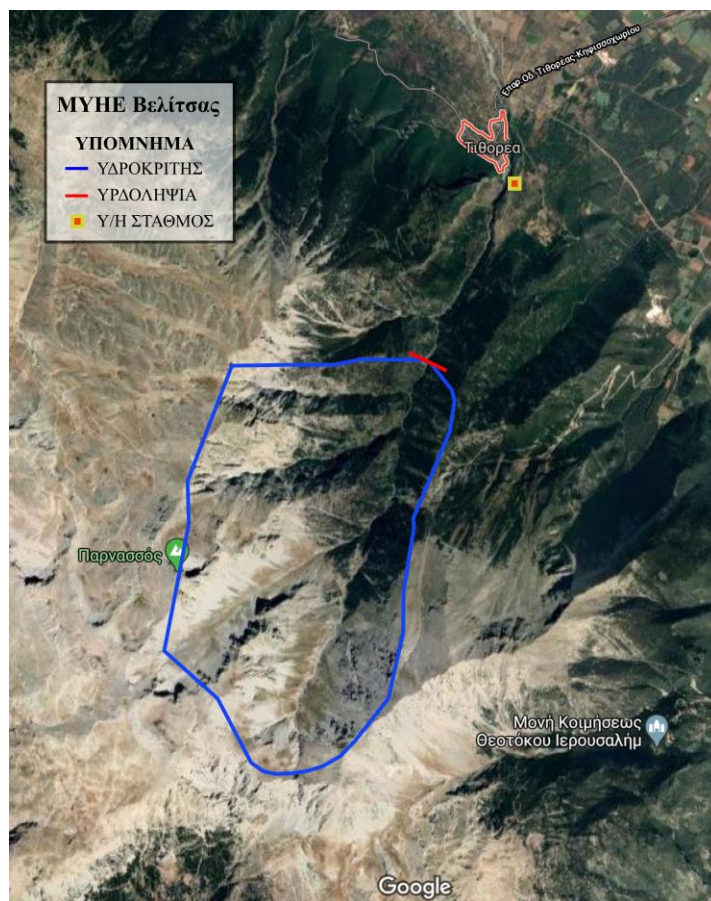




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Μελέτη Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων και εφαρμογή
στην Τιθορέα Φθιώτιδας (ΜΥΗΕ Βελίτσας, Ρέμα Ξεριές)**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Βασίλας Ευστράτιος

Επιβλέπων : Ιωάννης Φ. Γκόνος

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2020



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Μελέτη Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων και εφαρμογή στην Τιθορέα Φθιώτιδας (ΜΥΗΕ Βελίτσας, Ρέμα Ξεριές)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βασίλας Ευστράτιος

Επιβλέπων : Ιωάννης Φ. Γκόνος

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την Δευτέρα 28 Σεπτεμβρίου 2020

.....
Γκόνος Φ. Ιωάννης
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Φραγκίσκος Β. Τοπαλής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Πάυλος Γεωργιάκης
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2020

.....
Βασίλας Ευστράτιος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Βασίλας Ευστράτιος, 2020.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την διαδικασία μελέτης ενός Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου (ΜΥΗΕ). Τα ΜΥΗΕ αποτελούν εργοστάσια παραγωγής καθαρά ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας με ελάχιστη παρέμβαση στο περιβάλλον και πολλαπλά περιβαλλοντικά οφέλη. Κατά τη λειτουργία τους γίνεται εκμετάλλευση της κινητικής και δυναμικής ενέργειας του νερού ενός ποταμού. Σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία τα ΜΥΗΕ συγκαταλέγονται στις ΑΠΕ και υπακούουν σε ειδικές οδηγίες για την δανειοδότηση, κατασκευή και εκμετάλλευσή τους. Η Ελλάδα διαθέτει μεγάλο υδροδυναμικό στα βουνά της και η εκμετάλλευσή του αποτελεί εθνικό στόχο λόγω των περιβαλλοντικών και οικονομικών πλεονεκτημάτων του.

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας γίνεται ανάλυση του τρόπου εκμετάλλευσης της υδραυλικής ενέργειας από τα διάφορα είδη υδροηλεκτρικών έργων, των χαρακτηριστικών τους και των πλεονεκτημάτων τους σε σχέση με τις άλλες μεθόδους παραγωγής ενέργειας. Έπειτα αναλύεται ο τρόπος μελέτης μιας υποψήφιας τοποθεσίας εγκατάστασης ενός ΜΥΗΕ. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην διαδικασία υπολογισμού της διαθέσιμης υδροδυναμικής ενέργειας μέσω υδρολογικής μελέτης και την επιλογή του τεχνοοικονομικά βέλτιστου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού για την εκμετάλλευσή της. Επίσης γίνεται αναλυτική περιγραφή των μεθόδων επιλογής και λειτουργίας του κυρίως αλλά και του βοηθητικού ηλεκτρολογικού εξοπλισμού που είναι απαραίτητος για την ασφαλή και αποδοτική λειτουργία της εγκατάστασης.

Τέλος, οι παραπάνω διαδικασίες εφαρμόζονται στο ρέμα Ξεριές πλησίον του χωριού της Τιθορέας στον νομό Φθιώτης, για την μελέτη του ΜΥΗΕ Βελίτσας (παλαιά ονομασία της Τιθορέας). Έγινε επίσκεψη του ρέματος, επιλογή της τοποθεσίας του σταθμού και της υδροληψίας και μετρήσεις παροχών. Με υδρολογική μελέτη εκτιμήθηκαν οι μελλοντικές παροχές και επιλέχθηκε η εγκατεστημένη παροχή του έργου. Έπειτα, με βάση αυτές έγινε διαστασιολόγηση του κυρίως ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού εστιάζοντας στην επιλογή των στοιχείων της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης.

Για την εκτίμηση της οικονομικής βιωσιμότητας του έργου έγινε υπολογισμός του κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας του, βάσει βιβλιογραφικών συσχετίσεων από προηγούμενα έργα και υπολογίστηκαν τα αναμενόμενα έσοδά του από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας που θα παράγει. Αξιολογώντας τα παραπάνω αντλήθηκαν συμπεράσματα για τη βιωσιμότητα του έργου, την περίοδο απόσβεσης του κεφαλαίου και τα περιβαλλοντικά οφέλη από την εκμετάλλευσή του.

Λέξεις κλειδιά

Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο, Βελίτσα, Τιθορέα, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Υδρολογική μελέτη, Υδροστρόβιλος, Πέλτον, Γεννήτρια, Μετασχηματιστής, Πίνακας, Μέση τάση, Χαμηλή Τάση, Οικονομική βιωσιμότητα

Abstract

The subject of the current diploma thesis is the study of the construction of a Small Hydroelectric Power Plant (SHPP). The SHPPs produce renewable electric energy with minimal environmental impact and multiple environmental benefits. They harvest the kinetic and dynamic energy of a river during their operation. According to Greek and foreign legislation they are considered Renewable Energy Systems and follow specific guidelines for their licensing, construction and operation. Greece possesses large hydropower reserves on its mountains and utilizing them is a national objective due to their environmental and financial advantages.

In the framework of this diploma thesis, the different methods of utilizing the hydropower energy for the production of electricity, their characteristics as well as their advantages are explored in relation to other methods of energy production. The way of selecting and accessing a potential location for a future instalment of a SHPP is analyzed. Special Emphasis is given on the process of calculating the available hydrodynamic energy though hydrological study and the selection of the techo-economically optimal electromechanical equipment for its harvest. Following that, the methods of selection and operation of the main and auxiliary electrical equipment that is necessary for the safe and efficient operation of the installation are discussed.

Finally, the above-mentioned procedures are applied in the river Xeries, situated close to the village Tithorea in the county of Amfiklia, for the study of the SHPP Velitsa (old name of Tithorea). For this purpose, during a visit of the location of the river and the surrounding area, selections were made for the location of the water intake and the location of the plant and measurements of the river's water flow rate were taken. The future flow rates were predicted, via hydrological study and the installed capacity of the project was determined. Utilizing the data from the predictions the main electromechanical equipment was selected while paying strong attention on the selection of the elements of the electrical installation.

The expected revenues of the SHPP Velitsa were derived from the sale value of electricity that it will produce. In order to assess the financial viability, the costs of installation and operation of the project were calculated based on bibliographic correlations from previously constructed SHPPs. Upon assessment of those figures, conclusions were made about the viability of the project, the amortization period of the invested capital and the environmental benefits from its operation.

Keywords

Small Hydroelectric Power Plants, Velitsa, Tithorea, Renewable Energy, Hydrological Study, Water Turbine, Pelton, Generator, Transformer, Switchgear, Medium Voltage, Low Voltage, Financial Feasibility

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνέδραμαν στην εκπόνηση αυτής της εργασίας και συγκεκριμένα:

Τον καθηγητή μου κ. Ιώαννη Γκόνο για την ανάθεση της, αλλά και για την βοήθεια του, κατά την εκπόνησής της.

Τον κ. Βασίλειο Χατζόπουλο πρόεδρο της εταιρίας NANKO ΕΝΕΡΓΕΙΑ, ο οποίος με την μεγάλη εμπειρία που διαθέτει στον τομέα των ΜΥΗΕ με συμβούλεψε και με καθοδήγησε με προθυμία κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Επίσης μου προσέφερε τις μετρήσεις παροχών από το ΜΥΗΕ Αγόριανης τις οποίες χρησιμοποίησα στην μελέτη μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου που είναι δίπλα μου και με στηρίζουν σε κάθε μου βήμα.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	13
1.1 Υδραυλική ενέργεια.....	13
1.2 Εισαγωγή στα υδροηλεκτρικά έργα.....	13
1.3 Κατηγορίες Υδροηλεκτρικών έργων	14
1.3.1 Διαχωρισμός με βάση την ισχύ.....	14
1.3.2 Διαχωρισμός με βάση το υδραυλικό ύψος.....	16
1.3.3 Διαχωρισμός με βάση την λειτουργία και τον σχεδιασμό	16
1.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υδροηλεκτρικών έργων-MYHE	17
1.5 Υδροηλεκτρικά έργα και ενέργεια στην Ελλάδα.....	18
2. Παρουσίαση μεθοδολογίας εκπόνησης μελέτης ενός ΜΗΥΕ	21
2.1 Επιλογή τοποθεσίας εγκατάστασης ενός ΜΥΗΕ βάσει υδρολογικών και τοπογραφικών στοιχείων.....	21
2.2 Υπολογισμός βασικών χαρακτηριστικών ΜΥΗΕ	25
2.2.1 Υπολογισμός καθαρού ύψους πτώσης H_n	25
2.2.2 Υπολογισμός απωλειών H_f	25
2.2.3 Υπολογισμός ημερήσιων παροχών Q και Κατασκευή Καμπύλης διαρκείας παροχών.....	27
2.2.4 Εναλλακτική μέθοδος για περιπτώσεις που δεν υπάρχουν συστηματικές μετρήσεις:	27
2.2.5 Υπολογισμός οικολογικής παροχής.....	28
2.2.6 Υπολογισμός εγκατεστημένης παροχής	29
2.2.7 Υπολογισμός ενέργειας E	30
2.3 Μεθοδολογία επιλογής υδροστρόβιλου.....	31
2.4 Μεθοδολογία επιλογής γεννήτριας	35
2.4.1 Ισχύς γεννήτριας	35
2.4.2 Ζεύξη υδροστρόβιλου-γεννήτριας	35
2.4.3 Επιλογή ονομαστικής τάσεως λειτουργίας.....	36
2.5 Μεθοδολογία επιλογής της ισχύος του μετασχηματιστή.....	36
2.6 Μεθοδολογία επιλογής καλωδιώσεων Χ.Τ./Μ.Τ.	37
2.7 Μεθοδολογία επιλογής πινάκων ισχύος ΜΤ, ΧΤ	38
2.8 Επιλογή βοηθητικών κυκλωμάτων	40
2.9 Σύστημα Τηλεχειρισμού	43

3. Μελέτη και σχεδιασμός ΜΥΗΕ στο ρέμα «Ξεριές» στην Τιθορέα Φθιώτιδας	45
3.1 Επίσκεψη της τοποθεσίας και λήψη μετρήσεων.....	45
3.1.1 Επιλογή σημείου υδροληψίας.....	46
3.1.2 Επιλογή σημείου εγκατάστασης σταθμού	48
3.2 Υδρολογική μελέτη.....	52
3.2.1 Περιγραφή λεκάνης απορροής.....	52
3.2.2 Εκτίμηση παροχών λόγω έλλειψης συστηματικών μετρήσεων.....	54
3.2.3 Οικολογική παροχή και κατασκευή καμπύλης διάρκειας παροχών	63
3.3 Υπολογισμός βασικών χαρακτηριστικών ΜΥΗΕ Βελίτσας	66
3.3.1 Υπολογισμός εγκατεστημένης παροχής και καθαρού ύψους πτώσης.....	66
3.3.2 Υπολογισμός υδραυλικών απωλειών.....	67
3.4 Επιλογή βασικών στοιχείων ΥΗΣ	78
3.4.1 Επιλογή υδροστροβίλου.....	78
3.4.2 Επιλογή γεννήτριας.....	84
3.5 Επιλογή μετασχηματιστή.....	86
3.6 Επιλογή καλωδιώσεων και πινάκων ΜΤ, ΧΤ.....	87
3.6.1 Επιλογή διατομής καλωδίου σύνδεσης γεννήτριας με Μ/Σ	87
3.6.2 Επιλογή διατομής καλωδίου σύνδεσης Μ/Σ με Δίκτυο.....	93
3.6.3 Επιλογή πίνακα ισχύος Χαμηλής Τάσης	94
3.6.4 Επιλογή πίνακα ισχύος Μέσης τάσης.....	95
3.7 Επιλογή βοηθητικών κυκλωμάτων και στοιχείων της εγκατάστασης.....	96
3.8 Υπολογισμός Παραγομένης Ενέργειας.....	99
3.8.1 Ετήσια παραγωγή ενέργειας	100
3.8.2 Βαθμός ενεργειακής εκμετάλλευσης	101
4. Οικονομική ανάλυση	102
4.1 Προσεγγιστικός υπολογισμός κόστους επένδυσης.....	102
4.2 Υπολογισμός των εσοδών του ΜΥΗΕ Βελίτσα	103
4.3 Υπολογισμός του κόστους λειτουργίας του ΜΥΗΕ Βελίτσα.....	103
4.4 Αποτελέσματα οικονομικής ανάλυσης	104
5. Συμπεράσματα.....	106
Βιβλιογραφία	107

Λίστα Εικόνων – Σχημάτων – Διαγραμμάτων

Εικόνα 1.2.1 Διατομή συμβατικού υδροηλεκτρικού φράγματος. [5]	14
Σχήμα 1.5.1 Εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ και παραγωγή ενέργειας το έτος 2019 [11]	19
Σχήμα 1.5.2 Εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [12].....	19
Σχήμα 1.5.3 Παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ [12]	20
Εικόνα 2.1.1 Τυπικός Μυλίσκος [13]	22
Σχήμα 2.1.2 Μέτρηση διατομής ρέματος	22
Σχήμα 2.2.2 Τυπικό διάγραμμα διάρκειας παροχών και λειτουργίας στροβίλου.....	30
Σχήμα 2.3.1 Τυπικό διάγραμμα επιλογής υδροστροβίλου Pelton, Crossflow και Kaplan [18] ...	32
Σχήμα 2.3.2 Στρόβιλοι τύπου Pelton [19] [20].....	33
Σχήμα 2.3.3 Στρόβιλοι τύπου Kaplan [21] [22].....	33
Σχήμα 2.3.4 Στρόβιλοι τύπου Francis [23] [24]	33
Σχήμα 2.3.5 Στρόβιλοι τύπου Turgo [25]	34
Σχήμα 2.3.6 Στρόβιλοι τύπου Diagonal [26] [27]	34
Σχήμα 2.3.7 Στρόβιλοι τύπου CrossFlow [27] [28].....	34
Εικόνα 2.5.1 Μ/Σ τύπου ONAN	36
Εικόνα 2.6.1 Σύνδεση Μ/Σ με πολλαπλά καλώδια τύπου EIVV-S 1G120	37
Εικόνα 2.6.2 Σύνδεση Μ/Σ με κόκκινο καλώδιο τύπου XPLE	37
Εικόνα 2.7.2 Διακόπτης ισχύος SF6 [31]	39
Εικόνα 2.7.3 Πίνακας μέσης τάσης με 3 κυψέλες	39
Σχήμα 2.8.1 Τυπικό μονογραμμικό διάγραμμα ΜΥΗΕ [27].....	42
Εικόνα 2.9.1 Τυπικά εικονικά περιβάλλοντα συστήματος SCADA	44
Εικόνα 3.1.1 Τοποθεσία ρέματος Ξεριές και εκκλησίας Αγίου Ιωάννη [32]	45
Εικόνα 3.1.2 Μυλίσκος μάρκας Valeport τύπου BFM002 που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις.....	46
Εικόνα 3.1.3 Μέτρηση παροχής με μυλίσκο στο ρέμα Ξεριές	46
Εικόνα 3.1.4 Φωτογραφία σημείου υδροληψίας από ψηλά.....	47
Εικόνα 3.1.5 Ένωση δυο παραποτάμων στο ρέμα Ξεριές	48
Εικόνα 3.1.6 Τοποθεσία εγκατάστασης ΥΗΣ.....	49

Σχήμα 3.1.7 Χάρτης υδροληψίας, σταθμού και πορείας αγωγού ΜΥΗΕ Βελίτσας [33].....	51
Σχήμα 3.2.1 Μέτρηση του εμβαδού επιφανειών με την μέθοδο των τετραγώνων [34].	52
Σχήμα 3.2.2 Χάρτης λεκάνης απορροής προτεινόμενου ΜΥΗΕ Βελίτσα	53
Σχήμα 3.2.3 Χάρτης λεκανών απορροής υδροληψίας ΜΥΗΕ Αγόριανης και ΜΥΗΕ Βελίτσας.....	55
Διάγραμμα 3.2.4 Καμπύλη διάρκειας ημερήσιων παροχών ΜΥΗΕ Βελίτσας	64
Διάγραμμα 3.2.5 Τροποποιημένη Καμπύλη διάρκειας ημερήσιων παροχών ΜΥΗΕ Βελίτσας..	65
Διάγραμμα 3.3.1 Επιλογή μέγιστης εγκατεστημένης παροχής.....	66
Εικόνα 3.3.2 Πορεία αγωγού προσαγωγής	72
Εικόνα 3.4.1 Διάγραμμα επιλογής υδροστροβίλου εταιρίας Geppert. [38].....	79
Εικόνα 3.4.2 Εγκατεστημένος υδροστρόβιλος Pelton οριζοντίου άξονα με 2 ακροφύσια	80
Σχήμα 3.4.3 Σχέδιο Υδροστρόβιλου Pelton κατακόρυφου άξονα με 4 ακροφύσια [15]	81
Εικόνα 3.4.4 Runner Υδροστρόβιλου Pelton εταιρίας Geppert με 19 σκαφίδια [39]	81
Διάγραμμα 3.4.5 Καμπύλες βαθμού απόδοσης στροβίλου Pelton ΜΥΗΕ Βελίτσα	83
Εικόνα 3.4.5 Αερόψυκτη σύγχρονη γεννήτρια εταιρίας Hitzinger (οριζοντίου άξονα).....	85
Διάγραμμα 3.4.6 Καμπύλη βαθμού απόδοσης γεννήτριας ΜΥΗΕ Βελίτσα	86
Εικόνα 3.5.1 Μετασχηματιστής ισχύος και βοηθητικός μετασχηματιστής σε ΜΥΗΕ	87
Διάγραμμα 3.6.1 Αντίδραση καλωδίων διάφορων διατομών	91
Εικόνα 3.7.1 Μονογραμμικό σχέδιο Ηλεκτρικής Εγκατάστασης ΜΥΗΕ Βελίτσας.....	98
Εικόνα 3.8.1 Διάγραμμα παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος.	100

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1.3.1 Χαρακτηρισμός ΥΗΕ με βάση το υδραυλικό ύψος [10]	16
Πίνακας 2.2.1 Ενδεικτικές τραχύτητες σωλήνων εμπορίου [10].	26
Πίνακας 3.1.1 Υπολογισμός παροχής βάσει των μετρήσεων του μυλίσκου	47
Πίνακες 3.2.1-11 Παροχές ΜΥΗΕ Αγόριανης	56
Πίνακες 3.3.1-11 Παροχές ΜΥΗΕ Βελίτσας	60
Πίνακας 3.3.1 Γωνίες αγωγού προσαγωγής.....	72
Πίνακας 3.3.2 Συντελεστές ζ γωνιών [10].....	73
Πίνακας 3.3.3 Υπολογισμός απωλειών γωνιών.....	74
Πίνακας 3.3.4 Υπολογισμός μέσης ταχύτητας και διατομής.....	75
Πίνακας 3.3.5 Υπολογισμός απωλειών στις συστολές	75
Πίνακας 3.3.6 Συντελεστές ζ για διάφορων ειδών βάνες σε θέση πλήρους ανοίγματος.....	76
Πίνακας 3.3.7 Υπολογισμός απωλειών βάνας.....	76
Πίνακας 3.3.8 Υπολογισμός μη γραμμικών απωλειών.....	77
Πίνακας 3.6.1 Όριο φόρτισης καλωδίων Χ.Τ. χαλκού μόνωσης PVC για 30°C [42]	89
Πίνακας 3.6.2 Συντελεστές διόρθωσης f_n για θερμοκρασία διαφορετική των 30°C [42]	89
Πίνακας 4.4.1 Οικονομικοί υπολογισμοί.....	105

1. Εισαγωγή

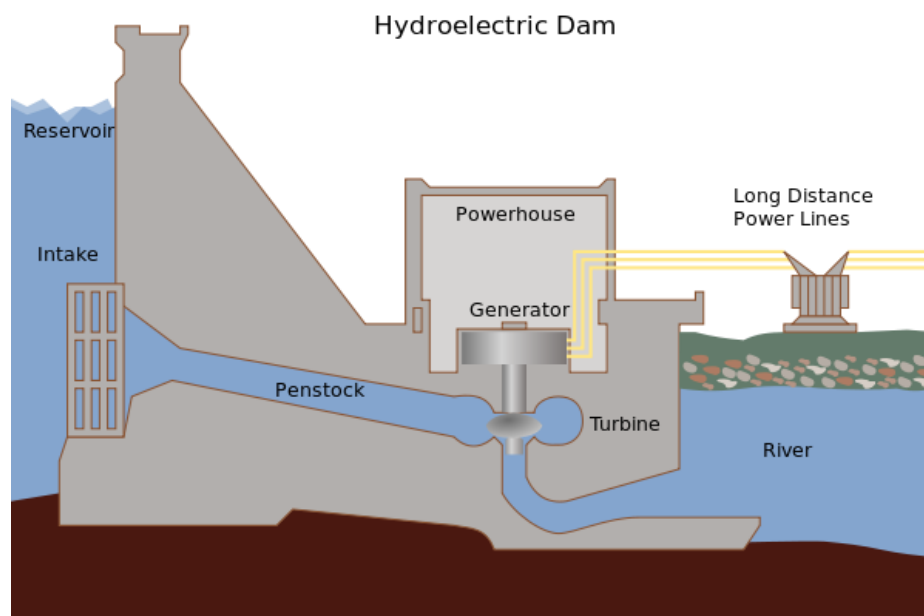
1.1 Υδραυλική ενέργεια.

Υδραυλική είναι η ενέργεια που στηρίζεται στην εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας της πτώσης και του μεγέθους παροχής του νερού η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί για χρήσιμους σκοπούς. Από τα βάθη των αιώνων ο άνθρωπος εκμεταλλευόταν αυτήν την μορφή ενέργειας με πολλαπλά είδη νερόμυλων και τη λειτουργία διαφόρων μηχανικών κατασκευών όπως μύλοι αλέσματος, πριονιστήρια, κλωστοϋφαντουργικά εργοστάσια, κ.α.. Η εκμετάλλευσή της δεν εξελίχθηκε ιδιαίτερα μέχρι την εμφάνιση, στις αρχές του 19ου 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 για πρώτη φορά 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. 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. 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 μιας και η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι ανανεώσιμη πηγή και προσφέρει πολλαπλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους άλλους τρόπους παραγωγής ενέργειας. [1] [2]

1.2 Εισαγωγή στα υδροηλεκτρικά έργα

Τα υδροηλεκτρικά έργα (ΥΗΕ) είναι οι σταθμοί παραγωγής στους οποίους η υδραυλική ενέργεια του νερού αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι η πρωταρχική χρήση της υδραυλικής ενέργειας του νερού σήμερα. 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 (run-of-the-river). Κατά τη 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 ενέργειας επαναδιοχετεύεται στην ροή του ρέματος ή ποταμού χωρίς καμία αλλοίωση.

Το μέγεθος των ΥΗΕ μπορεί να ποικίλει από μικρά μεγέθη για την τροφοδοσία μικρών κοινοτήτων (micro υδροηλεκτρικά) 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 [3]. 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. [4]



Εικόνα 1.2.1 Διατομή συμβατικού υδροηλεκτρικού φράγματος. [5]

1.3 Κατηγορίες Υδροηλεκτρικών έργων

Τα υδροηλεκτρικά έργα μπορούν να καταταχθούν 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.

1.3.1 Διαχωρισμός με βάση την ισχύ

Η πιο ουσιώδης κατηγοριοποίηση των υδροηλεκτρικών έργων στην Ελλάδα γίνεται με βάση την εγκατεστημένη ισχύ τους. Ως εγκατεστημένη ισχύς [6](Νόμος 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.

Στην Ελλάδα το όριο διάκρισης του μεγέθους των ΥΗΕ είναι τα 15MW [7]. Δηλαδή, τα έργα μικρότερης ισχύος από 15MW θεωρούνται μικρά υδροηλεκτρικά έργα (ΜΥΗΕ) και τα έργα με μεγαλύτερη ισχύ θεωρούνται μεγάλα ΥΗΕ(συχνά 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 εγκαταστημένη ισχύ 437MW [8].

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί μεγάλης κλίμακας θεωρούνται συχνά ως οι μεγαλύτερες μονάδες παραγωγής ενέργειας στον κόσμο, με ορισμένες υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις ικανές να παράγουν περισσότερο από το διπλάσιο των εγκατεστημένων δυνατοτήτων των σημερινών μεγαλύτερων πυρηνικών σταθμών. Το μεγαλύτερο ΥΗΕ στον κόσμο είναι το Three Gorges Dam στην Κίνα με εγκατεστημένη ισχύ 22.500 MW [9].

Τα ΜΥΗΕ στην Ελλάδα αναφέρονται σε ισχείς 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 χρησιμοποίησης 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 ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός των ΜΗΥΕ και κύρια οι υδροστρόβιλοι διατίθεται τυποποιημένοι από μεγάλο αριθμό κατασκευαστών με αποτέλεσμα σημαντικά μικρότερο κόστος και γρηγορότερο χρόνο παράδοσης σε σχέση με ένα μεγάλο ΥΗΕ. Παρά 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.

1.3.2 Διαχωρισμός με βάση το υδραυλικό ύψος

Τα ΥΗΕ μπορούν επίσης να διακριθούν 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 **H** επηρεάζει άμεσα τον τύπο του υδροστροβίλου που επιλέγεται για κάθε έργο. Έτσι όπως φαίνεται παρακάτω διακρίνουμε τα ΥΗΕ σε τρεις κατηγορίες με βάση την διαθέσιμη υδραυλική πτώση

Πίνακας 1.3.1 Χαρακτηρισμός ΥΗΕ με βάση το υδραυλικό ύψος [10]

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

Η παραγόμενη ισχύς ενός ΥΗΕ είναι ανάλογη με το γινόμενο της υδραυλικής πτώσης **H** (m) επί την παροχή του νερού **Q** (m³/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 για τις οποίες θα απαιτούνται μεγάλα έργα κατασκευής της υποδομής μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο. 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.

1.3.3 Διαχωρισμός με βάση την λειτουργία και τον σχεδιασμό

Σημαντικές διαφορές στον τρόπο λειτουργίας ενός ΥΗΕ υπάρχουν αν διαθέτει ή 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.

1.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υδροηλεκτρικών έργων-MYHE

Παρακάτω αναγράφουμε περιληπτικά τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας (Επίσης σημειώνεται τότε ένα από τα παρακάτω χαρακτηριστικά αφορούν μόνο ένα MYHE ή ένα μεγάλο YHE αποκλειστικά):

α)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 υποβαθμιζόμενων 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 YHE) μπορεί να οδηγήσει στην δημιουργία υγρότοπου.

β)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)

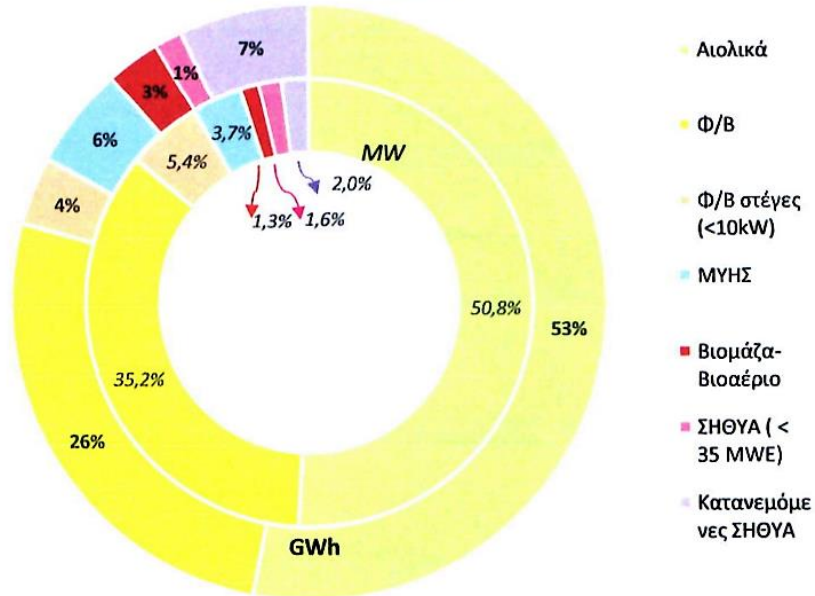
1.5 Υδροηλεκτρικά έργα και ενέργεια στην Ελλάδα

Σύμφωνα με στοιχεία του ΔΑΠΕΕΠ (πρώην ΛΑΓΗΕ) του Νοεμβρίου – Δεκεμβρίου 2019:

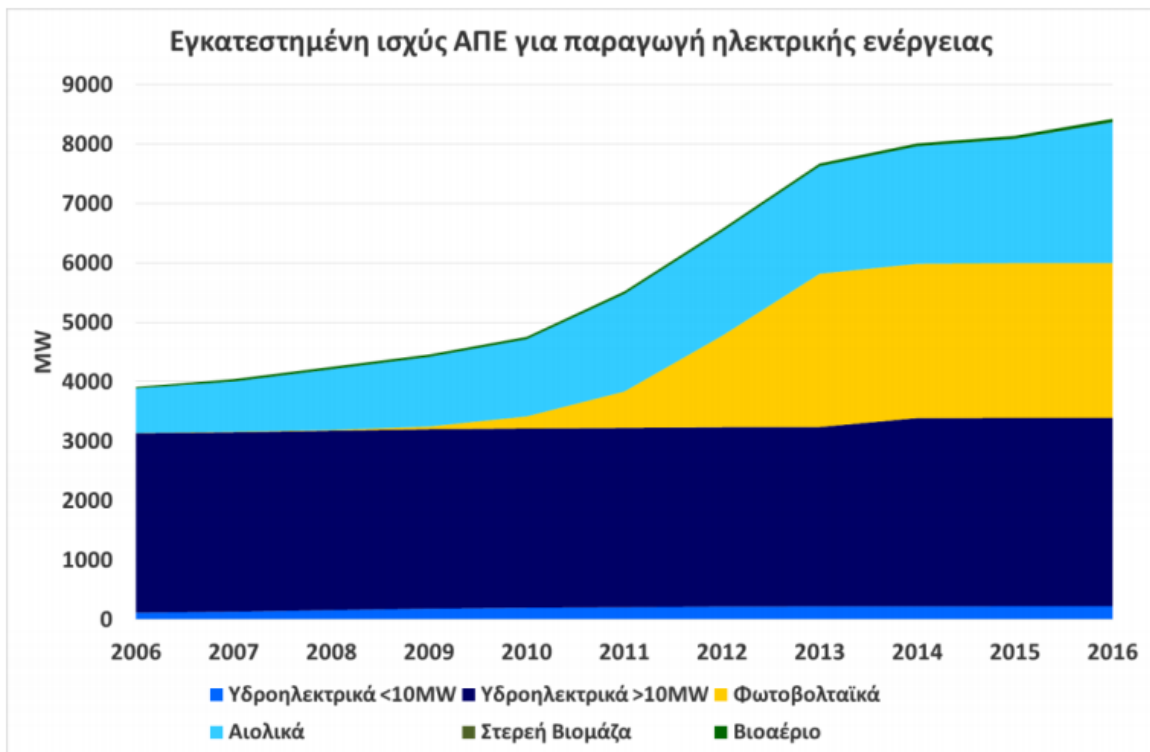
- Η εγκατεστημένη ισχύς μονάδων ΑΠΕ στο διασυνδεδεμένο σύστημα είναι 6.503MW εκ των οποίων τα 240MW (3,7%) προέρχονται από ΜΥΗΕ.
- Το 2015 παράχθηκαν από ΜΥΗΕ 12.398MWh
- Υπάρχουν 107 ΜΥΗΕ έργα σε λειτουργία στον ελλαδικό χώρο [11]

Ακολουθούν γραφήματα της εγκατεστημένης ισχύος και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τα διαφορά ήδη ΑΠΕ.

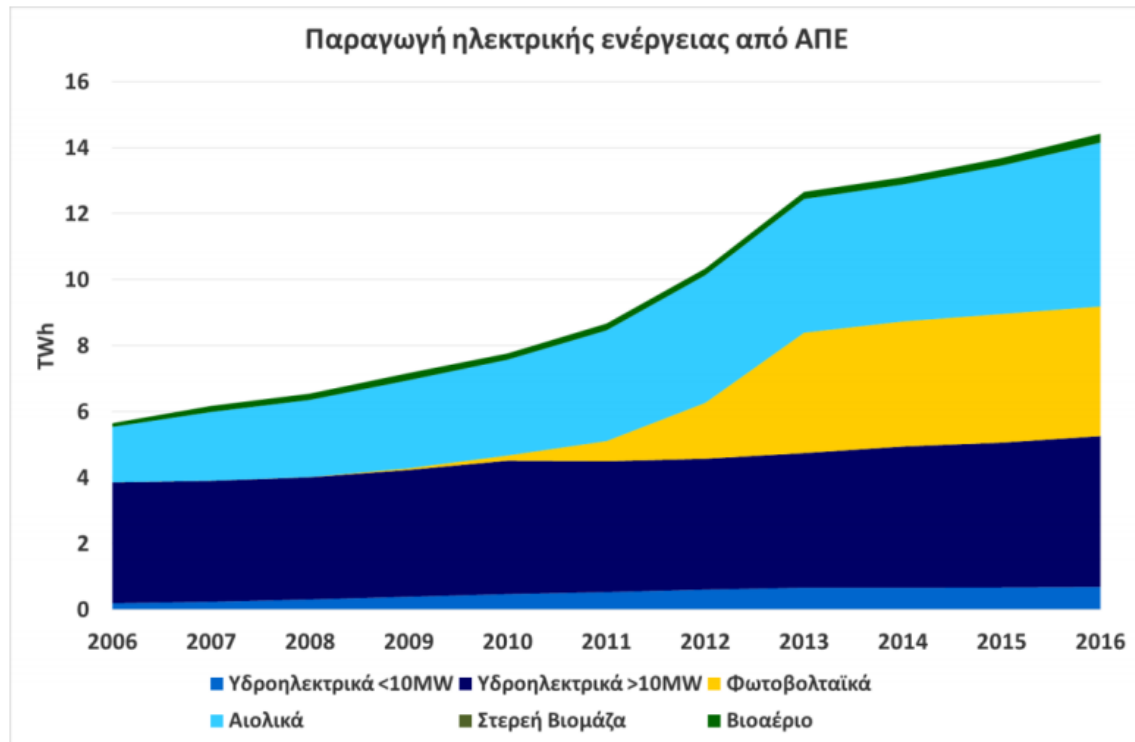
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW) ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (GWh) ΜΟΝΑΔΩΝ
ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ - ΕΤΟΣ 2019



Σχήμα 1.5.1 Εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ και παραγωγή ενέργειας το έτος 2019 [12]



Σχήμα 1.5.2 Εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [13]



Σχήμα 1.5.3 Παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ [13]

2. Παρουσίαση μεθοδολογίας εκπόνησης μελέτης ενός ΜΗΥΕ

Στα παρακάτω κεφάλαια θα γίνει αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας με την οποία μπορεί να κριθεί μια τοποθεσία κατάλληλη για την κατασκευή ενός ΜΗΥΕ και της μεθοδολογίας επιλογής των βασικών στοιχείων της εγκατάστασης που απαιτούνται για την αποτελεσματική και αποδοτική εκμετάλλευση της υδροδυναμικής ενέργειας.

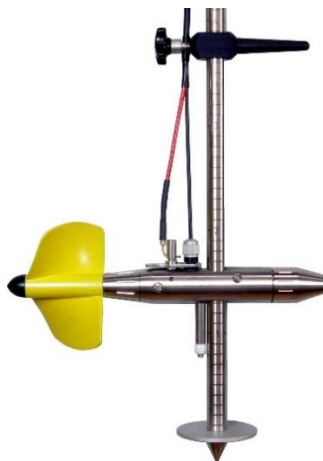
2.1 Επιλογή τοποθεσίας εγκατάστασης ενός ΜΥΗΕ βάσει υδρολογικών και τοπογραφικών στοιχείων

- Επιλογή της θέσης υδροληψίας, θέσης σταθμού παραγωγής και προσδιορισμός του ύψους πτώσης.
- Μέτρηση της παροχής στην διάρκεια της υδρολογικής χρονιάς και εκτίμηση των μελλοντικών πιθανών τιμών της.
- Χάραξη της καμπύλης διάρκειας διαθέσιμης παροχής για επιλογή της εγκατεστημένης ισχύος του έργου.

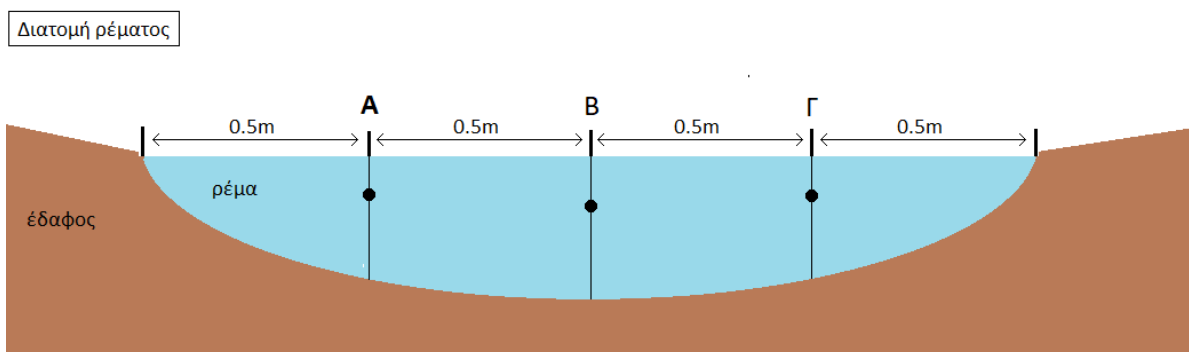
Θα αναφερθούμε κατωτέρω, αναλυτικά, πώς είναι δυνατό ένα ρέμα ή ποταμός να κριθεί κατάλληλο για την κατασκευή και λειτουργία ενός ΜΥΗΕ (Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου).

Για την επιλογή της τοποθεσίας κατασκευής ενός ΜΥΗΕ είναι απαραίτητη η επίσκεψη της περιοχής που είναι πιθανή θέση για ΜΥΗΕ και η διεξαγωγή απαραίτητων παρατηρήσεων και μετρήσεων. Γνωρίζοντας ότι σε κάποια τοποθεσία υπάρχει ρέμα ή ποταμός θα πρέπει να τον προσεγγίσουμε και να διαπιστώσουμε την παροχή αυτού (αν είναι μεγάλη ή μικρή) στις διάφορες εποχές του χρόνου. Το πιο σωστό είναι να πηγαίνουμε μια φορά τον μήνα και να μετράμε την παροχή.

Αυτό γίνεται με ένα ειδικό όργανο μέτρησης που ονομάζεται μυλίσκος το οποίο διαθέτει έλικα/φτερωτή η οποία προσανατολίζεται κάθετα της ροής του νερού (Εικόνα 2.1.1). Για ρέμα με μικρές παροχές χρειαζόμαστε ένα όργανο με μικρή διάμετρο φτερωτής ενώ για ένα ποτάμι είναι απαραίτητο ένα όργανο με μεγαλύτερη διάμετρο φτερωτής. Στο σημείο που επιθυμούμε να μετρήσουμε την παροχή του ρέματος ενεργούμε ως εξής: Ο μυλίσκος προσαρμόζεται σε ράβδο την οποία εμβαπτίζουμε σε διάφορα σημεία μίας επιλεγμένης διατομής μέσα στην κοίτη του ρέματος. Αν υποθέσουμε ότι το ρέμα έχει πλάτος 2 μέτρα, τότε με τον μυλίσκο παίρνουμε μετρήσεις ανά μισό μέτρο. Δηλαδή, στα σημεία Α, Β και Γ όπως φαίνεται παρακάτω (Σχήμα 2.1.2). 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 2/3 του μετρούμενου βάθους για να επιτυγχάνεται καλή ακρίβεια στην τελική τιμή της παροχής που θα υπολογίσουμε ως το γινόμενο των επιμέρους εμβαδών (m^2) και του μέσου όρου των ταχυτήτων στα άκρα κάθε χωρίου.



Εικόνα 2.1.1 Τυπικός Μυλίσκος [14]



Σχήμα 2.1.2 Μέτρηση διατομής ρέματος

Αυτές οι μετρήσεις είναι καλό να γίνουν όχι μόνο για μια υδρολογική χρονιά αλλά και για δεύτερη ή τρίτη (υδρολογική χρονιά λέγεται αυτή που ξεκινάει από 1^η Σεπτεμβρίου και τελειώνει στις 31 Αυγούστου του επόμενου έτους).

Το επόμενο βήμα αφού μείνουμε ικανοποιημένοι από την παροχή του ρέματος είναι να εντοπίσουμε το σημείο που μπορεί να γίνει η εγκατάσταση της υδροληψίας, δηλαδή του μικρού φράγματος που θα γίνει η εκτροπή του ρέματος ή ποταμού, ώστε το νερό να οδηγηθεί στον υδροηλεκτρικό σταθμό. Για να εντοπίσουμε το σημείο αυτό, κάνουμε πεζοπορία και ανάβαση δίπλα από την κοίτη του ρέματος μέχρι το σημείο που θα διαπιστωθεί ότι χωρίζεται σε δύο παραποτάμους και στο σημείο αυτό επιλέγουμε την θέση της υδροληψίας. Ευνόητο είναι ότι είτε συνεχίσουμε 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 κάνουμε μια μέτρηση του απολύτου υψόμετρου (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 GNSS (Global Navigation Satellite System) (Σχήμα 2.1.3) που έχει

εξαιρετικά μεγάλη ακρίβεια. Ας υποθέσουμε ότι το απόλυτο υψόμετρο της υδροληψίας είναι 750 μέτρα .



