



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ
ΤΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΜΙΚΡΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Ανδριανή-Γεωργία Σουλτάτου
cv18003

Επιβλέπων:
Ανδρέας Ευστρατιάδης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2023

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα μου κύριο Ανδρέα Ευστρατιάδη Επίκουρο Καθηγητή, για την άπλετη βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε καθ'όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου. Επίσης αξίζει ένα μεγαλύτερο ευχαριστώ για όλη την υποστήριξη του που είχα σαν φοιτήτρια. Η αμέριστη συμπαράσταση του σε μαθησιακό και ψυχολογικό επίπεδο και η εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου με συγκίνησαν ιδιαίτερα. Ακόμη, ευχαριστώ πολύ την Υποψήφια Διδάκτορα κυρία Τζωρτζίνα Σακκή για την βοήθεια της στην εκπόνηση της διπλωματικής μου και την Υποψήφια Διδάκτορα Χριστίνα Ντεμίρογλου για την βοήθεια της στην σύνταξη της εργασίας μου. Όλοι οι καθηγητές της σχολής Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ και ιδιαίτερα εκείνοι της κατεύθυνσης των υδραυλικών αξίζουν ένα ευχαριστώ από καρδιάς για όλες τις γνώσεις που μου παρείχαν.

Επιπροσθέτως, ένα μόνο ευχαριστώ δεν αρκεί για τους σημαντικότερους ανθρώπους στη ζωή μου, την οικογένεια μου, τους γονείς μου, την κολλητή μου και τον σύντροφό μου. Ήταν εκεί κάθε μέρα, με τον τρόπο του ο καθένας, στα εύκολα και στα δύσκολα και δεν ένιωσα ποτέ το άγχος της αποτυχίας. Για μένα η μεγαλύτερη επιτυχία είναι όλοι εκείνοι. Μπαμπά, Μαμά, Γιαγιά, Καλλιόπη, Ευαγγελία, Ιωάννα και Γιάννο σας ευχαριστώ!

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συγγενείς, τους φίλους και τις φίλες μου. Ειδικά εκείνες που γνώρισα μπαίνοντας στη σχολή τις ευχαριστώ ξεχωριστά, καθώς έκαναν αυτό το ταξίδι πιο ευχάριστο και παραγωγικό, ενώ ένιωσα να αποκτώ μια καινούρια 'οικογένεια'. Νικολέτα, Νικολέττα, Αργυρώ, Μαριάννα και Γεωργία σας ευχαριστώ που ήσασταν πάντα εκεί!

Την διπλωματική αυτή την αφιερώνω στον μπαμπά μου που με εισήγαγε στον χώρο των Πολιτικών Μηχανικών και στη μαμά μου που στάθηκε δίπλα μου με χιλιάδες θυσίες.

Ορολογία

ΕΜΠ	Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
ΜΥΗΕ	Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα
P	Ισχύς
H	Γεωδαιτικό Ύψος Πτώσης
H _n	Καθαρό Ύψος Πτώσης
g	Επιτάχυνση της Βαρύτητας
γ	Ειδικό Βάρος
ρ	Πυκνότητα
E	Ενέργεια
CF	Συντελεστής Δυναμικότητας
n	Βαθμός Απόδοσης
Q	Παροχή
h _{tot}	Ολικές Απώλειες
h _f	Γραμμικές Απώλειες
h _L	Τοπικές Απώλειες
L	Μήκος
D	Διάμετρος
K	Κόστος
A1	Ετήσια Δόση – Έξοδα
Es	Ετήσια Έσοδα
OT	Ποσοστό Χρόνου Λειτουργίας Υδροστροβίλου
OV	Ποσοστό Όγκου Παρεχόμενου Νερού

Πίνακας Περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	12
ABSTRACT	13
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
1.1 ΚΙΝΗΤΡΟ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	14
1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	15
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 2 - ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	16
2.1 ΜΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	16
2.2 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	20
2.3 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ.....	29
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 3 - ΜΙΚΡΆ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΆ ΈΡΓΑ	33
3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	33
3.2 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΔΙΑΚΡΙΣΗΣ ΜΙΚΡΩΝ ΚΑΙ ΜΕΓΑΛΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ.....	34
3.3 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΜΙΚΡΩΝ ΚΑΙ ΜΕΓΑΛΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ	34
3.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΙΚΡΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ	35
3.5 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΙΚΡΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ	35
3.6 ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ Μ.Υ.Η.Ε.	36
3.7 ΜΕΣΗ ΙΣΧΥΣ ΤΩΝ Μ.Υ.Η.Ε.	37
3.8 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ Μ.Υ.Η.Ε.....	37
3.9 ΤΥΠΟΙ Μ.Υ.Η.Ε.	38
3.9.1 Μ.Υ.Η.Ε. πάνω στην κοίτη	38
3.9.2 Μ.Υ.Η.Ε. εκτός κοίτης	39
3.10 ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ Μ.Υ.Η.Ε.....	40
3.10.1 Υδροληψία.....	40
3.10.2 Σύστημα Προσαγωγής.....	42
3.10.3 Σταθμός Παραγωγής	42
3.11 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΟΙ – ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	43
3.11.1 Ιστορική αναδρομή και εξέλιξη των υδροστροβίλων.....	43
3.11.2 Ορισμοί – Πεδίο εφαρμογών	44
3.11.3 Τύποι υδροστροβίλων.....	44
3.11.3.1 Στρόβιλοι Αντίδρασης.....	45
3.11.3.1.1 Υδροστρόβιλος τύπου Francis	46
3.11.3.1.2 Υδροστρόβιλος τύπου Kaplan.....	48
3.11.3.2 Στρόβιλοι Δράσης	50
3.11.3.2.1 Υδροστρόβιλος τύπου Pelton	51
3.11.3.2.2 Υδροστρόβιλος τύπου Turgo	52
3.11.3.2.3 Υδροστρόβιλος Cross-Flow	53
3.12 ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ	54
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 4 - ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΑ Μ.Υ.Η.Ε.	58
4.1 Μ.Υ.Η.Ε. ΠΑΛΑΙΟΦΥΤΕΙΑΣ	58
4.2 Μ.Υ.Η.Ε. ΖΙΤΣΑΣ	60
4.3 Μ.Υ.Η.Ε. ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑΣ.....	62
4.4 Μ.Υ.Η.Ε. ΚΑΜΠΟΥ ΤΖΟΥΜΕΡΚΩΝ	64

4.5 Μ.Υ.Η.Ε. ΠΕΙΡΟΥ	67
4.6 Μ.Υ.Η.Ε. ΠΗΝΕΙΟΥ.....	69
4.7 Μ.Υ.Η.Ε. ΧΟΥΤΙΑΝΑΣ	71
4.8 Μ.Υ.Η.Ε. ΔΡΟΣΑΤΟΥ.....	72
4.9 Μ.Υ.Η.Ε. ΥΠΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ (ΑΓ. ΜΗΝΑΣ)	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.....	76
5.1 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	76
5.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ.....	80
5.3 ΈΡΓΟ ΜΕ ΜΕΙΓΜΑ ΣΤΡΟΒΙΛΩΝ	81
5.3.1 Καθαρό Ύψος Πτώσης	82
5.3.2 Τυπικές Τιμές Υδροστροβίλων	83
5.4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	89
5.5 ΜΥΗΕ ΧΩΡΙΣ ΜΕΙΓΜΑ ΣΤΡΟΒΙΛΩΝ	91
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	92
6.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ Μ.Υ.Η.Ε.	92
6.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΧΕΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ Μ.Υ.Η.Ε.	95
6.3 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΥΗΕ ΜΕ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ.....	98
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	100
7.1 ΖΙΤΣΑ	100
7.2 ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑ.....	103
7.3 ΠΑΛΑΙΟΦΥΤΕΙΑ	105
7.4 ΚΑΜΠΟΣ ΤΖΟΥΜΕΡΚΑ	107
7.5 ΠΕΙΡΟΣ.....	109
7.6 ΡΕΜΑ ΧΟΥΤΙΑΝΑ	111
7.7 ΔΡΟΣΑΤΟ.....	113
7.8 ΈΡΓΟ ΥΠΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ (ΑΓ. ΜΗΝΑΣ)	115
7.9 ΠΗΝΕΙΟΣ	117
7.10 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΧΕΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ - ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	118
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	120
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	122

Κατάλογος Εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 2.1.1 ΟΡΥΚΤΟΣ ΆΝΘΡΑΚΑΣ	16
ΕΙΚΟΝΑ 2.1.2 ΕΞΟΡΥΞΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ	17
ΕΙΚΟΝΑ 2.1.3 ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	18
ΕΙΚΟΝΑ 2.1.4 ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	19
ΕΙΚΟΝΑ 2.1.5 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.....	19
ΕΙΚΟΝΑ 2.1.6 ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ.....	20
ΕΙΚΟΝΑ 2.2.1 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.....	22
ΕΙΚΟΝΑ 2.2.2 ΡΟΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	23
ΕΙΚΟΝΑ 2.2.3 ΒΙΟΜΑΖΑ	24
ΕΙΚΟΝΑ 2.2.4 ΡΟΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	24
ΕΙΚΟΝΑ 2.2.5 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ	25
ΕΙΚΟΝΑ 2.2.6 ΔΙΑΤΑΞΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟ.....	26
ΕΙΚΟΝΑ 2.2.7 ΔΙΑΤΑΞΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΠΑΛΙΡΡΟΪΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	27
ΕΙΚΟΝΑ 2.2.8 ΣΥΝΙΣΤΩΣΤΕΣ ΜΥΗΕ	28
ΕΙΚΟΝΑ 2.2.9 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΈΡΓΟ	29
ΕΙΚΟΝΑ 2.3.1 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ((<u>Α</u>): ΑΓΓΛΙΚΑ ΚΑΙ (<u>Β</u>): ΕΛΛΗΝΙΚΑ).....	30
ΕΙΚΟΝΑ 2.3.2 ΣΥΝΗΘΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗ ΥΗΕ ΜΕ ΦΡΑΓΜΑ	31
ΕΙΚΟΝΑ 2.3.3 ΚΥΡΙΑ ΕΡΓΑ ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΚΑΙ ΧΡΗΣΙΜΗ ΟΡΟΛΟΓΙΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΜΕ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ	32
ΕΙΚΟΝΑ 3.6.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ Μ.Υ.Η.Ε. ΑΝΑ ΣΤΑΔΙΟ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	36
ΕΙΚΟΝΑ 3.8.1 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Μ.Υ.Η.Ε.	38
ΕΙΚΟΝΑ 3.9.1 ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΥΠΟΥ RUN-OF-RIVER Μ.Υ.Η.Ε.	39
ΕΙΚΟΝΑ 3.10.1 ΤΥΠΙΚΗ ΤΟΜΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ ΟΡΕΙΝΟΥ ΤΥΠΟΥ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΤΥΠΟΥ ΣΙΦΩΝΑ (ΔΕΞΙΑ)	40
ΕΙΚΟΝΑ 3.10.2 ΔΙΑΔΡΟΜΕΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΦΕΡΤΩΝ	41
ΕΙΚΟΝΑ 3.10.3 ΤΕΧΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΠΟΗΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΦΕΡΤΩΝ ΣΕ ΜΥΗΕ	41
ΕΙΚΟΝΑ 3.10.4 ΔΙΑΔΡΟΜΕΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΦΕΡΤΩΝ ΣΕ ΔΙΑΤΑΞΗ RUN-OF-RIVER	43
ΕΙΚΟΝΑ 3.11.1 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ FRANCIS (<u>Α</u>), PELTON (<u>Β</u>) ΚΑΙ KARLAN (<u>Γ</u>)	44
ΕΙΚΟΝΑ 3.11.2 ΣΧΗΜΑΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΠΤΕΡΩΤΩΝ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΙΟΥ FRANCIS (Α) ΚΑΙ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΡΟΗΣ (Β).....	46
ΕΙΚΟΝΑ 3.11.3 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ ΤΥΠΟΥ FRANCIS	47
ΕΙΚΟΝΑ 3.11.4 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΤΥΠΟΥ FRANCIS	47
ΕΙΚΟΝΑ 3.11.5 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΙΟΥ ΤΥΠΟΥ FRANCIS	48
ΕΙΚΟΝΑ 3.11.6 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ ΤΥΠΟΥ KARLAN	49
ΕΙΚΟΝΑ 3.11.7 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΤΥΠΟΥ KARLAN.....	50
ΕΙΚΟΝΑ 3.11.8 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΥΠΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΔΡΑΣΗΣ	51
ΕΙΚΟΝΑ 3.11.9 ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ PELTON ΣΕ ΜΥΗΕ	51
ΕΙΚΟΝΑ 3.11.10 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΚΑΦΙΔΙΩΝ ΠΤΕΡΩΤΗΣ PELTON	52
ΕΙΚΟΝΑ 3.11.11 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ TURGO.....	53
ΕΙΚΟΝΑ 3.11.12 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ ΒΑΝΚΙ Η CROSS-FLOW	54
ΕΙΚΟΝΑ 3.12.1 ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑ ΠΑΡΟΧΗΣ –Ύψους ΠΤΩΣΗΣ (<u>Α</u>) ΚΑΙ ΠΤΕΡΥΓΩΣΕΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΤΥΠΩΝ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ (<u>Β</u>)	57
ΕΙΚΟΝΑ 3.12.2 ΟΙ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ FRANCIS (<u>Α</u>) ΚΑΙ PELTON (<u>Β</u>)	57
ΕΙΚΟΝΑ 4.1.1 ΘΕΣΗ ΜΥΗΕ ΣΤΗΝ ΠΑΛΑΙΟΦΥΤΕΙΑ	58
ΕΙΚΟΝΑ 4.1.2 ΣΤΑΘΜΟΣ-ΥΔΡΟΛΗΨΙΑ-ΑΓΩΓΟΣ ΜΥΗΕ ΠΑΛΑΙΟΦΥΤΕΙΑΣ	59
ΕΙΚΟΝΑ 4.1.3 ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ.....	59
ΕΙΚΟΝΑ 4.2.1 ΘΕΣΗ ΜΥΗΕ ΖΙΤΣΑΣ	61
ΕΙΚΟΝΑ 4.2.2 ΣΤΑΘΜΟΣ-ΥΔΡΟΛΗΨΙΑ-ΑΓΩΓΟΣ ΜΥΗΕ ΖΙΤΣΑΣ	61
ΕΙΚΟΝΑ 4.2.3 ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ.....	62
ΕΙΚΟΝΑ 4.3.1 ΘΕΣΗ ΜΥΗΕ ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑΣ.....	63

ΕΙΚΟΝΑ 4.3.2 ΣΤΑΘΜΟΣ-ΥΔΡΟΛΗΨΙΑ-ΑΓΩΓΟΣ ΜΥΛΗ ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑΣ	63
ΕΙΚΟΝΑ 4.3.3 ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ.....	64
ΕΙΚΟΝΑ 4.4.1 ΘΕΣΗ ΜΥΛΗ ΚΑΜΠΟΥ ΤΖΟΥΜΕΡΚΩΝ	65
ΕΙΚΟΝΑ 4.4.2 ΣΤΑΘΜΟΣ-ΥΔΡΟΛΗΨΙΑ-ΑΓΩΓΟΣ ΜΥΛΗ ΤΖΟΥΜΕΡΚΩΝ	66
ΕΙΚΟΝΑ 4.4.3 ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ.....	66
ΕΙΚΟΝΑ 4.5.1 ΘΕΣΗ ΜΥΛΗ ΠΕΙΡΟΥ	67
ΕΙΚΟΝΑ 4.5.2 ΣΤΑΘΜΟΣ-ΥΔΡΟΛΗΨΙΑ-ΑΓΩΓΟΣ ΜΥΛΗ ΠΕΙΡΟΥ.....	68
ΕΙΚΟΝΑ 4.5.3 ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ.....	68
ΕΙΚΟΝΑ 4.6.1 ΘΕΣΗ ΜΥΛΗ ΠΗΝΕΙΟΥ.....	70
ΕΙΚΟΝΑ 4.6.2 ΣΤΑΘΜΟΣ-ΥΔΡΟΛΗΨΙΑ-ΑΓΩΓΟΣ ΜΥΛΗ ΠΗΝΕΙΟΥ	70
ΕΙΚΟΝΑ 4.7.1 ΘΕΣΗ ΜΥΛΗ ΧΟΥΤΙΑΝΑΣ	71
ΕΙΚΟΝΑ 4.7.2 ΣΤΑΘΜΟΣ-ΥΔΡΟΛΗΨΙΑ-ΑΓΩΓΟΣ ΜΥΛΗ ΧΟΥΤΙΑΝΑΣ.....	72
ΕΙΚΟΝΑ 4.8.1 ΘΕΣΗ ΜΥΛΗ ΔΡΑΣΑΤΟΥ.....	73
ΕΙΚΟΝΑ 4.8.2 ΣΤΑΘΜΟΣ-ΥΔΡΟΛΗΨΙΑ-ΑΓΩΓΟΣ ΜΥΛΗ ΔΡΑΣΑΤΟΥ.....	73
ΕΙΚΟΝΑ 4.8.3 ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ.....	74

Κατάλογος Διαγραμμάτων

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.5.1 ΠΟΣΟΣΤΑ ΚΑΘΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥ ΜΟΝΑΔΩΝ Α.Π.Ε. ΤΟ 2005	36
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.7.1 ΜΕΣΗ ΙΣΧΥΣ Μ.Υ.Η.Ε. ΑΝΑ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΑΙ ΣΤΑΔΙΟ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	37
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.12.1 ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑ ΡΟΗΣ – ΚΑΘΑΡΟΥ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ	55
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.12.2 ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑ ΡΟΗΣ – ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ	56
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.12.3 ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑ ΡΟΗΣ – ΚΑΘΑΡΟΥ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ	56
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.3.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΣΤΡΟΒΙΛΩΝ Q-H	81
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.3.2 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΤΡΟΒΙΛΩΝ	84
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.3.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΧΕΣΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ-ΑΠΩΛΕΙΩΝ.....	86
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.3.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ.....	88
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.1.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΜΥΗΕ ΣΕ ΚΑΝΑΛΙ ΜΕ ΜΙΚΡΟ ΥΨΟΣ ΠΤΩΣΗΣ.....	93
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.1.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΑΛΗΘΙΝΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ Η/Μ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΜΕΣΩ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ.....	94
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.2.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΟΣΤΟΥΣ – ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΣ.....	97
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.2.2 ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΚΟΣΤΟΥΣ – ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΣ	98
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7.10.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ	119

Κατάλογος Πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.12.1 ΤΥΠΟΣ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ	55
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.1 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ	60
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.1 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ.....	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.1 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ.....	64
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4.1 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ.....	67
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5.1 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ	69
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8.1 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ.....	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.1 ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ ΖΙΤΣΑΣ	77
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.2 ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑΣ.....	77
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.3 ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ ΠΑΛΛΙΟΦΥΤΕΙΑΣ	77
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.4 ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ ΚΑΜΠΟΥ ΤΖΟΥΜΕΡΚΑ.....	78
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.5 ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ ΠΕΙΡΟΥ	78
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.6 ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ ΡΕΜΑ ΧΟΥΤΙΑΝΑ.....	79
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.7 ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ ΔΡΟΣΑΤΟ	79
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.8 ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ ΠΗΝΕΙΟΣ.....	79
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΠΑΡΟΧΩΝ	80
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	81
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3.1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ Q _{MAX} ΓΙΑ ΜΕΙΓΜΑ 2 ΣΤΡΟΒΙΛΩΝ.....	87
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3.2 ΤΥΠΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥΣ.....	88
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1.1 ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΚΟΣΤΟΥΣ Η/Μ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	94
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2.1 ΔΑΠΑΝΕΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΕΡΓΟ.....	96
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΖΙΤΣΑΣ.....	100
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.1.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕ ΤΑ ΑΡΧΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΖΙΤΣΑΣ	100
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.1.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΖΙΤΣΑΣ.....	101
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.1.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΘΑΡΟΥ ΟΦΕΛΟΥΣ ΖΙΤΣΑΣ.....	102
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑΣ	103
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕ ΤΑ ΑΡΧΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑΣ.....	103
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑΣ	104
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.2.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΘΑΡΟΥ ΟΦΕΛΟΥΣ ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑΣ	104
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.3.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΑΛΛΙΟΦΥΤΕΙΑΣ.....	105
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.3.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕ ΤΑ ΑΡΧΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΑΛΛΙΟΦΥΤΕΙΑΣ	105
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.3.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΑΛΛΙΟΦΥΤΕΙΑΣ.....	106
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.3.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΘΑΡΟΥ ΟΦΕΛΟΥΣ ΠΑΛΛΙΟΦΥΤΕΙΑΣ.....	106
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.4.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΖΟΥΜΕΡΚΩΝ	107
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕ ΤΑ ΑΡΧΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΚΑΜΠΟΥ ΤΖΟΥΜΕΡΚΩΝ	107
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΜΠΟΥ ΤΖΟΥΜΕΡΚΩΝ.....	108
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.4.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΘΑΡΟΥ ΟΦΕΛΟΥΣ ΚΑΜΠΟΥ ΤΖΟΥΜΕΡΚΩΝ	108
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.5.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΕΙΡΟΥ	109
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕ ΤΑ ΑΡΧΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΟΥ	109
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΕΙΡΟΥ	110
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.5.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΘΑΡΟΥ ΟΦΕΛΟΥΣ ΠΕΙΡΟΥ.....	110
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.6.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΧΟΥΤΙΑΝΑ.....	111
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕ ΤΑ ΑΡΧΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΧΟΥΤΙΑΝΑ	111
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.6.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΧΟΥΤΙΑΝΑ.....	112
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.6.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΘΑΡΟΥ ΟΦΕΛΟΥΣ ΧΟΥΤΙΑΝΑ	112
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.7.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΡΟΣΑΤΟΥ	113
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.7.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕ ΤΑ ΑΡΧΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΡΟΣΑΤΟΥ.....	113

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.7.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΔΡΟΣΑΤΟΥ	114
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.7.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΘΑΡΟΥ ΟΦΕΛΟΥΣ ΔΡΟΣΑΤΟΥ	114
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.8.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΓ. ΜΗΝΑ	115
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.8.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕ ΤΑ ΑΡΧΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΓ. ΜΗΝΑ	115
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.8.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΓ. ΜΗΝΑ	116
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.8.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΘΑΡΟΥ ΟΦΕΛΟΥΣ ΑΓ. ΜΗΝΑ	116
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.9.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΗΝΕΙΟΥ	117
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.9.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕ ΤΑ ΑΡΧΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΗΝΕΙΟΥ.....	117
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.9.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΕΩΝ ΠΗΝΕΙΟΥ	118
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.10.1 ΜΕΤΑΒΟΛΗ CF ΣΤΙΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΕΙΣ	119
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.10.2 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΙΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΕΙΣ.....	119

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάγκη για την αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προέρχεται από δύο βασικούς λόγους, την περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση και την σταδιακή μείωση του αποθέματος των ορυκτών καυσίμων σε σχέση με τις ανάγκες της ανθρωπότητας. Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα (ΜΥΗΕ) δεν απαιτούν ταμειυτήρα αποθήκευσης και κρίνονται ως πιο φιλικά και λιγότερο επεμβατικά προς το περιβάλλον. Συχνά γίνεται παρανόηση σχετικά με τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα. Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα δεν είναι μικρογραφία των μεγάλων. Έχουν διαφορετικό τρόπο κατασκευής και μελέτης, και βεβαίως λειτουργίας. Στην εργασία αυτή αρχικά ορίζονται βασικές έννοιες της ενέργειας και των μικρών υδροηλεκτρικών έργων με βάση την παγκόσμια βιβλιογραφία. Αφού κατανοηθούν οι έννοιες φαίνεται ότι δεσπάζει η σημασία της σωστής επιλογής της ισχύος και των τύπων των υδροστροβίλων που θα τοποθετηθούν στο εκάστοτε μικρό υδροηλεκτρικό έργο. Σαφώς η επιλογή της θέσης υδροληψίας και της θέσης του σταθμού παραγωγής έχουν αναμφίβολα σημαντική επίδραση. Ωστόσο, παρακάτω γίνεται μια ενδελεχής μελέτη συγκεκριμένα για την βελτιστοποίηση ΜΥΗΕ, με βάση την επιλογή της εγκατεστημένης ισχύος. Αρχικά η βελτιστοποίηση αυτή γίνεται με γνώμονα την μεγιστοποίηση της μέσης ετήσιας παραγόμενης ενέργειας και με συντελεστή δυναμικότητας (CF) τουλάχιστον 30%. Έπειτα υλοποιείται οικονομική ανάλυση και παραγωγή μιας εμπειρικής σχέσης για το κόστος, η οποία χρησιμοποιείται στην δεύτερη βελτιστοποίηση που γίνεται με βάση την μεγιστοποίηση του καθαρού ετήσιου οφέλους. Όλη η ανάλυση βασίστηκε σε πραγματικά δεδομένα κατασκευασμένων έργων. Τέλος, γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο διαδικασιών βελτιστοποίησης, καταλήγοντας στο συμπέρασμα αν τελικά συμφέρει η μεγιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας οικονομικά και ποια είναι η συμφέρουσα επιλογή της εγκατεστημένης ισχύος. Η βελτιστοποίηση της ενέργειας αποτελεί μια πιο απλή προσέγγιση και δίνει παρεμφερή αποτελέσματα με εκείνη της μεγιστοποίησης του καθαρού οφέλους, επομένως προτείνεται η χρήση της με έναν υψηλότερο συντελεστή δυναμικότητας ως περιορισμό. Συμπερασματικά, τα σημαντικά σημεία της εργασίας είναι η εμπειρική σχέση κόστους που αναπτύχθηκε και αφορά καθολικά ένα ΜΥΗΕ, η αύξηση του CF σε βελτιστοποιήσεις ενέργειας και η σημαντικότητα των υδραυλικών απωλειών στα αποτελέσματα.

ABSTRACT

The need for utilizing renewable energy sources arises from two main reasons: environmental awareness and the gradual reduction of mineral fuel reserves in relation to human needs. Small hydropower projects do not require a storage reservoir and are considered more environmentally friendly and less intrusive to the environment. There is often confusion regarding large hydropower projects. Small hydropower projects are not simply scaled-down versions of large ones. They have a different construction, design, and operational approach. In this work, basic concepts of energy and small hydropower projects are initially defined based on international literature. Once the concepts are understood, the importance of selecting the appropriate installed power and types of turbines to be installed in each specific small hydropower project becomes apparent. Clearly, the choice of water intake location and the position of the generation station have a significant impact. However, a comprehensive study is conducted specifically for optimizing small hydropower projects based on installed power. Initially, this optimization is carried out with the objective of maximizing the average annual energy generation and achieving a capacity factor of at least 30%. Subsequently, an economic analysis is performed, and an empirical mathematical relationship for cost is developed, which is used in the second optimization that aims to maximize the net annual profit. The entire analysis is based on real data from constructed projects. Finally, a comparison is made between the results of the two optimization processes, leading to the conclusion of whether maximizing energy generation is economically advantageous and what the optimal installed power value is. Energy optimization represents a simpler approach and yields similar results to maximizing net profit; therefore, its use is recommended with a higher capacity factor as a constraint. In conclusion, the significant points of this study are the developed empirical cost relationship, which universally applies to a small hydropower project, the increase in capacity factor in energy optimizations, and the importance of hydraulic losses in the results.

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή

1.1 Κίνητρο και σκοπός της εργασίας

Μείζονος σημασίας προβληματισμό αποτελούν οι ενεργειακές ανάγκες που παγκοσμίως αυξάνονται όλο και περισσότερο μέρα με τη μέρα καθώς παράλληλα το απόθεμα των ορυκτών καυσίμων μειώνεται σταθερά. Από τη μία πλευρά, υπάρχει η ανάγκη για παραγωγή φθηνής ενέργειας από αξιόπιστες πηγές, αποτελώντας ταυτόχρονα παγκόσμια ανάπτυξη. Από την άλλη πλευρά υπάρχει και η υποχρέωση της προστασίας και της διατήρησης του περιβάλλοντος. Οι παραπάνω ανάγκες έχουν οδηγήσει στην υιοθέτηση κοινής πολιτικής σε εθνικό, ευρωπαϊκό αλλά και διεθνές επίπεδο.

Η Ελληνική κυβέρνηση με την ψήφιση του Ν3851/2010 νομοθετεί την αύξηση του εθνικού στόχου συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στην τελική κατανάλωση ενέργειας στο 20 % και 40 % στην ηλεκτροπαραγωγή.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια με την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, τους υψηλούς βαθμούς απόδοσης των εγκαταστάσεων και την φιλικότητα προς το περιβάλλον αποτελεί την ισχυρότερη και προσφιλέστερη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας εδώ και δεκαετίες. Αξίζει να σημειωθεί ότι το 2019, το 60% της ενέργειας που παρήχθη από ανανεώσιμες πηγές προήλθε από υδροηλεκτρική ενέργεια (Our World in Data).

Γενικότερα τα υδροηλεκτρικά έργα δεν υποβαθμίζουν το νερό που χρησιμοποιούν ως μέσο παραγωγής και κατά συνέπεια ούτε το περιβάλλον, όπως επίσης δεν επηρεάζεται η ποσότητα και ροή του νερού. Ωστόσο, ύστερα από μελέτες που εκπονήθηκαν παρατηρήθηκε ότι οι μεγάλοι υδροηλεκτρικοί ταμιευτήρες συνοδεύονται από πολυπληθή περιβαλλοντικά προβλήματα. Τέτοια είναι η παρενόχληση της πανίδας και η συχνή μετακίνηση της που οδηγεί στην μείωση πληθυσμών, η παρεμπόδιση ψαριών, οι ενδεχόμενες θερμοκρασιακές μεταβολές και η υπανάπτυξη της χλωρίδας κατάντη λόγω εγκλωβισμού φερτών υλικών πλούσια σε θρεπτικά συστατικά μέσα στο φράγμα. Σημαντικό είναι ακόμη να σημειωθεί πως τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα απαιτούν μεγάλο κόστος και μεγάλη χρονική διάρκεια μέχρι την αποπεράτωση και εν συνεχεία την απόσβεση του έργου, καθώς επίσης απαλλοτριώσεις γης, μετακινήσεις πληθυσμών και δυσκολία αντικατάστασης στο πέρας του χρόνου ζωής του έργου.

Για όλους τους παραπάνω λόγους τα περισσότερα κράτη, μέσα σε αυτά και η Ελλάδα, δεν κατατάσσουν πλέον τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Σήμερα τα περισσότερα κράτη έχουν προσανατολιστεί προς την κατασκευή μικρών υδροηλεκτρικών έργων (ΜΥΗΕ).

Καθώς λοιπόν η παρούσα εποχή αναζητά λύσεις από τα ΜΗΥΕ για το ενεργειακό ζήτημα είναι σημαντική η μελέτη και βελτιστοποίηση τέτοιων έργων στην χώρα μας. Η Ελλάδα διαθέτει αρκετά μεγάλο υδατικό δυναμικό για τέτοια έργα.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της κατάλληλης εγκατεστημένης ισχύς των στροβίλων ΜΥΗΕ, βασισμένη στη χρήση πραγματικών δεδομένων από έργα που έχουν ήδη κατασκευαστεί σε διάφορα μέρη της Ελλάδας. Βελτιστοποιούνται με βάση τον συντελεστή δυναμικότητας, τη μεγιστοποίηση της μέσης ετήσιας παραγόμενης ενέργειας και το καθαρό όφελος (κέρδος). Έτσι, θα είναι ξεκάθαρο ποια είναι η πιο προσοδοφόρα λύση σε ενέργεια και κόστος για κάθε μικρό υδροηλεκτρικό έργο.

1.2 Διάρθρωση εργασίας

Η παρούσα εργασία διαρθρώνεται σε 8 κεφάλαια.

Στο **πρώτο κεφάλαιο** παρέχεται το έναυσμα που οδήγησε στην εκπόνηση της εργασίας καθώς και οι αναμενόμενοι στόχοι της.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** γίνεται μια γενική αναφορά στην ενέργεια και στις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ειδική αναφορά γίνεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς τα ΜΥΗΕ είναι σημαντικό μέρος αυτών.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** αναλύονται λεπτομερώς με βάση την βιβλιογραφία τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα. Παρέχονται πληροφορίες για τους διάφορους τύπους υδροστροβίλων, γίνεται μια μικρή ιστορική αναδρομή και κατηγοριοποιούνται τα ΜΥΗΕ.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** παρατίθενται βασικά στοιχεία των μικρών υδροηλεκτρικών έργων που βασίστηκε η ανάλυση της διπλωματικής.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** περιγράφεται αναλυτικά η μαθηματική ανάλυση για την βελτιστοποίηση ΜΥΗΕ. Επιπλέον, σε αυτό το κεφάλαιο υπάρχει η βελτιστοποίηση με κριτήριο τη μεγιστοποίηση της μέσης παραγόμενης ετήσιας ενέργειας, λαμβάνοντας συντελεστή δυναμικότητας τουλάχιστον 30%.

Στο **έκτο κεφάλαιο** υπάρχει η οικονομική ανάλυση που έγινε για τα ΜΥΗΕ και οι σχέσεις που παρήχθησαν. Επιπλέον, σε αυτό το κεφάλαιο υπάρχει η βελτιστοποίηση με βάση τα οικονομικά κριτήρια.

Στο **έβδομο κεφάλαιο** βρίσκονται τα αποτελέσματα των βελτιστοποιήσεων των κεφαλαίων πέντε και έξι και ο σχολιασμός τους.

Στο **όγδοο κεφάλαιο** αναλύεται το αποτέλεσμα και η σύγκριση των βελτιστοποιήσεων που έγιναν. Στο ίδιο κεφάλαιο περιγράφεται τι πρέπει να αλλάξει σε μελλοντικές μελέτες ΜΥΗΕ και ποιος είναι ο βέλτιστος και προτιμητέος τρόπος επιλογής εγκατεστημένης ισχύος σε αυτά.

Κεφάλαιο 2 - Πηγές Ενέργειας

2.1 Μη Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι εκείνες που δεν παράγονται και δεν αναπληρώνονται βραχυπρόθεσμα και συχνά δεν αντικαθίστανται αρκετά γρήγορα ώστε να ανταποκρίνονται στην κατανάλωση. Στις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνονται κυρίως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο (ορυκτά καύσιμα) και η πυρηνική ενέργεια.

Άνθρακας:

- Υπάρχει στο υπέδαφος και σχηματίζεται από φυτικά σώματα (δέντρα, φυτά, θάμνοι και φύκια) που θάφτηκαν εκατομμύρια χρόνια πριν από φυσικές καταστροφές (επιχωματώσεις, καθιζήσεις, σεισμοί, κατακρημνίσεις).
- Έχει τη μορφή μαύρης ή καφέ πέτρας και συλλέγεται στα ανθρακωρυχεία.
- Όταν ο άνθρακας καίγεται, εκτός από τη θερμότητα, παράγεται τέφρα, αιθάλη, διοξείδιο του άνθρακα και άλλα οξείδια. Οι ποσότητες αυτές συντελούν σημαντικά στην αύξηση της θερμοκρασίας της γης, στην όξινη βροχή, καθώς επίσης και στη δημιουργία πολλών ασθενειών.



Εικόνα 2.1.1 Ορυκτός Άνθρακας

(Πηγή: <https://tinyurl.com/587pyckr>)

Πετρέλαιο:

- Βρίσκεται στο υπέδαφος σε υγρή μορφή, μέσα σε υπόγειες κοιλότητες. Σχηματίστηκε εκεί από ζωικούς και φυτικούς θαλασσόβιους μικροοργανισμούς, οι οποίοι συγκεντρώθηκαν από τα θαλάσσια ρεύματα στο βάθος λεκανών, όπου και καταπλακώθηκαν λόγω επιχωματώσεων ή

άλλων διαδικασιών. Εκεί, ελλείπει αέρα, μετασχηματίστηκαν σε πετρέλαιο επί χιλιάδες χρόνια.

- Αντλείται από τα υπόγεια κοιτάσματά του, ανεξάρτητα αν αυτά βρίσκονται κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας.
- Στην πρωτογενή μορφή του (ακάθαρτο ή αργό πετρέλαιο) καίγεται δύσκολα, για αυτό υπάρχουν τα δυλιστήρια, στα οποία το πετρέλαιο καθαρίζεται αρχικά με το διαχωρισμό μερικών συστατικών του, όπως είναι η πίσσα και μετά από διαδοχικές αποστάξεις, προκύπτει το καθαρό πετρέλαιο, η βενζίνη και άλλα προϊόντα όπως τα πετροχημικά.
- Κατά την καύση του πετρελαίου εκπέμπεται αιθάλη και παράγεται διοξείδιο του άνθρακα όπως και άλλα οξείδια.
- Χρησιμοποιείται ευρέως σε όλο τον κόσμο κυρίως για την κίνηση οχημάτων αλλά και για θέρμανση.



Εικόνα 2.1.2 Εξόρυξη Πετρελαίου

(Πηγή: <https://tinyurl.com/2ue6wbzv>)

Φυσικό Αέριο:

- Το φυσικό αέριο είναι ένα αέριο συμβατικό καύσιμο, το οποίο μπορεί να υποκαταστήσει τα υγρά καύσιμα (πετρέλαιο, ντίζελ και μαζούτ) που καταναλώνονται για την παραγωγή θερμικής ενέργειας.

- Χαρακτηρίζεται με αυξημένο βαθμό απόδοσης κατά την καύση του και έτσι επιτυγχάνεται ανάλογη εξοικονόμηση ενέργειας κατά την παραγωγή της θερμικής ενέργειας.
- Οι εκπομπές των αερίων ρύπων που προκύπτουν κατά την καύση του είναι σημαντικά χαμηλότερες από εκείνες που προκύπτουν κατά την καύση των άλλων συμβατικών καυσίμων.
- Είναι κατά 20% φθηνότερο από το πετρέλαιο θέρμανσης.



Εικόνα 2.1.3 Φυσικό Αέριο

(Πηγή: <https://tinyurl.com/yc63kyrw>)

Πυρηνική Ενέργεια:

- Όπως φανερώνει και η ονομασία της εκλύεται κατά τις πυρηνικές αντιδράσεις.
- Ενέχει κινδύνους που συνδέονται με την αποκομιδή και την αποθήκευση των ραδιενεργών αποβλήτων.
- Έχει χαμηλότερο κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού και ελάχιστους ατμοσφαιρικούς ρύπους, σε σχέση με τους κλασσικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν ως πρωτογενή ενεργειακή πηγή το πετρέλαιο, τον άνθρακα και το φυσικό αέριο.

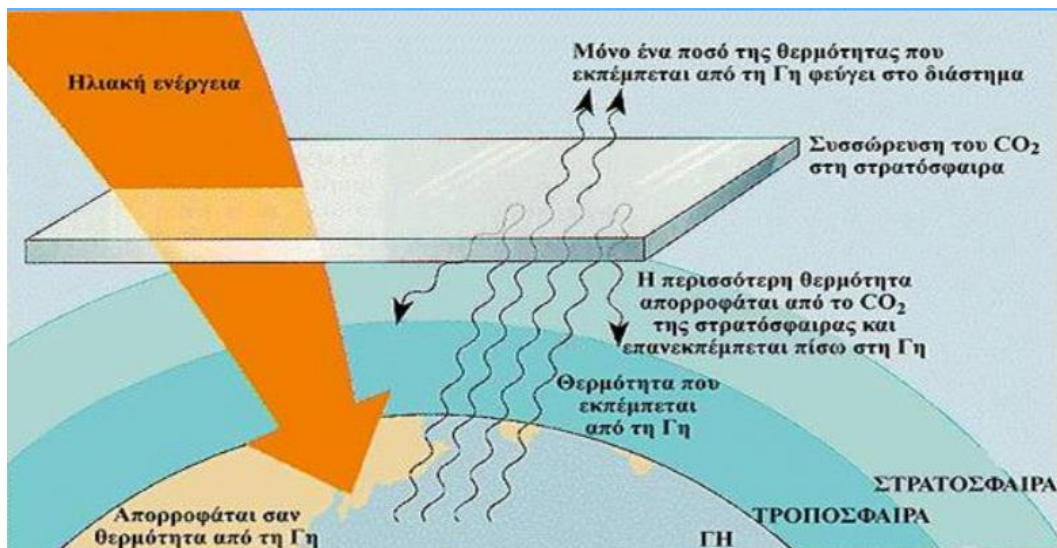


Εικόνα 2.1.4 Εργοστάσιο Πυρηνικής Ενέργειας

(Πηγή: <https://tinyurl.com/4stutafm>)

Για την παραγωγή ενέργειας στην Ελλάδα οι κυριότερες πηγές είναι το πετρέλαιο και ο άνθρακας. Ωστόσο αυτές έχουν προκαλέσει σημαντικά προβλήματα στο περιβάλλον. Η ατμοσφαιρική ρύπανση και η κλιματική αλλαγή είναι τα κυριότερα περιβαλλοντικά προβλήματα που δημιουργούνται από την παραγωγή της ενέργειας. Και τα δύο αυτά προβλήματα οφείλονται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Με τον όρο «φαινόμενο του θερμοκηπίου» αναφερόμαστε στην απορρόφηση από την ατμόσφαιρα της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπει ο ήλιος, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας να αυξάνεται.



Εικόνα 2.1.5 Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

(Πηγή: <https://tinyurl.com/mw6r5x85>)

Δυσμενείς επιπτώσεις των συμβατικών πηγών ενέργειας

Όταν τα ορυκτά καύσιμα καίγονται για την παραγωγή ενέργειας, εκπέμπεται διοξείδιο του άνθρακα, ένα από τα κυριότερα αέρια που συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το αποτέλεσμα της αυξανόμενης συγκέντρωσης των αερίων αυτών στην ατμόσφαιρα συνεπάγεται μεγαλύτερη συγκράτηση θερμότητας στον πλανήτη, οδηγώντας σε σταδιακή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης.

Αποθέματα πετρελαίου

Η χρήση του πετρελαίου για την κάλυψη των διογκούμενων αναγκών αυξάνεται μέρα με τη μέρα όλο και περισσότερο και αυτό έχει δημιουργήσει ανησυχία. Το χρονικό φάσμα το οποίο η Γη θα μπορεί να μας προμηθεύει με πετρέλαιο όπως φαίνεται και από την Εικόνα 2.1.6 κυμαίνεται από 5 έως 30 χρόνια.

