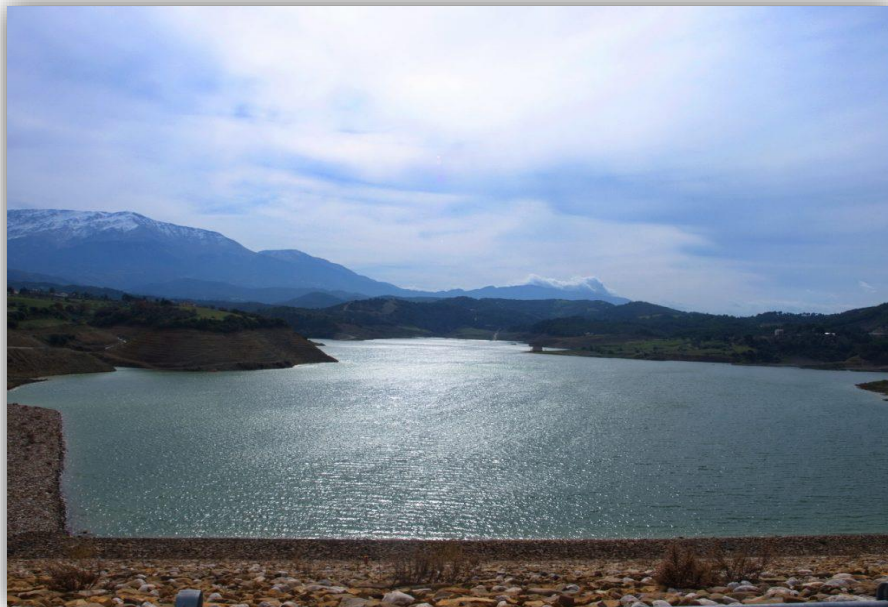




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΙΚΡΟΥ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ ΣΤΟΝ ΠΟΤΑΜΟ ΠΕΙΡΟ



ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΤΖΑΜΑΛΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ (Α.Μ. 7225)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ  
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2022



## Πρόλογος

Οι ενεργειακές ανάγκες των ανθρώπων παρουσιάζουν διαρκώς αυξητική τάση. Η επιτακτική ανάγκη της κάλυψης αυτών των αναγκών οδηγεί στην εκμετάλλευση των Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) παραγκωνίζοντας όσο είναι δυνατόν τις συμβατικές πηγές ενέργειας, λόγω των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Συστήματα ανήκουν σε συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) φιλικά προς το περιβάλλον. Επιπλέον, θεωρούνται έργα πολλαπλού σκοπού, συνδυάζουν την παραγωγή ενέργειας και παραλληλία συμβάλουν στη τοπική ύδρευση, άρδευση, αντιπλημμυρική προστασία, την αλιεία και την αναψυχή.

Η Ελλάδα λόγω της πολυμορφίας που παρουσιάζει στο γεωγραφικό της ανάγλυφο, θεωρείται κατάλληλη για την κατασκευή υδροηλεκτρικών έργων. Αυτός είναι και ο βασικός παράγοντας που επιλέχθηκε το θέμα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, να σχεδιαστεί ένα μικρό υδροηλεκτρικό έργο στον ποταμό Πείρο, όπου είναι ο μεγαλύτερος σε μήκος στον Νομό Αχαΐας, πηγάζει από βορειανατολικά του Ερύμανθου και εκβάλλει στον Πατραϊκό Κόλπο. Η παρούσα Διπλωματική Εργασία πραγματοποιείται στα πλαίσια ολοκλήρωσης των σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου.

Σε αυτό το σημείο οφείλω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέπων καθηγητή Δρ. Παναγόπουλο Γεώργιο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της πτυχιακής αυτής εργασίας, για την πολύτιμη βοήθεια, καθώς και για τις υποδείξεις και τις διορθώσεις του. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αδελφό μου Ιωάννη Τζαμαλή για τις συμβολές του, τον τρόπο ανάπτυξης και εκφραστικότητας ως φοιτητής φιλολογίας που είναι. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την υποστήριξη, συμπαράσταση και πίστη που μου προσφέρει όλα αυτά τα χρόνια σε κάθε μου βήμα και απόφαση.

Δεκέμβριος 2022, Πάτρα  
Τζαμαλής Σπυρίδων

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Φοιτητής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Διπλωματικής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο Φοιτητής  
Τζαμαλής Σπυρίδων

(Υπογραφή)



## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τον σχεδιασμό μικρού υδροηλεκτρικού έργου στον ποταμό Πείρο, όπου είναι ο μεγαλύτερος σε μήκος στον Νομό Αχαΐας, πηγάζει από βορειανατολικά του Ερύμανθου και εκβάλλει στον Πατραϊκό Κόλπο.

Στο Πρώτο Κεφάλαιο δίνονται βασικά στοιχεία των υδροηλεκτρικών έργων. Αρχικά πραγματοποιείται μια σύντομη ιστορική αναδρομή των υδροηλεκτρικών έργων, ακολουθεί η διάκριση και η κατηγοριοποίηση τους. Αναφέρεται ο στόχος κατασκευής των μικρών υδροηλεκτρικών έργων και δίνονται βασικά στοιχεία της μελέτης τους.

Στο Δεύτερο Κεφάλαιο περιγράφεται η υδρολογική ανάλυση. Αναλύεται ο υδρολογικός κύκλος, αναφέρεται η λεκάνη απορροής και δίνονται σημαντικές πληροφορίες για το υδρογράφημα και την καμπύλης διάρκειας παροχής.

Στο Τρίτο Κεφάλαιο αναφέρονται τα τεχνικά μέρη των μικρών υδροηλεκτρικών έργων. Περιγράφονται τα βασικότερα τμήματα των υδροηλεκτρικών έργων όπως φράγμα, ταμιευτήρας, υδροληψία εσχαρισμός, υπερχειλιστής, εκκενωτής πυθμένας, σήραγγα εκτροπής, διώρυγα - σήραγγα προσαγωγής, εξαμμωτής και δεξαμενή φόρτισης, αγωγός πτώσης, πύργος ανάπλασης, θυροφράγματα και βάνες

Στο Τέταρτο Κεφάλαιο δίνονται βασικά στοιχεία της ροής της ενέργειας. Αναλύεται η διαθέσιμη υδραυλική πτώση, ο ενεργειακός ισολογισμό, το σημείο λειτουργίας υδροηλεκτρικού συστήματος και η ενεργειακή ανάλυση υδροηλεκτρικού έργου.

Στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματεύεται η ενεργειακή μελέτη του μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού του ποταμού πείρου. Αρχικά αναφέρεται η θέση σταθμού παράγωγης καθώς και τα βασικά χαρακτηριστικά του μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού. Στη συνέχεια ακολουθεί η ενεργειακή μελέτη που αποτελείται από τις χαρακτηριστικές καμπύλες των 21 σημείων, τις απώλειες συστήματος, τους υδροστρόβιλους, την ετήσια παραγόμενη ενέργεια, την ενεργειακή αποδοτικότητα του έργου. Ακόμα δίνεται ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός, οι διατάξεις προστασίας, οι ιδιοκαταναλώσεις, το σύστημα ανάγωγης θερμότητας, ο αερισμός - ψύξη μετασχηματιστών και η σύνδεση με το δίκτυο μέσης τάσης.

Στο έκτο Κεφάλαιο δίνεται η οικονομοτεχνική μελέτη του μικρού υδροηλεκτρικού έργου στον ποταμό Πείρο. Πραγματοποιείται η ανάλυση του κόστους σύμφωνα με τις συνιστώσες που το επηρεάζουν και καταγράφεται η διαδικασία εκτίμησης του λειτουργικού του κόστους.

Τέλος δίνονται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας και καταγράφεται η σπουδαιότητα του έργου.

Λέξεις Κλειδα: Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο (ΜΥΗΕ), Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)



## Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος .....	i
Περίληψη.....	ii
Πίνακας περιεχομένων .....	iii
Περιεχόμενα Εικόνων.....	v
Περιεχόμενα Σχημάτων.....	vi
Περιεχόμενα Διαγραμμάτων.....	vii
Περιεχόμενα Πινάκων .....	viii
Συμβολισμοί – Συντομογραφίες .....	ix
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ .....	2
1.1. Ιστορική Αναδρομή Υδροηλεκτρικών Έργων (ΥΗΕ) .....	2
1.2. Διάκριση και Ταξινόμηση Υδροηλεκτρικών Έργων .....	3
1.2.1. Κατηγορίες Υδροηλεκτρικών Έργων .....	4
1.3. Στόχος κατασκευής ΜΥΗΕ .....	5
1.4. Μελέτη ΜΥΗΕ .....	5
2. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	6
2.1. Υδρολογικός Κύκλος .....	6
2.2. Λεκάνη Απορροής.....	7
2.3. Υδρογράφημα - Καμπύλη Διάρκειας Παροχής.....	8
3. ΤΕΧΝΙΚΑ ΜΕΡΗ ΜΙΚΡΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ.....	10
3.1. Φράγμα .....	10
3.2. Ταμιευτήρας.....	12
3.3. Υδροληψία Εσχαρισμός .....	13
3.4. Υπερχειλιστής .....	13
3.5. Εκκενωτής Πυθμένα .....	14
3.6. Σήραγγα Εκτροπής .....	15
3.7. Διώρυγα - Σήραγγα Προσαγωγής.....	15
3.8. Εξαμμωτής και Δεξαμενή Φόρτισης.....	16
3.9. Αγωγός Πτώσης.....	16
3.10. Πύργος Ανάπλασης.....	18
3.11. Θυροφράγματα και Βάνες.....	19
4. ΡΟΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	20
4.1. Διαθέσιμη Υδραυλική Πτώση.....	20
4.2. Ενεργειακός ισολογισμός .....	22
2. Θέση α (έξοδος υδροστρόβιλου) και Α (κάτω ταμιευτήρας) .....	23
4.3. Σημείο Λειτουργίας Υδροηλεκτρικού Συστήματος .....	25
4.4. Ενεργειακή ανάλωση Υδροηλεκτρικού Έργου .....	27
5. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΥ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΤΟΝ ΠΟΤΑΜΟ ΠΕΙΡΟ.....	29
5.1. Θέση Σταθμού Παράγωγης ΜΥΗΣ .....	29
5.1.1. Χρησιμοποιούμενη Μορφή Ενέργειας .....	31
5.2. Βασικά Χαρακτηριστικά ΜΥΗΣ .....	31



5.3.	Ενεργειακή Μελέτη.....	32
5.3.1.	Χαρακτηριστικές Καμπύλες 21 Σημείων .....	32
5.3.2.	Απώλειες Συστήματος.....	37
5.3.3.	Υδροστρόβιλοι.....	40
5.3.4.	Ετήσια Παραγόμενη Ενέργεια.....	47
5.3.5.	Ενεργειακή Αποδοτικότητα.....	49
5.4.1.	Ηλεκτρομηχανολογικός Εξοπλισμός.....	49
5.4.2.	Διατάξεις Προστασίας.....	51
5.4.3.	Ιδιοκαταναλώσεις .....	51
5.4.4.	Σύστημα Ανάγωγης Θερμότητας .....	52
5.4.5.	Αερισμός - Ψύξη Μετασχηματιστών .....	52
5.4.6.	Σύνδεση με το δίκτυο Μέσης Τάσης .....	52
6.	ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ .....	53
6.1.	Οικονομοτεχνική Ανάλυση ΜΥΗΕ.....	53
6.2.	Οικονομοτεχνική Ανάλυση ΜΥΗΕ ΠΕΙΡΟΥ .....	60
6.3.	Εκτίμηση λειτουργικού κόστους ΜΥΗΕ .....	61
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	63
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	65
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	67



## Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1: Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο (ΜΥΗΕ) στον Καριτσιώτη ποταμό.....	1
Εικόνα 2 Υδρολογικός κύκλος .....	6
Εικόνα 3: Λεκάνη απορροής.....	7
Εικόνα 4: Ενδεικτική ταμιευτήρες α)Ταμιευτήρας φράγματος Γαδούρα της Ρόδου β) ταμιευτήρας της λίμνης Πλαστήρα της Καρδίτσας.....	12
Εικόνα 5:Υδροληψία Εσχαρισμός.....	13
Εικόνα 6: Κατά μήκος τομή του μικρού υπερχειλιστή και διαμόρφωση της κατασκευής αναπήδησης κατάντη.....	14
Εικόνα 7: Εκκενωτής Πυθμένα .....	14
Εικόνα 8: Σήραγγα εκτροπής.....	15
Εικόνα 9: Σήραγγα προσαγωγής.....	15
Εικόνα 10: Δεξαμενή φόρτισης .....	16
Εικόνα 11 Αγωγός πτώσεως .....	17
Εικόνα 12: Πύργος ανάπλασης ανάντη υδροστροβίλων .....	19
Εικόνα 13: Καμπυλωτό θυρόφραγμα και β)στροφέας θυροφράγματος.....	19
Εικόνα 14 Χαρακτηριστικά μεγέθη και μεταβλητές. ....	22
Εικόνα 15: Διοικητικά όρια του ΗΥΕ Πείρου.....	29
Εικόνα 16: Θέση ΜΥΗΕ Πείρου (Google Earth).....	30
Εικόνα 17: Θέση ΜΥΗΕ Πείρου (Google Earth).....	30



## Περιεχόμενα Σχημάτων

Σχήμα 1: Νερόμυλος (1.αποθήκευση σιτηρών για άλεση, 2. αγωγός μεταφοράς σιτηρών, 3. μύλος, 4. αυλάκι μεταφοράς αλεσμένων σιτηρών και 5. αποθήκευση σιτηρών για πώληση) ..2	
Σχήμα 2: Υψομετρική διαφορά ενός υδροηλεκτρικού συστήματος .....	3
Σχήμα 3: Παράδειγμα υδρογραφήματος ποταμού .....	8
Σχήμα 4: Παράδειγμα Καμπύλης διάρκειας παροχής .....	9
Σχήμα 5:Κατηγοριοποίηση Φραγμάτων .....	10
Σχήμα 6: Εύκαμπτα φράγματα – γεωφράγματα (embankment dams) .....	11
Σχήμα 7: Άκαμπτα φράγματα (rigid dams) α) φράγμα βαρύτητας, β) αντηριδωτό φράγμα και γ) τοξωτό φράγμα.....	12
Σχήμα 8: Διαθέσιμη υδραυλική πτώση συνάρτηση παροχής .....	25
Σχήμα 9: Διαθέσιμη υδραυλική πτώση συνάρτηση παροχής και αντίστοιχη απόδοση του υδροστροβίλου με την αντίστοιχη κλήση πτερυγίων .....	26
Σχήμα 10: Διαθέσιμη υδραυλική πτώση συνάρτησης παροχής και αντίστοιχη λειτουργία του υδροστροβίλου .....	27
Σχήμα 11: Χαρακτηριστικές καμπύλες 21 σημείων .....	36
Σχήμα 12: (α) Τομή και (β) κάτοψη υδροστροβίλου Pelton .....	41
Σχήμα 13: (α) Τομή και (β) κάτοψη υδροστροβίλου Francis.....	41
Σχήμα 14: Τομή υδροστροβίλου Kaplan .....	42
Σχήμα 15: Απόδοση στροβίλου Pelton .....	43
Σχήμα 16: Απόδοση στροβίλου Francis.....	44
Σχήμα 17: Αποδόσεις υδροστροβίλων Pelton και Francis.....	45
Σχήμα 18 Χαρακτηριστική καμπύλη εγκατάστασης.....	47
Σχήμα 19: Ετήσια παραγόμενη ενέργεια του έργου .....	48



## Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1:Υδρογράφημα (Χρονικό Διάστημα 01/09/2010 έως και 31/8/2016).....	33
Διάγραμμα 2: Καμπύλη διάρκειας παροχής του ποταμού Πείρου .....	34
Διάγραμμα 3: Απώλειες αγωγού προσαγωγής .....	39
Διάγραμμα 4: Καθαρό ύψος υδατόπτωσης.....	40





## Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1: Κατηγορίες υδροηλεκτρικών συστημάτων .....	4
Πίνακας 2: Ακριβής γεωγραφική θέση του φράγματος και του σταθμού.....	29
Πίνακας 3: Υπολογισμός Οικολογικής Παροχής .....	35
Πίνακας 4: Διαθέσιμη παροχή και παροχή εκμετάλλευσης ανά διάστημα χρόνου.....	35
Πίνακας 5: Απώλειες συστήματος προσαγωγής .....	38
Πίνακας 6: Διακύμανση απωλειών σε σχέση με την παροχή λειτουργίας του έργου .....	39
Πίνακας 7: Διακύμανση καθαρού ύψους υδατόπτωσης σε σχέση με παροχή λειτουργίας του έργου.....	40
Πίνακας 8: Κύρια χαρακτηριστικά υδροστροβίλου Pelton .....	43
Πίνακας 9: Κύρια χαρακτηριστικά υδροστροβίλου Francis .....	44
Πίνακας 10: Συγκεντρωτικός πίνακας λειτουργίας υδροστροβίλων ΜΥΗΕ .....	46
Πίνακας 11: Στοιχεία χαρακτηριστικής λειτουργίας υδροστροβίλων .....	48
Πίνακας 12: Συντελεστές κόστους υδροστροβίλων .....	56
Πίνακας 13: Συντελεστές κόστους ηλεκτρονικών πινάκων και οργάνων σύμφωνα με της μονάδες παραγωγής .....	58
Πίνακας 14: Ενδεικτικό κόστος ηλεκτρικής μεταφοράς και υποσταθμού .....	58
Πίνακας 15: Συμμέτοχη (%) κάθε συνιστώσας μελετών και επίβλεψης στο συνολικό κόστος του έργου.....	59
Πίνακας 16: Δεδομένα για τον υπολογισμό κόστους του ΜΥΗΕ.....	60
Πίνακας 17: Προσεγγιστικός υπολογισμός του κόστους του ΜΥΗΕ .....	60
Πίνακας 18: Υπολογισμός του κόστους κάθε συνιστώσας του ΜΥΗΕ.....	61



## Συμβολισμοί – Συντομογραφίες

ΑΠΕ: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

ΒΕΑ: Βαθμός Ενεργειακής Αξιοποίησης

ΜΥΗΕ: Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο

ΜΤ: Μέση Τάση

ΡΔΜ: Ρευστοδυναμικές Μηχανές

ΥΗΣ: Υδροηλεκτρικό Σύστημα

ΧΤ: Χαμηλή τάση



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ορυκτά καύσιμα κατατάσσονται στις συμβατικές πηγές ενέργειας και η χρήση τους έχει οδηγήσει σε πλήθος αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων με συνέπεια να υπάρχει επιτακτική ανάγκη για χρήση πιο ήπιων μορφών ενέργειας καθώς επίσης και πηγών φιλικών προς το περιβάλλον. Οι ΑΠΕ είναι οι πηγές ενέργειας που θα δώσουν απαντήσεις στην ενεργειακή ζήτηση και θα μειώσουν σημαντικά την επέκταση της ρύπανσης του περιβάλλοντος (Τζαμάκου, 2018). Μια από τις βασικότερες κατηγορίες ΑΠΕ είναι το υδατικό δυναμικό που η εκμετάλλευσή του μπορεί να γίνει με πλήθος εφαρμογών με βασικότερη τα υδροηλεκτρικά έργα (Πολυζάκης, 2016).

Η εκμετάλλευσή του υδατικού δυναμικού μέσω των υδροηλεκτρικών έργων, κατατάσσεται στις αρχαιότερες πρακτικές εξελίξεις τις ανθρώπινες κοινωνίες. Τα υδροηλεκτρικά έργα κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με το μέγεθός τους και διαχωρίζονται σε μεγάλης (εγκατεστημένη ισχύ >100MW), μεσαίας (εγκατεστημένη ισχύ 15MW - 100MW) και μικρής κλίμακας (εγκατεστημένη ισχύ 1kW – 15MW). Σημειώνεται ότι της μεσαίας και της μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα δεν θεωρούνται εφαρμογές ΑΠΕ γιατί απαιτούν τη δημιουργία ταμιευτήρων με αναπόφευκτο επακόλουθο να επηρεάζουν και να αλλοιώνουν το φυσικό περιβάλλον. Ωστόσο, τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα (ΜΥΗΕ) κατατάσσονται στις εφαρμογές ΑΠΕ αφού μπορούν να εκμεταλλευτούν φυσικούς ταμιευτήρες (λίμνες, ποτάμια) και παράλληλα παρουσιάζουν μειωμένη έως και μηδενική απόρριψη ρύπων κατά την λειτουργία τους (Πολυζάκης, 2016).



Εικόνα 1: Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο (ΜΥΗΕ) στον Καρισιώτη ποταμό.  
[Πηγή: <https://www.ypethe.gr/archive/mikra-ydroilektrika-erga-myie>]

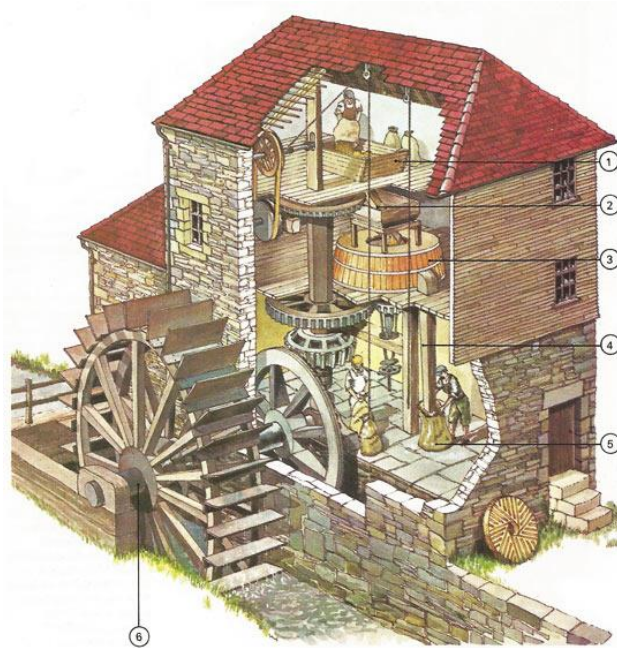
Τα τελευταία χρόνια δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στη κατασκευή ΜΥΗΕ κάτι που οφείλεται στη συνεισφορά τους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας απόλυτα φιλικά προς το περιβάλλον, διασφαλίζεται η αυτόματη και ανεξάρτητη λειτουργία τους καθώς και η απόδοση τους παρουσιάζει αυξητικές τάσεις με την τεχνολογική εξέλιξη. Τα ΜΥΗΕ αποτελούν και εξαιρετική πρόταση για την ικανοποίηση των ανθρώπινων αναγκών σε απομακρυσμένες από τα αστικά κέντρα και τα δίκτυα των ηλεκτροδοτούμενων περιοχών (Κουσαθανάς και Grembi, 2021).



# 1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

## 1.1. Ιστορική Αναδρομή Υδροηλεκτρικών Έργων (ΥΗΕ)

Από τα αρχαία χρόνια διακρίνεται η εκμετάλλευση της υδραυλικής ενέργειας μετατρέποντας της σε μηχανική μέσω υδροδυναμικών έργων. Οι νερόμυλοι (κατασκευές μεγάλου μεγέθους και μικρής ισχύος) ήταν ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα που χρησιμοποιούνταν τον 19<sup>ο</sup> αιώνα με στόχο την άλεση των σιτηρών. Η ισχύς των έργων ήταν μικρή και ο όγκος τους μεγάλος κάτι που οφειλόταν στην τεχνολογική ανεπάρκεια της εποχής αλλά και στη μειωμένη εμπειρία κατασκευής τεχνικών έργων (Παπαντώνης, 2008).



Σχήμα 1: Νερόμυλος (1.αποθήκευση σιτηρών για άλεση, 2. αγωγός μεταφοράς σιτηρών, 3. μύλος, 4. αυλάκι μεταφοράς αλεσμένων σιτηρών και 5. αποθήκευση σιτηρών για πώληση)  
[Πηγή: [https://www.daviddarling.info/encyclopedia/W/AE\\_water\\_wheel.html](https://www.daviddarling.info/encyclopedia/W/AE_water_wheel.html)]

Με το πέρασμα των χρόνων η τεχνολογική εξέλιξη καθώς και η εμπειρία των ανθρώπων στην κατασκευή έργων οδηγεί στην δημιουργία μεγαλύτερων έργων μετατροπής της υδραυλικής ενέργειας σε μηχανικής. Ωστόσο, σημαντικό ρόλο έπαιξε και η ανάπτυξη των εφαρμογών της ηλεκτρικής ενέργειας, μιας ενέργειας που μεταφέρετε σχετικά εύκολα από την θέση παράγωγης στην θέση κατανάλωσης. Από αυτό το σημείο η αξιοποίηση της υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται μέσω των «υδροηλεκτρικών έργων», όπου μετατρέπουν την υδραυλική ενέργεια σε μηχανική μέσω ενός υδροστρόβιλου και μέσω μιας ηλεκτρικής γεννήτριας σε ηλεκτρική ενέργεια.

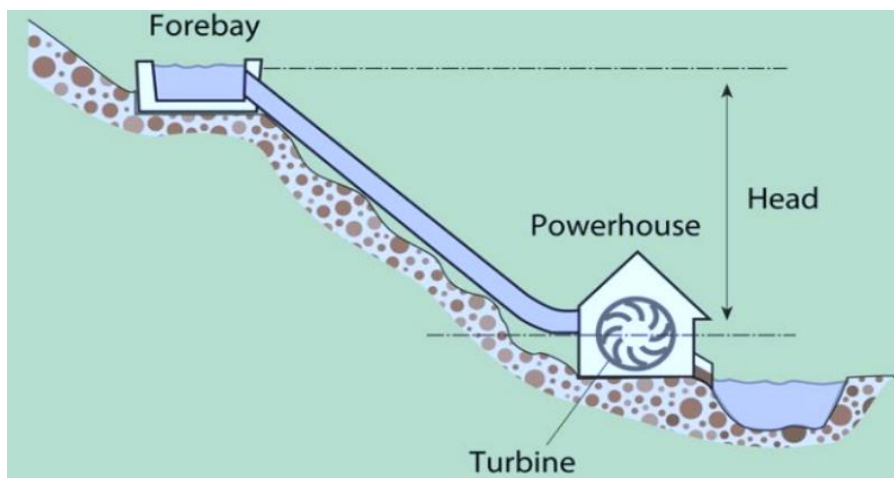


Στον ελλαδικό χώρο τα τεχνικά αυτά έργα εμφανίστηκαν πριν το 1954. Ωστόσο, φτάνοντας στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα, η ηλεκτρική ενέργεια κάνει την εισαγωγή της στην οικιακή χρήση με συνέπεια οι παλαιοί νερόμυλοι να μετατρέπονται σταδιακά σε υδροηλεκτρικά έργα μικρής ισχύος που κάλυπταν τις ανάγκες μιας περιοχής ή μιας βιομηχανίας. Η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) τα εξαγοράζει και αποκτά το αποκλειστικό δικαίωμα παραγωγής και μεταφοράς ενέργειας σε ολόκληρη την Ελλάδα. Πραγματοποιεί ένα ξεκαθάρισμα αυτών των υδροηλεκτρικών έργων και κρατά σε λειτουργία μόνο τα αξιόπιστα. Επιπλέον, δίνει ιδιαίτερη έμφαση σε μεγάλες λιγνιτικές μονάδες και ταμιευτήρες των μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων.

Στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), τα ΜΥΗΕ παρέμεινα σε ιδιωτική κατοχή παρά την δημιουργία της εθνικής εταιρείας ηλεκτρισμού με συνέπεια ο τοπικός πληθυσμός να θεωρούσε φυσικό επακόλουθο, την εξέλιξη των νερόμυλων σε ιδιωτικά ΜΥΗΕ. Όμως στην Ελλάδα, το 1999, η δυνατότητα κατασκευής τέτοιων έργων από ιδιοκτήτες ήταν αδύνατη αλλά παράλληλα επικρατούσε δυσπιστία στον «ξένο επενδυτή» και φόβος για την αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των έργων. Τα προαναφερόμενα οδήγησαν στην καθυστέρηση της εξέλιξης και της κατασκευής των ΜΥΗΕ στην Ελλάδα συγκρινόμενη με άλλες Ευρωπαϊκές χώρες (Παπαντώνης, 2008).

## 1.2. Διάκριση και Ταξινόμηση Υδροηλεκτρικών Έργων

Υδροηλεκτρικό σύστημα ορίζεται ένα σύστημα που παράγει ηλεκτρική ενέργεια εκμεταλλευόμενο την μηχανική (κινητική και δυναμική) ενέργεια του νερού. Ουσιαστικά 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) (Τζαμάκου, 2018). Η επιλογή της εγκατάστασης ενός ΥΗΕ βασίζεται στον έλεγχο της ροής του νερού καθ' όλη την διάρκεια του έτους, καθώς και της υψομετρικής διαφοράς (κατακόρυφη απόσταση που ρέει το νερό), δηλαδή όσο μεγαλύτερη η υψομετρική διαφορά τόσο λιγότερη παροχή νερού χρειάζεται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Πολυζάκης, 2016).



Σχήμα 2: Υψομετρική διαφορά ενός υδροηλεκτρικού συστήματος



[Πηγή: <https://www.energy.gov/energysaver/planning-microhydropower-system>]

Ο διαχωρισμός των υδροηλεκτρικών έργων γίνεται σύμφωνα με τον τρόπο παραγωγής της κινητικής ενέργειας (Κουσαθανάς και Grembi, 2021):

- Μικρά υδροηλεκτρικά έργα: εκμετάλλευση φυσικής ροής ποταμού με αγωγό, ο όποιος είναι τοποθετημένος με κατάλληλη κλίση
- Μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα: αποθήκευση νερού σε ταμιευτήρα με σκοπό την δημιουργία αυξανόμενης δυναμικής ενέργειας.

### 1.2.1. Κατηγορίες Υδροηλεκτρικών Έργων

Η κατηγοριοποίηση των υδροηλεκτρικών έργων πραγματοποιείται σύμφωνα με πλήθος χαρακτηριστικών όπως είναι η σκοπιμότητα, η χωρητικότητα ταμιευτήρα το είδος εκμετάλλευση του έργου, το ωφέλιμο ύψος υδατόπτωσης και η εγκατεστημένη ισχύς. Αναλυτικότερα δίνεται ο Πίνακας 1.

Πίνακας 1: Κατηγορίες υδροηλεκτρικών συστημάτων  
[Πηγή: Σκορδάς, 2020]

Κατηγορία Υδροηλεκτρικού Συστήματος		Υποκατηγορίες
1	Σκοπιμότητα	<ul style="list-style-type: none"><li>- Απλή σκοπιμότητα: παραγωγής ενέργειας</li><li>- Πολλαπλή σκοπιμότητα ύδρευσης, άρδευσης, παραγωγής ενέργειας κ.ά.</li></ul>
2	Χωρητικότητα ταμιευτήρα	<ul style="list-style-type: none"><li>- Με ταμιευτήρα μικρής χωρητικότητας (run of river with pondage)</li><li>- Χωρίς ταμιευτήρα (run of river)</li></ul>
3	Είδος εκμετάλλευσης έργου	<ul style="list-style-type: none"><li>- Συμβατικές εγκαταστάσεις αξιοποίησης των παροχών ενός ποταμού</li><li>- Εγκαταστάσεις αντλήσεως – ταμιεύσεως</li></ul>
4	Ωφέλιμο υδατόπτωσης	<ul style="list-style-type: none"><li>- Μικρού ύψους πτώσεως (<math>H_{\pi} &lt; 20m</math>).</li><li>- Μεσαίου ύψους πτώσεως (<math>20m &lt; H_{\pi} &lt; 150m</math>).</li><li>- Μεγάλου ύψους πτώσεως (<math>H_{\pi} &gt; 150m</math>).</li></ul>
5	Εγκατεστημένη ισχύς	<ul style="list-style-type: none"><li>- Μεγάλης κλίμακας (Εγκατεστημένη ισχύ <math>&gt; 100MW</math>)</li><li>- Μεσαίας κλίμακας (Εγκατεστημένη ισχύ <math>15MW - 100MW</math>)</li><li>- Μικρής κλίμακας (Εγκατεστημένη ισχύ <math>1kW - 15MW</math>)</li></ul>



### 1.3. Στόχος κατασκευής ΜΥΗΕ

Ένα ΜΥΗΕ στοχεύει στο να προσφέρει ένα ποσοστό ενέργειας κατά την ώρες αιχμής, χωρίς όμως να δίνεται η δυνατότητα να καλύψει πλήρως τις ενεργειακές ανάγκες. Ο παράγοντας αυτός οδηγεί στην επιτακτική ανάγκη κατά την μελέτη και την διαστασιολόγηση του ΜΥΗΕ να εξετάζεται η οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης. Ωστόσο, ένα ΜΥΗΕ επιλέγεται διότι δεν απαιτείται ταμιευτήρας και περιορίζεται η αρχή λειτουργίας σε μία δεξαμενή εξυπηρετώντας της ανάγκης της υδροληψίας και μόνο. Αυτό έχει σαν συνέπεια την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων καθώς και την διαφύλαξη του φυσικού περιβάλλοντος (Παπαντώνης, 2008).

Επιπλέον, σύμφωνα με τον Παπαντώνη (2008), απαιτείται να λαμβάνεται υπόψη ότι ο υδροστρόβιλος μπορεί να λειτουργήσει μέσα σε ένα εύρος γύρω από το ονομαστικό σημείο λειτουργίας του, το πρόγραμμα εκμετάλλευσης του ΜΥΗΕ θα πρέπει να είναι ως εξής (Παπαντώνης, 2008):

- Όταν η φυσική εισροή κυμαίνεται μεταξύ της μέγιστης και της ελαχίστης επιτρεπόμενης για την ομαλή λειτουργία του υδροστρόβιλου, τότε η μονάδα λειτουργεί και παράγει ηλεκτρική ενέργεια αξιοποιώντας την διαθέσιμη παροχή.
- Όταν η φυσική εισροή είναι μικρότερη της ελαχίστης επιτρεπόμενης παροχής του υδροστρόβιλου η μονάδα παραμένει κλειστή και η φυσική παροχή υπερχειλίζει και διαφεύγει αναξιοποίητη
- Όταν η φυσική εισροή είναι μεγαλύτερη της μέγιστης επιτρεπόμενης παροχής του υδροστρόβιλου η μονάδα λειτουργεί με την μέγιστη επιτρεπόμενη παροχή ενώ η περίσσεια υπερχειλίζει και διαφεύγει αναξιοποίητη.

### 1.4. Μελέτη ΜΥΗΕ

Για την μελέτη ενός ΥΗΕ απαιτείται υδρολογικές, γεωλογικές και τοπογραφικές αποτυπώσεις με στόχο την κατάρτιση των μελετών. Σημειώνεται ότι οι υδρολογικές μετρήσεις πρέπει να είναι αξιόπιστες και να συγκεντρώνονται περίπου 20 έτη. Ωστόσο, στην περίπτωση των ΜΥΗΕ δεν δίνεται αυτή η δυνατότητα με συνέπεια η μελέτη να στηρίζεται είτε στις συσχετίσεις μεταξύ γειτονικών λεκανών απορροής ή είτε με την εφαρμογή αριθμητικών προσομοιώσεων από ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Στη μελέτη των ΜΥΗΕ θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η απόσταση της παραγωγής έως την διανομή στην ΔΕΗ, η οποία έχει σημαντικό κόστος στο ολικό έργο.

Όπως όλα τα τεχνικά έργα έτσι και των ΜΥΗΕ χωρίζονται σε τρεις φάσεις, οι οποίες είναι:

- Αναγνωριστική Μελέτη
- Προκαταρκτική Μελέτη
- Μελέτη Εφαρμογής.

Σημειώνεται ότι οι προαναφερόμενες φάσεις θα πρέπει να έχουν προοδευτική εμφάνιση με άριτες εκτιμήσεις που να εκτιμούν μια ισορροπία μεταξύ του χαμηλού κόστους και της εξασφάλισης της ασφάλειας και την βέλτιστη αξιοποίηση της υδραυλικής ενέργειας. Στην μελέτη των ΜΥΗΕ δίνεται έμφαση και υπολογίζεται μόνο ότι κρίνεται απαραίτητο σε αντίθεση με τα μεγάλα υιοθετείται το καλύτερο δυνατόν (Παπαντώνης, 2008).



## 2. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

### 2.1. Υδρολογικός Κύκλος

Η εγκατάσταση ενός ΜΥΗΕ βασίζεται στη μελέτη του υδρολογικού κύκλου καθώς και στο ανάγλυφο της περιοχής, στοιχεία που επηρεάζουν τις συνθήκες εκμετάλλευσης της κινητικής και δυναμικής ενέργειας του ύδατος. Το νερό φτάνει στην επιφάνεια της γης ως βροχόπτωση ή ως χιονόπτωση. Ένα μέρος εξατμίζεται, ένα μέρος απορροφάται από το έδαφος και το υπόλοιπο, λόγω βαρύτητας συσσωρεύεται στο χαμηλότερο ύψος, δηλαδή στα ποτάμια, τις λίμνες και τις θάλασσες (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2006) (Εικόνα 2).



Εικόνα 2 Υδρολογικός κύκλος  
[Πηγή: <https://el.wikipedia.org/wiki>]

Με την πραγματοποίηση ενός υδρολογικού κύκλου παρατηρείται ότι η δυναμική ενέργεια του ύδατος μειώνεται και αλλάζει μορφή αφού μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια. Οι λόγοι που οδηγούν σε αυτό είναι η απώλειες τριβής (τυρβώδους ροής) καθώς και οι απώλειες ενέργειας που χρησιμοποιείται για την μεταφορά φερτών υλικών. Απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη υδροδυναμικού είναι η ύπαρξη απορροής του νερού και κλίσεως του εδάφους, ώστε να σχηματίζεται η απαραίτητη υψομετρική διαφορά. Το ΜΥΗΕ αξιοποιεί μέρος της δυναμικής ενέργειας του νερού, το οποίο, υπό την επίδραση της βαρύτητας, ρέει μέχρι να φτάσει στην χαμηλότερη στάθμη, που είναι η στάθμη της θάλασσας (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2006).

