



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΜΙΚΡΟΎΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ:
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ, ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ»**

Κατερινόπουλος Φίλιππος

Επιβλέπων:

Αναγνωστόπουλος Ιωάννης, Τομέας Ρευστών

Αθήνα, Οκτώβριος 2007

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – Περιγραφή μιας micro/ribo υδροηλεκτρικής μονάδας

1.1 Ορισμοί των micro - ribo υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων	5
1.2 Επιμέρους τμήματα ενός micro/ribo - υδροδυναμικού συστήματος	6
1.3 Επισκόπηση της τοποθεσίας	8
1.3.1 Διαθέσιμη υδραυλική ισχύς	8
1.3.2 Μέτρηση της παροχής	8
1.3.2.1 Μέθοδος δοχείου	9
1.3.2.2 Μέθοδος float	9
1.3.2.3 Μέθοδος Salt Gulp	11
1.3.3. Μέτρηση του υδραυλικού ύψους	12
1.3.3.1 Μέθοδος σωλήνα	13
1.3.3.2 Μέθοδος μετρητή υψομέτρων	14
1.3.3.3 Μέθοδος κλισιόμετρου (Abney Level)	14
1.4 Στοιχεία της εγκατάστασης	16
1.4.1 Υδροστρόβιλος	16
1.4.1.1 Γενικά - Τύποι υδροστροβίλων	16
1.4.1.2 Υδροστρόβιλοι δράσεως	16
1.4.1.2.1 Υδροστρόβιλος Pelton	17
1.4.1.2.2 Υδροστρόβιλος Cross-Flow	18
1.4.1.2.3 Υδροστρόβιλος Turgo	19
1.4.1.3 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως	20
1.4.1.3.1 Υδροστρόβιλος Francis	21
1.4.1.3.2 Υδροστρόβιλος Kaplan	22
1.4.1.3.3 Βολβοειδής υδροστρόβιλος	24
1.4.1.3.4 Υδροστρόβιλος αξονικής ροής (Προπέλα)	24
1.4.1.4 Χρήση φυγοκεντρικών αντλιών ως υδροστροβίλων	25
1.4.1.5 Επιλογή τύπου υδροστροβίλου	28
1.4.2 Γεννήτριες	29
1.4.2.1 Γενικά - Συνήθεις τύποι γεννητριών	29
1.4.2.2 Επιλογή τύπου γεννήτριας	30
1.4.2.3 Ηλεκτρονικός έλεγχος φορτίου	31
1.4.3 Αγωγός νερού	32
1.4.4 Δεξαμενή	34
1.4.5 Σύστημα εισόδου νερού	35
1.4.6 Λεκάνη καθίζησης	36
1.4.7 Διώρυγα (Κανάλι)	36
1.4.8 Κτίριο της μονάδας	37

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Στοιχεία μελέτης εγκατάστασης

2.1 Διαδικασία μελέτης εγκατάστασης	39
2.2 Τεχνοοικονομικά στοιχεία	43
2.2.1 Το κόστος	43
2.2.2 Προσεγγιστικός υπολογισμός του κόστους	44
2.2.2.1 Κόστος ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	44
2.2.2.2 Συνολικό κόστος της επένδυσης	45
2.2.3 Τρόποι μείωσης του κόστους	45
2.2.4 Τα έσοδα	46
2.3 Οικονομική βιωσιμότητα	47
2.3.1 Γενικά	47
2.3.2 Βασικές έννοιες οικονομικής ανάλυσης	47
2.3.3 Κριτήρια αξιολόγησης	49
2.3.3.1 Λόγος εσόδων προς έξοδα (BCR)	49
2.3.3.2 Καθαρή παρούσα αξία (NPV)	50
2.3.3.3 Διάρκεια αποπληρωμής	50
2.3.3.4 Κριτήριο εσωτερικής απόδοσης της επένδυσης (IRR)	51
2.3.3.5 Κόστος παραγόμενης μονάδας ενέργειας	51
2.4 Οικονομικά εμπόδια στο παρελθόν	53
2.5 Το θέμα της επιδότησης	54
2.6 Σύγκριση με κόστος ανταγωνιστικών επιλογών παραγωγής ενέργειας	55
2.7 Περιβαλλοντικά στοιχεία	56
2.7.1 Γενικά	56
2.7.2 Κατηγοριοποίηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων	56
2.7.2.1 Εδαφικές	57
2.7.2.2 Υδρολογικές	57
2.7.2.3 Βιολογικές	58
2.7.2.4 Ατμοσφαιρικές	60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – Παραδείγματα micro/pico υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων

3.1 Pico υδροηλεκτρική εγκατάσταση στο Kushadevi (Nepal)	61
3.1.1 Δυναμικό και απαιτήσεις	61
3.1.2 Επισκόπηση της τοποθεσίας	62
3.1.3 Χαρακτηριστικά στοιχεία της εγκατάστασης	63
3.1.3.1 Είσοδος νερού – Δεξαμενή	63
3.1.3.2 Αγωγός νερού	64
3.1.3.3 Κτίριο της μονάδας	65
3.1.3.4 Υδροστρόβιλος και γεννήτρια	66
3.1.3.5 Ηλεκτρονικός ελεγκτής φορτίου	68
3.1.3.6 Περιοριστές φορτίου	68
3.1.4 Το κόστος της εγκατάστασης	69
3.1.4.1 Οικονομική βιωσιμότητα	69
3.1.4.2 Οικονομική συνεισφορά της κοινότητας	69

3.1.4.3 Τεχνοοικονομικά στοιχεία	69
3.1.5 Προβλήματα κατά τη λειτουργία της μονάδας και σχόλια	70
3.2 Pico υδροηλεκτρική εγκατάσταση στο Kathamba (Kenya)	72
3.2.1 Γενική περιγραφή και επισκόπηση της τοποθεσίας	72
3.2.2 Χαρακτηριστικά στοιχεία της εγκατάστασης	73
3.2.2.1 Είσοδος νερού και λίμνη αποθήκευσης	73
3.2.2.2 Αγωγός νερού	75
3.2.2.3 Κτίριο της μονάδας	76
3.2.2.4 Υδροστρόβιλος	76
3.2.2.5 Γεννήτρια	78
3.2.3 Δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ισχύος	79
3.2.4 Το κόστος της εγκατάστασης	80
3.2.5 Συνεισφορά της κοινότητας	80
3.3 Pico υδροηλεκτρική εγκατάσταση στο Thima (Kenya)	82
3.3.1 Γενική περιγραφή και επισκόπηση της τοποθεσίας	82
3.3.2 Χαρακτηριστικά στοιχεία της εγκατάστασης	83
3.3.2.1 Είσοδος νερού και λίμνη αποθήκευσης	83
3.3.2.2 Αγωγός νερού	84
3.3.2.3 Κτίριο της μονάδας	86
3.3.2.4 Αντλία σε ρόλο υδροστροβίλου	87
3.3.2.5 Γεννήτρια	88
3.3.3 Δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ισχύος	89
3.3.4 Το κόστος της εγκατάστασης	90
3.3.5 Συνεισφορά της κοινότητας	90
3.4 Οικονομική μελέτη 4 micro/pico υδροηλεκτρικών μονάδων στο Sri Lanka	91
3.4.1 Γενικά	91
3.4.2 Περιγραφή και οικονομικά στοιχεία	93
3.4.2.1 Micro υδροηλεκτρική μονάδα στο Katepola	93
3.4.2.2 Pico υδροηλεκτρική μονάδα στο Kandaloya	95
3.4.2.3 Pico υδροηλεκτρική μονάδα στο Pathavita	96
3.4.2.4 Micro υδροηλεκτρική μονάδα στο Seetha Eliya	97
3.4.3 Οικονομική ανάλυση	98
3.4.4 Συμπεράσματα	98
3.5 Οικονομική μελέτη 4 εγκαταστάσεων micro υδροστροβίλων στις Zimbabwe, Mozambique	100
3.5.1 Γενικά	100
3.5.2 Micro υδροηλεκτρική μονάδα στο Nyafaru (Zimbabwe)	101
3.5.2.1 Περιγραφή και οικονομικά στοιχεία	101
3.5.2.2 Οικονομική ανάλυση	102
3.5.3 Micro υδροστρόβιλος για τη λειτουργία μύλου στο Svinurai (Zimbabwe)	103
3.5.3.1 Περιγραφή και οικονομικά στοιχεία	103
3.5.3.2 Οικονομική ανάλυση	104
3.5.4 Micro υδροστρόβιλος για τη λειτουργία μύλου στο Elias (Mozambique)	104
3.5.4.1 Περιγραφή και οικονομικά στοιχεία	104
3.5.4.2 Οικονομική ανάλυση	105

3.5.5 Μicro υδροστρόβιλος για τη λειτουργία μύλου στο Chitofu (Mozambique)	106
3.5.5.1 Περιγραφή και οικονομικά στοιχεία	106
3.5.5.2 Οικονομική ανάλυση	107
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – Πίνακας στοιχείων micro/rico υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων ανά τον Κόσμο	
4.1 Πίνακας	108
4.2 Σχολιασμός πίνακα	114
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	118
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	121

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Περιγραφή μιας micro/pico υδροηλεκτρικής μονάδας

1.1 Ορισμοί των micro - pico υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων

Ο όρος micro αναφέρεται σε εγκαταστάσεις παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας της τάξης των 100kW ή ακόμα μικρότερες. Τα όρια των παραγόμενων kW κάτω από τα οποία μια υδροηλεκτρική εγκατάσταση χαρακτηρίζεται ως micro μπορεί να διαφέρουν από χώρα σε χώρα (όπως συμβαίνει και με τους ορισμούς των mini, μικρών κτλ.) όπως φαίνεται στον πίνακα (Σχήμα 1.1) που ακολουθεί (<http://www.microhydropower.net>), γενικά όμως στους περισσότερους ορισμούς στη βιβλιογραφία η τιμή των 100kW –ως ανώτατο όριο ηλεκτροπαραγωγής- είναι αυτή που καθορίζει τα micro-υδροηλεκτρικά έργα.

Χώρα	micro (kilowatts)	mini (kilowatts)	μικρό (megawatts)
United States	< 100	100 - 1000	1 - 30
United States	< 100	100 - 1000	-
China	-	< 500	0.5 - 25
USSR	< 100	-	0.1 - 30
France	5 - 5000	-	-
India	< 100	101 - 1000	1 - 15
Brazil	< 100	100 - 1000	1 - 30
Norway *	< 100	100 - 1000	1 - 10
various	< 100	< 1000	< 10

Σχήμα 1.1: Ορισμοί micro ανά χώρα

Ο όρος pico αναφέρεται ειδικά σε εγκαταστάσεις παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας της τάξης των 10kW ή μικρότερες, αν και εδώ πολλές φορές στη βιβλιογραφία αναφέρεται ως ανώτατο όριο διαφορετική τιμή - αυτή των 5 kW.

Τα πλεονεκτήματα των micro/pico-υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων, ως μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολλά. Ως υδροηλεκτρικά έργα χρησιμοποιούν ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και δεν απαιτούν καμία κατανάλωση καυσίμου, μειώνοντας έτσι τις εκπομπές καυσαερίων στην ατμόσφαιρα. Ακόμη, σε αντίθεση με τις μεγάλες υδροηλεκτρικές μονάδες, οι micro ή pico υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις ούτε κατά την εγκατάστασή τους επηρεάζουν αρνητικά τον περιβάλλοντα χώρο, αφού λόγω του μικρού τους μεγέθους οι όποιες επιδράσεις σε αυτόν είναι αμελητέες. Η διάρκεια ζωής τους είναι μεγάλη (25 χρόνια και περισσότερο) και ο χρόνος απόσβεσης σχετικά μικρός (10 χρόνια και μικρότερος). Επίσης η λειτουργία τους είναι σταθερή και

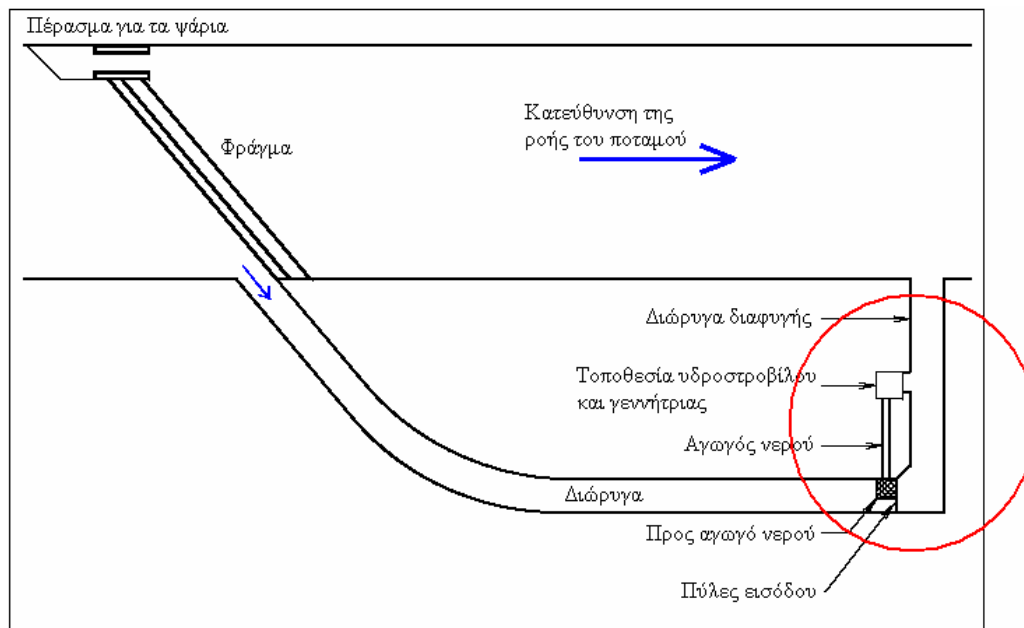
συνεχής για μεγάλες περιόδους του έτους. Τέλος το κόστος τους δεν είναι υψηλό και η κατασκευή τους χαρακτηρίζεται από απλότητα.

Έτσι τα micro/rico υδροηλεκτρικά έργα αποτελούν μια πολύ καλή επιλογή για ιδιαίτερα φτωχές χώρες και για περιοχές που είναι δύσκολες σε πρόσβαση ηλεκτρικού δικτύου. Βέβαια σήμερα, λόγω της εξέλιξης που έχει υποστεί η τεχνολογία και συνεπώς και τα ηλεκτρομηχανολογικά εξαρτήματα που τα αποτελούν, τα micro/rico υδροηλεκτρικά έργα ενδιαφέρουν πολύ και τις αναπτυγμένες χώρες, προς το παρόν ως μια πολύ καλή εναλλακτική πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

1.2 Επιμέρους τμήματα ενός micro/rico - υδροδυναμικού συστήματος

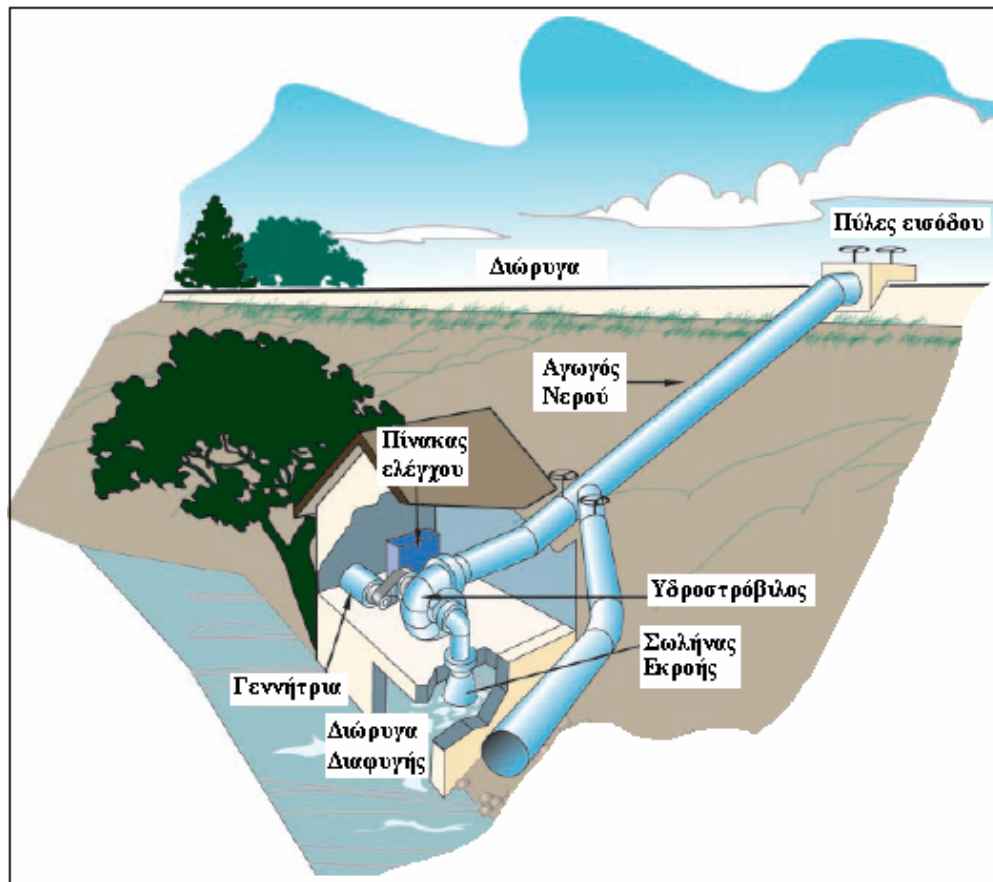
Το σχέδιο που ακολουθεί (Σχήμα 1.2) αναπαριστά ένα τυπικό micro (ή rico) υδροδυναμικό σύστημα (<http://www.hydrogeneration.co.uk>). Τα τμήματα που το αποτελούν είναι:

- Ένα φράγμα που διακόπτει τη ροή του ποταμού αφήνοντας ένα μικρό πέρασμα για τη διόδο των ψαριών.
- Μία διάρρυγα (κανάλι) κατασκευασμένη έτσι ώστε να οδηγεί το νερό που παρακάμπτεται του ποταμού στην εγκατάσταση.
- Πύλες εισόδου που ρυθμίζουν πόση από την παροχή του νερού θα εισέλθει στην εγκατάσταση.
- Ένας μικρού μήκους αγωγός νερού που οδηγεί το νερό στον υδροστρόβιλο και στη γεννήτρια.
- Ένας υδροστρόβιλος συνδεδεμένος με μία γεννήτρια.
- Μία διάρρυγα διαφυγής, μέσω της οποίας επαναφέρεται το νερό στον ποταμό.



Σχήμα 1.2: Micro-υδροδυναμικό σύστημα

Το τμήμα της εγκατάστασης του παραπάνω σχεδίου (Σχήμα 1.2), που περικλείεται στον κόκκινο κύκλο, αναπαρίσταται όπως είναι στην πραγματικότητα (<http://hydropower.id.doe>), στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.3: Μονάδα Ηλεκτροπαραγωγής

Στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 1.3) φαίνεται καθαρά πώς το νερό οδηγείται μέσω του αγωγού νερού, από τις πύλες εισόδου στη διώρυγα διαφυγής, αφού περάσει μέσα από τον υδροστρόβιλο και ίσως από ένα σωλήνα εκροής, ο οποίος απαιτείται σε ορισμένες μόνο περιπτώσεις (αν ο υδροστρόβιλος πρέπει να τοποθετηθεί σε κάποιο ύψος πάνω από τη στάθμη του νερού του φράγματος, ώστε να γίνει εκμετάλλευση του μέγιστου διαθέσιμου υδραυλικού ύψους). Τέλος υπάρχει ένας πίνακας ελέγχου, ο στον οποίο φαίνονται και ρυθμίζονται οι λειτουργικές παράμετροι της εγκατάστασης.

1.3 Επισκόπηση της τοποθεσίας

1.3.1 Διαθέσιμη υδραυλική ισχύς

Η συνολική υδραυλική ισχύς σε μια micro-pico υδροηλεκτρική εγκατάσταση (<http://www.hydrogeneration.co.uk>) εξαρτάται από δύο παράγοντες, από το υδραυλικό ύψος και από την παροχή του νερού. Το υδραυλικό ύψος (σε m) είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ του υψηλότερου σημείου του αγωγού νερού και του σημείου που το νερό εγκαταλείπει τον υδροστρόβιλο, ενώ η παροχή νερού (σε l/s ή σε m³/sec, όπου μεταξύ τους ισχύει η σχέση 1000 l/sec = 1 m³/sec) είναι η ποσότητα του νερού (σε l ή σε m³) που διέρχεται από μία διατομή του αγωγού στη χρονική διάρκεια ενός δευτερολέπτου (1 sec). Έχοντας υπολογίσει το υδραυλικό ύψος και την παροχή του νερού, η υδραυλική ισχύς της εγκατάστασης υπολογίζεται εύκολα από τη σχέση:

$$\text{Ισχύς} = (\text{Υδραυλικό Ύψος σε m}) \times (\text{Παροχή σε l/sec}) \times 9.81$$

Για παράδειγμα αν το υδραυλικό ύψος είναι 70m και η παροχή έχει μετρηθεί ίση με 5 l/sec, τότε η συνολική υδραυλική ισχύς είναι ίση με $70 \times 5 \times 9.81$, δηλαδή 3433W ή 3.433kW. Είναι προφανές ότι όσο μεγαλύτερο είναι το διαθέσιμο υδραυλικό ύψος και όσο μεγαλύτερη η παροχή, τόσο μεγαλύτερο γίνεται και το γινόμενο τους, οπότε και η υδραυλική ισχύς του συστήματος.

Ακόμα αξίζει να αναφερθεί ότι είναι σημαντικό το να μετρηθεί πολύ προσεκτικά το διαθέσιμο υδραυλικό ύψος και τιμή της παροχής του νερού. Σε μερικές περιπτώσεις η παροχή είναι εμφανώς μεγαλύτερη από την απαιτούμενη, οπότε οι μετρήσεις που γίνονται πάνω σε αυτή, δεν είναι απαραίτητες. Τέλος αναφέρεται ότι είναι προτιμότερο να υποτιμηθούν οι τιμές της παροχής και του υδραυλικού ύψους παρά να υπερεκτιμηθούν.

1.3.2 Μέτρηση της παροχής

Η ακρίβεια με την οποία πρέπει να υπολογιστεί η τιμή της παροχής εξαρτάται από την τοποθεσία της εγκατάστασης. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, σε μερικές περιπτώσεις η παροχή είναι εμφανώς μεγαλύτερη από την απαιτούμενη, οπότε οι μετρήσεις που γίνονται πάνω σε αυτή, δεν είναι απαραίτητες. Η καλύτερη στιγμή για να γίνουν οι μετρήσεις που αφορούν την παροχή είναι αυτή μετά το τέλος της εποχής ξηρασίας, όπου δεν έχουν υπάρξει βροχές για κάποιο διάστημα. Τρεις μέθοδοι μέτρησης της παροχής περιγράφονται αναλυτικά στις υποενότητες που ακολουθούν (Maher Philip and Smith Nigel, 2001), ενώ τα βασικά τους χαρακτηριστικά δίνονται στον επόμενο πίνακα (Σχήμα 1.4).

Μέθοδος	Κόστος	Ακρίβεια	Δυσκολία	Απαιτούμενος χρόνος	Απαραίτητος εξοπλισμός	Ελάχιστα άτομα
Μέθοδος δοχείου (κατάλληλη μόνο για παροχές < 10 l/sec	αμελητέο	Μεσαία	όχι δύσκολη	10 λεπτά	Δοχείο και χρονόμετρο	2
Μέθοδος float	αμελητέο	Χαμηλή, Μεσαία για ομαλή ροή ποταμού παράλληλη στην όχθη	όχι δύσκολη	30 λεπτά	Εύλινο κομμάτι, ταινία μεζούρας και χρονόμετρο	2
Μέθοδος ανάλυσης αλατιού	σχετικά υψηλό	Μεσαία έως Υψηλή	Απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή	1 ώρα	Μετρητής αγωγιμότητας, δοχείο, υπολογιστής, ζυγισμένες ποσότητες αλατιού	1

Σχήμα 1.4: Μέθοδοι μέτρησης της παροχής

1.3.2.1 Μέθοδος δοχείου

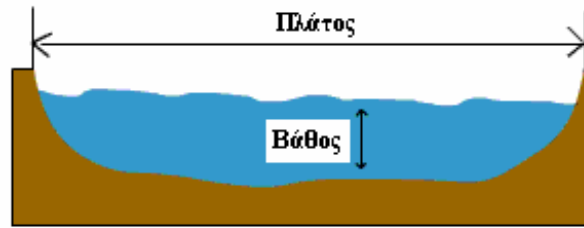
Η μέθοδος του δοχείου είναι μια ιδιαίτερη απλή μέθοδος, προκειμένου να καθοριστεί η τιμή της παροχής, αν αυτή είναι μικρότερη των 10 l/sec. Χρησιμοποιείται ένα χρονόμετρο και ένα δοχείο, του οποίου ο όγκος πρέπει να είναι γνωστός. Συνήθως για παροχές μικρότερες των 3 l/sec ο όγκος του δοχείου είναι ίσος με 15 l, ενώ για μεγαλύτερες παροχές ο όγκος του είναι μεγαλύτερος.

Το δοχείο τοποθετείται σε σημείο ώστε η παροχή του νερού να κατευθύνεται μέσα σε αυτό και χρονομετρείται το πόσο γρήγορα θα γεμίσει. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται τουλάχιστον τρεις φορές και βρίσκεται η μέση τιμή των αποτελεσμάτων. Η διαίρεση του όγκου του δοχείου με το μέσο χρόνο που υπολογίστηκε δίνει την τιμή της παροχής. Για παράδειγμα αν ο όγκος του δοχείου είναι 15 l και η μέση τιμή των χρόνων -μέχρι να γεμίσει- είναι 8 sec, η τιμή της παροχής υπολογίζεται ίση με $15/8 = 1.87$ l/sec.

1.3.2.2 Μέθοδος float

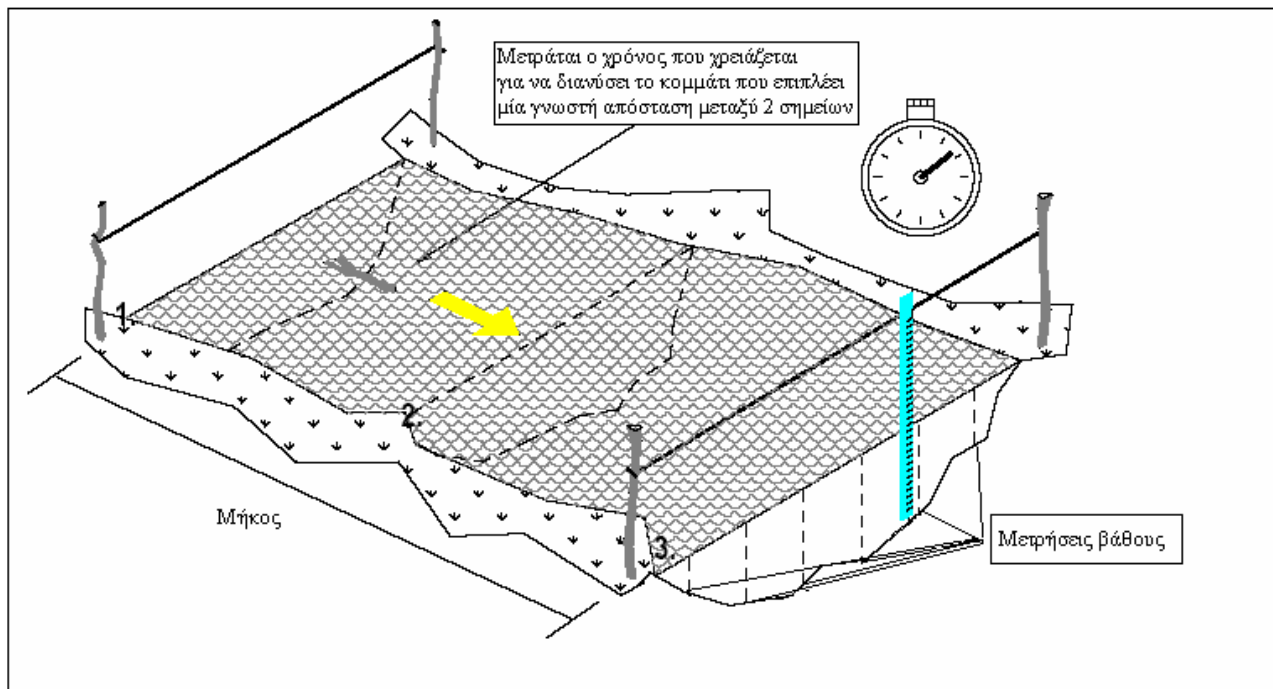
Η μέθοδος float εφαρμόζεται με επιτυχία σε διώρυγες ή αυλάκια και μπορεί να εφαρμοστεί και σε ροές ποταμών, προσφέροντας όμως μικρότερη ακρίβεια. Χρειάζονται δύο πληροφορίες προκειμένου να υπολογιστεί η παροχή με τη μέθοδο αυτή. Η πρώτη είναι η διατομή της ροής του νερού και η δεύτερη η ταχύτητά της.

Η διατομή της ροής (βλ. Σχήμα 1.5) υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας το πλάτος του ρεύματος του νερού επί το βάθος. Προκειμένου να υπάρχει μια ακρίβεια λαμβάνονται για το βάθος αρκετές μετρήσεις ανά τακτικές αποστάσεις, πολλαπλασιάζονται όλες με το πλάτος και προκύπτουν έτσι οι τιμές των διατομών. Η τιμή που κρατείται είναι η μέση τιμή των διατομών αυτών.



Σχήμα 1.5: Διατομή της ροής

Η ταχύτητα της ροής υπολογίζεται μετρώντας το χρόνο που απαιτείται για να διανύσει ένα ξύλινο κομμάτι που επιπλέει μια δεδομένη γνωστή απόσταση και διαιρώντας στη συνέχεια την απόσταση αυτή με το χρόνο που χρειάστηκε (βλ. Σχήμα 1.6). Η διαδικασία επαναλαμβάνεται τουλάχιστον τρεις φορές και υπολογίζεται η μέση τιμή των ταχυτήτων που προέκυψαν.



Σχήμα 1.6: Μετρήσεις μεθόδου float

Το γινόμενο της μέσης τιμής ταχυτήτων επί τη μέση διατομή και επί ένα διορθωτικό συντελεστή που αφορά την ταχύτητα (Correction Factor ή πιο απλά CF) δίνει την τιμή της παροχής, όπως φαίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q = A \times V \times CF$$

,όπου Q η παροχή νερού (σε m³/sec ή σε l/s, υπενθυμίζεται ότι 1000 l/sec = 1 m³/sec), V η μέση τιμή της ταχύτητας στην επιφάνεια του νερού σε (σε m/sec) και A η μέση διατομή (σε m²). Ο διορθωτικός συντελεστής ταχύτητας λαμβάνεται από τον πίνακα που ακολουθεί (Σχήμα 1.7), για τους διάφορους τύπους ροής.

Τύπος Ροής	CF	Ακρίβεια
Ορθογώνιο κανάλι με επίπεδες πλευρές και βυθό	0.85	Καλή
Βαθύ ποτάμι που κινείται αργά	0.75	Μέτρια
Μικρό ποτάμι με επίπεδο βυθό	0.65	Χαμηλή
Γρήγορο ορμητικό ποτάμι	0.45	Πολύ Χαμηλή
Πολύ ρηχό βραχώδες ποτάμι	0.25	Πολύ Χαμηλή

Σχήμα 1.7: Διορθωτικός συντελεστής ταχύτητας (CF)

1.3.2.3 Μέθοδος Salt Gulp

Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει πιο πολύπλοκους υπολογισμούς σε σχέση με τις δύο προηγούμενες, αλλά είναι πιο εύκολη η εκτέλεσή της και μάλλον είναι η πιο αξιόπιστη και ακριβής μέθοδος για τον υπολογισμό της παροχής του νερού. Απαιτείται ένας φορητός ψηφιακός μετρητής αγωγιμότητας (μετράει micro Siemens ή μS , όπου $1\mu\text{S} = 10^{-6} \times \text{ohms}^{-1}$, βλ. Σχήμα 1.8), κάποιες ποσότητες αλατιού με γνωστά βάρη και ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής. Η μέθοδος salt gulp βασίζεται στο γεγονός ότι η αγωγιμότητα του ρέοντος νερού αυξάνεται καθώς προστίθεται σε αυτό αλάτι και μπορεί –αν εκτελεστεί σωστά- να επιτύχει μεγάλη ακρίβεια με σφάλμα μικρότερο από 5%.



Σχήμα 1.8: Ψηφιακός μετρητής αγωγιμότητας και ποσότητες αλατιού

Μία γνωστή ποσότητα αλατιού ρίχνεται σε ένα δοχείο με νερό μέχρι να διαλυθεί πλήρως. Η ποσότητα αυτή εξαρτάται από μία πρώτη εκτίμηση της τιμής της παροχής. Συνήθως για παροχές της τάξης των 5 l/sec απαιτούνται 25g άλατος. Η ποσότητα του νερού δεν έχει σημασία, αρκεί να μην αφαιρεθεί καθόλου από αυτό, από τη στιγμή που ξεκίνησε η διαδικασία διάλυσης του αλατιού. Το

δοχείο αδειάζεται μέσα στο κανάλι και 25 με 30 μέτρα κατάντι της ροής τοποθετείται ο μετρητής αγωγιμότητας, αφού έχει μετρηθεί η κανονική αγωγιμότητα του νερού, προτού ριχθεί το αλάτι.

Αμέσως μόλις οι ενδείξεις αγωγιμότητας στο μετρητή αυξάνονται (συνήθως 2 με 3 λεπτά μετά την τοποθέτηση του αλατιού στο κανάλι), καταγράφονται κάθε 5 sec, μέχρι η αγωγιμότητα να επανέλθει στα κανονικά της επίπεδα (συνήθως μετά από 10 με 15 λεπτά). Αν μέσα σε 15 λεπτά η αγωγιμότητα δεν έχει αποκτήσει τιμή τουλάχιστον διπλάσια της κανονικής, η διαδικασία επαναλαμβάνεται από την αρχή χρησιμοποιώντας μεγαλύτερη ποσότητα αλατιού.

Στη συνέχεια σχεδιάζεται το γράφημα της αγωγιμότητας συναρτήσει του χρόνου. Μια ομαλή καμπύλη με μέγιστο ένα σημείο με αγωγιμότητα περίπου τη διπλάσια της κανονικής σημαίνει ότι η εκτέλεση της διαδικασίας ήταν επιτυχής. Υπολογίζοντας το εμβαδόν του γραφήματος κάτω από την καμπύλη μπορεί να βρεθεί η τιμή της παροχής από τη σχέση:

$$Q = \frac{M \times k^{-1}}{A}$$

,όπου Q είναι η παροχή (σε l/s), M η μάζα του αλατιού που χρησιμοποιήθηκε (σε mg), k^{-1} ο συντελεστής μετατροπής (σε $\text{ohm}^{-1} / \text{mg} \times \text{l}^{-1}$) και A το εμβαδόν του γραφήματος κάτω από την καμπύλη (Σε $\text{s} \times 10^{-6} \times \text{ohm}^{-1}$).

Ο συντελεστής μετατροπής εξαρτάται από τη θερμοκρασία του νερού και μια τυπική τιμή του (για θερμοκρασία ίση με 22°C) είναι $2.04 \text{ ohm}^{-1} / \text{mg} \times \text{l}^{-1}$.

1.3.3 Μέτρηση του υδραυλικού ύψους

Οι τεχνικές που εφαρμόζονται, προκειμένου να υπολογιστεί το διαθέσιμο υδραυλικό ύψος, διαφέρουν σε κόστος, ακρίβεια και πολυπλοκότητα. Γενικά όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του υδραυλικού ύψους, τόσο πιο σημαντική είναι η ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Τρεις μέθοδοι μέτρησης του υδραυλικού ύψους περιγράφονται αναλυτικά στις υποενότητες που ακολουθούν (Maher Philip and Smith Nigel, 2001), ενώ τα βασικά τους χαρακτηριστικά δίνονται στον επόμενο πίνακα (Σχήμα 1.9).

Μέθοδος	Κόστος	Ακρίβεια	Απαιτούμενος χρόνος	Δυσκολία	Απαραίτητος Εξοπλισμός	Ελάχιστα άτομα
Μέθοδος σωλήνα	Χαμηλό	Υψηλή	3 έως 6 ώρες	Όχι δύσκολη	Πλαστικός σωλήνας, ταινία μεζούρας, ξύλινες τάπες	2
Μετρητής υψομέτρου	Μέτριο έως υψηλό	Απόκλιση +/- 1m έως +/- 5m (Ανάλογα με το μοντέλο του μετρητή)	Έως και μία ώρα	Όχι δύσκολη	Ψηφιακό όργανο μέτρησης ύψους, ξύλινες τάπες	1
Κλισιόμετρο	Αρκετά χαμηλό	Υψηλή	Έως και 2 ώρες	Απαιτείται εμπειρία	Κλισιόμετρο Abney, μακριά ταινία μεζούρας, 2 ράβδους (μήκους 1,5m), τάπες	2

Σχήμα 1.9: Μέθοδοι μέτρησης του υδραυλικού ύψους

1.3.3.1 Μέθοδος σωλήνα

Αυτή είναι η πιο οικονομική μέθοδος μέτρησης του υδραυλικού ύψους. Απαιτείται μόνο ένας διάφανος πλαστικός σωλήνας μήκους περίπου 20 μέτρων με διάμετρο από 10 έως 12mm, μία ταινία μεζούρας και τουλάχιστον 2 άτομα. Ο σωλήνας γεμίζεται με νερό έτσι ώστε όταν τα δύο άκρα του κρατιούνται ενωμένα, το επίπεδο του νερού να απέχει 30cm από το σημείο που ενώνονται. Το νερό μέσα στο σωλήνα πρέπει να βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο και στις δύο πλευρές. Οι φυσαλίδες στο σωλήνα απομακρύνονται, αφήνονται δηλαδή να βγουν από αυτόν, αφού μπορεί να επιφέρουν ανακριβείς μετρήσεις.

Αρχικά τα δύο άτομα κρατάνε από ένα άκρο του σωλήνα, μην επιτρέποντας –με τους αντίχειρές τους- στο νερό να χυθεί και ανεβαίνουν τόσο, ώστε το πάνω μέρος των κεφαλιών τους να βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με το αναμενόμενο επίπεδο του νερού στη δεξαμενή της εγκατάστασης. Στη συνέχεια, τα δύο άτομα σηκώνουν τα χέρια τους τόσο, ώστε το νερό στο σωλήνα να βρίσκεται και αυτό στο ίδιο επίπεδο (του πάνω μέρους των κεφαλιών τους και του νερού της δεξαμενής).

Έπειτα, το ένα άτομο κατεβαίνει προς τα κάτω, ενώ το άλλο –παραμένοντας στην ίδια θέση- απλά κατεβάζει με το χέρι του το άκρο του σωλήνα που κρατάει. Οι αντίχειρες των ατόμων αφήνουν τα άκρα του σωλήνα ανοιχτά και η διαδικασία σταματάει όταν το επίπεδο του νερού στο σωλήνα ταυτίζεται και με το επίπεδο του κάτω μέρους των παπουτσιών του ατόμου που παρέμεινε στην ίδια θέση και με το επίπεδο του πάνω μέρους του κεφαλιού του ατόμου που κινήθηκε προς τα κάτω. Με τη διαδικασία που μόλις πραγματοποιήθηκε, η στάθμη του νερού στο σωλήνα, που ήταν στο ίδιο επίπεδο με αυτό του νερού της δεξαμενής, είναι πλέον ‘κατεβασμένη’, τόσο όσο είναι το ύψος του ατόμου που παρέμεινε ακίνητο στην αρχική του θέση. Στη συνέχεια παραμένει ακίνητο το άτομο που κινήθηκε πριν προς τα κάτω, ενώ κατεβαίνει το άλλο.

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται τόσες φορές, όσες χρειάζονται για να ταυτιστεί το επίπεδο του νερού στο σωλήνα με το επίπεδο του υδροστροβίλου της εγκατάστασης. Ο αριθμός των φορών που

πραγματοποιήθηκε η διαδικασία (το ‘κατέβασμα’ δηλαδή κατά το ύψος ενός ατόμου) πολλαπλασιάζεται με το μέσο ύψος (σε μέτρα) των δύο ατόμων. Το γινόμενο αυτό αποτελεί το ολικό υδραυλικό ύψος της εγκατάστασης.

Η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται δύο με τρεις φορές και υπολογίζεται η μέση τιμή των ολικών υδραυλικών υψών που προέκυψαν, προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια.

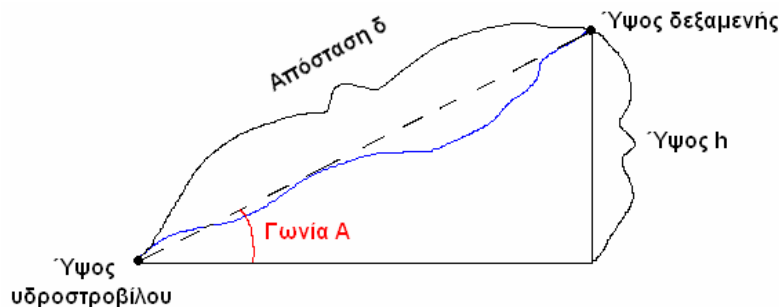
1.3.3.2 Μέθοδος μετρητή υψομέτρων

Οι ψηφιακοί μετρητές υψομέτρων είναι ο πιο βολικός τρόπος προκειμένου να μετρηθεί το διαθέσιμο υδραυλικό ύψος σε μία τοποθεσία. Με τη μέθοδο αυτή υπολογίζεται το υδραυλικό ύψος χρησιμοποιώντας τις αλλαγές στην πίεση του αέρα. Αρκεί η καταγραφή δύο μετρήσεων, μία στο ύψος της δεξαμενής και μία στο ύψος του υδροστροβίλου, για να καθοριστεί το ολικό υδραυλικό ύψος της εγκατάστασης. Η δεύτερη μέτρηση πρέπει να γίνει σε σύντομο χρονικό διάστημα μετά την πρώτη, προκειμένου να αποφευχθεί η επίδραση ατμοσφαιρικών αλλαγών στην πίεση του αέρα. Ο βέλτιστος τρόπος βέβαια για την αποφυγή οποιασδήποτε επίδρασης των ατμοσφαιρικών αλλαγών είναι η χρησιμοποίηση δύο ολόιδιων ψηφιακών μετρητών, οι οποίοι θα λαμβάνουν μετρήσεις ταυτόχρονα.

Η ακρίβεια που δύναται να επιτευχθεί κυμαίνεται από +/- 5m έως +/- 1m, ανάλογα με το μοντέλο και τον τύπο των μετρητών που χρησιμοποιούνται.

1.3.3.3 Μέθοδος κλισιόμετρου (Abney Level)

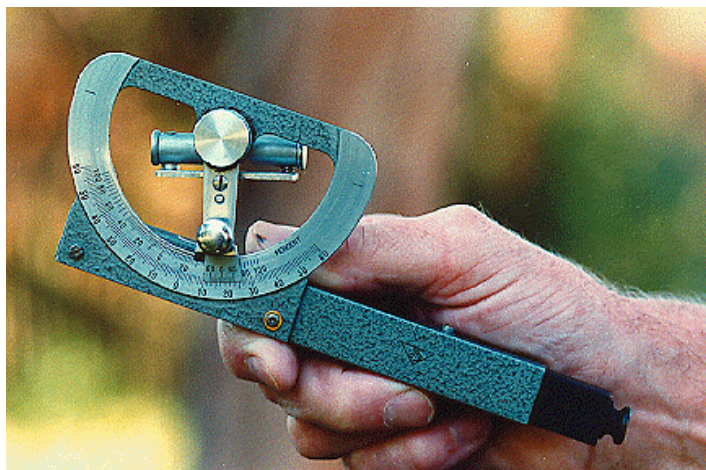
Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται απλή γεωμετρία και υπολογίζεται η κατακόρυφη απόσταση δύο σημείων, μέσω του υπολογισμού της οριζόντιας τους απόστασης και της γωνίας που σχηματίζει η ευθεία που διέρχεται από αυτά με το οριζόντιο επίπεδο. Το ένα σημείο είναι το σημείο που βρίσκεται ο υδροστροβίλος και το άλλο είναι το σημείο που βρίσκεται η δεξαμενή (βλ. Σχήμα 1.10).



Σχήμα 1.10: Γεωμετρία της μεθόδου

Καταρχήν μετράται η απόσταση δ μεταξύ της θέσης του υδροστροβίλου και της θέσης της δεξαμενής με μία απλή μεζούρα και στη συνέχεια με τη χρήση ενός κλισιόμετρου (βλ. Σχήμα 1.11) υπολογίζεται η γωνία A , η οποία είναι όπως φαίνεται στο σχήμα. Το διαθέσιμο υδραυλικό ύψος h της εγκατάστασης δίνεται από τη σχέση:

$$h = \delta \times \sin(A)$$



Σχήμα 1.11: Κλισιόμετρο

1.4 Στοιχεία της εγκατάστασης

1.4.1 Υδροστρόβιλος

1.4.1.1 Γενικά - Τύποι Υδροστροβίλων

Οι υδροστρόβιλοι (<http://www.microhydropower.net>) μετατρέπουν την ενέργεια του νερού που πέφτει σε ισχύ περιστρεφόμενου άξονα και διακρίνονται σε υδροστροβίλους δράσεως και σε υδροστροβίλους αντιδράσεως, ανάλογα με τη διαδικασία που χρησιμοποιείται, προκειμένου να μετατραπεί το υδραυλικό ύψος και η παροχή νερού, σε μηχανική ισχύ. Οι υδροστρόβιλοι αντιδράσεως είναι ολικής προσβολής, δηλαδή ολόκληρος ο δρομέας λειτουργεί αξονοσυμμετρικά, ενώ οι υδροστρόβιλοι δράσεως είναι μερικής προσβολής, και σε κάθε χρονική στιγμή τμήμα μόνο του δρομέα συμμετέχει στην ενεργειακή μετατροπή.

