



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΡΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ – ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

Α.Μ

ΤΖΑΛΙΟΣ ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ

1717

ΦΡΑΓΚΙΟΥΔΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

1882

Επιβλέπων καθηγητής: Κατσιγιαννης Ιωάννης

ΧΑΝΙΑ 2021

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό, θα θέλαμε να εκφράσουμε τα βαθύτατα ευχαριστήριά μας, ως προς όλους που συνέβαλλαν, είτε άμεσα, είτε έμμεσα στη διαδικασία περάτωσης, της εν λόγω πτυχιακής εργασίας.

Σε πρώτο βαθμό, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους γονείς μας, για όλα όσα μας έχουν προσφέρει όλα αυτά τα χρόνια και την υποστήριξη τους με κάθε δυνατό τρόπο, σε κάθε έκφανση της ζωής μας. Αισθανόμαστε πως σε αυτούς οφείλουμε τα πάντα.

Ακόμα, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα επίκουρο καθηγητή κ. Ιωάννη Κατσίγιαννη, ο οποίος με τις καταλυτικές του συμβουλές και παρεμβάσεις, μας έλυνε οποιαδήποτε απορία εμφανιζόταν, στην πτυχιακή μας εργασία.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά όλους τους φίλους και συμφοιτητές μας που ήταν δίπλα μας σε κάθε δύσκολη και εύκολη στιγμή της συνολικής μας φοίτησης στο Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, Σχολή Μηχανικών.

Τους ευχαριστούμε για όλες τις όμορφες αναμνήσεις και συναισθήματα που μας χάρισαν.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι απαραίτητη σε εμπορικές και κοινωνικές επενδύσεις όπως φωτισμός, θέρμανση, επικοινωνία, υπολογιστές, βιομηχανικός εξοπλισμός, μεταφορές κ.λπ. Επομένως, η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια από τις πιο κατάλληλες και αποτελεσματικές τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τις οποίες υπάρχει περισσότερος από ένας αιώνας εμπειρίας. Ο τύπος λειτουργίας και η εγκατεστημένη ισχύς είναι δύο κριτήρια που απαιτούνται για την ταξινόμηση ενός υδροηλεκτρικού σταθμού. Σε σχέση με το πρώτο κριτήριο, υπάρχουν οι ακόλουθες εναλλακτικές: με δεξαμενή αποθήκευσης νερού, σε ροή ποταμού, αντλησιοταμίευση, και τύπου βαρυτικής δίνης. Το δεύτερο κριτήριο ταξινομείται σε μεγάλο και μικρό υδροηλεκτρικό.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η αξιοποίηση της υδραυλικής ενέργειας σε μικρή κλίμακα μέσω της δίνης του τρεχούμενου νερού με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αυξάνοντας την αιεφορία του νερού στο σύνολό του. Παρουσιάζεται μια επισκόπηση που αφορά τη ροή και την ισχύ ενός μικρού υδροηλεκτρικού, περιγράφοντας την τεχνολογία δίνης και τα κατάλληλα συστήματα στροβίλων που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας μικρής κλίμακας.

ABSTRACT

Electrical power is essential in commercial and social investments like lighting, heating, communications, computers, industrial equipment, transport etc. Therefore, hydropower energy is one of the most suitable and efficient technologies of renewable energy which includes experience of more than a century. The facility and power capacity are the two criteria required for the classification of hydropower plant. The first one consists of five technologies: dammed reservoir, run-of-river, pumped storage, and gravitational vortex. The other one is classified according to hydro plant power scale and it is divided in Large, Small, Micro and Pico Hydropower. This Thesis is focusing on micro hydropower, and especially on gravitational vortex power which increases the sustainability of water. It presents an overview focused on small hydro flow and power by discussing the free surface vortex technology and the suitable hydro turbine systems that are used in micro hydropower.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1.ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΣ	7
1.1 Οι ενεργειακές κρίσεις στην ιστορία του ανθρώπου	7
1.2 Περιβαλλοντική κρίση.....	9
1.3 Η εμφάνιση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα.....	10
1.4 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	12
1.5 Υδροηλεκτρικά έργα.....	14
1.6 Υδραυλική Ενέργεια	15
1.7 Στόχος και δομή της Πτυχιακής	16
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	17
2.1 Τυποί Φραγμάτων	17
2.2 Λειτουργία Υδροηλεκτρικών μονάδων	18
2.3 Υπολογισμός δυναμικού	21
2.4 Περιβαλλοντικό πλαίσιο	23
2.5 Υδροηλεκτρικοί σταθμοί	23
2.5.1 Σταθμοί ροής ποταμού.....	24
2.5.2 Σταθμοί αποθήκευσης νερού	26
2.5.3 Σταθμοί αποθήκευσης νερού με άντληση.....	27
2.6 Ταμιευτήρες.....	27
3. ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΟΙ.....	30
3.1 Χαρακτηριστικά υδραυλικών κινητήρων.....	30
3.2 Τύποι υδροστροβίλων	31
3.3 Υδροστρόβιλοι Πρόσπτωσης.....	31
3.3.1 Δρομέας Pelton.....	35
3.4 Υδροστρόβιλοι αντίδρασης	39
3.4.1 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα χρήσης υδραυλικής ενέργειας.....	45
3.4.2 Κριτήρια επιλογής τύπου υδροστροβίλου.....	46
3.5 Φαινόμενο σπηλαιώσης	50
4. ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΡΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ.....	52
4.1 Τύποι δίνης	53
4.2 Περιστροφή στροβίλων & πίεσης	54
4.3 Τρόπος λειτουργίας ΚΣΤ.....	55
4.3.1 Θεωρητική Επισκόπηση Λειτουργίας.....	55
4.3.2 Πειραματική Επισκόπηση Λειτουργίας.....	56
5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	59
5.1 Συμπεράσματα	59
5.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	59
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	60

ΕΓΚΥΚΛΟΠΑΙΔΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ.....	60
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	60

1.ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η βασικότερη αιτία της εξέλιξης του ανθρώπου ως λογικού όντος στον πλανήτη μας είναι η δυνατότητα του να μπορεί να ανακαλύπτει και να εκμεταλλεύεται νέες πηγές ενέργειας με σκοπό την παραπέρα κοινωνική του αναβάθμιση (υλική και πνευματική) και την βελτίωση του επιπέδου διαβίωσης. Κάθε βήμα προς τα εμπρός απαιτούσε, απαιτεί και θα απαιτεί, εκτός από την απαραίτητη επιστημονική – τεχνική – οικονομική - πολιτιστική πρόοδο, και σημαντική διεύρυνση της ενεργειακής βάσης. Δηλαδή μόνο η επιινόηση νέων μηχανών, συσκευών και νέων επιστημονικών - τεχνολογικών επιτευγμάτων δεν αρκεί, αλλά πρέπει να υπάρχει διαθέσιμη και η απαραίτητη ενέργεια για να τροφοδοτήσει τη λειτουργία τους. Για το λόγο αυτό η ενεργειακή εξασφάλιση ήταν, είναι και θα είναι το κυριότερο μέλημα της ανθρωπότητας.

Η ενέργεια είναι ένας από τους συντελεστές παραγωγής και ευημερίας και μάλιστα ο σπουδαιότερος, αφού σε συνδυασμό με την πρόοδο της επιστήμης και την τεχνολογική ανάπτυξη:

1. Άνοιξε τους δρόμους για την παραγωγή αφθονότερων, καλύτερων και φθηνότερων προϊόντων και υπηρεσιών.
2. Οδήγησε στη παραγωγή νέων προϊόντων και υπηρεσιών.
3. Επέτρεψε τη δημιουργία νέων και συνέχεια βελτιούμενων τεχνικών παραγωγής.
4. Υποκατέστησε τη βαριά, χειρωνακτική, εκτελεστική και μονότονη εργασία.
5. Επέτρεψε στον άνθρωπο να ασχοληθεί με εργασία καλύτερης ποιότητας (επιστημονική, πνευματική, υπεύθυνα δημιουργική) ενώ δημιουργήθηκαν νέες μορφές εξειδικευμένης εργασίας.
6. Μείωσε δραστικά τις ώρες εργασίας και πολλαπλασίασε την παραγωγικότητα της.

Το ύψος της εκρηκτικής αύξησης της παραγωγικότητας της εργασίας λόγω της αυξανόμενης χρήσης της ενέργειας γίνεται κατανοητό αν συγκρίνουμε την μυϊκή ισχύ του ανθρώπου που είναι 1/6 HP ή 0,1 KW με την ισχύ μιας σύγχρονης γεννήτριας 1000 MW (10.000.000 άνθρωποι) ή με την ισχύ του κινητήρα διαστημικού πυραύλου 3GW (30.000.000 άνθρωποι).

1.1 ΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΡΙΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ

Όσες φορές εμφανίζεται στενότητα κάποιας ενεργειακής πηγής τότε μιλάμε για ενεργειακή κρίση. Η στενότητα της ενέργειας μπορεί να είναι πραγματική, όπως π.χ. η στενότητα καύσιμου ξύλου του 17ου αιώνα ή τεχνητή όπως οι κρίσεις 1973 και 1979 που προκλήθηκαν από μια ολιγοπωλιακή κατακόρυφη άνοδο των τιμών του αργού πετρελαίου. Αυτές οι πρόσφατες ενεργειακές κρίσεις είναι που επανέφεραν στο προσκήνιο τις έννοιες της ενεργειακής κρίσης και του ενεργειακού προβλήματος, τις μέχρι τότε ξεχασμένες από τον σύγχρονο τεχνολογικό άνθρωπο, τον χορτασμένο από την άφθονη και φθηνή ενέργεια που μέχρι τότε του προσέφερε το αργό πετρέλαιο.

Η ενεργειακή κρίση δεν είναι κάτι καινούριο. Όταν ο πρωτόγονος άνθρωπος περπάτησε όρθιος, διαπίστωσε ότι η δική του μυϊκή δύναμη, που είχε σαν πηγή ενέργειας την τροφή του, ήταν ανεπαρκής για την παραπέρα επιβίωση και ανάπτυξή του. Άρχισε λοιπόν να αναζητά νέες πηγές ενέργειας και τα εργαλεία για να τις εκμεταλλεύεται. Από τότε ενεργειακές κρίσεις τον συνοδεύουν σε όλη τη διάρκεια της ιστορίας του. Τα πιο αποφασιστικά σημεία εξέλιξης του ανθρωπίνου πολιτισμού έχουν σφραγισθεί από κάποια ενεργειακή κρίση.

Έχει αποδειχθεί ιστορικά ότι η ανθρωπότητα εντείνει την αναζήτηση νέων ενεργειακών πηγών αλλά και την προσπάθεια αποδοτικότερης αξιοποίησης των πηγών που ήδη υπάρχουν τότε μόνο όταν, κάτω από την πίεση του φάσματος μιας ενεργειακής κρίσης, αντιλαμβάνεται την ανεπάρκεια της ενεργειακής της βάσης σε σχέση με τις αυξανόμενες ενεργειακές της ανάγκες.

Τέτοιες ενεργειακές κρίσεις εμφανίσθηκαν μέχρι σήμερα πολλές και ξεπεράστηκαν όλες αποτελεσματικά αν και όχι πάντα εντελώς ανώδυνα.

Πριν από 500.000 χρόνια ο άνθρωπος έμαθε να χειρίζεται τη φωτιά, ενώ τη λίθινη εποχή, περίπου 30.000 χρόνια πριν, ζωγραφιές σε σπήλαια αποδεικνύουν ότι ο άνθρωπος χρησιμοποιούσε τη φωτιά για μαγείρεμα αλλά και να θερμαίνει ή να φωτίζει τις σπηλιές όπου και κατοικούσε. Μεγάλη αλλαγή προέκυψε κατά την περίοδο όπου ο άνθρωπος άφησε τη νομαδική ζωή, οργανώθηκε στους πρώτους μόνιμους οικισμούς και ανέπτυξε την αγροτική καλλιέργεια. Όμως, αγροτική καλλιέργεια είναι στην πράξη η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε τροφή. Το 5000 π.Χ. στον Νείλο χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά η αιολική ενέργεια για την κίνηση των πλοίων, ενώ το 4000 π.Χ. μικροί νερόμυλοι στην Ελλάδα χρησίμευαν για την άλεση δημητριακών αλλά και για παροχή πόσιμου νερού σε οικισμούς. Όσον αφορά τον άνθρακα, η χρήση του αναφέρεται ήδη από το 3000 π.Χ. στην Κίνα ενώ σημαντική χρήση του για μαγείρεμα γινότανε το 100 μ.Χ. στην Αγγλία. Βεβαίως, σε όλη την αρχαϊκή περίοδο, την σημαντικότερη πηγή ενέργειας αποτελούσε η ανθρώπινη μυϊκή δύναμη καθώς και η χρήση ζώων.

Στα μέσα του 17ου αιώνα, ξεκίνησε εκτεταμένη εξόρυξη άνθρακα, ενώ το 1600 το εμπόριο άνθρακα με επίκεντρο την Αγγλία απέκτησε διεθνή διάσταση. Παρόλο που η εκτεταμένη χρήση άνθρακα στην Αγγλία πυροδότησε σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα, η αναγκαιότητα χρήσης της ξυλείας για παραγωγή κωκ αλλά και για την κατασκευή πολεμικών πλοίων κατέστησε αδύνατη την αποσύνδεση της αγγλικής οικονομίας από τον άνθρακα. Η πρώτη ενεργειακή κρίση της παγκόσμιας ιστορίας ξεκίνησε το 1630 όταν το κωκ παραγόμενο από ξυλεία δεν επαρκούσε για να καλύψει τις ανάγκες των καταναλωτών. Κωκ με βάση τον άνθρακα δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην χύτευση σιδήρου επειδή η περιεκτικότητά του σε θείο και υγρασία είναι πολύ υψηλή. Την περίοδο αυτή, τεράστιες δασικές εκτάσεις στην βόρεια Ευρώπη και ιδιαίτερα στην Αγγλία, μετατράπηκαν σε κωκ προκειμένου να καλύψουν τις ανάγκες σε ενέργεια.

Ο 18ος αιώνας σηματοδεύτηκε από την ανακάλυψη της πρώτης ατμομηχανής από τον Thomas Newcomen, η οποία χρησιμοποιήθηκε για την άντληση νερού από τα υπόγεια ορυχεία εξόρυξης άνθρακα. Το 1765, ο James Watt βελτιώνει σημαντικά την ατμομηχανή, δίνοντας τη δυνατότητα χρήσης της όχι μόνον για άντληση νερού αλλά και για την κίνηση μηχανών. Το 1799 ο Ιταλός εφευρέτης Alessandro Volta, ανακαλύπτει την πρώτη μπαταρία, δίνοντας τη δυνατότητα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε αδιάλειπτο χρόνο.

Στις αρχές του 19ου αιώνα οι χρησιμοποιούμενες ατμομηχανές είχαν τη δυνατότητα να παρέχουν την ισχύ 200 περίπου ανδρών. Αρκούσε όμως να εξοπλίσει τις βιομηχανίες παραγωγής αγαθών και να οδηγήσει την οικονομία της Β.Δ. Ευρώπης στη Βιομηχανική Επανάσταση. Για πρώτη φορά στην παγκόσμια ιστορία η ενέργεια μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε κάθε χώρο, κάθε ώρα και σε οποιαδήποτε ποσότητα. Παράλληλα, η χρήση της ατμομηχανής επεκτείνεται και στα μέσα μεταφοράς, το 1804 στο σιδηρόδρομο και το 1807 στη ναυτιλία. Στα τέλη του 19ου αιώνα η ισχύς της ατμομηχανής ξεπερνούσε την ισχύ 6000 ανδρών. Το 1850 κατασκευάζεται το πρώτο υδροηλεκτρικό φράγμα παραγωγής ενέργειας ιδιοκτησίας του Thomas Alva Edison, παρέχοντας με ηλεκτρισμό τη Wall Street και τις εγκαταστάσεις της New York Times, ενώ το 1880 λειτουργεί η πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα. Η πρώτη εξόρυξη πετρελαίου λαμβάνει χώρα το 1859 στη Β.Αμερική αλλά εκείνη την εποχή η χρήση του ήτανε φοβερά περιορισμένη, μέχρι την ανακάλυψη της μηχανής καύσης.

Η ανακάλυψη των κοιτασμάτων πετρελαίου οδήγησε τον τεχνικό κόσμο του 20ου αιώνα στην ανάγκη εφεύρεσης συστημάτων ικανών να αξιοποιήσουν το καινούργιο καύσιμο. Αρχικά ο Γάλλος μηχανικός Etienne Lenoir και στη συνέχεια ο Γερμανός Nikolaus August Otto κατασκευάζουν τις πρώτες μηχανές εσωτερικής καύσης. Το 1885 ο Γερμανός μηχανικός Benz προσαρμόζει τη μηχανή του Otto σε αμάξωμα, τοποθετεί τρεις τροχούς και δημιουργεί το πρώτο

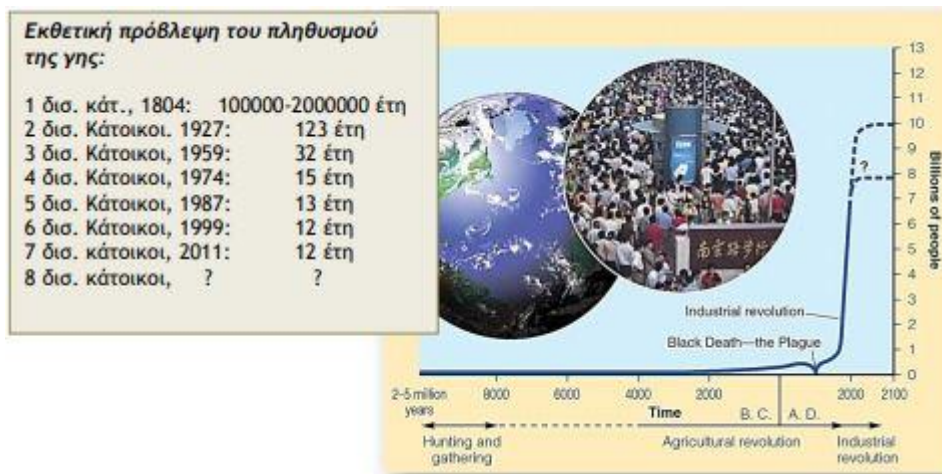
αυτοκινούμενο όχημα. Τον επόμενο χρόνο ο Γερμανός μηχανικός Daimler κατασκευάζει το πρώτο τετράτροχο αυτοκίνητο με μηχανή εσωτερικής καύσης. Το 1942 ο Ιταλός φυσικός Enrico Fermi σχεδιάζει και θέτει σε λειτουργία τον πρώτο πυρηνικό αντιδραστήρα στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, ενώ το 1954 το πρώτο πυρηνικό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τίθεται σε λειτουργία στην τέως ΕΣΣΔ. Ο 20ος αιώνας χαρακτηρίζεται από τρομακτική αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας. Προβλήματα όπως η προστασία του περιβάλλοντος και η εξάντληση των ενεργειακών πόρων δεν απασχολούσαν κανέναν. Τα πάντα όμως θα άλλαζαν σύντομα.

Με μια επιφανειακή ματιά, η προμήθεια ενέργειας δεν φαίνεται να συνιστά πρόβλημα. Οι τρέχουσες πηγές ενέργειας είναι άφθονες, φθηνές και σημαντικά διαφοροποιημένες. Από το 1976 οι πραγματικές τιμές του πετρελαίου εμφανίζουν πτωτικές τάσεις. Σε τιμές δολαρίου του 1976, το πετρέλαιο είναι 30% φθηνότερο από ότι το 1976. Τα αποθέματα άνθρακα αρκούν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες για τα επόμενα 200 χρόνια, ενώ το φυσικό αέριο για τα επόμενα 60 χρόνια.[1]

1.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΡΙΣΗ

Η «Περιβαλλοντική κρίση» διατυπώθηκε αρχικά στις αρχές της δεκαετίας του 50, αλλά συνειδητοποιήθηκε με τραγικό τρόπο με τις ενεργειακές κρίσεις της δεκαετίας του 1970.

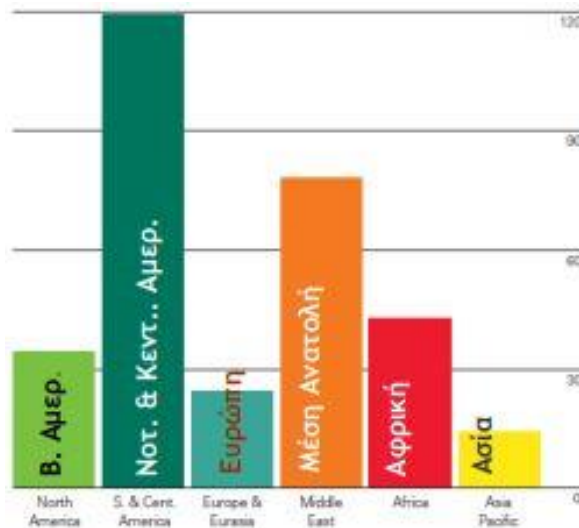
Ο πληθυσμός της Γης σήμερα έχει ξεπεράσει τα 7 δισεκατομμύρια και προβλέπεται ότι μπορεί να ξεπεράσει τα 10 δισεκατομμύρια σε 30 χρόνια (Σχήμα 1.2.1). Η συντριπτική πλειονότητα των ανθρώπων ζουν σε συνθήκες διαβίωσης που μπορούν να χαρακτηριστούν από μη ικανοποιητικές έως άθλιες. Η μέχρι σήμερα λογική για την ανάπτυξη του βιοτικού επιπέδου βασίστηκε στην αλόγιστη χρήση μεγάλων ποσοτήτων, σχετικά φθηνών, ενεργειακών πόρων.



Σχήμα 1.2.1: Η αύξηση του πληθυσμού της γης σε σχήμα J με προβλέψεις μέχρι το 2100 (Tyler-Miller, 2009).

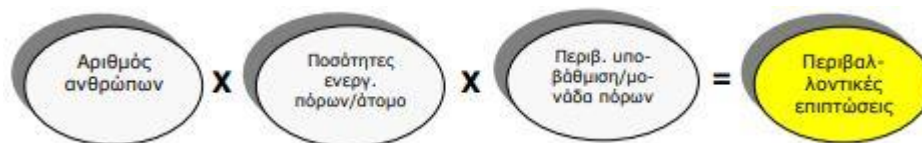
Σχεδόν το 85% των αναγκών της ανθρωπότητας σε ενέργεια προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων, δηλαδή γαιανθράκων, αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου. Αποτέλεσμα αυτής της χρήσης είναι οι τεράστιες ποσότητες CO_2 , καθώς και άλλων ανεπιθύμητων συστατικών που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα και οι οποίες συνεισφέρουν στο λεγόμενο «φαινόμενο του θερμοκηπίου».

Μια άλλη διάσταση του προβλήματος αποτελεί η εξαντλησιμότητα των ορυκτών καυσίμων και η μη «δημοκρατική» κατανομή τους: λίγες χώρες διαθέτουν σχεδόν όλα τα αποθέματα ορυκτών καυσίμων, όπως καταδεικνύεται για πετρέλαιο στο (Σχήμα 1.2.2). Με τους σημερινούς ρυθμούς κατανάλωσης το πετρέλαιο αναμένεται να διαρκέσει μόνο για τα επόμενα 52 χρόνια και το φυσικό αέριο για τα επόμενα 54 χρόνια (στοιχεία BP, BP Statistical Review of World Energy, 2015).[2]



Σχήμα 1.2.2: Παγκόσμια αποθέματα πετρελαίου ανά περιοχή ως λόγοι αποθεμάτων προς τη σημερινή παραγωγή. (Πηγή: BP Statistical Review, 2015.)[2]

Η αύξηση του πληθυσμού της γης και η θεμιτή προσπάθεια των αναπτυσσόμενων χωρών για αύξηση του βιοτικού τους επιπέδου θα οδηγήσει αναπόφευκτα σε μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας, με συνέπεια τη μεγαλύτερη περιβαλλοντική υποβάθμιση, όπως μπορεί εύκολα κανείς να συμπεράνει από το απλοποιημένο μοντέλο για την περιβαλλοντική υποβάθμιση που παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.2.3.



Σχήμα 1.2.3: Απλοποιημένο μοντέλο για το πως τρεις παράγοντες (πληθυσμός, ευμάρεια και τεχνολογία) επιδρούν στην περιβαλλοντική κρίση.

1.3 Η ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Το 1889 αρχίζει να χρησιμοποιείται η ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα. Η Γενική Εταιρεία Εργολησιών κατασκευάζει στην Αθήνα, την πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Το πρώτο κτίριο που φωτίζεται είναι τα Ανάκτορα και πολύ σύντομα ο ηλεκτροφωτισμός επεκτείνεται στο ιστορικό κέντρο της Πρωτεύουσας. Τον ίδιο χρόνο η τουρκοκρατούμενη Θεσσαλονίκη θα δει κι αυτή το ηλεκτρικό φως καθώς Βελγική Εταιρεία αναλαμβάνει απ' τις Τουρκικές αρχές το φωτισμό και την τροchioδρόμηση της Πόλης με την κατασκευή εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Δέκα χρόνια αργότερα οι πολυεθνικές εταιρείες ηλεκτρισμού κάνουν την εμφάνισή τους στην Ελλάδα. Η αμερικανική εταιρεία Thomson - Houston με τη συμμετοχή της Εθνικής Τράπεζας θα ιδρύσει την Ελληνική Ηλεκτρική Εταιρεία που θα αναλάβει την ηλεκτροδότηση κι άλλων μεγάλων Ελληνικών πόλεων. Μέχρι το 1929 θα ηλεκτροδοτηθούν 250 πόλεις με πληθυσμό πάνω από 5.000 κατοίκους. Στις πιο απόμακρες περιοχές, που ήταν ασύμφορο για τις μεγάλες εταιρείες να κατασκευάσουν μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, την ηλεκτροδότηση αναλαμβάνουν ιδιώτες ή δημοτικές και κοινοτικές αρχές κατασκευάζοντας μικρά εργοστάσια.

Το 1950 υπήρχαν στην Ελλάδα 400 περίπου εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιούσαν ήταν το πετρέλαιο και ο γαιάνθρακας που, φυσικά, εισάγονταν από το εξωτερικό.

Η κατάτμηση αυτή της παραγωγής, σε συνδυασμό με τα εισαγόμενα καύσιμα, εξωθούσε την τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος στα ύψη (τριπλάσιες ή και πενταπλάσιες τιμές απ' αυτές που ίσχυαν στις Ευρωπαϊκές χώρες). Το ηλεκτρικό λοιπόν ήταν ένα πολυτελείας αγαθό, αν και τις περισσότερες φορές παρεχόταν με ωράριο και οι ξαφνικές διακοπές ήταν σύνηθες φαινόμενο.

Για να εξαπλωθεί ομοιόμορφα η ηλεκτρική ενέργεια σε όλη τη χώρα και για να αξιοποιηθεί αποτελεσματικά τόσο στη βιομηχανία όσο και στη ύπαιθρο, έπρεπε να υπάρξουν οι εξής προϋποθέσεις:

- Αξιοποίηση των εγχώριων πλουτοπαραγωγικών πόρων, που απαιτούσε όμως τεράστιες επενδύσεις, οι οποίες δεν μπορούσαν να πραγματοποιηθούν από τους μεμονωμένους βιομηχάνους παραγωγής ενέργειας.