Εικόνα 2.1.3 Όργανο GNSS SPECTRE SP80 [15]

Έπειτα, αφού με αυτόν τον τρόπο επιλέξουμε την τοποθεσία της υδροληψίας, πρέπει να γίνει η επιλογή της τοποθεσίας του υδροηλεκτρικού σταθμού. Από το σημείο της υδροληψίας ακολουθούμε την κοίτη του ρέματος κατηφορικά για να συναντήσουμε την πιθανή τοποθεσία του σταθμού. Αυτό που μας ενδιαφέρει είναι μεταξύ υδροληψίας και σταθμού να έχουμε μια μεγάλη υψομετρική διαφορά. Μετά την κατάβαση της κοίτης του ποταμού σε μήκος ενός χιλιομέτρου σταματάμε και με ένα όργανο ακριβείας παίρνουμε πάλι μέτρηση του απολύτου υψόμετρου, (Ας υποθέσουμε ότι το απόλυτο υψόμετρο εκεί είναι περίπου 650 μέτρα, δηλαδή στο χιλιόμετρο μήκους κοίτης ρέματος έχουμε υψομετρική διαφορά (γεωδαιτικό ύψος) 100 μέτρα, η οποία θεωρείται αρκούντως καλή). Εάν είναι μικρή η υψομετρική διαφορά σε μήκος ενός χιλιομέτρου η εργασία μας γίνεται δυσκολότερη γιατί χρειάζεται να βαδίσουμε κατάντι σε όλο το μήκος του ρέματος για να διαπιστωθεί σε πιο χιλιόμετρο (μήκος διαδρομής) έχουμε την μεγαλύτερη υψομετρική διαφορά ανά χιλιόμετρο μήκους ρέματος. Άρα τελικά θα επιλέξουμε 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 επιθυμούμε να είναι η μέγιστη.

Ανάλογα με τους συνδυασμούς των υδραυλικών υψών και παροχών, που είναι δυνατόν να επιτευχθούν και έχουμε επιλέξει, υπολογίζεται η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς της εγκατάστασης και κρίνεται αν είναι επαρκής ή όχι για τη λειτουργία μιας υδροηλεκτρικής εγκατάστασης. Παρακάτω αναγράφουμε τους τύπους που περιγράφουν πώς εξάγεται η ισχύς σε ένα υδροηλεκτρικό έργο [10]:

$$P(kW) = g * H_n * Q * n_{ολ} * \rho \quad (2.1.1)$$

όπου:

P = Η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς λειτουργίας (kW).

- g = Η επιτάχυνση της βαρύτητας ($\approx 9,81 \text{ m/sec}^2$)
- H_n = Το καθαρό διαθέσιμο ύψος πτώσης (m)
- Q = Η διερχόμενη εκ του στροβίλου παροχή (m^3/s).
- $n_{ολ}$ = Ο ολικός βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης.
- ρ = Η πυκνότητα του νερού ($\approx 1.0 \text{ t/m}^3$).

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 επιλέξουμε με βάση την ισχύ του σταθμού που ακόμα δεν μας είναι γνωστή. Δηλαδή, θεωρούμε, έναν συνολικό βαθμό 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.

Ο συνολικός βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης εξαρτάται από τους βαθμούς απόδοσης των επιμέρους στοιχείων που την απαρτίζουν και ο οποίος υπολογίζεται ως εξής [10]:

$$n_{ολ} = n_{υδροστροβίλου} * n_{γεννήτριας} * n_{μετασχηματιστή} \quad (2.1.2)$$

Ακόμη, σημειώνεται, ότι ο βαθμός απόδοσης του υδροστροβίλου, αποτελείται και αυτός από επιμέρους βαθμούς απόδοσης και προκύπτει από την εξής σχέση [10]:

$$n_{υδροστροβίλου} = n_{μηχανικός} * n_{υδραυλικός} * n_{ογκομετρικός} \quad (2.1.3)$$

Περισσότερες πληροφορίες για τους παραπάνω βαθμούς απόδοσης μπορούμε να πάρουμε 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 μέγιστη τιμή ισχύος και ενέργειας (P,E) επιθυμούμε το μέγιστο γινόμενο $H_n * Q$

2.2 Υπολογισμός βασικών χαρακτηριστικών ΜΥΗΕ

2.2.1 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 που μετριέται επίσης σε μέτρα και προκύπτει λόγω των τυρβών και διαταραχών της ροής του νερού στο του αγωγού προσαγωγής και των λοιπών μερών του υδραυλικού προφίλ της εγκατάστασης. Σύμφωνα με την σχέση [10]:

$$H_n = H_g - H_f \quad (2.2.1)$$

όπου:

H_g = το γεωδαιτικό ύψος που υπολογίσαμε προηγουμένως από τις μετρήσεις υψομέτρου

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

2.2.2 Υπολογισμός απωλειών H_f

Οι απώλειες του αγωγού προσαγωγής δίνονται από τον τύπο Darcy – Weissbach.

Εξίσωση Darcy – Weissbach:

$$H_f = \lambda * L * c^2 / (d * 2 * g) \quad (2.2.2)$$

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

Εξίσωση White – Colebrook :

$$1 / (\lambda)^{1/2} = -2 * \log [2.51 / (Re * (\lambda)^{1/2}) + (\varepsilon / d_H) / 3.72] \quad (2.2.3)$$

Εξίσωση ορισμού αριθμού Reynolds:

$$Re = c * d_H / \nu \quad (2.2.4)$$

Εξίσωση μέσης ταχύτητας:

$$c = 4 * Q / (\pi * d^2) \quad (2.2.5)$$

όπου:

D = διάμετρος του αγωγού προσαγωγής (m)

ν = κινηματικό ιξώδες του νερού (περίπου $0.0000011 \text{ m}^2/\text{s}$)

Πίνακας 2.2.1 Ενδεικτικές τραχύτητες σωλήνων εμπορίου [10].

Υλικό	Κατάσταση	Απόλυτη τραχύτητα ϵ (mm)
Σωλήνες εξελάσεως (χωρίς ραφή) από γυαλί, χαλκό, ορείχαλκο, αλουμίνιο, ελαφρά κράματα, πλαστικό	νέος, τεχνητή λείανση	0 (λείος) έως 0,0015 περίπου
Χαλύβδινος εξελάσεως (άνευ ραφής)	Νέος	0,01 ... 0,05
Συγκολλητός χαλύβδινος (με ραφή)	-νέος -ελαφρά φθορά -έντονη φθορά	0,05 0,10 0,15 ... 0,2 έως 3,0
Χαλύβδινος ηλωτός (με καρφιά)	εξαρτάται από το είδος και την διάταξη των καρφιών	Από 1 έως 5 ή και περισσότερο (μέγιστο 10,0)
Γαλβανισμένος χυτοσίδηρος	Νέος	0,12 ... 0,15
Χυτοσίδηρος (ακατέργαστος)	Νέος	0,05
Χυτοσίδηρος συμπεριλαμβανομένων των εξαρτημάτων σύνδεσης (φλάντζες, σύνδεσμοι κλπ)	-νέος με εσωτερική επένδυση από ασφαλικό υλικό -νέος χωρίς επένδυση -ελαφρά φθορά -έντονη φθορά	0 έως 0,12 0,25 έως 0,15 έως 3,0
Ξύλο	νέος (η τραχύτητα αυξάνει με την ηλικία λόγω των εναποθέσεων)	0,2 ... 1,0
Αμιαντοτσιμέντο	Νέος	0 έως 0,1
Σκυρόδεμα	-νέος, οπλισμένο σκυρόδεμα με προσεκτικό επεξεργασία -νέος χωρίς επεξεργασία -οπλισμένο σκυρόδεμα με προσεκτική επεξεργασία μετά από λειτουργία μερικών ετών	0 έως 0,15 0,2 ... 0,8 0,2 ... 0,3 (ή περισσότερο)

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), θυροφράγματα κ.α..

Έπειτα από τα παραπάνω λαμβάνουμε το σύνολο των απωλειών H_f και μπορούμε να υπολογίσουμε το καθαρό ύψος πτώσης H_n .

2.2.3 Υπολογισμός ημερήσιων παροχών Q και Κατασκευή Καμπύλης διαρκείας παροχών

Η καμπύλη διαρκείας 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.

Για να την κατασκευάσουμε κάνουμε καθημερινά μετρήσεις της παροχής του ρέματος ή ποταμού. Άρα σε ένα έτος έχουμε 365 μετρήσεις. Αυτό είναι σημαντικό λόγω της σημαντικής διακύμανσης των υδατορευμάτων από ημέρα σε μέρα, 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 κάνουμε 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, άρα έχουμε 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. Τις μετρήσεις τις τοποθετούμε στο ορθοκανονικό σύστημα από την μεγαλύτερη στην μικρότερη και έτσι δημιουργούμε την καμπύλη διαρκείας. Ένα τυπικό διάγραμμα διάρκειας παροχής είναι το σχέδιο 2.2.2 σελ. 30)

2.2.4 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 μιας και θα θέλαμε ιδανικά 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.

Για την αναγωγή πρέπει να λάβουμε υπόψη τον λόγο του εμβαδού της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής προς το εμβαδόν της λεκάνης απορροής του ποταμού αναφοράς και τον αντίστοιχο λόγο των μέσων υψομέτρων των λεκανών απορροής. Για να υπολογίσουμε αυτούς τους λόγους πρέπει να χαράξουμε σε χάρτη τις λεκάνες απορροής του υπό μελέτη ρέματος και του ποταμού αναφοράς έτσι ώστε να υπολογίσουμε 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 (Εικόνα 2.2.1). Σε κάθε θέση του ποταμού αντιστοιχεί διαφορετική λεκάνη απορροής, η επιφάνεια της οποίας αυξάνει καθώς η μελετώμενη θέση μετακινείται κατάντη. [16]



Εικόνα 2.2.1 Υδροκρίτης μίας υδρολογικής λεκάνης απορροής [16]

Ο υπολογισμός βασίζεται σε μία προσεγγιστική εξίσωση της μορφής [17]:

$$Q_{\beta} = Q_{\alpha} * (Y_{\beta} * E_{\beta}) / (Y_{\alpha} * E_{\alpha}) \quad (2.2.6)$$

Τα μεγέθη Q_{β} , Y_{β} , E_{β} αφορούν την εξεταζόμενη λεκάνη και είναι αντίστοιχα η ζητούμενη παροχή, το μέσο υψόμετρο και η επιφάνεια της λεκάνης, ενώ τα μεγέθη Q_{α} , Y_{α} , E_{α} αφορούν τη λεκάνη αναφοράς και είναι αντίστοιχα η παροχή, το μέσο υψόμετρο και η επιφάνεια της λεκάνης.

2.2.5 Υπολογισμός οικολογικής παροχής

Αφού έχουμε εκτιμήσει τις διαθέσιμες μέσες ημερήσιες παροχές για να προχωρήσουμε στον υπολογισμό της εγκατεστημένης παροχής πρέπει να λάβουμε υπόψη την 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 ΦΕΚ 2464 τεύχος Β 3/12/08) [18] ορίζεται ως η μέγιστη παροχή εκ των τριών κατωτέρω αναφερόμενων περιπτώσεων:

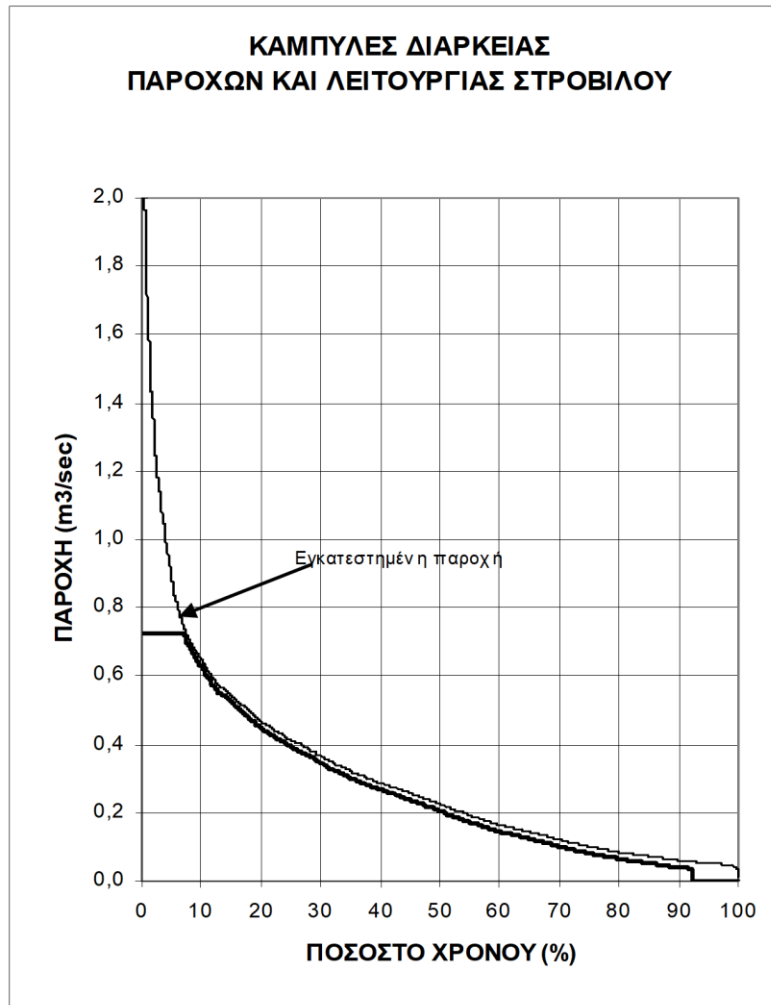
- 1) το 30% της μέσης παροχής των μηνών Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου
- 2) το 50% της μέσης παροχής του μηνός Σεπτεμβρίου
- 3) τουλάχιστον 30ℓ/s

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

2.2.6 Υπολογισμός εγκατεστημένης παροχής

Αφού αφαιρέσουμε την οικολογική παροχή από τις ημερήσιες παροχές σχεδιάζουμε την καμπύλη διάρκειας παροχών όπως περιγράψαμε ανωτέρω. Έπειτα με βάση αυτήν καθορίζουμε την πιθανή εγκατεστημένη παροχή. Για τεχνικοοικονομικούς λόγους τέμνουμε σε κάποια τιμή του χρόνου μεταξύ του 10% και 20% την καμπύλη διάρκειας παροχών (πχ στο 15%) και προβάλλουμε το σημείο της καμπύλης στον άξονα παροχών την οποία θεωρούμε και την εγκατεστημένη μας παροχή. (Συνεπώς θα προβάλλουμε την μέτρηση της 55^{ης} 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 βάσει 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 επιστρέψει τη δαπάνη αγοράς. Ομοίως εκ του αντιθέτου γίνεται εάν επιλέξουμε παροχή στο 40-50%.



Σχήμα 2.2.2 Τυπικό διάγραμμα διάρκειας παροχών και λειτουργίας στροβίλου

2.2.7 Υπολογισμός ενέργειας E

Για τον υπολογισμό της εκτιμώμενης ενέργειας E που θα μας παρέχει το ΜΥΗΕ σε διάρκεια ενός έτους θα πρέπει σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο για κάθε ημέρα του έτους με δεδομένη εκμεταλλεύσιμη παροχή να υπολογίσουμε την παραγόμενη ενέργεια. Έπειτα θα πρέπει να αθροίσουμε την παραγόμενη ενέργεια κάθε μέρας για να βρούμε την ενέργεια σε ένα έτος λειτουργίας.

$$E(kWh) = P * T \quad (2.2.7)$$

όπου: P = Η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς λειτουργίας (kW).

T = Ο χρόνος λειτουργίας σε ώρες (h)

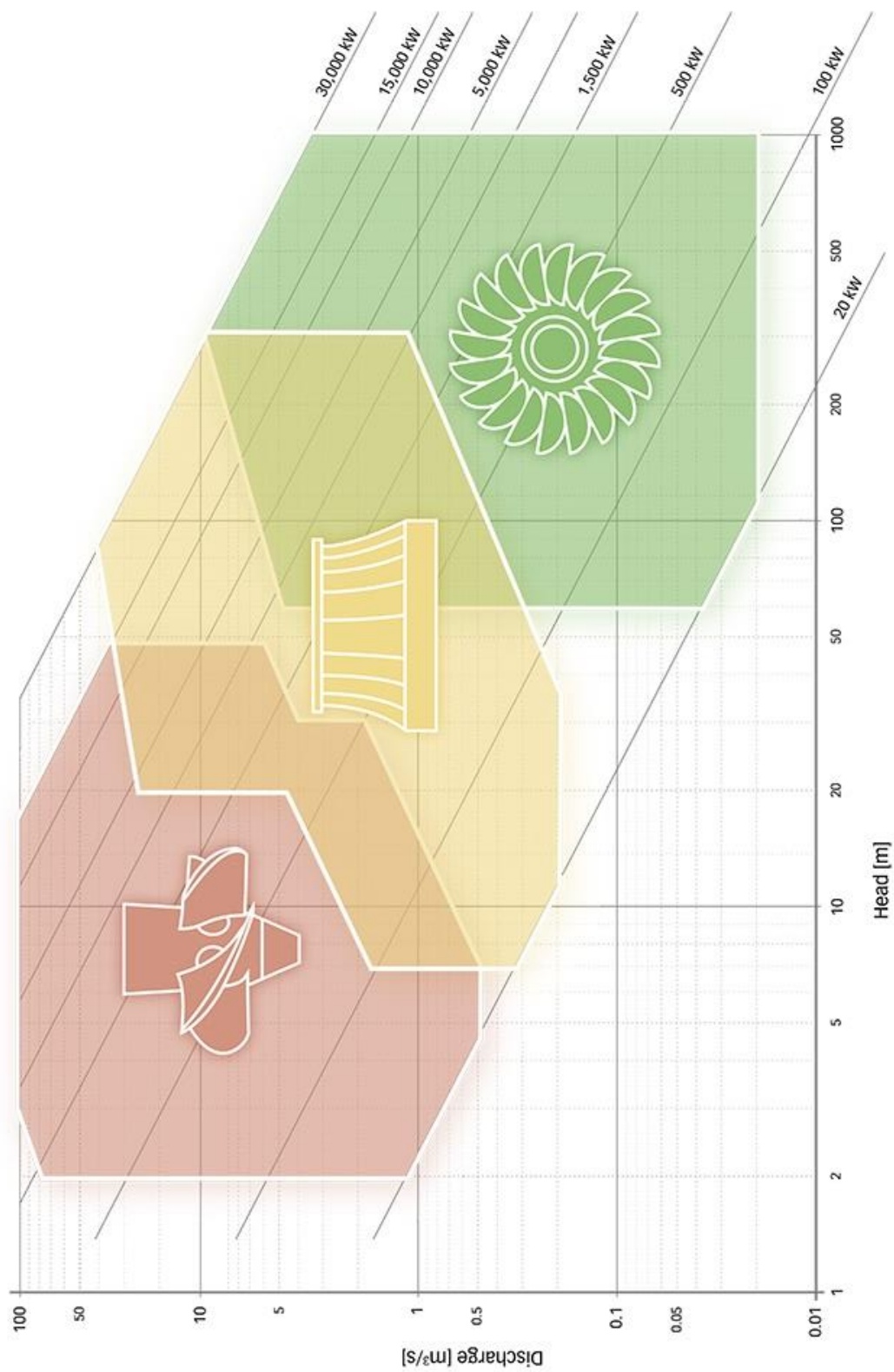
2.3 Μεθοδολογία επιλογής υδροστροβίλου

Ο υδροστροβίλος 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 διαμέσου των σκαφιδίων του στροφείου (runner) στα οποία ασκούνται δυνάμεις που ασκούν ροπή στον άξονά του, ο οποίος είναι συνεζευγμένος 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.

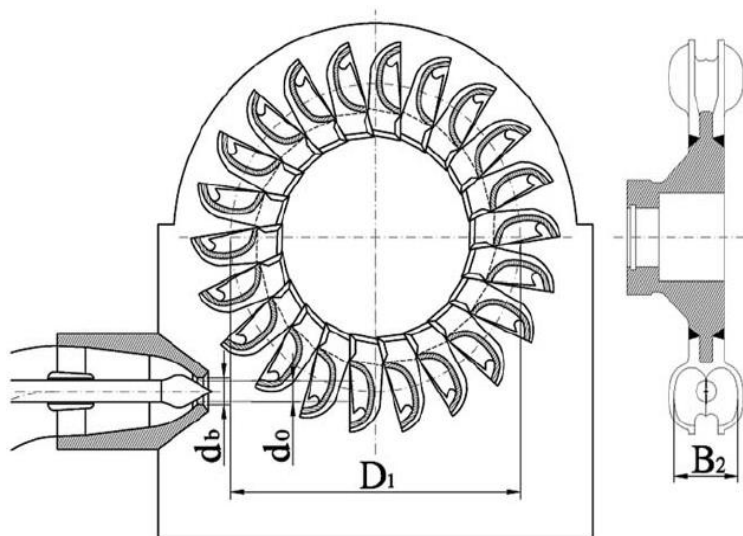
Οι βασικές παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή του υδροστροβίλου ενός ΜΥΗΕ είναι το καθαρό ύψος πτώσης **H_n** (μεταξύ υδροληψίας και υδροστροβίλου) και η μέγιστη εγκατεστημένη παροχή **Q**. Οι διάφοροι τύποι υδροστροβίλων έχουν διαφορετικές περιοχές λειτουργίας και για κάθε σημείο λειτουργίας διαφορετικό βαθμό απόδοσης. Η επιλογή του καταλλήλου υδροστροβίλου μας επιτρέπει την κατά το δυνατόν καλύτερη απόδοση στην μετατροπή της υδραυλικής ενεργείας σε μηχανική.

Για ύψος πτώσης μεγαλύτερο από 140-150m, χρησιμοποιούμε υδροστροβίλους τύπου Pelton. Χρησιμοποιούμε υδροστροβίλους Pelton κατακόρυφου άξονα μέχρι τα 170m και οριζοντίου άξονα για πάνω από 170m. Βεβαίως υδροστροβίλοι οριζοντίου άξονα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για όλα τα ύψη πάνω από 170m. Είναι προτιμότερο να επιλέξουμε κατακόρυφου άξονα σε σχέση με έναν οριζοντίου άξονα Pelton στα 140-170 μέτρα γιατί παρόλο ότι έχουν μεγαλύτερο κόστος έχουν πολύ καλύτερη απόδοση στα ανωτέρω ύψη. Για ύψος πτώσης κάτω από 150 μέτρα και ως 80-90 μέτρα χρησιμοποιούμε υδροστροβίλους τύπου Turgo ή Diagonal. Κάτω από τα 80 μέτρα και έως τα 35 μέτρα χρησιμοποιούμε υδροστροβίλους τύπου Francis ή Crossflow. Τέλος κάτω από 35 μέτρα χρησιμοποιούμε αποκλειστικά 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.

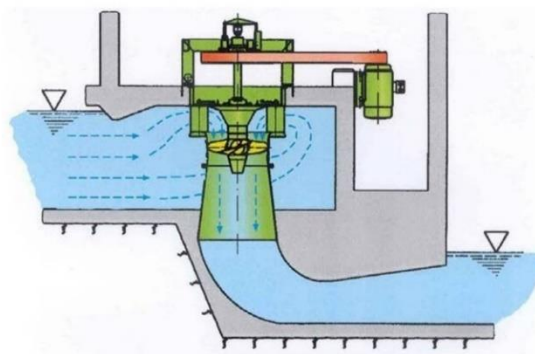
Συνήθως για την επιλογή του υδροστροβίλου χρησιμοποιούνται διαγράμματα (π.χ. Σχήμα 2.3.1) τα οποία εκδίδουν οι διάφορες κατασκευαστικές εταιρίες για συγκεκριμένους τύπους υδροστροβίλων που διαθέτουν μιας και η τυποποίηση που παρέχουν στις επιλογές προσφέρει μειωμένο κόστος ανάπτυξης και δοκιμών. Επίσης με την τυποποίηση επιτυγχάνεται η μείωση του χρόνου παράδοσης του υδροστροβίλου 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.



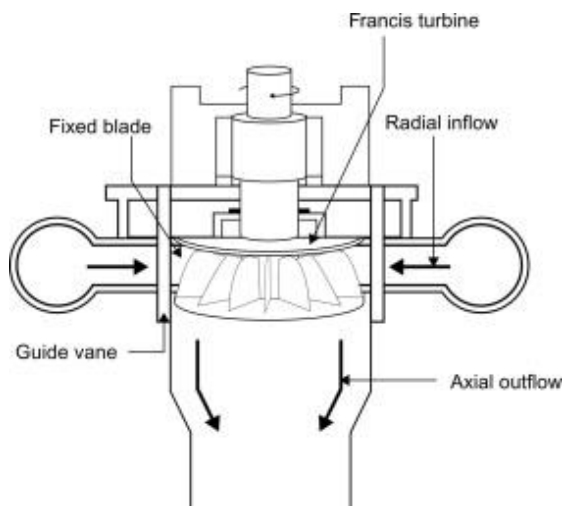
Σχήμα 2.3.1 Τυπικό διάγραμμα επιλογής υδροστροβίλου Pelton, Crossflow και Kaplan [19]



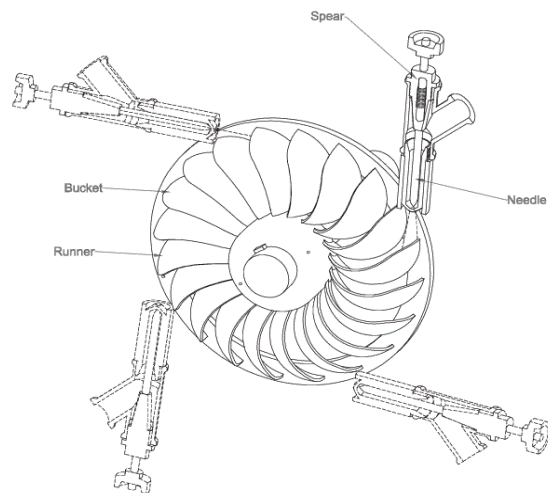
Σχήμα 2.3.2 Στρόβιλοι τύπου Pelton [20] [21]



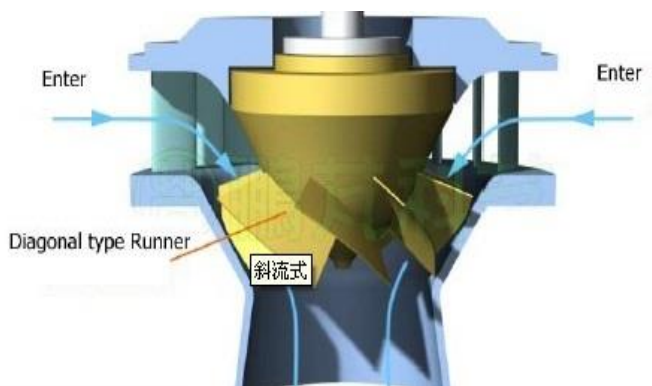
Σχήμα 2.3.3 Στρόβιλοι τύπου Kaplan [22] [23]



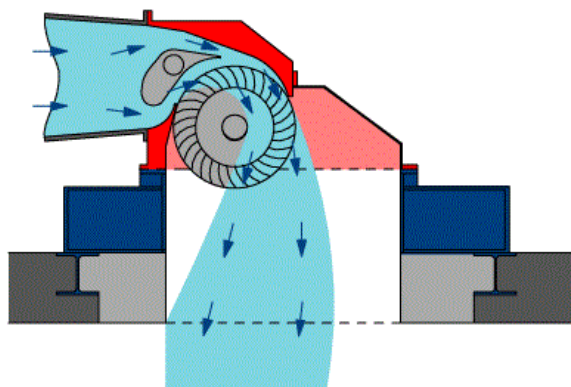
Σχήμα 2.3.4 Στρόβιλοι τύπου Francis [24] [25]



Σχήμα 2.3.5 Στρόβιλοι τύπου Turgo [26]



Σχήμα 2.3.6 Στρόβιλοι τύπου Diagonal [27] [28]



Σχήμα 2.3.7 Στρόβιλοι τύπου CrossFlow [28] [29]

2.4 Μεθοδολογία επιλογής γεννήτριας

2.4.1 Ισχύς γεννήτριας

Αφού επιλέξουμε έναν υδροστροβίλο, σύμφωνα με τον τύπο:

$$P = g \cdot p \cdot H \cdot Q \cdot n_{\text{υδροστροβίλου}} = 9.81 \cdot 1 \cdot H \cdot Q \cdot n_{\text{υδροστροβίλου}}$$

Υπολογίζουμε την ισχύ του υδροστροβίλου σε kW. Έστω ότι επιλέξαμε έναν υδροστροβίλο ισχύος 1000kW, η επιλογή της γεννήτριας γίνεται σε kVA. Ισχύει:

$$kW = kVA \cdot \cos\phi \Rightarrow kVA = kW / \cos\phi$$

Πρέπει να επιλέξουμε $\cos\phi$ το μικρότερο δυνατό που μπορεί ποτέ να λειτουργήσει ασφαλώς η γεννήτρια σύμφωνα με τον κατασκευαστή. Επιλέγουμε λοιπόν το $\cos\phi = 0.85$. Αρά η ισχύς της γεννήτριας στην προκείμενη περίπτωση για ισχύ υδροστροβίλου 1000kW θα είναι $1000kW / 0.85 \approx 1176kVA$. Άρα επιλέγουμε γεννήτρια με ισχύ ίση με 1250kVA. Παίρνουμε πάντα γεννήτρια με 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 διακρίνουμε δυο περιπτώσεις: την 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, έχουμε 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.

2.4.2 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 στρωφών είτε οριζόντιο γαναζωτό, είτε κατακόρυφο bevel gear. Με τον πολλαπλασιαστή είναι δυνατή η επίτευξη της ταχύτητας περιστροφής που είναι απαραίτητη για να έχουμε ρεύμα με βιομηχανική συχνότητα 50Hz στην έξοδο της γεννήτριας.

2.4.3 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 μικροαντόμετοι και οι αποξεύκτες 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 υπερδιαστασιολογηθεί η διατομή των καλωδίων (άρα πολύ ακριβότερα καλώδια) για να μην έχουμε 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.

2.5 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 ισχύος γεννήτριας 1250kVA, θα χρειαστούμε έναν μετασχηματιστή $1250/0.98=1276\text{kVA} \approx 1300\text{kVA}$. Όπως αναφέραμε παραπάνω ο Μ/Σ θα έχει Χ.Τ. στο πρωτεύον τύλιγμα και Υ.Τ. στο δευτερεύον, άρα 600V και 20kV. Άρα έχουμε 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.



Εικόνα 2.5.1 Μ/Σ τύπου ONAN

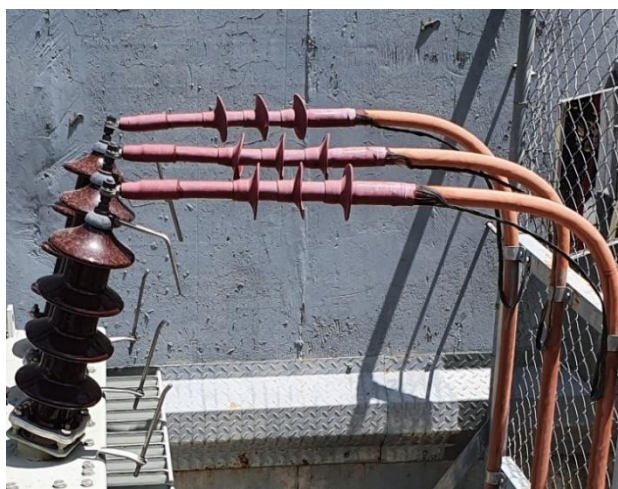
2.6 Μεθοδολογία επιλογής καλωδιώσεων Χ.Τ./Μ.Τ.

Σύμφωνα με τον τύπο $P=V \cdot I \cdot \sigma_{\text{συνφ}}$ μπορούμε να υπολογίσουμε την μέγιστη ένταση του ρεύματος I που διαρρέει τα καλώδια που συνδέουν την γεννήτρια με τον Μ/Σ. 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 κυκλοφορούν στην Ελλάδα συνήθως συμμορφώνονται με το πρότυπο ΕΛΟΤ 843:2016 [30]. Τα καλώδια ισχύος χαμηλής τάσης που χρησιμοποιούνται συνήθως για την σύνδεση γεννητριών με τον Μ/Σ είναι τύπου E1VV-S 1G120. Ο χαρακτηρισμός αυτός υποδεικνύει σύμφωνα με το παραπάνω πρότυπο ότι πρόκειται για καλώδια μονοπολικά, ονομαστικής τάσης 600/1000V με πολύκλωνο δύσκαμπτο στρογγυλό χάλκινο αγωγό, διατομής 120mm², μόνωση αγωγού και μανδύα PVC, χωρίς οπλισμό. Τα καλώδια αυτά είναι κατάλληλα και για χρήση σε εξωτερικούς χώρους.



Εικόνα 2.6.1 Σύνδεση Μ/Σ με πολλαπλά καλώδια τύπου E1VV-S 1G120

Παρομοίως για την σύνδεση του Μ/Σ με το δίκτυο διανομής υπολογίζουμε την ηλεκτρική ένταση I που θα διέρχεται από καλώδια μέσης τάσης σύμφωνα με την ισχύ και την τάση εξόδου (20kV) του Μ/Σ που επιλέξαμε. Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται είναι τύπου XPLE κόκκινο καλώδιο (cross-linked polyethylene) και για τον υπολογισμό της διατομής τους πρέπει να λάβουμε υπόψη την απόσταση μεταξύ Μ/Σ και δικτύου διανομής.



Εικόνα 2.6.2 Σύνδεση Μ/Σ με κόκκινο καλώδιο τύπου XPLE

2.7 Μεθοδολογία επιλογής πινάκων ισχύος MT, XT

Ο σταθμός συνδέεται με το δίκτυο της ΔΕΔΔΗΕ 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 ΔΕΔΔΗΕ. 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 διάφορα διακοπτικά στοιχεία και οι προστασίες που περιλαμβάνονται φαίνονται σε ένα τυπικό μονογραμμικό σχέδιο ενός σταθμού (όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.8.1). καθώς και στην τεχνική περιγραφή του. Ο χειρισμός των παραπάνω στοιχείων μπορεί να γίνεται 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.

Οι πίνακες ισχύος χαμηλής τάσης που χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις με παροχές ρευμάτων άνω των 630Α πρόκειται για πίνακες τύπου πεδίων. Τέτοιοι πίνακες συντίθενται από ειδικά κατασκευασμένες ντουλάπες από χαλύβδινη λαμαρίνα, τοποθετημένες η μία δίπλα στην άλλη. Οι πίνακες πεδίων είναι από εμπρός παντού κλειστοί και διαθέτουν πόρτα που ανοίγει για την εγκατάσταση και συντήρηση των εσωτερικών στοιχείων τους. Η εγκατάσταση των κυρίων διακοπτικών στοιχείων γίνεται συχνά με συρόμενη κατασκευή με σύστημα ρευματοδότη-ρρευματολήπτη στο πίσω μέρος. Η είσοδος των καλωδίων παροχών και καταναλώσεων γίνεται από το κάτω μέρος της κατασκευής. Στη πρόσοψή τους συχνά διαθέτουν ενδεικτικά όργανα εποπτείας και χειρισμού των λειτουργιών τους.



Εικόνα 2.7.1 Πίνακας Χ.Τ. με 2 πεδία και συρταρωτός διακόπτης ισχύος [31]

Οι πίνακες μέσης τάσης αποτελούνται από ειδικά διαμορφούμενες κυψέλες που λέγονται και πεδία. Όλες οι αναχωρήσεις των καλωδίων και τα μέσα ζεύξης και προστασίας Μ.Τ. εγκαθίστανται μέσα στις κυψέλες. Οι κυψέλες έχουν τρία τμήματα. Στο χαμηλότερο τοποθετούνται τα στοιχεία αναχώρησης ή άφιξης π.χ. καλώδια, ασφάλειες, αποζεύκτες, γειωτές. Το δεύτερο τμήμα αποτελείται από τους ζυγούς και το τρίτο περιέχει τα όργανα και τους ηλεκτρονόμους. Τα τοιχώματα των κυψελών είναι κατασκευασμένα από χαλύβδινη λαμαρίνα πάχους 1.5-3mm ώστε να είναι στιβαρά και να αντέξουν στην θερμότητα που μπορεί να δημιουργηθεί από πλήγμα ηλεκτρικού τόξου. Στην εμπρόσθια πλευρά του πίνακα βρίσκονται οι διακόπτες χειρισμού και τα όργανα ένδειξης και σήμανσης. Επίσης στην πρόσοψη των κυψελιδών υπάρχει σχεδιασμένο το μονογραμμικό διάγραμμά τους.



Εικόνα 2.7.2 Διακόπτης ισχύος SF6 [32]



Εικόνα 2.7.3 Πίνακας μέσης τάσης με 3 κυψέλες

2.8 Επιλογή βοηθητικών κυκλωμάτων

Τα βοηθητικά κυκλώματα εγκαθίστανται στους πίνακες χαμηλής τάσης του ΜΥΗΕ ή στους πίνακες αυτοματισμού. Τα βοηθητικά κυκλώματα κυρίως αφορούν τα σήματα ελέγχου που λαμβάνουμε από την λειτουργία των ακροφυσίων του στροβίλου, των εκτροπέων αυτών, από το σταθμήμετρο 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.

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 ($\cos\varphi$).
- 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

- H/N υπερέντασης

Οι H/N προστασίας επενεργούν στον διακόπτη μέσης τάσης του ΥΗΣ.

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

- H/N υπερέντασης και βραχυκυκλώματος
- H/N διαρροής προς γη

Και επίσης οι προστασίες του μετασχηματιστή:

- H/N Boucholz

➤ Για την προστασία της μονάδας εγκαθίστανται οι εξής H/N προστασίες:

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

Οι πιο πάνω H/N προστασίες της μονάδας θα επενεργούν απευθείας στον διακόπτη της μονάδας (χαμηλής τάσης).

2.9 Σύστημα Τηλεχειρισμού

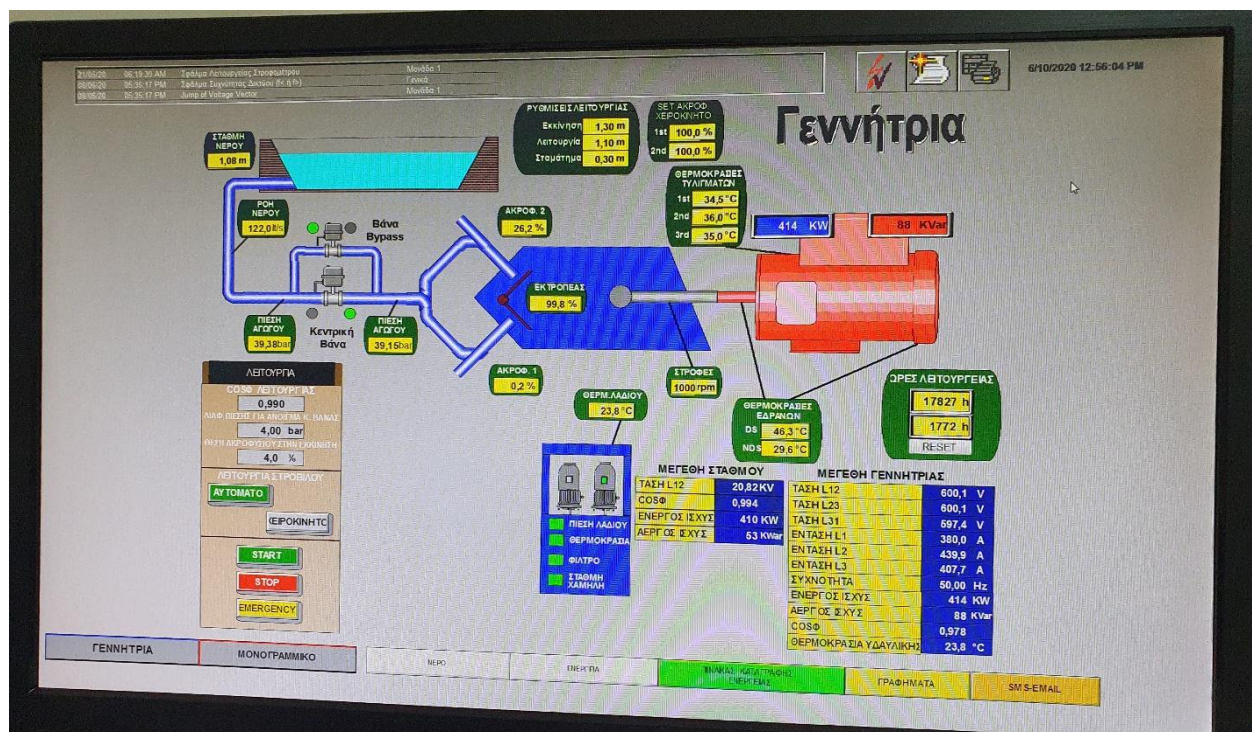
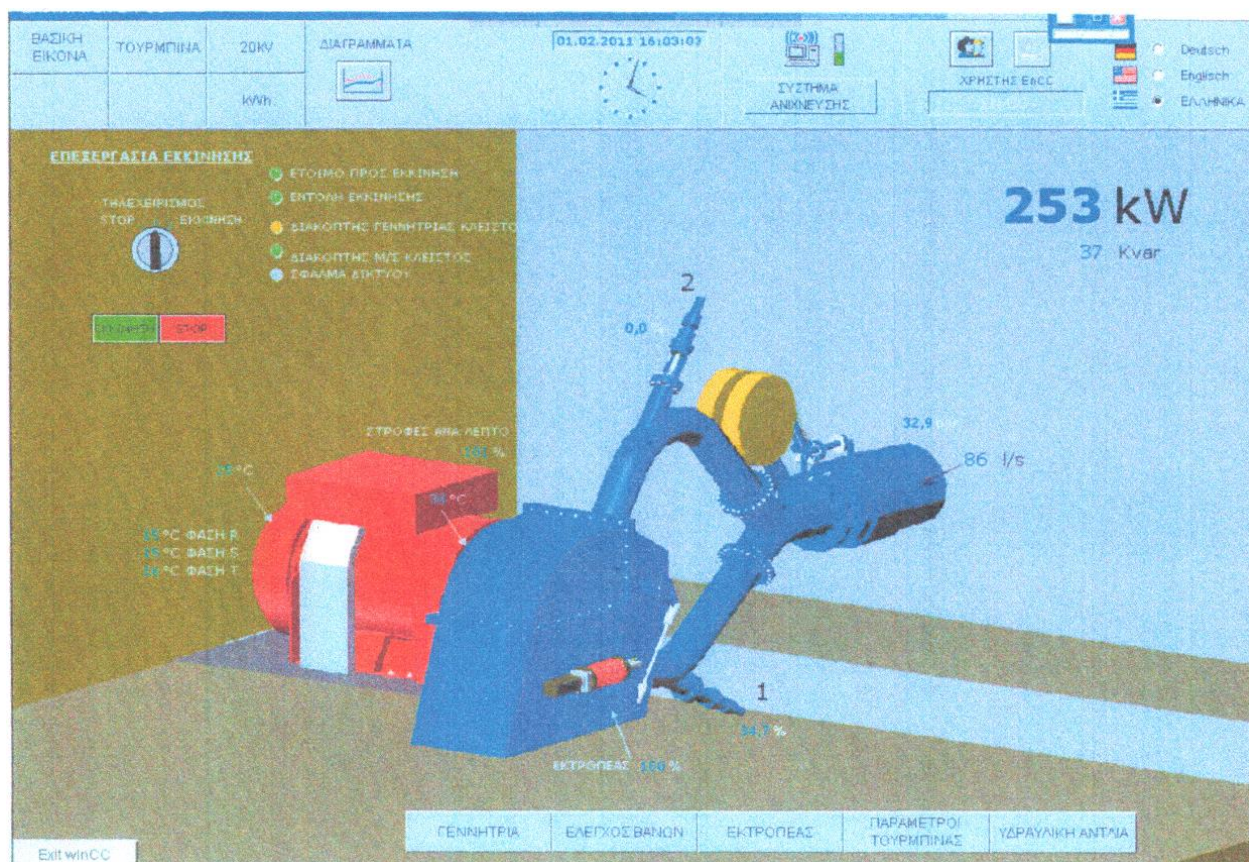
Τα μικρά υδροηλεκτρικά εργοστάσια λειτουργούν αυτόματα και μπορούν να λειτουργήσουν με τηλεχειρισμό (remote control από μακρόθεν). Με αυτόν τον τρόπο δεν απαιτείται να υπάρχει προσωπικό στον χώρο του σταθμού σε μόνιμη βάση. Ο τηλεχειρισμός μπορεί να επέμβει στο υφιστάμενο σύστημα SCADA (supervisory control 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 (όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.9.1 σελίδα 44). Κατωτέρω αναφέρουμε 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 σταμάτημα 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.

