



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ  
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**



**«Ανάλυση βιωσιμότητας μικρών υδροηλεκτρικών έργων»**

**ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
Κούστας Κ. Γεώργιος

Επιβλέπων Καθηγητής: Πολύζος Σεραφείμ , Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας  
Βόλος , Σεπτέμβριος 2020

**ΔΗΛΩΣΗ**

Βεβαιώνω ότι η παρούσα εργασία είναι δική μου, δεν έχει συγγραφεί από άλλο πρόσωπο με ή χωρίς αμοιβή, δεν έχει αντιγραφεί από δημοσιευμένη ή αδημοσίευτη εργασία άλλου και δεν έχει προηγουμένως υποβληθεί για βαθμολόγηση στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ή αλλού. Βεβαιώνω ότι είμαι εν γνώσει των κανόνων περί λογοκλοπής του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης και ότι στο πλαίσιο αυτού έχουν τηρηθεί όλοι οι κανόνες κατά την ακαδημαϊκή δεοντολογία, σχετικά με αναφορές, βιβλιογραφία, κ.λπ., τόσο από έντυπες όσο και από ηλεκτρονικές πηγές. Σε περίπτωση λογοκλοπής αποδέχομαι όλες ανεξαιρέτως τις ποινές που προβλέπουν οι εκάστοτε Κανονισμοί του ΠΘ ή και του ΤΜΧΠΠΑ.

Ημερομηνία: 23 Σεπτεμβρίου 2020

Όνοματεπώνυμο: Κούστας Γεώργιος

Υπογραφή:

A photograph of a handwritten signature in blue ink on a light-colored background. The signature is cursive and appears to read 'Kostas'.

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση της σκοπιμότητας των Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων. Στο πρώτο τμήμα της εργασίας αναλύεται η νομοθεσία που διέπει τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα , η μεθοδολογία που ακολουθείται για την χωροθέτηση και την κατασκευή των μικρών υδροηλεκτρικών έργων καθώς και οι τρόποι υπολογισμού της σκοπιμότητας των έργων αυτών. Στο δεύτερο τμήμα της εργασίας αναλύεται ένα Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο στο ρέμα Πετρόρεμα , στο Σιδηρόνερο Δράμας. Παρουσιάζονται όλα τα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά του έργου , το επιχειρηματικό σχέδιο τα μακροοικονομικά μεγέθη της επιχείρησης καθώς επίσης και η υδρολογική , η οικονομική και η περιβαλλοντική μελέτη του έργου.

**Λέξεις κλειδιά:** Υδραυλική ενέργεια , Μικρό υδροηλεκτρικό έργο , Πετρόρεμα , Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας , Νομοθεσία , Υδροληψία , Λεκάνη απορροής

«Sustainability analysis of small hydroelectric projects»

## Abstract

The purpose of this dissertation is to analyze the feasibility of Small Hydroelectric Plants. The first part of the work analyzes the legislation governing small hydroelectric plants, followed by the methodology for the location and construction of small hydroelectric plants as well as the ways of calculating the feasibility of these projects. In the second part of the work, a Small Hydroelectric Project is analyzed in the Petrorema stream, located at Sidironero Drama. All the technical and financial characteristics of the project are presented, including the business plan, the macroeconomic dimensions of the company as well as the hydrological, financial and environmental study of the project.

**Keywords:** Hydraulic Energy , Small Hydroelectric Plants , Petrorema ,Renewable Energy Sources , Legislation, Water Intake, Catchment Basin

## Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας σηματοδοτεί το κλείσιμο ενός μεγάλου και σημαντικού κεφαλαίου στη διάρκεια του οποίου συνεργάστηκα με άτομα των οποίων η βοήθεια ήταν υψίστης σημασίας στην επίτευξη των στόχων μου. Επιπλέον, είχα στο πλευρό μου ανθρώπους μου συμπαραστάθηκαν και με υποστήριξαν ο καθένας με τον τρόπο του και γι' αυτό το λόγο κρίνω πρόπον να εκφράσω τις ευχαριστίες μου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Σεραφείμ Πολύζο Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την καθοδήγησή του σε όλη την διάρκεια συγγραφής της εργασίας, με τις στοχευμένες παρεμβάσεις του οι οποίες βοήθησαν στην επιτυχή ολοκλήρωσή της, καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής για το χρόνο που αφιέρωσαν σε αυτήν. Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στην οικογένειά μου και τους φίλους μου για την στήριξή τους -υλική, ηθική και συναισθηματική- καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου των σπουδών μου, αλλά και κατά τη διάρκεια συγγραφής της παρούσας εργασίας.

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	3
Περιεχόμενα .....	6
<b>ΜΕΡΟΣ 1<sup>ο</sup>: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ</b> .....	11
Εισαγωγή .....	12
<b>Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>: Σκοπός , στόχοι και δομή της εργασίας</b> .....	13
1.1 Γενικά .....	13
1.2 Σκοπός της εργασίας .....	14
1.3 Δομή της εργασίας .....	14
<b>Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> : Κατηγορίες υδροηλεκτρικών έργων</b> .....	16
2.1:Γενικά .....	16
2.2 :Διαχωρισμός των ΥΗΕ με βάση την ισχύ .....	16
2.3: Διαχωρισμός των ΥΗΕ με βάση το υδραυλικό ύψος .....	17
2.3 :Διαχωρισμός των ΥΗΕ με βάση το υδραυλικό ύψος .....	17
2.4: Διαχωρισμός με βάση την λειτουργία και τον σχεδιασμό .....	18
2.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υδροηλεκτρικών έργων .....	19
<b>Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> : Μελέτη σκοπιμότητας υδροηλεκτρικού έργου</b> .....	21
3.1 Γενικά .....	21
3.2 Μέθοδοι αξιολόγησης έργων .....	21
<b>Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> : Μεθοδολογίες υπολογισμών κρίσιμων στοιχείων ενός ΥΗΕ</b> .....	25
4.1 Γενικά .....	25
4.2 : Επιλογή εγκατάστασης ενός ΜΥΗΕ βάση υδρολογικών και τοπογραφικών στοιχείων .....	25
4.3 : Υπολογισμός εγκατεστημένης ισχύς ΥΗΕ .....	27
4.4 : Υπολογισμός καθαρού ύψους πτώσης $h_n$ .....	28
4.5 : Υπολογισμός απωλειών $h_f$ .....	28
4.6 : Υπολογισμός ημερήσιων παροχών $q$ και κατασκευή καμπύλης διάρκειας παροχών .....	30
4.7 : Εναλλακτική μέθοδος για περιπτώσεις που δεν υπάρχουν συστηματικές μετρήσεις .....	31
4.8 : Υπολογισμός οικολογικής παροχής .....	32
4.9 : Υπολογισμός εγκατεστημένης παροχής .....	32
4.10 : Υπολογισμός ενέργειας $E$ .....	33
4.11 : Μεθοδολογία επιλογής υδροτροβίλου .....	33

4.11 : Μεθοδολογία επιλογής γεννήτριας.....	37
4.12 : Ζεύξη υδροστροβίλου - γεννήτριας.....	38
4.13 : Επιλογή ονομαστικής τάσεως λειτουργίας.....	38
4.14 : Μεθοδολογία επιλογής της ισχύος του μετασχηματιστή.....	38
4.15 : Μεθοδολογία επιλογής καλωδιώσεων Χ.Τ./Μ.Τ.....	39
4.16 : Μεθοδολογία επιλογής πινάκων ισχύος ΜΤ, ΧΤ.....	40
4.17 : Επιλογή βοηθητικών κυκλωμάτων.....	41
4.18 : Τηλεχειρισμός.....	42
<b>Κεφάλαιο 5° : Αδειοδότηση μικρών υδροηλεκτρικών έργων.....</b>	<b>44</b>
5.1: Γενικά.....	44
5.2: Απαιτούμενες μελέτες και δικαιολογητικά έγγραφα ανάλογα την ισχύ του ΥΗΕ ...	44
<b>Κεφάλαιο 6° : Νομοθεσία που διέπει τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα στην Ελλάδα.....</b>	<b>46</b>
6.1: Γενικά.....	46
6.2: Ιστορική αναδρομή στην νομοθεσία και ισχύουσα νομοθεσία μέχρι σήμερα.....	46
<b>2° ΜΕΡΟΣ : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΤΟ ΜΥΗΕ ΣΤΟ ΠΕΤΡΟΡΕΜΑ.....</b>	<b>48</b>
<b>Κεφάλαιο 7° : Γενικά στοιχεία του υπό μελέτη ΜΥΗΕ.....</b>	<b>49</b>
7.1: Γενικά.....	49
7.2 : Σύντομη περιγραφή του έργου.....	49
7.3 : Υπολογισμός απωλειών στον αγωγό προσαγωγής.....	50
7.4 : Περιγραφή του έργου.....	52
7.4.1 Υδροληψία.....	52
7.4.2 : Αγωγός προσαγωγής και υδραυλικό πλήγμα.....	53
7.4.3 : Κτίριο ΥΗΣ.....	53
7.4.4 : Οδοί προσπέλασης.....	55
7.5 : Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός.....	55
7.5.1 : Στρόβιλος.....	55
7.5.2 Ρυθμιστής στροφών.....	56
7.5.3 : Δικλείδα εισόδου.....	56
7.5.4 : Γεννήτρια.....	56
7.5.5 : Μετασχηματισμός ανύψωσης και Μ/Σ βοηθητικών.....	57
7.5.6 Πίνακες ελέγχου και τροφοδοσίας.....	58
7.5.7 : Πίνακας Μ.Τ.....	59
7.5.8 : Ηλεκτρονικό σταθμήμετρο.....	59
7.5.9 : Σύστημα γείωσης.....	60
7.5.10 : Βοηθητικός ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός.....	60

7.5.11 : Σύνδεση μονάδας με το δίκτυο .....	60
<b>Κεφάλαιο 8<sup>ο</sup> : Υδρολογική μελέτη.....</b>	<b>61</b>
8.1: Γενικά.....	61
8.2 : Περιγραφή λεκάνης απορροής.....	61
8.3 : Μεθοδολογία εκτίμησης παροχών λόγω ελλείψεως στοιχείων.....	61
8.4 : Μετεωρολογική – βροχομετρική πληροφορία .....	62
8.5 : Υδρομετρική πληροφορία .....	64
8.6 : Καμπύλη διάρκειας παροχών .....	66
<b>Κεφάλαιο 9<sup>ο</sup> : Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων .....</b>	<b>69</b>
9.1: Γενικά.....	69
9.2: Υδροληψία.....	69
9.3: Διάνοιξη δασικών οδών .....	71
9.4: Μέτρα αντιμετώπισης της όχλησης της ορνιθοπανίδας κατά την κατασκευή και λειτουργία του έργου.....	71
<b>Κεφάλαιο 10<sup>ο</sup> : Ανάλυση σκοπιμότητας του υπό μελέτη έργου .....</b>	<b>72</b>
10.1: Γενικά.....	72
10.2: Προϋπολογιστικό κόστος έργου.....	72
10.3 : Υπολογισμός εσόδων και εξόδων.....	75
10.4 : Χρονοδιάγραμμα κατασκευής του έργου.....	77
10.5 : Συμβατότητα του έργου με το ΕΧΠ για τις ΑΠΕ .....	77
10.6 : Έλεγχος κριτηρίων για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας υποδοχέων ΜΥΗΕ .....	79
<b>Κεφάλαιο 11<sup>ο</sup> : Συμπεράσματα .....</b>	<b>81</b>
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>83</b>



## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Διαχωρισμός με βάση την ισχύ .....	17
Πίνακας 2 : Διαχωρισμός ΥΗΕ βάση το υδραυλικό ύψος.....	18
Πίνακας 3: Ενδεικτικές ταχύτητες σωλήνων εμπορίου. ....	30
Πίνακας 4: Αποτελέσματα γραμμικών απωλειών της σωλήνωσης .....	51
Πίνακας 5: Προμέτρηση κτηρίου ΥΗΣ.....	54
Πίνακας 6: Προμέτρηση πλακοσκεπούς εξόδου νερού .....	54
Πίνακας 7: Προμέτρηση μονόλιθου.....	54
Πίνακας 8: Προμέτρηση βάσης μετασχηματιστών .....	54
Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά στρόβιλου .....	55
Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά γεννήτριας.....	57
Πίνακας 11: Χαρακτηριστικά Μ/Σ ανύψωσης .....	58
Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά σταθμήμετρου .....	59
Πίνακας 13: Ετήσιο ύψος βροχής .....	62
Πίνακας 14: Οι ετήσιες τιμές της βροχόπτωσης των λεκανών Πετρορέματος και Διαβολορέματος από το 1965-66 μέχρι το 1997-98 .....	63
Πίνακας 15: Υδρομετρήσεις στο Διαβολόρεμα από 1970 έως 1979 και 1996 έως 1998 .....	64
Πίνακας 16: Υδρομετρήσεις στην θέση υδροληψίας.....	66
Πίνακας 17: Υδρολογικά στοιχεία λεκάνης Πετρορέματος.....	67
Πίνακας 18: Διαστάσεις διόδων οικολογικής παροχής.....	70
Πίνακας 19: Διαστάσεις διάταξης ιχθύων στο υπάρχον έργο .....	70
Πίνακας 20: Προϋπολογισμός δαπανών του έργου .....	72
Πίνακας 21: Μακροοικονομικά μεγέθη .....	73
Πίνακας 22: Όροι χρηματοδότησης .....	74
Πίνακας 23: Χρονοδιάγραμμα λήψης επιχορήγησης.....	74
Πίνακας 24: Χρονοδιάγραμμα αποπληρωμής δανείου .....	75
Πίνακας 25: Δεδομένα έργου.....	75
Πίνακας 26: Υπολογισμός χρηματοροών .....	76
Πίνακας 27: Υπολογισμός χρηματοροών με αυξανόμενα έξοδα κατά 5%.....	76

## Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Τυπικό διάγραμμα διάρκειας παροχών και λειτουργίας στρόβιλου .....	33
Διάγραμμα 2: Τυπικό διάγραμμα επιλογής υδροστρόβιλου μεταξύ τύπου Pelton, crossflow και Kaplan .....	37
Διάγραμμα 3: Διάγραμμα προσαρμοσμένης καμπύλης διάρκειας.....	67

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Τυπικός Μυλίσκος.....	25
Εικόνα 2: Όργανο GPS τύπου SPECTRE SP80 .....	26
Εικόνα 3: Στρόβιλοι τύπου Pelton .....	34
Εικόνα 4: Στρόβιλοι τύπου Turgo.....	35
Εικόνα 5: Στρόβιλοι τύπου Diagonal.....	35
Εικόνα 6: Στρόβιλοι τύπου Francis.....	36

Εικόνα 7:Στρόβιλοι τύπου CrossFlow .....	36
Εικόνα 8:Στρόβιλοι τύπου Kaplan .....	36
Εικόνα 9: Μετασχηματιστής τύπου ONAN.....	39
Εικόνα 10:Καλώδια τύπου NYΥ .....	40
Εικόνα 11:Κόκκινο καλώδιο τύπου XPLE .....	40
Εικόνα 12: Διακόπτης μέσης τάσης SF6 .....	41
Εικόνα 13:Πίνακας μέσης τάσης .....	41
Εικόνα 14: Τυπικό εικονικό περιβάλλον συστήματος SCADA.....	43
Εικόνα 15: Σχεδιάγραμμα διόδων ιχθύων.....	69

## Αρκτικόλεξα

### Ελληνικά

ΥΗΕ	Υδροηλεκτρικό Έργο
ΜΥΗΣ	Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο
ΔΕΗ	Δημόσια Εταιρία Ηλεκτρισμού
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΔΕΣΜΗΕ	Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΙΓΜΕ	Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών
ΦΕΚ	Φύλλο Εφημερίδας της Κυβέρνησης
ΔΕΔΗΕ	Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΜΣ	Μετασχηματιστής
ΧΤ	Χαμηλής Τάσης
ΥΤ	Υψηλής τάσης
ΚΠΑ	Καθαρά Παρούσα Αξία
ΥΑ	Υπουργική Απόφαση
ΚΥΑ	Κοινή Υπουργική Απόφαση
ΡΑΕ	Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
ΓΥΣ	Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού
ΣΥΘΥΑ	Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητα Υψηλής Απόδοσης
ΕΠΧΣ&ΑΑ	Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης

### Ξένα

GPS	Global Positioning System
ONAN	Oil Natural Air Natural
PVC	Polyvinyl Chloride
SEPAM	Squared Electrical Protection and Monitoring
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
GRP	Glass Reinforced Plastic
IEC	International Electrotechnical Commission
FEM	Finite element method

## **ΜΕΡΟΣ 1<sup>ο</sup>: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ**

## Εισαγωγή

Υδραυλική είναι η ενέργεια που στηρίζεται στην εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας της πτώσης και του μεγέθους παροχής του νερού, η αξιοποίηση της οποίας προσφέρει ποικίλα οφέλη . Στην σημερινή εποχή η υδραυλική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι κοινωνίες ανά τον κόσμο αντιμετωπίζουν το ίδιο πρόβλημα της υπερκατανάλωσης ενέργειας κάτι που καθιστά σημαντική την εύρεση νέων τρόπων παραγωγής ενέργειας , οι οποίοι δεν θα μολύνουν το περιβάλλον. Οι τιμές του πετρελαίου και του φυσικού αερίου έχουν ανέβει αισθητά τα τελευταία χρόνια αυξάνοντας ακόμα περισσότερο την ανάγκη για παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Kucukali, 2011). Η αύξηση του κόστους στις συμβατικές μεθόδους παραγωγής ενέργειας δεν είναι το μόνο μειονέκτημα που παρουσιάζουν. Το σημαντικότερο αρνητικό χαρακτηριστικό τους είναι η μόλυνση που προκαλούν στο περιβάλλον. Τα βασικότερα από αυτά είναι η μόλυνση που προκαλούν στον αέρα , η όξινη βροχή , και το κυριότερο η υπερθέρμανση του πλανήτη λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου (Salameh, 2014).

Τα ΥΗΕ μπορούν να περιλαμβάνουν μια δεξαμενή/ταμιευτήρα νερού (που γενικά δημιουργείται από ένα φράγμα ) για να εκμεταλλευτεί την ενέργεια της πτώσης του νερού ή μπορούν να χρησιμοποιήσουν την κινητική ενέργεια του νερού όπως την υδραυλική ενέργεια της ροής ενός ποταμού. Κατά την λειτουργία τους το νερό διοχετεύεται ελεγχόμενα μέσα από έναν υδροστρόβιλο/τουρμπίνα, ο οποίος μετατρέπει την κινητική και δυναμική ενέργεια του νερού σε μηχανική. Έπειτα μέσω μιας γεννήτριας παράγεται ηλεκτρική ενέργεια η οποία μεταφέρεται στην κατανάλωση αφού πρώτα ανυψωθεί η τάση με έναν μετασχηματιστή. Το νερό αφού χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενεργείας επαναδιοχετεύεται στην ροή του ρέματος ή του ποταμού χωρίς καμία αλλοίωση. Όσον αφορά τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα έχουν συγκριτικό πλεονέκτημα στο κόστος και στην απλότητα της κατασκευής και της αδειοδότησης σε σχέση με τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα .Με την πρόοδο της τεχνολογίας , τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα , αποτελούν μια οικονομική πηγή παραγωγής ενέργειας ακόμα και στις πιο φτωχές και δύσβατες περιοχές του πλανήτη (Zainuddin *et al.*, 2009).

## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>: Σκοπός , στόχοι και δομή της εργασίας

### 1.1 Γενικά

Από τα βάθη των αιώνων ο άνθρωπος εκμεταλλεόταν την δύναμη του νερού με πολλαπλά ήδη νερόμυλων για την άρδευση καθώς και για τη λειτουργία διαφόρων μηχανικών κατασκευών όπως μύλοι αλέσματος, πριονιστήρια, κλωστοϋφαντουργικά εργοστάσια, κ.α.. Η εκμετάλλευση αυτής της μορφής ενέργειας δεν εξελίχθηκε ιδιαίτερα μέχρι την εμφάνιση, στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα, των πρώτων μηχανών που θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως υδροστρόβιλοι. Σε αντίθεση με τους ανοικτού τύπου νερόμυλους, οι κλειστού τύπου υδροστρόβιλοι που αναπτύχθηκαν, είχαν πολύ μεγαλύτερη απόδοση μιας και σχεδιάζονταν με μαθηματικούς και γραφικούς υπολογισμούς που επέτρεπαν να κατασκευαστούν υδροστρόβιλοι με χαρακτηριστικά ιδανικά για κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά της ροής του νερού. Στα τέλη του 19ου αιώνα, η υδραυλική ενέργεια αποτέλεσε πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό ήταν σημείο σταθμός στην εκμετάλλευση της υδραυλικής ενέργειας μιας και πλέον ήταν δυνατή η αποτελεσματική μεταφορά της ενέργειας από τον τόπο παραγωγής στον χώρο κατανάλωσης (Πολυβίου, 2019).

Η πρώτη εμπορική μονάδα υδροηλεκτρικής ενέργειας χτίστηκε στους καταρράκτες του Νιαγάρα το 1879 και το 1881, λαμπτήρες οδών στην πόλη του Νιαγάρα τροφοδοτούνταν από υδροηλεκτρική ενέργεια. Η ενέργεια που παράγεται από την ροή των υδάτων χρησιμοποιείται από την αρχαιότητα, κυρίως για το άλεσμα σιτηρών. Η παραγωγή ενέργειας με τη βοήθεια του νερού ή ξεκίνησε από την κατασκευή του πρώτου υδροηλεκτρικού σταθμού το έτος 1882 στην περιοχή Wisconsin των ΗΠΑ με ισχύ 12,5 kw , με στόχο να τροφοδοτεί με ηλεκτρική ενέργεια μία οικία και δύο βιομηχανίες. Έκτοτε το έργο αξιοποίησης της υδραυλικής ενέργειας γίνεται Υδροηλεκτρικό. Δηλαδή η υδραυλική ενέργεια μετατρέπεται στον υδροστρόβιλο σε μηχανική και έπειτα σε ηλεκτρική μέσω ηλεκτρικής γεννήτριας. Η αξιοποίηση του υδροδυναμικού μιας χώρας πρέπει να αποτελεί εθνικό στόχο και η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και προσφέρει πολλαπλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους άλλους τρόπους παραγωγής ενέργειας.

Το μέγεθος των ΥΗΕ μπορεί να ποικίλει από μικρά μεγέθη για την τροφοδοσία μικρών κοινοτήτων μέχρι πολύ μεγάλες μονάδες που μπορούν να τροφοδοτήσουν ηλεκτρική ενέργεια σε ολόκληρη χώρα. Από το 2019, οι πέντε μεγαλύτεροι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής στον κόσμο είναι συμβατικοί υδροηλεκτρικοί σταθμοί με φράγματα. Το 2015, η υδροηλεκτρική ενέργεια που παράχθηκε αποτελούσε το 16,6% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο και το 70% του συνόλου της ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές. Τα στατιστικά αυτά στοιχεία υπογραμμίζουν την σημασία που έχουν τα υδροηλεκτρικά έργα και η παραγόμενη υδραυλική ενέργεια στον σύγχρονο κόσμο (Blog: *Hydropower growth and development through the decades* | *International Hydropower Association*, 2019).

Στην Ελλάδα το πρώτο υδροηλεκτρικό φράγμα που κατασκευάστηκε ήταν αυτό του Λούρου το έτος 1955 και πραγματοποιήθηκε από την ΔΕΗ. Αργότερα ακολούθησαν κι άλλα φράγματα κατασκευασμένα από Ελληνικές εταιρείες όπως το φράγμα Καστρακίου το έτος 1969 (Argyakis, 2008). Με την σταδιακή πρόοδο που σημείωνε η τεχνολογία , άρχισαν να κατασκευάζονται περισσότερα υδροηλεκτρικά έργα με χαρακτηριστική περίοδο τις επόμενες δεκαετίες μετά τον Β Παγκόσμιο πόλεμο , όπου η ανάγκη για παραγωγή ενέργειας οδήγησε στην κατασκευή μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων. Τις τελευταίες δεκαετίες η ραγδαία πρόοδος της τεχνολογίας αντανακλάται και στον τομέα της κατασκευής των υδροηλεκτρικών έργων καθώς ο αριθμός των μονάδων παγκοσμίως αυξάνεται ενώ οι απώλειες και οι βλάβες των αγωγών και του μηχανολογικού εξοπλισμού περιορίζονται. Ως επακόλουθο των παραπάνω, το κόστος για την υλοποίησή τους μειώθηκε (*Blog: Hydropower growth and development through the decades / International Hydropower Association, 2019*).

## 1.2 Σκοπός της εργασίας

Η παρούσα εργασία αναλύει όλα τα επιμέρους στοιχεία των υδροηλεκτρικών έργων και αξιολογεί την σκοπιμότητα της υλοποίησης ενός μικρού υδροηλεκτρικού έργου. Παρουσιάζονται όλοι οι υπολογισμοί και αναλύονται οι τύποι οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να εξαχθούν όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τον σχεδιασμό ενός μικρού υδροηλεκτρικού έργου. Ειδικότερα , γίνεται εκτενής περιγραφή του μηχανολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στα μικρά υδροηλεκτρικά έργα, καθώς επίσης και των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για να επιλεγεί ο κατάλληλος εξοπλισμός. Η εργασία , στο δεύτερο μέρος της , αναλύει ένα υπάρχον μικρό υδροηλεκτρικό έργο. Σκοπός του δεύτερου μέρους είναι να χρησιμοποιηθούν οι μεθοδολογίες που αναλύθηκαν στο πρώτο μέρος για να μελετηθεί η σκοπιμότητα του υπάρχοντος έργου.

## 1.3 Δομή της εργασίας

Η παρούσα εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη. Η δομή του πρώτου μέρους ακολουθεί παρακάτω.

Στο **Κεφάλαιο 1** γίνεται μια ιστορική αναδρομή στην υδροηλεκτρική ενέργεια και στα υδροηλεκτρικά έργα και παρουσιάζεται ο σκοπός και η δομή της διπλωματικής εργασίας. Στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση των υδροηλεκτρικών έργων με βάση την ισχύ , το υδραυλικό ύψος και τον τρόπο λειτουργίας των , καθώς επίσης και τα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα των υδροηλεκτρικών έργων.

Στο **Κεφάλαιο 3** αναλύονται οι φάσεις την αξιολόγησης των μικρών υδροηλεκτρικών έργων και δίνονται τα βήματα και η μεθοδολογία για την εκπόνηση της μελέτης σκοπιμότητας.

Στο **Κεφάλαιο 4** αναλύονται όλες οι μεθοδολογίες για τον υπολογισμό των κρίσιμων στοιχείων των υδροηλεκτρικών έργων. Γίνεται επίσης ανάλυση του μηχανολογικού εξοπλισμού που περιέχει ένα υδροηλεκτρικό έργο και παρουσιάζεται και φωτογραφικό υλικό.

Στο **Κεφάλαιο 5** γίνεται εκτενής περιγραφή της διαδικασίας αδειοδότησης των μικρών υδροηλεκτρικών έργων ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκουν.

Στο **Κεφάλαιο 6** παρουσιάζεται αναλυτικά η νομοθεσία που διέπει τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα , από παλαιόθεν μέχρι και σήμερα.

Η δομή του δεύτερου μέρους είναι η παρακάτω:

Στο **Κεφάλαιο 7** γίνεται μια εισαγωγή για το υπάρχον έργο που θα αναλυθεί παρακάτω και αναλύεται ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί στο έργο καθώς επίσης και όλοι οι κρίσιμοι υπολογισμοί των επιμέρους στοιχείων του έργου , σύμφωνα με την μεθοδολογία που αναλύθηκε στο πρώτο μέρος.

Στο **Κεφάλαιο 8** παρουσιάζεται η υδρολογική μελέτη που εκπονήθηκε για την εκτίμηση των απορροών του ρέματος Πετρόρεμα, καθώς επίσης και όλες οι υδρομετρικές και βροχομετρικές πληροφορίες.

Στο **Κεφάλαιο 9** παρουσιάζεται η μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων που εκπονήθηκε για το υπό μελέτη έργο.

Στο **Κεφάλαιο 10** γίνεται αναλυτική περιγραφή του επιχειρηματικού σχεδίου του έργου και παρατίθενται τα κόστη , τα έσοδα , οι χρόνοι αποπληρωμής του δανείου , η Καθαρά Παρούσα Αξία , καθώς επίσης και τα σενάρια χρηματοδότησης.

Στο **Κεφάλαιο 11** παρατίθενται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> : Κατηγορίες υδροηλεκτρικών έργων

### 2.1:Γενικά

Τα υδροηλεκτρικά έργα κατατάσσονται σε επιμέρους κατηγορίες με βάση διάφορα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά τους. Αυτά είναι η εγκατεστημένη ισχύς τους, το υδραυλικό ύψος, ο σχεδιασμός και η φιλοσοφία εκμετάλλευσής τους. Κοινό χαρακτηριστικό όλων των ΥΗΕ είναι η αρχή λειτουργίας τους, δηλαδή η μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε μηχανική και έπειτα σε ηλεκτρική.

Βάση της νομοθεσίας που ισχύει στην Ελλάδα, μικρό υδροηλεκτρικό έργο θεωρείται αυτό που έχει εγκατεστημένη ισχύ έως 15 MWp. Η εγκατάσταση ενός ΜΥΗΣ, αξιοποιεί την υψομετρική διαφορά της φυσικής πτώσης του νερού και μέσω ενός υπό πίεση υδραυλικού συστήματος, διοχετεύει το νερό σε ένα στρόβιλο. Ένα μικρό υδροηλεκτρικό έργο, συνήθως διαθέτει απλά μία ορεινή υδροληψία, ή και ένα μικρό ταμιευτήρα, για περιορισμένη ρύθμιση της ροής.

### 2.2 :Διαχωρισμός των ΥΗΕ με βάση την ισχύ

Η πιο ουσιώδης 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, που προκύπτει από τα σχετικά πιστοποιητικά έγγραφα των κατασκευαστών των μονάδων αυτών και των φορέων που είναι αρμόδιοι για την πιστοποίηση των μονάδων παραγωγής, όταν η μονάδα λειτουργεί συνεχώς, για χρονικό διάστημα τουλάχιστον δεκαπέντε λεπτών (Ν.3468, 2006).

Στην Ελλάδα το όριο διάκρισης του μεγέθους των ΥΗΕ είναι τα 15MW. Δηλαδή, τα έργα μικρότερης ισχύς από 15MW θεωρούνται μικρά υδροηλεκτρικά έργα (ΜΥΗΕ) και τα έργα με μεγαλύτερη ισχύ θεωρούνται μεγάλα ΥΗΕ (συνήα ο χαρακτηρισμός ως μεγάλα παραλείπεται ως εννοούμενος). Την εκμετάλλευση υδατοπτώσεων μεγάλης ισχύος αναλαμβάνουν οι εταιρίες παραγωγής και διανομής ενέργειας, όπως η ΔΕΗ, για δυο λόγους: Πρώτον γιατί είναι έργα απαραίτητα για την αποτελεσματική κάλυψη των αιχμών ζήτησης ενός μεγάλου δικτύου μιας και η παραγόμενη ισχύς ενός μεγάλου ΥΗΕ (με ταμιευτήρα νερού) μπορεί μεταβληθεί πολύ γρηγορότερα σε σχέση με τις υπόλοιπες συνήθεις μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Δεύτερον, λόγω του μεγάλου κόστους της επένδυσης που απαιτείται για την κατασκευή ενός μεγάλου ΥΗΕ. Στην Ελλάδα μεγάλα ΥΗΕ έχει κατασκευάσει μόνο η ΔΕΗ και το μεγαλύτερο είναι ο ΥΗΣ Κρεμαστών στον ποταμό Αχελώο που διαθέτει συνολική εγκατεστημένη ισχύ 437MW (Πασσιαν, 2019). Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί μεγάλης κλίμακας θεωρούνται συχνά ως οι μεγαλύτερες μονάδες παραγωγής ενέργειας στον κόσμο, με ορισμένες υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις ικανές να παράγουν ενέργεια διπλάσια από τους μεγαλύτερους



πυρηνικούς σταθμούς. Το μεγαλύτερο ΥΗΕ στον κόσμο είναι το Three Gorges Dam στην Κίνα με εγκατεστημένη ισχύ 22.500 MW (Γάττας, 2013).