Επίσης οι υδροστρόβιλοι κατηγοριοποιούνται σε υδροστροβίλους μεγάλου, μεσαίου και μικρού υδραυλικού ύψους, ανάλογα προφανώς με το μέγεθος του υδραυλικού ύψους. Στον πίνακα που ακολουθεί (Σχήμα 1.12) φαίνονται συνδυαστικά οι πιο συνήθεις τύποι υδροστροβίλων, για τις διάφορες κατηγορίες που αναφέρθηκαν.

	Μεγάλο Υδρ. Ύψος	Μεσαίο Υδρ. Ύψος	Μικρό Υδρ. Ύψος
Στρόβιλοι Δράσεως	<ul style="list-style-type: none">•Pelton•Turgo	<ul style="list-style-type: none">•Cross-Flow (ή Banki)•Pelton Πολλαπλών Δέσμεων Υγρού•Turgo	<ul style="list-style-type: none">•Cross-Flow (ή Banki)
Στρόβιλοι Αντιδράσεως	—	<ul style="list-style-type: none">•Francis	<ul style="list-style-type: none">•Αξονικής Ροής•Βολβοειδής•Kaplan

Σχήμα 1.12: Κατηγοριοποίηση υδροστροβίλων.

1.4.1.2 Υδροστρόβιλοι Δράσεως

Οι υδροστρόβιλοι δράσεως (U.S.Department of Energy, 1983) χρησιμοποιούνται συνήθως στις περιπτώσεις που έχουμε μεγάλο υδραυλικό ύψος και μικρή τιμή παροχής νερού. Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι στην περίπτωση αυτή, η μεγάλη ταχύτητα του νερού (λόγω μεγάλου υδραυλικού ύψους), επικεντρώνει τη διαθέσιμη υδραυλική ισχύ σε μια μικρή περιοχή ροής. Έτσι, η συγκεντρωμένη αυτή ισχύς μετατρέπεται πιο αποδοτικά, αφού κατευθυνθεί μέσω ενός ή περισσοτέρων δέσμεων νερού που προσπίπτουν πάνω στο δρομέα, ο οποίος μειώνει σημαντικά την

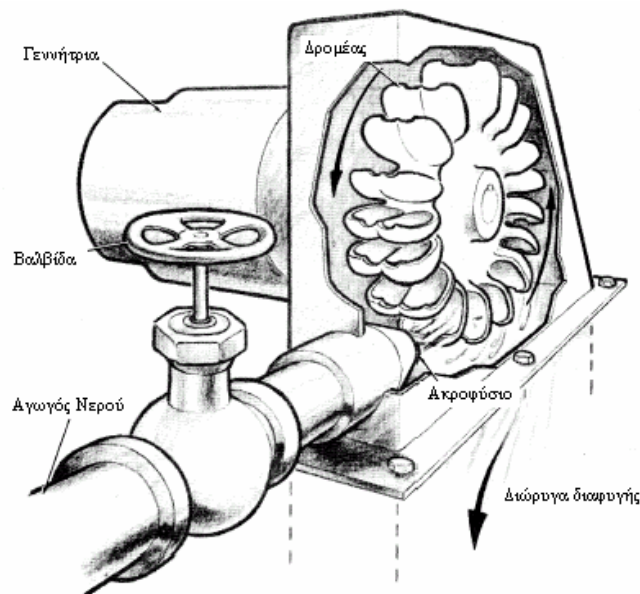
ταχύτητά τους. Η βέλτιστη απόδοση ενός υδροστροβίλου δράσεως, προκύπτει όταν η ταχύτητα του δρομέα είναι περίπου ίση με τη μισή της ταχύτητας της δέσμης νερού, καθώς η τελευταία εγκαταλείπει το ακροφύσιο που την οδήγησε.

Ένα πλεονέκτημα των υδροστροβίλων δράσεως, σε σχέση με τους υδροστροβίλους αντιδράσεως, είναι το ότι εφόσον το υδραυλικό ύψος μετατρέπεται σε ταχύτητα στα ακίνητα ακροφύσια, δεν υπάρχει πτώση πίεσης στο δρομέα, οπότε δεν είναι απαραίτητη η στεγανοποίηση στα ανοίγματα μεταξύ του δρομέα και της στέγασης του στροβίλου. Το γεγονός αυτό καθιστά τους υδροστροβίλους δράσεως πιο απλούς στο να κατασκευαστούν και ταυτόχρονα πιο ανεκτικούς σε συνθήκες μη καθαρού νερού.

Οι πιο βασικοί τύποι υδροστροβίλων δράσεως είναι οι υδροστροβίλοι Pelton, Turgo και Cross-Flow, οι οποίοι περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια (U.S.Department of Energy, 1983).

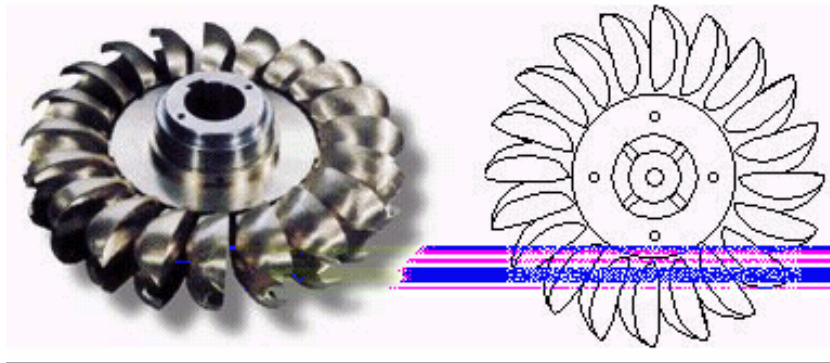
1.4.1.2.1 Υδροστροβίλος Pelton

Ο υδροστροβίλος Pelton πήρε το όνομα του από αυτό ενός εκ των δημιουργών του και είναι ο πιο γνωστός υδροστροβίλος δράσεως. Το τμήμα εισόδου του αποτελείται από ένα ή περισσότερα ακροφύσια τροφοδοσίας, σκοπός των οποίων είναι η μετατροπή της δυναμικής ενέργειας σε κινητική, μέσω του σχηματισμού μιας ή περισσοτέρων δέσμων κυκλικής διατομής. Κάθε δέσμη προσπίπτει στο δρομέα, δίνοντας σε αυτόν μια ώθηση κατά την περιφερειακή διεύθυνση που δημιουργεί την κινητήρια ροπή. Ο δρομέας είναι τοποθετημένος πάνω από την ελεύθερη στάθμη του κάτω ταμιευτήρα νερού, και έτσι η δέσμη του νερού, μετά την πρόσπτωση της στο δρομέα, πέφτει στην ελεύθερη επιφάνεια της διώρυγας διαφυγής χάρη στη βαρύτητα.



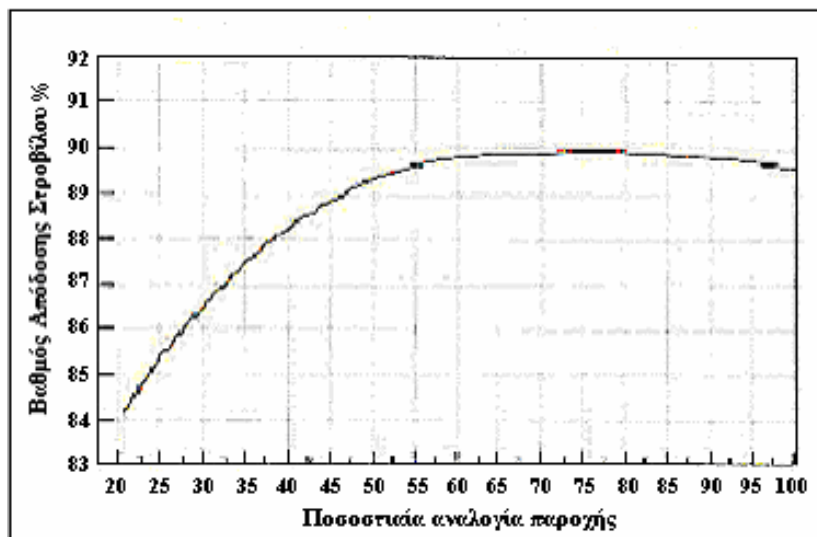
Σχήμα 1.13: Υδροστροβίλος Pelton

Ο άξονας του δρομέα μπορεί να είναι οριζόντιος ή κατακόρυφος. Στους υδροστρόβιλους Pelton πολλαπλών δέσμεων είναι προτιμότερη η κατακόρυφη διάταξη του άξονα, ώστε όλα τα ακροφύσια να βρίσκονται στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο, χωρίς να παρενοχλείται η λειτουργία τους από τα απόνερα των σκαφιδίων, που φέρει κατά την περιφέρειά του ο δρομέας Pelton.



Σχήμα 1.14: Δρομέας Υδροστρόβιλου Pelton

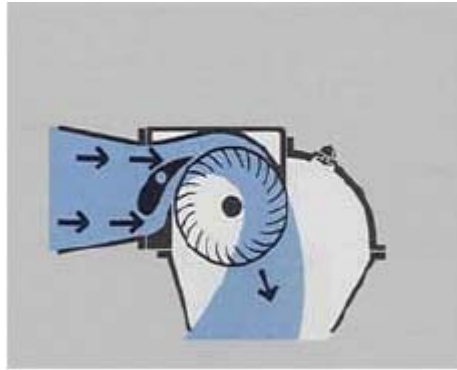
Σε βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας, με τη χρήση ενός υδροστρόβιλου Pelton, μπορεί να επιτευχθεί βαθμός απόδοσης έως και 90%.



Σχήμα 1.15: Καμπύλη βαθμού απόδοσης υδροστρόβιλου Pelton μίας δέσμης υγρού

1.4.1.2.2 Υδροστρόβιλος Cross-Flow

Ο υδροστρόβιλος cross-flow (ή Banki) δημιουργήθηκε για τη διαχείριση μεγαλύτερων παροχών νερού και μικρότερου υδραυλικού ύψους, συγκριτικά με τον υδροστρόβιλο Pelton.

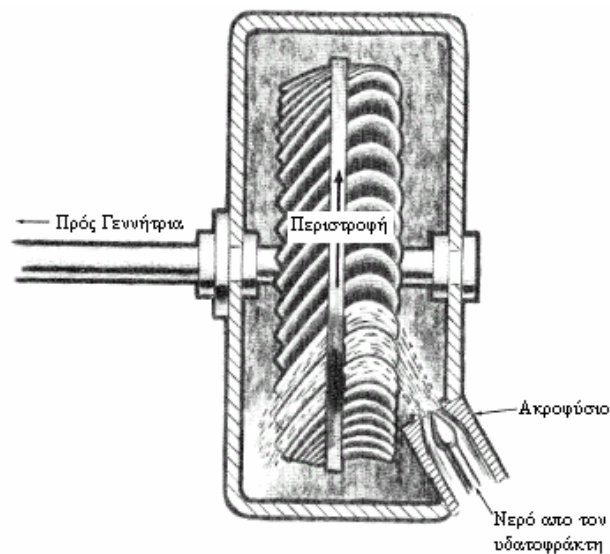


Σχήμα 1.16: Υδροστρόβιλος Cross-Flow (1)

Ο υδροστρόβιλος cross-flow χρησιμοποιεί ένα ορθογωνικής διατομής ακροφύσιο μεγαλύτερου μήκους, που οδηγεί το νερό καμπυλωτά σε έναν κυλινδρικού σχήματος δρομέα. Το νερό επιβραδύνεται σε δύο στάδια, συναντώντας τα πτερύγια του δρομέα δύο φορές, καθώς διέρχεται σε αυτόν οριζόντια. Η σχεδίαση μεγαλύτερου μήκους, όσον αφορά το δρομέα και το ακροφύσιο εισόδου, αυξάνει τη χωρητικότητα για παροχή του υδροστρόβιλου, επιτρέποντας έτσι τη διαχείριση μικρότερων τιμών υδραυλικού ύψους. Ο βαθμός απόδοσης του υδροστρόβιλου cross-flow, κυρίως λόγω της περισσότερο πολύπλοκης διαδρομής της ροής, κυμαίνεται σε τιμές γύρω στο 65%.

1.4.1.2.3 Υδροστρόβιλος Turgo

Ο υδροστρόβιλος Turgo είναι ένας υδροστρόβιλος δράσεως, ο οποίος δύναται να διαχειριστεί μεγαλύτερες τιμές παροχής νερού, σε σχέση με τον υδροστρόβιλο Pelton. Περισσότερα και μακρύτερα ακροφύσια τοποθετούνται γύρω από την περιφέρεια του δρομέα, προκειμένου να οδηγήσουν τη ροή να τα αφήσει.



Σχήμα 1.17: Υδροστρόβιλος Turgo (1)

Ένα πλεονέκτημα του υδροστροβίλου Turgo είναι ότι, για την ίδια υδραυλική ισχύ και για την ίδια διάμετρο δρομέα, η ταχύτητα είναι περίπου η διπλάσια, πάντα σε σχέση με τον υδροστροβίλο Pelton. Εδώ ο βαθμός απόδοσης μπορεί να αγγίξει τιμές όπως 92% και παραμένει υψηλός ακόμα και για παροχές ίσες με το 25% της παροχής σχεδίασης.



Σχήμα 1.18: Υδροστροβίλος Turgo (2)

1.4.1.3 Υδροστροβίλοι Αντιδράσεως

Οι υδροστροβίλοι αντιδράσεως (U.S.Department of Energy, 1983) ταιριάζουν καλύτερα σε σχέση με τους υδροστροβίλους δράσεως σε περιπτώσεις μικρότερου υδραυλικού ύψους και μεγαλύτερων τιμών παροχής νερού, αν και υπάρχουν αρκετές τέτοιες περιπτώσεις στην πράξη που και οι δύο τύποι μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

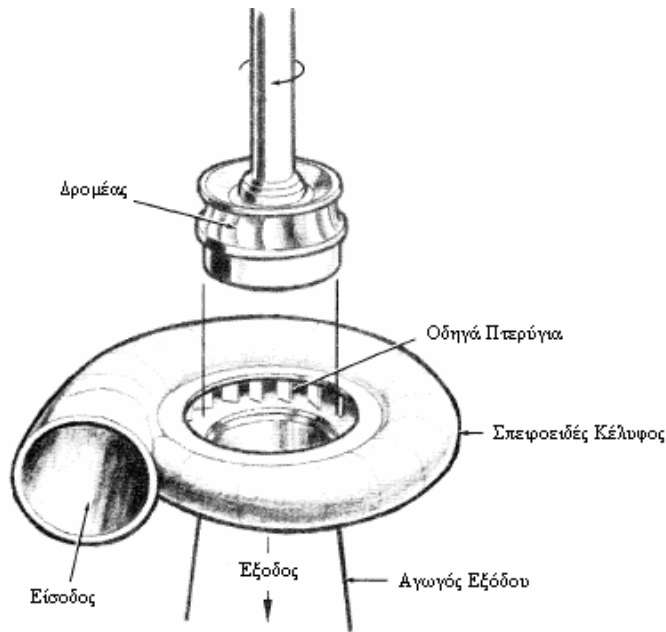
Ένα πλεονέκτημα των υδροστροβίλων αντιδράσεως είναι ότι επιτυγχάνουν καλούς βαθμούς απόδοσης. Δυστυχώς όμως επιβάλλεται συνήθως σε αυτούς η στεγανοποίηση στα ανοίγματα μεταξύ του δρομέα και της στέγασης του στροβίλου, διότι λειτουργούν με εφαρμογή του υδραυλικού ύψους εγκάρσια στο δρομέα, και έτσι λόγω διαρροής, δημιουργείται σημαντική απώλεια ισχύος. Οπότε μπορεί οι επιδόσεις και η απόδοση τους να υποβαθμιστούν, αφού η άμμος και τα κατακάθια λάσπης προκαλούν μεγαλύτερη τριβή στη στεγάνωση, σε σχέση πάντα με τους υδροστροβίλους δράσεως.

Πάντως σε γενικές γραμμές, για εφαρμογές μικρού υδραυλικού ύψους, οι υδροστροβίλοι αντιδράσεως προσφέρουν μικρότερες διαμέτρους στροβίλου και μεγαλύτερες ταχύτητες περιστροφής, σε σχέση με τους παραδοσιακούς υδροστροβίλους δράσεως. Βέβαια το πλεονέκτημα αυτό του μικρότερου δρομέα, αντισταθμίζεται από το γεγονός ότι οι υδροστροβίλοι αντιδράσεως απαιτούν μεγαλύτερες τιμές παροχής νερού, εξαιτίας του μικρού υδραυλικού ύψους.

Οι πιο βασικοί τύποι υδροστροβίλων αντιδράσεως είναι οι υδροστροβίλοι Francis, Kaplan, οι υδροστροβίλοι αξονικής ροής και οι βολβοειδείς υδροστροβίλοι. Οι υδροστροβίλοι αυτοί περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια (U.S.Department of Energy, 1983).

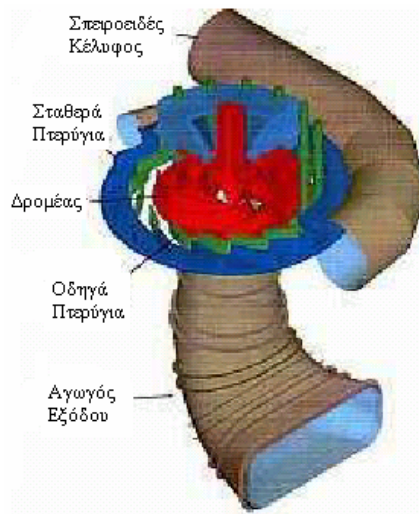
1.4.1.3.1 Υδροστρόβιλος Francis

Αυτός ο τύπος σχεδίασης αναπτύχθηκε για πρώτη φορά στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, γνώρισε ευρεία αποδοχή και χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλο εύρος τιμών υδραυλικού ύψους και χαρακτηριστικών της ροής. Όντας υδροστρόβιλος αντιδράσεως, ο υδροστρόβιλος Francis χρησιμοποιεί πίεση και ταχύτητα προκειμένου να λειτουργήσει. Το νερό οδηγείται ακτινικά -κάθετα στον άξονα- στην είσοδο του δρομέα, στρέφεται κατά γωνία 90° μέσα σε αυτόν και βγαίνει τέλος αξονικά (παράλληλα δηλαδή στον άξονα).



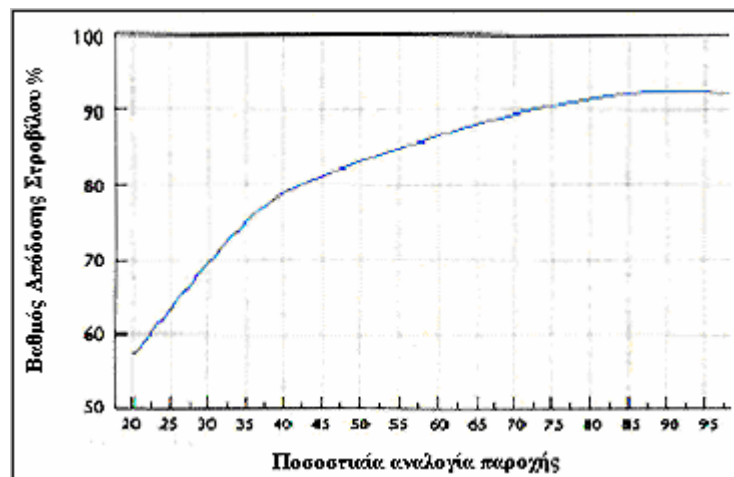
Σχήμα 1.19: Υδροστρόβιλος Francis (1)

Η ροή συνήθως ελέγχεται από περίπου 12 έως 24 πύλες φράγματος, οι οποίες ρυθμίζουν την τιμή της παροχής, αλλά και αλλάζουν τη γωνία της ροής. Το νερό στις περισσότερες μοντέρνες μονάδες Francis κατανέμεται στις πύλες και στο στρόβιλο, μέσω του σπειροειδούς κελύφους, του οποίου η διατομή ελαττώνεται καθώς τυλίσσεται γύρω από το δρομέα, λόγω του μικρότερου όγκου του νερού. Υπάρχουν ακόμα περιπτώσεις στις οποίες το σπειροειδές κέλυφος δε σχηματίζεται με αυτόν τον τρόπο. Παλιότερα για παράδειγμα, τοποθετούσαν τον υδροστρόβιλο Francis στη βάση ενός ανοικτού αγωγού νερού ή ενός κουτιού.



Σχήμα 1.20: Υδροστρόβιλος Francis (2)

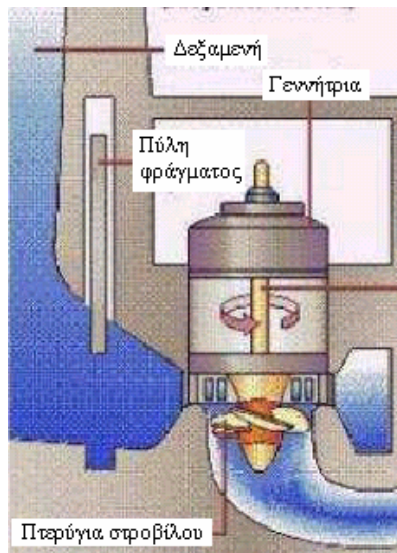
Οι υδροστρόβιλοι Francis μπορούν να τοποθετηθούν είτε οριζόντια είτε κάθετα και μπορούν να επιτύχουν πολύ καλό βαθμό απόδοσης ακόμα και για παροχές ίσες με το 50% αυτής της σχεδίασης. Λόγω όμως του κόστους τους και της εξειδικευμένης τους σχεδίασης, δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για micro/rico υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις στο πρόσφατο παρελθόν.



Σχήμα 1.21: Καμπύλη βαθμού απόδοσης υδροστροβίλου Francis

1.4.1.3.2 Υδροστρόβιλος Kaplan

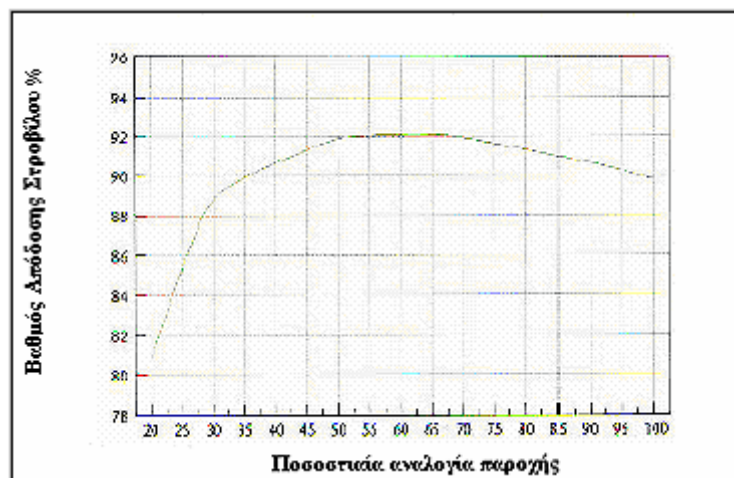
Πολλές φορές σε εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας γίνεται χρήση υδροστροβίλων τύπου Kaplan. Μεταβάλλοντας την κλίση όλων των πτερυγίων μαζί, με κατάλληλη ρύθμιση της πύλης φράγματος, παρέχεται η δυνατότητα διαχείρισης πολύ μεγάλου εύρους τιμών παροχής νερού, με ταυτόχρονη επίτευξη πολύ καλού βαθμού απόδοσης.



Σχήμα 1.22: Υδροστροβίλος Kaplan

Ο δρομέας Kaplan αποτελεί εφεύρεση των αρχών του 20^{ου} αιώνα και μπορεί να εγκατασταθεί μόνο με κάθετο προσανατολισμό. Η ειδική ταχύτητα των υδροστροβίλων Kaplan παίρνει πολύ μεγάλες τιμές, γεγονός που καθιστά εφικτή την απευθείας σύνδεση με τη γεννήτρια, αλλά μόνο για μεγαλύτερα υδραυλικά ύψη και μικρότερες τιμές παροχής νερού. Αυτό σημαίνει ότι μία αύξηση της ταχύτητας θα είναι απαραίτητη στις περισσότερες εφαρμογές.

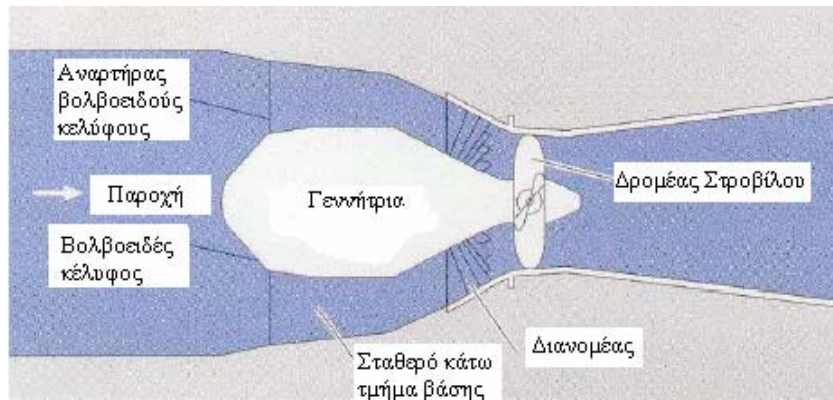
Παρόλο που οι υδροστροβίλοι τύπου Kaplan παρέχουν 90% η και ακόμα καλύτερη τιμή του βαθμού απόδοσης, για παροχές από 35% και πάνω της μέγιστης παροχής, χρησιμοποιούνται κυρίως μόνο σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις, λόγω του μεγάλου τους κόστους.



Σχήμα 1.23: Καμπύλη βαθμού απόδοσης υδροστροβίλου Kaplan.

1.4.1.3.3 Βολβοειδής υδροστρόβιλος

Οι βολβοειδείς υδροστρόβιλοι πήραν το όνομά τους από το σχήμα των περιτυλιγμάτων της στεγάνωσης. Η γεννήτρια στεγάζεται στο εσωτερικό ενός αξονοσυμμετρικού βολβού, ο οποίος περιρρέεται από τη ροή.



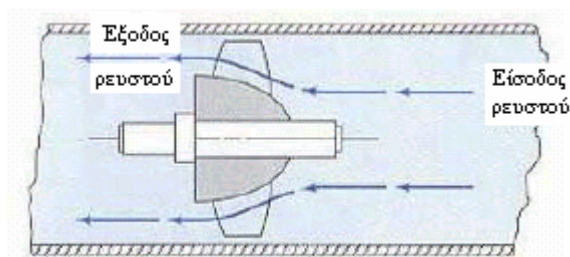
Σχήμα 1.24: Βολβοειδής υδροστρόβιλος

Οι βολβοειδείς υδροστρόβιλοι είναι κατάλληλοι για μικρά υδραυλικά ύψη και για μεγάλο φάσμα φορτίων. Ουσιαστικά έχουν αντικαταστήσει σήμερα τους υδροστροβίλους Kaplan για μικρές τιμές του υδραυλικού ύψους, για τις οποίες η ταχύτητα της γεννήτριας πρέπει να αυξάνεται. Αυτό γίνεται επειδή η ευθεία σχεδίαση της διόδου του νερού βελτιώνει τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της ροής, μειώνοντας και το μέγεθος αλλά και το κόστος. Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι οι βολβοειδείς υδροστρόβιλοι χρησιμοποιούνται ευρέως σε εγκαταστάσεις κοντά σε σημεία όπου παρουσιάζεται το φαινόμενο της παλίνροιας.

1.4.1.3.4 Υδροστρόβιλος αξονικής ροής (Προπέλα)

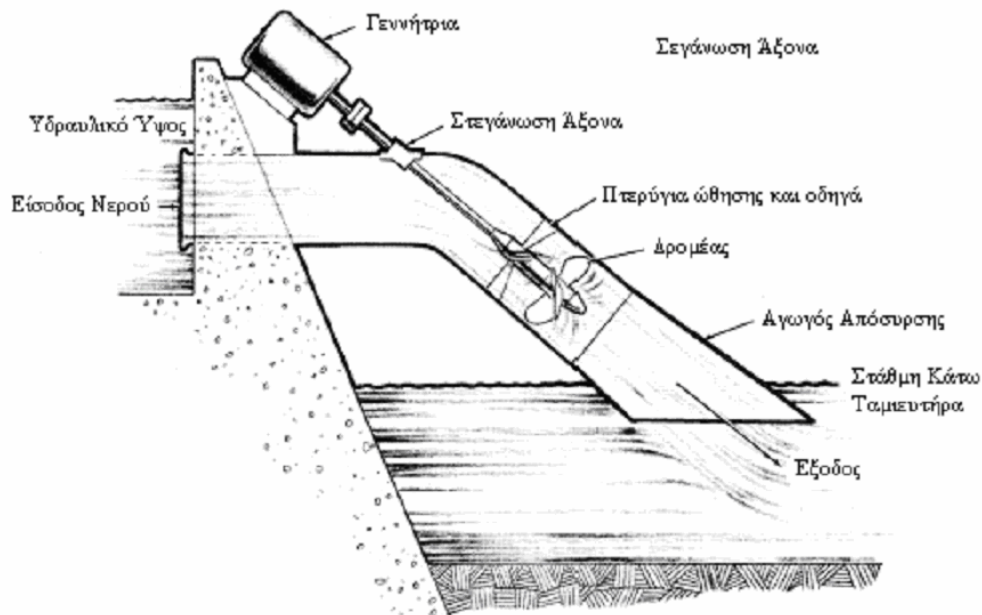
Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία υδροστροβίλων που έχουν ως κοινό τους χαρακτηριστικό τη χρήση ενός δρομέα σχήματος προπέλας. Λίγοι μόνο από αυτούς είναι κατάλληλοι για χρησιμοποίηση σε micro/πico υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Είναι κυρίως αξονικής ροής, που σημαίνει ότι η ροή του νερού είναι συνέχεια παράλληλη στον άξονα του στροβίλου, μιας και η γωνία κλίσης των πτερυγίων του ρότορα δε μεταβάλλεται.

Ο δρομέας μοιάζει με την προπέλα ενός σκάφους, αν και υπάρχουν αρκετές διαφορές μεταξύ τους, όπως το γεγονός ότι η προπέλα ενός σκάφους δε λειτουργεί μέσα σε ένα κέλυφος με πίεση, ενώ ο δρομέας του υδροστρόβιλου αξονικής ροής έτσι λειτουργεί. Παρ'όλα αυτά υπάρχουν στην πράξη πολλές περιπτώσεις, στις οποίες προπέλα σκάφους τροποποιήθηκε κατάλληλα, ώστε να λειτουργήσει ως δρομέας υδροστροβίλου αξονικής ροής, πράγμα που γίνεται κυρίως με κόψιμο των καμπυλωτών ακμών στο τέλος των πτερυγίων.



Σχήμα 1.25: Υδροστρόβιλος αξονικής ροής (1)

Μία συνήθης τιμή του βαθμού απόδοσης των υδροστρόβιλων αυτών είναι αυτή του 50% - ιδιαίτερα φτωχή απόδοση δηλαδή-, αν και υπάρχει ένα μικρό εύρος παροχών, για τις οποίες οι υδροστρόβιλοι αξονικής ροής επιτυγχάνουν ιδιαίτερα καλή τιμή του βαθμού απόδοσης και υψηλή ειδική ταχύτητα. Γενικά όμως, καθώς η τιμή της παροχής μειώνεται, πέφτει ραγδαία αυτή του βαθμού απόδοσης.

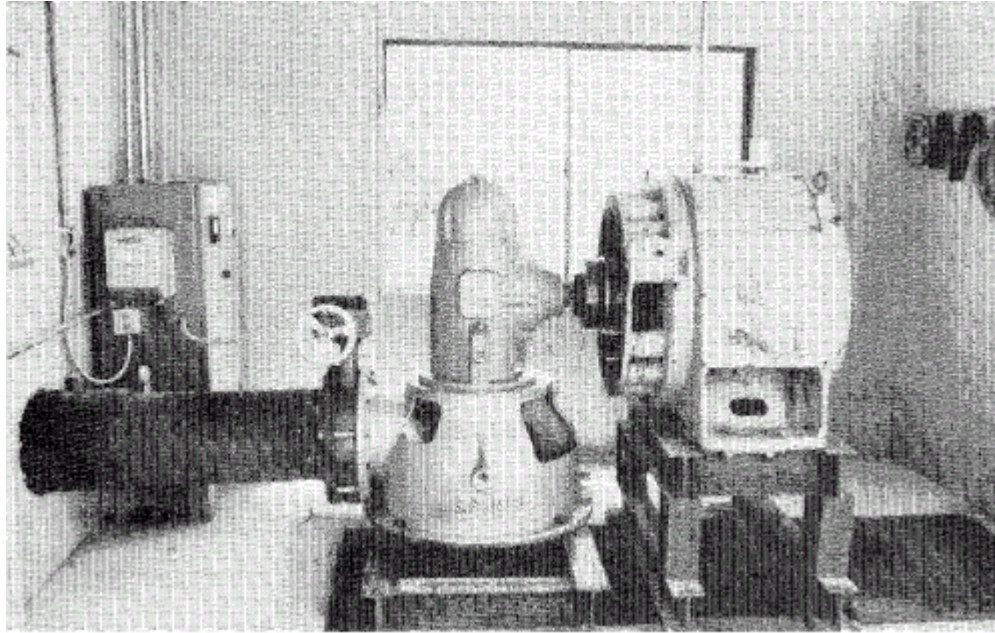


Σχήμα 1.26: Υδροστρόβιλος αξονικής ροής (2)

1.4.1.4 Χρήση φυγοκεντρικών αντλιών ως υδροστρόβιλων

Όταν η ροή μιας φυγοκεντρικής αντλίας αντιστρέφεται, εφαρμόζοντας υδραυλικό ύψος στο ακροφύσιο εξόδου, η αντλία μετατρέπεται σε υδροστρόβιλο (U.S.Department of Energy, 1983). Οι αντλίες κατασκευάζονται συνήθως σε μεγαλύτερες ποσότητες, τυποποιημένες και έτσι το κόστος τους είναι σημαντικά μικρότερο έναντι αυτού των υδροστρόβιλων. Το αν αξίζει όμως να χρησιμοποιηθεί αντλία αντί για υδροστρόβιλο θα πρέπει να αποφασιστεί λαμβάνοντας υπ' όψιν όχι μόνο το κόστος, αλλά και την ηλεκτρική ισχύ που παράγεται, σε σχέση με αυτή που θα παραγόταν

αν λειτουργούσε υδροστρόβιλος με τις ίδιες συνθήκες ύψους και παροχής, και φυσικά τέλος πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν ο βαθμός απόδοσης.



Σχήμα 1.27: Φυγοκεντρική αντλία χρησιμοποιούμενη ως υδροστρόβιλος, με κιβώτιο ταχυτήτων 90°

Όταν η αντλία χρησιμοποιείται ως υδροστρόβιλος, προκειμένου να λειτουργεί στην επιθυμητή ταχύτητα, οι τιμές του υδραυλικού ύψους και της παροχής πρέπει να αυξηθούν σε σχέση με αυτές που έχουν υπολογιστεί για μια κανονική χρήση της αντλίας. Ένα σύνθημα λάθος, κατά τη χρησιμοποίηση μιας αντλίας ως υδροστρόβιλο, είναι το να επιλεγεί η αντλία από ένα κατάλογο αντλιών με βάση την καμπύλη απόδοσής της, χωρίς να υπολογιστούν οι μεταβολές που θα υπάρξουν όταν αυτή λειτουργήσει ως υδροστρόβιλος, αφού οι κατάλογοι αντλιών αναφέρονται αποκλειστικά στην κανονική χρήση των αντλιών που περιγράφουν. Έτσι η αντλία θα αποτύχει να λειτουργήσει κατάλληλα ως υδροστρόβιλος στην εγκατάσταση.

Από τη στιγμή, που οι καμπύλες απόδοσης της αντλίας κατά τη λειτουργία της ως υδροστρόβιλος σπάνια είναι διαθέσιμες, πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι διορθωτικοί συντελεστές που παρέχει ο κατασκευαστής και σχετίζουν την απόδοσης της αντλίας-υδροστροβίλου με την κανονική της απόδοση, στα βέλτιστα σημεία λειτουργίας. Για αντλίες με ειδικές ταχύτητες που κυμαίνονται γύρω από την τιμή των 3500 RPM, αυτοί οι συντελεστές κυμαίνονται από 1.1 έως 2.5 για το ύψος και την παροχή και από 0.9 έως 0.99 για τον βαθμό απόδοσης. Πρέπει λοιπόν να είναι γνωστό το ύψος και η παροχή λειτουργίας του υδροστροβίλου της εγκατάστασης, και τα χαρακτηριστικά αυτά να μετατραπούν σε χαρακτηριστικά αντλίας, προκειμένου να γίνει η κατάλληλη επιλογή της.

Για τη μετατροπή αυτή χρησιμοποιούνται οι σχέσεις:

$$Q_P = \frac{Q_t}{C_Q}$$

$$H_P = \frac{H_t}{C_h}$$

$$e_t = e_p \times C_E$$

,όπου:

- Q_P → Η χωρητικότητα της αντλίας (σε m^3/sec).
- Q_t → Η χωρητικότητα του υδροστροβίλου (σε m^3/sec).
- C_Q → Διορθωτικός συντελεστής χωρητικότητας.
- H_P → Το υδραυλικό ύψος της αντλίας (m).
- H_t → Το καθαρό λειτουργικό υδραυλικό ύψος του υδροστροβίλου (m).
- C_h → Διορθωτικός συντελεστής ύψους.
- e_t → Βαθμός απόδοσης υδροστροβίλου στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας.
- e_p → Βαθμός απόδοσης αντλίας στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας.
- C_E → Διορθωτικός συντελεστής απόδοσης.

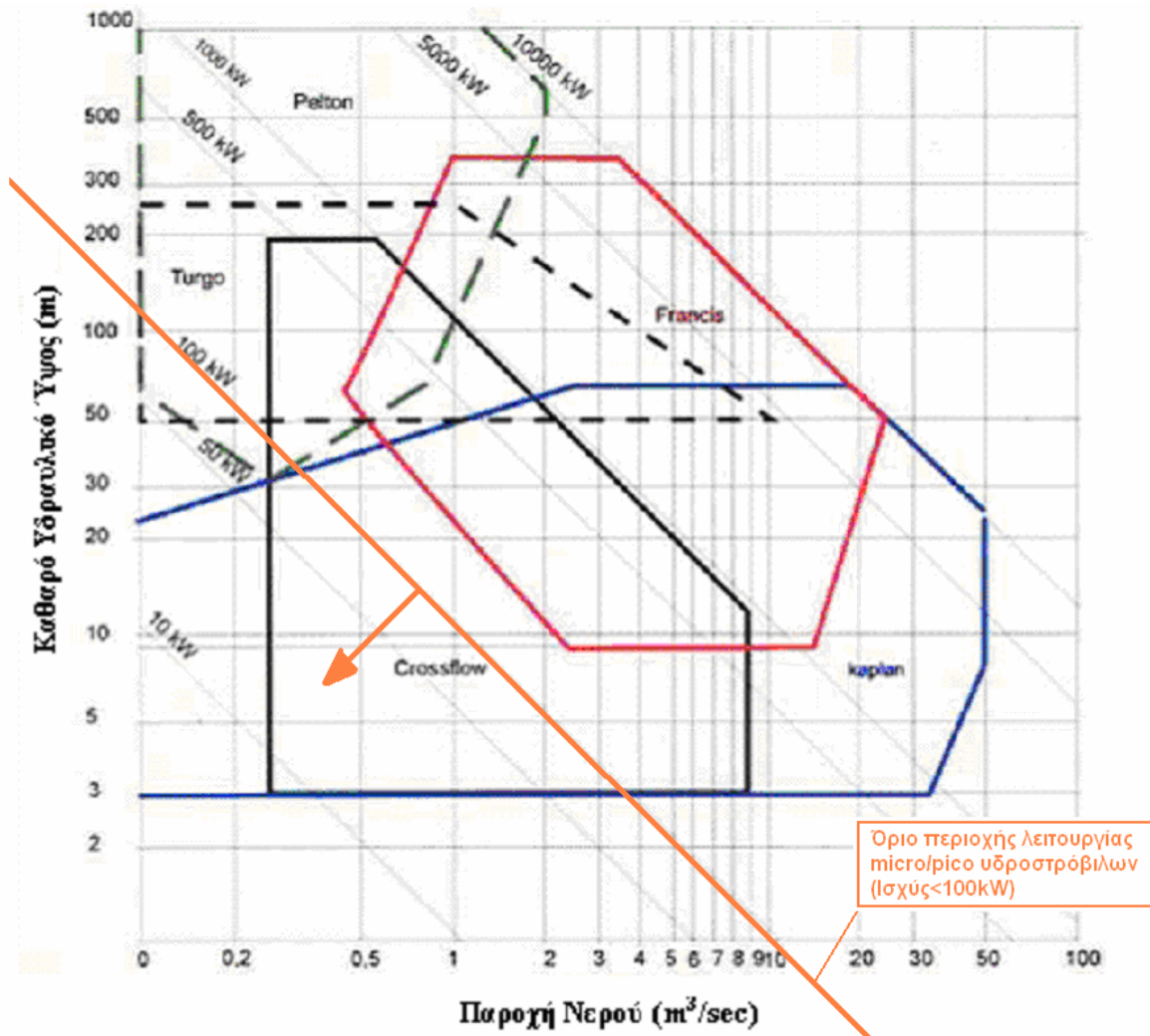
Αφού λοιπόν καθοριστούν οι τιμές των Q_P και H_P είναι δυνατή η επιλογή της αντλίας από τις καμπύλες του κατασκευαστή. Επιλέγεται εκείνη η αντλία που λειτουργεί στην επιθυμητή ταχύτητα και έχει τα χαρακτηριστικά που υπολογίστηκαν στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας της.

Ένα ακόμα σημείο που είναι άξιο προσοχής, κατά τη χρησιμοποίηση μιας αντλίας ως υδροστροβίλο, είναι το γεγονός ότι οι αντλίες δε σχεδιάζονται για αντεστραμμένη ροή ούτε για να ταιριάζουν με γεννήτριες. Οπότε θα πρέπει να καθορίζεται το αν η αντλία και η γεννήτρια αντέχουν τα αντεστραμμένα φορτία. Αυτό είναι πολύ σημαντικό στην περίπτωση των φυγοκεντρικών αντλιών, αφού στην περίπτωση αυτή μεταφέρεται το βάρος του άξονα και το φορτίο λόγω υδραυλικής πίεσης, σε ένα ωστικό έδρανο που βρίσκεται στην κινητήρια μηχανή. Εδώ θα πρέπει οπωσδήποτε η γεννήτρια να έχει κατασκευαστεί για κάθετη τοποθέτηση και σίγουρα να έχει ένα ωστικό έδρανο ικανό να αντεπεξέλθει σε τέτοιων τάξεων φορτία.

Το εύρος των τιμών της παροχής για το οποίο μία αντλία μπορεί να προσφέρει καλή απόδοση ως υδροστροβίλος, λειτουργώντας σε σταθερή ταχύτητα, είναι συνήθως πολύ πιο περιορισμένο σχετικά με αυτό ενός υδροστροβίλου. Αυτό ισχύει επειδή μία αντλία δεν είναι εφοδιασμένη με ρυθμιστική βαλβίδα ή με βαλβίδα αλλαγής κατεύθυνσης στην έξοδό της (πρακτικά στην είσοδό της, αφού καθώς λειτουργεί ως υδροστροβίλος η ροή είναι αντεστραμμένη). Η κατάλληλη μετατροπή της αντλίας, ώστε να αποκτήσει τέτοια βαλβίδα, εκτός από δύσκολη είναι και οικονομικά ασύμφορη. Οπότε κατά τη χρησιμοποίηση μιας αντλίας ως υδροστροβίλο, θα πρέπει να διατηρείται σταθερή η τιμή της παροχής.

1.4.1.5 Επιλογή Τύπου Υδροστροβίλου

Προκειμένου να επιλεγεί ο πιο αποδοτικός και αξιόπιστος υδροστροβίλος, για μια δεδομένη παροχή και υδραυλικό ύψος, λαμβάνονται υπ' όψιν οι 'περιοχές λειτουργίας' του κάθε τύπου υδροστροβίλου. Οι περιοχές αυτές απεικονίζονται στο παρακάτω διάγραμμα (Tamburrini Mark, 2004).



Σχήμα 1.28: Διάγραμμα επιλογής υδροστροβίλου για δεδομένη παροχή και καθαρό υδραυλικό ύψος.

Η περιοχή εντός της μπλε γραμμής αναπαριστά την περιοχή λειτουργίας ενός υδροστροβίλου Kaplan ή ενός βολβοειδούς, η περιοχή εντός της κόκκινης γραμμής ενός υδροστροβίλου Francis, εντός της πράσινης διακεκομμένης γραμμής ενός υδροστροβίλου Pelton, εντός της μαύρης διακεκομμένης γραμμής ενός υδροστροβίλου Turgo και η περιοχή εντός της μαύρης γραμμής την περιοχή λειτουργίας ενός υδροστροβίλου Cross-Flow.

