



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας και τεχνοοικονομική
μελέτη**

Καραγιαννίδης Πέτρος

Επιβλέπων καθηγητής :

Τσουκαλάς Ελευθέριος, Καθηγητής ΠΘ

Συνεπιβλέπων καθηγητής :

Σταμούλης Γεώργιος, Καθηγητής ΠΘ

Βόλος 2018



UNIVERSITY OF THESSALY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER
ENGINEERING

DIPLOMA THESIS

Hydroelectric power stations and technicaleconomical study

Karagiannidis Petros

Supervisor :

Tsoukalas Eleftherios, Professor UTH

Co-Supervisor :

Stamoulis Georgios, Professor UTH

Volos 2018

(κενή σελίδα)

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Παίρνοντας αφορμή την παρούσα διπλωματική εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τον καθηγητή μου κ. Τσουκαλά Ελευθέριο για την στήριξη και την καθοδήγηση του για την εκπόνηση αυτής της εργασίας αλλά και για όλες τις γνώσεις που αποκόμισα -στον τομέα της ενέργειας και όχι μόνο- από αυτόν. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Σταμούλη Γεώργιο για την συνεπίβλεψη του και για όλη την μαθησιακή μου εμπειρία μαζί του. Ακόμη νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Μπαργιώτα Δημήτριο για την βοήθεια του στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Θα ήθελα προσθέτοντας να ευχαριστήσω στο σύνολο τους όλους τους καθηγητές και τους υπεύθυνους του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών για την άρτια συνεργασία που είχαμε καθ όλη την διάρκεια των σπουδών μου. Κλείνοντας θέλω να τονίσω την σημαντική βοήθεια των γονιών μου και της οικογένειας μου συνολικά σε αυτήν την προσπάθεια να ολοκληρώσω τις σπουδές μου και την ευγνωμοσύνη μου σε όλους τους συμφοιτητές και μη που γνώρισα και είχα την ευκαιρία να συνεργαστώ κατά την διάρκεια της φοίτησης μου.

(κενή σελίδα)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην σύγχρονη εποχή της υπερκατανάλωσης, της πλήρους βιομηχανοποίησης και αυτοματοποίησης της παραγωγής αλλά και των διαρκώς αυξανόμενων αναγκών, η τεχνολογία καλείται να λύσει μια σωρεία ζωτικών και μη προβλημάτων. Ένα από αυτά τα σοβαρά προβλήματα είναι και η ενεργειακή κρίση. Είναι πλέον γνωστό, ότι πολλές λύσεις σε αυτόν τον τομέα καλούνται να δώσουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Τα συμβατικά καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, δεν είναι ανεξάντλητα ενώ ταυτόχρονα οι εκπομπές ρύπων από την χρήση και την κατανάλωση τους, έχουν επιβαρύνει το περιβάλλον ανεπανόρθωτα. Σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η τρύπα του όζοντος αλλά και η μόλυνση του εισπνεόμενου αέρα έχουν κάνει την ανάγκη για αλλαγή πλεύσης στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πιο επιτακτική από ποτέ.

Πάνω σε αυτό το πλαίσιο κινείται η παρούσα διπλωματική εργασία όπου θα μελετήσουμε διεξοδικά μια από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που είναι η υδροηλεκτρική ενέργεια. Θα εξετάσουμε όλα εκείνα τα δομικά κομμάτια που απαρτίζουν ένα υδροηλεκτρικό έργο όπως τα φράγματα, οι υδροστρόβιλοι και οι γεννήτριες και ταυτοχρόνως θα αναλύσουμε τις διάφορες μορφές ενέργειας αλλά και τον τρόπο που είναι δομημένο ένα Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα.

Ολοκληρώνοντας θα γίνει μια προσπάθεια τεχνο-οικονομικής μελέτης για την ανάπτυξη ενός μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού με τη βοήθεια ενός εργαλείου που καλείται RETScreen αλλά και τη χρήση πληροφοριών που αποκόμισα έχοντας την ευκαιρία να παρακολουθήσω από κοντά την κατασκευή ενός ιδιωτικού ΜΥΗΕ .

ABSTRACT

In the modern era of overexploitation, complete industrialization and automation of production, and of ever-increasing needs, technology is called upon to solve a number of vital and no problems. One of these serious problems is the energy crisis. It is now well known that many solutions in this area are called for by renewable energy sources.

Conventional fuels for the production of electricity are not inexhaustible while, at the same time, pollutant emissions from their use and consumption have been irreversibly impaired. Significant negative impacts such as greenhouse effect, ozone hole and contamination of inhaled air have made the need for a change in navigation in the field of electricity production more imperative than ever.

In this context, this diploma thesis is underway where we will study in detail one of the renewable energy sources that is hydroelectric power. We will look at all those building blocks that make up a hydroelectric project such as dams, turbines and generators, and at the same time we will analyze the different forms of energy and the way in which an electricity system is structured in Greece.

Concluding, a techno-economic study will be undertaken to develop a small hydropower plant with the help of a tool called RETscreen and the use of information I have gained, having the opportunity to closely follow the construction of an individual plant.

Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί παραγωγής ενέργειας και τεχνο- οικονομική μελέτη

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελίδα
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Πηγές ενέργειας	10
1.1 Συμβατικές πηγές ενέργειας	10
1.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	16
1.3 Ενέργεια υδατοπτώσεων και υδρολογικός κύκλος	18
1.4 Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ)	19
1.5 Εισαγωγή στα υδροηλεκτρικά έργα	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Υδραυλική ενέργεια και δομικά έργα	28
2.1 Ωφέλιμη ισχύς και ύψος πτώσης υδατορεύματος	28
2.2 Παροχή υδατορεύματος	30
2.3 Φράγματα	31
2.4 Υπερχειλιστής	35
2.5 Εκκενωτής πυθμένα	37
2.6 Υδροληψία	38
2.7 Αγωγοί πτώσης	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Μετατροπή υδραυλικής ισχύος σε μηχανική ροπή	40
3.1 Υδροστρόβιλοι	40
3.2 Υδροστρόβιλοι δράσης	40
3.2.1 Υδροστρόβιλοι Pelton	40
3.2.2 Υδροστρόβιλοι Turgo	41
3.2.3 Υδροστρόβιλοι Cross-flow ή Bianki	42
3.3 Υδροστρόβιλοι αντίδρασης	43
3.3.1 Υδροστρόβιλοι Francis	43
3.3.2 Υδροστρόβιλοι Kaplan	45
3.3.3 Υδροστρόβιλοι Deriaz	46
3.4 Σύνοψη και καμπύλες απόδοσης	46
3.4 Φαινόμενο σπηλαίωσης	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Γεννήτρια, διέγερση και χαρακτηριστικές καμπύλες	51
4.1 Γεννήτρια	51
4.1.1 Εισαγωγή στις σύγχρονες γεννήτριες-εναλλακτήρες	52
4.1.2 Εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους	54
4.1.3 Εναλλακτήρες με εσωτερικούς πόλους	55
4.1.4 Στροβιλοεναλλακτήρες	57
4.2 Διέγερση γεννητριών	58
4.3 Λειτουργία γεννήτριας χωρίς φορτίο	61
4.4 Λειτουργία γεννήτριας με φορτίο	62

4.5 Έλεγχος λειτουργίας – Control	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Τεχνο-οικονομική μελέτη ενός ΜΥΗΣ	65
5.1 Προκαταρκτικές μελέτες	65
5.2 Συνοπτική περιγραφή έργου	65
5.3 Παροχή ύψος πτώσης και αγωγός προσαγωγής	66
5.4 Στρόβιλος	66
5.5 Αγωγός φυγής	68
5.6 Λοιπός εξοπλισμός	69
5.7 Τι είναι το λογισμικό RETscreen	74
5.8 Υπολογισμός Παραγόμενης ισχύος με βάση το μοντέλο του RETscreen	74
5.9 Ανάλυση κόστους επένδυσης	76
5.10 Έσοδα και ετήσιες χρηματοροές	78
5.11 Σύνοψη	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Επίλογος – Συμπεράσματα	80
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	81

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Πηγές ενέργειας

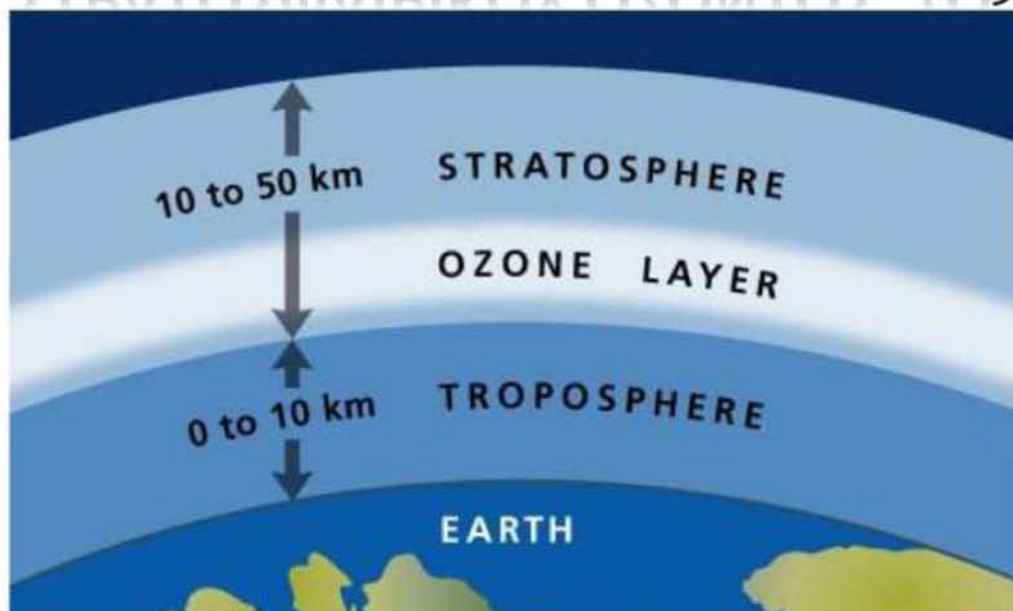
1.1 Συμβατικές πηγές ενέργειας

Οι συμβατικές πηγές ενέργειας η αλλιώς μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι πηγές ενέργειας που λαμβάνουμε από τη φύση και το περιβάλλον είτε με τη βοήθεια εξόρυξης είτε με τη βοήθεια άντλησης η ακόμη και με κατεργασία πρώτων υλών όπως η καύση. Καλούνται μη ανανεώσιμες διότι τις συναντάμε στη φύση σε περιορισμένες ποσότητες και με την πάροδο του χρόνου λόγω της κατανάλωσης τους, εξαντλούνται η ανανεώνονται με εξαιρετικά αργό ρυθμό σε σχέση με την επαναχρησιμοποίηση τους.

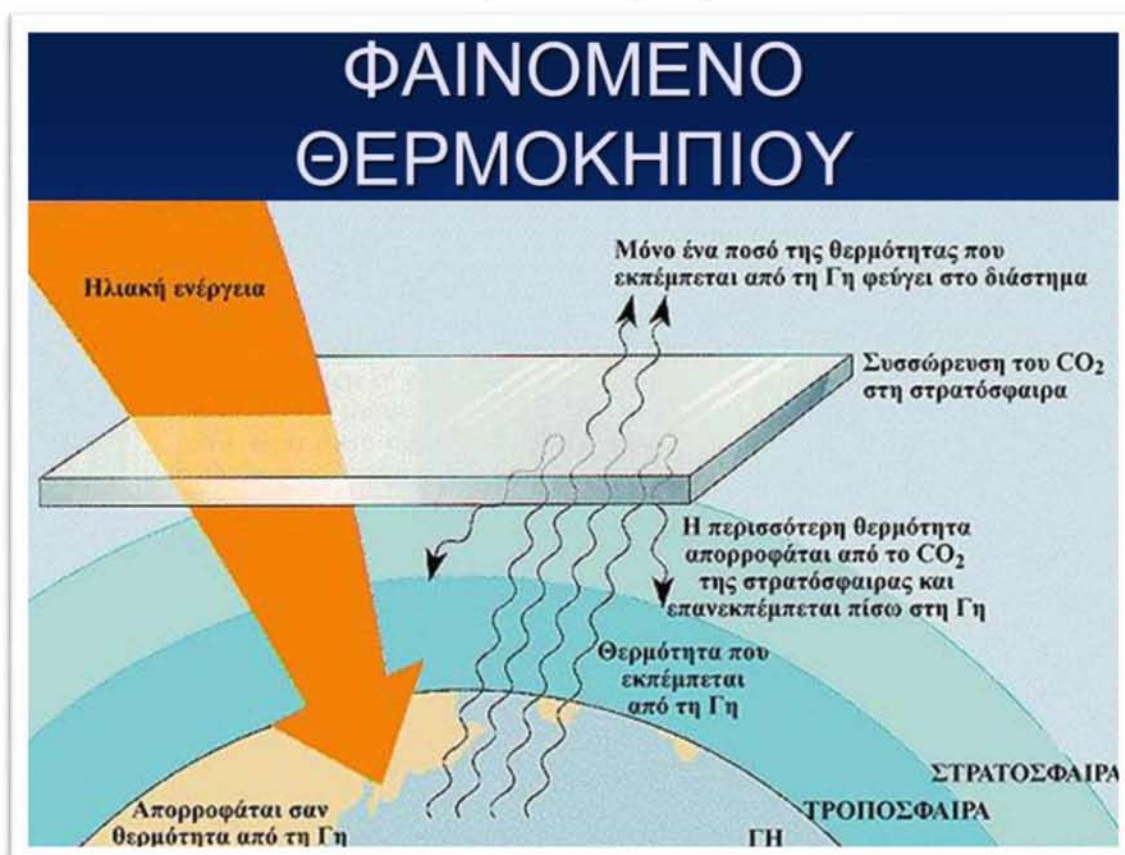
Οι συμβατικές μορφές ενέργειας δημιουργήθηκαν στη γη πριν από εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια και το ανθρώπινο είδος στηρίχθηκε σε μεγάλο βαθμό σε αυτές για την πρόοδο και την ανάπτυξη του αλλά και την βελτίωση της καθημερινότητας και των συνθηκών διαβίωσης. Ιδίως στην πιο σύγχρονη εποχή, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και της βιομηχανίας η εκμετάλλευση τους αυξήθηκε με ραγδαίο ρυθμό με αποκορύφωμα την βιομηχανική και τεχνολογική επανάσταση. Επειδή η ανθρωπότητα στηρίζεται ακόμη σε μεγάλο βαθμό από αυτές –και όπως προαναφέραμε εξαντλούνται-, είναι επιτακτική η ανάγκη ελεγχόμενης διαχείρισης και κατανάλωσης τους καθώς και η εισαγωγή νέων συμπληρωματικών πηγών ενέργειας όπως είναι οι ανανεώσιμες.

Εκτός αυτού, οι συμβατικές πηγές ενέργειας είναι εξαιρετικά επιβαρυντικές για τη φύση και το περιβάλλον. Η καύση τους δημιουργεί επικίνδυνα για τη φύση απόβλητα αλλά και ρυπογόνα καυσαέρια στην ατμόσφαιρα. Η αύξηση της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) οφείλεται σε αυτές και έχει προκαλέσει σοβαρές περιβαλλοντικές και επιπτώσεις όπως η τρύπα του όζοντος (Εικ. 1.1), το φαινόμενο του θερμοκηπίου που οδηγεί στην υπερθέρμανση του πλανήτη μας (Εικ. 1.2) και της αιθαλομίχλης στην ατμόσφαιρα (Εικ. 1.3).

ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΙΒΑΔΑΣ ΤΟΥ ΣΤΡΑΤΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ (O₃)



Εικόνα 1.1: Τρύπα του όζοντος



Εικόνα 1.2: Διοξείδιο του άνθρακα και φαινόμενο του θερμοκηπίου



Εικόνα 1.3: Αιθαλομίχλη «σκεπάζει» την Αθήνα

Οι συμβατικές - μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας διακρίνονται στις εξής κατηγορίες :

Στους **γαιάνθρακες** που είναι στερεά ορυκτά καύσιμα και περιλαμβάνουν τον λιγνίτη, τον ανθρακίτη και την τύρφη -που χρησιμοποιείται ως καύσιμο υλικό, είναι όμως κατώτερης ποιότητας, γιατί δεν έχει μεγάλη θερμαντική αξία-.

Το κάρβουνο (λιγνίτης) αποτέλεσε κύρια πηγή ενέργειας από την αρχαιότητα ιδίως όταν το ξύλο έπαιπε να είναι άφθονο. Αργότερα στη νεότερη εποχή με την ανάπτυξη της βιομηχανίας, ο λιγνίτης έπαιξε καθοριστικό ρόλο και η καύση του εξασφάλισε τεράστια ενεργειακά αποθέματα. Θερμικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αναπτύχθηκαν σε διάφορες χώρες και παρατηρήθηκε ραγδαία αύξηση της εξόρυξης και της κατανάλωσης του.

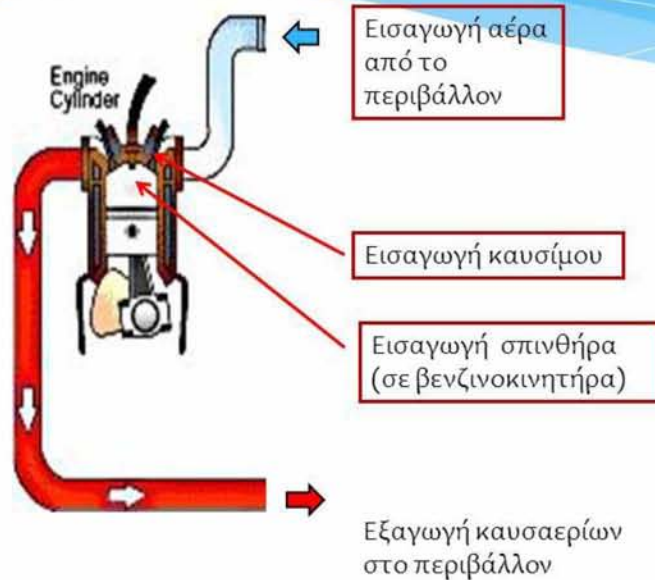
Στη χώρα μας τα κοιτάσματα λιγνίτη ξεχωρίζουν καθώς βρίσκονται σε άφθονη ποσότητα σε περιοχές όπως η Φλώρινα, η Πτολεμαΐδα κ.α. και προσφέρουν μεγάλα ενεργειακά αποθέματα πάνω στα οποία στηρίζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τους θερμικούς σταθμούς (Εικ. 1.4). Τα συνολικά αποθεματικά της χώρας σε λιγνίτη εκτιμάται στους 10×10^9 τόνους και οι ειδικοί προβλέπουν ότι θα είναι επαρκή για τουλάχιστον 50 χρόνια ακόμη. Η ΔΕΗ παίζει καθοριστικό ρόλο στην εξόρυξη και την εκμετάλλευση του λιγνίτη καθώς είναι η πρωτογενής πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού στη χώρα μας.



Εικόνα 1.4: ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου

Στα **υγρά καύσιμα** όπως το πετρέλαιο και όλα τα παράγωγα που παίρνουμε από την κατεργασία και την δύλιση του όπως η βενζίνη η κηροζίνη και το μαζούτ. Το πετρέλαιο είναι ορυκτό υγρό καύσιμο το οποίο δημιουργήθηκε πριν εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια στο υπέδαφος της γης. Πρόκειται για μείγμα υδρογονανθράκων και αποτελεί τη σπουδαιότερη συμβατική πηγή ενέργειας παγκοσμίως. Χρησιμοποιείται στην βιομηχανία, στην παραγωγή ηλεκτρισμού αλλά και στις μηχανές εσωτερικής καύσης (Εικ. 1.5) που είναι οι κινητήριες μηχανές των αυτοκινήτων και των μέσων μεταφοράς. Είναι προϊόν αποσύνθεσης ζωικών και φυτικών οργανισμών που εγκλείστηκαν μέσα στα πετρώματα σε μεγάλο βάθος στη Γη και με την βοήθεια ενζύμων και ζυμώσεων οδήγησαν στην δημιουργία του.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΠΛΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ



Εικόνα 1.5: Μηχανή εσωτερικής καύσης

Στους αέριους **υδρογονάνθρακες** όπως το **φυσικό αέριο** που αποτελείται από μεθάνιο και σε μικρές ποσότητες από προπάνιο και βουτάνιο. Το φυσικό αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορους τομείς της καθημερινής ζωής όπως στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, τη θέρμανση, σε οικιακές συσκευές (κουζίνα, φριτέζα) αλλά και ως καύσιμο οχημάτων. Θεωρείται λιγότερο επιβλαβές από τους υγρούς και στερεούς υδρογονάνθρακες καθώς κατά την καύση του απελευθερώνονται μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα. Για την μεταφορά του μπορεί να χρησιμοποιηθούν μεγάλοι αγωγοί εκατοντάδων χιλιομέτρων (Εικ. 1.6).

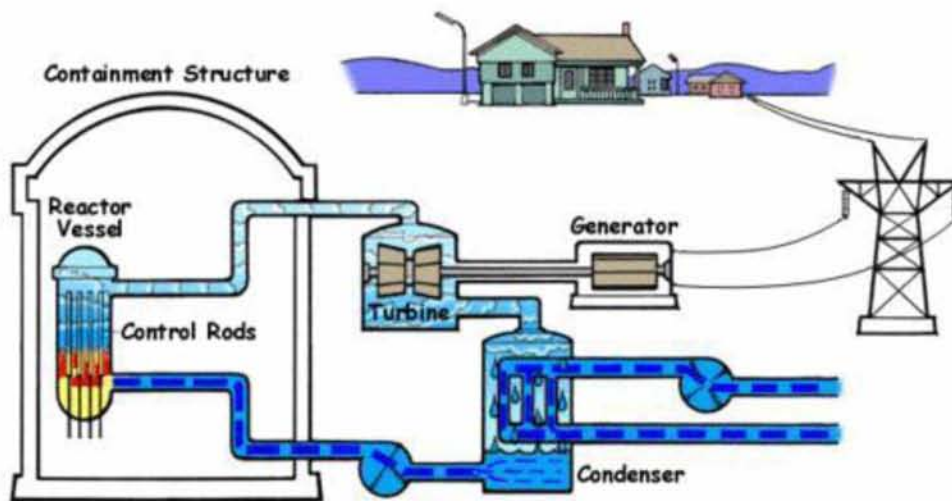


Εικόνα 1.6: Εξόρυξη και μεταφορά φυσικού αερίου

Στην **πυρηνική ενέργεια** που εκλύεται μέσω της διάσπασης πυρήνων ουρανίου. Η εν λόγω πηγή ενέργειας έγινε γνωστή κατά τη διάρκεια του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου. Όπως ανακαλύφθηκε, ο βομβαρδισμός πυρήνων ουρανίου με νετρόνια οδηγεί στην διάσπαση του ραδιενεργού πυρήνα -που με τη σειρά του απελευθερώνει νετρόνια τα οποία θα διασπάσουν άλλους πυρήνες- και στην έκλυση τεράστιων ποσοτήτων ενέργειας. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται αλυσιδωτή αντίδραση και γίνεται ελεγχόμενα στους πυρηνικούς αντιδραστήρες των αντίστοιχων σταθμών παραγωγής ηλεκτρισμού.

Οι ράβδοι καυσίμων ουρανίου αποδίδουν τη θερμότητα που παράγουν στο νερό μέσω μπόιλερ, σε μια σειρά ατμοπαραγωγών. Ο ατμός συνεχίζει την πορεία του για την κίνηση ατμοστροβίλων που συνδέονται με μια ηλεκτρική γεννήτρια. Κατόπιν ο ατμός ψύχεται και υγροποιείται για να επιστρέψει με κατάλληλο κύκλωμα στους ατμοπαραγωγούς (Εικ. 1.7).

Παρά την αυξημένη αποδοτικότητα και τα μεγάλα ποσά ενέργειας, τα προβλήματα και οι δυσκολίες όσον αφορά την επεξεργασία και την αποθήκευση των πυρηνικών αποβλήτων, δεν επέτρεψαν την εκμετάλλευση της πυρηνικής ενέργειας στο βαθμό που οι επιστήμονες πίστευαν τη δεκαετία του 1950.



Εικόνα 1.7: Πυρηνικός σταθμός παραγωγής ρεύματος

1.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

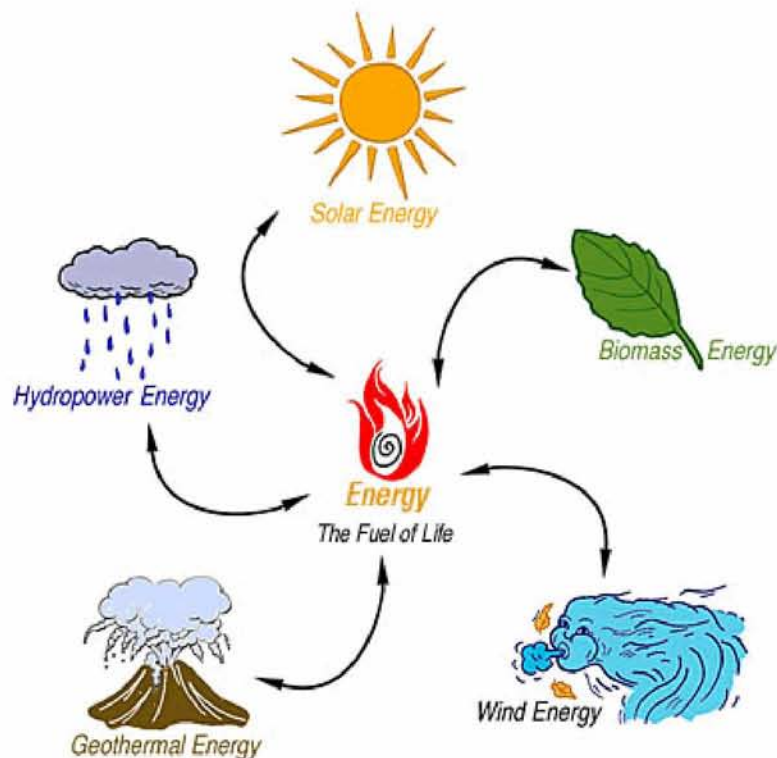
Ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) ή πράσινη ενέργεια, εννοούμε όλες εκείνες τις μορφές ενέργειας που υπάρχουν στην φύση εξαιτίας φυσικών, ατμοσφαιρικών και περιβαλλοντικών φαινομένων. Πιο συγκεκριμένα η αιολική ενέργεια που μπορεί να εκμεταλλευτεί ο άνθρωπος μέσω ανεμογεννητριών. Η ηλιακή ενέργεια μέσω φωτοβολταϊκών διατάξεων, η υδροηλεκτρική ενέργεια των ποταμών μέσω υδροστροβίλων όπως επίσης η ενέργεια των κυμάτων και των θαλάσσιων ρευμάτων μέσω κατάλληλων υποθαλάσσιων υδραυλικών υποδομών.

