



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΑΠΩΝΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, Α.Μ.: 7612

ΝΙΕΡΡΗΣ ΜΙΧΑΗΛ, Α.Μ.: 7651

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2023



UNIVERSITY OF PELOPONNESE
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

HYDROELECTRIC ENERGY DEVELOPMENT



THESIS

KAPONIS NIKOLAOS A.M.: 7612

NIERRIS MICHAEL A.M.: 7651

Supervisor: NIKOLAOS SXOINAS

PATRA 2023

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Ιστορική αναδρομή.....σελ.1
1.2 Υδροηλεκτρικοί σταθμοί στην Ελλάδα.....σελ.2
1.3 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....σελ.5
1.4 Είδη ΑΠΕ.....σελ.6
1.5 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα ΑΠΕ.....σελ.10

Κεφάλαιο 2: Υδρολογικός Κύκλος και Υδροηλεκτρική Ενέργεια

2.1 Υδρολογικός κύκλος.....σελ.12
2.2 Λειτουργία και μέρη υδροηλεκτρικού σταθμού.....σελ.13
2.3 Κατηγοριοποίηση Υδροηλεκτρικών σταθμών.....σελ.16
2.4 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα ΥΗΣ.....σελ.17
2.5 Υπολογισμοί παραγωγής.....σελ.18
2.6 Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός ΥΗΣ μικρής κλίμακας.....σελ.19
2.7 Φράγματα και είδη φραγμάτων.....σελ.20

Κεφάλαιο 3: Αποθήκευση ενέργειας με συσσωρευτές

3.1 Τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.....σελ.25
3.2 Ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές.....σελ.26
3.2.1 Συσσωρευτές ιόντων - λιθίου (Li-ion).....σελ.27
3.2.2 Συσσωρευτές νατρίου - θείου (NaS).....σελ.29
3.2.3 Συσσωρευτές οξέος μολύβδου (PbO ₂).....σελ.30
3.2.4 Συσσωρευτές Νικεδίου - Καδμίου (Nid).....σελ.32
3.2.5 Συσσωρευτές νατρίου - νικελίου - χλωρίου (NaNiCl).....σελ.33
3.2.6 Συσσωρευτές ροής.....σελ.34

Κεφάλαιο 4: Αντησιοταμίευση

4.1 Γενικά.....σελ.35
4.2 Αντλησιοταμίευση.....σελ.36
4.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Αντλησιοταμίευσης.....σελ.37

Κεφάλαιο 5: Υδροστρόβιλοι

5.1 Υδροστρόβιλοι.....	σελ.38
5.2 Είδη στροβίλων.....	σελ.41
5.3 Συγκρίσεις και Πλεονεκτήματα.....	σελ.44
5.4 Φαινόμενο Σπηλαίωση.....	σελ.46

Κεφάλαιο 6: ΜΥΗΣ Γλαύκου

6.1 Ιστορική αναδρομή.....	σελ.47
6.2 Υδροηλεκτρικό εργοστάσιο Γλαύκου.....	σελ.48
6.3 Φράγμα.....	σελ.49
6.4 Υπερχειλιστής.....	σελ.50
6.5 Ηλεκτροκίνητο τοξωτό θυρόφραγμα.....	σελ.50
6.6 Αυτόματο θυρόφραγμα με αντίβαρο.....	σελ.51
6.7 Σήραγγα προσαγωγής.....	σελ.53
6.8 Πύργος εκτόνωσης.....	σελ.53
6.9 Αγωγός πτώσης.....	σελ.54
6.10 Εργοστάσιο παραγωγής.....	σελ.54
6.10.1 Κεντρική μονάδα ελέγχου.....	σελ.55
6.10.2 Ηλεκτρονικό σταθμόμετρο.....	σελ.56
6.10.3 Υδροστροβίλοι.....	σελ.57
6.11 Υποσταθμός ύψωσης τάσεως - γραμμές μεταφοράς.....	σελ.58
6.12 Αγωγός φυγής.....	σελ.58
6.13 Μετασχηματιστές ανύψωσης τάσης και Βοηθητικής υπηρεσίας σταθμού.....	σελ.59
6.14 Αίθουσα ελέγχου.....	σελ.59
6.15 Διάφορες κτιριακές εγκαταστάσεις.....	σελ.60

Κεφάλαιο 7: Υπολογισμοί

7.1 Δεδομένα.....	σελ.61
7.2 Πίνακες και Διαγράμματα.....	σελ.61
7.3 Υπολογισμοί.....	σελ.64

Βιβλιογραφία και Ιστοσελίδες.....	σελ.66
--	---------------

Περίληψη

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η ανάλυση και μελέτη του υδροηλεκτρικού σταθμού Γλαύκου. Η ανάπτυξη της συγκεκριμένης πτυχιακής γίνεται σε 7 Κεφάλαια. Στο 1^ο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια σύντομη ιστορική αναδρομή που περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιήθηκε η υδάτινη ενέργεια, περιγράφονται οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί στην Ελλάδα, και επιπλέον γίνεται αναφορά στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας καθώς και στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν. Στο 2^ο κεφάλαιο αναφέρεται η έννοια του υδρολογικού κύκλου, κάποιες γενικές πληροφορίες σχετικά με τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς και στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται αναφορά στα φράγματα και τα είδη αυτών. Στο 3^ο κεφάλαιο αναφερόμαστε στην αποθήκευση ενέργειας με μπαταρίες και στο 4^ο στην αντλιοσταμείωση. Στο 5^ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στους υδροστροβίλους και στα είδη των στροβίλων καθώς και στο φαινόμενο της σπηλαιώσης. Στο 6^ο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά ο υδροηλεκτρικός σταθμός του Γλαύκου. Τέλος, στο 7^ο κεφάλαιο πραγματοποιείται η μελέτη του συγκεκριμένου σταθμού με βάση τα στοιχεία που έχουν δωθεί από την ΔΕΗ.

THESIS REVIEW

The purpose of this thesis is to analyze and study the hydroelectric station in Glafko. We get into more specific details in the following 7 chapters. In the first chapter we conduct a short historic retrospect in which we describe , the way hydraulic energy has been used in the past , the hydroelectric stations in Greece , while also making a reference to renewable sources of energy with their pros and cons that come with them. In the second chapter we give the definition of the hydraulic circle , some general information about hydroelectric stations and at the end of the chapter we talk about dams and their different types. In the third chapter we mention the storing of energy with the use of batteries while in the fourth we explain the use of hydropump systems. The fifth chapter reports on turbines and their different models while also giving us a description of the cavitation effect. The sixth chapter thoroughly describes the hydroelectric station in Glafko and finally in the seventh chapter we conduct a study on that specific station based on data given to us by ΔEH.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ιστορική Αναδρομή

Το γεγονός ότι, το 1970, η χρήση της υδραυλικής ενέργειας παγκοσμίως ως πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ήταν πάνω από 20% υποδεικνύει ότι στο παρελθόν άλλες πηγές ενέργειας είχαν μεγαλύτερα ποσοστά ανάπτυξης από την υδραυλική. Αυτό ίσχυε κυρίως για την πυρηνική ενέργεια και το φυσικό αέριο. Κατά την διάρκεια του προηγούμενου αιώνα, η Ευρώπη, η Βόρεια και η Κεντρική Αμερική έχουν αξιοποιήσει τις περισσότερες εκμεταλλεύσιμες πηγές υδραυλική ενέργειας. Για χώρες με έλλειψη άλλων πηγών ενέργειας η υδραυλική ενέργεια έχει υπάρξει η πρώτη και η μοναδική πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα. Οι άνθρωποι έχουν πειραματιστεί με την υδραυλική ενέργεια για πάνω από 2000 χρόνια. Οι πρώτοι τροχοί πιθανόν χρησιμοποιούνταν για να ανυψώσουν το νερό σε υψηλότερα κανάλια άρδευσης στις κοιότητες τις Άπω Ανατολής. Η μεταφορά τις τεχνολογίας των νερόμυλων στην Δύση συνέβη κατά την διάρκεια του Μεσαίωνα και, ακόμη και τότε, με αργούς ρυθμούς. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου δεν υπήρχε μεγάλο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και επιπλέον η οικονομική ανάπτυξη με τη χρήση βαριών αναποτελεσματικών νερόμυλων με περίπλοκη συνδεσμολογία γραναζιών για το άλεσμα των σιτηρών σε πρωτόγονες μύλοπετρες ήταν τουλάχιστον οριακή. Κατά τη διάρκεια του 19ου αιώνα, σε αρκετές Ευρωπαϊκές χώρες, με τη χρήση υδραυλικής ενέργειας αναπτύχθηκε η βιομηχανία υφασμάτων. Οι μύλοι στήνονταν κατά μήκος των κύριων ποταμών, εκμεταλλευόμενοι τις μηχανικές ιδιότητες του ρέοντος νερού. Προς τα τέλη του 19ου αιώνα, αυτή η τεχνολογία των νερόμυλων έγινε πολύ αποτελεσματική. Μεγάλες βιομηχανικές μονάδες και πόλεις τροφοδοτούνταν από συστήματα που χρησιμοποιούσαν ιμάντες και τροχαλίες ή, όπως η Γενεύη, από συστήματα συμπιεσμένου νερού. Ωστόσο αυτή η μορφή βιομηχανοποίησης δεν διήρκεσε πολύ. Η ανακάλυψη του ηλεκτρισμού προκάλεσε μια νέα ανάπτυξη. Μετά την ανακάλυψη της μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις, η ανάπτυξη της υδραυλικής ενέργειας επεκτάθηκε δραματικά. Έγινε εφικτό να χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια αρκετά μακριά από την πηγή υδραυλικής ενέργειας. Έτσι προς τα τέλη του 19^{ου} αιώνα τα πρώτα εργοστάσια υδροηλεκτρικής ενέργειας χτίστηκαν και ο ηλεκτρισμός αποδείχθηκε ένας σύγχρονος και ευέλικτος τρόπος μεταφοράς ενέργειας.

1.2 Υδροηλεκτρικοί σταθμοί στην Ελλάδα

Είναι γεγονός, ότι τα εργοστάσια υδροηλεκτρικής ενέργειας καλύπτουν την περισσότερη από την ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές στην Ελλάδα. Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια αποδεδειγμένη τεχνολογία για την παραγωγή ηλεκτρισμού που συνεισφέρει περίπου 20% στην κάλυψη της ανάγκης για ηλεκτρική ενέργεια παγκοσμίως. Η Ελλάδα και κυρίως το δυτικό και βόρειο μέρος της ηπειρωτικής χώρας κατέχει σημαντικό υδροηλεκτρικό δυναμικό. Η ανάπτυξη του υδροδυναμικού της Ελλάδας συμπίπτει με την ίδρυση της ΔΕΗ Δημόσιας Επιχείρησης Κοινής Ωφέλειας το 1950. Πριν από την ίδρυση της ΔΕΗ, είχαν τεθεί σε λειτουργία πολύ μικρά υδροηλεκτρικά εργοστάσια την περίοδο 1927 – 1931 (Αγιά Χανίων, Αγ. Ιωάννης Σερρών, Γλαύκος, Βέρμιο), συνολικής εγκατεστημένης ισχύος περίπου 6MW. Την περίοδο 1950 – 1975 κατασκευάσθηκαν οκτώ (8) μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί (Λούρος, Ταυρωπός/Πλαστήρας, Κρεμαστά, Καστράκι, Άγρας, Λάδωνας, Εδεσσαίος και Πολύφυτο), συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 1.410MW. Μεταξύ αυτών συμπεριλαμβάνονται και οι τρεις (3) μεγαλύτεροι που είναι Κρεμαστά, Καστράκι, Πολύφυτο. Από το 1976 έως σήμερα κατασκευάσθηκαν 8 μεγάλοι και 3 μικροί ΥΗΣ (Σφηκιά, Ανώματα, Στράτος I, Στράτος II, Πουρνάρι I και II, Πηγές Αώου, Θησαυρός, Πλατανόβρυση, Γκιώνα και Μακροχώρι), συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 1.630MW. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται και δύο αναστρέψιμοι αντλητικοί σταθμοί (Σφηκιά και Θησαυρός).

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των υδροηλεκτρικών σταθμών της ΔΕΗ Α.Ε. ανέρχεται σε 3.060MW (8 μικροί και 16 μεγάλοι σταθμοί), με συνολική μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας στα 5000Gwh. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί σήμερα κατατάσσονται σε τέσσερα (4) κυρίως συγκροτήματα, σε δύο Ανεξάρτητους ΥΗΣ και σε άλλους μικρούς. Τα τέσσερα κυρίως συγκροτήματα είναι :

- Το συγκρότημα Αχελώου στο οποίο ανήκουν οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί Κρεμαστά, Καστράκι, Στράτος I και II, Γκιώνα και Γλαύκος. Ο ΥΗΣ Κρεμαστών απέχει 60km από το Αγρίνιο, τέθηκε σε λειτουργία το 1965, έχει μεγάλο χωμάτινο φράγμα, με μεγάλο ταμιευτήρα υπερετήσιας ρύθμισης, με συνολική ισχύς 437MW. Ο ΥΗΣ Καστρακίου τέθηκε σε λειτουργία το 1970, με χωμάτινο φράγμα και λίμνη ημερήσιας ρύθμισης, με συνολική ισχύς 320MW. Ο ΥΗΣ Στράτου I τέθηκε σε λειτουργία το 1988 και έχει συνολική εγκατεστημένη ισχύ 150MW. Ο ΥΗΣ Στράτου II είναι μικρός ΥΗΣ με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 6.2 MW. Ο ΥΗΣ Γκιώνας βρίσκεται κοντά στην Άμφισσα και έχει κατασκευασθεί στο κανάλι προσαγωγής νερού από Μόρνο προς την

ύδρευση της Αθήνας. Λειτουργεί από το 1988 και έχει εγκατεστημένη ισχύ περί τα 9,6MW.

- Το συγκρότημα Αλιάκμονα στο οποίο ανήκουν οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί Πολύφυτο, Σφηκιά, Ασώματα, Μακροχώρι, Άγρας, Έδεσσαίος, Βέρμιο. Ο ΥΗΣ Πολυφύτου βρίσκεται κοντά στα Σέρβια Κοζάνης και τέθηκε σε λειτουργία το 1974. Έχει χωμάτινο φράγμα και ταμιευτήρα υπερετήσιας ρύθμισης. Έχει συνολική εγκατεστημένη ισχύ 360MW. Είναι ο κύριος ταμιευτήρας, που εξασφαλίζει νερό στην Μακεδονία. Ο ΥΗΣ Σφηκιάς απέχει από την πόλη της Βέροιας 25 χιλιόμετρα και τέθηκε σε λειτουργία το 1985. Έχει χωμάτινο φράγμα και συνολική εγκατεστημένη ισχύ 315MW. Ο σταθμός αυτός είναι αναστρέψιμος δηλαδή λειτουργεί και ως αντλητικός. Ο ΥΗΣ Ασωμάτων τέθηκε σε λειτουργία το 1985 με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 108MW. Ο ΥΗΣ Μακροχωρίου είναι μικρός σταθμός ροής εγκατεστημένης στην διώρυγα απαγωγής των νερών από τα Ασώματα. Τέθηκε σε λειτουργία το 1992 και έχει εγκατεστημένη ισχύ 10,8MW. Ο ΥΗΣ Άγρας βρίσκεται σε απόσταση 2 χιλιομέτρων από την πόλη της Έδεσσας και τέθηκε σε λειτουργία το 1956. Έχει εγκατεστημένη ισχύ 50MW. Ο ΥΗΣ Έδεσσαίου βρίσκεται στην Έδεσσα κάτω από τους καταρράκτες της Έδεσσας. Τέθηκε σε λειτουργία το 1969 και διαθέτει εγκατεστημένη ισχύ 19MW.
- Το συγκρότημα Αράχθου στο οποίο ανήκουν οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί Πηγών Αώου, Πουρνάρι I, Πουρνάρι II και ο Λούρος. Ο ΥΗΣ Πηγών Αώου απέχει 45 χιλιόμετρα από τα Ιωάννινα, εκτρέπει μικρό μέρος των νερών του ποταμού Αώου προς τον Άραχθο. Τέθηκε σε λειτουργία το 1990 και έχει εγκατεστημένη ισχύ 210MW. Ο ΥΗΣ Πουρναρίου I απέχει 4 χιλιόμετρα από την πόλη της Άρτας στον ποταμό Άραχθο και τέθηκε σε λειτουργία το 1981. Διαθέτει χωμάτινο φράγμα και ταμιευτήρα υπερετήσιας ρύθμισης και έχει εγκατεστημένη ισχύ 300MW. Ο ΥΗΣ Πουρναρίου II βρίσκεται αμέσως κατάντη του ΥΗΣ Πουρναρίου I επί του ποταμού Αράχθου. Τέθηκε σε λειτουργία το 2000 και έχει εγκατεστημένη ισχύ 31,5MW. Ο ΥΗΣ Λούρος στον Λούρο ποταμό βρίσκεται κοντά στην Φιλιπιάδα με φράγμα τσιμεντένιο – βαρύτητας. Τέθηκε σε λειτουργία το 1954 και έχει ισχύ 10,5MW. Είναι πολύ παραγωγικός και λειτουργεί ως σταθμός ροής.
- Το συγκρότημα Νέστου στο οποίο ανήκουν οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί του Θησαυρού και της Πλατανόβρυσης. Ο ΥΗΣ Θησαυρού βρίσκεται σε απόσταση 60 χιλιόμετρα από την πόλη της Δράμας κοντά στο χωριό Παρανέστι. Τέθηκε σε λειτουργία το 1997.

- Ο Θησαυρός είναι ο δεύτερος μεγάλος αναστρέψιμος (αντλητικός) σταθμός στην Ελλάδα με εγκατεστημένη ισχύ 384MW. Το φράγμα είναι γεώφραγμα και είναι το υψηλότερο στην Ελλάδα. Ο ΥΗΣ Πλατανόβρυσης βρίσκεται κατάντη του Θησαυρού στον ποταμό Νέστο με εγκατεστημένη ισχύ 116MW. Το φράγμα του έχει κατασκευασθεί από κυλινδρικό σκυρόδεμα (RCC), μια τεχνολογία που χρησιμοποιεί την ιπτάμενη τέφρα, παραπροϊόν των λιγνιτικών σταθμών ως πρόσμιξη. Τέθηκε σε λειτουργία το 1999.

Οι δύο ανεξάρτητοι ΥΗΣ είναι :

- Ο ΥΗΣ Ν. Πλαστήρα ο οποίος αποτελεί την πρώτη μερική εκτροπή του Αχελώου προς το Θεσσαλικό κάμπο. Είναι κατασκευασμένος επί του ποταμού Ταυρωπού, παραπόταμου του Αχελώου, διαθέτει φράγμα τσιμεντένιο, τοξωτό. Βρίσκεται σε απόσταση 40 χιλιόμετρα από την πόλη της Καρδίτσας και τέθηκε σε λειτουργία από το 1962. Έχει εγκατεστημένη ισχύ 129,9MW.
- Ο ΥΗΣ Λάδωνα ο οποίος βρίσκεται κοντά στην Αρχαία Ολυμπία, στον ποταμό Λάδωνα. Τέθηκε σε λειτουργία το 1956 και έχει εγκατεστημένη ισχύ 70MW. Το φράγμα είναι τσιμεντένιο. Ο σταθμός είναι μεν μικρός, αλλά πολύ παραγωγικός.

Τέλος υπάρχει μια ομάδα πολύ μικρών, ιστορικής σημασίας (πολύ παλαιών) ΥΗΣ με μικρή εγκατεστημένη ισχύ και παραγωγή :

- Αλμυρός και Αγιά στην Κρήτη
- Γλαύκος στην Πάτρα (Πελοπόννησος)
- Βέρμιο στην πόλη της Βέροιας
- Αγ. Ιωάννης κοντά στην πόλη των Σερρών



Εικόνα 1.1: Συγκροτήματα ΥΗΣ στην Ελλάδα

1.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι οι ενεργειακές πηγές, οι οποίες υπάρχουν στο φυσικό περιβάλλον σε αφθονία. Ανανεώνονται τον χρόνο με ρυθμούς υψηλότερους από την κατανάλωση τους από τον άνθρωπο. Πρακτικά οι ΑΠΕ είναι ανεξάντλητες, η χρήση τους δε μολύνει το περιβάλλον, ενώ η αξιοποίησή τους περιορίζεται μόνο από την ανάπτυξη αξιόπιστων και αποδεκτών τεχνολογιών, που δεσμεύουν το δυναμικό τους. Οι ΑΠΕ ήταν οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, πριν στραφεί στη χρήση των ορυκτών καυσίμων. Το 1974 η ενεργειακή (πετρελαϊκή) κρίση αναζωπύρωσε το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των τεχνολογιών ΑΠΕ που παγιώθηκε μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων και σοβαρών περιβαλλοντικών προβλημάτων, που προκλήθηκαν από τη χρήση ορυκτών καυσίμων.

1.4 Είδη ΑΠΕ

Ήπιες πηγές ενέργειας ονομάζονται οι πηγές ενέργειας που η αξιοποίησή τους δε διαταράσσει το περιβάλλον. Τέτοιου είδους ενέργειες είναι η παρακάτω:

- **Ηλιακή ενέργεια:** Ονομάζεται το σύνολο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με μήκη κύματος από 0.3 έως 3 μm , που εκπέμπει ο Ήλιος για δισεκατομμύρια χρόνια. Η ενέργεια που στέλνει ο Ήλιος στη Γη είναι σταθερή και σε κάθετο ως προς τις ηλιακές ακτίνες επίπεδο - εκτός ατμόσφαιρας – είναι $1.353\text{W}/\text{m}^2$.



Εικόνα 1.2: Ηλιακή Ενέργεια

- **Αιολική ενέργεια:** Η κίνηση αερίων μαζών εμπεριέχει ένα σημαντικό ποσό κινητικής ενέργειας που ονομάζεται αιολική ενέργεια, την οποία μπορούν να εκμεταλλευθούν οι αιολικές μηχανές. Τα κύρια χαρακτηριστικά του ανέμου είναι η ταχύτητα και η διεύθυνσή του.



