

ΤΟ ΖΗΤΗΜΑ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ: ΠΟΛΛΑ ΜΙΚΡΑ ΕΡΓΑ Ή ΕΝΑ ΜΕΓΑΛΟ;



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης-Μιχαήλ Μπαϊρακτάρης

Επιβλέπων: Ανδρέας Ευστρατιάδης, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Πίνακας Περιεχομένων

Πρόλογος.....	7
Περίληψη	8
Abstract.....	9
1 Εισαγωγή.....	10
1.1 Κίνητρο και σκοπός της εργασίας	10
1.2 Διάρθρωση εργασίας.....	11
2 Υδροηλεκτρική ενέργεια και συναφή έργα	13
2.1 Υδροηλεκτρική ενέργεια.....	13
2.2 Υδροηλεκτρικά έργα.....	15
2.2.1 Λειτουργία και κατηγοριοποίηση υδροηλεκτρικών έργων	15
2.2.2 ΜΥΗΕ πάνω στην κοίτη.....	18
2.2.3 ΜΥΗΕ εκτός κοίτης	19
2.3 Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός – Υδροστρόβιλοι	21
2.3.1 Τυπικός Η/Μ εξοπλισμός υδροηλεκτρικών έργων.....	21
2.3.2 Στρόβιλοι Δράσης.....	22
2.3.3 Στρόβιλοι Αντίδρασης.....	23
2.4 Χωροθέτηση μικρών υδροηλεκτρικών έργων	25
2.5 Οικονομική ανάλυση μικρών υδροηλεκτρικών έργων.....	26
3 Υφιστάμενη κατάσταση στον ποταμό Αχελώο	28
3.1 Η υδροηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα.....	28
3.2 Τα φράγματα του Αχελώου	29
3.3 Φράγμα Κρεμαστών.....	31
3.3.1 Γενικά στοιχεία.....	31
3.3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά	32
3.3.3 Μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας ταμειυτήρα	33
4 Τυποποίηση σχεδιασμού μικρού υδροηλεκτρικού έργου	36
4.1 Στόχος τυποποίησης.....	36
4.2 Κοινά εισαγόμενα δεδομένα για ΜΥΗΕ πάνω στην κοίτη και εκτός αυτής.....	36
4.3 Μετατροπή υψών απορροής σε παροχή.....	37
4.4 Επιλογή στροβίλων	38
5 Τυποποίηση σχεδιασμού μικρού υδροηλεκτρικού έργου πάνω στην κοίτη.....	42

5.1	<i>Εισαγόμενα και εξαγόμενα δεδομένα</i>	42
5.2	<i>Επιλογή στροβίλων</i>	42
5.3	<i>Ενέργεια</i>	43
5.3.1	<i>Υπολογισμός παραγόμενης ενέργειας</i>	43
5.3.2	<i>Τιμολόγηση ενέργειας</i>	45
5.4	<i>Υπολογισμός κόστους</i>	46
5.4.1	<i>Υπολογισμός κόστους υδροστροβίλων</i>	46
5.4.2	<i>Υπολογισμός κόστους φράγματος</i>	47
5.4.3	<i>Υπολογισμός κόστους κτηρίου ΥΗΣ και γεννήτριας</i>	47
5.4.4	<i>Υπολογισμός του κόστους του αγωγού πτώσεως</i>	48
5.4.5	<i>Υπολογισμός του κόστους της διόδου ψαριών</i>	49
5.4.6	<i>Υπολογισμός του κόστους του έργου υδροληψίας</i>	49
5.4.7	<i>Υπολογισμός κόστους μελετών, αδειοδοτήσεων και επίβλεψης</i>	49
5.4.8	<i>Υπολογισμός ετήσιου κόστους</i>	50
5.5	<i>Βελτιστοποίηση λειτουργίας</i>	51
5.6	<i>Παράδειγμα σχεδιασμού έργου πάνω στην κοίτη: ΜΥΗΕ Συκιάς</i>	52
6	Τυποποίηση σχεδιασμού μικρού υδροηλεκτρικού έργου εκτός της κοίτης	56
6.1	<i>Εισαγόμενα και εξαγόμενα δεδομένα</i>	56
6.2	<i>Μετατροπή υψών απορροής σε παροχή – οικολογική παροχή</i>	57
6.3	<i>Επιλογή στροβίλων</i>	58
6.4	<i>Ενέργεια</i>	59
6.5	<i>Υπολογισμός κόστους</i>	60
6.5.1	<i>Κόστος διώρυγας προσαγωγής</i>	61
6.5.2	<i>Κόστος αγωγού πτώσης</i>	63
6.5.3	<i>Κόστος δεξαμενής φόρτισης</i>	65
6.5.4	<i>Κόστος υπόλοιπων έργων</i>	65
6.6	<i>Βελτιστοποίηση λειτουργίας</i>	65
6.7	<i>Παράδειγμα σχεδιασμού έργου εκτός κοίτης: ΜΥΗΕ Run-of-river 2</i>	67
7	Εγκατάσταση μικρών υδροηλεκτρικών έργων	73
7.1	<i>Απόφαση εγκατάστασης ΜΥΗΕ πάνω στην κοίτη</i>	73
7.2	<i>ΜΥΗΕ Αγίας Παρασκευής</i>	75
7.3	<i>ΜΥΗΕ Σκλήθρας</i>	76
7.4	<i>ΜΥΗΕ Αετού</i>	77
7.5	<i>ΜΥΗΕ Λαφίνας</i>	78
7.6	<i>ΜΥΗΕ Γλύστρας</i>	79
7.7	<i>ΜΥΗΕ Πύργου</i>	80

7.8	ΜΥΗΕ Βάρκας	81
7.9	ΜΥΗΕ Τρίλοφου	82
7.10	ΜΥΗΕ Συκιάς.....	83
7.11	ΜΥΗΕ Πέρδικας	84
7.12	ΜΥΗΕ Αλωνακίου.....	85
7.13	ΜΥΗΕ Αυλακίου	86
7.14	ΜΥΗΕ Δαφνοζωνάρας.....	87
7.15	ΜΥΗΕ Βρουβιανών.....	88
7.16	ΜΥΗΕ Τοπαλιανών.....	89
7.17	ΜΥΗΕ Περδικακίου	90
7.18	ΜΥΗΕ Πρατοβουνίου	91
7.19	ΜΥΗΕ Χρίσοβας	92
7.20	ΜΥΗΕ Ανηφόρας.....	93
7.21	ΜΥΗΕ Καρβασαρά.....	94
7.22	ΜΥΗΕ Μοναστηρακίου.....	95
7.23	ΜΥΗΕ Κεφαλόβρυσου.....	96
7.24	ΜΥΗΕ Κλεφτολήμερου	97
7.25	ΜΥΗΕ Σκαμνιών	98
7.26	ΜΥΗΕ Καροπλεσίου	99
7.27	ΜΥΗΕ Νεράιδας.....	100
7.28	ΜΥΗΕ Προσήλιου.....	101
7.29	ΜΥΗΕ Βράχας.....	102
7.30	ΜΥΗΕ Λογγιών.....	103
7.31	ΜΥΗΕ Αγίου Νικολάου	104
7.32	ΜΥΗΕ Δάφνης.....	105
7.33	ΜΥΗΕ Παπαδιάς	106
7.34	ΜΥΗΕ Βίνιανης.....	107
7.35	ΜΥΗΕ Αρωνιάδας.....	108
7.36	ΜΥΗΕ Παρκιού.....	109
7.37	ΜΥΗΕ Παπαρουσίου	110
7.38	ΜΥΗΕ Αγίας Σωτηρίας.....	111
8	Παρουσίαση συστήματος ΜΥΗΕ και σύγκριση με έργο Κρεμαστών	112

8.1	<i>Ολική εικόνα του συστήματος των ΜΥΗΕ</i>	112
8.2	<i>Σύγκριση υποθετικού συστήματος ΜΥΗΕ με το έργο των Κρεμαστών</i>	114
8.2.1	<i>Ενεργειακή σύγκριση</i>	114
8.2.2	<i>Σύγκριση κόστους και κέρδους</i>	115
8.2.3	<i>Σύγκριση περιβαλλοντικής εκμετάλλευσης και υπερχειλίσεων</i>	116
8.2.4	<i>Άλλες συγκρίσεις</i>	118
9	<i>Συμπεράσματα και ερευνητικές προοπτικές</i>	120
9.1	<i>Συμπεράσματα της εργασίας</i>	120
9.2	<i>Μελλοντικές ερευνητικές προοπτικές</i>	121
	Βιβλιογραφία	122
	<i>Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία</i>	122
	<i>Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία</i>	123
	<i>Ιστοσελίδες</i>	124

Πρόλογος

Με το πέρας της συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας, σηματοδοτείται η ολοκλήρωση του κύκλου σπουδών μου στη σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Το συγκεκριμένο κεφάλαιο της ζωής μου δεν θα μπορούσε να κλείσει χωρίς να ευχαριστήσω κάποιους από τους ανθρώπους που έκαναν αυτήν την εμπειρία τόσο σημαντική.

Αρχικά, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επιβλέποντα της εργασίας κ. Ανδρέα Ευστρατιάδη, Επικ. Καθηγητή Ε.Μ.Π, του οποίου άλλωστε τα προπτυχιακά μαθήματα με έκαναν να κατανοήσω το ενδιαφέρον και τελικά να επιλέξω τον Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος. Στο τελευταίο έτος της φοίτησης μου είχα την τύχη να συνεργαστώ μαζί του για την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας, την οποία σε καμία περίπτωση δεν θα μπορούσα να έχω φέρει σε πέρας χωρίς την πολύτιμη βοήθεια του σε κάθε μου βήμα. Η αδιάκοπη όρεξη για δουλειά, το ειλικρινές ενδιαφέρον του για την πρόοδο της εργασίας και η πίστη του σε εμένα, με παρότρυναν να συνεχίσω σε μια εποχή παγκόσμιας αβεβαιότητας λόγω της πανδημίας. Τον ευχαριστώ επίσης που ήταν διαθέσιμος όποτε τον χρειάστηκα για να παρέχει επιστημονική καθοδήγηση, παρατηρήσεις και λύσεις για κάθε μικρό ή μεγάλο πρόβλημα που προέκυψε. Το ασύγκριτο ήθος και η στάση του προς τη ζωή, σε συνδυασμό με το εξαιρετικό επιστημονικό του έργο αποτελούν και θα αποτελούν πρότυπο και έμπνευση.

Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Φοίβο Σαργέντη για την ανεκτίμητη συνεισφορά του στην ολοκλήρωση της συγκεκριμένης εργασίας. Αρχικά ζήτησα την βοήθεια του συγκεκριμένα για την δημιουργία των κλιμακογραμμμάτων για τα συμπεράσματα της εργασίας και τελικά μέσω των συζητήσεων μας, κατέληξε να συμβάλει με εύστοχες ιδέες και προτάσεις σε όλα σχεδόν τα κομμάτια που την απαρτίζουν. Χωρίς τη βοήθεια και το ενδιαφέρον του η παρούσα εργασία δεν θα ήταν η ίδια. Ευχαριστώ επίσης τον κύριο Γιώργο Λέρη, πρώην Διευθυντή των υδροηλεκτρικών έργων της ΔΕΗ, με τον οποίο με έφερε σε επικοινωνία ο κύριος Σαργέντης, για τις ιδέες του και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την αναφορά του έργου των Κρεμαστών.

Αξιοσημείωτη φυσικά ήταν και η προσφορά του κ. Νίκου Μαμάση και της Κωνσταντίνας Ρίσβα, οι οποίοι με βοήθησαν στην δημιουργία των απαραίτητων χαρτών, μέσω του προγράμματος QGIS και μου έδωσαν το έναυσμα για περαιτέρω ενασχόληση με αυτό το τόσο χρήσιμο πρόγραμμα.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη της ΙΤΙΑΣ, προεξεχόντων των κ. Κουτσογιάννη, κ. Παπανικολάου, κ. Δημητριάδη και κ. Νικολόπουλο, για την προσφορά τους στην ακαδημαϊκή μου πορεία μέσω των προπτυχιακών τους μαθημάτων και για τις καθημερινές τηλεδιασκέψεις κατά την διάρκεια του κοροναϊού, μέσω των οποίων μου μετέδωσαν γνώσεις και συνέβαλαν ουσιαστικά αλλά και ηθικά στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την αδιάκοπη ηθική στήριξη, την πίστη στις δυνατότητες μου και τις θυσίες τους για την ολοκλήρωση των σπουδών μου και τους φίλους μου που ήταν δίπλα μου, χαρίζοντας μου όμορφες στιγμές σε ένα ακόμα κεφάλαιο της ζωής μου.

Ιωάννης-Μιχάλης Μπαϊρακτάρης
Αθήνα, Νοέμβριος 2020

Περίληψη

Η ραγδαία αύξηση στην ζήτηση ενέργειας, σε συνδυασμό με την παγκόσμια περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση, έχουν συμβάλει στην σταδιακή απομάκρυνση από τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα και στην επακόλουθη στροφή προς ανανεώσιμες πηγές. Η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί τον πυλώνα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με συμμετοχή 60 % στην παραγόμενη ενέργεια από τις ΑΠΕ παγκοσμίως. Τα υδροηλεκτρικά έργα παρουσιάζουν εντελώς διαφορετικό τρόπο κατασκευής και φιλοσοφία λειτουργίας, ανάλογα με το μέγεθος τους. Στα υδροηλεκτρικά έργα που χαρακτηρίζονται ως μεγάλα, συνήθως διαμορφώνεται ανάντη ταμιευτήρας, ο οποίος καθιστά δυνατή την κατά βούληση παραγωγή ενέργειας από τις φυσικές εισροές οποιαδήποτε χρονική στιγμή υπάρχει ζήτηση. Από την άλλη, τα υδροηλεκτρικά έργα με μικρή εγκατεστημένη ισχύ και μικρά ύψη φραγμάτων, έχουν αμελητέα ικανότητα αποθήκευσης νερού και έτσι η παραγωγή ενέργειας στα διασυνδεδεμένα δίκτυα δεν είναι εγγυημένη. Βέβαια, η διαμόρφωση αυτή, χάρη στην απουσία ταμιευτήρα, εκλαμβάνεται από τις σύγχρονες κοινωνίες ως λιγότερο παρεμβατική στο φυσικό περιβάλλον. Ως εκ τούτου η παγκόσμια πρακτική έχει στραφεί προς την κατασκευή μικρών υδροηλεκτρικών έργων (ΜΥΗΕ), και μάλιστα τα μεγάλα έργα δεν υπάγονται πια (νομικά) στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σε αυτήν τη διπλωματική εργασία γίνεται σύγκριση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των μικρών σε σχέση με τα μεγάλα έργα, για να διαπιστωθεί αν η παγκόσμια τάση προς αυτά είναι λογική. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο επιλέγεται η μελέτη της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης απορροής του Αχελώου ποταμού. Γίνεται “αντικατάσταση” του φράγματος των Κρεμαστών, του μεγαλύτερου υδροηλεκτρικού έργου στην Ελλάδα, με όσα ΜΥΗΕ χρειαστεί ώστε να επιτευχθεί ισοδύναμη εγκατεστημένη ισχύς. Λόγω του πλήθους τους, για τον σχεδιασμό των έργων αναπτύσσεται μια τυποποιημένη μέθοδος σχεδιασμού, η οποία αποσκοπεί στην παραγωγή όσο το δυνατόν ακριβέστερων ενεργειακών και οικονομικών αποτελεσμάτων για την εκάστοτε θέση εγκατάστασης, με χρήση όσο το δυνατόν λιγότερων δεδομένων εισόδου. Μέσω του συγκεκριμένου εργαλείου σχεδιάζονται 37 μικρά έργα πάνω στην κοίτη του ποταμού Αχελώου, και των παραποτάμων του Αγραφιώτη και του Ταυρωπού. Έτσι, καθίσταται δυνατή η ενεργειακή και τεχνοοικονομική σύγκριση της υπάρχουσας κατάστασης του έργου των Κρεμαστών και της υποθετικής κατάστασης των 37 ΜΥΗΕ.

Abstract

The rapid increase in world energy demand, combined with the ever-growing global environmental awareness, have contributed to the progressive departure from the conventional fossil fuels and the consequent shift to renewable sources. Hydroelectric power is the pillar of renewable energy sources (RES) with a 60% share in the worldwide RES energy production. Hydroelectric projects have a completely different way of construction and operating philosophy, depending on their size. In projects with high installed capacity, typically an upstream reservoir is formed which enables the controlled production of energy from the stored water, whenever required. On the other hand, hydroelectric projects with low installed capacity have negligible water storage capacity and thus energy production for the interconnected grid is not guaranteed. Of course, this configuration is perceived by modern societies as less invasive to the natural environment due to the absence of a reservoir. As a result, the global practice has shifted to the construction of small hydroelectric plants (SHPPs) and in fact large projects are no longer legally considered renewable energy sources. This diploma thesis compares the advantages and disadvantages of small projects in relation to large ones, to determine if the global trend towards them is reasonable. In order to achieve this objective, the study of the wider area of the Achelous river basin is chosen. The Kremasta dam, which is the largest hydroelectric plant in Greece, is being "replaced" with as many SHPPs as needed in order to achieve an equivalent installed capacity. Due to the large number of required stations, a standard design method is developed for their design, which aims to produce the most accurate energy and economic results possible for each of the installation sites, using as little input data as possible. Through this tool, 37 small stations are planned on the bed of the Achelous river, and its tributaries Agrafiotis and Tavropos. Thus, it becomes possible to compare the energy and the techno-economic current status of Kremasta with the hypothetical scheme of the 37 SHPPs.

1 Εισαγωγή

1.1 Κίνητρο και σκοπός της εργασίας

Καθώς οι ενεργειακές ανάγκες παγκοσμίως βαίνουν συνεχώς αυξανόμενες και το απόθεμα των ορυκτών καυσίμων μειώνεται σταθερά, τίθεται ο προβληματισμός για την επόμενη μέρα στην παραγωγή ενέργειας. Από τη μία, υπάρχει η ανάγκη για παραγωγή φτηνής ενέργειας από αξιόπιστες πηγές, η οποία θα αποτελέσει το μέσο για παγκόσμια ανάπτυξη, και από την άλλη η υποχρέωση προστασίας και διατήρησης του περιβάλλοντος. Οι παραπάνω ανάγκες έχουν οδηγήσει στην υιοθέτηση κοινής πολιτικής σε εθνικό, ευρωπαϊκό αλλά και διεθνές επίπεδο.

Η Ελληνική κυβέρνηση, με την ψήφιση του Ν3851/2010, προχώρησε στην αύξηση του εθνικού στόχου συμμετοχής των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας στο 20 % (40 % στην ηλεκτροπαραγωγή). Η συγκεκριμένη νομοθεσία ήρθε ως συμμόρφωση της χώρας με το πλαίσιο της ολοκληρωμένης ευρωπαϊκής πολιτικής για την κλιματική αλλαγή και την ενέργεια ή, όπως είναι γνωστό, «στόχος 20-20-20». Το συγκεκριμένο πλαίσιο προβλέπει μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, περαιτέρω ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης μέχρι το 2020.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί τον ισχυρότερο σύμμαχο για την εκπλήρωση των παραπάνω αναγκών και την επίτευξη των στόχων. Η παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, οι υψηλότεροι βαθμοί απόδοσης των εγκαταστάσεων και η φιλική προς το περιβάλλον λειτουργία τους, έχουν καταστήσει την υδροηλεκτρική ενέργεια ως την προσφιλέστερη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας εδώ και δεκαετίες. Είναι χαρακτηριστικό πως το 2019 το 60 % της παραγόμενης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές προήλθε από την υδραυλική ενέργεια (Our World in Data). Κατά την λειτουργία των υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων η ποσότητα του νερού δεν μειώνεται, η ποιότητά του δεν υποβαθμίζεται και η ροή του στην φύση είναι αδιάκοπη. Παρ' όλα αυτά, τα τελευταία χρόνια, έχουν προκύψει κάποια ερωτηματικά και ανησυχίες για το μέγεθος της περιβαλλοντικής παρέμβασης των μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων και των τεχνητών λιμνών που δημιουργούν.

Πληθώρα ερευνών έχουν εκπονηθεί για τον προσδιορισμό των συνεπειών από την έμφραξη της φυσικής ροής των ποταμών. Κάποιες από αυτές καταλήγουν στο συμπέρασμα πως οι μεγάλοι υδροηλεκτρικοί ταμιευτήρες συνοδεύονται από πολλαπλά περιβαλλοντικά προβλήματα τα οποία παρατίθενται παρακάτω:

- Παρενόχληση της πανίδας της περιοχής και ενδεχόμενες μετακινήσεις πληθυσμών, που μπορεί να οδηγήσουν σε μείωση τους.
- Παρεμπόδιση πολλών ειδών ψαριών να μεταναστεύσουν σε ανάντη σημεία του ποταμού κατά τις περιόδους αναπαραγωγής.
- Η δημιουργία τεχνητής λίμνης μεταλλάσσει τον υδρολογικό κύκλο και μπορεί να προκαλέσει θερμοκρασιακές μεταβολές του νερού καθώς και ξηρασία σε κατάντη σημεία του ποταμού.
- Ανάμεσα στα φερτά υλικά που μεταφέρονται μέσω της ροής και παγιδεύονται στο φράγμα υπάρχουν θρεπτικά συστατικά, απαραίτητα για την ανάπτυξη της χλωρίδας σε κατάντη σημεία του ποταμού.

Εκτός από τους προαναφερθέντες περιβαλλοντικούς προβληματισμούς τα μεγάλα υδροηλεκτρικά φράγματα συγκεντρώνουν και κάποια μειονεκτήματα κατά την κατασκευή και τη λειτουργία τους. Για παράδειγμα, το μεγάλο κόστος και η μεγάλη χρονική διάρκεια που απαιτείται μέχρι την αποπεράτωση και εν συνεχεία απόσβεση του έργου, οι απαλλοτριώσεις γης, οι μετακινήσεις πληθυσμών και η δυσκολία αντικατάστασης στο πέρας του χρόνου ζωής είναι σημαντικά προβλήματα των μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων, τα οποία θα πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Για τους παραπάνω λόγους η πλειονότητα των κρατών, συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας, δεν κατατάσσουν πια τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Είναι χαρακτηριστικό πως από τα περίπου 3500 MW εγκατεστημένης υδροηλεκτρικής ισχύος που διαθέτει η ΔΕΗ, μόνο τα 73 MW των μικρών υδροηλεκτρικών έργων της (ΜΥΗΕ) θεωρούνται πως συμβάλουν στην παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας. Η συγκεκριμένη απόφαση ωθεί σήμερα την διεθνή πρακτική να προσανατολιστεί προς την κατασκευή ΜΥΗΕ.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη του ζητήματος της κλίμακας στην υδροηλεκτρική ενέργεια. Θα μελετηθεί αν είναι προτιμότερη η εγκατάσταση ενός μεγάλου υδροηλεκτρικού έργου ή πολλών ισοδύναμων μικρότερων. Πιο συγκεκριμένα, θα γίνει “αντικατάσταση” του μεγαλύτερου υδροηλεκτρικού έργου της Ελλάδας, του σταθμού των Κρεμαστών στον ρου του ποταμού Αχελώου, με όσα ΜΥΗΕ χρειαστεί ώστε να επιτευχθεί ισοδύναμη εγκατεστημένη ισχύς. Έτσι, θα καταστεί δυνατή η τεχνική, ενεργειακή και οικονομική σύγκριση των δύο καταστάσεων.

1.2 Διάρθρωση εργασίας

Η παρούσα εργασία διαρθρώνεται σε 8 κεφάλαια.

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

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** γίνεται αναφορά γενικά περί υδροηλεκτρικής ενέργειας και υδροηλεκτρικών έργων. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφονται η λειτουργία των έργων, η κατηγοριοποίησή τους ανάλογα με το μέγεθος και την λειτουργία τους, και τα απαιτούμενα επιμέρους έργα για κάθε εγκατάσταση. Γίνεται επίσης σύντομη αναφορά στη διαδικασία και τα κριτήρια χωροθέτησης των έργων, καθώς και μια αναφορά στην διεθνή βιβλιογραφία όσον αφορά στο ζήτημα της οικονομικής ανάλυσης και πρόβλεψης του κόστους των ΥΗΕ.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** παρέχονται τα κύρια στοιχεία του ΥΗΕ των Κρεμαστών καθώς και μια γενικότερη εικόνα της υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα και τον ποταμό Αχελώο. Δίνονται τεχνικά, οικονομικά και ενεργειακά στοιχεία του έργου στα Κρεμαστά, τα οποία θα φανούν χρήσιμα για την τελική σύγκριση, μετά το πέρας σχεδιασμού του συστήματος των ισοδύναμων ΜΥΗΕ.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** γίνεται αναφορά στην τυποποιημένη μέθοδο σχεδιασμού ΜΥΗΕ που θα χρησιμοποιηθεί στην εργασία. Δίνονται τα κοινά δεδομένα εισαγωγής καθώς και οι κοινοί υπολογισμοί τόσο για τα έργα πάνω στην κοίτη καθώς και για τα έργα εκτός αυτής.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** αναλύεται η τυποποιημένη μέθοδος σχεδιασμού ΜΥΗΕ πάνω στην κοίτη του ποταμού. Περιγράφεται η μεθοδολογία για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας, των επιμέρους οικονομικών επιβαρύνσεων αλλά και του ολικού κόστους του εκάστοτε έργου. Στο τέλος του κεφαλαίου δίνεται ένα αναλυτικό παράδειγμα σχεδιασμού υδροηλεκτρικού έργου πάνω στην κοίτη του ποταμού Αχελώου.

Στο **έκτο κεφάλαιο** αναλύεται η τυποποιημένη μέθοδος σχεδιασμού ΜΥΗΕ εκτός της κοίτη του ποταμού. Στο τέλος του κεφαλαίου δίνεται ένα αναλυτικό παράδειγμα σχεδιασμού υδροηλεκτρικού έργου εκτός της κύριας κοίτης του ποταμού Αχελώου.

Στο **έβδομο κεφάλαιο** αρχικά τεκμηριώνεται η απόφαση εγκατάστασης ΜΥΗΕ πάνω στην κοίτη του ποταμού για τους σκοπούς τις εργασίας. Στη συνέχεια, αφιερώνεται μια τυποποιημένη σελίδα για κάθε ένα από τα ΜΥΗΕ που σχεδιάστηκαν, στην οποία παρατίθενται η τοποθεσία του, η λογική χωροθέτησης και τα ενεργειακά και τεχνοοικονομικά χαρακτηριστικά του.

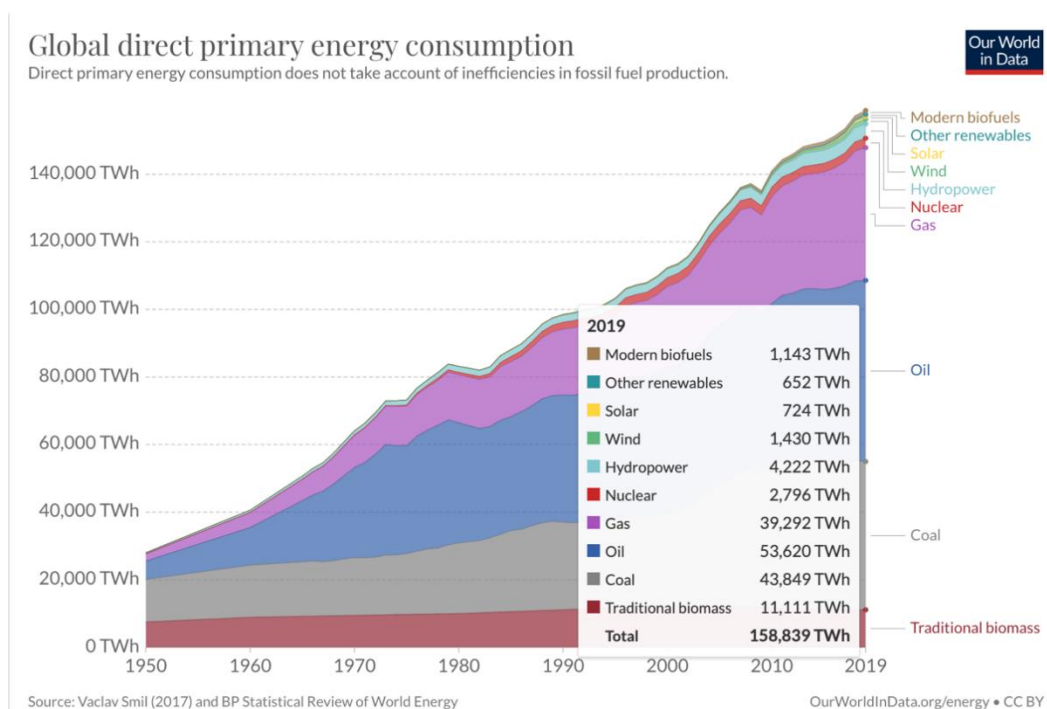
Στο **όγδοο κεφάλαιο** δίνεται συγκεντρωμένη η ενεργειακή και τεχνοοικονομική εικόνα μετά την εγκατάσταση του συστήματος των ΜΥΗΕ. Στην συνέχεια γίνεται σύγκριση των συγκεκριμένων χαρακτηριστικών με τα αντίστοιχα του υπάρχοντος έργου των Κρεμαστών.

Στο **ένατο κεφάλαιο** συνοψίζονται τα συμπεράσματα της εργασίας και παρατίθενται οι μελλοντικές προοπτικές της έρευνας.

2 Υδροηλεκτρική ενέργεια και συναφή έργα

2.1 Υδροηλεκτρική ενέργεια

Η πρόσβαση στην ενέργεια αποτελεί βασικό πυλώνα για την ανθρώπινη ευημερία, την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη και την καταπολέμηση της φτώχειας. Η παγκόσμια ζήτηση σε ενέργεια αυξάνεται με ραγδαίους ρυθμούς, καθιστώντας την επαρκή πρόσβαση σε όλους συνεχή πρόκληση αλλά και απαραίτητη προϋπόθεση για την εξέλιξη της ανθρωπότητας. Από το 1950 μέχρι το 2019 η παγκόσμια κατανάλωση σε ενέργεια έχει αυξηθεί από τις 28 TWh στις 159 TWh, αύξηση της τάξης του 468% (Our World in Data, 2020). Μάλιστα, σύμφωνα με τη Διαχειριστική Αρχή Ενεργειακών Πληροφοριών των Ηνωμένων Πολιτειών (U.S. Energy Information Administration), προβλέπεται περαιτέρω αύξηση της παγκόσμιας ζήτησης σε ενέργεια κατά 50% μέχρι το 2050. Η εν λόγω ραγδαία αύξηση στη ζήτηση, σε συνδυασμό με την παγκόσμια περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση, έχουν συμβάλει στη σταδιακή απομάκρυνση από τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα και στην επακόλουθη στροφή προς ανανεώσιμες πηγές, όπως η υδροηλεκτρική ενέργεια, η αιολική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια, η βιομάζα και η γεωθερμία. Συγκεκριμένα, το 2019 το 11% της συνολικής παγκόσμιας ενέργειας και το 26 % της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας προήλθε από ανανεώσιμες πηγές (Our World in Data, 2020).



Εικόνα 2.1: Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας 1950-2019 κατά είδος (στον πίνακα φαίνεται η κατανάλωση για το 2019 κατά είδος) (Our World in Data).

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα της Εικόνας (2.1), η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής ανανεώσιμης ενέργειας του πλανήτη, χάρη σε πληθώρα πλεονεκτημάτων που εμφανίζει σε σχέση με τις υπόλοιπες μορφές ενέργειας. Συγκεκριμένα το 16.3% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται πια από την υδροηλεκτρική, ενώ μόλις το 3.6% προέρχεται από τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές (Ardizzon *et al.*, 2014). Κάποια από τα

σημαντικότερα πλεονεκτήματα της υδροηλεκτρικής ενέργειας που συντελούν στην παραπάνω στατιστική εικόνα είναι τα εξής:

- Οι βαθμοί απόδοσης των υδροστρόβιλων των υδροηλεκτρικών έργων (ΥΗΕ) μπορούν να υπερβούν το 90%, τιμή πολύ μεγάλη σε σχέση με άλλες πηγές ενέργειας. Για παράδειγμα, η μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε ηλεκτρική έχει βαθμούς απόδοσης 30 – 40% και η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια 12 – 17%. Ακόμα και ο βαθμός απόδοσης των ορυκτών καυσίμων, ο οποίος γενικά είναι μεγαλύτερος του 70%, όταν γίνεται άμεση χρήση τους για παραγωγή θερμότητας, στην περαιτέρω μετατροπή της θερμότητας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ο ολικός βαθμός απόδοσης κυμαίνεται μεταξύ 35% και 50%.
- Οι υδατοπτώσεις είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και δεν αντιμετωπίζεται κίνδυνος εξάντλησής τους.
- Η διάρκεια οικονομικής ζωής των ΥΗΕ είναι μεγάλη της τάξεως των 50 ετών. Τα έργα πολιτικού μηχανικού από τα οποία απαρτίζονται έχουν χρόνο ζωής ως και 100 έτη.
- Τα ΥΗΕ εκμεταλλεύονται την φυσική ροή του ποταμού χωρίς να υποβαθμίζουν την ποιότητα του νερού. Ακόμη, δεν αφήνουν απόβλητα ή κατάλοιπα και δεν μολύνουν το περιβάλλον.
- Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί με ταμειυτήρες προσφέρουν ασύγκριτη λειτουργική ευελιξία, καθώς επιτρέπουν αναρρύθμιση των απορροών μέσω της αποθήκευσης, και συνεπώς μπορούν να ανταποκριθούν άμεσα στις διακυμάνσεις της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, τα έργα μεγάλης ισχύος λειτουργούν για την κάλυψη των αιχμών ισχύος του δικτύου κατά την διάρκεια των οποίων η αξία της KWh αιχμής είναι πολλαπλάσια της αξίας της KWh βάσης.
- Το νερό των ποταμών είναι εγχώριος πόρος, ο οποίος, σε αντίθεση με τα καύσιμα ή το φυσικό αέριο, δεν υπόκειται σε διακυμάνσεις της αγοράς. Επίσης, το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας δεν παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις και αφορά, ουσιαστικά, στις αποσβέσεις του έργου, αφού το κόστος λειτουργίας των ΥΗΕ είναι μικρό.
- Οι υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις φέρνουν υποδομές, όπως ηλεκτρικά δίκτυα και οδικά έργα, σε απομακρυσμένες κοινότητες, αναπτύσσοντας έτσι την οικονομία, επεκτείνοντας την πρόσβαση στην υγεία και την εκπαίδευση και βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής.
- Η κατασκευή ΥΗΕ συνδυάζεται συχνά με άλλες χρήσεις νερού, όπως άρδευση, ύδρευση, ρύθμιση πλημμύρας, αλιεία, αναψυχή, κλπ.
- Η εκμετάλλευση της υδραυλικής ενέργειας και η στροφή από τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα, έχει ήδη συμβάλει στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, αν και έχει αναπτυχθεί μόνο το 33% του διαθέσιμου υδροηλεκτρικού δυναμικού. Σήμερα η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτρέπει την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου (GHG) που αντιστοιχεί στην καύση 4,4 εκατομμυρίων βαρελιών πετρελαίου ανά ημέρα παγκοσμίως (U.S. Geological Survey, 2020).

Κάποια από τα παραπάνω οφέλη της εκμετάλλευσης της υδραυλικής ενέργειας είναι γνωστά στον άνθρωπο εδώ και χιλιετίες. Η σύλληψη των πρώτων κατασκευών για την ενεργειακή αξιοποίηση του νερού προήλθαν από την Κίνα κατά τη διάρκεια της δυναστείας των Χαν μεταξύ 202 π.Χ. και 9 μ.Χ. Η παραγόμενη ενέργεια χρησιμοποιήθηκε τότε για το λιώσιμο και ξεφλούδισμα των

σπόρων, για το σπάσιμο των μεταλλευμάτων και την πρόιμη κατασκευή χαρτιού. Οι βασικές εξελίξεις στην τεχνολογία υδροηλεκτρικής ενέργειας συνέβησαν πολύ αργότερα στο πρώτο μισό του δέκατου ένατου αιώνα. Το 1827, ο Γάλλος μηχανικός Benoit Fourneyron ανέπτυξε μια τουρμπίνα ισχύος περίπου 6 ίππων ($\approx 4.5 \text{ KW}$). Το πρώτο υδροηλεκτρικό έργο στον κόσμο χρησιμοποιήθηκε για την τροφοδοσία ενός μόνο λαμπτήρα στο Northumberland της Αγγλίας, το 1878. Τέσσερα χρόνια αργότερα, το πρώτο εργοστάσιο που εξυπηρετούσε ένα σύστημα ιδιωτικών και εμπορικών πελατών άνοιξε στο Ουισκόνσιν των ΗΠΑ και εντός μιας δεκαετίας λειτουργούσαν εκατοντάδες υδροηλεκτρικές μονάδες, καθώς η νέα τεχνολογία εξαπλώθηκε σε όλο τον κόσμο.

Τον εικοστό αιώνα, και ειδικά στην μεταπολεμική περίοδο, η υδροηλεκτρική ενέργεια χαμηλού κόστους θεωρήθηκε ως ένας από τους καλύτερους τρόπους για την κάλυψη της αυξανόμενης ενεργειακής ζήτησης, συχνά συνδεδεμένης με την ανάπτυξη βιομηχανιών όπως τα χυτήρια αλουμινίου και τα χαλβουργεία. Η κατασκευή ΥΗΕ έκανε ένα βήμα πίσω κατά τις δεκαετίες του '80 και του 90 όμως, προς το τέλος του αιώνα, εποχή κατά την οποία η παγκόσμια κατανόηση αυξήθηκε για τις περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις, υπήρξε μια διαδικασία επανεκτίμησης της αξίας και του ρόλου της υδροηλεκτρικής ενέργειας στην παγκόσμια ανάπτυξη. Το 2000, μια έκθεση ορόσημο που δημοσιεύθηκε από την Παγκόσμια Επιτροπή για τα Φράγματα (WCD) αμφισβήτησε τις υπάρχουσες πρακτικές και έδωσε έναυσμα για αλλαγή στον προγραμματισμό και την ανάπτυξη της υδροηλεκτρικής ενέργειας, με εστίαση στην αειφόρο ανάπτυξη και την εξέλιξη των τοπικών κοινοτήτων. Μεταξύ των ετών 2000 και 2017, σχεδόν 500 GW εγκατεστημένης ισχύος υδροηλεκτρικής ενέργειας προστέθηκαν παγκοσμίως, που αντιστοιχούν σε αύξηση 65%, με την αύξηση από το 2010 να ξεπερνά ήδη αυτή που καταγράφηκε την πρώτη δεκαετία του αιώνα.

Σημειώνεται πως τα προαναφερθέντα ιστορικά στοιχεία της υδροηλεκτρικής ενέργειας έχουν ληφθεί από τη Διεθνή Ένωση Υδροηλεκτρικής Ενέργειας (International Hydropower Association, 2020).

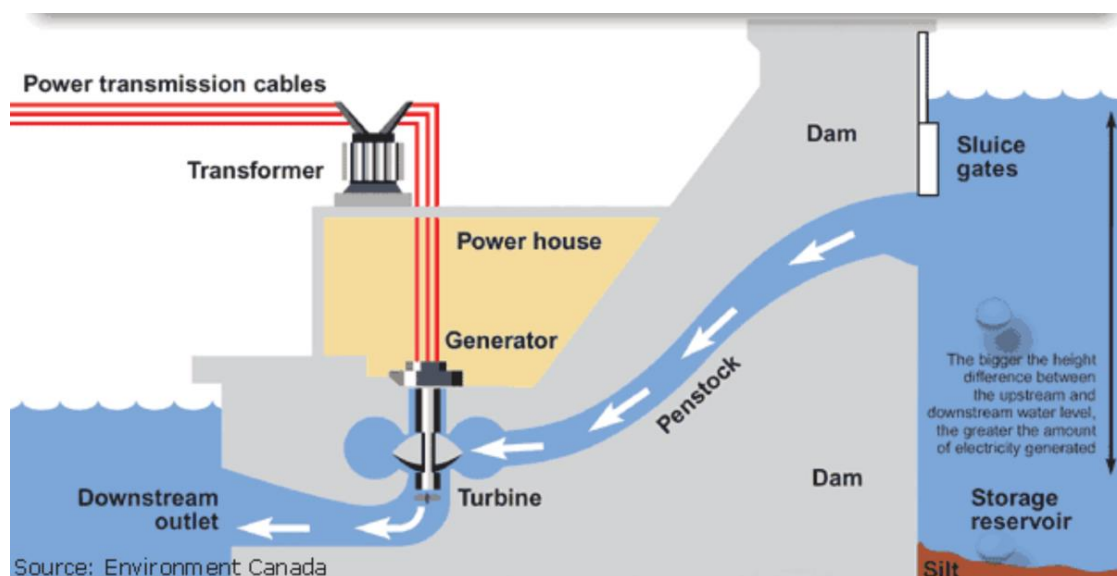
Η υδροηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται εδώ και αιώνες και προβλέπεται να παραμείνει και στο μέλλον η μεγαλύτερη πηγή ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο. Η συνολική παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς υδροηλεκτρικών έργων θα πρέπει να αυξηθεί κατά 800 GW τις επόμενες δύο δεκαετίες, προκειμένου να επιτευχθούν οι κύριες ενεργειακές συνιστώσες των Στόχων Αειφόρου Ανάπτυξης, όπως αυτοί τέθηκαν από τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών (IHA, 2020). Στην Ελλάδα η εγκατεστημένη ισχύς των ΥΗΕ ανέρχεται περίπου στα 3500 MW και εξασφαλίζει το 10% περίπου της ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας (Μαμάσης και Κουτσογιάννης, 2019· Μαμάσης κ.ά., 2018).

2.2 Υδροηλεκτρικά έργα

2.2.1 Λειτουργία και κατηγοριοποίηση υδροηλεκτρικών έργων

Τα υδροηλεκτρικά έργα αξιοποιούν την υδροδυναμική ενέργεια, μέσω μετατροπής της πρώτα σε υδραυλική, στη συνέχεια σε μηχανική (ενέργεια περιστροφής των στροβίλων), και στην συνέχεια σε ηλεκτρική, μέσω γεννήτριας. Η λειτουργία των υδροηλεκτρικών μονάδων βασίζεται στην κίνηση του νερού λόγω της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ των σημείων εισόδου και εξόδου. Η ποσότητα της παραγόμενης ενέργειας εξαρτάται τόσο από την προαναφερθείσα υψομετρική

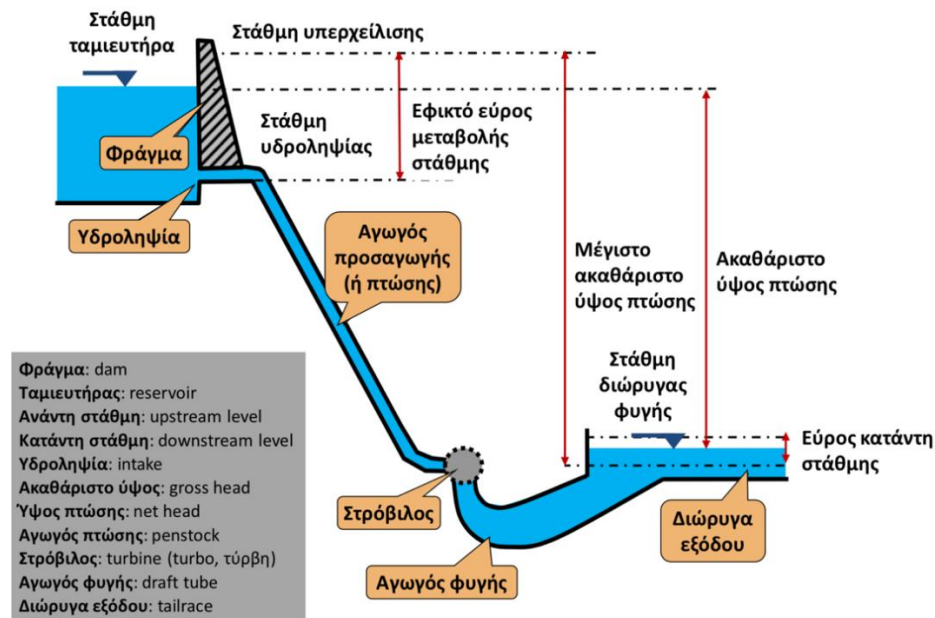
διαφορά, όσο και από την ποσότητα του νερού που διέρχεται από τους στροβίλους. Για το λόγο αυτόν μόνο σε περιοχές με σημαντικές βροχοπτώσεις, πλούσιες πηγές και κατάλληλη γεωλογική διαμόρφωση είναι δυνατόν να κατασκευαστούν υδροηλεκτρικά έργα (Wikipedia, 2020).



Εικόνα 2.2: Συνήθης διάταξη ΥΗΕ με φράγμα (U.S. Geological Survey).

Όσον αφορά στις παραπάνω αρχές λειτουργίας, τα υδροηλεκτρικά έργα δεν διαφέρουν μεταξύ τους. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν κατηγορίες που αφορούν τόσο το μέγεθος, όσο και την διάταξη και τον τρόπο αξιοποίησης της υδροδυναμικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, τα υδροηλεκτρικά έργα διαχωρίζονται σε μεγάλα ή μικρά, με βάση την εγκατεστημένη ισχύ τους και δευτερευόντως με βάση το ύψος πτώσης του νερού. Σύμφωνα τη νομοθεσία, ένα υδροηλεκτρικό έργο χαρακτηρίζεται ως μικρό αν η εγκατεστημένη ισχύς του είναι μικρότερη των 15 MW. Το όριο αυτό εφαρμόζεται τώρα και στην Ελλάδα, ενώ σε άλλες χώρες εφαρμόζονται όρια από 5 έως 15 MW (Μαμάσης κ.ά., 2018). Υποκατηγορίες των ΜΥΗΕ αποτελούν τα έργα εγκατεστημένης ισχύος μέχρι 0.01 MW (pico), μέχρι 0.1 MW (micro) και μέχρι 1 MW (mini) (Mbaka και Mwaniki, 2017). Με βάση το ύψος πτώσης κατηγοριοποιούνται ως εξής:

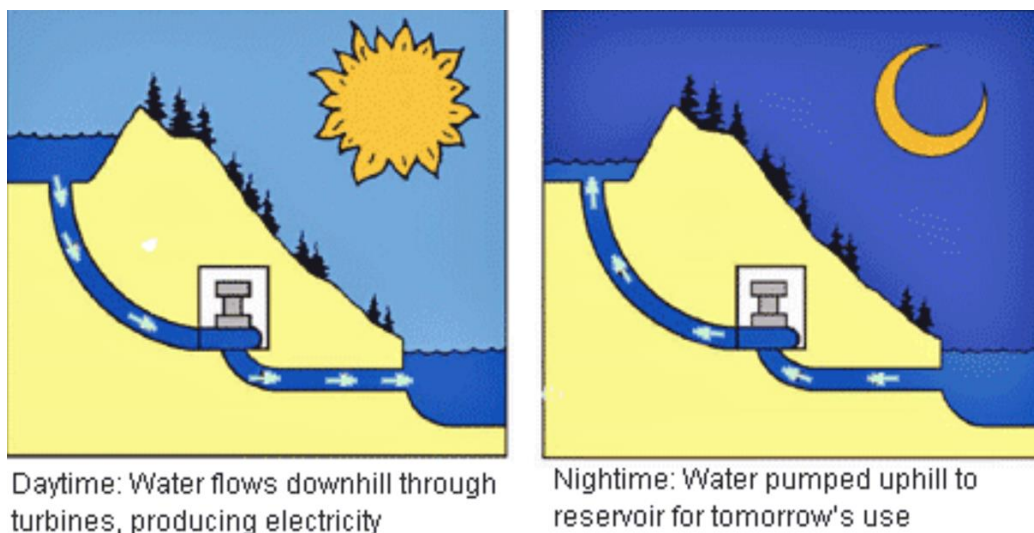
- Έργα μικρού ύψους, για $H < 30$ m
- Έργα μεσαίου ύψους, για $30 \text{ m} < H < 200\text{-}300$ m
- Έργα μεγάλου ύψους, για $H > 200\text{-}300$ m



Εικόνα 2.3: Κύρια έργα πολιτικού μηχανικού και χρήσιμη ορολογία υδροηλεκτρικών έργων με ταμιευτήρα (Ευστρατιάδης κ.ά., 2019).

Μια ακόμα ενδιαφέρουσα κατηγοριοποίηση των ΥΗΕ είναι με βάση την χρονική κατανομή της παραγόμενης ενέργειας. Στα έργα βάσης, οι στρόβιλοι βρίσκονται σε συστηματική λειτουργία και διοχετεύεται ενέργεια στο σύστημα στο μεγαλύτερο διάστημα του χρόνου. Αντίθετα, τα έργα αιχμής επιδιώκουν την παροχή ενέργειας στα διασυνδεδεμένα ηλεκτρικά δίκτυα μόνο κατά τις ώρες αιχμής της ενεργειακής ζήτησης. Έτσι λειτουργούν συνήθως ΥΗΕ υψηλής εγκατεστημένης ισχύος με μεγάλης χωρητικότητας ανάντη ταμιευτήρες, μέσω των οποίων ετεροχρονίζεται κατά βούληση η παραγωγή ενέργειας από τις φυσικές εισροές. Υποκατηγορία των έργων αιχμής αποτελούν και τα έργα αντιστρεπτής λειτουργίας, τα οποία στοχεύουν στην παραγωγή ενέργειας τις ώρες αιχμής της ζήτησης και στην άντληση τις ώρες περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας. Τα έργα αυτά αποτελούνται συνήθως από δύο ταμιευτήρες σε διαφορετικά υψόμετρα και αντλούν νερό από τον ταμιευτήρα χαμηλότερου υψόμετρου («φόρτιση») κατά τις περιόδους μικρής ζήτησης και στην συνέχεια το χρησιμοποιούν για την παραγωγή ενέργειας («εκφόρτιση») κατά τις περιόδους αιχμής. Η παραπάνω διαδικασία αξιοποιεί τη διαθέσιμη υδροδυναμική ενέργεια μεταξύ των δεξαμενών, όπως μια συμβατική μονάδα υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύονται ο σχεδιασμός, η λειτουργία και η αξιοποίηση μικρών υδροηλεκτρικών έργων χωρίς μεγάλο ταμιευτήρα, και πολλές φορές χωρίς καθόλου ταμιευτήρα. Τα μικρά ΥΗΕ, λόγω ακριβώς του μεγέθους τους, δεν έχουν την δυνατότητα ανακούφισης των αιχμών ισχύος και έτσι ο σχεδιασμός τους έχει ως κύριο γνώμονα την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης. Η ύπαρξη ανάντη ταμιευτήρα στα εν λόγω έργα θα ήταν ωφέλιμη αν η τιμολόγηση της πώλησης της παραγόμενης ενέργειας διαφοροποιούνταν μεταξύ ωρών αιχμής και ωρών χαμηλής κατανάλωσης. Κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει στην Ελλάδα, όπου η παραγόμενη ενέργεια από ΜΥΗΕ τιμολογείται ενιαία για ολόκληρο το 24ωρο ως ανανεώσιμη. Στις παρακάτω παραγράφους δίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά των ΜΥΗΕ πάνω στην κοίτη του ποταμού και των ΜΥΗΕ εκτός κοίτης (run-of-river), που αποτελούν τους δύο τύπους μικρών έργων που εστιάζει η εργασία μας.



Εικόνα 2.4: Αναπαράσταση λειτουργίας ΥΗΕ αντιστρεπτής λειτουργίας (U.S. Geological Survey).

2.2.2 ΜΥΗΕ πάνω στην κοίτη

Τα ΜΥΗΕ πάνω στην κοίτη αξιοποιούν τις μεγάλες απορροές του ποταμού για την παραγωγή ενέργειας. Το κύριο έργο πολιτικού μηχανικού που απαιτείται για τέτοιες κατασκευές είναι ένα χαμηλό φράγμα, που χρησιμοποιείται για να εξασφαλίσει ένα μικρό ύψος πτώσης του νερού. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το φράγμα χρησιμοποιείται στις μεγάλες εγκαταστάσεις ώστε να καλυφθούν οι αιχμές της ενεργειακής ζήτησης. Αντιθέτως, ο σκοπός του φράγματος στα ΜΥΗΕ, όπως αναφέρει ο Παπαντώνης (2016, σ. 72) « [...] δεν είναι ο σχηματισμός μεγάλου ταμιευτήρα αλλά η εξασφάλιση ομαλών συνθηκών στην υδροληψία, ώστε να μην εισέρχονται στο σύστημα προσαγωγής φερτά υλικά του υδατορεύματος ή αέρας τα οποία θα μπορούσαν να φτάσουν μέχρι τον υδροστρόβιλο και θα είχαν ως αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της λειτουργίας του ή την πρόωρη φθορά του». Ως εκ τούτου, οι εν λόγω εγκαταστάσεις δεν περιλαμβάνουν έργα συλλογής και αποθήκευσης νερού μεγάλης κλίμακας ούτε την κατασκευή μεγάλων φραγμάτων, συνεπώς είναι αρκετά συμβατές με το περιβάλλον, δεν προκαλούν οπτική όχληση και αντίθεση του κοινού.

