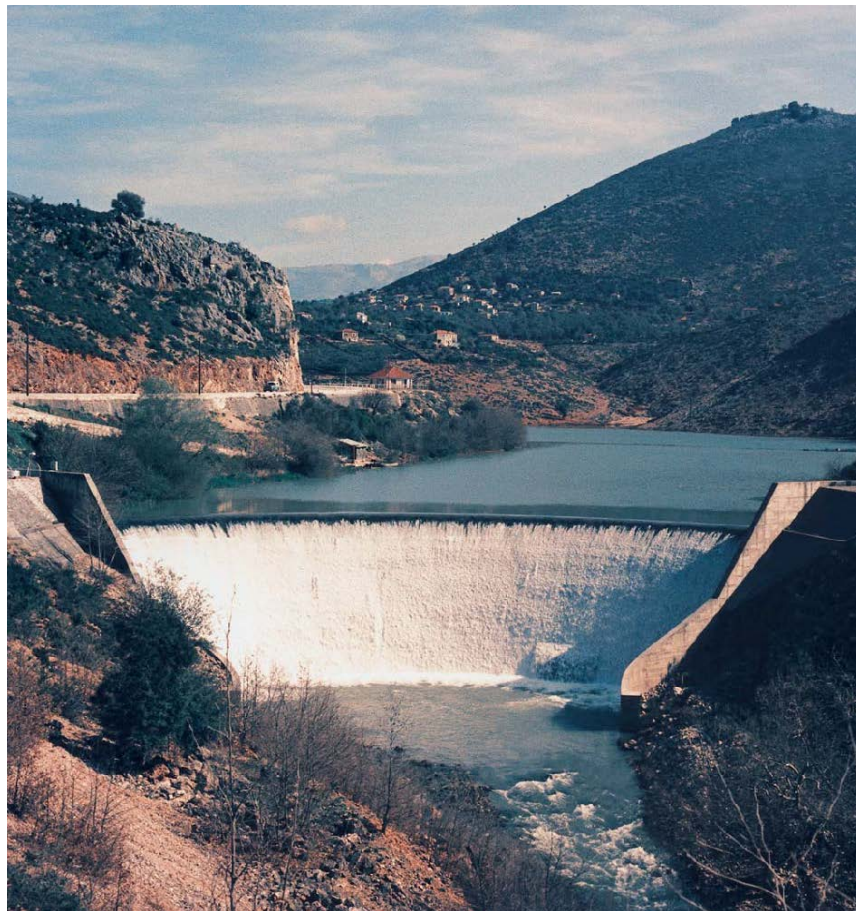


**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«Σχεδιασμός Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου
στον ποταμό Πηνειό»**



ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ

Καράνης Ιωάννης

ΑΕΜ: 951

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Λιακόπουλος Αντώνιος

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ: Δρ. Θανόπουλος Ιωάννης

ΒΟΛΟΣ, Ιούνιος 2015

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«Σχεδιασμός Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου
στον ποταμό Πηνειό»**

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ
Καράνης Ιωάννης
ΑΕΜ: 951**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Λιακόπουλος Αντώνιος
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ: Δρ. Θανόπουλος Ιωάννης
ΒΟΛΟΣ, Ιούνιος 2015**

Περίληψη

Τίτλος διπλωματικής εργασίας:

«Σχεδιασμός μικρού υδροηλεκτρικού έργου στον ποταμό Πηνειό»

Η παρούσα διπλωματική εργασία θέτει ως στόχο τον υπολογισμό της ευστάθειας και την υδραυλική ανάλυση ενός φράγματος τύπου run-of-river καθώς επίσης και την υδραυλική ανάλυση του αγωγού προσαγωγής. Το φράγμα και ο αγωγός προσαγωγής αποτελούν αναπόσπαστα τμήματα ενός μικρού σε κλίμακα υδροηλεκτρικού έργου.

Πιο συγκεκριμένα αναλύονται η ευστάθεια του φράγματος βαρύτητας από σκυρόδεμα, ο εκχειλιστής στέψης, το υδραυλικό άλμα κατάντη του φράγματος, ο ιχθυόδρομος, οι γραμμικές και τοπικές απώλειες του αγωγού προσαγωγής, η εσχάρα υδροληψίας, η στροβιλότητα στην είσοδο του αγωγού, το πάχος του αγωγού, το υδραυλικό πλήγμα και ο πύργος ανάπαλσης.

Η ανάλυση των εργασιών πραγματοποιήθηκε με πραγματικά δεδομένα και σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης για έργο υλοποιήσιμο με σκοπό την καλή λειτουργία και την βελτιστοποίηση της απόδοσής του. Εμφανίστηκαν δυσκολίες στην ευστάθεια του φράγματος λόγω της μεγάλης πλημμυρικής παροχής ενός μεγάλου ποταμού όπως είναι ο Πηνειός αλλά και του φορτίου άνωσης στο υπέδαφος. Δυσκολίες εμφανίστηκαν και στον αγωγό προσαγωγής για την περίπτωση του υδραυλικού πλήγματος. Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην διατήρηση της χλωρίδας και πανίδας της γύρω περιοχής με έργα όπως ο ιχθυόδρομος.

Επιβλέπων καθηγητής: Λιακόπουλος Αντώνης

Επιστημονικός συνεργάτης: Δρ. Θανόπουλος Ιωάννης

Ιούνιος 2015

Abstract

Thesis title:

“Design of a small hydroelectric project in Pineios river”

The present thesis sets as a goal the calculation of the stability and the hydraulic analysis of a run-of-river dam as well as the hydraulic analysis of the bearing pipeline. The dam and the bearing pipeline constitute integral parts of a small scale hydroelectric project.

In particular, the stability of the concrete gravity dam is analyzed, the crested weir, the downstream hydraulic jump of the dam, the fish passage, the linear and local losses of the bearing pipeline, the water intake grid, the vorticity at the entrance of the pipeline, the thickness of the pipeline, the water hammer and the rebound tower.

The project analysis took place with real data and in conditions of emergency for the project to be executed aiming to the proper operation and optimization of its output. Difficulties appeared in the dam stability because of the large flooding run-off of a big river like Pineios but also of the load lift on the subsoil. Difficulties appeared to the bearing pipeline in the case of the water hammer. Particular attention was given to the fauna and flora preservation of the surrounding area with works such the fish passage.

Supervising professor: Liakopoulos Antonis

Collaborating scientist: Dr. Thanopoulos Ioannis

June 2015

Ευχαριτίες

Για την συνεισφορά τους στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κ. Λιακόπουλο Αντώνιο και κ. Θανόπουλο Ιωάννη για την προσφορά τεχνογνωσίας, συγγραμάτων και την διαρκή τους στήριξη.

Το ενδιαφέρον τους μου έδωσε ώθηση για περαιτέρω αναζήτηση και έρευνα του αντικειμένου της διπλωματικής εργασίας.

© Copyright 2015: Καρανής Γ. Ιωάννης

Απαγορεύεται ή με οποιονδήποτε τρόπο, ολική ή μερική ανατύπωση ή μετάφραση του βιβλίου αυτού, χωρίς την έγγραφη άδεια του συγγραφέα.

All rights reserved. No part of this book may be produced in any form or by any means without the written permission of the author.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

1. Εισαγωγή στα υδροηλεκτρικά έργα

1.1.	Ιστορική αναδρομή	8
1.2.	Διάκριση μεταξύ μεγάλων και μικρών ΥΗΕ	9
1.3.	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΥΗΕ	13
1.4.	Στοιχεία ενεργειακής παραγωγής ΥΗΕ σε όλο τον κόσμο και την Ελλάδα.	14
1.5.	Αρχές λειτουργίας και βασικά μέρη ενός ΥΗΕ	18

2. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

2.1.	Γενικά στοιχεία – τεχνικά χαρακτηριστικά του έργου	21
2.1.1	Φράγμα	22
2.1.2.	Υδροληψία	23
2.1.3.	Δίοδος ιχθύων	23
2.1.4.	Οριοθετήσεις ποταμού	27
2.1.4.1.	Εκτίμηση ορίων λεκάνης κατάκλισης	27
2.1.4.2.	Πλημμυρικές παροχές - Υπολογισμός ορίων κατάκλισης	28
2.1.4.3.	Υπολογισμός υπερύψωσης στάθμης νερού κατάντη του φράγματος	28
2.1.4.4.	Υπολογισμός υπερύψωσης στάθμης στη στέψη του φράγματος	29
2.1.5.	Αγωγός προσαγωγής	30
2.1.6.	Υδροηλεκτρικός Σταθμός Παραγωγής	31
2.1.7.	Διώρυγα διαφυγής	32
2.1.8.	Οδοί προσπέλασης	32
2.1.9.	Οικολογική παροχή, συμβολές άλλων ρεμάτων και άλλες χρήσεις νερού	32
2.1.10.	Ενεργειακοί υπολογισμοί	34
2.2.	Περιγραφή της φάσης λειτουργίας του έργου	36
2.3.	Ανώμαλες και επικίνδυνες καταστάσεις	38
2.4	Κατάσταση Περιβάλλοντος	39
2.4.1.	Μορφολογικά και τοπιολογικά χαρακτηριστικά	39
2.4.2.	Γεωλογία, τεκτονικά και εδαφολογικά χαρακτηριστικά	40
2.4.2.1.	Γεωλογική δομή	40
2.4.2.2	Σεισμικότητα	44
2.4.3	Στερεοπαροχή	44
2.4.4.	Φυσικό Περιβάλλον	45
2.4.4.1.	Γενικά Στοιχεία	45

2.4.4.2	Ειδικές φυσικές περιοχές	45
2.4.4.3	Θεσμοθετημένες περιοχές προστασίας	46
2.4.4.4	Μη-Θεσμοθετημένες Περιοχές	47
2.4.5.	Περιγραφή του φυσικού περιβάλλοντος της περιοχής μελέτης	49
2.4.5.1.	Χλωρίδα – βλάστηση	49
2.4.5.2	Πανίδα	52
2.4.5.3	Ιχθυοπανίδα	54
2.5.	Εκτίμηση και αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων	55
2.6.	Επιπτώσεις σε περίπτωση αστοχίας του έργου.	56
3.	Μελέτη και σχεδιασμός φράγματος έργου	
3.1.	Επιλογή τύπου φράγματος	57
3.2.	Μελέτη κύριου σώματος φράγματος βαρύτητας	60
3.3.	Εκχειλιστής φράγματος	66
3.4.	Υδραυλικό άλμα (hydraulic jump)	70
3.5.	Ιχθυόδρομος	73
4.	Μελέτη αγωγού προσαγωγής	
4.1.	Επιλογή υλικού αγωγού προσαγωγής	76
4.2.	Αγωγός προσαγωγής	78
4.2.1.	Γραμμικές απώλειες αγωγού μήκους $L=550m$	78
4.2.2.	Τοπικές απώλειες αγωγού	82
4.2.3.	Εσχάρα υδροληψίας	86
4.2.4.	Στροβιλότητα (vorticity)	88
4.2.5.	Πάχος τοιχωμάτων αγωγού προσαγωγής	92
4.2.6.	Πύργος ανάπαλσης (surge tower)	97
5.	Συμπεράσματα	100
6.	Βιβλιογραφία	106

1. Εισαγωγή στα υδροηλεκτρικά έργα

1.1 Ιστορική αναδρομή στην παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας

Η Υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η ενέργεια η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του νερού των ποταμών και της μεταροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια στροβίλων και ηλεκτρογεννητριών. Η ενέργεια αυτή διαχέεται στη φύση από δίνες και ρεύματα, καθώς το νερό ρέει κατηφορικά σε ρυάκια, χείμαρρους και ποτάμια μέχρι να φτάσει στη θάλασσα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του αποθηκευμένου νερού και όσο ψηλότερα βρίσκεται, τόσο περισσότερη είναι η ενέργεια που περιέχει.

Ο «λευκός άνθραξ» με τη μορφή της μηχανικής ενέργειας αποτελούσε για σειρά αιώνων για όλους τους πολιτισμούς την κινητήρια δύναμη για την κίνηση υδροτροχών οριζοντίου ή κατακόρυφου άξονα με σκοπό κυρίως την άλεση δημητριακών. Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μία πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας που στηρίζεται στην εκμετάλλευση των ποταμών και των τεχνητών ή φυσικών φραγμάτων. Η αξιοποίηση του νερού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πρωτοεμφανίστηκε τον 19^ο αιώνα και συγκεκριμένα στις 30 Σεπτεμβρίου του 1882 στο Appleton, Wisconsin, USA με ισχύ 12.5kW και το 1889 (7 χρόνια μετά) ο αριθμός των υδροηλεκτρικών σταθμών είχε φτάσει τα 200. Πρόδρομος της ηλεκτρικής αξιοποίησης της υδραυλικής ενέργειας θεωρείται ο νερόμυλος. Οι νερόμυλοι ήταν κατασκευές ογκώδεις και η τεχνολογία τους εξελίχθηκε με την προσθήκη υδροστροβίλων και μετάδοση της μηχανικής τους ενέργειας σε γεννήτριες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Έκτοτε το έργο ονομάζεται υδροηλεκτρικό και εξελίχθηκε αρκετά ώστε να φτάσει να έχει βαθμό απόδοσης 90-95%.

Υδροηλεκτρικά έργα για οικιακή χρήση ρεύματος δημιουργήθηκαν στην Ευρώπη την περίοδο τέλος 19^{ου} με αρχές 20^{ου} αιώνα, ακόμα και στην Ελλάδα έως το 1954 χρόνια κατά τη οποία η ΔΕΗ εξαγόρασε και ανέλαβε τη αποκλειστική παραγωγή και μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας για την Ελλάδα. Πολλοί μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί σταμάτησαν να λειτουργούν και το βάρος έπεσε στα μεγάλα έργα με μεγάλους ταμιευτήρες. Το γεγονός αυτό είναι αντίθετο με ότι έγινε στη υπόλοιπη Ευρώπη όπου ιδιωτικά έργα παρέμειναν σε ιδιώτες παρά την δημιουργία ενιαίων δημόσιου χαρακτήρα εταιριών παραγωγής, μεταφοράς και διαχείρισης ηλεκτρικού ρεύματος. Μόνο από το έτος 1999 και έπειτα ιδιώτες έχουν το δικαίωμα στην Ελλάδα να παράγουν ηλ. ρεύμα και να το μεταπωλούν στη ΔΕΗ κάτι το οποίο δημιούργησε δυσκολία εξοικίωσης των κοινοτήτων αλλά και δυσπιστία στο

πρόσωπο των επενδυτών για τα έργα αυτά. Αυτό δικαιολογείται από την άγνοια μίας και πλέον γενιών (1954-1999) για την ιδιωτική παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

1.2 Διάκριση μεταξύ μεγάλων και μικρών ΥΗΕ

Ως μικρό χαρακτηρίζεται ένα υδροηλεκτρικό έργο όταν η μέγιστη ισχύς του είναι μικροτερη των 10MW. Ο αριθμός αυτός διάκρισης δεν είναι ίδιος για κάθε χώρα και μπορεί να οριστεί στα 5MW ή 15MW. Αυτό εξηγείται από το ότι οι διαφορές μεταξύ μικρών και μεγάλων ΥΗΕ δεν είναι μόνο ποσοτικές αλλά και ποιοτικές.