Στο σημείο αυτό θα αναφέρουμε τις κύριες εργασίες του συντηρητή του σταθμού που γίνονται επί τόπου: Καθαρισμός των σχαρών της υδροληψίας και του εξαμμοτή, άνοιγμα και κλείσιμο των θυροφραγμάτων καθαρισμού, καθαρισμός της ιχθυόσκαλας αν υπάρχει, λίπανση των εδράνων της γεννήτριας του σταθμού σε περιοδική βάση, καθαρισμός των φίλτρων λαδιού στην υδραυλική μονάδα, συμπλήρωμα λαδιού, έλεγχος διαρροής νερού σε όλες τις ενώσεις των σωληνώσεων εντός της μονάδας (πχ κύρια βαλβίδα, φλαντζωτές συνδέσεις, βάνα)



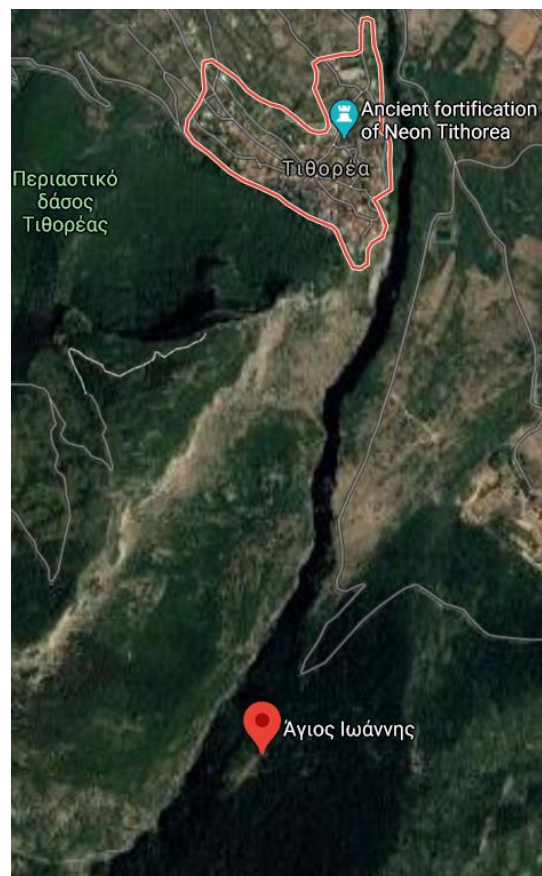
Εικόνα 2.9.1 Τυπικά εικονικά περιβάλλοντα συστήματος SCADA

3. Μελέτη και σχεδιασμός ΜΥΗΕ στο ρέμα «Ξεριές» στην Τιθορέα Φθιώτιδας

Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγράψουμε τις ενέργειες που έγιναν προκειμένου να εκπονηθεί η μελέτη για το ΜΥΗΕ Βελίτσα στο ρέμα Ξεριές στον Δήμο Αμφίκλειας -Ελάτειας της Περιφερειακής Ενότητας Φθιώτιδας.

3.1 Επίσκεψη της τοποθεσίας και λήψη μετρήσεων

Γνωρίζοντας ότι στην παραπάνω περιοχή υπάρχει ρέμα σημαντικής ροής έγινε επίσκεψη στον χώρο με τα απαραίτητα όργανα μέτρησης για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του ρέματος και τον καθορισμό της τοποθεσίας κατασκευής του έργου, όπως: την παροχή του ρέματος, την θέση της υδροληψίας, την θέση του σταθμού, το μήκος και την διαμόρφωση του αγωγού προσαγωγής. Η επίσκεψη έγινε στις 6 Ιουνίου 2020. Πήγα στο χωριό Τιθορέα μαζί με τον υπεύθυνο υδρολογικών μετρήσεων της εταιρίας NANKO ENERGEIA ABETE και μέσω χωματόδρομου προσεγγίσαμε το εκκλησάκι του Αγίου Ιωάννη(εικόνα 3.1.1) που βρίσκεται πλησίον του ρέματος Ξεριές. Έπειτα μέσω μονοπατιού προσεγγίσαμε την κοίτη του ρέματος και κάναμε τις πρώτες μετρήσεις της παροχής όπως περιγράφονται στο παρακάτω κεφάλαιο.



Εικόνα 3.1.1 Τοποθεσία ρέματος Ξεριές και εκκλησίας Αγίου Ιωάννη [33]

3.1.1 Επιλογή σημείου υδροληψίας

Κατά την αρχική επίσκεψη της τοποθεσίας του ρέματος σύμφωνα με την διαδικασία που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 2.1 μετρήσαμε με μυλίσκο την σημειακή ταχύτητα της ροής του ρέματος. Στην φωτογραφία 3.1.3 φαίνεται η εκτέλεση της μέτρησης. Έπειτα με την μεθοδολογία που έχει περιγραφεί προηγουμένως και λαμβάνοντας υπόψη την διατομή του ρέματος στο σημείο της μέτρησης, υπολογίστηκε η παροχή στα 140lt/s, η οποία κρίθηκε ικανοποιητική για την συνέχιση της διερεύνησης της πιθανής εγκατάστασης ΜΥΗΕ. Οι υπολογισμοί της παροχής φαίνονται στον πίνακα 3.1.1 .



Εικόνα 3.1.2 Μυλίσκος μάρκας Valeport τύπου BFM002 που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις



Εικόνα 3.1.3 Μέτρηση παροχής με μυλίσκο στο ρέμα Ξεριές

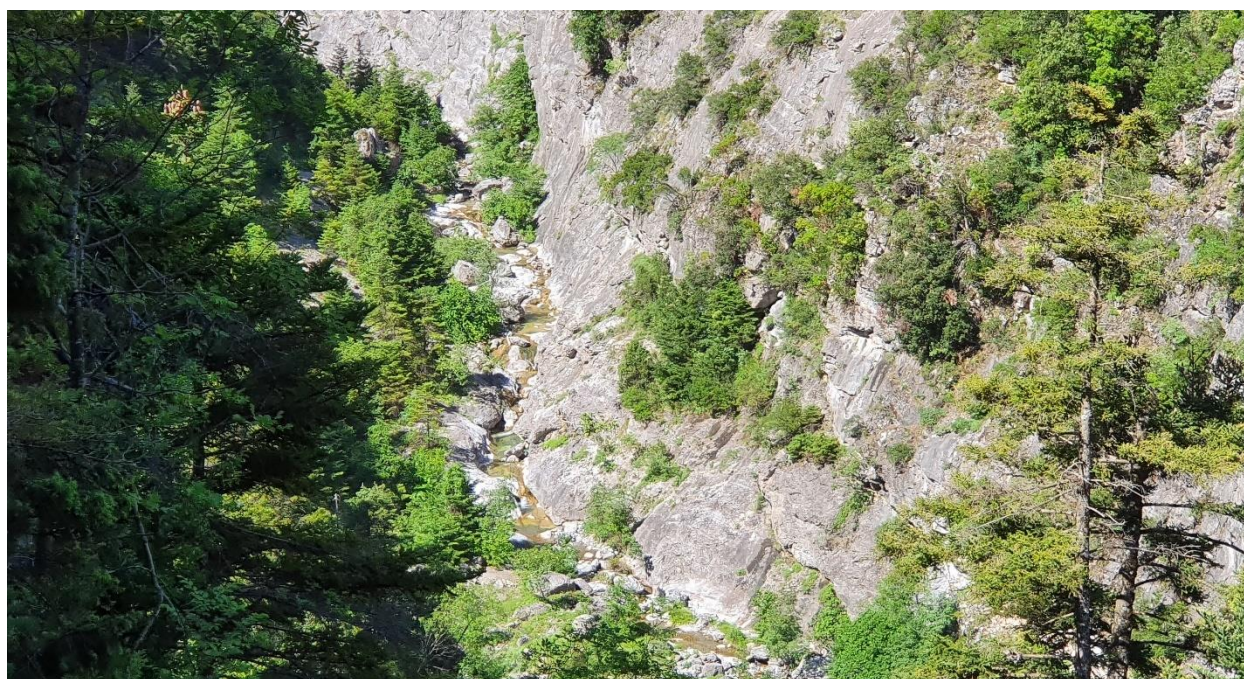
Πίνακας 3.1.1 Υπολογισμός παροχής βάσει των μετρήσεων του μυλίσκου

Μέτρηση ταχύτητας (m/s)	Βάθος ρέματος στο σημείο μέτρησης (m)	Εμβαδό χωρίων του ρέματος (m ² /s)	Μέση ταχύτητα χωρίων (m/s)	Παροχή χωρίων (lt/s)	Συνολική παροχή (lt/s)
0.775	0.3	0.030	0.387	11.62	113.22
0.903	0.3	0.105	0.839	88.06	
		0.030	0.451	13.54	

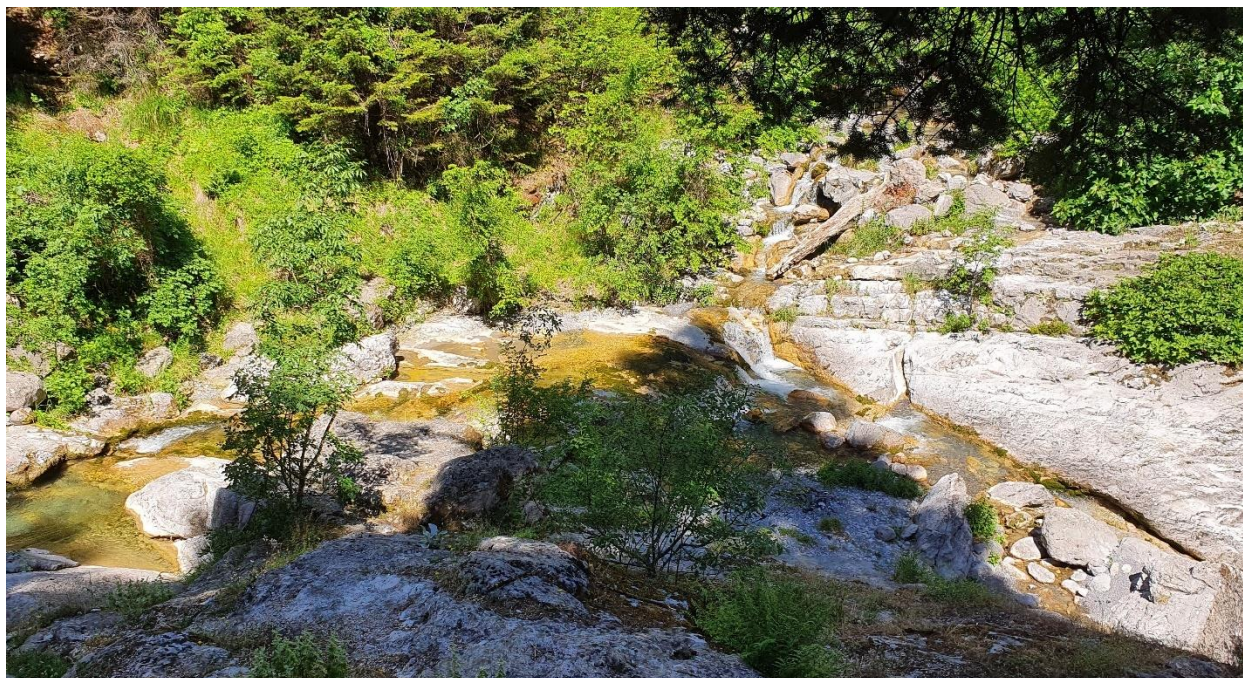
Στην συνέχεια ακολουθήσαμε την κοίτη του ρέματος προς τα πάνω μέχρι να συναντήσουμε το σημείο που το ρέμα χωρίζεται σε δυο παραποτάμους. Εκεί έγινε μέτρηση των συντεταγμένων θέσης και απόλυτου υψόμετρου με όργανο GPS. Αυτό το σημείο επιλέχθηκε για την κατασκευή της υδροληψίας εκτροπής του ρέματος. Εκεί το νερό θα συλλέγεται και μέσω εξαμωτή θα οδηγείται με τον αγωγό προσαγωγής στον Υδροηλεκτρικό Σταθμό Παραγωγής.

- Το απόλυτο υψόμετρο στην πιθανή θέση κατασκευής της υδροληψίας είναι 727 m.
Οι συντεταγμένες της στο σύστημα ΕΓΣΑ'87 είναι: X = 382957, Y = 4268547

Ακολουθούν φωτογραφίες του σημείου υδροληψίας που τράβηξα κατά την προσέγγιση του ρέματος μέσω του μονοπατιού και του σημείου ελαφρώς ψηλότερα που φαίνεται το ρέμα Ξεριές να χωρίζεται σε δυο μικρότερα ρέματα.



Εικόνα 3.1.4 Φωτογραφία σημείου υδροληψίας από ψηλά



Εικόνα 3.1.5 Ένωση δυο παραποτάμων στο ρέμα Ξεριές

3.1.2 Επιλογή σημείου εγκατάστασης σταθμού

Στην συνέχεια ακολουθήσαμε την κοίτη του ποταμού κατηφορικά για να βρούμε την πιθανή θέση εγκατάστασης του Υδροηλεκτρικού Σταθμού Παραγωγής. Είναι επιθυμητό να επιλέξουμε ένα σημείο με αρκετά χαμηλότερο υψόμετρο από το υψόμετρο της υδροληψίας και ταυτόχρονα να μην απομακρυνθούμε υπερβολικά σε μήκος από αυτήν. Καλούμαστε δηλαδή να βρούμε την χιλιομετρική απόσταση μήκους κοίτης στην οποία ο λόγος υψομετρική διαφορά προς απόσταση γίνεται μέγιστος. Επίσης πρέπει να λάβουμε υπόψιν την δυσκολία της εγκατάστασης ενός σταθμού στην περιοχή που θα επιλέξουμε. Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν, σταματήσαμε σε απόσταση περίπου 2,7 km κατάντι της υδροληψίας και διερευνήσαμε τη θέση εγκατάστασης του υδροηλεκτρικού σταθμού (ΥΗΣ). Κατάντι της θέσης αυτής του ΥΗΣ η κλίση του εδάφους μειωνόταν σημαντικά. Εκεί έγινε λήψη μέτρησης του απόλυτου υψόμετρου και των συντεταγμένων της τοποθεσίας εγκατάστασης του σταθμού.

- Το απόλυτο υψόμετρο στη πιθανή θέση κατασκευής του ΥΗΣ είναι +486 m.
Οι συντεταγμένες της στο σύστημα ΕΓΣΑ'87 είναι: $X = 384071$, $Y = 4270778$

Ακολουθεί φωτογραφία που τράβηξα στο πιθανό σημείο εγκατάστασης του σταθμού.



Εικόνα 3.1.6 Τοποθεσία εγκατάστασης ΥΗΣ

Από τις προηγούμενες μετρήσεις υψομέτρων μπορούμε να υπολογίσουμε το γεωδαιτικό ύψος της υδατόπτωσης:

$$H_g = 727 - 486 = 241 \text{ m} \quad (3.1.1)$$

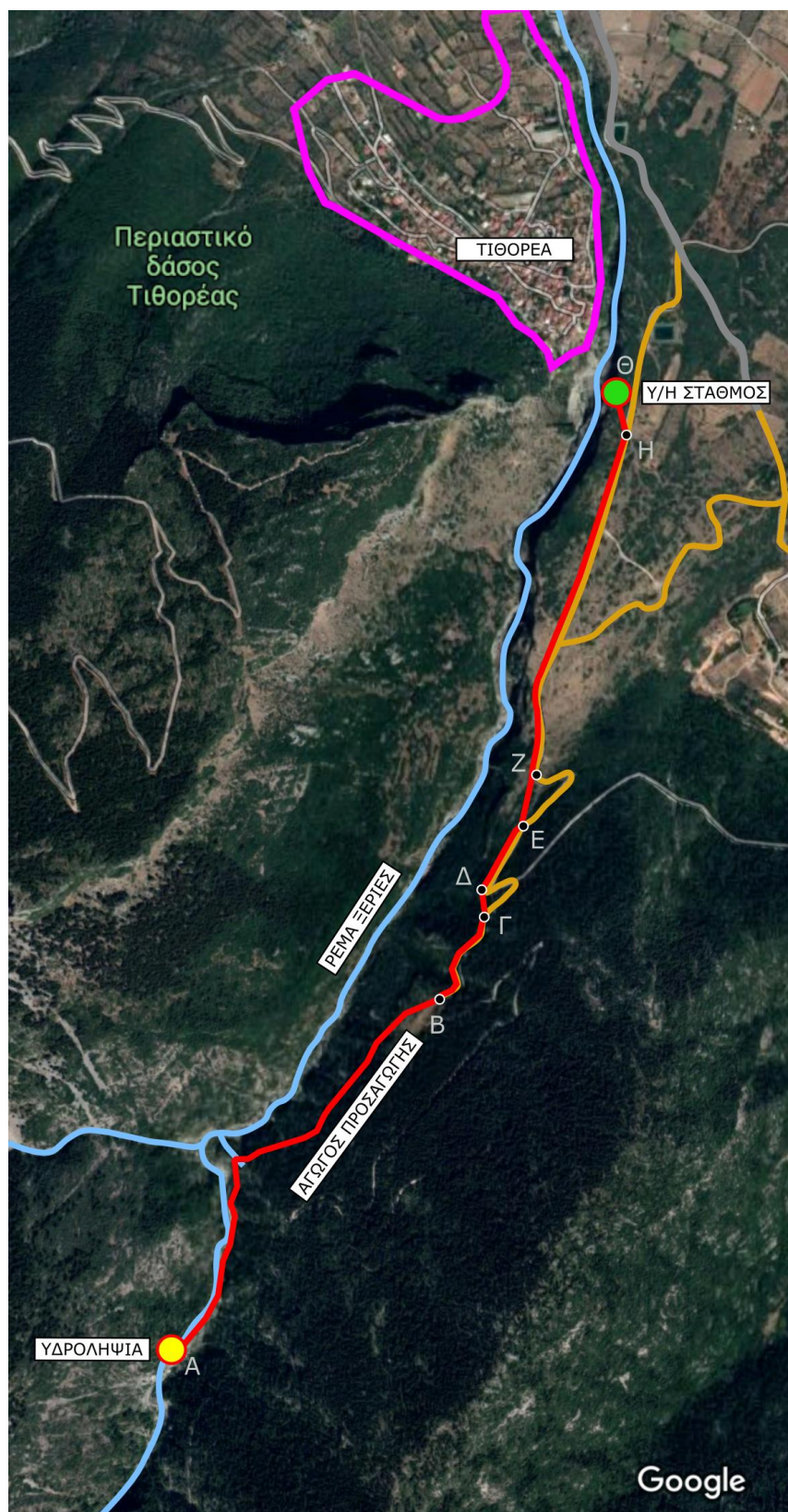
Το παραπάνω γεωδαιτικό ύψος της υδατόπτωσης κατατάσσει το ΜΥΗΕ Βελίτσας στα ΥΗΕ μεγάλου ύψους, μιας και είναι μεγαλύτερο των 150 μέτρων. Το μήκος της κοίτης του ρέματος μεταξύ της υδροληψίας και του σταθμού παραγωγής είναι 2.735m περίπου.

Σε χάρτη έγινε χάραξη της διαδρομής που θα πρέπει να ακολουθήσει ο αγωγός προσαγωγής που θα ενώνει το σημείο της υδροληψίας με τον υδροηλεκτρικό σταθμό και υπολογίστηκε το μήκος του. Το μεγαλύτερο μήκος του αγωγού θα βρίσκεται πλευρικά χωματόδρομου που οδηγεί στο εκκλησάκι Άγιου Ιωάννη(Σημείο Β στον Χάρτη 3.1.7). Από το εκκλησάκι μέχρι την υδροληψία(τμήμα ΑΒ(1.173m)) κατά την υλοποίηση του έργου θα πρέπει να ανοιχτεί ένας χωματόδρομος όπου θα τοποθετηθεί ο αγωγός προσαγωγής και θα είναι η μόνιμη οδοποιία πρόσβασης στην υδροληψία. Το μήκος του αγωγού προσαγωγής θα είναι περίπου 2.712 m. Το μήκος του αυτό μας είναι χρήσιμο στον υπολογισμό των υδραυλικών απωλειών H_f .

Ο αγωγός όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1.7 αποτελείται επίσης από τα τμήματα ΒΓ ως ΗΘ:

- Τα τμήματα ΒΓ(257m), ΔΕ(200m) και ΖΗ(888m) του αγωγού θα τοποθετηθούν σε υπάρχοντα χωματόδρομο.
- Τα τμήματα ΓΔ(53m) και ΕΖ(80m) του αγωγού θα τοποθετηθούν σε νέα προσωρινή οδοποιία για την διέλευση του αγωγού. Ο αγωγός δεν θα ακολουθήσει την πορεία του δρόμου σε αυτά τα σημεία για την αποφυγή της αύξησης των απωλειών λόγω των αποτόμων αλλαγών κατεύθυνσης σε αυτά τα σημεία.
- Το τμήμα ΗΘ(61m) του αγωγού θα αποτελεί επίσης νέα οδοποιία για την μεταφορά του νερού από τον υπάρχοντα δρόμο στην θέση του ΥΗΣ.

Ο ΥΗΣ προβλέπεται να κατασκευαστεί στο δεξί του ρέματος αντέρεισμα σε υψόμετρο 486m. Στο κτίριο του ΥΗΣ θα βρίσκεται η μονάδα ηλεκτροπαραγωγής. Το νερό θα εισέρχεται από τον αγωγό προσαγωγής στον σταθμό και μετά τη διέλευσή του από τη μονάδα θα επανέρχεται μέσω διώρυγας φυγής στο ρέμα.



Σχήμα 3.1.7 Χάρτης υδροληψίας, σταθμού και πορείας αγωγού ΜΥΗΕ Βελίτσας [34]

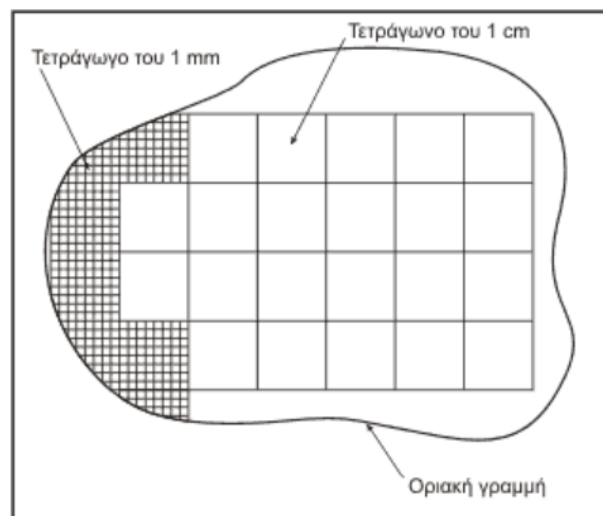
3.2 Υδρολογική μελέτη

3.2.1 Περιγραφή λεκάνης απορροής.

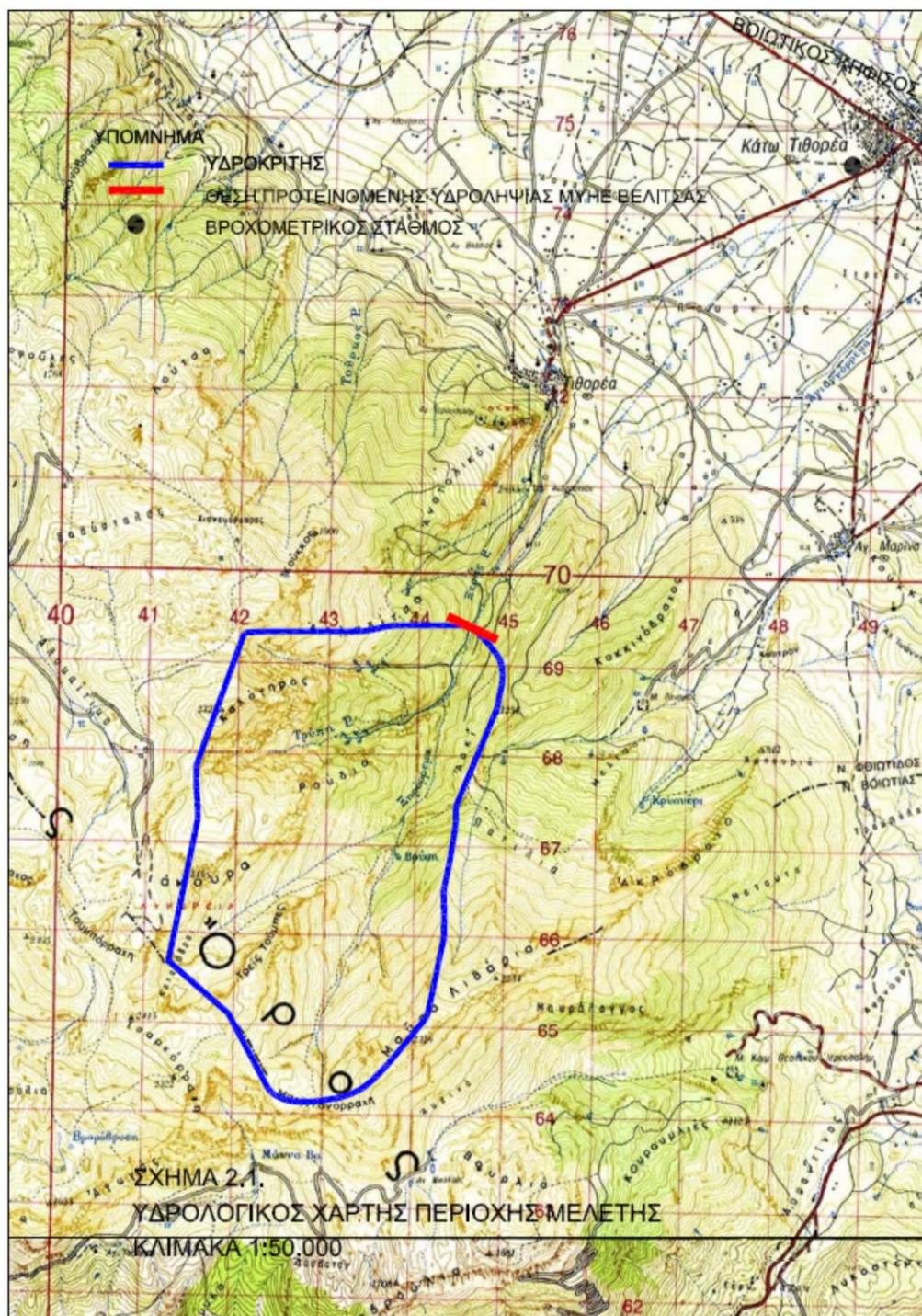
Για να υπολογιστεί το εμβαδό και το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής του ρέματος Ξεριές στο σημείο της υδροληψίας σχεδιάζεται σε χάρτη κλίμακας 1:50.000 ο υδροκρίτης. Ο χάρτης είναι γεωμορφολογικός και περιέχει ισοϋψείς καμπύλες και ύψη κορυφών. Ο υδροκρίτης είναι η γραμμή που συνδέει όλες τις κορυφές των υψωμάτων (λόφοι, βουνοκορφές) της επιφάνειας της γης ανάντι από το σημείο της υδροληψίας, ώστε όλα τα ρέοντα ύδατα βροχόπτωσης να καταλήγουν στο ρέμα Ξεριές πάνω από το σημείο της υδροληψίας.

Το μέσο υψόμετρο βρίσκεται προσεγγιστικά παίρνοντας τον μέσο όρο των κορυφών του χάρτη.

Το εμβαδόν υπολογίζεται με την αρίθμηση τετραγώνων. Με τη μέθοδο αυτή καλύπτεται η επιφάνεια που πρόκειται να μετρηθεί με διαφανές, μιλιμετρέ χαρτί. Αρχικά μετρούνται τα ολόκληρα τετράγωνα του 1cm^2 που υπάρχουν σ' αυτήν. Για τον ακριβή προσδιορισμό του εμβαδού της, πρέπει να μετρηθούν τόσο τα πλήρη τετράγωνα, όσο και τα τετράγωνα του 1mm^2 που τέμνονται από την οριακή γραμμή της επιφάνειας. Τα τεμνόμενα τετράγωνα του 1mm^2 προσμετρούνται εφόσον είναι μεγαλύτερα από το μισό, διαφορετικά, αγνοούνται. Έπειτα για τον υπολογισμό του εμβαδού της πραγματικής επιφάνειας, ο αριθμός των τετραγώνων, που μετρήθηκε στην επιφάνεια του μιλιμετρέ, πολλαπλασιάζεται με το μέγεθος εκείνης της επιφάνειας στην οποία αντιστοιχεί κάθε τετράγωνο, ανάλογα με την κλίμακα του χάρτη. Ένα τετράγωνο του μιλιμετρέ, που καλύπτει, π.χ. τμήμα τοπογραφικού χάρτη κλίμακας 1:50.000, αντιστοιχεί σε πραγματική οριζόντια επιφάνεια 0.25 km^2 . [35]



Σχήμα 3.2.1 Μέτρηση του εμβαδού επιφανειών με την μέθοδο των τετραγώνων [35].



Σχήμα 3.2.2 Χάρτης λεκάνης απορροής προτεινόμενου ΜΥΗΕ Βελίτσα

Τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής είναι: **Εμβαδό $13,95\text{km}^2$ και μέσο υψόμετρο 1.720m .** Το μέγιστο υψόμετρο της λεκάνης είναι 2.327 m στην κορφή Καλόγηρος. Η χάραξη και η εμβαδομέτρηση της λεκάνης απορροής έγιναν στον παραπάνω χάρτη, του ρέματος Ξεριές κλίμακας 1:50.000, στον οποίον φαίνεται η χάραξη του υδροκρίτη.

3.2.2 Εκτίμηση παροχών λόγω έλλειψης συστηματικών μετρήσεων

Μιας και δεν υπάρχουν συστηματικές μετρήσεις για την παροχή του ρέματος Ξεριές στο σημείο της υδροληψίας οι προβλέψεις της πιθανής μελλοντικής παροχής θα πρέπει να γίνουν με εναλλακτικό τρόπο. Πρέπει να γίνει 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 την εξεταζόμενη. Η μέθοδος που θα εφαρμόσουμε είναι η αντιπαραβολή των μετρήσεών μας στις υπάρχουσες μετρήσεις ενός ρέματος με παρόμοια χαρακτηριστικά σε πλησίον περιοχή με σκοπό την δημιουργία ενός μαθηματικού μοντέλου που θα μας ανάγει τις συστηματικές μετρήσεις που προϋπάρχουν σε προσεγγίσεις της ροής του ρέματος Ξεριές.

Στην ευρύτερη περιοχή του ρέματος Ξεριές δεν λειτουργεί σήμερα υδρομετρικός σταθμός. Στο γειτονικό, όμως ρέμα του Αγοριανίτη έχει κατασκευαστεί από ιδιώτη το μικρό Υ.Η.Ε. Αγόριανης, το οποίο εκμεταλλεύεται το υδατικό δυναμικό της πηγής Άνω Αγόριανης (Μάνα Επταλόφου). Η λεκάνη απορροής στη θέση του μικρού ΥΗΕ Βελίτσας έχει πολλά κοινά στοιχεία που αφορούν στην κλιματολογία και στον τύπο των εδαφών με τη λεκάνη απορροής του μικρού ΥΗΕ Αγόριανης.

Ο υπολογισμός των χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής της υδροληψίας του ΜΥΗΕ Αγόριανης έγινε σε χάρτες κλίμακας 1:100.000 (Σχήμα 3.2.2). Τελικά υπολογίστηκε ότι η λεκάνη απορροής στην υδροληψία του μικρού ΥΗΕ Αγόριανης έχει έκταση 7,99 km² και μέσο υψόμετρο 1.060 m. Επίσης οι λεκάνες απορροής του ρέματος Ξεριές στη θέση προτεινόμενου ΜΥΗΕ Βελίτσας καθώς και του ρέματος Αγοριανίτη στην υδροληψία του ΜΥΗΕ Αγόριανης φαίνονται σε κοινό χάρτη κλίμακας 1:100.000 (Σχήμα 3.2.3).

Η εκτίμηση λοιπόν των απορροών της λεκάνης απορροής στη θέση ενδιαφέροντος θα γίνει από την λεκάνη του ρέματος Αγοριανίτη στη θέση της υδροληψίας του μικρού ΥΗΕ Αγόριανης. Όμως η αναγωγή θα γίνει λαμβάνοντας υπόψη μόνο το 63% των απορροών του μικρού ΥΗΕ Αγόριανης. Ο συντελεστής 0,63 προκύπτει εμπειρικά από δύο λόγους :

α) Η λεκάνη απορροής του ΜΥΗΕ Αγόριανης χαρακτηρίζεται από έντονη πηγαία υδροφορία, καθ' όσον το ΜΥΗΕ Αγόριανης εκμεταλλεύεται το υδατικό δυναμικό της πηγής “Μάνα” της Άνω Αγόριανης.

β) Ανάντι της προβλεπόμενης Υδροληψίας του ΜΥΗΕ Βελίτσα, υπάρχουν δεσμευτικές χρήσεις νερού οι οποίες αφορούν τις αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργήσιμων εκτάσεων του οικισμού της Τιθορέας

Για την εκτίμηση των απορροών της λεκάνης απορροής στη θέση της υδροληψίας του μικρού ΥΗΕ Βελίτσας θα γίνει μεταφορά του 63% των απορροών της λεκάνης απορροής του ρέματος Αγοριανίτη στη θέση της υδροληψίας του μικρού ΥΗΕ Αγόριανης, λαμβάνοντας υπόψη τον λόγο του εμβαδού της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής προς το εμβαδόν της λεκάνης απορροής του ρέματος Αγοριανίτη στη θέση της υδροληψίας και τον αντίστοιχο λόγο των μέσων υψομέτρων των λεκανών απορροής. (Ο αναλυτικός τύπος φαίνεται στην σελίδα 56)



Σχήμα 3.2.3 Χάρτης λεκανών απορροής υδροληψίας ΜΥΗΕ Αγόριανης και ΜΥΗΕ Βελίτσας

Από τον ιδιώτη που κατασκεύασε το ΜΥΗΕ Αγόριανης, δηλαδή την εταιρεία NANKO ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΒΕΤΕ [28] μας χορηγήθηκαν οι μέσες ημερήσιες παροχές του ρέματος Αγοριανίτη στη θέση υδροληψίας του Έργου. Οι μετρήσεις αυτές αφορούν το χρονικό διάστημα από Οκτώβριο 2009 έως Σεπτέμβριο 2019 (δέκα υδρολογικά έτη) και παρατίθενται στους Πίνακες 3.2.2 έως 3.2.11 (σελ. 58-60). Στον Πίνακα 3.2.1 φαίνονται οι μέσες μηνιαίες παροχές σε m³/s στην ίδια θέση για την αντίστοιχη χρονική περίοδο.

Πίνακες 3.2.1-11 Παροχές ΜΥΗΕ Αγόριανης

Πίνακας 3.2.1													
Μέσες μηνιαίες παροχές σε m ³ /s ρέματος Αγοριανίτη στην θέση υδροληψίας του ΜΥΗΕ Αγόριανης													
Υδρολογ. Έτος	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.	ΕΤΟΣ
2009-10	0.062	0.176	0.385	0.496	0.427	0.260	0.177	0.107	0.030	0.030	0.030	0.030	0.184
2010-11	0.030	0.030	0.030	0.138	0.275	0.524	0.592	0.281	0.183	0.061	0.030	0.030	0.184
2011-12	0.056	0.054	0.142	0.250	0.393	0.512	0.510	0.115	0.044	0.030	0.030	0.030	0.181
2012-13	0.030	0.101	0.295	0.509	0.498	0.887	0.397	0.164	0.067	0.030	0.030	0.030	0.253
2013-14	0.030	0.143	0.265	0.249	0.473	0.498	0.197	0.143	0.055	0.030	0.030	0.030	0.179
2014-15	0.030	0.030	0.156	0.230	0.788	0.775	0.410	0.146	0.149	0.061	0.030	0.030	0.236
2015-16	0.127	0.296	0.208	0.314	0.338	0.385	0.213	0.103	0.049	0.030	0.030	0.030	0.177
2016-17	0.093	0.117	0.176	0.201	0.765	1.000	0.323	0.140	0.154	0.088	0.033	0.030	0.260
2017-18	0.030	0.079	0.171	0.405	0.484	0.742	0.244	0.198	0.097	0.042	0.030	0.030	0.213
2018-19	0.586	0.281	0.449	0.481	1.062	1.145	1.067	0.340	0.122	0.054	0.030	0.030	0.471
Μέση Τιμή	0.108	0.131	0.228	0.327	0.550	0.673	0.413	0.174	0.095	0.046	0.031	0.030	0.234

(συνέχεια σελ.58)

Για την δημιουργία του μαθηματικού μοντέλου αναγωγής των μετρήσεων, θα λάβουμε υπόψη τις μετρήσεις που κάναμε με τον μυλίσκο, τις υδρομετρικές τιμές της παροχής του ΜΥΗΕ Αγόριανης καθώς και τα χαρακτηριστικά των δυο διαφορετικών λεκανών απορροής που αντιστοιχούν στα σημεία υδροληψίας του κάθε έργου.

Οι μέσες ημερήσιες παροχές του ρέματος Ξεριές στη θέση της υδροληψίας του ΜΥΗΕ Βελίτσας θα προκύψουν υπολογιστικά από τις μέσες ημερήσιες παροχές του ρέματος Αγοριανίτη στη θέση της υδροληψίας του ΜΥΗΕ Αγόριανης λαμβάνοντας υπόψη τους λόγους των εμβαδών των λεκανών απορροής και τους λόγους των αντιστοίχων μέσων υψομέτρων των λεκανών απορροής. Ο υπολογισμός βασίστηκε σε μία εξίσωση της μορφής:

$$Q_{\beta} = Q_{\alpha} * \left(\frac{Y_{\beta} * E_{\beta}}{Y_{\alpha} * E_{\alpha}} \right) \quad (3.2.1)$$

όπου:

τα μεγέθη **Q_β**, **E_β**, **Y_β** αφορούν την εξεταζόμενη λεκάνη δηλαδή τη λεκάνη του ρέματος Ξεριές στη θέση υδροληψίας ΜΥΗΕ Βελίτσας και είναι αντίστοιχα η ζητούμενη παροχή, η επιφάνεια της λεκάνης και το μέσο υψόμετρο, ενώ τα μεγέθη **Q_α**, **E_α**, **Y_α** αφορούν τη βασική λεκάνη αναφοράς δηλαδή τη λεκάνη απορροής του ρέματος Αγοριανίτη στη θέση της υδροληψίας του ΜΥΗΕ Αγόριανης.

Επειδή :

$$Y\beta=1.720 \text{ m}$$

$$Y\alpha=1.060 \text{ m}$$

$$E\beta=13,95 \text{ km}^2$$

$$E\alpha=7,99 \text{ km}^2$$

ο λόγος

$$\left(\frac{Y\beta * E\beta}{Y\alpha * E\alpha}\right) \text{ ισούται με } 2,83302$$

Άρα:

$$Q_{\beta} = Q_{\alpha} * 2,83302 \quad (3.2.2)$$

Επειδή όμως όπως αναφέρθηκε στην σελίδα 54 η λεκάνη απορροής του μικρού ΥΗΕ Αγόριανης χαρακτηρίζεται από έντονη πηγαία υδροφορία καθόσον το μικρό ΥΗΕ Αγόριανης εκμεταλλεύεται το υδατικό δυναμικό της πηγής Άνω Αγόριανης, η αναγωγή θα γίνει λαμβάνοντας υπόψη μόνο το 63% των απορροών του μικρού ΥΗΕ Αγόριανης.