Καλούνται ανανεώσιμες καθώς η εκμετάλλευσή τους δεν οδηγεί σε εξάντληση των διαθέσιμων αποθεμάτων ενέργειας καθώς αυτές αυτοανανεώνονται στη φύση. Για παράδειγμα η ηλιακή ακτινοβολία δεν εξαντλείται, το νερό ακολουθεί τον υδρολογικό του κύκλο και ο άνεμος τις αέριες μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης. Η γεωθερμία και η ενέργεια από βιομάζα παρότι κατατάσσονται στις ανανεώσιμες πηγές δεν τηρούν όλες τις απαραίτητες προϋποθέσεις -καθώς δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετιών- και μπορούν να χαρακτηριστούν ως μερικώς ανανεώσιμες (Είκ. 1.8).

Τέλος ο χαρακτηρισμός πράσινη ενέργεια, αναφέρεται στο γεγονός πως για την εκμετάλλευσή τους, δεν απαιτείται κάποια παρέμβαση που θα δημιουργήσει ρύπους και απόβλητα όπως η καύση αλλά και στο γεγονός ότι δεν προϋποθέτουν διεργασίες εξόρυξης ή άντλησης από τη φύση. Αντιθέτως επιτυγχάνεται η εκμετάλλευσή της υπάρχουσας ενέργειας τους στο περιβάλλον με μικρές επεμβατικές διεργασίες, όπως η κατασκευή των απαραίτητων εγκαταστάσεων και η τοποθέτηση του εξοπλισμού δέσμευσης της ενέργειας (υδροστροβίλοι, ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά πάνελ). Παίζουν καθοριστικό ρόλο με αυτό τον τρόπο στην μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος.

Οι αρνητικές επιπτώσεις των συμβατικών πηγών ενέργειας –όπως και η σταδιακή εξάντληση τους- που αναφέραμε παραπάνω, έχουν κάνει πιο επιτακτική από ποτέ την ανάγκη εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων πηγών. Παράλληλα οι κυβερνήσεις των χωρών αλλά και η Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν δώσει σαφή εντολή για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, την μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και την περαιτέρω αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την επίτευξη αυτού του στόχου. Όπως αναφέραμε, πρόκειται για «καθαρές - πράσινες» μορφές ενέργειας καθώς η εκμετάλλευση τους δεν είναι ρυπογόνα και επιβλαβής για το περιβάλλον και την ατμόσφαιρα.

Παρότι είναι γνωστά τα οφέλη τους, η χαμηλή αποδοτικότητα τους σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας αλλά και με το κόστος της κατασκευής των υποδομών για την αξιοποίησή τους, δεν τις έκαναν ιδιαίτερα δημοφιλή τα προηγούμενα χρόνια. Εκτός αυτού, οι πολύπλοκες και μακρόχρονες γραφειοκρατικές διαδικασίες στη χώρα μας, αποθάρρυναν και οδήγησαν τους επενδυτές προς άλλες επενδυτικές κατευθύνσεις. Οι λύσεις όμως που οι ΑΠΕ προσφέρουν σε σχέση με τις κλιματικές αλλαγές, τον αυξημένο περιβαλλοντικό κίνδυνο και τα οφέλη από τις μηδαμινές εκπομπές ρύπων τις έφεραν στο προσκήνιο και αναμένουμε ραγδαίες εξελίξεις στο μέλλον.



Εικόνα 1.8: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

1.3 Ενέργεια υδατοπτώσεων και υδρολογικός κύκλος

Από τα αρχαία χρόνια, ο άνθρωπος προσπάθησε να εκμεταλλευτεί διάφορες μορφές ενέργειας γύρω του με σκοπό να βελτιώσει τις συνθήκες διαβίωσης του και να διευκολύνει την καθημερινή του ζωή. Από την εποχή που ξεκίνησε να αξιοποιεί τα διάφορα υλικά με σκοπό την κατασκευή εργαλείων, άρχισε να αντιλαμβάνεται την δυνατότητα να επωφεληθεί και από την διαθέσιμη ενέργεια του φυσικού περιβάλλοντος. Η χρήση της δύναμης του νερού για παράδειγμα στη χρονοβόρα αλλά και κοπιαστική διαδικασία παραγωγής του αλεύρου (υδρόμυλος), ήταν μια σημαντική τεχνολογική πρόοδος του παρελθόντος.

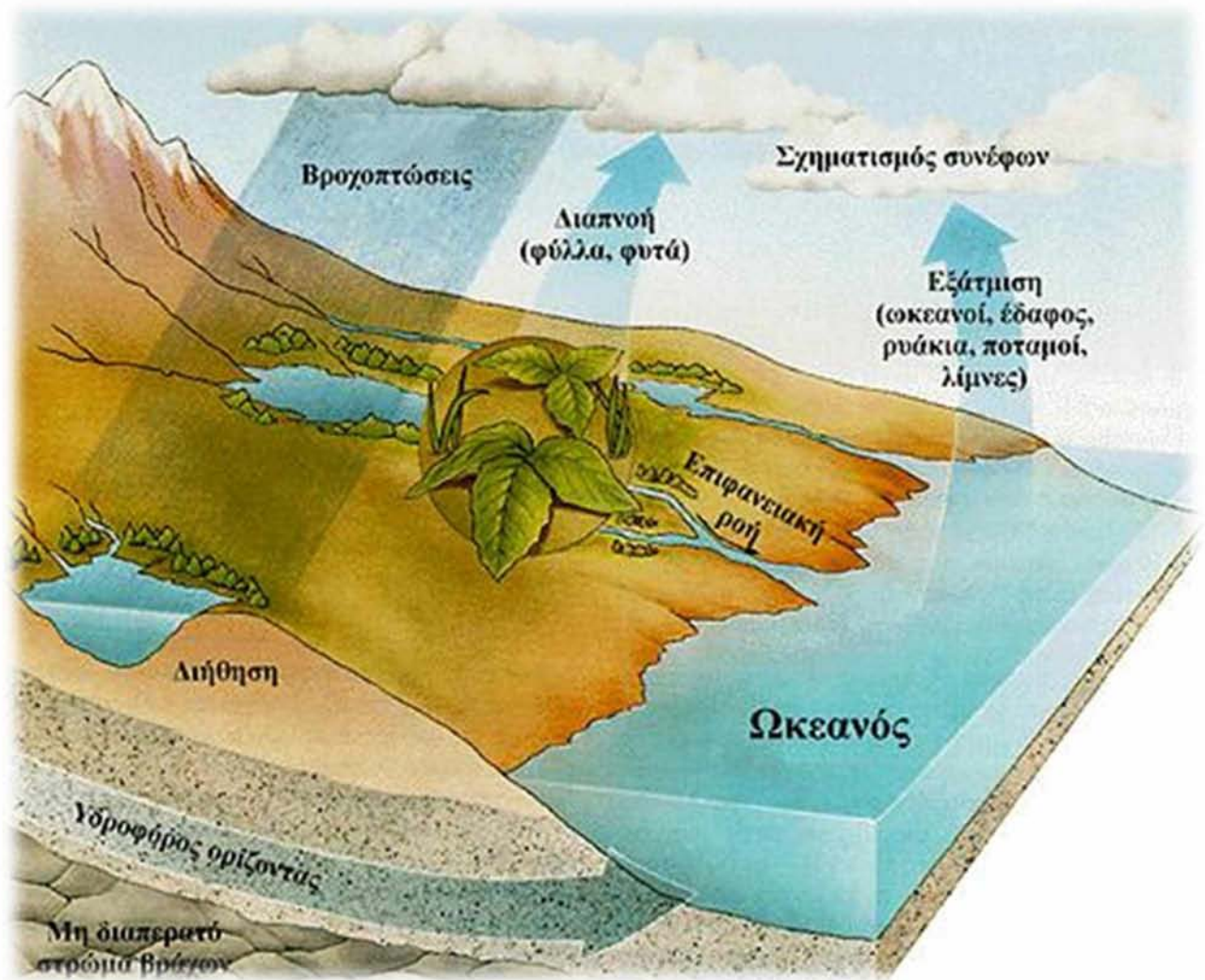
Ο Βιτρούβιος [1] περιγράφει τον υδρόμυλο ως εξής: Οι υδρόμυλοι κινούνται με βάση τις ίδιες αρχές και έχουν την ίδια κατασκευή με τον υδροτροχό, με εξαίρεση το ότι στο ένα άκρο του άξονα είναι προσαρμοσμένος ένας οδοντωτός τροχός, αυτός είναι τοποθετημένος κάθετα στην άκρη του και περιστρέφεται με τον τροχό. Κοντά στον τροχό υπάρχει ένας άλλος ακόμη μεγαλύτερος, με παρόμοιους οδόντες, τοποθετημένος οριζόντια, που έρχεται σε επαφή με τον πρώτο τροχό. Με τον τρόπο αυτό οι οδόντες του τροχού που είναι προσαρμοσμένοι στον άξονα, παρασύρνοντας τους οδόντες του οριζόντιου τροχού, θέτουν σε λειτουργία τις μυλόπετρες. Ένα χωνί που είναι τοποθετημένο επάνω από το όλο μηχάνημα, τροφοδοτεί με την πρώτη ύλη και έτσι παράγεται το χοντρόαλευρο.

Εξέλιξη του υδρόμυλου αποτελεί ο υδροστρόβιλος. Μια κατασκευή η οποία χρησιμοποιείται σήμερα για την αξιοποίηση της ροής των υδάτων και την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσαρμογή μιας γεννήτριας ηλεκτρικού ρεύματος στον άξονα του υδροστρόβιλου και τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Αναλυτικά για τους υδροστρόβιλους και την αρχή λειτουργία τους θα μιλήσουμε στο 3^ο Κεφάλαιο.

Είναι σαφές λοιπόν ότι ο άνθρωπος αξιοποίησε από την αρχαιότητα την ενέργεια του νερού προς όφελος του. Η ενέργεια αυτή προέρχεται από τον αέναο υδρολογικό κύκλο που πραγματοποιείται στην ατμόσφαιρα (Εικ. 1.9) με μια διαδικασία εξάτμισης – συμπύκνωσης του νερού.

Το νερό της θάλασσας και των ωκεανών εξατμίζεται λόγω της θερμότητας και της ακτινοβολίας του ήλιου και στη συνέχεια συμπυκνώνεται στην ατμόσφαιρα, όπου δημιουργούνται τα σύννεφα τα οποία παρέχουν τη βροχή. Μέσω των βροχοπτώσεων το νερό μεταφέρεται σε διάφορες περιοχές και όταν συσσωρεύεται σε περιοχές με υψομετρική διαφορά (ορεινές) από τη στάθμη της θάλασσας αποκτά λόγω της βαρύτητας δυναμική ενέργεια.

Αυτή τη δυναμική ενέργεια ο άνθρωπος την εκμεταλλεύεται αναπτύσσοντας ειδικές ηλεκτρομηχανολογικές διατάξεις και κατασκευαστικά έργα τα οποία αποτελούν τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς για τους οποίους θα αναφερθούμε στην παρούσα εργασία.



Εικόνα 1.9: Ο υδρολογικός κύκλος του νερού

1.4 Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας

Για να κατανοήσουμε πλήρως τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η αξιοποίηση της υδραυλικής-υδροδυναμικής ενέργειας και η παραγωγή ηλεκτρισμού, είναι απαραίτητο να διευκρινιστεί ένα μεγάλο κομμάτι που αφορά την παραγωγή και τη μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος η οποία ξεκινά από τον σταθμό παραγωγής και καταλήγει στο δίκτυο διανομής. Οι διαδικασίες αυτές συντελούν και απαρτίζουν ένα Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Ως Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Η.Ε.), ορίζεται το σύνολο των εγκαταστάσεων, του εξοπλισμού, των μέσων και όλων των υποδομών, που απαιτούνται για την ασφαλή και ποιοτική εξυπηρέτηση των αναγκών ενός συνόλου καταναλωτών διεσπαρμένων γεωγραφικά σε ηλεκτρική ενέργεια, σε τοπικό, σε εθνικό ή ακόμα και σε διεθνές επίπεδο. Δηλαδή, ο σκοπός ενός συστήματος

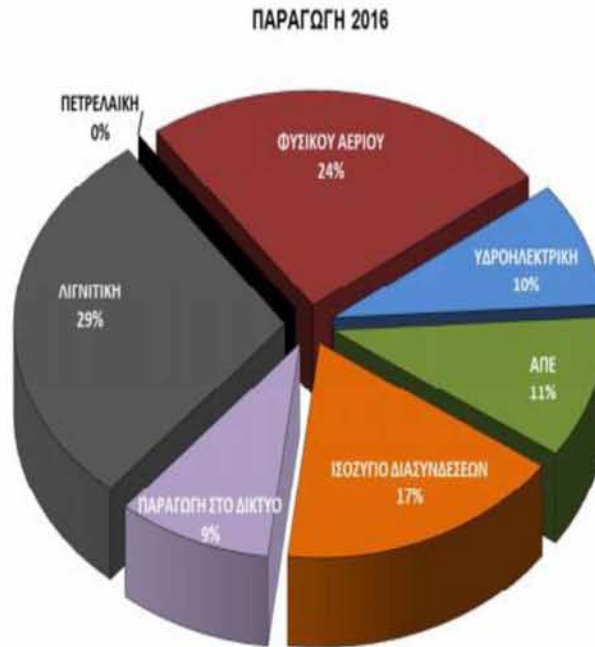
ηλεκτρικής ενέργειας, είναι η συνεχής (απρόσκοπτη), η ασφαλής και ποιοτική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από τα κέντρα παραγωγής προς τα κέντρα κατανάλωσης. Προϋποθέσεις καλής λειτουργίας είναι να παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια όπου υπάρχει ζήτηση, με το ελάχιστο κόστος σε οικονομικό και περιβαλλοντικό επίπεδο και ταυτόχρονα να εξασφαλίζεται σταθερή συχνότητα (50Hz για το ελληνικό δίκτυο), τάση και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης. Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να διακριθούν στα ακόλουθα τμήματα : **1)Σύστημα παραγωγής, 2)Σύστημα μεταφοράς και 3)Σύστημα διανομής.**

Το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει τις εγκαταστάσεις και όλα τα δομικά και λειτουργικά στοιχεία για την παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος. Η παραγωγή αυτή γίνεται με την μετατροπή μιας μορφής ενέργειας σε ρεύμα στους διάφορους σταθμούς παραγωγής συνήθως με την χρήση ατμοστρόβιλων ή υδροστρόβιλων. Η κινητική ενέργεια των στρόβιλων χρησιμοποιείται για να θέσει σε κίνηση μια σύγχρονη γεννήτρια με τάση παραγωγής συνήθως τα 11-15.75 kV. Στη συνέχεια η τάση αυτή ανυψώνεται με τη βοήθεια μετασχηματιστών ανύψωσης –που βρίσκονται στους υποσταθμούς της εκάστοτε μονάδας παραγωγής- στην υψηλή 150kV ή στην υπερυψηλή 400kV τάση (προδιαγραφές Σ.Η.Ε στην Ελλάδα) και οδηγείται στο σύστημα μεταφοράς έχοντας πρότινος εξασφαλισθεί ο συγχρονισμός τους στα 50Hz , η σταθερή τάση καθώς και η ενεργός και άεργος ισχύς που προσφέρουν στο δίκτυο οι γεννήτριες ανα πάσα στιγμή .

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι υπάρχουν και δημιουργούνται καθημερινά νέες μικρότερες μονάδες παραγωγής (ανανεώσιμων πηγών ενέργειας) συνήθως ιδιωτικών επενδύσεων όπως μικρά υδροηλεκτρικά έργα μέχρι 10MW όπως και φωτοβολταϊκά. Η τάση παραγωγής αυτών των στοιχείων συνήθως είναι μικρότερη και κυμαίνεται περί τα 400V. Η ανύψωση τους γίνεται στα 6kV ή στα 20kV και εισέρχονται σε διαφορετικό κλάδο του συστήματος και συνήθως στις μεσαίες ή χαμηλές τάσεις του δικτύου διανομής για το οποίο θα μιλήσουμε και παρακάτω.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα προέρχεται κυρίως από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας παράγεται περίπου το 50% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας. Η συγκέντρωση των θερμοηλεκτρικών σταθμών στο Βορρά της χώρας δημιουργεί αυξημένες απώλειες κατά τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας στα κέντρα κατανάλωσης και ανισορροπία στη λειτουργία. Ωστόσο ο σχεδιασμός τους βασίστηκε στην εγγύτητά τους στις περιοχές που υπάρχουν πλούσια κοιτάσματα λιγνίτη, ο οποίος αποτελεί την καύσιμη πρώτη ύλη για αυτούς τους σταθμούς.

Στη χώρα μας υπάρχουν τέσσερις περιοχές με σημαντικά αποθέματα λιγνίτη, στη Δράμα, στη Δυτική Μακεδονία, στην Ελασσόνα και στη Μεγαλόπολη. Το σύνολο παραγωγής και ισοζυγίου εισαγωγών-εξαγωγών που διακινήθηκε κατά το έτος 2016 ανέρχεται στις 51245 GWh, εκ των οποίων οι 46511 GWh διακινήθηκαν μέσω του Συστήματος Μεταφοράς. Οι υπόλοιπες 4734 GWh αφορούν παραγωγή απ' ευθείας στο δίκτυο (Φ/Β, ΜΥΗΣ, Βιοαέριο, ΣΥΘΗΑ). Η συνολική έγχυση ηλεκτρικής ενέργειας (ανεξαρτήτου πηγής) στο Σύστημα Μεταφοράς ανέρχεται στις 37715 GWh όπως προκύπτει από τα Μηνιαία Δελτία Ενέργειας. Η κατανομή της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τις διαφορετικές πηγές καυσίμου φαίνεται στην Εικόνα 1.10. Παρατηρείται αισθητή αύξηση του ποσοστού συμμετοχής του φυσικού αερίου στο ισοζύγιο (από 14,13% σε 24,42%), και περεταίρω υποχώρηση της συμμετοχής της λιγνιτικής παραγωγής σε σχέση με το 2015 (από 37,76% σε 29,07%). [2]



Εικόνα 1.10: κατανομή της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τις διαφορετικές πηγές καυσίμου

Μεταφορά και διανομή

Για να λυθεί το πρόβλημα της μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις, ο William Stanley κατασκεύασε το πρώτο επαγωγικό πηνίο, που αποτέλεσε τον προάγγελο του σύγχρονου (ηλεκτρικού) μετασχηματιστή καθώς και το πρώτο πλήρες σύστημα υψηλής τάσης μεταφοράς εναλλασσόμενου ρεύματος, το οποίο αποτελείται από γεννήτριες, μετασχηματιστές και υψηλής τάσης γραμμές μεταφοράς, που αποτέλεσε τη βάση της σύγχρονης διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι όλη η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στους σταθμούς παραγωγής, αρχικά μεταφέρεται σε κοντινούς μετασχηματιστές που μετατρέπουν τη χαμηλή τάση της ηλεκτρικής ενέργειας σε υψηλή. Με αυτόν τον τρόπο, η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται με τις γραμμές μεταφοράς σε πολύ μεγάλες αποστάσεις με λιγότερες απώλειες, καθώς οι σταθμοί παραγωγής είναι συνήθως μακριά από μεγάλα αστικά κέντρα. Το δίκτυο μεταφοράς μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια στους υποσταθμούς μέσης και χαμηλής τάσης, στους οποίους μετατρέπεται η τάση της ηλεκτρικής ενέργειας από υψηλή σε μέση και χαμηλή τάση, προκειμένου με τη βοήθεια εναέριων γραμμών να διανεμηθεί σε βιομηχανίες που χρησιμοποιούν μέση τάση και σε σπίτια που χρησιμοποιούν χαμηλή τάση.

Έχουμε δύο τύπους δικτύου, ανάλογα με την τάση της ηλεκτρικής ισχύος που διακινεί, το δίκτυο (Σύστημα) Μεταφοράς και το δίκτυο Διανομής.

Το δίκτυο Μεταφοράς, μεταφέρει την ηλεκτρική ισχύ από τους σταθμούς παραγωγής στους υποσταθμούς μεταφοράς. Η μεταφορά γίνεται σε υψηλή τάση, μέσω του δικτύου υψηλής τάσης (150kV) και υπερυψηλής (400kV) (Εικ. 1.11) για να μειωθούν οι απώλειες ισχύος, όταν οι αποστάσεις είναι μεγάλες. Οι γραμμές Μεταφοράς δεν μπορούν να τροφοδοτήσουν άμεσα τους καταναλωτές που χρησιμοποιούν χαμηλή τάση (220/380V) αλλά φθάνουν μέχρι ορισμένα σημεία, τους υποσταθμούς μεταφοράς (Εικ. 1.12) , όπου γίνεται υποβιβασμός της τάσης στη μέση τάση, δηλαδή στα 20 kV του δικτύου. Οι υποσταθμοί αποτελούν κόμβους στο δίκτυο του ηλεκτρισμού. Από αυτά τα σημεία όπου βρίσκονται οι υποσταθμοί μεταφοράς, αρχίζουν οι γραμμές διανομής, που καταλήγουν στους υποσταθμούς διανομής όπου γίνεται υποβιβασμός της μέσης τάσης στη χαμηλή τάση που χρησιμοποιούν οι περισσότεροι καταναλωτές.

Τα συστατικά στοιχεία των γραμμών μεταφοράς είναι:

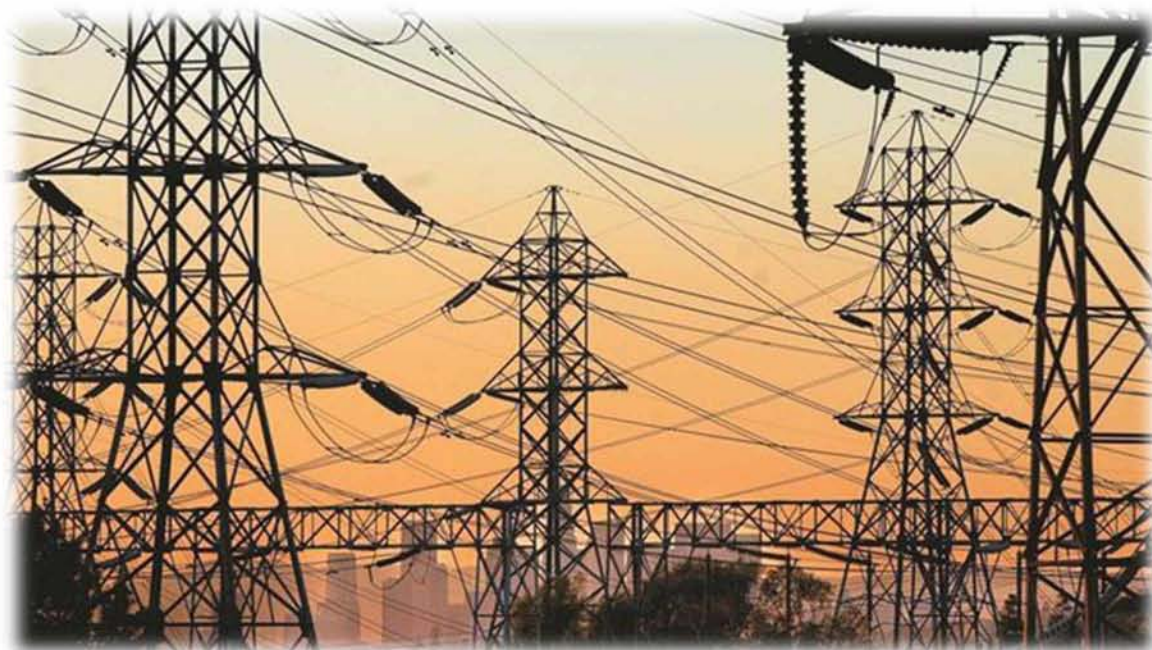
Πυλώνες ή πύργοι, στους οποίους στηρίζονται οι αγωγοί των εναέριων γραμμών.

Μονωτήρες, μέσω των οποίων αναρτώνται στους πυλώνες οι αγωγοί γραμμών Αγωγοί, κυρίως από χαλκό και αλουμίνιο.

Το δίκτυο Διανομής, περιλαμβάνει:

το δίκτυο διανομής μέσης τάσης (20kV) που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς μεταφοράς στους υποσταθμούς διανομής.

το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης (220/380V) που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς διανομής στους καταναλωτές.



Εικόνα 1.11 : Πυλώνες δικτύου μεταφοράς υψηλής τάσης



Εικόνα 1.12: Υποσταθμός υποβιβασμού τάσης

Ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ) Α.Ε. συστάθηκε σύμφωνα με το Ν. 4001/2011 και σε συμμόρφωση με την Οδηγία 2009/72/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με την οργάνωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, με σκοπό να αναλάβει τα καθήκοντα του Διαχειριστή του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ). Στο πλαίσιο αυτό σκοπός του ΑΔΜΗΕ είναι η λειτουργία, συντήρηση και ανάπτυξη του ΕΣΜΗΕ ώστε να διασφαλίζεται ο εφοδιασμός της χώρας με ηλεκτρική ενέργεια με τρόπο ασφαλής, αποδοτικό και αξιόπιστο.