Ένα από τα βασικότερα στοιχεία για την μελέτη ενός ΜΥΗΕ είναι η διακύμανση της παροχής του υδατορεύματος στη θέση της υδροληψίας του έργου, αφού επηρεάζει την επιλογή





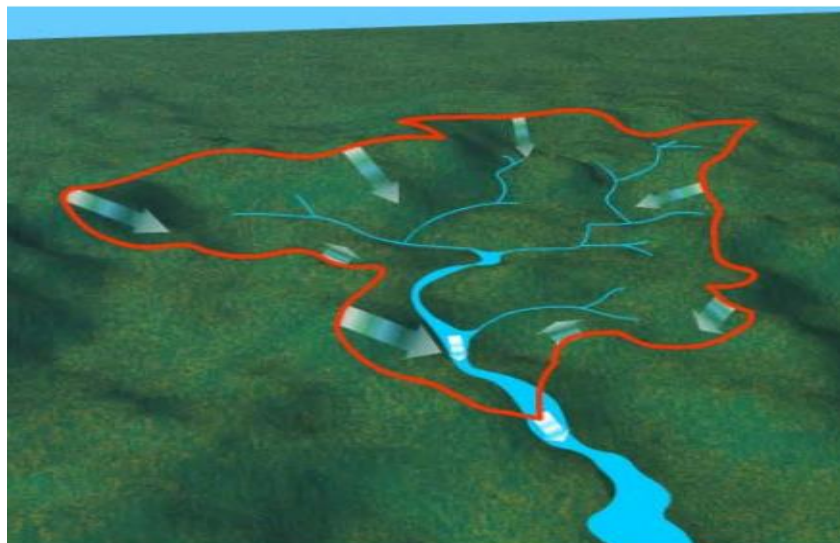
του μεγέθους της μονάδας παραγωγής ενέργειας, την διαστασιολόγηση, άρα και το κόστος. Μια υπερεκτίμηση των μονάδων είναι παράγοντας που θα επηρεάσει αρνητικά την παραγωγή ενέργειας και μια υποεκτίμηση της παροχής θα οδηγήσει σε μικρά αποτελέσματα άρα και απώλεια εσόδων της επένδυσης. Για τις ανάγκες μελέτης υδροηλεκτρικής εγκατάστασης θα πρέπει να υπάρχουν μετρήσεις ημερήσιων (ή μηνιαίων) παροχών του υδατοστρώματος επί 20 χρονιά για το ΜΥΗΕ, με στόχο την διαστασιολόγηση του έργου.

Μελέτη του υδατικού δυναμικού αποτελεί το πρώτο και βασικό στάδιο για την εγκατάσταση του, το οποίο κατηγοριοποιείται σε θεωρητικό, διαθέσιμο τεχνολογικό και οικονομικά εκμεταλλεύσιμο. Η εκμετάλλευση του υδατικού δυναμικού για την παράγωγή ισχύος μπορεί να γίνει στα σημεία όπου η παροχή του νερού είναι ικανή, δηλαδή υπάρχει κινητική ενέργεια κατά μήκος ενός ποταμού.

Για την εκτίμηση της διαθέσιμης υδραυλικής ενέργειας ενός ποταμού θα πρέπει να υπάρχει η χρονοσειρά της μέσης ημερήσιας ροής του ποταμού για μεγάλη χρονική περίοδο, ικανή να αναπαραστήσει την πραγματική ποσότητα της φυσικής ροής και να μειωθούν τα σφάλματα στους υπολογισμούς λόγω μεταβλητότητας. Επειδή σπάνια υπάρχουν μακροχρόνιες μετρήσεις, θα πρέπει να γίνονται αναγωγές από τα σημεία των ποταμών όπου υπάρχουν μετρήσεις τουλάχιστον 20 ετών. Μπορούν, επίσης, να χρησιμοποιηθούν και δεδομένα από περιοχές με παρόμοια χαρακτηριστικά (κλίμακα, γεωλογία, βλάστηση, ανθρώπινη δραστηριότητα, κ.λ.π.) (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2006)

## 2.2. Λεκάνη Απορροής

Σύμφωνα με την Ζαγγανά (2020), λεκάνη απορροής (ή υδρολογική λεκάνη) ενός ποταμού ορίζεται το τμήμα εκείνο της επιφάνειας του εδάφους πάνω στο οποίο τα νερά που ρέουν επιφανειακά φέρονται με το υδρογραφικό δίκτυο στην κοίτη του ποταμού, ο οποίος τα οδηγεί στη θάλασσα απευθείας ή μέσω άλλου ποταμού, του οποίου είναι παραπόταμος.



Εικόνα 3: Λεκάνη απορροής

[Πηγή: <http://www.geo.auth.gr/courses/gge/gge427y/pdf/askisi1.pdf>]

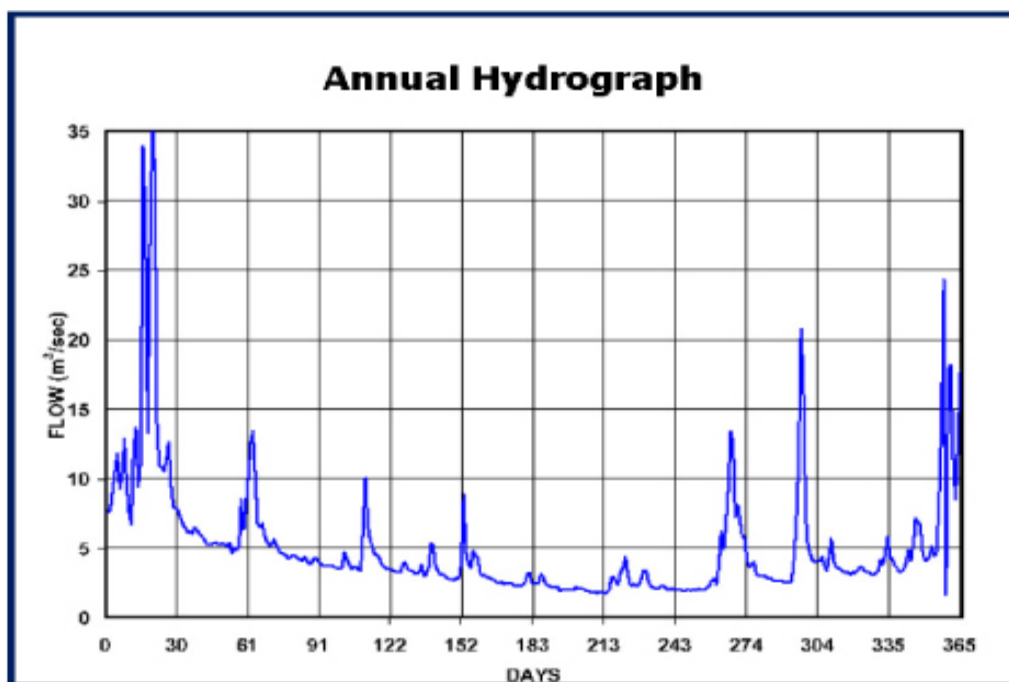


Οριακή γραμμή μιας λεκάνης καλείται η υδροκριτική γραμμή (υδροκρίτης) και αντιστοιχεί σε αυτή την κορυφογραμμή που κάτω της διαπερνούν τα επιφανειακά ύδατα με κατεύθυνση προς διαφορετικές λεκάνες απορροής (Ζαγγανά, 2020).

Από τα ανωτέρω προκύπτει ότι η λεκάνη απορροής είναι μια κλειστή επιφάνεια δεδομένου εμβαδού που συνεισφέρει στην παράγωγη επιφανειακής απορροής, ο υδροκρίτης της οποίας διέρχεται από τη θέση του φράγματος (ο ταμιευτήρας αναπτύσσεται στο κατάντη τμήμα της λεκάνης). Η στέψη του φράγματος είναι το ανώτερο υψομετρικά τμήμα του αναχώματος και το ύψος του υπολογίζεται από την κατακόρυφη απόσταση που σχηματίζεται από το βαθύτερο σημείο της θεμελίωσης μέχρι την στέψη. Στην λεκάνη απορροής τα κατακρημνίσματα μπορούν να μετρηθούν και με τα βροχομετρικά όργανα, τα οποία όσο πιο πυκνά εγκατεστημένα είναι, τόσο οι τιμές των κατακρημνισμάτων προσεγγίζει την πραγματική κατανομή. Οι μετρήσεις των βροχόμετρων αξιοποιούνται για τον υπολογισμό της ποσότητας του νερού σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα στην λεκάνη απορροής. Η ποσότητα αυτή προκύπτει από την ολοκλήρωση των διαφόρων σημείων που είναι εγκατεστημένα στην λεκάνη.

### 2.3. Υδρογράφημα - Καμπύλη Διάρκειας Παροχής

Η χρήση των υδρολογικών μοντέλων δίνουν την δυνατότητα της παραγωγής χρονοσειρών της μέση ημερήσιας ροής ενός ποταμού σε ένα συγκεκριμένο σημείο για ένα έτος (Σχήμα 3).



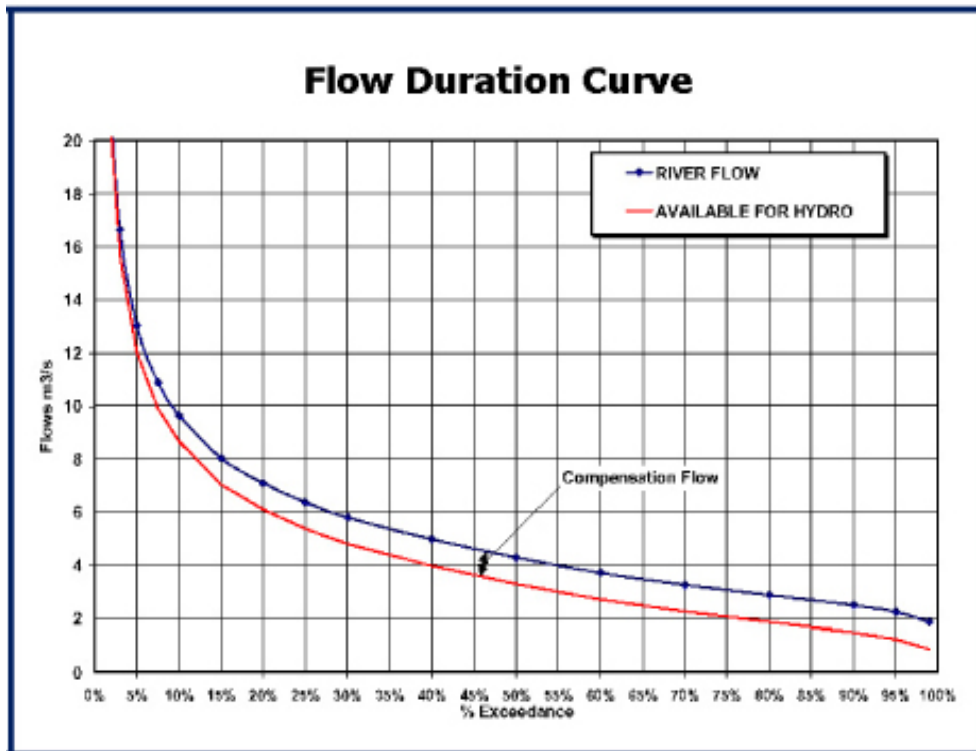
Σχήμα 3: Παράδειγμα υδρογραφήματος ποταμού

Πηγή: <http://greenbugenergy.com/get-educated-knowledge/flow-duration-curve>



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 μπορεί να γίνει η κατασκευή της καμπύλης διάρκειας παροχής βασικό στοιχείο για την εκτίμηση του δυναμικού του ποταμού για τον σχεδιασμό του υδροηλεκτρικού εργοστασίου (Κουσαθανάς και Grembi, 2021).

Η καμπύλη διάρκειας παροχής δίνει το ποσοστό του χρόνου (t) του έτους, όπου η παροχή του ύδατος ισούται ή υπερβαίνει μια συγκεκριμένη τιμή της ροής (Σχήμα 4). Η μορφή της καμπύλης διάρκειας παροχής έχει την δυνατότητα να δώσει πλήθος πληροφοριών για τον σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Κουσαθανάς και Grembi, 2021). Οι βασικότερες πληροφορίες είναι οι ακόλουθες προτεινόμενες εγκατεστημένη ισχύς, ο αριθμός μονάδων και η ένδειξη της οικονομικής βιωσιμότητας (Πολυζάκης, 2016).



(β)

Σχήμα 4: Παράδειγμα Καμπύλης διάρκειας παροχής

[Πηγή: <http://greenbugenergy.com/get-educated-knowledge/flow-duration-curve/>]

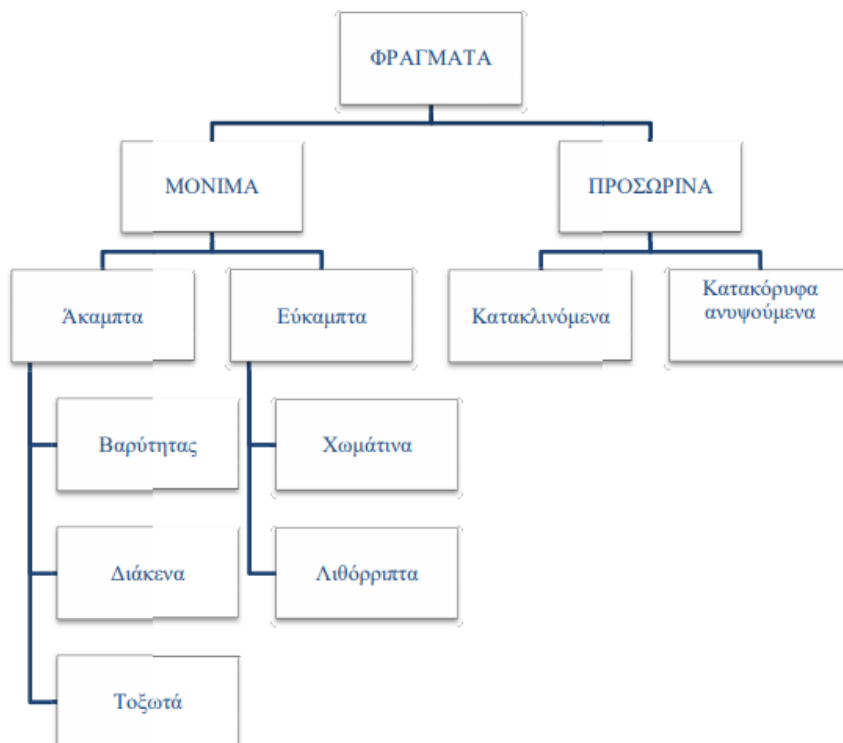


### 3. ΤΕΧΝΙΚΑ ΜΕΡΗ ΜΙΚΡΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

#### 3.1. Φράγμα

Ως φράγμα καλείται το υδραυλικό έργο που κατασκευάζεται στις κοίτες υδατορευμάτων εμποδίζοντας, ανακατευθύνοντας ή επιβραδύνοντας την φυσική ροή τους, με σκοπό τη συλλογή, την ταμίευση και τη χρησιμοποίηση του νερού για ύδρευση, άρδευση, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κ.ά. (Δούλη, 2014). Παράγοντες της επιλογής της θέσης του φράγματος είναι η ευκολία που παρουσιάζεται στη δημιουργία μεγάλου ταμιευτήρα καθώς και στον σχηματισμό μεγάλης υψομετρικής διαφοράς με ελαχιστοποίηση του μήκους του αγωγού προσαγωγής. Επιπλέον, κριτήρια επιλογής είναι η γεωλογία, η υδρογεωλογία, η τοπογραφία, σεισμικότητα, το κόστος υλικών (συλλογή, παρασκευή, μεταφορά) και οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί. Ωστόσο, ο καθοριστικός παράγοντας για την θετική εισήγηση κατασκευής ενός τέτοιου έργου είναι η οικονομοτεχνική μελέτη, στην οποία δεν αναλύεται μόνο η θέση και τα βασικά χαρακτηριστικά του έργου αλλά εξετάζει και μια σειρά εναλλακτικών λύσεων με στόχο την επιλογή της βιωσιμότερης (Μίχας και συν., 2015).

Τα φράγματα σύμφωνα με το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, 2006 διαχωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες μόνιμα και σε προσωρινά και εν συνεχεία διαχωρίζονται σε υποκατηγορίες όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 3.



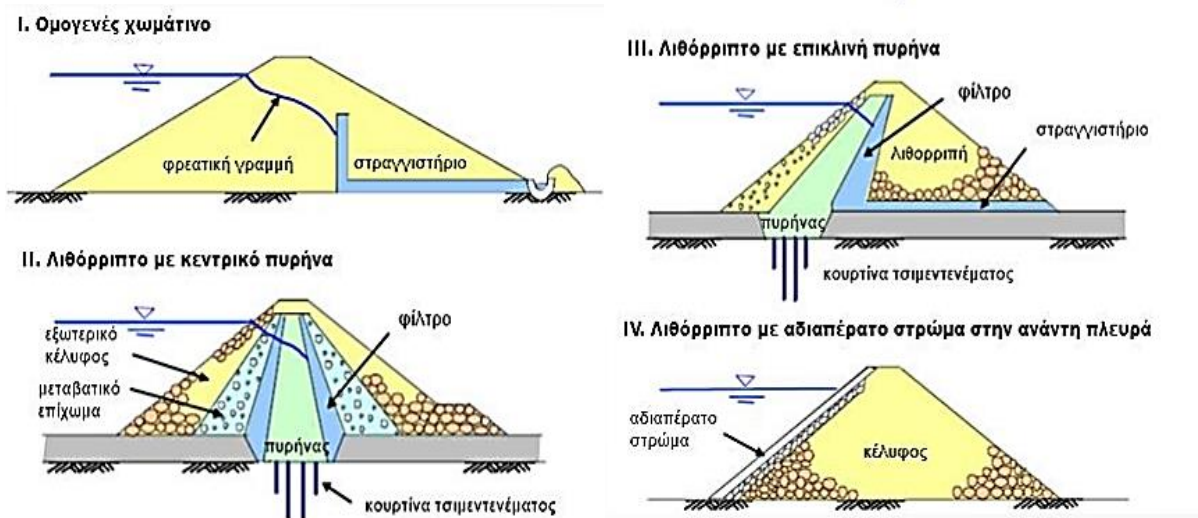
Σχήμα 5: Κατηγοριοποίηση Φραγμάτων  
[Πηγή: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, 2006]



Λόγω ότι η παρούσα Διπλωματική Εργασία ασχολείται με τον σχεδιασμό ΜΥΗΕ θα δοθεί έμφαση μόνο στα μόνιμα φράγματα. Οι Χασιακός και Φαρμάκης (2019) αναφέρουν ότι οι τύποι φραγμάτων κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες, με τις υποκατηγορίες τους:

- Εύκαμπτα φράγματα – γεωφράγματα (embankment dams)
  - Λιθόρριπτα (rock-filled dams) με πυρήνα
  - Λιθόρριπτα με ανάντη πλάκα σκυροδέματος – ΛΑΠΣ (concrete faced)
  - Χωμάτινα ή λιθόρριπτα με ανάντη ασφαλική μεμβράνη, κλπ
  
- Άκαμπτα φράγματα (rigid dams)
  - Βαρύτητας σκυροδέματος (Gravity dams)
  - Βαρύτητας κυλινδρούμενου σκυροδέματος (Rolled Compacted Concrete dams)
  - Αξονοσυμμετρικά κυλινδρούμενου σκληρού επιχώματος- ΑΚΣΕ (hard-filled dams)
  - Τοξωτά (Arch dams)
  - Αντηριδωτά (Buttress dams), κλπ

Τα εύκαμπτα φράγματα θεωρούνται από τον πιο διαδεδομένο και κοινό τύπο φραγμάτων και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι χρησιμοποιούν το βάρος τους για να συγκρατήσουν την θέση τους. Η κατασκευή τους μπορεί να πραγματοποιηθεί με υλικά όπως σκυρόδεμα, χώμα ή πέτρα, ο πυρήνας τους είναι από αδιαπέραστο υλικό. Στην περίπτωση των χωμάτινων και λιθορριπτών φραγμάτων απαιτείται η ύπαρξη υδατοστέγης. Επιπλέον, τα χωμάτινα φράγματα προτιμώνται σε περιπτώσεις που δεν απαιτείται μεγάλο ύψος και μήκος φραγμάτων και σε περιπτώσεις μη καλού εδάφους θεμελίωσης. Εκεί ενδείκνυται η εύκαμπτη κατασκευή από γαιώδη υλικά που μπορούν να παραμορφωθούν και να κάνουν μικρές μετακινήσεις της θεμελίωσης, χωρίς να διαταραχτεί η συνοχή τους.

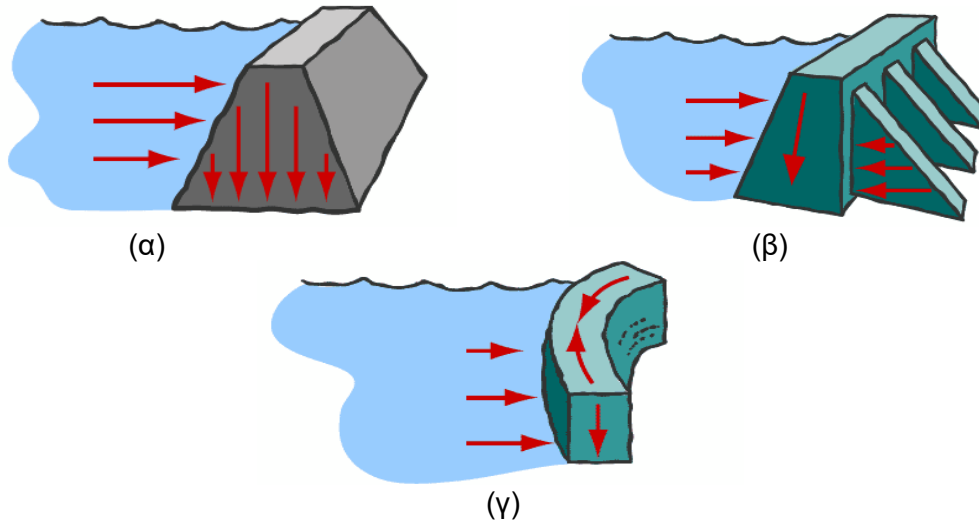


Σχήμα 6: Εύκαμπτα φράγματα – γεωφράγματα (embankment dams)  
[Πηγή: Χασιακός και Φαρμάκης, 2019]

Τα άκαμπτα φράγματα κατασκευάζονται κυρίως από σκυρόδεμα. Στοχεύουν στην ανατροπή και ολίσθηση και προτείνονται για στενές κοιλάδες μεγάλων υψών σε αντίθεση με τα εύκαμπτα φράγματα. Στην περίπτωση των τοξωτών φραγμάτων προτείνεται η κατασκευή τους να γίνεται σε στενές κοιλάδες με απότομες κλίσεις. Η καμπυλότητά τους παραλαμβάνει την πίεση στην ανάντη πλευρά τους. Στην περίπτωση τα αντηριδωτά φράγματα χρησιμοποιούν



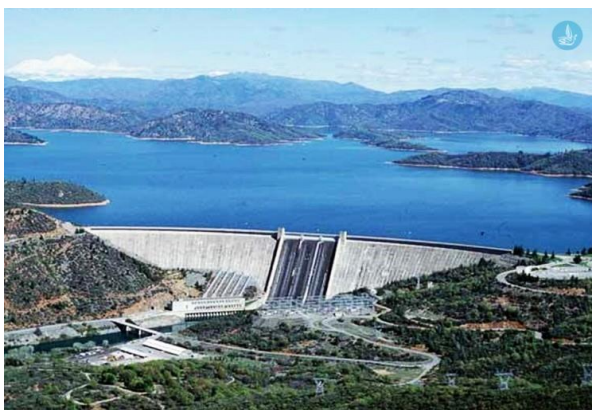
στηρίγματα για την παραλαβή της πίεσης ενώ τα φράγματα βαρύτητας χρησιμοποιούν το ίδιο το βάρος τους για να συγκρατήσουν την θέση του (Τσουπάκη και Χαρωνίτης, 2022).



Σχήμα 7: Ακαμπτα φράγματα (rigid dams) α) φράγμα βαρύτητας, β) αντηριδωτό φράγμα και γ) τοξωτό φράγμα [Πηγή: Χασιακός και Φαρμάκης, 2019]

### 3.2. Ταμιευτήρας

Ταμιευτήρας (Εικόνα 4) καλείται η λεκάνη κατάκλισης που δημιουργείται ανάντη του φράγματος, της οποίας τα όρια μεταβάλλονται ανάλογα με την αποθηκευμένη ποσότητα νερού. Με τον ταμιευτήρα επιτυγχάνεται ευελιξία στη λειτουργία του έργου που αποσυνδέει την παράγωγη ενέργειας από την φυσική ροή. Ανεξαρτητοποιεί εν μέρει τη λειτουργία του υδροηλεκτρικού σταθμού από τις αυξομειώσεις της παροχής του ποταμού (Παπαντώνης, 2008).



(α)



(β)

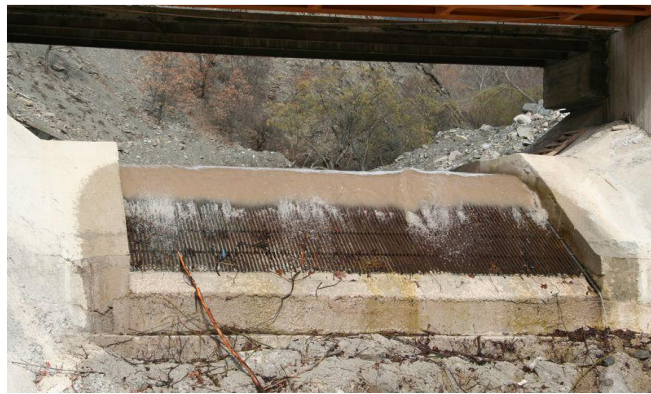
Εικόνα 4: Ενδεικτική ταμιευτήρες α) Ταμιευτήρας φράγματος Γαδούρα της Ρόδου β) ταμιευτήρας της λίμνης Πλαστήρα της Καρδίτσας  
[Πηγή: α) <https://www.dimokratiki.gr/>, β) <https://theroute.gr/xenagisi-sti-limni-plastira/>]



Η κατασκευή φράγματος και ταμιευτήρα συνδικάζει εκτός από την υδροηλεκτρική αξιοποίηση αλλά και ύδρευση, άρδευση, τροφοδοσία βιομηχανικών μονάδων κ.ά. η κατασκευή του ταμιευτήρα θα πρέπει να λάβει υπόψη τις ανταγωνιστικές ή συμπληρωματικές χρήσεις του νερού με στόχο να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα. Επιπλέον, κατά την κατασκευή του ταμιευτήρα θα πρέπει να συνυπολογιστούν παράγοντες όπως η διήθηση νερού από τον πυθμένα και η κατάλληλη προετοιμασία του εδάφους, η εξάτμιση του νερού, η ευστάθεια του εδάφους μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα καθώς και η απόθεση φερτών υλών (Παπαντώνης, 2008).

### 3.3. Υδροληψία Εσχαρισμός

Το σημείο όπου το νερό εισέρχεται στον αγωγό προσαγωγής. Η υδροληψία είναι ένα τεχνικό έργο που παίρνει νερό από το υδατόρευμα και το παροχετεύει στους υδροστρόβιλους μέσω αγωγού για την παράγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Το άνοιγμα της εισόδου βρίσκεται χαμηλότερα από τον ταμιευτήρα υδατορεύματος και προστατεύεται από σχάρα για την απομάκρυνση φερτών υλικών, μπορεί να προκαλέσουν πρόωρη φθορά στον αγωγό και τον στρόβιλο (Παπαντώνης, 2008). Ο εσχαρισμός πραγματοποιείται από σχάρες με διαφορετικό μέγεθος που τοποθετούνται στο σημείο υδροληψίας. Οι σχάρες διαχωρίζονται σε χονδρές για την συγκράτηση ευμεγεθών στερεών μεγέθους από 5 έως 8 cm, σε μεσαίες με ανοίγματα 0,5 cm και σε λεπτές για την κατακράτηση σωματιδίων από 20 έως 50μm (Τσώνης, 2004).



Εικόνα 5:Υδροληψία Εσχαρισμός  
[Πηγή: <http://www.cres.gr/>]

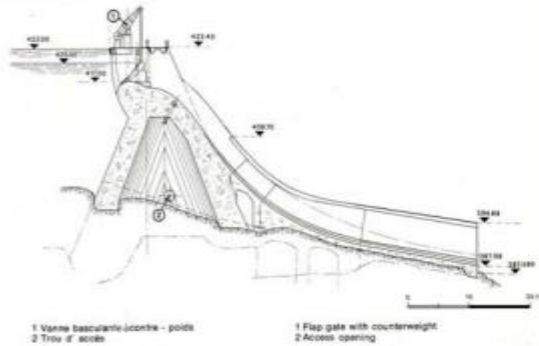
### 3.4. Υπερχειλιστής

Ο υπερχειλιστής βρίσκεται παράλληλα με την υδροληψία και ο σκοπός του είναι να εξέρχεται το νερό που πλεονάζει καθώς και η οικολογική παροχή (Εικόνα 6). Η διάσταση του υπερχειλιστή εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες και την μέγιστη πλημμυριακή παροχή. Το υλικό είναι συνήθως από σπλισμένο σκυρόδεμα, μιας και είναι η πιο οικονομική λύση. Η ικανότητα του υπερχειλιστή πρέπει να προσδιοριστεί κατά τρόπο σαφή με βάση τη δυνατότητα



παροχέτευσης της μέγιστης δυνατής πλημμύρας. Ο προσδιορισμός αυτός της πλημμυρικής παροχής του ποταμού προκύπτει από το υδρογράφημα του ποταμού.

COUPE TRANSVERSALE DEVERSOIR GAUCHE  
CROSS - SECTION AT LEFT BANK SPILLWAY



Εικόνα 6: Κατά μήκος τομή του μικρού υπερχειλιστή και διαμόρφωση της κατασκευής αναπήδησης κατάντη [Πηγή: Δημόπουλος και Σταφανάτος, <http://portal.tee.gr/>]

Οι υπερχειλιστές διαχωρίζονται σε δυο υποκατηγορίες α) στους υπερχειλιστές των φραγμάτων που στόχος τους είναι η διοχέτευση της μέγιστης πλημμυρικής απορροής του υδατορέματος με απώτερο σκοπό την αποφυγή της υπερχείλισης του νερού από την στέψη του φράγματος που θα είχε ως αποτέλεσμα την καταστροφή του φράγματος ως συνέπεια της διάβρωσης της βάσης του και β) στους υπερχειλιστές των φραγμάτων που στόχος τους είναι είτε η δημιουργία μια λεκάνης νερού που θα εξασφαλίζει της καλές συνθήκες υδροληψίας είτε η δημιουργία της υδραυλικής πτώσης (Παπαντώνης, 2008).

### 3.5. Εκκενωτής Πυθμένα

Ο εκκενωτής πυθμένα (Εικόνα 7) χρησιμοποιείται με στόχο την εκκένωση – άδειασμα του ταμιευτήρα σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης καθώς και συντήρησης αυτού.



Εικόνα 7: Εκκενωτής Πυθμένα  
[Πηγή: Χασιακός και Φαρμάκης, 2019]





### 3.6. Σήραγγα Εκτροπής

Η σήραγγα εκτροπής (Εικόνα 8) χρησιμοποιείται με στόχο την διοχέτευση της παροχής της φυσικής ροής κατά την διάρκεια της τελευταίας φάσης του φράγματος



Εικόνα 8: Σήραγγα εκτροπής  
[Πηγή: Χασιακός και Φαρμάκης, 2019]

### 3.7. Διώρυγα - Σήραγγα Προσαγωγής

Η σήραγγα προσαγωγής (Εικόνα 9) στοχεύει στη μεταφορά του νερού σε ένα σημείο που θα επιτευχθεί η βέλτιστη κλίση του αγωγού από την δεξαμενή φόρτισης στο υδροηλεκτρικό εργοστάσιο. Το νερό περνά από εκεί παρέχοντας λεπτόκοκκα φερτά διαμέτρου έως και 12mm.



Εικόνα 9: Σήραγγα προσαγωγής  
[Πηγή: Χασιακός και Φαρμάκης, 2019]



### 3.8. Εξαμμωτής και Δεξαμενή Φόρτισης

Στον εξαμμωτή καθιζάνουν τα λεπτόκοκκα φερτά. Ωστόσο, υπάρχουν επιπλέον σχάρες με στόχο την αποφυγή των υπόλοιπων φερτών στη δεξαμενή φόρτισης. Το καθαρό νερό υπερχειλίζει στην δεξαμενή φόρτισης, όπου στοχεύει στη συνεχή τροφοδοσία του αγωγού πτώσης και των υδροστροβίλων κατά την εκκίνηση τους. Ο λόγος που απαιτείται η δεξαμενή φόρτισης (Εικόνα 10) είναι γιατί οι υδροστρόβιλοι έχουν χρόνο εκκίνησης που κυμαίνεται από 5-10 sec, η διώρυγα δε θα είχε την απαραίτητη παροχή για να τροφοδοτήσει τον αγωγό πτώσεως με αποτέλεσμα την εισχώρηση αέρα, ο οποίος θα δημιουργούσε προβλήματα στη λειτουργία των μονάδων (Δημόλικας, 2018).



Εικόνα 10: Δεξαμενή φόρτισης  
[Πηγή: Χασιακός και Φαρμάκης, 2019]

### 3.9. Αγωγός Πτώσης

Το νερό που βρίσκεται στη δεξαμενή φόρτισης μεταφέρεται στον στρόβιλο με την χρήση είτε ενός σωλήνα κατάθλιψης είτε ενός αγωγού πτώσης (Εικόνα 11). Ο αγωγός πτώσης μπορεί να εγκατασταθεί επιφανειακά ή υπόγεια του εδάφους, κάτι που εξαρτάται από τις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή εγκατάσταση του ΜΥΗΕ (έδαφος, ανάγλυφο, υλικό αγωγού, θερμοκρασία περιβάλλοντος, περιβαλλοντικές απαιτήσεις) (Δημόλικας, 2018).

Οι αγωγοί πτώσεως συνήθως κατασκευάζονται από χάλυβα με χαρακτηριστικά (μήκος, διάμετρο κ.ά.) που έχουν καθοριστεί από οικονομοτεχνικά κριτήρια. Σημειώνεται ότι μικρή διάμετρος συνεπάγεται μικρό αρχικό κόστος, αλλά μεγαλύτερες απώλειες λόγω τριβής, άρα και μεγαλύτερο λειτουργικό κόστος. Όταν ο αγωγός προσαγωγής είναι μεγάλου μήκους προτείνεται μονός και απαιτείται να τροφοδοτεί ταυτόχρονα όλους τους στροβίλους του υδροηλεκτρικού έργου, ενώ, όταν είναι μικρότερου μήκους, κάθε υδροστρόβιλος τροφοδοτείται από ανεξάρτητο αγωγό (Παπαντώνης, 2008).



Εικόνα 11 Αγωγός πτώσεως  
[Πηγή: Δημόλικας, 2018]

Η επιλογή της διαμέτρου του αγωγού πτώσεως λαμβάνεται σύμφωνα την μέση ταχύτητα της ροής που αντιστοιχεί στην παροχή λειτουργίας της μονάδας. Η επιλογή της μέσης ταχύτητας επιλέγεται με στόχο (Παπαντώνης, 2008):

- να μην υπερβεί μια τιμή που λαμβάνεται από πίνακες ανάλογα με την εξεταζόμενη περίπτωση, ανάλογα το υλικό και την περιεκτικότητα στα διάφορα φερτά. Για παράδειγμα, σε χαλυβωσώλινα και νερό που περιέχει πυριτικό άμμο η μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα ροής είναι 4 (m/sec)
- να ικανοποιεί τα οικονομοτεχνικά κριτήρια από την οποία προκύπτει μια βέλτιστη τιμή της διαμέτρου: υδραυλικές απώλειες και κόστος κατασκευής.
- να μην αναπτύσσονται μεγάλες υπερπιέσεις και υποπιέσεις κατά την διάρκεια των μεταβατικών φαινομένων και κυρίως στην απόρριψη φορτίου.

Ωστόσο, όταν γίνεται παράλληλη χρήση δύο ή περισσότερων υδροτροβίλων, είναι δυνατή η επιλογή είτε ενός αγωγού πτώσης, ο οποίος διακλαδίζεται ανάντη του υδροηλεκτρικού σταθμού είτε τόσοι αγωγοί όσοι και οι υδροτρόβιλοι. Η επιλογή βασίζεται στην οικονομοτεχνική ανάλυση του έργου . καθώς και στους περιβαλλοντικούς περιορισμούς που μπορεί να θέτονται (Παπαντώνης, 2008).