Ένας άλλος τρόπος διάκρισης των ΥΗΕ είναι το ύψος υδραυλικής πτώσης H , δηλαδή η υδραυλική ενέργεια του νερού στο σημείο του υδροστροβίλου. Η τιμή αυτή (H) χρησιμοποιείται κυρίως για την επιλογή υδροστροβίλου (Francis, Kaplan, Pelton) λαμβάνοντας υπόψιν και την απόδοση του κάθε τύπου υδροστροβίλου για δεδομένη υδραυλική πτώση (H).

Οι κατηγορίες που διακρίνονται είναι οι εξής:

- I. Μικρού ύψους όταν: $H < 20$ m
- II. Μέσου ύψους όταν: $20 < H < 150$ m
- III. Μεγάλου ύψους όταν: $H > 150$ m

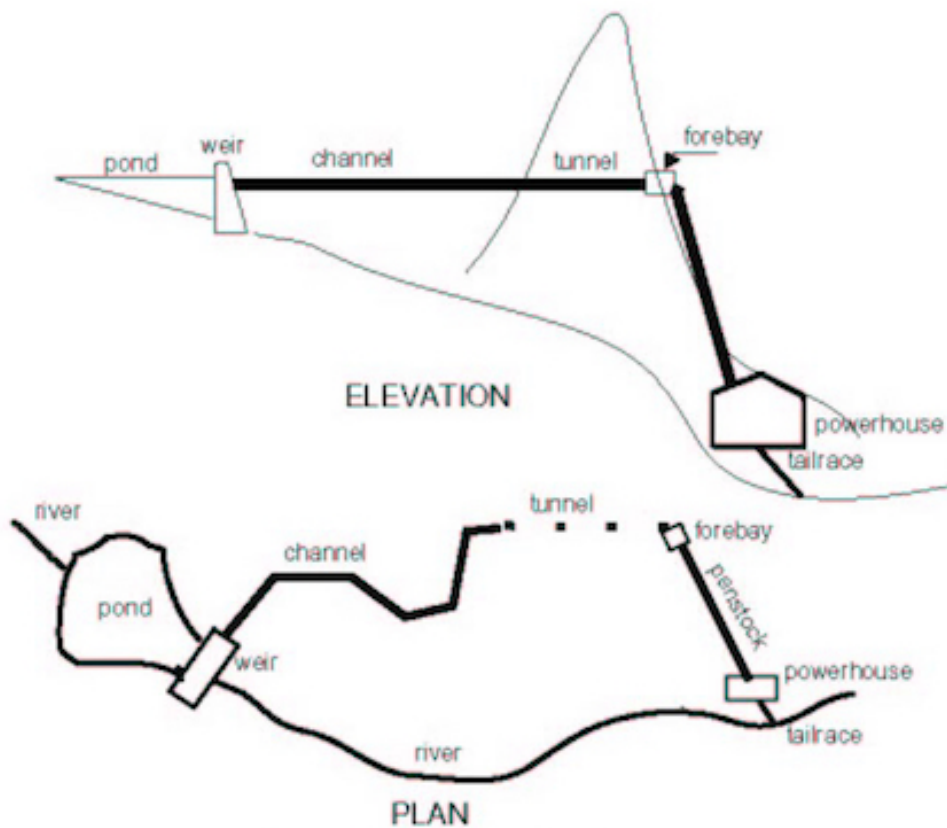
Άλλες κατηγορίες διάρρισης των ΥΗΕ είναι:

- I. Σχέδιο Run-of-river
- II. Σχέδιο με το σταθμό παραγωγής εγκατεστημένο στη βάση του φράγματος
- III. Σχέδιο φράγματος και σταθμού παραγωγής ενσωματωμένα σε αγωγό ή κανάλι άρδευσης

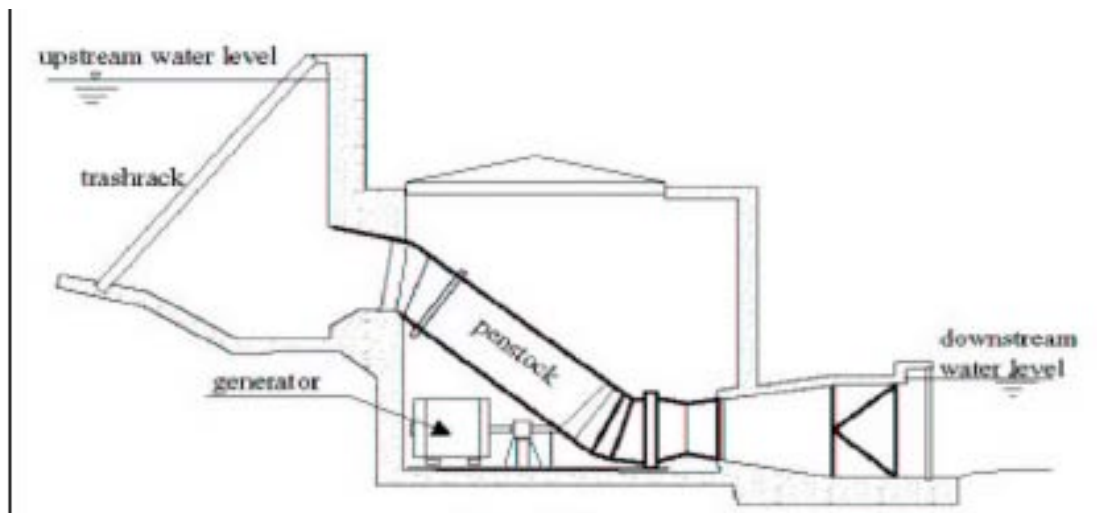
Παρακάτω θα αναλυθούν αυτές οι τρεις κατηγορίες:

Ο σχεδιασμός του Run-of-river χρησιμοποιεί το νερό του ποταμού όταν αυτό είναι διαθέσιμο. Όταν το ποτάμι στερεύει η παραγωγή ενέργειας είναι αδύνατη.

Στα ΥΗΕ μεγάλου και μέσου ύψους πτώσης χρησιμοποιούνται αγωγοί πίεσης ή πτώσης. Μία άλλη εναλλακτική είναι η κατασκευή ανοιχτού αγωγού (κανάλι) με μικρή κλίση κατά μήκος του ποταμού μέχρι την δεξαμενή και μετά την κατασκευή αγωγού πτώσης μέχρι τον σταθμό παραγωγής (Σχήμα 1.2.1.). Αν η μορφολογία του εδάφους δεν το επιτρέπει τότε αντί ανοιχτού αγωγού κατασκευάζεται κλειστός με χαμηλή πίεση (Σχήμα 1.2.2.).



Σχήμα 1.2.1. ΥΗΕ με ανοικτό αγωγό μικρής κλίσης, δεξαμενή και κλειστό αγωγό πτώσης

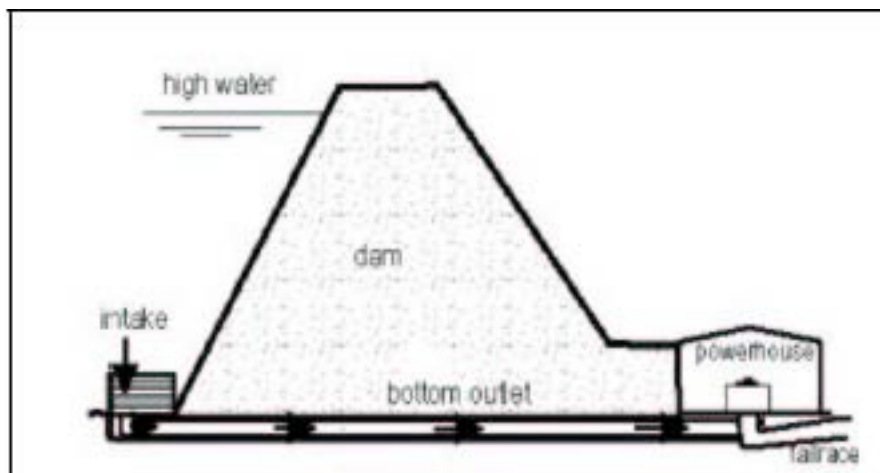


Σχήμα 1.2.2. ΥΗΕ με κλειστό αγωγό χαμηλού ύψους πτώσεως

Τα ΥΗΕ μικρού ύψους πτώσης κατασκευάζονται σε πεδιάδες ποταμών είτε με μικρό αγωγό πτώσεως όπως στα έργα μεγάλου ύψους πτώσεως (Σχήμα 1.2.2.) είτε με την δημιουργία μικρού φράγματος, θυροφραγμάτων, υδροληψίας, σταθμού παραγωγής ενέργειας και ιχθυόσκαλας.

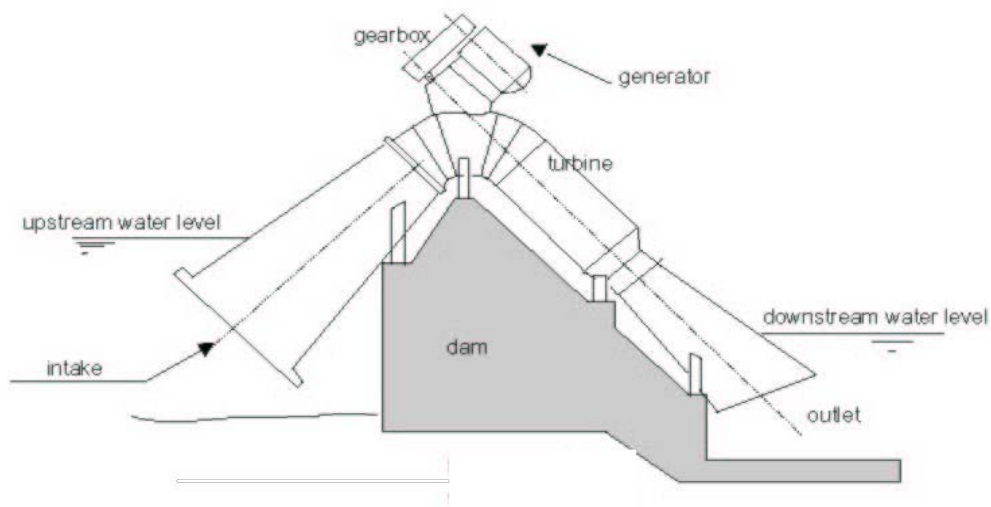
Ο σχεδιασμός του ΥΗΕ με τον σταθμό παραγωγής στη βάση του φράγματος δεν θα μπορούσε να είναι οικονομικά βιώσιμο για ένα μικρό ΥΗΕ. Σε περιπτώσεις όπου ο ταμιευτήρας έχει ήδη κατασκευαστεί για άλλους σκοπούς όπως έλεγχος πλυμμήρας, άρδευση, ύδρευση, χώρο αναψυχής κ.λπ. ίσως να είναι δυνατό να παράγει ενέργεια χρησιμοποιώντας την οικολογική ή την πρόσθετη-εκχειλιζόμενη παροχή του φράγματος.

Τα πιο σημαντικά προβλήματα είναι να ενώθει το ανάντι και κατόντι επίπεδο νερού μέσω της διώρυγας νερού, πως θα σχεδιαστεί και που θα κατασκευαστεί ο υδροστρόβιλος. Αν προϋπάρχει αγωγός πυθμένα (bottom outlet) τότε η εικόνα παρακάτω (σχήμα 1.2.3.) είναι μία πιθανή λύση.



Σχήμα 1.2.3. ΥΗΕ με αγωγό στον πυθμένα φράγματος

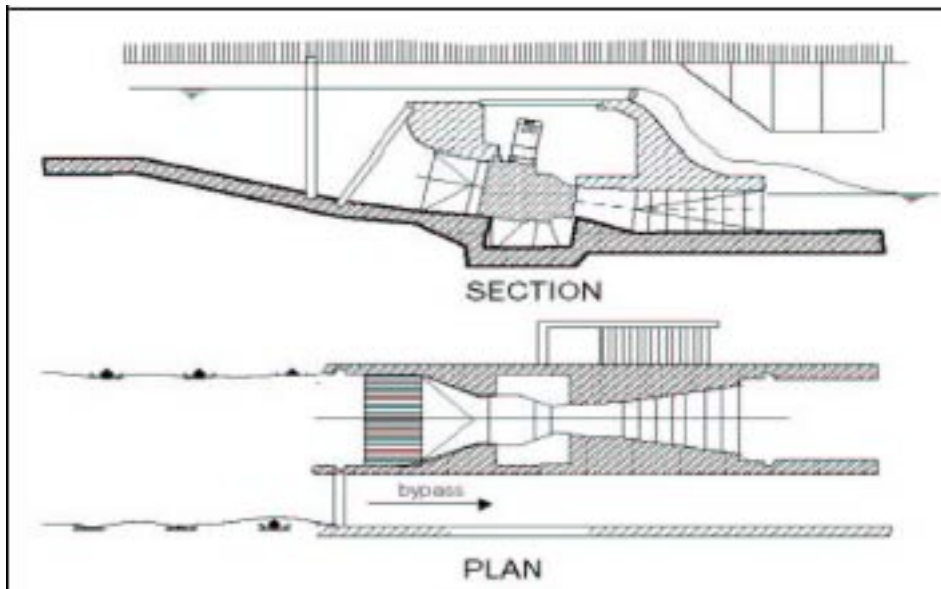
Αν το φράγμα δεν είναι αρκετά ψηλό τότε μπορεί να κατασκευαστεί σιφώνι για ύψος πτώσεως μέχρι 10m και παραγωγή ενέργειας μέχρι 1MW. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν εγκατεστημένοι σίφωνες για παραγωγή 11MW(Σουηδία) και 30.5m ύψος(Η.Π.Α.). Η γεννήτρια μπορεί να εγκατασταθεί είτε στην κορυφή του φράγματος είτε στην κατόντι πλευρά του.



Σχήμα 1.2.4. ΥΗΕ με σιφώνι υδροληψίας

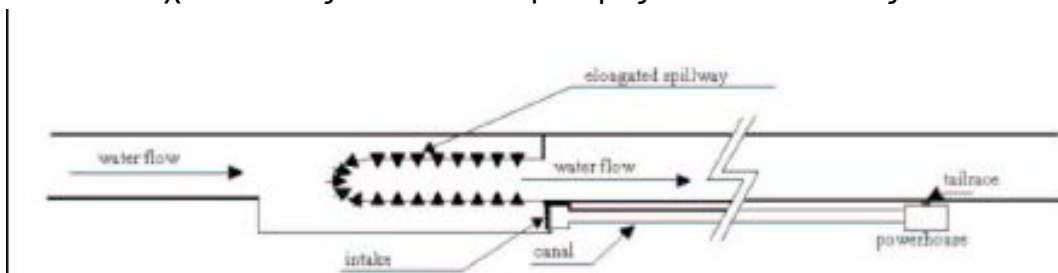
Το σχέδιο φράγματος και σταθμού παραγωγής ενσωματωμένα σε αγωγό ή κανάλι άρδευσης έχει δύο επιλογές κατασκευής:

- Μεγενθύνοντας το κανάλι για να κατασκευαστεί η υδροληψία, ο σταθμός παραγωγής και η πλευρική παράκαμψη (Σχήμα 1.2.5.). Το ΥΗΕ θα πρέπει να κατασκευάζεται χρονικά παράλληλα με το κανάλι διαφορετικά το κόστος κατασκευής είναι πολύ υψηλό.