Τα ΜΥΗΕ στην Ελλάδα αναφέρονται σε ισχύ μικρότερες των 15MW. Η πλειοψηφία των εν ενεργεία ΜΥΗΕ στον Ελλαδικό χώρο αποτελείται από έργα ισχύος από 0,5 έως 3 MW. Τέτοια έργα δεν περιλαμβάνουν καθόλου περισυλλογή και αποταμίευση ύδατος, ούτε κατασκευή μεγάλων φραγμάτων και ταμιευτήρων, με αποτέλεσμα να έχουν εξαιρετικά χαμηλότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο σε σύγκριση με τα μεγάλα υδροηλεκτρικά. Συνεισφέρουν στο δίκτυο με ενέργεια βάσεως (συνεχόμενη ενέργεια ανάλογα με τη διερχόμενη παροχή) με αποτέλεσμα ο βαθμός χρήσης των ΜΥΗΕ να είναι κατά πολύ μεγαλύτερος από ότι σε ένα μεγάλο ΥΗΕ και κατά πολύ μεγαλύτερος σε σχέση και με τις υπόλοιπες ΑΠΕ. Πιο συγκεκριμένα, εμφανίζουν το μεγαλύτερο συντελεστή φορτίου (απόδοση ενέργειας στη μονάδα του χρόνου για δεδομένη ισχύ) σε σχέση με όλες τις άλλες ΑΠΕ (ΜΥΗΕ~45%, Αιολικά~25%, ΦΒ~16%, με στοιχεία του ΔΕΣΜΗΕ). Ο ηλεκτρομηχανικός εξοπλισμός των ΜΗΥΕ και κυρίως οι υδροστροβίλοι διατίθεται τυποποιημένοι από μεγάλο αριθμό κατασκευαστών γεγονός που μειώνει σημαντικά το κόστος αλλά και το χρόνο παράδοσης σε σχέση με ένα μεγάλο ΥΗΕ. Πάρα την σχετικά μικρή ισχύ των ΜΥΗΕ, το μεγάλο πλήθος αξιοποιήσιμων θέσεων σε σχέση με τις αντίστοιχες για μεγάλα ΥΗΕ καθιστά την ετήσια ενέργεια που μπορεί να παραχθεί από εγκαταστάσεις ΜΥΗΕ αξιόλογη. Επίσης η κατασκευή ενός ΜΥΗΕ μπορεί να συνδυαστεί με άλλες διευθετήσεις π.χ. την ύδρευση ή την άρδευση της περιοχής (Ηλίας Κακιόπουλος:Οι ΑΠΕ και τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα στην Ελλάδα σήμερα, 2010).

Πίνακας 1: Διαχωρισμός με βάση την ισχύ

ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥ
Pico (<5KW)
micro (5KW έως 100KW)
mini (100 KW έως 1MW)
μικρό (1MW έως 15 MW)
Μεγάλο (> 15 MW)

Πηγή: Καραδήμου και Ασίμης,Γ, 2019 ,Ιδία επεξεργασία.

### 2.3 :Διαχωρισμός των ΥΗΕ με βάση το υδραυλικό ύψος

Τα ΥΗΕ διακρίνονται επίσης με βάση το μέγεθος της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης, το οποίο εκφράζει την ανά μονάδα μάζας υδραυλική ενέργεια του νερού και την τάξη μεγέθους της στατικής πίεσης στον αγωγό προσαγωγής και στο τμήμα εισόδου του υδροστροβίλου. Η υδραυλική πτώση Η επηρεάζει άμεσα τον τύπο του υδροστροβίλου που επιλέγεται για κάθε έργο. Έτσι όπως φαίνεται παρακάτω διακρίνονται τα ΥΗΕ σε τρεις κατηγορίες με βάση την διαθέσιμη υδραυλική πτώση (Μαμάσης,Κουτσογιάννης, 2018):

Πίνακας 2 : Διαχωρισμός ΥΗΕ βάση το υδραυλικό ύψος

Χαρακτηρισμός ΥΗΕ	Υδραυλική πτώση H(m)
Μικρού ύψους	$H < 20$
Μέσου ύψους	$20 < H < 150$
Μεγάλου ύψους	$H > 150$

Πηγή: Ηλίου, 2019 ,Ιδία επεξεργασία

Η παραγόμενη ισχύς ενός ΥΗΕ είναι ανάλογη με το γινόμενο της υδραυλικής πτώσης  $H$  (m) επί την παροχή του νερού  $Q$  ( $m^3/s$ ). Το κόστος κατασκευής ενός σταθμού μεταβάλλεται κυρίως με το μέγεθος της παροχής  $Q$ . Είναι φανερό λοιπόν ότι είναι επιθυμητή η μέγιστη δυνατή υδραυλική πτώση, όμως κατά κανόνα οι μεγάλες υδραυλικές πτώσεις αναπτύσσονται σε ορεινές, απομακρυσμένες περιοχές όπου και είναι απαραίτητη η ύπαρξη κατάλληλων υποδομών για την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο, γι' αυτό και απαιτούνται μεγαλύτερα έργα. Έτσι το πλεονέκτημα χαμηλού κόστους του ΜΗΥΕ αντισταθμίζεται. Αντίθετα οι περιπτώσεις ΜΥΗΕ μικρής υδραυλικής πτώσης βρίσκονται συνήθως κοντά σε κατοικήσιμες, πεδινές περιοχές και παρά το αυξημένο κόστος κατασκευής του σταθμού παραγωγής μπορούν να αποτελέσουν βιώσιμη επένδυση λόγω του χαμηλού κόστους διασύνδεσης (Μαμάσης ,Κουτσογιάννης, 2018).

#### 2.4: Διαχωρισμός με βάση την λειτουργία και τον σχεδιασμό

Σημαντικές διαφορές στον τρόπο λειτουργίας ενός ΥΗΕ υπάρχουν αναλόγως με το αν διαθέτει η όχι ταμιευτήρα νερού (δεξαμενή αποθήκευσης). Ένας ταμιευτήρας επιτρέπει την αποθήκευση των εισροών του ποταμού ή ρέματος και την αξιοποίηση της υδραυλικής τους ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όταν αυτό είναι επιθυμητό (π.χ. όταν η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλή). Με βάση τον ταμιευτήρα νερού τα ΥΗΕ χωρίζονται σε 2 κατηγορίες:

- Με ταμιευτήρα μεγάλης χωρητικότητας, που προσφέρει δυνατότητα εποχιακής ή και ετήσιας ρύθμισης των εισροών.
- Χωρίς ταμιευτήρα νερού. Σε αυτήν την περίπτωση η παραγόμενη ισχύς μεταβάλλεται με την ροή του ποταμού. Τα ΜΥΗΕ συνήθως ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία.

Ο σχεδιασμός μεταβάλλεται με βάση τον τύπο τουρμπίνας που θα επιλεγεί και την ύπαρξη ή όχι ξεχωριστής κατασκευής για την υδροληψία που δεν είναι ενωμένη με τον σταθμό ηλεκτροπαραγωγής, αλλά συνδέονται μεταξύ τους με τον αγωγό προσαγωγής. Μια ακόμα διαφοροποίηση εντοπίζεται στο αν το έργο χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή εξυπηρετεί και άλλους σκοπούς όπως ύδρευση ή άρδευση (Μαμάσης,Κουτσογιάννης, 2018).

## 2.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υδροηλεκτρικών έργων

Παρακάτω αναγράφονται περιληπτικά τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με τον Χριστοφή Ι. Κορωναίο (2012) και τον Γάττα Κωνσταντίνο (2013) :

### Πλεονεκτήματα υδροηλεκτρικής ενέργειας:

- Πρόκειται για πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας που συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικούς ενεργειακούς πόρους οι οποίοι είναι εξαντλήσιμοι.
- Είναι εγχώρια πηγή ενέργειας και συνεισφέρει στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτητοποίησης και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Οι υδροηλεκτρικές μονάδες παραγωγής είναι δυνατόν να τεθούν σε λειτουργία σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα (εντός μερικών λεπτών) και να καλύψουν άμεσα τις ανάγκες των αιχμών ζήτησης δικτύου, σε αντίθεση με τους θερμικούς σταθμούς παραγωγής(φυσικού αερίου, πετρελαίου, λιγνίτη, πυρηνικούς) οι οποίοι θέλουν πολλές ώρες για να ξεκινήσουν και να σταματήσουν την λειτουργία τους.
- Μπορεί να δώσει την δυνατότητα να ικανοποιηθούν και άλλες ανάγκες παράλληλα με την κατασκευή του έργου όπως ύδρευση, άρδευση, ανάσχεση χειμάρρων, δημιουργία υγροτόπων.
- Μπορεί να αποτελέσει πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών καθώς και να συμβάλλει στην τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση σχετικών επενδύσεων.
- Πρόκειται για μια καθαρή πηγή ενέργειας μιας και δεν απαιτεί κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση και δεν αποδεσμεύει υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές.
- Δεν δημιουργεί απόβλητα ή κατάλοιπα, δεν μολύνει το περιβάλλον και δεν αυξάνει την θερμοκρασία του νερού των ποταμών. Επίσης δεν παράγει θόρυβο κατά την διάρκεια λειτουργίας.
- Ο ταμιευτήρας (όταν επιλέγεται η κατασκευή φράγματος σε μεγάλα ΥΗΕ) μπορεί να οδηγήσει στην δημιουργία υγροτόπου.

### Μειονεκτήματα υδροηλεκτρικής ενέργειας:

- Ο χρόνος κατασκευής τους είναι μεγάλος (5-10 χρόνια για μεγάλα ΥΗΕ και 1-2 χρόνια για μικρά). Επίσης ο απαιτούμενος χρόνος για την διεξαγωγή των απαραίτητων υδρολογικών και γεωλογικών μελετών είναι και αυτός μεγάλος και αυξάνεται με το μέγεθος του έργου.
- Η ετήσια παραγωγή ενέργειας μεταβάλλεται με βάση την ποσότητα των βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων.
- Έχουν μεγάλο κόστος κατασκευής και για αυτό απαιτούν την διάθεση μεγάλων κεφαλαίων.

- Η συχνά απομακρυσμένη θέση των αξιοποιήσιμων υδατοπτώσεων αποτελεί αποτρεπτικό παράγοντα για την απόφαση υλοποίησης ενός έργου μιας και η διασύνδεση με το δίκτυο για την μεταφορά της ενέργειας μπορεί να επιβαρύνει σημαντικά το κόστος του έργου.
- Η έντονη περιβαλλοντική αλλοίωση στην περιοχή του ταμιευτήρα (ενδεχόμενη μετακίνηση πληθυσμών, υποβάθμιση περιοχών, αλλαγή στη χρήση γης, στη χλωρίδα και πανίδα περιοχών αλλά και του τοπικού κλίματος, αύξηση σεισμικής επικινδυνότητας, κ.ά.). Η διεθνής πρακτική σήμερα προσανατολίζεται στην κατασκευή μικρών φραγμάτων (αφορά μόνο μεγάλα ΥΗΕ).

Είναι γεγονός ότι επικρατεί μια αντίληψη για τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα η οποία έχει να κάνει με το γεγονός ότι αυτό το είδος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχει εξελιχθεί αρκετά τεχνολογικά και έχει αναπτυχθεί πλήρως άρα δεν χρειάζεται να παρθούν μέτρα υποστήριξης. Αυτή η αντίληψη καθιστά τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα σε δυσμενή θέση όσον αφορά τις επιχορηγήσεις και τις ενισχύσεις που δίνονται για άλλα έργα ΑΠΕ.

Τα βασικά επιχειρήματα αυτής της αντίληψης είναι τα παρακάτω:

- Δεν υπάρχει επαρκής ενημέρωση προς το κοινό για τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα
- Επικρατεί φόβος για επιπτώσεις που είναι μη αναστρέψιμες τόσο στον τουρισμό όσο και στο περιβάλλον
- Δεν υπάρχει επαρκής πολιτική πίεση από τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις

Ασχέτως με την λανθασμένη αντίληψη που επικρατεί για τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα , αυτά παρουσιάζουν αρκετά συγκριτικά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες μεθόδους παραγωγής ενέργειας :

- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (έως και 50 χρόνια ) διατηρώντας την ίδια αποδοτικότητα
- Βοηθούν στην σταθεροποίηση του τοπικού ηλεκτρικού δικτύου λόγω της ιδιότητας που έχουν να παράγουν απολύτως προβλέψιμη ενέργεια
- Έχουν την μεγαλύτερη εγχώρια προστιθέμενη αξία σε σχέση με τις υπόλοιπες ΑΠΕ
- Υποστηρίζουν την τοπική κοινωνία δημιουργώντας θέσεις εργασίας
- Βελτιώνουν ή κατασκευάζουν υποδομές όπως οδικά δίκτυα , τηλεπικοινωνίες κ.α. χωρίς επιβάρυνση στην τοπική κοινωνία (ΕΣΜΥΕ).

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> : Μελέτη σκοπιμότητας υδροηλεκτρικού έργου

### 3.1 Γενικά

Για την υλοποίηση ενός μικρού υδροηλεκτρικού έργου είναι απαραίτητο να προηγηθεί η αξιολόγηση της αποδοτικότητας που θα επιφέρει το υπό μελέτη έργο. Παρακάτω παρατίθενται οι μεθοδολογίες για την εκπόνηση αυτής της μελέτης καθώς επίσης και τα βήματα για την εκπόνηση της μελέτης σκοπιμότητας.

### 3.2 Μέθοδοι αξιολόγησης έργων

Για την υλοποίηση οποιουδήποτε έργου πρέπει να προηγηθεί η αξιολόγηση του έργου όπου εξετάζεται το κατά πόσο είναι σκόπιμο να γίνει το έργο και μελετάται η αποδοτικότητά του. Αυτή η διαδικασία είναι δύσκολη και πολύπλοκη διότι μελετάει όλα τα στοιχεία του έργου και εξετάζει τόσο τα οικονομικά , όσο και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του έργου (Πολύζος, 2018).

Η διαδικασία χωρίζεται σε δύο φάσεις:

- Η πρώτη φάση εστιάζει στις εισροές και εκροές που αναμένεται να έχει η επένδυση , και αποτελεί την πιο δύσκολη και πολύπλοκη φάση
- Στην δεύτερη φάση αναλύονται και επεξεργάζονται τα δεδομένα του έργου καθώς επίσης και τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από την πρώτη φάση (Πολύζος, 2018).

Η αξιολόγηση μια επένδυσης χωρίζεται σε δύο κατηγορίες: την κοινωνικο-οικονομική και την ιδιωτικο-οικονομική αξιολόγηση. Αυτές οι δύο κατηγορίες διαφέρουν στα χαρακτηριστικά τους αλλά και στον σκοπό που επιτελούν.

Τα χαρακτηριστικά της ιδιωτικο-οικονομικής ανάλυσης είναι τα παρακάτω:

- Σκοπός της είναι ο υπολογισμός και η μεγιστοποίηση του κέρδους για τον επιχειρηματία
- Η ανάλυση γίνεται χρησιμοποιώντας χρηματικούς όρους και τιμών αγοράς

Εν αντιθέσει η κοινωνικο-οικονομική ανάλυση ελέγχει :

- Την αποτελεσματικότητα των πόρων και αν χρησιμοποιήθηκαν με τον βέλτιστο τρόπο
- Αν έχει θετικό αντίκτυπο στο κοινωνικό σύνολο

Η συγκεκριμένη ανάλυση θα πρέπει να περιλαμβάνει κοινωνική και οικονομική ανάλυση του αντίκτυπου που έχουν αυτοί οι τομείς από την επιχείρηση. Για την κοινωνικο-οικονομική ανάλυση χρησιμοποιούνται οικονομικοί όροι (Πολύζος, 2018).

Η διαδικασία που χρησιμοποιείται για την διεκπεραίωση της ιδιωτικο-οικονομικής ανάλυσης είναι συγκεκριμένη . Αρχικά θα πρέπει να υπολογιστούν τα κόστη κατασκευής και λειτουργίας και το σενάριο χρηματοδότησης του έργου. Με τον υπολογισμό των παραπάνω , είναι εφικτός ο υπολογισμός των οικονομικών ροών του έργου (προβλεπόμενα έσοδα και έξοδα). Θα εκτιμηθεί η αποδοτικότητα της επιχείρησης μέσω

της μεθόδου της Καθαρής Παρούσας Αξίας και θα υπολογιστεί ο χρόνος εξόφλησης των δανείων και των υπόλοιπων πληρωμών (Πολύζος, 2018).

### Καθαρά Παρούσα Αξία

Η μέθοδος της Καθαρής Παρούσας Αξίας είναι μία από τις πιο ακριβείς μεθόδους για την σύγκριση των σεναρίων ενός επενδυτικού ζητήματος (Πολύζος, 2018). Η μέθοδος αυτή, χρησιμοποιεί τις χρηματοροές της επένδυσης ανά έτος, έχοντας ως βάση το έτος μηδέν. Ο εκάστοτε μελετητής θέτει ένα επιτόκιο το οποίο αφορά το ελάχιστο κέρδος την επένδυσης και συγκρίνει τα αναμενόμενα έσοδα και έξοδα, για διάφορα σενάρια. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων των διαφόρων σεναρίων, θα επιλεγεί το σενάριο στο οποίο η καθαρά παρούσα αξία έχει μεγαλύτερη τιμή. Τα σενάρια με καθαρά παρούσα αξία μικρότερη του μηδενός απορρίπτονται ως μη αποδοτικά. Η εξίσωση που εκφράζει την μέθοδο της Καθαρής Παρούσας Αξίας είναι η εξής:

$$ΚΠΑ = \sum_{t=-m}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (3.1)$$

Οι χρηματικές εκροές έχουν αρνητικό πρόσημο ενώ οι εισροές θετικό στην παραπάνω εξίσωση. Η μέθοδος αυτή μπορεί και αξιολογεί άμεσα και ολοκληρωτικά την αξία της εκάστοτε επενδυτικής πρότασης. Το χαρακτηριστικό της μεθόδου είναι ότι εκφράζεται αλγεβρικά, κάτι που την καθιστά πιο κατανοητή αφού η Καθαρά Παρούσα Αξία που έχει μεγαλύτερη αλγεβρική τιμή είναι και η πιο συμφέρουσα. Το αρνητικό της μεθόδου αυτής είναι ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε επενδυτικές προτάσεις οι οποίες έχουν διαφορετική διάρκεια ζωής (Πολύζος, 2018).

Βασική προϋπόθεση για την κατασκευή ενός υδροηλεκτρικού έργου αποτελεί η εκπόνηση μιας μελέτης σκοπιμότητας, μέσω της οποίας θα εξετασθούν τα πιθανά σενάρια υλοποίησης του έργου. Οι δύο φάσεις που περιέχει η εκπόνηση της μελέτης σκοπιμότητας σύμφωνα με τον Παπαντώνη (2001) είναι οι παρακάτω:

Η πρώτη φάση της παραπάνω μελέτης σκοπιμότητας είναι η αναγνωριστική μελέτη, η οποία περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

- 1) Την μελέτη της περιοχής όπου θα κατασκευαστεί το έργο, η οποία θα περιλαμβάνει την καταγραφή των συνθηκών της περιοχής, των δυσκολιών που ενδέχεται να προκύψουν κατά την υλοποίηση του έργου, την αναγνώριση του ανάγλυφου της περιοχής καθώς επίσης και τον σχεδιασμό του έργου σε χάρτη. Από αυτό το βήμα θα εξαχθούν χρήσιμες πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά του έργου όπως η υδραυλική πτώση ή το μέγεθος των απαιτούμενων έργων προσαγωγής,
- 2) Την συλλογή των υδρολογικών στοιχείων του υδατορεύματος και πιο συγκεκριμένα την ελάχιστη και μέγιστη παροχή του,
- 3) Τα στοιχεία που συλλέχθηκαν στα προηγούμενα βήματα θα αξιοποιηθούν για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας και τα αποτελέσματα αυτού του υπολογισμού θα χρησιμοποιηθούν με την σειρά τους για τον υπολογισμό του κόστους της επένδυσης,

- 4) Ακολουθεί η επανάληψη των παραπάνω υπολογισμών , χρησιμοποιώντας διαφορετικές τιμές της παροχής , για να βελτιστοποιηθεί η τιμή της εγκατεστημένης ισχύος,
- 5) Προτείνονται διάφορα σενάρια χρηματοδότησης του έργου και εξετάζεται η αποδοτικότητα του κάθε σεναρίου,
- 6) Εντοπίζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που θα προκαλέσει η υλοποίηση του έργου,
- 7) Τέλος συντάσσεται μία έκθεση η οποία θα συνοψίζει τα παραπάνω στοιχεία που συλλέχθηκαν και θα εξετάζει αν το έργο είναι αποδοτικό ή όχι. Εάν το πόρισμα είναι θετικό θα ακολουθήσει η οριστική μελέτη.

Η δεύτερη φάση της μελέτης σκοπιμότητας είναι η εκπόνηση της προκαταρκτικής μελέτης. Στόχος αυτής της μελέτης είναι η ανάλυση των χρηματοοικονομικών και των τεχνικών χαρακτηριστικών του έργου. Τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα παρακάτω:

- 1) Εξετάζεται η τοποθεσία του έργου και τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης,
- 2) Αναλύονται οι τοπικές συνθήκες και συλλέγονται στοιχεία που αφορούν το ύψος της υδατόπτωσης και εξετάζεται η χρήση του νερού από άλλους φορείς
- 3) Εξετάζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που θα επιφέρει το υλοποιούμενο έργο τόσο στην πανίδα και την χλωρίδα όσο και στην όψη του χώρου στον οποίο θα κατασκευαστεί,
- 4) Εξετάζονται όλα τα νομικά ζητήματα που θα προκύψουν κατά την υλοποίηση του έργου τα οποία αφορούν την διανομή της παραγόμενης ενέργειας , τις διαδικασίες που πρέπει να γίνουν για την εισαγωγή σε πρόγραμμα ανάπτυξης υδροηλεκτρικού έργου και την συνεννόηση με τις τοπικές αρχές,
- 5) Προσδιορίζεται η εγκατεστημένη ισχύς του έργου και η παραγόμενη ενέργεια ετησίως ,
- 6) Εξετάζονται εκ νέου τα στοιχεία της υδρολογικής μελέτης που εκπονήθηκε και πιο συγκεκριμένα τα χαρακτηριστικά του αγωγού πτώσης , του υδροστρόβιλου , η ποσότητα του ύδατος φυγής και οι απώλειες ύψους πτώσης,
- 7) Μετά τον προσδιορισμό της παραγόμενης ενέργειας και της εγκατεστημένης ισχύος εκτιμάται το ύψος των πωλήσεων. Εξετάζεται η καμπύλη ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας , η τιμή πώλησης , η δυνατότητα επιχορήγησης και λήψης δανείου,
- 8) Γίνεται εκτίμηση των δαπανών που είναι απαραίτητες για την υλοποίηση του έργου,
- 9) Υπολογίζεται η βέλτιστη εγκατεστημένη ισχύς του έργου καθώς και τα οικονομικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης,
- 10) Εντοπίζονται εκ νέου οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του έργου και επιλύονται τα περιβαλλοντικά ζητήματα που προέκυψαν από την μελέτη,
- 11) Ακολουθεί το τελικό πλάνο των νομικών απαιτήσεων , ο τελικός προσδιορισμός της εγκατεστημένης ισχύς , οι τελικοί υπολογισμοί του κόστους και γενικότερα η πλήρης οικονομική ανάλυση του έργου,

- 12) Παρουσιάζεται η χρηματοδότηση του έργου , η διανομή της παραγόμενης ενέργειας και οι χρηματοοικονομικές ροές κατά την διάρκεια κατασκευής και λειτουργίας του έργου
- 13) Παρουσιάζεται το χρονοδιάγραμμα του έργου που περιλαμβάνει τις επιμέρους διαδικασίες κατασκευής και την χρονική διάρκειά τους

Με την ολοκλήρωση των δύο φάσεων της μελέτης σκοπιμότητας , έχουν συλλεχθεί όλα τα απαραίτητα στοιχεία και οι βασικές πληροφορίες είναι αναγκαίες για την υλοποίηση του έργου. Το επόμενο βήμα είναι η μελέτη εφαρμογής. Ο στόχος αυτής της μελέτης είναι η σύνταξη όλων των σχεδίων που είναι απαραίτητα για την κατασκευή και η οριστικοποίησή τους. Με την σύνταξη όλων των σχεδίων , το έργο είναι έτοιμο να δημοπρατηθεί. Με βάση τις προσφορές που θα δοθούν θα επιλεγεί ο ανάδοχος του έργου. Μέσω της μελέτης εφαρμογής θα πρέπει να παραδοθούν όλα τα κατασκευαστικά σχέδια , όλοι οι υπολογισμοί που διεξήχθησαν , οι υπολογισμοί με τις προμετρήσεις των υλικών που είναι απαραίτητα για τις εργασίες, το χρονοδιάγραμμα των εργασιών και οι προδιαγραφές της κατασκευής και της προμήθεια



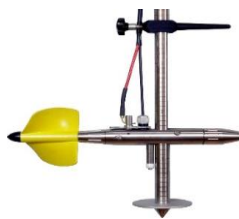
## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> : Μεθοδολογίες υπολογισμών κρίσιμων στοιχείων ενός ΥΗΕ

### 4.1 Γενικά

Στο παραπάνω κεφάλαιο όπου αναλύθηκαν οι φάσεις της μελέτης σκοπιμότητας, έγινε λόγος για μια σειρά υπολογισμών οι οποίοι είναι αναγκαίοι για να μελετηθεί το έργο που θα υλοποιηθεί. Στο παρακάτω κεφάλαιο αναλύονται οι μεθοδολογίες για τον υπολογισμό των επιμέρους στοιχείων ενός έργου.

### 4.2 : Επιλογή εγκατάστασης ενός ΜΥΗΕ βάση υδρολογικών και τοπογραφικών στοιχείων

Για την επιλογή της τοποθεσίας κατασκευής ενός ΜΥΗΕ είναι απαραίτητη η επίσκεψη της περιοχής η οποία εξετάζεται ως πιθανή θέση για ΜΥΗΕ και η διεξαγωγή απαραίτητων παρατηρήσεων και μετρήσεων. Αφού προσεγγίσουμε το υπό μελέτη ρέμα ή ποταμό θα πρέπει να διαπιστώσουμε την παροχή αυτού (αν είναι μεγάλη ή μικρή) στις διάφορες εποχές του χρόνου. Η ορθότερη προσέγγιση είναι η επίσκεψη της περιοχής μια φορά τον μήνα προκειμένου να γίνεται μέτρηση της παροχής. Αυτό γίνεται με ένα ειδικό όργανο μέτρησης που ονομάζεται μυλίσκος το οποίο διαθέτει έλικα/φτερωτή η οποία προσανατολίζεται κάθετα της ροής του νερού .Για ρέμα με μικρές παροχές είναι απαραίτητο ένα όργανο με μικρή διάμετρο φτερωτής ενώ για ένα ποτάμι είναι απαραίτητο ένα όργανο με μεγαλύτερη διάμετρο φτερωτής. Στο σημείο το οποίο κρίνεται επιθυμητό για την μέτρηση της παροχής του ρέματος η διαδικασία είναι η εξής: Ο μυλίσκος προσαρμόζεται σε ράβδο η οποία εμβαπτίζεται σε διάφορα σημεία μέσα στην κοίτη του ρέματος. Αν για παράδειγμα το ρέμα έχει πλάτος 2 μέτρα, τότε με τον μυλίσκο πραγματοποιούνται μετρήσεις ανά μισό μέτρο.



Εικόνα 1: Τοπικός Μυλίσκος

Πηγή: Ροή - Παροχή :: Scient  
Act SA, 2020

Με τον μυλίσκο είναι δυνατή η σημειακή μέτρηση της ταχύτητας της ροής και του βάθους του ρέματος σε κάθε σημείο. Η μέτρηση της ταχύτητας γίνεται σε ύψος περίπου των 2/3 του μετρούμενου βάθους για να επιτυγχάνεται καλή ακρίβεια στην

τελική τιμή της παροχής η οποία θα υπολογιστεί ως το γινόμενο των επιμέρους εμβαδών ( $m^2$ ) και του μέσου όρου των ταχυτήτων στα άκρα κάθε χωρίου.

Αυτές οι μετρήσεις είναι καλό να γίνουν όχι μόνο για μια υδρολογική χρονιά αλλά και για δεύτερη ή τρίτη. Ως υδρολογική χρονιά ορίζεται το χρονικό διάστημα από την 1η Σεπτεμβρίου έως και την 31η Αυγούστου του επομένου έτους. Επακολούθως, αν η μέτρηση από την παροχή είναι ικανοποιητική εντοπίζεται το σημείο που μπορεί να γίνει η εγκατάσταση της υδροληψίας, δηλαδή του μικρού φράγματος που θα γίνει η εκτροπή του ρέματος ή ποταμού, ώστε να οδηγηθεί στον υδροηλεκτρικό σταθμό. Για να εντοπιστεί το σημείο αυτό, πραγματοποιείται πεζοπορία και ανάβαση δίπλα από την κοίτη του ρέματος μέχρι το σημείο όπου διαπιστώνεται ότι χωρίζεται σε δύο παραποτάμους και το σημείο αυτό επιλέγεται ως η θέση της υδροληψίας. Γίνεται κατανοητό ότι είτε συνεχίσει κανείς στο δεξιά ή στο αριστερά ανάντη ρέμα η παροχή θα είναι κατά πολύ μικρότερη και ότι είναι επιθυμητή η μέγιστη δυνατή και διαθέσιμη παροχή. Στο σημείο της υδροληψίας λαμβάνει χώρα μια μέτρηση του απολύτου υψόμετρου. Ως απόλυτο υψόμετρο ενός σημείου της γήινης επιφάνειας χαρακτηρίζεται η κατακόρυφη απόσταση του σημείου από την επιφάνεια της θάλασσας. Αυτό μπορεί να γίνει με ένα όργανο GPS που έχει εξαιρετικά μεγάλη ακρίβεια. Γίνεται παράθεση ενός παραδείγματος για την αναλυτικότερη παρουσίαση της διαδικασίας. Σύμφωνα με αυτό το απόλυτο υψόμετρο της υδροληψίας φτάνει τα 750 μέτρα.