Εκτός από το φράγμα μια ΜΥΗΕ πάνω στην ροή απαρτίζεται από τα ακόλουθα έργα πολιτικού μηχανικού:

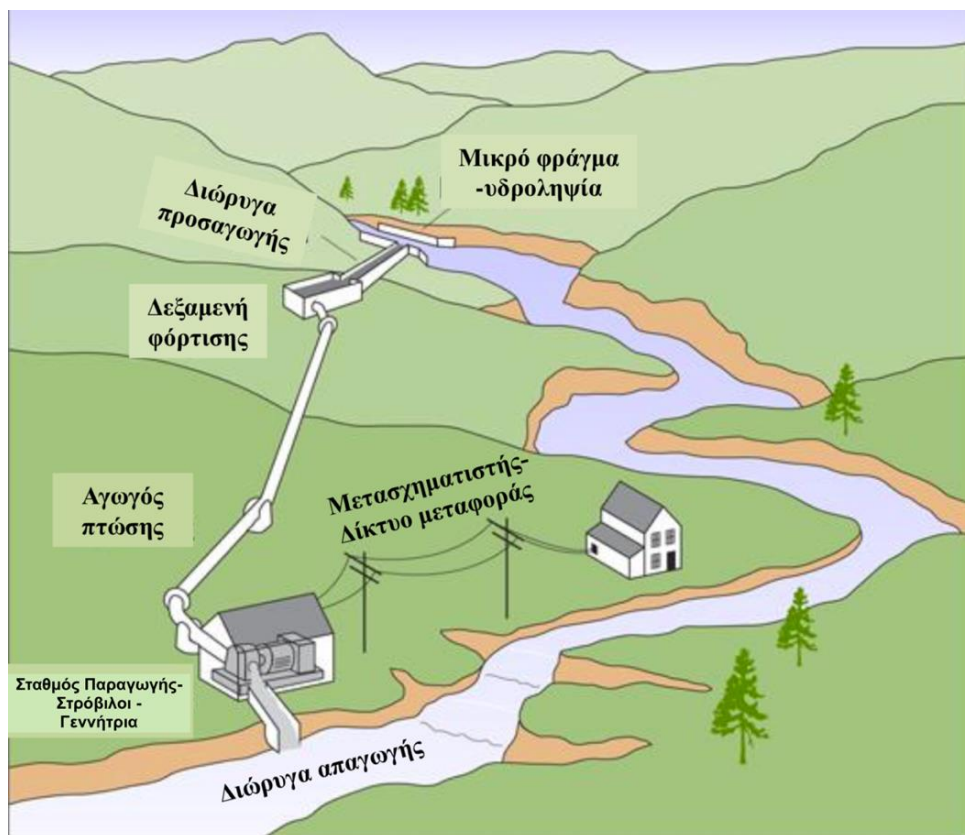
- Υπερχειλιστής ο οποίος είναι ουσιαστικά ενσωματωμένος στο φράγμα και λειτουργεί για την ελεγχόμενη διόδευση πλημμυρικών παροχών του ποταμού ώστε η στάθμη του ταμιευτήρα να μην υπερβεί το ανώτατο σημείο του φράγματος (στέψη) όπως φαίνεται στην Εικόνα (2.4). Μια σχετικά νέα πρακτική για την αύξηση του ύψους πτώσης σε ΜΥΗΕ αποτελεί η ενσωμάτωση βαθμιαία ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων (fusegates) επί του φράγματος-υπερχειλιστή, τα οποία ανατρέπονται σταδιακά, χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, σε περίπτωση πολύ μεγάλων εισροών στον ταμιευτήρα.
- Υδροληψία, η οποία είναι το στόμιο μέσω του οποίου το νερό εισέρχεται στον αγωγό προσαγωγής. Σε ορισμένες περιπτώσεις ΜΥΗΕ η υδροληψία συνοδεύεται και από την δεξαμενή εξάμμωσης.

- Αγωγός προσαγωγής (ή πτώσης), ο οποίος μεταφέρει την παροχή από την υδροληψία στους στροβίλους υπό πίεση. Ο αγωγός κατασκευάζεται συνήθως από χάλυβα ή ενισχυμένο πλαστικό.
- Εκκενωτής πυθμένα, μέσω του οποίου εκκενώνεται ο ταμιευτήρας σε περίπτωση ανάγκης ή συντήρησης. Συχνά μέσω του εκκενωτή πυθμένα διοχετεύεται η οικολογική παροχή για την συντήρηση του οικοσυστήματος κατάντη της εγκατάστασης.
- Λεκάνη-δεξαμενή ηρεμίας κατάντη του φράγματος για την αποτόνωση της ενέργειας του νερού από τον υπερχειλιστή, σε περίπτωση πλημμύρας.
- Δευτερεύοντα έργα, η εγκατάσταση των οποίων έγκειται στις ανάγκες της εκάστοτε εγκατάστασης όπως διώρυγα έκπλυσης φερτών, δίοδος ιχθύων, διώρυγα μικρών σκαφών.

2.2.3 ΜΥΗΕ εκτός κοίτης

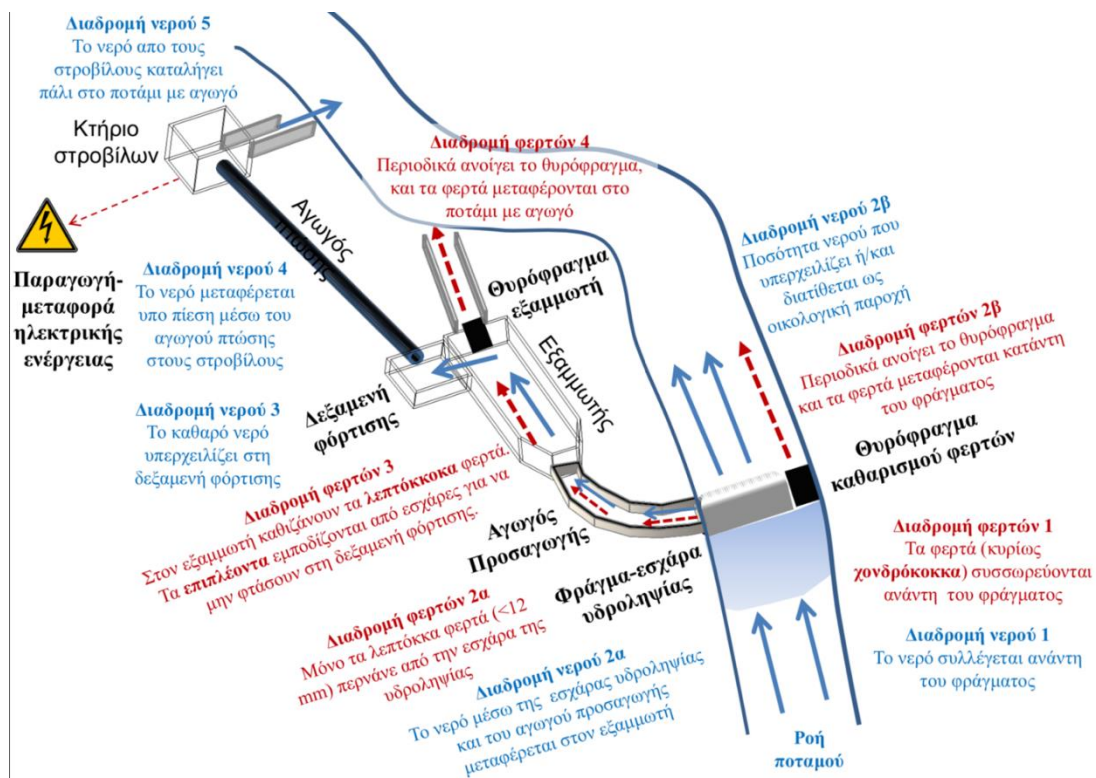
Σε αντίθεση με τα ΜΥΗΕ πάνω στην κοίτη, τα έργα εκτός κοίτης ή έργα εκτροπής (Run-of-river) έχουν ως χαρακτηριστικό τις σχετικά μικρές παροχές σε συνδυασμό με μεγάλα ύψη πτώσης. Τα συγκεκριμένα υδραυλικά έργα συνήθως κατασκευάζονται εκτός του κύριου ρου μεγάλων ποταμών, σε θέσεις πάνω στους παραποτάμους, οι οποίες τοπογραφικά παρέχουν μεγάλες υψομετρικές διαφορές. Έτσι οι περισσότερες από τις τοποθεσίες που είναι ιδανικές για τέτοια έργα βρίσκονται σε ορεινές περιοχές με απότομες κλίσεις και μόνιμη ροή νερού. Η κατασκευή φράγματος δεν είναι απαραίτητη σε αυτόν τον τύπο έργου, γεγονός που το διαφοροποιεί από οποιαδήποτε άλλη υδροηλεκτρική εγκατάσταση. Βέβαια, αντί του φράγματος είναι αναγκαία κάποια άλλα τεχνικά έργα. Η τυπική διάταξη ενός ΜΥΗΕ εκτός της κοίτης φαίνεται στη Εικόνα (2.6) και παρακάτω αναλύονται τόσο η λειτουργία του όσο και τα επιμέρους έργα που το απαρτίζουν.

Στα run-of-river συστήματα, το σημείο υδροληψίας βρίσκεται μακριά από τον σταθμό παραγωγής ενέργειας, ώστε να επιτευχθεί η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη υψομετρική διαφορά μεταξύ τους και κατ' επέκταση το μεγαλύτερο ύψος πτώσης για το νερό. Με μικρό έργο υδροληψίας, γίνεται εκτροπή του νερού από τον κύριο ρου του παραπόταμου μέσω καναλιού βαρύτητας, με ελεύθερη επιφάνεια και μικρή κλίση, το οποίο ονομάζεται διώρυγα εκτροπής ή προσαγωγής. Η διώρυγα εκτροπής είναι συνήθως τραπεζοειδούς ή ορθογωνικής διατομής. Στην αρχή της υπάρχει συνήθως εσχάρα που επιτρέπει την είσοδο μόνο στα λεπτόκοκκα φερτά (< 12 mm) τα οποία καθιζάνουν στην συνέχεια στην διάταξη του εξαμμοτή (η πορεία των φερτών φαίνεται αναλυτικά στην Εικόνα (2.7)). Στο άκρο της διώρυγας προσαγωγής διαμορφώνεται η λεγόμενη δεξαμενή φόρτισης, η οποία αποσκοπεί στην απρόσκοπτη τροφοδοσία του αγωγού πτώσης και των στροβίλων κατά την φάση της εκκίνησης της εγκατάστασης. Επίσης, λόγω των μικρών ταχυτήτων ροής μέσα στην δεξαμενή φόρτισης, λειτουργεί και ως δεύτερος εξαμμοτής, πριν την τελική διοχέτευση του νερού προς τους στροβίλους.



Εικόνα 2.5: Τυπική διάταξη ΜΥΗΕ τύπου run-of-river (Μαμάσης κ.ά., 2018, μορφοποιημένο).

Μετά την δεξαμενή φόρτισης η ροή συνεχίζει μέσω του αγωγού πτώσης, ο οποίος συνήθως είναι χαλύβδινος ή πλαστικός σωλήνας που μεταφέρει το νερό υπό πίεση. Προτιμάται συνήθως οι αγωγοί πτώσης να κατασκευάζονται υπόγεια, μέσα σέ όρυγμα, για την καλύτερη προστασία τους από φθορές και την αρμονικότερη ενσωμάτωσή τους στο φυσικό τοπίο. Από τον αγωγό πτώσης η ροή καταλήγει στον σταθμό παραγωγής, κτήριο που περιέχει τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαμόρφωση και το κόστος του εν λόγω κτηρίου εξαρτάται από πληθώρα παραγόντων, όπως η παροχή σχεδιασμού της εγκατάστασης, το ύψος πτώσης του νερού αλλά και η διάταξη των υδροστροβίλων και οι εκσκαφές. Τελικά, μέσω μικρής διώρυγας βαρύτητας, που ονομάζεται διώρυγα απαγωγής, η ροή επιστρέφει στον κύριο ρου του υδατορεύματος.

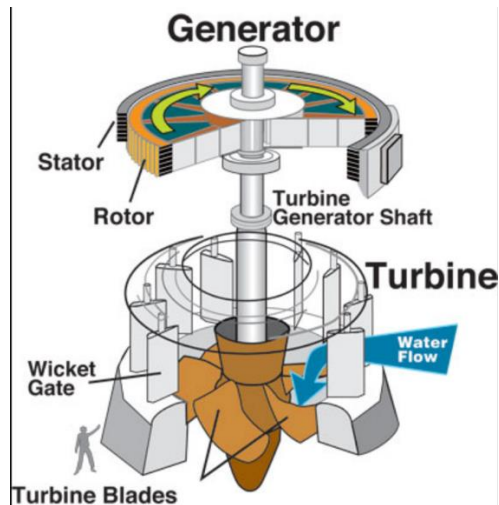


Εικόνα 2.6: Διαδρομές νερού και φερτών σε διάταξη run-of-river (Μαμάσης κ.ά., 2018).

2.3 Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός – Υδροστρόβιλοι

2.3.1 Τυπικός Η/Μ εξοπλισμός υδροηλεκτρικών έργων

Εκτός από τα έργα πολιτικού μηχανικού, η λειτουργία ενός ΥΗΕ εξαρτάται άμεσα και από τον εγκατεστημένο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό. Τα δύο σημαντικότερα μέρη αυτού είναι οι υδροστρόβιλοι (turbines) και η ηλεκτρογεννήτρια (generator), όπως φαίνονται στην Εικόνα (2.2). Ο υδροστρόβιλος μετατρέπει την ενέργεια του ρέοντος νερού σε μηχανική ενέργεια, ενώ η ηλεκτρογεννήτρια μετατρέπει αυτή τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Η λειτουργία μιας γεννήτριας βασίζεται στις αρχές που ανακαλύφθηκαν από τον Φαραντέι, σύμφωνα με τις οποίες εάν ένα πηνίο περιστραφεί μέσα σ' ένα μαγνητικό πεδίο, τότε στις άκρες του πηνίου παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Πιο αναλυτικά, η γεννήτρια αποτελείται από το σταθερό της μέρος που λέγεται στάτορας, στο οποίο υπάρχουν μαγνήτες και το κινητό μέρος που λέγεται ρότορας, στο οποίο υπάρχουν πηνία. Η ενέργεια του νερού που πέφτει από μεγάλο υψόμετρο περιστρέφει τον υδροστρόβιλο ο οποίος με την σειρά του θέτει σε κίνηση τον ρότορα. Αναλυτικότερη αναφορά στην λειτουργία των υδροστροβίλων γίνεται στην συνέχεια. Επισημαίνεται, πως εκτός των δύο προαναφερθέντων κύριων μελών του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, μια υδροηλεκτρική εγκατάσταση έχει και ανάγκες σε δευτερεύοντα ή βοηθητικό εξοπλισμό, όπως είναι ο ρυθμιστής στροφών, οι μετασχηματιστές, οι ηλεκτρικοί πίνακες και τα ανυψωτικά μηχανήματα.



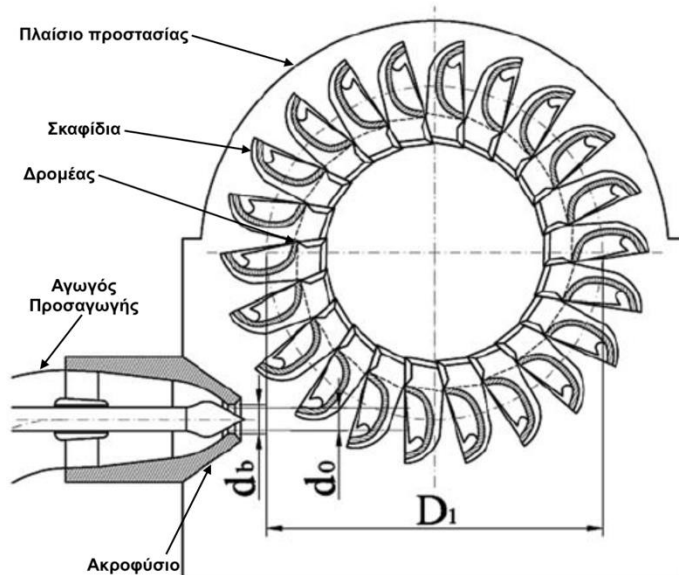
Εικόνα 2.7: Διάγραμμα συστήματος υδροστροβίλου (turbine) και ηλεκτρογεννήτριας (generator) (U.S. Army Corps of Engineers).

2.3.2 Στρόβιλοι Δράσης

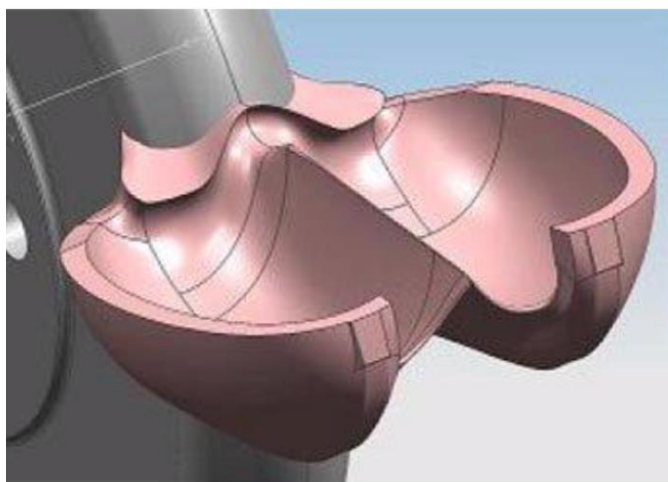
Οι στροβιλομηχανές δράσης (impulse turbines) αποτελούνται από έναν δρομέα (runner) με σκαφίδια (buckets), που τίθενται σε κίνηση μέσω του νερού, το οποίο εκτοξεύεται από ακροφύσια (nozzles). Τα ακροφύσια προσδίδουν στο νερό ταχύτητες που φτάνουν τα 100 ως 150 m/s, ενώ η ταχύτητες στον αγωγό προσαγωγής δεν υπερβαίνουν τα 4 ως 6 m/s. Με αυτόν τον τρόπο η δυναμική ενέργεια πτώσης του νερού μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια, η οποία με την σειρά της μετατρέπεται σε περιφερειακή ταχύτητα του τροχού κατά την πρόσκρουση του νερού στα σκαφίδια. Τα σκαφίδια σχεδιάζονται έτσι ώστε να απορροφούν όσο το δυνατό περισσότερη από την κινητική ενέργεια του νερού, για να διατηρούν την ταχύτητα εξόδου όσο το δυνατό μικρότερη. Η ταχύτητα περιστροφής του τροχού πρέπει να είναι υποδιπλάσια της ταχύτητας του νερού.

Η τυπικότερη κατηγορία υδροστροβίλων δράσης είναι η μηχανή Pelton, η οποία αναπτύχθηκε το 1880 από τον Αμερικάνο εφευρέτη Lester Allan Pelton (IHA, 2020). Συνήθως, αυτός ο τύπος χρησιμοποιείται όταν η υδατόπτωση γίνεται από μεγάλα ύψη αλλά η παροχή είναι μικρή. Σε στροβίλους τέτοιας κατηγορίας, το νερό προσκρούει στα σκαφίδια και μεταφέρει περίπου το 97% της κινητικής του ενέργειας στην περιστροφική ενέργεια του δρομέα. Μέσω ειδικής διάταξης του ακροφυσίου, η φλέβα νερού διασπάται σε δύο ίσα μέρη, τα οποία εκτοξεύονται προς το εκάστοτε σκαφίδιο, όπως φαίνεται στην Εικόνα (2.9). Ο διαχωρισμός τόσο της ροής όσο και των σκαφιδίων σε δύο τμήματα συμβάλει στην ελαχιστοποίηση των απωλειών ενέργειας.

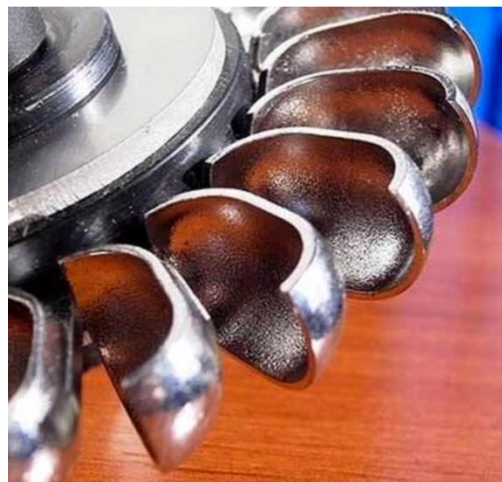
Ένας επίσης δημοφιλής τύπος υδροστροβίλου δράσης είναι ο Turgo, ο οποίος αναπτύχθηκε από τον Gilkes το 1919, με βάση τον στρόβιλο Pelton. Στον εν λόγω τύπο, η δέσμη του νερού προσπίπτει στον δρομέα υπό κλίση, ο οποίος χρησιμοποιεί ένα αντί για δύο πτερύγια, τα οποία είναι στενότερα και οικονομικότερα από τα αντίστοιχα του στροβίλου Pelton. Ενδείκνυται για σημαντικό εύρος μέσων και μεγάλων υψών πτώσης (15-300 m), καθώς και για μεγάλο εύρος παροχών, αφού εμποδίζεται η αλληλεπίδραση του εκτοξευόμενου νερού μεταξύ των διαδοχικών πτερυγίων. Σε σχέση με τον τύπο Pelton παρατηρείται μικρή πτώση του βαθμού απόδοσης ο οποίος είναι $\approx 87\%$.



Εικόνα 2.8: Σχηματική αναπαράσταση τυπικής διάταξης στροβίλου δράσης (Rossetti *et al.*, 2013, μορφοποιημένο).



Εικόνα 2.9: Σκαφίδιο στροβίλου Pelton.



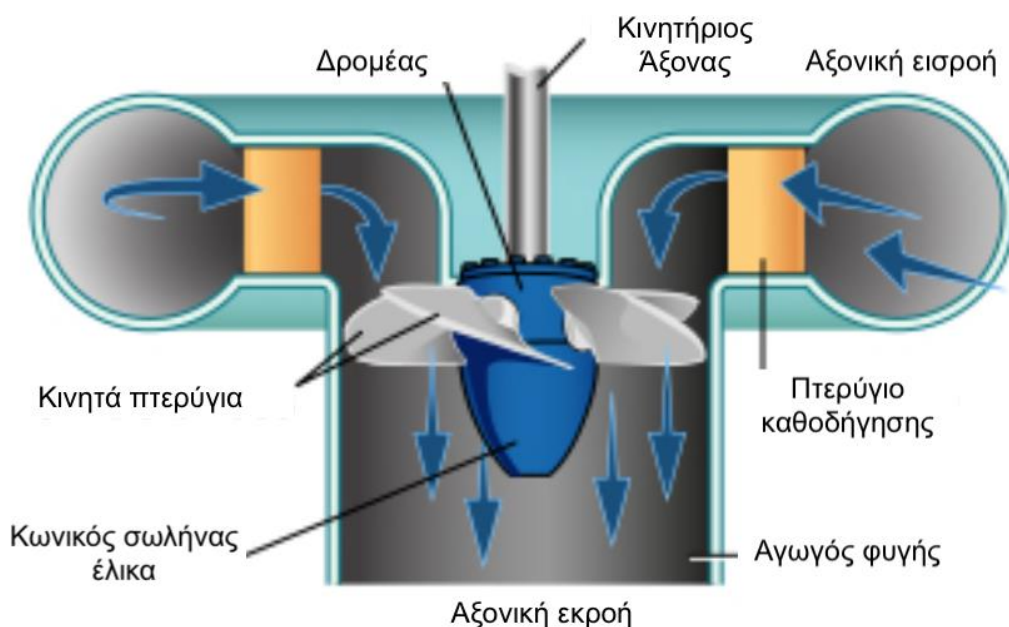
Εικόνα 2.10: Σκαφίδια στροβίλου Turgo.

2.3.3 Στρόβιλοι Αντίδρασης

Οι υδροστρόβιλοι αντίδρασης (reaction turbines) αποτελούνται από έναν δρομέα με πτερύγια, συνδεδεμένο σε κινητήριο άξονα. Ο δρομέας και τα πτερύγια τοποθετούνται σε περίβλημα που είναι πλήρως καλυμμένο με νερό και συνεπώς ο στρόβιλος βρίσκεται συνεχώς υπό πίεση. Η δυναμική ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια και πίεση, οι οποίες με την σειρά τους μετατρέπονται σε ταχύτητα περιστροφής του δρομέα και κατ' επέκταση του άξονα, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με την γεννήτρια όπως φαίνεται στην Εικόνα (2.5). Ο άξονας είναι συνήθως κατακόρυφος και το νερό εξέρχεται κατακόρυφα μέσα στον αγωγό φυγής.

Η συγκεκριμένη κατηγορία στροβίλων έχει την δυνατότητα μεταβολής της κλίσης των πτερυγίων, η οποία προσδίδει στον υδροστρόβιλο ευελιξία, ώστε να λειτουργεί με τον μέγιστο βαθμό απόδοσης στις διάφορες συνθήκες ύψους πτώσης και παροχής. Επίσης, για να μειωθεί η κινητική ενέργεια που παραμένει στο νερό στην έξοδο του στροβίλου, τοποθετείται κωνικός σωλήνας (ή διαχύτης) μεταξύ του στροβίλου και της επιφάνειας του νερού (draft tube). Οι στροβίλοι αντίδρασης εξασφαλίζουν υψηλότερο βέλτιστο βαθμό απόδοσης σε σχέση με τους στροβίλους δράσης, αλλά για μικρότερη περιοχή παροχών (Μάργαρης, 2015).

Ένας εκ των κύριων τύπων υδροστροβίλων αντίδρασης είναι ο Francis. Ο συγκεκριμένος τύπος αναπτύχθηκε από τον Άγγλο μηχανικό James Francis το 1849 και αποτελεί μέχρι σήμερα τον ευρύτερα χρησιμοποιούμενο τύπο υδροστροβίλου παγκοσμίως. Ο Francis είναι στρόβιλος αξονικής ή μικτής ροής και χρησιμοποιείται συνήθως για μέσα γεωδαιτικά ύψη (60 έως 150 m) και μέτριες παροχές. Σε αντίθεση με τον επίσης ευρέως διαδεδομένο στρόβιλο Kaplan, ο Francis αποτελείται από σταθερά πτερύγια στον δρομέα και είναι αντιπροσωπευτικός σαν μηχανή διαγώνιας (ημιαξονικής) ροής. Ο στρόβιλος αντίδρασης Kaplan αναπτύχθηκε από τον Αυστριακό καθηγητή Viktor Kaplan το 1913 και αποτελεί στρόβιλο αξονικής ροής. Χρησιμοποιείται συνήθως σε υδροηλεκτρικά έργα επί της κοίτης, με μικρά ύψη πτώσης νερού (≤ 30 m) και μεγάλες παροχές.



Εικόνα 2.11: Σχηματική αναπαράσταση στροβίλου Kaplan (Encyclopedia Britannica, μορφοποιημένο).

Επισημαίνεται σε αυτό το σημείο πως η επιλογή του καταλληλότερου τύπου υδροστροβίλου για κάθε έργο αποτελεί απόφαση υψίστης σημασίας για την οικονομική βιωσιμότητα του. Σε πολλές περιπτώσεις, για δεδομένη υδραυλική πτώση και παροχή σχεδιασμού η επιλογή του τύπου του υδροστροβίλου δεν είναι μονοσήμαντη. Στις περιπτώσεις αυτές λαμβάνονται υπόψη και άλλα κριτήρια, όπως το κόστος του υδροστροβίλου, το κόστος του αντίστοιχου υδροηλεκτρικού σταθμού στέγασης και το εύρος λειτουργίας του. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό υδροστρόβιλοι τύπου Kaplan και Pelton, η επιλογή των οποίων αναλύεται στις παραγράφους της τυποποίησης σχεδιασμού ΜΥΗΕ.

2.4 Χωροθέτηση μικρών υδροηλεκτρικών έργων

Η επιλογή της βέλτιστης θέσης κατασκευής ενός υδροηλεκτρικού έργου είναι μια σύνθετη διαδικασία που εξαρτάται από πληθώρα παραγόντων. Οι πιθανές θέσεις κατασκευής για την αξιοποίηση ενός υδατορεύματος είναι θεωρητικά άπειρες, και κάθε μια από αυτές αφορά ουσιαστικά ένα διαφορετικό τεχνικό έργο. Η χωροθέτηση στην περίπτωση των ΜΥΗΕ έγκειται στην βέλτιστη τοποθέτηση του φράγματος στην περίπτωση των έργων πάνω στην κοίτη, και στην τοποθέτηση της υδροληψίας και του σταθμού παραγωγής στα run-of-river έργα.

Σε ΜΥΗΕ των οποίων η λειτουργία προϋποθέτει την κατασκευή φράγματος, αυτό αποτελεί και το κύριο κριτήριο χωροθέτησης. Γενικότερα, τα δύο βασικά πλεονεκτήματα που αναζητούνται σε κάθε πιθανή θέση είναι η μεγάλη επιφανειακή απορροή και η υψηλή τιμή της υδραυλικής πτώσης, ώστε να μεγιστοποιηθεί η παραγωγή ενέργειας. Έτσι, σε έργα πάνω στην κοίτη μεγάλου ποταμού, όπου γενικά οι επιφανειακές απορροές είναι μεγάλες και τα ύψη πτώσης καθορίζονται ουσιαστικά από το ύψος του υπό κατασκευή φράγματος, ο καθοριστικός παράγοντας για την επιλογή της βέλτιστης θέσης του ΜΥΗΕ εξαρτάται από την βέλτιστη οικονομικά λύση για την κατασκευή του φράγματος. Για φράγματα σκληρού επιχώματος αυτή η επιλογή μπορεί να συνάδει με μια περιοχή που παρέχει τα απαραίτητα υλικά για την κατασκευή του φράγματος. Συνηθέστερα, τόσο για τους προαναφερθέντες τύπους όσο και για φράγματα από σκυρόδεμα, επιδιώκονται καταρχήν σημεία στα οποία η κοίτη έχει μικρό πλάτος και απότομες κλίσεις στα πλευρικά πρανή. Κάτι τέτοιο συμβάλει στην μειώσει του όγκου και, κατ' επέκταση, του κόστους του φράγματος το οποίο αποτελεί μεγάλο ποσοστό της συνολικής απόσβεσης του έργου.

Σε έργα run-of-river, τα οποία δεν απαιτούν την κατασκευή φράγματος, τα κριτήρια χωροθέτησης διαφοροποιούνται σημαντικά, αν και έχουν κοινό γνώμονα την ενεργειακή και οικονομική βελτιστοποίηση της επένδυσης. Σημαντικό μέρος του κόστους των εν λόγω έργων αποτελούν η διώρυγα εκτροπής και ο αγωγός πτώσης. Οι θέσεις της υδροληψίας και του σταθμού παραγωγής επιλέγονται έτσι ώστε να παρέχουν μεγάλο υδραυλικό ύψος πτώσης, σε όσο το δυνατόν μικρότερη μεταξύ τους απόσταση, ώστε να περιοριστεί η δαπάνη για την διώρυγα εκτροπής. Επίσης, προτιμώνται περιοχές με απότομες κλίσεις στο σημείο κατασκευής του αγωγού πτώσης ώστε να μειωθεί το μήκος και άρα το κόστος του. Είναι προφανές ότι τα παραπάνω κριτήρια πρέπει να συνοδεύονται από την ύπαρξη μιας επαρκούς λεκάνης απορροής ανάντη του σημείου υδροληψίας.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι τα παραπάνω κριτήρια ενεργειακής και οικονομικής βελτιστοποίησης οφείλουν να συνοδεύονται από κάποια κύρια κατασκευαστικά κριτήρια για την τελική επιλογή θέσης. Όπως επισημαίνουν οι Μίχας κ.ά. (2016), για κάθε θέση απαιτούνται:

- Έλεγχος των γεωλογικών δεδομένων·
- Έλεγχος των γεωτεχνικών δεδομένων·
- Έλεγχος των σεισμικών δεδομένων·
- Έλεγχος των περιβαλλοντικών δεδομένων και των επιπτώσεων του έργου·
- Έλεγχος των επιπτώσεων καταστροφικής αστοχίας·
- Έλεγχος των κοινωνικών δεδομένων·
- Έλεγχος των αναμενόμενων κατασκευαστικών συνθηκών (διαθέσιμα μέσα και έμπυχο δυναμικό).

2.5 Οικονομική ανάλυση μικρών υδροηλεκτρικών έργων

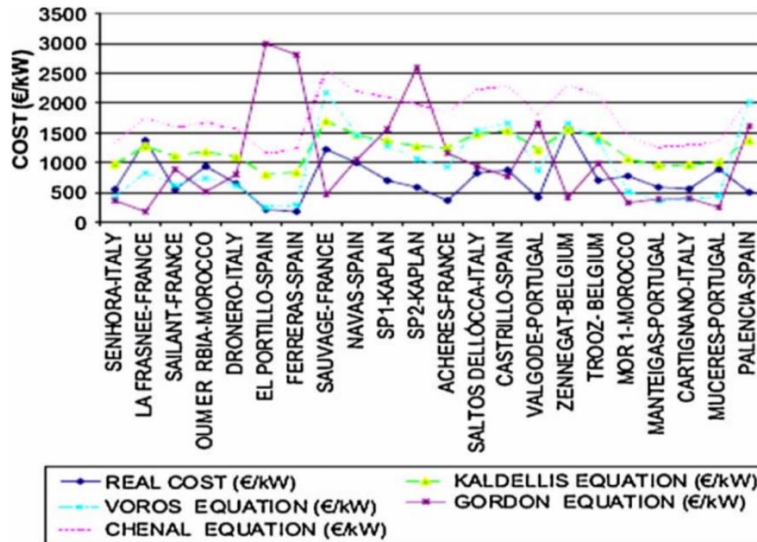
Η στροφή των τελευταίων δεκαετιών προς την υδροηλεκτρική ενέργεια έχει προτρέψει πληθώρα ερευνητών να ασχοληθούν με το θέμα του βέλτιστου σχεδιασμού, λειτουργίας και απόδοσης των μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, κύριος γνώμονας του σχεδιασμού ενός μικρού υδροηλεκτρικού έργου αποτελεί η οικονομική του βιωσιμότητα, και έτσι σε αυτήν την παράγραφο παρατίθενται κάποιες σημαντικές μελέτες για την οικονομική ανάλυση και πρόβλεψη του κόστους κατά την φάση του σχεδιασμού. Σε επόμενα κεφάλαια γίνεται εκτενής αναφορά στην τυποποιημένη μέθοδο κοστολόγησης και σχεδιασμού που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.

Οι Hosseini *et al.* (2005) μελέτησαν την βέλτιστη ισχύ και την επακόλουθη βέλτιστη ετήσια ενεργειακή παραγωγή. Ανέπτυξαν πρόγραμμα για την ανάλυση και εκτίμηση των οικονομικών δεικτών μιας μικρής υδροηλεκτρικής μονάδας, χρησιμοποιώντας τεχνικές ανάλυσης ευαισθησίας. Αναπτύχθηκε επίσης πρόγραμμα το οποίο, μέσω μεθόδου Monte Carlo, υπολογίζει τους δείκτες αξιοπιστίας διάφορων οικονομικών δεικτών, για συγκεκριμένες φορτίσεις της εγκατάστασης. Συνεπώς, η βέλτιστη ονομαστική ισχύς του ΜΥΗΕ καθορίστηκε μέσω σύγκρισης των τεχνικών και οικονομικών δεικτών καθώς και του βαθμού αξιοπιστίας. Επίσης, οι Minott and Delisser (1983) ασχολήθηκαν με την μείωση του κόστους των μερών ενός ΜΥΗΕ και πρότειναν, μεταξύ άλλων, την κατασκευή των αγωγών πτώσης από PVC ή ξύλο ή ενισχυμένο πολυεστέρα, την χρήση ηλεκτρονικών πομπών για τον έλεγχο της ταχύτητας του νερού και την χρήση ψηφιακών συσκευών για τον έλεγχο της τάσης του ρεύματος. Κατέληξαν πως το κόστος μπορεί να μειωθεί με την τυποποίηση μερών του έργου και τη μείωση της ποικιλίας εξοπλισμού που χρησιμοποιείται.

Οι Ogyar and Vidal (2009) χρησιμοποίησαν τις σχέσεις του Πίνακα (2.1) για τον καθορισμό του κόστους του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού ενός ΜΥΗΕ, συναρτήσει της εγκατεστημένης ισχύος του και του ύψους πτώσης. Σημειώνεται, πως η επιλογή της σωστής εξίσωσης έγκειται και στον προσδιορισμό του τύπου του στροβίλου που θα χρησιμοποιηθεί. Όπως οι Ogyar and Vidal, έτσι και πολλοί άλλοι ειδικοί ανέπτυξαν διαφορετικά μοντέλα για τον υπολογισμό της δαπάνης του Η/Μ εξοπλισμού μικρών υδροηλεκτρικών έργων. Αφού έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών των μοντέλων με το πραγματικό κόστος υπαρχόντων κατασκευών ανά τον κόσμο, τα αποτελέσματα φαίνονται στο διάγραμμα της Εικόνας (2.12), όπως αυτό παρουσιάστηκε στην δημοσίευση των Mishra *et al.* (2011). Τα μοντέλα που παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές με την πραγματικότητα είναι ιδιαίτερος χρήσιμα, τόσο στο πλαίσιο της προκαταρκτικής μελέτης και αξιολόγησης της επένδυσης όσο και σε περιπτώσεις ανακαινίσεων και ανακατασκευών.

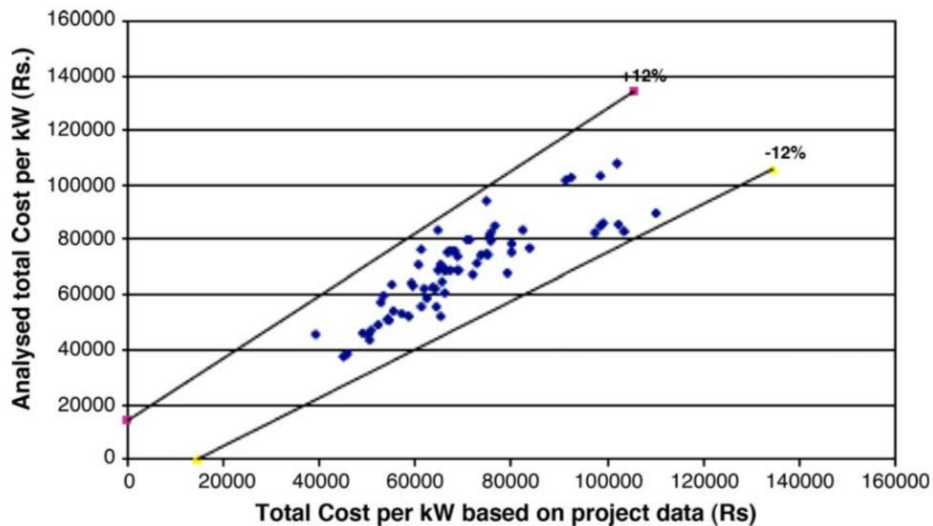
Πίνακας 2.1: Εμπειρικές σχέσεις κόστους Η/Μ εξοπλισμού (Ogyar and Vidal, 2009).

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



Εικόνα 2.12: Διάγραμμα σύγκρισης αληθινού κόστους Η/Μ εξοπλισμού και κόστους πρόβλεψης μέσω εξισώσεων (Mishra *et al.*, 2011).

Οι Singal and Saini (2008) ασχολήθηκαν με τον καθορισμό του κόστους των επιμέρους έργων που αποτελούν ένα ΜΥΗΕ συναρτήσει της εγκατεστημένης ισχύς του και του υδραυλικού ύψους πτώσης. Μελέτησαν συγκεκριμένα περιπτώσεις έργων πάνω σε κανάλια με συνεχή παροχή και μικρά υδραυλικά ύψη πτώσης. Επισήμαναν πως, εκτός της τεχνικής σκοπιμότητας, η οικονομική και χρηματοοικονομική πρόβλεψη και βιωσιμότητα είναι απαραίτητες για την λήψη αποφάσεων και την ανάπτυξη οποιουδήποτε ΜΥΗΕ. Από την μελέτη τους προέκυψε το διάγραμμα της Εικόνας (2.11), το οποίο δείχνει πως το συνολικό κόστος ενός νέου έργου, πάνω σε κανάλι, με μικρό ύψος πτώσης, μπορεί να προβλεφθεί με σφάλμα $\pm 12\%$. Το εν λόγω συμπέρασμα προέκυψε από σύγκριση του πραγματικού κόστους υπάρχοντων έργων με το αντίστοιχο προσομοιωμένο κόστος που πρότειναν οι Singal and Saini (2008).



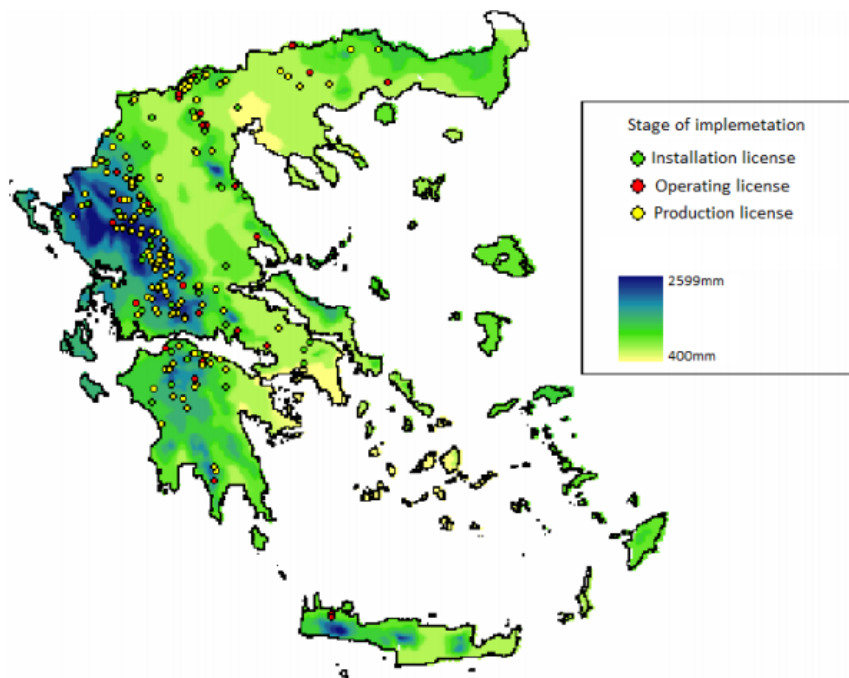
Εικόνα 2.13: Συμπερασματικό διάγραμμα μελέτης Singal and Saini (2008) για την κοστολόγηση ΜΥΗΕ σε κανάλι με μικρό ύψος πτώσης.

3 Υφιστάμενη κατάσταση στον ποταμό Αχελώο

3.1 Η υδροηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα

Με βάση υπολογισμούς που έχουν γίνει για την ανάπτυξη του υδροδυναμικού στην Ελλάδα, το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο υδροδυναμικό της χώρας μας ανέρχεται στις 12-15 TWh, ενώ έχει ήδη αξιοποιηθεί περίπου το 40 %. Περισσότερο πλούσιες σε υδροδυναμικό είναι οι δυτικές περιοχές της χώρας, λόγω των σημαντικών υδατοπτώσεων καθώς και του έντονου τοπογραφικού ανάγλυφου. Η ανάπτυξη του υδροδυναμικού της Ελλάδας ουσιαστικά συμπίπτει με την ίδρυση της ΔΕΗ (Δημοσία Επιχείρηση Ηλεκτρισμού) το 1950. Το πρώτο υδροηλεκτρικό έργο της χώρας είναι το ΜΥΗΕ του Γλαύκου στην Πάτρα εγκατεστημένης ισχύος μόλις 1.6 MW, το οποίο τέθηκε σε λειτουργία το 1927. Τα επόμενα χρόνια μέχρι το 1950, κατασκευάστηκαν κάποια πολύ μικρά έργα συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 6 MW. Η μεγάλη έξαρση σημειώθηκε από το 1950 έως το 1975, διάστημα κατά το οποίο κατασκευάστηκαν 8 μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 1410 MW. Σήμερα, η εγκατεστημένη ισχύς ανέρχεται στα 3500 MW και στην ΔΕΗ ανήκουν 15 μεγάλοι και 17 μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί.

Ο Παπαντώνης (2016, σ. 72) αναφέρει « [...] η έλλειψη μεγάλων ποταμών (στην Ελλάδα) με κατά το δυνατόν συνεχή και ομοιόμορφη παροχή δεν επιτρέπει την κατασκευή μεγάλων ΥΗΕ βάσεως». Όμως, όπως αναφέρει αργότερα, η ορεινή διαμόρφωση της χώρας συμβάλει στη δημιουργία μικρών υδατορευμάτων σε σημεία απότομων κλίσεων, των οποίων η υδραυλική πτώση μπορεί να εκμεταλλευτεί οικονομικά μέσω των ΜΥΗΕ. Τα 17 ΜΥΗΕ της ΔΕΗ αντιστοιχούν σε εγκατεστημένη ισχύ μόλις 65.35 MW, ενώ στην Εικόνα 3.1 δίνεται υψομετρικός χάρτης της Ελλάδας, που δείχνει τις τοποθεσίες μικρών υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων με άδεια. Στο αντίστοιχο αρχείο θετικών γνωμοδοτήσεων που δημοσίευσε η Ρ.Α.Ε. το 2010, ο παραπάνω αριθμός είχε φτάσει τις 304 αδειοδοτήσεις. Από τα στοιχεία που αναφέρθηκαν προκύπτει πως υπάρχει σημαντικό περιθώριο ανάπτυξης μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών στην Ελλάδα.



Εικόνα 3.1: Υψομετρικός χάρτης της Ελλάδας, που δείχνει τις τοποθεσίες μικρών υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων με άδεια.

3.2 Τα φράγματα του Αχελώου

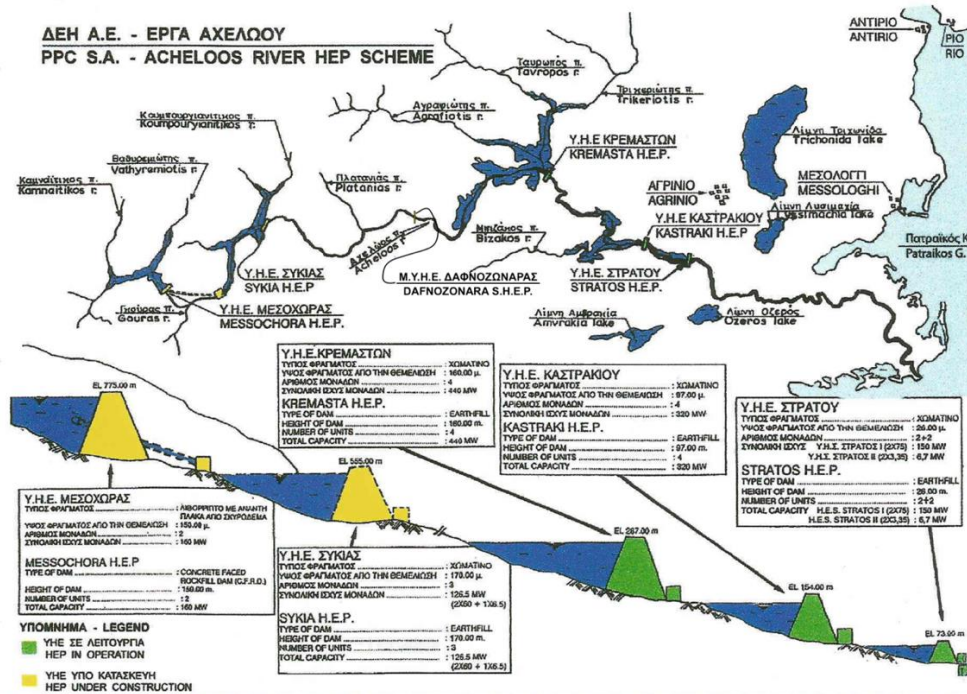
Ο ποταμός Αχελώος αποτελεί τον δεύτερο μεγαλύτερο σε μήκος ποταμό στην Ελλάδα μετά τον ποταμό Αλιάκμονα. Πηγάζει από την οροσειρά της Πίνδου στα σύνορα Θεσσαλίας - Ηπείρου από ύψος 1800 m και έχει μήκος περίπου 220 χιλιομέτρων με κατεύθυνση από τον βορρά προς τον νότο. Κατά την διαδρομή του διέρχεται από τους νομούς Τρικάλων, Καρδίτσας, Άρτας, Ευρυτανίας και Αιτωλοακαρνανίας και εκβάλλει τελικά στο Ιόνιο πέλαγος. Διασχίζει διαδοχικά τις τεχνητές λίμνες των Κρεμαστών, του Καστρακίου και του Στράτου και τα νερά του αρδεύουν την πεδιάδα του Αγρινίου. Ο Αχελώος είναι ο πλουσιότερος σε νερά γηγενής ποταμός της Ελλάδας, με παροχή 4×10^9 m³/έτος (ΔΕΗ). Η λεκάνη απορροής του ανέρχεται στα 4860 km² και το μέγιστο πλάτος της κοίτης του φτάνει μέχρι τα 90 m.

Ο ποταμός Αχελώος είναι ένας από τους σημαντικότερους υδροβιότοπους της Μεσογείου και χάρη στην αφθονία υδάτων φιλοξενεί πλήθος ειδών του φυτικού και ζωικού βασιλείου. Μάλιστα το Δέλτα του ποταμού, που βρίσκεται στο νότιο τμήμα του νομού Αιτωλοακαρνανίας, αποτελεί προστατευόμενο βιότοπο του δικτύου Natura 2000 (GR2310001). Στο δέλτα του φιλοξενείται μια πλούσια орνιθοπανίδα και η ιδιαιτερότητά του να μην παγώνει το χειμώνα τον καθιστά καταφύγιο για να διαχειμάζουν είδη που θα εξολοθρευόνταν στα βορειότερα ψυχρά κλίματα (Φελώνη, 2012).



Εικόνα 3.2: Φυσικό τοπίο Αχελώου ποταμού.

Η υδροηλεκτρική ανάπτυξη του ποταμού Αχελώου ξεκίνησε ουσιαστικά τα πρώτα χρόνια της δεκαετία του '60 με την κατασκευή των ΥΗΣ των Κρεμαστών (437 MW) και του Καστρακίου (320 MW). Στη συνέχεια, κατασκευάστηκε ο ΥΗΣ του Πλαστήρα (130 MW) στον ομώνυμο παραπόταμο του ανατολικού Αχελώου, έργο που εκτός από ενεργειακή παραγωγή χρησιμοποιείται και για άρδευση. Αργότερα, κατά την δεκαετία του '80 η ΔΕΗ κατασκεύασε κατάντη του ΥΗΣ Καστρακίου τους ΥΗΣ Στράτου Ι (2 × 75 MW) και ΜΥΗΣ Στράτου ΙΙ (2 × 3 MW), που εντάχθηκαν στο σύστημα το 1989. Στον κλάδο του Άνω Αχελώου, η ΔΕΗ Α.Ε. ολοκλήρωσε το 2011 την κατασκευή του ΥΗΣ της Μεσοχώρας, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 161.6 MW και συνολικής σημερινής αξίας περίπου 500 εκατομμυρίων ευρώ. Το συγκεκριμένο φράγμα, όπως και το φράγμα της Συκιάς του οποίου η κατασκευή έχει διακοπεί, αποτέλεσαν πηγή αντιδράσεων των περιβαλλοντικών οργανώσεων καθώς και κάποιων εκ των κατοίκων της περιοχής, οι οποίες οδήγησαν σε πολιτικές αποφάσεις παροπλισμού των δύο έργων. Στην Εικόνα 3.3 φαίνονται τα έργα του Αχελώου, στα οποία έχει προστεθεί το ΜΥΗΕ της Δαφνοζωνάρας.



Εικόνα 3.3: Τα κυριότερα υδροηλεκτρικά έργα του Αχελώου ποταμού (ΔΕΗ, μορφοποιημένο).

Το πιο πρόσφατο έργο στην περιοχή είναι το ΜΥΗΕ της Δαφνοζωνάρας, που τέθηκε σε λειτουργία το 2011 ανάντη της τεχνητής λίμνης των κρεμαστών με μοναδικό στόχο την ενεργειακή παραγωγή. Το έργο αποτελείται από υπερπηδητό φράγμα σκυροδέματος, ύψους 12 m. Η ετήσια παραγόμενη ενέργεια ανέρχεται στις 40 GWh και η ισχύς του είναι 8.5 MW (2 μονάδες των 4.25 MW). Το έργο ξεχωρίζει αφενός γιατί είναι το πρώτο ΜΥΗΕ που κατασκευάζεται πάνω στον κύριο ρου μεγάλου ποταμού στην Ελλάδα, αφετέρου για τον περιβαλλοντικό σχεδιασμό του (δύο μεγάλα τοξωτά θυροφράγματα και διώρυγα εκπλυσής φερτών, δίοδος ιχθύων, διώρυγα μικρών σκαφών, αυτομάτως ανατρεπόμενα θυροφράγματα). Η λεκάνη απορροής του ποταμού Αχελώου στη θέση του φράγματος έχει έκταση 1350 km² και μέση ετήσια απορροή 1630 hm³. Το εν λόγω ΜΥΗΕ πάνω στην ροή του Αχελώου αποτέλεσε ουσιαστικά έναυσμα της παρούσας διπλωματικής, αφού η υποδειγματική του λειτουργία γέννησε την ιδέα της αντικατάστασης του έργου των Κρεμαστών με ΜΥΗΕ πάνω στην κοίτη του Αχελώου και των παραποτάμων του.

Πίνακας 3.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά φραγμάτων Αχελώου (Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων, 2013, μορφοποιημένο).

Φράγμα/ Αιμνοδεξαμενή	Περίπτωση	Νομός	Ποταμός	Θέση		Κύριος του Έργου	Χαρακτηριστικά Φράγματος					Χαρακτηριστικά ταμειωτήρα		Λεκάνη απορροής	Υπερχειλιστής	Εκσπός	Ισχύς (MW)
				Γεωγραφικό Πλάτος	Γεωγραφικό Μήκος		Τύπος	Στεγανωτική διάταξη	Ύψος (m)	Μήκος (m)	Όγκος (x 10 ³ m ³)	Χωρητικότητα (x 10 ³ m ³)	Επιφάνεια (x 10 ² m ²)				
Μεσοχώρας	(υ)	Τρικάλων	Αχελώος	39°27'54.73"N	21°18'18.28" E	ΔΕΗ	ER	fcm	151	340	5.300	358.000	7.800	663,0	3.300	H	161,6
Δαφνοζωνάρας	2010	Αιτωλοακαρνανίας Ευρυτανίας	Αχελώος	39°08'24.85"N	21°23'43.42"E	ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ	PG	hc	28	150	40	2.550	340	1.350,0	3.250	H	8,5
Κρεμαστών	1965	Ευρυτανίας Αιτωλοακαρνανίας	Αχελώος	38°53'09.16"N	21°29'48.05"E	ΔΕΗ ΑΕ	ΤΕ	ie	165	460	8.170	4.750.000	80.600	3.570	3.000	H	437,2
Καστρακίου	1969	Αιτωλοακαρνανίας	Αχελώος	38°45'00.77"N	21°22'28.01"E	ΔΕΗ ΑΕ	ΤΕ	ie	96	547	5.218	165.000	24.200	*	3.700	H I S	320
Στράτου	1988	Αιτωλοακαρνανίας	Αχελώος	38°40'36.09"N	21°20'05.17"E	ΔΕΗ	ΤΕ	ie	26	1.900	2.800	14.900	8.400	*	4.000	H I	156,2

3.3 Φράγμα Κρεμαστών

3.3.1 Γενικά στοιχεία

Σε αυτήν την παράγραφο γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στο υδροηλεκτρικό έργο των Κρεμαστών, το οποίο επιλέχθηκε ως το μεγάλο έργο που θα αντικατασταθεί, στα πλαίσια της εργασίας, με πληθώρα μικρότερων, ώστε να εξαχθούν τα αποτελέσματα της σύγκρισης των δύο καταστάσεων. Το συγκεκριμένο έργο επιλέχθηκε κυρίως λόγω του μεγέθους του, αφού αποτελεί ταυτόχρονα το ψηλότερο χωμάτινο φράγμα στην Ευρώπη και το υδροηλεκτρικό έργο με την μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ στην Ελλάδα. Ιδιαίτερη αναφορά αξίζει να γίνει και στην τεχνητή λίμνη που σχηματίζεται ανάντη του έργου, η οποία είναι η μεγαλύτερη στην Ελλάδα.

