



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Μελέτη υδροηλεκτρικού εργοστασίου ισχύος 0.5 MW

Διπλωματική Εργασία

Κελεπούρης Νικόλαος

Επιβλέποντες: Τσουκαλάς Ελευθέριος
Μπαργιώτας Δημήτριος
Σταμούλης Γεώργιος

Βόλος, 2019



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

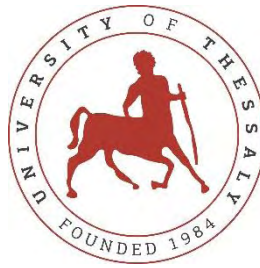
Μελέτη υδροηλεκτρικού εργοστασίου ισχύος 0.5 MW

Διπλωματική Εργασία

Κελεπούρης Νικόλαος

Επιβλέποντες: Τσουκαλάς Ελευθέριος
Μπαργιώτας Δημήτριος
Σταμούλης Γεώργιος

Βόλος, 2019



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

Hydroelectric plant study of 0.5 MW

Diploma Thesis

Kelepouris Nikolaos

Supervisors: Tsoukalas Eleftherios
Bargiotas Dimitrios
Stamoulis Georgios

Volos, 2019

Ευχαριστίες

Με αφορμή την διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές Ελευθέριο Τσουκαλά και Δημήτριο Μπαργιώτα για την καθοδήγηση που μου παρείχαν στην εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας και γενικότερα, σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Ακόμα νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω τους ιδιοκτήτες του μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού για τα στοιχεία και την εμπειρία που μου προσκόμισαν. Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, για την στήριξη που μου παρείχε σε όλα τα χρόνια φοίτησής μου.

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

«Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής».

Ο Δηλών

Κελεπούρης Νικόλαος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι σύγχρονες κοινωνίες καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας, οι οποίες ως επί το πλείστον καλύπτονται από συμβατικές πηγές. Η χρήση, όμως, συμβατικών πηγών ενέργειας έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Επιπλέον, τα αποθέματα αυτών των ενεργειακών πηγών είναι πεπερασμένα, κι η σταδιακή τους εξάντληση ελλοχεύει τον κίνδυνο αδυναμίας κάλυψης της ενεργειακής ζήτησης. Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων, καθίσταται αναγκαία η αύξηση χρήσης εναλλακτικών πηγών. Σε αυτό το πλαίσιο η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αποφασίσει την προώθηση ανανεώσιμων πηγών στο ενεργειακό δυναμικό κάθε χώρας.

Μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι η υδροηλεκτρική ενέργεια. Υδροηλεκτρική, καλείται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας την ενέργεια υδάτων. Η ενέργεια του νερού, που χρησιμοποιείται, έχει προέλθει από τον υδρολογικό του κύκλο. Ο υδρολογικός κύκλος είναι ο λόγος για τον οποίο η υδροηλεκτρική ενέργεια ανήκει στις ανανεώσιμες πηγές.

Η εκμετάλλευση αυτής της μορφής ενέργειας, προϋποθέτει την κατασκευή υδροηλεκτρικών έργων. Τα έργα αυτά, ομαδοποιούνται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά που διαθέτουν. Η πιο συνηθισμένη διάκριση που υπόκεινται είναι σε μικρούς και μεγάλους υδροηλεκτρικούς σταθμούς, ανάλογα με την εγκατεστημένη τους ισχύ. Ο τρόπος λειτουργίας κάθε σταθμού, αποτελεί ένα ακόμη κριτήριο ομαδοποίησής τους. Συγκεκριμένα, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους, διαχωρίζονται σε υδροηλεκτρικά που βασίζονται σε φράγμα, υδροηλεκτρικά εκτροπής ποταμού, υδροηλεκτρικά αντλησιοταμίευσης και υδροηλεκτρικά ανοικτής θαλάσσης.

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί έχουν θετική συνεισφορά στο περιβάλλον καθώς μειώνουν τις εκπομπές ρύπων. Παρόλα αυτά, όπως και κάθε ανθρώπινη παρέμβαση στη φύση, δύναται να υπονομεύσει την ομαλή της λειτουργία. Οι μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί, εξαιτίας του μεγέθους τους έχουν περισσότερες αρνητικές επιπτώσεις από τους μικρούς σταθμούς.

Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εκμεταλλευόμενοι την ενέργεια των υδάτων παρουσιάζουν κοινά δομικά έργα και κοινό ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό. Οι υδροστρόβιλοι είναι μέρος του μηχανολογικού εξοπλισμού ενός υδροηλεκτρικού σταθμού και μετατρέπουν την ενέργεια του νερού σε μηχανική, η οποία θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Οι υδροστρόβιλοι ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους διακρίνονται σε

υδροστρόβιλους δράσης κι αντίδρασης. Οι κυριότεροι υδροστρόβιλοι δράσης είναι οι Pelton, Turgo και Cross-flow ενώ αντίδρασης οι Francis και Kaplan.

Η κατασκευή ενός υδροηλεκτρικού σταθμού αποτελεί μια δαπανηρή επένδυση, η οποία είναι σημαντικό να αποδειχθεί κερδοφόρα. Για να είναι κερδοφόρα μια τέτοια επένδυση θα πρέπει να γίνει οικονομική ανάλυση λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά του σταθμού και τις συνθήκες που επικρατούν στη χώρα, όπου πρόκειται ανεγερθεί.

Για να γίνει ευκολότερα κατανοητή η μελέτη των υδροηλεκτρικών σταθμών, κρίθηκε απαραίτητη η μελέτη λειτουργίας και παραγωγής ενός υδροηλεκτρικού σταθμού 0.5 MW. Μέσα από την μελέτη του σταθμού αυτού, έγινε προσπάθεια συσχέτισης της παραγωγής με τα κλιματικά φαινόμενα της περιοχής.

ABSTRACT

Modern societies consume large amounts of energy, which are mostly produced from conventional sources. However, the use of conventional source has a negative impact on the environment. In addition, the stocks of these energy sources are confined, and their gradual exhaustion undermines the risk of failing to meet energy demand. In order to address the above problems, it is necessary to increase the use of alternative sources. In this context, the European Union has decided to promote renewable energy sources in each country's energy potential.

One of the most widely used renewable energy sources is hydroelectric power. Hydroelectric, is called the production of electricity using water energy. The energy of the water used is derived from its hydrological cycle. The hydrological cycle is the reason why hydropower belongs to renewable sources.

The exploitation of this type of energy requires the construction of hydroelectric projects. These projects are grouped according to their characteristics. The most common discrimination is in the small and large hydroelectric stations, depending on their installed power. Each station's mode of operation is another criterion for grouping them. Specifically, depending on their mode of operation, they are separated into storage hydropower, run-of-the river hydropower, pumped-storage and offshore hydropower.

Hydroelectric plants have a positive contribution to the environment as they reduce pollutant emissions. However, hydropower plants, like any human intervention in nature, it can undermine its normal functioning. Large hydroelectric plants, due to their size, have more negative impacts than small stations.

Small hydropower plants show same construction projects and electromechanical equipment. Hydro-turbines are part of the mechanical equipment of hydroelectric plant and convert water energy into engineering, which we will be used to produce electricity. The turbines according to their mode of operation are distinguished in impact and reaction turbines. The main impact turbines are Pelton, Turgo and Cross-flow and the main reaction turbines are Francis and Kaplan.

The construction of a hydroelectric plant is a costly investment, which is important to prove profitable. For such an investment to be profitable, an economic analysis should be made taking into account the characteristics of the station and the conditions prevailing in the country

where it was to be built.

In order to make the study of hydroelectric plants easier to understand, it was considered necessary to study the operation and production of a 0.5 MW hydropower station. Through the study of this station, an attempt was made to correlate production with the climatic phenomena of the area.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	vii
ABSTRACT.....	ix
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Ενέργεια – Ενεργειακό πρόβλημα	1
1.2 Εναλλακτικές πηγές ενέργειας και ανάγκη μεγαλύτερης αξιοποίησης τους	2
1.3 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ευρώπη – στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	5
1.4 Ενέργεια στην Ελλάδα.....	7
1.4.1 Ελληνικό ενεργειακό μείγμα.....	7
1.4.2 Ανανεώσιμες πηγές στην Ελλάδα	9
1.5 Ηλεκτρικό ρεύμα στην Ελλάδα.....	10
1.5.1 Ιστορική Αναδρομή	10
1.5.2 Παραγωγή	11
1.5.3 Ζήτηση	13
1.5.4 Διασυνδέσεις	13
1.5.5 Μη διασυνδεδεμένα νησιά.....	14
1.5.6 Σύστημα ηλεκτροπαραγωγής	16
2 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	17
2.1 Υδρολογικός κύκλος – ορισμός υδροηλεκτρικής ενέργειας.....	17
2.2 Ιστορική αναδρομή.....	18
3 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ	23
3.1 Διάκριση υδροηλεκτρικών έργων	23
3.2 Υπολογισμοί παραγωγής	24
3.3 Επιπτώσεις υδροηλεκτρικών έργων στο περιβάλλον.....	25
3.4 Τύποι υδροηλεκτρικών έργων.....	29
3.4.1 Υδροηλεκτρικά που βασίζονται σε φράγματα	29
3.4.2 Υδροηλεκτρικά εκτροπής ποταμού.....	31
3.4.3 Υδροηλεκτρικά συστήματα αντλησιοταμίευσης ή αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά εργοστάσια.....	33
3.4.4 Υδροηλεκτρικά ανοικτής θαλάσσης	35
4 ΜΙΚΡΟΙ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ.....	37

4.1 Διαμόρφωση μικρού υδροηλεκτρικού έργου.....	37
4.2 Περιβαντολογικές επιπτώσεις μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών	41
5 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΑΟΙ	43
5.1 Λειτουργία και διάκριση υδροστροβίλων.....	43
5.2 Υδροστρόβιλοι δράσης.....	44
5.2.1 Υδροστρόβιλος Pelton	45
5.2.2 Υδροστρόβιλος Turgo.....	47
5.2.3 Υδροστρόβιλος Cross-flow	48
5.3 Υδροστρόβιλοι αντίδρασης	49
5.3.1 Υδροστρόβιλος Francis.....	52
5.3.2 Υδροστρόβιλος Kaplan.....	53
6 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	57
6.1 Βασικά στοιχεία οικονομικής ανάλυσης.....	57
6.2 Τεχνικές και κριτήρια οικονομικής βιωσιμότητας	59
7 ΜΕΛΕΤΗ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ 0.5 MW	62
7.1 Περιγραφή υδροηλεκτρικού έργου	62
7.1.1 Λειτουργία σταθμού.....	63
7.1.2 Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός εντός σταθμού παραγωγής.....	65
7.1.3 Περίοδος λειτουργίας του υδροηλεκτρικού σταθμού	68
7.2 Μελέτη λειτουργίας.....	69
7.2.1 Μελέτη λειτουργίας για το έτος 2017-2018.....	69
7.2.2 Μελέτη λειτουργίας για το έτος 2018-2019.....	72
7.2.3 Σύγκριση των δύο ετών ανάλυσης	75
7.2.4 Συσχέτιση παροχής με μετεωρολογικά στοιχεία.....	77
7.3 Συντήρηση υδροηλεκτρικού σταθμού	79
8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	81
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	83

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	3
Εικόνα 1.2 Προσέγγιση χρήσης ενεργειακών πηγών κατά την ηλεκτροπαραγωγή με βάση την επίτευξη των συμφωνηθέντων στόχων για την κλιματική αλλαγή.....	3
Εικόνα 1.3 Πυρηνική σχάση - πυρηνική σύντηξη.....	4
Εικόνα 1.4 Μερίδιο ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, 2014	6
Εικόνα 1.5 Μερίδιο ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, 2017	6
Εικόνα 1.6 Πρωτογενής ενέργεια ανά πηγή στην Ελλάδα	7
Εικόνα 1.7 Ελληνική ενεργειακή παραγωγή ανά πηγή.....	9
Εικόνα 1.8 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά πηγή.....	12
Εικόνα 1.9 Ενεργειακό μείγμα στην ηλεκτροπαραγωγή.....	12
Εικόνα 1.10 Εξέλιξη συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα.....	13
Εικόνα 1.11 Εμπορικά προγράμματα ανταλλαγών ενέργειας ανά διασύνδεση, 2016	14
Εικόνα 2.1 Υδρολογικός κύκλος	18
Εικόνα 2.2 Η εξέλιξη της εγκατάστασης υδροηλεκτρικής ισχύς από το 1900	20
Εικόνα 2.3 Ισχύς υδροηλεκτρικής ενέργειας που τοποθετήθηκε μέσα στο 2017 ανά χώρα	21
Εικόνα 2.4 Three Gorges, Κίνα	21
Εικόνα 2.5 Itaipu, Βραζιλία.....	21
Εικόνα 2.6 Συνολική εγκατεστημένη υδροηλεκτρική ισχύς στην Ευρώπη	22
Εικόνα 3.1 Κατάρρευση φράγματος Tau Sauk	27
Εικόνα 3.2 Φράγμα στο Λάος που κατέρρευσε το 2018.....	29
Εικόνα 3.3 Διάβρωση φράγματος Kariba	29
Εικόνα 3.4 Τυπική λειτουργία υδροηλεκτρικού σταθμού με φράγμα	30
Εικόνα 3.5 Τυπικός υδροηλεκτρικός σταθμός με φράγμα.....	31
Εικόνα 3.6 Τυπικό υδροηλεκτρικό εκτροπής ποταμού - Run of the river	32
Εικόνα 3.7 Λειτουργία υδροηλεκτρικού σταθμού αντλησιοταμίευσης.....	34
Εικόνα 3.8 Συνδυασμός υδροηλεκτρικού συστήματος αντλησιοταμίευσης με άλλες ανανεώσιμες πηγές.....	35
Εικόνα 3.9 Λειτουργία υδροηλεκτρικού ανοικτής θαλάσσης.....	36
Εικόνα 4.1 Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός	39
Εικόνα 4.2 Υδροηλεκτρικός σταθμός χαμηλής υδραυλικής πτώσης ενσωματωμένος στο φράγμα - εκχειλιστή.....	40
Εικόνα 4.3 Σταθμός παραγωγής - ηλεκτρολογικός και μηχανολογικός εξοπλισμός	40
Εικόνα 5.1 one-jet Pelton	46
Εικόνα 5.2 multi-jet Pelton	46
Εικόνα 5.3 Pelton οριζόντιου άξονα	46
Εικόνα 5.4 Turgo	46
Εικόνα 5.5 Σύγκριση γωνίας πρόσκρουσης νερού σε υδροστροβίλους Turgo και Pelton	47
Εικόνα 5.6 Υδροστρόβιλος Cross-flow	48
Εικόνα 5.7 Τρόπος λειτουργίας Cross-flow με οριζόντια και κάθετη εισροή νερού	49
Εικόνα 5.8 Τμήμα εισόδου Francis	51
Εικόνα 5.9 Κλειστή θέση ρυθμιστικών πτερυγίων.....	51

Εικόνα 5.10 Ανοικτή θέση ρυθμιστικών πτερυγίων.....	51
Εικόνα 5.11 Τμήμα εισόδου Francis	52
Εικόνα 5.12 Στροφείο Francis	53
Εικόνα 5.13 Τμήμα εξόδου	53
Εικόνα 5.14 Υδροστρόβιλος Kaplan.....	55
Εικόνα 5.15 Στροφείο Kaplan	55
Εικόνα 5.16 Υδροστρόβιλος αξονικής ροής - υδροστρόβιλος βολβών	56
Εικόνα 7.1 Πορεία εκμεταλλεύσιμου ρέματος.....	62
Εικόνα 7.2 θέση υδροληψίας.....	63
Εικόνα 7.3 Εισροή νερού σε αγωγό προσαγωγής που οδηγεί στη δεξαμενή φόρτισης	64
Εικόνα 7.4 Αγωγός πτώσης που κατευθύνει το νερό στον υδροστρόβιλο.....	65
Εικόνα 7.5 Στροφείο υδροστρόβιλου Pelton.....	66
Εικόνα 7.6 Ακροφύσιο	67
Εικόνα 7.7 Επέκταση ακροφυσίου με σκοπό τη δημιουργία κατάλληλης γωνίας πρόσκρουσης ύδατος στα πτερύγια.....	67
Εικόνα 7.8 Υδροστρόβιλος Pelton κάθετου άξονα.....	68
Εικόνα 7.9 Έδρανο.....	80
Εικόνα 7.10 Απεγκατάσταση άξονα από στρόβιλο για συντήρηση	80

ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1 Μέση εκμεταλλεύσιμη παροχή - Μήνας λειτουργίας (2017-2018)	70
Διάγραμμα 2 Μέρες Λειτουργίας την περίοδο 2017- 2018	70
Διάγραμμα 3 Παραγόμενη ενέργεια - Μήνας λειτουργίας (2017-2018)	72
Διάγραμμα 4 Μέση εκμεταλλεύσιμη παροχή - Μήνας λειτουργίας (2018-2019)	73
Διάγραμμα 5 Μέρες λειτουργίας την περίοδο 2018-2019	73
Διάγραμμα 6 Παραγόμενη ενέργεια - Μήνας λειτουργίας (2018 -2019)	75
Διάγραμμα 7 Σύγκριση μέσης εκμεταλλεύσιμης παροχής ανά μήνα λειτουργίας	76
Διάγραμμα 8 Σύγκριση παραγόμενης ενέργειας ανά μήνα λειτουργίας.....	76
Διάγραμμα 9 Μέση θερμοκρασία ανά μήνα λειτουργίας	77
Διάγραμμα 10 Συνολικός υετός ανά μήνα λειτουργίας	78

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Μέση μηνιαία παροχή και μέρες λειτουργίας για το έτος 2017-2018.....	69
Πίνακας 2 Μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για το έτος 2017-2018.....	71
Πίνακας 3 Μέση μηνιαία παροχή και μέρες λειτουργίας για το έτος 2018-2019.....	72
Πίνακας 4 Μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για το έτος 2018-2019.....	74

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ενέργεια – Ενεργειακό πρόβλημα

Η ενέργεια είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ανθρώπινη εξέλιξη καθώς αποτελεί, τον πλέον σημαντικό παράγοντα για την κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη των λαών. Ως ενέργεια, ορίζεται η ικανότητα ενός σώματος ή συστήματος να παράγει έργο. Κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα απαιτεί ενέργεια για την πραγματοποίησή της. Με την πάροδο των χρόνων, την αύξηση του πληθυσμού, την ανάπτυξη της τεχνολογίας και τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, οι ενεργειακές ανάγκες γίνονται ολοένα και μεγαλύτερες. [17]

Η παραγωγή ενέργειας αρχικά στηρίχθηκε σε συμβατικές πηγές ενέργειας (κυρίως στο πετρέλαιο), των οποίων τα αποθέματα δεν είναι απεριόριστα. Οι συνεχώς αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες και τα περιορισμένα αποθέματα του πετρελαίου, συντέλεσαν στην διατύπωση του ενεργειακού προβλήματος. Το ενεργειακό πρόβλημα έγινε αισθητό όταν το 1973, τα μέλη του ΟΑΠΕΚ (Οργανισμός Αραβικών Χωρών – Εξαγωγέων Πετρελαίου Οργανισμού Αραβικών Πετρελαιοπαραγωγών Κρατών) ανακοίνωσαν πως δε θα προμήθευαν πλέον με πετρέλαιο τις χώρες, που υποστήριζαν το Ισραήλ στη διαμάχη του με τη Συρία και την Αίγυπτο. Η απόφαση αυτή είχε μεγάλες επιπτώσεις στην Ευρώπη και στην Ιαπωνία που στηρίζονταν κατά 75% και 80% αντίστοιχα στο Αραβικό πετρέλαιο. Το γεγονός αυτό ώθησε στην ανάπτυξη εναλλακτικών μεθόδων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών.

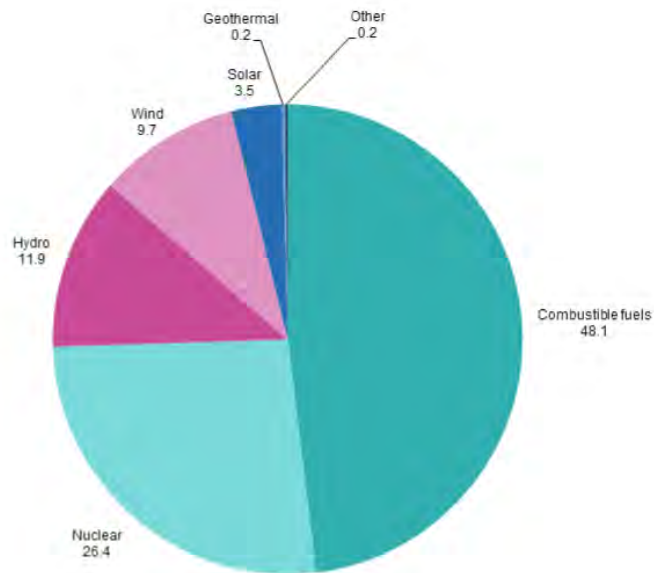
Στα αρνητικά της χρήσης συμβατικών πηγών ενέργειας πρέπει ακόμα, να σημειωθεί κι η αρνητική επίπτωση που έχουν στο περιβάλλον. Συγκεκριμένα, η ενεργειακή εκμετάλλευση αυτών των πηγών ενέργειας απελευθερώνουν ρύπους που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στην υπερθέρμανση του πλανήτη μέσα από αυτό. Η κλιματική αλλαγή, είναι ένας όρος που ακούγεται αρκετά συχνά σήμερα και είναι αποτέλεσμα της χρήσης των συμβατικών πηγών ενέργειας. [17,31]

1.2 Εναλλακτικές πηγές ενέργειας και ανάγκη μεγαλύτερης αξιοποίησης τους

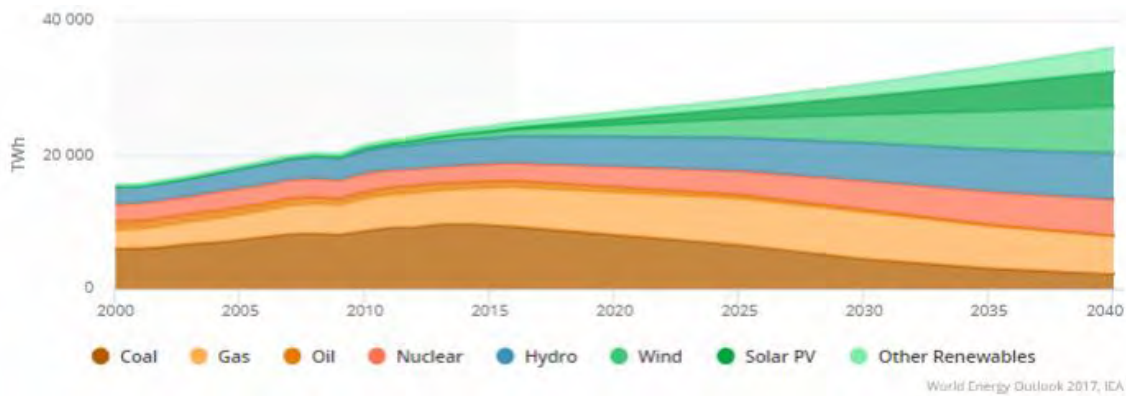
Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί, ίσως την πιο άμεσα αξιοποιήσιμη μορφή ενέργειας στις σύγχρονες κοινωνίες, αξιοποιώντας το βασικό της χαρακτηριστικό που είναι η ευκολία μετατροπής της σε άλλες μορφές ενέργειας. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όμως, γίνεται κατά κύριο λόγο με συμβατικές πηγές ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, το 48.1% του παραγόμενου ηλεκτρισμού οφείλεται σε ορυκτά καύσιμα (Εικόνα 1.1), γεγονός που καθιστά την ηλεκτροπαραγωγή, ως τον πιο ρυπογόνο τομέα. Η ρύπανση του περιβάλλοντος καθώς και η σταδιακή μείωση των ορυκτών καυσίμων φανερώνουν την ανάγκη για εναλλακτικές πηγές ενέργειας που μπορούν να προσφέρουν ενέργεια για αρκετά χρόνια. Εναλλακτική πηγή ενέργειας είναι κάθε πηγή ενέργειας που είναι εναλλακτική της καύσης των ορυκτών καυσίμων. Στις εναλλακτικές πηγές ενέργειας ανήκουν η πυρηνική ενέργεια και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η ανάγκη για εναλλακτικές πηγές ενέργειας γίνεται περισσότερο αντιληπτή από τη μελέτη της World Energy Outlook (Εικόνα 1.2), που παρουσίασε ένα υλοποιήσιμο σενάριο ενεργειακής ανάπτυξης κατά την ηλεκτροπαραγωγή για την επίτευξη των διεθνώς συμφωνηθέντων στόχων. Η μελέτη αφορά την περίοδο 2000 έως 2040 και δείχνει τη σταδιακή μείωση της χρήσης ορυκτών καυσίμων από το 2015 κι έπειτα και την ραγδαία αύξηση στη χρήση των εναλλακτικών μορφών ενέργειας κατά μεγάλο ποσοστό. Αξιοσημείωτο το γεγονός ότι η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται στην αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας με ανεμογεννήτριες αλλά και το γεγονός ότι μαζί με τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια προβλέπεται να παράγουν την περισσότερη ισχύ. [27,38,40,53]

Πυρηνική ενέργεια: ονομάζεται η ενέργεια που απελευθερώνεται όταν μετασχηματίζονται ατομικοί πυρήνες. Με πιο απλά λόγια η πυρηνική ενέργεια θεωρείται η ενέργεια που είναι εγκλεισμένη στους πυρήνες των ατόμων και σχετίζεται με τις αλληλεπιδράσεις των σωματιδίων του πυρήνα, που τον συνιστούν. Η πυρηνική ενέργεια απελευθερώνεται κατά τη σχάση ή τη σύντηξη των πυρήνων (Εικόνα 1.3). Οι περισσότεροι πυρηνικοί αντιδραστήρες στηρίζονται στην πυρηνική σχάση, κατά την οποία ένας ασταθής πυρήνας χωρίζεται (σχάται) σε δυο ή περισσότερους, μικρότερους πυρήνες και σε μερικά παραπροϊόντα (όπως νετρόνια). Τα νετρόνια των παραπροϊόντων μπορούν να προκαλέσουν περαιτέρω σχάσεις δημιουργώντας μια αυτοσυντηρούμενη αλυσιδωτή αντίδραση η οποία σε

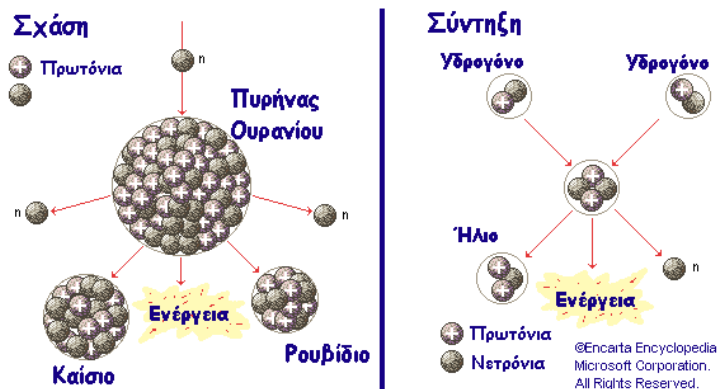
ελεγχόμενες ταχύτητες είναι παράγει εκμεταλλεύσιμη ενέργεια (πυρηνικοί αντιδραστήρες). Η σχάση είναι μια εξώθερμη αντίδραση αποδίδοντας ενέργεια με τη μορφή ακτινοβολίας κι ως κινητική ενέργεια των θραυσμάτων. [54]



Εικόνα 1.1 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [38]



Εικόνα 1.2 Προσέγγιση χρήσης ενεργειακών πηγών κατά την ηλεκτροπαραγωγή με βάση την επίτευξη των συμφωνηθέντων στόχων για την κλιματική αλλαγή [53]



Εικόνα 1.3 Πυρηνική σχάση - πυρηνική σύντηξη [57]

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ): είναι οι πηγές ενέργειας των οποίων τα αποθέματα είτε δεν εξαντλούνται (ηλιακή ακτινοβολία) είτε ανανεώνονται (βιομάζα). Οι ανανεώσιμες πηγές όπως έχει ήδη γίνει γνωστό, αναμένεται να έχει κεντρικό στόχο στην αντιμετώπιση του ενεργειακού προβληματισμού και πιο συγκεκριμένα στη μεταβολή του μίγματος καυσίμου και στην απελευθέρωση της αγοράς, ώστε να διασφαλίζεται η προστασία του περιβάλλοντος, ελαττώνοντας τη χρήση συμβατικών καυσίμων που εκπέμπουν ρυπογόνες ουσίες στην ατμόσφαιρα αλλά και την ενίσχυση του ανταγωνισμού στον ενεργειακό τομέα διατηρώντας ή ακόμα και βελτιώνοντας την τιμή με την οποία διατίθεται η ενέργεια στους καταναλωτές. Ως ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θεωρείται η αιολική, η ηλιακή, η γεωθερμική, η παλιρροϊκή/κυματική, υδροηλεκτρική και η ενέργεια από βιομάζα. [27,30]

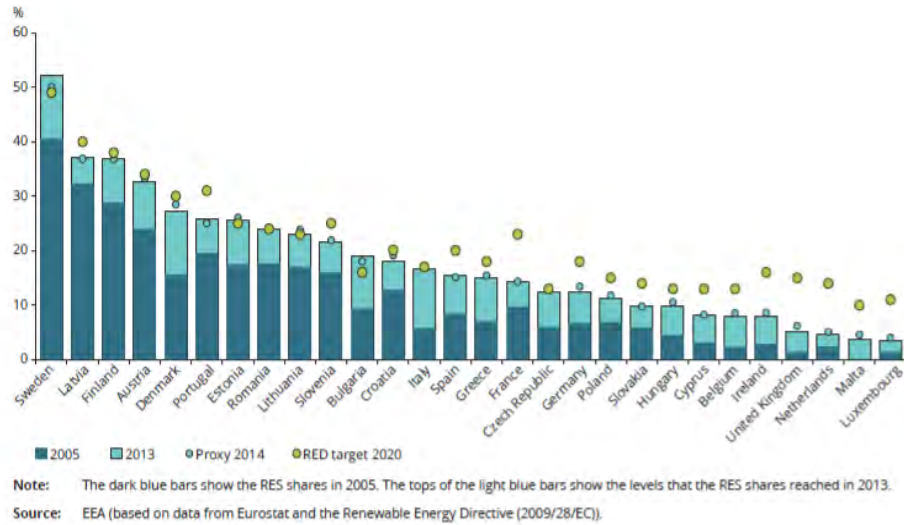
Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σημείωσαν τον υψηλότερο βαθμό ανάπτυξης οποιασδήποτε ενέργειας το 2017, φτάνοντας να αντιπροσωπεύουν σήμερα το 25% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Πρωτοστάτες σ' αυτό το επίτευγμα ήταν οι ΗΠΑ και η Κίνα, ακολοθούμενες από την Ευρώπη, την Ινδία και την Ιαπωνία. Αξιοσημείωτο είναι και το γεγονός ότι η ηλεκτροπαραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αυξήθηκε κατά 6.3% (380 TWh) στο 2017. [41]

1.3 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ευρώπη – στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης

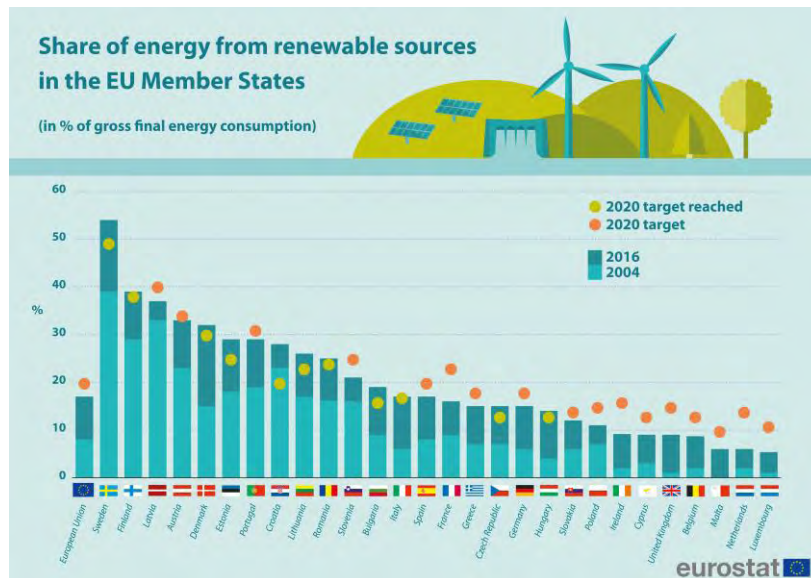
Με τα ορυκτά καύσιμα ν' αποτελούν την κύρια πηγή ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου να είναι αυξημένες δημιουργήθηκαν περιβαλλοντικά προβλήματα, τα οποία ενισχύθηκαν, και διόγκωσαν τις ανησυχίες για την αύξηση της θερμοκρασίας και την αλλαγή του κλίματος. Η προβλεπόμενη κλιματική αλλαγή έχει ευαισθητοποιήσει σε μεγάλο βαθμό την Ευρώπη, που έχει θέσει ως μία από τις βασικές της προτεραιότητες τη μείωση των ρύπων. Με αυτό το σκεπτικό, η Ευρωπαϊκή Ένωση αποφασίζει την προώθηση της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό τουλάχιστον 20% μέχρι το 2020 και στον κλάδο των μεταφορών τουλάχιστον στο 10% της ίδιας χρονιάς. Η επίτευξη των παραπάνω στόχων, θα έρθει μέσα από την επίτευξη φιλόδοξων στόχων που έχουν τεθεί για κάθε χώρα ξεχωριστά. Όπως είναι λογικό, το ποσοστό διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο κάθε χώρας, ορίστηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση προσαρμόζοντας το κατάλληλα με γνώμονα τις εθνικές συνθήκες της εκάστοτε χώρας. Η Σουηδία, η Λετονία κι η Φινλανδία είναι οι χώρες που χρησιμοποιούν περισσότερο ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές, ενώ αξιοσημείωτη είναι η πρόοδος που έχει παρουσιάσει η Βουλγαρία, η Σουηδία και η Εσθονία καλύπτοντας γρήγορα τα όρια του 2020 (Εικόνα 1.4). Σε μια πιο πρόσφατη ανάλυση, παρατηρείται ότι στο σύνολο της, η Ευρωπαϊκή Ένωση, είναι κοντά στην πραγματοποίηση των προβλεπόμενων ορίων για το 2020. Ωστόσο κάποια κράτη-μέλη της θα πρέπει να καταβάλλουν επιπλέον προσπάθειες για την ικανοποίηση των δικών τους στόχων (Εικόνα 1.5). Συγκεκριμένα, το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση έφτασε το 2016 το 17% έναντι του 8.5% που ήταν το 2004. Με σκοπό την καλύτερη ανάλυση, το μερίδιο της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές διαιρείται σε τρία μέρη, το μερίδιο στην ηλεκτρική ενέργεια, το μερίδιο στη θέρμανση και ψύξη και το μερίδιο στις μεταφορές. [36,37]

Το μερίδιο ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην ηλεκτρική ενέργεια, σύμφωνα με στοιχεία του 2016 σχεδόν άγγιξε το 30% της συνολικής ακαθάριστης ενέργειας με την υδροηλεκτρική και την αιολική ενέργεια να είναι οι σημαντικότερες πηγές. Το μερίδιο ενέργειας στη θέρμανση από την άλλη έφτασε το 19% το 2016 γνωρίζοντας μεγάλη πρόοδο καθώς το 2004 ήταν λίγο περισσότερο από 10%. Τα χαμηλότερα νούμερα από τα 3 διαιρούμενα μέρη

συναντιόνται στον κλάδο των μεταφορών όπου το 2016 ξεπέρασε το 7% παρουσιάζοντας σπουδαία αύξηση από το 1.4% που βρίσκονταν το 2004, δίνοντας ενθαρρυντικά μηνύματα για την επίτευξη του 10% που έχει οριστεί ως στόχος για το 2020. Στο συγκεκριμένο τομέα η Σουηδία πρωτοστατεί με περισσότερο από 30% που έχει μάλιστα μεγάλη απόσταση από την δεύτερη Αυστρία που βρίσκεται στο 11%, ενώ χαρακτηριστικό είναι ότι τέσσερις χώρες βρίσκονται κάτω από το 2% μέσα στις οποίες και η Ελλάδα. [36,41]



Εικόνα 1.4 Μερίδιο ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, 2014 [36]

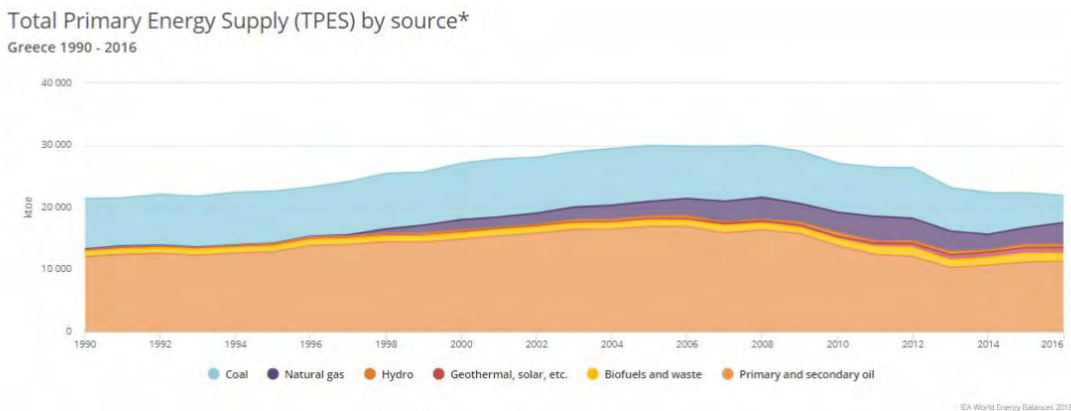


Εικόνα 1.5 Μερίδιο ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, 2017 [37]

1.4 Ενέργεια στην Ελλάδα

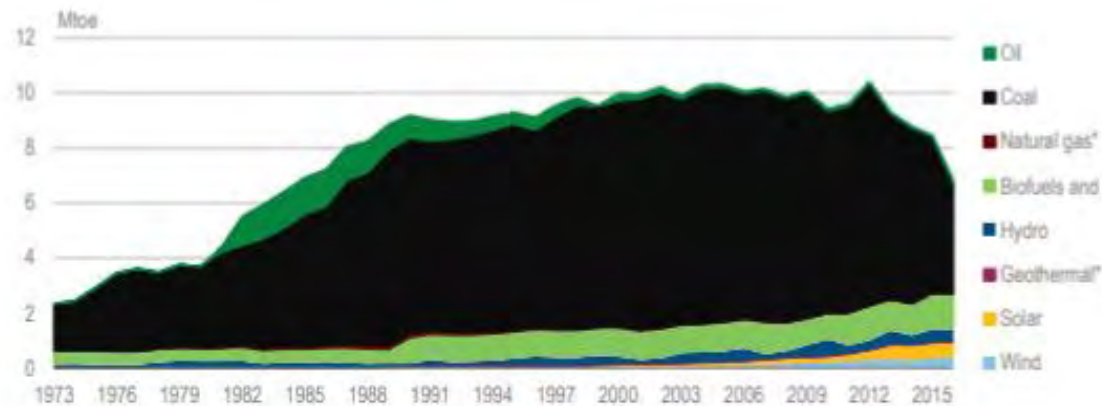
1.4.1 Ελληνικό ενεργειακό μείγμα

Η χρηματοοικονομική κρίση της Ελλάδας που ξεκίνησε το 2009 οδήγησε στην ένταξη της χώρας, ένα χρόνο μετά, σε ένα πρόγραμμα οικονομικής προσαρμογής, με τη συμμετοχή της Ευρωπαϊκής Ένωσης, του Διεθνές Νομισματικού Ταμείου και της Ευρωπαϊκής Τράπεζας. Βασική προτεραιότητα του οικονομικού αυτού εγχειρήματος αποτέλεσε η απελευθέρωση των αγορών και η αύξηση του ανταγωνισμού στον ενεργειακό τομέα. Οι εισαγωγές πρωτογενούς ενέργειας αποτελούν κύριο γνώρισμα του ελληνικού ενεργειακού τομέα, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα σημαντικό οικονομικό πλήγμα για τη χώρα. Μιλώντας με νούμερα (Εικόνα 1.6), η Ελλάδα έχει μεγάλη παραγωγή άνθρακα (Εικόνα 1.7), και η αξιοποίηση του γίνεται κυρίως στην ηλεκτροπαραγωγή εξασφαλίζει το 1/3 της συνολικής παραγωγής. Η μεγαλύτερη ενεργειακή εξάρτηση όμως της χώρας βρίσκεται στο πετρέλαιο και τα προϊόντα του. Το πετρέλαιο αποτελεί το κυρίαρχο καύσιμο και η διάθεση του στηρίζεται σχεδόν ολοκληρωτικά από την εισαγωγή του από άλλες χώρες. Ο τομέας των, μεταφορών είναι ο τομέας μεγαλύτερης ενεργειακής κατανάλωσης και η πραγματοποίηση του γίνεται με τη χρήση πετρελαϊκών προϊόντων. Συμπερασματικά, το ενεργειακό της μίγμα της χώρας είναι ένα χαρακτηριστικό που χρήζει βελτιώσεως. [42,43]



Εικόνα 1.6 Πρωτογενής ενέργεια ανά πηγή στην Ελλάδα [43]

Αναλύοντας το ενεργειακό μίγμα της Ελλάδας αξίζει κανείς να αναφερθεί στον λιγνίτη, ο οποίος αποτελεί και τη βάση του ελληνικού ενεργειακού συστήματος. Συγκεκριμένα, ο λιγνίτης που είναι και το μοναδικό, σημαντικό, εγχώριο ορυκτό καύσιμο στην Ελλάδα (Εικόνα 1.7), έχει καταγραφεί ως μία αξιόπιστη πηγή για τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Ο λιγνίτης μαζί με τον λιθάνθρακα συναποτελούν τον όρο του άνθρακα που αναφέρθηκε παραπάνω. Ο λιθάνθρακας θεωρείται καλύτερο καύσιμο από το λιγνίτη και η τιμή του είναι σχετικά σταθερή, το γεγονός όμως ότι για την Ελλάδα αποτελεί εισαγόμενο προϊόν επιτρέπει στο λιγνίτη να χρησιμοποιείται εκτενέστερα απ' ότι το ομοειδές του καύσιμο. Η επίτευξη όμως, των περιβαλλοντολογικών στόχων που έχουν θεσπιστεί, καθιστά αναγκαία τη μείωση χρήσης του λιγνίτη και γενικότερα του άνθρακα. Παράλληλα, συνιστάται η προώθηση χρήσης του φυσικού αερίου και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το φυσικό αέριο, αν και η εκμετάλλευσή του έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια, προβλέπεται η περαιτέρω αξιοποίηση του, ειδικότερα στον οικιακό τομέα, αντικαθιστώντας τα συστήματα πετρελαίου. Το πετρέλαιο, όπως έχει γίνει ήδη γνωστό, χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό. Η μεγάλη πετρελαϊκή χρήση αποτελεί σημαντικό οικονομικό έξοδο της χώρας, καθώς αποτελεί ένα ακριβό εισαγόμενο προϊόν, Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στην εικόνα², η εξόρυξη-παραγωγή του πετρελαίου στην Ελλάδα, παρόλο που στα μέσα της δεκαετίας του 1990 ήταν σε ικανοποιητικά επίπεδα, έχει πλέον ελαχιστοποιηθεί. Ένας σημαντικός παράγοντας της αυξημένης χρήσης του πετρελαίου, αφορά, τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Το κύριο αίτιο του παραπάνω συμπεράσματος, αποτελεί, η έλλειψη ηλεκτρικής διασύνδεσης πολλών ελληνικών νησιών με την υπόλοιπη Ελλάδα. Τα μη διασυνδεδεμένα αυτά νησιά, χρησιμοποιούν, σε μεγάλο βαθμό, γεννήτριες πετρελαίου για την κάλυψη των αναγκών τους σε ηλεκτρικό ρεύμα. Το συγκεκριμένο πρόβλημα επιλύεται καθώς η Ελλάδα έχει ξεκινήσει μεγάλα έργα διασύνδεσης. Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών βρίσκεται σε μικρά επίπεδα σε σύγκριση με το διαθέσιμο φυσικό πλούτο της χώρας. Το γεγονός αυτό, επιβεβαιώνεται κι από την αξιοσημείωτη ανάπτυξη που γνωρίζει ο συγκεκριμένος κλάδος τα τελευταία χρόνια, με στόχο μάλιστα, έπειτα από τη συμφωνία του Παρισιού για τις κλιματικές αλλαγές, να αποτελέσει το 18% της παραγόμενης ελληνικής ενέργειας. [42]



* Negligible.

Note: Data are provisional for 2016.

Source: IEA (2017), *World Energy Balances 2017*, www.iea.org/statistics/.

Εικόνα 1.7 Ελληνική ενεργειακή παραγωγή ανά πηγή [42]

1.4.2 Ανανεώσιμες πηγές στην Ελλάδα

Η Ελλάδα, τα τελευταία χρόνια γνωρίζει εντυπωσιακή αύξηση στο ποσοστό ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η εν λόγω αύξηση σχετίζεται με τη μεγάλη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, ξεπερνώντας μάλιστα τους προκαθορισμένους στόχους των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων. Το ποσοστό χρήσης της αιολικής ενέργειας, έχει επίσης αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Ο ελλαδικός χώρος, γενικότερα, έχει πολλές δυνατότητες ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κι ιδιαίτερα με την τοποθέτηση των προαναφερθέντων εγκαταστάσεων, μιας και διαθέτει άριστες συνθήκες αιολικής και ηλιακής ενέργειας που παραμένουν ακόμα, ανεκμετάλλευτες. Σημαντικό μερίδιο ευθύνης της ανεκμετάλλευτης ενέργειας, φέρουν τα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Η έλλειψη διασύνδεσης κι η έλλειψη αποθήκευσης σε συνδυασμό με την κυρίως, εποχιακή ζήτηση, λειτουργούν ανασταλτικά για τις επενδύσεις που αφορούν τις ανανεώσιμες πηγές σε απομονωμένα νησιά. Τα απομονωμένα συστήματα, στηρίζονται σε ακριβές και ρυπογόνες γεννήτριες diesel. Η ενσωμάτωση των νησιών σ' ένα διασυνδεδεμένο σύστημα αλλά κι η εγκατάσταση μονάδων αποθήκευσης ενέργειας θα λειτουργήσουν ενθαρρυντικά για την ανάπτυξη συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, δημιουργώντας σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη, καθώς και

βελτίωση στην αξιοπιστία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Τελειώνοντας, απαραίτητη κρίνεται και η αξιοποίηση της πυρηνικής τεχνολογίας, όμως το μεγάλο κόστος κατασκευής, το καθιστά απαγορευτικό υπό τις τρέχουσες οικονομικές συνθήκες. [42]

1.5 Ηλεκτρικό ρεύμα στην Ελλάδα

1.5.1 Ιστορική Αναδρομή

Το ηλεκτρικό ρεύμα έρχεται στην Ελλάδα το 1889 και δίνει φως στο κέντρο της Αθήνας. Την ίδια χρονιά ηλεκτροδοτείται και η Θεσσαλονίκη, η οποία βρίσκεται υπό τον έλεγχο της Οθωμανικής αυτοκρατορίας. Σταδιακά, με την ανάπτυξη μικρών εταιρειών τροφοδοτήθηκαν με ηλεκτρική ενέργεια τα αστικά κέντρα και κάποιες κωμοπόλεις εξυπηρετώντας συγκεκριμένα μόνο τους 823 από τους 11.600 οικισμούς της χώρας. Το ρεύμα που παρέχονταν ωστόσο, κάλυπτε μόνο την ανάγκη φωτισμού για λίγες ώρες και με συχνές διακοπές. Στα μέσα του 20ου αιώνα, υπήρχαν περίπου 400 εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, που χρησιμοποιούσαν ως πρωτογενή καύσιμα, εισαγόμενο πετρέλαιο και γαιάνθρακα. Η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος όμως, ήταν ιδιαίτερα μεγάλη (τρεις έως και πέντε φορές μεγαλύτερη από άλλες ευρωπαϊκές χώρες), με αποτέλεσμα ο μέσος Έλληνας να μην μπορεί ν' ανταπεξέλθει οικονομικά. Τον Αύγουστο του 1950 ιδρύεται η ΔΕΗ, ένας δημόσιος φορέας που συγκέντρωσε τις δραστηριότητες μεταφοράς, παραγωγής και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Σκοπός του νέου αυτού, φορέα, ήταν να παρέχει ηλεκτρικό ρεύμα σ' όλες τις ελληνικές περιοχές με το χαμηλότερο δυνατό κόστος. Για να πετύχει το σκοπό της η ΔΕΗ ενσωματώνει τα υπάρχοντα τοπικά ηλεκτρικά δίκτυα σ' ένα εθνικό διασυνδεδεμένο δίκτυο και παράλληλα, στρέφεται στην αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας. Με αυτή τη λογική, ο φορέας, ξεκίνησε την εξόρυξη λιγνίτη, από τον οποίο είναι πλούσιο το ελληνικό υπέδαφος, αξιοποιώντας τον σε λιγνιτικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής που κατασκεύασε καθώς και την εκμετάλλευση της δύναμης των ρεόντων υδάτων, με την ανέγερση υδροηλεκτρικών σταθμών στα μεγάλα ποτάμια της χώρας. Στις 01/01/2001 η ΔΕΗ λειτουργεί πλέον ως ανώνυμη εταιρεία και περίπου 11 μήνες αργότερα, στις 12/12/2001 εισάγεται στα Χρηματιστήρια Αξιών Αθηνών και Λονδίνου. Η ΔΕΗ Α.Ε. πλέον, δραστηριοποιείται σ' ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς, προμηθεύει πάνω από το

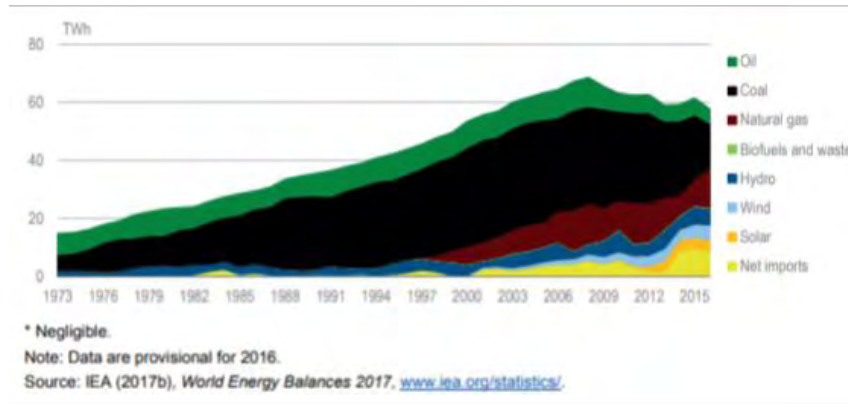
95% (στοιχεία 2013) της καταναλισκόμενης ενέργειας, ενώ συγχρόνως, είναι κι ο δεύτερος μεγαλύτερος παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Αξιοσημείωτη στην ιστορία του ηλεκτρισμού στην Ελλάδα είναι η δημιουργία δυο θυγατρικών εταιρειών της ΔΕΗ Α.Ε. , ο ΑΔΜΗΕ Α.Ε. (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.) και ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. (Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.). Ο ΑΔΜΗΕ Α.Ε. έχει την ευθύνη της διαχείρισης, λειτουργίας, ανάπτυξης και συντήρησης του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας και των διασυνδέσεων του ,ενώ ανάλογες αρμοδιότητες έχει ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. σχετικά με το Ελληνικό Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας. Ο συνεχώς αυξανόμενος κλάδος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οδήγησε τη ΔΕΗ Α.Ε. στη δημιουργία μιας ακόμη θυγατρικής εταιρείας της ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε. με στόχο τη διαχείριση κι ανάπτυξη του συγκεκριμένου κλάδου. [56,62]

1.5.2 Παραγωγή

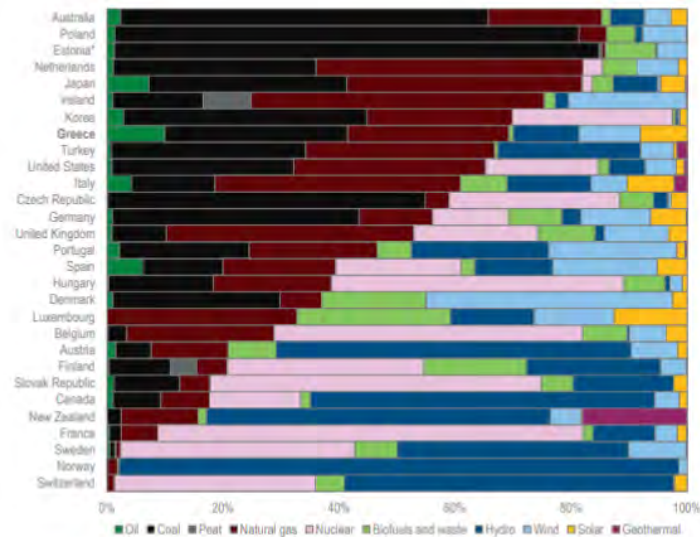
Η Ελλάδα παράγει 48.8TWh ηλεκτρικής ενέργειας το 2016 με τον άνθρακα να αποτελεί τη μεγαλύτερη ενεργειακή πηγή με ποσοστό 31,6%, ακολουθούμενος από το φυσικό αέριο στο 27,8. Σημαντικά ποσοστά στο ενεργειακό μείγμα της ηλεκτροπαραγωγής κατέχουν επίσης η υδροηλεκτρική ενέργεια 11,4%, το πετρέλαιο με 9,9%, η αιολική και η ηλιακή ενέργεια με 10,5% και 8,1% αντίστοιχα. Τέλος, το ενεργειακό μείγμα συμπληρώνεται με τη βιομάζα σε ποσοστό 0,7%. Αρχικά η παραγωγή βασίστηκε σχεδόν ολοκληρωτικά στον άνθρακα, στο πετρέλαιο και στην δύναμη των υδάτων, με τον άνθρακα και το πετρέλαιο ν' αξιοποιούνται περισσότερο (Εικόνα 1.8). Από το 2006 όμως, και σε βάθος δεκαετίας η μείωση στη χρήση των δύο αυτών καυσίμων είναι αισθητή. Ο άνθρακας βεβαίως, συνεχίζει αποτελεί ακόμα την περισσότερο αξιοποιήσιμη πηγή ενέργειας στον κλάδο της ηλεκτροπαραγωγής, ενώ σπουδαία αύξηση γνώρισε το φυσικό αέριο μετά το 2006. Γενικότερα, η Ελλάδα σημείωσε σημαντική πρόοδο στη διαφοροποίηση του μείγματος καυσίμων για την ηλεκτροπαραγωγή, κυρίως με την ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η κύρια ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών προέρχεται από την αιολική και την ηλιακή ενέργεια. Η αιολική ενέργεια αύξησε τη συμμετοχή της στο ηλεκτρικό ενεργειακό μείγμα από 2,8% το 2006 σε 10,5% το 2016. Ακόμα μεγαλύτερη αύξηση από την αιολική είχε η ηλιακή ενέργεια για την Ελλάδα καθώς το 2010 αποτελούσε το 0,3% και μέσα σε έξι χρόνια έφτασε το 8,1%. Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι σταθερά η τρίτη

μεγαλύτερη ενεργειακή πηγή της χώρας. Αξιοσημείωτο είναι επίσης, το γεγονός ότι η Ελλάδα έχει μεγάλες δυνατότητες ν' αυξήσει τα ποσοστά παραγωγής της καθαρής ενέργειας μόλις τα μη ηλεκτρικά διασυνδεδεμένα νησιά της ενσωματωθούν με το υπόλοιπο σύστημα ηλεκτρισμού.

[42,55]



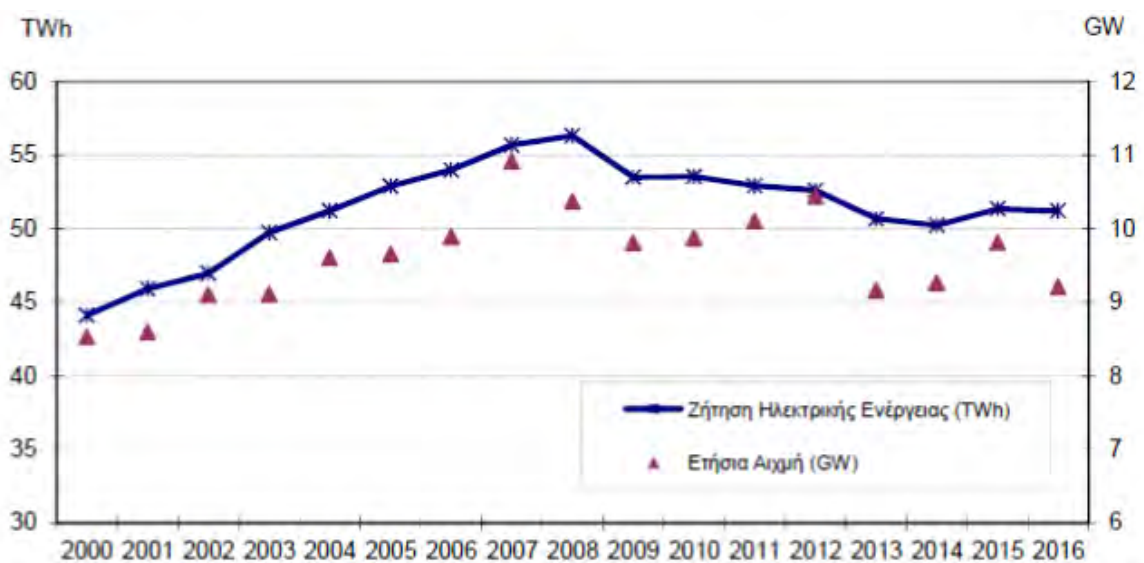
Εικόνα 1.8 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά πηγή [42]



Εικόνα 1.9 Ενεργειακό μείγμα στην ηλεκτροπαραγωγή [42]

1.5.3 Ζήτηση

Η ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος συνεχώς αυξανόταν μέχρι το 2008, οπότε έφτασε και τη μέγιστη τιμή της (συνολική καθαρή ζήτηση 56,3TWh). Μετά το 2008 και με την έναρξη της οικονομικής κρίσης τα δεδομένα άλλαξαν και μέχρι το 2015 όπου παρατηρήθηκε μικρή αύξηση, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ακολουθεί καθοδική πορεία (Εικόνα 1.10). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη της διεσπαρμένης παραγωγής και κυρίως των φωτοβολταϊκών συστημάτων που αυξήθηκαν ιδιαίτερα και συνδέονται απευθείας στη Χ.Τ. και Μ.Τ., μειώθηκαν τα τοπικά φορτία των Υ/Σ Διανομής και κατ' επέκταση και η ζήτηση που καταγράφεται στα όρια του Συστήματος Μεταφοράς με το Δίκτυο Διανομής. Χαρακτηριστικό είναι ότι η διεσπαρμένη παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ανήλθε το 2012 σε 2,3TWh ενώ το 2016 έφτασε σε 4,7 TWh. [55]

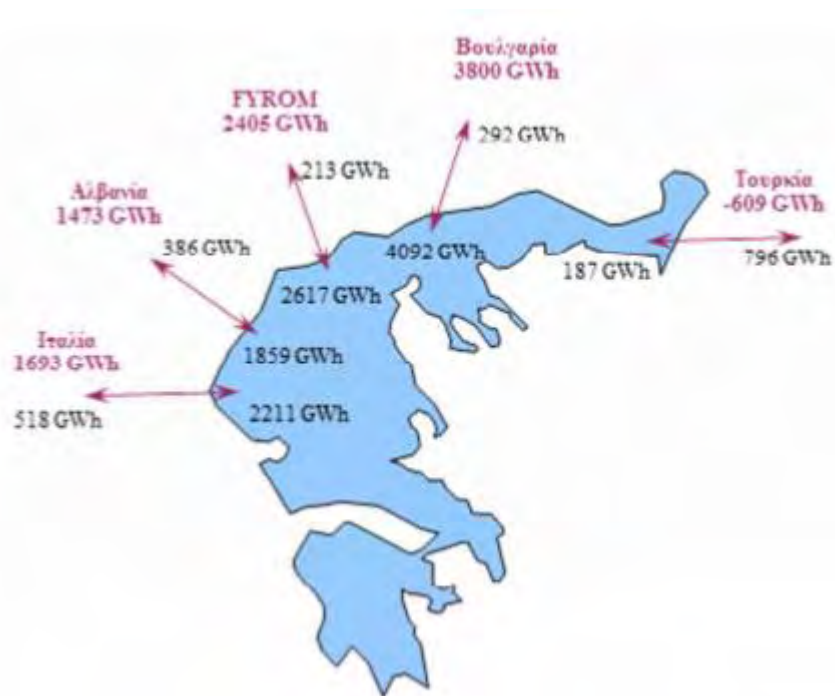


Εικόνα 1.10 Εξέλιξη συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα [55]

1.5.4 Διασυνδέσεις

Αν συγκρίνει κανείς τα παραπάνω στοιχεία, γίνεται αντιληπτό ότι η ζήτηση δεν καλύπτεται απ' την ελληνική παραγωγή, κάνοντας απαραίτητη την εισαγωγή ηλεκτρικής

ενέργειας από άλλες χώρες. Η Ελλάδα είναι άμεσα συνδεδεμένη με τις γειτονικές της χώρες αποτελώντας καθαρό εισαγωγέα εδώ και πολλά χρόνια, κάνοντας κατά καιρούς εξαγωγές κυρίως στην Ιταλία και την Τουρκία (Εικόνα 1.11). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το 2016 οι συνολικές καθαρές εισαγωγές ήταν 8,8 TWh. [55]



Εικόνα 1.11 Εμπορικά προγράμματα ανταλλαγών ενέργειας ανά διασύνδεση, 2016 [55]

1.5.5 Μη διασυνδεδεμένα νησιά

Τα ελληνικά νησιά έχουν μεγάλη συνεισφορά στην οικονομία της χώρας, καθώς ο μεγάλος αριθμός τουριστών, που τα επισκέπτονται κατά τη θερινή περίοδο, είναι σημαντική πηγή εσόδων. Τα νησιά όμως, θα πρέπει να είναι ικανά να ανταποκρίνονται στις βασικές ανάγκες τόσο των μόνιμων κατοίκων όσο και των επισκεπτών τους. Οι βασικές αυτές ανάγκες περιλαμβάνουν την αδιάκοπη παροχή νερού και ηλεκτρισμού, ενώ τα υψηλά επίπεδα τουρισμού κατά τη θερινή περίοδο, εξηγούν την αυξημένη ζήτηση των βασικών αναγκών την περίοδο αυτή.