- Ενοποίηση της παραγωγής σε ενιαίο διασυνδεδεμένο δίκτυο, ώστε τα φορτία να επιμερίζονται σε εθνική κλίμακα

- Ύπαρξη ενιαίου φορέα που θα επέτρεπε τον επιμερισμό του κόστους ανάμεσα στις κερδοφόρες και ζημιωγόνες περιοχές.

Τις προϋποθέσεις αυτές κάλυψε με τον πλέον επιτυχή τρόπο η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού. Έτσι τον Αύγουστο του 1950 ιδρύεται η ΔΕΗ, για να λειτουργήσει "χάριν του δημοσίου συμφέροντος" με σκοπό τη χάραξη και εφαρμογή μιας εθνικής ενεργειακής πολιτικής, η οποία μέσα από την εντατική εκμετάλλευση των εγχώριων πόρων, να κάνει το ηλεκτρικό ρεύμα κτήμα και δικαίωμα του κάθε Έλληνα πολίτη, στη φθηνότερη δυνατή τιμή.

Αμέσως με την ίδρυσή της, η ΔΕΗ στρέφεται προς την αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας ενώ ξεκινά και η ενοποίηση των δικτύων σε ένα εθνικό διασυνδεδεμένο σύστημα. Τα πλούσια λιγνιτικά κοιτάσματα του ελληνικού υπεδάφους που είχαν νωρίτερα εντοπισθεί, άρχισαν να εξορύσσονται και να χρησιμοποιούνται ως καύσιμη ύλη στις λιγνιτικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής που δημιουργούσε. Παράλληλα, η Επιχείρηση ξεκίνησε την αξιοποίηση της δύναμης των υδάτων με την κατασκευή υδροηλεκτρικών σταθμών στα μεγάλα ποτάμια της χώρας.

Αρκετά νωρίς, το 1956, αποφασίστηκε η εξαγορά όλων των ιδιωτικών και δημοτικών επιχειρήσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να υπάρχει ένας ενιαίος φορέας διαχείρισης. Σιγά - σιγά, η ΔΕΗ εξαγόρασε όλες αυτές τις επιχειρήσεις και ενέταξε το προσωπικό τους στις τάξεις της.

Σ' όλα αυτά τα χρόνια της παρουσίας της, αγωνίστηκε και πέτυχε την ενεργειακή αυτονομία της χώρας και έφερε σε πέρας το σπουδαίο έργο του εξηλεκτρισμού της δημιουργώντας ταυτόχρονα το μεγαλύτερο μέρος της βαριάς ελληνικής βιομηχανίας. Το ηλεκτρικό ρεύμα έφτασε με επάρκεια σε κάθε άκρη της ελληνικής γης. Από τα μικρά ακριτικά νησιά ως τους πιο απόμακρους οικισμούς της ορεινής Ελλάδας. [1]

1.4 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σύμφωνα με το Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας, η ανανεώσιμη ενέργεια ορίζεται ως η ενέργεια που προέρχεται από φυσικές διαδικασίες που ανανεώνονται συνεχώς. Τέτοιες διαδικασίες θεωρούνται ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες (Εικόνα 1.4.3). Επομένως, πρόκειται για ηλιακή, αιολική, υδροηλεκτρική, από το υδρογόνο που εκλύεται από ανανεώσιμες πηγές, από τον ωκεανό, από γεωθερμικούς πόρους, από βιομάζα, από βιοκαύσιμα και από υδροθερμική ενέργεια. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) ανευρίσκονται στη βιβλιογραφία και με τις παρακάτω ονομασίες: ήπιες μορφές ενέργειας, νέες πηγές ενέργειας, πράσινη ενέργεια.

Ο όρος «ήπιες» έγκειται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Πρώτον, η εκμετάλλευσή τους δεν περιλαμβάνει κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως είναι η εξόρυξη, η άντληση ή η καύση, αντίθετα με τις πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται μέχρι τώρα. Ουσιαστικά, δηλαδή, γίνεται απλώς εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερον, αποτελούν «καθαρές» μορφές ενέργειας, πολύ «φιλικές» στο περιβάλλον, καθώς δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι ευρέως χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας. Έτσι θεωρούνται από πολλούς μία αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Γη. Η κύρια ενέργεια μπορεί να υποδιαιρεθεί στις παρακάτω κατηγορίες:

- Πρωτογενής ενέργεια: η ενέργεια που προέρχεται κατευθείαν από τον ήλιο ή τη γη (ορυκτά και πυρηνικά καύσιμα), όπως παρουσιάζεται αναλυτικά στον (Πίνακα 1.4.1). Δεν απαιτείται επεξεργασία για τη μετατροπή της σε χρήσιμη ενέργεια.

Πίνακας 1.4.1 : Πρωτογενείς ενεργειακές πηγές.

Μη ανανεώσιμη	Ορυκτά: <ul style="list-style-type: none"> - γαιάνθρακας - τύρφη - αργό πετρέλαιο - φυσικό αέριο 	Διεργασία καύσης
	Πυρηνικά: <ul style="list-style-type: none"> - ουράνιο - θόριο - δευτέριο - λίθιο - βηρύλλιο 	
Ανανεώσιμη σε ημερήσια βάση	Ηλιακή: <ul style="list-style-type: none"> - ηλιακή θερμική μετατροπή - φωτοβολταϊκή μετατροπή 	Χωρίς διεργασία καύσης
	<ul style="list-style-type: none"> - φωτοχημική μετατροπή - αποθηκευμένη ηλιακή με αντλίες θερμότητας 	
	Υδροίσχυς <ul style="list-style-type: none"> - ενεργειακή μετατροπή του νερού από ποταμό ή τεχνητό ταμιευτήρα 	
	Παλίρροιες: <ul style="list-style-type: none"> - παλιρροϊκή ενεργειακή μετατροπή 	
	Άνεμος: <ul style="list-style-type: none"> - αιολική ενεργειακή μετατροπή 	
	Ωκεανοί: <ul style="list-style-type: none"> - θερμική μετατροπή νερού ωκεανών - μετατροπή των θαλάσσιων ρευμάτων - μετατροπή ενέργειας κυμάτων 	
	Γεωθερμία: <ul style="list-style-type: none"> - γεωθερμικός ατμός, θερμό νερό - αβαθής γεωθερμία - θερμά-ξηρά πετρώματα - μαγματική θερμότητα - γεωπεπιεσμένα συστήματα 	
	Βιομάζα: <ul style="list-style-type: none"> - ξυλεία και διάφορες καλλιέργειες 	
		Διερ- γασία καύσης

- Δευτερογενής ενέργεια: περιλαμβάνει τις μορφές ενέργειας που προκύπτουν από τη μετατροπή πρωτογενούς ενέργειας μέσω χημικών, φυσικών, μηχανικών, θερμικών ή πυρηνικών δράσεων (π.χ. βενζίνη, ηλεκτρική ισχύς) για να χρησιμοποιηθούν ως χρήσιμη ενέργεια. Αναλυτική παρουσίαση των διαφόρων μορφών της δευτερογενούς ενέργειας δίνεται στον (Πίνακα 1.4.2).

Πίνακας 1.4.2 : Δευτερογενείς ενεργειακές πηγές.

Μη ανανεώσιμη	Ηλεκτρική:	- παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με διαφόρους τρόπους - στοιχεία καυσίμων	Χωρίς διεργασία καύσης
	Πυρηνική:	- τρίτιο - πλουτώνιο	
	Ορυκτά καύσιμα: (από γαιάνθρακα)	- κοκ - υπόλειμμα - αέριο παραγωγής - μπρικέτες - πολφοί γαιάνθρακα - αεριοποίηση γαιάνθρακα - μεθανόλη από γαιάνθρακα	Διεργασία καύσης
	Ορυκτά καύσιμα: (από πετρέλαιο)	- βενζίνη - κηροζίνη - κοκ πετρελαίου - πετρέλαιο από πισσούχους σχιστόλιθους - πετρέλαιο από ασφαλτούχους άμμους - πετρέλαιο κίνησης - υγροποιημένο φυσικό αέριο - υγροποιημένο αέριο πετρελαίου - προπάνιο - βουτάνιο - ανακυκλωμένα λιπαντικά	
Ανανεώσιμη	Βιομάζα:	- παραπροϊόντα ξυλείας και φλοιοί - κατάλοιπα ζαχαροκάλαμου - φλούδες ρυζιού, σιτηρών κτλ. - άλλα παραπροϊόντα τροφίμων - οικιακά απορρίμματα - βιοαέριο - βιοαλκοόλες (μεθανόλη, αιθανόλη)	

Ως εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα) μπορούν να επιφέρουν λύση στο πρόβλημα της αναμενόμενης εξάντλησης των (μη ανανεώσιμων) αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων. Τελευταία, από την Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά και από πολλά μεμονωμένα κράτη, υιοθετούνται νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Κύριο θεμέλιο των ΑΠΕ αποτελεί η ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση τη γεωθερμική ενέργεια, που προέρχεται από το εσωτερικό του φλοιού της γης, και την ενέργεια απ' τις παλίρροιες που εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα. Ως εκ τούτου, οι συγκεκριμένες πηγές ενέργειας δεν πρόκειται να εξαντληθούν όσο υπάρχει ο ήλιος, δηλαδή για μερικά ακόμα δεκατομμύρια χρόνια. Πιο συγκεκριμένα, ισχύουν για τις διάφορες μορφές τα εξής: η βιομάζα είναι ηλιακή ενέργεια δεσμευμένη στους ιστούς των φυτών μέσω της φωτοσύνθεσης, η αιολική εκμεταλλεύεται τους ανέμους που προκαλούνται απ' τη θέρμανση του αέρα ενώ όσες βασίζονται στο νερό εκμεταλλεύονται τον κύκλο εξάτμισης-συμπύκνωσης του νερού και την κυκλοφορία του. Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά ανανεώσιμη, εφόσον δεν γίνεται υπεράντληση.



Εικόνα 1.4.3: Μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Όσον αφορά στη χρήση τους, πραγματοποιείται είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση) είτε μετατρέπονται σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια) με το ενεργειακό τους αποτέλεσμα να είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η υψηλή όμως μέχρι πρόσφατα τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής καθώς και πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες που έχουν να κάνουν με τη διατήρηση του παρόντος στάτους και στον ενεργειακό τομέα εμπόδισαν την εκμετάλλευση έστω και μέρους αυτού του δυναμικού.

Οι απανωτές πετρελαϊκές κρίσεις της δεκαετίας του 1970, καθώς και η αλλοίωση του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από τη χρήση κλασικών πηγών, οδήγησαν στο ενδιαφέρον για τις ήπιες μορφές ενέργειας. Αρχικά, εφαρμόστηκαν πειραματικά λόγω του υψηλού τους κόστους. Σήμερα όμως λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια και, αν και αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, ετοιμάζονται βήματα για παραπέρα αξιοποίησή τους. Το κόστος δε των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας πέφτει συνέχεια, προϊόντος του χρόνου και ειδικά η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον να ανταγωνίζονται ισάξια παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια.

1.5 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ

Τα υδροηλεκτρικά έργα ταξινομούνται σε μεγάλης και μικρής κλίμακας. Τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα διαφέρουν σημαντικά από της μεγάλης κλίμακας σε ότι αφορά τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον.

Οι μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικές μονάδες απαιτούν τη δημιουργία φραγμάτων και τεράστιων δεξαμενών με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η κατασκευή φραγμάτων περιορίζει τη μετακίνηση των ψαριών, της άγριας ζωής και επηρεάζει ολόκληρο το οικοσύστημα καθώς μεταβάλλει ριζικά τη μορφολογία της περιοχής.

Αντίθετα, τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά εγκαθίστανται δίπλα σε ποτάμια ή κανάλια και η λειτουργία τους παρουσιάζει πολύ μικρότερη περιβαλλοντική όχληση. Για το λόγο αυτό, οι υδροηλεκτρικές μονάδες μικρότερης δυναμικότητας των 30 MW χαρακτηρίζονται ως μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα και συμπεριλαμβάνονται μεταξύ των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Κατά τη λειτουργία τους, μέρος της ροής ενός ποταμού οδηγείται σε στρόβιλο για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας και συνακόλουθα ηλεκτρικής μέσω της γεννήτριας. Η χρησιμοποιούμενη ποσότητα νερού κατόπιν επιστρέφει στο φυσικό ταμειυτήρα ακολουθώντας τη φυσική της ροή.

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να ξέρουμε τον ρόλο και τις διαφορές αυτών, καθώς τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των υδροηλεκτρικών έργων.

❖ Πλεονεκτήματα

- Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι δυνατό να τεθούν σε λειτουργία αμέσως μόλις απαιτηθεί, σε αντίθεση με τους θερμικούς σταθμούς που απαιτούν σημαντικό χρόνο προετοιμασίας,
- Είναι μία "καθαρή" και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με τα προαναφερθέντα συνακόλουθα οφέλη (εξοικονόμηση συναλλάγματος, φυσικών πόρων, προστασία περιβάλλοντος),
- Μέσω των υδατοταμειυτήρων δίνεται η δυνατότητα να ικανοποιηθούν και άλλες ανάγκες, όπως ύδρευση, άρδευση, ανάσχεση χειμάρρων, δημιουργία υγροτόπων, περιοχών αναψυχής και αθλητισμού.

❖ Μειονεκτήματα

- Μεγάλο κόστος κατασκευής φραγμάτων και εγκατάστασης εξοπλισμού, καθώς και ο συνήθως μεγάλος χρόνος που απαιτείται για την αποπεράτωση του έργου,
- Η έντονη περιβαλλοντική αλλοίωση της περιοχής του έργου (συμπεριλαμβανομένων της γεωμορφολογίας, της πανίδας και της χλωρίδας), καθώς και η ενδεχόμενη μετακίνηση πληθυσμών, η υποβάθμιση περιοχών, οι απαιτούμενες αλλαγές χρήσης γης. Επιπλέον, σε περιοχές δημιουργίας μεγάλων έργων παρατηρήθηκαν αλλαγές του μικροκλίματος, αλλά και αύξηση της σεισμικής επικινδυνότητας τους.

1.6 ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Ο υδρολογικός κύκλος αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους κύκλους που υπάρχουν στη φύση καθώς προσομοιάζει μια πραγματική θερμική μηχανή. Ως θερμή πηγή της μηχανής αυτής λειτουργεί η ηλιακή ενέργεια ενώ η ψυχρή πηγή της βρίσκεται μέσα στο σύμπαν. Μέσω ενός καταρράκτη διαδικασιών το νερό κυκλοφορεί μεταξύ ωκεανών-ατμοσφαιράς- ξηράς εναλλασσόμενο σε υγρή, αέρια και στερεή κατάσταση. Πιο αναλυτικά, προκαλείται εξάτμιση των επιφανειακών νερών (θάλασσες, λίμνες, ποτάμια) από την εκπεμπόμενη θερμότητα από τον ήλιο, ακολουθεί η συμπύκνωση στην ατμόσφαιρα και η επιστροφή στην επιφάνεια της γης με τη μορφή κυρίως βροχής και χιονιού.

Ο υδρολογικός κύκλος έχει ως αποτέλεσμα τη μετακίνηση του νερού από την επιφάνεια της θάλασσας, όπου έχει μηδενική δυναμική ενέργεια (μηδενικό υψόμετρο) σε υψηλότερα ενεργειακά επίπεδα. Με αυτόν τον τρόπο το νερό αποκτά τη λεγόμενη υδροδυναμική ή υδραυλική ενέργεια. Η αξιοποίηση της υδροδυναμικής ενέργειας και η παραγωγή έργου από αυτή γίνεται σε κατάλληλες εγκαταστάσεις που καλούνται Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί.

Βασική προϋπόθεση για τη δυνατότητα δέσμευσης της δυναμικής ενέργειας που αποδίδεται στον υδρολογικό κύκλο, σε μεγάλη κλίμακα, είναι η ύπαρξη υδατικών ρευμάτων με ορισμένα χαρακτηριστικά. Ένα τέτοιο χαρακτηριστικό είναι η παροχή του νερού, που επηρεάζει άμεσα την ποσότητα της ισχύος και ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί. Οι τιμές που παίρνει το μέγεθος αυτό και μάλιστα η μεταβολή του στο χρόνο, αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες στη μελέτη δυνατότητας ίδρυσης μιας υδροηλεκτρικής μονάδας, που αποτελεί και τον αντικειμενικό σκοπό.

Η εκτίμηση της μεταβολής της παροχής, γίνεται με σειρές μετρήσεων, που πρέπει να καλύπτουν ένα μεγάλο χρονικό διάστημα και εφαρμόζονται σε καθορισμένες θέσεις κατά μήκος του ρεύματος, όπου προσδιορίζεται η διατομή και μετράται η ταχύτητα ροής. Τελικά η παροχή σε συγκεκριμένη θέση και για συγκεκριμένη χρονική στιγμή, εκφράζεται, σαν γινόμενο της διατομής επί την μέση ταχύτητα. Τα αποτελέσματα των παραπάνω μετρήσεων, εκτός από την μεταβολή της παροχής με τον χρόνο, δίνουν ενδείξεις και για την εκτίμηση της μέγιστης και ελάχιστης τιμής της, ανεξάρτητα από το χρόνο, στο συγκεκριμένο ρεύμα. Η εκτίμηση των ακραίων αυτών τιμών, γίνεται με την βοήθεια της θεωρίας των πιθανοτήτων, αφού στην πράξη, μπορούν να παρατηρηθούν σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, μέσα ή έξω από το διάστημα των μετρήσεων.

Η βασική αρχή που εφαρμόζεται εδώ είναι ότι η συχνότητα εμφάνισης ακραίων μεγεθών είναι αντιστρόφως ανάλογη των τιμών της. Ειδικότερα για τις μεγάλες τιμές παροχών, είναι φανερό ότι από ορισμένη τάξη μεγέθους και πάνω, είναι αποτέλεσμα πλημμυρών, επομένως όσο μεγαλύτερες ποσότητες νερού εμφανίζονται, τόσο σπανιότερο είναι το φαινόμενο. Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως αυτές ακριβώς οι μεγάλες τιμές παροχών, παίζουν αποφασιστικό ρόλο στο μέγεθος των έργων που θα γίνουν, με κριτήριο τόσο την ισχύ που μπορεί να δεσμευτεί, όσο και την γενικότερη ασφάλεια στη λειτουργία.

1.7 ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η εισαγωγή στα υδροηλεκτρικά έργα, καθώς επίσης ο υπολογισμός και κατασκευή προσομοίωσης ενός μικρού υδροηλεκτρικού.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναδρομή της ενέργειας και του ανθρώπου, καθώς και παρουσίαση των ΑΠΕ και των υδροηλεκτρικών έργων, όπου μας βοηθάει στην διάκριση των μικρών και μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων, παραθέτοντας επίσης πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτών.

Στη συνέχεια γίνεται μια πιο εμπλουτισμένη εισαγωγή στα επιμέρους τμήματα που απαρτίζουν ένα υδροηλεκτρικό, τόσο στην λειτουργία του, όσο και στον υπολογισμό δυναμικού. Πιο συγκεκριμένα αναλύονται οι τρεις μορφές τεχνολογίας που χρησιμοποιούνται σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς.

Στο επόμενο κεφάλαιο, αναφέρονται διάφοροι τύποι υδροστροβίλων και χαρακτηριστικά υδραυλικών κινητήρων από τους οποίους γίνεται σύγκριση των στοιχείων τους και επιλογή του κατάλληλου τύπου. Υδροστρόβιλοι πρόσπτωσης και υδροστρόβιλοι αντίδρασης, αναφέρονται περιληπτικά στο τρίτο κεφάλαιο. Επιπλέον στο κεφάλαιο αυτό εξηγείται με εικόνες για καλύτερη κατανόηση, το φαινόμενο της σπηλαίωσης. Έπειτα γίνεται μια αναλυτική περιγραφή του υδροστροβίλου Pelton όσον αφορά τα κατασκευαστικά του μέρη, τον τρόπο λειτουργίας του, καθώς επίσης πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του υδροστροβίλου.

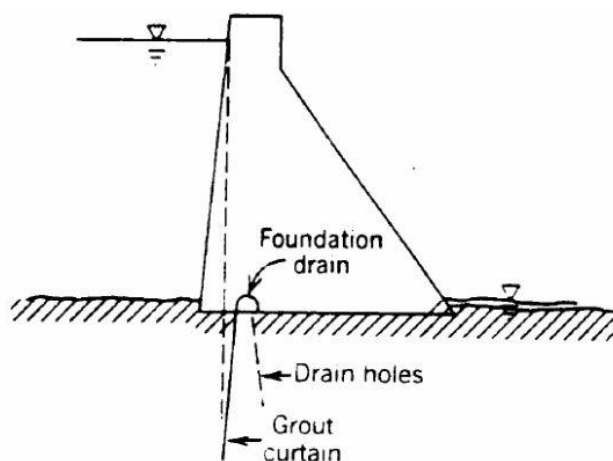
Τέλος, αναφέρονται τα βασικά βήματα μελέτης μιας υδροηλεκτρικής γεννήτριας μικρής κλίμακας (*Kouris Centri Turbine*) για την κατασκευή υδροηλεκτρικού έργου και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της δίνης του νερού, καθώς και οι υπολογισμοί που έγιναν για την υλοποίηση της υδροηλεκτρικής προσομοίωσης.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 ΤΥΠΟΙ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

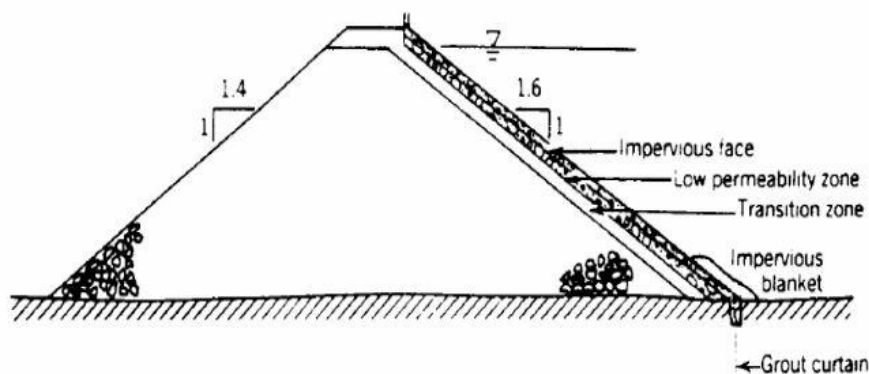
Ο τύπος του φράγματος για έναν υδροηλεκτρικό σταθμό εξαρτάται από μια σειρά παραγόντες, όπως: η γεωλογία της περιοχής, οι χρήσεις του, η διαθεσιμότητα υλικών και μηχανημάτων, οι τοπικές κλιματολογικές συνθήκες κατά την κατασκευή και λειτουργία του έργου, η αισθητική εμφάνιση, το κόστος κατασκευής. Συνήθως τα φράγματα ταξινομούνται ανάλογα με το υλικό κατασκευής.

- **Φράγματα από τσιμέντο:** Κατασκευάζονται συνήθως πάνω σε βραχώδη θεμελίωση και απαιτείται η εύκολη πρόσβαση σε λατομεία άμμου, χαλικιών και αδρανών υλικών. Στο σχήμα (Σχήμα 2.1.1), φαίνεται μια σχηματική διάταξη ενός φράγματος από οπλισμένο σκυρόδεμα.



Σχήμα 2.1.1: Φράγμα από οπλισμένο σκυρόδεμα.

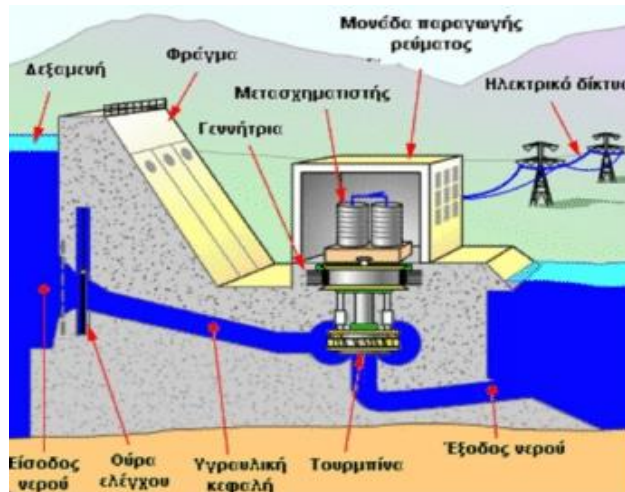
- **Χωμάτινα Φράγματα:** Η σταθερότητα τους εξαρτάται από την συνολική μάζα τους, η οποία θα πρέπει να είναι ικανή να αντέχει τα αναπτυσσόμενα φορτία, το δε υλικό πλήρωσης θα πρέπει να μειώνει τις υδραυλικές τάσεις μέσα στο φράγμα και στην θεμελίωση ούτως ώστε να ελαχιστοποιούνται οι διαρροές νερού και οι μετακινήσεις υλικών. Η ανάντη πλευρά του φράγματος προστατεύεται συνήθως με βράχια ή χώμα, ενώ η κατόντη θα πρέπει να διαθέτει βλάστηση ώστε να μην υφίσταται διάβρωση από την βροχή. Σχηματική διάταξη φαίνεται στο σχήμα (Σχήμα 2.1.2).



Σχήμα 2.1.2: Φράγμα από βράχια ή χώμα.

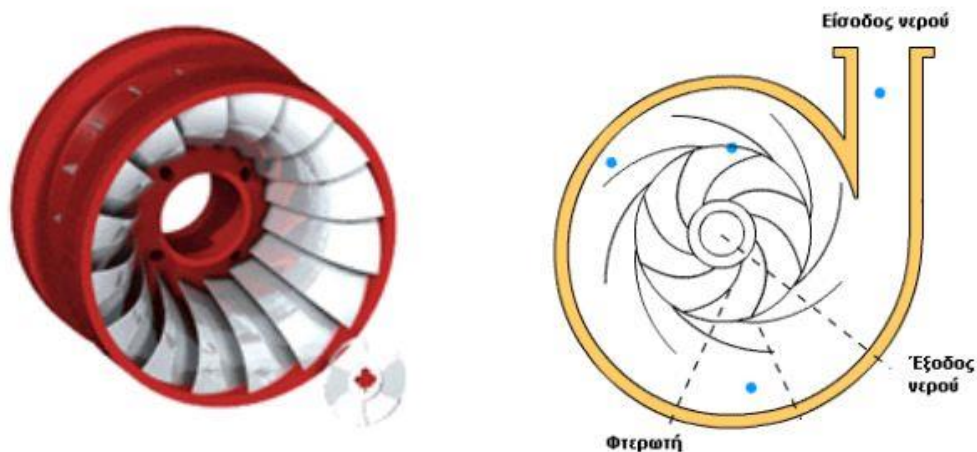
2.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ

Οι Υδροηλεκτρικές μονάδες αξιοποιούν την ενέργεια του νερού και χρησιμοποιώντας μια απλή μέθοδο μετατρέπουν την ενέργεια αυτή σε ηλεκτρικό ρεύμα. Οι μονάδες αυτές βασίζονται στην κίνηση του νερού που περιστρέφει μια τουρμπίνα η οποία θέτει σε λειτουργία μια γεννήτρια. Οι περισσότερες υδροηλεκτρικές μονάδες χρησιμοποιούν ένα φράγμα το οποίο συγκρατεί μια μεγάλη ποσότητα νερού δημιουργώντας έτσι μια μεγάλη δεξαμενή. Κάποιες θύρες στο φράγμα ανοίγουν και λόγω της βαρύτητας το νερό περνάει σε έναν αγωγό ο οποίος το οδηγεί σε μια τουρμπίνα. Καθώς αυτό περνάει από τον αγωγό δημιουργεί μεγάλη πίεση. Το νερό πέφτει πάνω στις φτερωτές μιας τουρμπίνας και την περιστρέφει (Εικόνα 2.2.1).