Το φράγμα των Κρεμαστών βρίσκεται στον Νομό Αιτωλοακαρνανίας, πάνω στον ρου του ποταμού Αχελώου, περί το 1.2 km κατάντη της συμβολής του με τους παραποτάμους του Ταυρωπού και Αγραφιώτη και περίπου 55 km βορειοανατολικά της πόλης του Αγρινίου. Οι μελέτες για την κατασκευή του φράγματος ξεκίνησαν από της αρχές του 20^{ου} αιώνα και οδήγησαν στην έναρξη της κατασκευής το 1962. Το έργο τέθηκε σε εμπορική λειτουργία τον Ιανουάριο του 1966. Για την περάτωση του έργου εργάστηκαν έως και 3500 άτομα καθημερινά σε 24ωρη βάση σε τρεις βάρδιες. Στην διάρκεια της τριετούς κατασκευής συνέβησαν εκατοντάδες εργατικά ατυχήματα, 30 εκ των οποίων θανατηφόρα.

Η τεχνητή λίμνη των Κρεμαστών δημιουργήθηκε το 1965 από τη συσσώρευση υδάτινων όγκων των ποταμών Αχελώου, Αγραφιώτη, Ταυρωπού και Τρικεριώτη. Βρίσκεται ανάμεσα στους

νομούς Αιτωλοακαρνανίας και Ευρυτανίας. Η φραγή του ποταμού και η πλήρωση της λίμνης είχαν ως αποτέλεσμα πολλές περιοχές να βυθιστούν κάτω από το νερό. Οι σημαντικότερες περιοχές που κατακλύστηκαν ήταν τα χωριά Επισκοπή, Άγιος Βασίλειος και Σίδερα καθώς και το βυζαντινό μοναστήρι της Επισκοπής. Στην περιοχή του χωριού της Επισκοπής κατασκευάστηκε ομώνυμη γέφυρα για την ένωση των νομών Αιτωλοακαρνανίας και Ευρυτανίας. Η περιοχή είναι ενταγμένη στο πρόγραμμα Natura 2000.



Εικόνα 3.4: Τεχνητή λίμνη Κρεμαστών – γέφυρα Επισκοπής.



Εικόνα 3.5: Φράγμα Κρεμαστών.

3.3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Παρακάτω παρατίθενται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του υδροηλεκτρικού έργου των Κρεμαστών από το Υ.ΠΕ.ΘΕ. και από την Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων.

- Το **φράγμα** είναι χωμάτινο με αργιλικό πυρήνα και μέγιστο ύψος από την θεμελίωση 165 m. Το ωφέλιμο ύψος είναι 136 m και το υψόμετρο στέψης είναι 287 m. Το μήκος της στέψης είναι 456 m και το πλάτος της είναι 10 m ενώ το μέγιστο πλάτος στη βάση του φράγματος είναι 670 m. Ο όγκος του χωμάτινου φράγματος είναι $8.2 \times 10^6 \text{ m}^3$.
- Ο **εκχειλιστής** αποτελείται από θυροφράγματα, επενδυμένη διώρυγα και κάδο αναπήδησης. Έχει μέγιστη παροχετευτικότητα $3000 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Ο **ταμιευτήρας** των Κρεμαστών έχει επιφάνεια 80.6 km^2 και συνολική ωφέλιμη χωρητικότητα $4.75 \times 10^9 \text{ m}^3$.
- Η **σήραγγα εκτροπής** του έργου είναι επενδυμένη από σκυρόδεμα και έχει μήκος 754 m. Έχει κυκλική διατομή και η εσωτερική διάμετρος της είναι 12.6 m.
- Ο **σταθμός παραγωγής** των Κρεμαστών βρίσκεται στο αριστερό αντέρεισμα κοντά στον πόδα του φράγματος. Είναι ημυπαίθριος και εξοπλισμένος με 4 μονάδες τύπου Francis με κατακόρυφο άξονα εγκατεστημένης ισχύος 109.3 MW η κάθε μία. Το νερό καταλήγει στο σταθμό παραγωγής μέσω τεσσάρων αγωγών πτώσεως. Η μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια του έργου ανέρχεται στις 848 GWh.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του έργου, που ανέρχεται στα 437.2 MW, και αποτελεί τον στόχο ισχύος που πρέπει να φτάσουν τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα, των οποίων ο σχεδιασμός αναλύεται στην συνέχεια της εργασίας. Επίσης σημαντικά είναι τα στοιχεία της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας (848 GWh) και του συνολικού κόστους της επένδυσης των

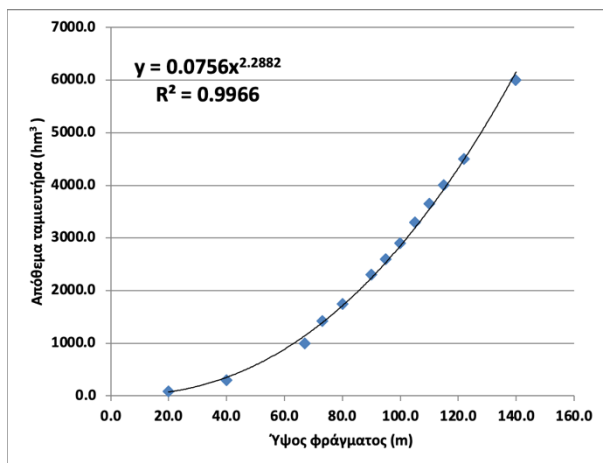
Κρεμαστών, για να είναι δυνατή η σύγκριση και η αξιολόγηση των δύο λύσεων στο τέλος της μελέτης. Όπως προκύπτει από την αναφορά έργου που συντάξε η εταιρία ECI για την ΔΕΗ το 1974, το συνολικό κόστος του έργου ήταν 84781000 \$. Χρησιμοποιώντας το εργαλείο US Inflation Calculator, το οποίο λαμβάνει πρόσφατα στοιχεία από το U.S. Bureau of Labor Statistics, λήφθηκε υπόψη ο πληθωρισμός, και το αντίστοιχο κόστος της επένδυσης για το 2020 υπολογίστηκε στα 447602407 \$. Η συγκεκριμένη τιμή, για την ισοτιμία τη στιγμή της συγγραφής της εργασίας, ισούται με 381937825 €. Στην Εικόνα 3.6 φαίνονται συγκεντρωμένα τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ΥΗΕ των Κρεμαστών, όπως παρατέθηκαν στην αναφορά έργου που συντάξε η εταιρία ECI για την ΔΕΗ το 1974.

KREMASTA HYDROELECTRIC PROJECT PERTINENT PROJECT DATA	
Project Location	
On the Acheloos River, approximately 1.2 kilometers below the confluence of the Megdova, Agrofotis and Acheloos River; 55 kilometers northeast of the town of Agrinion, Greece; 300 kilometers northwest of the city of Athens, Greece.	
Hydrology (Based on study of 24-year period)	
Drainage area available to Kremasta: - - - - -	3,570 km ²
Average yearly rainfall in drainage area: - - - - -	1,690 mm
Mean annual flow of Acheloos River at Kremasta: - - - - -	167.0 m ³ /s
Mean annual water yield at Kremasta: - - - - -	5.269 billion m ³
Design flood - peak discharge at Kremasta: - - - - -	9,800 m ³ /s
- volume: - - - - -	1.95 billion m ³
Reservoir	
Maximum water surface - elevation: - - - - -	284.0 m
Surface area at maximum water surface: - - - - -	80.6 km ²
Volume at maximum water surface: - - - - -	4.75 billion m ³
Maximum power pool - elevation: - - - - -	282.0 m
Surface area at maximum power pool: - - - - -	79 km ²
Volume at maximum power pool: - - - - -	4.50 billion m ³
Live storage volume at maximum power pool: - - - - -	3.8 billion m ³
Minimum power pool elevation: - - - - -	227.0 m
Minimum drawdown elevation: - - - - -	214.0 m
Diversion Tunnel	
Type: - - - - -	Concrete lined pressure conduit
Diameter (inside concrete lining): - - - - -	12.60 m
Length: - - - - -	754 m
Maximum design discharge: - - - - -	2,500 m ³ /s
Upstream water surface at design discharge: - - - - -	188 m
Elevation of invert at upstream portal: - - - - -	144.00 m
Elevation of invert at downstream portal: - - - - -	142.00 m
Closure structure at intake: - - - - -	2 openings; 4.80 m x 15.453 m
Permanent closure: - - - - -	38 m long concrete plug
Dam	
Type: - - - - -	Zoned earthfill
Foundation rocks: - - - - -	Interbedded siltstone, conglomerate and sandstone
Volume: - - - - -	8,100,000 m ³
Crest - length: - - - - -	460 m
- elevation (without camber): - - - - -	287.0 m
- width: - - - - -	10.0 m
Maximum height: - - - - -	160 m
Upstream face slope (horizontal: vertical): - - - - -	2.5:1.0
Downstream face slope (horizontal: vertical): - - - - -	2.0:1.0
Spillway	
Type: - - - - -	Gated overflow with lined chute and flip bucket
Gates: - - - - -	2 radial gates 11.0 m wide by 14.64 m high with drum and cable type hoists
Crest elevation: - - - - -	267.60 m
Maximum design capacity: - - - - -	3,000 m ³ /s
Head at maximum discharge: - - - - -	16.40 m
Power Intakes	
Type: - - - - -	Inclined
Number of penstock openings: - - - - -	5
Spacing between centerlines of openings: - - - - -	17.00 m
Opening size at gate control: - - - - -	4.84 m x 7.36 m
Maximum velocity of water through gate openings: - - - - -	2.65 m/s
Shutoff controls: - - - - -	Fixed wheel gates and steel stoplog panels
Type of gate hoists: - - - - -	Hydraulic
Number of gates installed: - - - - -	4
Trash protection: - - - - -	Steel rack panels in semi-circular trashrack structure
Approach channel floor elevation: - - - - -	210.0 m
Intake sill elevation: - - - - -	213.3 m
Penstocks	
Number: - - - - -	4
Diameter (inside): - - - - -	5.26 m and 4.30 m
Length of longest penstock: - - - - -	570 m
Centerline of opening at intake: - - - - -	El. 216.50 m
Centerline of penstock at power plant: - - - - -	El. 141.60 m
Maximum velocity of water in 5.26 m diameter section: - - - - -	4.22 m/s
Lining - upstream of grout curtain: - - - - -	Concrete
- downstream of grout curtain: - - - - -	Steel liner encased in concrete
Power Plant	
Location: - - - - -	Left abutment, near toe of dam
Type: - - - - -	Semi-outdoor
Number of units: - - - - -	4
Turbines: - - - - -	Vertical Francis-type; 131,300 horsepower at rated 112 m head; 166.7 rpm; maximum efficiency 92.3% (at 130,000 horsepower output); minimum net head 81.0 m; maximum net head 136.0 m; cabinet actuator type governor.
Generators: - - - - -	Vertical shaft, synchronous type, direct-connected to turbine; 100,000 kVA nameplate rating; overload capacity 115,000 kVA; 0.95 power factor; 15,750 volts; 50 cycles
Transformers: - - - - -	Single phase type, 3 per unit; 40 MVA continuous rating force-cooled; 15.75 kV rated low voltage; 161.25 kV rated high voltage
Switchyard	
Location: - - - - -	Left abutment, approximately 460 m (measured along slope) from power plant; at elevation 375 m
Dimensions: - - - - -	65.8 m x 180 m
Incoming bays: - - - - -	4
Outgoing transmission circuits: - - - - -	5

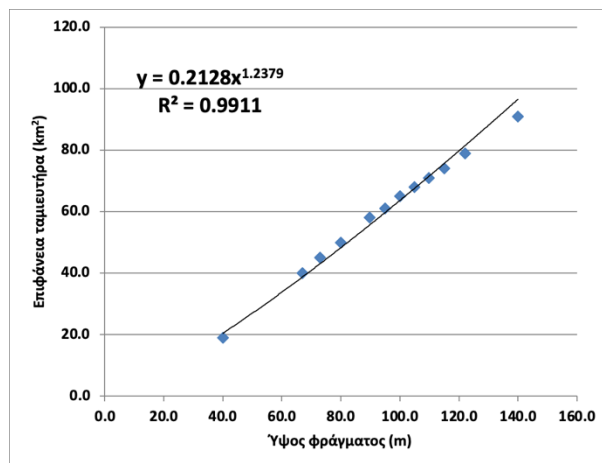
Εικόνα 3.6: Τεχνικά χαρακτηριστικά ΥΗΕ Κρεμαστών (Πηγή: ECI, 1974).

3.3.3 Μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας ταμιευτήρα

Κατασκευάστηκε μοντέλο προσομοίωσης για την λειτουργία του υδροηλεκτρικού έργου των Κρεμαστών, μέσω του οποίου εξήχθησαν ενεργειακά αποτελέσματα. Η προσομοίωση ουσιαστικά είναι το ισοζύγιο εισόδου - εξόδου νερού από τον ταμιευτήρα με ταυτόχρονο υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας της εγκατάστασης. Η σχέση υπολογισμού ενέργειας αναλύεται στην παράγραφο 5.3.1. Τα βασικά δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση ήταν χρονοσειρά μέσω μηνιαίων εισροών στον ταμιευτήρα από τον Οκτώβριο του 1966 έως τον Σεπτέμβριο του 2008 (hm³), η κατώτατη και ανώτατη στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα 227 και 282 m αντίστοιχα, η στάθμη του πυθμένα ίση με 160 m, η αρχική στάθμη η οποία ορίστηκε στα 270 m, η μηνιαία ζήτηση ενέργειας που ορίστηκε στις 59.9 GWh μετά από βελτιστοποίηση, το υψόμετρο του ΥΗΣ 143.5 m καθώς και η σχέση ύψους φράγματος - όγκου ταμίευσης η οποία φαίνεται στην καμπύλη της Εικόνας 3.7 και η σχέση ύψους φράγματος - επιφάνειας ταμιευτήρα η οποία φαίνεται στην καμπύλη της Εικόνας 3.8.

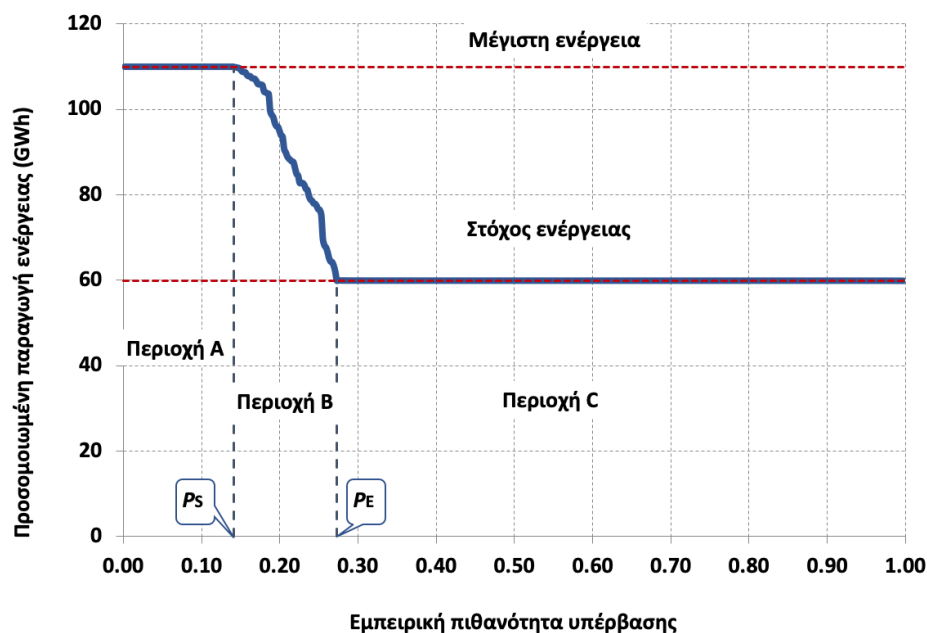


Εικόνα 3.7: Καμπύλη ύψους φράγματος – όγκου ταμίευσης φράγματος Κρεμαστών.



Εικόνα 3.8: Καμπύλη ύψους φράγματος – επιφάνεια ταμιευτήρα Κρεμαστών.

Η προσομοίωση της λειτουργίας και ενεργειακής παραγωγής του έργου των Κρεμαστών κατέστησαν δυνατό το σχεδιασμό της καμπύλης ενέργειας – πιθανότητας (EPC), η οποία εκφράζει την κατανομή της ενέργειας κατά την περίοδο προσομοίωσης και ενσωματώνει όλες τις βασικές πληροφορίες για την αναγνώριση διαφορετικών πτυχών της λειτουργίας του συστήματος. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα ο άξονας των τεταγμένων εκφράζει την τιμή της ενέργειας και ο άξονας των τετημένων εκφράζει το ποσοστό του χρόνου, όπου η ενέργεια που παράγεται ξεπερνά την αντίστοιχη τιμή του άξονα των τεταγμένων. Η βελτιστοποιημένη καμπύλη ενέργειας – πιθανότητας φαίνεται στην Εικόνα 3.9.



Εικόνα 3.9: Καμπύλη ενέργειας – πιθανότητας (EPC) Κρεμαστών.

Στην **Περιοχή Α** το σύστημα παράγει περισσότερη ενέργεια από το στόχο ενέργειας των 59.9 GWh/μήνα. Μεταφέρει τον πλεονάζοντα αποθηκευμένο όγκο στους στροβίλους μέσω του αγωγού

προσαγωγής, ο οποίος δουλεύει με τη μέγιστη παροχτευτικότητα του και έτσι το υπόλοιπο νερό, πάνω από τη στάθμη υπερχειλίσης, υπερχειλίζει. Σε αυτήν την περίπτωση η καμπύλη είναι επίπεδη, αφού τόσο η παροχή όσο και η υδραυλική πτώση είναι στην μέγιστη τιμή τους και έτσι η ενέργεια λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της. Από αυτήν την περιοχή του διαγράμματος λαμβάνεται και η πιθανότητα υπερχειλίσης του ταμιευτήρα των Κρεμαστών, $P_S \approx 14\%$.

Στην **Περιοχή Β** το σύστημα παράγει περίσσεια ενέργεια, περνώντας όλο το πλεόνασμα νερού από τους στροβίλους. Σε αυτήν την περίπτωση δεν υπάρχουν απώλειες μέσω υπερχειλίσης. Από αυτήν την περιοχή του διαγράμματος λαμβάνεται και η πιθανότητα παραγωγής περίσσειας ενέργειας του ΥΗΕ των Κρεμαστών, $P_E \approx 27\%$.

Στην **Περιοχή C** το σύστημα λειτουργεί βάσει προγράμματος, παράγοντας σταθερά το στόχο ενέργειας των 65 GWh/μήνα, γεγονός που οδηγεί σε επίπεδη καμπύλη ενέργειας – πιθανότητας.

Το διάγραμμα σχεδιάστηκε για βέλτιστο στόχο ενέργειας για τον οποίο η περιοχή D, όπου το σύστημα παράγει λιγότερη ενέργεια από το στόχο εξαιτίας μειωμένου όγκου ταμίευσης και μειωμένου ύψους πτώσης, έχει εξαλειφθεί. Έτσι η πιθανότητα το ΥΗΕ των Κρεμαστών να παράγει ενέργεια τουλάχιστον ίση με τον στόχο ενέργειας, δηλαδή η αξιοπιστία του ΥΗΕ σε σχέση με το συγκεκριμένο στόχο, είναι $P_T \approx 100\%$.

Μέσω της προσομοίωσης υπολογίστηκαν επίσης τα μεγέθη της μέσης ετήσιας παραγωγής ενέργειας των Κρεμαστών καθώς και της μέσης ετήσιας υπερχειλίσης του ταμιευτήρα. Η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας, για τη χρονοσειρά εισαγωγής μέσω μηνιαίων εισροών στον ταμιευτήρα από τον Οκτώβριο του 1966 έως τον Σεπτέμβριο του 2008 (hm^3), υπολογίστηκε στις 852 GWh, τιμή πολύ κοντινή στις 848 GWh που δίνει η ΔΕΗ. Η μέση ετήσια υπερχειλίση του ταμιευτήρα των Κρεμαστών υπολογίστηκε στα 417 hm^3 , η οποία αποτελεί το 12.7 % των μέσων ετήσιων εισροών που φτάνουν στο έργο.

4 Τυποποίηση σχεδιασμού μικρού υδροηλεκτρικού έργου

4.1 Στόχος τυποποίησης

Για τα καταστεί δυνατή η σύγκριση μεταξύ της υπάρχουσας κατάστασης του ΥΗΕ των Κρεμαστών και της υπό εξέταση λύσης των πολλών ΜΥΗΕ, είναι απαραίτητος ο σχεδιασμός των εν λόγω έργων. Όμως, η αντικατάσταση του μεγαλύτερου υδροηλεκτρικού έργου στην Ελλάδα απαιτεί την μελέτη κατασκευής δεκάδων μικρών έργων. Σημειώνεται, πως η εγκατεστημένη ισχύς των Κρεμαστών, που αποτελεί τον στόχο για τα μικρά έργα, ανέρχεται στα 437.2 MW, ενώ για να υπάγεται ένα έργο στην κατηγορία των μικρών υδροηλεκτρικών δεν πρέπει να ξεπερνά τα 15 MW εγκατεστημένης ισχύος. Έτσι προέκυψε η ανάγκη ανάπτυξης ενός τυποποιημένου μοντέλου για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό μικρών υδροηλεκτρικών έργων.

Στόχος της τυποποίησης, η όσο το δυνατόν υψηλότερη ακρίβεια των εξαγόμενων αποτελεσμάτων με χρήση όσο το δυνατόν λιγότερων προαπαιτούμενων δεδομένων. Με την χρήση του εργαλείου σχεδιασμού, θα γίνει μελέτη για την ενεργειακή παραγωγή και τα κόστη των ΜΥΗΕ. Στις επόμενες παραγράφους του κεφαλαίου, δίνονται τα κοινά προαπαιτούμενα δεδομένα και οι κοινοί υπολογισμοί τόσο για τα ΜΥΗΕ πάνω στην κοίτη του ποταμού όσο και για τα ΜΥΗΕ εκτός αυτής (run-of-river). Στα δύο επόμενα κεφάλαια παρατίθενται αναλυτικά οι τυποποιήσεις των δύο ειδών έργων και παρουσιάζονται αναλυτικά παραδείγματα σχεδιασμού.

4.2 Κοινά εισαγόμενα δεδομένα για ΜΥΗΕ πάνω στην κοίτη και εκτός αυτής

Τόσο για τα ΜΥΗΕ πάνω στην κοίτη του ποταμού, όσο και για τα ΜΥΗΕ εκτός αυτής, δύο δεδομένα είναι απαραίτητα να εισαχθούν για να λειτουργήσει το εργαλείο τυποποίησης. Πρώτων, η χρονοσειρά ημερήσιων υψών απορροής για τον ποταμό Αχελώο (mm/d). Για την παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε χρονοσειρά από τον Οκτώβριο του 1968 μέχρι και το Δεκέμβριο του 2008 που παρουσιάστηκε σε μελέτη του Efstratiadis *et al.* (2014). Στον Πίνακα 4.1 φαίνονται κάποια ενδεικτικά στατιστικά στοιχεία της εν λόγω ημερήσιας χρονοσειράς και στον Πίνακα 4.2 της μηνιαίας για το ίδιο χρονικό διάστημα η οποία θα αξιοποιηθεί στην συνέχεια της μελέτης. Σημειώνεται, πως η τυποποίηση και όλοι οι υπολογισμοί για τον σχεδιασμό των έργων έγιναν με χρήση της πλήρους χρονοσειράς απορροών.

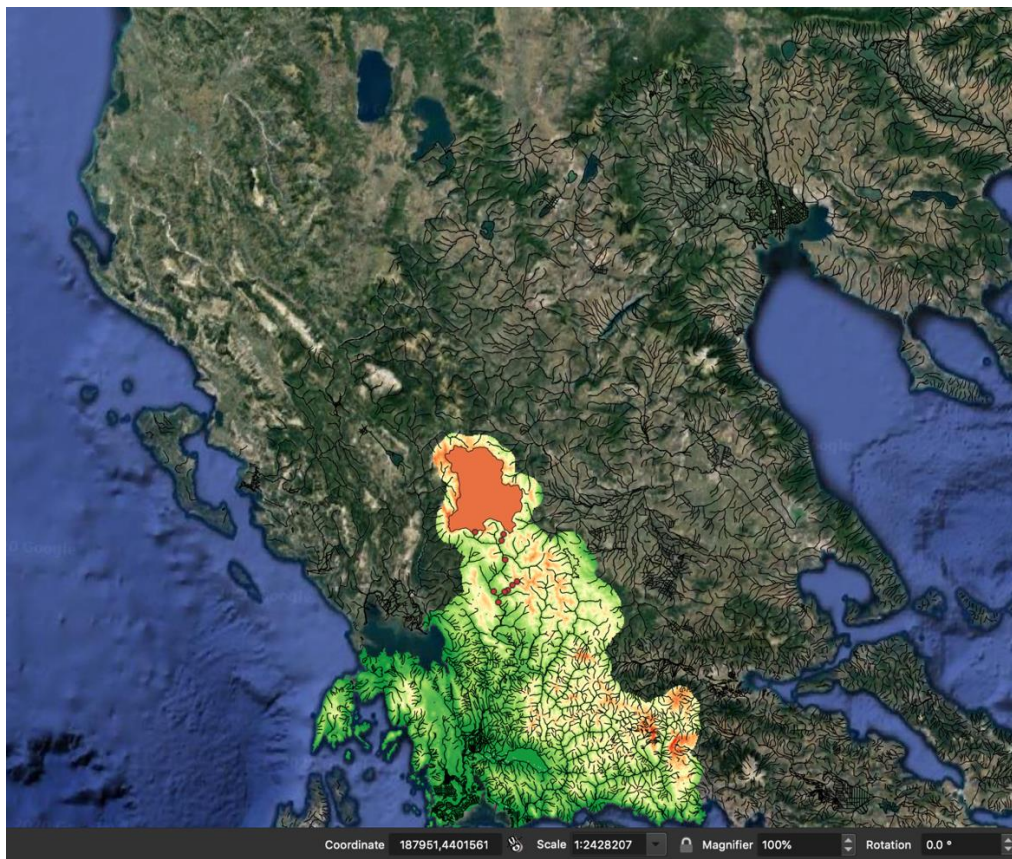
Πίνακας 4.1: : Στατιστικά στοιχεία μηνιαίας χρονοσειράς υψών απορροής.

	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.
Μέση τιμή (mm)	40.27	84.94	154.61	123.05	122.88	129.49	124.03	79.23	36.17	22.98	17.90	18.31
Τυπική απόκλιση (mm)	33.09	38.89	86.60	73.36	58.54	55.68	37.98	30.33	9.65	4.90	3.31	7.89
Συντελεστής μεταβλητότητας (CV)	0.82	0.46	0.56	0.60	0.48	0.43	0.31	0.38	0.27	0.21	0.18	0.43
Συσχέτιση α' τάξης	0.29	0.20	0.19	0.52	0.45	0.40	0.62	0.10	0.69	0.72	0.50	0.28

Πίνακας 4.2: Στατιστικά στοιχεία ημερήσιας χρονοσειράς υψών απορροής.

Μέση τιμή (mm)	2.6
Τυπική απόκλιση (mm)	3.5
Συντελεστής μεταβλητότητας (CV)	1.350

Δεύτερον, είναι απαραίτητος ο καθορισμός των λεκανών απορροής στα διάφορα σημεία που θα μελετηθεί η εγκατάσταση ΜΥΗΕ. Η έκταση των διαφόρων λεκανών απορροής υπολογίστηκε μέσω του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών QGIS, προγράμματος που επιτρέπει την προβολή, επεξεργασία και ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν τα ενσωματωμένα στο πρόγραμμα εργαλεία *r. Watershed* και *r. Outlet* για τη χάραξη των λεκανών. Στην Εικόνα 4.1 φαίνεται ενδεικτικά η περιοχή μελέτης καθώς και η λεκάνη απορροής στην θέση της Γλύστρας όπως αυτή χαράχθηκε μέσω του QGIS.



Εικόνα 4.1: Λεκάνη απορροής Γλύστρας σε περιβάλλον QGIS.

4.3 Μετατροπή υψών απορροής σε παροχή

Απαραίτητο δεδομένο για τον τελικό υπολογισμό της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας από το εκάστοτε μικρό υδροηλεκτρικό έργο αποτελεί η χρονοσειρά ημερήσιων παροχών σε m^3/s . Η εν λόγω χρονοσειρά προέκυψε συνδυάζοντας την χρονοσειρά ημερήσιων υψών απορροής για τον ποταμό Αχελώο (mm) με την υπολογισμένη λεκάνη απορροής της υπό εξέταση θέσης. Πιο συγκεκριμένα η ημερήσια παροχή (m^3/s) υπολογίστηκε από την σχέση:

$$Q = \frac{h \cdot A}{a} \quad (4.1)$$

όπου:

h είναι οι ημερήσιες παροχές σε ύψη απορροής (mm/day)

A είναι το εμβαδό της λεκάνης απορροής (km²)

a είναι ο συντελεστής μετατροπής ($86.4 \frac{\text{sec} \times \text{km}^2 \times \text{mm}}{\text{day} \times \text{m}^3}$)

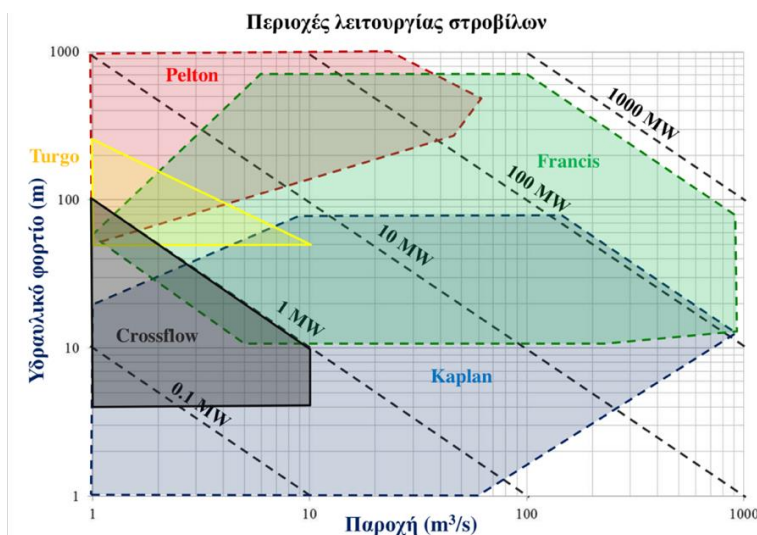
Αναλυτικότερα ο συντελεστής μετατροπής a προέκυψε ως εξής:

$$a = 24h/d \times 60\text{min}/h \times 60\text{sec}/\text{min} \times 10^{-6}\text{km}^2/\text{m}^2 \times 10^3\text{mm}/\text{m} \quad (4.2)$$

Τα τελικά αποτελέσματα της Σχέσης 4.1 πρέπει να απομειωθούν λόγω της περιβαλλοντικής απορροής για να εκφράζουν την ωφέλιμη παροχή που θα χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας. Παρ' όλα αυτά, στα ΜΥΗΕ πάνω στην κοίτη, λόγω της συνεχούς ροής του ποταμού και της σχεδόν μηδενικής αποθήκευσης νερού, δεν υπάρχει ανάγκη εξασφάλισης περιβαλλοντικής παροχής, και άρα τα αποτελέσματα της Σχέσης 4.1 ταυτίζονται με την ημερήσια ωφέλιμη παροχή. Αντιθέτως, για τα έργα εκτός της κοίτης, η εξασφάλιση της περιβαλλοντικής παροχής είναι απαραίτητη, λόγω της εκτροπής της ροής του ποταμού, και αναλύεται στο κεφάλαιο 6 που αφορά τον σχεδιασμό των run-of-river.

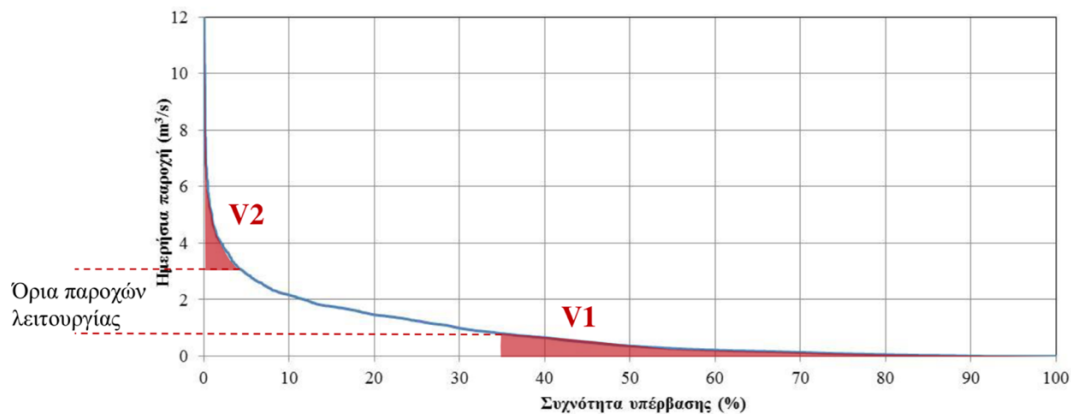
4.4 Επιλογή στροβίλων

Η επιλογή του τύπου των υδροστροβίλων σε κάθε έργο γίνεται συνήθως βάσει του καθαρού ύψους πτώσης και του εύρους των παροχών του νερού που διέρχονται από κάθε στρόβιλο. Οι περιοχές λειτουργίας των τύπων Pelton, Francis, Turgo και Kaplan φαίνονται στην Εικόνα 4.2.



Εικόνα 4.2: Τυπικές προτεινόμενες περιοχές για επιλογή υδροστροβίλων (Μαμάσης κ.ά., 2018).

Τα έργα πάνω στην ροή έχουν ως χαρακτηριστικό πολύ μεγάλες παροχές οι οποίες ταυτίζονται με τις εκάστοτε παροχές του ποταμού αλλά και αρκετά μικρά ύψη πτώσης περίπου ίσα με το ύψος του κατασκευασμένου φράγματος. Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα, οι συμβατοί τύποι υδροστροβίλων για τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά είναι οι Francis και Kaplan. Όπως σε πολλά παρόμοια έργα, έτσι και στην συγκεκριμένη μελέτη προτιμήθηκε η χρήση μίγματος δύο υδροστροβίλων, ιδίου η διαφορετικού τύπου, οι οποίοι λειτουργώντας για διαφορετικό εύρος παροχών, καταστούν εκμεταλλεύσιμο μεγαλύτερο όγκο νερού.



Εικόνα 4.3: Όγκοι εκτός παροχών λειτουργίας στροβίλων (Μαμάσης κ.ά., 2018).

Οι παραπάνω γραμμοσκιασμένοι όγκοι V1, V2, της Εικόνας 4.3, δεν αξιοποιούνται ενεργειακά. Ο όγκος V1 εξαρτάται από την ελάχιστη παροχή λειτουργίας του μικρότερου στροβίλου και ο όγκος V2 εξαρτάται από την μέγιστη παροχή λειτουργίας του μεγαλύτερου στροβίλου. Με την εγκατάσταση μίγματος στροβίλων διαφορετικού μεγέθους επιδιώκεται η ελαχιστοποίηση των εν λόγω όγκων και κατ' επέκταση η μεγιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας. Γενικά, το πρόγραμμα εκμετάλλευσης ενός ΜΗΥΕ είναι το ακόλουθο:

- i. Όταν η εισροή κυμαίνεται μεταξύ του επιτρεπόμενου εύρους ομαλής λειτουργίας της εγκατάστασης, δηλαδή μεταξύ της ελάχιστης παροχής λειτουργίας του μικρότερου στροβίλου και της μέγιστης παροχής λειτουργίας του μεγαλύτερου στροβίλου, τότε η μονάδα λειτουργεί και παράγει ενέργεια αξιοποιώντας το σύνολο της διαθέσιμης παροχής.
- ii. Όταν η εισροή είναι μικρότερη της ελάχιστης παροχής λειτουργίας του μικρότερου στροβίλου, τότε η μονάδα δεν λειτουργεί και η ροή διέρχεται από τους στροβίλους αναξιοποίητη.
- iii. Όταν η εισροή είναι μεγαλύτερη της μέγιστης παροχής λειτουργίας του μεγαλύτερου στροβίλου, τότε η μονάδα παράγει ενέργεια αξιοποιώντας την μέγιστη επιτρεπόμενη παροχή, ενώ η περίσσεια υπερχειλίζει και διαφεύγει αναξιοποίητη.

Συγκεκριμένα, ο διαχωρισμός της παροχής γίνεται ιεραρχικά. Αφού καθοριστεί ένας από τους δύο στροβίλους ως κύριος δίνεται προτεραιότητα στην χρησιμοποίηση του έως την ονομαστική του παροχή. Αν ο κύριος στροβίλος συμβολίζεται ως Σ1 και ο δευτερεύον ως Σ2 και αντίστοιχα οι ονομαστικές τους παροχές $Q1_{\text{ονομ.}}$ και $Q2_{\text{ονομ.}}$ (m^3/s), επιλέχθηκε εύρος λειτουργίας του Σ1 ως $[\frac{Q1_{\text{ονομ.}}}{10} - Q1_{\text{ονομ.}}]$ και αντίστοιχα για τον Σ2 $[\frac{Q2_{\text{ονομ.}}}{10} - Q2_{\text{ονομ.}}]$. Έτσι αν η μέση ημερήσια

παροχή $Q_{\text{ημερ.}}$ του ποταμού είναι μεγαλύτερη από την $Q_{1\text{ονομ.}}$ τότε η διαφορά τους αξιοποιείται από τον δεύτερο υδροστρόβιλο $\Sigma 2$, αν και όση υπάγεται στο εύρος λειτουργίας του. Αντίστοιχα, αν $Q_{\text{ημερ.}} < \frac{Q_{1\text{ονομ.}}}{10}$ τότε ο στρόβιλος $\Sigma 1$ δεν λαμβάνει καθόλου παροχή και η $Q_{\text{ημερ.}}$ καταλήγει στον $\Sigma 2$, αν και όση υπάγεται στο εύρος λειτουργίας του. Οι ονομαστικές παροχές των δύο στροβίλων επιλέγονται μέσω βελτιστοποίησης με σκοπό την επίτευξη μέγιστου ετήσιου χρηματικού οφέλους για την εκάστοτε επένδυση. Η συγκεκριμένη βελτιστοποίηση περιγράφεται αναλυτικότερα στην συνέχεια της μελέτης. Επισημαίνεται πως ακριβώς λόγω του τρόπου υπολογισμού των ονομαστικών παροχών θα μπορούσε να προκύψει μικρό υδροηλεκτρικό έργο με μόνο έναν υδροστρόβιλο, αν κάτι τέτοιο ήταν τελικά το οικονομικά βέλτιστο.

Ανάλογα με την σχέση των προαναφερθέντων $Q_{\text{ημερ.}}$ και $Q_{\text{ονομ.}}$, είτε του $\Sigma 1$ είτε του $\Sigma 2$, μεταβάλλεται και ο βαθμός απόδοσης των υδροστροβίλων. Ο υπολογισμός του θα μπορούσε να γίνει αναλυτικά μέσω της σχέσης του Παπαντώνη (2016, σ. 219) η οποία εκφράζει τον ολικό βαθμό απόδοσης n του υδροστροβίλου ως εξής:

$$n = n_m \cdot n_Q \cdot n_h \quad (4.3)$$

όπου:

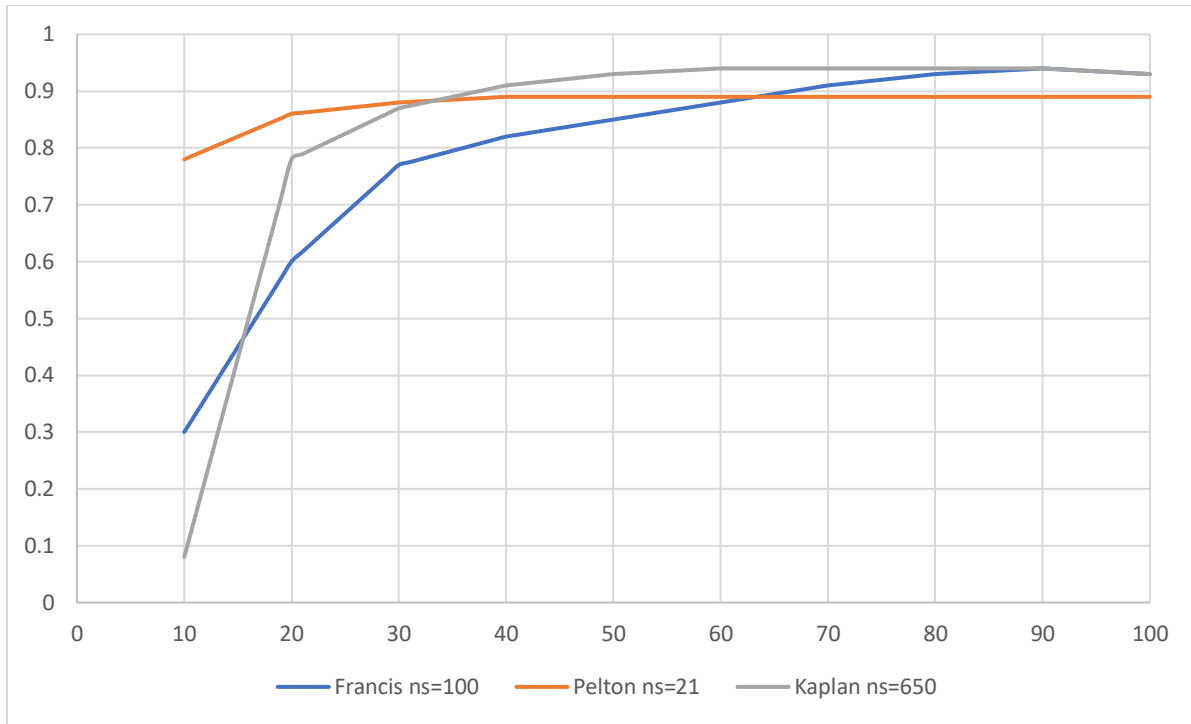
n_m ο μηχανικός βαθμός απόδοσης

n_Q ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης

n_h ο υδραυλικός βαθμός απόδοσης

Από τους τρεις βαθμούς απόδοσης την μικρότερη τιμή έχει ο n_h ο οποίος και καθορίζει την τελική τιμή του τελικού βαθμού απόδοσης.

Στην συγκεκριμένη εργασία προτιμήθηκε η χρήση έτοιμων καμπυλών απόδοσης αφού συνάδει με την προσπάθεια τυποποίησης του προβλήματος για οποιαδήποτε ημερήσια παροχή. Έτσι, ανάλογα με τον λόγο $\frac{Q_{\text{ημερ.}}}{Q_{\text{ονομ.}}}$, τον τύπο του στροβίλου και το παρακάτω διάγραμμα της Εικόνας 4.4, σε κάθε ημερήσια παροχή αντιστοιχίζεται και ένας βαθμός απόδοσης ο οποίος ουσιαστικά λειτουργεί ως μειωτικός συντελεστής της ημερήσιας παραγόμενης ενέργειας. Επισημαίνεται πως κατά την διαδικασία της τυποποίησης χρησιμοποιήθηκε και ένας ακόμα συντελεστής $n_{\text{προσθ.}} = 0.95$, ο οποίος λειτουργεί ως μειωτικός συντελεστής πρόσθετων απωλειών στροβίλων και πολλαπλασιάζεται με την εκάστοτε τιμή του ολικού βαθμού απόδοσης που προκύπτει από το διάγραμμα της Εικόνας 4.4.



Εικόνα 4.4: Καμπύλες βαθμών απόδοσης στροβίλων τύπου Francis, Pelton και Kaplan.

5 Τυποποίηση σχεδιασμού μικρού υδροηλεκτρικού έργου πάνω στην κοίτη

5.1 Εισαγόμενα και εξαγόμενα δεδομένα

Η ανάπτυξη ενός τυποποιημένου μοντέλου για τον σχεδιασμό μικρών υδροηλεκτρικών έργων πάνω στην κοίτη του ποταμού Αχελώου αποτέλεσε σημαντικό βήμα της μελέτης. Στον Πίνακα 5.1 δίδονται επιγραμματικά τα δεδομένα εισαγωγής και εξαγωγής του μοντέλου σχεδιασμού. Τα δύο πρώτα απαιτούμενα δεδομένα αναπτύσσονται στο κεφάλαιο 4.

Πίνακας 5.1: Δεδομένα και αποτελέσματα της τυποποίησης σχεδιασμού μικρού υδροηλεκτρικού έργου πάνω στην κοίτη.

Απαιτούμενα δεδομένα	Εξαγόμενα αποτελέσματα
Χρονοσειρά ημερήσιων υψών απορροής για τον ποταμό Αχελώο (mm/d)	Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)
Έκταση λεκάνης απορροής (km ²)	Συνολική εγκατεστημένη ισχύς (MW)
Μήκος στέψης φράγματος (m)	Μίγμα υδροστροβίλων
	Ετήσιο κόστος επένδυσης (€)
	Ετήσια έσοδα από πώληση ενέργειας (€)

Το μήκος της στέψης του φράγματος αποτελεί το μόνο στοιχείο εισαγωγής που δεν αναλύθηκε στο κεφάλαιο 4. Για κάθε έργο υπολογίστηκε προσεγγιστικά μέσω του προγράμματος Google Earth μετρώντας το άνοιγμα της κοίτης στην εκάστοτε θέση. Επισημαίνεται, πως το πλάτος της κοίτης εκτιμάται κατά την διάρκεια των πιο υγρών μηνών του χρόνου στην μέγιστη τιμή του. Κάτι τέτοιο καθίσταται δυνατό μέσω των ιστορικών φωτογραφιών που παρέχει το πρόγραμμα Google Earth.

Χρησιμοποιώντας μόνο τις μετρήσεις απορροών και ελάχιστα γεωγραφικά δεδομένα (έκταση λεκάνης απορροής, πλάτος κοίτης ποταμού), είναι δυνατός ο σχεδιασμός μικρών υδροηλεκτρικών έργων σε οποιοδήποτε σημείο πάνω στην κοίτη του ποταμού Αχελώου. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, αξιοποιώντας τα παραπάνω δεδομένα, παρατίθεται στην συνέχεια.

5.2 Επιλογή στροβίλων

Τα έργα πάνω στην ροή έχουν ως χαρακτηριστικό πολύ μεγάλες παροχές οι οποίες ταυτίζονται με τις εκάστοτε παροχές του ποταμού αλλά και αρκετά μικρά ύψη πτώσης περίπου ίσα με το ύψος του κατασκευασμένου φράγματος. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα της Εικόνας 4.2, οι συμβατοί τύποι υδροστροβίλων για τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά είναι οι Francis και Kaplan. Όπως σε πολλά παρόμοια έργα, έτσι και στην συγκεκριμένη μελέτη προτιμήθηκε η χρήση μίγματος δύο υδροστροβίλων, ιδίου η διαφορετικού τύπου, οι οποίοι λειτουργώντας για διαφορετικό εύρος παροχών, καταστούν εκμεταλλεύσιμο μεγαλύτερο όγκο νερού. Κατά τα άλλα, τόσο η μεθοδολογία για τον διαχωρισμό της ροής στους υδροστροβίλους όσο και ο βαθμός απόδοσης αυτών δίνονται αναλυτικά στην παράγραφο 4.4.

5.3 Ενέργεια

5.3.1 Υπολογισμός παραγόμενης ενέργειας

Η δυναμική ενέργεια νερού μάζας m σε ύψος H από το επίπεδο αναφοράς των στροβίλων υπολογίζεται από την σχέση:

$$E_{\Delta} = m \cdot g \cdot H = \rho \cdot V \cdot g \cdot H = \gamma \cdot V \cdot H \quad (5.1)$$

όπου ρ η πυκνότητα του νερού (1000 kg/m^3), g η επιτάχυνση της βαρύτητας (9.81 m/s^2), γ το ειδικό βάρος του νερού (9.81 KN/m^3) και V ο όγκος του (m^3). Η μετατροπή της δυναμικής ενέργειας σε υδραυλική γίνεται με αντικατάσταση του ακαθάριστου ύψους πτώσης H στον Τύπο 5.1 με το καθαρό ύψος πτώσης H_n . Το καθαρό ύψος πτώσης προκύπτει αφαιρώντας από το ολικό ύψος τις υδραυλικές απώλειες κατά την προσαγωγή του νερού στους στροβίλους. Οι υδραυλικές απώλειες διαχωρίζονται σε γραμμικές και τοπικές.

Οι γραμμικές απώλειες φορτίου εμφανίζονται λόγω των διατμητικών τάσεων του ορίου του αγωγού προσαγωγής και ως εκ τούτου την ισοδύναμη τραχύτητα του. Το ύψος των γραμμικών απωλειών σε αγωγό μήκους L και διαμέτρου D προκύπτει από τη σχέση των Darcy-Weisbach:

$$h_f = L \cdot J_E = L \cdot \frac{f}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (5.2)$$

Για την χρήση του Τύπου 5.2 θα χρειαστεί και η έκφραση της ταχύτητας συναρτήσει της παροχής Q και της διαμέτρου D κυλινδρικού αγωγού όπως φαίνεται στην σχέση 5.3 παρακάτω, καθώς και η απλοποιητική προσέγγιση του συντελεστή τριβής f κατά Colebrook-White όπως φαίνεται στη Σχέση 5.4.

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \quad (5.3)$$

$$f \approx \alpha \cdot \frac{(\varepsilon_0/D)^\beta}{J^\gamma} \quad (5.4)$$

$$J = \left(\frac{4^{3+\beta} \cdot N^2 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^{5+\beta}} \right)^{1/(1+\gamma)} \quad (5.5)$$

όπου α , β , γ , N συντελεστές που εξαρτώνται από την απόλυτη τραχύτητα ε η οποία είναι σταθερή για δεδομένο υλικό και διάμετρο σωλήνα και J δίνεται από τη Σχέση 5.5 που αναπτύχθηκε από τον Koutsoyiannis (2008).

Στο συγκεκριμένο πρόβλημα τυποποίησης οι γραμμικές απώλειες παραλείπονται εξαιτίας του πολύ μικρού μήκους του αγωγού πτώσης. Αυτή η παραδοχή συμβάλει στην απλοποίηση της τυποποίησης δίχως να πλήττει την ακρίβεια της. Παρ' όλα αυτά οι τύποι υπολογισμού των γραμμικών απωλειών που παρατέθηκαν παραπάνω θα φανούν χρήσιμοι στη συνέχεια της μελέτης.

Οι τοπικές απώλειες εμφανίζονται λόγω διεύρυνσης ή στένωσης του αγωγού, στις καμπύλες και γωνίες των αγωγών καθώς και στα εξαρτήματα ελέγχου του δικτύου που παρεμβάλλονται όπως π.χ. οι δικλίδες. Γενικότερα είναι απώλειες συνδεδεμένες με αλλαγές στην γεωμετρία του αγωγού. Στην συγκεκριμένη προκαταρκτική μελέτη παραλείπεται ο υπολογισμός των τοπικών απωλειών αφού δεν έχουν προσδιοριστεί επακριβώς τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των σωληνώσεων. Πάντως για γενικά ευθείς αγωγούς πτώσης που μεταφέρουν το νερό στους στροβίλους με σταθερή διάμετρο, οι τοπικές απώλειες προβλέπεται να είναι ούτως η άλλως αμελητέες.

Η υδραυλική ενέργεια στην συνέχεια μετατρέπεται σε κινητική μέσω των στροβίλων και τέλος σε ηλεκτρική μέσω γεννήτριας. Η τελευταία αυτή μετατροπή εκφράζεται από τη Σχέση 5.6 όπου ο συντελεστής n εκφράζει τον βαθμό απόδοσης των στροβίλων όπως αυτό αναλύθηκε στην Ενότητα 4.4 και ο $n_{H/M} = 0.96$ εκφράζει τον βαθμό απόδοσης του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού.

$$E = n \cdot n_{H/M} \cdot \gamma \cdot V \cdot H_n \quad (5.6)$$

Πρέπει ακόμα να γίνει μετατροπή του όγκου σε μέσες ημερήσιες παροχές στη Σχέση 5.6 αφού τέτοιες είναι οι μετρήσεις μας καθώς και μετατροπή του αποτελέσματος της σχέσης από Joule σε kWh. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο η Σχέση 5.6 θα πολλαπλασιαστεί με τον συντελεστή k που φαίνεται παρακάτω και θα προκύψει η τελική Σχέση 5.8.

$$k = \frac{86400}{3600 \times 1000} = 0.024 \quad (5.7)$$

$$E = n \cdot n_{H/M} \cdot \gamma \cdot Q \cdot H_n \cdot k \quad (5.8)$$

Μέσω της Σχέσης 5.8 και των καμπυλών απόδοσης στροβίλων καθίσταται εφικτός ο υπολογισμός της ημερήσιας παραγωγής ενέργειας για όλες τις 14479 ημέρες των οποίων την μέση ημερήσια παροχή έχουμε υπολογίσει από την Ενότητα 4.3. Μάλιστα αυτός ο υπολογισμός εξαρτάται πια μόνο από την έκταση της λεκάνης απορροής, η οποία διαμορφώνει τις ημερήσιες παροχές και κατ' επέκταση την απόδοση των στροβίλων και το ύψος του εν λόγω φράγματος, το οποίο εν πολλοίς διαμορφώνει το καθαρό ύψος H_n . Είναι λοιπόν προφανές, πως μέσω της Σχέσης 5.8 μπορεί για οποιαδήποτε θέση στο ρου του ποταμού Αχελώου να υπολογιστεί η παραγωγή ενέργειας υδροηλεκτρικού έργου σε βάση μιας ημέρας ή 40 ετών, ήτοι όσα είναι και τα δεδομένα παροχών από την μελέτη των Efstratiadis *et al.* (2014).

Ο υπολογισμός της ισχύος κάθε υδροστροβίλου γίνεται μέσω της σχέσης:

$$I = \rho \cdot g \cdot n \cdot Q \cdot H \quad (5.9)$$

όπου ρ η πυκνότητα του νερού (1000 kg/m^3), g η επιτάχυνση της βαρύτητας (9.81 m/s^2), H το ακαθάριστο ύψος πτώσης (m) και Q η διερχόμενη παροχή (m^3/s). Ο όρος n αναπαριστά τον συνολικό βαθμό απόδοσης του υδροστροβίλου, ο οποίος για την συγκεκριμένη μελέτη λαμβάνει την τιμή 85 %. Το αποτέλεσμα της σχέσης υπολογισμού προκύπτει σε Watt (SI).

