ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΙΚΡΟΥ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΤΣΕΛΕΧΟΒΙΤΙΚΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ, Ν. ΗΛΙΑΣ.

GREMBI ARBIN (Α.Μ 7125)

ΚΟΥΣΑΘΑΝΑΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ (Α.Μ. 6154)

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Δρ. ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2021

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΙΚΡΟΥ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΤΣΕΛΕΧΟΒΙΤΙΚΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ, Ν. ΗΛΙΑΣ.

GREMBI ARBIN (A.M 7125)

ΚΟΥΣΑΘΑΝΑΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ (Α.Μ. 6154)

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Δρ. ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2021

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι καθημερινές ανάγκες – απαιτήσεις του ανθρώπου σε ενέργεια ολοένα και αυξάνονται με συνέπεια η ζήτηση αυτή να γίνεται επιτακτική ανάγκη εύρεσης ενέργειας είτε από συμβατικές είτε από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Από τους πρώτους πολιτισμούς του κόσμου διακρίνεται η αναζήτηση τεχνικών εκμετάλλευσης της ενεργείας του νερού μέσα από υδροδυναμικά έργα. Πραγματοποιώντας μια αναδρομή στο παρελθόν η ενέργεια του νερού αρχικά χρησιμοποιείται στην άρδευση, ακολουθεί βιομηχανική παραγωγή και φτάνοντας στο σήμερα χρησιμοποιείται και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Με το πέρασμα των χρόνων γίνεται άμεσα κατανοητό ότι η μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού σε κινητική – περιστροφική μέσω της χρήσης υδροστροβίλου και από την προαναφερόμενη ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια με την βοήθεια γεννήτριας δίνει ένα ολοκληρωμένο σύστησα παραγωγής ενέργειας που καλείται Υδροηλεκτρικό Σύστημα ή Υδροηλεκτρικό Εργοστάσιο.

Οι λόγοι που οδήγησαν στην ενασχόληση μας με τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Συστήματα είναι διότι θεωρούνται ότι ανήκουν σε συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) φιλικά προς το περιβάλλον. Επιπλέον, η χώρας μας (Ελλάδα) και το πολύπλοκο γεωγραφικό της ανάγλυφο δίνει δυνατότητες δημιουργίας και κατασκευής Μικρών Υδροηλεκτρικών Σταθμών.

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονείται στα πλαίσια των σπουδών μας στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών (πρώην Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε) του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου (πρώην Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας (Πάτρα)) και πραγματεύεται τον σχεδιασμό Μικρού Υδροηλεκτρικού έργου στη λεκάνη απορροής του Τσελεχοβίτικου ρέματος, Ν. Ηλίας.

<u>Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών:</u> Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδαστές

Grembi Arbin	Θεόδωρος Κουσαθανάς
……	……
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σε αυτό το σημείο θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον Δρ. Παναγόπουλο Γεώργιο, επιβλέπων της παρούσας διπλωματική εργασίας, όπου μας εμπιστεύτηκε για την εκπόνηση της. Ακόμα, η βοήθεια και η καθοδήγηση του ήταν πολύτιμη αφού προσπάθησε να μας μεταφέρει τις γνώσεις του και να μας επιλύσει κάθε απορία που προέκυπτε κατά την διάρκεια της συγγραφής της.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας που ήταν δίπλα μας καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών και μας στήριξαν με κάθε τρόπο δείχνοντας την αγάπη τους και την κατανόηση τους, δείχνοντας καθημερινά την αμέριστη συμπαράσταση στου. Επιπλέον, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους φίλους μας που ήταν «καλοί» συνοδοιπόροι στο ταξίδι των φοιτητικών μας εμπειριών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία στοχεύει στον σχεδιασμό Μικρού Υδροηλεκτρικού έργου στη λεκάνη απορροής του Τσελεχοβίτικου ρέματος, Ν. Ηλίας.

Αρχικά αναλύονται κάποια βασικά στοιχεία για τα υδροηλεκτρικά έργα, η διάκριση και η ταξινόμηση τους καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παρουσιάζουν. Επιπλέον, αναλύονται οι αρχές της υδροηλεκτρικής ενέργειας και οι επιπτώσεις της κατά την παραγωγής της. Στην συνέχεια δίνεται έμφαση στα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα, όπου καταγράφονται οι κατηγορίες τους, τα οφέλη κατασκευής τους, η αρχή λειτουργίας του καθώς επίσης και τα σημαντικότερα Μικρά Υδροηλεκτρικά της Ελλάδας.

Ακολουθεί η περιγραφή της περιοχής ενδιαφέροντος για την κατασκευή του Μικρού Υδροηλεκτρικού Σταθμού που είναι η λεκάνη απορροής του Τσελεχοβίτικου ρέματος, Νότιας Ηλίας, όπου δίνεται η προτεινόμενη θέση του σταθμού παραγωγής, η χρησιμοποιούμενη μορφή ενέργειας, η εκμεταλλευόμενη ισχύς και ο τύπος της μονάδας εγκατάστασης καθώς και τα απαραίτητα σκαριφήματα του χώρου. Στην συνέχεια εκπονείται ενεργειακή μελέτη όπου υπολογίζονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες της εγκατάστασης, η ετήσια παραγόμενη ενέργεια καθώς και η ενεργειακή αποδοτικότητα. Έπειτα, γίνεται τεκμηρίωση του δυναμικού της περιοχής μέσα από τα υδρολογικά στοιχεία καθώς και τα μορφομετρικά και υδρογραφικά της χαρακτηριστικά. Ακολουθεί, η επεξεργασία των υδατομετρήσεων που περιλαμβάνουν το διαθέσιμο υδατικό δυναμικό στη θέση υδροληψίας, την καμπύλη διάρκειας – παροχής στη παρούσα θέση, την μαθηματική εξίσωση της καμπύλης ης διάρκειας παροχών του Τσελεχοβίτικου ρέματος, την οικολογική παροχή και τα τελικά αποτελέσματα της μελέτης.

Στην συνέχεια δίνεται η τεχνική περιγραφή του Μικρού Υδροηλεκτρικού Σταθμού όπου περιλαμβάνει την γενική περιγραφή του έργου, την τεχνική περιγραφή των επιμέρους τμημάτων που είναι τα έργα υδροληψίας, το σύστημα προσαγωγής, το γήπεδο εγκατάσταση, η λειτουργία του έργου, οι διατάξεις προστασίας, οι ιδιοκαταναλώσεις, οι γειώσεις του υποσταθμού και τα αλεξικέραυνα, το σύστημα απαγωγής θερμότητας, ο αερισμός και η ψύξη μετασχηματιστών, η σύνδεση με το δίκτυο μέσης τάσης και η φωτογραφική τεκμηρίωση του έργου. Τέλος, δίνονται τα βασικά συμπεράσματά της εργασίας καθώς και η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε με στόχο την εκπόνηση της.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ i
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ iv
ΕΙΣΑΓΩΓΗ 1
1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ 2
1.1. ΥΔΑΤΙΝΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ 2
1.1.1. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ 4
1.1.2. ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ 5
1.2. ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ 8
1.2.1. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ 10
1.3. ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 10
1.4. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 12
1.5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ 14
2. ΜΙΚΡΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ 15
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ 15
2.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΙΚΡΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΈΡΓΩΝ 16
2.3. ΟΦΕΛΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΙΚΡΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ 17
2.4. ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΙΚΡΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ 19
2.5. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΙΚΡΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΈΡΓΩΝ 21
2.6. ΜΙΚΡΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΈΡΓΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ 27
3. ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ: ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΤΣΕΛΕΧΟΒΙΤΙΚΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ, Ν. ΗΛΙΑΣ. 35
3.1. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ 35
3.1.1. ΘΕΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ 35
3.1.2. ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΗ ΜΟΡΦΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 36
3.1.3. ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ. 36
3.1.4. ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΧΩΡΟΥ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ 36
3.2. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ 37
3.2.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ 41
3.2.2. ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ 49
3.2.3. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ 50
4. ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΙΚΡΟΥ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΤΣΕΛΕΧΟΒΙΤΙΚΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ, Ν. ΗΛΙΑΣ 51
4.1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΈΡΓΟΥ 51

4.2. ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΈΡΓΟΥ 53
4.2.1. ΕΡΓΑ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ 53
4.2.2. ΓΗΠΕΔΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ 56
4.2.3. ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ 56
4.2.4. ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ 60
4.2.5. ΙΔΙΟΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ 61
4.2.6. ΓΕΙΩΣΕΙΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΚΑΙ ΑΛΕΞΙΚΕΡΑΥΝΑ 61
4.2.7. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ 61
4.2.8. ΑΕΡΙΣΜΟΣ - ΨΥΞΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ 61
4.2.9. ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ 62
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 63
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 65
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ 82

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: (α)Παράδειγμα υδρογραφήματος ποταμού. (β)Παράδειγμα Καμπύλης διάρκειας παροχής [4] 3
Σχήμα 2: Υδρολογικός κύκλος [5]. 4
Σχήμα 3: Σχηματική Αναπαράσταση της γεωμορφολογίας της Ελλάδας [9] 5
Σχήμα 4: Υψομετρική διαφορά ενός υδροηλεκτρικού συστήματος [13] 8
Σχήμα 5: Απεικόνιση παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας 11
Σχήμα 6: Τυπικό διάγραμμα ροής παραγωγής ενέργειας ενός Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου [10] 21
Σχήμα 7: Εγκάρσια διατομή χωμάτινου φράγματος Αγ. Δημητρίου Αιτωλοακαρνανίας [2]. 22
Σχήμα 8: Υπόγειος υδροηλεκτρικό σταθμό [24] 24
Σχήμα 9: Υπόγειος υδροηλεκτρικός σταθμός [2] 24
Σχήμα 10: Γεωγραφική Κατανομή Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων στην Ελλάδα 29
Σχήμα 11: Κατανομή Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων ανά εγκατεστημένη ισχύ 30
Σχήμα 12: Κατανομή Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων ανά εγκατεστημένη ισχύ και ανά Περιφέρεια. 31
Σχήμα 13: Σκαρίφημα γηπέδου εγκατάστασης. 37
Σχήμα 14: Υδρογράφημα 38
Σχήμα 15: Καμπύλη διάρκειας - παροχών ρέματος Τσελεχοβίτικου 39
Σχήμα 16: Χαρακτηριστικές καμπύλες 21 σημείων 41
Σχήμα 17: Απώλειες συστήματος προσαγωγής 45
Σχήμα 18: Καθαρό ύψος υδατόπτωσης 46
Σχήμα 19: Χαρακτηριστική εξίσωση παροχής – βαθμού απόδοσης υδροστροβίλων Pelton .. 47
Σχήμα 20: Χαρακτηριστική καμπύλη εγκατάστασης. 48
Σχήμα 21: Ετήσια παραγόμενη ενέργεια του έργου 50
Σχήμα 22: Διάταξη έργων υδροληψίας του ΜΥΗΣ (φραγματική διάταξη & δεξαμενή φόρτισης & καθίζησης) 55

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Χάρτης υδατικών διαμερισμάτων Ελλάδας [15] 6
Εικόνα 2: Φράγμα Υδροηλεκτρικού Έργου Λάδωνα στον ομώνυμο ποταμό [14] 9
Εικόνα 3: Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο Δαφνοζωνάρας στον ποταμό Αχελώο [14] 9
Εικόνα 4: Πρώτο δημοτικό υδροηλεκτρικό έργο Ορεστιάδα [18] 15
Εικόνα 5: Φράγμα τύπου χωμάτινου [23] 23
Εικόνα 6: Φράγμα τύπου βαρύτητας[23] 23
Εικόνα 7: Φράγμα τύπου τοξωτό[23] 23
Εικόνα 8: Χάρτης (1) με την ένταξη του έργου εντός των διοικητικών ορίων του Δ. Αλιφείρας, Νομού Ηλείας 35
Εικόνα 9: Χάρτης (ΙΙ) με την Ένταξη του έργου εντός των διοικητικών ορίων του Δημοτικού Διαμερίσματος Αμυγδαλέων, Δ. Αλιφείρας 36
Εικόνα 10: Μετρήσεις 2010-2011 67
Εικόνα 11: Μετρήσεις 2011-2012 68
Εικόνα 12: Μετρήσεις 2012-2013 69
Εικόνα 13: Μετρήσεις 2013-2014 70
Εικόνα 14: Απώλειες συστήματος Q=1 m^3/sec 71
Εικόνα 15: Απώλειες συστήματος Q=0,9 m^3/sec 71
Εικόνα 16: Απώλειες συστήματος Q=0,8 m^3/sec 72
Εικόνα 17: Απώλειες συστήματος Q=0,7 m^3/sec 72
Εικόνα 18: Απώλειες συστήματος Q=0,6 m^3/sec 73
Εικόνα 19: Απώλειες συστήματος Q=0,5 m^3/sec 73
Εικόνα 20: Απώλειες συστήματος Q=0,4 m^3/sec 74
Εικόνα 21: Απώλειες συστήματος Q=0,3 m^3/sec 74
Εικόνα 21: Απώλειες συστήματος Q=0,2 m^3/sec 75
Εικόνα 23: Απώλειες συστήματος Q=0,1 m^3/sec 75
Εικόνα 24: Απώλειες συστήματος Q=0,09 m^3/sec 76
Εικόνα 25: Απώλειες συστήματος Q=0,08 m^3/sec 76
Εικόνα 26: Απώλειες συστήματος Q=0,07 m^3/sec 77
Εικόνα 27: Απώλειες συστήματος Q=0,06 m^3/sec 77
Εικόνα 28: Απώλειες συστήματος Q=0,05 m^3/sec 78
Εικόνα 29: Απώλειες συστήματος Q=0,04 m^3/sec 78
Εικόνα 30: Απώλειες συστήματος Q=0,03 m^3/sec 79
Εικόνα 31: Απώλειες συστήματος Q=0,02 m^3/sec 79
Εικόνα 32: Απώλειες συστήματος Q=0,01 m^3/sec 80
Εικόνα 15: Άποψη του έργου αποτυπωμένη σε αεροφωτογραφία 82
Εικόνα 16: Γενική άποψη του έργου 83
Εικόνα 17:Άποψη της θέσης υδροληψίας 83

Εικόνα 18: Άποψη τμήματος της οδού προσπέλασης στη θέση υδροληψίας..... 84
Εικόνα 19: Άποψη των δυτικών ορίων του γηπέδου εγκατάστασης του σταθμού..... 84
Εικόνα 20: Περιοχή εγκατάστασης του υδρομετρικού σταθμού πλησίον της θέσης υδροληψίας..... 84
Εικόνα 21: Ο υδρομετρικός σταθμός..... 85

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Έκταση και Κατανομή Υδροδυναμικού ανά Υδατικό Διαμέρισμα [16] 7
Πίνακας 2: Οικονομικές επιπτώσεις που δημιουργούνται με την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας [11-12]. 12
Πίνακας 3: Κοινωνικές επιπτώσεις που δημιουργούνται με την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας [11-12]. 13
Πίνακας 4: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις που δημιουργούνται με την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας [11-12] 13
Πίνακας 5: Κλίμακα Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων [1] 16
Πίνακας 6: Ισχύουσες Άδειες Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας από Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων [20] 28
Πίνακας 7: Κατανομή Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων ανά εγκατεστημένη ισχύ [20] 30
Πίνακας 8: Στοιχεία σημαντικότερων Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων Ελλάδος [21] 32
Πίνακας 9: Θέση έργου. 35
Πίνακας 10: Υπολογισμός Οικολογικής Παροχής 40
Πίνακας 11: Διαθέσιμη παροχή και παροχή εκμετάλλευσης ανά διάστημα χρόνου 40
Πίνακας 12: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά συστήματος προσαγωγής 42
Πίνακας 13: Απώλειες συστήματος προσαγωγής 44
Πίνακας 14: Διακύμανση απωλειών σε σχέση με την παροχή λειτουργίας του έργου 45
Πίνακας 15: Διακύμανση καθαρού ύψους υδατόπτωσης σε σχέση με παροχή λειτουργίας του έργο.. 46
Πίνακας 16: Κύρια χαρακτηριστικά υδροστροβίλου. 47
Πίνακας 17: Πίνακας λειτουργίας υδροστροβίλων. 48
Πίνακας 18: Στοιχεία χαρακτηριστικής λειτουργίας υδροστροβίλων 49
Πίνακας 19: Πίνακας Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου 52
Πίνακας 20: Ακριβείς θέσεις έργων υδροληψίας 53
Πίνακας 21: Ακριβείς θέσεις γηπέδου εγκατάστασης και επιστροφής νερού στο ρέμα 56
Πίνακας 22: Κύρια χαρακτηριστικά υδροστροβίλου. 57
Πίνακας 23: Τεχνικά χαρακτηριστικά μονάδας ελέγχου. 58
Πίνακας 24: Τεχνικά χαρακτηριστικά Γεννήτριας 58
Πίνακας 25: Τεχνικά χαρακτηριστικά τριφασικού μετασχηματιστή ισχύος ξηρού τύπου 59
Πίνακας 26:Τεχνικα χαρακτηριστικά τριφασικού μετασχηματιστής (ελαιόψυκτος) 59

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα περιβαλλοντικά προβλήματα που έχουν δημιουργηθεί από την ακαταλόγιστη χρήση ορυκτών καυσίμων οδήγησε στην άμεση ζήτηση και ενσωμάτωση ηπιότερων μορφών ενέργειας φιλικές προς το περιβάλλον. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) θεωρείται ότι θα δώσουν λύση στην αυξημένη ζήτηση ενέργειας καθώς επίσης θα μειώσουν σημαντικά την επέκταση της ρύπανσης του περιβάλλοντος [1]. Μια σημαντική κατηγορία Ανανεώσιμης Πηγής Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι το υδατικό δυναμικό που η εκμετάλλευση του μπορεί να πραγματοποιηθεί από πλήθος εφαρμογών όπως είναι υδροηλεκτρικές εφαρμογές μικρής ή μεγάλης κλίμακας όπου αυτό οδηγεί στο αντίκτυπο του υδατικού δυναμικού που κατηγοριοποιείται σε θεωρητικό, διαθέσιμο, τεχνολογικό και οικονομικό εκμεταλλεύσιμο [2].

Μια από τις αρχαιότερες πρακτικές τεχνολογικής εξέλιξης στις ανθρώπινές κοινωνίες είναι η εκμετάλλευση του υδατικού δυναμικού μέσω των Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων (Μ.Υ.Η.Ε.), τα οποία κατατάσσονται στις εφαρμογές εκμετάλλευσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας διότι παρουσιάζουν μειωμένη έως και μηδενική απόρριψη ρύπων κατά την λειτουργία τους. Αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι ότι τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα ανήκουν σε κατηγορία εγκατεστημένης ισχύς έως και 15 MW. Σε περιπτώσεις μεγαλύτερη ισχύς τα Υδροηλεκτρικά Έργα δεν μπορούν να θεωρηθούν Εφαρμογές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας γιατί απαιτείται η δημιουργία ταμιευτήρων με συνέπεια να επηρεάζουν και να αλλοιώνουν το φυσικό περιβάλλον. Ωστόσο, και στην τελευταία περίπτωση αν μελετηθεί και σχεδιαστεί σωστά, χωρίς να αλλοιώνει (όσο αυτό είναι εφικτό) και να επιβαρύνει το περιβάλλον μπορεί να συνεισφέρει θετικά σε μια περιοχή [2].

Την τελευταία δεκαετία διακρίνεται μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον για την κατασκευή Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων (Μ.Υ.Η.Ε.) και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι απαιτήσεις σε νερό είναι μικρότερες αφού ελεγχθεί και πραγματοποιηθεί η κατάλληλη χωροθέτηση. Η συνεισφορά τους στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι σημαντική και αφού αποτελούν και εφαρμογή Ανανεώσιμων Πηγής Ενέργειας, τα καθιστά αυτόματα μια εξαιρετική πρόταση για την ικανοποίηση των ανθρώπινων αναγκών ιδιαίτερα περιοχών που είναι απομακρυσμένες από τα αστικά κέντρα και τα δίκτυα των ηλεκτροδοτούμενων περιοχών. Στα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα δίνεται η δυνατότητα διασφάλισης της αυτόματης και ανεξάρτητης λειτουργίας τους [2].

Αξιοσημείωτο των Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων είναι η αυξημένη απόδοση με συνέπεια η εφαρμογή τους να γίνεται ολοένα και πιο δελεαστική. Η κατασκευή αυτών των έργων συνοδεύεται ως επί των πλείστων από σύμβαση αγοράς και απορρόφηση παραγωγής ενέργειας από διασυνδεδεμένα δίκτυα [2].

1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

1.1. ΥΔΑΤΙΝΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Η εκμετάλλευση του υδατικού δυναμικού, για την παραγωγή ισχύος μπορεί να πραγματοποιηθεί σε σημεία όπου δίνεται η κατάλληλη παροχή νερού με σημαντική μηχανική ενέργεια, δηλαδή είτε την κινητική ενέργεια ενός ποταμού είτε την δυναμική ενέργεια ενός ταμιευτήρα.

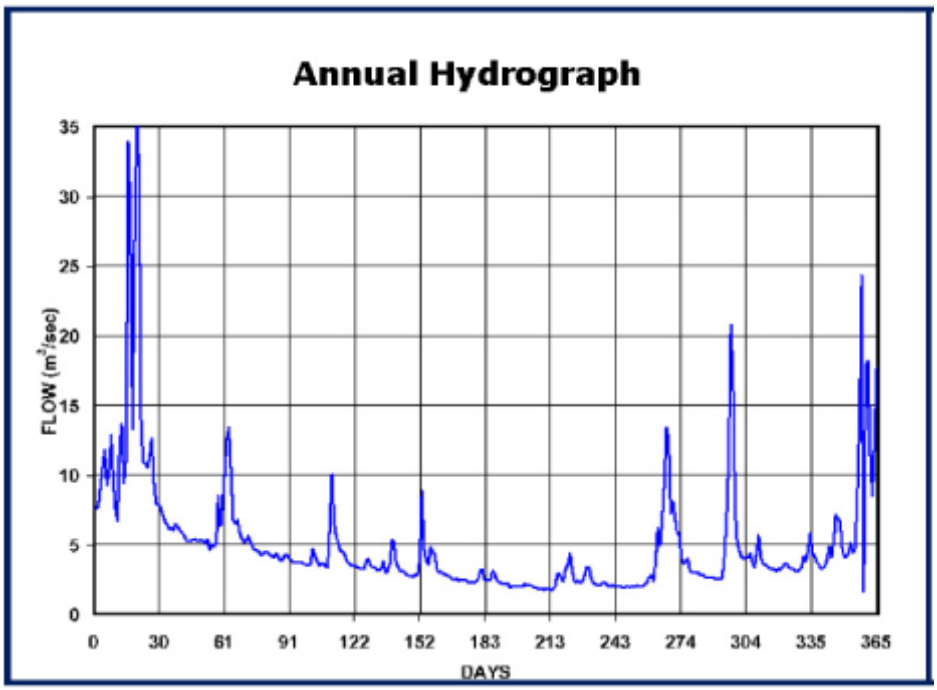
Για την εκτίμηση της παραγόμενης ενέργειας από ένα υδροηλεκτρικό εργοστάσιο το οποίο θα ήταν εγκατεστημένο στη ροή ενός ποταμού απαιτείται να υπάρχουν συγκεκριμένα δεδομένα όπως για παράδειγμα η ημερήσια ροή του ποταμού για μεγάλο χρονικό διάστημα με στόχο τα δεδομένα να μπορούν να αναπαραστήσουν την φυσική ροη του ποταμού και κατά συνέπεια η μελέτη του υδροηλεκτρικού να μην παρουσιάζει μεγάλα σφάλματα από την πραγματικότητα [3].

Η φυσική ροή των ποταμών παρουσιάζει μεγάλες μεταβλητότητες με συνέπεια τα ανωτέρω να θεωρούνται αναγκαία για τις σωστές εκτιμήσεις. Ωστόσο, σημειώνεται ότι το χρονικό διάστημα των συλλεχθέντων δεδομένων θα πρέπει να είναι τουλάχιστον είκοσι έτη κάτι που θεωρείται αδύνατον. Η λύση δίνεται με τον να πραγματοποιούνται αναγωγές των σημείων που επιθυμείται η εγκατάσταση ενός υδροηλεκτρικού εργοστασίου με τα γεωγραφικά στοιχεία της περιοχής καθώς επίσης και να υλοποιούνται συγκρίσεις με δεδομένα άλλων περιοχών με πανομοιότυπα χαρακτηριστικά όπως το κλίμα, η βλάστηση, η ανθρώπινη δραστηριότητα κ.ά. [2].

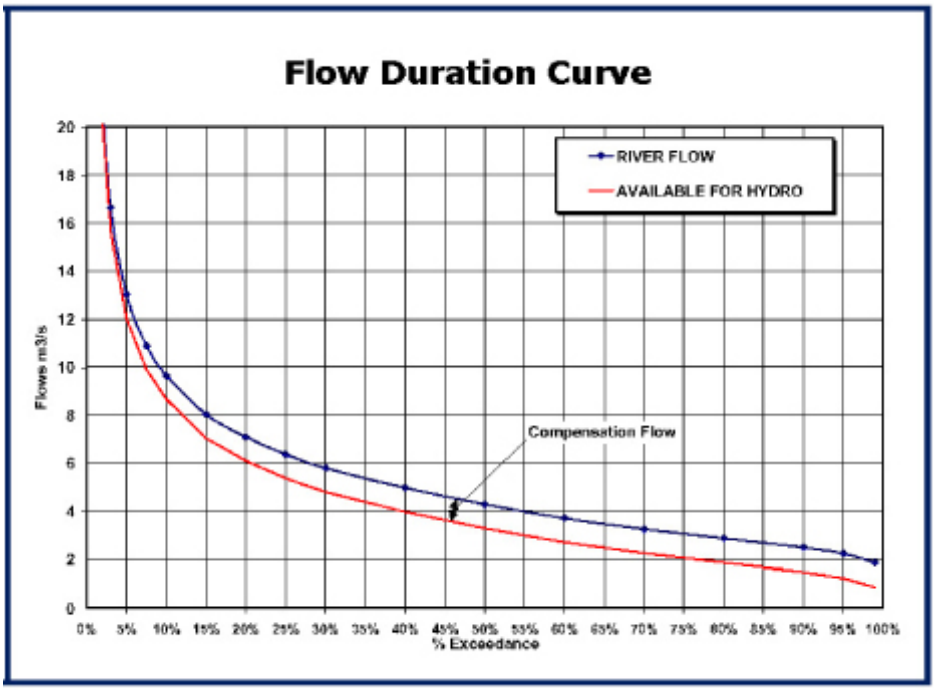
Με την χρήση υδρολογικών μοντέλων μπορούν να παραχθούν κάποιες χρονοσειρές της μέση ημερήσιας ροής ενός ποταμού σε ένα συγκεκριμένο σημείο για ένα έτος (Σχήμα 1.α). Τα δεδομένα που δίνονται από τα προαναφερόμενα μοντέλα δημιουργούν υδρογραφήματα και θεωρούνται ως τα βασικότερα στοιχεία για την μελέτη και λειτουργία ενός υδροηλεκτρικού εργοστασίου. Από το υδρογράφημα δίνεται η δυνατότητα κατασκευής της καμπύλης διάρκειας παροχής που αποτελεί ένα από τα σημαντικό στοιχεία της εκτίμησης του δυναμικού του ποταμού για τον σχεδιασμό του εργοστασίου [4].

Η καμπύλη διάρκειας παροχής δίνει το ποσοστό του χρόνου (t) του όπου η παροχή του ύδατος ισούται ή υπερβαίνει μια συγκεκριμένη τιμής της ροής (Σχήμα 1.β). Η μορφή της καμπύλης διάρκειας παροχής έχει την δυνατότητα να δώσει πλήθος πληροφοριών για τον σταθμό παραγωγής ηλεκτρική ενέργειας. Οι βασικότερες πληροφορίες είναι οι ακόλουθες [2]:

- Προτεινόμενη εγκατεστημένη ισχύ
- Αριθμός μονάδων
- Ένδειξη οικονομικής βιωσιμότητας



(α)



(β)

Σχήμα 1: (α)Παράδειγμα υδρογραφήματος ποταμού. (β)Παράδειγμα Καμπύλης διάρκειας παροχής [4]

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η καμπύλη διάρκειας παροχής μπορεί να φανερώσει εάν το μεγαλύτερο ποσοστό συνολικής ετήσιας παροχής εμφανίζεται για μικρό χρονικό διάστημα ή το αντίθετο εάν η παροχή είναι σχετικά σταθερή για μεγάλο χρονικό διάστημα [2].

1.1.1. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

Τα βασικά στοιχεία που θα πρέπει να μελετηθούν για την εγκατάσταση ενός υδροηλεκτρικού εργοστασίου είναι ο υδρολογικός κύκλος καθώς και το ανάγλυφο της περιοχής, τα οποία είναι στοιχεία που επηρεάζουν τις συνθήκες εκμετάλλευσης της κινητικής και δυναμικής ενέργειας του ύδατος [6]. Το νερό της ατμόσφαιρας φτάνει στην επιφάνεια της γης είτε ως βροχόπτωση είτε ως χιονόπτωση. Ένα τμήμα του νερού εξατμίζεται (σχετικά μικρό) ενώ το υπόλοιπο μέρος απορροφάται είτε από το έδαφος είτε συσσωρεύεται σε λίμνες, ποτάμια και θάλασσες. Ωστόσο το τμήμα που εξατμίζεται είναι υπεύθυνο για την δημιουργία των σύννεφων το οποίο μετατρέπεται σε κατακρημνίσεις και με αυτόν τον τρόπο «κλείνει» ο υδρολογικός κύκλος (Σχήμα 2) [5].

Σχήμα 2: Υδρολογικός κύκλος [5].

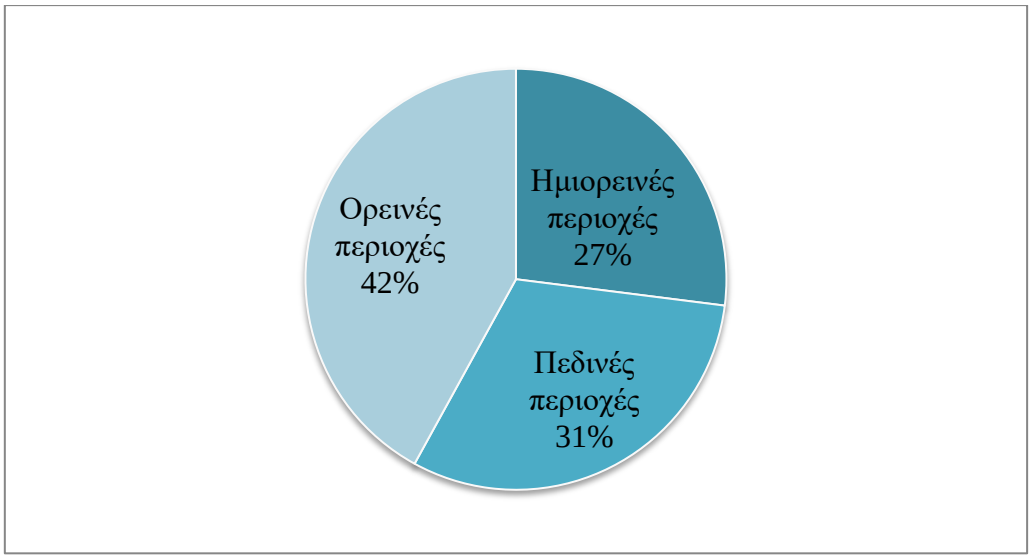
Η εκτίμηση του διαθέσιμου νερού μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε άμεσα από μετρήσεις σε συγκεκριμένες θέσεις δηλαδή σε ποτάμια και λίμνες είτε έμμεσα από τα δεδομένα των κατακρημνίσεων από υπολογιστικά μοντέλα. Σημειώνεται ότι οι μετρήσεις των κατακρημνίσεων υπάρχουν σε πολλές περιοχές καθώς επίσης και οι μετρήσεις ποσοτήτων νερού σε σημαντικά ποτάμια και λίμνες. Ωστόσο, η χρήση τους μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο μετά από αναγωγή με μετρήσεις από τη περιοχή που επιθυμείται να κατασκευαστεί το υδροηλεκτρικό εργοστάσιο [2], [6].

Όσο αφορά τις προαναφερόμενες μετρήσεις, προέρχονται από πιστοποιημένες υδρολογικές και περιβαλλοντικές υπηρεσίες κάθε χώρας. Τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) και τα υδρολογικά μοντέλα αποτελούν δυο βασικά εργαλεία όπου σε συνδυασμό με τις μετρήσεις έχουν την δυνατότητα να δώσουν σημαντικές πληροφορίες για το δυναμικό τόσο χωρικά όσο και χρονικά [2].

1.1.2. ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η διαμόρφωση του υδατικού δυναμικού μιας χώρας εξαρτάται από παράγοντες όπως είναι ο ρυθμός και το μέγεθος των κατακρημνίσεων καθώς επίσης και το ανάγλυφο της εκάστοτε χώρας. Η Ελλάδα θεωρείται ως μια χώρα φτωχή σε υδατικούς πόρους και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν γίνεται «σωστή» διαχείριση των φυσικών διαθέσιμων υδάτινων πόρων. Ωστόσο, βασικός παράγοντας στην επικρότηση αυτής της άποψης είναι η απουσία οργανωμένης υδατικής πολιτικής η οποία θα είχε την δυνατότητα στον έλεγχο της αναπτυξιακής ασυμμετρίας στην χωροταξική διάρθρωση της Ελλάδας. Στην ουσία υπάρχει υπερεπάρκεια των υδάτινων πόρων χωρίς όμως να υπάρχει άρτια και ομοιόμορφη χωροχρονική κατανομή [7].

Η Ελλάδα ανήκει στις Ευρωπαϊκές Χώρες με έντονο γεωγραφικό ανάγλυφο έχοντας πολλά ορεινά σημεία τα οποία σε περίπτωση που αξιοποιηθούν τα επιφανειακά νερά τους θα μπορούν να δώσουν άριστα αποτελέσματα. Σύμφωνα με τα προαναφερόμενα γίνεται άμεσα κατανοητό ότι η μορφολογία της χώρας μας δημιουργεί αξιόλογο υδροδυναμικό αφού ως επί το πλείστων το μεγαλύτερο ποσοστό των περιοχών βρίσκονται σε ορεινή τοποθεσία (μεγάλο υψόμετρο) και μικρότερο ποσοστό σε πεδιάδα και ημιορεινό. Επιπλέον, σημειώνεται ότι όσο μεγαλύτερο το υψόμετρο που εδράζεται μια περιοχή τόσο πιο έντονος ο σχηματισμός κλίσεων άρα και ευκολότερη η δημιουργία ποταμών αλλά και η δημιουργία λεκανών απορροής [7],[9].



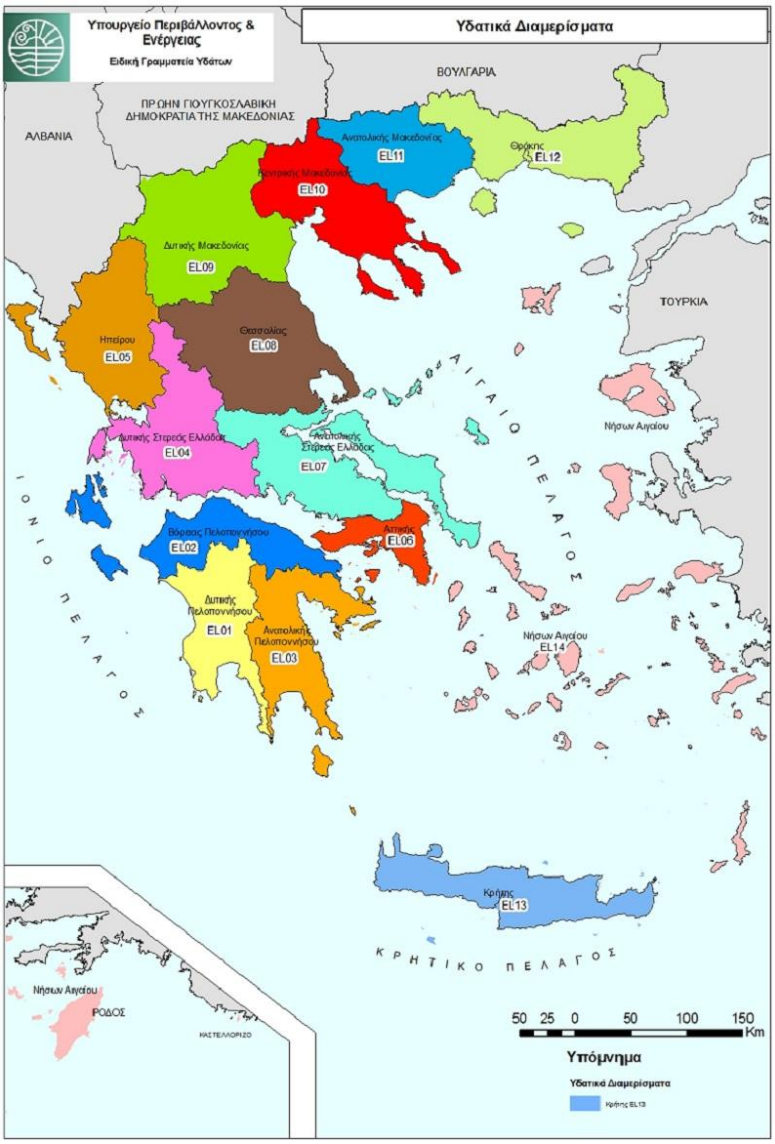
Σχήμα 3: Σχηματική Αναπαράσταση της γεωμορφολογίας της Ελλάδας [9]

Ωστόσο, η Ελλάδα συγκρινόμενη με άλλες Ευρωπαϊκές Χώρες που βρίσκονται βορειότερα δεν έχει έντονες και συχνές κατακρημνίσεις με συνέπεια η υδραυλικότητα της να μην θεωρείται σημαντική. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η γεωγραφική της θέση καθώς επίσης και το κλίμα της είναι τέτοια ώστε να ευνοούνται φαινόμενα εξάτμισης και όχι συμπύκνωσης που βοηθούν στις κατακρημνίσεις άρα και στην υλοποίηση του υδρολογικού κύκλου με εντατικό ρυθμό [9].

Αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι ότι η Ελλάδα διαθέτει πλήθος ποταμών και λιμνών. Τα ποτάμια της χώρας χαρακτηρίζονται ως επί των πλείστων με επαρκή βασική απορροή. Οι πιο βασικοί ποταμοί στην Ελλάδα είναι [7]:

- Έβρος
- Νέστος
- Στρυμόνας
- Αξιός
- Αλιάκμονας
- Πηνειός
- Άραχθος
- Αχελώος
- Σπερχειός
- Αλφειός

Αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι ότι το βασικό των ποταμών είναι το ποσοστό της παροχής που διαθέτει καθένας τους, αφού οι υδάτινοι πόροι χρησιμοποιούνται για πλήθος χρήσεων. Στην συνέχεια ακολουθεί ο χάρτης των υδατικών διαμερισμάτων της Ελλάδας.



Εικόνα 1: Χάρτης υδατικών διαμερισμάτων Ελλάδας [15]

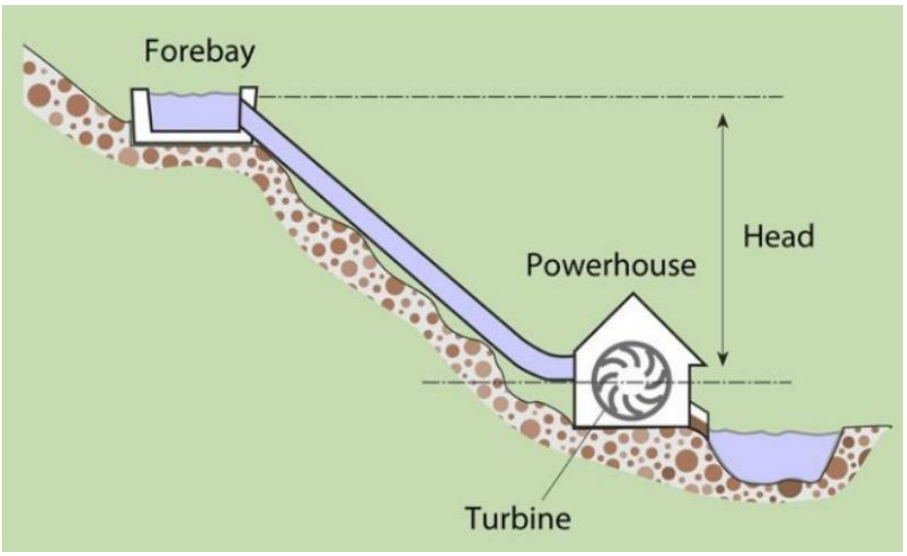
α/α	Υδατικό Διαμέρισμα	Επιφάνεια (km^2)	Θεωρητικό Υδροδυναμικό (GWh/y)	Αν. Υδροδυναμικό (GWh/y)	Τεχνικά Αξιοποιήσιμο Υδροδυναμικό (GWh/y)	Οικονομικά Αξιοποιήσιμο Υδροδυναμικό (GWh/y)
1	Δ. Πελοπόννησος	7.771	7.210	460,0	1.670	1.260
2	Β. Πελοπόννησος	6.596	4.290	325,7	755	557
3	Αν. Πελοπόννησος	8.702	4.300	32,2	570	417
4	Δυτ. Στερεά Ελλάδα	10.420	14.880	33.860,5	5.500	4.200
5	Ήπειρος	10.275	15.642	2.432	6.250	4.830
6	Αττική	3.326	282	20,8	9	5
7	Αν. Στερεά Ελλάδα	11.923	5.090	128	551	390
8	Θεσσαλία	13.148	6.010	567	665	468
9	Δ. Μακεδονία	13.404	10.444	1.967,1	2.240	1.670
10	Κ. Μακεδονία	10.338	2.800		185	123
11	Αν. Μακεδονία	7.342	2.270		102,5	175
12	Θράκη	10.894	6.783	694,6	1.489	1.110
13	Κρήτη	8.330	4.600	81,6	610	446
14	Νήσοι Αιγαίου	9.060	400	2	11	6
ΣΥΝΟΛΟ		131.579	85.001	10.774,0	206,80	15.600

Πίνακας 1: Έκταση και Κατανομή Υδροδυναμικού ανά Υδατικό Διαμέρισμα [16]

1.2. ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Υδροηλεκτρικό σύστημα καλείται το σύστημα που παράγεται ηλεκτρική ενέργεια κάνοντας εκμετάλλευση της μηχανικής (κινητική και δυναμική) ενέργεια του νερού. Στην ουσία μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική. Η μετατροπή αυτή πραγματοποιείται μέσω της κίνησης του νερού από υψομετρικές περιοχές (υψηλότερο υδραυλικό φορτίο) προς χαμηλότερες περιοχές (χαμηλότερο υδραυλικό φορτίο) [1].

Σύμφωνα με τα προαναφερόμενα γίνεται άμεσα κατανοητό ότι η επιλογή της εγκατάστασης ενός υδροηλεκτρικού συστήματος εξαρτάται άμεσα από τον έλεγχο δυο βασικών παραγόντων που είναι η ροή του νερού καθ' όλη την διάρκεια του έτους (ποσότητα νερού που προσφέρεται στο σύστημα) καθώς επίσης και η υψομετρική διαφορά (κατακόρυφη απόσταση που ρέει το νερό). Στο Σχήμα 3 διακρίνεται ο τρόπος προσδιορισμού της υψομετρικής διαφοράς σε ένα υδροηλεκτρικό σύστημα [13].



Σχήμα 4: Υψομετρική διαφορά ενός υδροηλεκτρικού συστήματος [13]

Σημειώνεται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η υψομετρική διαφορά τόσο λιγότερη παροχή νερού χρειάζεται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [1].

Η ενέργεια που παράγεται από υδατοπτώσεις αξιοποιείται μέσα από τα υδροηλεκτρικά έργα και με αυτό τον τρόπο παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια. Όσο αφορά την δυνατότητα παραγωγής ισχύος από ένα υδροηλεκτρικό έργο με σκοπό την κατάταξη του ως μεγάλο ή μικρό απαιτείται η γνώση της παροχής του νερού καθώς επίσης και η υψομετρική διαφορά. Η γνώση αυτών οδηγεί στον υπολογισμό της πιθανής ισχύς εγκατάστασης.

Επιπλέον, ο διαχωρισμός των υδροηλεκτρικών έργων μπορεί να πραγματοποιηθεί σύμφωνα με τον τρόπο παραγωγής της κινητικής ενέργειας [2]:

- Εκμετάλλευση φυσικής ροής ποταμού με αγωγό, ο όποιος είναι τοποθετημένος με κατάλληλη κλίση. Η εφαρμογή αυτή χρησιμοποιείτε ως επί το πλείστων για τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα.

- Αποθήκευση νερού σε ταμιευτήρα με σκοπό την δημιουργία αυξανόμενης δυναμικής ενέργειας. Η εφαρμογή αυτή χρησιμοποιείτε ως επί το πλείστων για τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα.

Εικόνα 2: Φράγμα Υδροηλεκτρικού Έργου Λάδωνα στον ομώνυμο ποταμό [14]

Εικόνα 3: Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο Δαφνοζωνάρας στον ποταμό Αχελώο [14]

1.2.1. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Η κατηγοριοποίηση των υδροηλεκτρικών έργων μπορεί να πραγματοποιηθεί συμφώνα με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά καθώς επίσης και με κάποιες ιδιότητες. Οι βασικές κατηγορίες των υδροηλεκτρικών έργων είναι οι εξής [1], [9]:

1η Κατηγορία: Συμφώνα με την σκοπιμότητα του υδροηλεκτρικού συστήματος:

- Υδροηλεκτρικό σύστημα παραγωγής ενέργειας (απλής σκοπιμότητας)
- Υδροηλεκτρικό σύστημα ύδρευσης, άρδευσης, παραγωγής ενέργειας κ.ά. (πολλαπλής σκοπιμότητας.

2η Κατηγορία: Συμφώνα με την χωρητικότητα του ταμιευτήρα:

- Υδροηλεκτρικό σύστημα με ταμιευτήρα
- Υδροηλεκτρικό σύστημα με ταμιευτήρα μικρής χωρητικότητας (run of river with pondage)
- Υδροηλεκτρικό σύστημα χωρίς ταμιευτήρα (run of river)

3η Κατηγορία: Σύμφωνα με το είδος εκμετάλλευσης του έργου

- Υδροηλεκτρικό σύστημα με συμβατικές εγκαταστάσεις αξιοποίησης των παροχών ενός ποταμού
- Υδροηλεκτρικό σύστημα με εγκαταστάσεις αντλήσεως – ταμιεύσεως

4η Κατηγορία: Σύμφωνα με το ωφέλιμο της υδατόπτωσης (κατακόρυφο ύψος)

- Υδροηλεκτρικό σύστημα μικρού ύψους πτώσεως (Hπ < 20m).
- Υδροηλεκτρικό σύστημα μεσαίου ύψους πτώσεως (20m < Hπ <150m).
- Υδροηλεκτρικό σύστημα μεγάλου ύψους πτώσεως (Hπ >150m).

5η Κατηγορία: Σύμφωνα με το μέγεθος της εγκατεστημένης ισχύος του έργου:

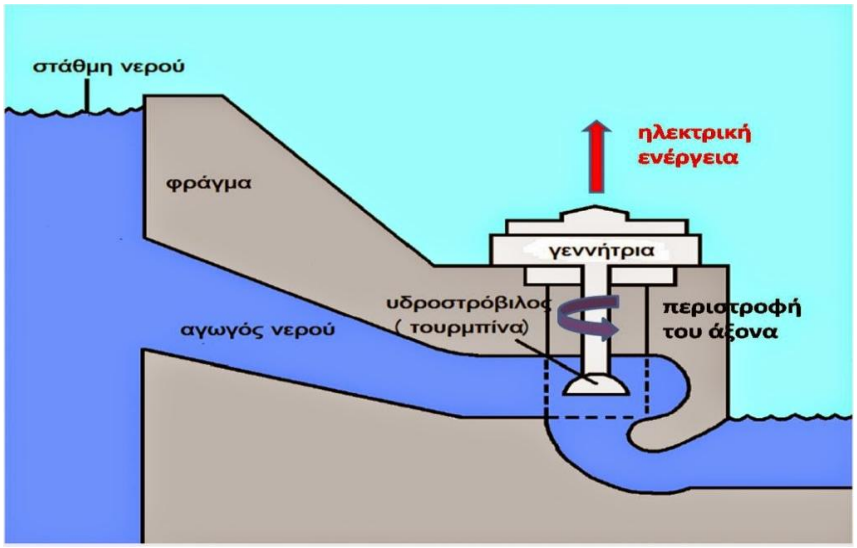
- Υδροηλεκτρικό σύστημα μεγάλης κλίμακας (Εγκατεστημένη ισχύ >100MW)
- Υδροηλεκτρικό σύστημα μεσαίας κλίμακας (Εγκατεστημένη ισχύ 15MW - 100MW)
- Υδροηλεκτρικό σύστημα μικρής κλίμακας (Εγκατεστημένη ισχύ 1kW – 15MW)

1.3. ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σύμφωνα με την Τζαμάκου (2018) η εκμετάλλευση της διαφοράς της δυναμικής ενέργειας του νερού μεταξύ δύο σημείων με υψομετρική διαφορά και η αξιοποίηση του υδατικού δυναμικού του ρέματος και κατ' επέκταση του όγκου της παροχής του νερού οδηγεί στην δημιουργία ενός υδροηλεκτρικού έργου με ισχύ ανάλογη με τα δύο αυτά μεγέθη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [1].

Όταν ένα ποταμός επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί για την συμμέτοχη του σε υδροηλεκτρικό έργο τότε η διαθέσιμη ποσότητα νερού εκτρέπεται σε ένα αγωγό, ο οποίος έχει κλίση κατηφορική με συνέπεια η πτώση του νερού να δημιουργεί την επιθυμητή πίεση στο νερό και εν συνεχεία να δημιουργείται η δύναμη που χρειάζεται για την λειτουργία του ο υδροστρόβιλός που βρίσκεται τοποθετημένος στο κατώτερο σημείο του αγωγού και είναι υπεύθυνος για την παραγωγή της ενέργειας.

Σε κάθε υδροηλεκτρικό σύστημα θα πρέπει να υπολογίζονται συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όπως είναι η υψομετρική διαφορά, δηλαδή το κατακόρυφο όπου μετράται σε (m). Σημειώνεται ότι όσο μεγαλύτερη αυτή η διαφορά τόσο μεγαλύτερη η πίεση του νερού που καταλήγει στον υδροστρόβιλο άρα και μεγαλύτερή ισχύς που παράγεται. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό είναι η παροχή του νερού που μετράται σε (m^3/sec ή lt/sec) και δείχνει την ροή του νερού που διέρχεται από τον αγωγό. Η παροχή του νερού θεωρείται ως το βασικό είναι βήμα για την διαμόρφωση ενός υδροηλεκτρικού έργου [1].



Σχήμα 5: Απεικόνιση παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας

Για τον υπολογισμό της παραγόμενης ισχύς απαιτείται η γνώση των ανωτέρων. Ο υπολογισμός της υδραυλικής ισχύς που είναι διαθέσιμη για μετατροπή σε μηχανική ενέργεια γίνεται με την ακόλουθη σχέση [8]:

$$N\ (kW) = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H = \gamma \cdot Q \cdot H \qquad [1.1]$$

Όπου:

Q = παροχή του όγκου που διέρχεται από τον υδροστρόβιλο (m^3/sec)
ρ = πυκνότητα νερού (kg/m^3)
g= επιτάχυνση της βαρύτητας 9,81 (m/s^2)
γ= ειδικό βάρος νερού (kg/m^3)
H = υδραυλική πτώση (καθαρό ύψος πτώσης) (m).

Ο υπολογισμός της μηχανικής ενέργειας που αποδίδει ο υδροστρόβιλος είναι η ισχύς που δίνεται στην έξοδο του υδροηλεκτρικού συστήματος και δίνεται από την σχέση [8]:

$$N\ (kW) = \gamma \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot n \qquad [1.2]$$

Όπου:

Q = παροχή του όγκου που διέρχεται από τον υδροστρόβιλο (m^3/sec)
γ= ειδικό βάρος νερού (kg/m^3)
Η = υδραυλική πτώση (υψομετρική διαφορά) (m).
n= η συνολική απόδοση του υδροηλεκτρικού σταθμού (ισούται με το γινόμενο των βαθμών απόδοσης των επιμέρους τμημάτων του υδροηλετκτρικού σταθμού).

1.4. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η κατασκευή ενός υδροηλεκτρικού έργου έχει κάποιες επιπτώσεις οι οποίες διαχωρίζονται σε οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές. Οι επιπτώσεις αυτές καταγράφονται από την International Hydropower Association (IHA) καθώς κατεγράφησαν και από την Τσικνάκου Γ. (2010) στο συνέδριο του ΤΕΕ που πραγματοποιήθηκε στην Αθήνα (8-10/3/2010) και συνοψίζονται στου Πίνακες 2, 3, και 4 [11-12].

Θετικές οικονομικές επιπτώσεις
• Χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης • Μεγάλος χρόνος ζωής (50 έως και πάνω από 100 χρόνια) • Ανταποκρίνονται άμεσα σε διακυμάνσεις του φορτίου ζήτησης (ταμιευτήρα) • Αξιόπιστη λειτουργία • Αξιόπιστη και δόκιμη τεχνολογία • Συμμετέχουν σημαντικά στην περιφερειακή ανάπτυξη • Εξασφαλίζουν υψηλούς βαθμούς ενεργειακής απόδοσης (κυρίως με ταμιευτήρα αναρρύθμισης) • Πολλαπλής σκοπιμότητας, πέραν της ενεργειακής παραγωγής • Απασχόληση επιστημονικού και εργατικού δυναμικού • Αποφυγή χρήσεως στερεών και υγρών καυσίμων • Ενεργειακή απεξάρτηση με τη χρήση εγχώριων πηγών ενέργειας Βελτιστοποιεί τη λειτουργία θερμικών σταθμών και άλλων ανανεώσιμων σταθμών (υβριδικά)
Αρνητικές οικονομικές επιπτώσεις
• Υψηλό κόστος επένδυσης • Εξάρτηση από τις βροχοπτώσεις • Ο όγκος του ταμιευτήρα πιθανόν να περιοριστεί από την συγκράτηση φερτών υλών • Μακροχρόνιος σχεδιασμός μέχρι την υλοποίηση • Μακροχρόνια συμβόλαια και δεσμεύσεις • Απαιτούν πολύπλευρες συνέργειες και συμφωνίες υπηρεσιών και πολιτών Συχνά απαιτούν εξειδικευμένους αναδόχους και κεφάλαια χρηματοδότησης εξωτερικού

Πίνακας 2: Οικονομικές επιπτώσεις που δημιουργούνται με την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας [11-12].

Θετικές κοινωνικές επιπτώσεις
• Δίδουν τη δυνατότητα αξιοποίησης του νερού για πολλαπλές χρήσεις • Συχνά εξασφαλίζουν αντιπλημμυρική προστασία • Οι ταμιευτήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ψυχαγωγικές δραστηριότητες • Αναβαθμίζεται η ευρύτερη περιοχή (οδοί προσπέλασης, γέφυρες κλπ.) • Δίδουν τη δυνατότητα χρησιμοποίησης τοπικού πληθυσμού στην κατασκευή και λειτουργία Βελτιώνουν τις συνθήκες ζωής και διατηρούν και αναβαθμίζουν τον πληθυσμό της περιοχής (ύδρευση, άρδευση, αντιπλημμυρική προστασία)
Αρνητικές κοινωνικές επιπτώσεις
• Η δημιουργία μεγάλων ταμιευτήρων απαιτεί μετεγκατάσταση πληθυσμών • Παρεμποδίζουν τη ναυσιπλοϊα (σε πλωτούς ποταμούς) • Απαιτείται προστασία και καλές συνθήκες υγιεινής στους ταμιευτήρες • Απαιτείται ορθολογική και θεσμοθετημένη διαχείριση σε περίπτωση πολλαπλών χρήσεων Απαιτείται ενημέρωση του πληθυσμού και αντισταθμιστικά οφέλη στην περίπτωση επιπτώσεων στις χρήσεις γης

Πίνακας 3: Κοινωνικές επιπτώσεις που δημιουργούνται με την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας [11-12].

Θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις
• Δεν παράγουν ατμοσφαιρική ρύπανση • Βελτιώνουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας • Δεν παράγουν απόβλητα • Αντικαθιστούν μη ανανεώσιμα καύσιμα (κάρβουνο, φυσικό αέριο, πετρέλαιο) • Οι λεπτομερείς μελέτες που απαιτούνται επεκτείνονται και στην έρευνα της υδρόβιας ζωής • Με τη δημιουργία ταμιευτήρων εξομαλύνονται οι έντονες κλιματικές αλλαγές • Στους ταμιευτήρες δημιουργούνται νέα οικοσυστήματα Τα υδροηλεκτρικά έργα δεν κατακρατούν, μόνο απορρυθμίζουν τις εισρέουσες ποσότητες νερού και δεν μολύνουν το νερό κατά την παραγωγή ενέργειας
Αρνητικές κοινωνικές επιπτώσεις
• Οι μεγάλοι ταμιευτήρες κατακλύζουν σημαντικές εκτάσεις • Μεταβάλλουν τις υδρολογικές συνθήκες • Μεταβάλλουν την υδρόβια πανίδα • Απαιτείται διαχείριση των πολλαπλών χρήσεων και έλεγχο της ποιότητας υδάτων • Τα φράγματα αποτελούν εμπόδια στην μετακίνηση της ιχθυοπανίδας • Απαιτείται επιμελημένη αποψίλωση της λεκάνης κατάκλυσης, πριν από την πλήρωση, για να αποφευχθεί η δράση αναερόβιων οργανισμών και η δημιουργία επιβλαβών αερίων, τα οποία στη συνέχεια διαχέονται στην τροφική αλυσίδα. Οι αποθέσεις φερτών υλών και η διοχέτευσή τους προς τα κατάντη αποτελούν αντικείμενο περιβαλλοντικής διαχείρισης

Πίνακας 4: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις που δημιουργούνται με την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας [11-12].

1.5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Σε αυτό το σημείο παρουσιάζονται τα θετικά και αρνητικά στοιχεία της κατασκευής ενός υδροηλεκτρικού έργου. Τα βασικά πλεονεκτήματα των υδροηλεκτρικών έργων είναι τα ακόλουθα [10]:

- Το υδάτινο δυναμικό (νερό ποταμών, χειμάρρων κτλ) ανήκει στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) με συνέπεια η αξιοποίηση του να δίνει την δυνατότητα απεξάρτησης από της συμβατικές ενέργειας (ορυκτά καύσιμα) που τείνουν να εξαντληθούν σε βάθος χρόνου. Τα υδροηλεκτρικά έργα κάνουν χρήση νερού που το προωθούν στους υδροστρόβιλους με στόχο τν παραγωγή ενέργειας και στον συνέχεια προωθείται πίσω στο σταθμό δηλαδή στον ποταμό ή στο χείμαρρο.
- Το φυσικό περιβάλλον δεν επηρεάζεται αρνητικά όταν τα έργα υλοποιούνται και κατασκευάζονται σύμφωνα με το Νομοθετικό Πλαίσιο αφού δεν δημιουργούν απόβλητα και ιδιαίτερα στα μικρά υδροηλεκτρικά έργα που δεν ανακάμπτουν την στερεοπαροχή των ποταμών.
- Τα υδροηλεκτρικά έργα μπορούν να χρησιμοποιούνται και για άλλες δραστηριότητες εκτός της παραγωγής ενέργειας. Κάποιες από τις βασικές δραστηριότητες είναι ύδρευση, άρδευση, αλιεία, δημιουργία χώρων αναψυχής, υδάτινους χώρους αθλητισμού και κατασκευή υγροτόπων.
- Ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας αφού είναι εγχώρια πηγή ενέργειας.
- Τα υδροηλεκτρικά έργα έχουν την δυνατότητα λειτουργίας σύμφωνα με τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια που παρουσιάζονται αλλά και τις ώρες αιχμής, χωρίς να απαιτείται κάποια ιδιαίτερη προετοιμασία όπως στους θερμικούς σταθμούς.

Ωστόσο, όπως σε κάθε έργο και σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν κάποια μειονεκτήματα τα οποία είναι τα εξής [10]:

- Η μελέτη για την κατασκευή ενός υδροηλεκτρικού έργου απαιτεί μεγάλο χρονικό διάστημα με στόχο την άρτια συλλογή δεδομένων. Συγκεκριμένα για μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα χρειάζονται 5-10 έτη ενώ για μικρά 1-2 έτη.
- Η ενέργεια που παράγεται εξαρτάται άμεσα από τις κατακρημνίσεις του έτους με συνέπεια να μην παρουσιάζεται πάντα ομοιογένεια στην παραγωγή της καθώς επίσης οι προβλέψεις μπορεί να απέχουν από την πραγματικότητα λόγω της ανωτέρω αλλαγής.
- Το οικονομικό κόστος ενός υδροηλεκτρικού έργου είναι αρκετά υψηλό και αυτό δεν οφείλεται μόνο στο κατασκευαστικό τμήμα και στον εξοπλισμό του εκάστοτε έργου αλλά και στην θέση που εγκαθίστανται αφού τις περισσότερες φορές είναι απομακρυσμένα από την κατανάλωση και απαιτούνται υποδομές διασύνδεσης που επιβαρύνουν αρκετά το κόστος τους.

2. ΜΙΚΡΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ

2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα υδροηλεκτρικά έργα όπως αναλύθηκε και στο Κεφάλαιο 1 διαχωρίζονται σε πλήθος κατηγοριών σύμφωνα με διάφορα χαρακτηριστικά τους. Ωστόσο ένα βασικό στοιχείο κατηγοριοποίησης είναι το μέγεθος του εκάστοτε υδροηλεκτρικού έργου, όπου ανάλογα με το μέγεθος του έργου διαμορφώνονται η έκταση που καταλαμβάνουν οι εγκαταστάσεις, οι δυνατότητες εγκατεστημένης ισχύος, ο τρόπος λειτουργίας του έργου, το μέγεθος εκμετάλλευσης του έργου κ.ά.. Τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα χρησιμοποιούνται ως επί των πλείστων ως μονάδες παραγωγής ενέργειας προσφέροντας την παραγόμενη ενέργεια σε Διασυνδεδεμένο Σύστημα σε ώρες αιχμής και σε πολύ χαμηλό κόστος. Από την άλλη πλευρά τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα μπορούν να εκμεταλλευτούν σε μεγαλύτερο ποσοστό τα διαθέσιμα αποθέματα των επιφανειακών υδάτων μιας περιοχής δίνοντας την δυνατότητα μια συνεχούς λειτουργίας και παροχής φορτίου. Αυτό δίνει επιπλέον την δυνατότητα να υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ της εγκατεστημένης ισχύς και των ωρών λειτουργίας του έργου προσφέροντας ικανοποιητικά αποτελέσματα παραγόμενης ενέργειας [17].

Άρτιος σχεδιασμός ενός μικρού υδροηλεκτρικού έργου εξαρτάται άμεσα από την «σωστή» κατάρτιση της καμπύλης διαθέσιμων παροχών του υδατορεύματος στο οποίο θα λάβει χώρα η εγκατάσταση του εκάστοτε έργου. Η καμπύλη διάρκειας παροχής δίνεται για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα περίπου 12 μηνών (1 έτους) και απεικονίζονται οι μετρήσεις παροχής για κάθε συγκεκριμένη θέση. Με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα εκμετάλλευσης του υδροηλεκτρικού έργου με σχετική λεπτομέρεια σε μικρά χρονικά διαστήματα, που είναι μηνιαία.

Εικόνα 4: Πρώτο δημοτικό υδροηλεκτρικό έργο Ορεστιάδα [18]

Για να υπάρχει μια σαφή εικόνα για την κατασκευή ενός μικρού υδροηλεκτρικού έργου προτείνεται η καμπύλες παροχής να κατασκευάζονται σύμφωνα με δεδομένα κάποιων ετών με στόχο να υπάρχουν αξιόπιστα αποτελέσματα. Επιπλέον, για την καλύτερη αξιοπιστία των αποτελεσμάτων προτείνεται να μετρηθούν και οι ημερήσιες τιμές παροχής. Τα ανωτέρω είναι τα βασικά στοιχεία που θα δώσουν το βήμα για την αδειοδότησης της κατασκευής μας τέτοιας εγκατάστασης. καθώς επίσης και τις προδιαγραφές – συνθήκες διασύνδεσης του έργου με το δίκτυο.

Η κατασκευή των υδροηλεκτρικών έργων υλοποιείται κάτω από συγκεκριμένες προδιαγραφές στην περίπτωση των μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων, στη Ελλάδα, μπορούν να κατασκευαστούν μόνο από την ΔΕΗ. Ωστόσο μικρά υδροηλεκτρικά έργα μπορούν να υλοποιηθούν και από ιδιώτες αλλά δεν έχουν δυνατότητα εγκατάσταση άνω των 15MW [17].

2.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΙΚΡΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΈΡΓΩΝ

Όπως έχει προαναφερθεί η υδροηλεκτρική ενέργεια κατατάσσεται στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και ειδικά όταν προέρχεται από Μικρής Κλίμακας Υδροηλεκτρικά Συστήματα (Μ.Υ.Η.Σ.) με ονομαστικής ισχύ έως 10 MW. Ο πρώτος διαχωρισμός σε κατηγορίες έγινε σύμφωνα με το Ν.2773/1999. Όπου το όριο κατάταξης που ισχύει σήμερα αναφέρεται στο Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για της Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΕΠΧΣ & ΑΑ, ΦΕΚ Β’ 2464/03.12.2008) το οποίο θεωρεί ως Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα, αυτά που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με την αξιοποίηση του υδάτινου δυναμικού και η ισχύς τους δεν ξεπερνά τα 15MW.

Σημειώνεται ότι η εγκατεστημένη ισχύς δεν θα πρέπει να είναι το μόνο που λαμβάνεται υπόψη για την διάκριση των μικρών και μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων αλλά θα πρέπει να υπολογίζεται ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός καθώς και η διαμόρφωση του υδροηλεκτρικού έργου. Στην Ελλάδα τα Μικρά Υδροηλεκτρικά έργα έχουν ισχύς που κυμαίνεται από 0,2 έως και 3 MWatt, σε αυτή την κατηγορία ανήκει περίπου το 95% των υδροηλεκτρικών έργων της χώρας. Από τα προαναφερόμενα γίνεται άμεσα κατανοητό ότι υπάρχει ένα όριο διάκρισης των 10MW - 15MW είναι αρκετά μεγαλύτερα από αυτά που συνήθως κατασκευάζονται [9].

Σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία η διάκριση για τα μικρά υδροηλεκτρικά βάση της παραγόμενης ισχύος καταγράφεται στον Πίνακα 1 [9].

Ονομασία	Παραγόμενη ισχύς
Μικρό	1-15MW
Mini	100kW-1 MW
Micro	<100kW
Pico	<5kW

Πίνακας 5: Κλίμακα Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων [1]

2.3. ΟΦΕΛΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΙΚΡΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Τα τελευταία χρόνια διακρίνεται μεγάλο ενδιαφέρον για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας με συνέπεια να πραγματοποιείται οποιαδήποτε πιθανή προώθηση τους. Τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Συστήματα ανήκουν στα έργα που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με την χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Τα οφέλη που παρουσιάζονται από την κατασκευή τους συνοψίζονται στα πλεονεκτήματα των αυτών των ανεξάντλητων πηγών και είναι τα ακόλουθα [19]:

- Οι μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας είναι φιλικές προς το περιβάλλον και ανεξάντλητες καθώς επίσης οικονομικά θεωρούνται αποδοτικές και συντελούν στη βιώσιμη ανάπτυξη.
- Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενεργείας δεν εκπέμπουν αέρια επιβλαβή, με συνέπεια να μην συμβάλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση και ταυτόχρονα ο λόγος αυτός να τις κάνει ελκυστικές για την προστασία του περιβάλλοντος.
- Οι εκμετάλλευση των φυσικών πόρων δεν πραγματοποιείται σε συγκεκριμένους γεωγραφικούς χώρους με συνέπεια να υπάρχει μια διασπορά της ενεργειακής παραγωγής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση των απωλειών ενέργειας κατά την μεταφορά αφού υπάρχει καλύτερη κατανομή στους σταθμούς παραγωγής σε σύγκριση με τους πόλους κατανάλωσης.
- Η εκμετάλλευση των εγχωρίων πόρων δίνει την δυνατότητα αύξηση της παραγόμενης ενέργειας συμβάλλοντας στην ενεργειακή αυτονομία καθώς επίσης και στο ενεργειακό ισοζύγιο.
- Η αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας μέσω νέσω τεχνολογιών οδηγεί στην ανάπτυξη του επιστημονικού και του οικονομικού κλάδου με αποτέλεσμα την τόνωση της οικονομίας όχι μόνο σε εθνικό αλλά και τοπικό επίπεδο αφού προσφέρονται νέες θέσεις εργασίας.

Ωστόσο, τα ανωτέρω εμφανίζονται σε πλήθος τεχνολογιών των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Όμως τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα έχουν και κάποια ιδιαίτερα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών. Αυτά τα πλεονεκτήματα είναι τα ακόλουθα [19]:

- Τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα παρουσιάζουν υψηλή ενεργειακή απόδοση με συνέπεια η παραγόμενη ενέργεια κατά την διάρκεια ζωής τους να είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που χρειάζεται για την λειτουργία, συντήρηση και κατασκευή. Η απόδοση της ενεργειακής παραγωγής των Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων κυμαίνεται από 30-67%, αρκετά υψηλή συγκρινόμενη με άλλες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Επιπλέον, οι οχλήσεις αυτών των έργων είναι πολύ μικρές αφού οι εγκαταστάσεις γίνονται σε πιο ορεινές περιοχές, ο αγωγός μεταφοράς είναι συνήθως υπόγειος και οι κτιριακές εγκαταστάσεις προσαρμόζονται στην τοπική αρχιτεκτονική

του τόπου. Ακόμα, οι νέες τεχνολογίες στροβίλων δεν απαιτούν την αποθήκευση νερού, όπως και οι λειτουργιά τους γίνεται σε χαμηλά επίπεδα ακουστικής ρύπανσης.

- Η εγκατάσταση ενός Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου απαιτεί άρτιο περιβαλλοντικό σχεδιασμό για να μην επιβαρύνει το οικοσύστημα. Οι νέες τεχνολογίες διευκολύνουν τις μετακίνησης των ψαριών κατά μήκος των ποταμών καθώς επίσης και η μικρή παροχή που απαιτείται εξασφαλίζει την προστασία της παρόχθιας χλωρίδας και πανίδας.
- Η ποιότητα του νερού των ποταμών δεν υποβαθμίζεται όταν διαπερνά το στρόβιλό αλλά αντιθέτως μπορούν να αποδώσουν στο φυσικό υδατόρευμα πιο καθαρό νερό αφού μπορούν να απομακρυνθούν μη χημική ρύποι

Αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί για τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα είναι ότι έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιούνε σε εφαρμογές πέρα από την παραγωγή ενέργειας. Τέτοιες ενέργειες είναι η ύδρευση και άδρευση, οι οποίες συμβάλουν στην καλύτερή δυνατή εκμετάλλευση των υδάτινων όρων. Ωστόσο, όπως σε όλα τα μεγάλα έργα που συγκαταλέγονται στις μονάδες παραγωγής ενέργειας, τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα έχουν και κάποια μειονεκτήματα που δημιουργούνται κατά την λειτουργία τους και απαιτείται να συνυπολογιστούν κατά την εφαρμογή με στόχο την και αυτά είναι τα ακόλουθα [19]:

- Οι τεχνολογίες εκμετάλλευσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας έχουν σχετικά χαμηλούς βαθμούς ενεργειακής απόδοσης με συνέπεια να παράγουν ακριβή ενέργεια ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που τα συμβατικά καύσιμα θεωρούνται επαρκή. Η δημιουργία Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων προωθούνται από κρατικές επιδοτήσεις και η παραγόμενη ενέργεια πωλείται από την εταιρία της Δημόσιας Ενέργειας Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η). Τονίζεται ότι η ενίσχυση κονδυλίων έχει συγκεκριμένα προϋποθέσεις και κόστη με συνέπεια να απαιτούνται ολοένα και περισσότερα μέσα και τεχνολογίες για την μείωση του κόστους της παραγόμενης ενέργειας από τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα.
- Τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα δεν απαιτούν την αποθήκευση νερού (χρήση ταμιευτήρα) με συνέπεια να μην υπάρχει κάποια ευελιξία στη διαχείριση της ενέργειας στο Σύστημα Μεταφοράς αφού η παραγόμενη ενέργεια θα πρέπει να καταναλώνεται άμεσα., άρα δεν χρησιμοποιείται ως ενέργεια αιχμής αλλά ως ενέργεια άμεσης κατανάλωσης από το Σύστημα.
- Τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα δίνουν την δυνατότητα αποκέντρωσης του Συστήματος Μεταφοράς. Ωστόσο, αυτό έχει ως μειονέκτημα να υπάρχει σε πολλά σημεία η ανθρωπινή παρέμβαση στο φυσικό περιβάλλον με αποτέλεσμα να είναι επιτακτική η ανάγκη η εγκαταστάτη των Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων να γίνεται κάτω από το Νομοθετικό Πλαίσιο δίνοντας έμφαση στις κρίσιμες παραμέτρους.

Σύμφωνα με τα προαναφερόμενα γίνεται άμεσα κατανοητό ότι η κατασκευής ενός Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου παρουσιάζει πολλά οφέλη και τα μειονεκτήματα που ίσως δημιουργούνται μπορούν κάτω από κατάλληλες συνθήκες να περιοριστούν μέχρι και να εξαλειφθούν. Επιπλέον, κάποιες δυσκολίες που παρουσιάζονται κατά την κατασκευή τους

δεν θα πρέπει να λειτουργούν ως ανασταλτικό παράγοντας για την προώθηση τους. Στόχος των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης Ανανεώσιμών Πηγών Ενέργειας είναι η εξασφάλιση της ενεργειακής επάρκειας καθώς επίσης και η προφύλαξη του περιβάλλοντος με απώτερο σκοπό την οικονομική βιωσιμότητα της πηγής ενέργειας [19].

2.4. ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΙΚΡΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Για την κατασκευή ενός Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου απαιτείται να ακολουθηθούν κάποια βήματα και είναι τα εξής [17]:

- *Θέση εγκατάστασης*

Η επιλογή της θέσης εγκατάστασης ενός Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου εξαρτάται από παράγοντες όπως το υδροηλεκτρικό δυναμικό μιας περιοχής, όπου και θεωρείται το βασικότερο στοιχείο για την δημιουργία τέτοιων εφαρμογών. Τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής και ο υδρολογικός της χαρακτήρας δίνει σαφή απαντήσεις για την καλύτερη δυνατή θέση εγκατάστασης ενός Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου. Επιπλέον, για την επιλογή της θέσεη απαιτούνται συγκρίσεις των υψηλότερων δεικτών πυκνότητας υδροηλεκτρικού δυναμικού, ακόμα απαιτείται εκτίμηση καμπύλης διάρκειας παροχής με πλήθος υδρολογικών μοντέλων κάνοντας όμως χρήση και βασικά δεδομένα (μετρήσεις) παροχής. Ωστόσο, πριν την υλοποίηση των ανωτέρω, βασικό βήμα για την επιλογή της θέσης εγκατάσταση ενός Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου είναι η θεωρητική μελέτη του υδροδυναμικού της περιοχής όπου λαμβάνει υπόψη τη γεωλογία, την τοπογραφία, τις κατακρημνίσεις καθώς επίσης και μετρήσεις που μπορούν να υπάρχουν.