Summary Table

<u>Oil Reserves</u>	1,650,585,140,000	barrels
<u>Oil Consumption</u>	35,442,913,090	barrels per year
	97,103,871	barrels per day
Reserves/Consumption	47	(years left)

(Data shown in the table is for 2016. Counter shows current estimate.)

Εικόνα 2.1.6 Αποθέματα Πετρελαίου και Κατανάλωση Πετρελαίου σε Παγκόσμια Κλίμακα.

(Πηγή: <https://tinyurl.com/yvpe422j>)

Έτσι λοιπόν καθίσταται επιτακτική ανάγκη η ανεύρεση άλλων αξιόπιστων πηγών ενέργειας φιλικότερων προς το περιβάλλον, οι οποίες θα έχουν «ανεξάντλητα αποθέματα» και οι οποίες θα καταφέρουν να ελαττώσουν την εξάρτηση των χωρών από το πετρέλαιο.

2.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Ο όρος «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας» (Α.Π.Ε.) αναφέρεται στις μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από φυσικές διεργασίες και δεν υπόκεινται σε κάποιο είδος εξάντλησης, όπως είναι η ηλιακή ακτινοβολία, ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού στα ποτάμια, οι κυματισμοί και τα βιοκαύσιμα. Ακόμα και στην αρχαιότητα οι άνθρωποι έκαναν χρήση της αιολικής ενέργειας για τις μετακινήσεις τους ή την άρδευση των καλλιεργειών τους. Κατά την δεκαετία του 1970-

1980 έρχεται η σύγχρονη εποχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπου η ενεργειακή κρίση που ξεσπά επηρεάζει τις οικονομίες και επιτάσσει την αναζήτηση νέων πηγών ενέργειας και την ανεξαρτητοποίηση από το πετρέλαιο. Επιπροσθέτως, αργότερα επιβάλλεται η προστασία του περιβάλλοντος και η αναβάθμιση της ποιότητας ζωής που υποβαθμιζόταν από την εκτεταμένη χρήση συμβατικών πηγών ενέργειας.

Θετική Επίδραση Α.Π.Ε.

Αρχικά οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ήταν μη προσοδοφόρες και τεχνικά παρουσίαζαν αρκετές αδυναμίες. Σήμερα ωστόσο το κόστος των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας μειώνεται διαρκώς και μπορούν πλέον να ανταγωνίζονται ισότιμα παραδοσιακές πηγές ενέργειας, όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια.

Σημαντικό είναι το γεγονός ότι εξασφαλίζουν παραγωγή ενέργειας χωρίς να επιβαρύνουν το περιβάλλον καθώς έχουν ουσιαστικά σχεδόν ανύπαρκτα κατάλοιπα και απόβλητα, ενώ δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ. Ακόμη, μπορούν να αποτελέσουν μια επιπλέον προτίμηση στο μείγμα ενέργειας που καταναλώνει μια κοινωνία και να οδηγήσουν σε ενεργειακή αυτονομία αναπτυσσόμενων χώρων που δεν διαθέτουν επαρκείς πόρους σε ορυκτά καύσιμα. Σημαντικό πλεονέκτημα τους προσδίδει ο εξοπλισμός και η συντήρησή τους που είναι σχετικά απλή και έχουν μεγάλο χρόνο ζωής.

Αρνητική Επίδραση Α.Π.Ε.

Πρωταρχικό μειονέκτημα είναι οι δυσκολίες που υπάρχουν στην πρακτική εφαρμογή των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον, έχουν μικρότερο συντελεστή απόδοσης και έτσι απαιτείται πιο μεγάλο αρχικό κόστος και αρκετά μεγάλη επιφάνεια γης. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματική πηγή ενέργειας και δεν καλύπτουν τις ανάγκες των μεγάλων αστικών περιοχών.

Η παροχή και η απόδοση πολλών συστημάτων, επίσης, εξαρτάται από το δυναμικό των αντίστοιχων περιοχών, ενώ για κάποιες μορφές των Α.Π.Ε. υπάρχει η προκατάληψη ότι είναι μη αισθητικά κομψές και προκαλούν θόρυβο (με την τοποθέτησή τους σε απομακρυσμένα μέρη εξαλείφονται τα μειονεκτήματα αυτά).

Οι κυριότερες μορφές Α.Π.Ε. στον ελλαδικό χώρο:

Ηλιακή Ενέργεια

- Η παραγωγή της γίνεται με τα φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ή με τα ηλιακά θερμικά

συστήματα που εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια για να θερμάνουν ένα υγρό το οποίο παράγει ατμό, που τροφοδοτεί μία τουρμπίνα και μία γεννήτρια.

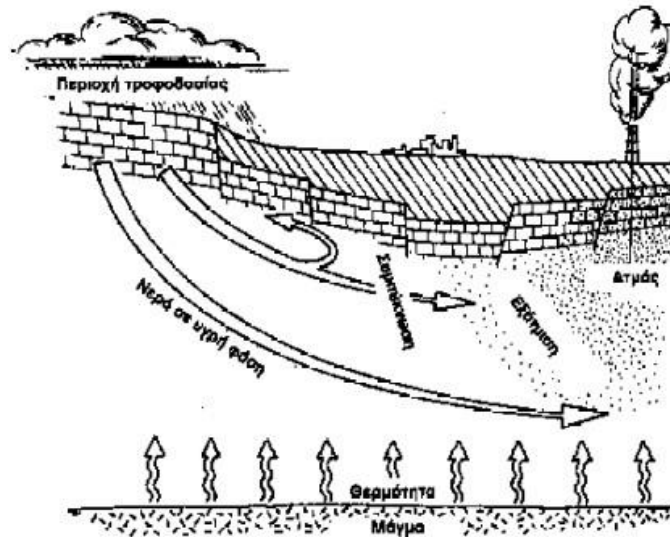


Εικόνα 2.2.1 Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

(Πηγή: <https://tinyurl.com/4decy8hx>)

Γεωθερμική Ενέργεια

- Ονομάζεται η θερμική ενέργεια που πηγάζει από το εσωτερικό της γης και εκδηλώνεται με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού.
- Είναι ήπια ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή, η οποία με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα είναι ικανή να καλύψει σημαντικές ενεργειακές ανάγκες.
- Μεταφέρεται στην επιφάνεια της γης με θερμική επαγωγή. Για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος μεταφέρεται ζεστό νερό, σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 150 °C έως και πάνω από 370 °C, σε γεωτρήσεις από υπόγειες δεξαμενές σε άλλες ειδικές δεξαμενές και με την απελευθέρωση της πίεσης μετατρέπεται σε ατμό.



Εικόνα 2.2.2 Ροή Γεωθερμικής Ενέργειας

(Πηγή: www.geocities.com/grphysics/energy/geotherme.html)

- Εφαρμόζεται για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος ,για θέρμανση κτιρίων και σε θερμοκήπια από πηγές που είναι συνήθως από μερικές εκατοντάδες μέχρι 3.500 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης.
- Εφαρμόζεται επίσης με την εκμετάλλευση θερμικών μαζών εδάφους ή υπογείων υδάτων για θέρμανση και ψύξη με θερμικές αντλίες.
- Οι κυριότερες χρήσεις της σήμερα είναι στα θερμοκήπια, οι υδατοκαλλιέργειες και η θέρμανση οικισμών.
- Η Ελλάδα διαθέτει πολλά γεωθερμικά πεδία που είναι διάσπαρτα σε ολόκληρη σχεδόν τη χώρα (λ.χ. : Ξάνθη , Σέρρες, Θεσσαλονίκη, Λέσβος, Μήλος, Σαντορίνη και Νίσυρο).
- Η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας συμβάλλει στην μείωση των εισαγωγών πετρελαίου, στην εξοικονόμηση φυσικών πόρων, κυρίως με την ελάττωση κατανάλωσης των εγχώριων αποθεμάτων λιγνίτη και τέλος στην καθαρότερη ατμόσφαιρα.

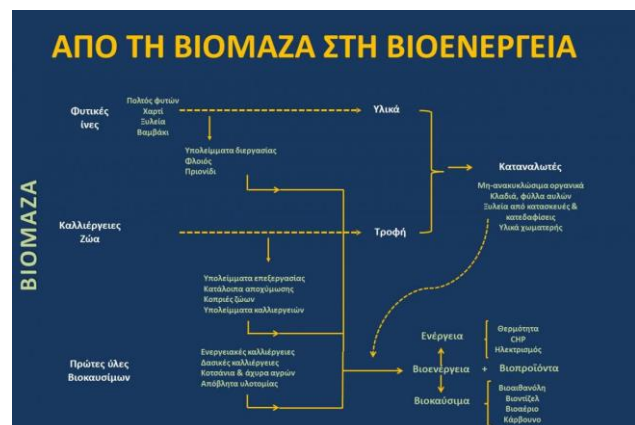
Βιομάζα

- Ονομάζονται τα κατάλοιπα διαφόρων διεργασιών που προέρχονται άμεσα ή έμμεσα από το φυτικό κόσμο (όπως αστικά σκουπίδια, υπολείμματα ξυλείας και σοδειάς από την αγροτική παραγωγή ακόμα και ζωικά απόβλητα) καθώς επίσης και υποπροϊόντα της βιομηχανίας τα οποία χρησιμοποιούνται για θέρμανση, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και για κίνηση.
- Η βιομάζα μετατρέπεται σε καύσιμο αέριο (βιοαέριο-biofuel) μέσω κατάλληλων διεργασιών και με την καύση του αερίου αυτού παράγεται ηλεκτρική ενέργεια (Εικόνα 2.2.4).
- Χαρακτηρίζεται από μεγάλη απόδοση και σχεδόν μηδενικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.



Εικόνα 2.2.3 Βιομάζα

(Πηγή: <https://tinyurl.com/2p9apbnk>)



Εικόνα 2.2.4 Ροή Βιομάζας

(Πηγή: <https://tinyurl.com/yyyy9vvz>)

Αιολική Ενέργεια

- Δημιουργείται από τον άνεμο, ο οποίος περιστρέφει τα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας, συνδεδεμένα με ένα περιστρεφόμενο άξονα. Αυτός ο άξονας περνάει μέσα σε κιβώτιο μετάδοσης της κίνησης όπου αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής. Το κιβώτιο συνδέεται με έναν άξονα μεγάλης ταχύτητας περιστροφής που κινεί μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

- Είναι ήπια μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας και φιλική προς το περιβάλλον.
- Αν ήταν δυνατό να καταστεί εκμεταλλεύσιμο το συνολικό αιολικό δυναμικό της γης, εκτιμάται ότι η παραγόμενη σε ένα χρόνο ηλεκτρική ενέργεια θα ήταν υπερδιπλάσια από τις ανάγκες της ανθρωπότητας στο ίδιο διάστημα.
- Το κόστος κατασκευής των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί σημαντικά και έτσι η αιολική ενέργεια γίνεται όλο και πιο ανταγωνιστική των συμβατικών μορφών ενέργειας.
- Η Ελλάδα διαθέτει εξαιρετικά πλούσιο αιολικό δυναμικό. Λόγου χάριν το 2001 στην Κρήτη η αιολική ενέργεια κάλυψε περίπου το 10% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



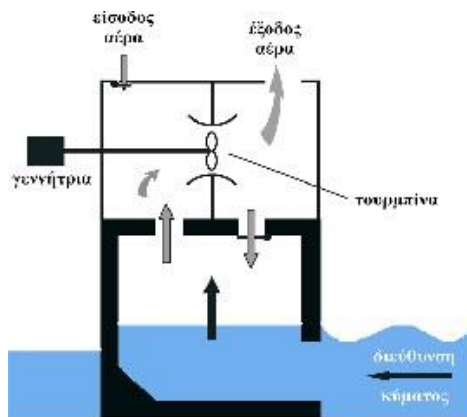
Εικόνα 2.2.5 Ανεμογεννήτριες

(Πηγή: <https://tinyurl.com/3djf2>)

Κυματική Ενέργεια

- Προέρχεται από την κινητική ενέργεια των κυμάτων όπως φανερώνει και η ονομασία της. Τα κύματα γίνονται εκμεταλλεύσιμα μόνο σε περιοχές με υψηλό δείκτη ανέμων και σε ακτές ωκεανών.

- Η παραγόμενη ενέργεια από μία τουρμπίνα εκμετάλλευσης κυματισμών (Εικόνα 2.2.6) είναι ικανή να καλύψει τις ανάγκες μιας οικίας ή ενός φάρου.



Εικόνα 2.2.6 Διάταξη Παραγωγής Ηλεκτρικού Ρεύματος από Θαλάσσιο Κυματισμό

(Πηγή: <https://tinyurl.com/4z3tp9j9>)

Παλιρροϊκή Ενέργεια

- Προκύπτει από την παλίρροια, φαινόμενο που τα νερά των θαλασσών κάνουν δύο κινήσεις (άμπωτη και πλημμυρίδα).
- Κατά την πλημμυρίδα στην ακτή τα εισερχόμενα νερά της παλίρροιας αποθηκεύονται σε φράγματα, οπότε κατά την άμπωτη ελευθερώνονται και κινούν έναν υδροστρόβιλο, όμοια με τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια. Η διαφορά στάθμης του νερού κατά την άμπωτη και την πλημμυρίδα για να παραχθεί παλιρροϊκή ενέργεια πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 m.
- Σήμερα τέτοιοι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το θαλασσινό νερό βρίσκονται σε πρώιμο και πειραματικό στάδιο.



Εικόνα 2.2.7 Διάταξη Παραγωγής Ηλεκτρικού Ρεύματος από Παλιρροϊκή Ενέργεια

(Πηγή: <https://tinyurl.com/4n5d3wh4>)

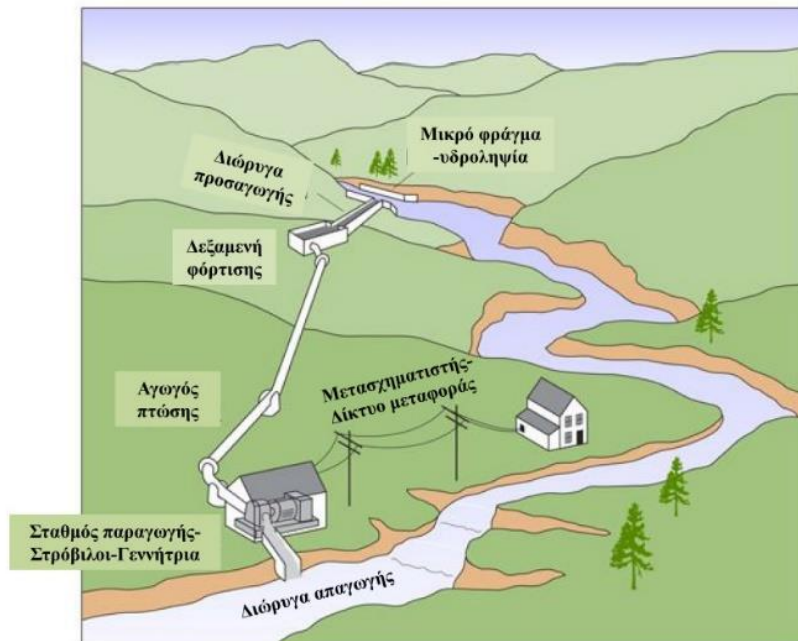
Υδροηλεκτρική Ενέργεια

- Όταν το νερό βρίσκεται σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο έχει δυναμική ενέργεια η οποία μετατρέπεται σε κινητική, όταν αυτό ρέει προς χαμηλότερες περιοχές, κάνοντας τον κύκλο του.
- Τα κυριότερα υδροηλεκτρικά έργα είναι οι υδροταμιευτήρες, τα φράγματα, οι κλειστοί αγωγοί πτώσεως, οι υδροστρόβιλοι και οι διώρυγες φυγής. Με αυτά γίνεται η εκμετάλλευση της ενέργειας του νερού για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.
- Η υδροηλεκτρική ενέργεια παράγεται με τη χρήση υδραυλικών τουρμπινών που μετατρέπουν την ενέργεια των υδατοπτώσεων σε ηλεκτρική. Η τελευταία διοχετεύεται στο δίκτυο διανομής για χρήση.
- Η υδροηλεκτρική ενέργεια διαχωρίζεται σε μεγάλης και μικρής κλίμακας και διαφοροποιείται σημαντικά σε ό,τι αφορά τις επιπτώσεις στο περιβάλλον. Υδροηλεκτρικές μονάδες με εγκατεστημένη ισχύ ίση ή μικρότερη των 15 MW χαρακτηρίζονται ως μικρής κλίμακας και κατατάσσονται στις ανανεώσιμες πηγές.

- Οι μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικές μονάδες απαιτούν τη δημιουργία φραγμάτων και μεγάλων δεξαμενών με αποτέλεσμα άμεσα σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Περιορίζεται η μετακίνηση των ψαριών, της άγριας ζωής και επηρεάζει ολόκληρο το οικοσύστημα.
- Τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα τοποθετούνται δίπλα σε ποτάμια και κανάλια και έχουν λιγότερο σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Το γρήγορα κινούμενο νερό περιστρέφει υδροστροβίλους, δημιουργώντας μηχανική ενέργεια και συνεπώς ηλεκτρική ενέργεια.
- Το νερό κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άλλους σκοπούς χωρίς να αχρηστεύεται από την παραγωγή ενέργειας.

Η ενέργεια που παράγεται συνήθως χρησιμοποιείται μόνο συμπληρωματικά με άλλες συμβατικές πηγές ενέργειας, σε ώρες αιχμής. Ειδικά στην Ελλάδα η εγκατεστημένη ισχύς των ΥΗΕ ανέρχεται περίπου στα 3500 MW και συνεπώς η υδροηλεκτρική ενέργεια ικανοποιεί το 10% των ενεργειακών αναγκών (Μαμάσης και Κουτσογιάννης, 2019· Μαμάσης κ.ά., 2018).

Συνιστώσες ενός τυπικού ΜΥΗΕ



Εικόνα 2.2.8 Συνιστώσες ΜΥΗΕ

(Πηγή: <https://tinyurl.com/535a63ee>)



Εικόνα 2.2.9 Παραγωγή Ενέργειας από Υδροηλεκτρικό Έργο

(Πηγή: <https://tinyurl.com/4xj8x4ab>)

2.3 Υδροηλεκτρικά έργα

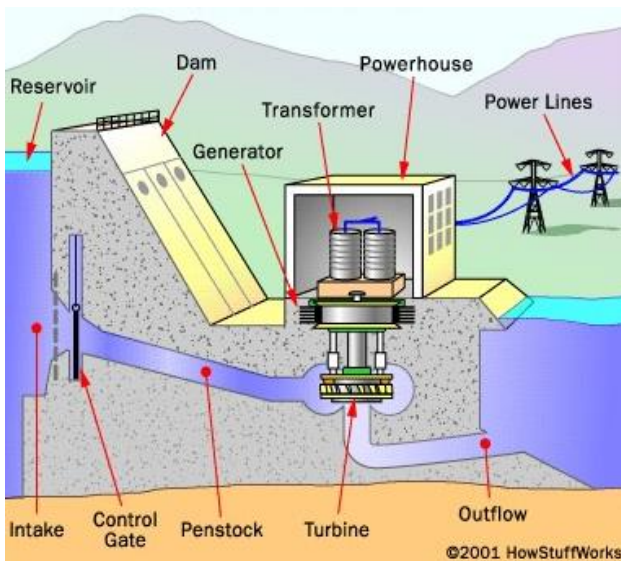
Κάθε υδροηλεκτρικό έργο αποτελείται από τα τεχνικά έργα Πολιτικού Μηχανικού και τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό. Τα κυριότερα μέρη των τεχνικών έργων Πολιτικού Μηχανικού ενός υδροηλεκτρικού έργου είναι:

Το **φράγμα** δηλαδή η δημιουργία μιας δεξαμενής (ταμιευτήρας) στην οποία συγκεντρώνεται ποσότητα νερού, προερχόμενη από την φυσική απορροή του υδατορεύματος. Από τον ταμιευτήρα αυτό, μέσω του αγωγού προσαγωγής, το νερό προσάγεται στον υδροστρόβιλο. Με μεγάλους ταμιευτήρες επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ευελιξία στην λειτουργία του έργου και η κάλυψη των αιχμών του δικτύου, ωστόσο επιβαρύνει σημαντικά το κόστος του έργου.

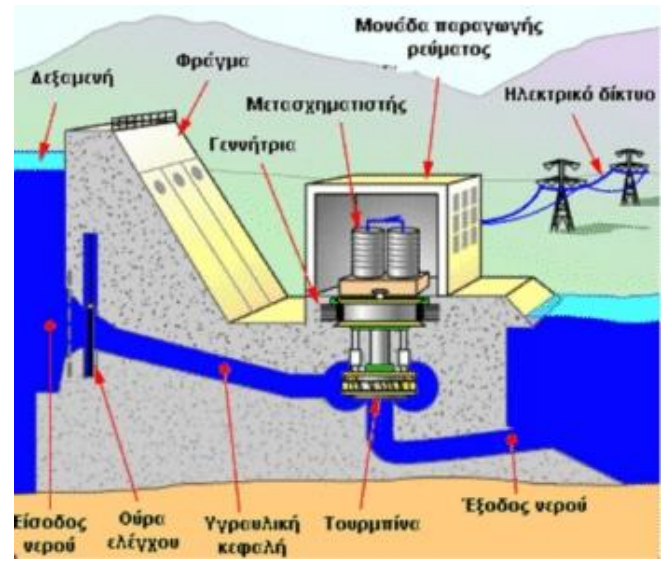
Το **υδραυλικό σύστημα** προώθησης της παροχής από την υδροληψία στους υδροστρόβιλους και τέλος στην φυσική κοίτη του υδατορεύματος αποτελείται από τον ανοικτό αγωγό, την δεξαμενή φόρτισης και τον αγωγό προσαγωγής, τις βάνες και τα θυροφράγματα. Η διαστασιολόγηση του συστήματος γίνεται με βάση οικονομοτεχνικά κριτήρια.

Στον **ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός** υπάγονται οι υδροστρόβιλοι, οι ρυθμιστές στροφών, οι ηλεκτρογεννήτριες, οι μετασχηματιστές, οι ηλεκτρικοί πίνακες και συνήθως ένας βοηθητικός εξοπλισμός (λ.χ. ανυψωτικά μηχανήματα).

Το πλήθος των μονάδων (δηλαδή υδροστρόβιλος -μετασχηματιστής κτλ), εξαρτάται από το πρόγραμμα παραγωγής ενέργειας του εκάστοτε έργου, θέτοντας υπόψιν την διακύμανση της παροχής, την ανάγκη κάλυψης αιχμών του δικτύου και προφανώς τα οικονομοτεχνικά κριτήρια. Για λόγους ασφαλείας και ευελιξίας στην παραγωγή ενέργειας το πλήθος των μονάδων ενός μεγάλου υδροηλεκτρικού έργου είναι συνήθως μεγαλύτερο ή ίσο του δύο (2). Στα μικρά υδροηλεκτρικά έργα το βέλτιστο πλήθος των μονάδων παραγωγής προκύπτει καθαρά από οικονομοτεχνικά κριτήρια τα οποία στην παρούσα διπλωματική μελετώνται ενδελεχώς.



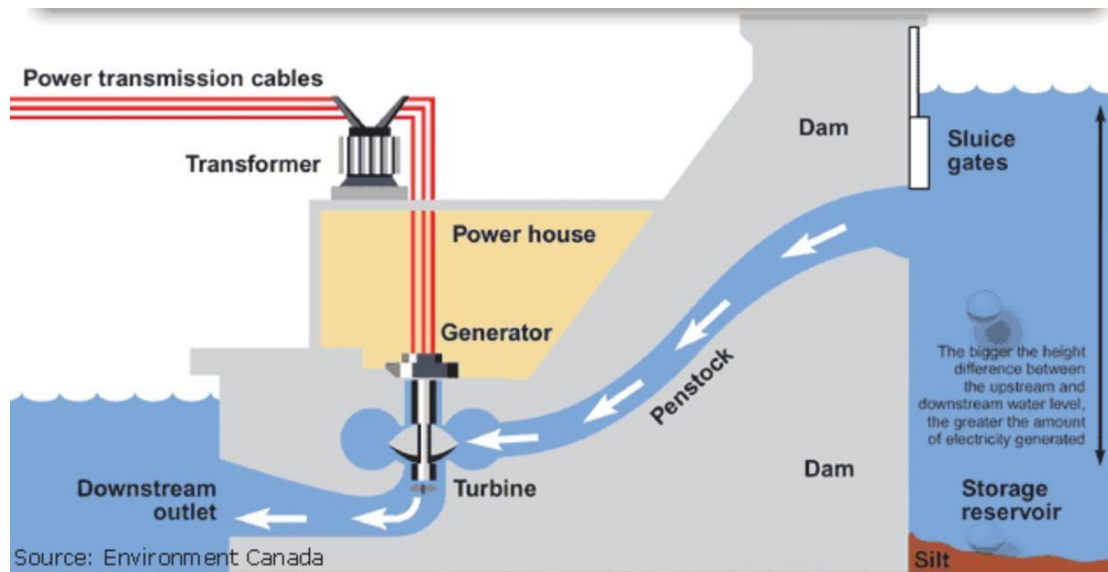
(α)



(β)

Εικόνα 2.3.1 Βασικά Στοιχεία Μονάδας Παραγωγής Υδροηλεκτρικής Ενέργειας ((α): Αγγλικά και (β): Ελληνικά)

(Πηγές: www.geocities.com, http://users.sch.gr/kpara/ape2009_10/ydrauliki.html)



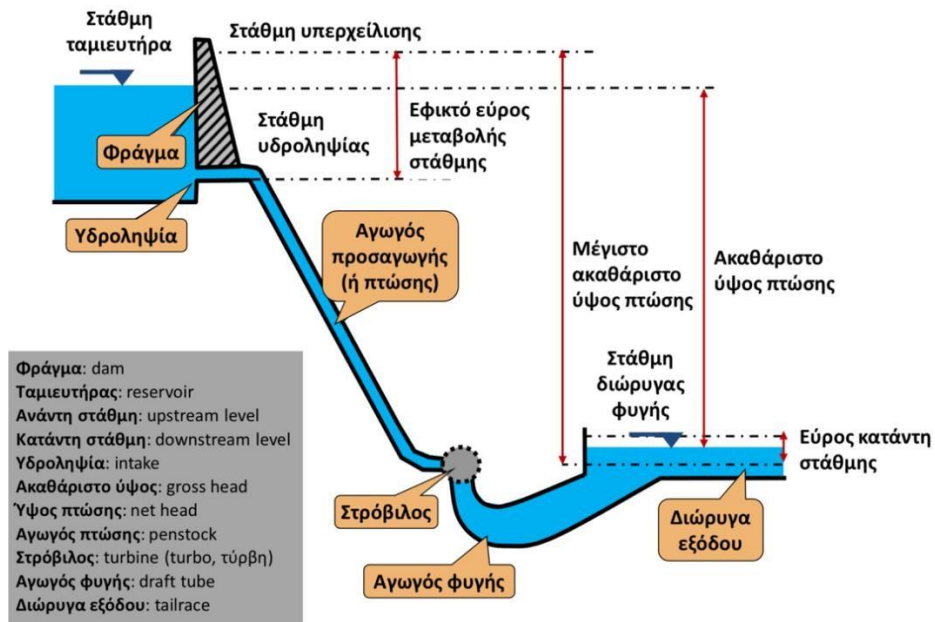
Εικόνα 2.3.2 Συνήθης διάταξη ΥΗΕ με φράγμα

(Πηγή: Enviroment Canada-U.S. Geological Survey)

Τα υδροηλεκτρικά έργα διαχωρίζονται σε μεγάλα, μεσαία και μικρά, με βάση την εγκατεστημένη ισχύ τους και δευτερευόντως με βάση το ύψος πτώσης του νερού.

Σύμφωνα τη νομοθεσία, ένα υδροηλεκτρικό έργο χαρακτηρίζεται ως μικρό αν η εγκατεστημένη ισχύς του είναι μικρότερη των 15 MW. Το όριο αυτό εφαρμόζεται τώρα και στην Ελλάδα, ενώ σε άλλες χώρες εφαρμόζονται όρια από 5 έως 15 MW (Μαμάσης κ.ά., 2018).

Υποκατηγορίες των ΜΥΗΕ αποτελούν τα έργα εγκατεστημένης ισχύος μέχρι 0.01 MW (pico), μέχρι 0.1 MW (micro) και μέχρι 1 MW (mini) (Mbaka και Mwaniki, 2017).



Εικόνα 2.3.3 Κύρια έργα πολιτικού μηχανικού και χρήσιμη ορολογία υδροηλεκτρικών έργων με ταμιευτήρα

(Πηγή: Διαφάνειες μαθήματος ΕΜΠ Α.Π.Ε., Ευστρατιάδης κ.ά., 2019)

Θα γίνει μια πιο ενδελεχή ανάλυση στο επόμενο κεφάλαιο (ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3) των παραπάνω διακρίσεων των υδροηλεκτρικών έργων.

Κεφάλαιο 3 - Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα

3.1 Ιστορική Αναδρομή

Η εξέλιξη των μικρών υδροηλεκτρικών ξεκινάει με τους υδραυλικούς τροχούς και τους υδρόμυλους (περιγραφές από Ρωμαίους συγγραφείς, βουδιστές και Ιησούτες μοναχούς). Οι ρίζες τους όμως είναι καθαρά ελληνικές και μάλιστα μακεδονικές. Οι πρώτες σχετικές έγγραφες περιγραφές, που ανήκουν στον Αριστοτέλη, αφορούν οδοντωτά συστήματα μετάδοσης κίνησης. Η αρχαιότερη διασωθείσα απόδειξη της ύπαρξης της σχετικής τεχνολογίας των κλασικών χρόνων είναι ο πασίγνωστος Μηχανισμός των Αντικυθήρων. Στα κλασσικά έργα του Ήρωνα του Αλεξανδρέα υπάρχουν περιγραφές σειράς υδραυλικών διατάξεων. Έπειτα, ο Λεονάρντο Ντα Βίντσι φέρνει ξανά στην επιφάνεια πολλές από τις επιγραφές του Ήρωνα. Οι υδραυλικές αυτές διατάξεις αποτελούσαν κινητήρια δύναμή για την κίνηση υδροτροχών οριζοντίου ή κατακόρυφου άξονα με σκοπό κυρίως την άλεση δημητριακών. Έως τα τέλη του 19^ο αιώνα η υδραυλική ενέργεια έμεινε ανεκμετάλλευτα στάσιμη μέχρι που κατασκευάστηκαν μικρές ισχύος υδροστρόβιλοι, καθώς αυτό επέτρεπαν τα τεχνικά μέσα της εποχής.

Λόγω της τεχνολογικής προόδου και των διαθέσιμων πόρων, η ζήτηση για ενέργεια αυξήθηκε σταδιακά, οδηγώντας στην κατασκευή μεγάλων έργων για τη μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε μηχανική. Αξιοσημείωτος σταθμός στην αξιοποίηση της υδραυλικής ενέργειας ήταν η ανάπτυξη των εφαρμογών του ηλεκτρισμού. Από τότε το έργο αξιοποίησης της υδραυλικής ενέργειας γίνεται Υδροηλεκτρικό, δηλαδή η υδραυλική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική από τον υδροστρόβιλο και στη έπειτα σε ηλεκτρική από την ηλεκτρική γεννήτρια.

Στην Ευρώπη οι δεκαετίες μετά τον Β΄ παγκόσμιο πόλεμο χαρακτηρίστηκαν ως η χρυσή περίοδος των μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων καθώς η αυξημένη αξιοποίηση του διαθέσιμου υδραυλικού δυναμικού έγινε με μονάδες μεγάλης ισχύος (εκατοντάδων MW η κάθε μία). Από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 παρατηρείται παγκοσμίως έντονο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των μικρών υδροηλεκτρικών έργων, που εκδηλώνεται είτε με την αξιοποίηση νέων μικρών υδατοπτώσεων, είτε με την επανασχεδίαση και επανεξοπλισμό εγκαταλειμμένων ή εναπομεινάντων μικρών υδροηλεκτρικών έργων.

3.2 Νομοθεσία διάκρισης μικρών και μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο η κατηγοριοποίηση των υδροηλεκτρικών έργων στην Ελλάδα γίνεται με βάση την εγκατεστημένη ισχύ τους. Ως εγκατεστημένη ισχύς (Άρθρο 9 Ν.3468/2006) κάθε μονάδας παραγωγής ορίζεται η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς της μονάδας όταν η μονάδα λειτουργεί αδιάκοπτα για χρονικό διάστημα τουλάχιστον δεκαπέντε λεπτών (Ν.3468, 2006). Στην Ελλάδα τα έργα μικρότερης ισχύς από 15MW θεωρούνται μικρά υδροηλεκτρικά έργα (ΜΥΗΕ) και τα έργα με μεγαλύτερη ισχύ θεωρούνται μεγάλα ΥΗΕ.

3.3 Διαφορές μεταξύ μικρών και μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων

Ένα μικρό υδροηλεκτρικό έργο δεν είναι μικρογραφία ενός μεγάλου και είναι σημαντικό να κατανοηθεί καθώς η προσέγγιση αυτή θα ωθήσει σε οικονομική αποτυχία την επένδυση. Οι βασικές διαφορές μεταξύ τους εντοπίζονται στην επιλογή και εγκατάσταση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού όπως επίσης και στο πρόγραμμα εκμετάλλευσης.

Επιπροσθέτως, ένα μικρό υδροηλεκτρικό μπορεί πιο εύκολα να συνδυασθεί με την ύδρευση και την άρδευση. Επιπλέον, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που δημιουργούν τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα είναι πολύ μικρότερες σε σχέση με αυτές των μεγάλων (καθώς οι περισσότερες από αυτές οφείλονται στον σχηματισμό μεγάλου ταμιευτήρα ανάντη) όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο (κεφάλαιο 2).

Μία άλλη διάκριση των Υ.Η.Ε. βασίζεται στο μέγεθος της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης H (η ανά μονάδα μάζας υδραυλική ενέργεια του νερού) και από αυτή κυρίως εξαρτάται η επιλογή του τύπου του υδροστροβίλου.

- Έργα μικρού ύψους : για $H < 30$ m
- Έργα μεσαίου ύψους : για $30 \text{ m} < H < 200$ m
- Έργα μεγάλου ύψους : για $H > 200$ m

Η υδραυλική ισχύς είναι γινόμενο της παροχής του νερού και της υδραυλικής πτώσης άρα φαίνεται ότι για μεγαλύτερη υδραυλική πτώση το κόστος κατασκευής ενός Μ.Υ.Η.Ε. είναι μικρότερο, και άρα η επένδυση πιο αποδοτική. Ωστόσο μεγάλες υδραυλικές πτώσεις αναπτύσσονται σε ορεινές και απομακρυσμένες περιοχές άρα συνήθως το κόστος μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας να είναι τόσο υψηλό ώστε να αντισταθμίζει το πλεονέκτημα αυτό. Αντιθέτως στα Μ.Υ.Η.Ε. μικρής υδραυλικής πτώσης το ύψος της επένδυσης είναι αυξημένο όμως κατά κανόνα βρίσκονται κοντά σε πεδινές και κατοικήσιμες περιοχές οπότε το κόστος των έργων σύνδεσης με το διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο είναι μικρό. Επομένως κάθε έργο θα πρέπει να μελετάται ξεχωριστά. Ωστόσο στην παρούσα διπλωματική έγινε μία προσπάθεια

προσδιορισμού της ισχύος και του κόστους γενικά, ώστε να υπάρξει ένας γενικευμένος κανόνας επιλογής ισχύος και υδροστροβίλων.

3.4 Πλεονεκτήματα μικρών υδροηλεκτρικών έργων

Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα σε σχέση με τις υπόλοιπες Α.Π.Ε.:

1. Παρουσιάζουν υψηλό βαθμό ενεργειακής απόδοσης. Κυμαίνεται στο 30%-67% , ενώ οι αντίστοιχες τιμές για την αιολική ενέργεια και τα φωτοβολταϊκά είναι 5%-39% και 1%-4% αντίστοιχα.
2. Κατασκευάζονται σε απομονωμένες ορεινές περιοχές, έτσι οι οχλήσεις που προκαλούνται είναι ελάχιστες έως μηδαμινές. Ο αγωγός μεταφοράς είναι συνήθως υπόγειος, το κτίριο του σταθμού παραγωγής μπορεί να προσαρμοστεί στο τοπικό περιβάλλον, η σύγχρονη τεχνολογία στροβίλων εξασφαλίζει μειωμένη ηχητική όχληση και δεν υπάρχει ανάγκη αποθήκευσης νερού. Συνεπακόλουθα όχι μόνο δεν αλλοιώνεται, αλλά συχνά να βελτιώνεται το εικαστικό περιβάλλον της περιοχής.
3. Υπάρχει ειδικός σχεδιασμός για τη διευκόλυνση της μετακίνησης των ψαριών κατά μήκος των ποταμών, ενώ η πρόβλεψη ελάχιστης οικολογικής παροχής εξασφαλίζει την επιβίωση της παρόχθιας πανίδας και χλωρίδας.
4. Η ποιότητα του νερού δεν υποβαθμίζεται με τη διέλευση από το στρόβιλο.
5. Μπορούν εύκολα να συνδυαστούν με άλλες χρήσεις όπως η ύδρευση και η άρδευση, συντελώντας στη μεγιστοποίηση της αξιοποίησης των υδατικών πόρων.

3.5 Μειονεκτήματα μικρών υδροηλεκτρικών έργων

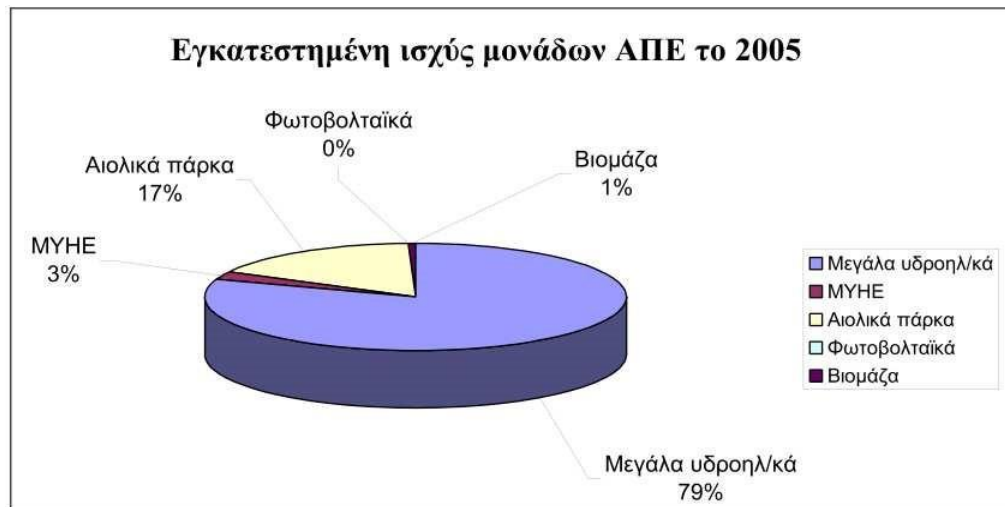
Όπως όλα τα ζητήματα και τα πράγματα στο κόσμο έτσι και τα Μ.Υ.Η.Ε. πέρα από την πληθώρα πλεονεκτημάτων που έχουν, εμφανίζουν και μερικά μειονεκτήματα που είναι σημαντικό να καταγραφούν ώστε να τεθούν υπό βελτιστοποίηση.

Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα :

1. Έχουν χαμηλότερη ενεργειακή απόδοση , όπως όλες οι Α.Π.Ε., από τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Δηλαδή παράγουν ακριβή ενέργεια ενώ εξακολουθεί να υπάρχει επάρκεια ορυκτών καυσίμων.
2. Δεν έχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης νερού σε ταμιευτήρα. Αυτό συνεπάγεται μηδενική ευελιξία στη διαχείριση της ενέργειας και η παραγόμενη ενέργεια θα πρέπει να καταναλώνεται αμέσως.

Σημαντικό είναι να σημειωθεί πως οι δυσκολίες που παρουσιάζουν δεν πρέπει να θεωρηθούν ως τροχοπέδη για την προώθησή τους. Με την σωστή εφαρμογή και

αξιοποίηση τους μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στο ενεργειακό ζήτημα της εποχής.

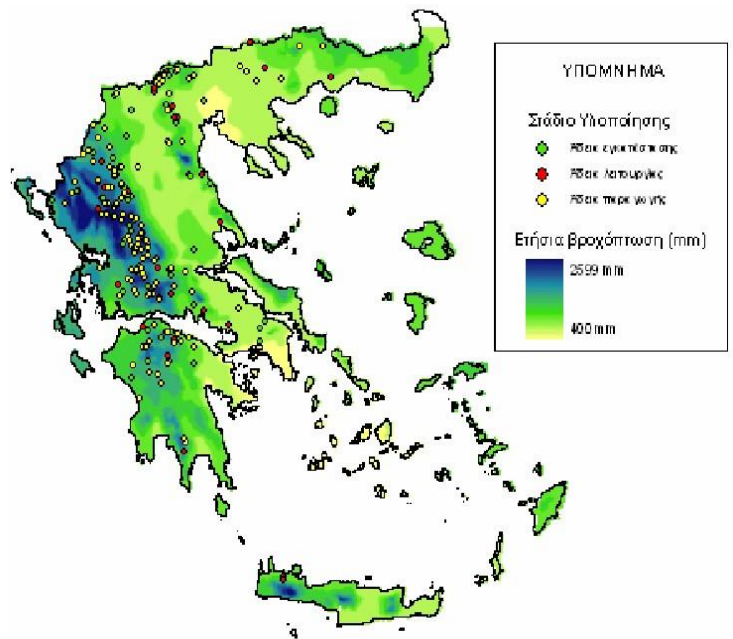


Διάγραμμα 3.5.1 Ποσοστά κάθε τεχνολογίας ενέργειας στη συνολική εγκατεστημένη ισχύ μονάδων Α.Π.Ε. το 2005

(Πηγή: ΥΠ.ΑΝ.)