5.3.2 Τιμολόγηση ενέργειας

Σε αυτό το σημείο της εργασίας θα ήταν χρήσιμη μια αναφορά στα προβλεπόμενα έσοδα από την πώληση της παραγόμενης ενέργειας. Με βάση τους τιμοκαταλόγους της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Εικόνα 5.1), η τιμή ανά παραγόμενη MWh από μικρό υδροηλεκτρικό έργο ανέρχεται στα 87.85 €. Λαμβάνοντας υπόψη την γενικότερη τάση προς τις ανανεώσιμες πηγές φαίνεται πως η συγκεκριμένη τιμή δεν πρόκειται να μειωθεί στο εγγύς μέλλον. Άλλωστε, όπως εξηγεί ο Penche (1998, σ. 258), η “πράσινη τιμολόγηση” πηγάζει από την πρόθεση μεγάλου μέρους του πληθυσμού να δεχτεί προσαύξηση της τιμής της ενέργειας αν αυτή προέρχεται από ανανεώσιμη πηγή. Παρ’ όλα αυτά στην συγκεκριμένη μελέτη η τιμή πώλησης της ενέργειας καθορίστηκε σε 80 €/MWh για δύο λόγους. Πρώτον λόγω του ευμετάβλητου της φύσης της, η οποία εμπεριέχει σημαντικές αβεβαιότητες, και δεύτερον ως δικλείδα ασφαλείας για τυχούσες μικροπαραβλέψεις στην κοστολόγηση των υποδομών που ακολουθεί.

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από:	Τιμή Ενέργειας (€/MWh)	
	Διασυνδεδεμένο Σύστημα	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
(α) Αιολική ενέργεια	87,85	99,45
(β) Αιολική ενέργεια από αιολικά πάρκα στη θάλασσα	104,85	
(γ) Υδραυλική ενέργεια που αξιοποιείται με μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς με Εγκατεστημένη Ισχύ έως δεκαπέντε (15) MWe	87,85	99,45
(στ) Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από μονάδες άλλης τεχνολογίας, πλην αυτής των φωτοβολταϊκών, με Εγκατεστημένη Ισχύ έως πέντε (5) MWe	264,85	284,85
(ζ) Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από μονάδες άλλης τεχνολογίας, πλην αυτής των φωτοβολταϊκών, με Εγκατεστημένη Ισχύ μεγαλύτερη των πέντε (5) MWe	244,85	264,85
η) Γεωθερμική ενέργεια, βιομάζα, αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και βιοαέρια	87,85	99,45
(θ) Λοιπές Α.Π.Ε.	87,85	99,45
(ι) Σ.Η.Θ.Υ.Α	87,85	99,45

Εικόνα 5.1: Τιμολόγια πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ (Πηγή: Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας).

5.4 Υπολογισμός κόστους

Στην παράγραφο που ακολουθεί δίνονται συσχετίσεις για τον υπολογισμό του κόστους κάθε συνιστώσας του έργου χωριστά. Οι συσχετίσεις αυτές, οι οποίες προέρχονται από την διεθνή βιβλιογραφία, δεν εξασφαλίζουν απολύτως ακριβή αποτελέσματα, καθώς το πραγματικό κόστος εξαρτάται από πολλούς και αβέβαιους παράγοντες. Ωστόσο, όπως αναφέρει και ο Παπαντώνης (2016, σ. 392) «στην φάση της αναγνωριστικής μελέτης, θεωρείται επαρκής μια ακρίβεια στον υπολογισμό του συνολικού κόστους του έργου της τάξεως του $\pm 40\%$. Ακριβέστερος υπολογισμός του κόστους απαιτεί λεπτομερέστερη σχεδίαση και μελέτη των επιμέρους έργων [...]». Οι παρακάτω τύποι χρησιμοποιούνται γιατί ο λεπτομερής σχεδιασμός του κάθε επιμέρους έργου δε συνάδει ούτε με το εγχείρημα της τυποποίησης ούτε με το στόχο της συγκεκριμένης μελέτης. Το κόστος που προκύπτει από τους παρακάτω τύπους υπολογίζεται σε ευρώ (€), εκτός και αν αναφέρεται κάτι διαφορετικό.

5.4.1 Υπολογισμός κόστους υδροστροβίλων

Οι υδροστροβίλοι αποτελούν σημαντικό κόστος υποδομής ενός υδροηλεκτρικού έργου. Ο υπολογισμός του κόστους τους προσεγγίστηκε αρχικά μέσω της ακόλουθης εμπειρικής σχέσης του Παπαντώνη (2016, σ. 396):

$$C = b \cdot N^n \cdot H^k \quad (5.10)$$

όπου:

C το ολικό κόστος αγοράς και τοποθέτησης του υδροστροβίλου σε χιλιάδες €

N η ονομαστική ισχύς σε KW

H η διαθέσιμη υδραυλική πτώση

Οι τιμές των συντελεστών και εκθετών b , n , k εξαρτώνται από τον τύπο του στροβίλου και παρατίθενται στον πίνακα (5.2).

Πίνακας 5.2: Συντελεστές κοστολόγησης υδροστροβίλου.

Υδροστρόβιλος	b	n	k
Αξονικής ροής	35.446	0.410	-0.2100
Francis	33.676	0.481	-0.2858
Pelton	43.465	0.444	-0.1858

Για παράδειγμα, έστω υδροηλεκτρικό έργο με δύο εγκατεστημένους στροβίλους Kaplan (αξονικής ροής) με ονομαστική ισχύ 7.5 MW έκαστος και διαθέσιμο ύψος πτώσης 30 μέτρων. Ο Τύπος 5.10 κοστολογεί τον κάθε στρόβιλο στα 673204 €. Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι πολύ μικρό οπότε για την κοστολόγηση των στροβίλων χρησιμοποιείται η εμπειρική τιμή των 200 000 €/MW εγκατεστημένης ισχύος. Για εφαρμογή της δεύτερης τιμής στο παράδειγμα παρατηρείται η αρκετά ρεαλιστικότερη τιμή των 1 500 000 €.

5.4.2 Υπολογισμός κόστους φράγματος

Ο υπολογισμός του κόστους του κύριου σώματος του φράγματος από σκυρόδεμα θα γίνει μέσω της παρακάτω σχέσης του Παπαντώνη (2016, σ. 392), όπου ο όρος h αναπαριστά το μέσο ύψος h του φράγματος και το τελικό κόστος δίνεται ανά μέτρο ανοίγματος του φράγματος. Αντίστοιχα, το κόστος χωμάτινου φράγματος εκτιμάται ότι κυμαίνεται μεταξύ 30-90 €/m³.

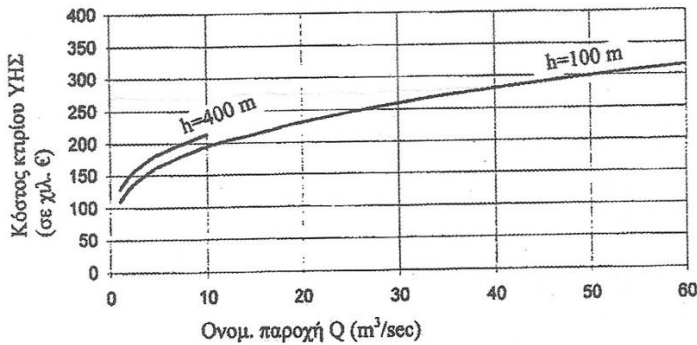
$$C = 97.632 h^2 + 14.3 h + 821.75 \quad (5.11)$$

5.4.3 Υπολογισμός κόστους κτηρίου ΥΗΣ και γεννήτριας

Ο υπολογισμός του κόστους του κτηρίου του υδροηλεκτρικού σταθμού συσχετίζεται με την ονομαστική παροχή Q (m³/s) του έργου και δευτερευόντως με την τιμή της υδραυλικής πτώσης h (m), η οποία στη Σχέση 5.12 επηρεάζει τις τιμές των παραμέτρων a και n .

$$C = a Q^n \text{ σε χιλ. €} \quad (5.12)$$

Τόσο η σχέση (5.12) όσο και η εικόνα (5.2), που αποτελεί γραφική της αναπαράσταση, προέρχονται από το βιβλίο του Παπαντώνη (2016, σ. 395).



Εικόνα 5.2: Διάγραμμα κοστολόγησης κτηρίου ΥΗΣ (Παπαντώνης, 2016).

Το κόστος της γεννήτριας εξαρτάται από την ονομαστική ισχύ του έργου N σε MW και τον τύπο της, δηλαδή αν είναι σύγχρονη η ασύγχρονη. Οι δύο σχέσεις υπολογισμού για τους δύο τύπους γεννήτριας προέρχονται από το βιβλίο του Παπαντώνη (2016, σ. 398) και φαίνονται παρακάτω:

$$C_{\text{συγχ.}} = -2.394N^2 + 60N + 7.865 \quad (5.13)$$

$$C_{\text{ασυγχ.}} = -1.811N^2 + 47.5N + 5.931 \quad (5.14)$$

5.4.4 Υπολογισμός του κόστους του αγωγού πτώσεως

Το κόστος του αγωγού πτώσεως εξαρτάται άμεσα από την ονομαστική παροχή Q (m^3/s) του έργου καθώς και την τιμή της υδραυλικής πτώσης h (m). Μέσω της Σχέσης 5.15 του Παπαντώνη (2016, σ. 394) υπολογίζεται το κόστος ανά μέτρο μήκους του αγωγού.

$$C = a \cdot Q^n \quad (5.15)$$

όπου:

$$\alpha = 0.0007 \cdot h^2 + 0.0662 \cdot h + 497.6$$

$$n = -6 \cdot 10^{-7} \cdot h^2 + 0.0009 \cdot h + 0.316$$

5.4.5 Υπολογισμός του κόστους της διόδου ψαριών

Το κόστος της διόδου ψαριών συσχετίζεται με την υψομετρική διαφορά μεταξύ ανάντη και κατάντη στάθμης του νερού (ανάντη και κατάντη του φράγματος). Όπως αναφέρει ο Παπαντώνης (2016, σ. 395), η τιμή της κυμαίνεται μεταξύ 4000-20000 €/m ανύψωσης, ανάλογα και με τις τοπικές συνθήκες. Στην παρούσα μελέτη το κόστος λήφθηκε 10000 €/m ανύψωσης.

5.4.6 Υπολογισμός του κόστους του έργου υδροληψίας

Ως έργο υδροληψίας νοούνται το θυρόφραγμα και η εσχάρα καθαρισμού. Σύμφωνα με τον Παπαντώνη (2016, σ. 393) το κόστος του σχετίζεται με την ονομαστική παροχή Q (m^3/s) και δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$C = 9.236 Q^{0.72} \text{ σε χιλ. €} \quad (5.16)$$

5.4.7 Υπολογισμός κόστους μελετών, αδειοδοτήσεων και επίβλεψης

Το κόστος των μελετών, των αδειοδοτήσεων και της επίβλεψης ανέρχεται στο 10-15 % περίπου του συνολικού κόστους του έργου. Αναλυτικότερα, το συγκεκριμένο ποσοστό προκύπτει από του Τύπους 5.17, 5.18 και 5.19 όπως αυτοί παρουσιάστηκαν από τον Παπαντώνη (2016, σ. 401), όπου N είναι η ονομαστική εγκατεστημένη ισχύ σε MW και h είναι η υδραυλική πτώση (σε m).

$$C_1 = 70000 \left(\frac{N}{h^{0.30}} \right)^{0.54} \quad (5.17)$$

όπου C_1 το κόστος επίβλεψης, χωρίς να συμπεριλαμβάνεται η επίβλεψη κατά την κατασκευή του έργου, από την έναρξη της αναγνωριστικής μελέτης μέχρι την παραλαβή του έργου.

$$C_2 = 200000 \left(\frac{N}{h^{0.30}} \right)^{0.54} \quad (5.18)$$

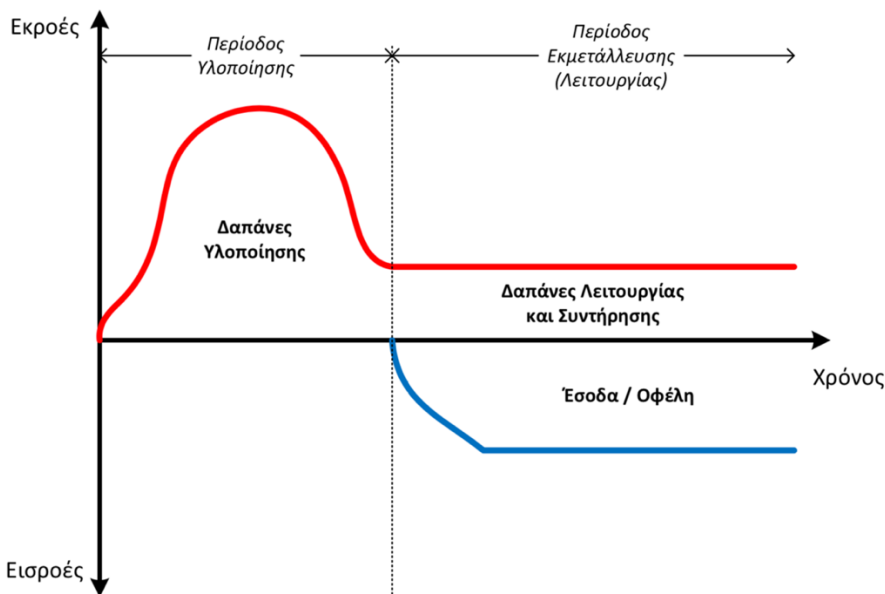
όπου C_2 το κόστος της μελέτης εφαρμογής και της σύνταξης των απαραίτητων τευχών προδιαγραφών και δημοπράτησης.

$$C_3 = 100000 \left(\frac{N}{h^{0.30}} \right)^{0.54} \quad (5.19)$$

όπου C_3 το κόστος της επίβλεψης της κατασκευής του έργου. Το κόστος $C_{tot.} = C_1 + C_2 + C_3$ δοκιμάστηκε κατά την κοστολόγηση τόσο έργων πάνω στην ροή όσο και έργων εκτός αυτής και σε καμία εκ των δοκιμών δεν αποτέλεσε ποσοστό μεγαλύτερο από το 8 % του συνολικού κόστους του έργου. Στην παρούσα μελέτη, για την κοστολόγηση των μελετών των αδειοδοτήσεων και της επίβλεψης, καθορίζεται η τιμή του 10 % του συνολικού κόστους.

5.4.8 Υπολογισμός ετήσιου κόστους

Μέσω των σχέσεων του Κεφαλαίου 5.3 γίνεται υπολογισμός του συνολικού κόστους κατασκευής, αγοράς ή εγκατάστασης των επιμέρους μελών που απαρτίζουν το υδροηλεκτρικό έργο πάνω στην κοίτη. Η αναγωγή του εν λόγω κόστους σε ετήσια βάση θα συμβάλει στην πληρέστερη αξιολόγηση κάθε επένδυσης και θα βοηθήσει στην σύγκριση με τα ετήσια οφέλη από την πώληση της παραγόμενης ενέργειας. Για την παρούσα μελέτη η περίοδος απόσβεσης του κάθε υδροηλεκτρικού έργου τέθηκε στα 20 χρόνια. Βέβαια, όπως αναφέρει ο Μπαλλής (2020), το χρήμα δεν έχει την ίδια αξία σε διαφορετικές χρονικές περιόδους λόγω του ευκαιριακού κόστους κεφαλαίου και του πληθωρισμού (αγοραστική δύναμη χρήματος). Σε οποιοδήποτε έργο οι χρηματικές ροές πραγματοποιούνται σε διαφορετικές περιόδους και υπάρχει ανομοιογένεια στις ροές δαπανών και εσόδων όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.3.



Εικόνα 5.3: Αναπαράσταση της χρονικής ανομοιογένειας μεταξύ δαπανών και εσόδων στα τεχνικά έργα.

Για να ξεπεραστεί το εμπόδιο της χρονικής διάστασης της αξίας του χρήματος χρησιμοποιήθηκε ο τυπικός τύπος αναγωγής του για ισόποσες δαπάνες S για κάθε ένα από τα 20 χρόνια της περιόδου απόσβεσης. Έτσι για συνολική παρούσα υπολογιζόμενη αξία P , που προκύπτει από τους παραπάνω τύπους κοστολόγησης για κάθε μέλος του έργου, ο τύπος υπολογισμού του ετήσιου κόστους απόσβεσης S δίνεται από τη σχέση (Μπαλλής, 2020):

$$S = P \cdot \frac{i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \quad (5.20)$$

όπου:

i το επιτόκιο ανατοκισμού, που λαμβάνεται 4 %

n τα χρόνια απόσβεσης της επένδυσης.

5.5 Βελτιστοποίηση λειτουργίας

Σε όλη την έκταση του Κεφαλαίου 5 περιεγράφηκε αναλυτικά η τυποποίηση της διαδικασίας σχεδιασμού μικρού υδροηλεκτρικού έργου πάνω στην κοίτη του ποταμού Αχελώου. Η τυποποίηση επετεύχθη με χρήση του προγράμματος λογιστικών φύλλων Microsoft Excel και με τα ελάχιστα δεδομένα εισαγωγής που αναφέρονται στην Παράγραφο 5.1 μπορεί να γίνει ενεργειακός και οικονομικός σχεδιασμός υδροηλεκτρικού έργου σε οποιαδήποτε θέση του ποταμού. Για την καλύτερη αξιοποίηση του συγκεκριμένου ‘εργαλείου’, μετά την εισαγωγή των εξατομικευμένων δεδομένων που χαρακτηρίζουν κάθε θέση του ποταμού, γίνεται βελτιστοποίηση η οποία περιγράφεται παρακάτω.

Η βελτιστοποίηση γίνεται θέτοντας ως κύριο στόχο την μεγιστοποίηση των οικονομικών απολαβών της εκάστοτε επένδυσης. Ζητούμενο είναι η μεγιστοποίηση του ετήσιου κέρδους το οποίο δίνεται από την διαφορά των εσόδων από την πώληση ενέργειας στην διάρκεια του έτους και των ετήσιων εξόδων για την απόσβεση της επένδυσης. Οι σχεδιαστικοί παράμετροι που μεταβάλλονται για να επιτευχθεί η βελτιστοποίηση είναι οι εξής:

1. Η ονομαστική παροχή, και ως εκ τούτου η ισχύς κάθε στροβίλου.
2. Το ύψος του φράγματος, και ως εκ τούτου το καθαρό ύψος πτώσης του έργου.

Με την μεταβολή της ονομαστικής παροχής των στροβίλων αυξομειώνονται αντίστοιχα όλα τα οικονομικά μεγέθη που σχετίζονται άμεσα με αυτήν. Για παράδειγμα, για αύξηση της ονομαστικής παροχής ενός στροβίλου αυξάνεται αντίστοιχα και το κάτω όριο παροχών λειτουργίας. Ως εκ τούτου φαίνεται πως η αύξηση της ονομαστικής παροχής δεν αποφέρει οπωσδήποτε περισσότερη ενέργεια και πως πρέπει να βρεθεί το βέλτιστο διάστημα λειτουργίας κάθε στροβίλου ανάλογα με τις απορροές στο συγκεκριμένο σημείο του ποταμού. Επίσης, για αύξηση της παροχής σχεδιασμού αυξάνουν σημαντικά τα κόστη διαφόρων επιμέρους έργων. όπως των υδροστροβίλων, της γεννήτριας και του αγωγού πτώσης.

Με την μεταβολή του ύψους του φράγματος συμβαίνει κάτι αντίστοιχο. Όντας παράγοντας στον υπολογισμό της ενέργειας, όπως φαίνεται στη Σχέση 5.8, αύξηση του συνεπάγεται αύξηση της παραγόμενης ενέργειας αλλά και αύξηση του κόστους κατασκευής του φράγματος, του αγωγού πτώσης και άλλων δευτερευόντων έργων. Είναι έκδηλη λοιπόν η ανάγκη εύρεσης της κατάλληλης τιμής ονομαστικής παροχής για κάθε στροβίλο και του κατάλληλου ύψους, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη τιμή ετήσιου κέρδους. Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται μέσω του Solver, πρόσθετου

προγράμματος του Microsoft Excel για ανάλυση δεδομένων και επίλυση πολυπαραμετρικών εξισώσεων. Οι περιορισμοί του προβλήματος τέθηκαν ως εξής:

1. $P_1 + P_2 \leq 15 \text{ MW}$, όπου P_1, P_2 οι τιμές ισχύος των δύο στροβίλων.
2. $H \leq 30 \text{ m}$, όπου H το ύψος του φράγματος.

Οι δύο παραπάνω περιορισμοί έχουν ως κοινό στόχο τη διασφάλιση της ένταξης του υπό σχεδιασμό έργου στην κατηγορία των μικρών υδροηλεκτρικών έργων. Τα κριτήρια κατηγοριοποίησης υδροηλεκτρικών έργων παρατίθενται στην παράγραφο (2.2.1).

5.6 Παράδειγμα σχεδιασμού έργου πάνω στην κοίτη: ΜΥΗΕ Συκιάς

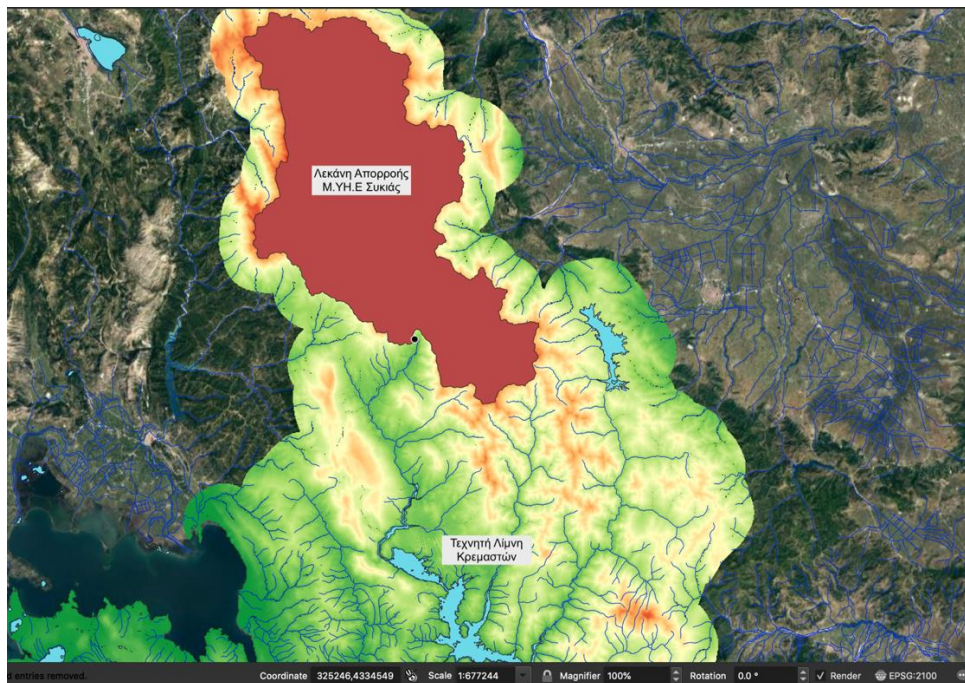
Στην παρούσα παράγραφο γίνεται αναλυτική αναφορά στον σχεδιασμό μικρού υδροηλεκτρικού έργου στην περιοχή της Συκιάς. Στην εν λόγω θέση το 1996 ξεκίνησε η κατασκευή χωμάτινου φράγματος από αμμοχάλικα με αργιλικό πυρήνα ύψους στέψης 150 m. από την κοίτη. Με βάση το ΥΠΕΘΕ (Υδάτινοι Πόροι και Περιβάλλον Θεσσαλίας), οι εργασίες συνεχίστηκαν μέχρι τα τέλη του 2009, οπότε και σταμάτησαν - με απόφαση του ΣτΕ - μετά από σχετικές προσφυγές φορέων της Αιτωλοακαρνανίας και οικολογικών οργανώσεων. Στην συγκεκριμένη θέση, η οποία φαίνεται στη Εικόνα 5.4, έγινε χρήση του παραπάνω εργαλείου για τον τυποποιημένο σχεδιασμό μικρού υδροηλεκτρικού έργου από σκυρόδεμα.



Εικόνα 5.4: Θέση μελέτης ΜΥΗΕ Συκιάς από Google Earth.

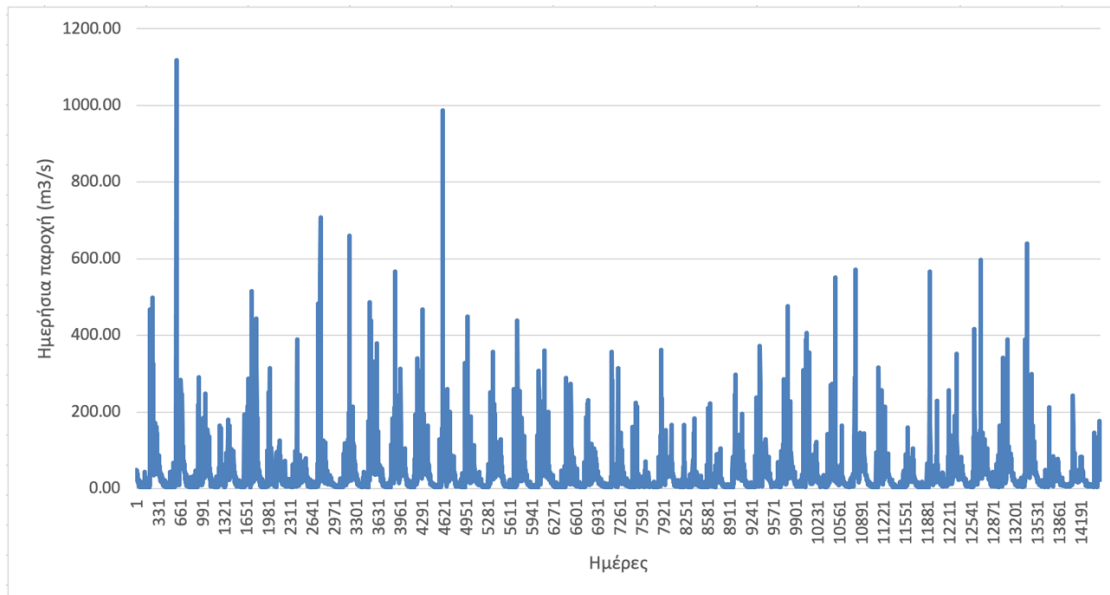
Πρώτο βήμα του σχεδιασμού αποτέλεσε ο υπολογισμός του μήκους του ανοίγματος της κοίτης σε εκείνο το σημείο καθώς και του εμβαδού της λεκάνης απορροής στην θέση της Συκιάς. Το πρώτο ζητούμενο προέκυψε από μέτρηση μήκους μέσω εργαλείου του Google Earth περίπου ίσο με 70 m. Το δεύτερο ζητούμενο υπολογίστηκε μέσω του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών QGIS όπου έγινε η χάραξη και στη συνέχεια η εμβαδομέτρηση της λεκάνης. Πιο αναλυτικά, αρχικά έγινε εισαγωγή χάρτη υψομέτρων της υπό εξέταση περιοχής (dem) στο σύστημα αναφοράς

συντεταγμένων Greek Grid (EPSG:2100). Στην συνέχεια, η πινέζα της υπό εξέταση θέσης που φαίνεται στην Εικόνα 5.4 μεταφέρθηκε από το Google Earth στο QGIS και έγινε “γέμισμα” των κενών του χάρτη μέσω του εργαλείου Fill Sinks. Μέσω του εργαλείου r.stream.extract έγινε δημιουργία κόμβων και κατεύθυνσης ροής. Τέλος η χάραξη της λεκάνης, όπως αυτή φαίνεται στην Εικόνα 5.5, έγινε μέσω του εργαλείου r.water.outlet και προέκυψε τελικό εμβαδό 1170 km².

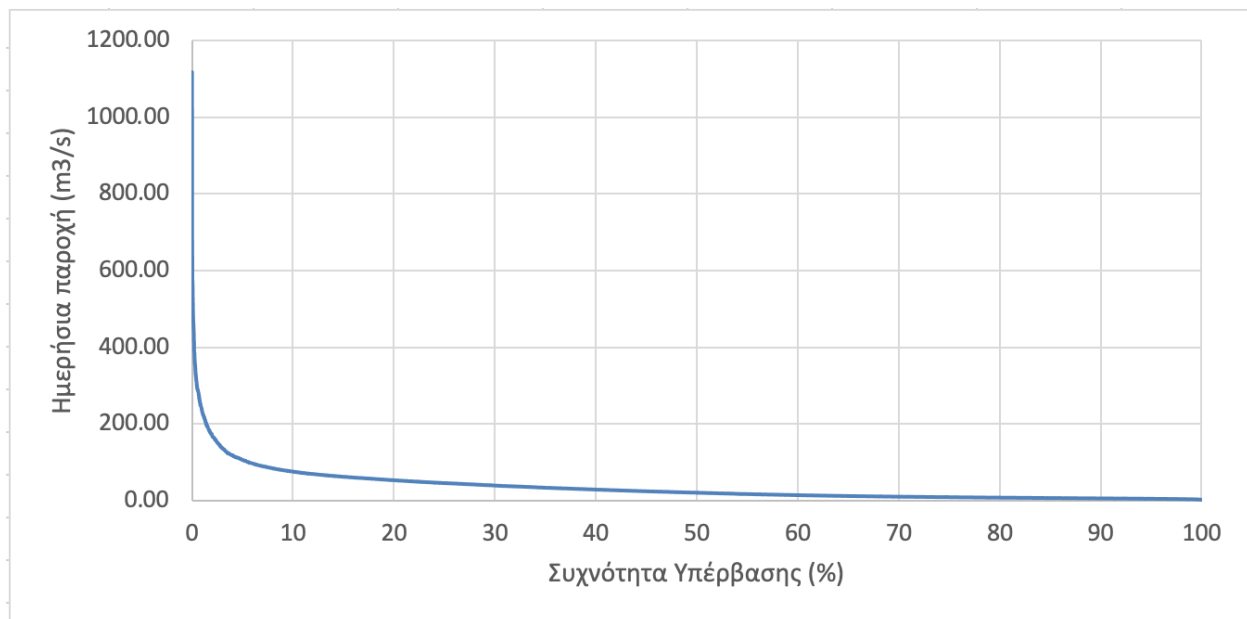


Εικόνα 5.5: Λεκάνη απορροής Συκιάς σε περιβάλλον QGIS.

Η έκταση της λεκάνης απορροής συνδυάστηκε με τη χρονοσειρά ημερήσιων υψών απορροής για τον ποταμό Αχελώο (mm/d) από τον Μάιο του 1969 μέχρι και το Δεκέμβριο του 2008, όπως αυτή παρουσιάστηκε σε μελέτη των Efstratiadis *et al.* (2014), μέσω των Σχέσεων 4.1 και 4.2. Με την παραπάνω μεθοδολογία τα 14479 δεδομένα ημερήσιων υψών απορροής για τον ποταμό Αχελώο (από 12/5/1969 έως 31/12/2008) μετατράπηκαν σε ισάριθμα δεδομένα ημερήσιων παροχών. Παρακάτω δίδονται η ημερήσια χρονοσειρά παροχών καθώς και η καμπύλη διάρκειας-παροχής για τα εν λόγω αποτελέσματα στις Εικόνες 5.6 και 5.7 αντίστοιχα.



Εικόνα 5.6: Ημερήσια χρονοσειρά παροχών (m^3/s) από 12/5/1969 έως 31/12/2008 στην θέση της Συκιάς.



Εικόνα 5.7: Καμπύλη διάρκειας-παροχής στη θέση της Συκιάς.

Στη συνέχεια, μέσω των λογιστικών φύλλων Microsoft Excel, υπολογίστηκε η ημερήσια παραγόμενη ενέργεια. Για να καταστεί κάτι τέτοιο δυνατό, εισήχθησαν αρχικά δοκιμαστικές τιμές των ονομαστικών παροχών των δύο στροβίλων οι οποίες αργότερα μεταβλήθηκαν στη φάση της βελτιστοποίησης, όπως αυτή αναλύεται στην Παράγραφο 5.4. Η ενέργεια υπολογίστηκε μέσω των Σχέσεων 5.8 και των καμπυλών απόδοσης υδροστροβίλων όπως φαίνονται στην Εικόνα 4.4 πάντα με βάση τον λόγο $\frac{Q_{\text{ημερ.}}}{Q_{\text{ονομ.}}}$. Προέκυψε έτσι η παραγόμενη ημερήσια ενέργεια του κάθε υδροστροβίλου για κάθε μέρα και έτσι υπολογίστηκε η μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια του κάθε στροβίλου, προσθέτοντας όλα τα 14479 ημερήσια δεδομένα και διαιρώντας τα με το 40 που

αναπαριστά τα έτη δειγματοληψίας. Τελικά, κοστολογώντας την ενέργεια σε 80 €/MWh, όπως ορίστηκε στην Παράγραφο 5.2.2 προέκυψε ένα ετήσιο όφελος από την πώληση της ενέργειας.

Ακολούθησε η κοστολόγηση της επένδυσης στην Συκιά μέσω των εμπειρικών σχέσεων της Παραγράφου 5.3. Στους εν λόγω τύπους δόθηκαν ως δεδομένα αρχικά οι προαναφερθείσες δοκιμαστικές τιμές των ονομαστικών παροχών των δύο στροβίλων καθώς και δοκιμαστική τιμή του ύψους κατασκευής του φράγματος. Σε αυτό το σημείο έχει μορφωθεί η σχέση υπολογισμού του ετήσιου κέρδους ως εξής:

$$\begin{aligned}
 & \text{Ετήσιο κέρδος (€)} \\
 & = \text{Ετήσια έσοδα στροβίλου 1 (€)} \\
 & + \text{Ετήσια έσοδα στροβίλου 2 (€)} \\
 & - \text{Ετήσια έξοδα απόσβεσης επένδυσης (€)}
 \end{aligned}
 \tag{5.21}$$

Μετά την βελτιστοποίηση της πολυπαραμετρικής Σχέσης 5.21 μέσω του Solver, προέκυψαν για την συγκεκριμένη θέση $Q_{1\text{ονομ.}} = 48 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{2\text{ονομ.}} = 12 \text{ m}^3/\text{s}$ και $H = 30 \text{ m}$ το ύψος του φράγματος. Για αυτές τις παροχές σχεδιασμού επιλέχθηκε η εγκατάσταση δύο στροβίλων Kaplan ονομαστικής ισχύς $P_{1\text{ονομ.}} = 12 \text{ MW}$ και $P_{2\text{ονομ.}} = 3 \text{ MW}$. Η ετήσια παραγωγή ενέργειας του Μ.ΥΗ.Ε. υπολογίστηκε 56.32 GWh. Για τα παραπάνω στοιχεία προκύπτει τελικό ετήσιο κέρδος της επένδυσης ίσο με 3645951 €. Σε αυτό το σημείο επισημαίνεται πως για κάθε έργο πάνω στην κοίτη του ποταμού γίνονται τρεις διαδοχικές βελτιστοποιήσεις για την εύρεση του βέλτιστου μίγματος στροβίλων. Στην συγκεκριμένη περίπτωση της Συκιάς, ο συνδυασμός Kaplan και Francis με τις βέλτιστες ονομαστικές παροχές δίνει ετήσιο κέρδος 3 592 252 € και ο αντίστοιχος Francis και Francis δίνει ετήσιο κέρδος 3 539 609 €. Όπως είναι προφανές επιλέγεται το μίγμα που αποφέρει το υψηλότερο κέρδος. Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται αναλυτικά τα κόστη των επιμέρους τμημάτων της επένδυσης στην Συκιά σε ετήσια βάση καθώς και για το σύνολο της απόσβεσης τους. Σημειώνεται πως στην παρούσα μελέτη η περίοδος απόσβεσης του κάθε υδροηλεκτρικού έργου τέθηκε στα 20 χρόνια.

Πίνακας 5.2: Κοστολόγηση επιμέρους έργων ΜΥΗΕ στην Συκιά.

Κατηγορία έργου	Ετήσια απόσβεση (€)	Συνολική απόσβεση (€)	Παρατηρήσεις
Φράγμα	459030	6238369	H=30 m / b _{κοίτης} =70 m
Υδροστρόβιλος 1	176923	2404434	Kaplan 12 MW
Υδροστρόβιλος 2	43823	595566	Kaplan 3 MW
Γεννήτρια	40359	548490	
Αγωγός πτώσης	15703	213403	L=100 m
Έργο υδροληψίας	8824	119924	
Δίοδος ιχθύων	22075	300000	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	14716	200000	
Μελέτη/Επίβλεψη	78145	1562904	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	859598	12183090	

6 Τυποποίηση σχεδιασμού μικρού υδροηλεκτρικού έργου εκτός της κοίτης

6.1 Εισαγόμενα και εξαγόμενα δεδομένα

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται η μεθοδολογία τυποποιημένης σχεδίασης μικρών υδροηλεκτρικών έργων εκτός της ροής ή όπως αναφέρονται στην διεθνή βιβλιογραφία run-of-river plants (RoR). Τα run-of-river είναι έργα εκτός του κυρίου ρου του ποταμού, τα οποία με εκτροπή τμήματος της διερχόμενης παροχής σε κατάντη θέση με ικανή υψομετρική διαφορά καταστούν δυνατή την παραγωγή ενέργειας. Τα συγκεκριμένα έργα εμφανίζουν πολλές ομοιότητες με τα ΜΥΗΕ πάνω στην ροή κατά τον σχεδιασμό τους, οπότε σε κοινά βήματα των δύο θα γίνεται παραπομπή στο Κεφάλαιο 4 ή 5.

Παρομοίως με τα έργα πάνω στη ροή, απαραίτητα εισαγόμενα δεδομένα αποτελούν η χρονοσειρά ημερήσιων υψών απορροής για τον ποταμό Αχελώο (mm/d) καθώς και το εμβαδό της λεκάνης απορροής σε κάθε υποψήφια θέση (km²). Αντίθετα, το πλάτος της κοίτης στο υπόψιν σημείο δεν αποτελεί πια απαραίτητο δεδομένο αφού στα run-of-river έργα δεν γίνεται κατασκευή συμβατικού φράγματος. Τόσο τα κοινά όσο και τα διαφορετικά δεδομένα εισαγωγής και εξαγωγής δίνονται επιγραμματικά στον Πίνακα 6.1 και αναλύονται στην συνέχεια της παραγράφου.

Πίνακας 6.1: Δεδομένα και αποτελέσματα της τυποποίησης σχεδιασμού μικρού υδροηλεκτρικού έργου εκτός της κοίτης.

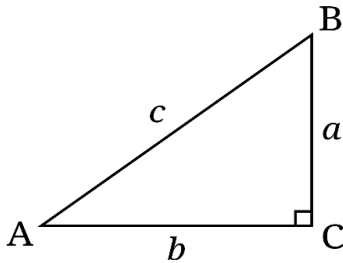
Απαιτούμενα δεδομένα	Εξαγόμενα αποτελέσματα
Χρονοσειρά ημερήσιων υψών απορροής για τον ποταμό Αχελώο (mm/d)	Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)
Έκταση λεκάνης απορροής (km ²)	Συνολική εγκατεστημένη ισχύς (MW)
Μήκος διώρυγας εκτροπής (m)	Μίγμα υδροτροβίλων
Μήκος αγωγού πτώσης (m)	Ετήσιο κόστος επένδυσης (€)
Υψόμετρο υδροληψίας (m)	Ετήσια έσοδα από πώληση ενέργειας (€)
Υψόμετρο σταθμού παραγωγής ενέργειας (m)	

Η χρονοσειρά ημερήσιων υψών απορροής και τα εμβαδά των λεκανών απορροής λαμβάνονται όπως και στην περίπτωση των έργων πάνω στην ροή, όπως αναλύεται στην Παράγραφο 4.2. Το μήκος της διώρυγας εκτροπής υπολογίζεται προσεγγιστικά μέσω του προγράμματος QGIS και του εργαλείου μέτρησης αποστάσεων που παρέχει. Γίνεται προσπάθεια η χάραξη και μέτρηση της διώρυγας να γίνεται κατά μήκος της ισοϋψούς στην οποία βρίσκεται η υδροληψία του έργου ώστε να επιτευχθούν μικρές κατά μήκος κλίσεις και ως εκ τούτου να μεγιστοποιηθεί το τελικό ύψος πτώσης του νερού.

Το μήκος του αγωγού πτώσης υπολογίζεται ως συνάρτηση δύο επιμέρους αποστάσεων του εκάστοτε έργου. Πιο συγκεκριμένα, στο απλοποιημένο σχήμα της Εικόνας 6.1 οι πλευρές του τριγώνου αναπαριστούν:

- Την διαφορά υψομέτρου μεταξύ του τέλους της διώρυγας εκτροπής και του σταθμού παραγωγής ενέργειας.

- b) Την οριζόντια απόσταση μεταξύ του τέλους της διώρυγας εκτροπής και του σταθμού παραγωγής ενέργειας.
- c) Το μήκος του αγωγού πτώσης.



Εικόνα 6.1: Απλή γεωμετρική αναπαράσταση του αγωγού πτώσης (c), της υψομετρικής διαφοράς (a) και της οριζόντιας απόστασης (b).

Η μέτρηση της οριζόντιας απόστασης μεταξύ του τέλους της διώρυγας εκτροπής και του σταθμού παραγωγής ενέργειας (b) μετράται μέσω του προγράμματος QGIS και του εργαλείου μέτρησης αποστάσεων που παρέχει ενώνοντας απλώς τα δύο σημεία. Η διαφορά υψομέτρου μεταξύ του τέλους της διώρυγας εκτροπής και του σταθμού παραγωγής ενέργειας (a) υπολογίζεται με χρήση των ισοϋψών καμπυλών της περιοχής οι οποίες φαίνονται μέσω του προγράμματος QGIS. Επισημαίνεται ότι η υψομετρική διαφορά μεταξύ της υδροληψίας και του σταθμού παραγωγής ενέργειας δεν ταυτίζεται με την διαφορά υψομέτρου μεταξύ του τέλους της διώρυγας εκτροπής και του σταθμού παραγωγής ενέργειας αφού υπάρχει έστω και μια ελάχιστη κλίση της διώρυγας. Ο υπολογισμός της κλίσης αναλύεται στη συνέχεια του κεφαλαίου στη φάση της βελτιστοποίησης.

6.2 Μετατροπή υψών απορροής σε παροχή – οικολογική παροχή

Όπως στον σχεδιασμό των ΜΥΗΕ πάνω στην ροή, έτσι και τώρα είναι απαραίτητη η μετατροπή των ημερησίων υψών απορροής για τον ποταμό Αχελώο (mm/d) σε ημερήσιες παροχές σε m^3/s . Η εν λόγω μετατροπή γίνεται αφού υπολογιστεί η λεκάνη απορροής στην θέση της υδροληψίας του run-of-river, με χρήση της σχέσης (4.1).

Η μόνη διαφοροποίηση ανάμεσα στους δύο τύπους έργων σε αυτήν την φάση του σχεδιασμού έγκειται στην οικολογική παροχή. Σε αντίθεση με τα έργα πάνω στην κοίτη, τα run-of-river έργα εκτρέπουν την ροή ώστε να εκμεταλλευτούν την υψομετρική διαφορά του ανάγλυφου και ως εκ τούτου είναι απαραίτητη η πρόβλεψη για οικολογική παροχή στην απόσταση μεταξύ της υδροληψίας και του σταθμού παραγωγής. Ο Tharme (2003) ορίζει την οικολογική παροχή ως την «εκτίμηση της ποσότητας νερού που πρέπει να συνεχίσει να ρέει στο ποτάμι και στις πλημμυροπεδιάδες του ώστε να διατηρούνται προσδιορισμένα ποσοτικά χαρακτηριστικά του οικοσυστήματος». Όπως επισημαίνουν οι Μαμάσης κ.ά. (2018) «Οι περιβαλλοντικές ροές αναφέρονται σε τροποποιημένα ποτάμια, και επιδιώκουν να μιμηθούν το πρότυπο και να εξασφαλίσουν τα οικολογικά οφέλη του φυσικού καθεστώτος ροής [...]». Ο υπολογισμός της οικολογικής παροχής για την παρούσα μελέτη θα γίνει βάσει του ειδικού πλαισίου χωροταξικού σχεδιασμού και αιεφόρου ανάπτυξης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και της στρατηγικής μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτού (ΥΠΕΚΑ, 2008). Το συγκεκριμένο πλαίσιο ορίζει ως ελάχιστη απαιτούμενη οικολογική παροχή νερού που παραμένει στη φυσική κοίτη

υδατορεύματος, αμέσως κατόπιν του έργου υδροληψίας του υπό χωροθέτηση ΜΥΗΕ, το μεγαλύτερο από τα εξής μεγέθη:

- 30 % της μέσης παροχής των θερινών μηνών Ιουνίου, Ιουλίου και Αυγούστου ή
- 50 % της μέσης παροχής του μηνός Σεπτεμβρίου ή
- 30 L/s σε κάθε περίπτωση.

Τα δύο ποσοστά προκύπτουν από τα στοιχεία της μηνιαίας χρονοσειράς υψών απορροής για τον ποταμό Αχελώο από τον Ιούνιο του 1969 μέχρι τον Δεκέμβριο του 2008 (της οποίας τα στατιστικά χαρακτηριστικά φαίνονται στον Πίνακα 4.1), αφού αυτά μετατραπούν σε μέσες μηνιαίες παροχές μέσω του Τύπου 6.1. Τα 30 L/s αντιστοιχούν σε 0.03 m³/s και έτσι γίνεται η σύγκριση μεταξύ των τριών παροχών και επιλέγεται η μέγιστη.

$$Q = \frac{h \cdot A}{a} \quad (6.1)$$

όπου:

h είναι οι μηνιαίες παροχές σε ύψη απορροής (mm/day)

A είναι το εμβαδό της λεκάνης απορροής (km²)

a είναι ο συντελεστής μετατροπής ($2592 \frac{\text{sec} \times \text{km}^2 \times \text{mm}}{\text{day} \times \text{m}^3}$)

Αναλυτικότερα ο συντελεστής μετατροπής a προέκυψε ως εξής:

$$a = 30d/\text{month} \times 24h/d \times 60\text{min}/h \times 60\text{sec}/\text{min} \times 10^{-6} \text{km}^2/\text{m}^2 \times 10^3 \text{mm}/\text{m} \quad (6.2)$$

Αφού υπολογιστεί η οικολογική παροχή για κάθε υποψήφια θέση κατασκευής run-of-river, αφαιρείται από κάθε τιμή της παραχθείσας χρονοσειράς ημερήσιων παροχών ώστε να προκύψει η χρονοσειρά ωφέλιμων παροχών που θα χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας.

6.3 Επιλογή στροβίλων

Η επιλογή των στροβίλων για τα έργα εκτός της κοίτης γίνεται με την ίδια μέθοδο όπως για να έργα πάνω στην κοίτη. Στόχος η εύρεση του τύπου στροβίλου ή του μίγματος υδροστροβίλων που θα καταστήσουν εκμεταλλεύσιμο μεγαλύτερο όγκο νερού. Η μόνη διαφοροποίηση μεταξύ των δύο έργων γίνεται αντιληπτή από το διάγραμμα της Εικόνας 4.2 για την επιλογή υδροστροβίλων. Τα έργα εκτός της ροής έχουν ως χαρακτηριστικό μικρές παροχές αλλά και αρκετά μεγάλα ύψη πτώσης τα οποία επιδιώκονται κατά την χωροθέτηση για την μεγιστοποίηση της ενέργειας. Όπως φαίνεται λοιπόν από την Εικόνα 4.2 οι συμβατοί τύποι υδροστροβίλων για τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά είναι οι Pelton και Turgo. Κατά τα άλλα, τόσο η μεθοδολογία για τον διαχωρισμός

της ροής στους υδροτροβίλους όσο και ο βαθμός απόδοσης αυτών δίνονται αναλυτικά στην Παράγραφο 4.4.

6.4 Ενέργεια

Όπως στα έργα πάνω στην ροή του ποταμού έτσι και στα run-of-river ο υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας γίνεται μέσω της Σχέσης 5.8. Όμως, λόγω του σημαντικά μεγαλύτερου μήκους του αγωγού πτώσης στα έργα εκτός της κοίτης, οι γραμμικές απώλειες ενέργειας δεν θεωρούνται αμελητέες και άρα πρέπει να ληφθούν υπόψη. Ο υπολογισμός των γραμμικών απωλειών γίνεται μέσω των Τύπων 5.2, 5.3, 5.4 και 5.5 και οι συντελεστές α , β , γ και N δίνονται παρακάτω τόσο στην Εικόνα 6.3 όσο και από τις σχέσεις των Κουτσογιάννη και Ευστρατιάδη (2015) για διαμέτρους αγωγών $0.1 \text{ m} < D < 10 \text{ m}$ και ταχύτητες ροής $0.3 \text{ m/s} < V < 10 \text{ m/s}$ (Σχέσεις 6.3 και 6.4). Οι εν λόγω συντελεστές εξαρτώνται από την τραχύτητα και την παλαιότητα του υλικού του αγωγού πτώσης. Στην Εικόνα 6.2 δίνεται ενδεικτικός πίνακας εργαστηριακών τιμών ισοδύναμης τραχύτητας τυπικών υλικών.

Υλικό	ε (mm)
Ορείχαλκος, χαλκός	0.0015
Χάλυβας εμπορίου ή σφυρήλατος σίδηρος	0.045
Χυτοσίδηρος με ασφαλική επάλειψη	0.12
Γαλβανισμένος σίδηρος	0.15
Χυτοσίδηρος χωρίς επάλειψη	0.26
Σκυρόδεμα	0.3 – 3.0
Πλαστικό (λείοι σωλήνες εργοστασίου)	< 0.01
Πλαστικό, μετά από χρήση	> 0.10

Εικόνα 6.2: Ενδεικτικοί συντελεστές τραχύτητας ε τυπικών υλικών (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2015).

$$\beta = 0.25 + 0.0006\varepsilon_* + \frac{0.024}{1 + 7.2\varepsilon_*}, \gamma = \frac{0.083}{1 + 0.42\varepsilon_*} \quad (6.3)$$

$$N = 0.00757(1 + 2.47\varepsilon_*)^{0.14} \quad (6.4)$$

Όπου $\varepsilon_* := \varepsilon/\varepsilon_0$ είναι η αδιαστατοποιημένη τραχύτητα και $\varepsilon_0 = 0.00005 \text{ m}$.

ε (mm)	0	0.1	0.3	1	3
α	0.1273	0.1602	0.2200	0.3397	0.6458
β	0.31	0.28	0.28	0.29	0.32
γ	0.104	0.054	0.029	0.014	0.007
N (μονάδες SI: m, s)	0.0070	0.0093	0.0109	0.0128	0.0149

Εικόνα 6.3: Προσεγγιστικός υπολογισμός των συντελεστών α , β , γ , N με βάση τον συντελεστή τραχύτητας ε (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2015).

Επισημαίνεται πως οι τιμές εφαρμογής της τραχύτητας σχεδιασμού ε λαμβάνονται προσαυξημένες, προκειμένου να συμπεριληφθεί η παλαιότητα του αγωγού, καθώς και οι τοπικές απώλειες, οι οποίες, όπως αναφέρθηκε στην Παράγραφο 5.2.1, είναι γενικά μικρές, οπότε παραλείπεται ο αναλυτικός υπολογισμός τους. Σημειώνεται επίσης, πως στην Σχέση 5.3 ο όρος Q αναπαριστά την μέγιστη παροχή $Q_{1\text{ονομ.}} + Q_{2\text{ονομ.}}$ όπου οι ονομαστικές παροχές των στροβίλων προκύπτουν από την βελτιστοποίηση της λειτουργίας του έργου με απώτερο στόχο την μεγιστοποίηση του ετήσιου κέρδους.

Με την παραπάνω μεθοδολογία και με δεδομένη την διαμέτρου D του αγωγού πτώσης είναι δυνατή η εύρεση της τιμής των γραμμικών απωλειών h_f . Στην παρούσα μελέτη οι γραμμικές απώλειες λαμβάνονται εμπειρικά ίσες με το 3 % του ύψους πτώσης H , τιμή που αποτελεί συντηρητική προσέγγιση και διαμορφώνει το καθαρό ύψος πτώσης H_n ως εξής:

$$H_n = 0.97 \cdot H \quad (6.5)$$

Με αυτόν τον τρόπο οι γραμμικές απώλειες είναι γνωστές και έτσι μέσω της παραπάνω μεθοδολογίας μπορεί να βρεθεί η διάμετρος D του εκάστοτε αγωγού πτώσης. Συνίσταται αφού γίνει ο υπολογισμός της διαμέτρου και μετά από στρογγυλοποίηση επιλεγεί κάποια υπαρκτή διάμετρος χαλύβδινου αγωγού εμπορίου, να γίνει εκ νέου ο υπολογισμός των γραμμικών απωλειών με την νέα διάμετρο για να επαληθευθεί τιμή κοντά στο 3% του ακαθάριστου ύψους πτώσης.

Αφού γίνει ο υπολογισμός της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας μέσω της Σχέσης 5.8 υπολογίζονται τα έσοδα από την πώληση αυτής. Ομοίως με τα έργα πάνω στην ροή, η τιμή πώλησης της ενέργειας λαμβάνεται 80 €/MWh, με βάση τους τιμοκαταλόγους της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Εικόνα 5.1).

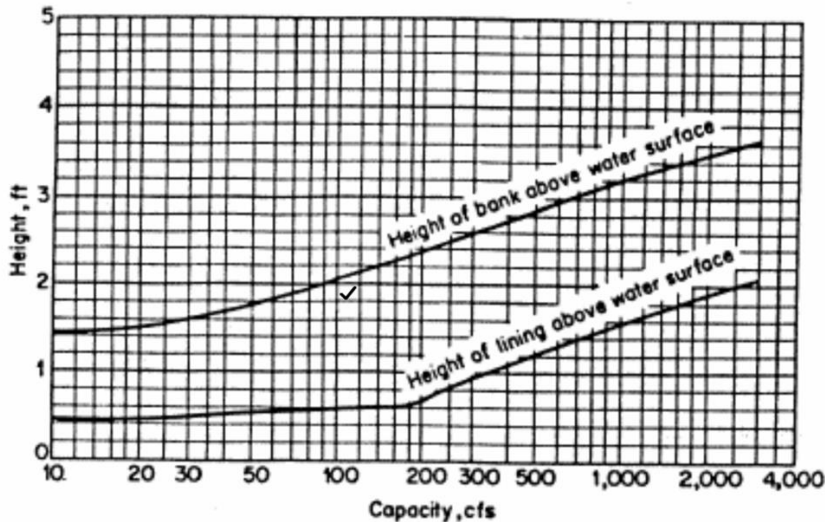
6.5 Υπολογισμός κόστους

Στην παράγραφο που ακολουθεί δίνονται συσχετίσεις για τον υπολογισμό του κόστους κάθε συνιστώσας του έργου χωριστά. Όπως και στην αντίστοιχη παράγραφο που αφορούσε τα Μ.ΥΗ.Ε. πάνω στην ροή του ποταμού, επισημαίνεται ξανά πως οι τιμές που προκύπτουν από τις παρακάτω σχέσεις πρέπει να θεωρηθούν ενδεικτικές. Όπως αναφέρει ο Παπαντώνης (2016, σ. 392) «το πραγματικό κόστος εξαρτάται από μεγάλο πλήθος παραγόντων όπως η διαμόρφωση του μικρού ΥΗΕ, ο τύπος και η προέλευση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, οι τοπικές συνθήκες και δυσκολίες». Μεγάλο ποσοστό της συνολικής επένδυσης ενός run-of-river έργου αποτελούν τα

κόστη της διώρυγας εκτροπής, του αγωγού πτώσης και της δεξαμενής φόρτισης ενώ το συνολικό κόστος μειώνεται σημαντικά λόγω της μη ύπαρξης φράγματος και υπερχειλιστή.

