σε ένα χωμάτινο φράγμα έχουν μεγάλη διαπερατότητα. Για να επιτευχθεί η αδιαπερατότητα του φράγματος, κατασκευάζεται ένας απροσπέλαστος πυρήνας από άργιλο. Αυτός ο πυρήνας επεκτείνεται λίγο μέσα στο έδαφος και στη συνέχεια παρασκευάζεται ένα διάφραγμα για να διακόπτει την υπόγεια ροή, χρησιμοποιώντας πασσάλους, τσιμεντένεσες και τσιμεντοεγχύσεις. Ο πυρήνας μπορεί να κατασκευαστεί με κλίση αντί να είναι κάθετος στην διατομή. Για την προστασία των πρηνών από τη διαβρωτική επίπτωση των κυματισμών της λίμνης, μπορεί να τοποθετηθεί μια ειδική επίστρωση από λιθόρρυπα με πάχος περίπου 0.5-1.0 μέτρο. Η υψομετρική εγκατάσταση των πρηνών είναι αντικείμενο μελέτης, αλλά συνήθως τοποθετούνται σε ύψος περίπου 3.0 μέτρα πάνω από την ανώτατη στάθμη του νερού,

προκειμένου να αποτραπεί η υπερχειλίση που θα μπορούσε να έχει καταστροφικές επιπτώσεις για τα πρανή και το ίδιο το φράγμα.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των χωμάτινων φραγμάτων είναι η δυνατότητα κατασκευής τους σε εδάφη που δεν είναι πάντα ιδανικά. Στην περίπτωση μικρών φραγμάτων, η μελέτη θεμελίωσης περιορίζεται σε λίγες γεωτρήσεις μικρού βάθους, μέσω των οποίων εξετάζεται η φύση του εδάφους. Η ποιότητα του εδάφους και της θεμελίωσης κρίνεται ικανοποιητική, αν δεν παραθέτει:

- Αργιλώδη στρωματά
- Στρωματά με ρωγμές .
- Ασταθή Εδάφη
- Εδάφη έντονα διαπερατά.

Στην παρακάτω εικόνα (2.4) απεικονίζεται το χωμάτινο φράγμα Μαυροματίου στην Σούρπη Μαγνησίας.



Εικόνα 2.4 Χωμάτινο φράγμα Μαυροματίου Σούρπης Μαγνησίας [15]

2.4 Βοηθητικά μέρη υδροηλεκτρικού σταθμού

Υπερχειλιστής: Ο υπερχειλιστής αποτελεί μια διάταξη που επιτρέπει στο υπερχειλισμένο νερό να εκτοξεύεται έξω από το φράγμα, προκειμένου να αποφευχθούν καταστροφικές συνέπειες (εικόνα 2.5). Ο υπερχειλιστής μπορεί να τοποθετηθεί είτε στο κορμό του φράγματος είτε στο επάνω μέρος του φράγματος και λειτουργεί ως ένας αγωγός διέλευσης. Η λειτουργία του υπερχειλιστή είναι να απελευθερώνει το υπερχειλισμένο νερό, το οποίο προέρχεται από έντονες βροχοπτώσεις ή υψηλή παροχή του ποταμού, προτού αυτό καταστρέψει το φράγμα ή προκαλέσει πλημμύρες. Επιπλέον, ο υπερχειλιστής εξασφαλίζει την οικολογική παροχή του

ρεύματος, δηλαδή το ελάχιστο ρυθμό ροής νερού που απαιτείται για τη διατήρηση της ζωής στο ποτάμι και στην περιοχή κάτω από το φράγμα.



Εικόνα 2.5 Υπερχειλιστής φράγματος Πηνειού [16].

Σήραγγα εκτροπής: Ανοίγεται για τη απομάκρυνση της φυσικής παροχής του ποταμού, ώστε να γίνει χωρίς εμπόδια η κατασκευή του φράγματος. Επιπλέον, κατά τη λειτουργική διαδικασία του υδροηλεκτρικού σταθμού, λειτουργεί ως διπλή ασφάλεια για τη διαχείριση των πλημμυρικών φαινομένων.

Εκκενωτής πυθμένα: Ο εκκενωτής πυθμένα είναι ένας σωλήνας ή ένας διπλός σωλήνας που χρησιμοποιείται για την εκκένωση του ταμιευτήρα σε συγκυρία ανάγκης ή συντήρησης, καθώς και για τη διατήρηση της φυσικής παροχής του ποταμού. Τοποθετείται στο κατώτερο σημείο του ταμιευτήρα και λειτουργεί υπό πίεση. Συνίσταται από μια είσοδο, θυρίδες, δικλείδες και μια έξοδο. Η είσοδος μορφοποιείται έτσι ώστε να μειώνονται οι στρόβιλοι κατά την είσοδο του νερού στον σωλήνα. Η διάμετρος του αγωγού, που μπορεί να είναι σωληνώσεις ή διπλός σωλήνας, εκτιμάται σύμφωνα με τις ποσότητες νερού που πρόκειται να διαχειριστεί και την ταχύτητα της ροής. Οι ρυθμιστικές δικλείδες τοποθετούνται σε κατάλληλη θέση για να είναι προσβάσιμες. Η καμπυλότητα του σωλήνα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ευθεία.

Υδροληψία: Η υδροληψία αφορά το σημείο εισόδου του νερού στον προαγωγό. Στην πραγματικότητα, η υδροληψία αποτελεί μια τεχνική διαδικασία που αποσκοπεί στην απόσπαση νερού από μια λίμνη και τη μεταφορά του προς τους υδροστρόβιλους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ή προς τον αγωγό μεταφοράς για διάφορους σκοπούς, όπως η άρδευση. Κεντρικό στοιχείο της υδροληψίας είναι το τεχνικό έργο εισαγωγής, το οποίο μπορεί να λάβει μορφή ενός πύργου που είναι τοποθετημένος στον βυθό της λίμνης, ή ενός στομίου που είναι τοποθετημένο στο δεξί ή αριστερό πλευρό κοντά στο φράγμα. Το άνοιγμα εισόδου βρίσκεται συνήθως πιο χαμηλά από την επιφάνεια της λίμνης και διαφυλάσσεται από σχάρα, προκειμένου να αποτραπεί η είσοδος υλικών που μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στους αγωγούς και τις τουρμπίνες.

Σήραγγα ή/και κλειστός αγωγός προσαγωγής του νερού από το φράγμα στους υδροστρόβιλους: Ο αγωγός προσαγωγής (εικόνα 2.6) κατασκευάζεται από χάλυβα και η διάμετρός του προσδιορίζεται με βάση οικονομικά κριτήρια. Στην περίπτωση ενός μεγάλου αγωγού προσαγωγής, επιλέγεται να είναι ενιαίος και να εφοδιάζει όλους τους υδροστρόβιλους της υδροηλεκτρικής μονάδας, διαφορετικά, κάθε υδροστρόβιλος τροφοδοτείται από ξεχωριστό αγωγό.



Πύργος εκτόνωσης ενέργειας: Ο πύργος εκτόνωσης κατασκευάζεται για να προστατεύσει τους αγωγούς προσαγωγής από υπερπίεση που μπορεί να προκληθεί κατά τη διάρκεια των μεταβατικών φαινομένων, όπως η εκκίνηση ή η απόρριψη φορτίου των υδροστροβίλων. Συνήθως διαμορφώνονται στην είσοδο ή κατά μήκος του αγωγού προσαγωγής και απαιτούνται σε μεγάλους ΥΗΣ. Αυτοί οι πύργοι αποτελούν μια διάταξη αποσβέσεως υψηλών πιέσεων (μια δεξαμενή αποθήκευσης νερού), η οποία έχει ως σκοπό να απορροφά την αύξηση της πίεσης που προξενείται από την απότομη κλείστρωση της βαλβίδας που ρυθμίζει τη ροή στον υδροστρόβιλο, μέσω της εισροής νερού σε αυτόν. Με αυτόν τον τρόπο, εξαφανίζεται η εμφάνιση του φαινομένου της υδροπληγίας, το οποίο προκαλείται από την υψηλή πίεση του νερού στον προσαγωγό λόγω του μεγάλου όγκου νερού που περιέχει. Οι πύργοι αυτοί λειτουργούν ως κενοί αποθηκευτικοί χώροι που γεμίζουν με νερό κατά τη στιγμιαία αύξηση της πίεσης. Ένας δευτερεύοντας σκοπός τους είναι η περιορισμός των ταλαντώσεων της υδραυλικής στήλης που αποθηκεύεται σε αυτούς. Το ύψος των πύργων μπορεί να φτάσει έως και 100 μέτρα για μεγάλους μήκους προσαγωγούς.

Σήραγγα ή αγωγός απαγωγής: Η σήραγγα απαγωγής αξιοποιείται για να απομακρύνεται το νερό από τον σταθμό και να το επιστρέφει στη φυσική ροή του ποταμού.

Θυροφράγματα και βάνες: Για την κατασκευή και τη συντήρηση του έργου, τοποθετούνται διάφορες δομές που αποτελούν εμπόδια για το νερό. Αυτές περιλαμβάνουν θυροφράγματα (εικόνα 2.7) και βάνες διακοπής που τοποθετούνται στην είσοδο και την έξοδο των υδροστροβίλων.



Εικόνα 2.7 Ηλεκτρικό τοξωτό θυρόφραγμα και αυτόματο θυρόφραγμα με αντίβαρο ΥΗΣ Γλαύκου [17].

Υδροηλεκτρικός σταθμός ΥΗΣ: Ο υδροηλεκτρικός σταθμός αποτελείται από κτιριακές εγκαταστάσεις, υδροστρόβιλους, ηλεκτρογεννήτριες, μετασχηματιστές, συστήματα ελέγχου και παρακολούθησης, καθώς και άλλο βοηθητικό εξοπλισμό. Η επιλογή της τοποθεσίας του υδροηλεκτρικού σταθμού γίνεται με βάση τους παραμέτρους οικονομικής αποδοτικότητας. Ο σταθμός μπορεί να είναι είτε υπόγειος είτε υπέργειος στη βάση του φράγματος είτε σε κάποιο άλλο κατάλληλο δόκιμο σημείο. Στην τελευταία περίπτωση, η επιλογή του υδροστρόβιλου και η μορφολογία του εδάφους έχουν σημαντικό ρόλο. Η τάση προς την κατασκευή υπογείων υδροηλεκτρικών σταθμών αυξάνεται γενικά στον τομέα, καθώς οι τεχνικές για την ανοικοδόμηση σηράγγων έχουν φτάσει σε ωρίμανση. Κάθε ηλεκτρογεννήτρια συνδέεται απευθείας με τον υδροστρόβιλο στην ίδια άτρακτο/ρουλεμάν, εκτός από κάποιες περιπτώσεις όπου χρησιμοποιείται σύστημα αλλαγής σχέσης μετάδοσης. Οι μετασχηματιστές αποτελούν απαραίτητο εξοπλισμό για τη μεταφορά της ενέργειας από τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς στο δίκτυο, αφού ανεβάζουν την τάση που παράγεται από τις γεννήτριες στην υψηλή τάση που απαιτείται για το δίκτυο σύνδεσης. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η μεταφορά της ενέργειας με ελάχιστες απώλειες. Ο αριθμός των μονάδων, που περιλαμβάνει συνδυασμούς υδροστρόβιλων και ηλεκτρογεννητριών, καθορίζεται από το προγραμματισμένο πρόγραμμα παραγωγής του έργου, λαμβάνοντας υπόψη τις διακυμάνσεις στη ροή, την ανάγκη για κάλυψη αιχμών στο δίκτυο και ορίζεται με βάση οικονομικά κριτήρια. Για λόγους προφύλαξης, συνήθως το πλήθος των μονάδων σε έναν υδροηλεκτρικό σταθμό είναι μεγαλύτερο ή ίσο του δύο, έτσι ώστε να υπάρχει η ικανότητα συντήρησης και να παρέχεται αυξημένη ελαστικότητα στο πρόγραμμα παραγωγής.

Ταμιευτήρας η τεχνίτη λίμνη: Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί συνήθως είναι εξοπλισμένοι με ταμιευτήρες που σχεδιάζονται για να συλλέγουν το νερό κατά τη διάρκεια της υψηλής βροχοπτώσης και της τήξης του χιονιού στα βουνά. Με αυτόν τον τρόπο ελέγχεται η παραγωγή ενέργειας, ενώ το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άλλες χρήσεις. Σε μεγάλους υδροηλεκτρικούς σταθμούς, μπορεί να διευθετηθεί η διακίνηση πολλών ποταμών ή ρευμάτων προς τον ταμιευτήρα. Με αύξηση της στάθμης του νερού αυξάνεται το ωφέλιμο ύψος, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της διαθέσιμης και παραγόμενης ισχύος. Αντίθετα, η αύξηση του ύψους έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της επιφάνειας του νερού, με αποτέλεσμα την αύξηση του νερού που εξατμίζεται.

2.5 Κατηγοριοποίηση υδροηλεκτρικών σταθμών

Με βάση την ονομαστική εξαγόμενη ισχύ του ΥΗΣ τα υδροηλεκτρικά έργα κατατάσσονται σε:

- Μεγάλα με ονομαστική ισχύ του ΥΗΣ : $\dot{W} > 15MW$
- Μικρά με ονομαστική ισχύ του ΥΗΣ: $1MW < \dot{W} < 15MW$
- Πολύ μικρά με ονομαστική ισχύ του ΥΗΣ: $0.1MW < \dot{W} < 1MW$

Συνήθως, τα μικρά και πολύ μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα κατασκευάζονται σε ρέματα και ποτάμια μικρού μεγέθους, όπου υπάρχουν μικρά φράγματα που ρυθμίζουν τη ροή του νερού. Σε λιγότερο μέτρο χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ταμιευτήρων ή τη διαχείριση των υδάτων. Κατά κύριο λόγο, αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται για ρυθμιστικούς σκοπούς και ως πηγή ενέργειας.

Κατηγοριοποίηση με βάση το ωφέλιμο ύψος υδατόπτωσης διακρίνονται σε:

- Μικρού ύψους με ωφέλιμο ύψος: $H_u < 30m$
- Μέσου ύψους με ωφέλιμο ύψος: $30m < H_u < 150m$
- Μεγάλου ύψους με ωφέλιμο ύψος : $H_u > 150m$

Κατατάσσονται ανάλογα με την παρουσία του ταμιευτήρα σε :

- Συστήματα με ταμιευτήρα.
- Συστήματα με μικρό ταμιευτήρα.
- Συστήματα χωρίς ταμιευτήρα.

2.6 Πλεονεκτήματα ΥΗΣ σε σχέση με άλλες μονάδες παραγωγής ενέργειας :

1. Ενεργειακά. Από τα υδροηλεκτρικά συστήματα με ταμιευτήρες προκύπτουν ενεργειακά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και γενικότερα με συμβατικά συστήματα. Αυτά τα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν τη δυνατότητα ταχείας απόδοσης της μέγιστης ισχύος τους, καθιστώντας τα ιδανικά συστήματα για την κάλυψη της αιχμηρής ζήτησης ενέργειας. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί (ΥΗΣ) παράγουν σταθερή ισχύ χωρίς διακυμάνσεις. Επιπλέον, ο βαθμός απόδοσης της μετατροπής της ενέργειας είναι από τους μεγαλύτερους στα ανανεώσιμα ενεργειακά συστήματα, αλλά και σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα. Επιπλέον, η μετατροπή ενέργειας στα υδροηλεκτρικά συστήματα έχει έναν από τους υψηλότερους βαθμούς απόδοσης σε σχέση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και ακόμη και σε σύγκριση με συμβατικά συστήματα. Επιπροσθέτως, τα υδροηλεκτρικά συστήματα είναι εξαιρετικά αξιόπιστα σε σχέση με άλλες ανανεώσιμες τεχνολογίες. Όλα αυτά τα πλεονεκτήματα αυξάνονται με τη λειτουργία των υδροηλεκτρικών συστημάτων αμφίδρομης λειτουργίας.
2. Οικονομικά. Η εγκατάσταση υδροηλεκτρικών συστημάτων είναι σχετικά ακριβή, αλλά έχουν χαμηλό κόστος λειτουργίας (μόνο 20 εργαζόμενοι για ένα σταθμό ισχύος 300 MW) και συντήρησης (συντήρηση κάθε 5000 ώρες). Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (50-60 έτη για μεγάλες και μεσαίες εγκαταστάσεις, 25-35 έτη για μικρότερες). Η συμβολή των υδροηλεκτρικών συστημάτων στην τοπική ανάπτυξη της περιοχής είναι αξιοσημείωτη, καθώς συνδέεται με παράπλευρες υποδομές όπως η διάνοιξη δρόμων ή η κατασκευή γεφυρών. Τα υδροηλεκτρικά συστήματα απαιτούν τη δημιουργία εκτεταμένων υδατο-δεξαμενών και δικτύων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, πράγμα που ενισχύει την υποδομή και την ανάπτυξη της περιοχής. Επιπλέον, η κατασκευή των συστημάτων δημιουργεί θέσεις εργασίας και συνεισφέρει στην τοπική οικονομία.
3. Περιβαλλοντικά. Τα υδροηλεκτρικά έργα μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση του φυσικού περιβάλλοντος μέσω της δημιουργίας βιοτόπων και της μείωσης των εκπομπών ρύπων στο μηδέν. Επιπλέον, η χρήση του φυσικού πόρου του νερού δεν περιορίζεται μόνο στην υδροηλεκτρική παραγωγή, αλλά μπορεί επίσης να εξυπηρετήσει και άλλες ανάγκες. Η παρουσία μεγάλων φυσικών ή τεχνητών ταμιευτήρων παρέχει στα υδροηλεκτρικά έργα μεγάλη ικανότητα ρύθμισης της ενέργειας και, σε συνδυασμό με τα υψηλά ύψη πτώσης λόγω του απότομου ανάγλυφου καθιστά τα υδροηλεκτρικά έργα κατάλληλα για την αντιμετώπιση του φορτιού αιχμής. Τα έργα με ταμιευτήρες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την οικονομική τους βιωσιμότητα και αποδοτικότητα, με τα πρώτα να παρέχουν μόνο ενέργεια και τα

δεύτερα να χρησιμοποιούν το νερό και για άλλες δραστηριότητες. Ορισμένες από αυτές τις δραστηριότητες είναι η αρδευτική γεωργία, η ύδρευση των πόλεων, η προστασία από πλημμύρες, η ψύξη θερμοηλεκτρικών σταθμών ή βιομηχανικών χρήσεων, η δημιουργία υδρόβιων οικοσυστημάτων και άλλες δραστηριότητες όπως η αλιεία και η ιστιοπλοΐα.