Αν οι συνθήκες παροχής και υδραυλικού ύψους οδηγούν σε κάποιο σημείο, στο παραπάνω διάγραμμα, που βρίσκεται σε περιοχή λειτουργίας που ανήκει όχι σε έναν, αλλά σε περισσότερους τύπους υδροστροβίλων, δηλαδή όταν οι περιοχές λειτουργίας διαφορετικών τύπων υδροστροβίλων επικαλύπτονται, τότε η διαδικασία επιλογής του τύπου υδροστροβίλου βασίζεται στη σύγκριση του κόστους των υδροστροβίλων, αλλά και στην εκτίμηση των ακολούθων παραγόντων (U.S.Department of Energy, 1983):

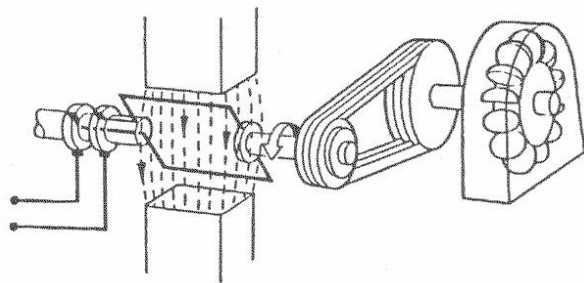
- Αν το νερό που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση δεν είναι καθαρό, αλλά περιέχει άμμο ή λάσπη, τότε προτιμάται κάποιος υδροστροβίλος δράσεως, προκειμένου να αποφευχθούν οι απώλειες στις στεγανώσεις των υδροστροβίλων αντιδράσεως.
- Αν ο υδροστροβίλος πρέπει να τοποθετηθεί σε κάποιο ύψος πάνω από τη στάθμη του νερού του φράγματος, προτιμάται κάποιος υδροστροβίλος αντιδράσεως με σωλήνα εκροής στην έξοδο, έτσι ώστε να γίνει εκμετάλλευση του μέγιστου διαθέσιμου υδραυλικού ύψους.
- Αν οι τιμές της παροχής και του υδραυλικού ύψους μπορούν να θεωρηθούν σχεδόν σταθερές, τότε θα πρέπει να εξεταστεί πολύ σοβαρά η περίπτωση χρησιμοποίησης φυγοκεντρικής αντλίας με αντεστραμμένη ροή ως υδροστροβίλο, λόγω του σημαντικού πλεονεκτήματος του χαμηλού αρχικού κόστους και της μεγάλης διαθεσιμότητας στην αγορά.
- Από τη χρησιμοποίηση ενός υδροστροβίλου Pelton προτιμάται η χρησιμοποίηση υδροστροβίλου Cross-Flow ή ενός τύπου Turgo, αφού οι τελευταίοι προσφέρουν μεγαλύτερη ταχύτητα και χειρίζονται μεγαλύτερες παροχές.

Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι οι υδροστροβίλοι Francis και οι υδροστροβίλοι αξονικής ροής, επειδή χρησιμοποιούν κινητές πύλες που κατευθύνουν τη ροή στην είσοδό της ή δρομείς με ελεγχόμενη κλίση των πτερυγίων, δε συμφέρουν οικονομικά για micro/pico υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις και σπανίως χρησιμοποιούνται (βλ. Σχήμα 1.28).

1.4.2 Γεννήτριες

1.4.2.1 Γενικά - Συνήθεις τύποι γεννητριών

Η γεννήτρια είναι μια ηλεκτρομηχανολογική συσκευή, η οποία μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της οδήγησης ενός πηνίου μέσα στις δυναμικές γραμμές μαγνητικού πεδίου. Η αλληλεπίδραση του πηνίου και των μαγνητικών γραμμών έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία διαφοράς δυναμικού (ηλεκτρικής τάσης) μεταξύ των άκρων του πηνίου.



Σχήμα 1.29: Περιστρεφόμενο πηνίο μέσα σε μόνιμο μαγνητικό πεδίο

Η γεννήτρια που θα επιλεγεί σε μία micro/pico-υδροηλεκτρική εγκατάσταση (<http://british-hydro.org>) μπορεί να είναι είτε συνεχούς (Direct Current) είτε εναλλασσόμενου ρεύματος (Alternating Current). Οι πιο συνηθισμένοι τύποι γεννητριών που χρησιμοποιούνται στις micro/pico υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις είναι οι σύγχρονες γεννήτριες και οι επαγωγικοί (ασύγχρονοι) κινητήρες σε ρόλο γεννήτριας. Και οι δύο αυτοί τύποι γεννητριών παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα (AC).

1.4.2.2 Επιλογή τύπου γεννήτριας

Σε κάθε micro/pico υδροηλεκτρική εγκατάσταση πρέπει να επιλεγεί ο τύπος της γεννήτριας που θα χρησιμοποιηθεί. Στη συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζονται κάποια βασικά κριτήρια (U.S.Department of Energy, 1983), που βοηθούν στην επιλογή αυτή.

Ένα κύριο χαρακτηριστικό του επαγωγικού κινητήρα είναι ότι λειτουργεί ως γεννήτρια μόνο όταν είναι συνδεδεμένος με ένα εξωτερικό σύστημα ηλεκτρικής ισχύος. Αντίθετα η σύγχρονη γεννήτρια λειτουργεί με ή χωρίς σύνδεση σε εξωτερικό κύκλωμα. Οπότε είναι φανερό πως όταν χρειάζεται ανεξαρτησία σε μια micro/pico υδροηλεκτρική εγκατάσταση από το εξωτερικό ηλεκτρικό δίκτυο ή όταν υπάρχει η έλλειψη του τελευταίου, τότε επιλέγεται σύγχρονη γεννήτρια. Ακόμα δύο λόγοι που μπορεί να οδηγήσουν στην επιλογή σύγχρονης γεννήτριας είναι ότι επιτυγχάνει καλύτερο βαθμό απόδοσης και το ότι έχει μεγαλύτερη δυνατότητα εκκίνησης, σε σχέση πάντα με τον κινητήρα επαγωγής.

Οι λόγοι τώρα που μπορεί να οδηγήσουν στην επιλογή ενός κινητήρα επαγωγής (εφόσον υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης με εξωτερικό δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος) είναι οι χαμηλές τιμές στις οποίες κυμαίνεται η ταχύτητα λειτουργίας τους, το ότι είναι ευρέως διαθέσιμοι στην αγορά και το ότι έχουν σαφώς χαμηλότερο κόστος από τις σύγχρονες γεννήτριες. Επίσης σημαντικό τους πλεονέκτημα είναι η απλή και στιβαρή τους κατασκευή, που τους καθιστά ιδιαίτερα ανθεκτικούς ακόμα και σε λειτουργίες πολύ υψηλών ταχυτήτων.



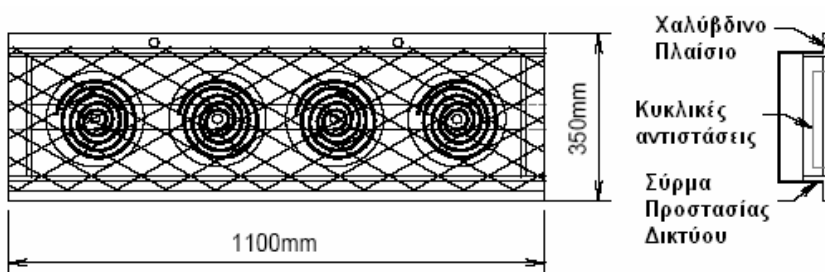
Σχήμα 1.30: Τριφασικός επαγωγικός κινητήρας σε ρόλο γεννήτριας

Τέλος, όσον αφορά τις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος (DC), αξίζει να αναφερθεί ότι είναι ακατάλληλες για την ηλεκτροδότηση περιοχών, αφού η ισχύς του συνεχούς ρεύματος (σε αντίθεση με αυτή του εναλλασσόμενου) δε μπορεί να μεταβιβαστεί εύκολα σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις. Χρησιμοποιούνται πιο σπάνια σε micro/rico υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις και αυτό όταν γίνεται, γίνεται κυρίως λόγω του πολύ χαμηλού τους κόστους για παραγωγή πολύ μικρών τιμών ισχύος.

1.4.2.3 Ηλεκτρονικός έλεγχος φορτίου

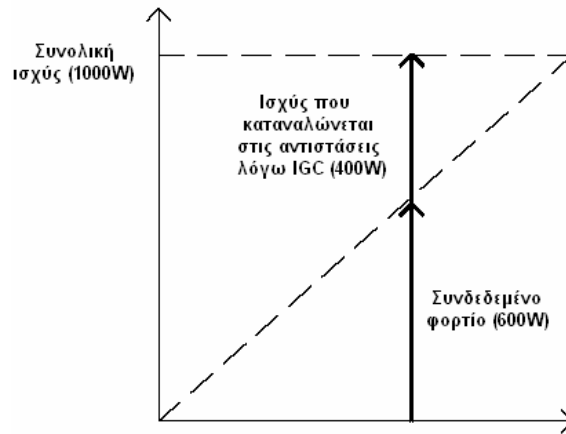
Η ταχύτητα του υδροστρόβιλου της εγκατάστασης μεταβάλλεται καθώς αλλάζει το συνδεδεμένο φορτίο στη γεννήτρια. Για παράδειγμα, εάν η γεννήτρια παρέχει ηλεκτρική ισχύ σε έναν αριθμό ηλεκτρικών λαμπτήρων, τότε εάν ο αριθμός αυτός αυξηθεί, δηλαδή εάν ανάψουν περισσότεροι λαμπτήρες, τότε η ταχύτητα του υδροστρόβιλου θα μειωθεί. Από τη στιγμή που η ταχύτητα του υδροστρόβιλου επηρεάζει την τιμή της τάσης και της συχνότητας του ηλεκτρικού ρεύματος, το φορτίο που είναι συνδεδεμένο με τη γεννήτρια πρέπει να διατηρείται σταθερό, ειδάλλως θα επιβαλλόταν ρύθμιση της τιμής της παροχής του νερού της εγκατάστασης. Η πιο αξιόπιστη μέθοδος ελέγχου του φορτίου και διατήρησης σταθερής τάσης και συχνότητας είναι η χρησιμοποίηση ενός ηλεκτρονικού ελεγκτή φορτίου (Maher Philip and Nigel Smith, 2001). Αξίζει ακόμα να σημειωθεί ότι εάν οι τιμές της τάσης και της συχνότητας του ηλεκτρικού ρεύματος δεν κυμαίνονται στα επίπεδα που πρέπει να κυμαίνονται, τότε οι συσκευές που συνδέονται με τη γεννήτρια μπορεί να φθαρούν ή και να καταστραφούν.

Η ταχύτητα μιας επαγωγικής γεννήτριας μπορεί να διατηρηθεί σχεδόν σταθερή χρησιμοποιώντας έναν ελεγκτή επαγωγικής γεννήτριας (Induction Generator Controller). Η συσκευή αυτή στέλνει οποιαδήποτε ποσοστό της ισχύς που δε χρησιμοποιείται σε αντιστάσεις ρύθμισης ρεύματος (Dump load), έτσι ώστε το συνολικό φορτίο της γεννήτριας να παραμένει σταθερό.



Σχήμα 1.31: Ηλεκτρικές αντιστάσεις ρύθμισης ρεύματος χαμηλού κόστους

Για παράδειγμα, εάν η γεννήτρια παράγει 1000 Watts και το συνολικό φορτίο που είναι συνδεδεμένο με αυτήν είναι μόλις 600 Watts, τότε η συσκευή IGC θα ρυθμίσει έτσι τη διέλευση του ρεύματος μέσω των αντιστάσεων, ώστε να καταναλώνονται και τα υπόλοιπα 400 Watts. Εάν λοιπόν το φορτίο αλλάξει οποιαδήποτε στιγμή, η συσκευή IGC ρυθμίζει αυτόματα την ισχύ που καταναλώνεται, έτσι ώστε η τάση και συχνότητα του ρεύματος να διατηρούνται σταθερές.



Σχήμα 1.32: Καταμερισμός ισχύος με χρήση IGC

Ο ελεγκτής επαγωγικής γεννήτριας δε μπορεί όμως να αποτρέψει τη γεννήτρια από την υπερφόρτωση. Για παράδειγμα, εάν η γεννήτρια παράγει 1000 Watts και το φορτίο που είναι συνδεδεμένο με αυτήν είναι μεγαλύτερο των 1000 Watts, τότε ο IGC δε μπορεί να μειώσει την τιμή του φορτίου αυτού. Για την αποφυγή της υπερφόρτωσης απαιτείται η χρησιμοποίηση περιοριστών φορτίου (Load Limiters), ο ρόλος των οποίων είναι να κόβουν τελείως την παροχή ηλεκτρικής ισχύος, μόλις αυτή ξεπεράσει κάποια τιμή.

Εκτός από τη χρησιμοποίηση ενός ηλεκτρονικού ελεγκτή φορτίου, η τάση και η συχνότητα του ρεύματος μπορούν να διατηρούνται σχεδόν σταθερές, με τη σύνδεση φορτίου στη γεννήτρια ή με τη ρύθμιση της ταχύτητας του υδροστροβίλου. Ο πρώτος τρόπος -η σύνδεση φορτίου στη γεννήτρια- απαιτεί τη σύνδεση ενός φορτίου έτσι ώστε το συνολικό φορτίο να είναι ακριβώς ίσο με την ισχύ που παράγει η γεννήτρια. Ο τρόπος αυτός είναι πιο απλός, αλλά έχει πολύ σημαντικά μειονεκτήματα, όπως το ότι δε μπορεί να λειτουργήσει όταν είναι συνδεδεμένες με τη γεννήτρια συσκευές που συνεχώς ανοιγοκλείνουν. Ο δεύτερος τρόπος -η ρύθμιση της ταχύτητας του υδροστροβίλου- απαιτεί τη λειτουργία ενός χειριστή που θα διορθώνει την τιμή της παροχής του νερού της εγκατάστασης. Ο τρόπος αυτός έχει προφανώς πιο υψηλό κόστος και δεν παρέχει μεγάλη ακρίβεια στην επίτευξη των επιθυμητών τιμών τάσης και συχνότητας ρεύματος.

1.4.3 Αγωγός νερού

Ο αγωγός νερού (Maher Philip and Nigel Smith, 2001) είναι ο σωλήνας ο οποίος οδηγεί το νερό υπό πίεση στον υδροστροβίλο. Μπορεί να ξεκινάει κατευθείαν από την πηγή του νερού, αν και συνήθως ξεκινάει από τη δεξαμενή στην οποία αποθηκεύεται το νερό. Έτσι είναι μικρότερο το κόστος, αφού ελαττώνεται κατά πολύ το μήκος του.

Στην αρχή του αγωγού υπάρχει ένα φίλτρο που φιλτράρει το εισερχόμενο νερό, ώστε να εισέρχεται όσο το δυνατόν πιο καθαρό γίνεται. Ακόμη, στο σημείο που καταλήγει ο αγωγός στον υδροστρόβιλο, τοποθετείται μια βαλβίδα που χρησιμεύει στο να ανοίγει ή στο να κλείνει την παροχή του νερού. Μετά τη βαλβίδα βρίσκεται το ακροφύσιο, το οποίο συγκεντρώνει το νερό σε μία υψηλής πίεσης δέσμη.

Υπάρχουν τρεις συνιστώσες που παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη λειτουργία του αγωγού. Αυτές είναι το υλικό του, η εσωτερική του διάμετρος και τιμή της πίεσης του νερού που το διαρρέει.

Το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένος ο αγωγός του νερού είναι συνήθως πλαστικό, HDPE (High Density Polyethylene). Το υλικό αυτό είναι ιδιαίτερος βολικό αφού είναι αδιάβροχο και εύκαμπτο. Εναλλακτικά, σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιείται υλικό PVC (Polyvinyl-Chloride), κυρίως για χαμηλές τιμές της πίεσης και τέλος χάλυβας, όταν οι τιμές της πίεσης κυμαίνονται σε υψηλά επίπεδα.

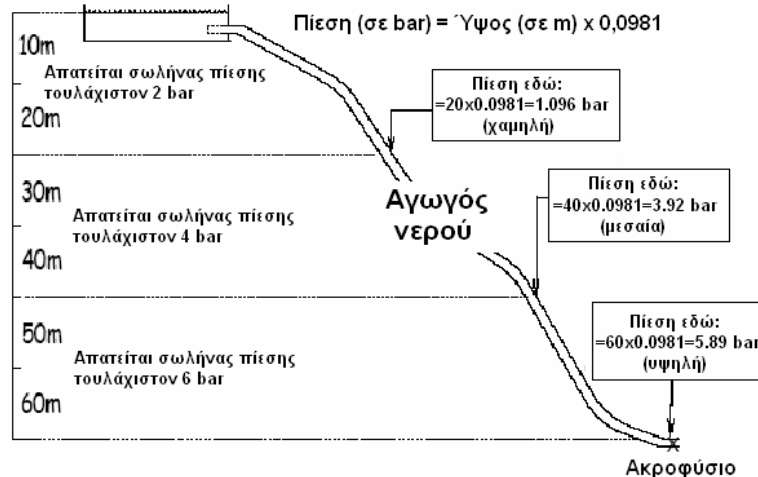
Η εσωτερική διάμετρος του αγωγού παίζει σημαντικό ρόλο αφού επηρεάζει τη διαθέσιμη ισχύ στον υδροστρόβιλο. Καθώς μεγαλώνει η διάμετρος, μεγαλώνει και η διαθέσιμη ισχύς. Επίσης, παρόλο που η εσωτερική επιφάνεια του αγωγού μπορεί να μοιάζει λεία, εμφανίζει κάποια τραχύτητα που επιβραδύνει τη ροή του νερού. Οπότε απαιτείται η εύρεση μιας βέλτιστης τιμής της εσωτερικής διαμέτρου. Η βέλτιστη τιμή της εσωτερικής διαμέτρου υπολογίζεται συναρτήσει της τιμής της παροχής και του υδραυλικού ύψους π.χ. από τον πίνακα που ακολουθεί, αφού αφαιρεθούν από την τιμή του υδραυλικού ύψους οι απώλειες που θα υπάρξουν λόγω τραχύτητας (συνήθως δεν είναι μεγαλύτερες από το 25% του υδραυλικού ύψους). Στον πίνακα που ακολουθεί (Σχήμα 1.33) οι τιμές των απωλειών υπολογίζονται ανά 100m μήκους του αγωγού.

Παροχή (σε l / sec)	Ονομαστική εσωτερική διάμετρος αγωγού				
	50mm (2")	63mm (2.5")	75mm (3")	88mm (3.5")	100mm (4")
2.0	2.28m	0.75m	0.33m	0.15m	0.08m
4.0	8.03m	2.62m	1.13m	0.52m	0.28m
6.0	17.07m	5.48m	2.36m	1.09m	0.58m
8.0	29.09m	9.31m	3.97m	1.83m	0.98m
10.0	44.19m	14.05m	5.98m	2.73m	1.48m
12.0	61.9m	19.69m	8.38m	3.82m	2.05m

Σχήμα 1.33: Εσωτερική διάμετρος συναρτήσει παροχής και καθαρού υδραυλικού ύψους

Τέλος, όσον αφορά την πίεση του αγωγού, είναι προφανές ότι όσο μεγαλύτερη γίνεται η τιμή της, τόσο πιο μεγάλο πρέπει να είναι το πάχος των τοιχωμάτων και συνεπώς και το κόστος του αγωγού.

Επίσης όταν χρησιμοποιείται αγωγός πολύ χαμηλής πίεσης υπάρχει έντονος ο κίνδυνος σπασίματος. Οπότε η ιδανική λύση, εφόσον η πίεση του νερού στο σωλήνα εξαρτάται από το υδραυλικό ύψος, είναι ο αγωγός να είναι σχετικά λεπτός στην αρχή του και προς το τέλος να έχει πιο χοντρά τοιχώματα, εκεί που η πίεση γίνεται αρκετά μεγάλη.

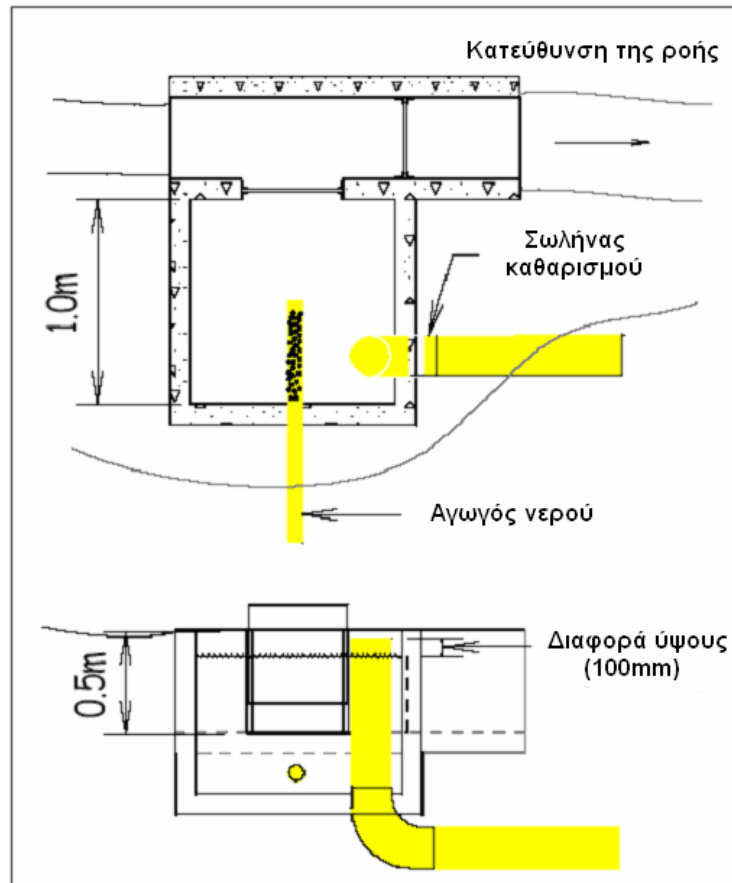


Σχήμα 1.34: Πίεση στον αγωγό νερού

1.4.4 Δεξαμενή

Η δεξαμενή αποθήκευσης νερού (Maher Philip and Nigel Smith, 2001) παρέχει τη σιγουριά ότι η κορυφή του αγωγού νερού είναι πάντοτε γεμάτη και απαιτείται όταν χρησιμοποιείται νερό από κάποιο κανάλι ή όταν συλλέγεται νερό από δύο ή περισσότερες πηγές. Η σχεδίαση της δεξαμενής νερού ποικίλει, αφού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Το βάθος της πρακτικά θα πρέπει να είναι τέτοιο, ώστε να είναι περίπου ίσο με έξι φορές τη διάμετρο του αγωγού του νερού.

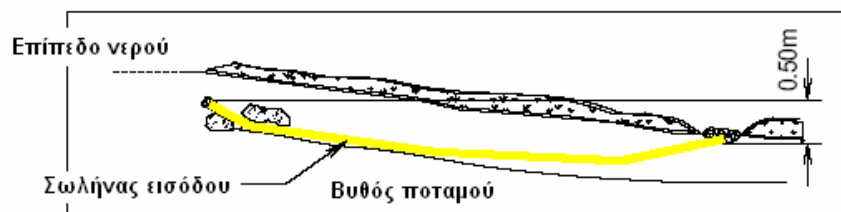
Σε κάθε περίπτωση επιβάλλεται η δεξαμενή να παρέχει δυνατότητα αντιμετώπισης του φαινομένου της υπερχειλίσης του νερού. Εάν αυτό συμβεί, τότε το νερό θα πρέπει να διαφύγει χωρίς να προκαλέσει ζημιές. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με μια απλή εγκοπή στο χαμηλότερο τοίχωμα της δεξαμενής ή με τη σύνδεση ενός επιπλέον σωλήνα (σωλήνας καθαρισμού) που θα απομακρύνει το περισσεύον νερό όποτε χρειάζεται.



Σχήμα 1.35: Προτεινόμενη σχεδίαση δεξαμενής

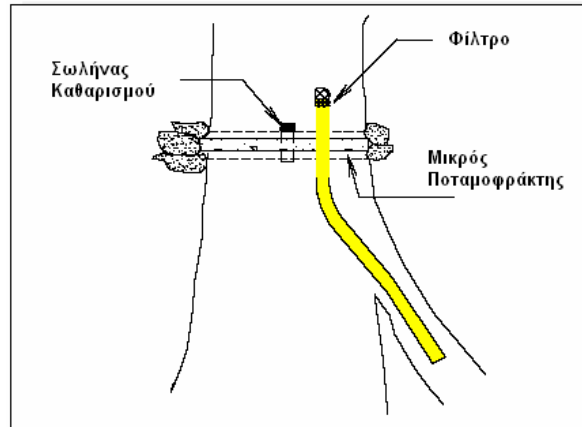
1.4.5 Σύστημα εισόδου νερού

Η είσοδος του νερού (Maher Philip and Nigel Smith, 2001) σε μία micro/pico υδροηλεκτρική εγκατάσταση μπορεί να γίνεται με ιδιαίτερα απλό και οικονομικό τρόπο. Είτε χρησιμοποιούνται μεγάλες πέτρες για την απόκλιση μέρους της ροής του ποταμού σε ένα απλό κανάλι, είτε βυθίζεται στο νερό του ποταμού μέρος του μήκους ενός σωλήνα, του σωλήνα εισόδου. Η χρησιμοποίηση ενός σωλήνα εισόδου είναι σίγουρα ο πιο απλός τρόπος από τους δύο.



Σχήμα 1.36: Είσοδος νερού με χρήση σωλήνα εισόδου

Η κατασκευή ενός μικρού ποταμοφράκτη είναι πιο πολύπλοκη διαδικασία, σε σχέση με τον αγωγό εισόδου, αλλά έχει ένα βασικό πλεονέκτημα. Εξασφαλίζει την εκμετάλλευση όλου του διαθέσιμου νερού κατά την ξηρή περίοδο. Με τον ποταμοφράκτη είναι συνδεδεμένος ένας εύκαμπτος σωλήνας, ο οποίος απομακρύνει το νερό από το ποτάμι.



Σχήμα 1.37: Είσοδος νερού με χρήση ποταμοφράκτη

Το φίλτρο (τοποθετημένο όπως φαίνεται στο σχήμα) χρησιμεύει ώστε να μη σταματά η ροή λόγω λάσπης, φύλλων, κομματιών ξύλου κτλ, αφού χάρη στο φίλτρο αυτά δε μπορούν να εισέλθουν στο σωλήνα.

1.4.6 Λεκάνη καθίζησης

Το νερό που τραβιέται από το ποτάμι και οδηγείται στον υδροστρόβιλο συνήθως περιέχει διάφορα σωματίδια ύλης, όπως για παράδειγμα σωματίδια άμμου, που μπορούν να προξενήσουν σημαντική ζημιά στη λειτουργία. Για να απομακρυνθούν τα σωματίδια αυτά από το νερό επιβραδύνεται η ροή στην περιοχή της λεκάνης καθίζησης (συνήθως βρίσκεται στην αρχή του καναλιού που οδηγεί το νερό στη δεξαμενή) και έτσι αυτά κατακάθονται στον πυθμένα της λεκάνης, ο οποίος καθαρίζεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα (Tamburrini Mark, 2004).

1.4.7 Διώρυγα (Κανάλι)

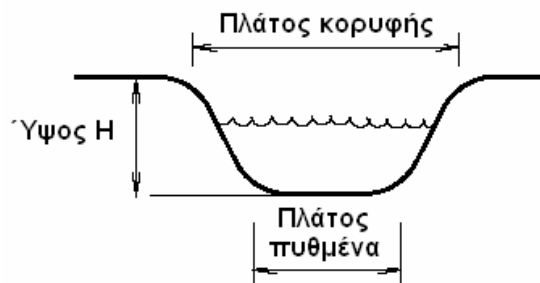
Το κανάλι (U.S.Department of Energy, 1983) οδηγεί το νερό από το σύστημα εισόδου του στη δεξαμενή της εγκατάστασης. Η ύπαρξη του (όπως έχει ήδη αναφερθεί) οδηγεί σε αγωγό νερού μικρότερου μήκους και συνεπώς πολύ πιο οικονομικού. Επίσης μέσω του καναλιού το νερό ρέει με μεγαλύτερη ταχύτητα στον προορισμό του, λόγω της κλίσης του καναλιού και της μειωμένης τραχύτητας της επιφάνειάς του (εφόσον βέβαια έχει κατασκευαστεί κατάλληλα). Η διαδρομή που θα ακολουθήσει το κανάλι επιλέγεται προσεκτικά. Γενικά καλό είναι να αποφεύγονται σημεία πορώδους εδάφους, σημεία με βράχους και σημεία με απότομη κλίση εδάφους (π.χ.:γκρεμοί).

Η επιλογή των ελαχίστων διαστάσεων του καναλιού γίνεται σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα (οι μετρήσεις έγιναν για τραχύτητα επιφάνειας ίση με 0.07 και για ταχύτητα ίση με 0.3m/sec), για διάφορες παροχές και για διάφορα υλικά κατασκευής. Οι απώλειες που αναγράφονται είναι ανά 100m μήκους καναλιού.

ΠΑΡΟΧΗ	Ελάχιστες διαστάσεις καναλιού		
	Αμμώδες έδαφος	Λασπωμένο έδαφος	Έδαφος από τσιμέντο
10 l/s			
Ύψος H	13 cm	15 cm	15 cm
Πλάτος Κορυφής	59 cm	44 cm	29 cm
Πλάτος πυθμένα	6 cm	13 cm	29 cm
Απώλειες ανά 100m	1.6 m	1.3 m	1.4 m
20 l/s			
Ύψος H	19 cm	22 cm	21 cm
Πλάτος Κορυφής	84 cm	62 cm	42 cm
Πλάτος πυθμένα	9 cm	18 cm	42 cm
Απώλειες ανά 100m	1.0 m	0.8 m	0.9 m
30 l/s			
Ύψος H	23 cm	27 cm	25 cm
Πλάτος Κορυφής	103 cm	75 cm	51 cm
Πλάτος πυθμένα	11cm	22 cm	51 cm
Απώλειες ανά 100m	0.8 m	0.6 m	0.7m

Σχήμα 1.38: Πίνακας ελαχίστων διαστάσεων καναλιού

Οι διαστάσεις του καναλιού που υπολογίστηκαν στον προηγούμενο πίνακα (Σχήμα 1.38) αναπαρίστανται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 1.39).



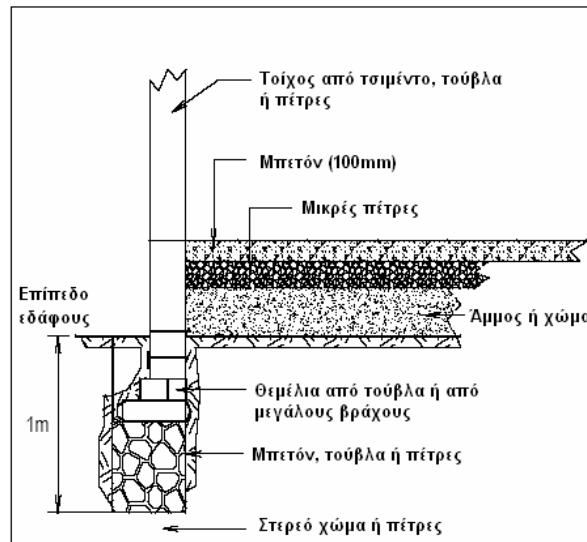
Σχήμα 1.39: Διαστάσεις καναλιού

1.4.8 Κτίριο της μονάδας

Μια καλή σχεδίαση του κτιρίου της micro/pico υδροηλεκτρικής μονάδας (Maher Philip and Nigel Smith, 2001) εξασφαλίζει την προστασία του υδροστροβίλου, της γεννήτριας και του άλλου εξοπλισμού, κατά τη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης, η οποία πρέπει να είναι το ελάχιστο 15 χρόνια. Η σχεδίαση και η κατασκευή του κτιρίου ποικίλει, αφού εξαρτάται από πολλούς

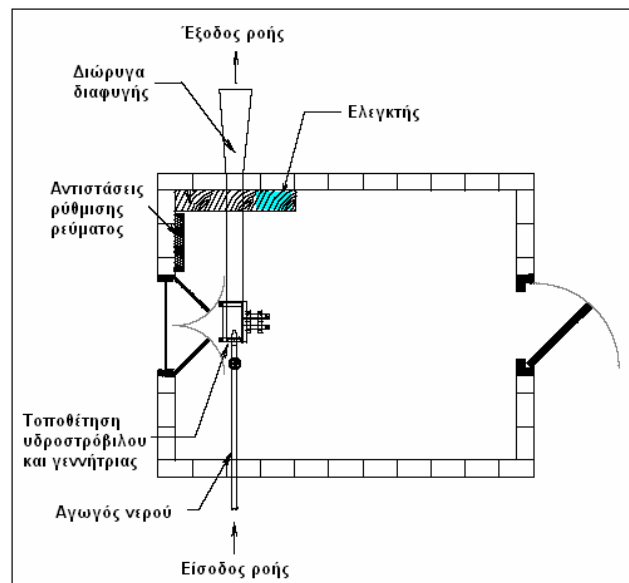
παράγοντες, όπως η διαθεσιμότητα υλικών, τοπογραφικά χαρακτηριστικά, το κλίμα της περιοχής κτλ.

Το δάπεδο του κτιρίου της μονάδας θα πρέπει να υψώνεται πάνω από το επίπεδο του εδάφους, για να αποφεύγεται η πλημμύρα σε περίοδο έντονων βροχοπτώσεων. Επίσης θα πρέπει να είναι κατασκευασμένο από μπετόν, για καλύτερη προστασία και ασφάλεια του υδροστρόβιλου και της γεννήτριας.



Σχήμα 1.40: Ιδανικό δάπεδο κτιρίου micro/rico υδροηλεκτρικής μονάδας

Επιπλέον, για λόγους προστασίας του εξοπλισμού και πάλι, καλό είναι οι τοίχοι του κτιρίου να έχουν ύψους τουλάχιστον 2m και αρκετά μεγάλο πάχος, ενώ η οροφή του να είναι κατασκευασμένη από πυρασφαλές υλικό.



Σχήμα 1.41: Προτεινόμενη διάταξη εξοπλισμού στο κτίριο της μονάδας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Στοιχεία μελέτης εγκατάστασης

2.1 Διαδικασία μελέτης εγκατάστασης

Η μελέτη μίας micro (ή pico) υδροηλεκτρικής εγκατάστασης περιλαμβάνει διάφορες φάσεις, η έκταση και η εμβάθυνση των οποίων εξαρτάται σημαντικά από το χαρακτήρα και το μέγεθος της εγκατάστασης. Σκοπός της μελέτης είναι αρχικά η διαπίστωση του εάν η εξεταζόμενη θέση αξίζει περισσότερης διερεύνησης, προκειμένου για την κατασκευή ενός micro/pico υδροηλεκτρικού έργου. Στη συνέχεια σκοπός της μελέτης είναι η διαμόρφωση και διαστασιολόγηση του έργου, όπως προκύπτει από την εξέταση και ανάλυση διαφόρων εναλλακτικών λύσεων. Τέλος συντάσσονται όλα τα σχέδια, οι υπολογισμοί, τα αποτελέσματα της οικονομικής ανάλυσης και οι προδιαγραφές του απαραίτητου εξοπλισμού. Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθούνται κατά τη διαδικασία μελέτης της εγκατάστασης (Maher Philip and Nigel Smith, 2001, Παπαντώνης Δημήτριος, 2001).

Βήμα 1. Αναγνώριση της περιοχής

Η αναγνώριση της περιοχής περιλαμβάνει την αρχική διάταξη και χωροθέτηση του έργου, την καταγραφή των τοπικών συνθηκών, των δυσκολιών, της υποδομής, των άλλων ανταγωνιστικών χρήσεων του νερού (π.χ.: ύδρευση, άρδευση) και τη μελέτη των γεωλογικών συνθηκών. Στο βήμα αυτό καταγράφονται οι μείζονες δυσκολίες, εφόσον υπάρχουν, που θα μπορούσαν να οδηγήσουν ακόμα και στη ματαίωση του έργου.

Επίσης καθορίζεται το κατά πόσο υπάρχει ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος στην περιοχή, πιθανοί καταναλωτές/αγοραστές (στην περίπτωση π.χ. ηλεκτροδότησης μίας κοινότητας) και το αν είναι διαθέσιμο ή όχι κάποιο εξωτερικό δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος.

Βήμα 2. Συλλογή υπαρχόντων υδρολογικών στοιχείων

Συλλέγονται και αξιολογούνται τα υπάρχοντα υδρολογικά στοιχεία και συγκεκριμένα χρονοσειρών παροχής. Όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα επαρκή υδρολογικά στοιχεία (η πιο συνήθης περίπτωση) γίνεται προσεγγιστική εκτίμηση αυτών, συνεκτιμώντας στοιχεία από τη συγκεκριμένη λεκάνη απορροής, από γειτονικές λεκάνες, καθώς και από σχόλια και παρατηρήσεις κατοίκων της περιοχής.

Βήμα 3. Έρευνα αγοράς και διαθεσιμότητα

Στο στάδιο αυτό δεν είναι δυνατόν να γίνει ακόμα πλήρης τεχνικοοικονομική ανάλυση της εγκατάστασης. Γίνεται απλά μία έρευνα αγοράς ως προς το κόστος του υδροστροβίλου, της

γεννήτριας, του ελεγκτή γεννήτριας και των σωλήνων της εγκατάστασης, αφού αυτά θα αποτελέσουν σίγουρα τα πιο ακριβά της στοιχεία.

Βήμα 4. Υπολογισμός της παραγόμενης ισχύος

Ανάλογα με τους δυνατούς συνδυασμούς των υδραυλικών υψών και παροχών, που είναι δυνατόν να επιτευχθούν, υπολογίζεται η παραγόμενη ισχύς της εγκατάστασης και κρίνεται αν είναι επαρκής ή όχι για τη λειτουργία μιας micro/ribo υδροηλεκτρικής εγκατάστασης.

Βήμα 5. Υπολογισμός απαιτήσεων εγκατάστασης

Στο στάδιο αυτό υπολογίζονται οι απαιτήσεις της εγκατάστασης. Υπολογίζεται δηλαδή η ελάχιστη ηλεκτρική ισχύς που πρέπει να παράγεται από τη γεννήτρια της εγκατάστασης, ώστε να λειτουργούν στο επιθυμητό επίπεδο όλες οι συσκευές, οι οποίες σχεδιάζεται να συνδεθούν και να τροφοδοτηθούν από αυτή.

Βήμα 6. Μέγεθος και κόστος γεννήτριας

Ανάλογα με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης που υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα επιλέγεται το μέγεθος της γεννήτριας και στη συνέχεια -με τη βοήθεια της έρευνας που έγινε στο βήμα 3- υπολογίζεται το αναμενόμενο της κόστος.

Βήμα 7. Προκαταρκτικός έλεγχος οικονομικής βιωσιμότητας

Ανάλογα με την εκτίμηση της παραγόμενης ισχύος (βήμα 4) και των απαιτήσεων της εγκατάστασης (βήμα 5) επιλέγεται ο βέλτιστος σχεδιασμός και συγκρίνονται τα ετήσια έσοδα με το κόστος του κεφαλαίου της επένδυσης. Εάν οι ετήσιες αποδοχές είναι λιγότερες από το 10% του κόστους του αρχικού κεφαλαίου, τότε η επένδυση κρίνεται ως μη βιώσιμη. Εάν τα έσοδα κυμαίνονται από το 10% έως το 25% του αρχικού κεφαλαίου, τότε η επένδυση είναι μάλλον εφικτή. Τέλος, εάν οι ετήσιες αποδοχές ξεπερνούν το 25% του αρχικού κεφαλαίου, τότε η επένδυση κρίνεται ανεπιφύλακτα ως βιώσιμη.

Βήμα 8. Υδραυλικό ύψος και παροχή

Σε αυτό το σημείο επιλέγεται ο κατάλληλος συνδυασμός (ή συνδυασμοί) των τιμών της παροχής και του υδραυλικού ύψους, ώστε να παράγεται η απαιτούμενη ισχύς από το σύστημα υδροστρόβιλου-γεννήτριας. Επίσης πρέπει να γίνουν εκτιμήσεις για το βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης. Εάν υπάρχουν αμφιβολίες τίθεται ολικός βαθμός απόδοσης (συνολική μετατροπή ισχύος από υδραυλική σε ηλεκτρική) ίσος με 45%.

Βήμα 9. Επιλογή τελικής τιμής ισχύος εξόδου

Εκτιμάται το οριστικό μέγεθος της γεννήτριας που θα χρησιμοποιηθεί, βάσει των δεδομένων του υδραυλικού δυναμικού της εγκατάστασης που υπολογίστηκαν με ακρίβεια. Σημειώνεται εδώ ότι μερικές φορές είναι προτιμότερο να διατηρηθεί το μέγεθος της γεννήτριας μικρότερο, όπως είχε εκτιμηθεί αρχικά, παρόλο που οι δυνατότητες της εγκατάστασης μπορεί να φαίνονται μεγαλύτερες. Αυτό γίνεται επειδή το κόστος της μικρότερης εγκατάστασης είναι κατά πολύ ελαττωμένο σε σχέση με αυτό κάποιας μεγαλύτερης και επειδή σε περίπτωση που έχει γίνει κάποιο λάθος στους υπολογισμούς έως τώρα είναι έτσι πιο εύκολο να διορθωθεί.

Βήμα 10. Σχεδιασμός της εγκατάστασης

Κατασκευάζονται τα σχέδια και ο χάρτης της εγκατάστασης. Συμπεριλαμβάνονται όλα τα στοιχεία της, οι διαστάσεις τους και η διάταξή τους, όπως τα μήκη των αγωγών, τα κανάλια νερού και οι θέσεις τους, το κτίριο της μονάδας κτλ.

Βήμα 11. Εναλλακτικές λύσεις

Στο βήμα αυτό ελέγχεται το εάν κάποιες εναλλακτικές λύσεις -στο σχεδιασμό της εγκατάστασης- θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε χαμηλότερο κόστος ή σε ευνοϊκότερη λειτουργία. Για παράδειγμα η τοποθέτηση ενός αγωγού νερού σε κάποια άλλη θέση ίσως να μείωνε το μήκος του, γεγονός που συνεπάγεται χαμηλότερο κόστος. Το βήμα αυτό μπορεί να έχει ως συνέπεια την επανατοποθέτηση των αγωγών, των καναλιών, του κτιρίου της μονάδας και γενικά κάθε στοιχείου της εγκατάστασης.

Βήμα 12. Λεπτομερής υπολογισμός κόστους

Υπολογίζεται αναλυτικά το κόστος κάθε στοιχείου της micro/pico υδροηλεκτρικής εγκατάστασης και βρίσκεται στη συνέχεια το συνολικό αρχικό της κόστος. Το κόστος του κάθε στοιχείου καλό είναι να αυξάνεται κατά ένα ποσοστό της τάξης του 5%, για να καλυφθούν έτσι οποιαδήποτε απρόβλεπτα έξοδα προκύψουν.

Βήμα 13. Έλεγχος οικονομικής βιωσιμότητας

Βάσει της νέας τιμής του κόστους της εγκατάστασης, που προέκυψε από το προηγούμενο βήμα της διαδικασίας της μελέτης, υπολογίζεται εάν η επένδυση εξακολουθεί να είναι οικονομικά βιώσιμη. Αν δεν είναι πρέπει να αλλαχθούν τα στοιχεία της εγκατάστασης που προκάλεσαν την επιπλέον οικονομική επιβάρυνση (π.χ. σωλήνες νερού, καλώδια κτλ) με νέα φθηνότερα.