Σχήμα 1.2.5. Σταθμός παραγωγής και πλευρική παράκαμψη

- Αν το κανάλι προϋπάρχει τότε το κανάλι μεγενθύνεται τόσο ώστε να κατασκευαστεί η υδροληψία και ο υπερχειλιστής (σχήμα 1.2.6.). Από την υδροληψία ξεκινά ένας αγωγός πτώσης διοχετεύοντας το νερό στον υδροστρόβιλο και αυτό έπειτα καταλήγει και πάλι στον ποταμό-κανάλι. Οι ιχθυόσκαλες δεν είναι απαραίτητες σε τέτοιου είδους ΥΗΕ.



Σχήμα 1.2.6. Υδροληψία και υπερχειλιστής σε υπάρχων κανάλι

Οι αρχές λειτουργίας ως προς την μεταροπή της υδραυλικής ενέργειας σε μηχανική και μετέπειτα σε ηλεκτρική καθώς και τα κατασκευαστικά έργα που απαρτίζουν τα μικρά και μεγάλα ΥΗΕ δεν διαφέρουν. Τα μικρά ΥΗΕ (ΜΥΗΕ) είναι έργα μικρής έως αμελητέας περιβαλλοντικής ρύπανσης και όχλησης. Σε αντίθεση με τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα, τα φράγματα των οποίων

δημιουργούν περιβαλλοντικά προβλήματα στο οικοσύστημα και μικροκλίμα της περιοχής όπου κατασκευάζονται.

Τα μικρά υδροηλεκτρικά δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως μικρογραφία των μεγάλων υδροηλεκτρικών διότι οι διαφορές μεταξύ τους δεν περιορίζονται μόνο στην κλίμακα, αλλά στον σχεδιασμό κατασκευής και στον τρόπο εκμετάλλευσης των έργων.

Τέτοιες διαφορές παρατίθενται παρακάτω:

- Τα ΜΥΗΕ συνεισφέρουν ηλεκτρικό ρεύμα στο δίκτυο ανάλογη της διερχόμενης από τον χειμάρο παροχής νερού ενώ τα μεγάλα ΥΗΕ συνεισφέρουν ηλεκτρικό ρεύμα κατά τις ώρες αιχμής ζήτησης. Αυτό σημαίνει πως οι ώρες λειτουργίας ενός ΜΥΗΕ είναι πολύ περισσότερες από αυτές ενός μεγάλου ΥΗΕ και ακόμη περισσότερες από αυτές άλλων έργων ΑΠΕ.
- Τα ΜΥΗΕ μελετώνται και κατασκευάζονται ύστερα από μικρές χρονικά υδρολογικές έρευνες σε χειμάρρους με μικρές λεκάνες απορροής .
- Η υδροληψία του έργου δεν απαιτεί φράγμα παραμόνο έναν μικρό αναβαθμό ο οποίος δεν αλλοιώνει-μεταβάλλει το μικροκλίμα της περιοχής, δεν δημιουργεί ταμιευτήρα ή λίμνη αποθήκευσης νερού ούτε προβλήματα στερεομεταφοράς εμφανίζονται.
- Οι δομικές κατασκευές είναι μικρές και ενσωματώνονται στο περιβάλλον της περιοχής.
- Ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται είναι τυποποιημένος και μειώνει το κόστος αλλά και τη διάρκεια κατασκευής.
- Τα λειτουργικά έξοδα ενός ΜΥΗΕ είναι κατά πολύ μικρότερα από ότι σε ένα μεγάλο ΥΗΕ.
- Τα έργα διασύνδεσης του έργου με το δίκτυο είναι μικρότερα καθώς το φόρτιο παραγωγής είναι μικρότερο και δεν απαιτούνται πρόσθετα μέτρα ηλεκτρολογικού εξοπλισμού για την ασφάλεια λειτουργίας του δικτύου.

1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΥΗΕ

Τα πλεονεκτήματα των ΥΗΕ είναι τα εξής:

- Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) στις οποίες ανήκει το νερό των ποταμών και χειμάρρων είναι ανεξάντλητο και η αξιοποίησή του επιτρέπει την απεξάρτηση από συμβατικούς ενεργειακούς πόρους οι οποίοι κάποια στιγμή θα εξαντληθούν.

- Τα ΥΗΕ δεν καταναλώνουν το νερό που διοχετεύεται στους υδροτροβίλους και αυτό επιστρέφει αμέσως μετά τον σταθμό στον ποταμό ή χείμαρρο.
- Δεν επηρεάζουν το φυσικό περιβάλλον καθώς δεν εκχέουν απόβλητα και ειδικά τα μικρά ΥΗΕ δεν ανακάμτουν την στερεοπαροχή των ποταμών.
- Είναι εγχώρια πηγή ενέργειας και συνεισφέρει στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτοποίησης σε εθνικό επίπεδο.
- Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί έχουν την δυνατότητα να λειτουργήσουν μόλις υπάρξει ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια (ώρες αιχμής) σε αντίθεση με τους θερμικούς σταθμούς οι οποίοι χρειάζονται χρόνο προετοιμασίας.
- Η κατασκευή τους μπορεί να δώσει ώθηση στην δημιουργία και άλλων δραστηριοτήτων όπως ύδρευση, άρδευση, αλιεία, δημιουργία υγροτόπων, αναψυχή, υδάτινος αθλητισμός.

Τα μειονεκτήματα των ΥΗΕ είναι τα εξής:

- Η χρονική διάρκεια συλλογής και μελέτης υδρολογικών στοιχείων είναι μεγάλη όπως επίσης μεγάλη είναι και η διάρκεια κατασκευής (5-10 έτη για μεγάλα ΥΗΕ και 1-2 έτη για μικρά ΥΗΕ)
- Η παραγόμενη ενέργεια επηρεάζεται άμεσα από τις κατακρυσμνήσεις του εκάστοτε έτους οι οποίες δεν είναι ίδιες κάθετος έτος ούτε και προβλέψιμες.
- Το κόστος κατασκευής για μεγάλα ΥΗΕ είναι υψηλό.
- Η θέση τους είναι συνήθως μακριά από την κατανάλωση οπότε χρειάζονται έργα διασύνδεσης υψηλού κόστους τα οποία επιβαρύνουν το κόστος κατασκευής.

1.4 Στοιχεία ενεργειακής παραγωγής ΥΗΕ σε όλο τον κόσμο και την Ελλάδα.

Τον Δεκέμβριο του 1997 στο Κιότο υπεγράφη το πρωτόκολλο του Κιότο το οποίο στοχεύει στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής που προκαλείται λόγω της αύξησης των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Τα κράτη που έχουν συνυπογράψει το πρωτόκολλο δεσμεύονται να ελαττώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά την περίοδο 2008-2012 σε ποσοστό 8% (ή 5% για κάποιες βιομηχανοποιημένες χώρες). Τα ποσοστά αυτά σχετίζονται με τις αντίστοιχες εκπομπές του έτους 1990. Αυτός

ο σχεδιασμός δεν θα επιβάρυνε την παγκόσμια οικονομία και θα περιελάμβανε τρεις ευέλικτους μηχανισμούς επίτευξης του στόχου:

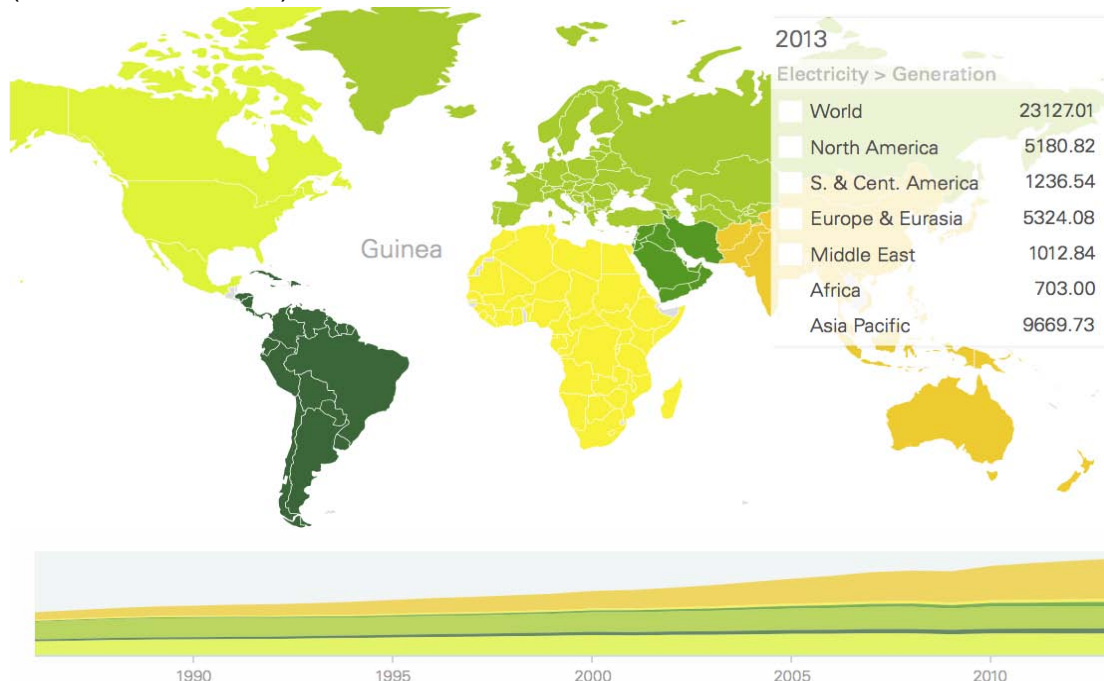
- I. Την εμπορία δικαιωμάτων εκπομπών
- II. Την κοινή εφαρμογή
- III. Το μηχανισμό καθαρής ανάπτυξης

Ο πρώτος μηχανισμός προβλέπει την αγοραπωλησία δικαιωμάτων εκπομπών μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών ενώ οι άλλοι δύο βασίζονται σε προγράμματα έργων.

Η ανάπτυξη του τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι ένα πολύ σημαντικό βήμα για την επίτευξη των στόχων του Πρωτοκόλλου μέσω του μηχανισμού καθαρής ανάπτυξης. Η παραγωγή ενέργειας από υδροηλεκτρικούς σταθμούς είναι μέχρι και σήμερα ο πιο πολυχρησιμοποιημένος τρόπος αξιοποίησης του νερού ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

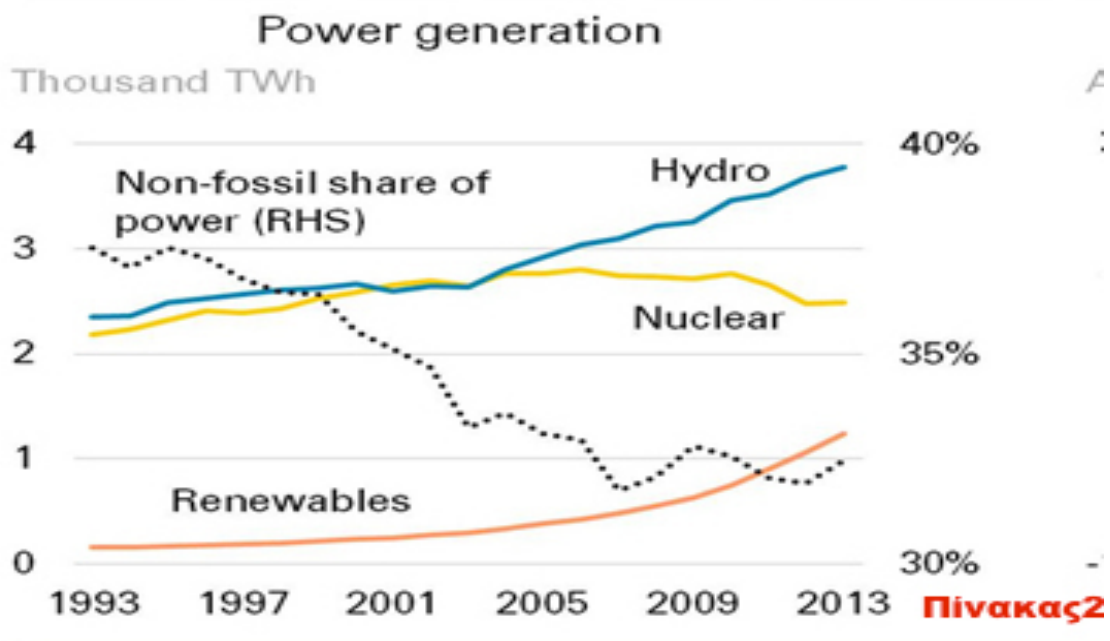
Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω το πρώτο ΥΗΕ κατασκευάστηκε το 1882 και έκτοτε υπάρχει διαρκής εξέλιξη για τα μικρά και μεγάλα ΥΗΕ. Ο βαθμός απόδοσης έφτασε σε ποσοστό άνω του 85%.

Σήμερα τα ΥΗΕ παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα σε ποσότητες από λίγα watts έως μερικά Gwatts ($W \times 10^9$). Τα μεγαλύτερα σήμερα ΥΗΕ βρίσκονται στην Βραζιλία και Κίνα με μέγιστη ωριαία παραγωγή 14000MW και 22400MW αντίστοιχα. Η ετήσια παραγωγή και των δύο φθάνει τα 80 με 100TWh/yr ($TWh = 10^3 \times GWh$).



Σχήμα 1.4.1. Ετήσια παραγωγή ενέργειας ανά ήπειρο για το έτος 2013 σε TWh/yr (statistical review of world energy 2014 www.bp.com)

Hydro, renewables and nuclear



Σχήμα 1.4.2. Διακύμανση παραγωγής ενέργειας στον κόσμο από ΥΗΕ, άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και πυρηνική ενέργεια μετρούμενη σε χιλιάδες TWh

Στην Ελλάδα η ΔΕΗ δραστηριοποιείται κυρίως σε μεγάλα ΥΗΕ έχοντας θέσει σε λειτουργία μεγάλα ΥΗΕ των οποίων η ονομαστική ισχύς καλύπτει το 25-30% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα.