2.6 Μειονεκτήματα υδροηλεκτρικών εργοστασίων

1. Η ποσότητα του νερού που είναι διαθέσιμη διακυμαίνεται σημαντικά ανάμεσα στην υγρή και στη ξηρή περίοδο, και αυτό επηρεάζει την παραγωγή ισχύος, ιδιαίτερα στα υδροηλεκτρικά έργα χωρίς ταμιευτήρες, λόγω των εποχικών διακυμάνσεων.
2. Ο περιορισμένος βαθμός ενεργειακής πυκνότητας του νερού σημαίνει ότι απαιτούνται μεγάλες εγκαταστάσεις για την επεξεργασία και αποθήκευση του νερού, και ότι αυτό απαιτεί μεγάλο αρχικό κεφάλαιο επένδυσης. Αυτό συμβαίνει διότι το νερό έχει χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα σε σχέση με άλλες πηγές ενέργειας, όπως οι ορυκτοί πόροι.
3. Υπάρχουν πολλαπλά τεχνικά προβλήματα που αντιμετωπίζονται στη διαδικασία κατασκευής των έργων, όπως η αδιαβροχοποίηση των φραγμάτων, η διαχείριση των εκροών των ποταμών, και άλλα προβλήματα που σχετίζονται με τη μηχανολογία και την ηλεκτρολογία, όπως η σύνδεση στο εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο.
4. Η κατασκευή των ΥΗΣ απαιτεί μεγάλο χρονικό διάστημα, ανάλογα με το μέγεθος της και τις απαραίτητες εργασίες που πρέπει να πραγματοποιηθούν, οι οποίες μπορεί να διαρκέσουν από 3 έως 8 χρόνια.
5. Η κατασκευή μεγάλων φραγμάτων οδηγεί σε αλλαγή της γης, με αποτέλεσμα τη μετακίνηση κοινωνικών και επαγγελματικών δραστηριοτήτων και προκαλεί κοινωνική δυσαρέσκεια.

2.7 Ενεργειακός υπολογισμός Υδροηλεκτρικών συστημάτων

Για τη μεγιστοποίηση των δυνατοτήτων ενός υδροηλεκτρικού έργου, είναι σημαντικό να αξιοποιηθεί η θεωρητική ισχύς που μπορεί να αποδώσει. Η ενέργεια του νερού που είναι δυναμική και δεν υφίσταται απώλειες ενέργειας κατά τη μεταφορά ή τη μετατροπή της σε ηλεκτρική [18]. Ο τύπος της θεωρητικής ισχύς είναι :

$$P_0 = \gamma * Q * H$$

- γ : Το ειδικό βάρος του νερού.
- Q : Η παροχή που διέρχεται από τους στροβίλους.

- H: Η υψομετρική διαφορά αναφέρεται στη διαφορά ύψους μεταξύ της στάθμης του νερού σε μια ανάντη και ενός σημείου με συγκεκριμένο ενεργειακό υψόμετρο κατάντη [15].

Η πραγματική ισχύς για ένα υδροηλεκτρικό έργο υπολογίζεται [18] :

$$P_{(t)} = n_{(t)} * \gamma_{(t)} * Hn_{(t)}$$

- n: Ο βαθμός απόδοσης της μονάδας παραγωγής.
- Hn: Το καθαρό ύψος πτώσης.
- γ : Το ειδικό βάρος του νερού.

Η παραγόμενη ενέργεια υπολογίζεται από την σχέση :

$$E_{(t)} = \int P_{(t)} dt = \gamma \int n[zA_{(t)}, Q_{(t)}] Q_{(t)} Hn[zA_{(t)}, Q_{(t)}] dt$$

- zA: Η μεταβλητή στάθμη του νερού στον ταμιευτήρα.

Η παραγόμενη ενέργεια, υποθέτοντας σταθερά n και Hn:

$$E = n * \gamma * Hn * \int Q_{(t)} dt = n * \gamma * V * Hn$$

Ως ύψος πτώσης νοείται η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να διατεθεί ανά μονάδα μάζας στον στρόβιλο και υπολογίζεται :

$$Hn = hA - hK - Hl$$

- hA: Το ενεργειακό υψόμετρο ανάντη.
- hK: Το ενεργειακό υψόμετρο κατάντη.
- Hl: Οι συνολικές ενεργειακές απώλειες.

Το ολικό ύψος πτώσης είναι θεωρητικό μέγεθος και υπολογίζεται ως:

$$H_{tot} = hA - hK$$

Η μέση παροχή Q για μια χρονική διάρκεια T υπολογίζεται από την σχέση:

$$Q = \frac{1}{T} * \int_0^T q_{(t)} * dt$$

Οι ενεργειακές απώλειες κατά τη μεταφορά του υπολογίζονται ως:

$$hL = hf + hT$$

- hF: Απώλειες τριβών.

- h_T : Υδραυλικές απώλειες.

2.8 Απώλειες

Υπάρχουν τρία είδη απωλειών:

1. Υδραυλικές απώλειες: Οι υδραυλικές απώλειες αναφέρονται στην ενέργεια που χάνεται λόγω τριβής κατά μήκος των γραμμών ροής από τη διατομή εισόδου έως τη διατομή εξόδου. Επιπλέον, υπάρχουν υδραυλικές απώλειες κρούσης που οφείλονται στη διαφορά της γωνίας πρόσπτωσης της ροής στα πτερύγια του στροφείου σε σχέση με την αντίστοιχη γωνία των πτερυγίων. Οι απώλειες κρούσης στα ρυθμιστικά πτερύγια δεν είναι σημαντικές, επειδή η ροή του υγρού στην περιοχή αυτή είναι έντονα επιταχυνόμενη, άρα η ενέργεια του ρευστού αυξάνεται και δεν χάνεται σε μεγάλο βαθμό από τις κρούσεις στα ρυθμιστικά πτερύγια.
2. Ογκομετρικές απώλειες: Οι ογκομετρικές απώλειες προκύπτουν από απώλειες παροχής σε διάκενα που δημιουργούνται στις φυγοκεντρικές αντιδράσεις μεταξύ της εξωτερικής επιφάνειας της στεφάνης και του εξωτερικού κελύφους του υδροστροβίλου και στις αξονικές ροές αντίδρασης μεταξύ των άκρων πτερυγίων του στροφείου και του εξωτερικού κελύφους. Οι υδροστρόβιλοι δράσης δεν έχουν ογκομετρικές απώλειες εξαιτίας της ισοθλιπτικής λειτουργίας του στροφείου τους.
3. Μηχανικές απώλειες: Οι μηχανικές απώλειες χωρίζονται σε απώλειες των εδράνων και απώλειες του περιστρεφόμενου δίσκου. Οι απώλειες του περιστρεφόμενου δίσκου οφείλονται στην τριβή του υγρού στις εξωτερικές επιφάνειες της πλήμνης και της στεφάνης του υδροστρόβιλου. Στην περίπτωση του υδροστρόβιλου δράσης, δεν υπάρχουν απώλειες στρεφόμενου δίσκου λόγω της ισοθερμικής λειτουργίας του στροφείου. Ωστόσο, αναπτύσσονται απώλειες αερισμού που οφείλονται στην κίνηση που προκαλείται στον περιβάλλοντα αέρα από την περιστροφή του στροφείου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Υδροστρόβιλοι.

3.1 Ταξινόμηση υδροστροβίλων

Ο υδροστρόβιλος αναδεικνύεται ως η κύρια μονάδα κάθε υδροηλεκτρικού σταθμού, καθώς αναλαμβάνει τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας του νερού σε περιστροφική κίνηση. Αυτή η ενέργεια μεταφέρεται μέσω του ρεύματος του νερού που αλληλεπιδρά με κατάλληλα σχεδιασμένες υδροδυναμικές επιφάνειες. Η επιλογή του τύπου και του μεγέθους του υδροστροβίλου γίνεται με σκοπό να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση, δηλαδή η μεγαλύτερη δυνατή αποτελεσματικότητα στη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας του νερού σε περιστροφική κίνηση με στόχο τη μέγιστη παραγωγή ισχύος και την οικονομικά συμφέρουσα εκμετάλλευση της παροχής νερού, η οποία οδηγεί σε οικονομικά συμφέρουσα λειτουργία σε σχέση με την καμπύλη διάρκειας παροχής. Ο βασικός παράγοντας που έχει σημασία για τον σχεδιασμό ενός υδροστροβίλου είναι η ποσότητα νερού που διέρχεται μέσω του υδροστροβίλου και ονομάζεται ονομαστική παροχή. Για να βελτιστοποιηθεί ο συνολικός βαθμός απόδοσης του έργου, συχνά χρησιμοποιούνται περισσότεροι από ένας υδροστρόβιλοι, έτσι ώστε να επιλέγεται κάθε φορά η λειτουργία που παρέχει τον καλύτερο συνδυασμό απόδοσης.

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

- Υδροστρόβιλος δράσης ή ισοθλιπτικός (τύπου pelton). Η ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια υπό ατμοσφαιρική πίεση, χρησιμοποιώντας το ακροφύσιο εξόδου του αγωγού προσαγωγής. Το νερό που έχει πλέον μόνο κινητική ενέργεια διαμορφώνει μια υδάτινη δέσμη και προσκρούει στα σκαφίδια, χωρίς να τα γεμίζει εντελώς, και βγαίνει από αυτά με νέα κατεύθυνση, ακολουθώντας τη διαμόρφωση της επιφάνειας του σκαφιδίου κατά τη διάρκεια της ροής πάνω σε αυτά. Τα σκαφίδια του υδροστροβίλου είναι τοποθετημένα στο περίγραμμα του ρότορα και περιστρέφονται μαζί με αυτόν χάρη στο χτύπημα που δέχονται από την ροή του νερού που εισέρχεται στο υδροστρόβιλο. Η πίεση του νερού παραμένει αμετάβλητη στον χώρο του ρότορα.
- Υδροστροβίλος αντίδρασης (τύπου Kaplan, Francis). Στους υδροστρόβιλους αντίδρασης, η κύρια ενέργεια του νερού είναι δυναμική ενέργεια. Κατά τη διάρκεια της διέλευσής του από τα οδηγία πτερύγια στο εσωτερικό του κελύφους, ένα μέρος της δυναμικής ενέργειας μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια. Αυτή η μετατροπή συμβαίνει

όταν μέρος της διαθέσιμης πίεσης μετατρέπεται σε ταχύτητα, και στη συνέχεια το νερό πέφτει πάνω στα πτερύγια του στροφείου. Στο ενδιάμεσο των πτερυγίων του υδροστροβίλου, το νερό επιταχύνεται λόγω της υπερπίεσης που δημιουργείται αρχικά, καθώς εξέρχεται από τα πτερύγια με μεγαλύτερη ταχύτητα και χαμηλότερη πίεση. Έτσι το εξερχόμενο από τα πτερύγια του στροφείου νερό παράγει εξ αντιδράσεως μια συνιστώσα δύναμη εφαπτομένης διεύθυνσης. Σε αυτό το είδος υδροστροβίλων, μόνο ένα μέρος της δυναμικής ενέργειας του νερού μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια, ενώ το υπόλοιπο παραμένει στη μορφή δυναμικής ενέργειας. Έτσι, κατά τη διέλευσή του μέσα από τα κινητά και σταθερά πτερύγια, το νερό περνά με πίεση καταλαμβάνοντας ολόκληρο το διαθέσιμο χώρο χωρίς να αφήνει κενά. Στους υδροστροβίλους αντίδρασης, η παραγωγή ισχύος οφείλεται κυρίως στη δυναμική ενέργεια του νερού και λιγότερο στην κινητική ενέργεια του. Αντίθετα, στους υδροστροβίλους δράσης εκμεταλλεύονται τη μοναδική ενέργεια που διαθέτει το νερό λίγο πριν την πρόσκρουσή του στον υδροστροβίλο, η οποία είναι η κινητική ενέργεια. Σε έναν υδροστροβίλο αντίδρασης, η ροή του νερού χρησιμοποιείται για να περιστραφεί ο στροβίλος με τη βοήθεια των πτερυγίων που είναι συνδεδεμένα σε αυτόν. Όταν τα πτερύγια ενός υδροστροβίλου είναι στοιχισμένα σε έναν κοινό άξονα, όπως σε μια προπέλα, η ροή του νερού πρωτίστως είναι αξονική, και αυτός ο τύπος υδροστροβίλου ονομάζεται υδροστροβίλος Kaplan. Ωστόσο, όταν τα πτερύγια είναι προσανατολισμένα παρόμοια με το στροφέιο της αντλίας, η ροή αποκαλείται ακτινική και η μηχανή γνωστή ως υδροστροβίλος Francis. Μετά τη διέλευση από τον υδροστροβίλο, το νερό μπορεί να έχει πίεση που να φτάνει μέχρι 8 μέτρα ύψους στήλης νερού. Για αυτό τον λόγο, απαιτείται η κατασκευή ενός κατάλληλου εκτονωτή (διαύλου) στην έξοδο του υδροστροβίλου, ώστε να διασφαλιστεί η ομαλή εξαγωγή του νερού.

Οι υδροστροβίλοι ανάλογα του διαθέσιμου ύψους πτώσεως χρησιμοποιούνται :

- Για μεγάλες τιμές της υδραυλικής πτώσης ($H > 500 \text{mΣΥ}$), χρησιμοποιείται συνήθως ο υδροστροβίλος δράσης τύπου Pelton.
- Για μεσαίες τιμές της υδραυλικής πτώσης ($H = 50 \text{ με } 500 \text{mΣΥ}$), έχει επικρατήσει ο υδροστροβίλος αντίδρασης τύπου Francis
- Για μικρές τιμές της υδραυλικής πτώσης ($< 50 \text{mΣΥ}$), χρησιμοποιείται κυρίως ο υδροστροβίλος αντίδρασης τύπου Kaplan

Οι υδροστροβίλοι ανάλογα το βαθμό αντιδράσεως διακρίνονται σε:

- Αντίδρασης ή ολικής προσβολής: Οι υδροστρόβιλοι αντίδρασης είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε όλο το στροφέιο να λειτουργεί αξονομετρικά. Αυτό σημαίνει ότι η ροή του νερού περνά μέσα από το στροφέιο με ταυτόχρονη μεταβολή της στατικής πίεσης, και όχι μόνο από μία πλευρά, όπως συμβαίνει με τους υδροστρόβιλους δράσης και γι' αυτό τα στροφέια τους είναι ολικής προσβολής, δηλαδή λειτουργούν ομοιόμορφα κατά την περιφερειακή διεύθυνση. Αυτό σημαίνει ότι έχουν μη μηδενικό βαθμό αντίδρασης ($R \neq 0$). Το νερό καλύπτει πλήρως το κέλυφος του υδροστρόβιλου αντίδρασης. Λόγω αυτού, ο υδροστρόβιλος αντίδρασης γενικά παράγει περισσότερη ισχύ από τον αντίστοιχο υδροστρόβιλο δράσης με την ίδια διάμετρο, ολικό ύψος και παροχή όγκου. Όπως συμβαίνει με τους υδροστρόβιλους δράσης, οι υδροστρόβιλοι αντίδρασης λειτουργούν με ομοιόμορφη περιφερειακή διεύθυνση, και για αυτό τα πτερύγιά τους είναι ολικής προσβολής
- Υδροστρόβιλοι δράσης ή μερικής προσβολής είναι αυτοί που έχουν βαθμό αντίδρασης ίσο με μηδέν ($R=0$) και λειτουργούν με μερική προσβολή. Αυτό σημαίνει ότι μόνο ένα τμήμα του στροφέιου συμμετέχει στην μετατροπή της ενέργειας κάθε χρονική στιγμή.

Ανάλογα με τον προσανατολισμό του άξονα περιστροφής οι υδροστρόβιλοι διακρίνονται σε κατακόρυφου ή οριζοντίου άξονα περιστροφής .

Ανάλογα με τη διεύθυνση ροής του νερού στον υδροστρόβιλο διακρίνονται σε:

- Εφαπτομενικής ροής (Pelton). Ο υδροστρόβιλος τύπου Pelton είναι ένας τύπος υδροστροβίλου που χαρακτηρίζεται από την εφαπτομενική ροή του νερού κατά μήκος των πτερυγίων του. Κατά τη λειτουργία του, το νερό είναι εφαπτόμενο στα πτερύγια του υδροστροβίλου, δημιουργώντας μια ροή παράλληλη προς τον άξονά του.
- Αξονικής ροής (Karlan). Ο υδροστρόβιλος Karlan είναι παρόμοιος με μια προπέλα αντίδρασης, με αξονική ροή νερού, λειτουργώντας ανάποδα. Συνήθως έχει από 3 έως 8 πτερύγια, πολύ λιγότερα από τον υδροστρόβιλο Francis. Υπάρχουν δύο τύποι υδροστροβίλων αξονικής ροής: οι υδροστρόβιλοι Karlan και οι στρόβιλοι προπέλας. Οι υδροστρόβιλοι Karlan είναι γνωστοί και ως "διπλής ρύθμισης" διότι ο έλεγχος της ροής γίνεται με δύο τρόπους: πρώτον, μέσω της περιστροφικής ρύθμισης των θυρών διέλευσης και δεύτερον, με την ρύθμιση του βήματος των πτερυγίων του δρομέα. Από την άλλη, οι στρόβιλοι προπέλας είναι παρόμοιοι με τους Karlan, αλλά έχουν σταθερά πτερύγια και η ροή ρυθμίζεται μόνο από τις θύρες εξόδου. Η απόδοσή τους μπορεί να φτάσει το 94%, που είναι συγκρίσιμη με αυτή των υδροστροβίλων Francis

- Ακτινικής ή μικτής ροής (Francis). Ο στρόβιλος Francis μοιάζει γεωμετρικά με μια αντλία φυγοκεντρικής ή μικτής ροής, αλλά με την ροή στην αντίθετη κατεύθυνση. Παραδείγματα αντλιών που λειτουργούν ανάποδα δεν μπορούν να θεωρηθούν αποδοτικοί στρόβιλοι. Ένας μεγάλος στρόβιλος Francis μπορεί να έχει 16 ή περισσότερα πτερύγια δρομέα και να επιτυγχάνει απόδοση της τάξης του 90% έως του 95%.

3.2 Υδροστρόβιλοι δράσης (τύπου Pelton)

Ο μηχανικός Lester Pelton ανέπτυξε για πρώτη φορά τον υδροστρόβιλο Pelton το 1889. Η συσκευή λειτουργεί με το νερό να εκτοξεύεται μέσα από ένα ακροφύσιο με υψηλή ταχύτητα (jet), σε μορφή δέσμης, η οποία πέφτει πάνω στα πτερύγια του στρόβιλου. Τα πτερύγια του υδροστρόβιλου Pelton έχουν διάταξη παρόμοια με σκαφίδια που είναι τοποθετημένα γύρω από τον άξονα του στρόβιλου. Κατά μήκος του άξονα, υπάρχει ένα διαχωριστικό, έτσι ώστε όταν το ρεύμα του νερού προσκρούει σε αυτά, να χωρίζεται σε δύο μέρη. Στην άκρη των πτερυγίων υπάρχει μια εγκοπή που διευκολύνει την εύκολη γέμιση του κατάλληλου σκαφιδιού με νερό, καθώς και το γρήγορο άδειασμα του. Το στροφέιο μπορεί να κατασκευαστεί είτε ως ολόκληρη μονάδα, είτε ως συναρμολογούμενο μέρος, ανάλογα με τις απαιτήσεις και τις προδιαγραφές. Στη δεύτερη περίπτωση, τα σκαφίδια είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους και συνδέονται με τον υδροστρόβιλο μέσω κοχλίας, με ασφάλιση. Επειδή τα σκαφίδια δέχονται ισχυρές δυνάμεις και υπόκεινται σε διάβρωση από τη ροή του νερού, κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα. Αυτά τα ενεργειακά συστήματα είναι κατάλληλα για εξαιρετικά υψηλά ύψη υδροπτώσεων, καταφέροντας να ανταποκριθούν ακόμη και σε μεγάλα ύψη έως και 1000 μέτρα. Συνήθως κατασκευάζονται σε μικρή κλίμακα με ισχύ της τάξης των δεκάδων κιλοβατών (kW) ή σε μεγάλη κλίμακα με ισχύ της τάξης των εκατοντάδων μεγαβατών (MW)

Λειτουργία ΥΗΣ με υδροστρόβιλο Pelton: Το νερό διέρχεται μέσω του αγωγού προσαγωγής και όταν φτάνει στο ακροφύσιο, εκτοξεύεται σε μορφή jet κυκλικής διατομής, μετατρέποντας τη δυναμική ενέργειά του σε κινητική ενέργεια. Η λειτουργία του υδροστρόβιλου Pelton βασίζεται στο γεγονός ότι το νερό που εκρήγνυται από το ακροφύσιο του στροφείου επιφανειακά ακολουθεί την κλίση των σκαφιδιών και δημιουργεί μια κινητική ροπή. Το στροφέιο τοποθετείται επάνω από το επίπεδο της ελεύθερης επιφάνειας του κάτω ταμιευτήρα, επιτρέποντας στο νερό, μετά την πτώση του στα σκαφίδια του στροφείου, να κατευθυνθεί προς τον αγωγό απαγωγής με τη βοήθεια της βαρύτητας. Έτσι, το νερό μπορεί να ρέει προς την επιφάνεια του αγωγού απαγωγής με φυσικό τρόπο. Η ρύθμιση της ροής γίνεται με την χρήση

μιας αξονικά μεταβαλλόμενης ακίδας (βελόνης) η οποία βρίσκεται στην έξοδο του ακροφυσίου και μετακινείται στον άξονα του ακροφυσίου μέσω υδραυλικού συστήματος. Η βελόνη συνήθως κατασκευάζεται από ανοξείδωτο χάλυβα ενώ το ακροφύσιο κατασκευάζεται συνήθως από χυτοχάλυβα.