Εικόνα 2:Όργανο GPS τύπου SPECTRE SP80

Πηγή: Spectra Geospatial,2018

Έπειτα, αφού με αυτόν τον τρόπο επιλεγεί η τοποθεσία της υδροληψίας, πρέπει να γίνει η επιλογή της τοποθεσίας του υδροηλεκτρικού σταθμού. Από το σημείο της υδροληψίας ακολουθείται η κοίτη του ρέματος κατηφορικά για να συναντήσουμε την πιθανή τοποθεσία του σταθμού. Αυτό που έχει ενδιαφέρον είναι μεταξύ υδροληψίας και σταθμού να υπάρχει μια μεγάλη υψομετρική διαφορά. Μετά την κατάβαση της κοίτης του ποταμού σε μήκος ενός χιλιομέτρου, με ένα όργανο ακρίβειας επαναλαμβάνεται η μέτρησή του. Αν το απόλυτο υψόμετρο εκεί είναι περίπου 650 μέτρα, δηλαδή στο χιλιόμετρο μήκους κοίτης ρέματος τότε υπάρχει υψομετρική διαφορά (γεωδαιτικό ύψος) 100 μέτρα, η οποία θεωρείται αρκούντως καλή. Εάν είναι μικρή η υψομετρική διαφορά σε μήκος ενός χιλιομέτρου η εργασία γίνεται δυσκολότερη γιατί χρειάζεται να βαδίσει

κανείς κατάντι σε όλο το μήκος του ρέματος για να διαπιστωθεί σε πιο χιλιόμετρο (μήκος διαδρομής) υπάρχει μεγαλύτερη υψομετρική διαφορά ανά χιλιόμετρο μήκους ρέματος. Άρα τελικά επιλέγεται το χιλιόμετρο εκείνο ή γενικά την απόσταση μεταξύ υδροληψίας και σταθμού που έχει την μεγαλύτερη υψομετρική διαφορά. Όλα τα ανωτέρω γίνονται γιατί η ισχύς  $P$  σε kW του σταθμού, άρα και η ενέργεια  $E$  σε kWh είναι επιθυμητό να είναι η μέγιστη (Συμεωνίδου, 2008).

### 4.3 : Υπολογισμός εγκατεστημένης ισχύς ΥΗΕ

Ανάλογα με τους συνδυασμούς των υδραυλικών υψών και παροχών, που είναι δυνατόν να επιτευχθούν και έχουν επιλεγεί, υπολογίζεται η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς της εγκατάστασης και κρίνεται αν είναι επαρκής ή όχι για τη λειτουργία μιας υδροηλεκτρικής εγκατάστασης. Ο όρος εγκατεστημένη ισχύς αναφέρεται στην μέγιστη ισχύ που δύναται να παραχθεί από τον σταθμό παραγωγής (Μαμάσης, Κουτσογιάννης and Ευστρατιάδης, 2016).

Παρακάτω αναγράφονται οι τύποι που περιγράφουν πως εξάγεται η ισχύς σε ένα υδροηλεκτρικό έργο σύμφωνα με τον Zainuddin *et al.* (2009):

$$P(kw) = g * Hn * Q * n * \rho \quad (4.1)$$

όπου:

- $P$  = Η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς λειτουργίας (kW)
- $g$  = Η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $\approx 9,81 \text{ m/sec}^2$ )
- $Hn$  = Το καθαρό διαθέσιμο ύψος πτώσης (m)
- $Q$  = Η διερχόμενη εκ του στροβίλου παροχή ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $n$  = Συνολικός βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης
- $\rho$  = Η πυκνότητα του νερού ( $\approx 1.0 \text{ t/m}^3$ )

Ο υπολογισμός της ισχύς είναι μία πολύ σημαντική παράμετρος στον σχεδιασμό των υδροηλεκτρικών συστημάτων. Συνήθως η ροή του νερού στα μικρά υδροηλεκτρικά έργα είναι περισσότερη από την αναγκαία. Ο υπολογισμός με τον παραπάνω τύπο μπορεί να γίνει προσεγγιστικά. Αυτό είναι σκόπιμο γιατί ο τελικός βαθμός απόδοσης θα κριθεί από τον εξοπλισμό που θα επιλεγεί με βάση την ισχύ του σταθμού η οποία στη συγκεκριμένη φάση δεν είναι γνωστή. Δηλαδή θεωρείται ένας συνολικός βαθμός απόδοσης στην μέγιστη παροχή για την εγκατάσταση (μια τιμή κοντά στο 85% είναι αρκετά κοντά στην πραγματικότητα), και στη συνέχεια, με γνωστές τις τιμές της παροχής και του ύψους, μπορεί να υπολογιστεί η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς (Zainuddin *et al.*, 2009).

Ο συνολικός βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης εξαρτάται από τους βαθμούς απόδοσης των επιμέρους στοιχείων που την απαρτίζουν και ο οποίος υπολογίζεται ως εξής σύμφωνα με τον Μαμάση (2016):

$$n = n_{\text{υδροστρόβιλου}} * n_{\text{γεννήτριας}} * n_{\text{μετασχηματιστή}} \quad (4.2)$$

Αυτός ο βαθμός απόδοσης έχει, συνήθως, τιμές μεταξύ 0.70 και 0.94 ενώ ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας μεταξύ 0.96 και 0.97. Όσον αφορά τον βαθμό απόδοσης

του μετασχηματιστή , οι τιμές του είναι μεταξύ 0.98 και 0.99. Πιο συγκεκριμένα , οι υδροστροβίλοι Kaplan έχουν βαθμό απόδοσης που κυμαίνεται από 0.80 μέχρι 0.93 ενώ οι υδροστροβίλοι Pelton και Francis κυμαίνονται μεταξύ 0.82 έως 0.91 και 0.70 έως 0.94 αντίστοιχα (Τουρλιδάκης, 2011). Ακόμη, σημειώνεται, ότι ο βαθμός απόδοσης του υδροστροβίλου, αποτελείται και αυτός από επιμέρους βαθμούς απόδοσης και προκύπτει από την εξής σχέση σύμφωνα με τον Μαμάση (2016):

$$\eta_{\text{υδροστροβίλου}} = \eta_{\text{μηχανικός}} * \eta_{\text{πυδραυλικός}} * \eta_{\text{πογκομετρικός}} \quad (4.3)$$

Περισσότερες πληροφορίες για τους παραπάνω βαθμούς απόδοσης μπορούν να αντληθούν από τις κατασκευάστριες εταιρείες των κυρίων εξαρτημάτων του σταθμού όπως ο ονομαστικός βαθμός απόδοσης του υδροστροβίλου και η ονομαστική απόδοση της γεννήτριας και του μετασχηματιστή, συνεπώς μπορεί να υπολογιστεί ο ολικός ονομαστικός βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης. Από τους ανωτέρω αναγραφόμενους τύπους γίνεται σαφές ότι για την μεγαλύτερη τιμή ισχύος και ενέργειας (P,E) είναι επιθυμητό το μέγιστο γινόμενο  $Hn * Q$

#### 4.4 : Υπολογισμός καθαρού ύψους πτώσης $h_n$

Το καθαρό ύψος πτώσης δεν ισούται με την υψομετρική διαφορά μεταξύ υδροληψίας και εξόδου του σταθμού παραγωγής αλλά υπολογίζεται αφαιρώντας το ύψος απωλειών (Καραδήμου, Ασίμης, 2019). Η σχέση είναι η εξής :

$$H_n = H_g - H_f \quad (4.4)$$

όπου:

$H_g$  = το γεωδαιτικό ύψος που υπολογίστηκε προηγουμένως από τις μετρήσεις υψομέτρου

$H_f$  = απώλειες λόγω τριβών στον αγωγό, στην υδροληψία, στις δικλείδες κλπ

#### 4.5 : Υπολογισμός απωλειών $h_f$

«Η δυναμική ενέργεια του νερού μετατρέπεται κυρίως σε εντατική ενέργεια  $pe/\rho$  στη διατομή εισόδου του υδροστροβίλου, δεδομένου ότι η κινητική ενέργεια  $ce/2$  είναι σχετικά μικρή. Οι απώλειες από τη διατομή εξόδου του υδροστροβίλου μέχρι την ελεύθερη αδιατάρακτη επιφάνεια του ταμιευτήρα είναι ίσες με την κινητική ενέργεια του νερού στην έξοδο του υδροστροβίλου η οποία θεωρείται ότι μετατρέπεται σε θερμότητα λόγω τριβής.» (Τουρλιδάκης, 2011). Οι απώλειες του αγωγού προσαγωγής δίνονται από τον τύπο Darcy – Weissbach (*Darcy-Weissbach Equation*, 2020):

$$H_{\text{αγωγού}} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (4.5)$$

Ο συντελεστής τριβής/ τραχύτητας του αγωγού  $f$  υπολογίζεται από την σχέση White – Colebrook, βάση της ισοδύναμης τραχύτητας των σωλήνων  $K_s$  που θα χρησιμοποιηθούν, σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις:

Για την επίλυση της εξίσωσης Darcy-Weisbach απαιτείται ο συνδυασμός των εξισώσεων White-Colebrook, στον οποίο περιλαμβάνεται ο συντελεστής  $f$  συναρτήσει της τραχύτητας  $K_s$ , και της εξίσωσης του αριθμού Reynolds.

Παρακάτω ακολουθούν οι προαναφερθέντες τύποι καθώς και η επεξήγηση των μεταβλητών τους (Menon, 2015) :

Εξίσωση White – Colebrook :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 * \log \left( \frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51}{(Re * \sqrt{f})} \right) \quad (4.6)$$

Όπου :

- $K_s$  = τραχύτητα των σωλήνων
- $D$  = διάμετρος αγωγού προσαγωγής
- $Re$  = αριθμός Reynolds
- $f$  = συντελεστής τριβής

Εξίσωση ορισμού αριθμού Reynolds:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (4.7)$$

όπου :

- $D$  = διάμετρος αγωγού προσαγωγής
- $V$  = μέση ταχύτητα
- $\nu$  = κινηματικό ιξώδες του νερού ( περίπου 0.0000011 m<sup>2</sup>/s)

Εξίσωση μέσης ταχύτητας:

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (4.8)$$

όπου:

- $D$  = διάμετρος του αγωγού προσαγωγής
- $\nu$  = κινηματικό ιξώδες του νερού ( περίπου 0.0000011 m<sup>2</sup>/s)

Ως ιξώδες νοείται «η ιδιότητα του ρευστού που αντιπροσωπεύει αντίσταση στη ροή» (Katz and Semat, 1958). Ως κινηματικό ιξώδες ορίζουμε την αναλογία ιξώδους προς την πυκνότητα του υγρού. Αυτή η αναλογία περιγράφει την ευκολία με την οποία ρέει ένα ρευστό (Johnson, Cullum and Bennett, 1998). Στις γραμμικές απώλειες μέγιστης παροχής του αγωγού προσαγωγής πρέπει να προστεθούν οι λοιπές τοπικές απώλειες στα άλλα σημεία του "υδραυλικού προφίλ" όπως υδροληψία, δικλείδες κλπ. Αυτές πρέπει να υπολογιστούν και να προστεθούν για κάθε εξάρτημα της διάταξης του αγωγού πτώσεως και των οργάνων διακοπής της ροής όπως δικλείδες (βάνες), θυροφραγμάτων κ.α..

Πίνακας 3: Ενδεικτικές ταχύτητες σωλήνων εμπορίου.

ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΩΛΗΝΩΝ	ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ(mm)
Χάλυβας	0.046
Χυτοσίδηρος	0.26
Γαλβανισμένος σίδηρος	0.15
Χαλκός	0.14
Σκυρόδεμα	0.3-3.0
Κεραμικό	0.07
Πλαστικό	0.0016

Πηγή: Ράμμος, 2016, Ιδία επεξεργασία

Έπειτα από τα παραπάνω λαμβάνεται το σύνολο των απωλειών  $H_f$  και μπορεί να υπολογισθεί το καθαρό ύψος πτώσης  $H_n$  (Ράμμος, 2016)

#### 4.6 : Υπολογισμός ημερήσιων παροχών $q$ και κατασκευή καμπύλης διάρκειας παροχών

Η καμπύλη διάρκειας που εκφράζει τη διαθεσιμότητα των παροχών στην θέση της υδροληψίας είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την εκτίμηση του υδροηλεκτρικού δυναμικού, που εξαρτάται ακριβώς από τη διαθεσιμότητα των παροχών και το υδραυλικό φορτίο (καθαρού ύψους πτώσης  $H_n$ ). Παριστάνει στον οριζόντιο άξονα, για δεδομένη τιμή της παροχής στον κατακόρυφο άξονα, το ποσοστό ή τη διάρκεια του χρόνου κατά τον οποίο η παροχή του ρέματος είναι μεγαλύτερη ή ίση της τιμής αυτής. Το συνηθέστερο χρονικό εύρος και το πιο χρήσιμο είναι η ημέρα, οπότε τα στοιχεία του δείγματος είναι οι μέσες ημερήσιες παροχές καθώς αν το εύρος είναι ανά μήνα, θα υπάρχει απώλεια πληροφοριών σε σχέση με την ημέρα (Ριζιώτης, 2017).

Προκειμένου να υπολογισθεί, πραγματοποιούνται καθημερινά μετρήσεις της παροχής του ρέματος ή του ποταμού. Άρα σε ένα έτος λαμβάνονται 365 μετρήσεις. Αυτό είναι απαραίτητο λόγω της σημαντικής διακύμανσης των υδατορευμάτων, από μήνα σε μήνα, και από έτος σε έτος. Το ιδανικό θα ήταν να υπήρχαν μετρήσεις της παροχής για μεγάλο χρονικό διάστημα έτσι ώστε να μπορεί να εκτιμηθεί η μελλοντική εξέλιξη της παροχής με κάποια μεγάλη πιθανότητα. Καλό είναι να πραγματοποιούνται συστηματικές μετρήσεις για 2 με 3 χρόνια.

Στα μεγάλα ποτάμια της Ελλάδος (Αχελώος, Άραχθος, Νέστος) η ΔΕΗ έχει κάνει συστηματικές ημερήσιες μετρήσεις για πάνω από 10 χρόνια, συνολικά δηλαδή 3650 μετρήσεις. Αυτές οι μετρήσεις τοποθετούνται σε ένα ορθοκανονικό σύστημα αξόνων. Στον κατακόρυφο άξονα τοποθετούνται οι παροχές που έχουν μετρηθεί και στον οριζόντιο ο χρόνος  $T$  δηλαδή ένα έτος. Οι μετρήσεις τοποθετούνται στο ορθοκανονικό σύστημα από την μεγαλύτερη στην μικρότερη και έτσι δημιουργείται η καμπύλη διάρκειας (Ριζιώτης, 2017).

## 4.7 : Εναλλακτική μέθοδος για περιπτώσεις που δεν υπάρχουν συστηματικές μετρήσεις

Η διεξαγωγή μετρήσεων της παροχής ενός ρέματος ή ποταμού συχνά είναι δύσκολη, μιας και η πρόσβαση στις περιοχές των ποταμών και η εγκατάσταση μετρητικών συστημάτων είναι δύσκολη και ασύμφορη. Επίσης είναι χρονοβόρα διαδικασία διότι το ιδανικό θα ήταν να υπήρχαν μετρήσεις από πολλά έτη.

Εναλλακτική μέθοδος όταν δεν έχουν γίνει συστηματικές καθημερινές μετρήσεις παροχής στο υπό μελέτη ρέμα είναι η εκτίμηση της απορροής των ποταμών με βάση την αναγωγή των στοιχείων του υπό μελέτη ρέματος σε ένα άλλο ποτάμι με γνωστά χαρακτηριστικά, στο οποίο έχουν γίνει συστηματικές μετρήσεις στο παρελθόν. Οι μετρήσεις έχουν γίνει συνήθως από δημοσίους οργανισμούς όπως ΔΕΗ, ΙΓΜΕ, Διευθύνσεις υδάτων, Υπουργείο Ενέργειας και κλιματικής αλλαγής κ.α.. Η αναγωγή γίνεται συγκρίνοντας τις υδρολογικές λεκάνες των δυο ποταμών ή ρεμάτων και τις μεταξύ τους βροχοπτώσεις (Μουτάκης, Κωνσταντέλλης, 2003).

Για την αναγωγή πρέπει να ληφθεί υπόψη ο λόγος του εμβαδού της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής προς το εμβαδόν της λεκάνης απορροής του ποταμού αναφοράς και τον αντίστοιχο λόγο των μέσων υψόμετρων των λεκανών απορροής. Για να υπολογιστούν αυτοί οι λόγοι πρέπει να χαραχθούν σε χάρτη οι λεκάνες απορροής του υπό μελέτη ρέματος και του ποταμού αναφοράς έτσι ώστε να υπολογισθεί το εμβαδόν τους και το μέσο υψόμετρό τους.

Ως λεκάνη απορροής ορίζεται η γεωγραφική περιοχή τα νερά της οποίας συνεισφέρουν στην απορροή που διέρχεται από ένα σημείο του ποταμού , στην προκείμενη περίπτωση την θέση της υδροληψίας. Το όριο της λεκάνης απορροής καθορίζεται από την γεωμορφολογία της περιοχής (τις ισομετρικές καμπύλες) και ονομάζεται υδροκρίτης. Σε κάθε θέση του ποταμού αντιστοιχεί διαφορετική λεκάνη απορροής, η επιφάνεια της οποίας αυξάνει καθώς η μελετώμενη θέση μετακινείται κατάντη (Μουτάκης, Κωνσταντέλλης, 2003).

Ο υπολογισμός βασίζεται σε μία εξίσωση της μορφής :

$$Q_{\beta} = Q_{\alpha} * \left( \frac{Y_{\beta} * E_{\beta}}{Y_{\alpha} * E_{\alpha}} \right) \quad (4.9)$$

όπου:

- $Q_{\beta}$  = ζητούμενη παροχή(εξεταζόμενης)
- $Y_{\beta}$  = μέσο υψόμετρο(εξεταζόμενης)
- $E_{\beta}$  = επιφάνεια της λεκάνης(εξεταζόμενης)
- $Q_{\alpha}$  = Παροχή(λεκανη αναφοράς)
- $Y_{\alpha}$  = μέσο υψόμετρο(λεκανη αναφοράς)
- $E_{\alpha}$  = επιφάνεια της λεκάνης(λεκανη αναφοράς)



#### 4.8 : Υπολογισμός οικολογικής παροχής

Αφού έχουν εκτιμηθεί οι διαθέσιμες μέσες ημερήσιες παροχές για να υπολογιστεί η εγκατεστημένη παροχή πρέπει να ληφθεί υπόψιν η οικολογική παροχή. Δηλαδή την ποσότητα παροχής που πρέπει να παραμείνει στην κοίτη του ρέματος κάθε στιγμή για τη διατήρηση του κατάντη οικοσυστήματος. Αυτή θα πρέπει να αφαιρεθεί από τις μετρήσεις της διαθέσιμης ημερήσιας παροχής. Η οικολογική παροχή σύμφωνα με το άρθρο 16 παράγραφος 3Ε ΦΕΚ 2464 τεύχος Β (2008) ορίζεται ως η μέγιστη παροχή εκ των τριών κατωτέρω αναφερόμενων περιπτώσεων:

- 1)το 30% της μέσης παροχής των μηνών Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου
- 2)το 50% της μέσης παροχής του μηνός Σεπτεμβρίου
- 3)τουλάχιστον 30ℓ/s

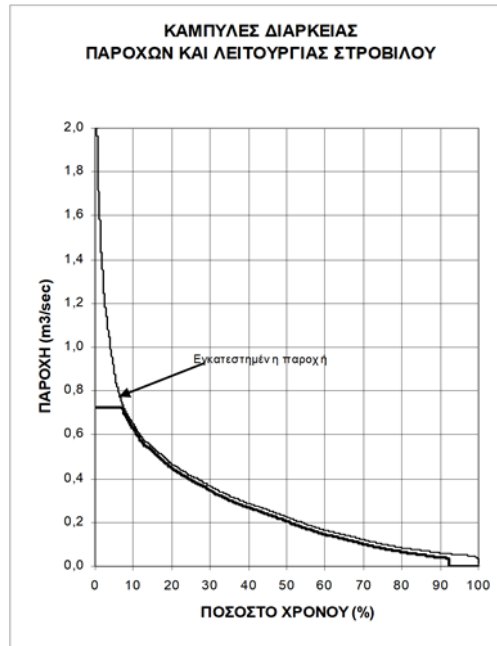
Το ΜΥΗΕ θα λειτουργεί μόνο όταν η παροχή του ρέματος είναι μεγαλύτερη από την οικολογική παροχή.

#### 4.9 : Υπολογισμός εγκατεστημένης παροχής

Αφού αφαιρεθεί η οικολογική παροχή από τις ημερήσιες παροχές σχεδιάζεται η καμπύλη διάρκειας παροχών όπως περιεγράφηκε ανωτέρω. Έπειτα με βάση αυτήν καθορίζεται η πιθανή εγκατεστημένη παροχή. Για τεχνικοοικονομικούς λόγους τέμνεται σε κάποια τιμή του χρόνου μεταξύ του 10% και 20% την καμπύλη διάρκειας παροχών (πχ στο 15%) και προβάλλεται το σημείο της καμπύλης στον άξονα παροχών η οποία θεωρείται και η εγκατεστημένη παροχή. Συνεπώς θα προβληθεί η μέτρηση της 55<sup>ης</sup> μέρας με την μεγαλύτερη παροχή.

Η επιλογή αυτής της τιμής του χρόνου γίνεται ανάλογα με την αβεβαιότητα των εκτιμήσεων των μελλοντικών παροχών. Η εγκατεστημένη παροχή είναι η μεγαλύτερη παροχή που μπορεί να λειτουργήσει το υπό μελέτη υδροηλεκτρικό. Συνεπώς είναι η μεγαλύτερη παροχή που μπορεί να λειτουργήσει ο στρόβιλος και βάση αυτής της παροχής πρέπει να επιλεγούν τα κατασκευαστικά του μέρη, (τύπος στρόβιλου, runner, nozzles , κέλυφος). Γίνεται κατανοητό ότι εάν επιλέξουμε το 2%, επιλέγουμε ένα στρόβιλο μεγάλο που θα λειτουργεί όμως με την μέγιστη παροχή για 7 μόνο μέρες το χρόνο. Άρα επιλέγουμε έναν ακριβό στρόβιλο, ο οποίος με την παραγωγή του δε θα μας γυρίσει τη δαπάνη αγοράς. Ομοίως εκ του αντιθέτου γίνεται εάν επιλέξουμε παροχή στο 40-50% (Μουτάκης και Κωνσταντέλλης, 2003).





Διάγραμμα 1: Τυπικό διάγραμμα διάρκειας παροχών και λειτουργίας στροβίλου

Πηγή : Μουτάκης και Κωνσταντέλλης, 2003

#### 4.10 : Υπολογισμός ενέργειας E

Για τον υπολογισμό της εκτιμώμενης ενέργειας  $E$  που θα παρέχει το ΜΥΗΕ σε διάρκεια ενός έτους θα πρέπει σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο για κάθε ημέρα του έτους με δεδομένη εκμεταλλεύσιμη παροχή να υπολογισθεί η παραγόμενη ενέργεια.

Έπειτα θα πρέπει να γίνει άθροιση της παραγόμενης ενέργειας κάθε μέρας για να βρεθεί η ενέργεια σε ένα έτος λειτουργίας.

$$E(kWh) = P * T \quad (4.10)$$

όπου:

$P$  = παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς λειτουργίας (kW)

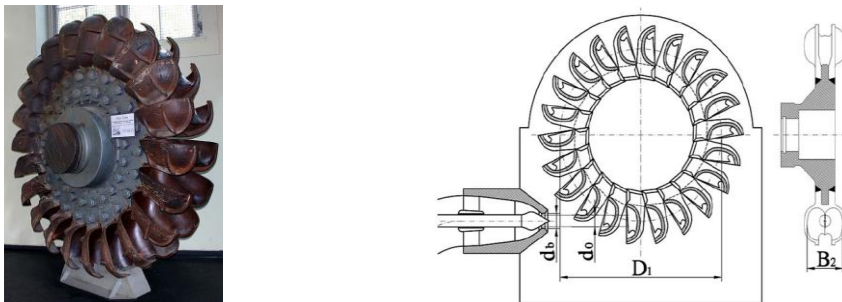
$T$  = χρόνος λειτουργίας σε ώρες (h)

#### 4.11 : Μεθοδολογία επιλογής υδροστροβίλου

Ο υδροστρόβιλος είναι η μηχανή που μετατρέπει την κινητική και δυναμική ενέργεια του νερού σε μηχανική ενέργεια σε έναν περιστρεφόμενο άξονα. Η μετατροπή της ενέργειας γίνεται με την συνεχή διέλευση του νερού διάμεσου των σκαφιδίων του στροφείου (runner) στα οποία ασκούνται δυνάμεις που ασκούν ροπή στον άξονα του οποίου είναι συζευγμένος με τον άξονα (δρομέα) της γεννήτριας. Ο άξονας του στροβίλου είναι συζευγμένος με τον δρομέα της ηλεκτρικής γεννήτριας έτσι ώστε να επιτευχθεί η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι βασικοί παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή του υδροστροβίλου ενός ΜΥΗΕ είναι το καθαρό ύψος πτώσης  $H_n$  (μεταξύ υδροληψίας και υδροστροβίλου) και η μέγιστη εγκατεστημένη παροχή  $Q$ . Οι διάφοροι τύποι υδροστροβίλων έχουν διαφορετικές περιοχές λειτουργίας και για κάθε σημείο

λειτουργίας διαφορετικό βαθμό απόδοσης. Η επιλογή του καταλλήλου υδροστρόβιλου μας επιτρέπει την κατά το δυνατόν καλύτερη απόδοση στην μετατροπή της υδραυλικής ενεργείας σε μηχανική.

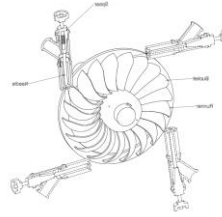
Για ύψος πτώσης μεγαλύτερο από 140-150m, χρησιμοποιούνται υδροστρόβιλοι τύπου Pelton οριζοντίου άξονα. Επιλέγονται υδροστρόβιλοι Pelton κατακόρυφου άξονα μέχρι τα 170m και οριζοντίου άξονα για πάνω από 170m. Βεβαίως υδροστρόβιλοι οριζοντίου άξονα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για όλα τα ύψη πάνω από 170m. Είναι προτιμότερο να επιλεγεί κατακόρυφου άξονα σε σχέση με έναν οριζοντίου άξονα Pelton στα 100-170μέτρα γιατί παρόλο ότι έχουν μεγαλύτερο κόστος έχουν πολύ καλύτερη απόδοση στα ανωτέρω ύψη. Η λειτουργία του παραπάνω υδροστρόβιλου είναι σχετικά απλή. Οι πίδακες νερού, αναπτύσσοντας μεγάλη ταχύτητα εισέρχονται στα ακροφύσια γύρω από την τουρμπίνα. Η διάταξη αυτών των ακροφυσίων είναι τέτοια ώστε οι πίδακες νερού να χτυπούν τους διαχωριστές με τέτοιο τρόπο ώστε οι πίδακες να χωρίζονται σε δύο ρεύματα. Αυτά τα δύο ρεύματα κινούνται κατά μήκος της εσωτερικής καμύλης του κάδου και εξέρχονται αντίθετα από την κατεύθυνση που εισήχθησαν. Η εναλλαγή στον ροή των πιδάκων παράγει μια ορμή η οποία δίνει ώθηση στις λεπίδες της τουρμπίνας και της δίνει την περιστροφική της κίνηση (*Energy Education, 2020*).



Εικόνα 3: Στρόβιλοι τύπου Pelton

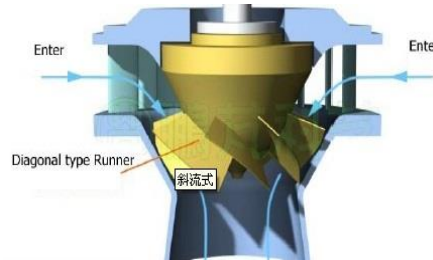
Πηγή: [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-view-of-the-single-jet-Pelton-turbine\\_fig1\\_259811328](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-view-of-the-single-jet-Pelton-turbine_fig1_259811328)

Για ύψος πτώσης κάτω από 150 μέτρα και ως 80-90 μέτρα χρησιμοποιούνται υδροστρόβιλοι τύπου Turgo ή Diagonal. Η λειτουργία του υδροστρόβιλου Turgo εμφανίζει πολλές ομοιότητες με τον Pelton. Όπως και στον υδροστρόβιλο Pelton, έτσι και στον Turgo εισέρχονται πίδακες νερού γύρω από την τουρμπίνα. Η διαφορά είναι στα ακροφύσια, τα οποία είναι διατεταγμένα έτσι ώστε οι πίδακες του νερού να χτυπούν τους κάδους στην μία πλευρά με γωνία 20 μοιρών. Με αυτήν την γωνία επιτυγχάνεται η έξοδος του νερού από την αντίθετη πλευρά και όχι να εκτρέπεται προς τα πίσω. Το πλεονέκτημα αυτού του τύπου υδροστρόβιλων είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεγαλύτερο ρυθμό ροής, διότι οι πίδακες που εισέρχονται δεν συγκρούονται με αυτούς που εξέρχονται, όπως γίνεται στους Pelton (*Energy Education, 2020*).



Εικόνα 4: Στρόβιλοι τύπου Turgo

Πηγή: <http://m.savvy-ind.com/info/introduction-of-turgo-turbine-38329589.html>

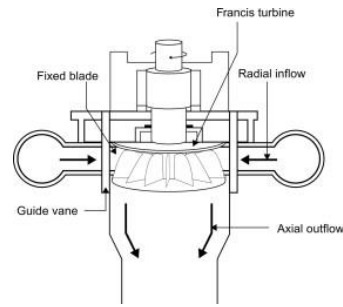


Εικόνα 5: Στρόβιλοι τύπου Diagonal

Πηγή: <https://newmachineparts.blogspot.com/2013/12/deriaz-turbine.html>

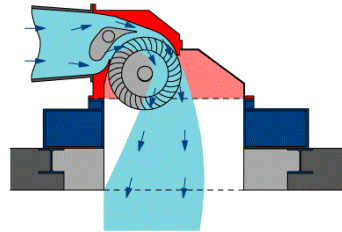
Κάτω από τα 80 μέτρα και έως τα 35 μέτρα χρησιμοποιούνται υδροστρόβιλοι τύπου Francis ή crossflow. Στους υδροστρόβιλους τύπου crossflow το νερό εισέρχεται σε σχήμα επίπεδου φύλλου σε αντίθεση με τους Pelton που εισέρχεται σε στρογγυλό σχήμα. Το φύλλο αυτό οδηγείται στα πάνω πτερύγια, οδηγούμενο από μία βαλβίδα εισόδου, έτσι ώστε το νερό να χτυπήσει τις λεπίδες στην σωστή γωνία. Η σύγκρουση του νερού με τις λεπίδες παράγει ροπή. Σε αντίθεση με τους άλλους υδροστρόβιλους όμως, πριν εξέλθει το νερό περνάει για δεύτερη φορά από τις λεπίδες παράγοντας έτσι περισσότερη ισχύ. Η πρώτη σύγκρουση του νερού με τις λεπίδες παράγει περισσότερη ισχύ σε σχέση με την δεύτερη φορά (*Energy Education, 2020*).