Η ηλεκτροδότηση των περισσότερων ελληνικών νησιών, γίνεται κυρίως με τοπικούς αυτόνομους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής πετρελαϊκών μονάδων, καθώς δεν είναι διασυνδεδεμένα με το υπόλοιπο ηλεκτρικό σύστημα της χώρας. Οι τοπικές πετρελαϊκές μονάδες, που τροφοδοτούν κατ' ανάγκη τα ελληνικά νησιά με ηλεκτρική ενέργεια, έχουν αρνητικές συνέπειες τόσο για το περιβάλλον, από τους ρύπους που απελευθερώνουν, όσο και για την οικονομία της χώρας, μιας και τιμή του πετρελαίου και των προϊόντων του είναι ιδιαίτερα υψηλή. Επιπρόσθετα τα μη διασυνδεδεμένα νησιά, δε μπορούν να επωφεληθούν πλήρως από τις άριστες συνθήκες που διαθέτουν σε ηλιακή και αιολική ενέργεια, καθώς η ενσωμάτωση τέτοιων συστημάτων είναι πολύπλοκη εξαιτίας της μεταβλητότητας που παρουσιάζουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Με πιο απλά λόγια, η ασταθής παραγωγή που χαρακτηρίζει τις συγκεκριμένες πηγές ενέργειας, ελλοχεύει από τη μία τον κίνδυνο αδυναμίας κάλυψης της ζήτησης, ιδιαίτερα όταν αυτήν αυξάνεται απότομα λόγω της τουριστικής περιόδου. Από την άλλη πλευρά το δυναμικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που διαθέτουν τα νησιά του Αιγαίου μπορεί να υπερκαλύψει κατά περιόδους, τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια. Η σύνδεση με το Εθνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ) φαίνεται να αποτελεί έναν τρόπο επίλυσης των παραπάνω προβλημάτων καθώς δίνεται η δυνατότητα πλήρους αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της αύξησης της αξιοπιστίας στο ηλεκτρικό συστημάτων νησιών, μέσω της ανταλλαγής ρεύματος με την ηπειρωτική Ελλάδα. Αξιοσημείωτο παράδειγμα σε αυτόν τον τομέα είναι τα διασυνδεδεμένα νησιά Samsø στη Δανία και Gotland στη Σουηδία, τα οποία στηρίζονται ολοκληρωτικά στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Με την διασύνδεση των ελληνικών νησιών, λοιπόν, προάγεται η αξιοποίηση του πλούσιου δυναμικού των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, βελτιώνεται η συμμετοχή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας και μειώνονται οι ρύποι που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Παράλληλα, ενισχύεται η ποιότητα και η αξιοπιστία στο ηλεκτρικό τους σύστημα. Φυσικά, το κόστος διασύνδεσης είναι μεγάλο αλλά οικονομικά συμφέρον μιας και αντισταθμίζεται από την ελαχιστοποίηση στη χρήση του πετρελαίου που είναι ιδιαίτερα ακριβό και επιβαρύνει τους καταναλωτές όλης της χώρας μέσα από τις Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας (ΥΚΩ). Η Ελλάδα έχει κάνει σημαντική πρόοδο στον συγκεκριμένο τομέα τα τελευταία χρόνια με τη διασύνδεση των νησιών των Κυκλάδων αλλά και με την ολοκλήρωση της προγραμματισμένης διασύνδεσης της Πελοποννήσου με την Κρήτη μέχρι το 2020.

[42,55,63]

1.5.6 Σύστημα ηλεκτροπαραγωγής

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στο ΕΣΜΗΕ (Εθνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) ανέρχεται σε 17,5GW. Το μεγαλύτερο ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται από τις θερμικές μονάδες. Οι θερμικές μονάδες αποτελούν την πλειονότητα του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής και συγκεκριμένα το 52.8% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος, δηλαδή 8819.3MW. Η συγκεκριμένη κατηγορία περιλαμβάνει λιγνιτικές μονάδες και μονάδες φυσικού αερίου, οι οποίες καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (53,5% για το 2016). Οι κύριοι λιγνιτικοί σταθμοί βρίσκονται στην περιοχή της Πτολεμαΐδας, στη βόρεια Ελλάδα και στην περιοχή της Μεγαλόπολης, στην Πελοπόννησο. Οι μονάδες φυσικού αερίου βρίσκονται κυρίως κοντά στην πρωτεύουσα. Το δεύτερο μεγαλύτερο ποσοστό ανήκει στην κατηγορία των ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ καταλαμβάνοντας το 29.2% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος, δηλαδή 4872.4MW. Αξιοσημείωτο είναι ότι από τα 4872.4MW, τα 2047MW αφορούν αιολικά πάρκα (Α/Π) και τα 2444MW φωτοβολταϊκούς σταθμούς (Φ/Β). Τα τελευταία χρόνια η κατηγορία αυτή γνωρίζει μεγάλη ανάπτυξη στη χώρα, ενώ αναμένεται να γνωρίσει ακόμα μεγαλύτερη ανάπτυξη όπως αποδεικνύεται κι από τον ιδιαίτερα μεγάλο αριθμό Αδειών Παραγωγής για έργα ΑΠΕ που έχουν ήδη χορηγηθεί (περίπου 30GW σε όλη την χώρα). Οι άδειες αυτές αφορούν κυρίως αιολικά πάρα (Α/Π) και φωτοβολταϊκούς σταθμούς (Φ/Β), ενώ σε μικρότερη έκταση μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς (ΜΥΗΣ) και σταθμούς καύσης βιομάζας ή βιοαερίου (ΣΒΙΟ). Επιπλέον περιλαμβάνονται και οι σταθμοί συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης (ΣΗΘΥΑ). Η τελευταία κατηγορία, είναι οι υδροηλεκτρικές μονάδες με ταμιευτήρα, σύμφωνα με το διαχωρισμό του ΑΔΜΗΕ και αποτελεί το 18% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος (3017.7MW). Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί βρίσκονται κυρίως στη δυτική και βόρεια Ελλάδα.

[55]

2 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

2.1 Υδρολογικός κύκλος – ορισμός υδροηλεκτρικής ενέργειας

Το νερό εμφανίζεται στον πλανήτη σε διάφορες φυσικές καταστάσεις, όπως η στερεά μορφή του πάγου, η υγρή μορφή, που συναντάται σε λίμνες, ποταμούς και θάλασσες καθώς και η αέρια, που εμφανίζεται με τη μορφή υδρατμών. Η ηλιακή ακτινοβολία, αλλάζει συνεχώς τη φυσική κατάσταση του νερού. Πιο συγκεκριμένα, ο ήλιος θερμαίνει τους ανέμους και προκαλεί την εξάτμιση νερού που βρίσκεται σε υγρή μορφή, δημιουργώντας υδρατμούς, οι οποίοι διαμορφώνουν τα σύννεφα. Οι υδρατμοί υγροποιούνται και πέφτουν σα βροχή ή σαν άλλες μορφές υετού, εμπλουτίζοντας τις αποθήκες νερού της γης (Εικόνα 2.1). Η διαδρομή του νερού τελικώς, καταλήγει πάλι σε υγρή μορφή σε λίμνες, θάλασσες και ποτάμια είτε άμεσα μέσω των βροχοπτώσεων, είτε έμμεσα μετά από το λιώσιμο των πάγων, δίνοντας έτσι κυκλική μορφή στην πορεία που ακολούθησε. Η διαδικασία αυτή λόγω της κυκλικής πορείας ονομάζεται κύκλος του νερού ή υδρολογικός κύκλος. Ο υδρολογικός κύκλος είναι ο λόγος που το νερό θεωρείται ως ανανεώσιμη πηγή. Με αυτόν τον τρόπο το νερό μεταφέρεται σε διάφορες περιοχές, μερικές εκ των οποίων βρίσκονται σε υψόμετρο, προσδίδοντας του δυναμική ενέργεια. Συνοψίζοντας, μέσα από τον υδρολογικό του κύκλο, το νερό, αποκτά δυναμική ενέργεια, όταν βρίσκεται σε μεγάλα υψόμετρα, ενώ κατά την ροή του σε χαμηλότερα, η δυναμική του ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική. Στη συνέχεια με τη χρήση υδροστροβίλων παράγεται μηχανική ενέργεια, η οποία τελικά μέσω των γεννητριών μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, εκμεταλλευόμενη την ενέργεια του νερού καλείται υδροηλεκτρική ενέργεια. [14,16,49]

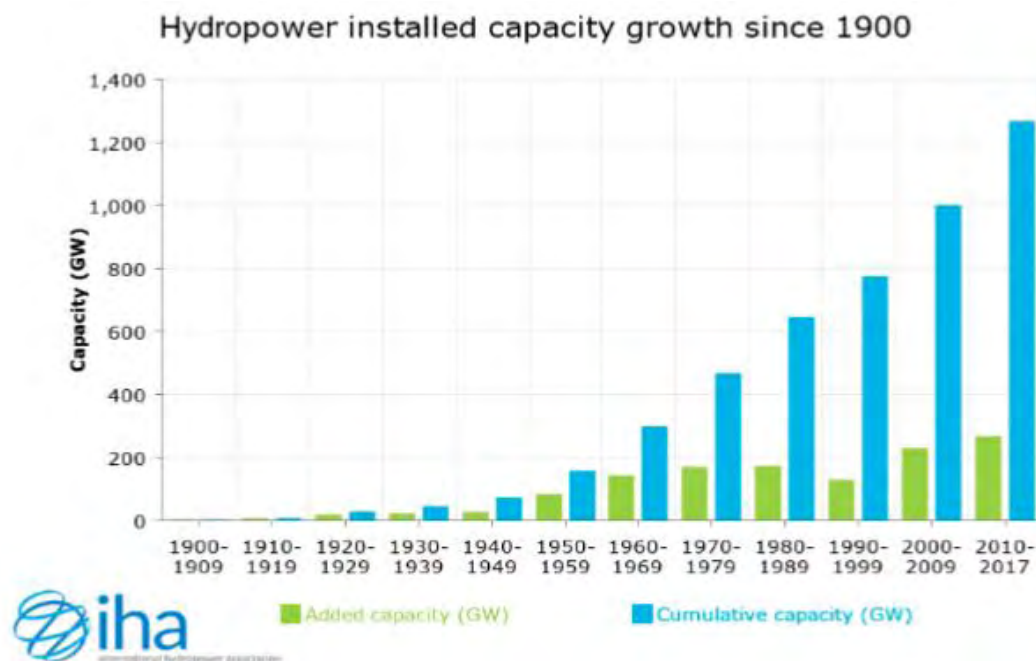


Εικόνα 2.1 Υδρολογικός κύκλος [14]

2.2 Ιστορική αναδρομή

Η αξιοποίηση των υδάτων για την κάλυψη διάφορων αναγκών, αποτέλεσε από την αρχαϊκή εποχή βασικό ανθρώπινο στόχο. Η επίτευξη αυτού του στόχου έγινε πραγματικότητα με την κατασκευή νερόμυλων, οι οποίοι αρχικά, χρησιμοποιούσαν την υδραυλική ενέργεια, δηλαδή την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο νερό με τη μορφή δυναμικής ενέργειας (λόγω της υψομετρικής θέσης την οποία κατέχει) και με την πτώση του νερού μετατρέπεται σε κινητική, για το άλεσμα των σιτηρών. Από γραπτά κείμενα που βρέθηκαν (του Αριστοτέλη και του Ήρωνα), φαίνεται ότι οι αρχαίοι Έλληνες χρησιμοποίησαν πρώτοι υδραυλικές διατάξεις για την παραγωγή αλευριού, ενώ περίπου το 200 π.Χ. στην Κίνα χρησιμοποιήθηκε η ισχύς του νερού για την κατασκευή χαρτιού. Ο επόμενος σημαντικός σταθμός που ήταν προάγγελος των σημερινών υδροηλεκτρικών έργων, εμφανίζεται το 1771, όταν ο Richard Arkwright εγκατέστησε στην

κοιλάδα Derwent της Αγγλίας, τον Cromford Mill, τον πρώτο μύλο που ασχολούνταν με την κλωστοϋφαντουργία και αποτέλεσε ένα από τα πρώτα εργοστασιακά συστήματα. Η υδραυλική τεχνολογία γνώρισε τη μεγαλύτερη της εξέλιξη στον 19ο αιώνα, κατά την διάρκεια του οποίου κατασκευάστηκαν οι πρώτοι υδροστρόβιλοι. Συγκεκριμένα, το 1827, ο Γάλλος μηχανικός Benoit Fourneyron δημιούργησε τον πρώτο υδροστρόβιλο. Το 1849 κατασκευάζεται ο πρώτος σύγχρονος υδροστρόβιλος, ο Francis. Ο υδροστρόβιλος αυτός πήρε το όνομα του, από τον δημιουργό του, τον Βρετανό μηχανικό James Francis. Ο στρόβιλος Francis αποτελεί ακόμα και σήμερα τον πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο υδροστρόβιλο. Ένας ακόμα υδροστρόβιλος με πολύ συχνή χρήση, ο υδροστρόβιλος Pelton, κατασκευάζεται λίγα χρόνια αργότερα (το 1870), από τον Lester Allan Pelton. Η ανάπτυξη των υδροστροβίλων συνεχίστηκε και τα μεταγενέστερα έτη, και συντέλεσαν τα μέγιστα στην ανέγερση υδροηλεκτρικών έργων. Το πρώτο υδροηλεκτρικό έργο κατασκευάζεται στο Northumberland της Αγγλίας το 1878, και τροφοδοτούσε έναν μόνο λαμπτήρα. Αρκετά υδροηλεκτρικά έργα πραγματοποιήθηκαν μετά το 1878 που είχαν ως στόχο τον φωτισμό τοπικών κατοικιών. Το 1882 στο Wisconsin (ΗΠΑ), κατασκευάζεται το πρώτο υδροηλεκτρικό εργοστάσιο με ισχύ περίπου 12.5kW, το οποίο τροφοδοτεί με ρεύμα δύο χαρτοβιομηχανίες κι ένα σπίτι. Το 1905 εγκαινιάζεται στην Κίνα, στον ποταμό Xindian κοντά στην Ταϊπεί, ένας μεγαλύτερος υδροηλεκτρικός σταθμός με ισχύ 500kW. Το χαμηλό κόστος παραγωγής που προσφέρει η υδροηλεκτρική ενέργεια, την έχρισε ως μία από τις καλύτερες μεθόδους κάλυψης της συνεχώς αυξανόμενης ενεργειακής ζήτησης, γεγονός που συντέλεσε στην ραγδαία ανάπτυξη της ιδιαίτερα μετά το 1900. Όπως φαίνεται κι από το διάγραμμα της εικόνας η αξιοποίηση της υδροηλεκτρικής ενέργειας με την εγκατάσταση νέων υδροηλεκτρικών μονάδων, αυξήθηκε κυρίως, μετά το πέρας του β' παγκοσμίου πολέμου. [13,44,45,58]



Εικόνα 2.2 Η εξέλιξη της εγκατάστασης υδροηλεκτρικής ισχύς από το 1900 [45]

Η Κίνα και η Βραζιλία αποτελούν τις χώρες που επένδυσαν και επενδύουν περισσότερο στην παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Μόνο το 2017 η υδροηλεκτρική ισχύς που εγκαταστάθηκε στην Βραζιλία ήταν 3376MW, ενώ στην Κίνα ήταν περισσότερα από 9000MW (Εικόνα 2.3). Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός πως στις δύο αυτές χώρες υπάρχουν και δύο από τα σημαντικότερα και μεγαλύτερα υδροηλεκτρικά του κόσμου, ο λόγος φυσικά γίνεται για το Three Gorges της Κίνας (Εικόνα 2.4) και Itaipu (Εικόνα 2.5) της Βραζιλίας. Το Three Gorges κατασκευάστηκε το 2008 και είναι το μεγαλύτερο υδροηλεκτρικό έργο με 22.500MW εγκατεστημένη ισχύ. Το συγκεκριμένο υδροηλεκτρικό βρίσκεται στην επαρχία Hubei, περίπου 44km από την πόλη Yichang και απορρέει στον ποταμό Yangtze. Η χωρητικότητα του ταμιευτήρα του είναι περίπου 39,3km³, ενώ η ετήσια παραγωγή του κυμαίνεται στις 87TWh. Το υδροηλεκτρικό έργο Itaipu ξεκίνησε τη λειτουργία το 1984, διαθέτει εγκατεστημένη ισχύ 14000MW και αποτελούσε το μεγαλύτερο υδροηλεκτρικό έργο με πριν την ανέγερση του Three Gorges. Το Itaipu βρίσκεται στα σύνορα Βραζιλίας και Παραγουάης στον ποταμό Parana. Η χωρητικότητα του ταμιευτήρα του είναι 29km³, ενώ η ετήσια παραγωγή κυμαίνεται μεγαλύτερη των 90TWh. Αξιοσημείωτο είναι επίσης πως το Itaipu κατέχει το ρεκόρ ετήσιας παραγωγής φτάνοντας το 2016 τις 103.1TWh. [4,39,45,47,48]

NEW INSTALLED CAPACITY BY COUNTRY*

Rank	Country	Capacity added (MW)	Rank	Country	Capacity added (MW)
1	China	9,120	11	United States	283
2	Brazil	3,376	12	Côte d'Ivoire	275
3	India	1,908	13	Switzerland	265
4	Portugal	1,050	14	Peru	200
5	Angola	1,018	15	Chile	181
6	Turkey	592	16	Laos	166
7	Iran	520	17	Georgia	163
8	Vietnam	373	18	Pakistan	157
9	Russia	364	19	Zimbabwe	152
10	Sudan	320	20	Canada	139

* Including pumped storage

Εικόνα 2.3 Ισχύς υδροηλεκτρικής ενέργειας που τοποθετήθηκε μέσα στο 2017 ανά χώρα [45]



Εικόνα 2.4 Three Gorges, Κίνα [39]



Εικόνα 2.5 Itaipu, Βραζιλία [4]

Τέλος κρίνεται αναγκαίο να γίνει αναφορά στην υδροηλεκτρική ενέργεια που έχει εγκατασταθεί στην Ευρώπη όπως δείχνει και η παρακάτω εικόνα (Εικόνα 2.6). Η Νορβηγία διαθέτει την μεγαλύτερη εγκατεστημένη υδροηλεκτρική ισχύ φτάνοντας τις 31837MW, τη στιγμή που η Ελλάδα βρίσκεται στη 14η θέση με 3396MW. [45]

EUROPE CAPACITY BY COUNTRY*					
Rank	Country	Total installed capacity (MW)	Rank	Country	Total installed capacity (MW)
1	Norway	31,837	22	Croatia	2,141
2	Turkey	26,681	23	Albania	2,020
3	France	25,517	24	Iceland	1,986
4	Italy	21,884	25	Latvia	1,576
5	Spain	20,334	26	Slovenia	1,479
6	Switzerland	16,657	27	Belgium	1,427
7	Sweden	16,466	28	Luxembourg	1,330
8	Austria	14,116	29	Lithuania	876
9	Germany	11,258	30	Macedonia	674
10	Portugal	7,343	31	Montenegro	658
11	Ukraine	6,785	32	Ireland	529
12	Romania	6,705	33	Greenland	90
13	United Kingdom	4,611	34	Moldova	76
14	Greece	3,396	35	Belarus	73
15	Finland	3,198	36	Kosovo	66
16	Bulgaria	3,129	37	Hungary	56
17	Serbia	2,835	38	Andorra	45
18	Slovakia	2,522	39	Faroe Islands	39
19	Bosnia and Herzegovina	2,504	40	Netherlands	37
20	Poland	2,351	41	Denmark	9
21	Czech Republic	2,212	42	Estonia	8

* including pumped storage

Εικόνα 2.6 Συνολική εγκατεστημένη υδροηλεκτρική ισχύς στην Ευρώπη [45]

3 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ

3.1 Διάκριση υδροηλεκτρικών έργων

Το σύνολο των έργων και του εξοπλισμού μέσω των οποίων γίνεται η μετατροπή της ενέργειας των υδατοπτώσεων σε ηλεκτρική, ονομάζεται υδροηλεκτρικό έργο. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί ταξινομούνται σε μεγάλης και μικρής κλίμακας. Η μικρής κλίμακας υδροηλεκτρική ενέργεια διαφέρει σημαντικά από τις μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικής ενέργειας σχετικά με τις επιπτώσεις στο περιβάλλον, μιας και τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα απαιτούν την κατασκευή φραγμάτων και ανάλογου μεγέθους δεξαμενών, που έχουν άμεσες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η διάκριση ανάλογα με το μέγεθος της παραγόμενης ισχύος ποικίλει σε διάφορες χώρες. Στην Ελλάδα, η νομοθεσία που σχετίζεται με τη διάκριση μικρών και μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων να έχει ανανεωθεί με την πάροδο του χρόνου τοποθετώντας αρχικά το όριο στα 5 MW, στη συνέχεια έγινε 10 MW και σήμερα είναι πλέον ορισμένο στα 15 MW. Η διάκριση των μικρών υδροηλεκτρικών συνεχίζεται ξεχωρίζοντας τις κατηγορίες mini (0.1-1 MW) και micro (<0.1 MW). Σχετικά με τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια που είναι μεγαλύτερα των 15 MW ξεχωρίζουν δύο κατηγορίες medium (15 MW – 100 MW) και large (>100 MW). [10,18]

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί ταξινομούνται και σ' άλλες ομάδες, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά που διαθέτουν. Για παράδειγμα, η υψομετρική διαφορά h , μεταξύ της επιφάνειας του νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης και του στροβίλου, παρέχει κινητική ενέργεια στο νερό που μεταδίδεται στον υδροστρόβιλο και περιστρέφει τη γεννήτρια, δημιουργώντας νέες ταξινομήσεις ως προς το μέγεθος της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης: [26,29]

Σταθμοί μικρού ύψους	($h < 20\text{m}$)
Σταθμοί μεσαίου ύψους	($20 < h < 150\text{m}$)
Σταθμοί μεγάλου ύψους	($h > 150\text{m}$)

3.2 Υπολογισμοί παραγωγής

Ο καλύτερος τρόπος κατανόησης της λειτουργίας ενός υδροηλεκτρικού έργου γίνεται μέσα από τις μεθόδους υπολογισμού της παραγόμενης ισχύς και ενέργεια που προσφέρει. Μελετώντας, λοιπόν, τον τρόπο υπολογισμού της παραγωγής γίνονται ευδιάκριτα, τα μεγέθη που επηρεάζουν τον τρόπο λειτουργίας του. Στα πλαίσια αυτού, παρατίθεται ο τύπος της υδραυλικής ισχύς, και γίνεται εμφανές ότι το μέγεθος αυτό επηρεάζεται άμεσα από την προσφερόμενη παροχή νερού καθώς και από το ύψος υδατόπτωσης.

Παραγόμενη ισχύς:
$$P = n \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot h_{\omega\phi}$$

n: η συνολική απόδοση του ΥΗΣ (με τιμές από 0.75 έως 0.92)

ρ : πυκνότητα νερού (1000kg/m³)

g: επιτάχυνση βαρύτητας (9.81m/s²)

Q: η ροή του νερού στο στρόβιλο m³/s

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

Όπως φαίνεται και από τον τύπο της παραγόμενης ισχύος το $h_{\omega\phi}$ που χρησιμοποιείται αναφέρεται στην ωφέλιμη υψομετρική διαφορά, δηλαδή τη συνολική υψομετρική διαφορά (έστω h) εκφρασμένη χωρίς τις απώλειες (έστω h_f). Οι απώλειες αυτές που δημιουργούνται κατά τη ροή υπολογίζεται ως:

$$h_f = k \cdot Q^2$$

και εν συνεχεία το ωφέλιμο ύψος υπολογίζεται ως: $h_{\omega\phi} = h - h_f$

Η ενέργεια που προσφέρεται από έναν υδροηλεκτρικό σταθμό υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την παραγόμενη ισχύ με το χρόνο λειτουργίας που απαιτήθηκε για την παραγωγή:

Παραγόμενη ενέργεια:
$$E = P \cdot t$$

Συνήθως ο χρόνος εκφράζεται σε ώρες και συνεπώς η ενέργεια σε kWh

Οι παραπάνω τύποι υπολογίστηκαν για σταθερή παροχή νερού. Η παροχή όμως είναι ένα μέγεθος που ενδέχεται να μην παραμένει σταθερό καθ' όλη τη χρονική διάρκεια T . Στην περίπτωση αυτή μπορούμε να βρούμε τη μέση παροχή, εκμεταλλευόμενοι τον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλεται η παροχή (έστω $q(t)$) και την χρησιμοποιήσουμε σαν σταθερή ροή: [8,28]

Μέση παροχή:

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

3.3 Επιπτώσεις υδροηλεκτρικών έργων στο περιβάλλον

Η υδροηλεκτρική ενέργεια, αποκαλείται συχνά ως πράσινη ενέργεια, καθώς δεν παράγει επιβλαβείς εκπομπές, όπως το SO_2 , το NO_x και το CO_2 , που συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αυτό όμως, δε σημαίνει ότι δεν έχει καθόλου επιπτώσεις για το περιβάλλον. Τα περιβαντολλογικά ζητήματα που προέρχονται από ένα υδροηλεκτρικό, συνδέονται άρρηκτα με το μέγεθος του. Τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα απαιτούν την κάλυψη μεγάλης έκτασης γης, με αποτέλεσμα, κατά την περίοδο κατασκευής τους, να υπάρχουν αρνητικές συνέπειες για τη φύση. Τα περισσότερα μεγάλα υδροηλεκτρικά εργοστάσια διαθέτουν φράγματα, τα οποία ευθύνονται σε σημαντικό βαθμό για τις επιπτώσεις αυτές. Τα φράγματα καταλαμβάνουν μεγάλες επιφάνειες, η κατάκλιση των οποίων, προκαλεί καταστροφές σε δάση και κατ' επέκταση στον οικότοπο άγριων ζώων, σε καλλιεργήσιμες επιφάνειες, ενώ σε πολλές περιπτώσεις, όπως συνέβη και στο φράγμα “Three Gorges” στην Κίνα, ολόκληρες κοινότητες αναγκάζονται να μετεγκατασταθούν, προκειμένου να ανοιχτούν δρόμοι για τις δεξαμενές. [1,3]

Το αντίκτυπο που έχουν τα υδροηλεκτρικά φράγματα στο οικοσύστημα γίνεται αντιληπτό ευκολότερα εξετάζοντας την περίπτωση των ψαριών. Πολλά είδη ψαριών, όπως ο άγριος σολομός του βορειοδυτικού Ειρηνικού, συνηθίζουν κατά την περίοδο της ζωής τους, να πραγματοποιούν συγκεκριμένα μεταναστευτικά ταξίδια. Τα φράγματα, όμως, εμποδίζουν τα ψάρια να ολοκληρώσουν τα ταξίδια αυτά. Το παράδειγμα του άγριου σολομού που αναφέρθηκε, επιβεβαιώνει το πρόβλημα, καθώς η μείωση του αριθμού του, είναι δραματική και μεγάλο μερίδιο ευθύνης σ' αυτό, φέρει η κατασκευή υδροηλεκτρικών σταθμών. Ακόμη κι όταν η

μετανάστευση των ψαριών δεν αποτελεί πρόβλημα, η δημιουργία δεξαμενών εξακολουθεί να επηρεάζει το υδάτινο οικοσύστημα. Το νερό της δεξαμενής είναι πιο στάσιμο και συνάμα, πιο ζεστό από το τρεχούμενο νερό των ποταμών παρουσιάζοντας χαμηλά επίπεδα οξυγόνου. Πολλά είδη ψαριών δε μπορούν να προσαρμοστούν στις συγκεκριμένες συνθήκες με αποτέλεσμα να πεθαίνουν. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι το 1984, μετά την ολοκλήρωση του φράγματος Tucui στη Βραζιλία, σημειώθηκε μαζικός θάνατος ψαριών στη δεξαμενή του υδροηλεκτρικού εργοστασίου. Επιπρόσθετα, τα ψάρια όπως και άλλοι οργανισμοί των υδάτινων οικοσυστημάτων κινδυνεύουν να τραυματιστούν και να θανατωθούν από τα πτερύγια των υδροστροβίλων. [1,35]

Η μειωμένη ροή νερού δημιουργεί δυο ακόμα σημαντικά περιβαλλοντολογικά προβλήματα. Το πρώτο αναφέρεται στη διείσδυση αλατούχου νερού στα δέλτα των ποταμών, η οποία, καθιστά τα νερά ακατάλληλα για άρδευση. Το δεύτερο πρόβλημα, είναι ότι οι ποταμοί μεταφέρουν σωματίδια άμμου και θρεπτικά συστατικά που βρίσκονται στους ποταμούς, τα οποία υπό κανονικές συνθήκες θα καταλήξουν στους ωκεανούς, όμως λόγω του φράγματος και της μειωμένης ροής νερού, συσσωρεύονται υψηλές ποσότητες ιζημάτων, στις οποίες αναπτύσσονται περίσσεια αλγών και άλλων υδρόβιων ζιζανίων καθώς και μικρών φυτών του ποταμού, τα οποία αποσυντίθενται με αποτέλεσμα να παράγουν διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο, αέρια που συντελούν στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Τέλος, εάν αποθηκευτεί πολύ νερό στον ταμιευτήρα, τα τμήματα του ποταμού που βρίσκονται κατάντη του φράγματος μπορεί να στεγνώσουν. Για αυτό το λόγο οι περισσότεροι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι υποχρεωμένοι να απελευθερώνουν ελάχιστη ποσότητα νερού σε ορισμένες χρονικές περιόδους του έτους.