Εικόνα 2.2.1: Λειτουργία Υδροηλεκτρικών μονάδων

Ο πιο συνηθισμένος τύπος τουρμπίνας για υδροηλεκτρικές μονάδες είναι η τουρμπίνα Francis η οποία μοιάζει με ένα μεγάλο δίσκο με κυρτές φτερωτές (Σχήμα 2.2.2). Μια τέτοια τουρμπίνα μπορεί να ζυγίζει μέχρι 172 τόνους και να κάνει 90 περιστροφές το λεπτό. Καθώς οι φτερωτές της τουρμπίνας περιστρέφονται, περιστρέφουν τους μαγνήτες της γεννήτριας γύρω από ένα πηνίο θέτοντας σε κίνηση ηλεκτρόνια και δημιουργώντας έτσι εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα. Ο μετασχηματιστής παίρνει το εναλλασσόμενο ρεύμα και το μετατρέπει σε ρεύμα υψηλής τάσης. Έξω από κάθε υδροηλεκτρική μονάδα υπάρχουν τέσσερα καλώδια: οι τρεις φάσεις του ρεύματος που δημιουργούνται ταυτόχρονα συν η ουδέτερη ή γείωση και για τις τρεις.

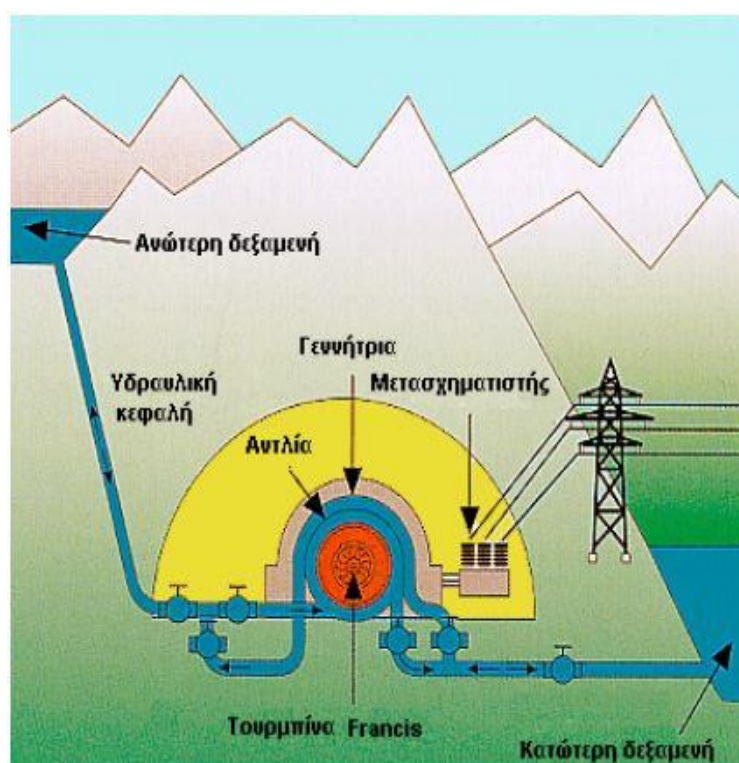


Σχήμα 2.2.2: Τουρμπίνα τύπου Francis.

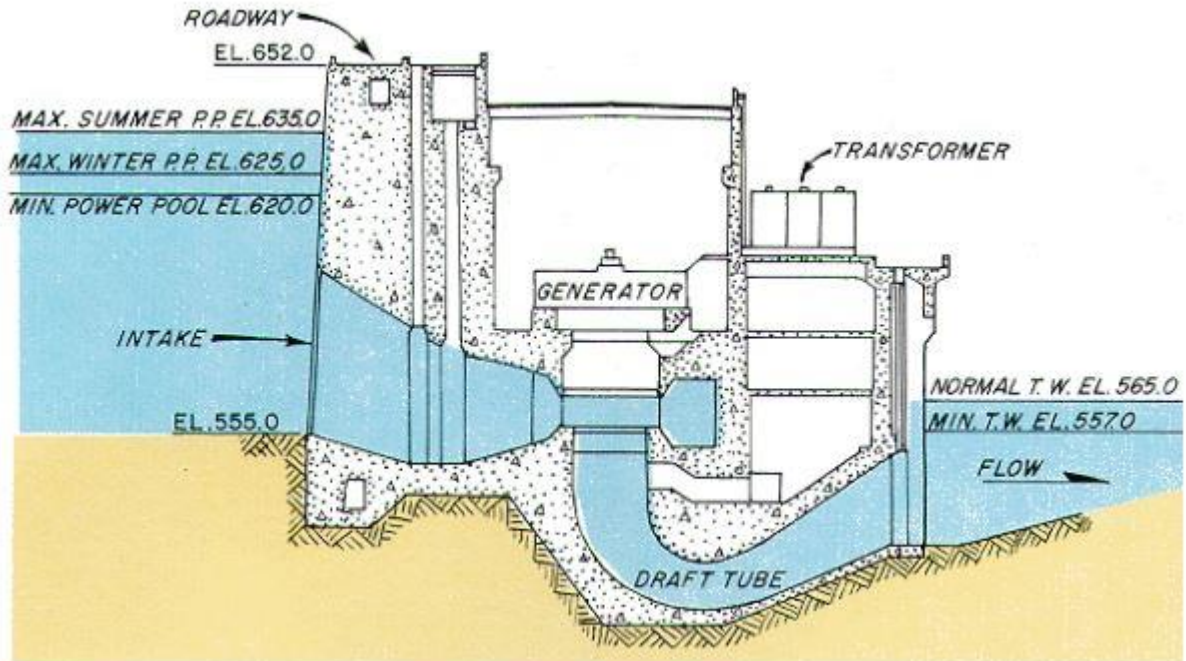
Το νερό στην δεξαμενή θεωρείται αποθηκευμένη ενέργεια. Όταν ανοίγουν οι θύρες το νερό που περνά μέσα από τον αγωγό γίνεται κινητική ενέργεια λόγω της κίνησής του (Εικόνα 2.2.3). Η ποσότητα του ηλεκτρισμού που παράγεται καθορίζεται από αρκετούς παράγοντες. Δυο από αυτούς είναι ο όγκος του νερού που ρέει και η ποσότητα της υδραυλικής κεφαλής. Υδραυλική κεφαλή είναι η απόσταση μεταξύ της επιφάνεια του νερού και της τουρμπίνας. Όσο αυξάνεται ο όγκος του νερού και της υδραυλικής κεφαλής τόσο αυξάνεται και το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα. Το μέγεθος της υδραυλικής κεφαλής εξαρτάται από την ποσότητα του νερού της δεξαμενής.

Οι περισσότερες υδροηλεκτρικές μονάδες λειτουργούν με αυτόν τον τρόπο. Όμως υπάρχει και ένας άλλος τύπος υδροηλεκτρικής μονάδας. Σε μια συμβατική υδροηλεκτρική μονάδα το νερό από την δεξαμενή περνάει από την τουρμπίνα και καταλήγει πάλι στο ποτάμι. Οι νέες υδροηλεκτρικές μονάδες χρησιμοποιούν δύο δεξαμενές. Την ανώτερη δεξαμενή η οποία συγκεντρώνει το νερό που συγκρατεί το φράγμα και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Την κατώτερη δεξαμενή η οποία συγκεντρώνει το νερό που φεύγει από τις τουρμπίνες, αντί να γυρίζει πίσω στο ποτάμι. Μια αντίστροφη τουρμπίνα διοχετεύει αυτό το νερό πάλι πίσω στην ανώτερη δεξαμενή. Επιστρέφοντας το νερό πίσω η μονάδα έχει περισσότερο νερό για χρήση σε περιόδους αιχμής (Εικόνα 2.2.4).

Οι υδροηλεκτρικές μονάδες εκμεταλλεύονται μια φυσική συνεχή μέθοδο - την διαδικασία που προκαλεί τη βροχή και δημιουργεί τα ποτάμια. Κάθε μέρα ο πλανήτης μας αποβάλλει μια μικρή ποσότητα νερού στην ατμόσφαιρα καθώς οι υπεριώδεις ακτίνες του ήλιου διασπών τα μόρια του νερού. Αλλά ταυτόχρονα άλλο νερό εμφανίζεται λόγω της ηφαιστειακής δραστηριότητας. Το ποσό του νερού που δημιουργείται και το ποσό που χάνεται είναι περίπου το ίδιο.



Εικόνα 2.2.3: Διαδικασία υδροηλεκτρικής μονάδας



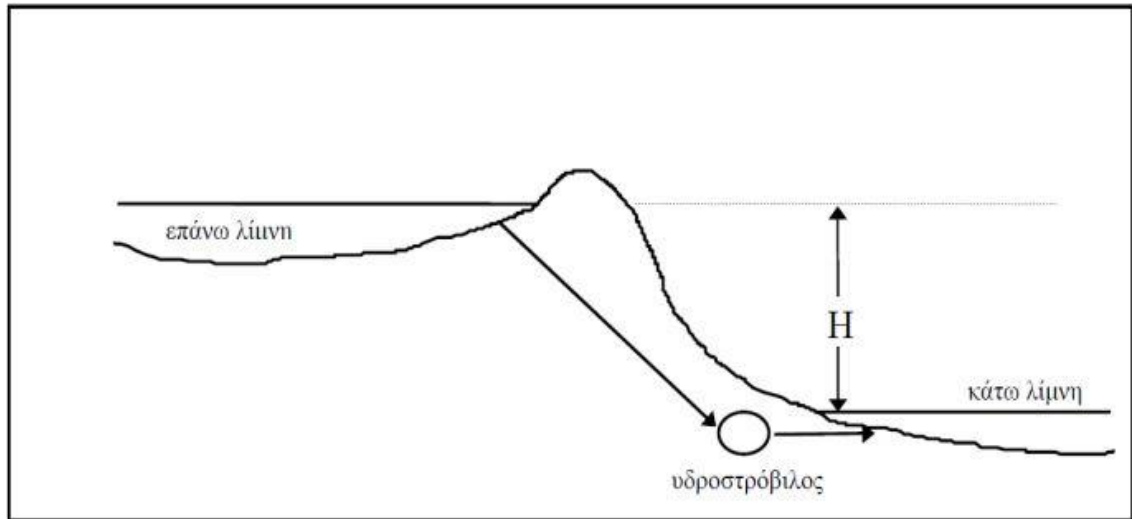
Εικόνα 2.2.4: Σχεδιάγραμμα ανώτερης και κατώτερης δεξαμενής.

Ο όγκος του συνόλου του νερού εμφανίζεται σε διαφορετικές μορφές. Μπορεί να είναι σε υγρή μορφή, πχ, οι ωκεανοί, τα ποτάμια, η βροχή, σε στερεή μορφή όπως οι παγετώνες και σε αέρια μορφή όπως οι υδρατμοί στην ατμόσφαιρα. Το νερό αλλάζει μορφές καθώς κινείται γύρω από τον πλανήτη από ρεύματα αέρος. Τα ρεύματα αέρος δημιουργούνται από την θερμική ακτινοβολία του ήλιου. Τα αέρια ρεύματα δημιουργούνται επειδή ο ήλιος θερμαίνει τον Ισημερινό περισσότερο από άλλα μέρη της γης. Τα ρεύματα του αέρα μεταφέρουν το νερό μέσα από τον δικό του κύκλο, που ονομάζεται υδρολογικός κύκλος.

Ο ήλιος θερμαίνει το νερό και το μετατρέπει σε υδρατμούς οι οποίοι γεμίζουν τον αέρα. Ο ήλιος επίσης θερμαίνει τον αέρα. Ο θερμός αέρας ανεβαίνει στην ατμόσφαιρα μεταφέροντας τους υδρατμούς. Στα ανώτερα στρώματα συναντά ψυχρά ρεύματα αέρα. Οι υδρατμοί ψύχονται και γίνονται μικρά σταγονίδια νερού που σχηματίζουν σύννεφα. Όταν αρκετά σταγονίδια συσσωρευτούν βαραίνουν και πέφτουν ξανά στην γη σαν βροχή, χαλάσι ή χιόνι. Ο υδρολογικός κύκλος είναι σημαντικός για τις υδροηλεκτρικές μονάδες επειδή η ροή νερού σε αυτές εξαρτάται από αυτόν. Λιγότερες βροχές σημαίνει λιγότερο νερό και λιγότερη παραγωγή ηλεκτρισμού.

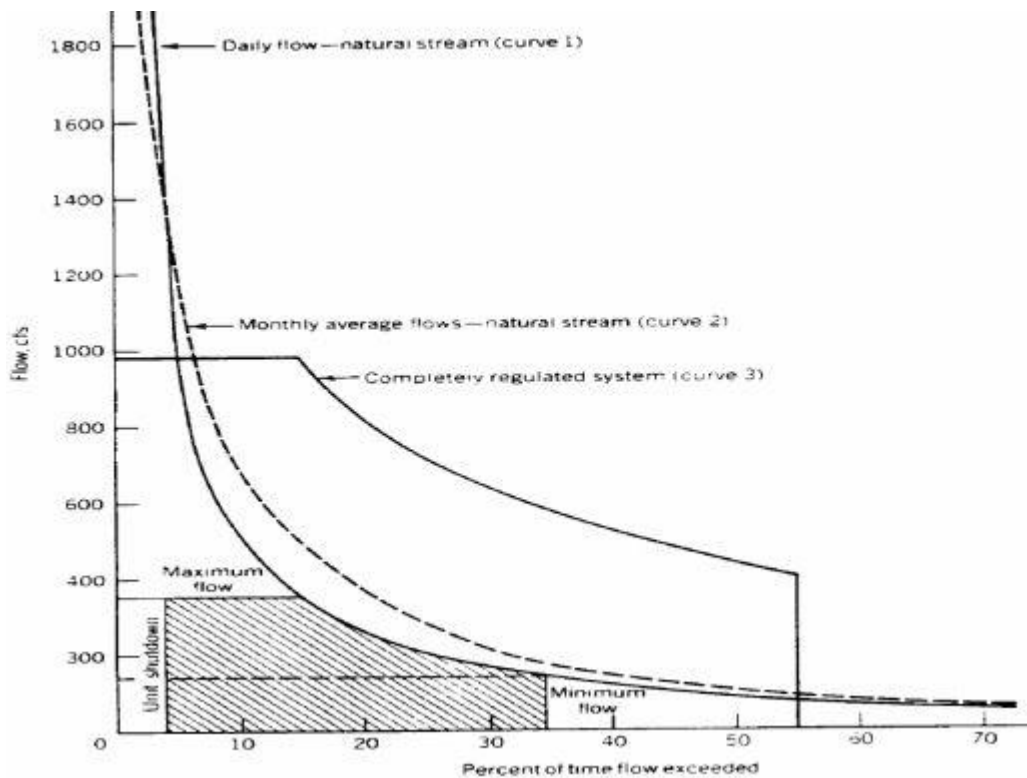
2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

Βασικές αρχές λειτουργίας ενός υδροηλεκτρικού έργου: Το νερό, που βρίσκεται σε ένα υψηλό επίπεδο, πέφτει από ένα ύψος H , και η δυναμική του ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική με την περιστροφή του στροβίλου. Ο περιστρεφόμενος άξονας οδηγεί την ηλεκτρική ενέργεια, η οποία παράγει ηλεκτρισμό (Σχήμα 2.3.1).



Σχήμα 2.3.1: Σχήμα ενός υδροηλεκτρικού έργου.

Στο σχήμα (Σχήμα 2.3.2), φαίνονται τυπικές καμπύλες διάρκειας ροής. Ο άξονας y δείχνει την ροή, ενώ στον άξονα x δείχνεται το ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο μια ροή είναι μεγαλύτερη ή ίση από την συγκεκριμένη ποσότητα ροής. Οι καμπύλες αυτές επιτρέπουν να εκτιμηθεί η διαθεσιμότητα της παροχής με τον χρόνο και στην συνέχεια η ισχύς και η παραγόμενη ενέργεια.



Σχήμα 2.3.2: Διάγραμμα ποσοστό χρόνου - ροής.

Η ισχύς την οποία διαθέτει μια μάζα νερού που ρέει από ένα ύψος είναι:

$$P = \rho \times Q \times g \times H \quad (1)$$

- P : ισχύς, [kg m² s⁻³]
- ρ : πυκνότητα νερού, [kg m⁻³]
- Q : παροχή όγκου του νερού, [m³ s⁻¹]
- g : επιτάχυνση της βαρύτητας, [m s⁻²]
- H : η υψομετρική διαφορά, [m]

Από την βασική αυτή σχέση προκύπτει ότι για να υπάρχει μια σταθερή ισχύς απαιτείται η παροχή του νερού να είναι σταθερή, και αυτό συνεπάγεται την ύπαρξη ή κατασκευή ενός φράγματος και την ύπαρξη μια αναγκαίας στάθμης βροχοπτώσης, συνήθως όχι μικρότερης από 400 mm το χρόνο. Με προσεγγιστικά δεδομένα (ακρίβεια 50%) μπορεί να γίνει μια πρώτη εκτίμηση, αλλά για μια πλήρη μελέτη απαιτούνται κλιματολογικά στοιχεία για μια χρονική περίοδο ορισμένων χρόνων, καθώς τα μετεωρολογικά φαινόμενα είναι στοχαστικά.

Για τον υπολογισμό της υψομετρικής διαφοράς H, χρησιμοποιούνται τριγωνομετρικές μέθοδοι, ενώ για τον υπολογισμό της παροχής όγκου Q, που είναι πιο δύσκολος, απαιτείται ο υπολογισμός τόσο της ταχύτητας u, όσο και της επιφάνειας A, σύμφωνα με την σχέση:

$$Q = u \times n \times dA \quad (2)$$

= μέση ταχύτητα x επιφάνεια ροής

- Q παροχή όγκου [m³ s⁻¹]
- u ταχύτητα [m s⁻¹]
- n κάθετο διάνυσμα στην επιφάνεια ροής
- dA στοιχειώδης επιφάνεια ροής [m²]

Το δυναμικό ηλεκτροπαραγωγής από σταθμούς τύπου υδροφράκτη ή εκτροπής υπολογίζεται από την υψομετρική διαφορά και την ογκομετρική παροχή ως ακολούθως:

$$P_e = \eta \times \rho \times g \times QH \quad (3)$$

Όπου:

- P_e είναι η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς (W)
- η η συνολική αποδοτικότητα του σταθμού
- ρ είναι η πυκνότητα του νερού (kg/m³)
- g η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s²)
- H η υψομετρική διαφορά (m)
- Q η ογκομετρική παροχή (m³/s)

Οι διατάξεις δράσης παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από την κινητική ενέργεια του υδατορεύματος. Η υδραυλική ισχύς που παράγεται από έναν τέτοιο στρόβιλο υπολογίζεται ως εξής:

$$P_e = \eta \times 0.5 \times \rho \times A \times V^3 \quad (4)$$

Όπου:

- P_e είναι η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς (W)
- η η συνολική αποδοτικότητα του σταθμού
- ρ είναι η πυκνότητα του νερού (kg/m³)
- A η επιφάνεια σάρωσης του στρόβιλου (m²)
- V η ταχύτητα της ροής (m/s).

2.4 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Η μελέτη αξιολόγησης και βιωσιμότητας ενός υδροηλεκτρικού έργου περιλαμβάνει την τοπογραφική, υδρολογική, και γεωλογική μελέτη της περιοχής, την μελέτη της σεισμικότητας και την μελέτη χρήσης γης. Η τοπογραφία της περιοχής που περιβάλλει το σύστημα ποταμός - παραπόταμοι θα πρέπει να επιτρέπει την αποθήκευση της συνολικής μάζας του νερού, θα πρέπει δηλαδή να έχει σχήμα 'V' για μεγάλο ύψος ή σχήμα 'U' για μικρό ύψος. Η γεωλογία της περιοχής θα πρέπει να εξασφαλίζει από προβλήματα διαρροών, αστάθειας της περιμετρικής ζώνης της τεχνητής λίμνης, και από επαγόμενη σεισμικότητα. Επιπροσθέτως θα πρέπει να υπάρχει διαθέσιμος χώρος για την αναγκαία υποδομή του έργου (φράγμα, κτήρια, αγωγοί κλπ.), καθώς και για την πρόσβαση και την μεταφορά ανθρώπων, υλικών και μηχανημάτων, και την προσωρινής εγκατάσταση της υποδομής κατασκευής του έργου.

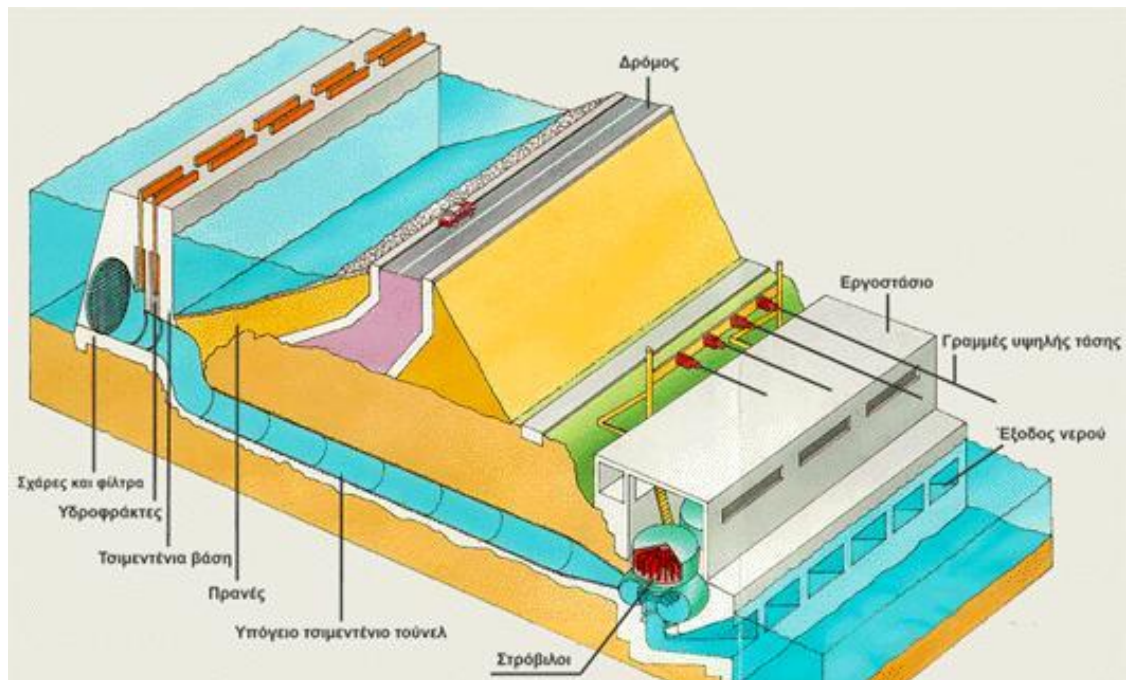
Η μελέτη της υδρολογίας της περιοχής περιλαμβάνει την εκτίμηση της ελάχιστης ποσότητας ροής του νερού που θα πρέπει να διατηρείται καθόλη την διάρκεια του ετήσιου υδρολογικού κύκλου ώστε να εξασφαλίζεται συνεχής παραγωγή ενέργειας, παράμετροι που καθορίζουν τον τύπο και το μέγεθος του σταθμού. Αυτό επιτυγχάνεται με την δημιουργία τεχνητής λίμνης και την εν συνεχεία ρύθμιση της ροής, αλλά και με δεδομένα όπως η ετήσια ροή και η εποχιακή. Θα πρέπει να υπάρχει πρόβλεψη για το μέγεθος και την συχνότητα πλημμυρών, ώστε αυτές να μην έχουν επίπτωση στην σταθερότητα του φράγματος. Η ποιότητα του νερού τέλος θα πρέπει να εξασφαλίζει από ακραία φορτία ιλύος στον ταμιευτήρα.

Η καλή λειτουργία και η βιωσιμότητα του φράγματος εξαρτώνται από την γεωλογία της περιοχής. Τα στρώματα θεμελιώσεως ποικίλουν από βράχο μέχρι βότσαλα, άμμο, πηλώδη υλικά, που μπορεί να μην είναι ομοιογενή. Σημαντικές παράμετροι είναι η στατική και η δυναμική αντοχή της περιοχής θεμελιώσεως του φράγματος, τα χαρακτηριστικά στατικής και δυναμικής παραμόρφωσης του υλικού θεμελιώσεως, και το βάθος των ευνοϊκών στρωμάτων θεμελιώσεως. Θα πρέπει επίσης να εξετάζεται η σεισμικότητα της περιοχής (σεισμοί, ρήγματα κλπ.), ώστε να λαμβάνεται υπόψη στην κατασκευή για την μείωση του κινδύνου αστοχίας της κατασκευής, ενώ σοβαρά θα πρέπει να μελετάται η περίπτωση της επαγόμενης σεισμικότητας από την αποθήκευση της μεγάλης μάζας του νερού.

Η τελική μορφή του υδροηλεκτρικού σταθμού και της τεχνολογίας που θα επιλεγεί καθορίζεται από τις απαιτήσεις ισχύος, όπως εγκατεστημένη ισχύς και ενεργειακές ανάγκες (πρωτογενείς, δευτερογενείς, αιχμής και αποθεματικές). Στην περίπτωση που μια συγκεκριμένη περιοχή έχει επιλεγεί λόγω καταλληλότητας για την εγκατάσταση υδροηλεκτρικού σταθμού. Τότε η δυνάμενη να παραχθεί ισχύς καθορίζεται από το περιβαλλοντικό πλαίσιο και τις προκύπτουσες, από μηχανικής απόψεως, λύσεις για την συγκεκριμένη τοποθεσία.

2.5 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

Υδροηλεκτρικός σταθμός είναι το συγκρότημα που αποτελείται από έναν υδροστρόβιλο ο οποίος παράγει ισχύ που χρησιμοποιείται για την κίνηση γεννήτριας με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η δύναμη της βαρύτητας κινεί το νερό των ποταμών προς τη θάλασσα. Ο υδροηλεκτρικός σταθμός παρεμβάλλεται σ' αυτήν τη ροή και τη χρησιμοποιεί για την περιστροφή στρόβιλων. Οι στρόβιλοι συνδέονται με γεννήτριες, οι οποίες παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. (Σχήμα 2.5.1).



Σχήμα 2.5.1: Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας ενός υδροηλεκτρικού σταθμού.

Η υδροηλεκτρική παραγωγή δεν μπορεί να βασιστεί σ' έναν ποταμό, ο οποίος την περίοδο των βροχών είναι γεμάτος, αλλά συρρικνώνεται την περίοδο της ξηρασίας. Γι' αυτό συνήθως χτίζεται ένα φράγμα, το οποίο συγκρατεί το νερό την περίοδο της αφθονίας και το χρησιμοποιεί στην ξηρασία. Το φράγμα σχηματίζει λίμνη, η οποία μπορεί να διαθέσει νερό για άρδευση.