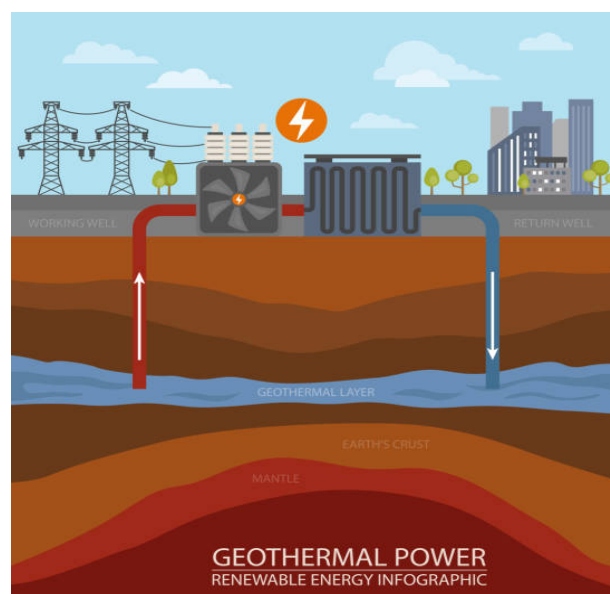
Εικόνα 1.3: Αιολική Ενέργεια

- **Βιομάζα:** Είναι το αρχικό βιολογικό υλικό το οποίο προέρχεται από ζώντες οργανισμούς και μπορεί να είναι φυτικό προϊόν, απόβλητο αστικής φύσης (υγρό ή στερεό) ή ακόμα και ζωικό απόβλητο. Βιομάζα είναι ένας επιστημονικός όρος για τη ζώσα ύλη, ειδικότερα κάθε οργανική ύλη που προέρχεται από τα φυτά ως αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής διεργασίας. Ο όρος βιομάζα επίσης χρησιμοποιείται για να δηλώσει τα προϊόντα που προέρχονται από ζώντες οργανισμούς ξύλο από τα δέντρα, φυτά συγκομιδής, μέρη φυτών και γεωργικά υπολείμματα, π.χ. κλαδιά, μίσχοι και φύλλα, καθώς και τα υδρόβια φυτά και τα ζωικά απόβλητα. Από την άποψη αυτή, τα ορυκτά καύσιμα όπως ο άνθρακας και το πετρέλαιο, είναι στην πραγματικότητα απολιθωμένη βιομάζα. Η βιομάζα απαιτεί μια σύντομη χρονική περίοδος για να αναπληρωθεί.



Εικόνα 1.4: Βιομάζα

- **Γεωθερμική ενέργεια:** Ονομάζεται η ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της Γης. Βάσει αυτού του ορισμού, το αποθηκευμένο ποσό ενέργειας στη Γη είναι πολύ μεγάλο. Το περισσότερο από αυτό βρίσκεται σε μεγάλα βάθη και στον πυρήνα της Γης όπου η σημερινή τεχνική γεωτρήσεων δεν μπορεί να φθάσει. Η γεωθερμική ενέργεια εμφανίζεται με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού και σχετίζεται με την ηφαιστειότητα και τις ειδικότερες γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Αποτελεί μια ήπια ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή, που με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα μπορεί να καλύψει σημαντικές ενεργειακές ανάγκες όπως θέρμανση, ψύξη αλλά και παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος.



Εικόνα 1.5: Γεωθερμική Ενέργεια

- **Υδροηλεκτρική ενέργεια:** Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια πολύ σημαντική πηγή ηλεκτρισμού, με ικανότητα παραγωγής κοντά στο 1 TW, που αποτελεί το 16.5% (3400 TWh) της συνολικής παγκόσμιας προσφοράς. Υδροηλεκτρική ενέργεια ονομάζουμε την ενέργεια η οποία εκμεταλλεύεται την κινητική και την δυναμική ενέργεια του νερού η οποία είναι και η πιο γνωστή μέθοδος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και η πιο ευέλικτη πηγή ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα η δυναμική ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε κινητική – περιστροφική ενέργεια μέσω στροβίλου και από εκεί σε ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια γεννήτριας.



Εικόνα 1.6: Υδροηλεκτρική Ενέργεια

1.5 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα των ΑΠΕ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Μερικά από αυτά είναι:

Πλεονεκτήματα:

- Πρόκειται για πηγές ενέργειας οι οποίες είναι ανεξάντλητες και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης του ανθρώπου από τους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους, οι οποίοι, εξαντλούνται με το πέρασμα του χρόνου.
- Συνεισφέρουν στην ενεργειακή ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού μιας χώρας. Οι ΑΠΕ, για πολλές χώρες, αποτελούν μια εγχώρια πηγή ενέργειας με ευνοϊκές προοπτικές συνεισφοράς στο ενεργειακό ισοζύγιο τους, συμβάλλοντας στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού τους αλλά και στη μείωση της εξάρτησης από ακριβές εισαγόμενες ενεργειακές ύλες.
- Οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος και είναι γεωγραφικά διεσπαρμένες.
- Έχουν χαμηλό λειτουργικό κόστος, το οποίο δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας.
- Δημιουργούν νέες θέσεις εργασίας σε τοπικό επίπεδο.
- Είναι φιλικές στο περιβάλλον. Ειδικότερα, τα φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες είναι ο περισσότερο φιλικός περιβαλλοντικά τρόπος παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος, καθώς δεν παράγουν ρύπους, ούτε απαιτείται η μεταφορά ρυπογόνων καυσίμων για τη λειτουργία τους, κατά την οποία είναι πολύ πιθανή η μόλυνση του περιβάλλοντος.
- Σε πολλές περιπτώσεις αποτελούν πυρήνα για την αναζωογόνηση κοινωνικά και οικονομικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση επενδύσεων που στηρίζονται στη συμβολή των ΑΠΕ (π.χ. ιχθυοκαλλιέργειες με γεωθερμική ενέργεια, θερμοκηπιακές καλλιέργειες) συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στην περιφέρεια ανάπτυξης.

Μειονεκτήματα:

- Έχουν μικρή πυκνότητα και συνήθως απαιτούν σημαντικές εκτάσεις.
- Το διεσπαρμένο ενεργειακό τους δυναμικό είναι πολύ δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος, ώστε να συλλεχθεί, να μεταφερθεί και να αποθηκευθεί.
- Η διαθεσιμότητά τους είναι αρκετά χαμηλή με αποτέλεσμα να οδηγεί σε χαμηλό συντελεστή λειτουργίας των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσής τους.
- Σε εθνικό επίπεδο η εκμετάλλευση των ΑΠΕ απαιτεί μεγάλες επενδύσεις και τεχνογνωσία. Όλες οι αναλύσεις βιωσιμότητας μέχρι σήμερα εξετάζουν την επίδραση των ποσοτικών παραμέτρων όπως το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας, το κόστος κεφαλαίου πληθωρισμού κ.ά. Οι αναλύσεις οι οποίες βασίζονται στην κλασσική θεώρηση της σχέσης κόστους-οφέλους συστημάτων παραγωγής ενέργειας, έχουν μία μεροληπτική στάση υπέρ των συμβατικών και κατά των ΑΠΕ. Συγκεκριμένα σημαντικές συνιστώσες κέρδους ή ωφέλειας, όπως η μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα, η φιλικότητα στο περιβάλλον, η διατήρηση των συμβατικών εγχώριων αποθεμάτων ενέργειας καθώς και οι έμμεσες επιδοτήσεις των συμβατικών συστημάτων ενέργειας μέσα από την δωρεάν παρεχόμενη υποδομή και διοικητική υποστήριξη παραλείπονται τελείως, παρόλο που επιβαρύνουν ολόκληρο το κοινωνικό σύνολο. Η παράλειψη αυτή σε βάρος των ΑΠΕ και η παράλληλη μείωση του κόστους και των συμβατικών πηγών ενέργειας (π.χ. λιθάνθρακας, πυρηνική ενέργεια κ.λπ.) λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας, ακόμα και σήμερα έχει σαν αποτέλεσμα οι συμβατικές πηγές ενέργειας να διαθέτουν από καθαρά χρηματοοικονομικής άποψης κάποιο περιορισμένο πλεονέκτημα κόστους.
- Είναι αδύνατη η υψηλή συμμετοχή τους στο εθνικό ισοζύγιο παραγωγής ισχύος, καθώς σε αντίθετη περίπτωση προκαλούν προβλήματα ασφαλείας και ευστάθειας των εθνικών ηλεκτρικών συστημάτων. Οι ΑΠΕ δεν παρουσιάζουν την απαιτούμενη ευελιξία και άμεση ανταπόκριση, έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στη σχέση ισορροπίας προσφοράς και ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

2.1 Υδρολογικός κύκλος

Ο υδρολογικός κύκλος περιγράφει την κυκλοφορία του νερού στην Γη. Το νερό εμφανίζεται με την μορφή πάγου, με την μορφή υδρατμών αλλά και σε υγρή μορφή. Η μεταβολή της φυσικής κατάστασης του νερού οφείλεται στον ήλιο. Ο ήλιος θερμαίνει τους ανέμους με αποτέλεσμα να εξατμιστεί το νερό που βρίσκεται σε υγρή μορφή, δημιουργώντας υδρατμούς οι οποίοι με την σειρά τους δημιουργούν τα σύννεφα. Οι υδρατμοί παίρνουν υγρή μορφή και πέφτουν ως βροχή εμπλουτίζοντας τις αποθήκες νερού της γης. Μετά από αυτή την διαδρομή το νερό καταλήγει σε υγρή μορφή ή με το λιώσιμο των πάγων ή με την μορφή της βροχής.



Εικόνα 2.1: Κύκλος του νερού

2.2 Λειτουργία και μέρη υδροηλεκτρικού σταθμού

Η δύναμη της βαρύτητας κινεί το νερό των ποταμών προς τη θάλασσα. Παρεμβάλλεται ο υδροηλεκτρικός σταθμός στην ροή αυτή και τη χρησιμοποιεί με σκοπό την περιστροφή στρόβιλων. Οι στρόβιλοι συνδέονται με γεννήτριες, οι οποίες μας δίνουν ηλεκτρικό ρεύμα. Η υδροηλεκτρική παραγωγή δεν μπορεί να βασιστεί σε έναν ποταμό, καθώς την φθινοπωρινή και την χειμερινή περίοδο είναι γεμάτος, ενώ την περίοδο που δεν υπάρχουν βροχοπτώσεις συρρικνώνεται. Για αυτόν τον λόγο χτίζεται ένα φράγμα, το οποίο συγκρατεί το νερό την περίοδο των βροχοπτώσεων και το χρησιμοποιεί όταν υπάρχει ξηρασία. Το φράγμα σχηματίζει λίμνη, η οποία μπορεί να διαθέσει νερό για άρδευση. Ένα υδροηλεκτρικό σύστημα αποτελείται από:

- Τον υπερχειλιστή, όπου εξέρχεται το νερό που πλεονάζει καθώς και η οικολογική παροχή. Ο υπερχειλιστής μπορεί να είναι αγωγός στο σώμα του φράγματος ή διαμόρφωση στο ανώτερο σημείο του φράγματος και αποτελεί στην ουσία μια έξοδος εκτόνωσης του νερού σε περίπτωση εξαιρετικής ανύψωσης της στάθμης του φράγματος ως αποτέλεσμα υπερβολικής παροχής του ποταμού ή υψηλής βροχόπτωσης.
- Την σήραγγα εκτροπής η οποία διανοίγεται για τη διοχέτευση της φυσικής παροχής του ποταμού, ώστε να γίνει απρόσκοπτα η κατασκευή του φράγματος. Επίσης, κατά τη λειτουργία του υδροηλεκτρικού συστήματος αποτελεί μια επιπλέον δικλίδα ασφαλείας εκτόνωσης των πλημμυρικών φαινομένων.
- Τον εκκενωτή πυθμένα. Είναι ο αγωγός με τον οποίο εκκενώνεται ο ταμιευτήρας σε περίπτωση ανάγκης ή συντήρησης, ενώ επίσης από αυτόν διοχετεύεται η απαιτούμενη παροχή συντήρησης της κοίτης του ποταμού. Τοποθετείται στο χαμηλότερο σημείο του ταμιευτήρα και δουλεύει πάντοτε υπό πίεση. Αποτελείται από το στόμιο εισόδου τον αγωγό, τις θυρίδες και δικλείδες και τέλος το έργο εξόδου. Το στόμιο εισόδου διαμορφώνεται έτσι που δημιουργούνται κατά την δυνατόν λιγότεροι στρόβιλισμοί κατά την είσοδο του νερού στον αγωγό. Η διατομή του αγωγού, που μπορεί να είναι σωληνώσεις ή δίδυμος αγωγός, υπολογίζεται με βάση τις ποσότητες νερού που πρόκειται να δειχθεί και την ταχύτητα ροής. Σε κατάλληλη θέση τοποθετούνται οι ρυθμιστικές δικλείδες και σε ειδικό θάλαμο ώστε να είναι επισκέψιμες. Η χάραξη του αγωγού πρέπει να είναι κατά τον δυνατό ευθύγραμμη.

- Την υδροληψία. Είναι το σημείο που το νερό εισέρχεται στον αγωγό προσαγωγής. Είναι τεχνικό έργο που παίρνει νερό από την λίμνη και το παροχετεύει στους υδροστροβίλους για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος ή στον αγωγό μεταφοράς για άρδευση, κατάντη του φράγματος. Βασικό τμήμα της υδροληψίας αποτελεί το τεχνικό έργο εισόδου που μπορεί να έχει μορφή πύργου θεμελιωμένου στον πυθμένα της λίμνης ή στομίου αγκυρωμένου στο δεξιό ή αριστερό αντέρεισμα κοντά στο φράγμα. Το άνοιγμα της εισόδου βρίσκεται χαμηλότερα από την επιφάνεια της λίμνης και προστατεύεται με σχάρα για την συγκράτηση υλικών που μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα στους αγωγούς και τις τουρμπίνες.
- Κλειστό αγωγό προσαγωγής του νερού από το φράγμα στους υδροστροβίλους. Ο αγωγός αυτός είναι χαλύβδινος με διάμετρο η οποία καθορίζεται με οικονομοτεχνικά κριτήρια. Όταν ο αγωγός προσαγωγής είναι μεγάλου μήκους τότε προτιμάται να είναι μόνος και να τροφοδοτεί ταυτόχρονα όλους τους υδροστροβίλους του υδροηλεκτρικού σταθμού, ενώ στην αντίθετη περίπτωση κάθε υδροστροβίλος τροφοδοτείται από ανεξάρτητο αγωγό.
- Τον πύργο εκτόνωσης ενέργειας. Οι πύργοι αυτοί κατασκευάζονται για την προστασία των αγωγών προσαγωγής από υπερπίεσεις και υποπίεσεις που μπορεί να εμφανιστούν κατά τα μεταβατικά φαινόμενα εκκίνησης ή απόρριψης φορτίου των υδροστροβίλων. Κατασκευάζονται στην είσοδο ή κατά μήκος του αγωγού προσαγωγής και είναι απαραίτητοι σε μεγάλους υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Είναι μια διάταξη απόσβεσης υψηλών πιέσεων, που έχει σκοπό να απορροφά μέσω της εισροής σε αυτήν νερού, την μεγάλη αύξηση της πίεσης που εμφανίζεται κατά το απότομο κλείσιμο της βάνας που ρυθμίζει την παροχή στον υδροστροβίλο. Έτσι εξαλείφεται το φαινόμενο του υδραυλικού πλήγματος που λόγω της μεγάλης ποσότητας του νερού που βρίσκεται μέσα στον αγωγό προσαγωγής είναι πολύ οξύ. Οι πύργοι αυτοί είναι άδειες δεξαμενές διαφόρων μορφών, οι οποίες γεμίζουν με νερό που προέρχεται από τη στιγμιαία αύξηση της πίεσης ενώ σαν δευτερεύουσα λειτουργία έχουν τον περιορισμό των ταλαντώσεων της στήλης του νερού που αποθηκεύεται μέσα τους. Το ύψος τους μπορεί να φτάσει και τα 100m για μεγάλου μήκους αγωγού προσαγωγής.
- Τον αγωγό απαγωγής. Μέσω αυτού το νερό οδηγείται από το σταθμό πίσω στην κατάντη φυσική κοίτη του ποταμού.

- Τα θυροφράγματα και βάνες. Για τις ανάγκες κατασκευής και συντήρησης του έργου τοποθετούνται θυροφράγματα και βάνες διακοπής ανάντη και κατόντη των υδροστροβίλων.
- Τον υδροηλεκτρικό σταθμό στον οποίο περιλαμβάνονται οι κτιριακές εγκαταστάσεις, οι υδροστρόβιλοι, οι ηλεκτρογεννήτριες, οι μετασχηματιστές, τα συστήματα ελέγχου και παρακολούθησης και ο βοηθητικός εξοπλισμός. Η θέση εγκατάστασης του υδροηλεκτρικού σταθμού επιλέγεται με οικονομοτεχνικά κριτήρια. Μπορεί να εγκατασταθεί στη βάση του φράγματος υπόγεια ή σε κάποιο άλλο δόκιμο σημείο. Στην τελευταία επιλογή σημαντικό ρόλο παίζει ο υδροστρόβιλος και η μορφολογία του εδάφους. Η γενική τάση είναι για κατασκευή υπόγειων υδροηλεκτρικών σταθμών καθώς πλέον οι τεχνικές διάνοιξης σπηραγγων, είναι τεχνολογικά ώριμες. Κάθε ηλεκτρογεννήτρια είναι απευθείας συμπλεγμένη με τον υδροστρόβιλο στην ίδια άτρακτο, εκτός από κάποιες μικρές μονάδες όπου απαιτείται σύστημα αλλαγής σχέσης μετάδοσης. Οι μετασχηματιστές είναι απαραίτητοι για την ανύψωση της τάσης που παράγουν οι γεννήτριες στην υψηλή τάση του διασυνδεδεμένου δικτύου ώστε η μεταφορά της ενέργειας να γίνεται με τις μικρότερες απώλειες.



Εικόνα 2.2: Μέρη Υδροηλεκτρικού Σταθμού

2.3 Κατηγοριοποίηση υδροηλεκτρικών σταθμών

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί ταξινομούνται με βάση την ονομαστική παραγόμενη ισχύ, το ύψος πτώσης και το είδος του ταμιευτήρα. Με βάση την παραγόμενη ονομαστική ισχύ διαχωρίζονται σε μεγάλους υδροηλεκτρικούς σταθμούς έχοντας ονομαστική ισχύ $P > 15 \text{ MW}$, σε μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς έχοντας ονομαστική ισχύ $1 \text{ MW} < P < 15 \text{ MW}$ και σε μίνι υδροηλεκτρικούς σταθμούς έχοντας ονομαστική ισχύ $0.1 \text{ MW} < P < 1 \text{ MW}$. Από την πλευρά της τιμολογιακής πολιτικής και της ενεργειακής οι μικροί και οι μίνι υδροηλεκτρικοί σταθμοί συμπεριλαμβάνονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με ότι αυτό συνεπάγεται για τις διαδικασίες αδειοδότησης, τιμολόγησης και ένταξης της παραγόμενης ενέργειας στις σχετικές λίστες ΑΠΕ.

Όπως αναφέραμε και πιο πάνω οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί κατηγοριοποιούνται επίσης με βάση το κριτήριο του ωφέλιμου ύψους υδατόπτωσης σε μικρού ύψους με ωφέλιμο ύψος $H_0 < 30 \text{ m}$, σε μέσου ύψους με ωφέλιμο ύψος $30 \text{ m} < H_0 < 150 \text{ m}$ και σε μεγάλο ύψους με ωφέλιμο ύψος $H_0 > 150 \text{ m}$. Επιπλέον κατηγοριοποιούνται με βάση την ύπαρξη του ταμιευτήρα σε συστήματα με ταμιευτήρα, σε συστήματα με μικρό ταμιευτήρα για εξισορρόπηση, και σε συστήματα χωρίς ταμιευτήρα.

Τα μίνι και τα μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα κατασκευάζονται κατά κύριο λόγο επάνω σε μικρά ποτάμια και υδάτινα ρεύματα με μικρά φράγματα που κυρίως έχουν ρόλο ρυθμιστικό και λιγότερο για τη δημιουργία ταμιευτήρα και για αποθήκευση νερού. Τα έργα μικρού ύψους έχουν συνήθως μικρό ταμιευτήρα και εκμεταλλεύονται σχετικά μεγάλες παροχές νερού. Στα έργα αυτά η υδροληψία και ο σταθμός παραγωγής αποτελούν ενιαίο κτήριο ενώ υπάρχει φράγμα σε περίπτωση που το ποτάμι έχει μεγάλο πλάτος. Συνήθως είναι έργα πολλαπλών χρήσεων. Τα έργα μέσου και μεγάλου ύψους περιλαμβάνουν συνήθως ταμιευτήρες μεγάλης χωρητικότητας. Στα έργα μέσου ύψους ο σταθμός παραγωγής είναι τοποθετημένος στη βάση του φράγματος του ταμιευτήρα. Εξέλιξη των συστημάτων με ταμιευτήρα αποτελούν τα συστήματα αντλησιοταμίευσης, τα οποία είναι τα πιο σύγχρονα τεχνολογικά και τα πιο κατάλληλα για τη διαχείριση του φορτίου.

2.4 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα ΥΗΣ

Τα υδροηλεκτρικά συστήματα σε σχέση με τις άλλες μονάδες παραγωγής ενέργειας παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα τα οποία είναι :

- **Ενεργειακά.** Τα ενεργειακά πλεονεκτήματα των υδροηλεκτρικών συστημάτων με ταμειυτήρα σε σχέση με τις άλλες ΑΠΕ, είναι πως μπορούν να αποδώσουν τη μέγιστη ονομαστική ισχύ τους σε ελάχιστο χρόνο, λειτουργώντας έτσι ως συστήματα κάλυψης φορτίου αιχμής. Επίσης, η παροχή της ισχύος μπορεί να είναι σταθερή και χωρίς διακυμάνσεις. Τέλος, ο βαθμός απόδοσης της μετατροπής της ενέργειας είναι σε ενεργειακά συστήματα ΑΠΕ από τους μεγαλύτερους αλλά και σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα.
- **Οικονομικά.** Τα υδροηλεκτρικά συστήματα έχουν αρκετά μεγάλο κόστος εγκατάστασης όμως έχουν πολύ χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης καθώς και μεγάλη διάρκεια ζωής ενώ συμβάλουν στην ανάπτυξη της περιοχής.
- **Περιβαλλοντικά.** Τα υδροηλεκτρικά έργα μπορούν να βελτιώσουν το φυσικό περιβάλλον με την ανάπτυξη βιότοπων. Ελκύουν μηδενικές εκπομπές ρύπων (με εξαίρεση τους ρύπους που εκλύονται κατά τη διάρκεια της κατασκευής) ενώ ο φυσικός πόρος του νερού δεν υποβαθμίζεται με αποτέλεσμα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί παράλληλα και για άλλες ανάγκες.

Όμως εκτός από τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα υδροηλεκτρικά συστήματα έχουν και κάποια μειονεκτήματα τα οποία είναι :

- Η σημαντική διακύμανση της ποσότητας νερού μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου και κατ' επέκταση εποχιακή διακύμανση και της παραγόμενης ισχύος.
- Περιορισμένη ειδική ενεργειακή πυκνότητα του νερού (kW/kg νερού) γεγονός που επιβάλλει μεγάλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας και αποθήκευσης νερού (π.χ. φράγματα, υδαταγωγοί, κτλ) και απαιτεί μεγάλο αρχικό κεφάλαιο επένδυσης.
- Πολλαπλά τεχνικά προβλήματα κατασκευής (στεγανότητα φραγμάτων, εκτροπές ποταμών κτλ).