3.6 Χωρική κατανομή των Μ.Υ.Η.Ε.

Ο φυσικός πόρος που αξιοποιούν τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα για την ηλεκτροπαραγωγή είναι το νερό (βροχόπτωση ή γενικότερα κατακρήμνιση) και είναι λογικό η ανάπτυξή τους να προσανατολίζεται στις περιοχές με υψηλό υδατικό δυναμικό. Στην Ελλάδα οι πλουσιότερες υδρολογικά λεκάνες συναντώνται κυρίως στην βόρεια και δυτική ηπειρωτική χώρα, που οροθετούνται κυρίως από την οροσειρά της Πίνδου. Στο χάρτη της Εικόνας 3.6.1 παρουσιάζεται η κατανομή των Μ.Υ.Η.Ε. στον ελλαδικό χώρο, ανάλογα με το στάδιο υλοποίησής τους και η χωρική κατανομή της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης.

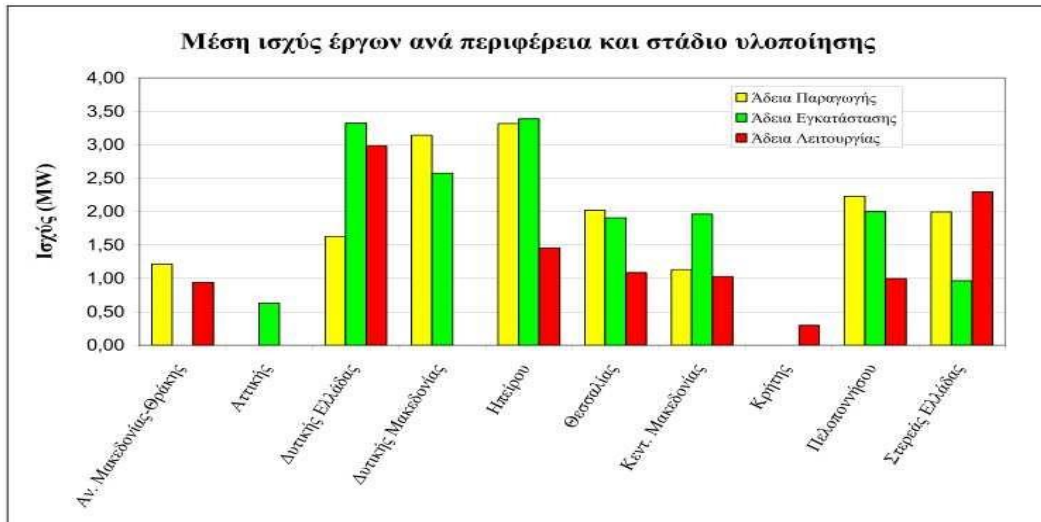


Εικόνα 3.6.1 Κατανομή Μ.Υ.Η.Ε. ανά στάδιο υλοποίησης και μέση βροχόπτωση

(Πηγή: ΥΠ.ΑΝ.)

3.7 Μέση ισχύς των Μ.Υ.Η.Ε.

Η μέση ισχύς των έργων είναι μια σημαντική παράμετρος η οποία σχετίζεται άμεσα με το υδατικό δυναμικό και με τον οικονομοτεχνικό σχεδιασμό των έργων. Με απώτερο σκοπό να εξασφαλιστεί μια ικανοποιητική εκμετάλλευση των υδατικών πόρων, έχει θεσπιστεί ειδικά για τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα ελάχιστος Βαθμός Ενεργειακής Αξιοποίησης (Β.Ε.Α.) 75%. Δηλαδή προκειμένου να εγκριθεί ένα έργο πρέπει να αξιοποιεί τουλάχιστον το 75% της μέσης ετήσιας επιφανειακής απορροής στη θέση που καταλαμβάνει.



Διάγραμμα 3.7.1 Μέση ισχύς Μ.Υ.Η.Ε. ανά περιφέρεια και στάδιο υλοποίησης.

(Πηγή: ΥΠ.ΑΝ.)

3.8 Αρχή Λειτουργίας των Μ.Υ.Η.Ε.

Η αρχή λειτουργίας των μικρών υδροηλεκτρικών έργων βασίζεται στην εκμετάλλευση της δυναμικής ενέργειας των επιφανειακών νερών, αρχικά με την μετατροπή σε κινητική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η ισχύς λειτουργίας P [kW] (ο ρυθμός παραγωγής ενέργειας) της εγκατάστασης υπολογίζεται από τη σχέση :

$$P = n * \rho * g * Q * H_{\text{net}} \quad (1)$$

όπου:

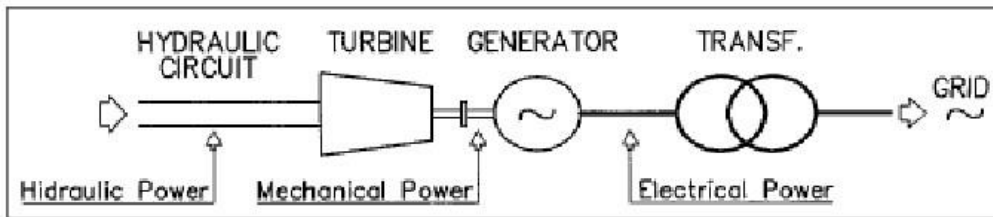
n : ο βαθμός απόδοσης ($n = n_{\text{στροβίλου}} \cdot n_{\text{γεννήτριας}} \cdot n_{\text{μετασχηματιστή}}$)

ρ : η πυκνότητα του νερού

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας ($\approx 9.81 \text{ m/s}^2$)

Q : η διερχόμενη παροχή στον στρόβιλο (m^3/s)

H_{net} : το καθαρό ύψος πτώσης (m)



Εικόνα 3.8.1 Μετατροπή Ενέργειας Μ.Υ.Η.Ε.

(Πηγή: Ramos & Betamio, 1999)

Η παραγόμενη ενέργεια E [kWh] σε ένα χρονικό διάστημα Δt υπολογίζεται με χρονική ολοκλήρωση της ισχύος λειτουργίας, σύμφωνα με τη σχέση:

$$E = \int_{t=0}^{\Delta t} P dt \quad (2)$$

όπου:

E : η παραγόμενη ενέργεια σε χρονικό διάστημα Δt (kWh)

P : η ισχύς λειτουργίας για κάθε στοιχειώδες χρονικό διάστημα dt (kW)

dt : το στοιχειώδες χρονικό διάστημα, για το οποίο η ισχύς θεωρείται σταθερή

Στο κεφάλαιο 5 γίνεται αναλυτική περιγραφή και ανάλυση των σχέσεων που χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό ενός Μ.Υ.Η.Ε.

3.9 Τύποι Μ.Υ.Η.Ε.

Στην παρούσα διπλωματική γίνεται λόγος κυρίως για μικρά υδροηλεκτρικά έργα χωρίς ταμιευτήρα. Οι δύο βασικοί τύποι Μ.Υ.Η.Ε. είναι : πάνω στην κοίτη του ποταμού και εκτός κοίτης (run-of-river). Τα έργα που θα μελετηθούν είναι κατά κύριο λόγο εκτός κοίτης, ωστόσο παρακάτω αναλύονται τα χαρακτηριστικά και των δύο.

3.9.1 Μ.Υ.Η.Ε. πάνω στην κοίτη

Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα πάνω στην κοίτη κατασκευάζονται ώστε να αξιοποιούν μεγάλες απορροές του ποταμού για την παραγωγή ενέργειας και απαιτούν ένα χαμηλό φράγμα. Το τελευταίο χρησιμοποιείται για να επιτευχθεί ένα μικρό ύψος πτώσης του νερού. Ο σκοπός του φράγματος στα Μ.Υ.Η.Ε. δεν είναι όμοιος με εκείνον στις μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα (για να καλύπτουν τις αιχμές. Το σκοπό του περιγράφει σαφέστατα ο Παπαντώνης (2016, σ. 72) « [...] δεν είναι ο σχηματισμός μεγάλου ταμιευτήρα αλλά η εξασφάλιση ομαλών συνθηκών στην υδροληψία, ώστε να μην εισέρχονται στο σύστημα προσαγωγής φερτά υλικά του υδατορεύματος ή αέρας τα οποία

θα μπορούσαν να φτάσουν μέχρι τον υδροστρόβιλο και θα είχαν ως αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της λειτουργίας του ή την πρόωρη φθορά του».

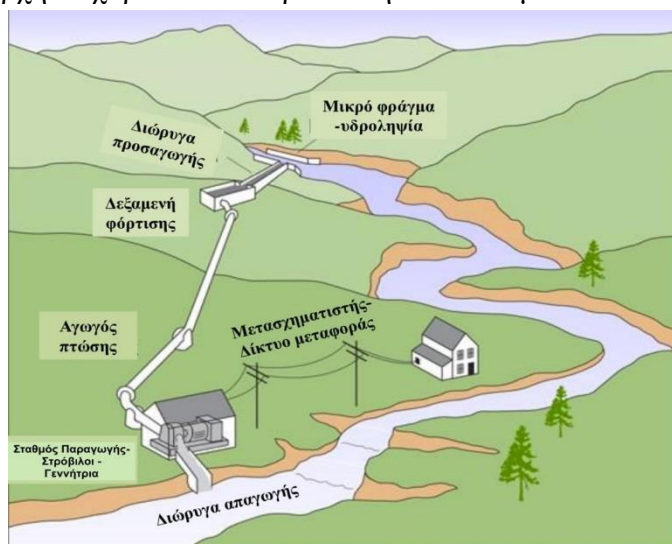
Άλλα τεχνικά έργα σε ένα Μ.Υ.Η.Ε. πάνω στην κοίτη είναι ο υπερχειλιστής, η υδροληψία, ο αγωγός προσαγωγής, ο εκκενωτής πυθμένα, η λεκάνη ηρεμίας και η ιχθυόσκαλα.

3.9.2 Μ.Υ.Η.Ε. εκτός κοίτης

Τα υδραυλικά έργα αυτού του είδους συνήθως κατασκευάζονται πάνω στους παραποτάμους, οι οποίοι τοπογραφικά παρέχουν μεγάλες υψομετρικές διαφορές. Έτσι οι ιδανικές τοποθεσίες για αυτά τα υδροηλεκτρικά βρίσκονται σε ορεινές περιοχές με απότομες κλίσεις και μόνιμη ροή νερού. Σε αυτού του τύπου έργα δεν είναι απαραίτητη η κατασκευή του φράγματος αλλά κάποια άλλα τεχνικά έργα.

Το σημείο υδροληψίας στα έργα αυτά βρίσκεται αρκετά μέτρα μακριά από τον σταθμό παραγωγής της ενέργειας, ώστε να εξασφαλιστεί μεγαλύτερη υψομετρική διαφορά και κατ' επέκταση το μεγαλύτερο κατά το δυνατόν ύψος πτώσης για το νερό.

Η εκτροπή σε μικρό έργο υδροληψίας γίνεται μέσω καναλιού βαρύτητας, με ελεύθερη επιφάνεια και μικρή κλίση, το οποίο ονομάζεται διώρυγα εκτροπής ή προσαγωγής. Η τελευταία είναι συνήθως τραπεζοειδούς ή ορθογωνικής διατομής. Αναγκαίο είναι να υπάρχει στην αρχή εσχάρα που επιτρέπει την είσοδο μόνο στα λεπτόκοκκα φερτά (< 12 χιλιοστά). Επίσης υπάρχει εξαμωτής στον οποίο καθιζάνουν τα λεπτόκοκκα φερτά που πέρασαν από την εσχάρα. Κατασκευάζεται και μια δεξαμενή φόρτισης με σκοπό την ομαλή λειτουργία του αγωγού και τον στροβίλων. Μετά την δεξαμενή φόρτισης η ροή του νερού εισέρχεται στον αγωγό πτώσης, ο οποίος συνήθως είναι χαλύβδινος ή πλαστικός σωλήνας που μεταφέρει το νερό υπό πίεση.



Εικόνα 3.9.1 Τοπική διάταξη τύπου run-of-river Μ.Υ.Η.Ε.

Πηγή: (Μαμάσης κ.ά., 2018, μορφοποιημένο).

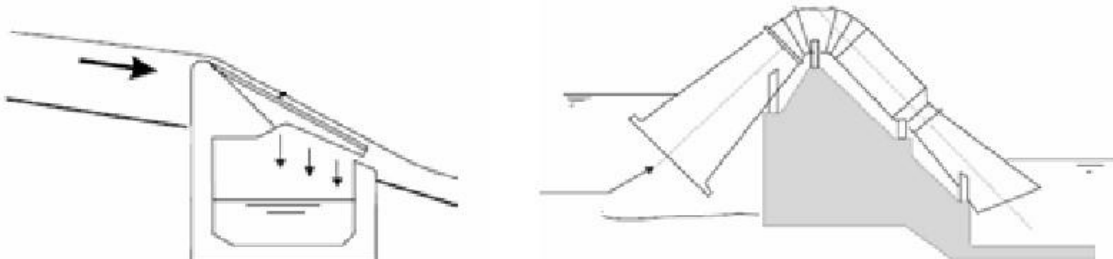
3.10 Επιμέρους τεχνικά έργα Μ.Υ.Η.Ε.

Τα βασικά επιμέρους τεχνικά έργα είναι η υδροληψία (intake), το σύστημα προσαγωγής και ο σταθμός παραγωγής (power house).

3.10.1 Υδροληψία

Το πρώτο τεχνικό έργο από ανάντη είναι η υδροληψία, με το οποίο αποσπάται η ενεργειακά εκμεταλλεύσιμη παροχή από την πηγή του νερού, που συνήθως στα μικρά υδροηλεκτρικά είναι το φυσικό υδατόρευμα.

Όταν το νερό προέρχεται από φυσικό υδατόρευμα εφαρμόζονται δύο τύποι υδροληψίας, η ορεινή (tyrolean intake), η πλευρική (side intake). Ενώ σε περιπτώσεις αξιοποίησης νερού από υφιστάμενο ταμιευτήρα ή κανάλι εφαρμόζεται η υδροληψία τύπου σίφωνα (siphon intake).



Εικόνα 3.10.1 Τυπική τομή υδροληψίας ορεινού τύπου (αριστερά) και τύπου σίφωνα (δεξιά)

(Πηγή: ESHA, 1998)

Η υδροληψία σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε ένα μέρος της παροχής να αποδίδεται απευθείας στο φυσικό υδατόρευμα προκειμένου να μην επηρεαστεί η υδάτινη πανίδα. Επίσης, μόνο όταν απαιτείται κατασκευάζεται η ιχθυόσκαλα (fish ladder), ένα ειδικό τεχνικό έργο για τη διευκόλυνση της μετακίνησης των ψαριών κατά μήκος της κοίτης. Στις πλευρικές υδροληψίες, για την εκκένωση των φερτών, προβλέπεται η τοποθέτηση θυροφραγμάτων στον αναβαθμό.

Όταν πρόκειται για Μ.Υ.Η.Ε. πάνω στην κοίτη υπάρχει και ο εκκενωτής πυθμένα, μέσω του οποίου εκκενώνεται ο ταμιευτήρας σε περίπτωση ανάγκης ή συντήρησης. Συχνά μέσω του εκκενωτή πυθμένα διοχετεύεται η οικολογική παροχή για την συντήρηση του οικοσυστήματος κατάντη της εγκατάστασης.

Το εκμεταλλεύσιμο νερό διοχετεύεται με ελεύθερη ροή στον εξαμμωτή (disilter), ουσιαστικά σε μία δεξαμενή καθίζησης. Εκεί κατακρατούνται τα φερτά ελάχιστης διαμέτρου (η διάμετρο αυτή καθορίζεται από τις προδιαγραφές του στροβίλου).

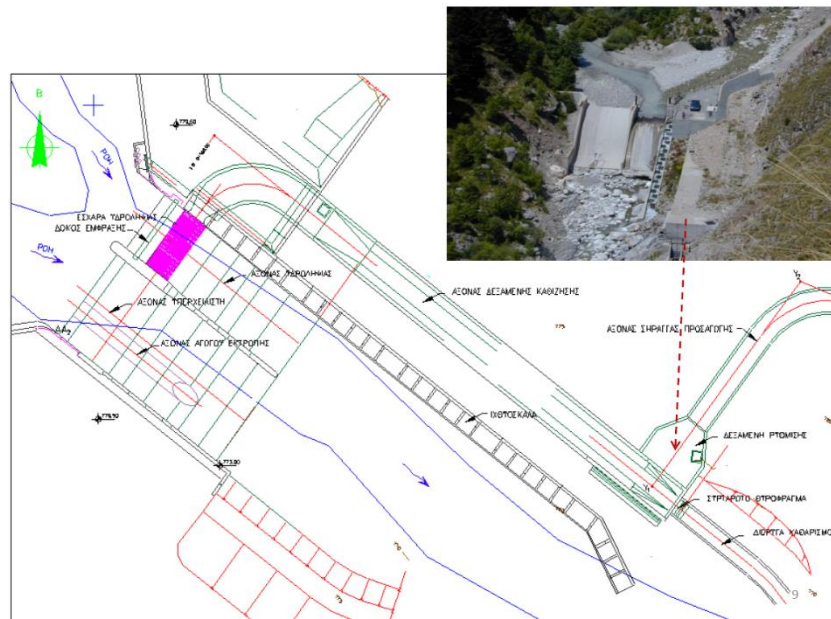
Κατάντη του εξαμμωτή κατασκευάζεται η δεξαμενή φόρτισης (forebay), σχεδιασμένη έτσι ώστε να κατοχυρώνονται οι κατάλληλες υδραυλικές συνθήκες εισόδου στον υπό πίεση αγωγό προσαγωγής (μη εισροή αέρα που μπορεί να

δημιουργήσει προβλήματα σπηλαιώσης). Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται τα προηγούμενα τεχνικά μέρη της υδροληψίας ενός ΜΥΗΕ.



Εικόνα 3.10.2 Διαδρομές νερού και φερτών

(Πηγή: Διαφάνειες Μαθήματος Α.Π.Ε., Ευστρατιάδης κ.ά., 2022)



Εικόνα 3.10.3 Τεχνικό σχέδιο ποής νερού και φερτών σε ΜΥΗΕ

(Πηγή: Διαφάνειες Μαθήματος Α.Π.Ε., Ευστρατιάδης κ.ά., 2022)

3.10.2 Σύστημα Προσαγωγής

Το κυριότερο τεχνικό έργο του συστήματος προσαγωγής είναι ο αγωγός μεταφοράς της παροχής στο στρόβιλο. Το υλικό κατασκευής και η διάμετρος του αγωγού επιλέγονται με τεχνοοικονομικά κριτήρια και το μήκος του μπορεί να είναι από μερικές εκατοντάδες μέτρα έως μερικά χιλιόμετρα.

Ο αγωγός προσαγωγής κατασκευάζεται από χάλυβα, συνθετικά υλικά (PVC, GRP), οπλισμένο ή άοπλο σκυρόδεμα. Η επιλογή του καταλληλότερου υλικού βασίζεται σε μία βελτιστοποίηση που αφορά τις επιτόπου συνθήκες της περιοχής της εγκατάστασης, τις πιέσεις, τις κατασκευαστικές δυνατότητες και τα μέσα που διατίθενται. Βασικά κριτήρια για την επιλογή διαμέτρου η ελαχιστοποίηση των υδραυλικών απωλειών και του κόστους, όπως και η διατήρηση της ταχύτητας σε ακριβή επίπεδα (1 - 5 m/s). Συνήθως επιλέγονται δύο ή τρεις διαφορετικές κατηγορίες διαμέτρου με σκοπό τη μείωση της μεταφοράς (μπαίνει ο μικρότερος σωλήνας μέσα στον μεγαλύτερο).

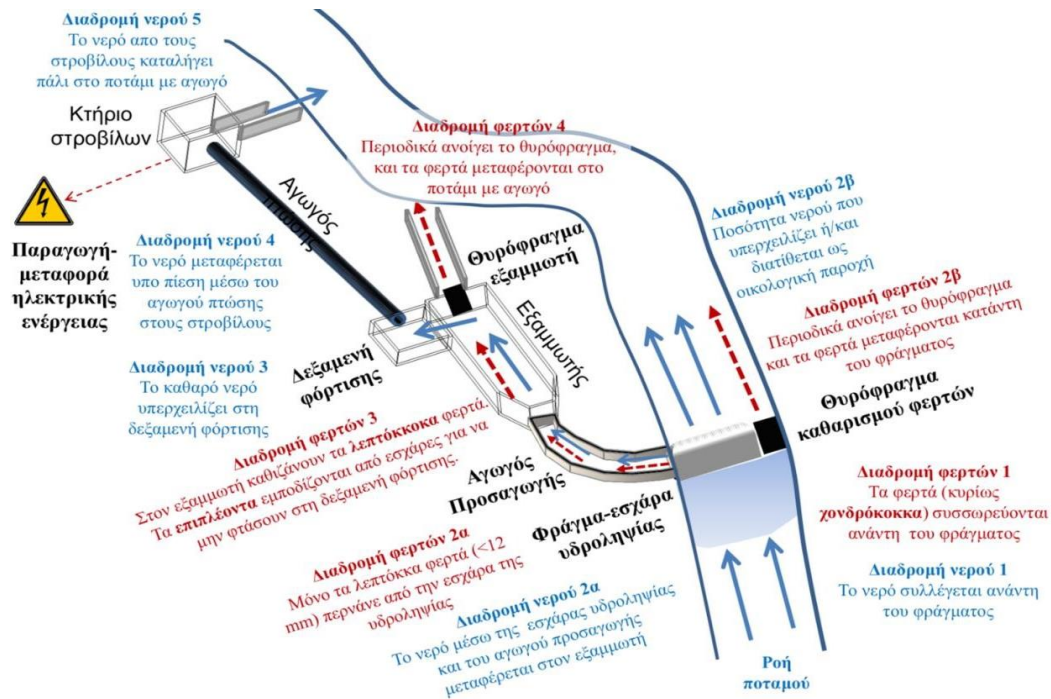
Η εγκατάσταση του αγωγού γίνεται υπόγεια ή επιφανειακά. Παράλληλα στον αγωγό προσαγωγής τοποθετούνται και οι απαραίτητες καλωδιώσεις για τον τηλεέλεγχο των θυροφραγμάτων της υδροληψίας από το σταθμό παραγωγής.

Υπάρχουν και κάποια αναγκαία συνοδευτικά τεχνικά έργα του αγωγού όπως οι εξαεριστικές βαλβίδες και οι βαλβίδες εκκένωσης φερτών, στα υψηλά και στα χαμηλά σημεία της χάραξης.

Οι υψηλές πιέσεις που αναπτύσσονται στον αγωγό προσαγωγής, συμπεριλαμβανομένων των υπερπιέσεων πλήγματος, συντελούν στην ανάπτυξη μεγάλων ωστικών δυνάμεων στις θέσεις όπου υπάρχουν γωνίες ή αλλαγές διαμέτρου. Για την ευστάθεια του αγωγού κατασκευάζονται αγκυρώσεις (thrust blocks) από σκυρόδεμα με τα οποία μεταφέρονται οι ωθήσεις στο έδαφος.

3.10.3 Σταθμός Παραγωγής

Σταθμός παραγωγής ονομάζεται το μέρος όπου τερματίζει το σύστημα προσαγωγής και εγκαθίσταται ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός: οι στρόβιλοι, οι γεννήτριες, οι μετασχηματιστές και ο εξοπλισμός τηλεελέγχου του έργου. Ο τύπος και το πλήθος των στρόβιλων επιλέγεται με βάση την παροχή, το ύψος πτώσης και το βέλτιστο σενάριο λειτουργίας του σταθμού, δηλαδή μέγιστη παραγόμενη ενέργεια με ελάχιστη εγκατεστημένη ισχύς και μεγιστοποίηση οφέλους. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι υδροστρόβιλων είναι οι: Francis, Kaplan, Pelton και Turgo. Θα γίνει λόγος για τον καθένα ξεχωριστά παρακάτω. Κατά την έξοδο του νερού από τον στρόβιλο εναποτίθενται στη φυσική ροή του υδατορεύματος μέσω της διώρυγας φυγής. Η τελευταία είναι σχεδιασμένη ώστε να υπάρχουν ομαλές συνθήκες ελεύθερης ροής και να αποφεύγεται το φαινόμενο της σπηλαιώσης για τους υδροστρόβιλους αντίδρασης (Kaplan, Francis).



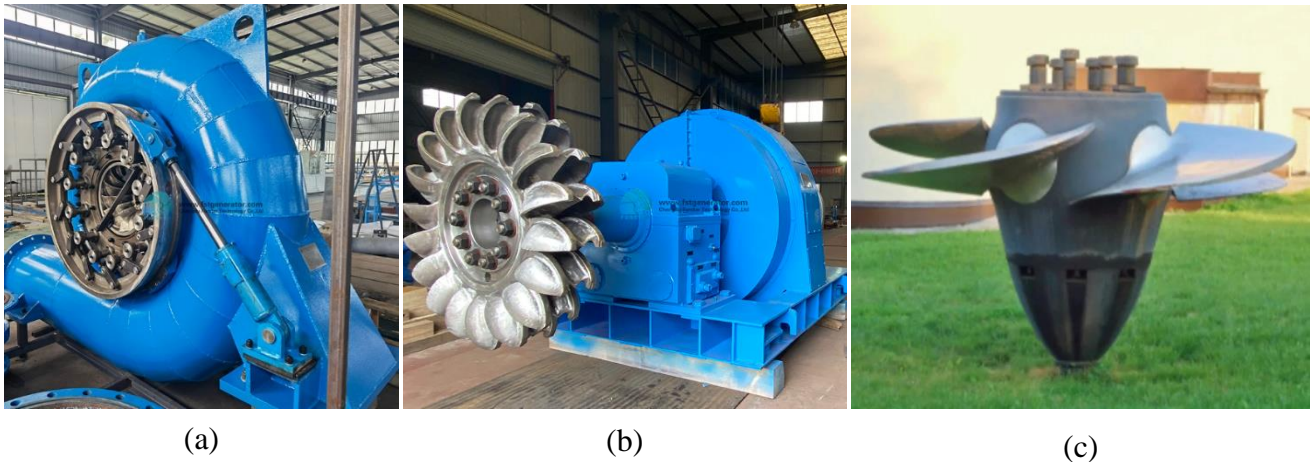
Εικόνα 3.10.4 Διαδρομές νερού και φερτών σε διάταξη run-of-river

(Πηγή: Διαφάνειες Μαθήματος Α.Π.Ε., Ευστρατιάδης κ.ά., 2022)

3.11 Υδροστρόβιλοι – Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός

3.11.1 Ιστορική αναδρομή και εξέλιξη των υδροστροβίλων

Ο νερόμυλος είναι ο πρόδρομος των σύγχρονων υδροστροβίλων. Οι ρίζες του συναντώνται αρχικά στην αρχαία Ελλάδα και ξανασυναντώνται κατά την περίοδο του Μεσαίωνα στην Ευρώπη. Ο πρώτος επιτυχημένος υδροστρόβιλος ήταν κατασκευή του Γάλλου Benoit Fourneyron. Ο James B. Francis σχεδίασε τον πρώτο υδροστρόβιλο ακτινικής ροής, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε ευρέως λόγω της εξαιρετικής του απόδοσης. Αργότερα κατά το δεύτερο μισό του 19^{ου} αιώνα ο Lester A. Pelton φέρνει σε κυκλοφορία τον υδροστρόβιλο τύπου Pelton. Το 1913 ο Victor Kaplan επινόησε την κατασκευή υδροστρόβιλου με προπέλα. Οι υδροστρόβιλοι αυτοί, όπως είναι φανερό, πήραν και το όνομα τους από τον επινοητή τους.



Εικόνα 3.11.1 Υδροστρόβιλοι Francis (a), Pelton (b) και Kaplan (c).

(Πηγές: <https://tinyurl.com/bdcrzf7e> , <https://tinyurl.com/yx5y3fp6>)

3.11.2 Ορισμοί – Πεδίο εφαρμογών

Οι υδροστρόβιλοι είναι οι «βοηθητικές» μηχανές μέσω των οποίων μετατρέπεται η ενέργεια του υγρού, μέσω της κινητήριας ροπής στη στρεφόμενη άτρακτο της πτερωτής, σε μηχανική ενέργεια. Συνήθως, ένας υδροστρόβιλος αποτελείται από ένα τροχό με πτερύγια τοποθετημένο μέσα σε ένα κέλυφος με αγωγό προσαγωγής και απαγωγής. Το εισερχόμενο νερό μπαίνει με πίεση μέσα στον υδροστρόβιλο, προσκρούει πάνω στα πτερύγια και προκαλεί την κίνησή του.

Οι υδροστρόβιλοι χρησιμοποιούνται για να μετατρέπουν την υδραυλική ενέργεια, που δίνει η υψομετρική διαφορά μιας υδάτινης πτώσης, σε μηχανικό έργο. Στη συνέχεια αυτό το έργο μέσω δυναμοηλεκτρικών μηχανών μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η απόδοσή των υδροστροβίλων, σήμερα, είναι δυνατόν να φτάσει μέχρι και 90%. Επίσης, η αποκτώμενη ισχύς είναι δυνατό να μεταδοθεί απευθείας είτε με ιμάντες στον άξονα εγκατεστημένων επί τόπου διαφόρων μηχανημάτων είτε μέσω γεννητριών να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία μεταφέρεται με τις γραμμές υψηλής τάσης σε μεγάλες αποστάσεις.

3.11.3 Τύποι υδροστροβίλων

Υπάρχουν δύο είδη υδροστροβίλων, ανάλογα το βαθμό αντιδράσεως. Υδροστρόβιλοι δράσεως ονομάζονται εκείνοι των οποίων η εσωτερική στεφάνη κινείται λόγω της πλήξεως που υφίσταται στο νερό. Το νερό δρα επί της στεφάνης με την κινητική του ενέργεια και μετατρέπεται εξολοκλήρου σε κινητική. Ο τύπος

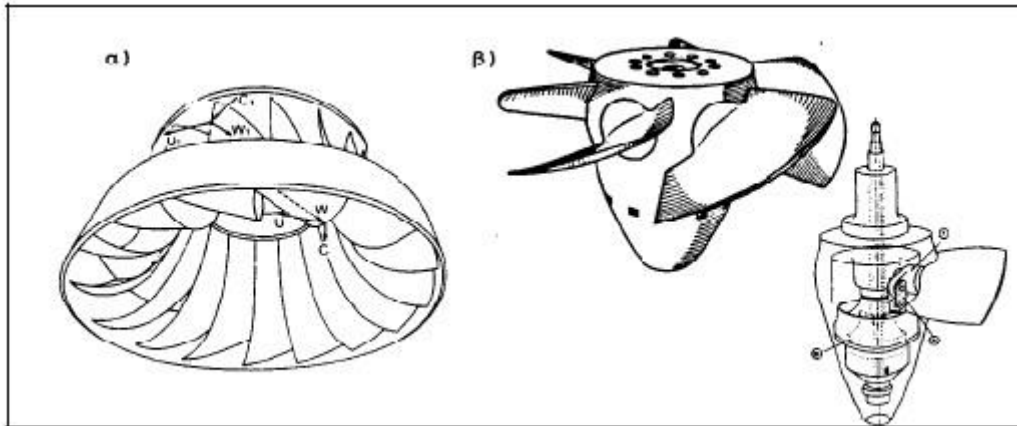
υδροστρόβιλου δράσης που έχει επικρατήσει μέχρι σήμερα είναι ο υδροστρόβιλος τύπου Pelton.

Αντιθέτως όταν το νερό δρα με πίεση λόγω του φορτίου του, τότε ο υδροστρόβιλος ονομάζεται αντιδράσεως. Σ' εκείνους η σταθερή διανέμουσα στεφάνη μετατρέπει κατά ένα μέρος την πτώση σε ταχύτητα. Μερικοί από τους υδροστρόβιλους αντίδρασης που έχουν επικρατήσει είναι οι υδροστρόβιλοι τύπου Francis, Deriaz, Kaplan. Οι υδροστρόβιλοι τύπου Francis είναι ακτινικής και μεικτής ροής και είναι κατάλληλοι για μεσαίες τιμές της υδραυλικής πτώσης ($H = 50 \text{ m}$ έως 500 m περίπου), ενώ οι υδροστρόβιλοι αξονικής ροής (Kaplan κ.α.) είναι κατάλληλοι για την αξιοποίηση μικρών υδραυλικών πτώσεων ($H < 50 \text{ m}$ περίπου).

Κατασκευαστικά οι υδροστρόβιλοι διακρίνονται σε οριζόντιου άξονα και κατακόρυφου άξονα. Επιπροσθέτως, με κριτήριο την καθοδήγηση του νερού, οι υδροστρόβιλοι διακρίνονται σε αξονικούς, ακτινωτούς και μεικτούς, ενώ με βάση την πίεση διακρίνονται σε υδροστρόβιλους υψηλής πίεσης, υδροστρόβιλους μέσης πίεσης και υδροστρόβιλους χαμηλής πίεσης. Αξονικός ονομάζεται ένας υδροστρόβιλος όταν το νερό οδηγείται με τέτοιο τρόπο στην κινητή στεφάνη ώστε η κυκλοφορία του να γίνεται με κατεύθυνση παράλληλη προς τον άξονα του κινητήρα. Εάν όμως η προσαγωγή του νερού γίνεται κάθετη προς άξονα τότε ο υδροστρόβιλος καλείται ακτινωτός και η απαγωγή του νερού από την κινητή στεφάνη γίνεται κατά οποιαδήποτε κατεύθυνση. Ειδικότερα οι ακτινωτοί υδροστρόβιλοι διακρίνονται σε δύο τύπους: τον κεντρομόλο και τον φυγοκεντρικό.

3.11.3.1 Στρόβιλοι Αντίδρασης

Οι υδροστρόβιλοι αντίδρασης έχουν την δυνατότητα μεταβολής της κλίσης των πτερυγίων, η οποία προσδίδει στον υδροστρόβιλο ευελιξία, ώστε να λειτουργεί με τον μέγιστο βαθμό απόδοσης σε διάφορες συνθήκες ύψους πτώσης και παροχής. Από κατασκευαστικής πλευράς αυτό αυξάνει σημαντικά το κόστος και την πολυπλοκότητα της μηχανής ωστόσο δίνεται στον υδροστρόβιλο το σημαντικό πλεονέκτημα λειτουργίας με καλό βαθμό απόδοσης σε εκτεταμένη περιοχή λειτουργίας. Στην Εικόνα 3.11.2 που ακολουθεί αποτυπώνονται σχηματικές μορφές πτερωτών υδροστρόβιλων Francis και αξονικής ροής.



Εικόνα 3.11.2 Σχηματικές μορφές πτερωτών υδροστροβίλου Francis (α) και Αξονικής ροής (β).

(Πηγή: Σούλης, 1995).

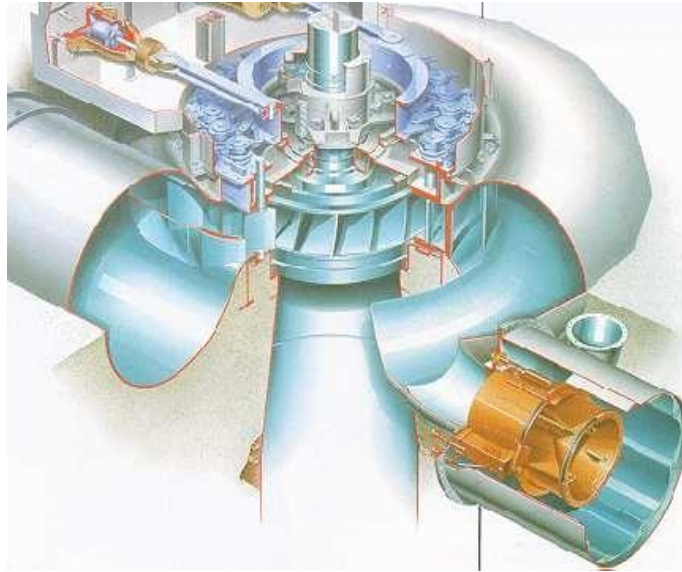
Επιπροσθέτως, προκειμένου να μειωθεί η κινητική ενέργεια του νερό στην έξοδο του στροβίλου, τοποθετείται κωνικός σωλήνας ή διαχύτης μεταξύ του στροβίλου και της επιφάνειας του νερού (draft tube). Οι στροβίλοι αντίδρασης εξασφαλίζουν υψηλότερο βέλτιστο βαθμό απόδοσης σε σχέση με τους στροβίλους δράσης, αλλά για μικρότερη περιοχή παροχών (Μάργαρης, 2015).

Ευρέως διαδεδομένος κύριος τύπος υδροστροβίλων αντίδρασης, όπως προαναφέρθηκε, είναι ο Francis. Πρόκειται για έναν υδροστρόβιλο αξονικής ή μεικτής ροής και χρησιμοποιείται συνήθως για μεσαίου μεγέθους ύψη (60 m έως 150 m) και μεσαίες παροχές. Ο υδροστρόβιλος Kaplan είναι επίσης υδροστρόβιλος αντίδρασης, παρομοίως ευρέως διαδεδομένος και αποτελεί στρόβιλο αξονικής ροής. Χρησιμοποιείται συνήθως σε υδροηλεκτρικά έργα επί της κοίτης, με μικρά ύψη πτώσης νερού (≤ 30 m) και μεγάλες παροχές.

Με σκοπό την επίτευξη της ομοιόμορφης τροφοδοσίας και λειτουργίας της πτερωτής, το τμήμα της εισόδου περιβάλλει την πτερωτή και έχει τη μορφή σπειροειδούς κελύφους (όπως στις φυγόκεντρες αντλίες).

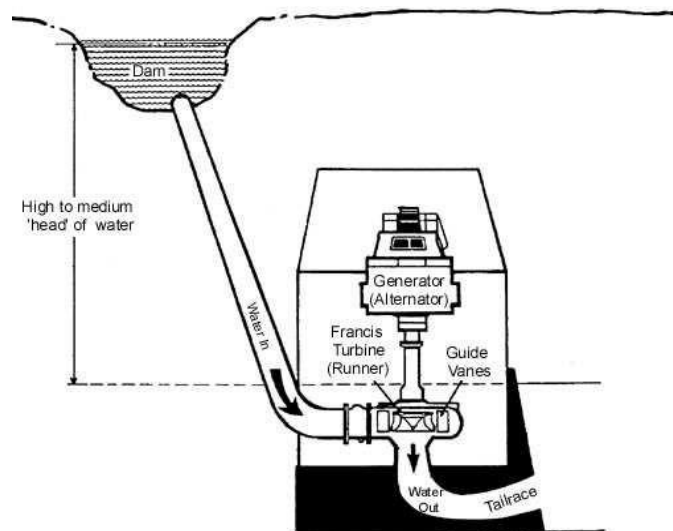
3.11.3.1.1 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ ΤΥΠΟΥ FRANCIS

Ο υδροστρόβιλος Francis είναι ένας μεικτού τύπου ροής στρόβιλος με ακτινική εισροή νερού και αξονική εκροή. Αυτός ο τύπος υδροστρόβιλου χρησιμοποιείται για πιεζομετρικά φορτία μεταξύ 10 και 100 μέτρων. Ουσιαστική διαφορά σε σχέση με τον υδροστρόβιλο τύπου Pelton, έγκειται στο γεγονός ότι στους υδροστροβίλους τύπου Francis (αλλά και σε αυτούς του τύπου Kaplan), ο κινητήρας είναι ολόκληρος βυθισμένος στο νερό και ότι η πίεση και η ταχύτητα του νερού μειώνονται από την είσοδο στην έξοδο.



Εικόνα 3.11.3 Υδροστρόβιλος τύπου Francis

(Πηγή: Σούλης, 1995)



Εικόνα 3.11.4 Διαμόρφωση υδροστροβίλων τύπου Francis

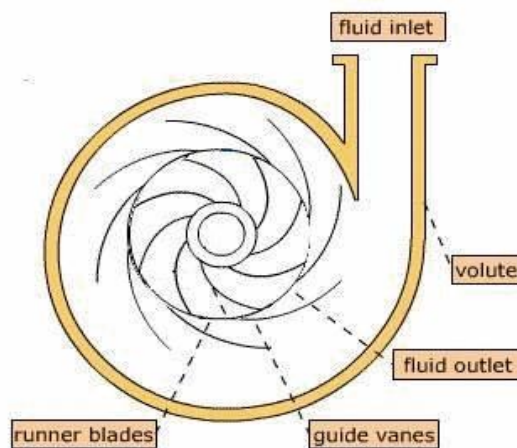
(Πηγή: www.energotech.gr)

Το νερό πρώτα μπαίνει στη σπείρα, ένα δακτυλιοειδές κανάλι γύρο από τον κινητήρα, και στη έπειτα ρέει μεταξύ των σταθερών κατευθυντήριων βανών, προσδίδοντας στο νερό τη βέλτιστη διεύθυνση ροής. Στη συνέχεια, εισέρχεται στον κινητήρα, που είναι ολοκληρωτικά βυθισμένος και αλλάζει την ορμή του νερού, προκαλώντας αντίδραση στο στρόβιλο. Τα πτερύγια είναι κατασκευασμένα και τοποθετημένα έτσι ώστε η ενέργεια του νερού να μετατρέπεται καθαρά σε κινητική

ενέργεια και να μην καταναλώνεται σε φαινόμενα στροβιλισμού ή να υπάρχουν άλλες απώλειες ενέργειας.

Με τη χρήση ενός υδροστροβίλου του τύπου Francis, η πίεση κατάντη είναι πάνω από το μηδέν. Για την αντιμετώπιση του υδραυλικού πλήγματος (το οποίο προφανώς είναι ανεπιθύμητο) εξαιτίας της απότομης αλλαγής της ροής του νερού, τοποθετούνται βαλβίδες ανακούφισης της πίεσης. Ακόμη, μειώνοντας την αύξηση της πίεσης, οι βαλβίδες ανακούφισης της πίεσης αποτρέπουν τη συσσώρευση φερτών στους σωλήνες. Στην εικόνα που παρατίθενται παρακάτω φαίνονται όλες οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες ενός υδροστροβίλου Francis.