Υπάρχει όμως και μια άλλη κατηγορία υδροηλεκτρικών σταθμών, οι οποίοι δεν εκμεταλλεύονται την ενέργεια των υδατοπτώσεων αλλά την ώθηση της παλίρροιας. Η παραγωγή ηλεκτρισμού με εκμετάλλευση της δύναμης του νερού δεν μολύνει την ατμόσφαιρα, όπως οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί και δεν δημιουργεί επικίνδυνα και μακρόβια πυρηνικά απόβλητα, όπως οι πυρηνικοί.

Συνεπώς οι δύο κύριες κατηγορίες σταθμών είναι οι παρακάτω:

- Ροής ποταμού και
- Αποθήκευσης.

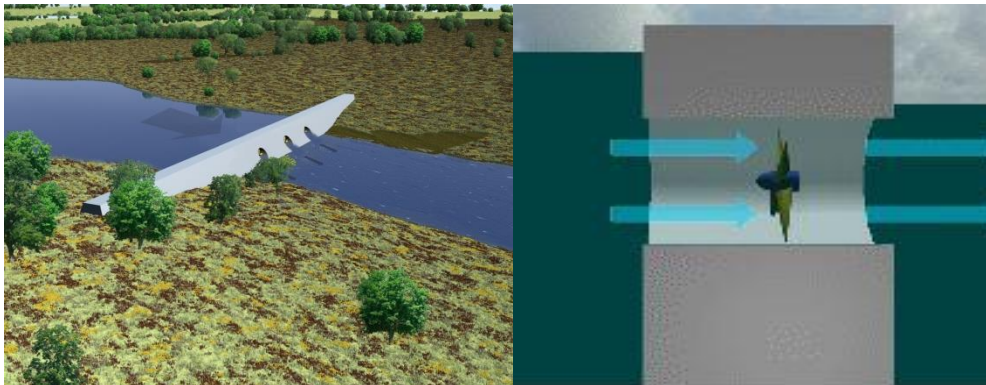
2.5.1 ΣΤΑΘΜΟΙ ΡΟΗΣ ΠΟΤΑΜΟΥ

Τα υδροηλεκτρικά έργα χαρακτηρίζονται ως έργα 'κατά την ροή του ποταμού' όταν δεν υπάρχει σημαντική αποθήκευση νερού. Τα έργα αυτά χρησιμοποιούν την ακανόνιστη ροή του νερού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μερικά έργα 'κατά την ροή του ποταμού' περιλαμβάνουν κάποια μικρά φράγματα ή υδατοφράκτες, που στην καλύτερη περίπτωση επιτρέπουν την ρύθμιση της ροής σε ημερήσια βάση. Τα 'κατά τον ροή του ποταμού' σχήματα σχεδιάζονται ώστε να χρησιμοποιούν μεγάλες παροχές με χαμηλή υψομετρική διαφορά ή χαμηλές παροχές με μεγάλη υψομετρική διαφορά πτώσης του νερού.

Υπάρχουν τρεις μορφές τεχνολογίας που χρησιμοποιούνται σε έργα 'κατά την ροή του ποταμού' :

- **Μονάδα τύπου υδροφράκτη**

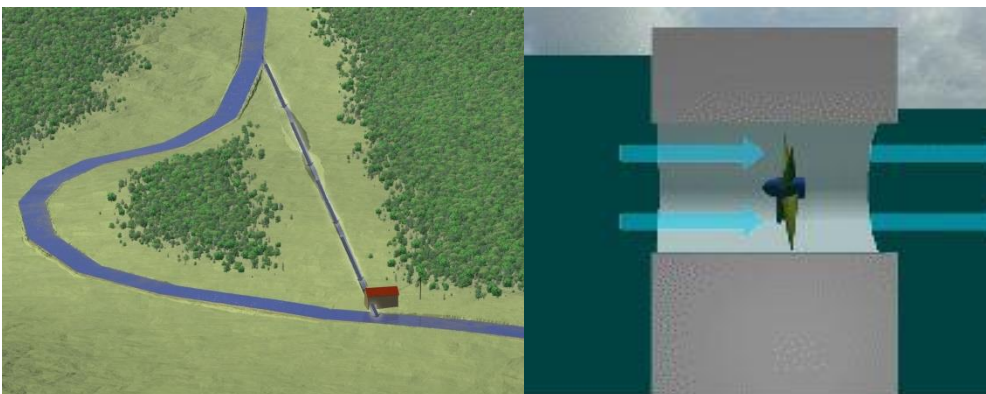
Το νερό φράσσεται με χαμηλό φράγμα ή υδροφράκτη για τη δημιουργία ενός μικρού ταμιευτήρα και ύψους πτώσης του νερού. Το νερό αφήνεται να διέλθει μέσω στροβίλων χαμηλού μανομετρικού που βρίσκονται στον υδροφράκτη για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Το εξερχόμενο νερό είναι στην πραγματικότητα όσο και το εισερχόμενο, και επιστρέφει αμέσως στο ποτάμι χωρίς να μεταβάλλει την υφιστάμενη παροχή ή στάθμη του νερού (Εικόνα 2.5.1.1).



Εικόνα 2.5.1.1: Μονάδα τύπου Υδροφράκτη. Αριστερά φράγμα μικρού βάθους, υδροφράκτη. Δεξιά η είσοδος και έξοδος του νερού μέσω των στροβίλων.

- **Μονάδα εκτροπής**

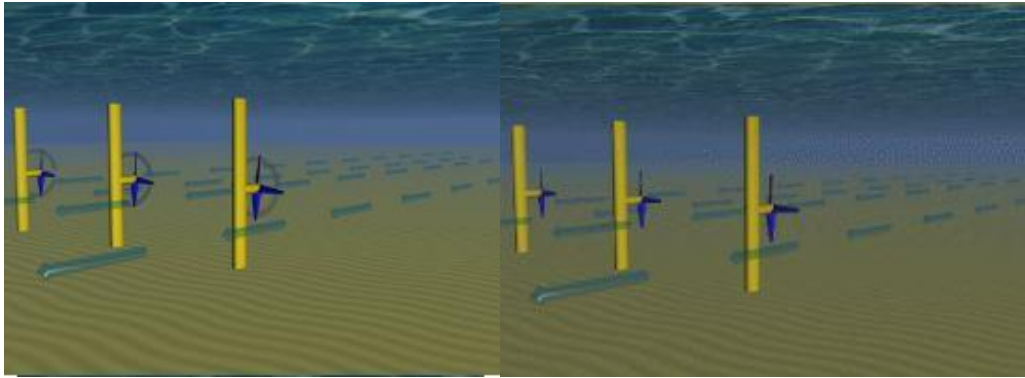
Μέρος του νερού διοχετεύεται μέσω σήραγγας ή αγωγού πτώσης (δηλ. ενός σωλήνα) για τη μεταφορά του προσαγόμενου νερού στο σταθμό όπου βρίσκεται ο στρόβιλος. Ο σταθμός βρίσκεται κατάντη του στομίου εισόδου για να υπάρχει η δυνατότητα εκμετάλλευσης της μεγαλύτερης δυνατής υψομετρικής διαφοράς. Το νερό στη συνέχεια επιστρέφει στο κατάντη του ποταμού μέσω ενός καναλιού διαφυγής (Εικόνα 2.5.1.2).



Εικόνα 2.5.1.2: Μονάδα εκτροπής. Το φράγμα εκτροπής κατευθύνει το νερό σε έναν αγωγό πτώσης ή την προσαγωγή στον στρόβιλο.

- **Διατάξεις δράσης**

Οι διατάξεις αυτές τοποθετούνται σε ρέοντα ύδατα για απόσπαση της κινητικής ενέργειας. Σε αυτές περιλαμβάνονται οι υποβρύχιοι στρόβιλοι, παλινδρομικά υδροπτερύγια. Οι τεχνολογίες παλιρροιακού ρεύματος σχεδιάζονται με στόχο την απόληψη της κινητικής ενέργειας των ταχέως ρεόντων υδάτων σε παλιρροιακές περιοχές (Εικόνα 2.5.1.3).

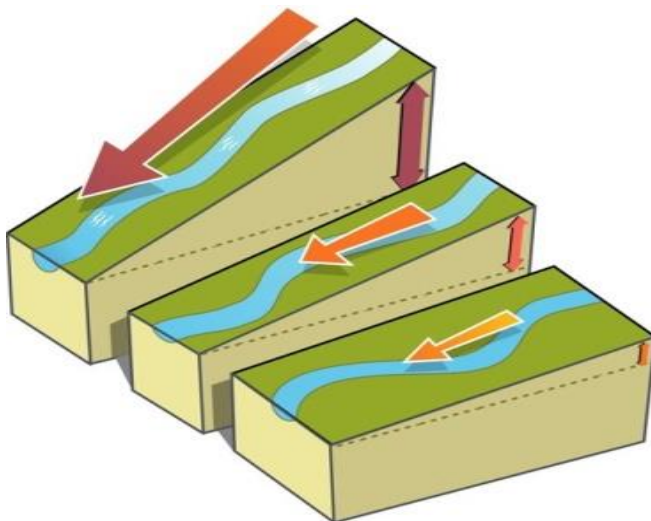


Εικόνα 2.5.1.3: Υποβρύχιοι στρόβιλοι. Ένας στρόβιλος τοποθετείται σε παλιρροιακό ρεύμα το οποίο αναγκάζει το στρόβιλο να περιστραφεί και να παράγει ηλεκτρισμό.

2.5.2 ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΝΕΡΟΥ

Σε αντίθεση με τους συμβατικούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς, οι ‘κατά το ροή του ποταμού’ σταθμοί παραγωγής ενέργειας έχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης του νερού, και έτσι η καλύτερη θέση γι’ αυτούς είναι σε ποτάμια με μόνιμη, σταθερή ροή. Οι περιοχές με τους καταλληλότερους πόρους είναι αυτές που εξασφαλίζουν μια υψομετρική διαφορά, υψηλά ετήσια ποσοστά κατακρημνίσεων και λεκάνες απορροής, από τις οποίες γίνεται η αποστράγγιση των υδάτων σε ποτάμια.

Για τα σχήματα τύπου υδροφράκτη ή εκτροπής, η ενέργεια που μπορεί να παραχθεί αυξάνει με την υψομετρική διαφορά πτώσης των υδάτων, πράγμα που καθιστά τις ορεινές ή λοφώδεις περιοχές καταλληλότερες. Για τα έργα τύπου υδροφράκτη θα πρέπει να υπάρχει ένα μικρό φράγμα ή ένας υδροφράκτης (Εικόνα 2.5.2.2), ανάντη του σταθμού παραγωγής (Σχήμα 2.5.2.1).



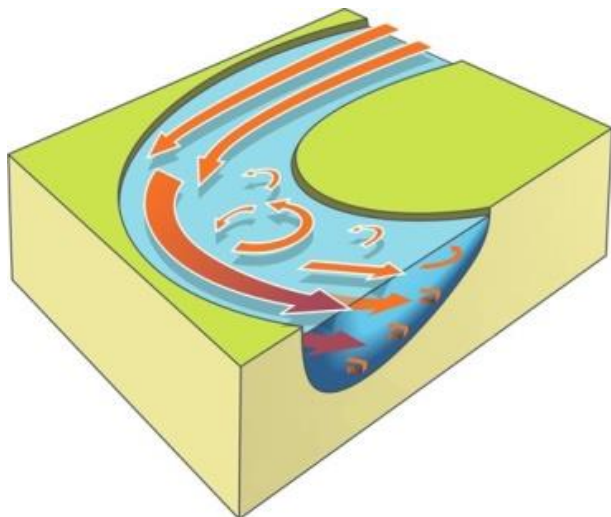
Σχήμα 2.5.2.1: Υψομετρική διαφορά πτώσης υδάτων.



Εικόνα 2.5.2.2: Φράγμα αποθήκευσης νερού.

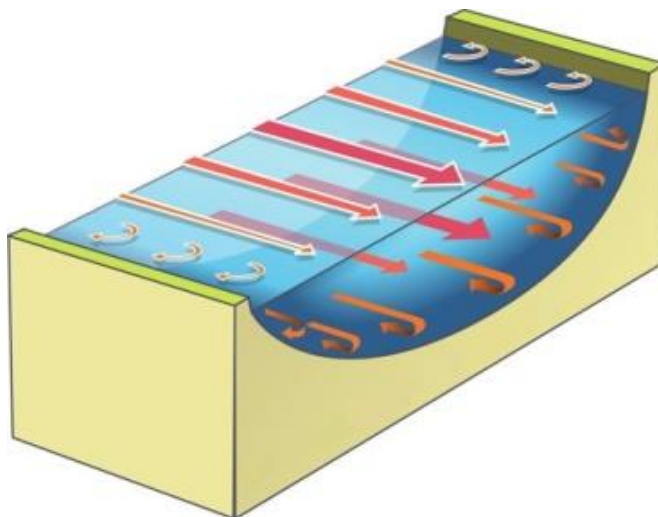
Για να είναι δυνατή η ανάπτυξη στροβίλων δράσης, τα ποτάμια πρέπει να έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: συνεχή ροή ολόκληρο το χρόνο, κατάλληλο βάθος, συμπαγή και σταθερή κοίτη, και ύδατα χωρίς ιζήματα. Οι υδροστροβίλοι δράσης εγκαθίστανται σε ποτάμια με ταχύτητες ροής μεγαλύτερες του 1 m/s, με μόνιμη ροή και συγκεκριμένο βάθος. Οι διατάξεις εγκαθίστανται

συνήθως σε στρατηγικά σημεία όπου το έδαφος περιορίζει με φυσικό τρόπο τη ροή και εξασφαλίζει μεγάλη ταχύτητα κατά τόπους. Τα ισχυρότερα ρεύματα σε ένα ποτάμι εντοπίζονται στο κέντρο του και κοντά στην επιφάνεια, όπου δεν εμποδίζονται από την τριβή με τις όχθες και την κοίτη του ποταμού (Σχήματα 2.5.2.3 & 2.5.2.4). Όταν το ποτάμι ρέει γύρω από καμπύλη, η ροή του επιταχύνεται στο εξωτερικό και επιβραδύνεται στο εσωτερικό της καμπύλης.



Σχήμα 2.5.2.3(α)

Ισχυρά ρεύματα από φυσική ροή σε υδροφράκτη.



Σχήμα 2.5.2.3(β)

2.5.3 ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΑΝΤΛΗΣΗ

Σε αντίθεση με τους συμβατικούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς αποθήκευσης, οι σταθμοί αποθήκευσης με άντληση επαναχρησιμοποιούν το νερό. Διαθέτουν σύστημα δύο ταμιευτήρων και αφού το νερό αφήσει τον πρώτο ταμιευτήρα (υψηλά), διέλθει από τους στροβίλους και παράγει ηλεκτρισμό, ρέει στο δεύτερο ταμιευτήρα (χαμηλά). Κατά τη διάρκεια περιόδων που δεν υπάρχει αυξημένη ζήτηση ηλεκτρισμού, μέρος του νερού αντλείται από τον ταμιευτήρα που βρίσκεται χαμηλά (με αναστροφή της λειτουργίας των στροβίλων που λειτουργούν ως αντλίες) στον υψηλότερο ταμιευτήρα και μπορεί συνεπώς να επαναληφθεί ο κύκλος παραγωγής ηλεκτρισμού. Είναι προφανές ότι για την άντληση αυτήν απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια, την οποία λαμβάνει από το δίκτυο το οποίο τροφοδοτείται από τους συμβατικούς θερμικούς σταθμούς. Τέτοια έργα θεωρούνται ως από τα πλέον ιδανικά για αποθήκευση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η χωρητική αποθήκευση ενός ταμιευτήρα είναι η πλέον σημαντική παράμετρος των φυσικών χαρακτηριστικών του. Εξαρτάται από την ποσότητα και τη μεταβολή της φυσικής ροής του νερού, ενώ θα πρέπει να καλύπτει τις εκ των προτέρων υπολογισθείσες ενεργειακές ανάγκες. Ωστόσο, ο προσδιορισμός της χωρητικότητας και του σχεδιασμού του ταμιευτήρα μπορεί να εξαρτηθεί από μη ενεργειακές καταναλώσεις, όπως: ανάγκες άρδευσης, έλεγχο πλημμυρών, βιομηχανικές και αστικές χρήσεις, απαιτήσεις αναψυχής, διατήρηση αλιευμάτων και αγριάδα πανίδας.

2.6 ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ

Ο ταμιευτήρας κατασκευάζεται ώστε να αποθηκεύει νερό κατά την διάρκεια περιόδων υψηλής βροχόπτωσης και να το αποδίδει σε περιόδους χαμηλής, αντιμετωπίζοντας με αυτόν τον τρόπο την κυμαινόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Ταυτόχρονα με την αύξηση του υδραυλικού ύψους αυξάνεται η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς.

Για την αξιολόγηση της καταλληλότητας του ταμιευτήρα θα πρέπει να εξετάζονται παράγοντες που αφορούν το μέγεθος, την θέση, την σταθερότητα της όχθης, την διεισδυτικότητα του νερού, την σεισμικότητα, την εξάτμιση, την απόθεση ιλύος και την δημιουργία ιζήματος, άλλα συναφή έργα (π.χ. εγκαταστάσεις αναψυχής, υπηρεσιών).

Θα πρέπει επίσης να προσδιορίζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τα μέτρα για μείωση τους, όπως και η συνολική λειτουργία του ταμιευτήρα. Η αποθηκευτική χωρητικότητα του ταμιευτήρα είναι το πλέον σημαντικό χαρακτηριστικό του και εξαρτάται από την ποσότητα και την μεταβολή της φυσικής ροής των νερών, και πρώτο μέλημα είναι η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Ο προσδιορισμός της χωρητικότητας ενός ταμιευτήρα και ο τρόπος κατασκευής του εξαρτώνται και από τις μη ενεργειακές χρήσεις του (Εικόνα 2.6.1), όπως: οι απαιτήσεις άρδευσης, ο έλεγχος των πλημμυρών, αστικές και βιομηχανικές χρήσεις, χρήσεις αναψυχής, διατήρηση και ανάπτυξη της αλιείας.



Εικόνα 2.6.1: Παράδειγμα ταμιευτήρα για βιομηχανική χρήση.

Οι διάφορες χρήσεις ενός ταμιευτήρα επιβάλλουν διαφορετικά κριτήρια στον σχεδιασμό. Η παραγωγή ενέργειας δεν καταναλίσκει ενέργεια, καθώς οιαδήποτε ποσότητα νερού που διέρχεται για οποιαδήποτε άλλη χρήση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Για την εξασφάλιση όμως μιας σταθερής παραγωγής ενέργειας κατά την διάρκεια περιόδων με διακυμάνσεις στην βροχόπτωση, διατηρείται μια ξεχωριστή ποσότητα νερού, καθώς οι ανάγκες άρδευσης και ύδρευσης μπορεί να μην συμπίπτουν χρονικά με την ηλεκτροπαραγωγή. Η εξασφάλιση από πλημμύρες, που ισοδυναμεί ουσιαστικά με την απαίτηση για έναν άδειο χώρο αποθήκευσης είναι η λιγότερο συμβατή χρήση από όλες τις άλλες.

Οι απαιτήσεις για νερό αστικής και βιομηχανικής χρήσης επηρεάζεται από τον πληθυσμό, και την εκτιμώμενη μελλοντική αύξηση και από τις παρούσες και μελλοντικές βιομηχανικές χρήσεις. Παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση νερού είναι το κλίμα, τα χαρακτηριστικά και το μέγεθος των αστικών κέντρων, το είδος της βιομηχανίας /εμπορίου, και τα τιμολόγια κόστους. Υπάρχει επίσης η ανάγκη για την διατήρηση μιας συμπληρωματικής αποθηκευτικής ζώνης ασφαλείας για την κάλυψη έκτακτων αναγκών ύδρευσης και άρδευσης (Εικόνα 2.6.2).



Εικόνα 2.6.2: Ταμιευτήρας μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου.

3. ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΟΙ

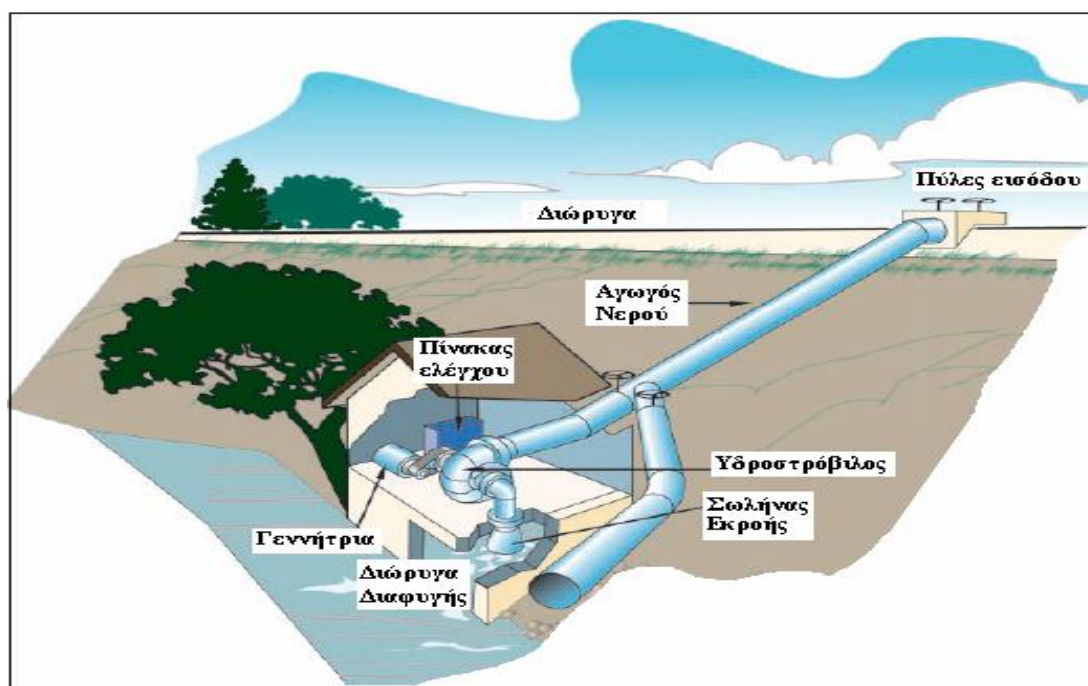
3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Υδραυλικοί κινητήρες καλούνται οι μηχανές, οι οποίες χρησιμοποιούν την υδραυλική ενέργεια για την παραγωγή ωφέλιμου έργου. Λέγοντας υδραυλική ενέργεια εννοούμε τη δυναμική ενέργεια του νερού, δηλαδή το βάρος ή την πίεσή του ή την κινητική, η οποία και προσδιορίζεται από την ταχύτητα κινήσεώς του. Οι υδροκινητήρες κατατάσσονται σε τρία βασικά είδη:

- Κινητήρες, οι οποίοι λειτουργούν με το βάρος του νερού. Αυτοί καλούνται ειδικότερα υδραυλικοί τροχοί.
- Κινητήρες, οι οποίοι λειτουργούν με την πίεση του νερού. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι εμβολοφόροι υδροκινητήρες, τα υδραυλικά πιεστήρια και οι περιστροφικοί υδροκινητήρες.
- Κινητήρες, οι οποίοι λειτουργούν με την κινητική ενέργεια του νερού. Αυτοί ονομάζονται ειδικότερα υδροστρόβιλοι.

Είναι φανερό ότι οι παραπάνω κινητήρες διαφέρουν βασικά από τους θερμικούς κινητήρες, οι οποίοι μετατρέπουν τη θερμική ενέργεια σε μηχανικό έργο. Οι υδραυλικοί κινητήρες χρησιμοποιούν ως εργαζόμενη ουσία το νερό και μετατρέπουν τη μηχανική ενέργειά του, δηλαδή τη δυναμική ή κινητική του ενέργεια σε μηχανικό έργο.

Από τα τρία είδη υδραυλικών κινητήρων που αναφέρθηκαν, οι υδραυλικοί τροχοί χρησιμοποιήθηκαν παλαιότερα και για πολλά χρόνια για την κίνηση διαφόρων μηχανισμών, όπως π.χ. μύλων, γεννητριών κλπ., σήμερα όμως χρησιμοποιούνται σε πολύ μικρή κλίμακα. Οι εμβολοφόροι κινητήρες χρησιμοποιούνται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις για την κίνηση ορισμένων μηχανισμών, και τα υδραυλικά πιεστήρια για την εφαρμογή πολύ μεγάλων δυνάμεων με πολύ μικρή ταχύτητα, δηλαδή σε μεγάλα πιεστικά μηχανήματα, όπως είναι π.χ. οι καλούμενες υδραυλικές πρέσες και οι υδραυλικοί γρύλοι. Οι υδροστρόβιλοι τέλος, όπου θα αναλύσουμε παρακάτω μιας και μας ενδιαφέρουν στην συγκεκριμένη εργασία, χρησιμοποιούνται σήμερα σε μεγάλη έκταση κυρίως για την κίνηση ηλεκτρογεννητριών (Εικόνα 3.1.1) και κατασκευάζονται σε μονάδες με ποικίλη ισχύ από πολύ μικρή (10 kW) ως και πολύ μεγάλη (μέχρι 500.000 kW).



Εικόνα 3.1.1: Τα μέρη όπου χρειάζεται ένας υδροστρόβιλος για τη λειτουργία του.

3.2 ΤΥΠΟΙ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΩΝ

Στους υδροστρόβιλους για την παραγωγή έργου χρησιμοποιείται κυρίως η ταχύτητα του νερού, δηλαδή η κινητική του ενέργεια. Αυτή αποκτάται κατά την εκροή ή την πτώση του από υψηλή σε χαμηλότερη στάθμη. Η ταχύτητα αυτή είναι τόσο μεγαλύτερη όσο αυξάνεται η διαφορά στάθμης ή ύψους. Έτσι στις εγκαταστάσεις αποταμιεύσεως του νερού με μεγάλο ύψος, το νερό εισέρχεται στον υδροστρόβιλο με πολύ μεγάλη ταχύτητα, ενώ στις εγκαταστάσεις ροής, στις οποίες εκμεταλλευόμαστε την ταχύτητα του νερού ενός ποταμού π.χ., η ταχύτητα αυτή είναι μικρότερη. Εκμεταλλευόμαστε την ταχύτητα του νερού διοχετεύοντάς το κατάλληλα, ώστε να το αναγκάσουμε να περάσει μέσα από τα πτερύγια ενός στροβίλου ή να κτυπήσει τα κύπελλα ενός τροχού και να προκαλέσει την περιστροφή του άξονά τους, από τον οποίο και παραλαμβάνεται το μηχανικό έργο.