Στρόβιλος Turgo

Οι υδροστρόβιλοι Turgo (εικόνα 3.1) αποτελούν μια εκδοχή των υδροστροβίλων Pelton, και λειτουργούν με περίπου υψηλότερες παροχές από τους υδροστρόβιλους Pelton, αλλά σε χαμηλότερα μανομετρικά ύψη πτώσης, με αποτέλεσμα ο βαθμός απόδοσής τους να είναι συνήθως χαμηλότερος. Συγκεκριμένα, η πτερωτή των υδροστρόβιλων Turgo είναι απλώς μια πτερωτή υδροστροβίλου Pelton που έχει κοπεί στη μέση, γι' αυτόν το λόγο έχει διπλάσια διάμετρο σε σχέση με αυτήν των Pelton για την ίδια ποσότητα ισχύος. Ο υδροστρόβιλος Turgo είναι κατάλληλος για ύψη πτώσης από 15 έως 300 μέτρα και έχει μεγάλο εύρος παροχών, επειδή αποτρέπεται η αλληλεπίδραση του εκτοξευόμενου νερού μεταξύ των διαδοχικών πτερυγίων. Ο βαθμός απόδοσής του είναι λίγο χαμηλότερος από τον υδροστρόβιλο Pelton, περίπου 87% [18].

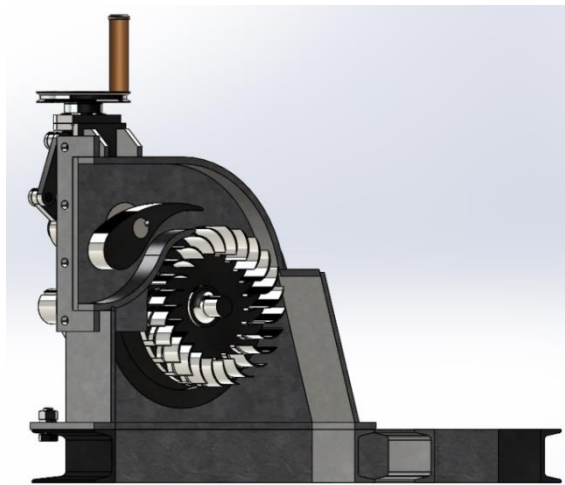


Εικόνα 3.1 Υδροστρόβιλος Turgo ([Turgo Turbine---CHONGQING HYDROPOWER EQUIPMENT CO.,LTD \(cchpe.net\)](http://www.cchpe.net)).

Στρόβιλος cross-flow

Ο στρόβιλος cross-flow (εικόνες 3.2 και 3.3) λειτουργεί με το νερό να διέρχεται δύο φορές από τον δρομέα του, προσφέροντας έτσι υψηλότερο βαθμό απόδοσης και αυτοκαθαρισμό από σωματίδια. Ο στρόβιλος αυτός έχει το πλεονέκτημα του σταθερού βαθμού απόδοσης, καθιστώντας τον κατάλληλο για μικρά ύψη πτώσης, όπου δεν υπάρχει δυνατότητα αποθήκευσης και ρύθμισης της ροής. Χρησιμοποιούνται για υδατοπτώσεις μικρού ύψους, τοποθετούμενοι σε μανομετρικά ύψη μικρότερα από 100 μέτρα. Έχουν σχεδιαστεί για παροχές

που κυμαίνονται από 0,04 κυβικά μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m^3/s) έως 10 κυβικά μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m^3/s). Οι υδροστρόβιλοι αυτοί είναι απλοί και οικονομικοί στην κατασκευή και στη λειτουργία, και χρησιμοποιούνται για παραγωγή μικρής ισχύος έως 2 MW. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα τους είναι ο σχεδόν μηδενικός βαθμός αντίδρασης στο κανονικό σημείο λειτουργίας τους, επιτρέποντας στα μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα χωρίς δυνατότητα αποθήκευσης και ρύθμισης της ροής να λειτουργούν αποδοτικά. Η απόδοση των υδροστροβίλων αυτών είναι μικρότερη από άλλους τύπους υδροστροβίλων, όπως οι υδροστρόβιλοι τύπου Francis, Kaplan και Pelton. Ωστόσο, η απόδοσή τους παραμένει σταθερή σε όλο το εύρος λειτουργίας τους/ πεδίο λειτουργίας [18].



Εικόνα 3.2 και 3.3 Cross-flow Στρόβιλοι ([Crossflow turbines | CINK Hydro - Energy k.s. \(cink-hydro-energy.com\)](https://www.cink-hydro-energy.com)).

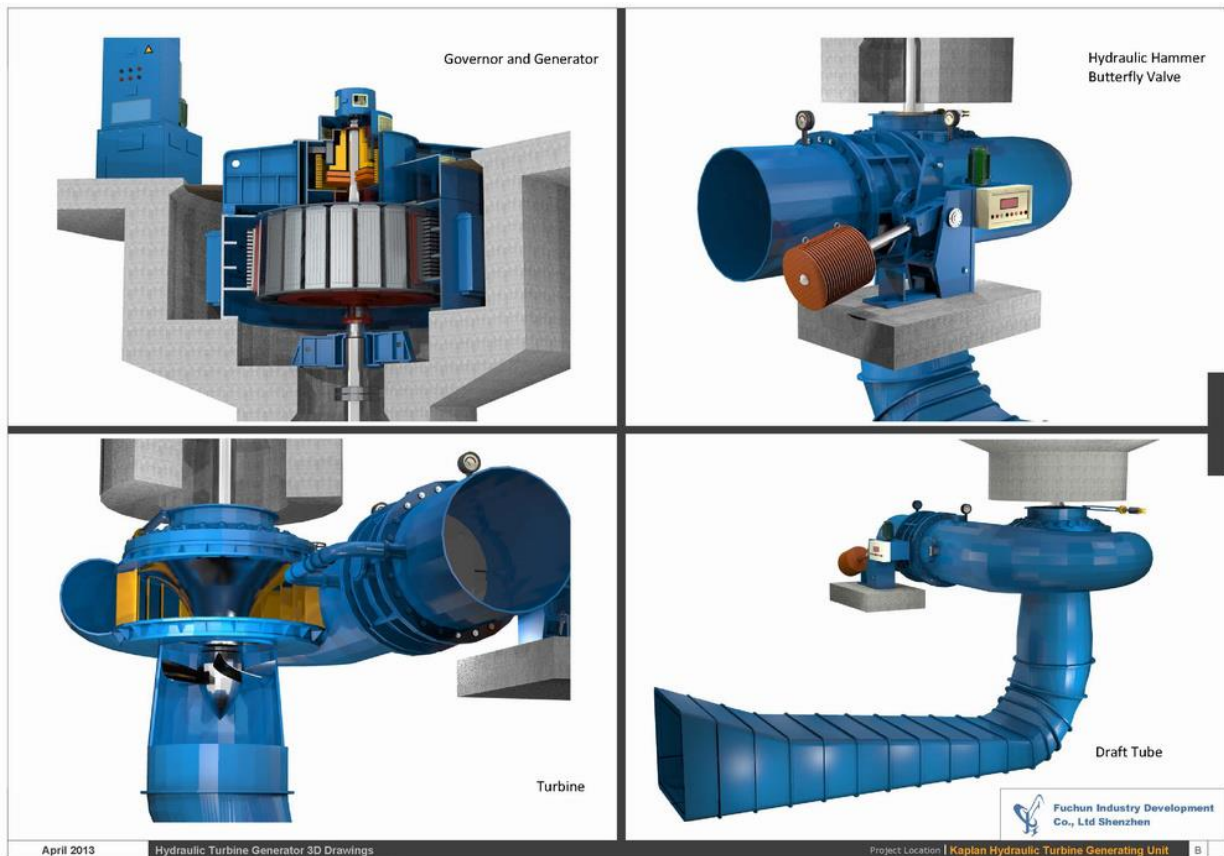
3.3 Υδροστρόβιλοι αντίδρασης

Υδροστρόβιλος τύπου Francis: Ο μηχανικός James Francis ανέπτυξε τον υδροστρόβιλο Francis (εικόνα 3.4) κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα. Αυτός ο τύπος υδροστρόβιλου είναι ένας στρόβιλος μικτής ροής με εισαγωγή του νερού ακτινικά και εξαγωγή αξονικά. Το νερό εισέρχεται στη σπείρα ακτινικά και μετά μεταδίδει την ενέργειά του στα καμπύλα πτερύγια, προτού εξέλθει αξονικά. Στην είσοδο του υδροστρόβιλου, υπάρχουν κατευθυντήρια πτερύγια που καθοδηγούν τη ροή του νερού προς τον στρόβιλο, ενώ υπάρχουν και πτερύγια που περιστρέφονται/ρυθμίζονται και βελτιστοποιούν τις γωνίες εισόδου του νερού στον υδροστρόβιλο ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της ροής. Ο υδροστρόβιλος βρίσκεται πλήρως βυθισμένος στο νερό και διαθέτει μικρό όγκο. Ο υδροστρόβιλος μπορεί να περιστρέφεται σε υψηλές στροφές ανά λεπτό, ενώ το σπειροειδές κέλυφος του εξασφαλίζει την ομοιόμορφη κατανομή της ροής του νερού μέσα σε αυτόν. Καθώς το νερό κινείται μέσα στο κέλυφος, ένα μέρος του εισέρχεται στον υδροστρόβιλο. Ως αποτέλεσμα, η διάμετρος του σπειροειδούς κελύφους πρέπει να μειωθεί για να διατηρηθεί σταθερή ροή. Αυτοί οι στρόβιλοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για υψόμετρα τόσο χαμηλά όσο 2 μέτρα και τόσο υψηλά όσο 300 μέτρα. Επιπλέον, οι εν λόγω τουρμπίνες είναι επωφελείς καθώς λειτουργούν εξίσου καλά όταν είναι τοποθετημένες οριζόντια όσο και όταν είναι προσανατολισμένες κατακόρυφα. Ο βαθμός απόδοσης του στρόβιλου αυξάνεται όσο αυτός λειτουργεί και κυμαίνεται από 80% έως 100%.



Εικόνα 3.4, Υδροστρόβιλος Francis, ([Francis Hydro turbine for hydropower plant - HUAHYDRO](#)).

Υδροστροβίλοι τύπου Kaplan : Ο υδροστροβίλος Kaplan ονομάζεται έτσι προς τιμήν του Αυστριακού καθηγητή Victor Kaplan, ο οποίος τον ανέπτυξε στις αρχές του 20ού αιώνα. Ο υδροστροβίλος Kaplan (εικόνα 3.5) μοιάζει με προπέλα, και λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο. Είναι ένας υδροστροβίλος αξονικής ροής, δηλαδή η ροή του νερού είναι παράλληλη με τον άξονα του υδροστροβίλου. Οι υδροστροβίλοι αξονικής ροής είναι κατάλληλοι για την αξιοποίηση μικρών υδραυλικών πτωτικών υψών, όπου οι δυνάμεις είναι μικρότερες, με σκοπό τη μείωση των υδραυλικών απωλειών τριβής και του κόστους της μηχανής. Οι φέρουσες επιφάνειες των πτερυγίων ελαχιστοποιούνται για να μειωθεί η τριβή με το νερό και να βελτιωθεί η απόδοση του υδροστροβίλου. Το στροφείο μπορεί να έχει μορφή προπέλας, ενώ τα πτερύγια του ανέρχονται συνήθως από 3 έως 8 και έχουν μορφή προβόλου. Τα πτερύγια στερεώνονται στο σώμα του δρομέα και περιστρέφονται μαζί με αυτόν μεταφέροντας του την κινητήρια ροπή. Ο δρομέας κινείται μέσα σε έναν κυλινδρικό χώρο με πολύ μικρό κενό ανάμεσα στους τοιχώματα και τα πτερύγια. Η ροή του νερού στον χώρο ανάμεσα στον κύριο σώμα του δρομέα και το περίβλημά του είναι αξονική και η σχετική ταχύτητα ροής ως προς τα πτερύγια είναι υψηλή. Τα πτερύγια του δρομέα είναι πάντοτε ρυθμιζόμενα, ενώ τα ρυθμιστικά πτερύγια μπορούν να είναι είτε σταθερά είτε κινητά. Κατασκευάζονται ξεχωριστά και στη συνέχεια συνδέονται στην πλήμνη του δρομέα. Το τμήμα εξόδου του υδροστροβίλου περιλαμβάνει τον αγωγό εξόδου, ο οποίος αυξάνει σταδιακά τη διάμετρό του μέχρι το στόμιο εξόδου στον αγωγό φυγής. Αυτό γίνεται με σκοπό τη μείωση της ταχύτητας εξόδου και, συνεπώς, την αύξηση της απόδοσης του υδροστροβίλου. Αρχικά, η διατομή του αγωγού εξόδου είναι κυκλική, αλλά στη συνέχεια μεταβαίνει ομοιόμορφα σε μια ορθογώνια διατομή στην έξοδο του αγωγού. Στο τμήμα εξόδου του υδροστροβίλου, η οροφή του αγωγού εξόδου τοποθετείται πάντοτε χαμηλότερα από την ελάχιστη στάθμη του αγωγού φυγής, ώστε κατά τη λειτουργία του υδροστροβίλου, να διατηρείται πλήρης πλήρωση όλων των τμημάτων του αγωγού.



Εικόνα 3.5 Υδροστρόβιλος Kaplan ([China Stainless Steel Kaplan Hydro Turbine 2m - 20m with Fixed / Adjustable Blades Photos & Pictures - Made-in-china.com](http://ChinaStainlessSteelKaplanHydroTurbine2m-20mwithFixedAdjustableBladesPhotos&Pictures-Made-in-china.com)).

3.4 Υδροστρόβιλοι για εγκαταστάσεις μικρού ύψους πτώσης

Για τις εγκαταστάσεις μικρού ύψους πτώσης, συνήθως χρησιμοποιούνται κυρίως υδροστρόβιλοι αξονικής ροής που μοιάζουν με τη πτερωτή ενός πλοίου. Ο άξονας περιστροφής συνήθως είναι τοποθετημένος οριζόντια. Οι πιο γνωστές ομάδες υδροστρόβιλων που χρησιμοποιούνται για εγκαταστάσεις μικρού ύψους είναι:

Υδροστρόβιλος bulb. Είναι ένας υδροστρόβιλος τύπου Kaplan ο οποίος βρίσκεται σε μορφή bulb (Ο άξονας περιστροφής είναι τοποθετημένος οριζόντια). Η γεννήτρια τοποθετείται στο μπροστά μέρος του δρομέα και περικλείεται εντός ενός μεταλλικού κελύφους τύπου βολβού. Ολόκληρος ο μηχανισμός τοποθετείται εντός του χώρου ροής. Με αυτήν την κατασκευή επιλύονται τα προβλήματα στεγανοποίησης.

Υδροστρόβιλος tube. Είναι ένας υδροστρόβιλος τύπου Kaplan ο οποίος βρίσκεται σε μορφή tube. Στον υδροστρόβιλο Tube η γεννήτρια τοποθετείται οριζόντια και επάνω στον άξονα του δρομέα του υδροστρόβιλου, αλλά εκτός του χώρου ροής.

Υδροστροβίλοι straight-flow. Σε αυτό το σχήμα, το νερό ρέει μέσα από έναν ευθύ αγωγό και περνάει από έναν δρομέα που βρίσκεται μέσα σε αυτόν τον αγωγό. Η γεννήτρια του υδροστροβίλου τοποθετείται στην περιφέρεια του δρομέα. Δεν χρειάζεται άξονας μεταφοράς ενέργειας, αλλά η γεννήτρια πρέπει να είναι μονωμένη από τον χώρο ροής του νερού.

Κοχλιωτοί υδροστροβίλοι Αρχιμήδους. Η έλικα του Αρχιμήδη μπορεί να χρησιμοποιηθεί υπό κλίση και η μηχανή είναι τοποθετημένη σε έναν ελεύθερο κατακόρυφο κύλινδρο. Η συγκεκριμένη μηχανή χρησιμοποιείται κυρίως για πολύ μικρά ύψη πτώσης [19].

3.5 Ισχύς λειτουργίας υδροστροβίων δράσεως

Η παραγόμενη ισχύ I_R των υδροστροβίων δράσεως υπολογίζεται από την σχέση :

$$I_R = T_R * \omega$$

- Οπού $T_R = F * r$
- T_R : Η αναπτυσσόμενη ροπή στρέψεως.
- F : Η ασκούμενη δύναμη του νερού στα σκαφίδια του υδροστροβίλου.
- r : Η ακτίνα του κύκλου περιστροφής των σκαφιδιών του δρομέα.

Η σχετική ταχύτητα V_{rl} (m/s) είναι :

$$V_{rl} = V_1 - U$$

- V_1 : Η απολυτή ταχύτητα του ύδατος στην είσοδο.
- U (m/s): Η γραμμική ταχύτητα του δρομέα στο ύψος της ακτίνας r .

Το εσωτερικό ύψος του δρομέα H_R (m) υπολογίζεται από την εξίσωση Euler,

$$H_R = \frac{U(V_1 - V_2 * \sigma \nu \alpha_2)}{g}$$

- α_2 : Η γωνιά της απολύτου ταχύτητος του ύδατος στην έξοδο με την διεύθυνση της γραμμικής ταχύτητος [19].

3.6 Ισχύς λειτουργίας υδροστροβίων αντιδράσεως.

Αξονική ροή [19].