Οι υδροστρόβιλοι Francis έχουν σχήμα σαλιγκαριού το οποίο βοηθάει να μειώνεται η πίεση του νερού που εισέρχεται χωρίς όμως να μειώνεται η ταχύτητά του. Το νερό εισέρχεται από το περίβλημα του κελύφους του σαλιγκαριού και αφού περάσει τον αυλό καθοδηγείται από τα πτερύγια οδήγησης στις λεπίδες, στις κατάλληλες γωνίες. Το νερό διασχίζει τις καμπυλωμένες λεπίδες, παραμορφωμένο ελαφρώς προς τα πλάγια. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται μείωση της περιστροφικής κίνησης του νερού και εξέρχεται από έναν σωλήνα βύθισης ο οποίος ελαττώνει την ταχύτητα που έχει το νερό κατά την έξοδό του. Η δύναμη που παράγεται με αυτόν τον τρόπο ωθεί τις λεπίδες να αλλάζουν την κατεύθυνση της περιστροφής τους κατά την εκτροπή του νερού. Με αυτόν τον τρόπο παράγεται η δύναμη της αντίδρασης και μεταφέρει την ισχύ του νερού, στον άξονα. Λόγω αυτού του τρόπου κίνησης, οι στρόβιλοι Francis ονομάζονται και στρόβιλοι αντίδρασης (*Energy Education, 2020*).



Εικόνα 6: Στρόβιλοι τύπου Francis

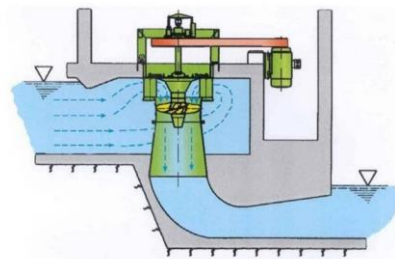
Πηγή: <https://www.gthec.cn/francis-turbine/francis-turbine-generator.html>



Εικόνα 7: Στρόβιλοι τύπου CrossFlow

Πηγή: <https://www.cink-hydro-energy.com/en/2-cell-crossflow-turbine/>

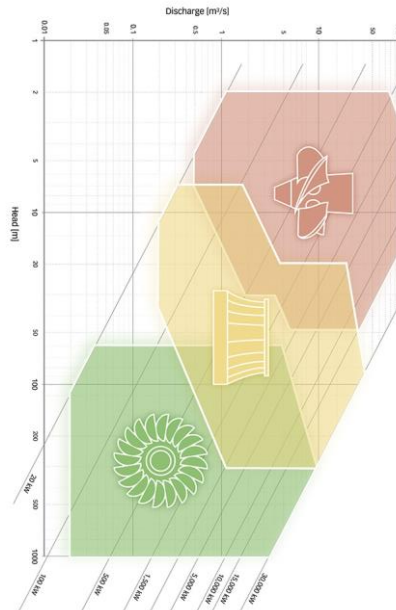
Τέλος κάτω από 35 μέτρα χρησιμοποιούνται αποκλειστικά υδροστρόβιλοι τύπου Kaplan. Ευνόητο είναι ότι οι τουρμπίνες τύπου Kaplan χρησιμοποιούνται για χαμηλές υψομετρικές διαφορές αλλά για μεγάλες παροχές ύδατος, δηλαδή σε όλα τα μεγάλα ποτάμια. Οι τύποι υδροστρόβιλων σαν τους παραπάνω διαφέρουν από τους υπόλοιπους λόγω του διαφορετικού τρόπου μεταφοράς του νερού. Αρχικά το νερό κατευθύνεται ακτινικά και από το πλάι στον στρόβιλο. Τα πτερύγια οδήγησης, κατευθύνουν το νερό στις λεπίδες αξονικά, σε γωνία 90 μοιρών, στροβιλίζοντάς το (Energy Education, 2020).



Εικόνα 8: Στρόβιλοι τύπου Kaplan

Πηγή: <http://livre.pt/pt/764-kaplan-turbina-kaplan-.html>

Συνήθως για την επιλογή του υδροστρόβιλου χρησιμοποιούνται διαγράμματα τα οποία εκδίδουν οι διάφορες κατασκευαστικές εταιρίες για συγκεκριμένους τύπους υδροστροβίλων που διαθέτουν μιας και η τυποποίηση που παρέχουν στις επιλογές προσφέρει μειωμένο κόστος ανάπτυξης και δοκιμών. Επίσης με την τυποποίηση επιτυγχάνεται η μείωση του χρόνου παράδοσης του υδροστρόβιλου ο οποίος γίνεται ουσιαστικά ίσος με τον χρόνο κατασκευής δεδομένου ότι τα κατασκευαστικά σχέδια και η διαδικασία παραγωγής προϋπάρχουν. Ο χρόνος παράδοσης είναι σημαντικός από οικονομικής πλευράς καθώς είναι επιθυμητό να μην υπερβαίνει τον χρόνο κατασκευής του ΜΥΗΕ που ανέρχεται στα 1 με 2 χρόνια (Μοσχοβίτης, 2012).



Διάγραμμα 2: Τυπικό διάγραμμα επιλογής υδροστροβίλου μεταξύ τύπου Pelton, crossflow και Kaplan

Πηγή: <https://koboguide.com/mini-hydro-power-plant-for-sale/>

#### 4.11 : Μεθοδολογία επιλογής γεννήτριας

Αφού επιλεγεί ένας υδροστρόβιλος υπολογίζεται η ισχύς του υδροστροβίλου σε KW. Έστω ότι επιλέχθηκε ένας υδροστροβίλος ισχύος 1000KW, η επιλογή της γεννήτριας γίνεται σε KVA (Βουλαρινός, 2018). Ισχύει:

$$KW = KVA * \cos\varphi \rightarrow KVA = \frac{KW}{\cos\varphi} \quad (4.12)$$

όπου:

KW = ισχύς υδροστροβίλου

KVA = ισχύς γεννήτριας

Πρέπει να επιλεγεί  $\cos\varphi$  το μικρότερο δυνατό που μπορεί ποτέ να λειτουργήσει ασφαλώς η γεννήτρια σύμφωνα με τον κατασκευαστή. Επιλέγεται λοιπόν το  $\cos\varphi=0.85$ . Αρά η ισχύς της γεννήτριας στην προκειμένη περίπτωση για ισχύ υδροστροβίλου 1000KW θα είναι  $1000KW/0.85 \approx 1176KVA$ . Άρα επιλέγεται γεννήτρια με ισχύ ίση με 1250KVA. Η γεννήτρια που επιλέγεται έχει ισχύ λίγο μεγαλύτερη από τον θεωρητικό υπολογισμό, μιας και ο βαθμός απόδοσης των γεννητριών είναι περίπου 96%. Οι



γεννήτριες που επιλέγονται για εγκατάσταση σε ένα ΜΥΕ πρέπει να είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να αντέχουν σε πιθανή υπερτάχυνση που μπορεί να συμβεί σε περίπτωση απόρριψης του φορτίου του σταθμού με αποτέλεσμα την περιστροφή του άξονα σε μεγαλύτερη ταχύτητα από την ταχύτητα περιστροφής ονομαστικής λειτουργίας.

Επίσης ανάλογα με την ισχύ της γεννήτριας που πρέπει να εγκατασταθεί διακρίνονται δυο περιπτώσεις: η επιλογή μεταξύ σύγχρονης ή ασύγχρονης γεννήτριας. Επειδή κατά την εκκίνησή τους οι ασύγχρονες γεννήτριες απορροφούν ενέργεια (ρεύμα από το δίκτυο) για την διέγερσή τους και σε περίπτωση μεγάλης ισχύος ασύγχρονης γεννήτριας, υπάρχει και μεγάλη απορροφούμενη ισχύ από το δίκτυο. Αυτό μπορεί να συνεπάγεται σε πιθανή αστάθεια, υπόταση έως και διακοπή του δικτύου του ΔΕΔΔΗΕ. Φυσικά οι διακοπές του δικτύου του ΔΕΔΔΗΕ είναι ανεπιθύμητες δια τούτο οι ασύγχρονες γεννήτριες εγκαθίστανται στα ΜΥΗΕ με μικρές ισχύς έως και 500KVA.

#### 4.12 : Ζεύξη υδροστροβίλου - γεννήτριας

Στις περισσότερες κατηγορίες υδροστροβίλων η ζεύξη της τουρμπίνας είναι απευθείας με τον άξονα της γεννήτριας. Όμως σε ορισμένες περιπτώσεις και ειδικά στην τουρμπίνα τύπου Kaplan επειδή λειτουργεί με χαμηλή ταχύτητα περιστροφής, είναι απαραίτητη η χρήση πολλαπλασιαστή στροφών είτε οριζόντιο γραναζωτό, είτε κατακόρυφο bevel gear. Με τον πολλαπλασιαστή είναι δυνατή η επίτευξη της ταχύτητας περιστροφής που είναι απαραίτητη για να εξασφαλίζεται ρεύμα με βιομηχανική συχνότητα 50Hz στην έξοδο της γεννήτριας.

#### 4.13 : Επιλογή ονομαστικής τάσεως λειτουργίας

Το επίπεδο της χαμηλής τάσης στην έξοδο της γεννήτριας και στο πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή συνήθως είναι 600V. Επιλέγεται 600V και όχι μεγαλύτερο π.χ. 690V, γιατί σε αυτήν την τάση, των 600V, μπορούν να λειτουργήσουν με ασφάλεια οι τυποποιημένοι μικροαυτόματοι και οι αποζεύκτες χαμηλής τάσης. Επίσης δεν χρησιμοποιούνται μικρότερες τάσεις από 600V, π.χ. 400V που είναι η κανονική οικιακή και βιομηχανική τάση παροχής, γιατί τότε θα πρέπει να υπερδιαστασιοποιηθεί η διατομή των καλωδίων (άρα πολύ ακριβότερα καλώδια) για να μην υπάρχουν μεγάλες απώλειες και ανασφαλή λειτουργία. Η τάση εξόδου του μετασχηματιστή θα πρέπει να είναι ίδια με την τάση λειτουργίας του δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας του ΔΕΔΔΗΕ, δηλαδή μέση τάση 20KV (Στοκίδης, 2011).

#### 4.14 : Μεθοδολογία επιλογής της ισχύος του μετασχηματιστή

Η επιλογή της ισχύος του μετασχηματιστή του ΜΥΗΕ θα γίνει με βάση την ισχύ της γεννήτριας και του βαθμού απόδοσης του μετασχηματιστή που είναι κοντά στο 98%. Για την περίπτωση ισχύς γεννήτριας 1250KVA, απαιτείται μετασχηματιστής  $1250/0.98=1276KVA \approx 1300KVA$ . Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ο Μ/Σ θα έχει Χ.Τ. στο πρωτεύον τύλιγμα και Υ.Τ. στο δευτερεύον, άρα 600V και 20KV. Άρα εξασφαλίζεται πλήρη διαστασιολόγηση του μετασχηματιστή ο οποίος συνήθως είναι κλειστού τύπου ONAN (Oil Natural Air Natural) δηλαδή με ψύξη (και μόνωση) ελαίου που κυκλοφορεί φυσικά (χωρίς τεχνικά μέσα) στο κέλυφος του Μ/Σ και στα πτερύγια/σωλήνες ψύξης,

όπου και ανταλλάσσει θερμότητα με τον αέρα του περιβάλλοντος διαμέσου αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας. Ο αέρας στους μετασχηματιστές τύπου ONAN επίσης κυκλοφορεί χωρίς μηχανική υποβοήθηση (Αυλακά, 2019).



Εικόνα 9: Μετασχηματιστής τύπου ONAN

Πηγή: <http://cosmoscable.com/?page=product&xd=733>

#### 4.15 : Μεθοδολογία επιλογής καλωδιώσεων X.T./M.T

Η μέγιστη ένταση του ρεύματος  $I$  που διαρρέει τα καλώδια που συνδέουν την γεννήτρια με τον μετασχηματιστή υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο (Ζαχαράκης, 2018):

$$P = V * I * \cos\phi \quad (4.14)$$

όπου ,

$I$  = μέγιστη ένταση ρεύματος

$V$  = τάση δικτύου

Με βάση την ένταση  $I$  και την ειδική αντίσταση  $R$  των καλωδίων και την απόσταση γεννήτριας-Μ/Σ υπολογίζεται η διατομή των καλωδίων. Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι τύπου NYΥ δηλαδή χαμηλής τάσης με ενισχυμένη εξωτερική μόνωση PVC (Καραδήμου, Ασίμης, 2019). Αυτός ο τύπος καλωδίων χρησιμοποιείται κυρίως σε περιπτώσεις που τα καλώδια είναι εκτεθειμένα σε σωλήνες στο ύπαιθρο, για σταθμούς παραγωγής, σταθμούς διανομής ή βιομηχανικές εγκαταστάσεις (Τσιχλής, 2012).



Εικόνα 10: Καλώδια τύπου NYY

Πηγή: <https://hdcarmouredcable.com/harga-kabel-4-x-95-mm2-cable-price/>

Παρομοίως για την σύνδεση του μηχανολογικού σταθμού με το δίκτυο διανομής υπολογίζεται η ηλεκτρική ένταση  $I$  που θα διέρχεται από καλώδια μέσης τάσης σύμφωνα με την ισχύ και την τάση εξόδου (20KV) του Μ/Σ που επιλέχθηκε. Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται είναι τύπου XPLE κόκκινο καλώδιο (cross-linked polyethylene) και για τον υπολογισμό της διατομής τους πρέπει να ληφθεί υπόψιν η απόσταση μεταξύ Μ/Σ και δικτύου διανομής (Καραδήμου, Ασίμης, 2019).



Εικόνα 11: Κόκκινο καλώδιο τύπου XPLE

Πηγή: <https://www.vwcable.com/al-xlpe-cts-pvc-power-cable-6-10-12-kv-1-c-iec-60502-2/>

#### 4.16 : Μεθοδολογία επιλογής πινάκων ισχύος MT, XT

Ο σταθμός συνδέεται με το δίκτυο της ΔΕΔΗΕ μέσω αποζευκτών (διακόπτες απομονώσεως) και μέσω διακοπών ισχύος (διακόπτες κενού μέσης τάσης ή SF6) ώστε να υπάρχει προστασία και ασφάλεια τόσο από τις υπερτάσεις του δικτύου προς το ΥΗΕ, όσο και από τις υπερτάσεις του σταθμού για να προστατεύεται το δίκτυο της ΔΕΔΗΕ.

Οι πίνακες μέσης τάσης, περιλαμβάνουν τους διακόπτες ισχύος και τους διακόπτες απομονώσεως, μετρητικές διατάξεις, μετασχηματιστές έντασης και τάσης, καθώς και σύστημα αυτοματισμού και προστασίας των πινάκων τύπου SEPAM (Square D Electrical Protection And Monitoring). Τα διαφορά στοιχεία που περιλαμβάνονται φαίνονται σε ένα τυπικό μονογραμμικό σχέδιο ενός σταθμού (Τερζίδης, 1999).

Ο χειρισμός των παραπάνω στοιχείων μπορεί να γίνει από πολλά σημεία, όπως οι διάφοροι ηλεκτρονόμοι προστασίας, τα κουμπιά ελέγχου στην πρόσοψη των πινάκων



καθώς και με σύστημα τηλεχειρισμού όπως περιγράφεται παρακάτω στην ανάλυση των βοηθητικών κυκλωμάτων (Καραδήμου, Ασίμης , 2019).



Εικόνα 13: Πίνακας μέσης τάσης

Πηγή: <https://new.abb.com/medium-voltage/switchgear>



Εικόνα 12: Διακόπτης μέσης τάσης SF6

Πηγή: <https://new.abb.com/medium-voltage/service/extension-upgrades-and-retrofits/service-mv-it---abb-medium-voltage-equipment-hd4-uniair>

#### 4.17 : Επιλογή βοηθητικών κυκλωμάτων

Τα βοηθητικά κυκλώματα εγκαθίστανται στους πίνακες χαμηλής τάσης του ΜΥΗΕ ή στους πίνακες αυτοματισμού. Τα βοηθητικά κυκλώματα κυρίως αφορούν σήματα ελέγχου που λαμβάνονται από την λειτουργία των ακροφυσίων του στροβίλου, των εκτροπέων αυτών, από το σταθμημετρο ώστε να λειτουργεί ο σταθμός με σταθερή ανάντη στάθμη, από το κλείσιμο και άνοιγμα της κυρίας βάνας, την ταχύτητα περιστροφής του runner του στροβίλου, των δονήσεων των εδράνων(ρουλεμάν). Επίσης τα βοηθητικά κυκλώματα περιλαμβάνουν ενδεικτικά όργανα και όργανα χειρισμού τα οποία βρίσκονται στις προσόψεις των πινάκων του σταθμού αυτά μπορούν να περιλαμβάνουν: λυχνίες, μετρητές, επιλογικούς διακόπτες, κομβία πίεσης με σκοπό την εποπτεία και τον έλεγχο της λειτουργίας των μονάδων (Παντελάκης , Τάτσιος, 2017).

Ακολουθεί μια λίστα με πιθανά στοιχεία που συνήθως περιλαμβάνονται στα βοηθητικά κυκλώματα του σταθμού:

##### Ενδεικτικά όργανα στους πίνακες της μονάδας:

- Βολτόμετρα.
- Αμπερόμετρα.
- Ενδεικτικό όργανο συχνότητας.
- Ενδεικτικό όργανο ταχύτητας περιστροφής.
- Ενδεικτικό όργανο ενεργού ισχύος.
- Ενδεικτικό όργανο άεργου ισχύος.
- Ενδεικτικό όργανο συντελεστή ισχύος (cosφ).
- Ενδεικτικό όργανο ωρών λειτουργίας.

- Ενδεικτικά όργανα ανοίγματος βελονών ακροφυσίων
- Ενδεικτικό Όργανο παροχής
- Ενδεικτικό όργανο ανάντη στάθμης

#### Όργανα προστασίας στους πίνακες της μονάδας:

- Για την προστασία του δικτύου της ΔΕΗ από τον ΥΗΣ εγκαθίστανται οι εξής Η/Ν προστασίας:

- Η/Ν υπέρ και υπό τάσης
- Η/Ν ομοπολικής τάσης
- Η/Ν υπέρ και υπό συχνότητας
- Η/Ν υπερέντασης

Οι Η/Ν προστασίας επενεργούν στον διακόπτη μέσης τάσης του ΥΗΣ.

Στον διακόπτη αυτόν επενεργούν επίσης και οι προστασίες της γεννήτριας, δηλαδή:

- Η/Ν υπερέντασης και βραχυκυκλώματος
- Η/Ν διαρροής προς γη, καθώς και

Και επίσης οι προστασίες του μετασχηματιστή:

- Η/Ν Boucholz

- Για την προστασία της μονάδας εγκαθίστανται οι εξής Η/Ν προστασίας:

- Η/Ν υπερέντασης και βραχυκυκλώματος
- Η/Ν υπέρτασης
- Η/Ν υπό-υπέρ συχνότητας
- Η/Ν αντιστρόφου ροής ισχύος
- Η/Ν ανομοιόμορφης φόρτισης
- Η/Ν διαρροής προς γη
- Η/Ν αύξησης θερμοκρασίας τυλιγμάτων στάτη και εδράνων της γεννήτριας
- Η/Ν απώλειας διέγερσης
- Η/Ν υπερτάχυνσης του άξονα.

Οι πιο πάνω Η/Ν προστασίας της μονάδας θα επενεργούν απευθείας στον διακόπτη της μονάδας (Παντελάκης , Τάσιος, 2017).

#### 4.18 : Τηλεχειρισμός

Τα μικρά υδροηλεκτρικά εργοστάσια λειτουργούν αυτόματα και μπορούν να λειτουργήσουν με τηλεχειρισμό (remote control από μακρόθεν). Με αυτόν τον τρόπο δεν απαιτείται να υπάρχει προσωπικό στον χώρο του σταθμού σε μόνιμη βάση. Ο τηλεχειρισμός μπορεί να επέμβει στο υφιστάμενο σύστημα SCADA (supervisory control and data acquisition) και από εκεί να επενεργήσει σχεδόν σε όλες τις λειτουργίες αυτού. Το σύστημα αυτό διαθέτει οθόνη που εμφανίζει τις μετρήσεις των εποπτικών οργάνων του σταθμού σε εικονικό περιβάλλον και επιτρέπει διενέργεια διαφόρων χειρισμών. Κατωτέρω αναφέρονται συνοπτικά, όχι περιοριστικά μερικές από αυτές τις λειτουργίες.

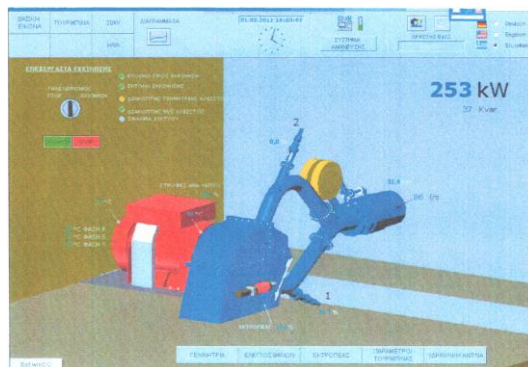
- Έναρξη και παύση λειτουργίας του σταθμού.
- Ρύθμιση του σταθμού σε χειροκίνητη λειτουργία.
- Έλεγχος της στάθμης του σταθμήμετρου.
- Έλεγχος της παροχής.

- Έλεγχος των μετρητών πίεσεως.

Ο τηλεχειρισμός γίνεται με δύο τρόπους, είτε με ιντερνετική σύνδεση μέσω μόντεμ , είτε μιας και τα ΜΥΗΕ συνήθως γίνονται σε πλέον δύσβατες και απομακρυσμένες περιοχές, μέσω δορυφορικής σύνδεσης.

Το προσωπικό είναι απαραίτητο να πηγαίνει στον χώρο του έργου όταν υπάρχει προβληματική λειτουργία ή διακοπή αυτού μιας και σε ορισμένες περιπτώσεις δεν είναι δυνατή η επανεκκίνηση του σταθμού (π.χ. σε υπερένταση γεννήτριας η οποία κατεβάζει τον διακόπτη ισχύος). Αυτό συναινεί για λόγους ασφάλειας και επιβάλλει τον έλεγχο της εγκατάστασης και απαλοιφή του σφάλματος στον διακόπτη και έπειτα την χειροκίνητη επανεκκίνηση της μονάδας (Παντελάκης , Τάτσιος, 2017).

Στο σημείο αυτό θα γίνει αναφορά στις κύριες εργασίες του συντηρητή του σταθμού που γίνονται επί τόπου οι οποίες είναι ο καθαρισμός των σχαρών της υδροληψίας και του εξαμμωτή, το άνοιγμα και κλείσιμο των θυροφραγμάτων καθαρισμού, ο καθαρισμός της ιχθυόσκαλας αν υπάρχει, η λίπανση των εδράνων της γεννήτριας του σταθμού σε περιοδική βάση, ο καθαρισμός των φίλτρων λαδιού στην υδραυλική μονάδα, συμπλήρωμα λαδιού και ο έλεγχος διαρροής νερού σε όλες τις ενώσεις των σωληνώσεων εντός της μονάδας όπως για παράδειγμα κύρια βαλβίδα, φλαντζωτές συνδέσεις, βάνα κτλ. (Νικόλαος, Γεώργιος και Παντελής, 2014).



Εικόνα 14: Τυπικό εικονικό περιβάλλον συστήματος SCADA

Πηγή : Νικόλαος, Γεώργιος και Παντελής, 2014

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Αδειοδότηση μικρών υδροηλεκτρικών έργων

### 5.1: Γενικά

Όσον αφορά την αδειοδότηση των Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων , οι απαιτούμενες μελέτες και άδειες διαφέρουν ανάλογα με την ισχύ του κάθε έργου. Για την εγκατάσταση μιας μονάδας ηλεκτροπαραγωγής με ΑΠΕ, προβλέπεται χορήγηση σχετικής άδειας. Για την άδεια αυτή απαιτούνται μια σειρά από εγκρίσεις χωροθέτησης, επέμβασης και σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο. Μετά τη θέσπιση ευνοϊκών κινήτρων για την ανάπτυξη των ΑΠΕ, οι αιτήσεις για χορήγηση άδειας εγκατάστασης αυξήθηκαν κατακόρυφα. Με την αξιολόγηση των αιτήσεων για χορήγηση αδειών, επιδιώκεται η επίτευξη των προϋποθέσεων εκείνων που θα επιτρέψουν την άμεση και απρόσκοπτη πραγματοποίηση του έργου (Ροδόπουλος, 2005).

### 5.2: Απαιτούμενες μελέτες και δικαιολογητικά έγγραφα ανάλογα την ισχύ του ΥΗΕ

Αξίζει να σημειωθεί ότι μετά την θέσπιση ευνοϊκότερων νόμων και κινήτρων για την αξιοποίηση των ΑΠΕ παρατηρήθηκε αύξηση της ζήτησης για εγκατάσταση υδροηλεκτρικών έργων. Οι κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται οι απαιτήσεις για την αδειοδότηση είναι δύο :

#### **Όταν η ισχύς είναι μικρότερη ή ίση με 50 kW ( $P_{\text{intalled}} \leq 50 \text{ kW}$ ):**

Σε αυτήν την περίπτωση δεν απαιτείται Άδεια Παραγωγής , ούτε άλλη σχετική διαπιστωτική απόφαση σύμφωνα με τον Ν.3468/2006 αρθρο4 (2006). Πρέπει πάραυτα να υποβληθεί αίτηση για την διαπίστωση Προσφοράς Σύνδεσης προς τον αρμόδιο Διαχειριστή ο οποίος θα θεωρήσει τα τοπογραφικά διαγράμματα αποτύπωσης του τρόπου σύνδεσης. Για αρχή αυτή η προσφορά δεν είναι δεσμευτική. Θα οριστικοποιηθεί και θα γίνει δεσμευτική μετά το τέλος της περιβαλλοντικής αδειοδότησης. Απαιτείται έγκριση Περιβαλλοντικών όρων η οποία εκδίδεται μετά από αίτηση που γίνεται , συνοδευόμενη από Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων. Σε περίπτωση που το έργο ενταχθεί στην κατηγορία Β4 , υποβάλλεται Περιβαλλοντική Έκθεση αντί για Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων. Απαραίτητη είναι και η Άδεια Χρήσης Νερού σύμφωνα με την Υπουργική Απόφαση 43504/2005 αρθ.1 παρ.1 (2005). Εφόσον εκτελούνται έργα απαραίτητη είναι η έκδοση Οικοδομικών Αδειών , Σύμβασης Σύνδεσης και Σύμβασης Αγοραπωλησίας. Σε ΥΕ με αυτήν την ισχύ δεν απαιτούνται ούτε Άδεια Εγκατάστασης ή Άδεια εκτέλεσης Έργων Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων , ούτε Δοκιμαστική Λειτουργία αλλά ούτε και Άδεια λειτουργίας.

#### **Όταν η ισχύς είναι μικρότερη ή ίση με 15 MW και μεγαλύτερη ή ίση με 50kW ( $50 \text{ kW} < P_{\text{intalled}} \leq 15 \text{ MW}$ ):**

Σε αυτήν την περίπτωση απαιτείται Άδεια Παραγωγής , σε συνδυασμό με αίτηση στην ΡΑΕ η οποία θα συνοδεύεται από τεκμηριωμένη υδρολογική μελέτη. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση απαιτείται αίτηση για την διατύπωση της Προσφοράς Σύνδεσης

, και η έκδοση Οικοδομικών Αδειών , Σύμβασης Σύνδεσης και Σύμβασης Αγοραπωλησίας. Επιπροσθέτως απαιτείται Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων ( η οποία συνοδεύεται από Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων) και Ενιαία Άδεια Χρήσης Νερού και Εκτέλεσης Έργων Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων σύμφωνα με την Υπουργική Απόφαση 43504/2005 αρθ.1 παρ.1 και αρθ.6 παρ.3 (2005).

Απαιτείται η έκδοση Άδειας Λειτουργίας και Άδειας Εγκατάστασης όπου, σύμφωνα με την ΥΑ.13310/2007 (2007), δίνεται η δυνατότητα να υποβληθεί μία αίτηση για την έκδοση της άδειας εγκατάστασης, η οποία θα ενσωματώνει την Ενιαία Άδεια Χρήσης Νερού και Εκτέλεσης Έργων Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων. Είναι επίσης απαραίτητη η Προσωρινή Σύνδεση για Δοκιμαστική Λειτουργία (μετά από αίτηση στον αρμόδιο Διαχειριστή) όπου μετά το πέρας 15 ημερών , και αν η λειτουργία του έργου δεν παρουσιάσει προβλήματα , εκδίδεται από τον Διαχειριστή μια βεβαίωση επιτυχούς περάτωσης των δοκιμών. Τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη από τη ΡΑΕ για την αξιολόγηση και χορήγηση αδειών στους αιτούντες, είναι τα ακόλουθα:

- Η ασφάλεια και προστασία του Συστήματος του Δικτύου των εγκαταστάσεων παραγωγής και του συνδεδεμένου εξοπλισμού.
- Η προστασία του περιβάλλοντος.
- Η αποδοτική παραγωγή και χρήση ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η πρωτογενής πηγή ενέργειας και η τεχνολογία που προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί.
- Οι τεχνικές, οικονομικές και χρηματοδοτικές δυνατότητες του Αιτούντος.
- Η ωριμότητα του έργου προκειμένου για άδεια παραγωγής.
- Οι υποχρεώσεις παροχής υπηρεσιών δημόσιας ωφέλειας.
- Ο μακροπρόθεσμος ενεργειακός προγραμματισμός της χώρας.
- Η προστασία των καταναλωτών.
- Οι επισημάνσεις άλλων δημόσιων αρχών σχετικά με τα θέματα εθνικής ασφάλειας.

## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup> : Νομοθεσία που διέπει τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα στην Ελλάδα

### 6.1: Γενικά

Η νομοθεσία που αφορά τις ΑΠΕ στην Ελλάδα είναι μια συνεχής αλληλουχία νόμων και αποφάσεων οι οποίες διορθώνουν , καταργούν ή αναθεωρούν παλαιότερους νόμους ή αποφάσεις. Η Δημόσια Εταιρεία Ηλεκτρισμού(ΔΕΗ) όταν ιδρύθηκε κατείχε το αποκλειστικό προνόμιο να παράγει και να μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια σε όλη την επικράτεια.

### 6.2: Ιστορική αναδρομή στην νομοθεσία και ισχύουσα νομοθεσία μέχρι σήμερα

Η αλλαγή στην παραγωγή και μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος ήρθε με την θέσπιση του νόμου 2244/94 (1994) , ο οποίος επέτρεπε την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω ΑΠΕ και συμβατικών καυσίμων από νομικά ή φυσικά πρόσωπα κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις . Μέχρι την θέσπιση του παραπάνω νόμου η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω των ΑΠΕ γινόταν μόνο μέσω των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης . Μετά την εφαρμογή του ν.2244/94 η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των ΑΠΕ έγινε πιο προσιτή για παραγωγή ρεύματος είτε για ιδιοκατανάλωση είτε για την πώλησή του στην ΔΕΗ από επιχειρηματίες . Είναι λογικό λοιπόν να αυξηθεί το ενδιαφέρον για εγκατάσταση ΥΕ από ιδιώτες σε όλη την χώρα. Σημαντικό ρόλο διαδραμάτισε η είσοδος της Ελλάδας στην Ευρωπαϊκή Ένωση , η οποία παρείχε και συνεχίζει να παρέχει ενισχύσεις μέσω επιδοτήσεων στους ιδιώτες για την κατασκευή σταθμών ηλεκτροπαραγωγής .Σύμφωνα με οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και τον ν.2773/1999 (1999) συστάθηκε η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας η οποία έχει ως κύριο σκοπό να εποπτεύει την εγχώρια αγορά ενέργειας . Το κυριότερο επίτευγμα την ΡΑΕ ήταν η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας .Μέχρι και σήμερα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να υπάρχει άδεια παραγωγής από την ΡΑΕ. Ένας από τους βασικούς νόμους που αφορούν τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα είναι ο ν.3199/2003 (2003) περί διαχείρισης των υδατικών πόρων ο οποίος στοχεύει στην προστασία των υδάτινων οικοσυστημάτων έτσι ώστε να γίνεται σωστότερη χρήση των υδάτων (Συμεωνίδου, 2008). Ο νόμος 3468/2006 (2006) περί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ είχε ως στόχο την προώθηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ΑΠΕ με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος , την αύξηση την παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ΑΠΕ σε ποσοστό 20% , στο σύνολο της κατανάλωσης ενέργειας ,40% στο σύνολο της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας , 20 % στην συνολική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη και 10% στην συνολική κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές (Συμεωνίδου, 2008).