[1,35]

Οι περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις που μπορεί να υπάρξουν κατά τη διάρκεια κατασκευής και λειτουργίας φαντάζουν μικρές μπροστά στους κινδύνους που ελλοχεύει η πιθανή καταστροφή του υδροηλεκτρικού φράγματος. Στις 14 Δεκεμβρίου το 2005, κατέρρευσε το φράγμα Tau Sauk στο Μιζούρι απελευθερώνοντας περίπου 4 δισεκατομμύρια λίτρα νερού. Η απελευθέρωση του νερού προκάλεσε καταστροφές στη βλάστηση και στη μορφολογία του εδάφους, συμπαρασύροντας ακόμα και κατοικίες. Το πρωί της εν λόγω καταστροφής η δεξαμενή άρχισε να υπερχειλίζει, γεγονός που συνεχίστηκε μέχρι την κατάρρευση της, στέλνοντας έναν χείμαρρο στο φυσικό πάρκο του Μιζούρι (Εικόνα 3.1). [1,7]



Εικόνα 3.1 Κατάρρευση φράγματος Tau Sauk [7]

Ένα πιο πρόσφατο παράδειγμα είναι η κατάρρευση του υπό κατασκευή φράγματος στο Λάος το καλοκαίρι του 2018. Το υπό κατασκευή, υδροηλεκτρικό φράγμα που βρισκόταν στην επαρχία Αταπό, στο νοτιοανατολικό τμήμα του Λάος, κοντά στα σύνορα με το Βιετνάμ, προοριζόταν να τεθεί σε λειτουργία το 2019, με σκοπό να πουλήσει το μεγαλύτερο μέρος της παραγόμενης ενέργειας στην Ταϊλάνδη. Η κατάρρευση του φράγματος απελευθέρωσε 5 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού πνίγοντας ένα χωριό και παρασύροντας εκατοντάδες σπίτια (Εικόνα 3.2). Όπως είναι φυσικό, το θέμα πήρε, διαστάσεις τραγωδίας, με την επιβεβαίωση αρκετών νεκρών. Λόγω των αυξημένων επιπτώσεων που έχουν οι καταρρεύσεις φραγμάτων, οι ανησυχίες για ενδεχόμενες καταρρεύσεις εντείνονται όλο και περισσότερο. Οι μεγαλύτερες ανησυχίες επικεντρώνονται στα μεγαλύτερα φράγματα στο κόσμο, όπως για παράδειγμα το Three Gorges στην Κίνα και το φράγμα Kariba στη Ζάμπια. Το Three Gorges στην Κίνα αποτελεί το μεγαλύτερο υδροηλεκτρικό φράγμα στον κόσμο και εδρεύει στον ποταμό Γιανγκτσέ. Οι ανησυχίες καταστροφής του φράγματος αυτού, έχουν λόγο ύπαρξης, εξαιτίας της τοποθεσίας και του μεγέθους του. Προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η παραγωγή ενέργειας, το φράγμα χτίστηκε σε μια περιοχή που είναι επιρρεπής σε σεισμούς και κατολισθήσεις, οι οποίες

θα μπορούσαν να το θέσουν σε κίνδυνο. Εξαιτίας του μεγάλου μεγέθους, από το οποίο χαρακτηρίζεται το συγκεκριμένο φράγμα, μια κατάρρευση του θα προκαλούσε ανεπανόρθωτες ζημιές. Το φράγμα Kariba (Εικόνα 3.3), βρίσκεται στην Ζάμπια και σηματοδοτεί τα σύνορα με τη Ζιμπάμπουε. Το φράγμα, λοιπόν, που είναι ένα από τα μεγαλύτερα της Αφρικής και τροφοδοτεί με ηλεκτρικό ρεύμα περίπου τη μισή χώρα της Ζάμπιας, έχει παρουσιάσει σημαντικά σημάδια διάβρωσης του με αποτέλεσμα ο κίνδυνος κατάρρευσης του να φαντάζει πολύ πιθανός.[1,6,59]

Ωστόσο παρά τις επιπτώσεις που μπορεί να παρουσιαστούν, αξιοσημείωτα είναι επίσης, τα οφέλη που προσφέρει η υδροηλεκτρική ενέργεια, τόσο σε περιβατολλογικό όσο και σε οικονομικό επίπεδο. Όπως προαναφέρθηκε, τα περιβατολλογικά οφέλη που προσφέρει η συγκεκριμένη ενέργεια είναι αρκετά και σχετίζονται κυρίως με την μειωμένη εκπομπή ρύπων στην ατμόσφαιρα αναλογικά και με τα ποσά ενέργειας που προσφέρει. Το γεγονός αυτό, την καθιστά ως μια βασική πηγή ενέργειας σε στρατηγικές μετρίασης αρνητικών περιβατολλογικών φαινομένων όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η κλιματική αλλαγή. [1]

Τα ενδεχόμενα περιβατολλογικά προβλήματα που δημιουργεί από την άλλη, δε μπορούν να προσπεραστούν αδιάφορα. Η διττή φύση που παρουσιάζουν η υδροηλεκτρική ενέργεια στις συνέπειες που έχει στο περιβάλλον, δημιούργησαν την ανάγκη για τη θέσπιση ποικίλων μεθόδων με σκοπό την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων και τη διατήρηση των προτερημάτων που προσφέρει. Ήδη έχει γίνει γνωστή η υποχρέωση των φραγμάτων να απελευθερώνουν νερό σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους ώστε, να μη στεγνώνουν τα ποτάμια στο κάτω μέρος των φραγμάτων. Για την προστασία των ψαριών και γενικότερα του υδάτινου οικοσυστήματος τοποθετούνται αεριοστρόβιλοι για να αυξηθεί το διαλυμένο οξυγόνο όπως και σκαλοπάτια που διευκολύνουν τα ταξίδια των μεταναστευτικών ψαριών. Τα περιβατολλογικά προβλήματα και το τεράστιο κόστος κατασκευής των μεγάλων υδροηλεκτρικών φραγμάτων καθιστούν τα μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικά εργοστάσια, από σημαντική μερίδα κόσμου, ως λιγότερο προτιμητέα από τους μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς. [1,35]



Εικόνα 3.2 Φράγμα στο Λάος που κατέρρευσε το 2018 [59]



Εικόνα 3.3 Διάβρωση φράγματος Kariba [6]

3.4 Τύποι υδροηλεκτρικών έργων

Σχετικά με τη λειτουργία σταθμών που στοχεύουν στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος με την αξιοποίηση του ύδατος. Σήμερα υπάρχουν 4 τύποι υδροηλεκτρικών σταθμών, τα υδροηλεκτρικά που βασίζονται σε φράγματα, τα υδροηλεκτρικά εκτροπής ποταμού, τα υδροηλεκτρικά συστήματα αντλησιοταμίευσης και τα υδροηλεκτρικά ανοικτής θαλάσσης. Τα υδροηλεκτρικά ανοικτής θαλάσσης αποτελούν μία αμφιλεγόμενη κατηγορία στη συγκεκριμένη ομαδοποίηση, γεγονός που γίνεται αισθητό καθώς σε αρκετές βιβλιογραφικές αναφορές παραλείπονται (όπως στο [5], [12] και [34]). Το συγκεκριμένο όμως, είδος ενέργειας χρησιμοποιεί τις ίδιες τεχνολογίες με έναν υδροηλεκτρικό σταθμό, με αποτέλεσμα να θεωρείται από πολλούς ως έναν επιπλέον τύπο υδροηλεκτρικού σταθμού (όπως στο [46]). Σ' αυτό το πλαίσιο κινήθηκε κι η παρούσα εργασία έχοντας ως στόχο την καλύτερη ανάλυση. [5,12,34,46]

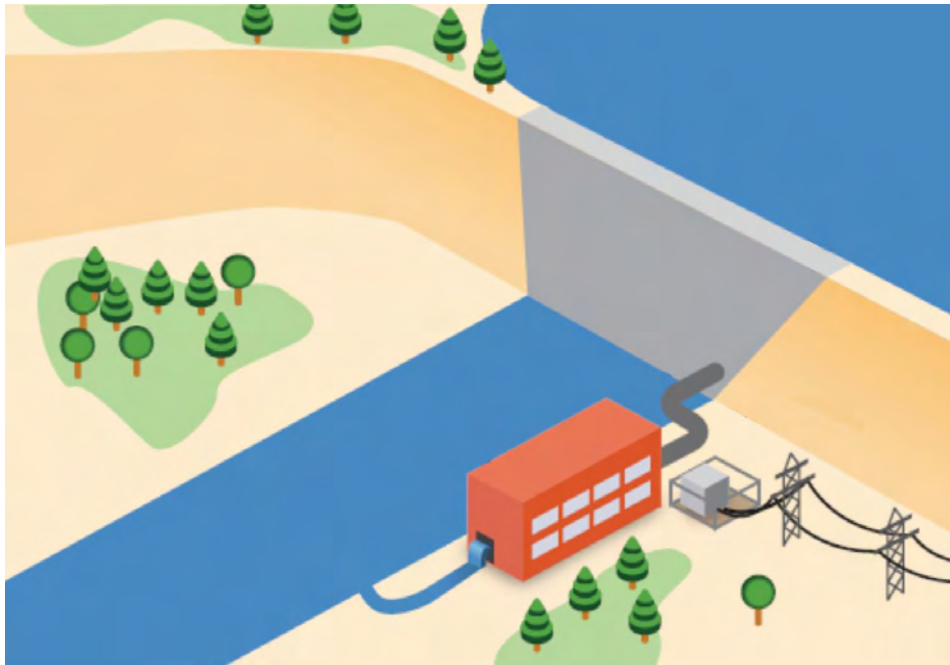
3.4.1 Υδροηλεκτρικά που βασίζονται σε φράγματα

Υδροηλεκτρικά που βασίζονται σε φράγματα: Ο πιο συνηθισμένος τύπος παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας. Στα πλαίσια αυτού, χρησιμοποιείται ένας ταμιευτήρας, ο οποίος είναι κατασκευασμένος στην κοίτη του ποταμού και αποσκοπεί στην αποθήκευση νερού (Εικόνα 3.4). Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται μια τεχνητή λίμνη, η οποία, ανεξαρτητοποιεί ως ένα βαθμό,

την παραγωγή ενέργειας από τις ενδεχόμενες διακυμάνσεις στη φυσική παροχή του ποταμού. Σε αρκετές βέβαια περιπτώσεις, ως ταμιευτήρας αξιοποιείται μια φυσική λίμνη. Το νερό απελευθερώνεται με ελεγχόμενη ροή με τη χρήση υδατοφρακτών, και οδηγείται μέσω αγωγών στον υδροστρόβιλο, ο οποίος περιστρέφεται για την ηλεκτροπαραγωγή (Εικόνα 3.5). Η κατασκευή φράγματος και εν συνεχεία, η δέσμευση χώρου για την αποθήκευση νερού, δίνει τη δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με σταθερό ρυθμό, ανεξάρτητα από τις εποχιακές μεταβολές στη ροή του νερού. Ακόμα και με μηδενική εισροή νερού στον ταμιευτήρα, ένας υδροηλεκτρικός σταθμός συνδεδεμένος με αυτόν, μπορεί να λειτουργεί με αξιοπιστία και χωρίς διακυμάνσεις για μεγάλα χρονικά διαστήματα, ανάλογα με τον αποθηκευτικό χώρο του ταμιευτήρα. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα που προσφέρουν τα υδροηλεκτρικά με φράγμα, είναι η ικανότητα τους να ανταποκρίνονται στις υψηλές απαιτήσεις ηλεκτρικού φορτίου που υπάρχουν τις ώρες αιχμής. Η ανέγερση ταμιευτήρα συντελεί, στη βελτίωση του φυσικού περιβάλλοντος και της βιοποικιλότητας, με τη δημιουργία λίμνης, της οποίας τα χαρακτηριστικά ευνοούν την ανάπτυξη τόσο υδρόβιων οργανισμών όσο και πτηνών. Η αξιοποίηση του αποθηκευμένου ύδατος για άλλες ανάγκες, όπως την ύδρευση και άρδευση είναι μια επιπλέον θετική επίδραση τέτοιου είδους έργων. Τέλος, τα φράγματα με τη χωρητική ικανότητα που προσφέρουν, παρέχουν αντιπλημμυρική προστασία. Δυστυχώς, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί με ταμιευτήρα δεν έχουν μόνο θετική πλευρά, μιας και οι περιβαντολλογικές επιπτώσεις που προκαλεί η υδροηλεκτρική ενέργεια, είναι σε μεγάλο βαθμό αποτέλεσμα από τη κατασκευή και λειτουργία μεγάλων κυρίως, φραγμάτων. [5,33,34,46]



Εικόνα 3.4 Τυπική λειτουργία υδροηλεκτρικού σταθμού με φράγμα [57]

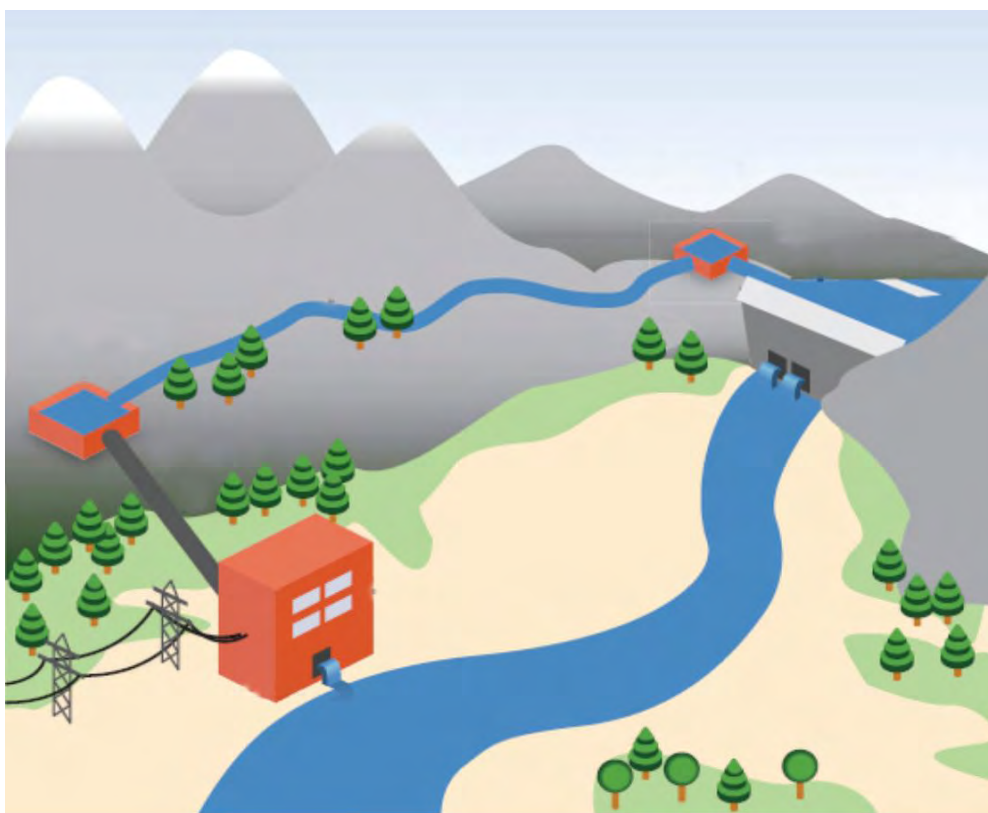


Εικόνα 3.5 Τυπικός υδροηλεκτρικός σταθμός με φράγμα [5]

3.4.2 Υδροηλεκτρικά εκτροπής ποταμού

Υδροηλεκτρικά εκτροπής ποταμού: Οι περισσότεροι από τους μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς στηρίζονται σ' αυτήν τη μέθοδο. Η μέθοδος αυτή εκμεταλλεύεται, τα ρέοντα ύδατα ενός ποταμού, τα οποία κατευθύνονται μέσω ενός καναλιού ή ενός αγωγού στον υδροστρόβιλο για να επιτευχθεί η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Τα υδροηλεκτρικά εκτροπής ποταμού κατά κανόνα, είτε δεν έχουν καθόλου εγκατάσταση αποθήκευσης είτε διαθέτουν μία, μικρού μεγέθους. Αποτέλεσμα αυτού είναι η παραγωγή να ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό και να σχετίζεται με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν ανά διαστήματα. Με πιο απλά λόγια σε περιόδους όπου η ροή του ποταμού είναι μικρή, συνήθως τους καλοκαιρινούς μήνες, η παραγωγή είναι μηδαμινή ή ανύπαρκτη. Στις περιόδους όμως που το νερό του ποταμού βρίσκεται πάνω από τα προβλεπόμενα όρια, η ηλεκτρική παραγωγή είναι αδιάκοπη, λόγω της επίσης αδιάκοπης κίνησης των υδάτων του. Ο συγκεκριμένος τύπος παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει υψηλά ποσοστά απόδοσης χωρίς να έχει περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ενώ στα θετικά του σημειώνεται και η ελάχιστη ανάγκη συντήρησης που απαιτεί. Μελετώντας την παρακάτω εικόνα

(Εικόνα 3.6) μπορεί να αναλυθεί με λίγο αναλυτικότερο τρόπο η λειτουργία υδροηλεκτρικών εκτροπής ποταμού. Όπως ήδη έχει αναφερθεί ένα μέρος από το νερό του ποταμού, ανακατευθύνεται δημιουργώντας έναν μικρότερο ποταμό με συνεχή ροή. Ο τεχνητός μικρός ποταμός θα καταλήξει στη δεξαμενή φόρτισης, όπου το νερό επιβραδύνεται και στη συνέχεια εισέρχεται στον αγωγό πτώσεως από τον οποίο θα οδηγηθεί στον υδροηλεκτρικό σταθμό και στον υδροστρόβιλο για να πραγματοποιηθεί η ηλεκτροπαραγωγή. Αφού περιστρέψει τον υδροστρόβιλο, το νερό ενσωματώνεται και πάλι στον αρχικό ποταμό από τον οποίο είχε γίνει η υδροληψία. Οι εγκαταστάσεις τέτοιου τύπου διαθέτουν μια βαλβίδα ή ένα θυρόφραγμα στην κορυφή του αγωγού πτώσεως, τα οποία κλείνουν όταν πρέπει να μείνει κλειστός ο στρόβιλος σε περίπτωση συντήρησης. Όταν η βαλβίδα ή το θυρόφραγμα είναι κλειστά, το νερό επιστρέφει πίσω στο ποτάμι μέσα από έναν υπερχειλιστή. Τέλος, η αποτελεσματική ρύθμιση της ταχύτητας του νερού είναι σημαντική ώστε να διατηρείται σταθερή η τάση και η συχνότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. [5,9,12,15,46]



Εικόνα 3.6 Τυπικό υδροηλεκτρικό εκτροπής ποταμού - Run of the river [5]

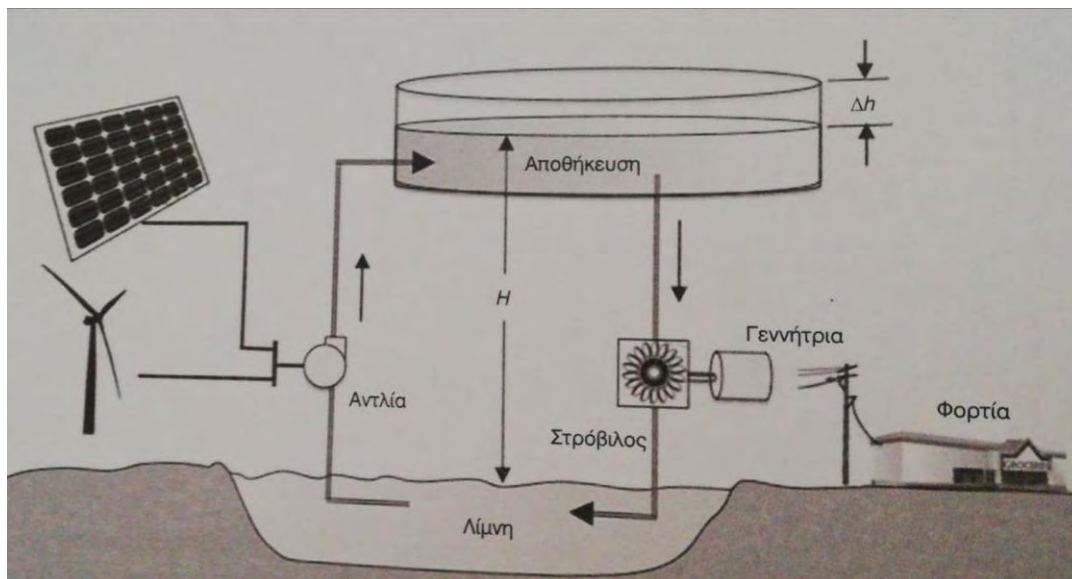
3.4.3 Υδροηλεκτρικά συστήματα αντλησιοταμίευσης ή αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά εργοστάσια

Υδροηλεκτρικά συστήματα αντλησιοταμίευσης ή αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά εργοστάσια: Πρόκειται για υδροηλεκτρικά συστήματα που διαθέτουν δύο ταμιευτήρες, με υψομετρική διαφορά μεταξύ τους. Τα συγκεκριμένα συστήματα εκτελούν δύο σημαντικές λειτουργίες την παραγωγή και την αποθήκευση ενέργειας. Για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, απελευθερώνεται νερό από τον άνω ταμιευτήρα, οδηγείται στον υδροηλεκτρικό σταθμό και κατ' επέκταση στον υδροστρόβιλο για να μετατραπεί η κινητική του ενέργεια σε μηχανική και στην συνέχεια σε ηλεκτρική. Το νερό αφού περιστρέψει τον υδροστρόβιλο καταλήγει στον κάτω ταμιευτήρα όπου και μένει δεσμευμένο. Κατά την διαδικασία αποθήκευσης το νερό του κάτω ταμιευτήρα αντλείται προς τον άνω ταμιευτήρα όπου και αποθηκεύεται για την επαναχρησιμοποίηση του (Εικόνα 3.7). Η άντληση του νερού πραγματοποιείται σε χρονικά διαστήματα με χαμηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας όπου υπάρχει περίσσεια ενέργειας και η τιμή της είναι μικρή, ενώ η παραγωγή σε ώρες μεγαλύτερης αιχμής. Μ' αυτόν τον τρόπο λοιπόν, τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά εργοστάσια έχουν διπλό όφελος. Απορροφούν αρχικά την περίσσεια ενέργεια που υπάρχει στις ώρες χαμηλής ζήτησης μετατρέποντας την σε υδραυλική κι αποθηκεύοντας την με την μορφή δυναμικής ενέργειας στην πάνω δεξαμενή, για να αξιοποιηθεί στις ώρες υψηλής ζήτησης. Εκτός από την εκμετάλλευση της περισσευούμενης ενέργειας που είναι το πρώτο όφελος το δεύτερο είναι η οικονομική απόδοση που προσφέρει. Η διαφορά στο κόστος που υπάρχει σε ώρες αιχμής και σε ώρες χαμηλής ζήτησης είναι ικανή να αντισταθμίσει τις απώλειες που υπάρχουν στην κυκλική διαδρομή άντλησης- παραγωγής. Συνολικά σ' έναν πλήρη εκτελούμενο κύκλο, τα υδροηλεκτρικά αυτού του τύπου φτάνουν σε απόδοση 65% - 80%, ανάλογα με το μέγεθος της μονάδας και τον εξοπλισμό που διαθέτει. Επιπρόσθετα, τα συστήματα αντλησιοταμίευσης έχουν τη δυνατότητα γρήγορης εκκίνησης και γρήγορου τερματισμού της λειτουργίας του. Μάλιστα μπορούν να μεταβούν από τη λειτουργία της αντλίας στη λειτουργία της γεννήτριας σε λιγότερο από μισή ώρα. Αν αναλογιστεί κανείς τα χαρακτηριστικά που διαθέτουν τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά εργοστάσια μπορεί να κατανοήσει ότι συμμετέχουν ενεργά στη διατήρηση της ευστάθειας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Η διατήρηση της ευστάθειας του συστήματος αποτελεί βασική προτεραιότητα για το διαχειριστή των δικτύων μεταφοράς και διανομής. Η δυνατότητα

αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας και η αξιοποίηση της σε ώρες αιχμής μαζί με τη γρήγορη απόκριση τους, κάνουν τα υδροηλεκτρικά συστήματα αντλησιοταμίευσης να είναι ιδανικά για τη σταθεροποίηση του δικτύου. Η ανάγκη διεξόδου ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή δημιουργεί επιπλέον προβλήματα στην ευστάθεια του συστήματος, λόγω της ασταθούς παραγωγής ισχύος που προσφέρουν. Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η προοπτική να συνδυαστεί αυτή η τεχνολογία με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή και η αιολική. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός συστήματος δυο αγωγών πτώσης, στον οποίο η ενέργεια άντλησης παρέχεται απευθείας από ανανεώσιμες πηγές, ενώ η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται με την πτώση του νερού από τη δεξαμενή αποθήκευσης προς τη χαμηλότερη δεξαμενή (Εικόνα 3.8). [5,8,20,23,32,46]



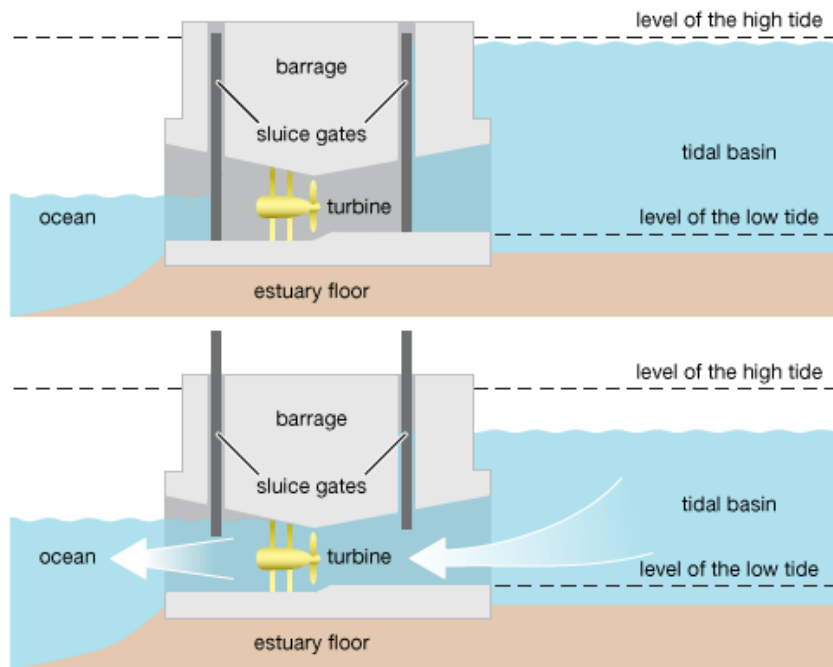
Εικόνα 3.7 Λειτουργία υδροηλεκτρικού σταθμού αντλησιοταμίευσης [23]



Εικόνα 3.8 Συνδυασμός υδροηλεκτρικού συστήματος αντλιοσταμείωσης με άλλες ανανεώσιμες πηγές [8]

3.4.4 Υδροηλεκτρικά ανοικτής θαλάσσης

Υδροηλεκτρικά ανοικτής θαλάσσης: Η συγκεκριμένη μέθοδος αποτελεί μία αμφιλεγόμενη κατηγορία καθώς σε αρκετές αναλύσεις, δεν αναφέρεται ως ένας τύπος υδροηλεκτρικού σταθμού. Τα υδροηλεκτρικά ανοικτής θαλάσσης χρησιμοποιεί παλιρροϊκά ρεύματα για την παραγωγή εκμεταλλεύσιμης ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα ένας απλός παλιρροϊκός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής χρησιμοποιεί ένα φράγμα, έναν υδροστρόβιλο και μία γεννήτρια (Εικόνα 3.9). Όταν η στάθμη του νερού είναι υψηλότερη στη μία πλευρά του φράγματος τότε επιτρέπεται η ροή του, η οποία περιστρέφει τον υδροστρόβιλο. Η περιστροφή του υδροστροβίλου παράγει μηχανική ενέργεια, η οποία μέσω γεννήτριας μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε έναν παλιρροϊκό σταθμό, είναι ίδιες με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς κι αυτός είναι ο βασικός λόγος, κατάταξης του ως έναν τύπο υδροηλεκτρικού σταθμού. [11,46,50]



© 2008 Encyclopædia Britannica, Inc.

Εικόνα 3.9 Λειτουργία υδροηλεκτρικού ανοικτής θαλάσσης [50]

4 ΜΙΚΡΟΙ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

4.1 Διαμόρφωση μικρού υδροηλεκτρικού έργου

Το υδροδυναμικό έργο περιλαμβάνει διάφορα τεχνικά έργα (Εικόνα 4.1), τα οποία παρουσιάζονται σε γενικές γραμμές ίδια σε κάθε σχεδιαζόμενο έργο και κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

1. Δομικά έργα Τα δομικά και κατασκευαστικά έργα καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το ύψος της επένδυσης. Τα κύρια μέρη τους είναι:

- Το φράγμα: σκοπός του οποίου είναι η δημιουργία ταμιευτήρα για τη συγκέντρωση ποσότητας νερού από τη φυσική απορροή του υδατορεύματος, το οποίο μέσω του αγωγού προσαγωγής, το νερό προσάγεται στον υδροστρόβιλο.
- Την υδροληψία: το σημείο δηλαδή από το οποίο θα οδηγήσουμε το νερό, μέσω των αγωγών πτώσης, στον υδροστρόβιλο. Διακρίνονται δύο τύποι:
 1. Επιφανειακές υδροληψίες, στις οποίες η παροχή ρυθμίζεται από το υδραυλικό φορτίο (ύψος νερού πάνω από το στόμιο της υδροληψίας)
 2. Βυθισμένες υδροληψίες, στις οποίες ρυθμίζεται από τον χρήστη με κατάλληλο μηχανισμό (π.χ. δικλίδες, θυροφράγματα)
- Ο εκχειλιστής: σκοπός του οποίου είναι η στάθμη του νερού να μην ξεπερνάει την στέψη του φράγματος ώστε να μην υπάρχει υπερχειλίση στον ταμιευτήρα, διοχετεύοντας με ασφάλεια πλημμύρες. Διακρίνονται δύο τύποι εκχειλιστών:
 1. Ελεύθεροι εκχειλιστές
 2. Εκχειλιστές όπου γίνεται ρύθμιση της ροής με θυροφράγματα.
- Τα έργα εκτροπής ή η σήραγγα εκτροπής: μέσω των οποίων εκτρέπεται η φυσική παροχή κατά την διάρκεια κατασκευής του φράγματος.
- Ο εκκενωτής πυθμένος μέσω του οποίου εκκενώνεται ελεγχόμενα ο ταμιευτήρας σε περίπτωση ανάγκης συντήρησης. Στις σύγχρονες κατασκευές χρησιμοποιείται μόνιμα, για διοχέτευση της οικολογικής παροχής.
- Αγωγοί προσαγωγής, ο αριθμός των οποίων καθορίζεται από των αντίστοιχων των

μονάδων παραγωγής.

- Ο αγωγός φυγής και διώρυγα φυγής: έχει δυο βασικές λειτουργίες, είναι ο αγωγός από τον οποίο διαφεύγει το νερό αφότου διοχετευθεί στον υδροστροβίλο, αλλά και επιβραδύνει τη ροή.
- Σταθμός παραγωγής

2. Μηχανολογικός εξοπλισμός Ο μηχανολογικός εξοπλισμός περιλαμβάνει κατασκευές ρύθμισης της παροχής νερού του φράγματος, των εκχειλιστών και του σταθμού παραγωγής, επίσης, περιλαμβάνει τον αναγκαίο εξοπλισμό ηλεκτροπαραγωγής, για τη σωστή λειτουργία και τη συντήρηση του υδροηλεκτρικού σταθμού. Συγκεκριμένα ο μηχανολογικός εξοπλισμός απαρτίζεται από τις ακόλουθες:

- Εσχάρες εισαγωγής ύδατος, για την προστασία των υδροστροβίλων από τα φερτά αντικείμενα του ποταμού συνοδευόμενες από μηχανισμούς καθαρισμού και συντήρησης του (Εικόνα 4.2).
- Θυροφράγματα και βαλβίδες, σκοπός τους, είναι η ρύθμιση της ροής του εισερχόμενου νερού προσφέροντας ασφάλεια σε πιθανή ανύψωση της επιφάνειας του νερού, και τη ρύθμιση των αγωγών προσαγωγής.
- Ρυθμιστές στροφών, για τη σταθεροποίηση της ταχύτητας περιστροφής του άξονα του υδροστροβίλου και κατ' επέκταση της γεννήτριας, σταθεροποιώντας τη συχνότητα ρεύματος, ανεξάρτητα από τη ζήτηση του ηλεκτρικού δικτύου.
- Συστήματα λίπανσης: ώστε να επιτυγχάνεται η ομαλή λειτουργία της γεννήτριας.
- Υδροστροβίλοι (Εικόνα 4.3)

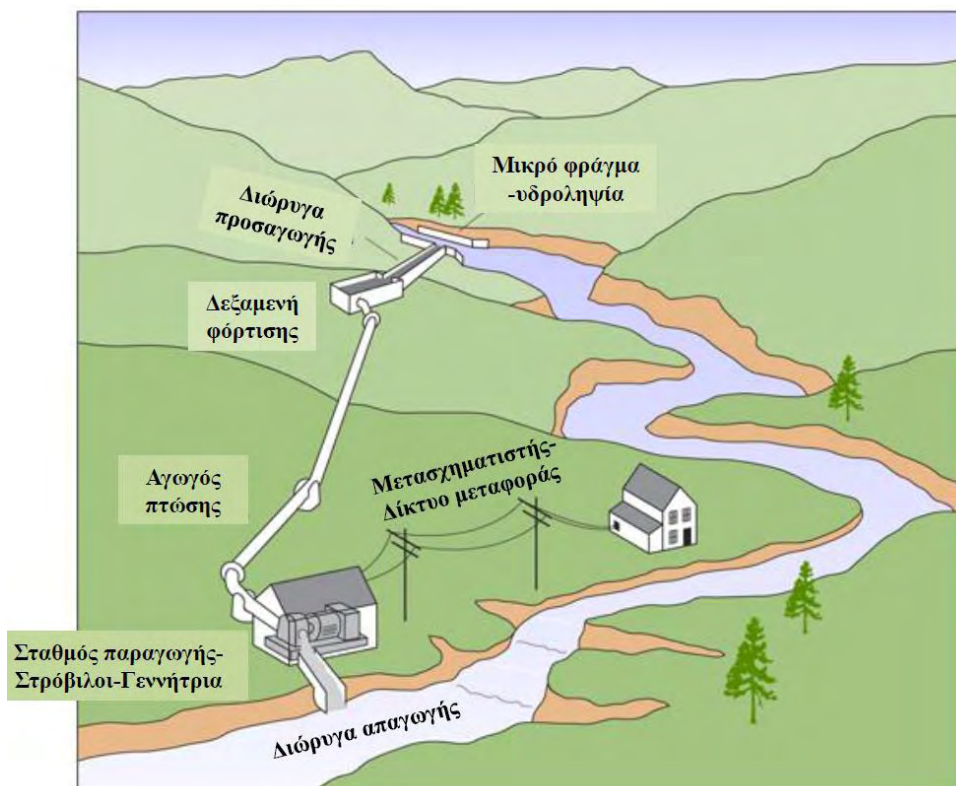
3. Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός Ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός περιλαμβάνει το σύνολο του εξοπλισμού που απαιτείται για την παραγωγή και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας και απαρτίζεται κυρίως από τα ακόλουθα:

- Γεννήτριες ή ενναλακτήρες, οι οποίες συνδέονται με τους υδροστροβίλους για την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική (Εικόνα 4.3).
- Κινητήριες μηχανές
- Συστήματα ρύθμισης διέγερσης και τάσης
- Μετασχηματιστές, σκοπός των οποίων είναι η ανύψωση της παραγόμενης τάσης, είτε για

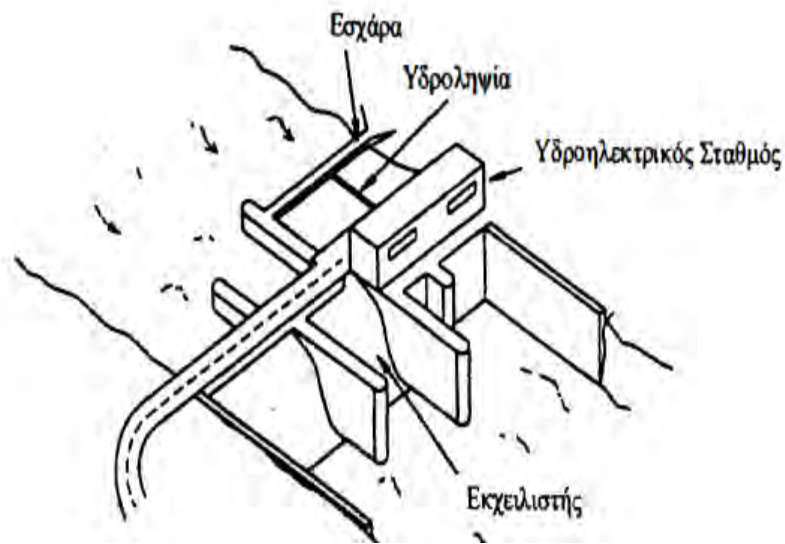
την αξιοποίηση της άμεσα, είτε για τη σύνδεση με το δίκτυο μεταφοράς.