Άρα η τελική μορφή της σχέσης μετασχηματισμού των απορροών είναι:

$$Q_{\beta} = Q_{\alpha} * 2,833 * 0,63 = Q_{\alpha} * 1,7848 \quad (3.2.3)$$

Ακολουθούν οι πίνακες 3.3.2-11 με τις μέσες ημερήσιες παροχές στην υδροληψία ΜΥΗΕ Αγόριανης για 10 έτη και έπειτα οι υπολογισμένες μέσες ημερήσιες παροχές στην υδροληψία ΜΥΗΕ Βελίτσας σε (m³/s)

Πίνακας 3.2.2												
Μέσες ημερήσιες παροχές στην υδροληψία ΜΥΗΕ Αγόριανης σε (m ³ /s) Υδρολογικό έτος 2009-10												
Ημέρα	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.
1	0.030	0.072	0.066	0.373	0.486	0.471	0.175	0.163	0.030	0.030	0.030	0.030
2	0.030	0.072	0.080	0.380	0.473	0.468	0.178	0.158	0.030	0.030	0.030	0.030
3	0.030	0.071	0.060	0.371	0.443	0.465	0.165	0.147	0.030	0.030	0.030	0.030
4	0.030	0.110	0.062	0.383	0.430	0.444	0.153	0.147	0.030	0.030	0.030	0.030
5	0.030	0.374	0.059	0.350	0.429	0.425	0.150	0.139	0.030	0.030	0.030	0.030
6	0.030	0.337	0.147	0.280	0.419	0.417	0.147	0.145	0.030	0.030	0.030	0.030
7	0.030	0.211	0.157	0.290	0.406	0.360	0.160	0.129	0.030	0.030	0.030	0.030
8	0.030	0.191	0.479	0.350	0.416	0.347	0.143	0.143	0.030	0.030	0.030	0.030
9	0.030	0.189	0.386	0.366	0.385	0.184	0.132	0.139	0.030	0.030	0.030	0.030
10	0.030	0.354	0.354	0.415	0.392	0.313	0.132	0.138	0.030	0.030	0.030	0.030
11	0.030	0.252	0.334	0.470	0.583	0.290	0.131	0.132	0.030	0.030	0.030	0.030
12	0.030	0.352	0.196	0.530	0.578	0.243	0.122	0.127	0.030	0.030	0.030	0.030
13	0.030	0.399	0.299	0.600	0.565	0.249	0.119	0.136	0.030	0.030	0.030	0.030
14	0.030	0.300	0.291	0.600	0.530	0.249	0.113	0.133	0.030	0.030	0.030	0.030
15	0.030	0.243	0.284	0.522	0.528	0.239	0.178	0.156	0.030	0.030	0.030	0.030
16	0.030	0.210	0.485	0.600	0.480	0.243	0.245	0.131	0.030	0.030	0.030	0.030
17	0.030	0.191	0.600	0.600	0.471	0.224	0.223	0.131	0.030	0.030	0.030	0.030
18	0.030	0.164	0.537	0.600	0.451	0.219	0.219	0.124	0.030	0.030	0.030	0.030
19	0.030	0.151	0.493	0.600	0.386	0.212	0.250	0.116	0.030	0.030	0.030	0.030
20	0.030	0.131	0.600	0.600	0.390	0.207	0.237	0.099	0.030	0.030	0.030	0.030
21	0.030	0.123	0.600	0.600	0.350	0.196	0.225	0.105	0.030	0.030	0.030	0.030
22	0.030	0.112	0.600	0.600	0.344	0.190	0.216	0.084	0.030	0.030	0.030	0.030
23	0.030	0.107	0.600	0.531	0.330	0.185	0.212	0.079	0.030	0.030	0.030	0.030
24	0.030	0.102	0.600	0.571	0.327	0.180	0.199	0.057	0.030	0.030	0.030	0.030
25	0.030	0.094	0.600	0.600	0.321	0.155	0.192	0.051	0.030	0.030	0.030	0.030
26	0.037	0.038	0.598	0.600	0.319	0.153	0.192	0.049	0.030	0.030	0.030	0.030
27	0.055	0.082	0.581	0.545	0.297	0.141	0.179	0.037	0.030	0.030	0.030	0.030
28	0.064	0.076	0.493	0.530	0.431	0.147	0.180	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030
29	0.850	0.079	0.489	0.495		0.152	0.173	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030
30	0.084	0.061	0.442	0.499		0.138	0.169	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030
31	0.077		0.384	0.479		0.149		0.030		0.030	0.030	
Max	0.850	0.399	0.600	0.600	0.583	0.471	0.250	0.163	0.030	0.030	0.030	0.030
Min	0.030	0.061	0.059	0.280	0.297	0.138	0.113	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030
Μέση	0.062	0.177	0.386	0.496	0.427	0.260	0.177	0.107	0.030	0.030	0.030	0.030
Μέση ετήσια παροχή : 0.183 m ³ /s												

Πίνακας 3.2.4												
Μέσες ημερήσιες παροχές στην υδροληψία ΜΥΗΕ Αγόριανης σε (m ³ /s) Υδρολογικό έτος 2011-12												
Ημέρα	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.
1	0.030	0.081	0.078	0.181	0.146	0.439	0.600	0.284	0.096	0.030	0.030	0.030
2	0.030	0.074	0.088	0.218	0.114	0.423	0.600	0.231	0.092	0.030	0.030	0.030
3	0.030	0.075	0.082	0.217	0.137	0.393	0.600	0.103	0.087	0.030	0.030	0.030
4	0.030	0.068	0.085	0.200	0.132	0.374	0.393	0.081	0.082	0.030	0.030	0.030
5	0.030	0.053	0.077	0.192	0.148	0.373	0.455	0.106	0.078	0.030	0.030	0.030
6	0.030	0.044	0.065	0.186	0.264	0.395	0.444	0.085	0.086	0.030	0.030	0.030
7	0.030	0.063	0.062	0.192	0.476	0.414	0.337	0.077	0.030	0.030	0.030	0.030
8	0.030	0.052	0.160	0.209	0.600	0.430	0.600	0.055	0.030	0.030	0.030	0.030
9	0.030	0.048	0.193	0.589	0.600	0.462	0.600	0.045	0.030	0.030	0.030	0.030
10	0.030	0.043	0.163	0.600	0.600	0.563	0.600	0.039	0.041	0.030	0.030	0.030
11	0.030	0.034	0.143	0.516	0.600	0.600	0.600	0.057	0.058	0.030	0.030	0.030
12	0.030	0.047	0.130	0.443	0.500	0.600	0.543	0.157	0.052	0.030	0.030	0.030
13	0.030	0.043	0.120	0.342	0.508	0.600	0.566	0.116	0.030	0.030	0.030	0.030
14	0.030	0.040	0.109	0.318	0.544	0.600	0.600	0.070	0.030	0.030	0.030	0.030
15	0.030	0.054	0.099	0.293	0.569	0.541	0.600	0.059	0.030	0.030	0.030	0.030
16	0.035	0.052	0.092	0.281	0.534	0.503	0.559	0.140	0.059	0.030	0.030	0.030
17	0.110	0.048	0.101	0.261	0.496	0.479	0.600	0.136	0.030	0.030	0.030	0.030
18	0.125	0.042	0.097	0.239	0.461	0.463	0.600	0.133	0.030	0.030	0.030	0.030
19	0.101	0.047	0.107	0.218	0.419	0.473	0.600	0.137	0.030	0.030	0.030	0.030
20	0.098	0.033	0.108	0.196	0.390	0.534	0.600	0.142	0.030	0.030	0.030	0.030
21	0.084	0.034	0.177	0.185	0.358	0.600	0.600	0.144	0.030	0.030	0.030	0.030
22	0.079	0.033	0.215	0.184	0.338	0.600	0.435	0.136	0.030	0.030	0.030	0.030
23	0.070	0.044	0.274	0.178	0.331	0.600	0.518	0.130	0.030	0.030	0.030	0.030
24	0.065	0.051	0.264	0.166	0.285	0.537	0.471	0.124	0.030	0.030	0.030	0.030
25	0.062	0.069	0.204	0.163	0.306	0.493	0.445	0.123	0.030	0.030	0.030	0.030
26	0.058	0.063	0.183	0.171	0.304	0.586	0.399	0.114	0.030	0.030	0.030	0.030
27	0.052	0.066	0.173	0.180	0.332	0.558	0.370	0.112	0.030	0.030	0.030	0.030
28	0.084	0.060	0.169	0.168	0.413	0.438	0.344	0.110	0.030	0.030	0.030	0.030
29	0.094	0.072	0.181	0.158	0.458	0.600	0.335	0.107	0.030	0.030	0.030	0.030
30	0.087	0.075	0.217	0.153		0.600	0.287	0.104	0.030	0.030	0.030	0.030
31	0.088		0.200	0.150		0.600		0.103		0.030	0.030	
Max	0.125	0.081	0.274	0.600	0.600	0.600	0.600	0.284	0.096	0.030	0.030	0.030
Min	0.030	0.034	0.062	0.150	0.132	0.373	0.287	0.039	0.030	0.030	0.030	0.030
Μέση	0.056	0.054	0.143	0.250	0.393	0.512	0.600	0.115	0.044	0.030	0.030	0.030
Μέση ετήσια παροχή : 0.180 m ³ /s												

Πίνακας 3.2.3												
Μέσες ημερήσιες παροχές στην υδροληψία ΜΥΗΕ Αγόριανης σε (m ³ /s) Υδρολογικό έτος 2010-11												
Ημέρα	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.
1	0.030	0.030	0.030	0.030	0.130	0.463	0.600	0.513	0.197	0.107	0.030	0.030
2	0.030	0.030	0.030	0.030	0.129	0.421	0.600	0.498	0.195	0.104	0.030	0.030
3	0.030	0.030	0.030	0.030	0.115	0.358	0.600	0.471	0.190	0.100	0.030	0.030
4	0.030	0.030	0.030	0.030	0.115	0.348	0.600	0.435	0.185	0.109	0.030	0.030
5	0.030	0.030	0.030	0.030	0.106	0.337	0.600	0.395	0.207	0.095	0.030	0.030
6	0.030	0.030	0.030	0.030	0.100	0.466	0.600	0.388	0.237	0.093	0.030	0.030
7	0.030	0.030	0.030	0.030	0.1 03	0.600	0.600	0.343	0.228	0.082	0.030	0.030
8	0.030	0.030	0.030	0.030	0.098	0.483	0.600	0.364	0.208	0.085	0.030	0.030
9	0.030	0.030	0.030	0.030	0.105	0.554	0.600	0.362	0.197	0.068	0.030	0.030
10	0.030	0.030	0.030	0.170	0.092	0.520	0.600	0.344	0.184	0.075	0.030	0.030
11	0.030	0.030	0.030	0.185	0.101	0.456	0.600	0.337	0.181	0.073	0.030	0.030
12	0.030	0.030	0.030	0.194	0.110	0.435	0.600	0.325	0.178	0.068	0.030	0.030
13	0.030	0.030	0.030	0.180	0.138	0.412	0.600	0.318	0.171	0.060	0.030	0.030
14	0.030	0.030	0.030	0.173	0.159	0.403	0.600	0.312	0.164	0.059	0.030	0.030
15	0.030	0.030	0.030	0.170	0.166	0.431	0.600	0.258	0.158	0.051	0.030	0.030
16	0.030	0.030	0.030	0.168	0.178	0.545	0.600	0.236	0.151	0.055	0.030	0.030
17	0.030	0.030	0.030	0.167	0.169	0.600	0.600	0.234	0.145	0.048	0.030	0.030
18	0.030	0.030	0.030	0.161	0.169	0.600	0.600	0.225	0.252	0.035	0.030	0.030
19	0.030	0.030	0.030	0.198	0.351	0.600	0.600	0.205	0.265	0.061	0.030	0.030
20	0.030	0.030	0.030	0.218	0.481	0.600	0.600	0.198	0.218	0.057	0.030	0.030
21	0.030	0.030	0.030	0.240	0.481	0.600	0.600	0.184	0.207	0.055	0.030	0.030
22	0.030	0.030	0.030	0.210	0.599	0.600	0.600	0.178	0.198	0.042	0.030	0.030
23	0.030	0.030	0.030	0.210	0.600	0.600	0.600	0.164	0.190	0.040	0.030	0.030
24	0.030	0.030	0.030	0.200	0.600	0.600	0.600	0.152	0.169	0.038	0.030	0.030
25	0.030	0.030	0.030	0.199	0.600	0.600	0.600	0.160	0.160	0.030	0.030	0.030
26	0.030	0.030	0.030	0.185	0.600	0.600	0.600	0.141	0.147	0.030	0.030	0.030
27	0.030	0.030	0.030	0.168	0.572	0.600	0.553	0.155	0.135	0.030	0.030	0.030
23	0.030	0.030	0.030	0.163	0.520	0.600	0.544	0.159	0.131	0.030	0.030	0.030
29	0.030	0.030	0.030	0.155		0.600	0.542	0.211	0.125	0.030	0.030	0.030
30	0.030	0.030	0.030	0.141		0.600	0.520	0.221	0.112	0.030	0.030	0.030
31	0.030		0.030	0.144		0.600		0.210		0.030	0.030	
Max	0.030	0.030	0.030	0.240	0.600	0.600	0.600	0.513	0.265	0.109	0.030	0.030
Min	0.030	0.030	0.030	0.030	0.092	0.337	0.520	0.141	0.112	0.030	0.030	0.030
Μέση	0.030	0.030	0.030	0.133	0.274	0.524	0.592	0.281	0.183	0.060	0.030	0.030
Μέση ετήσια παρογή : 0.182 m3/s												

Πίνακας 3.2.6												
Μέσες ημερήσιες παροχές στην υδροληψία ΜΥΗΕ Αγόριανης σε (m ³ /s) Υδρολογικό έτος 2013-14												
Ημέρα	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ
1	0.030	0.030	0.159	0.421	0.270	0.316	0.282	0.212	0.090	0.030	0.030	0.030
2	0.030	0.030	0.247	0.367	0.284	0.453	0.269	0.179	0.086	0.030	0.030	0.030
3	0.030	0.030	0.484	0.327	0.304	0.740	0.255	0.190	0.093	0.030	0.030	0.030
4	0.030	0.030	0.563	0.296	0.272	0.622	0.246	0.187	0.090	0.030	0.030	0.030
5	0.030	0.030	0.579	0.275	0.244	0.740	0.235	0.180	0.087	0.030	0.030	0.030
6	0.030	0.030	0.464	0.266	0.245	0.740	0.226	0.173	0.082	0.030	0.030	0.030
7	0.030	0.030	0.389	0.249	0.298	0.584	0.227	0.169	0.083	0.030	0.030	0.030
8	0.030	0.030	0.340	0.235	0.460	0.613	0.227	0.174	0.082	0.030	0.030	0.030
9	0.030	0.030	0.300	0.228	0.539	0.740	0.232	0.177	0.078	0.030	0.030	0.030
10	0.030	0.030	0.266	0.224	1.150	0.740	0.220	0.173	0.076	0.030	0.030	0.030
11	0.030	0.030	0.243	0.214	0.940	0.630	0.215	0.167	0.073	0.030	0.030	0.030
12	0.030	0.030	0.220	0.206	0.850	0.567	0.206	0.160	0.072	0.030	0.030	0.030
13	0.030	0.030	0.202	0.193	0.710	0.530	0.196	0.154	0.071	0.030	0.030	0.030
1-4	0.030	0.030	0.192	0.192	0.630	0.510	0.188	0.153	0.069	0.030	0.030	0.030
15	0.030	0.189	0.180	0.187	0.612	0.495	0.177	0.153	0.066	0.030	0.030	0.030
16	0.030	0.187	0.172	0.186	0.548	0.498	0.170	0.147	0.030	0.030	0.030	0.030
17	0.030	0.138	0.161	0.179	0.501	0.508	0.174	0.139	0.030	0.030	0.030	0.030
18	0.030	0.328	0.154	0.173	0.468	0.498	0.172	0.129	0.030	0.030	0.030	0.030
19	0.030	0.290	0.146	0.169	0.461	0.485	0.172	0.128	0.030	0.030	0.030	0.030
20	0.030	0.369	0.142	0.161	0.454	0.476	0.168	0.125	0.030	0.030	0.030	0.030
21	0.030	0.315	0.136	0.167	0.437	0.460	0.162	0.115	0.030	0.030	0.030	0.030
22	0.030	0.324	0.128	0.164	0.413	0.435	0.158	0.111	0.030	0.030	0.030	0.030
23	0.030	0.234	0.122	0.160	0.400	0.410	0.155	0.113	0.030	0.030	0.030	0.030
24	0.030	0.239	0.117	0.154	0.386	0.387	0.151	0.110	0.030	0.030	0.030	0.030
25	0.030	0.220	0.115	0.222	0.376	0.370	0.148	0.103	0.030	0.030	0.030	0.030
26	0.030	0.239	0.113	0.245	0.348	0.357	0.148	0.102	0.030	0.030	0.030	0.030
27	0.030	0.241	0.111	0.406	0.328	0.323	0.147	0.104	0.030	0.030	0.030	0.030
28	0.030	0.209	0.180	0.383	0.318	0.314	0.155	0.103	0.030	0.030	0.030	0.030
29	0.030	0.178	0.404	0.356		0.306	0.215	0.103	0.030	0.030	0.030	0.030
30	0.030	0.162	0.589	0.314		0.282	0.227	0.102	0.030	0.030	0.030	0.030
31	0.030		0.600	0.283		0.282		0.099		0.030	0.030	
Max	0.030	0.369	0.600	0.421	1.150	0.740	0.282	0.212	0.093	0.030	0.030	0.030
Min	0.030	0.030	0.111	0.154	0.244	0.282	0.147	0.099	0.030	0.030	0.030	0.030
Μέση	0.030	0.143	0.265	0.249	0.473	0.497	0.197	0.143	0.055	0.030	0.030	0.030
Μέση ετήσια παροχή : 0.177 m ³ /s												

Πίνακας 3.2.8												
Μέσες ημερήσιες παροχές στην υδροληψία ΜΥΗΕ Αγόριανης σε (m ³ /s) Υδρολογικό έτος 2015-16												
Ημέρα	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ
1	0.030	0.419	0.492	0.122	0.290	0.222	0.377	0.122	0.081	0.030	0.030	0.030
2	0.030	0.630	0.438	0.122	0.281	0.214	0.361	0.121	0.081	0.030	0.030	0.030
3	0.030	0.609	0.379	0.132	0.275	0.214	0.340	0.117	0.081	0.030	0.030	0.030
4	0.030	0.516	0.338	0.174	0.284	0.225	0.322	0.110	0.081	0.030	0.030	0.030
5	0.030	0.441	0.307	0.246	0.291	0.205	0.305	0.121	0.127	0.030	0.030	0.030
6	0.030	0.353	0.286	0.410	0.284	0.191	0.295	0.117	0.030	0.030	0.030	0.030
7	0.030	0.332	0.266	0.412	0.249	0.184	0.280	0.110	0.030	0.030	0.030	0.030
8	0.030	0.284	0.266	0.422	0.253	0.179	0.269	0.107	0.077	0.030	0.030	0.030
9	0.030	0.264	0.249	0.373	0.241	0.184	0.261	0.104	0.084	0.030	0.030	0.030
10	0.030	0.249	0.224	0.334	0.241	0.180	0.249	0.099	0.086	0.030	0.030	0.030
11	0.030	0.229	0.214	0.307	0.331	0.177	0.237	0.097	0.081	0.030	0.030	0.030
12	0.030	0.219	0.206	0.283	0.465	0.183	0.220	0.095	0.090	0.030	0.030	0.030
13	0.030	0.196	0.197	0.271	0.618	0.200	0.208	0.090	0.030	0.030	0.030	0.030
14	0.030	0.187	0.188	0.251	0.630	0.404	0.197	0.088	0.030	0.030	0.030	0.030
15	0.030	0.174	0.180	0.233	0.599	0.479	0.191	0.085	0.030	0.030	0.030	0.030
16	0.030	0.166	0.173	0.233	0.514	0.436	0.183	0.085	0.030	0.030	0.030	0.030
17	0.030	0.160	0.171	0.509	0.468	0.411	0.174	0.085	0.030	0.030	0.030	0.030
13	0.030	0.159	0.165	0.611	0.422	0.404	0.165	0.084	0.030	0.030	0.030	0.030
19	0.030	0.149	0.156	0.500	0.359	0.479	0.159	0.085	0.030	0.030	0.030	0.030
20	0.030	0.140	0.149	0.440	0.334	0.620	0.155	0.085	0.030	0.030	0.030	0.030
21	0.030	0.129	0.142	0.397	0.305	0.630	0.148	0.117	0.030	0.030	0.030	0.030
22	0.030	0.125	0.136	0.356	0.302	0.623	0.146	0.123	0.030	0.030	0.030	0.030
23	0.147	0.139	0.133	0.333	0.289	0.624	0.140	0.130	0.030	0.030	0.030	0.030
24	0.460	0.133	0.130	0.311	0.272	0.630	0.144	0.118	0.030	0.030	0.030	0.030
25	0.630	0.132	0.129	0.295	0.261	0.630	0.140	0.111	0.030	0.030	0.030	0.030
26	0.539	0.246	0.129	0.285	0.244	0.628	0.137	0.106	0.030	0.030	0.030	0.030
27	0.405	0.366	0.127	0.273	0.230	0.567	0.213	0.100	0.030	0.030	0.030	0.030
28	0.330	0.535	0.125	0.263	0.232	0.516	0.129	0.094	0.030	0.030	0.030	0.030
29	0.286	0.623	0.125	0.266	0.230	0.470	0.125	0.092	0.030	0.030	0.030	0.030
30	0.254	0.585	0.126	0.273		0.430	0.123	0.091	0.030	0.030	0.030	0.030
31	0.229		0.123	0.282		0.398		0.082		0.030	0.030	
Max	0.630	0.630	0.492	0.611	0.630	0.630	0.377	0.130	0.127	0.030	0.030	0.030
Min	0.030	0.125	0.123	0.122	0.230	0.177	0.123	0.082	0.030	0.030	0.030	0.030
Μέση	0.127	0.296	0.209	0.314	0.338	0.385	0.213	0.102	0.049	0.030	0.030	0.030
Μέση ετήσια παροχή : 0.176 m ³ /s												

Πίνακας 3.2.7												
Μέσες ημερήσιες παροχές στην υδροληψία ΜΥΗΕ Αγόριανης σε (m³/s) Υδρολογικό έτος 2014-15												
Ημέρα	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ
1	0.030	0.030	0.050	0.230	3.630	1.520	0.627	0.220	0.099	0.114	0.030	0.030
2	0.030	0.030	0.060	0.210	3.630	1.520	0.630	0.214	0.095	0.106	0.030	0.030
3	0.030	0.030	0.060	0.230	1.370	1.200	0.626	0.207	0.090	0.085	0.030	0.030
4	0.030	0.030	0.060	0.225	1.200	1.200	0.593	0.197	0.084	0.096	0.030	0.030
5	0.030	0.030	0.070	0.219	0.660	0.930	0.561	0.187	0.086	0.093	0.030	0.030
6	0.030	0.030	0.070	0.188	0.630	0.730	0.529	0.184	0.106	0.083	0.030	0.030
7	0.030	0.030	0.080	0.144	0.615	0.930	0.511	0.177	0.126	0.081	0.030	0.030
8	0.030	0.030	0.080	0.144	0.600	0.930	0.470	0.170	0.337	0.060	0.030	0.030
9	0.030	0.030	0.091	0.141	0.565	1.200	0.437	0.165	0.301	0.060	0.030	0.030
10	0.030	0.030	0.110	0.131	0.535	0.930	0.382	0.162	0.229	0.062	0.030	0.030
11	0.030	0.030	0.105	0.144	0.505	0.730	0.389	0.160	0.220	0.090	0.030	0.030
12	0.030	0.030	0.150	0.153	0.440	0.730	0.386	0.157	0.196	0.087	0.030	0.030
13	0.030	0.030	0.330	0.156	0.430	0.660	0.397	0.151	0.181	0.081	0.030	0.030
14	0.030	0.030	0.280	0.166	0.360	0.630	0.399	0.147	0.169	0.080	0.030	0.030
15	0.030	0.030	0.218	0.175	0.340	0.615	0.411	0.142	0.160	0.076	0.030	0.030
16	0.030	0.030	0.183	0.185	0.320	0.575	0.437	0.136	0.151	0.073	0.030	0.030
17	0.030	0.030	0.185	0.182	0.300	0.560	0.428	0.134	0.143	0.079	0.030	0.030
18	0.030	0.030	0.233	0.182	0.280	0.547	0.418	0.125	0.147	0.060	0.030	0.030
19	0.030	0.030	0.231	0.185	0.260	0.528	0.399	0.127	0.151	0.050	0.030	0.030
20	0.030	0.030	0.200	0.191	0.250	0.484	0.380	0.119	0.145	0.040	0.030	0.030
21	0.030	0.030	0.190	0.194	0.245	0.476	0.367	0.124	0.139	0.030	0.030	0.030
22	0.030	0.030	0.170	0.197	0.255	0.451	0.335	0.118	0.137	0.030	0.030	0.030
23	0.030	0.030	0.156	0.201	0.340	0.439	0.317	0.117	0.131	0.030	0.030	0.030
24	0.030	0.030	0.157	0.201	0.480	0.449	0.299	0.116	0.126	0.030	0.030	0.030
25	0.030	0.030	0.136	0.201	0.490	0.499	0.287	0.110	0.121	0.030	0.030	0.030
26	0.030	0.030	0.132	0.195	0.460	0.930	0.276	0.109	0.118	0.030	0.030	0.030
27	0.030	0.030	0.131	0.200	0.530	0.730	0.264	0.107	0.119	0.030	0.030	0.030
23	0.030	0.030	0.144	0.198	1.330	0.730	0.255	0.113	0.118	0.030	0.030	0.030
29	0.030	0.030	0.247	0.201		0.730	0.247	0.110	0.116	0.030	0.030	0.030
30	0.030	0.030	0.272	0.240		0.730	0.232	0.106	0.124	0.030	0.030	0.030
31	0.030		0.248	1.510		0.730		0.101		0.030	0.030	
Max	0.030	0.030	0.330	1.510	3.630	1.520	0.630	0.220	0.337	0.114	0.030	0.030
Min	0.030	0.030	0.050	0.131	0.245	0.439	0.232	0.101	0.084	0.030	0.030	0.030
Μέση	0.030	0.030	0.156	0.230	0.788	0.776	0.410	0.146	0.149	0.061	0.030	0.030
Μέση ετήσια παρογή : 0.232 m³ /s												

Πίνακας 3.2.10												
Μέσες ημερήσιες παροχές στην υδροληψία ΜΥΗΕ Αγόριανης σε (m ³ /s) Υδρολογικό έτος 2017-18												
Ημέρα	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.
1	0.030	0.030	0.113	0.283	0.330	1.430	0.339	0.145	0.127	0.099	0.030	0.030
2	0.030	0.030	0.110	0.274	0.323	1.380	0.383	0.253	0.119	0.083	0.030	0.030
3	0.030	0.030	0.119	0.300	0.325	1.380	0.353	0.253	0.109	0.083	0.030	0.030
4	0.030	0.030	0.139	0.320	0.464	1.260	0.330	0.139	0.100	0.081	0.030	0.030
5	0.030	0.030	0.138	0.305	0.581	1.260	0.321	0.137	0.097	0.075	0.030	0.030
6	0.030	0.030	0.130	0.285	0.511	0.850	0.321	0.134	0.094	0.070	0.030	0.030
7	0.030	0.030	0.130	0.284	0.455	0.620	0.314	0.191	0.091	0.060	0.030	0.030
8	0.030	0.030	0.125	0.291	0.422	0.850	0.340	0.348	0.088	0.050	0.030	0.030
9	0.030	0.030	0.124	0.298	0.392	0.850	0.311	0.308	0.086	0.040	0.030	0.030
10	0.030	0.030	0.118	0.310	0.400	0.780	0.291	0.278	0.086	0.030	0.030	0.030
11	0.030	0.030	0.121	0.330	0.498	0.780	0.286	0.254	0.085	0.030	0.030	0.030
12	0.030	0.030	0.114	0.338	0.606	0.780	0.276	0.251	0.083	0.030	0.030	0.030
13	0.030	0.030	0.109	0.358	0.419	0.740	0.263	0.269	0.088	0.030	0.030	0.030
14	0.030	0.030	0.107	0.370	0.548	0.740	0.247	0.256	0.096	0.030	0.030	0.030
15	0.030	0.030	0.106	0.338	0.495	0.680	0.239	0.276	0.099	0.030	0.030	0.030
16	0.030	0.030	0.106	0.373	0.458	0.650	0.229	0.222	0.101	0.030	0.030	0.030
17	0.030	0.030	0.149	0.417	0.420	0.630	0.223	0.208	0.102	0.030	0.030	0.030
18	0.030	0.070	0.285	0.562	0.419	0.585	0.211	0.193	0.099	0.030	0.030	0.030
19	0.030	0.078	0.252	0.621	0.430	0.627	0.201	0.189	0.097	0.030	0.030	0.030
20	0.030	0.280	0.216	0.560	0.438	0.630	0.195	0.176	0.096	0.030	0.030	0.030
21	0.030	0.216	0.198	0.532	0.449	0.620	0.189	0.177	0.090	0.030	0.030	0.030
22	0.030	0.186	0.185	0.605	0.489	0.562	0.183	0.162	0.089	0.030	0.030	0.030
23	0.030	0.162	0.179	0.630	0.559	0.552	0.177	0.163	0.089	0.030	0.030	0.030
24	0.030	0.143	0.165	0.596	0.605	0.527	0.169	0.158	0.091	0.030	0.030	0.030
25	0.030	0.115	0.158	0.535	0.630	0.483	0.165	0.156	0.092	0.030	0.030	0.030
26	0.030	0.130	0.158	0.484	0.630	0.484	0.162	0.152	0.108	0.030	0.030	0.030
27	0.030	0.124	0.180	0.447	0.630	0.498	0.158	0.146	0.102	0.030	0.030	0.030
28	0.030	0.126	0.241	0.418	0.630	0.490	0.152	0.142	0.110	0.030	0.030	0.030
29	0.030	0.114	0.342	0.375		0.466	0.150	0.137	0.107	0.030	0.030	0.030
30	0.030	0.112	0.367	0.355		0.428	0.146	0.134	0.102	0.030	0.030	0.030
31	0.030		0.327	0.341		0.397		0.129		0.030	0.030	
Max	0.030	0.280	0.367	0.630	0.630	1.430	0.383	0.348	0.127	0.099	0.030	0.030
Min	0.030	0.030	0.106	0.274	0.323	0.397	0.146	0.129	0.083	0.030	0.030	0.030
Μέση	0.030	0.079	0.171	0.404	0.434	0.742	0.244	0.198	0.097	0.042	0.030	0.030
Μέση ετήσια παροχή : 0.212 m ³ /s												

Πίνακας 3.2.11												
Μέσες ημερήσιες παροχές στην υδροληψία ΜΥΗΕ Αγόριανης σε (m ³ /s) Υδρολογικό έτος 2018-19												
Ημέρα	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.
1	1.342	0.306	0.517	0.310	1.220	0.450	0.630	0.650	0.164	0.092	0.030	0.030
2	1.220	0.265	0.465	0.311	1.530	0.457	0.602	0.600	0.160	0.086	0.030	0.030
3	1.221	0.262	0.452	0.296	1.891	0.462	0.618	0.549	0.155	0.080	0.030	0.030
4	0.858	0.264	0.438	0.297	2.113	0.461	0.621	0.537	0.151	0.080	0.030	0.030
5	0.868	0.253	0.441	0.267	2.113	0.477	0.615	0.523	0.144	0.075	0.030	0.030
6	0.746	0.243	0.450	0.273	2.108	0.504	0.630	0.526	0.142	0.075	0.030	0.030
7	0.757	0.243	0.443	0.266	1.731	0.556	0.625	0.494	0.138	0.070	0.030	0.030
8	0.603	0.225	0.408	0.253	1.532	0.616	0.630	0.441	0.134	0.070	0.030	0.030
9	0.620	0.225	0.363	0.264	1.531	0.627	0.620	0.404	0.131	0.070	0.030	0.030
10	0.615	0.216	0.449	0.402	1.403	0.634	0.630	0.401	0.129	0.065	0.030	0.030
11	0.502	0.202	0.586	0.583	1.223	0.820	1.051	0.389	0.129	0.065	0.030	0.030
12	0.535	0.195	0.616	0.591	1.218	1.209	1.051	0.373	0.127	0.060	0.030	0.030
13	0.509	0.195	0.546	0.531	1.065	1.207	1.208	0.368	0.123	0.060	0.030	0.030
14	0.527	0.189	0.498	0.480	1.055	1.661	1.215	0.347	0.115	0.060	0.030	0.030
15	0.514	0.172	0.473	0.480	0.830	1.878	1.208	0.331	0.113	0.060	0.030	0.030
16	0.526	0.169	0.525	0.619	0.758	1.878	1.335	0.309	0.117	0.055	0.030	0.030
17	0.452	0.183	0.543	0.309	0.742	1.877	1.591	0.297	0.115	0.055	0.030	0.030
18	0.464	0.204	0.547	0.410	0.585	2.106	1.594	0.279	0.113	0.055	0.030	0.030
19	0.425	0.260	0.520	0.405	0.585	2.099	2.031	0.266	0.115	0.050	0.030	0.030
20	0.403	0.378	0.448	0.410	0.565	2.431	1.880	0.255	0.106	0.050	0.030	0.030
21	0.367	0.376	0.396	0.396	0.539	2.266	1.880	0.244	0.105	0.045	0.030	0.030
22	0.366	0.401	0.440	0.429	0.533	2.028	1.399	0.233	0.109	0.045	0.030	0.030
23	0.397	0.367	0.429	0.518	0.524	1.521	1.394	0.223	0.104	0.030	0.030	0.030
24	0.491	0.337	0.404	0.582	0.497	1.395	1.399	0.216	0.100	0.030	0.030	0.030
25	0.489	0.324	0.393	0.626	0.472	1.050	1.219	0.202	0.106	0.030	0.030	0.030
26	0.451	0.274	0.408	0.615	0.464	0.862	1.218	0.194	0.103	0.030	0.030	0.030
27	0.422	0.337	0.396	1.047	0.466	0.750	0.865	0.191	0.102	0.030	0.030	0.030
28	0.378	0.383	0.333	0.827	0.450	0.750	0.747	0.186	0.099	0.030	0.030	0.030
29	0.350	0.434	0.357	0.755		0.821	0.756	0.175	0.097	0.030	0.030	0.030
30	0.341	0.533	0.322	0.755		0.821	0.762	0.169	0.096	0.030	0.030	0.030
31	0.322		0.329	0.619		0.820		0.168		0.030	0.030	
Max	1.342	0.538	0.616	1.047	2.113	2.431	2.031	0.650	0.164	0.092	0.030	0.030
Min	0.322	0.169	0.322	0.253	0.450	0.450	0.602	0.168	0.096	0.030	0.030	0.030
Μέση	0.586	0.281	0.450	0.482	1.062	1.145	1.067	0.340	0.121	0.055	0.030	0.030
Μέση ετήσια παροχή : 0.467 m ³ /s												

Με την εφαρμογή της σχέσης μετατροπής (3.2.3) υπολογίζουμε τις παροχές στην υδροληψία του ΜΥΗΕ Βελίτσας. Οι υπολογισμένες τιμές φαίνονται στους παρακάτω Πίνακες 3.3.1-11:

Πίνακες 3.3.1-11 Παροχές ΜΥΗΕ Βελίτσας

Πίνακας 3.3.1													
Υπολογισμένες μέσες μηνιαίες παροχές ρέματος Ξεριές στην θέση υδροληψίας του ΜΥΗΕ Βελίτσας σε m ³ /s													
Υδρολογ. Έτος	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.	ΕΤΟΣ
2009-10	0.110	0.315	0.688	0.886	0.762	0.464	0.316	0.191	0.054	0.054	0.054	0.054	0.329
2010-11	0.054	0.054	0.054	0.246	0.490	0.935	1.057	0.501	0.327	0.108	0.054	0.054	0.328
2011-12	0.100	0.096	0.254	0.446	0.701	0.914	0.910	0.205	0.079	0.054	0.054	0.054	0.322
2012-13	0.054	0.181	0.526	0.909	0.889	1.583	0.709	0.292	0.119	0.054	0.054	0.054	0.452
2013-14	0.054	0.255	0.473	0.444	0.844	0.888	0.352	0.255	0.098	0.054	0.054	0.054	0.319
2014-15	0.054	0.054	0.279	0.410	1.406	1.384	0.731	0.260	0.266	0.109	0.054	0.054	0.422
2015-16	0.227	0.529	0.372	0.560	0.603	0.687	0.380	0.183	0.087	0.054	0.054	0.054	0.316
2016-17	0.166	0.209	0.314	0.359	1.365	1.784	0.577	0.250	0.274	0.157	0.059	0.054	0.464
2017-18	0.054	0.141	0.306	0.722	0.864	1.325	0.436	0.353	0.174	0.075	0.054	0.054	0.380
2018-19	1.046	0.502	0.802	0.859	1.896	2.043	1.905	0.607	0.217	0.097	0.054	0.054	0.840
Μέση Τιμή	0.192	0.234	0.407	0.584	0.982	1.201	0.737	0.31	0.17	0.082	0.055	0.054	0.414

Πίνακας 3.3.2												
Μέσες ημερήσιες παροχές στην υδροληψία ΜΥΗΕ Βελίτσας σε (m ³ /s) Υδρολογικό έτος 2009-10												
Ημέρα	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ
1	0.054	0.128	0.118	0.675	0.867	0.840	0.313	0.292	0.054	0.054	0.054	0.054
2	0.054	0.128	0.142	0.678	0.845	0.835	0.318	0.282	0.054	0.054	0.054	0.054
3	0.054	0.126	0.108	0.662	0.791	0.830	0.294	0.263	0.054	0.054	0.054	0.054
4	0.054	0.196	0.111	0.683	0.768	0.793	0.273	0.262	0.054	0.054	0.054	0.054
5	0.054	0.668	0.105	0.625	0.766	0.759	0.268	0.249	0.054	0.054	0.054	0.054
6	0.054	0.601	0.262	0.500	0.748	0.744	0.263	0.259	0.054	0.054	0.054	0.054
7	0.054	0.376	0.280	0.518	0.724	0.643	0.286	0.230	0.054	0.054	0.054	0.054
8	0.054	0.341	0.855	0.625	0.742	0.620	0.256	0.255	0.054	0.054	0.054	0.054
9	0.054	0.333	0.688	0.654	0.688	0.328	0.236	0.248	0.054	0.054	0.054	0.054
10	0.054	0.631	0.632	0.741	0.700	0.559	0.236	0.246	0.054	0.054	0.054	0.054
11	0.054	0.450	0.596	0.839	1.041	0.518	0.233	0.236	0.054	0.054	0.054	0.054
12	0.054	0.629	0.350	0.946	1.032	0.434	0.218	0.227	0.054	0.054	0.054	0.054
13	0.054	0.713	0.534	1.071	1.008	0.444	0.212	0.242	0.054	0.054	0.054	0.054
14	0.054	0.535	0.520	1.071	0.946	0.444	0.202	0.238	0.054	0.054	0.054	0.054
15	0.054	0.434	0.506	0.931	0.943	0.427	0.318	0.279	0.054	0.054	0.054	0.054
16	0.054	0.374	0.866	1.071	0.857	0.434	0.338	0.233	0.054	0.054	0.054	0.054
17	0.054	0.341	1.071	1.071	0.840	0.399	0.398	0.234	0.054	0.054	0.054	0.054
13	0.054	0.292	0.959	1.071	0.804	0.390	0.390	0.220	0.054	0.054	0.054	0.054
19	0.054	0.270	0.879	1.071	0.688	0.379	0.447	0.207	0.054	0.054	0.054	0.054
20	0.054	0.234	1.071	1.071	0.695	0.370	0.423	0.176	0.054	0.054	0.054	0.054
21	0.054	0.219	1.071	1.071	0.625	0.350	0.402	0.187	0.054	0.054	0.054	0.054
22	0.054	0.200	1.071	1.071	0.613	0.340	0.385	0.150	0.054	0.054	0.054	0.054
23	0.054	0.191	1.071	1.038	0.589	0.331	0.379	0.140	0.054	0.054	0.054	0.054
24	0.054	0.183	1.071	1.020	0.584	0.321	0.354	0.102	0.054	0.054	0.054	0.054
25	0.054	0.168	1.071	1.071	0.573	0.277	0.343	0.090	0.054	0.054	0.054	0.054
26	0.066	0.157	1.067	1.071	0.569	0.273	0.342	0.087	0.054	0.054	0.054	0.054
27	0.098	0.146	1.037	0.973	0.531	0.251	0.319	0.066	0.054	0.054	0.054	0.054
28	0.114	0.136	0.879	0.946	0.769	0.262	0.322	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054
29	1.517	0.141	0.872	0.884		0.272	0.309	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054
30	0.150	0.109	0.789	0.891		0.247	0.302	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054
31	0.137		0.685	0.855		0.266		0.054		0.054	0.054	
Max	1.517	0.713	1.071	1.071	1.041	0.840	0.447	0.292	0.054	0.054	0.054	0.054
Min	0.054	0.109	0.105	0.500	0.531	0.247	0.202	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054
Μέση	0.110	0.315	0.688	0.886	0.762	0.464	0.316	0.191	0.054	0.054	0.054	0.054
Μέση ετήσια παροχή : 0.327 m ³ /s												

Πίνακας 3.3.4												
Μέσες ημερήσιες παροχές στην υδροληψία ΜΥΗΕ Βελίτσας σε (m ³ /s) Υδρολογικό έτος 2011-12												
Ημέρα	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ
1	0.054	0.145	0.140	0.323	0.261	0.784	1.071	0.507	0.171	0.054	0.054	0.054
2	0.054	0.132	0.158	0.389	0.252	0.755	1.071	0.412	0.164	0.054	0.054	0.054
3	0.054	0.134	0.147	0.387	0.245	0.701	1.071	0.184	0.155	0.054	0.054	0.054
4	0.054	0.122	0.152	0.357	0.236	0.668	0.701	0.145	0.146	0.054	0.054	0.054
5	0.054	0.095	0.138	0.343	0.264	0.666	0.812	0.189	0.139	0.054	0.054	0.054
6	0.054	0.073	0.117	0.332	0.471	0.705	0.792	0.152	0.153	0.054	0.054	0.054
7	0.054	0.112	0.111	0.343	0.850	0.739	0.601	0.137	0.054	0.054	0.054	0.054
8	0.054	0.093	0.285	0.373	1.071	0.767	1.071	0.098	0.054	0.054	0.054	0.054
9	0.054	0.086	0.344	1.051	1.107	0.325	1.071	0.080	0.054	0.054	0.054	0.054
10	0.054	0.077	0.290	1.107	1.107	1.101	1.071	0.070	0.073	0.054	0.054	0.054
11	0.054	0.061	0.254	0.921	1.071	1.071	1.071	0.102	0.104	0.054	0.054	0.054
12	0.054	0.084	0.232	0.791	0.892	1.071	0.969	0.280	0.093	0.054	0.054	0.054
13	0.054	0.076	0.214	0.610	0.907	1.071	1.010	0.207	0.054	0.054	0.054	0.054
14	0.054	0.071	0.195	0.563	0.971	1.071	1.071	0.125	0.054	0.054	0.054	0.054
15	0.054	0.096	0.176	0.523	1.016	0.966	1.071	0.105	0.054	0.054	0.054	0.054
16	0.062	0.093	0.165	0.502	0.953	0.898	0.998	0.250	0.105	0.054	0.054	0.054
17	0.195	0.085	0.181	0.466	0.885	0.355	1.071	0.243	0.054	0.054	0.054	0.054
13	0.223	0.075	0.174	0.427	0.823	0.826	1.071	0.237	0.054	0.054	0.054	0.054
19	0.181	0.083	0.192	0.389	0.748	0.844	1.071	0.245	0.054	0.054	0.054	0.054
20	0.175	0.063	0.192	0.350	0.696	0.953	1.071	0.253	0.054	0.054	0.054	0.054
21	0.150	0.061	0.316	0.330	0.639	1.071	1.071	0.257	0.054	0.054	0.054	0.054
22	0.141	0.067	0.384	0.328	0.603	1.071	0.776	0.243	0.054	0.054	0.054	0.054
23	0.126	0.073	0.489	0.318	0.591	1.071	0.925	0.232	0.054	0.054	0.054	0.054
24	0.116	0.092	0.472	0.296	0.509	0.958	0.841	0.221	0.054	0.054	0.054	0.054
25	0.111	0.123	0.365	0.291	0.546	0.880	0.794	0.220	0.054	0.054	0.054	0.054
26	0.103	0.112	0.326	0.305	0.543	1.046	0.712	0.203	0.054	0.054	0.054	0.054
27	0.093	0.117	0.309	0.321	0.593	0.996	0.660	0.200	0.054	0.054	0.054	0.054
23	0.150	0.107	0.301	0.300	0.737	0.782	0.614	0.196	0.054	0.054	0.054	0.054
29	0.167	0.129	0.323	0.282	0.817	1.071	0.598	0.191	0.054	0.054	0.054	0.054
30	0.156	0.133	0.387	0.273		1.071	0.512	0.186	0.054	0.054	0.054	0.054
31	0.157		0.357	0.268		1.071		0.184		0.054	0.054	
Max	0.223	0.145	0.489	1.071	1.071	1.071	1.071	0.507	0.171	0.054	0.054	0.054
Min	0.054	0.061	0.111	0.268	0.236	0.666	0.512	0.070	0.054	0.054	0.054	0.054
Μέση	0.190	0.096	0.254	0.446	0.701	0.914	0.910	0.205	0.079	0.054	0.054	0.054
Μέση ετήσια παροχή : 0.321 m ³ /s												