Τα ανωτέρω κριτήρια οδήγησαν τους Gordon και Penman στη δημιουργία της σχέσης επιλογής διαμέτρου  $D$  του αγωγού πτώσεως:

$$D = 0.72 * Q^{0.5} \quad [3.1]$$

Όπου:

$Q$ = η παροχή λειτουργίας της μονάδας ( $m^3/h$ )

Βασικό στοιχείο υπολογισμού στον αγωγό πτώσεως είναι το πάχος του υλικού κατασκευής, όπου επιλέγεται από τυποποίηση και απαιτείται η αναπτυσσόμενη ορθή τάση να είναι μικρότερη από την επιτρεπόμενη τάση του υλικού. Στον υπολογισμό λαμβάνεται υπόψη η μείωση αντοχής κατά την ραφή συγκόλλησης των σωλήνων. Η τιμή που προκύπτει προσαυξάνεται για τις ενδεχόμενες διαβρώσεις του σωλήνα αναλόγως των συνθηκών του



ρευστού από ξένα σώματα και της συντήρησης. Το απαιτούμενο πάχος υπολογίζεται από την σχέση:

$$e = e_0 + e_1 + e_2 \quad [3.2]$$

Όπου:

$e_0$  = ελάχιστο πάχος που απαιτείται, ώστε η αναπτυσσόμενη μορφή τάσης της πίεσης του ρευστού να μην υπερβεί την τάση του υλικού  $\sigma_{\text{επ}}$

$e_1$  = ανοχή για την ανομοιομορφία του πάχους του ελάσματος από το οποίο κατασκευάζεται ο σωλήνας και

$e_2$  = ανοχή για την ενδεχόμενη φθορά ή διάβρωση (συνήθως  $e_2 = 1 \text{ mm}$ )

Ο υπολογισμός του ελάχιστου πάχους δίνεται από την σχέση:

$$e_0 = \frac{d_2 p}{2k_2 \frac{\sigma_{\text{επ}}}{k_1}} \quad [3.3]$$

Όπου:

$k_1$  = συντελεστής ασφάλειας της τάσης του αγωγού

$k_2$  = συντελεστές ασφάλειας της ραφής (για συγκολλητούς σωλήνες  $k_2 = 0.7-0.9$  ενώ χωρίς ραφή  $k_2 = 1$ )

$d_2$  = εξωτερική διάμετρος του σωλήνα

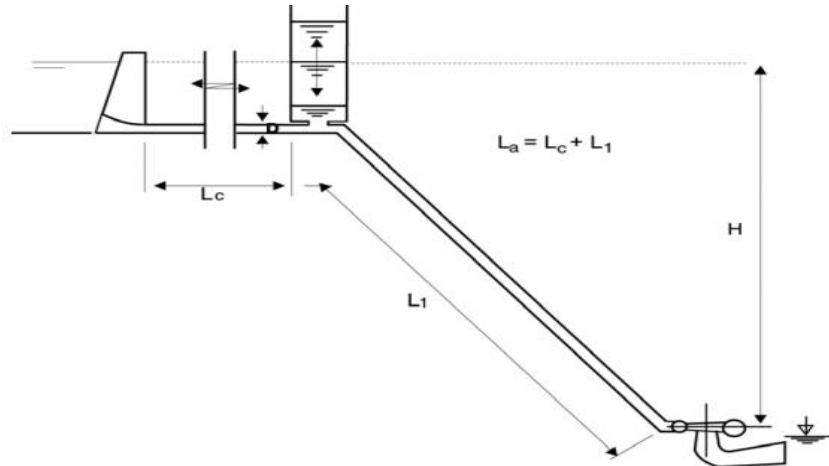
$p$ : η σχετική ολική πίεση του νερού

Σημειώνεται ότι η σχέση [3.3] δεν ισχύει όταν η πίεση του νερού είναι μικρότερη της ατμοσφαιρικής.

### 3.10. Πύργος Ανάπλασης

Ο πύργος ανάπλασης (Εικόνα 12) κατασκευάζεται για την προστασία των αγωγών από υπερπίεσεις και υποπίεσεις που μπορεί να εμφανιστούν κατά την απότομη εκκίνηση ή διακοπή των υδροστρόβιλων. Κατασκευάζονται συνήθως στην είσοδο ή κατά μήκος του αγωγού πτώσης. Είναι μια διάταξη (μια δεξαμενή αποθήκευσης νερού) απόσβεσης υψηλών πιέσεων που έχει σκοπό να απορροφά μέσα σε αυτή νερό από την μεγάλη πίεση που εμφανίζεται κατά το απότομο κλείσιμο (σε περίπτωση ανάγκης) των βανών. Η πίεση αυτή ρυθμίζει την παροχή στον υδροστρόβιλο. Έτσι αποφεύγεται το φαινόμενο του υδραυλικού πλήγματος (Καραμπατάκη, 2009).

Συμφωνία με τον Καρώνη (2009), ο σκοπός του πύργου ανάπλασης είναι να μειωθεί το ύψος της στήλης νερού τοποθετώντας μία ελεύθερη επιφάνεια κοντά στον υδροστρόβιλο. Ο πύργος θεωρείται μη αναγκαίος σε περιπτώσεις που το μήκος του αγωγού προσαγωγής είναι μικρότερο από πέντε (5) φορές το ύψος πτώσεως ( $L < 5 \cdot H$ ).



Εικόνα 12: Πύργος ανάπλασης ανάντη υδροστροβίλων  
[Πηγή: Καρώνης, 2015]

### 3.11. Θυροφράγματα και Βάνες

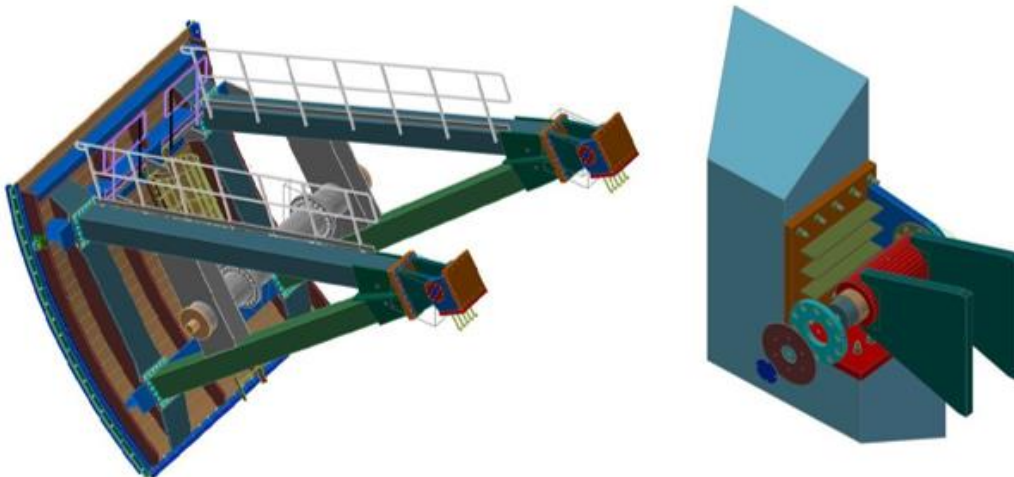
Για τις ανάγκες κατασκευής και συντήρησης του έργου τοποθετούνται θυροφράγματα και βάνες διακοπής έναντι και κατάντη υδροστρόβιλων.

Τύποι θυροφραγμάτων:

- Ακτινικού τύπου (radial gates)
- Κύλισης (wheel gates)
- Ολίσθησης (slide gatew)
- Τύπου πτερυγίου (flap gates)
- Κυκλικής διατομής (circular gatew)
- Ελαστικού τύπου (rubber gates)

Τύποι βαλβίδων:

- Βάνα συρτού τύπου
- Κοίλες βαλβίδες jet
- Βαλβίδα πεταλούδα
- Σφαιρική βαλβίδα



Εικόνα 13: Καμπυλωτό θυρόφραγμα και β)στροφέας θυροφράγματος  
[Πηγή: <http://mavrakis-sa.gr/index.>]



## 4. ΡΟΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 4.1. Διαθέσιμη Υδραυλική Πτώση

Ένας υδροστρόβιλος μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ρευστού σε μηχανική μέσω του στροβίλου. Σε ένα ΥΗΕ η ενέργεια του νερού ανά μονάδα μάζας είναι η δυναμική ενέργεια, ίση προς την υδραυλική πτώση:

$$h = Z_E - Z_A \quad [4.1]$$

Όπου:

$Z_e$  = στάθμη του ταμιευτήρα, εκτός αν διατίθεται και δεξαμενή φόρτισης (m) και  
 $Z_a$  = στάθμη του νερού κατάντη του έργου, με μηδενική κινητική ενέργεια, όπου οδηγείται στην φυσική ροή του ποταμού (m).

Η υδραυλική ισχύς που διατίθεται για μετατροπή σε μηχανική ενέργεια είναι ίση:

$$N_h = (\rho * g) * Q * h = \gamma * Q * h \quad [4.2]$$

Όπου:

$Q$  = παροχή όγκου που διέρχεται στον υδροστρόβιλο ( $m^3/sec$ )  
 $\rho$  = πυκνότητα νερού ( $kg/m^3$ )  
 $\gamma$  = η πυκνότητα και το ειδικό βάρος του νερού ( $N/m^3$ )  
 $g$  = η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $m/sec^2$ )

Όμως, η μηχανική ισχύς που ανακτάται είναι μικρότερη της  $N_h$ , λόγω των απωλειών του αγωγού προσαγωγής και από τον ίδιο τον υδροστρόβιλο. Οι υδραυλικές απώλειες:

$$\delta h_{f_{Ee}} = k_e * Q^2 \quad [4.3]$$

Όπου:

$Q$  = παροχή όγκου που διέρχεται στον υδροστρόβιλο ( $m^3/sec$ )  
 $k$  =ολικός συντελεστής τριβής.

Ο συντελεστής  $k$  είναι άθροισμα δύο απωλειών λόγω τριβών στα τοιχώματα κατά μήκος του αγωγού (μείζονες) και των τοπικών απωλειών που προέρχονται από τις διακλαδώσεις, γωνίες, βάνες κ.λ.π. (ελάσσονες) και δίνεται από την σχέση:

$$k = \sum_i f_i \frac{1}{d_i} \left( \frac{4}{\pi * d_i} \right)^2 + \sum_j J_j \left( \frac{4}{\pi * d_j} \right)^2 \quad [4.4]$$

Όπου:



$f_i$  = συντελεστή τριβής ( $i$  = τα διάφορα τμήματα των σωληνώσεων)  
 $J_j$  = τοπικές απώλειες ( $j$  = τα διάφορα τοπικά τμήματα)

Ο συντελεστής  $f$  όπως είναι γνωστός από την μηχανική ρευστών, εξαρτάται από τον αριθμό Reynolds και την σχετική τραχύτητα του αγωγού  $Q$

Για την στρωτή ροή:

$$f = \frac{64}{Re} \quad [4.5]$$

ενώ για την τυρβώδη ροή

$$f = \frac{0.3086}{\left[ \log \left( \left( \frac{\epsilon}{3.7d} \right)^{1.11} + \frac{6.9}{Re} \right) \right]^2} \quad [4.6]$$

Όπου:

$Re$  = αριθμός Reynolds

$\epsilon/d$  = τραχύτητα υλικού

Δηλαδή η ενέργεια ανά μονάδα μάζας του νερού την οποία θα μετατρέψει ο υδροστρόβιλος σε μηχανική είναι ίση:

$$H_{av} = h - \delta h_{fEe} - \delta h_{fAa} \quad [4.7]$$

Όπου:

$h$  = υδραυλική πτώση (m)

$\delta h_{fEe}$  = υδραυλικές απώλειες (m)

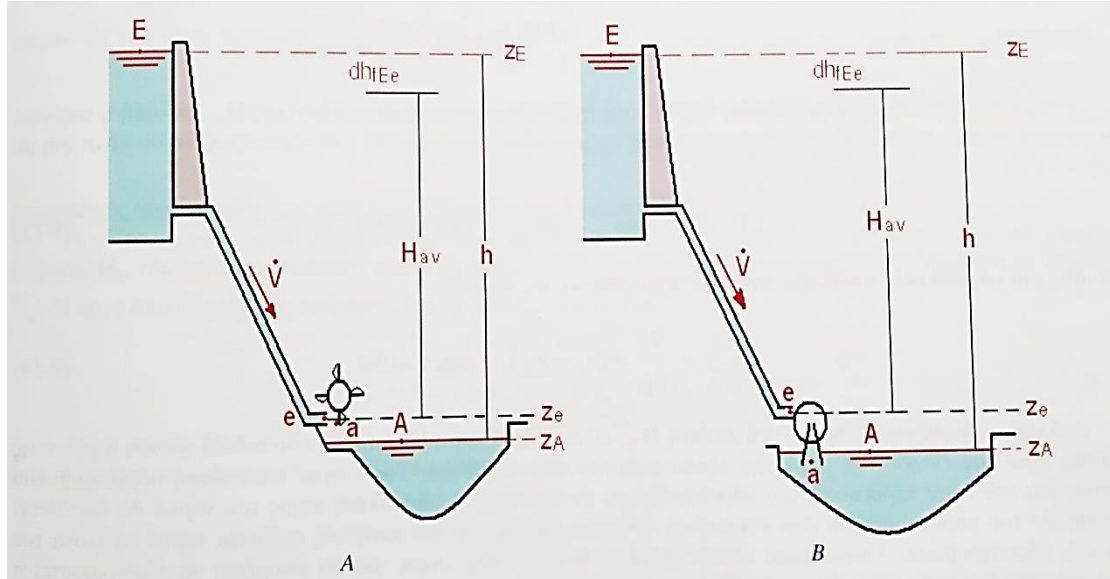
$\delta h_{fAa}$  = τοπικές απώλειες (m)

Άρα η διαθέσιμη υδραυλική πτώση  $H_{av}$  (available) είναι μικρότερη κατά τις υδραυλικές απώλειες πριν την είσοδο του υδροστρόβιλου, οι οποίες αυξάνονται με το τετράγωνο της παροχής για δεδομένη εγκατάσταση και διαστάσεις έργου και οι απώλειες μετά την έξοδο του υδροστρόβιλου. Η διαστασιολόγηση των έργων είναι ξεκάθαρα οικονομοτεχνικό πρόβλημα, όσο αυξάνονται οι διαστάσεις των έργων (π.χ. η διάμετρος του αγωγού προσαγωγής), αυξάνεται και το κόστος εγκατάστασης, αλλά μειώνονται οι υδραυλικές απώλειες. Συνεπώς αξιοποιείται μεγαλύτερο μέρος ενέργειας ανά μονάδα μάζας ύδατος, αυξάνεται δηλαδή η μηχανική ενέργεια και τα έσοδα του έργου. Μία άλλη παράμετρος που σχετίζεται με την διαστασιολόγηση είναι η υπερπήδηση και υποπίεση που αναπτύσσονται κατά τα μεταβατικά φαινόμενα (υδραυλικό πλήγμα).



## 4.2. Ενεργειακός ισολογισμός

Ο ενεργειακός ισολογισμός ενός ΜΥΗΕ γίνεται σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά μεγέθη και μεταβλητές της Εικόνα 19.



Εικόνα 14 Χαρακτηριστικά μεγέθη και μεταβλητές.  
[Πηγή: Πολυζακης, 2016]

### 1. Θέση ε (άνω ταμιευτήρα) στην θέση e (είσοδος υδροστρόβιλου)

Η ολική ενέργεια στην είσοδο του υδροστρόβιλου  $H_{oE}$  προερχόμενη από τις υδραυλικές απώλειες. Μέσω αρχής διατήρησης της ενέργειας (εξίσωση Βερνούλλι) για σταθερή ροή στα σημεία E και e:

$$H_{oE} = H_{oe} + \delta h_{fEe} \Rightarrow h_E + z_E + \frac{V_E^2}{2g} = h_e + z_e + \frac{V_e^2}{2g} + \delta h_{fEe} \quad [4.8]$$

$$h = \frac{P}{\rho g} \quad [4.9]$$

Από την σχέση [4.8] αντικαθιστώντας την σχέση [4.9] προκύπτει:

$$\frac{P_E}{\rho g} + z_e + \frac{V_E^2}{2g} = \frac{P_e}{\rho g} + z_e + \frac{V_e^2}{2g} + \delta h_{fEe} \quad [4.10]$$

Η σχετική στατική πίεση της επιφάνειας του πάνω ταμιευτήρα θέση (E) είναι μηδέν, γιατί είναι ανοικτή στην ατμόσφαιρα (ελεύθερη):  $P_E=0$ . Η ταχύτητα του νερού στη θέση E είναι μηδέν λόγω μεγάλου εμβαδού της επιφάνειας:  $V_E \approx 0$ . Με βάση τις παραπάνω επισημάνσεις η σχέση γράφεται:





$$z_E - z_e = \frac{V_e^2}{2g} + \frac{P_e}{\rho g} + \delta h_{fEe} \quad [4.11]$$

## 2. Θέση a (έξοδος υδροστρόβιλου) και A (κάτω ταμιευτήρας)

Όμοια γράφουμε την αρχή διατήρησης της ενέργειας (εξίσωση Bernoulli) για μια σταθερή ροή για τα σημεία και A:

$$H_{oa} = H_{oA} + \delta h_{faA} \Rightarrow h_a + z_a + \frac{V_a^2}{2g} = h_A + z_A \frac{V_A^2}{2g} + \delta h_{faA} \quad [4.12]$$

Στα σημεία a και A το νερό είναι εκτεθειμένο στην ατμόσφαιρα, άρα η σχετική στατική πίεση θα είναι μηδέν:

$$h_a = \frac{P_a}{\rho g} \approx 0 \quad [4.13]$$

και

$$h_A = \frac{P_A}{\rho g} \approx 0 \quad [4.14]$$

Επίσης θεωρείται αμελητέα την υψομετρική διαφορά των σημείων a και A:  $z_a \approx z_A$ .

Η ταχύτητα του νερού στην θέση A είναι περίπου μηδέν λόγω της μεγάλης επιφάνειας του κάτω ταμιευτήρα, δηλαδή  $V_A \approx 0 \Rightarrow V_A^2 = 0$ . Με αντικατάσταση των σχέσεων στην σχέση [4.12] προκύπτει:

$$\delta h_{faA} = \frac{V_a^2}{2g} \quad [4.15]$$

## 3. Θέση e (είσοδος υδροστρόβιλου) και a (έξοδος υδροστρόβιλου)

Η ενέργεια του νερού στην είσοδο (e) του υδροστρόβιλου  $H_{oe}$  διατίθεται για την μετατροπή σε μηχανική ενέργεια  $H_{av}$  στον υδροστρόβιλο και το υπόλοιπο σε κινητική ενέργεια απορροή του νερού από τον υδροστρόβιλο με ταχύτητα  $V_a$ . Από την αρχή διατήρησης της ενέργειας για τις θέσεις e και a γράφεται:

$$H_{oe} = H_{av} + H_{oa} \Rightarrow h_e + z_e + \frac{V_e^2}{2g} = H_{av} + h_a + z_a + \frac{V_a^2}{2g} \quad [4.16]$$

Όπου:



$$H_{av} = H_{oe} - \frac{V_a^2}{2g} \quad [4.17]$$

Η διαθέσιμη ενέργεια του υδροστρόβιλου και  $\frac{V_a^2}{2g}$  η κινητική ενέργεια του νερού στην έξοδο του υδροστρόβιλου:

$$H_{oe} = z_E - z_e - \delta h_{fEe} \Rightarrow H_{oe} = z_E - z_e - k * V^2 \quad [4.18]$$

Από τον συνδυασμό των παραπάνω σχέσεων [4.16], [4.17] και [4.18]:

$$H_{av} = z_E - z_e - k * V^2 - \frac{V_a^2}{2g} \quad [4.19]$$

Λόγω της μικρής διαφοράς μεταξύ των σημείων e και a:  $z_e \approx z_a$  και με  $h_a = \frac{P_a}{\rho g} \approx 0$ , εάν το ακροφύσιο είναι εκτεθειμένο στην ατμόσφαιρα (υδροστρόβιλος δράσης ή  $z_a \approx z_A$  (υδροστρόβιλος αντίδρασης), οπότε ισχύει:  $P_a = P_A \approx 0$ . Αντικαθιστώντας στην σχέση [4.16] προκύπτει:

$$h_e + \frac{V_e^2}{2g} = H_{av} + \frac{V_a^2}{2g} \Rightarrow V_a = \sqrt{V_e^2 + 2gh_e - 2gH_{av}} \quad [4.20]$$

Για τα δυο είδη υδροστρόβιλων διακρίνουμε τις αντίστοιχες υποπεριπτώσεις:

#### 4. Υδροστρόβιλος δράσης

Στην θέση e το νερό βρίσκεται σε ατμοσφαιρική πίεση, άρα:

$$P_e = 0 \Rightarrow \frac{P_e}{\rho g} = 0 \Rightarrow h_e = 0 \quad [4.21]$$

Οπότε η σχέση [4.20] στην περίπτωση αυτή παίρνει την μορφή:

$$V_a = \sqrt{V_e^2 - 2gH_{av}} \quad [4.22]$$

#### 5. ΥΗΣ με υδροστρόβιλο αντίδρασης

Ομοίως στην περίπτωση αυτή θα έχουμε από την σχέση [4.20] και με  $V_e \approx 0$ , επειδή η διατομή του αγωγού προσαγωγής είναι αρκετά μεγάλη οπότε:

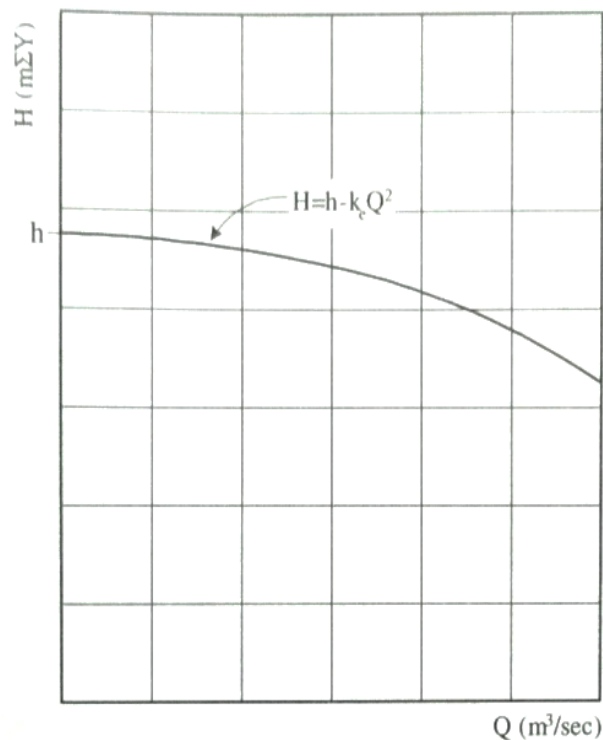
$$V_a = \sqrt{V_e^2 + 2gh_e - 2gH_{av}} \Rightarrow V_a = \sqrt{2gh_e - 2gH_{av}} \quad [4.23]$$



Επίσης στον υδροστρόβιλο αντίδρασης ισχύει ότι  $P_e \neq 0 \Rightarrow \frac{P_e}{\rho g} \neq 0 \Rightarrow h_e \neq 0$

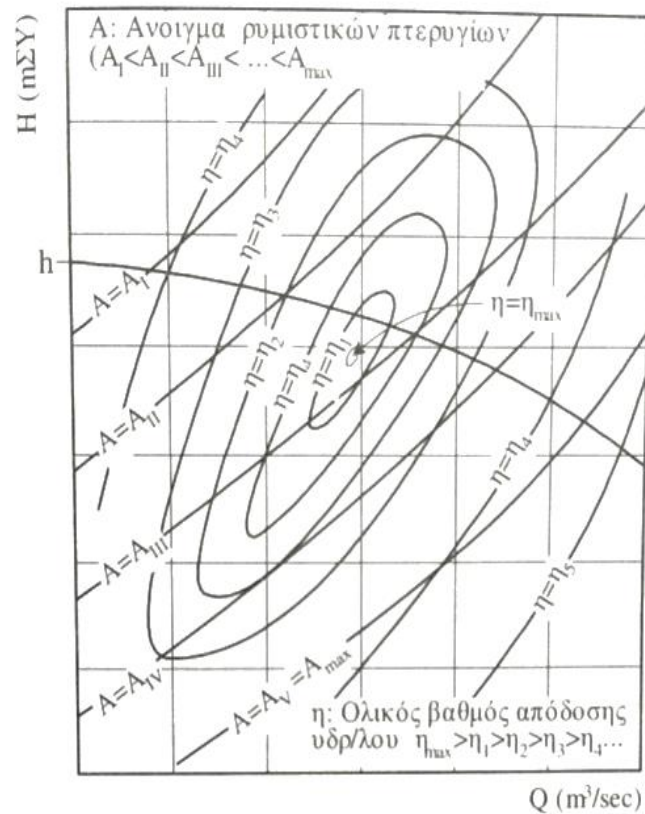
### 4.3. Σημείο Λειτουργίας Υδροηλεκτρικού Συστήματος

Σύμφωνα με όσα προαναφερθήκαν ο υδροστρόβιλος έχει να μετατρέψει την διαθέσιμη υδραυλική πτώση  $H$  σε μηχανική. Η διαθέσιμη υδραυλική πτώση εκφράζεται ως συνάρτηση της παροχής  $Q$ , η όποια στο διάγραμμα  $(Q,H)$  έχει την μορφή παραβολής.



Σχήμα 8: Διαθέσιμη υδραυλική πτώση συνάρτηση παροχής  
[Πηγή: Πολυζακης, 2016]

Η λειτουργία ενός υδροστρόβιλου, υπό σταθερή ταχύτητα περιστροφής περιγράφεται στο διάγραμμα παροχής  $(H,Q)$ , από ένα πλέγμα καμπύλων, κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχεί η αντίστοιχη κλίση των πτερύγιων.

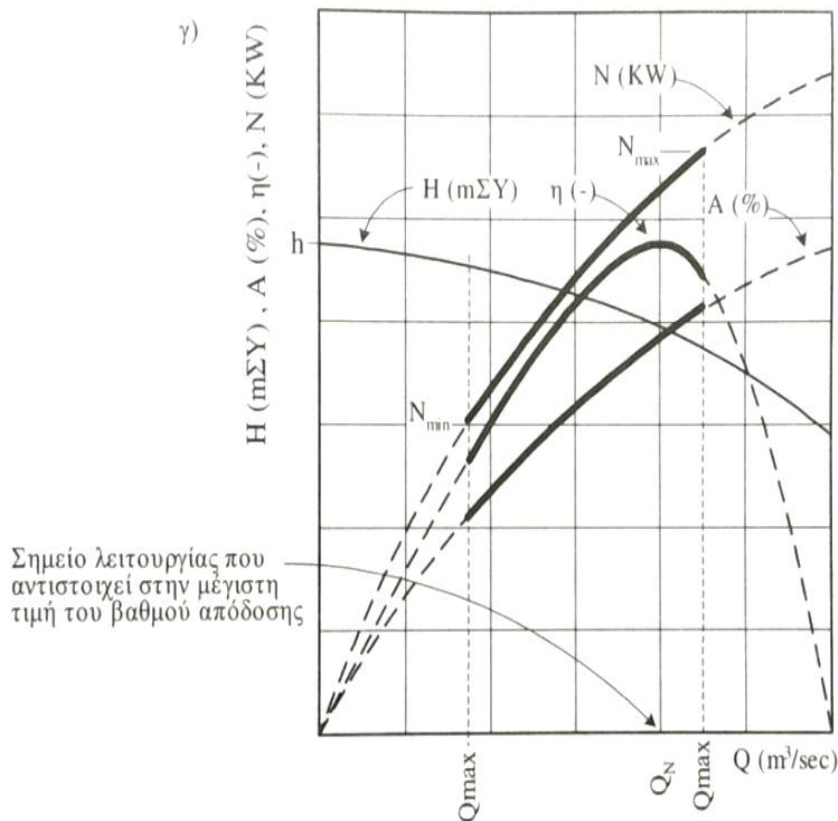


Σχήμα 9: Διαθέσιμη υδραυλική πτώση συνάρτηση παροχής και αντίστοιχη απόδοση του υδροστροβίλου με την αντίστοιχη κλίση πτερυγίων [Πηγή: Πολυζακής, 2016]

Εάν ο υδροστρόβιλος, του οποίου οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας περιγράφονται από αυτές του Σχήματος 9 εγκατασταθεί σε υδραυλική πτώση του Σχήματος 8, τα μόνα δυνατά σημεία λειτουργίας είναι αυτά της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης  $H$  της εγκατάστασης. Εάν χαραχτεί η καμπύλη της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης  $H$  στο διάγραμμα με τις χαρακτηριστικές καμπύλες του υδροστροβίλου, προκύπτουν τα χαρακτηριστικά των δυνατών σημείων λειτουργίας. Για την συγκεκριμένη τιμή της υδραυλικής πτώσης  $h$ , από τις τιμές του Σχήματος 9 μπορεί να σχεδιάσει ένα τρίτο Σχήματος 10 στο οποίο φαίνεται η αντιστοιχία των διαφόρων μεγεθών όπως της παροχής ( $Q$ ) της υδραυλικής πτώσης ( $H$ ) του ολικού βαθμού απόδοσης ( $\eta$ ) της παραγόμενης μηχανικής ισχύος ( $W$ ) και του ανοίγματος ( $A$ ) των ρυθμιστικών περιγείων.

Από το προαναφερόμενο Σχήμα 10 φαίνεται ότι η λειτουργία του συγκεκριμένου υδροστροβίλου στη συγκεκριμένη υδραυλική εγκατάσταση έχει ένα συγκεκριμένο εύρος λειτουργίας από την ελάχιστη τιμή  $Q_{\min}$  έως την μέγιστη τιμή  $Q_{\max}$ , που αντιστοιχεί στην μέγιστη παραγόμενη ισχύ. Στην πράξη, για λογούς ασφαλής λειτουργίας, το εύρος του υδροστροβίλου είναι πολύ πιο περιορισμένο.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι είναι επιθυμητή η λειτουργία του υδροστροβίλου σε περιοχές λειτουργίας όπου ο ολικός βαθμός απόδοσης ( $\eta$ ) έχει υψηλές τιμές, προκύπτει η ανάγκη επιλογής του υδροστροβίλου σε λειτουργία στην γειτονιά του σημείου μέγιστου βαθμού απόδοσης (Πολυζακής, 2016).



Σχήμα 10: Διαθέσιμη υδραυλική πτώση συνάρτησης παροχής και αντίστοιχη λειτουργία του υδροστροβίλου [Πηγή: Πολυζακης, 2016]

#### 4.4. Ενεργειακή ανάλυση Υδροηλεκτρικού Έργου

Με δεδομένο την καμπύλη διάρκειας παροχής υδατορεύματος σε συγκεκριμένη διατομή μπορούμε να υπολογίσουμε την ενέργεια που θα παραχθεί ετησίως, καθώς και το μέγεθος του υδροστροβίλου. Το πρόβλημα στα ΜΥΗΕ είναι ότι δεν περιέχουν μεγάλους ταμιευτήρες για λόγους οικονομίας με αποτέλεσμα το μεγάλο εύρος παροχών, ενώ ο υδροστροβίλος έχει μικρό εύρος παροχής λειτουργίας. Συνεπώς υπάρχει πρόβλημα της επιλογής του μεγέθους του υδροστροβίλου. Επομένως είναι ανάγκη να γυρίζουμε εξ αρχής τη συμπεριφορά της παροχής ( $Q$ ) στο χρόνο, δηλαδή το  $Q(t)$ . Ειδικότερα, θα θέλαμε να γνωρίζουμε και κάθε τιμή που μπορεί να λάβει η παροχή, το ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο η παροχή διατηρείται σε μεγαλύτερες τιμές παροχής. Γνωρίζοντας αυτό, μπορούμε να προσδιορίσουμε την παροχή σχεδιασμού του έργου.

Η παροχή  $Q$  είναι μια τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί κάποια κατανομή. Την κατανομή αυτή προσεγγίζουμε με την καμπύλη διάρκειας παροχής. Οι παράμετροι της κατανομής παραμένουν σταθερές στο χρόνο και επομένως, σταθερή παραμένει και η καμπύλη διάρκειας παροχής. Η παροχή ως μεταβλητή παρουσιάζει ετήσιο μοτίβο. Για τον λόγω αυτό, η καμπύλη διάρκειας εφαρμόζεται πάντα σε ακέραιο πλήθος περιόδων (ετών) και ποτέ κάτω του ενός έτους.

Στην καμπύλη διάρκειας παροχής υπάρχουν τρεις παραδοχές οι οποίες είναι:



- Η υπέρβαση μικρότερης του 10% εμφανίζονται κυρίως πλημμυρικές παροχές λόγω του γεγονότος ότι ο υδροστρόβιλος δεν μπορεί να την αξιοποιήσει ολόκληρη.
- Στο διάστημα πιθανοτήτων 15% με 25% βρίσκεται συνήθως η τιμή παροχής που θα επιλέξουμε ως σχεδιαστικό μέγεθος, όπου θα είναι και το εύρος λειτουργίας του στροβίλου.
- Η λειτουργία ενός μικρού υδροηλεκτρικού έργου στις χαμηλές παροχές με πιθανές υπερβάσεις μεγαλύτερης του 80% μένει αναξιοποίητο, λόγω της μηδενικής απόδοσης του υδροστρόβιλου.

Όταν στη διαμόρφωση της παροχής ενός ρεύματος η πηγαία συνεισφορά είναι σημαντική και παραμένουν υψηλές οι τιμές παροχής για μεγάλες πιθανότητες υπέρβασης, ο σχεδιασμός του έργου σε αυτή την θέση με τα χαρακτηριστικά αυτά είναι οικονομικός και κερδοφόρος. Αντίθετα, όπου η καμπύλη διάρκειας παροχής εμφανίζει σημαντικό μέρος του συνολικά διερχόμενου όγκου σε μικρές πιθανότητες υπέρβασης, οδηγεί σε αντιοικονομικό έργο.

Για λόγους αξιοποίησης του πόρου υπάρχει η οικολογική εκμετάλλευση του 75% του διερχόμενου όγκου (Βαθμός Ενεργειακής Αξιοποίησης ΒΕΑ) και η απελευθέρωση 30% της μέσης παροχής Ιουνίου-Ιουλίου-Αύγουστου ή το 50% του Σεπτεμβρίου (το μεγαλύτερο από τα δυο). Τηρώντας την υποχρέωση του ΒΕΑ επιλεγούμε την  $Q_{max}$  δηλαδή την μέγιστη διερχόμενη παροχή στους υδροστρόβιλους. Βάσει των στροβίλων που θα επιλέξουμε ορίζεται και η ελάχιστη παροχή λειτουργίας ως ποσοστό της  $Q_{mint}$ . Ο προς εκμετάλλευση όγκος νερού που είναι ο διαθέσιμος μεταξύ της μέγιστης και ελάχιστης τιμής μετά βεβαία την αφαίρεση της οικολογικής παροχής.



## 5. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΥ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΤΟΝ ΠΟΤΑΜΟ ΠΕΙΡΟ

### 5.1. Θέση Σταθμού Παράγωγης ΜΥΗΣ

Το έργο θα κατασκευαστεί στον ποταμό Πείρο, ανάμεσα στους οικισμούς Χρυσοπηγής και Καλάνου, του Δήμου Φαρρών του Νομού Αχαΐας. Η ακριβής γεωγραφική θέση του έργου, στο σύστημα Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς '87 θα είναι η ακόλουθη:

Πίνακας 2: Ακριβής γεωγραφική θέση του φράγματος και του σταθμού

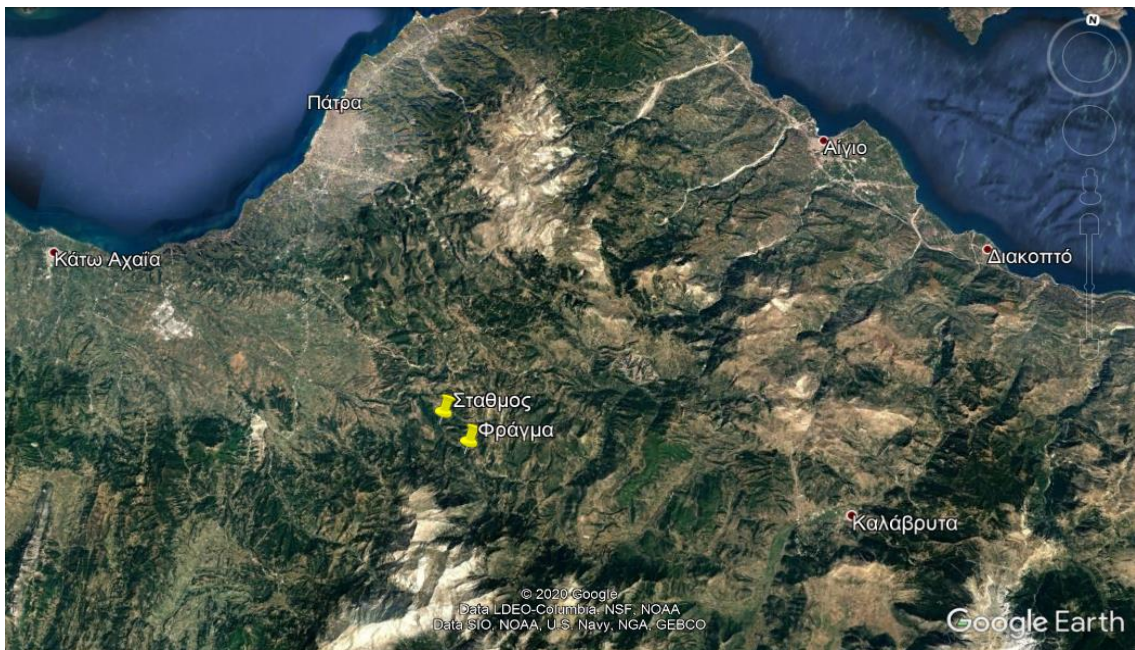
	X	Y	ΥΨΟΜΕΤΡΟ
Θέση Υδροληψίας	311515,8	4213103	+425m
Θέση ΜΥΗΣ	309858,4	4214839	+345m



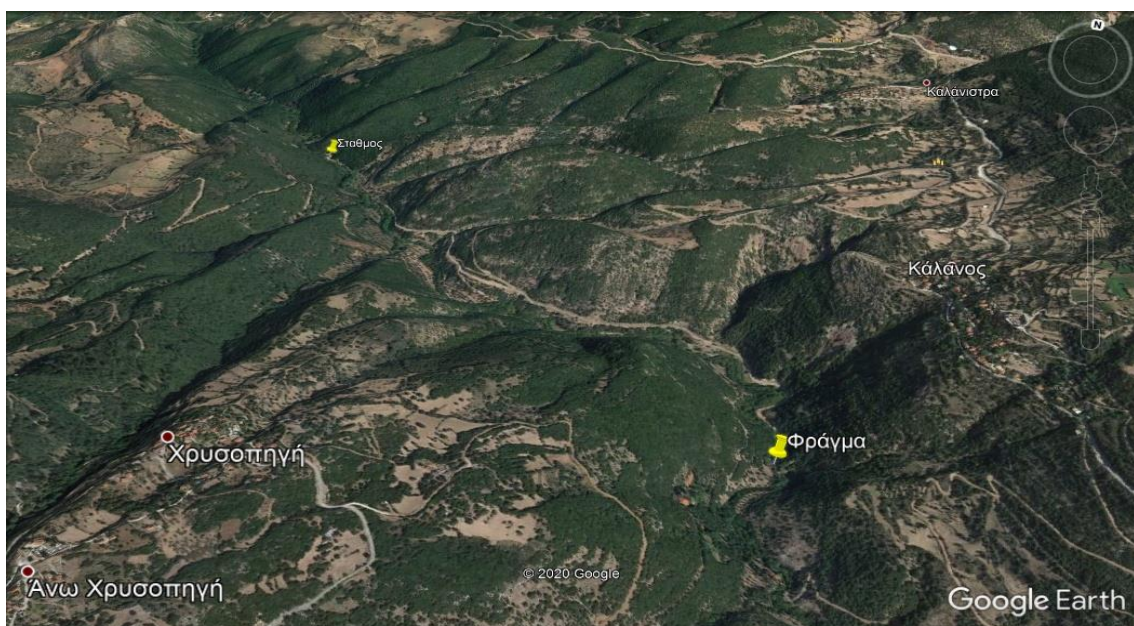
Εικόνα 15: Διοικητικά όρια του ΗΥΕ Πείρου



Η υδροληψία του ΜΥΗΕ θα ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα Βόρειας Πελοποννήσου, στη λεκάνη απορροής Πείρου-Βέργα-Πηνειού, στο ποτάμιο υδατικό σύστημα Πείρος. Σύμφωνα με τον Καλπακιώρης (2019) η λεκάνη απορροής υδάτων χωροθετείται ανάμεσα από διάφορους Δήμους των Πατρών, υδροδοτώντας τους οικισμούς τους. Οι Δήμοι είναι των Πατρέων, της Δυτικής Αχαΐας και του Ερυμάνθου, των οποίων οι υδροδοτήσεις και οτιδήποτε θέμα αφορά το φράγμα θα είναι υπεύθυνος ο δυνητικός φορέας διαχείρισης. Οι 107 οικισμοί στους οποίους αναφέρεται το έργο είναι είτε πεδινοί είτε παραλιακοί και βρίσκονται περιφερειακά του έργου (δυτικά και βορειοδυτικά, ανατολικά και βορειοανατολικά). Στην Εικόνα 15 προβάλλονται το υδρολογικό δίκτυο, τα όρια των Δήμων και με κόκκινη γραμμή δηλώνονται οι εξυπηρετούμενες περιοχές. Στις Εικόνες 16 και 17 δίνεται η θέση του ΜΥΗΕ από το Google Earth.