Τα μικρά και μεγάλα ΥΗΕ της Δ.Ε.Η. στην Ελλάδα περιγράφονται παρακάτω: Στον ποταμό Αχελώο λειτουργούν:

- από το 1965 το ΥΗΣ Κρεμαστών χωμάτινου φράγματος ύψους 165m με ονομαστική ισχύ 437MW
- από το 1970 το ΥΗΕ Καστρακίου χωμάτινου φράγματος ύψους 96m με ονομαστική ισχύ 320MW
- από το 1988 το ΥΗΕ Στράτος I χωμάτινου φράγματος ύψους 26m και με ισχύ 150MW
- από το 19 το ΥΗΕ Στράτος II με ισχύ 6.2MW

Στον ποταμό Αλιάκμονα λειτουργούν:

- από το 1974 το ΥΗΕ Πολυφύτου λιθόρριπτου φράγματος ύψους 112m και με ισχύ 375MW
- από το 1985 το ΥΗΕ Σφηκιάς χωμάτινου φράγματος ύψους 82m και με ισχύ 315MW
- από το 1985 το ΥΗΕ Ασωμάτων χωμάτινου φράγματος ύψους 52m και με ισχύ 108MW

- από το 1992 το ΥΗΕ Μακροχωρίου με ισχύ 10.8MW

Στον ποταμό Άραχθο λειτουργούν:

- από το 1990 το ΥΗΕ Πηγών Αωού χωμάτινου φράγματος ύψους 78m και με ισχύ 210MW
- από το 1981 το ΥΗΕ Πουρναρίου I χωμάτινου φράγματος ύψους 87m και με ισχύ 300MW
- από το 2000 το ΥΗΕ Πουρναρίου II χωμάτινου φράγματος ύψους 15m και με ισχύ 33.6MW

Στον ποταμό Νέστο λειτουργούν:

- από το 1997 το ΥΗΕ Θησαυρού, λιθόρριπτου φράγματος ύψους 172m και με ισχύ 384MW
- από το 1999 το ΥΗΕ Πλατανόβρυσης φράγμα κυλινδρούμενου σκυροδέματος (RCC) ύψους 95m και με ισχύ 116MW.

Στον ποταμό Λάδωνα λειτουργεί το ΥΗΕ Λάδωνα από το 1956, αντηριδωτό φράγμα σκυροδέματος ύψους 56m και με ισχύ 70MW.

Στον ποταμό Ταυρωπό λειτουργεί το ΥΗΕ Ν.Πλαστήρα από το 1962, τοξωτό φράγμα σκυροδέματος ύψους 83m και με ισχύ 129.9MW.

Στον ποταμό Λούρο λειτουργεί το ΥΗΕ Λούρου από το 1954, φράγμα βαρύτητας ύψους 22m και με ισχύ 10.3MW.

Στον ποταμό Μόρνο λειτουργεί το ΥΗΕ Γκιώνας από το 1988 στο κανάλι ύδρευσης της Αθήνας με ισχύ 8.5MW.

Στον ποταμό Εδεσσαίο λειτουργούν τα:

- ΥΗΕ Άγρας από το 1956 με ισχύ 50MW
- ΥΗΕ Εδεσσαίου από το 1969 με ισχύ 19MW

Λειτουργεί επίσης μια ομάδα μικρών και πολύ παλαιών ΥΗΣ με μικρή ονομαστική ισχύ. Αυτά βρίσκονται στις περιοχές:

Αλμυρό (0.3MW) και Αγιά Κρήτης, Γλαύκο Πάτρας (3.7MW), Βέρμιο Βέροιας (1.8MW), Αγ. Ιωάννης Σερρών (0.7MW), Οινούσα Σερρών (1.5MW), Αλατόπετρα Γρεβενών (2.43MW), Αριδαία Έδεσσας (2.01MW), Γιτάνη Ηγουμενίτσας (2.06MW), Αγ. Βαρβάρα Βέροιας (0.92MW), Ελεούσα Χαλκηδόνας Θεσσαλονίκης (3.23MW), Σμόκοβο Καρδίτσας (10.4MW), Ιλαρίωνας Κοζάνης (4.2MW), Παπαδιά Φλωρίνης (0.5MW). Σύνολο 69.55MW ονομαστικής εγκατεστημένης ισχύος των ΜΥΗΣ.

Η μέση ετήσια παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από τους παραπάνω ΥΗΣ της ΔΕΗ ισούται με 4400GWh.

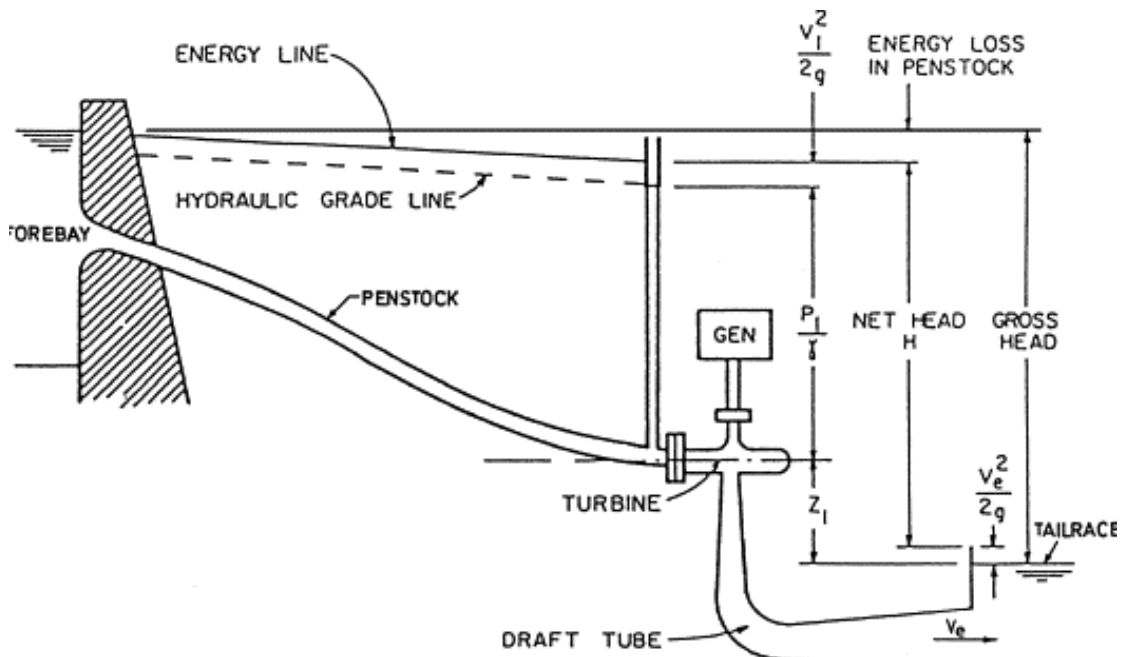
Για το έτος 2011 τα ΜΥΗΕ στην Ελλάδα έχουν εγκατεστημένη ισχύ 205.33MW ενώ η επιδιωκόμενη εγκατάσταση ισχύος για το 2020 από ΜΥΗΕ(<15MW) είναι 350MW και για τα μεγάλα(>15MW) 4300MW.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα για τα έτη 2000 έως 2009.

Εγκατεστημένη Ισχύς Ηλεκτρικής Ενέργειας (MW)										
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Σύνολο	269	338	355	444	556	581	855	989	1232	1398
ΜΥΗΣ	42	45	45	50	59	64	77	95	158	180
Φωτοβολταϊκά	0	1	1	1	1	1	5	9	12	37
Αιολικά	226	270	287	371	472	491	749	846	1022	1140
Βιομάζα	1	22	22	22	24	24	24	39	40	41

Σχήμα 1.4.3. Εγκατεστημένη ισχύς ηλεκτρικής ενέργειας ΑΠΕ στην Ελλάδα

1.5 Αρχές λειτουργίας και βασικά μέρη ενός ΥΗΕ



Σχήμα 1.5. Τυπικό σχεδιάγραμμα γραμμής ενέργειας ενός ΥΗΕ

Σε κάθε ΥΗΕ είτε μικρό είτε μεγάλο εφαρμόζονται βασικές αρχές λειτουργίας και αξιοποίησης της υδραυλικής ενέργειας. Βασικό χαρακτηριστικό είναι το μανομετρικό ύψος ύδατος το οποίο ισούται με την διαφορά των υψών στέψης

και υδροστροβίλου αφαιρώντας τις υδραυλικές (τοπικές και γραμμικές) απώλειες του αγωγού παραγωγής από την θέση υδροληψίας έως την θέση του σταθμού παραγωγής. Το μανομετρικό ύψος καθορίζει το είδος του έργου όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 1.2 καθώς για τα ΜΥΗΕ όσο αυξάνεται το ύψος τόσο απομακρύνεται η υδροληψία του έργου από τον σταθμό παραγωγής. Για τα μεγάλα ΥΗΕ συνήθως ισχύει ότι ο σταθμός παραγωγής βρίσκεται μέσα στο σώμα του φράγματος κατ' επέκταση και της υδροληψίας. Το μανομετρικό ύψος εκφράζει την υδραυλική ενέργεια του νερού στο ύψος του υδροστροβίλου. Στη θέση αυτή η υδραυλική ενέργεια θέτει σε κίνηση τον υδροστρόβιλο τα χαρακτηριστικά του οποίου είναι ανάλογα της παροχής νερού(m^3/s) και του μανομετρικού ύψους(m). Να σημειωθεί πως οι υδροστρόβιλοι κατασκευάζονται σύμφωνα με τις ανάγκες και χαρακτηριστικά του εκάστοτε ΥΗΕ και δεν υπάρχει μαζική παραγωγή αυτών.

Στην συνέχεια η μηχανική ενέργεια του υδροστροβίλου μεταφέρεται μέσω άξονα στην γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος τα χαρακτηριστικά της οποίας είναι αντικείμενο του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού του έργου. Η ένταση και το φορτίο του ηλεκτρικού ρεύματος της γεννήτριας εξαρτάται από την επιλογή της γεννήτριας. Το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρεται στον μετασχηματιστή σκοπός του οποίου είναι η ανύψωση της τάσης που παράγουν οι γεννήτριες στην μέση ή υψηλή τάση του δικτύου ώστε η μεταφορά της ενέργειας να γίνεται με τις μικρότερες δυνατές απώλειες. Ο αριθμός των συγκροτημάτων υδροστροβίλου-ηλεκτρογεννήτριας-μετασχηματιστή εξαρτάται από το μέγεθος του έργου και είναι γενικά αποδεκτό για λόγους ευελιξίας στην συντήρηση και ασφάλειας να υπάρχουν περισσότερα από ένα τέτοια συγκροτήματα.

Το Υδροηλεκτρικό Έργο ΥΗΕ είναι ένα σύνθετο έργο αποτελούμενο από κατασκευαστικές εργασίες πολιτικού μηχανικού αλλά και ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό. Στόχος των εργασιών του πολιτικού μηχανικού είναι αρχικά η υδρολογική μελέτη, η συγκέντρωση του νερού σε δεξαμενή ή ταμιευτήρα, η όδευση του μέσω του υδροστροβίλου για την μετατροπή της υδραυλικής σε μηχανική ενέργεια και η όδευση του νερού και πάλι στον φυσική κοίτη του ποταμού.

Πιο συγκεκριμένα η κατασκευή του φράγματος και η δημιουργία του ταμιευτήρα όπου συγκεντρώνεται ποσότητα νερού επιτυγχάνεται η ευαλιξία του έργου. Δηλαδή η παραγωγή ενέργειας ανεξαρτητοποιείται έως ένα σημείο από την φυσική ροή του ποταμού ανάλογο του όγκου αποθήκευσης νερού. Όπως έχει ήδη αναφερθεί χαρακτηριστικό των μεγάλων ΥΗΕ είναι η κάλυψη των αιχμών ζήτησης του δικτύου. Σε αντίθεση με τα ΜΥΗΕ όπου το φράγμα κατασκευάζεται με γνώμονα την αύξηση της υδραυλικής πτώσης και την ομαλή λειτουργία της υδροληψίας δηλαδή τη ν αποφυγή εισόδου φερτών υλικών στον αγωγό και κατ' επέκταση υδροστρόβιλο.

Έργα όπως ο εκχειλιστής, τα έργα εκτροπής, ο εκκενωτής πυθμένα και η υδροληψία αποτελούν έργα πολιτικού μηχανικού τα οποία συνοδεύουν το φράγμα.

- Ο εκχειλιστής σχεδιάζεται με σκοπό την όδευση της μέγιστης πλυμμηρικής παροχής του ποταμού σε χρόνους επαναφοράς $T=50,100,200$ έτη.
- Τα έργα εκτροπής της ροής του ποταμού σχεδιάζονται έτσι ώστε να διευκολυνθεί η κατασκευή του κυρίως σώματος του φράγματος.
- Ο εκκενωτής πυθμένα προστίθεται στο κάτω μέρος του φράγματος για να διοχετεύει το νερό στα κατάντη του φράγματος σε περιπτώσεις ανάγκης, συντήρησης ή αποβολής φερτών υλικών.
- Η υδροληψία σχεδιάζεται και διαστασιοποιείται σύμφωνα με την απαιτούμενη παροχή λειτουργίας του σταθμού και τα χαρακτηριστικά του ποταμού (όγκος και είδος φερτών υλικών).
- Η όδευση του νερού στον υδροστρόβιλο περιλαμβάνει τον αγωγό προσαγωγής, βάννες και θυροφράγματα, αγωγός και διώρυγα απαγωγής και πύργο ανάπαλσης.
- Ο αγωγός προσαγωγής είτε ανοικτός (διώρυγα ή κανάλι) είτε κλειστός (σήραγγα ή σωλήνες διαφόρων τύπων) κατασκευάζεται με σκοπό την μεταφορά του νερού με τις ελάχιστες δυνατές υδραυλικές απώλειες τοπικές και γραμμικές.
- Οι βάννες και τα θυροφράγματα χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ροής του νερού είτε στον αγωγό για την προστασία των υδροστροβίλων είτε στο σώμα του φράγματος για την απαγωγή νερού και φερτών υλικών.
- Ο πύργος ανάπαλσης κατασκευάζεται με σκοπό την εκτόνωση της υπερπίεσης ή υποπίεσης του νερού που δημιουργείται στην περίπτωση υδραυλικού πλήγματος.
- Ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός αποτελείται από τους υδροστροβίλους, της ηλεκτρογεννήτριες, τους μετασχηματιστές, τους ηλεκτρικούς πίνακες ελέγχου λειτουργίας αλλά και τον βοηθητικό εξοπλισμό όπως γερανογέφυρες αντλίες λαδιού και διάφοροι αυτοματισμοί ασφάλειας.

2. Αναλυτική περιγραφή του έργου

2.1 Γενικά στοιχεία – τεχνικά χαρακτηριστικά του έργου

Η θέση του έργου τοποθετείται επί του ποταμού Πηνειού, στη θέση με το τοπωνύμιο «Βουλγαρικά Μανδριά» εντός των ορίων του Δ.Δ. Ροδιάς του Δ. Αμπελώννα Ν. Λάρισας.

Η προτεινόμενη θέση βρίσκεται σε απόσταση 2,5 km δυτικά του Παραποτάμου, 10 περίπου km δυτικά της κοιλάδας των Τεμπών και σε απόσταση 20 km περίπου βόρεια της πόλης της Λάρισας. Η πρόσβαση στην ευρύτερη περιοχή του έργου γίνεται μέσω της επαρχιακής οδού Ροδιάς-Γόννων και υφιστάμενων αγροτικών οδών.