Πίνακας 3.3.3												
Μέσες ημερήσιες παροχές στην υδροληψία ΜΥΗΕ Βελίτσας σε (m ³ /s) Υδρολογικό έτος 20010-11												
Ημέρα	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ
1	0.054	0.054	0.054	0.054	0.232	0.827	1.071	0.916	0.352	0.192	0.054	0.054
2	0.054	0.054	0.054	0.054	0.230	0.752	1.071	0.889	0.348	0.185	0.054	0.054
3	0.054	0.054	0.054	0.054	0.206	0.639	1.071	0.840	0.340	0.178	0.054	0.054
4	0.054	0.054	0.054	0.054	0.206	0.621	1.071	0.777	0.331	0.195	0.054	0.054
5	0.054	0.054	0.054	0.054	0.189	0.602	1.071	0.704	0.370	0.170	0.054	0.054
6	0.054	0.054	0.054	0.054	0.179	0.832	1.071	0.693	0.423	0.166	0.054	0.054
7	0.054	0.054	0.054	0.054	0.184	1.071	1.071	0.613	0.407	0.147	0.054	0.054
8	0.054	0.054	0.054	0.054	0.176	0.861	1.071	0.650	0.372	0.152	0.054	0.054
9	0.054	0.054	0.054	0.054	0.188	0.989	1.071	0.646	0.352	0.122	0.054	0.054
10	0.054	0.054	0.054	0.304	0.165	0.927	1.071	0.614	0.329	0.135	0.054	0.054
11	0.054	0.054	0.054	0.331	0.179	0.915	1.071	0.602	0.323	0.131	0.054	0.054
12	0.054	0.054	0.054	0.346	0.196	0.776	1.071	0.581	0.318	0.122	0.054	0.054
13	0.054	0.054	0.054	0.322	0.245	0.735	1.071	0.568	0.305	0.108	0.054	0.054
14	0.054	0.054	0.054	0.318	0.283	0.719	1.071	0.557	0.293	0.105	0.054	0.054
15	0.054	0.054	0.054	0.304	0.296	0.769	1.071	0.460	0.282	0.092	0.054	0.054
16	0.054	0.054	0.054	0.301	0.318	0.973	1.071	0.421	0.270	0.099	0.054	0.054
17	0.054	0.054	0.054	0.299	0.301	1.071	1.071	0.418	0.259	0.086	0.054	0.054
18	0.054	0.054	0.054	0.287	0.301	1.071	1.071	0.401	0.449	0.062	0.054	0.054
19	0.054	0.054	0.054	0.354	0.627	1.071	1.071	0.366	0.472	0.109	0.054	0.054
20	0.054	0.054	0.054	0.390	0.358	1.071	1.071	0.354	0.390	0.102	0.054	0.054
21	0.054	0.054	0.054	0.429	0.358	1.071	1.071	0.329	0.370	0.099	0.054	0.054
22	0.054	0.054	0.054	0.375	1.070	1.071	1.071	0.318	0.354	0.075	0.054	0.054
23	0.054	0.054	0.054	0.374	1.071	1.071	1.071	0.293	0.339	0.072	0.054	0.054
24	0.054	0.054	0.054	0.357	1.071	1.071	1.071	0.272	0.302	0.068	0.054	0.054
25	0.054	0.054	0.054	0.355	1.071	1.071	1.071	0.285	0.285	0.054	0.054	0.054
26	0.054	0.054	0.054	0.329	1.071	1.071	1.071	0.252	0.263	0.054	0.054	0.054
27	0.054	0.054	0.054	0.300	1.021	1.071	0.986	0.277	0.241	0.054	0.054	0.054
28	0.054	0.054	0.054	0.291	0.928	1.071	0.970	0.283	0.233	0.054	0.054	0.054
29	0.054	0.054	0.054	0.277		1.071	0.967	0.377	0.223	0.054	0.054	0.054
30	0.054	0.054	0.054	0.251		1.071	0.929	0.394	0.200	0.054	0.054	0.054
31	0.054		0.054	0.256		1.071		0.374		0.054	0.054	
Max	0.054	0.054	0.054	0.429	1.071	1.071	1.071	0.916	0.472	0.195	0.054	0.054
Min	0.054	0.054	0.054	0.054	0.165	0.602	0.929	0.252	0.200	0.054	0.054	0.054
Μέση	0.054	0.054	0.054	0.246	0.490	0.935	1.057	0.501	0.327	0.108	0.054	0.054
3 Μέση ετήσια παροχή : 0.326 m / s												

Πίνακας 3.3.6												
Μέσες ημερήσιες παροχές στην υδροληψία ΜΥΗΕ Βελίτσας σε (m ³ /s) Υδρολογικό έτος 2013-14												
Ημέρα	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.
1	0.054	0.054	0.284	0.751	0.482	0.564	0.503	0.378	0.161	0.054	0.054	0.054
2	0.054	0.054	0.441	0.655	0.507	0.809	0.480	0.319	0.153	0.054	0.054	0.054
3	0.054	0.054	0.864	0.584	0.543	1.321	0.455	0.339	0.166	0.054	0.054	0.054
4	0.054	0.054	1.005	0.528	0.485	1.110	0.439	0.334	0.161	0.054	0.054	0.054
5	0.054	0.054	1.033	0.491	0.435	1.321	0.419	0.321	0.155	0.054	0.054	0.054
6	0.054	0.054	0.828	0.475	0.437	1.321	0.403	0.309	0.146	0.054	0.054	0.054
7	0.054	0.054	0.694	0.444	0.532	1.042	0.405	0.302	0.148	0.054	0.054	0.054
8	0.054	0.054	0.607	0.419	0.821	1.094	0.405	0.311	0.146	0.054	0.054	0.054
9	0.054	0.054	0.535	0.407	0.962	1.321	0.414	0.316	0.139	0.054	0.054	0.054
10	0.054	0.054	0.475	0.400	2.053	1.321	0.393	0.309	0.136	0.054	0.054	0.054
11	0.054	0.054	0.434	0.382	1.678	1.124	0.384	0.298	0.130	0.054	0.054	0.054
12	0.054	0.054	0.393	0.363	1.517	1.012	0.368	0.286	0.120	0.054	0.054	0.054
13	0.054	0.054	0.361	0.353	1.267	0.946	0.350	0.275	0.127	0.054	0.054	0.054
1-4	0.054	0.054	0.343	0.343	1.124	0.910	0.336	0.273	0.123	0.054	0.054	0.054
15	0.054	0.337	0.321	0.334	1.092	0.883	0.316	0.273	0.118	0.054	0.054	0.054
16	0.054	0.334	0.307	0.332	0.978	0.889	0.303	0.262	0.054	0.054	0.054	0.054
17	0.054	0.246	0.287	0.319	0.894	0.907	0.311	0.248	0.054	0.054	0.054	0.054
18	0.054	0.585	0.275	0.309	0.835	0.889	0.307	0.230	0.054	0.054	0.054	0.054
19	0.054	0.518	0.261	0.302	0.823	0.866	0.307	0.228	0.054	0.054	0.054	0.054
20	0.054	0.659	0.253	0.287	0.810	0.850	0.300	0.223	0.054	0.054	0.054	0.054
21	0.054	0.562	0.243	0.298	0.780	0.821	0.289	0.205	0.054	0.054	0.054	0.054
22	0.054	0.578	0.228	0.293	0.737	0.776	0.282	0.198	0.054	0.054	0.054	0.054
23	0.054	0.418	0.218	0.286	0.714	0.732	0.277	0.202	0.054	0.054	0.054	0.054
24	0.054	0.427	0.200	0.275	0.689	0.691	0.270	0.196	0.054	0.054	0.054	0.054
25	0.054	0.393	0.205	0.396	0.671	0.660	0.264	0.184	0.054	0.054	0.054	0.054
26	0.054	0.427	0.202	0.616	0.621	0.637	0.264	0.182	0.054	0.054	0.054	0.054
27	0.054	0.430	0.198	0.725	0.585	0.585	0.262	0.186	0.054	0.054	0.054	0.054
28	0.054	0.373	0.321	0.684	0.568	0.560	0.277	0.184	0.054	0.054	0.054	0.054
29	0.054	0.318	0.721	0.635		0.546	0.384	0.184	0.054	0.054	0.054	0.054
30	0.054	0.289	1.051	0.560		0.503	0.405	0.182	0.054	0.054	0.054	0.054
31	0.054		1.071	0.514		0.503		0.177		0.054	0.054	
Max	0.054	0.659	1.071	0.751	2.053	1.321	0.503	0.378	0.166	0.054	0.054	0.054
Min	0.054	0.054	0.198	0.275	0.435	0.503	0.262	0.177	0.054	0.054	0.054	0.054
Μέση	0.054	0.255	0.473	0.444	0.844	0.888	0.352	0.255	0.098	0.054	0.054	0.054
Μέση ετήσια παροχή : 0.316 m3/s												

Πίνακας 3.3.8												
Μέσες ημερήσιες παροχές στην υδροληψία ΜΥΗΕ Βελίτσας σε (m ³ /s) Υδρολογικό έτος 2015-16												
Ημέρα	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.
1	0.054	0.748	0.878	0.218	0.518	0.396	0.673	0.218	0.145	0.054	0.054	0.054
2	0.054	1.124	0.782	0.218	0.502	0.382	0.644	0.216	0.145	0.054	0.054	0.054
3	0.054	1.087	0.676	0.236	0.491	0.382	0.607	0.209	0.145	0.054	0.054	0.054
4	0.054	0.921	0.603	0.311	0.507	0.402	0.575	0.196	0.145	0.054	0.054	0.054
5	0.054	0.787	0.548	0.439	0.519	0.366	0.544	0.216	0.227	0.054	0.054	0.054
6	0.054	0.639	0.510	0.732	0.507	0.341	0.527	0.209	0.054	0.054	0.054	0.054
7	0.054	0.593	0.475	0.735	0.444	0.328	0.500	0.196	0.054	0.054	0.054	0.054
8	0.054	0.507	0.475	0.753	0.452	0.319	0.480	0.191	0.137	0.054	0.054	0.054
9	0.054	0.471	0.444	0.666	0.430	0.328	0.466	0.186	0.150	0.054	0.054	0.054
10	0.054	0.444	0.400	0.596	0.430	0.321	0.444	0.177	0.153	0.054	0.054	0.054
11	0.054	0.409	0.382	0.543	0.591	0.316	0.423	0.173	0.145	0.054	0.054	0.054
12	0.054	0.391	0.368	0.505	0.330	0.327	0.393	0.170	0.161	0.054	0.054	0.054
13	0.054	0.350	0.352	0.484	1.103	0.357	0.371	0.161	0.054	0.054	0.054	0.054
14	0.054	0.334	0.336	0.443	1.124	0.721	0.352	0.157	0.054	0.054	0.054	0.054
15	0.054	0.311	0.321	0.416	1.069	0.355	0.341	0.152	0.054	0.054	0.054	0.054
16	0.054	0.296	0.309	0.425	0.917	0.773	0.327	0.152	0.054	0.054	0.054	0.054
17	0.054	0.286	0.305	0.908	0.835	0.734	0.311	0.152	0.054	0.054	0.054	0.054
18	0.054	0.284	0.294	1.091	0.753	0.721	0.294	0.150	0.054	0.054	0.054	0.054
19	0.054	0.266	0.278	0.892	0.641	0.855	0.284	0.152	0.054	0.054	0.054	0.054
20	0.054	0.250	0.266	0.785	0.596	1.107	0.277	0.152	0.054	0.054	0.054	0.054
21	0.054	0.230	0.253	0.709	0.544	1.124	0.264	0.209	0.054	0.054	0.054	0.054
22	0.054	0.223	0.243	0.635	0.539	1.112	0.261	0.220	0.054	0.054	0.054	0.054
23	0.262	0.248	0.237	0.594	0.516	1.114	0.250	0.232	0.054	0.054	0.054	0.054
24	0.821	0.237	0.232	0.555	0.485	1.124	0.257	0.211	0.054	0.054	0.054	0.054
25	1.124	0.236	0.230	0.527	0.466	1.124	0.250	0.198	0.054	0.054	0.054	0.054
26	0.962	0.439	0.230	0.509	0.435	1.121	0.245	0.189	0.054	0.054	0.054	0.054
27	0.723	0.653	0.227	0.487	0.411	1.012	0.380	0.178	0.054	0.054	0.054	0.054
28	0.589	0.955	0.223	0.469	0.414	0.921	0.230	0.168	0.054	0.054	0.054	0.054
29	0.510	1.112	0.223	0.475	0.411	0.339	0.223	0.164	0.054	0.054	0.054	0.054
30	0.453	1.044	0.225	0.487		0.767	0.220	0.162	0.054	0.054	0.054	0.054
31	0.409		0.220	0.503		0.710		0.146		0.054	0.054	
Max	1.124	1.124	0.878	1.091	1.124	1.124	0.673	0.232	0.227	0.054	0.054	0.054
Min	0.054	0.223	0.220	0.218	0.411	0.316	0.220	0.146	0.054	0.054	0.054	0.054
Μέση	0.227	0.529	0.372	0.560	0.603	0.687	0.380	0.183	0.087	0.054	0.054	0.054
Μέση ετήσια παροχή : 0.315 m3/s												

Πίνακας 3.3.7												
Μέσες ημερήσιες παροχές στην υδροληψία ΜΥΗΕ Βελίτσας σε (m ³ /s) Υδρολογικό έτος 2014-15												
Ημέρα	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.
1	0.054	0.054	0.089	0.411	6.479	2.713	1.119	0.393	0.177	0.203	0.054	0.054
2	0.054	0.054	0.107	0.375	6.479	2.713	1.124	0.382	0.170	0.189	0.054	0.054
3	0.054	0.054	0.107	0.411	3.338	2.142	1.117	0.369	0.161	0.152	0.054	0.054
4	0.054	0.054	0.107	0.402	2.142	2.142	1.058	0.352	0.150	0.171	0.054	0.054
5	0.054	0.054	0.125	0.391	1.178	1.660	1.001	0.334	0.153	0.166	0.054	0.054
6	0.054	0.054	0.125	0.336	1.124	1.303	0.944	0.328	0.189	0.148	0.054	0.054
7	0.054	0.054	0.143	0.257	1.098	1.660	0.912	0.316	0.225	0.145	0.054	0.054
8	0.054	0.054	0.143	0.257	1.071	1.660	0.839	0.303	0.601	0.107	0.054	0.054
9	0.054	0.054	0.162	0.252	1.008	2.142	0.780	0.294	0.537	0.107	0.054	0.054
10	0.054	0.054	0.196	0.234	0.955	1.660	0.682	0.289	0.409	0.111	0.054	0.054
11	0.054	0.054	0.187	0.257	0.901	1.303	0.694	0.286	0.393	0.161	0.054	0.054
12	0.054	0.054	0.268	0.273	0.785	1.303	0.689	0.280	0.350	0.155	0.054	0.054
13	0.054	0.054	0.589	0.278	0.767	1.178	0.709	0.270	0.323	0.145	0.054	0.054
14	0.054	0.054	0.500	0.296	0.643	1.124	0.712	0.262	0.302	0.143	0.054	0.054
15	0.054	0.054	0.389	0.312	0.607	1.098	0.734	0.253	0.286	0.136	0.054	0.054
16	0.054	0.054	0.327	0.330	0.571	1.026	0.780	0.243	0.270	0.130	0.054	0.054
17	0.054	0.054	0.330	0.325	0.535	0.999	0.764	0.239	0.255	0.141	0.054	0.054
18	0.054	0.054	0.416	0.325	0.500	0.976	0.746	0.223	0.262	0.107	0.054	0.054
19	0.054	0.054	0.412	0.330	0.464	0.942	0.712	0.227	0.270	0.089	0.054	0.054
20	0.054	0.054	0.373	0.341	0.446	0.864	0.678	0.212	0.259	0.071	0.054	0.054
21	0.054	0.054	0.339	0.346	0.437	0.850	0.655	0.221	0.248	0.054	0.054	0.054
22	0.054	0.054	0.303	0.352	0.455	0.805	0.598	0.211	0.245	0.054	0.054	0.054
23	0.054	0.054	0.278	0.359	0.607	0.784	0.566	0.209	0.234	0.054	0.054	0.054
24	0.054	0.054	0.280	0.359	0.857	0.801	0.534	0.207	0.225	0.054	0.054	0.054
25	0.054	0.054	0.243	0.359	0.875	0.891	0.512	0.196	0.216	0.054	0.054	0.054
26	0.054	0.054	0.236	0.348	0.821	1.660	0.493	0.195	0.211	0.054	0.054	0.054
27	0.054	0.054	0.234	0.357	0.946	1.303	0.471	0.191	0.212	0.054	0.054	0.054
28	0.054	0.054	0.257	0.353	3.266	1.303	0.455	0.202	0.211	0.054	0.054	0.054
29	0.054	0.054	0.441	0.359		1.303	0.441	0.196	0.207	0.054	0.054	0.054
30	0.054	0.054	0.485	0.428		1.303	0.414	0.189	0.221	0.054	0.054	0.054
31	0.054		0.443	2.695		1.303		0.180		0.054	0.054	
Max	0.054	0.054	0.589	2.695	6.479	2.713	1.124	0.393	0.601	0.203	0.054	0.054
Min	0.054	0.054	0.089	0.234	0.437	0.784	0.414	0.180	0.150	0.054	0.054	0.054
Μέση	0.054	0.054	0.279	0.410	1.406	1.384	0.731	0.260	0.266	0.109	0.054	0.054
Μέση ετήσια παροχή : 0.415 m3/s												

Πίνακας 3.3.10												
Μέσες ημερήσιες παροχές στην υδροληψία ΜΥΗΕ Βελίτσας σε (m ³ /s) Υδρολογικό έτος 2017-18												
Ημέρα	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.
1	0.054	0.054	0.202	0.505	0.589	2.552	0.605	0.259	0.227	0.177	0.054	0.054
2	0.054	0.054	0.196	0.489	0.576	2.463	0.684	0.452	0.212	0.148	0.054	0.054
3	0.054	0.054	0.212	0.535	0.580	2.463	0.630	0.452	0.195	0.148	0.054	0.054
4	0.054	0.054	0.248	0.571	0.828	2.249	0.589	0.248	0.178	0.145	0.054	0.054
5	0.054	0.054	0.246	0.544	1.037	2.249	0.573	0.245	0.173	0.134	0.054	0.054
6	0.054	0.054	0.232	0.509	0.912	1.517	0.573	0.239	0.168	0.125	0.054	0.054
7	0.054	0.054	0.232	0.507	0.812	1.107	0.560	0.341	0.162	0.107	0.054	0.054
8	0.054	0.054	0.223	0.519	0.753	1.517	0.607	0.621	0.157	0.089	0.054	0.054
9	0.054	0.054	0.221	0.532	0.700	1.517	0.555	0.550	0.153	0.071	0.054	0.054
10	0.054	0.054	0.211	0.553	0.714	1.392	0.519	0.496	0.153	0.054	0.054	0.054
11	0.054	0.054	0.216	0.589	0.889	1.392	0.510	0.453	0.152	0.054	0.054	0.054
12	0.054	0.054	0.203	0.603	1.082	1.392	0.493	0.448	0.148	0.054	0.054	0.054
13	0.054	0.054	0.195	0.639	0.748	1.321	0.469	0.480	0.157	0.054	0.054	0.054
1-4	0.054	0.054	0.191	0.660	0.978	1.321	0.441	0.457	0.171	0.054	0.054	0.054
15	0.054	0.054	0.189	0.603	0.883	1.214	0.427	0.493	0.177	0.054	0.054	0.054
16	0.054	0.054	0.189	0.666	0.817	1.160	0.409	0.396	0.180	0.054	0.054	0.054
17	0.054	0.054	0.266	0.744	0.750	1.124	0.398	0.371	0.182	0.054	0.054	0.054
18	0.054	0.125	0.509	1.003	0.748	1.104	0.377	0.344	0.177	0.054	0.054	0.054
19	0.054	0.139	0.450	1.108	0.767	1.119	0.359	0.337	0.173	0.054	0.054	0.054
20	0.054	0.500	0.386	0.999	0.782	1.124	0.348	0.314	0.171	0.054	0.054	0.054
21	0.054	0.386	0.353	0.950	0.801	1.107	0.337	0.316	0.161	0.054	0.054	0.054
22	0.054	0.332	0.330	1.080	0.873	1.003	0.327	0.289	0.159	0.054	0.054	0.054
23	0.054	0.289	0.319	1.124	0.998	0.985	0.316	0.291	0.159	0.054	0.054	0.054
24	0.054	0.255	0.294	1.064	1.080	0.941	0.302	0.282	0.162	0.054	0.054	0.054
25	0.054	0.205	0.282	0.955	1.124	0.862	0.294	0.278	0.164	0.054	0.054	0.054
26	0.054	0.232	0.282	0.364	1.124	0.864	0.289	0.271	0.193	0.054	0.054	0.054
27	0.054	0.221	0.321	0.798	1.124	0.389	0.282	0.261	0.182	0.054	0.054	0.054
28	0.054	0.225	0.430	0.746	1.124	0.875	0.271	0.253	0.196	0.054	0.054	0.054
29	0.054	0.203	0.610	0.669		0.832	0.268	0.245	0.191	0.054	0.054	0.054
30	0.054	0.200	0.655	0.634		0.764	0.261	0.239	0.182	0.054	0.054	0.054
31	0.054		0.584	0.609		0.709		0.230		0.054	0.054	
Max	0.054	0.500	0.655	1.124	1.124	2.552	0.684	0.621	0.227	0.177	0.054	0.054
Min	0.054	0.054	0.189	0.489	0.576	0.709	0.261	0.230	0.148	0.054	0.054	0.054
Μέση	0.054	0.141	0.306	0.722	0.864	1.325	0.436	0.353	0.174	0.075	0.054	0.054
Μέση ετήσια παροχή : 0.378 m ³ /s												

Πίνακας 3.3.11												
Μέσες ημερήσιες παροχές στην υδροληψία ΜΥΗΕ Βελίτσας σε (m ³ /s) Υδρολογικό έτος 2018-19												
Ημέρα	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.
1	2.395	0.545	0.922	0.553	2.178	0.303	1.124	1.160	0.293	0.165	0.054	0.054
2	2.177	0.474	0.830	0.555	2.732	0.316	1.075	1.071	0.285	0.153	0.054	0.054
3	2.179	0.467	0.807	0.529	3.374	0.324	1.102	0.981	0.277	0.143	0.054	0.054
4	1.531	0.471	0.783	0.530	3.771	0.823	1.108	0.959	0.269	0.143	0.054	0.054
5	1.549	0.460	0.788	0.476	3.771	0.852	1.097	0.933	0.256	0.134	0.054	0.054
6	1.331	0.434	0.803	0.487	3.762	0.900	1.124	0.938	0.253	0.134	0.054	0.054
7	1.351	0.434	0.791	0.475	3.090	0.993	1.115	0.882	0.246	0.125	0.054	0.054
8	1.077	0.401	0.729	0.452	2.735	1.099	1.124	0.786	0.238	0.125	0.054	0.054
9	1.106	0.402	0.048	0.472	2.733	1.119	1.107	0.721	0.234	0.125	0.054	0.054
10	1.097	0.385	0.801	0.717	2.504	1.132	1.124	0.716	0.230	0.116	0.054	0.054
11	1.057	0.361	1.046	1.104	2.183	1.464	1.875	0.694	0.231	0.116	0.054	0.054
12	0.955	0.348	1.099	1.105	2.174	2.158	1.875	0.666	0.227	0.107	0.054	0.054
13	0.909	0.348	0.974	0.949	1.990	2.155	2.156	0.657	0.219	0.107	0.054	0.054
14	0.940	0.336	0.889	0.857	1.882	2.964	2.169	0.619	0.205	0.107	0.054	0.054
15	0.917	0.303	0.845	0.857	1.482	3.351	2.156	0.591	0.202	0.107	0.054	0.054
16	0.938	0.302	0.937	1.104	1.352	3.351	2.383	0.552	0.208	0.098	0.054	0.054
17	0.806	0.327	0.969	0.552	1.324	3.349	2.839	0.530	0.206	0.098	0.054	0.054
18	0.828	0.363	0.976	0.732	1.043	3.758	2.844	0.497	0.202	0.098	0.054	0.054
19	0.759	0.463	0.928	0.723	1.044	3.746	3.625	0.475	0.206	0.089	0.054	0.054
20	0.719	0.675	0.799	0.732	1.008	4.339	3.355	0.455	0.189	0.089	0.054	0.054
21	0.655	0.671	0.706	0.707	0.962	4.044	3.355	0.435	0.187	0.080	0.054	0.054
22	0.654	0.716	0.785	0.765	0.951	3.619	2.497	0.415	0.194	0.080	0.054	0.054
23	0.709	0.656	0.767	0.924	0.934	2.716	2.488	0.397	0.185	0.054	0.054	0.054
24	0.876	0.601	0.721	1.038	0.887	2.490	2.497	0.385	0.179	0.054	0.054	0.054
25	0.872	0.573	0.702	1.117	0.343	1.873	2.176	0.360	0.189	0.054	0.054	0.054
26	0.806	0.490	0.728	1.098	0.827	1.539	2.174	0.347	0.184	0.054	0.054	0.054
27	0.753	0.601	0.706	1.869	0.831	1.338	1.544	0.342	0.181	0.054	0.054	0.054
28	0.675	0.692	0.594	1.476	0.804	1.134	1.333	0.332	0.177	0.054	0.054	0.054
29	0.624	0.775	0.637	1.134		1.466	1.349	0.312	0.174	0.054	0.054	0.054
30	0.609	0.961	0.575	1.348		1.466	1.359	0.302	0.172	0.054	0.054	0.054
31	0.575		0.588	1.105		1.464		0.299		0.054	0.054	
Max	2.395	0.961	1.099	1.869	3.771	4.339	3.625	1.160	0.293	0.165	0.054	0.054
Min	0.575	0.302	0.575	0.452	0.804	0.303	1.075	0.299	0.172	0.054	0.054	0.054
Μέση	1.046	0.502	0.802	0.859	1.896	2.043	1.905	0.607	0.217	0.097	0.054	0.054
Μέση ετήσια παροχή : 0.833 m ³ /s												

3.2.3 Οικολογική παροχή και κατασκευή καμπύλης διάρκειας παροχών

Σύμφωνα λοιπόν με τις παραπάνω μετρήσεις παροχής θα γίνει ο υπολογισμός της οικολογικής παροχής η οποία θα πρέπει να ίση με το μέγιστο εκ των: α) 30% της μέσης θερινής παροχής του τριμήνου Ιουνίου-Αυγούστου, β) 50% της μέσης παροχής του Σεπτεμβρίου και γ) 30l/s το ελάχιστο σύμφωνα με το Άρθρο 16 της ΚΥΑ 49828/2008 - ΦΕΚ 2464/Τεύχος Β/3.12.2008 [18] . Η παροχή αυτή δεν θα διατίθεται για την παραγωγή ενέργειας στον υδροηλεκτρικό σταθμό και θα απελευθερώνεται από την υδροληψία του έργου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους με σκοπό την διατήρηση των κατάντη οικοσυστημάτων.

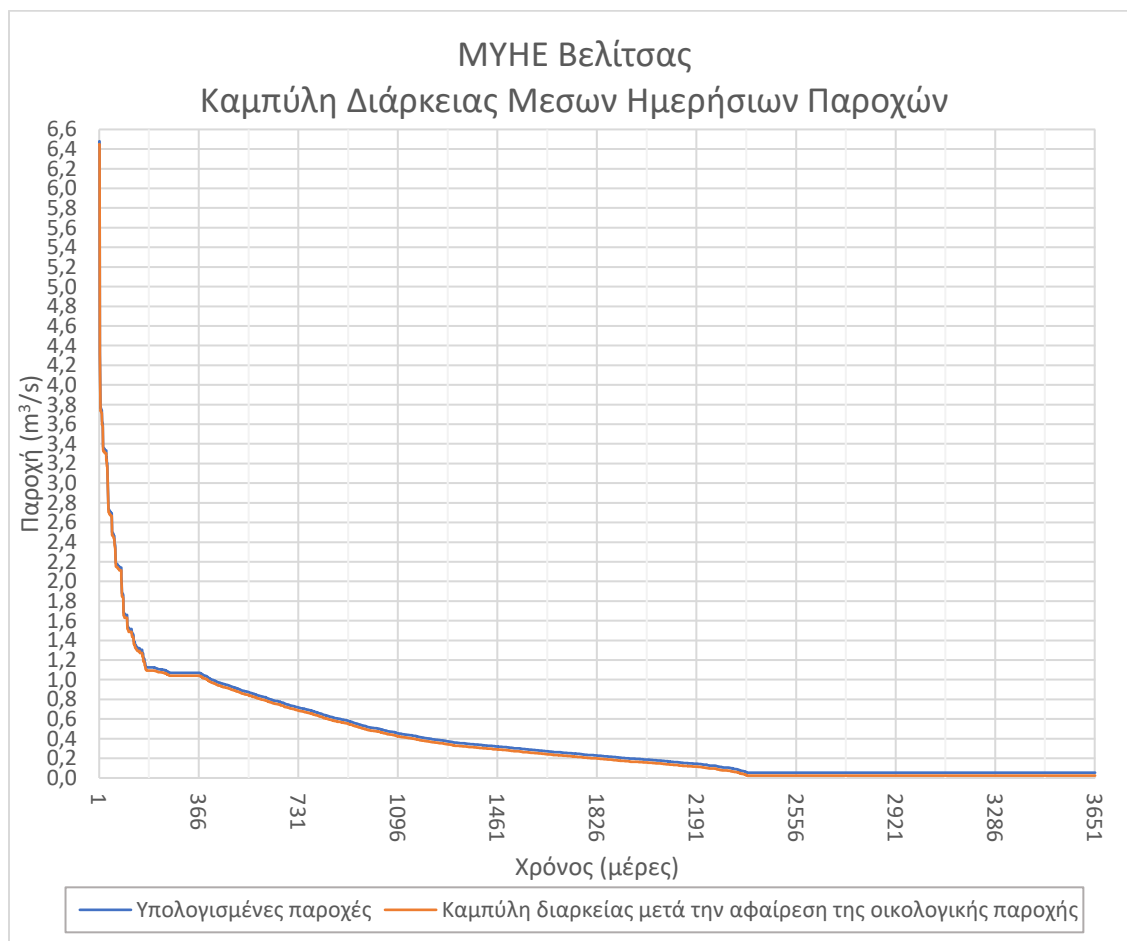
Σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα 3.3.1:

- Το 30% της μέσης θερινής παροχής του τριμήνου Ιουνίου-Αυγούστου ισούται με:
 $(0.17+0.082+0.055)(\text{m}^3/\text{s})/3 \cdot 0.3 = \mathbf{30 \text{ l/s}}$
- Το 50% της μέσης παροχής του Σεπτεμβρίου ισούται με:
 $0.054(\text{m}^3/\text{s}) \cdot 0.5 = \mathbf{27 \text{ l/s}}$
- **30 l/s** το ελάχιστο.

Άρα η τιμή οικολογικής παροχής που θα ληφθεί είναι το μέγιστο των τριών αυτών τιμών δηλαδή **30 l/s**

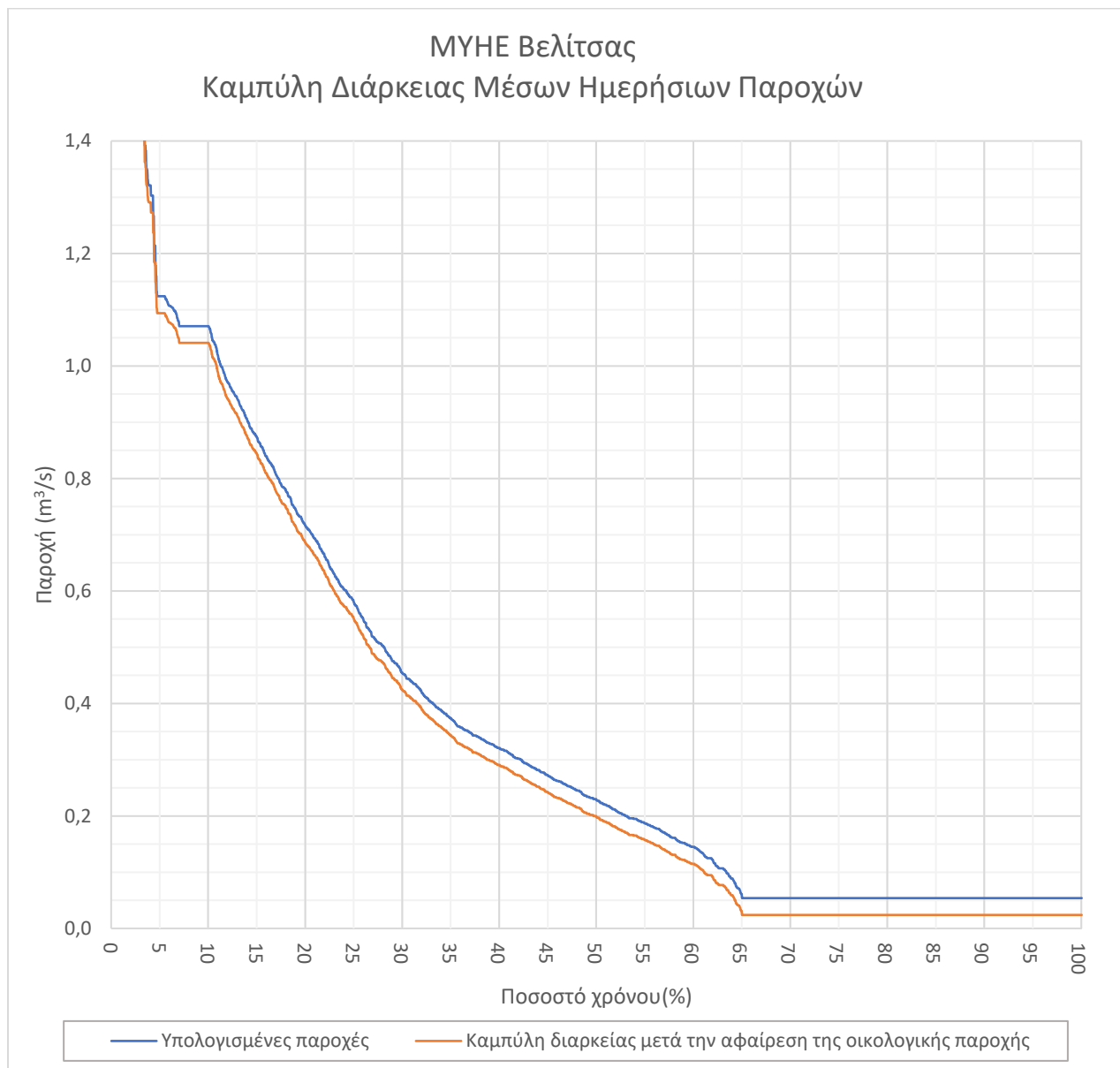
Στην συνέχεια θα κατασκευάσουμε την καμπύλη διαρκείας που εκφράζει την διαθεσιμότητα των παροχών στην θέση της υδροληψίας με σκοπό να την χρησιμοποιήσουμε για την επιλογή της εγκατεστημένης παροχής και εκτίμηση του υδροηλεκτρικού δυναμικού του έργου. Η καμπύλη θα δημιουργηθεί από τις ημερήσιες υπολογισμένες παροχές στην θέση της υδροληψίας του ΜΥΗΕ Βελίτσας. Αν το χρησιμοποιούμενο εύρος θα ήταν οι μηνιαίες μετρήσεις, θα υπήρχε σημαντική απώλεια πληροφοριών σε σχέση με την ημέρα. Θα πάρουμε τις τιμές παροχών από τους πίνακες 3.3.2-11 και θα τις τοποθετήσουμε σε ένα διάγραμμα αφού τις κατατάξουμε σε φθίνουσα τάξη μεγέθους. Αποτέλεσμα θα είναι η καμπύλη διαρκείας με τις τιμές της παροχής να αναπαρίστανται στον κατακόρυφο άξονα και στον οριζόντιο το χρονικό εύρος σε μέρες. Επιλέγοντας μια τιμή παροχής και προβάλλοντάς την στον οριζόντιο άξονα μπορούμε να αποφανθούμε για το πόσες μέρες μέσα στα 10 έτη η παροχή στην υδροληψία ήταν μεγαλύτερη ή μικρότερη της τιμής αυτής.

Στο ίδιο διάγραμμα θα εμφανίσουμε και τις τιμές παροχής στην θέση της υδροληψίας μειωμένες κατά 30 l/s δηλαδή κατά την οικολογική παροχή, μιας και αυτή θα είναι τελικά η παροχή που θα μας είναι διαθέσιμη για την λειτουργία του υδροηλεκτρικού και σύμφωνα με αυτήν θα επιλεγεί η εγκατεστημένη ισχύς. Το διάγραμμα λοιπόν αποτελείται από δύο καμπύλες διαρκείας η κάθε μια εκ των οποίων έχει 3652 σημεία:



Διάγραμμα 3.2.4 Καμπύλη διάρκειας ημερήσιων παροχών ΜΥΗΕ Βελίτσας

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι οι προκύπτουσες καμπύλες είναι ικανοποιητικά ομαλές, λόγω του μεγάλου πλήθους του δείγματος (3652 σημεία) και δεν απαιτείται περαιτέρω ομαλοποίηση. Για τον καθορισμό της εγκατεστημένης παροχής θα πρέπει να επιλέξουμε μια τιμή ποσοστού χρόνου μεταξύ του 10% με 20% και να τέμνουμε την καμπύλη διάρκειας στο σημείο αυτό, η συντεταγμένη αυτού στον κατακόρυφο άξονα θα είναι η εγκατεστημένη ισχύς που θα επιλεγεί. Θα επανασχεδιάσουμε λοιπόν την καμπύλη διάρκειας και θα αντικαταστήσουμε τον οριζόντιο άξονα με το ποσοστό του χρόνου αντί για των αριθμό των ημερών. Επίσης θα εμφανίσουμε μόνο τις τιμές παροχής κάτω από $1.4 \text{ m}^3/\text{s}$ μιας και οι μεγαλύτερες τιμές δεν αφορούν διάστημα χρόνου μεγαλύτερο του 5% και το τελικό διάγραμμα θα είναι πιο ευδιάκριτο στην περιοχή ενδιαφέροντος.

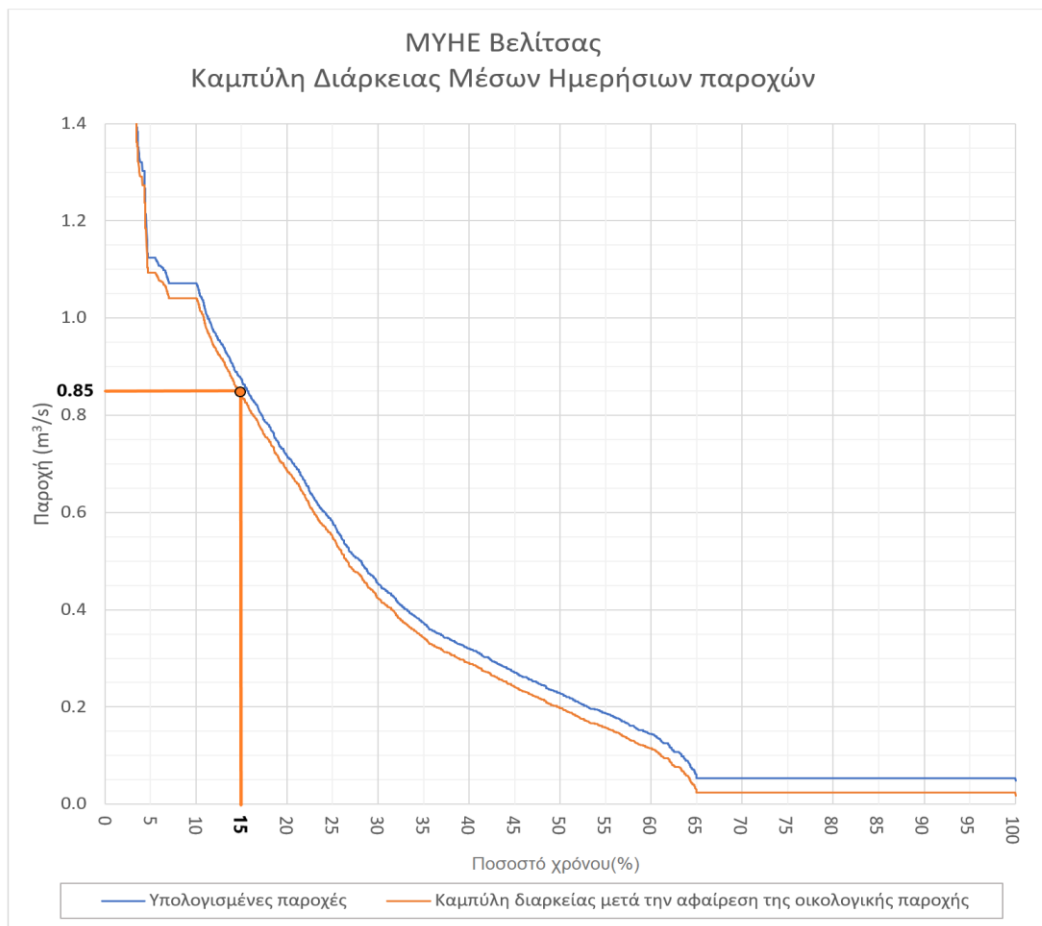


Διάγραμμα 3.2.5 Τροποποιημένη Καμπύλη διάρκειας ημερήσιων παροχών ΜΥΗΕ Βελίτσας

3.3 Υπολογισμός βασικών χαρακτηριστικών ΜΥΗΕ Βελίτσας

3.3.1 Υπολογισμός εγκατεστημένης παροχής και καθαρού ύψους πτώσης

Η εγκατεστημένη παροχή θα επιλεγεί τέμνοντας την καμπύλη διάρκειας μέσω των ημερήσιων παροχών (Διάγραμμα 3.3.1) στο 15% του χρονικού εύρους και λαμβάνοντας υπόψη ότι η απαιτούμενη ελάχιστη παραμένουσα παροχή στην κοίτη του ρέματος (οικολογική παροχή) πρέπει να είναι 30 lt/sec, υπολογίζεται ότι η μέγιστη εκμεταλλεύσιμη παροχή για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι 0.85 m³/sec.