Ο ΑΔΜΗΕ είναι 100% θυγατρική της ΔΕΗ Α.Ε., ωστόσο είναι πλήρως ανεξάρτητος λειτουργικά και διοικητικά, έχοντας ουσιαστικές εξουσίες λήψης αποφάσεων, τηρώντας όλες τις προς αυτό απαιτήσεις ανεξαρτησίας που ενσωματώνονται στο Νόμο 4001/2011 και στην Οδηγία 2009/72/ΕΚ. Ο Διαχειριστής του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας έχει ως έργο τη λειτουργία, εκμετάλλευση, διασφάλιση της συντήρησης και μέριμνα για την ανάπτυξη του Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας σε ολόκληρη τη χώρα, καθώς και των διασυνδέσεών του με τα άλλα δίκτυα για να διασφαλίζεται ο εφοδιασμός της χώρας με ηλεκτρική ενέργεια, κατά τρόπο επαρκή, ασφαλής, οικονομικά αποδοτικό και αξιόπιστο. Επιδιώξή του είναι η βέλτιστη κατανομή του φορτίου στο Σύστημα. Στα μη-διασυνδεδεμένα νησιά, ο αντίστοιχος φορέας είναι η ΔΕΗ Α.Ε.

Ο Διαχειριστής Συστήματος Μεταφοράς είναι υπεύθυνος για:

- τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης ικανότητας του Συστήματος να ανταποκρίνεται στην εύλογη ζήτηση για μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας
- τη συμβολή στην ασφάλεια του εφοδιασμού της χώρας μέσω επαρκούς δυναμικού μεταφοράς και αξιοπιστίας του Συστήματος
- τη διαχείριση των ροών ενέργειας στο Σύστημα με συνεκτίμηση των ανταλλαγών με άλλα διασυνδεδεμένα δίκτυα
- την αποφυγή κάθε διάκρισης μεταξύ των χρηστών του Συστήματος

-την παροχή στους χρήστες του Συστήματος των πληροφοριών που χρειάζονται για την αποτελεσματική πρόσβαση σε αυτό. [3]

Ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. (Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας) συστάθηκε με την απόσχιση του κλάδου Διανομής της ΔΕΗ Α.Ε. σύμφωνα με το Ν. 4001/2011 και σε συμμόρφωση με την Οδηγία 2009/72/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης, σχετικά με την οργάνωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, με σκοπό να αναλάβει τα καθήκοντα του Διαχειριστή του Ελληνικού Δικτύου Διανομής. Είναι κατά 100% θυγατρική εταιρεία της ΔΕΗ Α.Ε., ωστόσο είναι ανεξάρτητη λειτουργικά και διοικητικά, τηρώντας όλες τις απαιτήσεις ανεξαρτησίας που ενσωματώνονται στο παραπάνω νομικό πλαίσιο.

Τα καθήκοντα του Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής είναι:

-η διατήρηση ασφαλούς, αξιόπιστου και αποδοτικού δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (Εικ. 1.13) στην περιοχή που καλύπτει, λαμβάνοντας τη δέουσα μέριμνα για το περιβάλλον

-η αποφυγή κάθε διάκρισης μεταξύ των χρηστών του Δικτύου

-η παροχή στους χρήστες του Δικτύου των πληροφοριών που χρειάζονται για αποτελεσματική πρόσβαση στο Δίκτυο

-η παραχώρηση προτεραιότητας στις εγκαταστάσεις παραγωγής που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή απόβλητα, ή που παράγουν συνδυασμένα ενέργεια και θερμότητα

-η προμήθεια της ενέργειας που χρησιμοποιούν για να καλύπτουν τις απώλειες ενέργειας και να διατηρούν εφεδρικό δυναμικό στο δίκτυό τους με διαφανείς, αμερόληπτες και βασιζόμενες στην αγορά διαδικασίες

-η λήψη μέτρων για ενεργειακή απόδοση/διαχείριση της ζήτησης ή/και η πρόβλεψη κατανομημένης παραγωγής που θα μπορούσαν να υποκαταστήσουν την ανάγκη αναβάθμισης ή αντικατάστασης του δυναμικού ηλεκτρικής ενέργειας. [4]



Εικόνα 1.13 : Δίκτυο διανομής

1.5 Εισαγωγή στα υδροηλεκτρικά έργα

Με τον όρο υδροηλεκτρικό έργο περιγράφουμε το σύνολο των ερευνών, των τεχνικών έργων, των εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού τα οποία απαιτούνται για την αξιοποίηση και την εκμετάλλευση του φυσικού υδάτινου δυναμικού μιας περιοχής ή την αξιοποίηση και δημιουργία τεχνητού υδάτινου δυναμικού μέσω ταμιευτήρα.

Για αυτό το λόγο τα υδροηλεκτρικά έργα μπορούν να χωρισθούν στις εξής κατηγορίες:

-Υδροηλεκτρικά έργα συνεχούς ροής: Αξιοποιείται η φυσική ροή του ποταμού με την εγκατάσταση υδροηλεκτρικής μονάδας σε συγκεκριμένο σημείο του.

-Υδροηλεκτρικά έργα με μικρή δεξαμενή: Εκτρέπεται ένα μέρος του νερού του ποταμού, συσσωρεύεται σε μια μικρή δεξαμενή και οδηγείται στην υδροηλεκτρική μονάδα.

-Υδροηλεκτρικά έργα με τεχνητή λίμνη (ταμιευτήρα): Χτίζεται ένα φράγμα και δημιουργείται μια τεχνητή λίμνη όπου συλλέγεται το νερό για ένα χρονικό διάστημα, και επαναχρησιμοποιείται σε περιόδους ζήτησης φορτίου.

-Υδροηλεκτρικά έργα με αναστρέψιμες – αντλητικές μονάδες: Σε χρονικές στιγμές χαμηλής ζήτησης φορτίου (κυρίως κατά τις νυχτερινές ώρες) αντλείται το νερό από το χαμηλό σημείο (κατάντη του ταμιευτήρα) και οδηγείται στην άλλη πλευρά (ανάντη). Στη συνέχεια όταν υπάρχει ζήτηση επαναχρησιμοποιείται η διαθέσιμη ποσότητα νερού για ηλεκτροπαραγωγή.

Τα υδροηλεκτρικά έργα περιλαμβάνουν μελέτες από διάφορες επιστήμες της φυσικής και της μηχανικής και κατασκευές που ανάλογα με την κάθε περίπτωση συνοψίζονται παρακάτω:

1.Γεωλογικές και υδρολογικές μελέτες - μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων που αφορούν την επιστήμη της γεωλογίας, της εδαφολογίας, της υδρολογίας, της δασολογίας, αλλά και της τοπογραφίας. Είναι το πρώτο στάδιο μελέτης για ένα υδροηλεκτρικό έργο και τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών θα παίζουν καθοριστικό ρόλο στα επόμενα στάδια.

2.Δομικά και κατασκευαστικά έργα τα οποία αποτελούν κυρίως αντικείμενο της επιστήμης του πολιτικού μηχανικού και καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το μέγεθος της παρέμβασης και το ύψος της επένδυσης. Τα κύρια μέρη των εργασιών και των μελετών του πολιτικού μηχανικού σε ένα υδροηλεκτρικό έργο συνοψίζονται ως εξής :

-Το φράγμα (εάν απαιτείται) σκοπός του οποίου είναι η έμφραξη του ποταμού και η δημιουργία ταμιευτήρα, στον οποίο συγκεντρώνεται ποσότητα νερού προερχόμενη από την φυσική ροή του ποταμού.

-Την υδροληψία, το σημείο δηλαδή απ το οποίο θα οδηγήσουμε το νερό, μέσω των αγωγών πτώσης, στον υδροστρόβιλο.

-Ο υπερχειλιστής μέσω του οποίου διασφαλίζεται η αποφυγή πλημμυρικών παροχών στον ταμιευτήρα και η αποφυγή προβλημάτων στατικότητας του φράγματος.

-Τα έργα εκτροπής του νερού μέσω των οποίων εκτρέπεται η ροή του ποταμού κατά την διάρκεια κατασκευής του φράγματος.

-Ο εκκενωτής πυθμένα σκοπός του οποίου είναι να υπάρχει δυνατότητα ελεγχόμενης εκκένωσης του ταμιευτήρα (με ασφάλεια) σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης αλλά και σε περιπτώσεις που είναι αναγκαία η πρόσβαση στον ταμιευτήρα για διορθωτικά έργα και παρεμβάσεις.

-Αγωγοί προσαγωγής ή αγωγοί πτώσης του νερού προς τους υδροστροβίλους, ο αριθμός των οποίων καθορίζεται από τον αντίστοιχο αριθμό των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

-Αγωγός φυγής, που είναι ο αγωγός από τον οποίο διαφεύγει το νερό αφότου διοχετευθεί στον υδροστρόβιλο (έξοδος του υδροστροβίλου).

-Κτηριακή εγκατάσταση του σταθμού παραγωγής. Που περιλαμβάνει το χώρο στον οποίο θα φιλοξενηθούν οι μονάδες παραγωγής αλλά και όλα τα απαραίτητα συστήματα ελέγχου και ο βοηθητικός ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός.

3.Μηχανολογικός εξοπλισμός που περιλαμβάνει κατασκευές ρύθμισης της παροχής νερού του φράγματος, εξοπλισμό αξιοποίησης της παροχής, βοηθητικό εξοπλισμό ρύθμισης της παραγωγής ρεύματος, εξοπλισμό για την σωστή λειτουργία και συντήρηση του υδροηλεκτρικού σταθμού. Αναλυτικά ο εξοπλισμός αυτός περιλαμβάνει:

-Σχάρες (στατικές η κυλιόμενες) στην υδροληψία, για την προστασία των υδροστροβίλων από τα φερτά υλικά του ποταμού -όπως ξύλα, σκουπίδια και φύλλα δέντρων- συνοδευόμενες από μηχανισμούς καθαρισμού.

-Βάνες και βαλβίδες προστασίας για την ρύθμιση της ροής του εισερχόμενου ύδατος στους αγωγούς προσαγωγής αλλά και την αποφυγή μηχανικών προβλημάτων και φθοράς των αγωγών (υδραυλικό πλήγμα).

-Υδροστρόβιλοι για την μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού σε περιστροφική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική.

-Ρυθμιστές στροφών και ανοίγματος περύγων στροβίλου για την σταθεροποίηση της περιστροφής του υδροστροβίλου και κατά συνέπεια της γεννήτριας και σταθεροποίηση της συχνότητας ρεύματος ανεξάρτητα με τη ζήτηση του υπάρχοντος φορτίου στο δίκτυο.

-Υπερσυμπιεστές αέρα, αεροκώδονες και υδραυλικά συστήματα πίεσης λαδιού που απαιτούνται για την λειτουργία διάφορων περιφερειακών και βοηθητικών συστημάτων.

-Συστήματα λίπανσης λαδιού και γράσου για την ομαλή λειτουργία των αξόνων και των εδράνων του ζεύγους στροβίλου – γεννήτριας.

4.Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός, ο οποίος περιλαμβάνει το σύνολο του εξοπλισμού και των συστημάτων που απαιτούνται για την ομαλή - αξιόπιστη παραγωγή και σωστή σύζευξη της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο μεταφοράς καθώς και περιφερειακό ηλεκτρολογικό υλικό για την γενική λειτουργία του υδροηλεκτρικού σταθμού. Απαρτίζεται κυρίως από τις κάτωθι διατάξεις:

-Γεννήτριες - εναλλακτήρες οι οποίες συνδέονται με τους υδροστροβίλους με σκοπό τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

-Ηλεκτρικούς κινητήρες για την εξυπηρέτηση διάφορων αναγκών εντός του σταθμού.

-Συστήματα ελέγχου της γεννήτριας, συστήματα ρύθμισης διέγερσης και αυτόματοι ρυθμιστές τάσης.

-Μετασχηματιστές ανύψωσης τάσης, για την ανύψωση της παραγόμενης τάσης στην αναγκαία τιμή για την διασύνδεση με το δίκτυο μεταφοράς.

-Διακόπτες ζεύξης, απόζευξης και συγχρονιστές με το κεντρικό δίκτυο μεταφοράς.

-Όργανα ελέγχου ομαλής λειτουργίας των κύριων και βοηθητικών συστημάτων.

-Πίνακες υψηλής, χαμηλής και μέσης τάσης.

-Πίνακες προστασίας γεννήτριας, στροβίλου και βοηθητικών.

-Μπαταρίες για την τροφοδότηση περιφερειακών και βοηθητικών συστημάτων σε περιπτώσεις μπλάκ άουτ.

-Σταθμήμετρα για την μέτρηση της στάθμης του νερού στον ταμιευτήρα η την δεξαμενή φόρτισης.

Οι τελικές διαστάσεις του υδροηλεκτρικού έργου το μέγεθος και το κόστος του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού που απαιτείται, καθορίζεται κυρίως από τον αριθμό των μονάδων που θα εγκατασταθούν στο σταθμό καθώς και την ονομαστική τους ισχύ. Ασφαλώς σημαντική παράμετρος σε αυτό το κομμάτι αποτελεί η ύπαρξη τεχνητής λίμνης (ταμιευτήρα) και το μέγεθος του φράγματος (εάν υπάρχει) καθώς πρόκειται για μεγάλες χρονοβόρες παρεμβάσεις με σημαντικό κόστος .

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί (Κεφ. 2^ο) γίνεται μια ανάλυση της ωφέλιμης υδροδυναμικής ισχύος και εξηγούνται τα κυριότερα μέρη των δομικών και κατασκευαστικών έργων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Υδραυλική ενέργεια και δομικά έργα

2.1 Υδραυλική ισχύς και ύψος πτώσης ύδατος

Για να γίνει κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο ένα υδροηλεκτρικό έργο αξιοποιεί την ροή του νερού από ένα ποτάμι ή από κάποια τεχνητή λίμνη, είναι απαραίτητο να διευκρινιστούν ορισμένες έννοιες όσον αφορά την υδραυλική ενέργεια του νερού και από τι αυτή εξαρτάται. Η υδραυλική ισχύς **P** που λαμβάνεται από ένα συγκεκριμένο υδατόρευμα, το οποίο διαθέτει παροχή **Q** και λαμβάνεται από μια υψομετρική διαφορά **H** είναι:

$$P = g \times p \times Q \times H \quad (1) \text{ όπου,}$$

g: επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81 m/sec²)

p: πυκνότητα του νερού (kg/m³)

Q: παροχή του υδατορεύματος (m³/sec).

H: υψομετρική διαφορά - ύψος πτώσης του ύδατος (m).

Ως ύψος πτώσης λαμβάνεται η τιμή $H = H_{high} - H_{low}$ (2) όπου **H_{high}** είναι η στάθμη του νερού στον ταμιευτήρα ή στη δεξαμενή φόρτισης (υδροληψία) και **H_{low}** η στάθμη κατάντη της υδροηλεκτρικής μονάδας όπου η παροχή διοχετεύεται στη φύση. Με απλά λόγια το συνολικό μεικτό ύψος πτώσης του νερού ισούται με το ύψος από το οποίο θα γίνει λήψη του νερού μείων το ύψος στον αγωγό φυγής μετά τον υδροστρόβιλο.

Η μηχανική ισχύς που λαμβάνεται από τον υδροστρόβιλο της εκάστοτε μονάδας είναι **πάντοτε μικρότερη** από την διαθέσιμη υδραυλική ισχύ του υδατορεύματος και αυτό οφείλεται στις υδραυλικές απώλειες ενέργειας (λόγω τριβής) από τη ροή του νερού στον αγωγό προσαγωγής-πτώσης αλλά και τις μηχανικές απώλειες στον ίδιο τον υδροστρόβιλο.

Οι υδραυλικές απώλειες από την ροή του νερού στον αγωγό μπορούν να θεωρηθούν μονάδες ύψους πτώσης –κατά συνέπεια θα αφαιρεθούν από το ολικό ύψος πτώσης- και είναι ανάλογες του τετραγώνου της παροχής: $\delta H = \lambda \times Q^2$ (3). Συνεπώς το νέο ύψος πτώσης λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες της ροής του νερού στον αγωγό θα ισούται με:

$$H_{new} = H - \delta H \rightarrow H_{new} = H_{high} - H_{low} - \delta H \quad (4).$$

Οπότε με την ίδια λογική η υδραυλική ισχύς μειώνεται λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω απώλειες στο ύψος πτώσης και θα είναι:

$$P_{new} = g \times p \times Q \times H_{new} \quad (5)$$

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό είναι ιδιαίτερα σημαντική η σωστή μελέτη και η κατασκευή του αγωγού με σκοπό την ελαχιστοποίηση των απωλειών ενέργειας κατά τη ροή του ύδατος. Οι καμπύλες και οι γωνίες που θα υπάρχουν κατά μήκος του αγωγού αλλά και η τυχόν διάβρωση ή η καθίζηση αλάτων στο εσωτερικό του πολλαπλασιάζουν τις απώλειες και σε μεγάλα μήκη αγωγών μπορεί να μειώσουν δραματικά την διαθέσιμη μηχανική ισχύ.

Σημαντικός παράγοντας στην διαμόρφωση του καθαρού ή ωφέλιμου ύψους πτώσης όμως αποτελεί όπως προαναφέραμε, η απώλεια ενέργειας λόγω μηχανικών απωλειών στον υδροστρόβιλο και συγκεκριμένα μεταξύ της εισόδου του

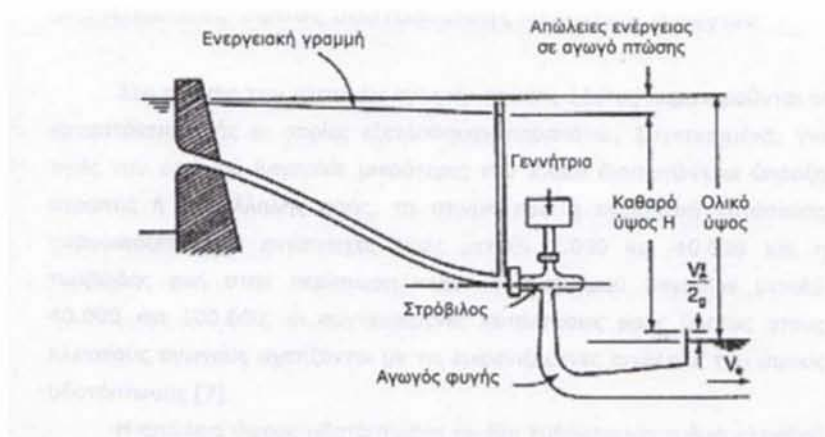
σπειροειδούς σωλήνα και της εξόδου του αγωγού φυγής. Συνεπώς σύμφωνα με τη βιβλιογραφία το καθαρό ή ωφέλιμο ύψος πτώσης λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες στον αγωγό αλλά και τις μηχανικές απώλειες στον υδροστρόβιλο (Εικ. 2.1) δίνεται από τη σχέση:

$$H_{\omega\phi\acute{\epsilon}\lambda\iota\mu\omicron} = H_{n\epsilon\omega} + V_0^2/2g - V^2/2g \quad (6).$$

Και εκφράζει την ανά μονάδα μάζας ενέργεια του ρευστού που είναι δυνατό να μετατρέψει ο υδροστρόβιλος σε μηχανική ισχύ.

Στην παραπάνω σχέση ως V_0 λαμβάνουμε υπόψη την αρχική ταχύτητα ύδατος πριν τον σπειροειδή σωλήνα του στρόβιλου ενώ αντίθετα ως V θεωρούμε την ταχύτητα στην έξοδο δηλαδή στον αγωγό φυγής. Φυσικά το g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας και το $H_{n\epsilon\omega}$ όπως υπολογίστηκε από την σχέση 4.

Συνεπώς η σχέση 5 μπορεί να πάρει τη μορφή **$P_{\omega\phi\acute{\epsilon}\lambda\iota\mu\omicron} = g \times \rho \times Q \times H_{\omega\phi\acute{\epsilon}\lambda\iota\mu\omicron}$** (7).



Εικόνα 2.1: Καθαρό - ωφέλιμο ύψος υδατόπτωσης

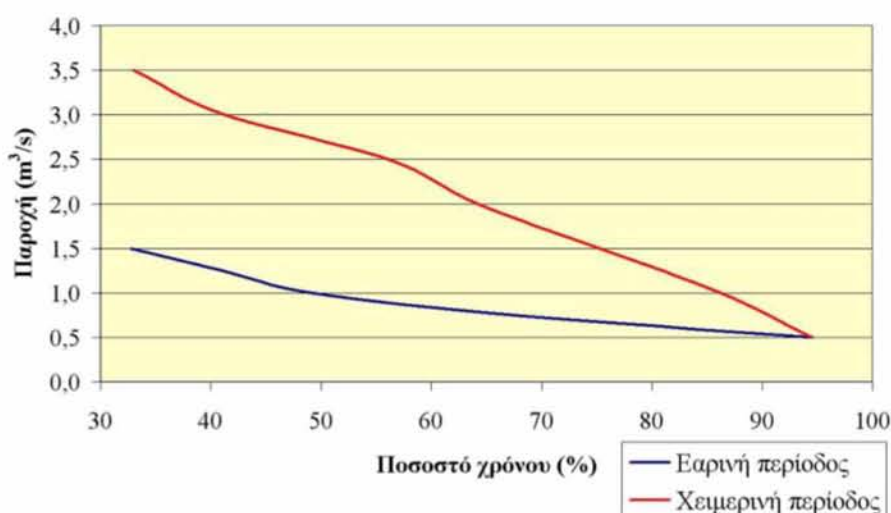
Από μια διαφορετική προσέγγιση, η πραγματική μηχανική ισχύς που μπορούμε να πάρουμε από έναν υδροστρόβιλο αν αυτός περιστρέφεται με μια γωνιακή ταχύτητα ω και μια κινητήρια ροπή I στον άξονα του θα είναι:

$$N = I \times \omega \quad (8)$$

Με βάση τα όσα προαναφέραμε $N < P$ και η διαφορά $\delta P = P - N$ περιγράφει τις συνολικές απώλειες. Ο τελικός βαθμός απόδοσης του εκάστοτε υδροστρόβιλου ορίζεται ως $n = N/P$. Άρα $N = n \times P \rightarrow N = n \times g \times \rho \times H \times Q$ (9). Η τελευταία σχέση είναι η σχέση 1 πολλαπλασιασμένη με τον βαθμό απόδοσης του υδροστρόβιλου και καταλήγει στο ίδιο αποτέλεσμα με την σχέση 7. Η σχέση αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν γνωρίζουμε τον βαθμό απόδοσης του υδροστρόβιλου εκ των προτέρων. [5]

2.2 Παροχή υδατορεύματος

Όπως είναι φανερό από τη σχέση υδραυλικής ισχύος, η ποσότητα της ενέργειας που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε από ένα υδατόρευμα είναι ανάλογη με την παροχή Q του νερού, που χαρακτηρίζει τη ροή του νερού σε κάθε χρονική στιγμή. Μεγαλύτερες παροχές αποδίδουν μεγαλύτερη ισχύ όμως σε αντίθεση με το ύψος πτώσης που είναι σταθερό και προκαθορισμένο κατά τη λειτουργία της μονάδας, η παροχή του νερού είναι μια εξαιρετικά μεταβλητή ποσότητα σε κάθε χρονική στιγμή. Σε κάθε περίπτωση πριν το σχεδιασμό και την λήψη αποφάσεων για το μέγεθος, τον αριθμό των μονάδων και του εξοπλισμού, είναι αναγκαία η υδρολογική μελέτη της παροχής. Η διαθέσιμη παροχή του νερού μπορεί να μεταβάλλεται τόσο κατά τη διάρκεια του έτους όσο και σε βάθος δεκαετιών. Η μεταβολή αυτή εξαρτάται από γεωγραφικούς, γεωλογικούς, περιβαλλοντικούς και κλιματικούς παράγοντες και η σωστή έρευνα όπως και οι αναλυτικές υδρολογικές μετρήσεις σε βάθος χρόνων είναι ιδιαίτερης σημασίας για την σωστή και αποδοτική αξιοποίηση του υδάτινου δυναμικού. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι σε υδροηλεκτρικές μονάδες που κατασκευάζονται σε αρδευτικά δίκτυα, η διαθέσιμη παροχή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από τις περιόδους άρδευσης. Με τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων σχηματίζουμε την λεγόμενη **καμπύλη διάρκειας παροχής του νερού** που μοιάζει όπως το παρακάτω σχήμα (Εικ. 2.2).



Εικόνα 2.2: Καμπύλη διάρκειας παροχής

Όπως γίνεται αντιληπτό η καμπύλη αυτή -σε συνδυασμό φυσικά με το διαθέσιμο ύψος πτώσης- θα ορίσει το μέγεθος της μονάδας και του υδροηλεκτρικού σταθμού αλλά και την κατάλληλη επιλογή του τύπου υδροστροβίλου. Με μια πρώτη ματιά φαίνεται ότι ο υδροστρόβιλος θα πρέπει να είναι σε θέση να εκμεταλλευτεί την μέγιστη παροχή με στόχο να μη χάνεται διαθέσιμη υδραυλική ενέργεια. Με λίγα λόγια η εγκατεστημένη-ονομαστική ισχύς της μονάδας να ταυτίζεται με τη μέγιστη διαθέσιμη ισχύ ακόμη και σε περιόδους μέγιστων πλυμμηρικών παροχών. Κάτι τέτοιο όμως είναι εξαιρετικά μη αποδοτικό καθώς το περισσότερο διάστημα η υδροηλεκτρική μονάδα θα λειτουργεί με χαμηλότερες παροχές και σε περιοχές μακριά από την ονομαστική ισχύ. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την χαμηλή αξιοποίηση

του διαθέσιμου εξοπλισμού και των εγκαταστάσεων που απαιτήθηκαν για την δημιουργία του σταθμού και φυσικά αρνητικό ισοζύγιο κόστους – απόδοσης.