Η ροπή που αναπτύσσεται σε δρομέα αξονικής ροής είναι :

$$T = \rho Q (V_{t1} r_1 - V_{t1} r_2)$$

Επειδή όμως $r_1 = r_2 = r$ και $U = \omega * r$ η ισχύς γίνεται:

$$I_R = T * \omega = \rho Q U (V_{t1} - V_{t2}) \text{ αλλά,}$$

$$I_R = \rho g Q H_n$$

Από τις παραπάνω εξισώσεις μπορούμε να ορίσουμε το ύψος εσωτερικό ύψος του δρομέα $H_R(m)$:

$$H_R = \frac{U(V_{t1} - V_{t2})}{g}$$

Μικτή (ακτινική) ροή [19].

Στους υδροστροβίλους μικτής ροής η ροπή είναι ίδια με τους υδροστροβίλους αξονικής ροής:

$$T = \rho Q (V_{t1} r_1 - V_{t2} r_2)$$

Ο υπολογισμός των σχετικών εφαπτομενικών ταχυτήτων είναι :

$$V_{t1} = \omega r_1 + V_{R1} \sigma \phi \beta_1$$

$$V_{t2} = \omega r_2 + V_{R2} \sigma \phi \beta_2$$

- β_1 και β_2 : οι γωνίες της σχετικής ταχύτητας προς την εφαπτομενική ταχύτητα στην είσοδο και στην έξοδο.
- V_{R1} και V_{R2} : Οι ακτινικές ταχύτητες της απολύτου ταχύτητας στην είσοδο και την έξοδο.

Η αναπτυσσόμενη ισχύ στον δρομέα θα είναι :

$$I_R = \rho Q [(\omega r_1 + V_{R1} \sigma \phi \beta_1) r_1 - (\omega r_2 + V_{R2} \sigma \phi \beta_2) r_2] \omega$$

ή

$$I_R = \rho Q (V_1 \sigma \nu \alpha_1 r_1 - V_2 \sigma \phi \beta_2 r_2) \omega$$

- α_1 και α_2 : Οι γωνίες της απολύτου ταχύτητας προς την εφαπτομενική ταχύτητα στην είσοδο και την έξοδο.

Το εσωτερικό ύψος του δρομέα $H_R(m)$ είναι:

$$H_R = \frac{U_1 V_1 \sigma \nu \alpha_1 - U_2 V_2 \sigma \nu \alpha_2}{g}$$

3.7 Απόδοση λειτουργίας υδροστροβίλων

Ολική απόδοση υδροστροβίλων (απόδοση η): Η ολική απόδοση είναι η αναλογία μεταξύ της ισχύος που παράγεται και της διαθέσιμης ισχύος:

$$n = \frac{I_R}{\rho g Q H_n}$$

- H_n : Το καθαρό ύψος πτώσης.

Υδραυλική απόδοση (n_h): Ο συντελεστής υδραυλικής απόδοσης είναι ο λόγος της παραγόμενης ισχύος από το δρομέα του υδραυλικού συστήματος (I_R), προς την διαθέσιμη ισχύ στον άξονα:

$$n_h = \frac{H_R}{H_n}$$

Οι υδραυλικές απώλειες υπολογίζονται από την σχέση $h_h = H_n - H_R$. Οι υδραυλικές απώλειες οφείλονται στις αναπτυσσόμενες τριβές του ρεύματος του ρευστού. Αυτές οι απώλειες μπορεί να προκύψουν από:

- α) Το σπειροειδές κέλυφος των οδηγών πτερυγίων
- β) Τα πτερύγια του δρομέα
- γ) Εντός του αγωγού φυγής
- δ) Στην έξοδο από τον αγωγό φυγής

Ογκομετρική απόδοση (n_v): Ο συντελεστής n_v εμφανίζεται λόγω της ύπαρξης κενών μεταξύ των περιστρεφόμενων μερών του στροβίλου μηχανήματος και του περιβάλλοντος χώρου. Μια μικρή ποσότητα της παροχής Q_v διαφεύγει και δεν είναι διαθέσιμη για την παραγωγή ενέργειας και η καινούργια παροχή είναι $Q - Q_v$. Η διαφυγή του ρευστού συμβαίνει προς την κατεύθυνση της μειωμένης πίεσης και εξαρτάται από το μέγεθος της διατομής του διάκενου. Η ογκομετρική απόδοση του στροβίλου είναι:

$$n_v = \frac{Q - Q_v}{Q}$$

Μηχανική απόδοση (n_m): Η μηχανική απόδοση είναι ο λόγος της ισχύος που χάνεται λόγω των ενυπαρχουσών μηχανικών τριβών, προς την ισχύ που παράγεται από την άτρακτο.

$$n_m = \frac{I_R}{\rho g (Q - Q_v) H_R}$$

[19].

3.8 Σπηλαιώση

Η σπηλαιώση είναι η ανεπιθύμητη εμφάνιση θυλάκων ατμού που προέρχονται από την εξάτμιση του νερού. Κατά τη σπηλαιώση εντός υδροστροβίλων αντίδρασης, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος μειώνεται και η πίεση είναι χαμηλότερη από την ατμοσφαιρική πίεση [19]. Όταν η πίεση πέσει κάτω από την κρίσιμη πίεση των κορεσμένων ατμών, τότε οι ατμοί μπορούν να μετατραπούν από υγρή κατάσταση σε αέρια κατάσταση δηλαδή σε ατμό. Η περιοχή στην οποία είναι πιθανό να εμφανιστεί σπηλαιώδης διατμητική ροή είναι στο στροφέιο του υδροστροβίλου, στην περιοχή εξόδου του, όπου η μέση στατική πίεση είναι χαμηλή. Για να μην εμφανίζεται σπηλαιώση στο στροφέιο πρέπει να ισχύει:

$$P_m > P_{steam} \Rightarrow \frac{P_m}{\rho g} > \frac{P_{steam}}{\rho g}$$

- P_{steam} : Πίεση ατμοποίησης.
- P_m : Η μέση ελάχιστη στατική πίεση λαμβάνοντας υπόψη τον τυρβώδη χαρακτήρα της ροής.

Ο αριθμός Thoma s είναι ένας δείκτης της σπηλαιώση και ορίζεται ως ο λόγος του καθαρού θετικού ύψους αναρρόφησης NPSH (Net Positive Suction Head) στην είσοδο του αγωγού προς το διαθέσιμο ύψος αναρρόφησης στη υπό μελέτη θέση, που εκφράζεται συνήθως σε μονάδες μήκους [19].

$$s_{thoma} = (P_s + V_s^2/2g - P_{wv})/H_n$$

Η παράμετρος αυτή είναι κάτι που προσδιορίζεται σε εργαστήριο και χαρακτηρίζει τον τρόπο εμφάνισης της σπηλαιώσης εξόδου, η οποία είναι η βασικότερη μορφή σπηλαιώσης στον υδροστροβίλο αντίδρασης. Στον υδροστροβίλο τύπου Francis, η σπηλαιώση εξόδου είναι λιγότερο επικίνδυνη από μηχανικής άποψης συγκριτικά με άλλους τύπους υδροστροβίλων. Επιπλέον, ο ρυθμός φθοράς μειώνεται όσο μειώνεται η υδραυλική πτώση. Για αυτόν τον λόγο, για μικρές τιμές της υδραυλικής πτώσης, δεν είναι απαραίτητο να κατασκευάζεται το στροφέιο από υλικά υψηλής μηχανικής αντοχής.

Εκτός από τη σπηλαιώση εξόδου στους υδροστροβίλους, εμφανίζονται και άλλες μορφές σπηλαιώσεων που δεν εξαρτώνται από την τιμή s_{thoma} , αλλά από το σημείο σχεδιασμού του υδροστροβίλου. Αυτές οι μορφές εμφανίζονται όταν ο υδροστροβίλος λειτουργεί εκτός των προβλεπόμενων συνθηκών σχεδιασμού. Οι τύποι των σπηλαιώσεων αυτών είναι:

- Σπηλαιώση εισόδου εξωτερικής επιφάνειας: Η σπηλαιώση εισόδου εξωτερικής επιφάνειας εντοπίζεται κοντά στο σημείο εισόδου των πτερυγίων, στην εξωτερική επιφάνεια προς την πλευρά της στεφάνης. Παρουσιάζεται συνήθως στους υδροστρόβιλους Francis υψηλής ταχύτητας περιστροφής λόγω της μεγάλης καμπυλότητας της εγκάρσιας τομής της στεφάνης και οφείλεται στην περιρροή της ακμής εισόδου των πτερυγίων σε υψηλές τιμές της παραμέτρου Ψ , σε υψηλές τιμές της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης. Στον υδροστρόβιλο Francis, η σπηλαιώση στην εξωτερική επιφάνεια του πτερυγίου προκαλεί μικρής έκτασης αλλά σημαντικού βάθους φθορά.
- Σπηλαιώση λόγω στροβίλων Karman: Στο στροφείο, συχνά σχηματίζονται στρόβιλοι τύπου Karman, ανάλογα με τη μορφή της ακμής εκφυγής των πτερυγίων, οι οποίοι δημιουργούν σπηλαιώσεις. Η παρουσία αυτής της μορφής σπηλαιώσης προκαλεί μόνο ταλαντώσεις.
- Σπηλαιώση στήλης: Κάτω από την πλήμνη, δημιουργείται μια στήλη σπηλαιώσης, η οποία έχει την ίδια φορά περιστροφής με τη φορά της περιφερειακής ταχύτητας στην είσοδο του στροφείου, όταν οι παροχές είναι μικρότερες από την κανονική και αντίθετη με αυτήν όταν οι παροχές είναι μεγαλύτερες από την κανονική.

Συγκεκριμένα, στους υδροστρόβιλους Kaplan, παρατηρούνται πλέον οι εξής μορφές σπηλαιώσεων.

- Σπηλαιώση πλήμνης: Η σπηλαιώση της πλήμνης εμφανίζεται κοντά στο σφαιρικό τμήμα της πλήμνης και έχει σημαντική επίδραση στη μείωση του βαθμού απόδοσης, χωρίς ωστόσο να προκαλεί φθορά. Η έκταση της σπηλαιώσης αυτής εξαρτάται από την τιμή του s_{thoma} .
- Σπηλαιώση ακροπτερυγίων: Η σπηλαιώση αυτή παρατηρείται κυρίως στους υδροστρόβιλους Kaplan και οφείλεται στις υψηλές ταχύτητες της ροής που αναπτύσσεται μεταξύ των ακροπτερυγίων και του εξωτερικού κελύφους. Μόνο για χαμηλές τιμές του s_{thoma} , η σπηλαιώση αυτή προκαλεί σημαντικές φθορές, αλλά δεν υπάρχουν επιπτώσεις στην απόδοση του υδροστρόβιλο.

Το στατικό ύψος αναρρόφησης αναφέρεται στο ύψος h_s (m) στο οποίο πρέπει να τοποθετηθεί ο υδροστρόβιλος αντίδρασης προκειμένου να αποφευχθεί η σπηλαιώση, η οποία μπορεί να προκαλέσει σοβαρή δυσλειτουργία στην υδραυλική μηχανή. Για την ικανοποίηση της εξίσωσης, πρέπει η τιμή του στατικού ύψους αναρρόφησης να πληροί την παρακάτω σχέση:

$$h_s \leq P_{\alpha\tau\mu}/\rho g - P_{wv}/\rho g - \sigma k H_n$$

- Η ατμοσφαιρική πίεση $P_{\alpha\tau\mu}/\rho g$ υπολογίζεται από την σχέση: $P_{\alpha\tau\mu}/\rho g = 10.33 - \frac{\text{υψόμετρο}}{900}$
- k =Συντελεστής ασφάλειας με συνήθη τιμή 1.18.

3.9 Σύγκριση τύπων υδροστροβίλων

Οι τρεις κύριοι τύποι υδροστροβίλων παρουσιάζουν τα ακόλουθα κύρια χαρακτηριστικά:

1. Υδροστρόβιλος Pelton (δράσης):
 - Κατάλληλος για εξαιρετικά υψηλές τιμές πτώσης ($H > 300 \text{m}\Sigma\text{Y}$)
 - Με ισχύ έως 400 MW
 - Εξαιρετική προσαρμογή σε λειτουργία με μεταβαλλόμενη ογκομετρική παροχή \dot{V} .
 - Δεν είναι ιδανικός για λειτουργία με μεταβαλλόμενη υδραυλική πτώση H .
2. Υδροστρόβιλος Francis (αντίδρασης):
 - κατάλληλος για μεσαίες τιμές υδραυλικής πτώσης ($H = 150 - 750 \text{m}\Sigma\text{Y}$)
 - Έχει ισχύ έως 800 MW
 - Αργόστροφος ή υψηλόστροφος (δηλαδή με χαμηλό ή υψηλό ειδικό αριθμό στροφών)
 - Προσαρμόσιμος σε λειτουργία με σταθερή ογκομετρική παροχή \dot{V} σε μέτρια έως καλή βαθμολογία
 - προσαρμόσιμος σε λειτουργία με αλλιάζουσα υδραυλική πτώση H σε μέτρια έως καλή βαθμολογία.
3. Υδροστρόβιλος Kaplan (αντίδρασης):
 - κατάλληλος για χαμηλές έως μεσαίες τιμές υδραυλικής πτώσης ($H = 10 - 150 \text{m}\Sigma\text{Y}$)
 - με ισχύ έως 200 MW
 - πολυστροφικός
 - ομαλή προσαρμογή σε λειτουργία με μεταποιούμενη ογκομετρική παροχή \dot{V} .
 - εκδηλώνει μια αρκετά ικανοποιητική προσαρμογή στη λειτουργία με μεταποιούμενη υδραυλική πτώση H .

Αρχικά, θα πραγματοποιήσουμε μια σύγκριση μεταξύ του υδροστρόβιλου Pelton και του υδροστρόβιλου Francis. Για να εξασφαλίσουμε αξιόπιστα αποτελέσματα από αυτή τη

σύγκριση, υποθέτουμε ότι και οι δύο υδροστροβίλοι έχουν υδραυλική πτώση $H=400\text{m}$ και παράγουν ισχύ $\dot{W} = 50 \text{ MW}$.

Πλεονεκτήματα του Pelton έναντι του Francis:

- Η θέση του υδροστροβίλου τύπου Pelton βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο σε σύγκριση με τον υδροστροβίλο τύπου Francis και φυσικά υψηλότερο από το μέγιστο επίπεδο του κάτω ταμιευτήρα. Αυτό το πλεονέκτημα είναι ιδιαίτερα σημαντικό όταν ο υδροστροβίλος Pelton είναι εγκατεστημένος σε εξωτερικό περιβάλλον (υπεργείος), ενώ είναι λιγότερο σημαντικό όταν είναι τοποθετημένος υπόγεια.
- Δεν υπάρχει κίνδυνος πλημμύρας για τον υδροηλεκτρικό σταθμό ούτε από ανωτέρω υδάτινη ροή ούτε από κατωτέρω υδάτινη πίεση.
- Χάρη στην εκτροπή της δέσμης κατά τα μεταβατικά φαινόμενα, παρουσιάζονται ελεγχόμενες και μικρότερης έντασης υπερπίεσης στον αγωγό προσαγωγής, χωρίς να απαιτείται άλλη προστατευτική διάταξη, η σημαντική διαφορά στην κατασκευή των υδροστροβίλων Pelton και Francis συνίσταται στο μήκος του αγωγού προσαγωγής. Ενώ ο υδροστροβίλος Pelton απαιτεί συνήθως μεγάλο μήκος αγωγού προσαγωγής, στην αντίστοιχη περίπτωση του υδροστροβίλου Francis, χρειάζεται συχνά η κατασκευή πύργου αναπήδησης. Αυτό γίνεται για να μειωθεί η ένταση των υπερπίεσεων και υποπίεσεων κατά την μεταβατική λειτουργία του υδροστροβίλου.
- Η συνολική απόδοση είναι βελτιωμένη στα μερικά φορτία ($<0.65\%$ της \dot{W}) και η περιοχή λειτουργίας είναι ευρεία (10-100% \dot{W}).
- Η αποσυναρμολόγηση του υδροστροβίλου Pelton είναι πιο απλή και γρήγορη.
- Η λειτουργία εν κενώ είναι εύκολη χωρίς την ανάγκη εκκένωσης του υδροστροβίλου από το νερό, καθώς το στροφείο βρίσκεται πάντα εκτός του νερού.
- Δεν παρατηρείται φαινόμενο σπλαιώσεων στον υδροστροβίλο Pelton.

Πλεονεκτήματα του υδροστροβίλου Francis έναντι του Pelton:

- Η διαθέσιμη υδραυλική πτώση είναι μεγαλύτερη στον υδροστροβίλο Francis σε σχέση με τον υδροστροβίλο Pelton. Αυτό συμβαίνει επειδή το στροφείο του υδροστροβίλου Pelton πρέπει να τοποθετείται σε υψηλότερο σημείο από τη μέγιστη δυνατή στάθμη του αγωγού απαγωγής.
- Ο συνολικός βαθμός απόδοσης αυξάνεται στο κανονικό σημείο λειτουργίας και σε ένα εύρος από το 65% έως το 100% της μέγιστης ισχύος (\dot{W}).

- Η ταχύτητα περιστροφής του υδροστροβίλου Francis υπερβαίνει αυτήν του υδροστροβίλου Pelton, με αποτέλεσμα να μειώνεται το μέγεθος, το βάθος και, συνεπώς, το κόστος του υδροστροβίλου Francis. Το ίδιο ισχύει και για τον γεννήτρια, ειδικά για ταχύτητες περιστροφής κάτω από 750 ή 1000 στροφές ανά λεπτό, όπου δεν παρουσιάζονται προβλήματα συντονισμού (κρίσιμης ταχύτητας περιστροφής).
- Μικρότερο κόστος των έργων πολιτικού μηχανικού του ΥΗΣ.
- Η κατασκευή του αγωγού απαγωγής στον υδροστροβίλο Francis είναι οικονομικότερη, καθώς απαιτούνται μικρότερες διαμέτρους και υψηλότερες ταχύτητες λειτουργίας.
- Η ρύθμιση του υδροστροβίλου Francis μέσω της ρύθμισης των πτερυγίων στη στεφάνη είναι εξαιρετικά αποτελεσματική, ιδίως όταν πρόκειται για τη διατήρηση σταθερής συχνότητας ρεύματος σε αυτόνομα ηλεκτρικά δίκτυα.
- Η μηχανική φθορά των διαρρεομένων στοιχείων του υδροστροβίλου Francis έχει μικρότερη επίδραση στα λειτουργικά του χαρακτηριστικά σε σχέση με τη φθορά των ακμών των σκαφιδιών ή της ακίδας τροφοδότησης του υδροστροβίλου Pelton. Επιπλέον, η επιμετάλλωση ενός ρυθμιστικού πτερυγίου στον υδροστροβίλο Francis είναι ευκολότερη σε σύγκριση με την επιμετάλλωση του σκαφιδίου του υδροστροβίλου Pelton.
- Το στροφείο Pelton απαιτεί συχνότερους προληπτικούς ελέγχους σε σύγκριση με το αντίστοιχο στροφείο Francis λόγω της φθοράς των διαρρεομένων στοιχείων.

Σε μια σύγκριση μεταξύ του υδροστροβίλου Francis και του υδροστροβίλου Kaplan, υποθέτουμε ότι και οι δύο υδροστροβίλοι λειτουργούν με μια υδραυλική πτώση $H=50\text{mΣΥ}$ και παράγουν μια ισχύ $W'=50\text{MW}$.