Οι υδροστρόβιλοι χρησιμοποιούνται συνήθως, για να κινούν ηλεκτρογεννήτριες παραγωγής ρεύματος και είναι διαδεδομένοι σε όλο τον κόσμο, γιατί με αυτούς ο άνθρωπος εκμεταλλεύεται την ενέργεια των υδατοπτώσεων, τις οποίες του παρέχει η φύση, όπως του παρέχει και τα διάφορα καύσιμα. Γι' αυτό άλλωστε μεταφορικά οι υδατοπτώσεις ονομάζονται και λευκός άνθρακας. Η διαδικασία λοιπόν που ακολουθείται περιληπτικά είναι η ακόλουθη. Το φυσικό νερό ακολουθεί τον λεγόμενο υδρολογικό κύκλο που είναι ο εξής: Η ηλιακή ενέργεια προκαλεί την εξάτμιση του από τις θάλασσες, τα ποτάμια, τις λίμνες με αποτέλεσμα τις υδατοπτώσεις. Μέρος του νερού των βροχοπτώσεων και των χιονοπτώσεων συγκεντρώνεται στις υδρολογικές λεκάνες και από εκεί μέσω των ποταμών μεταφέρεται πίσω στη θάλασσα. Η ενέργεια του νερού κατά τη διαδρομή του στη θάλασσα συνεχώς υποβαθμίζεται, αφού σταδιακά μετατρέπεται σε θερμότητα, λόγω υδραυλικών απωλειών, τριβής και μεταφοράς φερτών υλικών.

Αν συγκεντρωθεί νερό σε μια υψηλή στάθμη και οδηγηθεί σε μια χαμηλότερη στάθμη, αφού διέλθει μέσω ενός υδροστρόβιλου, τότε παίρνουμε στην άτρακτο της πτερωτής την επιθυμητή ενέργεια. Η ενέργεια έχει τη μορφή της κινητήριας ροπής η οποία δεν είναι εύκολο να μεταφερθεί σε μεγάλη απόσταση. Έτσι στην προέκταση της ατράκτου του στροβίλου, τοποθετείται ηλεκτρογεννήτρια που παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Αυτή τελικά διανέμεται στο ηλεκτρικό δίκτυο προς κατανάλωση.

3.3 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΟΙ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ

Η ελάχιστη και η μέγιστη παροχή, καθώς και το εύρος ύψους λειτουργίας καθορίζουν το επίπεδο της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί σε μια τοποθεσία. Η απόδοση της ενεργειακής μετατροπής των μονάδων στροβίλου-γεννήτριας είναι συνήθως 80-85%. Οι υδροστρόβιλοι ταξινομούνται :

- είτε σύμφωνα με την κατεύθυνση της ροής του νερού στα πτερύγια σε: αξονικούς, ακτινικούς, ή συνδυασμένη ροής.
- είτε σε αντίδρασης, πρόσπτωσης, συνδυασμού αντίδρασης-πρόσπτωσης.

Στους *υδροστρόβιλους πρόσπτωσης* το ρευστό προσπίπτει στον υδροστρόβιλο και τον εξαναγκάζει σε περιστροφή, ενώ οι υδροστρόβιλοι αντίδρασης είναι ενσωματωμένοι μέσα στην ροή και εκμεταλλεύονται την πτώση πίεσης του ρευστού μεταξύ εισόδου και εξόδου από τον υδροστρόβιλο.

Οι υδροστρόβιλοι αντίδρασης έχουν το πλεονέκτημα ότι η λειτουργία τους μπορεί να αντιστραφεί, και να λειτουργήσουν ως αντλίες μεταφέροντες το νερό σε υψηλότερη στάθμη, εξασφαλίζοντας με αυτόν τον τρόπο ενεργειακή αποθήκευση.

Οι υδροστρόβιλοι πρόπτωσης είναι οι παλαιότεροι τύποι υδραυλικών μηχανών που χρησιμοποιούνται για την μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε μηχανικό έργο. Είναι οι απλούστεροι, από πλευράς σχεδιασμού, ευκολίας συντήρησης και ελέγχου. Χρησιμοποιούνται κατά βάση σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς με μεγάλα υδραυλικά ύψη και χαμηλές παροχές. Καθώς έχουν χαμηλή ειδική ταχύτητα ροής, ο σχεδιασμός τους δεν απαιτεί ιδιαίτερη πολυπλοκότητα και βαριά κατασκευή.

Αν προκύψει ανάγκη όμως, είναι δυνατόν να αυξηθεί η ειδική ταχύτητα ροής με την προσθήκη περισσοτέρων ακροφυσίων. Παράλληλα επειδή λειτουργούν σε ατμοσφαιρική πίεση δεν απαιτείται ιδιαίτερος σχεδιασμός όσον αφορά την συναρμογή και στεγανότητα του κελύφους. Σαν συνέπεια αυτών και άλλων πλεονεκτημάτων οι υδροστρόβιλοι πρόπτωσης είναι από τις πλέον ευρέως διαδεδομένες μηχανές για μικρά υδροηλεκτρικά έργα (Εικόνα 3.3.2).



Εικόνα 3.3.2: Τρόπος εγκατάστασης και λειτουργίας Υδροστρόβιλου πρόπτωσης.

Οι υδροστρόβιλοι αντίδρασης, που χρησιμοποιούνται, συνήθως, σήμερα στις εφαρμογές είναι οι υδροστρόβιλοι τύπου Francis για ένα μεγάλο εύρος μέσων τιμών υδατοπτώσεων ($z=50-500\text{m}$) καθώς και παρόμοιοι με τύπου Kaplan για μικρές τιμές της υδατόπτωσης ($H<50\text{m}$).

- ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΩΝ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ

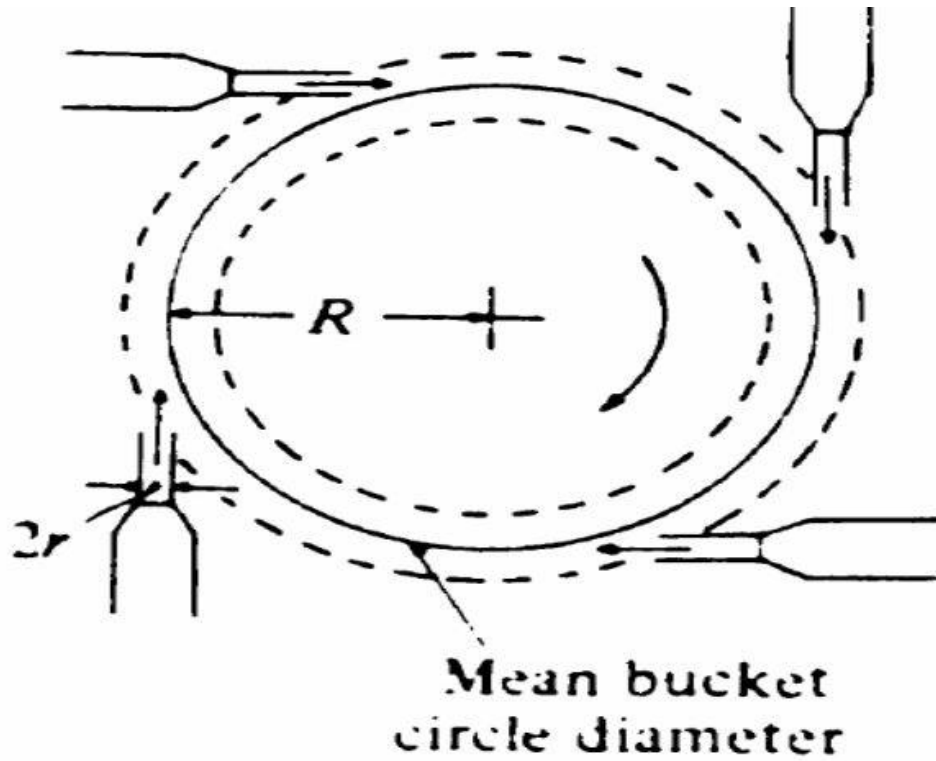
Ο υδροστρόβιλος πρόπτωσης εκμεταλλεύεται το συνολικά διαθέσιμο ύψος του νερού, δηλαδή την κινητική ενέργεια μιας ή περισσοτέρων δεσμών νερού (jets) (Εικόνα 3.3.3), για να στρέψει τον δρομέα. Η ροή του νερού λαμβάνει χώρα με μια ελεύθερη επιφάνεια σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα, το οποίο συνεπάγεται ότι η διαθέσιμη ενέργεια εξάγεται από την ροή, σε ατμοσφαιρική πίεση.



Εικόνα 3.3.3: Απεικόνιση δέσμης νερού (jet) να προσπίπτει στο δρομέα ώστε να παράξει περιστροφή.

Στους υδροστρόβιλους δράσης ολόκληρη η μεταβολή της πίεσης του νερού συντελείται στο ακροφύσιο, όπου η πίεση υποβαθμίζεται μέχρι το επίπεδο της ατμοσφαιρικής, και η ταχύτητα αυξάνεται. Στο στροφέιο η πίεση παραμένει σταθερή, ίση με την ατμοσφαιρική και, καθώς η δέσμη του νερού αναστρέφεται, προσβάλλοντας το ένα μετά το άλλο τα κοίλα σκαφίδια, δημιουργείται, σύμφωνα με το νόμο της ορμής, δύναμη, η οποία περιστρέφει το στροφέιο που με τη σειρά του, διαμέσου του άξονά του περιστρέφει, το φορτίο μιας γεννήτριας παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

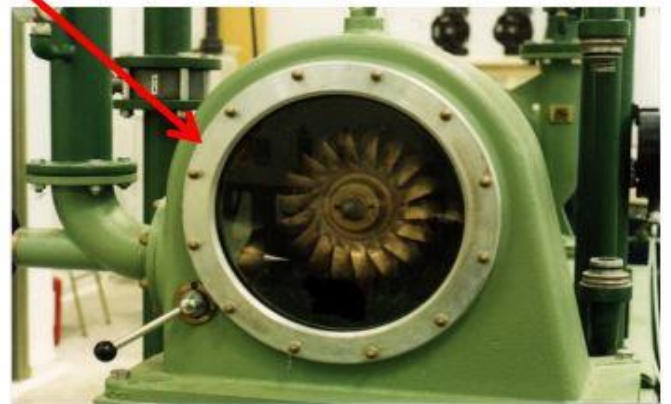
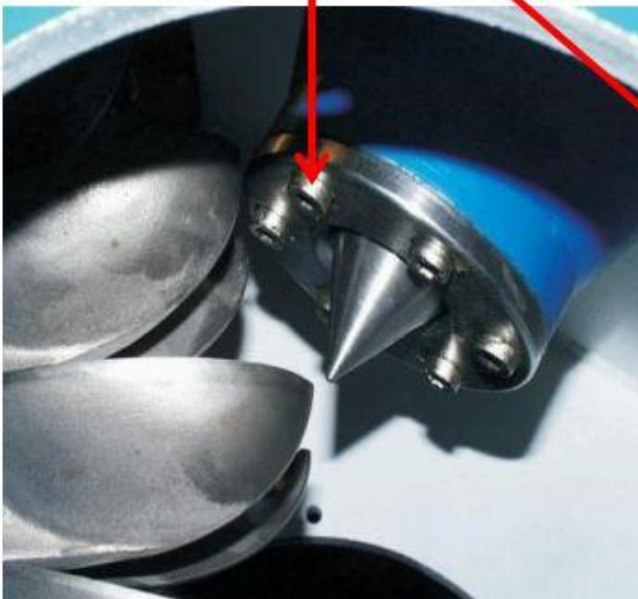
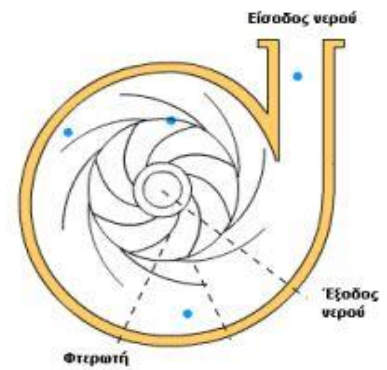
Συνεπώς στους υδροστρόβιλους δράσης ο βαθμός αντίδρασης είναι μηδενικός, αφού η μεταβολή της πίεσης στο στροφέιο είναι μηδενική. Ο μοναδικός τύπος υδροστρόβιλου δράσης που χρησιμοποιείται σήμερα ευρύτατα στις υδροηλεκτρικές εφαρμογές, για μεγάλα ύψη υδατοπτώσεων, είναι ο υδροστρόβιλος Pelton. Το έργο εκτελείται στον δρομέα από το ρευστό λόγω της μεταβολής της γωνιακής ορμής και της κίνησης των πτερυγίων (Σχήμα 3.3.4).



Σχήμα 3.3.4: Κίνηση του Δρομέα λόγω γωνιακής ορμής.

Οι σημαντικότεροι τύποι υδροστροβίλων που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι:

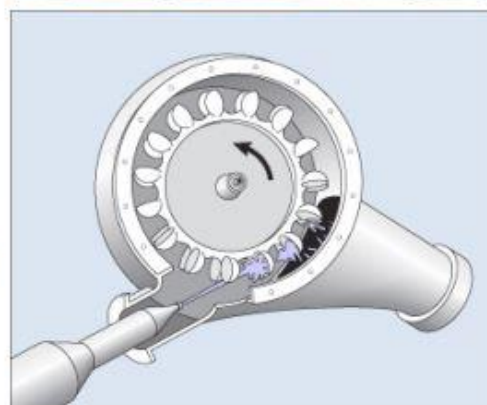
- Ο δρομέας Pelton
- Ο υδροστρόβιλος εγκάρσιας ροής



3.3.1 ΔΡΟΜΕΑΣ PELTON

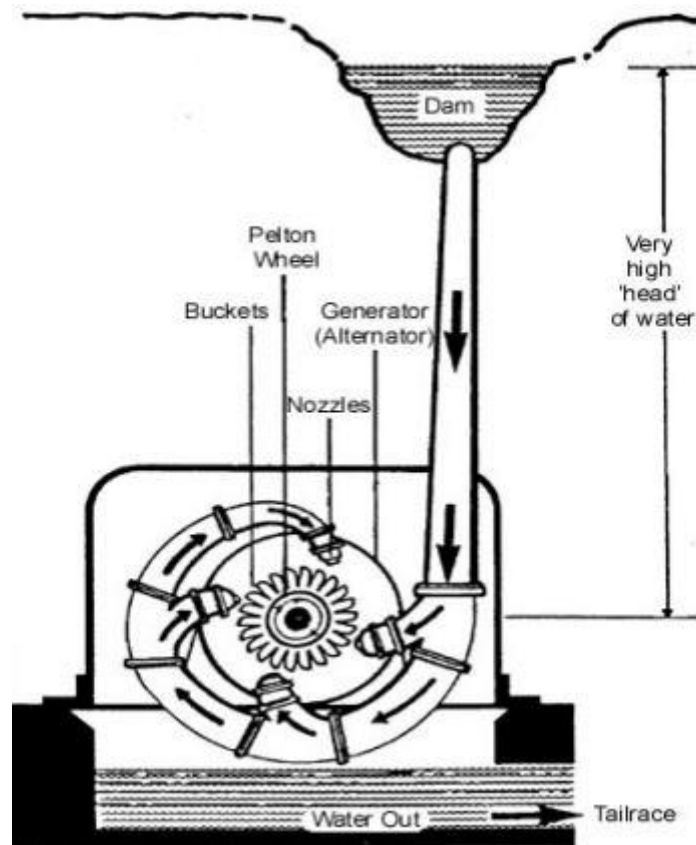
Τα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τους άλλους υδροστροβίλους πρόσπτωσης είναι:

- είναι οι πλέον απλές μηχανές όσον αφορά την κατασκευή, την λειτουργία και την συντήρηση (Εικόνα 3.3.1.1)
- έχουν γενικά καλή απόδοση φορτίου και είναι σε θέση να ανταπεξέλθουν σε σημαντικές μεταβολές ροής που συνήθως συμβαίνουν σε μικρά υδροηλεκτρικά έργα
- για περιπτώσεις μεγάλου υδραυλικού ύψους ο τροχός Pelton είναι ο πλέον αποδοτικός από τους υδροστροβίλους πρόσπτωσης και, για δεδομένο ύψος και ισχύ,
- καλύπτει το μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών (2-200 m) ανάμεσα στους διάφορους
- τύπους διαθέσιμων υδροστροβίλων ενώ συγχρόνως προσφέρει ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης
- απαιτούν μικρό χώρο εγκατάστασης



Εικόνα 3.3.1.1: Λειτουργία και συντήρηση Δρομέα Pelton.

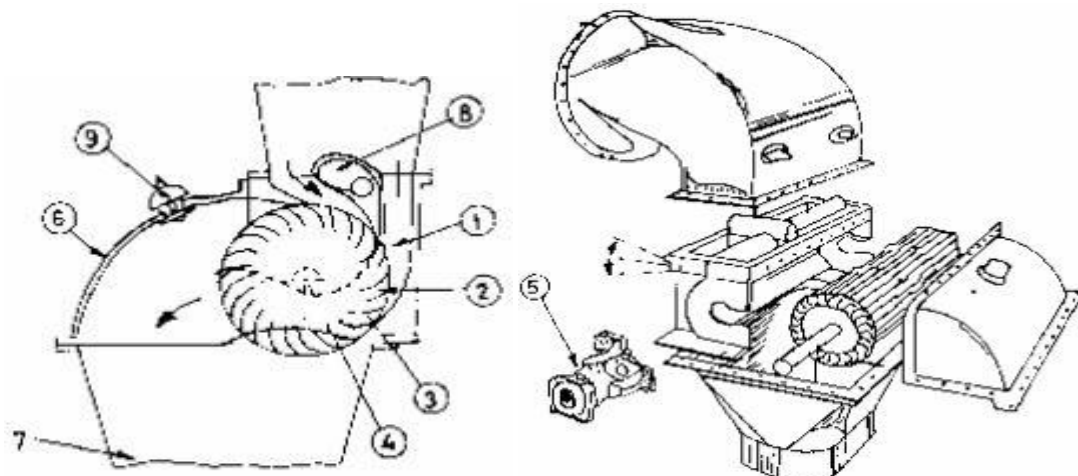
Σχηματική διάταξη δρομέα Pelton :



Ο Υδροστρόβιλος Εγκάρσιας Ροής, αποτελείται από :

1. ακροφύσιο
2. πτερύγιο
3. δρομέας
4. άξονας
5. έδρανο περιστροφής

6. κέλυφος
7. αγωγός ελκυσμού
8. βάννα κατευθύνσεως
9. βαλβίδα αέρα



Δρομέας Pelton – Υπολογισμοί :

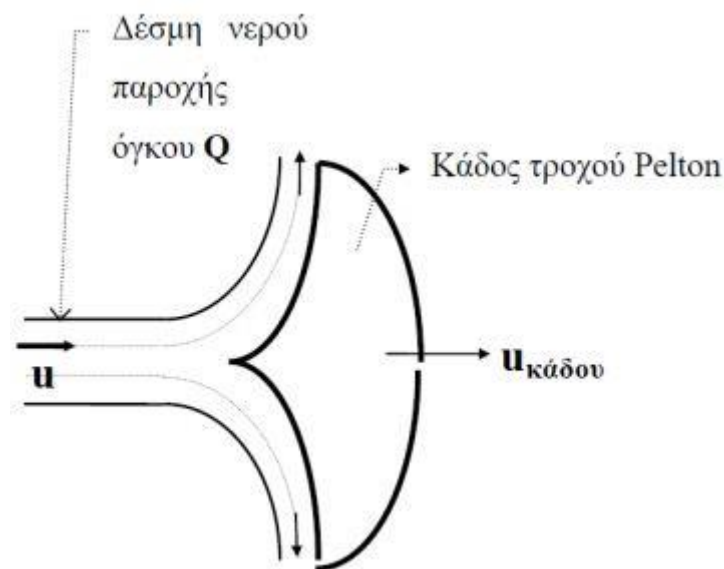
Αν η ταχύτητα του νερού κατά την έξοδο από το ακροφύσιο είναι u και η σταθερή ταχύτητα μετατοπίσεως του κάδου $u_{\text{κάδου}}$, τότε η δύναμη που αναπτύσσεται F υπολογίζεται:

$$F = 2 \cdot \rho \cdot Q \cdot (u - u_{\text{κάδου}} \cdot x) \quad (1)$$

Όπου :

- Q είναι η συνολική παροχή
- ρ η πυκνότητα του νερού
- x το μοναδιαίο διάνυσμα του άξονα αναφοράς

Ταχύτητες νερού σε ακροφύσιο και κάδο σε ακίνητο σύστημα αξόνων (Σχήμα 3.3.1.2) :



Σχήμα 3.3.1.2: Υπολογισμός Δύναμης δρομέα Pelton.

Η ισχύς που αναπτύσσεται από την εφαρμογή αυτής της δυνάμεως επάνω στον κινούμενο κάδο είναι:

$$\begin{aligned} P &= F u_{\text{κάδου}} \\ &= 2 \rho Q (u - u_{\text{κάδου}}) \end{aligned} \quad (2)$$

Η μέγιστη ισχύς P_{max} θα ισχύει όταν:

$$u_{\text{κάδου}} = \frac{1}{2} u \quad (3)$$

και είναι ίση με:

$$P_{\text{max}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Q \cdot u^2 \quad (4)$$

Η ισχύς αυτή είναι θεωρητική, ο βαθμός απόδοσης του τροχού Pelton είναι συνήθως της τάξεως $\eta = 0.5 - 0.9$. Αν το διαθέσιμο ύψος είναι H , τότε η ταχύτητα του νερού υπολογίζεται σύμφωνα με την αρχή του Bernoulli:

$$u = [2 \cdot g \cdot H]^{1/2} \quad (5)$$

όπου g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας.

Καθώς δε η συνολική παροχή διοχετεύεται μέσα από n ακροφύσια, έκαστον με διατομή a , η συνολική παροχή θα είναι:

$$Q = n \cdot a \cdot u \quad (6)$$

Λαμβάνοντας υπόψη τον βαθμό απόδοσης η , η διαθέσιμη ισχύς από τον τροχό θα είναι:

$$\begin{aligned} P_0 &= \eta P \\ &= \eta \frac{1}{2} \rho Q u^2 \\ &= \frac{1}{2} \eta \rho n a (2 g H)^{2/3} \end{aligned} \quad (7)$$

- η ο βαθμός απόδοσης
- ρ η πυκνότητα
- n ο αριθμός των ακροφυσίων
- a η επιφάνεια της διατομής του ακροφυσίου
- g η επιτάχυνση της βαρύτητας
- H η υψομετρική διαφορά του νερού

Στην περίπτωση που ο τροχός Pelton έχει ακτίνα R και στρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ω , τότε η ισχύς P θα είναι:

$$\begin{aligned} P &= F R u_{\text{κάρδου}} \\ &= F R \omega \end{aligned} \quad (8)$$

$$R = \frac{1}{2} [2 g H]^{1/2} \omega^{-1}$$

Η διατομή των ακροφυσίων είναι κυκλική με ακτίνα $r_{\text{ακρ}}$, συνεπώς

$$(7) \rightarrow r_{\text{ακρ}}^2 = \frac{P_0}{\eta \rho n \pi (g H)^{3/2} \sqrt{2}} \quad (9)$$

$$(8), (9) \Rightarrow \frac{r_{\text{ακρ}}}{R} = 0.68 (\eta n)^{-1/2} SN$$

$$SN = \frac{P_0^{1/2} \omega}{\rho^{1/2} (g H)^{3/4}} \quad (10)$$

Όπου SN ο αριθμός στροφών.

Η σχέση (10) συνδέει το σχήμα του τροχού Pelton (μέσω των $r_{\text{ακρ}}$, R και n) και την περίμετρο SN που χαρακτηρίζει τις συνθήκες λειτουργίας και επομένως την μηχανική απόδοση κάτω από αυτές τις συνθήκες.

Οι υδροστρόβιλοι ταξινομούνται, επίσης, ανάλογα με τη διεύθυνση της ροής στο στροφείο σε: ακτινικής ροής, αξονικής ροής και μικτής (διαγώνιας) ροής. Οι υδροστρόβιλοι Francis είναι ακτινικής και μικτής (διαγώνιας) ροής, ενώ οι υδροστρόβιλοι της μορφής Kaplan είναι αξονικής ροής. Από πλευράς διάταξης των δομικών τους στοιχείων στο χώρο, μπορεί να γίνει διάκριση σε υδροστρόβιλους οριζοντίου και κατακόρυφου άξονα.

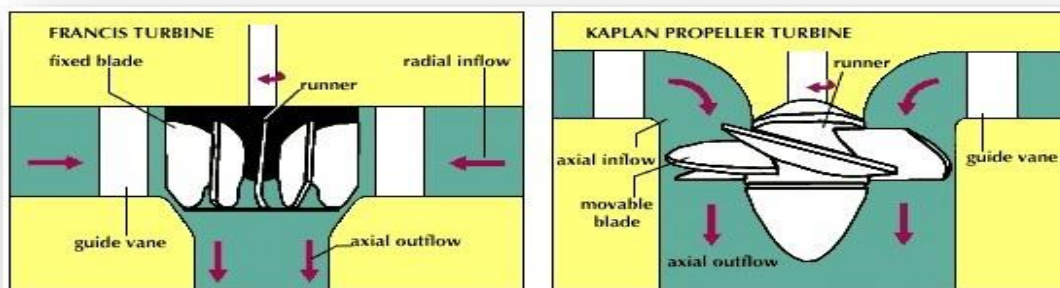
Η ανάπτυξη των υδροστροβίλων έχει μεγάλη οικονομική, τεχνική και περιβαλλοντική σημασία. Χρησιμοποιούνται, κυρίως, για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, φιλική προ το περιβάλλον, με πολύ φθηνό λειτουργικό κόστος.

Μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα έχουν κατασκευασθεί, και βρίσκονται σε λειτουργία σε όλο τον κόσμο, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη των κοινωνιών με περιβαλλοντική ευαισθησία. Ευνοούνται, φυσικά, οι κοινωνίες που διαθέτουν εδάφη με σημαντικό ανάγλυφο και πολλές βροχοπτώσεις.

3.4 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ

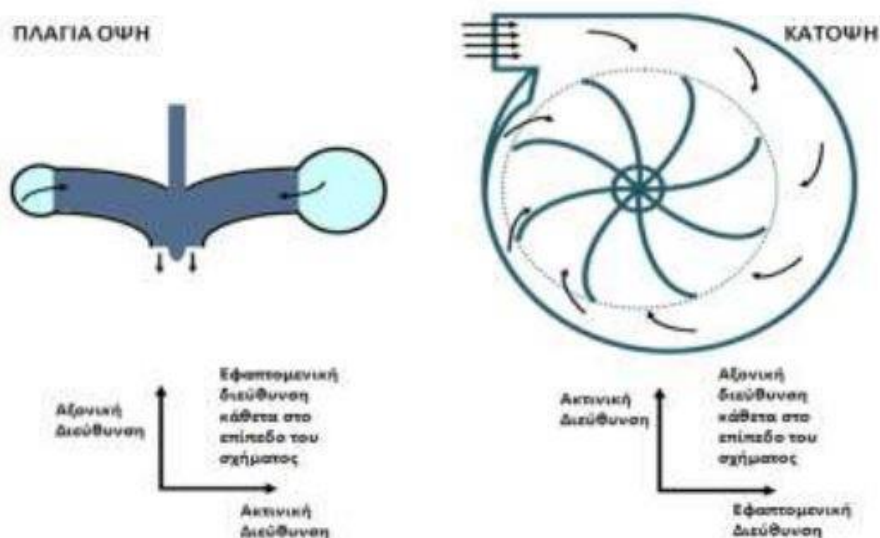
Πιο συγκεκριμένα, θα αναλύσουμε περισσότερο τους υδροστροβίλους αντίδρασης καθώς θα μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε καλύτερα τη συνεχεία της εργασίας. Οι υδροστρόβιλοι αντίδρασης, λοιπόν, έχουν ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών για μέσου ύψους υδατοπτώσεις και ισχύ από 500 kW μέχρι 800 MW. Στους υδροστροβίλους αυτούς η πτώση της στατικής πίεσης δε γίνεται εξολοκλήρου στην ακίνητη οδηγό περύγωση και ένα σημαντικό μέρος της αποκλιμάκωσης (πτώσης) της στατικής πίεσης του νερού συμβαίνει κατά τη ροή του στην περύγωση του στροφείου. Συνεπώς ο βαθμός αντίδρασης είναι μεγαλύτερος του μηδενός, και το νερό πρέπει να προσβάλει όλη την περύγωση. Διαθέτουν δηλαδή περωτές ολικής προσβολής, στις οποίες το νερό προσάγεται και διαμοιράζεται ομοιόμορφα σε ολόκληρη την επιφάνεια εισόδου στο στροφείο της υδροδυναμικής μηχανής.