- *Σκοπιμότητα Μελέτης*

Η εκπόνηση της μελέτης σκοπιμότητας θεωρείται ως το πρώτο βήμα εγκατάστασης ενός Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου αφού αναλύει σενάρια σχεδίασης του έργου. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η κατασκευή ενός τέτοιου έργου στοχεύει στην δυνατότητα παραγωγής ενέργειας δίνοντας το έργο τον βέλτιστο βαθμό απόδοσης του. Το αντικείμενο της μελέτης σκοπιμότητας προκαθορίζεται από τα ακόλουθα σημεία:

- Επιλογή θέσης σταθμού
- Επιλογή θέσης υδροληψίας
- Προσδιορισμός ύψους πτώσης
- Χάραξη καμπύλης διάρκειας παροχής
- Εκτίμηση ετήσιας παραγόμενης ενέργειας
- Οικονομοτεχνική ανάλυση έργου
- Προσδιορισμός οικονομικής βιωσιμότητας
- Εξαγωγή συμπερασμάτων.

- *Προμελέτη εγκατάστασης Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου*

Αφού η μελέτη σκοπιμότητας δώσει τα αποτελέσματα που επιθυμούνται, δηλαδή ότι δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου τότε εκπονείται η προμελέτη εγκατάστασης που ουσιαστικά περιλαμβάνει τη μελέτης σχεδίασης του υδροηλεκτρικού σταθμού σε επίπεδο προμελέτης. Ωστόσο, αυτό το στάδιο της μελέτης είναι πολύ σημαντικό αφού απαιτεί για την έκδοση αδειών που χρειάζονται για την κατασκευής ενός Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου.

Τα βασικά σημεία που δίνει έμφαση η προμελέτη εγκατάστασης ενός Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου περιλαμβάνει:

- Επιλογή υδροστροβίλων και καθορισμό υδραυλικών χαρακτηριστικών.
- Επιλογή μηχανολογικού και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού.
- Επιλογή κατάλληλου συστήματος αυτοματισμού και λειτουργία εγκατάστασης
- Επιλογή συστήματος προσαγωγής νερού στον σταθμό (υδροληψία, αγωγός προσαγωγής, δεξαμενή φόρτισής) καθώς και βοηθητικές εγκαταστάσεις.
- Επιλογή κτηριακής υποδομής για την εγκατάσταση μηχανολογικού εξοπλισμού με τη διάταξη των στροβίλων – γεννητριών για εύκολή πρόσβαση και συντήρηση χωρίς διακοπή λειτουργίας των υπόλοιπων μονάδων, των αυτοματισμών και του υπόλοιπου βοηθητικού εξοπλισμού.

- *Μελέτη Υδροστροβίλων*

Η επιλογή του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού ενός Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου θεωρείται πολύ σημαντική αφού απαιτείται η εκπόνηση μελέτης για την σχεδίαση των υδροστροβίλων καθώς επίσης και της κατάλληλης γεννήτριας (σύγχρονη ή ασύγχρονη). Επίσης ο άρτιος σχεδιασμός και η επιλογή του συστήματος αυτοματισμού είναι ομοίως μείζονος σημασίας.

- *Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων*

Η σκοπιμότητας της Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων είναι να αναλυθεί κάθε πιθανός κίνδυνός αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά την κατασκευή ενός Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου. Κατά την διάρκεια της μελέτης θα πρέπει να ληφθούν προληπτικά μέτρα τα οποία θα εφαρμόζονται σε περιπτώσεις που επιβαρύνεται το περιβάλλον. Η μελέτη θα πρέπει να περιλαμβάνει επιπτώσεις που μπορούν να δημιουργηθούν σε όλα τα στάδια κατασκευής και λειτουργίας του έργου, θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη κάθε χρήσιμη περιβαλλοντική πληροφορία και εκτίμηση που υπάρχουν για την εκάστοτε περιοχή.

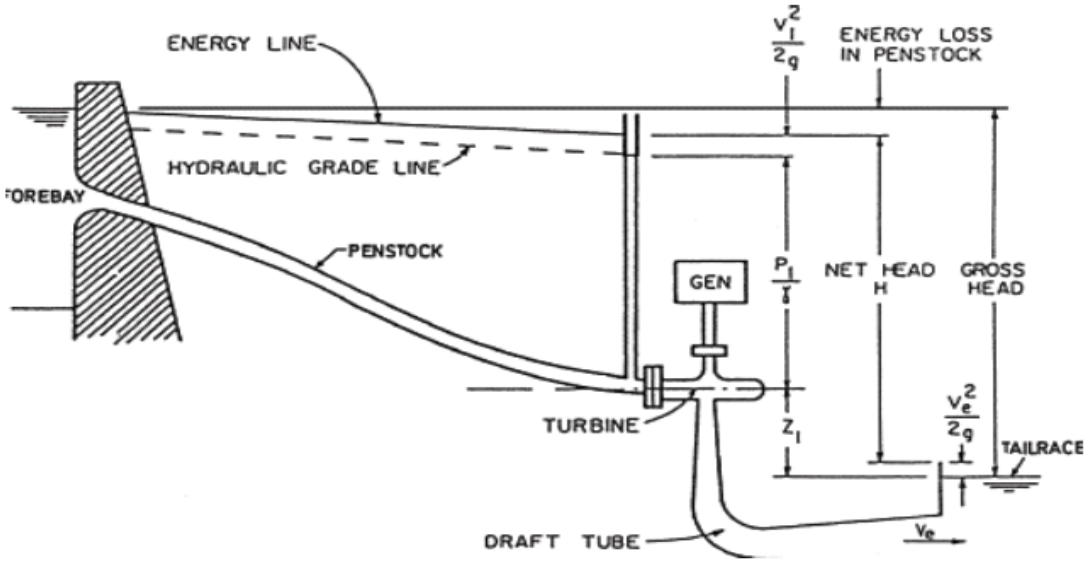
Κατά την εκπόνηση της Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων εξετάζονται οι βασικότερες επιβαρύνσεις και πιέσεις κατά τη φάση των κατασκευών που συνδέονται με τα έργα υδροληψίας, την κατασκευή του αγωγού προσαγωγής και την ανέγερση του μηχανοστασίου και των υπόλοιπων κατασκευών. Ακόμα, θα πρέπει να εκτιμούνται

ενδεχόμενες επιπτώσεις που μπορεί να οφείλονται από την δημιουργία οδών για την εύκολη πρόσβαση όπου θα πρέπει να δημιουργηθούν κάτω από συγκεκριμένες προδιαγραφές αφού τα μέρη παρουσιάζουν ιδιαίτερη αισθητική και περιβαλλοντική αξία. Θα πρέπει να δοθεί έμφαση στον τρόπο προσαρμογής και εναρμόνισης ενός έργου στο περιβάλλον με στόχο την μη διατάραξη του.

Ωστόσο, κατά την λειτουργία του έργου δίνεται προσοχή σε επιπτώσεις όπως η εκτροπή σημαντικού τμήματος της παροχής του ποταμού όπου επηρεάζουν αρνητικά την πανίδα και την χλωρίδα στις όχθες του ποταμού. Η προαναφερόμενη επίπτωση έχει σημαντική βαρύτητα ιδιαίτερα σε περιοχές που είναι προστατευμένες. Επιπλέον, αλλά μέτρα που λαμβάνονται στην Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων είναι η ηχητική ρύπανση που δημιουργείται από την λειτουργία του μηχανοστασίου καθώς επίσης και την προστασία των ανθρώπων που μπορεί να κινδυνεύσουν αν έρθουν σε επαφή σε τμήματα του έργου.

2.5. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΙΚΡΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΈΡΓΩΝ

Βασικός στόχος ενός Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου, όπως έχει προαναφερθεί είναι η εκμετάλλευση των υδατοπτώσεων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα Υδροηλεκτρικά Έργα κατατάσσονται στην κατηγορία των σύνθετων έργων αφού συνδυάζουν γνώσεις όλων των Μηχανικών. Συγκεκριμένα ότι αφορά το κατασκευαστικό τμήμα ενός υδροηλεκτρικού έργου απαιτούνται οι γνώσεις ενός Πολιτικού Μηχανικού οποίος είναι υπεύθυνος για την δημιουργία και την κατασκευή φραγμάτων, κατασκευαστικά μέρη κ.ά. αλλά και για ότι σχετίζεται με την συγκέντρωση και την παροχέτευση των προς αξιοποίηση υδάτων ενώ το κομμάτι της μετατροπής της υδραυλικής ενέργειας, ενός Αρχιτέκτονα και Μηχανικού Περιβάλλοντος με στόχο την διασφάλιση της μη αλλοίωσης του φυσικού περιβάλλοντος. Επιπλέον, οι γνώσεις ενός Μηχανολόγου Μηχανικού και Ηλεκτρολόγου Μηχανικού που είναι υπεύθυνοι για τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, την επιλογή αυτού και την άρτια λειτουργία τους [7].



Σχήμα 6: Τυπικό διάγραμμα ροής παραγωγής ενέργειας ενός Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου [10]

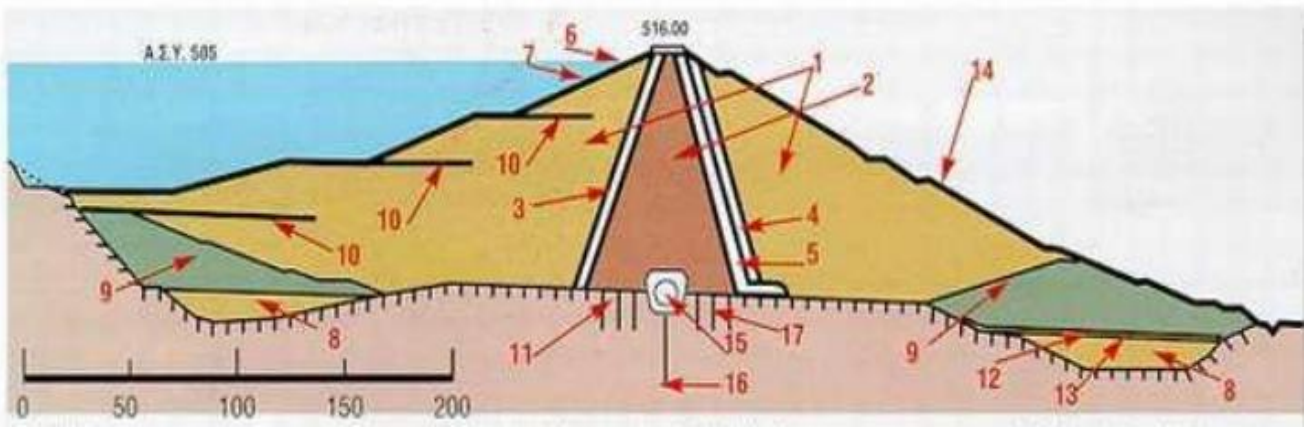
Ένα από τα βασικά στάδια της μελέτης ενός Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου είναι η οικονομοτεχνική ανάλυση όπου θα πρέπει να μελετηθούν και να αναλυθούν όλα τα στοιχεία από τους ανωτέρω επιστήμονες για την κατασκευή ενός τέτοιου έργου με απώτερο στόχο την ένδειξη της βιωσιμότητα ή όχι του έργου. Στην συνέχεια θα αναλυθούν και θα περιγραφούν όλα τα τμήματα ενός Υδροηλεκτρικού Έργου για την κατανόηση της αρχής λειτουργίας του. Τα τμήματα τα οποία αποτελείται ένα Υδροηλεκτρικό έργο είναι τα εξής [2], [24]:

- *Φράγμα – υδατοφράκτης*

Τα φράγματα ή υδατοφράκτες έχουν έναν διττό σκοπό, δηλαδή αυξάνει το ύψος της πτώσης και δημιουργεί τον ταμιευτήρα του νερού ο οποίος ανεξαρτητοποιεί εν μέρει, τη λειτουργία του υδροηλεκτρικού σταθμού από τις αυξομειώσεις της παροχής του ποταμού. Το φράγμα κατασκευάζεται σε κατάλληλο σημείο της κοίτης του ποταμού και επιλέγεται σύμφωνα με κάποια κριτήρια τα οποία είναι τα εξής:

- Ευκολία κατασκευής: μικρό ύψος και πλάτος, ευκολία θεμελίωσης.
- Δημιουργία μεγάλης χωρητικότητας ταμιευτήρα σε υδατοστεγές υπέδαφος
- Σχηματισμός μεγάλης υδραυλικής πτώσης
- Κόστος: προσβασιμότητα ευρύτερου δικού δικτύου περιοχής
- Μικρός μήκος αγωγού προσαγωγής και της σήραγγας εκτροπής του ποταμού κατά την κατασκευή.

Η θέση του φράγματος εξαρτάται ως ένα βαθμό και από τον τύπο του φράγματος το οποίο μπορεί να είναι είτε χωμάτινο είτε από οπλισμένο σκυρόδεμα, καθώς επίσης να είναι ευθύγραμμο για σχετικά μικρά ύψη ή τοξωτό για μεσαία και μεγάλα ύψη.

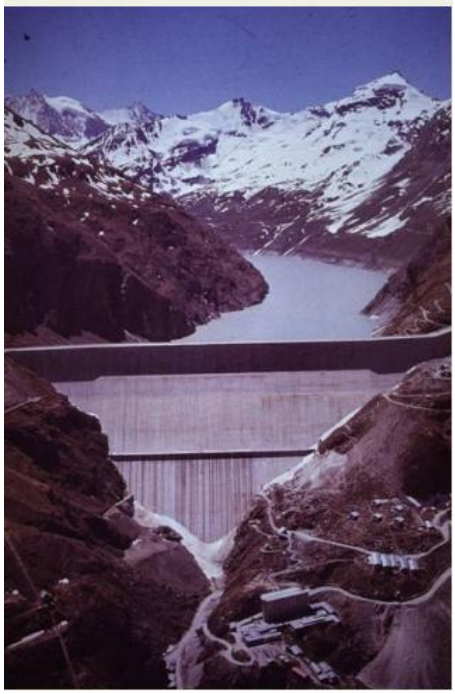


Σχήμα 7: Εγκάρσια διατομή χωμάτινου φράγματος Αγ. Δημητρίου Αιτωλοακαρνανίας [2].

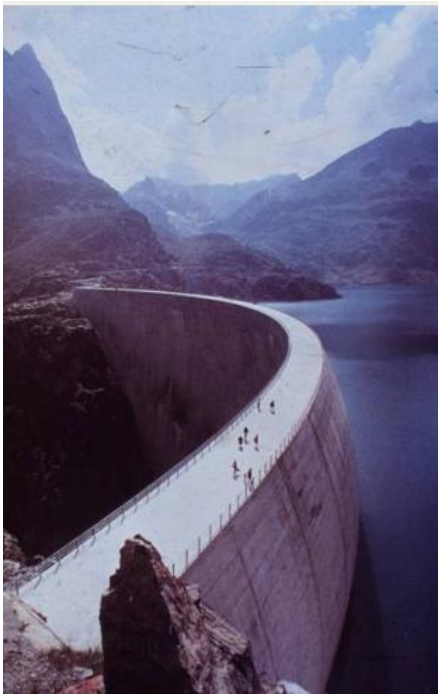
1. Σώμα φράγματος, 2.Πύρήνας φράγματος από αδιαπέραστο υλικό, 3. Ζώνη συναρμογής ανάντη, 4. Ζώνη συναρμογής κατάντη, 5. Φίλτρο πυρήνα, 6. Επένδυση με λίθους (πάχος 1m), 7. Υπόβαση λιθοριππής από επιλεγμένο υλικό (πάχος 0.6m), 8. Υφιστάμενο αμμοχάλικο, 9. Επίχωμα από προϊόντα βραχωδών εσκαφών, 10. Στραγγιστήριο από χαλίκια, 11. Επιφάνεια έδρασης πυρήνα, 12. Φίλτρο στραγγιστηριού κοίτης (πάχος 0.5m), 13. Στραγγιστήριο κοίτης

(πάχος 2m), 14. Προστασία πρανούς κατάντή, 15. Κουρτίνα τσιμεντενέσεων, 16. Τσιμεντενέσεις τάπητος.

Εικόνα 5: Φράγμα τύπου χωμάτινου [23]



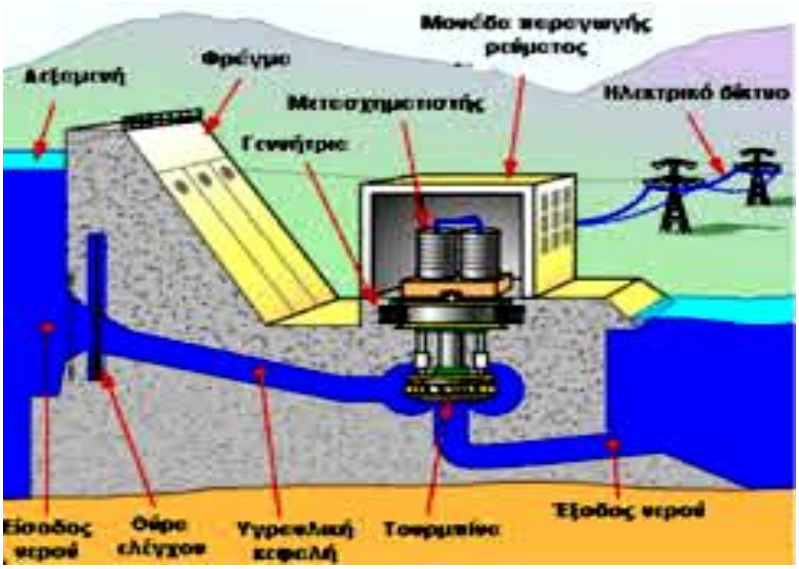
Εικόνα 6: Φράγμα τύπου βαρύτητας[23]



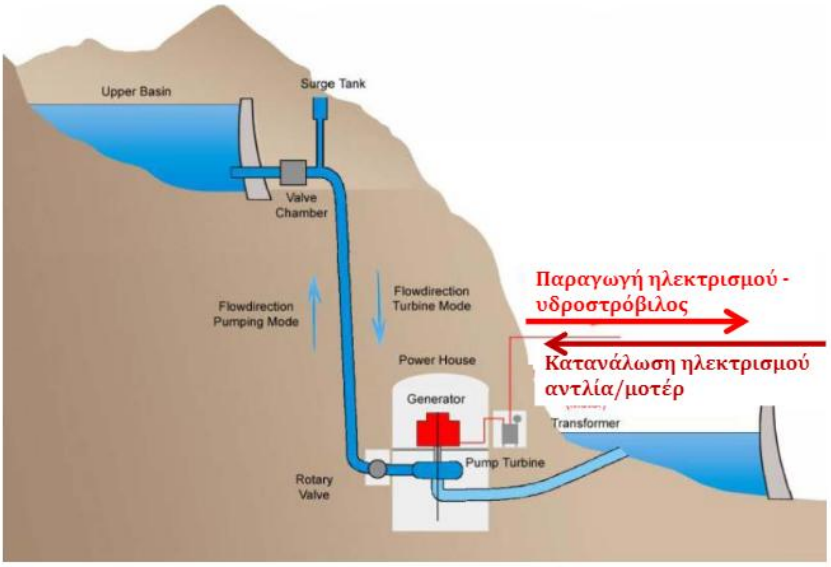
Εικόνα 7: Φράγμα τύπου τοξωτό[23]

- *Υδροηλεκτρικός σταθμός*

Στον υδροηλεκτρικό σταθμό περιλαμβάνονται οι κτιριακές εγκαταστάσεις, οι υδροστρόβιλοι, οι ηλεκτρογεννήτριες, οι μετασχηματιστές, τα συστήματα ελέγχου και παρακολούθησης καθώς επίσης και ο υπόλοιπος βοηθητικός εξοπλισμός. Η θέση του υδροηλεκτρικού σταθμού βασίζεται κύριος στα οικονομοτεχνικά κριτήρια. Επίσης η δυνατότητα εγκατάστασης μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε υπέργεια, είτε υπόγεια, είτε σε κάποια άλλο δόκιμο σημείο. Σημειώνεται ότι η τελευταία επιλογή απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή η επιλογή του υδροστρόβιλου με στόχο την αποφύγει της σπηλαίωσης καθώς και η μορφολογία του εδάφους. Ωστόσο, με την τεχνολογική εξέλιξη προτείνονται οι υπόγειοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί καθώς επίσης έχουν ωριμάσει οι τεχνολογίες διάνοιξης σηράγγων.



Σχήμα 8: Υπόγειος υδροηλεκτρικό σταθμό [24]



Σχήμα 9: Υπόγειος υδροηλεκτρικός σταθμός [2]

Όσο αφορά τον εξοπλισμό θα πρέπει να σημειωθεί ότι κάθε ηλεκτρογεννήτρια είναι απευθείας συνδεδεμένη με τον υδροστρόβιλο στην ίδια άτρακτο, εκτός από κάποιες μικρές μονάδες όπου απαιτείται κάποιο σύστημα αλλαγής σχέσης μετάδοσης. Επιπλέον, οι μετασχηματιστές είναι απαραίτητοι για την ανύψωση της τάσης που παράγουν οι γεννήτριες στην υψηλή τάση του διασυνδεδεμένου δικτύου με στόχο η μεταφορά της ενέργειας να γίνεται με τις μικρότερες απώλειες. Το πλήθος των μονάδων δηλαδή των συγκροτημάτων υδροστρόβιλου – γεννήτριας, εξαρτάται από το προβλεπόμενο πρόγραμμα παραγωγής του έργου, λαμβάνοντας υπόψη την διακύμανση της παροχής την ανάγκη κάλυψης των αιχμών του δικτύου κ.ά.. καθώς επίσης και από οικονομοτεχνικά κριτήρια. Για λόγους ασφάλειας το πλήθος των μονάδων του υδροηλεκτρικού συστήματος είναι συνήθως μεγαλύτερο ή ίσο του δύο ώστε να υπάρχει δυνατότητα συντήρησης και μεγαλύτερη ευελιξία στο πρόγραμμα παράγωγης.

- *Υδροληψία*

Το σημείο όπου πραγματοποιείται η υδροληψία είναι ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία που μελετάτε σε ένα υδροηλεκτρικό σύστημα και είναι το σημείο που το νερό εισέρχεται στον αγωγό προσαρμογής.

- *Υπερχειλιστής*

Ο υπερχειλιστής στην ουσία είναι η διάταξη που εξέρχεται το νερό που το πλεονάζει καθώς και η οικολογική παροχή. Ο υπερχειλιστής μπορεί να είναι αγωγοί είτε στο σώμα του φράγματος είτε στο ανωτέρω σημείο του φράγματος και αποτελεί μια έξοδος εκτόνωσης του νερού σε περίπτωση εξαιρετικής ανύψωσης της στάθμης του φράγματος με συνέπεια υπερβολική παροχή του ποταμού ή υψηλό ποσοστό κατακρημνίσεων.

- *Σήραγγα εκτροπής*

Η σήραγγα εκτροπής δημιουργείται για τη διοχέτευση της φυσικής παροχής του ποταμού, ώστε να γίνει απρόσκοπτα η κατασκευή του φράγματος. Επιπλέον, κατά τη λειτουργία του υδροηλεκτρικού συστήματος είναι μια ακόμα δικλίδα ασφαλείας εκτόνωσης των πλημμυρικών φαινόμενων.

- *Εκκένωση πυθμένα*

Ο αγωγός με τον οποίο εκκενώνεται ο ταμιευτήρας σε περίπτωση ανάγκης ή συντήρησης ενώ επίσης από αυτό διοχετεύεται η απαιτούμενη παροχή συντήρησης της κοίτης του ποταμού.

- *Σήραγγα ή/και κλειστός αγωγός προσαρμογής από το φράγμα στους υδροστροβίλους*

Ο αγωγός προσαρμογής είναι χαλύβδινός με διάμετρο η οποία καθορίζεται με οικονμοτεχνικά κριτήρια. Όταν ο αγωγός προσαρμογής είναι μεγάλου μήκους τότε προτιμάται να είναι μόνος και να τροφοδοτεί ταυτόχρονα όλους τους υδροστροβίλους του υδροηλεκτρικού συστήματος, ενώ στην αντίθετη περίπτωση κάθε υδροστρόβιλος τροφοδοτείται από ανεξάρτητο αγωγό.

- *Πύργος ανάπλασης (εκτόνωσης) ενέργειας*

Ο πύργος ή οι πύργοι ανάπλασης κατασκευάζονται για την προστασία των αγωγών προσαρμογής από υπερπίεση και υποπίεση που μπορεί να εμφανιστούν κατά τα μεταβατικά φαινόμενα εκκίνησης και απόρριψης φορτίου των υδροστροβίλων. Κατασκευάζονται στην είσοδο κατά μήκος του αγωγού προσαρμογής και συνήθως είναι απαραίτητοι σε μεγάλους υδροηλεκτρικούς σταθμού. Ο πύργος ανάπλασης ενέργειας είναι μια διάταξη, η όποια αποτελείται από μια δεξαμενή αποθήκευσης νερού, απόσβεσης υψηλών πιέσεων που στοχεύει μέσα από την εισροή να απορροφά την αυξημένη πίεση που εμφανίζεται κατά το απότομο κλείσιμο (κατά την περίπτωση έκτακτης ανάγκης) της βάνας που ρυθμίζει την παροχή του υδροστρόβιλου. Έτσι εξαλείφεται το φαινόμενο του υδραυλικού πλήγματος που λόγω της μεγάλης ποσότητας του νερού που βρίσκεται στο εσωτερικό του αγωγού προσαρμογής είναι πολύ οξύ. Οι πύργοι αυτοί είναι άδειες δεξαμενές διαφόρων μορφών, οι οποίες γεμίζουν με νερό που προέρχεται από την στιγμιαία αύξηση της πίεσης ενώ σαν δευτερεύουσα λειτουργία έχουν τον περιορισμό των ταλαντώσεων της στήλης του νερού που αποθηκεύεται μέσα τους. Το ύψος τους μπορεί να φθάσει ακόμα και στα 100 m για μεγαλύτερου μήκους αγωγούς προσαρμογής.

- *Σήραγγα ή/ και αγωγός απαγωγής*

Ένα υδροηλεκτρικό σύστημα μπορεί να αποτελείται είτε από σήραγγα είτε από αγωγός απαγωγής είτα και από τα δύο μαζί. Η χρήση τους είναι ότι μέσω αυτών οδηγείται από τον σταθμό και πάλι πίσω στην κατάντη φυσική κοίτη του ποταμού.

- *Θυροφράγματα και βάνες*

Τα θυροφράγματα και οι βάνες τοποθετούνται σε ένα υδροηλεκτρικό σύστημα με στόχο να δίνεται η δυνατότητα διακοπής ανάντη και κατάντη των υδροστροβίλων και να μπορούν αν υλοποιηθούν συντηρήσεις ή κάποιες κατασκευαστικές αλλαγές, καθώς επίσης βοηθούν σε κάποιες ανάγκες τις κατασκευής που έχουν υπολογισθεί κατά την εκπόνηση της μελέτης.

- *Ταμιευτήρες*

Οι ταμιευτήρες στα υδροηλεκτρικά συστήματα κατασκευάζονται με σκοπό την αποθήκευση νερού κατά την διάρκεια των υψηλών κατακρημνίσεων και της τήξης του χιονιού στα βουνά. Με αυτό τον τρόπο ελέγχεται η παραγωγή ενώ το νερό μπορεί να διατεθεί και για άλλες χρήσεις. Στους μεγάλους σταθμούς είναι δυνατό να εκτρέπονται προς τον ταμιευτήρα άλλα ποτάμια ή ρεύματα. Η αύξηση της στάθμης του νερού στον ταμιευτήρια οδηγεί στην αύξηση του ωφέλιμου ύψους με συνέπεια την αύξηση της διαθέσιμης ισχύος και της παραγόμενης ενέργειας. Από την άλλη, η αύξηση του ύψους οδηγεί και στην αύξηση της επιφάνειας και κατ' επέκταση στην αύξηση της ποσότητας νερού που εξατμίζεται.

Κατά την κατασκευή ενός ταμιευτήρα θα πρέπει να εξετάζονται κάποιοι παράμετροί οι οποίοι είναι οι ακόλουθοι:

- Μέγεθος και χωρητικότητα ταμιευτήρα
- Θέση εγκατάστασης – κατασκευής ταμιευτήρα
- Σταθερότητα όχθης και διεισδυτικότητα του νερού στο έδαφος

- Σεισμικότητα περιοχής
- Αποθήκευση ιλύος
- Απόθεση ιλύος
- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Ωστόσο αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι ότι η χωρητικότητα του ταμιευτήρα θεωρείται ως ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά του. η επιλογή του πραγματοποιείται σύμφωνα με την ποσότητα του νερού και τις εποχιακές – ετήσιες μεταβολές της ροής σε συνδυασμό με την απαιτούμενη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια και τις τοπικές ανάγκες νερού για μη ενεργειακές χρήσεις (όπως ύδρευση, άδρευση). Η βέλτιστη εκμετάλλευση του νερού πραγματοποιείται όταν υπάρχει ταυτόχρονη κάλυψη ενεργειακών και μη ενεργειακών αναγκών με την ιδία ποσότητα. Όμως, πολλές φορές δεν συμπίπτουν οι ανάγκες για παράδειγμα της άδρευσης με τις ανάγκες της ηλεκτροπαραγωγής με αποτέλεσμα την σπατάλη αποθηκευμένου νερού.

Επιπλέον, αυτό που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον σχεδιασμό ενός ταμιευτήρα είναι όταν υπάρχει έντονος ρυθμός ροής να μπορεί να υλοποιήσει αποθήκευση χωρίς να επηρεάζει την αρχικά υπολογισμένη αποθήκευση του νερού. Ακόμα, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η φυσική παροχή του ταμιευτήρα θα πρέπει να καλύπτει τις απώλειες που δημιουργούνται τιδ διαρροές του γράμματος και της διαδικασίες της εξάτμισης. Σε κάθε περίπτωση η αποδοτική διαχείριση του νερού ενός ταμιευτήρα αποτελεί βασικό πρόβλημα με πολλούς παραμέτρους που θα πρέπει να συγκριθούν και να μελετηθούν κατά την σχεδίαση και την μελέτη του υδροηλεκτρικού έργου.

2.6. ΜΙΚΡΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΈΡΓΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Οι ενεργειακές ανάγκες της χώρας καλύπτονται με εισαγόμενα καύσιμα τα οποία χρησιμοποιούνται σε Θερμικούς Σταθμούς Παραγωγής Ενέργειας παρέχοντας το απαραίτητο φορτίο που απαιτείται, έχοντας όμως βασικό μειονέκτημα της λειτουργίας αυτών τω σταθμών την περιβαλλοντική ρύπανση. Τα βασικά καύσιμα που χρησιμοποιούνται είναι λιγνίτης, πετρέλαιο και φυσικό αέριο.

Η ενέργεια που παράγεται από Ανανεώσιμε Πηγές Ενέργειες παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα. Στην περίπτωση των Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων αναφέρεται ότι ένα μια ελκυστική λύση αφού όπως αναλύθηκε και προαναφέρθηκε ανωτέρω παρουσιάζει ελάχιστες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ωστόσο, τα μέχρι σήμερα Υδροηλεκτρικά Έργα της χώρας είτε μεγάλα είτε μικρά χρησιμοποιούνται με σκοπό να εξυπηρετούν την παραγωγή ενέργειας σε ώρες αιχμής καθώς επίσης προσφέρουν και κάποιες υπηρεσίες στο δίκτυο όπως είναι η εφεδρεία ισχύος, ρύθμιση συχνότητας κ.ά. [7].

Συμφώνα με τους Καραδήμου και Ασίμης (2019) η συνεισφορά των Υδροηλεκτρικών Σταθμών στη συνολική ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι κατά μέσο όρο 10% και εξαρτάται από τις ετήσιες υδραυλικές συνθήκες της χώρας. Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΡΑΕ (2016) για την Ελλάδα η ισχύουσες άδειες παραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας για

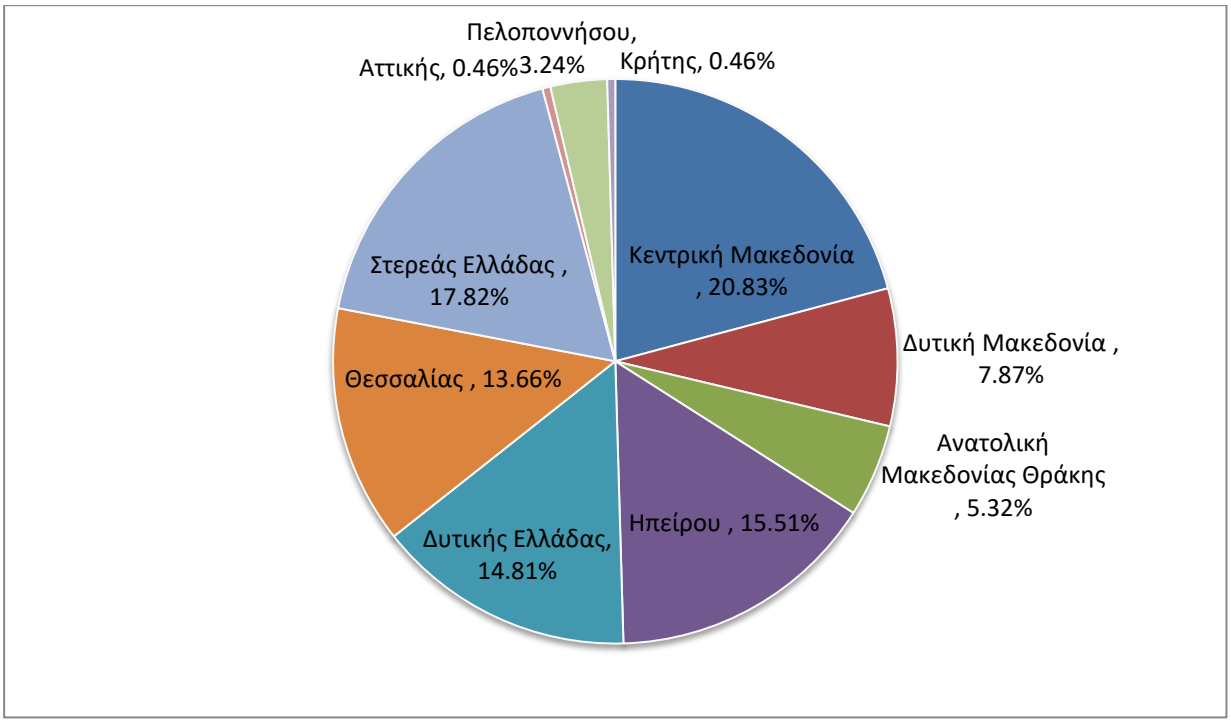
Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα που η ισχύς δεν ξεπερνά τα 15MWatt είναι 432στον αριθμό και η συνολική τους ισχύς είναι 975 MWatt [7],[20].

Στην συνέχεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρατίθενται, πίνακες, διαγράμματα και γραφήματα με την γεωγραφική κατανομή καθώς και την κατανομή σύμφωνα με την εγκατεστημένη ισχύ θα αδειοδοτούμενων Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων στην Ελλάδα. Όλα τα στοιχεία που παρουσιάζονται στην συνεχεία έχουν ληφθεί από την ΡΑΕ (2016) [20].

Αρχικά παρουσιάζεται ο Πίνακας 6 όπου καταγράφονται οι Ισχύουσες άδειες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμές Πηγές Ενέργειας για Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα που η ισχύς δεν ξεπερνά τα 15MWatt (δεν καταγράφονται Μεγάλα Υδροηλεκτρικά Έργα).