Διάγραμμα 3.3.1 Επιλογή μέγιστης εγκατεστημένης παροχής

Επιλέγουμε το 15% του χρονικού εύρους, την αντίστοιχη παροχή (0.85 m³/sec) γιατί η τιμή αυτή είναι ευνοϊκή για τεχνοοικονομικούς λόγους μιας και η επιλογή αρκετά μεγαλύτερης τιμής θα μας οδηγήσει σε επιλογή υπερδιαστασιοποιημένης τουρμπίνας και γεννήτριας που θα είναι ακριβότερη και θα λειτουργεί με χαμηλότερο βαθμό απόδοσης στην μεγαλύτερη διάρκεια λειτουργίας της. Επίσης αν επιλέξουμε κάποια αρκετά μικρότερη παροχή θα σπαταλήσουμε μεγάλο μέρος του ενεργειακού δυναμικού που είναι διαθέσιμο στην θέση του έργου και θα μειωθεί ο βαθμός ενεργειακής εκμετάλλευσης σημαντικά.

3.3.2 Υπολογισμός υδραυλικών απωλειών

Για να συνεχίσουμε την μελέτη, να επιλέξουμε τον στρόβιλο και να υπολογίσουμε την ενέργεια που μπορεί να μας προσφέρει το υδροηλεκτρικό έργο θα πρέπει να υπολογίσουμε τις απώλειες H_f στον αγωγό προσαγωγής. Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.1.2 ο αγωγός προσαγωγής, έχει συνολικό μήκος προσεγγιστικά 2712 m. Η διαδρομή που θα ακολουθήσει ο αγωγός φαίνεται στο τοπογραφικό διάγραμμα 3.1.7.

Καλούμαστε στην συνέχεια να επιλέξουμε την διατομή του αγωγού. Η επιλογή αγωγού μικρής διαμέτρου μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μεγάλες απώλειες σε μέτρα στήλης ύδατος και την σημαντική μείωση του καθαρού ύψους πτώσεως με επακόλουθο την μείωση της παραγόμενης ισχύος, από την άλλη η υπερδιαστασιολόγηση του αγωγού αυξάνει το κόστος της εγκατάστασης χωρίς ιδιαίτερο όφελος στην μείωση των απωλειών. Ένα πρακτικό κριτήριο για τον τεχνοοικονομικά βέλτιστο καθορισμό της διαμέτρου του αγωγού προσαγωγής είναι η επιλογή διαμέτρου τέτοια ώστε οι απώλειες στο υδραυλικό προφίλ της εγκατάστασης, να είναι μεταξύ 5% και 3% του γεωδαιτικού ύψους της υδατόπτωσης. Σύμφωνα με τους Gordon και Penman προτείνεται η παρακάτω συσχέτιση για τον αρχικό καθορισμό της διαμέτρου D του αγωγού προσαγωγής για ΜΥΗΕ. [10]

$$D = 0.72 \cdot Q^{1/2} \quad (3.3.1)$$

Στην δική μας περίπτωση για μέγιστη ροή $Q = 0.85 \text{ m}^3/\text{s}$ έχουμε:

$$D = 0.72 \cdot 0.85^{1/2} = 0.664 \text{ m} \quad (3.3.2)$$

Με βάση τον παραπάνω υπολογισμό η διάμετρος του αγωγού επιλέχθηκε να είναι DN 700 για τα πρώτα 1400m και DN 600 για τα επόμενα 1312m. Η χρήση σωλήνων με διαφορετικές διαμέτρους είναι σκόπιμη για την ευκολότερη και πιο οικονομική μεταφορά των σωλήνων στην περιοχή του έργου, μιας και μπορούν να τοποθετηθούν οι μικρότερης διαμέτρου σωλήνες μέσα στους σωλήνες μεγαλύτερης διαμέτρου κατά την μεταφορά. Τα τμήματα σωλήνα με διαφορετική διάμετρο θα ενωθούνε μέσω μιας συστολής. Έπειτα από τους υπολογισμούς θα ελεγχθεί αν πληρείται το παραπάνω κριτήριο δηλαδή αν οι απώλειες αποτελούν 3-5% του γεωδαιτικού ύψους της υδατόπτωσης και αν όχι θα γίνει εκ νέου επιλογή διαμέτρου και υπολογισμός των απωλειών.

Ως υλικό επιλέχθηκε το GRP (glassfiber reinforced plastic) [36], συγκεκριμένα πολυουρεθάνη ενισχυμένη με ίνες υάλου. Οι σωλήνες τέτοιου τύπου έχουν ιδιαίτερα λεία επιφάνεια, όπως όλοι οι πλαστικοί σωλήνες σε σχέση με χαλύβδινους ή σκυροδέματος. Σύμφωνα με το φυλλάδιο προϊόντων της εταιρίας παραγωγής σωλήνων GRP “subor” η απόλυτη τραχύτητα της εσωτερικής επιφάνειας των σωλήνων είναι $\epsilon = 0.029 \text{ mm}$.

3.3.2.1 Υπολογισμός γραμμικών υδραυλικών απωλειών

Αρχικά θα γίνει ο υπολογισμός των γραμμικών απωλειών (αυτών που μεταβάλλονται γραμμικά με το μήκος του αγωγού) στα 2 τμήματα διαφορετικής διαμέτρου του αγωγού:

Σύμφωνα με όσα προαναφέραμε στο κεφάλαιο (2.2.2), οι απώλειες H_f σε μέτρα στήλης του διακινούμενου νερού για μήκος $L(m)$ αγωγού υπολογίζονται με την εξίσωση Darcy – Weissbach και ισούνται με:

$$H_f = \lambda * L * c^2 / (d * 2 * g) \quad (3.3.3)$$

Όπου:

- λ αδιάστατος συντελεστής γραμμικών απωλειών
- d η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα
- c η μέση ταχύτητα της ροής του νερού στον αγωγό
- g η επιτάχυνση της βαρύτητας (9.8 m/s^2)

Η μέση ταχύτητα της ροής του νερού στον αγωγό c εξαρτάται από την παροχή του νερού $Q (\text{m}^3/\text{s})$ και την διάμετρο ή διατομή του και είναι:

$$c = 4 * Q / (\pi * d^2) \quad (3.3.4)$$

Η τιμή του λ εξαρτάται από την απόλυτη τραχύτητα των τοιχωμάτων του σωλήνα $\epsilon = 0.029 \text{ mm}$ και τον αριθμό Reynolds Re . Βρίσκεται με την πεπλεγμένη σχέση Colebrook-White η οποία μπορεί να υπολογιστεί με την εφαρμογή επαναληπτικής διαδικασίας μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Σχέση Colebrook-White:

$$1 / (\lambda)^{1/2} = -2 * \log [2.51 / (Re * (\lambda)^{1/2}) + (\epsilon / d_H) / 3.72] \quad (3.3.5)$$

Η επίλυση της σχέσης για τους σκοπούς αυτής της μελέτης έγινε σε διαδικτυακό περιβάλλον της ιστοσελίδας engineeringtoolbox.com [37]

Ο αριθμός Reynolds Re που χαρακτηρίζει τον δυναμικό χαρακτήρα της ροής του νερού μέσα στον σωλήνα υπολογίζεται ως εξής.

$$Re = c * d_H / \nu \quad (3.3.6)$$

ν είναι η κινηματική συνεκτικότητα του νερού (περίπου $0.0000011 \text{ m}^2/\text{s}$ [38]) και d_H η υδραυλική διάμετρος της διατομής του αγωγού η οποία ορίζεται ως:

$$d_H = 4 * A / U \quad (3.3.7)$$

Όπου A η διατομή του αγωγού και U η βρεχόμενη περίμετρος, στην προκειμένη περίπτωση για σωλήνα κυκλικής διατομής $d_H = d$ η εσωτερική διάμετρος του αγωγού.

Κατωτέρω θα υπολογίσουμε τις μέγιστες υδραυλικές απώλειες για την μέγιστη παροχή $Q=0.85 \text{ m}^3/\text{s}$. Ο υπολογισμός αναφέρεται την περίπτωση που το πρώτο τμήμα του αγωγού μήκους 1400 μέτρων έχει διάμετρο $d_1=0.7$ μέτρα και το δεύτερο τμήμα μήκους 1312 μέτρων έχει διάμετρο $d_2=0.6$ μέτρα.

Για τα πρώτα 1400 μέτρα έχουμε:

$$\begin{aligned} Q &= 0.85 \text{ m}^3/\text{s} \\ d_{H1} &= d_1 = 0.700 \text{ m} \\ c_1 &= 4 \cdot 0.85 / (\pi \cdot 0.700^2) = 2.210 \text{ m/s} \\ Re_1 &= 2.210 \cdot 0.700 / 0.0000011 = 1,406,237 \\ \varepsilon &= 0.000029 \text{ m} \\ \text{Colebrook-White} &\Rightarrow \lambda_1 = 0.0120 \end{aligned}$$

$$H_{f1} = \lambda_1 \cdot L_1 \cdot c_1^2 / (d_1 \cdot 2 \cdot g) = 0.0120 \cdot 1400 \cdot 2.210^2 / (0.7 \cdot 2 \cdot 9.8) = 5.979 \text{ m}$$

Για τα επόμενα 1312 μέτρα έχουμε:

$$\begin{aligned} Q &= 0.85 \text{ m}^3/\text{s} \\ d_{H2} &= d_2 = 0.600 \text{ m} \\ c_2 &= 4 \cdot 0.85 / (\pi \cdot 0.600^2) = 3.008 \text{ m/s} \\ Re_2 &= 3.008 \cdot 0.600 / 0.0000011 = 1,640,610 \\ \varepsilon &= 0.000029 \text{ m} \\ \text{Colebrook-White} &\Rightarrow \lambda_2 = 0.0120 \end{aligned}$$

$$H_{f2} = \lambda_2 \cdot L_2 \cdot c_2^2 / (d_2 \cdot 2 \cdot g) = 0.0120 \cdot 1312 \cdot 3.008^2 / (0.6 \cdot 2 \cdot 9.8) = 12.112 \text{ m}$$

Άρα οι συνολικές γραμμικές απώλειες για παροχή $Q = 0.85 \text{ m}^3/\text{s}$ στον αγωγό προσαγωγής είναι:

$$H_{f\text{γραμμικές}} = H_{f1} + H_{f2} = 5.979 + 12.112 = 18.091 \text{ m} \quad (3.3.8)$$

Παρατηρούμε ότι οι συνολικές γραμμικές απώλειες $H_{f\text{γραμμικές}} = 18.091 \text{ m}$ που υπολογίσαμε αποτελούν το:

$H_{f\text{γραμμικές}} / H_g = 18.091 / 241 = 7.5\%$ του γεωδαιτικού ύψους της υδατόπτωσης. Αρκετά μεγαλύτερο από την μέγιστη αποδεκτή τιμή του 5% η οποία μάλιστα αναφέρεται στο άθροισμα των γραμμικών και εντοπισμένων απωλειών.

Άρα θα πρέπει να εκτελέσουμε εκ νέου τους υπολογισμούς με καινούρια μεγαλύτερη τιμή της διαμέτρου των σωλήνων. Επιλέγουμε διάμετρο αγωγού σε $d_1=0.8$ μέτρα για τα πρώτα 1400m και $d_2=0.7$ μέτρα για τα επόμενα 1312m και ελέγχουμε αν οι απώλειες θα είναι μέσα σε αποδεκτά όρια:

Για τα πρώτα 1400 μέτρα θα έχουμε:

$$\begin{aligned} Q &= 0.85 \text{ m}^3/\text{s} \\ d_{H1} &= d_1 = 0.800 \text{ m} \\ c_1 &= 4 \cdot 0.85 / (\pi \cdot 0.800^2) = 1.692 \text{ m/s} \\ Re_1 &= 1.692 \cdot 0.800 / 0.0000011 = 1,230,457 \\ \varepsilon &= 0.000029 \text{ m} \\ \text{Colebrook-White} &\Rightarrow \lambda_1 = 0.0121 \end{aligned}$$

$$H_{f1} = \lambda_1 \cdot L_1 \cdot c_1^2 / (d_1 \cdot 2 \cdot g) = 0.0121 \cdot 1400 \cdot 1.692^2 / (0.8 \cdot 2 \cdot 9.8) = 3.067 \text{ m}$$

Για τα επόμενα 1312 μέτρα θα έχουμε:

$$\begin{aligned} Q &= 0.85 \text{ m}^3/\text{s} \\ d_{H2} &= d_2 = 0.700 \text{ m} \\ c_2 &= 4 \cdot 0.85 / (\pi \cdot 0.700^2) = 2.210 \text{ m/s} \\ Re_2 &= 2.210 \cdot 0.700 / 0.0000011 = 1,406,237 \\ \varepsilon &= 0.000029 \text{ m} \\ \text{Colebrook-White} &\Rightarrow \lambda_2 = 0.0120 \end{aligned}$$

$$H_{f2} = \lambda_2 \cdot L_2 \cdot c_2^2 / (d_2 \cdot 2 \cdot g) = 0.0120 \cdot 1312 \cdot 2.210^2 / (0.7 \cdot 2 \cdot 9.8) = 5.604 \text{ m}$$

Άρα οι γραμμικές απώλειες για παροχή $Q = 0.85 \text{ m}^3/\text{s}$ στον αγωγό προσαγωγής θα είναι:

$$H_{f\text{γραμμικές}} = H_{f1} + H_{f2} = 3.067 + 5.604 = 8.671 \text{ m} \quad (3.3.9)$$

Παρατηρούμε ότι οι συνολικές γραμμικές απώλειες $H_{f\text{γραμμικές}} = 8.671 \text{ m}$ που υπολογίσαμε με τις καινούριες τιμές διαμέτρων σωλήνων αποτελούν το:

$H_{f\text{γραμμικές}} / H_g = 8.671 \text{ m} / 241 \text{ m} = 3.5\%$ του γεωδαιτικού ύψους της υδατόπτωσης. Η τιμή αυτή είναι ικανοποιητική μιας και οι εντοπισμένες απώλειες είναι συνήθως μικρότερες από τις γραμμικές απώλειες. Στην συνέχεια θα υπολογίσουμε και τις εντοπισμένες απώλειες του αγωγού.

3.3.2.2 Υπολογισμός μη γραμμικών υδραυλικών απωλειών

Ο υπολογισμός των μη γραμμικών ή εντοπισμένων απωλειών πρέπει να γίνει σε όλες τις ειδικές διαμορφώσεις των σωλήνων και στα εξαρτήματα της υδραυλικής εγκατάστασης που οδηγεί το νερό από την υδροληψία στον υδροστρόβιλο:

Στην προκείμενη περίπτωση του ΜΗΥΕ Βελίτσα οι διαμορφώσεις που δημιουργούν απώλειες είναι:

- Οι καμπύλες/γωνίες στην πορεία του αγωγού προσαγωγής
- Οι δυο συστολές, μεταξύ της αλλαγής διαμέτρου του αγωγού προσαγωγής και πριν την βάνα.
- Η βάνα μεταξύ της συστολής και πριν τον στρόβιλο

Οι απώλειες δH σε κάθε ένα από τα παραπάνω σημεία υπολογίζονται σε μέτρα στήλης ύδατος σύμφωνα με τον τύπο:

$$\delta H = \zeta \cdot c^2 / (2 \cdot g) \quad (3.3.10)$$

Όπου:

- ζ συντελεστής για την κάθε διαμόρφωση
 c η μέση ταχύτητα της ροής του νερού στον σωλήνα που αναφέρεται το εξάρτημα
 g η επιτάχυνση της βαρύτητας (9.8 m/s^2)

Υπολογισμός απωλειών σε γωνίες:

Οι γωνίες στην πορεία του αγωγού προσαγωγής δεν είναι απόλυτα καθορισμένες μιας και κατά την κατασκευή του αγωγού μπορεί να χρειαστεί να γίνει κάποια αλλαγή για την αποφυγή κάποιου εμποδίου, αλλά μπορεί να γίνει μια καλή προσέγγιση από το σχέδιο πορείας του αγωγού (σχήμα 3.1.7). Έτσι λοιπόν με βάση αυτό το σχέδιο καταγράφηκαν οι γωνίες που παρεμβάλλονται στην πορεία του αγωγού. Είναι 18 γωνίες από 30 μοίρες μέχρι και 90 μοίρες και φαίνονται αναλυτικά στην Εικόνα 3.3.2 και στον πίνακα 3.3.1 μαζί με την προσέγγιση της κλίσης τους. Γωνίες μικρής κλίσης μπορούν να αποφευχθούν μιας και αυξάνουν το κόστος του αγωγού και ο αγωγός από GRP παρουσιάζει δυνατότητα να καμφθεί ελαφρά στο μήκος του (στις ενώσεις) και σε μεγάλες αποστάσεις μπορούν να καλυφθούν μικρές γωνίες. Οι γωνίες επίτηδες έχουν ληφθεί 10 μοίρες μεγαλύτερες για να αντισταθμίσουν και τις αλλαγές της κλίσης στην τρίτη διάσταση που δεν γίνεται κατανοητή στο τοπογραφικό σχέδιο του σχήματος 3.3.2.

Ακολουθούν το σχήμα και ο πίνακας με τις γωνίες στην πορεία του αγωγού:



Καμπύλη	Μοίρες
1	30
2	45
3	50
4	35
5	40
6	90
7	30
8	40
9	30
10	30
11	80
12	50
13	45
14	50
15	30
16	50
17	35
18	40

Πίνακας 3.3.1 Γωνίες αγωγού
προσαγωγής

Εικόνα 3.3.2 Πορεία αγωγού προσαγωγής

Για κάθε μια από τις παραπάνω γωνίες θα υπολογιστούν οι απώλειες στήλης ύδατος που επιφέρει. Για να γίνει αυτό θα βρεθεί ο συντελεστής ζ για κάθε γωνία διαφορετικής κλίσης από τον εμπειρικό πίνακα 3.3.2

Πίνακας 3.3.2 Συντελεστές ζ γωνιών [10]

Μοίρες γωνίας	Συντελεστής ζ $r/D=1$ (λεία)	Συντελεστής ζ $r/D=1$ (τραχεία)
15	0.030	0.100
20	0.043	0.143
25	0.057	0.187
30	0.070	0.230
35	0.093	0.267
40	0.117	0.303
45	0.140	0.340
50	0.157	0.363
55	0.173	0.387
60	0.190	0.410
65	0.193	0.427
70	0.197	0.443
75	0.200	0.460
80	0.203	0.477
85	0.207	0.493
90	0.210	0.510

Οι τιμές στον παραπάνω πίνακα αντιπροσωπεύουν την περίπτωση που η γωνία είναι καμπυλωτή με ακτίνα καμπύλης r ίση με την διάμετρο D του σωλήνα. Η μεσαία στήλη αναφέρεται στην περίπτωση που τα τοιχώματα του σωλήνα είναι λεία (όπως στην περίπτωση των σωλήνων GRP) και η δεξιά σε περίπτωση που η επιφάνεια των τοιχωμάτων είναι τραχεία. Επίσης οι τιμές του πίνακα που είναι με σκούρο μπλε φόντο είναι τιμές από τον πίνακα της πηγής, ενώ οι υπόλοιπες σε ανοιχτό μπλε φόντο έχουν υπολογιστεί με γραμμική παρεμβολή.

Έπειτα με βάση αυτούς τους συντελεστές, την μέση ταχύτητα στον αγωγό και σύμφωνα με τον τύπο 3.3.10 εκτελούμε τις πράξεις για τον υπολογισμό των εντοπισμένων απωλειών στήλης ύδατος στις γωνίες. Οι πράξεις φαίνονται στον Πίνακα 3.3.3 που ακολουθεί:

Πίνακας 3.3.3 Υπολογισμός απωλειών γωνιών

Καμπύλη	Μοίρες	Συντελεστής ζ	Σωλήνας	Μέση ταχύτητα c (m/s)	Απώλειες (m)
1	30	0.070	DN800	1.692	0.0102
2	45	0.140	DN800	1.692	0.0204
3	50	0.157	DN800	1.692	0.0229
4	35	0.093	DN800	1.692	0.0136
5	40	0.117	DN800	1.692	0.0170
6	90	0.210	DN800	1.692	0.0307
7	30	0.070	DN800	1.692	0.0102
8	40	0.117	DN800	1.692	0.0170
9	30	0.070	DN800	1.692	0.0102
10	30	0.070	DN800	1.692	0.0102
11	80	0.203	DN800	1.692	0.0297
12	50	0.157	DN800	1.692	0.0229
13	45	0.140	DN800	1.692	0.0204
14	50	0.157	DN700	2.210	0.0390
15	30	0.070	DN700	2.210	0.0174
16	50	0.157	DN700	2.210	0.0390
17	35	0.093	DN700	2.210	0.0233
18	40	0.117	DN700	2.210	0.0291
				σύνολο=	0.3834

Άρα οι συνολικές απώλειες στήλης ύδατος στις γωνίες του αγωγού θα είναι 0.3834 μέτρα. Αυτή η τιμή αναφέρεται στην περίπτωση που οι γωνίες είναι καμπύλες με ακτίνα ίση με την διάμετρο του σωλήνα.

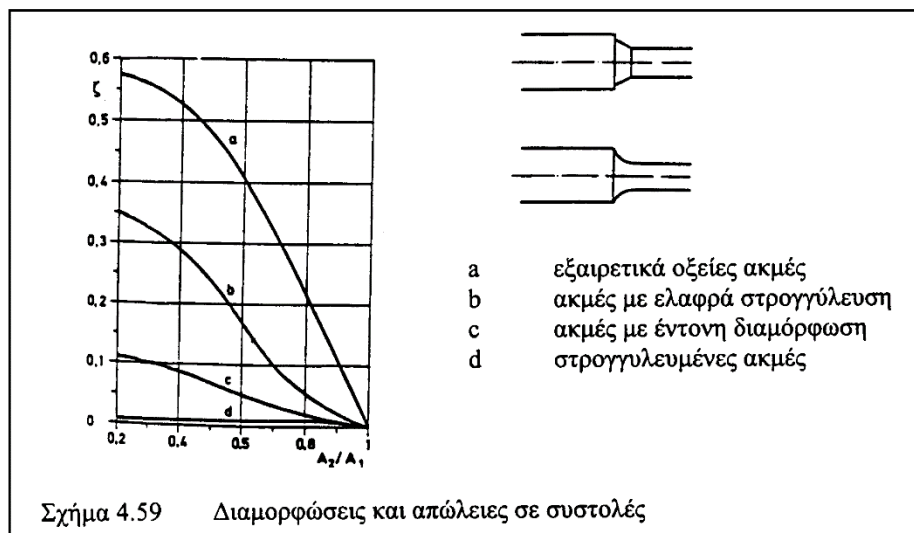
Υπολογισμός απωλειών σε συστολές:

Στην συνέχεια θα υπολογιστούν οι απώλειες στήλης ύδατος λόγω των δύο συστολών. Η πρώτη μετατρέπει την διάμετρο του αγωγού για να γίνει η μετάβαση από σωλήνα τύπου DN800 σε σωλήνα DN700. Η δεύτερη θα βρίσκεται στο τέλος του αγωγού προσαγωγής και θα τον συνδέει με βάνα τύπου πεταλούδα DN600 με φλατζωτή σύνδεση. Ο λόγος που γίνεται εκεί συστολή είναι για την μείωση του μεγέθους της βάνας. Άρα η δεύτερη συστολή θα είναι από σωλήνα τύπου DN700 σε σωλήνα DN600.

Οι τιμές των συντελεστών ζ στις συστολές θα βρεθούν από το εμπειρικό διάγραμμα 3.3.3 που δίνει τον συντελεστή ζ σε συνάρτηση με τον λόγο της διατομής του σωλήνα εισόδου προς την διατομή του σωλήνα εξόδου A_2/A_1 . [10]

Παράγοντας επίσης που επηρεάζει τον συντελεστή ζ, είναι η διαμόρφωση στην ένωση με το ευθύγραμμο τμήμα του σωλήνα, δηλαδή αν διαθέτει στρογγυλεμένες ακμές. Στο διάγραμμα

3.3.3 φαίνονται καμπύλες που περιγράφουν τις τιμές του ζ για διάφορα επίπεδα στρογγύλευσης των ακμών. Για την περίπτωση σωλήνα GRP επιλέγουμε την περίπτωση ακμών με ελαφρά στρογγύλευση (b) όπως φαίνεται στο διάγραμμα. Με βάση αυτό το διάγραμμα και τον λόγο A_2/A_1 θα υπολογίσουμε τους συντελεστές ζ για κάθε μία από τις δύο συστολές της εγκατάστασης.



Διάγραμμα 3.3.3 Εμπειρικό διάγραμμα υπολογισμού συντελεστή ζ σε συστολές [10]

Έπειτα για τον υπολογισμό των απωλειών θα χρησιμοποιηθεί ο τύπος 3.3.10 και στην θέση της μέσης ταχύτητας c θα πρέπει να εισαχθεί σε κάθε περίπτωση η τιμή της μέσης ταχύτητας ύδατος στον αγωγό εξόδου. Οι υπολογισμοί για τις απώλειες στήλης ύδατος στις συστολές φαίνονται στον πίνακα 3.3.4 και τον πίνακα 3.3.5 που ακολουθούν:

Πίνακας 3.3.4 Υπολογισμός μέσης ταχύτητας και διατομής

Σωλήνας	Μέση ταχύτητα (m/s)	Διάμετρος(m)	Διατομή(m ²)
DN800	1.692	0.800	0.502
DN700	2.210	0.700	0.385
DN600	3.008	0.600	0.283

Πίνακας 3.3.5 Υπολογισμός απωλειών στις συστολές

Συστολή	Λόγος διατομών A_2/A_1	Συντελεστής ζ	Απώλειες (m)
DN800-DN700	0.766	0.08	0.0199
DN700-DN600	0.735	0.09	0.0415
σύνολο=			0.0615

Άρα οι συνολικές απώλειες στήλης ύδατος στα τμήματα συστολής του αγωγού θα είναι 0.0615 μέτρα.

Υπολογισμός απωλειών στην βάνα:

Η τελευταία τιμή εντοπισμένης απώλειας που πρέπει να υπολογιστεί είναι οι απώλειες στην βάνα τύπου πεταλούδα DN600.



Εικόνα 3.3.4 Βάνα πεταλούδας με υδραυλικό έμβολο για άνοιγμα και αντίβαρο για κλείσιμο

Ο υπολογισμός τους θα γίνει και εδώ σύμφωνα με τον τύπο 3.3.7 και ο συντελεστής ζ δίνεται για βάνες διαφόρων τύπων από τον παρακάτω πίνακα [10]

Πίνακας 3.3.6 Συντελεστές ζ για διάφορων ειδών βάνες σε θέση πλήρους ανοίγματος

Τύπος Βάνας	Συντελεστής ζ
Πεταλούδα (πάχους $0.1 \cdot D$)	0.20
Σφαιρική (πλήρους ανοίγματος)	0.02
Δισκοβαλβίδα	3.40
Γωνιακή Δισκοβαλβίδα	1.80
Σύρτης	0.15

Στην δικιά μας περίπτωση για βάνα τύπου πεταλούδα ο συντελεστής θα είναι 0.2 και η μέση τιμή της ταχύτητας c του νερού θα υπολογιστεί για διάμετρο σωλήνα DN600 και μέγιστη παροχή $Q=0.85 \text{ m}^3/\text{s}$. Οι υπολογισμένες τιμές της μέσης ταχύτητας c φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 3.3.7

Πίνακας 3.3.7 Υπολογισμός απωλειών βάνας

Μέγεθος Βάνας	Συντελεστής ζ	Μέση ταχύτητα (m/s)	Απώλειες (m)
DN600	0.2	3.0078	0.092

Άρα οι απώλειες στήλης ύδατος στην βάνα θα είναι 0.092 μέτρα.

Συνολικά οι εντοπισμένες/μη γραμμικές απώλειες θα είναι το άθροισμα των απωλειών στις γωνίες, στις συστολές και στην βάνα

Πίνακας 3.3.8 Υπολογισμός μη γραμμικών απωλειών

Σύνολο εντοπισμένων απωλειών	
Είδος απωλειών	Απώλειες (m)
Γωνίες	0.3834
Συστολές	0.0615
Βάνα	0.0923
Σύνολο =	0.537

Άρα οι συνολικές εντοπισμένες/μη γραμμικές απώλειες στήλης ύδατος σε όλο το υδραυλικό προφίλ της εγκατάστασης είναι 0.537 μέτρα.

3.3.2.3 Υπολογισμός συνολικών υδραυλικών απωλειών και συντελεστή k

Τελικά οι συνολικές απώλειες για την μέγιστη παροχή $Q_{\max} = 0.85\text{m}^3/\text{s}$ στον αγωγό προσαγωγής είναι:

$$H_{f\max} = H_{f\text{γραμμικές}} + H_{f\text{μη γραμμικές}} = 8.671 + 0.537 = 9.208 \text{ m} \quad (3.3.11)$$

Παρατηρούμε ότι αυτή η τιμή των υδραυλικών απωλειών αποτελεί το:

$H_{f\max}/H_g = 9.208\text{m}/241\text{m} = 3.82\%$ του γεωδαιτικού ύψους της υδατόπτωσης. Άρα τηρείται το εμπειρικό κριτήριο για τον καθορισμό της διαμέτρου του αγωγού προσαγωγής μιας και οι απώλειες H_f βρίσκονται στην περιοχή μεταξύ 3% και 5% του γεωδαιτικού ύψους της υδατόπτωσης.

Άρα οι τιμές διαμέτρου των σωλήνων DN800 και DN700 είναι αποδεκτές και θα συνεχίσουμε την μελέτη με αυτές τις επιλογές για το υδραυλικό προφίλ της εγκατάστασης.

Μιας και τώρα έχουμε υπολογίσει τις τιμές απωλειών (μείωση υδραυλικού ύψους) για την μέγιστη παροχή $H_{f\max}$, μπορούμε να υπολογίσουμε τις απώλειες για τις μικρότερες τιμές παροχής:

Οι απώλειες σε όλο το υδραυλικό προφίλ της εγκατάστασης είναι ανάλογες με το τετράγωνο της παροχής. Ισχύει δηλαδή ότι $H_f = k \cdot Q^2$. Ο υπολογισμός του συντελεστή k μπορεί

να γίνει για την μέγιστη παροχή μιας και έχουμε υπολογίσει την τιμή των απωλειών H_{fmax} , σύμφωνα με την παραπάνω σχέση: $H_{fmax} = k \cdot Q_{max}^2$.

Έχουμε:

$$k = H_{fmax} / Q_{max}^2 = 9.208 / 0.85^2 = 12.744 \quad (3.3.12)$$

Για το καθαρό ύψος πτώσης θα έχουμε

$$H_n = H_g - H_f = H_g - k \cdot Q^2 \quad (3.3.13)$$

Μετά από τον παραπάνω υπολογισμό η σχέση που δίνει την παραγόμενη ισχύ του έργου διαμορφώνεται ως εξής:

Η ισχύς στην έξοδο του στροβίλου για δεδομένη παροχή Q δίνεται από την σχέση :

$$\begin{aligned} P(kW) &= g \cdot H_n \cdot Q \cdot n_{υδροστροβίλου} \cdot \rho \\ &= g \cdot (H_g - H_f) \cdot Q \cdot n_{υδροστροβίλου} \cdot \rho \\ &= g \cdot (H_g - k \cdot Q^2) \cdot Q \cdot n_{υδροστροβίλου} \cdot \rho \end{aligned} \quad (3.3.14)$$

Για μέγιστη παροχή $Q = 0.85 \text{ m}^3/\text{s}$ και βαθμό απόδοσης $n_{υδροστροβίλου} = 0.9$ μπορούμε να κάνουμε μια αρχική προσέγγιση της μέγιστης ισχύος στην έξοδο του στροβίλου του έργου:

$$P(kW) = 9.81 \cdot (241 - 12.744 \cdot 0.85^2) \cdot 0.85 \cdot 0.9 \cdot 1 = 1739.5 \text{ kW} \quad (3.3.15)$$

Για τον ακριβή υπολογισμό της ισχύος και της εγχεόμενης ενέργειας στο δίκτυο μένει να υπολογίσουμε το $n_{ολ}$ το οποίο ισούται με το γινόμενο των βαθμών απόδοσης του υδροστροβίλου, της γεννήτριας και του μετασχηματιστή που θα επιλέξουμε:

$$n_{ολ} = n_{υδροστροβίλου} \cdot n_{γεννήτριας} \cdot n_{μετασχηματιστή}$$

3.4 Επιλογή βασικών στοιχείων ΥΗΣ

3.4.1 Επιλογή υδροστροβίλου

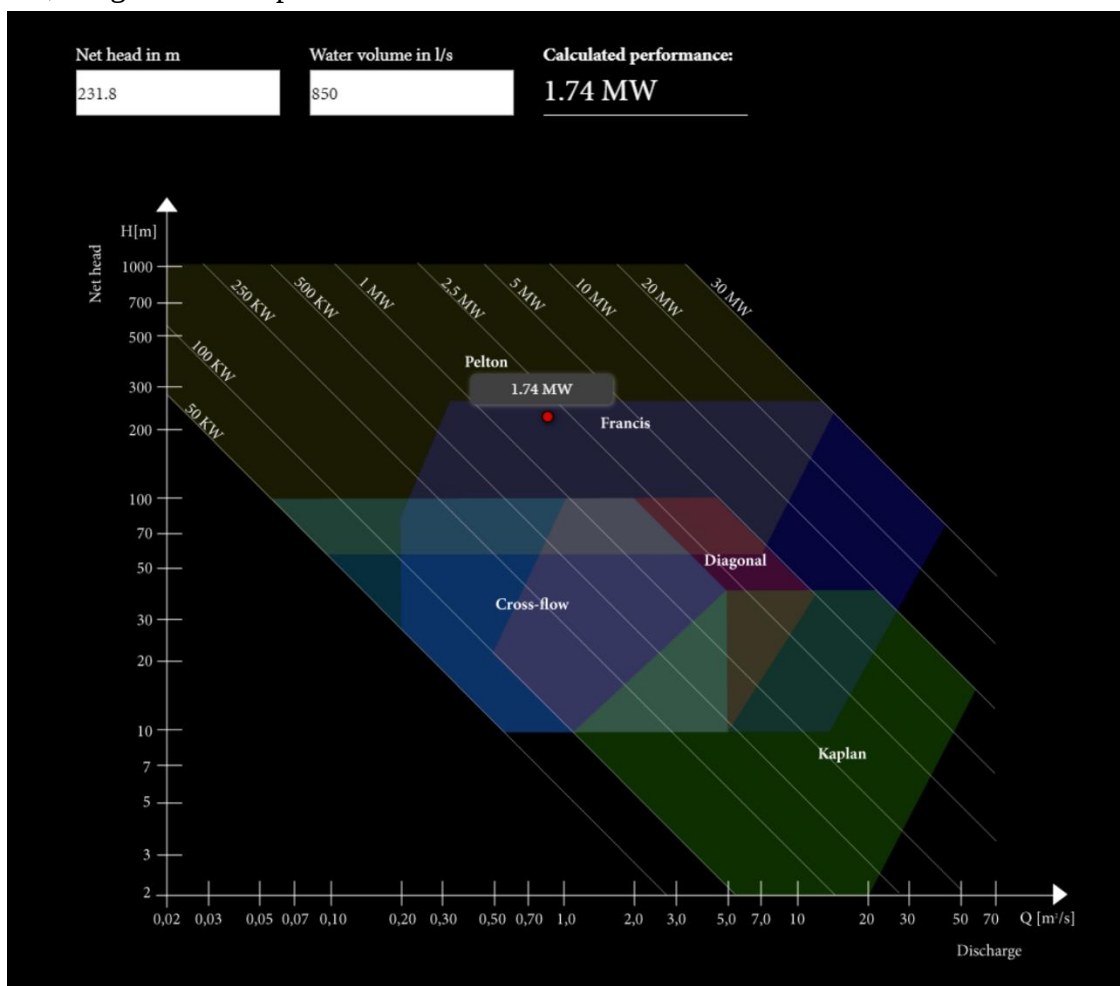
Η επιλογή του στροβίλου θα γίνει με βάση την παροχή νερού Q στην υδροληψία και το καθαρό ύψος πτώσης H_n το οποίο ισούται με το γεωδαιτικό ύψος μεταξύ υδροληψίας και ΥΗΣ H_g μείον τις απώλειες στήλης ύδατος H_f :

Έχουμε:

$$H_n = H_g - H_f = 241 - 9.2 = 231.8 \text{ m καθαρό ύψος πτώσης.} \quad (3.4.1)$$

Και $Q_{max} = 0.85 \text{ m}^3/\text{s} = 850 \text{ lt/s}$ μέγιστη παροχή.

Για την επιλογή του στροβίλου θα χρησιμοποιηθεί το διάγραμμα επιλογής υδροστροβίλου της εταιρίας Geppert (εικόνα 3.4.1 [39]) η οποία κατασκευάζει υδροστροβίλους τύπου Pelton, Francis, Diagonal και Kaplan.



Εικόνα 3.4.1 Διάγραμμα επιλογής υδροστροβίλου εταιρίας Geppert. [39]

Στο διάγραμμα της εικόνας 3.4.1 φαίνεται το σημείο λειτουργίας του ΜΗΥΕ Βελίτσα στην μέγιστη εγκατεστημένη παροχή $Q_{\max} = 0.85 \text{ m}^3/\text{s}$. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι οι κατάλληλοι υδροστροβίλοι για αυτό το σημείο λειτουργίας είναι ο υδροστροβίλος τύπου Pelton και ο υδροστροβίλος τύπου Francis.

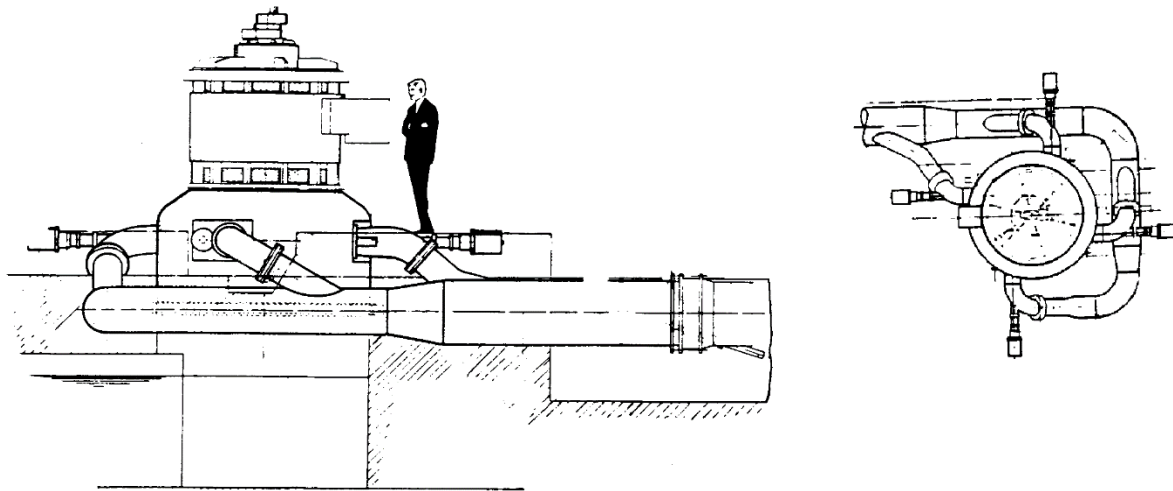
Θέλουμε ο υδροστροβίλος να εξυπηρετεί αποτελεσματικά εκτός της μέγιστης παροχής και τις μικρότερες οι οποίες αποτελούν μεγάλο μέρος της υδροδυναμικής ενέργειας που είναι διαθέσιμη στο παρόν έργο. Οι υδροστροβίλοι τύπου Francis είναι πιο αποδοτικοί όταν η λειτουργία τους είναι κοντά στην ονομαστική παροχή. Έτσι αν διαλέγαμε ένα υδροστροβίλο τύπου Francis όπως φαίνεται στην εικόνα 3.4.1 θα μπορούσαμε να τον εκμεταλλευτούμε αποτελεσματικά μέχρι και για ελάχιστη παροχή $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$. Δεν θα αξιοποιούσαμε τις παροχές μεταξύ 0.3 και $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ οι οποίες αποτελούν το 20% των ημερών του χρόνου όπως φαίνεται στο διάγραμμα 3.3.1.

Αντίθετα ένας υδροστροβίλος τύπου Pelton όπως φαίνεται στο διάγραμμα επιλογής μπορεί να εξυπηρετήσει με υψηλή απόδοση παροχές μικρότερες της μέγιστης εγκατεστημένης. Άρα ο ιδανικός τύπος υδροστροβίλου για το παρόν έργο είναι υδροστροβίλος τύπου Pelton.



Εικόνα 3.4.2 Εγκατεστημένος υδροστροβίλος Pelton οριζοντίου άξονα με 2 ακροφύσια

Περαιτέρω για τον ίδιο ακριβώς λόγο της εκμετάλλευσης της μέγιστης διαθέσιμης υδροδυναμικής ενέργειας, θα προτιμήσουμε έναν υδροστροβίλο Pelton κατακόρυφου άξονα. Ένας υδροστροβίλος Pelton οριζοντίου άξονα μπορεί να έχει μέχρι δύο ακροφύσια. Αυτό περιορίζει τον βαθμό απόδοσής του σε χαμηλές παροχές με αποτέλεσμα να μπορεί να αξιοποιήσει αποδοτικά παροχές μέχρι και 10% της ονομαστικής $0.85\text{m}^3/\text{s}$, δηλαδή $0.085\text{m}^3/\text{s}$. Αντίθετα σε έναν υδροστροβίλο Pelton κατακόρυφου άξονα μπορούν να τοποθετηθούν περισσότερα ακροφύσια για να γίνει αποδοτική εκμετάλλευση μικρότερων παροχών. Με 4 ακροφύσια μπορούμε να εκμεταλλευτούμε παροχές μέχρι και 5% της ονομαστικής $0.85\text{m}^3/\text{s}$, δηλαδή $0.0425\text{m}^3/\text{s}$. Παρόλο που ένας υδροστροβίλος Pelton κατακόρυφου άξονα είναι ακριβότερος κρίνεται ότι η αύξηση της παραγομένης ενέργειας για τους παραπάνω λόγους δικαιολογεί την επιλογή του.



Σχήμα 3.4.3 Σχέδιο Υδροστροβίλου Pelton κατακόρυφου άξονα με 4 ακροφύσια [10]

Άρα ο υδροστροβίλος Pelton που θα χρησιμοποιήσουμε θα είναι κατακόρυφου άξονα με 4 ακροφύσια και θα μπορεί να εκμεταλλευθεί παροχές από $0.85 \text{ m}^3/\text{s}$ έως $0.0425 \text{ m}^3/\text{s}$.