6.5.1 Κόστος διώρυγας προσαγωγής

Για την τυποποίηση επιλέχθηκε η κατασκευή διώρυγας προσαγωγής ορθογωνικής διατομής από σκυρόδεμα. Για τον υπολογισμό του κόστους απαραίτητο στοιχείο αποτελεί η μέτρηση του μήκους, όπως αυτή περιγράφεται στην Παράγραφο 6.1 καθώς και ο προσδιορισμός του πλάτους b της διώρυγας. Ο προσδιορισμός του πλάτους b περιγράφεται αναλυτικά στην Παράγραφο 6.6 αφού αποτελεί μέρος της βελτιστοποίησης. Ως γνωστό, η βέλτιστη διατομή ορθογωνικής διώρυγας, δηλαδή αυτή για την οποία επιτυγχάνεται μέγιστη παροχαρακτηριστική, έχει βάθος ροής $y = 0.5 b$ (Παπανικολάου, 2017, σ. 67). Ακόμα, από το διάγραμμα του US Bureau of Reclamation της Εικόνας 6.4 προκύπτουν κατά Παπανικολάου (2017, σ.64) οι Σχέσεις 6.6 και 6.7 για τον υπολογισμό του ελεύθερου ύψους F και του ύψους επένδυσης f της διώρυγας.



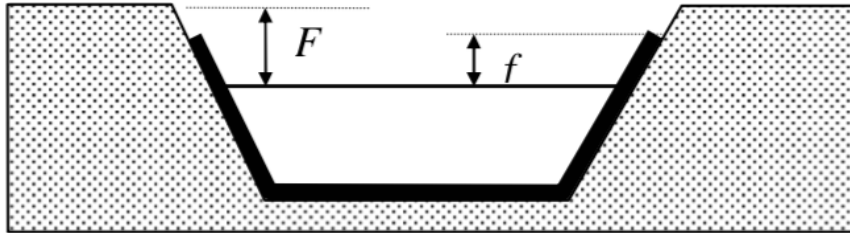
Εικόνα 6.4: Προτεινόμενα ελεύθερα ύψη και ύψη επένδυσης για αγωγούς με ελεύθερη επιφάνεια (US Bureau of Reclamation).

Στο σύστημα μονάδων SI το διάγραμμα του σχήματος δίνει τις ακόλουθες σχέσεις για παροχές $1.0 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 5 \text{ m}^3/\text{s}$:

$$F = 0.145 \ln Q + 0.484 \quad (6.6)$$

$$f = 0.022 \ln Q + 0.150 \quad (6.7)$$

Το ελεύθερο ύψος F είναι η απόσταση από την κορυφή της διώρυγας μέχρι την ελεύθερη επιφάνεια. Πρέπει να επαρκεί για την διακύμανση της στάθμης ώστε να αποφεύγονται οι υπερχειλίσεις. Το ύψος επένδυσης f είναι η απόσταση του ανώτερου σημείου επένδυσης από την ελεύθερη επιφάνεια, το οποίο εξαρτάται από παράγοντες όπως το μέγεθος της διώρυγας, οι διακυμάνσεις της στάθμης που οφείλονται σε κυματισμούς κλπ.



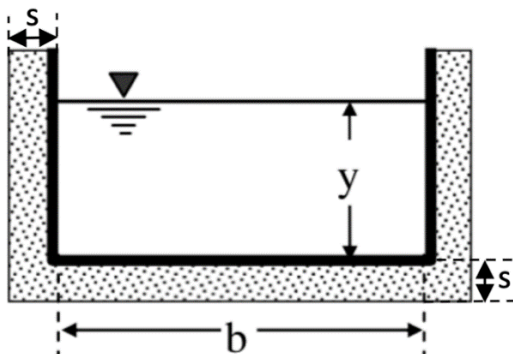
Εικόνα 6.5: Αναπαράσταση του ελεύθερου ύψος F και του ύψους επένδυσης f σε τραπεζοειδή διατομή (Παπανικολάου, 2017).

Με γνωστά το μήκος L το πλάτος b , το βάθος ροής y , το ελεύθερο ύψος F καθώς και το ύψος επένδυσης f της διώρυγας γίνεται ογκομέτρηση τόσο των εκσκαφών όσο και των σκυροδετήσεων που απαιτούνται. Οι όγκοι $V_{εκ.}$ και V_C αυτοί υπολογίζονται ως εξής:

$$V_{εκ.} = (b + 2s) (s + 0.5b + F) L \quad (6.8)$$

$$V_C = [(b + 2s) s + 2s (0.5b + f)] L \quad (6.9)$$

Τα μήκη που χρησιμοποιούνται στους παραπάνω υπολογισμούς φαίνονται στην αναπαράσταση της εικόνας (6.6). Στην παρούσα μελέτη, το πάχος s των τοιχωμάτων από σκυρόδεμα επιλέγεται ίσο με 0.20 m.



Εικόνα 6.6: Αναπαράσταση χαρακτηριστικών μεγεθών ορθογωνικής διατομής (Παπανικολάου, 2017, σ. 67, μορφοποιημένο).

Τα κόστη των εκσκαφών και των σκυροδετήσεων προέρχονται από τον Κανονισμό Περιγραφικών Τιμολογίων Εργασιών του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών (2017). Οι εκσκαφές τάφρων ή διωρύγων έργων προϋπολογισμού μεγαλύτερου των 1.5 εκατομμυρίων €, κατηγορία στην οποία ανήκουν τα run-of-river έργα της παρούσας μελέτης, τιμολογούνται στα 18 €/m³. Η μεταφορά των χωμάτων της εκσκαφής εκτός πόλεως, σε οδούς κακής βατότητας, σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 5 χιλιομέτρων τιμολογείται στα 0.21 €/m³. Συνεπώς, το συνολικό κόστος για εκσκαφή και μεταφορά γαιών ανέρχεται στα 18.21 €/m³. Το κόστος για την παραγωγή, μεταφορά, διάστρωση, συμπύκνωση και συντήρηση του σκυροδέματος κατηγορίας C 20/25 για μικρά, απομακρυσμένα τεχνικά έργα ανέρχεται στα 103 €/m³. Από τα παραπάνω προκύπτει η σχέση κοστολόγησης της διώρυγας εκτροπής για το εκάστοτε run-of-river έργο ως εξής:

$$C = 18.21 V_{εκ.} + 103 V_C \quad (6.10)$$

Ο Παπαντώνης (2016, σ. 393) δίνει την σχέση (6.11) για κοστολόγηση ανά μέτρο μήκους της διώρυγας προσαγωγής κατασκευασμένης από σκυρόδεμα με τραπεζοειδή διατομή κλίσεως πλευρικών τοιχωμάτων ίσης προς 0.25/1.

$$C = -0.0286 Q^4 + 0.935 Q^3 - 12.081 Q^2 + 17.677 Q + 105.71 \quad (6.11)$$

όπου Q είναι η ονομαστική παροχή του ΜΥΗΕ. σε m³/s.

Παρατηρήθηκε πως η σχέση (6.11) παράγει αποτελέσματα για την κοστολόγηση περίπου 20 % μικρότερα συγκριτικά με την (6.10) σε οποιοδήποτε από τα run-of-river που σχεδιάστηκαν. Για αυτόν τον λόγο προτιμάται η σχέση (6.10) αφού είναι αναλυτικότερη, εξαρτάται από περισσότερες παραμέτρους και παρέχει την συντηρητικότερη εκτίμηση εκ των δύο.

6.5.2 Κόστος αγωγού πτώσης

Ο αγωγός πτώσης θεωρείται ότι είναι κατασκευασμένος από χαλυβδοσωλήνα κυκλικής διατομής με διάμετρο D. Η απαιτούμενη διάμετρος για το εκάστοτε έργο υπολογίζεται, για δεδομένες γραμμικές απώλειες 3% του ύψους πτώσης, βάσει της μεθοδολογίας της Παραγράφου 6.4. Από την Εικόνα 6.2 η αρχική τραχύτητα για κατασκευές από χάλυβα εμπορίου είναι $\varepsilon = 0.045 \text{ mm}$, αλλά στην συγκεκριμένη μελέτη λαμβάνεται $\varepsilon = 1 \text{ mm}$ προκειμένου να συμπεριληφθεί η παλαιότητα του αγωγού καθώς και οι τοπικές απώλειες. Από την εικόνα 6.3 λαμβάνονται οι τιμές των συντελεστών α , β , γ , N και έτσι όλα τα μεγέθη, εκτός του D, των Σχέσεων 5.2, 5.3, 5.4 και 5.5 είναι γνωστά. Η επίλυση των παραπάνω σχέσεων ως προς την διάμετρο D δίνει την εξής σχέση υπολογισμού:

$$D = \left[\frac{1000 h_f}{1.190 Q^{1.9} L} \right]^{-0.239} \quad (6.12)$$

όπου:

h_f είναι οι γραμμικές απώλειες ενέργειας του αγωγού $h_f = 0.03H$ (m)

Q είναι η ονομαστική παροχή του ΜΥΗΕ (m^3/s)

L είναι το μήκος του αγωγού πτώσης

Η Σχέση 6.12 προκύπτει για $\alpha = 0.1602$, $\beta = 0.28$, $\gamma = 0.054$, $N = 0.0093$. Η κοστολόγηση τόσο των εκσκαφών όσο και της αγοράς και τοποθέτησης των χαλύβδινων αγωγών έγινε μέσω του Κανονισμού Περιγραφικών Τιμολογίων Εργασιών του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών (2017). Πιο συγκεκριμένα στα υπό σχεδιασμό έργα εκτροπής της παρούσας μελέτης οι διάμετροι D κινούνται μεταξύ των 300 και 600 mm οπότε ο υπολογισμός του κόστους των εκσκαφών του αγωγού πτώσης γίνεται μέσω του Πίνακα 6.2 και ο υπολογισμός του κόστους της αγοράς του σωλήνα μέσω του Πίνακα 6.3.

Πίνακας 6.2: Κόστος εκσκαφών αγωγού πτώσης για διάφορες διαμέτρους.

α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	Κωδικός Αναθ/σης	Μον. Μετρ.	ΕΡΓΑ έως 1,5 εκ. €	ΕΡΓΑ 1,5 - 5,0 εκ. €	ΕΡΓΑ > 5,0 εκ. €
	3.19.04	Διάνοιξη μικροσφραγίας επενδεδυμένης με χαλύβδινο σωλήνα, μικρής έως μεσαίας διαμέτρου, σε συνεκτικούς σχηματισμούς χωρίς την προμήθεια του σωλήνα.					
97	3.19.04.01	Για σωλήνες ονομαστικής διαμέτρου Φ194 mm	ΥΔΡ-6082.1	m	221,00	215,00	204,00
98	3.19.04.02	Για σωλήνες ονομαστικής διαμέτρου Φ273 mm	ΥΔΡ-6082.1	m	278,00	270,00	257,00
99	3.19.04.03	Για σωλήνες ονομαστικής διαμέτρου Φ355 mm	ΥΔΡ-6082.1	m	370,00	355,00	340,00
100	3.19.04.04	Για σωλήνες ονομαστικής διαμέτρου Φ406 mm	ΥΔΡ-6082.1	m	440,00	430,00	410,00
101	3.19.04.05	Για σωλήνες ονομαστικής διαμέτρου Φ508 mm	ΥΔΡ-6082.1	m	470,00	460,00	440,00
102	3.19.04.06	Για σωλήνες ονομαστικής διαμέτρου Φ610 mm	ΥΔΡ-6082.1	m	560,00	540,00	510,00

Πίνακας 6.3: Κόστος αγοράς σωλήνα αγωγού πτώσης για διάφορες διαμέτρους.

α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	Κωδικός Αναθ/σης	Μον. Μετρ.	ΕΡΓΑ έως 1,5 εκ. €	ΕΡΓΑ 1,5 - 5,0 εκ. €	ΕΡΓΑ > 5,0 εκ. €
	12.15	Δίκτυα υπό πίεση από σωλήνες ελατού χυτοσίδηρου (ductile iron)					
556	12.15.01	Με σωλήνες DN 100 mm / κλάσης C40, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	32,40	31,50	29,90
557	12.15.02	Με σωλήνες DN 125 mm / κλάσης C40, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	37,90	36,80	35,00
558	12.15.03	Με σωλήνες DN 150 mm / κλάσης C40, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	43,30	42,00	39,90
559	12.15.04	Με σωλήνες DN 200 mm / κλάσης C40, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	60,00	57,80	55,00
560	12.15.05	Με σωλήνες DN 250 mm / κλάσης C40, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	76,00	73,50	70,00
561	12.15.06	Με σωλήνες DN 300 mm / κλάσης C40, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	108,00	105,00	100,00
562	12.15.07	Με σωλήνες DN 350 mm / κλάσης C30, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	125,00	121,00	115,00
563	12.15.08	Με σωλήνες DN 400 mm / κλάσης C30, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	141,00	137,00	130,00
564	12.15.09	Με σωλήνες DN 450 mm / κλάσης C30, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	146,00	142,00	135,00
565	12.15.10	Με σωλήνες DN 500 mm / κλάσης C30, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	163,00	158,00	150,00
566	12.15.11	Με σωλήνες DN 600 mm / κλάσης C30, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	195,00	189,00	180,00
567	12.15.12	Με σωλήνες DN 700 mm / κλάσης C25, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	233,00	226,00	215,00
568	12.15.13	Με σωλήνες DN 800 mm / κλάσης C25, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	276,00	268,00	255,00
569	12.15.14	Με σωλήνες DN 900 mm / κλάσης C25, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	380,00	367,00	350,00
570	12.15.15	Με σωλήνες DN 1000 mm / κλάσης C25, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	400,00	390,00	370,00
571	12.15.16	Με σωλήνες DN 1100 mm / κλάσης C25, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	540,00	520,00	490,00
572	12.15.17	Με σωλήνες DN 1200 mm / κλάσης C25, κατά ΕΛΟΤ EN 545	ΥΔΡ 6623	m	660,00	640,00	610,00

Η κοστολόγηση γίνεται με τις τιμές για έργα με προϋπολογισμό 1.5 – 5.0 εκ. € στα οποία υπάγονται όλα τα έργα εκτροπής της εργασίας. Οι τιμές του πίνακα είναι δοσμένες ανά μέτρο μήκους οπότε και ο τελικός υπολογισμός του συνολικού κόστους για την κατασκευή του αγωγού προκύπτει με πολλαπλασιασμό του αθροίσματος των δύο τιμών των πινάκων με το συνολικό μήκος του. Το μήκος του αγωγού υπολογίζεται με την μεθοδολογία που παρουσιάστηκε στην Παράγραφο 6.1.

Ο Παπαντώνης (2016, σ. 394) δίνει τη Σχέση 6.13 για κοστολόγηση ανά μέτρο μήκους του αγωγού πτώσεως. Το κόστος προκύπτει συναρτήσει της υδραυλικής πτώσης h (m) και της ονομαστικής παροχής Q (m^3/s) του ΜΥΗΕ:

$$C = a \cdot Q^n \quad (6.13)$$

όπου:

$$a = 0.0007 \cdot h^2 + 0.0662 \cdot h + 497.6$$

$$n = -6 \cdot 10^{-7} \cdot h^2 + 0.0009 \cdot h + 0.316$$

στις οποίες τίθεται ως ελάχιστη τιμή του h η τιμή των 100 m.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση τόσο η αναλυτική κοστολόγηση όσο και η κοστολόγηση μέσω της Σχέσης 6.13 φαίνεται να παράγουν παρόμοια αποτελέσματα σε όσα παραδείγματα σχεδιασμού χρησιμοποιήθηκαν. Γι' αυτόν τον λόγο, προτιμάται η σχέση 6.13 για την κοστολόγηση του αγωγού πτώσης του εκάστοτε run-of-river έργου αφού η απλότητα της συνάδει με την προσπάθεια της τυποποίησης και τον γενικότερο στόχο της παρούσας μελέτης.

6.5.3 Κόστος δεξαμενής φόρτισης

Το κόστος C της δεξαμενής φόρτισης δίνεται σε χιλιάδες € από τον Παπαντώνη (2016, σ. 394) ως συνάρτηση της ονομαστικής παροχής Q (m³/s) του Μ.ΥΗ.Ε. ως εξής:

$$C = 9.05 \cdot Q + 4.14 \text{ σε χιλ. €} \quad (6.14)$$

6.5.4 Κόστος υπόλοιπων έργων

Ο τρόπος υπολογισμού όλων των υπόλοιπων εξόδων για την κατασκευή ενός run-of-river μικρού υδροηλεκτρικού έργου έχει ήδη δοθεί στην Παράγραφο 5.3. Πιο συγκεκριμένα για την κοστολόγηση των υδροστροβίλων χρησιμοποιείται η εμπειρική τιμή των 200 000 €/MW εγκατεστημένης ισχύος. Για τον υπολογισμό του κόστους του κτηρίου του υδροηλεκτρικού σταθμού χρησιμοποιείται η Σχέση 5.12. Για την κοστολόγηση της γεννήτριας, αναλόγως αν αυτή είναι σύγχρονη ή ασύγχρονη, χρησιμοποιείται είτε ο Τύπος 5.13 είτε ο Τύπος 5.14. Το κόστος των μελετών, των αδειοδοτήσεων και της επίβλεψης λαμβάνεται ίσο με το 10 % του συνολικού κόστους του έργου. Για όλα τα παραπάνω κόστη της Παραγράφου 6.5 μπορεί να υπολογιστεί το αντίστοιχο ετήσιο κόστος μέσω του Τύπου 5.20. Έτσι προκύπτει το ετήσιο κόστος απόσβεσης του συνόλου των επιμέρους έργων που συνθέτουν το ΜΥΗΕ εκτός της ροής.

6.6 Βελτιστοποίηση λειτουργίας

Σε όλη την έκταση του Κεφαλαίου 6 αναλύεται η τυποποίηση σχεδιασμού run-of-river Μ.ΥΗ.Ε. μέσω της οποίας μπορεί να γίνει ενεργειακός και οικονομικός σχεδιασμός υδροηλεκτρικού έργου σε οποιαδήποτε θέση εκτός του ποταμού. Η τυποποίηση επετεύχθη με χρήση του προγράμματος λογιστικών φύλλων Microsoft Excel μέσω του οποίου θα γίνει και η βελτιστοποίηση της λειτουργίας των έργων. Ο στόχος της βελτιστοποίησης, δηλαδή η μεγιστοποίηση του ετήσιου κέρδους το οποίο δίνεται από την διαφορά των εσόδων από την πώληση ενέργειας στην διάρκεια

του έτους και των ετήσιων εξόδων για την απόσβεση της επένδυσης, παραμένει ίδιος για τα έργα εντός και εκτός κοίτης.

Αντιθέτως, η μία εκ τω δύο μεταβλητών σχεδιαστικών παραμέτρων αλλάζει στην παρούσα περίπτωση, λόγω της απουσίας φράγματος, οπότε δεν εισάγεται το ύψος H στη διαδικασία βελτιστοποίησης. Την θέση του φράγματος, ως μεγάλο ποσοστό της κοστολόγησης του έργου, παίρνουν ο αγωγός πτώσης και η διώρυγα εκτροπής. Το κόστος του πρώτου επιδέχεται παρέμβαση μόνο ως αναφορά την βέλτιστη τοπογραφική χάραξη του για την ελαχιστοποίηση του μήκους του, διαδικασία η οποία είναι εξατομικευμένη για κάθε έργο εκτροπής και δεν μπορεί να τυποποιηθεί. Όμως το κόστος της διώρυγας εκτροπής εξαρτάται άμεσα από το πλάτος της το οποίο με την σειρά του εξαρτάται από την κλίση της. Η σχέση που συνδέει τα δύο μεγέθη είναι η σχέση του Manning:

$$Q = \frac{A}{n} \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \quad (6.15)$$

όπου:

Q είναι η ονομαστική παροχή του ΜΥΗΕ

A είναι το εμβαδό της διατομής της διώρυγας

n είναι ο συντελεστής τραχύτητας Manning (για τραχύ σκυρόδεμα $n = 0.016$)

$R = A/P$ με A το εμβαδό της διατομής και P την βρυχώμενη περίμετρο της

J είναι η κλίση του πυθμένα της διώρυγας

Όπως έχει αναφερθεί, σε βέλτιστη ορθογωνική διατομή το ομοιόμορφο βάθος y είναι το 50 % του πλάτους της b . Επομένως, προκύπτουν οι παρακάτω τροποποιημένες σχέσεις:

$$y = b/2$$

$$A = b y = b (0.50 b) = 0.50b^2$$

(6.16)

$$P = b + 2y = 2b$$

$$R = \frac{A}{P} = 0.25b$$

Με χρήση των Τύπων 6.16 γίνεται μετατροπή της σχέσης του Manning 6.15 και παράγεται σχέση υπολογισμού του πλάτους b της διώρυγας:

$$b = \left[\frac{Q \cdot n}{0.198 \cdot J^{1/2}} \right]^{3/8} \quad (6.17)$$

Από τη Σχέση 6.17 είναι προφανές πως όσο μεγαλώνει η κλίση του πυθμένα του αγωγού τόσο μικραίνει το πλάτος της διώρυγας εκτροπής και άρα το κόστος του έργου. Όμως το καθαρό ύψος πτώσης του νερού ορίζεται ως (διαφορά υψομέτρου μεταξύ της αρχής της διώρυγας εκτροπής και του σταθμού παραγωγής ενέργειας) – (κλίση της διώρυγας · μήκος της διώρυγας) – (γραμμικές απώλειες αγωγού πτώσης). Οπότε, η αύξηση της κλίσης έχει ως επακόλουθο την μείωση του ύψους πτώσης του νερού και άρα την μείωση της παραγόμενης ενέργειας. Έτσι οι σχεδιαστικοί παράμετροι που μεταβάλλονται για να επιτευχθεί η βελτιστοποίηση μέσω του Solver είναι οι εξής δύο:

1. Η ονομαστική παροχή και ως εκ τούτου η ισχύς κάθε στροβίλου.
2. Η κλίση J του αγωγού εκτροπής και ως εκ τούτο το πλάτος του b και το καθαρό ύψος πτώσης H_n .

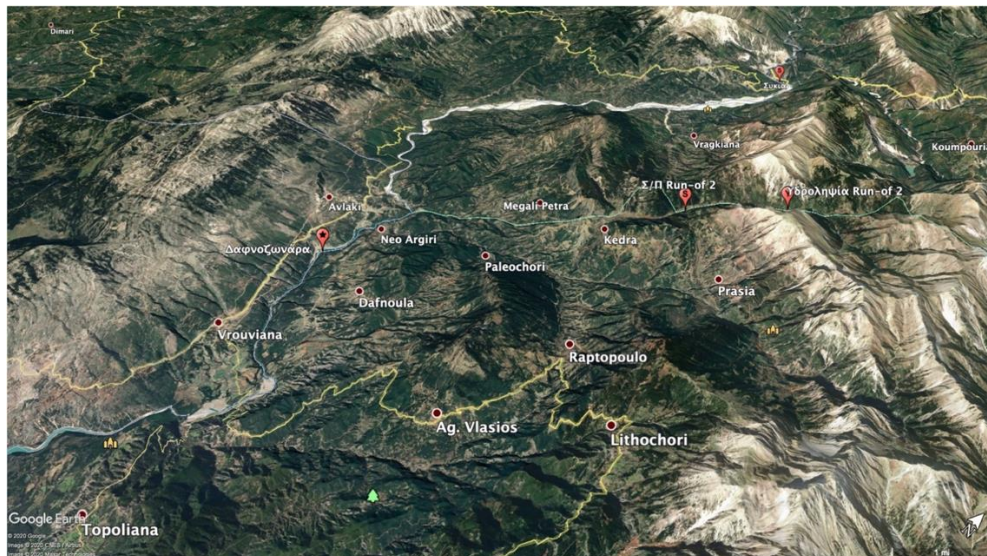
Όπως επισημάνθηκε και στο Κεφάλαιο 4, με την μεταβολή της ονομαστικής παροχής των στροβίλων αυξομειώνονται αντίστοιχα όλα τα οικονομικά μεγέθη που σχετίζονται άμεσα με αυτήν. Για παράδειγμα, στα έργα run-of-river, αύξηση της παροχής σχεδιασμού των στροβίλων επιφέρει αύξηση στα κατασκευαστικά κόστη της διώρυγας προσαγωγής, του αγωγού πτώσης, της δεξαμενής φόρτισης και άλλων έργων. Όμως, από αυτήν την αύξηση μπορεί να προκύψει ευνοϊκότερο διάστημα λειτουργίας στροβίλων, $\left[\frac{Q_{\text{ονομ.}}}{10} - Q_{\text{ονομ.}} \right]$, το οποίο με την σειρά του σημαίνει αύξηση της παραγόμενης ενέργειας.

Είναι έκδηλη λοιπόν η ανάγκη εύρεσης της κατάλληλης τιμής ονομαστικής παροχής για κάθε στροβίλο και της κατάλληλης κλίσης πυθμένα για τη διώρυγα εκτροπής, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη τιμή ετήσιου κέρδους. Ο μόνος περιορισμός που τέθηκε για την βελτιστοποίηση μέσω Solver ήταν το άθροισμα των ονομαστικών ισχύων των δύο στροβίλων να είναι πάντα μικρότερο ή ίσο των 15 MW για την διασφάλιση της ένταξης του υπό σχεδιασμό έργου στην κατηγορία των μικρών υδροηλεκτρικών έργων. Με αυτόν τον τρόπο η τυποποίηση ουσιαστικά παράγει τις βέλτιστες τιμές παροχών και ισχύων σχεδιασμού κάθε στροβίλου και κλίσης και πλάτους διώρυγας προσαγωγής με απώτερο στόχο την μεγιστοποίηση των οικονομικών απολαβών της εκάστοτε επένδυσης.

6.7 Παράδειγμα σχεδιασμού έργου εκτός κοίτης: ΜΥΗΕ Run-of-river 2

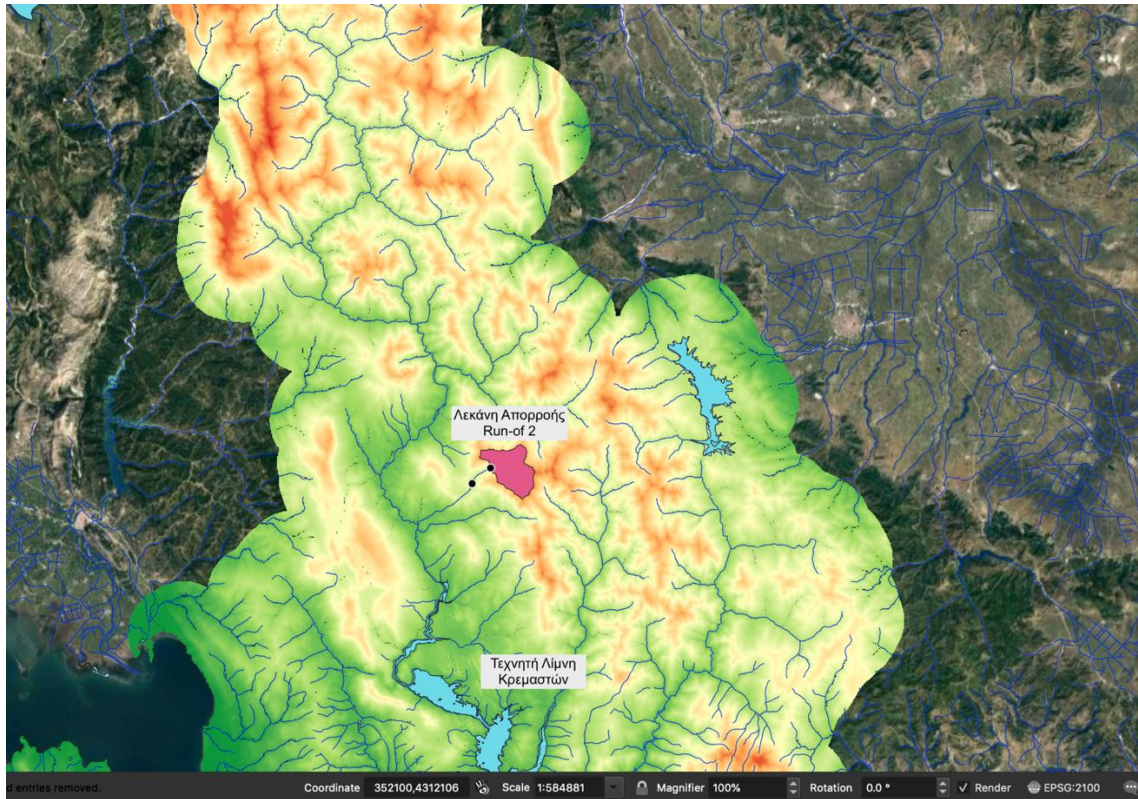
Στην παρούσα παράγραφο γίνεται αναλυτική αναφορά στον σχεδιασμό μικρού υδροηλεκτρικού έργου run-of-river κοντά στο χωριό Κέδρα, αξιοποιώντας τα νερά παραπόταμου ο οποίος εκβάλλει στον ποταμό Αχελώο. Η ακριβής τοποθεσία τόσο της θέσης υδροληψίας όσο και του σταθμού παραγωγής του εν λόγω έργου φαίνεται στην Εικόνα 6.7 η οποία προέρχεται από το πρόγραμμα

Google Earth. Στην εικόνα φαίνονται επίσης η θέση του υπαρκτού ΜΗΥΕ της Δαφνοζωνάρας καθώς και η θέση του ΜΗΥΕ της Συκιάς, του οποίου ο σχεδιασμός αναλύθηκε στην Παράγραφο 5.5. Οι θέσεις των δύο παραπάνω έργων δίνονται καθαρά για την καλύτερη κατανόηση της χωροθέτησης του υπό εξέταση run-of-river έργου.



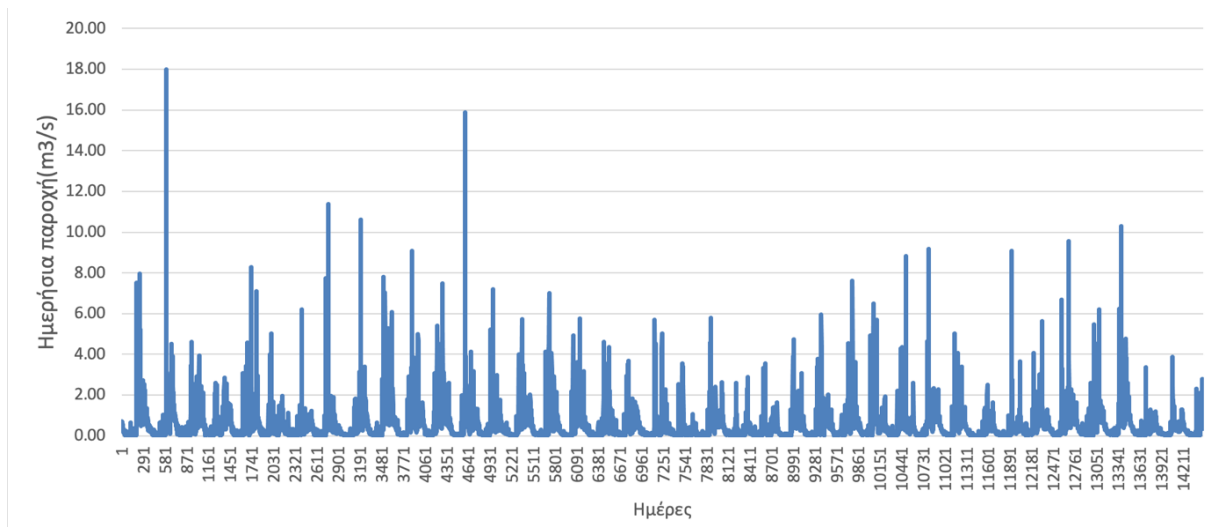
Εικόνα 6.7: Θέση μελέτης ΜΥΗΕ Run-of-river 2 (Κέδρα) από Google Earth.

Πρώτο βήμα του σχεδιασμού αποτέλεσε ο υπολογισμός του εμβαδού της λεκάνης απορροής στην θέση της Υδροληψίας. Έγινε χρήση του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών QGIS μέσω του οποίου έγινε η χάραξη και στη συνέχεια η εμβαδομέτρηση της λεκάνης. Πιο αναλυτικά, αρχικά έγινε εισαγωγή χάρτη υψομέτρων της υπό εξέταση περιοχής (dem) στο σύστημα αναφοράς συντεταγμένων Greek Grid (EPSG:2100). Στην συνέχεια, η πινέζα της υπό εξέταση θέσης που φαίνεται στην Εικόνα 6.7 μεταφέρθηκε από το Google Earth στο QGIS και έγινε “γέμισμα” των κενών του χάρτη μέσω του εργαλείου Fill Sinks. Μέσω του εργαλείου r.stream.extract έγινε δημιουργία κόμβων και κατεύθυνσης ροής. Τέλος η χάραξη της λεκάνης, όπως αυτή φαίνεται στην Εικόνα 6.8, έγινε μέσω του εργαλείου r.water.outlet και προέκυψε τελικό εμβαδό 18.89 km².

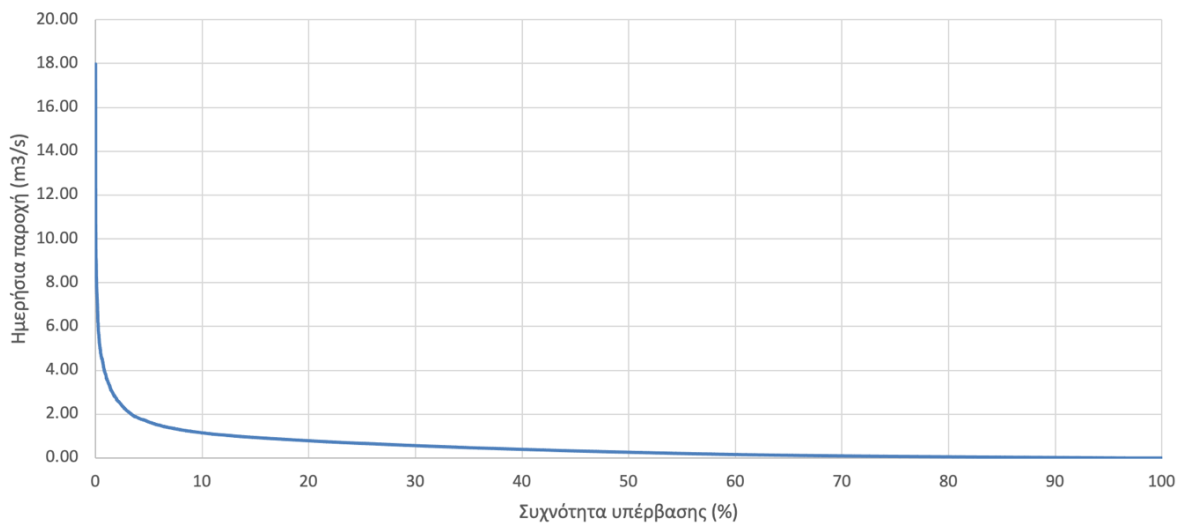


Εικόνα 6.8: Λεκάνη απορροής Run-of-river 2 (Κέδρα) σε περιβάλλον QGIS.

Η έκταση της λεκάνης απορροής συνδυάστηκε με τη χρονοσειρά ημερήσιων υψών απορροής για τον ποταμό Αχελώο (mm/d) από τον Μάιο του 1969 μέχρι και το Δεκέμβριο του 2008, όπως αυτή παρουσιάστηκε σε μελέτη των Efstratiadis *et al.* (2014), μέσω των Σχέσεων 4.1 και 4.2. Με την παραπάνω μεθοδολογία τα 14479 δεδομένα ημερήσιων υψών απορροής για τον ποταμό Αχελώο (από 12/5/1969 έως 31/12/2008) μετατράπηκαν σε ισάριθμα δεδομένα ημερήσιων παροχών. Στην συνέχεια επιλέχθηκε οικολογική παροχή ανάμεσα στις τρεις τιμές που παραθέτονται στην Παράγραφο 6.2, αφού πρώτα η χρονοσειρά μηνιαίων υψών απορροής μετατράπηκε σε χρονοσειρά μέσων μηνιαίων παροχών μέσω του Τύπου 6.1. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα σχεδιασμού επιλέχθηκε $Q_{οικ.} = 0.0667 \text{ m}^3/\text{s}$, τιμή που αντιστοιχεί στο 50% της μέσης παροχής του μηνός Σεπτεμβρίου. Η οικολογική παροχή αφαιρείται από κάθε τιμή της χρονοσειράς ημερήσιων παροχών ώστε να προκύψει η χρονοσειρά ωφέλιμων παροχών που θα χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας. Παρακάτω δίδονται η ημερήσια χρονοσειρά παροχών, καθώς και η καμπύλη διάρκειας-παροχής για τα εν λόγω αποτελέσματα στις Εικόνες 6.9 και 6.10 αντίστοιχα.



Εικόνα 6.9: Ημερήσια χρονοσειρά παροχών (m^3/s) από 12/5/1969 έως 31/12/2008 στην θέση της υδροληψίας του Run-of-river 2 (Κέδρα).



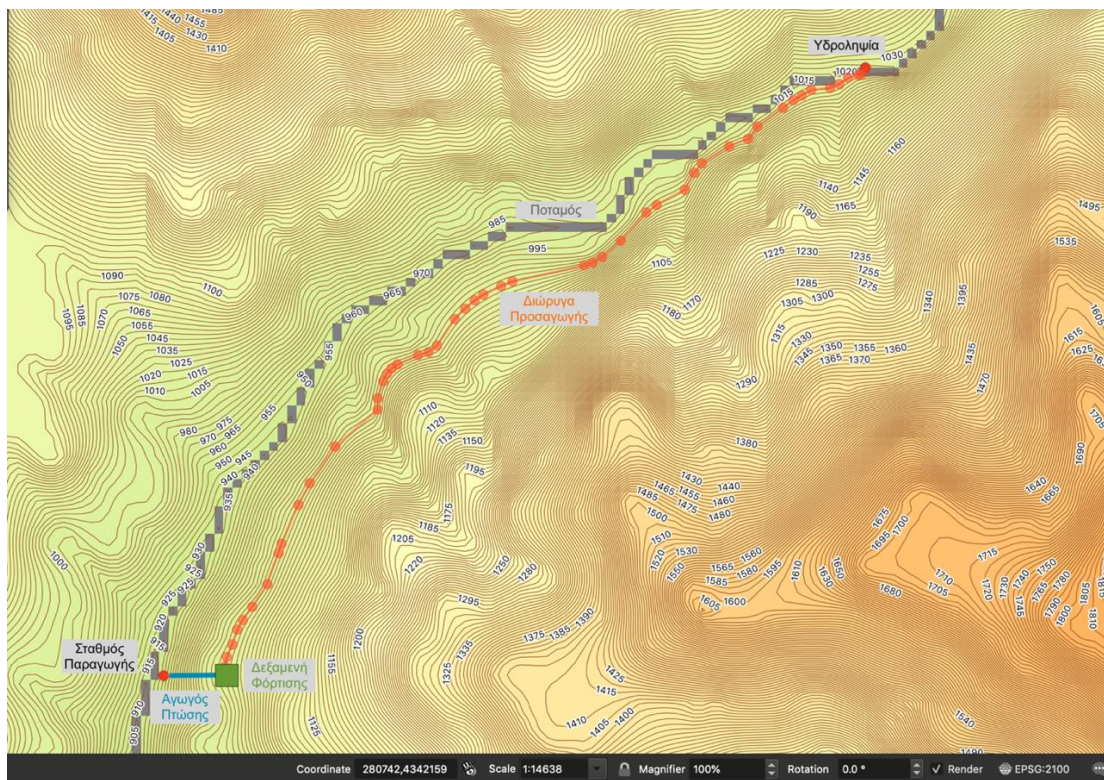
Εικόνα 6.10: Καμπύλη διάρκειας-παροχής για το ΜΥΗΕ Run-of-river 2 (Κέδρα).

Σε αυτό το σημείο εισήχθησαν δοκιμαστικές τιμές τόσο των ονομαστικών παροχών των δύο στροβίλων όσο και της κλίσης της διώρυγας προσαγωγής οι οποίες μεταβλήθηκαν στη φάση της βελτιστοποίησης όπως αυτή περιγράφεται στη Παράγραφο 6.6. Οι βέλτιστες τιμές παροχών και ισχύων σχεδιασμού κάθε στροβίλου και κλίσης και πλάτους διώρυγας προσαγωγής με απώτερο στόχο την μεγιστοποίηση των οικονομικών απολαβών της εκάστοτε επένδυσης δίνονται παρακάτω στον Πίνακα 6.4. Τα υπόλοιπα εξαγόμενα αποτελέσματα της παραγράφου έχουν προκύψει με χρήση των βέλτιστων στοιχείων του Πίνακα 6.4.

Πίνακας 6.4: Στοιχεία του Run-of-river 2 μετά την βελτιστοποίηση.

Q1ονομ.	1.09 m ³ /s
Q2ονομ.	0.17 m ³ /s
P1ονομ.	0.85 MW
P2ονομ.	0.15 MW
Jδιώρυγας	0.001
bδιώρυγας	1.5 m

Για την συνέχεια του σχεδιασμού ήταν απαραίτητος ο υπολογισμός των υπολοίπων απαιτούμενων δεδομένων εισαγωγής όπως αυτά φαίνονται στην Παράγραφο 6.1. Το υψόμετρο υδροληψίας καθορίστηκε στα $h_{υδρ.} = 1025 \text{ m}$ και το υψόμετρο του σταθμού παραγωγής στα $h_{Σ.Π.} = 923 \text{ m}$ μέσω των ισοϋψών του προγράμματος QGIS. Το μήκος της διώρυγας εκτροπής βρέθηκε $L_{διώρυγας} = 2565 \text{ m}$ και η οριζόντια απόσταση μεταξύ του τέλους της διώρυγας εκτροπής και του σταθμού παραγωγής $L_1 = 166 \text{ m}$. Η διαφορά υψομέτρου μεταξύ του τέλους της διώρυγας εκτροπής και του σταθμού παραγωγής ενέργειας είναι $h_1 = h_{υδρ.} - h_{Σ.Π.} - J \cdot L_{διώρυγας}$. Οπότε, όπως περιγράφεται και στην Παράγραφο 6.1 το μήκος του αγωγού πτώσης προκύπτει $L_{αγωγού} = \sqrt{L_1^2 + h_1^2} = 193 \text{ m}$. Γνωρίζοντας τα μήκη των δύο αγωγών έγινε κοστολόγηση τους μέσω της μεθοδολογίας της Παραγράφου 6.5.1 και της Σχέσης 6.13. Το κόστος της δεξαμενής φόρτισης υπολογίστηκε μέσω του τύπου 6.14 και τα κόστη των υπόλοιπων έργων μέσω των σχέσεων της Παραγράφου 6.5.4. Έτσι έγινε η συνολική κοστολόγηση της επένδυσης του Μ.Υ.Η.Ε. Run-of-river 2 στην Κέδρα και μέσω της Σχέσης 5.20 εξήχθησαν τα ετήσια έξοδα απόσβεσης της επένδυσης, τα οποία ανέρχονται στα 71255 €.



Εικόνα 6.11: Διάταξη έργων ΜΥΗΕ Run-of-river 2 (Κέδρα).

Η ενέργεια υπολογίστηκε μέσω των Σχέσεων 5.8 και των καμπυλών απόδοσης υδροτροβίλων όπως φαίνονται στην Εικόνα 4.2 πάντα με βάση τον λόγο $\frac{Q_{\text{ημερ.}}}{Q_{\text{ονομ.}}}$. Προτιμήθηκαν δύο στρόβιλοι Pelton ονομαστικής παροχής $P1_{\text{ονομ.}} = 0.85 \text{ MW}$ και $P2_{\text{ονομ.}} = 0.15 \text{ MW}$. Προέκυψε έτσι η παραγόμενη ημερήσια ενέργεια του κάθε υδροτροβίλου για κάθε μέρα και έτσι υπολογίστηκε η μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια του κάθε στρόβιλου, προσθέτοντας όλα τα 14479 ημερήσια δεδομένα και διαιρώντας τα με το 40 που αναπαριστά τα έτη δειγματοληψίας. Η μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια του έργου ανέρχεται στις 2.73 GWh. Τελικά, κοστολογώντας την ενέργεια με 80 €/MWh, όπως ορίστηκε στην Παράγραφο 5.2.2, προέκυψε το ετήσιο όφελος από την πώληση της. Για τα παραπάνω στοιχεία, που ουσιαστικά προέκυψαν μετά από βελτιστοποίηση της Σχέσης 5.21, προέκυψε τελικό ετήσιο κέρδος της επένδυσης ίσο με 146 786 €.

Πίνακας 6.5: Κοστολόγηση επιμέρους έργων ΜΥΗΕ Run-of-river 2 (Κέδρα).

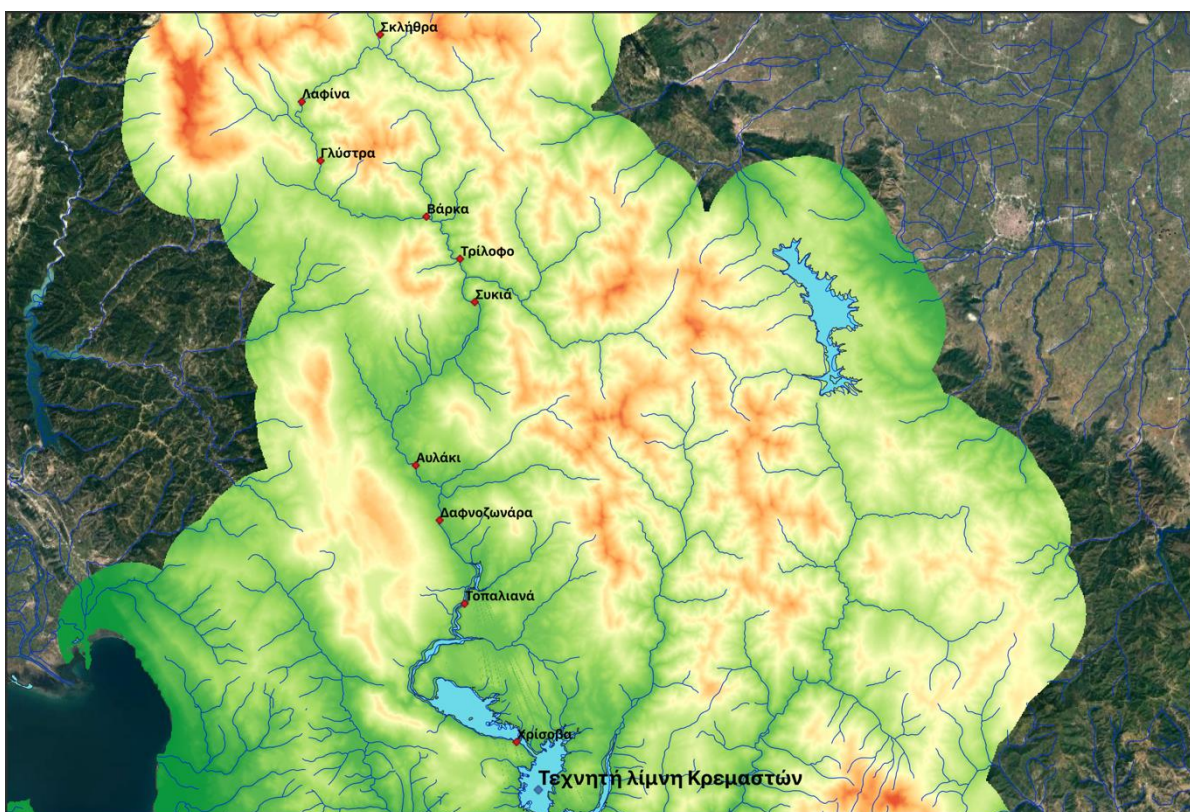
<i>Κατηγορία έργου</i>	<i>Ετήσια απόσβεση (€)</i>	<i>Συνολικό κόστος (€)</i>	<i>Παρατηρήσεις</i>
Υδροστρόβιλος 1	12931	175738	Pelton 0.85 MW
Υδροστρόβιλος 2	1944	26422	Pelton 0.15 MW
Γεννήτρια	5481	74488	
Δεξαμενή Φόρτισης	639	8681	
Αγωγός πτώσης	7960	108178	L=193 m
Διώρυγα Εκτροπής	24785	336840	7
Κτήριο Υ/Η σταθμού	11037	150000	
Μελέτη/Επίβλεψη	6478	129555	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	71255	1009902	

7 Εγκατάσταση μικρών υδροηλεκτρικών έργων

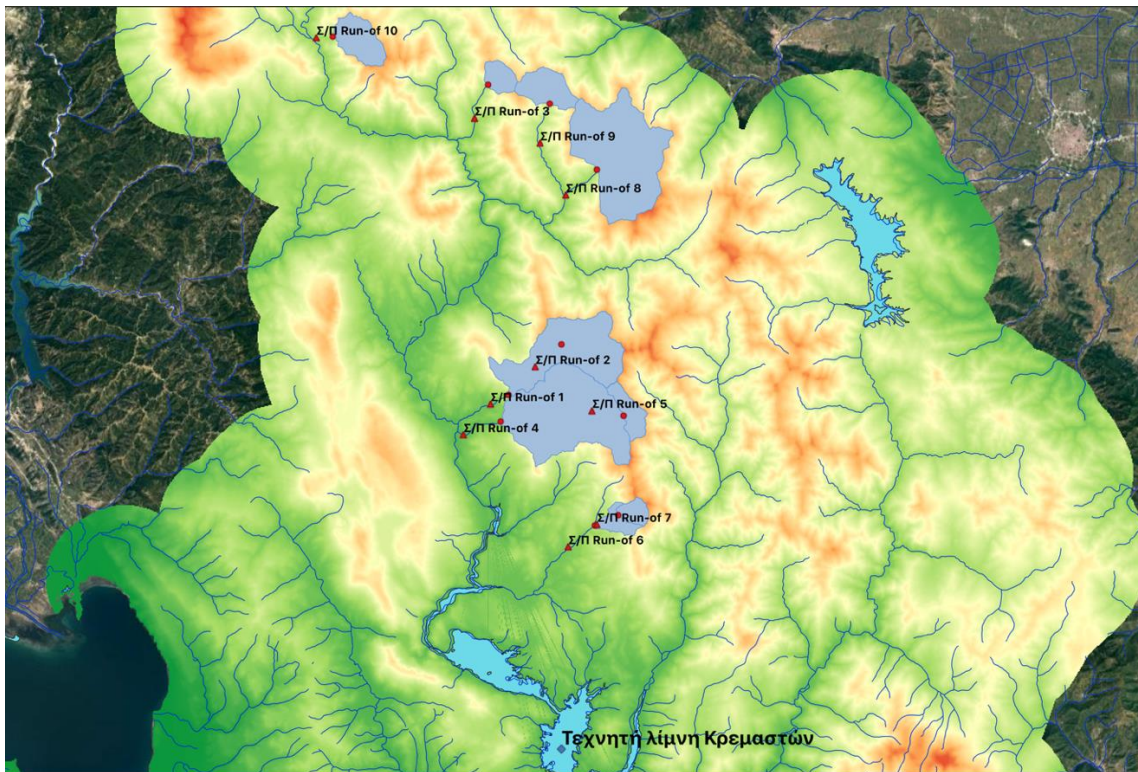
Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται σύντομη αναφορά σε κάθε ένα από τα ΜΥΗΕ, τα οποία μελετήθηκαν για την “αντικατάσταση” του ΥΗΕ των Κρεμαστών. Για την μελέτη κατασκευής των παρακάτω έργων, χρησιμοποιήθηκε η τυποποίηση σχεδιασμού μικρού υδροηλεκτρικού έργου πάνω στην κοίτη, όπως αυτή αναπτύχθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Για κάθε έργο δίνεται η λεκάνη απορροής του καθώς και η θέση του ως αναφορά την λεκάνη απορροής του ποταμού Αχελώου, μέσω του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών QGIS. Από το πρόγραμμα Google Earth δίνεται μια άποψη της περιοχής γύρω από το σημείο κατασκευής του εκάστοτε έργου. Επίσης, παρατίθεται πίνακας κοστολόγησης και τεχνικών χαρακτηριστικών κάθε έργου.

7.1 Απόφαση εγκατάστασης ΜΥΗΕ πάνω στην κοίτη

Ύστερα από την ανάπτυξη των εργαλείων τυποποίησης, επιλέχθηκαν θέσεις εγκατάστασης τόσο ΜΥΗΕ πάνω στην κοίτη όσο και ΜΥΗΕ εκτός κοίτης (run-of-river). Για τις εν λόγω θέσεις, έγινε αρχικά σχεδιασμός και οικονομική ανάλυση δέκα έργων από κάθε έναν από τους προαναφερθέντες τύπους. Στις Εικόνες 7.1 και 7.2 φαίνονται οι δέκα αρχικές θέσεις τοποθέτησης των έργων πάνω στην κοίτη και εκτός κοίτης αντίστοιχα. Για τα έργα run-of-river φαίνεται και η λεκάνη απορροής στο σημείο κατασκευής.



Εικόνα 7.1: Δέκα πρώτες θέσεις έργων πάνω στην κοίτη του Αχελώου ποταμού.



Εικόνα 7.2: Δέκα πρώτες θέσεις έργων εκτός κοίτης και οι λεκάνες απορροής τους.