Για τον λόγο αυτό είναι αναγκαία η ρύθμιση της φυσικής παροχής με τεχνητό τρόπο ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση στο μεγαλύτερο διάστημα λειτουργίας της μονάδας και η καλύτερη δυνατή αξιοποίηση της μεταβαλλόμενης παροχής. Αυτό ανάλογα με το είδος και το μέγεθος του υδροηλεκτρικού έργου επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους.

Για μικρομεσαίες επενδύσεις και σε μικρά υδροηλεκτρικά έργα -κυρίως ιδιωτικών συμφερόντων- η μικρή εμπειρία μου έχει δείξει ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις εκτρέπεται μόνο ένα μέρος της φυσικής παροχής του εκάστοτε ποταμού. Συνεπώς με βάση την υδρολογική μελέτη σχεδιάζεται και αποφασίζεται η χρήση μιας σταθερής παροχής κοντά στο 90% της καμπύλης διάρκειας ώστε η υδροηλεκτρική μονάδα να λειτουργεί σταθερά με την μέγιστη δυνατή αποδοτικότητα, συνυπολογίζοντας φυσικά και την υποχρέωση των ιδιωτών να επιτρέψουν την παραμονή μιας συγκεκριμένης ροής στον ποταμό για περαιτέρω αξιοποίηση όπως άρδευση, ύδρευση κ.α.

Σε μεγαλύτερα υδροηλεκτρικά έργα η ρύθμιση της παροχής επιτυγχάνεται με την δημιουργία ταμιευτήρων (τεχνητών λιμνών). Τους χειμερινούς μήνες που η παροχή αυξάνεται, αποθηκεύεται το περίσσειμα του νερού και επαναχρησιμοποιείται τους καλοκαιρινούς μήνες όπου υπάρχει ξηρασία. Με τον τρόπο αυτό οι μονάδες σχεδιάζονται για μια μέση παροχή σε σχέση με την καμπύλη διάρκειας και η ισχύς τους αγγίζει τις περισσότερες φορές την εγκατεστημένη αυξάνοντας την απόδοση. Η δημιουργία των ταμιευτήρων προϋποθέτει την κατασκευή φραγμάτων και άλλων δομικών έργων τα οποία εξετάζουμε στην συνέχεια.

2.3 Φράγματα

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω σε πολλές περιπτώσεις είναι αναγκαία η τεχνητή ρύθμιση και η ομαλοποίηση της παροχής. Αυτή επιτυγχάνεται με την κατασκευή φραγμάτων. Ένα φράγμα είναι μια δομική κατασκευή που εμποδίζει, ανακατευθύνει ή επιβραδύνει την φυσική ροή υδάτων. Συνήθως με την κατασκευή ενός φράγματος δημιουργούνται συλλέκτες υδάτων, δεξαμενές ή ακόμα και τεχνητές λίμνες. Ξεκινώντας από πρόχειρα αναχώματα για τη συγκράτηση των νερών, περνάμε σε πιο σύνθετες δομές, όπως λιθόθετα φράγματα, λιθοδομές, γεωφράγματα, τοξωτά φράγματα καθώς και σε συνδυασμούς της πολλαπλής χρησιμότητας αυτών των έργων: ταμίευση νερού, αντιπλημμυρική προστασία, συγκράτηση φερτών υλικών. Οποιαδήποτε κι αν είναι η σκοπιμότητα κατασκευής ενός φράγματος, το τεχνικό έργο μπορεί σε κάθε περίπτωση να κατηγοριοποιηθεί βάσει των υλικών κατασκευής του και της στατικής του λειτουργίας. (Εικ. 2.3)



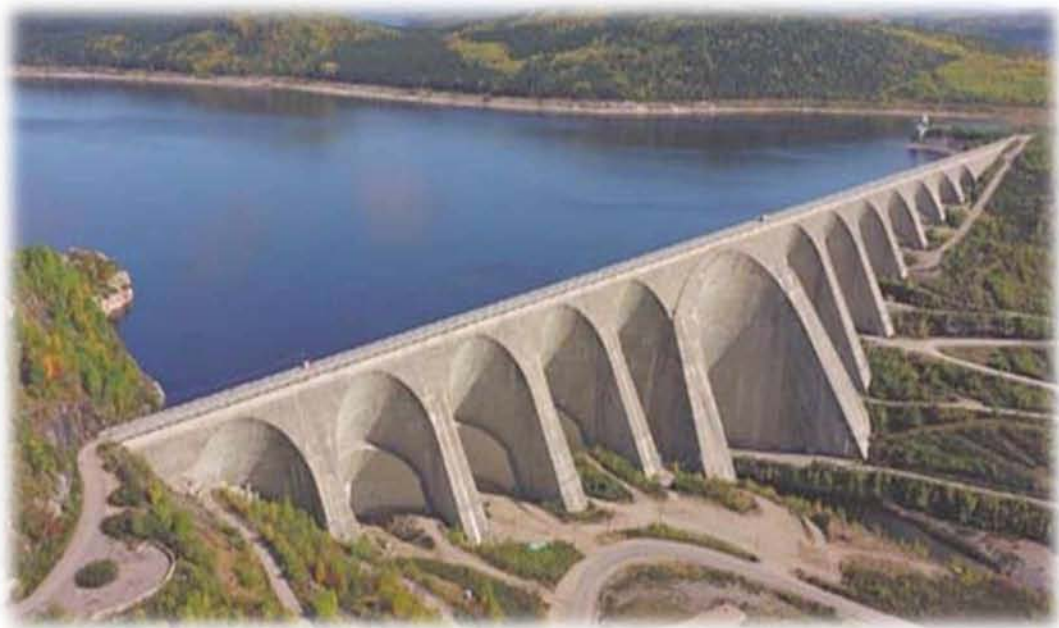
Εικόνα 2.3 : Κατηγοριοποίηση φραγμάτων

Φράγματα Βαρύτητας: Η λειτουργία των φραγμάτων βαρύτητας στηρίζεται στο βάρος τους με το οποίο αντισταθμίζουν τις υδροστατικές πιέσεις, την άνωση, τις σεισμικές φορτίσεις και τις δυνάμεις ανατροπής. Κατασκευάζονται από άοπλο σκυρόδεμα ή και από κυλινδρούμενο (RCC φράγματα – Roller Compacted Concrete).[6]



Εικόνα 2.4: Φράγμα Libby, Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

Αντηριδωτά φράγματα: Αποτελούνται από πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος η οποία φέρεται σε αντηρίδες μεταβλητού πλάτους. Μεταφέρουν τις υδροστατικές πιέσεις κυρίως στην επιφάνεια θεμελίωσης και λιγότερο στα αντερείσματα, ενώ σε σχέση με τα φράγματα βαρύτητας επιτυγχάνουν σημαντική οικονομία στον όγκο του απαιτούμενου σκυροδέματος. [7]



Εικόνα 2.5: Φράγμα του Daniel-Johnson, Καναδάς

Τοξωτά φράγματα: Κατασκευάζονται από άοπλο σκυρόδεμα υψηλής ποιότητας αλλά ενίοτε και οπλισμένο, είναι δε καμπύλα στο σχεδιασμό με την κυρτή επιφάνεια προς τα ανάντη. Μεταφέρουν τις υδροστατικές πιέσεις στα αντερείσματα. Σε σχέση με τα φράγματα βαρύτητας επιτυγχάνεται οικονομία στον όγκο του σκυροδέματος έως και 70%. [8]



Εικόνα 2.6: Φράγμα Hoover, ΗΠΑ

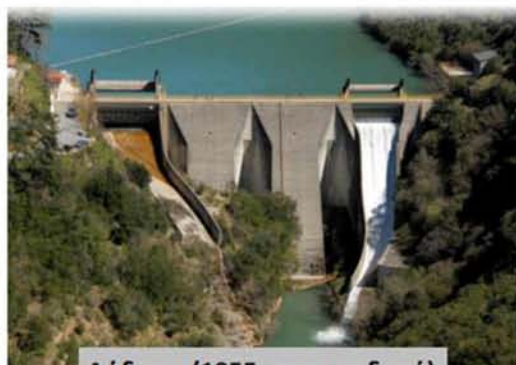
Από τη φύση του προορισμού τους και τις συνθήκες λειτουργίας τους, συνάγεται ότι τα φράγματα πρέπει να εμφανίζουν στερεότητα και στεγανότητα. σε συνδυασμό πάντοτε με τις εδαφολογικές συνθήκες στο χώρο ανέγερσης τους. Για τη στερεότητα. Υπάρχουν τρεις βασικοί κίνδυνοι:

Η θραύση.

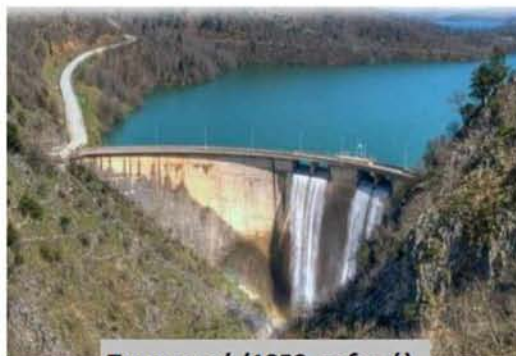
Η υπερχειλίση

Η ολίσθηση.

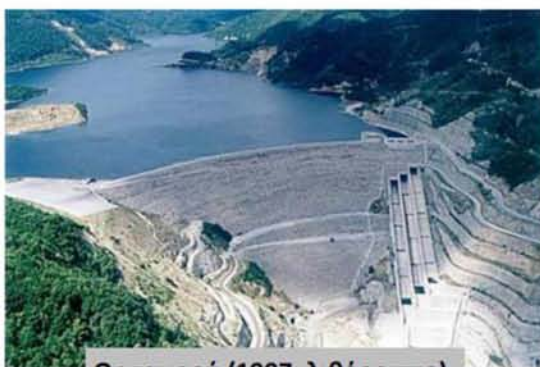
Η στεγανότητα εξαρτάται από την διαπερατότητα των υλικών κατασκευής, την σωστή διάταξη των αρμών και τη ποιότητα του υπεδάφους. Για τη σωστή μελέτη του τελευταίου. Απαιτούνται εκτεταμένες γεωτρήσεις και σχολαστική ανάλυση των αντίστοιχων στοιχείων. Από την στατιστική των αιτιών καταστροφής των διαφόρων φραγμάτων στον κόσμο, τα σημαντικότερα είναι: α) Ανεπαρκής μελέτη των γεωλογικών συνθηκών της περιοχής του φράγματος. Β) Ανεπάρκεια στατικής μελέτης. Γ) Θεομηνία. Δ) Σεισμική καταπόνηση. Ε) Κακότεχνη κατασκευή.



Λάδωνα (1955, αντιρρηδωτό)



Ταυρωπού (1959, τοξωτό)



Θησαυρού (1997, λιθόρριπτο)



Μεσοχώρας (2009, ΛΑΠΣ)

Εικόνα 2.7: Φράγματα στην Ελλάδα

2.4 Υπερχειλιστής

Για όλους τους τύπους των φραγμάτων είναι απαραίτητο να υπάρχει η δυνατότητα διαφυγής του νερού σε περιπτώσεις ακραίων η πλημμυρικών παροχών. Αυτές οι παροχές νερού μπορεί να οδηγήσουν σε επικίνδυνη αύξηση της στάθμης του και σε κινδύνους υπερκαλύψεως του φράγματος. Για την αποφυγή προβλημάτων σταθερότητας ακόμη και καταστροφής του φράγματος έχουν σχεδιαστεί ειδικές κατασκευές.

Οι κατασκευές αυτές ονομάζονται υπερχειλιστές η εκχειλιστές και είναι σε θέση να απάγουν με ασφάλεια εξαιρετικά μεγάλες πλημμυρικές παροχές. Η σχεδίαση της δυναμικότητας τους γίνεται με βάση τις στατιστικές αναλύσεις των παροχών υδατορεύματος τις τοπικές συνθήκες τις αντοχές των φραγμάτων αλλά και τις συνθήκες αξιοποίησης του εκάστοτε ταμιευτήρα.

Η τοποθέτηση του υπερχειλιστή μπορεί να γίνει σε διάφορα σημεία. Μετωπικά, στο σώμα του φράγματος με δυνατότητα μεγάλου μήκους στέψης και ευνοϊκό προσανατολισμό αλλά με υψηλότερο κίνδυνο υποσκαφής και περιορισμούς στην τοποθέτηση του υδροηλεκτρικού σταθμού. Η πλευρικά, στα αντερείσματα με αυστηρές προϋποθέσεις γεωλογικής καταλληλότητας.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι υπερχειλιστών, με βασική διάκριση τους σε απλούς και ρυθμιζόμενους. Οι τελευταίοι διαθέτουν κινητά διαφράγματα που ελέγχονται ανάλογα με τις ποσότητες νερού που πρέπει να διαφύγουν. Η απλούστερη μορφή υπερχειλιστή είναι εκείνη που προκύπτει από τη διαμόρφωση ενός τμήματος του φράγματος έτσι ώστε να επιτρέπει την ροή του νερού που πλεονάζει. Τέτοιοι

υπερχειλιστές. όπως δείχνει το σχήμα μπορεί να διαθέτουν και διάφραγμα που υποχωρεί με την βοήθεια μηχανισμού όταν το κενό φθάσει σε ορισμένη στάθμη. Μετά το πέρασμα από τον υπερχειλιστή, το νερό μπορεί να περνά ελεύθερα ή μέσα σε ανοικτό αγωγό με απότομη κλίση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μετά τον υπερχειλιστή, η ροή συνεχίζεται σε ανοικτό αγωγό, παράλληλα προς το φράγμα, όταν η διατομή του ποταμού είναι μικρή και δεν υπάρχει χώρος για ελεύθερη ροή.



Εικόνα 2.8: Υπερχειλιστής φράγματος Πηνειού



Εικόνα 2.9: Φράγμα λίμνης Πλαστήρα και ο υπερχειλιστής στο Κέντρο

2.5 Εκκενωτής πυθμένα

Ο εκκενωτής πυθμένα είναι το τεχνικό έργο που χρησιμεύει στην παροχέτευση νερού προς τα κατάντη ενός φράγματος από στάθμες χαμηλότερες της στάθμης λειτουργίας παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και ανεξάρτητα από τη λειτουργία των υδροηλεκτρικών μονάδων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης όπου είναι επιθυμητό να αδειάσει ο ταμιευτήρας αλλά και σε περιπτώσεις που είναι αναγκαίο να γίνουν διάφορα έργα μέσα στον ταμιευτήρα. Ο εκκενωτής πυθμένα χρησιμοποιείται συνήθως για περιβαλλοντικούς σκοπούς για τη διατήρηση κάποιας σταθερής παροχής στα κατάντη και σπάνια σε περιπτώσεις ταχείας εκκένωσης του ταμιευτήρα.

Τοποθετείται στο χαμηλότερο σημείο του ταμιευτήρα και δουλεύει πάντοτε υπό πίεση. Αποτελείται από το στόμιο εισόδου, τον αγωγό, τις θυρίδες και δικλείδες και τέλος το έργο εξόδου. Το στόμιο εισόδου διαμορφώνεται έτσι που να δημιουργούνται κατά το δυνατόν λιγότεροι στροβιλισμοί κατά την είσοδο του νερού στον αγωγό.



Εικόνα 2.10: Έξοδος εκκενωτή πυθμένα φράγματος ταυρωπού

2.6 Υδροληψία

Η υδροληψία στα υδροηλεκτρικά έργα είναι μια κατασκευή που ρυθμίζει την ποσότητα και την παροχή του νερού που φεύγει από τον ταμιευτήρα για τους αγωγούς και τις σήραγγες προσαγωγής προς τις μονάδες παραγωγής του σταθμού. Είναι από τα κυριότερα μέρη του σταθμού και πρέπει να είναι σε θέση να ρυθμίζει τη διοχέτευση προς τον σταθμό παραγωγής με θυρίδες και υδροφράκτες αλλά και να διαθέτει κατασκευές όπως εσχάρες που θα συγκρατούν τα φερτά υλικά και θα αποτρέπουν την είσοδο τους προς τον σταθμό παραγωγής. Σε ορισμένες περιπτώσεις που τα φερτά υλικά είναι πολλά κρίνεται αναγκαίο να υπάρχει ειδικό μηχανικό σύστημα καθαρισμού των εσχάρων.

2.7 Αγωγοί προσαγωγής

Οι αγωγοί προσαγωγής ή αγωγοί πτώσης είναι τα τμήματα εκείνα που οδηγούν το νερό από το σημείο της υδροληψίας μέχρι τον σταθμό παραγωγής. Το πλήθος, το μέγεθος και η διατομή τους εξαρτάται άμεσα και μόνο από τις μονάδες παραγωγής. Είναι απαραίτητο να ακολουθούν όσο το δυνατόν περισσότερο διαδρομές μέγιστης κλίσης για να διασφαλίζεται η ελαχιστοποίηση των τριβών και των απωλειών της δυναμικής ενέργειας του νερού. Βρίσκονται πάντα υπό πίεση και λόγω της κλίσης και των δυνάμεων που δέχονται είναι απαραίτητο να στερεώνονται και να αγκυρώνονται όσο το δυνατόν περισσότερο για την αποφυγή κραδασμών ή ακόμη και σύνθλιψής τους. Μπορεί να είναι επιφανειακοί δηλαδή να διακρίνονται πάνω από το φράγμα ή εσωτερικοί και να ακολουθούν διαδρομές εντός του φράγματος.



Εικόνα 2.11: Αγωγοί πτώσης υδροηλεκτρικού σταθμού Καστρακίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Μετατροπή υδραυλικής ισχύος σε μηχανική ενέργεια

3.1 Υδροστρόβιλοι

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε μια ανάλυση της διαθέσιμης υδραυλικής ισχύος -που μπορεί να αξιοποιηθεί από ένα υδροηλεκτρικό έργο- από ένα υδατόρευμα και πώς αυτή μπορεί να διοχετευθεί με ασφάλεια μέσω διάφορων δομικών κατασκευών μέχρι την ηλεκτροπαραγωγική μονάδα.

Στο πλαίσιο της λειτουργίας των υδροηλεκτρικών σταθμών, η μετατροπή της δυναμικής ενέργειας ύδατος σε μηχανική περιστροφική ενέργεια επιτυγχάνεται με την βοήθεια ορισμένων μηχανολογικών κατασκευών που ονομάζονται υδροστρόβιλοι. Ως υδροστρόβιλος ορίζεται η μηχανή που μετατρέπει την ενέργεια του νερού σε μηχανική ενέργεια μέσω της συνεχούς ροής του νερού και της σταθερής περιστροφικής κίνησης που μεταδίδεται μέσω του άξονα σε μια γεννήτρια.

Το βασικό κριτήριο κατηγοριοποίησης των υδροστρόβιλων είναι ο βαθμός αντίδρασης. Ως βαθμός αντίδρασης του υδροστροβίλου καλείται ο λόγος της μεταβολής της πίεσης μεταξύ της εισόδου και της εξόδου στην περωτή. Όταν η στατική πίεση μεταξύ εισόδου και εξόδου της περωτής μεταβάλλεται, τότε η περωτή ονομάζεται αντιδράσεως, ενώ στην αντίθετη περίπτωση η περωτή ονομάζεται δράσεως.

Έτσι με κριτήριο το βαθμό αντίδρασης της περωτής οι υδροστρόβιλοι χωρίζονται στους υδροστροβίλους δράσεως και αντιδράσεως. [9]

3.2 Υδροστρόβιλοι δράσεως

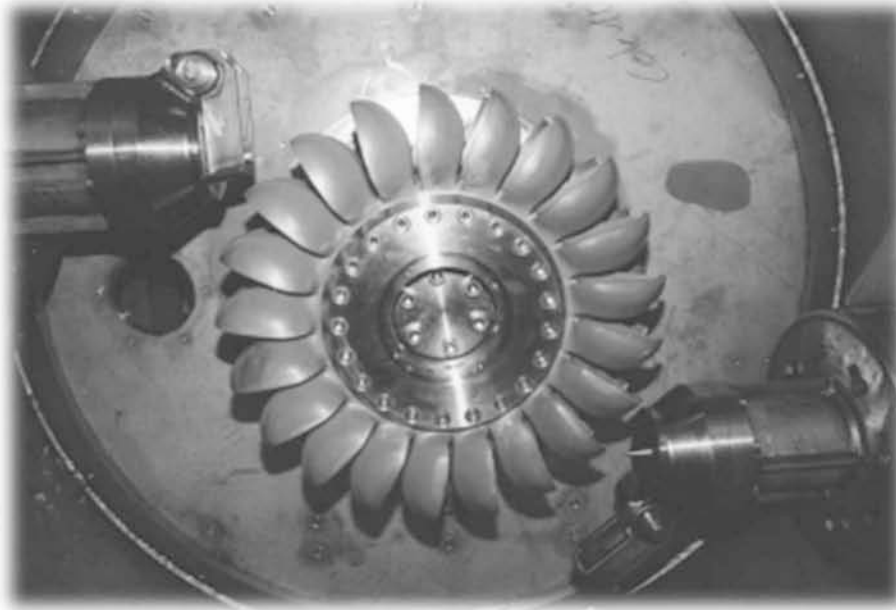
Ένας στρόβιλος δράσης είναι ένας στρόβιλος που οδηγείται από πίδακες υψηλής ταχύτητας νερού από ακροφύσιο που κατευθύνεται προς τα περύγια ή τους κάδους που είναι προσαρτημένοι σε έναν τροχό. Η προκύπτουσα ώθηση (όπως περιγράφεται από τον δεύτερο νόμο κίνησης του Νεύτωνα) περιστρέφει την τουρμπίνα και αφαιρεί την κινητική ενέργεια από τη ροή του ρευστού. Πριν φθάσει στον στρόβιλο το μέτωπο πίεσης του ρευστού αλλάζει σε μέτωπο ταχύτητας επιταχύνοντας το ρευστό μέσω ενός ακροφυσίου.

3.2.1 Υδροστρόβιλοι Pelton

Από τους υδροστρόβιλους δράσεως ο μόνος τύπος που έχει επικρατήσει κυρίως στις μέρες μας είναι ο υδροστρόβιλος Pelton (Εικ. 3.1). Η διαμόρφωση των σκαφιδίων της περωτής αυτού του τύπου υδροστροβίλου είναι τέτοια ώστε να δεσμεύει σχεδόν το 100% της κινητικής ενέργειας του ύδατος σε χαμηλές ταχύτητες. Με τον τρόπο αυτό οι υδροστρόβιλοι Pelton επιτυγχάνουν σταθερό βαθμός απόδοσης σε όλο το πεδίο λειτουργίας τους.

Σε κάθε περίπτωση η αύξηση του πλήθους των ακροφυσίων παροχής που δεν ξεπερνούν συνήθως τα 6, οδηγεί σε αύξηση της δέσμευσης της ενέργειας του ύδατος και συνεπώς την αύξηση της απόδοσης του στροβίλου.

Οι υδροστρόβιλοι Pelton έχουν σχεδιαστεί για ένα μεγάλο εύρος μανομετρικού ύψους πτώσης δηλαδή από 30m έως 1500m και για παροχές από $0,01\text{m}^3/\text{s}$ έως $5\text{m}^3/\text{s}$. Η ισχύς τους φτάνει έως τα 400MW και η προσαρμογή τους είναι ιδανική σε περιπτώσεις λειτουργίας με μεταβλητή παροχή.



Εικόνα 3.1: Υδροστροβίλος Pelton

3.2.2 Υδροστροβίλοι Turgo

Οι υδροστροβίλοι Turgo (Εικ. 3.2) είναι μια παραλλαγή των υδροστροβίλων Pelton. Λειτουργούν με σχετικά υψηλότερες παροχές από τους Pelton και σε χαμηλότερα μανομετρικά ύψη πτώσης ενώ ο βαθμός απόδοσης τους είναι σχετικά χαμηλότερος.

Στην πραγματικότητα η πτερωτή των υδροστροβίλων Turgo είναι μια πτερωτή υδροστροβίλου Pelton κομμένη στη μέση. Για τον λόγο αυτό η πτερωτή Turgo έχει διπλάσια διάμετρο από αυτή των Pelton για την ίδια ποσότητα ισχύος.

Ο βαθμός απόδοσης τους είναι σταθερά υψηλός σε όλο το πεδίο λειτουργίας τους και όπως και στους Pelton αυξάνοντας τα ακροφύσια -συνήθως έως 2 αυξάνεται η απόδοση του στροβίλου.

Οι υδροστροβίλοι Turgo έχουν σχεδιαστεί για ένα μανομετρικό ύψος πτώσης από 30m έως 400m και για παροχές από $0,02\text{m}^3/\text{s}$ έως $8\text{m}^3/\text{s}$



Εικόνα 3.2: Υδροστρόβιλος τύπου Turgo

3.3.3 Υδροστρόβιλοι Cross-Flow η Banki

Οι υδροστρόβιλοι τύπου Cross-Flow ή Banki (Εικ. 3.3) έχουν σχεδόν μηδενικό βαθμό αντιδράσεως στο κανονικό σημείο λειτουργίας τους και χρησιμοποιούνται για μικρά μανομετρικά ύψη υδατόπτωσης –μικρότερα των 100m- ενώ έχουν σχεδιαστεί για παροχές με εύρος από $0,04\text{m}^3/\text{s}$ έως $10\text{m}^3/\text{s}$.