Οι πιο ισχυροί υδροστροβίλοι Francis έχουν τη δυνατότητα να αποδώσουν περισσότερα από 800 MW και εκμεταλλεύονται υπέρογκα ποσά υδάτινων αποθεμάτων.

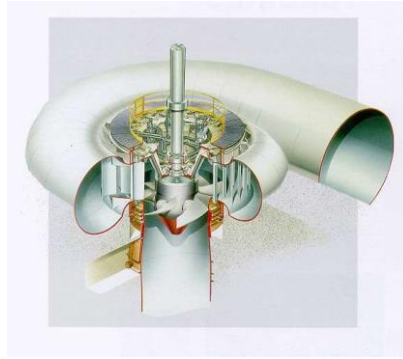


Εικόνα 3.11.5 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες υδροστροβίλου τύπου Francis

(Πηγή: www.geocities.com)

3.11.3.1.2 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ ΤΥΠΟΥ ΚΑΡΛΑΝ

Κατά τη διάρκεια των πρώτων ετών του 20^{ου} αιώνα η ζήτηση για μεγαλύτερες τιμές της ισχύος, οδήγησε στην επινόηση του στροβίλου Kaplan, ο οποίος θεωρείται κατάλληλος σε χαμηλά πιεζομετρικά φορτία και υψηλές παροχές νερού. Η ιδέα βασίστηκε σε μία προπέλα, η οποία λειτουργεί αντίστροφα από μία προπέλα πλοίου. Το νερό στον Kaplan ρέει διαμέσου της προπέλας και θέτει τον έλικα σε περιστροφή.

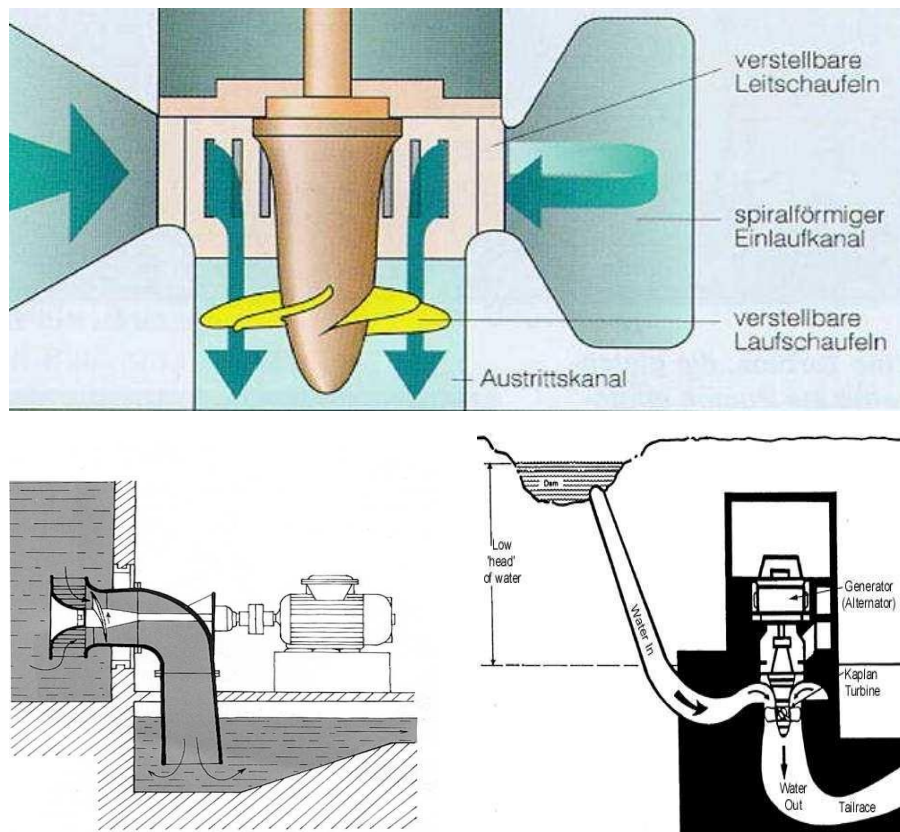


Εικόνα 3.11.6 Υδροστρόβιλος τύπου Kaplan

(Πηγή: Σούλης, 1995)

Σε αυτόν τον υδροστρόβιλο το νερό εισέρχεται πλευρικά στο στρόβιλο, έπειτα εκτρέπεται από τα κατευθυντήρια περύγια και ρέει αξονικά μέσω της προπέλας (στρόβιλοι αξονικής ροής). Συγκριτικά με τους υδροστρόβιλους ακτινικής ροής υπερτερούν σε ό,τι αφορά στην τεχνολογική προσαρμοστικότητα της γωνίας των περυγίων όταν η ζήτηση σε ισχύ αλλάζει, πράγμα που συμβάλλει στην αύξηση της απόδοσης της παραγόμενης ισχύος.

Οι υδροστρόβιλοι Kaplan κατασκευάζονται σε πολλά διαφορετικά σχέδια και οι εφαρμογές τους περιορίζονται κυρίως σε πιεζομετρικά φορτία από 1 έως περίπου 30 μέτρα. Για αυτό απαιτείται μεγάλη ροή σε σύγκριση με στροβίλους υψηλών πιεζομετρικών φορτίων για να επιτευχθεί η επιθυμητή απόδοση. Για αυτό άλλωστε οι υδροστρόβιλοι τύπου Kaplan είναι συγκριτικά μεγαλύτεροι. Εξαιτίας των προσαρτημένων περυγίων, η κατασκευή του υδροστροβίλου Kaplan κατέστη πιο πολύπλοκη.



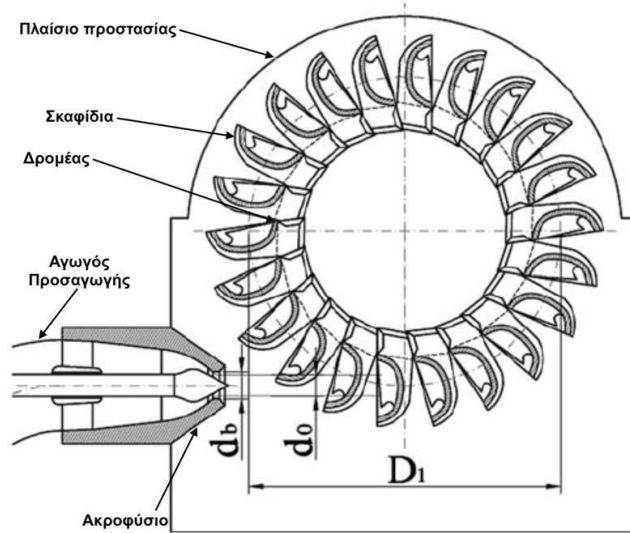
Εικόνα 3.11.7 Διαμόρφωση υδροστροβίλων τύπου Kaplan

(Πηγή: <http://sfrang.com/historia/selida625.htm>)

3.11.3.2 Στρόβιλοι Δράσης

Οι υδροστρόβιλοι δράσης είναι υδροστρόβιλοι μερικής προσβολής και για διάφορους οικονομοτεχνικούς λόγους προτιμώνται σε περιπτώσεις με πολύ υψηλή ενέργεια ανά μονάδα μάζας του ρευστού σε συνδυασμό με μικρές παροχές.

Οι στροβιλομηχανές δράσης αποτελούνται από έναν δρομέα με σκαφίδια (τα οποία τίθενται σε κίνηση μέσω του νερού) και τα ακροφύσια που εκτοξεύουν το νερό. Τα ακροφύσια αυτά δίνουν στο νερό ταχύτητες που φτάνουν έως και 150 m/s, ενώ οι ταχύτητες στον αγωγό προσαγωγής δεν υπερβαίνουν τα 5-6 m/s. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η δυναμική ενέργεια πτώσης του νερού να μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια και αυτή να μετατρέπεται σε περιφερειακή ταχύτητα του τροχού κατά την πρόσκρουση του νερού στα σκαφίδια. Τα σκαφίδια σχεδιάζονται και κατασκευάζονται με τρόπο ώστε να απορροφούν όσο το δυνατόν γίνεται περισσότερη από την κινητική ενέργεια του νερού και να διατηρούν έτσι την ταχύτητα εξόδου όσο το δυνατό μικρότερη.

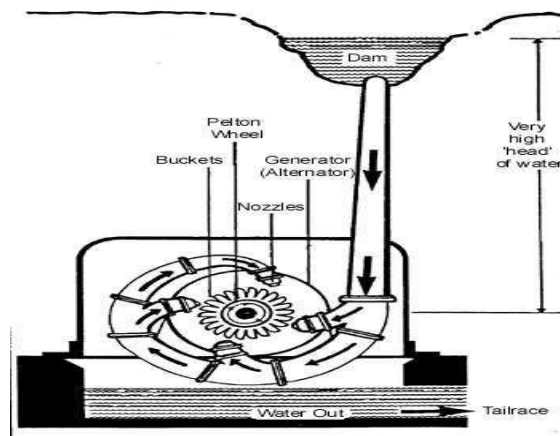


Εικόνα 3.11.8 Σχηματική αναπαράσταση τυπικής διάταξης στροβίλου δράσης

(Πηγή: Rossetti et al., 2013, μορφοποιημένο)

3.11.3.2.1 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ ΤΥΠΟΥ PELTON

Οι υδροστρόβιλοι Pelton κατασκευάζονται και για πολύ μικρές τιμές της ισχύος (της τάξης των kW) και για πολύ μεγάλες (της τάξης των εκατοντάδων MW). Συνήθως, οι υδροστρόβιλοι τύπου Pelton χρησιμοποιούνται σε μεγάλα πιεζομετρικά φορτία, καθώς δεν ενδείκνυται η χρήση τους για χαμηλά πιεζομετρικά φορτία λόγω των μικρών αναπτυσσόμενων περιστροφικών ταχυτήτων. Ωστόσο, εάν το μέγεθος του κινητήρα και η χαμηλή ταχύτητα δεν αποτελούν βασικό αρνητικό κριτήριο για μια εγκατάσταση, τότε ο υδροστρόβιλος Pelton μπορεί να εγκατασταθεί αποδοτικά και σε σχετικά χαμηλότερα πιεζομετρικά φορτία.

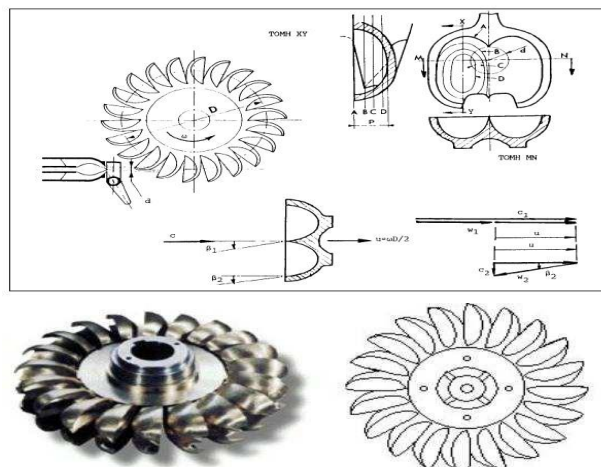


Εικόνα 3.11.9 Τυπική Διάταξη PELTON σε ΜΥΗΕ

(Πηγή: Rossetti et al., 2013, μορφοποιημένο)

Το τμήμα εισόδου του υδροστροβίλου Pelton αποτελείται από ένα ή και περισσότερα ακροφύσια τροφοδοσίας, τα οποία μετατρέπουν την δυναμική ενέργεια σε μηχανική. Η περωτή είναι τοποθετημένη έτσι ώστε κάθε δέσμη του νερού, μετά την πρόσπτωσής της στην περωτή, να πέφτει με τη βαρύτητα στην ελεύθερη επιφάνεια της διώρυγας φυγής.

Ο άξονας της περωτής είναι οριζόντιος ή κατακόρυφος. Στους υδροστροβίλους τύπου Pelton με περισσότερες από μία δέσμες προτιμάται η κατακόρυφη διάταξη του άξονα, για να μην είναι τα ακροφύσια στο ίδιο επίπεδο και να μην παρενοχλείται η λειτουργία τους από τα απόνερα των σκαφιδίων. Το τμήμα εισόδου του υδροστροβίλου Pelton αρχίζει από τη σφαιρική βάνα στο άκρο του αγωγού προσαγωγής και καταλήγει στο ή στα ακροφύσια τροφοδοσίας. Η διάμετρος της περωτής είναι αποτέλεσμα του πλήθους και των διαστάσεων των σκαφιδίων (20-22 σκαφίδια συνήθως). Το τμήμα εξόδου οδηγεί το νερό που πέφτει από την περωτή στη διώρυγα απαγωγής και τέλος στον αποδέκτη.



Εικόνα 3.11.10 Διαμόρφωση σκαφιδίων περωτής Pelton

(Πηγή: www.geocities.com)

3.11.3.2.2 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ ΤΥΠΟΥ TURGO

Ο υδροστροβίλος τύπου Turgo είναι υδροστροβίλος δράσεως και μπορεί να διαχειριστεί μεγαλύτερες παροχές νερού, συγκριτικά με τον υδροστροβίλο Pelton. Αποτελείται από περισσότερα και μακρύτερα ακροφύσια που τοποθετούνται γύρω από την περιφέρεια του δρομέα.

Σημαντικό πλεονέκτημα του υδροστροβίλου Turgo έναντι του Pelton είναι ότι για την ίδια υδραυλική ισχύ και για την ίδια διάμετρο δρομέα η ταχύτητα είναι σχεδόν η διπλάσια. Επομένως, ο βαθμός απόδοσης προσεγγίζει τιμές τύπου 92% και παραμένει υψηλός ακόμα και για παροχές ίσες με το 25% της παροχής σχεδίασης.

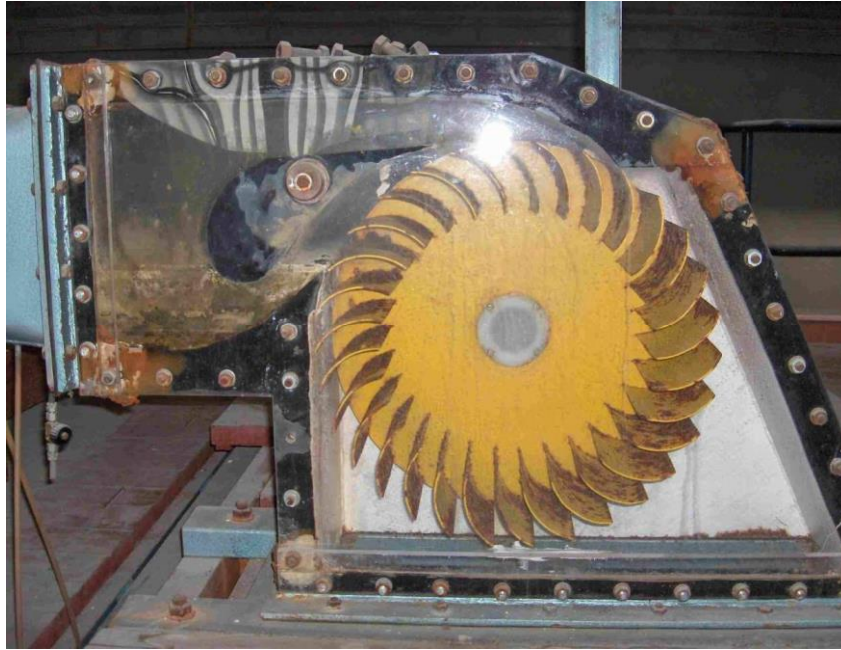


*Εικόνα 3.11.11 Υδροστρόβιλος
Turgo*

(Πηγή: www.geocities.com)

3.11.3.2.3 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ CROSS-FLOW

Ο υδροστρόβιλος Cross-Flow (ή Banki) είναι ένας στρόβιλος δράσης ακτινικού τύπου με χωριστές εισόδους. Εξαιτίας της ειδικής του ταχύτητας κατατάσσεται στους αργόστροφους στροβίλους και για αυτό είναι απόλυτα κατάλληλος σε υδατοπτώσεις με μεγάλες διακυμάνσεις στην παροχή διέλευσης. Η παροχή ελέγχεται από ένα ή δύο ρυθμιστικά πτερύγια, τα οποία κινούνται ανεξάρτητα από χωριστούς μοχλούς που συνδέονται με αυτόματο σύστημα ελέγχου. Το στόμιο εισόδου μετατρέπει την ολική ενέργεια της ροής σε κινητική και τη ροή του νερού με την κατάλληλη κλίση στα πτερύγια του δρομέα. Ο τελευταίος είναι κυλινδρικού σχήματος δακτυλιοειδής και στηρίζεται σε άτρακτο, που τον διαπερνά κεντρικά σε όλο το μήκος του. Αποτελείται από μεταλλικά πτερύγια, που υποβαστάζονται με τα άκρα τους σε δίσκους. Η συνήθης συνολική απόδοση είναι περίπου 80% και σημαντικό είναι πως παραμένει υψηλή για μεγάλο εύρος διακύμανσης της παροχής.



Εικόνα 3.11.12 Υδροστροβίλος Banki ή Cross-Flow

(Πηγή: www.fluid.mech.ntua.gr)

3.12 Νομογραφήματα

Η επιλογή του υδροστροβίλου σε ένα υδροηλεκτρικό έργο βασίζεται αρχικά στο διαθέσιμο πιεζομετρικό φορτίο του νερού και ύστερα στη διαθέσιμη ροή. Γενικά, οι υδροστροβίλοι δράσης χρησιμοποιούνται για έργα με χαμηλό πιεζομετρικό φορτίο και οι υδροστροβίλοι ώθησης για τοποθεσίες με σχετικά υψηλό πιεζομετρικό φορτίο. Ειδικότερα, οι υδροστροβίλοι τύπου Kaplan καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα συνθηκών ροής και πιεζομετρικού φορτίου, πράγμα που οι υπόλοιποι τύποι δεν κάνουν, δεδομένου ότι η μέγιστη απόδοσή τους μπορεί να επιτευχθεί σε πληθώρα περιπτώσεων ροής.

Οι στροβίλοι μικρής ισχύος (κάτω των 10 MW) ενδείκνυται να έχουν οριζόντιους άξονες. Οι μεγάλες κατασκευές τύπου Francis και Kaplan συνήθως σχεδιάζονται και κατασκευάζονται με κάθετους άξονες, διότι έτσι μπορεί να γίνει καλύτερη εκμετάλλευση του διαθέσιμου ύψους πτώσης και εκ παραλλήλως καθίσταται πιο οικονομική η εγκατάσταση της γεννήτριας. Οι στροβίλοι τύπου Pelton φτιάχνονται τόσο με οριζόντιους όσο και με κάθετους άξονες λαμβάνοντας υπόψιν ότι το μέγεθός τους είναι σημαντικά μικρότερο σε σχέση με το διαθέσιμο ύψος.

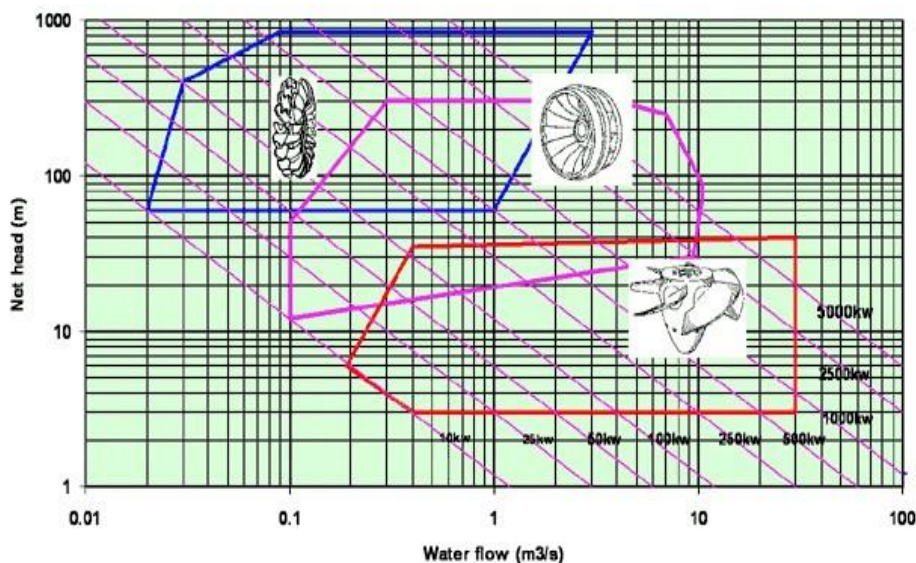
Στη διεθνή βιβλιογραφία (Πίνακας 3.12.1) παρατίθενται ενδεικτικά κάποια στοιχεία (κυρίως το διαθέσιμο πιεζομετρικό φορτίο) βάσει των οποίων επιλέγεται ο καταλληλότερος τύπος υδροστροβίλου για τις ανάγκες των υδραυλικών έργων.

Πίνακας 3.12.1 Τύπος υδροστροβίλου ανάλογα με το πιεζομετρικό φορτίο

Τύπος υδροστροβίλου	Πιεζομετρικό φορτίο H (m)
Karlan	$2 < H < 40$
Francis	$10 < H < 350$
Pelton	$50 < H < 1300$

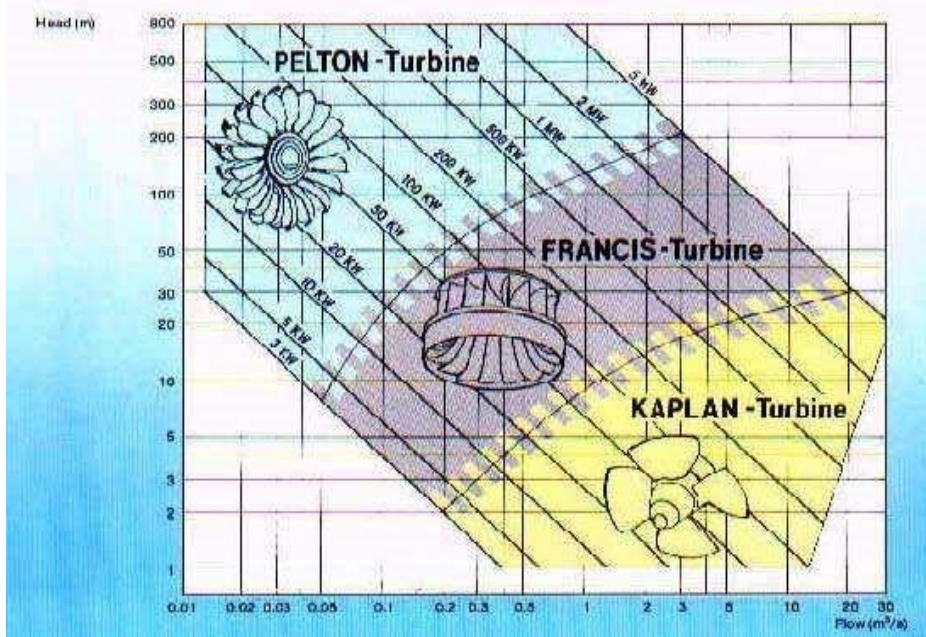
Έχουν αναπτυχθεί, επίσης, κατά καιρούς πάρα πολλά διαγράμματα διάκρισης των βασικών τύπων υδροστροβίλων (κυρίως Pelton, Francis και Karlan) με βάση το φάσμα λειτουργίας κάθε υδροστροβίλου. Πρόκειται για διαγράμματα παροχής – πιεζομετρικού φορτίου, στα οποία υπεισέρχεται και η ισχύς για κάθε τύπο υδροστροβίλου. Τα νομογράφημα αυτά τα οποία προέκυψαν από την αναζήτηση στο διαδίκτυο, παρατίθενται στις σελίδες που ακολουθούν.

TURBOGEN TURBINES RANGE



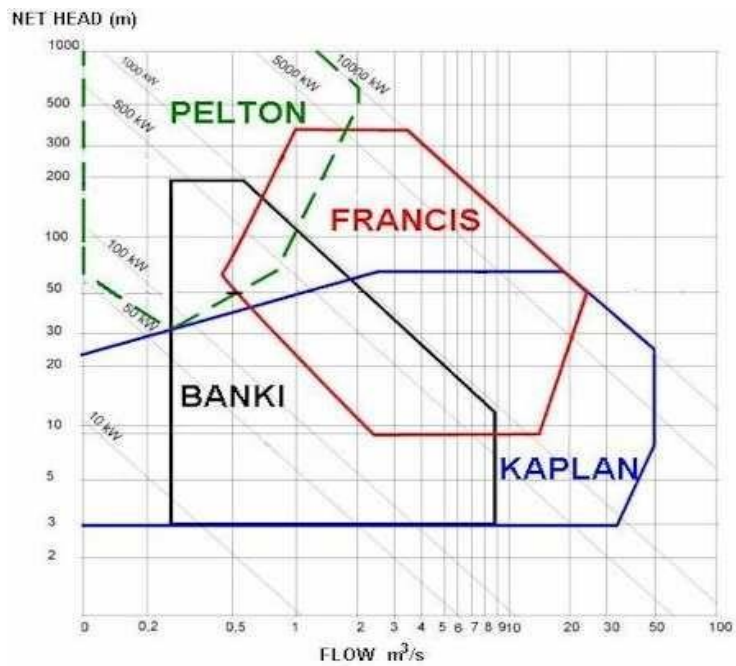
Διάγραμμα 3.12.1 Νομογράφημα Ροής – Καθαρού πιεζομετρικού φορτίου

(Πηγή: www.turbogen-engineering.com)



Διάγραμμα 3.12.2 Νομογράφημα Ροής – Πιεζομετρικού Φορτίου

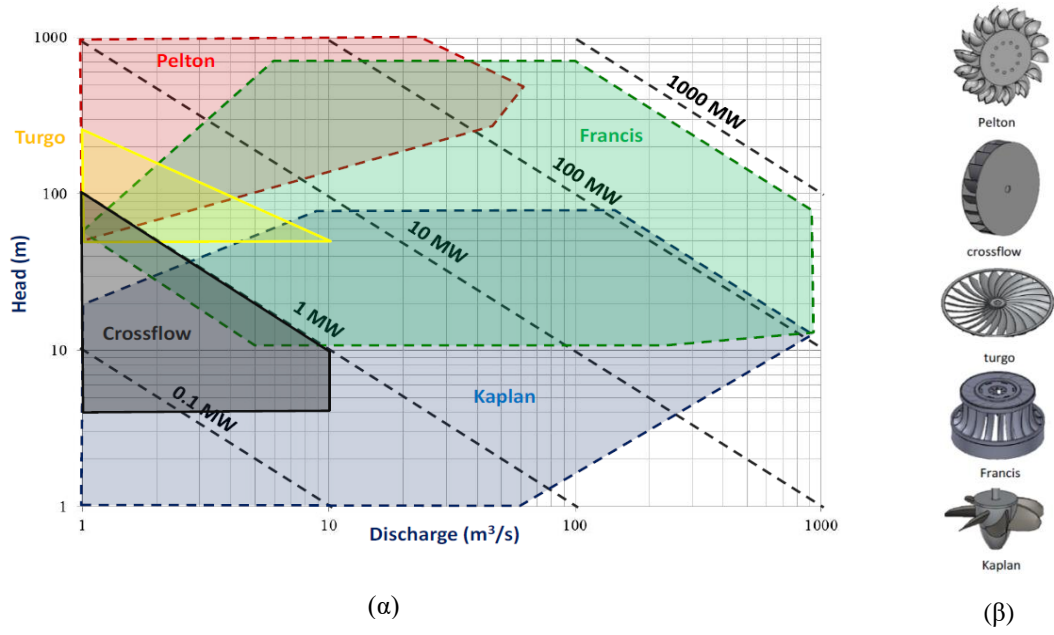
(Πηγή: www.energotech.com)



Διάγραμμα 3.12.3 Νομογράφημα Ροής – Καθαρού πιεζομετρικού φορτίου

(Πηγή: www.Energy.Saving.nu.com)

Τέλος το διάγραμμα που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την διπλωματική κατά κύριο λόγο παρατίθεται παρακάτω (Εικόνα 3.12.1) και δείχνει την επιλογή των υδροστροβίλων με βάση το καθαρό ύψος πτώσης σε σχέση με την παροχή που διατίθεται προς εκμετάλλευση.



Εικόνα 3.12.1 Νομογράφημα Παροχής – Ύψους Πτώσης (α) και περνηγώσεις διαφορετικών τύπων υδροστροβίλων (β).

(Πηγή: Διαφάνειες Μαθήματος Α.Π.Ε., Ευστρατιάδης κ.ά., 2022)



(α)



(β)

Εικόνα 3.12.2 Οι υδροστροβίλοι Francis (α) και Pelton (β).

(Πηγή: National Museum of Science and Technology Leonardo Da Vinci, Milan Italy)

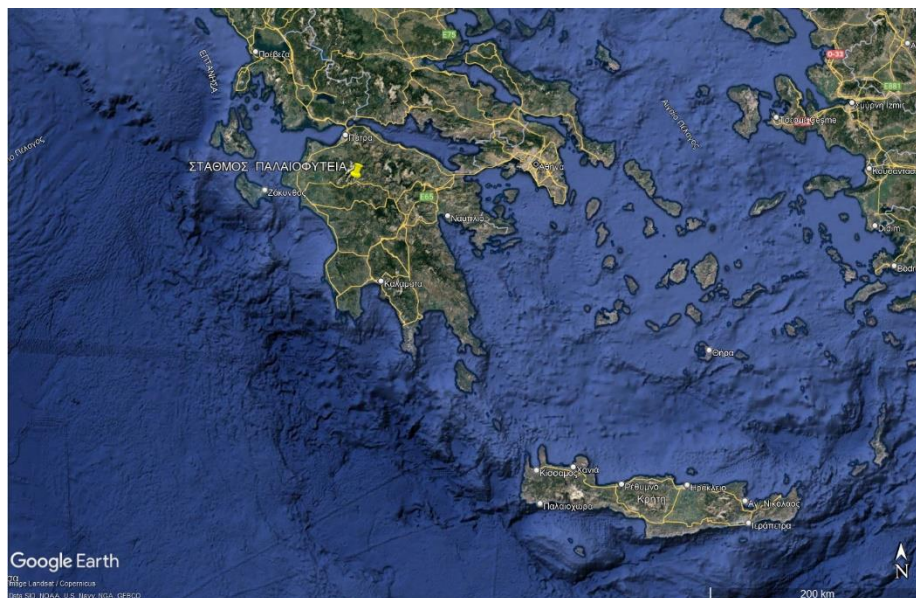
Κεφάλαιο 4 - Εξεταζόμενα Μ.Υ.Η.Ε.

Με σκοπό να επιτευχθεί η ανάλυση και η βελτιστοποίηση βασικών συνιστωσών των μικρών υδροηλεκτρικών έργων έγινε χρήση δεδομένων από ήδη υπάρχοντα έργα. Η επιλογή τους έγινε καθαρά από άποψη παροχής πληροφοριών. Αντλήθηκαν από το διαδίκτυο και πρόκειται για στοιχεία από μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων και από διπλωματικές εργασίες σχεδιασμού ΜΥΗΕ. Τέτοιες μελέτες παρέχουν πληροφορίες παροχών, υψομέτρων και άλλες χρήσιμες για μια ανάλυση μικρού υδροηλεκτρικού.

4.1 Μ.Υ.Η.Ε. Παλαιοφυτείας

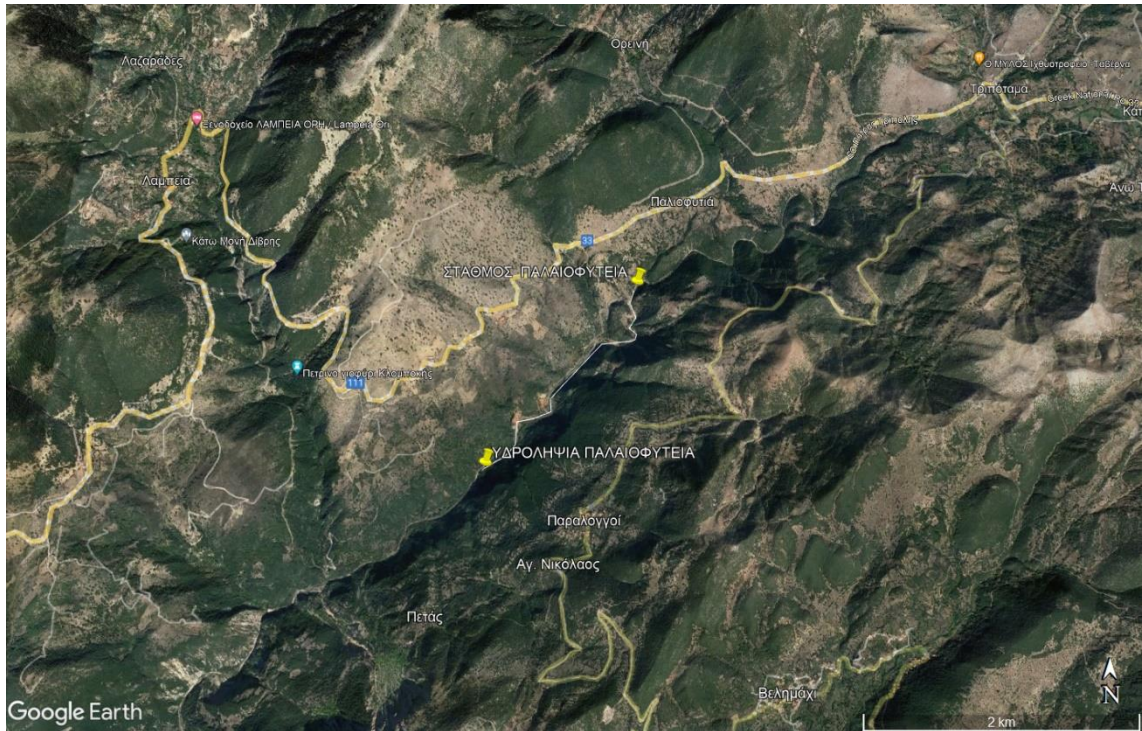
Η **θέση** του έργου εγκατάστασης Μικρού Υδροηλεκτρικού Σταθμού (ΜΥΗΣ) Άνω Ερυμάνθου βρίσκεται στην κοίτη του Ποταμού Άνω Ερυμάνθου εντός των διοικητικών ορίων του Δήμου Αρχαίας Ολυμπίας Δ.Ε. Λάμπειας , του Νομού Ηλείας .

Η **θέση της υδροληψίας** βρίσκεται επί του ποταμού , περίπου 0,52 χιλιόμετρα νοτιοδυτικά του οικισμού Παλαιοφυτεία σε υψόμετρο 482 μέτρα και η **θέση σταθμού παραγωγής** βρίσκεται επί της ανατολικής όχθης του ποταμού , σε απόσταση 0,87 χιλιόμετρα δυτικά του οικισμού Παραλογοί σε υψόμετρο 443 μέτρα. Ο αγωγός προσαγωγής είναι 2400 μέτρα.



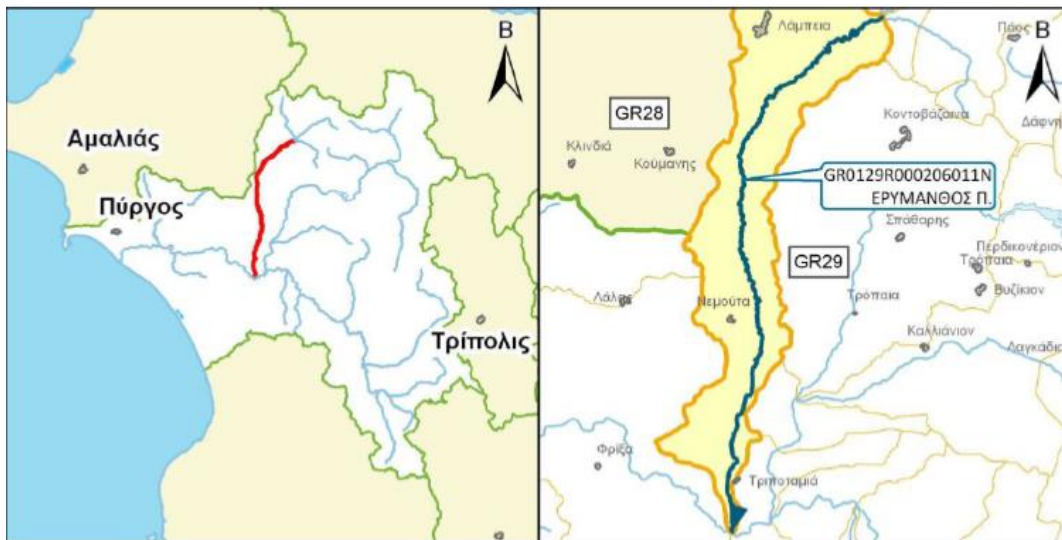
Εικόνα 4.1.1 Θέση ΜΥΗΕ στην Παλαιοφυτεία

(Πηγή: Google Earth)



Εικόνα 4.1.2 Σταθμός-Υδροληψία-Αγωγός ΜΥΗΕ Παλαιοφυτείας

(Πηγή: Google Earth)



Εικόνα 4.1.3 Λεκάνη Απορροής

(Πηγή: ΒΑΣΕΚΡΑΦΤ Α.Ε.)

Η εγκατεστημένη **ισχύς** του έργου είναι 3,33 MW και η μέση ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής **ενέργειας** 11,4 GWh.

Για τον συγκεκριμένο σχεδιασμό (ύψος & παροχή) ο βέλτιστος συνδυασμός τύπων στροβίλου που αποφάσισε η μελετητική ομάδα ότι ενδείκνυται να τοποθετηθεί είναι ο συνδυασμός ενός στροβίλου τύπου Francis οριζόντιου άξονα και ενός στροβίλου Francis διαγώνιου τύπου.

Πίνακας 4.1.1 Βασικά Στοιχεία Υδροστροβίλων

(Πηγή: ΒΑΣΕΚΡΑΦΤ Α.Ε.)

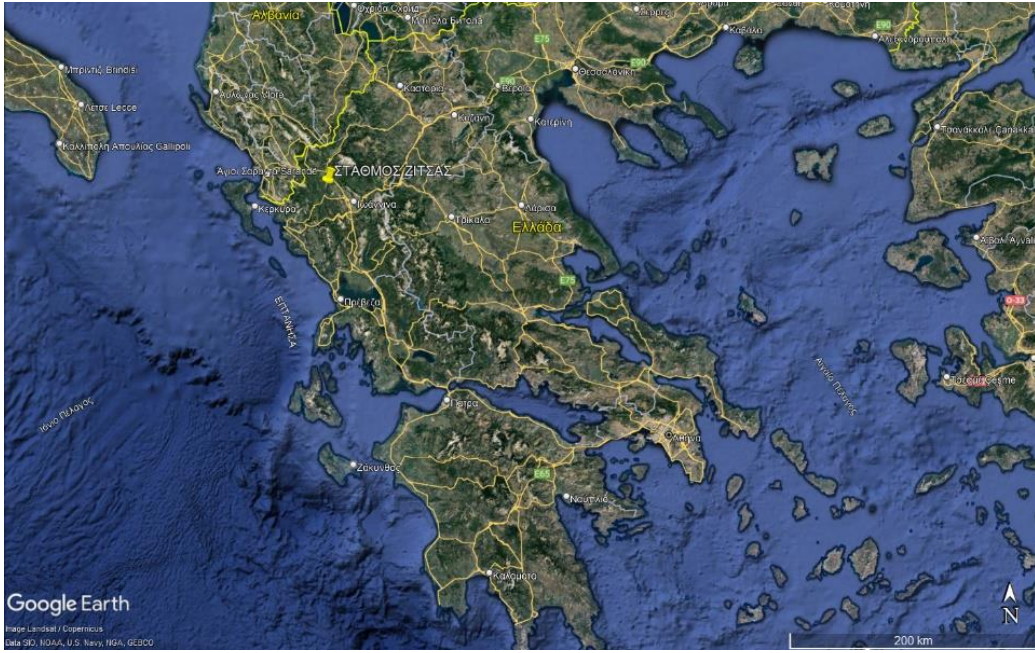
Τύπος Τύπος στροβίλου	Horizontal Francis
Ολικό ύψος (Gross head)	41 m
Ονομαστική παροχή	7 m ³ /s
Καθαρό ύψος στην μέγιστη παροχή (Q _{max Net head})	37 m
Μέγιστη ισχύς στροβίλου	2.165 kW
Βαθμός απόδοσης στροβίλου στη μέγιστη παροχή	90,5%
Ταχύτητα περιστροφής	500 rpm

Τύπος Τύπος στροβίλου	Francis διαγώνιος
Ολικό ύψος (Gross head)	41 m
Ονομαστική παροχή	3 m ³ /s
Καθαρό ύψος στην μέγιστη παροχή (Q _{max Net head})	37 m
Μέγιστη ισχύς στροβίλου	1.165 kW
Βαθμός απόδοσης στροβίλου στη μέγιστη παροχή	90%
Ταχύτητα περιστροφής	500 rpm

4.2 Μ.Υ.Η.Ε. Ζίτσας

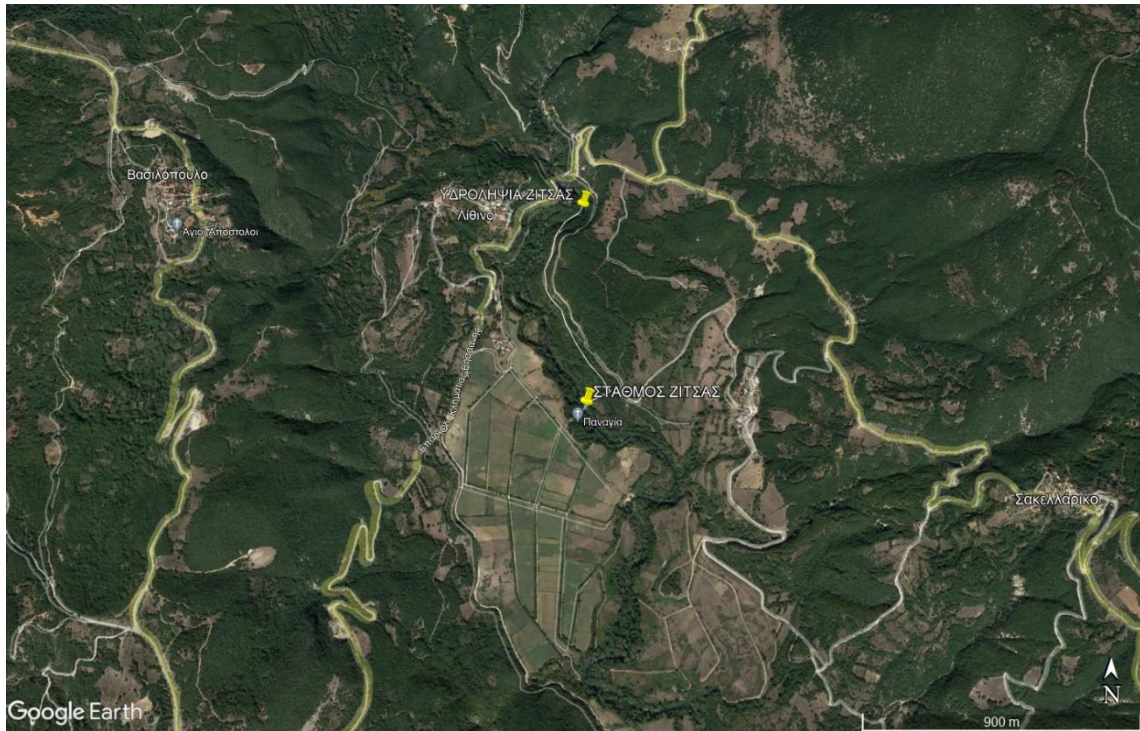
Η **θέση** του Μικρού Υδροηλεκτρικού Σταθμού είναι στον Νομό Ιωαννίνων, στον Δήμο Ζίτσας επί του ποταμού Καλαμά (Θύαμης), στη θέση «Λίθινο» πλησίον του οικισμού Λίθινο.