Εικόνα 16: Θέση ΜΥΗΕ Πείρου (Google Earth)



Εικόνα 17: Θέση ΜΥΗΕ Πείρου (Google Earth)





### 5.1.1. Χρησιμοποιούμενη Μορφή Ενέργειας

Η μορφή της ενέργειας που χρησιμοποιείται στο παρόν έργο είναι υδροηλεκτρική ενέργεια που όπως αναφέρθηκε και στο θεωρητικό τμήμα της παρούσας εργασίας 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.

## 5.2. Βασικά Χαρακτηριστικά ΜΥΗΣ

Τα βασικά χαρακτηριστικά του ΜΥΗΣ έχουν αντληθεί από την Απόφαση με Θέμα «α) Τροποποίηση της υπ' αριθμ. 1104/14-05-2007 Απόφασης του Γ.Γ. Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδας β) Ανανέωση της άδειας χρήσης νερού για παραγωγή ενέργειας από μικρό υδροηλεκτρικό σταθμό, εγκατεστημένης ισχύος 1,2 MW, στον ποταμό Πείρο, Δ.Ε. Φαρρών, Δήμου Ερυμάνθου, Π.Ε. Αχαΐας, Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδας» (Ελληνική Δημοκρατία Αποκεντρωμένη Διοίκηση Πελοποννήσου, Δυτικής Ελλάδας και Ιονίου, Γενική Διεύθυνση Χωροταξικής και Περιβαλλοντικής Πολιτικής, Διεύθυνση Υδάτων Δυτικής Ελλάδας, Τμήμα Παρακολούθησης και Προστασίας των Υδάτινων Πόρων, ΑΔΑ Ψ4ΜΑΟΡ1Φ-Φ2Λ, 2020)

### ➤ Υδροληψία

Η υδροληψία θα αποτελείται από μικρό υπερπηδητό φράγμα ορεινού τύπου από σκυρόδεμα, ύψους 3 m και μήκους 11 m (υψόμετρο κοίτης 425 m και υψόμετρο στέψης υπερχειλιστή υδροληψίας 428 m). Στα δεξιά κατά τον ρου του ποταμού, θα βρίσκεται ο εξαμμητής για τη συγκράτηση των φερτών υλικών από σπλισμένο σκυρόδεμα συνολικού μήκους 22 m περίπου, δεξαμενή φόρτισης, καθώς και κατάλληλη διάταξη για την επικοινωνία της ιχθυοπανίδας (ιχθυόδρομος), μέσω της οποίας θα αποδίδεται και η οικολογική παροχή.

### ➤ Αγωγός Προσαρμογής νερού

Ο αγωγός προσαγωγής νερού, θα είναι συνολικού μήκους 2720 m, από πλαστικό σωλήνα ενισχυμένο με υαλοήματα (GRP) διαμέτρου Φ1.300 mm για μήκος 1.407 m και διαμέτρου Φ1.200 mm για μήκος 1313 m. Ο αγωγός θα οδεύει σε επιχωματούμενο όρυγμα δεξιά κατά τον ρου του ποταμού. Στα σημεία που ο αγωγός αλλάζει έντονα κλίση θα είναι πακτωμένα με σώματα αγκύρωσης από σκυρόδεμα.

### ➤ Σταθμός ηλεκτροπαραγωγή

Το κτίριο του σταθμού (στροβιλοστάσιο) θα είναι 150m<sup>2</sup>, στα δεξιά κατά τον ρου του ποταμού, σε υψόμετρο 345 m. Θα κατασκευαστή διώρυγα φυγής για την επαναφορά του νερού στην κοίτη του ποταμού μετά την ενεργειακή του αξιοποίηση.

Επιπλέον, στο κτίριο του σταθμού θα εγκατασταθεί ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός αποτελούμενος από:



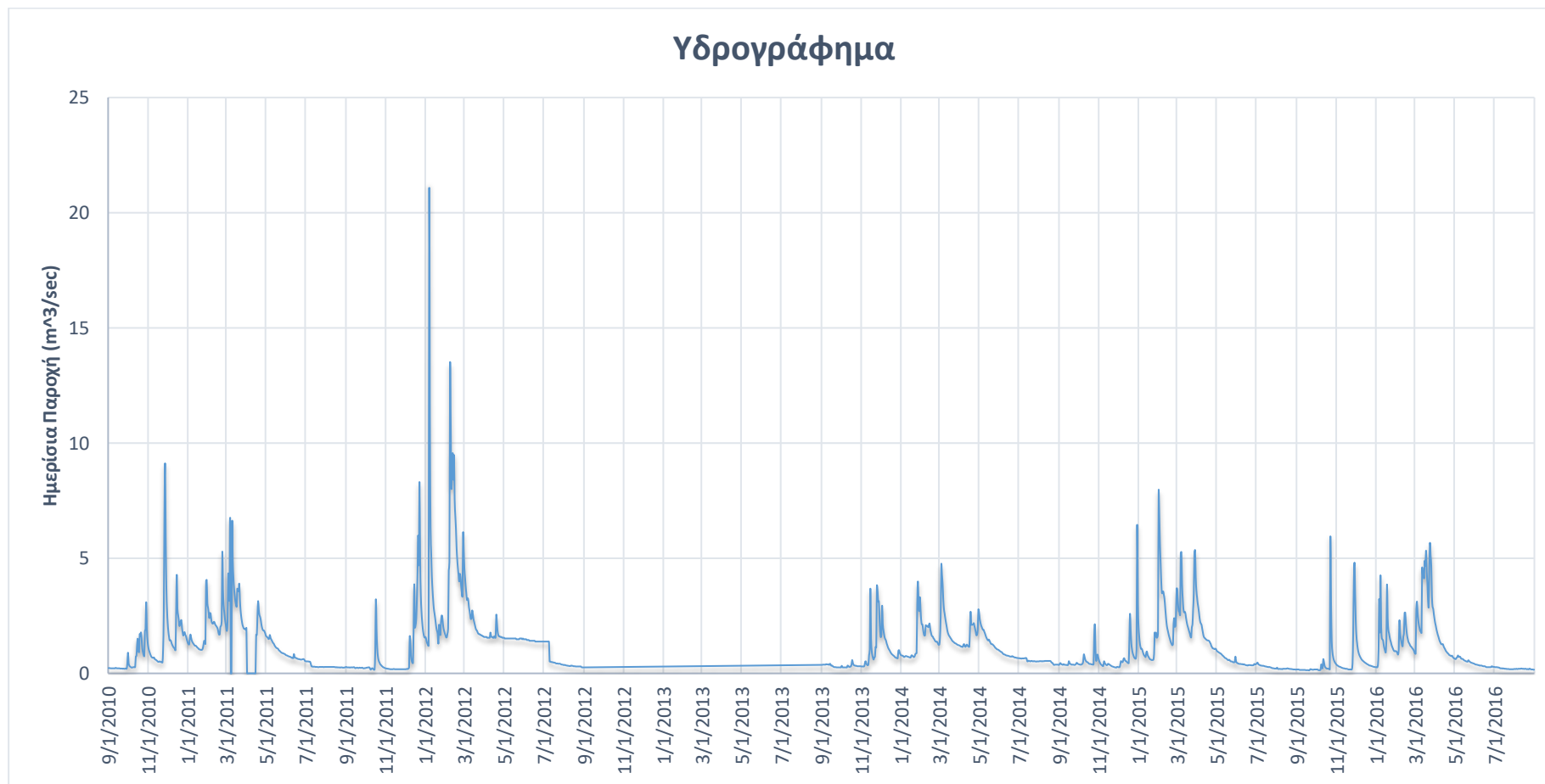
- Έναν (1) υδροστρόβιλο τύπου Francis οριζόντιου άξονα, ισχύος 942 kW (αποδιδόμενη για μέγιστη παροχή  $1,35 \text{ m}^3 / \text{sec}$  υπό καθαρό ύψος πτώσης 77,96 m) και γεννήτρια τριφασική, ονομαστικής ισχύος 1100 kVA, σύγχρονη, με τάση λειτουργίας 0,6 kV.
- Έναν (1) υδροστρόβιλο τύπου Pelton οριζόντιου άξονα, ισχύος 380 kW (αποδιδόμενη για μέγιστη παροχή  $0,55 \text{ m}^3 / \text{sec}$  υπό καθαρό ύψος πτώσης 77,44 m) και γεννήτρια τριφασική, ονομαστικής ισχύος 400 kVA σύγχρονη, με τάση λειτουργίας 0,6 kV.
- Μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης, αερόψυκτο, τριφασικό, ελαίου, εξωτερικού χώρου ισχύος 1500 kVA και δευτερεύοντα μετασχηματιστή τριφασικό, εξωτερικού χώρου ισχύος 100 kVA.
- Λοιπό αναγκαίο ηλεκτρομηχανολογικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό και εγκαταστάσεις, όπως πίνακες, όργανα ρύθμισης και ελέγχου, αυτοματισμοί κλπ.

Όσον αφορά τον σταθμό ηλεκτροπαραγωγής κατά την εκπόνηση της ενεργειακής μελέτης θα αναφερθούν οι λόγοι που επιλέχθηκε ο προαναφερόμενος ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός.

## 5.3. Ενεργειακή Μελέτη

### 5.3.1. Χαρακτηριστικές Καμπύλες 21 Σημείων

Η ενεργειακή μελέτη του ΜΥΗΕ του ποταμού Πείρου βασίζεται στον προσδιορισμό της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας. Δηλαδή των δεδομένων που συλλέγονται από τα υδρολογικά στοιχεία μιας χρονικής περιόδου καθώς και των τεχνικών στοιχείων του έργου. Αρχικά δίνεται το Υδρογράφημα της περιοχής όπου είναι η ημερήσια παροχή ( $\text{m}^3/\text{sec}$ ) που παρουσιάστηκε κατά το χρονικό διάστημα 01/09/2010 έως και 31/8/2016.

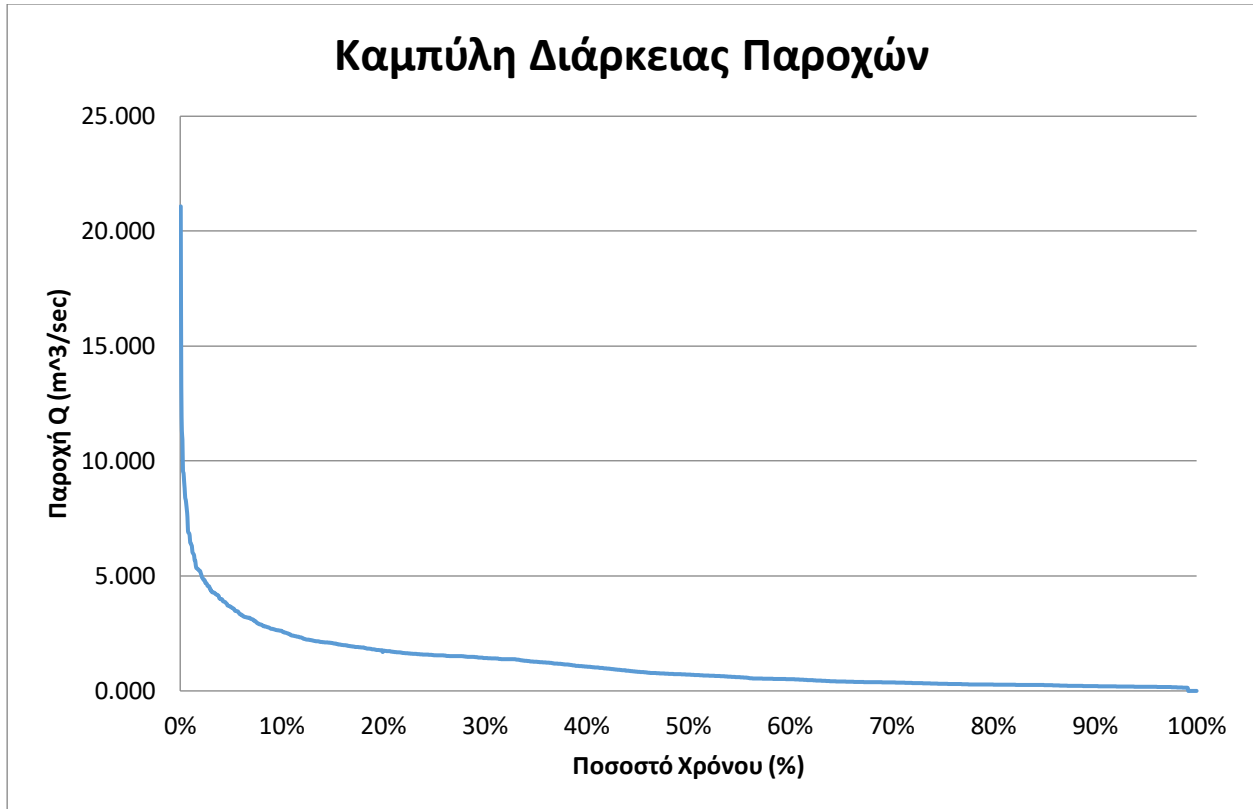


Διάγραμμα 1: Υδρογράφημα (Χρονικό Διάστημα 01/09/2010 έως και 31/8/2016)

Σημείωση: Οι τιμές παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα Α'.



Η καμπύλη διάρκειας παροχής προέκυψε βάσει αναγωγής των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στη θέση υδροληψίας,. Οι τιμές αυτές κατατάχτηκαν σε αύξουσα σειρά, για την δημιουργία του διαγράμματος παροχής (Διάγραμμα 2).



Διάγραμμα 2: Καμπύλη διάρκειας παροχής του ποταμού Πείρου

Από την καμπύλη διάρκειας παροχής επιλέχτηκε το 20% παροχής χρόνου, στην όποια αντιστοιχεί παροχή ίση με  $1,77 \text{ m}^3/\text{sec}$  (Πίνακας 4, Σχήμα 11).

Στην συνέχεια υπολογίζεται η διαθέσιμη παροχή ανά διάστημα, η οποία ισούται με την παροχή του ποταμού αφαιρώντας την οικολογική παροχή. Σε κάθε ένα διάστημα αντιστοιχεί μία χαρακτηριστική τιμή παροχής προς εκμετάλλευση.

Χωρίζεται σε 20 ίσα διαστήματα ανά 5% του χρόνου. Σε κάθε ένα από τα 20 διαστήματα αντιστοιχεί μία μέγιστη και μία ελάχιστη τιμή παροχής. Παίρνοντας ως αντιπροσωπευτική την μέγιστη τιμή του διαστήματος δημιουργήθηκε η καμπύλη διάρκειας – παροχής 21 σημείων.

Η οικολογική παροχή πάρθηκε από το μεγαλύτερο από τα ακόλουθα μεγέθη:

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

Η οικολογική παροχή που θα πρέπει να αποδοθεί, βρέθηκε στα 143 lt/sec, σε ποσότητα τουλάχιστον 133 lt/sec. Τα υπολειπόμενα 10 lt/sec θα καλύπτονται από τις διαρροές του φράγματος (Πίνακας 3, δεδομένα υπολογισμού Παράρτημα Α).

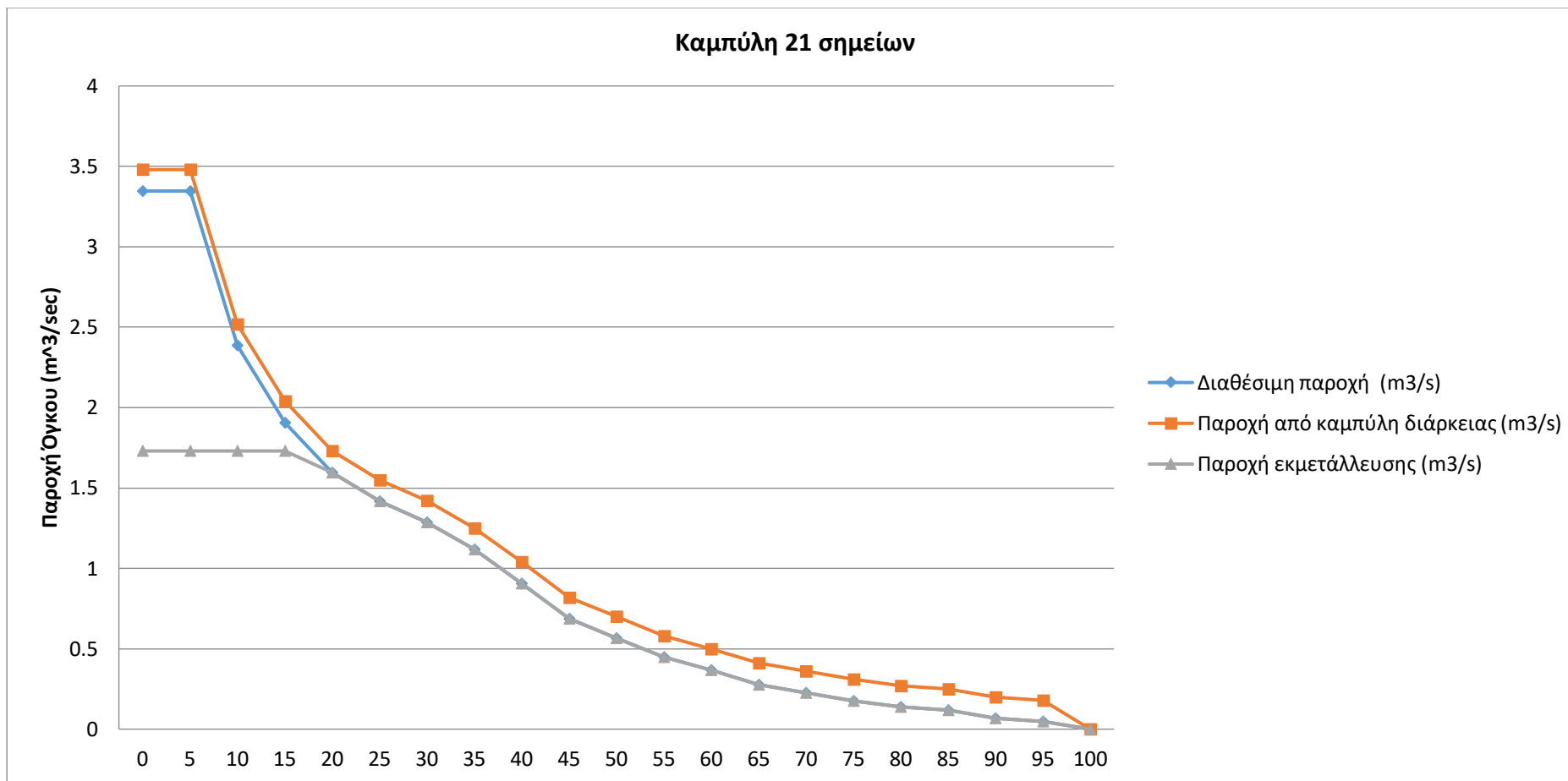


Πίνακας 3: Υπολογισμός Οικολογικής Παροχής

ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ					
<b>30% ΘΕΡΙΝΩΝ ΜΗΝΩΝ</b>	2010 - 2011	2011 - 2012	2012 - 2013	2013- 2014	2015 - 2016
Ιούνιος	0,672	1,414	0,782	0,384	0,317
Ιούλιος	0,347	0,715	0,580	0,305	0,216
Αύγουστος	0,269	0,314	0,482	0,194	0,190
Μ.Ο θερινών μηνών του έτους	0,429	0,814	0,615	0,294	0,241
30% του Μ.Ο (m <sup>3</sup> /sec)	0,129	0,244	0,184	0,088	0,072
30% του Μ.Ο (lit/sec)	128,747	244,287	184,458	88,239	72,247
<b>30% Μ.Ο Θερινών μηνών (2010-2016) (lit/sec)</b>	<b>143,60</b>				
<b>50% ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ</b>	2010 - 2011	2011 - 2012	2012 - 2013	2013 - 2014	2015 - 2016
Μ.Ο Σεπτεμβρίου	0,224	0,248	0,331	0,397	0,156
50% του Μ.Ο (m <sup>3</sup> /sec)	0,112	0,124	0,166	0,199	0,078
50% του Μ.Ο (lit/sec)	112,17	124,17	165,67	198,67	78,00
<b>50% Μ.Ο Σεπτεμβρίου (2010-2016) (lit/sec)</b>	<b>135,73</b>				
<b>Οικολογική Παροχή (lit/sec)</b>	<b>30,00</b>				

Πίνακας 4: Διαθέσιμη παροχή και παροχή εκμετάλλευσης ανά διάστημα χρόνου

Διάστημα χρόνου	Παροχή από καμπύλη διάρκειας (m <sup>3</sup> /s)	Οικολογική παροχή (m <sup>3</sup> /s)	Διαθέσιμη παροχή (m <sup>3</sup> /s)	Παροχή εκμετάλλευσης (m <sup>3</sup> /s)
0	3,48	0,133	3,347	1,770
0 - 0.05	3,48	0,133	3,347	1,770
0.05 - 0.1	2,52	0,133	2,387	1,770
0.1 - 0.15	2,04	0,133	1,907	1,770
0.15 - 0.2	1,73	0,133	1,597	1,597
0.2 - 0.25	1,55	0,133	1,417	1,417
0.25 - 0.3	1,42	0,133	1,287	1,287
0.3 - 0.35	1,25	0,133	1,117	1,117
0.35 - 0.4	1,04	0,133	0,907	0,907
0.4 - 0.45	0,82	0,133	0,687	0,687
0.45 - 0.5	0,70	0,133	0,567	0,567
0.5 - 0.55	0,58	0,133	0,447	0,447
0.55 - 0.6	0,50	0,133	0,367	0,367
0.6 - 0.65	0,41	0,133	0,277	0,277
0.65 - 0.7	0,36	0,133	0,227	0,227
0.7 - 0.75	0,31	0,133	0,177	0,177
0.75 - 0.8	0,27	0,133	0,137	0,137
0.8 - 0.85	0,25	0,133	0,117	0,117
0.85 - 0.9	0,20	0,133	0,067	0,067
0.9 - 0.95	0,18	0,133	0,047	0,047
0.95 - 1.0	0	0	0	0,000



Σχήμα 11: Χαρακτηριστικές καμπύλες 21 σημείων



### 5.3.2. Απώλειες Συστήματος

Σε αυτό το σημείο γίνεται ο υπολογισμός των γραμμικών απωλειών του αγωγού προσαγωγής του έργου. Για τις ανάγκες υπολογισμού, η απόλυτη τραχύτητα είναι ίση 0.0084 mm. Οι γραμμικές απώλειες υπολογίζονται μέσω της εξίσωσης:

$$dh = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{c^2}{2g} \quad [5.1]$$

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:

$$\text{Ύψος κινητικής ενέργειας} = \frac{c^2}{2g} \quad [5.2]$$

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  $\lambda$ .

$$\frac{1}{\lambda} = -2 \cdot \log \left[ \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon_s}{3.71} \right] \quad [5.3]$$

Όπου

λ = αδιάστατος συντελεστής γραμμικών απωλειών  
Re = αριθμός Reynolds  
 $\varepsilon_s$  = 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:



$$Re = \frac{u \cdot L}{\nu} \quad [5.4]$$

Όπου:

L=μήκος αγωγού

u= ταχύτητα ρευστού

$\nu$ =κινηματικό ιξώδες νερού ( $1,01 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$ )

Ο συντελεστής τραχύτητας f βρέθηκε από το διάγραμμα Moody. Για αριθμό  $Re \approx 50.000 > 2.300$  αναπτύσσεται τυρβώδη ροή με σχετική τραχύτητα  $\epsilon/d = 7 \cdot 10^{-6}$  δίνεται  $\lambda = 0.012$ .

Πίνακας 5: Απώλειες συστήματος προσαγωγής

Μέγιστη παροχή υπολογισμού: 1.77 m <sup>3</sup> /sec								
Γραμμικές απώλειες (m)								
Άθροιστικός μήκος (m)	Μήκος	Εξωτερική Διάμετρος (mm)	Πάχος (mm)	Συντελεστής τριβής λ	Ταχύτητα (m/s)	u <sup>2</sup> /2g	Re>2300	Γραμμικές απώλειες (m)
77	77	1314	7	0,012	1,3335	0,09063	1,52E+06	0,06442
177	100	1314	7	0,012	1,3335	0,09063	1,52E+06	0,08366
267	90	1314	7	0,012	1,3335	0,09063	1,52E+06	0,07530
329	62	1314	7	0,012	1,3335	0,09063	1,52E+06	0,05187
394	65	1314	7	0,012	1,3335	0,09063	1,52E+06	0,05438
497	103	1314	7	0,012	1,3335	0,09063	1,52E+06	0,08617
697	200	1314	7	0,012	1,3335	0,09063	1,52E+06	0,16733
980	283	1314	7	0,012	1,3335	0,09063	1,52E+06	0,23677
1119	139	1314	7	0,012	1,3335	0,09063	1,52E+06	0,11629
1184	65	1314	7	0,012	1,3335	0,09063	1,52E+06	0,05438
1407	223	1314	7	0,012	1,3335	0,09063	1,52E+06	0,18657
1453	46	1218	9	0,012	1,5650	0,12484	1,65E+06	0,05742
1539	86	1218	9	0,012	1,5650	0,12484	1,65E+06	0,10736
1687	148	1218	9	0,012	1,5650	0,12484	1,65E+06	0,18476
1824	137	1218	9	0,012	1,5650	0,12484	1,65E+06	0,17103
1927	103	1218	9	0,012	1,5650	0,12484	1,65E+06	0,12858
2176	249	1218	9	0,012	1,5650	0,12484	1,65E+06	0,31084
2346	170	1218	9	0,012	1,5650	0,12484	1,65E+06	0,21222
2400	54	1218	9	0,012	1,5650	0,12484	1,65E+06	0,06741
2720	320	1218	9	0,012	1,5650	0,12484	1,65E+06	0,39948
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΑΓΩΓΗΣ</b>								<b>2,816</b>

Για κάθε ευθύγραμμο τμήμα αντικαταστάθηκαν οι διαστάσεις του και η κινητική του ενέργεια. Το άθροισμα των επιμέρους τμημάτων μας έδωσε το ύψος πτώσης του συστήματος. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για δεκαεννέα διαφορετικές παροχές. Από το συνολικό ύψος αφαιρέθηκε το ύψος πτώσης για την κάθε παροχή αντίστοιχα. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για παροχή από 1,77 έως 0.056 m<sup>3</sup>/sec, τα αποτελέσματα απεικονίζονται στον Πίνακα 6.

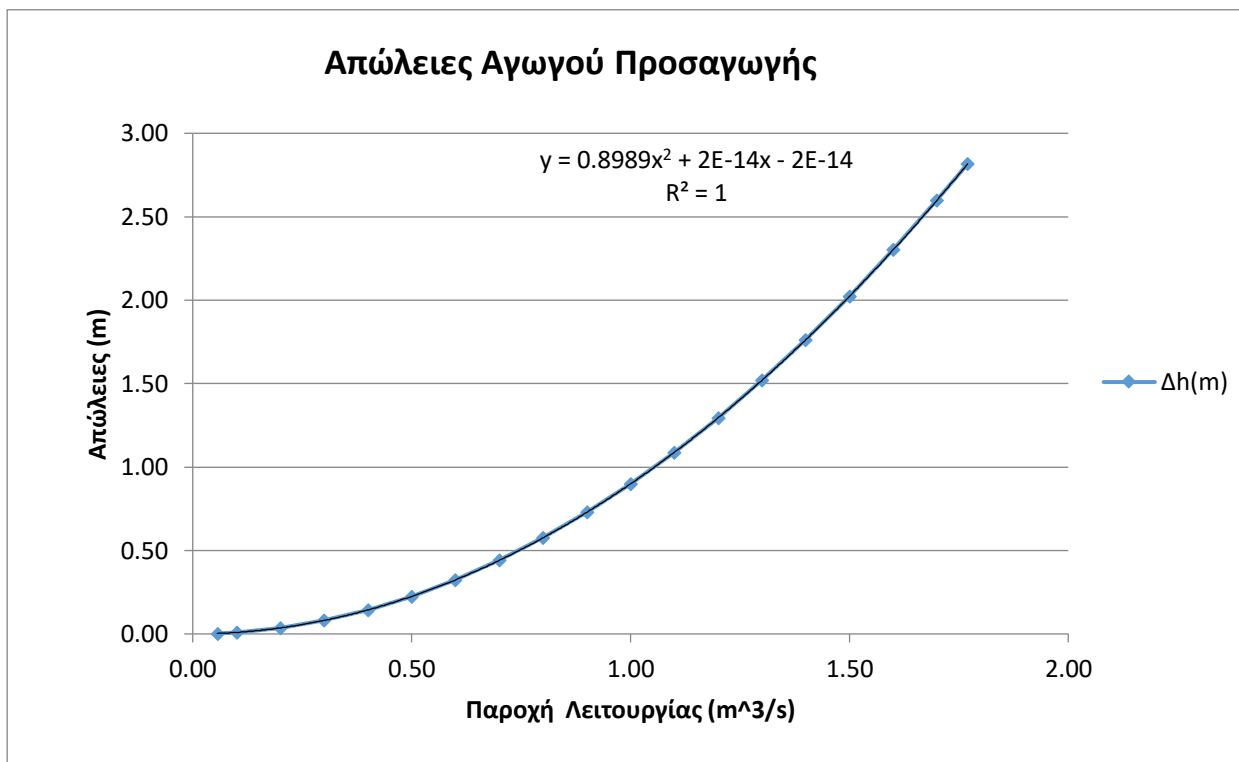




Πίνακας 6: Διακύμανση απωλειών σε σχέση με την παροχή λειτουργίας του έργου

Παροχή (m <sup>3</sup> /sec)	Απώλειες (m)	Παροχή (m <sup>3</sup> /sec)	Απώλειες (m)
1,77	2,816	0,8	0,575
1,7	2,597	0,7	0,440
1,6	2,301	0,6	0,323
1,5	2,022	0,5	0,224
1,4	1,761	0,4	0,144
1,3	1,519	0,3	0,081
1,2	1,294	0,2	0,036
1,1	1,088	0,1	0,009
1,0	0,899	0,056	0,003
0,9	0,728	0,0	0,000

Η χαρακτηριστική καμπύλη παροχών απωλειών του συστήματος προσαγωγής εκφρασμένες σε μέτρα (m) και είναι αυτή του Διαγράμματος 3.



Διάγραμμα 3: Απώλειες αγωγού προσαγωγής

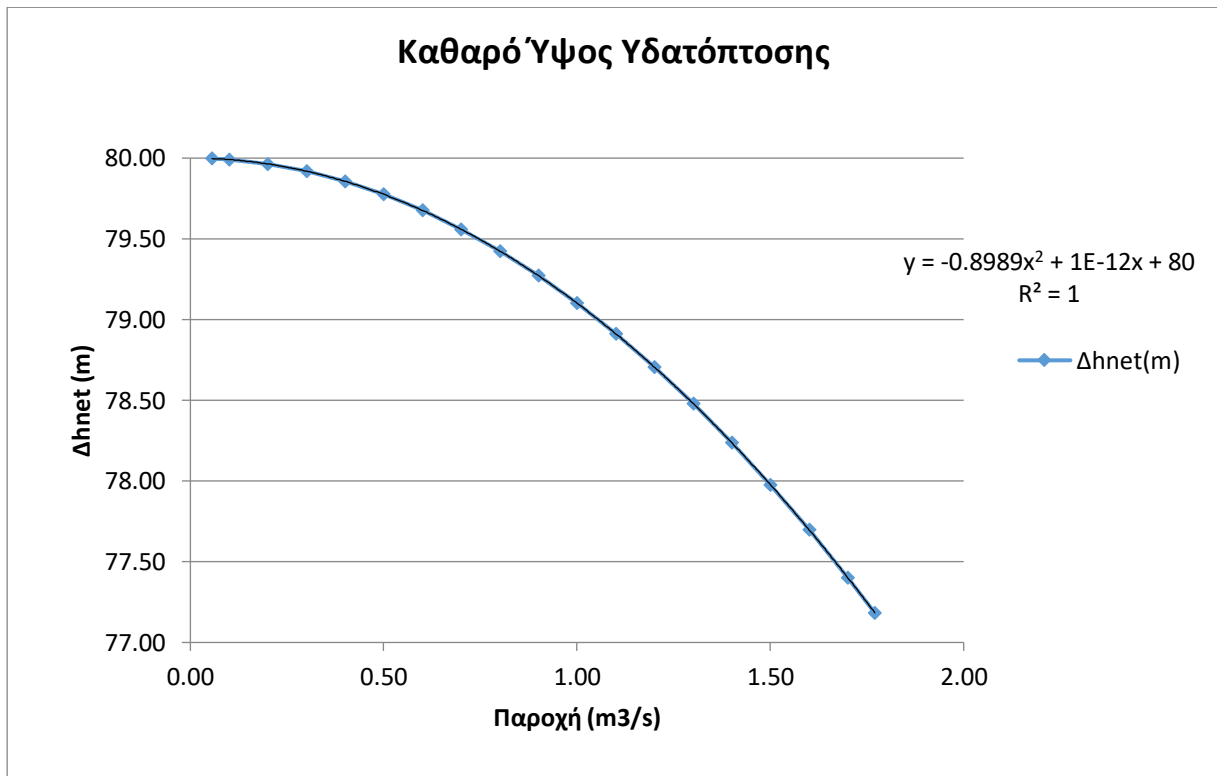
Οι απώλειες που έχουν υπολογισθεί είναι μόνο λόγω τριβής. Οι τοπικές απώλειες δεν υπολογίσθηκαν διότι στο σύστημα που μελετάται η τιμή τους θεωρήθηκε αμελητέα.

Στην συνέχεια στον Πίνακα 7 δίνεται το καθαρό ύψος υδατόπτωσης σε σχέση με την παροχή του έργου.



Πίνακας 7: Διακύμανση καθαρού ύψους υδατόπτωσης σε σχέση με παροχή λειτουργίας του έργου

Παροχή (m <sup>3</sup> /sec)	Καθαρό ύψος Υδατόπτωσης (m)	Παροχή (m <sup>3</sup> /sec)	Καθαρό ύψος Υδατόπτωσης (m)
1,77	77,31	0,80	79,42
1,70	77,40	0,70	79,56
1,60	77,70	0,60	79,68
1,50	77,98	0,50	79,78
1,40	78,24	0,40	79,86
1,30	78,48	0,30	79,92
1,20	78,71	0,20	79,96
1,10	78,91	0,10	79,99
1,00	79,10	0,06	80,00
0,90	79,27	0,00	80,00



Διάγραμμα 4: Καθαρό ύψος υδατόπτωσης

### 5.3.3. Υδροστρόβιλοι

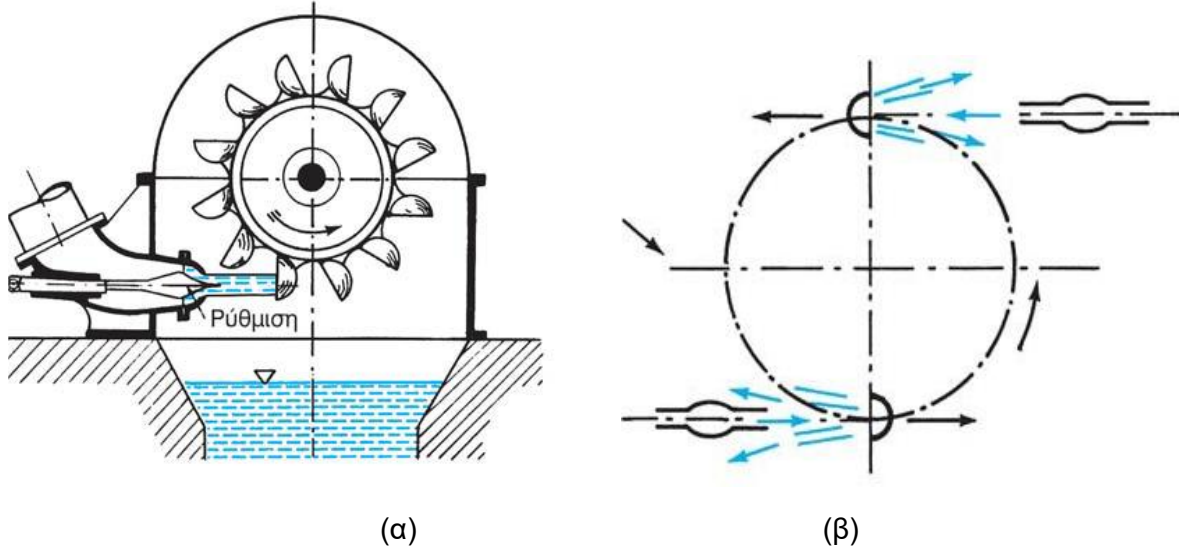
Οι ρευστοδυναμικές μηχανές (ΡΔΜ) έχουν την δυνατότητα μεταφοράς ενέργειας μεταξύ ενός περιστρεφόμενου άξονα και ενός ρευστού (υγρού ή αέριου). Συνέπεια αυτού είναι η αλληλεπίδραση και περιστροφή του άξονα πραγματοποιώντας είτε αλλαγή της ορμής του ρευστού, είτε αλλαγή της πίεσης του ρευστού. Οι ΡΔΜ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν



σύμφωνα με την μεταφορά ενέργειας, την ύπαρξη περιβάλλοντος κελύφους, την τροχιά που ακολουθεί το ρευστό και το είδος του εργαζόμενου ρευστού (Σκούρας και συν., 2016).