- Γραμμές μεταφοράς, για τη μεταφορά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στον τόπο κατανάλωσης της.
- Διακόπτες ζεύξης και απόζευξης.
- Όργανα ελέγχου, για τη διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας του συστήματος.

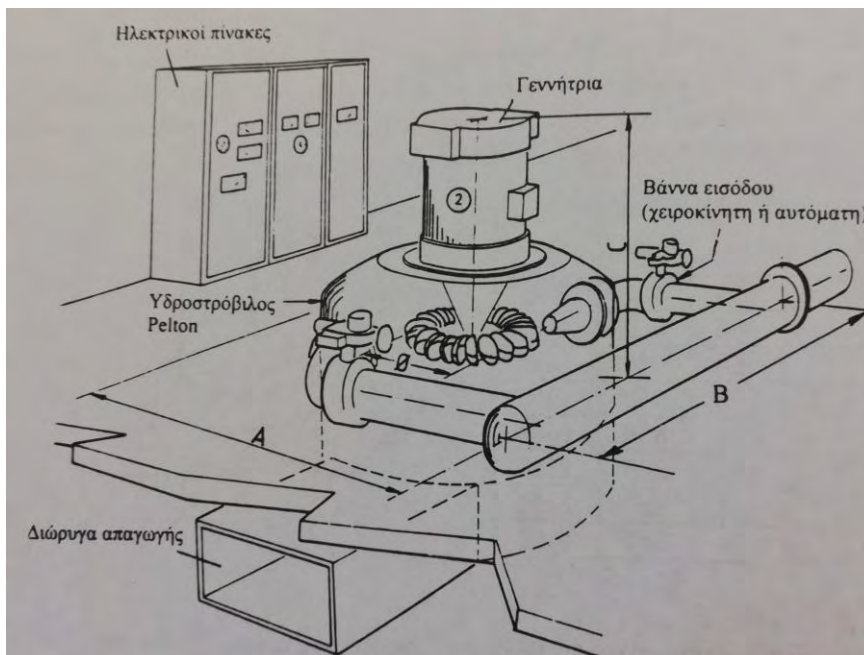
Οι τελικές διαστάσεις του σταθμού παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας καθορίζονται κυρίως από την επιλογή του τύπου και του μεγέθους των υδροστροβίλων και των γεννητριών που θα χρησιμοποιούν, συνυπολογίζοντας και το πλήθος αυτών. [21,25,30]



Εικόνα 4.1 Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός [30]



Εικόνα 4.2 Υδροηλεκτρικός σταθμός χαμηλής υδραυλικής πτώσης ενσωματωμένος στο φράγμα - εκχειλιστή [21]



Εικόνα 4.3 Σταθμός παραγωγής - ηλεκτρολογικός και μηχανολογικός εξοπλισμός [21]

4.2 Περιβαντολλογικές επιπτώσεις μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών

Τα μικρά υδροηλεκτρικά εργοστάσια έχουν περιβαντολλογικές επιπτώσεις, σημαντικά μικρότερες από αυτές των μεγάλων υδροηλεκτρικών. Το γεγονός αυτό φαντάζει πολύ λογικό αν αναλογιστεί κανείς το μέγεθος του ταμιευτήρα και γενικότερα την απαιτούμενη έκταση που χρειάζεται καθένα από τα δύο. Το ερώτημα, όμως, που τίθεται, είναι αν μπορούν τα μεγάλα έργα, να επιφέρουν ανάλογη με τον όγκο τους, ενεργειακή παραγωγή. Χαρακτηριστικό φαντάζει το παράδειγμα του υδροηλεκτρικού σταθμού, Balbina, το οποίο χτίστηκε σε μια επίπεδη περιοχή της Βραζιλίας το 1989. Ο σταθμός αυτός, έχει εγκατεστημένη ισχύ 250 MW και καταλαμβάνει έκταση 2360km², μια έκταση δηλαδή μεγαλύτερη των 2000 στρεμμάτων, τη στιγμή που ένα μικρό υδροηλεκτρικό 10MW δε χρειάζεται περισσότερο από 2,5 στρέμματα, εκπέμποντας παράλληλα και πολύ υψηλές τιμές αερίων του θερμοκηπίου (συγκεκριμένα μεθάνιο). Επιστρέφοντας στα μικρά υδροηλεκτρικά έργα, οι ενδεχόμενες επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρουν, είναι παρόμοιες με αυτές των μεγάλων υδροηλεκτρικών, διαμορφωμένες σε πολύ μικρότερη κλίμακα. Συγκεκριμένα, τα περιβαντολλογικά ζητήματα που μπορούν να προκαλέσουν είναι: [1,24,35]

Στο έδαφος

Αρχικά, η δημιουργία του φράγματος ακόμα και μικρής έκτασης, και των λοιπών συνοδευτικών έργων, κατακλύζει εκτάσεις γης, αλλάζοντας τις χρήσεις γης της περιοχής (π.χ. γεωργικές εκτάσεις). Παράλληλα, η συγκράτηση ύδατος μεταβάλλει το ποτάμιο ή παραποτάμιο οικοσύστημα σε λιμναίο. Οι απαραίτητες κατασκευές όπως και τα φερτά υλικά που κατακρατούνται στο φράγμα και απελευθερώνονται μαζικά δημιουργούν κινδύνους αλλοίωσης της μορφολογίας του εδάφους. [24]

Στο νερό

Σχετικά με την ποσότητα του νερού, υπάρχει μειωμένη ροή κυρίως κατάντη του φράγματος, ενώ δημιουργούνται έντονες αυξομειώσεις ροής νερού στο κάτω μέρος του φράγματος, σε περιόδους ξηρασίας και πλημμύρας, λόγω του μικρού μεγέθους αποθήκευσης. Από την άλλη, επηρεάζεται και η ποιότητα του νερού η οποία λόγω της στασιμότητας τα ανώτερα στρώματα γίνονται πιο ζεστά ενώ στα κατώτερα παρατηρείται μείωση σε αναλογία

διαλυμένου οξυγόνου. Η αποσύνθεση της βιομάζας που υπάρχει στον ταμιευτήρα μπορεί να μεταβάλλει το pH του νερού, ενώ ακόμα η χαμηλή ροή κατάντη του φράγματος μπορεί να προκαλέσει την εισχώρηση θαλασσινού ύδατος στο υπό εκμετάλλευση ποτάμι, μεταβάλλοντας έτσι, την αναλογία του σε αλάτι. Σε μικρότερο βαθμό υπάρχει ο κίνδυνος της ανάπτυξης βακτηρίων που μπορούν να προκαλέσουν μεταβολή του προϋπάρχοντος αβλαβούς ανόργανου υδράργυρου σε τοξικό μεθυλυδράργυρο. [24]

Στην πανίδα

Η απελευθέρωση ύδατος από το φράγμα, στο οποίο όπως προαναφέρθηκε, υπάρχει διαφορετική σύσταση νερού απ' ότι υπάρχει στο ποτάμι και σε συνδυασμό με την πιθανή του αλάτωση, δημιουργεί διαφορετικές, μη ευνοϊκές για τον πληθυσμό των ψαριών, συνθήκες. Αποτέλεσμα αυτού, είναι η μείωση στον αριθμό των ψαριών. Μεγάλο πρόβλημα δημιουργείται στα πλαίσια του πληθυσμού της ιχθυοπανίδας που έχει την τάση μετανάστευσης. Η μετατροπή του ποτάμιου οικοσυστήματος σε λιμναίο ευνοεί τη διαβίωση σε κάποια είδη πτηνών, ερπετών, θηλαστικών και αρπακτικών. Ακόμη, από την αύξηση της υγρασίας και από το ηπιότερο κλίμα που δημιουργείται από την τεχνητή λίμνη, ευνοούνται κάποια είδη εντόμων. [24]

Μικροκλίμα

Η κατασκευή ταμιευτήρα μπορεί να οδηγήσει σε τοπική αλλαγή του υδρολογικού κύκλου με αποτέλεσμα την αύξηση της υγρασίας. Επιπρόσθετα, η εμφάνιση πρωινής ομίχλης είναι φαινόμενο που συναντιέται συχνά σε μια λίμνη. [24]

Αέριες εκπομπές

Η έκλυση μεθανίου που παρατηρείται από την αποσυντιθέμενη βλάστηση σε μεγάλα υδροηλεκτρικά εργοστάσια μπορεί να υπάρξει και σε μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς με τις ποσότητες ωστόσο, να είναι από μηδαμινές έως και μικρές. [24]

Θόρυβος

Ο Θόρυβος στα πλαίσια λειτουργίας του σταθμού, δεν αποτελεί, συνήθως, πρόβλημα, καθώς είναι κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια. [24]

5 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

5.1 Λειτουργία και διάκριση υδροστροβίλων

Υδροστρόβιλος ονομάζεται η μηχανή που μετατρέπει την κινητική και δυναμική ενέργεια του νερού σε μηχανική περιστροφική ενέργεια. Οι υδροστρόβιλοι έχουν πολύ μεγάλη σημασία για τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς, γι' αυτό κι η ανάπτυξη τους ήταν ραγδαία από ανακάλυψη τους και μετά. Το 1832, ένας Γάλλος μηχανικός ονόματι Benoit Fourneyron δημιούργησε τον πρώτο υδροστρόβιλο, χρησιμοποιώντας έναν οδηγό πτερυγίων για να κατευθύνει τη ροή του νερού στο στρόβιλο. Λίγο αργότερα ο James Francis εφηύρε την τουρμπίνα Francis, μια τουρμπίνα που είναι συχνά χρησιμοποιούμενη ακόμα και σήμερα. Οι υδροστρόβιλοι αποτελούνται από τρία κύρια μέρη, τον δρομέα, το διανομέα και τον αγωγό εκτόνωσης. Ο δρομέας, είναι το κύριο τμήμα του υδροστροβίλου καθώς περιλαμβάνει τον άξονα και τον τροχό με τα πτερύγια, που χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε μηχανική. Ο διανομέας, είναι το τμήμα εισόδου του ύδατος, που εξασφαλίζει ότι το νερό θα καταλήξει στα πτερύγια του δρομέα, προσδίδοντας του, με τη χρήση συνήθως ακροφύσιων την κατάλληλη ταχύτητα. Τέλος, ο αγωγός εκτόνωσης, είναι το τμήμα εξόδου του ύδατος, έχοντας ως ουσιαστικό ρόλο τη συλλογή του νερού και την οδήγηση του εκτός μηχανής. Οι υδροτουρμπίνες μπορούν να διακριθούν ανάλογα με τη κίνηση του ύδατος στο δρομέα. Με αυτόν τον τρόπο διαχωρίζονται σε αξονικούς στροβίλους, στους οποίους το νερό κινείται παράλληλα με τον άξονα τους, σε ακτινωτούς στροβίλους, στους οποίους το νερό κινείται κατά μήκος της ακτίνας τους, σε μικτούς στροβίλους, που αποτελεί συνδυασμό των αξονικών και των ακτινικών και τέλος σε εφαπτομενικούς στροβίλους, στους οποίους η κίνηση του νερού είναι εφαπτομενική. Οι υδροστρόβιλοι μπορούν επίσης να ταξινομηθούν ανάλογα με την τοποθέτηση τους σε υδροτουρμπίνες κάθετου ή οριζόντιου άξονα περιστροφής, καθώς και σε υδροστροβίλους μερικής ή ολικής προσβολής, ανάλογα με τη διοχέτευση του νερού σε τμήμα (συνήθως σε δύο ή τρία από τα περίπου είκοσι σκαφίδια) ή στο σύνολο της περιμέτρου του δρομέα. [22,25,51]

Ο κύριος όμως, και συνηθέστερος διαχωρισμός έγκειται σε δύο κατηγορίες, τους υδροστροβίλους δράσης και αντίδρασης. Οι υδροστρόβιλοι δράσης, χρησιμοποιούν

αποκλειστικά την κινητική ενέργεια του νερού σ' αντίθεση με τους υδροστρόβιλους αντίδρασης που αξιοποιούν την ενέργεια κίνησης συνδυαστικά με την ενέργεια πίεσης του ύδατος. Για την αναλυτικότερη μελέτη, θα πρέπει να γίνει γνωστό ότι ως βαθμός αντίδρασης (reaction degree) ενός στροβίλου ορίζεται ο λόγος της μεταβολής της ενθαλπίας του ρευστού στο στροφέιο προς τη μεταβολή της ενθαλπίας του ρευστού στο σύνολο της βαθμίδας του στροβίλου. Η αξιοποίηση ή μη της ενέργειας της πίεσης που όπως αναφέρθηκε αποτελεί κριτήριο διαχωρισμού τις δυο κατηγορίες και προκύπτει από την ανάλυση της ενθαλπίας. Ενθαλπία ενός ρευστού κατ' ορισμό, είναι το άθροισμα της εσωτερικής του ενέργειας και του γινομένου της πίεσης επί τον όγκο του:

$$H = U + P \cdot V$$

η οποία μπορεί να αναχθεί σε ενθαλπία του ρευστού ανά μονάδα μάζας:

$$h = \frac{H}{m} = \frac{U}{m} + \frac{P \cdot V}{m} = u + \frac{P}{\rho}$$

Αν θεωρηθεί σταθερή η θερμοκρασία του νερού, δηλαδή του ρευστού που χρησιμοποιείται στις υδροτουρμπίνες, τότε αυτομάτως, σταθερή θα πρέπει να θεωρηθεί κι η εσωτερική του ενέργεια. Αναλογιζόμενοι τον παραπάνω τύπο και το γεγονός πως η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας θα είναι μηδέν (αφού αυτή παραμένει σταθερή), γίνεται κατανοητό πως η μεταβολή της ενθαλπίας επηρεάζεται από τη μεταβολή του λόγου της πίεσης και της πυκνότητας. Η πυκνότητα των ρευστών παραμένει επίσης σταθερή με αποτέλεσμα η πίεση να είναι το μόνο μεταβαλλόμενο μέγεθος και το μόνο που επηρεάζει τη μεταβολή της ενθαλπίας. Από τα παραπάνω, γίνεται εμφανές ότι ο ορισμός της αντίδρασης θα μπορούσε να εκφραστεί ως ο λόγος της μεταβολής της πίεσης στο στροφέιο προς τη μεταβολή της πίεσης του νερού στο σύνολο της βαθμίδας. [22,61]

5.2 Υδροστρόβιλοι δράσης

Οι υδροστρόβιλοι δράσης αποτελούνται από έναν δρομέα με πτερύγια, ο οποίος τίθεται σε κίνηση μέσω του νερού που εκτοξεύεται με μεγάλη ταχύτητα, από ένα ή περισσότερα ακροφύσια. Στη κίνηση του δρομέα δεν επιδρά η πίεση του ύδατος, η οποία υποβαθμίζεται στα

ακροφύσια σε επίπεδο ατμόσφαιρας, με σκοπό την επιτάχυνση της κίνησης του νερού. Στο στροφείο η πίεση παραμένει σταθερή, ίση με την ατμοσφαιρική, με αποτέλεσμα η μεταβολή της και κατ' επέκταση η μεταβολή της ενθαλπίας να είναι μηδενική, προσδίνοντας στο στρόβιλο μηδενικό βαθμό αντίδρασης. [25]

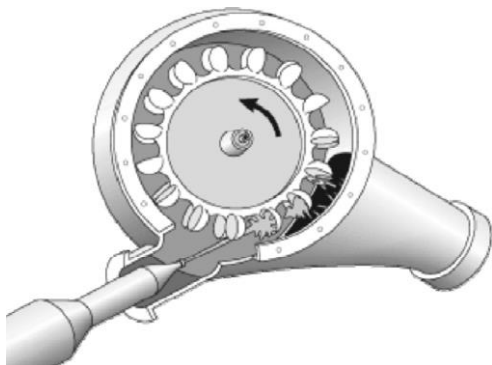
Οι υδροστρόβιλοι δράσης είναι μερικής προσβολής και γι' αυτό το λόγο προτιμούνται σε περιπτώσεις με μεγάλες τιμές υδατόπτωσης και σχετικά χαμηλές τιμές παροχής. Η μεγάλη ταχύτητα που αναπτύσσεται λόγω της μεγάλης υδατόπτωσης, σε συνδυασμό με τη μικρή διατομή διέλευσης προκαλούν σημαντικές ενεργειακές απώλειες, με αποτέλεσμα να υπάρχει σημαντική μείωση στην απόδοση του στρόβιλου. Οι υδροστρόβιλοι δράσης συντελούν στη μείωση αυτών των απωλειών ένεκα της σταθερής πίεσης που ασκείται στο στροφείο. Επιπρόσθετα η διατήρηση της πίεσης που ασκείται στα πτερύγια του δρομέα σταθερή, προσφέρει σημαντικά οφέλη σε περιπτώσεις με μεγάλο ύψος υδατόπτωσης μειώνοντας τις καταπονήσεις που υφίστανται ο στρόβιλος με τις σημαντικότερες φθορές να περιορίζονται στα ακροφύσια. Από την άλλη, οι μεγάλες δυνάμεις πίεσης που ασκούνται στο εσωτερικό μηχανών αντίδρασης ολικής προσβολής, δημιουργούν μεγάλη καταπόνηση στο δρομέα και στα πτερύγια του. Αποτέλεσμα αυτής της καταπόνησης είναι η αύξηση του κόστους κατασκευής του υδροηλεκτρικού έργου, ώστε να χρησιμοποιηθούν υλικά με ικανοποιητική αντοχή στις προβλεπόμενες αυτές πιέσεις. [22,61]

Ο τύπος υδροστρόβιλου δράσης που έχει επικρατήσει και χρησιμοποιείται σήμερα ευρέως είναι ο υδροστρόβιλος Pelton. Σ' αυτήν την κατηγορία ανήκει επίσης, ο υδροστρόβιλος Turgo που είναι μια παραλλαγή του Pelton. Μηδενικό βαθμό αντίδρασης στην κανονική του λειτουργία έχει ο υδροστρόβιλος τύπου Cross-Flow ή Banki, ο οποίος κατασκευάζεται για μικρές ισχύος (< 2MW) και για σχετικά μικρές τιμές υδατόπτωσης (< 100m). [13]

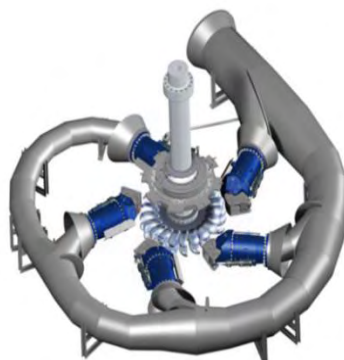
5.2.1 Υδροστρόβιλος Pelton

Ο στρόβιλος Pelton εφευρέθηκε από τον Lester Allan Pelton το 1890 και αποτελεί έναν από τους πιο αποδοτικούς κι έναν από τους πιο ευρέως χρησιμοποιούμενους υδροστρόβιλους. Ο υδροστρόβιλος αυτός συναντιέται είτε με οριζόντιο (Εικόνα 5.1) είτε με κατακόρυφο άξονα (Εικόνα 5.2). Σε περιπτώσεις όπου οι δέσμες (ακροφύσια) είναι περισσότερες από δύο, χρησιμοποιείται συνήθως κατακόρυφος άξονας (Εικόνα 5.2), ώστε να προφυλάσσεται η

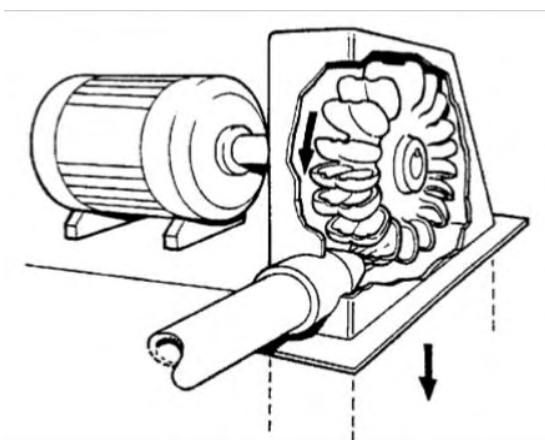
λειτουργία του δρομέα από τα απόνερα των σκαφιδίων. Το τμήμα εισόδου του, ξεκινάει από τη σφαιρική βάνα στο άκρο του αγωγού προσαγωγής, που αξιοποιείται ως διακόπτης νερού, και οδηγείται σε κάθε δέσμη. Το νερό που εισέρχεται σε κάθε δέσμη έχει μεγάλη πίεση και αμελητέα ταχύτητα, ενώ εξέρχεται από αυτήν με μεγάλη ταχύτητα και μικρή πίεση. Τα ακροφύσια κατευθύνουν με τέτοιο τρόπο το νερό, ώστε, αφού αποκτήσει μεγάλη ταχύτητα, να ρέει εφαπτομενικά κατά μήκος του δρομέα. Μ' αυτόν τον τρόπο το νερό, του οποίου η ροή ρυθμίζεται με βελονοειδής βαλβίδες, προσκρούει στα σκαφίδια που υπάρχουν περιμετρικά στο δρομέα, δίνοντας του, την απαραίτητη ώθηση που χρειάζεται για να επιτευχθεί η περιστροφή του (Εικόνα 5.3). Τα σκαφίδια, επειδή δέχονται πολύ ισχυρές δυνάμεις κι επιπλέον υφίστανται σημαντική διάβρωση τόσο από τη γρήγορη ροή του νερού όσο κι από την ύπαρξη σωματιδίων μέσα σ' αυτό, κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα βελτιώνοντας τη μηχανική τους αντοχή. Το τμήμα εξόδου συγκεντρώνει με τη βοήθεια της βαρύτητας, το νερό που χρησιμοποιήθηκε από τον υδροστρόβιλο οδηγώντας το εκτός μηχανής. [2,12,22]



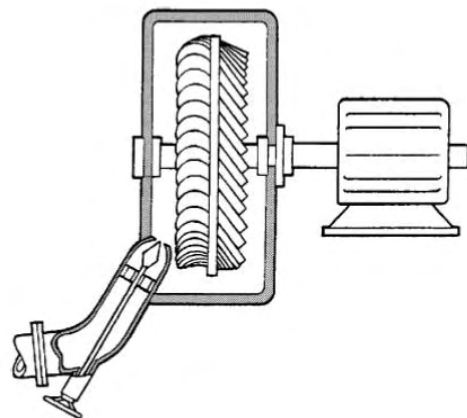
Εικόνα 5.1 one-jet Pelton [2]



Εικόνα 5.2 multi-jet Pelton [2]



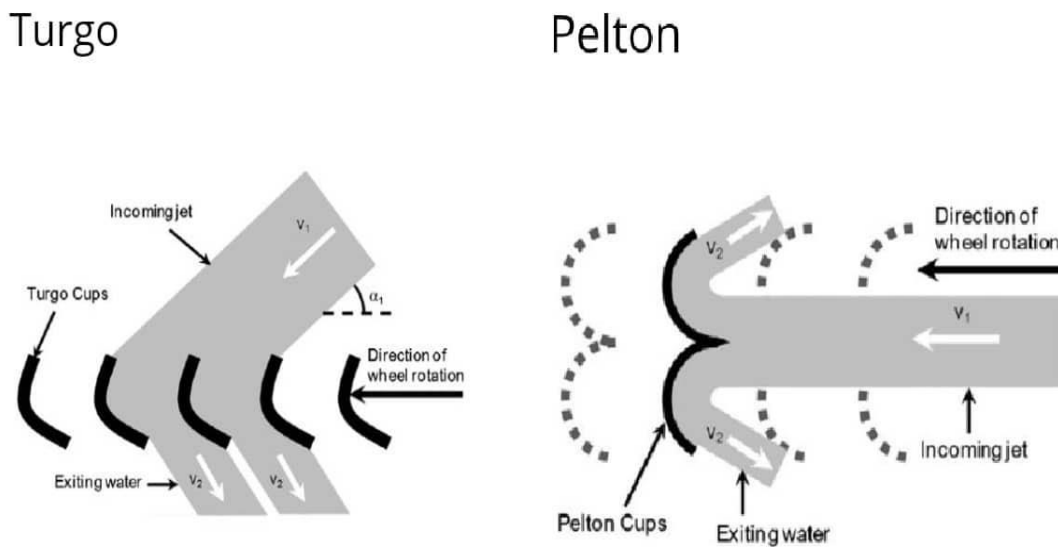
Εικόνα 5.3 Pelton οριζόντιου άξονα [13]



Εικόνα 5.4 Turgo [13]

5.2.2 Υδροστροβίλος Turgo

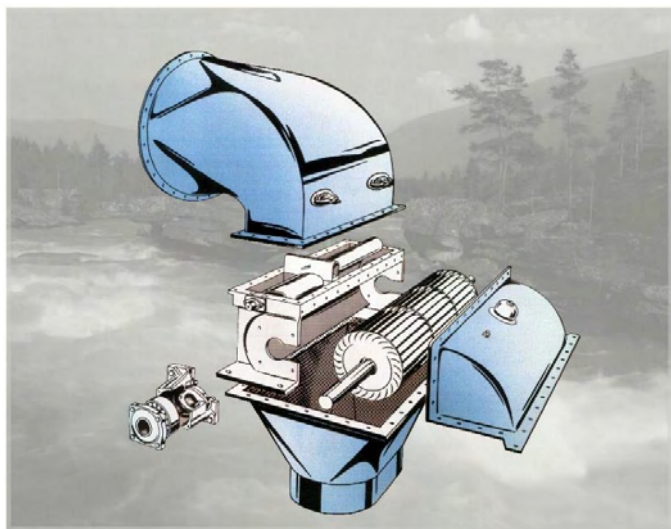
Ο υδροστροβίλος Turgo εφευρέθηκε το 1920 από τον Gilbert Gilkes με σκοπό να προσφέρει επιπλέον πλεονεκτήματα στην απόδοση και στο κόστος του υδροηλεκτρικού σταθμού. Ο υδροστροβίλος Turgo (Εικόνα 5.4) είναι παρόμοιος με τον στροβίλο Pelton έχοντας όμως διαφορετικό σχήμα σκαφιδίων ενώ και το νερό προσκρούει που προσκρούει στο δρομέα γίνεται υπό γωνία (Εικόνα 5.5). Το αποτέλεσμα αυτής της διαφοροποίησης συντελεί ώστε το νερό που εξέρχεται από το δρομέα να μην παρεμποδίζει το νερό που εισέρχεται σ' αυτόν. Μ' αυτόν τον τρόπο, δίνεται η δυνατότητα εκμετάλλευσης μεγαλύτερης ροής ύδατος. Τέτοιου είδους υδροστροβίλοι χρησιμοποιούνται συνήθως σε υδροηλεκτρικά με μεσαίο ή μεγάλο ύψος υδατόπτωσης και με μεγάλες παροχές νερού. Επιπρόσθετα οι δρομείς των στροβίλων Turgo έχουν σημαντικά μικρότερη διάμετρο από εκείνους των Pelton για την ίδια παραγωγή ισχύος, συνεισφέροντας στη μείωση του κόστους κατασκευής τους. Τέλος η υψηλή ταχύτητα λειτουργίας των συγκεκριμένων στροβίλων καθιστούν πιο πιθανή την άμεση σύνδεση τους με τη γεννήτρια, με αποτέλεσμα συστήματος να μειώνεται η ανάγκη συντήρησης και να βελτιώνεται η απόδοση του. [2,12,25]



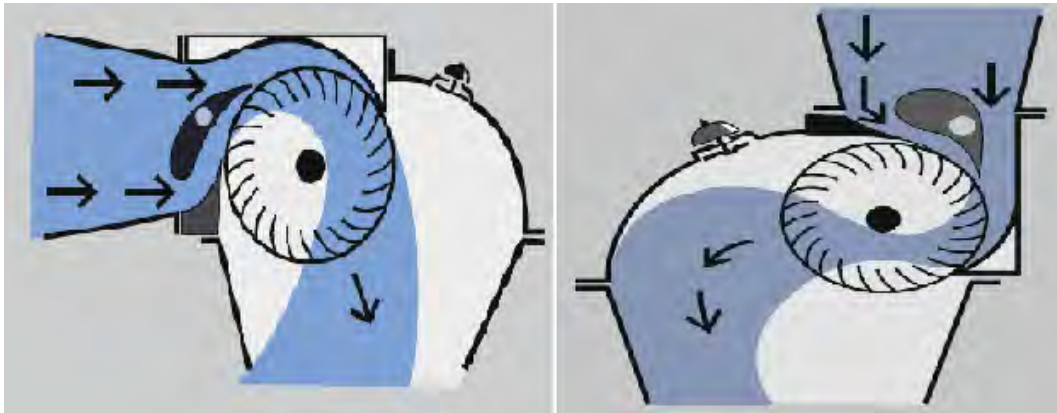
Εικόνα 5.5 Σύγκριση γωνίας πρόσκρουσης νερού σε υδροστροβίλους Turgo και Pelton [2]

5.2.3 Υδροστρόβιλος Cross-flow

Ο υδροστρόβιλος Cross-flow κατασκευάστηκε από τον Αυστραλό Antony Michell τον Ούγγρο Donat Banki και τον γερμανό Fritz Ossberger. Προς τιμήν των κατασκευαστών ο στρόβιλος Cross-flow καλείται επίσης ως στρόβιλος Banki-Michell ή στρόβιλος Ossberger. Σε αντίθεση με ότι συμβαίνει στους περισσότερους υδροστρόβιλους, στο στρόβιλος Cross-flow το νερό περνά εγκάρσια μέσω του δρομέα ή δια μέσου των σκαφιδίων. Συγκεκριμένα το νερό απελευθερώνεται από το διανομέα και κατευθύνεται στα κυρτά πτερύγια ενός κυλινδρικού δρομέα (Εικόνα 5.6). Το νερό σ' αυτόν τον τύπο υδροστροβίλου το νερό ρέει μέσα από τα πτερύγια δύο φορές. Στην πρώτη φορά το ρευστό ρέει από την εξωτερική του πλευρά στην εσωτερική, ενώ στη δεύτερη από μέσα προς τα έξω. Αυτή η αλλαγή κατεύθυνσης δημιουργεί σημαντικές απώλειες που οδηγούν στη μείωση της απόδοσης. Γενικότερα, η μέγιστη απόδοση του υδροστροβίλου Cross-flow είναι μικρότερη των υπολοίπων τύπων υδροστροβίλων, παρουσιάζοντας όμως ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα, τη σταθερή απόδοση υπό μεταβλητή παροχή νερού. Στα πλεονεκτήματα του θα πρέπει επίσης να αναφερθεί η απλή του κατασκευή που προσφέρει χαμηλότερο κόστος κι ευκολότερη συντήρηση. Τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που διαθέτει το έχουν μετατρέψει σε στρόβιλο μικρών ή mini υδροηλεκτρικών σταθμών. Τελειώνοντας, αυτός ο τύπος υδροστροβίλου μπορεί να έχουν είτε οριζόντιο (Εικόνα 5.7) είτε κάθετο άξονα περιστροφής (Εικόνα 5.7). [2,12,25]



Εικόνα 5.6 Υδροστρόβιλος Cross - flow [61]



Εικόνα 5.7 Τρόπος λειτουργίας Cross-flow με οριζόντια και κάθετη εισροή νερού [2]