Είναι απλός και οικονομικός στην κατασκευή και στην λειτουργία και χρησιμοποιείται για μικρές ισχύεις έως και 2MW. Η μέγιστη απόδοση του είναι σχετικά χαμηλότερη από Francis, Kaplan, Pelton όμως είναι σταθερή σε όλο το εύρος λειτουργίας του. [10]



Εικόνα 3.3: Υδροστρόβιλος τύπου Cross-Flow

3.3 Υδροστρόβιλοι αντίδρασης

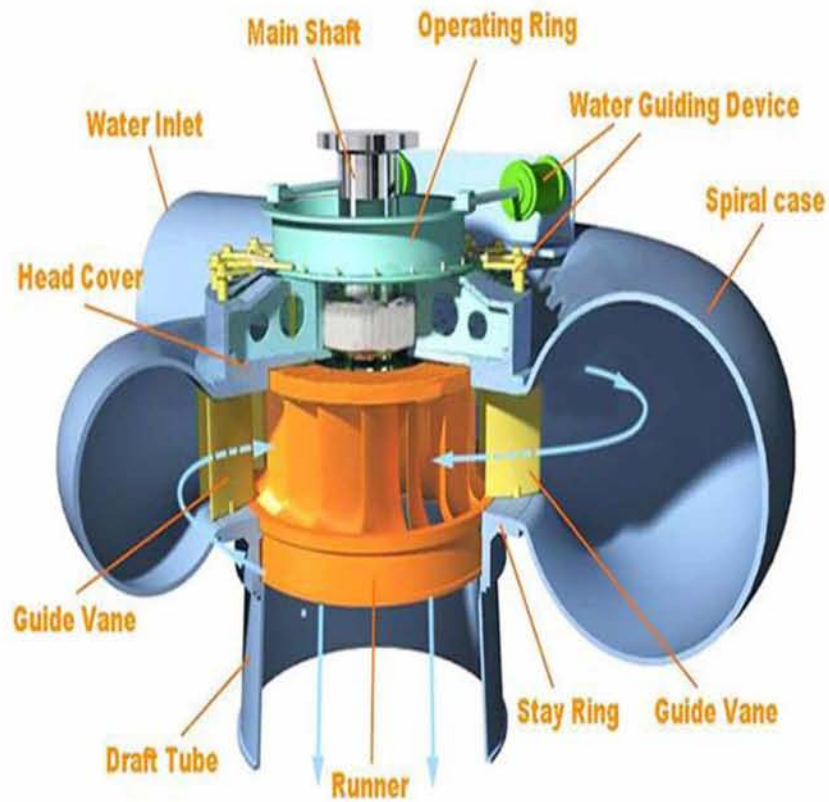
Ένας στρόβιλος αντίδρασης είναι ένας τύπος στροβίλου που αναπτύσσει ροπή με αντίδραση στην πίεση ή το βάρος ενός υγρού. Η λειτουργία των στροβίλων αντίδρασης περιγράφεται από τον τρίτο νόμο κίνησης του Newton (η δράση και η αντίδραση είναι ίσες και αντίθετες).

Η επιτάχυνση του ρευστού που φεύγει από τα ακροφύσια παράγει μια δύναμη αντίδρασης, προκαλώντας την κίνηση του δρομέα προς την αντίθετη κατεύθυνση προς εκείνη του ρευστού. Η πίεση του ρευστού αλλάζει καθώς περνά μέσα από τα πτερύγια του δρομέα.

3.3.1 Υδροστρόβιλοι Francis

Οι υδροστρόβιλοι Francis (Εικ. 3.4–3.5) έχουν τις περισσότερες εγκαταστάσεις και εφαρμογές στον κόσμο με συχνότητα περίπου 70%-80% των υδροηλεκτρικών έργων. Έχουν υψηλή απόδοση η οποία όμως δεν διατηρείται σταθερή σε μεγάλο εύρος τιμών μακριά από το ονομαστικό σημείο λειτουργίας.

Οι υδροστρόβιλοι Francis έχουν εφαρμογή για μανομετρικά ύψη πτώσεως περίπου 20m με 300m και παροχή από 0.15m³/s μέχρι 10m³/s. Είναι σχετικά αργόστροφοι υδροστρόβιλοι και έχουν ιδανική προσαρμογή για λειτουργία με μεταβλητή παροχή ενώ η ισχύς τους μπορεί να φτάσει τα 400MW.



Εικόνα 3.4: Σχήμα υδροστροβίλου Francis

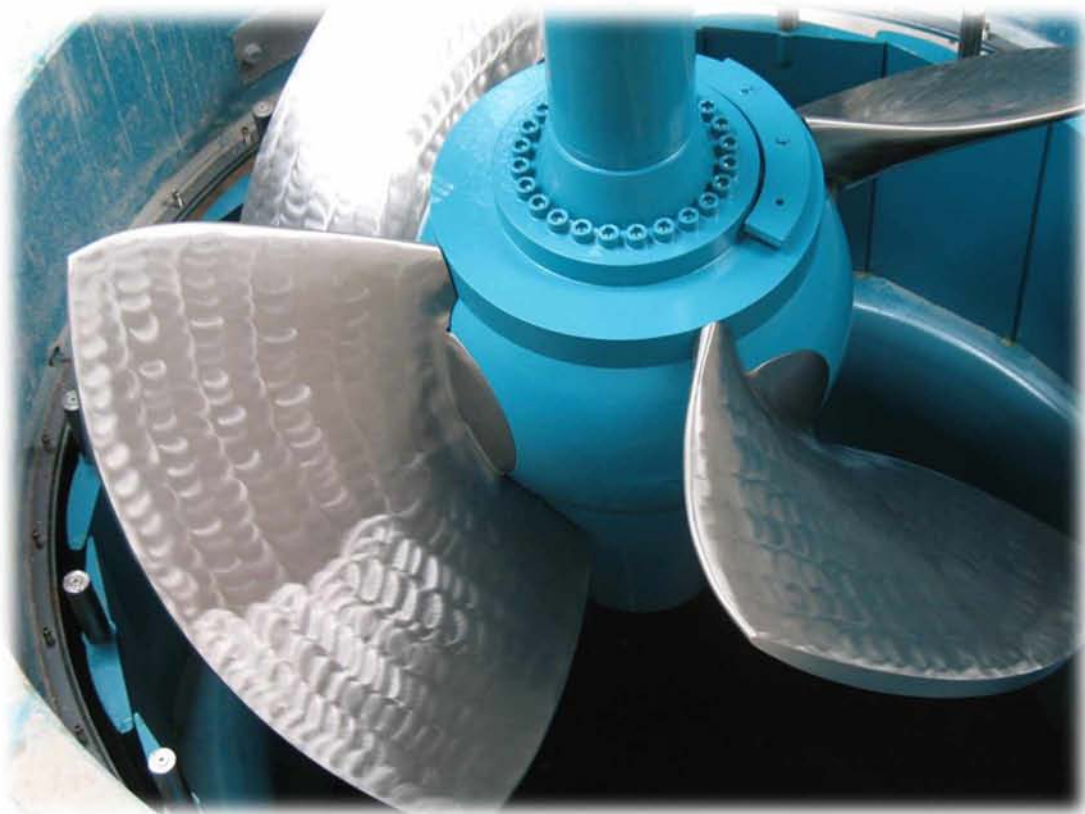


Εικόνα 3.5: Πτερωτή Francis

3.3.2 Υδροστρόβιλοι Kaplan

Οι υδροστρόβιλοι τύπου Kaplan (Εικ. 3.6) είναι μια εξέλιξη των υδροστρόβιλων Francis με σκοπό να επιτευχθεί η παραγωγή ισχύος σε μεγαλύτερες παροχές ύδατος και μικρότερα μανομετρικά ύψη πτώσεως. Η απόδοσή τους είναι σταθερά υψηλή σε μεγάλο εύρος λειτουργίας τους και έχουν σχεδιαστεί για μανομετρικά ύψη μικρότερα των 50m και παροχή από $0.5\text{m}^3/\text{s}$ έως $50\text{m}^3/\text{s}$.

Η ισχύς τους μπορεί να φθάσει τα 200MW και έχουν σχετικά καλή προσαρμογή για λειτουργία με μεταβλητή παροχή. [11]



Εικόνα 3.6: Υδροστρόβιλος Kaplan

3.3.3 Υδροστροβίλοι Deriaz

Ένας ακόμη τύπος υδροστροβίλων που ονομάζονται Deriaz (Εικ. 3.7) έχουν σχεδιαστεί ως παραλλαγή των υδροστροβίλων Kaplan –με επίπεδα κεκλιμένα πτερύγια- και σκοπός τους είναι η λειτουργία με υψηλότερα μανομετρικά ύψη. Είναι υδροστροβίλος μικτής ροής και η κλίση των πτερυγίων του είναι προσαρμοζόμενη συνεπώς προσφέρεται η δυνατότητα λειτουργίας σε μεγάλο εύρος τιμών παροχής.

Το μανομετρικό πεδίο λειτουργίας τους κυμαίνεται από 20m έως 100m και το εύρος παροχής είναι από $0.5\text{m}^3/\text{s}$ έως $50\text{m}^3/\text{s}$.



Εικόνα 3.7: Υδροστροβίλος Deriaz

3.4 Σύγκριση Pelton - Francis και Καμπύλες απόδοσης

Κλείνοντας την αναφορά στα χαρακτηριστικά των υδροστροβίλων είναι σημαντικό να παρουσιάσω μερικά στοιχεία για τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα 2 τύπων στροβίλων και συγκεκριμένα του Pelton και του Francis.

Πλεονεκτήματα Pelton

Αρχικά είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η στάθμη τοποθέτησης του Pelton είναι υψηλότερη από αυτή του Francis και οπωσδήποτε πάνω από τη μέγιστη στάθμη του κάτω ταμιευτήρα και με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται ο κίνδυνος πλημμύρας του ΥΗΣ.

Επίσης ο υδραυλικός βαθμός απόδοσης του Pelton είναι μεγαλύτερος για ισχύ μικρότερη του 65% της ονομαστικής και το πεδίο λειτουργίας του πολύ εκτεταμένο (10%-100%) της ονομαστικής του ισχύς.

Ακόμη, μια σημαντική λεπτομέρεια υπέρ του Pelton είναι ότι οι υπερπιέσεις στον αγωγό προσαγωγής είναι πιο ήπιες κατά τα μεταβατικά φαινόμενα δηλαδή σε περιπτώσεις εκκίνησης – κράτησης – μεταβολής παροχής.

Τέλος υπάρχει μεγάλη ευκολία στην «εν κενώ» λειτουργία -με σκοπό την παραγωγή άεργης ισχύος σε μεγάλους ΥΗΣ για την διόρθωση του συντελεστή ισχύος του δικτύου- και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν απαιτείται άδειασμα του υδροστροβίλου όπως στην περίπτωση του Francis δεδομένου ότι η πτερωτή του Pelton είναι πάντοτε έξω από το νερό.

Πλεονεκτήματα Francis

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του στροβίλου Francis είναι ότι η διαθέσιμη υδραυλική πτώση δηλαδή το διαθέσιμο μανομετρικό είναι μεγαλύτερο, δεδομένου το ότι ο Pelton τοποθετείται πάντα σε ψηλότερο σημείο από τη μέγιστη στάθμη του κάτω ταμιευτήρα.

Ένα επίσης σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι ο βαθμός απόδοσης στον Francis είναι μεγαλύτερος από του Pelton στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας τους.

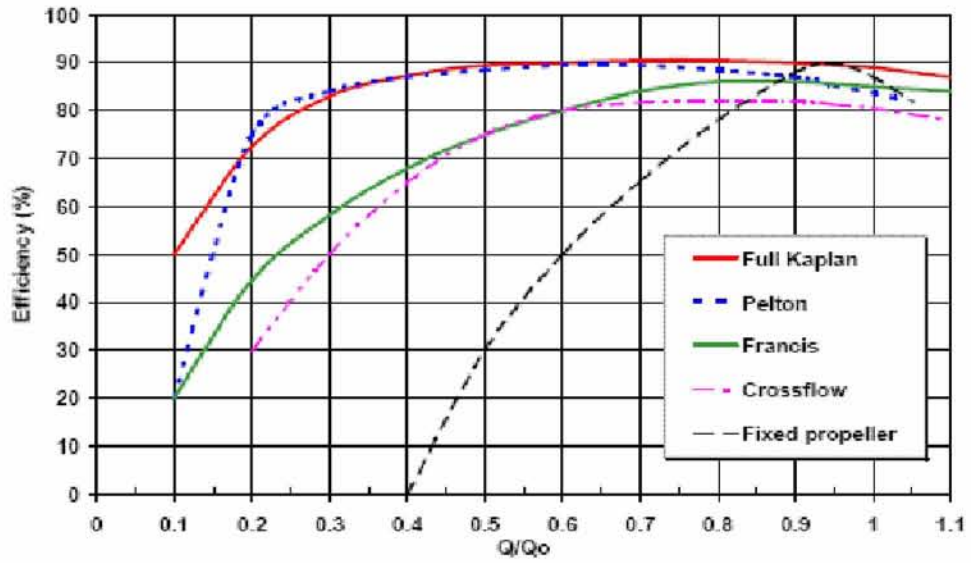
Ακόμη η ταχύτητα περιστροφής του Francis είναι μεγαλύτερη από του Pelton με αποτέλεσμα οι ολικές διαστάσεις και το κόστος του Francis να είναι μικρότερα.

Τέλος η ρύθμιση της λειτουργίας του Francis μέσω των ρυθμιστικών πτερυγίων είναι ακριβέστερη και περισσότερο ικανοποιητική, ιδιαίτερα όσον αφορά τη ρύθμιση της συχνότητας του ηλεκτρικού ρεύματος σε αυτόνομο δίκτυο. [12]

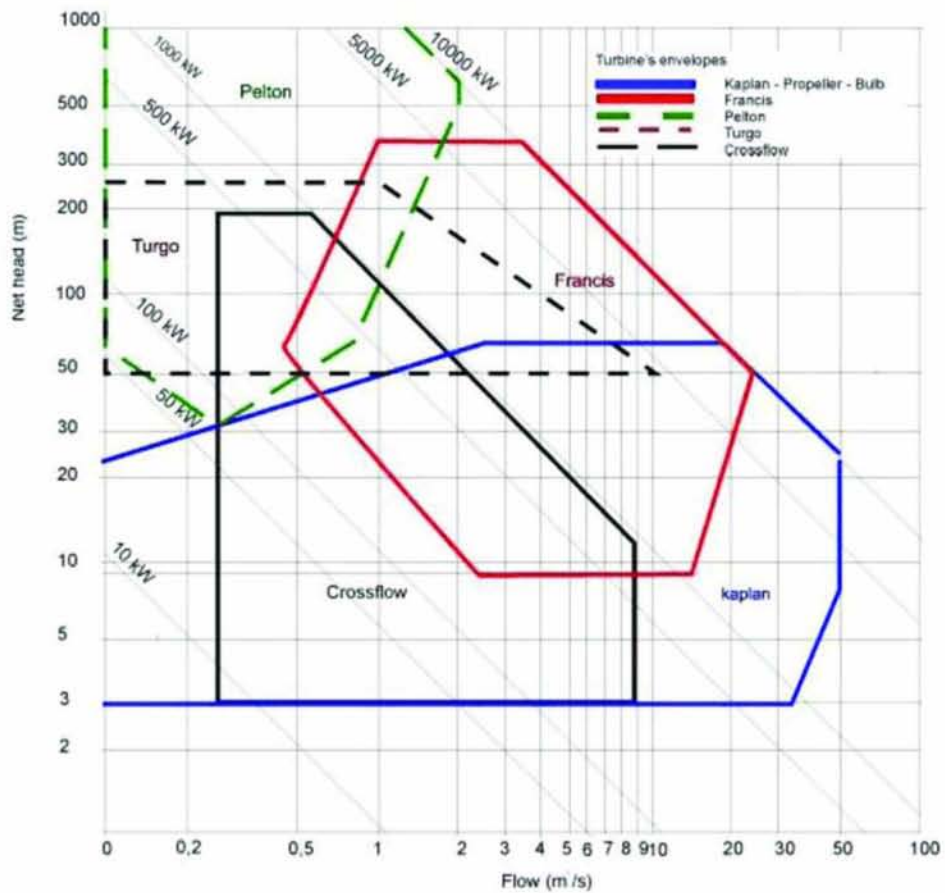
Καμπύλες απόδοσης υδροστροβίλων

Σε κάθε περίπτωση είναι ιδιαίτερα σημαντική η μελέτη της απόδοσης των υδροστροβίλων για μεγάλο εύρος παροχών για τον σκοπό αυτό εξετάζονται οι αποδόσεις του εκάστοτε υδροστροβίλου (efficiency) για διάφορους λόγους παροχής Q_0 προς την ονομαστική παροχή Q και σχηματίζονται οι παρακάτω καμπύλες όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (Εικ. 3.8).

Τέλος με βάση το εύρος λειτουργίας του κάθε τύπου υδροστροβίλου σχηματίζεται το διάγραμμα επιλογής υδροστροβίλου που βοηθά στην ιδανική επιλογή υδροστροβίλου για συγκεκριμένα μανομετρικά ύψη και παροχές (Εικ. 3.9).



Εικόνα 3.8: Καμπύλες απόδοσης διάφορων τύπων υδροστροβίλων



Εικόνα 3.9: Καμπύλη εύρους (ύψους πτώσης – παροχής) λειτουργίας υδροστροβίλων

3.4 Φαινόμενα σπηλαιώσης

Ένα σημαντικό πρόβλημα διάβρωσης και καταστροφής των πτερύγων που αντιμετωπίζουν οι υδροστροβίλοι λόγω της ροής του ύδατος είναι τα φαινόμενα σπηλαιώσης. Για να εξηγήσουμε τι είναι τα φαινόμενα σπηλαιώσης, θα πρέπει να εισάγουμε ορισμένες έννοιες από την επιστήμη της ρευστομηχανικής και πιο συγκεκριμένα την εξίσωση Bernoulli, η οποία περιγράφει την σχέση μεταξύ της πίεσης, της ταχύτητας και του ύψους της ροής ενός ρευστού μέσα σε ένα αγωγό. Σε ένα σωλήνα που η διατομή του δεν είναι παντού ίδια, η ταχύτητα του υγρού μεταβάλλεται. Δηλαδή μια μικρή μάζα του υγρού σε άλλες περιοχές του σωλήνα επιταχύνεται και σε άλλες επιβραδύνεται. Στις περιπτώσεις αυτές η συνολική δύναμη που δέχεται αυτή η μάζα από το περιβάλλον υγρό δεν είναι μηδενική και κατά συνέπεια η πίεση δε μπορεί να είναι ίδια σε όλες τις περιοχές του σωλήνα.

Το θεώρημα του Bernoulli συνδέει αυτές τις ποσότητες με την παρακάτω εξίσωση ως εξής:

$$\frac{u^2}{2} + \frac{p}{\rho} + g \times z = \text{Ιδια σταθερή τιμή}$$

Από το παραπάνω θεώρημα γίνεται φανερό ότι όταν η ταχύτητα (u) της ροής του ρευστού (στην περίπτωση μας του ύδατος) γίνεται εξαιρετικά μεγάλη τότε για να παραμείνει σταθερή η παραπάνω ποσότητα θα πρέπει η πίεση (p) να λαμβάνει πολύ μικρές τιμές.

Με βάση τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι σε ροές νερού με μεγάλες ταχύτητες όπως στους υδροστροβίλους αλλά και στους αγωγούς πτώσης, μπορεί να εμφανισθούν έστω και στιγμιαία απόλυτα χαμηλές πιέσεις σε τέτοιο βαθμό ώστε στιγμιαία η πίεση σε διάφορα σημεία του ρευστού να γίνει μικρότερη από την πίεση των ατμών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την στιγμιαία μετάπτωση του νερού από την υγρή κατάσταση στην αέρια και δημιουργούνται τοπικά φυσαλίδες.

Όταν αυτές οι φυσαλίδες συναντήσουν περιοχές με μεγαλύτερη πίεση, θα μεταπέσουν και πάλι στην υγρή φάση με ταυτόχρονη απελευθέρωση τοπικών κρουστικών πιέσεων πολύ μεγάλου μεγέθους. Οι στιγμιαίες αυτές υπερπίεσεις είναι ικανές να καταστρέψουν τα στερεά όρια της ροής δηλαδή τα τοιχώματα των αγωγών και τα πτερύγια των υδροστροβίλων από οποιοδήποτε υλικό και αν είναι φτιαγμένα. Το παραπάνω φαινόμενο ονομάζεται σπηλαιώση και εμφανίζεται σε διάφορες κατασκευές όπως σε προπέλες πλοίων, σε πτερύγια υδροστροβίλων, σε αντλίες νερού και σε αγωγούς μεταφοράς νερού με υψηλές ταχύτητες.

Σε κάθε περίπτωση σημαντικό ρόλο στο όριο πίεσης σχηματισμού των ατμών παίζει η θερμοκρασία του ρευστού καθώς όπως γνωρίζουμε όσο αυξάνεται η θερμοκρασία μειώνεται αυξάνεται και η πίεση του ατμού. Σε ροή ρευστών με χαμηλότερες θερμοκρασίες ο κίνδυνος σπηλαιώσης αυξάνεται.



Εικόνα 3.10: Φαινόμενο σπηλαιώσης σε προπέλα

Στην παραπάνω εικόνα (Εικ. 3.10) διακρίνεται χαρακτηριστικά η διάβρωση του υλικού κατασκευής μιας προπέλας από τη σπηλαιώση και το μέγεθος της ζημιάς που μπορεί να προκαλέσει. Η διάβρωση λόγω σπηλαιώσης στους υδροστροβίλους είναι μια επίπτωση που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη διότι οδηγεί σε μείωση της αποδοτικότητας του στροβίλου καθώς και σε ανεπιθύμητους κραδασμούς κατά την λειτουργία του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Γεννήτρια, διέγερση και χαρακτηριστικές καμπύλες

4.1 Γεννήτρια

Στα προηγούμενα κεφάλαια μελετήσαμε όλα τα συστατικά μέρη, τα απαραίτητα έργα, τις εγκαταστάσεις και τον εξοπλισμό για την εκμετάλλευση των υδάτινων πόρων και της υδραυλικής ενέργειας του νερού. Η μηχανική ενέργεια ωστόσο που λαμβάνουμε μέσω των υδροστρόβιλων από το νερό, πρέπει να μετατραπεί σε ηλεκτρική προτού καταλήξει στους καταναλωτές. Το τελικό στάδιο αυτής της μετατροπής σε έναν υδροηλεκτρικό σταθμό –και γενικότερα σε όλους τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας- αναλαμβάνει η γεννήτρια. Όπως θα δούμε υπάρχουν διάφορα ήδη γεννητριών η καθεμία με διαφορετικές λειτουργίες και χρήσεις.

Οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος μπορεί να είναι **σύγχρονες** και **ασύγχρονες**. Οι σύγχρονες γεννήτριες έχουν διέγερση με συνεχές ρεύμα, δηλαδή μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από μαγνητικούς πόλους που τα τυλίγματα τους τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα και παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα με συχνότητα που εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής της μηχανής. Οι ασύγχρονες γεννήτριες έχουν διέγερση με εναλλασσόμενο ρεύμα και συχνότητα ρεύματος ανεξάρτητη από την ταχύτητα περιστροφής.

Στην πράξη χρησιμοποιούνται σχεδόν πάντοτε, οι σύγχρονες γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος που λέγονται και εναλλακτήρες. Ασύγχρονες γεννήτριες κατασκευάζονται πολύ σπάνια (π.χ. στις ανεμογεννήτριες).

Το συνεχές ρεύμα που χρειάζεται για την διέγερση των εναλλακτών, το παίρνουμε από μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος που συνήθως είναι συνδεδεμένη στον ίδιο άξονα και λέγεται διεγέρτρια.

Ο εναλλακτήρας, για να δώσει εναλλασσόμενο ρεύμα και ηλεκτρική ενέργεια πρέπει, εκτός από τη διέγερση -δηλαδή το μαγνητικό πεδίο- να πάρει κίνηση από κάποια κινητήρια μηχανή. Π.χ. (πετρελαιομηχανή, αμοστρόβιλος, υδροστρόβιλος).

Στην συγκεκριμένη εργασία θα μελετήσουμε τις λεγόμενες «Σύγχρονες γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος» (Εικ. 4.1) καθώς αυτές έχουν εφαρμογή και παίζουν τον κύριο ρόλο στην παραγωγή του ρεύματος σε ένα υδροηλεκτρικό σταθμό.



Εικόνα 4.1: Σύγχρονη τριφασική γεννήτρια

4.1.1 Εισαγωγή στις σύγχρονες γεννήτριες

Οι σύγχρονες γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος ή εναλλακτήρες είναι μηχανές οι οποίες βασίζονται πάνω στους νόμους της ηλεκτροφυσικής και ιδιαίτερα του φαινομένου της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής και μετατρέπουν την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Είναι κατασκευασμένες και αποτελούνται από το σταθερό μέρος που ονομάζεται στάτης και το κινητό μέρος το οποίο ονομάζεται δρομέας. Για την δημιουργία του μαγνητικού πεδίου υπάρχουν μαγνητικοί πόλοι, οι οποίοι μπορεί να βρίσκονται τόσο στον στάτη όσο και στον δρομέα ανάλογα με τον τύπο του εναλλακτήρα. Επίσης, υπάρχει το επαγωγικό τύμπανο στο οποίο τοποθετείται το τύλιγμα από το οποίο θα πάρουμε την ηλεκτρεγερτική δύναμη, την τάση και το εναλλασσόμενο ρεύμα. Ανάλογα με την θέση των πόλων το επαγωγικό τύλιγμα βρίσκεται ή στον δρομέα (για εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους) ή στον στάτη (εναλλακτήρες με εσωτερικούς πόλους). Ονομάζονται σύγχρονες, επειδή οι συχνότητες των ηλεκτρικών τάσεων που παράγονται βρίσκονται σε συγχρονισμό με την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα, όταν έχουμε ένα ζεύγος πόλων. Όταν έχουμε γεννήτρια με περισσότερα ζεύγη πόλων, τότε η συχνότητα των τάσεων είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της ταχύτητας περιστροφής του δρομέα.