Οι σημαντικότεροι τύποι υδροστροβίλων αντίδρασης είναι ο υδροστρόβιλος Francis, ακτινικής και μικτής ή διαγώνιας ροής και οι υδροστρόβιλοι αξονικής ροής, όπως κυρίως ο τύπος Kaplan. Οι υδροστρόβιλοι αντίδρασης, που χρησιμοποιούνται, συνήθως, σήμερα στις εφαρμογές είναι οι υδροστρόβιλοι τύπου Francis για ένα μεγάλο εύρος μέσων τιμών υδατοπτώσεων ($z=50-500\text{m}$) καθώς και παρόμοιοι με τύπου Kaplan για μικρές τιμές της υδατόπτωσης ($H<50\text{m}$) (Εικόνα 3.4.1).



Σχήμα 3.4.1: Οι πιο συνηθισμένοι τύποι Υδροστροβίλων Αντίδρασης.

Οι στρόβιλοι, για να αναπτύξουν βέλτιστο μανομετρικό ύψος ή ειδικό έργο (να μεταφέρουν μέγιστη ενέργεια ανά μονάδα βάρους της ροής) απαιτείται, κατά το δυνατόν, μεγαλύτερη τιμή της εφαστομενικής συνιστώσας της απόλυτης ταχύτητας (Εικόνα 3.4.2). Επίσης το τμήμα εισόδου της ροής στον υδροστρόβιλο ολικής προσβολής πρέπει να είναι σχεδιασμένο, έτσι ώστε να γίνεται ομοιόμορφης παροχής περιφερειακή τροφοδοσία νερού. Αυτό σημαίνει ότι ο αγωγός τροφοδοσίας νερού, που μεταφέρει το νερό από την υψηλότερη στάθμη, πρέπει στην απόληξή του να περιβάλλει τα ακίνητα οδηγητικά πτερύγια που διαμορφώνουν την τελική μορφή της ροής του νερού, πριν αυτό εισέλθει ομοιόμορφα στην περιφερειακή επιφάνεια του στροφείου κατά την ακτινική διεύθυνση. Η απαίτηση ομοιόμορφης παροχής περιφερειακά της ακίνητης πτερύγωσης δημιουργεί την ανάγκη σταδιακής μείωσης της διατομής του αγωγού τροφοδοσίας νερού γύρω από τη στεφάνη των ακινήτων πτερυγίων. Για τους λόγους αυτούς επιλέγεται σπειροειδούς μορφής αγωγός τροφοδοσίας των υδροστρόβιλων αντίδρασης, ο οποίος δίνει και αρχική συστροφή στο νερό, αλλά και τροφοδοτεί ομοιόμορφα την οδηγό πτερύγωση προς την πτερωτή.

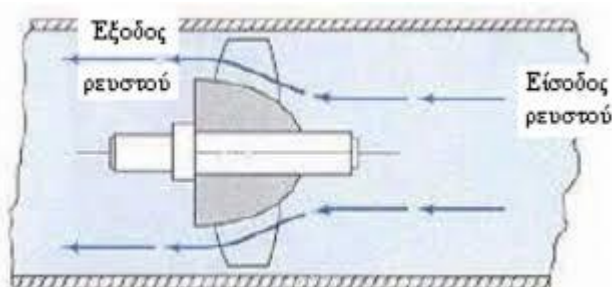


Εικόνα 3.4.2: Απεικόνιση της εφασπόμενης συνιστώσας.

Οι επίπεδες τομές του σπειροειδούς κελύφους που εμπεριέχουν τον άξονα της ρευστοδυναμικής μηχανής είναι κυκλικής διατομής η οποία μειώνεται κατά την περιφερειακή διεύθυνση. Το σπειροειδές περίβλημα είναι η πιο ογκώδης και στιβαρή κατασκευή της εγκατάστασης του υδροστρόβιλου διότι δέχεται τη μεγαλύτερη στατική πίεση. Για πολύ μικρούς υδροστρόβιλους αντίδρασης κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο. Για πολύ μικρές υδατοπτώσεις, μικρότερες των 10m δε διαμορφώνεται σπειροειδές περίβλημα που δημιουργεί ακτινική εισόδου στα οδηγά πτερύγια των αξονικών υδροστρόβιλων, αλλά η ροή στο τμήμα εισόδου γίνεται απευθείας αξονικά. Για μικρές υδατοπτώσεις, μικρότερες των 30m που διαμορφώνονται, συνήθως, σε ποταμούς και κινούν υδροστρόβιλους αξονικής ροής Kaplan, το σπειροειδές κέλυφος κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Η διατομή της σπείρας είναι ορθογωνική και η εσωτερική επιφάνεια του κελύφους δε φέρει ιδιαίτερη επικάλυψη. Το σκυρόδεμα έχει αποδειχθεί ότι είναι ανθεκτικό στη μηχανική και στη χημική διάβρωση, έχει μεγάλο χρόνο μεταξύ δύο συντηρήσεων και χαμηλό κόστος σχετικά με τις χαλύβδινες κατασκευές. Στα περιβλήματα από σκυρόδεμα λαμβάνεται μέριμνα διατήρησης σχετικά μικρών ταχυτήτων, με ρύθμιση των διαστάσεων της διατομής, για την αποφυγή μηχανικών διαβρώσεων. Για μεγαλύτερες υδατοπτώσεις το σπειροειδές περίβλημα είναι χαλύβδινο, εγκιβωτισμένο σε οπλισμένο σκυρόδεμα.

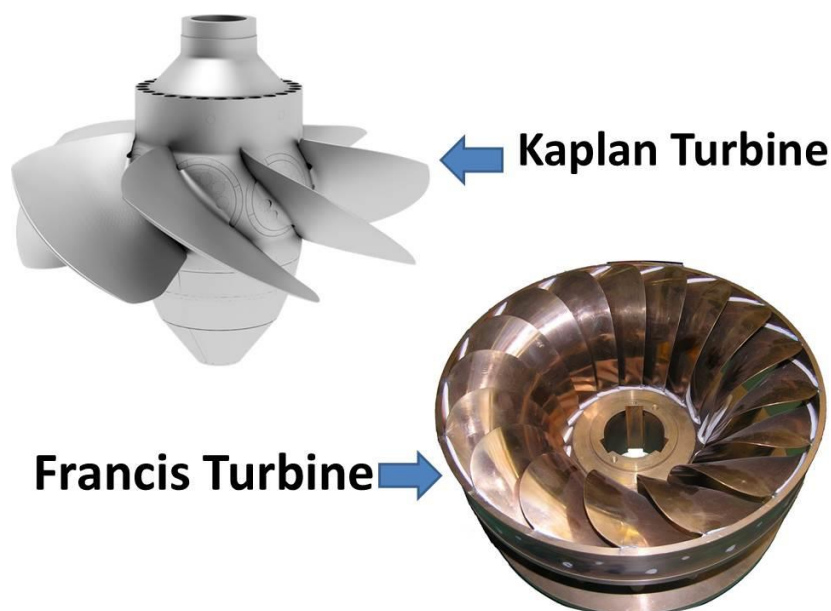
Το στροφείο ή περωτή αποτελεί το τμήμα του υδροστροβίλου που μετατρέπει την ενέργεια ανά μονάδα βάρους προσερχομένου υγρού σε μηχανική ενέργεια. Τα στροφεία των υδροστροβίλων αντίδρασης φέρουν κατάλληλα καμπυλωμένα πτερύγια διατομής αεροτομών. Η δύναμη δημιουργεί ροπή ως προς το κέντρο του στροφείου και το περιστρέφει. Η αναπτυσσόμενη δύναμη είναι ευθέως ανάλογη της παροχής του νερού και της απόλυτης ταχύτητας με την οποία το νερό προσβάλλει τα πτερύγια. Η απόλυτη ταχύτητα του ρευστού που αναπτύσσεται πριν την είσοδό του στην περωτή είναι μεγάλη, όταν η υδατόπτωση είναι υψηλή, διαθέτει δηλαδή το νερό μεγάλη ενέργεια ανά μονάδα βάρους, η οποία από δυναμική στην υψηλή στάθμη γίνεται σε μεγάλο βαθμό κινητική, πριν την είσοδο στη στρεφόμενη περωτή (Εικόνα 3.4.3). Συνεπώς για την ίδια παροχή νερού μια περωτή υψηλής υδατόπτωσης δέχεται μεγαλύτερες δυνάμεις από μια άλλη χαμηλότερης.



Εικόνα 3.4.3: Υδροστρόβιλος αξονικής ροής στην είσοδο και έξοδο του ρευστού.

Τα στροφεία τύπου Francis χρησιμοποιούνται στις μέσου ύψους υδατοπτώσεις και τα πτερύγιά τους καταπονούνται από ισχυρές δυνάμεις. Για την αντιμετώπιση αυτών των δυνάμεων, που προέρχονται από τη ροή και τη δημιουργία μιας στιβαρής κατασκευής, τα καμπύλα πτερύγια πακτώνονται αμφίπλευρα την πλήμνη και στη στεφάνη του στροφείου (Εικόνα 3.4.4).

Οι περωτές τύπου Kaplan, αξονικής ροής δέχονται μικρότερες δυνάμεις, διότι χρησιμοποιούνται σε υδροηλεκτρικά έργα χαμηλού ύψους υδατόπτωσης. Έτσι δεν απαιτείται αμφίπλευρη πάκτωση και τα πτερύγια σχεδιάζονται με μορφή προβόλου με ενισχυμένη πάκτωση στην πλήμνη, ενώ η στεφάνη καταργείται και τα ακροπτερύγια είναι ελεύθερα να περιστρέφονται με ελάχιστη χάρη μεταξύ αυτών και του περιβλήματος του στροβίλου (Εικόνα 2.8.4). Δημιουργείται δηλαδή μια περωτή τύπου έλικα και η ροή γίνεται αξονική.



Εικόνα 3.4.4: Διαφορά αμφίπλευρης στεφάνης των περωτών Kaplan & Francis.

Τα πτερύγια των υδροστροβίλων αξονικής ροής κατασκευάζονται διαιρετά και τοποθετούνται στην πλήμνη, έτσι ώστε να είναι δυνατή η περιστροφή τους με μηχανικά ή υδραυλικά συστήματα μετάδοσης, που διατρέχουν το εσωτερικό του κοίλου άξονα του στροβίλου. Σε πολύ μικρούς αξονικούς υδροστροβίλους, ο έλικας κατασκευάζεται ενιαίος χωρίς δυνατότητα περιστροφής των πτερυγίων του.

Ένας αξονικός στροβίλος με συγκεκριμένη κλίση πτερυγίων για κάποιες συνθήκες παροχής και μανομετρικού ύψους παρουσιάζει μέγιστο βαθμό απόδοσης (σημείο λειτουργίας). Για να υπάρχει δυνατότητα αποδοτικής λειτουργίας του στροβίλου με διαφοροποιημένη παροχή ή με κυμαινόμενο μανομετρικό ύψος, πρέπει να είναι δυνατή η ρύθμιση της κλίσης των πτερυγίων του ως προς την επερχόμενη ροή.

Ο αριθμός των πτερυγίων στους υδροστροβίλους Francis επιλέγεται περιττός (11, 13, 15 συνήθως) για λόγους αποφυγής δονήσεων και συντονισμού από υψηλής συχνότητας διακυμάνσεις πίεσης, που προκαλούνται από το πέρασμα των κινητών πτερυγίων διαμέσου των απορρεμάτων και της στροβιλότητας, που δημιουργείται στην ακμή φυγής της ροής από τα οδηγητικά πτερύγια των οποίων ο αριθμός είναι πάντα άρτιος, για κατασκευαστικούς λόγους, που αναφέρθηκαν προηγούμενα.

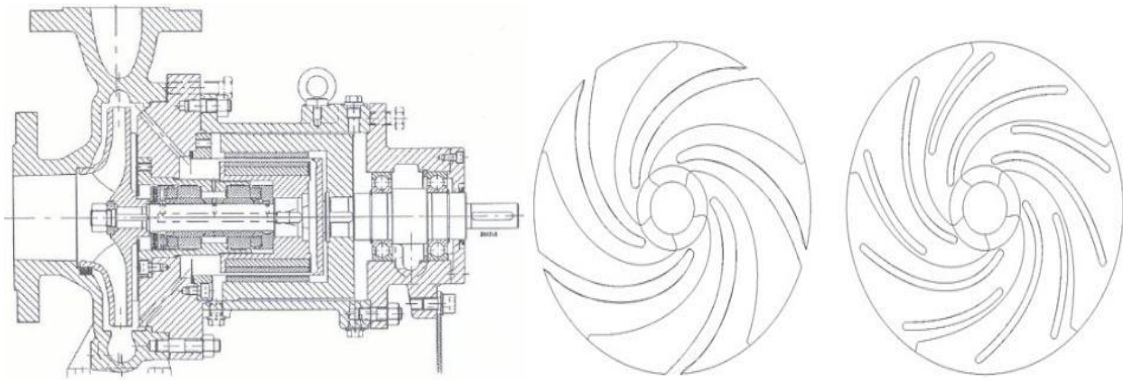
Στους υδροστροβίλους Kaplan και στις σχεδιαστικές παραλλαγές τους, ο αριθμός των πτερυγίων επιλέγεται από 3 έως 6 ανάλογα με το ύψος της υδατόπτωσης. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των συγκολλήσεων, σήμερα η πάκτωση των πτερυγίων στην πλήμνη και στη στεφάνη των υδροστροβίλων Francis γίνεται με υψηλής αντοχής ηλεκτροσυγκολλήσεις.

Επιπροσθέτως, με τη μορφοποίησή του επιτρέπει τη μετατροπή σημαντικού μέρους της κινητικής ενέργειας ανά μονάδα βάρους του νερού, που θα αποβαλλόταν αχρησιμοποίητη, σε δυναμική ενέργεια, αυξάνοντας την πίεση που επικρατεί στην έξοδο του στροβίλου από υποπίεση (κάτω της ατμοσφαιρικής) σε ατμοσφαιρική. Η ταχύτητα του νερού στην έξοδο της περωτής είναι 6-10 m/s. Στους υδροστροβίλους αντίδρασης μικτής ροής η κινητική ενέργεια του νερού, που εξέρχεται από την περωτή, φθάνει το 15% ενώ στους χαμηλού μανομετρικού ύψους αξονικούς στροβίλους η κινητική ενέργεια, που αφήνει το στροφέα, μπορεί να φθάσει και το 50% της συνολικής εισερχόμενης στο στροφέο ενέργειας.

Η ανάκτηση της κινητικής ενέργειας επιτυγχάνεται με την αύξηση της διατομής της σωλήνωσης του τμήματος εξόδου κατά τη διεύθυνση της ροής, έτσι ώστε η ταχύτητα εξόδου να μειωθεί στην περιοχή 1-2,50 m/s, ενώ η πίεση να αυξηθεί. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η ενέργεια που διατίθεται στο στροβίλο, και συνεπώς, η απόδοσή του.

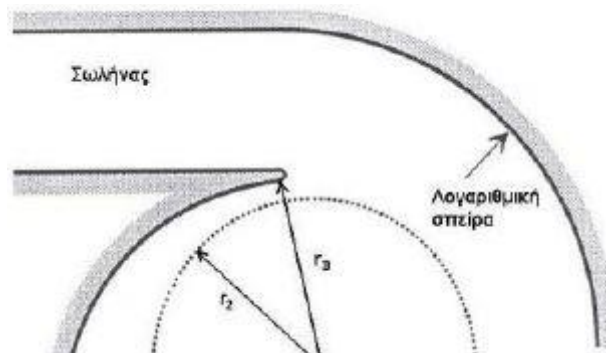
Χρησιμοποιούνται τρεις τύποι διαμόρφωσης του τμήματος εξόδου του νερού προς την κατώτερη στάθμη της υδατόπτωσης:

1. Ευθεία κωνική διαμόρφωση της σωλήνωσης που χρησιμοποιείται συχνά σε υδροστροβίλους Francis. Η γωνία του κώνου ποικίλλει από 4° μέχρι 8° (για να αποφεύγεται αποκόλληση της ροής) και η ενεργειακή απόδοση της κωνικής σωλήνωσης κυμαίνεται από 85-90%.
2. Σωληνωτή διάταξη κεκαμμένου αγωγού με γωνία 90° και κυκλική διατομή εισόδου η οποία, με κατάλληλη διαμόρφωση του γωνιακού τεμαχίου, καταλήγει σε ορθογωνική διατομή εξόδου. Το πρώτο τμήμα του αγωγού είναι κατακόρυφο και το δεύτερο οριζόντιο (Σχήμα 3.4.5). Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται στους υδροστροβίλους Kaplan με ενεργειακή απόδοση 70%.



Σχήμα 3.4.5: Στα αριστερά τομή φυγοκεντρικής αντλίας, στα δεξιά γεωμετρίες δρομέων φυγοκεντρικών αντλιών.

3. Σωληνωτή ευθεία κωνική διάταξη στην αρχή του τμήματος με διεύρυνση της διατομής στο τέλος (Σχήμα 3.4.6). Η ενεργειακή απόδοση αυτών των διατάξεων είναι 85%.

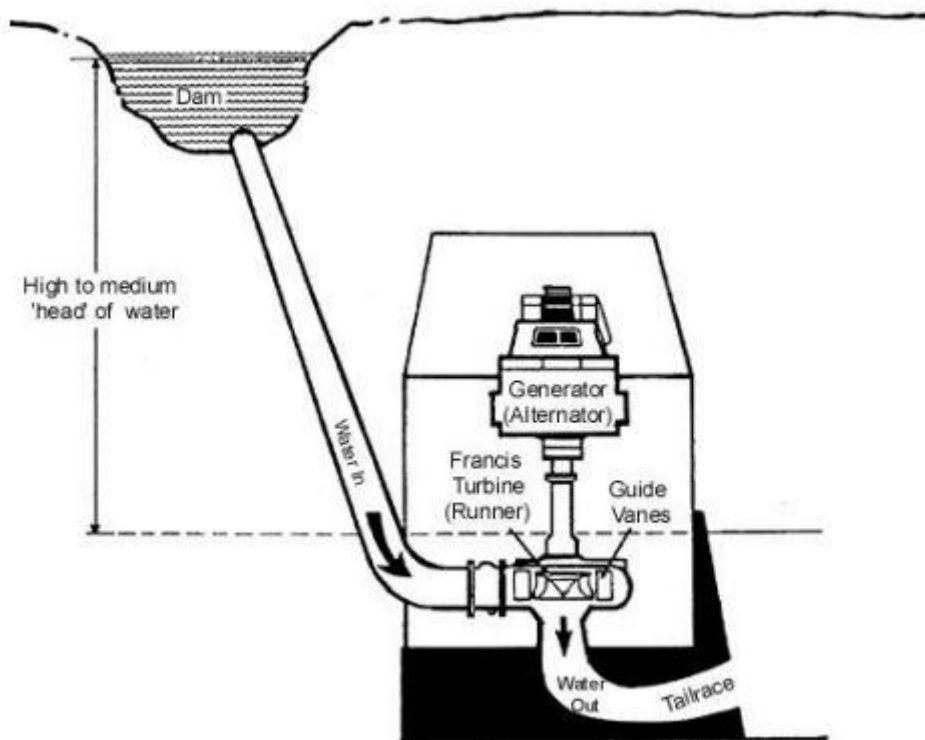


Σχήμα 3.4.6: Ο αγωγός εξόδου που είναι είτε σωλήνας ή τμήμα με διατομή κωνικού διαχύτη.

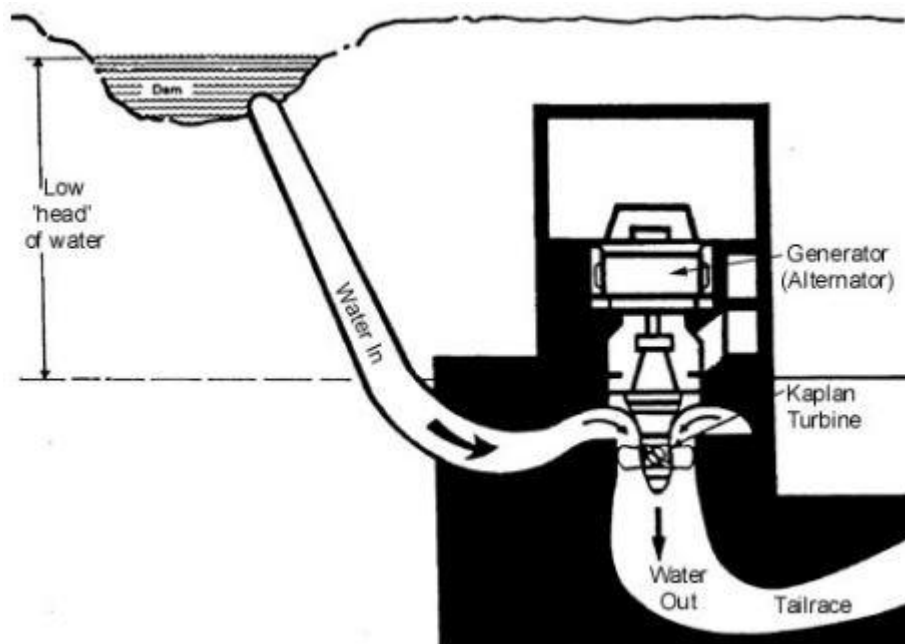
Ως διατομή εξόδου του υδροστροβίλου ως ρευστοδυναμικής μηχανής θεωρείται η διατομή εξόδου του τμήματος εξόδου.

Στους υδροστροβίλους μεγάλου μεγέθους το τμήμα εξόδου κατασκευάζεται από ελάσματα ανθρακούχου χάλυβα, ανοξείδωτου χάλυβα ή χάλυβα θερμικής επεξεργασίας, και εγκιβωτίζεται σε οπλισμένο σκυρόδεμα. Το ακραίο τμήμα του τμήματος εξόδου κατασκευάζεται, συνήθως, από οπλισμένο σκυρόδεμα. Στους μικρού μεγέθους υδροστροβίλους Francis, ο αγωγός απαγωγής καμπυλώνεται κατά 90° μέχρι την κατώτερη στάθμη του νερού και κατασκευάζεται από ελάσματα ανθρακούχου χάλυβα, ανοξείδωτου χάλυβα, υψηλής αντοχής μικροκράμματα και θερμικά επεξεργασμένο χάλυβα. Στους υδροστροβίλους Kaplan το τμήμα εξόδου είναι ευθύγραμμο, κωνικό και κατασκευάζεται μέχρι την έξοδό του από σκυρόδεμα.

Επειδή ακριβώς το τμήμα εξόδου και το τμήμα εισόδου έχουν σημαντικό ρόλο στη λειτουργία, στην ενεργειακή μετατροπή και στο βαθμό απόδοσης του υδροστροβίλου σχεδιάζονται με προσοχή και αποτελούν μαζί με το στροφέιο τα κύρια τμήματα ενός υδροηλεκτρικού έργου.