Μετά το 2016 ξεκίνησε ένας μηχανισμός στήριξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και ρυθμίστηκαν οι τιμές πώλησης του παραγόμενου ρεύματος ( μεχρι το 2016 όλες οι μονάδες παραγωγής ενέργειας μέσω ΑΠΕ είχαν προκαθορισμένες τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας). Με την δημιουργία του νέου μηχανισμού στήριξης το 2017 παρέχεται στήριξη στις ΑΠΕ μέσω δύο ταμείων : από τον ειδικό λογαριασμό ΑΠΕ και από την ίδια την αγορά. Αυτός ο νόμος προβλέπει την υποβολή ανταγωνιστικών προσφορών για έργα ΑΠΕ. Μετά από διαβουλεύσεις που έγιναν εκ μέρους της ΡΑΕ πάρθηκαν αποφάσεις σχετικά με τις προϋποθέσεις και τους όρους για την συμμετοχή των ενδιαφερόντων στην ηλεκτρονική δημοπρασία και μέσω της ηλεκτρονικής πλατφόρμας που δημιουργήθηκε έγινε η υποβολή των αιτήσεων. Το επόμενο βήμα ήταν να αξιολογηθούν οι αιτήσεις και να υποβληθούν όποιες ενστάσεις υπήρξαν. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως η όλη διαδικασία επετεύχθη με απόλυτη επιτυχία και χωρίς καμία απορία ή ασάφεια, λόγω της απλότητάς της και της εκπαίδευσης των χρηστών που προηγήθηκε ,και μειώθηκε σημαντικά ο απαιτούμενος χρόνος για την περαίωσή της καθώς επίσης και αυξήθηκε το όφελος του καταναλωτή (Παπαχρήστου, 2017).

Το θετικό από την όλη διαδικασία σύμφωνα με τον Παπαχρήστου (2017) ήταν ότι επετεύχθη μείωση των τιμών ανα κατηγορία του έργου :

- Κατηγορία I (Φ/Β ισχύος  $\leq 1\text{MW}$ ) μέση τιμή 98,78 €/MWh
- Κατηγορία II (Φ/Β ισχύος  $> 1\text{MW}$ ) μέση τιμή 83,3 €/MWh

Όσον αφορά τους μηχανισμούς στήριξης των ΑΠΕ σύμφωνα με τον Παπαχρήστου (2017) ο διαχωρισμός γίνεται πάλι με βάση την ισχύ του εκάστοτε έργου ή αλλιώς των μονάδων παραγωγής του.

Για τα Υδροηλεκτρικά Έργα ισχύουν τα παρακάτω για τα έτη 2017-2020:

- $P_{inst} < 500\text{kW}$  → εγγυημένες τιμές χωρίς υποχρέωση άμεσης συμμετοχής στην αγορά
- $500\text{kW} \leq P_{inst} < 1\text{MW}$  → α)τιμές με προσαύξηση της αγοραίας τιμής χωρίς υποχρέωση συμμετοχής σε ανταγωνιστικές διαδικασίες ,β) υποχρέωση συμμετοχής στην αγορά
- $P_{inst} \geq 1\text{MW}$  → α) τιμές προσαύξηση της αγοραίας τιμής με ανταγωνιστικές διαδικασίες, β)υποχρέωση συμμετοχής στην αγορά και σε αρμοδιότητες εξισορρόπησης

**2ο ΜΕΡΟΣ : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ  
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΤΟ ΜΥΘΕ ΣΤΟ ΠΕΤΡΟΡΕΜΑ**



## Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup> : Γενικά στοιχεία του υπό μελέτη ΜΥΗΕ

### 7.1: Γενικά

Το Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο (ΜΥΗΕ) ΠΕΤΡΟΡΕΜΑΤΟΣ θα κατασκευαστεί επί του ομώνυμου ρέματος, 2,4 περίπου χιλιόμετρα ανάντη της συμβολής του με τον ποταμό Νέστο, 1,3 km περίπου ανατολικά του οικισμού Διχάλιον, εντός των ορίων της κοινότητας Σιδηρόνερου του Ν. Δράμας και θα εκμεταλλεύεται την πτώση που δημιουργείται στο ρέμα Πετρόρεμα στην περιοχή αυτή. Η πτώση που θα εκμεταλλεύεται το Έργο είναι 190 m μεταξύ των υψομέτρων 606 m και 416 m, και η αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας από το έργο είναι 2,76 GWh.

Σύμφωνα με τη κοινή οδηγία 2001/77 του Συμβουλίου και του Κοινοβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε), η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ πρέπει να φθάσει στην Ελλάδα από 8,6% το 1997 που αντιστοιχούσαν σε 3.940 GWh σε 20,1% το έτος 2010. Στην οδηγία αυτή αναφέρεται επίσης ότι το 1997 ο μέσος όρος του ποσοστού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στην Ε.Ε ήταν 13,9%, και ελάχιστες χώρες (οι περισσότερες λόγω κυρίως της μορφολογίας του εδάφους τους) είχαν μικρότερο ποσοστό από την Ελλάδα. Η υλοποίηση του Έργου θα βοηθήσει στην αύξηση του ποσοστού της παραγόμενης ενέργειας στην Ελλάδα από ΑΠΕ και την αντίστοιχη μείωση της παραγωγής από θερμικές μονάδες. Με τον τρόπο αυτό θα συμβάλει στην εκπλήρωση των δεσμεύσεων που υπάρχουν για την Ελλάδα από την Ε.Ε, όσον αφορά την αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ.

### 7.2 : Σύντομη περιγραφή του έργου

Το παρόν έργο σκοπό έχει την εφικτά ενεργειακή εκμετάλλευση των νερών του ρέματος Πετρόρεμα, παραποτάμου του ποταμού Νέστου. Το Έργο θα εκμεταλλεύεται μία δημιουργούμενη πτώση 190 m σε συνολικό μήκος κοίτης 2.990 m περίπου. Η θέση της υδροληψίας του έργου τοποθετείται επί του ρέματος Γεωργιάδη, το οποίο μετά τη συμβολή του με το ρέμα Πετροτόπου, ονομάζεται Πετρόρεμα, πλησίον της περιοχής με το τοπωνύμιο "Ερ.Συνοικισμού". Η πρόσβαση στη θέση της υδροληψίας είναι δυνατή μέσω της υφιστάμενης εγκαταλελειμμένης δασικής οδού που έφτανε στο εν λόγω σημείο. Το Έργο θα αποτελείται από υδροληψία (μέγιστου ύψους πάνω από την κοίτη 2 m) και υδροληψία στο ρ. Πετρόρεμα (Γεωργιάδη).

Το νερό μέσω της υδροληψίας και του αντιστοίχου εξαμωτή θα διοχετεύεται μέσω του συστήματος προσαγωγής συνολικού μήκους 2.990 m στο κτίριο του Υδροηλεκτρικού Σταθμού παραγωγής, στο υψόμετρο +416 m, 2,4 περίπου χιλιόμετρα ανάντη της συμβολής του Πετρορέματος με τον ποταμό Νέστο, και στην αριστερά πλευρά του ρέματος κατά τη ροή. Στο ΜΥΗΕ Πετρορέματος θα εγκατασταθεί ένας υδροστρόβιλος τύπου Pelton οριζόντιου άξονα με δύο ακροφύσια. Η εγκατεστημένη ισχύ του στροβίλου είναι ίση με 1001 KW και η παραγόμενη ενέργεια ανέρχεται σε 2,76 GWh ετησίως. Το νερό μετά την διόδό του από τη μονάδα θα διοχετεύεται στην πρότερη

ροή του μέσω της διώρυγας φυγής του στροβίλου. Το ΜΥΗΕ Πετρορέματος θα λειτουργεί αυτόματα και θα έχει δυνατότητα τηλεπιτήρησης. Για την επίτευξη αυτού του τρόπου λειτουργίας τόσο στην υδροληψία όσο και στον ΥΗΣ θα εγκατασταθεί όλος ο απαραίτητος εξοπλισμός για την λειτουργία - ρύθμιση και προστασία του Έργου. Ο ΥΗΣ θα συνδεθεί με το δίκτυο ΜΤ της ΔΕΗ, μέσω Μ/Σ ανύψωσης τάσης.

Για την πραγματοποίηση του ΜΥΗΕ Πετρορέματος οι βασικοί οδοί προσπέλασης υφίστανται και δεν απαιτούνται σημαντικά πρόσθετα έργα, παρά μόνο η διάνοιξη νέας οδού μήκους 1,0 χιλιομέτρου περίπου για την πρόσβαση στο σταθμό παραγωγής και την διέλευση του αγωγού προσαγωγής. Στην ευρύτερη περιοχή του έργου και σε απόσταση 13 περίπου χιλιομέτρων βορειοδυτικά και 11 περίπου χιλιομέτρων βόρεια αυτού βρίσκονται οι υπό ένταξη στο δίκτυο NATURA 2000 περιοχές «Ροδόπη-Συμίδα-GR1140002» και «Ελάτια, Πυραμίσ Κούτρα-GR114003» αντίστοιχα. Σύμφωνα με τον σχεδιασμό που ακολουθήθηκε, όλες οι συνιστώσες του έργου βρίσκονται εκτός των εν λόγω περιοχών, και σε μεγάλη απόσταση από τα όρια τους.

### 7.3 : Υπολογισμός απωλειών στον αγωγό προσαγωγής

Το καθαρό ύψος πτώσης ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ του υψομέτρου της στάθμης στη δεξαμενή φόρτισης του αγωγού πίεσης και του υψομέτρου τοποθέτησης της πτερωτής του στροβίλου, μειωμένη κατά τις αντίστοιχες υδραυλικές απώλειες. Όπως υπολογίζεται, η στάθμη στη δεξαμενή φόρτισης είναι ίση με 606,00 m, η οποία και διατηρείται σταθερή μέσω του αυτοματισμού (σταθμημέτρου), ενώ το (μέσο) υψόμετρο τοποθέτησης του άξονα του στροβίλου Pelton θεωρείται ίσο με 416,00 m. Οι υδραυλικές απώλειες,  $\delta H_f$ , είναι το άθροισμα των γραμμικών υδραυλικών απωλειών των ευθύγραμμων τμημάτων και των υδραυλικών απωλειών των εντοπισμένων αντιστάσεων των διαφόρων εξαρτημάτων της σωλήνωσης, δηλ. της εισόδου στον αγωγό, των καμπυλών, διαστολών, συστολών, κλπ. Στην εγκατάσταση προβλέπεται αγωγός ειδικής κατασκευής GRP, ο οποίος εκτός των υπολοίπων πλεονεκτημάτων του (χρόνος τοποθέτησης, μειωμένο βάρος, μη απαίτηση συγκολλήσεων, κλπ.) δεν απαιτεί αντιδιαβρωτική και καθοδική προστασία. Ο αγωγός αυτός είναι εγκεκριμένος για χρήση σε υδροηλεκτρικά εργοστάσια και πόσιμα νερά και είναι κατασκευασμένος από εποξειδικές ρητίνες ενισχυμένος με ίνες ύαλου. Οι συνδέσεις των αγωγών μεταξύ τους καθώς και με τα εξαρτήματά τους γίνονται με ειδικά ελαστικά παρεμβύσματα μέσω εξαναγκασμένης ολίσθησης με τη χρήση λιπαντικού μέσου. Τα δε εξαρτήματα αλλαγής κατεύθυνσης είναι κατασκευασμένα από το ίδιο υλικό.

Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το κόστος κατασκευής και να μεγιστοποιηθούν τα οφέλη από την επένδυση, πραγματοποιήθηκε βελτιστοποίηση του αγωγού πτώσης για μεταβαλλόμενη διάμετρο σε διαφορετικά τμήματά του. Κι αυτό γιατί στην περίπτωση όπου η διάμετρος του αγωγού ήταν κοινή για όλο το μήκος, θα έπρεπε υποχρεωτικά να ληφθεί σε όλο το μήκος αντοχή τοιχώματος αγωγού ικανό να αντέχει στις πιέσεις του κατώτατου τμήματος. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα σπατάλη οικονομικών πόρων. Κατά συνέπεια, στο κατώτερο τμήμα του αγωγού, προκειμένου να αυξηθεί η αντοχή του αλλά χωρίς να υπάρχει και αντίστοιχη αύξηση του ολικού βάρους, επιλέγεται μικρότερη διάμετρος. Για το λόγο αυτό διενεργήθηκε ανάλυση με τη βοήθεια προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή με στόχο τη μεγιστοποίηση της απόδοσης του έργου.

Στους υπολογισμούς ελήφθησαν υπόψη τα εξής:

- Μήκος πρώτου (1) τμήματος αγωγού προσαγωγής = 1520 m
- Μήκος δεύτερου (2) τμήματος αγωγού προσαγωγής = 1470 m
- Διερεύνηση διαφορετικών διαμέτρων αγωγών.
- Στοιχεία κόστους αγωγού (αγορά, απαιτούμενες εκσκαφές, μεταφορά, κλπ).
- Υπολογισμός απωλειών, κόστους κατασκευής, παραγόμενης ενέργειας για κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις.

Από τα αποτελέσματα της μεθόδου βελτιστοποίησης προέκυψε ότι η οικονομικά αποδοτικότερη λύση είναι η επιλογή σωλήνα διαμέτρου Φ800 mm για τα πρώτα 1520 m μήκους του αγωγού και Φ700 για τα υπόλοιπα 1470 m μήκους. Για την συγκεκριμένη επιλογή τα αποτελέσματα των υπολογισμών καθώς και ο αναλυτικός υπολογισμός του καθαρού ύψους πτώσης δίνονται στη συνέχεια.

Η διάμετρος του αγωγού, όπως αυτή επιλέχτηκε είναι μεταβλητή, και το συνολικό μήκος της σωλήνωσης είναι ίσο με 2.990 m.

Ο υπολογισμός των γραμμικών απωλειών στο σύστημα προσαγωγής γίνεται με την βοήθεια της σχέσης White Colebrook (6.1) για τον υπολογισμό του συντελεστή τριβής  $\lambda$  και της σχέσης Darcy - Weisbach (6.2) για τον υπολογισμό των απωλειών.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 * \log\left(\frac{K}{3,7D} + \frac{2,51}{Re * \sqrt{\lambda}}\right) \quad (8.1)$$

$$J = \frac{\Delta h}{L} = \frac{\lambda}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad (8.2)$$

Στις προκύπτουσες απώλειες από τους πιο πάνω υπολογισμούς προστίθενται οι απώλειες λόγω ειδικών τεμαχίων, υδροληψίας κλπ. Η μέση τραχύτητα του αγωγού από GRP σύμφωνα με τους κατασκευαστές είναι 0,01 mm για καινούργιο αγωγό, λαμβάνεται όμως ίση με 0,03 για λόγους ασφαλείας και για προσομοίωση της τραχύτητας του αγωγού μετά από κάποια χρήση. Με βάση την τραχύτητα αυτή και για μέγιστη παροχή ίση με 0,615 m<sup>3</sup>/sec, από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα για τις γραμμικές απώλειες της σωλήνωσης:

Πίνακας 4: Αποτελέσματα γραμμικών απωλειών της σωλήνωσης

L <sub>1</sub> = 1520 m	L <sub>2</sub> = 1470 m
D <sub>1</sub> = 800 mm	D <sub>2</sub> = 700 mm
$\lambda_1$ = 0,01264	$\lambda_2$ = 0,0125222
V <sub>1</sub> = 1,23 m/sec	V <sub>2</sub> = 1,61 m/sec
$\Delta h_1$ = 1,80 m	$\Delta h_2$ = 3,40 m

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι το σύνολο των γραμμικών απωλειών στο σύστημα προσαγωγής για μέγιστη παροχή  $0,615 \text{ m}^3/\text{sec}$ , ισούται με:  $\Delta h_i=5,2 \text{ m}$ . Οι τοπικές απώλειες που αφορούν στις καμπύλες, προσαρμογές του αγωγού και τη δικλείδα εισόδου του στροβίλου εκτιμώνται σε  $0,40 \text{ m}$  και  $0,20 \text{ m}$  σταθερές απώλειες υδροληψίας. Οι συνολικές επομένως απώλειες στο σύστημα προσαγωγής και φυγής για την εγκατεστημένη παροχή ανέρχονται συνολικά σε  $5,8 \text{ m}$ . Για τους ενεργειακούς υπολογισμούς οι απώλειες που εξαρτώνται από την παροχή υπολογίζονται από την σχέση  $\Delta h_f=K*Q^2$ , όπου  $K=15,3348$ . Οι συνολικές υδραυλικές απώλειες για τη σωλήνωση που επιλέγεται (αγωγός GRP, μήκους  $2.990 \text{ m}$ , διαμέτρου  $\Phi 800$  &  $\Phi 700$ ) για παροχή ίση με τη μέγιστη αξιοποιήσιμη από το έργο ( $0,615 \text{ m}^3/\text{s}$ ), αντιπροσωπεύουν το  $3,15\%$  του διαθέσιμου ύψους πτώσης ( $606-416=190,00 \text{ m}$ ).

## 7.4 : Περιγραφή του έργου

### 7.4.1 Υδροληψία

Για την απόληψη των νερών του ρέματος Πετρόρεμα, θα κατασκευαστεί μικρή υπερπηδητή υδροληψία με κατάντη κεκλιμένες εσχάρες σε ένα τμήμα της στέγης του και προστατευτικούς τοίχους για την προστασία των πρανών. Το μήκος της υδροληψίας θα είναι ίσο με  $10,0 \text{ m}$  και η στέψη του στο υψόμετρο  $608,0 \text{ m}$  περίπου (ύψος υδροληψίας  $\sim 2 \text{ m}$ ). Η υδροληψία θα φέρει παραπλεύρως του χειροκίνητο θυρόφραγμα ολίσθησης διαστάσεων  $1,0 \times 1,0 \text{ m}$  για την εκκένωση και τον καθαρισμό των φερτών υλικών. Με την κατασκευή της υδροληψίας θα γίνεται η απόληψη του νερού. Τα έργα για την απόληψη περιλαμβάνουν τις κεκλιμένες εσχάρες της υδροληψίας και εξαμμωτή εφοδιασμένο στην είσοδό του με θυρόφραγμα απομόνωσης. Στο τέλος του εξαμμωτή θα υπάρχουν θυροφράγματα για την εκκένωση και τον καθαρισμό του. Τα θυροφράγματα θα είναι χαλύβδινα ολισθαίνοντα εφοδιασμένα με χειροκίνητο μηχανισμό. Το νερό από τον εξαμμωτή θα οδηγείται με υπερχειλίση στην δεξαμενή φόρτισης, και μέσω του αγωγού προσαγωγής θα οδηγείται στο στρόβιλο του ΥΗΣ.

Τα πλαϊνά τοιχία προστασίας των πρανών στο σημείο της υδροληψίας θα είναι σε υψόμετρο μεγαλύτερο από την αναμενόμενη στάθμη πλημμύρας και έτσι κατά τις πλημμύρες όλη η επιπλέον ποσότητα νερού θα διέρχεται από την υδροληψία. Στην παρούσα φάση το ύψος των τοιχίων ελήφθη ίσο με το ύψος των τοιχίων της οδικής γέφυρας (περίπου  $2,0 \text{ m}$  πάνω από την στάθμη υπερχειλίσης). Στη θέση της υδροληψίας θα γίνει καθαρισμός της κοίτης από σαθρά υλικά και θα δημιουργηθεί η υποδομή θεμελίωσης. Στη δεξαμενή φόρτισης θα εγκατασταθεί ηλεκτρονικό σταθμόμετρο για την αυτόματη λειτουργία της μονάδος που θα δίνει σήμα στο σύστημα ελέγχου του ΥΗΣ. Η σύνδεση του σταθμημέτρου με τον ΥΗΣ θα γίνει με θωρακισμένο καλώδιο που θα οδεύει κατά μήκος του αγωγού προσαγωγής. Για περιβαλλοντικούς λόγους, παράπλευρα της υδροληψίας θα κατασκευαστεί δίοδος ιχθύων, αποτελούμενη από συνεχόμενες δεξαμενές που θα σχηματίζουν κλίμακα, και θα επικοινωνούν μεταξύ τους με θυρίδες και υπερχειλιστές. Από την δίοδο των ιχθύων θα διέρχεται επί μονίμου βάσεως η οικολογική παροχή και θα εξασφαλίζεται με τον τρόπο αυτό η ελεύθερη δίοδος των ιχθύων.

#### **7.4.2 : Αγωγός προσαγωγής και υδραυλικό πλήγμα**

Η προσαγωγή του νερού θα γίνει με αγωγό που θα οδεύσει σε όρυγμα επιχωματωμένος επί της δασικής οδού που θα διανοιχτεί παραπλεύρως της κοίτης και της υφιστάμενης δασικής οδού, και θα αποτελείται από σωλήνες τύπου GRP, συνολικού μήκους 2990 m. Η διάμετρος του αγωγού προσαγωγής θα είναι μεταβλητή και ίση με Φ800 για τα πρώτα 1520 m μήκους της σωλήνωσης και Φ700 για τα υπόλοιπα 1470 m.

Όπου δεν είναι δυνατόν να γίνει επίχωση, ο αγωγός θα είναι επιφανειακός πάνω σε βάρθα και θα είναι εφοδιασμένος με διαστολικούς συνδέσμους για την παραλαβή των θερμοκρασιακών διαστολών όπως απαιτείται. Στα σημεία όπου αλλάζει έντονα η όδευση ή η κλίση, ο αγωγός θα αγκυρωθεί με σώματα αγκύρωσης από σκυρόδεμα. Ο αγωγός GRP δεν απαιτεί αντιδιαβρωτική ή καθοδική προστασία. Στο τέλος, ο αγωγός για την σύνδεση με την δικλείδα εισόδου του στροβίλου θα φέρει ειδικό χαλύβδινο τεμάχιο προσαρμογής. Για τον υπολογισμό του πάχους του αγωγού (που θα είναι μεταβλητό) και δεδομένου ότι ο στρόβιλος που θα εγκατασταθεί είναι τύπου Pelton με εκτροπείς ροής (διάταξη που μηδενίζει την εμφάνιση υπερπιέσεων), λαμβάνεται υπόψη μέγιστη αύξηση της πίεσης ίση με 125% του διατιθεμένου ύψους. Λαμβάνοντας υπόψη και τον συντελεστή ασφαλείας του υλικού του αγωγού GRP (ίσος με 1,5) η αντοχή σε πίεση του αγωγού εξασφαλίζει πλήρης ασφάλεια κατά την λειτουργία του ΜΥΗΕ κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες.

#### **7.4.3 : Κτίριο ΥΗΣ**

Το κτίριο του σταθμού παραγωγής θα έχει διαστάσεις 12,0x10,0x6,0m περίπου με υψόμετρο τοποθέτησης του άξονα του στροβίλου ίσο με 416,00. Το κτίριο θα είναι μονώροφο και θα είναι κατασκευασμένο βασικά από σκυρόδεμα. Η σκεπή του θα αποτελείται από δίρριχτη κεκλιμένη σκεπή η οποία θα επικαλύπτεται με κεραμίδια.

Σε ειδική διαμόρφωση του δαπέδου του κτιρίου θα εδρασθεί ο στρόβιλος, ενώ ο υπόλοιπος εξοπλισμός θα εδρασθεί πάνω στο δάπεδο. Για την στερέωση του εξοπλισμού θα χρησιμοποιηθούν αγκύρια και σκυρόδεμα δευτέρου σταδίου. Η είσοδος στον ΥΗΣ προβλέπεται με μεταλλική συρόμενη πόρτα πλάτους 3 m, απ' όπου θα περάσει ο εξοπλισμός που θα εγκατασταθεί εντός του κτιρίου. Οι Μ/Σ θα τοποθετηθούν υπαιθρίως παράπλευρα του κτιρίου του ΥΗΣ σε ιδιαίτερο χώρο που θα είναι περιφραγμένος για λόγους ασφαλείας. Κάτω από τον χώρο του κάθε Μ/Σ θα υπάρχει σκάμμα με σκύρα όπου θα συλλέγονται τα έλαια του μετασχηματιστή σε περίπτωση αστοχίας αυτού. Στον ΥΗΣ θα υπάρχει ιδιαίτερος χώρος για τον πίνακα ΜΤ, τους πίνακες αυτοματισμού τροφοδοσίας και ελέγχου, την αποθήκη, το γραφείο και τουαλέτα. Η επικάλυψη του δαπέδου θα είναι βιομηχανικού τύπου. Το κτίριο θα έχει εξωτερικά προστατευόμενα παράθυρα για τον φυσικό φωτισμό του, όλα δε τα παράθυρα και οι πόρτες των εσωτερικών χώρων του κτιρίου θα είναι κατασκευασμένες από αλουμίνιο. Το μόνιμο προσωπικό του ΥΗΣ θα αποτελείται από ένα έως δύο άτομα.

Παρακάτω ακολουθούν οι πίνακες με τις απαιτήσεις του κτηρίου παραγωγής σε μετόν και σίδηρο , για την κατασκευή του:

Πίνακας 5: Προμέτρηση κτηρίου ΥΗΣ

ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΚΤΗΡΙΟΥ	ΚΥΒΙΚΑ ΜΕΤΡΑ
ΦΤΕΡΑ ΠΕΔΙΛΟΔΟΚΩΝ ΠΛΑΚΑ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΝΕΡΟΥ	42
ΚΟΡΜΟΙ ΠΕΡΙΛΟΔΟΚΩΝ	13,44
ΣΤΥΛΟΙ	4,7
ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΟ ΤΟΙΧΙΟ	31,65
ΠΛΑΚΕΣ	24
ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΙ ΔΟΚΟΙ	2,36
ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΤΟΙΧΙΑ	12,53
ΤΟΙΧΙΑ ΒΑΣΗΣ	8,51
ΤΟΙΧΙΑ ΕΞΟΔΟΥ ΝΕΡΟΥ	3,68
ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ ΤΟΙΧΙΟΥ	-3,5
ΟΠΗ ΠΛΑΚΑΣ	-4
ΣΥΝΟΛΟ ΜΠΕΤΟΝ	135,37
ΣΥΝΟΛΟ ΣΙΔΗΡΟΥ	14.850 kg

Πηγή : Ιδία επεξεργασία

Πίνακας 6: Προμέτρηση πλακοσκεπούς εξόδου νερού

ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΠΛΑΚΟΣΚΕΠΟΥΣ ΕΞΟΔΟΥ ΝΕΡΟΥ	ΚΥΒΙΚΑ ΜΕΤΡΑ
ΔΑΠΕΔΟ	3,2
ΤΟΙΧΙΟ	2,61
ΠΛΑΚΑ	2,4
ΣΥΝΟΛΟ ΜΠΕΤΟΝ	8,21 κ.μ.
ΣΥΝΟΛΟ ΣΙΔΗΡΟΥ	600kg

Πηγή : Ιδία επεξεργασία

Πίνακας 7: Προμέτρηση μονόλιθου

ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΜΟΝΟΛΙΘΟΥ	ΚΥΒΙΚΑ ΜΕΤΡΑ
ΜΟΝΟΛΙΘΟΣ	7,7
ΚΕΝΟ	-1,39
ΣΥΝΟΛΟ ΜΠΕΤΟΝ	6,31 κ.μ.
ΣΙΔΗΡΟΣ	750kg

Πηγή : Ιδία επεξεργασία

Πίνακας 8: Προμέτρηση βάσης μετασχηματιστών

ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΒΑΣΗΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ	ΚΥΒΙΚΑ ΜΕΤΡΑ
ΔΑΠΕΔΟ	7,45
ΤΟΙΧΙΟ	6,75
ΣΥΝΟΛΟ ΜΠΕΤΟΝ	14,2 τ.μ.
ΣΥΝΟΛΟ ΣΙΔΗΡΟΥ	850kg

Πηγή : Ιδία επεξεργασία

#### 7.4.4 : Οδοί προσπέλασης

Για την προσπέλαση του έργου θα χρησιμοποιηθούν οι υπάρχοντες αγροτικοί και επαρχιακοί οδοί. Για την πρόσβαση στην υδροληψία θα γίνει διάνοιξη της εγκαταλελειμμένης δασικής οδού ενώ για την προσπέλαση του σταθμού παραγωγής θα απαιτηθεί η διάνοιξη νέας οδού μήκους 2.470 m περίπου.

### 7.5 : Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός

#### 7.5.1 : Στρόβιλος

Με βάση την καμπύλη διαρκείας και την αξιολόγηση του έργου προκύπτει ότι στο έργο θα εγκατασταθεί μία μονάδα με στρόβιλο τύπου Pelton, οριζόντιου άξονα, με δύο ακροφύσια και εκτροπείς των δεσμών του νερού. Το στροφέιο του στροβίλου θα στερεωθεί πάνω στον άξονα της γεννήτριας. Το όλο περιστρεφόμενο μέρος της μονάδας (στροφέιο και ρότορας γεννήτριας) θα στηρίζεται στο έδρανο της γεννήτριας που θα φέρει όλες τις αξονικές δυνάμεις. Όλα τα φορτία θα μεταβιβάζονται στο κάλυμμα του στροβίλου και από εκεί στο σκυρόδεμα του ΥΗΣ. Τα ακροφύσια καθώς και το στροφέιο του στροβίλου θα είναι ολόσωμα χυτά από ανοξείδωτο χάλυβα 13/4. Προ του στροβίλου θα υπάρχει δικλείδα ασφαλείας εφοδιασμένη με δικλείδα παράκαμψης για την προπλήρωση του στροβίλου πριν την εκκίνηση, καθώς και την απομόνωση του για συντήρηση. Για την εκκένωση του στροβίλου και του αγωγού προσαγωγής θα υπάρχουν αντίστοιχες δικλείδες, που θα οδηγούν το νερό στην διώρυγα φυγής.