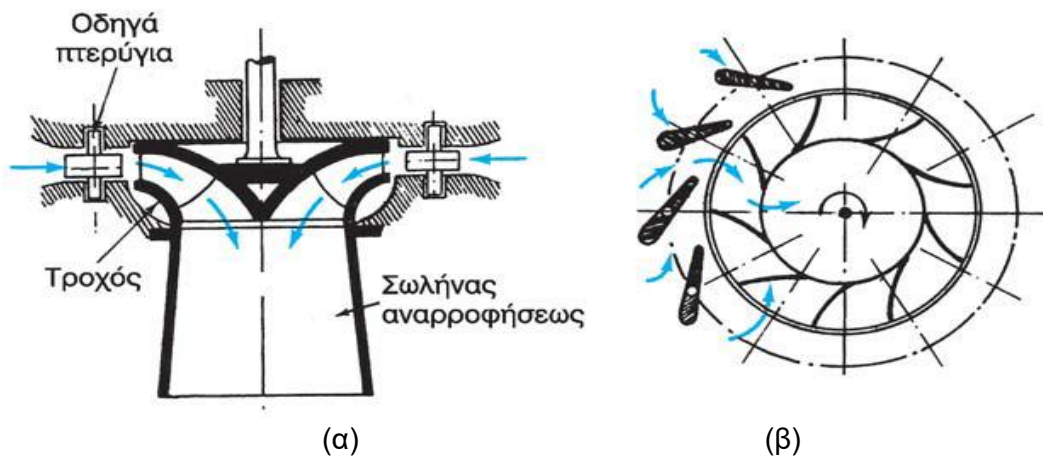
Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης του ΜΥΗΕ θα αναλυθούν οι ΡΔΜ ως προς τη φόρα μεταφοράς ενέργειας και ειδικότερα της μεταφοράς ενέργειας από το ρευστό στον περιστρεφόμενο άξονα, που είναι οι υδροστροβίλοι. Οι υδροστροβίλοι που χρησιμοποιούνται σε υδροηλεκτρικά έργα είναι οι ακόλουθοι (Σκούρας και συν., 2016):

- Pelton: χρησιμοποιείται για μεγάλα ύψη και μικρές παροχές. Το πεδίο λειτουργίας εκτείνεται σε μανομετρικό ύψος 30 έως 1500 m και παροχή 0,01 έως 5 m<sup>3</sup>/sec



Σχήμα 12: (α) Τομή και (β) κάτοψη υδροστροβίλου Pelton  
[Πηγή: <https://www.researchgate.net/>]

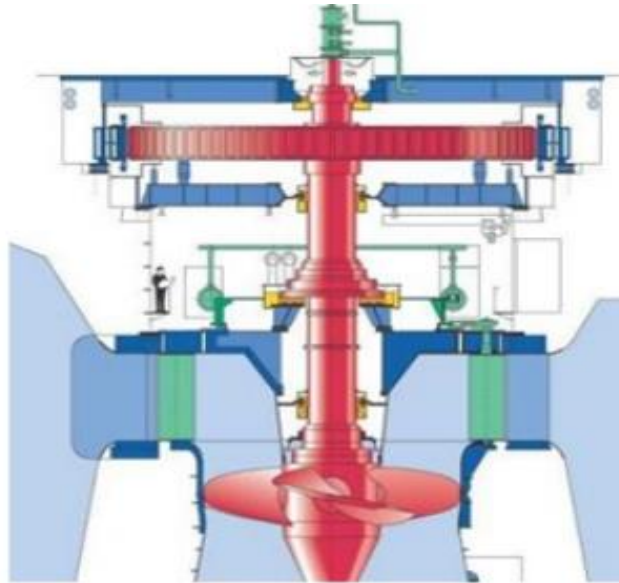
- Francis: χρησιμοποιείται για μεσαία ύψη και μεσαίες παροχές. Το πεδίο λειτουργίας εκτείνεται σε μανομετρικό ύψος 20 έως 300 m και παροχή 0,15 έως 10 m<sup>3</sup>/sec.



Σχήμα 13: (α) Τομή και (β) κάτοψη υδροστροβίλου Francis  
[Πηγή: <https://www.researchgate.net/>]



- Kaplan: χρησιμοποιείται για μικρά ύψη και μεγάλες παροχές. Το πεδίο λειτουργίας εκτείνεται σε μανομετρικό ύψος <math>< 50 \text{ m}</math> και παροχή 0,15 έως 10  $\text{m}^3/\text{sec}</math>.$



Σχήμα 14: Τομή υδροστροβίλου Kaplan  
[Πηγή: <https://slideplayer.gr/slide/11425745/>]

Οι προαναφερόμενοι υδροστρόβιλοι μπορούν να διαχωριστούν σύμφωνα με τον τρόπο παραλαβής της ενέργειας ως εξής (Πολυζάκης, 2016):

- *Υδροστρόβιλοι δράσης ή ισοθλιπτικούς* → *Pelton*: Οι υδροστρόβιλοι δράσης ή ισοθλιπτικοί υδροστρόβιλοι μετατρέπουν κυρίως τη δυναμική ενέργεια του νερού σε κινητική, μέσω ακροφύσιου εξόδου του αγωγού προσαγωγής. Το νερό εισέρχεται μόνο με κινητική ενέργεια πάνω στα σκαφίδια, χωρίς να τα γεμίζει και βγαίνει με άλλη κατεύθυνση, μιας και ακολουθεί το σχήμα αυτών. Τα σκαφίδια είναι περιμετρικά πακτωμένα στο στροφέιο του υδροστρόβιλου, το οποίο περιστρέφεται λόγω της κρούσης του ύδατος στα σκαφίδια με τη στατική πίεση να παραμένει σταθερή στο χώρο του στροφείου.
- *Υδροστρόβιλοι αντίδρασης* → *Francis και Kaplan*: Οι υδροστρόβιλοι αντίδρασης μετατρέπουν ένα μέρος της δυναμικής ενέργειας μετατρέπεται σε κινητική, όταν περάσει μέσα από τα οδηγία πτερύγια στο εσωτερικό σώμα του κελύφους, όπου μέρος της διαθέσιμης πίεσης μετατρέπεται σε ταχύτητα και στην συνέχεια πέφτει πάνω στα πτερύγια του στροφείου. Εκεί, στον ενδιάμεσο χώρο των πτερυγίων του στροφείου, το νερό λόγω της υπερπίεσης που έχει αρχικά, επιταχύνεται εξερχόμενο από τα πτερύγια του στροφείου με μεγαλύτερη ταχύτητα και βεβαία μικρότερη πίεση. Έτσι, το εξερχόμενο από τα πτερύγια του στροφείου νερό παράγει εξ' αντιδράσεως μια συνιστώσα δύναμη εφαπτομένης διεύθυνσης. Στο είδος αυτό των υδροστρόβιλων μέρος μόνο της δυναμικής ενέργειας του νερού μετατρέπεται σε κινητική ενεργεία, ενώ το υπόλοιπο παραμένει σαν δυναμική ενέργεια. Έτσι, το νερό κατά τη διεύθυνσή του μέσα από τα κινητά και σταθερά πτερύγια περνά με πίεση καταλαμβάνοντας ολόκληρο το διαθέσιμο χώρο χωρίς να αφήνει κενά. Δηλαδή, στους υδροστρόβιλους αντίδρασης η παραγωγή ισχύος οφείλεται κυρίως στην δυναμική ενέργειας και λιγότερο στην κινητική που διαθέτει το νερό, ενώ στους υδροστρόβιλους δράσης γίνεται εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας.



Επιπλέον, οι υδροστρόβιλοι μπορούν να διαχωριστούν σύμφωνα με τη διεύθυνση ροής του νερού ως εξής αξονικής ροής όταν η ροή του νερού στην είσοδο και στην έξοδο είναι παράλληλη με τον άξονα (Kaplan), ακτινικής ροής όταν η είσοδος του νερού είναι κάθετη προς τον άξονα του στροφείου (Francis) και εφαπτομένης ροής όταν η ροή είναι εφαπτόμενη στον άξονα (Pelton). Τέλος, μπορούν να διαχωριστούν σύμφωνα με το προσανατολισμό του άξονα περιστροφής του και διακρίνονται σε οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα περιστροφής (Πολυζάκης, 2016).

Για την λειτουργία του ΜΥΗΕ του ποταμού Πείρου θα χρησιμοποιηθούν δύο υδροστρόβιλοι, εκ των οποίων ο ένας θα είναι Pelton και ο άλλος Francis. Οι δύο υδροστρόβιλοί θα λειτουργούν σε παράλληλη σύνδεση με στόχο την εκμετάλλευση της μέγιστης παροχής του έργου ( $Q=Q_1+Q_2$ ). Στην συνέχεια ακολουθούν τα βασικά στοιχεία των επιλεγμένων υδροστροβίλων καθώς και η χαρακτηριστική καμπύλη παροχών – βαθμού απόδοσης τους.

### ➤ Υδροστρόβιλος Pelton

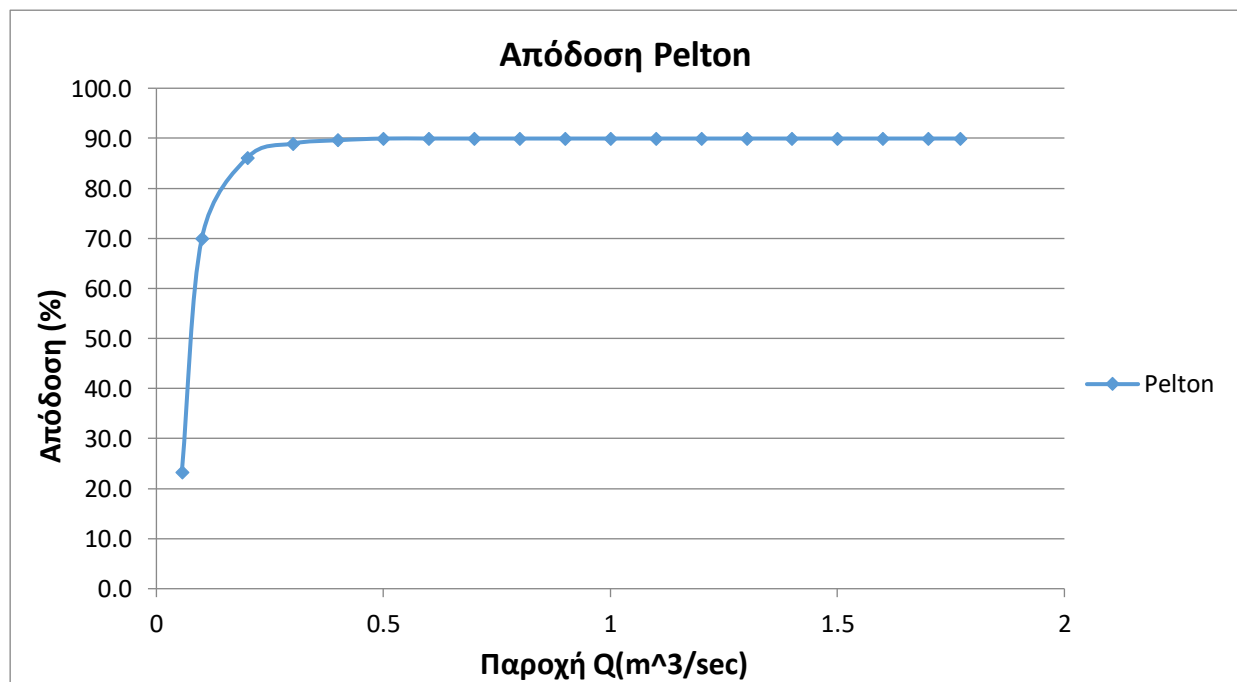
Ο υδροστρόβιλος είναι οριζοντίου άξονα τριών ακροφυσίων, με εκτροπέα. Τα κύρια χαρακτηριστικά του υδροστροβίλου παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8: Κύρια χαρακτηριστικά υδροστροβίλου Pelton

#### Υδροστρόβιλος Pelton

Αριθμός Τεμαχίων	1 τεμ.
Ονομαστική Ισχύ Υδροστροβίλου	380 kW
Παροχή ύδατος	0,55 m <sup>3</sup> /sec
Καθαρό ύψος Υδατόπτωσης	77,44 m

Ακολουθεί η χαρακτηριστική καμπύλη παροχών – βαθμού απόδοσης του υδροστροβίλου τύπου Pelton (Σχήμα 15).



Σχήμα 15: Απόδοση στροβίλου Pelton



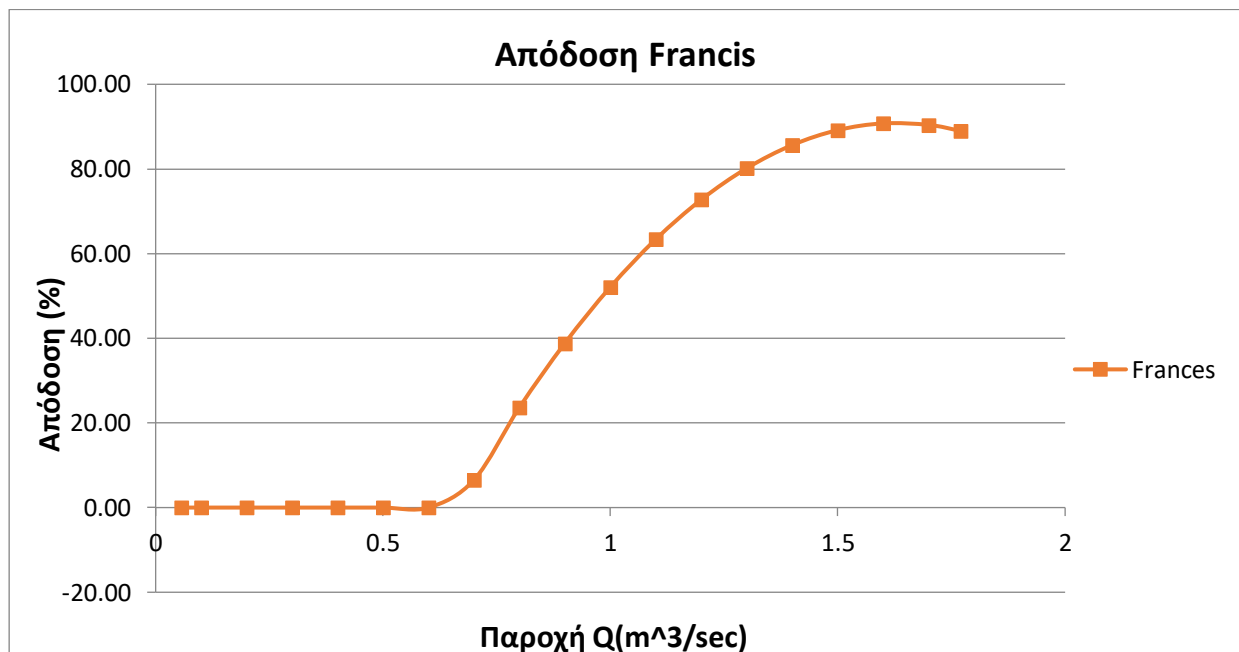
### ➤ Υδροστρόβιλος Francis

Ο υδροστρόβιλος είναι οριζοντίου άξονα. Τα κύρια χαρακτηριστικά του υδροστροβίλου παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.

Πίνακας 9: Κύρια χαρακτηριστικά υδροστροβίλου Francis

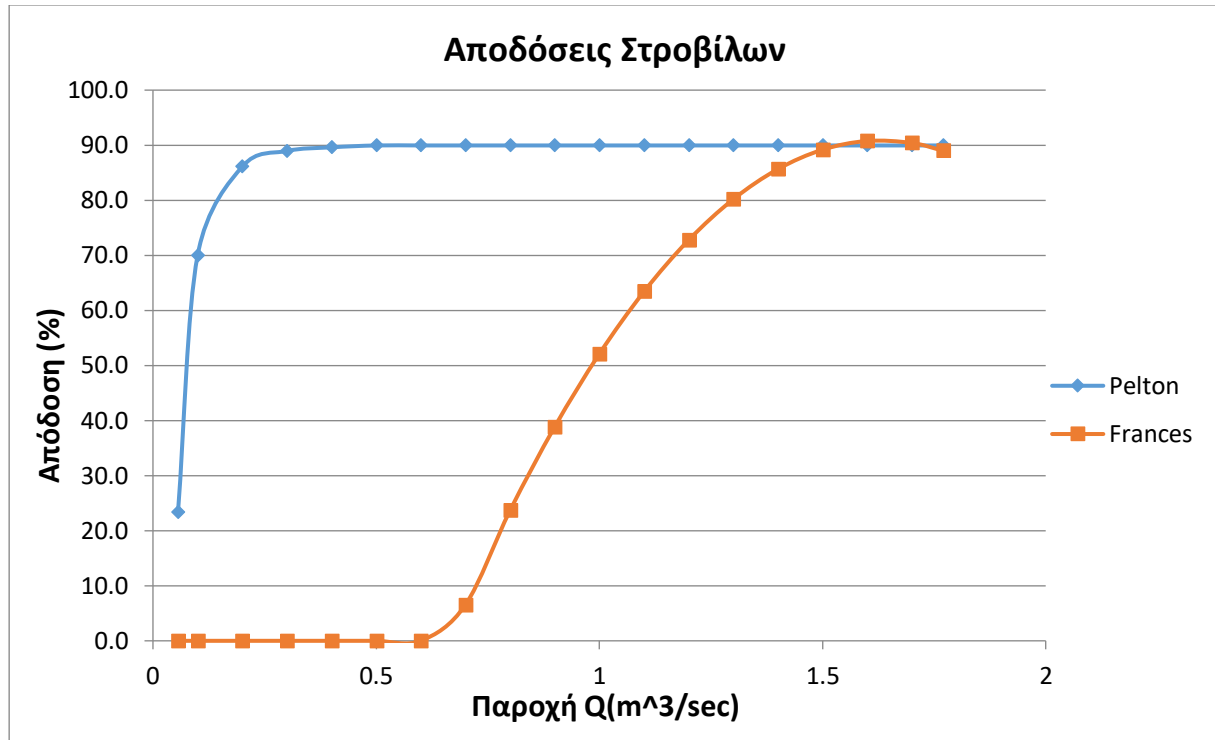
Υδροστρόβιλος Francis	
Αριθμός Τεμαχίων	1 τεμ.
Ονομαστική Ισχύ Υδροστροβίλου	942 kW
Παροχή ύδατος	1,35 m <sup>3</sup> /sec
Καθαρό ύψος Υδατόπτωσης	77,96 m

Ακολουθεί η χαρακτηριστική καμπύλη παροχών – βαθμού απόδοσης του υδροστροβίλου τύπου Francis (Σχήμα 16).



Σχήμα 16: Απόδοση στροβίλου Francis

Δημιουργώντας ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα των αποδόσεων (Σχήμα 17) παρατηρείται ότι ο υδροστρόβιλος Pelton παίρνει μια σημαντική τιμή απόδοσης από την παροχή 0,1 m<sup>3</sup>/sec και από στην παροχή 0,5 m<sup>3</sup>/sec μεγιστοποιείται και διατηρείται σταθερή. Η μέγιστη εκμεταλλεύσιμη παροχή του στροβίλου αυτού διατηρείται στο 0,55 m<sup>3</sup>/sec για να διατηρείται η απόδοση του και να παρέχει την βέλτιστη ισχύ. Από την 0,55 m<sup>3</sup>/sec και έπειτα, συμπλέκεται και ο υδροστροβίλος Francis.



Σχήμα 17: Αποδόσεις υδροστροβίλων Pelton και Francis

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο υδροστρόβιλος Francis, για παροχή 0,55 m<sup>3</sup>/sec δεν βρίσκεται σε λειτουργία. Από εκεί και έπειτα κατά την τροφοδοσία του ο βαθμός απόδοσης αυξάνεται λογαριθμικά. Η βέλτιστη απόδοση ανέρχεται στο εύρος περίπου 1,3 m<sup>3</sup>/sec.

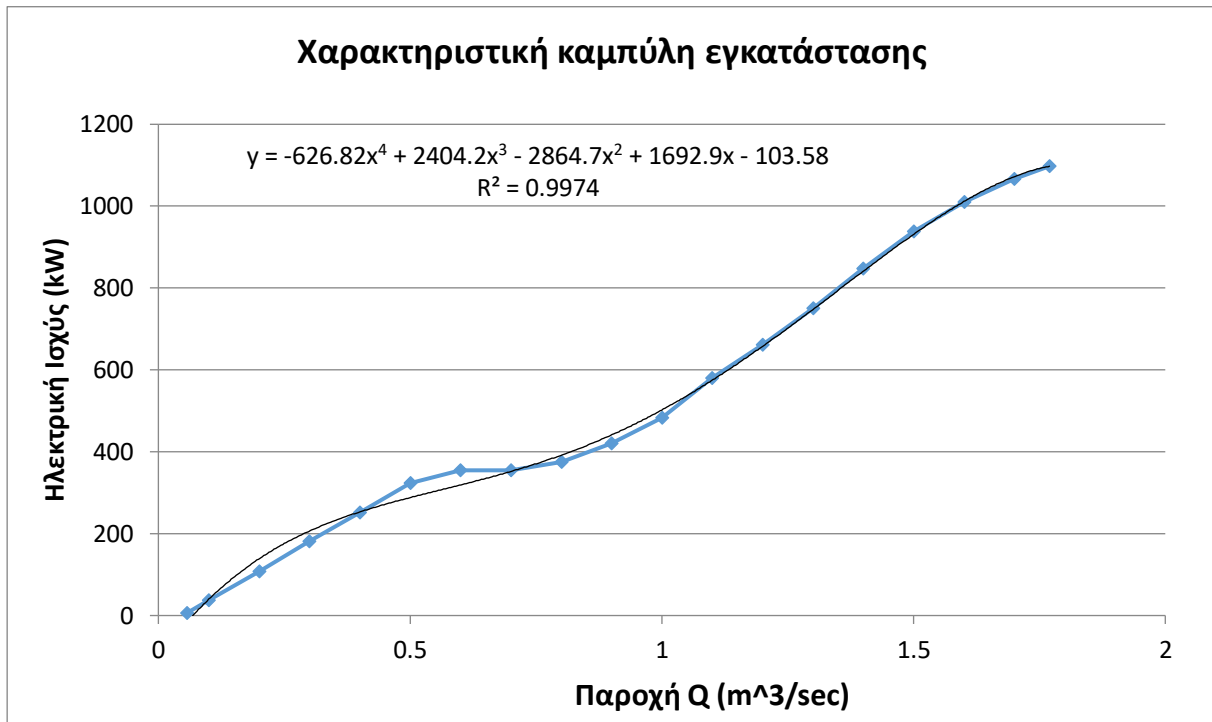
Στην συνέχεια ακολουθεί ο Πίνακας λειτουργίας των υδροστροβίλων του ΜΥΗΕ του ποταμού Πείρου.



Πίνακας 10: Συγκεντρωτικός πίνακας λειτουργίας υδροστροβίλων ΜΥΗΕ

Q	Δh (m)	Δhnet (m)	Παροχή στροβίλου Pelton (m3/sec)	Παροχή στροβίλου francis (m3/sec)	Q/Qmax pelton	Q/Qmax francis	Απόδοση στροβίλου Pelton (%)	Απόδοση στροβίλου francis (%)	Μηχανική ισχύς στην έξοδο του Στροβίλου Pelton (kW)	Μηχανική ισχύς στην έξοδο του Στροβίλου francis (kW)	ng Γεννήτρια ς pelton	ng Γεννήτριας francis	Ηλεκτρική ισχύς από την έξοδο του Στροβίλου Pelton (kW)	Ηλεκτρική ισχύς από την έξοδο του Στροβίλου francis (kW)	Συνολική ηλεκτρική ισχύς
1,77	2,816	77,2	0,55	1,22	1	1	90,0	89,00	373	820	0,90	0,90	336	738	1074
1,7	2,598	77,4	0,55	1,15	1	0,943	90,0	90,41	375	787	0,90	0,90	337	708	1045
1,6	2,301	77,7	0,55	1,05	1	0,861	90,0	90,76	376	724	0,90	0,87	338	630	968
1,5	2,023	78,0	0,55	0,95	1	0,779	90,0	89,18	377	646	0,90	0,85	340	549	889
1,4	1,762	78,2	0,55	0,85	1	0,697	90,0	85,65	379	557	0,90	0,80	341	446	786
1,3	1,519	78,5	0,55	0,75	1	0,615	90,0	80,18	380	462	0,90	0,75	342	346	688
1,2	1,294	78,7	0,55	0,65	1	0,533	90,0	72,76	381	364	0,90	0,65	343	237	579
1,1	1,088	78,9	0,55	0,55	1	0,451	90,0	63,40	382	269	0,90	0,55	344	148	492
1	0,899	79,1	0,55	0,45	1	0,369	90,0	52,10	383	181	0,90	0,45	344	82	426
0,9	0,728	79,3	0,55	0,35	1	0,287	90,0	38,86	384	105	0,90	0,40	345	42	387
0,8	0,575	79,4	0,55	0,25	1	0,205	90,0	23,67	384	46	0,90	0,35	346	16	362
0,7	0,440	79,6	0,55	0,15	1	0,123	90,0	6,54	385	8	0,90	0,15	346	1	348
0,6	0,324	79,7	0,55	0	1	0	90,0	0,00	386	0	0,90	0,00	347	0	347
0,5	0,225	79,8	0,5	0	0,909	0	90,0	0,00	351	0	0,90	0,00	316	0	316
0,4	0,144	79,9	0,4	0	0,727	0	89,6	0,00	280	0	0,85	0,00	238	0	238
0,3	0,081	79,9	0,3	0	0,545	0	89,0	0,00	209	0	0,83	0,00	173	0	173
0,2	0,036	80,0	0,2	0	0,364	0	86,1	0,00	135	0	0,80	0,00	108	0	108
0,1	0,009	80,0	0,1	0	0,182	0	70,0	0,00	55	0	0,67	0,00	37	0	37
0,056	0,003	80,0	0,056	0	0,102	0	23,3	0,00	10	0	0,55	0,00	6	0	6





Σχήμα 18 Χαρακτηριστική καμπύλη εγκατάστασης

Στην χαρακτηριστική καμπύλη εγκατάστασης παρατηρούμε τρία στάδια.

- Το πρώτο στάδιο είναι στο εύρος παροχής από 0 έως 0,55 m<sup>3</sup>/sec όπου σε αυτές της παροχές είναι η λειτουργία του στροβίλου Pelton.
- Το δεύτερο στάδιο είναι στο εύρος 0,55 έως 0,7 m<sup>3</sup>/sec όπου στην παροχή 0,55 m<sup>3</sup>/sec, ο στρόβιλος Pelton βρίσκεται στο μέγιστο σημείο λειτουργίας με την μέγιστη απόδοση. Από αυτό το σημείο και έπειτα ξεκινά και η λειτουργία το υδροστροβίλου Francis. Στο εύρος 0,55 έως 0,7 m<sup>3</sup>/sec ο υδροστροβίλος Francis έχει χαμάλη απόδοση με αποτέλεσμα την οριζοντιοποίηση της χαρακτηριστικής καμπύλης εγκατάστασης.
- Και το τρίτο στάδιο το οποίο από 0,7 m<sup>3</sup>/sec και έπειτα η χαρακτηριστική καμπύλη εγκατάστασης είναι γνησίως αύξουσα. Στο σημείο αυτό, έχουν φτάσει και οι δύο υδροστρόβιλοι σε ένα ικανοποιητικό σημείο λειτουργίας.

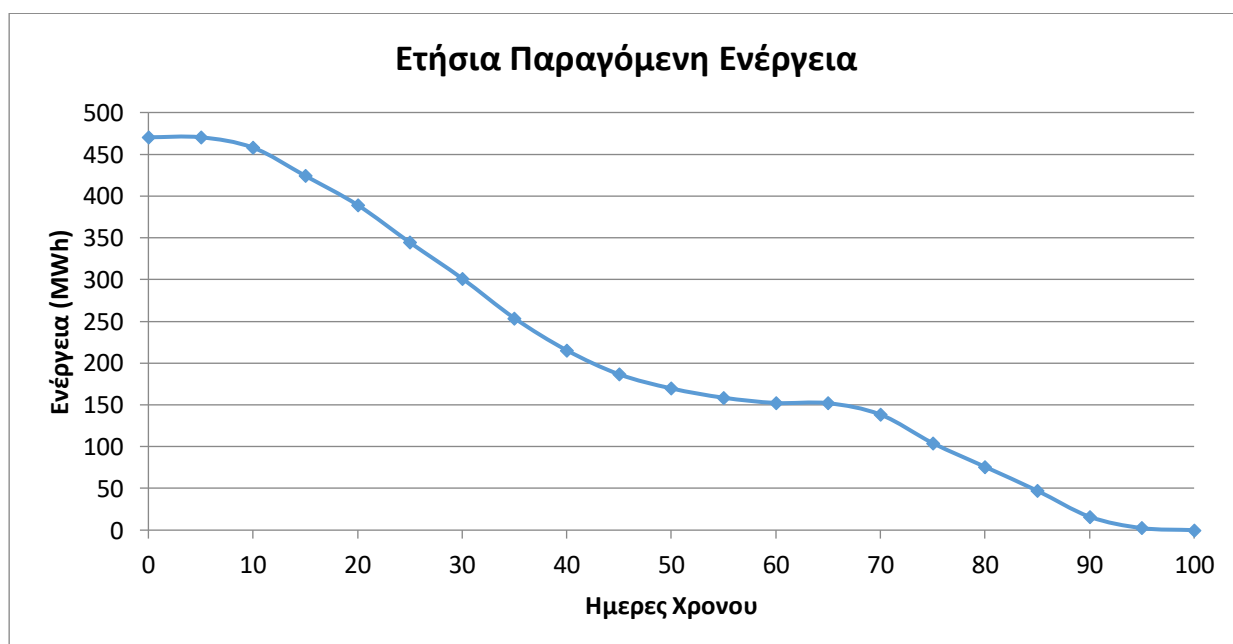
### 5.3.4. Ετήσια Παραγόμενη Ενέργεια

Η χαρακτηριστική καμπύλη σύνθετης λειτουργίας των υδροστρόβιλων περιλαμβάνει τις απώλειες του συστήματος προσαγωγής και συνυπολογίζει τους βαθμούς απόδοσης των στροβίλων και των γεννητριών. Η εφαρμογή της χαρακτηριστικής εξίσωσης λειτουργίας των υδροστρόβιλων στον Πίνακα 11 αποδίδει την παραγόμενη στιγμιαία ισχύ που αντιστοιχεί στην εκάστοτε παροχή λειτουργίας. Υποθέτοντας σταθερή στιγμιαία ισχύ σε κάθε χρονικό διάστημα, προκύπτει η παραγόμενη ενέργεια σε MWh.



Πίνακας 11: Στοιχεία χαρακτηριστικής λειτουργίας υδροτροβίλων

Διάστημα χρόνου	Παροχή (m <sup>3</sup> /sec)	Συνολική Ισχύς (kW)	Ημέρες	Ώρες	MWh
0 - 0.05	1,77	1073,83	0	0	470
0.05 - 0.1	1,77	1073,83	18,25	438	470
0.1 - 0.15	1,77	1045,43	18,25	438	458
0.15 - 0.2	1,77	968,44	18,25	438	424
0.2 - 0.25	1,60	888,77	18,25	438	389
0.25 - 0.3	1,42	786,38	18,25	438	344
0.3 - 0.35	1,29	687,94	18,25	438	301
0.35 - 0.4	1,12	579,39	18,25	438	254
0.4 - 0.45	0,91	491,67	18,25	438	215
0.45 - 0.5	0,69	426,09	18,25	438	187
0.5 - 0.55	0,57	387,39	18,25	438	170
0.55 - 0.6	0,45	361,97	18,25	438	159
0.6 - 0.65	0,37	347,61	18,25	438	152
0.65 - 0.7	0,28	346,98	18,25	438	152
0.7 - 0.75	0,23	315,82	18,25	438	138
0.75 - 0.8	0,18	237,96	18,25	438	104
0.8 - 0.85	0,14	173,13	18,25	438	76
0.85 - 0.9	0,12	107,74	18,25	438	47
0.9 - 0.95	0,07	36,69	18,25	438	16
0.95-1	0,05	5,61	18,25	438	2
100	0,00	0,00	18,25	438	0
<b>Ετήσια παραγόμενη ενέργεια</b>					<b>4,06 GW</b>



Σχήμα 19: Ετήσια παραγόμενη ενέργεια του έργου



### 5.3.5. Ενεργειακή Αποδοτικότητα

Δεδομένης της εγκατεστημένης ισχύος, η οποία ανέρχεται σε 1,2 MWe, και η οποία αντιστοιχεί σε μέγιστη παραγόμενη ενέργεια 10,51 GWh, η ενεργειακή αποδοτικότητα του έργου υπολογίζεται από την σχέση:

$$n = \frac{\text{Ετήσια παραγομενη ενέργεια}}{\text{Μέγιστη παραγόμενη ενέργεια}} \quad [5.5]$$

Κάνοντας αντικατάσταση στην εξίσωση 5.5. η ενεργειακή αποδοτικότητα ανέρχεται σε ποσοστό:

$$n = \frac{4,06 \text{ GWh}}{10,51 \text{ GWh}} = 0.3863 = 38,63\%$$

## 5.4. Τεχνική περιγραφή επιμέρους τμημάτων ΜΥΗΕ

Σε αυτό το σημείο θα αναλυθούν τα επιμέρους τμήματα του ΜΥΗΕ που είναι:

- Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός
- Διατάξεις προστασίας
- Γειώσεις υποσταθμού και αλεξικέραυνα
- Σύστημα ανάγωγης θερμότητας
- Αερισμός - ψύξη μετασχηματισμών
- Σύνδεση με το δίκτυο άμεσης τάσης

### 5.4.1. Ηλεκτρομηχανολογικός Εξοπλισμός

Στον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό περιλαμβάνονται:

- Υδροστρόβιλος τύπου Pelton
- Υδροστρόβιλος τύπου Fransis
- Γεννήτρια σύγχρονη τριφασική αυτοδιεγερόμενη
- 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:

#### ❖ Υδροστρόβιλοι ΜΥΗΕ

Όπως προαναφέρθηκε και ανωτέρω τα κύρια χαρακτηριστικά του υδροστροβίλου Pelton παρουσιάζονται στον Πίνακα 8, και είναι ονομαστική ισχύ υδροστροβίλου 380 kW, παροχή ύδατος 0,55 m<sup>3</sup>/sec και καθαρό ύψος υδατόπτωσης 77,44 m. Όσον αφορά των υδροστρόβιλο Francis τα κύρια χαρακτηριστικά του υδροστροβίλου παρουσιάζονται στον Πίνακα 9, και είναι ονομαστική ισχύ υδροστροβίλου 942 kW, παροχή ύδατος 1,35 m<sup>3</sup>/sec και καθαρό ύψος υδατόπτωσης 77,96 m.

Στην μονάδα θα 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. με στόχο την άρτια λειτουργία του υδροηλεκτρικού έργου. Επιπλέον, θα υπάρχει ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου και εντολών, όπου το ηλεκτρονικό τμήμα θα 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.

#### ❖ Γεννήτριες

Οι δύο γεννήτριες του συστήματος είναι αυτοδιεγερόμενη τριφασική σύγχρονη άνευ ψηκτρών με ενσωματωμένη την διάταξη διέγερσης με αυτορυθμιζόμενη την τάση ανεξαρτήτου φορτίσεως. Για τον υδροστρόβιλο τύπου Francis οριζόντιου άξονα, ισχύος 942 kW τοποθετείται γεννήτρια τριφασική, ονομαστικής ισχύος 1100 kVA, σύγχρονη, με τάση λειτουργίας 0,6 kV. – Για τον υδροστρόβιλο τύπου Pelton οριζόντιου άξονα, ισχύος 380 kW τοποθετείται γεννήτρια τριφασική, ονομαστικής ισχύος 400 kVA σύγχρονη, με τάση λειτουργίας 0,6 kV.