Βήμα 14. Παραγγελία υλικών, απαραίτητου εξοπλισμού και εγκατάσταση

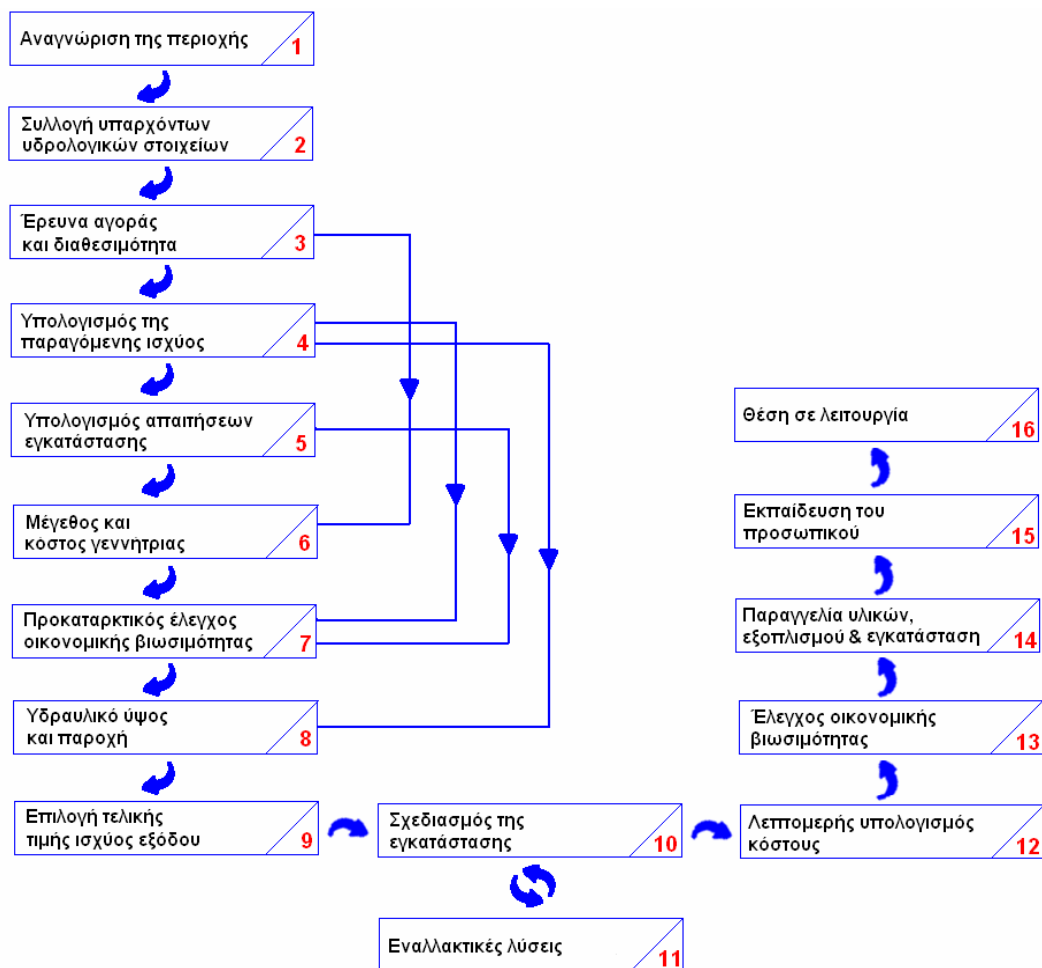
Πλέον μπορεί να γίνει η παραγγελία και η παραλαβή των υλικών και γενικά ολόκληρου του απαραίτητου εξοπλισμού για τη λειτουργία του έργου. Τα στοιχεία παραγγέλλονται ως έχουν υπολογιστεί στα προηγούμενα βήματα της διαδικασίας μελέτης και εγκαθίστανται σύμφωνα με το σχεδιασμό της εγκατάστασης.

Βήμα 15. Εκπαίδευση του προσωπικού

Εκπαιδεύεται το προσωπικό (ένας ή περισσότεροι χειριστές) που θα αναλάβει την επίβλεψη, συντήρηση και γενικά τη λειτουργία της μονάδας.

Βήμα 16. Θέση σε λειτουργία

Αφού ελεγχθεί η σωστή τοποθέτηση και σύνδεση όλων των επιμέρους στοιχείων, τίθεται σε λειτουργία η μονάδα.



Σχήμα 2.1: Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας μελέτης

2.2 Τεχνοοικονομικά στοιχεία

2.2.1 Το κόστος

Το κόστος μιας micro/pico υδροηλεκτρικής μονάδας (Maher Philip, 2001) δε μπορεί να υπολογιστεί άμεσα γνωρίζοντας μόνο το μέγεθός της, αφού εξαρτάται και από πολλούς άλλους παράγοντες, όπως τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού που επιλέχθηκαν, τις συνθήκες της εκάστοτε τοποθεσίας, το χρονικό διάστημα που χρειάστηκε να εργαστεί το προσωπικό κτλ. Έτσι το κόστος κάθε micro/pico υδροηλεκτρικού έργου είναι μοναδικό. Η τοποθεσία και τα χαρακτηριστικά της παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του κόστους, αφού καθορίζουν περίπου το 75% αυτού. Γενικά πάντως, με τις σύγχρονες τεχνολογίες, το συνολικό κόστος μιας micro/pico υδροηλεκτρικής μονάδας κυμαίνεται από 1000 έως 2000 € ανά εγκατεστημένο kW.

Το κόστος της μονάδας χωρίζεται σε 2 τμήματα: στο αρχικό και στο ετήσιο (ή λειτουργικό) κόστος. Το αρχικό κόστος αποτελείται από τα έξοδα που δαπανήθηκαν στα πρώτα στάδια του έργου, προτού ξεκινήσει η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από τη γεννήτρια. Αποτελείται δηλαδή από το κόστος της διαδικασίας της αρχικής μελέτης, από το κόστος της αγοράς του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και από το κόστος της εγκατάστασής του. Το ετήσιο κόστος αποτελείται από τα έξοδα συντήρησης και λειτουργίας. Γενικά τα micro/pico υδροηλεκτρικά έργα έχουν σχετικά υψηλό αρχικό κόστος και πολύ χαμηλό λειτουργικό.

Επίσης αναφέρεται ότι το κόστος των εγκαταστάσεων που χαρακτηρίζονται από μεγάλο υδραυλικό ύψος και από μικρή τιμή παροχής νερού είναι μικρότερο από εκείνων που χαρακτηρίζονται από μικρό υδραυλικό ύψος και μεγάλη τιμή παροχής νερού. Αυτό είναι λογικό αφού τα στοιχεία των συστημάτων χαμηλής παροχής (π.χ.: αγωγός νερού, υδροστρόβιλος, σύστημα εισόδου) θα είναι μικρότερων διαστάσεων.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί, ότι οι κατασκευάστριες εταιρείες και οι προμηθευτές αποτελούν την πιο έγκυρη πηγή πληροφοριών, για τον υπολογισμό του κόστους του εξοπλισμού μιας μονάδας. Με κατάλληλη έρευνα αγοράς και με έναν υπολογισμό που συμπεριλαμβάνει κάθε στοιχείο της εγκατάστασης (χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή να μην παραλειφθεί κάποιο από αυτά) είναι εφικτό να προβλεφθεί με πολύ ακρίβεια το συνολικό κόστος του εξοπλισμού της εγκατάστασης.

Στον παρακάτω πίνακα (Σχήμα 2.2) φαίνονται κάποιες ενδεικτικές τιμές των επιμέρους εξόδων αλλά και του συνολικού αρχικού κόστους micro/pico υδροηλεκτρικών μονάδων, κατηγοριοποιημένες σύμφωνα με την τιμή της ισχύος εξόδου (Maher Philip, 2001). Οι τιμές αυτές απλά δίνουν μια εικόνα του κόστους και δεν βοηθούν στον υπολογισμό του, αφού όπως έχει ήδη αναφερθεί, λόγω των πολλών παραγόντων που επηρεάζουν το κόστος μιας micro/pico υδροηλεκτρικής εγκατάστασης, η κάθε μονάδα παραγωγής –ως προς το κόστος της- είναι απολύτως μοναδική, γεγονός που συνεπάγεται ότι δε μπορεί να κατηγοριοποιηθεί.

Στοιχείο Εγκατάστης	Ισχύς Εξόδου				
	100W	400W	3.5kW	10kW	50kW
Αγωγός νερού	478 €	735 €	1.176 €	2.574 €	17.647 €
Υδροστρόβιλος/Γεννήτρια	1.838 €	1.838 €	2.427 €	4.412 €	6.985 €
Ελεγκτής	294 €	294 €	1.397 €	2.647 €	3.971 €
Μπαταρίες	382 €	735 €	-	-	-
Εναλλάκτης DC - AC	882 €	2.206 €	-	-	-
Γραμμή μεταφοράς	368 €	368 €	1.103 €	2.574 €	5.515 €
Εργοστάσιο παραγωγής	147 €	147 €	735 €	2.206 €	3.309 €
Διάφορα	147 €	882 €	1.213 €	1.324 €	3.310 €
Συνολικό Κόστος					
Εξοπλισμού	4.757 €	7.206 €	8.052 €	15.735 €	40.735 €
Εγκατάστασης	2.000 €	2.000 €	1.471 €	3.309 €	7.721 €
Εξοπλισμού+Εγκατάστασης	6.757 €	9.206 €	9.523 €	19.044 €	48.456 €
Κόστος ανά εγκατεστημένο kW	-	-	2.721 €	1.904 €	969 €

Σχήμα 2.2: Ενδεικτικές τιμές αρχικού κόστους micro/pico υδροηλεκτρικών μονάδων

2.2.2 Προσεγγιστικός υπολογισμός του κόστους

2.2.2.1 Κόστος ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού

Ως κύριος ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός ενός micro/pico υδροηλεκτρικού έργου εννοούνται ο υδροστρόβιλος, η γεννήτρια, ο ρυθμιστής στροφών (εάν υπάρχει) και ο μετασχηματιστής (εάν υπάρχει). Η διατύπωση μιας συσχέτισης του κόστους συναρτήσει του ονομαστικού σημείου λειτουργίας είναι σχετικά επισφαλής, καθώς το κάθε επιμέρους κόστος στην πραγματικότητα εξαρτάται από περισσότερους παράγοντες (π.χ.: για τον υδροστρόβιλο από τον τύπο και τη διάταξη του άξονα, για τη γεννήτρια από το εάν είναι ασύγχρονη ή σύγχρονη, από την ταχύτητα περιστροφής της κλπ). Στη βιβλιογραφία διατυπώνονται απλές συσχετίσεις για τον υπολογισμό του κόστους $C_{H/M}$ του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού της μονάδας, όπως η ακόλουθη (Παπαντώνης Δημήτριος, 2001):

$$C_{H/M} \cong 20750 \cdot \frac{N^{0.70}}{H^{0.35}}$$

,στην οποία με $C_{H/M}$ συμβολίζεται το κόστος του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού της μονάδας παραγωγής (σε €), με N η ονομαστική ισχύς (σε kW) και με H η ονομαστική διαθέσιμη υδραυλική πτώση (σε mΣΥ). Το κόστος του κύριου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού μπορεί να κυμαίνεται σε ένα εύρος της τάξεως του $\pm 30\%$, με μία πιθανότητα ίση προς 67%, ως προς την τιμή που προκύπτει από την παραπάνω εξίσωση.

Το κόστος του μετασχηματιστή ισχύος και του ρυθμιστή στροφών (εάν υπάρχουν) κυμαίνεται σε περισσότερο στενά όρια και εξαρτάται από την ονομαστική ισχύ της εγκατάστασης.

2.2.2.2 Συνολικό κόστος της επένδυσης

Η εκτίμηση του συνολικού κόστους C της επένδυσης για micro/riico υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις που δεν παρουσιάζουν σημαντικές ιδιομορφίες μπορεί να γίνει μέσω ενός συντελεστή θέσεως S (Παπαντώνης Δημήτριος, 2001), ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος του συνολικού κόστους C προς το κόστος του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού της μονάδας, δηλαδή:

$$C = S \cdot C_{HM}$$

Ο συντελεστής θέσεως S λαμβάνει υπόψη, όσο αυτό είναι δυνατόν, τις ιδιαιτερότητες ενός έργου, τις δυσκολίες κατασκευής του και είναι της τάξεως του $S = 2.5$ έως 4.

Οι συσχετίσεις αυτής (όπως και της προηγούμενης παραγράφου) δίνουν απλώς μία τάξη μεγέθους του συνολικού κόστους. Μπορεί όμως να φανούν ιδιαίτερα χρήσιμες στη φάση της διαστασιολόγησης του έργου.

2.2.3 Τρόποι μείωσης του κόστους

Το κόστος μιας micro/riico υδροηλεκτρικής μονάδας μπορεί να ελαττωθεί σημαντικά εάν γίνουν κάποιες επιλογές (<http://hydropower.id.doe.gov>) κατά την κατασκευή ή κατά τη λειτουργία της, που είναι αποδεδειγμένο ότι οδηγούν σε λιγότερα έξοδα, εφόσον βέβαια η εφαρμογή τους είναι εφικτή. Οι επιλογές αυτές είναι:

- Χρησιμοποίηση του νερού κατευθείαν από την πηγή (π.χ.: ποταμός), ώστε να αποφευχθεί η αγορά δεξαμενής. Βέβαια αν το νερό μεταφέρεται σε μεγάλη απόσταση, τότε οικονομικά συμφέρει η αγορά της δεξαμενής, αφού το μήκος του αγωγού νερού θα προκύψει πολύ μεγάλο.
- Αγορά του εξοπλισμού από τοπικούς κατασκευαστές, ώστε να αποφευχθούν τα έξοδα μεταφοράς, εφόσον οι κατασκευαστές αυτοί καλύπτουν τις λειτουργικές και οικονομικές απαιτήσεις.
- Χρησιμοποίηση πλαστικών αγωγών νερού, για χαμηλότερο κόστος.
- Εγκατάσταση ενός ηλεκτρονικού ελεγκτή φορτίου, ο οποίος παρέχει τη δυνατότητα απουσίας προσωπικού κατά τη λειτουργία της μονάδας, γεγονός που συνεπάγεται λιγότερα έξοδα εργατικού δυναμικού.
- Χρήση της ήδη υπάρχουσας υποδομής της περιοχής, εάν αυτό είναι εφικτό, όπως για παράδειγμα ενός ήδη υπάρχοντος καναλιού άρδευσης.
- Κατασκευή της μονάδας (εάν πρόκειται για μονάδα ηλεκτροδότησης) κοντά στην περιοχή που πρόκειται να ηλεκτροδοτηθεί, ώστε να μειωθούν τα έξοδα διανομής ρεύματος υψηλής τάσεως (π.χ.: μετασχηματιστές).
- Χρήση φυγοκεντρικής αντλίας αντί υδροστροβίλου, εάν το επιτρέπουν οι συνθήκες.
- Χρήση κινητήρων ως γεννήτριες, εάν πάλι το επιτρέπουν οι συνθήκες.
- Χρησιμοποίηση υλικών που βρίσκονται ήδη στην περιοχή για την κατασκευή των έργων.
- Πρόσληψη εργατών που κατοικούν στην περιοχή.

2.2.4 Τα έσοδα

Τα έσοδα μιας υδροηλεκτρικής μονάδας υπολογίζονται ως γινόμενο της καθαρής παραγόμενης ενέργειας με το εκάστοτε ισχύον τιμολόγιο αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας, όπως αυτό καθορίζεται από το κράτος (Παπαντώνης Δημήτριος, 2001). Εκτός από την ενέργεια τιμολογείται και η παραγόμενη ισχύς, ενώ χρεώνεται η απορρόφηση άεργης ισχύος από το προϋπάρχον δίκτυο για την περίπτωση εγκατάστασης ασύγχρονης γεννήτριας. Για παραγωγούς με σύγχρονες γεννήτριες δεν προβλέπεται ούτε χρέωση ούτε αγορά άεργης ισχύος.

Σε ορισμένες χώρες το τιμολόγιο αγοράς της παραγόμενης ενέργειας από την ηλεκτρική εταιρεία δεν είναι ενιαίο και διακρίνεται σε θερινό και χειμερινό και εξαρτάται από τις ώρες της ημέρας στις οποίες προσφέρεται η ενέργεια (ώρες αιχμής και ώρες χαμηλής ζήτησης). Στην περίπτωση αυτή τα έσοδα της μονάδας είναι δυνατόν να αυξηθούν με τη διαμόρφωση ανάντι ταμιευτήρα μικρής δυνατότητας αναρρύθμισης, π.χ.: εξάωρης ή ημερήσιας.

Τέλος αναφέρεται ότι στην περίπτωση κατά την οποία η επιχείρηση που διαχειρίζεται το έργο είναι κάποια ανώνυμη εταιρεία, τότε στον υπολογισμό των καθαρών εσόδων θα πρέπει να υπολογιστεί και ο φόρος εισοδήματος επί των αποτελεσμάτων χρήσης.

2.3 Οικονομική βιωσιμότητα

2.3.1 Γενικά

Η οικονομοτεχνική ανάλυση ενός υδροηλεκτρικού έργου (Παπαντώνης Δημήτριος, 2001) έχει ως αντικείμενο την εξέταση της οικονομικής βιωσιμότητας της επένδυσης αυτής. Το κριτήριο της οικονομικής βιωσιμότητας μιας υδροηλεκτρικής εγκατάστασης εξαρτάται σημαντικά από το εάν η εγκατάσταση τροφοδοτεί ένα διασυνδεδεμένο ή ένα αυτόνομο ηλεκτρικό δίκτυο.

Στην περίπτωση μιας micro/pico υδροηλεκτρικής εγκατάστασης ενδιαφέρει αποκλειστικά η περίπτωση της εν μέρει ή ολικής τροφοδοσίας ενός αυτόνομου ηλεκτρικού δικτύου. Η μονάδα παραγωγής διαστασιολογείται έτσι ώστε να καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες του δικτύου, τόσο τις σημερινές όσο και τις αναμενόμενες μετά από μερικά χρόνια (π.χ. μετά από δέκα χρόνια). Η οικονομική απόδοση στη συγκεκριμένη περίπτωση θα πρέπει να συγκριθεί με άλλους εναλλακτικούς τρόπους παραγωγής της ίδιας ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας, π.χ. με μονάδα Diesel, λαμβάνοντας επιπλέον υπόψη τη διάρκεια ζωής του συστήματος, τη δυνατότητα συνεχούς τροφοδοσίας του δικτύου κτλ.

Η οικονομική ανάλυση ενός micro/pico υδροηλεκτρικού έργου, μετά την ολοκλήρωση των βελτιστοποιήσεων, συμπληρώνεται με τη χρηματοδοτική ανάλυση λαμβάνοντας υπόψη τον τρόπο χρηματοδότησης του έργου, δηλαδή το ύψος και τους όρους του τραπεζικού δανείου, το ποσοστό της επιδότησης (εάν αυτή υπάρχει) κτλ. Από την ανάλυση αυτή προκύπτει η αναμενόμενη χρηματοροπή, η δυνατότητα κάλυψης των λειτουργικών εξόδων, των εξόδων συντήρησης και η αποπληρωμή του δανείου.

2.3.2 Βασικές έννοιες της οικονομικής ανάλυσης

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται (Keat Paul and Philip K.Y. Young, 1996) κάποιες βασικές έννοιες της οικονομικής ανάλυσης, οι οποίες είναι απαραίτητο να είναι οικείες, για την αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας ενός υδροηλεκτρικού έργου.

Διάρκεια ζωής

Η διάρκεια ζωής ενός micro/pico υδροηλεκτρικού έργου είναι συνήθως της τάξεως των 15 έως 30 ετών. Στο τέλος της διάρκειας ζωής του έργου και ανάλογα με τις συνθήκες θα πρέπει να αποφασιστεί είτε η ανανέωση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού είτε η πλήρης ανακατασκευή του. Η οικονομική ανάλυση πρέπει να καλύπτει χρονικό ορίζοντα περίπου 20 ετών.

Επιτόκιο δανεισμού

Το επιτόκιο δανεισμού υπεισέρχεται στη χρηματοδοτική ανάλυση, καθώς εκφράζει την ποσοστιαία προσαύξηση που πρέπει να καταβληθεί στο δανειοδότη (π.χ. την τράπεζα), για το ποσό του δανείου με το οποίο καλύπτεται μέρος της συνολικής επένδυσης. Πρόκειται για μακροοικονομικό μέγεθος που εξαρτάται από την οικονομική κατάσταση και οικονομική πολιτική του κράτους.

Προεξοφλητικό επιτόκιο

Το προεξοφλητικό επιτόκιο λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της σημερινής αξίας ενός χρηματικού ποσού που θα δαπανηθεί ή θα εισπραχθεί στο μέλλον και χρησιμοποιείται στην ανάλυση της οικονομικής βιωσιμότητας της επένδυσης. Συνήθως λαμβάνεται υψηλότερο από το επιτόκιο δανεισμού, έτσι ώστε να ληφθούν υπόψη οι οικονομικές αβεβαιότητες και η αβεβαιότητα της παραγωγής κατά τη διάρκεια ζωής και λειτουργίας του έργου.

Πληθωρισμός

Ως πληθωρισμός χαρακτηρίζεται το φαινόμενο αύξησης (θετικός πληθωρισμός) ή μείωσης (αρνητικός πληθωρισμός) των τιμών των αγαθών και των υπηρεσιών με το πέρασμα του χρόνου, κατά τρόπο ανομοιόμορφο για κάθε ένα από αυτά. Πρόκειται για μακροοικονομικό μέγεθος που εξαρτάται τόσο από την κατάσταση της εθνικής οικονομίας όσο και τις διεθνείς εξελίξεις. Γενικά πάντως στις εγκαταστάσεις υδροηλεκτρικής ενέργειας, η εξέλιξη του πληθωρισμού είναι δύσκολο να προβλεφθεί, λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής που τις χαρακτηρίζει.

Αναγωγή σε παρούσα αξία

Επειδή η διάρκεια ζωής μιας micro/rico υδροηλεκτρικής μονάδας είναι αρκετά μεγάλη, για να είναι συγκρίσιμα τα ποσά που θα εισπραχθούν και θα δαπανηθούν μετά από n χρόνια θα πρέπει να αναχθούν σε σημερινές τιμές, δηλαδή στην παρούσα αξία τους.

Λόγω των επιτοκίων, η σημερινή (ή παρούσα) αξία A_0 ενός ποσού χρημάτων A_n το οποίο θα εισπραχθεί (ή θα δαπανηθεί) μετά από n χρόνια δίνεται από τη σχέση:

$$A_0 = \frac{A_n}{(1+r)^n}$$

στην οποία με r συμβολίζεται το προεξοφλητικό επιτόκιο.

Ο όρος $\frac{1}{(1+r)^n}$ αποτελεί το συντελεστή παρούσας αξίας.

Σύμφωνα με τη σχέση αυτή ένα ποσό των 100€, το οποίο θα εισπραχθεί μετά από 5 χρόνια ενώ το επιτόκιο είναι $r = 10\%$, αξίζει σήμερα 62€. Η αντίστοιχα, εάν κατατεθεί σήμερα στην τράπεζα το ποσό των 62€, με επιτόκιο $r = 10\%$, μετά από 5 χρόνια η κατάθεση θα έχει γίνει 100€.

2.3.3 Κριτήρια αξιολόγησης

Στην παράγραφο αυτή περιγράφονται (Παπαντώνης Δημήτριος, 2001) οι τεχνικές και τα κριτήρια που απαιτούνται, προκειμένου να καθορίσουν την οικονομική βιωσιμότητα μίας micro (ή pico) υδροηλεκτρικής εγκατάστασης. Για να είναι δυνατή η εφαρμογή μίας μεθόδου οικονομικής ανάλυσης, πρέπει να είναι γνωστά τουλάχιστον τα ακόλουθα μεγέθη:

- Εγκατεστημένη ισχύς
- Ετήσια παραγωγή ενέργειας
- Συνολικό ύψος της επένδυσης (προϋπολογισμός του έργου)
- Τιμολόγιο πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος
- Επιτόκιο δανεισμού και καταθέσεως
- Πληθωρισμός
- Χρονική περίοδος οικονομικής διαχείρισης
- Ετήσια λειτουργικά έξοδα (συντήρηση, ασφάλεια, μισθοί κτλ.)

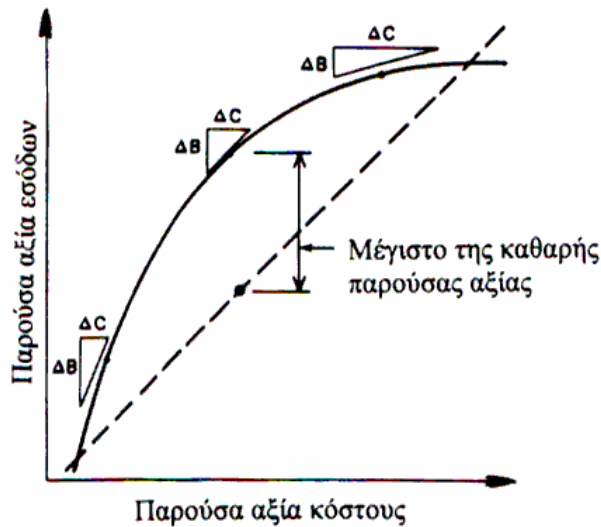
2.3.3.1 Λόγος εσόδων προς έξοδα (BCR)

Ο λόγος εσόδων προς έξοδα (Benefit to Cost Ratio) εκφράζει το πηλίκο του αθροίσματος B_0 των εσόδων καθ' όλη τη διαχειριστική περίοδο n ετών (ανηγμένα σε παρούσα αξία), προς το άθροισμα των εξόδων C_0 (ανηγμένων επίσης σε παρούσα αξία), δηλαδή:

$$BCR = \frac{B_0}{C_0} = \frac{\sum_{j=0}^n \frac{B_j}{(1+r)^j}}{\sum_{j=0}^n \frac{C_j}{(1+r)^j}}$$

στην οποία με B_j και C_j συμβολίζονται τα ετήσια έσοδα και έξοδα κατά το έτος j μετά την έναρξη της επένδυσης και με r το μέσο επιτόκιο προεξόφλησης.

Για να είναι η επένδυση οικονομικά βιώσιμη θα πρέπει ο λόγος BCR να είναι μεγαλύτερος της μονάδας. Το κριτήριο αυτό χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την εφαρμογή του, αφού μία επένδυση με υψηλότερη τιμή του BCR δεν αντιστοιχεί σε μεγαλύτερο όφελος, δεδομένου ότι δεν αποδίδει την τάξη των μεγεθών (ως λόγος μεγεθών). Για το λόγο αυτό πρέπει να συνοδεύεται πάντα με την εξέλιξη του αριθμητή του κλάσματος που το εκφράζει.



Σχήμα 2.3: Ενδεικτική μεταβολή εσόδων συναρτήσει κόστους

Η ευθεία με κλίση 45° αντιστοιχεί στο όριο για το οποίο ο λόγος εσόδων προς έξοδα γίνεται ίσος προς μονάδα, οπότε η επένδυση γίνεται οριακά αποδεκτή. Περισσότερο ενδεικτική είναι μια βηματική ανάλυση συναρτήσει του ύψους της επένδυσης, δηλαδή του μεγέθους της εγκατάστασης, οπότε θα πρέπει η αύξηση ΔB των εσόδων (ανηγμένων σε παρούσα αξία) ως προς την αντίστοιχη αύξηση της δαπάνης ΔC να ικανοποιεί τη συνθήκη: $\Delta B/\Delta C \geq 1$. Στην περίπτωση αυτή το πλέον αποδοτικό ύψος της επένδυσης θα είναι αυτό για το οποίο θα ισχύει: $\Delta B/\Delta C = 1$.

2.3.3.2 Καθαρή παρούσα αξία (NPV)

Η καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης (Net Present Value) εκφράζεται από τη διαφορά της παρούσας αξίας του αθροίσματος των εσόδων μείον την παρούσα αξία του αθροίσματος των εξόδων και δαπανών, δηλαδή:

$$NPV = B_0 - C_0 = \sum_{j=0}^n \frac{B_j}{(1+r)^j} - \sum_{j=0}^n \frac{C_j}{(1+r)^j}$$

Για να είναι η επένδυση οικονομικά βιώσιμη θα πρέπει η τιμή της καθαρής παρούσας αξίας να είναι θετική. Έργα με αρνητική παρούσα αξία πρέπει οπωσδήποτε να απορρίπτονται. Ο δείκτης αυτός είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για την κατάταξη διαφόρων εναλλακτικών λύσεων κατά σειρά οικονομικής βιωσιμότητας. Το πλέον αποδοτικό είναι αυτό στο οποίο αντιστοιχεί η υψηλότερη τιμή του NPV.

2.3.3.3 Διάρκεια αποπληρωμής

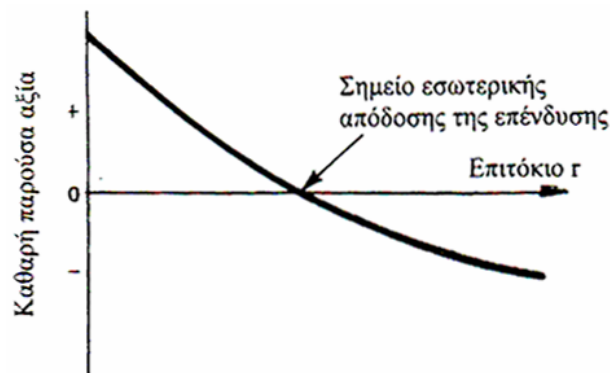
Η διάρκεια αποπληρωμής εκφράζει το πλήθος των ετών που απαιτούνται ώστε τα αναμενόμενα καθαρά έσοδα (έσοδα μείον τα λειτουργικά έξοδα) να αποπληρώσουν το ποσό της επένδυσης. Συνήθως υπολογίζεται χωρίς την αναγωγή των διαφόρων ποσών σε παρούσα αξία. Το κριτήριο

αυτό δεν επιτρέπει την κατάταξη διαφόρων υδροηλεκτρικών έργων κατά σειρά οικονομικής απόδοσης, καθώς δε λαμβάνει υπόψη την απόδοση της επένδυσης, καθ' όλη τη διάρκεια ζωής.

2.3.3.4 Κριτήριο εσωτερικής απόδοσης της επένδυσης (IRR)

Στο κριτήριο του λόγου εσόδων προς έξοδα (BCR) και της καθαρής παρούσας αξίας τα διάφορα μεγέθη ανάγονται στην παρούσα αξία τους ώστε να είναι συγκρίσιμα από οικονομικής πλευράς. Σημαντικό ρόλο στην αναγωγή αυτή παίζει η τιμή του επιτοκίου r . Όσο η τιμή του επιτοκίου r αυξάνει τόσο μειώνεται η τιμή των BCR και NPV και κινδυνεύει η επένδυση να αποδειχθεί ως μη οικονομικά βιώσιμη.

Ως εσωτερική απόδοση μίας επένδυσης ορίζεται η τιμή του επιτοκίου IRR (Internal Rate of Return) για την οποία η καθαρή παρούσα αξία γίνεται μηδενική. Δεδομένου ότι η τιμή του επιτοκίου r με το οποίο γίνονται οι αναγωγές στην παρούσα αξία είναι ένα μέγεθος μακροοικονομικό και ενδέχεται να μεταβληθεί κατά τη διάρκεια ζωής του έργου, το κριτήριο της εσωτερικής απόδοσης εκφράζει το πόσο κινδυνεύει να ανατραπεί η οικονομική βιωσιμότητα ενός έργου λόγω μεταβολής των επιτοκίων.



Σχήμα 2.4: Ενδεικτική καμπύλη καθαρής παρούσας αξίας συναρτήσει επιτοκίου

Ο υπολογισμός της τιμής της εσωτερικής απόδοσης IRR γίνεται με δοκιμές, δηλαδή υπολογίζεται η καθαρή παρούσα αξία NPV για διάφορες τιμές του επιτοκίου r , οπότε η τιμή της εσωτερικής απόδοσης IRR είναι αυτή για την οποία η καμπύλη $NPV=f(r)$ τέμνει τον άξονα, όπως ενδεικτικά φαίνεται στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 2.4).

2.3.3.5 Κόστος παραγόμενης μονάδας ενέργειας

Το μέγεθος αυτό προκύπτει ως ο λόγος των συνολικών ετήσιων δαπανών προς την ενέργεια E (σε kWh) που αναμένεται να παραχθεί σε ένα έτος. Ως συνολικές δαπάνες εννοείται το άθροισμα της ετήσιας απόσβεσης A του έργου και των λειτουργικών δαπανών C . Η ετήσια σταθερή απόσβεση A

υπολογίζεται από το ότι το συνολικό ύψος της επένδυσης K θα πρέπει να είναι ίσο προς την παρούσα αξία των χρηματικών ποσών A κατά τη διάρκεια ζωής της επένδυσης (επί n έτη), δηλαδή:

$$K = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{A}{(1+r)^i} = A \frac{1-(1+r)^{-n}}{r}$$

Άρα το κόστος της παραγόμενης ενέργειας (kWh) θα είναι ίσο προς:

$$K_E = \frac{A+C}{E}$$

2.4 Οικονομικά εμπόδια στο παρελθόν

Μέχρι πρόσφατα, υπήρχαν κάποια εμπόδια οικονομικής φύσεως στην ανάπτυξη των micro/pico υδροηλεκτρικών έργων (<http://www.eee.ntu.ac.uk/research/microhydro/>), που αποθάρρυναν την απόφαση της επένδυσης σε αυτά:

- Το κόστος και η πολυπλοκότητα της σύνδεσης με το προϋπάρχον δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος (π.χ.: εθνικό δίκτυο), στην περίπτωση που ο ιδιοκτήτης της micro/pico υδροηλεκτρικής μονάδας θέλει να πουλάει ένα ποσοστό της παραγόμενης ισχύος σε αυτό.
- Το χαμηλό τιμολόγιο πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που παραγόταν από μικρές εγκαταστάσεις.
- Η έλλειψη των κυβερνητικών επιδοτήσεων που μειώνουν σημαντικά το αρχικό κόστος της επένδυσης.
- Οι απαγορευτικά υψηλές τιμές των υδροστροβίλων και των γεννητριών.
- Η έλλειψη εταιρειών που εξιδανικεύονται στην εγκατάσταση micro/pico υδροηλεκτρικών μονάδων.

Σήμερα αυτή η κατάσταση αλλάζει. Οι προβληματισμοί για την αλλαγή του κλίματος και της ασφάλειας των καυσίμων ενθαρρύνουν την εστίαση του ενδιαφέροντος στα μικρά, ανεξάρτητα συστήματα ενέργειας.

Υπάρχουν πλέον κατευθυντήριες γραμμές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από micro/pico εγκαταστάσεις, με ιδιαίτερη απλότητα στη σύνδεση με το προϋπάρχον εξωτερικό δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος. Ακόμα οι εταιρείες παροχής ηλεκτρισμού –στις περισσότερες χώρες- υποχρεούνται να αγοράζουν ένα ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που διαχειρίζονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η υδροηλεκτρική. Το γεγονός αυτό εξασφαλίζει υψηλότερο τιμολόγιο πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τις μικρές εγκαταστάσεις, σε σχέση πάντα με αυτό του παρελθόντος. Επίσης κρατικές επιδοτήσεις διατίθενται πλέον σε εγχώρια κοινοτικά έργα που αφορούν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, γεγονός που συνεπάγεται σημαντικά μειωμένο αρχικό κόστος των micro/pico υδροηλεκτρικών έργων που έχουν εγκριθεί.

Τέλος, το κόστος των υδροστροβίλων και των γεννητριών -που ήταν ίσως το μεγαλύτερο εμπόδιο οικονομικής φύσεως κατά τα παρελθόντα έτη- έχει μειωθεί κατά πολύ. Έτσι βρίσκονται σήμερα στην αγορά πολλά μοντέλα υδροστροβίλων και γεννητριών χαμηλού κόστους, που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα τιμών παροχής και υδραυλικού ύψους.

2.5 Το θέμα της επιδότησης

Εάν η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται από την micro/rico υδροηλεκτρική μονάδα (π.χ.: στην περίπτωση ηλεκτροδότησης μιας περιοχής) είναι πολύ υψηλή για τους κατοίκους, τότε το ζήτημα της επιδότησης πρέπει σίγουρα να μελετηθεί (Khennas Smail and Barnett Andrew, 2000). Η πολιτική αποδοχής των επιδοτήσεων έχει υποστεί μεγάλες διακυμάνσεις στο πρόσφατο παρελθόν. Όλες οι κυβερνήσεις –στα περισσότερα κράτη- προωθούν τις επιδοτήσεις, αλλά συζητείται έντονα μερικές φορές το εάν οι αρνητικές συνέπειες που προκύπτουν είναι μεγαλύτερες από τις θετικές.

Στην πραγματικότητα όμως, το βασικό ερώτημα που πρέπει να απασχολεί δεν είναι το εάν οι επιδοτήσεις όντως έχουν αρνητικές ή θετικές συνέπειες, αλλά το εάν τα ποσά της επιδότησης όντως χρησιμοποιούνται για το σκοπό για τον οποίο προορίζονταν. Γενικά πάντως, οι λόγοι για τους οποίους οι κρατικοί μηχανισμοί πρέπει να προωθούν τις επιδοτήσεις σε micro/rico υδροηλεκτρικά έργα είναι οι ακόλουθοι:

- Λόγοι που δεν αντανακλώνται καθαρά στην τιμή της πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τις micro/rico υδροηλεκτρικές μονάδες, αλλά που προκύπτουν έμμεσα, όπως οφέλη στην ποιότητα ζωής των κατοίκων μιας περιοχής ή περισσότερη φιλικότητα προς το περιβάλλον.
- Να βοηθήσουν τους ανεξάρτητους επενδυτές να ξεπεράσουν το δισταγμό του υψηλού αρχικού κόστους κατασκευής μιας micro/rico υδροηλεκτρικής μονάδας.
- Λόγοι ανακατανομής των εσόδων ανάμεσα σε πλουσιότερες και φτωχότερες περιοχές .
- Να αναγκαστούν οι μεγάλες εργοστασιακές μονάδες να ρίξουν τις τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας σε επίπεδα που να δύνανται να ανταποκριθούν οι καταναλωτές της εκάστοτε περιοχής.
- Να εξαιρεθούν περιπτώσεις μονοπώλησης της αγοράς.

Παρ' όλες τις θετικές συνέπειες των επιδοτήσεων στα micro/rico υδροηλεκτρικά έργα, πολλοί εναντιώνονται στην εφαρμογή τους ή πιο συχνά αναφέρουν την επιτακτική επιβολή κάποιων περιορισμών σε αυτή. Οι κύριοι ισχυρισμοί τους είναι οι ακόλουθοι:

- Τα micro/rico υδροηλεκτρικά έργα θα πρέπει να λαμβάνουν επιδοτήσεις ανάλογες με αυτές που λαμβάνονται από τις ανταγωνιστικές επιλογές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Το κόστος των micro/rico υδροηλεκτρικών μονάδων θα πρέπει να εξισορροπηθεί με αυτό των εναλλακτικών επιλογών, όπως των μονάδων που λειτουργούν με υγρά καύσιμα, οι οποίες αντιμετωπίζουν επιπλέον κόστος, προκειμένου να γίνουν όσο γίνεται πιο φιλικές προς το περιβάλλον.
- Οι φόροι που επιβάλλονται θα πρέπει να είναι επίσης ανάλογοι με αυτούς που επιβάλλονται στις ανταγωνιστικές επιλογές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και όχι χαμηλότεροι.

2.6 Σύγκριση με κόστος ανταγωνιστικών επιλογών παραγωγής ενέργειας

Στην περίπτωση που η micro/pico υδροηλεκτρική μονάδα καλύπτει εν μέρει ή στο σύνολό του ένα αυτόνομο ηλεκτρικό δίκτυο, δηλαδή καλύπτει μια ανελαστική ανάγκη (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας), η οικονομική του απόδοση θα πρέπει να συγκριθεί με άλλους εναλλακτικούς τρόπους παραγωγής της ίδιας ποσότητας ισχύος, λαμβάνοντας επιπλέον υπόψη τη διάρκεια ζωής του συστήματος, τη δυνατότητα συνεχούς τροφοδοσίας του δικτύου κτλ. Γενικά πάντως, η σύγκριση του κόστους των micro/pico υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων με το κόστος άλλων ανταγωνιστικών επιλογών παραγωγής ενέργειας, δείχνει ότι οι micro pico υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις αποτελούν μάλλον την πλέον οικονομικά συμφέρουσα λύση.

Σύμφωνα με τους Khennas Smail και Barnett Andrew (2000), στις περισσότερες περιπτώσεις, η κύρια ανταγωνιστική επιλογή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των micro/pico υδροηλεκτρικών μονάδων είναι η λειτουργία μίας μονάδας Diesel. Συγκρίνοντας ένα micro/pico υδροηλεκτρικό έργο με μία μονάδα Diesel προκύπτει το συμπέρασμα ότι για απλές περιπτώσεις-εγκαταστάσεις, το micro/pico υδροηλεκτρικό έργο συμφέρει οικονομικά, αφού η εγκατάστασή του κοστίζει λιγότερο. Σε πιο σύνθετες όμως περιπτώσεις (μεγαλύτερες μονάδες, ιδιομορφίες κτλ) η μονάδα Diesel έχει εμφανώς χαμηλότερο αρχικό κόστος. Το γεγονός αυτό όμως αντισταθμίζεται από το ότι η υδροηλεκτρική μονάδα παρουσιάζει ελάχιστο κόστος λειτουργίας και συντήρησης, σε αντίθεση με τη μονάδα Diesel, που έχει υψηλά λειτουργικά έξοδα συσχετιζόμενα με τις διακυμάνσεις της τιμής του καυσίμου. Επιπλέον, η μονάδα παραγωγής ενέργειας Diesel έχει αρκετά χαμηλότερη διάρκεια ζωής, πάντα σχετικά με τα υδροηλεκτρικά έργα. Τέλος, κατά τη σύγκριση των δύο αυτών τύπων μονάδων παραγωγής ενέργειας, παρόλο που δε σχετίζεται με την τιμή του κόστους, αξίζει να αναφερθεί ένα ακόμα βασικό μειονέκτημα των μονάδων Diesel. Οι micro/pico υδροηλεκτρικές μονάδες έχουν ελάχιστες και ασήμαντες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ενώ οι μονάδες Diesel εμφανίζουν πολλές και ιδιαίτερα σημαντικές (ρύπανση, θόρυβος κτλ).

Η κύρια ανταγωνιστική επιλογή τώρα των micro/pico υδροηλεκτρικών μονάδων, όταν απαιτείται ενέργεια μονάχα για το φωτισμό κάποιας απομακρυσμένης περιοχής, είναι η χρησιμοποίηση φωτοβολταϊκών. Το κόστος των φωτοβολταϊκών είναι μικρότερο από αυτό των μπαταριών και η ποιότητα του φωτισμού που παράγεται καλύτερη από αυτή που προέρχεται από τη χρήση κάποιου φυσικού καύσιμου (π.χ.: κIROζίνης). Όταν όμως υπάρχει διαθέσιμη υδραυλική πτώση, η πρώτη επιλογή σίγουρα είναι κάποια micro/pico υδροηλεκτρική μονάδα, που δύναται να παρέχει την ίδια ποιότητα φωτισμού με χαμηλότερο κόστος. Μια ενδεικτική τιμή, για παράδειγμα, του κόστους ενός συστήματος φωτοβολταϊκών ηλεκτρικής ισχύος 50W, αποτελούμενη από μια ηλεκτρονική υπομονάδα, ένα ρυθμιστή, 4 λάμπες, καλωδιώσεις και λοιπά στοιχεία, συμπεριλαμβανομένων και των εξόδων της εγκατάστασής της, κυμαίνεται γύρω στα 9200€ ανά παραγόμενο kW. Κοστίζει λοιπόν αυτό το σύστημα φωτισμού πολύ περισσότερο από ένα αντίστοιχο micro/pico υδροηλεκτρικό έργο (βλ. ενδεικτικές τιμές σχήματος 2.2).

2.7 Περιβαλλοντικά στοιχεία

2.7.1 Γενικά

Όπως κάθε τεχνικό έργο, έτσι και ένα micro/rico υδροηλεκτρικό έργο, αποτελεί μία παρέμβαση στο περιβάλλον, τόσο στο φυσικό όσο και το κοινωνικό και πολιτιστικό (Παπαντώνης Δημήτριος, 2001). Η παρέμβαση αυτή λαμβάνει χώρα στη φάση της κατασκευής, αλλά και στη φάση της λειτουργίας του και μπορεί να έχει είτε αρνητικές είτε θετικές συνέπειες.

Οι αρνητικές προς το περιβάλλον επιπτώσεις πρέπει να εξετάζονται ήδη κατά τις αρχικές φάσεις διαμόρφωσης του έργου, ώστε να μην κινδυνεύσει στη συνέχεια να ματαιωθεί το έργο, λόγω της εμφάνισής τους ή λόγω σοβαρής επιβάρυνσης του κόστους από τις πρόσθετες επεμβάσεις που θα απαιτηθούν. Κατά γενικό κανόνα πάντως, τα micro/rico υδροηλεκτρικά έργα θεωρούνται έργα με μικρές αντιμετωπίσιμες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, σε σύγκριση με άλλα έργα παραγωγής ενέργειας.

Η αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων δεν είναι εύκολη διαδικασία, αφού οι περισσότερες από αυτές δεν είναι δυνατόν να αποδοθούν ποσοτικά, αλλά χαρακτηρίζονται ποιοτικά από μία κλίμακα, όπως: σημαντική, μέτρια ή αμελητέα (μηδενική) επίδραση. Επίσης δεν υπάρχει μια γενικά αποδεκτή μέθοδος συνολικής περιβαλλοντικής αξιολόγησης, έτσι ώστε όταν η τιμή ενός δείκτη για παράδειγμα υπερβαίνει μία δεδομένη τιμή να ματαιώνεται η κατασκευή του έργου.

Σε ορισμένες σπάνιες στην πράξη περιπτώσεις η επίπτωση στο περιβάλλον μπορεί να είναι τόσο προφανής, ώστε να αποτρέπει κάθε δυνατότητα συνέχισης της μελέτης του έργου, όπως για παράδειγμα εάν συντρέχουν λόγοι αλλοίωσης της θέας ιδιαίτερου φυσικού κάλλους (π.χ. καταρράκτη) ή καταστροφής αρχαιοτήτων. Η μόνη γνωστή μέθοδος που βασίζεται στην ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι αυτή του εξωτερικού κόστους, όμως και σε αυτήν πολλές συνιστώσες δε μπορούν να αποτιμηθούν αντικειμενικά.