5.3 Υδροστρόβιλοι αντίδρασης

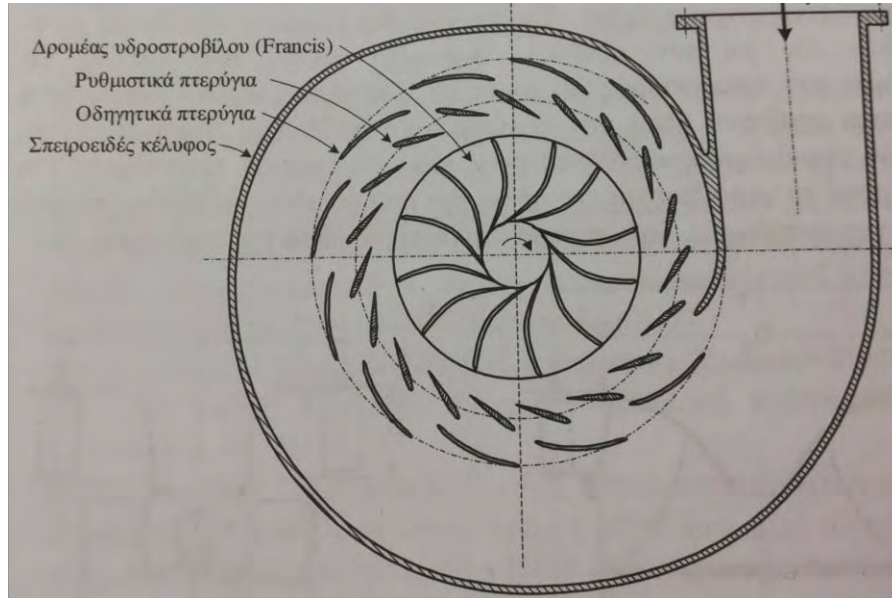
Στους υδροστρόβιλους αντίδρασης η πτώση της πίεσης του ύδατος δεν γίνεται ολοκληρωτικά στην ακίνητη κατευθυντήρια οδό που καταλήγει στον δρομέα αλλά, ένα σημαντικό μέρος της μεταβολής της, πραγματοποιείται στα πτερύγια του στροφείου. Αυτή η μεταβολή της πίεσης του νερού προκαλεί την εμφάνιση δύναμης στα πτερύγια, η οποία, δίνει μεγαλύτερη ώθηση στον στρόβιλο. Συνεπώς ένας τέτοιος στρόβιλος περιστρέφεται, αξιοποιώντας τόσο την πίεση όσο και την κίνηση του νερού. Αποτέλεσμα αυτού του τρόπου λειτουργίας, είναι, ο βαθμός αντίδρασης του στρόβιλου να γίνεται μεγαλύτερος του μηδενός. Επιπρόσθετα, το νερό που απελευθερώνεται, διαμοιράζεται και διοχετεύεται ομοιόμορφα στο σύνολο της περιμέτρου του δρομέα, καθιστώντας τους υδροστρόβιλους αντίδρασης, ως υδροστρόβιλους ολικής προσβολής. Για να επιτευχθεί η ομοιόμορφη αυτή, τροφοδοσία στο σύνολο της περιμέτρου του δρομέα, ο δρομέας περιβάλλεται από το τμήμα εισόδου, που έχει την μορφή σπειροειδούς κελύφους (Εικόνα 5.8). [22]

Το σπειροειδές κέλυφος, που παρουσιάστηκε, συνδέεται με τον αγωγό προσαγωγής και προσδίδει μια αρχική τιμή συστροφής στο νερό που λαμβάνει από αυτόν. Ακόμα, εκμεταλλευόμενο το ιδιαίτερο σχήμα του, διασφαλίζει ομοιόμορφες συνθήκες ροής κι ομοιόμορφη τροφοδοσία στο δρομέα. Το τμήμα που παρέχει νερό στον δρομέα, περιλαμβάνει περιμετρικά του, σταθερά οδηγητικά πτερύγια (Εικόνα 5.8) μέσω των οποίων διαμορφώνεται μεγαλύτερη γωνία στη σπείρα. Με τον τρόπο αυτόν, αυξάνεται, γρηγορότερα, η περιστροφική

ταχύτητα του υγρού κι επιτυγχάνεται, έτσι, η μείωση της διάστασης του σπειροειδούς κελύφους. Η τελική βέβαια τιμή συστροφής διαμορφώνεται με τη χρήση ρυθμιστικών πτερυγίων τα οποία διατάσσονται ανάμεσα στα οδηγητικά πτερύγια και τον δρομέα (Εικόνα 5.8) κι έχουν την ικανότητα ταυτόχρονης κι ομοιόμορφης περιστροφής. Η περιστροφή των ρυθμιστικών πτερυγίων, εκτός από την μεταβολή της κλίσης και την αύξηση της τιμής συστροφής, επιτυγχάνει ακόμα, την μεταβολή του διάκενου μεταξύ δύο διαδοχικών πτερυγίων, ώστε να δίνεται η δυνατότητα ρύθμισης της παροχής και κατ' επέκταση της ισχύς που παράγεται. Τα πτερύγια αυτά, σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε στην κλειστή τους λειτουργία να εφάπτεται το καθένα με το επόμενο και να μην επιτρέπεται η διέλευση νερού (μηδενική παροχή) (Εικόνα 5.9). [22,61]

Ο περιστρεφόμενος δρομέας είναι το τμήμα του υδροστροβίλου, στο οποίο γίνεται μετατροπή της ενέργειας του νερού, σε μηχανική ενέργεια. Τα πτερύγια που υπάρχουν στους δρομείς των υδροστροβίλων αντίδρασης είναι κατάλληλα καμπυλωμένα, ώστε να έχουν αεροδυναμικό σχήμα. Η ροή του υγρού ακολουθεί την καμπυλότητα των σκαφιδίων, ασκώντας τους διαρκώς δύναμη. Η δύναμη, που ασκείται, είναι ανάλογη με την παροχή του νερού και με την ταχύτητα που εκείνο προσκρούεται στα πτερύγια, κι επιτυγχάνει την δημιουργία ροπής για να περιστραφεί ο δρομέας. [22,61]

Το τμήμα εξόδου έχει σημαντικό ρόλο στην απόδοση των υδροστροβίλων αντίδρασης. Συγκεκριμένα, ο ρόλος του, είναι να επιτρέπει τη μετατροπή ενός μέρους της κινητικής ενέργειας του νερού που θα εξέρχονταν ανεκμετάλλευτο, σε δυναμική ενέργεια, αυξάνοντας, παράλληλα, την πίεση που επικρατεί στην έξοδο του στροβίλου. Με αυτόν τρόπο, αυξάνεται η ενέργεια που διατίθεται στον στροβίλο και συνεπώς κι η απόδοση του. Αξιοσημείωτο είναι ότι, η ταχύτητα του νερού στην έξοδο του δρομέα κυμαίνεται από 6m/s – 10m/s και μετά την εκμετάλλευση του από το τμήμα εξόδου κυμαίνεται από 1m/s - 2m/s. Το τμήμα εξόδου πραγματοποιεί την παραπάνω διαδικασία, αξιοποιώντας το ιδιαίτερο σχήμα του, που χαρακτηρίζεται από την σταδιακή αύξηση της διατομής του. [22,61]



Εικόνα 5.8 Τμήμα εισόδου Francis [22]



Εικόνα 5.9 Κλειστή θέση ρυθμιστικών πτερυγίων [61]

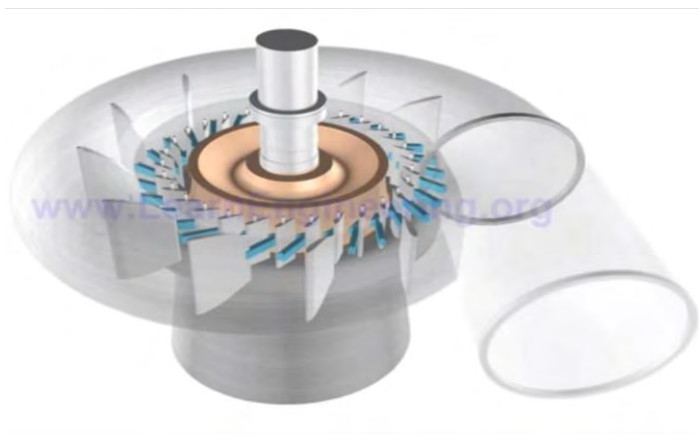


Εικόνα 5.10 Ανοικτή θέση ρυθμιστικών πτερυγίων [61]

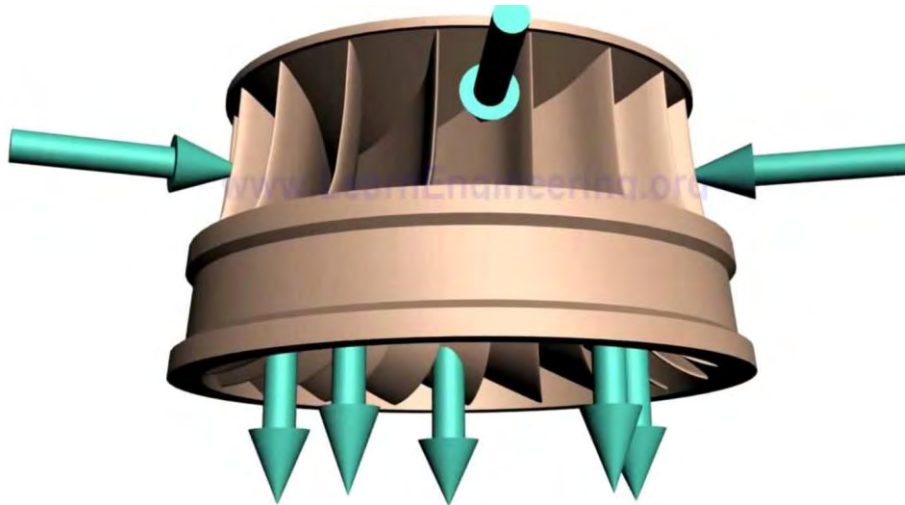
Οι υδροστροβίλοι αντίδρασης είναι πολύ αποδοτικοί και προτιμούνται από τους δράσης σε περιπτώσεις που το ύψος υδατόπτωσης είναι χαμηλό και η παροχή νερού μεγάλη. Αξιοσημείωτο είναι επίσης πως σε κάποιους υδροστροβίλους αντίδρασης που χρησιμοποιούνται για πολύ μικρές υδατοπτώσεις (<10m) δεν προβλέπεται σπειροειδές περίβλημα και η ροή στο τμήμα εισόδου γίνεται απευθείας αξονικά (π.χ. υδροστροβίλος βολβών). Οι κύριοι τύποι υδροτουρμπίνων με βαθμό αντίδρασης μεγαλύτερο του μηδενός είναι οι Francis, Kaplan. [13]

5.3.1 Υδροστρόβιλος Francis

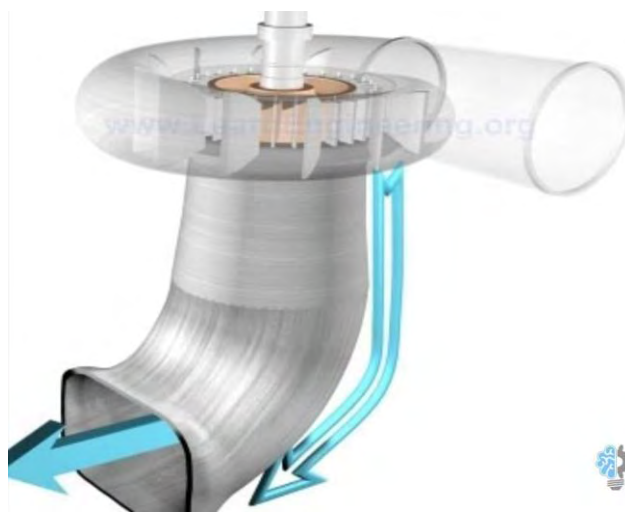
Ο υδροστρόβιλος Francis κατασκευάστηκε το 1849 από τον James Francis και είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος υδροστρόβιλος. Αρχικά, το νερό εισέρχεται από τον αγωγό πτώσης στο σπειροειδές του κέλυφος στην είσοδο του. Το ιδιαίτερο σχήμα του (Εικόνα 5.11) είναι ικανό να διαμοιράζει την παροχή και να διατηρεί τις συνθήκες ομοιόμορφες σε κάθε του τμήμα. Ο διαχωρισμός της παροχής ανά τμήματα γίνεται με τα οδηγητικά πτερύγια και έχει ως σκοπό τη διοχέτευση του νερού σε όλη την περίμετρο του δρομέα (ολική προσβολή) ενώ παράλληλα τα σταθερά οδηγητικά πτερύγια δίνουν μεγαλύτερη επιτάχυνση στο νερό. Το μέγεθος της ροής όπως και η τελική γωνία πρόσκρουσης καθορίζεται με τα ρυθμιστικά οδηγητικά πτερύγια.. Τα στροφεία Francis δέχονται μεγάλες δυνάμεις μιας και χρησιμοποιούνται συνήθως σε μεσαίου ύψους υδατοπτώσεις. Αξιοσημείωτο είναι ακόμα το γεγονός πως σ' έναν υδροστρόβιλο Francis η ροή με την οποία εισέρχεται το νερό στα πτερύγια είναι πάντα ακτινωτή, σε αντίθεση με τη ροή όταν εξέρχεται που είναι αξονική, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.12. Όταν το νερό φύγει από τον δρομέα συγκεντρώνεται και κατευθύνεται προς την έξοδο χρησιμοποιώντας τον αγωγό φυγής. Ο αγωγός φυγής (Εικόνα 5.13) χαρακτηρίζεται από ένα κωνικό σχήμα το οποίο συντελεί στην εκμετάλλευση της εναπομένουσας κινητικής ενέργειας του ύδατος αυξάνοντας παράλληλα και την απόδοση του συστήματος με τον ίδιο τρόπο που περιγράφηκε και παραπάνω. Οι υδροστρόβιλοι Francis λειτουργούν συνήθως με μέγιστη απόδοση 90%. [12,22,52]



Εικόνα 5.11 Τμήμα εισόδου Francis [53]



Εικόνα 5.12 Στροφείο Francis [53]

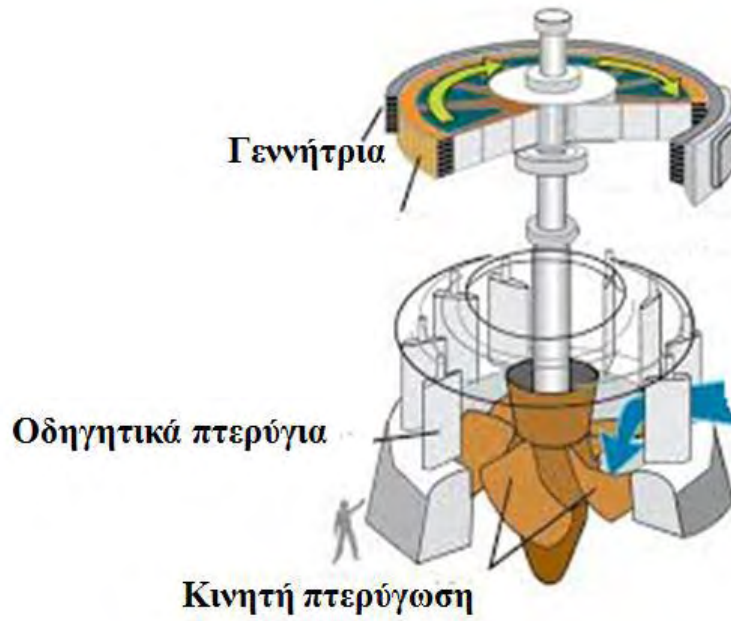


Εικόνα 5.13 Τμήμα εξόδου [53]

5.3.2 Υδροστρόβιλος Kaplan

Ο υδροστρόβιλος Kaplan εφευρέθηκε το 1913 από τον Αυστριακό Viktor Kaplan, με σκοπό να αποδώσει σε καταστάσεις που ο στρόβιλος Francis δυσκολευόταν. Για παράδειγμα ο Francis είναι μια τουρμπίνα που δεν είναι αποτελεσματική σε καταστάσεις μικρότερης ροή από αυτήν

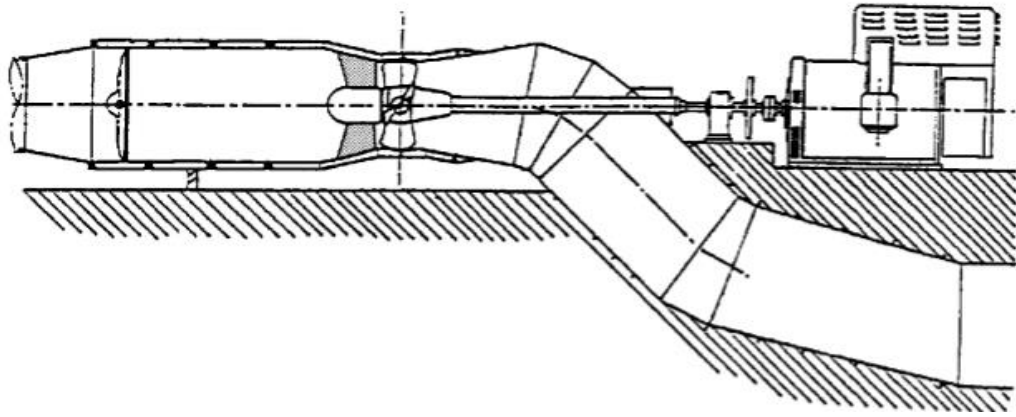
για την οποία έχει σχεδιαστεί. Από την άλλη πλευρά ο υδροστρόβιλος Kaplan είναι ευέλικτος σε καταστάσεις με διακυμάνσεις στην ροή. Ο κύριος λόγος όμως, που κατασκευάστηκε ο Kaplan ως εξέλιξη του Francis είναι για να υπάρξει αποδοτική παραγωγή ενέργειας σε υδροηλεκτρικά έργα με χαμηλό ύψος υδατόπτωσης. Ο υδροστρόβιλος Kaplan στη συμβατική του έκδοση διαθέτει ένα σπειροειδές περίβλημα το οποίο συνδέεται με τον αγωγό προσαγωγής και διαθέτει οδηγητικά πτερύγια τα οποία διαμοιράζουν την παροχή και συντελούν στην αξονική της πρόσκρουση με τον δρομέα. Τα ρυθμιστικά πτερύγια που διαθέτει ο συγκεκριμένος στρόβιλος αντίδρασης βρίσκονται πάνω στον δρομέα και είναι παράλληλα, η πτερύγωση που με την πρόσκρουση του ύδατος θα προσφέρουν την κίνηση. Πιο συγκεκριμένα, τα πτερύγια του στροφείου (Εικόνα 5.14) σ' έναν υδροστρόβιλο Kaplan δύνανται να ρυθμίζουν την κλίση τους, καθορίζοντας την ροή και την ταχύτητα με την οποία λειτουργούν. Το στροφείο έχει την μορφή έλικας κατατάσσοντας την τουρμπίνα Kaplan σε μία κατηγορία υδροστροβίλων αντίδρασης που ονομάζονται προπελωτοί ή τύπου έλικας (Εικόνα 5.15). Χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης κατηγορίας είναι ότι περιλαμβάνει αξονικούς στροβίλους, στροβίλους δηλαδή που επιτρέπουν την παράλληλη κίνηση του νερού πρόσκρουσης με τον άξονα τους. Επιπρόσθετα υπάρχουν στρόβιλοι Kaplan στους οποίους τα οδηγητικά πτερύγια ρυθμίζονται όπως και τα ρυθμιζόμενα, με σκοπό να παρέχεται ακόμη μεγαλύτερη ευελιξία στην παροχή λειτουργίας τους. Αυτοί οι στρόβιλοι ονομάζονται στρόβιλοι διπλής ρύθμισης, ενώ οι στρόβιλοι των οποίων τα οδηγητικά πτερύγια είναι σταθερά χαρακτηρίζονται ως στρόβιλοι απλής ρύθμισης. Τέλος, όπως έχει γίνει ήδη κατανοητό, ο υδροστρόβιλος Kaplan, χρησιμοποιείται για μικρά ύψη υδατόπτωσης. Σε ακόμα μικρότερα ύψη χρησιμοποιούνται στρόβιλοι παρόμοιας λειτουργίας με τον Kaplan, δηλαδή στρόβιλοι αξονικής ροής με δρομέα τύπου έλικας, όπως είναι ο υδροστρόβιλος βολβών (Εικόνα 5.16). Η απόδοση των υδροστροβίλων Kaplan κυμαίνεται από 80%-90%. [22,25]



Εικόνα 5.14 Υδροστρόβιλος Kaplan [57]



Εικόνα 5.15 Στροφείο Kaplan [57]



Εικόνα 5.16 Υδροστρόβιλος αξονικής ροής - υδροστρόβιλος βολβών [13]

6 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα περιλαμβάνουν ένα πλήθος χαρακτηριστικών, που με την κατάλληλη αξιοποίηση και μελέτης τους, συντελούν μια οικονομικά συμφέρουσα επένδυση. Η μεγάλη διάρκεια ζωής του έργου, τα σταθερά μικρά λειτουργικά του έξοδα, η διαθεσιμότητα υδάτινης παροχής, καθώς και το πολύ υψηλό κόστος εγκατάστασης είναι κάποιες από τις παραμέτρους που θα πρέπει να αναλυθούν σωστά, για να είναι οικονομικά αποδοτικότερο το έργο. [21]

6.1 Βασικά στοιχεία οικονομικής ανάλυσης

Χρονική διάρκεια οικονομικής ανάλυσης: Η οικονομική ανάλυση γίνεται συνήθως για ένα χρονικό διάστημα 20 ετών. Ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός ενός υδροηλεκτρικού σταθμού έχει διάρκεια ζωής 15-30 χρόνια, αντίθετα με τα δομικά έργα που έχουν πολύ μεγαλύτερη αντοχή στο χρόνο, μετά το πέρας του συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος, αποφασίζεται είτε η ανανέωση του εξοπλισμού είτε η πλήρης ανακατασκευή του σταθμού. [21]

Επιτόκιο δανεισμού: Το επιτόκιο δανεισμού λαμβάνεται υπόψη στην οικονομική ανάλυση καθώς εκφράζει τη ποσοστιαία προσαύξηση που πρέπει να καταβληθεί στον δανειοδότη για το ποσό του δανείου με το οποίο καλύπτεται μέρος της επένδυσης. Κατά τη διάρκεια της οικονομικής ανάλυσης ορίζεται ένα επιτόκιο, υψηλότερο συνήθως του επιτόκιο δανεισμού για να συμπεριληφθούν πιθανές οικονομικές αβεβαιότητες καθώς και αβεβαιότητες της παραγωγής κατά τη διάρκεια ζωής και λειτουργίας του έργου, που ονομάζεται προεξοφλητικό επιτόκιο. [21]

Πληθωρισμός: Ως πληθωρισμός χαρακτηρίζεται το φαινόμενο αύξησης ή μείωσης των τιμών των αγαθών και των υπηρεσιών με το πέρασμα του χρόνου, με ανομοιόμορφο τρόπο σε καθένα από αυτά. Το συγκεκριμένο μέγεθος εξαρτάται από την κατάσταση της εθνικής οικονομίας και από τις διεθνείς εξελίξεις. Ο πληθωρισμός μπορεί να αποτελέσει σημαντική παράμετρος σε επενδύσεις με μεγάλη διάρκεια ζωής όπως είναι τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια. [21]

Αναγωγή σε παρούσα αξία: Αντικατοπτρίζει την σημερινή αξία A_0 , ενός χρηματικού ποσού A_n που επρόκειτο να χρησιμοποιηθεί μελλοντικά (μετά από n χρόνια) συσχετιζόμενο με το επιτόκιο που έχει επιλεχθεί. Η μετατροπή αυτή στοχεύει στη σύγκριση των ποσών δαπάνης και είσπραξης καθ' όλη την διάρκεια ζωής του υδροηλεκτρικού σταθμού. [21]

$$A_0 = \frac{A_n}{(1+r)^n}$$

όπου r είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο. Ο όρος $\frac{1}{(1+r)^n}$ ονομάζεται συντελεστής αξίας.

Από τη μια πλευρά τα οικονομικά οφέλη που μπορεί να αποδώσει ένας υδροηλεκτρικός σταθμός είναι σημαντικά και σχετίζονται με την πώληση της ενέργειας που παράγεται. Αν θέσουμε τα ετήσια έσοδα με B_j και E_j την ετήσια ηλεκτρική παραγωγή (σε kWh) καθώς και p την τιμή πώλησης της παραγόμενης ενέργειας (€ / kWh), τότε τα ετήσια οικονομικά οφέλη υπολογίζονται από τον παρακάτω τύπο (σε € αν τηρηθούν οι προηγούμενες μονάδες μέτρησης):

$$B_j = E_j \cdot p$$

Από την άλλη πλευρά το κόστος για να αποδοθούν τα παραπάνω οικονομικά οφέλη έγκειται στο κόστος που απαιτείται για την κατασκευή του υδροηλεκτρικού σταθμού καθώς και στα ετήσια λειτουργία έξοδα που υπάρχουν. Επιπρόσθετα σημαντικό μερίδιο στο συνολικό κόστος καταλαμβάνουν και τα στοιχεία που προαναφέρθηκαν όπως το επιτόκιο υπάρχει στο ποσό της επένδυσης, ο χρόνος ζωής της εγκατάστασης. [25]

Το πλήθος των παραγόντων που επηρεάζουν οικονομικά έναν υδροηλεκτρικό σταθμό, αποδεικνύει την αναγκαιότητα σωστής οικονομικής ανάλυσης.

Για να μπορέσει όμως, να πραγματοποιηθεί μια οικονομική ανάλυση σε ένα μικρό υδροηλεκτρικό σταθμό, απαιτείται να είναι τουλάχιστον γνωστά, τα παρακάτω μεγέθη [21]:

- Εγκατεστημένη ισχύς
- Ετήσια παραγωγή ενέργειας

- Συνολικό ύψος της επένδυσης
- Τιμολόγιο πώλησης της ενέργειας
- Επιτόκιο δανεισμού
- Πληθωρισμός
- Χρονική περίοδος της οικονομικής ανάλυσης
- Διάρκεια κατασκευής του έργου
- Ετήσια λειτουργικά έξοδα

6.2 Τεχνικές και κριτήρια οικονομικής βιωσιμότητας

Ο λόγος των εσόδων προς τα έξοδα BCR (Benefit to Cost Ratio): είναι το πηλίκο της διαίρεσης των συνολικών εσόδων προς τα συνολικά έξοδα, με το κάθε όρο διαμορφωμένο σε παρούσα αξία (για να μπορούν να συγκριθούν σε βάθος n ετών). Το αποτέλεσμα της διαίρεσης είναι σημαντικός παράγοντας σε μια οικονομική ανάλυση καθώς, αντικατοπτρίζει την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης. Πιο συγκεκριμένα για να είναι η επένδυση οικονομικά βιώσιμη, ο όρος BCR θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος της μονάδας. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στο γεγονός πως η υψηλότερη τιμή σε πηλίκο του BCR δεν υποδεικνύει αυτόματα και υψηλότερο όφελος. Για να υπάρξει μεγαλύτερο συμβεί αυτό θα πρέπει να συνδυαστεί με μεγαλύτερη τιμή. Για παράδειγμα, αν σε δυο επενδύσεις (έστω επένδυση 1 και επένδυση 2) οι αντίστοιχοι λόγοι εσόδων - εξόδων είναι $BCR_1 > BCR_2$, δεν αποδεικνύει ότι έχει και μεγαλύτερο οικονομικό όφελος από την 2, αν όμως η επένδυση 1 διαθέτει επιπλέον και μεγαλύτερη τιμή εσόδων, τότε μπορεί να χαρακτηριστεί πιο ωφέλιμη από την 2. Ο τύπος BCR είναι: [21]

$$BCR = \frac{\sum_{j=0}^n \frac{B_j}{(1+r)^j}}{\sum_{j=0}^n \frac{C_j}{(1+r)^j}}$$

Καθαρή παρούσα αξία NPV (Net Present Value): Ένα ακόμα κριτήριο της οικονομικής βιωσιμότητας αποτελεί η καθαρή παρούσα αξία NPV, που ορίζεται ως η διαφορά των συνολικών εσόδων με τα συνολικά έξοδα, με τον κάθε όρο διαμορφωμένο σε παρούσα αξία (για να μπορούν να συγκριθούν σε βάθος n ετών). Σε περίπτωση αρνητικού αποτελέσματα το έργο

απορρίπτεται αμέσως, ενώ όσο υψηλότερος είναι ο δείκτης της NPV τόσο αποδοτικότερη είναι κι η απόδοση της επένδυσης. [21]

$$NPV = \sum_{j=0}^n \frac{B_j}{(1+r)^j} - \sum_{j=0}^n \frac{C_j}{(1+r)^j}$$

Διάρκεια αποπληρωμής: Ο συγκεκριμένος δείκτης αναφέρεται στα χρόνια που απαιτούνται για να αποπληρωθεί το ποσό της επένδυσης από τα καθαρά έσοδα (δηλαδή τα έσοδα από τα οποία αφαιρούνται λειτουργικά έξοδα). Συνήθως υπολογίζεται χωρίς αναγωγή σε παρούσα αξία και για να χαρακτηριστεί ένα μικρό υδροηλεκτρικό βιώσιμο θα πρέπει η διάρκεια αποπληρωμής να είναι μικρότερη των 8 ετών. [21]

Κριτήριο εσωτερικής απόδοσης της επένδυσης IRR (Internal Rate of Return): Στην ανάλυση των όρο BCR και NPV φαίνεται ο σημαντικός ρόλος που κατέχει το προεξοφλητικό επιτόκιο r . Η αρνητική και θετική επίπτωση που έχει η αύξηση κι η μείωση της τιμής του r αντίστοιχα, στους προαναφερθέντες όρους, μελετάτε από την εσωτερική απόδοση του συστήματος. Αρχικά θα πρέπει να γίνει γνωστό πως εσωτερική απόδοση της απόδοσης (IRR) ορίζεται η τιμή του επιτοκίου r για την οποία η καθαρή παρούσα αξία (NPV) γίνεται μηδέν. Ο στόχος του συγκεκριμένου δείκτη είναι να δείξει τους κινδύνους που ελλοχεύουν για την οικονομική βιωσιμότητα μια πιθανή μεταβολή της τιμής του επιτοκίου. Σ' αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφερθεί πως το προεξοφλητικό επιτόκιο αποτελεί ένα μακροοικονομικό μέγεθος που ενδέχεται να μεταβληθεί. [21]

Κόστος παραγόμενης μονάδας ενέργειας: Το συγκεκριμένο μέγεθος ορίζεται ως ο λόγος των συνολικών ετήσιων δαπανών προς την ετήσια παραγόμενη ενέργεια (έστω E). Οι συνολικές ετήσιες δαπάνες αποτελούνται από τα λειτουργικά έξοδα (έστω C) και από την ετήσια απόσβεση του έργου (έστω A). Συνοψίζοντας τα παραπάνω προκύπτει ο τύπος του κόστους της παραγόμενης μονάδας ενέργειας:

$$K_E = \frac{(A+C)}{E}$$

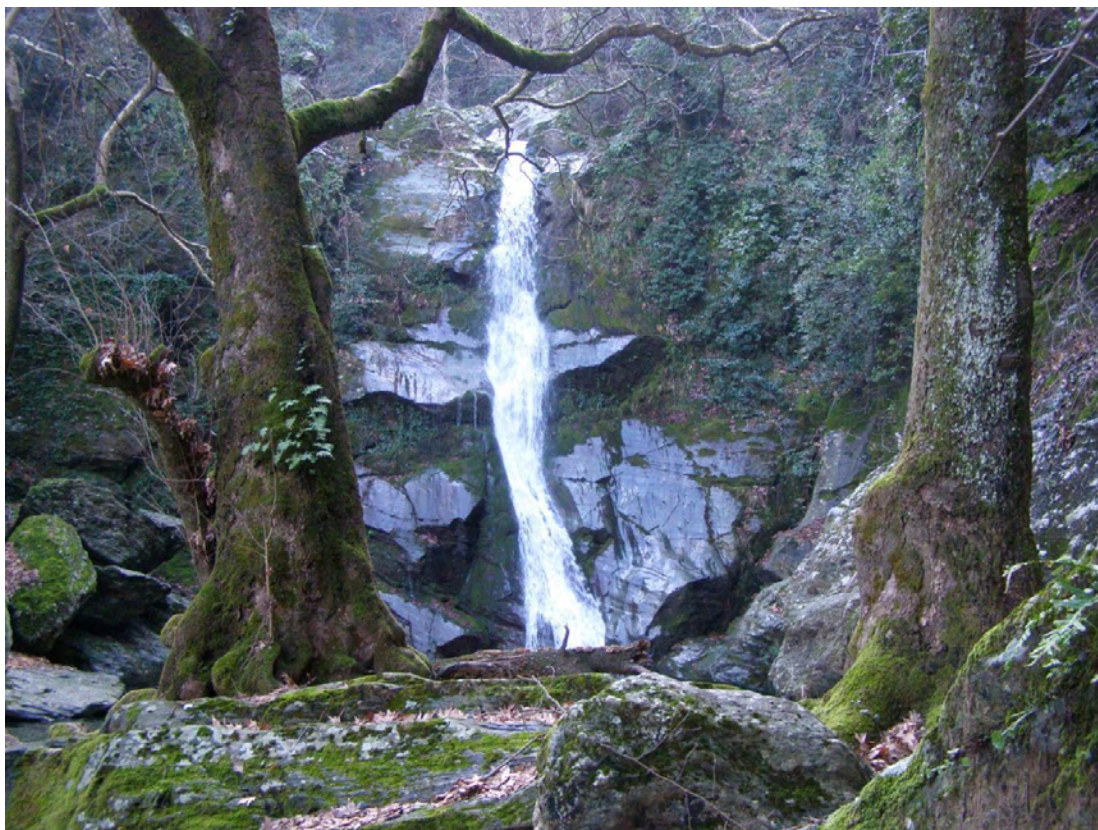
Επειδή η ετήσια απόσβεση A του έργου υπολογίζεται από το γεγονός πως το συνολικό ύψος της επένδυσης (έστω K) θα πρέπει να είναι ίσο με την παρούσα αξία των χρηματικών ποσών A [21]:

$$K = \sum_{i=1}^n \frac{A}{(1+r)^i}$$

7 ΜΕΛΕΤΗ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ 0.5 MW

Για την καλύτερη κατανόηση των υδροηλεκτρικών σταθμών είχα την ευκαιρία να μελετήσω τη λειτουργία και τη συντήρηση ενός μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού ονομαστικής ισχύος 0.5 MW. Οι ιδιοκτήτες του εν λόγω σταθμού μου επέτρεψαν τη μελέτη του, δίνοντας μου την ευκαιρία να δω αναλυτικά τα μέρη από τα οποία αποτελείται λύσω με τη βοήθεια τους απορίες, να συμμετέχω σε απαραίτητες για το σταθμό εργασίες και να συλλέξω-συγκεντρώσω πληροφορίες για αυτά. Συγκρίνοντας, τις πληροφορίες αυτές, με τις γνώσεις που έλαβα κατά τη διάρκεια της βιβλιογραφικής μου ανάλυση, προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα για τη λειτουργία των υδροηλεκτρικών σταθμών.