- Αλλαγή χρήσης γης στην περίπτωση κατασκευής μεγάλων φραγμάτων με αποτέλεσμα την μετεγκατάσταση κοινωνικών και επαγγελματικών δραστηριοτήτων.

2.5 Υπολογισμοί παραγωγής

Για την κατανόηση της λειτουργίας ενός υδροηλεκτρικού έργου πρέπει να υπολογιστεί η παραγόμενη ισχύς. Μελετώντας τον τρόπο υπολογισμού της παραγωγής, γίνονται αντιληπτά τα μεγέθη τα οποία επηρεάζουν τον τρόπο λειτουργίας. Ο τύπος της παραγόμενης ισχύς είναι :

$$P = n * \rho * g * Q * h_{\omega\phi} \quad \text{όπου}$$

n: η απόδοση του υδροηλεκτρικού σταθμού

ρ : πυκνότητα του ύδατος (1000kg/m^3)

g: επιτάχυνση βαρύτητας (9.81m/s^2)

Q: η παροχή ύδατος m^3/s

$h_{\omega\phi}$: η ωφέλιμη υψομετρική διαφορά σε m

Από τον τύπο της παραγόμενης ισχύς το $h_{\omega\phi}$ αναφέρεται στην ωφέλιμη υψομετρική διαφορά χωρίς τις απώλειες. Αυτές οι απώλειες δημιουργούνται κατά τη ροή και ο τύπος για να τις υπολογίσουμε είναι:

$$h_f = k * Q^2$$

και στη συνέχεια το ωφέλιμο ύψος υπολογίζεται ως εξής: $h_{\omega\phi} = h - h_f$

Πολλαπλασιάζοντας την παραγόμενη ισχύ με το χρόνο λειτουργίας που απαιτείται για την παραγωγή έχουμε την ενέργεια που προσφέρεται από έναν υδροηλεκτρικό σταθμό. Ο τύπος για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας είναι:

$$E = P * t$$

Η ενέργεια εκφράζεται σε KWh και ο χρόνος σε ώρες.

Οι τύποι αυτοί που αναφέρθηκαν υπολογίστηκαν για σταθερή παροχή νερού. Όμως η παροχή δεν παραμένει σταθερή για όλη τη χρονική διάρκεια T . Σε αυτή τη περίπτωση μπορούμε να υπολογίσουμε την μέση παροχή από τον τύπο:

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

2.6 Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός ΥΗΣ μικρής κλίμακας

Τα μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα παράγουν συνήθως ρεύμα DC, το οποίο χρησιμοποιείται για να φορτίσει συσσωρευτές. Εξάριση θα ήταν η περίπτωση στην οποία η ηλεκτρική ενέργεια είναι εύκολα διαθέσιμη μέσω υπάρχοντος δικτύου, οπότε θα ήταν απλούστερο και φθηνότερο, από τη λύση της αποθήκευσης σε συσσωρευτές, ένα διασυνδεδεμένο σύστημα στο οποίο ο μετρητής κατανάλωσης περιστρέφεται προς μία κατεύθυνση, όταν η ζήτηση είναι λιγότερη από αυτήν που παράγει το υδροηλεκτρικό σύστημα, και προς την άλλη κατεύθυνση, όταν δεν συμβαίνει το παραπάνω.

Η συστοιχία συσσωρευτών σε ένα αυτόνομο μικρό υδροηλεκτρικό σύστημα επιτρέπει στο υδροηλεκτρικό σύστημα, συμπεριλαμβανομένων των σωλήνων, των βαλβίδων, του στροβίλου και της γεννήτριας, να σχεδιαστεί για να καλύψει απλώς την καθημερινή μέση ζήτηση ενέργειας, παρά τη μέγιστη ζήτηση αιχμής, που σημαίνει ότι τα πάντα μπορούν να είναι μικρότερα και φθηνότερα. Τα φορτία ποικίλλουν μέσα στην ημέρα, καθώς οι συσκευές ανοίγουν και κλείνουν, αλλά οι πραγματικές μέγιστες απαιτήσεις σχετίζονται με τις διατάξεις που χρειάζονται για να ξεκινήσουν ομαλά οι κινητήρες στις μεγάλες συσκευές και τα ηλεκτρικά εργαλεία λόγω της απαίτησης υψηλών ρευμάτων εκκίνησης. Οι συσσωρευτές το χειρίζονται αυτό με ευκολία. Δεδομένου ότι οι καθημερινές διακυμάνσεις στη ροή του νερού είναι μέτριες, τα μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα με αποθήκευση σε συσσωρευτή μπορούν να διαστασιοποιηθούν για να καλύψουν πολύ μικρότερες διακοπές ρεύματος από τις διακοπές που πρέπει να χειριστούν τα φωτοβολταϊκά συστήματα και οι οποίες εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες.

Για να προστατεύσουμε τους συσσωρευτές από καταστροφή λόγω υπερφόρτισης, το σύστημα περιλαμβάνει έναν ρυθμιστή φόρτισης που εκτρέπει την περίσσεια ενέργεια από την γεννήτρια σε έναν ρυθμιζόμενο αντιστάτη, ο οποίος μπορεί να είναι ένα ηλεκτρικό θερμαντικό στοιχείο σε μια δεξαμενή θέρμανσης νερού. Άλλα συστήματα ελέγχου είναι πιθανά, όπως η

χρήση ρυθμιστών που είτε προσαρμόζουν την παροχή του νερού μέσω του υδροτροβίλου είτε ρυθμίζουν την παραγωγή της γεννήτριας προσαρμόζοντας το ρεύμα στις περιελίξεις του πεδίου στον δρομέα της γεννήτριας.

2.7 Φράγματα και Είδη φραγμάτων

Φράγματα ή υδατοφράκτης είναι το τεχνικό έργο που κατασκευάζεται κάθετα στην κοίτη ενός ποταμού για την αποκοπή της ροής. Οι στόχοι της κατασκευής ενός φράγματος είναι:

- Δημιουργία ταμιευτήρα νερού, ο οποίος ανεξαρτητοποιεί εν μέρει τη λειτουργία του υδροηλεκτρικού σταθμού από τις αυξομειώσεις της παροχής του ποταμού.
- Αύξηση του ύψους πτώσης μέσω της αύξησης της στάθμης στον ταμιευτήρα νερού.
- Ανάσχεση της πλημμυρικής παροχής του ποταμού.
- Άρδευση και ύδρευση μέσω αρδευτικών και δικτύων ύδρευσης.
- Τέλος παρέχουν, δραστηριότητες αναψυχής, δυνατότητα για θαλάσσια σπορ και αλιεία.

Τα φράγματα είναι έργα που έχουν μεγάλο αρχικό κόστος κατασκευής, αλλά με μεγάλη οικονομική απόδοση σε βάθος χρόνου και για αυτό η κατασκευή τους κρίνεται ιδιαίτερα προσοδοφόρα. Η διάρκεια κατασκευής είναι μεγάλη (από 3 έως 8 έτη) και εξαρτάται σε αρκετά μεγάλο βαθμό από την προσβασιμότητα του πεδίου.

Η κατασκευή ενός φράγματος, μελετάται και κατασκευάζεται ανάλογα με τον σκοπό που πρόκειται να εξυπηρετήσει τη λειτουργικότητα, τους δικούς του φυσικούς παράγοντες και το δικό του φυσικό περιβάλλον. Το φράγμα κατασκευάζεται σε κατάλληλο σημείο της κοίτης του ποταμού που επιλέγεται σύμφωνα με τα παρακάτω κριτήρια:

- Ευκολία κατασκευής: μικρό πλάτος, ευκολία θεμελίωσης
- Δημιουργία μεγάλης χωρητικότητας ταμιευτήρα σε υδατοστεγές υπέδαφος
- Σχηματισμός μεγάλης υδραυλικής πτώσης

- Κόστος: προσβασιμότητα, ευρύτερο οδικό δίκτυο περιοχής
- Μικρό μήκος αγωγού προσαγωγής και σήραγγας εκτροπής του ποταμού κατά την κατασκευή.

Τύποι Φραγμάτων

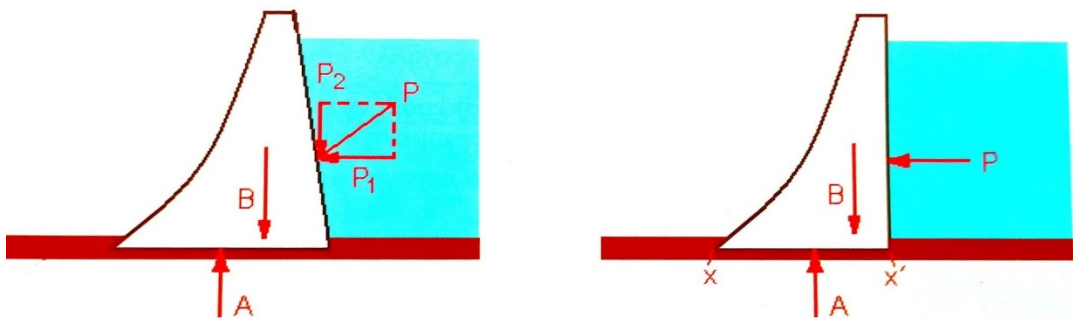
Τα φράγματα κατατάσσονται σε μόνιμα και κινητά. Στα μόνιμα ανήκουν τα άκαμπτα φράγματα, τα εύκαμπτα, τα φράγματα βαρύτητας, τα χωμάτινα, τα αντηριδωτά, τα λίθινα, και τα θολωτά. Στα κινητά ανήκουν τα κατακλινόμενα και τα κατακόρυφα ανυψούμενα. Παρακάτω θα αναλυθούν τα φράγματα βαρύτητας, τα τοξωτά φράγματα και τα χωμάτινα φράγματα.

Φράγματα βαρύτητας

Τα φράγματα βαρύτητας κατασκευάζονται έτσι, που να αντέχουν στις πιέσεις του νερού, με μόνο στοιχείο το μεγάλο βάρος τους. Η χάραξη του φράγματος σε οριζοντιογραφία μπορεί να είναι ευθύγραμμη ή καμπύλη, ανάλογα με την τοπογραφική διαμόρφωση της περιοχής και τις λειτουργικές ανάγκες.

Οι δυνάμεις που ασκούνται σε ένα φράγμα είναι:

- **Βάρος του φράγματος B:** Είναι η μεγαλύτερη δύναμη με διεύθυνση κατακόρυφη και, που με την ύπαρξη της αντισταθμίζει τις άλλες δυνάμεις που τείνουν να ανατρέψουν το φράγμα.
- **Η πίεση του νερού P:** Η συνισταμένη δύναμη που ασκείται στην κατακόρυφη πλευρά του φράγματος. Όταν η ανάντη πορεία του φράγματος δεν είναι κατακόρυφη, υπάρχουν δύο πιέσεις: μια οριζόντια P_1 και μια κατακόρυφη P_2



Εικόνα 2.3: Εγκάρσια τομή φράγματος βαρύτητας

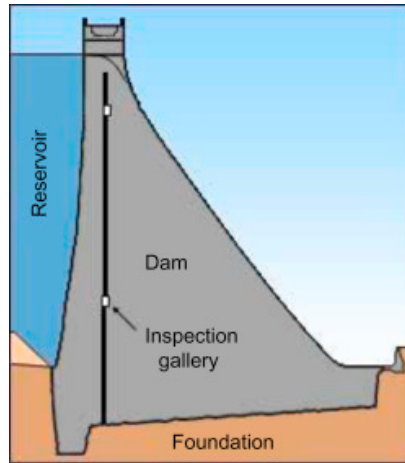
- **Άνωση Α:** Οφείλεται στην υποπίεση του νερού που διηθείται κάτω από το φράγμα. Υπάρχει πάντοτε ανεξάρτητα από τα μέτρα στεγανοποίησης που παίρνονται.
- **Πίεση των φερτών υλών:** Είναι μικρή και δεν επηρεάζει σημαντικά την ισορροπία του φράγματος. Ο όγκος των μεταφερόμενων υλικών από τον ποταμό που τροφοδοτείται την τεχνητή λίμνη πρέπει να υπολογίζεται, γιατί επηρεάζει τον όγκο της με τις συνεχείς αποθέσεις.
- Πιέσεις των πάγων
- Σεισμική πίεση του νερού που προκαλείται από τις σεισμικές δονήσεις.

Τοξωτά Φράγματα

Τα φράγματα αυτά έχουν σε κάτοψη τοξοειδή μορφή. Η πίεση του νερού εφαρμόζεται στην κυρτή επιφάνεια του φράγματος από την οποία μεταβιβάζεται στις όχθες του ρεύματος. Τα θολωτά φράγματα κατασκευάζονται με τα κοίλα στραμμένα προς τα κατάντη και το όλο έργο υπόκειται σε τάσεις θλίψης. Η διατομή ενός θολωτού φράγματος είναι λεπτή και μπορεί να φτάσει το 60% του όγκου ενός αντίστοιχου φράγματος βαρύτητας.

Από πλευράς υπολογισμού ένα θολωτό φράγμα είναι μια πλάκα απλής ή σε πολλές περιπτώσεις διπλής καμπυλότητας, μικρού πάχους, πακτωμένη στις δύο στηρίξεις της. Βασική αρχή για τον υπολογισμό ενός θολωτού φράγματος είναι η αποκοπή του σε σειρές οριζοντίων και κατακόρυφων τόξων και η αυτοτελής στατική μελέτη του κάθε τόξου για να μην υπήρχε σύνδεση του ενός τόξου με το προηγούμενο του.

Το άνοιγμα του θόλου προκύπτει από την παραδοχή, ότι το ελάχιστο κόστος κατασκευής αντιστοιχεί στον ελάχιστο όγκο του φράγματος και αυτός είναι ελάχιστος αν η επίκεντρη γωνία είναι 120°. Στην επιλογή της μορφής του θόλου παίζει ρόλο και η μορφή της κοιλάδας μέσα στην οποία θα κατασκευαστεί το φράγμα. Γενικά μπορούμε να πούμε πως η κατασκευή θολωτών φραγμάτων επιβάλλεται σε περιπτώσεις που η κοιλάδα έχει απότομες κλίσεις και το φράγμα πρέπει να γίνει ψηλό, γιατί η κατασκευή οποιασδήποτε άλλης μορφής φράγματος, θα απαιτούσε υπερβολικά μεγάλο πλάτος βάσης και φυσικού όγκου.

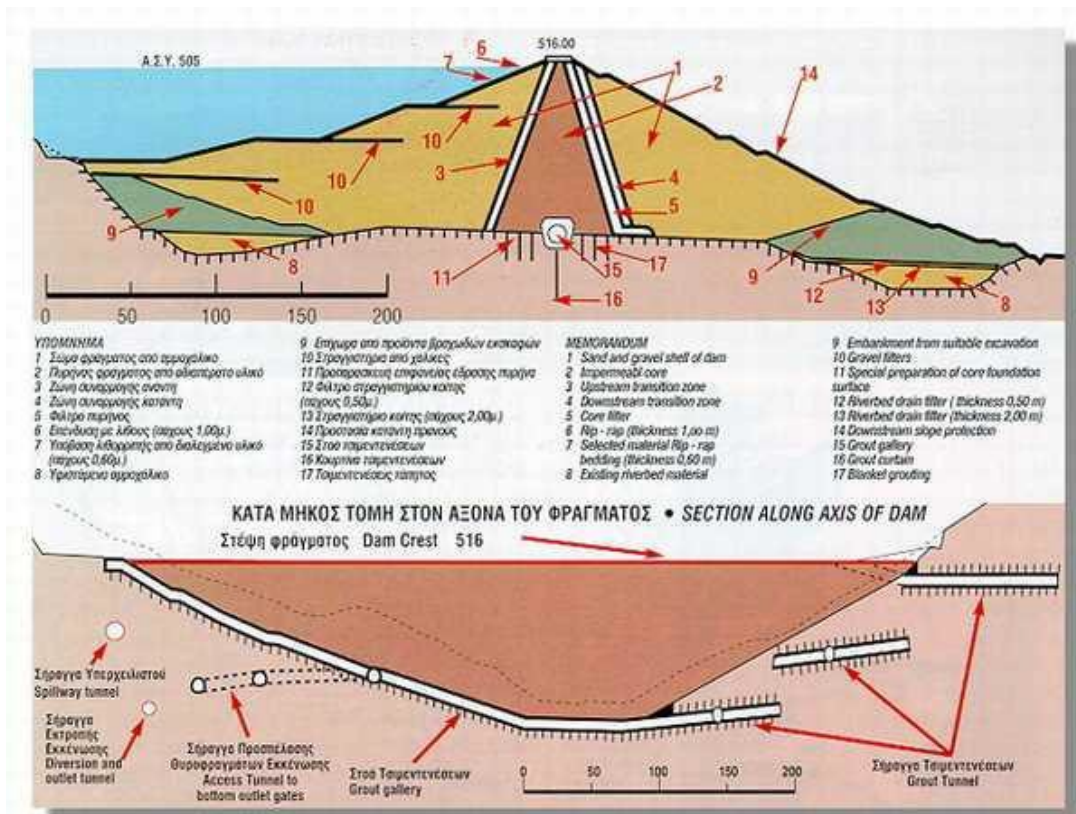


Εικόνα 2.4: Τοξωτό Φράγμα

Χωμάτινα Φράγματα

Χωμάτινα φράγματα χαρακτηρίζονται αυτά που κατασκευάζονται από γαιώδη υλικά. Η μορφή των φραγμάτων αυτών έχει τραπεζοειδή διατομή. Συνήθως τα χωμάτινα φράγματα προτιμούνται σε περιπτώσεις όχι καλού εδάφους θεμελίωσης, όπου ενδείκνυται η εύκαμπτη κατασκευή από γαιώδη υλικά που μπορούν να παραμορφωθούν και να παρακολουθήσουν μικρές μετακινήσεις της θεμελίωσης χωρίς να διαταραχθεί η συνοχή τους.

Τα χωμάτινα φράγματα είναι οικονομικότερα από τα φράγματα από σκυρόδεμα, εκτός από ειδικές περιπτώσεις που οι δανειοθάλαμοι με κατάλληλα γαιώδη υλικά, όπως ο άργιλος βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση. Ο όγκος ενός χωμάτινου φράγματος είναι τεράστιος και η μεταφορά των ποσοτήτων αυτών επηρεάζει οικονομικά το έργο. Τα γαιώδη υλικά από τα οποία αποτελείται ένα χωμάτινο φράγμα παρουσιάζουν μεγάλη διαπερατότητα. Η στεγανότητα του φράγματος επιτυγχάνεται με την κατασκευή του αδιαπέρατου πυρήνα από άργιλο. Ο πυρήνας εκτείνεται περισσότερο ή λιγότερο μέσα στο έδαφος ενώ στη συνέχεια και μέχρι το αδιαπέρατο στρώμα κατασκευάζεται διάφραγμα διακοπής της υπόγειας ροής με πασσάλους, τσιμεντενέσεις και εγχύσεις τσιμέντου. Ο πυρήνας δεν κατασκευάζεται πάντα κατακόρυφα κατά την έννοια της διατομής αλλά και κεκλιμένος. Τα πρηνή προστατεύονται από τη διαβρωτική επίδραση των κυματισμών της λίμνης με ειδική επίστρωση από λιθοριππή, που έχει πάχος 0.5-1.0m. Η υψομετρική τοποθέτηση της στέψης είναι θέμα μελέτης. Μπορούμε όμως να πούμε ότι τοποθετείται 3.0m τουλάχιστον επάνω από την ανώτατη στάθμη του νερού για να αποφευχθεί τυχόν υπερχειλίση, που θα είχε καταστρεπτικές συνέπειες για το κατάντη πρηνές και φυσικά για το ίδιο το φράγμα.



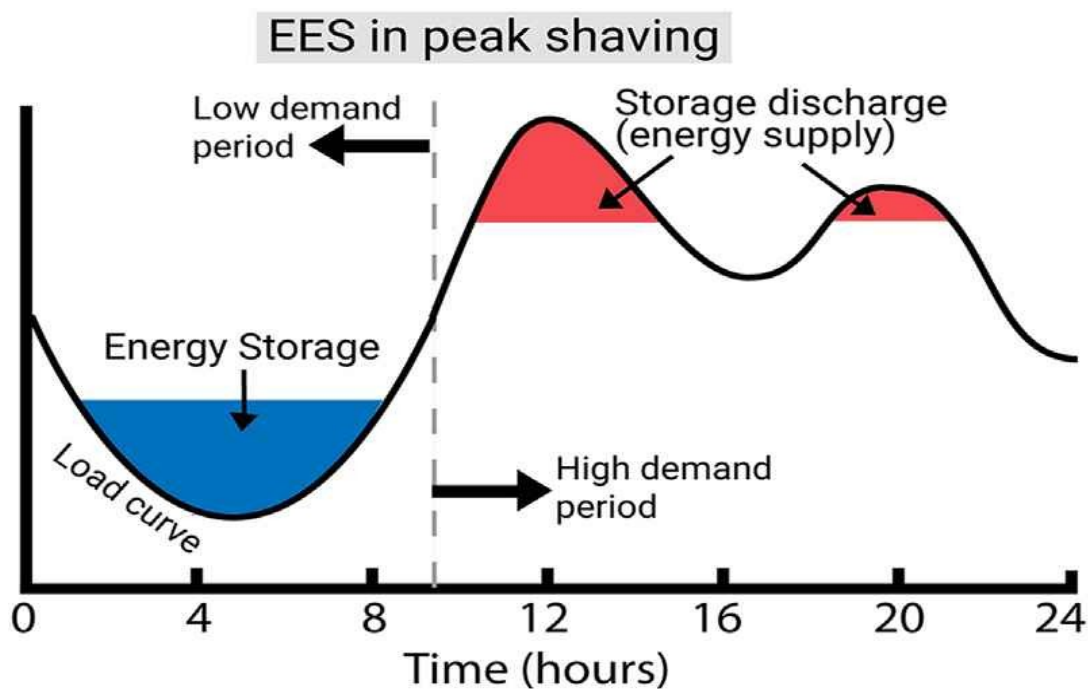
Εικόνα 2.5: Εγκάρσια διατομή χωμάτινου φράγματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ

3.1 Τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Η ανάγκη για αποθήκευση ενέργειας εμφανίζεται διότι η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας χαρακτηρίζεται από ωριαίες, ημερήσιες και εποχιακές μεταβολές, εφόσον η παροχή του συστήματος, τις περισσότερες φορές, έχει προκαθορισμένη δυναμικότητα. Η δυναμικότητα αυτή πρέπει να επιλεγθεί με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να ανταπεξέρχεται στη μέγιστη ζήτηση αλλά και να παρέχει το απαραίτητο πλεόνασμα ενέργειας ώστε να καλύπτεται η ζήτηση κατά την προγραμματισμένη διακοπή λειτουργίας της μονάδας για συντήρηση αλλά και λόγω αναπάντεχων διακοπών. Ως αποτέλεσμα έχουμε μεγάλες και ακριβές μονάδες παραγωγής που λειτουργούν σε ισχείς μικρότερες από την ονομαστική τους και αυτό προκαλεί υψηλά κεφαλαιακά και λειτουργικά κόστη.