Η θέση του φράγματος (θέση της υδροληψίας) τοποθετείται σε υψόμετρο κοίτης +28,6 m. Η στέψη του φράγματος τοποθετείται σε υψόμετρο ίσο με +34,0.

Η σωλήνωση προσαγωγής του νερού από την υδροληψία στο κτίριο του σταθμού παραγωγής αποτελείται αγωγό ή αγωγούς συνολικού μήκους περίπου 550 m οι οποίοι τοποθετούνται επί παλιάς αύλακας εγκαταλειμμένου υδρόμυλου, μέχρι τη θέση του σταθμού παραγωγής.

Το κτίριο του στροβιλοστασίου τοποθετείται στο αριστερό πρηνές του π. Πηνειού, σε απόσταση 550 m περίπου κατάντη του φράγματος και σε υψόμετρο ίσο με +21,0 m περίπου.

Το κτίριο, θα κατασκευαστεί από οπλισμένο σκυρόδεμα και θα έχει διαστάσεις 20*18 m περίπου. Ο σταθμός θα κατασκευαστεί προσαρμοσμένος στο ανάγλυφο του εδάφους. Το νερό, μετά την ενεργειακή του αξιοποίηση από τις μονάδες επανέρχεται στην κοίτη του ποταμού μέσω της διώρυγας φυγής.

Η υφιστάμενη γραμμή ΜΤ της ΔΕΗ διατρέχει την περιοχή του έργου και καταλήγει ακριβώς στη θέση του σταθμού παραγωγής. Σύμφωνα με τους όρους διασύνδεσης του ΔΕΣΜΗΕ, η σύνδεση του έργου θα γίνει απευθείας στο υφιστάμενο δίκτυο Μέσης Τάσης (ΜΤ) της περιοχής. Για τη διασύνδεση θα απαιτηθεί η κατασκευή νέου τμήματος εναέριου δικτύου ΜΤ, μήκους περίπου 150 m με αγωγούς 95 mm² ACR και ενίσχυση του υπάρχοντος δικτύου ΜΤ με αντικατάσταση των αγωγών 16 mm² ACSR με αγωγούς 95 mm² ACSR σε μήκος περίπου 350 m.

Αναλυτικότερα το έργο αποτελείται από τα εξής μέρη:

2.1.1. Φράγμα

Με βάση την υδραυλική μελέτη που πραγματοποιήθηκε, για την αποφυγή δημιουργίας μεγάλης λεκάνης κατάκλισης και για λόγους ασφάλειας του έργου αποφασίστηκε η κατασκευή σταθερού υπερχειλιζόμενου ροϋφράχτη με ένα θυρόφραγμα καθαρισμού. Η εν λόγω διάταξη, σε σχέση με ένα ροϋφράχτη με συνεχώς κινητά θυροφράγματα, έχει το βασικό πλεονέκτημα της ασφάλειας, αφού δεν χρειάζεται επιτήρηση για το άνοιγμα θυροφραγμάτων σε περίπτωση πλημμύρας.

Το φράγμα της υδροληψίας θα λειτουργεί ως υπερχειλιστής, για παροχές μεγαλύτερες της ονομαστικής παροχής του υδροηλεκτρικού έργου. Η στέψη του φράγματος θα είναι στο υψόμετρο +34,00, δηλαδή περίπου 5,4 m ψηλότερα από την κοίτη του ποταμού που βρίσκεται στο υψόμετρο +28,6 περίπου. Το μήκος του, εγκάρσια στον άξονα του ποταμού προβλέπεται ίσο με 48,0 m, ώστε να περιοριστεί το ύψος υπερχειλίστη για την πλημμυρική παροχή, το οποίο ανέρχεται σε 7 m πάνω από τον υπερχειλιστή, μέγεθος που καθορίζει και το ύψος των πλευρικών τοίχων.

Με δεδομένο ότι στην περίπτωση χαμηλών φραγμάτων δεν υπάρχει διαθέσιμος νεκρός όγκος για απόθεση φερτών υλών στον ταμιευτήρα, είναι απαραίτητο να υπάρχει δυνατότητα περιοδικού καθαρισμού τους, μέσω ειδικής διώρυγας καθαρισμού και κινητού θυροφράγματος. Η διώρυγα καθαρισμού φερτών υλών προβλέπεται να κατασκευαστεί στη αριστερή πλευρά του φράγματος, με ορθογωνική διατομή πλάτους 4,0 m και θα ελέγχεται από θυρόφραγμα εκκένωσης διαστάσεων 4,0*5,0 m. Ανάντη του θυροφράγματος προβλέπεται εγκοπή για τοποθέτηση δοκών έμφραξης για την περίπτωση που απαιτηθούν εργασίες συντήρησης του θυροφράγματος. Ανάντη του φράγματος θα γίνει διευθέτηση της κοίτης, ώστε να διαμορφωθεί κλίση προς το θυρόφραγμα και θα κατασκευαστεί καθοδηγητικός τοίχος για να κατευθύνει τα συρόμενα φερτά υλικά προς το θυρόφραγμα.

Η εκκένωση της λίμνης και ο περιοδικός καθαρισμός των φερτών που θα συγκεντρώνονται ανάντη, θα γίνεται μέσω περιοδικού ανοίγματος του θυροφράγματος. Με τον τρόπο αυτό τα φερτά υλικά που έχουν συγκεντρωθεί ανάντη του φράγματος θα συμπαρασύρονται προς τα κατάντη και θα κατανέμονται ομοιόμορφα στην κοίτη του ποταμού όπως και πριν.

Μέσω των περιοδικών ανοιγμάτων δεν θα δημιουργούνται υπερβολικές συσσωρεύσεις φερτών υλικών ανάντη του φράγματος και επί πλέον θα συμπληρώνονται οι απώλειες υλικού κατάντη του φράγματος.

Με δεδομένο ότι στην έξοδο της διώρυγας φυγής οι ταχύτητες του νερού θα είναι πολύ μικρές, δεν αναμένονται φαινόμενα διάβρωσης. Γενικότερα οι

ταχύτητες του νερού, ακόμη και στον τμήμα της εκτρεπόμενης κοίτης είναι σχετικά μικρές λόγω των μικρών κλίσεων που παρατηρούνται στην κοίτη του ποταμού.

Για την παρακολούθηση της στάθμης της μικρής λίμνης που θα δημιουργηθεί ανάντη λίμνης θα τοποθετηθεί ηλεκτρονικό σταθμόμετρο στη θέση της υδροληψίας, το οποίο με θωρακισμένο καλώδιο θα συνδεθεί με τον ΥΗΣ.

Η τεχνητή λίμνη που θα δημιουργηθεί θα έχει μήκος περίπου 800 m και πλάτος που δεν θα ξεπερνά τα όρια της πλημμυρικής κοίτης του ποταμού.

Αν και η παρέμβαση που προκύπτει από την κατασκευή του φράγματος είναι καθαρά τοπική (μήκος εκτροπής ίσο με 550 m περίπου) εντούτοις επιβάλλεται η αποδέσμευση της απαιτούμενης οικολογικής παροχής καθώς και κάποιας παροχής για την λειτουργία της ιχθυόσκαλας που θα τοποθετηθεί επί του φράγματος για την εξασφάλιση της ελευθεροεπικοινωνίας των ιχθύων.

2.1.2. Υδροληψία

Η υδροληψία του έργου θα κατασκευαστεί επί της ανάντη επιφάνειας του φράγματος, στο αριστερό μέρος του φράγματος κατά τη ροή και θα καθορίζει το στόμιο εισαγωγής του νερού προς τους αγωγούς προσαγωγής, οι οποίοι θα είναι ενσωματωμένοι στη διάταξη της υδροληψίας. Θα αποτελείται από μία διάταξη εισόδου ορθογωνικής διατομής που θα καταλήγει σε διαμορφώσεις τύπου χοάνης για την τροφοδοσία των αγωγών προσαγωγής.

Η υδροληψία θα είναι εφοδιασμένη με θυρόφραγμα λειτουργίας και θα προστατεύεται έναντι εισχώρησης ξένων υλών, ανάντη, με διάταξη εσχαρών η οποία θα είναι τοποθετημένη υπό γωνία σε σχέση με τη ροή.

Προβλέπεται επίσης η τοποθέτηση δοκών έμφραξης για την διακοπή της ροής σε περίπτωση προβλημάτων λειτουργίας των αγωγών ή του σταθμού. Τόσο το θυρόφραγμα όσο και οι δοκοί έμφραξης θα κινούνται εντός μεταλλικών οδηγών.

2.1.3. Δίοδος ιχθύων

Με βάση τα στοιχεία που έχουν συλλεχθεί για τα είδη της ιχθυοπανίδας του ποταμού Πηνειού που διαβιούν στην περιοχή του έργου και για την απρόσκοπτη διέλευσή τους από το φράγμα του προτεινόμενου έργου, προβλέπεται η κατασκευή ιχθυόδρομου με την μορφή ιχθυόσκαλας, η οποία περιλαμβάνει σειρά αλλεπάλληλων δεξαμενών για την εξασφάλιση της επικοινωνίας ανάντη και κατάντη του φράγματος. Η στάθμη εισόδου της

ιχθυόσκαλας, μέσω των αυτοματισμών του έργου θα διατηρείται σχεδόν αποκλειστικά στο υψόμετρο υπερχειλίσεως της υδροληψίας.

Η κατάντη στάθμη ορίζεται με βάση το υψόμετρο της φυσικής κοίτης του ποταμού κατάντη του φράγματος.

Στη συνέχεια εξετάζονται οι χαρακτηριστικές περιπτώσεις διακύμανσης της ανάντη του φράγματος στάθμης (άνω και κάτω όριο), σε συνδυασμό με την παροχή των μονάδων και τις μέσες μηνιαίες παροχές που διατίθενται στην θέση της υδροληψίας.

Περίπτωση 1^η – Ανάντη στάθμη στο ανώτερο σημείο λειτουργίας

Λειτουργία και των τριών μονάδων στη μέγιστη ισχύ (6,3 MW). Για το συγκεκριμένο ύψος πτώσεως είναι:

Συνολική παροχή = 70.8 m³/sec.

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία προκύπτει ότι για ένα μεγάλο ποσοστό της διάρκειας λειτουργίας του έργου, σημαντικό μέρος νερού θα υπερχειλίζει από τον υπερχειλιστή του φράγματος.

Άρα, για το χρονικό αυτό διάστημα, εάν μεν το νερό βρίσκεται στην ανώτατη στάθμη λειτουργίας, η μετακίνηση της ιχθυοπανίδας θα εξασφαλίζεται μέσω της ιχθυόσκαλας. Εάν όμως υπερβαίνει την ανωτάτη στάθμη (συνθήκη $Q > 70,0 \text{ m}^3/\text{sec}$), με τη λειτουργία του φράγματος ως εκχειλιστού, ο ιχθυοπληθυσμός θα ακολουθεί την υπερύψωση του νερού πάνω από το φράγμα.

Επίσης, με βάση και το σχεδιασμό του έργου, το έργο θα λειτουργεί με βάση τη διαθέσιμη διερχόμενη παροχή διατηρώντας σταθερή την ανάντη στάθμη του νερού στο ύψος της στέψης, με στόχο τη μεγιστοποίηση του διαθέσιμου ύψους και συνακόλουθα της παραγόμενης ενέργειας. Η λειτουργία του έργου με το νερό στην στάθμη της στέψης, εξασφαλίζει και τη λειτουργία της ιχθυοπανίδας.

Περίπτωση 2η - Ανάντη στάθμη σε μερικό σημείο λειτουργίας

Η περίπτωση αυτή αφορά την λειτουργία της μονάδας σε μερική ισχύ, δηλαδή για παροχές < 70 m³/sec.

Με βάση και το σχεδιασμό του έργου, το έργο λειτουργεί με βάση τη διαθέσιμη διερχόμενη παροχή διατηρώντας σταθερή την ανάντη στάθμη του νερού στο ύψος της στέψης, με στόχο τη μεγιστοποίηση του διαθέσιμου

ύψους και συνακόλουθα της παραγόμενης ενέργειας. Η λειτουργία του έργου με το νερό στην στάθμη της στέψης, εξασφαλίζει και τη λειτουργία της ιχθυοπανίδας.

Οι μονάδες, εφόσον απαιτείται, θα διακόπτουν την λειτουργία τους, ώστε η κατωτάτη στάθμη ανάντη να μην πέφτει κάτω από μερικά εκατοστά από την στάθμη υπερχειλίσης.

Περίπτωση 3η.

Όπως προκύπτει από τα διαθέσιμα στοιχεία η διατήρηση της ανάντη στάθμης είναι εφικτή και στην περίπτωση των εξαιρετικά χαμηλών παροχών που διατίθενται (για ενεργειακή αξιοποίηση μετά την αποδέσμευση της απαιτούμενης οικολογικής παροχής) κατά τη διάρκεια του Οκτωβρίου και του Μαΐου, με λειτουργία της μίας μονάδας σε μερικά φορτία, έως την ελάχιστη εκμεταλλεύσιμη παροχή η οποία, σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της, έχει ληφθεί ίση με $4,0 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Για παροχές κάτω από το παραπάνω όριο και καθ' όλη τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου θα σταματά η λειτουργία του έργου με αποτέλεσμα το σύνολο της παροχής να διατίθεται για τη λειτουργία του ιχθυόδρομου, ενώ η τυχόν επιπλέον ποσότητα θα υπερχειλίζει από τον υπερχειλιστή του έργου.

Επίσης για μεγάλο διάστημα της αρδευτικής περιόδου, τα θυροφράγματα του έργου θα παραμένουν μονίμως ανοιχτά για λόγους εκκένωσης της λίμνης και περιοδικού καθαρισμού των φερτών που θα συγκεντρώνονται ανάντη. Σ' αυτή την περίπτωση, το σύνολο της παροχής θα διέρχεται μέσω των θυροφραγμάτων με αποτέλεσμα να διασφαλίζεται ταυτόχρονα και η ελευθεροεπικοινωνία της ιχθυοπανίδας. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η ελευθεροεπικοινωνία της ιχθυοπανίδας και η απρόσκοπτη λειτουργία του ιχθυόδρομου, εξασφαλίζεται σε όλες τις περιπτώσεις, ακόμη και για ακραίες συνθήκες πολύ μειωμένων εισροών.

Περίπτωση 4η.