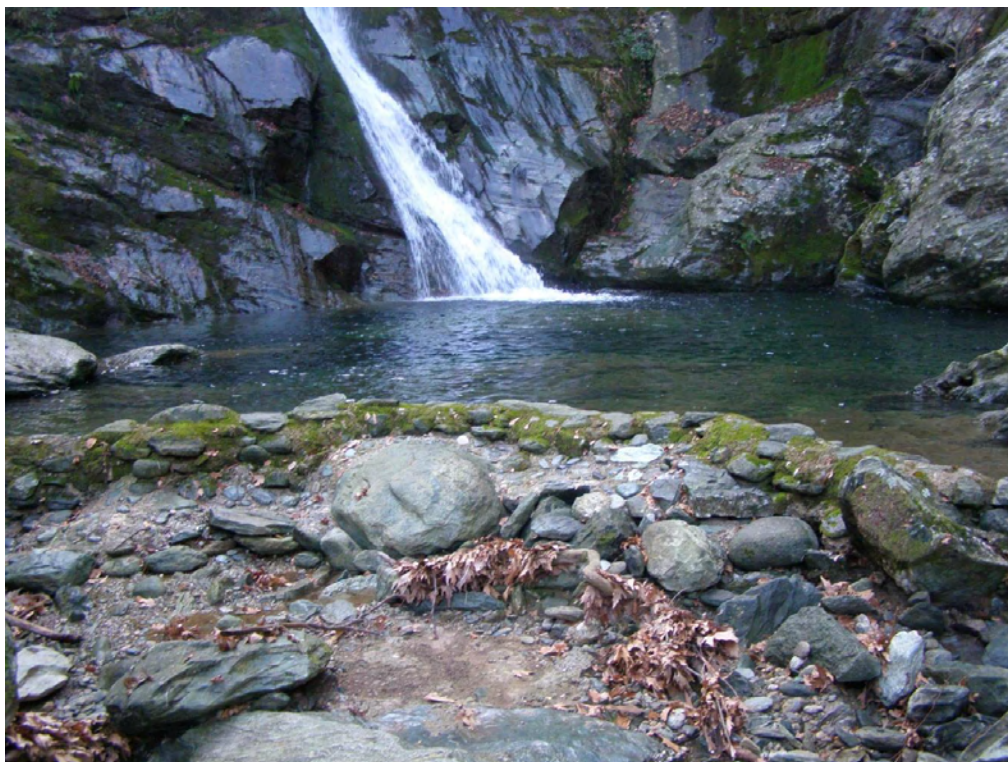
7.1 Περιγραφή υδροηλεκτρικού έργου



Εικόνα 7.1 Πορεία εκμεταλλεύσιμου ρέματος

7.1.1 Λειτουργία σταθμού

Το υδροηλεκτρικό έργο βασίζεται στην εκτροπής μικρής ποσότητας νερού από το ρέμα (Εικόνα 7.1), προσφέροντας παροχή λειτουργίας $240 \text{ lit/s} = 0.24 \text{ m}^3/\text{s}$. Η ενεργειακά εκμεταλλεύσιμη παροχή αποσπάται με χρήση τη χρήση μικρού φράγματος πλάτους 5m και ύψους 1,5m εντός της κοίτης του υδατορεύματος. Η υδροληψία (Εικόνα 7.2), που όπως περιγράφηκε έχει τη μορφή μικρού φράγματος, είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχει την οικολογική παροχή (μετρημένη στα 30lit/s), δηλαδή την απαιτούμενη παροχή για να διατηρούνται κατάλληλες οι συνθήκες επιβίωσης στο υπάρχον οικοσύστημα. Η υδροληψία διαθέτει εκχειλιστή και εσχάρες εισαγωγής ύδατος, παρέχοντας προστασία από πιθανή υπερχειλίση και από ενδεχόμενη φθορά με την συγκράτηση φερτών υλικών αντίστοιχα. Για την περαιτέρω προστασία του στροβίλου από φερτά υλικά χρησιμοποιείται δεξαμενή καθίζησης. Σημαντικό είναι το γεγονός πως το φράγμα υδροληψίας βρίσκεται σε υψόμετρο 358m από την επιφάνεια της θάλασσας.



Εικόνα 7.2 θέση υδροληψίας



Εικόνα 7.3 Εισροή νερού σε αγωγό προσαγωγής που οδηγεί στη δεξαμενή φόρτισης

Από την υδροληψία χρησιμοποιείται αγωγός προσαγωγής για περίπου 500m (Εικόνα 7.3), ώστε να οδηγηθεί η εκμεταλλεύσιμη παροχή στην δεξαμενή φόρτισης, η οποία στοχεύει στη μη εισροή αέρα και γενικότερα στο να υπάρχουν οι καλύτερες δυνατές υδραυλικές συνθήκες στον αγωγό που θα ακολουθηθεί. Ο αγωγός (Εικόνα 7.4) που συνδέεται με την δεξαμενή φόρτισης είναι εκείνος που θα μεταφέρει την εκμεταλλεύσιμη παροχή στον σταθμό παραγωγής και στον υδροστρόβιλο. Ο σταθμός παραγωγής βρίσκεται σε υψόμετρο 115m, προσφέροντας συνολική υψομετρική διαφορά 243m. Από τη συνολική υψομετρική, το εκμεταλλεύσιμο μανομετρικό ύψος είναι 235m μετά από την αφαίρεση απωλειών. Μετά την αξιοποίηση του ύδατος από τον υδροστρόβιλο το νερό κι αφού έχει συνολικά διανύσει περίπου 1.900m, επαναφέρεται στο ρέμα χωρίς φυσικά, να έχει υποστεί κάποιο είδος ρύπανσης.



Εικόνα 7.4 Αγωγός πτώσης που κατευθύνει το νερό στον υδροστρόβιλο

7.1.2 Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός εντός σταθμού παραγωγής

Ο υδροστρόβιλος που χρησιμοποιείται ανήκει στην κατηγορία των υδροστροβίλων δράσης, όπως είναι λογικό, μιας και πρόκειται για ένα έργο με μικρή παροχή νερού και μεγάλο ύψος υδατόπτωσης, και συγκεκριμένα είναι ένας στρόβιλος τύπου Pelton. Οι στρόβιλοι Pelton είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι υδροστρόβιλοι δράσης και παρουσιάζονται σε διαφορετικές μορφές ανάλογα με τον αριθμό των ακροφυσίων τους αλλά και από την κατεύθυνση του άξονα περιστροφής του. Στον υδροηλεκτρικό σταθμό που αναλύουμε ο υδροστρόβιλος είναι κάθετος Pelton (Εικόνα 7.8) 3 ακροφυσίων και ονομαστική ισχύς

0,485MW με τη δυνατότητα να αναπτύσσει 1500rpm (στροφές ανά λεπτό). Τα πτερύγια του υδροστροβίλου είναι από ανοξείδωτο ατσάλι (Εικόνα 7.5) για λόγους μεγαλύτερης μηχανικής αντοχής. Το ακροφύσιο (Εικόνα 7.6) προσαρμόζεται, πάνω στα πτερύγια με τη χρήση του εξαρτήματος που εμφανίζεται στην Εικόνα 7.7, έτσι ώστε να αξιοποιείται ολόκληρη η ποσότητα νερού που απελευθερώνεται.

Ακόμα στο μηχανοστάσιο υπάρχει:

Σύγχρονη Γεννήτρια με:

Ονομαστική ισχύς 550 KVA

Αποδιδόμενη ισχύς 550 KW.

Τάση λειτουργίας 0,4KV

Ταχύτητα 1500rpm

Συχνότητα 50Hz

Μετασχηματιστής:

Ονομαστική ισχύς 630KVA

Ονομαστική τάση 0,4KV – 20KV

Συχνότητα 50Hz



Εικόνα 7.5 Στροφέιο υδροστροβίλου Pelton



Εικόνα 7.6 Ακροφύσιο



Εικόνα 7.7 Επέκταση ακροφυσίου με σκοπό τη δημιουργία κατάλληλης γωνίας πρόσκρουσης ύδατος στα περύγια



Εικόνα 7.8 Υδροστρόβιλος Pelton κάθετου άξονα

7.1.3 Περίοδος λειτουργίας του υδροηλεκτρικού σταθμού

Τους μήνες κατά τους οποίους η φυσική παροχή του ρέματος είναι μικρότερη από το άθροισμα της οικολογικής και της ελάχιστης παροχής για τη λειτουργία του στροβίλου, η λειτουργία του υδροηλεκτρικού σταθμού, σταματά. Συνήθως αυτό συμβαίνει στην καλοκαιρινή και φθινοπωρινή περίοδο. Η μικρή ροή νερού είναι αποτέλεσμα των λιγοστών βροχοπτώσεων και της υψηλής θερμοκρασίας. Το νερό παραμένει στο ρέμα, ενώ ένα μέρος του αξιοποιείται σε αγροτικές εργασίες και κυρίως για την άρδευση καλλιεργήσιμων εδαφών. Την διακοπή λειτουργίας του σταθμού μπορούν να προκαλέσουν κι άλλοι παράγοντες εκτός από τους κλιματικούς όπως είναι δυσλειτουργίες στο σταθμό (π.χ. πρόβλημα στον αγωγό), ή

δυσλειτουργίες στο δίκτυο της ΔΕΗ (π.χ. διακοπή ρεύματος). Ένας υδροηλεκτρικός σταθμός πρέπει να είναι πλήρως συγχρονισμένος με το δίκτυο διανομής και μεταφοράς.

7.2 Μελέτη λειτουργίας

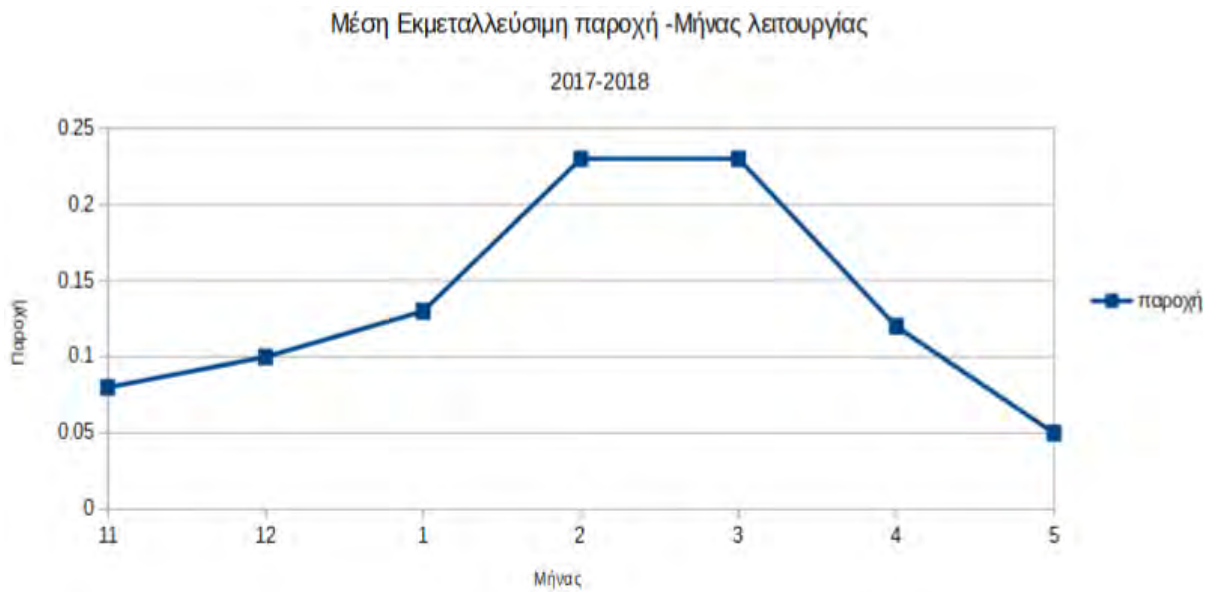
Στηριζόμενοι στα στοιχεία του παραπάνω σταθμού επιτυγχάνεται μια θεωρητική ανάλυση για τη λειτουργία του σταθμού.

7.2.1 Μελέτη λειτουργίας για το έτος 2017-2018

Η μέση εκμεταλλεύσιμη μηνιαία παροχή νερού υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας προσεγγιστικές ημερήσιες παροχές και αναλογιζόμενοι τις μέρες του μήνα στις οποίες ο υδροηλεκτρικός σταθμός βρισκόταν σε λειτουργία (δηλαδή υπολογίστηκε η χρονική περίοδος από 18 Νοεμβρίου – 21 Μαΐου):

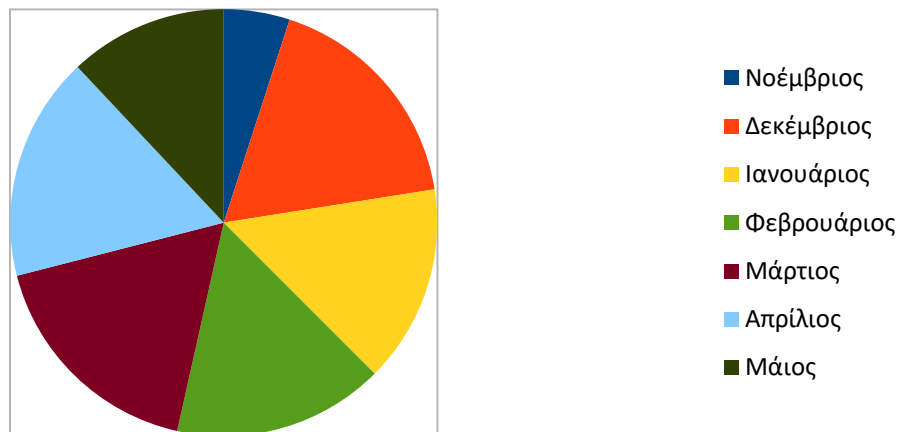
Πίνακας 1 Μέση μηνιαία παροχή και μέρες λειτουργίας για το έτος 2017-2018

Μήνας	Μέση εκμεταλλεύσιμη παροχή στις μέρες λειτουργίας (m ³ /s)	Μέρες μετρήσεων-λειτουργίας
Νοέμβριος	0.08	9
Δεκέμβριος	0.1	31
Ιανουάριος	0.13	27
Φεβρουάριος	0.23	28
Μάρτιος	0.23	31
Απρίλιος	0.12	30
Μάιος	0.05	21
Συνολικά	0.14	177



Διάγραμμα 1 Μέση εκμεταλλεύσιμη παροχή - Μήνας λειτουργίας (2017-2018)

Μέρες λειτουργίας την περίοδο 2017-2018



Διάγραμμα 2 Μέρες Λειτουργίας την περίοδο 2017- 2018

Αναλύοντας τη μέση εκμεταλλεύσιμη μηνιαία παροχή, τις μέρες λειτουργίας καθώς και τα στοιχεία του υδροηλεκτρικού σταθμού όπως αυτά παρουσιάστηκαν στην περιγραφή του σταθμού, υπολογίστηκε θεωρητικά εφαρμόζοντας τους τύπους και τις μεθόδους που εξηγήθηκαν στην παραπάνω βιβλιογραφική ανάλυση:

$$E = P \cdot t = g \cdot \rho \cdot Q \cdot n \cdot t$$

Νοέμβριος:	$E = 9.81 \cdot 0.08 \cdot 0.83 \cdot 9 \cdot 24 = 33064 \text{ kWh}$
Δεκέμβριος:	$E = 9.81 \cdot 0.1 \cdot 0.83 \cdot 31 \cdot 24 = 142360 \text{ kWh}$
Ιανουάριος:	$E = 9.81 \cdot 0.13 \cdot 0.83 \cdot 27 \cdot 24 = 161188 \text{ kWh}$
Φεβρουάριος:	$E = 9.81 \cdot 0.23 \cdot 0.83 \cdot 28 \cdot 24 = 295673 \text{ kWh}$
Μάρτιος:	$E = 9.81 \cdot 0.23 \cdot 0.83 \cdot 31 \cdot 24 = 327428 \text{ kWh}$
Απρίλιος:	$E = 9.81 \cdot 0.12 \cdot 0.83 \cdot 30 \cdot 24 = 165321 \text{ kWh}$
Μάιος:	$E = 9.81 \cdot 0.05 \cdot 0.83 \cdot 21 \cdot 24 = 48219 \text{ kWh}$

Πίνακας 2 Μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για το έτος 2017-2018

Μήνας λειτουργίας	Παραγόμενη ενέργεια (kWh)
Νοέμβριος	33064
Δεκέμβριος	142360
Ιανουάριος	161188
Φεβρουάριος	295673
Μάρτιος	327428
Απρίλιος	165321
Μάιος	48219
Συνολικά	1173253



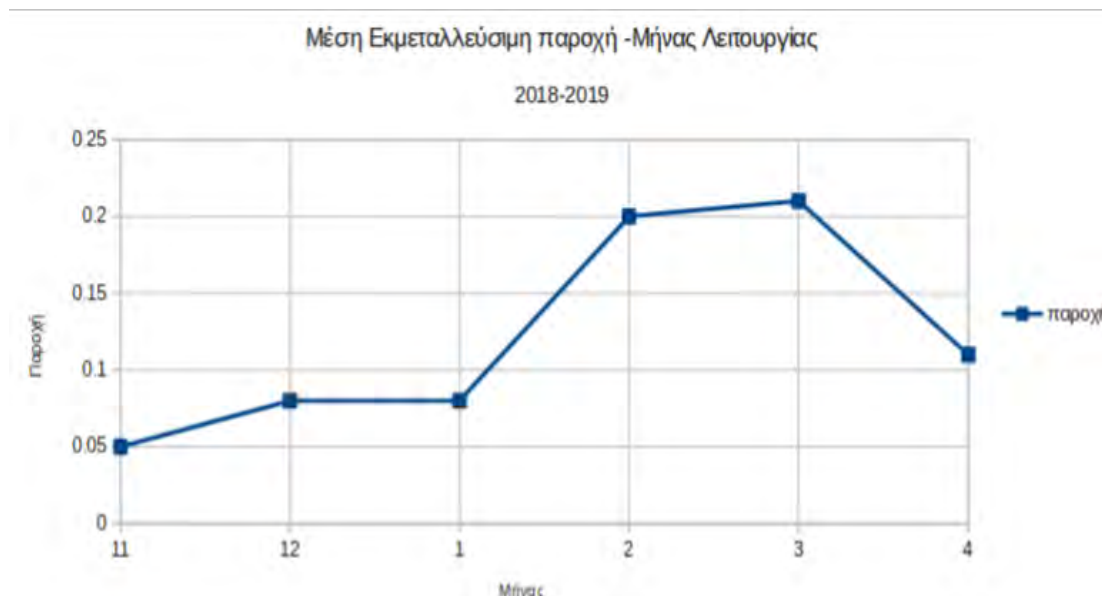
Διάγραμμα 3 Παραγόμενη ενέργεια - Μήνας λειτουργίας (2017-2018)

7.2.2 Μελέτη λειτουργίας για το έτος 2018-2019

Με την ίδια λογική υπολογίστηκε η μέση μηνιαία εκμεταλλεύσιμη παροχή για την περίοδο 2018-2019, στηριζόμενοι, δηλαδή, στις μέρες λειτουργίας του σταθμού (δηλαδή για τη χρονική περίοδο 20 Νοεμβρίου – 30 Απριλίου, ενώ δεν συμπεριλαμβάνεται ο Μάιος καθώς δεν υπήρχαν τα απαραίτητα στοιχεία).

Πίνακας 3 Μέση μηνιαία παροχή και μέρες λειτουργίας για το έτος 2018-2019

Μήνας	Μέση εκμεταλλεύσιμη παροχή στις μέρες λειτουργίας (m ³ /s)	Μέρες μετρήσεων-λειτουργίας
Νοέμβριος	0.05	5
Δεκέμβριος	0.08	6
Ιανουάριος	0.08	23
Φεβρουάριος	0.20	28
Μάρτιος	0.21	31
Απρίλιος	0.11	30
Συνολικά	0.15	123



Διάγραμμα 4 Μέση εκμεταλλεύσιμη παροχή - Μήνας λειτουργίας (2018-2019)



Διάγραμμα 5 Μέρες λειτουργίας την περίοδο 2018-2019

Αναλύοντας τα στοιχεία που παρατέθηκαν υπολογίστηκε η μηνιαία παραγωγή για το 2018-2019:

Νοέμβριος: $E = 9.81 \cdot 0.05 \cdot 0.83 \cdot 5 \cdot 24 = 11481 \text{ kWh}$

Δεκέμβριος: $E = 9.81 \cdot 0.08 \cdot 0.83 \cdot 6 \cdot 24 = 22043 \text{ kWh}$

Ιανουάριος: $E = 9.81 \cdot 0.08 \cdot 0.83 \cdot 23 \cdot 24 = 84478 \text{ kWh}$

Φεβρουάριος: $E = 9.81 \cdot 0.20 \cdot 0.83 \cdot 28 \cdot 24 = 257166 \text{ kWh}$

Μάρτιος: $E = 9.81 \cdot 0.21 \cdot 0.83 \cdot 31 \cdot 24 = 298956 \text{ kWh}$

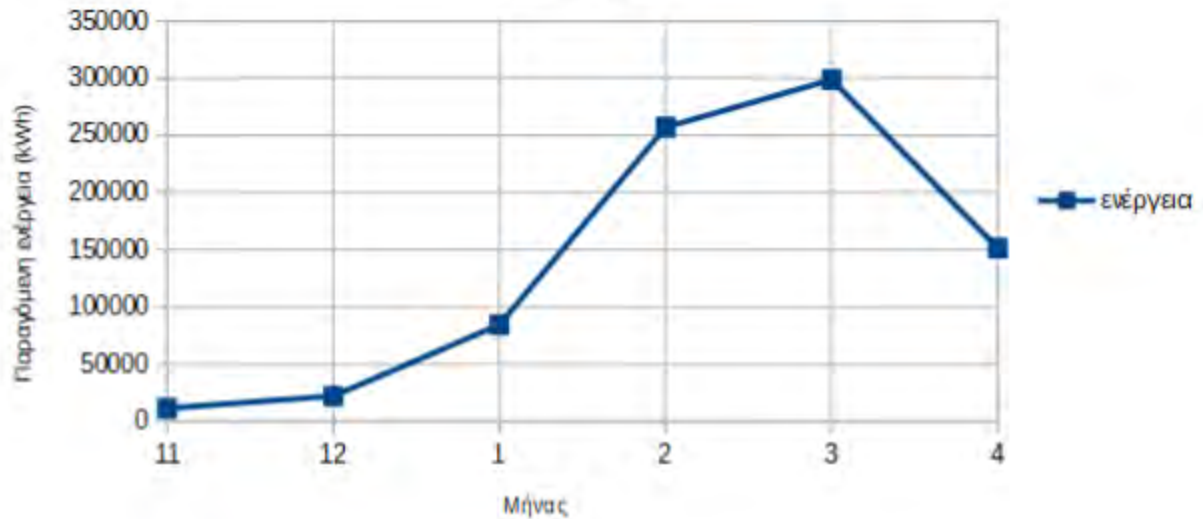
Απρίλιος: $E = 9.81 \cdot 0.11 \cdot 0.83 \cdot 30 \cdot 24 = 151544 \text{ kWh}$

Πίνακας 4 Μηνιαία παραγόμενη ενέργεια για το έτος 2018-2019

Μήνας λειτουργίας	Παραγόμενη ενέργεια (kWh)
Νοέμβριος	11481
Δεκέμβριος	22043
Ιανουάριος	84478
Φεβρουάριος	257166
Μάρτιος	298956
Απρίλιος	151544
Συνολικά	825478

Παραγόμενη ενέργεια - Μήνας λειτουργίας

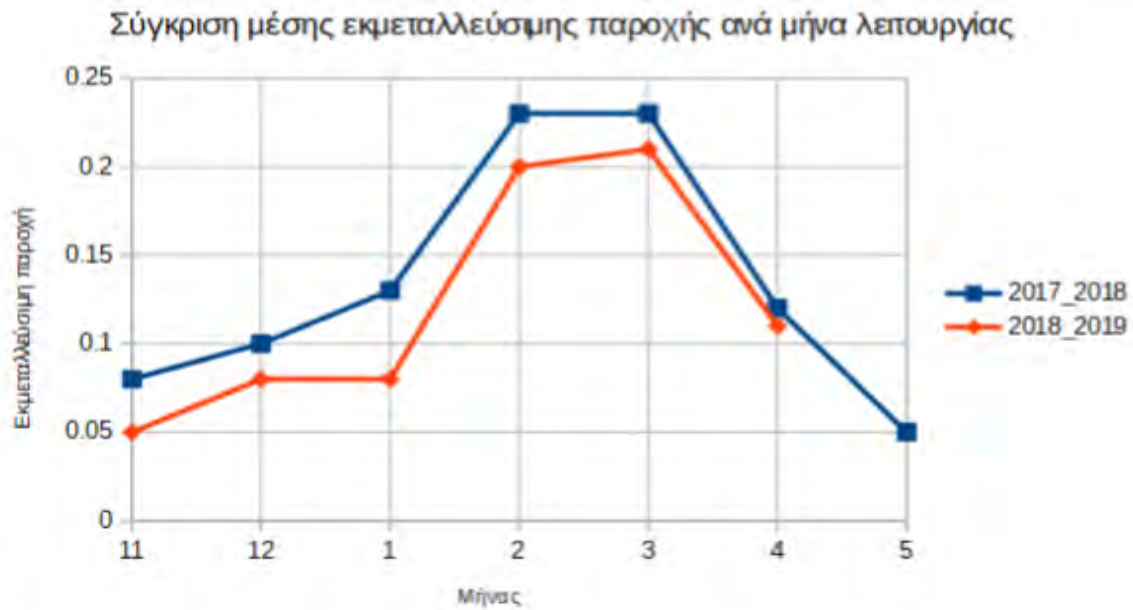
2018-2019



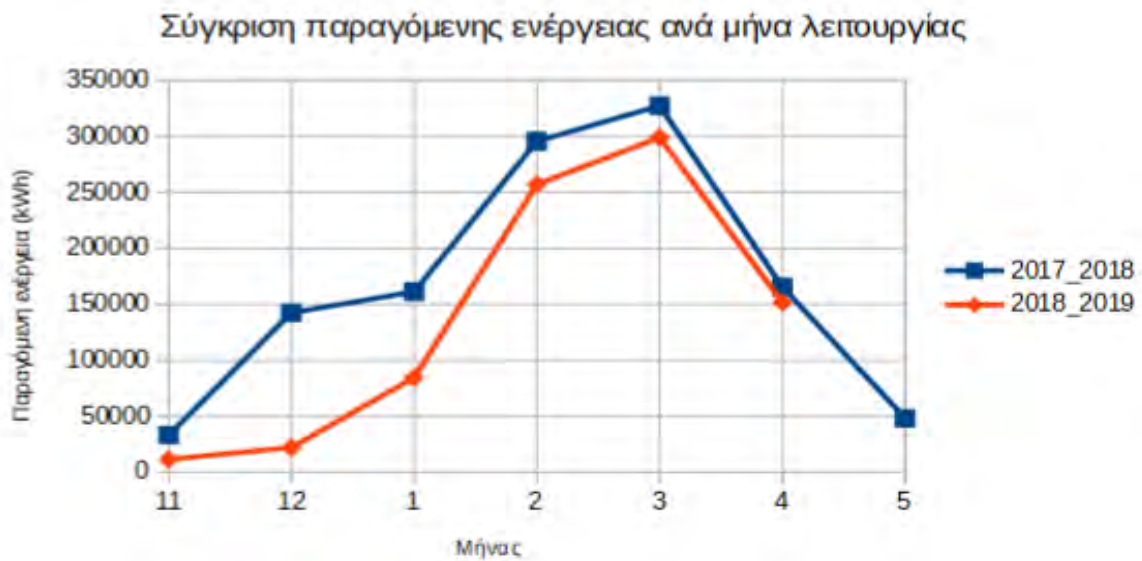
Διάγραμμα 6 Παραγόμενη ενέργεια - Μήνας λειτουργίας (2018 -2019)

7.2.3 Σύγκριση των δύο ετών ανάλυσης

Μελετώντας τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν κρίθηκε απαραίτητη η σύνοψη των δεδομένων για να τονιστούν οι διαφορές και οι ομοιότητες που παρατηρήθηκαν στα έτη μελέτης. Αρχικά φαίνεται πως τόσο η εκμεταλλεύσιμη παροχή όσο και η παραγόμενη ενέργεια κινήθηκαν σε υψηλότερες τιμές για το έτος λειτουργίας 2017-2018. Η παραγόμενη ενέργεια επηρεάζεται άμεσα από την εκμεταλλεύσιμη παροχή, γεγονός που αποδεικνύεται κι από την ποιοτική πορεία των διαγραμμάτων. Φυσικά σε μερικές περιπτώσεις υπάρχουν αποκλίσεις που συνήθως, οφείλονται στις μέρες λειτουργίας του κάθε μήνα. Προς τεκμηρίωση της προηγούμενης πρότασης παρατίθενται οι χρονικές περίοδοι Φεβρουαρίου – Μαρτίου για το έτος 2017-2018 και Δεκεμβρίου – Ιανουαρίου για το έτος 2018–2019, όπου ενώ η εκμεταλλεύσιμη παροχή βρίσκεται σε κοντινά επίπεδα η παραγόμενη ενέργεια παρουσιάζει σημαντικές αποκλίσεις. Οι μεγαλύτερες τιμές εκμεταλλεύσιμης παροχής και παραγόμενης ενέργειας παρουσιάζονται στους μήνες Φεβρουαρίου – Μαρτίου.