Από την άλλη, καθώς εξελίσσονται οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, η αιολική και άλλες, η διατήρηση ισορροπίας στο δίκτυο γίνεται όλο και πιο δύσκολη. Με ποσοστά διείσδυσης μέτρια και καλύτερη πρόβλεψη, η μεταβλητότητα στην προσφορά ενέργειας όταν μειώνεται η ταχύτητα του ανέμου, ή όταν πάνω από τους ηλιακούς σταθμούς περνούν σύννεφα, μπορεί να αντιμετωπιστεί με έναν συνδυασμό επιλογών γρήγορης αναδιάταξης της προσφοράς ενέργειας, από υδροηλεκτρικούς και αεριοστροβιλικούς σταθμούς ή την παροχή ενέργειας στο σύστημα από μονάδες αποθήκευσης. Στόχος της αποθήκευσης της ενέργειας είναι να αντιμετωπίσει τα προβλήματα που προκύπτουν σε ένα ΣΗΕ από την διακύμανση στη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας, διασφαλίζοντας μια σταθερή και υψηλή παραγωγή από τις ήδη υπάρχουσες μονάδες παραγωγής. Η ενέργεια αποθηκεύεται, όταν η ζήτηση είναι μικρότερη, ενώ όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την δυναμικότητα η αποθηκευμένη ενέργεια απελευθερώνεται. Σαν αποτέλεσμα έχουμε την αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, οικονομικά και αποτελεσματικά, έχοντας ταυτόχρονα την δυνατότητα να καλύψουμε μέγιστη ζήτηση σε σύντομη προειδοποίηση σε συγκεκριμένες στιγμές της ημέρας και της εβδομάδας. Η αποθήκευση είναι μια τεχνική διαχείρισης του φορτίου, που επιτρέπει στις επιχειρήσεις ηλεκτρισμού να κόψουν τις αιχμές ζήτησης ενέργειας και να γεμίσουν τις κοιλάδες όπως φαίνεται στο παρακάτω γράφημα.



Εικόνα 3.1: Τυπική καμπύλη ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας

3.2 Ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές

Τα συστήματα συσσωρευτών διακρίνονται από πολλά χαρακτηριστικά, όπως το βάρος, το κόστος, τον όγκο, τον χρόνο ζωής (κύκλοι φόρτισης εκφόρτισης) ή έτη, την χωρητικότητα αποθήκευσης (kWh) και την ισχύ (kW). Παρ'όλα αυτά, τέσσερα είναι τα σημαντικά μεγέθη τα οποία αποτυπώνουν την αξία που μπορούν να έχουν οι ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές για την αποθήκευση ενέργειας. Αυτά είναι η ειδική ισχύς (kW / kg), η ειδική ενέργεια (kWh / kg), η απόδοση (%) και το κόστος αποθήκευσης (€ / kWh). Παραδείγματος χάριν για τους συσσωρευτές οξέος μολύβδου το κόστος αποθήκευσης είναι ελάχιστο, ενώ μπορεί να δεκαπλασιαστεί για τους συσσωρευτές ροής. Στην πραγματικότητα ακόμα και για τους συσσωρευτές οξέος, το ειδικό κόστος αποθήκευσης τριπλασιάζεται τουλάχιστον σε σχέση με την προαναφερθείσα τιμή για μια διάρκεια ζωής του υβριδικού σταθμού της τάξης των είκοσι ετών, δεδομένης της διάρκειας ζωής των συσσωρευτών μολύβδου (5 έως 6 έτη) και των συνεπαγόμενων αντικαταστάσεων που πρέπει να γίνουν. Για σταθερά συστήματα υποστήριξης δικτύου το βάρος και ο όγκος είναι λιγότερο σημαντικά, αλλά για παράδειγμα τα κινητά τηλέφωνα, οι φορητοί υπολογιστές και τα οχήματα και τα δύο είναι κρίσιμα.

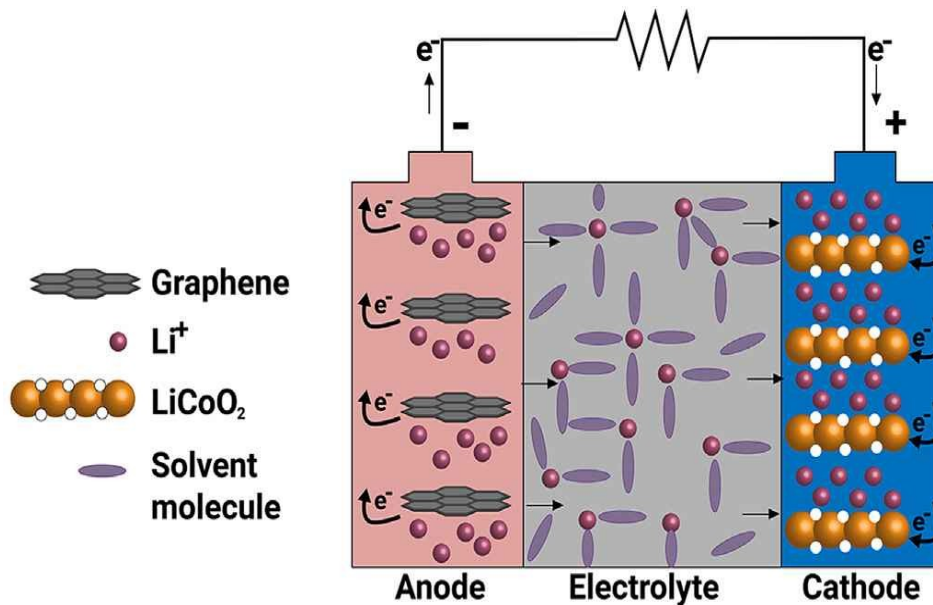
Ένας ηλεκτροχημικός συσσωρευτής είναι μια συσκευή αποθήκευσης ενέργειας που μετατρέπει την αποθηκευμένη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική κατά την περίοδο εκφόρτισης και μετατρέπει την παρεχόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε χημική και την αποθηκεύει κατά την περίοδο φόρτισης. Οι ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες οι οποίες είναι :

- Οι συσσωρευτές χαμηλών θερμοκρασιών εσωτερικής αποθήκευσης που συνήθως λειτουργούν σε θερμοκρασίες δωματίου (συσσωρευτές οξέος μολύβδου (PbO_2), οι συσσωρευτές νικελίου-καδμίου (NiCd), οι συσσωρευτές ιόντων λιθίου και νικελίου-υδριδίου μετάλλου (NiMH)).
- Οι συσσωρευτές υψηλών θερμοκρασιών εξωτερικής αποθήκευσης. Η βασική διαφορά στους συσσωρευτές εξωτερικής και εσωτερικής αποθήκευσης έγκειται στο ότι στους συσσωρευτές εξωτερικής αποθήκευσης το τμήμα μετατροπής ενέργειας είναι διαχωρισμένο από το τμήμα του ενεργού χημικού υλικού του συσσωρευτή. Αυτή η διαμόρφωση επιτρέπει τη διαστασιολόγηση και τη σχεδίαση του τμήματος εκφόρτισης ανεξάρτητα από το τμήμα φόρτισης του συσσωρευτή. Στους συσσωρευτές εξωτερικής αποθήκευσης, η μονάδα μετατροπής ενέργειας και το σύστημα χημικής αποθήκευσης είναι, αφενός, διαχωρισμένα αλλά, αφετέρου, συνδεδεμένα μεταξύ τους για τη μεταφορά ηλεκτροχημικών αντιδράσεων ανάμεσα στα δύο τμήματα, κατά τις διαδικασίες φόρτισης και εκφόρτισης των συσσωρευτών (συσσωρευτές νατρίου-θείου (NaS), οι συσσωρευτές νατρίου-νικελίου-χλωρίου (NaNiCl) και οι μπαταρίες ροής (flow batteries)).

3.2.1 Συσσωρευτές Ιόντων - Λιθίου (Li-ion)

Οι εφαρμογές των συσσωρευτών ιόντων λιθίου (Li-ion) εστιάζονται σε συσκευές υψηλής και χαμηλής κατανάλωσης ισχύος σε φορητές ηλεκτρονικές συσκευές και σε εξοπλισμό τηλεπικοινωνίας. Οι συσσωρευτές ιόντων λιθίου είναι στην πραγματικότητα μια οικογένεια τεχνολογιών. Η πρώτη επιτυχημένη γενιά είχε έναν συσσωρευτή με άνοδο λιθίου-άνθρακα και κάθοδο οξειδίου-κοβαλτίου (Li_xCoO_2). Οι βασικές αντιδράσεις που περιγράφουν τη λειτουργία τους στην οποία ένα ηλεκτρόνιο μεταφέρεται από την άνοδο στην κάθοδο κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης είναι : Άνοδος (-): $LiC \rightarrow Li^+ + e^- + C$, Κάθοδος (+) : $Li^+ + e^- + Li_{1+x}CoO_2 \rightarrow Li_{1+x}CoO_2$. Αυτές οι αντιδράσεις αφορούν κάθοδο οξειδίου του κοβαλτίου, αλλά

χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά, μεταξύ των οποίων φωσφορικό λίθιο σίδηρος (LiFePO_4), οξειδίο λιθίου νικελίου (LiNiO_2) και οξειδίο λιθίου μαγγανίου (LiMn_2O_4). Η ειδική ενέργεια για αυτά τα διάφορα υλικά κυμαίνεται από περίπου 0.15 έως 0.25 kWh/kg. Η έρευνα και σε άλλες τεχνολογίες ιόντων λιθίου (Li-ion) δείχνει τη δυνατότητα να μεταφέρονται δύο ή ακόμη και τρία ηλεκτρόνια ανά αντίδραση της καθόδου, γεγονός που μειώνει σημαντικά το ποσό των βαρέων υλικών της καθόδου που απαιτούνται και αυξάνει σημαντικά τη δυνατότητα για μελλοντικές βελτιώσεις στην ενεργειακή πυκνότητα. Η προτίμησή τους έγκειται κυρίως στην υψηλή απόδοσή τους και στην υψηλή πυκνότητα ενέργειας. Το βασικό μειονέκτημα που έχουν οι συσσωρευτές ιόντων λιθίου είναι το υψηλό κόστος παραγωγής. Λόγο αυτού του χαρακτηριστικού καθιστά τη χρήση τους απαγορευτική σε συστήματα ηλιακής ενέργειας, ιδιαίτερα σε υβριδικούς σταθμούς.

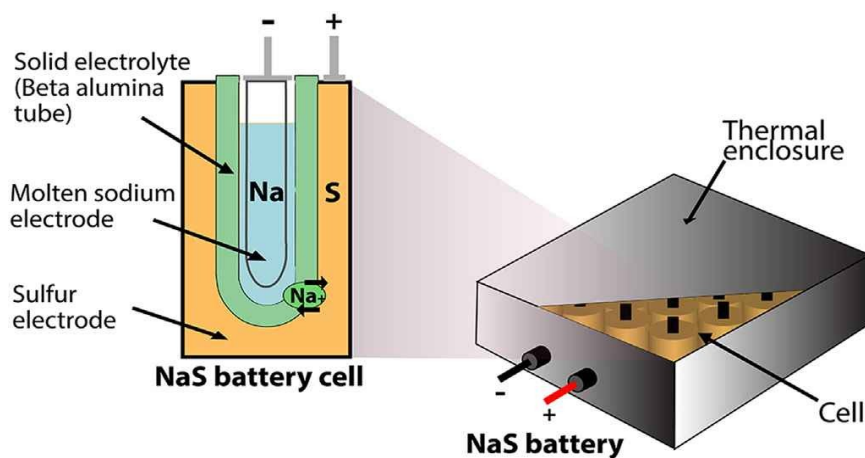


Εικόνα 3.2: Εσωτερική δομή μπαταρίας ιόντων λιθίου (Li-ion)

3.2.2 Συσσωρευτές Νατρίου – Θείου (NaS)

Οι συσσωρευτές νατρίου-θείου έχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, βελτιωμένη απόδοση που βασίζεται σε ενεργά υγρά συστατικά, μεγάλη διάρκεια ζωής, υψηλό αρχικό κόστος. Όμως, από την άλλη πλευρά, πρόκειται για συσσωρευτές από λειωμένο μέταλλο που συνήθως λειτουργούν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (300 έως 500°C). Επίσης, παρουσιάζουν χαμηλό λειτουργικό κόστος, λόγω των ιδιαίτερα ανθεκτικών υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους, τα οποία είναι δυνατό να ανακυκλώνονται και να χρησιμοποιούνται ξανά για την κατασκευή νέων συσσωρευτών. Επιπλέον, το κόστος συντήρησης είναι αμελητέο. Το υγρό νάτριο είναι διαβρωτικό και πολύ εύφλεκτο όταν εκτίθεται στον αέρα και την υγρασία, και υπήρξαν αρκετές μεγάλες πυρκαγιές σε νέες εγκαταστάσεις. Νέες τεχνολογίες που αναπτύσσονται φαίνεται πιθανό ότι θα επιτρέψουν τη λειτουργία σε θερμοκρασίες κάτω των 100 °C.

Στους συσσωρευτές νατρίου-θείου χρησιμοποιούνται λειωμένα ηλεκτρόδια νατρίου (αρνητικό) και θείου (θετικό). Κατά τη διαδικασία εκφόρτισης, ιόντα νατρίου άγονται, ώστε να προσκρούσουν σε ηλεκτρόνια, τα οποία, κινούμενα παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Μέσω του τηγμένου ηλεκτροδίου νατρίου παράγεται ηλεκτρική ισχύς προς το εξωτερικό κύκλωμα στο οποίο έχει διασυνδεθεί ο συσσωρευτής. Για τη λειτουργία των συσσωρευτών νατρίου-θείου απαιτείται υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας, προκειμένου να διατηρηθεί η ηλεκτροχημική αντίδραση. Η θερμότητα για τη διατήρηση των υψηλών απαιτούμενων θερμοκρασιών παρέχεται κατά τις διαδικασίες φόρτισης και εκφόρτισης, χωρίς έτσι να απαιτείται η εξωτερική παροχή θερμικής ισχύος. Αυτή όμως είναι απαραίτητη και κατά τις περιόδους διατήρησης του συσσωρευτή σε κατάσταση αναμονής, με αποτέλεσμα την πώση της τελικής συνολικής απόδοσης του συσσωρευτή. Για τους συσσωρευτές νατρίου-θείου απαιτείται ο εγκιβωτισμός τους εντός μονωμένης κατασκευής, ικανής να διατηρήσει την απαιτούμενη θερμοκρασία της αντίδρασης και να περιορίσει τις θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον. Ο ηλεκτρολύτης που χρησιμοποιείται σε συσσωρευτές νατρίου-θείου είναι κράμα στερεού αλουμινίου. Πέρα του ρόλου του μέσου μεταφοράς ισχύος, ο ηλεκτρολύτης έχει επίσης, το ρόλο του διαχωριστή, ο οποίος επιτρέπει επιλεκτικά μόνο στα θετικά ιόντα νατρίου να διέρθουν μέσω της μάζας του, για να αντιδράσουν με το θείο, δίνοντας τελικά σουλφίδια του νατρίου (Na_2S_4). Οι συσσωρευτές νατρίου-θείου έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές στα συστήματα ισχύος, όπως η απαλοιφή αιχμών ισχύος, η ρύθμιση τάσης, η βελτισποίηση της ποιότητας ισχύος, η υποστήριξη συχνότητας δικτύου και η σταθεροποίηση παραγωγής ισχύος, συνδυαζόμενοι με αιολικά πάρκα.



Εικόνα 3.3: Δομή μπαταρίας νατρίου - θείου

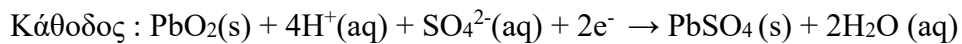
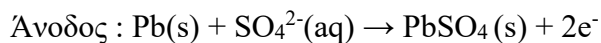
3.2.3 Συσσωρευτές Οξέος Μολύβδου (PbO_2)

Ο συσσωρευτής οξέος μολύβδου ήταν ο πρώτος τύπος επαναφορτιζόμενων συσσωρευτών που κατασκευάστηκε. Η γνωστή μπαταρία οξέος μολύβδου που χρησιμοποιείται σε μηχανοκίνητα οχήματα είναι μπαταρία συνεχούς ρεύματος. Η χρήση των συσσωρευτών οξέος μολύβδου σε επαγγελματικές εφαρμογές είναι περιορισμένη. Αυτό οφείλεται στη διαθεσιμότητα εναλλακτικών τύπων ηλεκτροχημικών συσσωρευτών υψηλότερης απόδοσης και διάρκειας ζωής. Οι συσσωρευτές αυτού του είδους χρησιμοποιούνται κυρίως λόγω του χαμηλότερου κόστους προμήθειας που παρουσιάζουν σε σχέση με άλλους τύπους ηλεκτροχημικής αποθήκευσης, της αξιόπιστης λειτουργίας τους, του ώριμου τεχνολογικού επιπέδου από το οποίο χαρακτηρίζονται, της άμεσης απόκρισης ειδικά σε οχήματα. Γενικά χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές στις οποίες το βάρος του συσσωρευτή δεν αποτελεί κρίσιμη παράμετρο επιλογής.

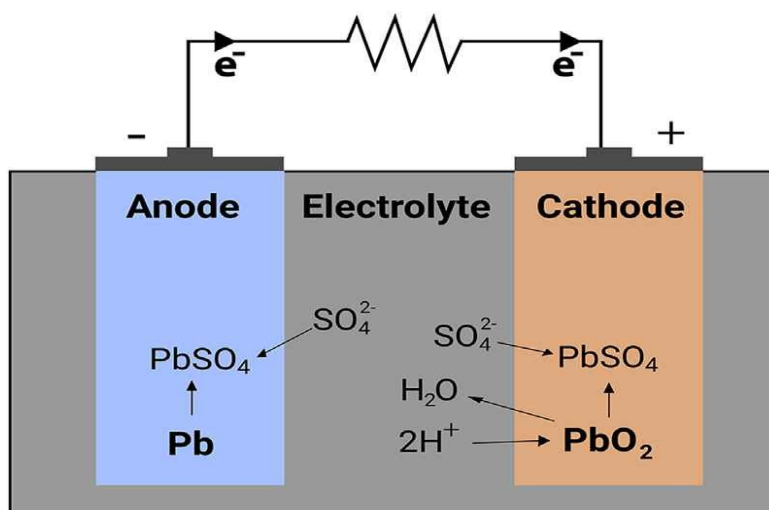
Υπάρχουν δύο τύποι συσσωρευτών οξέος μολύβδου, οι συσσωρευτές (Valve Regulated Lead Acid, VRLA), οι οποίοι είναι σφραγισμένοι με βαλβίδα ρυθμιζόμενης πίεσης και οι συσσωρευτές ανοιχτού τύπου (Flooded Lead Acid, FLA). Αυτοί οι δύο τύποι συσσωρευτών οξέος μολύβδου έχουν όμοια χαρακτηριστικά αναφορικά με τις βασικές αρχές λειτουργίας

τους, ωστόσο διαφέρουν στο κόστος προμήθειας, στις απαιτήσεις και διαδικασίες συντήρησης και στο φυσικό μέγεθος. Οι συσσωρευτές VRLA έχουν υψηλότερο κόστος προμήθειας, χαμηλότερη διάρκεια ζωής, μικρότερο μέγεθος και χαμηλότερο κόστος συντήρησης, συγκρινόμενοι με τους συσσωρευτές FLA.

Ο συσσωρευτής μολύβδου περιέχει έναν αριθμό βολταϊκών στοιχείων που συνδέονται σε σειρά. Κάθε στοιχείο περιλαμβάνει αρκετές πλάκες μολύβδου, συνδεδεμένες παράλληλα, από πλέγματα γεμάτα με σπογγώδη γκρι μολύβδο, Pb, που σχηματίζουν την άνοδο. Εναλλασσόμενες με αυτές είναι πλάκες παρόμοιου σχεδιασμού αλλά που περιέχουν οξείδιο του μολύβδου, PbO₂, σχηματίζουν την κάθοδο. Όλες οι πλάκες βυθίζονται σε υδατικό διάλυμα θεικού οξέος (H₂SO₄), που λειτουργεί σαν ηλεκτρολύτης. Ο ηλεκτρολύτης κάθε στοιχείου βρίσκεται ξεχωριστά στο θάλαμό του. Στην κατάσταση αποφόρτισης παράγεται συνεχές ρεύμα. Ο μολύβδος στην άνοδο οξειδώνεται σε ιόν Pb²⁺ το οποίο αμέσως καταβυθίζεται επί των πλακών ως θεικός μολύβδος (PbSO₄). Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις είναι :



όπου (s) και (aq) δείχνουν στερεές και υγρές φάσεις αντίστοιχα. Στην κατάσταση φόρτισης, η μπαταρία μπορεί να επανέλθει στην αρχική της κατάσταση αναστρέφοντας την κατεύθυνση του ρεύματος (και την ροή ηλεκτρονίων). Το σχετικά χαμηλό κόστος και η σχετικά υψηλή απόδοση, αναλόγως των συνθηκών λειτουργίας τους (70-90%), καθιστούν τους συσσωρευτές οξέος μολύβδου ανταγωνιστικούς σε σχέση με τις εναλλακτικές τεχνολογίες αποθήκευσης μεγάλου μεγέθους (CAES, αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά), σε περιπτώσεις υβριδικών σταθμών μικρού μεγέθους.