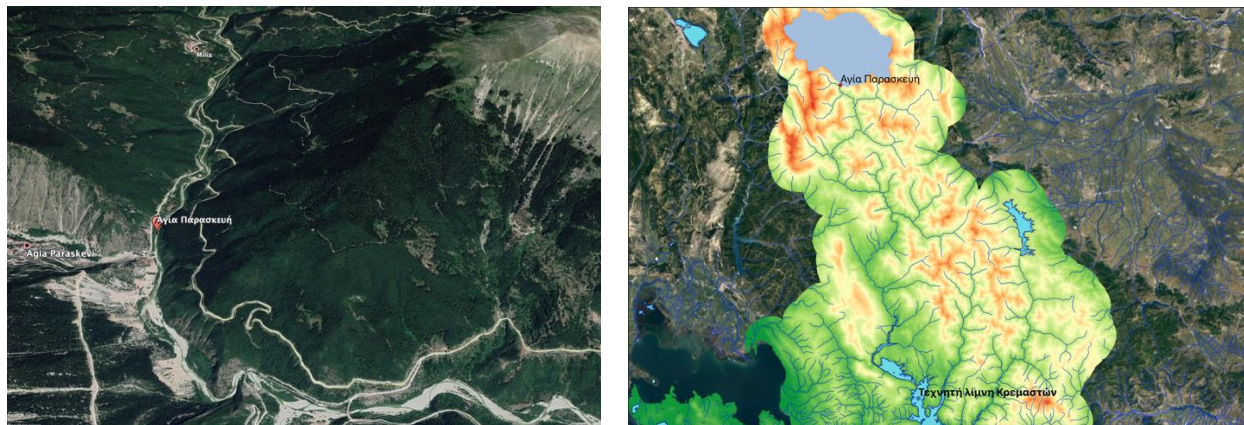
Αυτή η πρώτη εγκατάσταση έγινε για να συγκριθούν τα ενεργειακά και οικονομικά αποτελέσματα των δύο τύπων έργων. Αρχικά υπολογίστηκε η ετήσια ενεργειακή παραγωγή για κάθε ένα από τα 20 έργα. Στη συνέχεια έγινε κοστολόγηση των έργων και υπολογίστηκε η ετήσια απόσβεση τους για χρόνο απόσβεσης 20 έτη και επιτόκιο ανατοκισμού 4 %. Διαιρώντας την ετήσια απόσβεση με την ετήσια παραγόμενη ενέργεια σε MWh υπολογίστηκε το κόστος ανά παραγόμενη MWh για κάθε ένα από τα 20 έργα. Για κάθε τύπο έργου βρέθηκε ο μέσος όρος αυτού του κόστους για τα 10 εγκατεστημένα έργα. Το κόστος ανά παραγόμενη MWh για τα έργα πάνω στην ροή ανέρχεται στα 18 €/MWh ενώ για τα έργα εκτός της κοίτης ανέρχεται στα 42 €/MWh.

Με την τιμή πώλησης της ενέργειας στα 80 €/MWh (τιμολόγηση ΑΠΕ από την ΡΑΕ), είναι προφανές πως και οι δύο τύποι έργων είναι κερδοφόροι. Παρ' όλα αυτά, τα έργα εκτός της κοίτης, κυρίως εξ αιτίας των σημαντικά μικρότερων απορροών που δέχονται, έχουν αρκετά μεγαλύτερο κόστος για την παραγωγή ενέργειας. Επίσης, τα έργα run-of-river έχουν μεγαλύτερη επίπτωση στο περιβάλλον λόγω της εκτροπής των νερών, που αφήνει το διάστημα μεταξύ υδροληψίας και σταθμού παραγωγής μόνο με τα νερά της οικολογικής παροχής. Ακόμα, το γεγονός πως γενικά η εγκατεστημένη ισχύς τους δεν ξεπερνά τα 5 MW (στα παραπάνω 10 έργα η μεγαλύτερη είναι 2.7 MW) θα σήμαινε πως η συμβολή τους στην επίτευξη ισοδύναμης εγκατεστημένης ισχύς με αυτής του έργου των Κρεμαστών (437.2 MW) θα ήταν πολύ μικρή.

Για όλους τους παραπάνω λόγους, προτιμήθηκε η εγκατάσταση μόνο ΜΥΗΕ πάνω στην κοίτη. Επισημαίνεται, πως τα δέκα έργα που χρησιμοποιήθηκαν ως παράδειγμα δεν είναι εντελώς αντιπροσωπευτικά. Μετά την μελέτη όλων των 37 έργων πάνω στην κοίτη που χρειάστηκαν για την επίτευξη των 437.2 MW ισχύος, το κόστος ανά παραγόμενη MWh για τα έργα πάνω στην ροή ανέρχεται στα 26.8 €/MWh, τιμή σημαντικά μικρότερη από τα 42 €/MWh.

7.2 ΜΥΗΕ Αγίας Παρασκευής

Το ΜΥΗΕ της Αγίας Παρασκευής είναι το βορειότερο από τα 37 έργα που θα αναλυθούν. Το χωριό της Αγίας Παρασκευής βρίσκεται κατάντη του φράγματος οπότε δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα με το μικρό ταμιευτήρα (ουσιαστικά φούσκωμα της κοίτης), που θα δημιουργηθεί λόγω του έργου. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού, το οποίο κατ' επέκταση οδηγεί σε μικρότερο κόστος για την κατασκευή του φράγματος. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι 39°34'2.98"N και το γεωγραφικό του μήκος 21°16'14.68"E.



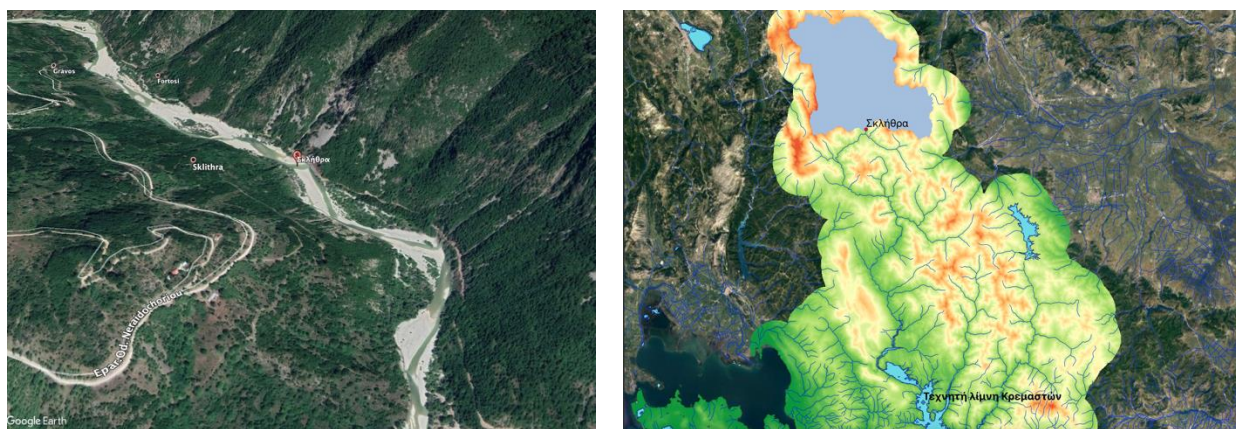
Εικόνα 7.3: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.1: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Αγίας Παρασκευής.

Λεκάνη απορροής (km ²)	272		
Κατηγορία έργου	Συνολικό κόστος (€)	Ετήσια απόσβεση (€)	Τεχνικά χαρακτηριστικά
Φράγμα	3564782	262303	H=30 m / b _{κοίτης} =40 m
Υδροστρόβιλος 1	1136373	83616	Kaplan 5.7 MW
Υδροστρόβιλος 2	252687	18593	Kaplan 1.3 MW
Γεννήτρια	351340	25852	
Αγωγός πτώσης	163939	12063	
Έργο υδροληψίας	41947	3087	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	601107	44230	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	6612175	486535	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	705166		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	14.9		

7.3 ΜΥΗΕ Σκλήθρας

Το ΜΥΗΕ της Σκλήθρας βρίσκεται στον νομό Τρικάλων βορειοανατολικά του χωριού Αρματολικό, επί του κύριου ρου του ποταμού Αχελώου. Το σημείο μελέτης είναι περίπου 3 χιλιόμετρα ανάντη του φράγματος της Μεσοχώρας. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι $39^{\circ}29'18.65''\text{N}$ και το γεωγραφικό του μήκος $21^{\circ}19'38.80''\text{E}$.



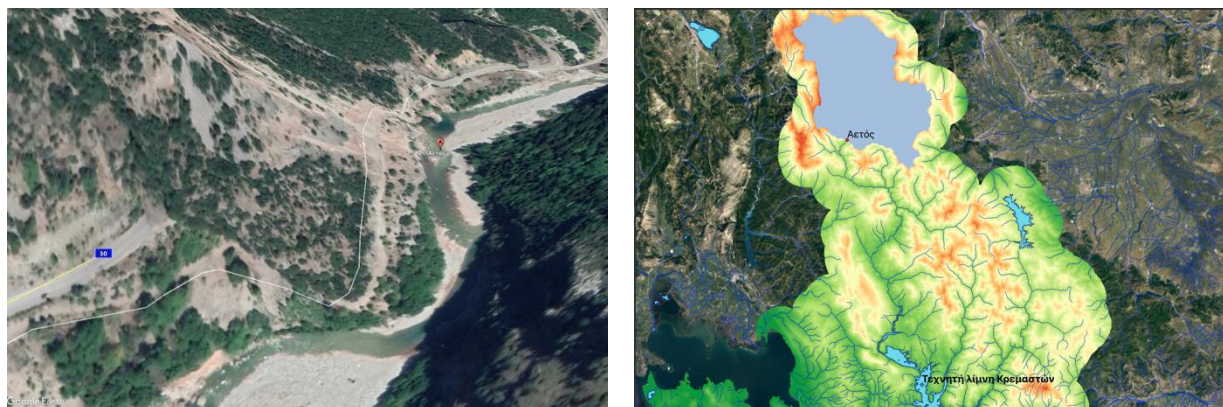
Εικόνα 7.4: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.2: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Σκλήθρας.

Λεκάνη απορροής (km ²)	540		
Κατηγορία έργου	Συνολικό κόστος (€)	Ετήσια απόσβεση (€)	Τεχνικά χαρακτηριστικά
Φράγμα	5347173	393454	H=30 m / b _{κοίτης} =60 m
Υδροστρόβιλος 1	1265683	93131	Karlan 6.4 MW
Υδροστρόβιλος 2	1263481	92969	Karlan 6.2 MW
Γεννήτρια	583059	42902	
Αγωγός πτώσης	201284	14811	
Έργο υδροληψίας	68728	5057	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	922941	67912	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	10152348	747028	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	1609927		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	29.46		

7.4 ΜΥΗΕ Αετού

Το ΜΥΗΕ του Αετού βρίσκεται κοντά στο χωριού Αετός στον νομό Τρικάλων, επί του κύριου ρου του ποταμού Αχελώου. Το σημείο μελέτης είναι περίπου 2.5 χιλιόμετρα κατάντη του φράγματος της Μεσοχώρας. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι 39°27'10.93"N και το γεωγραφικό του μήκος 21°16'28.79"E.



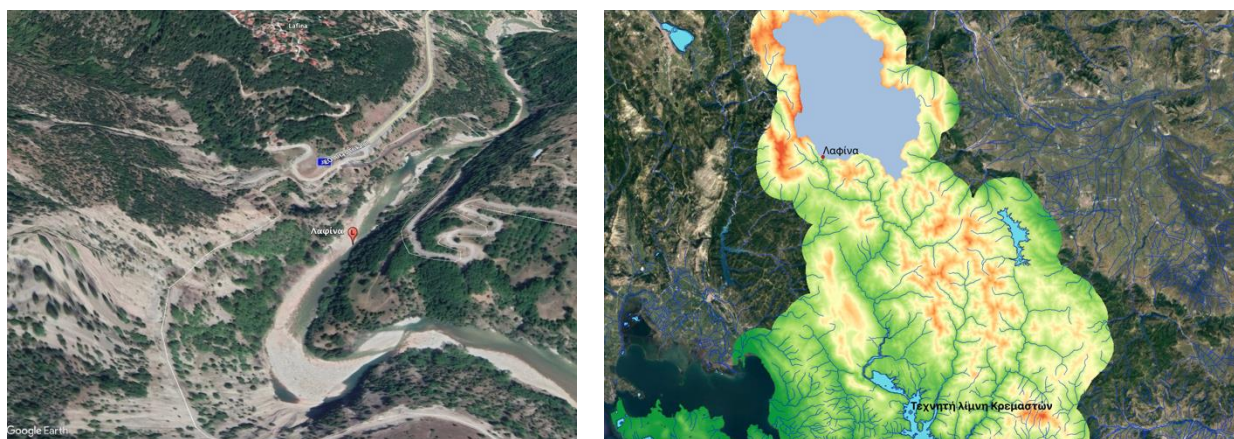
Εικόνα 7.5: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.3: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Αετού.

Λεκάνη απορροής (km ²)	660		
Κατηγορία έργου	Συνολικό κόστος (€)	Ετήσια απόσβεση (€)	Τεχνικά χαρακτηριστικά
Φράγμα	5347173	393454	H=30 m / b _{κοίτης} =60 m
Υδροστρόβιλος 1	2583071	93131	Kaplan 12.9 MW
Υδροστρόβιλος 2	416929	92969	Kaplan 2.1 MW
Γεννήτρια	505992	42902	
Αγωγός πτώσης	213403	14811	
Έργο υδροληψίας	79412	5057	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	964598	67912	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	10610577	747028	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	2077268		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	35.73		

7.5 ΜΥΗΕ Λαφίνας

Το ΜΥΗΕ της Λαφίνας βρίσκεται κατάντη του ομώνυμου χωριού στον νομό Τρικάλων, επί του κύριου ρου του ποταμού Αχελώου. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι 39°26'19.04"N και το γεωγραφικό του μήκος 21°15'22.68"E.



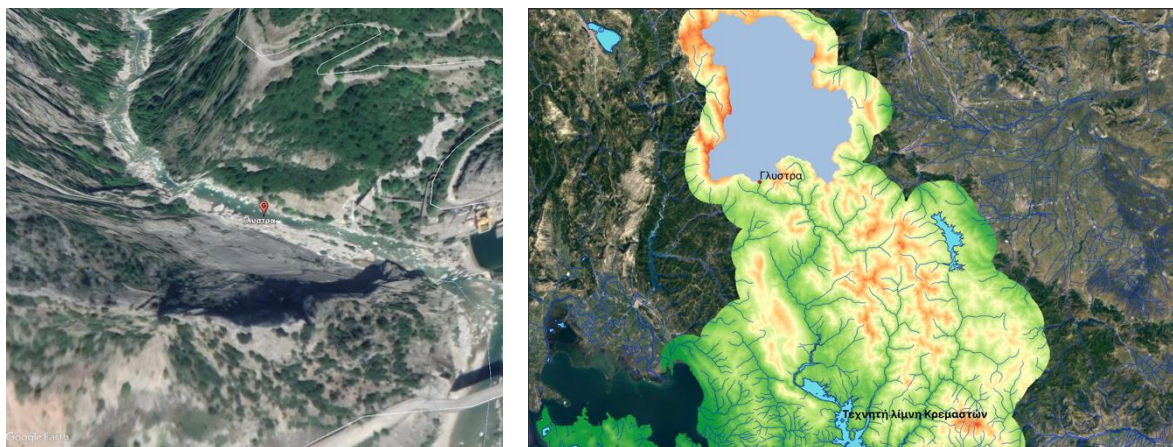
Εικόνα 7.6: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.4: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Λαφίνας.

Κατηγορία έργου	Συνολικό κόστος (€)	Ετήσια απόσβεση (€)	Τεχνικά χαρακτηριστικά
Λεκάνη απορροής (km ²)	668		
Φράγμα	4010380	295091	H=30 m / b _{κοίτης} =45 m
Υδροστρόβιλος 1	1521087	111924	Kaplan 7.6 MW
Υδροστρόβιλος 2	1478913	108821	Kaplan 7.4 MW
Γεννήτρια	646352	47560	
Αγωγός πτώσης	213403	15703	
Έργο υδροληψίας	80104	5894	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	845024	62178	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	9295262	683962	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	2219825		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	36.30		

7.6 ΜΥΗΕ Γλύστρας

Το ΜΥΗΕ της Γλύστρας βρίσκεται ακριβώς ανάντη του ομώνυμου χωριού στον νομό Τρικάλων, επί του κύριου ρου του ποταμού Αχελώου. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού, το οποίο υποδηλώνεται και από την ύπαρξη γέφυρας κατάντη της θέσης σχεδιασμού (Εικόνα 7.7). Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι $39^{\circ}23'46.52''\text{N}$ και το γεωγραφικό του μήκος $21^{\circ}16'31.33''\text{E}$.



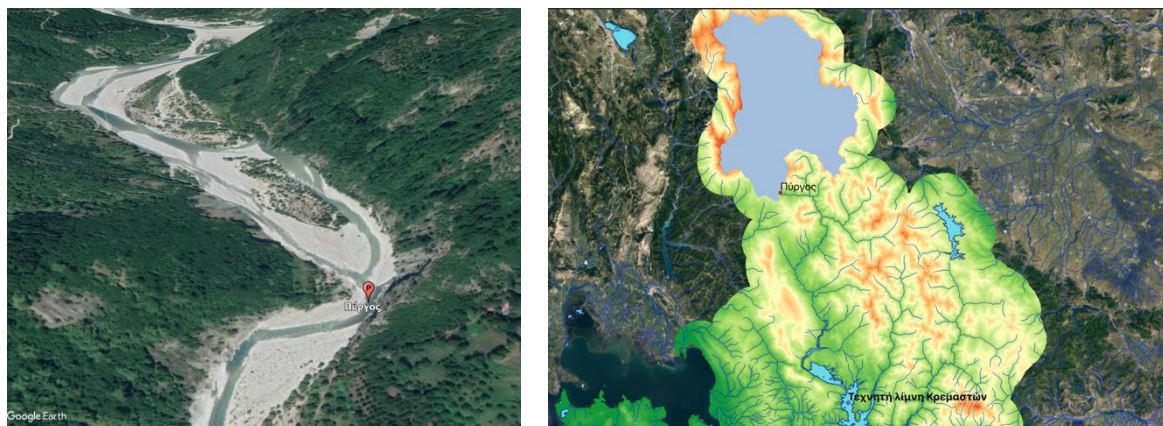
Εικόνα 7.7: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.5: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Γλύστρας.

Λεκάνη απορροής (km ²)	750		
Κατηγορία έργου	Συνολικό κόστος (€)	Ετήσια απόσβεση (€)	Τεχνικά χαρακτηριστικά
Φράγμα	3564782	262303	H=30 m / b _{κοίτης} =40 m
Υδροστρόβιλος 1	2636437	193994	Kaplan 13.0 MW
Υδροστρόβιλος 2	363563	26752	Kaplan 2.0 MW
Γεννήτρια	491814	36189	
Αγωγός πτώσης	213403	15703	
Έργο υδροληψίας	87068	6407	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	785707	57814	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	8642773	635950	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	2553139		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	39.86		

7.7 ΜΥΗΕ Πύργου

Το ΜΥΗΕ του Πύργου βρίσκεται ανάμεσα στα χωριά Πύργος και Τετράκωμο στον νομό Τρικάλων, επί του κύριου ρου του ποταμού Αχελώου. Τα δύο χωριά βρίσκονται σε αρκετά μεγαλύτερο υψόμετρο ώστε να μην επηρεαστούν από το φούσκωμα της κοίτης. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι 39°21'38.51"N και το γεωγραφικό του μήκος 21°18'19.53"E.



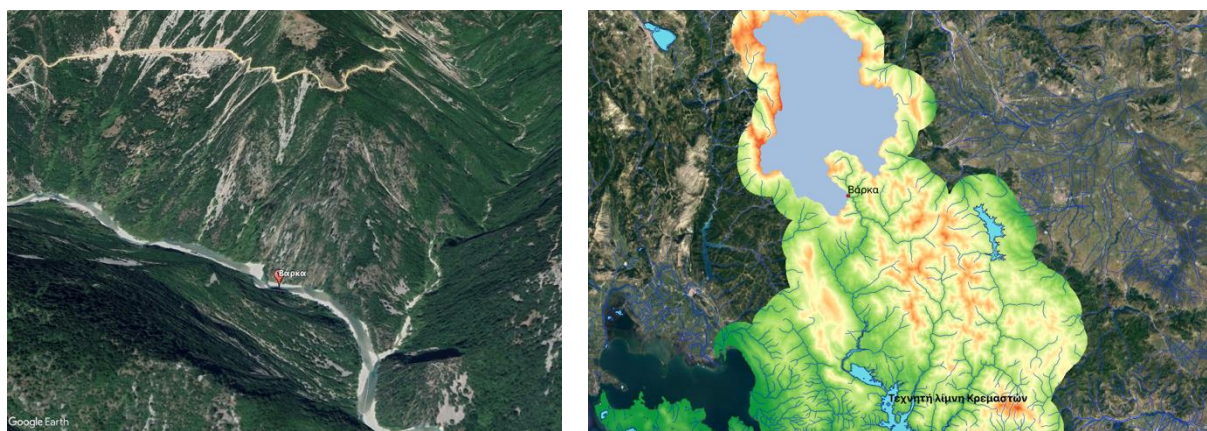
Εικόνα 7.8: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.6: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Πύργου.

Λεκάνη απορροής (km ²)	793		
<i>Κατηγορία έργου</i>	<i>Συνολικό κόστος (€)</i>	<i>Ετήσια απόσβεση (€)</i>	<i>Τεχνικά χαρακτηριστικά</i>
Φράγμα	5347173	393454	H=30 m / b _{κοίτης} =60 m
Υδροστρόβιλος 1	1642512	120859	Kaplan 8.2 MW
Υδροστρόβιλος 2	1357488	99886	Kaplan 6.8 MW
Γεννήτρια	643974	47385	
Αγωγός πτώσης	213403	15403	
Έργο υδροληψίας	90634	6669	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	979518	72075	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	10774702	792821	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	2578005		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	42.14		

7.8 ΜΥΗΕ Βάρκας

Το ΜΥΗΕ της Βάρκας βρίσκεται περίπου 3 χιλιόμετρα από το ομώνυμο χωριό, επί του κύριου ρου του ποταμού Αχελώου. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι 39°21'29.41"N και το γεωγραφικό του μήκος 21°22'32.73"E.



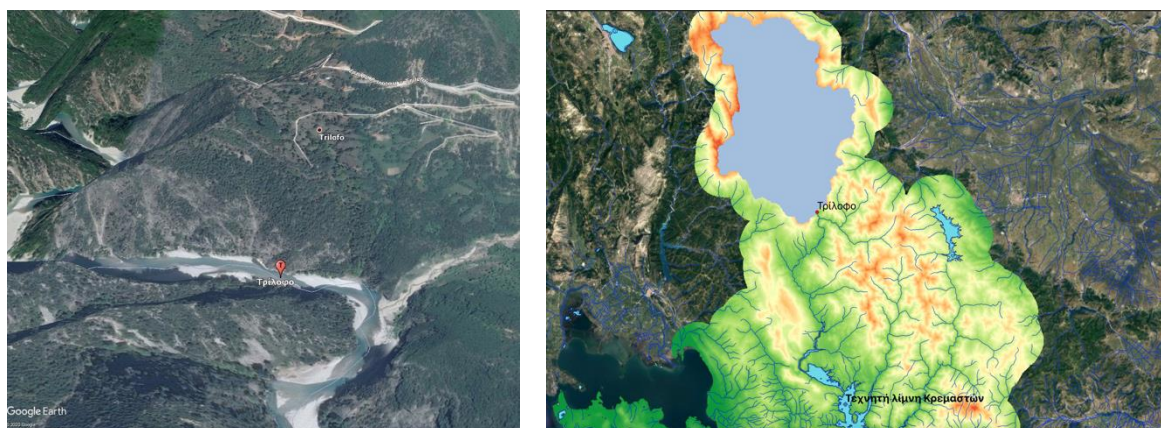
Εικόνα 7.9: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.7: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Βάρκας.

Λεκάνη απορροής (km ²)	829		
Κατηγορία έργου	Συνολικό κόστος (€)	Ετήσια απόσβεση (€)	Τεχνικά χαρακτηριστικά
Φράγμα	5347173	393454	H=30 m / b _{κοίτης} =60 m
Υδροστρόβιλος 1	1732776	127501	Karlan 8.7 MW
Υδροστρόβιλος 2	1267224	93245	Karlan 6.3 MW
Γεννήτρια	639919	47086	
Αγωγός πτώσης	213403	15703	
Έργο υδροληψίας	93578	6886	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	979407	72067	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	10773480	792732	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	2699511		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	43.65		

7.9 ΜΥΗΕ Τρίλοφου

Το ΜΥΗΕ του Τρίλοφου βρίσκεται κατάντη του ομώνυμου χωριού στον νομό Καρδίτσας, επί του κύριου ρου του ποταμού Αχελώου. Περίπου 1.5 χιλιόμετρα κατάντη της θέσης κατασκευής ο ποταμός Αχελώος συμβάλει με τον παραπόταμο - ρέμα Κουμπουργιανίτη. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι 39°19'42.04"N και το γεωγραφικό του μήκος 21°24'29.14"E.



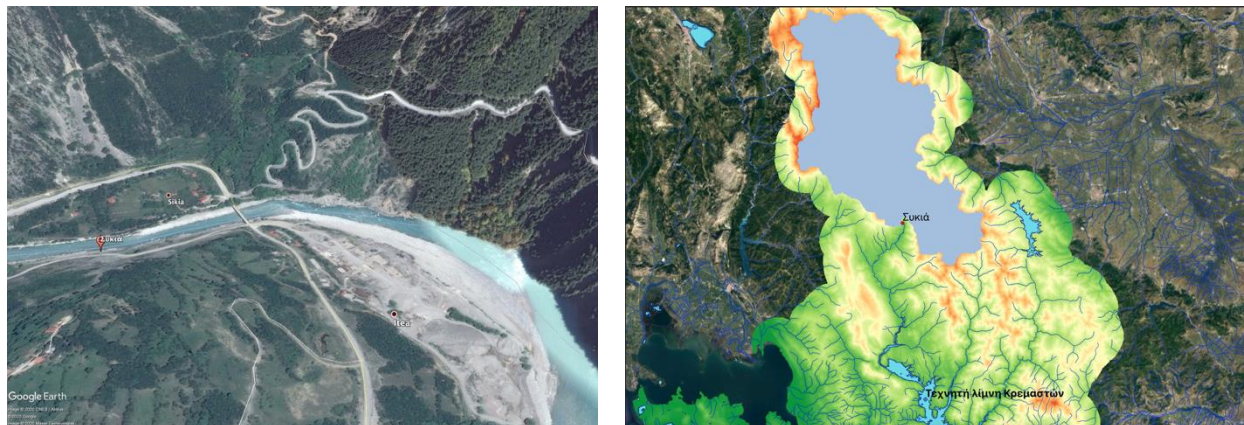
Εικόνα 7.10: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.8: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Τρίλοφου.

Λεκάνη απορροής (km ²)	926		
<i>Κατηγορία έργου</i>	<i>Συνολικό κόστος (€)</i>	<i>Ετήσια απόσβεση (€)</i>	<i>Τεχνικά χαρακτηριστικά</i>
Φράγμα	7129564	524606	H=30 m / b _{κοίτης} =80 m
Υδροστρόβιλος 1	1525881	112277	Kaplan 7.6 MW
Υδροστρόβιλος 2	1474119	108468	Kaplan 7.4 MW
Γεννήτρια	646325	47558	
Αγωγός πτώσης	213403	15703	
Έργο υδροληψίας	101338	7457	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	1159063	85386	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	12749693	938145	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	2917391		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	48.19		

7.10 ΜΥΗΕ Συκιάς

Το ΜΥΗΕ της Συκιάς βρίσκεται περίπου 2 χιλιόμετρα κατάντη του ομώνυμου, ημιτελούς μεγάλου ΥΗΕ. Η θέση είναι στα όρια των νομών Καρδίτσας και Άρτας, επί του κύριου ρου του ποταμού Αχελώου. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού, το οποίο υποδηλώνεται τόσο από την χωροθέτηση του υπό κατασκευή φράγματος, όσο και από την ύπαρξη γέφυρας στα κατάντη της θέσης (Εικόνα 7.11). Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι $39^{\circ}17'50.51''\text{N}$ και το γεωγραφικό του μήκος $21^{\circ}25'22.53''\text{E}$.



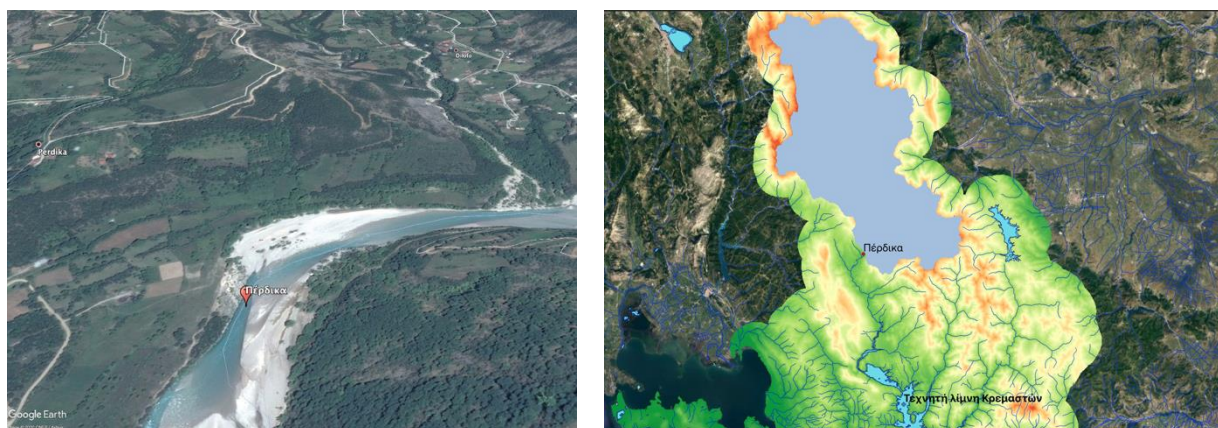
Εικόνα 7.11: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.9: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Συκιάς.

Λεκάνη απορροής (km ²)	1170		
<i>Κατηγορία έργου</i>	<i>Συνολικό κόστος (€)</i>	<i>Ετήσια απόσβεση (€)</i>	<i>Τεχνικά χαρακτηριστικά</i>
Φράγμα	6238369	459030	H=30 m / b _{κοίτης} =70 m
Υδροστρόβιλος 1	2404434	176922	Kaplan 12.0 MW
Υδροστρόβιλος 2	595566	43823	Kaplan 3.0 MW
Γεννήτρια	548490	40359	
Αγωγός πτώσης	213403	15703	
Έργο υδροληψίας	119924	8824	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	1062019	78145	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	11682204	859597	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	3645951		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	56.32		

7.11 ΜΥΗΕ Πέρδικας

Το ΜΥΗΕ της Πέρδικας βρίσκεται ανατολικά του ομώνυμου χωριού, επί του κύριου ρου του ποταμού Αχελώου. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού. Το συγκεκριμένο στένωμα προηγείται και έπεται περιοχών όπου η κοίτη του Αχελώου είναι αρκετά πλατιά. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι $39^{\circ}14'38.77''\text{N}$ και το γεωγραφικό του μήκος $21^{\circ}22'49.65''\text{E}$.



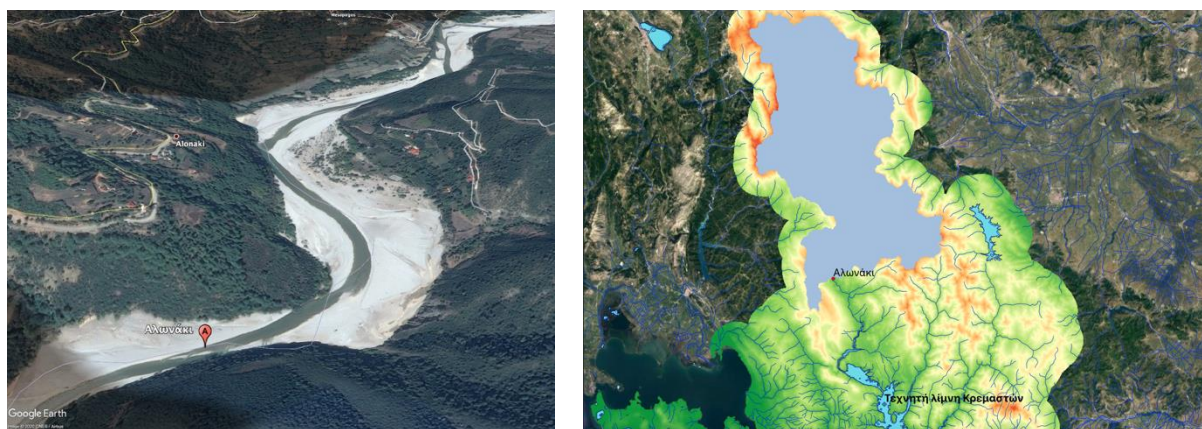
Εικόνα 7.12: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.10: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Πέρδικας.

Λεκάνη απορροής (km ²)	1243		
<i>Κατηγορία έργου</i>	<i>Συνολικό κόστος (€)</i>	<i>Ετήσια απόσβεση (€)</i>	<i>Τεχνικά χαρακτηριστικά</i>
Φράγμα	9496672	698782	H=30 m / b _{κοίτης} =106 m
Υδροστρόβιλος 1	1833221	134892	Kaplan 9.2 MW
Υδροστρόβιλος 2	1166779	85854	Kaplan 5.8 MW
Γεννήτρια	633114	46586	
Αγωγός πτώσης	213403	15703	
Έργο υδροληψίας	125266	9217	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	1391845	102782	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	15365300	1130606	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	3628421		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	59.44		

7.12 ΜΥΗΕ Αλωνακίου

Το ΜΥΗΕ του Αλωνακίου βρίσκεται ανάμεσα στους νομούς Ευρυτανίας και Φθιώτιδας, επί του κύριου ρου του ποταμού Αχελώου. Το ομώνυμο χωριό βρίσκεται ανάντη του έργου (Εικόνα 7.13). Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι $39^{\circ}11'35.07''\text{N}$ και το γεωγραφικό του μήκος $21^{\circ}21'18.01''\text{E}$.



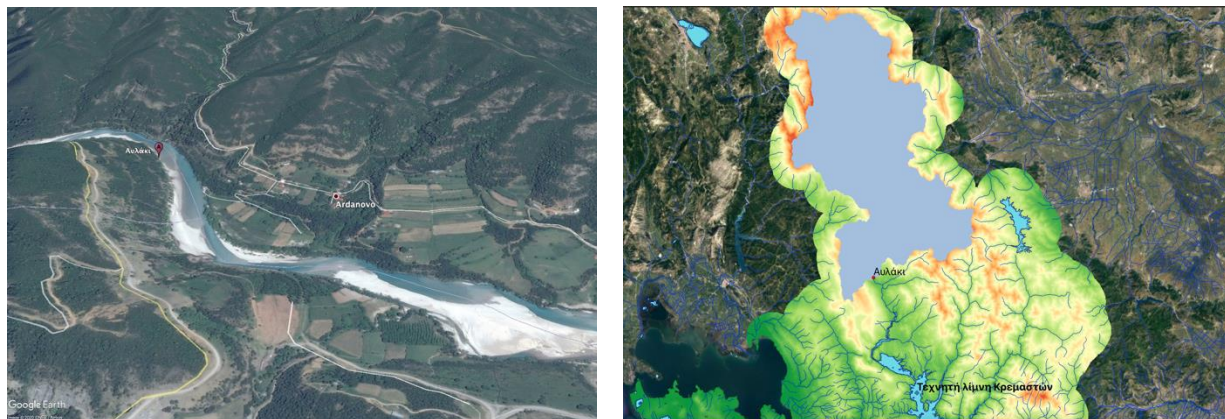
Εικόνα 7.13: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.11: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Αλωνακίου.

Λεκάνη απορροής (km ²)	1353		
Κατηγορία έργου	Συνολικό κόστος (€)	Ετήσια απόσβεση (€)	Τεχνικά χαρακτηριστικά
Φράγμα	8466357	622969	H=30 m / b _{κοίτης} =95 m
Υδροστρόβιλος 1	1672137	123039	Karlan 8.4 MW
Υδροστρόβιλος 2	1327863	97706	Karlan 6.6 MW
Γεννήτρια	642858	47303	
Αγωγός πτώσης	213403	15703	
Έργο υδροληψίας	133152	9798	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	1295577	95331	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	14251347	1048639	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	3992124		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	63.01		

7.13 ΜΥΗΕ Αυλακίου

Το ΜΥΗΕ του Αυλακίου βρίσκεται ανάμεσα στους νομούς Ευρυτανίας και Φθιώτιδας, επί του κύριου ρου του ποταμού Αχελώου. Η θέση του είναι περίπου 5 χιλιόμετρα ανάντη του υπάρχοντος ΜΥΗΕ της Δαφνοζωνάρας. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού, η οποία υποδηλώνεται και από την ύπαρξη γέφυρας κατάντη του σημείου μελέτης. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι 39°10'42.03"N και το γεωγραφικό του μήκος 21°22'20.76"E.



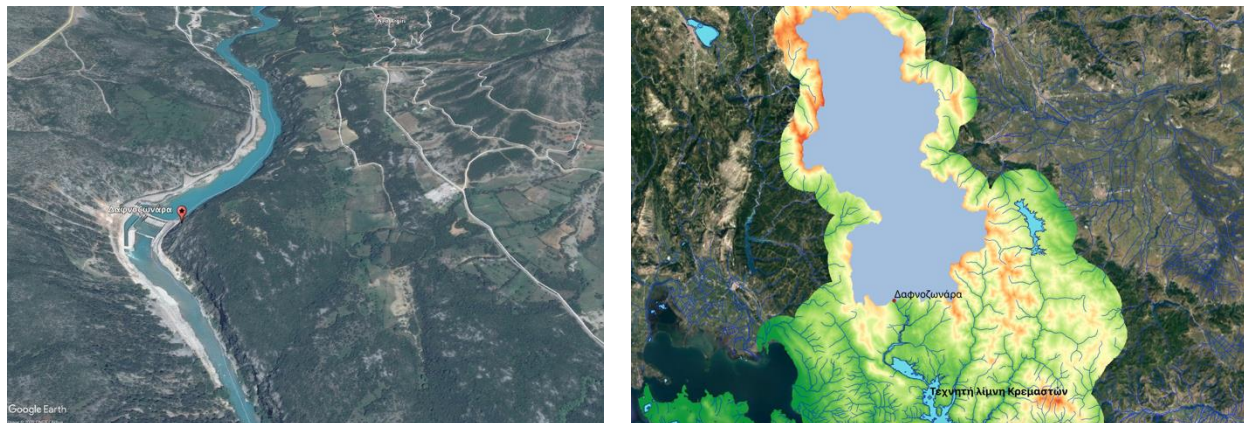
Εικόνα 7.14: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.12: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Αυλακίου.

Λεκάνη απορροής (km ²)	1370		
Κατηγορία έργου	Συνολικό κόστος (€)	Ετήσια απόσβεση (€)	Τεχνικά χαρακτηριστικά
Φράγμα	5614532	413127	H=30 m / b _{κοίτης} =63 m
Υδροστρόβιλος 1	1834064	134954	Kaplan 9.2 MW
Υδροστρόβιλος 2	1165936	85792	Kaplan 5.8 MW
Γεννήτρια	633047	46581	
Αγωγός πτώσης	213403	15703	
Έργο υδροληψίας	134354	9886	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	1009534	74283	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	11104869	817116	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	4246473		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	63.29		

7.14 ΜΥΗΕ Δαφνοζωνάρας

Το ΜΥΗΕ της Δαφνοζωνάρας αποτελεί υπάρχων έργο της εταιρείας ΤΕΡΝΑ Ενεργειακή, επί του κύριου ρου του ποταμού Αχελώου. Το έργο κατασκευάστηκε με εγκατεστημένη ισχύ 8.5 MW. Μετά τη χρήση του τυποποιημένου σχεδιασμού (Κεφάλαια 4 και 5) για την εν λόγω θέση, η εγκατεστημένη ισχύς αυξήθηκε στα 15 MW για τους σκοπούς της εργασίας. Τα νέα στοιχεία του έργου φαίνονται στον Πίνακα 7.13. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι 39° 8'20.99"N και το γεωγραφικό του μήκος 21°23'46.01"E.



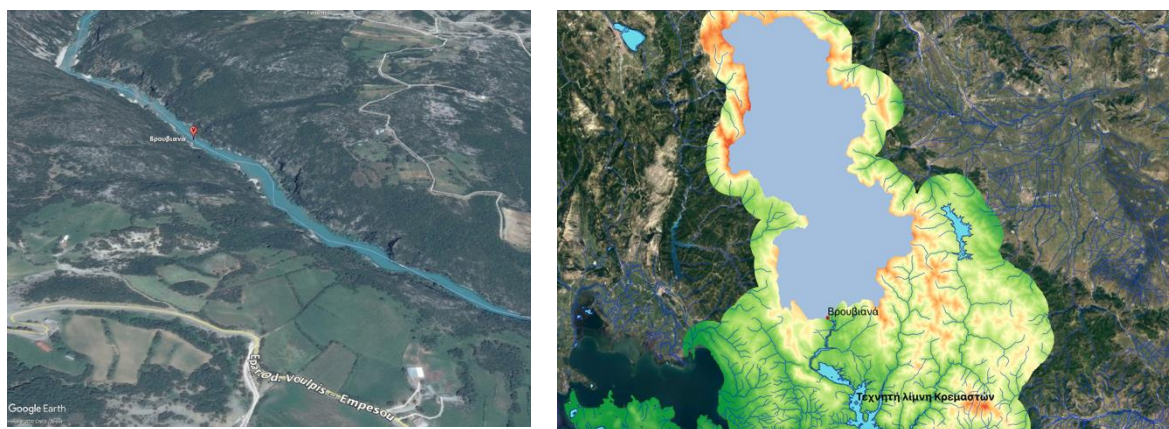
Εικόνα 7.15: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.13: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Δαφνοζωνάρας.

Λεκάνη απορροής (km ²)	1507		
<i>Κατηγορία έργου</i>	<i>Συνολικό κόστος (€)</i>	<i>Ετήσια απόσβεση (€)</i>	<i>Τεχνικά χαρακτηριστικά</i>
Φράγμα	7129564	524606	H=30 m / b _{κοίτης} =80 m
Υδροστρόβιλος 1	1731382	127398	Kaplan 8.7 MW
Υδροστρόβιλος 2	1268618	93347	Kaplan 6.3 MW
Γεννήτρια	639997	47092	
Αγωγός πτώσης	213403	15703	
Έργο υδροληψίας	143898	10588	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	1162686	85552	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	12789547	941077	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	4430135		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	67.14		

7.15 ΜΥΗΕ Βρουβιανών

Το ΜΥΗΕ των Βρουβιανών βρίσκεται ανάμεσα στους νομούς Ευρυτανίας και Φθιώτιδας, επί του κύριου ρου του ποταμού Αχελώου. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι $39^{\circ} 6'54.25''\text{N}$ και το γεωγραφικό του μήκος $21^{\circ}24'53.95''\text{E}$.



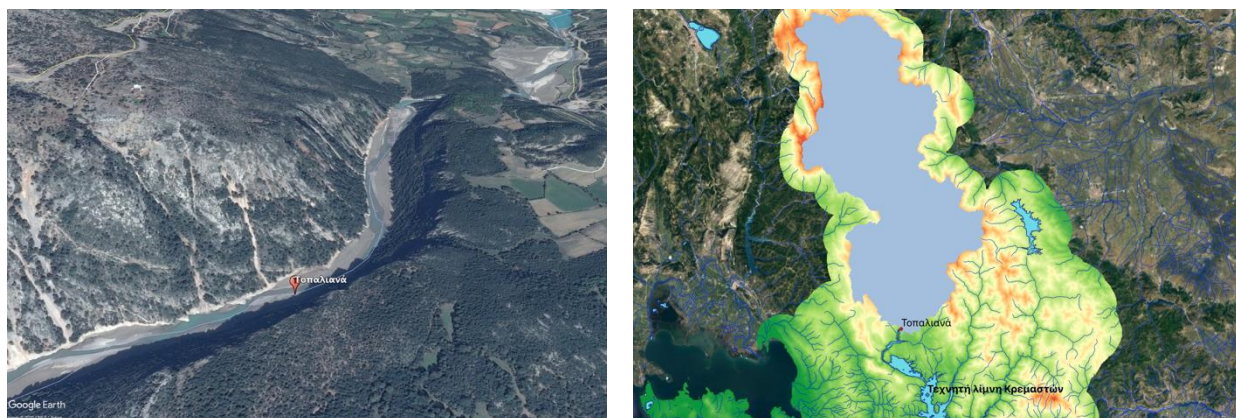
Εικόνα 7.16: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.14: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Βρουβιανών.

Λεκάνη απορροής (km ²)	1525		
Κατηγορία έργου	Συνολικό κόστος (€)	Ετήσια απόσβεση (€)	Τεχνικά χαρακτηριστικά
Φράγμα	5347173	393454	H=30 m / b _{κοίτης} =60 m
Υδροστρόβιλος 1	1650371	121437	Karlan 8.3 MW
Υδροστρόβιλος 2	1349629	99308	Karlan 6.7 MW
Γεννήτρια	643698	47364	
Αγωγός πτώσης	213403	15703	
Έργο υδροληψίας	145133	10679	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	984941	72474	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	10834348	797210	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	4617351		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	67.68		

7.16 ΜΥΗΕ Τοπαλιανών

Το ΜΥΗΕ των Τοπαλιανών βρίσκεται ανάμεσα στους νομούς Ευρυτανίας και Φθιώτιδας. Αποτελεί το πρώτο από τα 4 ΜΥΗΕ που αναλύονται σε αυτήν την εργασία, των οποίων η θέση μελέτης έχει αρκετά μεγάλο πλάτος κοίτης. Τόσο τα Τοπαλιανά όσο και τα 3 επόμενα έργα βρίσκονται στο νοτιότερο σημείο του κύριου ρου του ποταμού Αχελώου, πριν αυτός εκβάλει στην λίμνη των Κρεμαστών. Παρ' όλο το μεγάλο άνοιγμα της κοίτης (≥ 100 m και για τα 4 ΜΥΗΕ), οι συγκεκριμένες θέσεις αποφέρουν κέρδος λόγω των μεγάλων απορροών που δέχονται. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι $39^{\circ} 4'46.37''N$ και το γεωγραφικό του μήκος $21^{\circ}25'16.96''E$.



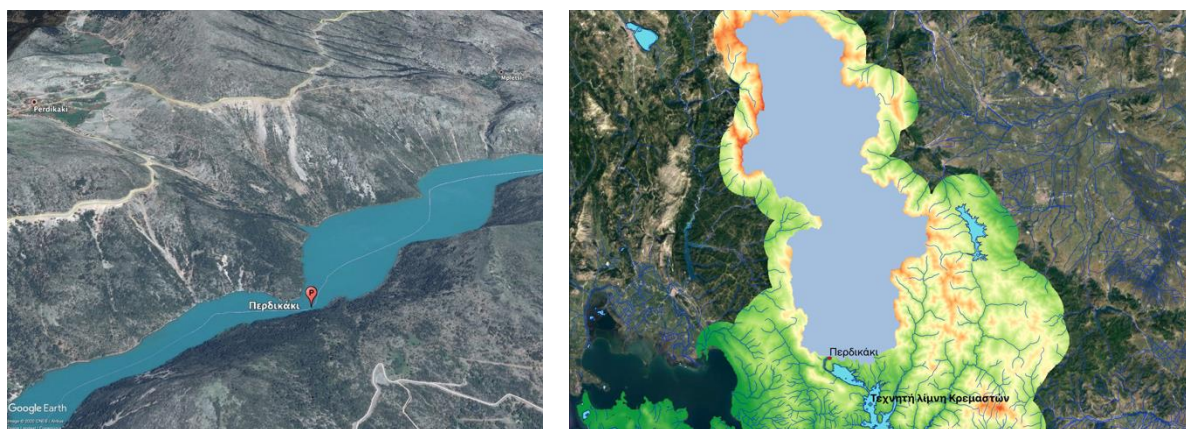
Εικόνα 7.17: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.15: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Τοπαλιανών.

Λεκάνη απορροής (km ²)	1593		
<i>Κατηγορία έργου</i>	<i>Συνολικό κόστος (€)</i>	<i>Ετήσια απόσβεση (€)</i>	<i>Τεχνικά χαρακτηριστικά</i>
Φράγμα	8911955	655757	H=30 m / b _{κοίτης} =100 m
Υδροστρόβιλος 1	1690640	124400	Kaplan 8.4 MW
Υδροστρόβιλος 2	1309360	96345	Kaplan 6.6 MW
Γεννήτρια	642055	47244	
Αγωγός πτώσης	213403	15703	
Έργο υδροληψίας	149764	11020	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	1341718	98726	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	14758894	1085985	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	4457659		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	69.30		

7.17 ΜΥΗΕ Περδικακίου

Το ΜΥΗΕ στο Περδικάκι βρίσκεται 2.5 χιλιόμετρα από το ομώνυμο χωριό (Εικόνα 7.18), επί του κύριου ρου του ποταμού Αχελώου. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού, σε αντίθεση με την σταθερά πλατιά κοίτη της ευρύτερης περιοχής. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι $39^{\circ} 2'10.11''\text{N}$ και το γεωγραφικό του μήκος $21^{\circ}23'13.34''\text{E}$.



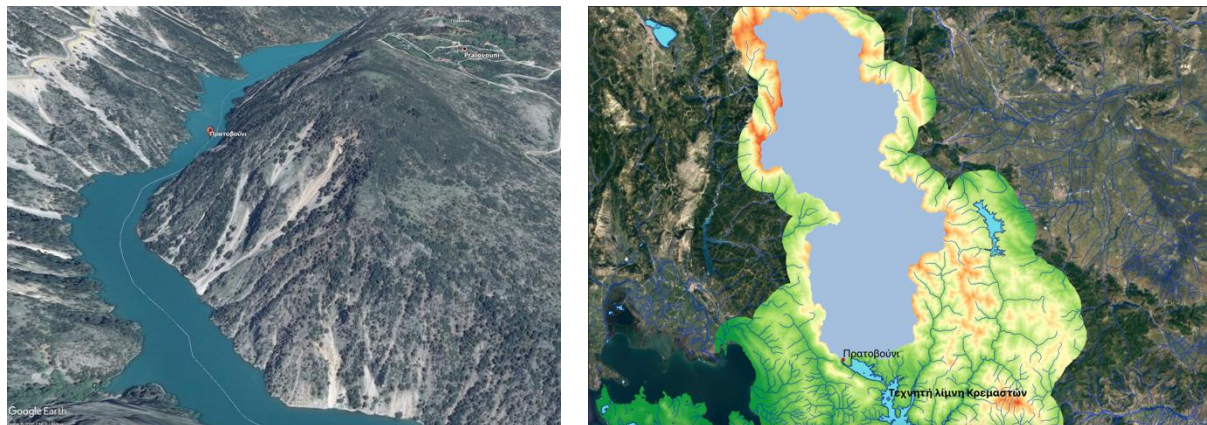
Εικόνα 7.18: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.16: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Περδικακίου.

Λεκάνη απορροής (km ²)	1735		
<i>Κατηγορία έργου</i>	<i>Συνολικό κόστος (€)</i>	<i>Ετήσια απόσβεση (€)</i>	<i>Τεχνικά χαρακτηριστικά</i>
Φράγμα	15150324	1114787	H=30 m / b _{κοίτης} =170 m
Υδροστρόβιλος 1	1701656	125211	Kaplan 8.5 MW
Υδροστρόβιλος 2	1298341	95534	Kaplan 6.5 MW
Γεννήτρια	641537	47205	
Αγωγός πτώσης	213403	15703	
Έργο υδροληψίας	159261	11719	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	1966452	144695	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	21630977	1591645	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	4206727		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	72.48		

7.18 ΜΥΗΕ Πρατοβουνίου

Το ΜΥΗΕ του Πρατοβουνίου βρίσκεται, επί του κύριου ρου του ποταμού Αχελώου. Το χωριό Πρατοβούνι βρίσκεται σε αρκετά μεγαλύτερο υψόμετρο (Εικόνα 7.19), οπότε δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα με το μικρό ταμιευτήρα (ουσιαστικά φούσκωμα της κοίτης), που θα δημιουργηθεί λόγω του έργου. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του (σχετικού) στενώματος της κοίτης του ποταμού. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι $39^{\circ} 1'21.00''N$ και το γεωγραφικό του μήκος $21^{\circ}22'32.40''E$.



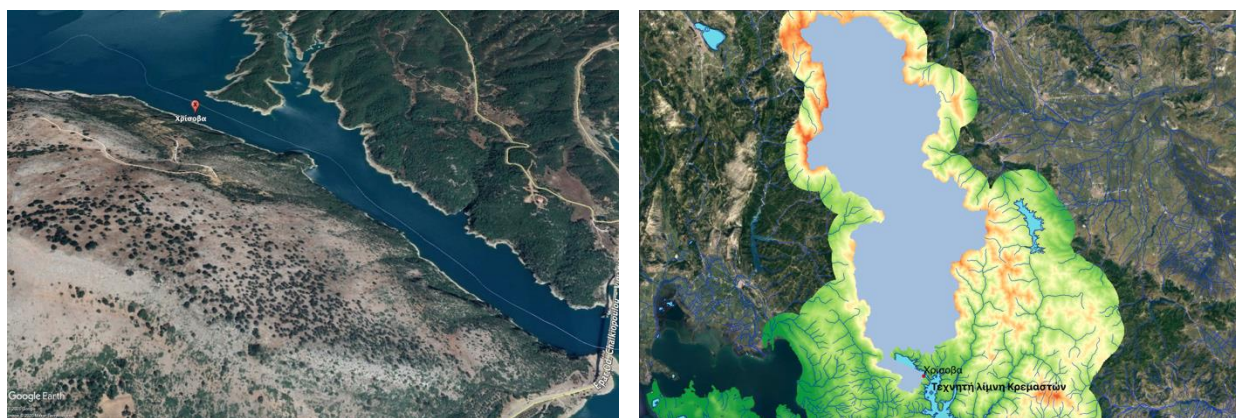
Εικόνα 7.19: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.17: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Πρατοβουνίου.

Λεκάνη απορροής (km ²)	1742		
<i>Κατηγορία έργου</i>	<i>Συνολικό κόστος (€)</i>	<i>Ετήσια απόσβεση (€)</i>	<i>Τεχνικά χαρακτηριστικά</i>
Φράγμα	12476737	918060	H=30 m / b _{κοίτης} =140 m
Υδροστρόβιλος 1	1702067	125241	Kaplan 8.5 MW
Υδροστρόβιλος 2	1297933	95504	Kaplan 6.5 MW
Γεννήτρια	641518	47204	
Αγωγός πτώσης	213403	15703	
Έργο υδροληψίας	159723	11753	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	1699138	125026	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	18690518	1375281	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	4434392		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	72.62		

7.19 ΜΥΗΕ Χρίσοβας

Το ΜΥΗΕ της Χρίσοβας είναι το νοτιότερο ΜΥΗΕ, επί του κύριου ρου του ποταμού Αχελώου. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού, η οποία υποδηλώνεται και από την ύπαρξη γέφυρας κατάντη της θέσης μελέτης (Εικόνα 7.20). Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι 38°58'50.15"N και το γεωγραφικό του μήκος 21°28'22.69"E.