Τα ακροφύσια του στροβίλου για την κίνηση τους έχουν υδραυλικούς κυλίνδρους (servomotor) διπλής ενέργειας που θα λειτουργούν με το λάδι, υπό πίεση, του ρυθμιστή στροφών. Η λειτουργία των ακροφυσίων θα είναι ανεξάρτητη λαμβάνοντας εντολή από το σύστημα ελέγχου του ΥΗΣ και ο στρόβιλος θα είναι δυνατόν να λειτουργεί με ένα ή δύο ακροφύσια ανάλογα με την υπό εκμετάλλευση παροχή.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του στροβίλου είναι τα ακόλουθα:

Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά στροβίλου

Τύπος στροβίλου	Pelton, οριζόντιου άξονα
Αριθμός ακροφυσίων	2
Καθαρό ύψος πτώσης (στην μέγιστη παροχή)	184,2 m
Μέγιστη παροχή	0,615 m <sup>3</sup> /sec
Ταχύτητα περιστροφής	750 r.p.m
Ισχύς	1001 kW

Πηγή : Ιδία επεξεργασία



### 7.5.2 Ρυθμιστής στροφών

Το υδραυλικό μέρος του ρυθμιστή στροφών θα αποτελείται από μονάδα πίεσης ελαίου που θα τροφοδοτεί τους υδραυλικούς κυλίνδρους των ακροφυσίων καθώς και του υδραυλικού κυλίνδρου της δικλείδας εισόδου. Η μονάδα θα είναι εφοδιασμένη με συγκρότημα αντλίας - κινητήρα υψηλής πίεσης, χειροκίνητη αντλία, συρταρωτές δικλείδες τροφοδοσίας των υδραυλικών κυλίνδρων, φίλτρα, δικλείδες ανακουφιστικές και αντεπιστροφής και ρυθμιζόμενες στραγγαλιστικές, αισθητήριο στάθμης ελαίου, πιεζοστάτες, τα κατάλληλα όργανα πίεσης και θερμοκρασίας, δοχείο αζώτου-λαδιού, δικλείδες πλήρωσης και εκκένωσης, κλπ. Το ηλεκτρονικό μέρος του ρυθμιστή στροφών θα αποτελείται από ηλεκτρονικές κάρτες εισόδου-εξόδου, επεξεργασίας, 19'', που θα εγκατασταθούν στον αντίστοιχο πίνακα ελέγχου της μονάδας. Στον ρυθμιστή στροφών θα καταλήγουν όλα τα σήματα λειτουργίας και θα δίνονται από αυτόν οι κατάλληλες εντολές για την αυτόματη λειτουργία της μονάδας. Εκτός από την αυτόματη λειτουργία θα υπάρχει και δυνατότητα για χειροκίνητη λειτουργία, απαραίτητη κατά τις δοκιμές και θέση σε λειτουργία της μονάδας.

### 7.5.3 : Δικλείδα εισόδου

Η δικλείδα εισόδου (ασφαλείας) θα είναι τύπου "πεταλούδας" διαμέτρου DN 400 PN 25. Η λειτουργία της θα ελέγχεται από το σύστημα αυτοματισμού της μονάδας και θα ανοίγει με υδραυλικό κύλινδρο, που θα κινείται με το λάδι υπό πίεση του ρυθμιστή στροφών, θα κλείνει με επενέργεια αντίβαρου. Κατάντη της δικλείδας θα υπάρχει σύνδεσμος αποσυναρμολόγησης. Η δικλείδα θα έχει φλάντζες για την σύνδεση της ανάντη με τον αγωγό προσαγωγής και κατάντη με τον σύνδεσμο αποσυναρμολόγησης. Τέλος η δικλείδα θα φέρει πέλμα για την αγκύρωση της στο σκυρόδεμα του δαπέδου του ΥΗΣ.

### 7.5.4 : Γεννήτρια

Η γεννήτρια θα είναι σύγχρονη, τριφασική, οριζόντιου άξονα, αερόψυκτη, και θα συνδέεται κατευθείαν στο στροφείο του στροβίλου. Η γεννήτρια θα στερεωθεί στο δάπεδο του ΥΗΣ με αγκύρια και σκυρόδεμα 2ου σταδίου. Ο άξονας της γεννήτριας θα είναι εφοδιασμένος με έδρανα κύλισης λιπαινόμενα με γράσο, εκ των οποίων το ένα προς τον αντίστοιχο στρόβιλο θα είναι συνδυασμένο ωστικό και ακτινικό. Η γεννήτρια θα είναι εφοδιασμένη με ανιχνευτές θερμοκρασίας (PT 100), στα έδρανα και στα τυλίγματα του στάτη της για την προστασία της έναντι υπερθέρμανσης. Η γεννήτρια θα έχει γειωμένο κόμβο μέσω αντίστασης, θα είναι σύμφωνα με τους Κανονισμούς IEC 34 και VDE 0530 και θα είναι δε εφοδιασμένη με διέγερση περιστρεφόμενων διόδων χωρίς ψύκτρες, αυτόματο ρυθμιστή τάσης καθώς και με ρυθμιστή διόρθωσης του συντελεστού ισχύος.



Τα βασικά χαρακτηριστικά της γεννήτριας είναι τα ακόλουθα :

Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά γεννήτριας

Τάση λειτουργίας	0,6 kV
Συχνότητα	50 Hz
Ταχύτητα περιστροφής	750 r.p.m
Ισχύς	1200 kVA
συντ. ισχύος (cosφ)	0,85
Βαθμός προστασίας	IP 23
Μέγιστη θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος	40 °C
Κλάση μόνωσης	F
Υψόμετρο εγκατάστασης	Μέχρι 1000 m
Περιοχή ρύθμισης τάσης	± 10%
Ακρίβεια ρύθμισης	± 1%

Πηγή : Ιδία επεξεργασία

### 7.5.5 : Μετασχηματισμός ανύψωσης και Μ/Σ βοηθητικών

Η μονάδα θα έχει μετασχηματιστή ανύψωσης ο οποίος θα είναι αερόψυκτος, τριφασικός, ελαίου και θα εγκατασταθεί σε ειδικά διαμορφωμένο μέρος στο εξωτερικό του ΥΗΣ. Το δοχείο του Μ/Σ θα έχει φίλτρο αφύγρανσης, δικλείδα εκκένωσης και πλήρωσης και θα στηρίζεται πάνω σε σιδηροτροχιές. Για την τροφοδότηση των βοηθητικών, όταν δεν λειτουργεί η μονάδα θα εγκατασταθεί βοηθητικός Μ/Σ ισχύος 50 kVA.

Οι Μ/Σ θα είναι κατασκευασμένοι σύμφωνα με τους Κανονισμούς IEC 67. Τα βασικά χαρακτηριστικά του Μ/Σ ανύψωσης είναι τα ακόλουθα:

Πίνακας 11: Χαρακτηριστικά Μ/Σ ανύψωσης

Τύπος	εξωτερικού χώρου
Τάση λειτουργίας	0,6 / 20 KV
Ισχύς	1250 kVA
Αλλαγή τάσης	εκτός λειτουργίας $\pm 2X2,5 \%$
Τρόπος ψύξης	ONAN
Σύνδεση	YnD1

Πηγή : Ιδία επεξεργασία

Για την προστασία του ο κάθε Μ/Σ ανύψωσης θα φέρει ηλεκτρονόμο "Boucholz", θερμομέτρο με ηλεκτρικές επαφές κλπ.

### 7.5.6 Πίνακες ελέγχου και τροφοδοσίας

Στους πίνακες ελέγχου θα εγκατασταθεί το σύστημα αυτοματισμού και ρύθμισης της ισχύος της μονάδας, οι προστασίες της γεννήτριας, καθώς και η τροφοδότηση των βοηθητικών της μονάδας. Για την ασφαλή λειτουργία του ΥΗΣ το σύστημα αυτοματισμού θα τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα 24 V, που θα προέρχεται από ανορθωτή και συσσωρευτή. Στην πρόσοψη των πινάκων θα υπάρχουν όργανα, ενδεικτικές λυχνίες, επιλογικοί διακόπτες και κομβία πίεσης για την εποπτεία και τον έλεγχο της λειτουργίας της μονάδας.

Τα όργανα που θα υπάρχουν στους πίνακες θα είναι τα εξής:

- Βολτόμετρο με επιλογικό διακόπτη
- Τρία αμπερόμετρα
- Ενδεικτικό όργανο συχνότητας
- Ενδεικτικό όργανο ταχύτητας περιστροφής
- Ενδεικτικό όργανο ενεργού ισχύος
- Ενδεικτικό όργανο αέργου ισχύος
- Ενδεικτικό όργανο συντελεστή ισχύος (cosφ)
- Ενδεικτικό όργανο ωρών λειτουργίας
- Ενδεικτικά όργανα ανοίγματος βελονών ακροφυσίων
- Ενδεικτικό όργανο ανάντη στάθμης υδροληψίας

Για την προστασία της μονάδας θα εγκατασταθούν οι εξής Η/Ν προστασίες που θα επενεργούν στον αυτόματο διακόπτη της μονάδας:

- Η/Ν υπό τάσης
- Η/Ν υπερέντασης και βραχυκυκλώματος
- Η/Ν αντιστρόφου ροής ισχύος
- Η/Ν ελέγχου διέγερσης γεννήτριας
- Η/Ν ύπαρξης τάσης δικτύου

- H/N υπερθέρμανσης τυλιγμάτων στάτη και εδράνων
- H/N διαρροής στάτη προς γη
- H/N Boucholz M/Σ ανύψωσης
- H/N ουδέτερου M/Σ ανύψωσης προς γη

Για την προστασία της εγκατάστασης θα εγκατασταθούν οι ακόλουθοι H/N που θα επενεργούν στον αυτόματο διακόπτη της εγκατάστασης.

- H/N υπέρ και υπό τάσης
- H/N υπέρ και υπό συχνότητας
- H/N υπερέντασης και βραχυκυκλώματος
- H/N ομοπολικής τάσης

Η λειτουργία της μονάδος προβλέπεται να είναι με σταθερή ανάντη στάθμη.

### 7.5.7 : Πίνακας Μ.Τ.

Ο πίνακας Μ.Τ θα είναι σύμφωνα με τον Κανονισμό IEC 298 και θα συνδέει την πλευρά Μ.Τ του Μ/Σ ανύψωσης, καθώς επίσης και του Μ/Σ τροφοδοσίας των βοηθητικών με το δίκτυο της ΔΕΗ. Στον πίνακα θα εγκατασταθούν για μεν το Μ/Σ ανύψωσης αυτόματος διακόπτης και αποζεύκτης, για δε τον Μ/Σ τροφοδοσίας των βοηθητικών ασφαλειοδιακόπτης. Η εγκατάσταση σαν σύνολο θα προστατεύεται με αυτόματο διακόπτη. Στον πίνακα θα εγκατασταθούν και οι Μ/Σ μέτρησης τάσης και έντασης της εγκατάστασης. Ο πίνακας Μ.Τ είναι κατασκευασμένος για μέγιστη ισχύ βραχυκυκλώματος 250 MVA και θα εγκατασταθεί σε ιδιαίτερο χώρο στο κτίριο του ΥΗΣ, και θα προστατεύεται επίσης από αλεξικέραυνα Μ.Τ. που θα βρίσκονται στο πεδίο εξόδου προς το δίκτυο.

### 7.5.8 : Ηλεκτρονικό σταθμήμετρο

Για την λειτουργία της μονάδας θα εγκατασταθεί ανάντη, στη δεξαμενή φόρτισης, ηλεκτρονικό σταθμήμετρο λήψης πίεσης που θα συνδέεται με τον ρυθμιστή στροφών της μονάδας. Το αισθητήριο του σταθμημέτρου θα τοποθετηθεί μέσα σε σωλήνα από ανοξείδωτο χάλυβα, και θα φέρει αλεξικέραυνα για την προστασία του από υπερτάσεις. Τα κύρια χαρακτηριστικά του σταθμημέτρου είναι τα ακόλουθα:

Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά σταθμήμετρου

Τύπος σταθμημέτρου	Ηλεκτρονικό πιεζο -ηλεκτρικού τύπου
Ακρίβεια μέτρησης	$\pm 1$ cm
Βαθμός προστασίας	IP 64
Έξοδος	4.20 mA

Πηγή : Ιδία επεξεργασία

### **7.5.9 : Σύστημα γείωσης**

Το σύστημα γείωσης θα αποτελείται από πλέγμα θεμελιακής γείωσης με χάλκινους γυμνούς αγωγούς διατομής 50 mm<sup>2</sup> και ηλεκτρόδια γείωσης. Κάθε ηλεκτρική συσκευή και κάθε πίνακας, θα συνδεθεί με το δίκτυο γείωσης. Η αντίσταση του εδάφους θα μετρηθεί μετά τις εκσκαφές και σε περίπτωση που η αντίσταση γείωσης του συστήματος γείωσης είναι μικρότερη από 1 Ω, θα συνδεθούν στο πλέγμα όλα τα μεταλλικά μέρη του εξοπλισμού καθώς και οι ουδέτεροι των Μ/Σ. Σε περίπτωση που η αντίσταση γείωσης είναι μέχρι 10 Ω στο πλέγμα θα συνδεθούν μόνο τα μεταλλικά μέρη και οι ουδέτεροι των Μ/Σ καθώς και το αλεξικέραυνο του ΥΗΣ θα γειωθούν ανεξάρτητα.

### **7.5.10 : Βοηθητικός ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός**

Στον ΥΗΣ θα εγκατασταθούν τα εξής βοηθητικά συστήματα:

- γερανογέφυρα για την εγκατάσταση και συντήρηση του Εξοπλισμού, ανυψωτικής ικανότητας 8 τόνων. Η γερανογέφυρα θα είναι σύμφωνα με τους κανονισμούς FEM κατηγορίας 1AM
- το σύστημα φωτισμού
- το σύστημα ρευματοδοτών
- το σύστημα αλεξικεραυνικής προστασίας του ΥΗΣ

Για την πυροπροστασία του ΥΗΣ θα εγκατασταθούν πυροφραγμοί καλωδίων, ανιχνευτές καπνού και φορητοί πυροσβεστήρες.

### **7.5.11 : Σύνδεση μονάδας με το δίκτυο**

Η μονάδα θα συνδεθεί με το δίκτυο Μ.Τ της ΔΕΗ σύμφωνα με τις υποδείξεις της αρμόδιας υπηρεσίας της ΔΕΗ, μέσω του Μ/Σ ανύψωσης. Η γραμμή για την σύνδεση στο δίκτυο θα είναι εναέρια και θα κατασκευαστεί από την ΔΕΗ. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η λειτουργία του ΜΥΗΕ Πετρόρεμα, με δεδομένο το ότι το έργο δεν θα έχει τη δυνατότητα αποθήκευσης ύδατος (δεν διαθέτει ταμιευτήρα), θα εξαρτάται από την διερχόμενη παροχή του ποταμού. Δεδομένου ότι τα ΜΥΗΕ υπάγονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συνδέονται κατά προτεραιότητα στο σύστημα και αποδίδουν ισχύ, σύμφωνα με τη διαθέσιμη παροχή στο ποτάμι και μέχρι την μέγιστη παροχή (μέγιστη ισχύ) του έργου.

## Κεφάλαιο 8<sup>ο</sup> : Υδρολογική μελέτη

### 8.1: Γενικά

Η παρούσα μελέτη αφορά στην εκτίμηση των απορροών του ρέματος Πετρόρεμα, στη θέση προτεινόμενου μικρού Υ.Η.Ε. Πετρορέματος. Την εκτίμηση των απορροών υπαγόρευσε η προτεινόμενη ενεργειακή εκμετάλλευση του υδατικού δυναμικού του ρέματος Πετρόρεμα, με την κατασκευή ενός μικρού υδροηλεκτρικού έργου στη εν λόγω θέση. Ειδικότερα η μελέτη αυτή συνίσταται στον προσδιορισμό της καμπύλης διαρκείας των μέσων ημερησίων παροχών του ρέματος, που θα χρησιμεύσει στη διαστασιολόγηση των μονάδων παραγωγής.

### 8.2 : Περιγραφή λεκάνης απορροής

Η λεκάνη απορροής που ορίζεται στην θέση ενδιαφέροντος ανήκει στην ευρύτερη λεκάνη απορροής του ποταμού Νέστου. Η χάραξη και η εμβαδομέτρηση της έγιναν σε χάρτη κλίμακας 1:50.000 , που λήφθηκε από τη Γ.Υ.Σ. Η υδροληψία τοποθετείται σε υψόμετρο +606 m επί του ρέματος Γεωργιάδη, το οποίο μετά τη συμβολή του με το ρέμα Πετροτόπου, ονομάζεται Πετρόρεμα. Το ρέμα Γεωργιάδη πηγάζει από την οροσειρά "Μπουζάλα" σε υψόμετρο +1631m, με την ονομασία Γουρουνόρεμα και ρέει με την ονομασία αυτή για μια διαδρομή 3,5 km περίπου. Στη συνέχεια και μετά τη συμβολή του με το ανώνυμο ρέμα που πηγάζει από την περιοχή "Δάσος Βασιλίσσης", ρέει ως ρέμα Καισαριανών το οποίο μετά από μια διαδρομή 3,0 km, κατάντη της περιοχής με το τοπωνύμιο "Καρυδιές" μετονομάζεται σε ρέμα Γεωργιάδη το οποίο μετά και από τη συμβολή του με το ρέμα Πετρότοπου ονομάζεται Πετρόρεμα. Το Πετρόρεμα εκβάλλει στον ποταμό Νέστο κοντά στην περιοχή λιβάδι. Το προτεινόμενο μικρό Υ.Η.Ε ονομάζεται μικρό Υ.Η.Ε Πετρορέματος εκ του ομώνυμου ρέματος στο οποίο χωροθετείται. Η λεκάνη απορροής του ρέματος Πετρόρεμα στην υδροληψία του προτεινόμενου μικρού Υ.Η.Ε. έχει εμβαδό ίσο με 24,39 km<sup>2</sup> και μέσο υψόμετρο +1190 m. Η λεκάνη είναι ορεινή και η κατακρήμνιση που δέχεται σημαντική. Μέρος του νερού αυτού αποθηκεύεται με τη μορφή χιονιού ή υπόγειου νερού και μέσω πηγαίων εμφανίσεων συντηρεί τη ροή μόνιμη και το καλοκαίρι. Δεσμευτικές χρήσεις του νερού ανάντη του προβλεπόμενου σταθμού παραγωγής δεν υπάρχουν.

### 8.3 : Μεθοδολογία εκτίμησης παροχών λόγω ελλείψεως στοιχείων

Επειδή δεν γίνονται συστηματικές μετρήσεις παροχής στη θέση ενδιαφέροντος, είναι αναγκαία η προσφυγή στα στοιχεία υδρομετρικού σταθμού, που να ευρίσκεται κοντά στην υπό εξέταση θέση και του οποίου η ανάντη ελεγχόμενη λεκάνη απορροής να προσομοιάζει γεωμορφολογικά και κλιματικά προς την εξεταζόμενη. Πλησίον της ευρύτερης περιοχής λειτουργεί ο υδρομετρικός σταθμός στη θέση Διαβολότοπος του ρέματος Διαβολόρεμα. Ο υδρομετρικός σταθμός στο Διαβολόρεμα βρίσκεται σε

γεωγραφικό πλάτος 41ο 21', σε γεωγραφικό μήκος 24ο 28', σε υψόμετρο +180 m και ανήκει στη Δ.Ε.Η. Είναι εξοπλισμένος με σταθμήμετρο, εγκαταστάθηκε το 1970 και λειτουργεί με διαστήματα μέχρι σήμερα.

Για την εκτίμηση των απορροών της λεκάνης απορροής του ρέματος Πετρόρεμα στην θέση ενδιαφέροντος έγινε μεταφορά των πληροφοριών απορροής της λεκάνης απορροής του ρέματος Διαβολόρεμα ανάντη του υδρομετρικού σταθμού, λαμβάνοντας υπόψη τον λόγο των εμβαδών των δύο λεκανών και τον αντίστοιχο λόγο των μέσων υψομέτρων. Η χρησιμοποίηση του λόγου των μέσων υψομέτρων των δύο λεκανών αιτιολογείται με βάση το γεγονός ότι για την περιοχή δεν διατίθενται αναλυτικά στοιχεία βροχομετρικών σταθμών που θα μπορούσαν να δώσουν πληροφορίες για την γεωγραφική κατανομή της βροχής. Καταλυτικό είναι επίσης και το γεγονός ότι οι δύο λεκάνες εμφανίζουν παρόμοιο μέσο υψόμετρο και επομένως αναμένεται ότι εμφανίζουν και αντίστοιχο μέσο υπερετήσιο ύψος βροχόπτωσης.

#### 8.4 : Μετεωρολογική – βροχομετρική πληροφορία

Μέσα στη λεκάνη απορροής της εξεταζόμενης περιοχής δεν λειτουργεί αλλά ούτε στο παρελθόν λειτούργησε βροχομετρικός σταθμός. Ο πλησιέστερος στην περιοχή σταθμός βρίσκεται στο Σιδηρόνερο. Ο σταθμός αυτός βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος 41ο 22', σε γεωγραφικό μήκος 24ο 14', σε υψόμετρο +570 m και ανήκει στη Δ.Ε.Η. Περιλαμβάνει βροχογράφο, βροχόμετρο και χιονοτράπεζα. Εγκαταστάθηκε το 1963 και η λειτουργία του είναι συνεχής μέχρι σήμερα. Από τη Δ.Ε.Η αποκτήθηκαν οι ετήσιες βροχοπτώσεις του σταθμού στο Σιδηρόνερο για την περίοδο από το 1965-66 μέχρι το 1997-98 και παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν εκπονηθεί κατά καιρούς για την ευρύτερη λεκάνη του ποταμού Νέστου, έχει υπολογισθεί ότι η μέση βροχόπτωση αυξάνεται κατά 30 περίπου mm βροχής ανά 100 m υψομετρικής διαφοράς. Λαμβάνοντας επομένως υπόψη τα μέσα υψόμετρα των δύο λεκανών, το υψόμετρο τοποθέτησης του βροχομετρικού σταθμού στο Σιδηρόνερο και το μέσο υπερετήσιο ύψος βροχής της περιόδου όπου διατίθενται βροχομετρικά δεδομένα, γίνεται μια εκτίμηση του μέσου ύψους βροχής των δύο λεκανών. Συγκεκριμένα, και μετά από διόρθωση λόγω υψομέτρου, το μέσο ετήσιο ύψος βροχής των δύο λεκανών ευρέθη ίσο με:

Πίνακας 13: Ετήσιο ύψος βροχής

Λεκάνη απορροής	Μέση ετήσια βροχόπτωση (mm/έτος)
Ρ. Πετρόρεμα ανάντη της υδροληψίας	795
Διαβολόρεμα ανάντη του υδρ. σταθμού	838

Πηγή : Ιδία επεξεργασία

Οι ετήσιες τιμές της βροχόπτωσης των δύο λεκανών για την περίοδο από το 1965-66 μέχρι το 1997-98 παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

*Πίνακας 14: Οι ετήσιες τιμές της βροχόπτωσης των λεκανών Πετρορέματος και Διαβολορέματος από το 1965-66 μέχρι το 1997-98*

Υδρ.έτος	Σταθμός Σιδηρόνερο	Λεκ. Πετρορέματος	Λεκ. Διαβολορέματος
1965-66	828	947	989
1966-67	811	930	972
1967-68	653	772	814
1968-69	998	1117	1159
1969-70	727	846	888
1970-71	910	1029	1071
1971-72	602	721	763
1972-73	874	993	1035
1973-74	702	821	863
1974-75	631	750	792
1975-76	538	657	699
1976-77	436	555	597
1977-78	614	733	775
1978-79	737	856	898
1979-80	743	862	904
1980-81	572	691	733
1981-82	669	788	830
1982-83	594	713	755
1983-84	626	745	787
1984-85	536	655	697
1985-86	636	755	797
1986-87	969	1088	1130
1987-88	710	829	871
1988-89	632	751	793
1989-90	502	621	663
1990-91	522	641	683
1991-92	481	600	642
1992-93	629	748	790
1993-94	668	787	829
1994-95	577	696	738
1995-96	825	944	986
1996-97	715	834	876
1997-98	650	769	811
<b>M.T. 65-96</b>	<b>676</b>	<b>795</b>	<b>838</b>
<b>M.T.70-78&amp;96-98</b>	<b>667</b>	<b>786</b>	<b>828</b>

*Πηγή: Ιδία επεξεργασία*

### 8.5 : Υδρομετρική πληροφορία

Ο υπολογισμός των απορροών στη θέση ενδιαφέροντος θα γίνει από τις απορροές της λεκάνης απορροής του ρέματος Διαβολόρεμα ανάντη του υδρομετρικού σταθμού της θέσης της ΔΕΗ, λαμβάνοντας υπόψη τον λόγο του εμβαδού της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής προς το εμβαδόν της λεκάνης απορροής του ρέματος Διαβολόρεμα ανάντη του υδρομετρικού σταθμού και τον αντίστοιχο λόγο των μέσων υψομέτρων των λεκανών. Τα διαθέσιμα στοιχεία του υδρομετρικού σταθμού στο Διαβολόρεμα τα οποία και χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη, αφορούν σε 110 υδρομετρήσεις, οι οποίες αφορούν το χρονικό διάστημα από Νοέμβριο 1970 μέχρι Σεπτέμβριο 1979 και από Οκτώβριο 1996 έως Ιούλιο του 1998 και παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 15: Υδρομετρήσεις στο Διαβολόρεμα από 1970 έως 1979 και 1996 έως 1998

ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1970-1971	-	0,97	0,74	4,49	4,68	7,51	7,51	3,09	2,64	3,11	3,24	1,44	3,24
1971-1972	-	1,42	-	-	1,03	5,18	5,29	-	1,9	1,87	2,41	1,34	2,41
1972-1973	1,8	-	1,88	1,99	6,94	7,34	14,99	2,73	1,66	1,8	3,87	0,68	3,87
1973-1974	0,62	0,94	0,96	1,19	3,22	5,82	4,99	4,61	3,74	1,5	2,43	0,47	2,43
1974-1975	2,43	4,38	7,08	1,92	1,17	4,32	2,76	3,94	3,15	2,36	3,35	-	3,35
1975-1976	1,22	-	3,08	1,67	1,98	2,67	6,21	4,2	2,99	1,78	2,66	1,08	2,66
1976-1977	5,95	6,19	12,39	-	3,5	5,3	3,27	-	-	-	4,77	0,58	4,77
1977-1978	0,59	0,77	1,47	1,12	7,22	4,09	9,1	8,65	2,29	0,95	3,31	2,86	3,31
1978-1979	0,82	1,03	3,66	2,66	-	-	6	2,45	-	-	2,31	1,16	2,31
1996-1997	0,63	0,5	3,13	2,42	1,71	-	5	7,95	2,21	1,17	2,41	0,95	2,41
1997-1998	3,25	0,87	5,38	2,56	-	4,6	-	4,17	1,2	1	2,88	-	2,88
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	1,32	0,79	3,41	2,19	4,46	4,34	6,7	5,8	1,9	1,04	0,75	1,65	3,05

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Από το δείγμα των παραπάνω υδρομετρήσεων, παρατηρείται ότι για κάποια υδρολογικά έτη δεν διατίθενται υδρομετρήσεις για όλους τους μήνες του έτους, ενώ για τη συνολική υδρολογική περίοδο που εξετάζεται διατίθενται 9 έως 10 υδρομετρήσεις για κάθε μήνα του έτους. Με δεδομένο ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στον αριθμό των μετρήσεων που διατίθενται για κάθε μήνα του έτους για το σύνολο της υδρολογικής περιόδου όπου υπάρχουν στοιχεία, δεν έγινε προσπάθεια συμπλήρωσης των ελλειπουσών τιμών, γιατί κάτι τέτοιο θα οδηγούσε σε αλλοίωση του αποτελέσματος, χωρίς ουσιαστικό όφελος στην ομογενοποίηση του δείγματος. Για το λόγο αυτό και επειδή δεν υπάρχει στην περιοχή άλλος υδρομετρικός σταθμός, από τον οποίο θα μπορούσαν να αντληθούν πληροφορίες, οι 110 προαναφερθείσες υδρομετρήσεις στο Διαβολόρεμα χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των απορροών στη θέση ενδιαφέροντος. Οι αντίστοιχες υδρομετρήσεις στην θέση ενδιαφέροντος προκύπτουν υπολογιστικά από τις υδρομετρήσεις του Διαβολορέματος.



Ο υπολογισμός βασίστηκε σε μία εξίσωση της μορφής :

$$Q_{ΠΕΤΡ} = Q_{ΔΙΑΒ} * \frac{A_{ΠΕΤΡ} * Υ_{ΠΕΤΡ}}{A_{ΔΙΑΒ} * Υ_{ΔΙΑΒ}} \quad (9.1)$$

όπου :

$Q_{ΠΕΤΡ}$  = η παροχή στη θέση υδροληψίας

$Q_{ΔΙΑΒ}$  = η παροχή στη θέση των μετρήσεων

$A_{ΠΕΤΡ}$  = το εμβαδόν της λεκάνης που ορίζεται από τη θέση υδροληψίας=24,39 km<sup>2</sup>

$A_{ΔΙΑΒ}$  = το εμβαδόν της λεκάνης που ορίζεται από τη θέση μετρήσεων=342,45 km<sup>2</sup>

$Υ_{ΠΕΤΡ}$  = το μέσο υψόμετρο της λεκάνης που ορίζεται από τη θέση υδροληψίας=1190 m

$Υ_{ΔΙΑΒ}$  = το μέσο υψόμετρο της λεκάνης που ορίζεται από τη θέση μετρήσεων=1027 m

Αρα ο λόγος :  $\frac{A_{ΠΕΤΡ} * Υ_{ΠΕΤΡ}}{A_{ΔΙΑΒ} * Υ_{ΔΙΑΒ}}$ , ισούται με 0,0825 (ή 8,25%)

Από τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα, συγκρίνοντας την μέση βροχόπτωση της συνολικής περιόδου για την οποία διατίθενται δεδομένα βροχόπτωσης σε σχέση με την μέση βροχόπτωση της αντίστοιχης περιόδου για την οποία παρατίθενται δεδομένα παροχής, παρατηρείται ότι η περίοδος των υδρομετρικών δεδομένων είναι μόλις κατά 1% ξηρότερη από την μέση υπερετήσια υγρότητα των 33 ετών για τα οποία διατίθενται δεδομένα βροχόπτωσης. Με βάση το παραπάνω συμπέρασμα, στη συνέχεια της ανάλυσης, χρησιμοποιούνται τα υδρομετρικά δεδομένα χωρίς καμία διόρθωση λόγω υγρότητας με δεδομένο ότι ταυτίζεται σχεδόν με την μέση υπερετήσια υγρότητα. Ο υπολογισμός των αντίστοιχων υδρομετρήσεων στη θέση ενδιαφέροντος (υδροληψία του έργου) έγινε με βάση τον παραπάνω συντελεστή χωρίς να ληφθεί κάποια διόρθωση λόγω υγρότητας, σύμφωνα με τα παραπάνω.

Οι υπολογισθείσες υδρομετρήσεις στην θέση υδροληψίας παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 16: Υδρομετρήσεις στην θέση υδροληψίας

ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	Έτος
1970 - 1971		0,08	0,06	0,37	0,39	0,62	0,45	0,25	0,22	0,26	0,13	0,12	0,27
1971 - 1972		0,12			0,09	0,43	0,44		0,16	0,15	0,10	0,11	0,20
1972 - 1973	0,15		0,15	0,16	0,57	0,61	1,24	0,23	0,14	0,15	0,06	0,06	0,32
1973 - 1974	0,05	0,08	0,08	0,10	0,27	0,48	0,41	0,38	0,31	0,12	0,09	0,04	0,20
1974 - 1975	0,20	0,36	0,58	0,16	0,10	0,36	0,23	0,33	0,26	0,19			0,28
1975 - 1976	0,10		0,25	0,14	0,16	0,22	0,51	0,35	0,25	0,15	0,20	0,09	0,22
1976 - 1977	0,49	0,51	1,02		0,29	0,44	0,27				0,08	0,05	0,39
1977 - 1978	0,05	0,06	0,12	0,09	0,60	0,34	0,75	0,71	0,19	0,08	0,05	0,24	0,27
1978 - 1979	0,07	0,09	0,30	0,22			0,49	0,20			0,06	0,10	0,19
1996 - 1997	0,05	0,04	0,26	0,20	0,14		0,41	0,66	0,18	0,10	0,07	0,08	0,20
1997 - 1998	0,27	0,07	0,44	0,21		0,38		0,34	0,10	0,08			0,24
Μέση Τιμή	0,16	0,16	0,33	0,18	0,29	0,43	0,52	0,38	0,20	0,14	0,09	0,10	0,252

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Από τον παραπάνω πίνακα υπολογίζεται και η ποσότητα της οικολογικής παροχής που πρέπει να αποδεσμεύεται από την υδροληψία του έτους καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, η οποία υπολογίζεται ίση με το 30% της μέσης θερινής παροχής, δηλαδή ίση με 0,044 m<sup>3</sup>/sec.