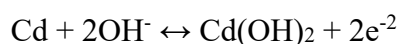


Εικόνα 3.4: Δομή μπαταρίας μολύβδου οξέος

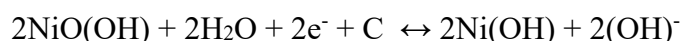
3.2.4 Συσσωρευτές Νικελίου – Καδμίου (NiCd)

Οι συσσωρευτές νικελίου-καδμίου (NiCd) είναι ανθεκτικοί και παρουσιάζουν γενικότερα χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά των συσσωρευτών οξέος μολύβδου. Οι βασικές συνιστώσες ενός συσσωρευτή Ni-Cd είναι ένα ηλεκτρόδιο οξειδίου-υδροξειδίου του νικελίου, το οποίο λειτουργεί ως το θετικό ηλεκτρόδιο, και ένα ηλεκτρόδιο καδμίου, το οποίο είναι το αρνητικό ηλεκτρόδιο. Ως ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται υδροξείδιο του καλίου, το οποίο είναι ένας αλκαλικός ηλεκτρολύτης. Η όλη κατασκευή εσωκλείεται εντός καλά σφραγισμένου πλαισίου. Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις κατά τη φόρτιση και εκφόρτιση του συσσωρευτή είναι οι ακόλουθες :

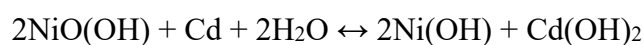
Χημική αντίδραση στο ηλεκτρόδιο καδμίου (αρνητικό ηλεκτρόδιο, φόρτιση):



Χημική αντίδραση στο ηλεκτρόδιο νικελίου (θετικό ηλεκτρόδιο, φόρτιση):



Συνολική χημική αντίδραση κατά την εκφόρτιση:



Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα σχετικά με τη χρήση των συσσωρευτών NiCd είναι το υψηλό κόστος παραγωγής, το οποίο προκύπτει από το υψηλό κόστος προμήθειας των

βασικών υλικών του συσσωρευτή, δηλαδή του νικελίου και του καδμίου. Επιπλέον ένα ακόμα πρόβλημα είναι οι δυνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες προέρχονται από πιθανή διαρροή του ηλεκτρολύτη προς το περιβάλλον. Άλλο ένα αρνητικό γνώρισμα αυτού του συσσωρευτή είναι το γνωστό ως <<χαρακτηριστικό μνήμης>>. Εξαιτίας του χαρακτηριστικού μνήμης, ο συσσωρευτής πρέπει να φορτίζεται και να εκφορτίζεται πλήρως. Σε διαφορετική περίπτωση, μετά από μία μερική φόρτιση ή εκφόρτιση, η νέα χωρητικότητα μπαταρίας ορίζεται πλέον από το επίπεδο φόρτισης ή εκφόρτισης του προηγούμενου κύκλου. Αυτή η ιδιότητα είναι ιδιαίτερα αρνητική, καθώς περιορίζει σημαντικά την ευελιξία της μπαταρίας σε περίπτωση χρήση της ως μονάδα αποθήκευσης υβριδικού σταθμού και ακόμα, με την πάροδο του χρόνου ελαττώνεται η ονομαστική χωρητικότητά τους. Τέλος, ένα μειονέκτημα του συσσωρευτή NiCd είναι η αυτοεκφόρτιση, που μπορεί να φτάσει σε ποσοστά της τάξης του 20% ανά μήνα. Παρόλα τα προαναφερόμενα αρνητικά χαρακτηριστικά, οι συσσωρευτές NiCd χρησιμοποιείται σε εφαρμογές στις οποίες η χαμηλή μάζα είναι σημαντικότερη από το κόστος όπως σε φορητό εξοπλισμό σε συστήματα αεροπλοΐας, σε ηλεκτρικά οχήματα και σε φωτισμούς ασφαλείας.

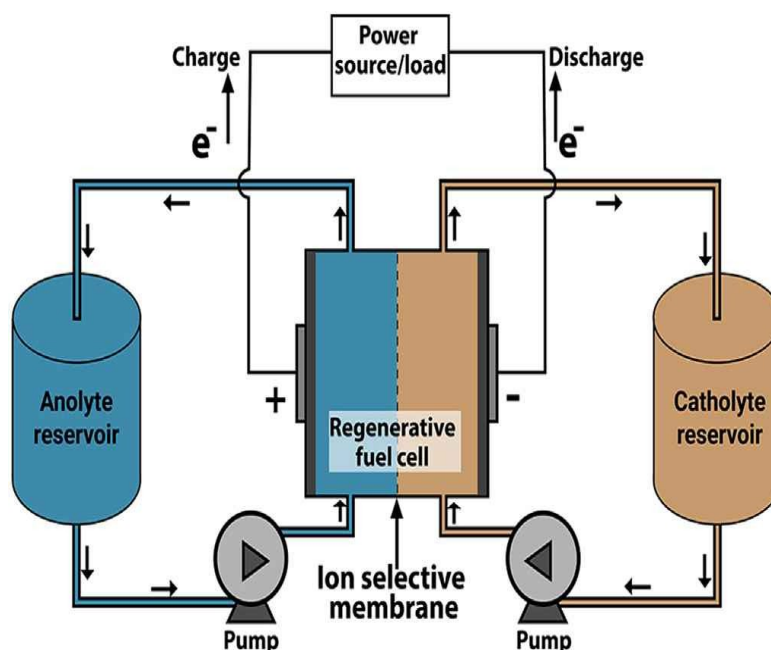
3.2.5 Συσσωρευτές Νατρίου – Νικελίου – Χλωρίου (NaNiCl)

Οι συσσωρευτές αυτοί αναπτύχθηκαν για τη χρήση σε ηλεκτρικά οχήματα (EV). Έχουν τραβήξει το ενδιαφέρον των κατασκευαστών για εφαρμογές συνδυασμένης λειτουργίας με μονάδες ΑΠΕ. Η θερμοκρασία λειτουργίας των συσσωρευτών NaNiCl είναι της τάξης των 300°C, με ηλεκτρολύτη σε υγρή μορφή. Χαρακτηρίζονται από υψηλή πυκνότητα ενέργειας. Το υγρό νάτριο χρησιμοποιείται ως το αρνητικό ηλεκτρόδιο, ενώ το ρόλο του θετικού ηλεκτροδίου τον έχει το νικέλιο κατά τη φόρτιση και το χλώριο κατά την εκφόρτιση. Οι συσσωρευτές NaNiCl χρησιμοποιούνται επίσης σε εφαρμογές υποβρύχιας παροχής ισχύος, σε στρατιωτικές χρήσεις, σε εγκαταστάσεις τηλεπικοινωνίας και στην υποστήριξη της ένταξης μονάδων ΑΠΕ σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.

3.2.6 Συσσωρευτές ροής

Η σχεδίαση των συσσωρευτών ροής περιλαμβάνει δύο ανεξάρτητες εξωτερικές δεξαμενές αποθήκευσης ηλεκτρολύτη, διαχωρισμένες από τη μονάδα μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαδικασία μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας εκτελείται στο ηλεκτροχημικό στοιχείο, αφού οι ηλεκτρολύτες έχουν μεταφερθεί στο στοιχείο με τη βοήθεια αντλίας. Οι ηλεκτρολύτες είναι ηλεκτροχημικά ενεργά στοιχεία, τα οποία ρέουν διαμέσου ενός ηλεκτροχημικού στοιχείου, με αναστρέψιμη ικανότητα μετατροπής χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Αυξάνοντας τον όγκο των δεξαμενών αυξάνεται η αποθηκευμένη ενέργεια, ενώ αυξάνοντας τον αριθμό των ηλεκτροχημικών στοιχείων αυξάνεται η ισχύς που το σύστημα μπορεί να δώσει.

Τεχνικά έχουν όλες τις απαιτούμενες προδιαγραφές για υποστήριξη συστημάτων ισχύος και ειδικά υβριδικών σταθμών. Παρουσιάζουν το πολύ σημαντικό πλεονέκτημα ότι μπορούν να αποφορτίζουν πλήρως, χωρίς την πρόκληση βλάβης. Οι μπαταρίες ροής αναπτύσσονται για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος σε απομονωμένους οικισμούς, ενώ η σχεδιάσή τους τις καθιστά κατάλληλες για συνδυασμένη λειτουργία με μονάδες ΑΠΕ. Ήδη έχουν χρησιμοποιηθεί σε Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) για ρύθμιση τάσης, διατήρηση συχνότητας, υποστήριξη ένταξης μονάδων ΑΠΕ κ.λπ.



Εικόνα 3.5: Δομή και λειτουργία ηλεκτροχημικών συσσωρευτών ροής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΤΛΙΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗ



Εικόνα 4.1: Το μεγαλύτερο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας στην Ελλάδα (Αμφιλοχία)

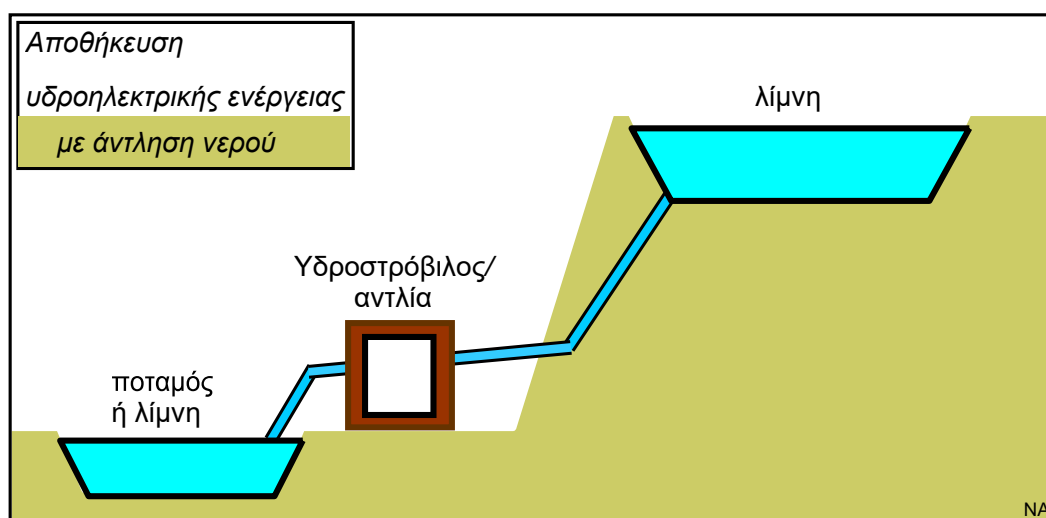
4.1 Γενικά

Η μέθοδος αποθήκευσης ενέργειας με αντλιοσηταμίευση είναι από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους από τις αρχές 20ου αιώνα. Ένα έργο αντλιοσηταμίευσης χρησιμεύει στην σταθεροποίηση του δικτύου, την εξισορρόπηση του φορτίου, την ρύθμιση της συχνότητας και την δημιουργία αποθεμάτων ενέργειας. Το συγκεκριμένο σύστημα είναι εξοπλισμένο με αντλίες και γεννήτριες που διασυνδέουν μία άνω και μία κάτω δεξαμενή νερού. Αυτές οι δεξαμενές μπορεί να είναι είτε φυσικές λίμνες, είτε ένα ποτάμι μεγάλου βάθους, είτε τεχνητές λίμνες που έχουν δημιουργηθεί από υδροηλεκτρικό φράγμα. Τα τελευταία χρόνια, με την έντονη αύξηση του ποσοστού ηλεκτρικής ενέργειας λόγω των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η αντλιοσηταμίευση καθορίζεται ως η πιο αξιόπιστη και σωτηρία λύση για την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας. Για αυτό τον λόγο, τα περισσότερα συστήματα αντλιοσηταμίευσης διαθέτουν αιολικά ή φωτοβολταϊκά πάρκα για την τροφοδοσία των αντλιών τους. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται υβριδικά.

4.2 Αντλιοσταμείωση

Η αντλιοσταμείωση είναι ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, το οποίο χρησιμοποιείται ήδη από το 1890. Πρόκειται για μία απλή μονάδα υδροηλεκτρικής ενέργειας, η οποία περιλαμβάνει φράγμα και ταμιευτήρα στον οποίο αποθηκεύει το νερό. Υπάρχουν δύο μέθοδοι σύμφωνα με τις οποίες επιτυγχάνεται η αποθήκευση υδροηλεκτρικής ενέργειας και οι οποίες διαφέρουν στον αριθμό των διαθέσιμων ταμιευτήρων.

Μιλώντας για την πρώτη μέθοδο, απαιτείται η ύπαρξη ενός ταμιευτήρα έτσι ώστε να αποθηκευτεί νερό στη δεξαμενή τις περιόδους βροχοπτώσεων και έπειτα να απελευθερωθεί σε περιόδους ξηρασίας και έτσι με τον τρόπο αυτό να παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια. Για την δεύτερη μέθοδο ωστόσο, απαιτείται η ύπαρξη δύο ταμιευτήρων, έναν υψηλό και έναν χαμηλό και σε αυτήν την περίπτωση με τη χρήση μίας μονάδας αντλιοσταμείωσης παράγεται σε καθημερινή βάση ηλεκτρική ενέργεια. Σε περιόδους μεγάλης απαίτησης ενέργειας το νερό απελευθερώνεται από την πάνω δεξαμενή και μέσω των στροβίλων παράγει ηλεκτρική ενέργεια και καταλήγει στην κάτω δεξαμενή. Από την άλλη, σε περιόδους με ελάχιστες απαιτήσεις ενέργειας, το δίκτυο χρησιμοποιεί εφεδρικό ηλεκτρικό ρεύμα για να αντλεί το νερό από την κάτω δεξαμενή πίσω στην πάνω έτσι ώστε να είναι και πάλι διαθέσιμο να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας.

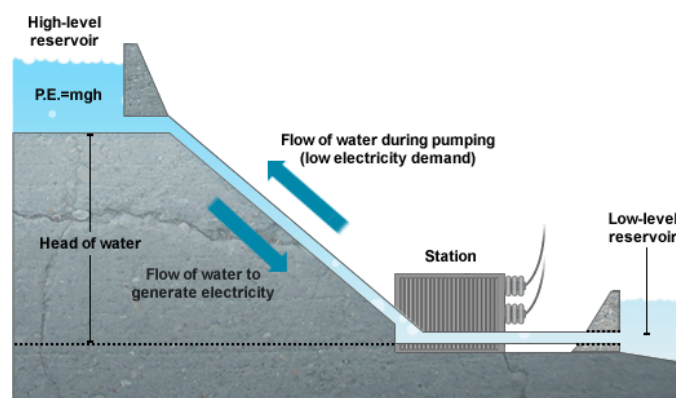


Εικόνα 4.2: Σχηματικό διάγραμμα αποθήκευσης υδροενέργειας με άντληση

4.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της αντλιοσταμείωσης

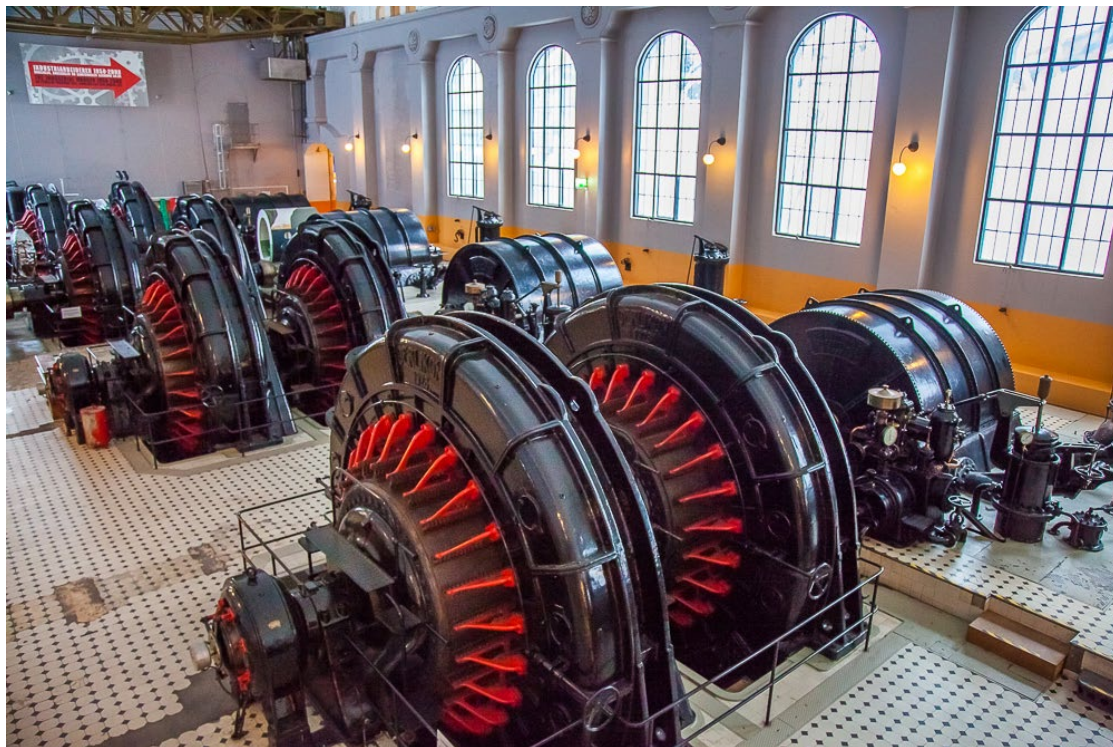
Πλεονεκτήματα: Τα έργα αντλιοσταμείωσης μπορούν να προστατεύσουν το δίκτυο με τη βοήθεια της αποθηκευμένης ενέργειας και λόγω της διαθεσιμότητας των προηγούμενων ηλεκτρονικών ισχύος, μπορούν ελαχιστοποιήσουν τις μεγάλες διακυμάνσεις της τάσης. Η αντλιοσταμείωση μπορεί να παράξει με μεγάλη επιτυχία το πιο φθινό ρεύμα σε περιόδους που απαιτείται περισσότερη ενέργεια καθώς σημειώνεται ότι με τη χρήση αυτού του συστήματος μπορούν να παραχθούν μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας που αγγίζουν τα 3,6 GW. Επίσης, το κόστος για την λειτουργία, την συντήρηση, την άντληση και την αποθήκευση του νερού είναι αρκετά χαμηλό καθιστώντας έτσι το παραγόμενο ρεύμα αρκετά οικονομικό με μία δόση ανταγωνιστικότητας. Τέλος, τα συστήματα αντλιοσταμείωσης διαθέτουν την ικανότητα να ρυθμίζουν κατάλληλα τη συχνότητα και να διατηρούν όσο το δυνατόν πιο σταθερή την τάση.

Μειονεκτήματα: Παρόλα αυτά, εκτός από τα πλεονεκτήματα υπάρχουν και μερικά σημαντικά μειονεκτήματα που επηρεάζουν τα συστήματα της αντλιοσταμείωσης. Ένα απ'αυτών και το πιο σημαντικό είναι η δυσκολία εύρεσης των κατάλληλων τοποθεσιών για τη δημιουργία ενός έργου αντλιοσταμείωσης. Ένα τέτοιο έργο για την υλοποίηση του θα χρειαστούν αρκετά χρόνια, καθώς το κόστος μπορεί να καθοριστεί μεγάλο αν λάβουμε υπόψιν ότι σε κάθε περίπτωση απαιτείται η δημιουργία τεχνητών ταμιευτήρων γεγονός το οποίο καθιστά αποτρεπτική την οποιαδήποτε επένδυση. Επίσης, παρόλο που τέτοιου είδους έργα δεν συμβάλλουν στη μόλυνση του περιβάλλοντος, σε περίπτωση που απαιτείται η δημιουργία φράγματος για τη δημιουργία τεχνητής λίμνης, υπάρχουν συνέπειες στο φυσικό περιβάλλον της περιοχής καθώς διαταράσσεται όλο το υδάτινο οικοσύστημα της και αυτό να έχει άμεσο αντίκτυπο στη γεωργία και την κτηνοτροφία.



Εικόνα 4.3: Λειτουργία ενός σταθμού αντλιοσταμείωσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΑΟΙ



Εικόνα 5.1: Μουσείο Υδροηλεκτρικής Ενέργειας στην Νορβηγία

5.1 Υδροστρόβιλοι

Υδραυλικούς κινητήρες ονομάζουμε τις μηχανές που χρησιμοποιούν την υδραυλική ενέργεια για την παραγωγή ωφέλιμου έργου. Με τον όρο υδραυλική ενέργεια εννοούμε τον προσδιορισμό της ταχύτητας κινήσεως του νερού μέσω της δυναμικής ενέργειας (βάρος, πίεσης, κινητικής). Οι υδραυλικοί κινητήρες χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

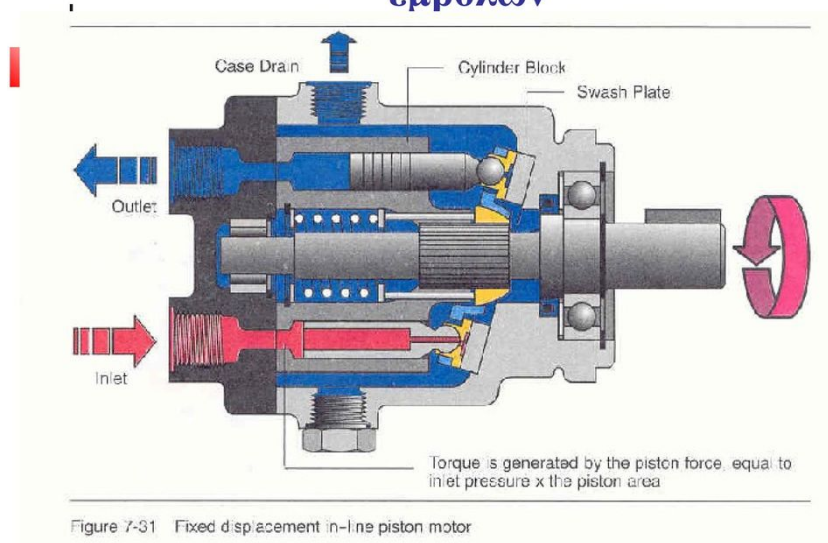
- **Υδραυλικοί τροχοί:** ονομάζονται οι κινητήρες που λειτουργούν με το βάρος του νερού. Χρησιμοποιήθηκαν πολύ παλιά και για πολλά χρόνια για την κίνηση διαφόρων μηχανισμών όπως είναι οι μύλοι.
- **Εμβολοφόροι κινητήρες:** ονομάζονται οι κινητήρες που λειτουργούν με την πίεση του νερού. Εκεί εντάσσονται και οι περιστροφικοί κινητήρες και τα υδραυλικά πιεστήρια. Η χρήση των εμβολοφόρων κινητήρων υφίστανται σε ειδικές περιπτώσεις για την κίνηση ορισμένων μηχανισμών, ενώ τα υδραυλικά πιεστήρια είναι για την εφαρμογή πολύ μεγάλων δυνάμεων με πολύ μικρή ταχύτητα (υδραυλικές πρέσες, υδραυλικοί γρύλοι).

- **Υδροστρόβιλοι:** ονομάζεται η μηχανή που μετατρέπει την κινητική ενέργεια και τη δυναμική ενέργεια του νερού σε μηχανική περιστροφική ενέργεια.