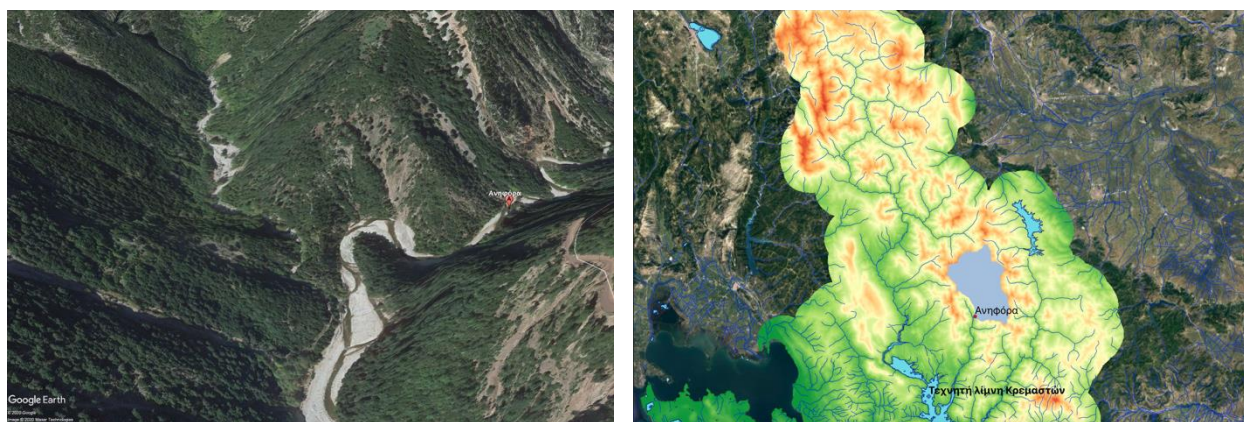
Εικόνα 7.20: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.18: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Χρίσοβας.

Λεκάνη απορροής (km ²)	1781		
<i>Κατηγορία έργου</i>	<i>Συνολικό κόστος (€)</i>	<i>Ετήσια απόσβεση (€)</i>	<i>Τεχνικά χαρακτηριστικά</i>
Φράγμα	18714859	1377072	H=30 m / b _{κοίτης} =210 m
Υδροστρόβιλος 1	1688907	124273	Kaplan 8.5 MW
Υδροστρόβιλος 2	1311093	96473	Kaplan 6.5 MW
Γεννήτρια	642133	47249	
Αγωγός πτώσης	213403	15703	
Έργο υδροληψίας	162290	11942	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	2323268	170950	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	25555952	1880452	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	3995222		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	73.45		

7.20 ΜΥΗΕ Ανηφόρας

Το ΜΥΗΕ της Ανηφόρας είναι το βορειότερο από τα έργα που σχεδιάστηκαν επί του ποταμού Αγραφιώτη, ο οποίος εκβάλλει στη λίμνη των Κρεμαστών. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι 39° 6'40.42"N και το γεωγραφικό του μήκος 21°36'32.73"E.



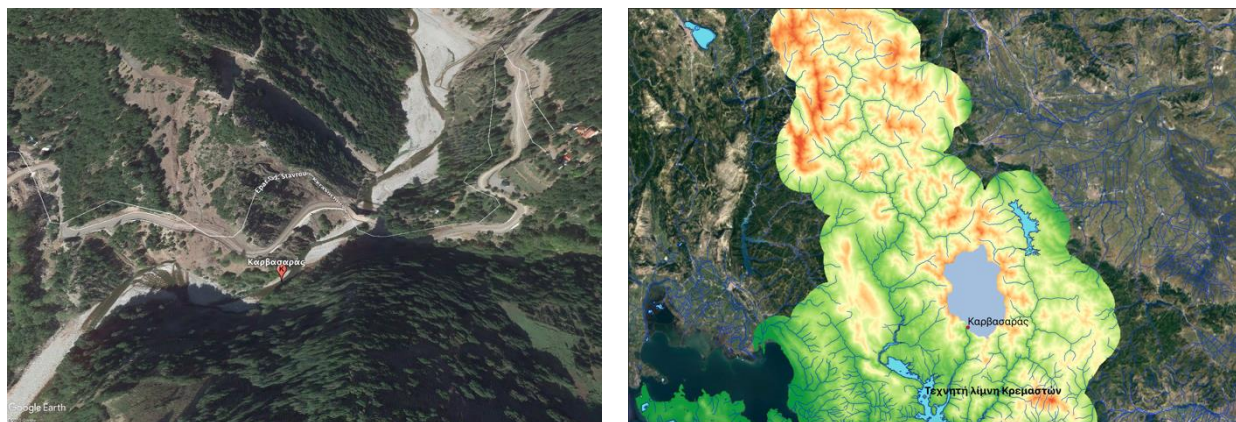
Εικόνα 7.21: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.19: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Ανηφόρας.

Λεκάνη απορροής (km ²)	146		
Κατηγορία έργου	Συνολικό κόστος (€)	Ετήσια απόσβεση (€)	Τεχνικά χαρακτηριστικά
Φράγμα	2220603	163396	H=21 m / b _{κοίτης} =50 m
Υδροστρόβιλος 1	415174	305489	Kaplan 2.1 MW
Υδροστρόβιλος 2	67131	4940	Kaplan 0.3 MW
Γεννήτρια	149836	11025	
Αγωγός πτώσης	125998	9271	
Έργο υδροληψίας	26801	1972	
Δίοδος ιχθύων	210569	15494	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	341611	25136	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	3757723	276500	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	169148		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	5.57		

7.21 ΜΥΗΕ Καρβασαρά

Το ΜΥΗΕ του Καρβασαρά βρίσκεται στο ρου του ποταμού Αγραφιώτη, στον νομό Ευρυτανίας. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού. Ανάντη της θέσης σχεδιασμού υπάρχει μικρή γέφυρα (Εικόνα 7.22), η οποία μπορεί να επηρεαστεί από το φούσκωμα του ποταμού λόγω του έργου. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι $39^{\circ} 5'19.84''N$ και το γεωγραφικό του μήκος $21^{\circ}36'5.68''E$.



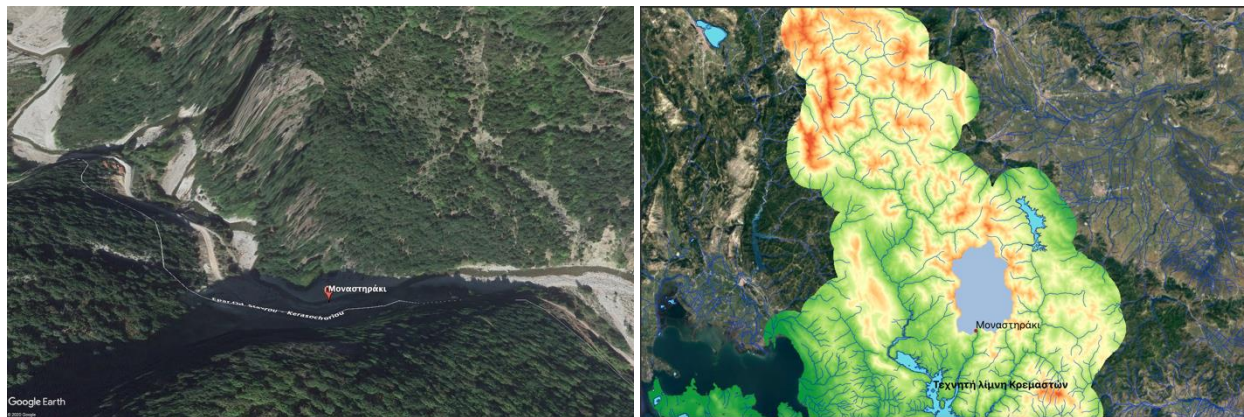
Εικόνα 7.22: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.20: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Καρβασαρά.

Λεκάνη απορροής (km ²)	191		
Κατηγορία έργου	Συνολικό κόστος (€)	Ετήσια απόσβεση (€)	Τεχνικά χαρακτηριστικά
Φράγμα	3833582	282082	H=26.5 m / b _{κοίτης} =55 m
Υδροστρόβιλος 1	900868	66287	Karlan 4.5 MW
Υδροστρόβιλος 2	90262	6642	Karlan 0.5 MW
Γεννήτρια	264009	19426	
Αγωγός πτώσης	15857	11100	
Έργο υδροληψίας	32500	2393	
Δίοδος ιχθύων	264882	19490	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	573698	42214	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	6310679	464351	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	280188		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	9.31		

7.22 ΜΥΗΕ Μοναστηρακίου

Το ΜΥΗΕ του Μοναστηρακίου βρίσκεται στο ρου του ποταμού Αγραφιώτη, στον νομό Ευρυτανίας. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε ως αδειοδοτημένη θέση εγκατάστασης ΜΥΗΕ (Πηγή: Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας). Για την συγκεκριμένη θέση έχει δοθεί ήδη άδεια εγκατάστασης ΜΥΗΕ, εγκατεστημένης ισχύς 3 MW, από την εταιρεία Υδροηλεκτρική Ευρυτανίας ΑΕ. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι 39° 4'16.75"N και το γεωγραφικό του μήκος 21°36'9.93"E.



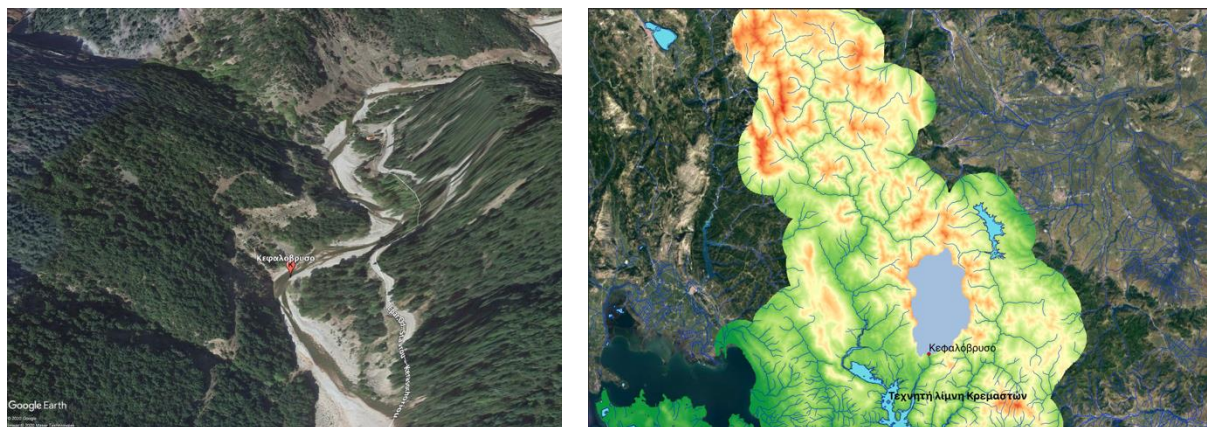
Εικόνα 7.23: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.21: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Μοναστηρακίου.

Λεκάνη απορροής (km ²)	209		
Κατηγορία έργου	Συνολικό κόστος (€)	Ετήσια απόσβεση (€)	Τεχνικά χαρακτηριστικά
Φράγμα	4010380	295091	H=30 m / b _{κοίτης} =45 m
Υδροστρόβιλος 1	1101748	81069	Kaplan 5.5 MW
Υδροστρόβιλος 2	108545	7987	Kaplan 0.5 MW
Γεννήτρια	305464	22477	
Αγωγός πτώσης	156384	11507	
Έργο υδροληψίας	34699	2553	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	621722	45747	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	6838941	503221	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	418882		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	11.53		

7.23 ΜΥΗΕ Κεφαλόβρυσου

Το ΜΥΗΕ του Κεφαλόβρυσου βρίσκεται στο ρου του ποταμού Αγραφιώτη, στον νομό Ευρυτανίας. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε ως αδειοδοτημένη θέση εγκατάστασης ΜΥΗΕ (Πηγή: Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας). Για την συγκεκριμένη θέση έχει δοθεί ήδη άδεια εγκατάστασης ΜΥΗΕ, εγκατεστημένης ισχύς 7 MW, από την εταιρεία ΥΔΡΙΑ Ενεργειακή ΑΕ. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι 39°2'40.30"N και το γεωγραφικό του μήκος 21°35'41.05"E.



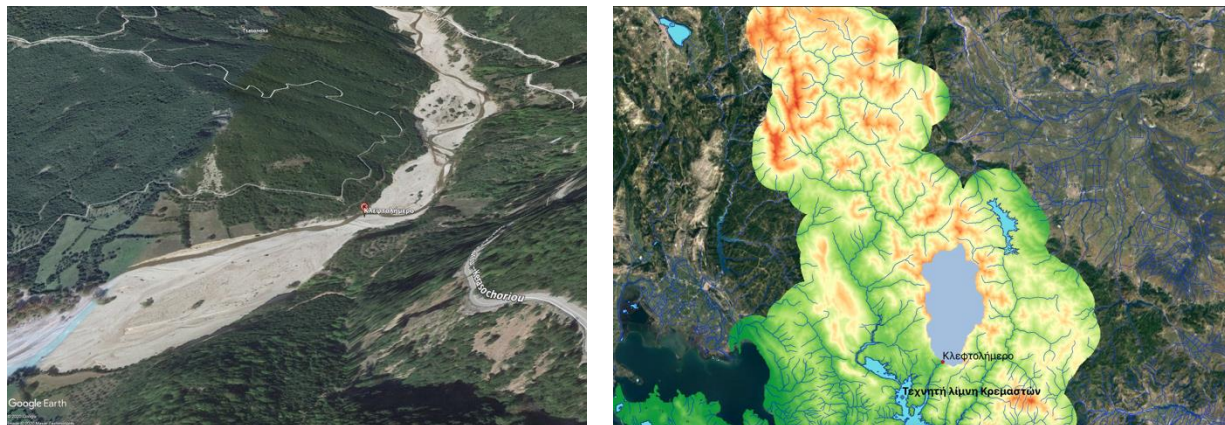
Εικόνα 7.24: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.22: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Κεφαλόβρυσου.

Λεκάνη απορροής (km ²)	228		
Κατηγορία έργου	Συνολικό κόστος (€)	Ετήσια απόσβεση (€)	Τεχνικά χαρακτηριστικά
Φράγμα	3386543	249188	H=30 m / b _{κοίτης} =38 m
Υδροστρόβιλος 1	1011823	74452	Karlan 5.1 MW
Υδροστρόβιλος 2	163106	12002	Karlan 0.8 MW
Γεννήτρια	305343	22468	
Αγωγός πτώσης	154804	11391	
Έργο υδροληψίας	36942	2718	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	555856	40901	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	6114417	449910	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	550369		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	12.50		

7.24 ΜΥΗΕ Κλεφτολήμερου

Το ΜΥΗΕ του Κλεφτολήμερου βρίσκεται στο ρου του ποταμού Αγραφιώτη, στον νομό Ευρυτανίας. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε ως αδειοδοτημένη θέση εγκατάστασης ΜΥΗΕ (Πηγή: Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας). Για την συγκεκριμένη θέση έχει δοθεί ήδη άδεια εγκατάστασης ΜΥΗΕ, εγκατεστημένης ισχύς 4.8 MW, από την εταιρεία ΚΗΔΑΛΙΩΝ Ν. ΑΤΕ. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι 39°1'10.38"N και το γεωγραφικό του μήκος 21°35'42.80"E.



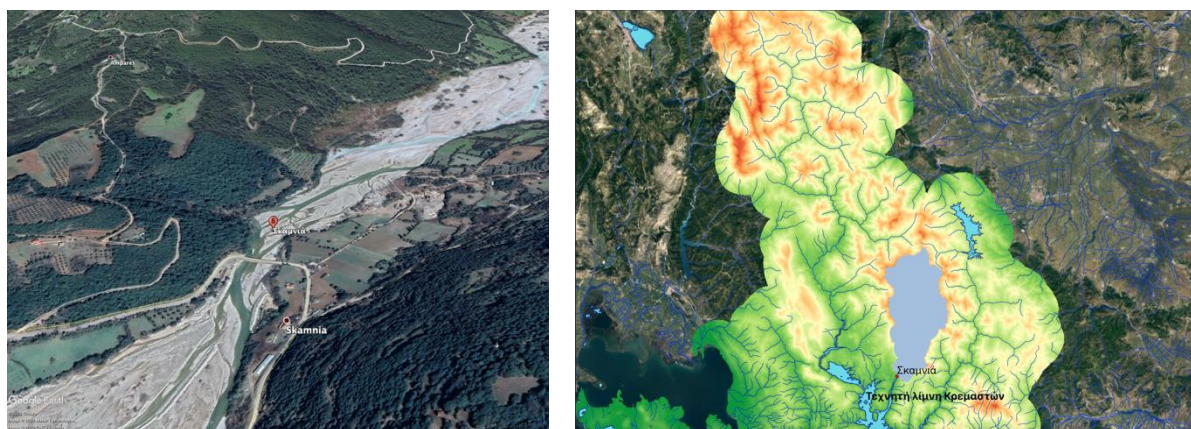
Εικόνα 7.25: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.23: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Κλεφτολήμερου.

Λεκάνη απορροής (km ²)	249		
Κατηγορία έργου	Συνολικό κόστος (€)	Ετήσια απόσβεση (€)	Τεχνικά χαρακτηριστικά
Φράγμα	5345387	393323	H=26 m / b _{κοίτης} =80 m
Υδροστρόβιλος 1	718738	52886	Kaplan 3.6 MW
Υδροστρόβιλος 2	201819	14850	Kaplan 1.0 MW
Γεννήτρια	258542	19024	
Αγωγός πτώσης	147958	10887	
Έργο υδροληψίας	39362	2896	
Δίοδος ιχθύων	259262	19075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	717107	52766	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	7888174	580426	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	344323		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	11.56		

7.25 ΜΥΗΕ Σκαμνιών

Το ΜΥΗΕ των Σκαμνιών είναι το νοτιότερο από τα ΜΥΗΕ που τοποθετήθηκαν στον ποταμό Αγραφιώτη. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού, το οποίο υποδηλώνεται και από την ύπαρξη γέφυρας στα κατάντη της θέσης (Εικόνα 7.26). Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι 38°59'59.42"N και το γεωγραφικό του μήκος 21°34'19.32"E.



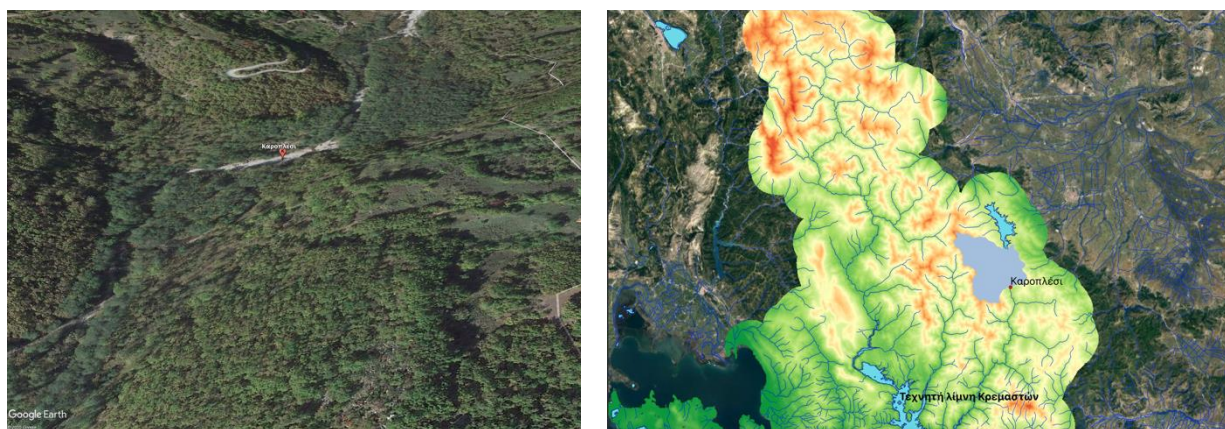
Εικόνα 7.26: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.24: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Σκαμνιών.

Λεκάνη απορροής (km ²)	262		
Κατηγορία έργου	Συνολικό κόστος (€)	Ετήσια απόσβεση (€)	Τεχνικά χαρακτηριστικά
Φράγμα	5347173	393451	H=30 m / b _{κοίτης} =60 m
Υδροστρόβιλος 1	757952	55771	Karlan 3.8 MW
Υδροστρόβιλος 2	657237	48361	Karlan 3.3 MW
Γεννήτρια	380051	27965	
Αγωγός πτώσης	164988	12140	
Έργο υδροληψίας	40831	3004	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	784823	57749	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	8633056	635235	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	512077		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	14.34		

7.26 ΜΥΗΕ Καροπλεσίου

Το ΜΥΗΕ στο Καροπλέσι είναι το βορειότερο από έργα επί του ποταμού Ταυρωπού, ο οποίος εκβάλλει στην τεχνητή λίμνη των Κρεμαστών. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι $39^{\circ}10'53.57''\text{N}$ και το γεωγραφικό του μήκος $21^{\circ}46'10.95''\text{E}$.



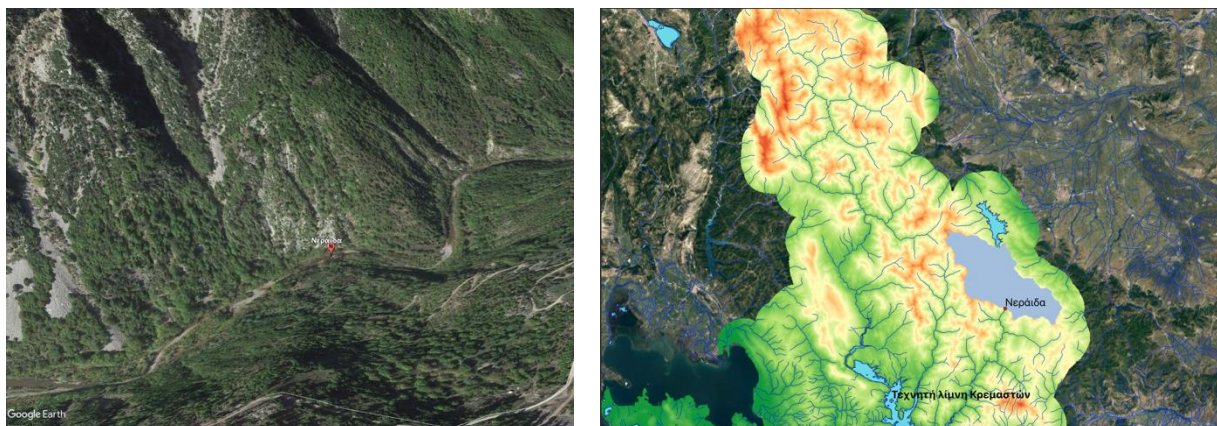
Εικόνα 7.27: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.25: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Καροπλεσίου.

Λεκάνη απορροής (km ²)	141		
Κατηγορία έργου	Συνολικό κόστος (€)	Ετήσια απόσβεση (€)	Τεχνικά χαρακτηριστικά
Φράγμα	3029538	222919	H=28 m / b _{κοίτης} =40 m
Υδροστρόβιλος 1	495878	36488	Karlan 2.5 MW
Υδροστρόβιλος 2	120104	8837	Karlan 0.6 MW
Γεννήτρια	184944	13609	
Αγωγός πτώσης	126900	9338	
Έργο υδροληψίας	26137	1923	
Δίοδος ιχθύων	276277	20329	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	445978	32816	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	4905755	360974	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	204087		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	7.06		

7.27 ΜΥΗΕ Νεράιδας

Το ΜΥΗΕ της Νεράιδας βρίσκεται στο ρου του ποταμού Ταυρωπού, στον νομό Ευρυτανίας. Το χωριό της Νεράιδας βρίσκεται ανάντη του φράγματος αλλά σε αρκετά μεγαλύτερο υψόμετρο ώστε να μην υπάρχει κανένα πρόβλημα με το μικρό ταμιευτήρα (ουσιαστικά φούσκωμα της κοίτης), που θα δημιουργηθεί λόγω του έργου. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι $39^{\circ} 8'9.49''\text{N}$ και το γεωγραφικό του μήκος $21^{\circ}46'43.87''\text{E}$.



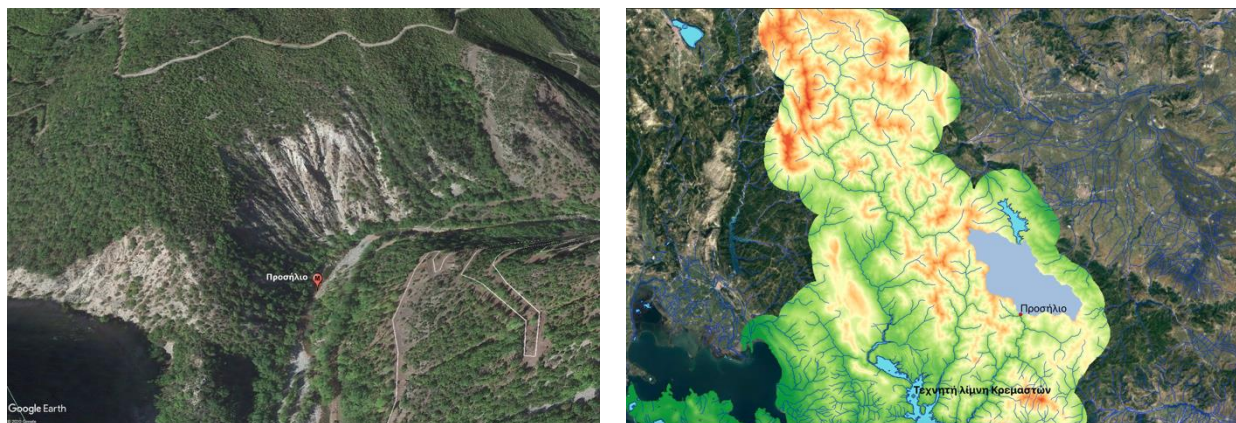
Εικόνα 7.28: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.26: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Νεράιδας.

Λεκάνη απορροής (km ²)	239		
<i>Κατηγορία έργου</i>	<i>Συνολικό κόστος (€)</i>	<i>Ετήσια απόσβεση (€)</i>	<i>Τεχνικά χαρακτηριστικά</i>
Φράγμα	4455978	327879	H=30 m / b _{κοίτης} =50 m
Υδροστρόβιλος 1	626940	46131	Kaplan 3.1 MW
Υδροστρόβιλος 2	383215	28198	Kaplan 2.0 MW
Γεννήτρια	286463	21078	
Αγωγός πτώσης	146997	10816	
Έργο υδροληψίας	38217	2812	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	64781	47371	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	7081591	521076	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	501496		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	12.78		

7.28 ΜΥΗΕ Προσήλιου

Το ΜΥΗΕ του Προσήλιου βρίσκεται στο ρου του ποταμού Ταυρωπού, στον νομό Ευρυτανίας. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι $39^{\circ}6'59.86''\text{N}$ και το γεωγραφικό του μήκος $21^{\circ}45'52.51''\text{E}$.



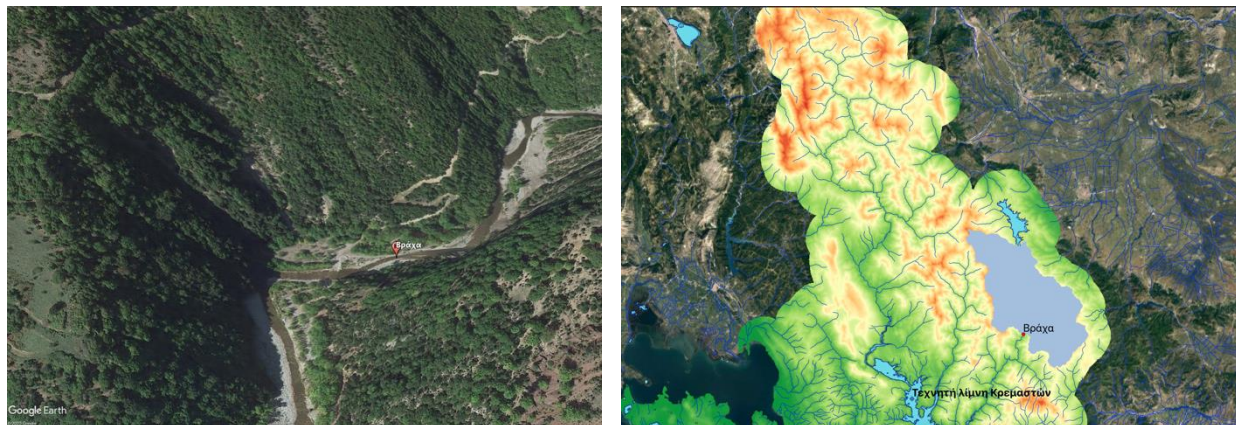
Εικόνα 7.29: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.27: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Προσήλιου.

Λεκάνη απορροής (km ²)	248		
Κατηγορία έργου	Συνολικό κόστος (€)	Ετήσια απόσβεση (€)	Τεχνικά χαρακτηριστικά
Φράγμα	4010380	295091	H=30 m / b _{κοίτης} =45 m
Υδροστρόβιλος 1	1067357	78538	Kaplan 5.3 MW
Υδροστρόβιλος 2	343431	25270	Kaplan 1.7 MW
Γεννήτρια	363723	26763	
Αγωγός πτώσης	164812	12127	
Έργο υδροληψίας	39248	2888	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	648895	47747	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	7137846	525215	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	563950		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	13.61		

7.29 ΜΥΗΕ Βράχας

Το ΜΥΗΕ της Βράχας βρίσκεται στο ρου του ποταμού Ταυρωπού, στον νομό Ευρυτανίας. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι $39^{\circ}4'52.27''\text{N}$ και το γεωγραφικό του μήκος $21^{\circ}46'25.97''\text{E}$.



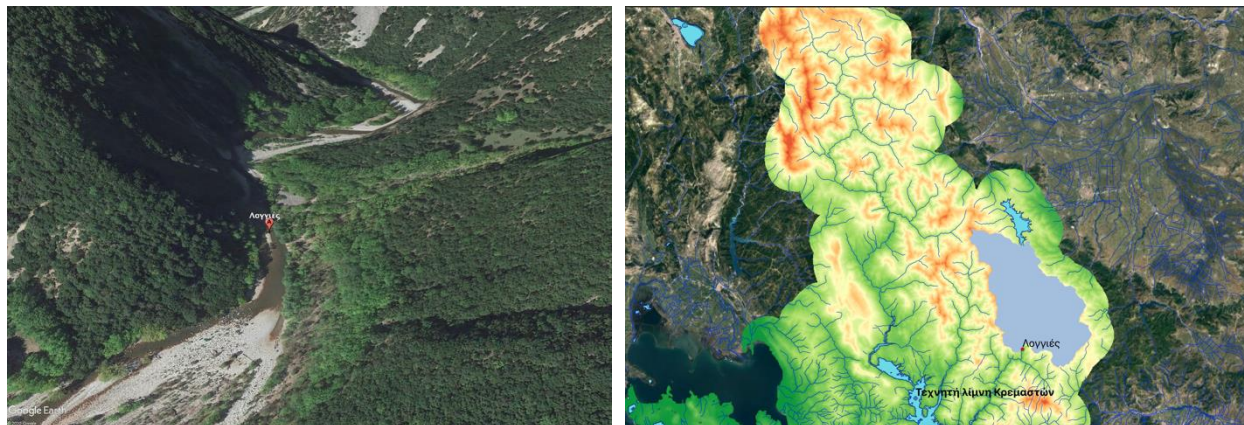
Εικόνα 7.30: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.28: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Βράχας.

Λεκάνη απορροής (km ²)	397		
Κατηγορία έργου	Συνολικό κόστος (€)	Ετήσια απόσβεση (€)	Τεχνικά χαρακτηριστικά
Φράγμα	4455978	327879	H=30 m / b _{κοίτης} =50 m
Υδροστρόβιλος 1	877363	64558	Kaplan 6.3 MW
Υδροστρόβιλος 2	1264344	93033	Kaplan 4.4 MW
Γεννήτρια	516497	38005	
Αγωγός πτώσης	190142	13991	
Έργο υδροληψίας	55073	4052	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	785940	57831	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	8645337	636139	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	1133942		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	22.13		

7.30 ΜΥΗΕ Λογγιών

Το ΜΥΗΕ στις Λογγιές βρίσκεται στο ρου του ποταμού Ταυρωπού, στον νομό Ευρυτανίας. Το ομώνυμο χωριό βρίσκεται ανάντη του φράγματος, αλλά σε μεγάλη απόσταση περίπου 2 χιλιομέτρων, οπότε δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα με το μικρό ταμιευτήρα (ουσιαστικά φούσκωμα της κοίτης), που θα δημιουργηθεί λόγω του έργου. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι 39°2'59.93"N και το γεωγραφικό του μήκος 21°45'50.60"E.



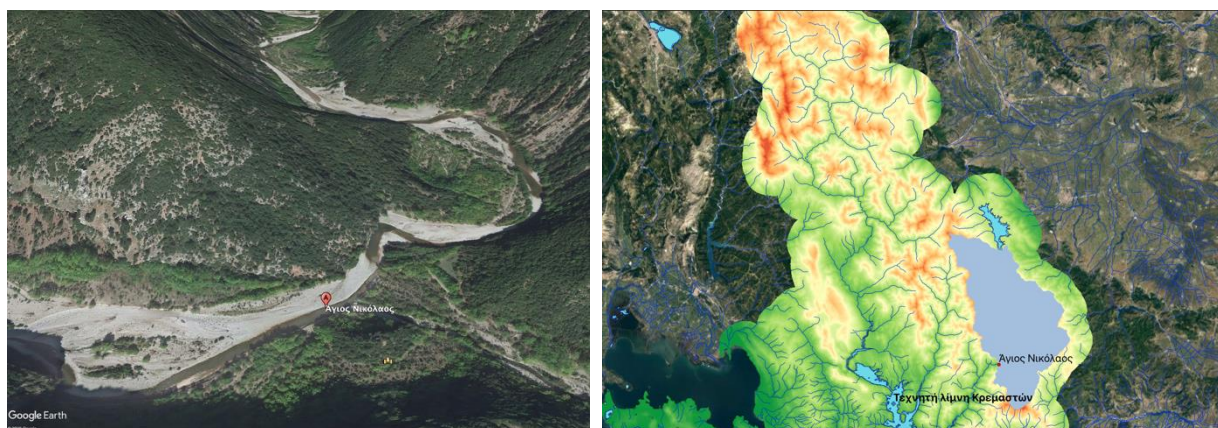
Εικόνα 7.31: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.29: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Λογγιών.

Λεκάνη απορροής (km ²)	422		
Κατηγορία έργου	Συνολικό κόστος (€)	Ετήσια απόσβεση (€)	Τεχνικά χαρακτηριστικά
Φράγμα	5347173	393454	H=30 m / b _{κοίτης} =60 m
Υδροστρόβιλος 1	1234059	90804	Kaplan 6.2 MW
Υδροστρόβιλος 2	772760	56861	Kaplan 3.9 MW
Γεννήτρια	490830	36121	
Αγωγός πτώσης	185953	13683	
Έργο υδροληψίας	57549	4235	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	858838	63195	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	9447223	695143	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	1128659		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	22.80		

7.31 ΜΥΗΕ Αγίου Νικολάου

Το ΜΥΗΕ του Αγίου Νικολάου βρίσκεται στο ρου του ποταμού Ταυρωπού, στον νομό Ευρυτανίας. Δεν υπάρχει κάποιο χωριό κοντά στην θέση μελέτης, αλλά περίπου 140 μέτρα Νότια βρίσκεται η εκκλησία του Αγίου Νικολάου (Εικόνα 7.32). Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι $39^{\circ}1'48.60''N$ και το γεωγραφικό του μήκος $21^{\circ}45'36.42''E$.



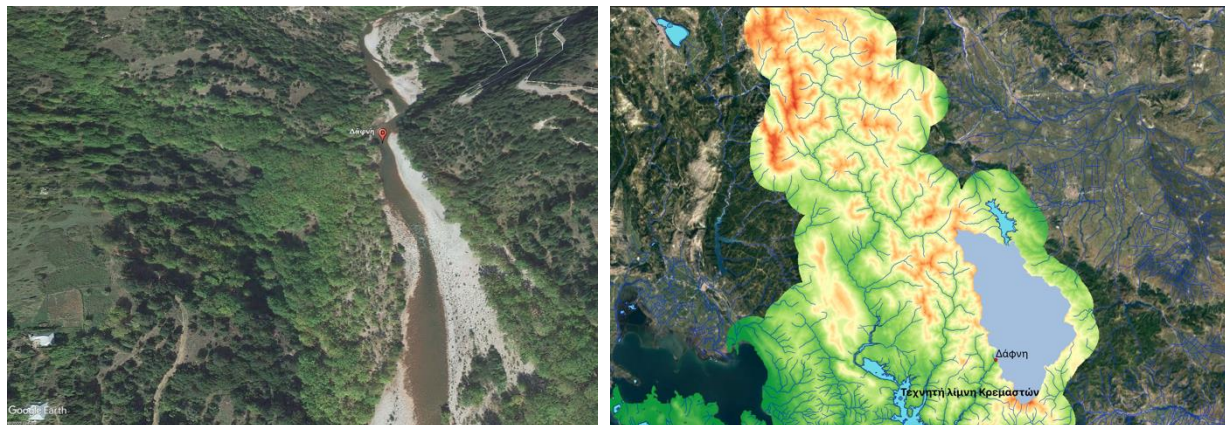
Εικόνα 7.32: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.30: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Αγίου Νικολάου.

Λεκάνη απορροής (km ²)	504		
<i>Κατηγορία έργου</i>	<i>Συνολικό κόστος (€)</i>	<i>Ετήσια απόσβεση (€)</i>	<i>Τεχνικά χαρακτηριστικά</i>
Φράγμα	6862205	504933	H=30 m / b _{κοίτης} =77 m
Υδροστρόβιλος 1	1203179	88532	Kaplan 6.0 MW
Υδροστρόβιλος 2	1177726	86659	Kaplan 5.9 MW
Γεννήτρια	560346	41231	
Αγωγός πτώσης	197163	14508	
Έργο υδροληψίας	65398	4812	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	1056602	77747	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	11622619	855213	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	1344578		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	27.50		

7.32 ΜΥΗΕ Δάφνης

Το ΜΥΗΕ της Δάφνης βρίσκεται στο ρου του ποταμού Ταυρωπού, στον νομό Ευρυτανίας. Το ομώνυμο χωριό βρίσκεται σε αρκετά μεγαλύτερο υψόμετρο ώστε να μην υπάρχει κανένα πρόβλημα με το μικρό ταμιευτήρα (ουσιαστικά φούσκωμα της κοίτης), που θα δημιουργηθεί λόγω του έργου. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού, η οποία υποδηλώνεται και από την ύπαρξη γέφυρας ανάντη της θέσης. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι 39° 1'43.04"N και το γεωγραφικό του μήκος 21°44'4.73"E.



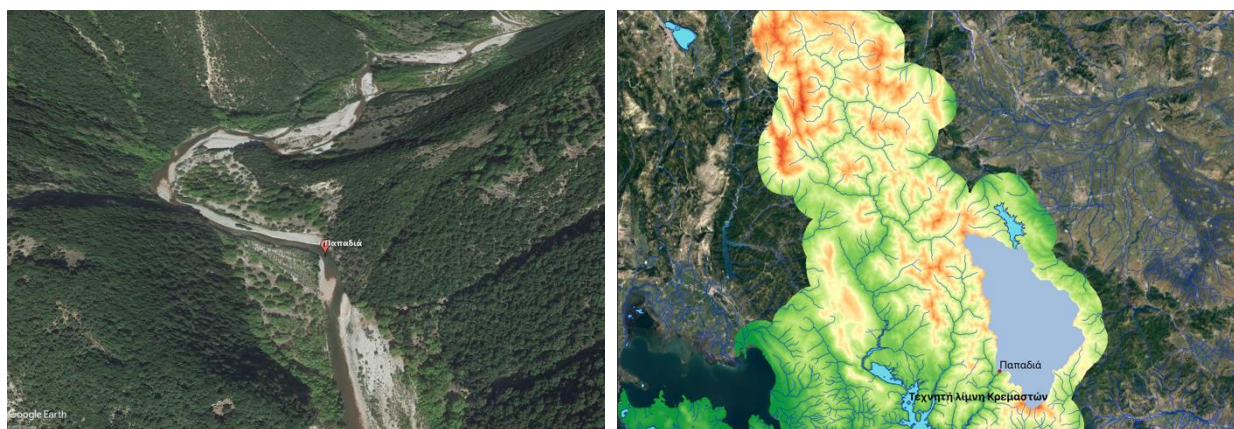
Εικόνα 7.33: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.31: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Δάφνης.

Λεκάνη απορροής (km ²)	510		
<i>Κατηγορία έργου</i>	<i>Συνολικό κόστος (€)</i>	<i>Ετήσια απόσβεση (€)</i>	<i>Τεχνικά χαρακτηριστικά</i>
Φράγμα	3564782	262303	H=30 m / b _{κοίτης} =40 m
Υδροστρόβιλος 1	1420764	104542	Kaplan 7.1 MW
Υδροστρόβιλος 2	1000942	73651	Kaplan 5.0 MW
Γεννήτρια	561468	41314	
Αγωγός πτώσης	198313	14592	
Έργο υδροληψίας	65957	4853	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	731223	53805	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	8043449	591851	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	1615425		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	27.59		

7.33 ΜΥΗΕ Παπαδιάς

Το ΜΥΗΕ της Παπαδιάς βρίσκεται στο ρου του ποταμού Ταυρωπού, στον νομό Ευρυτανίας. Το ομώνυμο χωριό βρίσκεται κατάντη της θέσης, οπότε δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα με το μικρό ταμιευτήρα (ουσιαστικά φούσκωμα της κοίτης), που θα δημιουργηθεί λόγω του έργου. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι $39^{\circ} 0'51.56''N$ και το γεωγραφικό του μήκος $21^{\circ}43'26.39''E$.



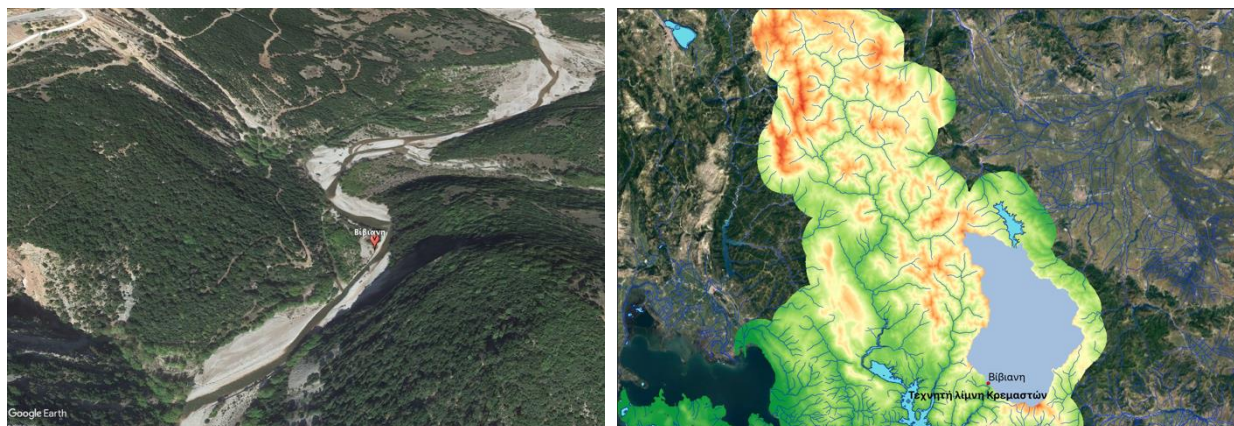
Εικόνα 7.34: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.32: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Παπαδιάς.

Λεκάνη απορροής (km ²)	519		
Κατηγορία έργου	Συνολικό κόστος (€)	Ετήσια απόσβεση (€)	Τεχνικά χαρακτηριστικά
Φράγμα	2673587	196727	H=30 m / b _{κοίτης} =30 m
Υδροστρόβιλος 1	1480000	108901	Karlan 7.4 MW
Υδροστρόβιλος 2	1080000	79468	Karlan 5.4 MW
Γεννήτρια	582826	42885	
Αγωγός πτώσης	202121	14872	
Έργο υδροληψίας	66793	4915	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	969120	71310	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	7554446	555869	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	1667157		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	28.00		

7.34 ΜΥΗΕ Βίνιανης

Το ΜΥΗΕ της Βίνιανης βρίσκεται στο ρου του ποταμού Ταυρωπού, στον νομό Ευρυτανίας. Το ομώνυμο χωριό βρίσκεται κατάντη της θέσης, οπότε δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα με το μικρό ταμιευτήρα (ουσιαστικά φούσκωμα της κοίτης), που θα δημιουργηθεί λόγω του έργου. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού, η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ περιοχών του Ταυρωπού με αρκετά πλατύτερη κοίτη. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι $38^{\circ}58'0.72''N$ και το γεωγραφικό του μήκος $21^{\circ}41'42.13''E$.



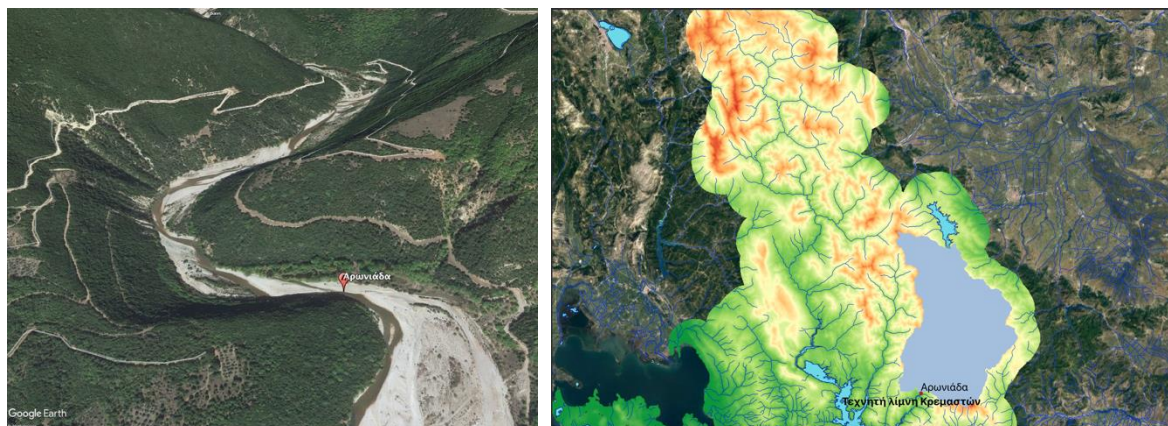
Εικόνα 7.35: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.33: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Βίνιανης.

Λεκάνη απορροής (km ²)	606		
<i>Κατηγορία έργου</i>	<i>Συνολικό κόστος (€)</i>	<i>Ετήσια απόσβεση (€)</i>	<i>Τεχνικά χαρακτηριστικά</i>
Φράγμα	6951325	511491	H=30 m / b _{κοίτης} =78 m
Υδροστρόβιλος 1	1596619	117482	Kaplan 8.0 MW
Υδροστρόβιλος 2	1403381	103263	Kaplan 7.0 MW
Γεννήτρια	645288	47481	
Αγωγός πτώσης	213403	15703	
Έργο υδροληψίας	74678	5495	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	1138469	83771	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	12523163	921476	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	1722874		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	33.05		

7.35 ΜΥΗΕ Αρωνιάδας

Το ΜΥΗΕ της Αρωνιάδας βρίσκεται στο ρου του ποταμού Ταυρωπού, στον νομό Ευρυτανίας. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού, η οποία ακολουθείται από περιοχή πολύ πλατύτερης κοίτης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.36. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι $39^{\circ}23'46.52''N$ και το γεωγραφικό του μήκος $21^{\circ}16'31.33''E$.



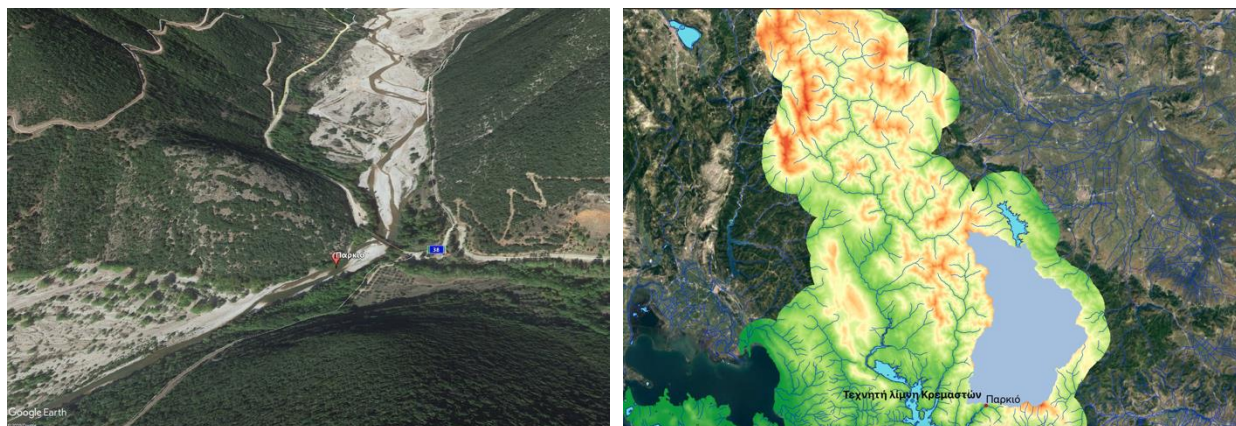
Εικόνα 7.36: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.34: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Αρωνιάδας.

Λεκάνη απορροής (km ²)	626		
<i>Κατηγορία έργου</i>	<i>Συνολικό κόστος (€)</i>	<i>Ετήσια απόσβεση (€)</i>	<i>Τεχνικά χαρακτηριστικά</i>
Φράγμα	5347173	393454	H=30 m / b _{κοίτης} =60 m
Υδροστρόβιλος 1	2312384	170149	Kaplan 11.5 MW
Υδροστρόβιλος 2	513986	37820	Kaplan 2.5 MW
Γεννήτρια	527805	38837	
Αγωγός πτώσης	209090	15387	
Έργο υδροληψίας	76444	5625	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	948688	69806	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	10435571	767868	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	1940314		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	33.85		

7.36 ΜΥΗΕ Παρκιού

Το ΜΥΗΕ του Παρκιού βρίσκεται στο ρου του ποταμού Ταυρωπού, στον νομό Ευρυτανίας. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού, η οποία υποδηλώνεται και από την ύπαρξη γέφυρας ανάντη της θέσης. Η εν λόγω γέφυρα είναι πολύ κοντά στην θέση μελέτης οπότε είναι πιθανό να χρειαστεί επανατοποθέτηση της σε κατάντη θέση. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι $38^{\circ}56'28.75''\text{N}$ και το γεωγραφικό του μήκος $21^{\circ}40'59.37''\text{E}$.



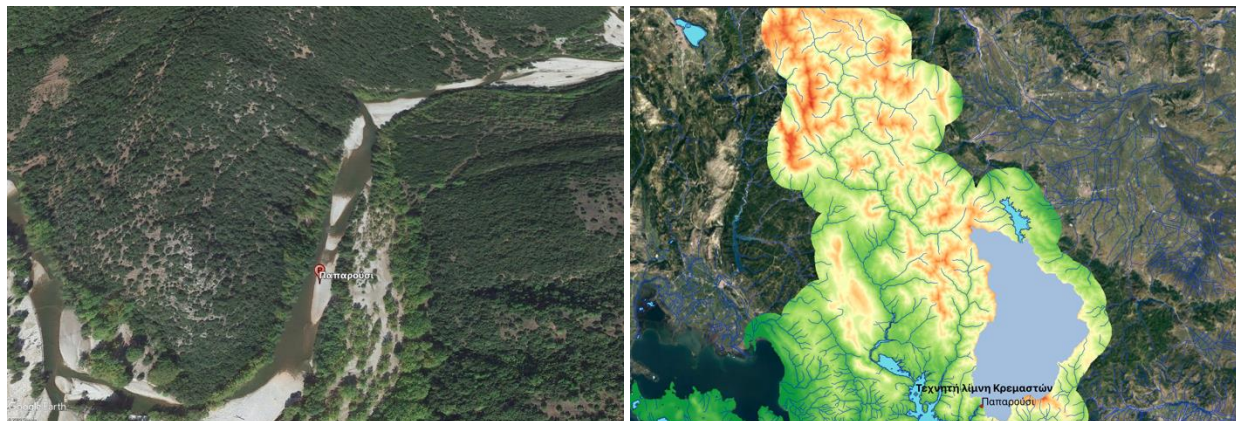
Εικόνα 7.37: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.35: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Παρκιού.

Λεκάνη απορροής (km ²)	654		
<i>Κατηγορία έργου</i>	<i>Συνολικό κόστος (€)</i>	<i>Ετήσια απόσβεση (€)</i>	<i>Τεχνικά χαρακτηριστικά</i>
Φράγμα	5792771	426242	H=30 m / b _{κοίτης} =65 m
Υδροστρόβιλος 1	1617238	118999	Kaplan 8.1 MW
Υδροστρόβιλος 2	1382762	101746	Kaplan 6.9 MW
Γεννήτρια	644760	47443	
Αγωγός πτώσης	213403	15703	
Έργο υδροληψίας	78891	5805	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	1022982	75273	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	11252807	828001	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	2008684		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	35.46		

7.37 ΜΥΗΕ Παπαρουσίου

Το ΜΥΗΕ του Παπαρουσίου βρίσκεται στο ρου του ποταμού Ταυρωπού, στον νομό Ευρυτανίας. Το χωριό της Νεράιδας βρίσκεται ανάντη του φράγματος αλλά σε αρκετά μεγαλύτερο υψόμετρο ώστε να μην υπάρξει κανένα πρόβλημα με το μικρό ταμιευτήρα (ουσιαστικά φούσκωμα της κοίτης), που θα δημιουργηθεί λόγω του έργου. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι 38°55'33.98"N και το γεωγραφικό του μήκος 21°39'54.10"E.



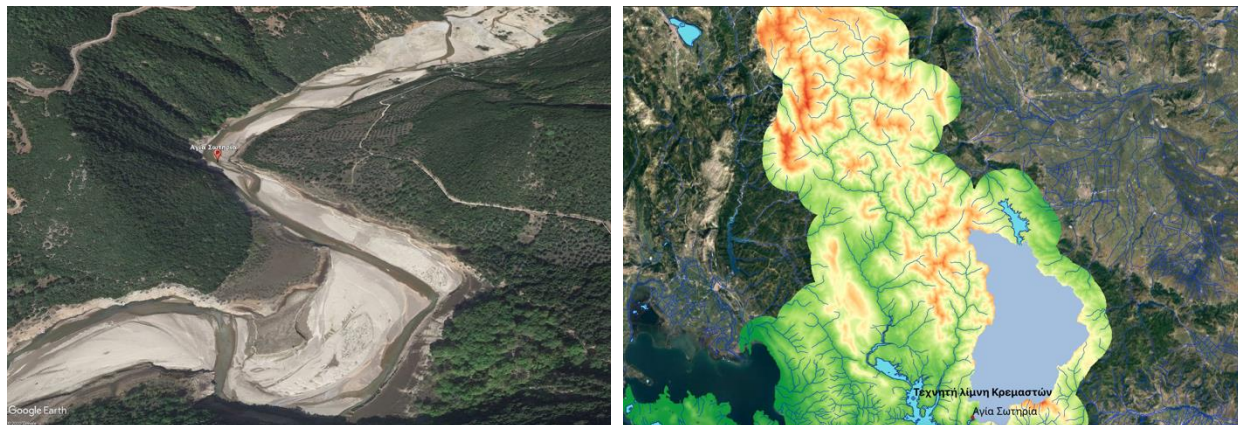
Εικόνα 7.38: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

Πίνακας 7.36: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Παπαρουσίου.