Πλεονεκτήματα του υδροστροβίλου Francis έναντι του Kaplan:

- Για την ίδια εφαρμογή, ο υδροστροβίλος Francis έχει μικρότερο διάμετρο και μικρότερο μέγεθος σε σύγκριση με τον αντίστοιχο υδροστροβίλο Kaplan.
- Μηχανικά, ο υδροστροβίλος Francis είναι πιο απλός. Ο υδροστροβίλος Kaplan, από την άλλη πλευρά, παρουσιάζει μεγαλύτερη πολυπλοκότητα και, συνεπώς, υψηλότερο κόστος λόγω των περιστρεφόμενων πτερυγίων του στροφείου.
- Λόγω της μικρότερης αξονικής δύναμης, το μέγεθος του ωστικού εδράνου είναι μικρότερο σε σχέση με τον υδροστροβίλο Kaplan.
- Λόγω της μικρότερης παραμέτρου σπηλαίωσης, οι εκσκαφές για την ασφαλή τοποθέτηση του υδροστροβίλου είναι μικρότερες.

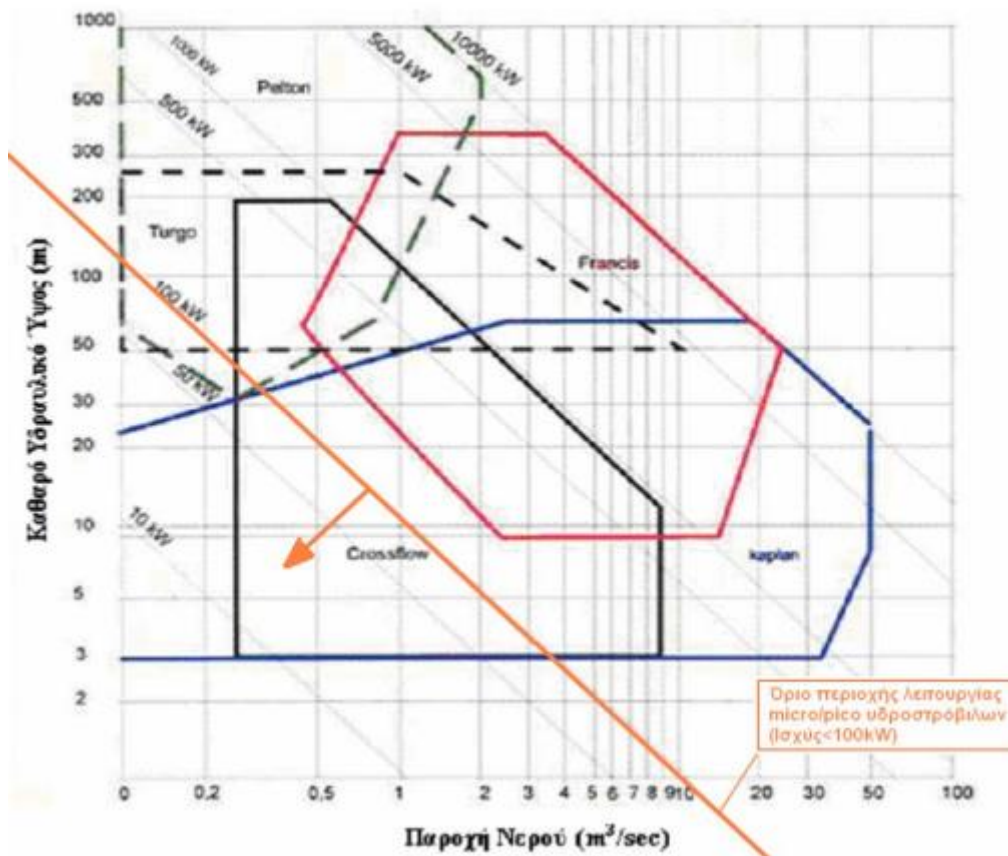
- Η λειτουργία σε αυτόνομο ηλεκτρικό δίκτυο με διατήρηση σταθερής συχνότητας είναι ευκολότερη, ακόμα και σε ένα δίκτυο με έντονες διαταραχές.
- ΥΗΣ με υδροστρόβιλο Francis έχει γενικά μικρότερο κόστος.

Πλεονεκτήματα του υδροστρόβιλου Kaplan έναντι του Francis:

- Η μέγιστη τιμή του συνολικού βαθμού απόδοσης είναι ελαφρώς υψηλότερη από αυτήν του Francis, ενώ επιπλέον η καμπύλη του συνολικού βαθμού απόδοσης είναι πιο επίπεδη, παραμένοντας έτσι σε υψηλές τιμές του βαθμού απόδοσης σε μια ευρεία περιοχή γύρω από το κανονικό σημείο λειτουργίας.
- Ο υδροστρόβιλος Kaplan μπορεί να λειτουργεί αρμονικά ακόμη και σε φορτία ή συνθήκες μειωμένης υδραυλικής πτώσης, κάτι που διαφέρει από τον υδροστρόβιλο Francis. Ο υδροστρόβιλος Francis, σε ορισμένα φορτία, αντιμετωπίζει κραδασμούς και αστάθεια στη λειτουργία του, και συνεπώς, πρέπει να απενεργοποιείται.

3.10 Επιλογή του τύπου του υδροστρόβιλου.

Οι υδροστρόβιλοι αποτελούν την καρδιά του υδροηλεκτρικού σταθμού, καθώς πάνω σε αυτούς σχεδιάζονται όλα τα λειτουργικά μέρη της μηχανής, αλλά και τα έργα πολιτικού μηχανικού. Η επιλογή του τύπου και του μεγέθους του υδροστρόβιλου γίνεται με βάση οικονομικά κριτήρια, με κύριο κριτήριο το ωφέλιμο ύψος της εγκατάστασης, προκειμένου να επιτευχθεί βέλτιστη απόδοση. Για την επιλογή του κατάλληλου υδροστρόβιλου για μια συγκεκριμένη εγκατάσταση, χρησιμοποιούνται διαγράμματα όπως το παρακάτω (Εικόνα 3.6), οι παράμετροι αυτοί προκύπτουν από την εφαρμογή των νόμων ομοιότητας και έχουν σαν αναφορά τα λειτουργικά χαρακτηριστικά ορισμένων προτύπων υδροστρόβιλων. Επίσης παρατηρούμε ότι σε ορισμένες περιοχές υπάρχει επικάλυψη περιοχών που αντιστοιχούν σε δύο διαφορετικά είδη υδροστρόβιλων:



Εικόνα 3.6 Διάγραμμα του εύρους λειτουργίας των υδροστροβίλων [20]

Στο διάγραμμα αυτό, αξιολογούνται διάφορες παράμετροι όπως η υδραυλική απόδοση, η παροχή, η υδραυλική πτώση και άλλοι παράγοντες που σχετίζονται με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης. Μέσω του διαγράμματος, μπορεί να γίνει σύγκριση μεταξύ διαφορετικών τύπων υδροστροβίλων και να επιλεγεί αυτός που θα προσφέρει την καλύτερη απόδοση για τις συγκεκριμένες ανάγκες της εγκατάστασης.

Όταν το ύψος πτώσης είναι μεγάλο, χρησιμοποιούνται υδροστροβίλοι όπως οι Pelton, Turgo και Crossflow. Σε μεσαία ύψη πτώσης, οι υδροστροβίλοι τύπου Francis κυριαρχούν. Σε χαμηλά ύψη πτώσης, η επιλογή είναι κυρίως ο υδροστροβίλος Kaplan και δευτερευόντως ο Francis. Με βάση την καταγραφή των παροχών του υδατορεύματος στην τοποθεσία όπου θα εγκατασταθεί η μονάδα, η επιλογή γίνεται ανάλογα με το σχήμα της καμπύλης διάρκειας των παροχών.

Επιλογή του αριθμού των μονάδων του ΥΗΕ.

Ως μονάδα αναφερόμαστε στο αυτόνομο σύνολο που περιλαμβάνει τον υδροστροβίλο, καθώς και όλες τις υδραυλικές και μηχανολογικές διατάξεις που το συνοδεύουν. Περιλαμβάνει επίσης τα πολιτικά μηχανήματα που απαιτούνται για τη λειτουργία του συστήματος. Η χρήση

πολλαπλών υδροστροβίλων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ευελιξίας και της απόδοσης. Σε μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα, είναι συνήθης η χρήση πολλαπλών υδροστροβίλων, καθώς αυτό είναι πιο λειτουργικό και έχει μεγαλύτερη απόδοση. Κανονικά επιλέγονται οι ίδιοι υδροστροβίλοι για λόγους οικονομικού χαρακτήρα και αποδοτικότητας. Ο αριθμός των μονάδων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως:

- Τη διαθέσιμη παροχή.
- Την απόφαση για τον ειδικό αριθμό στροφών του υδροστροβίλου.
- Την περιστροφική ταχύτητα του υδροστροβίλου, η οποία επηρεάζει το μέγεθος, το βάρος και το κόστος των Η/Μ συστημάτων και των πολιτικών μηχανικών έργων.
- Την γεωμορφολογία της περιοχής, η οποία καθορίζει τον αριθμό των προαγωγών και τη διάταξη του υδροηλεκτρικού σταθμού.
- Την χωρητικότητα του άνω ταμιευτήρα, την καμπύλη διάρκειας της παροχής κ.λπ.

Ο υδροστροβίλος μπορεί να λειτουργεί κοντά στις σχεδιαστικές του παραμέτρους με την παρουσία ενός ταμιευτήρα, προκαλώντας μια υψηλή και σταθερή απόδοση. Είναι δυνατή η αξιοποίηση του ετήσιου όγκου νερού που ρέει χωρίς υπερδιαστασιολόγηση του υδροστροβίλου και του συστήματος προσαγωγής. Ταυτόχρονα, είναι δυνατή η προσαρμογή της παραγόμενης ενέργειας ανάλογα με τις απαιτήσεις. Όταν δεν υπάρχει ταμιευτήρας, το νερό ρέει απευθείας μέσα από τον υδροστροβίλο, με αποτέλεσμα τη μερικώς ελεγχόμενη παροχή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή του βαθμού απόδοσης του υδροστροβίλου και τη μείωση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος. Σε περιπτώσεις έντονης ροής, όταν η παροχή υπερβαίνει το τεchnοοικονομικό μέγιστο του υδροστροβίλου, ένα μέρος της παροχής παρακάμπτεται. Αντίστοιχα, όταν η παροχή είναι πολύ μικρή, ο υδροστροβίλος δεν μπορεί να λειτουργήσει.

3.11 Χαρακτηριστικά διαγράμματα λειτουργίας

Χαρακτηριστικές καμπύλες

Οι γραφικές αναπαραστάσεις των μεταβολών της ταχύτητας, της παροχής και της ισχύος ενός υδροστροβίλου, είτε αυτός είναι δράσης είτε αντίδρασης, αποκαλούνται χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας του υδροστροβίλου. Ο κύριος σκοπός αυτών είναι η πρόβλεψη της λειτουργίας των υδροστροβίλων υπό συνθήκες λειτουργίας που διαφέρουν από εκείνες για τις οποίες έχουν σχεδιαστεί. Οι γραφικές παραστάσεις αυτές έχουν σχεδιαστεί με τιμές που είναι μοναδιαίες για τις αντίστοιχες ποσότητες.

Οι κυρίες χαρακτηριστικές καμπύλες είναι:

- Κυρίες χαρακτηριστικές καμπύλες ή καμπύλες σταθερού ύψους πτώσεως.
- Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας ή καμπύλες σταθερής περιστροφικής ταχύτητας.
- Καμπύλες σταθερής αποδόσης λειτουργίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Τυπικός εξοπλισμός ενός ΜΥΗΣ.

4.1 Τυπικός εξοπλισμός ενός ΜΥΗΣ (παράδειγμα ΜΥΗΣ Γλαύκου)

Ένα παράδειγμα που μπορούμε να αναφέρουμε είναι ο Υδροηλεκτρικός Σταθμός (ΥΗΣ) του Γλαύκου. Ο σταθμός του Γλαύκου μετά την ανακαίνιση που πραγματοποιήθηκε από το 1995 έως το 1997, αποτελείται πλέον από τρεις μονάδες:

- Δύο μονάδες PELTON ισχύος 1,4 MW, οι οποίες ανήκουν στην κατηγορία των υδροστροβίλων δράσης.
- Μια μονάδα FRANCIS ισχύος 2,29 MW, η οποία ανήκει στην κατηγορία των υδροστροβίλων αντίδρασης με ελικοφόρα σχεδίαση [17],[23].

Η εγκατεστημένη ισχύς του εργοστασίου ανέρχεται σε περίπου 3.7 MW. Ο εξοπλισμός που περιλαμβάνεται στο εργοστάσιο παραγωγής είναι ο εξής:

Υδροστρόβιλοι:

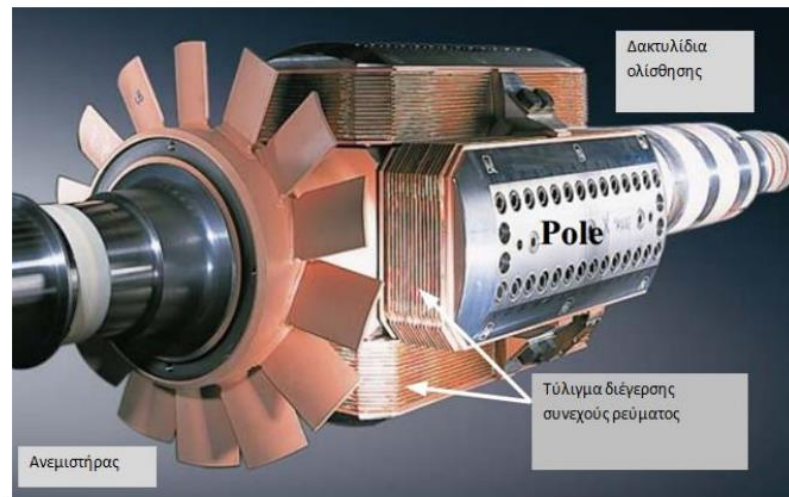
Το 1926, σε υψόμετρο 183 μέτρων, κατασκευάστηκε ο υδροηλεκτρικός σταθμός που εξοπλίστηκε με τρεις μονάδες τύπου Francis από την εταιρία Ganz. Ο σταθμός παραγωγής περιλαμβάνει δύο γεννήτριες, μία από αυτές είναι παλαιότερου τύπου Pelton και η άλλη είναι πιο πρόσφατου τύπου Francis. Και οι δύο μονάδες χρησιμοποιούν παρόμοιου τύπου συστήματα για τη ρύθμιση της τάσης και των στροφών του υδροστροβίλου. Και οι δύο μονάδες λειτουργούν σε οριζόντιο άξονα, αλλά χρησιμοποιούν εναλλακτικά συστήματα διέγερσης. Στη μονάδα Pelton, υπάρχει μια μηχανή συνεχούς ρεύματος που συνδέεται στον άξονα του υδροστροβίλου. Αυτή η μηχανή, μέσω ψηκτρών, παρέχει ηλεκτρικό ρεύμα στον δρομέα της μηχανής. Στη μονάδα Francis, η εκκίνηση γίνεται μέσω μιας μηχανής εναλλασσόμενου ρεύματος και ενός συστήματος περιστρεφόμενων διοδίων που τοποθετούνται πάνω στον άξονα του γεννήτριας. Οι δίοδοί αυτοί σχηματίζουν μια ανορθωτική γέφυρα, η οποία χρησιμοποιείται για να παρέχει το απαραίτητο ρεύμα διέγερσης [17].

Γεννήτριες :

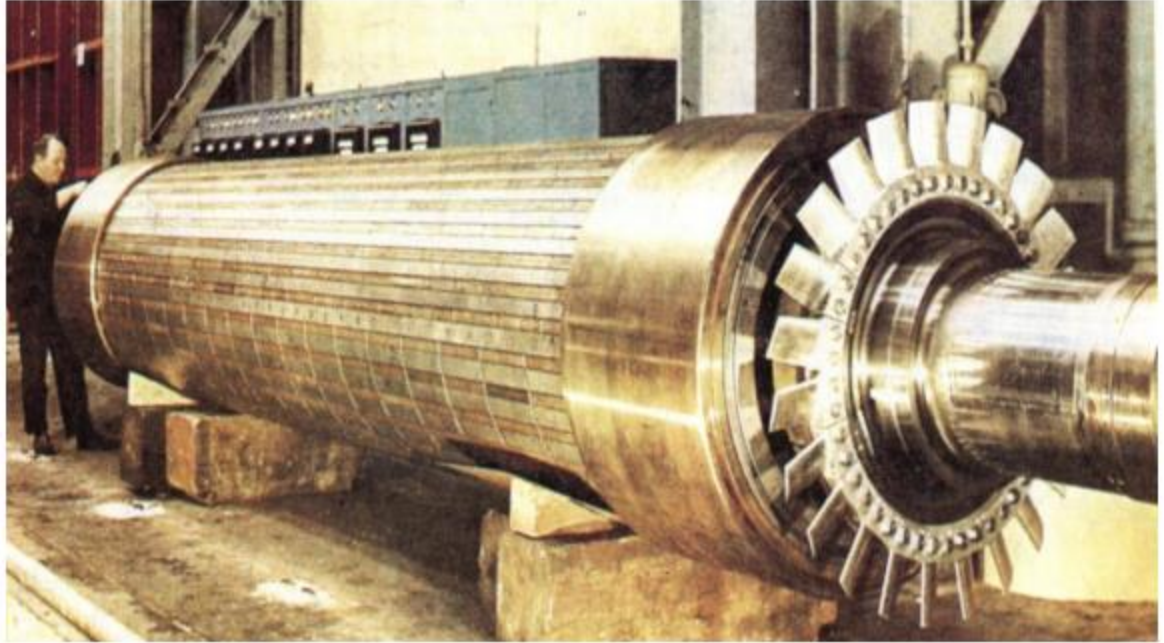
Οι γεννήτριες μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του υπάρχοντος δικτύου, ο παραγωγός έχει δύο επιλογές:

1. *Σύγχρονες γεννήτριες* :Οι σύγχρονες γεννήτριες έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν αυτόνομα, ανεξάρτητα από το ηλεκτρικό δίκτυο, και να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό επιτυγχάνεται λόγω του γεγονότος ότι η ενεργοποίησή τους δεν εξαρτάται από

το δίκτυο. Προκειμένου να λειτουργήσουν απρόσκοπτα, οι σύγχρονες γεννήτριες απαιτούν την τροφοδοσία συνεχούς ρεύματος στον δρομέα τους. Κατά την περιστροφή του υδροστροβίλου, ο δρομέας του στροβίλου ακολουθεί την ίδια περιστροφή, δημιουργώντας ένα μαγνητικό πεδίο. Αυτό το μαγνητικό πεδίο προκαλεί την εμφάνιση τριφασικής τάσης στον στάτη της γεννήτριας. Ο δρομέας μπορεί να έχει είτε κυλινδρικό σχήμα είτε σχήμα με έκτυπους πόλους, και κατασκευάζεται από δυναμοελάσματα. Οι κυλινδρικοί δρομείς συνήθως περιέχουν αυλάκωμα, όπου τοποθετούνται τα τυλίγματα, και συνήθως χρησιμοποιούνται σε γεννήτριες με έως τέσσερις πόλους (εικόνα 4.2). Αντίθετα, για γεννήτριες με περισσότερους πόλους, επιλέγονται δρομείς με έκτυπους πόλους (εικόνα 4.1) [17].