2.7.2 Κατηγοριοποίηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Ένα υδατορεύμα αποτελεί το φυσικό περιβάλλον που συντηρεί μεγάλη ποικιλία χλωρίδας και πανίδας, ενώ επίσης σε αυτό καταφεύγει και ένας μεγάλος αριθμός ζώων. Από εδαφολογικής πλευράς η κοίτη του ποταμού και τα πρανή της βρίσκονται σε μία δυναμική ισορροπία καθώς οι φερτές ύλες συνεχώς παρασύρονται προς τις χαμηλότερες στάθμες. Η ισορροπία αυτή έχει αποκατασταθεί κατά τη διάρκεια της μακρόχρονης ιστορίας του ποταμού. Από υδρολογικής πλευράς η στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας του υδατορεύματος αποτελεί την οριακή συνθήκη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα τον οποίο τροφοδοτεί ή από τον οποίο τροφοδοτείται.

Με την κατασκευή ενός υδροηλεκτρικού έργου και συγκεκριμένα με την κατασκευή ενός ποταμοφράκτη διαταράσσεται αυτή η ισορροπία, τόσο στον εδαφολογικό όσο και στον υδρολογικό, ατμοσφαιρικό και βιολογικό τομέα, αφού το φράγμα αποτελεί μία διακοπή της συνέχειας του φυσικού υδατορεύματος. Οι συνηθέστερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (θετικές ή αρνητικές) καταγράφονται στον πίνακα που ακολουθεί (Παπαντώνης Δημήτριος, 2001).

Επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον	
Εδαφικές	Στάθμη, ποσότητα και ποιότητα υπέργειων και υπόγειων υδάτων
Υδρολογικές	Διακοπή της συνέχειας της παροχής φερτών υλών, μορφολογία του εδάφους
Βιολογικές	Χλωρίδα και πανίδα της περιοχής
Ατμοσφαιρικές	Ποιότητα του αέρα, υγρασία

Σχήμα 2.5: Συνηθέστερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις

2.7.2.1 Εδαφικές

Εδαφικές επιπτώσεις (Παπαντώνης Δημήτριος, 2001) προκύπτουν κυρίως από την κατασκευή ενός ποταμοφράκτη. Βέβαια όπως έχει ήδη αναφερθεί αναλυτικά στο πρώτο κεφάλαιο, στην περίπτωση των micro/rico υδροηλεκτρικών έργων δύναται το νερό να εισέρχεται στην εγκατάσταση χωρίς τη χρήση ποταμοφράκτη, απλά με τη βύθιση κάποιου αγωγού νερού μέσα στον ποταμό. Στην περίπτωση αυτή οι εδαφικές επιπτώσεις του έργου έχουν ελάχιστο αντίκτυπο στην περιβάλλουσα περιοχή.

Στην περίπτωση της micro/rico υδροηλεκτρικής μονάδας που περιλαμβάνει ποταμοφράκτη, εφόσον αυτός αποτελεί μία διακοπή της συνέχειας της παροχής των φερτών υλών, αυτές εγκλωβίζονται στον ταμιευτήρα. Ο ταμιευτήρας είναι μικρής χωρητικότητας με αποτέλεσμα οι φερτές ύλες που συσσωρεύονται σε αυτόν να αποτελούν πρόβλημα που απαιτεί συνεχή αντιμετώπιση. Όμως το πιο βασικό είναι ότι η διακοπή της συνέχειας της ροής των φερτών υλών προκαλεί εδαφολογικά προβλήματα κατάντι της διατομής απαγωγής, μετά την έξοδο από τον υδροστρόβιλο, όπου η παροχή του νερού συναντά εκ νέου τη φυσική της κοίτη. Η ροή παρασύρει φερτές ύλες προς τις χαμηλότερες στάθμες, οι οποίες όμως δεν αναπληρώνονται από ανάντι. Για το λόγο αυτός παρουσιάζεται κίνδυνος διαβρώσεως του εδάφους.

2.7.2.2 Υδρολογικές

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα των υδροηλεκτρικών έργων γενικά είναι ότι το νερό, κατά τη διέλευσή του από τον υδροστρόβιλο, δεν υφίσταται καμία αλλοίωση (Παπαντώνης Δημήτριος, 2001). Επομένως είναι κατάλληλο για την ίδια χρήση (άρδευση, ύδρευση κτλ) όπως και πριν την προσαγωγή του στην υδροηλεκτρική μονάδα. Δηλαδή το micro/rico υδροηλεκτρικό έργο δεν βλάπτει και δεν επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα του νερού.

Επίσης σε μια micro/rico υδροηλεκτρική εγκατάσταση δύναται να τοποθετηθεί διάταξη συγκρατήσεως υλικών, όπως για παράδειγμα εσχάρες που συγκρατούν πλαστικές σακούλες, μπουκάλια και άλλα υλικά που μπορεί να βλάψουν τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, εάν εισέλθουν στη μονάδα ηλεκτροπαραγωγής. Οι διατάξεις αυτές βοηθούν ταυτόχρονα στον καθαρισμό του ποταμού, αφού τα ανεπιθύμητα υλικά που συγκρατούνται δεν επιστρέφουν στο υδατορεύμα, αλλά απομακρύνονται από αυτό.

Οι αρνητικές επιπτώσεις υδρολογικού χαρακτήρα μίας micro/rico υδροηλεκτρικής εγκατάστασης περιορίζονται –όπως και οι εδαφικές- μόνο στην περίπτωση που η εγκατάσταση περιλαμβάνει κάποιο ποταμοφράκτη, αφού αυτός ανυψώνει τη στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας του νερού, η οποία φτάνει τα όρια της υπερχειλίσεως. Έτσι προκαλείται άνωση στα γειτονικά κτίρια της περιοχής, θέτοντας σε αμφιβολία τη στατικότητά τους. Το πρόβλημα αυτό παρουσιάζεται κυρίως σε περιπτώσεις που το υδροηλεκτρικό έργο διαμορφώνεται σε επίπεδες περιοχές (μικρής κλίσης),

οπότε και η ανύψωση της στάθμης γίνεται αισθητή σε σχετικά μεγαλύτερη έκταση. Παρ' όλα αυτά το πρόβλημα είναι αντιμετωπίσιμο, αφού εύκολα διορθώνεται με την τοποθέτηση κάποιας διώρυγας παράλληλης προς το υδατορεύμα.

2.7.2.3 Βιολογικές

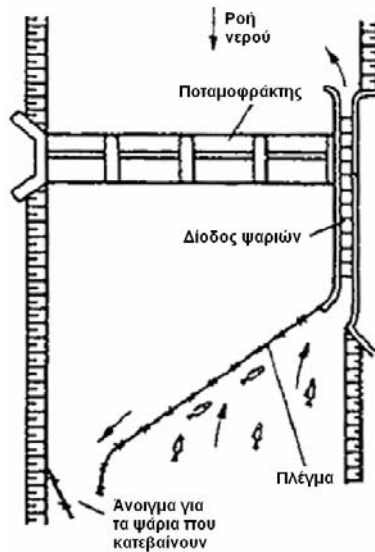
Όπως στις περιπτώσεις των εδαφικών και υδρολογικών επιπτώσεων ενός micro-pico υδροηλεκτρικού έργου, έτσι και στην περίπτωση των βιολογικών επιπτώσεων (<http://www.hydropower.id.doe.gov>), παίζει σημαντικό ρόλο το εάν η εγκατάσταση περιλαμβάνει ποταμοφράκτη ή όχι. Τα micro-pico υδροηλεκτρικά έργα στα οποία δε χρησιμοποιείται κάποιος ποταμοφράκτης για να οδηγηθεί το νερό στην εγκατάσταση, αλλά οδηγείται το νερό κατευθείαν στη μονάδα μέσω κάποιου -βυθισμένου στο ποτάμι- αγωγού, έχουν αμελητέες βιολογικές επιπτώσεις στο τοπικό οικοσύστημα.

Στην περίπτωση των micro-pico υδροηλεκτρικών έργων που λειτουργούν με τη βοήθεια ποταμοφράκτη, κατάντι αυτού η παροχή στη φυσική κοίτη του ποταμού μπορεί να ελαττωθεί σημαντικά, σε κάποια χρονικά διαστήματα. Το γεγονός αυτό μπορεί να προκαλέσει αρνητικές συνέπειες στην επιβίωση της χλωρίδας και της πανίδας. Για το λόγο αυτό απαιτείται η διατήρηση μιας ελάχιστης παροχής καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, η οποία να διαρρέει τη φυσική κοίτη. Η ελάχιστη αυτή παροχή ονομάζεται παροχή συντήρησης.

Υψηλή τιμή της παροχής συντήρησης αντιστοιχεί σε μείωση της τιμής της διαθέσιμης παροχής για παραγωγή ενέργειας και συνεπώς σε μείωση των εσόδων του έργου. Εάν δεν υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις σε μία συγκεκριμένη περίπτωση, η παροχή συντήρησης πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση προς την ελάχιστη φυσική παροχή του υδατορεύματος ή προς το 30% της μέσης παροχής των θερινών μηνών.

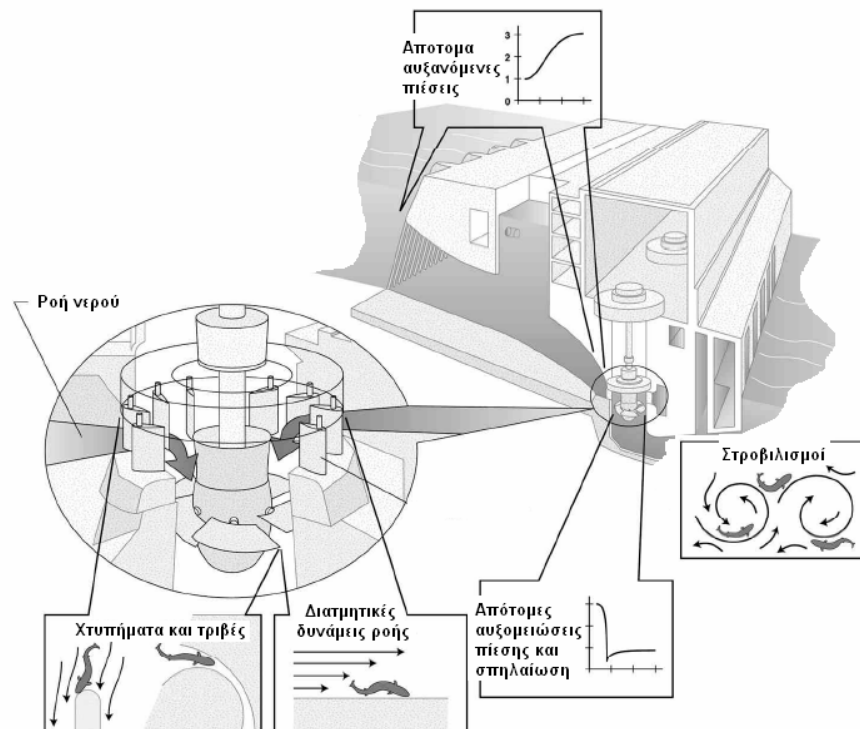
Η σημαντικότερη επίπτωση στο βιολογικό τομέα είναι ότι η ύπαρξη ενός ποταμοφράκτη αποτελεί ένα ανυπέρβλητο εμπόδιο στα είδη των ψαριών που διακινούνται κατά μήκος του ποταμού. Τα ψάρια διακρίνονται σε αυτά που ζουν στη θάλασσα, αλλά ανεβαίνουν μέχρι τις πηγές των ποταμών για να γεννήσουν τα αυγά τους και σε αυτά που ακολουθούν την αντίστροφη πορεία, που γεννούν δηλαδή στη θάλασσα και όταν ενηλικιωθούν διαβιούν στα νερά των ποταμών.

Για να μπορούν τα ψάρια να παρακάμπτουν τον ποταμοφράκτη, θα πρέπει να διαμορφωθεί μία δίοδος, έτσι ώστε να αποτρέπεται η προσέγγισή τους στις ζώνες υψηλής τύρβης. Η διακινούμενη παροχή από τη δίοδο μπορεί να είναι η παροχή συντήρησης, ώστε να μην αποτελεί πρόσθετη απώλεια.



Σχήμα 2.6: Διαμόρφωση διόδων ψαριών για παράκαμψη του ποταμοφράκτη

Μία ακόμη αρνητική επίπτωση ενός μικρο/μεσο υδροηλεκτρικού έργου είναι οι θάνατοι και οι τραυματισμοί των νεογέννητων ψαριών, που διέρχονται μέσα από τον υδροστρόβιλο.



Σχήμα 2.7: Βασικές αιτίες τραυματισμών και θανάτων ψαριών

Όπως φαίνεται από το παραπάνω σχήμα, οι τραυματισμοί και οι θάνατοι των ψαριών μπορεί να προκαλούνται από απότομες μεταβολές της πίεσης του νερού, από στροβιλισμούς, από συγκρούσεις των ψαριών με τα πτερύγια του υδροστρόβιλου, από διατμητικές δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά μήκος της ροής ή από φαινόμενα σπηλαιώσης. Για να αντιμετωπιστεί αυτή η αρνητική επίδραση

των υδροστροβίλων πάνω στο περιβάλλον οικοσύστημα, κατασκευάζονται τα τελευταία χρόνια κατάλληλα διαμορφωμένοι υδροστρόβιλοι, οι οποίοι είναι φιλικό προς τη διέλευση και μετακίνηση των ψαριών, συμβάλλοντας έτσι στην -κατά μεγάλο βαθμό- αρμονική λειτουργία της micro/pico υδροηλεκτρικής μονάδας. Οι υδροστρόβιλοι αυτοί αυξάνουν κατά πολύ τα ποσοστά επιβίωσης των νεογέννητων ψαριών που περνούν από μέσα τους και μειώνουν τους τραυματισμούς τους, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό, αφού η θνησιμότητα των ψαριών μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση του πληθυσμού τους.

2.7.2.4 Ατμοσφαιρικές

Οι ατμοσφαιρικές επιπτώσεις των micro/pico υδροηλεκτρικών έργων, όπως και των περισσότερων υδροηλεκτρικών έργων άλλωστε, είναι αμελητέες (<http://www.esha.be>). Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι οι υδροηλεκτρικές μονάδες, σε αντίθεση με τις μονάδες που χρησιμοποιούν πετρέλαιο, φυσικό αέριο ή κάρβουνο, δεν παράγουν καθόλου διοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου ή διοξείδιο του θείου, που είναι και οι κύριες πηγές περιβαλλοντικής ρύπανσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Παραδείγματα micro/pico υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων

3.1 Pico υδροηλεκτρική εγκατάσταση στο Kushadevi (Nepal)

3.1.1 Δυναμικό και απαιτήσεις

Στην παρούσα ενότητα περιγράφεται η διαδικασία εγκατάστασης, τα χαρακτηριστικά και ο τελικός έλεγχος λειτουργίας μιας pico υδροηλεκτρικής μονάδας που κατασκευάστηκε στο Kushadevi (Nigel Smith and Ghanashyam Ranjitkar, 2001), μια μικρή κοινότητα κοντά στο Kathmandu, την πρωτεύουσα του Nepal.

Αρχικά έγινε μία εκτίμηση της διαθέσιμης υδραυλικής ισχύος της τοποθεσίας προκειμένου να καθοριστεί εάν αυτή είναι επαρκής ή όχι. Η διαδικασία της εκτίμησης πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου, λαμβάνοντας υπόψη την ελάχιστη τιμή παροχής του νερού, η οποία υπολογίστηκε περίπου ίση με 10 l/sec. Το διαθέσιμο υδραυλικό ύψος μετρήθηκε ίσο με 100m, τιμή ιδανική για τη χρησιμοποίηση ενός υδροστρόβιλου Pelton. Υποθέτοντας μία τιμή βαθμού απόδοσης για την εγκατάσταση ίση με 50% προέκυψε ότι η υδραυλική ισχύς ήταν επαρκής για την παραγωγή 5 kW ηλεκτρικής ισχύος κατά τη διάρκεια ολόκληρου του έτους.

Τα 88 νοικοκυριά τα οποία θα τροφοδοτούσε η υδροηλεκτρική μονάδα βρίσκονταν σε απόσταση περίπου 1 km από το κτίριο της μονάδας και οι βασικές ανάγκες των κατοίκων τους αφορούσαν το φωτισμό και τη λειτουργία συσκευών επικοινωνίας. Επίσης υπήρχε ενδιαφέρον για τη λειτουργία ενός μύλου προς παραγωγή καλαμποκιού.

Στις περισσότερες micro/pico υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις στο Nepal διανέμονται περίπου 100W σε κάθε νοικοκυριό, επιτρέποντας έτσι τη χρήση δύο ή και τριών κανονικών ηλεκτρικών λαμπτήρων. Εάν χρησιμοποιούνται όμως λάμπες φθορισμού το ίδιο επίπεδο φωτισμού δύναται να παραχθεί μονάχα με 24W ανά νοικοκυριό. Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται όλες οι επιλογές φωτισμού που υπήρχαν και συγκρίνονται μεταξύ τους.

Ισχύς ανά νοικοκυριό (σε Watts)	Επιλογές φωτισμού	Ισχύς εξόδου της εγκατάστασης (σε kW)	Κόστος της εγκατάστασης (σε €)	Κόστος λαμπτήρων (σε €)
100	Ένας κανονικός λαμπτήρας των 60W και άλλος ένας των 40W	10	14706	66
24	Ένας κανονικός λαμπτήρας των 15W και μία λάμπα φθορισμού των 9W	2,4	3529	1324
40	Ένας κανονικός λαμπτήρας των 25W και μία λάμπα φθορισμού των 15W	4	5882	662

Σχήμα 3.1: Επιλογές φωτισμού για 90 νοικοκυριά

Παρόλο που όπως φαίνεται και από τον παραπάνω πίνακα (Σχήμα 3.1) η πλέον οικονομικά συμφέρουσα επιλογή ήταν αυτή των 24W ανά νοικοκυριό, αφού το συνολικό κόστος λαμπτήρων και εγκατάστασης προκύπτει έτσι σαφώς μικρότερο, αποφασίστηκε τελικά να χρησιμοποιηθεί αυτή των 40W ανά νοικοκυριό. Ο λόγος που οδήγησε στην επιλογή αυτή ήταν ότι η εγκατάσταση με ισχύ εξόδου ίση με 4kW είχε τη δυνατότητα να παρέχει περισσότερη ισχύ στο μύλο της κοινότητας, γεγονός που συνεπάγεται παραγωγή μεγαλύτερων ποσοτήτων καλαμποκιού με πιο γρήγορο ρυθμό. Ακόμη η επιλογή των 40W ανά νοικοκυριό παρείχε τη δυνατότητα σε όσους κατοίκους επιθυμούσαν να χρησιμοποιούν ασπρόμαυρες τηλεοράσεις.

Τέλος προκειμένου να ληφθούν υπόψη λάθη που ίσως έγιναν κατά τις μετρήσεις του διαθέσιμου υδραυλικού ύψους ή της παροχής του νερού πάρθηκε η απόφαση η ισχύς εξόδου της εγκατάστασης να είναι ίση με 4.4 kW αντί για 4 kW, καθαρά για λόγους ασφαλείας.

3.1.2 Επισκόπηση της τοποθεσίας

Αφού είχε εκτιμηθεί ότι η ισχύς εξόδου της pico υδροηλεκτρικής μονάδας έπρεπε να είναι ίση με 4.4 kW πραγματοποιήθηκε μία αναλυτική επισκόπηση της τοποθεσίας. Με τη μέθοδο του δοχείου και με τη μέθοδο Salt Gulp (όπως έχουν περιγραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο) υπολογίστηκε η τιμή της παροχής του νερού, που θα χρησιμοποιούταν κατά τη σχεδίαση της εγκατάστασης, ίση με 13.5 l/sec. Ακόμα για την αντιμετώπιση της περίπτωσης της ελάχιστης τιμής της παροχής (ίση περίπου με 10 l/sec), κατά τη διάρκεια των ιδιαίτερα ξηρών ημερών, αποφασίστηκε να εφοδιαστεί ο υδροστρόβιλος με κατάλληλα διαμορφωμένα ακροφύσια.

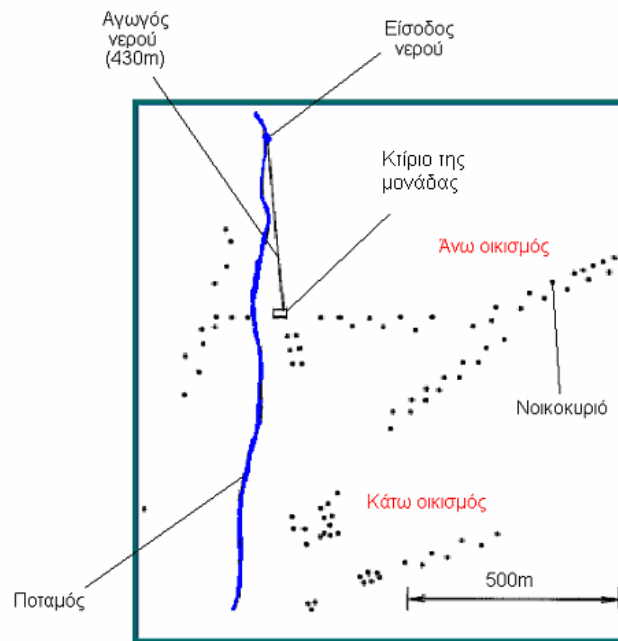
Στη συνέχεια ξεκίνησε η διαδικασία επιλογής του σημείου στο οποίο θα χτίζονταν το κτίριο της εγκατάστασης. Από τη στιγμή που το νερό κυλούσε σε μία απότομη πλαγιά υπήρχαν ελάχιστα σημεία -πάνω από το επίπεδο του νερού κατά την φάση πλημμύρας- που μπορούσαν να ανταποκριθούν στο ρόλο αυτό. Από αυτά, θα έπρεπε να επιλεγεί εκείνο που θα βρίσκονταν σε σχετικά μικρή κατακόρυφη απόσταση από το σημείο εισόδου του νερού και ταυτόχρονα σε θέση που βολεύει για την ηλεκτροδότηση της περιοχής. Σχεδιάστηκαν έτσι πάνω σε χαρτί όλα τα σπίτια της περιοχής, καθώς και η ακριβής διαδρομή που ακολουθούσε το νερό κατά τη ροή του. Από το σχέδιο προέκυπτε ένα μόνο σημείο που διευκόλυνε την κατασκευή του δικτύου ηλεκτροδότησης και βρίσκονταν σε ικανοποιητικό υψόμετρο (80m), απέχοντας ταυτόχρονα ελάχιστα κατακόρυφα από το σημείο εισόδου του νερού, το οποίο ήταν το υψηλότερο προσβάσιμο σημείο, κάτω από εκεί που ενώνονταν τα διάφορα ρεύματα του νερού, προερχόμενα από διαφορετικές πηγές. Η μέτρηση της κατακόρυφης απόστασης των δύο σημείων έγινε με τη μέθοδο κλισιόμετρου (όπως έχει περιγραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο). Το αμέσως επόμενο βολικό σημείο απαιτούσε πολύ

μακρύτερο –και συνεπώς πολύ ακριβότερο- αγωγό νερού και ήταν σε δυσμενέστερη θέση όσον αφορούσε το δίκτυο ηλεκτροδότησης.

Υποθέτοντας μία τιμή βαθμού απόδοσης για τον υδροστρόβιλο ίση με 65% ($n_T = 0.65$) και μία τιμή βαθμού απόδοσης για τη γεννήτρια ίση με 75% ($n_G = 0.75$), υπολογίστηκε το ελάχιστο καθαρό υδραυλικό ύψος H_{net} , για την παραγωγή 4.4 kW ισχύος εξόδου με παροχή νερού $Q = 13.5$ l/sec, ίσο με:

$$H_{net} = \frac{P}{n_G \times n_T \times Q \times g} = \frac{4400}{0.75 \times 0.65 \times 13.5 \times 9.8} = 68m$$

Επομένως, η μέγιστη απώλεια υδραυλικού ύψους προέκυψε ίση με 12m από τα 80m, δηλαδή το 15% σε ποσοστό. Αυτή η τιμή ήταν ιδιαίτερα ρεαλιστική, γεγονός που φανέρωνε τη σωστή επιλογή του σημείου εισόδου του νερού, αλλά και του σημείου που θα χτίζονταν το κτίριο της μονάδας.



Σχήμα 3.2: Σχέδιο αναπαράστασης της περιοχής

3.1.3 Χαρακτηριστικά στοιχεία της εγκατάστασης

3.1.3.1 Είσοδος νερού – Δεξαμενή

Στη συγκεκριμένη εγκατάσταση το έδαφος και τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής καθιστούσαν αδύνατη την κατασκευή ενός καναλιού μεγάλου μήκους. Ακόμα δεν υπήρχε πλεόνασμα νερού, ώστε να καλύπτει τις απώλειες που θα προέκυπταν σε τέτοια περίπτωση. Έτσι το νερό αποφασίστηκε να οδηγείται από το σημείο εισόδου της ροής, μέσω ενός καναλιού μικρού μήκους, κατευθείαν στη δεξαμενή. Το πλάτος του καναλιού θα ήταν 0.4m και το μήκος του 3m. Η δεξαμενή θα ήταν ορθογωνική, με μήκος 1.2m, πλάτος 1.2m και βάθος 1.3m (βλ. Σχήμα 3.3).



Σχήμα 3.3: Είσοδος νερού-δεξαμενή κατά την φάση της κατασκευής

Η είσοδος του νερού στην εγκατάσταση γίνονταν μέσω μίας κατασκευής από τσιμέντο και πέτρες, στην οποία ήταν εγκατεστημένο ένα σύστημα καθαρισμού, ώστε να μην εισέρχονται στη δεξαμενή ανεπιθύμητα υλικά που έφερνε μαζί του το νερό. Επίσης δημιουργήθηκε ένα μικρό κανάλι στη μία πλευρά της δεξαμενής, ώστε να επιστρέφει το νερό στο ποτάμι σε περίπτωση υπερχειλίσης, χωρίς να φθείρει την κατασκευή. Τέλος στο βυθό της δεξαμενής τοποθετήθηκε ένας σωλήνας καθαρισμού, για την εύκολη απομάκρυνση των καθιζημάτων. Το σημείο στο οποίο βρίσκονταν ο αγωγός νερού, ο οποίος θα οδηγούσε το νερό από τη δεξαμενή στο κτίριο της μονάδας, βρίσκονταν σε απόσταση 0.5m από τη βάση της δεξαμενής και υπήρχε εκεί ένα φίλτρο, ώστε να εμποδίζονται τα μεγάλα αντικείμενα από το να εισέλθουν στον υδροστρόβιλο.

3.1.3.2 Αγωγός νερού

Από τη στιγμή που δεν κατασκευάστηκε κανάλι μεγάλου μήκους για την οδήγηση του νερού στην εγκατάσταση, για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω, απαιτούνταν ένας αγωγός νερού αρκετά μεγάλου μήκους. Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE, High Density PolyEthylene) επιλέχθηκε να είναι το υλικό κατασκευής του αγωγού, αφού είναι κατά πολύ φθηνότερο στο Nepal, συγκριτικά με το υλικό PVC (Polyvinyl-Chloride). Επίσης το υλικό HDPE είναι εύκαμπτο, σκληρό, έχει λεία τοιχώματα και δεν αλλοιώνεται κατά την έκθεσή του στην ηλιακή ακτινοβολία. Αρχικά το συνολικό μήκος του αγωγού νερού υπολογίστηκε ίσο με 400m, αν και κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης του απαιτήθηκαν επιπλέον 30m. Το μεγαλύτερο μήκος του αγωγού θάφτηκε λίγο κάτω από το έδαφος, για λόγους στερέωσης και προστασίας.

Ο αγωγός χωρίστηκε σε 72 τμήματα μήκους 6m το καθένα, τα οποία ενώθηκαν μέσω θερμαινόμενων πλακών, που χρησιμοποιήθηκαν για τη σύντηξη των άκρων μεταξύ τους (βλ. Σχήμα 3.4). Αυτή η διαδικασία απαιτεί τεχνικές ικανότητες και εμπειρία, καθώς και αρκετό χρόνο, γεγονός που αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα της χρησιμοποίησης του υλικού HDPE. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η εγκατάσταση και η σύντηξη επιβλέπονταν από τον κατασκευαστή του υδροστρόβιλου και διήρκεσε περίπου δύο εβδομάδες.



Σχήμα 3.4: Διαδικασία σύντηξης των άκρων δύο αγωγών από HDPE

Προκειμένου να υπολογιστούν οι υδραυλικές απώλειες -λόγω τριβής- στον αγωγό νερού, ήταν απαραίτητο να επιλεγεί μία κατάλληλη τιμή της τραχύτητας του αγωγού. Επιλέχθηκε λοιπόν η τιμή των 0.03mm, αφού αυτή προτεινόταν σε διάφορα βιβλία σχετικά με λείους πλαστικούς αγωγούς. Όμως η τιμή αυτή εμπόδιζε τη στρογγυλοποίηση του υλικού στις κλειδώσεις, κατά τη διαδικασία σύντηξης. Οπότε αποφασίστηκε εν τέλει η επιλογή των 0.06mm για τιμή τραχύτητας του αγωγού. Επίσης έχοντας στόχο να μειωθεί ακόμα περισσότερο το κόστος του αγωγού, το όριο αντοχής του σε πίεση δεν ήταν σταθερό αλλά άλλαζε από τμήμα σε τμήμα, αφού ο αγωγός επιβάλλονταν να αντέχει σε μεγάλες πιέσεις μόνο σε κάποια τμήματά του και όχι σε ολόκληρο το μήκος του. Έτσι τα τμήματα μεγαλύτερης αντοχής σε πίεση -και συνεπώς αρκετά μεγαλύτερου κόστους – χρησιμοποιήθηκαν μόνο όπου πραγματικά χρειαζόταν. Οι συνολικές υδραυλικές απώλειες προέκυψαν 8.73m, τιμή μικρότερη από τις μέγιστες επιτρεπτές, δηλαδή από 12m. Όλα τα τμήματα που αποτέλεσαν τον αγωγό, καθώς και τα χαρακτηριστικά τους, παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Μήκος τμήματος (σε m)	Αντοχή σε πίεση (σε kgf/cm ²)	Εξωτερική διάμετρος (σε mm)	Εσωτερική διάμετρος (σε mm)	Κόστος (σε €/m)	Υδραυλικές απώλειες (σε m)
130	2.5	140	132	2.78	0.99
100	4	125	113	3.35	1.62
100	6	125	107	4.81	2.11
100	10	125	94	7.25	4.01

Σχήμα 3.5: Τα τμήματα αγωγού και τα χαρακτηριστικά τους

Αξίζει τέλος να αναφερθεί, ότι για τα τελευταία 100m του αγωγού, μελετήθηκε η επιλογή χρησιμοποίησης του αμέσως μικρότερου τυποποιημένου μεγέθους αγωγού, αφού το συγκεκριμένο τμήμα ήταν αυτό με το μεγαλύτερο κόστος από όλα. Η ιδέα όμως γρήγορα απορρίφθηκε, αφού οι συνολικές υδραυλικές απώλειες ξεπερνούσαν τα 12m.

3.1.3.3 Κτίριο της μονάδας

Το κτίριο της μονάδας (βλ. Σχήμα 3.6) κατασκευάστηκε χρησιμοποιώντας υλικά της περιοχής, όπως λάσπη, πέτρες και ξύλα. Η λάσπη και οι πέτρες χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των τοίχων, οι οποίοι είχαν περίπου 0.5m πάχος και τα ξύλα για την κατασκευή της πόρτας, των παραθύρων και

για τη στήριξη της οροφής. Η οροφή αποτελούνταν από σιδερένια φύλλα, που σχημάτιζαν γωνία 30° με το έδαφος, προκειμένου να κυλάει το νερό πάνω τους χωρίς να μπορεί να στέκεται. Οι εσωτερικές διαστάσεις του δωματίου ήταν 4.8m x 2.7m, ώστε να υπάρχει αρκετός χώρος για το μύλο, τον υδροστρόβιλο, τη γεννήτρια και τον ηλεκτρονικό ελεγκτή φορτίου.



Σχήμα 3.6: Το κτίριο της μονάδας

3.1.3.4 Υδροστρόβιλος και γεννήτρια

Ο επαγωγικός κινητήρας οδηγήθηκε σε ταχύτητα περίπου 5% πάνω από τη σύγχρονή του, προκειμένου να λειτουργήσει ως γεννήτρια. Από τη στιγμή που η άτρακτος της γεννήτριας είναι κατευθείαν συνδεδεμένη με τον υδροστρόβιλο Pelton, η διάμετρος του δρομέα του υδροστροβίλου μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$D_{runner} = \frac{38 \times \sqrt{H_{net}}}{RPM} = \frac{38 \times \sqrt{71.3}}{RPM}$$

Οι ταχύτητες που απαιτούνται για τη δημιουργία ρεύματος 50Hz μέσω επαγωγικών κινητήρων φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Αριθμός Πόλων	Ταχύτητα άξονα (σε RPM)	D_{runner} (σε m)	Μέγιστη παροχή (σε l/sec)
2	3150	0.10	3.6
4	1575	0.20	14.2
6	1050	0.30	32

Σχήμα 3.7: Γεννήτρια και επιλογές για το δρομέα του υδροστροβίλου

Για τους διαθέσιμους υδροστρόβιλους, το μέγιστο μέγεθος ψεκαστήρα ήταν περίπου ίσο με το 11% της διαμέτρου του δρομέα και για το λόγο αυτό ήταν δυνατό να υπολογιστεί η μέγιστη παροχή Q_{max} (σε l/sec) για ένα απλό ψεκαστήρα του υδροστροβίλου, σύμφωνα με τη σχέση:

$$Q_{\max} = 1000 \times \frac{(0.11 \times D_{\text{runner}})^2 \times \pi}{4} \times \sqrt{2 \times g \times H_{\text{net}}}$$

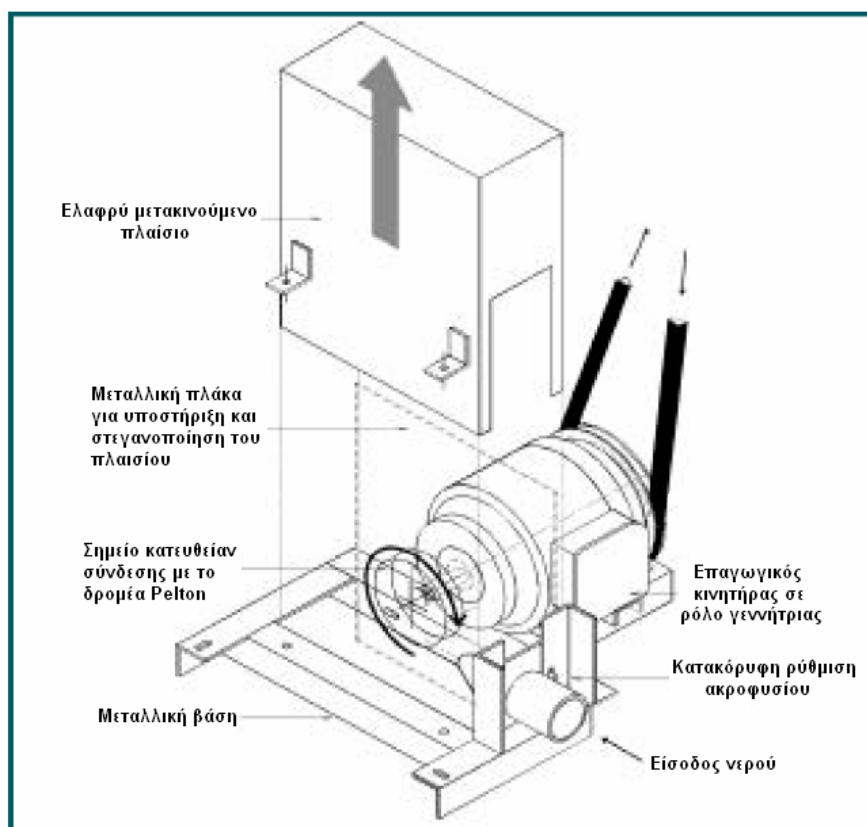
Από τις παραπάνω σχέσεις και τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι εάν επιλέγονταν διπολικός κινητήρας, η τιμή της μέγιστης παροχής νερού στον υδροστρόβιλο θα είχε ιδιαίτερα μικρή τιμή. Οπότε έπρεπε γίνει επιλογή ανάμεσα σε κινητήρα 4 και 6 πόλων. Για λόγους χαμηλότερου κόστους του ζεύγους γεννήτριας-υδροστρόβιλου αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί επαγωγικός κινητήρας 4 πόλων.

Επίσης έπρεπε να αποφασιστεί το μέγεθος της ισχύος του κινητήρα. Οι επιλογές που υπήρχαν ήταν αυτή των 5.5kW και αυτή των 7.5kW. Η ισχύς των 5.5kW ήταν επαρκής για την εγκατάσταση. Όμως επειδή ο κινητήρας θα λειτουργούσε ως γεννήτρια υπήρχε το ενδεχόμενο να παρουσιαστεί μία μείωση στην παραγωγή ισχύος, έως και της τάξης του 20%. Οπότε για να υπάρχει η σιγουριά ότι η ισχύς θα είναι επαρκής επιλέχθηκε η χρησιμοποίηση του κινητήρα των 7.5kW. Ο κινητήρας ήταν κατασκευασμένος ώστε να λειτουργεί στα 380 Volts. Για να επιτευχθεί η λειτουργία του στα 220 Volts, που ήταν και η επιθυμητή τάση ρεύματος, μειώθηκε η ονομαστική του τάση στη μισή, συνδέοντας τα πηνία στο εσωτερικό του παράλληλα. Έτσι ο κινητήρας μπορούσε να λειτουργήσει στα 220 Volts, με την πρόσθεση απλά κάποιων επιπλέον απωλειών μέσω αντιστάσεων.



Σχήμα 3.8: Σύνδεση υδροστρόβιλου με την άτρακτο της γεννήτριας

Αφού προσαρμόστηκε ένα ακροφύσιο 21mm στον υδροστρόβιλο, η παροχή του νερού ήταν περίπου ίση με 12.5 l/sec και η ισχύς εξόδου της γεννήτριας με 4.25kW. Η συχνότητα του παραγόμενου ρεύματος ήταν 52.5 Hertz και η τάση του 230 Volts. Όταν η παροχή του νερού λάμβανε την τιμή των 13.5 l/sec η ισχύς εξόδου γίνονταν περίπου ίση με 4.6kW, γεγονός που έδειχνε πως οι υδραυλικές απώλειες είχαν υποτιμηθεί. Παρόλα αυτά καμία διόρθωση δε χρειάστηκε να γίνει, από τη στιγμή που η τιμή της συχνότητας του ρεύματος ήταν αποδεκτή.



Σχήμα 3.9: Εγκατάσταση-θέση της γεννήτριας

3.1.3.5 Ηλεκτρονικός έλεγχος φορτίου

Ένας ελεγκτής επαγωγικής γεννήτριας (Induction Generator Controller) χρησιμοποιήθηκε για την άμεση ρύθμιση της τάσης, αλλά και για τον έμμεσο έλεγχο της συχνότητας του ρεύματος και της ταχύτητας περιστροφής της ατράκτου. Δύο pico IGC πίνακες χρησιμοποιήθηκαν σε παράλληλη σύνδεση, καθώς ο κάθε ένας από τους δύο μπορούσε να διαχειριστεί μονάχα 3kW. Ο ένας πίνακας συνδέθηκε με τρεις αντιστάσεις ρύθμισης ρεύματος και ο άλλος με δύο.

3.1.3.6 Περιοριστές φορτίου

Σε πολλές micro-pico υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις εμφανίζεται πρόβλημα σοβαρής υπερφόρτωσης, διότι το ηλεκτρικό φορτίο που απαιτούν οι διάφορες συσκευές των καταναλωτών υπερβαίνει αυτό που παράγεται από τη γεννήτρια. Λύση για το πρόβλημα αυτό δεν αποτελεί η τοποθέτηση μετρητών ηλεκτρικού φορτίου σε κάθε νοικοκυριό, καθώς οι μετρητές δε μπορούν να μειώσουν το φορτίο που τραβούν οι συσκευές. Πρέπει λοιπόν αναγκαστικά να χρησιμοποιηθούν συσκευές που δύνανται να περιορίζουν το ηλεκτρικό φορτίο. Ο πιο συνηθισμένος τύπος των συσκευών αυτών είναι οι περιοριστές φορτίου, οι οποίοι αποσυνδέουν το νοικοκυριό από το δίκτυο, εάν ζητηθεί ηλεκτρική ισχύς μεγαλύτερη από αυτή που δύναται να προσφερθεί.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ελάχιστη τιμή της ισχύος εξόδου ήταν αυτή των 4kW. Υποθέτοντας το χειρότερο ενδεχόμενο για την πτώση τάσεως κατά τη διανομή του ηλεκτρικού ρεύματος, η παρεχόμενη στους καταναλωτές ηλεκτρική ισχύς προέκυπτε ίση με 3.5kW. Αφού συμφωνήθηκε με την κοινότητα ότι η ισχύς αυτή θα διαιρούνταν εξίσου ανάμεσα στα 88

νοικοκυριά της περιοχής, αποφασίστηκε η εγκατάσταση ενός περιοριστή φορτίου, με μέγιστο όριο τα 40W, σε κάθε σπίτι.

3.1.4 Το κόστος της εγκατάστασης

3.1.4.1 Οικονομική βιωσιμότητα

Επί του παρόντος, 68 από τα 88 νοικοκυριά έχουν υπογράψει για σύνδεση με το δίκτυο της εγκατάστασης. Στα νοικοκυριά αυτά παρέχεται ηλεκτρικό ρεύμα ισχύος 40W, για 0.55€ το μήνα. Τα συνολικά μηνιαία έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ισχύος ανέρχονται στα 37.4€. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε παραγωγή ισχύος ίση με μόλις 2.7kW. Στα νοικοκυριά που δεν έχουν υπογράψει ακόμα προσφέρεται η δυνατότητα να το κάνουν για μία σύνδεση των 60W ή των 80W. Με τον τρόπο αυτό αναμένεται η εκμετάλλευση και των 4.6kW που δύναται να παραχθούν από την pico υδροηλεκτρική μονάδα και τα μηνιαία έσοδα αναμένεται να ανέλθουν στα 63€. Τα ετήσια έξοδα αναγράφονται στον πίνακα που ακολουθεί.

	Κόστος σε €
Μισθός Χειριστή	199
Συντήρηση και επιδιορθώσεις	110
Έξοδα γραφείου	22
Συνολικά	331

Σχήμα 3.10: Ετήσια έξοδα της μονάδας

Τα καθαρά ετήσια έσοδα που προκύπτουν από την πώληση των 2.7kW της ηλεκτρικής ισχύος είναι ίσα με 119€, ενώ αυτά που προκύπτουν από την πώληση και των 4.6kW της ηλεκτρικής ισχύος είναι ίσα με 424€. Επίσης επιπρόσθετα έσοδα της τάξης των 11€ μηνιαίως δύναται να προκύψουν από τη λειτουργία του μύλου που είναι συνδεδεμένος με την εγκατάσταση. Η οικονομική βιωσιμότητα της συγκεκριμένης επένδυσης λοιπόν κρίνεται ως καλή.

3.1.4.2 Οικονομική συνεισφορά της κοινότητας

Η κοινότητα συνεισέφερε στις κατασκευές του κτιρίου της μονάδας και του δικτύου διανομής ηλεκτρισμού παρέχοντας ντόπιους εργάτες. Επιπλέον με τη μορφή δανείου από τη γεωργική τράπεζα ανάπτυξης προσέφερε το 21% του συνολικού κόστους της εγκατάστασης. Αυτή η οικονομική συνεισφορά της τάξης των 22€ ανά νοικοκυριό είναι μικρότερη από αυτές των περισσότερων pico υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων στο Nepal και αυτό γιατί το πανεπιστήμιο του Nottingham ανέλαβε εξ' ολοκλήρου τα έξοδα του υδροστρόβιλου, της γεννήτριας και του ηλεκτρονικού ελεγκτή, καθώς και τα μισά από τα έξοδα του δικτύου διανομής ηλεκτρισμού, για λόγους επίδειξης της σωστής λειτουργίας κυρίως του ζεύγους υδροστροβίλου-γεννήτριας που χρησιμοποιήθηκε.

3.1.4.3 Τεχνοοικονομικά στοιχεία

Το κόστος ανά kW ισχύος εξόδου της γεννήτριας ήταν 1691.2€, τιμή παρόμοια με αυτή των περισσότερων pico υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων στο Nepal. Οι κύριοι λόγοι που οδήγησαν στην αύξηση του κόστους ήταν τα μεγάλα μήκη του αγωγού νερού και του δικτύου διανομής

ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ οι λόγοι που βοήθησαν στην ελάττωση του κόστους ήταν οι υψηλοί βαθμοί απόδοσης υδροστροβίλου και γεννήτριας. Στον πίνακα που ακολουθεί αναγράφονται οι τιμές του κόστους των διαφόρων στοιχείων και διεργασιών της εγκατάστασης.