Για υψόμετρο ίσο με 34 m, ο συνολικός όγκος της ανάντη λίμνης ανέρχεται σε 20.000 m^3 περίπου. Στην περίπτωση πλήρους εκκένωσης ανάντη του φράγματος στην θερινή περίοδο, και λαμβάνοντας υπόψη ως μέση ελάχιστη θερινή εισροή ίση με $2,5 \text{ m}^3/\text{sec}$ περίπου, προκύπτει ότι θα απαιτηθεί διάστημα δύο ωρών περίπου για να δημιουργηθεί εκ νέου στάθμη στο υψόμετρο 34, από την οποία εξαρτάται και η λειτουργία της ιχθυόσκαλας. Στη συνέχεια, και πάντα σε συνάρτηση με τις εισροές του π. Πηνειού και την λειτουργία των μονάδων, η ανάντη στάθμη θα διατηρείται στο υψόμετρο 34,

για την εξασφάλιση συνεχούς παροχής στο ανάντη και κατόντη του φράγματος τμήμα της ιχθυόσκαλας.

Ιχθυόδρομος

Οι ιχθείς σε κάποιο στάδιο της ζωής τους μεταναστεύουν ακολουθώντας τη διαδρομή από το άνω μέρος του ποταμού προς τα κάτω και μετά αντίθετα. Στην περίπτωση όμως που υπάρχει κάποιο φράγμα στην ποταμό αυτή η μετακίνηση εμποδίζεται. Όταν οι μετακινήσεις των ιχθύων μπλοκάρονται, οι πληθυσμοί τους επηρεάζονται και μειώνεται το μέγεθός τους, μερικές φορές μπορεί ακόμα και να εκλείψουν. Έτσι, διάδρομοι ιχθύων κατασκευάζονται έτσι ώστε να μετριάσουν το πρόβλημα που προκύπτει από τη δυσκολία μετακίνησης των ιχθύων.

Η επιτυχία μιας κατασκευής διαδρόμου ιχθύων πρέπει να λαμβάνει υπόψη:

- Την παροχή σταθερής επαρκούς ροής έτσι ώστε το ψάρι να ελκύεται στην είσοδο του διαδρόμου
- Την ικανότητα διατήρηση σταθερής ροής στο διάδρομο
- Την κλίση του καναλιού
- Την ελαχιστοποίηση των φερτών υλικών στο διάδρομο

Οι πιο διαδεδομένες κατασκευές διαδρόμου ιχθύων είναι οι ακόλουθες:

- Σκάλες ιχθύων (fish ladders): η οποία αποτελείται από ένα άνοιγμα, μια σειρά κεκλιμένων καναλιών με στέρνες που δημιουργούνται από μικρούς ποταμοφράκτες και διαχωριστικά, καθώς και μια έξοδο. Στην έξοδο της σκάλας χρειάζονται κόσκινα για να εμποδίζουν την είσοδο φερτών υλών στο διάδρομο. Οι ποταμοφράκτες κατασκευάζονται με ανοίγματα στο βυθό έτσι ώστε να επιτρέπουν το πέρασμα των ψαριών ενώ παράλληλα να βελτιώνουν την κυκλοφορία του νερού. Οι σκάλες ιχθύων εξομοιώνουν τους καταρράκτες και τις λίμνες που συναντώνται σε φυσικά ρεύματα.
- Παγίδευση και μεταφορά (trapping and transportation): Αυτού του είδους η κατασκευή περιλαμβάνει ένα τμήμα σκάλας, μια στέρνα κατακράτησης και ένα σύστημα ανελκυστήρα σε δεξαμενές οι οποίες μεταφέρονται με βαγόνια ή φορτηγά. Η ψύξη των ιχθύων είναι απαραίτητη κατά τη μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις
- Διάδρομοι Denil και κάθετοι διάδρομοι με ανοίγματα (vertical slot fishways): Οι διάδρομοι Denil είναι μια σειρά κατασκευών από εσωτερικά με κλίση προς τα άνω διαχωριστικά σχήματος U με μεγάλες λεκάνες ηρεμίας για τα ψάρια για κάθε 1 μέτρο κάθετης ανόδου. Οι διάδρομοι Denil μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πιο απότομα κανάλια από ότι οι κάθετοι διάδρομοι με ανοίγματα.
- Σύστημα κλιεδώματος και ανέλκυσης (lock and lift): Στα συστήματα κλιεδώματος τα ψάρια ελκύονται σε μια λεκάνη. Αντί τα ψάρια να κολυμπούν προς τα πάνω στο κανάλι, συγκεντρώνονται σε μια περιοχή

στη βάση του καναλιού. Αυτή η περιοχή σφραγίζεται και γεμίζει με νερό μέχρι να φτάσει το επίπεδο του νερού ανάντη του φράγματος. Τότε τα ψάρια μπορούν να κολυμπήσουν έξω από την περιοχή που έχουν συγκεντρωθεί. Στο σύστημα ανέλκυσης οι ιχθείς μετακινούνται μηχανικά ανάντη του φράγματος με σύστημα ανελκυστήρα.

2.1.4. Οριοθετήσεις ποταμού

2.1.4.1. Εκτίμηση ορίων λεκάνης κατάκλυσης

Περιγραφή φράγματος

Προβλέπεται κατασκευή φράγματος από οπλισμένο σκυρόδεμα μέσου ύψους λειτουργίας ίσου με 7.8 m από το υψόμετρο της μέσης στάθμης του ποταμού. Το φράγμα θα είναι υπερπηδητό (μέσω του υπερχειλιστή) στις μέσες και στις μεγάλες παροχές.

Στη θέση θεμελίωσης του φράγματος θα γίνουν οι απαραίτητες εκσκαφές έως την αποκάλυψη αποδεκτής επιφάνειας θεμελίωσης και κατόπιν θα γίνουν τσιμεντενέσεις κουρτίνας.

Η στέψη του φράγματος θα έχει μήκος 48 m περίπου. Η θέση του φράγματος (θέση της υδροληψίας) τοποθετείται σε υψόμετρο κοίτης +28,6 m. Η στέψη του φράγματος τοποθετείται σε υψόμετρο ίσο με +34,0. Όπως υπολογίζεται, η συνολική κατακλυζόμενη έκταση για στάθμη νερού στην κανονική λειτουργία του φράγματος (+34,0 m), ανέρχεται σε 0,05 km². επισημαίνεται ότι, λόγω της μικρής κλίσης αλλά και του μεγάλου εύρους της κοίτης του π. Πηνειού ανάντη της θέσης του φράγματος, για χρονική περίοδο που ξεπερνά τα 50% του έτους, η έκταση που καταλαμβάνεται από έτσι κι αλλιώς από νερό χωρίς την ύπαρξη του φράγματος (εμβαδόν υφιστάμενης κοίτης) ανέρχεται σε 0,02 km², ποσοστό της τάξεως του 40% της συνολικής έκτασης που καταλαμβάνει η δημιουργούμενη τεχνική λίμνη. Στον πόδα του φράγματος θα προβλεφθεί κατάλληλη λεκάνη καταστροφής ενέργειας, η διαστασιολόγηση της οποίας θα προκύψει μετά από αναλυτική υδραυλική μελέτη.

Για την προστασία των αντερεισμάτων από διάβρωση, αν και η ταχύτητα ροής του νερού είναι σχετικά μικρή, θα γίνουν πτερυγότοιχοι οι οποίοι θα φτάνουν σε ύψος +41 m, έτσι ώστε να υπερκαλύπτουν το ύψος της φλέβας για την μέγιστη πλημμυρική παροχή (δες παράγραφο 2.1.4.4).

Η εκκένωση της λίμνης και ο περιοδικός καθαρισμός των φερτών που θα συγκεντρώνονται ανάντη, θα γίνεται μέσω περιοδικών ανοιγμάτων των θυροφραγμάτων.

2.1.4.2. Πλημμυρικές παροχές - Υπολογισμός ορίων κατάκλυσης

Τα προτεινόμενα έργα έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε σε συνδυασμό με τη ν μορφολογία της κοίτης και των μαιάνδρων στην περιοχή του έργου να μην επηρεάζουν την αντιπλημμυρική συμπεριφορά του ποταμού.

Έτσι οι στάθμες νερού για τις συνήθεις παροχές του ποταμού μέχρι περίοδο επαναφοράς 10 ετίας δεν μεταβάλλονται όπως επίσης και για παροχές με περίοδο άνω των 100 ετών.

Μικρή διαφοροποίηση αναμένεται για πλημμυρικές παροχές με περίοδο 25ετίας – 50 ετίας για τις οποίες όμως εκτιμάται ότι η υπερύψωση της στάθμης είναι τέτοια που να μην δημιουργούνται προβλήματα κατακλίσεων στα προτεινόμενα έργα με δεδομένο ότι σε όλο το μήκος της περιοχής επέμβασης υπάρχει σημαντικό περιθώριο ασφαλείας από τα υφιστάμενα αναχώματα της κοίτης. Σύμφωνα με τη μελέτη του φράγματος της Γυρτώνης, οι πλημμυρικές παροχές του ποταμού Πηνειού στην περιοχή του έργου και για περίοδο επαναφοράς 25 και 100 ετών ανέρχονται σε 1300 και 1500 m³/sec αντίστοιχα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα υδρολογικά στοιχεία, εκτιμήσεις και αποτελέσματα που χρησιμοποιήθηκαν από την προαναφερόμενη μελέτη

Θέση	Λάρισα
Έκταση λεκάνης (km ²)	6529,7
Μέση ετήσια βροχόπτωση (mm)	819,5
Μέση ετήσια παροχή (m ³ /s)	68,56
Ισοδύναμο ύψος απορροής (mm)	331,3
Συντελεστής απορροής	0,40

Πίνακας 2.1.4.2. Συντελεστής απορροής λεκάνης Πηνειού (Πηγή: ΜΠΕ φράγμα Γυρτώνης-από υδρολογική διεύρυνση υδατικού διαμερίσματος Θεσσαλίας, Ε.Μ.Π. 1988)

2.1.4.3. Υπολογισμός υπερύψωσης στάθμης νερού κατόπιν του φράγματος

Οι αναλυτικοί υπολογισμοί, καθώς και οι σχετικοί χάρτες της οριοθέτησης της πλημμυρικής κοίτης του ποταμού επισυνάπτονται στη Μελέτη Οριοθέτησης στο Παράρτημα Μελετών.

Σύμφωνα με την μελέτη οριοθέτησης, η οριογραμμή της πλημμυρικής παροχής των 50 ετών ανέρχεται στο υψόμετρο των 35.6 m στην θέση του φράγματος έως και το υψόμετρο των 27 m στη θέση του σταθμού παραγωγής. Ως εκ τούτου, το σύνολο της όδευσης των αγωγών προσαγωγής του έργου βρίσκεται εντός της πλημμυρικής κοίτης του ποταμού.

Γεγονός που πρέπει να επισημανθεί είναι ότι η πλημμυρική παροχή των 1500 m³/sec που χρησιμοποιήθηκε στην μελέτη για την πρόταση οριοθέτησης και για την διαστασιολόγηση των επιμέρους έργων αποτελεί καθαρά θεωρητικό μέγεθος και αποτέλεσμα εφαρμογής μεθόδων που συνήθως δίνουν υπερδιαστασιολογημένα αποτελέσματα.

Απόδειξη σε αυτό είναι το πραγματικό γεγονός (όπως μπορεί να φανεί και από επιτόπου αυτοψία στη περιοχή) ότι η στάθμη του νερού δεν έχει ξεπεράσει τα τελευταία 100 χρόνια το υψόμετρο τοποθέτησης του παλιού καναλιού του νερομυλου που υπάρχει στο σημείο τοποθέτησης των αγωγών στην περιοχή, μέρος του οποίου σώζεται μέχρι και σήμερα. Επίσης, το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και από την αυξημένη φυτοκάλυψη που υπάρχει στα πρανή και η οποία φτάνει μέχρι στο υψόμετρο της συνήθους στάθμης του ποταμού.

Παρ' όλα αυτά για λόγους ασφαλείας και λειτουργικότητας του έργου στην συνέχεια των υπολογισμών θα ληφθούν υπόψη τα υψόμετρα που προέκυψαν από την μελέτη οριοθέτησης.

2.1.4.4.Υπολογισμός υπερύψωσης στάθμης στη στέψη του φράγματος

Εκτιμητικός υπολογισμός

Η υπερύψωση της στάθμης νερού πάνω από τη στέψη του φράγματος, στην περίπτωση της μέγιστης πλημμύρας των 1500 m³/sec, εκτιμάται από τον τύπο:

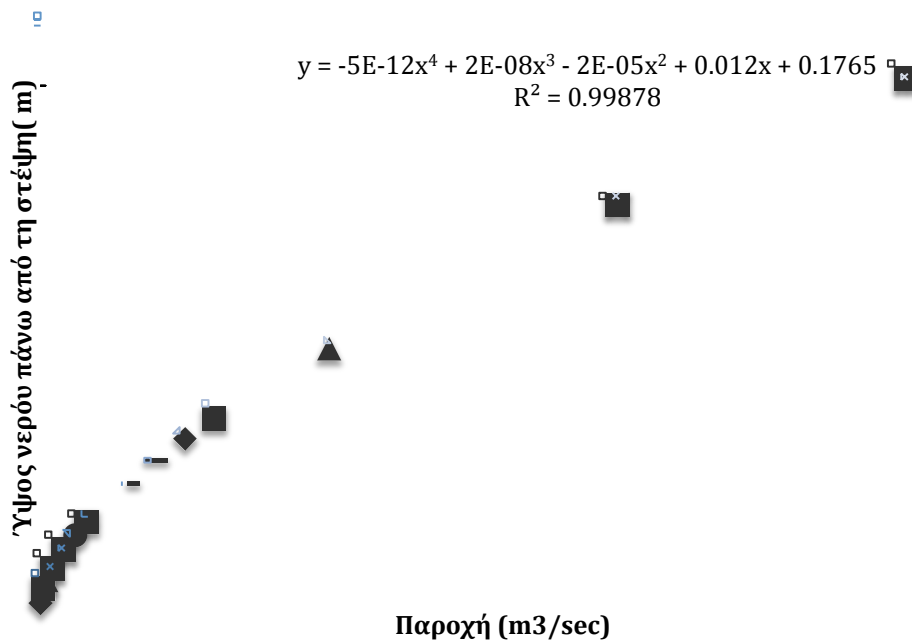
$$Q=C*L*Hd^{3/2}$$

που συνεπάγεται $Hd=(Q/C*L)^{2/3}$

όπου: $Q=1500$ m³/sec, $C=4$, $L=40$ m. Άρα $Hd=4,8$ m.

Αναλυτικός υπολογισμός

Λαμβάνοντας υπόψη τα πραγματικά δεδομένα του φράγματος (πλάτος, παράλληλη διατομή και συντελεστή φράγματος) για παροχές μέχρι 1500 m³, η υπερύψωση της στάθμης στη στέψη του φράγματος παρουσιάζεται στο επόμενο γράφημα:



Σχήμα 2.1.4.4. Ανύψωση στάθμης ανάντη της στέψης του φράγματος

Με βάση το παραπάνω σχήμα προκύπτει ότι για την μέγιστη πλημμυρική παροχή περιόδου 100 ετών η υπερύψωση της στάθμης επί της στέψης του φράγματος ανέρχεται σε 7,0 m περίπου. Λαμβάνοντας υπόψη και την διέλευση μιας ποσότητας νερού της τάξεως των 200 m³/sec μέσω του θυροφράγματος, προκύπτει ότι η υπερύψωση της νερού στη στέψη του φράγματος ανέρχεται σε 6,0-6,5 m περίπου.