Εικόνα 4.1 Σύγχρονη γεννήτρια έκτυπων πόλων [21].

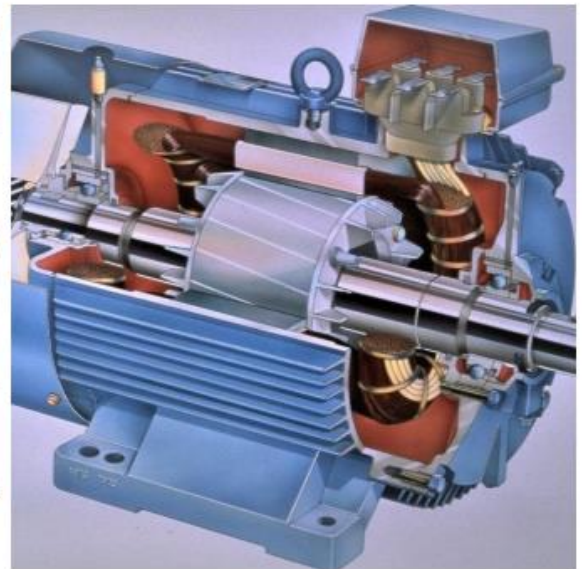


Εικόνα 4.2 Σύγχρονη γεννήτρια κυλινδρικού δρομέα [22].

2. *Ασύγχρονες γεννήτριες:* Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των ασύγχρονων γεννητριών είναι η ανάγκη για εξωτερική πηγή άεργης ισχύος προκειμένου να λειτουργήσουν. Η εξωτερική πηγή άεργης ισχύος ρυθμίζει την τάση που παράγεται στην έξοδο της γεννήτριας. Λόγω της έλλειψης εσωτερικής παροχής ρεύματος διέγερσης, η γεννήτρια δεν μπορεί να πραγματοποιήσει αυτήν τη ρύθμιση από μόνη της. Η εξωτερική πηγή αναλαμβάνει τον ρόλο αυτόν και διασφαλίζει την απαιτούμενη τάση στην έξοδο της γεννήτριας.

Συνεπώς, οι εξωτερικοί πυκνωτές αναλαμβάνουν να παράγουν το ρεύμα μαγνήτισης που απαιτείται για την ενεργοποίηση της συγκεκριμένης γεννήτριας. Επιπροσθέτως, παρατηρείται μια ιδιαίτερη πρόκληση, καθώς η τάση στα άκρα της γεννήτριας εξαρτάται άμεσα και σημαντικά από το φορτίο. Όταν το φορτίο έχει έντονο επαγωγικό χαρακτήρα, μπορεί να παρουσιαστεί σημαντική πτώση στην τάση της γεννήτριας. Αυτό είναι επίσης ο λόγος για τη δυσκολία εκκίνησης ενός επαγωγικού κινητήρα από μια ασύγχρονη γεννήτρια. Γενικά, η ασύγχρονη γεννήτρια μειώνει τον συντελεστή ισχύος του δικτύου και προξενεί μεγάλες πτώσεις τάσης. Παρόλα αυτά, η ασύγχρονη γεννήτρια έχει ένα σημαντικό πλεονέκτημα, την απλότητά της. Αυτό σημαίνει ότι δεν απαιτείται ένα ξεχωριστό κύκλωμα διέγερσης και η γεννήτρια δεν χρειάζεται να λειτουργεί συνεχώς στην ίδια ταχύτητα. Έτσι, όσο ασκείται μεγαλύτερη ροπή στον δρομέα, τόσο αυξάνεται η ισχύς που παράγεται στην έξοδο.

Οι σύγχρονες γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος (EP) (Εικόνες 4.3 και 4.4) παρουσιάζουν υψηλότερη ακρίβεια σε σύγκριση με τις ασύγχρονες γεννήτριες και χρησιμοποιούνται σε συστήματα ισχύος όπου η παραγωγή της γεννήτριας αποτελεί σημαντικό ποσοστό του συνολικού φορτίου του συστήματος ισχύος. Οι ασύγχρονες γεννήτριες χρησιμοποιούνται σε μεγάλες δικτυακές υποδομές, όπου η παραγωγή τους αποτελεί ένα αμελητέο ποσοστό του συνολικού φορτίου ισχύος του συστήματος [9].



Εικόνες 4.3 και 4.4 Ασύγχρονη γεννήτρια [22] ([Ασύγχρονη γεννήτρια: φτιάχνουμε από έναν ασύγχρονο κινητήρα με τα χέρια μας για 220 V χωρίς αλλοίωση, τις διαφορές από τη σύγχρονη, την αρχή λειτουργίας και τη συσκευή \(techinfus.com\)](#))

Επιλογή γεννήτριας:

Η διαδικασία επιλογής της γεννήτριας που θα χρησιμοποιηθεί στον υδροηλεκτρικό σταθμό παραγωγής ρεύματος είναι σημαντική καθώς η γεννήτρια αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα και πιο δαπανηρά στάδια της κατασκευής. Για να επιλέξουμε σωστά τη γεννήτρια, πρέπει να λάβουμε υπόψη τα ακόλουθα στοιχεία. Η βασική χαρακτηριστική ιδιότητα ενός επαγωγικού κινητήρα είναι ότι λειτουργεί ως γεννήτρια μόνο όταν είναι συνδεδεμένος με ένα εξωτερικό σύστημα ηλεκτρικής ισχύος. Αντίθετα, η σύγχρονη γεννήτρια έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί ή μέσω εξωτερικής σύνδεσης σε κύκλωμα, ή αυτόνομα. Όταν επιθυμούμε ανεξαρτησία από το εξωτερικό ηλεκτρικό δίκτυο ή όταν δεν υπάρχει διαθέσιμο δίκτυο, επιλέγουμε σύγχρονη γεννήτρια για την υδροηλεκτρική μονάδα. Η επιλογή της σύγχρονης γεννήτριας μπορεί να γίνει για δύο κύριους λόγους. Ένας από τους λόγους που επιλέγεται η σύγχρονη γεννήτρια είναι η βελτιωμένη απόδοσή της σε σύγκριση με τον επαγωγικό κινητήρα. Ένας ακόμα λόγος για την επιλογή της σύγχρονης γεννήτριας είναι η αυξημένη ικανότητά της να ξεκινήσει σε σύγκριση με τον επαγωγικό κινητήρα.

Οι αιτίες που μπορεί να οδηγήσουν στην απόφαση για επιλογή ενός επαγωγικού κινητήρα (με δυνατότητα σύνδεσης σε εξωτερικό δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος) περιλαμβάνουν τα εξής: προσφέρουν χαμηλό κόστος λειτουργίας, είναι ευρέως διαθέσιμοι στην αγορά και έχουν σημαντικά χαμηλότερο κόστος σε σύγκριση με τις σύγχρονες γεννήτριες. Ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα των επαγωγικών κινητήρων είναι η απλή και ανθεκτική κατασκευή τους, η οποία τους επιτρέπει να λειτουργούν ακόμα και σε περιβάλλοντα με υψηλές ταχύτητες. Αυτό τους καθιστά μια αξιόπιστη και ανθεκτική λύση για διάφορες εφαρμογές. Τέλος, όσον αφορά τις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος (DC), πρέπει να σημειωθεί ότι δεν είναι κατάλληλες για την ηλεκτροδότηση μεγάλων περιοχών, καθώς η απόδοσή τους είναι πιο περιορισμένη σε σχέση με τις γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος. Αυτό συμβαίνει επειδή η ισχύς του συνεχούς ρεύματος, αντίθετα με το εναλλασσόμενο ρεύμα, δεν μπορεί να μεταβιβαστεί εύκολα σε μεγάλες αποστάσεις. Οι γεννήτριες συνεχούς ρεύματος (DC) χρησιμοποιούνται σπανιότερα σε μικρές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις, και αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω του πολύ χαμηλού κόστους παραγωγής για μικρές τιμές ισχύος.

Κεντρική μονάδα ελέγχου: Η κεντρική μονάδα ελέγχου αναλαμβάνει τον έλεγχο και τη ρύθμιση της ισχύος της μονάδας, καθώς και την προστασία της γεννήτριας και την τροφοδότηση των βοηθητικών συστημάτων. Αυτή η μονάδα αποτελείται από μια σειρά οργάνων, λυχνιών, διακοπών και κόμβων πίεσης, τα οποία χρησιμοποιούνται για την εποπτεία και τον έλεγχο της λειτουργίας της μονάδας. Στον υδροηλεκτρικό σταθμό Γλαύκου, ο πίνακας ελέγχου περιλαμβάνει τα ακόλουθα όργανα[23]:

- Βολτόμετρο με επιλογικό διακόπτη
- Αμπερόμετρα
- Ενδεικτικό όργανο συχνότητας
- Ενδεικτικό όργανο ταχύτητας περιστροφής
- Ενδεικτικό όργανο ενεργού ισχύος
- Ενδεικτικό όργανο άεργου ισχύος
- Ενδεικτικό όργανο συντελεστή ισχύος
- Ενδεικτικό όργανο ωρών λειτουργίας
- Ενδεικτικά όργανα ποσοστού ανοίγματος ρυθμιστικών πτερυγίων
- Ενδεικτικό όργανο ανάντη στάθμης φράγματος [17],[23].

Για την ασφάλεια της μονάδας ελέγχου, οι υπεύθυνοι λειτουργίας του υδροηλεκτρικού σταθμού Γλαύκου έχουν εγκαταστήσει τους παρακάτω Ηλεκτρονόμους (H/N) προστασίας. Αυτοί οι αυτοματισμοί λειτουργούν ως προστατευτικά συστήματα για να διασφαλίσουν την ακεραιότητα και την ομαλή λειτουργία της μονάδας ελέγχου.

- H/N υπό τάσης
- H/N υπερέντασης και βραχυκυκλώματος
- H/N αντιστρόφου ροής ισχύος
- H/N ελέγχου διέγερσης γεννήτριας
- H/N ύπαρξης τάσης δικτύου
- H/N υπερθέρμανσης τυλιγμάτων στάτη και εδράνων
- H/N διαρροής στάτη προς γη
- H/N Bochohl M/Σ ανύψωσης
- H/N ουδετέρου M/Σ ανύψωσης προς γη

Ηλεκτρονικό σταθμόμετρο: Για τη λειτουργία του μΥΗΣ, έχει τοποθετηθεί ένας ηλεκτρονικός μετρητής πίεσης στον εξαμμοτή της υδροληψίας. Αυτός ο μετρητής συνδέεται/ενώνεται με

τον ρυθμιστή στροφών στον σταθμό παραγωγής. Το αισθητήριο του μετρητή πίεσης έχει τοποθετηθεί εντός ενός σωλήνα από ανοξείδωτο χάλυβα και διαθέτει αλεξικέραυνο για την προστασία του από υπερτάσεις. Τα βασικά χαρακτηριστικά των σταθμημέτρων είναι τα παρακάτω:

- Τύπος σταθμημέτρου
- Ακρίβεια μέτρησης
- Βαθμός προστασίας
- Έξοδος

Υποσταθμός υψώσεως τάσεως – γραμμές μεταφοράς : Στην περιοχή κοντά στο εργοστάσιο εγκαθίστανται ο υποσταθμός, όπου εγκατεστημένοι είναι οι μετασχηματιστές ισχύος, οι διακόπτες, το κτίριο ελέγχου και άλλος εξοπλισμός βοηθητικού χαρακτήρα. Επιπλέον, στον υποσταθμό υπάρχουν οι διακόπτες που αναλαμβάνουν τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των γραμμών, οι οποίες ανήκουν στο εθνικό σύστημα μεταφοράς υψηλής τάσης 150 KV και 380 KV[9].

Μετασχηματιστές ανύψωσης τάσης και βοηθητικής υπηρεσίας σταθμού: Ο υποσταθμός βρίσκεται σε περιφραγμένο χώρο στην υπαίθρια περιοχή. Ο μετασχηματιστής ανύψωσης τάσης (εικόνα 4.5) ενώνει τις μονάδες με το 20 kV δίκτυο τάσης. Για να διασφαλιστεί η ασφάλεια, ο μετασχηματιστής περιβάλλεται από τοίχους από οπλισμένο σκυρόδεμα. Επιπρόσθετος, υπάρχει μια αδιαπέραστη δεξαμενή από οπλισμένο σκυρόδεμα που προορίζεται για τη συγκέντρωση του λαδιού σε περίπτωση διαρροής. Ο εξοπλισμός του σταθμού συνδέεται με καλώδια με τους μετασχηματιστές [17].



Εικόνα 4.5 Μετασχηματιστής ΥΗΣ Γλαύκου [17] ([Κεφάλαιο 1 \(uniwa.gr\)](#)).

Διάφορες κτιριακές εγκαταστάσεις: Στον Σταθμό υπάρχουν διάφορες κτιριακές εγκαταστάσεις που καλύπτουν τις λειτουργικές ανάγκες του. Αυτές περιλαμβάνουν:

- Κτίριο γραφείων, που χρησιμεύει ως χώρος για διοικητικές και διοικητικο-τεχνικές υπηρεσίες.
- Αποθήκη, όπου αποθηκεύονται αναγκαία υλικά και εξοπλισμός για τη λειτουργία του Σταθμού.
- Μουσείο, που παρουσιάζει την ιστορία και τη λειτουργία του Σταθμού μέσω εκθεμάτων και πληροφοριών.
- Οικίσκο παλαιού μηχανουργείου, που διατηρείται για να αναδείξει το παρελθόν των μηχανουργείων που λειτουργούσαν στον Σταθμό.
- Οικίσκο παλαιού φυλακίου, που διατηρείται ως μνημείο για να αναδείξει το παρελθόν του φυλακίου που υπήρχε κοντά στον Σταθμό.

Αυτά τα κτίρια παρέχουν τις απαραίτητες εγκαταστάσεις για να υποστηρίξουν τις δραστηριότητες και τις ανάγκες του Σταθμού.

Αγωγός φυγής: Μετά τη διέλευση από τους στροβίλους, το νερό ακολουθεί έναν προκαθορισμένο δρόμο, είτε σε κανάλι είτε σε διώρυγα, και χρησιμοποιείται για την εφοδιασμό της πόλης των Πατρών με πόσιμο νερό και για τις ανάγκες άρδευσης στη γύρω περιοχή. Η διώρυγα λειτουργεί ως μέσο για τη μεταφορά του νερού, ενώ η παροχή του γίνεται μέσω των αγωγών που οδηγούν προς τον προορισμό του. Ένα από τα πλεονεκτήματα της διώρυγας φυγής είναι ότι προστατεύει τον πυθμένα της εκροής του νερού από τη διάβρωση. Το νερό που απορρέει από τις μονάδες εκμετάλλευσης χρησιμοποιείται από τον Δήμο για πόσιμο νερό κατά 100% κατά τους χειμερινούς μήνες, μετά από την απαραίτητη επεξεργασία. Ωστόσο, το καλοκαίρι, το 70% του νερού διατίθεται για το πότισμα των περιοχών Περιβόλα, Γλαύκου και Εγλυκάδας μέσω του Τοπικού Οργανισμού Εκμετάλλευσης Υδάτων (ΤΟΕΒ) [23].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Ταμιευτήρες.

5.1 Ταμιευτήρες

Ο ταμιευτήρας νερού κατασκευάζεται με σκοπό να συλλέγει το νερό κατά τη διάρκεια περιόδων έντονης βροχόπτωσης και να το αποθηκεύει, προκειμένου να το ελευθερώνει κατά τις περιόδους με χαμηλή ζήτηση, προσφέροντας έτσι τη δυνατότητα αντιμετώπισης της μεταβαλλόμενης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Όσο αυξάνεται το υδραυλικό ύψος του ταμιευτήρα, τόσο αυξάνεται και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για να αξιολογηθεί η καταλληλότητα του ταμιευτήρα, απαιτείται η ανάλυση των παραγόντων που σχετίζονται με το μέγεθος, τη θέση και άλλες σχετικές παραμέτρους και παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία του ταμιευτήρα [19].

Η αποθηκευτική χωρητικότητα του ταμιευτήρα αποτελεί το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό του. Αυτή εξαρτάται από την ποσότητα και τη μεταβολή της φυσικής ροής των υδάτων, και ο βασικός στόχος είναι η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Για να εξασφαλιστεί η σταθερή παραγωγή ενέργειας κατά τη διάρκεια περιόδων με διακυμάνσεις στη βροχόπτωση, απαιτείται η διατήρηση ενός ξεχωριστού ποσοστού νερού. Τα μικρής κλίμακας συστήματα εγκαθίστανται κοντά σε ποταμούς και τεχνητούς αγωγούς και έχουν μικρότερο αντίκτυπο στο περιβάλλον και τα οικοσυστήματα. Η υδροηλεκτρική ενέργεια παράγεται με τρεις τρόπους. Πρώτον, μέσω της αξιοποίησης της ροής του νερού σε έναν υδατικό αγωγό με φυσική κλίση. Επιπλέον, μέσω της αποθήκευσης του νερού σε μια τεχνητή λίμνη με σκοπό την αύξηση του υδραυλικού ύψους. Τέλος, μέσω του συνδυασμού των παραπάνω δύο μεθόδων, όπου συνδυάζεται η εκμετάλλευση της ροής του ύδατος και η αποθήκευσή του για αύξηση του υδραυλικού ύψους [19].

Χρήση χωρίς ταμιευτήρα

Όταν οι μικρού μεγέθους υδροηλεκτρικοί σταθμοί λειτουργούν χωρίς τη χρήση ταμιευτήρων, ο υδροστρόβιλος συνδέεται απευθείας με την παροχή του υδατορρεύματος. Η βέλτιστη αξιοποίηση του ύδατος επιτυγχάνεται μέσω της διατήρησης όσο το δυνατόν υψηλότερου υδραυλικού ύψους, δηλαδή του φορτίου του. Οι μονάδες που διαθέτουν ακίνητη σειρά οδηγών πτερυγίων και σταθερά πτερύγια δεν μπορούν να προσαρμοστούν ανάλογα με τις μεταβολές της παροχής ή τις διακυμάνσεις του ηλεκτρικού φορτίου του συστήματος. Όταν φτάνουν σε ένα συγκεκριμένο όριο, η λειτουργία τους διακόπτεται πλήρως. Η επαναλειτουργία ξεκινά μόλις το ύψος υπερβεί ένα καθορισμένο όριο. Ωστόσο, η προσαρμοστικότητα αυτού του είδους υδροστροβίλων είναι ανεπαρκής. Έχουν επιτευχθεί μερικές βελτιώσεις. Στην

περίπτωση όπου οι υδροστρόβιλοι είναι ελεγχόμενοι, το ύψος του ύδατος διατηρείται σε σταθερά όρια. Η ισχύς που αντλείται ελέγχεται ανάλογα με τη ροή του υδατορεύματος και διακόπτεται όταν το ύψος πέφτει κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο [19].