Εικόνα 3.4.4 Runner Υδροστροβίλου Pelton εταιρίας Geppert με 19 σκαφίδια [40]

Μια αρχική προσέγγιση για τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των υδροστροβίλων Pelton μπορεί να γίνει σύμφωνα με τις παρακάτω εμπειρικές σχέσεις [41]:

-Διάμετρος δέσμης νερού d_0 :

$$d_0 = (4/\pi/0.98/((2*9.8*H_n)^{1/2})*Q_{\text{ανά ακρ.}} \quad (3.4.2)$$

(όπου $Q_{\text{ανά ακρ.}} = Q/(\text{πλήθος ακροφυσίων})$ η παροχή ανά ακροφύσιο σε m^3/s , σε αυτήν την περίπτωση 4)

-Διάμετρος του Runner $D_1(\text{m})$:

$$D_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{60}{n} \cdot \frac{1}{\pi} \cdot (2 \cdot g \cdot H_n)^{1/2} \quad (3.4.3)$$

(όπου n η ταχύτητα περιστροφής σε στροφές ανά λεπτό(ΣΑΛ) που σε περιπτώσεις σύγχρονης γεννήτριας χωρίς πολλαπλασιαστή στροφών πρέπει να ταυτίζεται με την σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας)

-Πλήθος σκαφιδίων z :

$$z = 15 + \frac{D_1}{2 \cdot d_0} \quad (3.4.4)$$

(επιλέγεται ο πλησιέστερος ακέραιος)

-Πλάτος σκαφιδίων $B (\text{m})$:

$$B = 2.6 \cdot d_0 \quad (3.4.5)$$

Για την προκειμένη περίπτωση, με χρήση των παραπάνω εμπειρικών εξισώσεων προκύπτουν οι εξής τιμές κατασκευαστικών χαρακτηριστικών υδροστροβίλου Pelton 4 ακροφυσίων και ταχύτητας περιστροφής 1000 ΣΑΛ:

$$d_0 = 0.064 \text{m}$$

$$D_1 = 0.643 \text{m}$$

$$z = 25 \text{ σκαφίδια}$$

$$B = 0.166 \text{m}$$

Με βάση τις παραπάνω σχέσεις μπορεί να γίνει ο θεωρητικός υπολογισμός των χαρακτηριστικών ενός αποδοτικού υδροστροβίλου Pelton. Όμως, στην πράξη κάθε εταιρία κατασκευής υδροστροβίλων χρησιμοποιεί παρόμοιους εμπειρικούς τύπους ή και προσομοιώσεις μέσω ειδικά διαμορφωμένων προγραμμάτων. Έτσι επιτυγχάνεται η κατασκευή αποδοτικών υδροδυναμικών μηχανών με προβλέψιμες συμπεριφορές. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ο υδροστροβίλος θα κατασκευαστεί από την εταιρία Geppert η οποία μας έχει χορηγήσει τα χαρακτηριστικά του υδροστροβίλου που φαίνονται παρακάτω:

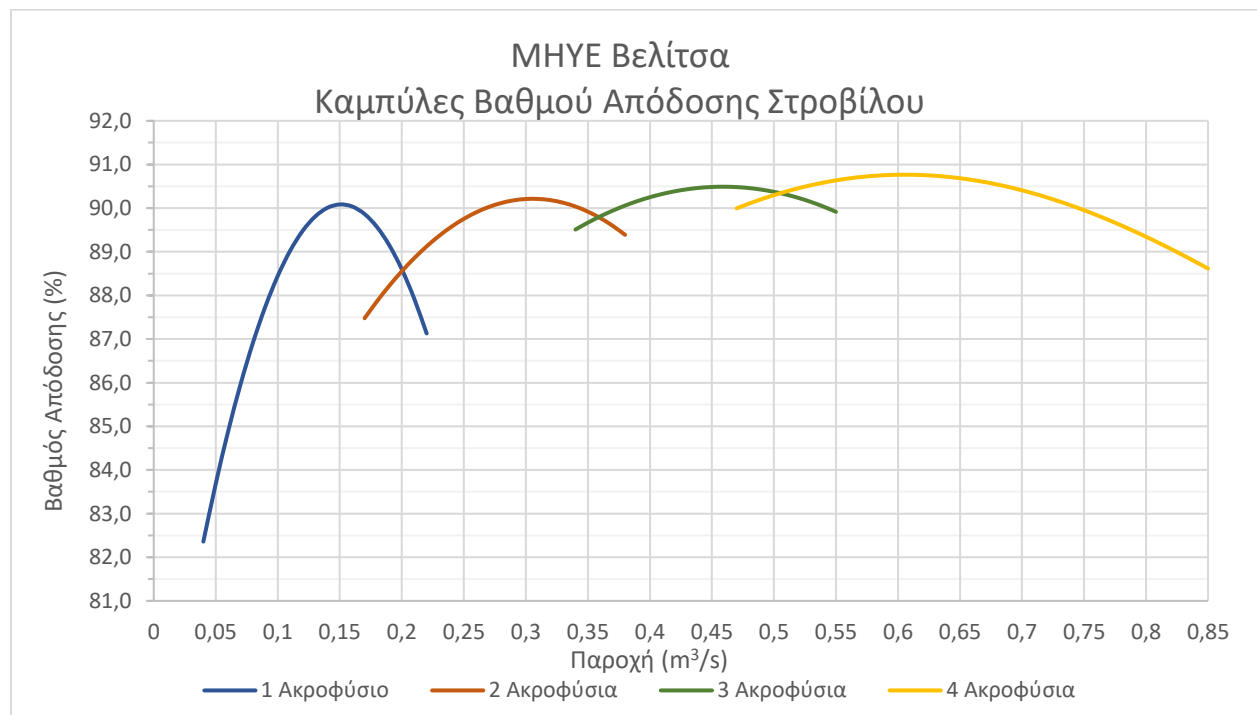
Γεωδαιτικό ύψος Hg	241	m
Καθαρό ύψος πτώσης Hn (στην μεγ. παροχή)	231.8	m
Μέγιστη παροχή	0.85	m ³ /s
Ταχύτητα περιστροφής	1000	ΣΑΛ
Ισχύς	1.74	MW
Αριθμός ακροφυσίων	4	

Ο βαθμός απόδοσης του υδροστροβίλου, αποτελείται και αυτός από επιμέρους βαθμούς απόδοσης και προκύπτει από την εξής σχέση:

$$\eta_{\text{υδροστροβίλου}} = \eta_{\text{μηχανικός}} * \eta_{\text{υδραυλικός}} * \eta_{\text{ογκομετρικός}}$$

Όμως η μελέτη της απόδοσης ενός υδροστροβίλου πριν την κατασκευή του είναι περίπλοκη διαδικασία που απαιτεί την κατασκευή μοντέλου υπό κλίμακα του υδροστροβίλου και διενέργεια δοκιμών. Κάθε εταιρία κατασκευής υδροστροβίλων έχει κάνει αυτές τις δοκιμές για κάθε υδροστροβίλο διαφορετικής γεωμετρίας που προσφέρει και μέσω ηλεκτρονικού προγράμματος μπορεί να προβλέψει την συμπεριφορά του υδροστροβίλου και να τροποποιήσει τα χαρακτηριστικά του για βέλτιστη απόδοση σε κάθε εφαρμογή.

Στο παρακάτω διάγραμμα που χορηγήθηκε από την εταιρία κατασκευής του υδροστροβίλου(Gerpert) φαίνεται η τιμή του βαθμού απόδοσής του για κάθε σημείο λειτουργίας. Ο βαθμός απόδοσης του στροβίλου εξαρτάται κάθε στιγμή από την παροχή που διοχετεύεται στον στροβίλο και από το πλήθος ακροφυσίων που χρησιμοποιούνται. Το διάγραμμα αυτό θα χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό της παραγομένης ισχύος και ενέργειας του ΜΥΗΕ Βελίτσα.



Διάγραμμα 3.4.5 Καμπύλες βαθμού απόδοσης στροβίλου Pelton ΜΥΗΕ Βελίτσα

Η λειτουργία των ακροφυσίων θα είναι ανεξάρτητη και ο στρόβιλος θα είναι δυνατόν να λειτουργεί με ένα, με δύο ή με περισσότερα ακροφύσια ανάλογα με την υπό εκμετάλλευση παροχή. Η αλλαγή του αριθμού των ακροφυσίων θα γίνεται με αυτόματο σύστημα ελέγχου για την επίτευξη του μέγιστου συντελεστή απόδοσης σε κάθε σημείο λειτουργίας. Τα ακροφύσια του στρόβιλου για την κίνησή τους θα διαθέτουν servo-motor διπλής ενέργειας που θα λειτουργεί με λάδι υπό πίεση.

Τα ακροφύσια θα διαθέτουν εκτροπέα δέσμης για την προστασία του άξονα σε περίπτωση απώλειας φορτίου. Ο εκτροπέας θα κινείται με servo-motor απλής ενέργειας για το άνοιγμά του με λάδι υπό πίεση και με ελατήριο για το κλείσιμό του.

Στην συνέχεια θα επιλέξουμε τα χαρακτηριστικά της γεννήτριας που θα συνδεθεί στον άξονα του στρόβιλου.

3.4.2 Επιλογή γεννήτριας

Για την επιλογή της γεννήτριας θα υπολογίσουμε την φαινόμενη ισχύ S της γεννήτριας η οποία θα υπολογιστεί όπως περιγράψαμε στο κεφάλαιο 2.4.1. Για να γίνει αυτό θα διαιρέσουμε την εγκατεστημένη ισχύ του υδροστρόβιλου που επιλέξαμε με τον μικρότερο συντελεστή ισχύος ($\cos\phi$) που ορίζει ο κατασκευαστής για την λειτουργία της γεννήτριας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ο υπολογισμός θα γίνει για $\cos\phi=0.9$ και $P=1740\text{kW}$

Έχουμε:

$$S=1740/0.9=1933\text{kVA} \quad (3.4.6)$$

Άρα θα επιλεγεί γεννήτρια 2000kVA μιας και πάντα επιλέγουμε γεννήτρια ελαφρώς μεγαλύτερη από τον θεωρητικό υπολογισμό. Μιας και οι ασύγχρονες γεννήτριες είναι προτιμότερες μόνο για ισχείς μικρότερες των 500kW, η γεννήτρια που θα χρησιμοποιήσουμε πρέπει να είναι σύγχρονη.

Ο υδροστρόβιλος που επιλέχθηκε θα είναι κατασκευασμένος για λειτουργία με ταχύτητα περιστροφής $n=1000$ ΣΑΛ. Το πλήθος των ζευγών των πόλων της γεννήτριας p υπολογίζεται με βάση την ταχύτητα περιστροφής και την συχνότητα λειτουργίας του δικτύου $f=50\text{Hz}$ σύμφωνα με τον τύπο:

$$n = 60 \cdot f / p \Rightarrow p = 60 \cdot f / n = 60 \cdot 50 / 1000 = 3 \quad (3.4.7)$$

Άρα η γεννήτρια θα έχει 3 ζεύγη πόλων.

Η γεννήτρια, λοιπόν, θα είναι σύγχρονη, τριφασική, εξαπολική, κατακόρυφου άξονα, αερόψυκτη, και θα συνδέεται κατευθείαν στο στροφέιο του στρόβιλου. Θα είναι εφοδιασμένη με αυτόματο ρυθμιστή τάσης καθώς και με ρυθμιστή διόρθωσης του συντελεστή ισχύος. Η ονομαστική τάση λειτουργίας για τους λόγους που αναφέραμε στο κεφάλαιο 2.4.3 θα επιλεγεί στα 600V. Η γεννήτρια θα κατασκευαστεί από την εταιρία HITZINGER. Τα βασικά χαρακτηριστικά της γεννήτριας θα είναι τα ακόλουθα :

Τάση λειτουργίας	600 V
Συχνότητα	50 Hz

Ταχύτητα περιστροφής	1000 ΣΑΛ
Ισχύς	2000 kVA
Συντ. ισχύος (cosφ)	0,90
Βαθμός προστασίας	IP 23
Υψόμετρο εγκατάστασης	Μέχρι 1000 m
Περιοχή ρύθμισης τάσης	$\pm 10\%$



Εικόνα 3.4.5 Αερόψυκτη σύγχρονη γεννήτρια εταιρίας Hitzinger (οριζοντίου άξονα)

Από την εταιρία HITZINGER για την συγκεκριμένη γεννήτρια χορηγήθηκε το παρακάτω διάγραμμα της τιμής του βαθμού απόδοσης, για τις διάφορες τιμές ισχύος λειτουργίας:



Διάγραμμα 3.4.6 Καμπύλη βαθμού απόδοσης γεννήτριας ΜΥΗΕ Βελίτσα

3.5 Επιλογή μετασχηματιστή

Για την σύνδεση της γεννήτριας με το δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ είναι απαραίτητη η ανύψωση της τάσης της γεννήτριας, μιας και μόνο υδροηλεκτρικά με ισχύ μικρότερη των 100kW μπορούν να συνδεθούν απευθείας στο δίκτυο χαμηλής τάσης. Ο μετασχηματιστής θα μετατρέπει την τάση από τα 600V της εξόδου της γεννήτριας σε 20kV δηλαδή την μέση τάση του δικτύου.

Για τον υπολογισμό της ισχύος του Μ/Σ όπως αναφέραμε στο κεφάλαιο 2.5, θα διαιρέσουμε την ισχύ της γεννήτριας με τον βαθμό απόδοσης του μετασχηματιστή. Η τιμή του βαθμού απόδοσης του μετασχηματιστή θα ληφθεί ως 0.98.

Έχουμε:

$$2000\text{kVA}/0.98 = 2041\text{kVA} \approx 2100\text{kVA} \quad (3.5.1)$$

Μιας και είναι καλή πρακτική να διαλέγουμε Μ/Σ ισχύος με μεγαλύτερη τιμή από αυτήν που υπολογίζουμε θεωρητικά, θα επιλέξουμε έναν μετασχηματιστή με ισχύ τουλάχιστον 2100kVA.

Ο μετασχηματιστής θα είναι τριφασικός, τύπου ONAN (αερόψυκτος-ελαίου), και θα εγκατασταθεί σε ειδικά διαμορφωμένο μέρος στο εξωτερικό του ΥΗΣ και θα στηρίζεται πάνω σε σιδηροτροχίες. Η ειδική διαμόρφωση σε περιφραγμένο εξωτερικό χώρο έχει σκοπό την προστασία των εργαζομένων από την υψηλή τάση καθώς και την αποτροπή μικρών ζώων από την προσέγγιση στον Μ/Σ. Η ομάδα ζεύξης του Μ/Σ ανύψωσης θα είναι Υ/Δ. Ο αστέρας θα είναι στην πλευρά της μέσης τάσης και ο ουδέτερός του κόμβος θα παραμείνει αγείωτος, ενώ το τρίγωνο θα συνδεθεί στην πλευρά της χαμηλής τάσης. Ο λόγος μετασχηματισμού θα είναι μεταβλητός κατά

$\pm 2 \times 2.5\%$. Η χρήση του διακόπτη αλλαγής του λόγου μετασχηματισμού μπορεί χρησιμοποιείται μόνο όταν ο μετασχηματιστής είναι εκτός λειτουργίας με γειωμένους τους ακροδέκτες του.

Επίσης για την τροφοδότηση των βοηθητικών κυκλωμάτων, όταν δεν λειτουργεί η μονάδα θα εγκατασταθεί βοηθητικός Μ/Σ ισχύος 50 kVA τάσεως 0.4/200KV.

Οι μετασχηματιστές θα διαθέτουν προστασία Bouholz, θερμόμετρο με ηλεκτρικές επαφές και το κέλυφος τους θα είναι γειωμένο. Το δοχείο του Μ/Σ θα έχει φίλτρο αφύγρανσης, δικλείδα εκκένωσης και πλήρωσης. Μια παρόμοια εγκατάσταση μετασχηματιστή ισχύος και βοηθητικού μετασχηματιστή σε ΜΥΗΕ φαίνεται στην εικόνα 3.5.1:



Εικόνα 3.5.1 Μετασχηματιστής ισχύος και βοηθητικός μετασχηματιστής σε ΜΥΗΕ

3.6 Επιλογή καλωδιώσεων και πινάκων ΜΤ, ΧΤ

3.6.1 Επιλογή διατομής καλωδίου σύνδεσης γεννήτριας με Μ/Σ

Θα υπολογίσουμε την διατομή του καλωδίου χαμηλής τάσης 600V που συνδέει την γεννήτρια με τους πίνακες χαμηλής τάσης (που βρίσκονται εντός του κτιρίου του σταθμού) και τους πίνακες χαμηλής τάσης με το δευτερεύον του μετασχηματιστή ανυψώσεως. Αρχικά θα γίνει ο υπολογισμός της μέγιστης έντασης που θα διαρρέει τα καλώδια σύμφωνα με τον τύπο $P = V \cdot I \cdot \cos\phi$. Ως τιμή της τάσης θα λάβουμε τα 600V που επιλέχθηκε για ονομαστική πολική τάση. Ως τιμή του $\cos\phi$ θα λάβουμε το μικρότερο δυνατό, άρα 0.9 όπως αναφέραμε στο κεφάλαιο 3.4.2.

Η μέγιστη ισχύς P που θα διαρρέει τα καλώδια θα είναι η μέγιστη ισχύς εξόδου από την γεννήτρια ($P_{\text{gen-max}}$). Άρα για να την υπολογίσουμε θα πολλαπλασιάσουμε την μέγιστη διαθέσιμη

υδραυλική ισχύ με τους συντελεστές απόδοσης του υδροστροβίλου και της γεννήτριας για μέγιστη παροχή και ισχύ αντίστοιχα.

Έχουμε:

$$P_{\text{gen-max}} = g * H_n * Q_{\text{max}} * n_{\text{υδροστροβίλου-maxΠαροχής}} * n_{\text{γεννήτριας-maxΙσχύς}} * \rho \quad (3.6.1)$$

$$= 9.81 * 231.8 * 0.85 * 0.881 * 0.967 * 1 = 1646.7 \text{ kW}$$

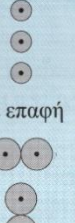
Υπολογισμός μέγιστου ρεύματος $I_{\text{max-X.T.}}$.

$$I_{\text{max-X.T.}} = P_{\text{gen-max}} / (\sqrt{3} * \cos\phi * V_{\text{πολική}}) = 1646.7 / (\sqrt{3} * 0.9 * 0.6) = 1761 \text{ A} \quad (3.6.2)$$

Άρα θα πρέπει να επιλέξουμε αγωγούς ικανής διατομής για διέλευση έντασης 1761A. Τα καλώδια που θα χρησιμοποιήσουμε θα είναι τύπου E1VV-R 1X240 (παλαιού τύπου NYΥ). Δηλαδή πρόκειται για καλώδια μονοπολικά, ονομαστικής τάσης 600/1000V με πολύκλωνο δύσκαμπτο στρογγυλό χάλκινο αγωγό, μόνωση αγωγού και μανδύα από PVC, χωρίς οπλισμό. Οι διατομές που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως 240mm ή 300mm γιατί καλώδια μεγαλύτερων διατομών δεν είναι εύχρηστα στην εγκατάσταση και για αυτόν τον λόγο δεν είναι στην γκάμα παραγωγής των περισσότερων κατασκευαστών. Μιας και αυτή η τιμή ρεύματος είναι πολύ μεγάλη θα διερευνήσουμε την περίπτωση χρήσης πολλαπλών αγωγών παράλληλης σύνδεσης για κάθε φάση για να περιοριστούν οι απώλειες και η πτώση τάσης στα καλώδια.

Το μήκος των καλωδίων θα ληφθεί ίσο με 20 μέτρα. Αυτό περιλαμβάνει την σύνδεση της γεννήτριας με τον διακόπτη ισχύος και την σύνδεση του διακόπτη ισχύος με τον Μ/Σ. Τα καλώδια θα ομαδοποιηθούν ανά φάση και η διέλευσή τους θα γίνει μέσω μεταλλικών γειωμένων φορέων καλωδίων(cable trays), δηλαδή μεταλλικές σχάρες καλωδίων στο έδαφος της εγκατάστασης. Αρχικά θα γίνει επιλογή της διατομής με βάση την μέγιστη ένταση που μπορούν να αντέξουν τα καλώδια και έπειτα θα γίνει έλεγχος και οριστικοποίηση της διατομής με βάση την μέγιστη αποδεκτή πτώση τάσης στα καλώδιά (4% για χαμηλή τάση).

Πίνακας 3.6.1 Όριο φόρτισης καλωδίων Χ.Τ. χαλκού μόνωσης PVC για 30°C [42]

διατομή	Πολυπολικά καλώδια		Μονοπολικά καλώδια		
			σε επαφή	αραιά>0,3 d	αραιά>0,3 d
					
mm ²	A	A	A	A	A
1,5	18,5	22	—	—	—
2,5	25	30	—	—	—
4	34	40	—	—	—
6	43	51	—	—	—
10	60	70	—	—	—
16	80	94	—	—	—
25	101	119	110	130	141
35	126	148	137	162	176
50	153	180	167	196	216
70	196	232	216	251	279
95	238	282	264	304	341
120	276	328	308	352	396
150	319	379	356	406	456
185	364	434	409	463	521
240	430	514	485	546	615
300	497	593	561	629	709
400	—	—	656	754	852
500	—	—	749	868	982
630	—	—	855	1005	1138

Έτσι λοιπόν η επιλογή των αγωγών θα γίνει σύμφωνα με τον πίνακα 3.6.1 [42] για αραιά τοποθέτηση των αγωγών μιας και οι διάφορες φάσεις θα διαχωριστούν ελαφρά μετά την ομαδοποίηση των αγωγών τους. Οι τιμές του πίνακα αναφέρονται σε καλώδια μόνωσης PVC για θερμοκρασία 30°C. Μιας και η θερμοκρασία στον χώρο εγκατάστασης των καλωδίων κρίνεται ότι μπορεί να φτάσει τους 40°C πρέπει να γίνει διόρθωση της ονομαστικής τιμής εντάσεως σύμφωνα με συντελεστή f_n εξαρτώμενο από την θερμοκρασία από τον πίνακα 3.6.2 [42]. Επίσης λόγω της χρήσης πολλαπλών αγωγών πρέπει να μεριμνήσουμε για την πιθανή ασύμμετρη φόρτιση των καλωδίων κατά την οποία πρέπει να επιλεγθούν αγωγοί που θα αντέχουν τουλάχιστον 30% αυξημένης έντασης [42].

Πίνακας 3.6.2 Συντελεστές διόρθωσης f_n για θερμοκρασία διαφορετική των 30°C [42]

Θερμοκρασία Περιβάλλοντος °C	Μόνωση	
	PVC	EPR ή XLPE
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	—	0,65
70	—	0,58
75	—	0,50
80	—	0,41

Έτσι λοιπόν θα πολλαπλασιάσουμε την μέγιστη τιμή του ρεύματος με 1.3 για την πρόληψη ασύμμετρης φορτίσεως:

$$I_{\max 1} = 1761 \cdot 1.3 = 2289 \text{ A} \quad (3.6.3)$$

Και έπειτα θα διαιρέσουμε την ένταση με τον συντελεστή διόρθωσης θερμοκρασίας $f_n = 0.87$ περιβάλλοντος για 40°C και μόνωση PVC:

$$I_{\max 2} = 2289 / 0.87 = 2631 \text{ A} \quad (3.6.4)$$

Τώρα καλούμαστε να επιλέξουμε το πλήθος των αγωγών και την διατομή τους για την μεταφορά της παραπάνω έντασης.

Αρχικά ελέγχουμε το σενάριο της χρήσης 4 αγωγών ανά φάση, σε αυτήν την περίπτωση έχουμε

$$I_{\text{ανά-αγωγό}} = 2631 \text{ A} / 4 = 658 \text{ A ανά αγωγό.}$$

Από τον πίνακα 3.6.1 επιλέγουμε διατομή μονοπολικών καλωδίων 300mm² των οποίων η οριακή φόρτιση είναι 709A. Άρα είναι αποδεκτό το σενάριο της χρήσης 4 μονοπολικών καλωδίων διατομής 300mm² για κάθε φάση.

Επίσης υπολογίστηκε ότι αν θέλαμε να χρησιμοποιήσουμε αγωγούς διατομής 240mm² θα έπρεπε να χρησιμοποιήσουμε 5 αγωγούς ανά φάση. Σε αυτήν την περίπτωση ο κάθε αγωγός θα πρέπει να μεταφέρει 526A ενώ το όριο φόρτισής τους από τον πίνακα 3.6.1 είναι 615A.

Στην συνέχεια της μελέτης θα ασχοληθούμε με το πρώτο σενάριο χρήσης 4 μονοπολικών καλωδίων ανά φάση διατομής 300mm², συγκεκριμένα τύπου E1VV-R 1X300. Για αυτήν την περίπτωση θα υπολογίσουμε την μέγιστη πτώση τάσης σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους [42]:

Πτώση τάσης τριφασικού κυκλώματος:

$$\delta V = \sqrt{3} \cdot L \cdot \Psi' \cdot I \cdot \cos\phi \quad (3.6.5)$$

όπου: Ψ' = ισοδύναμη αντίσταση ανά μονάδα μήκους

L = μήκος αγωγού (m)

I = ένταση ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό της γραμμής (A)

$\cos\phi$ = συντελεστής ισχύος (0.9)

Για την ισοδύναμη αντίσταση ανά μονάδα μήκους σε τριφασικά κυκλώματα ισχύει:

$$\Psi' = R' + X' \tan\phi \quad (3.6.6)$$

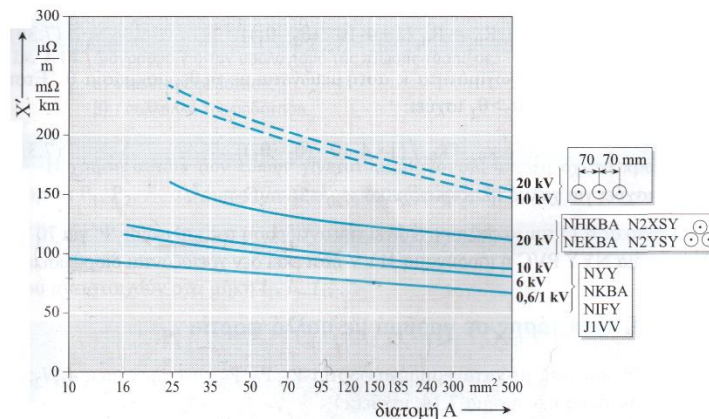
$$R' = 1/(\kappa \cdot A) \quad (3.6.7)$$

οπού: R' , X' = αντίσταση και αντίδραση ανά μονάδα μήκους (Ω/m)

κ = αγωγιμότητα στην θερμοκρασία λειτουργίας (Ω⁻¹*m*mm⁻²)

A = διατομή αγωγού(mm²)

Η τιμή της αντίδρασης για διάφορα καλώδια X' δίνεται από το διάγραμμα 3.6.1



Διάγραμμα 3.6.1 Αντίδραση καλωδίων διάφορων διατομών

Ο υπολογισμός της πτώσης τάσης θα γίνει για έναν από τους αγωγούς που θα χρησιμοποιηθούν ανά φάση και για ρεύμα γραμμής 658A μιας και ενδιαφερόμαστε για την χειρότερη περίπτωση. Από το διάγραμμα 3.6.1 λαμβάνουμε τιμή $X' = 70 \text{ m}\Omega/\text{km}$ για καλώδια NYY 0.6/1kV διατομής 300mm².

Η αγωγιμότητα $\kappa_{\theta 2}(\Omega^{-1} \cdot \text{m} \cdot \text{mm}^{-2})$ για θερμοκρασία θ_2 δίνεται από τον τύπο:

$$\kappa_{\theta 2} = \kappa_{\theta 1} / [1 + \alpha(\theta_2 - \theta_1)] = 56 / [1 + 0.004(70 - 20)] = 46.7 \Omega^{-1} \cdot \text{m} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (3.6.8)$$

οπού: $\kappa_{\theta 1}$ = τιμή αγωγιμότητας χαλκού για θερμοκρασία 20°C (56 Ω⁻¹*m*mm⁻²)

α = θερμικός συντελεστής αντίστασης χαλκού 4*10⁻³

θ_2 = θερμοκρασία (εδώ επιλέγεται η μέγιστη επιτρεπόμενη για αγωγούς PVC (70°C)

$$\theta_1 = 20^\circ\text{C}$$

Στην περίπτωση μας έχουμε:

$$X' = 70 \cdot 10^{-6} \Omega/\text{m}$$

$$\kappa_{02} = 46.7 \Omega^{-1} \cdot \text{m} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$R' = 1/(\kappa \cdot A) = 1/(46.7 \cdot 300) = 7.13 \cdot 10^{-6} \Omega/\text{m}$$

$$\Psi' = R' + X' \tan \varphi = 7.13 \cdot 10^{-6} + 50 \cdot 10^{-6} \cdot 0.484 = 10.5 \cdot 10^{-5} \Omega/\text{m}$$

Πτώση τάσης $\delta V(V)$ μεταξύ γεννήτριας και Μ/Σ:

$$\delta V = \sqrt{3} \cdot \Psi' \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 10.5 \cdot 10^{-5} \cdot 20 \cdot 658 \cdot 0.9 = 2.16 \text{ V}$$

Η ποσοστιαία πτώση τάσης ε δίνεται από την σχέση:

$$E = \delta V/V = 2.16/600 = 0.36\%$$

Άρα η πτώση τάσης $\varepsilon = 0.36\%$ είναι πολύ μικρότερη της μέγιστης επιτρεπόμενης 4% και οι 4 αγωγοί διατομής 300mm ανά φάση είναι κατάλληλοι για την σύνδεση της γεννήτριας με τον Μ/Σ. Τα 12 συνολικά καλώδια θα είναι τύπου E1VV-R 1X300.

Επίσης θα γίνει υπολογισμός της διατομής των καλωδίων Χ.Τ. που θα συνδέουν τον βοηθητικό μετασχηματιστή με τον πίνακα βοηθητικών κυκλωμάτων. Για την μέγιστη ένταση έχουμε:

$$I_{\text{max-βοηθ.}} = S_{\text{Μ/Σ}} / (\sqrt{3} \cdot V_{\text{πολική}}) = 50 / (\sqrt{3} \cdot 0.400) = 72.2 \text{ A}$$

Διόρθωση για 40°C

$$I_{\text{max-βοηθ-θεώρ.}} = 72.2/0.87 = 83.0 \text{ A}$$

Από τον πίνακα 3.6.1 διαλέγουμε διατομή 25mm² αγωγών σε τετραπολικό καλώδιο το οποίο θα φέρει τις τρεις φάσεις και τον ουδέτερο ο οποίος θα είναι διατομής 16mm² (οριακή τιμή φόρτισης 101A). Η διατομή του ουδέτερου επιλέγεται ίση με την διατομή των φάσεων μόνο για την περίπτωση τροφοδοσίας μονοφασικών φορτίων. Το καλώδιο θα είναι τύπου E1VV-S 3X25+1X16.

3.6.2 Επιλογή διατομής καλωδίου σύνδεσης Μ/Σ με Δίκτυο

Και σε αυτήν την περίπτωση θα γίνει αρχικά ο υπολογισμός της μέγιστης έντασης που θα διαρρέει τα καλώδια σύμφωνα με τον τύπο $P=V \cdot I \cdot \cos\phi$. Ως τιμή της τάσης αυτήν την φορά θα λάβουμε τα 20kV μιας και αυτή είναι η τάση του δικτύου. Ως τιμή του $\cos\phi$ θα λάβουμε το ελάχιστο δυνατό και πάλι, άρα 0.9.

Η μέγιστη ισχύς P που θα διαρρέει τα καλώδια μέσης τάσης θα είναι η μέγιστη ισχύς εξόδου από τον Μ/Σ ($P_{\text{tran-max}}$). Άρα για να την υπολογίσουμε θα πολλαπλασιάσουμε την μέγιστη διαθέσιμη υδραυλική ισχύ με τους συντελεστές απόδοσης του υδροστροβίλου και της γεννήτριας αλλά και του μετασχηματιστή για μέγιστη παροχή και ισχείς αντίστοιχα.

Έχουμε:

$$P_{\text{tran-max}} = g \cdot H_n \cdot Q_{\text{max}} \cdot \eta_{\text{υδροστροβίλου-max}} \cdot \eta_{\text{Παροχής}} \cdot \eta_{\text{γεννήτριας-max}} \cdot I_{\text{ισχύς}} \cdot \eta_{\text{μετασχηματιστή-max}} \cdot I_{\text{ισχύς}} \cdot \rho \quad (3.6.9)$$
$$= 9.81 \cdot 231.8 \cdot 0.85 \cdot 0.881 \cdot 0.967 \cdot 0.981 = 1613.8 \text{ kW}$$

Υπολογισμός μέγιστου ρεύματος κανονικής λειτουργίας $I_{\text{max-M.T.}}$:

$$I_{\text{max-M.T.}} = P_{\text{M/Σ-max}} / (\sqrt{3} \cdot \cos\phi \cdot V_{\text{πολική}}) = 1613.8 / (\sqrt{3} \cdot 0.9 \cdot 20) = 51.8 \text{ A} \quad (3.6.10)$$

Το καλώδιο μέσης τάσης που θα χρησιμοποιηθεί θα έχει χάλκινους αγωγούς με μόνωση από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο (XLPE) μονοπολικό τύπου N2XSΥ ονομαστικής μέγιστης τάσης 12/20kV. Το καλώδιο θα συνδέει τον μετασχηματιστή ανύψωσης με τον πίνακα μέσης τάσης και έπειτα θα συνδέει τον πίνακα μέσης τάσης με το δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ. Τα καλώδια Μ.Τ. από την σύνδεση με το δίκτυο μέχρι τον πίνακα Μ.Τ. θα είναι ενταφιασμένα (εντός σωλήνων PVC κατάλληλης διαμέτρου) και από τον πίνακα μέσης τάσης μέχρι τον μετασχηματιστή Μ/Σ θα τοποθετηθούν σε μεταλλικές εσχάρες καλωδίων.

Η ονομαστική τάση λειτουργίας θα είναι τα 20KV και σύμφωνα με το κανονισμό IEC 298 η εγκατάσταση θα είναι σχεδιασμένη για αντοχή σε μέγιστη κρουστική τάση 125kV και μέγιστη ισχύ βραχυκυκλώματος 250MVA.

Η διατομή καλωδίων έτσι ώστε να αντέξουν σε βραχυκύκλωμα υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο [42]:

$$A = 1000 \cdot S_k \cdot t^{1/2} / (\sqrt{3} \cdot V_{\pi} \cdot k) = 1000 \cdot 250 \cdot 1^{1/2} / (\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 143) = 50.47 \text{ mm}^2 \quad (3.6.10)$$

οπού: S_k = ισχύς βραχυκύκλωσης (MVA)

V_{π} = πολική τάση ονομαστικής λειτουργίας (kV)

k = σταθερά, 143 για χάλκινα καλώδια XLPE ($\text{s}^{1/2} \text{ A/mm}^2$)

t = μέγιστη διάρκεια βραχυκύκλωσης (1 δευτερόλεπτο)

A = διατομή αγωγού (mm^2)

Το καλώδιο τύπου N2XSΥ 50mm², αντέχει στο έδαφος μέσα σε σωλήνες συνεχή φόρτιση 190A και είναι αυτό που χρησιμοποιείται συνήθως στην μέση τάση, ανεξάρτητα από την ισχύ κατανάλωσης μέχρι 6.6MVA για 20kV για τροφοδοσία από εναέρια ή υπόγεια δίκτυα [42]. Για

αυτόν τον λόγο και ο πολύ μικρότερος βοηθητικός μετασχηματιστής θα συνδεθεί με τον πίνακα μέσης τάσης με μονοπολικά καλώδια ιδίας διατομής N2XSYP 50mm². Ο βοηθητικός μετασχηματιστής σε κανονική λειτουργία θα μπορεί να λειτουργεί με μέγιστο ρεύμα:

$$I_{\max-M.T.-\text{βοηθ.}} = S / (\sqrt{3} * V_{\text{πολική}}) = 50 / (\sqrt{3} * 20) = 1.44A$$

Άρα αφού η ένταση μέγιστης φόρτισης σε κανονική λειτουργία είναι τα 89.7A η διατομή του καλωδίου θα προσδιοριστεί από τις συνθήκες βραχυκύκλωσης και όχι από το συνεχές φορτίο.

Σημειώνεται ότι το 1 δευτερόλεπτο ως μέγιστη διάρκεια βραχυκυκλώματος προσδιορίζεται συντηρητικά από τον χρόνο διακοπής των οργάνων προστασίας, τα οποία θα είναι ρυθμισμένα με ηλεκτρονόμους σταθερού χρόνου 0.6sec δηλαδή χρόνος αποσύνδεσης σε περίπου 0.7 δευτερόλεπτα με χρόνο λειτουργίας του διακόπτη 0.1 sec.

3.6.3 Επιλογή πίνακα ισχύος Χαμηλής Τάσης

Ο πίνακας ισχύος χαμηλής τάσης θα περιλαμβάνει τον αυτόματο διακόπτη της μονάδας μεταξύ της γεννήτριας και του Μ/Σ ανύψωσης. Ο αυτόματος διακόπτης θα πρέπει να αντέχει σε μόνιμο ρεύμα κανονικής λειτουργίας $I_{\max-X.T.} = 1761 A$. Οι διακόπτες είναι τυποποιημένοι για διάφορες τιμές ρεύματος, στην περίπτωση μας θα επιλέξουμε έναν διακόπτη ισχύος ονομαστικού ρεύματος 2000A. Ένας τέτοιος διακόπτης θα μπορούσε να είναι το μοντέλο TMAX T8 2000 της εταιρίας ABB ο οποίος μπορεί να διακόψει βραχυκυκλώματα έως και 100kA. [43] Ο μηχανισμός λειτουργίας τους είναι τύπου αποθηκευμένης ενέργειας και ο χειρισμός τους πραγματοποιείται με τη χρήση προτανισμένων ελατηρίων. Για λόγους ασφαλείας τα ελατήρια ανοίγματος τανίζονται αυτόματα κατά την λειτουργία κλεισίματος. Ο διακόπτης θα διαθέτει πηνία εργασίας και κινητήρα για την τάνιση των ελατηρίων έτσι ώστε ο χειρισμός τους να μπορεί να γίνει και μέσω σημάτων από το σύστημα ελέγχου. Κατά την εκκίνηση του υδροηλεκτρικού ο αυτόματος διακόπτης Χ.Τ. θα κλείνει με σύστημα παραλληλισμού της γεννήτριας με την τάση του δικτύου. Στον διακόπτη αυτόν θα επενεργούν τα διάφορα σήματα από τους ηλεκτρονόμους προστασίας με ρυθμίσεις για ακαριαία απόσβεση ή με ρυθμιζόμενη χρονοκαθυστερήση.

Ο πίνακας ισχύος χαμηλής τάσης θα περιλαμβάνει μετασχηματιστές έντασης και τάσης για την προστασία και την επιτήρηση της εγκατάστασης καθώς και την μέτρηση της παραγόμενης ενέργειας. Επίσης θα υπάρχουν μετρητικά όργανα του συντελεστή ισχύος cosφ και το σύστημα αυτομάτου συγχρονισμού-παραλληλισμού.

Όσον αφορά την αναχώρηση για πίνακα βοηθητικών κυκλωμάτων για την συνολική προστασία των στοιχείων του, θα εγκατασταθεί τερτραπολικός μικροαυτόματος για μέγιστο ρεύμα κανονικής λειτουργίας $I_{\max-\text{βοηθ.}} = 72.2A$. Θα επιλέξουμε από τις τυποποιημένες τιμές μικροαυτόματου 80A τύπου K (για προστασία κινητήρων και μετασχηματιστών). Επίσης θα εγκατασταθεί μετρητικό στοιχείο της ενέργειας των εσωτερικών καταναλώσεων. Περαιτέρω ανάλυση των βοηθητικών κυκλωμάτων και του πίνακά τους γίνεται στο κεφάλαιο 3.7.

Ο πίνακας χαμηλής τάσης θα αποτελείται από 3 πεδία ονομαστικού ρεύματος 2000A. Το πρώτο θα περιλαμβάνει τον αυτόματο διακόπτη, τους Μ/Σ τάσης και έντασης και την είσοδο των καλωδίων χαμηλής τάσης από τον Μ/Σ ανύψωσης, το δεύτερο θα περιλαμβάνει την είσοδο των

καλωδίων της γεννήτριας. Ενώ το τρίτο ξεχωριστό πεδίο θα περιλαμβάνει την παροχή από τον βοηθητικό Μ/Σ, την αναχώρηση για τις εσωτερικές καταναλώσεις, τον μικροαυτόματο διακόπτη και τους μετασχηματιστές μετρήσεων των εσωτερικών καταναλώσεων.

Οι πίνακες Χ.Τ. θα συμμορφώνονται στα παρακάτω πρότυπα:

Πρότυπο πινάκων χαμηλής τάσης: EN61439-2

Πρότυπα προστασίας από ηλεκτρικό τόξο: IEC 61641, VDE0660 Teil500/2

Πρότυπα προστασίας από ηλεκτροπληξία: EN50274, VDE0660 Teil514

6.6.4 Επιλογή πίνακα ισχύος Μέσης Τάσης

Ο πίνακας Μ.Τ θα συνδέει την πλευρά Μ.Τ του Μ/Σ ανύψωσης, καθώς επίσης και του Μ/Σ τροφοδοσίας των βοηθητικών κυκλωμάτων με το δίκτυο της ΔΕΔΔΗΕ. Τα βασικά διακοπτικά στοιχεία του πίνακα θα είναι:

- Αυτόματος διακόπτης και αποζεύκτης για τον Μ/Σ ανύψωσης
- Ασφαλειοδιακόπτες φορτίου για τον βοηθητικό Μ/Σ και τις μετρήσεις .
- Αυτόματος διακόπτης, αποζεύκτης και γειωτές για την συνολική προστασία της εγκατάστασης.

Οι ασφαλειοδιακόπτες προστασίας του βοηθητικού Μ/Σ 50kVA και του πεδίου των μετρήσεων θα είναι εφοδιασμένοι με 3 ασφάλειες 24kV 6.3A σκόνης χαλαζία (μιας και δεν υπάρχουν μικρότερες τυποποιημένες ασφάλειες)

Οι δύο αυτόματοι διακόπτες προστασίας του Μ/Σ ανύψωσης και της συνολικής εγκατάστασης θα είναι τύπου SF6. Το ρεύμα κανονικής λειτουργίας τους είναι 51.8A και $51.8A + 1.4A = 53.2A$ αντίστοιχα αλλά λόγω της τυποποίησης των διακοπτών θα επιλέξουμε διακόπτες Μ.Τ. ονομαστικού ρεύματος 630A οι οποίοι μπορούν να διακόψουν βραχυκύκλωμα μέχρι και 20kA.

Οι κυψέλες των πινάκων Μ.Τ. θα διαθέτουν αποζεύκτες κενού και διακόπτες γης(γειωτές). Η λειτουργία τους θα είναι εξαρτημένη χειροκίνητη και θα επιτρέπουν την απομόνωση και γείωση των στοιχείων Μ.Τ. του σταθμού κατά την διάρκεια της εγκατάστασης, των δοκιμών και των επισκευών.

Οι αυτόματοι διακόπτες Μ.Τ. θα ενεργοποιούνται από τα διάφορα σήματα προστασίας (υπερέντασης, υπο-υπέρτασης, Bucholz, συχνότητας, θερμική, ομοπολικής τάσης, διαρροής προς γη, σφάλματος διέγερσης. κα). Στον πίνακα θα εγκατασταθούν και οι Μ/Σ μέτρησης τάσης(2Μ/Σ σε συνδεσμολογία V) και έντασης(3 Μ/Σ έντασης) για την μέτρηση ενέργειας που ανταλλάσσεται με το δίκτυο και την λειτουργία των προστασιών.