Περιφέρεια	**Ποσότητα**	**Ποσοστό**	**Ισχύς (MWatt)**
Κεντρική Μακεδονία	90	20.83 %	123.93
Δυτική Μακεδονία	34	7.87 %	91.69
Ανατολική Μακεδονίας Θράκης	23	5.32 %	56.77
Ηπείρου	67	15.51 %	215.49
Δυτικής Ελλάδας	64	14.81 %	154.33
Θεσσαλίας	59	13.66 %	119.65
Στερεάς Ελλάδας	77	17.82 %	171.31
Αττικής	2	0.46 %	2.13
Πελοποννήσου	14	3.24 %	39.18 %
Κρήτης	2	0.46 %	0.60 %
Σύνολο	432	100 %	

Πίνακας 6: Ισχύουσες Άδειες Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας από Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων [20]

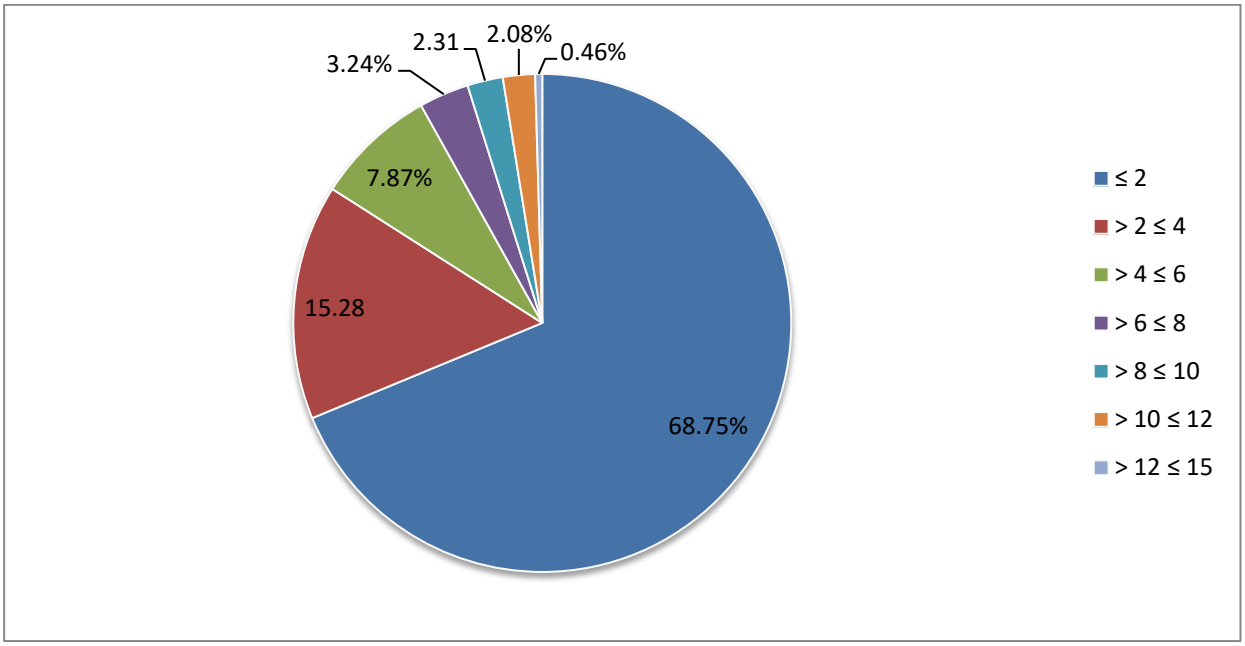


Σχήμα 10: Γεωγραφική Κατανομή Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων στην Ελλάδα

Τα ανωτέρω στοιχεία οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο μέγιστος αριθμός Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων είναι εγκατεστημένα στην Κεντρική Μακεδονία σε ποσοστό 20,83%, στην Στερεά Ελλάδα σε ποσοστό 17,82% και στην Ήπειρο με ποσοστό 15,51% στο σύνολο των εγκατεστημένων Μικρών Υδροηλεκτρικών έργων της χώρας. Ωστόσο, τα εγκατεστημένα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα δεν έχουν πραγματοποιηθεί μόνο με την βοήθεια του γεωγραφικού ανάγλυφου μιας περιοχής και των ετήσιων κατακρημνίσεων της αλλά και οι χρηματοδότηση που δίνεται για την επένδυση σε έργα εκμετάλλευσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

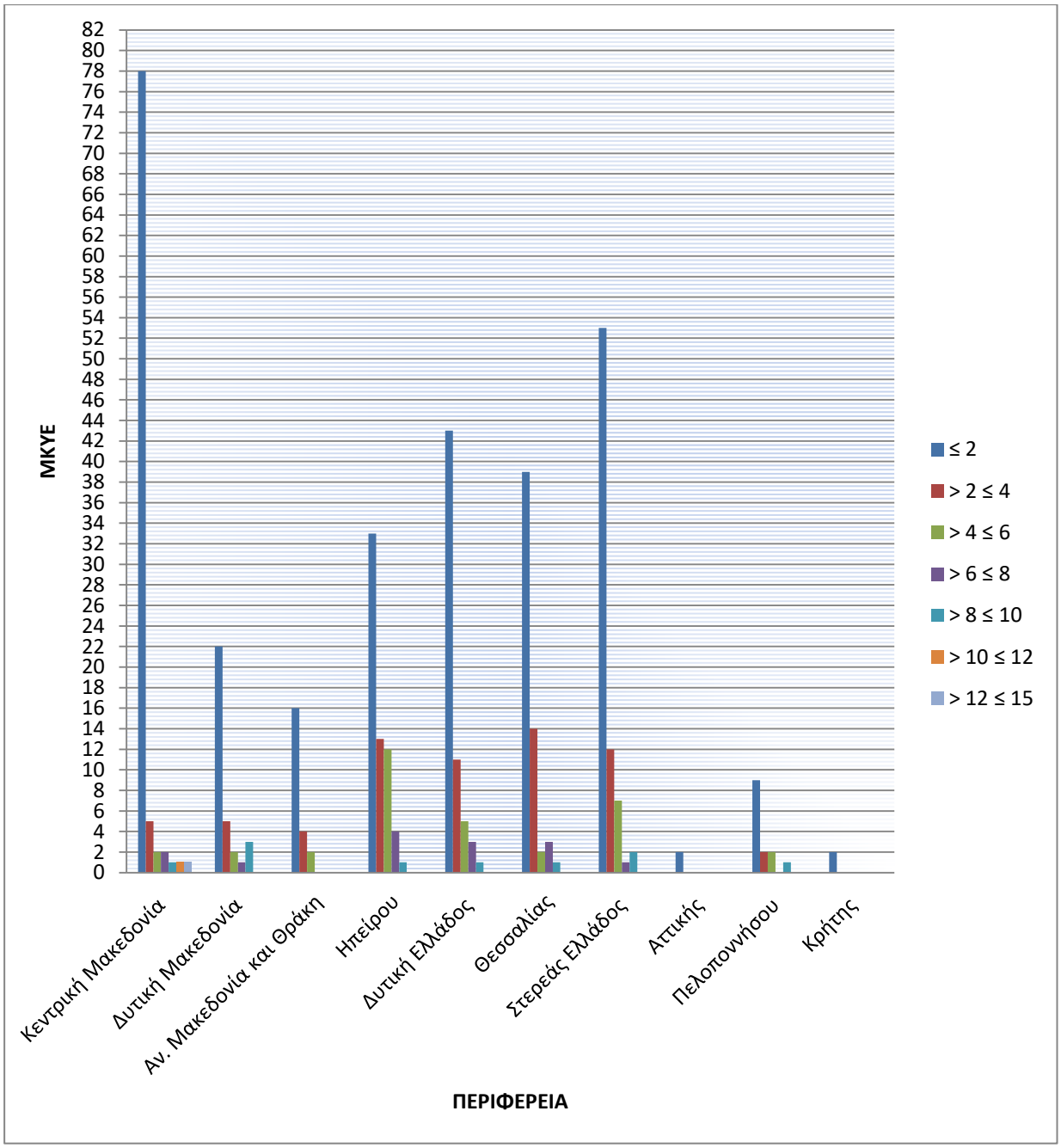
Περιφέρεια	**Ποσότητα Ισχύς (MW)**						
	≤ 2	**> 2 ≤ 4**	**> 4 ≤ 6**	**> 6 ≤ 8**	**> 8 ≤ 10**	**> 10 ≤ 12**	**> 12 ≤ 15**
Κεντρική Μακεδονία	78	5	2	2	1	2	
Δυτική Μακεδονία	22	5	2	1	3	1	
Αν. Μακεδονία και Θράκη	16	4	2				1
Ηπείρου	33	13	12	4	1	3	1
Δυτική Ελλάδος	43	11	5	3	1	1	
Θεσσαλίας	39	14	2	3	1		
Στερεάς Ελλάδος	53	12	7	1	2	2	
Αττικής	2						
Πελοποννήσου	9	2	2		1		
Κρήτης	2						
Σύνολο	297	66	34	14	10	9	2
Ποσοστό	68,75%	15,28%	7,87%	3,24%	2,31%	2,08%	0,46%

Πίνακας 7: Κατανομή Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων ανά εγκατεστημένη ισχύ [20]



Σχήμα 11: Κατανομή Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων ανά εγκατεστημένη ισχύ

Όπως διακρίνεται από το Σχήμα 7 και 8 τα Μικρά Υδροηλεκτρικά έργα ισχύς >2MWatt κατέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό. Η πιθανότερη αιτία αυτού είναι ότι η κατασκευή τέτοιων έργων απαιτεί μικρότερο κεφάλαιο άρα και μικρότερο ποσό επένδυσης [7].



Σχήμα 12: Κατανομή Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων ανά εγκατεστημένη ισχύ και ανά Περιφέρεια.

Στην συνέχεια ακολουθεί ο Πίνακας 8, όπου καταγράφονται τα σημαντικότερα Μικρά Υδροηλεκτρικά έργα της Ελλάδας και δίνονται πληροφορίες όπως περιοχή του έργου, έτος έναρξης λειτουργίας του, ισχύς, μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας, τύποι των υδροστροβίλων και περιβαλλοντικά - κοινωνικά οφέλη που προκύπτουν από τη λειτουργία του.

ΜΥΗΣ	Περιοχή	Έτος	Ισχύς (MW)	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (GWh)	Στοιχεία Έργου	Περιβαλλοντικά & Κοινωνικά Οφέλη
ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑΣ	Πλησίον Βέροιας Νομού Ημαθίας	2008	0,92	4	1 μονάδα Kaplan S-type οριζοντίου άξονα	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO_2 κατά 4.000 tn ετησίως Δημιουργία υδροβιοτόπου στην περιοχή του φράγματος
ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ	Πλησίον Σερρών	1931	0,70	0,71	2 μονάδες Francis οριζοντίου άξονα	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO_2 κατά 710 tn ετησίως
ΑΛΑΤΟΠΕΤΡΑ	Δήμος Γρεβενών	2013	2,43	14,5	2 μονάδες – 1 Francis οριζοντίου άξονα & 1 Pelton κάθετου άξονα	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO_2 κατά 14.500 tn ετησίως
ΙΛΑΡΙΩΝΑΣ	Δήμος Κοζάνης	2014	4,20	22	1 μονάδα Francis οριζοντίου άξονα	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO_2 κατά 22.000 tn ετησίως
ΒΕΡΜΙΟ	Δήμος Βέροιας Ημαθίας	1929	1,80	6	2 μονάδες Francis οριζοντίου άξονα	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO_2 κατά 6.000 tn ετησίως
ΓΙΤΑΝΗ	Δήμος Σαγιάδας Θεσπρωτίας	2006	2,06	17,5	2 μονάδες Kaplan S-type οριζοντίου άξονα (2 x 2,1 MW)	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO_2 κατά 17.500 tn ετησίως
ΜΑΚΡΟΧΩΡΙ	Δήμος Αποστόλου Παύλου Ημαθίας	1992	10,80	30	3 μονάδες Kaplan S-type οριζοντίου άξονα (3 x 3,6 MW)	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO_2 κατά 30.000 tn ετησίως
ΟΙΝΟΥΣΑ	Πλησίον Σερρών	2004	1,50	3,8	1 μονάδα Pelton οριζοντίου άξονα	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO_2 κατά 3.800 tn ετησίως
ΛΟΥΡΟΣ	Σύνορα Νομών Άρτας & Πρέβεζας	1954	10,30	48	3 μονάδες Francis οριζοντίου άξονα	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO_2 κατά 48.000 tn ετησίως
ΣΜΟΚΟΒΟ	Δήμος Ταμασίου Καρδίτσας	2008	10,40	10,7	2 μονάδες Francis οριζοντίου άξονα	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO_2 κατά 10.700 tn ετησίως
ΣΤΡΑΤΟΣ ΙΙ	Δήμος Νεάπολης Αιτωλοακαρνανίας	1989	6,20	12	2 μονάδες Kaplan S-type οριζοντίου άξονα (2 x 3,15 MW)	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO_2 κατά 12.000 tn ετησίως. Τροφοδότηση αναρρυθμιστικής λίμνης από την οποία γίνονται απολήψεις για άρδευση περιοχής
ΓΛΑΥΚΟΣ	Πάτρα Αχαΐας	1992	3,70	10,3	2 μονάδες οριζοντίου άξονα (Francis - 2,3 MW & Pelton – 1,4 MW)	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO_2 κατά 10.300 tn ετησίως. Από τον ποταμό Γλαύκο καλύπτονται οι ανάγκες ύδρευσης και άρδευσης της Πάτρας
ΕΛΕΟΥΣΑ	Δήμος Χαλκηδόνας Θεσσαλονίκης	2008	3,23	30	2 μονάδες Kaplan S-type οριζοντίου άξονα (2 x 3,3 MW)	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO_2 κατά 30.000 tn ετησίως

Πίνακας 8: Στοιχεία σημαντικότερων Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων Ελλάδος [21]

Τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα κερδίζουν ολοένα και περισσότερο έδαφος και αυτό θεωρείται λογικό αφού προσφέρουν ηλεκτρική ενέργεια με σημαντικά πλεονεκτήματα όπως είναι η σχετικά μεγάλη απόδοση των υδροηλεκτρικών έργων καθώς επίσης και η ασφάλεια που παρουσιάζουν. Σημαντικός παράγοντας που προτιμούνται είναι η μορφολογία της χώρας που προσφέρει δυνατότητα εκμετάλλευσης των υδροενεργειακών πηγών. Σύμφωνα με Καραδήμου και Ασίμη (2019) η μεγάλη πρόκληση για αξιοποίηση του μεγάλου διαθέσιμου μικρο - υδροηλεκτρικού δυναμικού της χώρας, η οποία θα συμβάλλει στη μείωση του ενεργειακού κόστους και στη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας της, με προφανείς θετικές επιπτώσεις στην τοπική και περιφερειακή ανάπτυξη και στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, είναι εκτός από υπαρκτή και αναγκαία [7].

Τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα θα μπορούσαν σε βάθος χρόνου (έως 2030) να καλύπτουν την ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας σε εθνικό επίπεδο σε ποσοστό που αγγίζει το 14%. Ωστόσο, αυτή η δυνατότητα μπορεί να επιτευχθεί μόνο στην περίπτωση που η πολιτεία ενισχύσει μια διαφόρους τρόπους τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα είτε στην ισοτιμία των αδειοδοτήσεων, είτε στην απλοποίηση των διαδικασιών, είτε στην πολιτική ενίσχυση για την ανάπτυξη της αυξημένης εγχώριας προστιθέμενης τεχνολογίας των Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων [22].

Ο Ελληνικός Σύνδεσμός Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων (ΕΣΜΥΕ) αναφέρει στην συνεδρίαση της 26ης Μαΐου 2016, με θέμα ημερήσιας διάταξης «Φράγματα και μικρά Υδροηλεκτρικά έργα», η Ελληνική Βουλή τάσσεται επισήμως υπέρ της ανάπτυξης των Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων: *«Η ανάπτυξη των Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων (ΜΥΗΕ) αποτελεί απόλυτη προτεραιότητα για τη χώρα.»* Αυτή ουσιαστικά είναι και η επίσης ανακοίνωση από την αρμόδια Υποεπιτροπή Υδάτινων Πόρων της Ειδικής Μόνιμης Επιτροπής Προστασίας Περιβάλλοντος της Βουλής των Ελλήνων.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα και οφέλη με την κατασκευή των Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων συγκρινόμενα με άλλες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ωστόσο, αναγνωρίζεται ότι το πλαίσιο αδειοδότησης είναι αρκετά αυστηρό με συνέπεια να αποτρέπει αρκετές φορές την θετική ανάπτυξη των Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων στην Ελλάδα. Σύμφωνα με τα ανωτέρω η Υποεπιτροπή των Υδατικών Πόρων συμπληρώνει τα ακόλουθα για τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα [22]:

- Αναγκαία η προώθηση των Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων και απαιτείται από την πολιτεία να μπουν ως προτεραιότητα ανάπτυξης αφού κατατάσσονται στις αποδοτικότερες μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργεια από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.
- Προτείνει την βελτίωση του νομοθετικού πλαισίου με στόχο την εκμηδενίσει των εμποδίων για την ανάπτυξη των Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων και προτείνει στο Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας για να επανεξέταση τα κριτήρια χωροθέτησης των Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων.
- Αναγκαία η έναρξη της διαδικασίας δίκαιης εξέτασης και ανάκλησης των αδειών παραγωγής που οφείλονται σε σημαντικά προβλήματα (δέσμευση υδατορευμάτων) και περιορισμούς στην υλοποίηση των Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων.

- Προτείνει προτεραιότητα στο δίκτυο να έχει η παραγόμενη ενέργεια από τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα.
- Προτείνει το Υπουργείο Περιβάλλοντος να πραγματοποιήσει ένα μακροχρόνια ενεργειακό σχεδιασμό στο οποίοι θα λαμβάνει υπόψη του κάθε δυνατή αξιοποίηση των Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων σε επίπεδα όπως οικονομικό, χωροταξικό περιβαλλοντικό και τεχνικό.
- Ο Πρόεδρος της Υποεπιτροπής των Υδατικών Πόρων θα πρέπει να ενημερώσει τους αρμόδιους Υπουργούς (Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Υποδομών, Περιφερειακής Ανάπτυξης, Οικονομικών, Αγροτικής Ανάπτυξης και Εσωτερικών) για κάθε αναπτυσσόμενη δραστηριότητα (πολιτική, κοινωνική και επιστημονική) σε θέματα που αφορούν το φυσικό περιβάλλον καθώς και την τοπική ανάπτυξη.

3. ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ: ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΤΣΕΛΕΧΟΒΙΤΙΚΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ, Ν. ΗΛΙΑΣ.

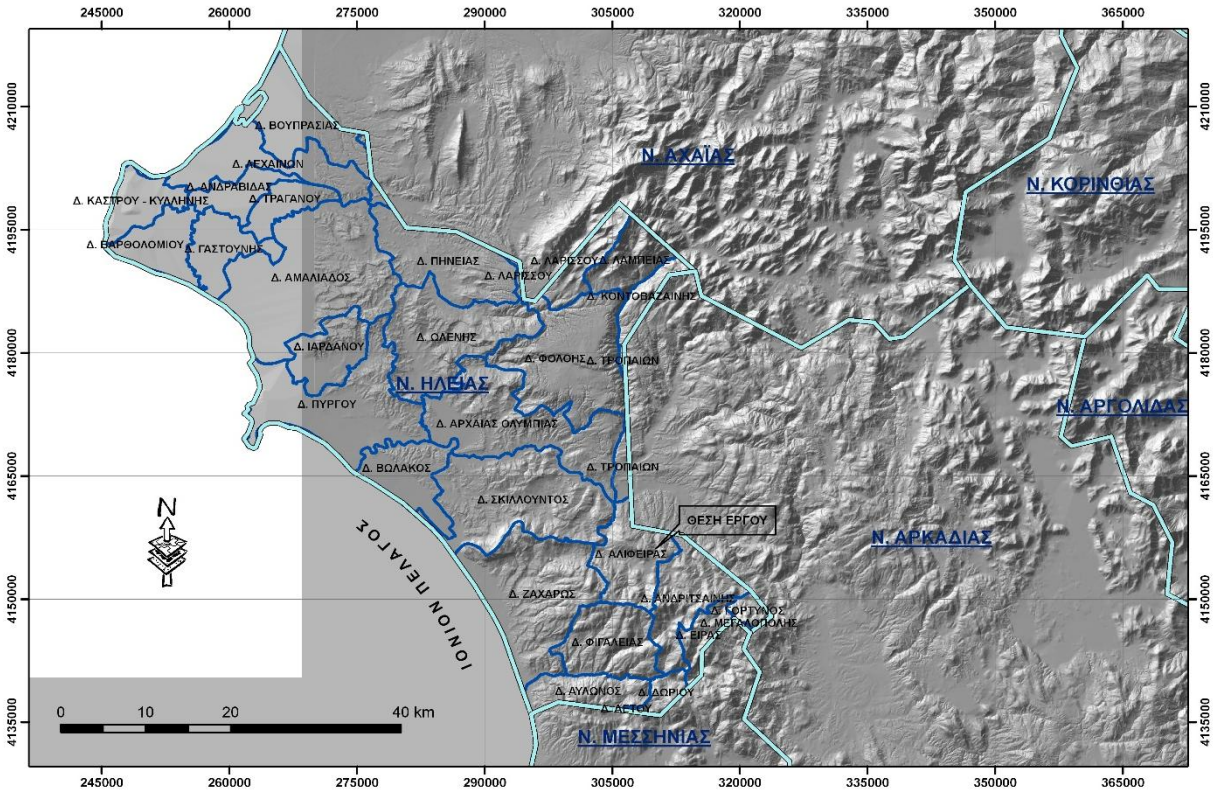
3.1. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ

3.1.1. ΘΕΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

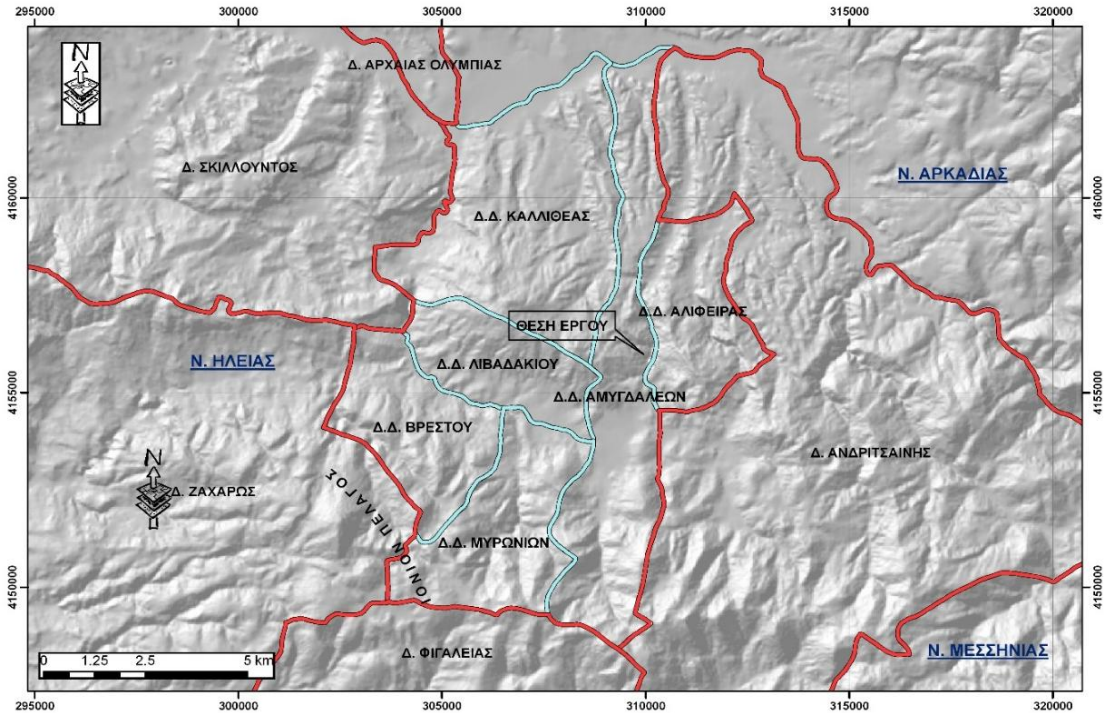
Η θέση του έργου είναι στο «Σεπετό», εντός των διοικητικών ορίων του Δημοτικού Διαμερίσματος Αμυγδαλέας, Δήμου Αλιφείρας, Νομού Ηλείας (Πίνακας 9, Εικόνα 8 και 9).

Πίνακας 9: Θέση έργου.

Θέση	Σεπετός
Δημοτικό Διαμέρισμα	Αμυγδαλέων
Δήμος	Αλιφείρας
Νομός	Ηλείας



Εικόνα 8: Χάρτης (1) με την ένταξη του έργου εντός των διοικητικών ορίων του Δ. Αλιφείρας, Νομού Ηλείας



Εικόνα 9: Χάρτης (ΙΙ) με την Ένταξη του έργου εντός των διοικητικών ορίων του Δημοτικού Διαμερίσματος Αμυγδαλέων, Δ. Αλιφείρας

3.1.2. ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΗ ΜΟΡΦΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

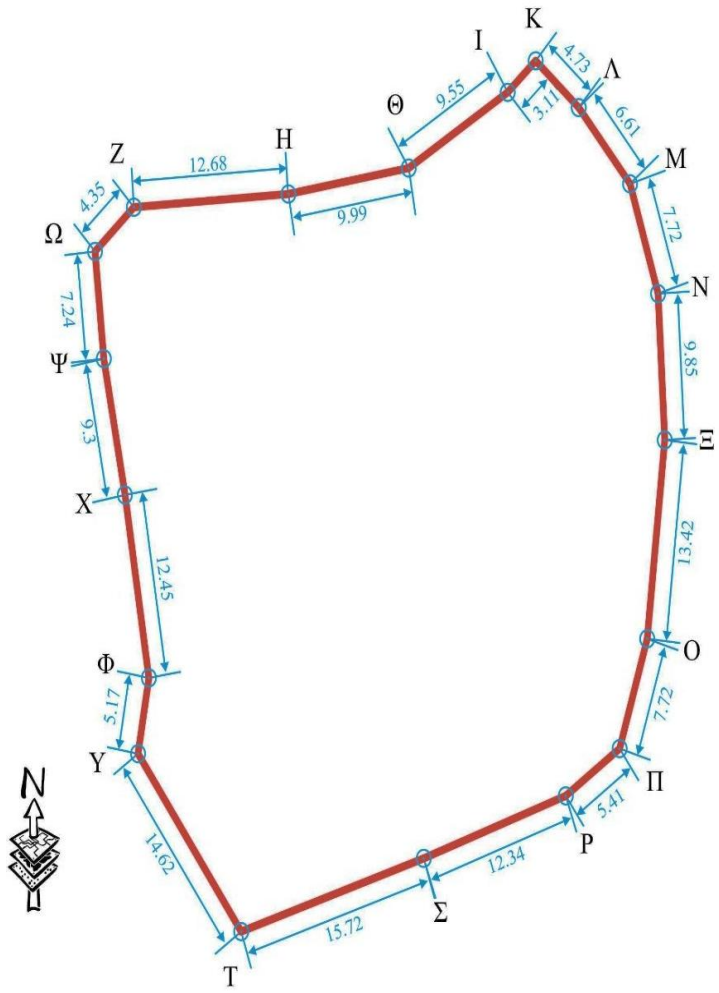
Η χρησιμοποιούμενη μορφή ενέργειας είναι η υδροηλεκτρική ενέργεια που όπως έχει προαναφερθεί είναι η ενέργεια που αποταμιεύεται ως δυναμική ενέργεια μέσα σε βαρυτικό πεδίο με τη συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων νερού σε υψομετρική διαφορά από τη διαρκεί ροή του ελεύθερου νερού, η οποία αποδίδεται ως κινητική μέσω της υδρόπτωσης.

3.1.3. ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η εγκατεστημένη ισχύς του μικρού υδροηλεκτρικού είναι I_{max} = 0.827 MWe. Επιπλέον, η μονάδα εγκατάστασης αποτελείται από έναν υδροστρόβιλο τύπου Pelton και μία γεννήτρια τριφασική σύγχρονη 1,000 KVA.

3.1.4. ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΧΩΡΟΥ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Το σκαρίφημα του χώρου εγκατάστασης του σταθμού αποτυπώνεται στο Σχήμα 13 όπου συνοδεύεται από πίνακα συντεταγμένων των κορυφών του πολυγώνου σύμφωνα με το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ) ’87.

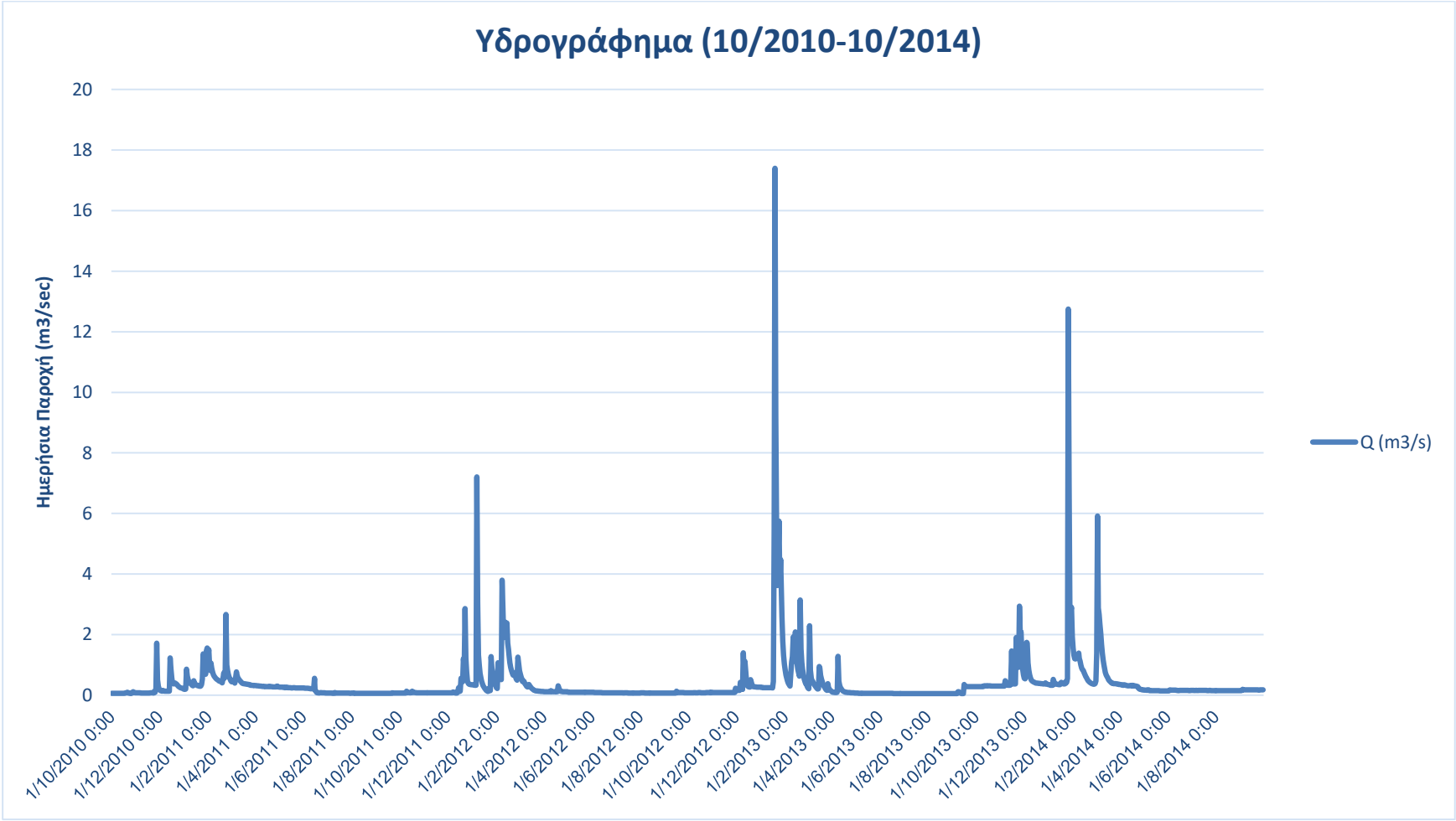


ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΚΟΡΥΦΩΝ ΓΗΠΕΔΟΥ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (ΕΓΣΑ '87)		
ΣΗΜΕΙΟ	X	Y
Z	310123.24	4155956.24
H	310135.89	4155957.12
Θ	310145.72	4155958.87
I	310153.8	4155963.97
K	310156.09	4155966.07
Λ	310159.6	4155962.91
M	310163.82	4155957.82
N	310166.1	4155950.44
Ξ	310166.63	4155940.6
O	310165.22	4155927.25
Π	310162.94	4155919.88
P	310158.55	4155916.72
Σ	310146.95	4155912.5
T	310132.02	4155907.58
Y	310123.59	4155919.53
Φ	310124.47	4155924.62
X	310122.54	4155936.92
Ψ	310120.78	4155946.05
Ω	310120.08	4155953.25

Σχήμα 13: Σκαρίφημα γηπέδου εγκατάστασης.

3.2. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

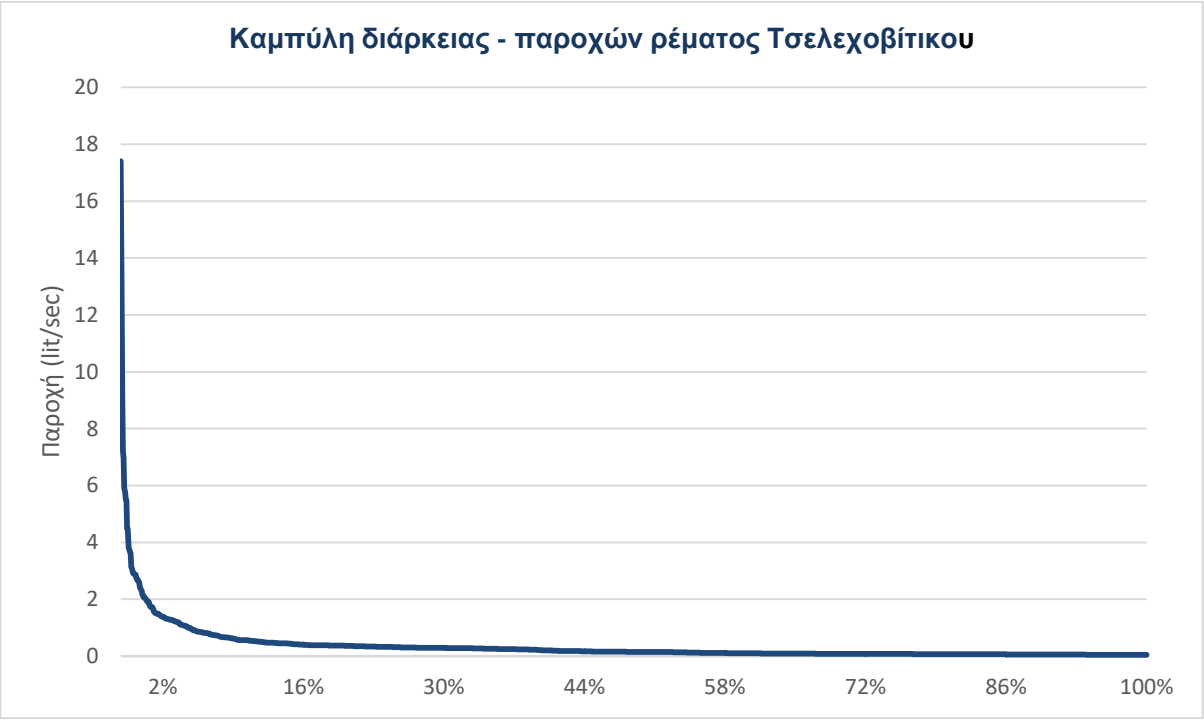
Η ενεργειακή μελέτη του μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού βασίζεται στον προσδιορισμό της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας, δηλαδή τόσο των υδρολογικών όσο και τεχνικών δεδομένων. Αρχικά δίνεται το Υδρογράφημα της περιοχής όπου είναι η ημερήσια παροχή (m^3/sec) που παρουσιάστηκε κατά το χρονικό διάστημα 1/10/2010 έως και 30/9/2014).



Σχήμα 14: Υδρογράφημα

Σημείωση: Οι τιμές παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα Α'

Στην συνέχεια ακολουθεί το Σχήμα 15 όπου απεικονίζεται η καμπύλη διάρκειας παροχής του ρέματος Τσελεχοβίτικου, η οποία προέκυψε με βάσει αναγωγής των μετρήσεων που έλαβα χώρα στη θέση υδροληψίας, χωρίζεται σε 20 ίσα διαστήματα ανά 5% του χρόνου.



Σχήμα 15: Καμπύλη διάρκειας - παροχών ρέματος Τσελεχοβίτικου

Σημειώνεται ότι σε κάθε ένα από τα ανωτέρω διαστήματα (20) αντιστοιχεί μία μέγιστη και μία ελάχιστη τιμή παροχής, όπου η αντιπροσωπευτική τιμή του διαστήματος είναι η μέγιστή. Η ανωτέρω διαδικασία οδηγεί στον σχηματισμό της καμπύλης διάρκειας - παροχής 21 σημείων. Για τον υπολογισμό της διαθέσιμης παροχής ανά διάστημα, η οποία είναι ίση με την παραμένουσα παροχή εάν αφαιρεθεί η οικολογική παροχή. Σύμφωνα με τον Ειδικό Χωροταξικό για τις ΑΠΕ, η οικολογική παροχή ορίζεται ως η μεγαλύτερη παροχή από το 30% της μέσης θερινής παροχής (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος), το 50% της μέσης παροχής του Σεπτεμβρίου και 30 lt/sec σε κάθε περίπτωση.

Σύμφωνα με τα δεδομένα – μετρήσεις της μελέτης η οικολογική παροχή υπολογίστηκε στα 61,75 lt/sec (Πίνακας 10), θεωρώντας τις διαρροές του φράγματος αμελητέες. Η παροχή που προκύπτει από τη διαφορά της παροχής του ρέματος και της οικολογικής παροχής θα ονομάζεται στη συνέχεια διαθέσιμη παροχή. Η νομική απαίτηση της εκμετάλλευσης του υδατικού δυναμικού του ρέματος σε ποσοστό μεγαλύτερο του 75%, η βιωσιμότητα του προτεινόμενου έργου, καθώς και η τεχνική δυνατότητα εκμετάλλευσης (10% της μέγιστης παροχής για υδροστρόβιλο Pelton).