Εικόνα 5.1.1: Υδραυλικός Τροχός

Εμβολοφόροι κινητήρες αξονικών εμβόλων



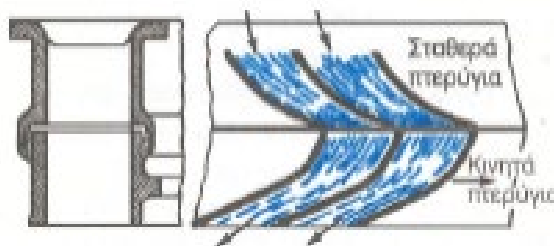
Εικόνα 5.1.2: Εμβολοφόρος Κινητήρας

Οι υδροστροβίλοι αποτελούνται από τρία κύρια μέρη, το δρομέα, το διανομέα, και τον αγωγό εκτόνωσης. Ο δρομέας περιλαμβάνει τον άξονα και τον τροχό με τα πτερύγια που μετατρέπουν την υδραυλική ενέργεια σε μηχανική. Ο διανομέας αποτελεί το τμήμα εισόδου που εισέρχεται το νερό στα πτερύγια του δρομέα που με τη χρήση ακροφυσίων προσδίδουν την κατάλληλη ταχύτητα. Ο αγωγός εκτόνωσης αποτελεί το τμήμα συλλογής και εξόδου του νερού από τη μηχανή.

Οι υδροστροβίλοι διακρίνονται σε αξονικούς όπου το νερό κινείται παράλληλα στον άξονα, σε ακτινωτούς όπου το νερό κινείται κατά μήκος της ακτίνας και σε μεικτούς όπου είναι ο συνδυασμός των αξονικών και των ακτινικών. Τέλος, εφαπτομενικούς όπου το νερό κινείται εφαπτομενικά. Οι υδροστροβίλοι ταξινομούνται ανάλογα με τη χρήση τους οι οποίες είναι σε τουρμπίνες κάθετου ή οριζόντιου άξονα περιστροφής

Επίσης, σε υδροστροβίλους μερικής ή ολικής προσβολής ή στο σύνολο της περιμέτρου του δρομέα. Ο κύριος διαχωρισμός τους αλλά και ο συνηθέστερος είναι σε δύο κατηγορίες τους υδροστροβίλους δράσης και αντίδρασης.

- Στους υδροστροβίλους αντίδρασης λειτουργεί ολόκληρη η πτερωτή αξονομετρικά και η στατική πίεση μεταβάλλεται μεταξύ εισόδου και εξόδου της φτερωτής. Στους υδροστροβίλους αντιδράσης ανήκουν οι στροβίλοι Francis και Kaplan οι οποίοι έχουν εφαρμογή σε μικρά και μεσαία ύψη πτώσης και μεγάλων παροχών.



Εικόνα 5.1.3: Υδροστροβίλος αντίδρασης

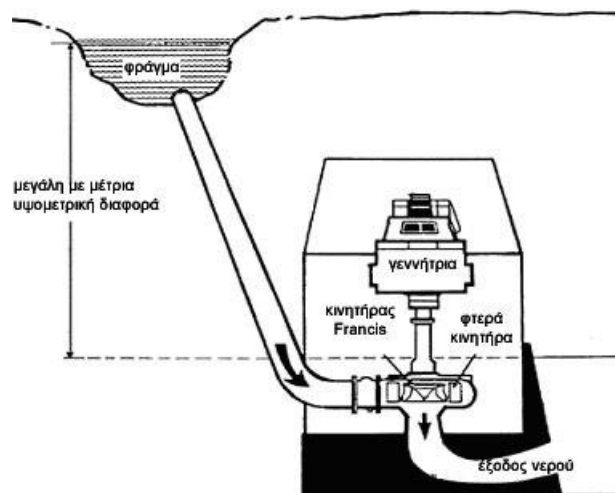
- Στους υδροστροβίλους δράσης λειτουργεί μόνο ένα τμήμα της φτερωτής κάθε χρονική στιγμή η οποία συμμετέχει στην ενεργειακή μετατροπή χωρίς να μεταβάλλει τη στατική πίεση εισόδου και εξόδου της φτερωτής, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα να ισούται με το μηδέν ο βαθμός αντίδρασης. Στους στροβίλους δράσης ανήκουν οι στροβίλοι Pelton, Turgo και Cross-flow.



Εικόνα 5.1.4: Υδροστρόβιλος δράσης

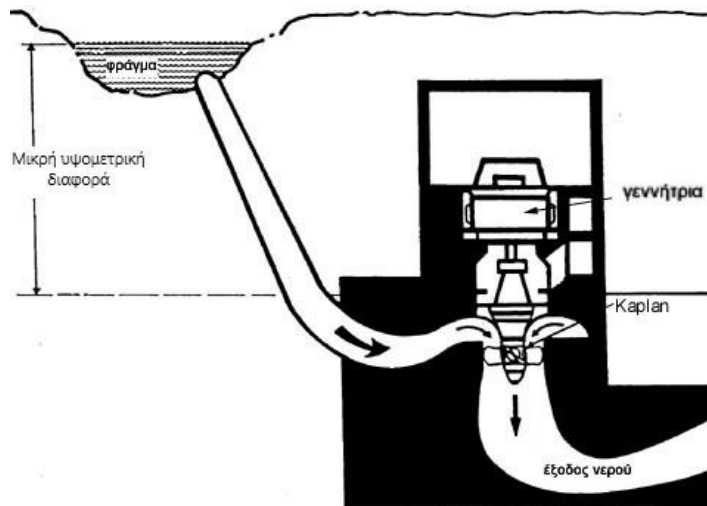
5.2 Είδη στροβίλων

Ο **στρόβιλος Francis** αποτελείται από τρία κύρια μέρη, τον τροχό στον οποίο βρίσκονται τα κινητά πτερύγια, τα σταθερά πτερύγια και ο σωλήνας αναρρόφησης. Κατασκευάζεται για κατακόρυφες διατάξεις, έχοντας ισχύς που αγγίζει τα 200.000 KW. Χρησιμοποιείται σε μεσαία ύψη πτώσεων που φτάνουν τα 600 μέτρα. Τοποθετείται μέσα στο νερό και ο βαθμός απόδοσης του όσο λειτουργεί με φορτίο αυξάνεται (80-100%).



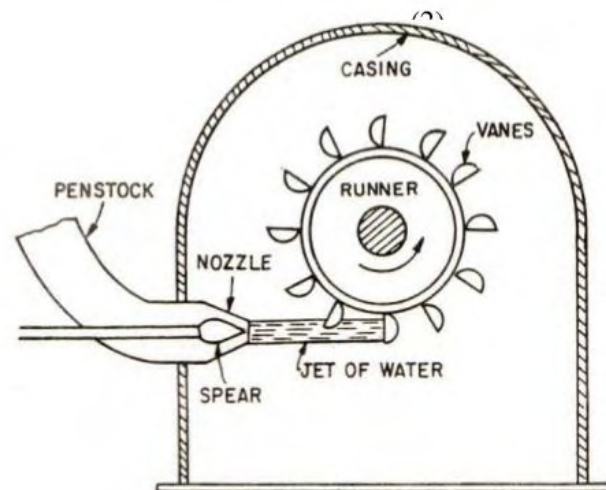
Εικόνα 5.2.1: Λειτουργία υδροστρόβιλου τύπου Francis

Ο **στρόβιλος Kaplan** αποτελείται από ένα σπειροειδές κέλυφος εισόδου, τον τροχό και τον σωλήνα αναρρόφησης καθώς και από τα σταθερά οδηγία πτερύγια τα οποία μοιάζουν με έλικα. Χρησιμοποιείται για μεγάλες ποσότητες νερού και κατανάλωση μεγαλύτερης των 500 κυβικών μέτρων ανά δευτερόλεπτο, αλλά για μικρά ύψη που φτάνουν τα 60 μέτρα .



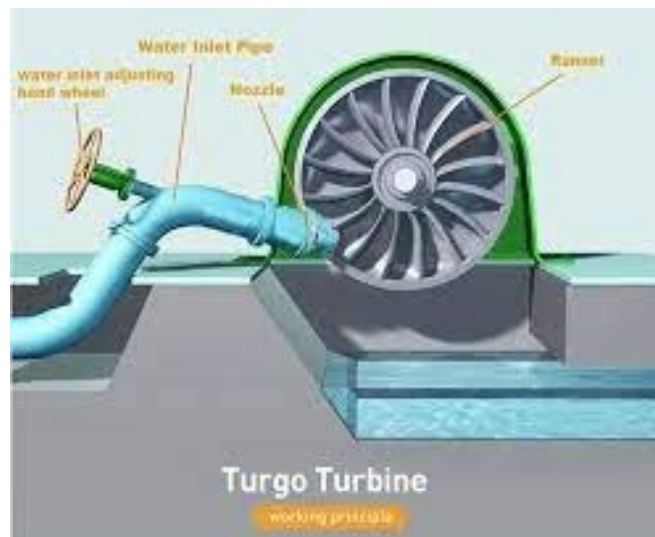
Εικόνα 5.2.2: Λειτουργία υδροστρόβιλου τύπου Kaplan

Ο **στρόβιλος Pelton** αποτελείται από τον τροχό και από τα κύπελλα με διπλή κοιλότητα, τα οποία ευρίσκοντο στην περιφέρεια του. Χρησιμοποιείται σε μεγάλες υψομετρικές διαφορές οι οποίες είναι άνω των 300 μέτρων και η παραγωγή ισχύος του καλύπτει ένα τεράστιο φάσμα πού φτάνει σε κάποια εκατοντάδες MW. Τέλος, η απόδοση του ανέρχεται στο 90% και κατασκευάζεται για οριζόντιες και κατακόρυφες διατάξεις.



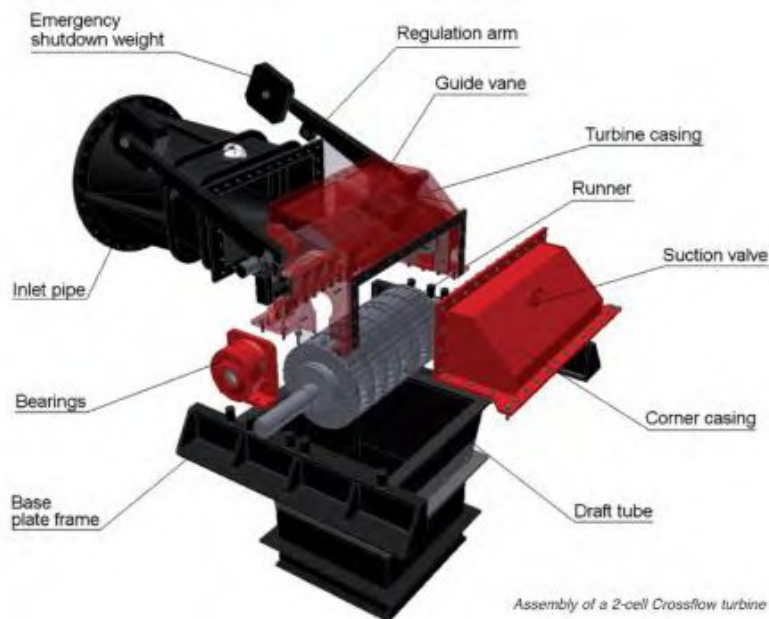
Εικόνα 5.2.3: Υδροστρόβιλος τύπου Pelton

Ο στρόβιλος Turgo αποτελείται από μία και μόνο σειρά κύπελλα περιφερειακά του τροχού και από ένα ή περισσότερα ακροφύσια. Στην πραγματικότητα είναι μία παραλλαγή του στρόβιλου Pelton και έχει μικρότερο βαθμό απόδοσης. Τέλος, έχει υψηλή ταχύτητα περιστροφής και έτσι δεν χρειάζεται κιβώτιο ταχυτήτων για τη σύζευξη της γεννήτριας όπως χρειάζεται ο Pelton.



Εικόνα 5.2.4: Υδροστρόβιλος τύπου Turgo

Ο στρόβιλος cross-flow είναι αρκετά απλός από πλευράς σχεδιασμού και κατασκευής και η ισχύς του φτάνει τα 3 MW. Ο cross-flow είναι αργόστροφος και μπορεί να αξιοποιήσει σχετικά ικανοποιητικά υδατοπτώσεις των οποίων έχουν μεγάλες διακυμάνσεις στην παροχή τους λόγω της δισδιάστατης ροής του. Ο βαθμός απόδοσης του είναι μικρότερος σε σχέση όλων των παραπάνω στρόβιλων.



Εικόνα 5.2.5: Υδροστρόβιλος Cross-flow

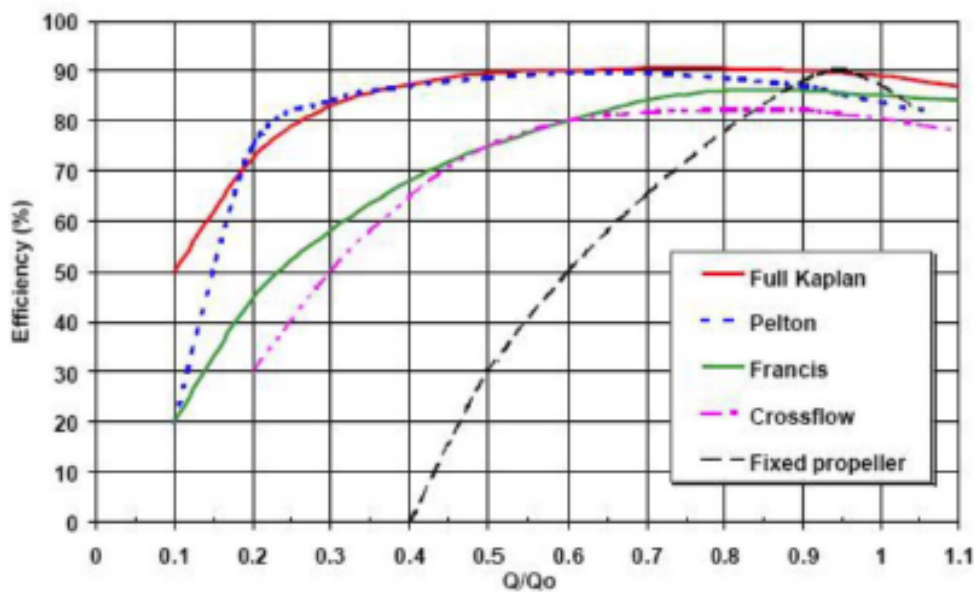
5.3 Συγκρίσεις και Πλεονεκτήματα

Τα βασικότερα και τα πιο διαδεδομένα είδη υδροστροβίλων είναι οι υδροστρόβιλοι Francis, Kaplan και Pelton. Ξεκινώντας με την σύγκριση της τουρμπίνας Francis με την τουρμπίνα Pelton, η Francis παρουσιάζει μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης, μεγαλύτερη ταχύτητα περιστροφής στροβίλου και μικρότερες διαστάσεις κατασκευής αλλά και κόστος, άρα και μικρότερο μέγεθος και κόστος της γεννήτριας. Επιπλέον, έχει ακριβέστερη και πιο ικανοποιητική ρύθμιση πτερυγίων, επομένως και καλύτερη λειτουργία. Τέλος, χρειάζεται λιγότερους ελέγχους και συντηρήσεις σε σχέση με την τουρμπίνα Pelton, η οποία υπόκειται σε καταπονήσεις της φτερωτής που οφείλονται στη φθορά των σκαφιδίων ή της βελόνας τροφοδοσίας.

Από την άλλη πλευρά η Pelton παρουσιάζει υψηλότερη στάθμη τοποθέτησης πάνω από τη μέγιστη στάθμη του κάτω ταμιευτήρα. Εκτός αυτού, δεν υπάρχει κίνδυνος πλυμμήρας του Υδροηλεκτρικού Συγκροτήματος και έτσι δεν χρειάζεται διάταξη προστασίας και ούτε κατασκευή πύργου εκτόνωσης. Τέλος, η αποσυναρμολόγηση του στροβίλου και της φτερωτής είναι πιο γρήγορη και πιο εύκολη. Συμπερασματικά, όλες οι τεχνικές μελέτες κατασκευής επιδιώκουν την βελτιστοποίηση των τουρμπίνων Francis, όπου στοχεύουν στην αύξηση των ανωτάτων τιμών υδραυλικής στάθμης λειτουργίας.

Επίσης, συγκρίνοντας την τουρμπίνα Francis με την τουρμπίνα Kaplan, η Francis παρουσιάζει μικρότερη διάμετρος φτερωτής και σπειροειδούς κελύφους καθώς και πιο απλή μηχανική διαμόρφωση. Επιπλέον, μικρότερο κόστος κατασκευής γιατί ο Kaplan έχει πιο πολύπλοκο τρόπο κατασκευής ως προς τα φτερύγια και τέλος μικρότερο ποσοστό εμφάνισης του φαινομένου σπηλαίωσης.

Από την άλλη πλευρά η τουρμπίνα Kaplan παρουσιάζει μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης και λειτουργεί ικανοποιητικά ακόμα και σε σημαντικά μειωμένες τιμές υδραυλικής πίεσης, ενώ η τουρμπίνα Francis δεν μπορεί να ανταπεξέρθει ώστε να λειτουργήσει. Συμπερασματικά, στις περισσότερες περιπτώσεις, οι οικονομικές και τεχνικές μελέτες έχουν επιλέξει τις τουρμπίνες Francis επειδή είναι πιο οικονομικοί στην αγορά και στη λειτουργία τους.



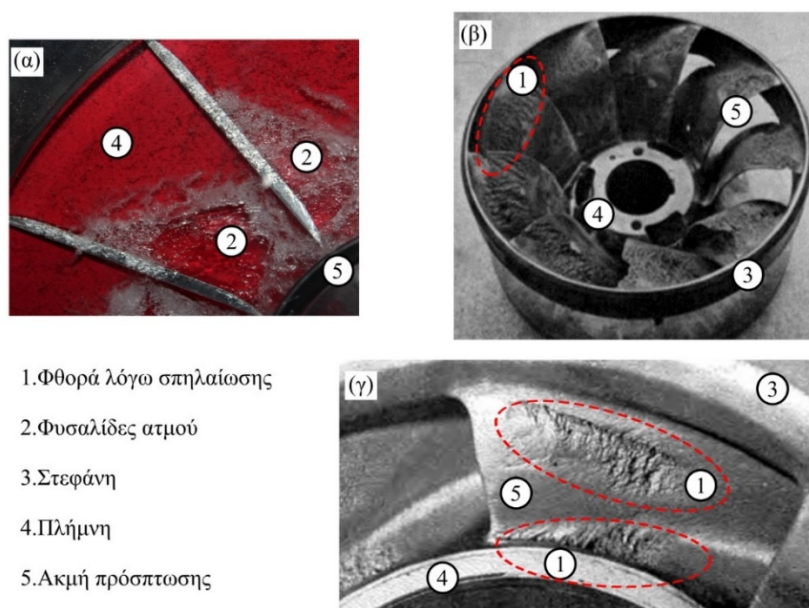
Εικόνα 5.3: Βαθμός απόδοσης διαφόρων τύπων υδροστροβίλων

5.4 Φαινόμενο Σπηλαιώσης

Σπηλαιώση ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο, σε κάποιο σημείο της ροής, η στατική πίεση του ρευστού γίνεται μικρότερη από την πίεση ατμοποίησης, στη θερμοκρασία που βρίσκεται αυτό. Αυτό συνεπάγεται στη δημιουργία φυσαλίδων ατμοποιημένου ρευστού, κυρίως κοντά στις επιφάνειες της ροής, οι οποίες παρασύρονται από τη ροή και λίγο παρακάτω, που η στατική πίεση αυξάνεται πάνω από την πίεση ατμοποίησης, επαναυγροποιούνται. Στο σημείο εκείνο αλλά και τοπικά, λόγω της μεγάλης διαφοράς πυκνότητας υγρού σε αέριο και του απότομου φαινομένου, η πίεση αυξάνεται σε πολύ υψηλές τιμές, καταπονώντας της επιφάνειας του υλικού.

Το επικίνδυνο σημείο σπηλαιώσης βρίσκεται στο τμήμα της λεπίδας του τμήματος εισόδου της περωτής. Αυτή τη στιγμή, η ροή επιταχύνεται λόγω της στενής επιφάνειας του καναλιού ρευστού. Σύμφωνα με την εξίσωση του Bernoulli, όπου η τιμή της στατικής πίεσης μειώνεται, υπάρχει κίνδυνος πτώσης κάτω από την πίεση εξάτμισης, η οποία εξαλείφει τον κίνδυνο σπηλαιώσης καθώς η υγρή ενέργεια συνεχίζει να αυξάνεται όταν κινείται κατά μήκος του περυγίου.

Το πλεόνασμα ενέργειας στην είσοδο της αντλίας, έναντι της πίεσης ατμοποίησης, προκειμένου να μην αναπτυχθεί σπηλαιώση στην αρχή της αντλίας, το ονομάζουμε απαιτούμενο θετικό ύψος αναρρόφησης (NPSHa). Το ποσό ενέργειας στη διατομή εισόδου της αντλίας, όπως υπολογίζεται από την υδραυλική επίλυση του κλάδου αναρρόφησης, καλύτερα διαθέσιμο στατικό ύψος αναρρόφησης (NPSHa).



Εικόνα 5.4: Φαινόμενο Σπηλαιώσης σε φυγόκεντρες αντλίες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Ο ΜΥΗΣ ΓΛΑΥΚΟΣ

6.1 Ιστορική αναδρομή

Η Ελληνική Ηλεκτρική Ενέργεια παρείχε στις αρχές του 1907 ηλεκτροδότηση στην Πάτρα και αργότερα το 1918 κατασκευάστηκε το εργοστάσιο του Πραπόπουλου. Το συγκεκριμένο εργοστάσιο παρήγαγε αλλά και πουλούσε ηλεκτρικό ρεύμα ώσπου το έτος 1919 αγοράστηκε από τον Αλέξιο Διέρνα ο οποίος έφτασε να το λειτουργεί έως το 1926 και έπειτα το έκλεισε οριστικά. Κατά τη διάρκεια του 1919 ο Γουίλιαμ Μόρφου αποφάσισε να καταθέσει υπόμνημα στην Ελληνική Κυβέρνηση ώστε να προτείνει τη δημιουργία του γνωστού σε εμάς σήμερα Υδροηλεκτρικό Εργοστάσιο του Γλαύκου. Το έργο δεν άργησε να ενεκριθεί από την κυβέρνηση και σύντομα προχώρησαν στις μελέτες. Χάρη στην κοινή δράση του Δήμου Πατρέων και της Εθνικής Τράπεζας, στις 11/06/1922 πραγματοποιήθηκε γνωστοποίηση της “Ελληνικής Ανώνυμος Υδροηλεκτρική Εταιρεία Γλαύκου”. Έπειτα στις 14/06/1922 δόθηκε και πλέον τυπικά βάσει νόμου της Κυβέρνησης Δημητρίου Γούναρη στο δήμο Πατρέων την ικανότητα της εγκατάστασης δικτύου παροχής και διανομής ηλεκτρικού ρεύματος και η αδειοδότηση για την υλοποίηση των αναγκαίων εγκαταστάσεων. Επιπρόσθετα, επιτράπηκε στο δήμο Πατρέων να καταφέρει την χρήση των υδάτων του ποταμού Γλαύκου και κατόπιν υπογράφηκε συμφωνία με ισχύ 99 χρόνων με έναρξη το 1927 και λήξη το 2026. Ωστόσο, εξαιτίας του Β’ Παγκοσμίου Πολέμου η λήξη πήρε παράταση έως το 2033 και ο Δήμος Πατρέων έλαβε χρηματικό ποσό από την Εθνική Τράπεζα που κυμαινόταν στις 145.000 λίρες Αγγλίας και το οποίο εξοφλήθηκε το 1944.