## 8.6 : Καμπύλη διάρκειας παροχών

Η καμπύλη διαρκείας που εκφράζει τη διαθεσιμότητα των παροχών σε μία θέση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την εκτίμηση του υδροηλεκτρικού δυναμικού, που εξαρτάται ακριβώς από τη διαθεσιμότητα των παροχών και το υδραυλικό φορτίο (ύψος πτώσης). Το δείγμα από τα στοιχεία του οποίου κατασκευάζεται η καμπύλη διαρκείας είναι μία χρονοσειρά παροχών που ορίζονται σε χρονικά διαστήματα δεδομένου εύρους.

Το συνηθέστερο χρονικό εύρος και το πιο χρήσιμο είναι η ημέρα, οπότε τα στοιχεία του δείγματος είναι οι μέσες ημερήσιες παροχές. Αν το χρησιμοποιούμενο εύρος είναι ο μήνας, θα υπάρχει απώλεια πληροφοριών σε σχέση με την ημέρα. Για την χάραξη της καμπύλης διαρκείας παροχών ελήφθησαν υπόψη οι 108 υδρομετρήσεις της περιόδου 1970 έως 1979 και 1996 έως 1998, υδρολογικά έτη για τα οποία αντιστοιχούν 9 υδρομετρήσεις τουλάχιστον για κάθε μήνα του έτους και καλύπτουν στην ουσία 9 υδρολογικά έτη, καθώς και οι τιμές 1,24 m<sup>3</sup>/s (Απρίλιος 1973) και 1,02 m<sup>3</sup>/s (Δεκέμβριος 1976), οι οποίες θεωρούνται πλημμυρικές παροχές. Οι 110 τιμές της προαναφερθείσας χρονοσειράς κατατάχθηκαν κατά φθίνουσα τάξη μεγέθους και σε κάθε μία τιμή αποδόθηκε η πιθανότητα υπέρβασής της. Έτσι προέκυψε η καμπύλη διαρκείας παροχών. Λόγω του μικρού πλήθους του δείγματος η προκύψασα καμπύλη δεν είναι ομαλή και απαιτείται περαιτέρω ομαλοποίησή της. Η εξομάλυνση της καμπύλης του δείγματος και

η προσέγγιση της θεωρητικής καμπύλης του πληθυσμού γίνεται με την προσαρμογή μίας μαθηματικής συνάρτησης που έχει την μορφή :

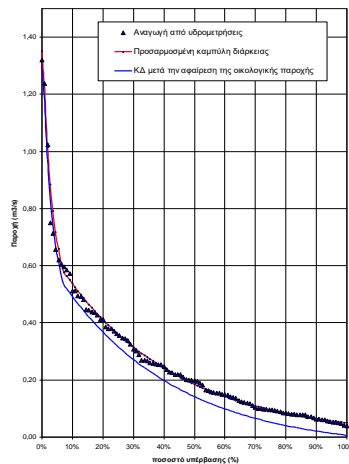
$$Q = -0,323 * LN(f) - 0,28 \quad 0,001\% < f \leq 6,36\% \quad (9.2)$$

$$Q = 0,7002 * e^{2,6627 * f} \quad 6,37\% < f \leq 100,00\% \quad (9.3)$$

όπου :

Q = παροχή για συχνότητα υπέρβασης f (%)

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η προσαρμοσμένη καμπύλη διαρκείας που προέκυψε από τις παραπάνω συναρτήσεις:



Διάγραμμα 3: Διάγραμμα προσαρμοσμένης καμπύλης διαρκείας

Πηγή : Ιδία επεξεργασία

Συλλέγοντας όλα τα παραπάνω στοιχεία που παρουσιάστηκαν ακολουθούν τα χαρακτηριστικά υδρολογικά μεγέθη της λεκάνης του ρέματος Πετρορέμα:

Πίνακας 17: Υδρολογικά στοιχεία λεκάνης Πετρορέματος

Εμβαδό λεκάνης (km <sup>2</sup> )	24,39
Μέσο Υψόμετρο (m)	1190,0
Μέση ετήσια Βροχόπτωση (mm/έτος)	837,0
Μέσο ετήσιος όγκος βροχής (m <sup>3</sup> /έτος)	20,42*10 <sup>6</sup>
Μέσος ετήσιος όγκος απορροής (m <sup>3</sup> /έτος)	8,04*10 <sup>6</sup>
<b>Συντελεστής απορροής</b>	<b>~39,4 %*</b>

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Η σχετικά χαμηλή τιμή του συντελεστή απορροής υποδηλώνει ότι πιθανώς να έχει γίνει υποεκτίμηση των απορροών του ρέματος Πετρόρεμα γεγονός που σε κάθε περίπτωση είναι από την πλευρά της ασφάλειας της επένδυσης.

## Κεφάλαιο 9<sup>ο</sup> : Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων

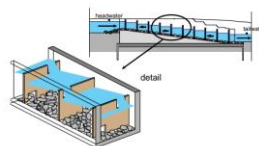
### 9.1: Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων που εκπονήθηκε για το υπό μελέτη έργο.

### 9.2: Υδροληψία

Για την απόληξη των νερών του ρέματος Πετρόρεμα , θα κατασκευαστεί μικρή υπερπηδητή υδροληψία με κατάντη κεκλισμένες εσχάρες σε ένα τμήμα της στέψης του και προστατευτικούς τοίχους για την προστασία των πρανών. Το μήκος της υδροληψίας θα είναι ίσο με 4,98 m και η στέψη του στο υψόμετρο 608,0 m περίπου (ύψος υδροληψίας περίπου 2 m). Στα δεξιά της υδροληψίας κατά την ροή του ρέματος , κατασκευάστηκε κατάλληλη διάταξη για τη διέλευση της οικολογικής παροχής μέσω διάταξης διέλευσης ιχθυοπανίδας. Η οικολογική παροχή του ρέματος , σύμφωνα με την Περιβαλλοντική Μελέτη είναι ίση με 50l/s , θα αφήνεται στα δεξιά της υδροληψίας , στην διώρυγα διέλευσης της οικολογικής παροχής μέσω διάταξης διέλευσης ιχθυοπανίδας. Υπάρχουν διάφοροι τύποι διόδων ιχθύων , όπως φαίνεται και στην παρακάτω φωτογραφία , ανάλογα με τις ιδιομορφίες κάθε έργου. Ο τύπος που επιλέχθηκε για το συγκεκριμένο έργο , λόγω του ανάγλυφου της περιοχής της υδροληψίας , ήταν ο συμβατικός τύπος με διαδοχικές δεξαμενές που επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω θυρίδων και υπερχειλιστών .Ο τύπος της διάταξης διέλευσης της οικολογικής παροχής που κατασκευάστηκε περιλαμβάνει τις παρακάτω κατασκευές:

Κατασκευάστηκε δίοδος μορφής επάλληλων , κλιμακωτών δεξαμενών στο δεξιό τμήμα της υδροληψίας κατά μήκος της οποίας θα διέρχεται η οικολογική παροχή. Η διάταξη των δεξαμενών θα περιλαμβάνει υπερχειλιστή τραπεζοειδούς μορφής και θυρίδα στο κάτω μέρος αυτών.



Εικόνα 15: Σχεδιάγραμμα διόδων ιχθύων

Πηγή : Καράνης, 2015

Οι συμβατικοί τύποι διόδων ιχθύων χαρακτηρίζονται από κάθετα εγκάρσια τοιχώματα σε ορθή γωνία προς τον άξονα της διόδου , τα οποία μπορεί να είναι ξύλινα ή από σκυρόδεμα. Τα ξύλινα τοιχώματα δέχονται μεταγενέστερες τροποποιήσεις αλλά χρειάζονται αντικατάσταση μετά από μερικά χρόνια. Τα σταυρωτά τοιχώματα έχουν

βυθισμένα ανοίγματα που είναι διατεταγμένα σε εναλλασσόμενο σχηματισμό στο κάτω μέρος του σταυρού απ' όπου τα ψάρια μπορούν να ανέβουν κολυμπώντας στην επόμενη διόδο. Τα ανοίγματα φτάνουν στο κάτω μέρος της διόδου και δημιουργούν μια συνεχή τραχιά επιφάνεια , όταν έχει τοποθετηθεί το υπόστρωμα.

Παρακάτω ακολουθούν οι προτεινόμενες διαστάσεις για διόδους οικολογικής παροχής:

Πίνακας 18: Διαστάσεις διόδων οικολογικής παροχής

Είδη Ιχθυοπανίδας	Διαστάσεις διάταξης ιχθύων			Διαστάσεις βυθισμένων στομιών		Διαστάσεις εγκοπών		Μέγιστη διαφορά στα επίπεδα του νερού
	Μήκος	Πλάτος	Βάθος νερού	Πλάτος	Ύψος	Πλάτος	Ύψος	Ύψος
Strugeon	5-6	2.5-3	1.5-2	1.5	1	-	-	0.20
Salmon, Seatrout, Huchen	2.5-3	1.6-2	0.8-1.0	0.4-0.5	0.3-0.4	0.3	0.3	0.20
Grayling, Chub, Bream, others	1.4-2	1.0-1.5	0.6-0.8	0.25-0.35	0.25-0.35	0.25	0.25	0.20
upper trout zone	>1.0	>0.8	>0.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.20

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Όσον αφορά το συγκεκριμένο έργο οι διαστάσεις της διάταξης ιχθύων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 19: Διαστάσεις διάταξης ιχθύων στο υπάρχον έργο

		Μέτρα
Δεξαμενές	Πλάτος	1
	Μήκος	1,4
	Ύψος	0,7
	Υψομετρική διαφορά επάλληλων δεξαμενών	0,4
	Μέσο βάθος νερού	0,63
Άνοιγμα επικοινωνίας στον πυθμένα	Πλάτος	0,2
	Ύψος	0,2
Υπερχειλιστής	Πλάτος	0,3
	Ύψος	0,32

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Η διάταξη θα βρίσκεται απέναντι από την υδροληψία του ρέματος και με μικρή κλίση θα εξέρχεται από το σώμα της υδροληψίας. Στο εσωτερικό της διάταξης γίνεται διάστρωση με κροκάλες από την κοίτη του ρέματος έτσι ώστε να επιτυγχάνονται φυσικές συνθήκες ροής στις δεξαμενές , καθώς και για την ελάττωση των ταχυτήτων διέλευσης του νερού εντός της διάταξης. Η παροχή νερού σύμφωνα με τις παραπάνω διαστάσεις και την κλίση θα είναι μεγαλύτερη ή ίση με 50 l/s. Η μέση ταχύτητα του νερού που επιτυγχάνεται από την κατασκευή της παραπάνω διόδου ανέρχεται σε 1,25 m/sec η οποία θα παραμείνει σταθερή είτε το έργο βρίσκεται σε λειτουργία είτε όχι. Η ταχύτητα με την οποία θα διέρχεται το νερό μέσα από τις θυρίδες υπολογίζεται ως εξής:

Διατομή θυρίδας διέλευσης ιχθυοπανίδας = 0,20m\*0,20m = 0,04 m<sup>2</sup>

$$\text{Παροχή} = \frac{0,050\text{m}^3}{0,04\text{m}^2} = 1,25\text{m/s}$$

Με την παραπάνω κατασκευή θα επιτυγχάνεται η ελεύθερη επικοινωνία της ιχθυοπανίδας για τα είδη μπριάνα (*Barbus strumicae*) και άγρια πέστροφα (*Salmo macedonicus*), που σύμφωνα με την Διαχείριση-προστασία και ανάδειξη της

ιχθυοπανίδας του ποταμού Νέστου , ευδοκιμούν στην περιοχή που θα κατασκευαστεί το υδροηλεκτρικό έργο.

### 9.3: Διάνοιξη δασικών οδών

Για την προσπέλαση του έργου σε ορισμένα σημεία θα χρησιμοποιηθούν οι υπάρχοντες δασικοί οδοί. Για την πρόσβαση στην υδροληψία απαιτείται διάνοιξη δασικής οδού Γ' κατηγορίας μήκους 184 μέτρων και για την προσπέλαση στον σταθμό παραγωγής απαιτείται διάνοιξη νέας δασικής οδού κατηγορίας Γ' μήκους 796 μέτρων. Για το σύνολο των διανοίξεων των απαιτούμενων δασικών οδών θα χρησιμοποιηθεί περιστροφικός εκσκαφέας ανεστραμμένου κάδου ο οποίος θα συνοδεύεται από χωματουργικά φορτηγά όπου και θα απορρίπτει τα υλικά εκσκαφής , τα οποία ,με την σειρά τους θα μεταφέρονται σε εγκεκριμένο χώρο απόθεσης πλεοναζόντων υλικών. Η χρησιμοποίηση προωθητήρα γαιών (μπουλντόζα) δεν συνίσταται διότι η σχεδίαση του προωθητήρα είναι τέτοια ώστε να εργάζεται σε πλεόνασμα υλικών που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυλά ανεξέλεγκτο στην προς την πλαγιά , κάτι που θα προκαλούσε ζημιές σε τέτοιου τύπου εδάφη.

### 9.4: Μέτρα αντιμετώπισης της όχλησης της ορνιθοπανίδας κατά την κατασκευή και λειτουργία του έργου

Για την προστασία των πτηνών που ευδοκιμούν στην περιοχή κατασκευής του έργου , πραγματοποιήθηκαν αρχικά επισκέψεις για την καταγραφή των ειδών πτηνοπανίδας .Από την παρατήρηση της περιοχής , σύμφωνα με τις προδιαγραφές του προγράμματος επαναξιολόγησης 69 σημαντικών περιοχών για τα πουλιά για τον χαρακτηρισμό τους ως Ζώνες Ειδικής Προστασίας της ορνιθοπανίδας , και σύμφωνα με συνεντεύξεις σε κατοίκους της περιοχής αλλά και μέσω βιβλιογραφικής έρευνας , εξήχθησαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Δεν προέκυψαν ενδείξεις παρουσίας σπάνιων και απειλούμενων ειδών
- Το αραιό υποβαθμισμένο δρυόδασος της περιοχής δεν ευνοεί τη δημιουργία κατάλληλων θέσεων φωλεοποίησης για αρπακτικά και πτωμοφάγα πτηνά
- Τα είδη που απαντούν δεν φαίνεται να επηρεάζονται από την εγκατάσταση και λειτουργία του προβλεπόμενου έργου
- Δεν παρατηρήθηκε ούτε βρέθηκε καμία φωλιά αρπακτικών ή πτωματοφάγων πουλιών

Επομένως δεν φαίνεται ότι θα υπάρξουν σημαντικές επιπτώσεις στην ορνιθοπανίδα της περιοχής από την ίδρυση και λειτουργία του μικρού υδροηλεκτρικού έργου στη θέση αυτήν , διότι η περιοχή δεν συγκεντρώνει ιδιαίτερα στοιχεία που να καθιστούν το ενδιαίτημα σημαντικότερο από γειτονικά παρόμοια ενδιαίτηματα. Παρ όλα αυτά σε περίπτωση που εντοπιστεί φωλιά είδους που απειλείται ή προστατεύεται θα γίνει διακοπή των εργασιών άμεσα και θα παρθούν όλα τα μέτρα για την προστασία τους.

## Κεφάλαιο 10<sup>ο</sup> : Ανάλυση σκοπιμότητας του υπό μελέτη έργου

### 10.1: Γενικά

Το παρόν κεφάλαιο περιλαμβάνει την ανάλυση των κυριότερων μακροοικονομικών μεγεθών που επηρεάζουν την αποδοτικότητα των συγκεκριμένων επενδύσεων, καθώς και των κύριων υποθέσεων για την λειτουργία της επιχείρησης. Κύρια προσπάθεια στην παρουσίαση του παρόντος Επιχειρησιακού Σχεδίου αποτελεί η απόδειξη ότι οι προτεινόμενες επενδύσεις έχουν εξασφαλισμένη χρηματοδότηση και υγιείς οικονομικούς δείκτες, και μπορούν να δημιουργήσουν τις προϋποθέσεις και τις απαιτούμενες ταμειακές ροές για την χρηματοδότηση σειράς παρόμοιων επενδυτικών προτάσεων. Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι να εξετάσει την αποδοτικότητα του έργου και το κατά πόσο είναι σκόπιμο να υλοποιηθεί.

### 10.2: Προϋπολογιστικό κόστος έργου

Για την υλοποίηση του εν λόγω επενδυτικού σχεδίου, καθίσταται απαραίτητη η ανάλωση κεφαλαίων, τα οποία είναι ικανά να καλύψουν το συνολικό κόστος της επένδυσης, το ύψος της οποίας ανέρχεται σε 2.775.000 €.

Αναλυτικά οι δαπάνες οι οποίες θα πραγματοποιηθούν είναι οι εξής:

Πίνακας 20: Προϋπολογισμός δαπανών του έργου

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ-ΔΑΠΑΝΗΣ	ΚΟΣΤΟΣ (€)
Στρόβιλοι με ρυθμιστές στροφών, γεννήτριες, δικλείδες, κ.α. (προμήθεια και εγκατάσταση).	980.000
Πίνακες αυτοματισμού, προστασιών και τροφοδοσίας	45.000
Μ/Σ ανύψωσης, βοηθητικός Μ/Σ και πίνακες μέσης τάσης	35.000
Μεταλλικές κατασκευές (θυροφράγματα, βαρούλκο, κ.α.)	30.000
Λοιπός ηλεκτρολογικός και μηχανολογικός εξοπλισμός	50.000
Κατασκευή υδροληψίας	170.000
Αγωγός προσαγωγής (και εγκατάσταση)	950.000
ΥΗΣταθμός, διάρυγα φυγής, περιβάλλον χώρος	185.000
Οδοί προσπέλασης	50.000
Εξοδα μελέτης και διαδικασιών αδειοδότησης	50.000
Αγορά εκτάσεων	30.000
Απρόβλεπτα & έξοδα περιβαλλοντικής αποκατάστασης	80.000
<b>Σύνολο</b>	<b>2.655.000</b>
Εκτιμώμενο κόστος διασύνδεσης έργου	120.000
<b>Γενικό Σύνολο</b>	<b>2.775.000</b>

Πηγή: Ιδία επεξεργασία



Τα βασικά μακροοικονομικά μεγέθη που πρέπει να ληφθούν υπ' όψη για το επιχειρηματικό σχέδιο είναι ο ρυθμός αύξησης του δείκτη τιμών καταναλωτή και η αύξηση της τιμής πώλησης την ηλεκτρικής ενέργειας. Το ποσό των εξόδων κατασκευής θα καταβληθεί σε δύο φάσεις : το μισό ποσό στην αρχή της κατασκευής (1.387.500€) και το δεύτερο μισό (1.387.500€) μετά από έναν χρόνο. Τα λειτουργικά κόστη θεωρήθηκε ότι δεν αυξάνονται παρ' όλο που ο δείκτης τιμών καταναλωτή προβλέπεται να είναι πτωτικός σύμφωνα με τις απαιτήσεις που έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Σύμφωνα με τον Ν.4414/2016 (ΦΕΚ Α 149/09.08.2016) για τα ΜΥΗΕ με ισχύ  $\leq 3,0$  MW, η Λειτουργική Ενίσχυση αποδίδεται στη βάση μιας Σταθερής Τιμής, η οποία ταυτίζεται με την Τιμή Αναφοράς του Πίνακα 1 της περίπτωσης β' της παρ. 1 του άρθρου 4 του Ν.4414/16, η οποία για τα ΜΥΗΕ ανέρχεται σε 0,100 ευρώ/kWh +0,002 ευρώ/kWh για διαχειριστικό κόστος προβλέψεων, επί της οποίας δεν προβλέπεται ετήσια αναπροσαρμογή και άρα θεωρείται μηδενική αύξηση της τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με τον Ν.4414/16 «Η Τιμή Αναφοράς (Τ.Α.) στη βάση της οποίας υπολογίζεται μηνιαίως η Λειτουργική Ενίσχυση, με τη μορφή της Διαφορικής Προσαύξησης ή της Σταθερής Τιμής αποζημίωσης, της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α., καθορίζεται ανά κατηγορία και ανά τεχνολογία σταθμών» (2016).

Ακολουθεί ο πίνακας με τα βασικά μακροοικονομικά μεγέθη τα οποία θα επηρεάσουν την οικονομική αποδοτικότητα της επένδυσης:

Πίνακας 21: Μακροοικονομικά μεγέθη

ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	
Περίοδος Αποπληρωμής Μακροπρόθεσμου Δανείου	10 έτη
Περίοδος χάριτος	1 έτος
Επιτόκιο Δανείου	5,20%
Έτη φορολογικής απόσβεσης	20 έτη
Οικονομική διάρκεια εκμετάλλευσης	20 έτη
Απόδοση ιδίων κεφαλαίων	0%
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια	2760000 kWh/έτος
Τιμή πώλησης ενέργειας	0,102 ευρώ/kWh
Ρυθμός αύξησης λειτουργικών εξόδων	0,00%
Ρυθμός αύξησης τιμής πώλησης ενέργειας	0%
Φορολογικός συντελεστής	29,00%
Επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία	4,00%

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Η χρηματοδότηση του κόστους της παραπάνω παραγωγικής επένδυσης προβλέπεται να γίνει από τις εξής πηγές:

#### α) Μακροπρόθεσμο τραπεζικό δάνειο

Προβλέπεται η λήψη μακροπρόθεσμου τραπεζικού δανείου ύψους 1.665.000 € από Τράπεζα του εσωτερικού, το οποίο θα καλύψει ποσοστό ίσο με 60% του κόστους της επένδυσης.

Οι βασικοί όροι χρηματοδότησης από την τράπεζα είναι οι παρακάτω:

Πίνακας 22: Όροι χρηματοδότησης

Ύψος Δανείου	1.665.000 €
Επιτόκιο	5,20%
Διάρκεια Δανείου(έτη)	10
Τρόπος Εξόφλησης	Ετήσιες ισόποσες δόσεις
Περίοδος Χάριτος	1
Προβλεπόμενο ποσό κεφαλοποίησης τόκων στην περίοδο χάριτος	86.580,00 €
Ύψος Δανείου μετά την κεφαλαιοποίηση τόκων	1.751.580 €
Ύψος Τοκοχρεολυτικής Δόσης	217.724€

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Για τον υπολογισμό της δόσης D ακολουθήθηκε η μέθοδος της τοκοχρεολυτικής απόσβεσης (Πολύζος, 2018) :

$$1.665.000 = D(1+r)^{-1} + D(1+r)^{-2} \dots \dots + D(1+r)^{-10}$$

Από την επίλυση της παραπάνω εξίσωσης υπολογίστηκε η τοκοχρεολυτική δόση σε 217.724€ ανά έτος.

Θεωρείται ότι η έναρξη αποπληρωμής του δανείου θα ξεκινήσει ένα έτος μετά από την καταβολή των δανειακών κεφαλαίων (περίοδος χάριτος). Σε αυτήν την περίπτωση οι τόκοι της περιόδου χάριτος κεφαλοποιούνται και προστίθενται στο χορηγούμενο κεφάλαιο, με αποτέλεσμα να διαμορφώνονται ανάλογα τα τοκοχρεολύσια της περιόδου αποπληρωμής. Ο όρος αυτός επιτρέπει αλλά και εξασφαλίζει την ταμειακή εξυπηρέτηση της επένδυσης, κατά τη διάρκεια κατασκευής του έργου, στην περίοδο της οποίας δεν καταγράφονται εισροές εσόδων. Στην παρούσα περίπτωση όπου λαμβάνεται υπόψη ετήσια περίοδος χάριτος, η πληρωμή του δανείου θα ξεκινήσει μετά την έναρξη της παραγωγικής διαδικασίας. Η αποπληρωμή του δανείου γίνεται σε ισόποσες τοκοχρεολυτικές δόσεις στο τέλος κάθε έτους .

### β) Επιχορήγηση του Δημοσίου (μέσω του επενδυτικού νόμου)

Για το έργο προβλέπεται κεφαλαιακή ενίσχυση της επένδυσης μέσω του νέου Επενδυτικού Νόμου, σε ποσοστό 40%, ήτοι ποσό ύψους 1.110.000 €, το οποίο είναι σύμφωνο με τις διατάξεις του νέου Επενδυτικού νόμου (Ν.4399 (ΦΕΚ Α' 117), «Θεσμικό πλαίσιο για τη σύσταση καθεστώτων Ενισχύσεων Ιδιωτικών Επενδύσεων για την περιφερειακή και οικονομική ανάπτυξη της χώρας - Σύσταση Αναπτυξιακού Συμβουλίου και άλλες διατάξεις» (2016).

Η παραπάνω επιχορήγηση αναμένεται να καταβληθεί ως εξής:

Πίνακας 23: Χρονοδιάγραμμα λήψης επιχορήγησης

Δόσεις	Ποσό	Ποσοστό επιχορήγησης	Χρονικό σημείο καταβολής (έτος)
1η	555.000	50%	Στο δεύτερο έτος κατασκευής
2η	555.000	50%	μετά από ένα έτος λειτουργίας

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Η χρηματοδότηση θα ληφθεί με τον όρο ότι η πρώτη καταβολή του επενδυτικού νόμου (το 50%) γίνεται στην αρχή του δεύτερου έτους κατασκευής και η 2η (50%) μετά από ένα έτος λειτουργίας.

Πίνακας 24: Χρονοδιάγραμμα αποπληρωμής δανείου

ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΟΙΚΗΤΩΝ ΔΑΝΕΙΟΥ										
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ΔΗΡΩ ΔΑΝΕΙΟΥ	ΠΡΩΤΗ ΔΟΣΗ	ΔΕΥΤΕΡΗ ΔΟΣΗ	ΤΡΙΤΗ ΔΟΣΗ	ΤΕΤΑΡΤΗ ΔΟΣΗ	ΠΕΜΠΤΗ ΔΟΣΗ	ΕΚΤΗ ΔΟΣΗ	ΕΒΔΟΜΗ ΔΟΣΗ	ΟΓΔΩΗ ΔΟΣΗ	ΕΝΑΤΗ ΔΟΣΗ	ΔΕΚΑΤΗ ΔΟΣΗ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ						ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ				

Πηγή : Ιδία επεξεργασία

### 10.3 : Υπολογισμός εσόδων και εξόδων

Τα αναμενόμενα έσοδα του έργου ανέρχονται στο ποσό των 281.520€ ετησίως (συμπεριλαμβάνεται το έσοδο των 0,002 ευρώ/kWh του διαχειριστικού κόστους προβλέψεων). Το ποσό αυτό υπολογίστηκε βάση των ημερήσιων παροχών του έργου , δηλαδή :  $2.760.000\text{kwh} \cdot 0.102\text{€} = 281.520\text{€}$  ετησίως

Πίνακας 25: Δεδομένα έργου

Ισχύς (MW)	1,001
Προϋπολογισμός (€)	2.775.000
Επιδότηση	40%
Ποσό Επιδότησης (€)	1.110.000
Διάρκεια ενίσχυσης (έτη) (t)	20
Τιμή FiP (€/MWh)	102,0
Παραγόμενη ενέργεια (MWh)	2760
Ετήσια έσοδα (€)	281.520

Πηγή : Ιδία επεξεργασία

Τα έξοδα που αναμένεται να έχει το έργο ανέρχονται σε 80.000 ευρώ , είναι σταθερά και περιλαμβάνουν τα κόστη εργασίας των μόνιμων υπαλλήλων , τα έξοδα επισκευών , τα ασφάλιστρα , τα έξοδα διοίκησης , τα έξοδα μεταφοράς και άλλα γενικά έξοδα. Ο ρυθμός απόδοσης με τον οποίο υπολογίστηκε η Καθαρά Παρούσα Αξία ήταν  $r = 4\%$ .

Οι χρηματοροές του έργου υπολογίστηκαν με την μέθοδο της Καθαρά Παρούσας Αξίας και τον τύπο :

$$KPA = \sum_{t=-m}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (3.1)$$

Πίνακας 26: Υπολογισμός χρηματοροών

ΕΤΗ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	-1.387.500	-1.387.500	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ΔΑΝΕΙΟ	1.665.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ΙΔΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ΔΟΣΗ	-	-248.629	-248.629	-248.629	-248.629	-248.629	-248.629	-248.629	-248.629	-248.629	-248.629
ΕΣΟΔΑ	-	-	281.520	281.520	281.520	281.520	281.520	281.520	281.520	281.520	281.520
ΕΞΟΔΑ	-	-	-80.000	-80.000	-80.000	-80.000	-80.000	-80.000	-80.000	-80.000	-80.000
ΕΠΙΧΟΡΗΓΗΣΗ	-	555.000	-	555.000	-	-	-	-	-	-	-
ΣΥΝΟΛΟ	277.500	-1.081.129	-47.109	507.891	-47.109	-47.109	-47.109	-47.109	-47.109	-47.109	-47.109
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΓΩΓΗΣ (r = 4%)	1,00	0,96	0,92	0,89	0,85	0,82	0,79	0,76	0,73	0,70	0,68
<b>ΚΠΑ</b>	<b>672227,8</b>										

ΕΤΗ	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ΔΑΝΕΙΟ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ΙΔΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ΔΟΣΗ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ΕΣΟΔΑ	281.520	281.520	281.520	281.520	281.520	281.520	281.520	281.520	281.520	281.520	281.520
ΕΞΟΔΑ	-80.000	-80.000	-80.000	-80.000	-80.000	-80.000	-80.000	-80.000	-80.000	-80.000	-80.000
ΕΠΙΧΟΡΗΓΗΣΗ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ΣΥΝΟΛΟ	201.520	201.520	201.520	201.520	201.520	201.520	201.520	201.520	201.520	201.520	201.520
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΓΩΓΗΣ (r = 4%)	0,62	0,60	0,58	0,56	0,53	0,51	0,49	0,47	0,46	0,44	0,42
<b>ΚΠΑ</b>	<b>672227,8</b>										

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Η Καθαρά παρούσα αξία έχει τιμή  $672.227,8 > 0$  άρα η επένδυση είναι κερδοφόρα. Ενδιαφέρον έχει να υπολογιστεί η Καθαρά Παρούσα Αξία στην περίπτωση όπου τα λειτουργικά κόστη είναι αυξανόμενα. Έστω ότι τα λειτουργικά κόστη αυξάνονται με έναν ρυθμό της τάξεως του 5%. Η Καθαρά Παρούσα Αξία παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 27: Υπολογισμός χρηματοροών με αυξανόμενα έξοδα κατά 5%

ΕΤΗ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	-1.387.500	-1.387.500	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ΔΑΝΕΙΟ	1.665.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ΙΔΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ΔΟΣΗ	-	-248.629	-248.629	-248.629	-248.629	-248.629	-248.629	-248.629	-248.629	-248.629	-248.629
ΕΣΟΔΑ	-	-	281.520	281.520	281.520	281.520	281.520	281.520	281.520	281.520	281.520
ΕΞΟΔΑ	-	-	-80.000	-84.000	-88.200	-92.610	-97.241	-102.103	-107.208	-112.568	-118.196
ΕΠΙΧΟΡΗΓΗΣΗ	-	555.000	-	555.000	-	-	-	-	-	-	-
ΣΥΝΟΛΟ	277.500	-1.081.129	-47.109	503.891	-55.309	-59.719	-64.350	-69.212	-74.317	-79.677	-85.305
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΓΩΓΗΣ (r = 4%)	1,00	0,96	0,92	0,89	0,85	0,82	0,79	0,76	0,73	0,70	0,68
<b>ΚΠΑ</b>	<b>39.286,30</b>										

ΕΤΗ	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ΔΑΝΕΙΟ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ΙΔΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ΔΟΣΗ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ΕΣΟΔΑ	281.520,00	281.520,00	281.520,00	281.520,00	281.520,00	281.520,00	281.520,00	281.520,00	281.520,00	281.520,00	281.520,00	281.520,00
ΕΞΟΔΑ	-124.106,26	-130.311,57	-136.827,15	-143.668,51	-150.851,93	-158.394,53	-166.314,25	-174.629,97	-183.361,47	-192.529,54	-202.156,02	-212.263,82
ΕΠΙΧΟΡΗΓΗΣΗ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ΣΥΝΟΛΟ	157.413,74	151.208,43	144.692,85	137.851,49	130.668,07	123.125,47	115.205,75	106.890,03	98.158,53	88.990,46	79.363,98	69.256,18
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΓΩΓΗΣ (r = 4%)	0,65	0,62	0,60	0,58	0,56	0,53	0,51	0,49	0,47	0,46	0,44	0,42
<b>ΚΠΑ</b>	<b>39.286,30</b>											

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Σε αυτήν την περίπτωση η Καθαρά Παρούσα Αξία έχει τιμή 39.286 που σημαίνει ότι η επένδυση θα ήταν κερδοφόρα ακόμα και στην περίπτωση όπου τα έξοδα αυξάνονταν με ρυθμό 5%.