Πίνακας 10: Υπολογισμός Οικολογικής Παροχής

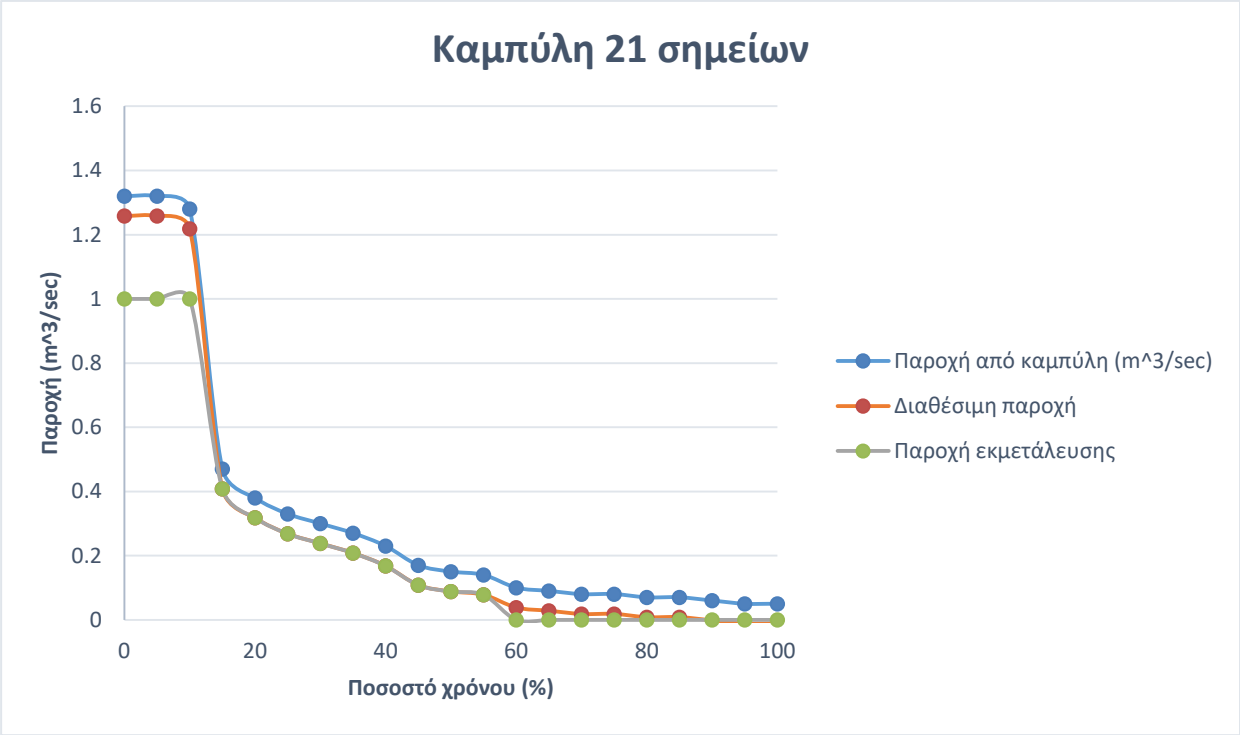
ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ				
30% ΘΕΡΙΝΩΝ ΜΗΝΩΝ	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014
Ιονίος	0,167	0,085	0,056	0,16
Ιούλιος	0,069	0,075	0,050	0,16
Αύγουστος	0,061	0,072	0,050	0,15
Σεπτέμβριος	0,099	0,077	0,052	0,155
Μ.Ο κάθε μήνα	0,030	0,023	0,016	0,05
30% του Μ.Ο (m3/sec)	29,73	23,24	15,567	46,65
30% του Μ.Ο (lit/sec)	0,167	0,085	0,056	0,16
30% Μ.Ο Θερινών μηνών (2010-2014) (lit/sec)	**28,80**			
50% ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014
Μ.Ο Σεπτεμβρίου	0,064	0,080	0,174	0,177
50% του Μ.Ο (m3/sec)	0,032	0,040	0,087	0,089
50% του Μ.Ο (lit//sec)	31,83	39,83	86,83	88,50
50% Μ.Ο Σεπτεμβρίου (2010-2014) (lit/sec)	**61,75**			
Οικολογική Παροχή (lit/sec)	**30,00**			

Στο Πίνακα 11 και Σχήμα 16 διακρίνεται ότι σε κάθε διάστημα αντιστοιχεί μία χαρακτηριστική τιμή παροχής προς εκμετάλλευση. Οι τιμές αυτές ανήκουν σε διάστημα που ικανοποιεί το κριτήριο της υδατικής αξιοποίησης καθώς παρέχει και τεχνική αξιοπιστία, η οποία δίνεται ελάχιστη παροχή λειτουργίας σε ποσοστό 10% της μέγιστης του υδροστροβίλου τύπου Pelton – μέγιστης παροχής λειτουργίας 1.0 m^3/sec.

Πίνακας 11: Διαθέσιμη παροχή και παροχή εκμετάλλευσης ανά διάστημα χρόνου

Διάστημα χρόνου	**Παροχή από καμπύλη διάρκειας (m^3/s)**	**Οικολογική παροχή (m^3/s)**	**Διαθέσιμη παροχή (m^3/s)**	**Παροχή εκμετάλλευσης (m^3/s)**
0	17,4	0,062	17,34	1
0 - 0.05	1,32	0,062	1,26	1
0.05 - 0.1	1,28	0,062	1,22	1
0.1 - 0.15	0,47	0,062	0,41	0,41
0.15 - 0.2	0,38	0,062	0,32	0,32
0.2 - 0.25	0,33	0,062	0,27	0,27
0.25 - 0.3	0,30	0,062	0,24	0,24
0.3 - 0.35	0,27	0,062	0,21	0,21
0.35 - 0.4	0,23	0,062	0,17	0,17
0.4 - 0.45	0,17	0,062	0,11	0,11
0.45 - 0.5	0,15	0,062	0,09	0,09

0.5 - 0.55	0,14	0,062	0,08	0,08
0.55 - 0.6	0,10	0,062	0,04	0
0.6 - 0.65	0,09	0,062	0,03	0
0.65 - 0.7	0,08	0,062	0,02	0
0.7 - 0.75	0,08	0,062	0,02	0
0.75 - 0.8	0,07	0,062	0,01	0
0.8 - 0.85	0,07	0,062	0,01	0
.85 - 0.9	0,06	0,062	0,00	0
0.9 - 0.95	0,05	0,062	0,0	0
0.95 - 1	0,05	0,062	0,0	0



Σχήμα 16: Χαρακτηριστικές καμπύλες 21 σημείων

3.2.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Το σύστημα προσαγωγής αποτελείται από χαλυβδοσωλήνες ελικοειδούς ραφής, εξωτερικής διαμέτρου Φ700, σταθερού πάχους τοιχώματος (5.6 mm) και μήκους ανά τεμάχιο 6m. Οι χαλυβδοσωλήνες έχουν υποστεί εργοστασιακή επεξεργασία βαφής με ειδικό υλικό προεπαλήψεως (Prime) και έχουν επενδυθεί με προστατευτική επένδυση λιθανθρακόπισσας (Coal Tar Enamel), διεργασία υπό υψηλή θερμοκρασία. Η εξωτερική επιφάνεια καλύπτεται αρχικά με διπλή επίστρωση ταινίας υαλοϋφάσματος και λιωμένης λιθανθρακόπισσας και τελικά βάφεται εξωτερικά με διάλυμα ασβέστη, λινελαίου και άλατος. Θα έχει επίσης και

ανοδική προστασία. Στο άνω μέρος του αμέσως μετά την δεξαμενή φόρτισης θα είναι εφοδιασμένος με βαλβίδα διακοπής της παροχής.

Πίνακας 12: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά συστήματος προσαγωγής

ΤΜΗΜΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΜΗΚΟΣ ΑΓΩΓΟΥ (m)
Ε-1	Υπόγειος αγωγός Φ700	13.91
1-2	Υπόγειος αγωγός Φ700	23.35
2-3	Υπόγειος αγωγός Φ700	22.15
3-4	Υπόγειος αγωγός Φ700	40.28
4-5	Υπόγειος αγωγός Φ700	23.49
5-6	Υπόγειος αγωγός Φ700	18.03
6-7	Υπόγειος αγωγός Φ700	5.62
7-8	Υπόγειος αγωγός Φ700	6.06
8-9	Υπόγειος αγωγός Φ700	4.81
9-10	Υπόγειος αγωγός Φ700	13.62
10-11	Υπόγειος αγωγός Φ700	10.02
11-12	Υπόγειος αγωγός Φ700	8.06
12-13	Υπόγειος αγωγός Φ700	14.83
13-14	Υπόγειος αγωγός Φ700	14.07
14-15	Υπόγειος αγωγός Φ700	13.64
15-16	Υπόγειος αγωγός Φ700	43.86
16-17	Υπόγειος αγωγός Φ700	8.42
17-18	Υπόγειος αγωγός Φ700	11.25
18-19	Υπόγειος αγωγός Φ700	11.25
19-20	Υπόγειος αγωγός Φ700	18.58
20-21	Υπόγειος αγωγός Φ700	13.99
21-22	Υπόγειος αγωγός Φ700	34.98
22-23	Υπόγειος αγωγός Φ700	38.87
23-Σ	Υπόγειος αγωγός Φ700	71.87
Σ-Δ	Υπέργεια διώρυγα φυγής	8.00

Ο αγωγός εδράζεται σε στηρίγματα που στοχεύουν στη παραλαβή των φορτίων που αναπτύσσονται σε αυτόν από το ίδιο βάρος, το βάρος του περιεχομένου υγρού, την εσωτερική πίεση και τις δυνάμεις λόγω μεταβολής της ορμής του νερού και από τις θερμικές διαστολές.

Ακολουθεί ο υπολογισμός των γραμμικών απωλειών του αγωγού προσαγωγής του έργου. Για τις ανάγκες υπολογισμού, και για χαλύβδινο αγωγό, η απόλυτη τραχύτητα είναι ίση 0.05 mm. Οι γραμμικές απώλειες υπολογίζονται μέσω της εξίσωσης:

$$dh = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{c^2}{2g} \qquad [3.1]$$

Όπου:

dh =πτώση πίεσης εκφρασμένης σε μέτρα στήλης του διακινούμενου υγρού

λ = αδιάστατος συντελεστής γραμμικών απωλειών (διάγραμμα moody)
D = εσωτερική διάμετρος του σωλήνα
C = μέση ταχύτητα της ροής στον αγωγό
g = επιτάχυνση της βαρύτητας

Το ακριβές ύψος κινητικής ενέργειας σε μια διατομή είναι ίσο με:

$$\text{Ύψος κινητικής ενέργειας} = \frac{c^2}{2g} \cdot \qquad [3.2]$$

Όπου:

c= μέση ταχύτητα της ροής στον αγωγό
g = επιτάχυνση της βαρύτητας

Το ακριβές ύψος κινητικής ενέργειας σε μια διατομή βρίσκεται με πολλαπλασιασμό του τετραγώνου της μέσης ταχύτητας $(Q/A)^2$ με ένα συντελεστή a και διαίρεση με 2g. Για τυρβώδη ροή σε σωλήνες και αγωγούς το a παίρνεται μονάδα χωρίς αυτό να προκαλεί σημαντικό σφάλμα στα αποτελέσματα.

Ο υπολογισμός του αδιάστατου συντελεστή γραμμικών απωλειών γίνεται με χρήση της εξίσωσης Colebrook – White, την οποία το Hydraulic Institute θεωρεί αξιόπιστη για τον υπολογισμό του λ.

$$\frac{1}{\lambda} = -2 \cdot \log\left[\frac{2.51}{R_e \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon_s}{3.71}\right] \qquad [3.3]$$

Όπου

λ = αδιάστατος συντελεστής γραμμικών απωλειών
Re = αριθμός Reynolds
ε_s = σχετική τραχύτητα βρεχομένων επιφανειών με $\varepsilon_s=\varepsilon/d$.

Επίλυση της εξίσωσης γίνεται μέσω του διαγράμματος Moody (προτείνεται από την American Society of Mechanical Engineers).
Ο αριθμός Reynolds υπολογίζεται από την σχέση:

$$Re = \frac{u \cdot L}{\nu} \qquad [3.4]$$

Όπου:

L=μήκος αγωγού
u= ταχύτητα ρευστού
ν=κινηματικό ιξώδες νερού (1,01E-06 m^2/sec)

- *Σύστημα προσαγωγής*

Στον Πίνακα 13 παρατίθεται ο υπολογισμός των απωλειών του συστήματος προσαγωγής και στον Πίνακα 14 οι απώλειες σε σχέση με την παροχή διαστήματος, ενώ στα Σχήμα 17 και 18 απεικονίζονται οι απώλειες και το καθαρό ύψος υδατόπτωσης αντίστοιχα.

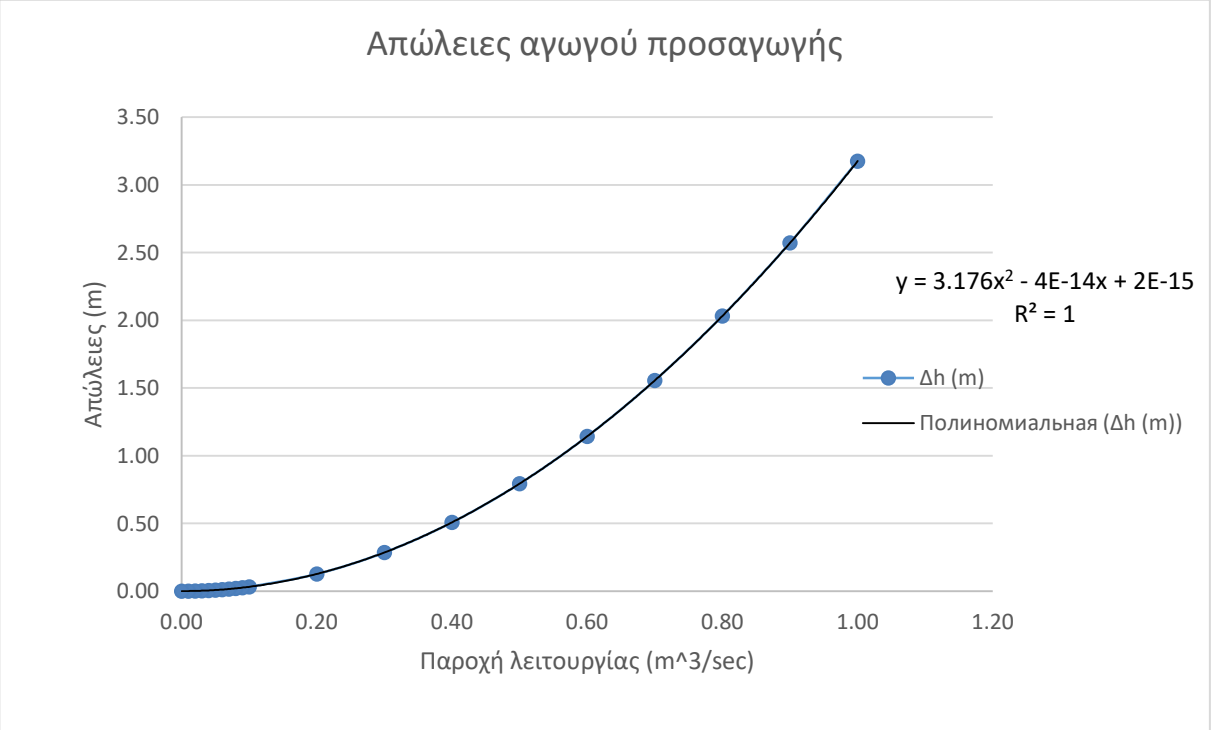
Πίνακας 13: Απώλειες συστήματος προσαγωγής

Μέγιστη παροχή υπολογισμού					**1.00 m^3/sec**				
Γραμμικές απώλειες (m)									
Τμήμα αγωγού	**Μήκος (m)**	**Εξωτερική Διάμετρος (mm)**	**Πάχος (mm)**	**Εσωτερική Διάμετρος (mm)**	**λ**	**Ταχύτητα (m/s)**	**u2/2g**	**Re>2300**	**Γραμμικές απώλειες (m)**
Ε-1	13,91	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,81	0,091
1-2	23,35	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,81	0,153
2-3	22,15	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,81	0,145
3-4	40,28	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,81	0,264
4-5	23,49	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,81	0,154
5-6	18,03	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,81	0,118
6-7	5,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,81	0,037
7-8	6,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,81	0,040
8-9	4,81	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,81	0,031
9-10	13,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,81	0,089
10-11	10,02	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,81	0,066
11-12	8,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,81	0,053
12-13	14,83	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,81	0,097
13-14	14,07	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,81	0,092
14-15	13,64	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,81	0,089
15-16	43,86	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,81	0,287
16-17	8,42	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,81	0,055
17-18	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,81	0,074
18-19	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,81	0,074
19-20	18,58	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,81	0,122
20-21	13,99	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,81	0,092
21-22	34,98	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,81	0,229
22-23	38,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,81	0,255
23-Σ	71,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,81	0,471
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΓΡΑΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΑΓΩΓΗΣ									**3.18**

Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για παροχή από 0,9 έως 0 m^3/sec, τα αποτελέσματα απεικονίζονται στον Πίνακα 14.

Πίνακας 14: Διακύμανση απωλειών σε σχέση με την παροχή λειτουργίας του έργου

Παροχή (m^3/sec)	Απώλειες (m)	Παροχή (m^3/sec)	Απώλειες (m)
1	3,18	0,09	0,03
0,9	2,57	0,08	0,02
0,8	2,03	0,07	0,02
0,7	1,56	0,06	0,01
0,6	1,14	0,05	0,008
0,5	0,79	0,04	0,005
0,4	0,51	0,03	0,003
0,3	0,29	0,02	0,001
0,2	0,13	0,01	0,00
0,1	0,03	0	0,000



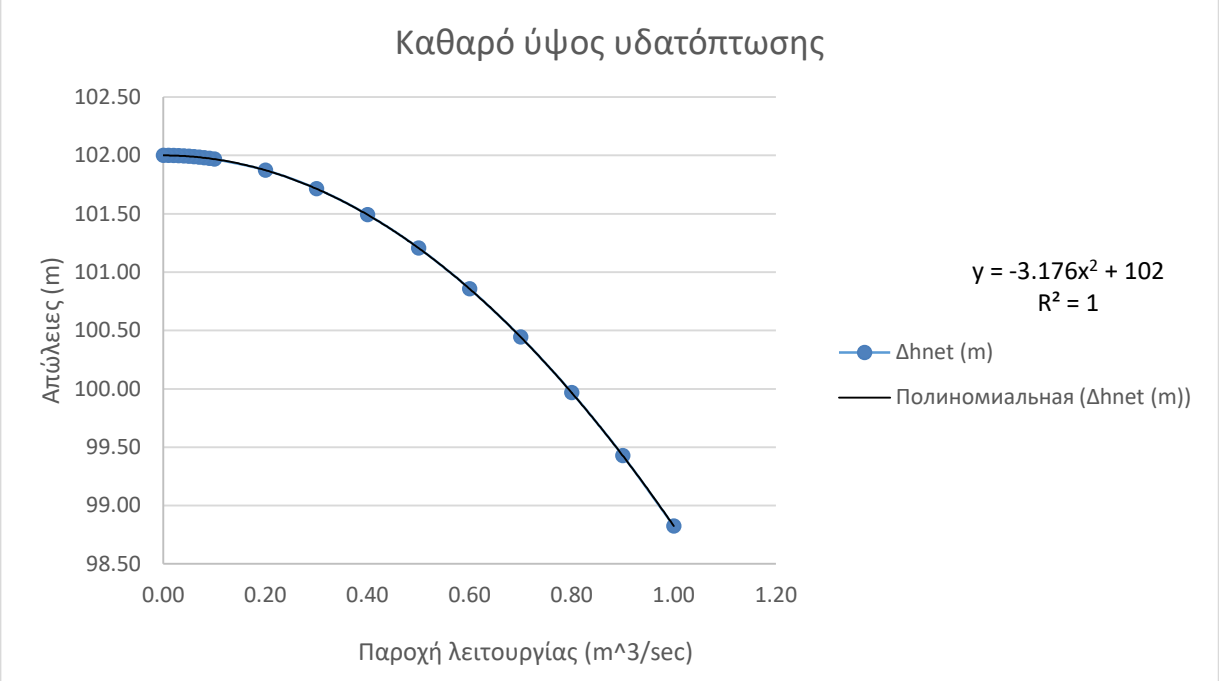
Σχήμα 17: Απώλειες συστήματος προσαγωγής

Από τα ανωτέρω διακρίνεται ότι οι απώλειες που έχουν υπολογισθεί είναι μόνο λόγω τριβής. Οι τοπικές απώλειες δεν υπολογίσθηκαν διότι στο σύστημα που μελετάται η τιμή τους θεωρήθηκε αμελητέα.

Στην συνέχεια στον Πίνακα 25 δίνεται το καθαρό ύψος υδατόπτωσης σε σχέση με την παροχή του έργου.

Πίνακας 15: Διακύμανση καθαρού ύψους υδατόπτωσης σε σχέση με παροχή λειτουργίας του έργο

Παροχή (m^3/sec)	Καθαρό ύψος Υδατόπτωσης (m	Παροχή (m^3/sec)	Καθαρό ύψος Υδατόπτωσης (m
1	98,82	0,09	101,97
0,9	99,43	0,08	101,98
0,8	99,97	0,07	101,98
0,7	100,44	0,06	101,99
0,6	100,86	0,05	101,99
0,5	101,21	0,04	101,99
0,4	101,49	0,03	102,00
0,3	101,71	0,02	102,00
0,2	101,87	0,01	102,00
0,1	101,97	0	102,00



Σχήμα 18: Καθαρό ύψος υδατόπτωσης

- *Υδροστρόβιλος*

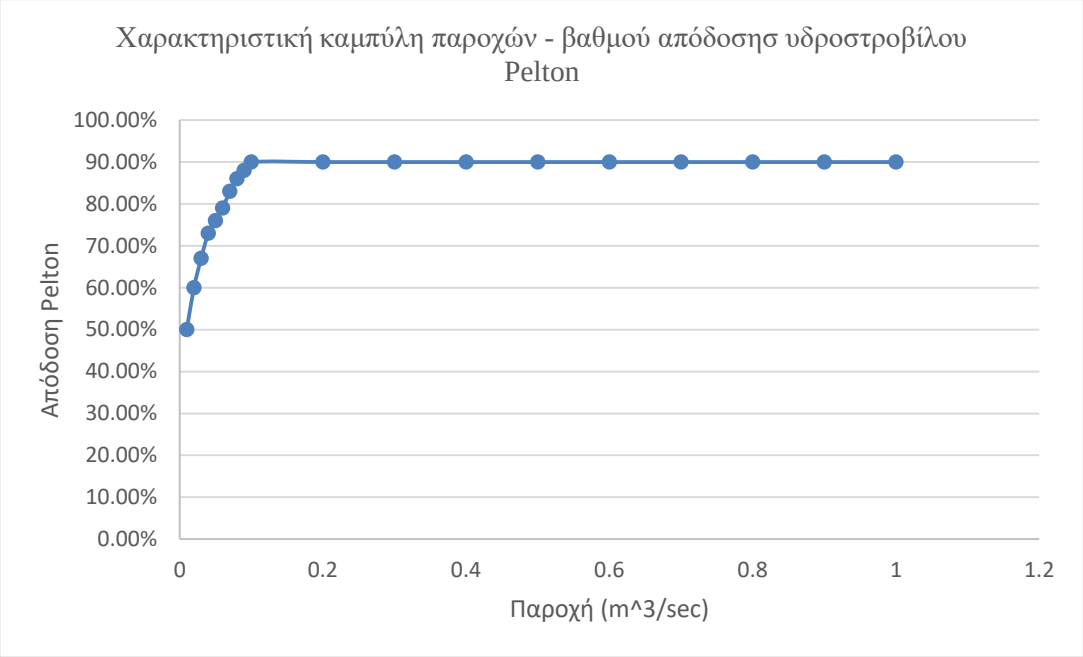
Ο υδροστρόβιλος είναι τύπου Pelton οριζοντίου άξονα τριών ακροφυσίων, με εκτροπέα. Το σύστημα των ακροφυσίων και το στροφείο του υδροστροβίλου είναι χυτά, ολόσωμα και κατασκευασμένα από ανοξείδωτο χάλυβα χρωμίου νικελίου (Cr, Ni, 14-3). Το στροφείο του υδροστρόβιλου στηρίζεται στον άξονα της γεννήτριας. Τα ακροφύσια με τους εκτροπείς κινούνται από υδραυλικούς κυλίνδρους διπλής ενεργείας. Οι εντολές για την κίνησή τους λαμβάνονται από τον ελεγκτή του συστήματος. Η λειτουργία των ακροφυσίων είναι

ανεξάρτητη μεταξύ τους και λειτουργούν με γνώμονα την μεγιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας σύμφωνα με τη διαθεσιμότητα της παροχής. Τα κύρια χαρακτηριστικά του υδροστροβίλου παρουσιάζονται στον Πίνακα 16.

Πίνακας 16: Κύρια χαρακτηριστικά υδροστροβίλου.

Υδροστρόβιλος Pelton	
Αριθμός Τεμαχίων	1 τεμ.
Ονομαστική Ισχύ Υδροστροβίλου	870 kW
Ονομαστικός Αριθμός Στροφών	375 rpm
Παροχή ύδατος	1000 lt/sec
Καθαρό ύψος Υδατόπτωσης	98.82 m
Μικτό ύψος Υδατόπτωσης	102 m

Ακολουθεί η χαρακτηριστική καμπύλη παροχών – βαθμού απόδοσης του υδροστροβίλου τύπου Pelton (Σχήμα 19).



Σχήμα 19: Χαρακτηριστική εξίσωση παροχής – βαθμού απόδοσης υδροστροβίλων Pelton

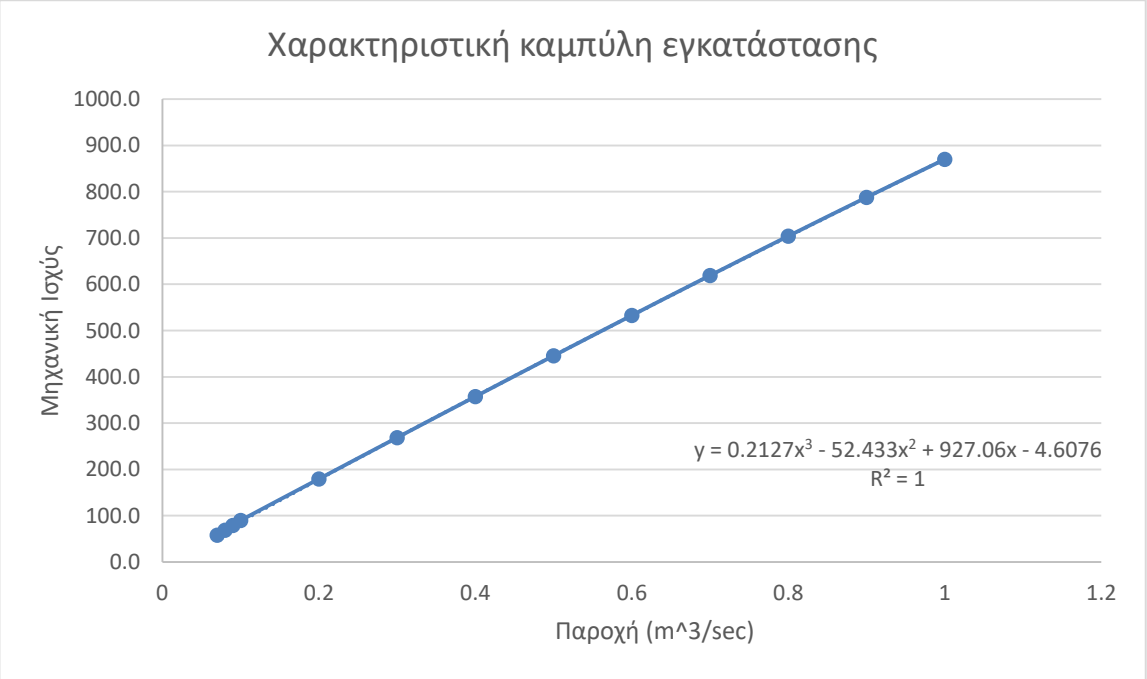
Σημειώνεται ότι ο βαθμός απόδοσης Pelton επιλέγεται ως σταθερός από παροχή 1 έως 0,1 m^3/sec λόγω ότι δεν χρησιμοποιήθηκε λογισμικό για τον ακριβή υπολογισμό του. Ωστόσο, επειδή δεν αποκλίνει αρκετά από την επιλεχθήσα τιμή διακρίνεται μεγάλη ακρίβεια.

- *Πίνακας λειτουργίας υδροστροβίλου*

Στην συνέχεια ακολουθεί Πίνακας 17 με τα στοιχεία του υδροστροβίλου καθώς και το Σχήμα 20 που απεικονίζεται η χαρακτηριστική καμπύλη της εγκατάσταση.

Πίνακας 17: Πίνακας λειτουργίας υδροστροβίλων.

Παροχή Q (m^3/sec)	Παροχή Pelton (m^3/sec)	Ονομαστική Ισχύς Pelton kw	Καταν. Ισχυς kwatt)	Απόδοση Pelton (%)	Μηχανική Ισχύς εξόδου Pelton (kwatt)	Ηλεκτρική ισχύς από την έξοδο Pelton (Kwatt)	Συνολική ηλεκτρική ισχύς (Kwatt)
1	1	870	870,23	90,00%	869,9	826,75	826,75
0,9	0,9	870	787,43	90,00%	787,7	748,62	748,62
0,8	0,8	870	703,59	90,00%	704,0	669,05	669,05
0,7	0,7	870	618,72	90,00%	618,9	588,21	588,21
0,6	0,6	870	532,80	90,00%	532,7	506,25	506,25
0,5	0,5	870	445,84	90,00%	445,4	423,34	423,34
0,4	0,4	870	357,84	90,00%	357,4	339,63	339,63
0,3	0,3	870	268,80	90,00%	268,6	255,28	255,28
0,2	0,2	870	178,71	90,00%	179,3	170,45	170,45
0,1	0,1	870	87,58	90,00%	89,8	85,31	85,31
0,09	0,09	870	78,40	88,00%	79	75,07	75,07
0,08	0,08	870	69,22	86,00%	69	65,22	65,22
0,07	0,07	870	60,03	83,00%	58	55,08	55,08
0,06	0,06	870	50,83	79,00%	47	44,94	44,94
0,05	0,05	870	41,62	76,00%	38	36,03	36,03
0,04	0,04	870	32,39	73,00%	29	27,68	27,68
0,03	0,03	870	23,16	67,00%	20	19,06	19,06
0,02	0,02	870	13,91	60,00%	12	11,38	11,38
0,01	0,01	870	4,66	50,00%	5	4,74	4,74
0	0	870	0,000	0,00%	0	0,00	0,00



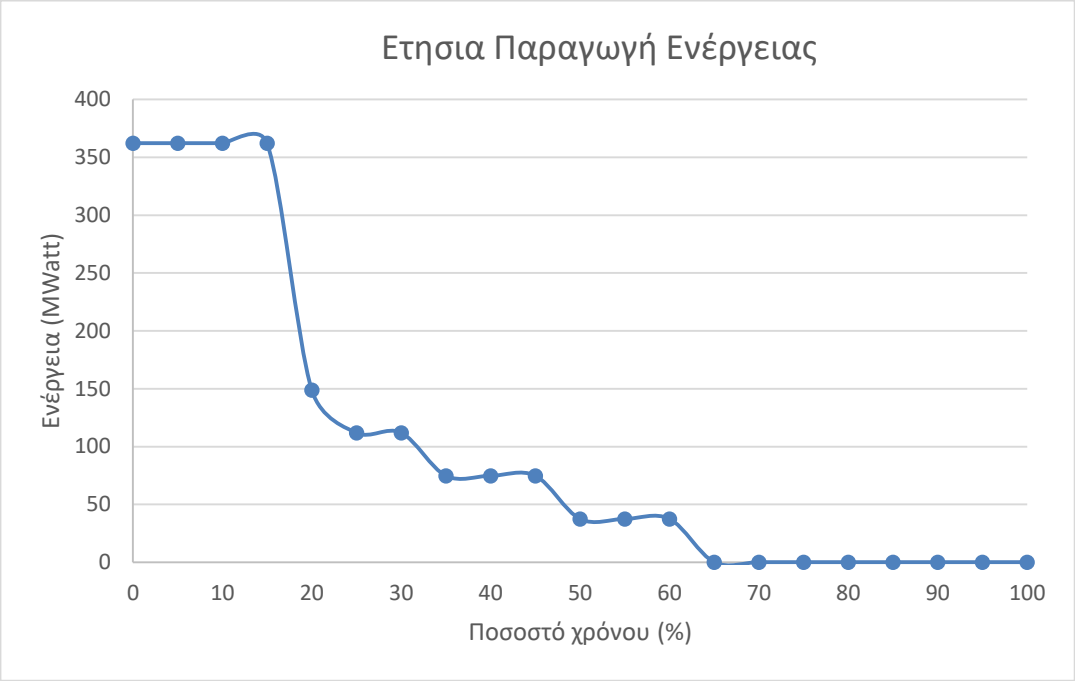
Σχήμα 20: Χαρακτηριστική καμπύλη εγκατάστασης.

3.2.2. ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η χαρακτηριστική καμπύλη σύνθετης λειτουργίας των υδροστροβίλων περιλαμβάνει τις απώλειες του συστήματος προσαγωγής και συνυπολογίζει τους βαθμούς απόδοσης των στροβίλων, των γεννητριών (96%) και του μετασχηματιστή (99%). Η εφαρμογή της χαρακτηριστικής εξίσωσης λειτουργίας των υδροστροβίλων αποδίδει την παραγόμενη στιγμιαία ισχύ που αντιστοιχεί στην εκάστοτε παροχή λειτουργίας (Πίνακας 18). Υποθέτοντας σταθερή στιγμιαία ισχύς σε κάθε χρονικό διάστημα προκύπτει η παραγόμενη ενέργεια σε KWh. Επιπλέον, με τη μεθοδολογία της σταθερότητας της ισχύος ανά διάστημα χρόνου, χωρίζοντας τον χρόνο σε 20 ίσα διαστήματα, η παραγόμενη ετήσια ενέργεια προβλέπεται να κυμανθεί στις **1,8 GWh** (Σχήμα 20).

Πίνακας 18: Στοιχεία χαρακτηριστικής λειτουργίας υδροστροβίλων

Διάστημα χρόνου	Παροχή (m^3/sec)	Συνολική Ισχύς (kW)	Ημέρες	Ώρες	kWh
0 - 0.05	1,00	826,75	18,25	438	362117
0.05 - 0.1	1,00	826,75	18,25	438	362117
0.1 - 0.15	1,00	826,75	18,25	438	362117
0.15 - 0.2	0,4	339,63	18,25	438	148757
0.2 - 0.25	0,3	255,28	18,25	438	111812
0.25 - 0.3	0,3	255,28	18,25	438	111812
0.3 - 0.35	0,2	170,45	18,25	438	74658
0.35 - 0.4	0,2	170,45	18,25	438	74658
0.4 - 0.45	0,2	170,45	18,25	438	74658
0.45 - 0.5	0,1	85,31	18,25	438	37364
0.5 - 0.55	0,1	85,31	18,25	438	37364
0.55 - 0.6	0,1	85,31	18,25	438	37364
0.6 - 0.65	0,0	0,00	18,25	438	0
0.65 - 0.7	0,0	0,00	18,25	438	0
0.7 - 0.75	0,0	0,00	18,25	438	0
0.75 - 0.8	0,0	0,00	18,25	438	0
0.8 - 0.85	0,00	0,00	18,25	438	0
0.85 - 0.9	0,00	0,00	18,25	438	0
0.9 - 0.95	0,00	0,00	18,25	438	0
0.95-1	0,00	0,00	18,25	438	0
100		0,00	365	8760	1794800
Ετήσια παραγομένη ενέργεια					**1,79 GW**



Σχήμα 21: Ετήσια παραγόμενη ενέργεια του έργου

3.2.3. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ

Δεδομένης της εγκατεστημένης ισχύος, η οποία ανέρχεται σε 827 kW, και η οποία αντιστοιχεί σε μέγιστη παραγόμενη ενέργεια 7.24 GWh, η ενεργειακή αποδοτικότητα του έργου υπολογίζεται από την σχέση:

$$n = \frac{\text{Ετήσια παραγομενη ενέργεια}}{\text{Μέγιστη παραγόμενη ενέργεια}}$$

Κάνοντας αντικατάσταση η ενεργειακή αποδοτικότητα ανέρχεται σε ποσοστό:

$$n = \frac{1{,}79\ GWh}{7.24 GWh} = 0.2472 = 24.72\%$$

4. ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΙΚΡΟΥ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΤΣΕΛΕΧΟΒΙΤΙΚΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ, Ν. ΗΛΙΑΣ.

4.1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΈΡΓΟΥ

Σύμφωνα με τον ορισμό του Ν. 2244/1994, κατά τον ρουν του ποταμού (run of river) [25], το παρόν έργο κατατάσσεται στους Μικρούς Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς με προτεινόμενη εγκατεστημένη ισχύς 0.827 MWe. Η περιοχή ενδιαφέροντος που θα γίνεται η υδροληψία του υδροηλεκτρικού έργου είναι το ρέμα «Τσελεχοβίτικο», σε υψόμετρο 402.00 m.

Η διάταξη του έργου είναι φραγματική, όπου εντός του ρέματος υπάρχει ένα φράγμα, κατασκευασμένο εγκάρσια στην κοίτη του ρέματος, συνολικού ύψους 2 m. Το φράγμα είναι κατασκευασμένο από σκυρόδεμα και πάνω του είναι τοποθετημένες εσχάρες. Ο βασικός ρόλος του φράγματος είναι να λειτουργεί ως εκχειλιστής με στόχο την διοχέτευση των πλημμυρικών παροχών. Βασικό πλεονέκτημα της κατασκευής είναι η διαμορφωμένη οπή στο υψηλότερο τμήμα του φράγματος, η οποία επιτρέπει την κατά προτεραιότητα διάθεση της οικολογικής παροχής μέσω κλιμακωτής διώρυγας κατάντη του φράγματος. Η κλιμακωτή διώρυγα σκοπεύει στην εξυπηρέτηση στην ελευθερο-επικοινωνία της ιχθυοπανίδας. Το νερό που διαπερνά τις εσχάρες οδηγείται αρχικά σε έναν αγωγό ορθογωνικής διατομής και στη συνέχεια σε μια δεξαμενή καθίζησης (εξαμμωτής). Από το άκρο της δεξαμενής καθίζησης, δηλαδή το άκρο του εξαμμώτη, τροφοδοτείται ο αγωγός υπό πίεση, μήκους 485.00 m, εκ των οποίων τα 427 m είναι υπόγειο τμήμα ενώ τα 58 m υπέργειο, ο οποίος έχει φορά προς την πορεία του ρέματος. Ο τερματισμός του αγωγού θα είναι μια έκταση της εγκατάστασης 1.970 m^2 όπου τα 150.00 m^2 (Α.Υ. εδάφους 300.00 m) χρησιμοποιούνται για την εγκατάσταση του κτιρίου.

Για την απαραίτητη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας σε μηχανική χρησιμοποιείται υδροστροβίλου τύπου Pelton, ο οποίος είναι κατάλληλα συνδεδεμένος με μία σύγχρονη τριφασική γεννήτρια. Η άρτια μεταφορά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται με την χρήση του υπάρχον δικτύου διανομής με διαχειριστή την ΔΕΗ Α.Ε. Σημειώνεται ότι το παραγόμενο ηλεκτρικό φορτίο θα ανυψώνει την τάση του μέσω ενός μετασχηματιστή φορτίου από 400V σε 20.000V, με κατάλληλα προστασίες, η οποίες θα είναι υπεύθυνες για την ασφαλή και ομαλή λειτουργία του όλου συστήματος. Η εγκατεστημένη ισχύς του έργου είναι 827 kWe και η αναμενόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εκτιμάται ίση με 1,8 GWh/έτος. Όσο αφορά το νερό μετά την ενεργειακή του αξιοποίηση θα αποδίδεται στη φυσική κοίτη του ρέματος, μέσω διώρυγας φυγής μήκους 8 m.