Εξαιτίας των καταστροφών που προκάλεσε το ποτάμι δημιουργήθηκαν πολλά προβλήματα τον πρώτο καιρό λειτουργίας του φράγματος. Το 1927 προκλήθηκε κατολίσθηση στην περιοχή του φράγματος και κατά συνέπεια διακόπηκε η λειτουργία των σταθμών ώστε να επιδιορθωθούν οι βλάβες ώσπου το 1933 τέθηκε ξανά σε λειτουργία σταθμός. Αφού ολοκληρώθηκε η κατασκευή του φράγματος, η εταιρεία πραγματοποίησε την πώληση των πρώτων ηλεκτρικών συσκευών στους ντόπιους της πόλης. Το 1939 ξεκίνησε μελέτη κατασκευής τρόλεϊ όμως δεν κατάφερε να ολοκληρωθεί εξαιτίας του πολέμου. Τον Αύγουστο του 1950 εγκαθιδρύεται η ‘Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού’ (ΔΕΗ) και βαθμιαία της παρέχονται από το κράτος όλα τα δικαιώματα για την παροχή και την εκμετάλλευση του ηλεκτρικού ρεύματος. Το κόστος για τη μεταβίβαση του σταθμού έφτασε στο ποσό των

15.000.000 δραχμών και στις 01/01/2008 ο σταθμός παραχωρήθηκε από την ΔΕΗ Α.Ε. στην ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ Α.Ε..

Το 1925 το εργοστάσιο απέκτησε τρεις μονάδες Pelton κατακόρυφο άξονα με ισχύει 750 kW η καθεμία και το 1936 συμπληρώθηκε επιπλέον άλλη μία μονάδα Pelton. Μεταξύ 1955 έως 1997 έγινε ανακαίνιση του ΜΥΗΣ Γλαύκου η οποία είχε σκοπό την εγκατάσταση νέου αγωγού πτώσεως, την προσθήκη επιπλέον μιας μονάδας Francis, την εγκατάσταση νέου στροφείου της μονάδας Pelton, των ηλεκτρολογικών πινάκων - ρυθμιστών στροφών και τέλος στην κατασκευή ενός Μουσείου.



Εικόνα 6.1: Εργασίες κατασκευής ΜΥΗΣ Γλαύκου

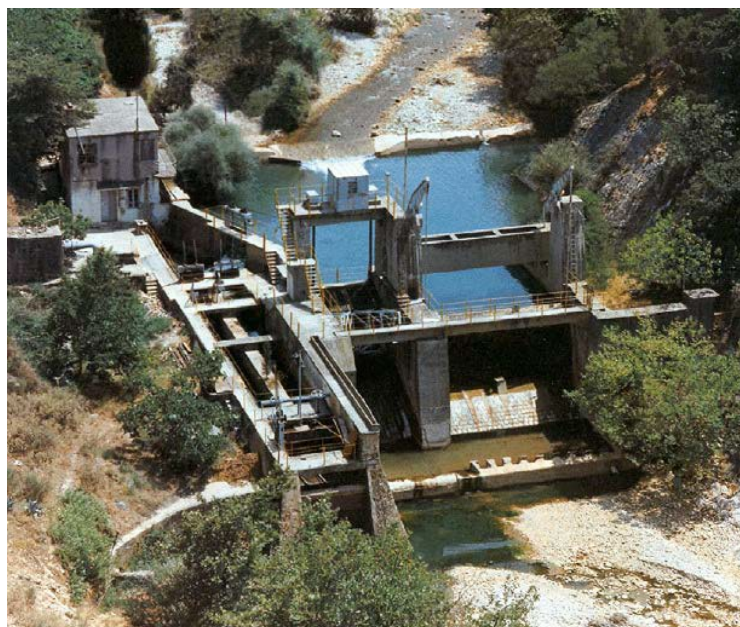
6.2 Υδροηλεκτρικό εργοστάσιο Γλαύκου

Στη νοτιοδυτική πλευρά του Παναχαϊκού όρους στην Πάτρα και κατά μήκος του ποταμού Γλαύκου σε ύψος 185 μέτρα εντοπίζεται ο ΥΕΗ Γλαύκου που χάρη στον ποταμό Γλαύκο μπορεί και τροφοδοτείται. Το ποτάμι έχει μήκος περίπου 27 χιλιόμετρα, το οποίο καταλήγει στη νότια πλευρά του Πατραϊκού κόλπου και χαρακτηρίζεται ως φυσικό διαχωριστικό μεταξύ του δήμου Μεσσήνης και του δήμου Πάτρας. Επίσης, στην σημερινή εποχή στον ποταμό πραγματοποιούνται έργα που αφορούν τη ρύθμιση της κοίτης, την δημιουργία τοιχωμάτων από εξοπλισμένο σκυρόδεμα και ανοικοδόμηση του παραποτάμιου δρόμου.

6.3 Φράγμα

Η άρδευση βρίσκεται σε ύψος 340 μέτρων και εξυπηρετεί την κατασκευή μικρής δεξαμενής για να οδηγηθεί το νερό στην είσοδο της σήραγγας προσαγωγής. Ανάλογα με το υλικό κατασκευής τα φράγματα κατανέμονται σε πολλά είδη καθώς και ανάλογα με το ύψος της χωρίζονται σε μεγάλα, μεσαία και μικρά. Όσον αφορά το φράγμα του Γλαύκου, κατασκευάστηκε από εξοπλισμένο σκυρόδεμα και οικοδομήθηκε πάνω στο παλιό φράγμα από σκυρόδεμα το οποίο είχε καλυφθεί από φερτές ύλες. Υπάρχουν δύο διώρυγες προσαγωγής πριν από την άρδευση οι οποίες είναι αμμοσυλλέκτες με χρήση βανών στον πυθμένα τους, ώστε να επιτυγχάνεται η απομάκρυνση των φερτών υλών και για την προστασία του φράγματος έχει κατασκευαστεί ένα πρόφραγμα στα 400 μέτρα.

Το φράγμα έχει φτιαχτεί κάθετα στην κοίτη του ποταμού έτσι ώστε να γίνεται αποθήκευση, διοχέτευση ή η παρεμπόδιση της πλημμύρας του ρεύματος. Εξαιτίας αυτού, στεγάζονται δύο θυροφράγματα κάθετα προς την κοίτη του ορμητικού ποταμού, ένα αυτόματο και ένα ηλεκτροκίνητο και με αυτόν τον τρόπο προκύπτει μία μικρή δεξαμενή η οποία επιτρέπει τη ροή του νερού προς τον αγωγό προσαγωγής. Για το λόγο ότι το φράγμα διαθέτει μικρό ύψος, υπάρχει μικρός ταμιευτήρας και η έξοδος των φερτών υλών πραγματοποιείται μέσω του τόξου του θυροφράγματος και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μη δημιουργηθεί κενό της στον πυθμένα.



Εικόνα 6.3: Φράγμα Γλαύκου

6.4 Υπερχειλιστής

Ο υπερχειλιστής αποτελεί απαραίτητο μέρος για ένα φράγμα και ο σκοπός του είναι η διασφάλιση της ασφάλειας του φράγματος απέναντι στα επιδεινούμενα καιρικά φαινόμενα όπως είναι μεγάλες πλημμύρες, οι σεισμοί, οι κατολισθήσεις κ.α.. Το 1922 - 1926 κατασκευάστηκε το πρώτο φράγμα του Γλαύκου με την παρουσία υπερχειλιστή και ένα θυρόφραγμα που η μορφή του διέφερε πολύ από τη σημερινή. Δύο χρόνια μετά την ολοκλήρωση των έργων, προκλήθηκε κατολίσθηση με αποτέλεσμα τεράστιοι ογκόλιθοι να προκαλέσουν ζημιά στο έργο. Η κατολίσθηση αυτή ανάγκασε σε επανασχεδιασμό του έργου και να φτάσει στη σημερινή μορφή όπως συγκροτείται από δύο θυροφράγματα, ένα αυτόματο με αντίβαρο και ένα τοξωτό ηλεκτροκίνητο.

6.5 Ηλεκτροκίνητο τοξωτό θυρόφραγμα

Το τοξωτό ηλεκτροκίνητο θυρόφραγμα στεγάζεται κοντά στην πετρόκτιστη κατασκευή στήριξης η οποία απαρτίζει τη δεξιά δευτερεύουσα κατηφορική κορυφογραμμή του έργου. Λειτουργεί με ηλεκτρισμό και έχει και μονάδα ελέγχου η οποία υπάρχει σε ένα φυλάκιο στη γέφυρα. Το θυρόφραγμα δουλεύει χειροκίνητα διότι δεν υπάρχει βοηθητική γεννήτρια που θα λειτουργούσε ως εφεδρική τροφοδοσία σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος. Όταν ανοίγει το θυρόφραγμα το νερό ρέει μέσω μιας μικρής διώρυγας η οποία είναι ενισχυμένη με σκληρό γρανίτη για μεγάλη αντοχή καταπονήσεως. Έπειτα, το νερό ρέει προς την παλαιά κοίτη της ορμητικότητας του ποταμού. Επειδή δεν υπάρχει ταμιευτήρας για την παρεμπόδιση της πλημμύρας, ο φύλακας της βάρδιας χειρίζεται το θυρόφραγμα εμπειρικά και σύμφωνα με την κρίση του ώστε να μη λειτουργήσει το αυτόματο θυρόφραγμα. Έτσι όταν σημειώνεται αύξηση της στάθμης, ο φύλακας της βάρδιας με τη βοήθεια της μονάδας ελέγχου ανοίγει το θυρόφραγμα κρίνοντας από την ροή. Κατά συνέπεια δημιουργεί εκτόνωση του όγκου του νερού το οποίο με τη σειρά του ανεμπόδιστα οδηγείτε προς την παλαιά κοίτη. Για το λόγο ότι ο ταμιευτήρας έχει μικρό μήκος, για να αποτραπεί η αυτόματη λειτουργία του φράγματος με αντίβαρο, ο φύλακας ενεργεί προκειμένου να ανοίξει το ηλεκτροκίνητο θυρόφραγμα όταν η στάθμη φτάσει στο σημείο λειτουργίας του αυτόματου θυροφράγματος και θα επιτρέψει την ροή του νερού και των φερτών υλών από κάτω του.



Εικόνα 6.5.1: Τοξωτό Θυρόφραγμα



Εικόνα 6.5.2: Μικρή Διώρυγα από γρανίτη

6.6 Αυτόματο θυρόφραγμα με αντίβαρο

Το θυρόφραγμα με το αντίβαρο συνδέονται με τη βοήθεια ενός βραχίονα και όταν η στάθμη φτάσει τα 30cm το βάρος του δημιουργεί την ανύψωση του αντίβαρου και γίνεται η αιτία για την κάθοδο του φράγματος. Εν συνεχεία, αν η στάθμη εξακολουθεί να ανεβαίνει το αντίβαρο τοποθετείται σε κατάλληλη θέση παράλληλα με την ταυτόχρονη άνοδο του φράγματος ώστε να επέλθει ισορροπία. Αυτό εξακολουθεί να συμβαίνει έως ότου το θυρόφραγμα να ανοίξει πλήρως.

Το νερό ρέει μέσα σε μικρή διώρυγα η οποία είναι ενισχυμένη με γρανίτη και στην κατάληξη της διαθέτει μία κάθετη διάταξη από σκυρόδεμα επενδυμένο με χαλύβδινες πλάκες και το οποίο δεν επιτρέπει τα μεγάλα φερτά και περιορίζει ως ένα μέρος στην ενέργεια του νερού. Εξαιτίας του τρόπου λειτουργίας το αυτόματο θυρόφραγμα έχει μεγάλα σημαντικά μειονεκτήματα. Όταν τεθεί σε λειτουργία θα αφήσει να ρέει το νερό πάνω του, όμως μαζί με αυτό θα υπάρχουν και όλα τα φερτά που προέρχονται από τα ορεινά και τα οποία προσκολλούνται πάνω στο θυρόφραγμα με αποτέλεσμα να δημιουργούν πρόβλημα κατά το κλείσιμο του. Στην μόνη περίπτωση που είχε λειτουργήσει και αφού μετά την πλημμύρα έμεινε ανοιχτό αναγκάστηκαν να παρέμβουν οι υπεύθυνοι του έργου για να απομακρύνουν όλες τις πέτρες, πράγμα πολύ δύσκολο και επίπονο, έτσι ώστε το αντίβαρο να καταφέρει να σηκώσει ξανά το θυρόφραγμα. Από όλο αυτό, συμπεραίνουμε ότι το αυτόματο θυρόφραγμα είναι κατάλληλο για τέτοιου είδους προβλήματα όταν το ηλεκτρικό θυρόφραγμα δεν καταφέρει να λειτουργήσει ή αν δεν μπορέσει να ανακατευθύνει την πλημμύρα. Στο σύστημα του υπερχειλιστή με τα δύο θυροφράγματα δεν συμπεριλαμβάνεται το έργο καταστροφής της ενέργειας κατάντη με υδραυλικό άλμα και λεκάνη ηρεμίας. Η μικρή δημιουργία της κατάντη

του αυτόματου θυροφράγματος με αντίβαρο συμβάλλει στην προστασία της διώρυγας και της ενίσχυσης από γρανίτη, από αρκετά μεγάλα φερτά τα οποία μπορούν να προκαλέσουν αποδυνάμωση της ενίσχυσης. Για να προστατευτεί η ανέγερση από τις μεγάλες ποσότητες φερτών στο έργο της κατάντη του υπερχειλιστή εντάχθηκε ένας μονόλιθος εξοπλισμένου σκυροδέματος πάχους 1,5 μέτρου και πάνω από αυτόν ρέει το νερό και από τα δύο θυροφράγματα και κατευθύνεται προς την παλαιά κοίτη. Η κατάντη του αυτόματου θυροφράγματος δεν έχει υποστεί φθορές διότι δεν έχει τεθεί σε λειτουργία. Ο εξοπλισμός είναι ολοκληρωτικά οξειδωμένος και παραμορφωμένος. Οι επισκευές κατά την διάρκεια των θερινών μηνών αφορούν τα σκαμένα τμήματα με σκυρόδεμα με ελάχιστες αντοχές. Όμως κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών οι επισκευές αφαιρούνται και εμφανίζεται ξανά ο διαβρωμένος οπλισμός. Στην κατάντη του άκρη το οπλισμένο σκυρόδεμα έχει υποστεί ζημιά σε όλο σχεδόν το μήκος του και έχει δημιουργηθεί μία τάφρος στη θέση ένωσής του με την κοίτη με βάθος 1,5 μέτρο. Στην συγκεκριμένη τάφρο που είναι γεμάτη με νερό, έχουν ενταχθεί βαρέλια με σκυρόδεμα για να μην δημιουργηθεί μεγαλύτερη υποσκαφή. Η τύρβη που συμβαίνει εξαιτίας του νερού στην τάφρο, καθώς λειτουργεί το ηλεκτρικό θυροφράγμα, απομακρύνει κάποια βαρέλια και τα μεταφέρει έως και 50 μέτρα από την αρχική τους θέση.



Εικόνα 6.6: Αυτόματο θυροφράγμα με αντίβαρο

6.7 Σήραγγα προσαγωγής

Η σήραγγα προσαγωγής είναι κατασκευασμένη από σκυρόδεμα και ενταγμένη μέσα στο έδαφος για λόγους ασφαλείας και για περιβαλλοντικούς λόγους. Επίσης, η σήραγγα παραγωγής υλοποιείται με βάση τα οικονομοτεχνικά κριτήρια. Η σήραγγα του Γλαύκου υλοποιήθηκε με έναν αγωγό ενώ σε άλλες περιπτώσεις συντηρείται από έναν αγωγό.

Η σήραγγα προσαγωγής κατευθύνει το νερό από τον ταμιευτήρα προς τον σταθμό παραγωγής αφού περάσει πρώτα από τις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στην κοίτη του ποταμού κατάντη. Στον ΥΕΗ του Γλαύκου η σήραγγα προσαγωγής έχει μήκος 1695 μέτρα και η διατομή της είναι μεταξύ 1,64m² έως 1,95m². Ο πυθμένας της στην άρδευση έχει στάθμη 335 μέτρα, η κλίση της είναι 1,67% και το πάχος της ενίσχυσης από μπετόν αρμέ είναι μεταξύ 0,10 cm έως 0,40 cm.

6.8 Πύργος Εκτόνωσης (Υδατόπυργος)

Στην κατάληξη της σήραγγας βρίσκεται ο πύργος εκτόνωσης με οπλισμένο σκυρόδεμα και με εσωτερική διάμετρο 9 μέτρα και ύψος 9 μέτρα. Στον πυθμένα του πύργου βρίσκεται ένα κωνικό άνοιγμα διαμέτρου 1,5 μέτρου προς τον αγωγό πτώσης. Στον υδατόπυργο βρίσκεται και ένας μικρός υπερχειλιστής που η στάθμη του είναι 337,5 μέτρα και στον πυθμένα 328,5 μέτρα. Ο πύργος εκτόνωσης είναι απαραίτητος για την προστασία της σήραγγας προσαγωγής από πολύ μεγάλες πιέσεις όπως και την προσφορά της επιπρόσθετης ποσότητας νερού που χρειάζεται για την έναρξη μονάδων. Έπειτα από τον πύργο εκτόνωσης, η σήραγγα προσαγωγής κατευθύνεται προς την άνω βαλβίδα με μεταλλική ενίσχυση.

Η άνω βαλβίδα είναι τύπος πεταλούδας διαμέτρου 3 μέτρων που απαιτείται για την προστασία της σήραγγας στο τμήμα που μπαίνει από αυτή και φτάνει στο σταθμό παραγωγής όταν πρόκειται για υπερβολική ταχύτητα του νερού. Επίσης, στον πυθμένα του πύργου βρίσκεται ένας μικρός αγωγός εκκένωσης ο οποίος βοηθάει στην απομάκρυνση και τον καθαρισμό του υδατόπυργου από φερτές ύλες. Από του υπερχειλιστή του υδατόπυργου αναχωρεί ένας παρακαμπτήριος αγωγός και μέσω αυτού τα νερά από την υπερχειλίση οδηγούνται δίπλα στο εργοστάσιο μέσα στον αγωγό φυγής.

6.9 Αγωγός πτώσης

Το νερό από τον υδατόπυργο κατευθύνεται προς τον σταθμό παραγωγής περνώντας μέσα από το μεταλλικό αγωγό πτώσης με μήκος 354 μέτρα, διάμετρο 90cm και μέση κλίση 48,7%.

Ο αγωγός πτώσης ευθύνεται για τη μεταφορά του νερού από τον πύργο εκτόνωσης στον σταθμό για την παραγωγή ενέργειας μέσω των στροβίλων.



Εικόνα 6.9: Αγωγός πτώσης ΜΥΗΣ Γλαύκου

6.10 Εργοστάσιο παραγωγής

Το υψόμετρο του σταθμού είναι 183 μέτρα, υλοποιημένος από οπλισμένο σκυρόδεμα και περιέχει:

1. Μία μονάδα που απαρτίζεται από στρόβιλο τύπου Francis με οριζόντιο άξονα και αριθμό στροφών 1000rpm και από μία γεννήτρια με ονομαστική ισχύς στα 2,8 MVA και τάσης 8,4 KV.

2. Μία μονάδα που απαρτίζεται από στρόβιλο τύπου Pelton με οριζόντιο άξονα και αριθμό στροφών 500 rpm και από μία γεννήτρια με ονομαστική ισχύ στα 2MVA και τάσης 8,4KV.

Το κτήριο απαρτίζεται από έναν όροφο στο ισόγειο και το υπόγειο. στο υπόγειο υπάρχει ο χώρος συσσωρευτών καθώς και ο ΥΗΣ που λειτουργεί μέσω χειροκίνητης γερανογέφυρας. Στο ισόγειο βρίσκεται ο χώρος συναρμολόγησης της μονάδας, ο πίνακας ελέγχου, η αίθουσα ελέγχου, το μηχανουργείο, το ηλεκτρολογείο και το γραφείο του χειριστή.