Ο πίνακας Μ.Τ θα είναι κατασκευασμένος για μέγιστη ισχύ βραχυκυκλώματος 250 MVA και για μέγιστη υπέρταση (125kV 1.2/50μs). Ο πίνακας Μ.Τ. θα περιλαμβάνει 4 κυψέλες και θα εγκατασταθεί σε ιδιαίτερο χώρο στο κτίριο του ΥΗΣ, και θα προστατεύεται επίσης από 3 καθοδικά αλεξικέραυνα (20kV,10kA) Μ.Τ. που θα βρίσκονται στο πεδίο εξόδου προς το δίκτυο(ένα για

κάθε φάση). Ο χώρος αυτός θα είναι ειδικά σχεδιασμένος για να αντέχει και απελευθερώνει τα διογκούμενα αέρια που μπορεί να δημιουργηθούν σε περίπτωση σφάλματος βραχυκυκλώματος. Τα πεδία των πινάκων θα διαθέτουν χωρητικούς καταμεριστές και λυχνίες για την ένδειξη ύπαρξης τάσης. Οι πίνακες που μελετήθηκαν κατασκευάζονται από την Schneider Electric [44] και συμμορφώνονται στα παρακάτω πρότυπα [45]:

IEC: 60694, 62271-200, 62271-105, 62271-100, 62271-102, 60225, 60265

UTE: NFC 13.100, NFC 13.200, NFC 64.130 NFC64.160

EDF: HN 64-S-41, HN 64-S-43

3.7 Επιλογή πίνακα αυτοματισμού και βοηθητικών κυκλωμάτων χαμηλής και συνεχούς τάσης

Στον βοηθητικό πίνακα ελέγχου θα εγκατασταθεί το σύστημα αυτοματισμού και ρύθμισης της ισχύος της μονάδας, οι προστασίες των ηλεκτρομηχανολογικών στοιχείων της εγκατάστασης, καθώς και η τροφοδότηση των βοηθητικών της μονάδας.

Στον πίνακα ελέγχου θα καταλήγουν καλώδια από τους διάφορους αισθητήρες της εγκατάστασης. Καθώς και τα καλώδια ελέγχου των στοιχείων της εγκατάστασης (π.χ. σήματα ελέγχου θέσης των σερβοκινητήρων λαδιού). Ο έλεγχος της εγκατάστασης θα γίνεται από τον ρυθμιστή στροφών που αποτελείται από ηλεκτρονικές κάρτες εισόδου-εξόδου και επεξεργασίας, που θα εγκατασταθούν στον πίνακα ελέγχου της μονάδας. Στον ρυθμιστή στροφών θα καταλήγουν όλα τα σήματα των οργάνων μέτρησης και προστασίας. Και μέσω της επεξεργασίας αυτών των σημάτων ο ρυθμιστής στροφών θα φροντίζει για την σωστή λειτουργία της εγκατάστασης.

Βασική λειτουργία του θα είναι η ρύθμιση της ισχύος εξόδου με βάση την τρέχουσα στάθμη νερού στην υδροληψία. Για την μέτρηση της στάθμης θα εγκατασταθεί ανάντη, στη δεξαμενή φόρτισης, ηλεκτρονικό σταθμήμετρο λήψης πίεσης (πιεζο-ηλεκτρικού τύπου) που θα συνδέεται με τον ρυθμιστή στροφών της μονάδας. Ο ρυθμιστής στροφών μέσω ηλεκτρονικών θα στέλνει σήμα στις βαλβίδες που ελέγχουν το υδραυλικό σύστημα του σταθμού. Επίσης θα ρυθμίζει τον συντελεστή ισχύος και την τάση εξόδου της γεννήτριας μέσω μικρών κινητήρων-μοτέρ.

Το υδραυλικό μέρος του ρυθμιστή στροφών θα αποτελείται από μονάδα πίεσης ελαίου. Η οποία θα είναι εφοδιασμένη με αντλία-κινητήρα υψηλής πίεσης και βαλβίδες για τον χειρισμό των υδραυλικών κυλίνδρων των ακροφυσίων, των εκτροπών δέσμης και του υδραυλικού κυλίνδρου της δικλείδας εισόδου.

Εκτός από την αυτόματη λειτουργία θα υπάρχει και δυνατότητα για χειροκίνητη λειτουργία, απαραίτητη κατά τις δοκιμές και κατά την θέση σε λειτουργία της μονάδας. Για την εποπτεία και τον έλεγχο της λειτουργίας της μονάδας στην πρόσοψη του πίνακα ελέγχου θα υπάρχουν όργανα, ενδεικτικές λυχνίες, επιλογικοί διακόπτες και κομβία πίεσης. Επίσης θα είναι δυνατή η απομακρυσμένη εποπτεία της εγκατάστασης μέσω σύνδεσης του ρυθμιστή στροφών με μόντεμ που θα συνδέεται στο ίντερνετ μέσω τηλεφωνικής γραμμής.

Για την ασφαλή λειτουργία του ΥΗΣ το σύστημα αυτοματισμού θα τροφοδοτείται με σύστημα αδιάλειπτης παροχής συνεχούς ρεύματος 24 V, που θα προέρχεται από ανορθωτή και συσσωρευτή. Αυτό γίνεται για να λειτουργούν αξιόπιστα τα όργανα του σταθμού σε περίπτωση που λόγω κάποιου σφάλματος ή κατά την διάρκεια δοκιμής έχει διακοπεί η τροφοδοσία των 230/400V. Ο ανορθωτής μετατρέπει μονοφασικό ρεύμα 230V σε συνεχές 24V με μέγιστη ένταση εξόδου 40A. Ο συσσωρευτής αποτελείται από δυο μπαταρίες 12V σε σειρά και είναι χωρητικότητας 65Ah. Όλα τα παραπάνω συστήματα αυτοματισμού θα τροφοδοτούνται με την συνεχή τάση των 24V εκτός από τους κινητήρες πίεσης ελαίου που λόγω της ισχύος τους θα τροφοδοτούνται από την τροφοδοσία των 400V. Η προστασία του ανορθωτή(είσοδος και έξοδος) και του συσσωρευτή θα γίνεται από διπολικούς μικροαυτόματους. Ενώ η προστασία των διάφορων καταναλώσεων 24V θα πραγματοποιείται με μονοπολικούς μικροαυτόματους.

Επίσης στον χώρο του ΥΗΣ θα εγκατασταθεί γερανογέφυρα για την εγκατάσταση και συντήρηση του εξοπλισμού, το σύστημα φωτισμού και ρευματοδότες.

Γείωση εγκατάστασης:

Η εγκατάσταση θα διαθέτει σύστημα γείωσης που θα αποτελείται από πλέγμα θεμελιακής γείωσης και θα υπάρχει χαλύβδινη ταινία γύρω από τον χώρο πινάκων μέσης τάσης και γύρω από τον κύριο χώρο του σταθμού που περιλαμβάνει την γεννήτρια και τον υδροστρόβιλο. Η χαλύβδινη ταινία θα συνδέεται με το πλέγμα θεμελιακής γείωσης και με την μπάρα γείωσης των πινάκων μέσης τάσης, επίσης θα συνδέεται με τα μεταλλικά μέρη της γεννήτριας και με τα μεταλλικά μέρη του στροβίλου. Ακόμα συνδέεται με τα μεταλλικά μέρη των μετασχηματιστών. Και τέλος η χαλύβδινη ταινία και το πλέγμα γείωσης συνδέονται εξωτερικά, με χάλκινους γυμνούς αγωγούς διατομής 50 mm², με τα κατακόρυφα ηλεκτρόδια γείωσης.

Η αντίσταση του εδάφους θα πρέπει να μετρηθεί μετά τις εκσκαφές και σε περίπτωση που η αντίσταση γείωσης του συστήματος γείωσης είναι μικρότερη από 1 Ω, θα συνδεθούν στο πλέγμα αλλά και στην ταινία γείωσης όλα τα μεταλλικά μέρη του εξοπλισμού καθώς και οι ουδέτεροι των Μ/Σ. Σε περίπτωση που η αντίσταση γείωσης είναι πάνω από 1Ω τότε θα γίνουν προσπάθειες να μειωθεί η συνολική αντίσταση του συστήματος γείωσης. Αυτό θα γίνει είτε προσθέτοντας κατακόρυφα ηλεκτρόδια είτε αυξάνοντας την επιφάνεια του συστήματος γείωσης (με προσθήκη οριζοντίων ή και κατακόρυφων αγωγών γείωσης τους οποίους ενταφιάζουμε στο περιβάλλον του κτηρίου του σταθμού μέσα σε αγωγίμο μπετόν) έτσι επιτυγχάνεται η μείωση της αντίστασης γείωσης σε τιμή μικρότερη του 1Ω.

Ακολουθεί το μονογραμμικό σχέδιο της εγκατάστασης στο οποίο φαίνονται τα στοιχεία που επιλέξαμε στα προηγούμενα κεφάλαια:

Μονογραμμικό Σχέδιο Ηλεκτρικής Εγκατάστασης ΜΥΗΕ Βελίτσας

Πίνακας Μ.Τ.

Ειδικά διαμορφωμένος χώρος στο εξωτερικό του ΥΗΣ

Πίνακας ισχύος Χ.Τ.

Πίνακας βοηθητικών

Υπόμνημα

- Αποσύνδεση και γειωτής χειροκίνητος
- Διακόπτης φορτίου χειροκίνητος
- Αυτόματος διακόπτης με ηλεκτρικό μοτέρ
- 20kV
- 600V
- 400V
- 24V

Σύνγχρονη γεννήτρια 2000kVA 0.6kV 1000RPM

UPS DC 24V 40A 65Ah

AC-DC 24V 40A

Υαδαρική αντλία 2

Υαδαρική αντλία 1

Διακόπτες μονόδρομοι

Πίνακες ρευστοδότησης/ψαγγοδότησης

Αντιστάσεις θέρμανσης

98

3.8 Υπολογισμός Παραγομένης Ενέργειας

Σε αυτό το σημείο της μελέτης είναι δυνατόν να γίνει ο συνολικός υπολογισμός της ενέργειας που θα μπορεί να παράγει το ΜΥΗΕ Βελίτσας. Ο υπολογισμός θα γίνει σύμφωνα με την σχέση 2.2.1 υπολογισμού της ισχύος ($P(kW) = g * H_n * Q * n_{ολ} * \rho$) σε συνδυασμό με την σχέση 2.2.7 υπολογισμού της ενέργειας ($E(kWh) = P * T$).

Έχουμε:

$$E(kWh) = g * H_n * Q * n_{ολ} * \rho * T \quad (3.8.2)$$

Όπου:

- E** = Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh).
- g** = Η επιτάχυνση της βαρύτητας ($\approx 9,81 \text{ m/sec}^2$)
- H_n** = Το καθαρό διαθέσιμο ύψος πτώσης (m)
- Q** = Η διερχόμενη εκ του στροβίλου παροχή (m^3/s).
- n_{ολ}** = Ο ολικός βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης.
- ρ** = Η πυκνότητα του νερού ($\approx 1.0 \text{ t/m}^3$).
- T** = Ο χρόνος λειτουργίας σε ώρες (h)

Έπειτα αντικαθιστώντας το καθαρό ύψος πτώσης H_n από την σχέση 3.3.13 και τον ολικό βαθμό απόδοσης από την σχέση (2.1.2) έχουμε:

$$E(kWh) = g * (H_g - k * Q^2) * Q * \eta_{υδροστροβίλου} * \eta_{γεννήτριας} * \eta_{μετασχηματιστή} * \rho * T \quad (3.8.3)$$

Το $\eta_{υδροστροβίλου}$ προκύπτει για κάθε τιμή της παροχής από το διάγραμμα 3.4.5

Το $\eta_{γεννήτριας}$ προκύπτει για κάθε τιμή της παροχής από το διάγραμμα 3.4.6

Το $\eta_{μετασχηματιστή}$ λαμβάνεται 0.98

Ο υπολογισμός της ενέργειας έγινε με τον εξής τρόπο:

Από τους πίνακες ημερήσιων παροχών 3.3.2-11 στην υδροληψία του ΜΥΗΕ Βελίτσας για κάθε ημέρα λήφθηκε η τιμή της παροχής. Αφαιρέθηκε η οικολογική παροχή. Λαμβάνοντας υπόψη την μέγιστη εγκατεστημένη παροχή ($0.85 \text{ m}^3/\text{s}$) και την ελάχιστη αξιοποιήσιμη παροχή ($0.85 * 5\% = 0.0425 \text{ m}^3/\text{s}$) υπολογίστηκε η παραγόμενη μέση ισχύς για κάθε μέρα για χρονική περίοδο 10 ετών. Έπειτα πολλαπλασιάστηκε η ισχύς με τις 24 ώρες της ημέρας για να ληφθεί η τιμή της ενέργειας που παράγεται κάθε μέρα. Προσθέτοντας όλες τις τιμές της ενέργειας που έχει παραχθεί κάθε μέρα τα 10 αυτά έτη και διαιρώντας δια του 10 υπολογίστηκε η ενέργεια που θα

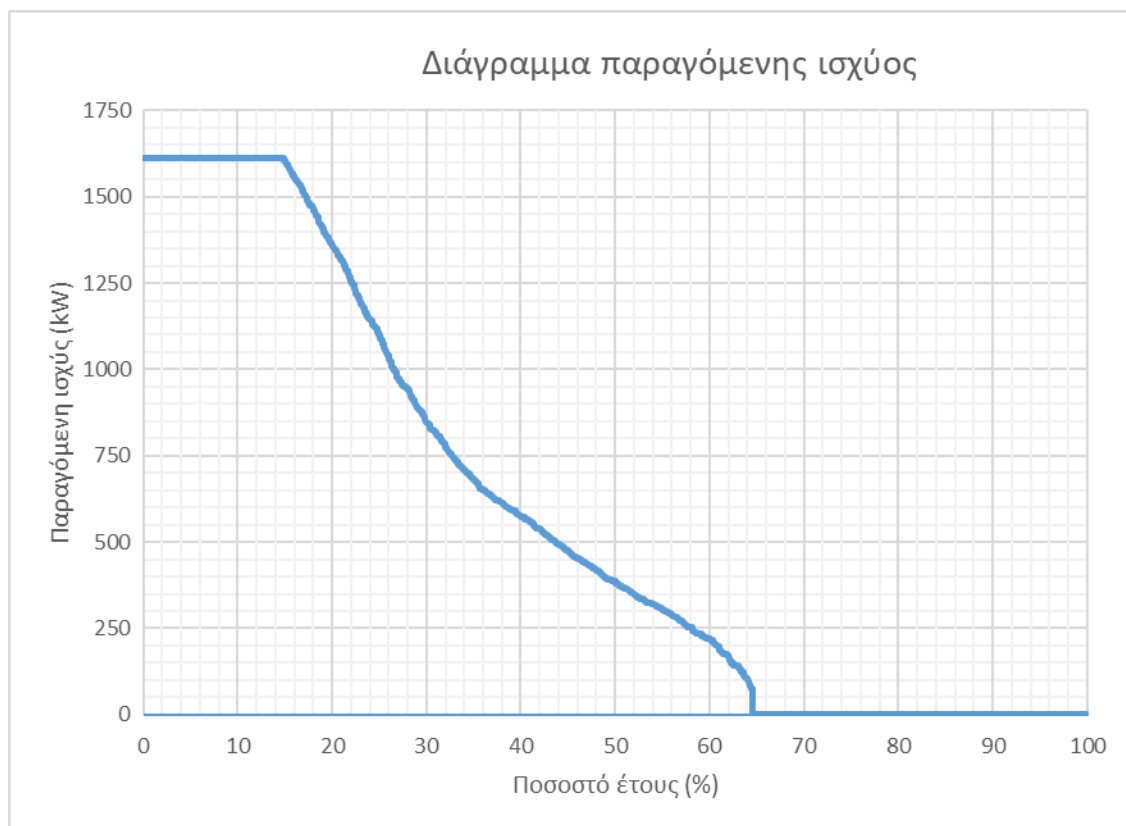
παράγεται από το ΜΥΗΕ Βελίτσας σε ετήσια βάση. Οι πράξεις εκτελέστηκαν στο υπολογιστικό περιβάλλον EXCEL.

3.8.1 Ετήσια παραγωγή ενέργειας

Η ενέργεια που θα μπορεί να παραχθεί από το ΜΥΗΕ Βελίτσας ανέρχεται στις **5.08GWh** ανά έτος. Η ενέργεια αυτή αναφέρεται στην εγγεόμενη ενέργεια από το ΜΥΗΕ στο δίκτυο, μιας και έχουν συμπεριληφθεί στον υπολογισμό ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας και του μετασχηματιστή.

Η μέγιστη ισχύς που θα αποδίδεται στο δίκτυο (για μέγιστη παροχή $0.85\text{m}^3/\text{s}$) θα είναι **1.6129MW**

Επίσης υπολογίστηκε ότι το έργο θα λειτουργεί κατά μέσο όρο 236 μέρες κάθε έτος, δηλαδή το 65% του χρόνου. Εκ των οποίων σε 54 από αυτές, δηλαδή στο 15% του χρόνου, θα λειτουργεί στην μέγιστη ισχύ εξόδου $P_{el} = 1613\text{kW}$. 129 μέρες κάθε έτος το έργο θα είναι ανενεργό (35% του χρόνου). Ακολουθεί διάγραμμα που παρουσιάζει την παραγομένη ενέργεια σε φθίνουσα κατάταξη σε σχέση με το ποσοστό χρόνου σε ένα έτος.



Εικόνα 3.8.1 Διάγραμμα παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος.

3.8.2 Βαθμός ενεργειακής εκμετάλλευσης

Ο βαθμός ενεργειακής εκμετάλλευσης της υπόψη θέσης του έργου υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τον διατιθέμενο όγκο νερών, τον όγκο νερών για την παροχή διαχείρισης του οικοσυστήματος, και τον εκμεταλλευόμενο όγκο νερών για την παραγωγή ενέργειας.

Η συνολική μέση ποσότητα νερού που διατίθεται συνολικά στην υπόψη θέση με βάση την καμπύλη διαρκείας είναι 13.0010 εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Η Παροχή διαχείρισης του οικοσυστήματος που θα αφήνεται ανέρχεται σε 0.9466 εκατομμύρια κυβικά μέτρα τον χρόνο (30 lt/sec).

Από τους υπολογισμούς με βάση τις παροχές και δεδομένου ότι από τον συγκεκριμένο τύπο μονάδας διέρχεται παροχή από τα 0.85 m³/sec (100%) ως 0.0425 m³/sec(5%), προκύπτει ότι από την μονάδα θα διέρχονται ετησίως 9.4355 εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού.

Επομένως:

$$V_{\text{διαθέσιμο}} = 13.0010 \text{ εκ. m}^3$$

$$V_{\text{στροβίλου}} = 9.4355 \text{ εκ. m}^3$$

$$V_{\text{οικοσυστήματος}} = 0.9466 \text{ εκ. m}^3$$

$$\text{Βαθμός ενεργειακής εκμετάλλευσης} = 9.4355 / (13.0010 - 0.9466) = 78.27\%$$

4. Οικονομική ανάλυση

4.1 Προσεγγιστικός υπολογισμός κόστους επένδυσης

Το κόστος της επένδυσης χωρίζεται στο κόστος κατασκευής και το κόστος λειτουργίας

Ο υπολογισμός της πρόβλεψης του κόστους της επένδυσης θα γίνει βάσει στοιχείων και σχέσεων που έχουν αποκτηθεί από προηγούμενες κατασκευές παρομοίων ΜΗΥΕ [46]. Οι τιμές για τα έργα που έγινε πολλά χρόνια στο παρελθόν θα πρέπει να αναχθούν σε σημερινές τιμές συνυπολογίζοντας τον πληθωρισμό r_m τον οποίο θα θεωρήσουμε 3% ανά έτος. Ο συντελεστής αναγωγής του κόστους K_s στο σημερινό επίπεδο τιμών μετά το πέρας N χρόνων υπολογίζεται ως εξής:

$$C.F. = (1+r_m)^N \quad (4.1.1)$$

Οι παρακάτω τύποι πάρθηκαν από το βιβλίο [47] του κυρίου Παπαντώνη Δημήτριου και αναφέρονται σε μελέτες αξιολόγησης Κόστους ΜΗΥΕ το έτος 2008. Μιας και έχει περάσει μεγάλο διάστημα από τότε θα πολλαπλασιάσουμε τις τιμές των σχέσεων κόστους με τον συντέλεση C.F. (compound factor) για 12 χρόνια.

Αρχικά μπορεί να γίνει μια προσέγγιση του κόστους του κύριου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού C_{EM} (υδροστρόβιλος, γεννήτρια και ρυθμιστής στροφών) με βάση την παροχή που παίζει καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση του κόστους της επένδυσης. Ένας τύπος που υπολογίζει προσεγγιστικά το κόστος C_{EM} είναι ο εξής [47]:

$$C_{EM} \approx 20570 \cdot N^{0.7} / H^{0.35} \quad (4.1.2)$$

Όπου: C_{EM} = Το κόστος κάθε μονάδας παραγωγής σε ευρώ

N = H ονομαστική ισχύς σε kW

H = Το καθαρό ύψος πτώσης σε m

Έπειτα μπορεί να γίνει μια προσέγγιση του συνολικού κόστους κατασκευής με τον παρακάτω τύπο [10]:

$$C = S \cdot z \cdot C_{EM} \quad (4.1.3)$$

Όπου: C = Το συνολικό κόστος κατασκευής του έργου σε ευρώ

z = Το πλήθος των υδροστροβίλων

C_{EM} = Το κόστος κάθε μονάδας παραγωγής σε ευρώ

S = Ο συντελεστής θέσεως που λαμβάνει υπόψη όσο αυτό είναι δυνατόν τις ιδιαιτερότητες του έργου και είναι της τάξεως του $S=2.5-4$

Σημαντικές παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν τον συντελεστή θέσεως S είναι η δυσκολία εγκατάστασης του αγωγού προσαγωγής στην περιοχή του έργου καθώς και το κόστος της γραμμής μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας που θα πρέπει να κατασκευαστεί για την σύνδεση με το δίκτυο.

Στην δικιά μας περίπτωση η διασύνδεση του Υδροηλεκτρικού σταθμού με το δίκτυο δεν είναι ιδιαίτερα δύσκολη- κοστοβόρα μιας και βρίσκεται κοντά στο χωριό της Τιθορέας, όμως παρατηρείται δυσκολία στην τοποθέτηση του αγωγού προσαγωγής μιας και δεν υπάρχει δρόμος που να συνδέσει την υδροληψία με τον σταθμό. Θα πρέπει να γίνουν χωματουργικές εργασίες σε βραχώδες έδαφος για την διάνοιξη δρόμου και την τοποθέτηση του αγωγού, ανεβάζοντας το κόστος του έργου. Επίσης δεν σημειώνεται κάποια άλλη ιδιαιτερότητα στο παρόν έργο που θα μετέβαλε ιδιαίτερα την κοστολόγησή του. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω κριτήρια θα θεωρήσουμε για το παρόν έργο έναν συντελεστή θέσεως $S = 3$. Η τιμή αυτή αναμένεται να είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από την πραγματική, αλλά την επιλέξαμε για την μελέτη της δυσμενέστερης περίπτωσης.

Οι παραπάνω συσχετίσεις δίνουν μια τάξη μεγέθους του κόστους του υδροηλεκτρικού που αν και δεν έχει μεγάλη ακρίβεια, είναι χρήσιμη στην μελέτη βιωσιμότητας του έργου. Σύμφωνα με τα παραπάνω το κόστος του ΜΥΗΕ Βελίτσας υπολογίζεται ως εξής:

$$C.F. = (1+r_m)^N = ((1+0.03)^{12}) = 1.43$$

$$C_{EM} \approx C.F. * 20570 * N^{0.7} / H^{0.35} = 1.43 * 20570 * N^{0.7} / H^{0.35} = 808864 \text{ ευρώ}$$

$$C = S * z * C_{EM} * C.F. = 2.427 \text{ εκ. ευρώ}$$

Άρα υπολογίστηκε το συνολικό κόστος κατασκευής του ΜΥΗΕ Βελίτσας στα 2427 χιλιάδες ευρώ. Το κόστος ανά εγκατεστημένο MW ανέρχεται στα 1.39 εκ. ευρώ.

4.2 Υπολογισμός των εσόδων του ΜΥΗΕ Βελίτσα

Το έργο υπολογίστηκε ότι θα παράγει κατά μέσο όρο ενέργεια ίση με 5.08GWh ανά έτος. Η ενέργεια αυτή με το ισχύον τιμολόγιο αγοράς ενέργειας από ΜΥΗΕ αντιστοιχεί σε 508 χιλιάδες ευρώ ανά έτος. Επίσης ο φορολογικός συντελεστής εκμετάλλευσής του από ανώνυμη εταιρία είναι 24%.

4.3 Υπολογισμός του κόστους λειτουργίας του ΜΥΗΕ Βελίτσα

Στην συνέχεια θα υπολογίσουμε προσεγγιστικά τα αναμενόμενα κόστη λειτουργίας και συντήρησης του έργου κατά την διάρκεια λειτουργίας του (θεωρείται 25 χρόνια).

Το κόστος λειτουργίας, συντήρησης και επισκευής των έργων C_{op} περιλαμβάνει τον μισθό μόνιμου προσωπικού ενός ατόμου και τα διοικητικά και λογιστικά έξοδα για την λειτουργία του σταθμού. Επίσης περιλαμβάνει τα έξοδα εργολαβικής συντήρησης και ανταλλακτικών του

μηχανολογικού εξοπλισμού και εκτιμάται εμπειρικά από μελέτη παρομοίων έργων στην Ελλάδα ότι αντιστοιχεί αθροιστικά σε ποσοστό ίσο με 2% περίπου επί του προϋπολογισμού των έργων.

$$C_{op} = 2.427 * 0.02 = 48540 \text{ ευρώ}$$

Επίσης το έργο θα επιβαρύνεται και με το ανταποδοτικό τέλος που προβλέπεται βάσει νόμου να αποδίδεται στον τοπικό ΟΤΑ, το οποίο είναι ποσοστό ίσο με 3% επί των μικτών εσόδων του έργου. Το συγκεκριμένο ποσό παρακρατείται και μειώνει ισόποσα τα ετήσια έσοδα του έργου.

$$C_{ota} = 508000 * 0.03 = 15240 \text{ ευρώ}$$

Άρα το ποσό που θα παρακρατείται από τα έσοδα του έργου και θα αποδίδεται στον τοπικό ΟΤΑ είναι ίσο με: 15240 ευρώ ανά έτος.

Συνολικά τα ετήσια κόστη του έργου $C_{εξ}$ θα είναι:

$$C_{εξ} = 48540 + 15240 = 63780 \text{ ευρώ}$$

4.4 Αποτελέσματα οικονομικής ανάλυσης

Για τον υπολογισμό της βιωσιμότητας της επένδυσης θα υπολογίσουμε τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης IRR(internal rate of return). Η επένδυση κρίνεται βιώσιμη αν ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι μεγαλύτερος από το προεξοφλητικό επιτόκιο που καθορίζει την αξία του κεφαλαίου. Για τους υπολογισμούς θα λάβουμε υπόψη τον φορολογικό συντελεστή ίσο με 24% και την διάρκεια εκμετάλλευσης και απόσβεσης των παγίων του έργου ίση με 25 χρόνια σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία. Η επεξεργασία των παραπάνω οικονομικών στοιχείων φαίνεται στον πίνακα 4.4.1 που ακολουθεί.

Πίνακας 4.4.1 Οικονομικοί υπολογισμοί

Έτος		Έσοδα	Κρατίσεις υπερ ΟΤΑ	Λειτουργικά έξοδα	Απόσβεση παγίων	Έσοδα προ φόρων	Φορολογία	Καθαρά έσοδα
2020	κατασκευή	0	0	0	0	0	0	-2427000
2021	1ο	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
2022	2ο	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
2023	3ο	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
2024	4ο	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
2025	5ο	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
2026	6ο	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
2027	7ο	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
2028	8ο	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
2029	9ο	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
2030	10ο	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
2031	11ο	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
2032	12ο	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
2033	13ο	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
2034	14ο	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
2035	15ο	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
2036	16ο	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
2037	17ο	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
2038	18ο	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
2039	19	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
2040	20ο	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
2041	21ο	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
2042	22ο	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
2043	23ο	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
2044	24ο	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
2045	25ο	508000	15240	48540	97080	444220	83314	360906
							irr	14.3%

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης IRR υπολογίστηκε ίσος με 14.3%. Συγκρίνοντάς τον με ένα προεξοφλητικό επιτόκιο της τάξης του 5% κρίνεται ότι το έργο είναι βιώσιμο. Επίσης υπολογίζεται ότι το αρχικό κεφάλαιο θα ανακτηθεί σε μόλις 6.7 χρόνια (κόστος επένδυσης/ετήσια καθαρά έσοδα), και στην συνέχεια θα αποφέρει καθαρά έσοδα 361 χιλιάδων ευρώ ετησίως. Σύμφωνα με τα παραπάνω οικονομικά στοιχεία η επένδυση του ΜΥΗΕ Βελίτσας, παρά το μεγάλο αρχικό κόστος λόγω των μικρών λειτουργικών εξόδων, κρίνεται ως μια συμφέρουσα επιλογή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας η οποία φυσικά συνδυάζει και το μεγάλο όφελος της φιλικότητας προς το περιβάλλον.

5. Συμπεράσματα

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε εκτενής ανάλυση των διαδικασιών που ακολουθούνται κατά την μελέτη εγκατάστασης ενός ΜΥΗΕ. Ιδιαίτερη βάση δόθηκε στην αξιοποίηση των διαθέσιμων υδρολογικών πληροφοριών για την πρόβλεψη των διαθέσιμων παροχών στο υπό μελέτη ρέμα και της επιλογής του καταλλήλου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού για την βέλτιστη οικονομοτεχνικά εκμετάλλευση της διαθέσιμης υδροδυναμικής ενέργειας.

Σύμφωνα με την παραπάνω μελέτη κρίθηκε ότι η θέση ΜΥΗΕ Βελίτσας μπορεί να εκμεταλλευτεί μια υδατόπτωση 241 μέτρων εγκατεστημένης παροχής 850 λίτρων ανά δευτερόλεπτο παράγοντας ανά χρόνο ενέργεια 5.08MWh.

Όσον αφορά τον περιβαλλοντικό παράγοντα η περιοχή του έργου που μελετήθηκε προσφέρεται για την δημιουργία ενός ΜΥΗΕ με θετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον. Λόγω της μεγάλης υδατόπτωσης και της μικρής παροχής απαιτούνται μικρά χωματουργικά έργα για την διέλευση του αγωγού προσαγωγής μιας και η διάμετρος του σωλήνα είναι μικρή. Η οικολογική ισορροπία του κατόντη της υδροληψίας οικοσυστήματος θα παραμείνει αδιατάρακτη καθώς θα συνεχιστεί η τροφοδότηση του ρέματος με την οικολογική παροχή. Το νερό θα εξέρχεται από την εγκατάσταση χωρίς καμία αλλοίωση, και δύναται να εξυπηρετήσει ανάγκες ύδρευσης ή άρδευσης. Επίσης με την παραγωγή καθαρής, ανανεώσιμης ενέργειας επιτυγχάνεται η αντιστάθμιση της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα που θα απαιτούνταν για την παραγωγή ίδιου ποσού ενέργειας με συμβατικούς τρόπους. Πιο συγκεκριμένα υπολογίζεται ότι το έργο ανά έτος αντισταθμίζει την εκπομπή 1829 τόνων διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με ένα λιγνιτικό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιπροσθέτως για την κατασκευή του έργου απαιτείται η πρόσληψη εργατικού δυναμικού διάφορων ειδικοτήτων αλλά και μονίμου προσωπικού για την λειτουργία και επισκευή του αποφέροντας οικονομικά οφέλη και ανάπτυξη στην τοπική κοινότητα.

Όσον αφορά τον οικονομικό παράγοντα το έργο θα απαιτήσει 2427 χιλιάδες ευρώ για την κατασκευή του και θα παράγει κάθε χρόνο ενέργεια αξίας 508 χιλιάδων ευρώ. Παρά το μεγάλο αρχικό κόστος η επένδυση κρίνεται συμφέρουσα με εσωτερικό βαθμό απόδοσης 14.3%, ετήσια καθαρά κέρδη 361 χιλιάδες ευρώ και ανάκτηση του αρχικού ποσού της επένδυσης σε μόλις 6.7 χρόνια.

Σύμφωνα με τα παραπάνω κρίνεται ότι η επένδυση θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μιας και πρόκειται για μια κερδοφόρα επένδυση η οποία έχει πολλαπλά οφέλη.

Βιβλιογραφία

- [1] U.S. Department of Energy's Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE), "energy.gov," [Online]. Available: <https://www.energy.gov/eere/water/history-hydropower>. [Accessed 28 04 2020].
- [2] Niagara Falls History Of Power, "niagarafrontier.com," 26 1 2018. [Online]. Available: <http://www.niagarafrontier.com/power.html>. [Accessed 28 04 2020].
- [3] Wikipedia.org, "List of largest power stations," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_largest_power_stations. [Accessed 7 5 2020].
- [4] Renewable Energy Policy Network for the 21st Century REN21, "Renewables 2016 Global Status Report," [Online]. Available: https://web.archive.org/web/20170615134914/http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_Full_Report_REN21.pdf. [Accessed 7 5 2020].
- [5] Tva.gov, "Hydroelectric Power," Tennessee Valley Authority, [Online]. Available: <https://web.archive.org/web/20150929070927/http://www.tva.gov/power/hydro.htm>. [Accessed 7 5 2020].
- [6] Εφημερίς Της Κυβερνήσεως, "ΝΟΜΟΣ 3468/206 Αρ. Φύλλου 129 Τεύχος Πρώτο 27 Ιουνίου 2006," [Online]. Available: https://www.kodiko.gr/nomologia/download_fek?f=fek/2006/a/fek_a_129_2006.pdf&t=099f2cf616e34385345ec2a4cf3bb7e3. [Accessed 7 5 2020].
- [7] ΔΕΣΜΗΕ, "Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί (ΜΥΗΣ)," [Online]. Available: <http://www.desmie.gr/ape-sithya/adeiodotiki-diadikasia-kodikopoiisi-nomothesis-ape/periechomena/diadikasia-adeiodotisis/mikroi-ydroilektrikoi-stathmoi-mysis/>. [Accessed 7 5 2020].
- [8] Ι. Γ. Αργυράκης – ΔΕΗ Α.Ε., "Οι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί της ΔΕΗ Α.Ε. και η συμβολή τους στην κάλυψη των Ενεργειακών Αναγκών της Χώρας," [Online]. Available: <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teelar/EKDILWSEIS/damConference/eisigiseis/5.1.pdf>. [Accessed 7 5 2020].
- [9] C. G. M. Cutler J. Cleveland, Handbook of Energy: Chronologies, Top Ten Lists, and Word Clouds, USA: ELSEVIER, 2014.
- [10] Δ. Ε. Παπαντώνης, Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα, Αθήνα: Εκδόσεις Συμμεών, 2001.

- [11] "EnergyRegister.gr," [Online]. Available: <https://www.energyregister.gr/neos-chartis/>. [Accessed 27 4 2020].
- [12] ΔΑΠΕΕΠ (πρώην ΛΑΓΗΕ), 11-12 2019. [Online]. [Accessed 20 3 2020].
- [13] Κ. Ν. Σταμπολή και Δημήτρης Μεζαρτάσογλου, , "Institute of Energy for south east Europe," [Online]. Available: <https://www.iene.gr/articlefiles/costis-stambolis-ellinikos-energeiakos-tomeas-etisia-ekthesi-2019.pdf>. [Accessed 27 4 2020].
- [14] scientact.gr, "Ροή - Παροχή," [Online]. Available: <http://www.scientact.gr/el/46868075>. [Accessed 11 5 2020].
- [15] JGC Συστήματα Γεωπληροφορικής Α.Ε, «GNSS Δέκτης SP80,» [Online]. Available: <https://www.jgc.gr/index.php/en/products/surveying-equipment/gnss-receivers/sp80>. [Accessed 7 5 2020].
- [16] Τμήμα Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, "Υδρογραφικά Δίκτυα - Λεκάνες Απορροής," [Online]. Available: <http://www.geo.auth.gr/courses/gge/gge427y/pdf/askisi1.pdf>. [Accessed 27 4 2020].
- [17] Μ. Δημήτριος, Προσομοίωση της απορροής στις ορεινές υδρολογικές λεκάνες, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2007.
- [18] Εφημερίς Της Κυβερνήσεως, «ΚΥΑ 49828 άρθρο 16 Αρ. Φύλλου 2464 Τεύχος Δεύτερο 3 Δεκεμβρίου 2008,» [Online]. Available: https://isabel-project.eu/wp-content/uploads/%CE%A5.%CE%91.49828_2008.pdf. [Accessed 7 5 2020].
- [19] ANDRITZ Group, «Small and mini hydropower solutions,» [Online]. Available: <https://www.andritz.com/products-en/group/markets/small-mini-hydropower-plants>. [Accessed 21 5 2020].
- [20] wikipedia.org, «Pelton wheel,» [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Pelton_wheel. [Accessed 17 6 2020].
- [21] Research Gate, «Influence of the bucket geometry on the Pelton performance,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-view-of-the-single-jet-Pelton-turbine_fig1_259811328. [Accessed 17 6 2020].
- [22] wikipedia.org, "kaplan turbine," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Kaplan_turbine. [Accessed 17 6 2020].
- [23] G. Mishra, "Kaplan Turbine – its Components, Working and Application," The Constructor Civil Engineering Home, [Online]. Available:

- <https://theconstructor.org/practical-guide/kaplan-turbine-component-working/2904/>. [Accessed 17 6 2020].
- [24] Shenyang Getai hydropower equipment CO. LTD., «Francis Turbine Generator,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.gthec.cn/francis-turbine/francis-turbine-generator.html>. [Accessed 17 6 2020].
 - [25] Paul Breeze, «Power Generation Technologies (Third Edition), 2019,» [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/francis-turbines>. [Accessed 17 6 2020].
 - [26] Chongqing Savvy Industries Company Limited, «Introduction of Turgo Turbine,» [Online]. Available: <http://m.savvy-ind.com/info/introduction-of-turgo-turbine-38329589.html>. [Accessed 17 6 2020].
 - [27] Addnew Hydropower Limited, «Diagonal Turbine (ADDNEW),» [Online]. Available: <https://www.exportersindia.com/addnew-hydropower-limited/diagonal-turbine-china-649639.htm>. [Accessed 17 6 2020].
 - [28] NANKO ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΒΕΤΕ, 2019 Πίνακες Υδρολογικών παροχών ΜΥΗΕ Αγόριανης.
 - [29] CINK Hydro Energy, «2-cell Crossflow Turbine,» [Online]. Available: <https://www.cink-hydro-energy.com/en/2-cell-crossflow-turbine/>. [Accessed 17 6 2020].
 - [30] Γκόνοβ Ιωάννης και Φ. Πολυκράτη Αικατερίνη Δ., Σχέδιο Για Ηλεκτρολόγους Μηχανικούς, Οικιακές Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις, Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα, 2020.
 - [31] ABB, «Low voltage switchgear,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://new.abb.com/low-voltage/products/switchgear>. [Accessed 16 6 2020].
 - [32] Ti-soft.com, «Τα μέρη του διακόπτη ισχύος,» [Online]. Available: https://www.ti-soft.com/el/support/help/electricaldesign/knowledgebase/middlevoltage/panelcad_diakoptes_isxuou/panelcad_ta_merh_tou_diakopth_isxuou. [Accessed 17 6 2020].
 - [33] Google maps, [Online]. Available: https://www.google.com/maps/place/%CE%86%CE%B3%CE%B9%CE%BF%CF%82+%CE%99%CF%89%CE%AC%CE%BD%CE%BD%CE%B7%CF%82/@38.5733199,22.6538378,3469m/data=!3m1!1e3!4m13!1m7!3m6!1s0x14a09c222917e8bf:0x400bd2ce2b98930!2zzqTOuc64zr_Pgc6tzrEgMzUwIDE1!3b1!8m2!3d38.584342!4. [Accessed 29 7 2020].

- [34] Google maps, [Online]. Available: <https://www.google.com/maps/@38.5656507,22.6407845,11671m/data=!3m1!1e3>. [Accessed 29 4 2020].
- [35] Τμήμα Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, "Χαρτομετρία," [Online]. Available: <http://www.geo.auth.gr/322/chapter073.html>. [Accessed 2020 4 27].
- [36] Subor.com.tr, «GRP PIPE SYSTEMS,» [Online]. Available: <https://www.subor.com.tr/uploads/document/file/subor-katalog-35.pdf>. [Accessed 14 5 2020].
- [37] Engineering ToolBox.com, "Colebrook Equation," [Online]. Available: https://www.engineeringtoolbox.com/colebrook-equation-d_1031.html. [Accessed 5 5 2020].
- [38] engineeringtoolbox.com, "Water - Dynamic and Kinematic Viscosity," [Online]. Available: https://www.engineeringtoolbox.com/water-dynamic-kinematic-viscosity-d_596.html. [Accessed 5 5 2020].
- [39] geppert.com, «Geppert performance calculator,» [Online]. Available: <https://www.geppert.at/en/our-solutions/performance-calculation/>. [Accessed 20 5 2020].
- [40] GEPPERT hydropower, "Pelton Turbines," [Online]. Available: <https://www.geppert.at/en/produkt/pelton-turbines/>. [Accessed 21 5 2020].
- [41] Δ. Καρμύρης, Σημειώσεις υδροστροβίλων, ΑΘΗΝΑ: ΕΜΠ, 2003.
- [42] Π. Ντοκόπουλος, Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις ΖΗΤΗ, 2005.
- [43] ABB, «Tmax T8 Low voltage circuit breaker up to 3000 A,» [Online]. Available: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1SDC210028D0201&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>. [Accessed 13 7 2020].
- [44] Schneider Electric, «Medium Voltage Switchgear,» Schneider Electric, [Online]. Available: <https://www.se.com/ww/en/product-category/87897-medium-voltage-switchgear/>. [Accessed 7 8 2020].
- [45] Schneider Electric, «General characteristics,» [Online]. Available: https://www.iesacr.com/files/product/ficha/120_resumenceldasm6.pdf. [Accessed 7 8 2020].

- [46] Κ. Σ. Α. Γεώργιος, "Τεχνικοοικονομική μελέτη μικρού υδροηλεκτρικού έργου στο Γοργογόρι Τρικάλων (Κεφαλοπόταμος)", Θεσσαλονίκη: ΑΠΘ, 2019.
- [47] Δ. Παπαντώνης, Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα, Αθήνα: Εκδόσεις Συμεών, 2008.
- [48] "Pipe Standard And Piping Information," [Online]. Available: Pipe Standard And Piping Information. [Accessed 29 4 2020].
- [49] engineeringtoolbox.com, "Roughness & Surface Coefficients," [Online]. Available: https://www.engineeringtoolbox.com/surface-roughness-ventilation-ducts-d_209.html. [Accessed 5 5 2020].
- [50] «Pipe Standard And Piping Information,» <http://www.pipestd.com/schedule-xs-pipe-24-inch-dn600-mm/>. [Accessed 5 5 2020].
- [51] Pipe Standard And Piping Information, "Pipe 24 Inch (DN600 mm)," [Online]. Available: <http://www.pipestd.com/schedule-std-pipe-24-inch-dn600-mm/>. [Accessed 12 5 2020].
- [52] Pipe Standard And Piping Information, [Online]. Available: <http://www.pipestd.com/schedule-std-pipe-36-inch-dn900-mm/>. [Accessed 29 4 2020].
- [53] Δ.ΚΑΡΜΙΡΗΣ, Σημειώσεις Υδροστροβίλων, Αθήνα: Ε.Μ.Π., 2003.
- [54] Wikipedia, "Electrical resistivity and conductivity," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_resistivity_and_conductivity#Temperature_dependence. [Accessed 30 6 2020].