Χρήση ταμιευτήρα

Στην περίπτωση παρουσίας ταμιευτήρα, οι μικροί υδροστρόβιλοι μπορούν να είναι ελέγξιμοι ή μη. Η ισχύς που αντλείται μεταβάλλεται ανάλογα με τις διακυμάνσεις του ύψους του νερού, το οποίο πρέπει να διατηρείται εντός προκαθορισμένων ορίων. Μπορεί επίσης να δημιουργηθεί ένα πρόγραμμα παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος που εφαρμόζεται κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλής κατανάλωσης κατά τη διάρκεια προκαθορισμένης περιόδου. Εάν διατίθεται παροχή πέραν της προβλεπόμενης ενός σταθερού προγράμματος, τότε θα παραχθεί ισχύς πέραν αυτής που απαιτείται για την κάλυψη του μέγιστου φορτίου. Στην περίπτωση όπου οι μηχανές εξυπηρετούν πολλαπλή σκοπιμότητα, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να είναι δευτερεύουσας σημασίας. Η λειτουργία των μικρών υδροστροβίλων προσαρμόζεται ανάλογα με τις ανάγκες της κύριας σκοπιμότητας [19].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Υδροηλεκτρικά αμφίδρομης λειτουργίας.

6.1 Υδροηλεκτρικά αμφίδρομης λειτουργίας.

Τα υδροηλεκτρικά αμφίδρομης λειτουργίας ή συστήματα αντλητικής αποθήκευσης (αντλησιοταμίευσης) είναι υδροηλεκτρικά συστήματα που μπορούν να εκτελέσουν δύο λειτουργίες. Αρχικά, λειτουργούν ως κανονικοί υδροηλεκτρικοί παραγωγοί ηλεκτρικής ισχύος, χρησιμοποιώντας την υδατόπτωση του νερού από έναν ταμιευτήρα σε υψηλότερο σημείο προς έναν ταμιευτήρα σε χαμηλότερο υψόμετρο. Επιπλέον, μπορούν να λειτουργήσουν ως αποταμιευτές, μεταφέροντας νερό από τον κάτω στον πάνω ταμιευτήρα όταν υπάρχει περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας. Περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχει όταν:

- Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο είναι ελάχιστη και τα συμβατικά συστήματα δεν μπορούν να απενεργοποιηθούν ή να λειτουργήσουν σε μειωμένη ισχύ.
- Υπάρχει μεγάλη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως τα αιολικά και τα φωτοβολταϊκά συστήματα, όπου ολόκληρη η παραγόμενη ενέργεια πρέπει να απορροφάται αμέσως μετά την παραγωγή της.

Το νερό μεταφέρεται προς τον άνω ταμιευτήρα με στόχο να αξιοποιηθεί η αποθηκευμένη δυναμική ενέργεια του κατά τις περιόδους μεγάλης ζήτησης ισχύος, ενώ τη νύχτα, όταν η ζήτηση είναι χαμηλή, το νερό επιστρέφει στον άνω ταμιευτήρα. Η απόδοση αυτών των συστημάτων κυμαίνεται μεταξύ 70% και 80%, πράγμα που σημαίνει ότι περίπου το 70% έως 80% της ηλεκτρικής ενέργειας που εκμεταλλευτική για την αντλητική διαδικασία θα ξαναποκτηθεί και θα επιστραφεί στο ηλεκτρικό σύστημα. Οι απώλειες που αναφέρονται κυρίως αφορούν τις απώλειες ενέργειας στους υδροστροβίλους και τις αντλίες, τις ηλεκτρικές απώλειες στις γεννήτριες και τους ηλεκτροκινητήρες, καθώς και τις απώλειες ενέργειας στους αγωγούς προσαγωγής/απαγωγής του νερού. Οι συνολικές απώλειες ενέργειας αυξάνονται αναλογικά με το μειούμενο μέγεθος των μηχανών.

Για την επαναφορά του νερού στον ανώτερο ταμιευτήρα, υπάρχουν δύο εναλλακτικές επιλογές: η αντίστροφη λειτουργία του υδροστροβίλου ή η χρήση ξεχωριστών αντλιών. Ένα ανασταλτικό στοιχείο αυτής της τεχνολογίας σε σύγκριση με τις μονάδες αντλίας αιχμής είναι:

- Υψηλότερο κόστος ανά μονάδα εγκατάστασης.
- Καθορισμένη θέση εγκατάστασης η οποία συνήθως βρίσκεται σε απομακρυσμένες περιοχές πράγμα που σημαίνει επιπλέον επιβάρυνση από τις γραμμές μεταφοράς και τις αντίστοιχες απώλειες.
- Μεγάλη περίοδος κατασκευής .

- Υψηλό κόστος .

Παρά ταύτα, το πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι τα δυνητικά οφέλη που προσφέρει. Αξιοποιεί την υπερβολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλού κόστους για να καλύψει τη ζήτηση κατά τις ώρες αιχμής, καταφέροντας έτσι να μειώσει το κόστος της ενέργειας. Ειδικά σε μικρά συστήματα, είναι δυνατή η σύνδεση με την τεχνολογία των αιολικών συστημάτων με σκοπό να αξιοποιηθεί η υπεραρκετής παραγωγής ισχύος με σκοπό να εξασφαλιστεί η βέλτιστη κάλυψη της ηλεκτρικής ζήτησης. Αυτές οι τεχνολογίες αποκαλούνται υβριδικά συστήματα , καθώς συνδυάζουν διάφορες πηγές ενέργειας για την επίτευξη βέλτιστης απόδοσης. Σε κάθε περίπτωση, η τελική απόφαση είναι αποτέλεσμα οικονομικής ανάλυσης που λαμβάνει υπόψη το κόστος των χρημάτων, τις διεθνείς τιμές των καυσίμων και τις χρηματικές κυρώσεις για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

6.2 Οι ηλεκτρομηχανολογικές διαμορφώσεις των υδροηλεκτρικών αμφίδρομης λειτουργίας.

Τα υδροηλεκτρικά συστήματα αμφίδρομης λειτουργίας παρουσιάζουν τεχνικά δύο επιλογές για ηλεκτρομηχανολογικές διαμορφώσεις:

1. *Υδροστρόβιλο, φυγόκεντρη αντλία και ηλεκτρική μηχανή.* Όλες οι διατάξεις είναι ενωμένες σε έναν κοινό άξονα. Η επιλογή του υδροστρόβιλου γίνεται βάσει της υδραυλικής πτώσης, ενώ η αντλία επιλέγεται να είναι πολυβάθμια ή μονοβάθμια, μονής ή διπλής αναρρόφησης, ανάλογα με την υψομετρική διαφορά και την ποσότητα του νερού. Η φορά περιστροφής παραμένει σταθερή και για τις δύο λειτουργίες. Συνήθως, τοποθετείται ένας υδροδυναμικός συμπλέκτης στα δύο άκρα του άξονα της ηλεκτρικής μηχανής, με σκοπό να αποτρέπεται η ανεπιθύμητη περιστροφή της αντλίας όταν λειτουργεί ο υδροστρόβιλος, και αντίστροφα. Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται μείωση των φθορών που προκαλούνται από ανεπιθύμητη περιστροφή.

Πλεονεκτήματα:

- Τόσο ο υδροστρόβιλος όσο και η αντλία επιλέγονται να λειτουργούν στο κατάλληλο σημείο λειτουργίας, χωρίς να γίνονται συμβιβασμοί στα χαρακτηριστικά τους.
- Η αντιστροφή λειτουργίας επιτυγχάνεται εύκολα, κάτι που αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα όταν η συχνότητα εναλλαγής της λειτουργίας είναι υψηλή.

Μειονεκτήματα:

- Υπάρχει αύξηση στο κόστος απόκτησης του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού.
 - Απαιτείται μεγαλύτερος χώρος εγκατάστασης , λόγω της ύπαρξης περισσότερων διατάξεων.
 - Είναι τεχνικά αναγκαία επιλογή όταν η διαθέσιμη υδραυλική πτώση είναι υψηλή, καθώς απαιτείται η χρήση υδροστροβίλου τύπου Pelton. Αυτός ο τύπος υδροστροβίλου δεν είναι σε θέση να λειτουργήσει αντίστροφα, δηλαδή ως αντλία.
2. *Μια υδροδυναμική μηχανή που λειτουργεί σαν υδροστρόβιλος ή σαν αντλία.* Η εναλλαγή της λειτουργίας επιτυγχάνεται με την αντιστροφή της περιστροφής του τροφείου, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή της ροής. Αυτή η διάταξη παρουσιάζει το πλεονέκτημα της μείωσης του κόστους απόκτησης του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και της μικρότερης απαιτούμενης εγκατεστημένης χωρητικότητας. Για τη χρήση της στροβιλαντλίας, λόγω της υψηλής έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που απαιτείται κατά την εκκίνηση από τον ηλεκτρικό κινητήρα, απαιτείται χρήση μιας ειδικής διαδικασίας. Η ισχύς που καταναλώνει η αντλία στην κανονική ταχύτητα περιστροφής της, με τα ρυθμιστικά πτερύγια κλειστά, αντιστοιχεί σχεδόν στο 30% της ονομαστικής ισχύος της. Αντιθέτως, η ισχύς που απορροφά η αντλία στην κανονική ταχύτητα περιστροφής της, με τα ρυθμιστικά πτερύγια ανοικτά αλλά με τη βαλβίδα της καταθλίψεως κλειστή, αντιστοιχεί περίπου στο 60% της ονομαστικής ισχύος της. Επιπροσθέτως , η ισχύς που καταναλώνει η αντλία στην κανονική ταχύτητα περιστροφής, όταν είναι άδεια από νερό, αντιστοιχεί περίπου στο 1-2% της ονομαστικής ισχύος της. Το συνολικό ύψος σε περίπτωση μηδενικής παροχής είναι υψηλότερο από το συνολικό ύψος στο σημείο κανονικής λειτουργίας, διαφορετικά η χαρακτηριστική θα ήταν μη σταθερή.

Τρόποι εκκίνησης στροβιλαντλίας:

- Η εκκίνηση γίνεται με την περωτή γεμάτη νερό και τον κυκλικό πλαίσιο των ρυθμιστικών πτερυγίων κλειστό. Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται μετά την επίτευξη της ονομαστικής ταχύτητας περιστροφής της αντλίας από το τροφείο. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, απαιτείται η παρουσία ενός βοηθητικού υδροστροβίλου που θα παρέχει την απαραίτητη ισχύ. Αφού επιτευχθεί η συγχρονισμένη ταχύτητα περιστροφής, τα ρυθμιστικά πτερύγια αρχίζουν να ανοίγουν σταδιακά μέχρι να επιτευχθεί το επιθυμητό σημείο λειτουργίας. Η αντλία βρίσκεται σε ασταθή κατάσταση κατά τη μεταβατική λειτουργία της, με αποτέλεσμα την παραγωγή θορύβου. Κατά τη

διάρκεια αυτής της φάσης, τα ρυθμιστικά πτερύγια παραμένουν κλειστά, με αποτέλεσμα η ενέργεια που απορροφάται να μετατρέπεται κυρίως σε θερμότητα εντός της μηχανής. Η θερμότητα απομακρύνεται από τη μηχανή μέσω ενός αυτόνομου εσωτερικού κυκλώματος παροχής νερού.

- Κατά την εκκίνηση, η περωτή είναι άδεια από νερό, τα ρυθμιστικά πτερύγια παραμένουν κλειστά και η βαλβίδα της κατάθλιψης είναι ανοικτή. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται μετά την αφαίρεση του νερού από την περωτή, με τη χρήση πεπιεσμένου αέρα που απελευθερώνεται μέσω ενός ακροφυσίου στο επίπεδο του σπειροειδούς κελύφους. Η πίεση προσαρμόζεται συνεχώς έτσι ώστε η ελεύθερη στάθμη του νερού στον αγωγό αναρρόφησης να είναι χαμηλότερη από το χαμηλότερο σημείο της περωτής. Στη συνέχεια, το στροφέιο αρχίζει να περιστρέφεται μέχρι να φτάσει στην ονομαστική του ταχύτητα, είτε με τη χρήση ενός βοηθητικού υδροστροβίλου είτε με άμεση σύνδεση στο χαμηλής τάσης δίκτυο. Η επίτευξη συγχρονισμού του στροφείου είναι σχετικά ευκολότερη σε αυτήν την περίπτωση, λαμβάνοντας υπόψη την πολύ μικρή ισχύ που απορροφά η περωτή. Στη συνέχεια, με αργή διαδικασία μειώνουμε την πίεση του αέρα, με αποτέλεσμα η στάθμη του νερού να αυξάνεται. Το φαινόμενο εξελίσσεται απότομα όταν η στάθμη του νερού υπερβαίνει την πλήρη ακμή των πτερυγίων. Εξαιτίας της περιστροφής της περωτής, το νερό απελευθερώνεται προς τα έξω και γεμίζει γρήγορα την περωτή, οδηγώντας σε αισθητή αύξηση της απορροφούμενης ισχύος. Έχουν εξεταστεί διάφορες εναλλακτικές μέθοδοι προκειμένου να αποφευχθούν αυτά τα κρουστικά φαινόμενα. Ένας από αυτούς είναι το γέμισμα της περωτής από τον επάνω ταμιευτήρα μέσω ενός επιπλέον αγωγού που συνδέεται με το σπειροειδές κέλυφος ανάμεσα στην περωτή και τη στεφάνη των ρυθμιστικών πτερυγίων. Μία εναλλακτική προσέγγιση είναι η προμήθεια της περωτής με δέσμες νερού που προκαλούν περιστροφική κίνηση, ενώ ταυτόχρονα η αέρας απομακρύνεται σταδιακά από το εσωτερικό της ατράκτου. Μόνο όταν η αντλία έχει γεμίσει με νερό, τα ρυθμιστικά πτερύγια αρχίζουν να ανοίγουν σταδιακά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 Μελέτη εγκατάστασης μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού.

7.1 Εκτίμηση ενεργειακού δυναμικού.

Τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή της τοποθεσίας ενός μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού είναι τα παρακάτω,

Η παροχή του ποταμού. Για την αξιολόγηση της διαθέσιμης παροχής υδραυλικής θέσης που είναι δυνατό να εκμεταλλευτεί ο μΥΗΣ, υπάρχουν τρεις μέθοδοι:

1. Με την μέτρηση της καμπύλης διάρκειας των παροχών, μπορεί να γίνει η εκτίμηση της διαθέσιμης προς εκμετάλλευση παροχής υδραυλικής θέσης.
2. Με τη χρήση των ήδη διαθέσιμων τιμών παροχής, μπορούμε να υπολογίσουμε απευθείας την παραγόμενη ενέργεια.
3. Μέσω στοχαστικών εκτιμήσεων από τη λεκάνη απορροής

Το ύψος πτώσης. Το ύψος πτώσης εξαρτάται από τη γεωμετρία του χώρου εγκατάστασης του υδροηλεκτρικού έργου.

Η εκτίμηση της διαθέσιμης ισχύος. Η ισχύς που λαμβάνουμε από τους υδροστροβίλους είναι ίση με $I = n * \rho * g * Q * H_n$

Η γενική λειτουργία των μικρών υδροστροβίλων εξαρτάται από πολλές παραμέτρους. Ορισμένες από αυτές είναι:

- Διαθεσιμότητα η όχι μικρού ταμιευτήρα.
- Τα χαρακτηριστικά του φορτιού του ηλεκτρικού συστήματος
- Το είδος του εγκαταστημένου υδροστροβίλου.
- Το βαθμό της αυτοματοποίησης.

7.2 Κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Ένα από τα πρώτα βήματα για την εγκατάσταση ενός μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού θεωρείται η μελέτη σκοπιμότητας, η οποία περιλαμβάνει την ανάλυση διαφορετικών εναλλακτικών σεναρίων σχεδίασης του έργου. Το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.) εκπονεί μελέτες σκοπιμότητας το αντικείμενο των οποίων είναι:

Ύψος πτώσεως. Ο προσδιορισμός του υψομέτρου πτώσης γίνεται με μια αρχική επιλογή της θέσης υδροληψίας και σταθμού. Το ύψος πτώσης εξαρτάται από τη γεωμετρία του χώρου εγκατάστασης του υδροηλεκτρικού έργου.

Η καμπύλη διάρκειας παροχής. Η καμπύλη διάρκειας παροχής της θέσης χαράσσεται για την εκτίμηση της ετήσιας παραγωγής ενέργειας και τον υπολογισμό των ετήσιων εσόδων του έργου.

Το κόστος. Το κόστος κατασκευής του έργου προσδιορίζεται με βάση τη μορφολογία της περιοχής, το μήκος του καταθλιπτικού αγωγού, τον τύπο του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και την απόσταση της διασύνδεσης με το δίκτυο της ΔΕΗ.

Την οικονομική βιωσιμότητα. Μελέτη της οικονομικής βιωσιμότητας του έργου μέσω του υπολογισμού απαραίτητων οικονομικών δεικτών και συνάγουμε συμπεράσματα σχετικά με την οικονομική εφικτότητα του εγχειρήματος [25].

Οι τεχνικές διαρκείας των παροχών αποτελούν μια μέθοδο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγραφεί η χρονική μεταβλητότητα της ροής. Αν το πρόγραμμα παραμένει οικονομικά βιώσιμο, το επόμενο βήμα είναι η εκπόνηση πραγματικών μελετών σχεδίου. Σε αυτή τη φάση, πραγματοποιούνται ακόμη και οι πιο λεπτομερείς υδρολογικές μελέτες ανάλυσης, οι οποίες περιλαμβάνουν καθημερινές ή μηνιαίες μελέτες λειτουργίας. Εάν το αποτέλεσμα της μελέτης σκοπιμότητας είναι θετικό, τότε είναι δυνατό να προχωρήσει κανείς στη μελέτη σχεδιασμού σε επίπεδο προμελέτης. Η έκταση της προμελέτης είναι αρκετή για να καλύψει τις απαιτήσεις για την έκδοση των αδειών που απαιτούνται για την κατασκευή του μικρού υδροηλεκτρικού έργου [19].

7.3 Τύποι μελέτης

Οι αρχικοί τύποι μελέτης είναι οι εξής:

Μελέτη αναγνώρισης. Πρόκειται για μια προκαταρκτική μελέτη που έχει ως στόχο να εξακριβώσει εάν μια μελέτη σκοπιμότητας είναι εφικτή. Στις μελέτες αναγνώρισης, πραγματοποιείται εκτίμηση της μέσης ετήσιας παροχής, του μέσου φορτίου και της διαθέσιμης παροχής κατά τη διάρκεια περιόδων με χαμηλή ροή, και εξετάζονται όλα τα απαιτούμενα στοιχεία.

Δυνατότητα πραγματοποίησεως (σκοπιμότητα). Μια έρευνα που πραγματοποιείται για να διατυπώσει και αξιολογήσει την εφαρμογή ενός έργου. Αν το αποτέλεσμα της προμελέτης

είναι θετικό, τότε ακολουθεί η εκπόνηση της μελέτης σχεδιασμού και εγκατάστασης του μικρού υδροηλεκτρικού έργου σε επίπεδο προμελέτης.

Καθορισμένες μελέτες σχεδίων. Πρόκειται για το σύνολο των μελετών που πραγματοποιούνται από το χρόνο της έγκρισης της εφαρμογής έως την έναρξη της κατασκευής [19].