Στην κοίτη του ποταμού Καλαμά περίπου 200 m κατάντη σε υψόμετρο 220 μέτρα της γέφυρας της επαρχιακής οδού Κληματιάς - Βήσσανης βρίσκεται η **θέση της υδροληψίας**, πλαϊνού τύπου μέσω ρουφράχτη από σκυρόδεμα. Το νερό μέσω εξαμμοωτή διοχετεύεται με αγωγό προσαγωγής μήκους 944 m στον Υδροηλεκτρικό **Σταθμό Παραγωγής** (ΥΗΣ) στο αριστερό αντέρεισμα του ποταμού Καλαμά (Θύαμης) σε υψόμετρο 196 μέτρα. Στο κτίριο του ΥΗΣ θα βρίσκεται οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής. Το νερό μετά τη διόδό του από τη μονάδα θα παροχετεύεται στον ποταμό Καλαμά μέσω της διάρυγας φυγής.



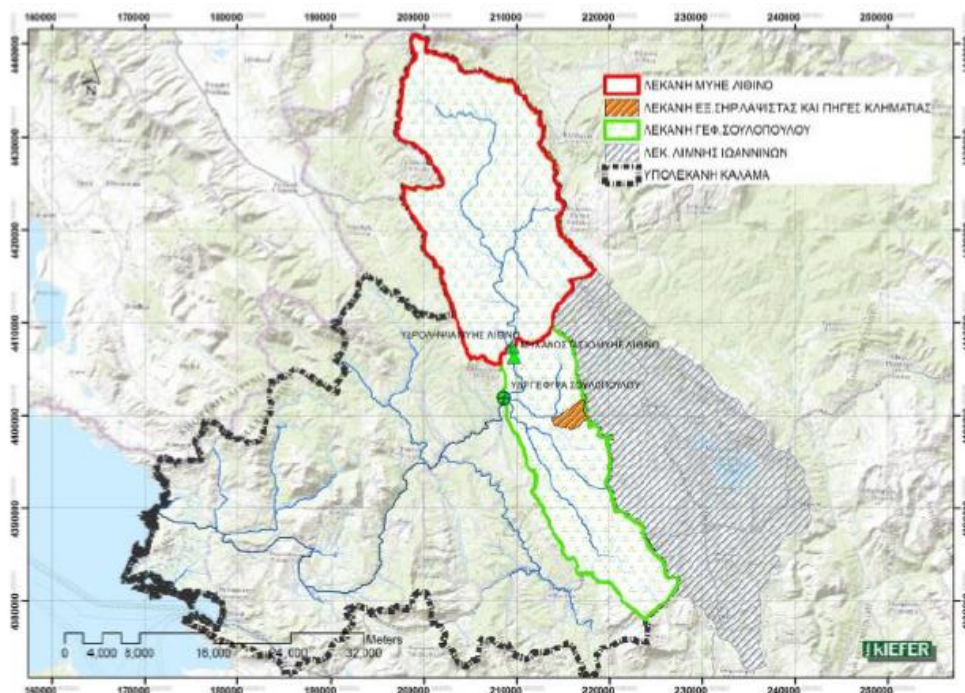
Εικόνα 4.2.1 Θέση ΜΥΗΕ Ζίτσας

(Πηγή: Google Earth)



Εικόνα 4.2.2 Σταθμός-Υδροληψία-Αγωγός ΜΥΗΕ Ζίτσας

(Πηγή: Google Earth)



Εικόνα 4.2.3 Λεκάνη Απορροής

(Πηγή: GREEN POWER M.I.K.E.)

Η εγκατεστημένη **ισχύς** του έργου είναι 4,8 MW και η μέση ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής **ενέργειας** περίπου 14 GWh.

Στον υδροηλεκτρικό σταθμό επιλέχθηκαν ένα ενεργειακό συγκρότημα 4,8MW αποτελούμενο από δύο υδροστρόβιλους τύπου Kaplan S-Type, γεννήτριες σύγχρονες απευθείας συνδεδεμένες στους στροβίλους, πίνακα αυτοματισμών, μετασχηματιστή, κυψέλες μέσης τάσης και άλλα.

Πίνακας 4.2.1 Βασικά στοιχεία Υδροστροβίλων

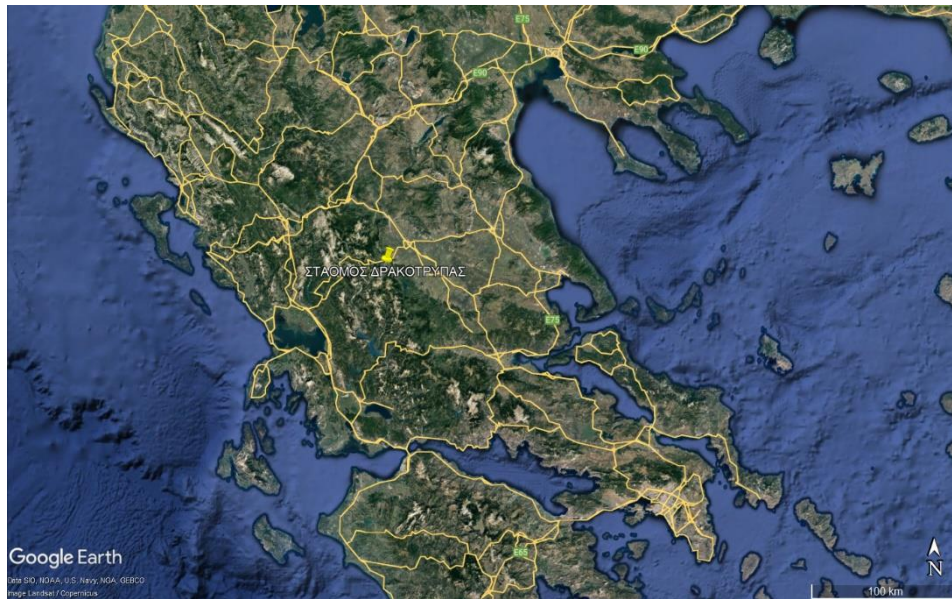
(Πηγή: GREEN POWER M.I.K.E.)

Χρησιμοποιούμενη υψομετρική διαφορά	24m
Καθαρό ύψος πτώσης (στη μεγ. παροχή)	21.48m
Μέγιστη παροχή	13,015 m ³ /s έκαστος
Ταχύτητα Περιστροφής	600r.p.m
Ισχύς	2400kW

4.3 Μ.Υ.Η.Ε. Δρακότρυπας

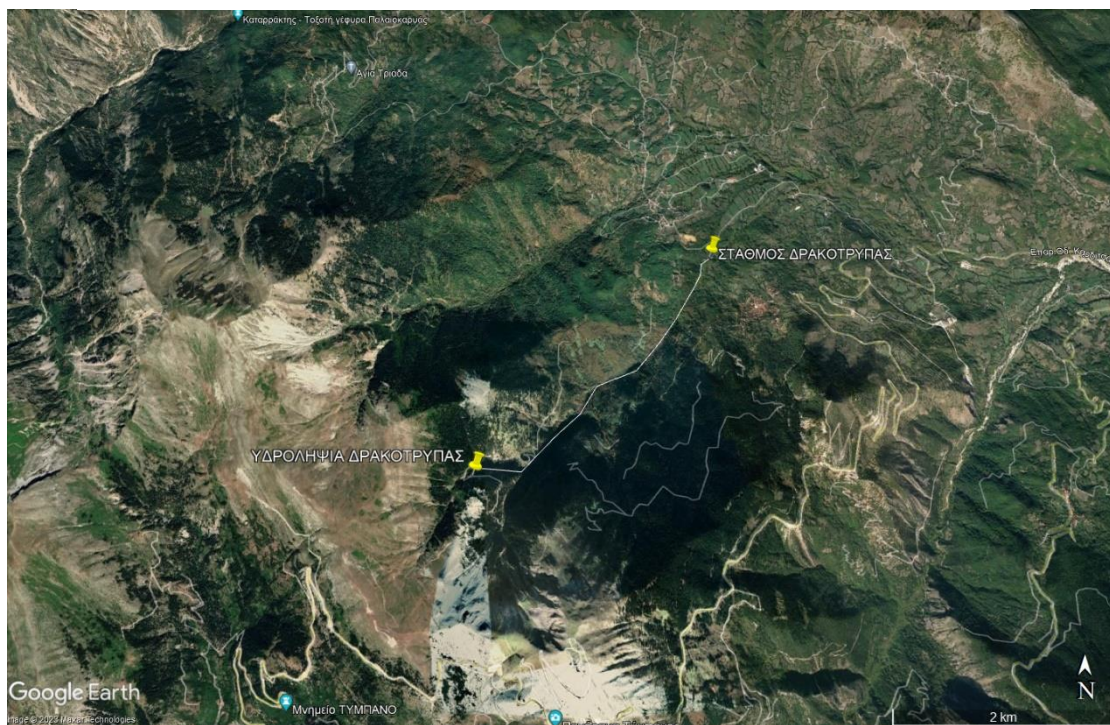
Η **θέση** του Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου (ΜΥΗΕ) βρίσκεται στη Δρακότρυπα και πρόκειται για μια εγκατάσταση εκμετάλλευσης της διαθέσιμης παροχής νερού του ρέμα Κακόρρεμα (run of-river).

Η θέση της κύριας υδροληψίας βρίσκεται σε υψόμετρο 900 μέτρα και του υδροηλεκτρικού σταθμού σε υψόμετρο 408 μέτρα. Ο αγωγός πίεσης του νερού έχει συνολικό μήκος 3.831 μέτρα.



Εικόνα 4.3.1 Θέση ΜΥΗΕ Δρακότρυπας

(Πηγή: Google Earth)



Εικόνα 4.3.2 Σταθμός-Υδροληψία-Αγωγός ΜΥΗΕ Δρακότρυπας

(Πηγή: Google Earth)



Εικόνα 4.3.3 Λεκάνη Απορροής

(Πηγή: ΥΔΡΟΦΛΙΑΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ Μ.ΕΠΕ)

Η εγκατεστημένη ισχύς του έργου είναι 1,68 MW και η ετήσια παραγωγή ενέργειας που αποδίδεται στο δίκτυο ανέρχεται σε 3,1 GWh.

Στον υδροηλεκτρικό σταθμό επιλέχθηκε να εγκατασταθεί στρόβιλος τύπου Pelton οριζοντίου άξονα.

Πίνακας 4.3.1 Βασικά Στοιχεία Υδροστρόβιλου

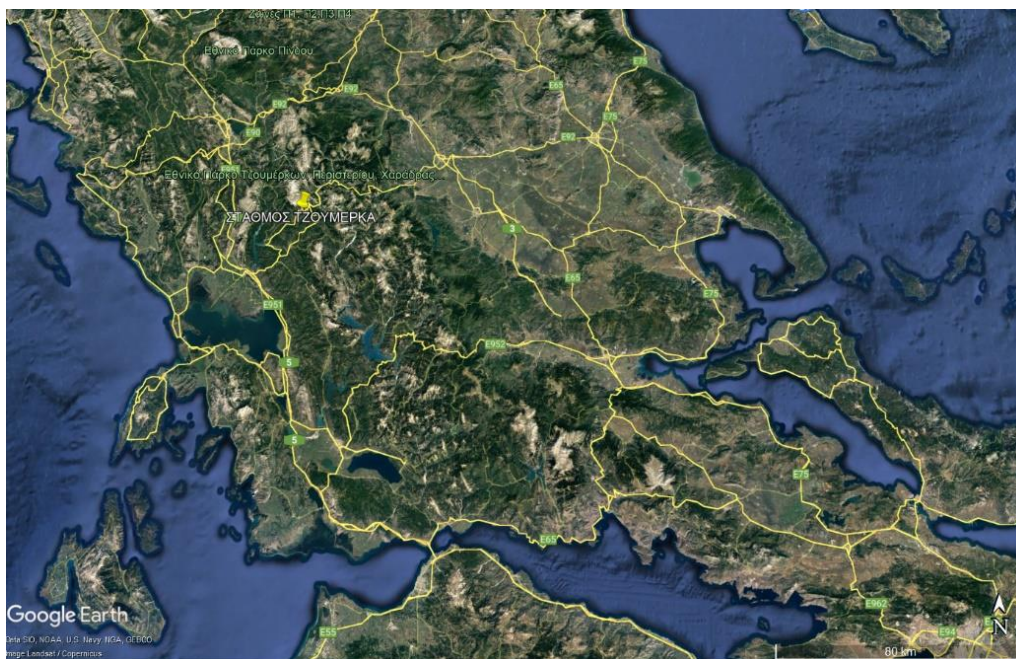
(Πηγή: ΥΔΡΟΦΛΙΑΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ Μ.ΕΠΕ)

Στρόβιλος	Pelton οριζοντίου άξονα
Αριθμός ακροφυσίων	2
Καθαρό ύψος πτώσης (στη μεγ. παροχή)	478 m
Μέγιστη παροχή	0,40 m ³ /s
Ταχύτητα Περιστροφής	1.500 r.p.m
Ισχύς	1.680 kW

4.4 Μ.Υ.Η.Ε. Κάμπου Τζουμέρκων

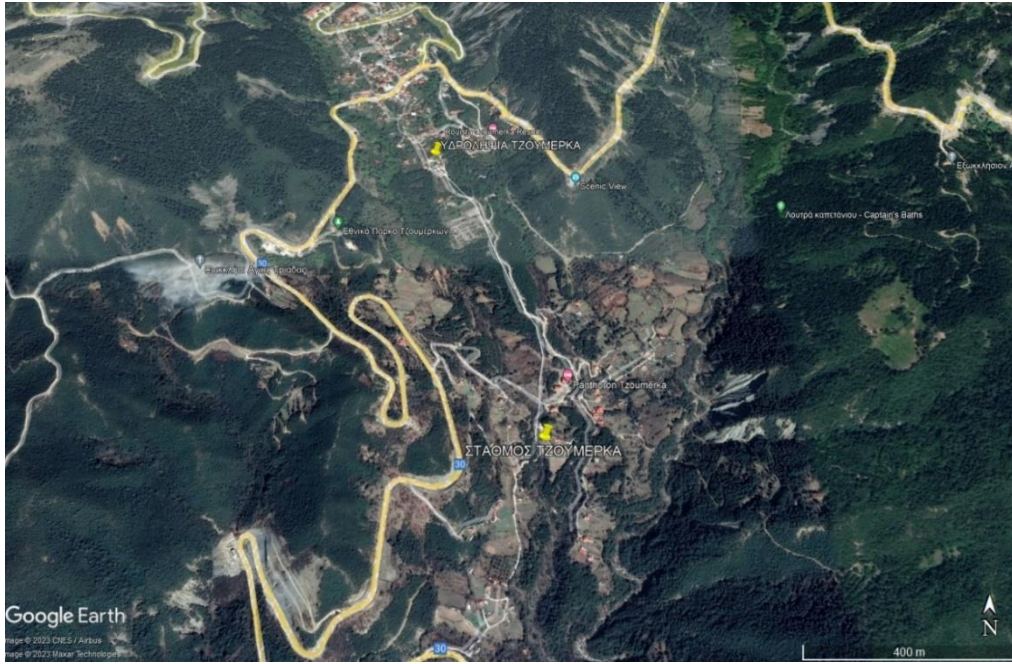
Η θέση του Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου Κάμπος βρίσκεται επί του υδατορέματος δίπλα στους οικισμούς Βουργαρέλη και Παλαιοχώρι της Δημοτικής Ενότητας Αθαμανίας του Δήμου Κεντρικών Τζουμέρκων της Περιφερειακής Ενότητας Άρτας. Η ευρύτερη περιοχή του έργου βρίσκεται σε απόσταση περί τα 58 χιλιόμετρα νοτιοανατολικά της πόλης της Άρτας.

Η θέση της υδροληψίας είναι σε υψόμετρο 688 μέτρα και του υδροηλεκτρικού σταθμού στα 598 μέτρα. Τα νερά του ρέματος πλησίον του οικισμού Βουργαρελίου συλλέγονται μέσω της υδροληψίας και οδηγούνται στον εξαμμοτή και ύστερα στην δεξαμενή φόρτισης, από όπου θα ξεκινά ο αγωγός πίεσης του νερού, συνολικού μήκους 950 μέτρα. Η υδροληψία πρόκειται για ένα μικρό υπερπηδητό φράγμα.

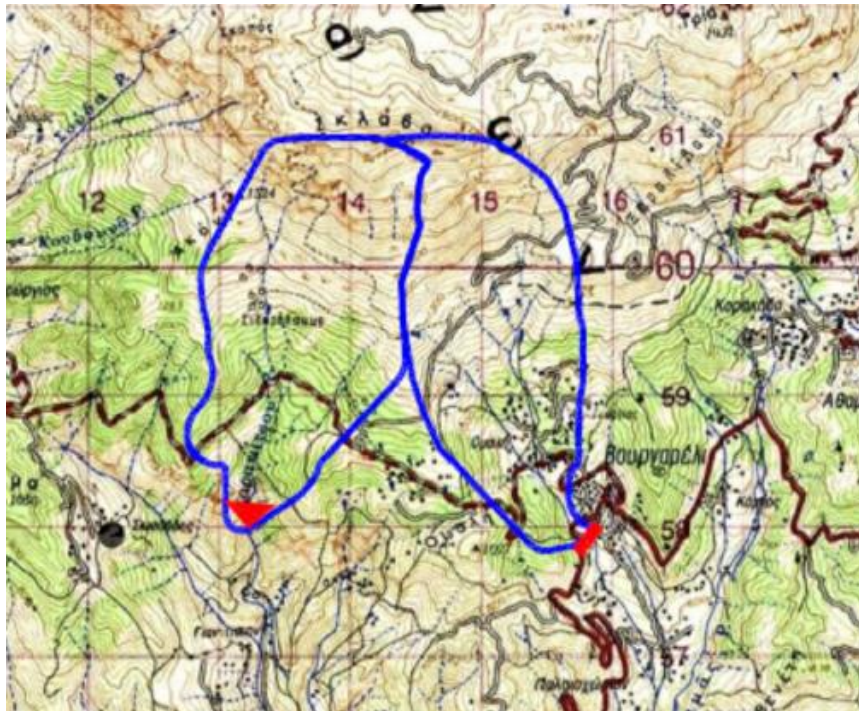


Εικόνα 4.4.1 Θέση ΜΥΗΕ Κάμπου Τζουμέρκων

(Πηγή: Google Earth)



Εικόνα 4.4.2 Σταθμός-Υδροληγία-Αγωγός ΜΥΗΕ Τζουμέρκων
(Πηγή: Google Earth)



Εικόνα 4.4.3 Λεκάνη Απορροής
(Πηγή: Παναγιώτα Κούρτη ΜΠΕ ΜΥΗΕ Κ. Τζουμέρκων)

Η εγκατεστημένη **ισχύς** του έργου ανέρχεται σε 0,440 MW και η ετήσια παραγωγή **ενέργειας** ανέρχεται σε 1,40 GWh.

Στο κτίριο του υδροηλεκτρικού σταθμού έχει εγκατασταθεί στρόβιλος τύπου Pelton κατακόρυφου άξονα.

Πίνακας 4.4.1 Βασικά Στοιχεία Υδροστρόβιλου

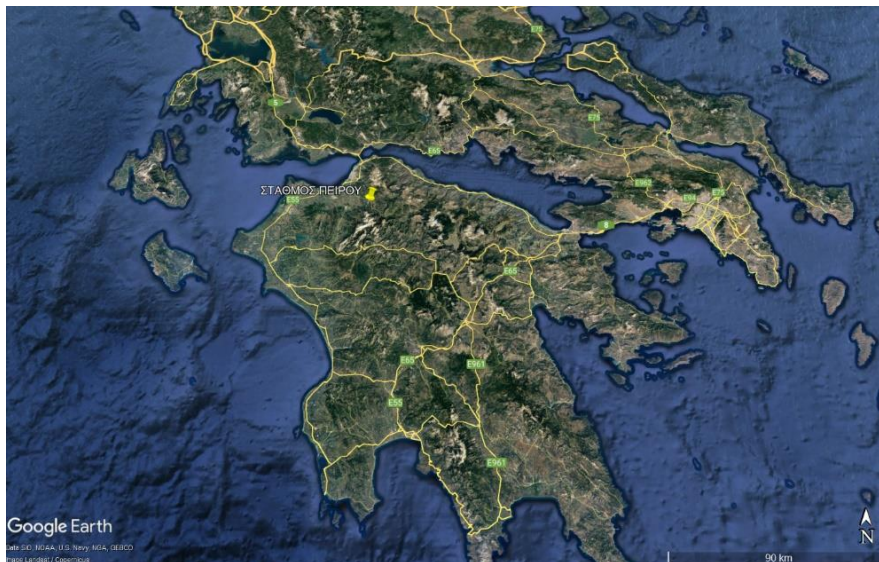
(Πηγή: Παναγιώτα Κούρτη ΜΠΕ ΜΥΗΕ Κ. Τζουμέρκων)

Στρόβιλος	Pelton κατακόρυφου άξονα
Αριθμός ακροφυσίων	5
Καθαρό ύψος πτώσης (στη μεγ. παροχή)	86,40 m
Μέγιστη παροχή	0,57 m ³ /s
Ταχύτητα Περιστροφής	600 r.p.m
Ισχύς	440 kW

4.5 Μ.Υ.Η.Ε. Πείρου

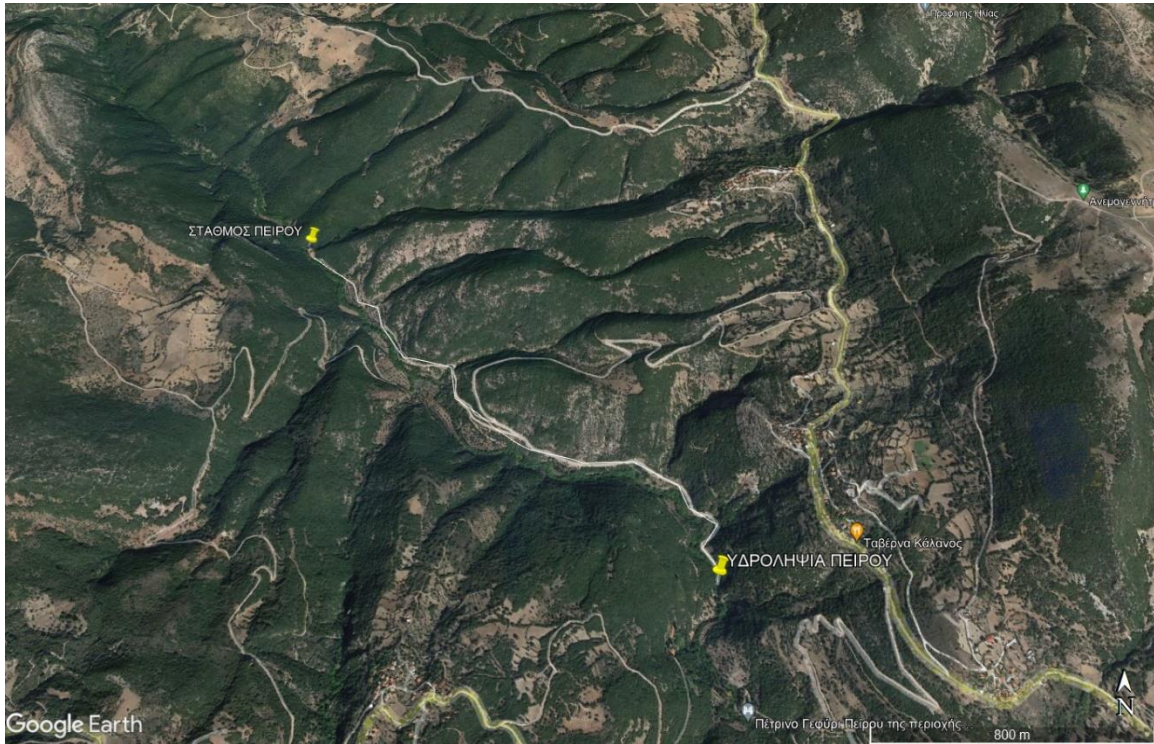
Η **θέση** του έργου βρίσκεται στον ποταμό Πείρο, ανάμεσα στους οικισμούς Χρυσοπηγής και Καλάνου, του Δήμου Φαρρών του Νομού Αχαΐας.

Η **θέση της υδροληψίας** βρίσκεται σε υψόμετρο 425 μέτρων και αποτελείται από μικρό υπερπηδητό φράγμα ορεινού τύπου από σκυρόδεμα. Ο αγωγός προσαγωγής του νερού είναι συνολικού μήκους 2720 μέτρα. Τέλος, ο **σταθμός** παραγωγής βρίσκεται σε υψόμετρο 345 μέτρων.



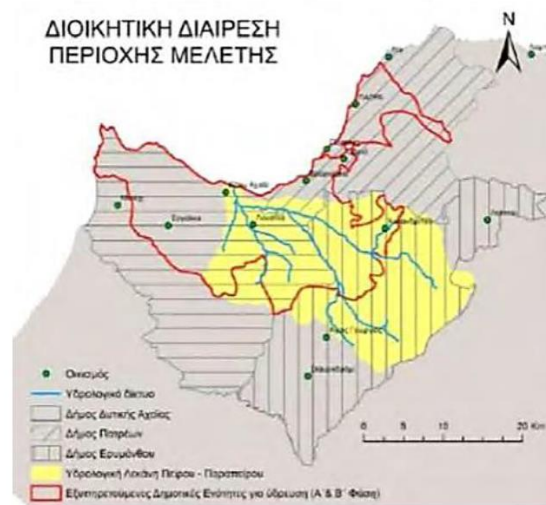
Εικόνα 4.5.1 Θέση ΜΥΗΕ Πείρου

(Πηγή: Google Earth)



Εικόνα 4.5.2 Σταθμός-Υδροληψία-Αγωγός ΜΥΗΕ Πείρου

(Πηγή: Google Earth)



Εικόνα 4.5.3 Λεκάνη Απορροής

(Πηγή: Διπλωματική Εργασία Τζαμάλης Σπυρίδων)

Η εγκατεστημένη **ισχύς** του έργου ανέρχεται σε 1,20 MW και η ετήσια παραγωγή **ενέργειας** ανέρχεται σε 4,06 GWh.

Στον υδροηλεκτρικό σταθμό έχουν εγκατασταθεί ένας υδροστρόβιλος τύπου Francis οριζόντιου άξονα και ένας υδροστρόβιλος τύπου Pelton οριζόντιου άξονα.

Πίνακας 4.5.1 Βασικά Στοιχεία Υδροστροβίλων

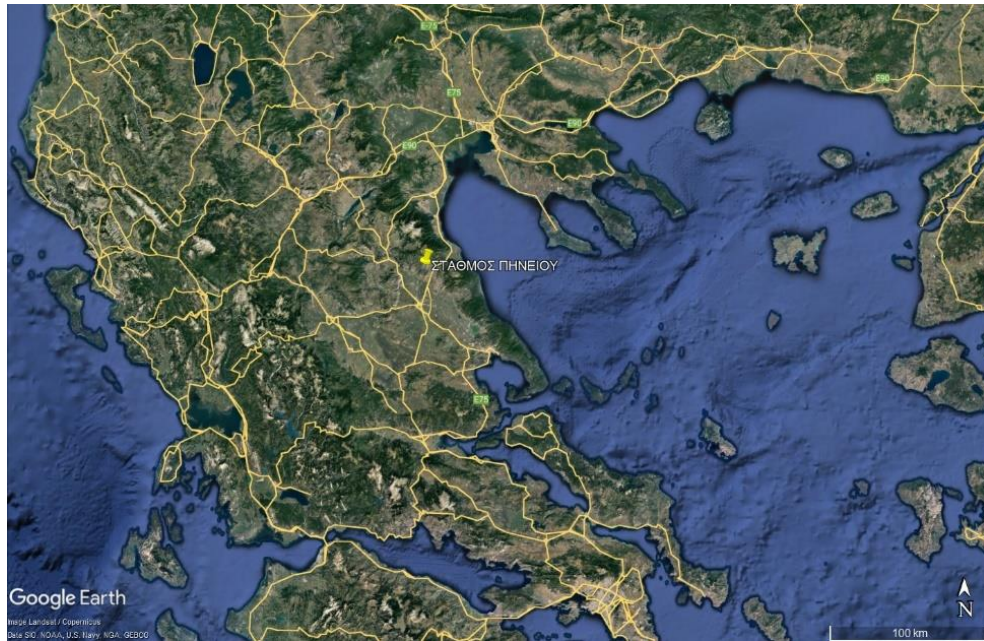
(Διπλωματική Εργασία Τζαμάλης Σπυρίδων)

Υδροστρόβιλος Francis	
Αριθμός Τεμαχίων	1 τεμ.
Ονομαστική Ισχύ Υδροστροβίλου	942 kW
Παροχή ύδατος	1,35 m ³ /s
Καθαρό ύψος Υδατόπτωσης	77,96 m
Υδροστρόβιλος Pelton	
Αριθμός Τεμαχίων	1 τεμ.
Ονομαστική Ισχύ Υδροστροβίλου	380 kW
Παροχή ύδατος	0,55 m ³ /s
Καθαρό ύψος Υδατόπτωσης	77,44 m

4.6 Μ.Υ.Η.Ε. Πηνειού

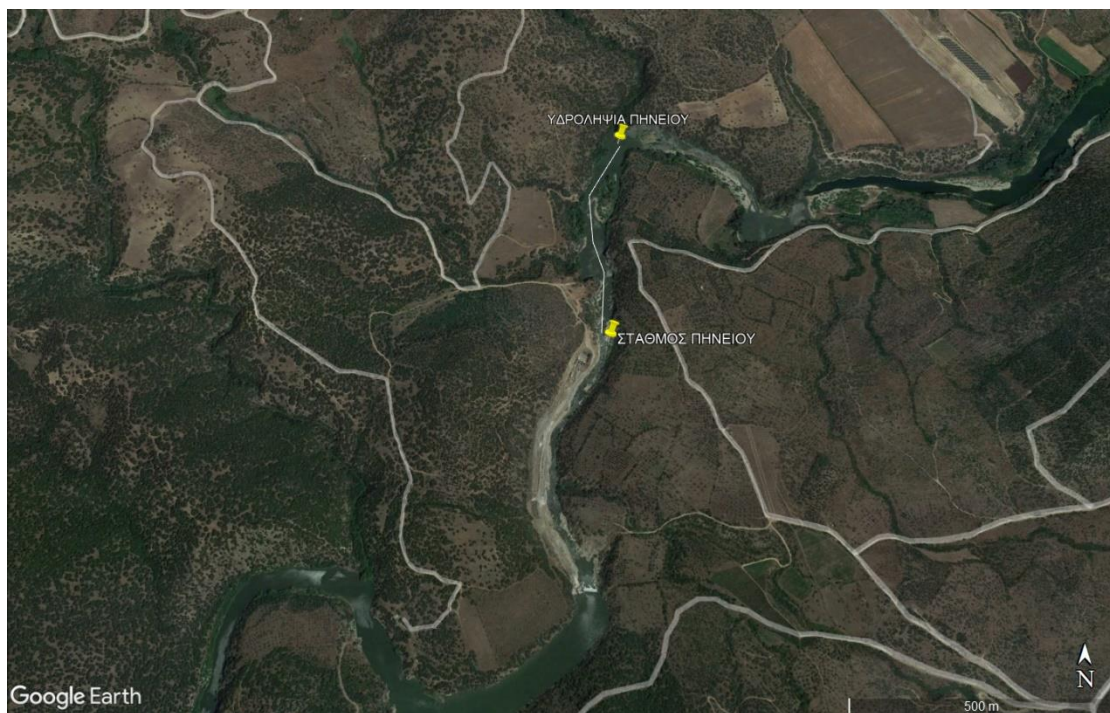
Η **θέση** του έργου βρίσκεται επί του ποταμού Πηνειού, στη θέση με το τοπωνύμιο «Βουλγαρικά Μανδριά» εντός των ορίων του Δ.Δ. Ροδιάς του Δ. Αμπελώνα Ν. Λάρισας. Είναι 2,5 χιλιόμετρα δυτικά του Παραποτάμου, 10 περίπου χιλιόμετρα δυτικά της κοιλάδας των Τεμπών και σε απόσταση 20 χιλιόμετρα περίπου βόρεια της πόλης της Λάρισας.

Η **θέση της υδροληψίας** τοποθετείται σε υψόμετρο 28,6 μέτρα (η στέψη του φράγματος τοποθετείται σε υψόμετρο ίσο με 34,0 μέτρα). Ο αγωγός προσαγωγής είναι 550 μέτρα. Το κτίριο του **σταθμού** παραγωγής - στροβιλοστασίου τοποθετείται στο αριστερό πρηνές του ποταμού Πηνειού σε υψόμετρο ίσο με 21,0 μέτρα.



Εικόνα 4.6.1 Θέση ΜΥΗΕ Πηνηϊού

(Πηγή: Google Earth)



Εικόνα 4.6.2 Σταθμός-Υδροληψία-Αγωγός ΜΥΗΕ Πηνηϊού

(Πηγή: Google Earth)

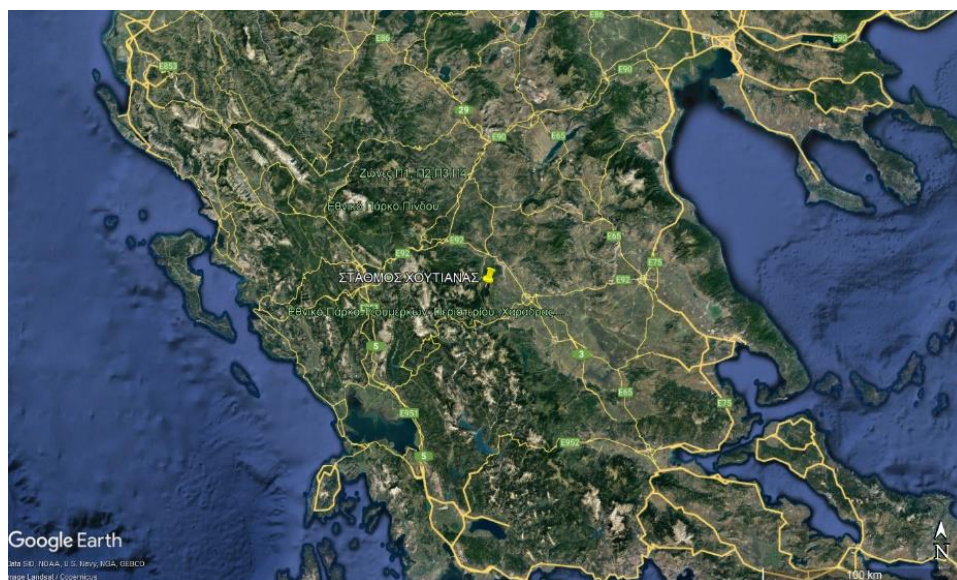
Η εγκατεστημένη **ισχύς** του έργου ανέρχεται σε 6,30 MW και η ετήσια παραγωγή **ενέργειας** ανέρχεται σε 18,85 GWh.

Στον υδροηλεκτρικό σταθμό έχουν εγκατασταθεί τρεις στρόβιλοι τύπου Kaplan.

4.7 Μ.Υ.Η.Ε. Χουτιάνας

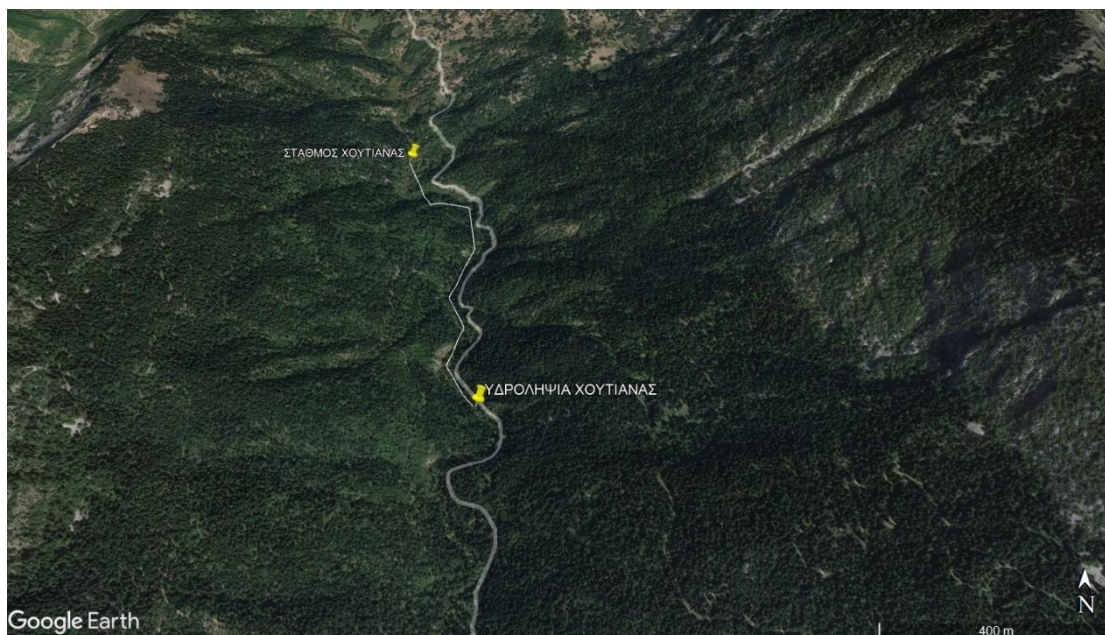
Η γεωγραφική θέση του έργου είναι στην Περιφερειακή Ενότητα Τρικάλων. Υπάγεται διοικητικά στο Δήμο Μετεώρων στο ρέμα Χουτιάνας. Το ΜΥΗΕ απέχει 3.017 μέτρα από την Γλυκομηλιά, 2.848 μέτρα από την Χρυσομηλιά, 5.185 μέτρα από το Γένεσι και 5.488 από την Αηδόνα.

Η θέση της υδροληψίας είναι στα 718 μέτρα από την στάθμη της θάλασσας και ο σταθμός παραγωγής στα 627 μέτρα. Ο αγωγός προσαγωγής είναι 1.243 μέτρα περίπου.



Εικόνα 4.7.1 Θέση ΜΥΗΕ Χουτιάνας

(Πηγή: Google Earth)



Εικόνα 4.7.2 Σταθμός-Υδροληψία-Αγωγός ΜΥΗΕ Χουτιάνας

(Πηγή: Google Earth)

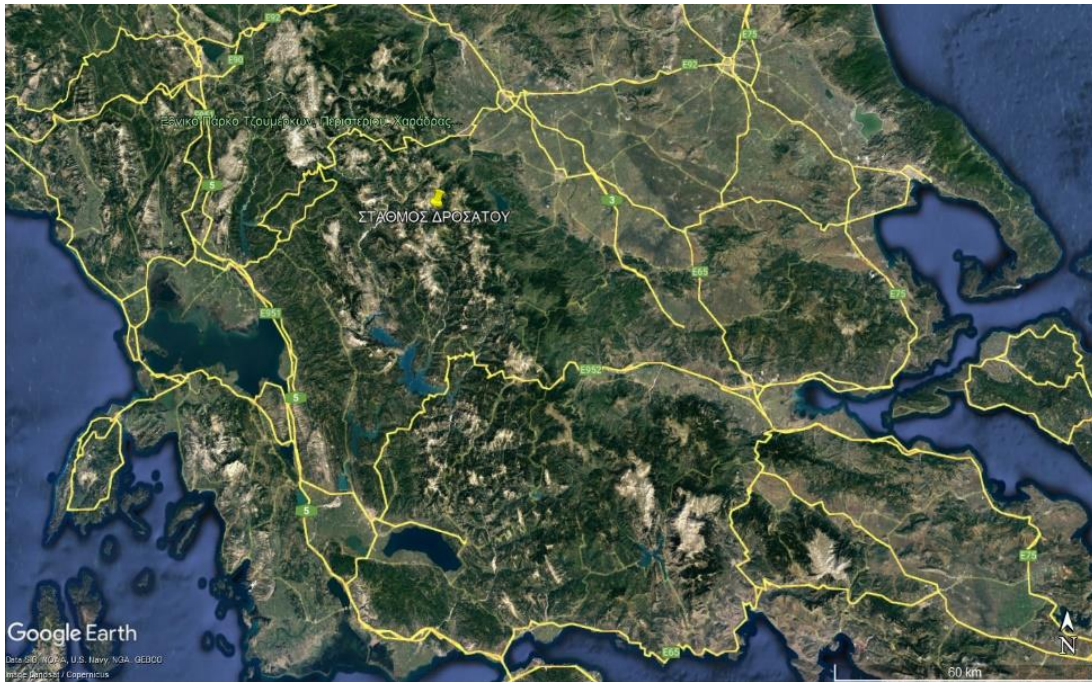
Η εγκατεστημένη ονομαστική **ισχύς** του έργου είναι ίση με 660 kW και η ετήσια παραγωγή **ενέργειας** 2,40 GWh.