Η σχέση της συχνότητας των ηλεκτρικών μεγεθών (ηλεκτρεγερτικής δύναμης, τάσης και έντασης ρεύματος) με την ταχύτητα περιστροφής του εναλλακτήρα, ανεξάρτητα από τον τύπο του, δίνεται από την παρακάτω εξίσωση

$$F = p \cdot n / 60 \text{ και μετριέται σε Hertz}$$

Όπου: p ο αριθμός των ζευγών των μαγνητικών πόλων και
n ο αριθμός στροφών του εναλλακτήρα

Έτσι ανάλογα με την επιθυμητή συχνότητα των εναλλασσόμενων μεγεθών , ο εναλλακτήρας πρέπει να έχει τον κατάλληλο αριθμό ζευγών πόλων και στροφών.

Για παράδειγμα σε έναν εναλλακτήρα με 3 ζεύγη πόλων εάν ζητούσαμε συχνότητα 50 Hz θα έπρεπε να περιστρέφεται με $n = f/p \cdot 60 = 50 / 3 \cdot 60 = 1000$ στροφές ανά λεπτό.

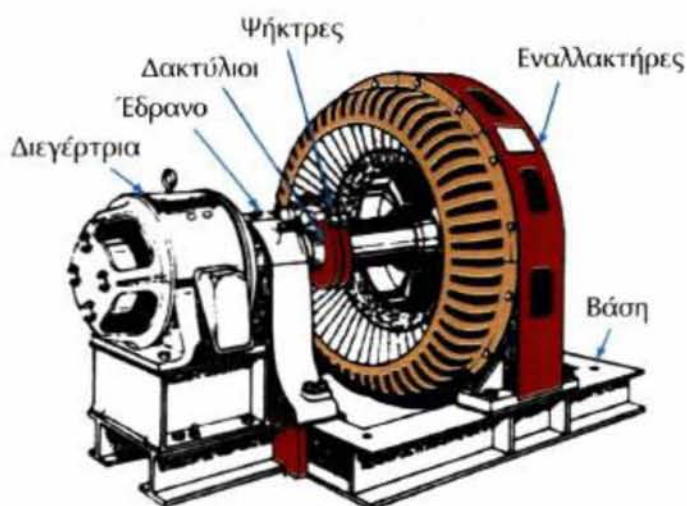
Η ταχύτητα n που πρέπει να έχει ένας εναλλακτήρας, για να παράγει ηλεκτρεγερτική δύναμη και ρεύμα σταθερής συχνότητας (π.χ. Ελλάδα και Ευρώπη 50Hz) λέγεται **σύγχρονη ταχύτητα** και δίνεται απ τη σχέση $n = 60 \cdot f/p$ (σε στροφές/λεπτό).

Από την τελευταία σχέση προκύπτει ο παρακάτω πίνακας που δίνει μερικές σύγχρονες ταχύτητες των εναλλακτών για τον αντίστοιχο αριθμό ζευγών πόλων ώστε να παράγουν ρεύμα συχνότητας 50Hz.

Ζεύγη πόλων (p)	Σύγχρονη ταχύτητα (n) (rpm)
1	3000
2	1500
3	1000
4	750
5	600
6	500
10	300

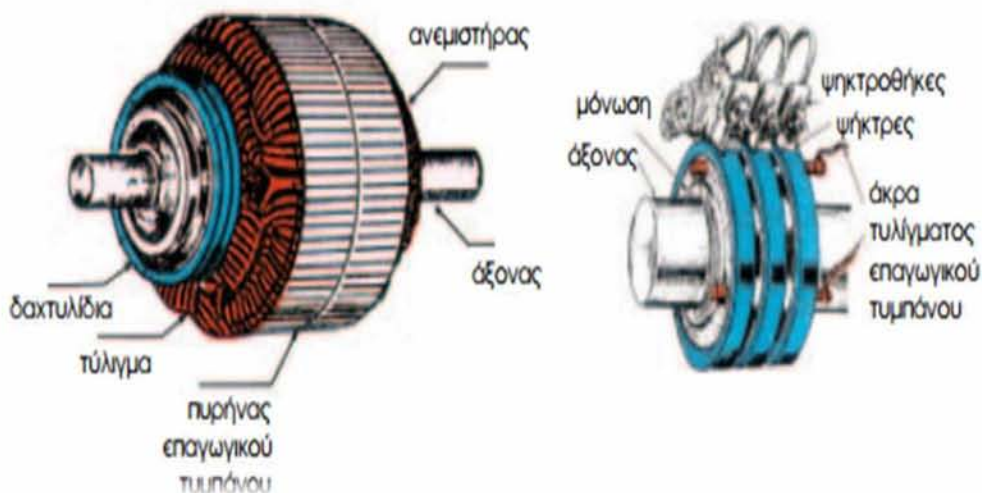
4.1.2 Εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους

Όπως μπορούμε να διακρίνουμε και από την ονομασία τους οι γεννήτριες – εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους περιέχουν τους μαγνητικούς πόλους της διέγερσης στην εξωτερική πλευρά δηλαδή στον στάτη. Το τύλιγμα του στάτη που στηρίζεται στη βάση (όπως φαίνεται στο Εικ. 4.2) σε αυτού του είδους τους εναλλακτήρες, τροφοδοτείται μέσω ειδικών ψηκτρών από συνεχές ρεύμα και είναι υπεύθυνο για την δημιουργία του κατάλληλου μαγνητικού πεδίου μέσα στο οποίο θα περιστρέφεται το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου.



Εικόνα 4.2: Εναλλακτήρας εξωτερικών πόλων

Το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου στους εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους βρίσκεται στο δρομέα και μέσω της περιστροφής του μέσα στο μαγνητικό πεδίο του στάτη δημιουργείται εναλλασσόμενη τάση από επαγωγή στα άκρα του. Η τάση αυτή οδηγείται από τους ακροδέκτες του τυλίγματος στην έξοδο του εναλλακτήρα μέσω δακτυλιδιών που στηρίζονται στον άξονα του δρομέα και εφάπτονται στους ακροδέκτες. Τέλος ο άξονας του δρομέα στηρίζεται πάνω σε έδρανα τα οποία απαιτούν καλή λίπανση λόγω των μεγάλων τριβών από την περιστροφή του. (Εικ. 4.3)



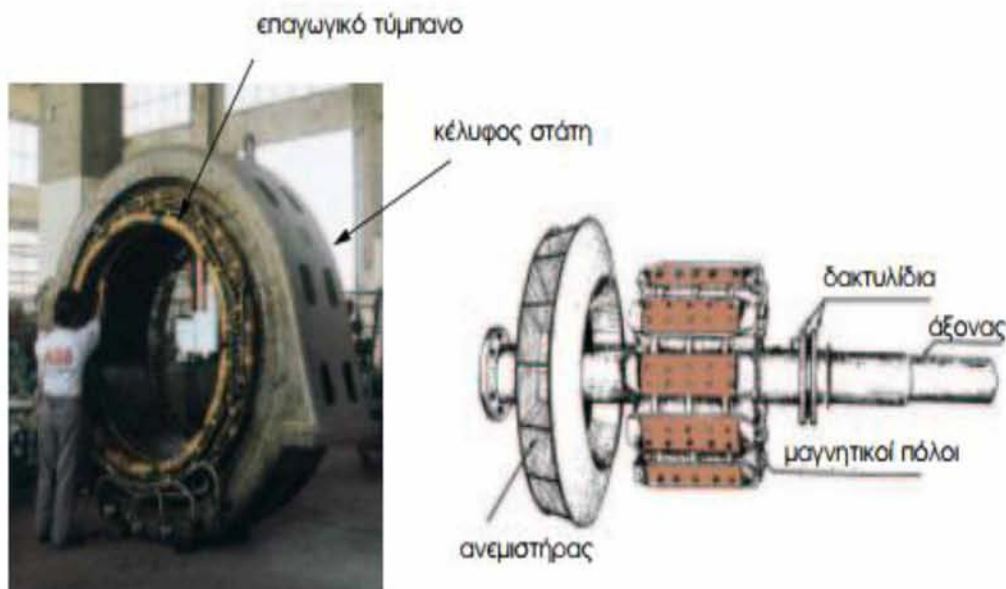
Εικόνα 4.3: Δρομέας εναλλακτήρα εξωτερικών πόλων

Οι εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους κατασκευάζονται μόνο για μικρές ισχύεις κι αυτό γιατί έχουν ορισμένα μειονεκτήματα.

Όλο το ρεύμα του φορτίου περνά απ' τα δακτυλίδια και τις ψηκτρες, που φθείρονται γρήγορα όσο κατάλληλα κι αν κατασκευαστούν. Ο χώρος για το επαγωγικό τύμπανο είναι λιγιστός με συνέπεια το τύλιγμα να είναι περιορισμένο. Επίσης υπάρχει μεγάλη καταπόνηση και φθορά των μονώσεων του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου λόγω των μεγάλων φυγόκεντρων δυνάμεων που αναπτύσσονται στον δρομέα.

4.1.3 Εναλλακτήρες εσωτερικών πόλων

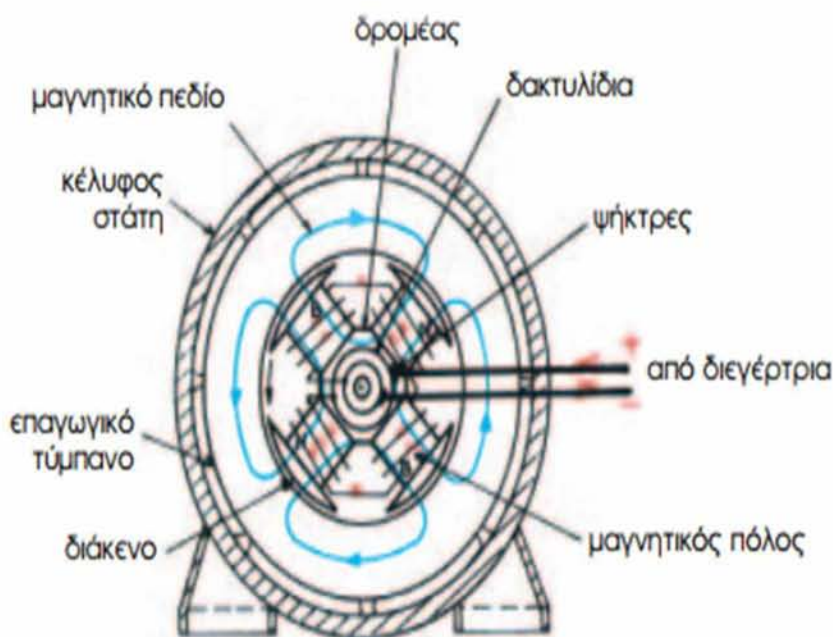
Σε αυτό το είδος εναλλακτήρων που είναι και οι επικρατέστεροι, οι πόλοι είναι εσωτερικοί δηλαδή βρίσκονται στο δρομέα και όχι στο στάτη.



Εικόνα 4.4: Στάτης και δρομέας εναλλακτήρα με εσωτερικούς πόλους

Ο **στάτης** των σύγχρονων γεννητριών με εσωτερικούς πόλους περιέχει το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου πάνω στο οποίο θα δημιουργηθεί εναλλασσόμενη τάση από επαγωγή. Το τύλιγμα του στάτη δημιουργείται από προκατασκευασμένες συστάδες αγωγών και είναι δυο στρώσεων (Εικ 4.4). Επίσης το τύλιγμα του είναι συνήθως διανεμημένο τύλιγμα χορδής, για να καταστέλλει τις αρμονικές στην έξοδο της γεννήτριας. [13]

Ο **δρομέας** των εναλλακτών με εσωτερικούς πόλους, μοιάζει με τον δρομέα των εναλλακτών με εξωτερικούς πόλους καθώς και αυτός βρίσκεται πάνω στον άξονα ο οποίος στηρίζεται στα έδρανα που προαναφέραμε. Η διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι σε αυτό το είδος εναλλακτών ο δρομέας περιέχει το τύλιγμα της διέγερσης δηλαδή τους μαγνητικούς πόλους, που θα δημιουργήσουν το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο (Εικ. 4.5). Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της παροχής συνεχούς ρεύματος στους ακροδέκτες του τυλίγματος του στάτη που εφάπτονται με τα δακτυλίδια.



Εικόνα 4.5: Διέγερση εναλλακτήρα με 4 εσωτερικούς πόλους

4.1.4 Στροβιλοεναλλακτήρες

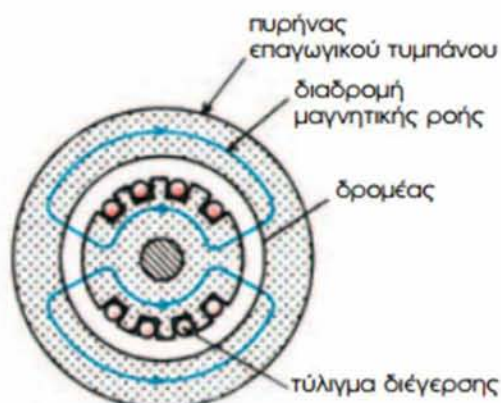
Οι στροβιλοεναλλακτήρες είναι ειδικοί τύποι γεννητριών με εσωτερικούς πόλους που κατασκευάζονται για να λειτουργούν με μεγάλες ταχύτητες περιστροφής (π.χ. 3000στρ/λεπτό) (Εικ. 4.6) . Τέτοιες στροφές μπορούν να δώσουν οι ατμοστρόβιλοι και αεριοστρόβιλοι των θερμικών κυρίως σταθμών.

Ο στάτης αυτού του είδους των εναλλακτών είναι σχεδόν ίδιος με τον στάτη των εναλλακτών με εσωτερικούς έκτυπους πόλους. Περιέχει δηλαδή το επαγωγικό τύμπανο με το τύλιγμα του, στους ακροδέκτες του οποίου θα δημιουργηθεί εναλλασσόμενη τάση από επαγωγή.

Η κύρια διαφορά τους με τους εναλλακτές με εσωτερικούς έκτυπους πόλους έγκειται στο δρομέα. Σε αυτές τις γεννήτριες οι πόλοι του τυλίγματος της διέγερσης δεν προεξέχουν και δεν είναι απόλυτα σχηματισμένοι όπως στις προηγούμενες περιπτώσεις. Αντιθέτως ο δρομέας ο οποίος έχει κυλινδρικό σχήμα διαθέτει αυλάκια κατά μήκος του μέσα στα οποία περνάνε τα τυλίγματα της διέγερσης και σχηματίζουν έτσι περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο (Εικ. 4.7).



Εικόνα 4.6: Στροβιλοεναλλακτήρας



Εικόνα 4.7: Δρομέας και τύλιγμα διέγερσης διπολικού στροβιλοεναλλακτήρα

4.2 Διέγερση γεννητριών

Όπως προαναφέραμε απαραίτητη προϋπόθεση για την λειτουργία των εναλλακτών είναι η τροφοδοσία του δρομέα με συνεχές ρεύμα με σκοπό τη δημιουργία μαγνητικού πεδίου. Το συνεχές ρεύμα αυτό ονομάζεται ρεύμα διέγερσης και την παροχή του αναλαμβάνει ένα ξεχωριστό σύστημα διέγερσης ή μια πηγή ρεύματος που ονομάζεται διεγέρτρια. Υπάρχουν διάφορα συστήματα διέγερσης το καθένα με διαφορετική λειτουργία και απόδοση όμως καθένα από αυτά εξυπηρετεί τον σκοπό που προαναφέραμε. Ανάλογα με την προέλευση της πηγής ισχύος της διέγερσης τα συστήματα αυτά χωρίζονται με τον παρακάτω τρόπο:

Διέγερση με διεγέρτρια γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος: Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται ξεχωριστή γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος η έξοδος της οποίας ανορθώνεται και μετατρέπεται σε συνεχές ρεύμα. Από εκεί με κατάλληλες διατάξεις και ρυθμιζόμενη αντίσταση αφήνεται να περάσει το κατάλληλο ρεύμα για την τροφοδοσία του δρομέα. Τις περισσότερες φορές η διεγέρτρια γεννήτρια βρίσκεται στον ίδιο άξονα με την σύγχρονη γεννήτρια.

Διέγερση με γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος και βοηθητική διεγέρτρια συνεχούς ρεύματος: Αυτό το κύκλωμα διέγερσης μοιάζει με το προαναφερθέν με τη διαφορά ότι χρησιμοποιείται βοηθητική διεγέρτρια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος για τη διέγερση της κύριας διεγέρτριας εναλλασσόμενου. Και σε αυτή τη περίπτωση η έξοδος της κύριας διεγέρτριας μηχανής ανορθώνεται και το συνεχές ρεύμα καταλήγει στο δρομέα. Η ρύθμιση του ρεύματος διέγερσης της κύριας διεγέρτριας γίνεται συνήθως με ρύθμιση της διέγερσης της βοηθητικής. Και εδώ η διεγέρτρια μηχανή με τη βοηθητική διεγέρτρια βρίσκονται στον ίδιο άξονα με τον εναλλακτήρα.

Διέγερση με γεννήτρια συνεχούς ρεύματος: Υπάρχουν περιπτώσεις διέγερσης με απευθείας παραγωγή συνεχούς ρεύματος από γεννήτριες με σταθερούς μαγνητικούς πόλους όμως τα ρεύματα αυτά είναι πολύ ασθενή και δεν τις συναντάμε συχνά.

Αυτοδιεγερόμενη σύγχρονη γεννήτρια: Στις μέρες μας ο πλέον πιο συνηθισμένος τρόπος διέγερσης είναι η τάση που δημιουργείται στην έξοδο του εναλλακτήρα ή το ίδιο το δίκτυο. Η έξοδος της γεννήτριας ανορθώνεται με τη χρήση θυρίστωρ και διόδων και το συνεχές ρεύμα τροφοδοτεί απευθείας στο τύλιγμα του δρομέα. Μέχρι η γεννήτρια να αρχίσει να παράγει τάση το απαιτούμενο ρεύμα μπορεί να ληφθεί και από το δίκτυο με τη χρήση μετασχηματιστών υποβιβασμού τάσης και στη συνέχεια των διατάξεων θυρίστωρ.

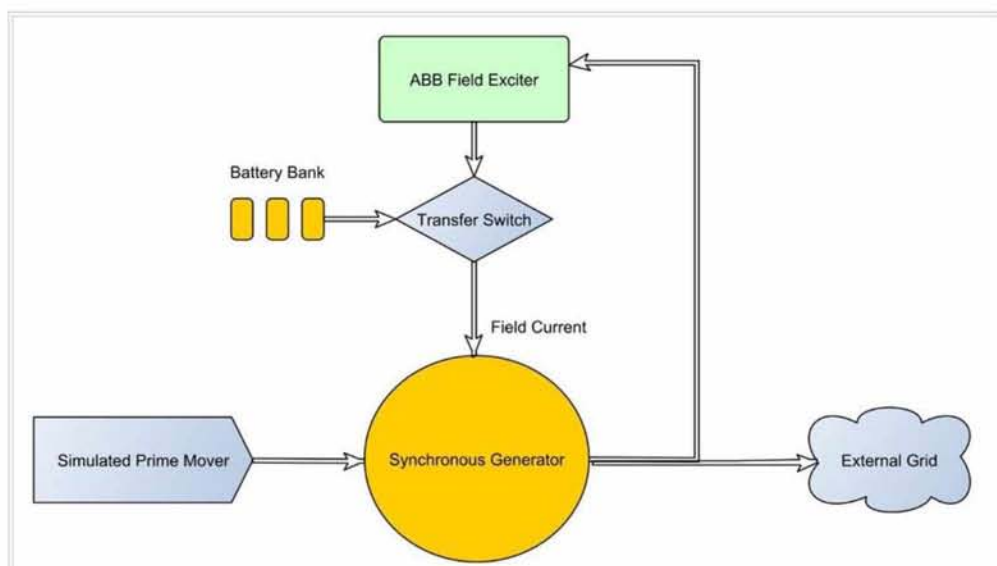
Θυρίστωρ: Ο όρος "θυρίστωρ" προσδιορίζει περιοχή υλικών σταθερής κατάστασης τα οποία χρησιμοποιούνται ως ηλεκτρικοί ελεγχόμενοι διακόπτες. Κάθε μία από αυτές τις συσκευές μπορεί να μεταβάλλεται μεταξύ μιας αγωγίμης (on) κατάστασης και μιας μη αγωγίμης (off) κατάστασης, ώστε να επιτρέπει ή να σταματά, αποτελεσματικά, τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος. Επιπλέον, κάποια θυρίστωρ έχουν τη δυνατότητα να διακόπτουν τη ροή του ρεύματος, σε μία κατεύθυνση, ενώ άλλα θυρίστωρ δύνανται να διακόπτουν τη ροή του ρεύματος, σε κάθε κατεύθυνση.

Τα θυρίστωρ χρησιμοποιούνται, ευρέως, σε εφαρμογές, όπου πρέπει να ελεγχθεί φορτίο ισχύος DC και AC. Αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούνται, συχνά, για να

τροφοδοτήσουν ένα συγκεκριμένο ποσό ισχύος σε ένα φορτίο ή για να το αφαιρέσουν, εντελώς, από το φορτίο. Εν τούτοις, χρησιμοποιούνται, επίσης, για να κανονικοποιήσουν ή να προσαρμόσουν το παρεχόμενο ποσό ισχύος, σε ένα συγκεκριμένο φορτίο. Για παράδειγμα, ένα θυρίστορ μπορεί να χρησιμοποιηθεί, απλώς, για να "ξεκινήσει" ή να "σταματήσει" ένα ηλεκτρικό κινητήρα ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ρυθμίσει την ταχύτητα ή τη ροπή στρέψης του κινητήρα, σε μία ευρεία περιοχή λειτουργίας.

Τα θυρίστορ που χρησιμοποιούνται, κυρίως, είναι οι ελεγχόμενοι ανορθωτές πυριτίου (SCR), οι αμφίδρομες τρίοδοι (TRIAC), οι αμφίδρομες δίοδοι σκανδαλισμού (DIAC), τα τρανζίστορ μιας επαφής (PUT).

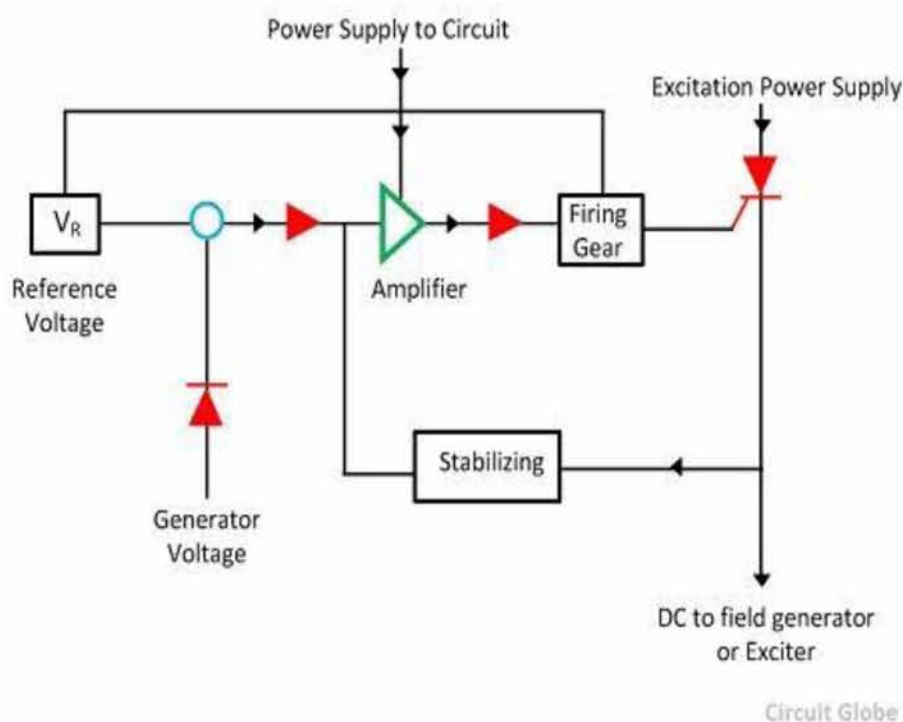
Flashing της διέγερσης: Υπάρχουν περιπτώσεις όπως σε περίπτωση blackout που δεν είναι δυνατή –από καμία πηγή– η τροφοδοσία με το απαραίτητο συνεχές ρεύμα στον δρομέα για να δημιουργηθεί το απαραίτητο μαγνητικό πεδίο και να ξεκινήσει ο εναλλακτήρας να παράγει τάση στην έξοδο του. Σε αυτές τις περιπτώσεις πολλοί σταθμοί παραγωγής έχουν την δυνατότητα του flashing. Διαθέτουν δηλαδή έναν δεύτερο τρόπο για να τροφοδοτήσουν με συνεχές ρεύμα το τύλιγμα του δρομέα ανεξαρτήτως δικτύου. Αυτό το επιτυγχάνουν μέσω μπαταριών. Στους σταθμούς αυτούς υπάρχουν μεγάλες συστοιχίες μπαταριών οι οποίες είναι ικανές να παρέχουν αυτό το συνεχές ρεύμα και αφού ξεκινήσει ο εναλλακτήρας και δημιουργήσει τάση στην έξοδο του τότε το κατάλληλο κύκλωμα ελέγχου θα σταματήσει τη λειτουργία του flashing και θα επιστρέψει στην αυτοδιέγερση της γεννήτριας.



Εικόνα 4.8: Τυπικό διάγραμμα flashing

Η διέγερση όπως θα δούμε παίζει σημαντικό ρόλο στην ρύθμιση της τάσεως εξόδου του εναλλακτήρα αλλά και στην άεργο ισχύ που αυτός ανταλλάσσει με το δίκτυο. Σε κάθε περίπτωση η διέγερση των σύγχρονων γεννητριών θα πρέπει να ρυθμίζεται συνεχώς με συστήματα αυτομάτου ελέγχου που παρέχουν ανάδραση για να εξασφαλίζεται η σταθερότητα αυτών των μεγεθών για διάφορα είδη φορτίων. Ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα διέγερσης θα πρέπει επίσης να έχει ταχεία απόκριση και να βοηθά στην απόσβεση των συνεπειών που θα έχουν στον εναλλακτήρα τα διάφορα σφάλματα που ενδέχεται να υπάρχουν στους ζυγούς του δικτύου όπως βραχυκυκλώματα και υπερτάσεις.