7.4 Προμελέτη

Το βάθος της προμελέτης είναι αρκετό ώστε να καλύπτει τις απαιτούμενες άδειες για την κατασκευή του μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού. Η σχεδίαση, η οποία βασίζεται στα αποτελέσματα της μελέτης σκοπιμότητας, περιλαμβάνει τα εξής:

- Στην προμελέτη γίνεται η επιλογή των υδροστροβίλων και ο καθορισμός των υδραυλικών χαρακτηριστικών τους.
- Στην προμελέτη γίνεται η επιλογή των γεννητριών με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους και ο σχεδιασμός ολόκληρου του συνακόλουθου ηλεκτρολογικού εξοπλισμού.
- Γίνεται ο καθορισμός των χαρακτηριστικών του συστήματος αυτοματισμού και λειτουργίας της εγκατάστασης.
- Στην προμελέτη γίνεται ο καθορισμός του συστήματος προσαγωγής του ύδατος στον σταθμό, περιλαμβάνοντας την υδροληψία, τον αγωγό προσαγωγής, τη δεξαμενή φόρτισης και τις υπόλοιπες βοηθητικές εγκαταστάσεις.
- Ο καθορισμός της κτηριακής υποδομής που θα φιλοξενήσει τον μηχανολογικό εξοπλισμό γίνεται με την τοποθέτηση των υδροστροβίλων-γεννητριών για εύκολη πρόσβαση και συντήρηση χωρίς διακοπή της λειτουργίας των υπόλοιπων μονάδων και αυτοματισμών.

7.5 Οικονομική ανάλυση

Η διαδικασία της οικονομικής ανάλυσης των εναλλακτικών επιλογών ανάπτυξης του σχεδιαζόμενου μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού πραγματοποιείται με τα ακόλουθα στάδια:

- Στο πλαίσιο της οικονομικής ανάλυσης, πραγματοποιείται ο καθορισμός των θεμελιωδών στοιχείων, όπως η περίοδος της ανάλυσης, το προεξοφλητικό επιτόκιο, το κόστος του απαιτούμενου κεφαλαίου και άλλων οικονομικών μεταβλητών.
- Η αξιολόγηση του κόστους του σχεδιαζόμενου έργου περιλαμβάνει τον υπολογισμό του συνολικού κόστους, συμπεριλαμβανομένου του κόστους κεφαλαίου, του κόστους εξασφάλισης άδειας και του κόστους λειτουργίας, συντήρησης και αντικατάστασης

εξοπλισμού. Για τον προσδιορισμό του αμοιβών των μηχανικών, των εξόδων εκσκαφών, κατασκευής, εργατικού δυναμικού, και υλικών, καθώς και για την κάλυψη νομικών απαιτήσεων και επιτοκίων, απαιτείται να πραγματοποιηθεί εκτίμηση εντός του πλαισίου του επιθυμητού χρονοδιαγράμματος κατασκευής του έργου.

- Η εκτίμηση των κερδών του σχεδιαζόμενου έργου περιλαμβάνει την κύρια αξιολόγηση των αναμενόμενων εσόδων από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και την παροχή υδάτων προς πόση ή αρδεύσεις στην περίπτωση έργου πολλαπλών χρήσεων.
- Ο καθορισμός της πηγής χρηματοδότησης και των όρων πιθανής δανειοδότησης είναι σημαντικός για το έργο. Ειδικά, στην περίπτωση που το έργο κατασκευάζεται από φορέα διαφορετικό από τον τελικό χρήστη της ενέργειας, το συμβόλαιο για την πώληση της παραγόμενης ενέργειας αποτελεί το κλειδί για την επίτευξη οικονομικής βιωσιμότητας του έργου.
- Προσδιορισμός της κατάλληλης μεθοδολογίας για την οικονομική ανάλυση και τον προσδιορισμό της οικονομικής και κοινωνικοοικονομικής βιωσιμότητας.
- Η μελέτη ευαισθησίας που πραγματοποιείται για να αξιολογηθεί η επίδραση παραγόντων, όπως η ισχύς του έργου, το προεξοφλητικό επιτόκιο, η χρηματοδότηση και η δυνατότητα αποθήκευσης, στο ύψος του κόστους και οφέλους της εγκατάστασης.

7.6 Αδειοδότηση

Για να αδειοδοτηθεί ένας μικρός υδροστρόβιλος με ισχύ από 50 kW έως 15 MW, πρέπει να πληρούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Άδεια παραγωγής: Για να αδειοδοτηθεί ένας μΥΗΣ πρέπει να γίνει υποβολή άδειας παραγωγής στην Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), που είναι αρμόδια για την ρύθμιση και έγκριση διαδικασιών σχετικά με την παραγωγή ενέργειας.
- Άδεια εγκατάστασης: Η αίτηση άδειας εγκατάστασης υποβάλλεται στον Γενικό Γραμματέα της αρμόδιας Περιφέρειας και περιλαμβάνει:
- Προκαταρκτική περιβαλλοντική εκτίμηση και αξιολόγηση
- Έγκριση περιβαλλοντολογικών ορών
- Έγκριση Δασικής υπηρεσίας
- Άδεια χρήσεως ύδατος από το Υπουργείο Ανάπτυξης

Η άδεια λειτουργίας του μΥΗΣ περιλαμβάνει:

- Σύμβαση που αφορά τη σύνδεση του μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού με το ηλεκτρικό δίκτυο της Δ.Ε.Η. ή της Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. (Διαχείριση Ενεργειακών Συστημάτων και Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας).
- Ολοκλήρωση της σύνδεσης με το δίκτυο
- Έκδοση οικοδομικής άδειας για τον υδροηλεκτρικό σταθμό, καθώς και την έγκριση από την πυροσβεστική υπηρεσία για την πρόληψη και ασφάλεια από πυρκαγιές.
- Επιβεβαίωση από την αρμόδια αρχή ότι τηρήθηκαν όλοι οι όροι της άδειας εγκατάστασης.
- Υπεύθυνες δηλώσεις του μηχανικού κατασκευής και του μηχανικού επιβλέψεως λειτουργίας των μικρών υδροστροβίλων.

Για άδεια λειτουργίας σταθμών μικρότερων από 10 kW δεν χρειάζεται:

- Άδεια παραγωγής.
- Άδεια εκτελέσεως αξιοποίησεως υδατικών πόρων.
- Άδεια δοκιμαστικής λειτουργίας.
- Άδεια λειτουργίας [19].

7.7 Έλεγχος της επιτεύξεως του στόχου

Ειδικά κατά την ολοκλήρωση του μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού, υπάρχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην επαλήθευση της τεχνικής ακρίβειας και στον έλεγχο της επίτευξης του στόχου κατασκευής, που είναι η παραγωγή της αναμενόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι δυνατότητες μετρήσεων λειτουργίας και απόδοσης πρέπει να περιλαμβάνουν τα εξής:

- Τη μέτρηση της παροχής
- Η μέτρηση της ροπής στην έξοδο του στροβίλου γίνεται με τη χρήση strain gages.
- Η μέτρηση της ταχύτητας περιστροφής της μηχανής που γίνεται με τη χρήση κατάλληλων αισθητήρων ή μεθόδων που ανιχνεύουν την κίνηση και τον ρυθμό περιστροφής της.
- Την μέτρηση της ηλεκτρικής ισχύος εξόδου που περιλαμβάνει την αναλυτική καταγραφή της εντάσεως και της τάσης του ρεύματος της γεννήτριας κατά φάση. Αυτό γίνεται με τη χρήση κατάλληλων μέσων και αισθητήρων που μπορούν να μετρήσουν τις ηλεκτρικές παραμέτρους της εξόδου της γεννήτριας [19].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 Συμπεράσματα.

Στόχος για ένα καλύτερο μέλλον πρέπει να είναι η προώθηση και ενθάρρυνση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με στόχο τη σταδιακή απεξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα. Αυτός ο δεσμευτικός στόχος θα πρέπει να εφαρμόζεται σε παγκόσμιο επίπεδο, προωθώντας μια βιώσιμη ενεργειακή πολιτική που θα οδηγήσει σε ένα πιο φιλικό προς το περιβάλλον και ισορροπημένο μέλλον. Αυτό προκύπτει από τη μείωση των αποθεμάτων στα συμβατικά καύσιμα, καθώς επίσης και από την ολοένα αυξανόμενη μόλυνση του περιβάλλοντος που προκαλούν αυτά τα καύσιμα.

Στην Ελλάδα, καθώς και σε πολλές χώρες του εξωτερικού, έχει ξεκινήσει η μετάβαση προς την απεξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα. Παρ' όλα αυτά, πρέπει να διεξαχθούν περαιτέρω και πιο αποφασιστικές προσπάθειες, εάν στόχος είναι η απόλυτη απεξάρτηση από αυτά.

Συνολικά, μπορεί κάποιος να διαπιστώσει ότι τα οφέλη από τη χρήση της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ μεγαλύτερα από τα αρνητικά στοιχεία. Η ανάγκη για την ανεύρεση νέων και ανεξάντλητων πηγών ενέργειάς έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη μεθόδων που είναι ταυτόχρονα αποδοτικές και φιλικές προς το περιβάλλον. Οι ΥΗΣ παράγουν "καθαρή" ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμη πηγή (νερό), μειώνοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και συμβάλλοντας στην προστασία του περιβάλλοντος.

Στην Ελλάδα η Δ.Ε.Η. ανέλαβε τη μελέτη και κατασκευή σχεδόν όλων των μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων. Επίσης χρησιμοποιεί αυτά τα υδροηλεκτρικά συστήματα για να καλύψει διάφορες ανάγκες, όπως ύδρευση, άρδευση, αντιπλημμυρική προστασία, αναψυχή κ.λπ.

Εάν τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα κατασκευάζονται και λειτουργούν με κατάλληλες περιβαλλοντικές προδιαγραφές, τότε δεν προκαλούν αρνητικές επιπτώσεις ούτε στο φυσικό περιβάλλον της συγκεκριμένης περιοχής, ούτε στο ανθρωπογενές περιβάλλον της περιοχής και τη δημόσια υγεία. Είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί ότι τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα χρησιμοποιούν μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας για την παραγωγή ενός βασικού κοινωνικού αγαθού. Επομένως, συμβάλλουν σημαντικά στην μακροπρόθεσμη προστασία του περιβάλλοντος και στη βιώσιμη ανάπτυξη της χώρας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Απόστολος Πολυζάκης, Κεφάλαιο 9^ο, Ρευστοδυναμικές Μηχανές Στροβιλομηχανές - Υδροδυναμικές μηχανές, HEAT COOL POWER, Πτολεμαΐδα, Ελλάδα, σελ. 580-621, 2019.
- [2] Απόστολος Πολυζάκης, Κεφάλαιο 7ο , Ατμοπαραγωγοί - ατμοστρόβιλοι και σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος, HEAT COOL POWER, Πτολεμαΐδα, Ελλάδα, σελ. 332-363, 2022.
- [3] Σταμέλλος Στέφανος (Σ.Σ.), 2019, Η οικολογική παροχή νερού στο Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο (ΜΥΗΕ) του Ρουστιανίτη, KALITERILAMIA.gr, Ιστότοπος: [Η οικολογική παροχή νερού στο Μικρό ΥδροΗλεκτρικό Έργο \(ΜΥΗΕ\) του Ρουστιανίτη - kaliterilamia.gr](https://www.kaliterilamia.gr)
- [4] Για πρώτη φορά οι ΑΠΕ επικράτησαν στο μείγμα ηλεκτροπαραγωγής το 2022 - Παρήγαγαν το 41,6% του ρεύματος - Δεύτερο το αέριο, τρίτος ο λιγνίτης, energy press, ιστότοπος : [Για πρώτη φορά οι ΑΠΕ επικράτησαν στο μείγμα ηλεκτροπαραγωγής το 2022 - Παρήγαγαν το 41,6% του ρεύματος - Δεύτερο το αέριο, τρίτος ο λιγνίτης \(energypress.gr\)](https://www.energypress.gr).
- [5] Μητρώο Διαχειριστή ΕΣΜΗΕ, ιστότοπος: Μητρώο Διαχειριστή ΕΣΜΗΕ | ΑΔΜΗΕ (admie.gr),2023
- [6] 2023, Υδροηλεκτρική Ενέργεια Δ.Ε.Η, ιστότοπος : Υδροηλεκτρική Ενέργεια | ΔΕΗ (dei.gr),2023.
- [7] Ι. Αργυράκης , Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί της ΔΕΗ Α.Ε. και η συμβολή τους στην διαχείριση των υδατικών πόρων, ιστότοπος : [Στυλ Μορφοποίησης Τίτλου Εισήγησης \(ypethe.gr\)](https://www.ypethe.gr),2023.
- [8] ΕΣΜΥΕ (ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΜΙΚΡΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ), ιστότοπος: [Στατιστικά – Ε.Σ.Μ.Υ.Ε. \(microhydropower.gr\)](https://www.microhydropower.gr),2023.
- [9] Μηνιαίο Στατιστικό Δελτίο ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ, ιστότοπος: [Μηνιαίο Στατιστικό Δελτίο ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ - Διαχειριστής ΑΠΕ & Εγγυήσεων Προέλευσης Α.Ε. - ΔΑΠΕΕΠ Α.Ε. \(dareep.gr\)](https://www.dareep.gr),2023.
- [10] Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια στην Ευρώπη και οι δυνατότητες αποθήκευσής της, ιστότοπος: [Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια στην Ευρώπη και οι δυνατότητες αποθήκευσής της \(energypress.gr\)](https://www.energypress.gr), 2023.
- [11] Power plant profile: Krasnoyarsk, Russia, ιστότοπος: [Power plant profile: Krasnoyarsk, Russia \(power-technology.com\)](https://www.power-technology.com),2023.

- [12] Grande Dixence SA, ιστότοπος: [Grande Dixence SA \(alpiq.com\)](http://GrandeDixenceSA.alpiq.com),2023
- [13] IEA , Hydropower, ιστότοπος: [Hydropower - Fuels & Technologies - IEA](http://Hydropower-Fuels&Technologies-IEA) ,2023.
- [14] ΔΟΥΛΗ ΕΥΣΤΑΘΙΑ, Τα φράγματα και οι επιδράσεις στο τοπίο, πτυχιακή εργασία, Τμήμα αρχιτεκτόνων μηχανικών , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, ιστότοπος: Douli.pdf.
- [15] ΠΗΓΗ ΕΙΚΟΝΑΣ: Υ.ΠΕ.ΘΕ. Υδάτινοι Πόροι και Περιβάλλον Θεσσαλίας, Φράγμα Μαυροματίου Σούρπης Μαγνησίας, , ιστότοπος: [Φράγμα Μαυροματίου Σούρπης Μαγνησίας | Υ.ΠΕ.ΘΕ. \(ypethe.gr\)](http://ΦράγμαΜαυροματίουΣούρπηςΜαγνησίας.Υ.ΠΕ.ΘΕ.(ypethe.gr))
- [16] ΠΗΓΗ ΕΙΚΟΝΑΣ: ΜΑΚΗΣ ΝΟΔΑΡΟΣ (Μ.Ν),2015, ΦΡΑΓΜΑ ΠΗΝΕΙΟΥ : Αδιαφορούν για το επικίνδυνο σεισμικό ρήγμα, ΑΠΟΚΑΛΥΨΕΙΣ, ιστότοπος: [ΦΡΑΓΜΑ ΠΗΝΕΙΟΥ : ΑΔΙΑΦΟΡΟΥΝ ΓΙΑ ΤΟ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟ ΣΕΙΣΜΙΚΟ ΡΗΓΜΑ : Αποκαλύψεις \(apokalypseis.com\)](http://ΦΡΑΓΜΑΠΗΝΕΙΟΥ:ΑΔΙΑΦΟΡΟΥΝΓΙΑΤΟΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΣΕΙΣΜΙΚΟΡΗΓΜΑ:Αποκαλύψεις(apokalypseis.com))
- [17] ΑΓΓΕΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΤΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΣΙΝΝΗΣ, 2010, Μελέτη και περιγραφή του μΥΗΣ Γλαύκου, πτυχιακή εργασία, τμήμα πολιτικών δομικών έργων, τεχνολογικό εκπαιδευτικό ίδρυμα (Τ.Ε.Ι) Πειραιά, ιστότοπος: [Κεφάλαιο 1 \(uniwa.gr\)](http://Κεφάλαιο1(uniwa.gr))
- [18] ΠΑΣΣΙΑΣ ΗΛΙΑΣ ,2019, Υδροηλεκτρική ενέργεια, πτυχιακή εργασία, Τμήμα ηλεκτρολόγων μηχανικών και μηχανικών υπολογιστών, πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, ιστότοπος: [Πτυχιακή Πασσias 6820.pdf](http://ΠτυχιακήΠασσias6820.pdf).
- [19] Ιωάννης Β. Σούλης, Ισχύς μικρών υδροστροβίλων, Εκδόσεις Αϊβάζη, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα, 2019.
- [20] ΠΗΓΗ ΕΙΚΟΝΑΣ: Βουλδής Κωνσταντίνος και Χουστουλάκης Κων/νος,2012, ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΓΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΙΚΡΗΣ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ, πτυχιακή εργασία, ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ, Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ. ιστότοπος: [<4D6963726F736F667420576F7264202D20686C675F30303733375FD3D7C5C4C9C1D3C720CAC1C920CAC1D4C1D3CAC5D5C720C4C9C1D4C1CEC7D320C3C9C120C5D1C3C1D3D4C7D1C9C1CAC720D0D1CFD3CFCCFC9D9D3C720CCC9CAD1C7D320D5C4D1CFC7CBC5CAD4D1C9CAC7D320CCCFDC1C4C1D3> \(puas.gr\)](http://<4D6963726F736F667420576F7264202D20686C675F30303733375FD3D7C5C4C9C1D3C720CAC1C920CAC1D4C1D3CAC5D5C720C4C9C1D4C1CEC7D320C3C9C120C5D1C3C1D3D4C7D1C9C1CAC720D0D1CFD3CFCCFC9D9D3C720CCC9CAD1C7D320D5C4D1CFC7CBC5CAD4D1C9CAC7D320CCCFDC1C4C1D3>(puas.gr))
- [21] Σύγχρονες γεννήτριες, ιστότοπος: [Synchronous Generators veo.pdf \(hcg.gr\)](http://SynchronousGeneratorsveo.pdf(hcg.gr)),2023.
- [22] Ασύγχρονη γεννήτρια: συσκευή και αρχή λειτουργίας, ibuilder, ιστότοπος: [Ασύγχρονη γεννήτρια: φτιάχνουμε από έναν ασύγχρονο κινητήρα με τα χέρια μας για 220 V χωρίς αλλοίωση, τις διαφορές από τη σύγχρονη, την αρχή λειτουργίας και τη συσκευή \(techinfus.com\)](http://Ασύγχρονηγεννήτρια:φτιάχνουμεαπόένανασύγχρονοκινητήραμεταχέριαμαςγια220Vχωρίςαλλοίωση,τιςδιαφορέςαπότησύγχρονη,τηναρχήλειτουργίαςκαιτησυσκευή(techinfus.com)),2023.

[23] ΚΑΠΩΝΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΚΑΙ ΝΙΕΡΡΗΣ ΜΗΧΑΗΛ, 2023, *ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ*, πτυχιακή εργασία, Τμήμα ηλεκτρολόγων μηχανικών και μηχανικών υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου.

[24] ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΙΔΗΣ ΠΕΤΡΟΣ, 2018, *Υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας και τεχνοοικονομική μελέτη*, ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, Πολυτεχνική σχολή τμήμα ηλεκτρολόγων μηχανικών και μηχανικών Η/Υ, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

[25] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, ιστότοπος: [ΚΑΠΕ \(cres.gr\)](http://καπε.cres.gr), 2023.