Στο κτίριο του υδροηλεκτρικού σταθμού έχει επιλεγθεί να εγκατασταθεί ένας υδροστρόβιλος τύπου μεικτής ροής cross flow.

4.8 Μ.Υ.Η.Ε. Δροσάτου

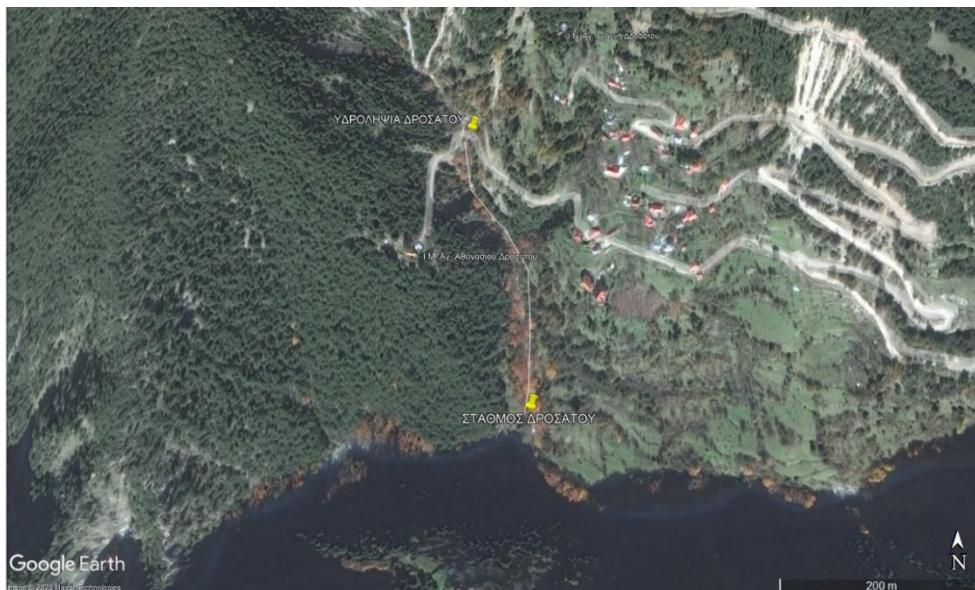
Η θέση του έργου βρίσκεται στην Δ.Ε. Αθαμανών του Δήμου Αργιθέας, συγκεκριμένα στην τοπική κοινότητα Δροσάτου.

Η υδροληψίας είναι σε υψόμετρο 1.100 μέτρα και ο σταθμός παραγωγής στα 919 μέτρα. Πρόκειται για σταθμό καναλιού εκτροπής χωρίς εγκατάσταση αποταμίευσης νερού. Ο αγωγός προσαγωγής είναι 382 μέτρα, ενώ ο αγωγός πτώσης 200 μέτρα.



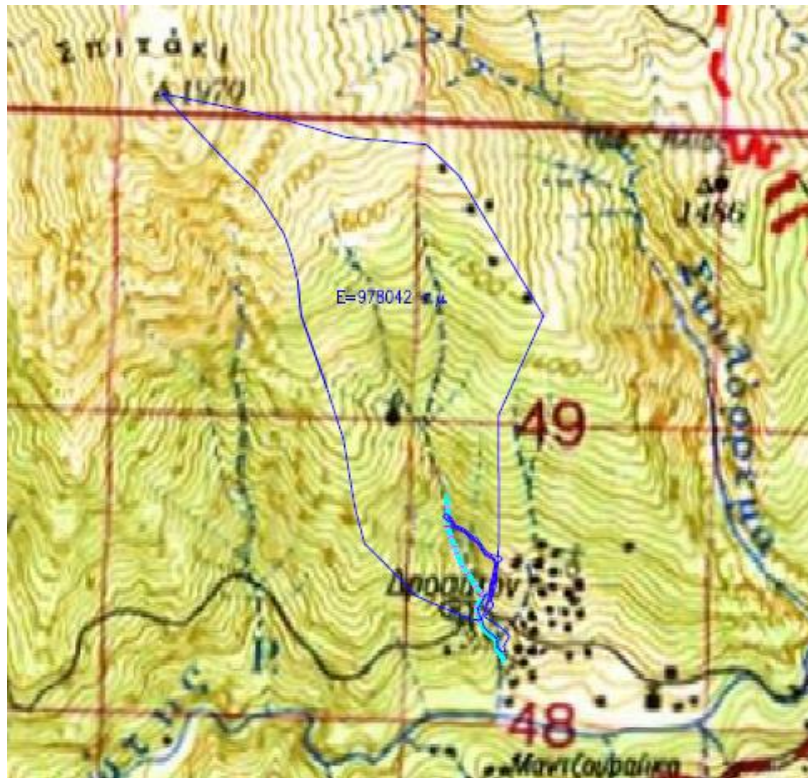
Εικόνα 4.8.1 Θέση ΜΥΗΕ Δροσάτου

(Πηγή: Google Earth)



Εικόνα 4.8.2 Σταθμός-Υδροληψία-Αγωγός ΜΥΗΕ Δροσάτου

(Πηγή: Google Earth)



Εικόνα 4.8.3 Λεκάνη Απορροής

(Πηγή: enertec)

Η εγκατεστημένη ονομαστική **ισχύς** του έργου είναι ίση με 200 kW και η ετήσια παραγωγή **ενέργειας** 1,20 GWh.

Στο κτίριο του υδροηλεκτρικού σταθμού έχει επιλεχθεί να εγκατασταθεί ένας υδροστρόβιλος τύπου Turgo οριζοντίου άξονα.

Πίνακας 4.8.1 Βασικά Στοιχεία Υδροστρόβιλου

(Πηγή: enertec)

Στρόβιλος	Turgo οριζοντίου άξονα
Καθαρό ύψος πτώσης (στη μεγ. παροχή)	178 m
Μέγιστη παροχή	0,27 m ³ /s
Ταχύτητα Περιστροφής	1.000 r.p.m
Ισχύς	217,30 kW

4.9 Μ.Υ.Η.Ε. υπό Σχεδιασμό (Αγ. Μηνάς)

Η θέση του έργου βρίσκεται στον ποταμό Σαραντάπορο στην ΒΔ Ελλάδα.

Η υδροληψίας είναι σε υψόμετρο 506.5 μέτρα και ο σταθμός παραγωγής στα 453 μέτρα. Ο αγωγός προσαγωγής είναι 2.930 μέτρα, ο αγωγός πτώσης 340 μέτρα και δεν διαθέτει αγωγό φυγή .

Η εγκατεστημένη ονομαστική **ισχύς** του έργου είναι ίση με 14,6 MW και η ετήσια παραγωγή **ενέργειας** 15,10 GWh.

Στο κτίριο του υδροηλεκτρικού σταθμού έχει επιλεγθεί να εγκατασταθούν τρεις υδροστρόβιλοι τύπου Kaplan.

Κεφάλαιο 5 - Περιγραφή Μαθηματικής Διαδικασίας

Για την εκτέλεση της παρούσας εργασίας διατυπώθηκε μια σειρά μαθηματικών πράξεων σε υπολογιστικό περιβάλλον. Η διαδικασία περιλαμβάνει απλές και σύνθετες πράξεις σε στήλες και βελτιστοποίηση με εντολές. Ο λόγος αυτής της αλληλουχίας των πολλών πράξεων είναι για να γίνει βελτιστοποίηση των ήδη υπαρχόντων έργων που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, με βάση τους υδροστρόβιλους και τα μείγματα στροβίλων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Ουσιαστικά με αυτή τη διαδικασία μπορεί κάποιος να κατανοήσει αν ένα έργο συμφέρει να κατασκευαστεί ή όχι και ακόμη τι αλλαγές πρέπει να επιτευχθούν ώστε να γίνει οικονομικά και ενεργειακά προσοδοφόρο.

5.1 Υδρολογικά Δεδομένα

Αρχικό και βασικό βήμα για την υλοποίηση της βελτιστοποίησης είναι η εύρεση υδρολογικών δεδομένων για την περιοχή μελέτης κάθε έργου. Η παροχή που διέρχεται από το ποτάμι σε ημερήσια κατά προτίμηση βάση για μερικά έτη, αποτελεί βασικό παράγοντα για το στήσιμο όλου του έργου. Η επιλογή της θέσης της υδροληψίας και του σταθμού παραγωγής, όπως επίσης και των υδροστροβίλων βασίζονται στις διερχόμενες αυτές παροχές. Στην παρούσα διπλωματική οι παροχές αντλήθηκαν από τις περιβαλλοντικές μελέτες των μικρών υδροηλεκτρικών έργων που μελετήθηκαν. Τα δεδομένα αυτά είναι σε μηνιαία βάση και όχι ημερήσια. Με τα μηνιαία δεδομένα είναι πολύ πιθανό να χαθούν κάποιες αιχμές παροχών για αυτό και συνήθως δεν ενδείκνυται για μελέτες βελτιστοποίησης. Ωστόσο είναι μια καλή προσέγγιση της πραγματικότητας εφόσον δεν υπάρχουν άλλα δεδομένα.

Πίνακας 5.1.1 Μηνιαίες Παροχές Ζίτσας

Υδρ. Έτος	Παροχή (m ³ /s)											
	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ
1969-70	4.17	5.34	34.86	33.90	36.24	33.30	23.77	14.80	7.69	5.05	3.42	2.05
1970-71	10.11	7.51	8.02	29.39	23.26	37.92	25.66	14.16	7.59	4.53	2.85	3.22
1971-72	5.33	8.72	15.10	13.52	29.86	30.44	15.31	12.80	5.95	4.29	3.76	3.12
1972-73	22.12	14.26	10.07	15.91	27.11	32.77	20.67	11.94	6.06	4.10	2.75	2.86
1973-74	5.61	5.74	20.72	10.45	24.33	16.64	19.87	16.35	7.39	3.71	2.22	2.66
1974-75	10.17	20.22	15.26	8.05	10.47	11.50	9.16	6.37	2.40	1.67	1.40	0.91
1975-76	5.58	7.51	10.29	10.63	11.82	9.23	8.78	6.30	1.97	1.52	0.91	0.92
1976-77	3.70	10.67	26.64	20.04	17.92	11.99	8.23	5.95	1.90	1.26	0.91	2.03
1977-78	4.80	8.28	14.22	17.63	26.24	18.28	27.96	15.00	6.89	4.04	2.88	2.24

Πίνακας 5.1.2 Μηνιαίες Παροχές Δρακότρυπας

Υδρ. Έτος	Παροχή (m ³ /s)											
	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ
1971-72	0.02	0.06	0.16	0.16	0.37	0.30	0.37	0.24	0.07	0.03	0.03	0.05
1972-73	0.05	0.08	0.28	0.51	0.46	0.19	0.46	0.25	0.06	0.04	0.02	0.03
1973-74	0.04	0.22	0.19	0.31	0.18	0.24	0.32	0.35	0.13	0.05	0.02	0.02
1974-75	0.12	0.23	0.45	0.14	0.30	0.40	0.33	0.22	0.07	0.03	0.02	0.02
1975-76	0.06	0.06	0.63	0.19	0.28	0.16	0.37	0.20	0.07	0.04	0.03	0.05
1976-77	0.08	0.19	0.46	0.11	0.21	0.19	0.19	0.10	0.09	0.05	0.03	0.03
1977-78	0.04	0.15	0.19	0.39	0.21	0.18	0.30	0.34	0.09	0.04	0.03	0.03
1978-79	0.03	0.11	0.06	0.23	0.22	0.16	0.30	0.25	0.07	0.04	0.02	0.02
1979-80	0.02	0.30	0.15	0.24	0.39	0.34	0.26	0.17	0.08	0.04	0.03	0.03
1980-81	0.03	0.06	0.11	0.42	0.21	0.22	0.30	0.23	0.10	0.04	0.03	0.02

Πίνακας 5.1.3 Μηνιαίες Παροχές Παλαιοφυτείας

Υδρ. Έτος	Παροχή (m ³ /s)											
	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ
1992 - 93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.91
1993 - 94	0.99	3.31	6.89	9.31	12.18	7.56	6.76	4.43	2.00	1.37	1.04	0.85
1994 - 95	1.08	7.88	5.88	12.82	9.88	10.07	6.32	3.27	1.94	1.70	1.34	2.50
1995 - 96	2.03	4.40	9.55	10.17	14.42	13.55	10.27	4.04	2.31	1.27	0.95	1.19
1996 - 97	1.59	5.32	14.05	11.51	4.71	2.99	6.38	4.73	1.93	1.24	1.18	0.88
1997 - 98	0.98	3.65	12.99	9.61	10.14	4.06	2.76	1.87	1.44	0.89	0.80	1.00
1998 - 99	0.94	7.29	12.95	7.84	20.36	17.47	11.09	4.86	2.19	1.58	0.94	1.24
1999 - 00	1.21	5.14	10.57	9.57	15.07	8.32	3.94	2.11	1.32	1.34	1.04	0.00

Πίνακας 5.1.4 Μηνιαίες Παροχές Κάμπος Τζουμέρκα

Υδρ. Έτος	Παροχή (m ³ /s)											
	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ
2004-05	0.16	0.19	0.43	0.55	0.47	0.48	0.35	0.23	0.12	0.09	0.07	0.12
2012-13	0.00	0.00	0.00	0.16	0.46	0.29	0.47	0.26	0.12	0.09	0.07	0.10
2013-14	0.15	0.18	0.40	0.67	0.79	0.62	0.46	0.22	0.12	0.09	0.06	0.12
2014-15	0.15	0.16	0.28	0.35	0.44	0.55	0.50	0.25	0.14	0.09	0.08	0.13
2015-16	0.16	0.17	0.29	0.43	0.40	0.60	0.53	0.26	0.13	0.10	0.08	0.13
2016-17	0.18	0.18	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Πίνακας 5.1.5 Μηνιαίες Παροχές Πείρου

Υδρ. Έτος	Παροχή (m ³ /s)											
	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ
1	0.23	0.90	1.18	2.19	1.32	2.86	1.99	1.98	1.63	0.79	0.53	0.28
2	0.23	0.44	1.03	1.83	1.28	2.63	1.84	0.00	1.60	0.78	0.52	0.28
3	0.23	0.34	0.94	1.60	1.25	2.40	2.23	0.00	1.57	0.77	0.52	0.28
4	0.22	0.30	0.85	1.43	1.52	2.62	4.28	0.00	1.54	0.75	0.52	0.28
5	0.22	0.28	0.78	1.44	1.69	2.59	3.71	0.00	1.49	0.74	0.52	0.28
6	0.22	0.26	0.72	1.41	1.55	2.33	3.21	0.00	1.51	0.73	0.51	0.28
7	0.22	0.25	0.69	1.31	1.43	2.20	6.76	0.00	1.67	0.72	0.51	0.28
8	0.22	0.26	0.68	1.24	1.36	2.16	0.00	0.00	1.55	0.71	0.50	0.28
9	0.22	0.27	0.67	1.18	1.31	2.17	0.00	0.00	1.48	0.69	0.41	0.28
10	0.22	0.27	0.69	1.13	1.27	2.24	6.43	0.00	1.43	0.67	0.31	0.28
11	0.22	0.27	0.63	1.10	1.23	2.21	4.91	0.00	1.37	0.67	0.30	0.28
12	0.24	0.27	0.60	1.05	1.20	2.12	4.19	0.00	1.32	0.66	0.29	0.28
13	0.23	0.73	0.59	1.00	1.20	2.08	3.69	0.00	1.29	0.84	0.29	0.28
14	0.22	0.76	0.56	2.69	1.18	2.04	3.38	0.00	1.23	0.72	0.29	0.28
15	0.22	1.25	0.54	4.28	1.14	1.99	3.14	0.00	1.18	0.68	0.29	0.27
16	0.22	1.50	0.51	2.80	1.11	1.92	2.99	1.68	1.14	0.67	0.28	0.27
17	0.22	0.97	0.50	2.54	1.09	1.78	2.90	1.67	1.11	0.66	0.28	0.26
18	0.22	0.92	0.51	2.33	1.05	1.68	3.68	2.49	1.09	0.64	0.28	0.27
19	0.21	1.70	0.52	2.06	1.04	1.69	3.60	3.14	1.08	0.63	0.28	0.26
20	0.21	1.63	0.50	2.14	1.03	2.02	3.57	2.77	1.05	0.62	0.27	0.26
21	0.21	1.78	0.49	2.26	1.02	2.06	3.90	2.54	1.00	0.62	0.27	0.26
22	0.21	1.46	0.48	2.31	1.02	2.26	3.20	2.46	0.98	0.61	0.28	0.26
23	0.20	1.09	0.47	1.98	1.03	5.29	2.76	2.33	0.95	0.60	0.28	0.25
24	0.21	0.91	1.05	1.77	1.09	3.64	2.47	2.13	0.92	0.60	0.28	0.26
25	0.20	0.80	2.70	1.64	1.24	2.96	2.27	1.99	0.90	0.60	0.28	0.26
26	0.20	0.74	6.88	1.75	1.41	2.65	2.11	1.90	0.88	0.61	0.28	0.26
27	0.21	1.81	9.12	1.79	1.39	2.37	2.02	1.86	0.88	0.62	0.28	0.25
28	0.21	1.95	5.89	1.68	1.27	2.17	1.95	1.86	0.86	0.62	0.28	0.25
29	0.20	3.09	3.72	1.62	4.01	0.00	1.93	1.80	0.85	0.59	0.27	0.25
30	0.44	1.89	2.75	1.51	4.06	0.00	1.94	1.73	0.84	0.54	0.28	0.26
31	0.00	1.42	0.00	1.41	3.04	0.00	1.89	0.00	0.81	0.00	0.28	0.26

Πίνακας 5.1.6 Μηνιαίες Παροχές Ρέμα Χοντιάνα

Υδρ. Έτος	Παροχή (m ³ /s)											
	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ
2009-2010	0.25	0.55	1.38	0.83	1.20	1.46	0.82	0.34	0.11	0.12	0.03	0.05
2010-2011	0.23	0.61	0.13	0.82	1.28	1.37	0.51	0.42	0.14	0.02	0.06	0.02
2011-2012	0.15	0.11	0.68	0.86	1.04	1.46	0.68	0.26	0.03	0.06	0.05	0.02
2012-2013	0.24	0.33	0.86	0.82	1.02	1.65	0.70	0.39	0.07	0.02	0.03	0.03
2013-2014	0.11	0.62	0.67	1.39	1.01	1.18	0.70	0.25	0.11	0.05	0.04	0.04
2014-2015	0.19	0.54	0.94	1.10	1.07	1.26	0.88	0.64	0.15	0.08	0.10	0.05
2015-2016	0.16	0.56	0.95	1.01	1.26	1.36	0.74	0.46	0.07	0.09	0.11	0.06
2016-2017	0.20	0.45	0.34	0.68	1.25	1.39	0.40	0.51	0.12	0.07	0.08	0.04
2017-2018	0.10	0.47	1.20	0.54	1.50	1.60	0.76	0.35	0.06	0.08	0.06	0.05
2018-2019	0.12	0.50	1.01	1.40	1.41	1.33	1.00	0.31	0.11	0.08	0.05	0.03

Πίνακας 5.1.7 Μηνιαίες Παροχές Δροσάτο

Υδρ. Έτος	Παροχή (L/s)											
	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ
1	289	295	210	305	310	154	269	295	288	183	285	300
2	275	190	235	284	295	249	125	170	130	140	83	95
3	101	88	55	61	60	57	59	63	58	60	143	150
4	0	0	141	146	187	230	210	205	315	290	240	278

Πίνακας 5.1.8 Μηνιαίες Παροχές Πηνειός

Υδρ. Έτος	Παροχή (m ³ /s)											
	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ
1	0.00	8.80	12.40	58.30	60.00	60.00	60.00	60.00	44.30	10.80	0.00	0.00
2	0.00	7.70	43.10	7.90	15.80	42.90	42.70	20.40	2.20	0.00	0.00	0.00
3	0.00	7.50	21.90	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	42.90	10.20	0.00	0.00
4	0.00	14.50	34.60	60.00	21.40	13.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	24.40	0.00	3.40	19.50	60.00	60.00	42.60	54.10	7.40	0.00	0.00	0.00
6	0.00	14.80	10.10	60.00	60.00	60.00	42.80	60.00	35.30	0.00	0.00	0.00
7	0.00	13.70	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	53.50	11.10	0.00	0.00
8	0.00	60.00	38.30	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	30.30	23.70	0.00	0.00
9	12.70	12.30	17.60	60.00	26.30	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	12.60	5.80
10	0.00	30.90	60.00	60.00	31.70	43.80	60.00	15.70	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	5.60	23.20	60.00	60.00	60.00	59.40	60.00	48.40	5.00	0.00	0.00
12	0.00	7.70	16.40	0.00	60.00	60.00	47.10	60.00	19.60	0.00	0.00	0.00
13	0.00	2.00	29.70	27.60	26.80	60.00	60.00	26.10	11.00	9.60	2.70	0.00
14	0.00	0.00	31.60	34.00	60.00	60.00	60.00	60.00	47.40	7.40	0.00	0.00

15	0.00	13.60	60.00	51.70	31.30	45.50	51.30	21.40	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.00	9.90	28.80	10.50	26.80	60.00	16.40	26.10	60.00	8.70	0.00
17	0.00	10.30	4.70	17.40	0.00	0.00	0.00	16.10	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00	39.50	46.90	28.90	40.30	60.00	58.70	26.20	8.00	0.00
19	60.00	33.50	60.00	0.00	0.00	0.00	58.70	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
20	0.00	41.20	12.50	60.00	60.00	54.10	60.00	56.20	20.20	0.00	0.00	0.00

5.2 Περιβαλλοντική Παροχή

Με βάση τη νομοθεσία κάθε μικρό υδροηλεκτρικό έργο οφείλει να παρέχει οικολογική (ή περιβαλλοντική) παροχή για τις ανάγκες τις χλωρίδας και της πανίδας $Q_{περ}$ [m^3/s]. Αυτή υπολογίζεται ως η μέγιστη παροχή μεταξύ του μισού της μέσης παροχής του Σεπτεμβρίου, του τριάντα τοις εκατό της μέσης παροχής των θερινών μηνών (Ιούλιος, Ιούνιος και Αύγουστος) και της ελάχιστης περιβαλλοντικής παροχής βάσης νόμου που είναι $0.03 m^3/s$.

$$Q_{περ} = \max(50\% Q_{μέση \text{ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ}}, 30\% Q_{μέση \text{ ΘΕΡΙΝΩΝ ΜΗΝΩΝ}}, 0.030) \quad (3)$$

Η περιβαλλοντική παροχή αφαιρείται από την συνολική διερχόμενη παροχή και η προσομοίωση βασίζεται στην τελική καθαρή παροχή, την οποία μπορεί να εκμεταλλευτεί το έργο για παραγωγή ενέργειας.

Λόγου χάριν παρακάτω παρουσιάζεται ένας εύκολος τρόπος στησίματος και επίλυσης για την εύρεση της περιβαλλοντικής παροχής.

Πρώτα υπολογίζεται η μέση παροχή για κάθε μήνα όλων των ετών (ή ημερών σε περίπτωση ημερήσιας βάσης δεδομένων) .

Πίνακας 5.2.1 Παράδειγμα Μηνιαίων Παροχών

Υδρ. Έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ
1971-72	0.02	0.06	0.16	0.16	0.37	0.30	0.37	0.24	0.07	0.03	0.03	0.05
1972-73	0.05	0.08	0.28	0.51	0.46	0.19	0.46	0.25	0.06	0.04	0.02	0.03
1973-74	0.04	0.22	0.19	0.31	0.18	0.24	0.32	0.35	0.13	0.05	0.02	0.02
1974-75	0.12	0.23	0.45	0.14	0.30	0.40	0.33	0.22	0.07	0.03	0.02	0.02
1975-76	0.06	0.06	0.63	0.19	0.28	0.16	0.37	0.20	0.07	0.04	0.03	0.05
1976-77	0.08	0.19	0.46	0.11	0.21	0.19	0.19	0.10	0.09	0.05	0.03	0.03
1977-78	0.04	0.15	0.19	0.39	0.21	0.18	0.30	0.34	0.09	0.04	0.03	0.03
1978-79	0.03	0.11	0.06	0.23	0.22	0.16	0.30	0.25	0.07	0.04	0.02	0.02
1979-80	0.02	0.30	0.15	0.24	0.39	0.34	0.26	0.17	0.08	0.04	0.03	0.03
1980-81	0.03	0.06	0.11	0.42	0.21	0.22	0.30	0.23	0.10	0.04	0.03	0.02
AVERAGE	0.05	0.15	0.27	0.27	0.28	0.24	0.32	0.23	0.08	0.04	0.02	0.03

Έπειτα υπολογίζονται :

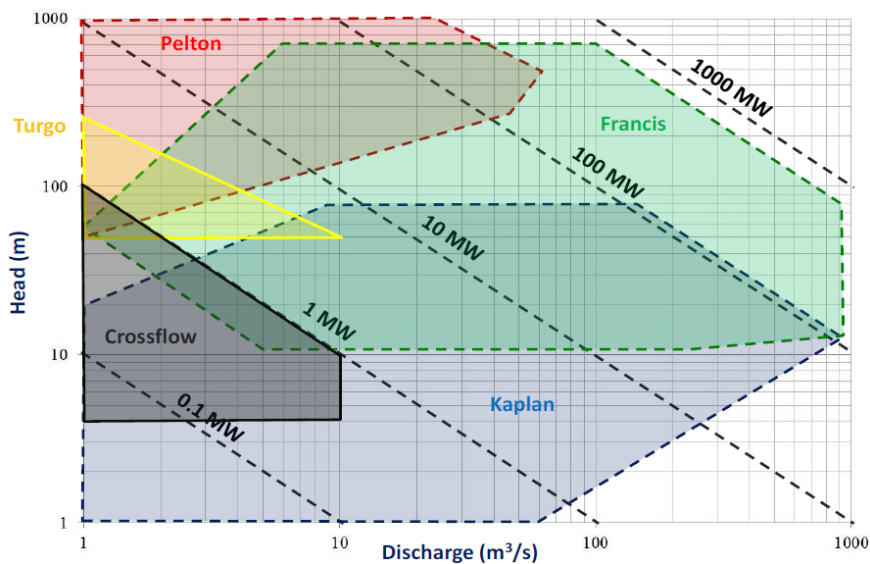
- Το 50% της Μέσης Παροχής του Σεπτεμβρίου. Δηλαδή, στο εν λόγω παράδειγμα είναι ίσο με το μισό του $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$ που φαίνεται στον προηγούμενο μήνα.
- Το 30% της της μέσης παροχής των θερινών μηνών (Ιούλιος, Ιούνιος και Αύγουστος). Δηλαδή, αρχικά υπολογίζεται η μέση τιμή των τριών μηνών και ύστερα πολλαπλασιάζεται με το 0.03. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι η μέση τιμή των $0.08 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$ και $0.02 \text{ m}^3/\text{s}$, πολλαπλασιασμένη με 0.03.
- Τέλος, βρίσκεται το μέγιστο μεταξύ των δύο παραπάνω και του $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$.

Πίνακας 5.2.2 Παράδειγμα Αποτελεσμάτων

50% ΜΕΣΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ (m^3/s)	0.014
30% ΜΕΣΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΘΕΡΙΝΩΝ ΜΗΝΩΝ (m^3/s)	0.014
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ ΒΑΣΗ ΝΟΜΟΥ (m^3/s)	0.030
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ (m^3/s)	0.030

5.3 Έργο με Μείγμα Στροβίλων

Η αρχική επιλογή των στροβίλων γίνεται με βάση το μέσο καθαρό ύψος πτώσης και την μέση παροχή εκμετάλλευσης. Η βιβλιογραφία και τα υπάρχοντα διαγράμματα ορίζουν συγκεκριμένα διαστήματα λειτουργίας για κάθε τύπο στρόβιλο.



Διάγραμμα 5.3.1 Διάγραμμα Επιλογής Στροβίλων Q-H

(Πηγή: Διαφάνειες Μαθήματος Α.Π.Ε., Ευστρατιάδης κ.ά., 2022)

5.3.1 Καθαρό Ύψος Πτώσης

Το καθαρό ύψος πτώσης του νερού είναι ίσο με το γεωμετρικό ύψος πτώσης μείον τις συνολικές απώλειες, λόγω τριβών και τοπικών απωλειών (στενώσεις, είσοδοι, έξοδοι, γωνίες). Το ύψος πτώσεις είναι ανάλογο της παραγόμενης ενέργειας, επομένως και μελετάται να είναι όσο το δυνατό μεγαλύτερο.

Γραμμικές Απώλειες

Οι γραμμικές απώλειες, οι οποίες οφείλονται κυρίως στις τριβές υπολογίζονται για όλο το μήκος του αγωγού προσαγωγής, του αγωγού πτώσης και του αγωγού φυγής. Στην παρούσα διπλωματική στα έργα τα οποία μελετηθήκαν βασικό ρόλο έπαιξε ο αγωγός προσαγωγής στις απώλειες. Συνήθως στον αγωγό προσαγωγής συναντώνται και οι μεγαλύτερες απώλειες τριβής και αυτό λόγω του μεγάλου μήκους του.

Για τον υπολογισμό των γραμμικών απωλειών έγινε χρήση της γενικευμένης σχέσης του Manning. Όπου οι γραμμικές απώλειες hf [m] είναι ίσες με το μήκος L του εκάστοτε αγωγού πολλαπλασιασμένο με την κλίση J [m^{-1}] (από γενικευμένη manning):

$$hf = JL \quad (4)$$

$$J = \left(\frac{4(3 + \beta)N^2Q^2}{\pi^2D(5 + \beta)} \right)^{\frac{1}{1+\gamma}} \quad (5)$$

Όπου:

$$\beta = 0.25 + 0.0006 * \varepsilon_* + 0.024 / (1+7.2 * \varepsilon_*)$$

$$\gamma = 0.083 / (1+0.42 * \varepsilon_*)$$

$$N = 0.00757 * (1 + 2.47 * \varepsilon_*)^{0.14}$$

$$\varepsilon_* = 20, \text{ για } 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

D : διάμετρος αγωγού (m)

Q : διερχόμενη παροχή στροβίλων (m^3/s)

Υπολογίζονται οι γραμμικές απώλειες για όλους τους αγωγούς (προσαγωγής, πτώσης, φυγής και για κάθε διάμετρο αν αλλάξει). Οι συνολικές γραμμικές απώλειες προκύπτουν από το άθροισμα όλων των προηγούμενων $hf_{total} = hf_1 + hf_2 + \dots + hf_i$ (i =σύνολο διαφορετικών αγωγών-διαμέτρων).

Τοπικές Απώλειες

Οι τοπικές απώλειες hL [m] αφορούν τυχόν στενώσεις, γωνίες, εισόδους και εξόδους του νερού στις σωληνώσεις και υπολογίζονται με τον τύπου:

$$hL = \frac{kV^2}{2g} \quad (6)$$

Όπου:

V : ταχύτητα νερού (m/s)

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$ (επιτάχυνση της βαρύτητας)

k : αδιάστατος συντελεστής, ανάλογα με τη γεωμετρία

Γενικά ο συντελεστής k κυμαίνεται από 0.5 έως 1, στην διπλωματική αυτή θεωρήθηκε 0.8 η βασική του τιμή, και στην περίπτωση που το έργο έχει υδροστροβίλους Kaplan και Francis προσαυξάνεται κατά ένα λόγω της εξόδου του νερού από αυτούς.

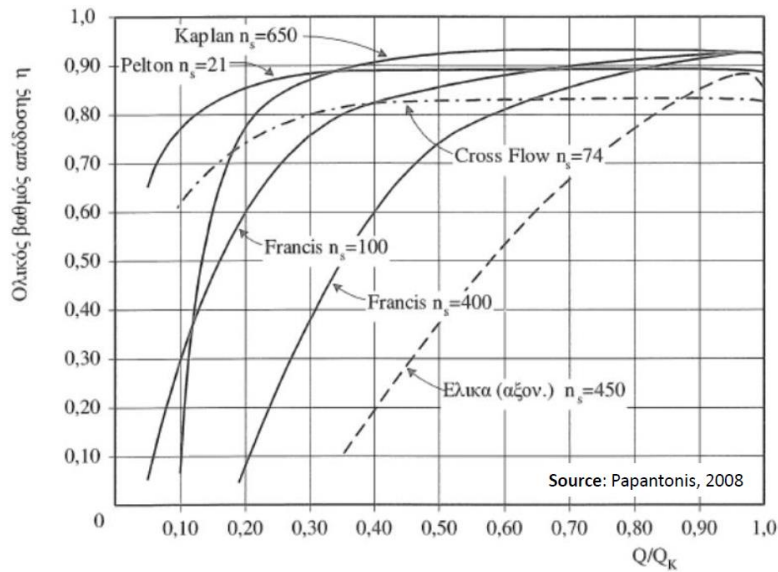
Υπολογίζονται οι τοπικές απώλειες για όλους τους αγωγούς (προσαγωγής, πτώσης, φυγής και για κάθε διάμετρο αν αλλάζει). Οι συνολικές τοπικές απώλειες προκύπτουν από το άθροισμα όλων των προηγούμενων $hL_{total} = hL_1 + hL_2 + \dots + hL_i$ (i =σύνολο διαφορετικών αγωγών-διαμέτρων).

Το καθαρό ύψος πτώσης H_n [m] (για κάθε παροχή) είναι :

$$H_n = DH - hf_{total} - hL_{total} \quad (7)$$

5.3.2 Τυπικές Τιμές Υδροστροβίλων

Για να στηθεί το μοντέλο των υπολογισμών θα πρέπει να επιλεχθούν τι τύποι υδροστροβίλων θα διαθέτει το έργο. Κάθε τύπος υδροστροβίλου χαρακτηρίζεται από διαφορετικό συντελεστή απόδοσης (η), διαφορετικές μέγιστες και ελάχιστες παροχές που μπορούν να εκμεταλλευτούν (q_{max} , q_{min}), όπως φαίνεται και από τις καμπύλες λειτουργίας τους (Διάγραμμα 5.3.2)



Διάγραμμα 5.3.2 Καμπύλες Λειτουργίας Στροβίλων

(Πηγή: Παπαντόνης, 2008)

Μέγιστος και Ελάχιστος βαθμός απόδοσης

Το προηγούμενο διάγραμμα αφορά τον ολικό βαθμό απόδοσης $\eta = \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_e$ (στρόβιλος, γεννήτρια, μετασχηματιστής, γραμμές μεταφοράς). Για να βρεθεί ο μέγιστος και ο ελάχιστος βαθμός απόδοσης του εκάστοτε τύπου στροβίλου αρκεί να πολλαπλασιαστεί ο ολικός που φαίνεται στο διάγραμμα με το ποσοστό της τάξης του 95%.

Για στρόβιλο τύπου Pelton ο μέγιστος και ο ελάχιστος βαθμός απόδοσης είναι αντίστοιχα $\eta_{\max} = 0.89$ και $\eta_{\min} = 0.78$.

Για στρόβιλο τύπου Francis ο μέγιστος και ο ελάχιστος βαθμός απόδοσης είναι αντίστοιχα $\eta_{\max} = 0.93$ και $\eta_{\min} = 0.33$.

Για στρόβιλο τύπου Kaplan ο μέγιστος και ο ελάχιστος βαθμός απόδοσης είναι αντίστοιχα $\eta_{\max} = 0.91$ και $\eta_{\min} = 0.086$.

Για τους δύο πρώτους, Pelton και Francis, οι τιμές υπήρχαν ήδη έτοιμες στην βιβλιογραφία του μαθήματος Α.Π.Ε., ενώ για τον Kaplan έγινε εξολοκλήρου ανάλυση για όλες τις τιμές του στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής.

Μέγιστη και Ελάχιστη Παροχή

Για τον υπολογισμό της μέγιστης παροχής Q_{max} [m^3/s] που δύναται να εκμεταλλευτεί ένας στρόβιλος υπάρχει ο προσεγγιστικός αλλά αρκετά ακριβής τύπος:

$$Q_{max} = \frac{P}{g * H_n * n_{max}} \quad \text{για } Q > Q_{min} \quad (8)$$

Όπου:

P : Ισχύς (KJ/s)

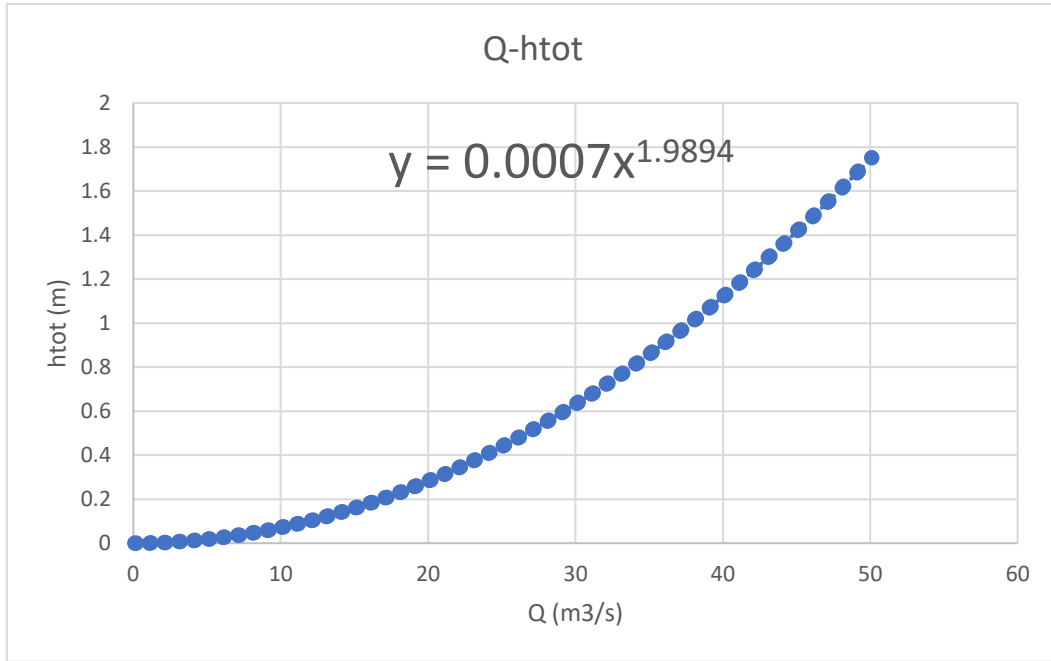
H_n : Μέσο καθαρό ύψος πτώσης (m)

n_{max} : Μέγιστος βαθμός απόδοσης στροβίλου

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$ (επιτάχυνση της βαρύτητας)

Ωστόσο για ακριβέστερο υπολογισμό της μέγιστης ταχύτητας στην διπλωματική αυτή στήθηκε μία σειρά υπολογισμών.

Αρχικά βρέθηκε μια σχέση ανάμεσα στην παροχή και τις ολικές απώλειες, πολυωνυμικού τύπου ή τύπου δύναμης. Η σχέση βρέθηκε μέσω του διαγράμματος Q- h_{tot} . Οι παροχές είναι τυχαίες και όχι συγκεκριμένες για το κάθε έργο, δηλαδή παροχές από $0.1 \text{ m}^3/s$ έως $50 \text{ m}^3/s$ ανά $0.1 \text{ m}^3/s$. Για κάθε έργο αυτό που αλλάζει είναι το μήκος των αγωγών L, το ύψος πτώσης H και ο συντελεστής k που αφορά τις τοπικές απώλειες και εξαρτάται από τον τύπο των στροβίλων.



Διάγραμμα 5.3.3 Παράδειγμα σχέσης Παροχής-Απωλειών

Για να προκύψει η μέγιστη ταχύτητα στήθηκε μια επαναληπτική μέθοδος σειράς πράξεων. Βασική σχέση που θα χρησιμοποιηθεί είναι η:

$$P = g n_{\max} Q H n \quad (9)$$

Πρώτα υπολογίζεται μια αρχική παροχή, η μέγιστη:

$$Q_0 = \frac{P}{\gamma * n_{\max} * H} \quad (10)$$

Υπολογίζονται από την σχέση που βρέθηκε πριν οι ολικές απώλειες h_{tot} και μετά η επόμενη παροχή:

$$Q_1 = \frac{P}{\gamma} * n_{\max} * (H - h_{tot}) \quad (11)$$

Αυτή η διαδικασία γίνεται για όσα βήματα χρειαστούν ώστε να συγκλίνουν οι παροχές. Συνήθως αρκούν δύο με τρία βήματα. Η μέγιστη παροχή είναι η παροχή που βρίσκεται στο τέλος. Στον επόμενο πίνακα φαίνεται ένα παράδειγμα εύρεσης μέγιστης παροχής.

Πίνακας 5.3.1 Παράδειγμα Υπολογισμών Q_{max} για μείγμα 2 στροβίλων

H (m)	24	
n_{max}	0.91	
P (MW)	2.40	$h_L(Q)$
Q_0 (m ³ /s)	11.20	0.09
Q_1 (m ³ /s)	11.20	0.09
Q_2 (m ³ /s)	11.24	0.09
Q_3 (m ³ /s)	11.24	0.09

Από τις καμπύλες των στροβίλων ορίζεται και η σχέση μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης παροχής ,

$$\theta = \frac{Q_{min}}{Q_{max}} \quad (12)$$

Για Pelton το θ είναι ίσο με 0.1 .

Για Francis το θ είναι ίσο με 0.15 .

Για Kaplan το θ είναι ίσο με 0.2 .

Να σημειωθεί ότι το θ μπορεί να είναι διαφορετικό ανάλογα τον κατασκευαστή. Για τις ανάγκες της διπλωματικής οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι παραπάνω.