	Κόστος (Σε €)
Έργα πολιτικού μηχανικού (συμπεριλαμβανομένου του αγωγού νερού)	2979
Υδροστρόβιλος+γεννήτρια	1613
Ελεγκτής επαγωγικής γεννήτριας (IGC)	483
Διανομή ηλεκτρικού ρεύματος	1457
Περιοριστές φορτίου	329
Λαμπτήρες	316
Συνολικά	7177

Σχήμα 3.11: Τιμές κόστους της εγκατάστασης

Η τιμή του κόστους που μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατευθείαν για τη σύγκριση της pico υδροηλεκτρικής μονάδας με άλλες είναι αυτή του κόστους ανά νοικοκυριό. Επί του παρόντος στο Kushadevi, η τιμή αυτή είναι ίση με 96€ ανά νοικοκυριό και πρόκειται να μειωθεί περίπου στα 76€ ανά νοικοκυριό, όταν και τα 88 σπίτια της περιοχής συνδεθούν με το δίκτυο. Η τιμή αυτή είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική, αν αναλογιστεί κανείς ότι η μέση τιμή του συγκεκριμένου κόστους στο Nepal είναι περίπου 150€ ανά νοικοκυριό. Επιπλέον, λόγω των περιοριστών φορτίου που δεν επιτρέπουν στην τάση να αποκτήσει πολύ χαμηλές τιμές και λόγω των λαμπτήρων φθορισμού που παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση από τις κανονικές λάμπες, το μέγεθος της ποσότητας φωτισμού ανά νοικοκυριό είναι γενικά προτιμότερο από τις περισσότερες άλλες υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις στο Nepal, παρά την όχι ιδιαίτερα υψηλή τιμή της ισχύος εξόδου.

3.1.5 Προβλήματα κατά τη λειτουργία της μονάδας και σχόλια

Η γεννήτρια λειτούργησε χωρίς κανένα απολύτως πρόβλημα από το Δεκέμβριο του 1999 έως και τον Ιούνιο του 2000. Η ρύθμιση της τάσης ήταν άψογη, καθώς οι περιοριστές φορτίου εξασφάλιζαν λειτουργία χωρίς καμία υπερφόρτωση του δικτύου. Τον Ιούλιο του 2000 όμως ένας κεραυνός χτύπησε την εγκατάσταση, με αποτέλεσμα να καταστραφεί ο ελεγκτής επαγωγικής γεννήτριας (IGC) και όλοι οι λαμπτήρες φθορισμού που ήταν αναμμένοι εκείνη τη χρονική στιγμή. Ο ελεγκτής επαγωγικής γεννήτριας μεταφέρθηκε στο Kathmandu και επισκευάστηκε. Καταστράφηκε όμως πάλι, αφού εγκαταστάθηκε ξανά στη μονάδα, κατά τη διάρκεια πτώσεως κεραυνών στην περιοχή. Τοποθετήθηκε έτσι στην εγκατάσταση ένα αλεξικέραυνο, το οποίο όμως δεν ήταν συμβατό με τη μονοφασική της λειτουργία (230V), παρά μόνο με τριφασική (400V).

Η μονάδα λειτούργησε λοιπόν αναγκαστικά χωρίς ελεγκτή επαγωγικής γεννήτριας. Προκειμένου η τάση του ρεύματος να μην αποκτά πολύ υψηλές τιμές συνδέονταν επιπλέον φορτία με τη γεννήτρια, όταν οι καταναλωτές δεν ‘τραβούσαν’ μεγάλα ποσά ισχύος. Μετά από περίπου 6 εβδομάδες η γεννήτρια σταμάτησε να λειτουργεί, λόγω της διάβρωσης των άκρων της, εξαιτίας του υγρού κλίματος και των υλικών χαμηλής ποιότητας που είχαν χρησιμοποιηθεί. Η κατάσταση έγινε ακόμα

χειρότερη όταν υπερφορτώθηκε για πρώτη φορά το δίκτυο. Ολόκληρη η εγκατάσταση παρέμεινε κλειστή για 4 εβδομάδες, ενώ επισκευαζόταν η γεννήτρια.

Το Μάιο του 2001 τοποθετήθηκε καινούριος ελεγκτής επαγωγικής γεννήτριας, ο οποίος παρείχε μεγαλύτερη προστασία ως προς την τάση του ρεύματος και ένα αλεξικέραυνο συμβατό με τη μονοφασική (230V) λειτουργία της μονάδας. Το όλο σύστημα λειτούργησε επιτυχώς, χωρίς κανένα απολύτως πρόβλημα, για 5 μήνες.

Στη συνέχεια παρουσιάστηκαν κάποιες μικρές διαρροές στο κέλυφος του υδροστροβίλου, οι οποίες σταμάτησαν με τη χρησιμοποίηση καινούριων φλαντζών. Επίσης ένα σημείο στο οποίο συνδέονταν δύο τμήματα του αγωγού νερού ξεκόλλησε και επανασυνδέθηκε από τους χωρικούς.

Τέλος αξίζει να αναφερθεί, ότι τον Οκτώβριο του 2001 ένας νέος δρομέας Pelton κατασκευάστηκε στο Kathmandu και τοποθετήθηκε στην εγκατάσταση. Ο λόγος που έγινε αυτό ήταν ότι -εξαιτίας της καλύτερης του σχεδίασης- ο νέος δρομέας αύξανε το βαθμό απόδοσης κατά 8%. Έτσι η ισχύς εξόδου αυξάνονταν ακόμα περισσότερο και έφτανε την τιμή των 4.59kW. Ο παλιός δρομέας που οδηγούσε στην παραγωγή 4.25kW ισχύος εξόδου χρησιμοποιούνταν πλέον ως εφεδρικός.

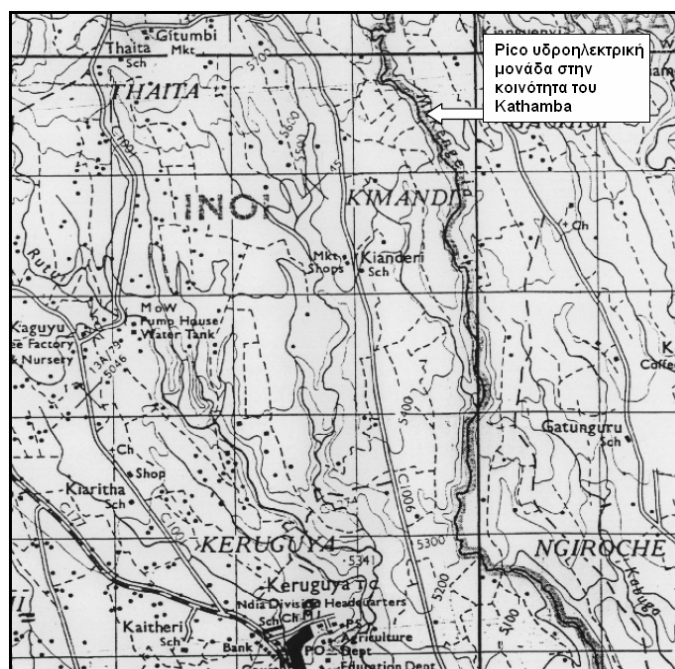
3.2 Pico υδροηλεκτρική εγκατάσταση στο Kathamba (Kenya)

3.2.1 Γενική περιγραφή και επισκόπηση της τοποθεσίας

Στην παρούσα ενότητα περιγράφεται μια pico υδροηλεκτρική εγκατάσταση, που κατασκευάστηκε και λειτούργησε στην κοινότητα Kathamba, της Κένυας (Maher P., 2002). Η κοινότητα Kathamba τοποθετείται στην ανατολική πλευρά του ποταμού Mukengeria κοντά στο Gaghigi, περίπου 4km βόρεια της πόλης Kerugoya. Η πόλη Kerugoya βρίσκεται περίπου 130km βόρεια από την πρωτεύουσα της Κένυας, το Nairobi. Η κοινότητα του Kathamba αποτελείται από 65 σπίτια χτισμένα κοντά στις όχθες του ποταμού Mukengeria και τα κύρια έσοδά της προέρχονται από αγροτικές και γεωργικές δραστηριότητες.

Στην pico υδροηλεκτρική μονάδα της περιοχής χρησιμοποιήθηκε ένας υδροστρόβιλος Pelton συνδεδεμένος απευθείας με ένα επαγωγικό κινητήρα σε ρόλο γεννήτριας. Η ισχύς εξόδου του επαγωγικού κινητήρα σε ρόλο γεννήτριας ήταν 1.1 kW, με βαθμό απόδοσης υδροστροβίλου-γεννήτριας 48%. Ο αγωγός νερού είχε μήκος 158m, διάμετρο 110mm και ήταν φτιαγμένος από υλικό PVC (Polyvinyl-Chloride). Το καθαρό διαθέσιμο υδραυλικό ύψος ήταν 28m και η τιμή της παροχής του νερού στον υδροστρόβιλο 8.4 l/sec. Η παροχή του νερού στον ποταμό ήταν ίση με τουλάχιστον 5 l/sec κατά το 90% της διάρκειας του έτους και μάλιστα ο ποταμός δεν είχε στερέψει ποτέ στην πρόσφατη ιστορία του. Στη δεξαμενή της εγκατάστασης αποθηκεύονταν περίπου 80m³ νερού, προκειμένου να εξασφαλίζεται η συνεχής λειτουργία του υδροστροβίλου.

Η ισχύς εξόδου της γεννήτριας ρυθμιζονταν από ένα ελεγκτή επαγωγικής γεννήτριας (IGC), ώστε να διατηρούνται σταθερές η τάση και η συχνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος, κατά τη διάρκεια των μεταβολών του φορτίου. Η περισσευούμενη ισχύς –όποτε υπήρχε- καταναλώνονταν από μία αντίσταση ρύθμισης ρεύματος. Τα 65 νοικοκυριά που βρίσκονταν σε ακτίνα 550m από το κτίριο της μονάδας ήταν όλα συνδεδεμένα με ένα μονοφασικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ισχύος, κατασκευασμένο από μονωμένους χάλκινους αγωγούς. Σε κάθε σπίτι παρέχονταν 230V, που ήταν αρκετά για τη λειτουργία ενός ή δύο οικονομικών λαμπτήρων και ενός ραδιοφώνου. Προκειμένου να σχεδιαστεί το πλάνο του συστήματος διανομής της ηλεκτρικής ισχύος αναγνωρίστηκαν τα σημεία που βρίσκονταν η γεννήτρια και τα 65 σπίτια της περιοχής μέσω μίας συσκευής GPS. Τέλος αναφέρεται ότι το κόστος ανά νοικοκυριό της εγκατάστασης υπολογίστηκε περίπου ίσο με 43€, ενώ περίπου το 50% του κόστους αυτού προσφέρθηκε από τους ίδιους τους καταναλωτές.



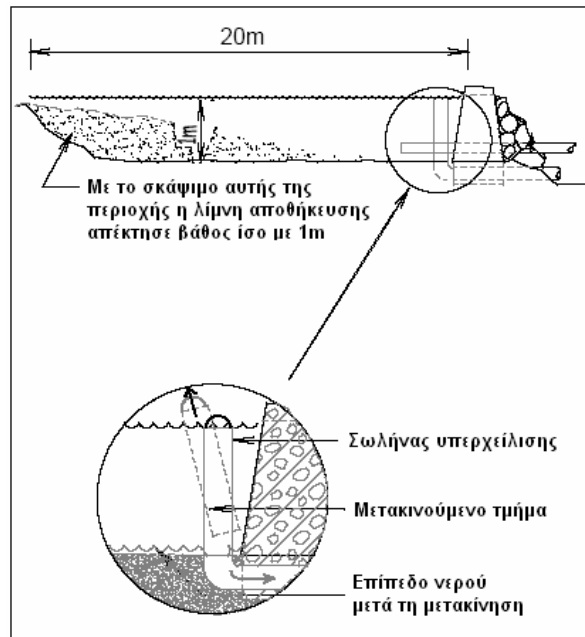
Σχήμα 3.12: Τοποθέτηση της εγκατάστασης πάνω σε χάρτη της περιοχής

3.2.2 Χαρακτηριστικά στοιχεία της εγκατάστασης

3.2.2.1 Είσοδος νερού και λίμνη αποθήκευσης

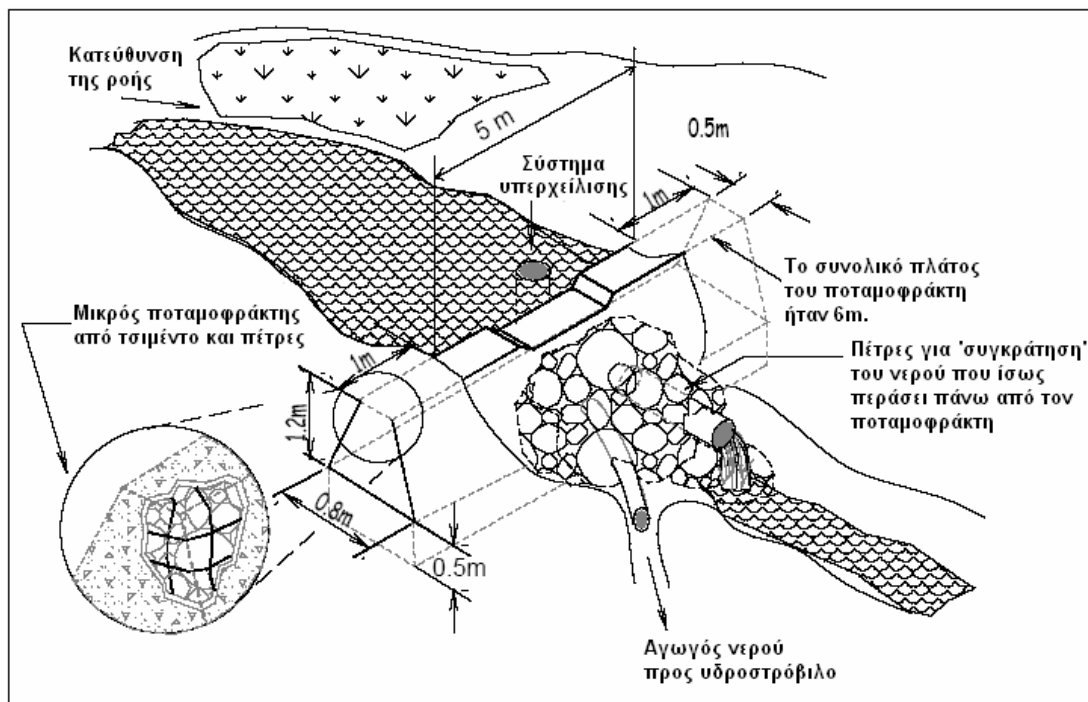
Παρόλο που σε ιδιαίτερα ξηρές ημέρες η παροχή του νερού μπορούσε να γίνει ίση με μόλις 3 l/sec, η μέση τιμή της παροχής κατά τη διάρκεια ολόκληρου του έτους υπολογίστηκε ίση με 8 l/sec και αυτή ήταν η τιμή που χρησιμοποιήθηκε ως τιμή της παροχής κατά τη σχεδίαση της εγκατάστασης. Ένας μικρός τσιμεντένιος ποταμοφράκτης κατασκευάστηκε, ώστε ο αγωγός νερού κάθε στιγμή να κατακλύζεται από νερό. Ο φυσικός χώρος αποθήκευσης του νερού πίσω από τον ποταμοφράκτη διευρύνθηκε, αποκτώντας 4-5m πλάτος, 20m μήκος και 1m βάθος (συνολικός όγκος: 80m³). Έτσι η λίμνη αποθήκευσης μπορούσε πλέον να προμηθεύει την επιπλέον παροχή νερού που απαιτούνταν, τόσο κατά τις βραδινές ώρες φωτισμού της κοινότητας, όσο και κατά τις ξηρές ημέρες του έτους, κατά τις οποίες η μέγιστη παροχή ήταν 5.5 l/sec.

Προκειμένου να αποφευχθεί η οποιαδήποτε φθορά ή καταστροφή της εγκατάστασης σε περίπτωση υπερχειλίστης της λίμνης τοποθετήθηκε ένας σωλήνας υπερχειλίστης στο χαμηλότερο σημείο του ποταμοφράκτη. Ένα τμήμα του σωλήνα αυτού ήταν μετακινούμενο, ώστε να επιτρέπεται στο νερό να διαφεύγει σε περίπτωση ανάγκης.



Σχήμα 3.13: Λίμνη αποθήκευσης και σύστημα υπερχειλίσσης

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται η γεωμετρία και όλα τα χαρακτηριστικά της λίμνης αποθήκευσης, του μικρού ποταμοφράκτη και της εισόδου του νερού, όπως ακριβώς κατασκευάστηκαν.



Σχήμα 3.14: Λίμνη αποθήκευσης, ποταμοφράκτης και είσοδος του νερού

3.2.2.2 Αγωγός νερού

Ο αγωγός νερού μετέφερε το νερό από το σημείο της εισόδου του στην εγκατάσταση έως τον υδροστρόβιλο, εξασφαλίζοντάς του ταυτόχρονα την πίεση που απαιτούνταν να υπάρχει όταν αυτό έφτανε στο ακροφύσιο. Το μήκος του αγωγού νερού ήταν 158m. Αυτή ήταν η μικρότερη απόσταση που μετρήθηκε ανάμεσα στον υδροστρόβιλο και το σημείο εισόδου. Ως υλικό του αγωγού επιλέχθηκε το PVC (Polyvinyl-Chloride) και ως τιμή της διαμέτρου του επιλέχθηκε αυτή των 110mm.



Σχήμα 3.15: Χαντάκι τοποθέτησης του αγωγού

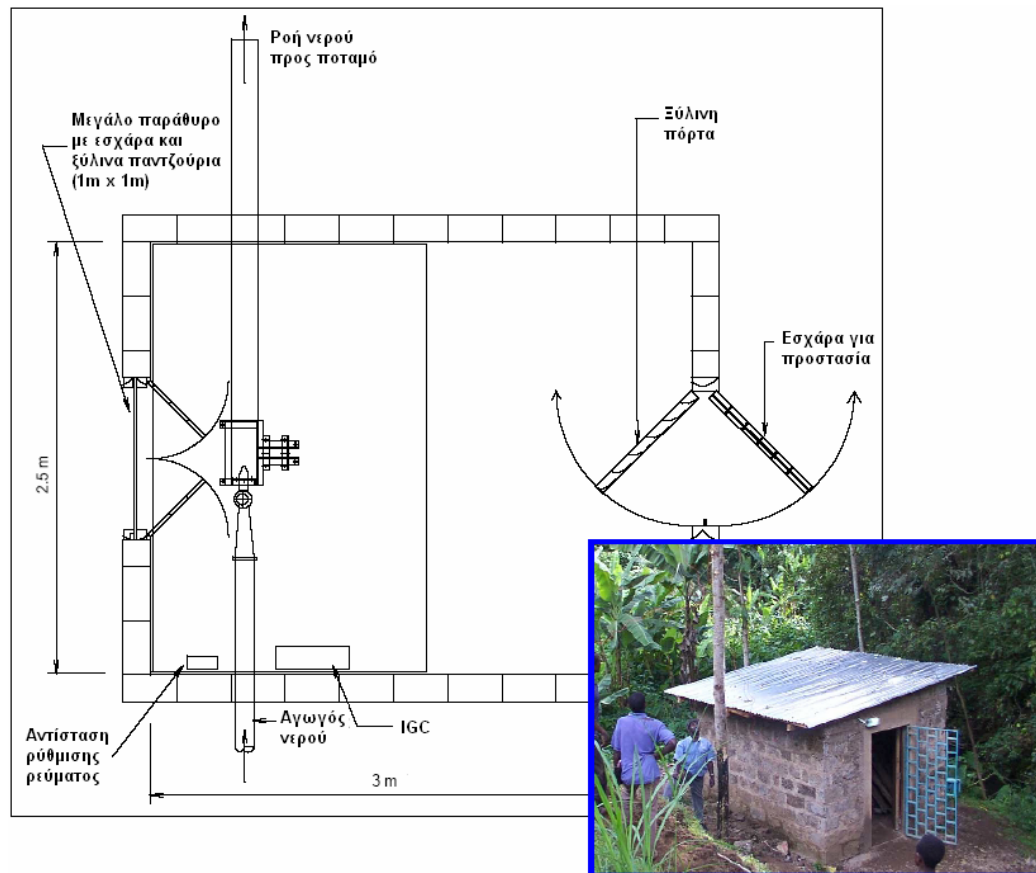
Η αντοχή του αγωγού σε πίεση ήταν ίση με 6 bar. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και αγωγός μικρότερης αντοχής σε πίεση, αλλά δεν υπήρχε κάποιος άλλος διαθέσιμος. Φυσικά αυτό δεν ήταν αρνητικό, αφού τα ενισχυμένα τοιχώματα εξασφάλιζαν αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής. Ο αγωγός νερού θάφτηκε λίγο κάτω από το έδαφος, για λόγους τοποθέτησης και προστασίας. Τέλος, το καθαρό υδραυλικό ύψος που παρείχε ο αγωγός ήταν 28m, ενώ οι απώλειες (με παροχή ίση με 8 l/sec) ήταν περίπου 2m.



Σχήμα 3.16: Αγωγός νερού

3.2.2.3 Κτίριο της μονάδας

Η θέση του κτιρίου της μονάδας επιλέχθηκε έτσι ώστε να εξασφαλίζεται το μέγιστο διαθέσιμο υδραυλικό ύψος. Ταυτόχρονα λήφθηκε υπόψη το γεγονός ότι το κτίριο της μονάδας θα έπρεπε να βρίσκεται αρκετά ψηλά, ώστε να αποφεύγονται φθορές από τυχόν πλημμύρες του ποταμού. Το κτίριο κατασκευάστηκε χρησιμοποιώντας υλικά της περιοχής, όπως πέτρες και ξύλα, προκειμένου να μειωθούν τα έξοδα των μεταφορών και των υλικών της εγκατάστασης. Ο ιδιοκτήτης της περιοχής πείστηκε να την παραχωρήσει για την κατασκευή του κτιρίου, αφού του υποσχέθηκε δωρεάν κατανάλωση της ηλεκτρικής ισχύος, μόλις η εγκατάσταση τελειοποιηθεί.



Σχήμα 3.17: Κτίριο της μονάδας

3.2.2.4 Υδροστρόβιλος

Ένας υδροστρόβιλος Pelton χρησιμοποιήθηκε για τη μετατροπή της υδραυλικής ισχύος σε μηχανική περιστρεφόμενου άξονα. Ο υδροστρόβιλος συνδέθηκε απευθείας με τον επαγωγικό κινητήρα σε ρόλο γεννήτριας και στεγάστηκε σε μία μεταλλική θήκη.

Αρχικά υπήρχαν 3 διαθέσιμοι υδροστρόβιλοι, με διαμέτρους δρομέα ίσες με 120mm, 160mm και 200mm αντίστοιχα. Τα διαφορετικά μεγέθη του δρομέα λειτουργούσαν καλύτερα με διαφορετικούς συνδυασμούς των τιμών υδραυλικού ύψους και παροχής. Ακόμα ο δρομέας έπρεπε να περιστρέφεται με την κατάλληλη ταχύτητα, αυτή δηλαδή που απαιτούνταν από τον επαγωγικό κινητήρα της εγκατάστασης. Το εύρος της ταχύτητας αυτής ήταν ιδιαίτερα περιορισμένο, αφού τα συνδεδεμένα στο δίκτυο ηλεκτρικά φορτία απαιτούσαν ηλεκτρικό ρεύμα συχνότητας 50 Hz. Έτσι

αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί ο δρομέας διαμέτρου 200mm σε συνδυασμό με έναν επαγωγικό κινητήρα 6 πόλων. Ο λόγος για αυτό φαίνεται στις εξισώσεις που ακολουθούν.

Η ταχύτητα λειτουργίας ενός επαγωγικού κινητήρα 6 πόλων δίνεται από την σχέση:

$$RPM = \frac{120 \times f}{6} \times (1 + \%s)$$

,όπου με f συμβολίζεται η συχνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος (frequency) και με s ο παράγοντας ολίσθησης στη γεννήτρια (generator slip).

Υποθέτοντας την τυπική τιμή $s = 3\%$ για τη γεννήτρια, η ταχύτητα λειτουργίας του επαγωγικού κινητήρα γίνεται ίση με:

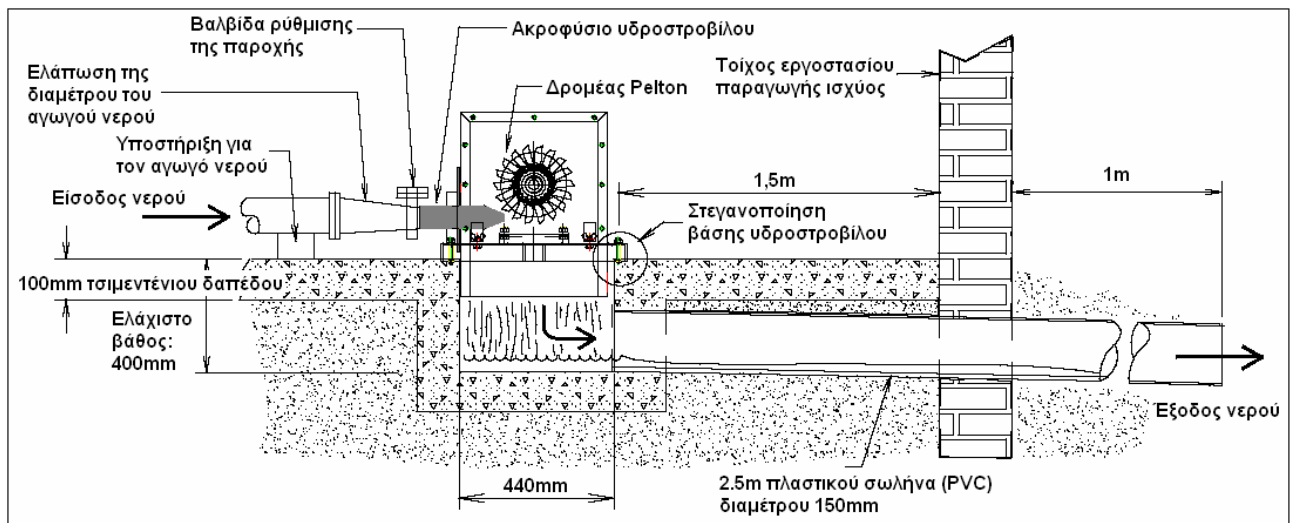
$$RPM = \frac{120 \times 50}{6} \times 1.03 = 1030 RPM$$

Οπότε τώρα δύναται να επιλεγθεί η κατάλληλη διάμετρος δρομέα ως εξής:

$$D_{runner} = \frac{38 \sqrt{H_{net}}}{RPM} = \frac{38 \times \sqrt{28}}{1030} = 195 mm$$

Η παροχή νερού για τον υδροστρόβιλο ήταν ίση με 8.4 l/sec, επομένως η διάμετρος του απλού ψεκαστήρα του υδροστρόβιλου προέκυψε:

$$D_{jet} = \sqrt{\frac{flow}{3.43 \times \sqrt{H_{net}}}} = 22 mm$$



Σχήμα 3.18: Σχεδίαση του υδροστρόβιλου μέσα στο κτίριο της μονάδας

Τέλος αναφέρεται ότι ο υδροστρόβιλος της εγκατάστασης κατασκευάστηκε στην Κένυα από ντόπιους κατασκευαστές, αφού εκπαιδεύτηκαν για δύο εβδομάδες στο Κέντρο micro υδροηλεκτρικών έργων στο Nairoombi, το Φεβρουάριο του 2001.



Σχήμα 3.19: Ο υδροστρόβιλος της εγκατάστασης

3.2.2.5 Γεννήτρια

Ένας τριφασικός επαγωγικός κινητήρας ισχύος 1.5kW με 240V συνδέσεως ‘δέλτα’ επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ως γεννήτρια της μονάδας. Όπως αναφέρθηκε κατά την περιγραφή του υδροστρόβιλου της εγκατάστασης, ο απαιτούμενος αριθμός των πόλων ήταν 6.

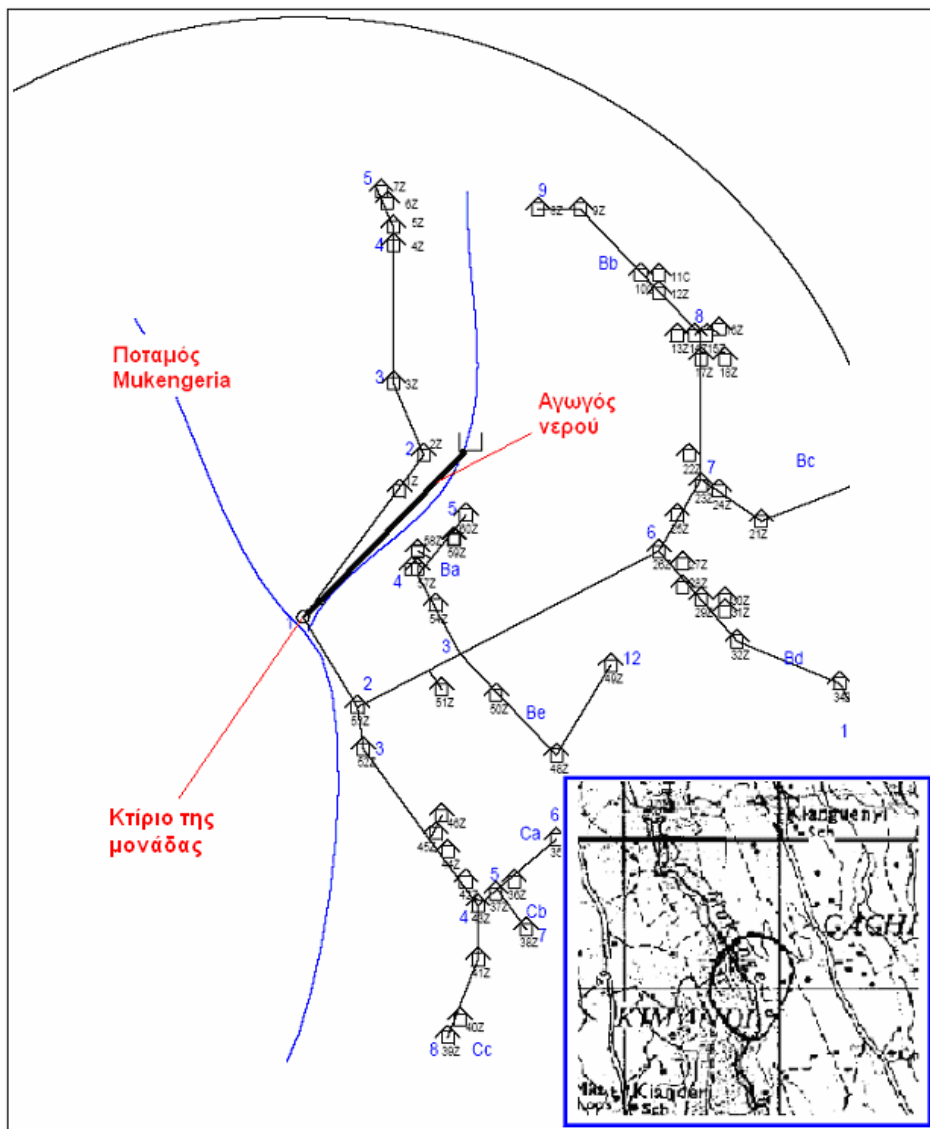


Σχήμα 3.20: Ο επαγωγικός κινητήρας που χρησιμοποιήθηκε ως γεννήτρια

Επίσης τοποθετήθηκε ένας ελεγκτής επαγωγικής γεννήτριας (IGC), ώστε να παραμένουν σταθερές οι τιμές της τάσης και της συχνότητας του ηλεκτρικού ρεύματος, κατά τη διάρκεια μεταβολών του φορτίου. Αυτό επιτυγχάνονταν στέλλοντας την περισσευούμενη ηλεκτρική ισχύ σε μία αντίσταση ρύθμισης ρεύματος.

3.2.3 Δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ισχύος

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι θέσεις των καταναλωτών συγκριτικά με τη γεννήτρια της εγκατάστασης. Ο μεγάλος κύκλος αντιπροσωπεύει μία ακτίνα 500m γύρω από το κτίριο της μονάδας. Τα σημεία του χάρτη πάνω στα οποία βρίσκονταν τα σπίτια καταγράφηκαν χρησιμοποιώντας μία φτηνή συσκευή GPS. Έτσι επιτεύχθηκε ο ακριβής υπολογισμός του μήκους των καλωδίων που απαιτούνταν ώστε να παρέχεται ηλεκτρική ισχύς σε κάθε νοικοκυριό της περιοχής και η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος αποδεκτού εύρους τάσης ακόμα και στα πιο απομακρυσμένα σπίτια, χωρίς υπερβολικό κόστος. Τα δέντρα της περιοχής χρησιμοποιήθηκαν ως στύλοι του συστήματος διανομής, αφού επεξεργάστηκαν κατάλληλα, ώστε να αποφευχθούν οι φθορές από τους τερμίτες και από τη διάβρωση.



Σχήμα 3.21: Δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ισχύος

Η σύνδεση των νοικοκυριών με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ισχύος της εγκατάστασης έγινε υπό την επίβλεψη ντόπιων ηλεκτρολόγων. Η ηλεκτρική ισχύς στα νοικοκυριά χρησιμοποιούνταν κυρίως

για τη λειτουργία οικονομικών ηλεκτρικών λαμπτήρων, ραδιοφώνων και καμιά φορά φορτιστών κινητών τηλεφώνων.

3.2.4 Το κόστος της εγκατάστασης

Λόγω της περιορισμένης παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος και του σχετικά μεγάλου αριθμού καταναλωτών, η διαθέσιμη ηλεκτρική ισχύς σε κάθε νοικοκυριό ήταν αρκετή μονάχα για τη λειτουργία ενός ή δύο ηλεκτρικών λαμπτήρων και ενός ραδιοφώνου. Αυτό είχε το πλεονέκτημα ότι το κόστος διανομής της ηλεκτρικής ισχύος διαιρούνταν με ένα μεγάλο αριθμό καταναλωτών, γεγονός που συνέφερε οικονομικά όλα τα νοικοκυριά. Οι καταναλωτές επέλεξαν τη σύνδεση ενός ή τη σύνδεση δύο ηλεκτρικών λαμπτήρων, ανάλογα με το ποσό που ήταν διατεθειμένοι να πληρώσουν. Το συνολικό κόστος της pico υδροηλεκτρικής εγκατάστασης υπολογίστηκε ίσο με 43€ ανά νοικοκυριό, ενώ τα επιμέρους έξοδα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Έξοδα	Κόστος
Έργα πολιτικού μηχανικού	184 €
Αγωγός νερού PVC	313 €
Υδροστρόβιλος, γεωήτρια, IGC	882 €
Δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ισχύος, καλωδιώσεις, ηλεκτρικοί λαμπτήρες (65 νοικοκυριά, 100 λαμπτήρες)	1.287 €
Εργάτες	120 €
Συνολικά	2.786 €

Σχήμα 3.22: Τα επιμέρους έξοδα της εγκατάστασης

3.2.5 Συνεισφορά της κοινότητας

Ένα από τα βασικά στοιχεία που οδήγησαν στην επιτυχή κατασκευή της pico υδροηλεκτρικής μονάδας στο Kathamba ήταν η συνεισφορά της κοινότητάς του. Αυτή ήταν απαραίτητη προκειμένου να μειωθεί το κόστος της εγκατάστασης, το οποίο διαφορετικά θα είχε προκύψει κατά πολύ μεγαλύτερο.

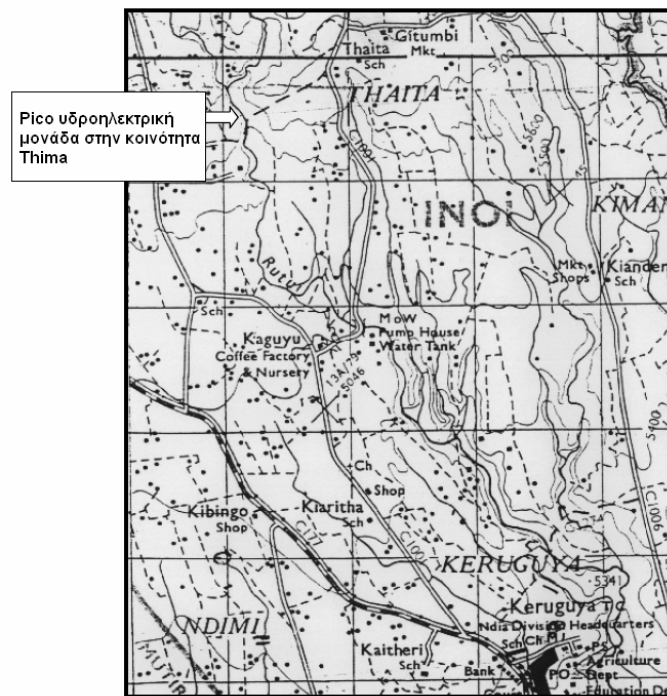
Αμέσως μόλις κρίθηκε επαρκής η διαθέσιμη υδραυλική ισχύς της περιοχής έγινε η πρώτη συγκέντρωση των μελών της κοινότητας, προκειμένου να συζητηθεί το σενάριο της κατασκευής μιας pico υδροηλεκτρικής μονάδας. Στη συνέχεια εκλέχθηκε μία επιτροπή για να κατευθύνει τη διαδικασία της εγκατάστασης και για να επιβλέπει τη μετέπειτα λειτουργία. Μία συμφωνία υπογράφηκε, στην οποία αναφέρονταν ότι θα παρέχονταν αποκλειστικά από την κοινότητα όλα τα απαιτούμενα υλικά για την κατασκευή του κτιρίου της μονάδας, καθώς και ολόκληρο το εργατικό δυναμικό. Επίσης οι καταναλωτές έπρεπε να καταβάλλουν ένα ποσό για τη σύνδεσή τους με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ισχύος, αμέσως μετά την εγκατάσταση του υδροστρόβιλου. Με τον

τρόπο αυτό καλύφθηκε το κόστος του δικτύου διανομής, των καλωδιώσεων και των ηλεκτρικών λαμπτήρων, που όπως έχει ήδη αναφερθεί ανέρχονταν στα 1287€.

3.3 Ρίσο υδροηλεκτρική εγκατάσταση στο Thima (Kenya)

3.3.1 Γενική περιγραφή και επισκόπηση της τοποθεσίας

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται η μελέτη (Maher P., 2002) μιας ρίσο υδροηλεκτρικής εγκατάστασης στην κοινότητα Thima, της Κένυας. Η κοινότητα Thima τοποθετείται περίπου 4km βορειοδυτικά της πόλης Kerugoya, η οποία -όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο παράδειγμα- βρίσκεται περίπου 130km βόρεια από την πρωτεύουσα της Κένυας, το Nairobi. Το κτίριο της μονάδας είναι δίπλα στον ποταμό Rutui, ο οποίος σχηματίζεται από τη συνένωση του ποταμού Kangaita και ενός μικρότερου ρεύματος νερού. Η συνένωση αυτή γίνεται σε απόσταση 500m από τον υδροστρόβιλο της εγκατάστασης. Η κοινότητα Thima αποτελείται από 160 νοικοκυριά, το πιο μακρινό από τα οποία απέχει 900m από το κτίριο της μονάδας.



Σχήμα 3.23: Τοποθέτηση της εγκατάστασης πάνω σε χάρτη της περιοχής

Στη συγκεκριμένη ρίσο υδροηλεκτρική εγκατάσταση χρησιμοποιήθηκε μία αντλία ως υδροστρόβιλος, συνδεδεμένη κατευθείαν με έναν επαγωγικό κινητήρα σε ρόλο γεννήτριας. Η ηλεκτρική ισχύς εξόδου του κινητήρα ήταν ίση με 2.2kW. Ο αγωγός νερού είχε μήκος 90m και διάμετρο 160mm, ενώ κατασκευάστηκε από υλικό PVC. Το καθαρό υδραυλικό ύψος της εγκατάστασης ήταν 18m και η παροχή του νερού στον υδροστρόβιλο 28 l/sec. Η ηλεκτρική ισχύς εξόδου των 2.2kW αντιστοιχούσε σε βαθμό απόδοσης 45% του ζεύγους γεννήτριας-υδροστροβίλου.

Η παροχή νερού στον ποταμό Rutuí, ο οποίος τροφοδοτούσε τη μονάδα, ήταν ίση με περισσότερα από 100 l/sec κατά το 90% της διάρκειας του έτους, ενώ η ελάχιστη τιμή της παροχής του νερού, που μετρήθηκε ύστερα από μία μακρά περίοδο ξηρασίας, ήταν 84 l/sec.

Η ισχύς εξόδου της γεννήτριας ελέγχονταν από ένα ελεγκτή επαγωγικής γεννήτριας (IGC), προκειμένου να εξασφαλίζεται η διατήρηση των επιθυμητών τιμών της τάσης και της συχνότητας του ρεύματος, κατά τη διάρκεια αλλαγών του φορτίου. Η περισσευούμενη κάθε φορά ισχύς καταναλώνονταν από μία αντίσταση ρύθμισης ρεύματος, που αποτελούνταν από δύο αντιστάσεις των 1.8kW σε παράλληλη σύνδεση.

Με την εγκατάσταση συνδέθηκαν τα 110 από τα 160 νοικοκυριά της περιοχής, που βρίσκονταν σε ακτίνα 900m από το κτίριο της μονάδας. Το σύστημα διανομής ηλεκτρισμού ήταν μονοφασικό και αποτελούνταν από μονωμένους χάλκινους αγωγούς. Το κάθε σπίτι προμηθεύονταν 230V ηλεκτρικής τάσης, η οποία ήταν αρκετή για τη λειτουργία ενός ή δύο ηλεκτρικών λαμπτήρων και ενός ραδιοφώνου. Η σύνδεση όλων των νοικοκυριών με την εγκατάσταση δεν ήταν εφικτή, επειδή υπήρχε ήδη κοντά ένα δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος, για τις ανάγκες ενός εργοστασίου παρασκευής τσαγιού και της τοπικής εκκλησίας και οι καλωδιώσεις θα έμπλεκαν πολύ μεταξύ τους. Οι ακριβείς θέσεις της γεννήτριας της εγκατάστασης και των νοικοκυριών της περιοχής καταγράφηκαν χρησιμοποιώντας ένα σύστημα GPS, ώστε να είναι εφικτή η κατασκευή του σχεδίου διανομής της ηλεκτρικής ισχύος.

Τέλος αναφέρεται ότι το μέσο κόστος ανά νοικοκυριό, για ολόκληρο τον εξοπλισμό και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, ανέρχονταν στα 43€, ενώ οι ίδιοι οι καταναλωτές συνεισέφεραν περίπου το 50% αυτού του κόστους. Επιπλέον σημειώνεται ότι οι καταναλωτές προσέφεραν τις υπηρεσίες και την εργασία τους εντελώς δωρεάν.

3.3.2 Χαρακτηριστικά στοιχεία της εγκατάστασης

3.3.2.1 Είσοδος νερού και λίμνη αποθήκευσης

Η τιμή που χρησιμοποιήθηκε κατά τη σχεδίαση της εγκατάστασης, για την παροχή του νερού στον υδροστρόβιλο, ήταν αυτή των 28 l/sec. Η παροχή του νερού στον ποταμό Rutuí μετρήθηκε με τη μέθοδο Salt Gulp (όπως έχει περιγραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο) και η χαμηλότερη τιμή που καταγράφηκε ήταν 84 l/sec, ύστερα από μία ιδιαίτερα παρατεταμένη περίοδο ξηρασίας. Οπότε υπήρχε η βεβαιότητα ότι η απαιτούμενη παροχή νερού στον υδροστρόβιλο θα ήταν πάντοτε διαθέσιμη.

Στα pico υδροηλεκτρικά έργα –σε αντίθεση με τα μεγαλύτερα υδροηλεκτρικά έργα- ευνοείται η εκμετάλλευση των φυσικών χαρακτηριστικών της περιοχής, αφού έτσι μειώνεται το υψηλό κόστος των έργων πολιτικού μηχανικού. Στη συγκεκριμένη περίπτωση έγινε χρήση μίας φυσικής διακλάδωσης του νερού στον ποταμό, προκειμένου να είναι πιο εύκολη η είσοδος του στην εγκατάσταση. Χρησιμοποιήθηκαν σάκοι γεμάτοι με λάσπη για την ενίσχυση του καναλιού που οδηγούσε το νερό στο σημείο εισόδου και τοποθετήθηκαν βράχοι έτσι ώστε να σχηματίζεται μία μικρή λίμνη. Το βάθος της λίμνης ήταν τέτοιο, που εξασφάλιζε το γεγονός ότι ο αγωγός νερού θα παρέμενε πάντοτε γεμάτος. Τα κενά ανάμεσα στους βράχους καλύφθηκαν με μικρές πέτρες και με σάκους γεμάτους από χώμα. Τέλος, ένας σωλήνας καθαρισμού τοποθετήθηκε στο βυθό της λίμνης, για την εύκολη εκκένωσή της και την απομάκρυνση των καθιζημάτων.



Σχήμα 3.24: Σχηματισμός της μικρής λίμνης από βράχους και από σάκους με λάσπη

Για την είσοδο του νερού χρησιμοποιήθηκαν τμήματα ενός σωλήνα PVC χαμηλής αντοχής σε πίεση και ένα συρμάτινο δίχτυ πάχους 5mm. Το συρμάτινο δίχτυ λειτουργούσε ως φίλτρο, μην επιτρέποντας σε ανεπιθύμητα κομμάτια να εισέλθουν στον αγωγό νερού και επομένως στον υδροστρόβιλο. Επίσης, ένας ξύλινος φράχτης τοποθετήθηκε κάθετα στην είσοδο του καναλιού, για να σταματά μεγάλες ξύλινες βέργες και φύλλα των δέντρων.