Η προσβασιμότητα στο χώρο εγκατάστασης μπορεί να πραγματοποιείται από την υπάρχουσα δασική οδό, ενώ για την πρόσβαση στην θέση υδροληψίας θα κατασκευαστεί νέο τμήμα οδοποιίας μήκους 200 m ως επέκταση ήδη υφιστάμενης. Ακόμα η όδευση του δικτύου

μέσης τάσης, στοχεύει στην έκχυση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, μήκους περίπου 800 m, η οποία ακολουθεί την οδό πρόσβασης στο γήπεδο εγκατάστασης. Στον Πίνακα 28 παρατίθενται τα βασικά στοιχεία απόλυτων υψομέτρων και λειτουργίας του έργου.

Πίνακας 19: Πίνακας Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου

ΤΜΗΜΑ ΕΡΓΟΥ	ΣΤΟΙΧΕΙΑ
Θέση	Δ.Δ. Αμυγδαλέων, Δ. Αλιφείρας, Ν. Ηλείας
Ρέμα	Ρ. Τσελεχοβίτικο
Θέση υδροληψίας	Υδροληψία ορεινού τύπου με φράγμα από σκυρόδεμα σε απόλυτο υψόμετρο κοίτης 402.00 m
Αγωγοί	Υπόγειος χαλύβδινος αγωγός πίεσης Φ700mm και μήκους 427m Υπέργειος χαλύβδινος αγωγός πίεσης Φ700mm και μήκους 58m Διώρυγα φυγής για την επιστροφή στην κοίτη του ρέματος μήκους 8 m
Γήπεδο εγκατάστασης	Γήπεδο εγκατάστασης με απόλυτο υψόμετρο εδάφους 300.00 m. Σταθμός παραγωγής σε κτίριο εμβαδού 150.00 m^2, εφοδιασμένος με: **Υδροστρόβιλο** τύπου Pelton κατακόρυφου άξονα, τριών ακροφυσίων ισχύος 870 kW (μέγιστης παροχής 1 m^3/sec, καθαρό ύψος πτώσης 102 m, αρ, στροφών 375 στρ/1') **Γεννήτρια** ονομαστικής ισχύος 1000 KVA, σύγχρονη, ονομαστικής τάσης 0.4 kV, συχνότητας 50Hz **Μετασχηματιστής ισχύος** 1,250 kVA, 0.4/20 KV τριφασικός ξηρού τύπου, **Μετασχηματιστής ιδιοκαταναλώσεων** ονομαστικής ισχύος 50 kVA, 0.4/0.4 KV τριφασικός ξηρού τύπου Διώρυγα φυγής για την επιστροφή του νερού στην κοίτη του ρέματος μήκους 8 m
Εγκατεστημένη ισχύς	0.827 MWe
Στάθμη υπερχειλιστή φράγματος	404.00 m
Στάθμη ηρεμίας νερού δεξαμενής φόρτισης	402.00 m
Στάθμη άξονα στροβίλων	300.00 m
Μικτοί ύψος υδατόπτωσης	102.00 m
Κάθαρο ύψος υδατόπτωσης	98.82 m
Μέγιστη παροχής εκμετάλλευσης	1.00 m^3/sec
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια	1,8 GWh
Ενεργειακή αποδοτικότητα	24,72%

4.2. ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΈΡΓΟΥ

Σύμφωνα με την γενική περιγραφή του έργου γίνεται άμεσα κατανοητό ότι τα βασικά μέρη του προτεινόμενου έργου είναι:

- Υδροληψία
- Αγωγός προσαγωγής
- Σταθμός.

Στη συνέχεια δίνεται η περιγραφή των επί μέρους κατασκευών του έργου.

4.2.1. ΕΡΓΑ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ

Σε αυτό το σημείο δίνονται οι ακριβείς θέσεις των έργων υδροληψίας του Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου υπό μελέτη.

Πίνακας 20: Ακριβείς θέσεις έργων υδροληψίας

Θέση	**Περιγραφή**	**Θέση κατά Ε.Γ.Σ.Α.[1] 87**	**Γεωγραφικό μήκος λ**	**Γεωγραφικό πλάτος, φ**	**Υψομετρο[2] z**
Υ	Υδροληψία	310025.22 4155527.31	21° 51’ 00” 27	37° 31’ 37” 81	402.00
Ε	Εξαμμωτής	310025.23 4155534.61	21° 51’ 00” 26	37° 31’ 38” 05	401.50

Σημείωση:[1]Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς, [2]Αναφέρεται στο φυσικό έδαφος

Σκοπός της υδροληψίας είναι να παραλαμβάνει τις απαραίτητες ποσότητες νερού από την κοίτη του ρέματος και εν συνεχεία να τις προωθεί στο τμήμα μεταφοράς του έργου. Το έργο είναι κατασκευασμένο εκμεταλλευόμενο την «ορεινή υδροληψία». Όπως προαναφέρθηκε είναι μια φραγματική διάταξη πού αποτελείται από φράγμα (στηθαίο ανάσχεσης) ύψους κορμού 2.0 m, τραπεζοειδούς διατομής, από οπλισμένο σκυρόδεμα (Σχήμα 22). Επιπλέον, στο υψηλότερο τμήμα του φράγματος είναι τοποθετημένες εσχάρες και το φράγμα λειτουργεί και ως εκχειλιστής από τον οποίο διοχετεύονται οι πλημμυρικές παροχές. Η όλη κατασκευή εδράζεται επί υγιούς εδάφους και είναι κατάλληλα ενισχυμένο.

Όσο αφορά το ανάντη τμήμα του φράγματος κατασκευάζονται πλευρικά τοιχία προστασίας και αντιστήριξης των πρανών και στο αμέσως κατάντη τμήμα του κατασκευάζεται κλιμακωτή διάταξη προστασίας του πόδα, με στόχο την αποφυγή υποσκαπτικών φαινομένων τα οποία είναι υπεύθυνα για την δημιουργία στρεπτικών δυνάμεων ικανών να προκαλέσουν σταδιακά την αστοχία της τεχνικής διάταξης.

Η οικολογική παροχή, που είναι 61,75 lt/sec, παροχετεύεται από ορθογωνική διατομή που έχει δημιουργηθεί στα όρια του υπερχειλιστή. Επιπλέον, κατασκευάζεται μια κλιμακωτή

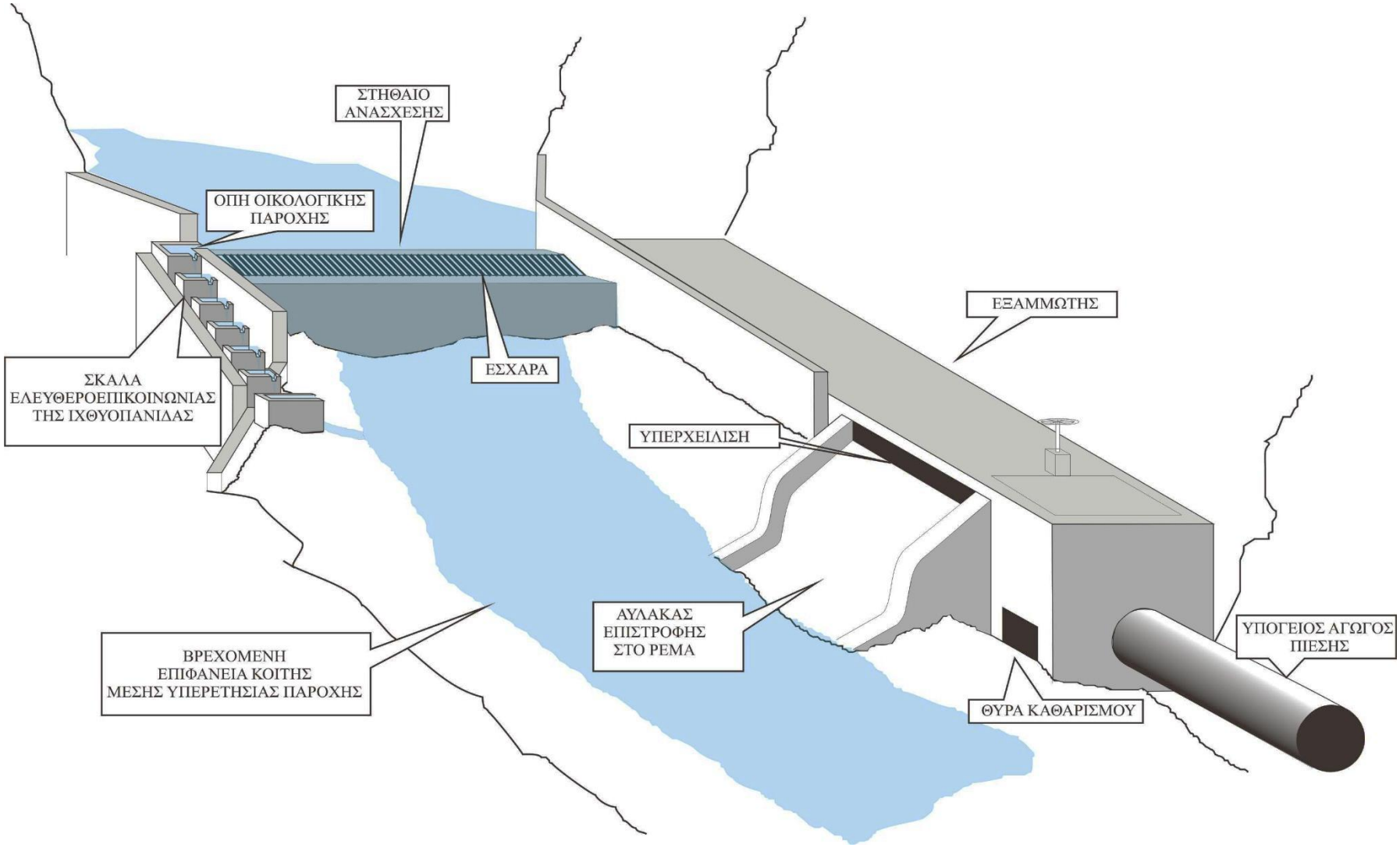
διάταξη μικροδεξαμενών, η οποία έχει είσοδο στην οπή της οικολογικής παροχής και έξοδο στο τμήμα του ρέματος αμέσως κατάντη του φράγματος για την ελευθεροεπικοινωνία της ιχθυοπανίδας. Στην ουσία είναι κλιμακωτές διαδοχικές και ανισόπεδες δεξαμενές οι οποίες παρακάμπτουν το φράγμα και στις οποίες το νερό υπερχειλίζει από τη μία στην επόμενη που βρίσκεται σε χαμηλότερη στάθμη. Η διακινούμενη παροχή είναι η οικολογική (παροχή συντήρησης) και δεν αποτελεί πρόσθετη απώλεια.

Οι εσχάρες χρησιμοποιούνται για την προώθηση του νερού σε αγωγό ορθωγονικής διατομής ο οποίος με την σειρά του τροφοδοτεί τον εξαμμωτή που βρίσκεται επί του αριστερού πλευρικού τοιχίου του φράγματος. Στην οπή είναι τοποθετημένο θυρόφραγμα το οποίο στοχεύει στον έλεγχο του παροχετευόμενου προς εκμετάλλευση νερού με αντίστοιχη αυξομείωση της ενεργού διατομής της οπής. Βασικός ρόλος του εξαμμωτή είναι η αφαίρεση των αιωρουμένων σωματιδίων από το εισερχόμενο ρευστό πριν αυτό προωθηθεί στον αγωγό προσαγωγής με απώτερο σκοπό την αποφυγή φθορών - βλαβών και καταστροφής του στροφείου της μηχανής καθώς επίσης και την αποφυγή των εμφράξεων του αγωγού προσαγωγωγής και των υδροστροβίλων.

Το νερό εν συνεχεία οδηγείται στη δεξαμενή καθίζησης, η οποία είναι μια διώρυγα τραπεζοειδούς διατομής και ο σχεδιασμός της μειώνει τις πιθανότητες διακοπής λειτουργίας του έργου κατά την έκπλυση. Η διαστασιολόγηση της δεξαμενής καθίζησης βασίζεται στην ποιότητα και στις διαστάσεις των κόκκων των φερτών κατά τις πλημμυρικές παροχές. Τα δεδομένα και οι πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα του νερού λαμβάνονται από το σημείο που θα κατασκευασθεί η υδροληψία του έργου, υπό συνθήκες πλημμυρικών παροχών όπου τοποθετούνται θυροφράγματα ελέγχου πριν από την είσοδο του νερού στη δεξαμενή καθίζησης. Ο υδραυλικός σχεδιασμός επιβάλλει την έξοδο του νερού προς τον αγωγό προσαγωγής μέσω ανοίγματος από υψηλή στάθμη, ώστε να μη μεταφέρονται τα φερτά υλικά.

Αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι ότι θα πρέπει να πραγματοποιείται τακτικός καθαρισμός της δεξαμενής από τα φερτά υλικά, ο οποίος μπορεί να υλοποιείται με κατάλληλη διάταξη θυροφράγματος καθαρισμού τοποθετημένος στο κατάντη άκρο της. Ωστόσο, τα φερτά υλικά εν συνεχεία οδηγούνται με την βοήθεια της φυσικής ροής στην κοίτη του ρέματος. Για την καλύτερη λειτουργία του συστήματος της δεξαμενής καθίζησης προτείνεται η χρήση μετρητή στάθμης φερτών υλικών ο οποίος κάνει έχει την δυνατότητα εκπομπής ενημερωτικού σήματος και σήματος συναγερμού για την διακοπή λειτουργίας των επιμέρους μονάδων τ0ου συστήματος.

Επιπλέον, στο σύστημα υπάρχει και η δεξαμενή φόρτισης όπου κατασκευάζεται πριν την είσοδο του νερού στον αγωγό προσαγωγής και έχει βασικό σκοπό τον έλεγχο της τροφοδοσίας του αγωγού προσαγωγής καθώς και των υδροστροβίλων κατά τη φάση εκκίνησης και λειτουργίας των μονάδων. Με στόχο την καλύτερη δυνατή απόδοση των μηχανών του συστήματος απαιτείται η μειωμένη είσοδος του αέρα. Λόγω του σχετικά μεγάλου όγκου της δεξαμενής φόρτισης η ταχύτητα της ροής σε αυτή είναι σχετικά μικρή με συνέπεια να δίνεται η δυνατότητα τα αιωρούμενα σωματίδια να κατακάθονται. Αυτό απαιτεί και στον πυθμένα της δεξαμενής να υπάρχει αναβαθμός και θυρόφραγμα έκπλυσης φερτών.



Σχήμα 22: Διάταξη έργων υδροληψίας του ΜΥΗΣ (φραγματική διάταξη & δεξαμενή φόρτισης & καθίζησης)

4.2.2. ΓΗΠΕΔΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Όπως έχει προαναφερθεί το κτίριο του υποσταθμού θα έχει εμβαδόν 150.00 m^2 (Α.Υ. 300.00 m) και θα κατασκευαστεί σε γήπεδο έκτασης 1,970 m^2. Οι ακριβείς θέσεις του γηπέδου και του σημείου επιστροφής του νερού στο ρέμα παρουσιάζονται στον Πίνακα 21.

Πίνακας 21: Ακριβείς θέσεις γηπέδου εγκατάστασης και επιστροφής νερού στο ρέμα

Θέση	**Περιγραφή**	**Θέση κατά Ε.Γ.Σ.Α.[1] 87**	**Γεωγραφικό μήκος λ**	**Γεωγραφικό πλάτος, φ**	**Υψομετρο[2] z**
Σ	Θέση εγκατάστασης	310149.60 4155950.57	21°51’ 04” 94	37°31’ 51” 63	300.00
Δ	Επιστροφή στο ρέμα	310158.48 4155963.94	21°51’ 05” 29	37°31’ 52” 07	298.50

Σημείωση: [1]Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς, [2]Αναφέρεται στο φυσικό έδαφος

Ο σταθμός παραγωγής είναι ένα υπόγειο κτίριο όπου στεγάζει τον συνολικό ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμό του Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου. Η κατασκευή του κτιρίου είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα καθώς επίσης και τα περιμετρικά τοιχία. Στον χώρο υπάρχουν μεγάλα κουφώματα με στόχο τον επαρκεί αερισμό και φωτισμό του εσωτερικού του. Στο χώρο του σταθμού γίνεται η εγκατάσταση του εξοπλισμού σε διακριτά μεταξύ τους τμήματα. Στον κύριο χώρο παραγωγής υπάρχει οι υδροστρόβιλοι με τις γεννήτριες και τον ελεγκτή, συμπεριλαμβανομένων των πινάκων χαμηλής τάσης. Οι πίνακες μέσης τάσης βρίσκονται στον εξωτερικό χώρο του κτιρίου. Επιπλέον διαφορικοί χώροι θα υπάρχουν για τον εξοπλισμός της επιτήρηση και λειτουργίας του σταθμού καθώς και για την φύλαξη υλικών και πάγκου εργασίας. Όσο αφορά τους μετασχηματιστές η τοποθέτηση τους γίνεται σε περιφραγμένο χώρο εκτός του κεντρικού κτιρίου του σταθμού. Επιπροσθέτως, το κτίριο έχει δοκούς στήριξης γερανογέφυρας, η οποία είναι κατάλληλη για την μετακίνηση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού έχοντας το απαραίτητο για αυτό ύψος. Η είσοδος γίνεται από μεγάλη συρόμενη πόρτα με ικανό άνοιγμα για την διέλευση του εξοπλισμού.

4.2.3. ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Στον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό περιλαμβάνονται:

- Υδροστρόβιλος τύπου Pelton κατακόρυφου άξονα
- Γεννήτρια σύγχρονη τριφασική αυτοδιεγειρόμενη
- Μετασχηματιστής ισχύος, ξηρού τύπου
- Μετασχηματιστής ιδιοκαταναλώσεων, ξηρού τύπου
- Προστασίες έργου και δικτύου Μ.Τ.
- Όργανα ελέγχου

- Αυτοματισμοί
- Γειώσεις κτιρίου και μηχανημάτων
- Γερανογέφυρα

Στην συνέχεια γίνεται περιγραφή του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού.

Το σύστημα αυτοματισμού αποτελείται:

❖ **Υδροστρόβιλος**

Όπως προαναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο τα κύρια χαρακτηριστικά του υδροστροβίλου παρουσιάζονται στον Πίνακα 22.

Πίνακας 22: Κύρια χαρακτηριστικά υδροστροβίλου.

Υδροστρόβιλος Pelton	
Αριθμός Τεμαχίων	1 τεμ.
Ονομαστική Ισχύ Υδροστροβίλου	870 kW
Ονομαστικός Αριθμός Στροφών	375 rpm
Παροχή ύδατος	1000 lt/sec
Καθαρό ύψος Υδατόπτωσης	98.82 m
Μικτό ύψος Υδατόπτωσης	102 m

➢ Υδραυλικό σύστημα ισχύος.

Το υδραυλικό τμήμα απαρτίζεται από μονάδα πίεσης λαδιού που θα τροφοδοτεί τους υδραυλικούς κυλίνδρους των ακροφυσίων και των εκτροπέων, καθώς και τον υδραυλικό κύλινδρο της δικλείδας εισόδου. Επίσης, στην μονάδα υπάρχει συγκρότημα αντλίας-κινητήρα υψηλής πίεσης, χειροκίνητη αντλία, δικλείδες τροφοδοσίας των υδραυλικών κυλίνδρων, δικλείδες ανακουφιστικές και αντεπιστροφής, αισθητήριο στάθμης ελαίου, τα κατάλληλα όργανα πίεσης, θερμοκρασίας κ.ά.

➢ Ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου και εντολών

Το ηλεκτρονικό τμήμα απαρτίζεται από ηλεκτρονικές κάρτες εισόδου-εξόδου, επεξεργασίας, εγκατεστημένες στον πίνακα ελέγχου της μονάδας. Στον ρυθμιστή στροφών καταλήγουν όλα τα σήματα λειτουργίας και δίνονται από αυτόν οι κατάλληλες εντολές για την αυτόματη λειτουργία της μονάδας. Εκτός από την αυτόματη λειτουργία υπάρχει και δυνατότητα για χειροκίνητη λειτουργία, απαραίτητη κατά τις δοκιμές και την χειροκίνητη έναρξη λειτουργίας της μονάδας.

Στην συνέχεια ακολουθεί ο Πίνακας 23 με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας ελέγχου.

Πίνακας 23: Τεχνικά χαρακτηριστικά μονάδας ελέγχου.

ΜΟΝΑΔΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	
Υδραυλική Μονάδα	
Αριθμός Τεμαχίων	1 τεμ.
Τύπος λειτουργίας	Παράλληλα με το δίκτυο της ΔΕΗ
Πίεση λειτουργίας	80 - 100 Bar
Ηλεκτρονική Μονάδα	
Αριθμός Τεμαχίων	2 τεμ.
Τύπος	Μέσω PLC/S7 - SIMATIC
Τύπος λειτουργίας	Παράλληλα με το δίκτυο της ΔΕΗ
Ηλεκτρονικό σταθμήμετρο	-
Κυριά βαλβίδα εισόδου	
Αριθμός Τεμαχίων	1 τεμ
Τύπος	Σφαιρική βαλβίδα
Μέθοδος κλεισίματος	μετρητής βάρους ,ο οποίος ενεργοποιείται από μια σωληνοειδή βαλβίδα που περιλαμβάνεται στην Υδραυλική Μονάδα Ελέγχου
Μέθοδος ανοίγματος	Υδραυλικά

❖ **Γεννήτρια**

Η γεννήτρια του συστήματος είναι αυτοδιεγειρόμενη τριφασική σύγχρονη άνευ ψηκτρών με ενσωματωμένη την διάταξη διέγερσης με αυτορυθμιζόμενη την τάση ανεξαρτήτου φορτίσεως (Πίνακας 24).

Πίνακας 24: Τεχνικά χαρακτηριστικά Γεννήτριας

Γεννήτρια	
Αριθμός Τεμαχίων	1 τεμ.
Ονομαστική ισχύς	P=1,000 KVA
Ονομαστική τάση	U=400 V
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	40 °C
Ονομαστική ένταση	1501 A
Συντελεστής ισχύος	0.95
Συνδεσμολογία:	Αστέρας
Σταθεροποίηση τάσης στατικά:	± 1%
Περιοχή ρύθμισης τάσης:	± 5%
Στροφές	n=375 rpm
Συχνότητα:	f=50 Hz
Κλάση μόνωσης	H
Υπερύψωση Θερμοκρασίας	F
Βαθμός προστασίας	IP 23
Λειτουργία	Για παραλληλισμό με το δίκτυο μέχρι 100% ανομοιομορφία σε ονομαστικό ρεύμα σε 1 ή 2

❖ **Μετασχηματιστές**

Ο μετασχηματιστής ανύψωσης θα είναι τριφασικός ελαίου, θα ψύχεται με φυσικό αερισμό και θα είναι κατάλληλος για υπαίθρια εγκατάσταση σε ειδικά διαμορφωμένο μέρος στο εξωτερικό του Σταθμού (Πίνακας 25).

Πίνακας 25: Τεχνικά χαρακτηριστικά τριφασικού μετασχηματιστή ισχύος ξηρού τύπου

Τριφασικός μετασχηματιστής ισχύος ξηρού τύπου	
Ονομαστική ισχύς	1250 KVA
Ονομαστική τάση πρωτεύοντος	20 KV/50HZ
Ονομαστική τάση δευτερεύοντος	400 V/50HZ
Λήψεις – ρύθμιση Μ.Τ.	Με μεταγωγέα 5 θέσεων
Συνδεσμολογία	YNd 5
Συχνότητα	50 Hz
Ονομαστική τάση βραχυκυκλώματος	6%
Απώλειες λειτουργίας εν κενό	2,700 W
Απώλειες φορτίου	9,800 W
Ύψος λειτουργίας	μέχρι 1000 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας
Μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος	40 °C
Μέγιστη υπερύψωση θερμοκρασίας τυλιγμάτων	100K

Ο μετασχηματιστής για την προστασία του θα είναι εξοπλισμένος με H/N Boucholz, δείκτη στάθμης λαδιού, θερμόμετρο θερμοκρασίας λαδιού, βάνα εξαέρωσης, βάνα δείγματος λαδιού, δοχείο διαστολής, φίλτρο αφύγρανσης, ακροδέκτες γείωσης (Πίνακας 26).

Πίνακας 26:Τεχνικα χαρακτηριστικά τριφασικού μετασχηματιστής (ελαιόψυκτος)

Τριφασικός μετασχηματιστής (ελαιόψυκτος)	
Ονομαστική ισχύς	50KVA.
Ονομαστική τάση πρωτεύοντος	400 V
Ονομαστική τάση δευτερεύοντος	400 V
Λήψεις – ρύθμιση Μ.Τ.	Με μεταγωγέα 5 θέσεων
Συνδεσμολογία	Dyn 11
Συχνότητα	50 Hz
Απώλειες λειτουργίας εν κενό	320 W
Απώλειες φορτίου	1,750 W
Ύψος λειτουργίας	μέχρι 1000 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας
Μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος	40 °C

4.2.4. ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

❖ **Πλευρά 400V (Γεννήτρια 1000 KVA)**

- Γενικός αυτόματος τριπολικός διακόπτης, συρομένου τύπου με ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενα θερμικά στοιχεία υπερφόρτωσης και μαγνητικά στοιχεία υπερέντασης, μηχανισμό ελατηρίου για την αποθήκευση ενέργειας αυτόματα (μέσω ηλεκτροκινητήρα) και χειροκίνητα, βοηθητικές επαφές
- 1 ρελαί αντεπιστροφής ισχύος
- 1 ρελαί ανομοιόμορφης φόρτισης
- 1 ρελαί έναντι διαρροής ως προς γη, κόμβου ουδετέρου
- 1 ηλεκτρονική συσκευή συγχρονισμού γεννήτριας

❖ **Πλευρά 20.000 V**

- Ηλεκτρονόμο προστασίας έναντι υπό / υπέρτασης, υπο / υπερσυχνότητας και σφαλμάτων γης.
- Ηλεκτρονόμο δευτερογενούς προστασίας έναντι υπερφόρτισης, βραχυκυκλώματος και διαρροής προς γη.

❖ **Περιγραφή διάταξης εκκίνησης – συγχρονισμού**

Υπάρχει μια ηλεκτρονική μονάδα συγχρονισμού. Ο παραλληλισμός της γεννήτριας με το δίκτυο της ΔΕΗ επιτυγχάνεται μέσω της ηλεκτρονικής μονάδας παραλληλισμού η οποία συγκρίνει τις τιμές των παρακάτω μεγεθών που αφορούν στα δύο διαφορετικά συστήματα (γεννήτρια Υποσταθμού –δίκτυο ΔΕΗ):

- τάσεις
- συχνότητες
- φασικές γωνίες μεταξύ των δύο συστημάτων

Οι τρείς (3) κύριες προϋποθέσεις ώστε να επιτευχθεί ο συγχρονισμός των δύο συστημάτων (γεννήτρια υποσταθμού – δίκτυο ΔΕΗ) είναι οι κάτωθι:

- ίσες τάσεις (με όρια απόκλισης ±4%)
- ίσες συχνότητες (με όρια απόκλισης ±1%)
- ελάχιστες φασικές γωνίες μεταξύ των δύο συστημάτων (±7 ηλεκτρικές μοίρες)

Η εκτιμούμενη χρονική διάρκεια από τη διαδικασία εκκίνησης (εντολή ανοίγματος κύριας βαλβίδας εισόδου) μέχρι το συγχρονισμό των δύο συστημάτων μέσω του συστήματος LPC είναι από 2 – 4 min.

4.2.5. ΙΔΙΟΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ

Στον χώρο των πινάκων ελέγχου για την τροφοδότηση των βοηθητικών των μονάδων και του Σταθμού είναι εγκατεστημένος πίνακας Χαμηλής Τάσης Εναλλασσόμενου Ρεύματος 380/220V. Ο πίνακας θα είναι εφοδιασμένος με βολτόμετρο και αμπερόμετρο καθώς και ηλεκτρονόμοι προστασίας έλλειψης τάσης. Για την ασφαλή λειτουργία του Μικρού Υδροηλεκτρικού Σταθμού και των συστημάτων αυτοματισμού στον χώρο των πινάκων ελέγχου και αυτοματισμού θα εγκατασταθεί σύστημα συνεχούς ρεύματος 24V, που θα περιλαμβάνει ανορθωτή και συστοιχία συσσωρευτών, καθώς και πίνακα τροφοδοσίας συνεχούς ρεύματος. Ο πίνακας θα είναι εφοδιασμένος με βολτόμετρο και αμπερόμετρο καθώς και ηλεκτρονόμοι προστασίας έλλειψης τάσης.

4.2.6. ΓΕΙΩΣΕΙΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΚΑΙ ΑΛΕΞΙΚΕΡΑΥΝΑ

Όσο αφορά τις γειώσεις του υποσταθμού και τα αλεξικέραυνα ισχύουν τα ακόλουθα:

- Τρίγωνο γείωσης.
- Λάμα γείωσης 30 x 3.5 mm, 100 m περιφερειακά του κτιρίου.
- Αντικεραυνική προστασία με κλωβό FARADAY
- Θεμελιακή γείωση, η οποία έχει εγκατασταθεί κατά την ανέγερση του κτιρίου.

4.2.7. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Η ψύξη του μηχανοστασίου γίνεται με σύστημα εξαερισμού με αεραγωγό προσαρμοσμένο σε κατάλληλη υποδοχή της τοιχοποιίας. Το σύστημα εξαερισμού απορροφά τον αέρα μέσω τεσσάρων πτερωτών, από το εσωτερικό χώρο του μηχανοστασίου προς τον εξωτερικό (ύπαιθρο) ενώ ακολουθεί ένα ρεύμα αέρα από το ύπαιθρο μέσω περσιδωτών ανοιγμάτων στο ύψος του δαπέδου του κτιρίου. Επειδή η εγκατάσταση αυτή προκαλεί μια υποπίεση στο χώρο που θα εξαεριστεί εμποδίζει την επέκταση του χρησιμοποιούμενου αέρα.

4.2.8. ΑΕΡΙΣΜΟΣ - ΨΥΞΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

Ο μετασχηματιστής κατά τη λειτουργία του θερμαίνεται. Η θέρμανση του μετασχηματιστή εξαρτάται από τις συνολικές απώλειες και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Ωστόσο ένας μετασχηματιστής κατά την ομαλή του λειτουργία δεν πρέπει ν' αποκτά θερμοκρασία μεγαλύτερη από 60-650C. Όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος (κατά τους θερινούς μήνες) ξεπερνάει τους 40°C, το φορτίο του μετασχηματιστή θα μειώνεται κατά

15% για κάθε επιπλέον 10°C και μέχρι τους 70°C οπότε η λειτουργία του διακόπτεται ή λαμβάνονται ιδιαίτερα μέτρα ψύξης. Για την ψύξη των μετασχηματιστών κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται το ρεύμα αέρα. Ιδανική περίπτωση για τον αερισμό των μετασχηματιστών είναι η ροή του αέρα κατακόρυφα από κάτω προς τα άνω.

4.2.9. ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

Η σύνδεση με το δίκτυο μέσης τάσης πραγματοποιείται με:

- Νέα εναέρια γραμμή μέση τάση μήκους περίπου 800 m.
- Εγκατάσταση νέων μέσων ζεύξης και προστασίας.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία στόχευε στον σχεδιασμό Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου στη λεκάνη απορροής του Τσελεχοβίτικου ρέματος, στη θέση «Σεπετός» εντός των διοικητικών ορίων του Δημοτικού Διαμερίσματος Αμυγδαλέας, Δήμου Αλιφείρας, Νομού Ηλείας. Τα αποτελέσματα προέκυψαν από την ανάλυση των μετρήσεων που λήφθηκαν τα ημερολογιακά έτη 2010 έως και 2014. Η επεξεργασία των δεδομένων – πληροφοριών πραγματοποιήθηκαν με το υπολογιστικό πρόγραμμα excel.

Αρχικά δόθηκαν οι ημερήσιες παροχές του ρέματος για τα προαναφερόμενα έτη, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία του υδρογραφήματος, δίνοντας την δυνατότητα της γραφικής απεικόνισης των ημερών με την μέγιστη παροχή. Στην συνέχεια οι μετρήσεις τοποθετήθηκαν κατά φθίνουσα σειρά και υπολογίσθηκε το ποσοστό επί τις 100% σύμφωνα με το σύνολο το μετρήσεων δημιουργώντας την καμπύλη διάρκειας των παροχών του ρεύματος για όλα τα έτη.

Στις συνέχεια τα αποτελέσματα διαχωρίστηκαν σε χρονικά διαστήματα από το 0% και έως το 100% με βήμα 5 και βρέθηκε η παροχή που αντιστοιχεί σε αυτό το διάστημα. Ακολούθησε ο υπολογισμός της οικολογικής παροχής όπου λήφθηκαν υπόψη οι περιορισμοί που αναλύθηκαν κατά την μελέτη και επιλέχθηκε η μέση τιμή του 50% του μήνα Σεπτεμβρίου που αντιστοιχούσε σε 61.75 lit/sec. Ακολούθησε ο υπολογισμός της διαθέσιμης παροχής από την αφαίρεση της παροχής των χρονικών διαστημάτων και της οικολογικής παροχής. Τα προαναφερόμενα οδήγησαν στην κατασκευή του διαγράμματος της καμπύλης 21 σημείων όπου δίνονται πληροφορίες για την διαθέσιμη παροχή, παροχή εκμετάλλευσής και παροχή από καμπύλη διάρκειας.

Έπειτα με στόχο την κατασκευή των χαρακτηριστικών καμπυλών εγκατάστασης υπολογίσθηκαν οι απώλειες του συστήματος όπου προσμετρήθηκαν μόνο οι γραμμικές απώλειες (απώλειες λόγω τριβής) θεωρώντας ότι οι τοπικές απώλειες είναι αμελητέες. Οι απώλειες υπολογίσθηκαν για κάθε αντιπροσωπευτική τιμή της παροχής και απεικονίστηκε σε ένα συνολικό διάγραμμα για της απώλειες του αγωγού προσαγωγής. Στην συνέχεια γνωρίζοντας το ύψος υδατόπτωσης (μικτό) στα 102 m υπολογίσθηκε το καθαρό ύψος σύμφωνα με την διακύμανση της παροχής.

Ένα από τα σημαντικά στοιχεία των υδροηλεκτρικών έργων για την λειτουργία τους είναι η επιλογή του υδροστροβίλου. Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκε υδροστρόβιλος pelton με ονομαστική ισχύ 870 kW, παροχή ύδατος 1000 lt/sec, ονομαστικός αριθμός στροφών 375 rpm, καθαρό ύψος υδατόπτωσης 98,82 m και μικτό 102m. Στην συνέχεια υπολογίσθηκε η μηχανική ισχύς του στροβίλου όπου εξαρτάται από την ονομαστική ισχύ, τον βαθμό απόδοσης του, την παροχή, την επιτάχυνση βαρύτητας και την πυκνότητα του ρευστού και ακολουθήσε ο υπολογισμός της ηλεκτρικής ισχύς στην έξοδο του στροβίλου που επηρεάζεται από τον βαθμό απόδοσης της γεννήτριας και τον βαθμό απόδοσης των μετασχηματιστών. Ακόμα, υπολογίσθηκε η συνολική ηλεκτρική ισχύς όπου λόγω του ότι δεν υπάρχει άλλος υδροστρόβιλος ισούται με την ηλεκτρική ισχύς εξόδου του.

Τέλος υπολογίσθηκαν σύμφωνα με τις ώρες λειτουργίας του ΜΥΗΕ οι ενέργεια που παράγεται εντός του έτους, η οποία ανέρχεται σε 1,79 GWh και υπολογίσθηκε η ενεργειακή αποδοτικότητα που αγγίζει το 25%. Ωστόσο, αξιοσημείωτοι είναι και οι ρύποι διοξειδίου που παράγονται από τις λιγνητικές μονάδες οι οποίες ανέρχονται σε 1,79 GWh *0,92 (Kg/kWh) =1,95 10^6 Kg ρύπων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Τζαμάκου Ε., 2018, *Στοιχεία Σχεδιασμού Μικρών Υδροηλεκτρικών έργων με εφαρμογή στο Νομό Άρτας,* Μεταπτυχιακή Εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.

2. Πολυζάκης Α., *Ρευστοδυναμικές Μηχανές, Στροβηλομηχανές – Υδροδυναμικές Μηχανές, Θεωρία – Λυμένες Ασκήσεις*, Εκδόσεις Heat Cool Rower, Έκδοση 1η, Πτολεμαΐδα, Ελλάδα.

3. Ασημακόπουλος Δ., Αραμπατζής Γ., Δημάκης - Αγγελής Α., Καρταλίδης Α., Τζιλιγκιρίδης Γ., 2015, *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Δυναμικό και Τεχνολογίες*, Εκδόσεις Σοφία, Θεσσαλονίκη.