Σχήμα 3.4.6: Υδροηλεκτρικό έργο με υδροστρόβιλο τύπου Francis



Σχήμα 3.4.7: Υδροηλεκτρικό έργο με υδροστρόβιλο τύπου Kaplan

3.4.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση της υδραυλικής ενέργειας είναι:

- Οι υδατοπτώσεις είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και έτσι δεν αντιμετωπίζουν ορατό κίνδυνο εξάντλησης.
- Τα υδροηλεκτρικά έργα δεν έχουν απόβλητα ή κατάλοιπα και επομένως δεν μολύνουν το περιβάλλον.
- Η κατασκευή τους συνδυάζεται συχνά και με άλλες δραστηριότητες όπως άρδευση, ύδρευση, ρύθμιση πλημμύρας, αλιεία, αναψυχή κ.λ.π.
- Το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας δεν παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις και αντιστοιχεί ουσιαστικά στις αποσβέσεις του έργου. Το λειτουργικό κόστος των υδροηλεκτρικών σταθμών είναι μικρό.
- Οι υδροστρόβιλοι είναι στιβαρές και αξιόπιστες μηχανές που απαιτούν μικρή συντήρηση και επίβλεψη και για τον λόγο αυτό το προσωπικό των υδροηλεκτρικών σταθμών είναι ολιγομελές.
- Για τις ανάγκες κατασκευής του υδροηλεκτρικού έργου κατασκευάζονται έργα υποδομής που βοηθούν στην αξιοποίηση απομακρυσμένων περιοχών.
- Η διάρκεια ζωής τους είναι μεγάλη της τάξεως των 5 ετών για τα μεγάλα και 20-30 ετών για τα μικρά. Η διάρκεια ζωής τους μπορεί να γίνει μεγαλύτερη με ανανέωση του ηλεκτρομηχανικού εξοπλισμού.
- Το σημαντικό πλεονέκτημα των υδροηλεκτρικών σταθμών είναι η δυνατότητα πολύ γρήγορης παραλαβής και απόρριψης φορτίου έτσι ώστε να γίνεται δυνατή η παρακολούθηση της μεταβολής της ζήτησης ηλεκτρική ενέργειας και η κάλυψη των αιχμών ζήτησης του διασυνδεδεμένου δικτύου. Το ρόλο αυτό των αναλαμβάνουν τα μεγάλης ισχύος υδροηλεκτρικά έργα αποθήκευσης, δηλαδή αυτών που το φράγμα τους δημιουργεί δεξαμενή μεγάλης χωρητικότητας. Η δυνατότητα κάλυψης των αιχμών ισχύος του δικτύου είναι πολύ σημαντική από τεχνικής και οικονομικής άποψης επειδή η αξία της kWh αιχμής είναι πολλαπλάσια της αξίας της kWh βάσεως. Σε αυτό ακριβώς το πλεονέκτημα βασίζεται η κατασκευή αναστρέψιμων μονάδων που κατά τη διάρκεια χαμηλής ζήτησης (νύχτα) λειτουργούν αντλώντας νερό από τον κάτω ταμιευτήρα προς τον άνω αποταμιεύοντα ενέργεια την οποία αποδίδουν κατά τις ώρες αιχμής.
- Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι δυνατό να τεθούν σε λειτουργία αμέσως μόλις ζητηθεί επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια, σε αντίθεση με τους θερμικούς σταθμούς (γαιανθράκων, πετρελαίου), που απαιτούν χρόνο προετοιμασίας

Τα μειονεκτήματα από τη χρήση της υδραυλικής ενέργειας είναι:

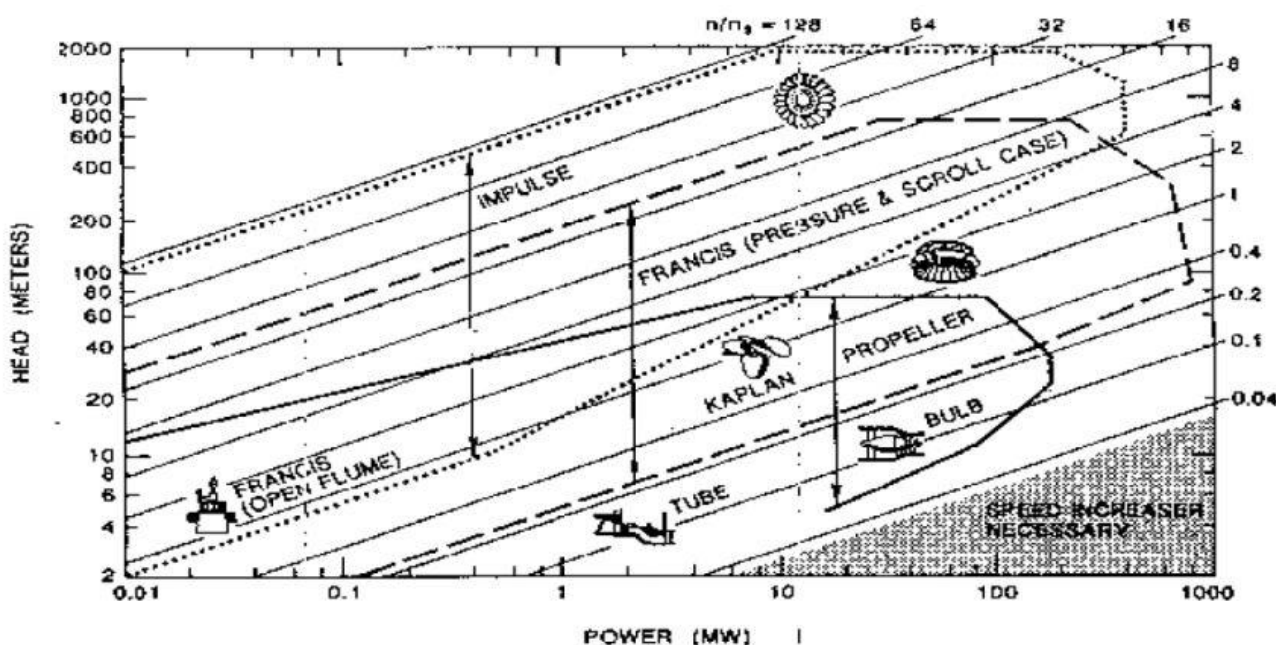
- Το μεγάλο κόστος κατασκευής φραγμάτων και εξοπλισμού των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, όπως και ο πολύς χρόνος που απαιτείται μέχρι την αποπεράτωση του έργου.
- Η έντονη περιβαλλοντική αλλοίωση στην περιοχή του ταμιευτήρα (ενδεχόμενη μετακίνηση πληθυσμών, υποβάθμιση περιοχών, αλλαγή στη χρήση γης, στη χλωρίδα και πανίδα περιοχών αλλά και του τοπικού κλίματος, πλήρωση ταμιευτήρων με φερτές ύλες, αύξηση σεισμικής επικινδυνότητας, κ.ά.). Η διεθνής πρακτική σήμερα προσανατολίζεται στην κατασκευή μικρών φραγμάτων.

- Η ετήσια παραγωγή ενέργειας υφίσταται διακυμάνσεις που σχετίζονται με την ποσότητα βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων.

- Η κατασκευή τους προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλων υδατοπτώσεων και μεγάλων παροχών. Για τον λόγο αυτό η θέση τους είναι πολλές φορές πολύ μακριά από την κατανάλωση με αποτέλεσμα να επιβαρύνεται σημαντικά το κόστος κατασκευής τους από το κόστος των έργων μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.

3.4.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΥΠΟΥ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ

Ανάλογα με τις διαφορετικές συνθήκες σε ένα μέρος, όπως αυτές προσδιορίζονται από το διαθέσιμο ύψος και από την παροχή, επιλέγεται και ένας διαφορετικός τύπος υδροστροβίλου. Το σχήμα παρακάτω, προσφέρει ένα χρήσιμο οδηγό για την αρχική επιλογή του πλέον κατάλληλου υδροστροβίλου (Σχήμα 3.4.2.1)



Σχήμα 3.4.2.1: Διάγραμμα επιλογής υδροστροβίλου.

Επιπλέον, η επιλογή του τύπου και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του υδροστροβίλου, γίνεται με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά που πιστοποιούνται από τον κατασκευαστή. Βασικό ρόλο στη διαδικασία επιλογής της μηχανής, παίζουν οι παρακάτω παράγοντες :

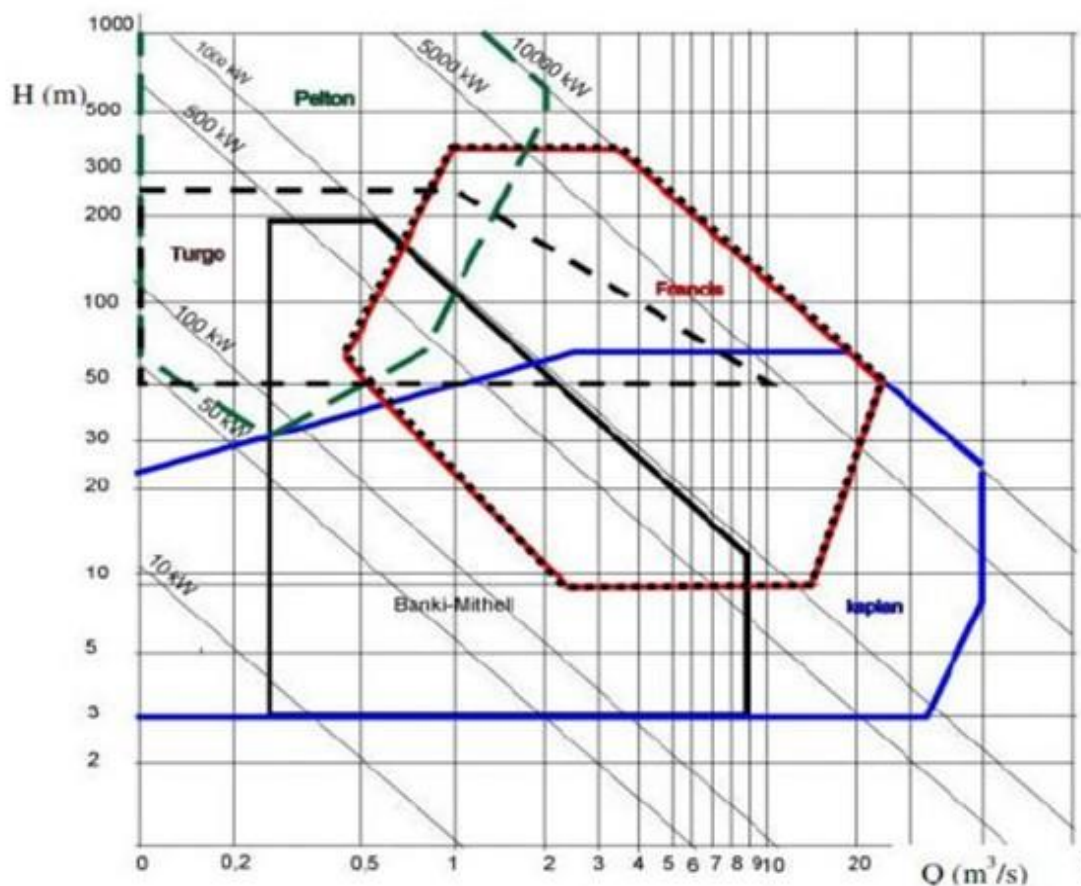
- Το εύρος ζώνης επιρροής των στροβίλων (ύψος πτώσης - παροχής)
- Ο βαθμός απόδοσης
- Η ταχύτητα περιστροφής ή καλύτερα η ειδική ταχύτητα περιστροφής
- Το κλάσμα της μέγιστης δυνατής ταχύτητας περιστροφής προς την αντίστοιχη ονομαστική ταχύτητα περιστροφής.
- Ο προσανατολισμός του άξονα περιστροφής.

Ζώνη επιρροής

Με βάση τη διαθέσιμη παροχή νερού και το ύψος πτώσης, οι υδροστρόβιλοι θεωρούνται ως μηχανές για τις οποίες ισχύουν τα παρακάτω:

- Για μεγάλου ύψους πτώσεις (μέχρι και 2000 m), ενδείκνυται ο στρόβιλος Pelton και Turgo.
- Για μέσου ύψους πτώσεις (μέχρι 500 m), ενδείκνυται ο στρόβιλος Francis.
- Για μικρού ύψους πτώσεις (μέχρι 80 m), ενδείκνυται ο μηχανές τύπου έλικας, π.χ. Kaplan.

Στο επόμενο σχήμα φαίνονται οι ζώνες επιρροής των υδροστρόβιλων μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών (μέχρι 10MW). Τα όρια μεταξύ των μηχανών είναι ενδεικτικά και επιδέχονται σημαντικές τροποποιήσεις ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες και τις τεχνικές κάθε εταιρείας (Σχήμα 3.4.2.2).



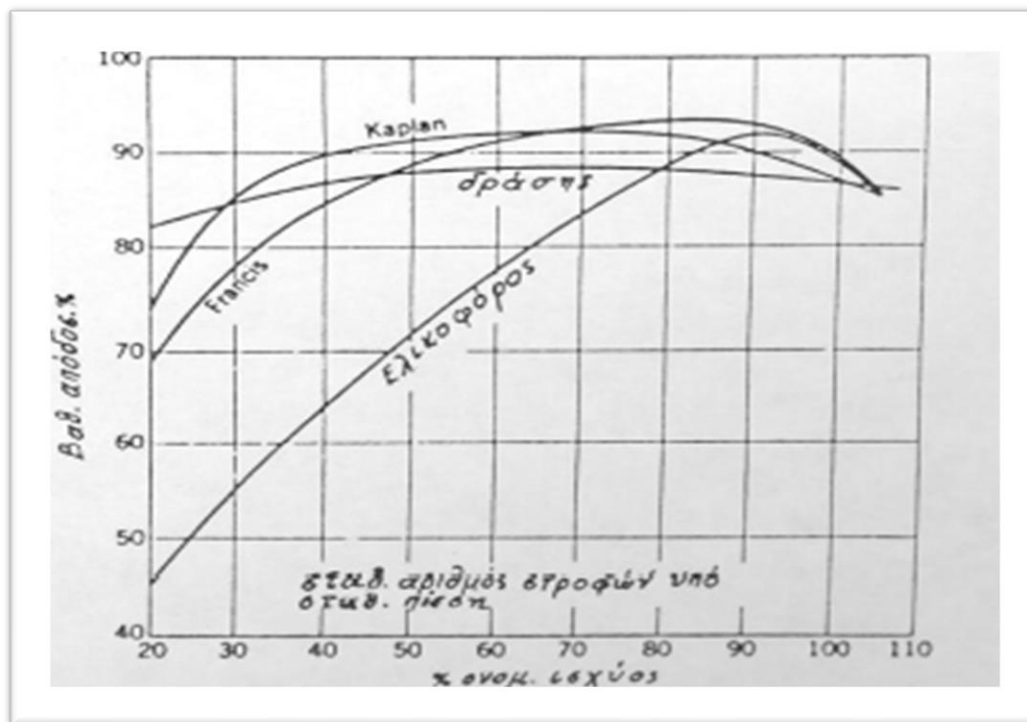
Σχήμα 3.4.2.2: Οι ζώνες επιρροής των υδροστρόβιλων.

Βαθμός απόδοσης

Βαθμός απόδοσης στρόβιλου καλείται ο λόγος της εξερχόμενης από το στρόβιλο ισχύος, προς την εισερχόμενη σε αυτόν ισχύ ή, κατά άλλη έκφραση, ο λόγος της αποδιδόμενης από το στρόβιλο προς την προσφερόμενη προς αυτόν ισχύ. Επειδή η πρώτη είναι πάντοτε μικρότερη από τη δεύτερη, λόγω των εντός του στρόβιλου απωλειών, ο βαθμός απόδοσης είναι αριθμός πάντοτε μικρότερος της μονάδας ($\eta_{στρ} < 1$).

Ο βαθμός απόδοσης αυξάνεται μετά του φορτίου μέχρι κάποια μέγιστη τιμή, που αντιστοιχεί σε κάποιο ποσοστό του μέγιστου φορτίου. Στη συνέχεια μειώνεται για πιο μεγάλες τιμές του φορτίου. Από το σχήμα φαίνεται ότι οι στρόβιλοι Pelton και Kaplan παρουσιάζουν μεγαλύτερη σταθερότητα κατά τις μεταβολές του φορτίου, ωστόσο εμφανίζουν μέγιστο βαθμό απόδοσης μικρότερο του

αντίστοιχου των άλλων τύπων. Οι Francis έχουν μέγιστο βαθμό απόδοσης 0,90 - 0,93 και οι Pelton 0,86 – 0,90 (Σχήμα 3.4.2.3).



Σχήμα 3.4.2.3: Διάγραμμα Βαθμού απόδοσης(%)-Ονομαστική ισχύ (%).

Ειδική ταχύτητα υδροστροβίλου

Στην περίπτωση μικρών υψών είναι αναγκαίο να επιτευχθεί όσο δυνατόν μεγαλύτερη περιστροφική ταχύτητα των στροβίλων, για να αποφευχθεί, μείωση της ισχύος της γεννήτριας, ή κίνησή της μέσω πολλαπλασιαστή στροφών, δεδομένου ότι η συχνότητα επιβάλλει ορισμένο αριθμό στροφών βάσει της σχέσης $f = pn/60$, όπου P τα ζεύγη των πόλων της γεννήτριας και n οι στροφές της ανά λεπτό.

Η ταχύτητα περιστροφής μπορεί να αυξηθεί με ελάττωση της διαμέτρου του στροβίλου και πολλοί στρόβιλοι μαζί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή της επιθυμητής ισχύος. Η έννοια της ειδικής ταχύτητας έχει εισαχθεί για να κάνει δυνατή τη σύγκριση μεταξύ μηχανών διαφόρων μεγεθών όσον αφορά στην ταχύτητα περιστροφής.

Η ειδική ταχύτητα, ορίζεται ως η περιστροφική ταχύτητα σε στρ/min την οποία θα είχε ένας υδροστροβίλος εάν ήταν αναλογικά τόσο μικρός, ώστε να παράγει ισχύ 1 HP με υψομετρική διαφορά 1 μέτρου. Η έννοια της ειδικής ταχύτητας είναι πολύ σημαντική για τους υδροστροβίλους και έχει εισαχθεί για να κάνει δυνατή τη σύγκριση μεταξύ μηχανών διαφόρων μεγεθών όσον αφορά την ταχύτητα περιστροφής.

Η ειδική ταχύτητα υπολογίζεται από τον τύπο :

$$n_s = n h \frac{\sqrt{P}}{\sqrt[4]{h}} \quad (1)$$

όπου:

- n_s = η ειδική ταχύτητα του στροβίλου σε στρ. / min
- n = οι στροφές ανά λεπτό του στροβίλου
- P = η ισχύς του στροβίλου σε HP
- h = ύψος υδατοπτώσεως σε μέτρα

Από την παραπάνω σχέση προκύπτουν και οι στροφές του στροβίλου ανά λεπτό :

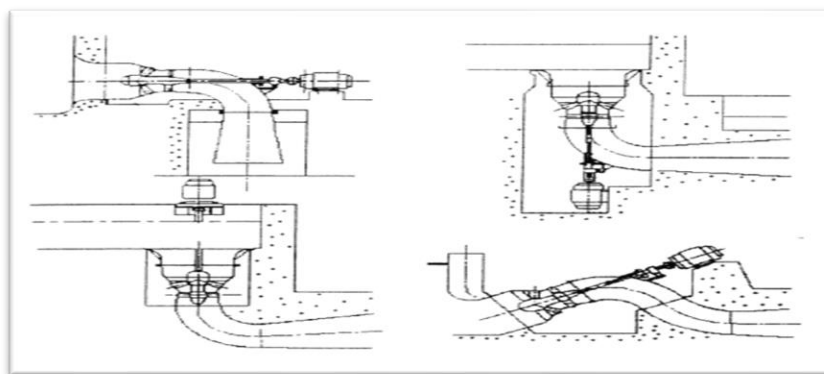
$$n = n_s \frac{h^{\frac{4}{3}} \sqrt{h}}{\sqrt{P}} \text{στρ/min.} \quad (2)$$

Η ειδική ταχύτητα είναι μια χαρακτηριστική ιδιότητα ενός υδροστρόβιλου η οποία οφείλεται στη σχεδίασή του. Δεδομένου ότι συσχετίζει τις στροφές με την ισχύ και το ύψος της υδατοπτώσεως, αποτελεί βασικό κριτήριο επιλογής του είδους του υδροστρόβιλου σε κάθε περίπτωση υδροηλεκτρικού σταθμού. Συνεπώς, για να επιτευχθεί ένας κανονικός αριθμός στροφών στην περίπτωση μιας μεγάλης υδατοπτώσεως πρέπει να επιλεγεί υδροστρόβιλος με μικρή ειδική ταχύτητα. Τέτοιοι είναι οι υδροστρόβιλοι δράσεως (Pelton). Αντίθετα, σε περίπτωση μικρού ύψους επιλέγεται υδροστρόβιλος μεγάλης ειδικής ταχύτητας, όπως είναι οι υδροστρόβιλοι προώθησης Kaplan.

Από τις τιμές αυτές φαίνεται γιατί οι υδροστρόβιλοι δράσης χρησιμοποιούνται σε μεγάλα ύψη υδατοπτώσεων. Έχουν τις μικρότερες ειδικές ταχύτητες και συνεπώς πετυχαίνουν κανονικές στροφές στροβίλου και γεννήτριας. Το αντίθετο συμβαίνει για στροβίλους προώθησης που είναι κατάλληλοι για πολύ μικρά ύψη. Και δεδομένου ότι οι στροφές του στροβίλου μπορούν να αυξηθούν με ελάττωση της διαμέτρου του, τότε το πλεονέκτημα των πολλών στροφών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αύξηση της διαμέτρου του και συνεπώς της ισχύος του. Σε περίπτωση απ' ευθείας σύνδεσης του υδροστροβίλου με την ηλεκτρογεννήτρια, οι αριθμοί στροφών τους θα πρέπει να συμπίπτουν.

Προσανατολισμός του άξονα περιστροφής

Όλες οι αξονικές μηχανές μπορούν να τοποθετηθούν έχοντας τον άξονα τους οριζόντιο ή κατακόρυφο ή κεκλιμένο (Σχήμα 3.4.2.4). Σε αντίθεση με τις μηχανές δράσης, που τοποθετούνται επιφανειακά στο νερό ή σε κάποια απόσταση πάνω από τη στάθμη του, και για τις οποίες λαμβάνεται μέριμνα για την προστασία τους έναντι απόφραξης ή κινδύνου πλημμύρας, οι μηχανές αντίδρασης τοποθετούνται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιούνται οι κίνδυνοι σπηλαίωσης.



Σχήμα 3.4.2.4: Τρόπος τοποθέτησης αξονικών μηχανών.

3.5 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΣΠΗΛΑΙΩΣΗΣ

Λέγοντας σπηλαίωση, εννοούμε την ανάπτυξη σε ορισμένες περιοχές της ροής του νερού, υποπίεσεων οριακής τιμής, οφειλόμενων σε μεταβολές του μεγέθους ή της διεύθυνσης ροής που επιβάλλουν οι οδηγοί, επιφάνειες της ροής. Κατά το παραπάνω φαινόμενο, δημιουργούνται χώροι κενού (από εδώ και ο όρος "σπηλαίωση") στις περιοχές της έντονης υποπίεσης. Η σπηλαίωση έχει σαν συνέπεια την, με την πάροδο του χρόνου, φθορά (που μπορεί να φτάσει μέχρι πλήρους καταστροφής) του υλικού των αγωγών κ.λ.π., στις περιοχές που παρουσιάζεται το φαινόμενο.

Στα υδροδυναμικά έργα η σπηλαίωση, εκτός ίσως και άλλων θέσεων, κάνει έντονη την παρουσία της στους στρόβιλους όπου, αν δεν γίνει προσεκτική μελέτη, μπορεί να προκαλέσει διάβρωση του τροχού, κραδασμούς και μείωση του βαθμού απόδοσης (Σχήμα 3.5.1). Οι στρόβιλοι αντίδρασης υποφέρουν περισσότερο των στροβίλων δράσης από την κατάσταση αυτή. Στους στροβίλους Francis η σπηλαίωση παρατηρείται στην οπίσθια πλευρά των πτερυγίων του τροχού.



Σχήμα 3.5.1: Διαβρωμένη επιφάνεια στροβίλου.

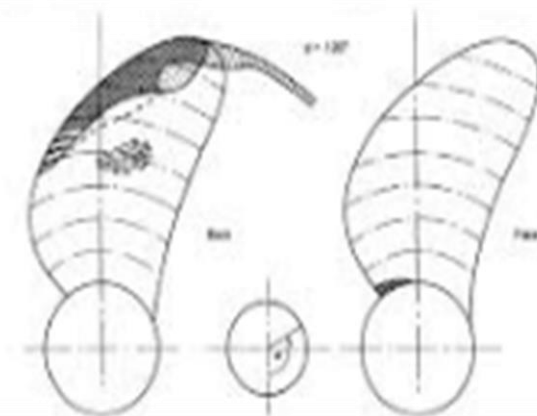
Η σπηλαίωση μπορεί να αποφευχθεί με προσεκτικό συνδυασμό στη μελέτη, την εγκατάσταση και τη λειτουργία του στροβίλου, ώστε σε κανένα σημείο αυτού η απόλυτη πίεση να

πέφτει κάτω της πίεσης ατμοποίησης. Το σπουδαιότερο ρόλο για την αποφυγή της σπηλαιώσης στους στροβίλους αντίδρασης, παίζει η κατακόρυφη απόσταση του τροχού από τη στάθμη της επιφάνειας του νερού στη διώρυγα φυγής (ύψος απορρόφησης).

Το φαινόμενο της σπηλαιώσης δεν έχει πλήρως μαθηματικά μελετηθεί. Ωστόσο από πολυάριθμα εργαστηριακά πειράματα, έχουν προσδιοριστεί την λεγόμενη "παράμετρο σπηλαιώσης" η οποία δεν πρέπει να είναι μικρότερη μίας αντίστοιχης οριακής τιμής.

Μετά από μακροχρόνια ανάπτυξη του φαινομένου, το αποτέλεσμα είναι η καταπόνηση της επιφάνειας, που έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική φθορά του υλικού. Ο μηχανισμός της φθοράς του υλικού οφείλεται στη δομή του, δεδομένου ότι όλα τα εν χρήσει υλικά αποτελούνται από κόκκους διαφόρων στοιχείων με διαφορετικά χαρακτηριστικά ως προς τη σκληρότητα, ελαστικότητα, αντοχή κ.τ.λ. Για παράδειγμα το πλέον κοινό υλικό για την κατασκευή των πτερωτών των στροβίλων, ο χυτοσίδηρος, αποτελείται από κόκκους περλίτη με κόκκους γραφίτη και φερρίτη. Οι κόκκοι του περλίτη είναι σκληροί και εύθραυστοι, ενώ ο γραφίτης είναι μαλακός και πρακτικά χωρίς αντοχή.

Κατά την ανάπτυξη της σπηλαιώσης και ιδιαίτερα στην περιοχή της επανυγροποίησης, όπου αναπτύσσονται οι υψίσυχνες κρουστικές σφύρες οι κόκκοι του γραφίτη καταστρέφονται, αποκολλούνται από το ιστό του υλικού αφήνοντας στη θέση τους κενό. Έτσι οι κόκκοι του περλίτη χάνουν την καλή τους έδραση, η επιφάνεια του υλικού γίνεται λιγότερο λεία, γεγονός που επιταχύνει τη ανάπτυξη της σπηλαιώσης, με αποτέλεσμα να απομακρύνονται σταδιακά και οι κόκκοι του περλίτη. Μετά από μακροχρόνια ανάπτυξη του φαινομένου στην επιφάνεια του υλικού αναπτύσσονται τρύπες, που οφείλονται στη σταδιακή αφαίρεση των κόκκων, και η επιφάνεια αποκτά σπογγώδη μορφή, που μπορεί να φθάσει μέχρι και την πλήρη εξαφάνιση μέρους του περιρρέομενου στερεού (Σχήμα 3.5.2), π.χ. του πτερυγίου της πτερωτής.



Σχήμα 3.5.2 : Η μακροχρόνια ανάπτυξη της σπηλαιώσης προκαλεί από μερική έως και ολική, εξαφάνιση μέρους του πτερυγίου.

Από όλα αυτά λοιπόν γίνεται φανερό ότι ένα υλικό θα είναι τόσο πιο ανθεκτικό στη φθορά από σπηλαιώση όσο η δομή του είναι ομοιόμορφη και ανθεκτική στην κόπωση και τη μηχανική διάβρωση. Συνήθως η αντοχή των υλικών σε σπηλαιώση μετράται από την απώλεια μάζας όπως προκύπτει από ζύγισμα πλακιδίου που υπόκειται σε σπηλαιώση επί ένα χρονικό διάστημα σε ειδική συσκευή.

Ο ανοξειδωτος χρωμονικελιούχος χάλυβας είναι κατά 20 φορές πιο ανθεκτικός στη φθορά από σπηλαιώση από ότι ο χυτοσίδηρος. Θα πρέπει αν σημειωθεί ότι σημαντικό ρόλο στην επιτάχυνση της φθοράς από σπηλαιώση μπορεί να παίζει η παράλληλη χημική ή ηλεκτρολυτική διάβρωση.

4. ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΡΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ

Η περιοχή ενός ρευστού το οποίο περιστρέφεται γύρω από μια γραμμή άξονα, όπου μπορεί να είναι είτε ευθύγραμμη είτε καμπύλη, ονομάζεται δίνη (Εικόνα 4.1). Οι “βόλτες” των στροβίλων μπορούν να σχηματιστούν σε αναδεδόμενα υγρά καθώς και σε ανέμους που περιβάλλουν ένα τροπικό κυκλώνα.



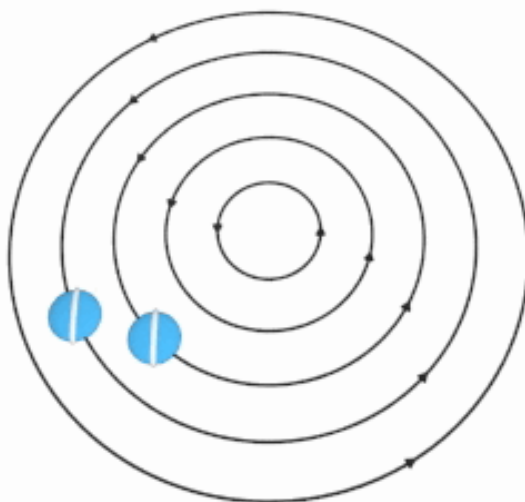
Εικόνα 4.1: Παράδειγμα δίνης νερού, όπου συνδέεται με την πτυχιακή.