#### ❖ Μετασχηματιστές

Ο μετασχηματιστής ανύψωσης τάσης, αερόψυκτος, τριφασικός, ελαίου, εξωτερικού χώρου ισχύος 1500 kVA., συχνότητα 50 Hz, ύψος λειτουργίας μέχρι 1000 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος 40 °C. Ο δεύτερος μετασχηματιστής θα είναι τριφασικό, εξωτερικού χώρου ισχύος 100 kVA , συχνότητα 50 Hz, ύψος λειτουργίας μέχρι 1000 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος 40 °C. Όμως για την προστασία του θα είναι εξοπλισμένος με H/N Boucholz, δείκτη στάθμης λαδιού, θερμομέτρο θερμοκρασίας λαδιού, βάνα εξαέρωσης, βάνα δείγματος λαδιού, δοχείο διαστολής, φίλτρο αφύγρυνσης, ακροδέκτες γείωσης.



#### 5.4.2. Διατάξεις Προστασίας

##### ❖ Γεννήτριες

- Ηλεκτρονόμο προστασίας έναντι υπό / υπέρτασης, υπο / υπερσυχνότητας και σφαλμάτων γης.
- Ηλεκτρονόμο δευτερογενούς προστασίας έναντι υπερφόρτισης, βραχυκυκλώματος και διαρροής προς γη.
- 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
- Ρελαί αντεπιστροφής ισχύος
- Ρελαί ανομοιόμορφης φόρτισης
- Ρελαί έναντι διαρροής ως προς γη, κόμβου ουδετέρου
- Ηλεκτρονική συσκευή συγχρονισμού γεννήτριας

##### ❖ Διάταξης Εκκίνησης – Συγχρονισμού

Απαιτείται μια ηλεκτρονική μονάδα συγχρονισμού. Ο παραλληλισμός των γεννητριών με το δίκτυο της ΔΕΗ επιτυγχάνεται μέσω της ηλεκτρονικής μονάδας παραλληλισμού η οποία συγκρίνει τις τιμές των τάσεων, των συχνοτήτων και των φασικών γωνιών μεταξύ των συστημάτων που αφορούν στα δύο διαφορετικά συστήματα (γεννήτρια Υποσταθμού – δίκτυο ΔΕΗ). Οι βασικές προϋποθέσεις για να επιτευχθεί ο συγχρονισμός των δύο συστημάτων (γεννήτρια υποσταθμού – δίκτυο ΔΕΗ) είναι α) ίσες τάσεις (με όρια απόκλισης  $\pm 4\%$ ), β) ίσες συχνότητες (με όρια απόκλισης  $\pm 1\%$ ) και γ) ελάχιστες φασικές γωνίες μεταξύ των δύο συστημάτων ( $\pm 7$  ηλεκτρικές μοίρες). Η εκτιμώμενη χρονική διάρκεια από τη διαδικασία εκκίνησης (εντολή ανοίγματος κύριας βαλβίδας εισόδου) μέχρι το συγχρονισμό των δύο συστημάτων είναι από 2 – 4 min.

#### 5.4.3. Ιδιοκαταναλώσεις

Στον χώρο των πινάκων ελέγχου για την τροφοδότηση των βοηθητικών των μονάδων και του Σταθμού είναι θα εγκατασταθεί 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.

Όσο αφορά τις γειώσεις του υποσταθμού και τα αλεξικέραυνα ισχύουν απαιτούνται τρίγωνο γείωσης, λάμα γείωσης 30 x 3.5 mm, 100 m περιφερειακά του κτιρίου, αντικεραυνική προστασία με κλωβό, θεμελιακή γείωση, η οποία έχει εγκατασταθεί κατά την ανέγερση του κτιρίου.



#### **5.4.4. Σύστημα Ανάγωγης Θερμότητας**

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 εξαερισθεί εμποδίζει την επέκταση του χρησιμοποιούμενου αέρα.

#### **5.4.5. Αερισμός - Ψύξη Μετασχηματιστών**

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 60-650°C. 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.

#### **5.4.6. Σύνδεση με το δίκτυο Μέσης Τάσης**

Η σύνδεση με το δίκτυο μέσης τάσης πραγματοποιείται με νέα εναέρια γραμμή μέση τάση και εγκατάσταση νέων μέσων ζεύξης και προστασίας.



## 6. ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

### 6.1. Οικονομοτεχνική Ανάλυση ΜΥΗΕ

Η οικονομοτεχνική μελέτη του ΜΥΗΕ βασίστηκε στην μεθοδολογία και συγκεκριμένα στο μεθοδολογία του Παπαντώνη (2008).

#### ➤ Κόστος ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού

Ως βασικός ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός εννοούνται οι υδροστρόβιλοι, γεννήτριες, ρυθμιστές στροφών, μετασχηματιστές και ηλεκτρικοί πίνακες. Ο υπολογισμός τους κόστους ( $C_{EM}$ ) μπορεί να δοθεί με κάποιες απλές συσχετίσεις από την σχέση:

$$C_{EM} = 20.750 \cdot \frac{N^{0.70}}{H^{0.35}} \quad [6.1]$$

Όπου:

$C_{EM}$ : κόστος κάθε μονάδας παραγωγής (€)

N: ονομαστική ισχύς (kWatt)

H: ονομαστική διαθέσιμη υδραυλική πτώση (mΣΥ)

#### ➤ Εκτίμηση του συνολικού κόστους της επένδυσης

Η εκτίμηση του συνολικού κόστους επένδυσης (C) της επένδυσης για ΜΥΗΕ που δεν παρουσιάζουν πολλές ιδιομορφίες μπορεί να πραγματοποιηθεί με έναν συντελεστή θέσης (S) ο οποίος καλείται ο λόγος του συνολικού κόστους (C) προς το κόστος των μονάδων παραγωγής και δίνεται από την σχέση:

$$C = S \cdot z \cdot C_{EM} \quad [6.2]$$

Όπου:

z· $C_{EM}$ : κόστος μονάδων παραγωγής (€)

S: συντελεστή θέσης

Θα πρέπει να τονισθεί ότι ο συντελεστής θέσεως λαμβάνει υπόψη όσο αυτό είναι δυνατόν τις ιδιαιτερότητες του έργου, τις δυσκολίες της κατασκευής και κυμαίνεται από 2,5 έως 4.

Ο συντελεστής δίνουν απλώς μια τάξης μεγέθους του συνολικού κόστους και μπορεί να είναι χρήσιμες στη φάση της διαστασιολόγησης του ΜΥΗΕ. Στο κόστος κατασκευής θα πρέπει να συυπολογισθεί και το κόστος της γραμμής μέσης τάσεως και το οποίο θα



καταβληθεί στη ΔΕΗ. Το κόστος αυτό εξαρτάται από την ονομαστική ισχύ και την απόσταση του υδροηλεκτρικού συστήματος από την πλησιέστερη γραμμή μεταφοράς του δικτύου Μέσης Τάσης (ΜΤ) της ΔΕΗ. Για τον λόγο αποτελεί μέγεθος χαρακτηριστικό του κάθε έργου, το οποίο όμως σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να είναι πολύ σημαντικό, ιδιαίτερα για έργα σε πολύ απομακρυσμένες περιοχές.

### 6.1.1. Συσχετίσεις υπολογισμού κόστους συνιστωσών του έργου

Σε αυτό το σημείο θα ακολουθήσει η ανάλυση των συσχετίσεων για τον υπολογισμό του κόστους. Όπως προαναφέρθηκε οι συσχετίσεις αυτές είναι βασισμένες στη βιβλιογραφία και είναι ενδεικτικές αφού το πραγματικό κόστος ενός ΜΥΗΕ εξαρτάται από πλήθος παραγόντων όπως είναι:

- Διαμόρφωση του ΜΥΗΕ
- Τύπος και προέλευση ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού
- Τοπικές συνθήκες και δυσκολίες

Ωστόσο, σαν αναγνωριστική μελέτη του έργου θεωρείται πολύ σημαντική έχοντας όμως μια απόκλιση της πραγματικής τιμής περίπου  $\pm 40\%$ .

#### ➤ Κόστος φράγματος ή του εκχειλιστού

Το κόστος το φράγματος ή το εκχειλιστού (C) από σκυρόδεμα συσχετίζεται με το ύψος (h) του φράγματος ή το εκχειλιστού και δίνεται ανά μέτρο ανοίγματος από την σχέση:

$$C = 97,632 \cdot h^2 + 14,3 \cdot h + 821,75 \text{ σε χιλιάδες } \text{€} \quad [6.3]$$

Όπου:

h: ύψος του φράγματος ή το εκχειλιστού (m)

#### ➤ Κόστος υδροληψίας

Στο έργο υδροληψίας περιλαμβάνεται το θυρόφραγμα και η εσχάρα καθαρισμού. Το κόστος (C) του έργου υδροληψίας συσχετίζεται με την ονομαστική παροχή (Q) του ΜΥΗΕ και δίνεται από τον τύπο:

$$C = 9,236 \cdot Q^{0.72} \text{ σε χιλιάδες } \text{€} \quad [6.4]$$

Όπου:

Q: ονομαστική παροχή ( $\text{m}^3/\text{sec}$ )





### ➤ Κόστος διώρυγας προσαγωγής

Το κόστος (C) ανά μέτρο μήκους της διώρυγας προσαγωγής κατασκευασμένης από σκυρόδεμα με τραπεζοειδή διατομή κλίσεως πλευρικών τοιχωμάτων ίσης προς 0,25/lit συσχετίζεται με την ονομαστική παροχή (Q) του ΜΥΗΕ. Δίνονται οι δύο ακραίες περιπτώσεις στην πρώτη η κατασκευή της διώρυγας γίνεται σε βραχώδες έδαφος και η δεύτερη σε χώμα. Τα ανωτέρω δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

Εκσκαφή σε βραχώδες έδαφος:

$$C = -0,0286 \cdot Q^4 + 0,935 \cdot Q^3 - 12,081 \cdot Q^2 + 17,677 \cdot Q + 105,71 \text{ σε χιλιάδες €/m} \quad [6.5]$$

και

Εκσκαφή σε χώμα:

$$C = -0,1782 \cdot Q^2 + 17,677 \cdot Q + 104,71 \text{ σε χιλιάδες €/m} \quad [6.6]$$

Όπου:

Q: ονομαστική παροχή (m<sup>3</sup>/sec)

### ➤ Κόστος του αγωγού πτώσεως

Το κόστος (C) του αγωγού πτώσεως, ανά μέτρο μήκους συσχετίζεται με την υδραυλική πτώση (h) και την ονομαστική παροχή (Q) του ΜΥΗΕ και δίνεται από τον τύπο:

$$C = \alpha \cdot Q^n \text{ σε €/m} \quad [6.7]$$

Οι συντελεστές α και n δίνονται από τις σχέσεις:

$$\alpha = 0,0007 \cdot h^2 + 0,0662 \cdot h + 497,6 \quad [6.8]$$

$$n = -6 \cdot 10^{-7} \cdot h^2 + 0,0009 \cdot h + 0,316 \quad [6.9]$$

Όπου:

Q: ονομαστική παροχή (m<sup>3</sup>/sec)

α και n: παράμετροι που εξαρτώνται από την υδραυλική πτώση

h: υδραυλική πτώση με ελάχιστη τιμή τα 100 m

Το πραγματικό κόστος του αγωγού πτώσης υπολογίζεται σύμφωνα με το κόστος του υλικού, το κόστος επιφανειακής προστασίας καθώς και το κόστος τις εγκατάστασης και των δοκιμών κάτι που δεν έχει συνυπολογιστεί στις ανωτέρω σχέσεις.



### ➤ Κόστος κτιρίου ΥΗΣ

Το κόστος (C) του κτιρίου του ΥΗΣ συσχετίζεται με την ονομαστική παροχή (Q) του ΜΥΗΕ, ενώ μικρότερη επίδραση σε αυτό έχει ή τιμή της υδραυλικής πτώσης, καθώς αυτή εξαρτάται από τις δυνάμεις που αναπτύσσονται στους υδροστροβίλους και το άκρο του αγωγού πτώσεως. Το κόστος του κτιρίου του υδροηλεκτρικού συστήματος και δίνεται από τον τύπο:

$$C = \alpha \cdot Q^n \text{ σε χιλιάδες } \text{€} \quad [6.10]$$

Όπου:

Q: ονομαστική παροχή (m<sup>3</sup>/sec)

α και n: παράμετροι που εξαρτώνται από την υδραυλική πτώση, σχέσεις 6.8 και 6.9

### ➤ Κόστος οδού προσπέλασης

Το κόστος (C) των οδών προσπέλασης στα έργα κυμαίνεται από 20.000 έως και 50.000 €/ km. Το κόστος αυτό εξαρτάται άμεσα από το έδαφος και τις απαραίτητες διασταυρώσεις με το υδατόρευμα, που απαιτείται η κατασκευή γεφυρών.

### ➤ Κόστος υδροστροβίλου

Το κόστος (C) του υδροστροβίλου συσχετίζεται με την ονομαστική παροχή (Q) και την υδραυλική πτώση (H) ή την ονομαστική ισχύ (N) και την διαθέσιμη υδραυλική πτώση (H), θεωρώντας μια μέση τιμή του ολικού βαθμού απόδοσης του υδροστροβίλου ίση προς n=0,92. Οι συσχετίσεις αυτές δίνονται από τις σχέσεις:

$$C = \alpha \cdot Q^n \cdot H^m \text{ σε χιλιάδες } \text{€} \quad [6.11]$$

Και

$$C = b \cdot N^n \cdot H^k \text{ σε χιλιάδες } \text{€} \quad [6.12]$$

Όπου:

α, n, k, m, b:σ συντελεστές που δίνονται συμφωνά με τον τύπο του υδροστροβίλου (Πίνακας 12).

Πίνακας 12: Συντελεστές κόστους υδροστροβίλων  
[Πηγή: Παπαντώνης, 2008]

Υδροστροβίλοι	α	n	m	b	k
Francis	96,998	0,481	0,1953	33,676	-0,2858
Pelton	115,420	0,444	0,2582	43,465	-0,1858



Από τις τιμές των εκθετών  $n$  και  $k$  διακρίνεται ότι για όλους τους τύπους των υδροστροβίλων προκύπτει ότι για την ίδια ονομαστική ισχύ ( $N$ ), το κόστος του υδροστροβίλου μειώνεται όσο αυξάνεται η υδραυλική πτώση ( $H$ ). Επιπλέον, το κόστος του υδροστροβίλου αυξάνεται όσο αυξάνεται η ισχύς και η ονομαστική παροχή.

### ➤ **Κόστος γεννήτριας**

Το κόστος ( $C$ ) της γεννήτριας συσχετίζεται με την ονομαστική της ισχύ ( $N$ ) και τον τύπο της σύγχρονης και της ασύγχρονης γεννήτριας δίνεται από την σχέση:

Σύγχρονη γεννήτρια:

$$C = -2,394 \cdot N^2 + 60 \cdot N + 7,865 \text{ σε χιλιάδες } \text{€} \quad [6.13]$$

και

Ασύγχρονη γεννήτρια:

$$C = -1,811 \cdot N^2 + 47,5 \cdot N + 5,931 \text{ σε χιλιάδες } \text{€} \quad [6.14]$$

Όπου:

$N$ : ονομαστική ισχύ (MWatt)

### ➤ **Κόστος ηλεκτρονικών πινάκων και οργάνων**

Το κόστος ( $C$ ) των ηλεκτρονικών πινάκων και οργάνων συσχετίζεται με την ονομαστική της ισχύ ( $N$ ) του ΥΗΣ και το πλήθος των μονάδων παραγωγής και υπολογίζεται ως εξής:

Ισχύ  $0 < N < 7$  MW

$$C = \alpha_1 \cdot N + b_1 \text{ σε χιλιάδες } \text{€} \quad [6.15]$$

και

Ισχύ  $7 < N < 10$  MW

$$C = \alpha_2 \cdot N^2 + b_2 \cdot N + c_1 \text{ σε χιλιάδες } \text{€} \quad [6.16]$$

Όπου:

$N$ : ονομαστική ισχύ (MWatt)

$a, b, c$ : συντελεστές κόστους



Πίνακας 13: Συντελεστές κόστους ηλεκτρονικών πινάκων και οργάνων σύμφωνα με της μονάδες παραγωγής [Πηγή: Παπαντώνης, 2008]

Πλήθος μονάδων	0<N<7 MW		7<N<10 MW		
	$\alpha_1$	$b_1$	$a_2$	$b_2$	$c_2$
1 μονάδα	19,471	201,84	-2,361	47,18	122,52
2 μονάδες	23,910	242,00	-3,273-	62,15	132,22
3 μονάδες	26,248	275,00	3,381	65,74	162,22

### ➤ Κόστος ηλεκτρική γραμμής μεταφοράς

Το κόστος των ηλεκτρικών γραμμών μεταφοράς της ηλεκτρικής ισχύος μέχρι το δίκτυο ΜΤ εξαρτάται από την τάση της γραμμής μεταφοράς (15, 20 ή 44 kV), την δυσκολία κατασκευής της γραμμής, το μήκος της γραμμής και την ονομαστική ηλεκτρική ισχύ. Στον Πίνακα 14 δίνονται ενδεικτικές τιμές του κόστους της γραμμής μεταφοράς και του υποσταθμού, εάν απαιτείται, για μέσης δυσκολίας συνθήκες, ανάλογα με την ηλεκτρική ισχύ και την τάση.

Πίνακας 14: Ενδεικτικό κόστος ηλεκτρικής μεταφοράς και υποσταθμού [Πηγή: Παπαντώνης, 2008]

Ηλεκτρική Ισχύς (MW)	Τάση (kV)	Κόστος γραμμής μεταφοράς (€/km)	Κόστος υποσταθμού (€)
0-2	25	55.000	250.000
2-5	44	65.000	600.000
>5	115	100.000	2.000.000

### ➤ Κόστος μελετών, αδειοτήσεων και επίβλεψης

Όπως έχει προαναφερθεί στην προηγούμενη παράγραφο το συνολικό κόστος για την εκπόνηση των μελετών, την έκδοση των αδειών και την επίβλεψη του έργου ανέρχεται στο 10-15% περίπου του συνολικού κόστους του έργου. Στον Πίνακα 15 δίνεται το ποσοστό % της συμμετοχής κάθε συνιστώσας του κόστους μελετών και επίβλεψης στο συνολικό κόστος του έργου.



Πίνακας 15: Συμμετοχή (%) κάθε συνιστώσας μελετών και επίβλεψης στο συνολικό κόστος του έργου [Πηγή: Παπαντώνης, 2008]

Επί μέρους μελέτη	Ποσοστιαία συμμετοχή % στο συνολικό κόστος του έργου
Αναγνώριση περιοχής	0,90
Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων	1,00
Συγκέντρωση και αξιολόγηση υδρολογικών δεδομένων	0,30
Αναγνωριστική μελέτη	0,80
Αδειοδοτήσεις	0,50
Εδαφολογική μελέτη	0,40
Μελέτη χρηματοδότησης του έργου	1,50
Δημιουργία της εταιρίας διαχείρισης και λογιστική παρακολούθηση	0,90

Το κόστος (C) επίβλεψης του έργου, χωρίς να συμπεριλαμβάνεται η επίβλεψη κατά την κατασκευή του έργου, από την έναρξη της αναγνωριστικής μελέτης μέχρι την παραλαβή του έργου, συσχετίζεται με την ονομαστική εγκατάσταση ισχύ (N) και την υδραυλική πτώση (h) και δίνεται από την σχέση:

$$C = 70.000 \left( \frac{N}{h^{0.30}} \right)^{0.54} \text{ σε } \text{€} \quad [6.18]$$

Το κόστος της μελέτης εφαρμογής και σύνταξης των απαραίτητων τευχών προδιαγραφών και δημοπράτησης συσχετίζεται με την ονομαστική εγκατεστημένη ισχύ (N) και την υδραυλική πτώση (h), και σε πρώτη προσέγγιση δίνεται από την σχέση:

$$C = 200.000 \left( \frac{N}{h^{0.30}} \right)^{0.54} \text{ σε } \text{€} \quad [6.19]$$

Το κόστος της επίβλεψης της κατασκευής του έργου συσχετίζεται με την ονομαστική εγκατεστημένη ισχύ (N) και την υδραυλική πτώση (h), και σε προσέγγιση δίνεται από την σχέση:

$$C = 100.000 \left( \frac{N}{h^{0.30}} \right)^{0.54} \text{ σε } \text{€} \quad [6.20]$$

Όπου:

N: ονομαστική ισχύ (MWatt)

h: υδραυλική πτώση (m)

Το κόστος για την εκπαίδευση του τεχνικού προσωπικού που θα αναλάβει την λειτουργία και συντήρηση του έργου μετά την παραλαβή που αντιστοιχεί σε 5-100 ανθρωπο-ημέρες ενός τεχνικού. Η δαπάνη ανθρωπο-ημέρα κυμαίνεται μεταξύ 500-800 €.



## 6.2. Οικονομοτεχνική Ανάλυση ΜΥΗΕ ΠΕΙΡΟΥ

Σε αυτό το σημείο πραγματοποιείται ο υπολογισμός του κόστους του ΜΥΗΕ του Πείρου. Αρχικά δίνεται ο Πίνακας 16 με τα δεδομένα που προέκυψαν από την ενεργειακή μελέτη του έργου.

Πίνακας 16: Δεδομένα για τον υπολογισμό κόστους του ΜΥΗΕ

Χαρακτηρισμός	Συμβολισμός	Τιμή	Pelton	Francis
Ονομαστική παροχή	Q (m <sup>3</sup> /sec)	1,77	0,55	1,22
Ονομαστική ισχύς έργου	N (KW)	1200		
Διαθέσιμη υδραυλική πτώση	H (mΣΥ)	80		
Μήκος αγωγού	m(m)	2720		
Συντελεστής θέσεως	S=2,5-4	3,5		
Πλήθος υδροστροβίλων	z	2		
Ύψος φράγματος-μέσω ύψος	h <sub>max</sub> -h	3	2,5	
Ονομαστική ισχύς γεννήτριας	N(KVA)		400	1100
Συντελεστής ισχύος γεννήτριας	η <sub>g</sub>		0,8	0,8
Ονομαστική ισχύς γεννήτριας	N(MW)		0,32	0,88
Ονομαστική ισχύς μετασχηματιστή	N(KVA)		100	1500
Συντελεστής ισχύος μετασχηματιστή	η <sub>m</sub>		0,8	0,8
Ονομαστική ισχύς μετασχηματιστή	N(MW)		0,08	1,2

Στην συνέχεια ακολουθώντας την διαδικασία του προσεγγιστικού κόστους τα αποτελέσματα οδήγησαν ότι το έργο θα κοστίσει περίπου 4,4 εκατομμύρια ευρώ (Πίνακας 17).

Πίνακας 17: Προσεγγιστικός υπολογισμός του κόστους του ΜΥΗΕ

Χαρακτηρισμός	Κόστος	Τιμή Μονάδας
Κόστος Η/Μ εξοπλισμού	634716	€
Εκτίμηση του συνολικού κόστους της επένδυσης	4,443	σε εκ €

Ωστόσο, με στόχο να υπολογισθεί το αναλυτικό κόστος του έργου χρησιμοποιούνται οι συνιστώσες όπως κόστος του φράγματος η του εκχειλιστού, κόστος του έργου υδροληψίας, κόστος της διώρυγας προσαγωγής, κόστος της δεξαμενής φόρτισης, κόστος του αγωγού πτώσεως, κόστος του κτιρίου ΥΗΣ, κόστος του υδροστροβίλου, κόστος γεννητριών, κόστος μετασχηματιστή, κόστος ηλεκτρικών οργάνων και πινάκων, ηλεκτρική γραμμή μεταφοράς, κόστος επίβλεψης του έργου, κόστος της μελέτης εφαρμογής και της σύνταξης τευχών προδιαγραφών και δημοπράτησης, κόστος επίβλεψης κατασκευής του έργου, και το κόστος της δόδοι των ψαριών, δηλαδή οι συνιστώσες που αναλύθηκαν στο προηγούμενο εδάφιο (Πίνακας 18).



Πίνακας 18: Υπολογισμός του κόστους κάθε συνιστώσας του ΜΥΗΕ

Χαρακτηρισμός δαπάνης	Τιμή	Τιμή Μονάδας
Κόστος του φράγματος η του εκχειλιστου	1467,70	σε χιλ €
Κόστος του έργου υδροληψίας	13,93	σε χιλ €
Κόστος της διώρυγας προσαγωγής	104,05	σε χιλ €
Κόστος της δεξαμενής φόρτισης	20,16	σε χιλ €
Κόστος του αγωγού πτώσεως	1718,54	σε χιλ €
Κόστος του κτιρίου ΥΗΣ	110,00	
Κόστος του υδροστροβίλου	525,57	σε χιλ €
Κόστος γεννητριών	85,63	σε χιλ €
Κόστος μετασχηματιστή	42,99	σε χιλ €
Κόστος ηλεκτρικών οργάνων και πινάκων	270,69	σε χιλ €
Ηλεκτρική γραμμή μεταφοράς	100,00	σε χιλ €
Κόστος επίβλεψης του έργου	37980,03	€
Κόστος της μελέτης εφαρμογής και της σύνταξης τευχών προδιαγραφών και δημοπράτησης	108514,38	€
Κόστος επίβλεψης κατασκευής του έργου	54257,19	€
Κόστος της διόδου των ψαριών	7000	€
Σύνολο	4,567	σε εκ €

Σύμφωνα με την μέθοδο του κόστους με συνιστώσες του ΜΥΗΕ του Πείρου, το κόστος αγγίζει τα 4,57 εκατομμύρια ευρώ, πολύ κοντά με τον προσεγγιστικό κόστος που υπολογίσθηκε στα 4,4 εκατομμύρια ευρώ. Σημειώνεται ότι σύμφωνα με τον Παπαντώνη (2008) οι προαναφερόμενοι τρόποι υπολογισμού του κόστους δεν είναι ακριβής και έχει απόκλιση ης τάξης του  $\pm 50\%$ . Οι μέθοδοι χρησιμοποιούνται μόνο για την συνολική εικόνα του έργου και αν αξίζει η όχι να προχωρήσει το έργο προς υλοποίηση.

### 6.3. Εκτίμηση λειτουργικού κόστους ΜΥΗΕ

Το λειτουργικό κόστος ενός ΜΥΗΕ θεωρούνται τα εξής (Παπαντώνης, 2008):

- Κόστος κεφαλαίου
- Απόσβεση
- Αμοιβές προσωπικού
- Διοικητικά έξοδα επιχείρησης
- Λειτουργικά έξοδα
- Έξοδα συντήρησης
- Ασφάλιση εξοπλισμού
- Φόροι
- Δικαιώματα χρήσης του νερού



Το κόστος εξυπηρέτησης του κεφάλαιο εξαρτάται από το ύψος του δανείου, την διάρκεια αποπληρωμής του και το επιτόκιο. Οι αποσβέσεις ανέρχονται σε 2% επί τους κόστους του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και των υδραυλικών έργων, σε 8% επί του κόστους των κτιριακών εγκαταστάσεων ΥΗΣ και σε 20% στο κόστος των μελετών, εξόδων δανειοδότηση κλπ.

Για την επιτήρηση και λειτουργία ενός ΜΥΗΕ αρκεί η απασχόληση ενός τεχνίτη. Επίσης, λαμβάνονται υπόψη οι ετήσιες αμοιβές για μερική απασχόληση του λογιστή της επιχείρησης και επιβλέποντος μηχανικού. Κατά συνέπεια το ετήσιο κόστος αμοιβών προσωπικού, μαζί με τις εργοδοτικές εισφορές είναι υπολογίσιμο. Στα λειτουργικά εξάδα της επιχείρησης λαμβάνονται υπόψη δαπάνες όπως τηλεπικοινωνίες, ταχυδρομικές, αναλώσιμα και πρώτες ύλες.

Επιπλέον, τα ασφάλιστρα υπολογίζονται σε 0,65% επί του κόστους του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και σε 0,35% επί της αξίας των κτιριακών. Επίσης, στις ετήσιες δαπάνες προϋπολογισμού ετησίως πόσο 15% επί των γενικών βιομηχανικών δαπανών ως απρόβλεπτες δαπάνες.





## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία στόχευε στον σχεδιασμό Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου στον ποταμό Πείρο η οποία βρίσκεται στον Δήμο Φαρρών του νομού Αχαΐας. Τα αποτελέσματα προέκυψαν από την ανάλυση των μετρήσεων που λήφθηκαν τα ημερολογιακά έτη 2010 έως και 2016. Η επεξεργασία των δεδομένων – πληροφοριών πραγματοποιήθηκαν με το υπολογιστικό πρόγραμμα excel.

Τα δεδομένα που δόθηκαν αφορούσαν τις 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. Έπειτα έγινε ο υπολογισμός της οικολογικής παροχής όπου συνυπολογίστηκαν οι περιορισμοί που πρόκυψαν κατά την εκπόνηση της μελέτης και επιλέχθηκε η μέση τιμή των θερινών μηνών που αντιστοιχούσε σε 143 lit/sec. Στην συνέχεια ο υπολογισμός της διαθέσιμης παροχής από την αφαίρεση της παροχής των χρονικών διαστημάτων και της οικολογικής παροχής. Με αυτή τη διαδικασία κατασκευάστηκε το διαγράμματος της καμπύλης 21 σημείων δίνοντας πληροφορίες για την διαθέσιμη παροχή, παροχή εκμετάλλευσής και παροχή από καμπύλη διάρκειας. Ακολούθησε η κατασκευή των χαρακτηριστικών καμπυλών εγκατάστασης όπου υπολογίστηκαν οι απώλειες του συστήματος και προσμετρήθηκαν μόνο οι γραμμικές απώλειες (απώλειες λόγω τριβής) θεωρώντας ότι οι τοπικές απώλειες είναι αμελητέες. Οι απώλειες υπολογίστηκαν για κάθε αντιπροσωπευτική τιμή της παροχής (1,77 - 0,056 m<sup>3</sup>/sec) και απεικονίστηκαν σε ένα συνολικό διάγραμμα για της απώλειες του αγωγού προσαγωγής.

Στον ποταμό Πείρος θα τοποθετηθεί μικρό υπερπηδητό φράγμα ορεινού τύπου, το οποίο θα διατηρεί πιο σταθερή την παροχή. Στο φράγμα θα συνδεθεί με πλαστικό σωλήνα, ενισχυμένος με υαλονήματα (GRP), ο οποίος θα οδεύεται σε επιχωματούμενο όρυγμα δεξιά κατά του ρου του ποταμού για συνολικό μήκος 2720 m και θα οδηγεί το νερό στο σταθμό. Το κτίριο του σταθμού, το οποίο θα χτιστεί σε ύψος 345m από την στάθμη της θάλασσας θα εγκατασταθεί ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός που αποτελείται από την συνεργασία ενός υδροστρόβιλου Pelton οριζόντιου άξονα, ισχύος 380 kW (αποδιδόμενη για μέγιστη παροχή 0,55 m<sup>3</sup>/sec υπό καθαρό ύψος πτώσης 77,44 m) και γεννήτρια τριφασική, ονομαστικής ισχύος 400 kVA σύγχρονη, με τάση λειτουργίας 0,6 kV και έναν υδροστρόβιλο Francis οριζόντιου άξονα, ισχύος 942 kW (αποδιδόμενη για μέγιστη παροχή 1,35 m<sup>3</sup>/sec υπό καθαρό ύψος πτώσης 77,96 m) και γεννήτρια τριφασική, ονομαστικής ισχύος 1100 kVA, σύγχρονη, με τάση λειτουργίας 0,6 kV. Για την ανύψωση τάσης θα εγκατασταθεί ένας μετασχηματιστής αερόψυκτος, τριφασικός, ελαίου, εξωτερικού χώρου ισχύος 1500 kVA και ένας δευτερεύων μετασχηματιστής τριφασικός, εξωτερικού χώρου, ισχύος 100 kVA. Στον σταθμό θα εγκατασταθούν επίσης υπόλοιπος αναγκαίος ηλεκτρομηχανολογικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός και εγκαταστάσεις όπως: πίνακες, όργανα ρύθμισης και ελέγχου, αυτοματισμοί κλπ. Μετά την ενεργειακή αξιοποίηση της υδραυλικής ενεργείας θα υπάρχει διώρυγα φυγής για την επαναφορά του ύδατος στην κοίτη του ποταμού.



Επιπλέον, υπολογίσθηκαν σύμφωνα με τις ώρες λειτουργίας του ΜΥΗΕ οι ενέργεια που παράγεται εντός του έτους, η οποία ανέρχεται σε 4,06 GWh και υπολογίσθηκε η ενεργειακή αποδοτικότητα που αγγίζει το 38%. Το ΜΥΗΕ μπορεί να χρησιμοποιεί 20.190.000 m<sup>3</sup> νερού ετησίως με στόχο να παράγει ενέργεια. Ακόμα πραγματοποιήθηκε οικοτεχνική ανάλυση του έργου, όπου έγινε εφαρμογή των μεθόδων που προτείνει ο Παπαντώνης (2008) για τον υπολογισμό του κόστους του ΜΥΗΕ του Πείρου, το κόστος με την μέθοδο των συνιστωσών αγγίζει τα 4,57 εκατομμύρια ευρώ, πολύ κοντά με τον προσεγγιστικό κόστος που υπολογίσθηκε στα 4,40 εκατομμύρια ευρώ. Σημειώνεται ότι οι προαναφερόμενες μέθοδοι χρησιμοποιούνται μόνο κατά τον πρώτο σχεδιασμό του έργου αφού παρουσιάζουν απόκλιση της τάξης του ±50%.

Τέλος, για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του έργου συνυπολογίζονται οι ρύποι διοξειδίου που παράγονται από τις λιγνητικές μονάδες οι οποίες ανέρχονται σε 4,06 GWh \*0,92 (Kg/kWh) =3,735 10<sup>6</sup> Kg ρύπων. Επιπλέον, έχει συνυπολογισθεί ότι μετά την υδροηλεκτρική αξιοποίηση το σύνολο της απαγόμενης ποσότητας νερού θα αποδίδεται στην κοίτη του ποταμού χωρίς να αλλοιώνεται η ποιότητα και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του. Επιπλέον, θα γίνεται κατάλληλη εκτόνωση ενέργειας με στόχο η ταχύτητα ροής να μην επηρεάζει την κοίτη του ποταμού (αποφυγή διάβρωσης, έντονης θολερότητας κ.α.) ή να δημιουργούνται προβλήματα στη κίνηση της ιχθυοπανίδας.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Δημόπουλο Δ., και Στεφανάκος Ι, *Υπερχειλιστές και εκκενωτές πυθμένα στα τέσσερα παλαιότερα φράγματα της ΔΕΗ από σκυρόδεμα*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα, Ανάκτηση 10/2022 από <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teelar/EKDILWSEIS/damConference/eisigiseis/10.1.pdf>
- Δημολίκας Π., 2018, *Μελέτη υδροηλεκτρικής εγκατάστασης μικρής ισχύος με ΥΣ τύπου Pelton*, Μεταπτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Σχολή Μηχανικών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών, Αθήνα
- Δούλη Ε., 2014, *Τα φράγματα και οι επιδράσεις στους στο τοπίο*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Αθήνα  
<file:///C:/Users/30698/Downloads/Douli.pdf>
- Ελληνική Δημοκρατία Αποκεντρωμένη Διοίκηση Πελοποννήσου, Δυτικής Ελλάδας και Ιονίου, Γενική Διεύθυνση Χωροταξικής και Περιβαλλοντικής Πολιτικής, Διεύθυνση Υδάτων Δυτικής Ελλάδας, Τμήμα Παρακολούθησης και Προστασίας των Υδάτινων Πόρων, 2020, Απόφαση: ΑΔΑ Ψ4ΜΑΟΡ1Φ-Φ2Λ, Γενικός Διευθυντής Χωροταξικής & Περιβαλλοντικής Πολιτικής, Παναγιωτόπουλος Δ.
- Energy Gov, *Planning a Microhydropower System*:  
<https://www.energy.gov/energysaver/planning-microhydropower-system>
- Ηλεκτρονική Εγκυκλοπαίδεια: <https://el.wikipedia.org/wiki>
- Καραμπατάκη Δ., 2009, *Η συμβολή των υδροηλεκτρικών έργων στις πολλαπλές χρήσεις νερού: η κατάσταση στην Ελλάδα*, Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Θεσσαλονίκη.
- Καρώνης Ι., 2015, *Σχεδιασμός Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου στον ποταμό Πηνειό*, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Βόλος
- Καλπακιώρης Ν., 2019, *Περιγραφή του φράγματος Πείρου-Παραπείρου*, Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Πολεοδομίας αι Περιφερειακής Ανάπτυξης, Βόλος
- Κουσαθανάς Θ. και Grembi A., 2021, *Σχεδιασμό Μικρού Υδροηλεκτρικού έργου στη λεκάνη απορροής του Τσελεχοβίτικου ρέματος, Ν. Ηλίας*, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Σχολή Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Πάτρα.



- Μίχας Σ., Δερματάς Δ. και Ευστρατιάδης Α., 2015, *Φράγματα – Υδραυλικές κατασκευές, Διαλέξεις Μαθήματος*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολίτικων Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Αθήνα
- Μιμίκου Μ. και Μπαλτάς Ε., 2006, *Τεχνική Υδρολογία*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα
- Πασσιάς Η., 2019, *Υδροηλεκτρική ενέργεια, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Μηχανικών, Σχολή Μηχανικών*, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Πάτρα.
- Πολυζάκης Α., 2016, *Ρευστοδυναμικές Μηχανές, Στροβηλομηχανές – Υδροδυναμικές Μηχανές, Θεωρία – Λυμένες Ασκήσεις*, Εκδόσεις Heat Cool Rower, Έκδοση 1<sup>η</sup>, Πτολεμαίδα.
- Παπαντώνης Δημήτριος Ε., Καθηγητής Ε.Μ.Π., 2008, *Μικρά υδροηλεκτρικά έργα*, Έκδοση Συμειών, Αθήνα.
- Σκόδρας Γ., 2015, *Ήπιες και νέες μορφές ενέργειας*, Σημειώσεις Μαθήματος, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη
- Σκούρας Ε., Βούρος Α., Πολυζάκης Α., 2016, *Ρευστοδυναμικές μηχανές, Εργαστηριακές Ασκήσεις*, Σημειώσεις Μαθήματος, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Σχολή Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Πάτρα
- Τζαμάκου Ε., 2018, *Στοιχεία Σχεδιασμού Μικρών Υδροηλεκτρικών έργων με εφαρμογή στο Νομό Άρτας*, Μεταπτυχιακή Εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.
- Τσουπάκη Μ. και Χαρωνίτης Α., 2022, *Τύποι Φραγμάτων – Συγκριτική Μελέτη, Πτυχιακή Εργασία*, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Σχολή Μηχανικών Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Πάτρα
- Τσώνης Σ., 2004, *Επεξεργασία νερού*, Πανεπιστήμιο Παρών, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Πάτρα
- Χασιακός Α. και Φαρμάκης Π., 2019, *Φράγματα & κατασκευαστικές μέθοδοι, Οργάνωση έργων & εργοταξίων*, Διαλέξεις Μαθήματος, Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Ακολουθεί το υλικό από το υπολογιστικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της μελέτης.

ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ ΠΟΤΑΜΟΥ ΠΕΙΡΟΥ (m <sup>3</sup> /s) ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΦΡΑΓΜΑΜΥΗΣ ΠΕΙΡΟΣ												
2010-2011	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ
1	0,230	0,900	1,180	2,190	1,320	2,860	1,990	1,980	1,630	0,790	0,530	0,280
2	0,230	0,440	1,030	1,830	1,280	2,630	1,840		1,600	0,780	0,520	0,280
3	0,230	0,340	0,940	1,600	1,250	2,400	2,230		1,570	0,770	0,520	0,280
4	0,220	0,300	0,850	1,430	1,520	2,620	4,280		1,540	0,750	0,520	0,280
5	0,220	0,280	0,780	1,440	1,690	2,590	3,710		1,490	0,740	0,520	0,280
6	0,220	0,260	0,720	1,410	1,550	2,330	3,210		1,510	0,730	0,510	0,280
7	0,220	0,250	0,690	1,310	1,430	2,200	6,760		1,670	0,720	0,510	0,280
8	0,220	0,260	0,680	1,240	1,360	2,160			1,550	0,710	0,500	0,280
9	0,220	0,270	0,670	1,180	1,310	2,170			1,480	0,690	0,410	0,280
10	0,220	0,270	0,690	1,130	1,270	2,240	6,430		1,430	0,670	0,310	0,280
11	0,220	0,270	0,630	1,100	1,230	2,210	4,910		1,370	0,670	0,300	0,280
12	0,240	0,270	0,600	1,050	1,200	2,120	4,190		1,320	0,660	0,290	0,280
13	0,230	0,730	0,590	1,000	1,200	2,080	3,690		1,290	0,840	0,290	0,280
14	0,220	0,760	0,560	2,690	1,180	2,040	3,380		1,230	0,720	0,290	0,280
15	0,220	1,250	0,540	4,280	1,140	1,990	3,140		1,180	0,680	0,290	0,270
16	0,220	1,500	0,510	2,800	1,110	1,920	2,990	1,680	1,140	0,670	0,280	0,270
17	0,220	0,970	0,500	2,540	1,090	1,780	2,900	1,670	1,110	0,660	0,280	0,260
18	0,220	0,920	0,510	2,330	1,050	1,680	3,680	2,490	1,090	0,640	0,280	0,270
19	0,210	1,700	0,520	2,060	1,040	1,690	3,600	3,140	1,080	0,630	0,280	0,260
20	0,210	1,630	0,500	2,140	1,030	2,020	3,570	2,770	1,050	0,620	0,270	0,260
21	0,210	1,780	0,490	2,260	1,020	2,060	3,900	2,540	1,000	0,620	0,270	0,260
22	0,210	1,460	0,480	2,310	1,020	2,260	3,200	2,460	0,980	0,610	0,280	0,260
23	0,200	1,090	0,470	1,980	1,030	5,290	2,760	2,330	0,950	0,600	0,280	0,250
24	0,210	0,910	1,050	1,770	1,090	3,640	2,470	2,130	0,920	0,600	0,280	0,260
25	0,200	0,800	2,700	1,640	1,240	2,960	2,270	1,990	0,900	0,600	0,280	0,260
26	0,200	0,740	6,880	1,750	1,410	2,650	2,110	1,900	0,880	0,610	0,280	0,260
27	0,210	1,810	9,120	1,790	1,390	2,370	2,020	1,860	0,880	0,620	0,280	0,250
28	0,210	1,950	5,890	1,680	1,270	2,170	1,950	1,860	0,860	0,620	0,280	0,250
29	0,200	3,090	3,720	1,620	4,010		1,930	1,800	0,850	0,590	0,270	0,250
30	0,440	1,890	2,750	1,510	4,060		1,940	1,730	0,840	0,540	0,280	0,260
31		1,420		1,410	3,040		1,890		0,810		0,280	0,260
<b>Average</b>	<b>0,224</b>	<b>0,984</b>	<b>1,575</b>	<b>1,822</b>	<b>1,478</b>	<b>2,398</b>	<b>3,205</b>	<b>2,146</b>	<b>1,200</b>	<b>0,672</b>	<b>0,347</b>	<b>0,269</b>
<b>Min</b>	<b>0,200</b>	<b>0,250</b>	<b>0,470</b>	<b>1,000</b>	<b>1,020</b>	<b>1,680</b>	<b>1,840</b>	<b>1,670</b>	<b>0,840</b>	<b>0,540</b>	<b>0,270</b>	<b>0,250</b>
<b>Max</b>	<b>0,440</b>	<b>3,090</b>	<b>9,120</b>	<b>4,280</b>	<b>4,060</b>	<b>5,290</b>	<b>6,760</b>	<b>3,140</b>	<b>1,670</b>	<b>0,840</b>	<b>0,530</b>	<b>0,280</b>
<b>Stdev</b>	<b>0,042</b>	<b>0,701</b>	<b>2,128</b>	<b>0,670</b>	<b>0,773</b>	<b>0,701</b>	<b>1,264</b>	<b>0,432</b>	<b>0,283</b>	<b>0,071</b>	<b>0,104</b>	<b>0,011</b>

Πίνακας: Μετρήσεις 2010-2011



ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ ΠΟΤΑΜΟΥ ΠΕΙΡΟΥ (m <sup>3</sup> /s) ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΦΡΑΓΜΑ ΜΥΗΣ ΠΕΙΡΟΣ												
2011-2012 ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	
1	0,280	0,230	0,220	0,180	1,580	1,640	4,555	1,580	1,548	1,482	1,381	0,360
2	0,270	0,240	0,210	0,180	1,520	1,560	4,145	1,580	1,515	1,482	1,381	0,370
3	0,260	0,250	0,210	0,190	1,380	1,570	3,779	1,580	1,515	1,482	1,381	0,360
4	0,260	0,250	0,200	0,190	1,300	1,730	3,458	1,580	1,515	1,482	1,381	0,350
5	0,260	0,260	0,200	0,190	1,230	1,940	3,184	1,548	1,515	1,448	1,381	0,340
6	0,260	0,260	0,190	0,210	1,190	4,470	3,267	1,548	1,515	1,448	1,381	0,340
7	0,250	0,260	0,190	0,260	21,080	4,830	3,184	1,548	1,515	1,448	1,381	0,330
8	0,260	0,210	0,180	1,600	11,309	13,245	2,877	1,548	1,515	1,448	1,381	0,330
9	0,260	0,160	0,180	1,430	6,351	10,941	2,706	1,548	1,515	1,415	1,381	0,320
10	0,260	0,190	0,180	0,760	5,203	8,097	2,503	1,774	1,515	1,415	0,520	0,320
11	0,260	0,220	0,180	0,550	4,223	8,817	2,356	1,613	1,515	1,415	0,510	0,320
12	0,260	0,220	0,180	0,470	3,646	9,566	2,386	1,580	1,515	1,415	0,500	0,340
13	0,270	0,180	0,190	0,440	3,184	8,405	2,735	1,580	1,515	1,415	0,490	0,330
14	0,260	0,160	0,190	1,990	2,820	9,481	2,562	1,548	1,515	1,415	0,490	0,330
15	0,230	0,160	0,180	3,870	2,620	7,564	2,356	1,548	1,515	1,415	0,480	0,320
16	0,230	0,980	0,180	1,980	2,415	6,861	2,237	1,613	1,515	1,415	0,470	0,310
17	0,240	3,220	0,180	2,090	2,176	6,304	2,116	1,548	1,515	1,415	0,470	0,310
18	0,250	1,930	0,180	2,360	1,962	5,471	1,993	1,548	1,515	1,381	0,460	0,310
19	0,240	1,120	0,180	3,200	1,837	4,956	1,900	2,533	1,515	1,381	0,450	0,300
20	0,230	0,760	0,180	4,410	1,710	4,581	1,868	2,207	1,482	1,381	0,430	0,300
21	0,240	0,590	0,180	5,990	1,290	4,275	1,805	1,837	1,482	1,381	0,430	0,300
22	0,250	0,500	0,180	4,710	2,090	3,989	1,742	1,678	1,482	1,381	0,430	0,300
23	0,240	0,440	0,180	8,310	1,910	4,326	1,710	1,613	1,482	1,381	0,420	0,300
24	0,240	0,380	0,180	5,050	1,660	4,171	1,710	1,613	1,482	1,381	0,420	0,300
25	0,240	0,360	0,180	3,450	2,210	3,805	1,678	1,580	1,515	1,381	0,420	0,300
26	0,250	0,320	0,180	2,720	2,510	3,512	1,678	1,580	1,515	1,381	0,420	0,300
27	0,230	0,300	0,180	2,290	2,490	3,322	1,645	1,580	1,515	1,381	0,400	0,300
28	0,220	0,270	0,180	1,960	2,150	6,046	1,645	1,548	1,515	1,381	0,390	0,270
29	0,220	0,260	0,180	1,750	1,940	5,325	1,613	1,548	1,482	1,381	0,380	0,260
30	0,230	0,240	0,180	1,610	1,830		1,613	1,548	1,515	1,381	0,380	0,260
31		0,230		1,550	1,730		1,580		1,482		0,370	0,260
<b>Average</b>	<b>0,248</b>	<b>0,489</b>	<b>0,186</b>	<b>2,127</b>	<b>3,243</b>	<b>5,545</b>	<b>2,406</b>	<b>1,643</b>	<b>1,508</b>	<b>1,414</b>	<b>0,715</b>	<b>0,314</b>
<b>Min</b>	<b>0,220</b>	<b>0,160</b>	<b>0,180</b>	<b>0,180</b>	<b>1,190</b>	<b>1,560</b>	<b>1,613</b>	<b>1,548</b>	<b>1,482</b>	<b>1,381</b>	<b>0,380</b>	<b>0,260</b>
<b>Max</b>	<b>0,280</b>	<b>3,220</b>	<b>0,220</b>	<b>8,310</b>	<b>21,080</b>	<b>13,245</b>	<b>4,555</b>	<b>2,533</b>	<b>1,548</b>	<b>1,482</b>	<b>1,381</b>	<b>0,370</b>
<b>Stdev</b>	<b>0,016</b>	<b>0,625</b>	<b>0,011</b>	<b>1,979</b>	<b>3,857</b>	<b>2,983</b>	<b>0,812</b>	<b>0,213</b>	<b>0,016</b>	<b>0,036</b>	<b>0,435</b>	<b>0,028</b>

Πίνακας: Μετρήσεις 2011-2012



ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ ΠΟΤΑΜΟΥ ΠΕΙΡΟΥ (m <sup>3</sup> /s) ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΦΡΑΓΜΑ ΜΥΗΣ ΠΕΙΡΟΣ												
2013-2014	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ
1	0,37	0,26	0,3	1,57	0,79	2,34	1,25	1,21	2,66	0,99	0,66	0,52
2	0,37	0,33	0,3	1,7	0,78	2,13	1,57	1,19	2,38	0,97	0,66	0,53
3	0,38	0,27	0,3	2,94	0,77	2,12	2,46	1,17	2,22	0,95	0,65	0,53
4	0,38	0,26	0,3	2,15	0,76	1,9	4,71	1,16	2,1	0,93	0,65	0,53
5	0,38	0,26	0,3	1,89	0,73	1,73	4,29	1,15	2,02	0,92	0,64	0,53
6	0,38	0,26	0,34	1,7	0,71	1,64	3,88	1,15	1,95	0,88	0,65	0,52
7	0,38	0,26	0,51	1,55	0,73	1,65	3,21	1,24	1,89	0,85	0,65	0,53
8	0,4	0,26	0,52	1,48	0,75	2,09	2,8	1,27	1,89	0,83	0,65	0,53
9	0,39	0,26	0,41	1,42	0,75	2,07	2,61	1,19	1,81	0,82	0,65	0,53
10	0,39	0,26	0,37	1,3	0,74	2,04	2,41	1,15	1,74	0,81	0,66	0,54
11	0,39	0,34	0,35	1,22	0,73	2,06	2,23	1,19	1,65	0,79	0,66	0,54
12	0,38	0,31	0,39	1,13	0,72	2	2,07	1,25	1,57	0,78	0,67	0,54
13	0,37	0,29	0,8	1,07	0,71	2,11	1,9	1,23	1,51	0,77	0,65	0,54
14	0,42	0,28	1,02	1,02	0,7	2,16	1,77	1,18	1,46	0,77	0,53	0,54
15	0,37	0,3	3,68	0,97	0,69	1,91	1,69	1,17	1,43	0,76	0,52	0,54
16	0,33	0,3	1,52	0,91	0,69	1,78	1,63	1,15	1,47	0,75	0,55	0,54
17	0,34	0,39	0,99	0,87	0,78	1,66	1,59	1,85	1,42	0,74	0,54	0,54
18	0,32	0,58	0,78	0,83	0,78	1,61	1,54	2,68	1,36	0,73	0,53	0,54
19	0,29	0,46	0,67	0,81	0,75	1,59	1,5	2,11	1,3	0,73	0,52	0,53
20	0,28	0,38	0,6	0,78	0,72	1,52	1,45	2,11	1,27	0,73	0,54	0,49
21	0,27	0,35	0,7	0,76	0,71	1,49	1,41	2,11	1,27	0,75	0,54	0,46
22	0,27	0,34	0,72	0,73	0,74	1,43	1,38	2,13	1,25	0,73	0,53	0,45
23	0,27	0,33	1,15	0,7	0,83	1,39	1,36	2,18	1,22	0,72	0,52	0,4
24	0,26	0,33	1,12	0,68	0,86	1,37	1,33	2,04	1,19	0,7	0,53	0,37
25	0,26	0,32	3,83	0,67	0,88	1,38	1,31	1,92	1,15	0,69	0,53	0,37
26	0,26	0,31	3,62	0,66	3	1,35	1,3	1,78	1,11	0,69	0,52	0,38
27	0,26	0,31	3,11	0,65	3,99	1,28	1,28	1,65	1,09	0,68	0,52	0,38
28	0,26	0,31	3,13	0,98	3,18	1,24	1,26	1,69	1,06	0,67	0,51	0,38
29	0,26	0,31	2,38	1,01	2,7		1,24	1,91	1,04	0,67	0,52	0,38
30	0,26	0,31	1,84	0,9	3,31		1,23	2,77	1,03	0,66	0,52	0,38
31		0,31		0,83	2,82		1,22		1,02		0,52	0,37
<b>Average</b>	<b>0,331</b>	<b>0,317</b>	<b>1,202</b>	<b>1,157</b>	<b>1,219</b>	<b>1,751</b>	<b>1,964</b>	<b>1,599</b>	<b>1,533</b>	<b>0,782</b>	<b>0,580</b>	<b>0,482</b>
<b>Min</b>	<b>0,260</b>	<b>0,260</b>	<b>0,300</b>	<b>0,650</b>	<b>0,690</b>	<b>1,240</b>	<b>1,230</b>	<b>1,150</b>	<b>1,030</b>	<b>0,660</b>	<b>0,510</b>	<b>0,370</b>
<b>Max</b>	<b>0,420</b>	<b>0,580</b>	<b>3,830</b>	<b>2,940</b>	<b>3,990</b>	<b>2,340</b>	<b>4,710</b>	<b>2,770</b>	<b>2,660</b>	<b>0,990</b>	<b>0,670</b>	<b>0,540</b>
<b>Stdev</b>	<b>0,057</b>	<b>0,067</b>	<b>1,147</b>	<b>0,521</b>	<b>0,989</b>	<b>0,321</b>	<b>0,938</b>	<b>0,496</b>	<b>0,434</b>	<b>0,095</b>	<b>0,064</b>	<b>0,071</b>

Πίνακας: Μετρήσεις 2013-2014



ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ ΠΟΤΑΜΟΥ ΠΕΙΡΟΥ (m <sup>3</sup> /s) ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΦΡΑΓΜΑ ΜΥΗΣ ΠΕΙΡΟΣ												
2014-2015	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ
1	0,37	0,4	0,6	0,27	2,1	7,86	3,70	3,31	1,00	0,47	0,41	0,21
2	0,41	0,39	0,51	0,27	1,64	6,95	3,34	3,05	0,96	0,45	0,44	0,25
3	0,45	0,38	0,45	0,27	1,34	5,68	2,94	2,86	0,94	0,43	0,47	0,21
4	0,41	0,38	0,4	0,37	1,16	4,83	2,70	2,64	0,92	0,42	0,41	0,19
5	0,39	0,38	0,37	0,53	1,06	4,01	2,67	2,39	0,90	0,41	0,38	0,19
6	0,38	0,4	0,35	0,51	1,07	3,48	2,52	2,23	0,88	0,41	0,37	0,20
7	0,37	0,42	0,32	0,48	1	3,48	5,23	2,16	0,87	0,41	0,35	0,19
8	0,4	0,51	0,32	0,5	0,9	3,56	5,27	2,10	0,84	0,40	0,34	0,19
9	0,38	0,82	0,52	0,62	0,82	3,41	3,89	1,93	0,82	0,40	0,34	0,19
10	0,37	0,74	0,47	0,66	0,77	3,23	3,26	1,78	0,78	0,40	0,33	0,18
11	0,37	0,61	0,41	0,59	0,74	2,89	2,82	1,63	0,76	0,38	0,33	0,20
12	0,37	0,55	0,38	0,54	0,71	2,53	2,65	1,56	0,73	0,40	0,33	0,20
13	0,36	0,51	0,36	0,53	0,9	2,22	2,68	1,53	0,70	0,38	0,32	0,20
14	0,36	0,49	0,36	0,5	0,95	2	2,62	1,50	0,67	0,37	0,31	0,20
15	0,37	0,48	0,41	0,47	0,81	1,87	2,43	1,47	0,66	0,36	0,30	0,20
16	0,53	0,45	0,41	0,45	0,74	1,74	2,25	1,45	0,64	0,35	0,30	0,20
17	0,45	0,42	0,39	0,44	0,69	1,62	2,11	1,43	0,62	0,35	0,29	0,21
18	0,42	0,41	0,37	1,47	0,64	1,52	2,01	1,43	0,59	0,34	0,28	0,22
19	0,4	0,41	0,35	2,59	0,61	1,42	1,91	1,42	0,57	0,36	0,28	0,21
20	0,38	0,4	0,33	1,91	0,6	1,33	1,81	1,39	0,59	0,36	0,27	0,20
21	0,38	0,39	0,31	1,32	0,58	1,27	1,72	1,33	0,58	0,36	0,28	0,20
22	0,38	0,39	0,3	1,06	0,58	1,22	1,60	1,28	0,54	0,36	0,27	0,19
23	0,38	0,38	0,29	0,9	0,58	1,26	1,56	1,19	0,52	0,35	0,26	0,19
24	0,37	0,39	0,28	0,8	0,6	2,16	2,00	1,14	0,52	0,35	0,25	0,19
25	0,37	1,64	0,27	0,72	0,84	2,4	2,13	1,09	0,51	0,35	0,23	0,18
26	0,38	2,12	0,26	0,67	1,76	2,02	2,78	1,08	0,49	0,35	0,23	0,18
27	0,41	0,98	0,26	0,64	1,59	2,08	3,47	1,07	0,48	0,36	0,22	0,17
28	0,46	0,55	0,25	0,64	1,77	2,92	5,23	1,05	0,48	0,41	0,22	0,17
29	0,44	0,69	0,28	1,02	1,55		5,35	1,07	0,50	0,39	0,21	0,17
30	0,41	0,82	0,28	6,45	1,57		4,18	1,06	0,73	0,39	0,21	0,17
31		0,71		3,04	1,73		3,60		0,51		0,21	0,16
<b>Average</b>	<b>0,397</b>	<b>0,600</b>	<b>0,362</b>	<b>1,007</b>	<b>1,045</b>	<b>2,891</b>	<b>2,982</b>	<b>1,687</b>	<b>0,687</b>	<b>0,384</b>	<b>0,305</b>	<b>0,194</b>
<b>Min</b>	<b>0,360</b>	<b>0,380</b>	<b>0,250</b>	<b>0,270</b>	<b>0,580</b>	<b>1,220</b>	<b>1,560</b>	<b>1,050</b>	<b>0,480</b>	<b>0,340</b>	<b>0,210</b>	<b>0,170</b>
<b>Max</b>	<b>0,530</b>	<b>2,120</b>	<b>0,600</b>	<b>6,450</b>	<b>2,100</b>	<b>7,860</b>	<b>5,350</b>	<b>3,310</b>	<b>1,000</b>	<b>0,470</b>	<b>0,470</b>	<b>0,250</b>
<b>Stdev</b>	<b>0,038</b>	<b>0,382</b>	<b>0,085</b>	<b>1,198</b>	<b>0,447</b>	<b>1,695</b>	<b>1,120</b>	<b>0,633</b>	<b>0,165</b>	<b>0,033</b>	<b>0,070</b>	<b>0,018</b>

Πίνακας: Μετρήσεις 2013-2014





ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ ΠΟΤΑΜΟΥ ΠΕΙΡΟΥ (m <sup>3</sup> /s) ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΦΡΑΓΜΑ ΜΥΣΗΣ ΠΕΙΡΟΣ												
2015-2016	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ
1	0,17	0,17	0,39	2,23	0,27	0,96	0,86	2,19	0,64	0,40	0,28	0,19
2	0,17	0,17	0,36	1,62	0,27	0,93	0,85	2,06	0,62	0,39	0,27	0,19
3	0,17	0,17	0,34	1,31	0,26	0,87	2,79	1,91	0,63	0,38	0,27	0,19
4	0,17	0,15	0,32	1,08	0,35	0,82	3,12	1,79	0,68	0,38	0,27	0,20
5	0,16	0,14	0,3	0,93	1,04	1,02	2,64	1,68	0,71	0,37	0,27	0,19
6	0,15	0,14	0,29	0,83	3,23	2,29	2,32	1,59	0,78	0,36	0,26	0,19
7	0,15	0,14	0,28	0,76	1,77	1,82	2,10	1,49	0,73	0,36	0,26	0,20
8	0,15	0,17	0,27	0,7	4,26	1,54	1,96	1,40	0,71	0,34	0,25	0,20
9	0,15	0,39	0,25	0,65	2,01	1,38	1,84	1,34	0,73	0,34	0,24	0,20
10	0,15	0,28	0,24	0,6	1,53	1,24	1,81	1,28	0,69	0,34	0,22	0,20
11	0,15	0,22	0,23	0,57	1,47	1,18	1,75	1,26	0,64	0,34	0,22	0,21
12	0,15	0,61	0,22	0,54	1,42	1,6	4,56	1,27	0,63	0,33	0,22	0,21
13	0,15	0,52	0,22	0,52	1,21	1,73	4,22	1,26	0,63	0,32	0,21	0,20
14	0,15	0,34	0,21	0,49	1,08	2,63	4,33	1,17	0,61	0,31	0,22	0,20
15	0,14	0,27	0,2	0,47	0,98	2,64	4,14	1,11	0,58	0,31	0,21	0,20
16	0,14	0,24	0,2	0,45	0,91	2,16	4,89	1,06	0,56	0,31	0,21	0,19
17	0,14	0,21	0,2	0,43	1,45	1,84	4,66	1,00	0,55	0,30	0,20	0,20
18	0,14	0,21	0,19	0,41	3,86	1,62	5,33	0,95	0,53	0,28	0,20	0,20
19	0,14	0,2	0,18	0,39	2,41	1,48	4,41	0,92	0,52	0,27	0,20	0,19
20	0,13	0,2	0,17	0,38	1,89	1,36	3,95	0,88	0,51	0,27	0,19	0,18
21	0,14	0,19	0,17	0,36	1,75	1,31	3,18	0,86	0,51	0,27	0,19	0,19
22	0,18	0,17	0,17	0,34	1,59	1,25	2,89	0,82	0,57	0,27	0,19	0,18
23	0,18	5,95	0,17	0,34	1,45	1,19	4,55	0,79	0,54	0,27	0,19	0,18
24	0,17	3,09	0,17	0,33	1,35	1,16	5,67	0,78	0,51	0,27	0,18	0,21
25	0,16	1,39	0,17	0,32	1,23	1,13	5,12	0,76	0,49	0,27	0,18	0,19
26	0,16	0,94	0,42	0,31	1,15	1,08	4,67	0,75	0,47	0,28	0,18	0,18
27	0,16	0,74	1,73	0,3	1,08	1,05	3,34	0,77	0,46	0,31	0,18	0,17
28	0,17	0,61	3,99	0,29	1,01	1	2,90	0,71	0,45	0,29	0,18	0,17
29	0,17	0,53	4,81	0,28	0,97	0,930	2,80	0,68	0,44	0,29	0,18	0,17
30	0,17	0,47	3,47	0,28	0,96		2,56	0,65	0,43	0,28	0,18	0,16
31		0,43		0,27	0,97		2,36		0,42		0,19	0,16
<b>Average</b>	<b>0,156</b>	<b>0,627</b>	<b>0,678</b>	<b>0,606</b>	<b>1,457</b>	<b>1,421</b>	<b>3,309</b>	<b>1,173</b>	<b>0,580</b>	<b>0,317</b>	<b>0,216</b>	<b>0,190</b>
<b>Min</b>	<b>0,130</b>	<b>0,140</b>	<b>0,170</b>	<b>0,280</b>	<b>0,260</b>	<b>0,820</b>	<b>0,850</b>	<b>0,650</b>	<b>0,430</b>	<b>0,270</b>	<b>0,180</b>	<b>0,160</b>
<b>Max</b>	<b>0,180</b>	<b>5,950</b>	<b>4,810</b>	<b>2,230</b>	<b>4,260</b>	<b>2,640</b>	<b>5,670</b>	<b>2,190</b>	<b>0,780</b>	<b>0,400</b>	<b>0,280</b>	<b>0,210</b>
<b>Stdev</b>	<b>0,014</b>	<b>1,137</b>	<b>1,203</b>	<b>0,439</b>	<b>0,931</b>	<b>0,502</b>	<b>1,321</b>	<b>0,432</b>	<b>0,100</b>	<b>0,042</b>	<b>0,034</b>	<b>0,014</b>

Πίνακας: Μετρήσεις 2015-2016



Τμήμα	Αυριστικό μήκος (m)	Μήκος (m)	Εξωτ. Διάμετρος (mm)	Πάχος (mm)	Εσωτ. Διάμετρος (mm)	f	Ταχύτητα (m/s)	u <sup>2</sup> /2g (m)	Re>2300	Γραμμικές Απώλειες (m)	Q (m <sup>3</sup> /sec)
1-2	77	77	1314	7	1300	0,012	1,3335	0,09063	1,52E+09	0,06442	1,77
2-3	177	100	1314	7	1300	0,012	1,3335	0,09063	1,52E+09	0,08366	
3-4	267	90	1314	7	1300	0,012	1,3335	0,09063	1,52E+09	0,07530	
4-5	329	62	1314	7	1300	0,012	1,3335	0,09063	1,52E+09	0,05187	
5-6	394	65	1314	7	1300	0,012	1,3335	0,09063	1,52E+09	0,05438	
6-7	497	103	1314	7	1300	0,012	1,3335	0,09063	1,52E+09	0,08617	
7-8	697	200	1314	7	1300	0,012	1,3335	0,09063	1,52E+09	0,16733	
8-9	980	283	1314	7	1300	0,012	1,3335	0,09063	1,52E+09	0,23677	
9-10	1119	139	1314	7	1300	0,012	1,3335	0,09063	1,52E+09	0,11629	
10-11	1184	65	1314	7	1300	0,012	1,3335	0,09063	1,52E+09	0,05438	
11-12	1407	223	1314	7	1300	0,012	1,3335	0,09063	1,52E+09	0,18657	
12-13	1453	46	1218	9	1200	0,012	1,5650	0,12484	1,65E+09	0,05742	
13-14	1539	86	1218	9	1200	0,012	1,5650	0,12484	1,65E+09	0,10736	
14-15	1687	148	1218	9	1200	0,012	1,5650	0,12484	1,65E+09	0,18476	
15-16	1824	137	1218	9	1200	0,012	1,5650	0,12484	1,65E+09	0,17103	
16-17	1927	103	1218	9	1200	0,012	1,5650	0,12484	1,65E+09	0,12858	
17-18	2176	249	1218	9	1200	0,012	1,5650	0,12484	1,65E+09	0,31084	
18-19	2346	170	1218	9	1200	0,012	1,5650	0,12484	1,65E+09	0,21222	
19-20	2400	54	1218	9	1200	0,012	1,5650	0,12484	1,65E+09	0,06741	
20-21	2720	320	1218	9	1200	0,012	1,5650	0,12484	1,65E+09	0,39948	
Σύνολο										2,81624	

Πίνακας: Απώλειες συστήματος Q=1,77 m<sup>3</sup>/sec

Τμήμα	Αυριστικό μήκος (m)	Μήκος (m)	Εξωτ. Διάμετρος (mm)	Πάχος (mm)	Εσωτ. Διάμετρος (mm)	f	Ταχύτητα (m/s)	u <sup>2</sup> /2g (m)	Re>2300	Γραμμικές Απώλειες (m)	Q (m <sup>3</sup> /sec)
1-2	77	77	1314	7	1300	0,012	1,2808	0,08361	1,46E+06	0,05943	1,7
2-3	177	100	1314	7	1300	0,012	1,2808	0,08361	1,46E+06	0,07718	
3-4	267	90	1314	7	1300	0,012	1,2808	0,08361	1,46E+06	0,06946	
4-5	329	62	1314	7	1300	0,012	1,2808	0,08361	1,46E+06	0,04785	
5-6	394	65	1314	7	1300	0,012	1,2808	0,08361	1,46E+06	0,05016	
6-7	497	103	1314	7	1300	0,012	1,2808	0,08361	1,46E+06	0,07949	
7-8	697	200	1314	7	1300	0,012	1,2808	0,08361	1,46E+06	0,15435	
8-9	980	283	1314	7	1300	0,012	1,2808	0,08361	1,46E+06	0,21841	
9-10	1119	139	1314	7	1300	0,012	1,2808	0,08361	1,46E+06	0,10727	
10-11	1184	65	1314	7	1300	0,012	1,2808	0,08361	1,46E+06	0,05016	
11-12	1407	223	1314	7	1300	0,012	1,2808	0,08361	1,46E+06	0,17210	
12-13	1453	46	1218	9	1200	0,012	1,5031	0,11516	1,58E+06	0,05297	
13-14	1539	86	1218	9	1200	0,012	1,5031	0,11516	1,58E+06	0,09904	
14-15	1687	148	1218	9	1200	0,012	1,5031	0,11516	1,58E+06	0,17043	
15-16	1824	137	1218	9	1200	0,012	1,5031	0,11516	1,58E+06	0,15777	
16-17	1927	103	1218	9	1200	0,012	1,5031	0,11516	1,58E+06	0,11861	
17-18	2176	249	1218	9	1200	0,012	1,5031	0,11516	1,58E+06	0,28674	
18-19	2346	170	1218	9	1200	0,012	1,5031	0,11516	1,58E+06	0,19577	
19-20	2400	54	1218	9	1200	0,012	1,5031	0,11516	1,58E+06	0,06219	
20-21	2720	320	1218	9	1200	0,012	1,5031	0,11516	1,58E+06	0,36851	
Σύνολο										2,598	

Πίνακας: Απώλειες συστήματος Q=1,7 m<sup>3</sup>/sec



Τμήμα	Αυριστικό μήκος (m)	Μήκος (m)	Εξωτ. Διάμετρος (mm)	Πάχος (mm)	Εσωτ. Διάμετρος (mm)	f	Ταχύτητα (m/s)	u <sup>2</sup> /2g (m)	Re>2300	Γραμμικές Απώλειες (m)	Q (m <sup>3</sup> /sec)
1-2	77	77	1314	7	1300	0,012	1,2054	0,07406	1,37E+06	0,05264	1,6
2-3	177	100	1314	7	1300	0,012	1,2054	0,07406	1,37E+06	0,06836	
3-4	267	90	1314	7	1300	0,012	1,2054	0,07406	1,37E+06	0,06153	
4-5	329	62	1314	7	1300	0,012	1,2054	0,07406	1,37E+06	0,04239	
5-6	394	65	1314	7	1300	0,012	1,2054	0,07406	1,37E+06	0,04444	
6-7	497	103	1314	7	1300	0,012	1,2054	0,07406	1,37E+06	0,07041	
7-8	697	200	1314	7	1300	0,012	1,2054	0,07406	1,37E+06	0,13673	
8-9	980	283	1314	7	1300	0,012	1,2054	0,07406	1,37E+06	0,19347	
9-10	1119	139	1314	7	1300	0,012	1,2054	0,07406	1,37E+06	0,09503	
10-11	1184	65	1314	7	1300	0,012	1,2054	0,07406	1,37E+06	0,04444	
11-12	1407	223	1314	7	1300	0,012	1,2054	0,07406	1,37E+06	0,15245	
12-13	1453	46	1218	9	1200	0,012	1,4147	0,10201	1,49E+06	0,04692	
13-14	1539	86	1218	9	1200	0,012	1,4147	0,10201	1,49E+06	0,08773	
14-15	1687	148	1218	9	1200	0,012	1,4147	0,10201	1,49E+06	0,15097	
15-16	1824	137	1218	9	1200	0,012	1,4147	0,10201	1,49E+06	0,13975	
16-17	1927	103	1218	9	1200	0,012	1,4147	0,10201	1,49E+06	0,10507	
17-18	2176	249	1218	9	1200	0,012	1,4147	0,10201	1,49E+06	0,25400	
18-19	2346	170	1218	9	1200	0,012	1,4147	0,10201	1,49E+06	0,17341	
19-20	2400	54	1218	9	1200	0,012	1,4147	0,10201	1,49E+06	0,05508	
20-21	2720	320	1218	9	1200	0,012	1,4147	0,10201	1,49E+06	0,32643	
Σύνολο										2,301	

Πίνακας: Απώλειες συστήματος Q=1,6 m<sup>3</sup>/sec

Τμήμα	Αυριστικό μήκος (m)	Μήκος (m)	Εξωτ. Διάμετρος (mm)	Πάχος (mm)	Εσωτ. Διάμετρος (mm)	f	Ταχύτητα (m/s)	u <sup>2</sup> /2g (m)	Re>2300	Γραμμικές Απώλειες (m)	Q (m <sup>3</sup> /sec)
1-2	77	77	1314	7	1300	0,012	1,1301	0,06509	1,29E+06	0,04627	1,5
2-3	177	100	1314	7	1300	0,012	1,1301	0,06509	1,29E+06	0,06009	
3-4	267	90	1314	7	1300	0,012	1,1301	0,06509	1,29E+06	0,05408	
4-5	329	62	1314	7	1300	0,012	1,1301	0,06509	1,29E+06	0,03725	
5-6	394	65	1314	7	1300	0,012	1,1301	0,06509	1,29E+06	0,03906	
6-7	497	103	1314	7	1300	0,012	1,1301	0,06509	1,29E+06	0,06189	
7-8	697	200	1314	7	1300	0,012	1,1301	0,06509	1,29E+06	0,12017	
8-9	980	283	1314	7	1300	0,012	1,1301	0,06509	1,29E+06	0,17004	
9-10	1119	139	1314	7	1300	0,012	1,1301	0,06509	1,29E+06	0,08352	
10-11	1184	65	1314	7	1300	0,012	1,1301	0,06509	1,29E+06	0,03906	
11-12	1407	223	1314	7	1300	0,012	1,1301	0,06509	1,29E+06	0,13399	
12-13	1453	46	1218	9	1200	0,012	1,3263	0,08966	1,40E+06	0,04124	
13-14	1539	86	1218	9	1200	0,012	1,3263	0,08966	1,40E+06	0,07710	
14-15	1687	148	1218	9	1200	0,012	1,3263	0,08966	1,40E+06	0,13269	
15-16	1824	137	1218	9	1200	0,012	1,3263	0,08966	1,40E+06	0,12283	
16-17	1927	103	1218	9	1200	0,012	1,3263	0,08966	1,40E+06	0,09235	
17-18	2176	249	1218	9	1200	0,012	1,3263	0,08966	1,40E+06	0,22324	
18-19	2346	170	1218	9	1200	0,012	1,3263	0,08966	1,40E+06	0,15241	
19-20	2400	54	1218	9	1200	0,012	1,3263	0,08966	1,40E+06	0,04841	
20-21	2720	320	1218	9	1200	0,012	1,3263	0,08966	1,40E+06	0,28690	
										2,023	