4. Green Bug Energy, *Flow Duration Curve*, http://greenbugenergy.com/get-educated-knowledge/flow-duration-curve

5. Ηλεκτρονική Εγκυκλοπαίδεια: https://el.wikipedia.org/wiki/

6. Μιμίκου Μ. και Μπαλτάς Ε., 2006, *Τεχνική Υδρολογία*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα

7. Καραδήμου Σ. και Ασίμης Γ., 2019, *Τεχνοοικονομική μελέτη μικρού υδροηλεκτρικού στο Γοργογύρι Τρικάλων*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη

8. Σκούρας Ε., Βούρος Α. και Πολυζάκης Α., 2017, *Ρευστοδυναμικές Μηχανές, Εργαστηριακές Ασκήσεις*, Σημειώσεις Μαθήματος, Εκδόσεις Heat Col Power, Τ.Ε.Ι Δυτικής Ελλάδας , Πάτρα

9. Σκόδρας Γ., 2015, *Ήπιες και νέες μορφές ενέργειας*, Σημειώσεις Μαθήματος, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη

10. Καράνης Ι., 2015, *Σχεδιασμός Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου στον ποταμό Πηνειό*, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος

11. International Hydropower Association (IHA), 2003, *White Paper, The role of Hydropower in Sustainable Development.*

12. Τσικνάκου Γ., *2010, Υδροηλεκτρικά Έργα και Αειφόρος Ανάπτυξη Στρατηγικές – Μύθοι και πραγματικότητα, Αθήνα* http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teelar/EKDILWSEIS/damConference/eisigiseis/2.4.pdf

13. Energy Gov, *Planning a Microhydropower System*: https://www.energy.gov/energysaver/planning-microhydropower-system

14. Στεφανάκος Ι., Τσικνάκου Γ., Παπαχατζάκη Χ., 2013, *Υδροηλεκτρικά Έργα - Προοπτική για Ανάπτυξη με Έργα Μεγάλης Εγχώριας Προστιθέμενης Αξίας* https://www.ypethe.gr/sites/default/files/archivefiles/2013_synedrio_stefanakos_ydroilektrika_erga_-_prooptiki_gia_anaptyxi_me_erga_mega.pdf

15. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας http://www.ypen.gr/

16. Παπαντώνης Δ., 2008, *Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα,* Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα

17. Γαττάς Κ.Μ., 2013, *Εξελίξεις και νέες προοπτικές Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων (ΜΥΗΕ)*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη

18. https://www.dramini.gr/stin-orestiada-to-proto-dimotiko-ydroilektriko-ergostasio/

19. Μέγα Μ., 2009, *Μικρά υδροηλεκτρικά έργα στις ορεινές περιοχές και οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

20. ΡΑΕ, 2016, http://www.rae.gr

21. ΔΕΗ Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, 2016, https://www.ppcr.gr/el/projects/current-projects

22. ΕΣΜΥΕ, 2015, Επενδύσεις & Υποδομές, Ελληνικός Σύνδεσμος Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων, https://www.microhydropower.gr/

23. Χρηστάρας Β. και Μαρίνος Β., 2018, *Ασκήσεις Τεχνικής Γεωλογίας 6η Άσκηση Επιλογή καταλληλότητας θέσης και τύπου φράγματος*, Σημειώσεις Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

24. Καραμπατάκη Δ., 2009, *Η συμβολή των υδροηλεκτρικών έργων στις πολλαπλές χρήσεις νερού: η κατάσταση στην Ελλάδα*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

25. Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 2244 ΦΕΚ 168 / 07.10.1994**,** Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Στην Συνέχεια ακολουθεί το υλικό από το υπολογιστικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της μελέτης.

2010-2011											
ΗΜΕΡΑ	Q (m3/s)										
ΜΗΝΑ	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος
1	0,06	0,08	0,18	0,19	1,5	0,48	0,32	0,27	0,24	0,07	0,07
2	0,06	0,08	0,15	0,19	0,96	0,44	0,32	0,26	0,24	0,07	0,07
3	0,06	0,08	0,14	0,2	0,81	0,49	0,31	0,26	0,23	0,07	0,07
4	0,06	0,08	0,13	0,86	1,06	0,47	0,31	0,26	0,23	0,07	0,06
5	0,06	0,08	0,16	0,63	0,88	0,43	0,31	0,26	0,23	0,07	0,07
6	0,06	0,08	0,14	0,51	0,77	0,4	0,3	0,26	0,23	0,07	0,06
7	0,06	0,07	0,13	0,45	0,68	0,57	0,3	0,26	0,23	0,07	0,06
8	0,06	0,07	0,13	0,41	0,63	0,77	0,3	0,25	0,22	0,06	0,06
9	0,06	0,07	0,13	0,38	0,59	0,67	0,29	0,25	0,22	0,06	0,06
10	0,06	0,07	0,13	0,36	0,56	0,58	0,29	0,26	0,21	0,06	0,06
11	0,06	0,07	0,13	0,33	0,53	0,54	0,29	0,26	0,21	0,09	0,06
12	0,06	0,07	0,13	0,31	0,51	0,5	0,28	0,25	0,21	0,07	0,06
13	0,06	0,07	0,13	0,48	0,49	0,47	0,29	0,25	0,21	0,07	0,06
14	0,06	0,07	1,23	0,39	0,47	0,44	0,28	0,25	0,22	0,07	0,06
15	0,06	0,07	0,86	0,36	0,46	0,41	0,28	0,25	0,56	0,07	0,06
16	0,06	0,07	0,57	0,34	0,45	0,39	0,28	0,25	0,16	0,07	0,06
17	0,06	0,07	0,45	0,33	0,43	0,38	0,28	0,24	0,13	0,07	0,06
18	0,07	0,07	0,38	0,31	0,41	0,38	0,28	0,24	0,09	0,07	0,06
19	0,07	0,08	0,37	0,31	0,56	0,37	0,29	0,25	0,08	0,07	0,06
20	0,09	0,08	0,41	0,3	0,73	0,37	0,28	0,25	0,08	0,07	0,06
21	0,1	0,08	0,39	0,29	0,56	0,36	0,28	0,25	0,07	0,07	0,06
22	0,07	0,08	0,37	0,3	0,64	0,36	0,28	0,24	0,08	0,07	0,06
23	0,07	0,07	0,34	0,35	2,66	0,35	0,27	0,24	0,09	0,07	0,06
24	0,06	0,12	0,31	0,53	1	0,35	0,27	0,24	0,08	0,07	0,06
25	0,05	0,1	0,28	1,36	0,81	0,34	0,27	0,24	0,08	0,07	0,06
26	0,06	0,21	0,26	1,25	0,68	0,33	0,27	0,24	0,08	0,07	0,06
27	0,09	1,72	0,25	0,86	0,59	0,33	0,27	0,24	0,08	0,07	0,06
28	0,11	0,5	0,24	0,69	0,54	0,33	0,27	0,24	0,08	0,07	0,06
29	0,1	0,29	0,23	1,46		0,32	0,3	0,24	0,07	0,07	0,06
30	0,09	0,21	0,22	1,56		0,33	0,27	0,24	0,07	0,06	0,06
31	0,08		0,2	1,23		0,32		0,24		0,06	0,06
AVERAGE	**0,069**	**0,162**	**0,296**	**0,565**	**0,749**	**0,428**	**0,288**	**0,249**	**0,167**	**0,069**	**0,061**
MIN	**0,05**	**0,07**	**0,13**	**0,19**	**0,41**	**0,32**	**0,27**	**0,24**	**0,07**	**0,06**	**0,06**
MAX	**0,11**	**1,72**	**1,23**	**1,56**	**2,66**	**0,77**	**0,32**	**0,27**	**0,56**	**0,09**	**0,07**
STDEV	**0,015**	**0,308**	**0,237**	**0,398**	**0,444**	**0,108**	**0,015**	**0,009**	**0,102**	**0,005**	**0,003**

Εικόνα 10: Μετρήσεις 2010-2011

ΗΜΕΡΑ	Q (m3/s)											
ΜΗΝΑ	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος
1	0,06	0,07	0,08	0,08	0,34	0,25	0,8	0,11	0,11	0,1	0,08	0,07
2	0,06	0,07	0,08	0,08	0,34	0,22	0,7	0,11	0,1	0,1	0,08	0,08
3	0,06	0,07	0,08	0,08	0,34	1,07	0,6	0,11	0,1	0,1	0,08	0,08
4	0,06	0,07	0,08	0,08	0,33	0,79	0,52	0,11	0,1	0,09	0,08	0,08
5	0,06	0,07	0,08	0,08	0,33	0,65	0,45	0,11	0,1	0,09	0,08	0,08
6	0,06	0,07	0,08	0,08	0,33	0,52	0,48	0,11	0,1	0,09	0,08	0,08
7	0,06	0,07	0,08	0,08	7,21	0,51	0,45	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07
8	0,06	0,07	0,08	0,11	3,05	3,8	0,38	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07
9	0,06	0,07	0,08	0,10	1,33	2,9	0,34	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07
10	0,06	0,13	0,08	0,08	0,99	1,9	0,3	0,15	0,1	0,09	0,08	0,07
11	0,06	0,09	0,08	0,07	0,72	2,15	0,27	0,12	0,1	0,09	0,07	0,07
12	0,06	0,09	0,08	0,07	0,57	2,41	0,27	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07
13	0,06	0,09	0,08	0,07	0,45	2,01	0,35	0,11	0,1	0,09	0,08	0,08
14	0,06	0,08	0,08	0,12	0,37	2,38	0,31	0,11	0,1	0,08	0,08	0,07
15	0,06	0,08	0,08	0,25	0,32	1,72	0,27	0,11	0,1	0,08	0,08	0,07
16	0,06	0,09	0,08	0,12	0,27	1,5	0,24	0,12	0,1	0,08	0,08	0,07
17	0,06	0,13	0,08	0,13	0,23	1,32	0,21	0,11	0,1	0,08	0,07	0,07
18	0,06	0,1	0,08	0,56	0,19	1,07	0,19	0,11	0,1	0,08	0,07	0,07
19	0,06	0,09	0,08	0,47	0,16	0,92	0,17	0,31	0,1	0,08	0,07	0,07
20	0,06	0,09	0,08	0,44	0,14	0,81	0,16	0,23	0,1	0,08	0,07	0,07
21	0,07	0,09	0,08	1,20	0,12	0,73	0,15	0,16	0,1	0,08	0,07	0,07
22	0,08	0,08	0,08	0,92	0,22	0,66	0,14	0,13	0,1	0,08	0,07	0,07
23	0,07	0,08	0,08	2,86	0,17	0,74	0,14	0,12	0,1	0,08	0,08	0,07
24	0,07	0,08	0,08	1,22	0,15	0,71	0,14	0,12	0,1	0,08	0,07	0,07
25	0,07	0,08	0,08	0,76	1,27	0,61	0,13	0,11	0,1	0,08	0,07	0,07
26	0,07	0,08	0,08	0,46	0,89	0,53	0,13	0,11	0,1	0,08	0,07	0,07
27	0,07	0,08	0,08	0,39	0,73	0,49	0,13	0,11	0,1	0,08	0,07	0,07
28	0,07	0,08	0,08	0,36	0,53	1,26	0,12	0,11	0,1	0,08	0,07	0,07
29	0,07	0,08	0,08	0,35	0,42	1,03	0,12	0,11	0,1	0,08	0,07	0,07
30	0,07	0,08	0,08	0,35	0,35		0,12	0,11	0,1	0,08	0,07	0,07
31		0,08		0,34	0,3		0,12		0,1		0,07	0,07
AVERAGE	**0,064**	**0,083**	**0,080**	**0,399**	**0,747**	**1,230**	**0,287**	**0,126**	**0,100**	**0,085**	**0,075**	**0,072**
MIN	**0,06**	**0,07**	**0,08**	**0,069**	**0,12**	**0,22**	**0,12**	**0,11**	**0,1**	**0,08**	**0,07**	**0,07**
MAX	**0,08**	**0,13**	**0,08**	**2,86**	**7,21**	**3,8**	**0,8**	**0,31**	**0,11**	**0,1**	**0,08**	**0,08**
STDEV	**0,006**	**0,015**	**0,000**	**0,559**	**1,324**	**0,861**	**0,183**	**0,042**	**0,002**	**0,007**	**0,005**	**0,004**

Εικόνα 11: Μετρήσεις 2011-2012

2011-2012												
ΗΜΕΡΑ	Q (m3/s)											
ΜΗΝΑ	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστο
1	0,07	0,08	0,09	0,16	0,26	0,83	0,29	0,11	0,07	0,06	0,05	0,05
2	0,07	0,08	0,09	0,16	0,26	0,66	0,24	0,1	0,07	0,06	0,05	0,05
3	0,07	0,08	0,09	0,16	0,25	0,56	0,21	0,1	0,07	0,06	0,05	0,05
4	0,07	0,08	0,09	0,16	0,25	0,46	2,29	0,1	0,07	0,06	0,05	0,05
5	0,07	0,08	0,09	0,16	0,25	0,39	0,82	0,09	0,06	0,06	0,05	0,05
6	0,07	0,08	0,09	0,42	0,25	0,34	0,58	0,09	0,06	0,06	0,05	0,05
7	0,07	0,08	0,09	0,37	0,25	0,3	0,46	0,09	0,06	0,06	0,05	0,05
8	0,07	0,08	0,09	0,32	0,25	0,72	0,45	0,1	0,06	0,06	0,05	0,05
9	0,07	0,09	0,09	0,19	0,25	1,09	0,37	1,28	0,07	0,06	0,05	0,05
10	0,07	0,08	0,09	1,4	0,25	1,27	0,35	0,46	0,06	0,06	0,05	0,05
11	0,07	0,08	0,09	0,66	0,25	1,92	0,3	0,33	0,06	0,06	0,05	0,05
12	0,07	0,08	0,09	1,11	0,25	1,44	0,26	0,25	0,06	0,06	0,05	0,05
13	0,07	0,08	0,09	0,79	0,25	1,12	0,23	0,21	0,06	0,06	0,05	0,05
14	0,07	0,09	0,09	0,45	0,25	2,09	0,2	0,17	0,06	0,06	0,05	0,05
15	0,07	0,09	0,09	0,32	0,25	1,41	0,21	0,14	0,06	0,06	0,05	0,05
16	0,13	0,09	0,09	0,28	0,24	1,09	0,95	0,12	0,06	0,06	0,05	0,05
17	0,09	0,08	0,09	0,27	0,45	0,86	0,9	0,11	0,06	0,06	0,05	0,05
18	0,09	0,08	0,09	0,26	5,51	0,74	0,65	0,1	0,06	0,05	0,05	0,05
19	0,09	0,08	0,09	0,51	17,4	0,63	0,54	0,1	0,06	0,05	0,05	0,05
20	0,09	0,08	0,09	0,42	9,19	3,14	0,45	0,1	0,06	0,05	0,05	0,05
21	0,09	0,08	0,09	0,32	5,47	1,52	0,36	0,09	0,06	0,05	0,05	0,05
22	0,09	0,08	0,09	0,28	3,62	1,08	0,3	0,09	0,06	0,05	0,05	0,05
23	0,09	0,08	0,09	0,28	4,48	0,84	0,26	0,09	0,06	0,05	0,05	0,05
24	0,09	0,09	0,09	0,27	5,75	0,67	0,21	0,09	0,06	0,05	0,05	0,05
25	0,09	0,09	0,09	0,27	3,67	0,53	0,18	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05
26	0,08	0,09	0,09	0,27	4,48	0,44	0,16	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05
27	0,08	0,09	0,09	0,26	3,75	0,37	0,38	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05
28	0,08	0,09	0,09	0,26	2,58	0,36	0,23	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05
29	0,08	0,08	0,09	0,26	1,79		0,19	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05
30	0,08	0,1	0,23	0,26	1,32		0,16	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05
31		0,1		0,26	1,03		0,14		0,06		0,05	0,05
AVERAGE	**0,080**	**0,084**	**0,095**	**0,373**	**2,403**	**0,960**	**0,430**	**0,166**	**0,062**	**0,056**	**0,050**	**0,050**
MIN	**0,07**	**0,08**	**0,09**	**0,16**	**0,24**	**0,3**	**0,14**	**0,07**	**0,06**	**0,05**	**0,05**	**0,05**
MAX	**0,13**	**0,1**	**0,23**	**1,4**	**17,4**	**3,14**	**2,29**	**1,28**	**0,07**	**0,06**	**0,05**	**0,05**
STDEV	**0,013**	**0,006**	**0,026**	**0,277**	**3,634**	**0,639**	**0,407**	**0,227**	**0,004**	**0,005**	**0,000**	**0,000**

Εικόνα 12: Μετρήσεις 2012-2013

ΗΜΕΡΑ	Q (m3/s)												
ΜΗΝΑ	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστο	Σεπτέμβρι
1	0,05	0,28	0,3	0,56	0,35	1,56	0,38	0,35	0,18	0,14	0,16	0,15	0,15
2	0,05	0,28	0,3	0,54	0,34	1,32	0,47	0,35	0,17	0,14	0,16	0,15	0,15
3	0,05	0,28	0,3	0,62	0,33	1,2	1,39	0,34	0,17	0,15	0,16	0,15	0,16
4	0,05	0,28	0,3	1,74	0,33	1,19	5,91	0,34	0,17	0,18	0,16	0,15	0,19
5	0,05	0,28	0,3	1,72	0,33	1,28	2,88	0,33	0,17	0,17	0,15	0,15	0,18
6	0,05	0,28	0,3	1,06	0,33	1,31	2,66	0,33	0,16	0,17	0,16	0,15	0,18
7	0,05	0,28	0,48	0,82	0,52	1,29	2,33	0,34	0,18	0,17	0,16	0,15	0,18
8	0,11	0,28	0,34	0,67	0,44	1,39	2,04	0,33	0,18	0,17	0,16	0,15	0,18
9	0,11	0,28	0,34	0,57	0,39	1,21	1,67	0,33	0,15	0,17	0,15	0,15	0,18
10	0,09	0,28	0,33	0,5	0,37	1,12	1,38	0,32	0,15	0,17	0,16	0,15	0,18
11	0,07	0,31	0,33	0,47	0,36	0,99	1,16	0,31	0,15	0,17	0,16	0,15	0,18
12	0,05	0,31	0,33	0,45	0,36	0,89	0,99	0,31	0,15	0,16	0,16	0,15	0,18
13	0,05	0,31	0,33	0,43	0,35	0,84	0,85	0,31	0,15	0,16	0,16	0,15	0,18
14	0,05	0,31	0,55	0,42	0,35	0,81	0,75	0,32	0,15	0,15	0,16	0,15	0,18
15	0,05	0,3	1,46	0,41	0,34	0,74	0,67	0,32	0,15	0,15	0,16	0,15	0,18
16	0,35	0,31	0,38	0,4	0,36	0,68	0,62	0,31	0,15	0,16	0,16	0,15	0,18
17	0,29	0,31	0,37	0,4	0,42	0,62	0,57	0,33	0,15	0,16	0,16	0,15	0,18
18	0,28	0,31	0,37	0,4	0,4	0,57	0,51	0,3	0,15	0,16	0,16	0,15	0,18
19	0,28	0,31	0,37	0,39	0,38	0,52	0,48	0,32	0,15	0,16	0,16	0,15	0,18
20	0,28	0,3	0,37	0,39	0,37	0,48	0,45	0,31	0,15	0,16	0,16	0,15	0,18
21	0,28	0,3	1,9	0,39	0,37	0,45	0,42	0,3	0,15	0,16	0,15	0,15	0,18
22	0,28	0,3	1,5	0,38	0,38	0,42	0,4	0,3	0,14	0,16	0,15	0,15	0,18
23	0,28	0,3	1,49	0,38	0,45	0,41	0,4	0,29	0,14	0,16	0,15	0,15	0,18
24	0,28	0,3	0,92	0,38	0,42	0,39	0,38	0,28	0,14	0,16	0,16	0,15	0,17
25	0,28	0,3	2,94	0,37	0,55	0,38	0,38	0,23	0,14	0,16	0,16	0,15	0,17
26	0,28	0,3	2,03	0,37	12,75	0,37	0,38	0,2	0,14	0,16	0,15	0,15	0,18
27	0,28	0,3	2,09	0,37	6,98	0,36	0,38	0,19	0,14	0,16	0,15	0,15	0,18
28	0,28	0,3	1,3	0,41	2,73	0,36	0,37	0,19	0,14	0,15	0,15	0,15	0,18
29	0,28	0,3	0,86	0,37	2,74		0,37	0,18	0,14	0,15	0,15	0,15	0,18
30	0,28	0,3	0,67	0,36	2,9		0,37	0,18	0,14	0,16	0,15	0,15	0,18
31		0,3		0,35	1,94		0,35		0,14		0,15	0,15	
AVERAGE	**0,174**	**0,296**	**0,795**	**0,551**	**1,278**	**0,827**	**1,044**	**0,295**	**0,153**	**0,160**	**0,156**	**0,150**	**0,177**
MIN	**0,05**	**0,28**	**0,3**	**0,35**	**0,33**	**0,36**	**0,35**	**0,18**	**0,14**	**0,14**	**0,15**	**0,15**	**0,15**
MAX	**0,35**	**0,31**	**2,94**	**1,74**	**12,75**	**1,39**	**5,91**	**0,35**	**0,18**	**0,18**	**0,16**	**0,15**	**0,19**
STDEV	**0,115**	**0,012**	**0,714**	**0,355**	**2,564**	**0,372**	**1,170**	**0,054**	**0,012**	**0,008**	**0,005**	**0,000**	**0,007**

Εικόνα 13: Μετρήσεις 2013-2014

Τμήμα αγωγού	Μήκος (m)	Εξωτερική Διάμετρος (m)	Πάχος (mm)	Εσωτερική Διάμετρος (m)	λ	ταχύτητα (m/s)	u2/2g	Re>2300	Γραμμικές απώλειες (m)	Q (m^3/sec)	τραχύτητα 0,05 (mm)	e/d	v (m2/sec)
E-1	13,91	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,813	0,091	1,00	0,05	0,071429	1,01E-06
1-2	23,35	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,813	0,153				
2-3	22,15	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,813	0,145				
3-4	40,28	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,813	0,264				
4-5	23,49	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,813	0,154				
5-6	18,03	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,813	0,118				
6-7	5,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,813	0,037				
7-8	6,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,813	0,040				
8-9	4,81	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,813	0,031				
9-10	13,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,813	0,089				
10-11	10,02	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,813	0,066				
11-12	8,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,813	0,053				
12-13	14,83	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,813	0,097				
13-14	14,07	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,813	0,092				
14-15	13,64	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,813	0,089				
15-16	43,86	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,813	0,287				
16-17	8,42	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,813	0,055				
17-18	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,813	0,074				
18-19	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,813	0,074				
19-20	18,58	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,813	0,122				
20-21	13,99	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,813	0,092				
21-22	34,98	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,813	0,229				
22-23	38,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,813	0,255				
23-Σ	71,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,60	0,344	1804477,813	0,471				
Σύνολο									3,176				

Εικόνα 14: Απώλειες συστήματος Q=1 m^3/sec

Τμήμα αγωγού	Μήκος (m)	Εξωτερική Διάμετρος (m)	Πάχος (mm)	Εσωτερική Διάμετρος (m)	λ	ταχύτητα (m/s)	u2/2g	Re>2300	Γραμμικές απώλειες (m)	Q (m^3/sec)	τραχύτητα 0,05 (mm)	e/d	v (m2/sec)
E-1	13,91	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,339	0,2787	1624030,032	0,0738	0,90	0,05	0,071429	1,0E-06
1-2	23,35	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,339	0,2787	1624030,032	0,1239				
2-3	22,15	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,339	0,2787	1624030,032	0,1175				
3-4	40,28	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,339	0,2787	1624030,032	0,2137				
4-5	23,49	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,339	0,2787	1624030,032	0,1246				
5-6	18,03	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,339	0,2787	1624030,032	0,0956				
6-7	5,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,339	0,2787	1624030,032	0,0298				
7-8	6,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,339	0,2787	1624030,032	0,0321				
8-9	4,81	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,339	0,2787	1624030,032	0,0255				
9-10	13,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,339	0,2787	1624030,032	0,0722				
10-11	10,02	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,339	0,2787	1624030,032	0,0531				
11-12	8,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,339	0,2787	1624030,032	0,0428				
12-13	14,83	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,339	0,2787	1624030,032	0,0787				
13-14	14,07	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,339	0,2787	1624030,032	0,0746				
14-15	13,64	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,339	0,2787	1624030,032	0,0723				
15-16	43,86	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,339	0,2787	1624030,032	0,2326				
16-17	8,42	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,339	0,2787	1624030,032	0,0447				
17-18	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,339	0,2787	1624030,032	0,0597				
18-19	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,339	0,2787	1624030,032	0,0597				
19-20	18,58	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,339	0,2787	1624030,032	0,0986				
20-21	13,99	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,339	0,2787	1624030,032	0,0742				
21-22	34,98	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,339	0,2787	1624030,032	0,1855				
22-23	38,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,339	0,2787	1624030,032	0,2062				
23-Σ	71,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,339	0,2787	1624030,032	0,3812				
Σύνολο									2,573				

Εικόνα 15: Απώλειες συστήματος Q=0,9 m^3/sec

Τμήμα αγωγού	Μήκος (m)	Εξωτερική Διάμετρος (m)	Πάχος (mm)	Εσωτερική Διάμετρος (m)	λ	ταχύτητα (m/s)	u2/2g	Re>2300	Γραμμικές απώλειες (m)	Q (m^3/sec)	τραχύτητα 0,05 (mm)	e/d	v (m2/sec)
Ε-1	13,91	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,079	0,220	1443582,25	0,058	0,80	0,05	0,071429	1,008E-06
1-Φεβ	23,35	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,079	0,220	1443582,250	0,098				
2-Μαρ	22,15	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,079	0,220	1443582,250	0,093				
3-Απρ	40,28	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,079	0,220	1443582,250	0,169				
4-Μαϊ	23,49	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,079	0,220	1443582,250	0,098				
5-Ιουν	18,03	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,079	0,220	1443582,250	0,076				
6-Ιουλ	5,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,079	0,220	1443582,250	0,024				
7-Αυγ	6,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,079	0,220	1443582,250	0,025				
8-Σεπ	4,81	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,079	0,220	1443582,250	0,020				
9-Οκτ	13,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,079	0,220	1443582,250	0,057				
10-Νοε	10,02	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,079	0,220	1443582,250	0,042				
11-Δεκ	8,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,079	0,220	1443582,250	0,034				
Δεκ-13	14,83	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,079	0,220	1443582,250	0,062				
13-14	14,07	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,079	0,220	1443582,250	0,059				
14-15	13,64	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,079	0,220	1443582,250	0,057				
15-16	43,86	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,079	0,220	1443582,250	0,184				
16-17	8,42	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,079	0,220	1443582,250	0,035				
17-18	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,079	0,220	1443582,250	0,047				
18-19	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,079	0,220	1443582,250	0,047				
19-20	18,58	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,079	0,220	1443582,250	0,078				
20-21	13,99	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,079	0,220	1443582,250	0,059				
21-22	34,98	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,079	0,220	1443582,250	0,147				
22-23	38,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,079	0,220	1443582,250	0,163				
23-Σ	71,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	2,079	0,220	1443582,250	0,301				
Σύνολο									2,033				

Εικόνα 16: Απώλειες συστήματος Q=0,8 m^3/sec

Τμήμα αγωγού	Μήκος (m)	Εξωτερική Διάμετρος (m)	Πάχος (mm)	Εσωτερική Διάμετρος (m)	λ	ταχύτητα (m/s)	u2/2g	Re>2300	Γραμμικές απώλειες (m)	Q (m^3/sec)	τραχύτητα 0,05 (mm)	e/d	v (m2/sec)
Ε-1	13,91	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,819	0,169	1263134,469	0,045	0,70	0,05	0,071429	1,008E-06
1-2	23,35	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,819	0,169	1263134,469	0,075				
2-3	22,15	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,819	0,169	1263134,469	0,071				
3-4	40,28	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,819	0,169	1263134,469	0,129				
4-5	23,49	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,819	0,169	1263134,469	0,075				
5-6	18,03	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,819	0,169	1263134,469	0,058				
6-7	5,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,819	0,169	1263134,469	0,018				
7-8	6,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,819	0,169	1263134,469	0,019				
8-9	4,81	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,819	0,169	1263134,469	0,015				
9-10	13,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,819	0,169	1263134,469	0,044				
10-11	10,02	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,819	0,169	1263134,469	0,032				
11-12	8,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,819	0,169	1263134,469	0,026				
12-13	14,83	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,819	0,169	1263134,469	0,048				
13-14	14,07	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,819	0,169	1263134,469	0,045				
14-15	13,64	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,819	0,169	1263134,469	0,044				
15-16	43,86	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,819	0,169	1263134,469	0,141				
16-17	8,42	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,819	0,169	1263134,469	0,027				
17-18	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,819	0,169	1263134,469	0,036				
18-19	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,819	0,169	1263134,469	0,036				
19-20	18,58	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,819	0,169	1263134,469	0,060				
20-21	13,99	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,819	0,169	1263134,469	0,045				
21-22	34,98	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,819	0,169	1263134,469	0,112				
22-23	38,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,819	0,169	1263134,469	0,125				
23-Σ	71,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,819	0,169	1263134,469	0,231				
Σύνολο									1,556				

Εικόνα 17: Απώλειες συστήματος Q=0,7 m^3/sec

Τμήμα αγωγού	Μήκος (m)	Εξωτερική Διάμετρος (m)	Πάχος (mm)	Εσωτερική Διάμετρος (m)	λ	ταχύτητα (m/s)	u2/2g	Re>2300	Γραμμικές απώλειες (m)	Q (m^3/sec)	τραχύτητα 0,05 (mm)	e/d	v (m2/sec)
E-1	13,91	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,559	0,124	1082686,688	0,033	0,60	0,05	0,071429	1,008E-06
1-2	23,35	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,559	0,124	1082686,688	0,055				
2-3	22,15	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,559	0,124	1082686,688	0,052				
3-4	40,28	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,559	0,124	1082686,688	0,095				
4-5	23,49	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,559	0,124	1082686,688	0,055				
5-6	18,03	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,559	0,124	1082686,688	0,043				
6-7	5,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,559	0,124	1082686,688	0,013				
7-8	6,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,559	0,124	1082686,688	0,014				
8-9	4,81	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,559	0,124	1082686,688	0,011				
9-10	13,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,559	0,124	1082686,688	0,032				
10-11	10,02	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,559	0,124	1082686,688	0,024				
11-12	8,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,559	0,124	1082686,688	0,019				
12-13	14,83	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,559	0,124	1082686,688	0,035				
13-14	14,07	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,559	0,124	1082686,688	0,033				
14-15	13,64	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,559	0,124	1082686,688	0,032				
15-16	43,86	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,559	0,124	1082686,688	0,103				
16-17	8,42	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,559	0,124	1082686,688	0,020				
17-18	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,559	0,124	1082686,688	0,027				
18-19	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,559	0,124	1082686,688	0,027				
19-20	18,58	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,559	0,124	1082686,688	0,044				
20-21	13,99	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,559	0,124	1082686,688	0,033				
21-22	34,98	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,559	0,124	1082686,688	0,082				
22-23	38,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,559	0,124	1082686,688	0,092				
23-Σ	71,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,559	0,124	1082686,688	0,169				
Σύνολο									1,143				

Εικόνα 18: Απώλειες συστήματος Q=0,6 m^3/sec

Τμήμα αγωγού	Μήκος (m)	Εξωτερική Διάμετρος (m)	Πάχος (mm)	Εσωτερική Διάμετρος (m)	λ	ταχύτητα (m/s)	u2/2g	Re>2300	Γραμμικές απώλειες (m)	Q (m^3/sec)	τραχύτητα 0,05 (mm)	e/d	v (m2/sec)
E-1	13,91	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,299	0,086	902238,9064	0,023	0,50	0,05	0,071429	1,008E-06
1-2	23,35	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,299	0,086	902238,906	0,038				
2-3	22,15	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,299	0,086	902238,906	0,036				
3-4	40,28	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,299	0,086	902238,906	0,066				
4-5	23,49	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,299	0,086	902238,906	0,038				
5-6	18,03	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,299	0,086	902238,906	0,030				
6-7	5,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,299	0,086	902238,906	0,009				
7-8	6,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,299	0,086	902238,906	0,010				
8-9	4,81	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,299	0,086	902238,906	0,008				
9-10	13,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,299	0,086	902238,906	0,022				
10-11	10,02	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,299	0,086	902238,906	0,016				
11-12	8,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,299	0,086	902238,906	0,013				
12-13	14,83	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,299	0,086	902238,906	0,024				
13-14	14,07	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,299	0,086	902238,906	0,023				
14-15	13,64	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,299	0,086	902238,906	0,022				
15-16	43,86	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,299	0,086	902238,906	0,072				
16-17	8,42	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,299	0,086	902238,906	0,014				
17-18	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,299	0,086	902238,906	0,018				
18-19	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,299	0,086	902238,906	0,018				
19-20	18,58	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,299	0,086	902238,906	0,030				
20-21	13,99	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,299	0,086	902238,906	0,023				
21-22	34,98	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,299	0,086	902238,906	0,057				
22-23	38,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,299	0,086	902238,906	0,064				
23-Σ	71,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,299	0,086	902238,906	0,118				
Σύνολο									0,794				

Εικόνα 19: Απώλειες συστήματος Q=0,5 m^3/sec

Τμήμα αγωγού	Μήκος (m)	Εξωτερική Διάμετρος (m)	Πάχος (mm)	Εσωτερική Διάμετρος (m)	λ	ταχύτητα (m/s)	u2/2g	Re>2300	Γραμμικές απώλειες (m)	Q (m^3/sec)	τραχύτητα 0,05 (mm)	e/d	v (m2/sec)
Ε-1	13,91	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,039	0,055	721791,1251	0,015	0,40	0,05	0,071429	1,008E-06
1-2	23,35	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,039	0,055	721791,125	0,024				
2-3	22,15	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,039	0,055	721791,125	0,023				
3-4	40,28	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,039	0,055	721791,125	0,042				
4-5	23,49	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,039	0,055	721791,125	0,025				
5-6	18,03	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,039	0,055	721791,125	0,019				
6-7	5,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,039	0,055	721791,125	0,006				
7-8	6,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,039	0,055	721791,125	0,006				
8-9	4,81	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,039	0,055	721791,125	0,005				
9-10	13,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,039	0,055	721791,125	0,014				
10-11	10,02	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,039	0,055	721791,125	0,010				
11-12	8,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,039	0,055	721791,125	0,008				
12-13	14,83	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,039	0,055	721791,125	0,016				
13-14	14,07	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,039	0,055	721791,125	0,015				
14-15	13,64	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,039	0,055	721791,125	0,014				
15-16	43,86	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,039	0,055	721791,125	0,046				
16-17	8,42	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,039	0,055	721791,125	0,009				
17-18	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,039	0,055	721791,125	0,012				
18-19	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,039	0,055	721791,125	0,012				
19-20	18,58	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,039	0,055	721791,125	0,019				
20-21	13,99	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,039	0,055	721791,125	0,015				
21-22	34,98	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,039	0,055	721791,125	0,037				
22-23	38,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,039	0,055	721791,125	0,041				
23-Σ	71,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	1,039	0,055	721791,125	0,075				
Σύνολο									0,508				

Εικόνα 20: Απώλειες συστήματος Q=0,4 m^3/sec

Τμήμα αγωγού	Μήκος (m)	Εξωτερική Διάμετρος (m)	Πάχος (mm)	Εσωτερική Διάμετρος (m)	λ	ταχύτητα (m/s)	u2/2g	Re>2300	Γραμμικές απώλειες (m)	Q (m^3/sec)	τραχύτητα 0,05 (mm)	e/d	v (m2/sec)
Ε-1	13,91	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,780	0,031	541343,3438	0,008	0,30	0,05	0,071429	1,008E-06
1-2	23,35	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,780	0,031	541343,344	0,014				
2-3	22,15	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,780	0,031	541343,344	0,013				
3-4	40,28	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,780	0,031	541343,344	0,024				
4-5	23,49	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,780	0,031	541343,344	0,014				
5-6	18,03	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,780	0,031	541343,344	0,011				
6-7	5,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,780	0,031	541343,344	0,003				
7-8	6,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,780	0,031	541343,344	0,004				
8-9	4,81	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,780	0,031	541343,344	0,003				
9-10	13,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,780	0,031	541343,344	0,008				
10-11	10,02	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,780	0,031	541343,344	0,006				
11-12	8,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,780	0,031	541343,344	0,005				
12-13	14,83	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,780	0,031	541343,344	0,009				
13-14	14,07	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,780	0,031	541343,344	0,008				
14-15	13,64	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,780	0,031	541343,344	0,008				
15-16	43,86	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,780	0,031	541343,344	0,026				
16-17	8,42	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,780	0,031	541343,344	0,005				
17-18	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,780	0,031	541343,344	0,007				
18-19	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,780	0,031	541343,344	0,007				
19-20	18,58	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,780	0,031	541343,344	0,011				
20-21	13,99	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,780	0,031	541343,344	0,008				
21-22	34,98	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,780	0,031	541343,344	0,021				
22-23	38,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,780	0,031	541343,344	0,023				
23-Σ	71,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,780	0,031	541343,344	0,042				
Σύνολο									0,286				

Εικόνα 21: Απώλειες συστήματος Q=0,3 m^3/sec

Τμήμα αγωγού	Μήκος (m)	Εξωτερική Διάμετρος (m)	Πάχος (mm)	Εσωτερική Διάμετρος (m)	λ	ταχύτητα (m/s)	u2/2g	Re>2300	Γραμμικές απώλειες (m)	Q (m^3/sec)	τραχύτητα 0,05 (mm)	e/d	v (m2/sec)
Ε-1	13,91	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,520	0,014	360895,5626	0,004	0,20	0,05	0,071429	1,008E-06
1-2	23,35	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,520	0,014	360895,563	0,006				
2-3	22,15	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,520	0,014	360895,563	0,006				
3-4	40,28	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,520	0,014	360895,563	0,011				
4-5	23,49	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,520	0,014	360895,563	0,006				
5-6	18,03	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,520	0,014	360895,563	0,005				
6-7	5,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,520	0,014	360895,563	0,001				
7-8	6,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,520	0,014	360895,563	0,002				
8-9	4,81	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,520	0,014	360895,563	0,001				
9-10	13,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,520	0,014	360895,563	0,004				
10-11	10,02	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,520	0,014	360895,563	0,003				
11-12	8,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,520	0,014	360895,563	0,002				
12-13	14,83	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,520	0,014	360895,563	0,004				
13-14	14,07	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,520	0,014	360895,563	0,004				
14-15	13,64	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,520	0,014	360895,563	0,004				
15-16	43,86	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,520	0,014	360895,563	0,011				
16-17	8,42	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,520	0,014	360895,563	0,002				
17-18	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,520	0,014	360895,563	0,003				
18-19	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,520	0,014	360895,563	0,003				
19-20	18,58	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,520	0,014	360895,563	0,005				
20-21	13,99	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,520	0,014	360895,563	0,004				
21-22	34,98	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,520	0,014	360895,563	0,009				
22-23	38,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,520	0,014	360895,563	0,010				
23-Σ	71,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,520	0,014	360895,563	0,019				
Σύνολο									0,127				