Οι περιστροφές αυτές αποτελούν σημαντικό συστατικό της τυρβώδους ροής. Η κατανομή της ταχύτητας, η στροβιλότητα (η καμπύλη της ταχύτητας ροής), καθώς και η έννοια της κυκλοφορίας χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρίσουν τις δίνες. Στις περισσότερες περιστροφές, η ταχύτητα ροής του ρευστού είναι μεγαλύτερη δίπλα στον άξονά του και μειώνεται αντίστροφα σε σχέση με την απόσταση από τον άξονα. Μόλις διαμορφωθούν, οι δίνες μπορούν να κινηθούν, να τεντώσουν, να στρίψουν και να αλληλεπιδράσουν με σύνθετους τρόπους. Μια κινούμενη δίνη φέρει μαζί της κάποια γωνιακή και γραμμική ορμή, ενέργεια και μάζα.

4.1 ΤΥΠΟΙ ΔΙΝΗΣ

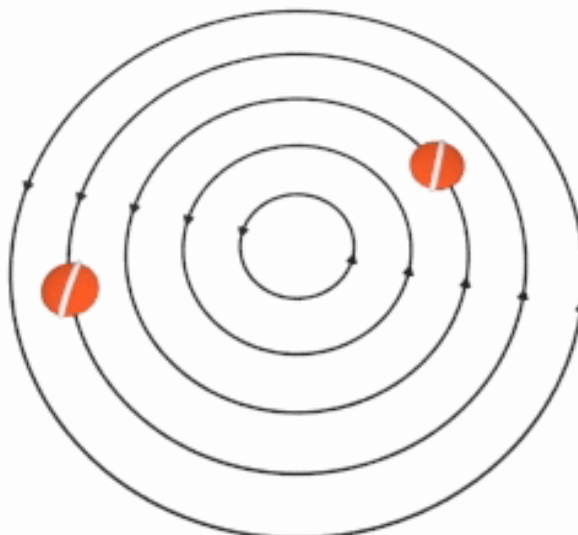
Θεωρητικά, η ταχύτητα u των σωματιδίων (και συνεπώς η στροβιλότητα) σε ένα στρόβιλο μπορεί να ποικίλει ανάλογα με την απόσταση r από τον άξονα με πολλούς τρόπους. Ωστόσο, υπάρχουν δύο σημαντικές ειδικές περιπτώσεις:

Μια δίνη άκαμπτου σώματος, εάν το ρευστό περιστρέφεται σαν ένα άκαμπτο σώμα - δηλαδή εάν η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής Ω είναι ομοιόμορφη, έτσι ώστε το u να αυξάνεται αναλογικά με την απόσταση r από τον άξονα. Σε μια τέτοια ροή, η στροβιλότητα είναι η ίδια παντού: η κατεύθυνσή της είναι παράλληλη με τον άξονα περιστροφής και το μέγεθός της είναι ίσο με το διπλάσιο της ομοιόμορφης γωνιακής ταχύτητας Ω του ρευστού γύρω από το κέντρο περιστροφής (Σχήμα 4.1.1).



Σχήμα 4.1.1: Παράλληλη κατεύθυνση στροβιλότητας με τον άξονα περιστροφής.

Εάν η ταχύτητα σωματιδίων u είναι αντιστρόφως ανάλογη με την απόσταση r από τον άξονα, τότε η φανταστική σφαίρα δοκιμής δεν θα περιστραφεί πάνω από την ίδια. Θα διατηρούσε τον ίδιο προσανατολισμό ενώ κινείται σε έναν κύκλο γύρω από τον άξονα των στρόβιλων. Σε αυτή την περίπτωση, ο στρόβιλος ω είναι μηδέν σε οποιοδήποτε σημείο που δεν βρίσκεται σε αυτόν τον άξονα και η ροή λέγεται ότι είναι ανεξέλεγκτη (Σχήμα 4.1.2).



Σχήμα 4.1.1: Ανεξέλεγκτη ροή στροβιλότητας με τον άξονα περιστροφής.

4.2 ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗ ΣΤΡΟΒΙΛΩΝ & ΠΙΕΣΗΣ

Μια περιστρεφόμενη δίνη η οποία έχει μη μηδενικό στροβιλισμό μακριά από τον πυρήνα μπορεί να διατηρηθεί επ' αόριστον σε αυτή την κατάσταση μόνο με την εφαρμογή κάποιας επιπλέον δύναμης, η οποία δεν δημιουργείται από την ίδια την κίνηση ρευστού. Για παράδειγμα, εάν ένας κάδος νερού περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω γύρω από τον κατακόρυφο άξονά του, το νερό τελικά περιστρέφεται με τρόπο άκαμπτου σώματος. Τα σωματίδια τότε θα κινούνται κατά μήκος κύκλων, με ταχύτητα u ίση με την ωr . Σε αυτή την περίπτωση, η ελεύθερη επιφάνεια του νερού θα πάρει ένα παραβολικό σχήμα (Εικόνα 4.2.1). Σε αυτή την περίπτωση, το άκαμπτο περιστρεφόμενο περίβλημα παρέχει μια πρόσθετη δύναμη, δηλαδή μια πρόσθετη κλίση πίεσης στο νερό, κατευθυνόμενη προς τα μέσα, η οποία εμποδίζει την εξέλιξη της ροής του άκαμπτου σώματος στην κατάσταση έλξης.



Εικόνα 4.2.1: Παραβολικό σχήμα των σωματιδίων του νερού.

Η κίνηση του ρευστού σε μια δίνη δημιουργεί μια δυναμική πίεση (επιπλέον οποιασδήποτε υδροστατικής πίεσης) η οποία είναι η χαμηλότερη στην περιοχή πυρήνα, πλησιέστερη στον άξονα και αυξάνεται καθώς απομακρύνεται από αυτήν, σύμφωνα με την αρχή του Bernoulli.

Μπορούμε να πούμε ότι είναι η κλίση αυτής της πίεσης που ωθεί το υγρό να ακολουθήσει μια καμπύλη διαδρομή γύρω από τον άξονα. Σε μια ροή στροβίλου άκαμπτου σώματος ενός ρευστού με σταθερή πυκνότητα, η δυναμική πίεση είναι ανάλογη προς το τετράγωνο της απόστασης r από τον άξονα. Σε ένα σταθερό πεδίο βαρύτητας, η ελεύθερη επιφάνεια του υγρού, εάν υπάρχει, είναι ένα κοίλο παραβολοειδές.

Ο πυρήνας ενός στροβίλου στον αέρα είναι μερικές φορές ορατός επειδή ο υδρατμός συμπυκνώνεται καθώς η χαμηλή πίεση του πυρήνα προκαλεί αδιαβατική ψύξη. η χοάνη ενός ανεμοστρόβιλου είναι ένα παράδειγμα. Όταν μια γραμμή στροβίλου τελειώνει σε μια οριακή επιφάνεια, η μειωμένη πίεση μπορεί επίσης να τραβήξει ύλη από την επιφάνεια αυτή στον πυρήνα. Για παράδειγμα, μια στήλη σκόνης που συλλέγεται από τον πυρήνα ενός αεραγωγού που συνδέεται με το έδαφος. Μια δίνη που τελειώνει στην ελεύθερη επιφάνεια ενός σώματος νερού (όπως το υδρομασάζ που συχνά σχηματίζεται πάνω από μια αποστράγγιση της μπανιέρας) μπορεί να τραβήξει μια στήλη αέρα κάτω από τον πυρήνα. Η μπροστινή στροφέα που εκπέμπει από έναν κινητήρα αεριωθούμενου από ένα αεροπλάνο που είναι σταθμευμένο μπορεί να αναρροφά νερό και μικρές πέτρες στον πυρήνα και έπειτα στον κινητήρα.

4.3 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚCT

Η επαναστατική δυναμική που εμπλέκεται σε αυτή τη νέα τεχνολογία και τα χαρακτηριστικά του *Kouris Centri Tourbine* (ΚCT) διαφέρουν με πολλούς τρόπους. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας εξετάζονται τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και εξηγείται η λειτουργία του ΚCT. Γίνεται σύγκριση με τις παραδοσιακές τεχνολογίες και καταγράφονται οι ευέλικτες προδιαγραφές για να ληφθεί υπόψη μια τέτοια εγκατάσταση.

Το νερό στη φύση, όταν βρίσκεται σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο, έχει δυναμική ενέργεια η οποία μετατρέπεται σε κινητική όταν το νερό ρέει προς χαμηλότερες περιοχές. Με τα υδροηλεκτρικά έργα (κλειστός αγωγός πτώσεως, υδροστρόβιλος, ηλεκτρογεννήτρια), γίνεται δυνατή η εκμετάλλευση της ενέργειας του νερού για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο διοχετεύεται στην κατανάλωση με το ηλεκτρικό δίκτυο. Η μετατροπή της ενέργειας των υδατοπτώσεων με τη χρήση υδραυλικών τουρμπίνων παράγει την υδροηλεκτρική ενέργεια. Η ενέργεια αυτή ταξινομείται σε υδροηλεκτρική ενέργεια μεγάλης και μικρής κλίμακας.

4.3.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η υδροηλεκτρική ενέργεια μικρής κλίμακας διαφέρει σημαντικά από αυτή της μεγάλης σε ότι αφορά τις επιπτώσεις της στο περιβάλλον. Οι υδροηλεκτρικές μονάδες μεγάλης κλίμακας απαιτούν τη δημιουργία φραγμάτων και τεράστιων δεξαμενών με σημαντικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα και γενικότερα στο άμεσο περιβάλλον. Έτσι η τεχνολογία ΚCT κατατάσσεται στην μικρής κλίμακας μονάδα η οποία βασίζεται στην κίνηση του νερού λόγω διαφοράς μανομετρικού ύψους μεταξύ των σημείων εισόδου και εξόδου (Εικόνα 4.3.1.1).



Εικόνα 4.3.1.1: Προσομοίωση της τεχνολογίας ΚCT (μικρής κλίμακας δεξαμενή με εισόδο-έξοδο και πτερύγιο τύπου Kaplan)

Τα συστήματα μικρής κλίμακας όπως αυτό της τεχνολογίας ΚCT, τοποθετούνται δίπλα σε ποτάμια και κανάλια με αποτέλεσμα να έχουν λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Υδροηλεκτρικές μονάδες λιγότερες των 30 MW χαρακτηρίζονται μικρής κλίμακας και θεωρούνται ανανεώσιμες πηγές. Το γρήγορα κινούμενο νερό του καναλιού, οδηγείται μέσα από τούνελ με σκοπό να θέσει σε λειτουργία τα εσωτερικά πτερύγια, παράγοντας έτσι μηχανική ενέργεια. Το νερό

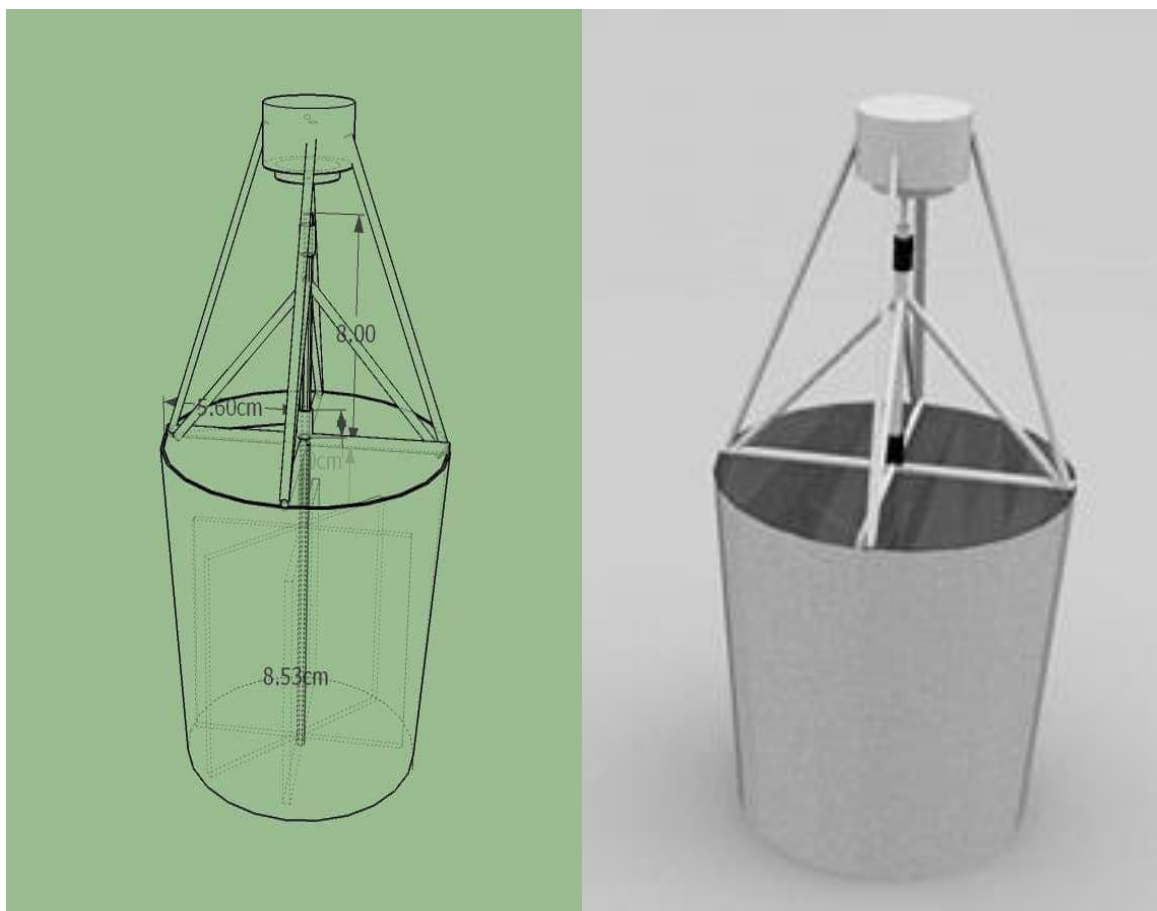
διοχετεύεται στη δεξαμενή που αναγκάζει το υπόβαθρο να περιστρέφεται συνεχώς, επομένως παράγει ενέργεια. Μια γεννήτρια, στο επάνω μέρος της δεξαμενής, μετατρέπει αυτή την ενέργεια σε ηλεκτρική. Το νερό ρέει έξω από το θάλαμο μέσω της τρύπας εξόδου που βρίσκεται στο πυθμένα της δεξαμενής ΚCT. Σε αντίθεση με το ότι συμβαίνει με τα ορυκτά καύσιμα, το νερό δεν αχρηστεύεται κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άλλους σκοπούς.

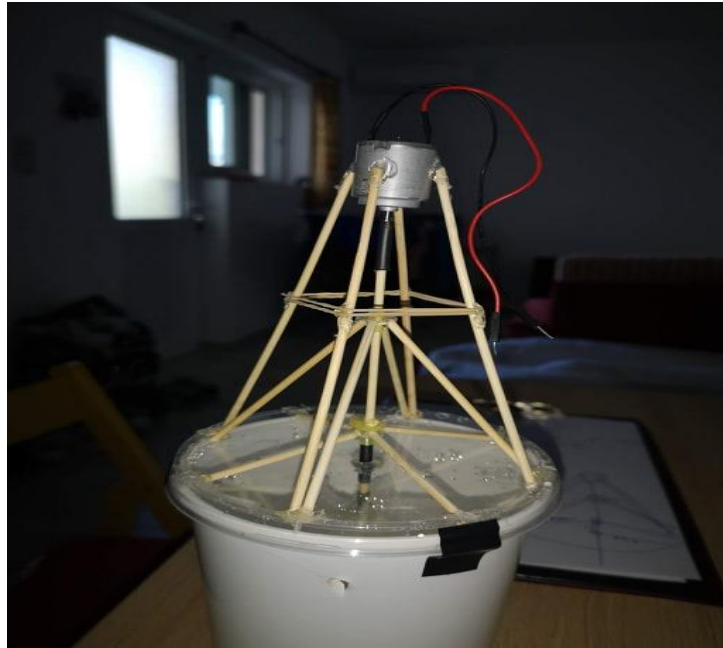
Μόνο σε περιοχές με σημαντικές υδατοπτώσεις, πλούσιες πηγές και κατάλληλη γεωλογική διαμόρφωση είναι δυνατόν να κατασκευασθεί υδατοταμιευτήρας όπως αυτό της ΚCT. Συνήθως η ενέργεια που τελικώς παράγεται με τον τρόπο αυτό, χρησιμοποιείται μόνο συμπληρωματικά με άλλες συμβατικές πηγές ενέργειας, σε ώρες αιχμής.

4.3.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Παρακάτω φαίνονται οι εικόνες προσομοίωσης ΚCT, καθώς σχεδιάστηκε σε μικρότερη κλίμακα για να μπορέσει να δουλέψει με την οικιακή παροχή νερού (Εικόνα 4.3.2.1). Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι ξύλο και πλαστικό για την εύκολη επεξεργασία των υλικών προκειμένου να υλοποιηθεί η τεχνολογία. Επίσης χρησιμοποιήθηκε αντίσταση 10 Ohms , προσομοιάζοντας την ζήτηση φορτίου μίας πόλης, όπως στο συγκεκριμένο πείραμα ο δήμος Αλιάρτου.

Σημαντικό να αναφερθεί είναι η πίεση του δικτύου του δήμου Αλιάρτου, το οποίο ανέρχεται στα 2,03 bar, καθώς η πόλη βρίσκεται σε 195 m υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας. Συνεπώς όλες οι μετρήσεις βρίσκονται υπό την ίδια πίεση δικτύου.

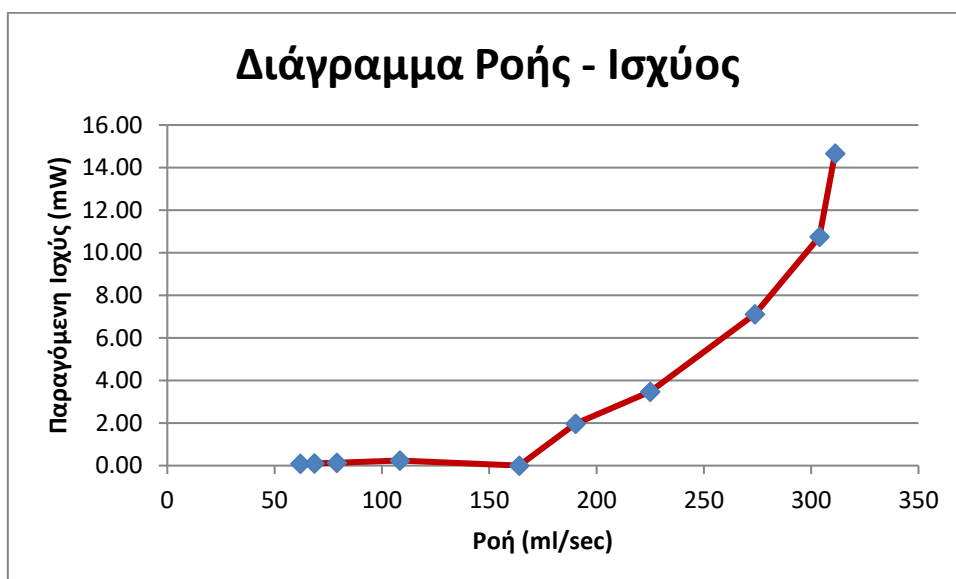




Εικόνα 4.3.2.1: Προσομοίωση στο πρόγραμμα Autocad, της τεχνολογίας KCT στο συγκεκριμένο πείραμα.

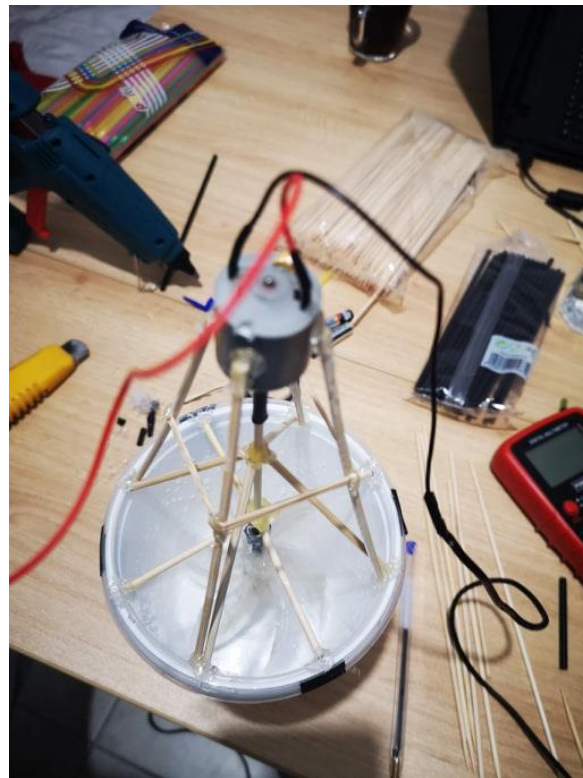
Πίνακας 4.3.2.1 : Πειραματικές μετρήσεις τεχνολογίας KCT σε φορτίο λειτουργίας 10Ω.

ΡΟΗ (ml/sec)	VOLT (mV)	AMPERE (μA)	ΙΣΧΥΣ (μW)
640 / 10,34 ≈ 61,9	0,03	2,8	84
683 / 9,97 ≈ 68,5	0,03	3,5	105
817 / 10,35 ≈ 78,9	0,03	4,3	129
1.114 / 10,28 ≈ 108,3	0,045	5,4	243
1.689 / 10,3 ≈ 163,9	0,073	6,4	467,2
1.914 / 10,06 ≈ 190,2	0,16	12,35	1.976
2.347 / 10,43 ≈ 225	0,25	13,89	3.472,5
2.795 / 10,21 ≈ 273,7	0,33	21,54	7.108,2
2.993 / 9,85 ≈ 303,8	0,4	26,87	10.748
3.121 / 10,03 ≈ 311,1	0,49	29,92	14.660,8



Διάγραμμα 4.3.2.1: Σχέση παραγόμενης ισχύος συναρτήσει της ροής του νερού

Με χρήση των αποτελεσμάτων συμπεραίνουμε το αναμενόμενο, με την αύξηση της ροής του νερού αυξάνεται και η παραγόμενη ισχύς. Μπορεί να παρέχεται ενέργεια στο δίκτυο ή να λειτουργεί εκτός δικτύου. Σε συνδυασμό με τη ΚCT με αποθήκευση ενέργειας ή και τα δύο (Εικόνα 4.3.2.2).



Εικόνα 4.3.2.2: Προσομοίωση τεχνολογίας ΚCT για παραγωγή και δυνατότητα αποθήκευσης της ενέργειας.

5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία προτάθηκε η προσομοίωση της τεχνολογίας KCT, η οποία αποτελεί ενεργειακό κομμάτι. Η υλοποίηση της προσομοίωσης έγινε μέσα σε μια μικρή πλαστική δεξαμενή (ή στρογγυλο τάπερ).

5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βασικό συμπέρασμα είναι ότι μια τεχνολογία σαν την KCT, όταν υλοποιηθεί προσαρμοσμένη πάντοτε στις συνθήκες και τη χρήση την οποία είναι επιθυμητή, προσφέρει τα παρακάτω ελκυστικά χαρακτηριστικά : α) Δυνατότητα λειτουργίας τους σε περιβάλλον χαμηλής ροής νερού, β) εφόσον γίνει η μετατροπή της ενέργειας των υδατοπτώσεων σε υδροηλεκτρική ενέργεια, είναι εφικτό να γίνει ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του δικτύου, γ) φιλική προς το περιβάλλον καθώς εκμεταλλεύεται μονάχα τη φυσική περιστροφή που δημιουργείται από τη δίνη του νερού, δ) καμία επίδραση της υποβρύχιας πανίδας του οικοσυστήματος, ε) αρκετά χαμηλό κόστος μιας και τα υλικά και ο όγκος που καταλαμβάνεται σε ένα παράδειγμα οικιακής χρήσης θα ήταν το 1/3 του μεγέθους του σπιτιού περίπου για πλήρη αυτονομία μέσω της KCT.

Αυτά τα στοιχεία οδήγησαν στην προσομοίωση τεχνολογίας KCT, η οποία συγκρινόμενη με τις υλικές μετρήσεις σε φορτίο λειτουργίας 10 Ohms για μια καλύτερη προσέγγιση μας δείχνει τα πλεονεκτήματα που μπορεί να προσφέρει τελικά μια κατασκευή όπως αυτή της KCT. Επίσης τα αποτελέσματα του διαγράμματος Ροής-Ισχύος επιβεβαιώνει το αναμενόμενο όπως αυτό είναι ότι όσο πιο αυξημένη είναι η ροή του νερού τόσο πιο αυξημένη η παραγόμενη ισχύς.

5.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Οι προτάσεις για μελλοντική έρευνα συνοψίζονται στις εξής:

- 1) Κατασκευή του συστήματος σε ολοκληρωμένη μορφή και πειραματική επαλήθευση του.
- 2) Υλοποίηση του συστήματος και εξέταση για περαιτέρω δυνατότητα αύξησης της ισχύς.
- 3) Υλοποίηση του συστήματος με εναλλακτικές τεχνικές, όπως εκείνη άλλου πετυγίου.
- 4) Συγκριτική μελέτη όλων των δυνατών υλοποιήσεων για την επιλογή των βέλτιστης τοπολογίας σε επίπεδο επιμέρους βαθμίδων και συστήματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΓΚΥΚΛΟΠΑΙΔΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΕΣ

[1] [2] Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και περιβάλλον
<http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdfp/2005/IsmailidisAnastasios/attached-document/2005Ismailidis.pdf>

- ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
<http://estia.hua.gr/file/lib/default/data/15744/theFile>

ΒΙΒΛΙΑ

- Συστήματα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ισχύος από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
Δεκέμβριος 2016, **Masters Gilbert M.**

- The Micro-Hydro Pelton Turbine Manual: Design, Manufacture and Installation for Small-Scale Hydro-Power

Φεβρουάριος 2001, **Jeremy Thake**

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- **Design of Hydraulic Turbines**
<http://164.100.133.129:81/econtent/Uploads/15-Hydraulic%20Turbines-new031211%20%5BCompatibility%20Mode%5D.pdf>

- **Hydraulic Turbines - NTNU**
https://www.ntnu.no/documents/381182060/1267681377/HYDRAULIC+TURBINES_Hermod+Brekke+-+2015.pdf/656e691a-f52f-4c0d-a6b1-eaf069c08ef5

- **GRAVITATION WATER VORTEX POWER PLANTS**
<http://www.zotloeterer.com/welcome/gravitation-water-vortex-power-plants/>

- **A Review on Micro Hydro Gravitational Vortex Power and Turbine Systems**
https://www.researchgate.net/publication/270706335_A_Review_on_Micro_Hydro_Gravitational_Vortex_Power_and_Turbine_Systems

- **Δομή πτυχιακής εργασίας**
<http://es.uop.gr/esmet/images/domi-ptixiakis.pdf>

- **Ενέργεια: Ορισμοί, μορφές και χρήσεις**
http://archive.eclass.uth.gr/eclass/modules/document/file.php/MHXB122/Enotita_1.pdf