6.10.1 Κεντρική μονάδα ελέγχου

Η λειτουργία των μονάδων ελέγχεται αυτόματα με τη βοήθεια ενός ηλεκτρονικού ρυθμιστή από την αίθουσα ελέγχου. Ο χειριστής του ΜΥΗΣ Γλαύκου έχει τη δυνατότητα εκτέλεσης εντολών έναρξης και σταματήματος και να ρυθμίζει την άεργο και ενεργό ισχύ της μονάδας. Η κεντρική μονάδα είναι υπεύθυνη για την ρύθμιση της ισχύος, την προστασία της γεννήτριας και την τροφοδοσία των βοηθημάτων της μονάδας. Η μονάδα απαρτίζεται από κάποια όργανα που απαρτίζουν τον πίνακα ελέγχου του ΥΣΓ τα οποία αναλυτικά είναι:

1. Βολτόμετρο με επιλογικό διακόπτη
2. Ενδεικτικό όργανο συχνότητας
3. Ενδεικτικό όργανο ταχύτητας περιστροφής
4. Ενδεικτικό όργανο ενεργής ισχύος
5. Ενδεικτικό όργανο άεργος ισχύος
6. Ενδεικτικό όργανο συντελεστής ισχύος ($\cos\phi$)
7. Ενδεικτικό όργανο ένδειξης ωρών λειτουργίας
8. Ενδεικτικό όργανο ανάντι στάθμης φράγματος
9. Ενδεικτικό όργανο ποσοστού ανοίγματος ρυθμιστικών πτερυγίων

Καθώς η μονάδα ελέγχου αποτελεί το πιο σημαντικό κομμάτι του σταθμού για να προστατευθεί, οι υπεύθυνοι λειτουργίας έχουν εντάξει Η/Ν προστασίας τα οποία είναι τα εξής:

1. Υπό τάσης
2. Υπερένταση και βραχυκυκλώματος
3. Αντίστροφη ροή ισχύος

4. Ελέγχου διέγερσης γεννήτριας
5. Ύπαρξη τάσης δικτύου
6. Διαρροή στάτη προς τη γη
7. Ουδετέρου Μ/Σ ανύψωσης προσφυγής
8. Vouchers Μ/Σ ανύψωσης
9. Υπερθέρμανσης τυλιγμάτων στάτη και εδρανών



Εικόνα 6.10: Εσωτερικού σταθμού

6.10.2 Ηλεκτρονικό σταθμήμετρο

Για να δουλέψει ο ΜΥΗΣ έχει τοποθετηθεί στον εξαμωτή της υδροληψίας ένα ηλεκτρονικό σταθμήμετρο που λαμβάνει την πίεση που συνδέεται με τον ρυθμιστή στροφών στον σταθμό παραγωγής. Το αισθητήριο του σταθμήμετρου είναι εγκατεστημένο μέσα σε σωλήνα από ανοξείδωτο χάλυβα και έχει αλεξικέραυνα για την προστασία του από υπερτάσεις.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των σταθμήμετρων είναι τα εξής:

1. Τύπος σταθμοί μέτρου
2. Ακρίβεια μέτρησης
3. Βαθμός προστασίας
4. Έξοδος

6.10.3 Υδροστροβίλοι

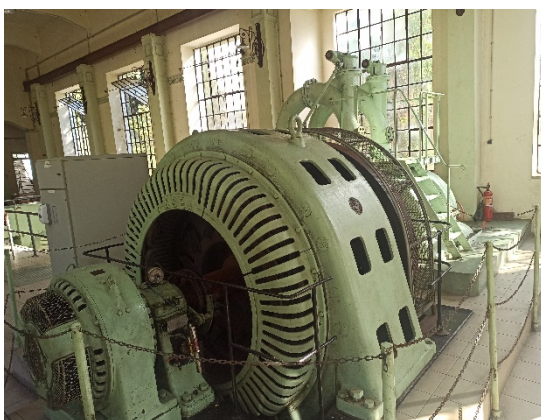
Οι υδροστρόβιλοι είναι απαραίτητοι για να μετασχηματιστεί η κινητική ενέργεια του νερού σε ηλεκτρική και κατηγοριοποιούνται σε υδροστροβίλους δράσης και αντίδρασης. Στους στροβίλους της πρώτης κατηγορίας το νερό φτάνει σε ακροφύσια ή σε σταθερά πτερύγια και η ενέργεια αυτή μετατρέπεται σε κινητική. Εν συνεχεία πέφτει σε κάποια κινητά σκαφιδιά με αποτέλεσμα να αρχίσει να κινείται ο τροχός. Στους στροβίλους της δεύτερης κατηγορίας ένα κομμάτι της δυναμικής ενέργειας μετασχηματίζεται σε κινητική και το υπόλοιπο εξακολουθεί να είναι δυναμική ενέργεια ή πίεση.

Ο ΜΥΗΣ Γλαύκου, ύστερα από την ανακαίνιση που είχε εναρκτήρια χρονολογία το 1995 και διεκπεραίωση το 1997 διαθέτει 3 μονάδες

A. 2 Pelton ισχύος 1.4 MW πού ανήκει στους υδροστροβίλους δράσης

B. 1 Francis ισχύος 2.29 MW η οποία ανήκει στους ελικοφόρους υδροστρόβιλους αντίδρασης.

Ισχύς κυμαίνεται στα 3,7 MW καθώς στην Πάτρα χρειάζεται 80 Mw σε ώρες αιχμής και η συνολική ετήσια παραγωγή είναι 3,7 GWh. Το νερό που είναι χρήσιμο για να παραχθεί ενέργεια ρέει μετά το στρόβιλο μέσω του αγωγού φυγής. Ένα μέρος του ρέει προς τα διυλιστήρια της ΔΕΥΑΠ και το άλλο προς τα αγροτικά χωράφια. Οι βροχοπτώσεις και τα χιόνια που σημειώνονται στην περιοχή καθορίζουν τη συνεχή ροή του ΜΥΗΣ του Γλαύκου.



Εικόνα 6.10.1: Στρόβιλος Pelton



Εικόνα 6.10.2: Στρόβιλος Francis

6.11 Υποσταθμός υψώσεως τάσεως - γραμμές μεταφοράς

Κοντά στο εργοστάσιο υπάρχει ο υποσταθμός όπου βρίσκονται οι μετασχηματιστές ισχύος, οι διακόπτες, το κτίριο ελέγχου και ένας βοηθητικός εξοπλισμός. Στον υποσταθμό υπάρχουν τοποθετημένοι οι διακόπτες των γραμμών που μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια και συμμετέχουν στο Εθνικό Σύστημα Μεταφοράς υψηλής τάσης 150 KV και 380 KV.

Τα χαρακτηριστικά του σταθμού είναι το εξής:

1. Ισχύς
2. Τύπος
3. Τύπος αερισμού
4. Όργανα προστασίας
5. Τάσης πρωτεύοντος
6. Τάσης δευτερευόντως
7. Επίπεδο μόνωσης των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή
8. Αλλαγή τάσης
9. Συχνότητα
10. Ονομαστική Τάση βραχυκύκλωσης
11. Σύνδεση

6.12 Αγωγός φυγής

Μετά τους στροβίλους το νερό ρέει σε μία διώρυγα και βοηθάει στην ύδρευση της Πάτρας και τις αρδευτικές ανάγκες της πόλης. Επίσης, η διώρυγα εξυπηρετεί στην αποφυγή της διάβρωσης του πυθμένα της εξόδου του νερού.

6.13 Μετασχηματιστές ανύψωσης τάσης και βοηθητικής υπηρεσία σταθμού

Αυτοί οι μετασχηματιστές βρίσκονται στην ύπαιθρο σε περιφραγμένη περιοχή. Συνδέουν τις μονάδες 20 KV και προστατεύονται από τοίχους με οπλισμένο σκυρόδεμα. Επίσης, βρίσκεται και μία στεγανή δεξαμενή με οπλισμένο σκυρόδεμα για να κρατάει το λάδι που προέρχεται από διαρροές. Τέλος, οι μετασχηματιστές συσχετίζονται με τον εξοπλισμό του σταθμού με καλώδια MT και XT.

6.14 Αίθουσα ελέγχου

Η λειτουργία των μονάδων ελέγχεται αυτόματα με τη βοήθεια ενός ηλεκτρονικού ρυθμιστή από την αίθουσα ελέγχου. Ο χειριστής του ΜΥΗΣ Γλαύκου έχει τη δυνατότητα εκτέλεσης εντολών έναρξης και σταματήματος και να ρυθμίζει την άεργο και ενεργό ισχύ της μονάδας.



Εικόνα 6.14: Παλιός πίνακας ελέγχου

6.15 Διαφορές κτιριακές εγκαταστάσεις

1. Κτήριο γραφείων
2. Αποθήκη
3. Οικισμός παλαιού μηχανουργείου
4. Οικισμός παλαιού φυλακίου
5. Μουσείο



Εικόνα 6.15: Υδροηλεκτρικά Έργα Γλαύκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Οι υπολογισμοί που ακολουθούν θα επιβεβαιώσουν τα δεδομένα του ΜΥΗΣ Γλαύκου.

7.1 Δεδομένα

- Τύπος σήραγγας: Υπόγειος, από οπλισμένο σκυρόδεμα, κυκλικής διατομής.
- Μήκος σήραγγας: $1.695 \text{ m} + 354 \text{ m} = 2.049 \text{ m}$
Όπου $354 \text{ m} =$ Μήκος αγωγού πτώσεως
- Διάμετρος σήραγγας: 90 cm
- Μέγιστη επιτρεπόμενη παροχευτική ικανότητα σήραγγας: $1.5 \text{ m}^3/\text{sec}$.
- Αλλαγές κλίσης : 3, 35°
- Βάνες τύπου πεταλούδας :1
- Γεωδαιτικό ύψος: $H_{\text{ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟ}} = 150 \text{ m}$

7.2 Πίνακες και Διαγράμματα

Οι παρακάτω πίνακες και διαγράμματα χρησιμοποιούνται στο μάθημα

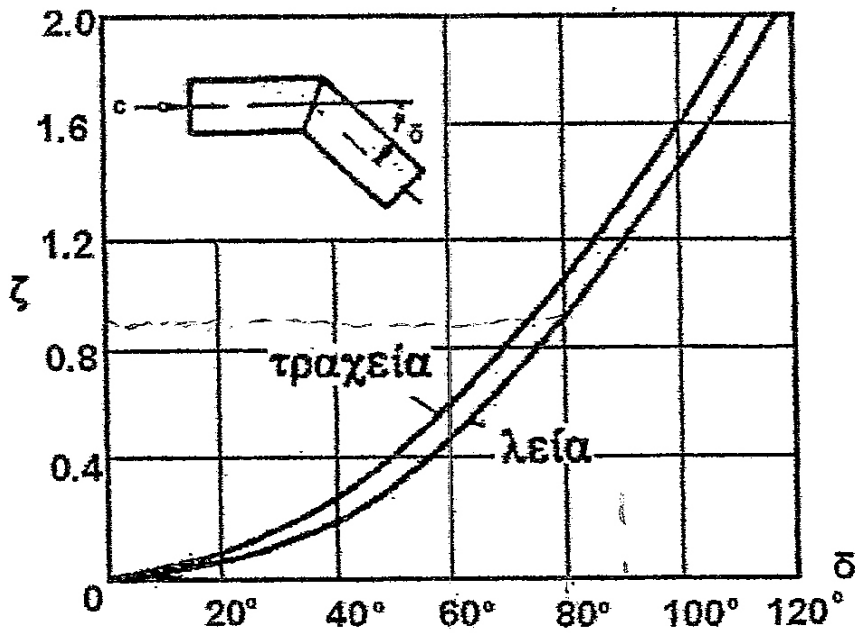
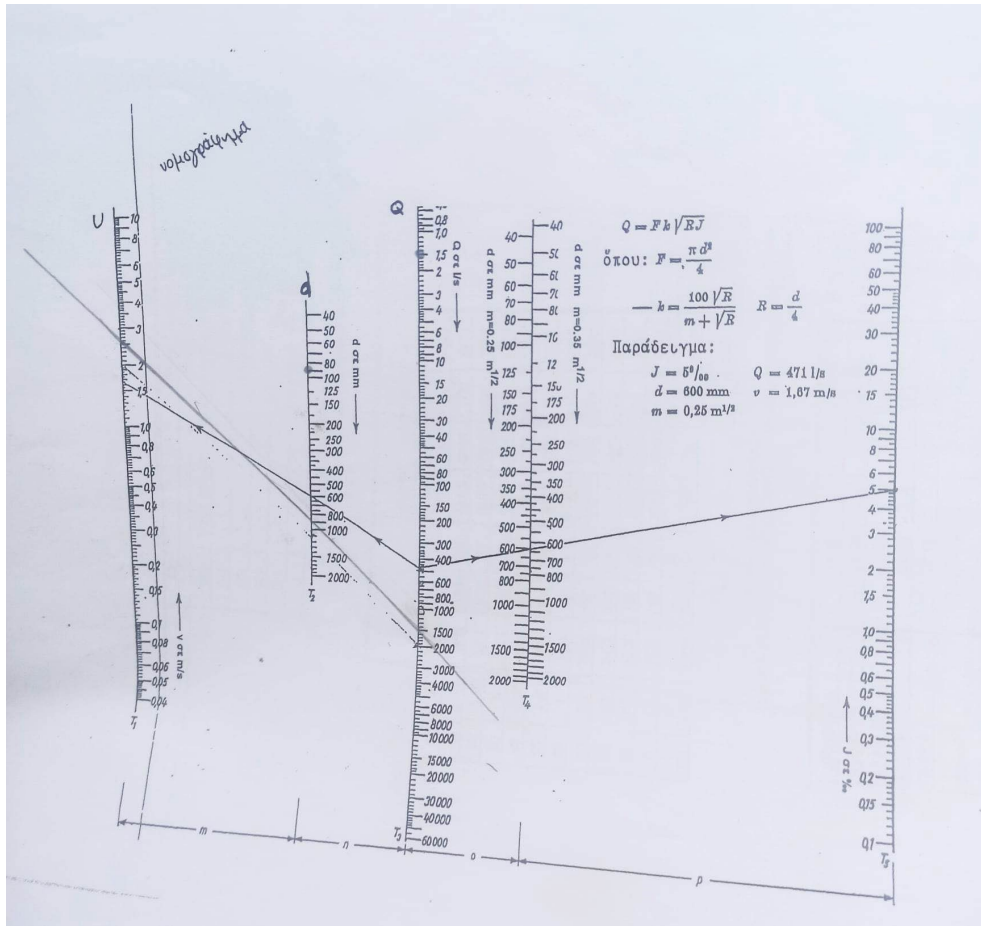
«Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας» του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου.

Πίνακας 6: ΤΙΜΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ζ ΒΑΝΝΩΝ, ΘΕΣΗ ΠΛΗΡΩΣ ΑΝΟΙΚΤΗ (ζ₀)

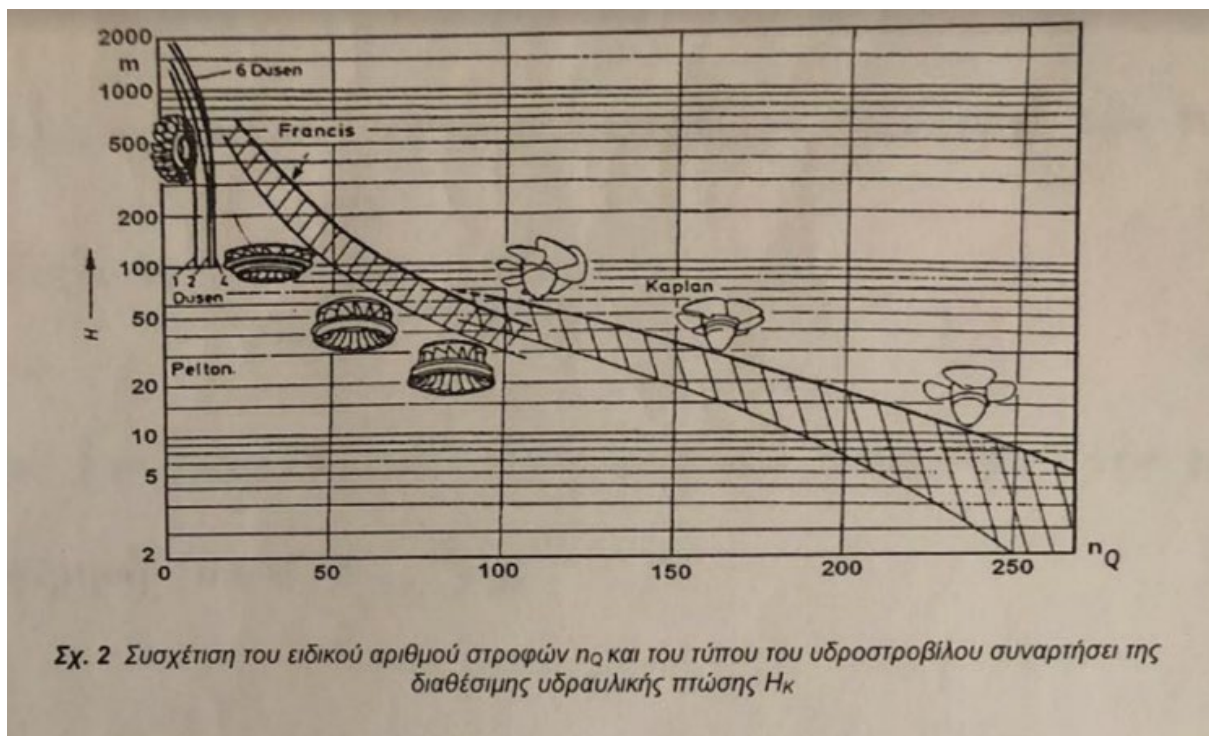
Τύπος βάννας	ζ ₀
Πεταλούδα (για πεταλούδα πάχους 0.1D)	0.20
Σφαιρική πλήρους ανοίγματος	0.02
Δισκοβαλβίδα	3.40
Γωνιακή δισκοβαλβίδα	1.80
Σύρτης (πλήρους ανοίγματος)	0.15

Πίνακας 4: ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ C Hazen-Williams ΓΙΑ ΑΓΩΓΟ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Σωλήνας	C
Εξαιρετικά λείος	140
Πολύ λείος	130
Σωλήνας από σκυρόδεμα	120
Νέος σιδηροσωλήνας	110
Κανονικός χυτοσίδηρος σωλήνας, χαλύβδινος 10-ετή χρήση ή παλαιός ξύλινος	100
Σωλήνας με έντονη φθορά	60



Σχ 1. Συντελεστής αντίστασης για αλλαγή κλίσης χωρίς καμπυλότητα



7.3 Υπολογισμοί

Παροχή: $Q = 1,5 \text{ m}^3/\text{sec} = 1,5 \times 1000 \text{ lt}/\text{sec} = 1500 \text{ lt}/\text{sec}$

$D = 90 \text{ cm} = 0,9 \text{ m}$

Από νομογράφημα λαμβάνουμε : $U = 2,5 \text{ m}/\text{sec}$

Από ΠΙΝΑΚΑ 4 για σωλήνα από σκυρόδεμα, λαμβάνουμε $c = 120$

Απώλειες σωλήνα:

$$\Delta h_1 = \frac{L * u^{1.85}}{0,147 * C^{1.85} * D^{1.17}} = \frac{2049 * 2,5^{1.85}}{0,147 * 120^{1.85} * 0,9^{1.17}} = \frac{11.161,71616}{912,5703954} = 12,23 \text{ m}$$

Απώλειες λόγω αλλαγής κλίσης του σωλήνα:

$$\Delta h_2 = j * \frac{u^2}{2 * g} = 3 * 0,2 * \frac{2,5^2}{2 * 10} = \frac{3,75}{20} = 0,1875 \text{m}$$

Από ΠΙΝΑΚΑ 6 για βάνα τύπου πεταλούδας λαμβάνουμε $j=0.2$

Απώλειες λόγω διακοπτικών μέσων:

$$\Delta h_3 = j * \frac{u^2}{2 * g} = 1 * 0,2 * \frac{2,5^2}{2 * 10} = \frac{1,25}{20} = 0,0625 \text{m}$$

Υπολογισμός ωφέλιμου ύψους:

$$h_{\omega\phi} = h_{\Gamma\text{E}\Omega\Delta} - \Delta h_1 - \Delta h_2 - \Delta h_3 = 150 - 12,23 - 0,1875 - 0,0625 = 137,52 \text{m}$$

Ειδικός αριθμός στροφών:

$$N_Q = n_g * \frac{\sqrt{u}}{\frac{3}{h^{\frac{1}{4}}}} = 500 * \frac{\sqrt{2,5}}{137,52^{0,75}} = \frac{1,58 * 500}{40,15} = \frac{790}{40,15} = 19,68$$

Υπολογισμός Υδραυλικής Ισχύος:

$$P_{\nu\delta\rho} = g * Q * h_{\omega\phi} = 9.81 * 1500 * 147,52 = 2.023.606,8 \text{ Watt.}$$

Υπολογισμός παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος:

$$P_{\eta\lambda} = n_g * P_{\nu\delta\rho} = 0,9 * 2.023.606,8 = 1.821.246,12 \text{ Watt.}$$

Όπου $n_g=0.9$ (δίνεται)

Συμπεράσματα:

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έγιναν, ο τύπος του υδροστροβίλου (Pelton) και η ηλεκτρική ισχύς εξόδου της γεννήτριας (1,8MW) συμφωνούν με τις πραγματικές προδιαγραφές του ΜΥΗΣ Γλαύκου.

Βιβλιογραφία και Ιστοσελίδες

1. Malesios, C., & Arabatzis, G. (2010). Small hydropower stations in Greece: The local people's attitudes in a mountainous prefecture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 2492-2510.
2. Balmer, M., & Spreng, D. (2008). Hydroelectric Power. *Future Energy*, 193-209.
3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΠΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Gilbert M. Masters.
4. Perlmand, H., Μακρόπουλος, Χ., Κουτσογιάννης, Δ., “Ο υδρολογικός κύκλος – Γεωλογική Υπηρεσία ΗΠΑ” USGS science for changing world Διαθέσιμο: <https://bit.ly/40w1ntS> .
5. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Δυναμικό & Τεχνολογίες, Διονύσης Ασημακόπουλος / Γεώργιος Αραμπατζής / Αθανάσιος Αγγελής Δημάκης / Αβραάμ Καρταλίδης / Γεώργιος Τσιλιγκιρίδης .
6. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΠΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Gilbert M. Masters.
7. Μαμάσης, Ν., Ευστρατιάδης, Α., Κουτσογιάννης, Δ. (2016). “Υδροηλεκτρικά έργα – Αρχές υδροενεργειακής τεχνολογίας” Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος.
8. ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΕΣ – ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ Απόστολος Πολυζάκης.
9. ΕΝΕΡΓΕΙΑ, ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ και ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗ, Απόστολος Πολυζάκης.
10. Public Power Corporation – Glafkos Hydroelectric Project, Supply and installation of a New Hydroelectric Unit and Upgrading and Refurbishment of the Existing unit, Hydroelectric Projects Development Department (Τεχνικές Σημειώσεις Υδροηλεκτρικού Σταθμού Γλαύκου).
11. Argyrou, M. C., Christodoulides, P., & Kalogirou, S. A. (2018). Energy storage for electricity generation and related processes: Technologies appraisal and grid scale applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 804–821.

12. Πτυχιακή Εργασία των φοιτητών Γεωργίτση Άγγελο και Σίννη Αναστάσιο, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά, Τμήμα Πολιτικών Δομικών Έργων, << Μελέτη και περιγραφή του ΜΥΗΣ Γλαύκου>>, έτος 2010.
13. Βλαχάκης Ν.Β. , Εργαστήριο Υδραυλικών Στροβιλομηχανών & Αντλιών, Υδροδυναμικές Μηχανές – Ι , ΕΚΔΟΣΕΙΣ: ΠΑΤΑΚΗ, έτος 2003.

Πηγές Πειραματικού Μέρους

- «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας» του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου (Σημειώσεις μαθήματος).

Ιστοσελίδες

- 1) *Seismic Safety of Arch Dams with Aging Effects I*, <https://bit.ly/3X3kZlV> , (τελ. Επίσκεψη 05/02/2023)
- 2) *Υδροηλεκτρικός Σταθμός*, <https://bit.ly/40wFc6A> , (τελ. Επίσκεψη 05/02/2023)
- 3) *Έργα ελέγχου ορεινών υδάτων*, <https://bit.ly/3JHfDtJ> , (τελ. Επίσκεψη 05/02/2023)
- 4) *Οι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί της ΔΕΗ Α.Ε. και η συμβολή τους στην κάλυψη των Ενεργειακών Αναγκών της Χώρας*, <https://bit.ly/3HYBRGj>, (τελ. Επίσκεψη 05/02/2023)