Εικόνα 22: Απώλειες συστήματος Q=0,2 m^3/sec

Τμήμα αγωγού	Μήκος (m)	Εξωτερική Διάμετρος (m)	Πάχος (mm)	Εσωτερική Διάμετρος (m)	λ	ταχύτητα (m/s)	u2/2g	Re>2300	Γραμμικές απώλειες (m)	Q (m^3/sec)	τραχύτητα 0,05 (mm)	e/d	v (m2/sec)
Ε-1	13,91	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,260	0,0034	180447,781	0,001	0,10	0,05	0,071429	1,008E-06
1-2	23,35	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,260	0,0034	180447,781	0,002				
2-3	22,15	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,260	0,0034	180447,781	0,001				
3-4	40,28	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,260	0,0034	180447,781	0,003				
4-5	23,49	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,260	0,0034	180447,781	0,002				
5-6	18,03	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,260	0,0034	180447,781	0,001				
6-7	5,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,260	0,0034	180447,781	0,000				
7-8	6,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,260	0,0034	180447,781	0,000				
8-9	4,81	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,260	0,0034	180447,781	0,000				
9-10	13,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,260	0,0034	180447,781	0,001				
10-11	10,02	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,260	0,0034	180447,781	0,001				
11-12	8,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,260	0,0034	180447,781	0,001				
12-13	14,83	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,260	0,0034	180447,781	0,001				
13-14	14,07	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,260	0,0034	180447,781	0,001				
14-15	13,64	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,260	0,0034	180447,781	0,001				
15-16	43,86	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,260	0,0034	180447,781	0,003				
16-17	8,42	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,260	0,0034	180447,781	0,001				
17-18	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,260	0,0034	180447,781	0,001				
18-19	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,260	0,0034	180447,781	0,001				
19-20	18,58	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,260	0,0034	180447,781	0,001				
20-21	13,99	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,260	0,0034	180447,781	0,001				
21-22	34,98	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,260	0,0034	180447,781	0,002				
22-23	38,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,260	0,0034	180447,781	0,003				
23-Σ	71,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,260	0,0034	180447,781	0,005				
Σύνολο									0,032				

Εικόνα 23: Απώλειες συστήματος Q=0,1 m^3/sec

Τμήμα αγωγού	Μήκος (m)	Εξωτερική Διάμετρος (m)	Πάχος (mm)	Εσωτερική Διάμετρος (m)	λ	ταχύτητα (m/s)	u2/2g	Re>2300	Γραμμικές απώλειες (m)	Q (m^3/sec)	τραχύτητα 0,05 (mm)	e/d	v (m2/sec)
E-1	13,91	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,234	0,0028	162403,003	0,001	0,09	0,05	0,071429	1,008E-06
1-2	23,35	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,234	0,0028	162403,003	0,001				
2-3	22,15	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,234	0,0028	162403,003	0,001				
3-4	40,28	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,234	0,0028	162403,003	0,002				
4-5	23,49	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,234	0,0028	162403,003	0,001				
5-6	18,03	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,234	0,0028	162403,003	0,001				
6-7	5,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,234	0,0028	162403,003	0,000				
7-8	6,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,234	0,0028	162403,003	0,000				
8-9	4,81	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,234	0,0028	162403,003	0,000				
9-10	13,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,234	0,0028	162403,003	0,001				
10-11	10,02	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,234	0,0028	162403,003	0,001				
11-12	8,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,234	0,0028	162403,003	0,000				
12-13	14,83	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,234	0,0028	162403,003	0,001				
13-14	14,07	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,234	0,0028	162403,003	0,001				
14-15	13,64	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,234	0,0028	162403,003	0,001				
15-16	43,86	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,234	0,0028	162403,003	0,002				
16-17	8,42	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,234	0,0028	162403,003	0,000				
17-18	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,234	0,0028	162403,003	0,001				
18-19	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,234	0,0028	162403,003	0,001				
19-20	18,58	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,234	0,0028	162403,003	0,001				
20-21	13,99	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,234	0,0028	162403,003	0,001				
21-22	34,98	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,234	0,0028	162403,003	0,002				
22-23	38,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,234	0,0028	162403,003	0,002				
23-Σ	71,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,234	0,0028	162403,003	0,004				
Σύνολο									0,026				

Εικόνα 24: Απώλειες συστήματος Q=0,09 m^3/sec

Τμήμα αγωγού	Μήκος (m)	Εξωτερική Διάμετρος (m)	Πάχος (mm)	Εσωτερική Διάμετρος (m)	λ	ταχύτητα (m/s)	u2/2g	Re>2300	Γραμμικές απώλειες (m)	Q (m^3/sec)	τραχύτητα 0,05 (mm)	e/d	v (m2/sec)
E-1	13,91	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,208	0,0022	144358,225	0,001	0,08	0,05	0,071429	1,008E-06
1-2	23,35	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,208	0,0022	144358,225	0,001				
2-3	22,15	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,208	0,0022	144358,225	0,001				
3-4	40,28	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,208	0,0022	144358,225	0,002				
4-5	23,49	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,208	0,0022	144358,225	0,001				
5-6	18,03	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,208	0,0022	144358,225	0,001				
6-7	5,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,208	0,0022	144358,225	0,000				
7-8	6,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,208	0,0022	144358,225	0,000				
8-9	4,81	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,208	0,0022	144358,225	0,000				
9-10	13,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,208	0,0022	144358,225	0,001				
10-11	10,02	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,208	0,0022	144358,225	0,000				
11-12	8,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,208	0,0022	144358,225	0,000				
12-13	14,83	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,208	0,0022	144358,225	0,001				
13-14	14,07	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,208	0,0022	144358,225	0,001				
14-15	13,64	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,208	0,0022	144358,225	0,001				
15-16	43,86	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,208	0,0022	144358,225	0,002				
16-17	8,42	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,208	0,0022	144358,225	0,000				
17-18	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,208	0,0022	144358,225	0,000				
18-19	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,208	0,0022	144358,225	0,000				
19-20	18,58	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,208	0,0022	144358,225	0,001				
20-21	13,99	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,208	0,0022	144358,225	0,001				
21-22	34,98	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,208	0,0022	144358,225	0,001				
22-23	38,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,208	0,0022	144358,225	0,002				
23-Σ	71,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,208	0,0022	144358,225	0,003				
Σύνολο									0,020				

Εικόνα 25: Απώλειες συστήματος Q=0,08 m^3/sec

Τμήμα αγωγού	Μήκος (m)	Εξωτερική Διάμετρος (m)	Πάχος (mm)	Εσωτερική Διάμετρος (m)	λ	ταχύτητα (m/s)	u2/2g	Re>2300	Γραμμικές απώλειες (m)	Q (m^3/sec)	τραχύτητα 0,05 (mm)	e/d	v (m2/sec)
Ε-1	13,91	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,182	0,0017	126313,447	0,000	0,07	0,05	0,071429	1,008E-06
1-2	23,35	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,182	0,0017	126313,447	0,001				
2-3	22,15	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,182	0,0017	126313,447	0,001				
3-4	40,28	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,182	0,0017	126313,447	0,001				
4-5	23,49	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,182	0,0017	126313,447	0,001				
5-6	18,03	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,182	0,0017	126313,447	0,001				
6-7	5,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,182	0,0017	126313,447	0,000				
7-8	6,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,182	0,0017	126313,447	0,000				
8-9	4,81	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,182	0,0017	126313,447	0,000				
9-10	13,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,182	0,0017	126313,447	0,000				
10-11	10,02	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,182	0,0017	126313,447	0,000				
11-12	8,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,182	0,0017	126313,447	0,000				
12-13	14,83	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,182	0,0017	126313,447	0,000				
13-14	14,07	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,182	0,0017	126313,447	0,000				
14-15	13,64	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,182	0,0017	126313,447	0,000				
15-16	43,86	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,182	0,0017	126313,447	0,001				
16-17	8,42	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,182	0,0017	126313,447	0,000				
17-18	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,182	0,0017	126313,447	0,000				
18-19	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,182	0,0017	126313,447	0,000				
19-20	18,58	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,182	0,0017	126313,447	0,001				
20-21	13,99	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,182	0,0017	126313,447	0,000				
21-22	34,98	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,182	0,0017	126313,447	0,001				
22-23	38,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,182	0,0017	126313,447	0,001				
23-Σ	71,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,182	0,0017	126313,447	0,002				
Σύνολο									0,016				

Εικόνα 26: Απώλειες συστήματος Q=0,07 m^3/sec

Τμήμα αγωγού	Μήκος (m)	Εξωτερική Διάμετρος (m)	Πάχος (mm)	Εσωτερική Διάμετρος (m)	λ	ταχύτητα (m/s)	u2/2g	Re>2300	Γραμμικές απώλειες (m)	Q (m^3/sec)	τραχύτητα 0,05 (mm)	e/d	v (m2/sec)
Ε-1	13,91	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,156	0,0012	108268,669	0,000	0,06	0,05	0,071429	1,008E-06
1-2	23,35	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,156	0,0012	108268,669	0,001				
2-3	22,15	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,156	0,0012	108268,669	0,001				
3-4	40,28	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,156	0,0012	108268,669	0,001				
4-5	23,49	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,156	0,0012	108268,669	0,001				
5-6	18,03	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,156	0,0012	108268,669	0,000				
6-7	5,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,156	0,0012	108268,669	0,000				
7-8	6,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,156	0,0012	108268,669	0,000				
8-9	4,81	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,156	0,0012	108268,669	0,000				
9-10	13,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,156	0,0012	108268,669	0,000				
10-11	10,02	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,156	0,0012	108268,669	0,000				
11-12	8,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,156	0,0012	108268,669	0,000				
12-13	14,83	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,156	0,0012	108268,669	0,000				
13-14	14,07	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,156	0,0012	108268,669	0,000				
14-15	13,64	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,156	0,0012	108268,669	0,000				
15-16	43,86	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,156	0,0012	108268,669	0,001				
16-17	8,42	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,156	0,0012	108268,669	0,000				
17-18	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,156	0,0012	108268,669	0,000				
18-19	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,156	0,0012	108268,669	0,000				
19-20	18,58	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,156	0,0012	108268,669	0,000				
20-21	13,99	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,156	0,0012	108268,669	0,000				
21-22	34,98	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,156	0,0012	108268,669	0,001				
22-23	38,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,156	0,0012	108268,669	0,001				
23-Σ	71,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,156	0,0012	108268,669	0,002				
Σύνολο									0,011				

Εικόνα 27: Απώλειες συστήματος Q=0,06 m^3/sec

Τμήμα αγωγού	Μήκος (m)	Εξωτερική Διάμετρος (m)	Πάχος (mm)	Εσωτερική Διάμετρος (m)	λ	ταχύτητα (m/s)	u2/2g	Re>2300	Γραμμικές απώλειες (m)	Q (m^3/sec)	τραχύτητα 0,05 (mm)	e/d	v (m2/sec)
Ε-1	13,91	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,130	0,0009	90223,891	0,000	0,05	0,05	0,071429	1,008E-06
1-2	23,35	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,130	0,0009	90223,891	0,000				
2-3	22,15	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,130	0,0009	90223,891	0,000				
3-4	40,28	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,130	0,0009	90223,891	0,001				
4-5	23,49	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,130	0,0009	90223,891	0,000				
5-6	18,03	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,130	0,0009	90223,891	0,000				
6-7	5,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,130	0,0009	90223,891	0,000				
7-8	6,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,130	0,0009	90223,891	0,000				
8-9	4,81	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,130	0,0009	90223,891	0,000				
9-10	13,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,130	0,0009	90223,891	0,000				
10-11	10,02	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,130	0,0009	90223,891	0,000				
11-12	8,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,130	0,0009	90223,891	0,000				
12-13	14,83	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,130	0,0009	90223,891	0,000				
13-14	14,07	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,130	0,0009	90223,891	0,000				
14-15	13,64	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,130	0,0009	90223,891	0,000				
15-16	43,86	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,130	0,0009	90223,891	0,001				
16-17	8,42	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,130	0,0009	90223,891	0,000				
17-18	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,130	0,0009	90223,891	0,000				
18-19	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,130	0,0009	90223,891	0,000				
19-20	18,58	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,130	0,0009	90223,891	0,000				
20-21	13,99	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,130	0,0009	90223,891	0,000				
21-22	34,98	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,130	0,0009	90223,891	0,001				
22-23	38,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,130	0,0009	90223,891	0,001				
23-Σ	71,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,130	0,0009	90223,891	0,001				
Σύνολο									0,008				

Εικόνα 28: Απώλειες συστήματος Q=0,05 m^3/sec

Τμήμα αγωγού	Μήκος (m)	Εξωτερική Διάμετρος (m)	Πάχος (mm)	Εσωτερική Διάμετρος (m)	λ	ταχύτητα (m/s)	u2/2g	Re>2300	Γραμμικές απώλειες (m)	Q (m^3/sec)	τραχύτητα 0,05 (mm)	e/d	v (m2/sec)
Ε-1	13,91	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,104	0,0006	72179,113	0,000	0,04	0,05	0,071429	1,008E-06
1-2	23,35	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,104	0,0006	72179,113	0,000				
2-3	22,15	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,104	0,0006	72179,113	0,000				
3-4	40,28	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,104	0,0006	72179,113	0,000				
4-5	23,49	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,104	0,0006	72179,113	0,000				
5-6	18,03	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,104	0,0006	72179,113	0,000				
6-7	5,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,104	0,0006	72179,113	0,000				
7-8	6,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,104	0,0006	72179,113	0,000				
8-9	4,81	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,104	0,0006	72179,113	0,000				
9-10	13,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,104	0,0006	72179,113	0,000				
10-11	10,02	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,104	0,0006	72179,113	0,000				
11-12	8,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,104	0,0006	72179,113	0,000				
12-13	14,83	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,104	0,0006	72179,113	0,000				
13-14	14,07	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,104	0,0006	72179,113	0,000				
14-15	13,64	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,104	0,0006	72179,113	0,000				
15-16	43,86	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,104	0,0006	72179,113	0,000				
16-17	8,42	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,104	0,0006	72179,113	0,000				
17-18	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,104	0,0006	72179,113	0,000				
18-19	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,104	0,0006	72179,113	0,000				
19-20	18,58	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,104	0,0006	72179,113	0,000				
20-21	13,99	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,104	0,0006	72179,113	0,000				
21-22	34,98	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,104	0,0006	72179,113	0,000				
22-23	38,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,104	0,0006	72179,113	0,000				
23-Σ	71,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,104	0,0006	72179,113	0,001				
Σύνολο									0,005				

Εικόνα 29: Απώλειες συστήματος Q=0,04 m^3/sec

Τμήμα αγωγού	Μήκος (m)	Εξωτερική Διάμετρος (m)	Πάχος (mm)	Εσωτερική Διάμετρος (m)	λ	ταχύτητα (m/s)	u2/2g	Re>2300	Γραμμικές απώλειες (m)	Q (m^3/sec)	τραχύτητα 0,05 (mm)	e/d	v (m2/sec)
Ε-1	13,91	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,078	0,0003	54134,334	0,000	0,03	0,05	0,071429	1,008E-06
1-2	23,35	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,078	0,0003	54134,334	0,000				
2-3	22,15	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,078	0,0003	54134,334	0,000				
3-4	40,28	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,078	0,0003	54134,334	0,000				
4-5	23,49	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,078	0,0003	54134,334	0,000				
5-6	18,03	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,078	0,0003	54134,334	0,000				
6-7	5,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,078	0,0003	54134,334	0,000				
7-8	6,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,078	0,0003	54134,334	0,000				
8-9	4,81	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,078	0,0003	54134,334	0,000				
9-10	13,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,078	0,0003	54134,334	0,000				
10-11	10,02	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,078	0,0003	54134,334	0,000				
11-12	8,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,078	0,0003	54134,334	0,000				
12-13	14,83	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,078	0,0003	54134,334	0,000				
13-14	14,07	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,078	0,0003	54134,334	0,000				
14-15	13,64	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,078	0,0003	54134,334	0,000				
15-16	43,86	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,078	0,0003	54134,334	0,000				
16-17	8,42	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,078	0,0003	54134,334	0,000				
17-18	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,078	0,0003	54134,334	0,000				
18-19	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,078	0,0003	54134,334	0,000				
19-20	18,58	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,078	0,0003	54134,334	0,000				
20-21	13,99	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,078	0,0003	54134,334	0,000				
21-22	34,98	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,078	0,0003	54134,334	0,000				
22-23	38,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,078	0,0003	54134,334	0,000				
23-Σ	71,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,078	0,0003	54134,334	0,000				
Σύνολο									0,003				

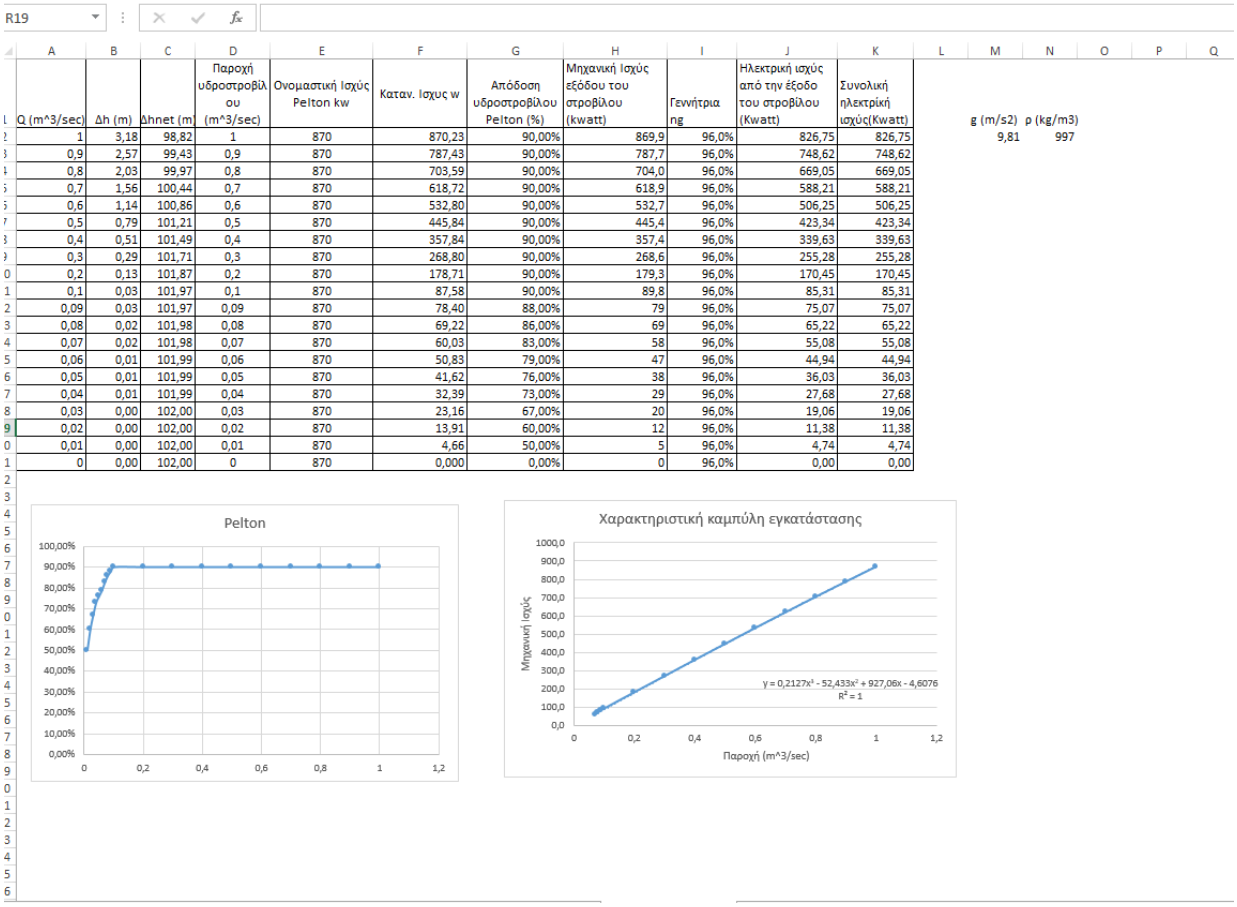
Εικόνα 30: Απώλειες συστήματος Q=0,03 m^3/sec

Τμήμα αγωγού	Μήκος (m)	Εξωτερική Διάμετρος (m)	Πάχος (mm)	Εσωτερική Διάμετρος (m)	λ	ταχύτητα (m/s)	u2/2g	Re>2300	Γραμμικές απώλειες (m)	Q (m^3/sec)	τραχύτητα 0,05 (mm)	e/d	v (m2/sec)
Ε-1	13,91	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,052	0,0001	36089,556	0,000	0,02	0,05	0,071429	1,008E-06
1-2	23,35	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,052	0,0001	36089,556	0,000				
2-3	22,15	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,052	0,0001	36089,556	0,000				
3-4	40,28	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,052	0,0001	36089,556	0,000				
4-5	23,49	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,052	0,0001	36089,556	0,000				
5-6	18,03	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,052	0,0001	36089,556	0,000				
6-7	5,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,052	0,0001	36089,556	0,000				
7-8	6,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,052	0,0001	36089,556	0,000				
8-9	4,81	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,052	0,0001	36089,556	0,000				
9-10	13,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,052	0,0001	36089,556	0,000				
10-11	10,02	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,052	0,0001	36089,556	0,000				
11-12	8,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,052	0,0001	36089,556	0,000				
12-13	14,83	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,052	0,0001	36089,556	0,000				
13-14	14,07	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,052	0,0001	36089,556	0,000				
14-15	13,64	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,052	0,0001	36089,556	0,000				
15-16	43,86	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,052	0,0001	36089,556	0,000				
16-17	8,42	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,052	0,0001	36089,556	0,000				
17-18	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,052	0,0001	36089,556	0,000				
18-19	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,052	0,0001	36089,556	0,000				
19-20	18,58	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,052	0,0001	36089,556	0,000				
20-21	13,99	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,052	0,0001	36089,556	0,000				
21-22	34,98	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,052	0,0001	36089,556	0,000				
22-23	38,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,052	0,0001	36089,556	0,000				
23-Σ	71,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,052	0,0001	36089,556	0,000				
Σύνολο									0,001				

Εικόνα 31: Απώλειες συστήματος Q=0,02 m^3/sec

Τμήμα αγωγού	Μήκος (m)	Εξωτερική Διάμετρος (m)	Πάχος (mm)	Εσωτερική Διάμετρος (m)	λ	ταχύτητα (m/s)	u2/2g	Re>2300	Γραμμικές απώλειες (m)	Q (m^3/sec)	τραχύτητα 0,05 (mm)	e/d	v (m2/sec)
Ε-1	13,91	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,026	0,0000	18044,778	0,000	0,01	0,05	0,071429	1,008E-06
1-2	23,35	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,026	0,0000	18044,778	0,000				
2-3	22,15	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,026	0,0000	18044,778	0,000				
3-4	40,28	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,026	0,0000	18044,778	0,000				
4-5	23,49	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,026	0,0000	18044,778	0,000				
5-6	18,03	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,026	0,0000	18044,778	0,000				
6-7	5,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,026	0,0000	18044,778	0,000				
7-8	6,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,026	0,0000	18044,778	0,000				
8-9	4,81	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,026	0,0000	18044,778	0,000				
9-10	13,62	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,026	0,0000	18044,778	0,000				
10-11	10,02	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,026	0,0000	18044,778	0,000				
11-12	8,06	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,026	0,0000	18044,778	0,000				
12-13	14,83	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,026	0,0000	18044,778	0,000				
13-14	14,07	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,026	0,0000	18044,778	0,000				
14-15	13,64	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,026	0,0000	18044,778	0,000				
15-16	43,86	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,026	0,0000	18044,778	0,000				
16-17	8,42	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,026	0,0000	18044,778	0,000				
17-18	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,026	0,0000	18044,778	0,000				
18-19	11,25	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,026	0,0000	18044,778	0,000				
19-20	18,58	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,026	0,0000	18044,778	0,000				
20-21	13,99	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,026	0,0000	18044,778	0,000				
21-22	34,98	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,026	0,0000	18044,778	0,000				
22-23	38,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,026	0,0000	18044,778	0,000				
23-Σ	71,87	0,7112	5,6	0,7	0,013	0,026	0,0000	18044,778	0,000				
Σύνολο									0,000				

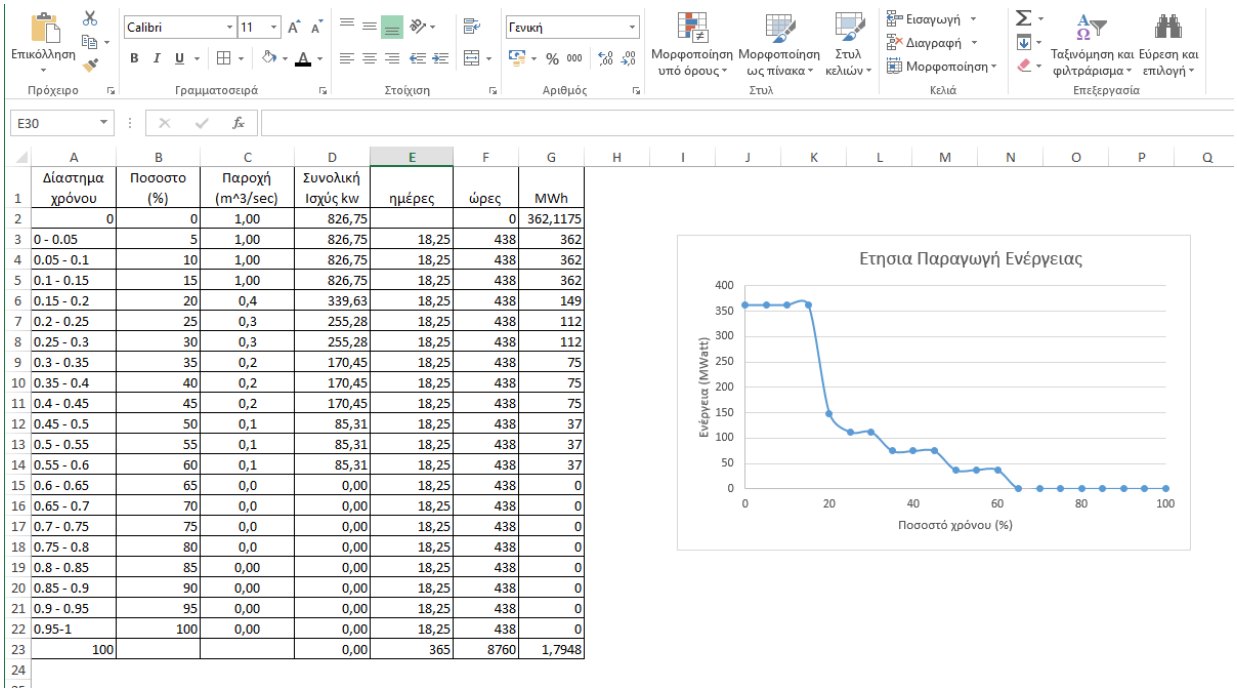
Εικόνα 32: Απώλειες συστήματος Q=0,01 m^3/sec



Q (m^3/sec)	Δh (m)	Δhnet (m	Παροχή υδροστροβίλου (m^3/sec)	Ονομαστική Ισχύς Pelton kw	Καταν. Ισχυς w	Απόδοση υδροστροβίλου Pelton (%)	Μηχανική Ισχύς εξόδου του στροβίλου (kwatt)	Γεννήτρια ng	Ηλεκτρική ισχύς από την έξοδο του στροβίλου (Kwatt)	Συνολική ηλεκτρική ισχύς(Kwatt)
1	3,18	98,82	1	870	870,23	90,00%	869,9	96,0%	826,75	826,75
0,9	2,57	99,43	0,9	870	787,43	90,00%	787,7	96,0%	748,62	748,62
0,8	2,03	99,97	0,8	870	703,59	90,00%	704,0	96,0%	669,05	669,05
0,7	1,56	100,44	0,7	870	618,72	90,00%	618,9	96,0%	588,21	588,21
0,6	1,14	100,86	0,6	870	532,80	90,00%	532,7	96,0%	506,25	506,25
0,5	0,79	101,21	0,5	870	445,84	90,00%	445,4	96,0%	423,34	423,34
0,4	0,51	101,49	0,4	870	357,84	90,00%	357,4	96,0%	339,63	339,63
0,3	0,29	101,71	0,3	870	268,80	90,00%	268,6	96,0%	255,28	255,28
0,2	0,13	101,87	0,2	870	178,71	90,00%	179,3	96,0%	170,45	170,45
0,1	0,03	101,97	0,1	870	87,58	90,00%	89,8	96,0%	85,31	85,31
0,09	0,03	101,97	0,09	870	78,40	88,00%	79	96,0%	75,07	75,07
0,08	0,02	101,98	0,08	870	69,22	86,00%	69	96,0%	65,22	65,22
0,07	0,02	101,98	0,07	870	60,03	83,00%	58	96,0%	55,08	55,08
0,06	0,01	101,99	0,06	870	50,83	79,00%	47	96,0%	44,94	44,94
0,05	0,01	101,99	0,05	870	41,62	76,00%	38	96,0%	36,03	36,03
0,04	0,01	101,99	0,04	870	32,39	73,00%	29	96,0%	27,68	27,68
0,03	0,00	102,00	0,03	870	23,16	67,00%	20	96,0%	19,06	19,06
0,02	0,00	102,00	0,02	870	13,91	60,00%	12	96,0%	11,38	11,38
0,01	0,00	102,00	0,01	870	4,66	50,00%	5	96,0%	4,74	4,74
0	0,00	102,00	0	870	0,000	0,00%	0	96,0%	0,00	0,00

g (m/s2)	ρ (kg/m3)
9,81	997

Εικόνα 33:Υπολογισμοί Χαρακτηριστικής Καμπύλης

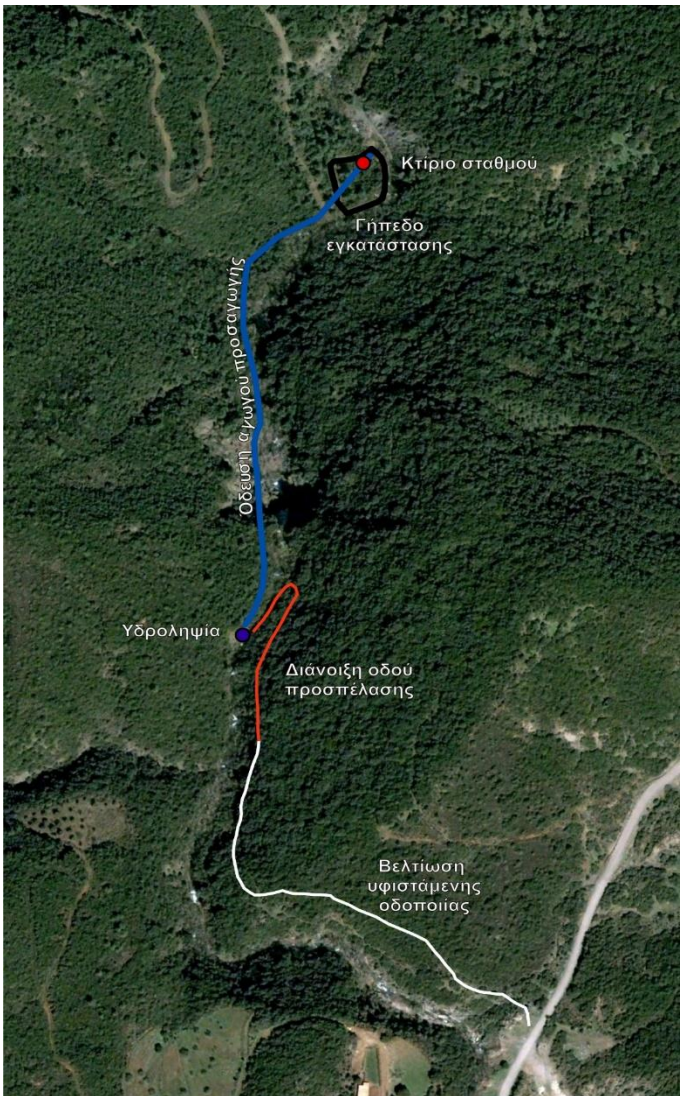


	A	B	C	D	E	F	G
1	Διάστημα χρόνου	Ποσοστο (%)	Παροχή (m^3/sec)	Συνολική Ισχύς kw	ημέρες	ώρες	MWh
2	0	0	1,00	826,75		0	362,1175
3	0 - 0.05	5	1,00	826,75	18,25	438	362
4	0.05 - 0.1	10	1,00	826,75	18,25	438	362
5	0.1 - 0.15	15	1,00	826,75	18,25	438	362
6	0.15 - 0.2	20	0,4	339,63	18,25	438	149
7	0.2 - 0.25	25	0,3	255,28	18,25	438	112
8	0.25 - 0.3	30	0,3	255,28	18,25	438	112
9	0.3 - 0.35	35	0,2	170,45	18,25	438	75
10	0.35 - 0.4	40	0,2	170,45	18,25	438	75
11	0.4 - 0.45	45	0,2	170,45	18,25	438	75
12	0.45 - 0.5	50	0,1	85,31	18,25	438	37
13	0.5 - 0.55	55	0,1	85,31	18,25	438	37
14	0.55 - 0.6	60	0,1	85,31	18,25	438	37
15	0.6 - 0.65	65	0,0	0,00	18,25	438	0
16	0.65 - 0.7	70	0,0	0,00	18,25	438	0
17	0.7 - 0.75	75	0,0	0,00	18,25	438	0
18	0.75 - 0.8	80	0,0	0,00	18,25	438	0
19	0.8 - 0.85	85	0,00	0,00	18,25	438	0
20	0.85 - 0.9	90	0,00	0,00	18,25	438	0
21	0.9 - 0.95	95	0,00	0,00	18,25	438	0
22	0.95-1	100	0,00	0,00	18,25	438	0
23	100			0,00	365	8760	1,7948

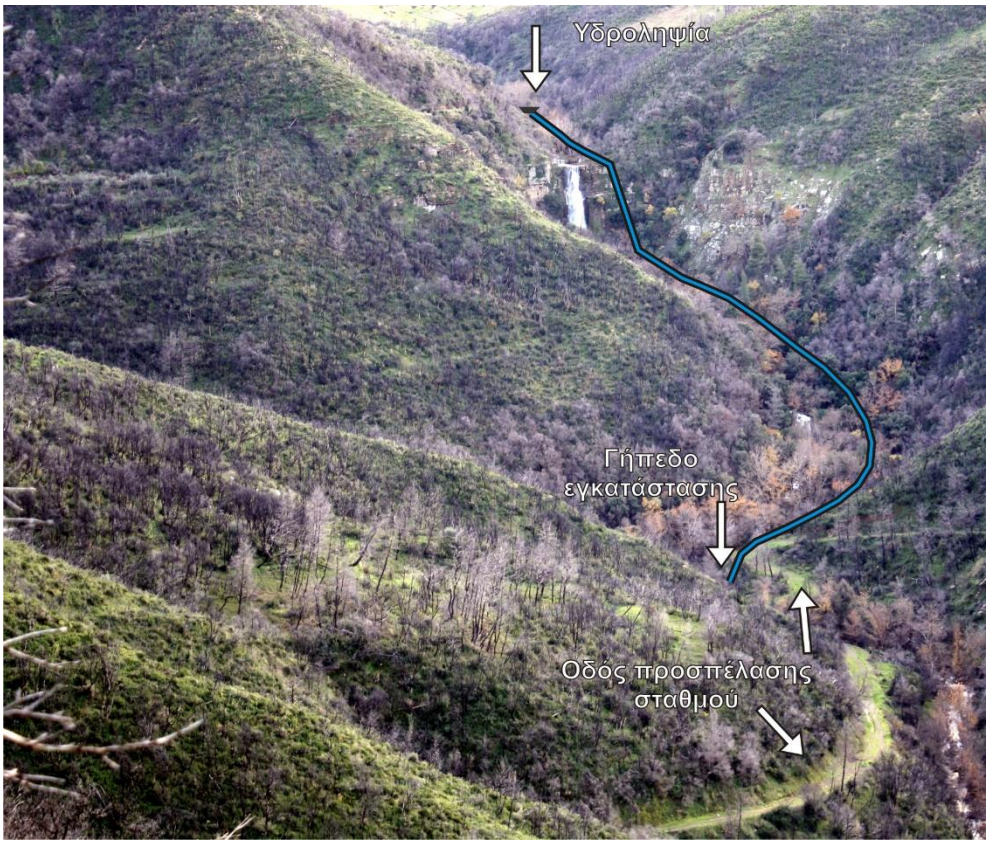
Εικόνα 34: Παραγόμενη ετήσια ενέργειας

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ



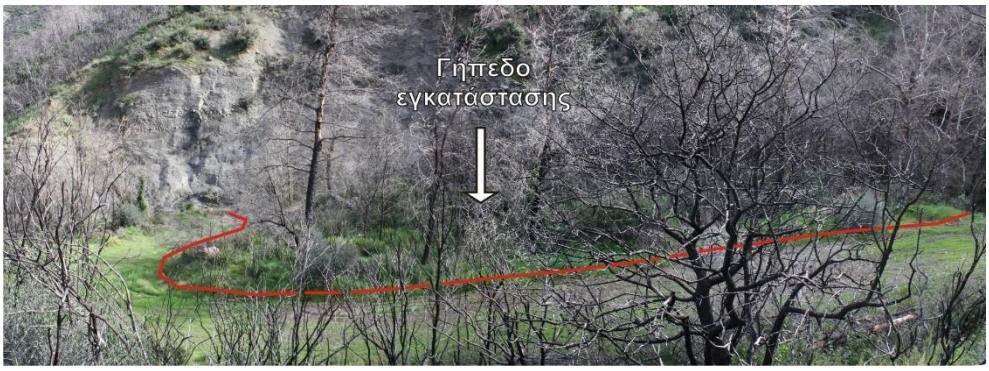
Εικόνα 35: Άποψη του έργου αποτυπωμένη σε αεροφωτογραφία



Εικόνα 36: Γενική άποψη του έργου

Εικόνα 37:Άποψη της θέσης υδροληψίας

Εικόνα 38: Άποψη τμήματος της οδού προσπέλασης στη θέση υδροληψίας



Εικόνα 39: Άποψη των δυτικών ορίων του γηπέδου εγκατάστασης του σταθμού

Εικόνα 40: Περιοχή εγκατάστασης του υδρομετρικού σταθμού πλησίον της θέσης υδροληψίας

Εικόνα 41: Ο υδρομετρικός σταθμός