Λεκάνη απορροής (km ²)	684		
<i>Κατηγορία έργου</i>	<i>Συνολικό κόστος (€)</i>	<i>Ετήσια απόσβεση (€)</i>	<i>Τεχνικά χαρακτηριστικά</i>
Φράγμα	4455978	327879	H=30 m / b _{κοίτης} =50 m
Υδροστρόβιλος 1	2221611	163102	Kaplan 11.0 MW
Υδροστρόβιλος 2	783389	57643	Kaplan 4.0 MW
Γεννήτρια	584935	43041	
Αγωγός πτώσης	213403	15703	
Έργο υδροληψίας	81480	5995	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	883580	65015	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	9719376	715189	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	2313784		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	37.86		

7.38 ΜΥΗΕ Αγίας Σωτηρίας

Το ΜΥΗΕ της Αγίας Σωτηρίας είναι το νοτιότερο από τα έργα που μελετήθηκαν στο ρου του ποταμού Ταυρωπού. Το χωριό της Αγίας Σωτηρίας βρίσκεται κατάντη του φράγματος οπότε δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα με το μικρό ταμιευτήρα (ουσιαστικά φούσκωμα της κοίτης), που θα δημιουργηθεί λόγω του έργου. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω του στενώματος της κοίτης του ποταμού. Το γεωγραφικό πλάτος του ΜΥΗΕ είναι 38°54'42.54"N και το γεωγραφικό του μήκος 21°38'48.95"E.



Εικόνα 7.39: Θέση κατασκευής του ΜΥΗΕ από το Google Earth (αριστερά εικόνα) και λεκάνη απορροής στην θέση κατασκευής από το QGIS (δεξιά εικόνα).

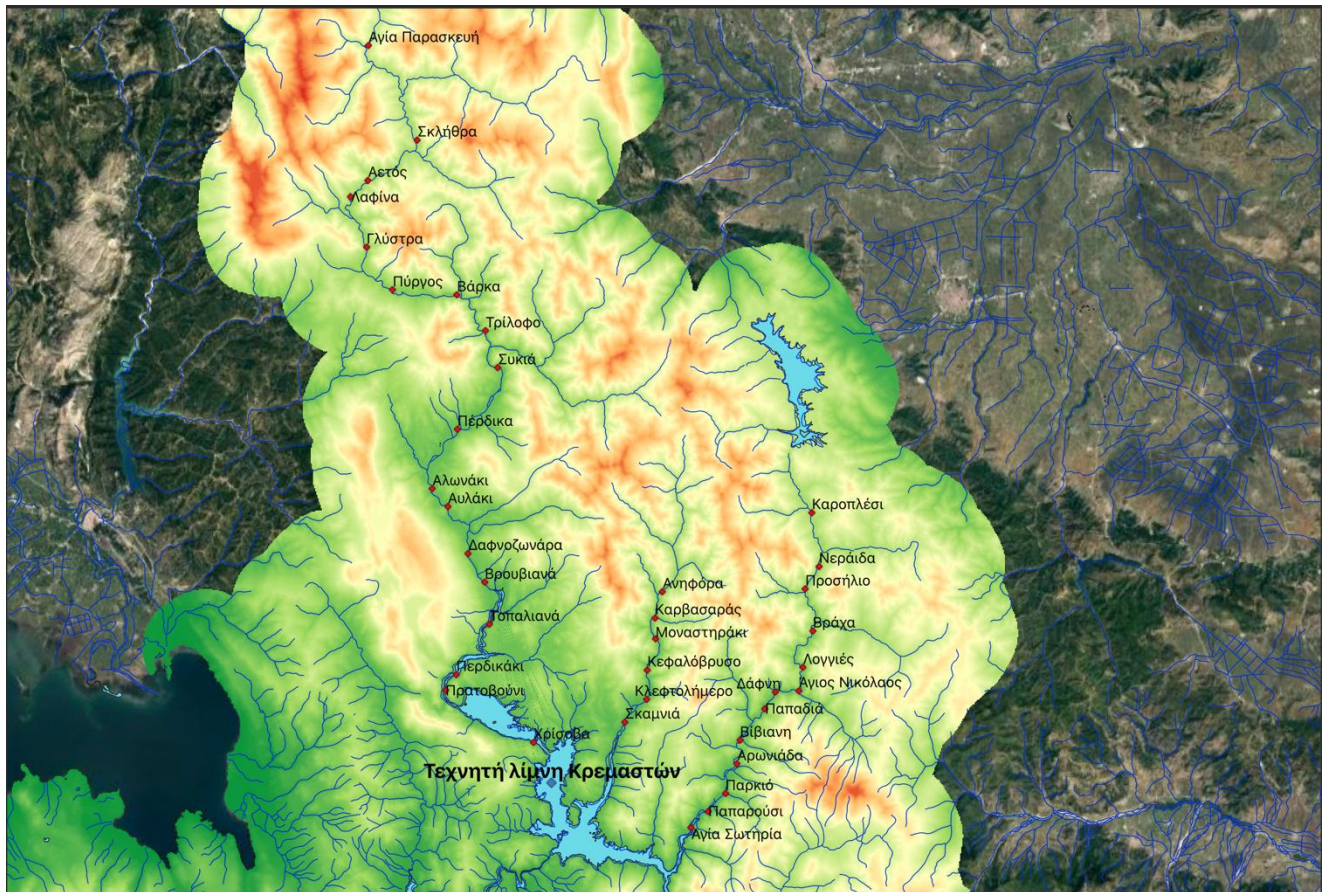
Πίνακας 7.37: Τεχνικά, ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Αγίας Σωτηρίας.

Λεκάνη απορροής (km ²)	689		
<i>Κατηγορία έργου</i>	<i>Συνολικό κόστος (€)</i>	<i>Ετήσια απόσβεση (€)</i>	<i>Τεχνικά χαρακτηριστικά</i>
Φράγμα	7575162	557394	H=30 m / b _{κοίτης} =85 m
Υδροστρόβιλος 1	1564236	115099	Kaplan 7.9 MW
Υδροστρόβιλος 2	1435764	105646	Kaplan 7.1 MW
Γεννήτρια	645911	47527	
Αγωγός πτώσης	213403	15703	
Έργο υδροληψίας	81909	6027	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	1201638	88419	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	13218023	972605	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	2008879		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	37.27		

8 Παρουσίαση συστήματος ΜΥΗΕ και σύγκριση με έργο Κρεμαστών

8.1 Ολική εικόνα του συστήματος των ΜΥΗΕ

Με χρήση της μεθόδου σχεδίασης που αναλύθηκε στα Κεφάλαια 4 και 5, έγινε σχεδιασμός 37 ΜΥΗΕ στην λεκάνη απορροής του ποταμού Αχελώου. Όπως αναφέρθηκε στην Παράγραφο 7.1, προτιμήθηκε η εγκατάσταση έργων μόνο πάνω στην κοίτη, αφού τα run-of-river έργα αποφέρουν λιγότερο κέρδος ανά παραγόμενη MWh. Τα προτεινόμενα έργα τοποθετήθηκαν σε τρεις διαφορετικούς κλάδους του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης. Στην Εικόνα 8.1 φαίνονται τα 37 ΜΥΗΕ έργα που σχεδιάστηκαν επί του κύριου ρου του Αχελώου, και των παραποτάμων του, Αγραφιώτη και Ταυρωπού (ο Αχελώος είναι ο δυτικότερος και ο Ταυρωπός ο ανατολικότερος). Τα φράγματα που αποδίδουν την περισσότερη ενέργεια λόγω των τεράστιων απορροών που δέχονται, βρίσκονται επί του κύριου ρου του ποταμού Αχελώου.



Εικόνα 8.1: Τα 37 ΜΥΗΕ στην ευρύτερη λεκάνη απορροής του ποταμού Αχελώου.

Υπενθυμίζεται, πως ο απώτερος σκοπός της σχεδίασης των ΜΥΗΕ ήταν η επίτευξη ισοδύναμης εγκατεστημένης ισχύς με το υπάρχον μεγάλο έργο των Κρεμαστών. Ο στόχος ήταν τα 437.2 MW ισχύος και το σύστημα των ΜΥΗΕ έφτασε τελικά τα 437.4 MW. Τα κυριότερα αθροιστικά στοιχεία του συστήματος των μικρών έργων φαίνονται στον Πίνακα 8.1, και θα χρησιμοποιηθούν για σύγκριση και εξαγωγή αποτελεσμάτων στην επόμενη παράγραφο.

Πίνακας 8.1: Κυριότερα αθροιστικά στοιχεία του συστήματος των 37 ΜΥΗΕ.

Εγκατεστημένη ισχύς (MW)	437.4
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	1359
Ετήσιο κέρδος από την πώληση ενέργειας (€)	79443503
Συνολικό Κόστος (€)	446995079
Κόστος ανά παραγόμενη MWh (€)	27
Μέση ετήσια υπερχειλίση (hm ³)	723

Ο Παπαντώνης (2016, σ. 9) γράφει ότι « [...]ένα μικρό ΥΗΕ, λόγω ακριβώς του μεγέθους του, δεν έχει την δυνατότητα ανακούφισης των αιχμών ισχύος και για τον λόγο αυτό το σκεπτικό διαστασιολόγησης του θα πρέπει να είναι η οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης». Όπως φαίνεται από τα παραπάνω στοιχεία το σύστημα των ΜΥΗΕ που προτείνεται είναι οικονομικά βιώσιμο και μάλιστα, αποφέρει ετήσια κέρδη από την πώληση ενέργειας 79443503 €. Το συγκεκριμένο κέρδος φαίνεται και από το κόστος ανά παραγόμενη MWh, το οποίο ανέρχεται στα 27 €, ενώ η αντίστοιχη τιμή πώλησης είναι 80 €/MWh (PAE).

Το συνολικό κόστος της επένδυσης, όπως υπολογίστηκε από τους τύπους κοστολόγησης των Κεφαλαίων 5 και 6 και παρουσιάστηκε στους πίνακες του Κεφαλαίου 7, ανέρχεται στα 397405163€. Στην συγκεκριμένη τιμή δεν έχουν ληφθεί υπόψη οι δαπάνες για κάποιες δευτερεύουσες εργασίες απαραίτητες για τη λειτουργία των έργων. Το κόστος για την εκτροπή και τον έλεγχο των υδάτων του ποταμού καθορίστηκε στα 60000 € για το κάθε ΜΥΗΕ και το κόστος για την αποστράγγιση και απομάκρυνση των υδάτων κατά την διάρκεια κατασκευής των έργων στα 80000 για το κάθε ΜΥΗΕ. Η τιμή των έργων οδοποιίας καθορίστηκε στα 40000 €/km και για περίπου 2 km ανά έργο το κόστος της οδοποιίας ανέρχεται στα 80000 € για το κάθε ΜΥΗΕ. Τα παραπάνω τρία κόστη προσαυξήθηκαν κατά 10 % για να ληφθούν υπόψη τα κόστη μελετών αδειοδοτήσεων και επίβλεψης. Τέλος, αφού στην τιμή των 397405163 € προστέθηκαν οι παραπάνω δαπάνες, το τελικό αποτέλεσμα προσαυξήθηκε κατά 10 % για τυχόντα απρόβλεπτα κόστη που θα προκύψουν. Τα κόστη των επιπρόσθετων εργασιών λήφθηκαν από τους Γεροτόλιου κ.ά. (2019).

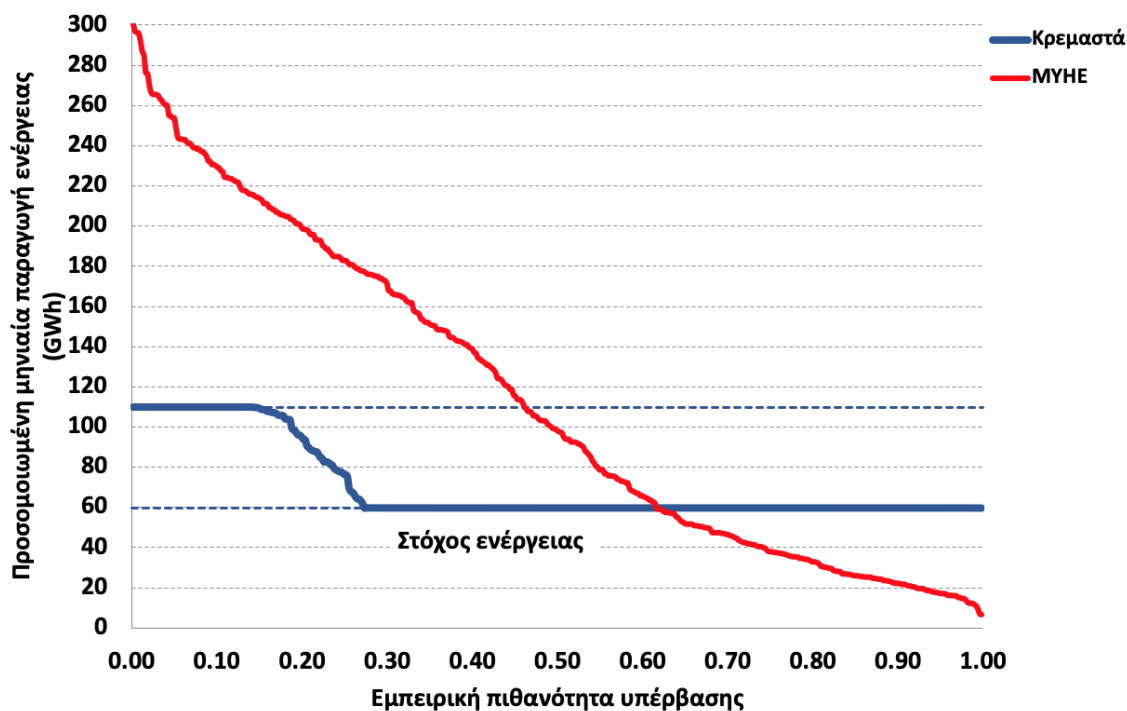
Το νερό που υπερχειλίζει ανεκμετάλλευτο ανέρχεται κατά μέσο όρο στα 723 hm³ το έτος. Το συγκεκριμένο νερό προέρχεται από πλημμυρικές παροχές. Η περίσσεια νερού, η οποία δεν υπάγεται στις παροχές σχεδιασμού των έργων, υπερχειλίζει. Πιο συγκεκριμένα, αν η ημερήσια παροχή Q_{ημερ.} του ποταμού είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα των παροχών σχεδιασμού της εγκατάστασης Q_{ονομ.} τότε η υπερχειλίση υπολογίζεται ως $Q_{υπερ.} = Q_{ημερ.} - Q_{ονομ.}$. Στο συγκεκριμένο σύστημα, το οποίο αποτελείται ουσιαστικά από τρεις ομάδες ΜΥΗΕ σε σειρά, οι υπερχειλίσεις του ανάντη έργου μπορεί να αξιοποιούνται από τα κατάντη έργα για παραγωγή ενέργειας. Έτσι ο ακριβέστερος τρόπος υπολογισμού των υπερχειλίσεων είναι ο υπολογισμός τους για τα τρία κατάντη έργα των τριών ομάδων, που ουσιαστικά συμπίπτει με την ολική υπερχειλίση της εκάστοτε ομάδας έργων. Αυτά τα έργα είναι η Χρίσοβα, τα Σκαμνιά και η Αγία Σωτηρία (Εικόνα 8.1), και οι ετήσιες υπερχειλίσεις τους ανέρχονται στα 612 hm³, 26.5 hm³ και 84.5 hm³ αντίστοιχα. Συγκρίνοντας τα συγκεκριμένα νούμερα με τις μέσες ετήσιες παροχές που δέχονται τα τρία ΜΥΗΕ βγήκε το συμπέρασμα πως χάνεται ανεκμετάλλευτο το 36.23 % του νερού του Αχελώου, το 10.67 % του Αγραφιώτη και το 12.92 % του Ταυρωπού. Το συνολικό ποσοστό του χαμένου νερού σε σύγκριση με τις παροχές εισόδου για όλα τα 37 έργα είναι 27.90 %.

8.2 Σύγκριση υποθετικού συστήματος ΜΥΗΕ με το έργο των Κρεμαστών

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει σύγκριση των ενεργειακών, οικονομικών και τεχνικών χαρακτηριστικών του συστήματος των ΜΥΗΕ που προτείνεται σε σχέση με το ήδη υπάρχον έργο των Κρεμαστών. Τα στοιχεία των Κρεμαστών παρουσιάστηκαν στην Παράγραφο 3.3 και προέρχονται τόσο από πηγές όπως η αναφορά της ECI για λογαριασμό της ΔΕΗ και η Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων, όσο και από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης λειτουργίας του έργου, η οποία κατασκευάστηκε για της ανάγκες της παρούσας εργασίας.

8.2.1 Ενεργειακή σύγκριση

Το πρώτο στοιχείο που θα συγκριθεί είναι η παραγόμενη ενέργεια των δύο καταστάσεων. Το υδροηλεκτρικό έργο των Κρεμαστών παράγει κατά μέσο όρο 852 GWh τον χρόνο, για βέλτιστο στόχο ενέργειας 59.9 GWh τον μήνα. Το σύστημα των ΜΥΗΕ παράγει 1359 GWh τον χρόνο, κατά μέσο όρο. Η διαφορά στην παραγωγή ενέργειας είναι προφανής, παρ' όλα αυτά όπως φαίνεται στο διάγραμμα της Εικόνας 8.2 η επιλογή της βέλτιστης ενεργειακά κατάστασης δεν είναι τόσο απλή. Το γεγονός πως με την ίδια εγκατεστημένη ισχύ, τα ΜΥΗΕ έργα παράγουν περίπου 60% παραπάνω ενέργεια αποτελεί αξιοσημείωτη παρατήρηση. Όμως, από τις καμπύλες ενέργειας – πιθανότητας φαίνεται πως το σύστημα των ΜΥΗΕ δεν παρέχει εγγυημένα καμία ποσότητα ενέργειας, σε αντίθεση με τα Κρεμαστά τα οποία πιάνουν τον στόχο των 59.9 GWh/μήνα στο 100% του χρόνου. Επίσης τα Κρεμαστά, μέσω του ταμιευτήρα μεγάλης χωρητικότητας που διαθέτουν, ετεροχρονίζουν κατά βούληση την παραγωγή ενέργειας από τις φυσικές εισροές, ώστε να καλύψουν τις αιχμές ισχύος των διασυνδεδεμένων ηλεκτρικών δικτύων.



Εικόνα 8.2: Καμπύλη μηνιαίας ενέργειας – πιθανότητας Κρεμαστών και συστήματος ΜΥΗΕ.

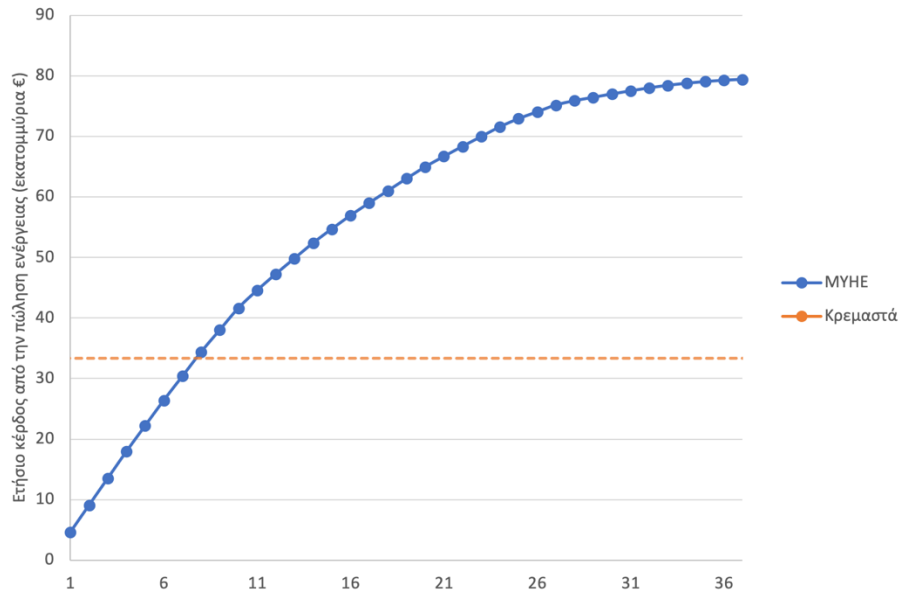
Το διάγραμμα της Εικόνας 8.2 έχει σχεδιαστεί ουσιαστικά για την μεγιστοποίηση του οφέλους από την παραγωγή ενέργειας και των δύο καταστάσεων. Τα μεν ΜΥΗΕ λειτουργούν όσο οι παροχές του ποταμού υπάγονται στο διάστημα εκμετάλλευσης των στροβίλων, τα δε Κρεμαστά παρέχουν ενέργεια έτσι ώστε να την πουλούν με την τιμή 0.1 €/KWh. Προκειμένου να μην υπάρχουν άσκοπες απώλειες νερού, άρα και ενέργειας, περνούν το πλεονάζον νερό από τους υδροστροβίλους και το πουλούν με τιμή 0.05 €/KWh ως δευτερεύουσα ενέργεια, ενώ προσπαθούν να περιορίσουν κατά το δυνατόν την αστοχία κάλυψης των αναγκών η οποία κοστίζει ρήτρα μη εκπλήρωσης του στόχου 0.1 €/KWh. Με βάση τα παραπάνω, από την βελτιστοποίηση του μέσου ετήσιου οφέλους από παραγωγή ενέργειας προέκυψε η τιμή των 59.9 GWh τον μήνα για τα Κρεμαστά.

Τελικά, το κύριο πρόβλημα των ΜΥΗΕ σε σχέση με τα Κρεμαστά είναι η αβεβαιότητα στην παραγωγή ενέργειας. Τα μικρά έργα δε λειτουργούν προφανώς ως έργα αιχμής, αφού λόγω της αμελητέας αποθήκευσης δεν μπορούν να παρέχουν ενέργεια κατά βούληση στις ώρες αυξημένης ζήτησης, αλλά δεν λειτουργούν ουσιαστικά ούτε ως έργα βάσης, αφού δεν παρέχουν κάποια σταθερή ενέργεια, εγγυημένα, σε όλη την διάρκεια του χρόνου.

8.2.2 Σύγκριση κόστους και κέρδους

Επίσης σημαντικό στοιχείο σύγκρισης των δύο καταστάσεων αποτελεί το συνολικό κόστος κατασκευής σε αντιπαράβολή με το κέρδος που αποφέρει η πώληση της ενέργειας. Το συνολικό κόστος κατασκευής του έργου των Κρεμαστών δεν είναι εύκολο να υπολογισθεί επακριβώς, εξ αιτίας κυρίως του μεγάλου χρονικού διαστήματος που έχει περάσει από την ολοκλήρωσή του. Στην Παράγραφο 3.3.2 έγιναν κάποιοι υπολογισμοί βάσει της αναφοράς του 1974 που συντάξε η εταιρεία ECI για λογαριασμό της ΔΕΗ, και το συνολικό κόστος κατασκευής του έργου καθορίστηκε στα 381937825 €. Από την άλλη, το συνολικό κόστος των υποθετικών ΜΥΗΕ εκτιμήθηκε στα 446995079 €. Όπως διαφαίνεται, το σύστημα των ΜΥΗΕ απαιτεί μεγαλύτερη δαπάνη, όμως μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα στοιχεία του κέρδους από την πώληση της ενέργειας για την κάθε κατάσταση.

Ο υπολογισμός του ετήσιου κέρδους από την πώληση ενέργειας για τα ΜΥΗΕ έχει ήδη γίνει σε προηγούμενα κεφάλαια και το αποτέλεσμα είναι 79443503 €/έτος. Για τον αντίστοιχο υπολογισμό των Κρεμαστών χρησιμοποιήθηκαν μια μέση τιμή της οριακής τιμής συστήματος (ΟΤΣ), ήτοι 60 €/MWh. Για τη συγκεκριμένη τιμολόγηση τα μέσα ετήσια έσοδα από την πώληση ενέργειας για τα Κρεμαστά ανέρχονται στα 51120000 €/έτος. Η ετήσια απόσβεση των Κρεμαστών καθορίστηκε από την Σχέση 5.20 στα 17779282 €/έτος, θεωρώντας επιτόκιο ανατοκισμού 4% και 50 χρόνια χρόνο απόσβεσης της επένδυσης. Συνεπώς, το ετήσιο κέρδος από την πώληση ενέργειας για το έργο των Κρεμαστών είναι 33340718 €/έτος.

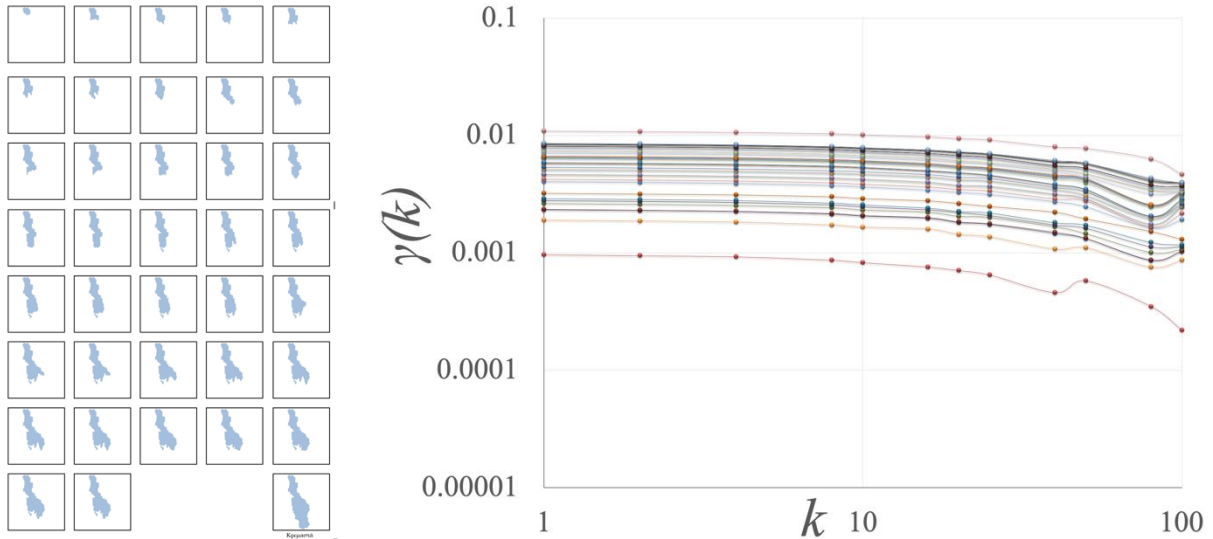


Εικόνα 8.3: Συγκριτικό διάγραμμα ετήσιου κέρδους από την πώληση ενέργειας για το σύστημα των ΜΥΗΕ και τα Κρεμαστά.

Στο διάγραμμα της Εικόνας 8.3 η μπλε γραμμή αναπαριστά το αθροιστικό ετήσιο κέρδος των ΜΥΗΕ προσθέτοντας σε κάθε επόμενο βήμα ένα ακόμα έργο μέχρι τα 37 που έχουν σχεδιαστεί. Τα έργα έχουν τοποθετηθεί στο διάγραμμα σε φθίνουσα σειρά ανάλογα με το κέρδος που αποφέρουν. Όπως φαίνεται, μόλις τα 8 πιο κερδοφόρα ΜΥΗΕ που σχεδιάστηκαν φτάνουν το μέσο ετήσιο κέρδος των Κρεμαστών. Προκύπτει λοιπόν το συμπέρασμα, πως παρόλο που τα Κρεμαστά έχουν λίγο μικρότερο ολικό κόστος κατασκευής, τα ΜΥΗΕ αποφέρουν σημαντικά υψηλότερα κέρδη σε ετήσια βάση.

8.2.3 Σύγκριση περιβαλλοντικής εκμετάλλευσης και υπερχειλίσεων

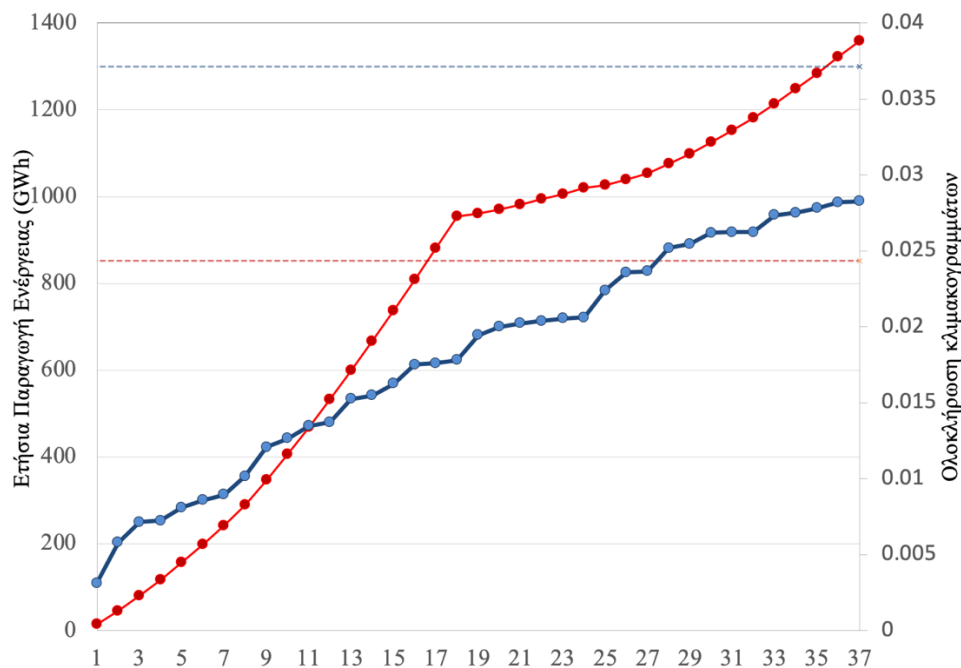
Τόσο τα Κρεμαστά, όσο και κάθε ένα από τα ΜΥΗΕ χρησιμοποιεί το νερό μιας λεκάνης απορροής για την παραγωγή ενέργειας. Ενδιαφέρον έχει ο καθορισμός της έκτασης των λεκανών απορροής που εκμεταλλεύεται το έργο των Κρεμαστών σε σύγκριση με την αντίστοιχη έκταση που εκμεταλλεύονται τα 37 ΜΥΗΕ. Για την σύγκριση των δύο καταστάσεων χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία της ποσοτικοποίησης των συσσωματωμάτων μέσω στοχαστικών μεθόδων, όπως αναλύθηκε από την εργασία των Sargentis *et al.* (2020) και από την αντίστοιχη δημοσίευση στην Scholarly Community Encyclopedia με τίτλο “Clustering-Quantified by Stochastic-Method”.



Εικόνα 8.4: Λεκάνες απορροής των Κρεμαστών και όλων των έργων υπολογισμένες αθροιστικά (αριστερά) και τα κλιμακογράμματα 2D του συσσωματώματος που δημιουργήθηκαν για κάθε στιγμιότυπο (δεξιά).

Μετά από στοχαστική ανάλυση των 2D φωτογραφιών της Εικόνας 8.4 με την μεθοδολογία των προαναφερθέντων πηγών, προέκυψαν τα κλιμακογράμματα των εικόνων αναφοράς. Για την καλύτερη εποπτεία και την εξαγωγή αποτελεσμάτων, έγινε ολοκλήρωση των κλιμακογράμματος 2D της Εικόνας 8.4. Έτσι, προέκυψε η μπλε καμπύλη της Εικόνας 8.5, η οποία εκφράζει ουσιαστικά το ρυθμό μεταβολής της συσσωμάτωσης των λεκανών απορροής καθώς προστίθενται επιπλέον ΜΥΗΕ στο σύστημα. Στο διάγραμμα παρατίθεται με κόκκινο χρώμα η καμπύλη μεταβολής της ετήσιας παραγωγής ενέργειας, καθώς προστίθενται ΜΥΗΕ στο σύστημα. Με μπλε διακεκομμένη γραμμή φαίνεται το επίπεδο συσσωμάτωσης των λεκανών απορροής που χρησιμοποιεί το έργο των Κρεμαστών και με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας του έργου.

Από το διάγραμμα της Εικόνας 8.5 φαίνεται πως το έργο των Κρεμαστών εκμεταλλεύεται για την λειτουργία του αρκετά περισσότερους φυσικούς πόρους (νερό λεκάνης απορροής) από το σύστημα των ΜΥΗΕ. Παρόλη αυτή την εκμετάλλευση, η παραγωγή ενέργειας των Κρεμαστών φαίνεται πως είναι σημαντικά μικρότερη από την αντίστοιχη παραγωγή ενέργειας του συστήματος των ΜΥΗΕ. Μάλιστα όταν εγκατασταθεί και το 17^ο από τα 37 έργα φαίνεται πως η ετήσια παραγόμενη ενέργεια των Κρεμαστών θα έχει ήδη ξεπεραστεί. Οι συγκεκριμένες παραγωγές ενέργειας έχουν υπολογισθεί μέσω των προσομοιώσεων που υλοποιήθηκαν για τις δύο καταστάσεις και με γνώμονα την μεγιστοποίηση του κέρδους από την πώληση ενέργειας.



Εικόνα 8.5: Ρυθμός μεταβολής της συσσωμάτωσης λεκανών απορροής με την προσθήκη ΜΥΗΕ (μπλε), συσσωμάτωμα λεκανών απορροής Κρεμαστών (μπλε διακεκομμένη), μεταβολή της ετήσιας παραγωγής ενέργειας με την προσθήκη ΜΥΗΕ (κόκκινη), μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια Κρεμαστών (κόκκινη διακεκομμένη).

Ενδιαφέρουσα είναι επίσης η σύγκριση των υπερχειλίσεων των δύο καταστάσεων, αφού ουσιαστικά δίνει την πληροφορία του νερού που ρέει ανεκμετάλλευτο. Όπως αναλύθηκε στην Παράγραφο 8.1, οι μέσες υπερχειλίσεις του συστήματος των ΜΥΗΕ ανέρχονται στα 723 hm³/έτος, απώλειες που αποτελούν το 27.9% των μέσων ετήσιων εισροών νερού. Αντίθετα οι υπερχειλίσεις των Κρεμαστών εκτιμήθηκαν μέσω της προσομοίωσης σε 417 hm³/έτος, μόλις το 12.8% των μέσων ετήσιων εισροών νερού στον ταμιευτήρα. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα είναι απόλυτα λογικό, αφού το μικρό σχετικά μέγιστο ύψος των ΜΥΗΕ (30 m) δεν είναι ικανό να συγκρατήσει μεγάλο μέρος των πλημμυρικών παροχών. Μάλιστα, σύμφωνα με τους Μαμάση κ.ά. (2018), για την παραγωγή ενέργειας απαιτείται η εκμετάλλευση τουλάχιστον του 75% του καθαρού υδατικού δυναμικού της θέσης, συνθήκη η οποία οριακά δεν εκπληρώνεται από το σύστημα των ΜΥΗΕ, τα οποία αξιοποιούν το 72.1 % του καθαρού υδατικού δυναμικού.

8.2.4 Άλλες συγκρίσεις

Οι παραπάνω συγκρίσεις αποτελούν συμπεράσματα της μόρφωσης του συστήματος των ΜΥΗΕ στην λεκάνη απορροής του ποταμού Αχελώου και δεν θα μπορούσαν να εξαχθούν δίχως αυτή. Κατά την ενασχόληση με το αντικείμενο προέκυψαν κάποιες ακόμα διαφοροποιήσεις που οφείλονται στην κλίμακα των υδροηλεκτρικών έργων, οι οποίες δεν πηγάζουν από την προαναφερθείσα προσομοίωση του συστήματος των ΜΥΗΕ, αλλά είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψιν για να απαντηθεί πλήρως η ερώτηση “πολλά μικρά έργα ή ένα μεγάλο;”. Παρακάτω παρατίθενται οι διαφοροποιήσεις υπό τη μορφή πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων του συστήματος των μικρών έργων σε σχέση με το μεγάλο έργο όπως αυτό των Κρεμαστών.

- + Τόσο η διεθνής όσο και η εγχώρια πρακτική έχουν στραφεί προς την κατασκευή ΜΥΗΕ. Το γεγονός αυτό καθιστά την κατασκευή μεγάλων έργων με ταμειυτήρες εγχείρημα που δέχεται πληθώρα αντιδράσεων τόσο από περιβαλλοντικές οργανώσεις, όσο και από τους κατοίκους της εκάστοτε περιοχής και την ίδια την πολιτεία. Τέτοιες αντιδράσεις μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση, την οικονομική επιβάρυνση ή ακόμα και την εγκατάλειψη των έργων. Παραδείγματα της παραπάνω κατάστασης αποτελούν τα μεγάλα ΥΗΕ της Μεσοχώρας και της Συκιάς·
- + Το μέγεθος της περιβαλλοντικής παρέμβασης των ΜΥΗΕ πάνω στην κοίτη του ποταμού είναι σαφώς μικρότερο από ένα μεγάλο έργο, της τάξης των Κρεμαστών, το οποίο δημιουργεί ανάντη τεχνητή λίμνη, διαταράσσοντας την φυσική ισορροπία·
- + Οι κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις της μετακίνησης πληθυσμών και των απαλλοτριώσεων γης στην περιοχή που θα κατακλισθεί από την τεχνητή λίμνη είναι αρκετά σημαντικές·
- + Η αντικατάσταση των ΜΥΗΕ στο τέλος της διάρκειας ζωής τους μπορεί να γίνει σταδιακά και να αποβεί αρκετά ευκολότερη από την αντικατάσταση ή την ολική αναβάθμιση ενός θηριώδους έργου, όπως αυτό των Κρεμαστών·
- Τα ΜΥΗΕ δεν μπορούν να συντελέσουν πολλαπλές λειτουργίες τόσο αποτελεσματικά όσο ένα μεγάλο έργο σαν τα Κρεμαστά. Δεν μπορούν να λειτουργήσουν ως αντιπλημμυρικά έργα για την ασφάλεια και την γεωργική ανάπτυξη των κατάντη περιοχών. Επίσης, δεν μπορούν να λειτουργήσουν ως έργα ύδρευσης και άρδευσης, λειτουργίες που εκτός από κοινωνική σκοπιμότητα θα απέφεραν και επιπλέον οφέλη·
- Τα ΜΥΗΕ, λόγω του αρκετά μικρού ύψους τους, έχουν το πρόβλημα της διαχείρισης των φερτών υλών του ποταμού, πριν φράξει η υδροληψία του έργου. Ειδικά τα έργα της συγκεκριμένης εργασίας απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή, λόγω των τεράστιων παροχών νερού και κατ' επέκταση φερτών που δέχονται. Για να αντιμετωπιστεί το εν λόγω πρόβλημα είναι απαραίτητη η εγκατάσταση επαρκούς διώρυγας έκπλυσης των φερτών. Στην παρούσα εργασία δεν μελετήθηκαν οι εν λόγω διατάξεις οι οποίες θα αυξήσουν το συνολικό κόστος των ΜΥΗΕ.

Επισημαίνεται πως για πολλά από τα παραπάνω πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα δεν έχει γίνει ή δεν μπορεί να γίνει ακριβής επιστημονική ποσοτικοποίηση. Παρατέθηκαν επιγραμματικά για την πληρότητα της εργασίας, αλλά σε αντίθεση με τα ενεργειακά και τεχνοοικονομικά δεδομένα των προηγούμενων παραγράφων δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων μέχρι να αναλυθούν περαιτέρω.

9 Συμπεράσματα και ερευνητικές προοπτικές

9.1 Συμπεράσματα της εργασίας

Μέσω της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας επιχειρήθηκε η απάντηση στο ερώτημα “πολλά μικρά υδροηλεκτρικά έργα ή ένα μεγάλο;”. Για να προσεγγιστεί η απάντηση αυτής της τόσο σύνθετης ερώτησης σχεδιάστηκε ένα υποθετικό σύστημα 37 ΜΥΗΕ στη λεκάνη του ποταμού Αχελώου για να λειτουργήσει αντί του φράγματος των Κρεμαστών. Συγκρίνοντας τις δύο καταστάσεις προέκυψαν κάποια ενδιαφέροντα αποτελέσματα που συνοψίζονται παρακάτω.

Καταρχάς έγινε ενεργειακή σύγκριση των δύο καταστάσεων. Προέκυψε πως για την ίδια εγκατεστημένη ισχύ των 437.2 MW, η μέση ετήσια ενεργειακή παραγωγή των Κρεμαστών ανέρχεται στις 852 GWh και για το σύστημα των 37 ΜΥΗΕ στις 1359 GWh. Οι δύο αυτές τιμές προέκυψαν ουσιαστικά από την μεγιστοποίηση του ετήσιου οφέλους από την πώληση ενέργειας. Ενώ το γεγονός πως για την ίδια εγκατεστημένη ισχύ τα ΜΥΗΕ παράγουν 60% περισσότερη ενέργεια είναι εκ πρώτης όψεως εντυπωσιακό, το μεγαλύτερο πρόβλημα των μικρών έργων έναντι των μεγάλων παραμένει και φαίνεται από τις καμπύλες της Εικόνας 8.2. Η χρονική αβεβαιότητα που διέπει την παραγωγή ενέργειας από τα ΜΥΗΕ τα καθιστά μη ικανά να χρησιμοποιηθούν ως έργα βάσης και λόγω της αδυναμίας τους να αποθηκεύσουν νερό, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ούτε ως έργα αιχμής. Οπότε, για την εγγυημένη ηλεκτροδότηση ενός διασυνδεδεμένου δικτύου είναι απαραίτητος είτε ο συνδυασμός των μικρών υδροηλεκτρικών έργων με μια ακόμα πηγή ενέργειας που θα υπερκαλύπτει τα παραπάνω προβλήματα, είτε η ανάπτυξη κάποιας διάταξης για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας.

Όσον αφορά την οικονομική πτυχή του προβλήματος, φαίνεται πως το συνολικό κόστος της επένδυσης του συστήματος των ΜΥΗΕ ήταν περίπου 65 εκατομμύρια €, ήτοι 17 % ακριβότερο από το φράγμα των Κρεμαστών. Όμως για παραδοχή βέλτιστης λειτουργίας και των δύο καταστάσεων, η οποία θα αποφέρει τα μεγαλύτερα οφέλη από την πώληση της ενέργειας, παρατηρείται πως το ετήσιο κέρδος που αποφέρουν τα μικρά έργα είναι σχεδόν 2.5 φορές μεγαλύτερο από το ετήσιο κέρδος των Κρεμαστών. Πιο συγκεκριμένα, αφού αφαιρέθηκαν οι ετήσιες αποσβέσεις από τα ετήσια έσοδα από την πώληση ενέργειας, προέκυψε πως το ετήσιο κέρδος των μικρών έργων ανέρχεται στα 79443503 € ενώ το κέρδος των Κρεμαστών μόλις στα 33340718 €, τιμή που μπορεί να προσομοιωθεί με τα 8 πιο κερδοφόρα ΜΥΗΕ που σχεδιάστηκαν. Πρέπει σε αυτό το σημείο να επισημανθεί πως ενώ η κοστολόγηση των Κρεμαστών έχει προκύψει από έγκυρη πηγή μετά το τέλος της κατασκευής, η αντίστοιχη κοστολόγηση των ΜΥΗΕ που έγινε στην παρούσα εργασία είναι προσεγγιστική και σε φάση προμελέτης, και επιδέχεται σίγουρα βελτίωσης. Παρόλα αυτά, η τόσο μεγάλη απόκλιση που προκύπτει στα κέρδη των δύο έργων είναι ενδεικτική για μια πρώτη εξαγωγή συμπερασμάτων.

Έγινε επίσης ανάλυση της εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων. Διαπιστώθηκε πως το σύστημα των μικρών έργων χρησιμοποιεί τα νερά αρκετά μικρότερης λεκάνης απορροής (2732 km²) από το έργο των Κρεμαστών (3658 km²). Από την άλλη πλευρά οι υπερχειλίσεις των ΜΥΗΕ είναι αρκετά μεγαλύτερες από αυτές του έργου των Κρεμαστών. Συγκεκριμένα, το σύστημα των ΜΥΗΕ αφήνει ανεκμετάλλευτο το 27.9% των ετήσιων εισροών του, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για τα Κρεμαστά ανέρχεται μόλις στο 12.8%.

Εκτός από τις παραπάνω ενεργειακές και τεχνοοικονομικές διαφοροποιήσεις των δύο καταστάσεων, υπάρχουν και κάποια ακόμα ενδιαφέροντα σημεία της γενικής ερώτησης της εργασίας. Συνοπτικά αναφέρεται η αδυναμία των ΜΥΗΕ να λειτουργήσουν ως έργα αντιπλημμυρικής προστασίας, άρδευσης ή ύδρευσης, οι απαλλοτριώσεις και οι μετακινήσεις πληθυσμών που συνεπάγεται η μόρφωση μιας τεχνητής λίμνης από την κατασκευή ενός μεγάλου έργου και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μεγάλων έργων οι οποίες σίγουρα είναι μεγαλύτερες από αυτές των μικρών έργων πάνω στην ροή.

9.2 Μελλοντικές ερευνητικές προοπτικές

Κατά την ενασχόληση με το αντικείμενο της κλίμακας στα υδροηλεκτρικά έργα, προέκυψαν πολλές ιδέες για περαιτέρω ερευνητική ενασχόληση με το θέμα. Αρχικά, η συγκεκριμένη εργασία αφορά ειδικά το μεγάλο έργο των Κρεμαστών και την ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής του ποταμού Αχελώου. Από την συγκεκριμένη περιοχή εξήχθησαν δεδομένα για την σύγκριση των ΜΥΗΕ με ένα μεγάλο έργο της κλίμακας των Κρεμαστών, τα οποία εν μέρει αφορούν και άλλες περιοχές με παρόμοιες τοπογραφικές συνθήκες και συνθήκες ροής. Παρ' όλα αυτά, επειδή η κάθε περιοχή είναι εντελώς διαφορετική στον σχεδιασμό ενός τέτοιου συστήματος έργων, θα είχε ενδιαφέρον η εκπόνηση μιας παρόμοιας μελέτης σε περιοχές με διαφορετικά φυσικά χαρακτηριστικά. Ποιο συγκεκριμένα, θα ήταν ενδιαφέροντα τα ευρήματα μιας αντίστοιχης προσομοίωσης πολλών ΜΥΗΕ στο ρου ενός ποταμού με αρκετά μικρότερες παροχές ή σε πιο ξηρό κλίμα.

Επιπλέον, η κοστολόγηση των επιμέρους έργων που συνθέτουν την τελική δαπάνη της επένδυσης του συστήματος των ΜΥΗΕ, μπορεί να γίνει αρκετά αναλυτικότερη και ακριβέστερη. Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν για την κοστολόγηση ως επί το πλείστον εμπειρικές σχέσεις. Για την επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας ίσως να ήταν σκόπιμη η συγκριτική ανάλυση και η κοστολόγηση με χρήση επικαιροποιημένων στοιχείων πρόσφατων πραγματικών έργων.

Σημαντική είναι ακόμα η ανάπτυξη ενός συστήματος διαχείρισης και απομάκρυνσης των φερτών υλών. Τα ΜΥΗΕ λόγω του μικρού ύψους φράγματος διατρέχουν τον κίνδυνο έμφραξης της υδροληψίας, ειδικά σε ποτάμια με τόσο μεγάλες παροχές όπως ο Αχελώος. Ο σχεδιασμός και η κοστολόγηση διώρυγας έκπλυσης των φερτών για κάθε έργο δεν έγιναν στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας αλλά είναι απαραίτητες για να διαμορφωθεί ακόμα ακριβέστερη εικόνα.

Επίσης, θα είχε ενδιαφέρον μια προσπάθεια ποσοτικοποίησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των μεγάλων ΥΗΕ, για να διαπιστωθεί αν η κουβέντα που γίνεται παγκοσμίως για αυτές, καθώς και η απόφαση πως δεν υπάγονται πια στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, είναι εύλογη ή όχι. Τεχνοοικονομική ποσοτικοποίηση επιδέχονται και τα μεγέθη των απαλλοτριώσεων και της μετακίνησης πληθυσμών από την περιοχή κατάκλυσης της τεχνητής λίμνης.

Τέλος, θα είχε μεγάλη σημασία η ανάπτυξη ενός βιώσιμου τρόπου βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης του νερού και κατ' επέκταση της ενέργειας, σε συστήματα πολλών ΜΥΗΕ σε σειρά, όπως αυτά που πραγματεύεται η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Έτσι θα λυνόταν το μεγαλύτερο πρόβλημα των μικρών έργων αφού θα μπορούσαν να παράγουν εγγυημένη ενέργεια και να καλύπτουν τις ενεργειακές αιχμές του διασυνδεδεμένου δικτύου.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

- Γεροτόλιου Σ., Ιμπάμπι Μ., Μανώλης Γ.Τ., και Χελά Ν.Π., 2019. "Σύνταξη προμελέτης μικρού υδροηλεκτρικού έργου στον ποταμό Αχελώο", Εργασία μαθήματος, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Ευστρατιάδης Α., και Παπανικολάου Π., 2018. *Σημειώσεις μαθήματος "Υδραυλικές Κατασκευές Φράγματα"*, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Κουτσογιάννης Δ., Ευστρατιάδης Α., 2015. *"Σημειώσεις Αστικών Υδραυλικών Έργων – Υδροδοτικά Έργα"*, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Μαμάσης Ν., Ευστρατιάδης Α., και Κουτσογιάννης Δ., 2018. *Σημειώσεις μαθήματος "Ανανεώσιμη Ενέργεια και Υδροηλεκτρικά Έργα"*, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Μαμάσης Ν., και Κουτσογιάννης Δ., 2019. *"Η τραγωδία της υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα της κρίσης"*, Ημερίδα Εταιρείας Θεσσαλικών Μελετών (ΕΘΕΜ), Αθήνα.
- Μάργαρης Δ., 2015. *Σημειώσεις μαθήματος "Ρευστοδυναμικές Μηχανές"*, Εργαστήριο Ρευστοδυναμικής, Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
- Μίχας Σ., Δερματάς Δ., Ευστρατιάδης Α., 2016. *Σημειώσεις μαθήματος "Φράγματα – Υδραυλικές κατασκευές"*, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Μπαλλής Α., 2020. *Σημειώσεις μαθήματος "Σχεδιασμός Μεταφορικών Συστημάτων"*, Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Παπανικολάου Π., 2018. *"Στοιχεία Μόνιμης Ροής σε Αγωγούς με Ελεύθερη Επιφάνεια"*, Έκδοση 5, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, σελ. 64-67.
- Παπαντώνης Δ.Ε., 2016. *"Μικρά υδροηλεκτρικά έργα"*, Έκδοση 2, Αθήνα.
- Φελώνη Ε., 2012. *"Δέλτα Αχελώου: Μορφομετρική ανάλυση δελταϊκής προεξοχής και υδρολογική μελέτη ευρύτερης περιοχής"*, Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος – Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, σελ. 9.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Ardizzon G., Cavazzini G., Pavesi G., 2014. A new generation of small hydro and pumped-hydro power plants: Advances and future challenges, Department of Industrial Engineering – University of Padova, Italy.
- Efstratiadis A., Tegos A., Varveris A. and Koutsoyiannis D., 2014. Assessment of environmental flows under limited data availability – Case study of the Acheloos River, Greece, *Hydrological Sciences Journal*.
- Hosseini S.M.H., Forouzbakhsh F., Rahimpour M., 2005. Determination of the optimal installation capacity of small hydro-power plants through the use of technical, economic and reliability indices.
- Koutsoyiannis D., 2008. A power-law approximation of the turbulent flow friction factor useful for the design and simulation of urban water networks, *Urban Water Journal*, 5 (2), 117–115.
- Mbakaa J.G., Mwanikib M.W., 2017. Small Hydro-power Plants in Kenya: A Review of Status, Challenges and Future Prospects, Department of Land and Water Management - University of Embu, Embu, Kenya
- Minott D., Delisser R., 1983. Cost reduction considerations in Small Hydropower Development, UNIDO, Third Workshop on Small Hydropower, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Mishra S., Singal S.K., Khatod D.K., 2011. Optimal installation of small hydropower plant— A review, Alternate Hydro Energy Centre, Indian Institute of Technology Roorkee, Roorkee, Uttarakhand 247667, India.
- Ogayar B., Vidal P.G., Hernandez J.C, 2009. Analysis of the cost for the refurbishment of small hydropower plants.
- Penche C., 1998. Layman’s guidebook on how to develop a small hydro site, Commission of the European Communities, Directorate-General for Energy by European Small Hydropower Association.
- Rossetti A., Pavesi G., Cavazzini G., Santolin A. and Ardizzon G., 2013. Influence of the bucket geometry on the Pelton performance, Institution of Mechanical Engineers, Part A, *Journal of Power and Energy*.
- Sargentis G.F., Iliopoulou T., Sigourou S., Dimitriadis P., and Koutsoyiannis D., 2020. Evolution of clustering quantified by a stochastic method — Case studies on natural and human social structures, *Sustainability*, 12 (19), 7972, doi:10.3390/su12197972.
- Singal S.K., Saini R.P., 2008. Analytical approach for development of correlations for cost of canal-based SHP schemes.
- Tharme R.E., 2003. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers.

Ιστοσελίδες

- <http://www.eeft.gr/> (Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων).
- <http://www.rae.gr/site/portal.csp> (Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας).
- <http://www.ypoka.gr/el-gr/> (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας).
- <https://dei.gr/el> (ΔΕΗ).
- <https://earth.google.com/web/> (Google Earth).
- <https://encyclopedia.pub/item/revision/b8f15fa9b87c8ead5a8cc4329ab7a8e6> (Scholarly Community Encyclopedia).
- <https://ourworldindata.org/> (Our World in Data).
- <https://www.britannica.com/> (Encyclopedia Britannica).
- <https://www.eia.gov/> (U.S Energy Information Administration).
- <https://www.hydropower.org/> (International Hydropower Association).
- <https://www.usace.army.mil/> (U.S. Army Corps of Engineers).
- <https://www.usbr.gov/> (US Bureau of Reclamation).
- <https://www.usgs.gov/> (U.S. Geological Survey).
- <https://www.usinflationcalculator.com/> (US Inflation Calculator).
- <https://www.wikipedia.org/> (Wikipedia).
- <https://www.yme.gov.gr/> (Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών).
- <https://www.ypethe.gr/> (Υδάτινοι Πόροι και Περιβάλλον Θεσσαλίας).