Σταθερές

Ο βαθμός απόδοσης για κάθε παροχή υπολογίζεται από τον τύπο :

$$n = n_{min} + \left(\left(1 - \left(1 - \frac{\frac{Q}{Q_{max}} - \theta}{1 - \theta} \right)^a \right)^b \right) (n_{max} - n_{min}) \quad (13)$$

Όπου:

Q : η εκάστοτε παροχή (m³/s)

Q_{max} : η μέγιστη παροχή (m³/s)

n_{max} : ο μέγιστος βαθμός απόδοσης

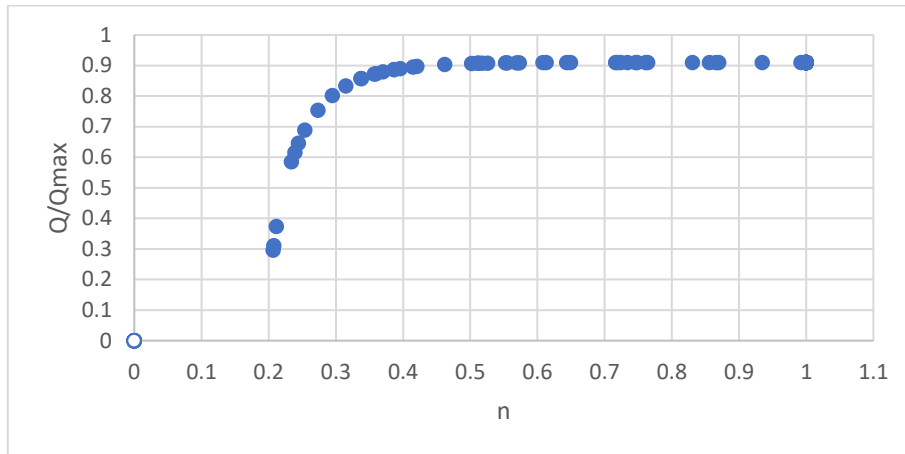
n_{min} : ο ελάχιστος βαθμός απόδοσης

$\theta = Q_{min}/Q_{max}$

a, b : σταθερές

Τα a και b είναι σταθερές και βρίσκονται από βελτιστοποίηση της καμπύλης του κάθε στροβίλου με βάση εκείνες της βιβλιογραφίας. Όλα τα υπόλοιπα είναι γνωστά επομένως δοκιμάζονται διάφορες τιμές ώστε η καμπύλη να ταυτίζεται όσο το δυνατόν καλύτερα και οι τιμές για κάθε λόγο Q/Q_{\max} (παροχή/μέγιστη παροχή) να προσεγγίζουν την τιμή απόδοσης η που θα πρέπει να έχει ο στροβίλος.

Θα πρέπει σαφώς να δημιουργηθεί διάγραμμα με οριζόντιο άξονα Q/Q_{\max} και κάθετο άξονα η . Το διάγραμμα θα πρέπει να έχει την παρακάτω μορφή.



Διάγραμμα 5.3.4 Παράδειγμα Καμπύλης Στροβίλου

Για τους υδροστροβίλους Pelton και Francis υπήρχαν στην βιβλιογραφία οι τιμές, ενώ για τον Kaplan έγινε όλη η διαδικασία υπολογισμού στο πλαίσιο της διπλωματικής αυτής.

Pelton : $a=1$, $b=8$

Francis : $a=0.78$, $b=3.11$

Kaplan : $a=0.7$, $b=8$

Συγκεντρωτικά οι τιμές των υδροστροβίλων παρουσιάζονται στον πίνακα παρακάτω.

Πίνακας 5.3.2 Τυπικές τιμές Υδροστροβίλων για υπολογισμούς

	η_{\min}	η_{\max}	a	b	θ
PELTON	0.780	0.89	1.00	8.00	0.10
FRANCIS	0.330	0.93	0.78	3.11	0.15
KAPLAN	0.086	0.91	0.70	8.00	0.20

5.4 Μεθοδολογία

Σκοπός όλης αυτής της ανάλυσης που γίνεται είναι να βρεθεί ο συντελεστής δυναμικότητας (Capacity Factor) και η μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια. Με τα δύο αυτά χαρακτηριστικά γίνεται φανερό αν ένα έργο είναι προσοδοφόρο, με την κατάλληλη επιλογή, στην παρούσα διπλωματική, υδροστροβίλων και εγκατεστημένης ισχύος. Επιπροσθέτως, υπολογίζονται τα ποσοστά λειτουργίας και χρησιμοποιούμενου όγκου του παρεχόμενου νερού, που επίσης αποτελούν σημαντικές πληροφορίες.

Ως εγκατεστημένη ισχύς χρησιμοποιήθηκε αυτή που δόθηκε στην εκάστοτε περιβαλλοντική μελέτη για κάθε μικρό υδροηλεκτρικό έργο και έπειτα με την επίλυση solver στο excel προέκυψαν οι βέλτιστες. Οι τύποι υδροστροβίλων που πρέπει να εγκατασταθούν στο κάθε μικρό υδροηλεκτρικό έργο ήταν αντικείμενο της έρευνας και της βελτιστοποίησης των έργων που έγινε στην διπλωματική. Σε κάποια έργα κρίθηκε αναγκαία η αλλαγή τύπου υδροστροβίλου ενώ σε άλλα όχι, όμως τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης θα σχολιαστούν σε επόμενο κεφάλαιο.

Η διαδικασία βήμα – βήμα :

Βήμα 1^ο : Σε έναν πίνακα συγκεντρώνονται οι βασικές τιμές των υδροστροβίλων που θα χρησιμοποιηθούν (Q_{min} , Q_{max} , a , b , n_{min} , n_{max} , θ). Είναι βασικό αρχικό βήμα καθώς θα χρησιμοποιηθούν στις παρακάτω πράξεις-βήματα.

Βήμα 2^ο : Τοποθετούνται σε στήλη οι παροχές από τα υδρολογικά δεδομένα.

Βήμα 3^ο : Αφαιρείται από τις ολικές παροχές η οικολογική παροχή και έτσι υπολογίζεται η εκμεταλλεύσιμη παροχή που έχει το μικρό υδροηλεκτρικό έργο στη διάθεσή του για παραγωγή ενέργειας.

Βήμα 4^ο : Υπολογίζεται η παροχή που θα εκμεταλλευτεί ο πρώτος στρόβιλος (Q_1) για να παράγει ενέργεια (E_1). Ελέγχεται αν η εκμεταλλεύσιμη παροχή που περνάει είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη (Q_{min}) που μπορεί να εκμεταλλευτεί ο στρόβιλος και έπειτα αν είναι μικρότερη από την μέγιστη (Q_{max}) που μπορεί να εκμεταλλευτεί. Αν είναι ενδιάμεσα στην μέγιστη και την ελάχιστη τότε ο πρώτος στρόβιλος χρησιμοποιεί όλη την εκμεταλλεύσιμη παροχή. Αν είναι μικρότερη από την ελάχιστη χρησιμοποιεί μηδενική παροχή και αν είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη τότε χρησιμοποιεί την μέγιστη και όχι την εκμεταλλεύσιμη.

Βήμα 5^ο : Όση παροχή δεν έχει εκμεταλλευτεί ο πρώτος εν σειρά στρόβιλος θα την εκμεταλλευτεί ο δεύτερος. Υπολογίζεται η διαφορά (DQ) μεταξύ της αρχικής παροχής προς εκμετάλλευση και της παροχής που εκμεταλλεύτηκε ο πρώτος στρόβιλος Q_1 .

Βήμα 6^ο : Η παροχή για τον δεύτερο στρόβιλο υπολογίζεται αντίστοιχα όπως του πρώτου με μοναδική διαφορά την παροχή προς εκμετάλλευση που τώρα είναι το DQ .

Βήμα 7^ο : Υπολογίζονται οι λόγοι των παροχών που εκμεταλλεύονται οι στρόβιλοι προς τις αντίστοιχες μέγιστες (Q_1/Q_{\max} , Q_2/Q_{\max}).

Βήμα 8^ο : Από την σχέση 13, υπολογίζεται ο βαθμός απόδοσης του κάθε στρόβιλου (n_1 , n_2). Στο κεφάλαιο των σταθερών πιο πριν έχει γίνει αναλυτική περιγραφή της σχέσης.

Βήμα 9^ο : Υπολογίζονται οι ισχύεις των στρόβιλων (P_1 , P_2) από τον τύπο $P=g*n*Q*H_n$, όπου n ο βαθμός απόδοσης που βρέθηκε στο 7^ο βήμα και H_n το καθαρό ύψος πτώσης που έχει βρεθεί μετά την αφαίρεση των απωλειών που εξηγήθηκε νωρίτερα. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στις μονάδες και στις μετατροπές αυτών (η ισχύς υπολογίζεται σε MW).

Βήμα 10^ο : Υπολογίζονται οι ενέργειες που παράγουν οι στρόβιλοι (E_1 , E_2), πολλαπλασιάζοντας την ισχύ με 24 ώρες (MWh to MW) .

Βήμα 11^ο : Υπολογίζονται τα αθροίσματα των ενεργειών E_1 και E_2 και των παροχών Q_1 και Q_2 .

Σημαντική σημείωση:

1. Όλα τα παραπάνω γίνονται για κάθε βήμα, δηλαδή για όλες τις διαθέσιμες παροχές.
2. Αν υπάρχουν πάνω από δύο στρόβιλοι στο μείγμα του έργου δεν αλλάζει κάτι, απλώς γίνεται η ίδια διαδικασία με το DQ και για τους υπόλοιπους. Αυτό χρειάστηκε να γίνει σε ένα μόνο έργο αυτής της διπλωματικής που διέθετε τρεις στρόβιλους (M.Y.H.E. Πηνειού).
3. Μονάδες παροχών είναι το m^3/s , της ισχύς MW και της ενέργειας MWh.
4. Οι απώλειες υπολογίζονται ταυτόχρονα με την παραπάνω μεθοδολογία. Αρκεί το άθροισμα των παροχών για να υπολογιστεί, μετά το 7^ο βήμα.

Αφού έχουν γίνει όλα τα προηγούμενα, συγκεντρώνονται σε έναν πίνακα η μέγιστη και ελάχιστη παροχή κάθε υδροστρόβιλου, ο (μέγιστος) συντελεστής απόδοσης κάθε υδροστρόβιλου και η εγκατεστημένη ισχύς των υδροστρόβιλων (ό,τι δίνει η μελέτη του έργου). Υπολογίζονται για κάθε στρόβιλο το ποσοστό του χρόνου λειτουργίας τους (OT), το ποσοστό του όγκου του παρεχόμενου νερού (OV) που χρησιμοποιείται, η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (E) και ο συντελεστής δυναμικότητας (CF).

Το ποσοστό χρόνου λειτουργίας OT υπολογίζεται ως εξής : ελέγχονται και προσμετρώνται πόσες παροχές είναι μη μηδενικές και το αποτέλεσμα διαιρείται με το πλήθος όλων των παροχών.

Το ποσοστό του όγκου του παρεχόμενου νερού OV υπολογίζεται ως εξής : υπολογίζεται η μέση τιμή των παροχών που εκμεταλλεύεται ο κάθε στρόβιλος και διαιρείται με την μέση τιμή της συνολικής εκμεταλλευόμενης παροχής.

Η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας E υπολογίζεται ως εξής : υπολογίζεται η μέση τιμή των παραγόμενων ενεργειών του εκάστοτε στροβίλου, πολλαπλασιάζεται με 365 (ήμερες) και διαιρείται με 1000 για μετατροπή μονάδας από MWh σε GWh.

Ο συντελεστής δυναμικότητας CF υπολογίζεται ως εξής : είναι ίσος με το πηλίκο της μέσης ετήσιας ενέργειας του κάθε στροβίλου δια του άθροισματος των ισχύων πολλαπλασιασμένο με 8760 (ώρες τον χρόνο). Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στις μετατροπές των μονάδων.

Για τον υπολογισμό των παραπάνω για το συνολικό μείγμα του μικρού υδροηλεκτρικού έργου αρκεί η προσθήκη μιας ακόμα στήλης του συγκεντρωτικού αυτού πίνακα. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς είναι το άθροισμα των δύο επιμέρους. Ο συντελεστής απόδοσης στροβίλων είναι ίσος με το μεγαλύτερο από τους δύο. Η μέγιστη παροχή είναι το άθροισμα των δύο μέγιστων και ως ελάχιστη παροχή ορίζεται η ελάχιστη μεταξύ των δύο ελαχίστων. Το συνολικό ποσοστό OT υπολογίζεται όπως τα επιμέρους αλλά με την συνολική παροχή που περνάει από τους υδροστροβίλους και το OV υπολογίζεται ως άθροισμα των δύο επιμέρους. Η μέση ετήσια ενέργεια δεν είναι το άθροισμα αλλά υπολογίζεται κα αυτή αντίστοιχα όπως οι επιμέρους, δηλαδή η μέση τιμή των συνολικών ενεργειών διαιρείται με 365 ημέρες.

Ο συντελεστής δυναμικότητας του έργου είναι ίσος με την συνολική μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια πολλαπλασιασμένη με 1000 (λόγω μονάδων) δια την συνολική ισχύς πολλαπλασιασμένη με 8760.

Η βελτιστοποίηση βασίζεται στην παραγωγή της ενέργειας και στον συντελεστή δυναμικότητας. Ορίζεται ως στόχος η μεγιστοποίηση την μέσης ετήσιας παραγόμενης ενέργειας, για συντελεστή δυναμικότητας μεγαλύτερο ή ίσο με το 30% και με περιορισμό τα 15 MW για την ισχύ ως μικρό υδροηλεκτρικό έργο, γίνεται επίλυση με solver στο excel. Δοκιμάζονται διάφοροι τύποι στροβίλων ώστε να επιλεγθεί το κατάλληλο μείγμα με την ελάχιστη εγκατεστημένη ισχύ και την μέγιστη δυνατή παραγόμενη ενέργεια.

5.5 ΜΥΗΕ χωρίς μείγμα στροβίλων

Η διαδικασία παραμένει ίδια με μόνη διαφορά τον μηδενισμό του δεύτερου στροβίλου και χρήση μόνο του ενός.

Κεφάλαιο 6 - Οικονομική Ανάλυση

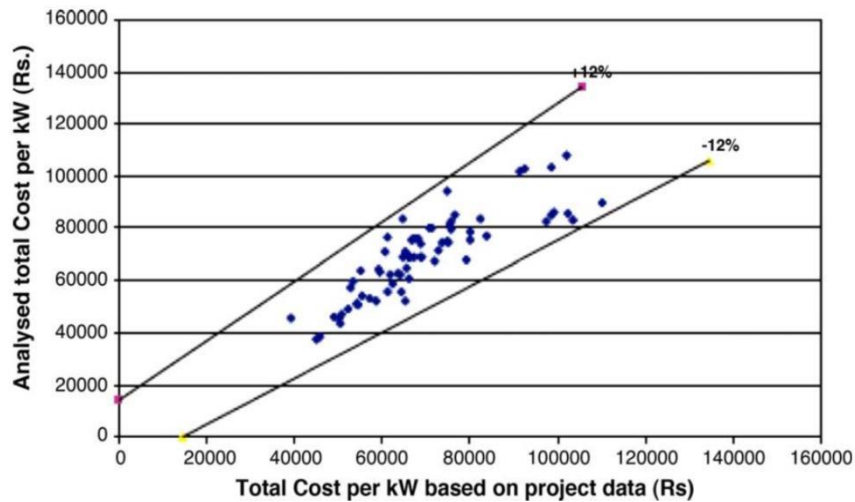
6.1 Ιστορική Αναδρομή Οικονομικής Ανάλυσης Μ.Υ.Η.Ε.

Κύριος παράγοντας του σχεδιασμού ενός μικρού υδροηλεκτρικού έργου αποτελεί η οικονομική του βιωσιμότητα. Η ανάγκη των τελευταίων ετών για στροφή προς την υδροηλεκτρική ενέργεια έχει προτρέψει αρκετούς ερευνητές και μηχανικούς να μελετήσουν την βελτιστοποίηση του σχεδιασμού, της λειτουργίας και της απόδοσης των μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών.

Το 1983 οι Minott και Delisser εντόπισαν με την μείωση του κόστους κάποιων κομματιών ενός μικρού υδροηλεκτρικού έργου και παρουσίασαν την κατασκευή αγωγών πτώσης από υλικό PVC ή ξύλο ή ενισχυμένο πολυεστέρα, την χρήση των ηλεκτρονικών πομπών ώστε να ελέγχεται η ταχύτητα του νερού και χρήση κάποιων ψηφιακών συσκευών για έλεγχο της τάσης του ρεύματος. Αποτέλεσμα της έρευνάς τους ήταν πως το κόστος του έργου καθίσταται δυνατό να μειωθεί με την τυποποίηση κομματιών του έργου και την ελάττωση της ποικιλίας του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται.

Οι Hosseini *et al.* το 2005 έκαναν ενδελεχή διατριβή πάνω στην βελτιστοποίηση της ισχύος και την βέλτιστη ετήσια ενεργειακή παραγωγή των μικρών υδροηλεκτρικών έργων. Αυτό κατάφεραν να το κάνουν αναπτύσσοντας ένα πρόγραμμα για την ανάλυση και εκτίμηση των οικονομικών δεικτών ενός μικρού υδροηλεκτρικού έργου, χρησιμοποιώντας τεχνικές ανάλυσης ευαισθησίας. Επιπροσθέτως μέσω της μεθόδου Monte Carlo ανέπτυξαν πρόγραμμα που υπολογίζει τους δείκτες αξιοπιστίας διάφορων οικονομικών δεικτών σε συγκεκριμένες φορτίσεις της εγκατάστασης. Επομένως, η βέλτιστη ονομαστική ισχύς P του μικρού υδροηλεκτρικού έργου καθορίστηκε συγκρίνοντας τεχνικούς και οικονομικούς δείκτες παράλληλα με τον βαθμό αξιοπιστίας.

Έπειτα οι Singal και Saini εν έτη 2008 αξιολόγησαν το πως επηρεάζεται το κόστος των επιμέρους έργων που αποτελούν ένα μικρό υδροηλεκτρικό έργο από την εγκατεστημένη ισχύ και το υδραυλικό ύψους πτώσης του. Ασχολήθηκαν συγκεκριμένα με περιπτώσεις έργων πάνω σε κανάλια με συνεχή παροχή Q και μικρά υδραυλικά ύψη πτώσης H .



Διάγραμμα 6.1.1 Συμπερασματικό διάγραμμα μελέτης για την κοστολόγηση ΜΥΗΕ σε κανάλι με μικρό ύψος πτώσης

(Πηγή: Singal and Saini, 2008)

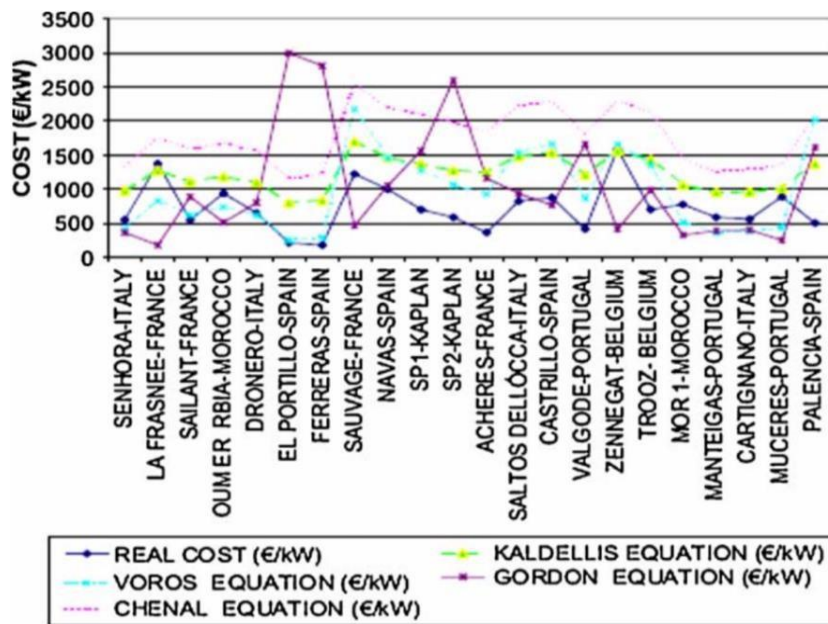
Αργότερα το 2009 οι Ogyar και Vidal και άλλοι αρκετοί ειδικοί ανέπτυξαν διαφορετικά μοντέλα για τον υπολογισμό της δαπάνης του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού των μικρών υδροηλεκτρικών έργων. Στις σχέσεις του Πίνακα 6.1.1, που ανέπτυξαν για τον καθορισμό του κόστους του Η/Μ εξοπλισμού ενός ΜΥΗΕ φαίνεται η συνάρτηση του κόστους με την εγκατεστημένη ισχύ του έργου και του ύψους πτώσης του. Η επιλογή της σωστής εξίσωσης του Πίνακα 6.1.1 βασίζεται και στον τύπο του στροβίλου που θα χρησιμοποιηθεί.

Σε δημοσίευση του Mishra *et al.* το 2011 έγινε σύγκριση των παραπάνω μοντέλων και τα αποτελέσματα φαίνονται στο Διάγραμμα 6.1.2. Τα μοντέλα παρουσιάζουν σχεδόν ίδιες τιμές με την πραγματικότητα και είναι εμφανώς χρήσιμα στο πλαίσιο μιας προκαταρκτικής μελέτης, της αξιολόγησης της επένδυσης και ενδεχομένως και σε περιπτώσεις ανακαινίσεων ή ανακατασκευών.

Πίνακας 6.1.1 Εμπειρικές σχέσεις κόστους Η/Μ εξοπλισμού

(Πηγή: Ogyar and Vidal, 2009)

Τύπος στροβίλου	Εξίσωση κόστους (€/kW)
Pelton	$17.693P^{-0.3644725}H^{-0.281735}$
Francis	$25.698P^{-0.560135}H^{-0.127243}$
Kaplan	$33.236P^{-0.58338}H^{-0.113901}$
Semikaplan	$19.498P^{-0.560135}H^{-0.127243}$



Διάγραμμα 6.1.2 Διάγραμμα σύγκρισης αληθινού κόστους Η/Μ εξοπλισμού και κόστους πρόβλεψης μέσω εξισώσεων

(Πηγή: Mishra et al., 2011)

6.2 Ανάπτυξη Σχέσης Κόστους Μ.Υ.Η.Ε.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής αναπτύχθηκε εξ αρχής μια σχέση του κόστους μικρού υδροηλεκτρικού έργου. Η σχέση αυτή συσχετίζει το κόστος του έργου με την εγκατεστημένη ισχύ, το υδραυλικό ύψος πτώσης και το μήκος του αγωγού προσαγωγής.

Η παραγωγή της σχέσης βασίστηκε σε πραγματικά δεδομένα οικονομικών στοιχείων μικρών υδροηλεκτρικών έργων στην Ελλάδα. Συγκεντρώθηκαν όλα τα οικονομικά δεδομένα που υπάρχουν στις περιβαλλοντικές μελέτες των έργων, που χρησιμοποιήθηκαν στην διπλωματική αυτή, και συσχετίστηκαν με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όπως η εγκατεστημένη ισχύς, το μήκος των αγωγών ακόμη και με το ύψος πτώσης.

Στο παρακάτω Πίνακας 6.2.1 παρουσιάζονται οι δαπάνες ανά κατηγορία για κάθε έργο και το γενικό σύνολο κόστους.

Πίνακας 6.2.1 Δαπάνες ανά κατηγορία για κάθε έργο

Δαπάνες	ΠΑΛΑΙΟΦΥΤΕΙΑ	ΖΙΤΣΑ	ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑ	ΤΖΟΥΜΕΡΚΑ	ΠΕΙΡΟΣ	ΧΟΥΤΙΑΝΑΣ	ΔΡΟΣΑΤΟ
Στρόβιλοι- Η/Μ	1,600,000 €	3,400,000 €	515,000 €	304,000 €	654,190 €	335,000 €	240,000 €
Υδροληψία	350,000 €	760,000 €	140,000 €	35,000 €	13,930 €		5,000 €
Αγωγός Προσαγωγής	2,100,000 €	-	710,000 €	48,000 €	104,050 €	-	18,000 €
ΥΗΣ - Διώρυγα Φυγής - Περιβάλλον χώρος	300,000 €	-	160,000 €	60,000 €	110,000 €	-	-
Οδοί Προσπέλασης	20,000 €	875,000 €	80,000 €	50,000 €	-	-	1,000 €
Έξοδα μελέτης και Διαδικασιών Αδειοδότησης	260,000 €		60,000 €	20,000 €	108,514 €	27,000 €	11,000 €
Απρόβλεπτα- Περιβαλλοντική Αποκατάσταση	35,000 €	40,000 €	10,000 €	-	-	10,000 €	3,000 €
Κόστος Διασύνδεσης	225,000 €	580,000 €	285,000 €	30,000 €	100,000 €	85,000 €	25,000 €
Μετάδοση δεδομένων	-	25,000 €	-	-	-	-	-
Κτιριακά	-	795,000 €	-	-	-	-	15,000 €
Προμήθεια, Μεταφορά, Τοποθέτηση, Επίχωση κ.α. από μηχανοστάσιο προς υδροληψία	-	725,000 €	90,000 €	81,500 €	-	-	27,000 €
Πίνακες Αυτοματισμού	-	-	70,000 €	-	270,690 €	-	-
Μετασηματιστές ανύψωσης, Μ/Σ, Πίνακες Μέσης Τάσης	-	-	45,000 €	80,000 €	-	-	7,000 €
Μεταλλικές Κατασκευές	-	-	35,000 €	10,000 €	-	-	-
Δίοδος Ψαριών	-	-	-	-	7,000 €	-	-
Αγωγός Πτώσης	-	-	-	-	1,718,540 €	-	-
Επίβλεψη Έργου	-	-	-	-	54,257 €	-	-
Δεξαμενή Φόρτισης	-	-	-	-	20,169 €	-	-
Έργα υποδομής	-	-	-	-	-	313,000 €	37,000 €
Δεξαμενή Ηρεμίας	-	-	-	-	-	-	9,000 €
ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ	4,890,000 €	7,200,000 €	2,200,000 €	718,500 €	3,161,341 €	770,000 €	398,000 €

Για το κόστος των μικρών υδροηλεκτρικών έργων αναπτύχθηκε μια σχέση της μορφής $K=a \cdot P^b \cdot H^c \cdot L^d$, όπου P η εγκατεστημένη ισχύς του έργου σε MW, H το ύψος πτώσης σε μέτρα, L το μήκος αγωγού προσαγωγής σε μέτρα και a, b, c, d σταθερές.

Έχοντας τα πραγματικά κόστη για κάποια μικρά υδροηλεκτρικά έργα και τις βασικές πληροφορίες, όπως εγκατεστημένη ισχύς, μήκος αγωγού προσαγωγής και ύψος πτώσης υπολογίζεται το τετραγωνικό σφάλμα : (πραγματικό κόστος-κόστος από σχέση)², το οποίο βελτιστοποιείται να προσεγγίζει το μηδέν αλλάζοντας τις σταθερές a, b, c και d . Έτσι, προκύπτουν οι τιμές των σταθερών και η σχέση κόστους-ισχύος-μήκους αγωγού-ύψους πτώσης.

$$K = 2.274 * P^{0.749} * H^{0.153} * L^{0.065} * 10^6 \quad (14)$$

Όπου:

K : Κόστος Έργου, €

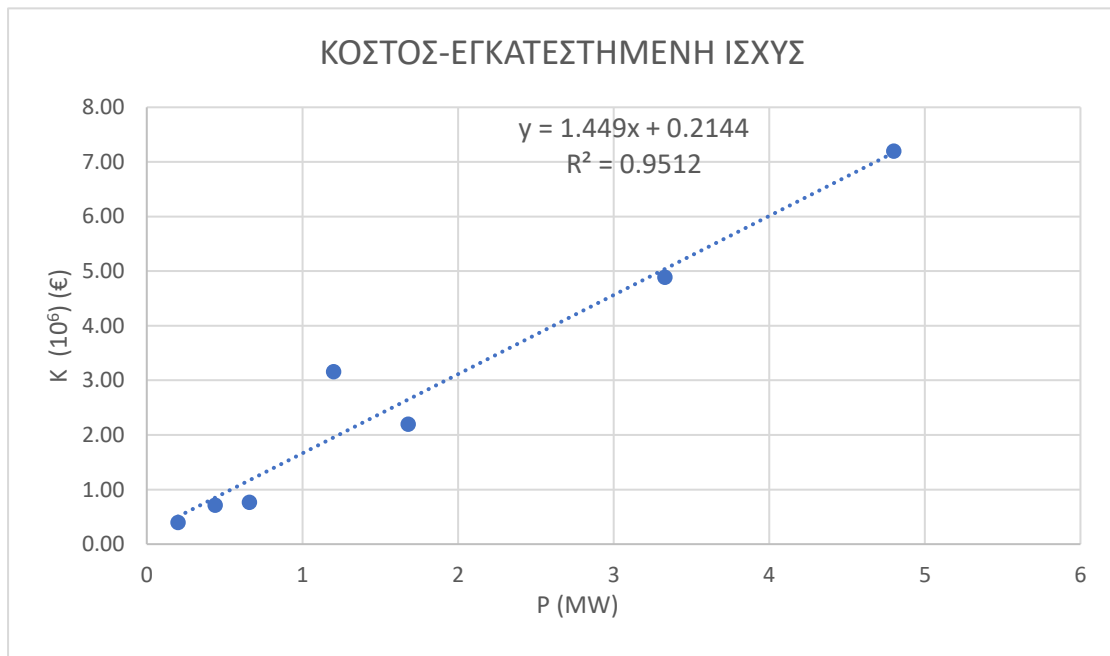
P : Εγκατεστημένη ισχύς, MW

H : Ύψος πτώσης, m

L : Μήκος αγωγού προσαγωγής, m

Από την σχέση κιόλας είναι φανερό ότι κύρια επίδραση του κόστους αποτελεί η εγκατεστημένη ισχύς. Το ύψος πτώσης και το μήκος του αγωγού προσαγωγής έχουν σημαντική επίδραση στο κόστος αλλά όχι εξίσου μεγάλη με εκείνη της ισχύος.

Επιπροσθέτως, δημιουργείται ένα γράφημα (Διάγραμμα 6.2.1) μεταξύ πραγματικού κόστους έργων και της εγκατεστημένης τους ισχύος και προκύπτει μία ευθεία, που συγκλίνει στις τιμές όσο το δυνατόν καλύτερα.



Διάγραμμα 6.2.1 Διάγραμμα Κόστους – Εγκατεστημένης Ισχύος

Η σχέση αυτή είναι :

$$y = 1.449x + 0.2144, R=0.95 \text{ (πάρα πολύ καλή σύγκλιση)}$$

Δηλαδή :

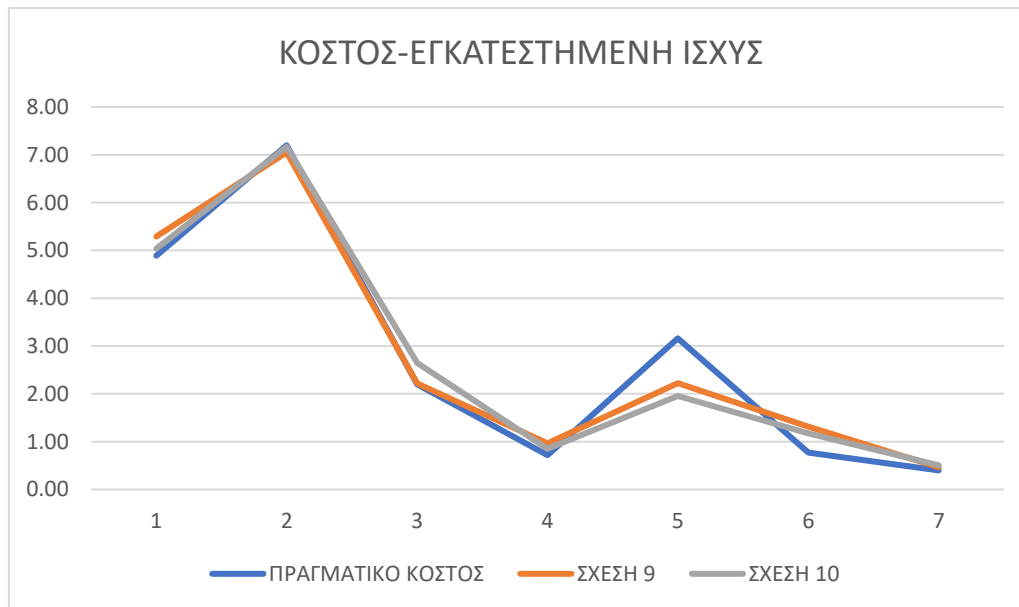
$$K = (1.449P + 0.2144)10^6, \quad (15)$$

K : Κόστος Έργου, €

P : Εγκατεστημένη ισχύς, MW

Όμοια με πριν υπολογίζεται το τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ πραγματικού κόστους και του κόστους από την σχέση του διαγράμματος.

Η σχέση 14 εμφανίζει μικρότερο αθροιστικό τετραγωνικό σφάλμα από την σχέση 15. Επομένως, στην βελτιστοποίηση των μικρών υδροηλεκτρικών έργων που έγινε με βάση τα οικονομικά στοιχεία, χρησιμοποιήθηκε η σχέση 14.



Διάγραμμα 6.2.2 Γραφήματα Κόστους – Εγκατεστημένης Ισχύος

Από το γράφημα (Διάγραμμα 6.2.2) είναι φανερό πως και οι δύο σχέσεις 14 και 15 συγκλίνουν αρκετά στο πραγματικό κόστος με την σχέση 14 να υπερνικά.

6.3 Βελτιστοποίηση ΜΥΗΕ με Οικονομικά Κριτήρια

Η βελτιστοποίηση με βάση τα οικονομικά κριτήρια γίνεται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο με εκείνη του συντελεστή δυναμικότητας με μόνη διαφορά την προσθήκη μερικών ακόμα παραμέτρων.

Υπολογίζεται για κάθε έργο το κόστος από την σχέση 14. Έπειτα υπολογίζεται η ετήσια δόση A_1 από την σχέση :

$$A_1 = K \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (16)$$

Στην σχέση 16 το K είναι το κόστος που βρέθηκε από την σχέση 14, το i το επιτόκιο 4% και το n ο ορίζοντας ανάλυσης 20 ή 10 έτη για καλύτερα αποτελέσματα. Τέλος,

υπολογίζεται το ετήσιο όφελος E_s που είναι ίσο 85 ευρώ ανά MWh (προκύπτει από την τιμή πώλησης της ενέργειας).

Το όφελος, που ισούται με τη διαφορά $E_s - A_1$, όπου E_s τα ετήσια έσοδα και A_1 τα ετήσια έξοδα, πρόκειται να μεγιστοποιηθεί.

Στην επίλυση λοιπόν δεν υπάρχει ο περιορισμός του συντελεστή δυναμικότητας και δεν μεγιστοποιείται η μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια αλλά η παραπάνω διαφορά. Η βελτιστοποίηση αυτή έγινε και για $n=10$ έτη και για $n=20$ έτη και για όλα τα επιτρεπτά μείγματα στροβίλων.

Κεφάλαιο 7 - Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης

Παρακάτω στους πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις τρεις βελτιστοποιήσεις που έγιναν για κάθε έργο και κάθε μείγμα. Η πρώτη βελτιστοποίηση αφορά την μεγιστοποίηση της μέσης ετήσιας παραγόμενης ενέργειας με τον περιορισμό συντελεστή δυναμικότητας τουλάχιστον 30%. Η δεύτερη και η τρίτη βελτιστοποίηση αφορά την μεγιστοποίηση του οφέλους.

Σε κάθε έργο οι στήλες «ΑΡΧΙΚΟ» και «ΑΡΧΙΚΟ ΜΕ ΑΠΩΛΕΙΕΣ» αναφέρονται στον αρχικό σχεδιασμό. Στην πρώτη έχουν γίνει οι υπολογισμοί με το καθαρό ύψος πτώσης που δίνει η εκάστοτε μελέτη. Στην δεύτερη οι υπολογισμοί έχουν γίνει κανονικά με υπολογισμό απωλειών επακριβέστερα.

Η επιλογή του τελικού μείγματος στροβίλων θα γίνει όπως συνίσταται βασιζόμενοι στα 10 έτη ορίζοντα ανάλυσης και όχι στα 20 μιας και το πρώτο είναι πιο ρεαλιστικό. Επιπροσθέτως, η βελτιστοποίηση της ενέργειας με περιορισμό του CF δίνει παρεμφερή αποτελέσματα.

7.1 Ζίτσα

Πίνακας 7.1.1 Βασικές Σταθερές Οικονομικής Ανάλυσης Ζίτσας

ΕΡΓΟ	ΖΙΤΣΑ
H (m)	24
L (m)	944
n (ορίζοντας ανάλυσης)	10 ή 20
i (επιτόκιο)	4%

Πίνακας 7.1.2 Αποτελέσματα με τα Αρχικά Δεδομένα της Ζίτσας

	ΑΡΧΙΚΟ	ΑΡΧΙΚΟ ΜΕ ΑΠΩΛΕΙΕΣ
P (MW)	4.80	4.80
n	0.91	0.91
Q _{max}	25.01	22.48
Q _{min}	2.50	2.25
% Χρονου Λειτουργίας	78.70	79.63
% Όγκου Χρησιμ.	91.12	88.57
Μέση Ετήσια Ενέργεια (GWh)	16.04	17.37

CF	0.38	0.41
ΌΦΕΛΟΣ n=10	478,193 €	591,576 €
ΟΦΕΛΟΣ n=20	835,047 €	948,430 €

Πίνακας 7.1.3 Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης Παραγόμενης Ενέργειας Ζίτσας

	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 1 - CF			
	2 ΚΑΡΛΑΝ	1 FRANCIS + 1 ΚΑΡΛΑΝ	2 FRANCIS	1 ΚΑΡΛΑΝ+1 FRANCIS
P (MW)	7.11	7.15	7.16	7.10
n	0.91	0.93	0.93	0.91
Qmax	33.46	32.92	32.98	33.45
Qmin	2.82	1.97	2.01	2.71
% Χρονου Λειτουργίας	97.22	81.48	81.48	75.93
% Όγκου Χρησιμ.	95.80	96.42	97.21	96.19
Μέση Ετήσια Ενέργεια (GWh)	18.68	18.78	18.81	18.67
CF	0.30	0.30	0.30	0.30
ΌΦΕΛΟΣ n=10	395,510 €	399,176 €	400,390 €	395,047 €
ΟΦΕΛΟΣ n=20	876,276 €	881,899 €	883,761 €	875,568 €

Πίνακας 7.1.4 Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης Καθαρού Οφέλους Ζίτσας

	ΒΕΛΤΙΣΟΠΟΙΗΣΗ 2 - n=10				ΒΕΛΤΙΣΟΠΟΙΗΣΗ 3 - n=20			
	2 KAPLAN	1 FRANCIS + 1 KAPLAN	2 FRANCIS	1 KAPLAN + 1 FRANCIS	2 KAPLAN	1 FRANCIS + 1 KAPLAN	2 FRANCIS	1 KAPLAN + 1 FRANCIS
P (MW)	3.59	3.59	3.39	3.59	4.80	5.06	5.06	4.95
n	0.91	0.93	0.93	0.91	0.91	0.93	0.93	0.91
Qmax	16.80	16.42	15.51	16.81	22.56	23.22	23.22	23.22
Qmin	1.05	1.10	0.56	0.92	1.09	1.40	1.43	1.91
% Χρονου Λειτουργίας	92.59	88.89	92.59	90.74	86.11	86.11	86.11	81.48
% Όγκου Χρησιμ.	80.67	79.86	78.22	80.91	90.70	90.57	90.86	90.13
Μέση Ετήσια Ενέργεια (GWh)	15.85	15.70	15.38	15.90	17.69	17.85	17.86	17.69
CF	0.50	0.50	0.52	0.51	0.42	0.40	0.40	0.41
ΌΦΕΛΟΣ	637,497 €	625,072 €	628,305 €	640,833 €	974,980 €	967,134 €	968,266 €	962,319 €

Στο έργο αυτό αρχικά παρατηρείται μια ελαφριά αύξηση του συντελεστή δυναμικότητας στην επίλυση με απώλειες. Αυτό θα έλεγε κανείς ότι είναι περίεργο. Όμως αυτό συμβαίνει γιατί αλλάζοντας το ύψος πτώσης αλλάζει η μέγιστη παροχή που μπορεί να περάσει από τους στροβίλους.

Στην πρώτη βελτιστοποίηση παρατηρείται πτώση του συντελεστή δυναμικότητας και του οφέλους γεγονός που αποδεικνύει πως μια τέτοιου είδους βελτιστοποίησή δεν είναι αντιπροσωπευτική και συμφέρουσα.

Στις βελτιστοποιήσεις 2 και 3 ο συντελεστής δυναμικότητας είναι εμφανώς μεγαλύτερος από τον αρχικό και το σημαντικότερο είναι πως αυξάνεται και το όφελος σε σχέση με το αρχικό έργο.

Εν κατακλείδι το ΜΥΗΕ στην περιοχή της Ζίτσας αρχικά είχε 2 στροβίλους τύπου KAPLAN και προτείνεται η αλλαγή τους σε 1 KAPLAN και σε 1 FRANCIS μείγμα στροβίλων, ώστε να μεγιστοποιηθεί το καθαρό όφελος του έργου. Με μικρότερη εγκατεστημένη ισχύς και μέση ετήσια ενέργεια το έργο γίνεται πιο προσοδοφόρο.