Τέτοια συστήματα ονομάζονται αυτόματοι ρυθμιστές τάσης –automatic voltage regulator- (AVR) και χρησιμοποιούνται όπου οι ανεπιθύμητες αυξομειώσεις στην τάση λειτουργίας πρέπει να περιορίζονται σε ανεκτά επίπεδα τάσεων λειτουργίας. Ένας ρυθμιστής τάσης αντιλαμβάνεται την τάση εξόδου της μηχανής είτε απευθείας με μια συσκευή υποβιβασμού τάσης είτε με μετασχηματιστή υποβιβασμού τάσης για μηχανές με υψηλές τάσεις. Στη συνέχεια συγκρίνει αυτήν την τιμή της τάσης η οποία προέρχεται από σήμα ανάδρασης με μια τάση αναφοράς. Αυτή η τάση αναφοράς μπορεί να είναι σταθερή η και να αναπροσαρμόζεται. Η διαφορά μεταξύ της επιθυμητής και της ενεργής τάσεως είναι το σφάλμα σήματος τάσης και ο ρυθμιστής τάσης παρέχει διάφορους τρόπους περιορισμού και σταθεροποίησης αυτής της τάσης. Η τιμή της τάσης που θα προκύψει από τον ρυθμιστή θα καθορίσει και τη διέγερση της γεννήτριας είτε απευθείας είτε μέσω της διεγέρτριας. Η διαδικασία αυτή φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (4.9).



Εικόνα 4.9: Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας ενός AVR

4.3 Λειτουργία εναλλακτήρα χωρίς φορτίο

Όταν ο εναλλακτήρας λειτουργεί εν κενώ πορεία η τάση στα άκρα του V_0 είναι ίση με την ηλεκτρεγερτική δύναμη E .

$$V_0 = E = K * P * N_s * W_0 * \Phi$$

Όπου : K συντελεστής που εξαρτάται από το τύλιγμα

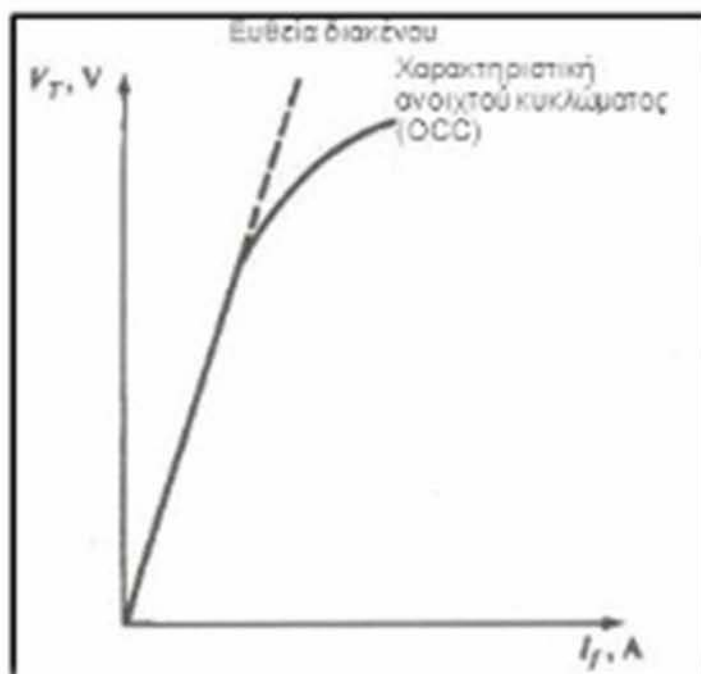
N_s σύγχρονη ταχύτητα (ταχύτητα περιστροφής σε στροφές/sec)

P ο αριθμός των ζευγών των πόλων.

W_0 ο αριθμός των συνδεδεμένων σε σειρά αγωγών του τυλίγματος

Φ η χρήσιμη μαγνητική ροή κάθε πόλου.

Η μαγνητική ροή Φ είναι ανάλογη με το ρεύμα της διέγερσης I_d . Για να δούμε πως μεταβάλλεται η τάση V_0 , θα πρέπει να μεταβάλλουμε το ρεύμα της διέγερσης. Η καμπύλη η οποία προκύπτει λέγεται «χαρακτηριστική χωρίς φορτίο» ή «στατική χαρακτηριστική του εναλλακτήρα» (Εικ 4.10). Την καμπύλη αυτή μπορούμε να τη σχεδιάσουμε κάνοντας τον εναλλακτήρα να περιστρέφεται με τη σύγχρονη ταχύτητα και μεταβάλλοντας σταδιακά την ένταση της διέγερσης να μετράμε την τάση του εναλλακτήρα. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι η τάση του εναλλακτήρα είναι η πολική τάση που μετράται μεταξύ των ακροδεκτών δύο φάσεων. Δηλαδή $V=V_p$. Η φασική τάση στα άκρα μιας φάσεως (φάση - ουδέτερο) κατά τη συνδεσμολογία αστέρα είναι $V_\phi = V/\sqrt{3}$ και $I_\phi = I$. Όπου I ένταση φορτίσεως του εναλλακτήρα είναι η ένταση γραμμής και για συμμετρική φόρτιση $I=I_r=I_s=I_t$.



Εικόνα 4.10: Καμπύλη μαγνήτισης ή χαρακτηριστική χωρίς φορτίο

Παρατηρούμε ότι η καμπύλη αποτελείται από ένα σχεδόν ευθύγραμμο τμήμα, στο οποίο η τάση είναι περίπου ανάλογη προς το ρεύμα της διέγερσης (αυτό συμβαίνει σε μικρές τιμές έντασης διέγερσης, όταν δηλαδή η μαγνητική επαγωγή είναι μακριά από το σημείο κορεσμού), από ένα τμήμα που είναι το γόνατο της καμπύλης και το δεύτερο σχεδόν ευθύγραμμο τμήμα στο οποίο επέρχεται ο κορεσμός του μαγνητικού κυκλώματος της μηχανής στο οποίο η τάση αυξάνεται ελάχιστα με την αύξηση της έντασης της διέγερσης. Οι εναλλακτικές συνήθως «εργάζονται» στην αρχή του τμήματος κορεσμού δηλαδή αμέσως μετά το «γόνατο» της καμπύλης.

4.4 Λειτουργία γεννήτριας με φορτίο

«Χαρακτηριστική φορτίου» μιας γεννήτριας είναι η καμπύλη, που δείχνει πως μεταβάλλεται η τάση της, όταν μεταβάλλεται η ένταση φόρτισης που είναι ίση με την ένταση του δικτύου, ενώ ο συντελεστής ισχύος του φορτίου και η ένταση διεγέρσεως παραμένουν σταθερά και η γεννήτρια περιστρέφεται με τη σύγχρονη της ταχύτητα.

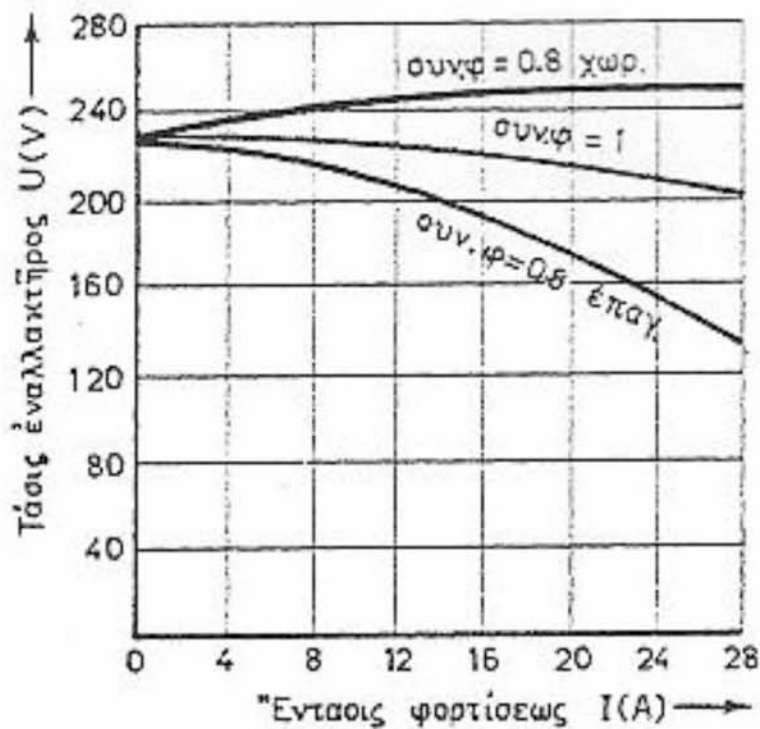
Οι χαρακτηριστικές φορτίου αλλάζουν μορφή ανάλογα με τις περιπτώσεις :

- 1) Ωμική φόρτιση, με $\cos\phi = 1$
- 2) Επαγωγική φόρτιση, με $\cos\phi$ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟ < 1
- 3) Χωρητική φόρτιση, με $\cos\phi$ ΧΩΡΗΤΙΚΟ < 1

Στην πρώτη περίπτωση (ωμική φόρτιση) προξενείται μια μηχανική ροπή αντίδρασης ως προς την κίνηση του στροφείου η οποία πρέπει να εξουδετερωθεί από την εφαρμοζόμενη ισχύ στη μηχανή.

Στην δεύτερη περίπτωση (επαγωγική φόρτιση) έχουμε πτώση τάσεως ως προς την καμπύλη με $\cos\phi=1$, ενώ στην τρίτη περίπτωση (χωρητική φόρτιση) έχουμε αύξηση της τάσης.

Για $I_a = 0$ (δηλαδή για λειτουργία χωρίς φορτίο) όλες οι χαρακτηριστικές φορτίου διέρχονται από το ίδιο σημείο V_0 που είναι η τάση χωρίς φορτίο (Εικόνα 4.11).



Εικόνα 4.11: Χαρακτηριστική καμπύλη φόρτισης

Στις παραπάνω 2) και 3) περιπτώσεις αν το φορτίο είναι καθαρά επαγωγικό ή χωρητικό έχουμε $\cos\phi = 0$ οπότε $P=VI*\cos\phi=0$. Δηλαδή η γεννήτρια δεν παράγει ενεργό ισχύ και το φορτίο είναι καθαρά άεργο. $Q=VI*\sin\phi=VI*$

Δεν υπάρχουν μηχανικές δράσεις οπότε χρειάζεται την μηχανική ισχύ μόνο για να υπερνικήσει τις δυνάμεις τριβής.

Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι η μεταβολή της τάσης όταν μεταβάλλεται το φορτίο οφείλεται :

- 1) Στην ωμική πτώση τάσης μέσα στους αγωγούς του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου
- 2) Στην αντίδραση του επαγωγικού τυμπάνου, του οποίου το μαγνητικό πεδίο παραμορφώνει το μαγνητικό πεδίο των πόλων της μηχανής.
- 3) Σε φαινόμενα αυτεπαγωγής, που οφείλονται στο γεγονός ότι το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου διαρρέεται από μεταβαλλόμενο ρεύμα.

Στην πράξη οι μεταβολές τάσης των γεννητριών που λειτουργούν με την ονομαστική τάση περιλαμβάνονται μεταξύ 15 και 20% με $\cos\phi=1$ και 30% με 35% με $\cos\phi = 0.8$ επαγωγικό.

Αν θέλουμε με τη μεταβολή του φορτίου να διατηρούμε σταθερή την τάση της μηχανής, θα πρέπει να ρυθμίζουμε κατάλληλα της ένταση της διέγερσης και ως εκ

τούτου την ηλεκτρεγερτική της δύναμη. Η ρύθμιση αυτή στις γεννήτριες γίνεται με το αυτόματο ρυθμιστή τάσης που αναφέραμε παραπάνω.

Όταν ο εναλλακτήρας τροφοδοτεί επαγωγικό φορτίο με ορισμένο συντελεστή ισχύος, πρέπει όταν αυξάνεται η ένταση φόρτισης, να αυξάνουμε την ένταση της διεγέρσεως για να διατηρεί ο εναλλακτήρας την ονομαστική του τάση. Τότε ο εναλλακτήρας **Υπερδιεγείρεται**.

Αντιθέτως, όταν τροφοδοτείται χωρητικό φορτίο από τον εναλλακτήρα θα πρέπει να ελαττώσουμε την ένταση διέγερσης. Τότε ο εναλλακτήρας **Υποδιεγείρεται**.

4.5 Έλεγχος λειτουργίας – Control

Σε μικρά και μεσαία υδροηλεκτρικά έργα που λειτουργούν συνεχόμενα όλο το 24ωρο δεν είναι επιτακτική η ανάγκη χειρισμού και παρακολούθησης της λειτουργίας της γεννήτριας και του σταθμού γενικότερα από κάποιον εργαζόμενο σε βάρδια. Η εποπτεία του σταθμού μπορεί να γίνεται με τηλεδιαχείριση και με παρακολούθηση εξ αποστάσεως του σταθμού ο οποίος διαθέτει ειδικά συστήματα τηλεδιαχείρισης.

Υπάρχουν μεγαλύτερα έργα όμως που λειτουργούν ως σταθμοί αιχμής, δηλαδή ξεκινούν τη λειτουργία τους μέσα στην μέρα οποιαδήποτε ώρα υπάρχει ανάγκη και σταματούν όταν πλέον δεν υπάρχει ζήτηση. Τέτοιοι σταθμοί είναι μεγάλοι και χρειάζονται ανά πάσα στιγμή ειδικούς χειρισμούς από τους χειριστές των στροβίλων και των γεννητριών. Αυτοί οι χειρισμοί και η παρακολούθηση της εκάστοτε μονάδας γίνονται από καταρτισμένο προσωπικό μέσα από κέντρα ελέγχου και χειρισμού (control rooms) (Εικ. 4.12).

Το προσωπικό αυτό είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία και το σταμάτημα των μονάδων, την αντιμετώπιση βλαβών και την εποπτεία της λειτουργίας του σταθμού γενικότερα όλες τις ώρες τις ημέρας.



Εικόνα 4.12: Κέντρο ελέγχου Υδροηλεκτρικού σταθμού Σφηκιάς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Τεχνο-οικονομική μελέτη ενός ΜΥΗΣ

5.1 Προκαταρκτικές μελέτες

Έχοντας την τύχη να παρακολουθήσω από κοντά την ανάπτυξη και την κατασκευή ενός μικρού ιδιωτικού υδροηλεκτρικού έργου στην Νάουσα Ημαθίας, θεωρώ χρήσιμο να παραθέσω κάποια στοιχεία σχετικά με την μελέτη, την κατασκευή αλλά και την οικονομική βιωσιμότητα τέτοιων επενδύσεων. Στην προσπάθεια μου αυτή, βοήθησαν πληροφορίες που έχω συλλέξει από τους ιδιοκτήτες του έργου, τους μηχανικούς επίβλεψης αλλά και ενός χρήσιμου λογισμικού προσομοίωσης έργων ανανεώσιμων πηγών που ονομάζεται RETscreen

Απαραίτητη προϋπόθεση για να ξεκινήσουν οι διαδικασίες ανάπτυξης τέτοιων υδροηλεκτρικών μονάδων είναι η προμήθεια της άδειας παραγωγής από την ΡΑΕ (ρυθμιστική αρχή ενέργειας) η οποία θα συνοδεύεται από τις απαραίτητες μελέτες, όπως μελέτη σκοπιμότητας, μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τεχνοοικονομική μελέτη βιωσιμότητας του έργου πάνω στην οποία θα επικεντρωθώ στην παρούσα διπλωματική εργασία.

5.2 Συνοπτική περιγραφή έργου

Το συγκεκριμένο έργο αφορά την λειτουργία Μικρού Υδροηλεκτρικού Σταθμού το οποίο αξιοποιεί την υπάρχουσα υδατόπτωση 91 μέτρων από την υδροληψία του αρδευτικού αγωγού του ΤΟΕΒ Ναούσης ο οποίος βρίσκεται στη διαδρομή του αρδευτικού δικτύου της διώρυγας 2Δ, έως τη θέση του εκτονωτικού φρεατίου στην περιοχή Σπήλαιο (Αγ. Θεόδωρος) όπου έχει πραγματοποιηθεί η εγκατάσταση του σταθμού. Αυτό σημαίνει ότι οι υποχρεώσεις για την εξασφάλιση της απαιτούμενης παροχής στην κοίτη για οικολογικούς λόγους όπως και οποιοσδήποτε άλλου είδους υποχρεώσεις προς το κοινωνικό σύνολο, έχουν ήδη αντιμετωπισθεί.

Η διώρυγα και ο αγωγός έχουν δυνατότητα παροχέτευσης 600 l/sec και αρδεύουν μια περιοχή 7.350 στρεμμάτων καλλιεργήσιμης γης, πράγμα που σημαίνει ότι εκτός από μη αρδευτική περίοδο κατά την οποία οι παροχή θα είναι η μέγιστη δυνατή δηλαδή 600 l/sec, ο αγωγός θα έχει μόνιμη αλλά αυξομειωμένη παροχή και κατά την αρδευτική περίοδο.

Βασικό χαρακτηριστικό του έργου είναι ότι το νερό κατά την αρδευτική περίοδο θα χρησιμοποιείται ταυτόχρονα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την άρδευση των καλλιεργειών. Εκτός αρδευτικής περιόδου το νερό θα χρησιμοποιείται μόνο για την παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό είναι βασικό και σημαίνει ότι για την μεν αρδευτική περίοδο εξασφαλίζεται μια παροχή νερού έστω και μειωμένη, άσχετα αν το έτος χαρακτηρίζεται ξηρό ή όχι, αφού το αρδευτικό δίκτυο πρέπει να εξυπηρετήσει τις ανάγκες άρδευσης μια αρκετά μεγάλης περιοχής 7.350 στρεμμάτων. Για την μη αρδευτική περίοδο η οποία είναι η πιο υγρή περίοδος του έτους, ο σταθμός θα μπορεί να αξιοποιεί όλη την ικανότητα παροχέτευσης της αρδευτικής διώρυγας.

Έτσι η μονάδα παραγωγής θα εκμεταλλεύεται σε όλη τη διάρκεια του έτους τη μέγιστη δυνατή ποσότητα νερού και θα παράγει τη μέγιστη δυνατή ενέργεια. Η ρύθμιση της παροχής προς τον Σταθμό θα γίνεται κρατώντας αμετάβλητη τη στάθμη της δεξαμενής που κατασκευάζεται στην υδροληψία του αρδευτικού αγωγού και παρακολουθείται με ειδικά σταθμήμετρα.

5.3 Παροχή ύψος πτώσης και αγωγός προσαγωγής

Σύμφωνα με στοιχεία που αντλήθηκαν, η μέγιστη παροχή του καναλιού στην είσοδο του αγωγού προσαγωγής είναι 600 lit/sec. Οπότε η μέγιστη παροχή που μπορεί να ληφθεί υπόψη για τους υπολογισμούς διαστασιολόγησης αγωγού και στρόβιλου είναι 0,60 m³/s. (Εικ. 5.1)



Εικόνα. 5.1: Μέση μηνιαία παροχή καναλιού

Ο βαθμός απόδοσης του αγωγού προσαγωγής αφορά στις απώλειες του αγωγού για τον υπολογισμό του καθαρού ύψους πτώσης και αντί αυτού έχουν υπολογιστεί οι απώλειές του και έχει εξαχθεί το απαιτούμενο καθαρό ύψος. Συνοπτικά αναφέρουμε ότι η καθαρή πτώση εξαρτάται από τις απώλειες του αγωγού προσαγωγής, άρα από το υλικό κατασκευής, το μήκος, και τη διάμετρό του.

Σύμφωνα με τα δεδομένα και τους υπολογισμούς που έχω λάβει από τους υπεύθυνους κατασκευής έχουμε : μήκος αγωγού: 709 m, διάμετρος αγωγού: Φ500, υλικό: χάλυβας, συνολικό ύψος πτώσης: 91,1 m, απώλειες : 10,67%.

Από τα παραπάνω προκύπτει ένα καθαρό ύψος πτώσης : **81,0 m**.

5.4 Στρόβιλος

Ο στρόβιλος που θα εγκατασταθεί είναι τύπου Francis, και η επιλογή του έγινε με βάση την ανάλυση και τα αποτελέσματα των υδρολογικών μετρήσεων παροχής και του ύψους πτώσης.

- Συνολικό ύψος πτώσης : 91,1 m
- Καθαρό ύψος πτώσης : 81,0 m
- Ονομαστική Παροχή : 0,60 m³/s

Στρόβιλος Francis. (Εικ. 5.2)

- Στροφές : 1000 rpm
- Ζεύγη πόλων : 3 (6 πόλοι)
- Βαθμός Απόδοσης του στρόβιλου : 0,90



Εικόνα 5.2: Στρόβιλος Francis

5.5 Αγωγός φυγής

Ο αγωγός φυγής (Είκ. 5.3) είναι τμήμα αγωγού μετά την έξοδο του νερού από τον στρόβιλο και είναι κωνικής μορφής, μικρής γωνίας για την αποφυγή αποκόλλησης της ροής. Μετά από ένα κάθετο τμήμα του καμπυλώνεται κατά 90° και η διατομή εξόδου είναι οριζόντια και πεπλατυσμένη.



Εικόνα 5.3: Αγωγός φυγής

5.6 Λοιπός εξοπλισμός

Υδραυλικό σύστημα ρύθμισης : Κατά την εκκίνηση του στροβίλου είναι απαραίτητος ένας μηχανισμός ο οποίος θα παραλαμβάνει τον έλεγχο του στροβίλου έως ότου η γεννήτρια παραλληλιστεί στο Ηλεκτρικό Δίκτυο της ΔΕΗ. Επίσης κατά την κανονική λειτουργία της μονάδας απαιτείται έλεγχος και ρύθμιση της παροχρευμένης ποσότητας του νερού στο στρόβιλο ώστε να γίνεται η ρύθμιση της ισχύος της Μονάδας Παραγωγής, σύμφωνα με τη σχέση παροχή-ισχύς. Τέλος σε περιπτώσεις απόρριψης φορτίου, η Μονάδα πρέπει να οδηγηθεί σε κράτηση με ελεγχόμενο τρόπο ώστε να αποφεύγεται η υπερτάχυνση της μονάδας.

Τα χαρακτηριστικά του συστήματος είναι :

- Δοχείο Λαδιού 100 lit
- Αριθμός αντλιών 1
- Αριθμός Φιαλών Αζώτου 1

Βαλβίδα Απομόνωσης: Για την απομόνωση του Σταθμού από τη δεξαμενή φόρτισής του, είναι αναγκαίο να τοποθετηθεί ένα στοιχείο διακοπής και εξασφάλισης. Η παροχρέυση του νερού και η διακοπή του στη κανονική λειτουργία του σταθμού αλλά και η ασφάλειά του σε περίπτωση μεγάλων διαρροών μέσα στο χώρο του Σταθμού, όπως και στις περιπτώσεις σοβαρών βλαβών που θα πρέπει να απομονώνεται ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός, θα εξασφαλίζεται από μία βαλβίδα απομόνωσης τύπου πεταλούδας.

Σύγχρονη γεννήτρια 500 KVA:

Η εξασφάλιση της μετατροπής της μηχανικής ισχύος του στροβίλου σε ηλεκτρική θα γίνεται από γεννήτρια (Εικ. 5.4) με τα παρακάτω χαρακτηριστικά :

- Ονομαστική Ενεργός Ισχύς 500 kW
- Ταχύτητα 1000 rpm
- Ονομαστική τάση 400 V

Η γεννήτρια θα είναι εφοδιασμένη με ηλεκτρονικό σύστημα διέγερσης, με όργανα ελέγχου θερμοκρασιών και θερμοαντικές αντιστάσεις.