Σχήμα 3.25: Το συρμάτινο δίχτυ πάχους 5mm που λειτουργεί ως φίλτρο

3.3.2.2 Αγωγός νερού

Μέσα σε λίγες ώρες και με τη βοήθεια της κοινότητας, κατασκευάστηκε στην όχθη του ποταμού Rutui μία πλατφόρμα από πέτρες, το επίπεδο της οποίας ήταν τέτοιο ώστε να υποστηρίζεται η εγκατάσταση του πρώτου τμήματος του αγωγού νερού. Σάκοι γεμάτοι με χώμα χρησιμοποιήθηκαν, προκειμένου να διατηρούν τον αγωγό νερού σταθερά στην επιθυμητή θέση και να τον προστατεύουν από την ηλιακή ακτινοβολία. Αποφασίστηκε ακόμα η χρησιμοποίηση μεταλλικών ράβδων μέσα σε τσιμέντο, για τη στήριξη ενός τμήματος του αγωγού, που αιωρούνταν πάνω από μία απότομη και βραχώδη πλαγιά, παράλληλα στον καταρράκτη. Οι μεταλλικές ράβδοι ήταν ντόπιας κατασκευής. Στα σημεία του αγωγού νερού που υπήρχε αυξημένος κίνδυνος σπασίματος συγκολλήθηκαν και στεγανοποιήθηκαν κολάρα, που συγκρατούσαν γερά το σωλήνα.

Το μήκος του αγωγού νερού της εγκατάστασης ήταν 90m και το υδραυλικό ύψος που προέκυπτε 20m. Ο αγωγός νερού ήταν φτιαγμένος από υλικό PVC με όριο αντοχής σε πίεση τα 6 bar. Η ονομαστική διάμετρος που επιλέχθηκε ήταν αυτή των 160mm. Οι υδραυλικές απώλειες για παροχή νερού ίση με 28 l/sec προέκυπταν 2m, οπότε το καθαρό υδραυλικό ύψος που παρέχονταν στον υδροστρόβιλο ήταν 18m. Ο αγωγός δεν ήταν ενιαίος, αλλά αποτελούνταν από κομμάτια των 6m, τα άκρα των οποίων είχαν κατάλληλες υποδοχές, προκειμένου να ενώνονται μεταξύ τους. Δεν απαιτήθηκε καμία συγκόλληση οποιονδήποτε άκρων, αφού μετά την ένωσή τους σταθεροποιούνταν όλα, με τη βοήθεια λαστιχένιων δαχτυλιδιών σχήματος 'O'.



Σχήμα 3.26: Φωτογραφία τμήματος του αγωγού νερού

Ένα μειονέκτημα του αγωγού νερού φτιαγμένου από υλικό PVC αποτελεί το γεγονός ότι αυτός είναι σχεδόν άκαμπτος, πράγμα που δυσκολεύει την εγκατάστασή του σε ανώμαλες και βραχώδεις περιοχές. Το πρόβλημα αυτό παρουσιάστηκε και στη συγκεκριμένη περίπτωση, αφού η περιοχή κοντά στον ποταμό Rutui είναι ιδιαίτερα απότομη και βραχώδης. Η λύση δόθηκε με τη χρησιμοποίηση δύο καμπύλων με γωνία 45° , οι οποίες έδιναν στο σωλήνα την επιθυμητή κλίση στα πιο απότομα σημεία της περιοχής, όπως φαίνεται στη φωτογραφία που ακολουθεί.



Σχήμα 3.27: Χρησιμοποίηση καμπύλης σωλήνα με γωνία 45°

Άλλα τμήματα του αγωγού νερού, προκειμένου να αποκτήσουν το επιθυμητό σχήμα ή την επιθυμητή κλίση σε κάποια σημεία, τροποποιήθηκαν κατάλληλα, ύστερα από θέρμανση με τη βοήθεια φωτιάς. Κατά τη διαδικασία της θέρμανσης τα τμήματα του αγωγού περιστρέφονταν συνέχεια, ενώ ήταν γεμάτα με καυτή άμμο, για να αποφευχθεί κάθε κίνδυνος σπασίματος.



Σχήμα 3.28: Θέρμανση τμημάτων του αγωγού νερού με τη βοήθεια φωτιάς

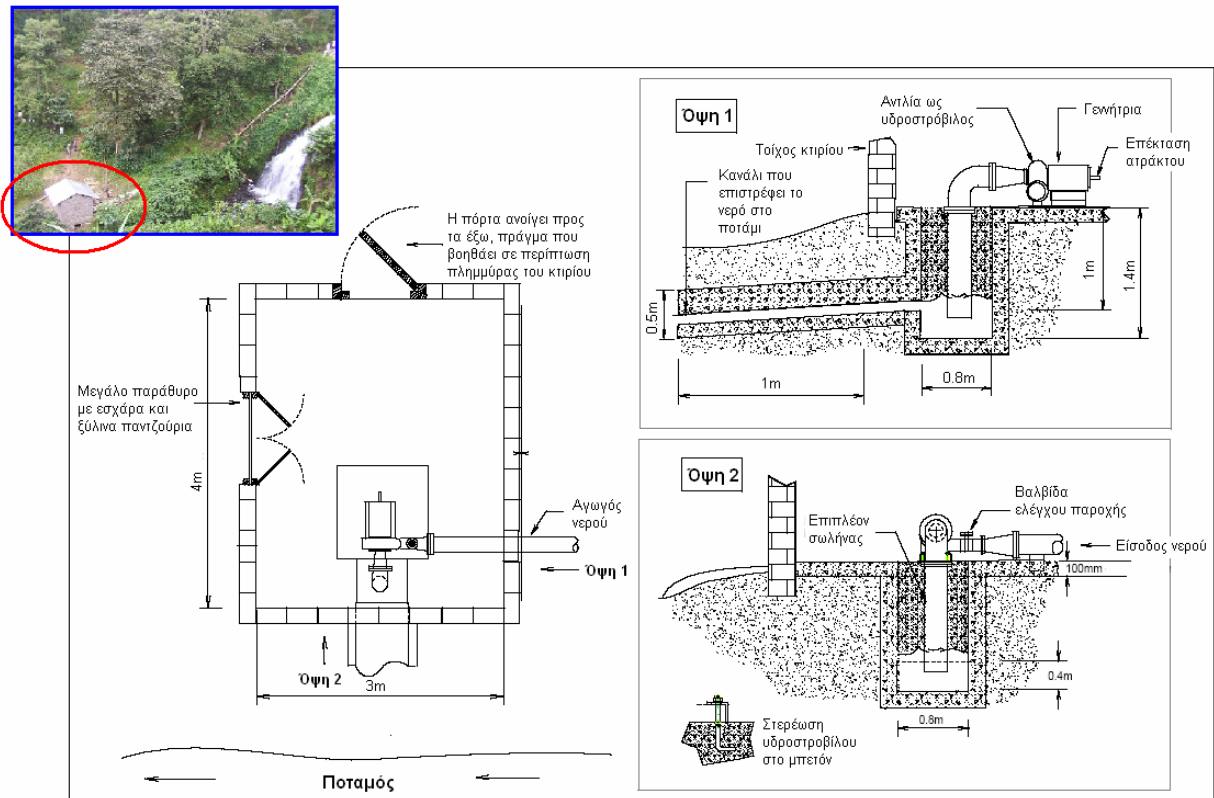
3.3.2.3 Κτίριο της μονάδας

Το κτίριο της μονάδας κατασκευάστηκε προκειμένου να στεγάζεται ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός της εγκατάστασης, δηλαδή η αντλία που λειτουργούσε ως υδροστρόβιλος και η γεννήτρια. Βρίσκονταν πάνω από το επίπεδο του νερού σε περίπτωση πλημμύρας, για να αποφευχθούν οποιεσδήποτε φθορές ή καταστροφές. Το σημείο πάνω στο οποίο θα βρίσκονταν επιλέχθηκε με κριτήρια τη μεγιστοποίηση του διαθέσιμου υδραυλικού ύψους και την ελαχιστοποίηση του μήκους του αγωγού νερού. Ένας επιπλέον σωλήνας τοποθετήθηκε στην έξοδο της αντλίας, όπως φαίνεται στο ακόλουθη φωτογραφία, προκειμένου να προστίθεται 1m ακόμα στο υδραυλικό ύψος.



Σχήμα 3.29: Σωλήνας στην έξοδο της αντλίας

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται σχέδια του κτιρίου της μονάδας, από διάφορες οπτικές γωνίες, όπως ακριβώς κατασκευάστηκαν.



Σχήμα 3.30: Κτίριο της μονάδας

3.3.2.4 Αντλία σε ρόλο υδροστρόβιλου

Από τη στιγμή που το υδραυλικό ύψος της εγκατάστασης δεν επαρκούσε για να καλύψει τη λειτουργία ενός υδροστρόβιλου Pelton, επιλέχτηκε μία άλλη οικονομική και αξιόπιστη λύση. Αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί μία φυγοκεντρική αντλία, αφού οι φυγοκεντρικές αντλίες μπορούν να λειτουργήσουν ως υδροστρόβιλοι, εάν εγκατασταθούν κατάλληλα. Η φυγοκεντρική αντλία που χρησιμοποιήθηκε ήταν τύπου 'mono-block', εφοδιασμένη με έναν επαγωγικό κινητήρα απευθείας συνδέσεως. Η περωτή της αντλίας θα λειτουργούσε ως δρομέας υδροστρόβιλου και ο επαγωγικός κινητήρας ως γεννήτρια.

Όταν μία αντλία λειτουργεί ως υδροστρόβιλος είναι δύσκολο να προβλεφθούν με ακρίβεια οι επιδόσεις της. Συνήθως γίνονται κάποιοι υπολογισμοί, μέσω εξισώσεων που αναφέρονται σε επιδόσεις αντλιών, για την επιλογή των χαρακτηριστικών της. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο κατασκευαστής της αντλίας (η αντλία κατασκευάστηκε στο Nairombi) παρείχε τις εξισώσεις που υπολόγιζαν τις επιδόσεις αυτές. Το κύριο κριτήριο για την επιλογή της αντλίας αποτέλεσε ο βέλτιστος βαθμός απόδοσης, κατά τη λειτουργία της σε ρόλο υδροστρόβιλου. Οι ακόλουθες εξισώσεις χρησιμοποιήθηκαν, οι οποίες λαμβάνουν υπόψη την απαραίτητη αύξηση της ταχύτητας, όταν η αντλία είναι κατευθείαν συνδεδεμένη με ένα επαγωγικό κινητήρα σε ρόλο γεννήτριας.

$$Q_t = \frac{N_t}{N_p} \times \frac{Q_{bep}}{n_{\max}^{0.8}}$$

$$H_t = \left(\frac{N_t}{N_p} \right)^2 \times \frac{H_{bep}}{n_{\max}^{1.2}}$$

Όπου:

- Q_t : Η παροχή του νερού κατά τη χρησιμοποίηση της αντλίας ως υδροστρόβιλο (σε l/sec)
 H_t : Το υδραυλικό ύψος κατά τη χρησιμοποίηση της αντλίας ως υδροστρόβιλο (σε m)
 Q_{bep} : Η παροχή του νερού στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας (σε l/sec)
 H_{bep} : Το υδραυλικό ύψος στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας (σε m)
 N_t : Η ταχύτητα του υδροστρόβιλου (σε RPM)
 N_p : Η ταχύτητα της αντλίας (σε RPM)
 η_{max} : Ο βέλτιστος βαθμός απόδοσης (σε ποσοστό %)

Χρησιμοποιώντας δεδομένα για μία ‘Kiloskar 515+’ αντλία, οι τιμές των μεταβλητών Q_t και H_t αποκτούσαν τιμές που ταίριαζαν με τις επιθυμητές, επιτρέποντας ταυτόχρονα τις απώλειες των 2m υδραυλικού ύψους στον αγωγό νερού. Όμως παρά τους θεωρητικούς υπολογισμούς, η αντλία στην πράξη δεν παρουσίαζε την αναμενόμενη ισχύ εξόδου, κατά τη λειτουργία της στην ταχύτητα που απαιτούσε η παραγωγή του ρεύματος των 50 Hz. Έτσι, με τη βοήθεια ενός τόννου, η διάμετρος της περωτής μειώθηκε, για να ανταποκρίνεται η αντλία στις απαιτήσεις της εγκατάστασης. Ένα κιβώτιο στεγανοποίησης με ελαστικά παρεμβύσματα προτιμήθηκε έναντι μίας μεταλλικής στεγανοποίησης, καθώς έτσι ήταν πιο εύκολη η επίβλεψη των τμημάτων προς αντικατάσταση. Τέλος, η περωτή της αντλίας επιλέχθηκε να είναι μπρούντζινη και όχι σιδερένια, αφού έτσι παρουσίαζε μεγαλύτερη αντίσταση στη διάβρωση.

3.3.2.5 Γεννήτρια

Η αντλία ‘Kiloskar 515+’ που επιλέχθηκε να λειτουργεί ως υδροστρόβιλος της εγκατάστασης συνδέθηκε με έναν επαγωγικό κινητήρα των 3.7 kW (ή 5 H.P.). Έτσι προέκυπτε η ηλεκτρική ισχύς εξόδου ίση με 2.2 kW. Η τάση του παραγομένου ρεύματος επιλέχθηκε να είναι ίση με 260V.



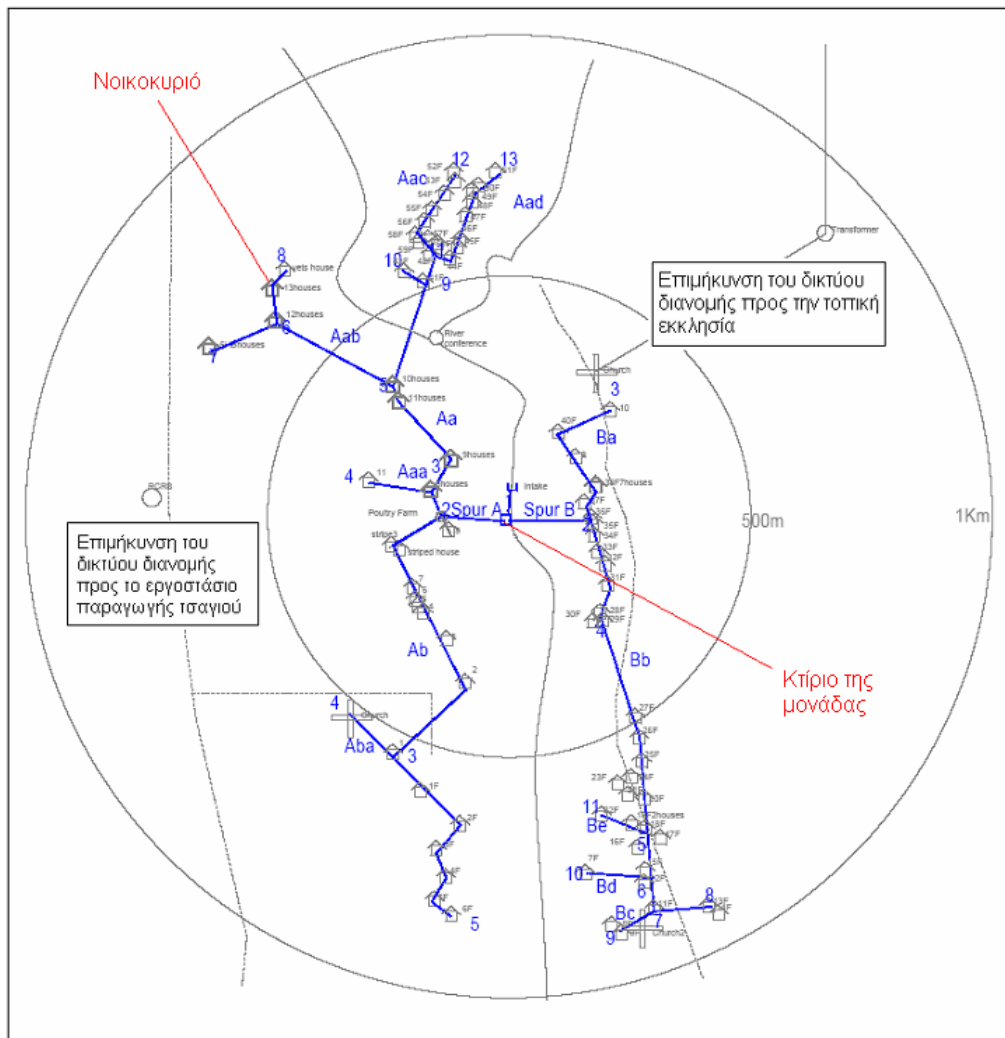
Σχήμα 3.31: Ο επαγωγικός κινητήρας σε ρόλο γεννήτριας

Ένας ελεγκτής επαγωγικής γεννήτριας (IGC) των 3 kW ρύθμιζε την τάση και τη συχνότητα του παραγομένου ρεύματος, στέλνοντας -όποτε χρειαζόνταν- την περισσευούμενη ισχύ σε μία

αντίσταση ρύθμισης ρεύματος. Η αντίσταση ρύθμισης ρεύματος αποτελούνταν από δύο αντιστάσεις των 1.8kW, συνδεδεμένες παράλληλα.

3.3.3 Δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ισχύος

Οι ακριβείς θέσεις των νοικοκυριών της περιοχής φαίνονται στο σχέδιο που ακολουθεί και προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια ενός συστήματος GPS χαμηλού κόστους. Το GPS (Global Positioning System) προσδιορίζει τις θέσεις χρησιμοποιώντας 3 ή περισσότερους δορυφόρους, με ακρίβεια $\pm 15\text{m}$.



Σχήμα 3.32: Δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ισχύος

Με τη βοήθεια ενός προγράμματος λογισμικού και ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή, υπολογίστηκαν οι ελάχιστες διαμέτροι των καλωδίων του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ισχύος, προσέχοντας ταυτόχρονα όλοι οι καταναλωτές να προμηθεύονται την ίδια ηλεκτρική τάση, άσχετα με τη θέση στην οποία βρίσκονται.

3.3.4 Το κόστος της εγκατάστασης

Το συνολικό κόστος της pico υδροηλεκτρικής μονάδας προέκυψε ίσο με 43€ ανά νοικοκυριό. Αυτό σημαίνει πως η εγκατάσταση ήταν αρκετά οικονομική, ιδιαίτερα αν συγκριθεί με τις εναλλακτικές πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος. Τα επιμέρους έξοδα της εγκατάστασης παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Έξοδα	Κόστος
Έργα πολιτικού μηχανικού	184 €
Αγωγός νερού	441 €
Υδροστρόβιλος, γεωήτρια και IGC	1.287 €
Δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ισχύος, καλωδιώσεις και ηλεκτρικοί λαμπτήρες (110 νοικοκυριά - 200 λαμπτήρες)	2.474 €
Εργάτες	294 €
Συνολικά	4.680 €

Σχήμα 3.33: Τα επιμέρους έξοδα της εγκατάστασης

3.3.5 Συνεισφορά της κοινότητας

Προτού αποφασιστεί η κατασκευή μίας pico υδροηλεκτρικής μονάδας στην περιοχή, η τοπική κοινότητα του Thima είχε σχηματίσει ένα συνεταιρισμό, μέσω του οποίου συγκεντρώνονταν χρήματα, προκειμένου να αγοραστεί ένας μετασχηματιστής. Ο μετασχηματιστής προορίζονταν για τη σύνδεση των νοικοκυριών της περιοχής με το προϋπάρχον δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος, το οποίο κάλυπτε αποκλειστικά τις ανάγκες ενός εργοστασίου παραγωγής τσαγιού.

Αυτός είναι ο μόνος τρόπος σύνδεσης με δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος για πολλές αγροτικές περιοχές στην Κένυα. Σε πολλές χώρες της Αφρικής είναι πολύ σύνηθες φαινόμενο να υπάρχουν οι γραμμές κάποιου δικτύου διανομής ηλεκτρικής ισχύος ανάμεσα ή και δίπλα σε νοικοκυριά, αλλά αυτά να μην είναι συνδεδεμένα, επειδή οι απαιτήσεις τους όσον αφορά την ηλεκτρική ισχύ είναι πολύ μικρές, πράγμα οικονομικά ασύμφορο για τις εταιρείες παροχής ηλεκτρισμού.

Η κοινότητα του Thima δεν κατάφερε να συγκεντρώσει το χρηματικό ποσό που απαιτούνταν για την αγορά του μετασχηματιστή και έτσι αποφασίστηκε η κατασκευή της συγκεκριμένης pico υδροηλεκτρικής μονάδας. Η κοινότητα οργανώθηκε και κινητοποιήθηκε από την αρχή της διαδικασίας κατασκευής της εγκατάστασης και προσέφερε πολύ σημαντική βοήθεια στην πραγματοποίησή της. Συνεισέφερε περίπου το 50% του συνολικού κόστους του εξοπλισμού και των

υλικών που χρησιμοποιήθηκαν, ενώ ταυτόχρονα τα μέλη της παρείχαν τη βοήθεια, τις υπηρεσίες και την εργασία τους εντελώς δωρεάν.

3.4 Οικονομική μελέτη 4 micro/pico υδροηλεκτρικών μονάδων στο Sri Lanka

3.4.1 Γενικά

Υπάρχουν περίπου 130 υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις στο Sri Lanka. Οι περισσότερες από αυτές ανήκουν στην κατηγορία των micro/pico υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων, αφού η ισχύς εξόδου τους δεν ξεπερνά τα 100 kW. Αυτή τη στιγμή επίσημα σε λειτουργία βρίσκονται 80 micro/pico υδροηλεκτρικές μονάδες. Στην παρούσα μελέτη (Smail Khennas and Andrew Barnett, 2000) επιλέχθηκαν 4 από αυτές, οι οποίες θεωρήθηκαν αντιπροσωπευτικές. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι 4 επιλεγμένες micro/pico υδροηλεκτρικές μονάδες και κάποια από τα βασικά τους γνωρίσματα.

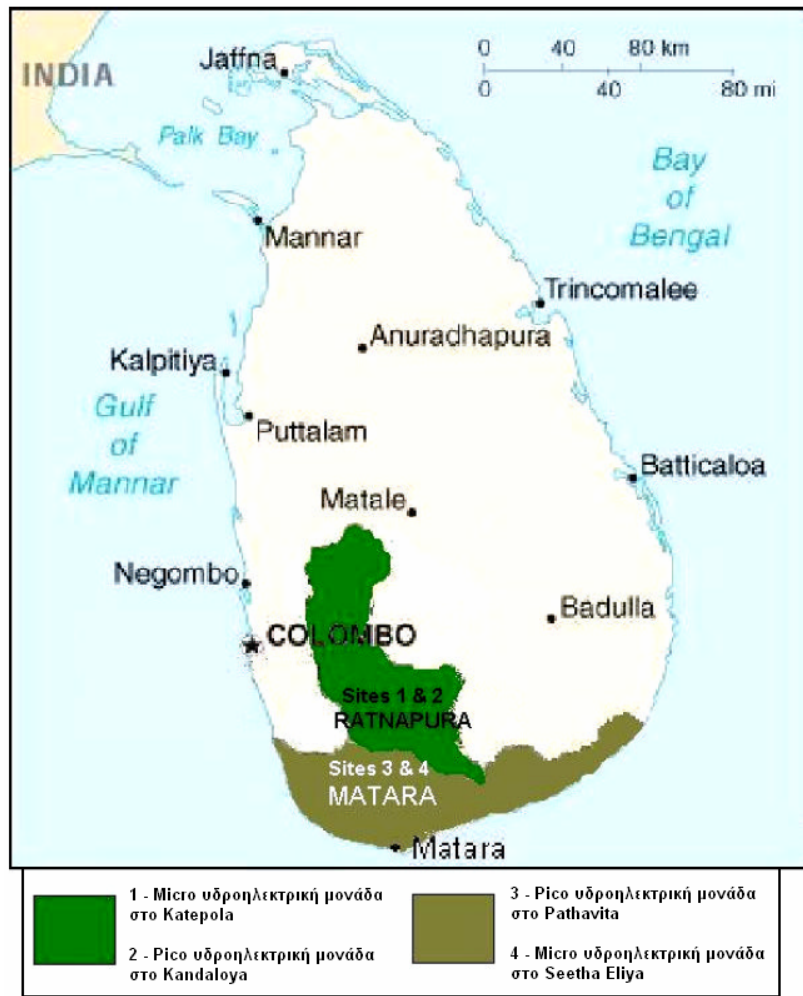
Τοποθεσία	Περιοχή	Έτος κατασκευής	Ιδιοκτησία	Ισχύς εξόδου	Κεφάλαιο	Χρήση
Pathavita	Matara	1997	Ανήκει στην κοινότητα	10 kW	Δάνειο και συνεισφορά της κοινότητας	Επεξεργασία σιδήρου
Kandaloya	Kegalle	1998	Ανήκει στην κοινότητα	10 kW	Δάνειο, δωρεές και συνεισφορά της κοινότητας	Παραγωγή πάγου και λειτουργία ψυγείου
Katepola	Ratnapura	1995	Ανήκει στην ECS (Electricity Consumer Society)	24 kW	Δωρεές και συνεισφορά της κοινότητας	Λειτουργία μύλου προς παραγωγή ρυζιού
Seetha Eliya	Matara	1985	Ανήκει σε ιδιώτη	60 kW	Ιδιώτη, τραπεζικό δάνειο και δωρεές	Λειτουργία εργοστασίου παραγωγής τσαγιού και φωτισμός

Σχήμα 3.34: Οι 4 micro/pico υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις προς μελέτη

Οι λόγοι για τους οποίους επιλέχθηκαν προς περαιτέρω μελέτη οι συγκεκριμένες 4 micro/pico υδροηλεκτρικές μονάδες ήταν το ότι παρουσιάζουν μεταξύ τους διαφορετικά οικονομικά χαρακτηριστικά, καθώς και το ότι η παραγόμενη ηλεκτρική τους ισχύ χρησιμοποιείται για τελείως διαφορετικούς σκοπούς. Στη συνέχεια παρουσιάζεται με λεπτομέρεια η οικονομικής φύσεως ανάλυσή τους.

Αξίζει ακόμα να σημειωθεί ότι οι τρεις από τις τέσσερις micro/pico υδροηλεκτρικές μονάδες έχουν κατασκευαστεί σχετικά πρόσφατα, ενώ η τέταρτη λειτουργεί εδώ και πολλά χρόνια. Για τις τρεις

πρώτες δε λαμβάνονται υπόψη οι πωλήσεις σε ανεξάρτητα νοικοκυριά, καθώς αυτά πληρώνουν μηνιαίως μία συνδρομή, γνωρίζοντας ταυτόχρονα τα όρια που επιβάλλονται για το ποσό της ηλεκτρικής ισχύος που δαπανάται.



Σχήμα 3.35: Οι 4 micro/pico υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις προς μελέτη πάνω στο χάρτη

3.4.2 Περιγραφή και οικονομικά στοιχεία

3.4.2.1 Micro υδροηλεκτρική μονάδα στο Katerola

Το Katerola είναι ένα χωριό στην περιοχή Ratnapura του Sri Lanka, κοντά στην πόλη Ayagama. Οι περισσότεροι κάτοικοι του Katerola είναι άνθρωποι με χαμηλό εισόδημα, το οποίο προκύπτει κυρίως από την καλλιέργεια ρυζιού, την παραγωγή κανέλλας, την κατασκευή λάστιχων ή την εργασία τους στα κτήματα της περιοχής Dumbara. Το κεφάλαιο που συγκεντρώθηκε για τη χρηματοδότηση της κατασκευής της micro υδροηλεκτρικής εγκατάστασης στο Katerola προήλθε κυρίως από δωρεές, καθώς και από τη συνεισφορά των μελών της κοινότητας. Κανένα εμπορικό δάνειο δε χρησιμοποιήθηκε.

Η micro υδροηλεκτρική εγκατάσταση στο Katerola προμηθεύονταν την παροχή νερού από τον ποταμό Thundola και η ισχύς εξόδου της μονάδας ήταν ίση με 25 kW. Χρησιμοποιήθηκε μία σύγχρονη γεννήτρια, σε συνδυασμό με ένα ηλεκτρονικό ελεγκτή φορτίου (ELC, Electronic Load Controller). Η μονάδα τροφοδοτούσε με ηλεκτρική ισχύ 106 νοικοκυριά και ένα μύλο προς παραγωγή ρυζιού. Η διεύθυνση, ο οικονομικός έλεγχος και ο συντονισμός των φορτίων γίνονταν από την ECS (Electricity Community Society), η οποία είναι μία εταιρεία που δημιουργήθηκε από τους καταναλωτές της ηλεκτρικής ισχύος.

Ισχύς εξόδου της μονάδας	25kW
Έτος κατασκευής	1995
Κόστος κατασκευής και εγκατάστασης	
Ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	15929€ (39.7%)
Έργα πολιτικού μηχανικού	17554€ (43.8%)
Δικτύου διανομής ηλεκτρικής ισχύος (συμπεριλαμβάνονται και τα έξοδα μεταφορών)	6611€ (16.5%)
Συνολικά	40094€ (100%)
Έσοδα	
Δωρεές	25481 €
Χρέωση για σύνδεση ενός νοικοκυριού	47€ (έτος 1995), 128€ (έτος 1997)
Μηνιαία χρέωση νοικοκυριού	1.1€ (τιμή του έτους 1999)
Παροχή ισχύος και περιορισμοί	
Τροφοδοσία κάθε νοικοκυριού	200W
Μέγιστος αριθμός ωρών χρήσης για μία ημέρα	5
Συνολικό κόστος ανά εγκατεστημένο kW	1604 €

Σχήμα 3.36: Το οικονομικό προφίλ της μονάδας

Το κάθε ένα από τα 106 νοικοκυριά της περιοχής προμηθεύονταν 200W ηλεκτρικής ισχύος, με μηνιαία χρέωση 1.1€ (τιμή του έτους 1999). Η micro υδροηλεκτρική μονάδα τροφοδοτούσε επίσης ένα μύλο προς παραγωγή ρυζιού, ο οποίος κατασκευάστηκε με τη βοήθεια δωρεών και λειτουργούσε μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ο μύλος τροφοδοτούνταν με ηλεκτρική ισχύ χωρίς καμία μηνιαία χρέωση. Τα έσοδα που προέκυπταν από την παραγωγή ρυζιού πήγαιναν στην ECS, αφού πρώτα πληρώνονταν ο χειριστής του μύλου.

3.4.2.2 Pico υδροηλεκτρική μονάδα στο Kandaloya

Το Kandaloya είναι ένα απομακρυσμένο χωριό, που τοποθετείται περίπου 23 km μακριά από την πόλη Yatiyantota, στην περιοχή Ratnapura του Sri Lanka. Οι περισσότεροι κάτοικοι του Kandaloya είναι άνθρωποι μετρίου εισοδήματος, το οποίο προκύπτει από την ενασχόλησή τους με γεωργικές δραστηριότητες. Στην περιοχή υπάρχει ιδιαίτερα υψηλή ζήτηση για ηλεκτρική ισχύ, η οποία χρειάζεται κυρίως για τη λειτουργία ψυγείων προς κατασκευή πάγου, αλλά και για το φωτισμό των νοικοκυριών. Το κεφάλαιο που συγκεντρώθηκε για τη χρηματοδότηση της κατασκευής της pico υδροηλεκτρικής εγκατάστασης στο Kandaloya προήλθε από δανειοδότηση της εταιρείας ESD (Energy Services Delivery), από τη συνεισφορά των μελών της κοινότητας και από κάποιες δωρεές.

Ισχύς εξόδου της μονάδας	10kW
Έτος κατασκευής	1998
Κόστος κατασκευής και εγκατάστασης	
Ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	4524€ (19.8%)
Έργα πολιτικού μηχανικού	7222€ (31.5%)
Δικτύου διανομής ηλεκτρικής ισχύος (συμπεριλαμβάνονται και τα έξοδα μεταφορών)	11157€ (48.7%)
Συνολικά	22903€ (100%)
Έσοδα	
Δωρεές	3285 €
Μηνιαία χρέωση νοικοκυριού	2.8€
Δάνειο	
Επιτοκίο	16%
Ποσό δανείου	6084 €
Χρονική διάρκεια εξόφλησης	5 έτη
Παροχή ισχύος και περιορισμοί	
Τροφοδοσία κάθε νοικοκυριού	100W
Μέγιστος αριθμός ωρών χρήσης για μία ημέρα	5
Συνολικό κόστος ανά εγκατεστημένο kW	2290 €

Σχήμα 3.37: Το οικονομικό προφίλ της μονάδας

Η pico υδροηλεκτρική μονάδα χρησιμοποίησε έναν επαγωγικό κινητήρα σε ρόλο γεννήτριας, σε συνδυασμό με έναν ελεγκτή επαγωγικής γεννήτριας (IGC). Η ισχύς εξόδου της μονάδας ήταν ίση με 10 kW και τροφοδοτούνταν από αυτή 88 νοικοκυριά.

3.4.2.3 Pico υδροηλεκτρική μονάδα στο Pathavita

Το Pathavita είναι ένα απομακρυσμένο χωριό, που τοποθετείται περίπου 200 km μακριά από την πόλη Colombo, στην περιοχή Matara του Sri Lanka. Το χωριό διαιρείται σε δύο τμήματα, λόγω ενός βουνού που παρεμβάλλεται μεταξύ τους και αποτελείται από 200 νοικοκυριά, που επεκτείνονται σε ένα ιδιαίτερα μεγάλο κομμάτι Γης. Αυτός ο τρόπος, με τον οποίο κατανέμονται τα νοικοκυριά στην περιοχή, καθιστούσε πολύ δύσκολη την οικονομική ηλεκτροδότηση ολόκληρου του χωριού, με μία αποδεκτή τιμή τάσης ηλεκτρικού ρεύματος.

Ισχύς εξόδου της μονάδας	10kW
Έτος κατασκευής	1997
Κόστος κατασκευής και εγκατάστασης	
Ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	9420€ (58.1%)
Έργα πολιτικού μηχανικού	4357€ (26.1%)
Δικτύου διανομής ηλεκτρικής ισχύος (συμπεριλαμβάνονται και τα έξοδα μεταφορών)	2422€ (15%)
Συνολικά	16199€ (100%)
Έσοδα	
Δωρεές	2057 €
Μηνιαία χρέωση νοικοκυριού	1.5€
Δάνειο	
Επιτοκίο	16%
Ποσό δανείου	6084 €
Χρονική διάρκεια εξόφλησης	8 έτη
Παροχή ισχύος και περιορισμοί	
Τροφοδοσία κάθε νοικοκυριού	100W
Μέγιστος αριθμός ωρών χρήσης για μία ημέρα	5
Συνολικό κόστος ανά εγκατεστημένο kW	1620 €

Σχήμα 3.38: Το οικονομικό προφίλ της μονάδας

Το κεφάλαιο που συγκεντρώθηκε για τη χρηματοδότηση της κατασκευής της pico υδροηλεκτρικής εγκατάστασης στο Pathavita προήλθε από δανειοδότηση της εταιρείας RCCW (Rotary Club of Colombo-West), καθώς και από τη συνεισφορά των μελών της κοινότητας. Η pico υδροηλεκτρική μονάδα χρησιμοποιούσε έναν επαγωγικό κινητήρα ισχύος 5.5 kW ως γεννήτρια, σε συνδυασμό με έναν ελεγκτή επαγωγικής γεννήτριας (IGC) κινέζικης κατασκευής. Στο αρχικό στάδιο η εγκατάσταση τροφοδοτούσε μόλις 66 νοικοκυριά και η ισχύς εξόδου της ήταν ίση με 10 kW.

Το Μάρτιο του 1997, αντικαταστάθηκε το ζεύγος υδροστροβίλου-γεννήτριας από ένα καινούριο, το οποίο παρείχε ισχύ εξόδου 10 kW, αλλά τροφοδοτούσε 103 νοικοκυριά. Το κεφάλαιο για την αντικατάσταση αυτή προήλθε από δανειοδότηση της εταιρείας ESD (Energy Services Delivery), καθώς και από δωρεά της εταιρείας ECS (Electricity Consumers Society). Το ύψος του δανείου έφτανε στα 6084€, ενώ αυτό της δωρεάς στα 2057€. Το κάθε νοικοκυριό της περιοχής τροφοδοτούνταν με 100W, ενώ η μηνιαία χρέωση του για την παροχή ηλεκτρικής ισχύος ήταν ίση με 1.5€. Τέλος, ο μισθός του χειριστή του κτιρίου της μονάδας ανέρχονταν στα 11€ το μήνα.

3.4.2.4 Micro υδροηλεκτρική μονάδα στο Seetha Eliya

Το Seetha Eliya τοποθετείται κοντά στην πόλη Kandilpana, στην περιοχή Matara του Sri Lanka. Η micro υδροηλεκτρική μονάδα στο Seetha Eliya κατασκευάστηκε προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες σε ηλεκτρική ισχύ του εργοστασίου παραγωγής τσαγιού της περιοχής και ανήκει σε ιδιώτη, τον ιδιοκτήτη του εργοστασίου. Η ισχύς εξόδου της εγκατάστασης είναι αρκετά πάνω από το μέσο όρο των micro υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων στο Sri Lanka, αγγίζοντας τα 60kW. Το κεφάλαιο που συγκεντρώθηκε για τη χρηματοδότηση της κατασκευής προήλθε από τον ιδιοκτήτη του εργοστασίου παραγωγής τσαγιού, από ένα εμπορικό δάνειο και από κάποιες πολύ μικρές δωρεές.

Ισχύς εξόδου της μονάδας	60kW
Έτος κατασκευής	1985
Κόστος κατασκευής και εγκατάστασης	165930 €
Δάνειο	
Επιτοκίο	26%
Ποσό δανείου	72459 €
Χρονική διάρκεια εξόφλησης	10 έτη
Συνολικό κόστος ανά εγκατεστημένο kW	2765 €

Σχήμα 3.39: Το οικονομικό προφίλ της μονάδας

Η κατασκευή της micro υδροηλεκτρικής εγκατάστασης στο Seetha Eliya ξεκίνησε το 1983 και ολοκληρώθηκε το 1985. Αρχικά χρησιμοποιούνταν ένας επαγωγικός κινητήρας ως γεννήτρια, ο οποίος στη συνέχεια αντικαταστάθηκε από μία σύγχρονη γεννήτρια. Η διεύθυνση, ο οικονομικός έλεγχος και η ρύθμιση των φορτίων γίνονταν μέσω του εργοστασίου παραγωγής τσαγιού.

3.4.3 Οικονομική ανάλυση

Οι pico υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις στο Kandaloya και στο Pathavita του Sri Lanka, οι οποίες δανειοδοτήθηκαν από την εταιρεία ESD (Energy Services Delivery), παρουσιάζουν ένα δείκτη IRR (Internal Rate of Return) ίσο με 10% και 6% αντίστοιχα, ενώ η micro υδροηλεκτρική μονάδα στο Katepola, η χρηματοδότηση της οποίας προήλθε αποκλειστικά από δωρεές και από τη συνεισφορά της κοινότητας, παρουσιάζει ένα δείκτη IRR πολύ χαμηλό ή αρνητικό. Η micro υδροηλεκτρική μονάδα στο Seetha Eliya, που ανήκει σε ιδιώτη, παρουσιάζει ένα ιδιαίτερα ψηλό δείκτη IRR, ίσο με 24%.

Micro/Pico υδροηλεκτρική μονάδα	Δείκτης IRR (Internal Rate of Return)
Katepola	<0
Kandaloya	10%
Pathavita	6%
Seetha Eliya	24%

Σχήμα 3.40: Δείκτες IRR των συγκεκριμένων επενδύσεων

Συγκρίνοντας τις τιμές του δείκτη IRR των συγκεκριμένων 4 micro/pico υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων, καθίσταται προφανές ότι η πλέον οικονομικά συμφέρουσα επένδυση είναι αυτή της micro υδροηλεκτρικής μονάδας στο Seetha Eliya. Αυτό είναι πολύ λογικό, αφού η μονάδα είχε τη σημαντική βοήθεια ενός ιδιωτικού κεφαλαίου και επιπλέον δεν υπήρχε λόγος κατασκευής ενός δικτύου διανομής ηλεκτρικής ισχύος, που θα οδηγούσε σε επιπλέον σημαντικά έξοδα. Επίσης, από τη χαμηλή τιμή του δείκτη IRR της micro υδροηλεκτρικής μονάδας στο Katepola, γίνεται αντιληπτό το πόσο δύσκολο είναι για μία κοινότητα να αποκτήσει μία micro/pico υδροηλεκτρική μονάδα, που θα την τροφοδοτεί με ηλεκτρική ισχύ, όταν δεν υπάρχει η οικονομική βοήθεια κάποιας δανειοδότησης.

3.4.4 Συμπεράσματα

Από την οικονομική μελέτη των 4 micro/pico υδροηλεκτρικών μονάδων στο Sri Lanka προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- i.) Οι κατασκευές micro/pico υδροηλεκτρικών μονάδων μπορούν να αποτελέσουν επικερδείς επενδύσεις, σε απομακρυσμένες περιοχές εκτός ηλεκτρικού δικτύου, εάν μελετηθούν και διευθυνθούν προσεκτικά.
- ii.) Με τη βοήθεια κάποιας σημαντικής δανειοδότησης, όπως αυτών της εταιρείας ESD (Energy Services Delivery) στις μονάδες του Kandaloya και του Pathavita, είναι δυνατόν οι επενδύσεις κατασκευής micro/pico υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων να προκύψουν οικονομικά βιώσιμες.
- iii.) Οι μηνιαίες χρεώσεις παροχής ηλεκτρικής ισχύος θα πρέπει να διατηρούνται σε λογικά επίπεδα, στα οποία οι καταναλωτές θα μπορούν να ανταποκριθούν.
- iv.) Οι micro/pico υδροηλεκτρικές μονάδες είναι αρκετά πιο εύκολο να λειτουργήσουν σε ανεξάρτητες και μικρής κλίμακας καταναλώσεις ηλεκτρικής ισχύος, όπως είναι για παράδειγμα η λειτουργία ψυγείων, η παραγωγή πάγου ή ο φωτισμός νοικοκυριών.
- v.) Οι micro/pico υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις αποτελούν μία πολύ καλή λύση για ιδιωτικές επιχειρήσεις, που χρειάζονται ηλεκτρική ισχύ και διαθέτουν το απαραίτητο κεφαλαίο.

3.5 Οικονομική μελέτη 4 εγκαταστάσεων micro υδροστροβίλων στις Zimbabwe, Mozambique

3.5.1 Γενικά

Στην παρούσα μελέτη (Smail Khennas and Andrew Barnett, 2000) περιγράφονται και αναλύονται ως προς την οικονομική τους φύση 4 εγκαταστάσεις micro υδροστροβίλων στις χώρες Zimbabwe και Mozambique. Οι δύο εγκαταστάσεις micro υδροστροβίλων βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή Manicaland (Zimbabwe) (βλ. Σχήμα 3.41) και συγκεκριμένα στις κοινότητες Nyafaru και Svinurai. Η μονάδα micro υδροστροβίλου στο Nyafaru κατασκευάστηκε το 1995, ενώ αυτή στο Svinurai το 1993.



Σχήμα 3.41: Εγκαταστάσεις micro υδροστροβίλων στις κοινότητες Nyafaru και Svinurai

Οι άλλες 2, από τις 4 εγκαταστάσεις micro υδροστροβίλων που αποτελούν το αντικείμενο μελέτης, βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή Manica (Mozambique) (βλ. Σχ.3.42) και συγκεκριμένα στις κοινότητες Elias και Chitofu. Η μονάδα micro υδροστροβίλου στο Elias κατασκευάστηκε το 1996, ενώ αυτή στο Chitofu το 1995.



Σχήμα 3.42: Εγκαταστάσεις micro υδροστροβίλων στις κοινότητες Elias και Chitofu

3.5.2 Micro υδροηλεκτρική μονάδα στο Nyafaru (Zimbabwe)

3.5.2.1 Περιγραφή και οικονομικά στοιχεία

Η κοινότητα του Nyafaru καλύπτει 600 εκτάρια Γης και περιλαμβάνει ένα μικρό αριθμό σπιτιών (περίπου 50), μία νοσοκομειακή κλινική και ένα σχολείο. Οι κάτοικοι της κοινότητας ασχολούνται κυρίως με εργασίες αγροτικού χαρακτήρα, ενώ η κοινότητα διοικείται από μία επιτροπή, εκλεγμένη από τα μέλη της.

Προτού κατασκευαστεί η micro υδροηλεκτρική μονάδα της περιοχής, χρησιμοποιούνταν για το φωτισμό της κεριά και παραφίνη, ενώ είχε γίνει και μια προσπάθεια εγκατάστασης ανεμογεννήτριας, η οποία όμως ποτέ δε λειτούργησε, λόγω κακής κατασκευής. Έτσι το 1995 προκειμένου να ικανοποιηθούν οι ανάγκες φωτισμού των νοικοκυριών, της νοσοκομειακής κλινικής και του σχολείου, αποφασίστηκε η δημιουργία μίας micro υδροηλεκτρικής μονάδας, η οποία προτιμήθηκε από μία γεννήτρια diesel, λόγω χαμηλότερου κόστους.

Ένας ειδικός στην κατασκευή υδροστροβίλων τύπου Cross-Flow, ο οποίος έως τότε εργάζονταν στο Nepal, προσλήφθηκε προκειμένου να διευθύνει 4 ντόπιους τεχνίτες στην κατασκευή και εγκατάσταση του υδροστροβίλου, που θα χρησιμοποιούνταν στη μονάδα. Το πανεπιστήμιο των μηχανολόγων μηχανικών της Zimbabwe σε συνδυασμό με ένα μικρό εργαστήριο της περιοχής παρείχαν όλα τα απαραίτητα υλικά, καθώς και πολύτιμη βοήθεια.