7.2 Δρακότρυπα

Πίνακας 7.2.1 Βασικές Σταθερές Οικονομικής Ανάλυσης Δρακότρυπας

ΕΡΓΟ	ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑ
H (m)	492
L (m)	3800
n (ορίζοντας ανάλυσης)	10 ή 20
i (επιτόκιο)	4%

Πίνακας 7.2.2 Αποτελέσματα με τα Αρχικά Δεδομένα της Δρακότρυπας

	ΑΡΧΙΚΟ	ΑΡΧΙΚΟ ΜΕ ΑΠΩΛΕΙΕΣ
P (MW)	1.68	1.68
n	0.85	0.89
Q _{max}	0.40	0.43
Q _{min}	0.04	0.04
% Χρονου Λειτουργίας	0.52	0.52
% Όγκου Χρησµ.	0.97	0.97
Μέση Ετήσια Ενέργεια (GWh)	3.57	3.56
CF	0.24	0.24
ΌΦΕΛΟΣ n=10	28,277 €	27,264 €
ΌΦΕΛΟΣ n=20	139,207 €	138,195 €

Πίνακας 7.2.3 Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης Παραγόμενης Ενέργειας Δρακότρυπας

	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 1 - CF			
	2 PELTON	2 FRANCIS	PELTON + FRANCIS	FRANCIS+PELTON
P (MW)	1.40	1.40	1.38	1.40
n	0.93	0.93	0.89	0.93
Q _{max}	0.32	0.32	0.33	0.32
Q _{min}	0.02	54.17	0.02	0.02
% Χρονου Λειτουργίας	54.17	2.57	54.17	54.17
% Όγκου Χρησιμ.	94.66	94.21	95.03	94.66
Μέση Ετήσια Ενέργεια (GWh)	3.71	3.68	3.64	3.69
CF	0.30	0.30	0.30	0.30
ΌΦΕΛΟΣ n=10	75,024 €	73,258 €	71,630 €	73,413 €
ΌΦΕΛΟΣ n=20	171,765 €	169,912 €	167,369 €	170,154 €

Πίνακας 7.2.4 Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης Καθαρού Οφέλους Δρακότρυπας

	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 2 - n=10				ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 3 - n=20			
	2 PELTON	2 FRANCIS	PELTON + FRANCIS	FRANCIS + PELTON	2 PELTON	2 FRANCIS	PELTON + FRANCIS	FRANCIS + PELTON
P (MW)	0.92	0.96	0.96	0.92	1.21	1.19	1.21	1.21
n	0.89	0.93	0.93	0.89	0.89	0.93	0.93	0.89
Q _{max}	0.22	0.22	0.22	0.22	0.28	0.27	0.27	0.28
Q _{min}	55.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
% χρόνου λειτουργίας	3.07	54.17	55.00	55.00	55.00	54.17	55.00	54.17
% όγκου χρησιμ.	83.34	83.03	83.15	83.31	92.30	90.19	91.11	92.12
Μέση ετήσια Ενέργεια (GWh)	3.18	3.26	3.25	3.20	3.52	3.53	3.55	3.53
CF	0.39	0.39	0.39	0.39	0.33	0.34	0.33	0.33
ΌΦΕΛΟΣ	95,349 €	96,957 €	95,852 €	96,816 €	171,423 €	174,296 €	173,559 €	172,258 €

Στο έργο της Δρακότρυπας ο συντελεστής δυναμικότητας αυξάνεται και στις τρεις βελτιστοποιήσεις. Επίσης το καθαρό όφελος του έργου αυξάνεται. Αν γινόταν η επιλογή από την πρώτη βελτιστοποίηση θα έπρεπε να εγκατασταθούν 2 PELTON αντί για έναν που υπάρχει ήδη. Με βάση όμως την οικονομική βελτιστοποίηση 2 FRANCIS θα ήταν το καταλληλότερο μείγμα για την συγκεκριμένη θέση ΜΥΗΕ. Η

εγκατεστημένη ισχύς και η μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια μειώνεται αλλά το όφελος αυξάνεται.

7.3 Παλαιοφυτεία

Πίνακας 7.3.1 Βασικές Σταθερές Οικονομικής Ανάλυσης Παλαιοφυτείας

ΕΡΓΟ	ΠΑΛΑΙΟΦΥΤΕΙΑ
H (m)	39
L (m)	2400
n (ορίζοντας ανάλυσης)	10 ή 20
i (επιτόκιο)	4%

Πίνακας 7.3.2 Αποτελέσματα με τα Αρχικά Δεδομένα της Παλαιοφυτείας

	ΑΡΧΙΚΟ	ΑΡΧΙΚΟ ΜΕ ΑΠΩΛΕΙΕΣ
P (MW)	3.33	3.33
n	0.93	0.93
Q _{max}	9.86	10.17
Q _{min}	0.52	0.50
% Χρονου Λειτουργίας	109.47	73.68
% Όγκου Χρησιμ.	87.40	88.20
Μέση Ετήσια Ενέργεια (GWh)	10.58	10.65
CF	0.36	0.37
ΌΦΕΛΟΣ n=10	237,826 €	243,585 €
ΟΦΕΛΟΣ n=20	504,538 €	510,298 €

Πίνακας 7.3.3 Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης Παραγόμενης Ενέργειας Παλαιοφυτείας

	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 1 - CF			
	2 PELTON	2 FRANCIS	PELTON + FRANCIS	FRANCIS+PELTON
P (MW)	-	4.17	-	-
n	-	0.93	-	-
Q _{max}	-	13.44	-	-
Q _{min}	-	0.73	-	-
% Χρονου Λειτουργίας	-	66.32	-	-
% Όγκου Χρησιμ.	-	94.39	-	-
Μέση Ετήσια Ενέργεια (GWh)	-	11.06	-	-
CF	-	0.30	-	-
ΌΦΕΛΟΣ n=10	0 €	154,505 €	0 €	0 €
ΌΦΕΛΟΣ n=20	0 €	471,112 €	0 €	0 €

Πίνακας 7.3.4 Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης Καθαρού Οφέλους Παλαιοφυτείας

	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 2 - n=10				ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 3 - n=20			
	2 PELTON	2 FRANCIS	PELTON + FRANCIS	FRANCIS + PELTON	2 PELTON	2 FRANCIS	PELTON + FRANCIS	FRANCIS + PELTON
P (MW)	-	2.33	-	-	-	3.00	-	-
n	-	0.93	-	-	-	0.93	-	-
Q _{max}	-	6.98	-	-	-	9.15	-	-
Q _{min}	-	0.19	-	-	-	0.37	-	-
% χρονου λειτουργί ας	-	88.42	-	-	-	80.00	-	-
% όγκου χρησιμ.	-	74.51	-	-	-	85.90	-	-
Μέση ετήσια Ενέργεια (GWh)	-	8.95	-	-	-	10.06	-	-
CF	-	0.44	-	-	-	0.38	-	-
ΌΦΕΛΟΣ	-	256,998 €	-	-	-	490,731 €	-	-

Στο έργο αυτό αρχικά παρατηρείται μια ελαφριά αύξηση του συντελεστή δυναμικότητας στην επίλυση με απώλειες. Αυτό θα έλεγε κανείς ότι είναι περίεργο. Όμως αυτό συμβαίνει γιατί αλλάζοντας το ύψος πτώσης αλλάζει η μέγιστη παροχή που μπορεί να περάσει από τους στροβίλους.

Τα χαρακτηριστικά του ΜΥΗΕ στην Παλαιοφυτεία επιτρέπουν μείγμα στροβίλων μόνο με FRANCIS. Αρχικά το έργο έχει δύο FRANCIS και τελικά πάλι δυο FRANCIS. Όμως αλλάζει η εγκατεστημένη ισχύς και η παραγόμενη ενέργεια. Στην πρώτη βελτιστοποίηση αυξάνονται ενώ στις άλλες δύο μειώνονται. Το όφελος αυξάνεται στην οικονομική βελτιστοποίηση (με $n=10$) με την οποία θα γίνει και η τελική επιλογή.

7.4 Κάμπος Τζουμέρκα

Πίνακας 7.4.1 Βασικές Σταθερές Οικονομικής Ανάλυσης Τζουμέρκων

ΕΡΓΟ	ΤΖΟΥΜΕΡΚΑ
H (m)	90
L (m)	950
n (ορίζοντας ανάλυσης)	10 ή 20
i (επιτόκιο)	4%

Πίνακας 7.4.2 Αποτελέσματα με τα Αρχικά Δεδομένα του Κάμπου Τζουμέρκων

	ΑΡΧΙΚΟ	ΑΡΧΙΚΟ ΜΕ ΑΠΩΛΕΙΕΣ
P (MW)	0.44	0.44
n	0.85	0.89
Q _{max}	0.58	0.60
Q _{min}	0.06	0.06
% Χρονου Λειτουργίας	0.77	0.77
% Όγκου Χρησιμ.	0.95	0.95
Μέση Ετήσια Ενέργεια (GWh)	1.30	1.32
CF	0.34	0.34
ΌΦΕΛΟΣ n=10	-7,021 €	-5,423 €
ΟΦΕΛΟΣ n=20	40,530 €	42,128 €

Πίνακας 7.4.3 Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης Παραγόμενης Ενέργειας Κάμπου Τζουμερκών

	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 1 - CF			
	2 PELTON	2 FRANCIS	PELTON + FRANCIS	FRANCIS+PELTON
P (MW)	0.53	0.46	-	-
n	0.89	0.89	-	-
Q _{max}	0.70	0.63	-	-
Q _{min}	0.02	0.06	-	-
% Χρονου Λειτουργίας	91.67	0.77	-	-
% Όγκου Χρησιμ.	99.12	0.96	-	-
Μέση Ετήσια Ενέργεια (GWh)	1.41	1.33	-	-
CF	0.30	0.33	-	-
ΌΦΕΛΟΣ n=10	-16,683 €	-9,417 €	0 €	0 €
ΌΦΕΛΟΣ n=20	38,301 €	39,825 €	0 €	0 €

Πίνακας 7.4.4 Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης Καθαρού Οφέλους Κάμπου Τζουμερκών

	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 2 - n=10				ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 3 - n=20			
	2 PELTON	2 FRANCIS	PELTON + FRANCIS	FRANCIS + PELTON	2 PELTON	2 FRANCIS	PELTON + FRANCIS	FRANCIS + PELTON
P (MW)	0.23	-	-	-	0.32	-	-	-
n	0.89	-	-	-	0.89	-	-	-
Q _{max}	0.29	-	-	-	0.41	-	-	-
Q _{min}	0.01	-	-	-	0.02	-	-	-
% χρονου λειτουργί ας	95.00	-	-	-	93.33	-	-	-
% όγκου χρησιμ.	76.47	-	-	-	90.96	-	-	-
Μέση ετήσια Ενέργεια (GWh)	1.10	-	-	-	1.30	-	-	-
CF	0.55	-	-	-	0.47	-	-	-
ΌΦΕΛΟΣ	22,161 €	-	-	-	55,759 €	-	-	-

Στο ΜΥΗΕ του Κάμπου Τζουμέρκων ο τύπος στροβίλου που επιτρέπεται είναι ο PELTON. Αρχικά το έργο διαθέτει έναν PELTON. Τα καθαρά οφέλη εμφανίζονται αρνητικά διότι κατά πάσα πιθανότητα έχουν υποθέσει στον αρχικό σχεδιασμό μεγαλύτερο επιτόκιο. Το μείγμα δύο στροβίλων PELTON μετά από την οικονομική βελτιστοποίηση αποδεικνύεται προσοδοφόρο με μικρότερη εγκατεστημένη ισχύς και ελαφρώς μειωμένη παραγόμενη ενέργεια.

7.5 Πείρος

Πίνακας 7.5.1 Βασικές Σταθερές Οικονομικής Ανάλυσης Πείρου

ΕΡΓΟ	ΠΕΙΡΟΣ
H (m)	80
L (m)	2720
n (ορίζοντας ανάλυσης)	10 ή 20
i (επιτόκιο)	4%

Πίνακας 7.5.2 Αποτελέσματα με τα Αρχικά Δεδομένα του Πείρου

	ΑΡΧΙΚΟ	ΑΡΧΙΚΟ ΜΕ ΑΠΩΛΕΙΕΣ
P (MW)	1.32	1.32
n	0.89	0.93
Q _{max}	1.94	1.86
Q _{min}	0.06	0.05
% Χρονου Λειτουργίας	78.76	78.76
% Όγκου Χρησιμ.	80.97	79.54
Μέση Ετήσια Ενέργεια (GWh)	4.81	4.92
CF	0.42	0.42
ΌΦΕΛΟΣ n=10	112,453 €	121,680 €
ΌΦΕΛΟΣ n=20	231,939 €	241,166 €

Πίνακας 7.5.3 Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης Παραγόμενης Ενέργειας Πείρου

	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 1 - CF			
	2 PELTON	2 FRANCIS	1 PELTON + 1 FRANCIS	1 FRANCIS+1 PELTON
P (MW)	2.08	2.10	2.08	2.13
n	0.89	0.93	0.89	0.93
Q _{max}	3.14	3.01	3.14	3.06
Q _{min}	0.12	0.19	0.18	0.18
% Χρονου Λειτουργίας	69.09	69.09	69.09	69.09
% Όγκου Χρησιμ.	91.47	90.05	91.32	90.86
Μέση Ετήσια Ενέργεια (GWh)	5.47	5.51	5.46	5.59
CF	0.30	0.30	0.30	0.30
ΌΦΕΛΟΣ n=10	46,584 €	47,744 €	46,405 €	49,858 €
ΟΦΕΛΟΣ n=20	215,113 €	217,278 €	214,777 €	221,205 €

Πίνακας 7.5.4 Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης Καθαρού Οφέλους Πείρου

	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 2 - n=10				ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 3 - n=20			
	2 PELTON	2 FRANCIS	1 PELTON + 1 FRANCIS	1 FRANCIS + 1 PELTON	2 PELTON	2 FRANCIS	1 PELTON + 1 FRANCIS	1 FRANCIS + 1 PELTON
P (MW)	1.02	1.13	1.07	1.13	1.02	1.43	1.40	1.46
n	0.89	0.93	0.89	0.93	0.89	0.93	0.89	0.93
Q _{max}	1.48	1.56	1.55	1.57	1.48	2.00	2.04	2.04
Q _{min}	0.06	0.11	0.08	0.09	0.06	0.15	0.12	0.11
% χρονου λειτουργί ας	78.76	69.35	70.16	69.62	78.76	69.09	69.35	69.35
% όγκου χρησιμ.	71.30	72.50	72.35	72.77	71.30	81.01	81.67	81.80
Μέση ετήσια Ενέργεια (GWh)	4.41	4.63	4.53	4.60	4.41	5.11	5.04	5.13
CF	0.49	0.47	0.48	0.47	0.49	0.41	0.41	0.40
ΌΦΕΛΟΣ	130,729 €	131,241 €	131,950 €	128,527 €	229,230 €	246,558 €	244,226 €	245,144 €

Στον Πείρο αρχικά υπάρχει μείγμα στροβίλων που αποτελείται από 1 FRANCIS και 1 PELTON. Η οικονομική βελτιστοποίηση δείχνει ότι το μείγμα αυτό είναι ιδανικό και αυτό που αλλάζει είναι η εγκατεστημένη ισχύς και η παραγόμενη ενέργεια, μειώνονται και τα δυο. Ο συντελεστής δυναμικότητας αυξάνεται δραματικά και το έργο γίνεται πιο προσοδοφόρο.

7.6 Ρέμα Χουτιανά

Πίνακας 7.6.1 Βασικές Σταθερές Οικονομικής Ανάλυσης Χουτιανά

ΕΡΓΟ	ΡΕΜΑ ΧΟΥΤΙΑΝΑ
H (m)	91
L (m)	1243
n (ορίζοντας ανάλυσης)	10 ή 20
i (επιτόκιο)	4%

Πίνακας 7.6.2 Αποτελέσματα με τα Αρχικά Δεδομένα Χουτιανά

	ΑΡΧΙΚΟ	ΑΡΧΙΚΟ ΜΕ ΑΠΩΛΕΙΕΣ
P (MW)	0.66	0.66
n	0.89	0.93
Q _{max}	0.84	0.84
Q _{min}	0.08	0.08
% Χρονου Λειτουργίας	0.68	0.68
% Όγκου Χρησιμ.	0.79	0.79
Μέση Ετήσια Ενέργεια (GWh)	2.73	2.64
CF	0.47	0.46
ΌΦΕΛΟΣ n=10	68,919 €	61,731 €
ΌΦΕΛΟΣ n=20	134,634 €	127,447 €

Πίνακας 7.6.3 Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης Παραγόμενης Ενέργειας Χουτιανά

	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 1 - CF			
	1 PELTON (ΑΡΧ.ΒΕΛΤ.)	2 PELTON	2 FRANCIS	1 FRANCIS + 1 PELTON
P (MW)	1.02	0.94	0.95	0.95
n	0.89	0.89	0.93	0.93
Q _{max}	1.57	1.22	1.18	1.18
Q _{min}	0.16	0.06	0.09	0.06
% Χρονου Λειτουργίας	0.61	55.00	55.00	55.00
% Όγκου Χρησιμ.	0.96	98.62	97.86	98.00
Μέση Ετήσια Ενέργεια (GWh)	3.06	2.48	2.51	2.51
CF	0.34	0.30	0.30	0.30
ΌΦΕΛΟΣ n=10	33,988 €	-3,080 €	-2,424 €	-2,456 €
ΌΦΕΛΟΣ n=20	125,255 €	83,026 €	84,562 €	84,530 €

Πίνακας 7.6.4 Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης Καθαρού Οφέλους Χουτιανά

	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 2 - n=10				ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 3 - n=20			
	2 PELTON	2 FRANCIS	1 FRANCIS + 1 PELTON	1 PELTON + 1 FRANCIS	2 PELTON	2 FRANCIS	1 FRANCIS + 1 PELTON	1 PELTON + 1 FRANCIS
P (MW)	0.50	0.49	0.49	0.50	0.76	0.78	0.79	0.76
n	0.89	0.93	0.93	0.89	0.89	0.93	0.93	0.89
Q _{max}	0.64	0.60	0.60	0.64	0.98	0.96	0.97	0.98
Q _{min}	0.03	0.02	0.04	0.03	0.05	0.07	0.05	0.05
% χρονου λειτουργί ας	57.50	57.50	55.83	55.83	55.00	55.00	55.00	55.00
% όγκου χρησιμ.	73.60	70.62	70.46	73.40	92.08	91.09	91.86	91.94
Μέση ετήσια Ενέργεια (GWh)	1.88	1.85	1.87	1.90	2.33	2.37	2.37	2.35
CF	0.43	0.43	0.43	0.43	0.35	0.35	0.34	0.35
ΌΦΕΛΟΣ	26,953 €	26,249 €	27,638 €	28,637 €	89,585 €	90,922 €	89,894 €	90,605 €

Στο ΜΥΗΕ στο ρέμα Χουτιανά έχει εγκατασταθεί ένας Cross-Flow υδροστρόβιλος, ο οποίος λόγω παρόμοιων χαρακτηριστικών μελετήθηκε σαν Pelton λόγω έλλειψης δεδομένων. Η βελτιστοποίηση δεν χαρακτηρίζεται ως επιτυχής σε αυτή την περίπτωση καθώς εμφανίζει μείωση συντελεστή δυναμικότητας και καθαρών οφελών. Αυτό λογικά οφείλεται στην υπόθεση στροβίλου Pelton. Τα αρνητικά οφέλη εμφανίζονται εξαιτίας διαφορετικού επιτοκίου.

7.7 Δροσάτο

Πίνακας 7.7.1 Βασικές Σταθερές Οικονομικής Ανάλυσης Δροσάτου

ΕΡΓΟ	ΔΡΟΣΑΤΟ
H (m)	181
L (m)	582
n (ορίζοντας ανάλυσης)	10 ή 20
i (επιτόκιο)	4%

Πίνακας 7.7.2 Αποτελέσματα με τα Αρχικά Δεδομένα Δροσάτου

	ΑΡΧΙΚΟ	ΑΡΧΙΚΟ ΜΕ ΑΠΩΛΕΙΕΣ
P (MW)	0.22	0.22
n	0.85	0.89
Q _{max}	0.14	0.15
Q _{min}	0.01	0.01
% Χρονου Λειτουργίας	1.00	1.00
% Όγκου Χρησιμ.	0.69	0.71
Μέση Ετήσια Ενέργεια (GWh)	1.50	1.49
CF	0.78	0.77
ΌΦΕΛΟΣ n=10	66,666 €	65,904 €
ΟΦΕΛΟΣ n=20	91,124 €	90,362 €

Πίνακας 7.7.3 Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης Παραγόμενης Ενέργειας Δροσάτου

	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 1 - CF			
	1 PELTON (ΑΡΧ.ΒΕΛΤ.)	2 PELTON	2 FRANCIS	1 FRANCIS + 1 PELTON
P (MW)	0.38	0.43	-	-
n	0.89	0.89	-	-
Q _{max}	0.28	0.29	-	-
Q _{min}	0.03	0.01	-	-
% Χρονου Λειτουργίας	0.96	100.00	-	-
% Όγκου Χρησιμ.	0.99	99.85	-	-
Μέση Ετήσια Ενέργεια (GWh)	1.96	2.12	-	-
CF	0.59	0.56	-	-
ΌΦΕΛΟΣ n=10	75,325 €	78,727 €	0 €	0 €
ΌΦΕΛΟΣ n=20	112,066 €	119,555 €	0 €	0 €

Πίνακας 7.7.4 Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης Καθαρού Οφέλους Δροσάτου

	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 2 - n=10				ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 3 - n=20			
	2 PELTON	2 FRANCIS	1 FRANCIS + 1 PELTON	1 PELTON + 1 FRANCIS	2 PELTON	2 FRANCIS	1 FRANCIS + 1 PELTON	1 PELTON + 1 FRANCIS
P (MW)	0.36	-	-	-	0.36	-	-	-
n	0.89	-	-	-	0.89	-	-	-
Q _{max}	0.24	-	-	-	0.24	-	-	-
Q _{min}	0.01	-	-	-	0.01	-	-	-
% χρονου λειτουργί ας	100.00	-	-	-	100.00	-	-	-
% όγκου χρησιμ.	94.52	-	-	-	94.52	-	-	-
Μέση ετήσια Ενέργεια (GWh)	2.02	-	-	-	2.02	-	-	-
CF	0.63	-	-	-	0.63	-	-	-
ΌΦΕΛΟΣ	82,772 €	-	-	-	118,552 €	-	-	-

Στο ΜΥΗΕ στο Δροσάτο ο τύπος στροβίλου που μπορεί να τοποθετηθεί είναι ο PELTON. Αρχικά το έργο διαθέτει έναν Turgo. Η βελτιστοποίηση δείχνει ιδανικό το

μείγμα δύο στροβίλων τύπου PELTON. Το καθαρό όφελος αυξάνεται ενώ ο συντελεστής δυναμικότητας μειώνεται ελαφρώς (λόγω κάποιων υποθέσεων).

7.8 Έργο Υπό Σχεδιασμό (Άγ. Μηνάς)

Πίνακας 7.8.1 Βασικές Σταθερές Οικονομικής Ανάλυσης Άγ. Μηνά

ΕΡΓΟ	ΔΡΟΣΑΤΟ
H (m)	53.5
L (m)	3270
n (ορίζοντας ανάλυσης)	10 ή 20
i (επιτόκιο)	4%

Πίνακας 7.8.2 Αποτελέσματα με τα Αρχικά Δεδομένα Άγ. Μηνά

	ΑΡΧΙΚΟ
P (MW)	15.50
n	0.91
Q _{max}	33.64
Q _{min}	2.58
% Χρονου Λειτουργίας	65.10
% Όγκου Χρησιμ.	71.31
Μέση Ετήσια Ενέργεια (GWh)	46.04
CF	0.34
ΌΦΕΛΟΣ n=10	1,847,240 €
ΌΦΕΛΟΣ n=20	2,680,341 €

Πίνακας 7.8.3 Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης Παραγόμενης Ενέργειας Αγ. Μηνά

	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 1 - CF			
	2 KAPLAN	1 FRANCIS + 1 KAPLAN	2 FRANCIS	1 KAPLAN+1 FRANCIS
P (MW)	15.00	15.00	15.00	15.00
n	0.91	0.93	0.93	0.91
Q _{max}	32.53	31.78	31.72	32.46
Q _{min}	2.38	1.74	1.84	2.51
% Χρονου Λειτουργίας	66.20	70.20	69.50	65.40
% Όγκου Χρησμ.	70.41	70.21	70.53	70.69
Μέση Ετήσια Ενέργεια (GWh)	45.49	45.59	45.82	45.72
CF	0.35	0.35	0.35	0.35
ΌΦΕΛΟΣ n=10	1,851,100 €	1,859,524 €	1,879,610 €	1,870,904 €
ΟΦΕΛΟΣ n=20	2,663,721 €	2,672,145 €	2,692,231 €	2,683,525 €

Πίνακας 7.8.4 Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης Καθαρού Οφέλους Αγ. Μηνά

	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 2 - n=10				ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 3 - n=20			
	2 KAPLAN	1 FRANCIS + 1 KAPLAN	2 FRANCIS	1 KAPLAN + 1 FRANCIS	2 KAPLAN	1 FRANCIS + 1 KAPLAN	2 FRANCIS	1 KAPLAN + 1 FRANCIS
P (MW)	14.46	14.72	14.64	14.70	15.00	15.00	15.00	15.00
n	0.91	0.93	0.93	0.91	0.91	0.93	0.93	0.91
Q _{max}	31.27	31.11	30.96	31.82	32.51	31.74	31.74	32.49
Q _{min}	2.28	1.76	1.71	2.35	2.42	1.80	1.80	2.46
% χρονου λειτουργί ας	66.70	70.10	70.40	66.30	65.90	69.80	69.80	65.70
% όγκου χρησμ.	69.29	69.61	69.84	70.17	70.37	70.19	70.55	70.74
Μέση ετήσια Ενέργεια (GWh)	44.85	45.26	45.40	45.38	45.49	45.59	45.83	45.73
CF	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
ΌΦΕΛΟΣ	1,852,426 €	1,860,080 €	1,880,184 €	1,872,492 €	2,663,573 €	2,672,210 €	2,692,272 €	2,684,018 €

Σε αυτό το έργο που είναι υπό κατασκευή πρόκειται να εγκατασταθούν δύο υδροστρόβιλοι τύπου KAPLAN ωστόσο καλύτερα έσοδα θα έχει αν εγκατασταθεί 1

ΚΑΡΛΑΝ και 1 FRANCIS. Μειώνονται και η ισχύς και η ενέργεια αλλά αυξάνεται ο συντελεστής δυναμικότητας.

7.9 Πηνειός

Το ΜΥΗΕ στον Πηνειό έχει τρεις υδροστροβίλους ΚΑΡΛΑΝ. Η βελτιστοποίηση έγινε χωρίς αλλαγή μείγματος και ο συντελεστής δυναμικότητα και τα έσοδα βελτιώθηκαν ή παρέμειναν ίδια.

Πίνακας 7.9.1 Βασικές Σταθερές Οικονομικής Ανάλυσης Πηνειού

ΕΡΓΟ	ΠΗΝΕΙΟΣ
H (m)	20
L (m)	550
n (ορίζοντας ανάλυσης)	10 ή 20
i (επιτόκιο)	4%

Πίνακας 7.9.2 Αποτελέσματα με τα Αρχικά Δεδομένα Πηνειού

	ΑΡΧΙΚΟ	ΑΡΧΙΚΟ ΜΕ ΑΠΩΛΕΙΕΣ
P (MW)	6.30	6.30
n	0.91	0.91
Q _{max}	25.99	25.99
Q _{min}	2.60	2.60
% Χρονου Λειτουργίας	45.16	45.16
% Όγκου Χρησιμ.	57.13	57.13
Μέση Ετήσια Ενέργεια (GWh)	17.01	17.01
CF	0.31	0.31
ΌΦΕΛΟΣ n=10	365,597 €	365,597 €
ΌΦΕΛΟΣ n=20	801,101 €	801,101 €

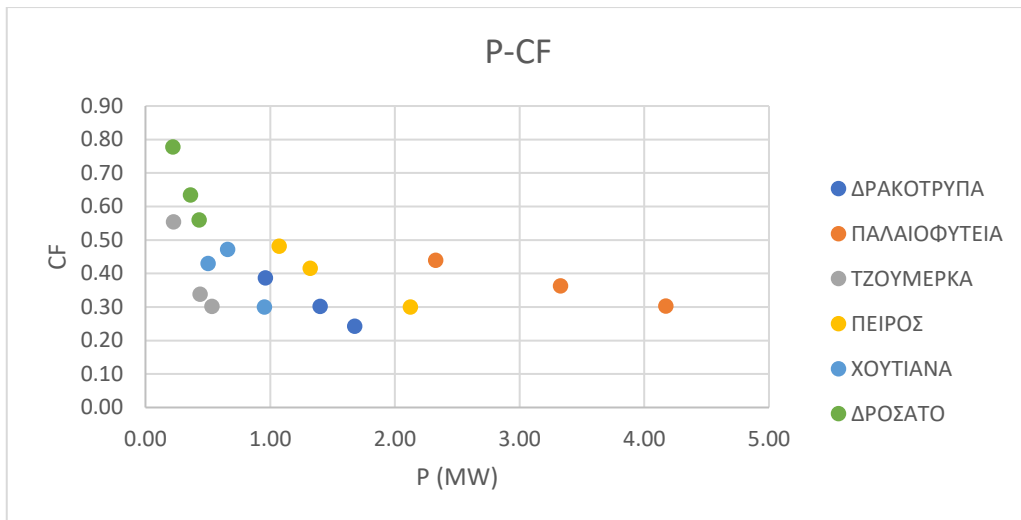
Πίνακας 7.9.3 Αποτελέσματα Βελτιστοποιήσεων Πηγειού

	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 1	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 2	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ 3
	CF	n=10	n=20
	ΑΡΧΙΚΟ ΒΕΛΤ.	3 ΚΑΡΛΑΝ	3 ΚΑΡΛΑΝ
P (MW)	6.78	7.10	7.78
n	0.91	0.91	0.91
Qmax	30.91	27.73	32.07
Qmin	2.42	2.22	2.92
% Χρονου Λειτουργίας	46.24	47.04	43.55
% Όγκου Χρησιμ.	65.23	60.36	66.69
Μέση Ετήσια Ενέργεια (GWh)	17.82	18.45	19.23
CF	0.30	0.30	0.28
ΌΦΕΛΟΣ	372,520 €	385,227 €	877,878 €

Σε όλα σχεδόν τα έργα η βελτιστοποιήσεις έδωσαν καλύτερα αποτελέσματα από τα αρχικά του σχεδιασμού. Τα έργα μπορούν να γίνουν πιο προσοδοφόρα με μεγαλύτερο CF. Η μείωση της εγκατεστημένης ισχύος έστω και με μείση της παραγωγής ενέργειας αυξάνει τα καθαρά κέρδη και τον συντελεστή δυναμικότητας των ΜΥΗΕ. Η 1^η βελτιστοποίηση δεν δίνει τόσο καλά αποτελέσματα όσο η 2^η. Ωστόσο για να γίνει η 2^η απαιτούνται αρκετά στοιχεία που δεν δύναται να υπάρχουν σε μια φάση προμελέτης. Έτσι προτείνεται η χρήση της 1^{ης} με CF μεγαλύτερης τάξης (40%).

7.10 Διερεύνηση Σχέσης Ισχύος - Συντελεστή Δυναμικότητας

Παρακάτω στο διάγραμμα και στους πίνακες φαίνεται η μεταβολή της ισχύος και του συντελεστή δυναμικότητας. Με μικρότερη εγκατεστημένη ισχύ εμφανίζεται μεγαλύτερος CF. Όπως επίσης φαίνεται και η μεταβολή του CF με τιμές κοντά ή μεγαλύτερες του 40%.



Διάγραμμα 7.10.1 Διάγραμμα συσχέτισης ισχύος και συντελεστή δυναμικότητας

Πίνακας 7.10.1 Μεταβολή CF στις Βελτιστοποιήσεις

	ΑΡΧΙΚΟ CF	CF1	CF2
ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑ	0.24	0.30	0.39
ΠΑΛΛΙΟΦΥΤΕΙΑ	0.36	0.30	0.44
ΤΖΟΥΜΕΡΚΑ	0.34	0.30	0.55
ΠΕΙΡΟΣ	0.42	0.30	0.48
ΧΟΥΤΙΑΝΑ	0.47	0.30	0.43
ΔΡΟΣΑΤΟ	0.78	0.56	0.63
ΑΓ. ΜΗΝΑΣ	0.34	0.35	0.35
ΠΗΝΕΙΟΣ	0.31	0.30	0.30
ΖΙΤΣΑ	0.38	0.30	0.51

Πίνακας 7.10.2 Μεταβολή Ισχύος στις Βελτιστοποιήσεις

	ΑΡΧΙΚΟ P	P1	P2
ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑ	1.68	1.40	0.96
ΠΑΛΛΙΟΦΥΤΕΙΑ	3.33	4.17	2.33
ΤΖΟΥΜΕΡΚΑ	0.44	0.53	0.23
ΠΕΙΡΟΣ	1.32	2.13	1.07
ΧΟΥΤΙΑΝΑ	0.66	0.95	0.50
ΔΡΟΣΑΤΟ	0.22	0.43	0.36
ΑΓ. ΜΗΝΑΣ	15.50	15.00	14.64
ΠΗΝΕΙΟΣ	6.30	6.78	7.10
ΖΙΤΣΑ	4.80	7.16	3.59

Κεφάλαιο 8 - Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή αναπτύχθηκε μια διαδικασία βελτιστοποίησης του σχεδιασμού ΜΥΗΕ, και ειδικότερα της επιλογής του κατάλληλου μείγματος στροβίλων. Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα δεν διαθέτουν ταμειυτήρα, για αυτό η χρήση κατάλληλου μείγματος στροβίλων, συνήθως ενός μεγάλου και ενός μικρότερου, γίνεται ώστε να εκμεταλλευτεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερο εύρος παροχών. Στο πρόβλημα της επιλογής κατάλληλου μείγματος και της αντίστοιχης εγκατεστημένης ισχύος ενσωματώθηκαν όλες οι πολυπλοκότητες που οφείλονται στην μη γραμμικότητα του βαθμού απόδοσης και των υδραυλικών απωλειών. Το μοντέλο αυτό εφαρμόστηκε σε εννέα (9) έργα του Ελλαδικού χώρου, των οποίων τα δεδομένα αντλήθηκαν από τις δημοσιευμένες περιβαλλοντικές μελέτες τους. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για ανάλυση και σύγκριση των μεγεθών σχεδιασμού με αυτά που προέκυψαν από το πλαίσιο βελτιστοποίησης που αναπτύχθηκε.

Τα οικονομικά στοιχεία των έργων χρησιμοποιήθηκαν, επίσης, ως υπόβαθρο για την παραγωγή μιας εμπειρικής σχέσης κόστους ως συνάρτησης των βασικών μεγεθών σχεδιασμού, ήτοι της ισχύς, του ύψους πτώσης και του μήκους του αγωγού προσαγωγής. Οι εμπειρικές σχέσεις που προϋπήρχαν στη βιβλιογραφία αφορούσαν μόνο στην ισχύ, ενώ αυτή αντιπροσωπεύει τα καθολικά χαρακτηριστικά ενός ΜΥΗΕ.

Η βελτιστοποίηση του μείγματος των στροβίλων έγινε με βάση δύο εναλλακτικές προσεγγίσεις. Η πρώτη, που είναι και η πιο απλή, αφορά την μεγιστοποίηση της μέσης παραγόμενης ενέργειας, θέτοντας ως περιορισμό για τον συντελεστή δυναμικότητας, CF, ένα ελάχιστο όριο 30%, που είναι μία εύλογη τιμή από την γενική εμπειρία των κατασκευασμένων ΜΥΗΕ. Η δεύτερη μέθοδος είναι πιο αναλυτική, καθώς βελτιστοποιήθηκε η σχέση κόστους - οφέλους. Το κόστος ανάγεται σε ετήσια βάση και περιγράφεται για ορίζοντα ανάλυσης 10 και 20 ετών, ενώ το όφελος προκύπτει για μια σταθερή τιμή πώλησης της παραγόμενης ενέργειας, που ορίζει η σχετική νομοθεσία.

Τα βασικά συμπεράσματα από τις αναλύσεις αυτές είναι τα εξής:

1. Σε όλες τις περιπτώσεις, η προτεινόμενη προσέγγιση κατέληξε σε ένα πιο αποδοτικό έργο από το αρχικά σχεδιασμένο (σε όρους κόστους-οφέλους). Άρα, τα ΜΥΗΕ που μελετήθηκαν έχουν το περιθώριο για ένα καλύτερο μείγμα στροβίλων.
2. Με μικρότερη εγκατεστημένη ισχύ, και «θυσιάζοντας» λίγο μόνο από την παραγόμενη ενέργεια, το έργο εξασφαλίζει αρκετά υψηλότερο συντελεστή δυναμικότητας και γίνεται πιο προσοδοφόρο.
3. Η προσεγγιστική διαδικασία βελτιστοποίησης της παραγόμενης ενέργειας συνεχίζει να είναι ικανοποιητική, θέτοντας ωστόσο τον περιορισμό του CF στο 40% κατ' ελάχιστο έναντι του 30% που συνήθως συστήνεται.
4. Η εισαγωγή των υδραυλικών απωλειών στις μελέτες των ΜΥΗΕ, όπως και της μεταβλητότητας του βαθμού απόδοσης των στροβίλων, είναι απαραίτητη, παρόλο που συνήθως παραλείπεται. Οι διαφορές που

προκύπτουν είναι σημαντικές, και σε κάθε περίπτωση περιγράφεται ορθότερα η πραγματική λειτουργία του ΜΥΗΕ.

5. Τα υδρολογικά δεδομένα που εντοπίστηκαν στις μελέτες αφορούν σε δείγματα παροχών μηνιαίας κλίμακας και διάρκειας τη τάξης των δέκα ετών, και δεν θεωρούνται κατάλληλα. Επομένως, κρίνεται αναγκαίο σε επόμενο στάδιο η συνέχεια της ανάλυσης αυτής με ημερήσια δεδομένα μεγαλύτερου μήκους, ώστε να περιγράφεται ορθότερα η διακύμανση της παροχής μέσα στο μήνα, και η μακροχρόνια της μεταβλητότητα.

Κεφάλαιο 9 - Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση

1. Παπαντώνης, Δ., 2021. «Μικρά υδροηλεκτρικά έργα», Εκδόσεις Τσότρας, Αθήνα.
2. Τσακίρης, Γ., 2006. «Υδραυλικά Έργα-Σχεδιασμός & Διαχείριση», Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
3. A. Osman Akan, Παπανικολάου Π., 2020. «Υδραυλική των Ανοικτών Αγωγών», Εκδόσεις daVinci, Αθήνα.
4. Ευστρατιάδης Α. κ.α., 2022. Διαφάνειες Μαθήματος «Ανανεώσιμη Ενέργεια και Υδροηλεκτρικά Έργα», Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
5. Δημόπουλος Ε., 2020. «Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου Παλαιοφυτείας», ΒΑΣΕΚΡΑΦΤ Α.Ε., Πάτρα.
6. Πετρόπουλος Χ., 2019. «Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου Ζίτσας», GREEN POWER M.I.K.E., Χαλκίδα.
7. Ανδρέου Μ., Κασσέλας Θ., 2020. «Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου Δρακότρυπας», ΥΔΡΟΦΙΛΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ Μ.ΕΠΕ., Καρδίτσα.
8. Ανδρέου Μ., Κούρτη Π., 2021. «Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου Κάμπου Τζουμέρκων», Κούρτη Π., Άρτα.
9. Τζαμάλης Σ., 2022. «Σχεδιασμός Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου στον Ποταμό Πείρο», Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Πάτρα.
10. Καράνης Ι., 2015. «Σχεδιασμός Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου στον Ποταμό Πηνειό», Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
11. Κωνσταντινίδης Δ., Οικονόμου Α., 2021. «Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου Ρέμα Χουτιάνας», KALERO LIMITED., Θεσσαλονίκη.
12. Σαμαρτζίδης Μ., 2019. «Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου Δροσάτου», Παπαδημητρίου και Σία Ο.Ε., Λάρισα.
13. Μπαϊρακτάρης Ι., 2020, «Το ζήτημα της Κλίμακας στην Υδροηλεκτρική Ενέργεια», Διπλωματική Εργασία, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
14. Δρακάκη Κ., 2021, «Optimizing the management of small hydroelectric plants: from the synergetic operation of the turbine system to day-ahead energy forecasting», Διπλωματική Εργασία, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
15. Μέγα Μ., 2009, «Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα στις Ορεινές Περιοχές και οι Επιπτώσεις τους στο Περιβάλλον», Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον και Ανάπτυξη-Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

16. Σούλης Ι., 1995. «Υδραυλικά Στροβιλομηχαναί», Πρώτος Τόμος, Εκδόσεις Αιβάζη, Ξάνθη.

Ξενόγλωσση

1. Sakki G., Tsoukalas I., Efstratiadis A., 2021. «A reverse engineering approach across small hydropower plants: a hidden treasure of hydrological data?», Hydrological Sciences Journal, DOI: 10.1080/02626667.2021.2000992
2. Celso Penche, 1998, «Layman’s Guidebook on How to Develop a Small Hydro Site», 2nd Edition, ESHA.
3. Ramos, H., Betamio, 1999, «Small Hydropower Schemes as an Important Renewable Energy Source», HIDROENERGIA'99 - Int. Conf. on Small and Medium Hydropower, Vienna.

Ιστοσελίδες

<http://www.eeft.gr/>

<http://www.ypeka.gr/el-gr/>

<https://earth.google.com/web/>

<https://encyclopedia.pub/item/revision/b8f15fa9b87c8ead5a8cc4329ab7a8e6>

<https://ourworldindata.org/>

<https://www.eia.gov/>

<https://www.hydropower.org/>

<https://www.usgs.gov/>

<https://www.wikipedia.org/>

www.energotech.gr

www.geocities.com

<http://sfrang.com/historia/selida625.htm>

www.fluid.mech.ntua.gr

<https://www.scribd.com/doc/260448881/Guide-Small-Hydropower-Plant-ESHA#>

<https://www.yumpu.com/en/document/read/30983507/laymans-guidebook-on-how-to-develop-a-small-hydro-site-1998>

<https://tinyurl.com/bdczrf7e>

www.hydrosolarenergy.gr
<https://housing.com/news/what-is-kaplan-turbine/>
<https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/1821-4487/2010/1821-44871003149r.pdf>
<http://www.civil.ist.utl.pt/~hr/hidroenergia.pdf>
<https://tinyurl.com/587pyckr>
<https://tinyurl.com/2ue6wbzv>
<https://tinyurl.com/yc63kyrw>
<https://tinyurl.com/4stutafm>
<https://tinyurl.com/mw6r5x85>
<https://tinyurl.com/4decy8hx>
www.geocities.com/grphysics/energy/geotherme.html
<https://tinyurl.com/yyyy9vvz>
<https://tinyurl.com/2p9apbnk>
<https://tinyurl.com/3dbkzjf2>
<https://tinyurl.com/4z3tp9j9>
<https://tinyurl.com/4n5d3wh4>
<https://tinyurl.com/535a63ee>
<https://tinyurl.com/4xj8x4ab>
http://users.sch.gr/kpara/ape2009_10/ydrauliki.html