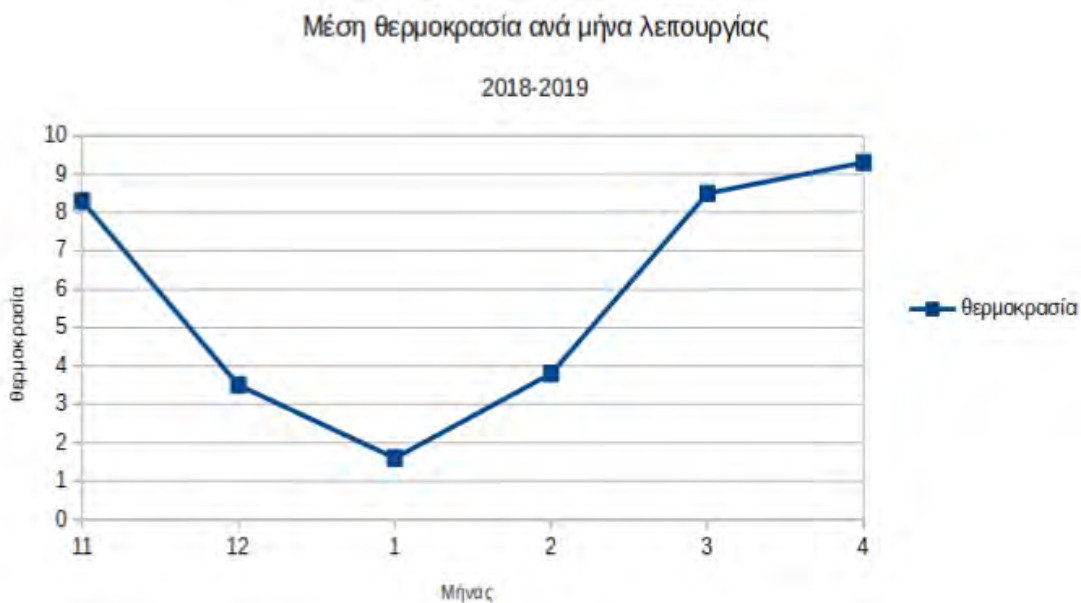
Διάγραμμα 7 Σύγκριση μέσης εκμεταλλεύσιμης παροχής ανά μήνα λειτουργίας



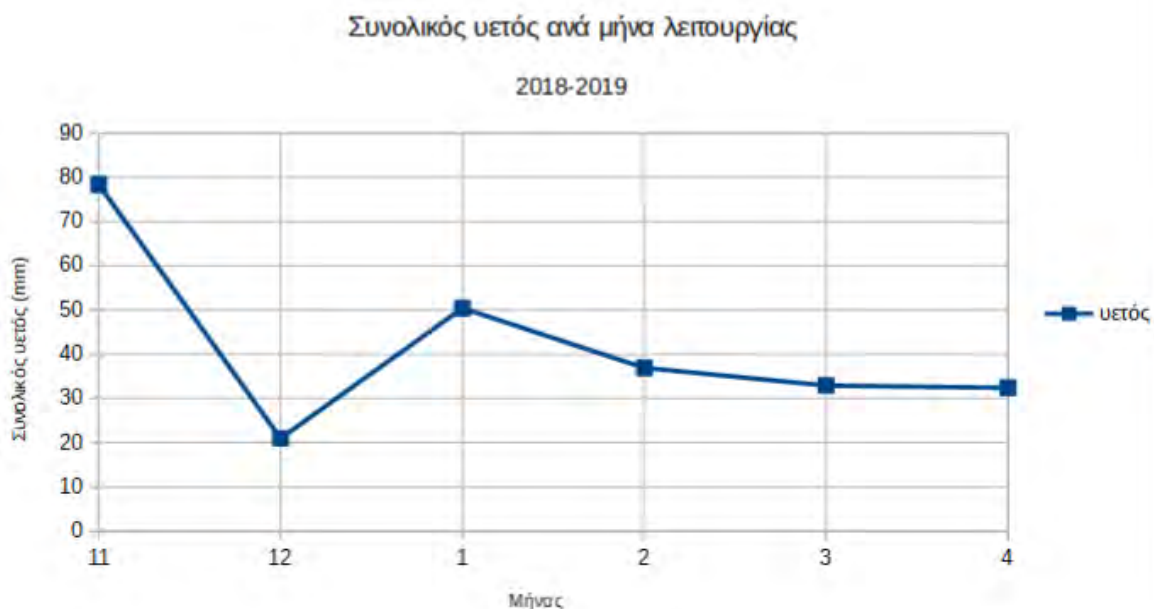
Διάγραμμα 8 Σύγκριση παραγόμενης ενέργειας ανά μήνα λειτουργίας

7.2.4 Συσχέτιση παροχής με μετεωρολογικά στοιχεία.

Στη βιβλιογραφική ανάλυση έγινε γνωστό πως η υδροηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από την κατακρήμνιση προϊόντων ύδατος στο έδαφος (υετός), προερχόμενα από τον υδρολογικό κύκλο. Εκμεταλλευόμενοι την τοποθέτηση, μέσα στο 2018, μετεωρολογικού σταθμού στη συγκεκριμένη περιοχή, συγκεντρώθηκαν μετεωρολογικά στοιχεία με σκοπό να γίνει προσπάθεια συσχέτισης των κλιματικών φαινομένων της περιοχής με την παροχή νερού. Εξαιτίας της πρόσφατης τοποθέτησης του σταθμού τα μετεωρολογικά στοιχεία που αναλύθηκαν αφορούν το 2018-2019. [60]



Διάγραμμα 9 Μέση θερμοκρασία ανά μήνα λειτουργίας

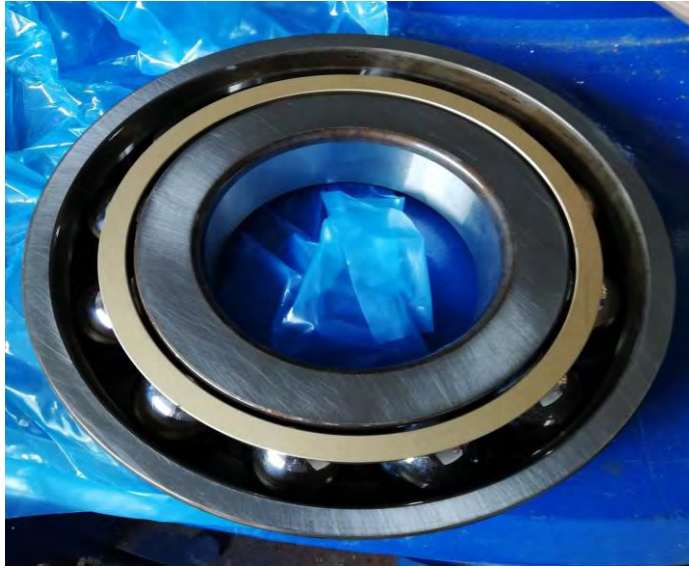


Διάγραμμα 10 Συνολικός υετός ανά μήνα λειτουργίας

Αρχικά στο διάγραμμα του συνολικού μηνιαίου υετού που δημιουργήθηκε, φαίνεται ότι ο υψηλός συνολικός υετός δε συνάδει με την χαμηλή εκμεταλλεύσιμη παροχή νερού στο μήνα Νοέμβριο. Οι υψηλές τιμές βροχόπτωσης που εμφανίζονται την περίοδο αυτή, σχετίζονται κυρίως με μεμονωμένες μέρες προς το τέλος του μήνα δηλαδή κοντά στην έναρξη της περιόδου λειτουργίας του υδροηλεκτρικού σταθμού. Η υψηλή θερμοκρασία σε συνδυασμό με τη μεγάλη περίοδο ανομβρίας, οδήγησε μεγάλο μέρος της παροχής να χαθεί στον υδροφόρο ορίζοντα. Επιπρόσθετα, οι πρώτες βροχές θέλουν ιδιαίτερη προσοχή καθώς μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες φερτών υλών που μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές στο σταθμό. Ο υψηλότερος υετός εμφανίζεται τον Ιανουάριο, όπως και οι πιο χαμηλές θερμοκρασίες. Ο συνδυασμός των δύο αυτών στοιχείων φανερώνει την ύπαρξη ύδατος με τη μορφή χιονιού και πάγου, που δεν μεταφράζονται άμεσα σε εκμεταλλεύσιμη παροχή. Η αύξηση της θερμοκρασίας που παρατηρείται κατά την περίοδο του Φεβρουαρίου και κυρίως του Μαρτίου, συμβάλλει στην εκμετάλλευση μέρους του υετού που δεν αξιοποιήθηκε.

7.3 Συντήρηση υδροηλεκτρικού σταθμού

Για την εύρυθμη λειτουργία του υδροηλεκτρικού σταθμού κρίνεται αναγκαία η συνεχής παρακολούθηση του, καθώς και η αντιμετώπιση προβλημάτων-δυσλειτουργιών που είναι πιθανό να εμφανιστούν. Για την μείωση των πιθανοτήτων εμφάνισης προβλημάτων-δυσλειτουργιών παρατηρήθηκε μια σειρά σημαντικών ενεργειών που ακολουθήθηκαν κατά τη διάρκεια μελέτης. Αρχικά, σημειώθηκε η συχνή αντικατάσταση της βελόνης των ακροφυσίων. Τα ακροφύσια σε έναν υδροστρόβιλο Pelton όπως ήδη έχει γίνει γνωστό, είναι το σημείο στο οποίο γίνεται μεταβολή της πίεσης με στόχο την επιτάχυνση της κίνησης του νερού. Οι μεγάλες δυνάμεις που δημιουργούνται κατά την εκτόνωση προκαλούν φθορές στις βελόνες των ακροφυσίων, φθορές που κάνουν απαραίτητη την αλλαγή τους με καινούριες. Σημαντική θεωρείται η λίπανση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού. Όταν το υδροηλεκτρικό εργοστάσιο σταματάει τη λειτουργία του, ο αγωγός θα πρέπει να παραμένει γεμάτος με νερό, ώστε να αποφεύγεται η εισροή αέρα. Με αυτόν τον τρόπο προσφέρονται δύο σημαντικά οφέλη. Το πρώτο όφελος σχετίζεται με τη συντήρηση του αγωγού μιας και αποφεύγεται η οξείδωση του, ενώ το δεύτερο όφελος σχετίζεται με την αποφυγή υδραυλικών κενών, που μπορούν να οδηγήσουν τόσο στη μείωση της απόδοσης του συστήματος όσο και στην δημιουργία σημαντικών φθορών στα ακροφύσια και στο στρόβιλο. Το νερό που βρίσκεται στον αγωγό τις μέρες που δε λειτουργεί ο σταθμός, θα πρέπει να αλλάζεται όταν η παροχή το επιτρέπει. Αυτό συμβαίνει επειδή το στάσιμο νερό, σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες, ευνοούν την ανάπτυξη μικροοργανισμών που διαβρώνουν τον αγωγό. Σε βάθος χρόνου γίνεται επίσης αλλαγή των εδράνων (Εικόνα 7.9) που βρίσκονται στον άξονα περιστροφής. Για να διευκολυνθεί η μέθοδος αυτή, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί γερανός που θα κατεβάσει τον κατακόρυφο άξονα και θα τον φέρει σε οριζόντια θέση (Εικόνα 7.10). Η δύσκολη διαδικασία απελευθέρωσης των παλιών εδράνων επιτυγχάνεται συστέλλοντας τα, με τη διαδικασία της θέρμανσης. Η ίδια μέθοδος χρησιμοποιείται και για την τοποθέτηση των νέων εδράνων.



Εικόνα 7.9 Έδρανο



Εικόνα 7.10 Απεγκατάσταση άξονα από στρόβιλο για συντήρηση

8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μετά από ανάλυση των συνθηκών που επικρατούν στην ενεργειακή παραγωγή, που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, κρίθηκε, ως επιτακτική ανάγκη η μεγαλύτερη εισχώρηση των ανανεώσιμων πηγών στο ενεργειακό ισοζύγιο κάθε χώρας. Την ίδια άποψη ενστερνίζεται και η Ευρωπαϊκή Ένωση, η οποία στοχεύει στην προώθηση αυτών των πηγών ενέργειας. Στο πλαίσιο αυτό, αναλύθηκε το ενεργειακό μείγμα της Ελλάδας και διαπιστώθηκε πως υπάρχει σημαντικό ανεκμετάλλευτο δυναμικό ανανεώσιμων πηγών, το οποίο τείνει να αξιοποιείται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια. Ιδιαίτερα ευνοϊκές, για την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μπορούν να χαρακτηριστούν οι συνθήκες που επικρατούν στα ελληνικά νησιά. Η έλλειψη όμως, ηλεκτρικής διασύνδεσης εμποδίζει την πλήρη αξιοποίησή τους. Η ενσωμάτωση αυτών των μη διασυνδεδεμένων ελληνικών νησιών με το υπόλοιπο ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας, μπορεί να μεταβάλλει θετικά το ενεργειακό μείγμα σε μεγάλο βαθμό.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί σταθερά μια σημαντική πηγή ενέργειας, με την Κίνα και τη Βραζιλία να αποτελούν τις χώρες που επενδύουν περισσότερο σ' αυτήν. Η αξιοποίηση της υδροηλεκτρικής ενέργειας γίνεται μέσα από υδροηλεκτρικά έργα, τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί διακρίνονται κυρίως σε μεγάλους και μικρούς ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ που διαθέτουν. Οι μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί δημιουργούν και εκτενέστερες περιβαντολλογικές επιπτώσεις από τους μικρούς. Το γεγονός αυτό έγκειται κυρίως στην ύπαρξη και στο μέγεθος του ταμιευτήρα τους. Οι ενδεχόμενες αρνητικές συνέπειες της υδροηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να περιοριστούν ή κι ακόμα να αντιμετωπιστούν σε μικρούς σταθμούς λαμβάνοντας τα κατάλληλα μέτρα, όπως με την απελευθέρωσης ποσότητας νερού για να μη στερεύει το ποτάμι που τροφοδοτεί το φράγμα, με την τοποθέτηση σκαλοπατιών - διόδων για να μην εμποδίζονται οι μετακινήσεις των ψαριών και την τοποθέτηση αεριοστροβίλων για την βελτίωση της ποιότητας του στάσιμου ύδατος. Η διαμόρφωση ενός μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού, όπως περιγράφηκε στην εν λόγω εργασία, παρουσιάζει κοινά στοιχεία για κάθε έργο τόσο σε δομικό όσο και σε ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό. Σημαντικό μέρος του μηχανολογικού εξοπλισμού αποτελούν οι υδροστροβίλοι. Η ορθή επιλογή υδροστροβίλου μπορεί να βελτιώσει την απόδοση παραγωγής του σταθμού καθώς και να προληφθούν

προβλήματα και φθορές που θα μπορούσαν να προκαλέσουν. Η κατασκευή ενός υδροηλεκτρικού σταθμού αποτελεί μια δαπανηρή επένδυση. Για να είναι οικονομικά επικερδής μια τέτοια επένδυση, θα πρέπει να γίνεται λεπτομερή οικονομική ανάλυση, πριν την ανέγερση της. Τα καθαρά ετήσια έσοδα του σταθμού, δηλαδή τα ετήσια έσοδα που προκύπτουν από την πώληση του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος από τα οποία έχει αφαιρεθεί το ετήσιος κόστος λειτουργίας του σταθμού, θα πρέπει να είναι ικανά να αποσβένουν το αρχικό κόστος επένδυσης που θα δαπανηθεί. Για να προβλεφθεί η οικονομική βιωσιμότητας της επιχείρησης θα πρέπει να ικανοποιούνται τα κριτήρια οικονομικής βιωσιμότητας που έχουν καθιερωθεί και λαμβάνουν υπόψη τόσο τα χαρακτηριστικά του υδροηλεκτρικού σταθμού όσο και τις οικονομικές συνθήκες της εκάστοτε χώρας εγκατάστασης.

Για την καλύτερη κατανόηση των παραπάνω, πραγματοποιήθηκε η μελέτη λειτουργίας και παραγωγής σ' έναν υδροηλεκτρικό σταθμό 0,5MW. Η λειτουργία του σταθμού προσομοιώθηκε στις βιβλιογραφικές γνώσεις που αποκτήθηκαν και χρησιμοποιώντας την εκμεταλλεύσιμη παροχή του σταθμού, δηλαδή την παροχή του ρεύματος από την οποία έχει αφαιρεθεί η οικολογική παροχή, για κάθε μέρα λειτουργίας υπολογίστηκε η μέση μηνιαία εκμεταλλεύσιμη παροχή για τις μέρες λειτουργίας καθώς και η μηνιαία παραγωγή. Τα στοιχεία που αναλύθηκαν οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι το διάγραμμα της παραγωγής ακολουθεί ποιοτικά το διάγραμμα της παροχής, παρουσιάζοντας μικρές αποκλίσεις που σχετίζονται με τις μέρες λειτουργίας του σταθμού. Σε μια προσπάθεια συσχέτισης της παροχής με τα κλιματολογικά φαινόμενα της περιοχής διαπιστώθηκε πως, ενώ η παροχή εξαρτάται άμεσα από την πτώση υετού, οι ακραίες θερμοκρασίες μπορεί να αποτελέσουν ανασταλτικό παράγοντα στη μετατροπή του υετού σε εκμεταλλεύσιμη παροχή. Αξιοσημείωτο είναι ακόμα το γεγονός ότι σημαντικό μέρος του υετού χάνεται στον υδροφόρο ορίζοντα, ιδιαίτερα αν έχει προηγηθεί μια μεγάλη περίοδο ανομβρίας στην περιοχή. Η μικρή παροχή νερού δεν είναι ο μόνος λόγος για να τη διακοπή λειτουργίας του σταθμού. Σε οποιοδήποτε σημείο του σταθμού παρουσιαστεί βλάβη η λειτουργία του διακόπτεται μέχρι την αποκατάστασή της. Η σωστή συντήρηση του σταθμού για την πρόληψη τέτοιων βλαβών καθώς η έγκαιρη αποκατάστασή τους είναι, λοιπόν, ζωτικής σημασίας σε μια τέτοια επένδυση. Τελειώνοντας, ένας υδροηλεκτρικός σταθμός είναι πλήρως συγχρονισμένος με το δίκτυο της ΔΕΗ, γεγονός που σημαίνει ότι οποιοδήποτε πρόβλημα στο δίκτυο σταματάει αυτόματα και τη λειτουργία του σταθμού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσσες

- [1] Currie, S. (2011). “Hydropower (Compact Research: Energy & the Environment)” *Referencepoint Press*
- [2] Elbatran, H. A., Mohamed Walid Abdel-Hamed, Yaakob B. O. & Yasser M. Ahmed. (2015). “Hydro Power and Turbine Systems Reviews” *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)* 74:5, pp 83–90 doi; 10.11113/jt.v74.4646
- [3] Forsund, R. F. (2015). “Hydropower Economics” *Springer US* doi: 10.1007/978-1-4899-7519-5
- [4] Helio Gilberto Amaral, (2013). “Brazil and Paraguay’s Itaipu dam works to combine climate and sustainability action” *international hydropower association – iha*
Διαθέσιμο: <https://www.hydropower.org/blog/blog-brazil-and-paraguay%E2%80%99s-itaipu-dam-works-to-combine-climate-and-sustainability-action>
- [5] Kaunda, Chiyembekezo S., Cuthbert Z. Kimambo & Torbjorn K. Nielsen. (2012). “Hydropower in the context of sustainable energy supply: a review of technologies and challenges.” *ISRN Renewable Energy 2012*
- [6] Leslie, J. (2016). “One of Africa's biggest dams is falling apart” *THE NEW YORKER*
Διαθέσιμο: <https://www.newyorker.com/tech/annals-of-technology/one-of-africasbiggest-dams-is-falling-apart>
- [7] Luna, R., Wronkiewicz, J. D., Rydlund, P., Krizanich, G., Shaver, K. D. (2007). “Damage evaluation of the Taum Sauk Reservoir failure using LIDAR.” *Computer Applications in Geotechnical Engineering: Proceedings of the Sessions of Geo-Denver 2007. American Society of Civil Engineers* doi:10.1061/40901(220)5
- [8] Masters, M. G. (2016). “Συστήματα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ισχύος από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργεια” *Επιστημονική επιμέλεια: Παπαδάκης, Γ. πεδίο*
- [9] Mishra, Sachin, Singal, S.K. & Khatod, D.K., (2011). “Optimal installation of small hydropower plant—A review” *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, vol.*

15(8), pp 3862-3869 doi: 10.1016/j.rser.2011.07.008

- [10] Munster, J. F. (1999). “Micro Hydro Power” *Maine Collection*. 123.
https://digitalcommons.usm.maine.edu/me_collection/123
- [11] Neill P. S. & Hashemi M. R (2018) “Fundamentals of Ocean Renewable Energy - Generating electricity from the sea” *Academic Press*.
- [12] Okot, D. K. (2013) “Review of small hydropower technology” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26, pp 515–520.
- [13] Paish, O. (2002) “Small hydro power: technology and current status.” *Renewable and sustainable energy reviews* 6, pp 537–556. doi: 10.1016/S1364-0321(02)00006-0
- [14] Perlmand, H., Μακρόπουλος, Χ., Κουτσογιάννης, Δ., “Ο υδρολογικός κύκλος – Γεωλογική Υπηρεσία ΗΠΑ” *USGS science for changing world Διαθέσιμο:*
<https://www.itia.ntua.gr/en/getfile/660/1/documents/2005watercyclegreek.pdf>
- [15] Sharma, H. & Signh, J.(2013) “Run off River Plant: Status and Prospects” *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)* vol. 3(2), pp 210-213
- [16] Sorensen, B., Breeze, P., Storvick, T., Yang, S., Rosa, A., Gupta, H., Sukanta, R., Doble, M., Maegaard, P., Pistoia, G., Kalogirou, S. (2008). “Renewable Energy Focus Handbook” *Academic Press*

Ελληνόγλωσσες

- [17] Ανδρίτσος, Ν. (2008). “Ενέργεια και Περιβάλλον”
- [18] Ανδριώτης, Γ., Παπαδημητρίου, Γ. (2013). “Για τα “μικρά” υδροηλεκτρικά έργα” *Άρθρο στην εφημερίδα Η ΑΥΓΗ Διαθέσιμο:* <http://www.avgi.gr/article/10810/400769/gia-ta-mikra-ydroelektrika-erga>
- [19] Γιαννακόπουλος, Β. Γ., Βοβός., Α. Ν. (2008). “Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας” *Εκδόσεις ΖΗΤΗ*
- [20] Δήμου, Κ. Χ. (2017). “Ο Ρόλος των Υδροηλεκτρικών στην διασφάλιση της ευστάθειας του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας – The Role of Hydro Power in ensuring the

stability of the Electric Grid”

- [21] Παπαντώνης, Δ. Ε. (2001). “Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα”, *Εκδόσεις Συμμεων*
- [22] Παπαντώνης, Δ. Ε. (2009). “Υδροδυναμικές Μηχανές Αντλίες – Υδροστρόβιλοι Υδροδυναμικές Μεταδόσεις”, *Εκδόσεις Συμμεών*
- [23] Παπαντώνης, Δ. Ε. (2009). Laboratory of Hydraulic Turbomachines NTUA, “Νέες προοπτικές για την Ανάπτυξη της αντλησιοταμίευσης στην Ελλάδα Τεχνολογία και Τεχνολογικοί Περιορισμοί” *Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος - ΤΕΕ Διαθέσιμο: http://library.tee.gr/digital/m2380/m2380_papantonis.pdf?fbclid=IwAR3Pv7LC4A6wh7xENeGuHVVH6pKMcyTwoHEqVaVAj2rad5SsD-FyJ-XhhDc8*
- [24] Καραγεωργόπουλος, Α., Κορνάρος, Μ., Λαμπροπούλου, Β., Τσούτσος, Θ. (2004). “Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από Μικρούς Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς – Η Ελληνική εμπειρία” *Τεχνικά Χρονικά. Εκδόσεις ΤΕΕ. Τεύχος 1-2. pp 9-20.*
- [25] Καρλής, Α. (2011). Μάθημα: “Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί: Τεχνολογία και Εφαρμογές” *Σημειώσεις μαθήματος Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης Διαθέσιμο: https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/TMA367/MYS_Karlis.pdf*
- [26] Μαμάσης, Ν., Ευστρατιάδης, Α., Κουτσογιάννης, Δ. (2016). “Υδροηλεκτρικά έργα – Μικρά Υδροηλεκτρικά έργα” *Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Διαθέσιμο: http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW16_Small.pdf*
- [27] Μαμάσης, Ν., Ευστρατιάδης, Α., Κουτσογιάννης, Δ. (2016). “Υδροηλεκτρικά έργα – Ενέργεια, ηλεκτρική ενέργεια, υδροηλεκτρική ενέργεια” *Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Διαθέσιμο: http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW16_eis_Final.pdf*
- [28] Μαμάσης, Ν., Ευστρατιάδης, Α., Κουτσογιάννης, Δ. (2016). “Υδροηλεκτρικά έργα – Αρχές υδροενεργειακής τεχνολογίας” *Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Διαθέσιμο: http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW_16_HydropowerTechnology.pdf*
- [29] Μαμάσης, Ν., Ευστρατιάδης, Α., Κουτσογιάννης, Δ. (2016). “Υδροηλεκτρικά έργα – Γενική διάταξη Υ/Η έργων” *Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Διαθέσιμο: http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW_16_Layout.pdf*

- [30] Μάντζαρης, Ι. “Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας – Διάλεξη 9 – Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από υδροηλεκτρικούς σταθμούς” *Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογισμών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*
- [31] Νικήτας, Σ. (2012). “Πετρέλαιο: Οι κρίσεις που συγκλόνισαν τον πλανήτη” *news247*
Διαθέσιμο: <https://www.news247.gr/afieromata/petrelaio-oi-kriseis-poy-sygklonisan-ton-planiti.6140412.html>
- [32] Στεφανάκης, Κ. “Μελέτη αντλησιοταμίευσης για εξοικονόμηση καυσίμου στο ενεργειακό σύστημα της Κρήτης.” Διαθέσιμο: <https://www.e-mc2.gr/sites/default/files/2018-09/MELETH%20TEI%20KRHTHS%202005.pdf>
- [33] Τζιτζή, Π. Σ. “Περιβαλλοντικές επιπτώσεις και οφέλη από την κατασκευή των μεγάλων φραγμάτων της ΔΕΗ ΑΕ” *Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος – ΤΕΕ* Διαθέσιμο:
<http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teelar/EKDILWSEIS/damConference/eisigiseis/2.5.pdf>

Διαδικτυακές πηγές

Ξενόγλωσσες

- [34] energy.gov “Types of Hydropower Plants” Διαθέσιμο:
<https://www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-plants>
- [35] “Environmental Impacts of Hydroelectric Power” *Union of Concerned Scientists Science for Healthy Planet and Safer World* Διαθέσιμο:
https://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/renewable-energy/environmental-impacts-hydroelectric-power.html
- [36] European Environment Agency – EEA (2016). “Renewable energy in Europe 2016–Recent growth and knock-on effects” *EEA Report*
- [37] Eurostat Statistics Explained (2016). Διαθέσιμο: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics
- [38] Eurostat Statistics Explained (2016). Διαθέσιμο: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Net_electricity_generation,_EU-

- 28, 2015 (%25 of total, based on GWh) YB17.png&oldid=344549
- [39] Global Times, (2011). “Three Gorges debate: good for the future” *china.org.cn*
Διαθέσιμο: http://www.china.org.cn/opinion/2011-05/24/content_22627188.htm
- [40] International Energy Agency - IEA (2018). “Global Energy & CO2 Status Report – Electricity” Διαθέσιμο: <https://www.iea.org/geco/electricity/>
- [41] International Energy Agency - IEA (2018). “Global Energy & CO2 Status Report – Renewables” Διαθέσιμο: <https://www.iea.org/geco/renewables/>
- [42] International Energy Agency - IEA (2017). “Energy Policies of IEA Countries – Greece Review 2017” Διαθέσιμο:
<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyPoliciesofIEACountriesGreeceReview2017.pdf>
- [43] International Energy Agency - IEA (2017) “Statistics – Energy Supply – Greece” *IEA*
Διαθέσιμο:
<https://www.iea.org/statistics/?country=GREECE&year=2016&category=Energy%20supply&indicator=TPESbySource&mode=chart&dataTable=BALANCES>
- [44] international hydropower association – iha “A brief history of hydropower” *iha*
Διαθέσιμο: <https://www.hydropower.org/a-brief-history-of-hydropower>
- [45] international hydropower association – iha (2018). “hydropower status report” *iha*
- [46] international hydropower association – iha “Types of hydropower” *iha* Διαθέσιμο:
<https://www.hydropower.org/types-of-hydropower>
- [47] power-technology, “Three Gorges Dam Hydro Electric Power Plant, China” *power-technology* Διαθέσιμο: <https://www.power-technology.com/projects/gorges/>
- [48] power-technology, “The Itaipu Hydroelectric Dam Project, Brazil” *power-technology*
Διαθέσιμο: <https://www.power-technology.com/projects/itaipu-hydroelectric/>
- [49] “The Fundamentals of the Water Cycle” *USGS science for changing world* Διαθέσιμο:
https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/fundamentals-water-cycle?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects
- [50] “Tidal Energy” *ENVIRONMENTAL INITIATIVE LEHIGH UNIVERSITY* Διαθέσιμο:
<http://www.ei.lehigh.edu/learners/energy/tidal/tidal5.html>
- [51] Turbine Generator “History of Hydroelectric Power” Διαθέσιμο:
<https://www.turbinegenerator.org/hydro/history-hydroelectric-power/>

- [52] “Working of Francis Turbine” Διαθέσιμο: <https://www.learnengineering.org/>
- [53] World Energy Outlook– WEO (2018). “Scenarios” *IEA* Διαθέσιμο: <https://www.iea.org/weo/>
- [54] World Nuclear Association “How a nuclear reactor makes electricity” Διαθέσιμο: <http://www.world-nuclear.org/nuclear-basics/how-does-a-nuclear-reactor-make-electricity.aspx>

Ελληνόγλωσσες

- [55] ΑΔΜΗΕ, (2017). “Μελέτη Επάρκειας Ισχύος για την περίοδο 2017 – 2027”
- [56] ΔΕΗ Α.Ε. “Η ΔΕΗ σήμερα – Ιστορική αναδρομή: ο ηλεκτρισμός στην Ελλάδα” Διαθέσιμο: <https://www.dei.gr/el/i-dei/i-etairia/omilos-dei-ae/dei-ae>
- [57] Εγκύκλιος Παιδεία (2010)“ΑΠΟ ΤΟ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟ ΣΤΟΝ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟ - Η ΗΛΕΚΤΡΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ” Διαθέσιμο: <http://egpaid.blogspot.com/2010/02/2.html>
- [58] Ελληνικός Σύνδεσμος Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων – ΕΣΜΗΕ “ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ” Διαθέσιμο: <http://microhydropower.gr/sample-page/%CF%87%CE%B1%CE%B9%CF%81%CE%B5%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82/>
- [59] Η εφημερίδα των συντακτών “Εκατοντάδες αγνοούμενοι εξαιτίας κατάρρευσης υδροηλεκτρικού φράγματος” *efsyn.gr* Διαθέσιμο: https://www.efsyn.gr/kosmos/asia/eirnikos/158659_ekatonrades-agnooyomenoi-exaitias-katarreysis-ydroilektrikoy-fragmatos
- [60] Ι.Μ Τίμιου Προδρόμου-Meteo Hellas Weather Network, Επιμέλεια – Επίβλεψη: Πάνος Αρχοντής. Διαθέσιμο: <https://www.meteo-hellas.com/monasterykissavos/>
- [61] “Κεφάλαιο 8 – Υδροστρόβιλοι” Αποθετήριο Κάλλιπος – Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα. Διαθέσιμο: https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/1119/1/02_chapter_8.pdf
- [62] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας – ΡΑΕ (2019). “Το ιστορικό της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα” Διαθέσιμο: http://www.rae.gr/site/categories_new/consumers/know_about/electricity/history.csp

- [63] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας – ΡΑΕ - Νησιά Ηλεκτρικές διασυνδέσεις (2019).
“Ηλεκτρικές διασυνδέσεις νησιών με το διασυνδεδεμένο σύστημα της ηπειρωτικής
χώρας” Διαθέσιμο:
[https://eyploia.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=109:-
nhsia&catid=53&Itemid=80](https://eyploia.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=109:-nhsia&catid=53&Itemid=80)