Πίνακας: Απώλειες συστήματος Q=1,5 m<sup>3</sup>/sec



Τμήμα	Αυριστικό μήκος (m)	Μήκος (m)	Εξωτ. Διάμετρος (mm)	Πάχος (mm)	Εσωτ. Διάμετρος (mm)	f	Ταχύτητα (m/s)	u2/2g (m)	Re>2300	Γραμμικές Απώλειες (m)	Q (m <sup>3</sup> /sec)
1-2	77	77	1314	7	1300	0,012	1,0548	0,05670	1,20E+06	0,04030	1,4
2-3	177	100	1314	7	1300	0,012	1,0548	0,05670	1,20E+06	0,05234	
3-4	267	90	1314	7	1300	0,012	1,0548	0,05670	1,20E+06	0,04711	
4-5	329	62	1314	7	1300	0,012	1,0548	0,05670	1,20E+06	0,03245	
5-6	394	65	1314	7	1300	0,012	1,0548	0,05670	1,20E+06	0,03402	
6-7	497	103	1314	7	1300	0,012	1,0548	0,05670	1,20E+06	0,05391	
7-8	697	200	1314	7	1300	0,012	1,0548	0,05670	1,20E+06	0,10468	
8-9	980	283	1314	7	1300	0,012	1,0548	0,05670	1,20E+06	0,14812	
9-10	1119	139	1314	7	1300	0,012	1,0548	0,05670	1,20E+06	0,07275	
10-11	1184	65	1314	7	1300	0,012	1,0548	0,05670	1,20E+06	0,03402	
11-12	1407	223	1314	7	1300	0,012	1,0548	0,05670	1,20E+06	0,11672	
12-13	1453	46	1218	9	1200	0,012	1,2379	0,07810	1,30E+06	0,03593	
13-14	1539	86	1218	9	1200	0,012	1,2379	0,07810	1,30E+06	0,06717	
14-15	1687	148	1218	9	1200	0,012	1,2379	0,07810	1,30E+06	0,11559	
15-16	1824	137	1218	9	1200	0,012	1,2379	0,07810	1,30E+06	0,10700	
16-17	1927	103	1218	9	1200	0,012	1,2379	0,07810	1,30E+06	0,08044	
17-18	2176	249	1218	9	1200	0,012	1,2379	0,07810	1,30E+06	0,19447	
18-19	2346	170	1218	9	1200	0,012	1,2379	0,07810	1,30E+06	0,13277	
19-20	2400	54	1218	9	1200	0,012	1,2379	0,07810	1,30E+06	0,04217	
20-21	2720	320	1218	9	1200	0,012	1,2379	0,07810	1,30E+06	0,24992	
										1,762	

Πίνακας: Απώλειες συστήματος Q=1,4 m<sup>3</sup>/sec

Τμήμα	Αυριστικό μήκος (m)	Μήκος (m)	Εξωτ. Διάμετρος (mm)	Πάχος (mm)	Εσωτ. Διάμετρος (mm)	f	Ταχύτητα (m/s)	u2/2g (m)	Re>2300	Γραμμικές Απώλειες (m)	Q (m <sup>3</sup> /sec)
1-2	77	77	1314	7	1300	0,012	0,9794	0,04889	1,12E+06	0,03475	1,3
2-3	177	100	1314	7	1300	0,012	0,9794	0,04889	1,12E+06	0,04513	
3-4	267	90	1314	7	1300	0,012	0,9794	0,04889	1,12E+06	0,04062	
4-5	329	62	1314	7	1300	0,012	0,9794	0,04889	1,12E+06	0,02798	
5-6	394	65	1314	7	1300	0,012	0,9794	0,04889	1,12E+06	0,02933	
6-7	497	103	1314	7	1300	0,012	0,9794	0,04889	1,12E+06	0,04648	
7-8	697	200	1314	7	1300	0,012	0,9794	0,04889	1,12E+06	0,09026	
8-9	980	283	1314	7	1300	0,012	0,9794	0,04889	1,12E+06	0,12772	
9-10	1119	139	1314	7	1300	0,012	0,9794	0,04889	1,12E+06	0,06273	
10-11	1184	65	1314	7	1300	0,012	0,9794	0,04889	1,12E+06	0,02933	
11-12	1407	223	1314	7	1300	0,012	0,9794	0,04889	1,12E+06	0,10064	
12-13	1453	46	1218	9	1200	0,012	1,1495	0,06734	1,21E+06	0,03098	
13-14	1539	86	1218	9	1200	0,012	1,1495	0,06734	1,21E+06	0,05791	
14-15	1687	148	1218	9	1200	0,012	1,1495	0,06734	1,21E+06	0,09967	
15-16	1824	137	1218	9	1200	0,012	1,1495	0,06734	1,21E+06	0,09226	
16-17	1927	103	1218	9	1200	0,012	1,1495	0,06734	1,21E+06	0,06936	
17-18	2176	249	1218	9	1200	0,012	1,1495	0,06734	1,21E+06	0,16768	
18-19	2346	170	1218	9	1200	0,012	1,1495	0,06734	1,21E+06	0,11448	
19-20	2400	54	1218	9	1200	0,012	1,1495	0,06734	1,21E+06	0,03636	
20-21	2720	320	1218	9	1200	0,012	1,1495	0,06734	1,21E+06	0,21549	
										1,519	

Πίνακας: Απώλειες συστήματος Q=1,3 m<sup>3</sup>/sec



Τμήμα	Αυριστικό μήκος (m)	Μήκος (m)	Εξωτ. Διάμετρος (mm)	Πάχος (mm)	Εσωτ. Διάμετρος (mm)	f	Ταχύτητα (m/s)	u <sup>2</sup> /2g (m)	Re>2300	Γραμμικές Απώλειες (m)	Q (m <sup>3</sup> /sec)
1-2	77	77	1314	7	1300	0,012	0,9041	0,04166	1,03E+06	0,02961	1,2
2-3	177	100	1314	7	1300	0,012	0,9041	0,04166	1,03E+06	0,03845	
3-4	267	90	1314	7	1300	0,012	0,9041	0,04166	1,03E+06	0,03461	
4-5	329	62	1314	7	1300	0,012	0,9041	0,04166	1,03E+06	0,02384	
5-6	394	65	1314	7	1300	0,012	0,9041	0,04166	1,03E+06	0,02500	
6-7	497	103	1314	7	1300	0,012	0,9041	0,04166	1,03E+06	0,03961	
7-8	697	200	1314	7	1300	0,012	0,9041	0,04166	1,03E+06	0,07691	
8-9	980	283	1314	7	1300	0,012	0,9041	0,04166	1,03E+06	0,10883	
9-10	1119	139	1314	7	1300	0,012	0,9041	0,04166	1,03E+06	0,05345	
10-11	1184	65	1314	7	1300	0,012	0,9041	0,04166	1,03E+06	0,02500	
11-12	1407	223	1314	7	1300	0,012	0,9041	0,04166	1,03E+06	0,08575	
12-13	1453	46	1218	9	1200	0,012	1,0610	0,05738	1,12E+06	0,02639	
13-14	1539	86	1218	9	1200	0,012	1,0610	0,05738	1,12E+06	0,04935	
14-15	1687	148	1218	9	1200	0,012	1,0610	0,05738	1,12E+06	0,08492	
15-16	1824	137	1218	9	1200	0,012	1,0610	0,05738	1,12E+06	0,07861	
16-17	1927	103	1218	9	1200	0,012	1,0610	0,05738	1,12E+06	0,05910	
17-18	2176	249	1218	9	1200	0,012	1,0610	0,05738	1,12E+06	0,14288	
18-19	2346	170	1218	9	1200	0,012	1,0610	0,05738	1,12E+06	0,09755	
19-20	2400	54	1218	9	1200	0,012	1,0610	0,05738	1,12E+06	0,03099	
20-21	2720	320	1218	9	1200	0,012	1,0610	0,05738	1,12E+06	0,18362	
Σύνολο										1,294	

Πίνακας: Απώλειες συστήματος Q=1,4 m<sup>3</sup>/sec

Τμήμα	Αυριστικό μήκος (m)	Μήκος (m)	Εξωτ. Διάμετρος (mm)	Πάχος (mm)	Εσωτ. Διάμετρος (mm)	f	Ταχύτητα (m/s)	u <sup>2</sup> /2g (m)	Re>2300	Γραμμικές Απώλειες (m)	Q (m <sup>3</sup> /sec)
1-2	77	77	1314	7	1300	0,012	0,8287	0,03501	9,45E+05	0,02488	1,1
2-3	177	100	1314	7	1300	0,012	0,8287	0,03501	9,45E+05	0,03231	
3-4	267	90	1314	7	1300	0,012	0,8287	0,03501	9,45E+05	0,02908	
4-5	329	62	1314	7	1300	0,012	0,8287	0,03501	9,45E+05	0,02003	
5-6	394	65	1314	7	1300	0,012	0,8287	0,03501	9,45E+05	0,02100	
6-7	497	103	1314	7	1300	0,012	0,8287	0,03501	9,45E+05	0,03328	
7-8	697	200	1314	7	1300	0,012	0,8287	0,03501	9,45E+05	0,06463	
8-9	980	283	1314	7	1300	0,012	0,8287	0,03501	9,45E+05	0,09144	
9-10	1119	139	1314	7	1300	0,012	0,8287	0,03501	9,45E+05	0,04491	
10-11	1184	65	1314	7	1300	0,012	0,8287	0,03501	9,45E+05	0,02100	
11-12	1407	223	1314	7	1300	0,012	0,8287	0,03501	9,45E+05	0,07206	
12-13	1453	46	1218	9	1200	0,012	0,9726	0,04821	1,02E+06	0,02218	
13-14	1539	86	1218	9	1200	0,012	0,9726	0,04821	1,02E+06	0,04146	
14-15	1687	148	1218	9	1200	0,012	0,9726	0,04821	1,02E+06	0,07136	
15-16	1824	137	1218	9	1200	0,012	0,9726	0,04821	1,02E+06	0,06605	
16-17	1927	103	1218	9	1200	0,012	0,9726	0,04821	1,02E+06	0,04966	
17-18	2176	249	1218	9	1200	0,012	0,9726	0,04821	1,02E+06	0,12006	
18-19	2346	170	1218	9	1200	0,012	0,9726	0,04821	1,02E+06	0,08197	
19-20	2400	54	1218	9	1200	0,012	0,9726	0,04821	1,02E+06	0,02604	
20-21	2720	320	1218	9	1200	0,012	0,9726	0,04821	1,02E+06	0,15429	
Σύνολο										1,088	

Πίνακας: Απώλειες συστήματος Q=1,1 m<sup>3</sup>/sec



Τμήμα	Αυριστικό μήκος (m)	Μήκος (m)	Εξωτ. Διάμετρος (mm)	Πάχος (mm)	Εσωτ. Διάμετρος (mm)	f	Ταχύτητα (m/s)	u <sup>2</sup> /2g (m)	Re>2300	Γραμμικές Απώλειες (m)	Q (m <sup>3</sup> /sec)
1-2	77	77	1314	7	1300	0,012	0,7534	0,02893	8,59E+05	0,02056	1
2-3	177	100	1314	7	1300	0,012	0,7534	0,02893	8,59E+05	0,02670	
3-4	267	90	1314	7	1300	0,012	0,7534	0,02893	8,59E+05	0,02403	
4-5	329	62	1314	7	1300	0,012	0,7534	0,02893	8,59E+05	0,01656	
5-6	394	65	1314	7	1300	0,012	0,7534	0,02893	8,59E+05	0,01736	
6-7	497	103	1314	7	1300	0,012	0,7534	0,02893	8,59E+05	0,02751	
7-8	697	200	1314	7	1300	0,012	0,7534	0,02893	8,59E+05	0,05341	
8-9	980	283	1314	7	1300	0,012	0,7534	0,02893	8,59E+05	0,07557	
9-10	1119	139	1314	7	1300	0,012	0,7534	0,02893	8,59E+05	0,03712	
10-11	1184	65	1314	7	1300	0,012	0,7534	0,02893	8,59E+05	0,01736	
11-12	1407	223	1314	7	1300	0,012	0,7534	0,02893	8,59E+05	0,05955	
12-13	1453	46	1218	9	1200	0,012	0,8842	0,03985	9,31E+05	0,01833	
13-14	1539	86	1218	9	1200	0,012	0,8842	0,03985	9,31E+05	0,03427	
14-15	1687	148	1218	9	1200	0,012	0,8842	0,03985	9,31E+05	0,05897	
15-16	1824	137	1218	9	1200	0,012	0,8842	0,03985	9,31E+05	0,05459	
16-17	1927	103	1218	9	1200	0,012	0,8842	0,03985	9,31E+05	0,04104	
17-18	2176	249	1218	9	1200	0,012	0,8842	0,03985	9,31E+05	0,09922	
18-19	2346	170	1218	9	1200	0,012	0,8842	0,03985	9,31E+05	0,06774	
19-20	2400	54	1218	9	1200	0,012	0,8842	0,03985	9,31E+05	0,02152	
20-21	2720	320	1218	9	1200	0,012	0,8842	0,03985	9,31E+05	0,12751	
Σύνολο										0,899	

Πίνακας: Απώλειες συστήματος Q=1,0 m<sup>3</sup>/sec

Τμήμα	Αυριστικό μήκος (m)	Μήκος (m)	Εξωτ. Διάμετρος (mm)	Πάχος (mm)	Εσωτ. Διάμετρος (mm)	f	Ταχύτητα (m/s)	u <sup>2</sup> /2g (m)	Re>2300	Γραμμικές Απώλειες (m)	Q (m <sup>3</sup> /sec)
1-2	77	77	1314	7	1300	0,012	0,6781	0,02343	7,73E+05	0,01666	0,9
2-3	177	100	1314	7	1300	0,012	0,6781	0,02343	7,73E+05	0,02163	
3-4	267	90	1314	7	1300	0,012	0,6781	0,02343	7,73E+05	0,01947	
4-5	329	62	1314	7	1300	0,012	0,6781	0,02343	7,73E+05	0,01341	
5-6	394	65	1314	7	1300	0,012	0,6781	0,02343	7,73E+05	0,01406	
6-7	497	103	1314	7	1300	0,012	0,6781	0,02343	7,73E+05	0,02228	
7-8	697	200	1314	7	1300	0,012	0,6781	0,02343	7,73E+05	0,04326	
8-9	980	283	1314	7	1300	0,012	0,6781	0,02343	7,73E+05	0,06121	
9-10	1119	139	1314	7	1300	0,012	0,6781	0,02343	7,73E+05	0,03007	
10-11	1184	65	1314	7	1300	0,012	0,6781	0,02343	7,73E+05	0,01406	
11-12	1407	223	1314	7	1300	0,012	0,6781	0,02343	7,73E+05	0,04824	
12-13	1453	46	1218	9	1200	0,012	0,7958	0,03228	8,38E+05	0,01485	
13-14	1539	86	1218	9	1200	0,012	0,7958	0,03228	8,38E+05	0,02776	
14-15	1687	148	1218	9	1200	0,012	0,7958	0,03228	8,38E+05	0,04777	
15-16	1824	137	1218	9	1200	0,012	0,7958	0,03228	8,38E+05	0,04422	
16-17	1927	103	1218	9	1200	0,012	0,7958	0,03228	8,38E+05	0,03324	
17-18	2176	249	1218	9	1200	0,012	0,7958	0,03228	8,38E+05	0,08037	
18-19	2346	170	1218	9	1200	0,012	0,7958	0,03228	8,38E+05	0,05487	
19-20	2400	54	1218	9	1200	0,012	0,7958	0,03228	8,38E+05	0,01743	
20-21	2720	320	1218	9	1200	0,012	0,7958	0,03228	8,38E+05	0,10328	
Σύνολο										0,728	

Πίνακας: Απώλειες συστήματος Q=0,9 m<sup>3</sup>/sec



Τμήμα	Αυριστικό μήκος (m)	Μήκος (m)	Εξωτ. Διάμετρος (mm)	Πάχος (mm)	Εσωτ. Διάμετρος (mm)	f	Ταχύτητα (m/s)	u2/2g (m)	Re>2300	Γραμμικές Απώλειες (m)	Q (m <sup>3</sup> /sec)
1-2	77	77	1314	7	1300	0,012	0,6027	0,01852	6,87E+05	0,01316	0,8
2-3	177	100	1314	7	1300	0,012	0,6027	0,01852	6,87E+05	0,01709	
3-4	267	90	1314	7	1300	0,012	0,6027	0,01852	6,87E+05	0,01538	
4-5	329	62	1314	7	1300	0,012	0,6027	0,01852	6,87E+05	0,01060	
5-6	394	65	1314	7	1300	0,012	0,6027	0,01852	6,87E+05	0,01111	
6-7	497	103	1314	7	1300	0,012	0,6027	0,01852	6,87E+05	0,01760	
7-8	697	200	1314	7	1300	0,012	0,6027	0,01852	6,87E+05	0,03418	
8-9	980	283	1314	7	1300	0,012	0,6027	0,01852	6,87E+05	0,04837	
9-10	1119	139	1314	7	1300	0,012	0,6027	0,01852	6,87E+05	0,02376	
10-11	1184	65	1314	7	1300	0,012	0,6027	0,01852	6,87E+05	0,01111	
11-12	1407	223	1314	7	1300	0,012	0,6027	0,01852	6,87E+05	0,03811	
12-13	1453	46	1218	9	1200	0,012	0,7074	0,02550	7,45E+05	0,01173	
13-14	1539	86	1218	9	1200	0,012	0,7074	0,02550	7,45E+05	0,02193	
14-15	1687	148	1218	9	1200	0,012	0,7074	0,02550	7,45E+05	0,03774	
15-16	1824	137	1218	9	1200	0,012	0,7074	0,02550	7,45E+05	0,03494	
16-17	1927	103	1218	9	1200	0,012	0,7074	0,02550	7,45E+05	0,02627	
17-18	2176	249	1218	9	1200	0,012	0,7074	0,02550	7,45E+05	0,06350	
18-19	2346	170	1218	9	1200	0,012	0,7074	0,02550	7,45E+05	0,04335	
19-20	2400	54	1218	9	1200	0,012	0,7074	0,02550	7,45E+05	0,01377	
20-21	2720	320	1218	9	1200	0,012	0,7074	0,02550	7,45E+05	0,08161	
Σύνολο										0,575	

Πίνακας: Απώλειες συστήματος Q=0,8 m<sup>3</sup>/sec

Τμήμα	Αυριστικό μήκος (m)	Μήκος (m)	Εξωτ. Διάμετρος (mm)	Πάχος (mm)	Εσωτ. Διάμετρος (mm)	f	Ταχύτητα (m/s)	u2/2g (m)	Re>2300	Γραμμικές Απώλειες (m)	Q (m <sup>3</sup> /sec)
1-2	77	77	1314	7	1300	0,012	0,5274	0,01418	6,01E+05	0,01008	0,7
2-3	177	100	1314	7	1300	0,012	0,5274	0,01418	6,01E+05	0,01309	
3-4	267	90	1314	7	1300	0,012	0,5274	0,01418	6,01E+05	0,01178	
4-5	329	62	1314	7	1300	0,012	0,5274	0,01418	6,01E+05	0,00811	
5-6	394	65	1314	7	1300	0,012	0,5274	0,01418	6,01E+05	0,00851	
6-7	497	103	1314	7	1300	0,012	0,5274	0,01418	6,01E+05	0,01348	
7-8	697	200	1314	7	1300	0,012	0,5274	0,01418	6,01E+05	0,02617	
8-9	980	283	1314	7	1300	0,012	0,5274	0,01418	6,01E+05	0,03703	
9-10	1119	139	1314	7	1300	0,012	0,5274	0,01418	6,01E+05	0,01819	
10-11	1184	65	1314	7	1300	0,012	0,5274	0,01418	6,01E+05	0,00851	
11-12	1407	223	1314	7	1300	0,012	0,5274	0,01418	6,01E+05	0,02918	
12-13	1453	46	1218	9	1200	0,012	0,6189	0,01953	6,52E+05	0,00898	
13-14	1539	86	1218	9	1200	0,012	0,6189	0,01953	6,52E+05	0,01679	
14-15	1687	148	1218	9	1200	0,012	0,6189	0,01953	6,52E+05	0,02890	
15-16	1824	137	1218	9	1200	0,012	0,6189	0,01953	6,52E+05	0,02675	
16-17	1927	103	1218	9	1200	0,012	0,6189	0,01953	6,52E+05	0,02011	
17-18	2176	249	1218	9	1200	0,012	0,6189	0,01953	6,52E+05	0,04862	
18-19	2346	170	1218	9	1200	0,012	0,6189	0,01953	6,52E+05	0,03319	
19-20	2400	54	1218	9	1200	0,012	0,6189	0,01953	6,52E+05	0,01054	
20-21	2720	320	1218	9	1200	0,012	0,6189	0,01953	6,52E+05	0,06248	
Σύνολο										0,440	

Πίνακας: Απώλειες συστήματος Q=0,7 m<sup>3</sup>/sec



Σχεδιασμός Μικρού Υδροηλεκτρικού έργου στον ποταμό Πείρο  
Τζαμαλής Σπυρίδων

Τμήμα	Αυριστικό μήκος (m)	Μήκος (m)	Εξωτ. Διάμετρος (mm)	Πάχος (mm)	Εσωτ. Διάμετρος (mm)	f	Ταχύτητα (m/s)	u <sup>2</sup> /2g (m)	Re>2300	Γραμμικές Απώλειες (m)	Q (m <sup>3</sup> /sec)
1-2	77	77	1314	7	1300	0,012	0,4520	0,01041	5,15E+05	0,00740	0,6
2-3	177	100	1314	7	1300	0,012	0,4520	0,01041	5,15E+05	0,00961	
3-4	267	90	1314	7	1300	0,012	0,4520	0,01041	5,15E+05	0,00865	
4-5	329	62	1314	7	1300	0,012	0,4520	0,01041	5,15E+05	0,00596	
5-6	394	65	1314	7	1300	0,012	0,4520	0,01041	5,15E+05	0,00625	
6-7	497	103	1314	7	1300	0,012	0,4520	0,01041	5,15E+05	0,00990	
7-8	697	200	1314	7	1300	0,012	0,4520	0,01041	5,15E+05	0,01923	
8-9	980	283	1314	7	1300	0,012	0,4520	0,01041	5,15E+05	0,02721	
9-10	1119	139	1314	7	1300	0,012	0,4520	0,01041	5,15E+05	0,01336	
10-11	1184	65	1314	7	1300	0,012	0,4520	0,01041	5,15E+05	0,00625	
11-12	1407	223	1314	7	1300	0,012	0,4520	0,01041	5,15E+05	0,02144	
12-13	1453	46	1218	9	1200	0,012	0,5305	0,01434	5,58E+05	0,00660	
13-14	1539	86	1218	9	1200	0,012	0,5305	0,01434	5,58E+05	0,01234	
14-15	1687	148	1218	9	1200	0,012	0,5305	0,01434	5,58E+05	0,02123	
15-16	1824	137	1218	9	1200	0,012	0,5305	0,01434	5,58E+05	0,01965	
16-17	1927	103	1218	9	1200	0,012	0,5305	0,01434	5,58E+05	0,01478	
17-18	2176	249	1218	9	1200	0,012	0,5305	0,01434	5,58E+05	0,03572	
18-19	2346	170	1218	9	1200	0,012	0,5305	0,01434	5,58E+05	0,02439	
19-20	2400	54	1218	9	1200	0,012	0,5305	0,01434	5,58E+05	0,00775	
20-21	2720	320	1218	9	1200	0,012	0,5305	0,01434	5,58E+05	0,04590	
Σύνολο										0,324	

Πίνακας: Απώλειες συστήματος Q=0,6 m<sup>3</sup>/sec

Τμήμα	Αυριστικό μήκος (m)	Μήκος (m)	Εξωτ. Διάμετρος (mm)	Πάχος (mm)	Εσωτ. Διάμετρος (mm)	f	Ταχύτητα (m/s)	u <sup>2</sup> /2g (m)	Re>2300	Γραμμικές Απώλειες (m)	Q (m <sup>3</sup> /sec)
1-2	77	77	1314	7	1300	0,012	0,3767	0,00723	4,30E+05	0,00514	0,5
2-3	177	100	1314	7	1300	0,012	0,3767	0,00723	4,30E+05	0,00668	
3-4	267	90	1314	7	1300	0,012	0,3767	0,00723	4,30E+05	0,00601	
4-5	329	62	1314	7	1300	0,012	0,3767	0,00723	4,30E+05	0,00414	
5-6	394	65	1314	7	1300	0,012	0,3767	0,00723	4,30E+05	0,00434	
6-7	497	103	1314	7	1300	0,012	0,3767	0,00723	4,30E+05	0,00688	
7-8	697	200	1314	7	1300	0,012	0,3767	0,00723	4,30E+05	0,01335	
8-9	980	283	1314	7	1300	0,012	0,3767	0,00723	4,30E+05	0,01889	
9-10	1119	139	1314	7	1300	0,012	0,3767	0,00723	4,30E+05	0,00928	
10-11	1184	65	1314	7	1300	0,012	0,3767	0,00723	4,30E+05	0,00434	
11-12	1407	223	1314	7	1300	0,012	0,3767	0,00723	4,30E+05	0,01489	
12-13	1453	46	1218	9	1200	0,012	0,4421	0,00996	4,65E+05	0,00458	
13-14	1539	86	1218	9	1200	0,012	0,4421	0,00996	4,65E+05	0,00857	
14-15	1687	148	1218	9	1200	0,012	0,4421	0,00996	4,65E+05	0,01474	
15-16	1824	137	1218	9	1200	0,012	0,4421	0,00996	4,65E+05	0,01365	
16-17	1927	103	1218	9	1200	0,012	0,4421	0,00996	4,65E+05	0,01026	
17-18	2176	249	1218	9	1200	0,012	0,4421	0,00996	4,65E+05	0,02480	
18-19	2346	170	1218	9	1200	0,012	0,4421	0,00996	4,65E+05	0,01693	
19-20	2400	54	1218	9	1200	0,012	0,4421	0,00996	4,65E+05	0,00538	
20-21	2720	320	1218	9	1200	0,012	0,4421	0,00996	4,65E+05	0,03188	
Σύνολο										0,225	

Πίνακας: Απώλειες συστήματος Q=0,5 m<sup>3</sup>/sec





Τμήμα	Αυριστικό μήκος (m)	Μήκος (m)	Εξωτ. Διάμετρος (mm)	Πάχος (mm)	Εσωτ. Διάμετρος (mm)	f	Ταχύτητα (m/s)	u2/2g (m)	Re>2300	Γραμμικές Απώλειες (m)	Q (m <sup>3</sup> /sec)
1-2	77	77	1314	7	1300	0,012	0,3014	0,00463	3,44E+05	0,00329	0,4
2-3	177	100	1314	7	1300	0,012	0,3014	0,00463	3,44E+05	0,00427	
3-4	267	90	1314	7	1300	0,012	0,3014	0,00463	3,44E+05	0,00385	
4-5	329	62	1314	7	1300	0,012	0,3014	0,00463	3,44E+05	0,00265	
5-6	394	65	1314	7	1300	0,012	0,3014	0,00463	3,44E+05	0,00278	
6-7	497	103	1314	7	1300	0,012	0,3014	0,00463	3,44E+05	0,00440	
7-8	697	200	1314	7	1300	0,012	0,3014	0,00463	3,44E+05	0,00855	
8-9	980	283	1314	7	1300	0,012	0,3014	0,00463	3,44E+05	0,01209	
9-10	1119	139	1314	7	1300	0,012	0,3014	0,00463	3,44E+05	0,00594	
10-11	1184	65	1314	7	1300	0,012	0,3014	0,00463	3,44E+05	0,00278	
11-12	1407	223	1314	7	1300	0,012	0,3014	0,00463	3,44E+05	0,00953	
12-13	1453	46	1218	9	1200	0,012	0,3537	0,00638	3,72E+05	0,00293	
13-14	1539	86	1218	9	1200	0,012	0,3537	0,00638	3,72E+05	0,00548	
14-15	1687	148	1218	9	1200	0,012	0,3537	0,00638	3,72E+05	0,00944	
15-16	1824	137	1218	9	1200	0,012	0,3537	0,00638	3,72E+05	0,00873	
16-17	1927	103	1218	9	1200	0,012	0,3537	0,00638	3,72E+05	0,00657	
17-18	2176	249	1218	9	1200	0,012	0,3537	0,00638	3,72E+05	0,01588	
18-19	2346	170	1218	9	1200	0,012	0,3537	0,00638	3,72E+05	0,01084	
19-20	2400	54	1218	9	1200	0,012	0,3537	0,00638	3,72E+05	0,00344	
20-21	2720	320	1218	9	1200	0,012	0,3537	0,00638	3,72E+05	0,02040	
Σύνολο										0,144	

Πίνακας: Απώλειες συστήματος Q=0,4 m<sup>3</sup>/sec

Τμήμα	Αυριστικό μήκος (m)	Μήκος (m)	Εξωτ. Διάμετρος (mm)	Πάχος (mm)	Εσωτ. Διάμετρος (mm)	f	Ταχύτητα (m/s)	u2/2g (m)	Re>2300	Γραμμικές Απώλειες (m)	Q (m <sup>3</sup> /sec)
1-2	77	77	1314	7	1300	0,012	0,2260	0,00260	2,58E+05	0,00185	0,3
2-3	177	100	1314	7	1300	0,012	0,2260	0,00260	2,58E+05	0,00240	
3-4	267	90	1314	7	1300	0,012	0,2260	0,00260	2,58E+05	0,00216	
4-5	329	62	1314	7	1300	0,012	0,2260	0,00260	2,58E+05	0,00149	
5-6	394	65	1314	7	1300	0,012	0,2260	0,00260	2,58E+05	0,00156	
6-7	497	103	1314	7	1300	0,012	0,2260	0,00260	2,58E+05	0,00248	
7-8	697	200	1314	7	1300	0,012	0,2260	0,00260	2,58E+05	0,00481	
8-9	980	283	1314	7	1300	0,012	0,2260	0,00260	2,58E+05	0,00680	
9-10	1119	139	1314	7	1300	0,012	0,2260	0,00260	2,58E+05	0,00334	
10-11	1184	65	1314	7	1300	0,012	0,2260	0,00260	2,58E+05	0,00156	
11-12	1407	223	1314	7	1300	0,012	0,2260	0,00260	2,58E+05	0,00536	
12-13	1453	46	1218	9	1200	0,012	0,2653	0,00359	2,79E+05	0,00165	
13-14	1539	86	1218	9	1200	0,012	0,2653	0,00359	2,79E+05	0,00308	
14-15	1687	148	1218	9	1200	0,012	0,2653	0,00359	2,79E+05	0,00531	
15-16	1824	137	1218	9	1200	0,012	0,2653	0,00359	2,79E+05	0,00491	
16-17	1927	103	1218	9	1200	0,012	0,2653	0,00359	2,79E+05	0,00369	
17-18	2176	249	1218	9	1200	0,012	0,2653	0,00359	2,79E+05	0,00893	
18-19	2346	170	1218	9	1200	0,012	0,2653	0,00359	2,79E+05	0,00610	
19-20	2400	54	1218	9	1200	0,012	0,2653	0,00359	2,79E+05	0,00194	
20-21	2720	320	1218	9	1200	0,012	0,2653	0,00359	2,79E+05	0,01148	
Σύνολο										0,081	

Πίνακας: Απώλειες συστήματος Q=0,3 m<sup>3</sup>/sec



Τμήμα	Αυριστικό μήκος (m)	Μήκος (m)	Εξωτ. Διάμετρος (mm)	Πάχος (mm)	Εσωτ. Διάμετρος (mm)	f	Ταχύτητα (m/s)	u <sup>2</sup> /2g (m)	Re>2300	Γραμμικές Απώλειες (m)	Q (m <sup>3</sup> /sec)
1-2	77	77	1314	7	1300	0,012	0,1507	0,00116	1,72E+05	0,00082	0,2
2-3	177	100	1314	7	1300	0,012	0,1507	0,00116	1,72E+05	0,00107	
3-4	267	90	1314	7	1300	0,012	0,1507	0,00116	1,72E+05	0,00096	
4-5	329	62	1314	7	1300	0,012	0,1507	0,00116	1,72E+05	0,00066	
5-6	394	65	1314	7	1300	0,012	0,1507	0,00116	1,72E+05	0,00069	
6-7	497	103	1314	7	1300	0,012	0,1507	0,00116	1,72E+05	0,00110	
7-8	697	200	1314	7	1300	0,012	0,1507	0,00116	1,72E+05	0,00214	
8-9	980	283	1314	7	1300	0,012	0,1507	0,00116	1,72E+05	0,00302	
9-10	1119	139	1314	7	1300	0,012	0,1507	0,00116	1,72E+05	0,00148	
10-11	1184	65	1314	7	1300	0,012	0,1507	0,00116	1,72E+05	0,00069	
11-12	1407	223	1314	7	1300	0,012	0,1507	0,00116	1,72E+05	0,00238	
12-13	1453	46	1218	9	1200	0,012	0,1768	0,00159	1,86E+05	0,00073	
13-14	1539	86	1218	9	1200	0,012	0,1768	0,00159	1,86E+05	0,00137	
14-15	1687	148	1218	9	1200	0,012	0,1768	0,00159	1,86E+05	0,00236	
15-16	1824	137	1218	9	1200	0,012	0,1768	0,00159	1,86E+05	0,00218	
16-17	1927	103	1218	9	1200	0,012	0,1768	0,00159	1,86E+05	0,00164	
17-18	2176	249	1218	9	1200	0,012	0,1768	0,00159	1,86E+05	0,00397	
18-19	2346	170	1218	9	1200	0,012	0,1768	0,00159	1,86E+05	0,00271	
19-20	2400	54	1218	9	1200	0,012	0,1768	0,00159	1,86E+05	0,00086	
20-21	2720	320	1218	9	1200	0,012	0,1768	0,00159	1,86E+05	0,00510	
										0,036	

Πίνακας: Απώλειες συστήματος Q=0,2 m<sup>3</sup>/sec

Τμήμα	Αυριστικό μήκος (m)	Μήκος (m)	Εξωτ. Διάμετρος (mm)	Πάχος (mm)	Εσωτ. Διάμετρος (mm)	f	Ταχύτητα (m/s)	u <sup>2</sup> /2g (m)	Re>2300	Γραμμικές Απώλειες (m)	Q (m <sup>3</sup> /sec)
1-2	77	77	1314	7	1300	0,012	0,0753	0,00029	8,59E+04	0,00021	0,1
2-3	177	100	1314	7	1300	0,012	0,0753	0,00029	8,59E+04	0,00027	
3-4	267	90	1314	7	1300	0,012	0,0753	0,00029	8,59E+04	0,00024	
4-5	329	62	1314	7	1300	0,012	0,0753	0,00029	8,59E+04	0,00017	
5-6	394	65	1314	7	1300	0,012	0,0753	0,00029	8,59E+04	0,00017	
6-7	497	103	1314	7	1300	0,012	0,0753	0,00029	8,59E+04	0,00028	
7-8	697	200	1314	7	1300	0,012	0,0753	0,00029	8,59E+04	0,00053	
8-9	980	283	1314	7	1300	0,012	0,0753	0,00029	8,59E+04	0,00076	
9-10	1119	139	1314	7	1300	0,012	0,0753	0,00029	8,59E+04	0,00037	
10-11	1184	65	1314	7	1300	0,012	0,0753	0,00029	8,59E+04	0,00017	
11-12	1407	223	1314	7	1300	0,012	0,0753	0,00029	8,59E+04	0,00060	
12-13	1453	46	1218	9	1200	0,012	0,0884	0,00040	9,31E+04	0,00018	
13-14	1539	86	1218	9	1200	0,012	0,0884	0,00040	9,31E+04	0,00034	
14-15	1687	148	1218	9	1200	0,012	0,0884	0,00040	9,31E+04	0,00059	
15-16	1824	137	1218	9	1200	0,012	0,0884	0,00040	9,31E+04	0,00055	
16-17	1927	103	1218	9	1200	0,012	0,0884	0,00040	9,31E+04	0,00041	
17-18	2176	249	1218	9	1200	0,012	0,0884	0,00040	9,31E+04	0,00099	
18-19	2346	170	1218	9	1200	0,012	0,0884	0,00040	9,31E+04	0,00068	
19-20	2400	54	1218	9	1200	0,012	0,0884	0,00040	9,31E+04	0,00022	
20-21	2720	320	1218	9	1200	0,012	0,0884	0,00040	9,31E+04	0,00128	
Σύνολο										0,009	

Πίνακας: Απώλειες συστήματος Q=0,1 m<sup>3</sup>/sec



Τμήμα	Αυριστικό μήκος (m)	Μήκος (m)	Εξωτ. Διάμετρος (mm)	Πάχος (mm)	Εσωτ. Διάμετρος (mm)	f	Ταχύτητα (m/s)	$u^2/2g$ (m)	Re>2300	Γραμμικές Απώλειες (m)	Q (m <sup>3</sup> /sec)
1-2	77	77	1314	7	1300	0,012	0,0422	0,00009	4,81E+04	0,00006	0,056
2-3	177	100	1314	7	1300	0,012	0,0422	0,00009	4,81E+04	0,00008	
3-4	267	90	1314	7	1300	0,012	0,0422	0,00009	4,81E+04	0,00005	
4-5	329	62	1314	7	1300	0,012	0,0422	0,00009	4,81E+04	0,00005	
5-6	394	65	1314	7	1300	0,012	0,0422	0,00009	4,81E+04	0,00009	
6-7	497	103	1314	7	1300	0,012	0,0422	0,00009	4,81E+04	0,00017	
7-8	697	200	1314	7	1300	0,012	0,0422	0,00009	4,81E+04	0,00024	
8-9	980	283	1314	7	1300	0,012	0,0422	0,00009	4,81E+04	0,00012	
9-10	1119	139	1314	7	1300	0,012	0,0422	0,00009	4,81E+04	0,00005	
10-11	1184	65	1314	7	1300	0,012	0,0422	0,00009	4,81E+04	0,00019	
11-12	1407	223	1314	7	1300	0,012	0,0422	0,00012	5,21E+04	0,00011	
12-13	1453	46	1218	9	1200	0,012	0,0495	0,00012	5,21E+04	0,00018	
13-14	1539	86	1218	9	1200	0,012	0,0495	0,00012	5,21E+04	0,00017	
14-15	1687	148	1218	9	1200	0,012	0,0495	0,00012	5,21E+04	0,00013	
15-16	1824	137	1218	9	1200	0,012	0,0495	0,00012	5,21E+04	0,00031	
16-17	1927	103	1218	9	1200	0,012	0,0495	0,00012	5,21E+04	0,00021	
17-18	2176	249	1218	9	1200	0,012	0,0495	0,00012	5,21E+04	0,00007	
18-19	2346	170	1218	9	1200	0,012	0,0495	0,00012	5,21E+04	0,00040	
19-20	2400	54	1218	9	1200	0,012	0,0495	0,00012	5,21E+04		
20-21	2720	320	1218	9	1200	0,012	0,0495	0,00012	5,21E+04		
Σύνολο										0,003	

Πίνακας: Απώλειες συστήματος Q=0,056 m<sup>3</sup>/sec