Όταν ολοκληρώθηκε το έργο, η micro υδροηλεκτρική μονάδα παρήγαγε 20 kW ηλεκτρικής ισχύος και συνδέθηκαν μαζί της 20 νοικοκυριά της περιοχής (το 80% αυτών χρησιμοποιούσαν ραδιόφωνο και τηλεόραση), η νοσοκομειακή κλινική, το σχολείο και ένα εμπορικό κατάστημα. Η διεύθυνση της μονάδας ανατέθηκε στην NHC (Nyafaru Hydro Committee), η οποία συγκροτήθηκε για το σκοπό αυτό και αποτελούνταν από μέλη της κοινότητας. Μια σταθερή μηνιαία χρέωση επιβλήθηκε στους καταναλωτές της ηλεκτρικής ισχύος, η οποία εξαρτιόνταν από το μέγιστο φορτίο που 'τραβούσε' ο κάθε ένας από αυτούς. Η χρέωση ήταν ιδιαίτερα χαμηλή και σε αυτό βοήθησε η γενναιόδωρη δωρεά του σχολείου της κοινότητας. Παρόλα αυτά αρκετά νοικοκυριά δεν κατάφεραν να αντεπεξέλθουν οικονομικά και παρέμειναν χωρίς ηλεκτρικό ρεύμα.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται όλα εκείνα τα στοιχεία που συνθέτουν το οικονομικό προφίλ, της micro υδροηλεκτρικής μονάδας του Nyafaru.

Ισχύς εξόδου της μονάδας	20kW
Έτος κατασκευής	1995
Κόστος κατασκευής και εγκατάστασης	
Ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	15722€ (32.3%)
Έργα πολιτικού μηχανικού	11015€ (22.6%)
Δικτύου διανομής ηλεκτρικής ισχύος (συμπεριλαμβάνονται και τα έξοδα μεταφορών)	21907€ (45%)
Συνολικά	48644€ (100%)
Έσοδα	
Μηνιαία χρέωση νοικοκυριού	2€ (1995), 5.2€ (1999)
Συνολικό κόστος ανά εγκατεστημένο kW	2432 €

Σχήμα 3.43: Το οικονομικό προφίλ της μονάδας

3.5.2.2 Οικονομική ανάλυση

Το κεφάλαιο για την κατασκευή της micro υδροηλεκτρικής μονάδας στο Nyafaru προήλθε κυρίως από χρηματοδοτήσεις εξωτερικών οργανισμών, αλλά και από δωρεές της τοπικής κοινότητας. Οι

εξωτερικοί οργανισμοί που συνεισέφεραν ήταν οι εξής: EC (European Commission), ODA (UK Overseas Development Agency) και GAA (German Agro Action). Το ίδιο κεφάλαιο χρησιμοποιήθηκε και για την επιμήκυνση του δικτύου διανομής της ηλεκτρικής ισχύος, ώστε να φτάνει στο σχολείο και στη νοσοκομειακή κλινική της περιοχής.

Το έτος 1998, το σχολείο της κοινότητας βοήθησε μέσω ενός δανείου ύψους 391€, στην αποκατάσταση ζημιών, που είχαν προκληθεί στον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό της εγκατάστασης. Η μηνιαία χρέωση του κάθε νοικοκυριού αυξάνονταν κατά 15% κάθε χρόνο, ενώ η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος ανέρχονταν περίπου στις 57000 kWh.

Εάν οι χρηματοδοτήσεις θεωρηθούν ως δάνεια με χρονική διάρκεια εξόφλησης τα 5 έτη και εάν η διάρκεια ζωής της εγκατάστασης θεωρηθεί ίση με 25 έτη, τότε ο δείκτης IRR (Internal Rate of Return) της επένδυσης προκύπτει ίσος με 8%. Η τιμή αυτή καθιστά την επένδυση οικονομικά βιώσιμη και αρκετά οικονομικά συμφέρουσα. Οι λόγοι που η τιμή του IRR δεν κυμαίνεται σε πολύ υψηλά επίπεδα είναι το μεγάλο αρχικό κόστος της μονάδας και το γεγονός ότι η αύξηση της μηνιαίας χρέωσης του κάθε νοικοκυριού δεν καλύπτει την αύξηση του πληθωρισμού (30% το έτος).

Τέλος, εάν οι χρηματοδοτήσεις και οι δωρεές αντιμετωπιστούν ως έσοδα, τότε ο δείκτης IRR (Internal Rate of Return) της επένδυσης προκύπτει εξαιρετικά μεγάλος και καθιστά την επένδυση ιδιαίτερα οικονομικά συμφέρουσα.

3.5.3 Micro υδροστρόβιλος για τη λειτουργία μύλου στο Svinurai (Zimbabwe)

3.5.3.1 Περιγραφή και οικονομικά στοιχεία

Η κοινότητα του Svinurai τοποθετείται στην περιοχή του Cashel, περίπου 80 km νότια της πόλης Mutare. Ο αριθμός των νοικοκυριών που την απαρτίζουν ανέρχεται στα 280, ενώ οι κάτοικοι της κοινότητας ασχολούνται κυρίως με εργασίες αγροτικού χαρακτήρα.

Το έτος 1993, θεσπίστηκε η επιτροπή MHC (Micro Hydro Committee), προκειμένου να οργανώσει και να διευθύνει την κατασκευή μίας μονάδας micro υδροστρόβιλου, για την τροφοδοσία του μύλου αλέσεως της περιοχής με μηχανική ισχύ. Και τα 23 μέλη της επιτροπής προέρχονταν από την κοινότητα του Svinurai. Η λειτουργία του μύλου αλέσεως προσέφερε οικονομικά κέρδη στην κοινότητα, ενώ ταυτόχρονα διευκόλυνε πολύ τους κατοίκους της, αφού για να έχουν πρόσβαση στον επόμενο πλησιέστερο μύλο, θα έπρεπε να διανύουν καθημερινά με τα πόδια μία απόσταση 8 km.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται όλα εκείνα τα στοιχεία που συνθέτουν το οικονομικό προφίλ, της μονάδας micro υδροστρόβιλου του Svinurai.

Ισχύς εξόδου της μονάδας	13kW
Έτος κατασκευής	1993
Κόστος κατασκευής και εγκατάστασης	
Ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	487 €
Έργα πολιτικού μηχανικού	6.349 €
Συνολικά	6.836 €
Συνολικό κόστος ανά εγκατεστημένο kW	526 €

Σχήμα 3.44: Το οικονομικό προφίλ της μονάδας

3.5.3.2 Οικονομική ανάλυση

Το κεφάλαιο για την κατασκευή της μονάδας micro υδροστροβίλου στο Svinurai, αλλά και για τα διορθωτικά έργα που έπρεπε να γίνουν στο μύλο αλέσεως που αυτή τροφοδοτούσε, προήλθε κυρίως από τη χρηματοδότηση του οργανισμού ADF (African Development Foundation) και από κάποιες δωρεές των μελών της κοινότητας.

Η διάρκεια ζωής της εγκατάστασης εκτιμήθηκε ίση με 25 έτη και η διαδικασία της οικονομικής ανάλυσης της επένδυσης οδήγησε σε ένα δείκτη IRR (Internal Rate of Return) ίσο με 48%. Η τιμή αυτή του δείκτη IRR της επένδυσης καθιστά τη μονάδα micro υδροστροβίλου στο Svinurai όχι απλώς οικονομικά βιώσιμη, αλλά και ιδιαίτερα οικονομικά συμφέρουσα.

Ο λόγος για τον οποίο η τιμή του δείκτη IRR της επένδυσης είναι ιδιαίτερα υψηλή είναι κυρίως το γεγονός, ότι στη συγκεκριμένη μονάδα micro υδροστροβίλου δε χρειάστηκε η σχεδίαση και η κατασκευή κάποιου δικτύου διανομής, για τη μεταφορά ηλεκτρικού ρεύματος, αφού η μονάδα τροφοδοτούσε αποκλειστικά και μόνο, με μηχανική ισχύ, το μύλο αλέσεως της κοινότητας. Έτσι, στη συγκεκριμένη περίπτωση υπήρξαν μηδενικά έξοδα κατασκευής δικτύου διανομής ηλεκτρικής ισχύος, τα οποία -στις περισσότερες άλλες περιπτώσεις κατασκευών micro υδροηλεκτρικών έργων- αποτελούν μεγάλο ποσοστό των συνολικών εξόδων.

3.5.4 Micro υδροστροβίλος για τη λειτουργία μύλου στο Elias (Mozambique)

3.5.4.1 Περιγραφή και οικονομικά στοιχεία

Η κοινότητα Elias τοποθετείται σε απόσταση περίπου 16 km βόρεια της πόλης Manica. Ο κύριος σκοπός της λειτουργίας της μονάδας micro υδροστροβίλου στην κοινότητα είναι η τροφοδοσία, με

μηχανική ισχύ, του μύλου αλέσεως της περιοχής, ο οποίος εξυπηρετεί 300 νοικοκυριά. Η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος θα ήταν δυνατή από τη συγκεκριμένη μονάδα, αλλά δεν έγινε καμία προσπάθεια γι' αυτό, αφού τα νοικοκυριά είναι τελείως διασκορπισμένα στην περιοχή και έτσι ο αριθμός των καταναλωτών θα ήταν πολύ περιορισμένος.

Η εγκατάσταση του micro υδροστροβίλου στην κοινότητα Elias ανήκει εξ' ολοκλήρου σε ιδιώτη, κάτοικο της περιοχής. Ο υδροστρόβιλος που χρησιμοποιείται είναι ένας παλιός υδροστρόβιλος Pelton και η ισχύς εξόδου της μονάδας ανέρχεται στα 15 kW. Η μονάδα λειτουργεί κατά μέσο όρο 6 ημέρες κάθε εβδομάδα, για 8 ώρες. Η λειτουργία της κατευθύνεται αποκλειστικά από τον ιδιοκτήτη, με τη βοήθεια της οικογένειας του και μόνο σε σπάνιες περιπτώσεις προσλαμβάνεται επιπλέον προσωπικό, κυρίως για την επιδιόρθωση ζημιών.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται όλα εκείνα τα στοιχεία που συνθέτουν το οικονομικό προφίλ, της μονάδας του micro υδροστροβίλου στο Elias.

Ισχύς εξόδου της μονάδας	15kW
Έτος κατασκευής	1996
Κόστος κατασκευής και εγκατάστασης	13235 €
Επιδότηση	7353 €
Μέγιστος αριθμός ωρών χρήσης για μία ημέρα	8
Συνολικό κόστος ανά εγκατεστημένο kW	882 €

Σχήμα 3.45: Το οικονομικό προφίλ της μονάδας

3.5.4.2 Οικονομική ανάλυση

Το κεφάλαιο για την κατασκευή της μονάδας micro υδροστροβίλου στην κοινότητα Elias προήλθε από επιδότηση του εγχώριου οργανισμού KSM (Kwazai Simukai) και από χρηματοδότηση του ιδιοκτήτη της. Ο οργανισμός KSM προσέφερε 6223€ το έτος 1996 και 1130€ το έτος 1997, ποσά που χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για την κατασκευή και εγκατάσταση του υδροστροβίλου της μονάδας από την εταιρεία FOS-Belgium Designs, αλλά και για κάποια από τα έργα πολιτικού μηχανικού. Το συνολικό ποσό επιδότησης του οργανισμού KSM ανέρχονταν στα 7353€, ενώ το υπόλοιπο ποσό του συνολικού κόστους της μονάδας (5882€) συμπληρώθηκε από τον ιδιοκτήτη.

Ο δείκτης IRR (Internal Rate of Return) της επένδυσης υπολογίστηκε ίσος με 9%, γεγονός που την καθιστά οικονομικά βιώσιμη και ικανοποιητικά οικονομικά συμφέρουσα. Στον υπολογισμό του δείκτη IRR η διάρκεια ζωής της εγκατάστασης θεωρήθηκε ίση με 25 έτη, ενώ η επιδότηση του οργανισμού KSM αντιμετωπίστηκε ως δάνειο, με επιτόκιο 15%. Οι λόγοι που η τιμή του δείκτη IRR δεν κυμαίνεται σε πολύ υψηλά επίπεδα, παρά το γεγονός ότι και εδώ, όπως και στην εγκατάσταση micro υδροστροβίλου στην κοινότητα του Svinurai, υπήρχαν μηδενικά έξοδα κατασκευής δικτύου διανομής ηλεκτρικής ισχύος, είναι το μεγάλο αρχικό κόστος της μονάδας και η χρησιμοποίηση σημαντικού ιδιωτικού κεφαλαίου.

3.5.5 Micro υδροστρόβιλος για τη λειτουργία μύλου στο Chitofu (Mozambique)

3.5.5.1 Περιγραφή και οικονομικά στοιχεία

Η κοινότητα Chitofu τοποθετείται σε απόσταση περίπου 18 km ανατολικά της πόλης Manica. Ο κύριος σκοπός της λειτουργίας της μονάδας micro υδροστροβίλου στην κοινότητα είναι η τροφοδοσία, με μηχανική ισχύ, του μύλου αλέσεως της περιοχής, ο οποίος εξυπηρετεί περίπου 100 νοικοκυριά. Το κάθε νοικοκυριό αποτελείται κατά μέσο όρο από έξι άτομα. Η εγκατάσταση ανήκει σε ιδιώτη, κάτοικο της κοινότητας του Chitofu. Ο επόμενος πλησιέστερος μύλος στην περιοχή απέχει 7 km, λειτουργεί με χρησιμοποίηση μηχανής diesel και η χρέωση των καταναλωτών είναι κατά 50% ακριβότερη.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται όλα εκείνα τα στοιχεία που συνθέτουν το οικονομικό προφίλ, της μονάδας του micro υδροστροβίλου στο Chitofu.

Ισχύς εξόδου της μονάδας	15kW
Έτος κατασκευής	1995
Κόστος κατασκευής και εγκατάστασης	13.603 €
Αριθμός ωρών λειτουργίας για μία ημέρα	8
Συνολικό κόστος ανά εγκατεστημένο kW	907 €

Σχήμα 3.46: Το οικονομικό προφίλ της μονάδας

Η κατασκευή της μονάδας micro υδροστροβίλου στην κοινότητα του Chitofu ξεκίνησε και ολοκληρώθηκε το έτος 1995. Το έτος 1996 έγιναν κάποιες διορθώσεις και κάποιες επισκευές, που αφορούσαν τη δεξαμενή αποθήκευσης, το κανάλι και τον αγωγού του νερού. Επίσης το ίδιο έτος αντικαταστάθηκε ο παλιός μύλος αλέσεως με έναν καινούριο, ο οποίος οδηγούσε σε μεγαλύτερη

παραγωγή. Ο υδροστρόβιλος που χρησιμοποιείται είναι ένας παλιός υδροστρόβιλος Pelton και η ισχύς εξόδου της μονάδας ανέρχεται στα 15 kW. Η μονάδα λειτουργεί επί 8 ώρες για 6 μέρες κάθε εβδομάδα, ενώ σε περιπτώσεις ανάγκης λειτουργεί -για ένα μικρό χρονικό διάστημα- και την έβδομη μέρα.

3.5.5.2 Οικονομική ανάλυση

Το κεφάλαιο για την κατασκευή της μονάδας micro υδροστροβίλου στην κοινότητα Chitofu, όπως και για την κατασκευή της μονάδας micro υδροστροβίλου στην κοινότητα Elias, προήλθε από επιδότηση του εγχώριου οργανισμού KSM (Kwazai Simukai) και από χρηματοδότηση του ιδιοκτήτη της. Το συνολικό ποσό επιδότησης του οργανισμού KSM ανέρχονταν στα 8200€ και χρησιμοποιήθηκε κυρίως για την εγκατάσταση του καινούριου μύλου αλέσεως, για την αγορά του υδροστροβίλου και για κάποια από τα έργα πολιτικού μηχανικού της εγκατάστασης.

Ο δείκτης IRR (Internal Rate of Return) της επένδυσης υπολογίστηκε ίσος με 9%, γεγονός που την καθιστά οικονομικά βιώσιμη και ικανοποιητικά οικονομικά συμφέρουσα. Στον υπολογισμό του δείκτη IRR η διάρκεια ζωής της εγκατάστασης θεωρήθηκε ίση με 25 έτη, ενώ η επιδότηση του οργανισμού KSM αντιμετωπίστηκε ως δάνειο, με επιτόκιο 15%. Τα έσοδα της μονάδας κατά τη διαδικασία της οικονομικής της μελέτης υπολογίστηκαν προσεγγιστικά, αφού πολλοί καταναλωτές δεν ξεπληρώνουν το χρέος τους στον ιδιοκτήτη της εγκατάστασης με την καταβολή χρηματικών ποσών, αλλά μέσω εμπορικών ανταλλαγών.

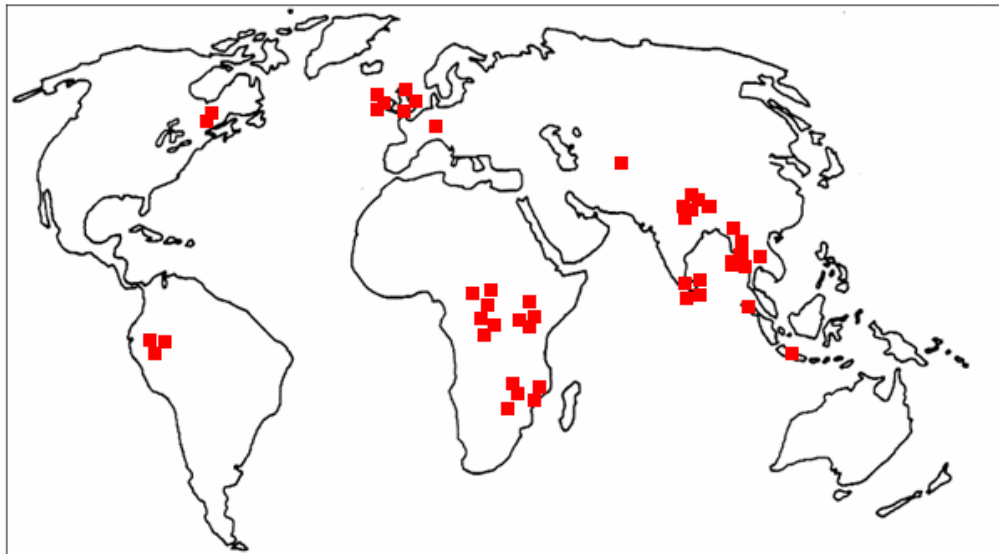
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Πίνακας στοιχείων micro/rico υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων ανά τον κόσμο

4.1 Πίνακας

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται ένας πίνακας που περιλαμβάνει τα βασικά χαρακτηριστικά micro/rico υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων ανά τον κόσμο (Πίνακας 4.1). Τα στοιχεία πάρθηκαν από ολόκληρη τη βιβλιογραφία που αναφέρεται στο τέλος της εργασίας. Μερικά από τα στοιχεία των micro/rico υδροηλεκτρικών μονάδων απουσιάζουν, είτε επειδή δεν αναφέρονται καθόλου στη συγκεκριμένη βιβλιογραφία, είτε λόγω έλλειψης συστηματικής καταγραφής δεδομένων, κατά τη φάση κατασκευής και λειτουργίας των συγκεκριμένων εγκαταστάσεων.

Όλες οι micro/rico υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις που περιλαμβάνονται στον πίνακα 4.1, τοποθετούνται πάνω στον παγκόσμιο χάρτη, στο σχήμα 4.1 που ακολουθεί.



Σχήμα 4.1: Τοποθέτηση micro/rico υδροηλεκτρικών μονάδων πάνω σε παγκόσμιο χάρτη

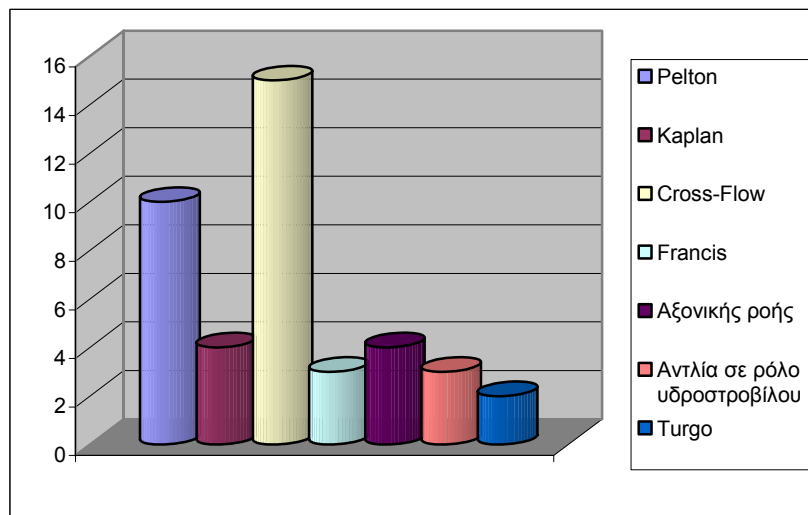
Τα στοιχεία των στηλών του πίνακα 4.1 που χαρακτηρίζουν τις micro/rico υδροηλεκτρικές μονάδες είναι η χώρα, η περιοχή, το διαθέσιμο υδραυλικό ύψος, η παροχή νερού, ο τύπος υδροστροβίλου, το είδος γεννήτριας, ο ηλεκτρονικός έλεγχος φορτίου, τα χαρακτηριστικά του αγωγού νερού και της δεξαμενής αποθήκευσης, το συνολικό κόστος και η χρήση της παραγόμενης ισχύος. Οι μονάδες μέτρησης αναγράφονται πάνω στον πίνακα, ενώ οι εγκαταστάσεις ταξινομούνται κατά αλφαβητική σειρά των χωρών, στις οποίες ανήκουν.

4.2 Σχολιασμός του πίνακα

Από τον πίνακα των micro/rico υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων ανά τον κόσμο του παρόντος κεφαλαίου (Πίνακας 4.1) προκύπτουν ιδιαίτερα χρήσιμα συμπεράσματα, για τις περιοχές στις οποίες συνήθως κατασκευάζονται, για τα στοιχεία του ηλεκτρομηχανολογικού τους εξοπλισμού, για το συνολικό τους κόστος και για τη χρήση της παραγόμενης ισχύος.

Όπως ήταν αναμενόμενο, οι περισσότερες micro/rico υδροηλεκτρικές μονάδες συναντώνται σε χώρες με μικρές οικονομικές δυνατότητες, σαν το Nepal, τη Kenya, το Sri Lanka, το Peru, τη Zimbabwe ή το Zaire (βλ. Σχήμα 4.1). Αυτό οφείλεται κυρίως στο σχετικά χαμηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τους, που συνεπάγεται και σχετικά μικρή χρέωση των καταναλωτών, καθώς και στο ότι σε αυτές τις χώρες εμφανίζεται πιο συχνά το πρόβλημα έλλειψης εθνικού δικτύου διανομής ηλεκτρικής ισχύος. Παρόλα αυτά, αρκετές micro/rico υδροηλεκτρικές μονάδες έχουν κατασκευαστεί και σε πιο αναπτυγμένες χώρες, όπως είναι η Αγγλία, η Ιρλανδία ή ο Καναδάς. Στις χώρες αυτές, ο κύριος σκοπός της κατασκευής των micro/rico υδροηλεκτρικών μονάδων είναι η πώληση ηλεκτρικής ισχύος στα εθνικά δίκτυα, η λειτουργία μύλων ή η μείωση των καυσαερίων που διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα.

Οι τύποι υδροστροβίλων που χρησιμοποιούνται στις micro/rico υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις του πίνακα 4.1, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2, είναι οι Cross-Flow, Pelton, αξονικής ροής, Kaplan, Francis και Turgo. Επίσης σε 3 από τις micro/rico υδροηλεκτρικές μονάδες χρησιμοποιούνται ως υδροστρόβιλοι φυγοκεντρικές αντλίες.



Σχήμα 4.2: Συχνότητα εμφάνισης τύπων υδροστροβίλων στον πίνακα 4.1

Ο πιο συχνά εμφανιζόμενος -στις εγκαταστάσεις του πίνακα 4.1- υδροστρόβιλος είναι ο υδροστρόβιλος τύπου Cross-Flow (βλ. Σχήμα 4.2). Αυτό είναι πολύ λογικό, αφού (όπως έχει

αναφερθεί και στο πρώτο κεφάλαιο) ο υδροστρόβιλος Cross-Flow ενδείκνυται για μικρά υδραυλικά ύψη και για μικρές παραγωγές ηλεκτρικής ισχύος. Ακολουθεί ο υδροστρόβιλος τύπου Pelton, ο οποίος συναντάται κυρίως στις εγκαταστάσεις μεσαίου υδραυλικού ύψους και μικρών παροχών. Τρίτοι σε σειρά συχνότητας εμφάνισης έρχονται οι υδροστρόβιλοι αξονικής ροής, οι οποίοι (όπως και οι υδροστρόβιλοι τύπου Cross-Flow) ενδείκνυται για μικρά υδραυλικά ύψη και για μικρές παραγωγές ηλεκτρικής ισχύος. Ο λόγος που χρησιμοποιούνται σε λιγότερες εγκαταστάσεις, συγκριτικά με τους υδροστρόβιλους τύπου Cross-Flow, είναι το μεγαλύτερό τους κόστος. Στις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται υδροστρόβιλοι τύπου Kaplan ή τύπου Francis και αυτό έχει να κάνει με το αρκετά υψηλό κόστος αυτών των υδροστρόβιλων και με την εξειδικευμένη σχεδίαση που απαιτούν. Τέλος, σε κάποιες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται φυγοκεντρικές αντλίες ως υδροστρόβιλοι, λόγω του ιδιαίτερα χαμηλού τους κόστους, ή υδροστρόβιλοι Turgo, λόγω του αρκετά καλού βαθμού απόδοσης που παρουσιάζουν.

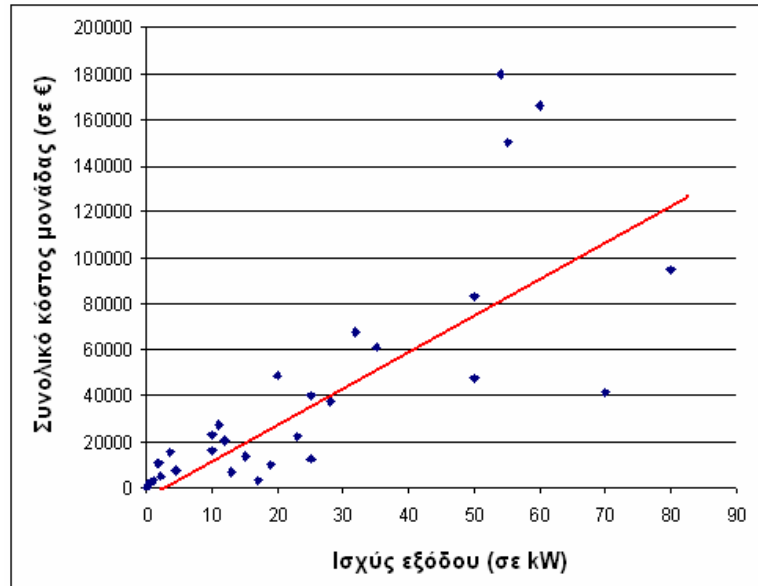
	Cross-Flow	Pelton	Αξονικής ροής	Kaplan	Αντλία σε ρόλο υδροστρόβιλου	Francis *	Turgo
Ισχύς εξόδου (σε kW)							
Ελάχιστη	1.7	1.1	0.05	12	2.2	55	1.5
Μέγιστη	28	50	7.3	70	90	80	2
Υδραυλικό ύψος (σε m)							
Ελάχιστο	4	28	1	3.5	18	-	-
Μέγιστο	12	100	1.25	17	19	-	-
Παροχή νερού (σε l/sec)							
Ελάχιστη	300	8.4	35	500	28	-	-
Μέγιστη	850	110	1000	2600	500	-	-
*Ο πλαστικός υδροστρόβιλος Francis της εγκατάστασης του Yeovil, UK, δε λήφθηκε υπόψη							

Πίνακας 4.2: Ελάχιστες και μέγιστες τιμές ισχύος εξόδου, υδραυλικού ύψους και παροχής νερού, των εγκαταστάσεων του πίνακα 4.1, ταξινομημένες σύμφωνα με τον τύπο υδροστρόβιλου

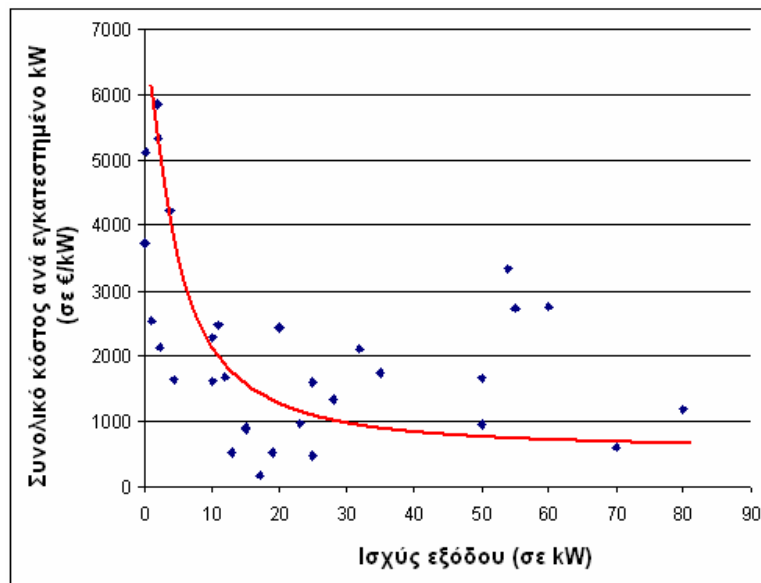
Στις περισσότερες από τις συγκεκριμένες υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις (Πίνακας 4.1) χρησιμοποιείται ως γεννήτρια ένας επαγωγικός κινητήρας, ενώ σε ελάχιστες περιπτώσεις χρησιμοποιείται γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη ή σύγχρονη. Ο ηλεκτρονικός έλεγχος του φορτίου γίνεται συνήθως με τη χρήση ενός ελεγκτή επαγωγικής γεννήτριας (IGC), ενώ σε λιγότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται ένας ηλεκτρονικός ελεγκτής φορτίου (ELC). Τέλος, σε ορισμένες περιπτώσεις δεν υπάρχει καθόλου ηλεκτρονικός έλεγχος του φορτίου.

Το συνολικό κόστος των micro/pico υδροηλεκτρικών μονάδων που περιλαμβάνονται στον πίνακα 4.1 δεν προκύπτει ανάλογο της ισχύος εξόδου τους. Αυτό ήταν αναμενόμενο, αφού το κόστος μιας micro/pico υδροηλεκτρικής μονάδας εξαρτάται και από πολλούς άλλους παράγοντες, όπως τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού που επιλέχθηκαν, τις συνθήκες της εκάστοτε τοποθεσίας, το χρονικό διάστημα που χρειάστηκε να εργαστεί το προσωπικό κτλ. Η τοποθεσία και τα χαρακτηριστικά της παίζουν επίσης πολύ σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του

κόστους, αφού καθορίζουν περίπου το 75% αυτού. Έτσι το κόστος κάθε micro/rico υδροηλεκτρικού έργου είναι μοναδικό. Παρόλα αυτά, όπως φαίνεται στα σχήματα που ακολουθούν, υπάρχει μία γραμμική σχέση που συνδέει το συνολικό κόστος της κάθε micro/rico υδροηλεκτρικής μονάδας του πίνακα 4.1, με την ισχύ που αυτή παράγει.



Σχήμα 4.3: Συνολικό κόστος μονάδας συναρτήσει της ισχύος εξόδου



Σχήμα 4.4: Συνολικό κόστος μονάδας ανά εγκατεστημένο kW

Η παραγόμενη ισχύς των micro/rico υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων του πίνακα 4.1 χρησιμοποιείται πιο συχνά για την ηλεκτροδότηση (φωτισμός, λειτουργία ραδιοφώνων, ψυγείων

κτλ) νοικοκυριών, που βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές, εκτός κάποιου εθνικού δικτύου διανομής ηλεκτρικής ισχύος. Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις, η ισχύς που παράγεται χρησιμοποιείται για τη λειτουργία μύλων και για την πώλησή της στο εθνικό δίκτυο. Τέλος, πιο σπάνια, η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση με ηλεκτρικό ρεύμα κάποιου εργοστασίου, σχολείου ή νοσοκομείου.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι micro/pico υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις –στην πλειοψηφία τους- δεν απαιτούν ιδιαίτερα εξειδικευμένες γνώσεις, σχεδιάσεις ή δυσεύρετα ηλεκτρομηχανολογικά εξαρτήματα και έχουν σχετικά χαμηλό κόστος. Έτσι με μία προσεκτική προκαταρκτική μελέτη, με ένα σχετικά μικρό αρχικό κεφάλαιο (που μπορεί να ξεκινά από μόλις 3000€ ή και λιγότερο) και με ένα μικρό εργατικό δυναμικό είναι αρκετά εύκολο να κατασκευαστούν και να λειτουργήσουν. Τα πράγματα γίνονται ακόμα πιο εύκολα μάλιστα, στις περιπτώσεις που μπορεί να συγκεντρωθεί το απαραίτητο αρχικό κεφάλαιο, μέσω κάποιου δανείου ή κάποιας επιδότησης.

Οι επιλογές που υπάρχουν, ως προς το είδος του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι πολλές, πράγμα που παρέχει τη δυνατότητα εναλλακτικών λύσεων στον ιδιοκτήτη της μονάδας, στην περίπτωση που κάποιο κομμάτι, για κάποιο λόγο δεν είναι εύκολο να βρεθεί, να αγοραστεί ή να εγκατασταθεί. Επίσης, εάν γίνει σωστή εκμετάλλευση αυτών των επιλογών μπορεί να μειωθεί ακόμα περισσότερο το συνολικό κόστος της εγκατάστασης. Μπορεί λοιπόν για παράδειγμα να χρησιμοποιηθεί ένας επαγωγικός κινητήρας σε ρόλο γεννήτριας, αντί για μία σύγχρονη γεννήτρια που ίσως κοστίζει πιο ακριβά ή μια φυγοκεντρική αντλία σε ρόλο υδροστροβίλου, αντί για ένα υδροστρόβιλο που ίσως είναι δύσκολο να βρεθεί σε κάποια συγκεκριμένη αγορά.

Αν αναλογιστεί κανείς ακόμα ότι οι επενδύσεις σε micro/pico υδροηλεκτρικές μονάδες μπορούν να είναι όχι απλά οικονομικά βιώσιμες, αλλά και ιδιαίτερα οικονομικά συμφέρουσες, όπως φάνηκε από την εφαρμογή των κριτηρίων της οικονομικής βιωσιμότητας, σε πολλά από τα παραδείγματα οικονομικής φύσης που παρουσιάστηκαν, καταλήγει στο συμπέρασμα ότι οι micro/pico υδροηλεκτρικές μονάδες αποτελούν μία πολύ καλή λύση στο πρόβλημα της παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος, σε περιοχές εκτός εθνικών δικτύων διανομής ηλεκτρικού ρεύματος.

Συγκρίνοντας τώρα την επιλογή λειτουργίας micro/pico υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων με τις κύριες ανταγωνιστικές επιλογές παραγωγής ενέργειας, δηλαδή με την επιλογή λειτουργίας μονάδων Diesel (όταν πρόκειται για ηλεκτροπαραγωγή) ή χρήσης φωτοβολταϊκών (όταν πρόκειται για φωτισμό), προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι micro/pico υδροηλεκτρικές μονάδες υπερτερούν σημαντικά –κυρίως- στον οικονομικό τομέα. Έχουν πολύ λιγότερα έξοδα συντήρησης και λειτουργίας συγκριτικά με τις μονάδες Diesel, χαμηλότερο κόστος (για τις μικρές εγκαταστάσεις), ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζουν και πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Συγκριτικά με την επιλογή χρησιμοποίησης φωτοβολταϊκών, οι micro/pico υδροηλεκτρικές μονάδες σίγουρα προτιμούνται, αφού με σαφώς μικρότερο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας παρέχουν ακριβώς την ίδια ποιότητα φωτισμού.

Μέχρι στιγμής, οι περισσότερες micro/pico υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις συναντώνται σε χώρες με μικρές οικονομικές δυνατότητες, σαν το Nepal, τη Kenya, το Sri Lanka, το Peru, τη Zimbabwe ή

το Ζαΐρε, αφού εκεί το χαμηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας, που συνεπάγεται και σχετικά μικρή χρέωση των καταναλωτών, αποτελεί πολύ σημαντικό πλεονέκτημα. Ένας ακόμη λόγος που οι περισσότερες micro/rico υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις συναντώνται σε αυτές τις χώρες είναι ότι εκεί υπάρχει πιο έντονο το πρόβλημα έλλειψης εθνικού δικτύου διανομής ηλεκτρικής ισχύος. Αναμφισβήτητα λοιπόν οι micro/rico υδροηλεκτρικές μονάδες μπορούν να εξαπλωθούν ακόμα περισσότερο και ίσως και να πρωταγωνιστήσουν σε αυτές τις χώρες, στον τομέα της ηλεκτροδότησης των απομακρυσμένων και φτωχών κοινοτήτων.

Ήδη όμως έχουν αρχίσει και κατασκευάζονται micro/rico υδροηλεκτρικές μονάδες και σε πιο αναπτυγμένες χώρες, όπως είναι η Αγγλία, ο Καναδάς, η Ιρλανδία ή η Ισπανία. Οι κύριοι λόγοι μέχρι στιγμής της κατασκευής και της λειτουργίας τους είναι η πώληση ηλεκτρικής ισχύος στα εθνικά δίκτυα, που μπορεί να επιφέρει σημαντικά κέρδη ή η λειτουργία κάποιων μύλων που βρίσκονται σε περιοχές απομακρυσμένες, εκτός εθνικών δικτύων διανομής ηλεκτρισμού.

Στο μέλλον όμως ενδέχεται να κατασκευαστούν και να λειτουργήσουν περισσότερες micro/rico υδροηλεκτρικές μονάδες στα περισσότερο αναπτυγμένα κράτη, εξαιτίας ενός ακόμη πλεονεκτήματος που αυτές παρουσιάζουν, το ότι είναι φιλικές προς το περιβάλλον. Όπως όλα τα υδροηλεκτρικά έργα, έτσι και τα micro/rico υδροηλεκτρικά έργα δε ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα να είναι ικανά να αποτελέσουν μια ‘καθαρή’ εναλλακτική πηγή ενέργειας, συνεισφέροντας σημαντικά στη μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων. Επίσης, η ηλεκτροδότηση μέσω micro/rico υδροηλεκτρικών μονάδων δεν προκαλεί ούτε αισθητική ρύπανση στον περιβάλλοντα χώρο, αφού δεν απαιτεί κατασκευή μεγάλων γραμμών μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος.

Επιπλέον, ο αριθμός των micro/rico υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων αναμένεται να αυξηθεί στο προσεχές μέλλον, λόγω του ότι οι εταιρείες παροχής ηλεκτρισμού –στις περισσότερες χώρες– υποχρεούνται πλέον να αγοράζουν ένα ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που διαχειρίζονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η υδροηλεκτρική. Το γεγονός αυτό εξασφαλίζει υψηλότερο τιμολόγιο πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τις μικρές εγκαταστάσεις, σε σχέση πάντα με αυτό του παρελθόντος. Επίσης κρατικές επιδοτήσεις διατίθενται πλέον σε εγχώρια κοινοτικά έργα που αφορούν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, γεγονός που συνεπάγεται σημαντικά μειωμένο αρχικό κόστος των micro/rico υδροηλεκτρικών έργων που έχουν εγκριθεί.

Ένας ακόμη λόγος που αναμένεται αύξηση του αριθμού των micro/rico υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων στο μέλλον είναι το γεγονός ότι το κόστος των υδροστροβίλων και των γεννητριών –που ήταν ίσως το μεγαλύτερο εμπόδιο οικονομικής φύσεως κατά τα παρελθόντα έτη για την κατασκευή micro/rico υδροηλεκτρικών μονάδων– έχει μειωθεί κατά πολύ και συνεχίζει να μειώνεται ακόμα περισσότερο, αφού η τεχνολογία εξελίσσεται με γοργούς ρυθμούς. Έτσι βρίσκονται σήμερα στην αγορά πολλά μοντέλα υδροστροβίλων και γεννητριών χαμηλού κόστους, που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα τιμών παροχής και υδραυλικού ύψους και δύνανται να ανταπεξέλθουν με επιτυχία στις απαιτήσεις οποιασδήποτε micro/rico υδροηλεκτρικής μονάδας.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι οι micro/rico υδροηλεκτρικές μονάδες θα μπορούσαν ίσως στο μέλλον να ενσωματωθούν σε μεγαλύτερες υβριδικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, οι οποίες θα συνδυάζουν και άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή ή η αιολική. Θα μπορούσαν δηλαδή να συνδυαστούν με φωτοβολταϊκά ή με ανεμογεννήτριες, προκειμένου να παράγονται μεγαλύτερες ποσότητες ηλεκτρικής ισχύος, οι οποίες θα παραμένουν σταθερές κατά τη διάρκεια ολόκληρου του έτους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία:

1. U.S.DEPARTMENT OF ENERGY, 'Micro hydropower handbook', U.S.A., 1983
2. U.S.DEPARTMENT OF ENERGY, 'Micro hydropower: Reviewing an old concept', U.S.A., 1983
3. LAYMAN: 'Guidebook on how to develop a small hydro site', ESHA (European Small Hydropower Association), Belgium, 1998
4. KHENNAS SMAIL and BARNETT ANDREW: 'Best practices for sustainable development of micro hydro power in developing countries', Department for International Development, UK, 2000
5. MAHER PHILIP and SMITH NIGEL: 'Pico hydro for village power: A practical manual for schemes up to 5kW in hilly areas', Department for International Development, UK, 2001
6. MAHER PHILIP: 'The pico power pack: Fabrication and assembly instructions', Department for International Development, UK, 2001
7. TAMBURRINI MARK: 'A feasibility study for a micro-hydro installation for the Strangford Lough Wildflowers & Conservation Association', Energy Systems Research Unit, Department of Mechanical Engineering, University of Strathclyde, Glasgow, UK, 2004
8. MINISTER OF NATURAL RESOURCES CANADA: 'Clean energy project analysis: Small hydro project analysis chapter', Canada, 2004
9. KEAT PAUL AND PHILIP K.Y.YOUNG: 'Managerial economics: Economic tools for today's decision makers', New Jersey, 1996
10. MAHER PHILIP: 'Community pico hydro in Sub-Saharan Africa: Studies', The Nottingham Trent University, UK, 2002
11. SMITH NIGEL and GHANASHYAM RANJITKAR: 'Installation and performance of the pico power pack: Nepal case study', The Nottingham Trent University, UK, 2001

Ελληνική βιβλιογραφία:

1. ΠΑΠΑΝΤΩΝΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ: 'Μικρά υδροηλεκτρικά έργα', ΕΜΠ, Αθήνα, 2001
2. ΠΑΠΑΝΤΩΝΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ: 'Υδροδυναμικές μηχανές: Αντλίες – Υδροστρόβιλοι', ΕΜΠ, Αθήνα, 2002

Internet:

<http://hydropower.id.doe.gov> ('U.S.Department Of Energy', θεωρία, έρευνες και μελέτες micro/pico υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων)

<http://www.microhydropower.net> (Άρθρα σχετικά με micro υδροηλεκτρικά έργα και μελέτες micro υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων ανά τον κόσμο)

<http://www.esha.be> ('European Small Hydropower Association', δημοσιεύσεις και άρθρα που αφορούν micro/pico υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις στην Ευρώπη)

<http://www.retscreen.net> ('Natural Resources Canada', θεωρία, έρευνες και μελέτες micro/pico υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων στον Καναδά)

<http://www.hellasres.gr> ('Ελληνικός σύνδεσμος ηλεκτροπαραγωγών από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας', άρθρα και θεσμικό πλαίσιο υδροηλεκτρικών μονάδων)

<http://www.british-hydro.org> ('British Hydropower Association', ευρετήριο και περιγραφή micro/pico υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων στην Αγγλία)

<http://www.ornl.gov> ('Oak Ridge National Laboratory', άρθρα που αφορούν υδροηλεκτρικές μονάδες)

<http://www.hydrogeneration.co.uk> (Θεωρία των micro υδροηλεκτρικών έργων και εφαρμογές τους στην Αγγλία)

<http://www.eee.ntu.ac.uk/research/microhydro/> (Δημοσιεύσεις που αφορούν micro/pico υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις)

<http://www.esru.strath.ac.uk> ('Energy Systems Research Unit', άρθρα και μελέτες που αφορούν micro/pico υδροηλεκτρικές μονάδες)

<http://www.microhydropower.com> ('Energy systems and design, Canada', πληροφορίες για τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό micro υδροηλεκτρικών συστημάτων)

<http://www.waterpowermagazine.com> (Ηλεκτρονικό περιοδικό για την υδροηλεκτρική ενέργεια, περιλαμβάνει δημοσιεύσεις και άρθρα σχετικά με τις micro/pico υδροηλεκτρικές μονάδες)

<http://www.eco-web.com> ('Green pages database', Περιβαλλοντικά στοιχεία για micro/pico υδροηλεκτρικές μονάδες)

<http://energytrends.pnl.gov> (Περιβαλλοντικά στοιχεία για micro υδροηλεκτρικές μονάδες)

<http://www.hcipub.com> (Ηλεκτρονικά περιοδικά και βιβλία για micro υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις)

<http://www.hydroquebec.com> ('Hydro-Quebec', πληροφορίες για τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό micro υδροηλεκτρικών συστημάτων)