#### 10.4 : Χρονοδιάγραμμα κατασκευής του έργου

Η κατασκευή του Έργου θα διαρκέσει 24 μήνες από την λήψη των σχετικών αδειών στους οποίους συμπεριλαμβάνονται και δύο μήνες για την θέση σε λειτουργία και τις δοκιμές του εξοπλισμού. Οι κύριες φάσεις κατασκευής και η διάρκειά τους δείχνεται στο κατωτέρω σχεδιάγραμμα.

α/α	ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	Λήψη άδειας εγκατάστασης & λοιπών αδειών	■																							
2	Μελέτες εφαρμογής, τοπ/κές και γεωτεχνικές μελέτες	■	■																						
3	Εγκατάσταση εργαζομένου		■																						
4	Παραγγελία εξοπλισμού			■	■																				
5	Κατασκευή εξοπλισμού					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
6	Προσπελάσεις θέσεων έργου			■	■																				
7	Κατασκευή υδροληψίας					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
8	Εγκατάσταση αγωγού προσαγωγής									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
9	Κατασκευή κτιρίου ΥΗΣ																■	■	■	■	■	■	■	■	■
10	Εγκατάσταση Εξοπλισμού																					■	■	■	■
11	Δοκιμές και θέση σε λειτουργία																							■	■

Σχήμα 8.1 Διάγραμμα Gantt εργασιών του έργου

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

#### 10.5 : Συμβατότητα του έργου με το ΕΧΠ για τις ΑΠΕ

Για να είναι εφικτή η κατασκευή του Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου θα πρέπει να ελεγχθεί η συμβατότητά του με το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού για τις ΑΠΕ. Όσον αφορά την χωροθέτηση του συγκεκριμένου έργου, δεν χωροθετείται εντός κηρυγμένων διατηρητέων μνημείων της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς ή άλλων μνημείων μείζονος σημασίας ή οριοθετημένων αρχαιολογικών ζωνών προστασίας Α. Το έργο δεν βρίσκεται εντός ή πλησίον περιοχών προστασίας της φύσης ή θεσμοθετημένων πυρήνων Εθνικών Δρυμών μνημείων της φύσης, αισθητικών δασών, οικότοπων προτεραιότητας τόπων κοινοτικής σημασίας, υγροτόπων διεθνούς σημασίας κ.λπ. Βρίσκεται εκτός παραδοσιακών οικισμών και γενικότερα οικισμών καθώς και λατομικών περιοχών και μεταλλευτικών και εξορυκτικών ζωνών που λειτουργούν επιφανειακά. Το υπό μελέτη Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο δεν έρχεται σε αντίθεση με τα ειδικά κριτήρια χωροθέτησης όπως αυτά προτείνονται στο άρθρο 15 του ΕΠΧΣ&ΑΑ για τις ΑΠΕ και παρουσιάζονται στη συνέχεια:

Σύμφωνα με το άρθρο 15 του Ειδικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Ανανεώσιμες Πηγές ενέργειας

- «Τα έργα μικρού ύψους υδραυλικής πτώσης ( $H < 20$  m), πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε το συνολικό οπτικό αποτέλεσμα από το έργο (κύριο έργο και συνοδά) να έχει τη μικρότερη δυνατή επίπτωση και να καταλαμβάνει τον ελάχιστο δυνατό όγκο. Στην περίπτωση που είναι τεχνικά δυνατό, το έργο υδροληψίας και ο σταθμός παραγωγής πρέπει να αποτελούν ένα ενιαίο σύνολο και να αποφεύγεται η διάσπαση τους σε διακριτές θέσεις. Σε αντίθετη περίπτωση, πρέπει το μεγαλύτερο μέρος των έργων προσαγωγής του νερού και του σταθμού να κατασκευάζεται υπόγεια»

Το έργο που προτείνεται να κατασκευαστεί εκμεταλλεύεται υδραυλική πτώση ύψους 190 μέτρων άρα δεν συγκαταλέγεται στα έργα μικρού ύψους υδραυλικής πτώσης ( $H < 20$  μέτρα).

- «Στα έργα μέσου και μεγάλου ύψους υδραυλικής πτώσης ( $H > 20$  m), τα οποία χωροθετούνται εντός των περιοχών του Δικτύου ΦΥΣΗ 2000, κρίνεται σκόπιμη η κατασκευή σηράγγων ή εγκιβωτισμένων αγωγών εντός του εδάφους στο υδραυλικό σύστημα προσαγωγής και απαγωγής της παροχής, ώστε να μην υπάρχει πρόσθετη περιβαλλοντική επιβάρυνση. Επιβάλλεται η αξιοποίηση / χρήση των υφιστάμενων υποδομών (δρόμοι, δίκτυα κλπ.).»

Στον σχεδιασμό του έργου έχει γίνει πρόβλεψη και έχουν ληφθεί όλα τα απαραίτητα μέτρα (εγκιβωτισμός αγωγού, κλπ.) ώστε να μην υπάρχει πρόσθετη περιβαλλοντική επιβάρυνση. Επίσης, για την πρόσβαση στην υδροληψία και στον ΥΗΣ του έργου θα αξιοποιηθεί στο βέλτιστο βαθμό η υφιστάμενη οδοποιία.

- «Το μήκος των συνοδών έργων πρόσβασης (οδοποιία) για τις κατηγορίες έργων με ονομαστική ισχύ μικρότερη του 1 MW, δεν μπορεί να είναι δυσανάλογο των υπολοίπων έργων που απαιτούνται για την κατασκευή του υδροηλεκτρικού έργου (μήκος σωλήνωσης προσαγωγής) και σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να υπερβαίνει συνολικά τα 3,0 χλμ. Δεν πρέπει να επιτρέπονται έργα οδοποιίας η κατασκευή των οποίων απαιτεί ουσιώδη μεταβολή στην παραποτάμια βλάστηση και σε γεωλογικούς σχηματισμούς ή συνεπάγεται επίχωση της κοίτης του υδατορεύματος ή ενδέχεται να προκαλέσει κατολισθήσεις, διαβρώσεις και ασταθείς εδαφικές συνθήκες. Επίσης θα πρέπει να υπάρχει μέριμνα εφόσον τεχνικώς είναι εφικτό τα δίκτυα διασύνδεσης να είναι υπόγεια.»

Το έργο έχει ονομαστική ισχύ ίση με 1,01 MW. Σε κάθε περίπτωση η πρόσβαση στην υδροληψία του έργου, καθώς και στον ΥΗΣ, θα γίνει κυρίως επί υφιστάμενων οδών.

- «Η νέα γραμμή ΜΤ που κατασκευάζεται αποκλειστικά για τη διασύνδεση ενός Μ.ΥΗ.Ε. με ονομαστική ισχύ  $< 1$  MW, δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 5 χλμ. Εξαιρούνται οι περιπτώσεις σύνδεσης Μ.ΥΗ.Ε. στο δίκτυο μέσης τάσης που κατασκευάζονται εξ ολοκλήρου επί υφιστάμενων υποδομών ή που δεν απαιτούν συνοδά έργα μήκους μεγαλύτερου των 5 χλμ. Εξαιρούνται επίσης οι περιπτώσεις υπογείου δικτύου που οδεύει κατά μήκος των συνοδών έργων οδοποιίας ή του αγωγού προσαγωγής.»

Το έργο έχει ονομαστική ισχύ μεγαλύτερη του 1 MW.

## 10.6 : Έλεγχος κριτηρίων για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας υποδοχέων ΜΥΗΕ

Τα κριτήρια για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας των υποδοχέων για μικρά υδροηλεκτρικά έργα σύμφωνα με την ΚΥΑ του Ειδικού Χωροταξικού για τις ΑΠΕ παρουσιάζονται παρακάτω :

- «Εφόσον στη ζώνη κατάληψης του έργου υφίσταται και άλλη χρήση νερού, πρέπει να εξασφαλίζεται κατά προτεραιότητα η ικανοποίηση των υφιστάμενων υδρευτικών, αρδευτικών και οικολογικών αναγκών.»

Στη ζώνη κατάληψης του υπό μελέτη έργου δεν υφίσταται και άλλη χρήση νερού

- «Όταν προβλέπεται εκτροπή νερού από την φυσική κοίτη του υδατορεύματος και για μήκος μεγαλύτερο των 250 m, το μήκος του τμήματος φυσικής κοίτης που θα αφήνεται μεταξύ δύο επάλληλων ΜΥΗΕ (δηλαδή μεταξύ του σημείου επαναφοράς του νερού στη φυσική κοίτη για το ανάντη ΜΥΗΕ και του σημείου υδροληψίας ή την αρχή της τεχνητής λίμνης του πλησιέστερου κατόντη ΜΥΗΕ) δεν μπορεί να είναι μικρότερο των 1000 m και ταυτόχρονα δεν πρέπει να υπολείπεται του 33% του συνολικού μήκους της φυσικής κοίτης του υδατορεύματος μεταξύ του ανώτερου σημείου του ανάντη ΜΥΗΕ (σημείο υδροληψίας) και του κατώτερου σημείου του κατόντη ΜΥΗΕ (σημείο επαναφοράς του νερού στη φυσική κοίτη). Στην περίπτωση συμβολής ρεμάτων τα ανωτέρω ισχύουν χωριστά για τον κύριο κλάδο και χωριστά για τους παραποτάμους του. Δηλαδή δεν ισχύουν μεταξύ δυο ΜΥΗΕ των οποίων η υδροληψία του ενός βρίσκεται στον κύριο κλάδο και του άλλου στον δευτερεύοντα. Θεωρείται δε ως κύριος κλάδος εκείνος που έχει την μεγαλύτερη μέση ετήσια παροχή.

Βλέπε επόμενη παράγραφο. Το κριτήριο ικανοποιείται.

- «Το μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος ( $L_{max}$ ) του τμήματος της φυσικής κοίτης του υδατορεύματος από το οποίο εκτρέπεται το νερό με τον αγωγό προσαγωγής (έργο υδροληψίας έως το σημείο επαναφοράς του νερού στη φυσική κοίτη) σε σχέση με την εγκατεστημένη ισχύ του ΜΥΗΕ θα πρέπει να είναι σύμφωνα με τα παρακάτω:

$$P \leq 0,3 \text{ MW}, \quad L_{max} = 0,50 \text{ Km}$$

$$0,3 \text{ MW} < P \leq 15 \text{ MW},$$

$$L_{max} = 0,5 + [1,4 - 0,4 * (\frac{Q_{οικ}}{Q_{οικ}})^{0.5}] * [11,4(P - 0,3)/(4 + (P - 0,3))]$$

όπου:

P = Η ισχύς του σταθμού σε MW

$L_{max}$  = Το μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος εκτροπής της φυσικής κοίτης σε Km

$Q_{οικ}$  = Η απαιτούμενη οικολογική παροχή για τη διατήρηση των κατόντη οικοσυστημάτων στη θέση υδροληψίας που σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να είναι μικρότερη από τα μεγέθη που αναφέρονται στην παράγραφο 3ε του άρθρου 16 του ΕΠΧΣΑΑ – ΑΠΕ

$Q'_{οικ}$  = Η οικολογική παροχή που θα αφήνεται με πρωτοβουλία του κυρίου του έργου από την υδροληψία κατά την λειτουργία του έργου  $Q'_{οικ} \geq Q_{οικ}$ »

Η ισχύς του υπό μελέτη έργου είναι ίση με 1,01 MW. Από τον τύπο υπολογισμού προκύπτει ότι μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος εκτροπής είναι ίσο με 3.577 m, το οποίο είναι μεγαλύτερο από το μήκος εκτροπής του προτεινόμενου έργου(=2.990m).Επομένως το κριτήριο ικανοποιείται.

- *«Δεν υπάγονται στην περίπτωση της παραγράφου 3δ2. του άρθρου 16 του ΕΠΧΣΑΑ – ΑΠΕ, τα υδροηλεκτρικά έργα (ΜΥΗΕ) που χρησιμοποιούν υδατοπτώσεις υφιστάμενου τεχνικού έργου με εκτροπή υδατορεύματος και τα οποία είτε αξιοποιούν μεγαλύτερες ποσότητες νερού από εκείνη που χρησιμοποιεί το κυρίως έργο, είτε αξιοποιούν ενεργειακά το νερό σε άλλο χρονικό διάστημα (π.χ. χειμερινοί μήνες). Για αυτά τα ΜΥΗΕ εφαρμόζονται οι περιορισμοί των παραπάνω παραγράφων 2 και 3, θεωρώντας ως μήκος εκτροπής το συνολικό μήκος εκτροπής της φυσικής κοίτης του υδατορεύματος από το υφιστάμενο και προτεινόμενο έργο, εκτός αν αυτά τα ΜΥΗΕ λειτουργούν μόνο τους χειμερινούς μήνες και αξιοποιούν λιγότερο από το 20% της μέσης παροχής των μηνών αυτών. Απαγορεύεται από την λειτουργία αυτών των ΜΥΗΕ να θιγούν, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, οι χρήσεις εκείνες για την εξυπηρέτηση των οποίων αρχικά κατασκευάστηκε το υφιστάμενο τεχνικό έργο.»*

Το προτεινόμενο έργο δεν χρησιμοποιεί υδατόπτωση υφιστάμενου τεχνικού έργου

- *«Σε περίπτωση ύπαρξης ιχθυοπανίδας στο υδατόρευμα, η οικολογική παροχή, θα πρέπει πέραν της υπόγειας ροής διαμέσου των φερτών της κοίτης του υδατορεύματος, να εξασφαλίζει επιφανειακή ροή στο τμήμα εκτροπής της φυσικής κοίτης του υδατορεύματος, βάθους τουλάχιστον 20 cm, στο βαθύτερο σημείο της διατομής της κοίτης. Το βάθος αυτό θα είναι απαιτητό για όλο το έτος, εφόσον το τμήμα εκτροπής της φυσικής κοίτης αποτελεί μόνιμο ενδιαίτημα της ιχθυοπανίδας, είτε σε αντίθετη περίπτωση για τα χρονικά διαστήματα εκείνα στα οποία η ιχθυοπανίδα κινείται ανάδρομα ή κατάδρομα στο τμήμα αυτό όπως θα τεκμηριώνεται στη ΜΠΕ.»*

Το κριτήριο ικανοποιείται. Η η οικολογική παροχή που έχει οριστεί εξασφαλίζει βάθος τουλάχιστον 20 cm, στο βαθύτερο σημείο της διατομής της κοίτης.

*«Μέχρι να καθορισθούν τα κριτήρια της ελάχιστης απαιτούμενης οικολογικής παροχής ανά λεκάνη απορροής, σύμφωνα και με τις προβλέψεις του ν. 3209/2003, ως ελάχιστη απαιτούμενη οικολογική παροχή νερού που παραμένει στη φυσική κοίτη υδατορεύματος, αμέσως κατάντη του έργου υδροληψίας του υπό χωροθέτηση Μ.ΥΗ.Ε., πρέπει να εκλαμβάνεται το μεγαλύτερο από τα πιο κάτω μεγέθη, εκτός αν απαιτείται τεκμηριωμένα η αύξησή της, λόγω των απαιτήσεων του κατάντη οικοσυστήματος (ύπαρξη σημαντικού οικοσυστήματος):*

- 30% της μέσης παροχής των θερινών μηνών Ιουνίου - Ιουλίου – Αυγούστου ή
- 50% της μέσης παροχής του μηνός Σεπτεμβρίου ή
- 30 lt/sec σε κάθε περίπτωση.»

Σε όλο το μήκος εκτροπής του έργου εξασφαλίζεται η ελάχιστη οικολογική παροχή που ισούται με 0,044 m<sup>3</sup>/s (30% της μέσης θερινής). Η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη από το 50% της μέσης παροχής του Σεπτεμβρίου.



## Κεφαλαίο 11<sup>ο</sup> : Συμπεράσματα

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένα μεγάλο ζήτημα στην εποχή που διανύουμε. Οι σημερινές κοινωνίες έχουν άμεση σχέση με την ηλεκτρική ενέργεια , κάτι που δημιουργεί μεγάλη ανάγκη , σε όλα τα κράτη παγκοσμίως , να ερευνηθούν το θέμα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα , οι επιπτώσεις στο περιβάλλον ήταν καταστροφικές. Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές , οι οποίες έχουν μηδενικό ή πολύ μικρό αντίκτυπο στο περιβάλλον. Η υδραυλική ενέργεια χρησιμοποιείται από τους ανθρώπους από πολύ παλιά για διάφορους λόγους. Στην πιο πρόσφατη ιστορία , η δύναμη του νερού χρησιμοποιήθηκε για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την παραγωγή της εξελίσσεται ραγδαία με την πάροδο των ετών.

Στο πρώτο σκέλος της εργασίας έγινε μια ανάλυση των μικρών υδροηλεκτρικών έργων , τόσο στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση και την μελέτη σκοπιμότητάς τους , όσο και στην νομοθεσία , στα τεχνικά χαρακτηριστικά τους και στην διαδικασία αδειοδότησης τους.

Όσον αφορά την Ελλάδα όλο και περισσότερη βάση δίνεται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και ειδικότερα μέσω της εκμετάλλευσης του νερού. Η νομοθεσία που διέπει τα έργα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εξελίσσεται και γίνεται πιο ευνοϊκή για τους επιχειρηματίες που θέλουν να επενδύσουν σε αυτόν τον τομέα. Κάθε κυβέρνηση με την σειρά της δίνει κίνητρα στους επιχειρηματίες και δημιουργεί ένα πιο ευνοϊκό κλίμα για την υλοποίηση τέτοιων έργων. Σήμερα , με τις αλλαγές στην νομοθεσία που έχουν γίνει και τους υπάρχοντες νόμους που ισχύουν , η γραφειοκρατία , το κόστος υλοποίησης και οι χρόνοι για την διεκπεραίωση ενός έργου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν μειωθεί , προσελκύοντας έτσι περισσότερους επιχειρηματίες για να εισέλθουν στην αγορά. Σημείο σταθμός για την νομοθεσία στην Ελλάδα αποτέλεσε το έτος 1999 όπου συστάθηκε η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας , η οποία είχε σκοπό να εποπτεύει την εγχώρια αγορά ενέργειας. Ένα από τα βασικότερα επιτεύγματα της ΡΑΕ ήταν η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας και δημιουργία μιας ηλεκτρονικής πλατφόρμας για την ηλεκτρονική δημοπρασία των έργων ΑΠΕ. Η όλη διαδικασία είχε απόλυτη επιτυχία , λόγω της απλότητάς της και της έλλειψης ασαφειών και χαρτογραφίας.

Τα υδροηλεκτρικά έργα εμφανίζουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα άλλα έργα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτελούν μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας η οποία δύναται να καλύψει άμεσα την ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους αιχμής , προκαλώντας μηδαμινό αντίκτυπο στο περιβάλλον και χωρίς να δημιουργήσει απόβλητα όπως άλλες πηγές παραγωγής ενέργειας. Τα μεγαλύτερα μειονεκτήματα που παρουσιάζει είναι η μεγάλη χρονική διάρκεια που απαιτείται για να κατασκευαστεί το έργο και το μεγάλο κόστος κατασκευής. Με βάση την νομοθεσία που ισχύει στην Ελλάδα

για τα υδροηλεκτρικά έργα , έχει γίνει ο διαχωρισμός τους σε μικρά και μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα , σύμφωνα με τα επιμέρους χαρακτηριστικά του κάθε έργου. Οι μεθοδολογίες που αναλύθηκαν για τον υπολογισμό όλων των κρίσιμων στοιχείων για την κατασκευή του έργου , καθώς επίσης και όλες οι μελέτες που πρέπει να εκπονηθούν για να εξεταστεί η σκοπιμότητα του έργου , δείχνουν την πολυπλοκότητα που έχει σαν έργο και την δυσκολία για να υλοποιηθεί. Παρόλα αυτά υπάρχουν ποικίλες επιλογές για τον εκάστοτε επιχειρηματία , τόσο στον εξοπλισμό όσο και στα σενάρια χρηματοδότησης του έργου. Η φύση της εγκατάστασης των υδροηλεκτρικών έργων είναι τέτοια που προσφέρει πολλές επιλογές στον επιχειρηματία , ειδικά σε χώρες σαν την Ελλάδα που είναι πλούσιες σε υδατορέματα και ποταμούς λόγω του μεγάλου ορεινού όγκου της.

Στο δεύτερο σκέλος της εργασίας , αναλύεται ένα ΜΥΗΕ στο Πετρόρεμα στο Σιδηρόνερο Δράμας , με σκοπό να εξετασθεί η σκοπιμότητα του έργου. Αναλύοντας τα χαρακτηριστικά του υπό μελέτη ΜΥΗΕ έγινε εμφανές ότι είναι μια κερδοφόρα επένδυση. Έγινε υπολογισμός της Καθαρά Παρούσας Αξίας με τα πραγματικά χαρακτηριστικά του έργου , η οποία είχε θετική τιμή , αλλά και με αυξανόμενα λειτουργικά έξοδα κατά 5% , όπου είχε αρνητική τιμή και αποδείχθηκε ότι δεν θα ήταν κερδοφόρα επένδυση. Η παραγόμενη ενέργεια από το συγκεκριμένο έργο έχει σημαντικά οφέλη στο κράτος , στην περιοχή στην οποία θα υλοποιηθεί το έργο , αλλά και στον επιχειρηματία που θα το κατασκευάσει.

Οι επενδυτές προτιμούν την υλοποίηση Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων , κάτι που φαίνεται λογικό , λόγω της απλότητάς τους σαν κατασκευή και σαν αδειοδότηση , αλλά και του μικρότερου κόστους , της μικρότερης διάρκειας κατασκευής και του μεγαλύτερου κέρδους που παρουσιάζουν σε σχέση με τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα. Σημαντικό κρίνεται , λοιπόν , να δοθεί ακόμα μεγαλύτερη βάση στην προώθηση μικρών υδροηλεκτρικών έργων και να δοθούν ακόμα περισσότερα κίνητρα για να προσελκυσθούν επιχειρηματίες. Η αγορά θα πρέπει να προσαρμόζεται ανάλογα με την ζήτηση και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και να παρέχονται ενισχύσεις και επιχορηγήσεις για την υλοποίηση μικρών υδροηλεκτρικών έργων.

## Βιβλιογραφία

- Argyris, I. (2008) 'Hydroelectric Power Plants of PPC S.A. and their contribution to the Energy Supply', *1st Panhellenic Conference of Large Dams*, p. 8. Available at: <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teelar/EKDILWSEIS/damConference/eisigiseis/5.1.pdf>.
- Blog: Hydropower growth and development through the decades | International Hydropower Association* (2019). Available at: <https://www.hydropower.org/blog/blog-hydropower-growth-and-development-through-the-decades> (Accessed: 17 August 2020).
- Darcy-Weisbach Equation* (2020). Available at: <https://www.nuclear-power.net/nuclear-engineering/fluid-dynamics/major-head-loss-friction-loss/darcy-weisbach-equation/> (Accessed: 17 August 2020).
- Energy Education* (2020). Available at: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Main\\_Page](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Main_Page) (Accessed: 17 August 2020).
- Johnson, T. P., Cullum, A. J. and Bennett, A. F. (1998) 'Partitioning the effects of temperature and kinematic viscosity on the C-start performance of adult fishes', *Journal of Experimental Biology*, 201(13), pp. 2045–2051.
- Katz, R. and Semat, H. (1958) 'Physics'.
- Kucukali, S. (2011) 'Water Supply Lines as a Source of Small Hydropower in Turkey: A Case Study in Edremit', *Proceedings of the World Renewable Energy Congress – Sweden, 8–13 May, 2011, Linköping, Sweden*. doi: 10.3384/ecp110571400.
- Menon, S. (2015) 'Transmission Pipeline Calculations and Simulations Manual', *Science Direct*. doi: 10.1016/b978-1-85617-830-3.12001-2.
- Salameh, Z. (2014) *Renewable Energy System Design*, Academic Press. Elsevier. doi: 10.1016/b978-0-12-374991-8.09994-3.
- Zainuddin, H. *et al.* (2009) 'Design and development of pico-hydro generation system for energy storage using consuming water distributed to houses', *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 59.
- Αυλακά, Ι. (2019) *Μελέτη μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού στην περιοχή της Ευρυτανίας*. Πολυτεχνική Σχολή Τμήμα Μηχανολογών & Αεροναυπηγών Μηχανικών Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής & Περιβαλλοντος.
- Βουλαρινός, Ι. (2018) *Μοντελοποίηση και ανάλυση της μεταβατικής συμπεριφοράς μικρού υδροηλεκτρικού έργου*. Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο.
- Γάτας, Κ. (2013) *Εξελίξεις και νέες προοπτικές μικρών υδροηλεκτρικών έργων (ΜΥΗΕ)*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- ΕΣΜΥΕ* (2020). Available at: <https://www.microhydropower.gr/εσμυε/> (Accessed: 17 August 2020).
- Εφημερίδα Της Κυβερνήσεως* (1994) 'Ν.2244/94'.
- Εφημερίδα Της Κυβερνήσεως* (1999) 'Ν.2773/99'.
- Εφημερίδα Της Κυβερνήσεως* (2005a) 'ΥΑ.13310/2007'.
- Εφημερίδα Της Κυβερνήσεως* (2005b) 'Υπουργική Απόφαση 43504/2005'.
- Εφημερίδα Της Κυβερνήσεως* (2006) 'Ν.3468/06'.
- Εφημερίδα Της Κυβερνήσεως* (2008) 'Ν.2464/08'.
- Εφημερίδα Της Κυβερνήσεως* (2016a) 'Ν.4399/2016', p. 48. doi: 10.2307/2307198.
- Εφημερίδα Της Κυβερνήσεως* (2016b) 'Ν.4414/2016'.
- Ζαχαράκης, Δ. (2018) *Μελέτη και ανάλυση εγκατάστασης φωτοβολταϊκού πάρκου στο δίκτυο μέσης τάσης*. Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Ηλίας Κακιοπούλος: *Οι ΑΠΕ και τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα στην Ελλάδα σήμερα* (2010). Available at: <https://energypress.gr/news/ilias-kakioylosoi-ape-kai-ta-mikra-ydroilektrika-erga-stin-ellada-simera> (Accessed: 17 August 2020).
- Καραδήμου, Σ. and Ασίμης, Γ. (2019) *Τεχνοοικονομική μελέτη μικρού υδροηλεκτρικού έργου στο Γοργόγυρι Τρικάλων (Κεφαλοπόταμος)*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

- Κορωναίος, Χ. (2012) ‘Ανανεώσιμες Πηγές’.
- Μαμάσης, Ν. and Κουτσογιάννης, Α. Ε. Δ. (2018) ‘Ανανεώσιμη Ενέργεια και Υδροηλεκτρικά Έργα: Μικρά υδροηλεκτρικά έργα’.
- Μαμάσης, Ν., Κουτσογιάννης, Δ. and Ευστρατιάδης, Α. (2016) ‘Υδροηλεκτρικά έργα’.
- Μοσχοβίτης, Α. (2012) *ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΙΚΡΟΥ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ*. ΤΕΙ Κρήτης.
- Μουτάκης, Γ. and Κωνσταντέλλης, Μ. (2003) *ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΙΚΡΟΥ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ*. ΤΕΙ Καβάλας.
- Νικόλαος, Π., Γεώργιος, Π. and Παντελής, Ε. (2014) ‘Συστήματα SCADA’. Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών ΤΕ.
- Παντελάκης, Ε. and Τάτσιος, Ι. (2017) *Μελέτη Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου - Θέση Καταρράκτης Αράχθου ποταμού - Προσομοίωση σε περιβάλλον RETscreen*. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας.
- Παπαντώνης, Δ. (2001) *Μικρά υδροηλεκτρικά έργα*. 1st edn. Αθήνα: Εκδόσεις Συμεών.
- Παπαχρήστου, Δ. (2017) ‘Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές Περιεχόμενα’, *Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές Περιεχόμενα*.
- Πασσίας, Η. (2019) *Υδροηλεκτρική Ενέργεια*. Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου.
- Πολυβίου, Α. (2019) *ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΕΡΙΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗΣ ΑΠΟ ΧΡΗΣΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΣΟΒΟΥ*. Πανεπιστήμιο Πειραιώς.
- Πολύζος, Σ. (2018) *Διοίκηση και διαχείριση των έργων-Μέθοδοι και τεχνικές*. 3rd edn. Αθήνα: Εκδόσεις Κριτική.
- Ραμμος, Δ. (2016) *ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕ ΣΩΛΗΝΕΣ ΑΠΟ FRP*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών Τομέας Θαλασσίων Κατασκευών.
- Ριζιώτης, Λ. (2017) *Υδροηλεκτρική παραγωγή από νερό ύδρευσης*. Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Ροδόπουλος, Π. (2005) *ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΙΚΡΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ*. Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Στοκίδης, Α. (2011) *Προδιαγραφές λειτουργίας και δοκιμές ηλεκτρολογικών πινακων*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Συμεωνίδου, Σ. (2008) *Κατασκευή και διαχείριση μικρών υδροηλεκτρικών έργων*.
- Τερζίδης, Γ. (1999) *ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ*. 2nd edn. ΖΗΤΗ.
- Τουρλιδάκης, Α. (2011) ‘Υδροστρόβιλοι και Υδροηλεκτρικά Έργα’.
- Τσιγλής, Χ. (2012) *ΑΓΩΓΟΙ ΚΑΙ ΚΑΛΩΔΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ*. ΤΕΙ Καβάλας.