Εικόνα 5.4: Σύγχρονη γεννήτρια

Πίνακας 20kV σύνδεσης με το Δίκτυο:

Η γεννήτρια θα συνδέεται σε δίκτυο των 20kV της ΔΕΗ. Η σύνδεσή της θα γίνεται από πίνακα ο οποίος θα περιέχει την άφιξη γραμμής, μετασχηματιστές μέτρησης και προστασίας και τους κατάλληλους διακόπτες προστασίας και γειώσεις (Είκ. 5.5). Τα κύρια χαρακτηριστικά του πίνακα είναι :

- Ονομαστική Τάση 24 kV
- Τάση Λειτουργίας 20 kV
- Ονομαστική Συχνότητα 50 Hz
- Αριθμός Φάσεων 3



Εικόνα 5.5: Πίνακας 20 kV

Κύριος Μετασχηματιστής Ανύψωσης 630 kVA, 0,4 kV/20 kV:

Η ανύψωση της τάσης της γεννήτριας από 0,4kV σε 20kV της γραμμής της ΔΕΗ, θα γίνεται από μετασχηματιστή ανύψωσης 0,4kV/20kV και με κύρια χαρακτηριστικά :

- Ονομαστική Ισχύς 630 kVA
- Μέγιστη Τάση 24 kV
- Τάση Υψηλής 20 kV
- Τάση Χαμηλής 0,4 kV
- Ονομαστική Συχνότητα 50 Hz

Πίνακας ελέγχου και χειρισμών:

Θα περιλαμβάνει όλα τα απαιτούμενα όργανα ελέγχου και χειριστήρια χειρισμών. Επίσης κατάλληλο Προγραμματιζόμενο Λογικό Ελεγκτή (PLC) για αυτόματη εκκίνηση, λειτουργία και κράτηση της Μονάδας Παραγωγής, ρύθμιση συχνότητας, ρύθμιση φορτίου/στάθμης, προστασία μονάδας με ακαριαία κράτηση, Modem συμβατό με τηλεφωνική γραμμή για τηλεμετάδοση των σημάτων και αυτόματο συγχρονιστή για τον παραλληλισμό της μονάδας με το δίκτυο. (Είκ. 5.6)



Εικόνα 5.6 : Πίνακας ελέγχου και χειρισμών

Πίνακας Μονάδας και Μετρήσεων:

Η έξοδος της γεννήτριας θα είναι 0,4 kV και θα οδεύει σε πίνακα με μετασχηματιστές μέτρησης και προστασίας και με τους κατάλληλους αυτόματους διακόπτες προστασίας και τον κύριο διακόπτη ισχύος της μονάδας (Είκ. 5.7). Τα κύρια χαρακτηριστικά του πίνακα είναι:

- Τάση Μόνωσης 0,6 kV
- Ονομαστική Τάση 0,4 kV
- Ονομαστική Συχνότητα 50 Hz
- Αριθμός Φάσεων 3
- Ονομαστικό ρεύμα ζυγών 100 A

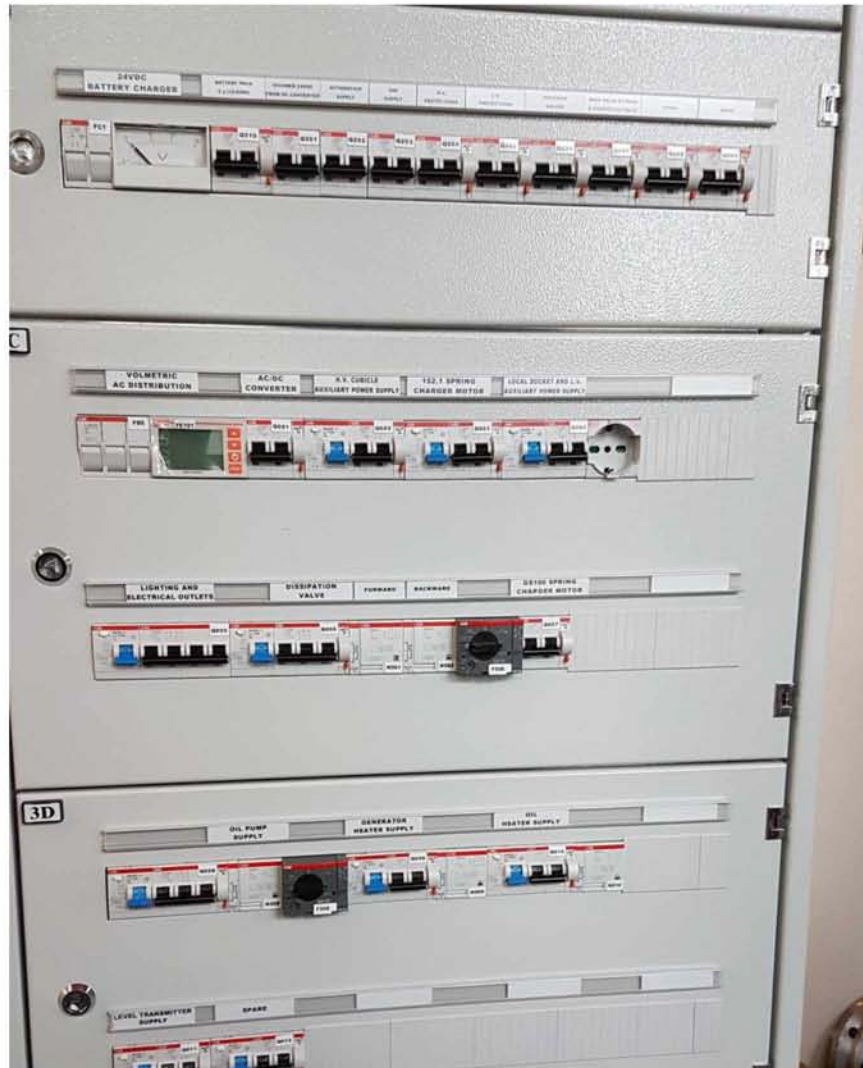


Εικόνα 5.7: Πίνακας μονάδας και μετρήσεων

Πίνακα Τροφοδοσίας Εναλλασσομένου και Συνεχούς Ρεύματος:

Η διανομή των εσωτερικών καταναλώσεων εναλλασσομένου ρεύματος του Σταθμού θα γίνεται από πίνακα με τους κατάλληλους διακόπτες, ενδεικτικά όργανα και όργανα μέτρησης (Εικ. 5.8). Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι :

- Τάση Μόνωσης 0,6 kV
- Ονομαστική Τάση 0,4/0,23 V
- Ονομαστικό Ρεύμα 125 A
- Ονομαστική Συχνότητα 50 Hz



Εικόνα 5.8: Πίνακας τροφοδοσίας AC\DC

5.7 Τι είναι το λογισμικό RETScreen

Το RETScreen είναι μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα Λογισμικού για την Καθαρή Ενέργεια που επιτρέπει στους επαγγελματίες και στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να εντοπίζουν και να αξιολογούν τη βιωσιμότητα των έργων ανανεώσιμης ενέργειας και συμπαραγωγής και να μετρήσει και να επαληθεύσει την πραγματική και συνεχή ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, των εργοστασίων και των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής σε όλο τον κόσμο. Το λογισμικό αναπτύσσεται από την κυβέρνηση του Καναδά σε συνεργασία με αξιολογούς διεθνείς εταιρούς και χρησιμοποιείται από περισσότερους από 525.000 ανθρώπους παγκοσμίως. Το RETScreen χρησιμοποιείται επίσης ως εργαλείο διδασκαλίας και έρευνας από πάνω από 900 πανεπιστήμια και κολλέγια παγκοσμίως και αναφέρεται συχνά στην ακαδημαϊκή βιβλιογραφία. [14]

Μια ανεξάρτητη μελέτη επιπτώσεων εκτίμησε ότι μέχρι το 2013, η χρήση του λογισμικού RETScreen ευθυνόταν, παγκοσμίως, για πάνω από 8 δισεκατομμύρια δολάρια εξοικονόμηση σε κόστος συναλλαγής χρήστη, για 20 MT ετησίως μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, και επέτρεψε τουλάχιστον 24 GW εγκατεστημένης δυναμικότητας καθαρής ενέργειας. [15]

5.8 Υπολογισμός Παραγόμενης ισχύος με βάση το μοντέλο του RETSCREEN

Σύμφωνα με το ενεργειακό μοντέλο ανάλυσης του RETScreen που θα δούμε παρακάτω η σταθερή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που θα παράγει η υδροηλεκτρική μονάδα με τα παραπάνω χαρακτηριστικά ανέρχεται στα 330 kW ενώ η ονομαστική ισχύς της μονάδας ανέρχεται στα 402 kW. Στον υπολογισμό της διαθέσιμης ηλεκτρικής ισχύος λαμβάνονται υπόψη όπως θα δούμε παρακάτω και οι υδραυλικές απώλειες ενέργειας στον αγωγό 10,6%, η αποδοτικότητα της γεννήτριας 95% και οι λοιπές απώλειες (στον μετασχηματιστή κλπ) 1,5%. Η διαθεσιμότητα της μονάδας υπολογίζεται στο 90% του έτους λαμβάνοντας υπόψη τις χρονικές περιόδους όπου αυτή δε θα λειτουργεί είτε λόγω βλαβών είτε λόγω συντήρησης.

Εισάγοντας τα στοιχεία της καμπύλης διάρκειας παροχής το μοντέλου του RETScreen υπολογίζει μια σταθερή ροή περί τα 0,45 m³/s. Θα χρησιμοποιηθεί ένας υδροστρόβιλος τύπου Francis και η διάμετρος του στροφείου θα είναι τέτοια ώστε να εκμεταλλεύεται μια μέγιστη διαστασιολόγηση ροής που όπως είδαμε αγγίζει τα 0,6 m³/s. Η απόδοση του υδροστρόβιλου στην ονομαστική του ισχύ όπως υπολογίζεται από το ενεργειακό μοντέλου του RETScreen είναι περίπου 89% (Είκ. 5.9 – 5.10-5.11).

Τεχνολογία

Υδροστρόβιλος

Τύπος ανάλυσης

Ο Μέθοδος 1
⊗ Μέθοδος 2

Αξιολόγηση πηγών

Προτινόμενο Έργο

Όλκο μονομετρικό

Επίδραση μεγίστου ύψους απαγωγής

Ροή καταλοίπων

Ποσοστό χρόνου ύπαρξης σταθερής ροής

Σταθερή ροή

Υδροστρόβιλος

Διαστασιολόγηση ροής

Τύπος

Απόδοση στρόβιλου

Αριθμός στρόβιλων

Κατασκευαστής

Μοντέλο

Συντελεστής σχεδιασμού

Ρύθμιση απόδοσης

Απόδοση ισχύος στρόβιλου

Ροή στην μέγιστη απόδοση

Απόδοση στρόβιλου σε ονομαστική ισχύ

Δεδομένα	
m	91,1
m	0,00
m ³ /s	0,000
%	50,0%
m ³ /s	0,45

Υδροστρόβιλος	
m ³ /s	0,600
Τύπος	Francois
Απόδοση στρόβιλου	Τυποποιημένο
Αριθμός στρόβιλων	1
Κατασκευαστής	
Μοντέλο	
Συντελεστής σχεδιασμού	3
%	3,0%
%	93,2%
m ³ /s	0,5
%	88,6%

%	Ροή m ³ /s	Απόδοση στρόβιλου	Αριθμός στρόβιλων	Συνδυασμένη απόδοση
0%	0,00	0,03	0	0,00
5%	0,20	0,03	1	0,03
10%	0,20	0,13	1	0,13
15%	0,20	0,26	1	0,26
20%	0,20	0,39	1	0,39
25%	0,25	0,49	1	0,49
30%	0,30	0,59	1	0,59
35%	0,30	0,67	1	0,67
40%	0,35	0,73	1	0,73
45%	0,40	0,79	1	0,79
50%	0,45	0,84	1	0,84
55%	0,50	0,87	1	0,87
60%	0,55	0,90	1	0,90
65%	0,60	0,92	1	0,92
70%	0,60	0,93	1	0,93
75%	0,60	0,93	1	0,93
80%	0,60	0,93	1	0,93
85%	0,60	0,93	1	0,93
90%	0,60	0,93	1	0,93
95%	0,60	0,93	1	0,93
100%	0,60	0,93	1	0,93

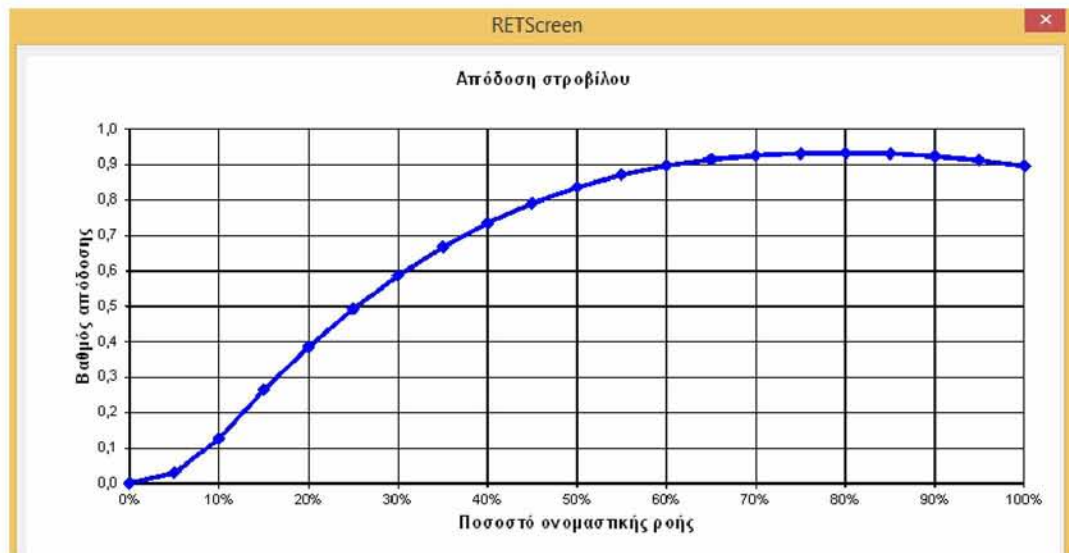
[Δείτε βάση δεδομένων προϊόντων](#)

[Δείτε σχήμα](#)

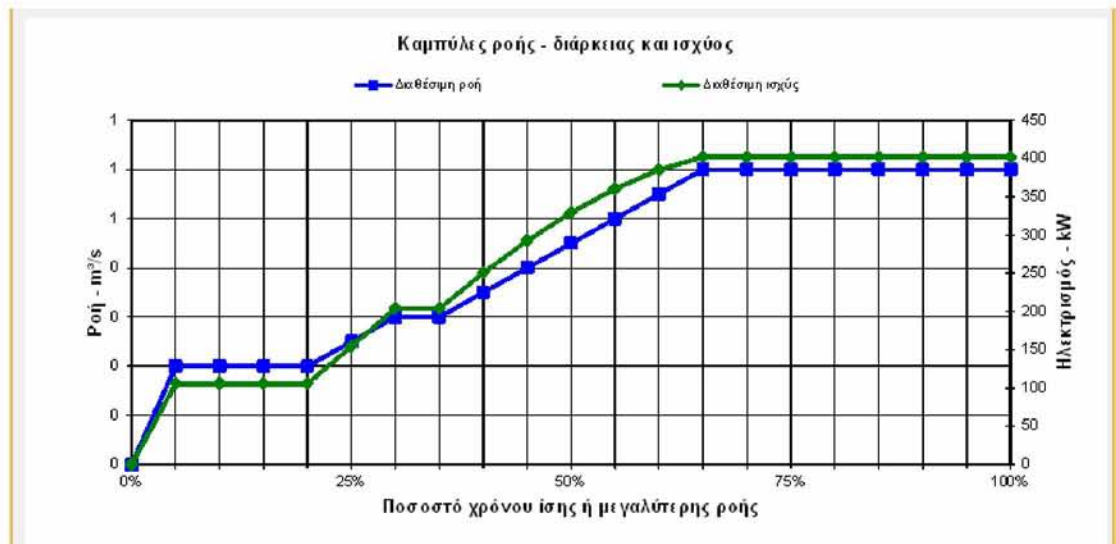
[Δείτε σχήμα](#)

Εκκίνηση | Ενεργειακό Μοντέλο | Ανάλυση Κόστους | Ανάλυση Εκπομπών | Οικονομική Ανάλυση | Ανάλυση Επικινδυνότητας | Εργασία

Εικόνα 5.9: Ενεργειακό Μοντέλο RETScreen



Εικόνα 5.10: Απόδοση στρόβιλου σε συνάρτηση με την παροχή



Εικόνα 5.11: Παραγόμενη ισχύς και καμπύλη παροχής

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η ετήσια παραγόμενη ισχύς όπως θα δούμε στην παρακάτω εικόνα (Είκ.5.12) ανέρχεται στα 2216 MWh. Ενώ η τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού ορίζεται στα 90 Ευρώ / MWh.

10%	0,20	0,13	1	0,13
15%	0,20	0,20	1	0,20
20%	0,20	0,39	1	0,39
25%	0,25	0,49	1	0,49
30%	0,30	0,59	1	0,59
35%	0,30	0,67	1	0,67
40%	0,35	0,73	1	0,73
45%	0,40	0,79	1	0,79
50%	0,45	0,84	1	0,84
55%	0,50	0,87	1	0,87
60%	0,55	0,90	1	0,90
65%	0,60	0,92	1	0,92
70%	0,60	0,93	1	0,93
75%	0,60	0,93	1	0,93
80%	0,60	0,93	1	0,93
85%	0,60	0,93	1	0,93
90%	0,60	0,92	1	0,92
95%	0,60	0,91	1	0,91
100%	0,60	0,90	1	0,90

Μέγιστος υδραυλικός απώλειες	%	10,6%
Λοιπές απώλειες	%	1,6%
Αποδοτικότητα γεννήτριας	%	98,0%
Διαθεσιμότητα	%	90,0%

Παράληψη			Σταθερό
Ηλεκτρική ισχύς	kW	402	330
Συντελεστής ρύθμισης διαθέσιμης ροής		1,00	
Συντελεστής ισχύος	%	82,9%	

Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	2.216
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού	€/MWh	90,00

Εικόνα 5.12: Ετήσια παραγόμενη ισχύς

5.9 Ανάλυση κόστους επένδυσης

Με βάση στοιχεία που συλλέχθηκαν από τους επενδυτές, τους μελετητές μηχανικούς και τους κατασκευαστές το συνολικό κόστος της μελέτης και της κατασκευής του έργου ανέρχεται στα 609000 ευρώ και παρουσιάζεται αναλυτικά στους παρακάτω πίνακες.

Έργα πολιτικού μηχανικού	Κόστος επένδυσης
Αγωγός Πτώσης	41000
Εκτροπή Καναλιού	6000

Δεξαμενή Φόρτισης	11000
Υδροληψία	8500
Κατασκευή κτιρίου ΜΥΗΣ	51000
Οδός προσπέλασης – Έργα οδοποιίας	12000
Σύνολο	129,500

<u>Ηλεκτρομηχανολογικός Εξοπλισμός</u>	<u>Κόστος</u>
Υδροστρόβιλος Francis	92000
Γεννήτρια	182000
Μετασχηματιστής	
Ηλεκτρικοί πίνακες – αυτοματισμός	
Γραμμή μεταφοράς	32000
Υποσταθμός	53000
Σύνολο	359000

<u>Μελέτες – Άδειες</u>	<u>Κόστος</u>
Μελέτες – Άδειες	55000
Επίβλεψη – εκπαίδευση προσωπικού	66000
Σύνολο	121000

Πίνακες συνολικού κόστους επένδυσης

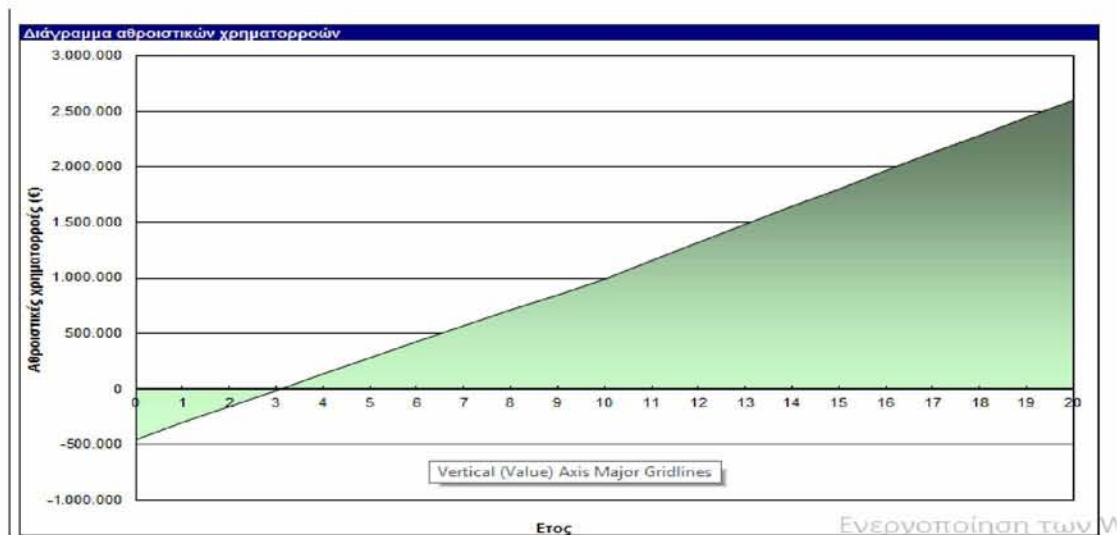
Σε κάθε περίπτωση υπάρχουν ετήσια μεταβλητά έξοδα κατά της διάρκεια λειτουργίας του ΜΥΗΕ τα οποία αναλύονται παρακάτω και θα αφαιρεθούν από τα ετήσια έσοδα του έργου. Τα έξοδα αυτά αγγίζουν το συνολικό ποσό των 40300 ευρώ το χρόνο.

<u>Μισθοδοσία</u>	<u>Ετήσιο Κόστος</u>
Επόπτης – τεχνίτης	10800
Μερική απασχόληση λογιστή	1800
Μερική απασχόληση τεχνικού συμβούλου	3600
<u>Ασφάλιστρα Εξοπλισμού</u>	4000
<u>Έξοδα Συντήρησης</u>	7400
<u>Λοιπές δαπάνες (Δικαιώματα ΤΟΕΒ, δικαιώματα δήμου, ίντερνετ, αναλώσιμα)</u>	12700
Σύνολο	40300

Πίνακας ετήσιων εξόδων λειτουργίας

5.11 Σύνοψη

Με βάση τα παραπάνω γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι μια τέτοια επένδυση είναι ιδιαίτερα κερδοφόρα και αποδοτική καθώς πραγματοποιείται γρήγορη απόσβεση των αρχικών κεφαλαίων σε περίπου 3 χρόνια (Είκ. 5.14).



Εικόνα 5.14: Αθροιστικές χρηματοροές σε βάθος 20ετίας

Στη συνέχεια και για τα υπόλοιπα έτη ζωής του έργου θα εξασφαλίζεται ένα σταθερό εισόδημα για τους επενδυτές. Ταυτόχρονα παρατηρείται οικονομική ανάπτυξη (στη φάση της κατασκευής) των εκάστοτε τοπικών κοινωνιών (όπου κατασκευάζονται ΜΥΗΕ) καθώς τέτοιες επενδύσεις προσφέρουν δουλειά και απασχόληση σε διάφορους τεχνικούς κλάδους. Κατασκευαστικά συνεργεία (εργολάβοι) αλλά και μεμονωμένοι τεχνίτες (ηλεκτρολόγοι, μηχανολόγοι, συγκολλητές) εμπλέκονται σε διάφορες φάσεις της κατασκευής του έργου και με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται νέες θέσεις εργασίας.

Παράλληλα η λειτουργία τέτοιων μονάδων βελτιώνει και σταθεροποιεί τα εκάστοτε τοπικά ηλεκτρικά δίκτυα και συνεισφέρει στην αποδοτικότερη και πιο αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές.

Με βάση όλα όσα προαναφέρθηκαν είναι πιο επιτακτική από ποτέ η ανάγκη βελτίωσης του θεσμικού πλαισίου για την δημιουργία και την ανάπτυξη περισσότερων τέτοιων επενδύσεων. Η ανάγκη απεμπλοκής της χρονοβόρας γραφειοκρατικής διαδικασίας και φυσικά η κρατική συνεισφορά με κίνητρα και επιχορηγήσεις για την περαιτέρω αξιοποίηση του υδάτινου δυναμικού της χώρας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Επίλογος – Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια ανάλυσης μελέτης και σχεδιασμού ενός υδροηλεκτρικού έργου. Μελετήθηκαν διεξοδικά διάφορα βοηθητικά έργα όπως φράγματα αγωγοί και τεχνητές λίμνες.

Αναφέρθηκαν και εξετάστηκαν δομικά κομμάτια όπως ο υδροστρόβιλος και η γεννήτρια και μελετήθηκαν λεπτομερώς ο τρόπος λειτουργίας τους και τα χαρακτηριστικά τους.

Κλείνοντας έγινε μια προσπάθεια τεχνο-οικονομικής μελέτης ενός μικρού υδροηλεκτρικού έργου με τη βοήθεια του ανοιχτού λογισμικού RETScreen.

Σε κάθε περίπτωση είναι επιτακτική η ανάγκη μεγαλύτερης αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παγκοσμίως και ειδικά στη χώρα μας. Όπως είδαμε υπάρχει μεγάλη περεταίρω δυνατότητα εκμετάλλευσης των υδάτινων πόρων με τα υδροηλεκτρικά έργα, παρέχοντας λύσεις στα μεγάλα και αυξανόμενα ενεργειακά προβλήματα με μορφές ενέργειας που σέβονται το περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Βιβλίο, De Architectura, Marcus Vitruvius, Probably written between 30 and 15 BC

[2] Μελέτη, Έκθεση για την απόδοση λειτουργίας του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, ΑΔΜΗΕ, 2016

[3] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας

[4] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας

[5] Βιβλίο, Υδροστρόβιλοι, Τσιρίκογλου, Θεόδωρος Βλαχογιάννης, Εκδόσεις Κάλλιπος, Αθήνα, 2015

[6] Διπλωματική εργασία, Μελέτη της θλιπτικής αντοχής Αξονοσυμμετρικών Φραγμάτων Κυλινδρούμενου Σκληρού Επιχώματος, Ζαχαρόπουλος Θεόδωρος, ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα, 2014

[7] Διαλέξεις, Γεωτεχνική Μηχανική, Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Λέκτορας ΕΜΠ, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Αθήνα, 2015

[8] Υλικό, Φράγματα: Ταξινόμηση – Κατασκευαστικές απαιτήσεις, Νικόλαος Σαμπατάκης, Τμήμα Γεωλογίας Πανεπιστήμιο Πατρών, 2014

[9] Διαλέξεις, ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ, Αγγελίδης Π. Αναπληρωτής καθηγητής, Δημοκρίτειο πανεπιστήμιο Θράκης, τμήμα πολιτικών μηχανικών, 2016

[10] Βιβλίο, ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΠΑΠΑΝΤΩΝΗΣ, Υδροδυναμικές Μηχανές (Αντλίες – Υδροστρόβιλοι), Εκδόσεις ΣΥΜΕΩΝ, Αθήνα, 1994

[11] Διάλεξη, ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΕΡΓΑ, κεφάλαιο 6 έργα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, Αγγελίδης Π., Αναπλ. Καθηγητής, ΔΠΘ Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

[12] Υλικό διαλέξεων, Υδροδυναμικές μηχανές, Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης, Τ.Ε.Ι Κρήτης, Τμήμα Μηχανολογίας, Κρήτη, 2015

[13] Βιβλίο, Ηλεκτρικές μηχανές AC-DC, Stephen J. Chapman, 3^η έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2001

[14] <https://openei.org>, RETscreen Overview, 2018

[15] Έκθεση, «Archived - RETscreen International: Results & impacts 1996-2012» (PDF), Καναδάς, 2012