Επισημαίνεται ότι η συγκεκριμένη ανύψωση της στάθμης εμφανίζεται στην ουσία τοπικά λόγω της ύπαρξης του φράγματος ενώ προς τα ανάντη η στάθμη ανέρχεται στα ίδια επίπεδα που ανέρχεται κατά τη διάρκεια των πλημμυρικών φαινομένων που εμφανίζονται στη φυσική κατάσταση του ποταμού.

Το σύνολο της πλημμυρικής παροχής διέρχεται από τη στέψη του φράγματος μέσω των καθοδηγητικών τοιχείων τα οποία ανέρχονται μέχρι το υψόμετρο +40.5 m έτσι ώστε να υπάρχει ασφάλεια ακόμη και στην περίπτωση πλημμυρικού φαινομένου περιόδου 100 ετών.

2.1.5. Αγωγός προσαγωγής

Με βάση την παροχή σχεδιασμού του έργου (70.8 m³/sec) υπολογίζεται σε άλλο κεφάλαιο η επιλογή αγωγού ή αγωγών προσαγωγής όπου θα εισάγει-ουν στον αντίστοιχο στρόβιλο παροχή μέχρι 23.6 m³/sec. Οι αγωγοί προσαγωγής είναι συνολικού μήκους 550 m.

2.1.6. Υδροηλεκτρικός Σταθμός Παραγωγής

Το κτίριο του στροβιλοστασίου τοποθετείται στο αριστερό πρηνές του π. Πηνειού σε υψόμετρο +21,0 m περίπου και σε απόσταση 550 περίπου m κατά μήκος της ροής κατάντη του φράγματος.

Το νερό από τον αγωγό (ή αγωγούς), οδηγείται στις τρεις μονάδες. Μετά από τη διέλευση του από τις μονάδες το νερό θα επανέρχεται στην κοίτη μέσω της διώρυγας φυγής.

Το κτίριο, θα κατασκευαστεί από οπλισμένο σκυρόδεμα και θα έχει διαστάσεις 20*18 m περίπου. Ο σταθμός θα κατασκευαστεί προσαρμοσμένος στο ανάγλυφο του εδάφους. Εντός του κτιρίου θα εδραστούν οι μονάδες και ο υπόλοιπος εξοπλισμός με αγκύρια και σκυρόδεμα δεύτερου σταδίου. Ο χώρος του σταθμού θα πληροί τις προδιαγραφές σχετικού βιομηχανικού κτιρίου.

Η είσοδος στον ΥΗΣ προβλέπεται με μεταλλική συρόμενη πόρτα πλάτους 4,5 m περίπου, απ' όπου θα περάσει ο εξοπλισμός που θα εγκατασταθεί εντός του κτιρίου.

Σε ξεχωριστό και περιφραγμένο για λόγους ασφαλείας χώρο παραπλεύρως του σταθμού, θα εγκατασταθούν επίσης και οι Μ/Σ πάνω σε βάθρα. Κάτω από τα βάθρα των Μ/Σ θα υπάρχουν σκάμματα με σκύρα όπου θα συλλέγονται τα έλαια των Μ/Σ σε περίπτωση ατυχήματος.

Οι πίνακες ελέγχου θα τοποθετηθούν σε κατάλληλη θέση στο εσωτερικό του σταθμού ενώ οι πίνακες Μ.Τ. θα εγκατασταθούν σε ιδιαίτερο χώρο στο υψηλότερο επίπεδο του σταθμού.

Ο ΥΗΣ θα έχει ιδιαίτερο δωμάτιο για το προσωπικό λειτουργίας και συντήρησης από το οποίο επίσης θα υπάρχει έξοδος προς το χώρο χειρισμού των κατάντη δικλίδων έμφραξης, η εγκατάσταση των οποίων προβλέπεται προκειμένου να είναι δυνατή η συντήρηση των αγωγών φυγής. Ο χειρισμός των δικλίδων θα γίνεται με βαρούλκο απλής τροχιάς.

Το υψόμετρο τοποθέτησης του άξονα των μονάδων θα είναι στα 21 m και το μεγαλύτερο μέρος του κτηρίου του ΥΗΣ θα είναι υπόγειο. Εφόσον, σύμφωνα με τη μελέτη οριοθέτησης, στο ύψος του ΥΗΣ η οριογραμμή της πλημμυρικής παροχής βρίσκεται στα 27 m, θα κατασκευαστεί τοίχιο προστασίας του ΥΗΣ από σκυρόδεμα, ύψους περίπου 6,5 m κατά μήκος του κτηρίου και της διώρυγας διαφυγής του.

2.1.7. Διώρυγα διαφυγής

Κατάντη του κτιρίου θα κατασκευαστεί η διώρυγα φυγής μέσω της οποίας το νερό θα επιστρέφει στην φυσική κοίτη του ποταμού. Η διώρυγα φυγής θα κατασκευαστεί από οπλισμένο σκυρόδεμα και θα έχει ορθογωνική διατομή, το πλάτος της οποίας θα αυξάνεται προς την κοίτη από τα 14 m περίπου στα 20 m. Στην αρχή η διώρυγα φυγής θα έχει κλίση 12% περίπου και στη συνέχεια η κλίση της διώρυγας αντιστρέφεται μέχρι του σημείου που συναντά τη φυσική κοίτη του ποταμού.

2.1.8. Οδοί προσπέλασης

Η πρόσβαση στην υδροληψία του έργου θα γίνει μέσω υφιστάμενης αγροτικής οδού από την ανατολική πλευρά του ποταμού η οποία θα συντηρηθεί και θα βελτιωθεί σε ορισμένα σημεία της κατά την κατασκευή του έργου.

Για την τοποθέτηση του αγωγού θα διανοιχτεί προσωρινός τρακτερόδρομος, πλάτους περίπου 8,4 μέτρων, που θα οδεύει παράλληλα με τους αγωγούς. Μετά την κατασκευή του έργου η περιοχή επέμβασης θα αποκατασταθεί πλήρως και θα φυτευτεί με τοπική, ενδημική βλάστηση. Για την τοποθέτησή τους αρχικά θα γίνει η κατάλληλη εκσκαφή στο πρηνές και συγκεκριμένα διαπλάτυνση στο υπάρχων κανάλι εγκαταλελειμμένου νερόμυλου κατά 4 μέτρα πλάτος. Στη συνέχεια θα τοποθετηθούν οι αγωγοί και θα επιχωματιστούν. Θα διατηρηθεί μια λωρίδα πλάτους 3 περίπου μέτρων του εδαφικού υλικού διάστρωσης, ως μόνιμη οδός πρόσβασης του αγωγού προσαγωγής. Η διατήρηση της ως άνω πρόσβασης αποσκοπεί στην εξασφάλιση της δυνατότητας κίνησης μικρού οχήματος ή μικρού χωματουργικού μηχανήματος, για λόγους επίβλεψης και εκτέλεσης μικρής κλίμακας εργασιών. Η μόνιμη οδός πρόσβασης δεν θα πρέπει να καλυφθεί με υλικά οδοστρωσίας.

Η τελική λύση που προτείνεται για την πρόσβαση στη θέση του ΥΗΣ του έργου είναι μέσω υφιστάμενης αγροτικής οδού η οποία φτάνει μέχρι ένα σημείο περίπου 80 m κατάντη της θέσης του ΥΗΣ και στη συνέχεια, επί ημι-εγκαταλελειμμένης αγροτικής οδού, μήκους περίπου 80 μέτρων, η οποία θα διαπλατυνθεί (με πλάτος οδού περίπου 5 μέτρα) και θα διαμορφωθεί κατάλληλα.

2.1.9. Οικολογική παροχή, συμβολές άλλων ρεμάτων και άλλες χρήσεις νερού

Το εξεταζόμενο έργο θα εκτρέψει τα νερά του ποταμού Πηνειού για ένα μήκος περί τα 550 m, όσο είναι και το μήκος της φυσικής κοίτη του ποταμού από τη θέση της υδροληψίας μέχρι το σημείο του σταθμού παραγωγής. Για το τμήμα

αυτό της κοίτης θα ληφθεί μέριμνα διατήρησης στην κοίτη μιας ελάχιστης, οικολογικής παροχής.

Σύμφωνα με τους περιβαλλοντικούς όρους του υπο κατασκευής έργου εκτροπής του Αχελώου έχει επιβληθεί η διατήρηση οικολογικής παροχής του Πηνειού στην είσοδο των Τεμπών θα πρέπει να είναι τουλάχιστον $10 \text{ m}^3/\text{sec}$. Σε περίπτωση λειτουργίας του έργου εκτροπής του Αχελώου, αυτή θα είναι και η ποσότητα οικολογικής παροχής που θα αποδεσμεύεται από το φράγμα της υδροληψίας, μέρος της οποίας θα χρησιμοποιείται για τη λειτουργία της διόδου ιχθύων.

Σε περίπτωση που δεν ολοκληρωθεί το έργο εκτροπής του Αχελώου, η λειτουργία του ροϋφράχτη Γυρτώνης είναι διαφορετική και σύμφωνα με την Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων του οι απολήψεις από τον ταμιευτήρα θα είναι ελεγχόμενες και θα πρέπει να πληρούν τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- Για τους κρίσιμους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο η αποληπτόμενη παροχή να μην υπερβαίνει το 60% της εισερχόμενης παροχής του Πηνειού στο φράγμα.
- Η ελάχιστη παροχή κατόντη του ροϋφράχτη Γυρτώνης να είναι τουλάχιστον $2 \text{ m}^3/\text{sec}$, εφ' όσον βέβαια η παροχή αυτή εισέρχεται στον ταμιευτήρα (θέση υδατόπυργος Λάρισας), έτσι ώστε να πληρούνται και οι θεσμικές απαιτήσεις της ΥΑ 46494/25.6.1971.

Με βάση τα παραπάνω (για την περίπτωση όπου δεν έχουμε εκτροπή του Αχελώου) η οικολογική παροχή στη θέση της υδροληψίας του ΜΥΗΕ λαμβάνεται ίση με $2,51 \text{ m}^3/\text{sec}$, τιμή η οποία είναι πολύ μεγαλύτερη από τις συνήθεις θερινές τιμές που εμφανίζει η κοίτη του ποταμού.

Στην περίπτωση όπου η διαθέσιμη ποσότητα νερού μετά την αφαίρεση της οικολογικής παροχής είναι μικρότερη από την ελάχιστη παροχή λειτουργίας του (των) στροβίλου (ων) (όμοιες μονάδες με ελάχιστη παροχή $\sim 4,0 \text{ m}^3/\text{sec}$ έκαστη) θα σταματά η λειτουργία του έργου και η διαθέσιμη παροχή του ποταμού θα παραμένει στην κοίτη του ποταμού υπερχειλίζοντας από την υδροληψία και την ιχθυόσκαλα.

Σύμφωνα τέλος από επιτόπια ανίχνευση της περιοχής αλλά και από συλλεχθείς πληροφορίες, στο τμήμα της εκτροπής του ποταμού δεν υπάρχουν άλλες εισροές ρεμάτων αλλά ούτε και άλλες χρήσεις νερού.

2.1.10. Ενεργειακοί υπολογισμοί

Με βάση την υδρολογική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, υπολογίστηκαν οι μέσες μηνιαίες παροχές που διατίθενται για ενεργειακή αξιοποίηση αφού αφαιρεθεί η οικολογική παροχή που πρέπει να αποδεδεσμευτεί προς τα κατάντη του φράγματος. Λαμβάνοντας υπόψη τα άνω και κάτω όρια λειτουργίας του έργου, υπολογίζονται οι μέσες μηνιαίες παροχές που αξιοποιούνται ενεργειακά από το ΜΥΗΕ

Σενάριο 1^ο – Λαμβάνοντας υπόψη το έργο εκτροπής του Αχελώου

Για κάθε μία από τις μηνιαίες τιμές της παροχής, υπολογίζεται καταρχήν η ισχύς P_{i-j} των εμπλεκόμενων να αξιοποιήσουν τη συγκεκριμένη παροχή στρόβιλων και η αντίστοιχη ενέργεια που παράγεται από τον κάθε στρόβιλο E_{i-j} :

$$E_{i-j} = P_{i-j} * \delta T_i * \eta_{ολ,i} \text{ σε kWh}$$

Όπου:

$P_{i-j} = 9,81 * Q_{i-j} * H_i * \eta_{i-j}$ η ισχύς του κάθε στρόβιλου για παροχή Q_{i-j} , καθαρό ύψος πτώσης H_i , και βαθμό απόδοσης στρόβιλου η_{i-j} (όπως υπολογίζεται από τα αντίστοιχα διαγράμματα μεταβολής του σε συνάρτηση με την παροχή), δT_i , το χρονικό διάστημα σε ώρες για το οποίο διατίθεται η παροχή Q_i (~720 h) και,

$\eta_{ολ,j} = \eta_{π,j} * \eta_{Γ,j} * \eta_{ΜΣ,j}$, ο ολικός βαθμός του πολλαπλασιαστή στροφών (λαμβάνεται ίσος με 98-99%), της γεννήτριας (λαμβάνεται ίσος με 96%), και του Μ/Σ (ο οποίος λαμβάνεται ίσος με 98-99%).

Η συνολική ενέργεια που παράγεται κατά τη διάρκεια του έτους και αποδίδεται στο δίκτυο, είναι το άθροισμα των ενεργειών E_{i-j} που παράγονται από τους τρεις υδροστρόβιλους για όλες τις δυνατές παροχές λειτουργίας.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για κάθε ένα από τα έτη τις περιόδου 1973-1993 είναι τα εξής:

ΕΤΟΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ (GWh)
1973 74	23,45
1974 75	10,65
1975 76	24,51
1976 77	9,04
1977 78	16,41
1978 79	24,52
1979 80	29,51
1980 81	29,57
1981 82	24,40
1982 83	20,83
1983 84	25,13
1984 85	16,62
1985 86	15,38
1986 87	24,03
1987 88	18,50
1988 89	9,64
1989 90	1,75
1990 91	16,51
1991 92	12,93
1992 93	23,57
Μ.ΤΙΜΗ	18,85

Πίνακας 2.1.9.1 Παραγόμενη ενέργεια ανά έτος μετρούμενη σε GWh

Σύμφωνα με τα παραπάνω, και με βάση του στροβίλους που επιλέχθηκαν, για εγκατεστημένη ισχύ έργου ίση με 6,3 MW, η συνολική ετήσια παραγόμενη ενέργεια είναι ίση με **18.850.000 kWh**.

Σενάριο 2^ο – Μη λαμβάνοντας υπόψη το έργο εκτροπής του Αχελώου

Για λόγους πληρότητας της μελέτης, παρουσιάζεται και ο σχετικός πίνακας των παροχών που αξιοποιούνται ενεργειακά από το ΜΥΗΕ σε περίπτωση που δεν ολοκληρωθούν τα έργα εκτροπής του Αχελώου (με οικ. παροχή ίση με 2,51 m³/sec). Η συνολική ετήσια παραγόμενη ενέργεια στην περίπτωση ανέρχεται σε 19 GWh περίπου.

Υδρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1973	74	8,8	12,4	58,3	60,0	60,0	60,0	60,0	44,3	10,8	0,0	0,0	31,2
1974	75	7,7	43,1	7,9	15,8	42,9	42,7	20,4	2,2	0,0	0,0	0,0	15,2
1975	76	7,5	21,9	60,0	60,0	60,0	60,0	42,9	10,2	0,0	0,0	0,0	31,9
1976	77	14,5	34,6	60,0	21,4	13,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0
1977	78	0,0	3,4	19,5	60,0	60,0	42,6	54,1	7,4	0,0	0,0	24,4	22,6
1978	79	14,8	30,1	60,0	60,0	60,0	42,8	60,0	35,3	0,0	0,0	0,0	30,3
1979	80	13,7	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	53,5	11,1	0,0	0,0	0,0	36,5
1980	81	60,0	38,3	60,0	60,0	60,0	60,0	30,3	23,7	0,0	0,0	0,0	37,7
1981	82	12,3	17,6	60,0	26,3	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	12,6	5,8	37,3
1982	83	30,9	60,0	60,0	31,7	43,8	60,0	15,7	0,0	0,0	0,0	0,0	25,2
1983	84	5,6	23,2	60,0	60,0	60,0	59,4	60,0	48,4	5,0	0,0	0,0	31,8
1984	85	7,7	16,4	0,0	60,0	60,0	47,1	60,0	19,6	0,0	0,0	0,0	22,6
1985	86	2,0	29,7	27,6	26,8	60,0	60,0	26,1	11,0	9,6	2,7	0,0	21,3
1986	87	0,0	31,6	34,0	60,0	60,0	60,0	60,0	47,4	7,4	0,0	0,0	30,0
1987	88	13,6	60,0	51,7	31,3	45,5	51,3	21,4	0,0	0,0	0,0	0,0	22,9
1988	89	0,0	9,9	28,8	10,5	26,8	60,0	16,4	26,1	60,0	8,7	0,0	20,6
1989	90	10,3	4,7	17,4	0,0	0,0	0,0	16,1	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0
1990	91	0,0	0,0	39,5	46,9	28,9	40,3	60,0	58,7	26,2	8,0	0,0	25,7
1991	92	33,5	60,0	0,0	0,0	0,0	58,7	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	42,7
1992	93	41,2	12,5	60,0	60,0	54,1	60,0	56,2	20,2	0,0	0,0	0,0	30,4
MT 73-93		14,20	28,47	41,24	40,53	45,77	49,24	44,32	28,38	14,20	4,60	3,29	26,59

Πίνακας 2.1.9.2. Μέσες μηνιαίες παροχές που αξιοποιούνται ενεργειακά από το ΜΥΗΕ

Σημείωση: Ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός του έργου και ο τρόπος λειτουργίας του και για τα δυο σενάρια λειτουργίας του έργου (δηλαδή, με τα έργα εκτροπής του Αχελώου και χωρίς τα έργα εκτροπής του Αχελώου) είναι ίδιος. Ως εκ τούτου, η παραγόμενη ισχύς (6,3 MW) καθώς και η παραγόμενη ενέργεια (~ 19,0 GWh ετησίως) από την εγκατάσταση και λειτουργία των τριών στροβίλων KAPLAN και για τα δυο σενάρια είναι περίπου ίδια. Οι μοναδικές διαφορές των δυο σεναρίων αφορούν στην οικολογική παροχή του έργου καθώς και στις παροχές που υπερχειλίζουν από το φράγμα και δεν αξιοποιούνται από τους στροβίλους του έργου.

2.2. Περιγραφή της φάσης λειτουργίας του έργου

Επάρκεια οικολογικής παροχής για διατήρηση ικανής υδάτινης διατομής

Περιγραφή έργου και αξιολόγηση γεωλογικών συνθηκών

Το ποτάμι στη συγκεκριμένη περιοχή παρουσιάζει σχετικά ήπιες κλίσεις (1,38%) σε όλο σχεδόν το μήκος εκτροπής ενώ παράλληλα διατηρεί μόνιμη ροή κατά τη χειμερινή περίοδο.

Η περιοχή του έργου, όπου διατρέχει μαιανδρικά ο Πηνειός ποταμός, αποτελεί ένα λοφώδες και βραχώδες έξαρμα του Θεσσαλικού κάμπου με αβαθή υπολείμματα γαιωδών επικαλυμμάτων και υλικά Ελουβιακού μανδύα από την αποσάθρωση των γρανιτογενευσιακών και γνευσιοσχιστολιθικών πετρωμάτων του βραχώδους υποβάθρου, αλλά και από υπολείμματα ποταμίων – λιμναίων αποθέσεων επί αναδιαβρωμένων αναβαθμίδων της περιοχής. Τα πρηνή του ποταμού σε όλη την έκταση του έργου είναι βραχώδη και η μεγάλη γεωλογική ηλικία των πετρωμάτων αλλά και η περίπλοκη τεκτονική ιστορία της περιοχής διαμορφώνουν ένα σταθερό μεν αλλά και έντονα πτυχωμένο και διαρρηγμένο υπόβαθρο.

Στην ευρύτερη περιοχή αλλά και στη θέση του έργου διακρίνονται έντονα πτυχωμένοι σχηματισμοί με συγκλινο-αντίκλινα κανονικά ή και ανεστραμμένα, και με την παρουσία ρηγμάτων και διακλάσεων να είναι εμφανής. Τα ρήγματα είναι σχεδόν κατακόρυφα, εγκάρσια ή παράλληλα με τους άξονες των πτυχών.

Η λιθοστρωματογραφία της θέσης του έργου παραπέμπει σε υδατοστεγανό βραχώδες υπόβαθρο γενικά, αρκετά υγιές, λόγω της έντονης διάβρωσης του ποταμού και απομάκρυνσης των σχετικά εξαλλοιωμένων και αποσαθρωμένων υλικών, λόγω ισχυρών ροών του ποταμού. Ως εκ τούτου, ο ποταμός σε σχέση με την υδροπερατότητα του χαρακτηρίζεται ως αδιαπέρατος σχηματισμός, και επομένως η κατείσδυση γίνεται με μηδενικούς ρυθμούς.

Συμπέρασμα σχετικά με τις υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής

Από την επιτόπου μακροσκοπική παρατήρηση, την εμπειρία ανάλογων σχηματισμών, την μορφολογία του εδάφους και τις τεχνικογεωλογικές και υδρολογικές συνθήκες της περιοχής γίνεται αντιληπτό πως από την κατασκευή του εν λόγω έργου, δεν αναμένεται να επηρεασθούν οι υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής με συνέπεια η ποσότητα της οικολογικής παροχής να επαρκεί έτσι ώστε να διατηρείται ικανή υδάτινη διατομή σε όλο το τμήμα της εκτρεπόμενης κοίτης του ποταμού.

Ποιοτική θεώρηση επάρκειας οικολογικής παροχής.

Λαμβάνοντας υπόψη τις τεχνικογεωλογικές και τις υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν κατά μήκος της κοίτης του ποταμού στο τμήμα της εκτροπής λόγω του ΜΥΗΕ (από την υδροληψία έως το σταθμό παραγωγής), σημειώνουμε τα παρακάτω:

- Η οικολογική παροχή, σύμφωνα με την υδρολογική μελέτη υπολογίστηκε ίση με $10 \text{ m}^3/\text{sec}$ για την περίπτωση που ολοκληρωθούν τα έργα

εκτροπής του Αχελώου και $2,51 \text{ m}^3/\text{sec}$ για την περίπτωση που δεν ολοκληρωθούν τα έργα εκτροπής του Αχελώου.

- Παρατηρούμε ότι, για την περίοδο των 20 υδρολογικών έτων από την οποία προέρχονται τα υδρολογικά δεδομένα, μέσες μηνιαίες τιμές ίσες ή μικρότερες της οικολογικής παροχής έχουν παρατηρηθεί για πολλούς μήνες (κυρίως τους θερινούς μήνες) ενώ η ορισθείσα οικολογική παροχή είναι μεγαλύτερη από τη μέση μηνιαία τιμή του μήνα Αυγούστου της συνολικής περιόδου για την οποία έχουμε υδρολογικά δεδομένα.
- Παρατηρούμε δηλαδή ότι το παραπάνω μέγεθος της ορισθείσας οικολογικής παροχής είναι μεγαλύτερο από τις φυσικές ελάχιστες μηνιαίες παροχές που έχουν παρατηρηθεί στο ποτάμι ακόμη και κατά τα υγρά έτη, χωρίς την παρέμβαση του ΜΥΗΕ, και σίγουρα μεγαλύτερο από τις αντίστοιχες φυσικές μέσες ελάχιστες μηνιαίες παροχές, Αυτό σημαίνει καταρχήν, ότι η συγκεκριμένη παροχή υπερεπαρκεί για την διατήρηση της οικοσυστήματος και των λοιπών λειτουργιών του ποταμού, αφού αντιστοιχεί σε παροχή μεγαλύτερη από αντίστοιχες φυσικές παροχές που έχουν παρατηρηθεί επανειλημμένα στο ποτάμι.
- Επίσης, λόγω των γεωλογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν κατά μήκος του ποταμού (μικρής έως μηδενικής υδροπερατότητας σχηματισμοί), αποδεικνύεται ότι οι απώλειες κατείσδυσης είναι σχεδόν μηδενικές.

Με βάση τα παραπάνω αποδεικνύεται ότι σε όλο το μήκος της εκτροπής του ποταμού λόγω της λειτουργίας του ΜΥΗΕ, παραμένει ικανή υδάτινη διατομή για την εξασφάλιση και διατήρηση όλων τα απαραίτητων λειτουργιών του οικοσυστήματος.

2.3 Ανώμαλες και επικίνδυνες καταστάσεις

Δεν αναμένονται ανώμαλες και επικίνδυνες καταστάσεις κατά τη διάρκεια λειτουργίας του έργου. Οι όποιες βλάβες στον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό ασφαρίζονται από ασφαλιστικές διατάξεις. Σε περίπτωση ζημίας στον επιχωματωμένο αγωγό προσαγωγής, αφού διακοπεί η λειτουργία του έργου και η εκτροπή του νερού προς τον ΥΗΣ, θα γίνει εκσκαφή του τμήματος του αγωγού με τη ζημία και στη συνέχεια αντικατάσταση, τοποθέτηση και επιχωμάτωση του νέου τμήματος.

2.4 Κατάσταση Περιβάλλοντος

2.4.1. Μορφολογικά και τοπιολογικά χαρακτηριστικά

Ο Νομός Λάρισας εκτός του ότι διαθέτει μία μεγάλης έκτασης πεδινή περιοχή η οποία καλλιεργείται εντατικά, διαθέτει επίσης σημαντικού κάλλους παράλιες και ορεινές περιοχές. Στις τελευταίες, μεταξύ των άλλων, περιλαμβάνεται το πιο ψηλό βουνό της χώρας. Ο Νομός εκτείνεται από τον Όλυμπο ως την Όσσα και την Όρθρυ παρουσιάζοντας μια πληθώρα ορέων που αποτελούν τα φυσικά όριά του με την Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας, αλλά και με το νομό Μαγνησίας. Σημειώνεται ότι, σε σύγκριση με άλλες περιοχές της Ελλάδας, το βουνό στο Νομό Λάρισας δεν έχει αντιμετωπιστεί ως σήμερα ως σημαντικός πόλος έλξης.

Αναλυτικά το πλέγμα των ορεινών όγκων του Ν. Λάρισας περιλαμβάνει τα ακόλουθα βουνά:

- Όλυμπος (2917 μ.),
- Κάτω Όλυμπος (1587 μ.),
- Όσσα ή Κίσαβος (1978 μ.),
- Προφήτης Ηλίας (1049 μ.),
- Σουλιώτης (1182 μ.),
- Αμάρμπεη ή Αρχοντική (1476 μ.),
- Τίταρος (1838 μ.),
- Βουλγάρα (1689 μ.),
- Μαυροβούνι (1054 μ.).

Το ορεινό περιβάλλον της περιοχής της Όσσας, του Μαυροβουνίου, του Ολύμπου και του Κάτω Ολύμπου, σε συνδυασμό με τις πολλές και μεγάλες παραλίες συνιστούν μια περιοχή όμοια σχεδόν με εκείνη του Πηλίου. Επιπροσθέτως, η περιοχή του Ολύμπου, διαθέτει, εκτός από τους σημαντικότερους φυσικούς πόρους, και ένα επιπλέον πλεονέκτημα που έχει να κάνει με την ιστορία του τόπου που ξεκινά από την αρχαιότητα ως περιοχή κατοικίας των Θεών.

Πιο συγκεκριμένα, η μορφολογική κατανομή της έκτασης του νομού έχει ως εξής σε:

Πεδινή, κατά 48%

Ημιορεινή, κατά 25% και

Ορεινή, κατά 27%

Ο Νομός βρέχεται από το Αιγαίο σε μήκος πλέον των 50 km. Ο ποταμός Πηνειός ρέει εντός του νομού σε μήκος 100 km μέσω της κοιλάδας Τεμπών, και εκβάλλει στο Αιγαίο Πέλαγος. Ο Πηνειός ποταμός είναι ο βασικός αποδέκτης του συνόλου των νερών της ορεινής και πεδινής Θεσσαλίας, με κυριότερους παραποτάμους εντός του Νομού Λάρισας τον Τιταρήσιο και τον Ενιπέα. Αποδέκτης επίσης των νερών της Περιφέρειας Θεσσαλίας είναι η λίμνη Κάρλα σε μικρότερο βαθμό, η οποία εκτείνεται σε έκταση 40 km². Η λίμνη Κάρλα ή Βοιβής η οποία βρίσκεται στα όρια των Νομών Λάρισας και Μαγνησίας αποξηράνθηκε κατά τις δεκαετίες '20, '30 και επανασυστήνεται στην σημερινή περίοδο.

Οι μεγάλες πεδινές εκτάσεις αποτελούν ένα συγκριτικό πλεονέκτημα του Νομού και η αξιοποίησή τους αποτελεί την κυριότερη οικονομική πηγή του Νομού.

Οι κύριοι ποταμοί που καταγράφονται στην περιοχή μελέτης είναι ο Πηνειός, ο οποίος πηγάζει από τα Αντιχάσια και εκβάλλει στο Αιγαίο πέλαγος, ο Τιταρήσιος ή Βούλγαρης ποταμός (παραπόταμος του Πηνειού) καθώς και οι μεγάλοι χείμαρροι Ελασσονίτης και Ξεριάς. Στην περιοχή ενδιαφέροντος υπάρχει ο υδροβιότοπος του Δέλτα του Πηνειού ο οποίος, σε συνδυασμό με τα παραπήνεια δάση, αποτελεί σημαντικότερο φυσικό πόρο της περιοχής μελέτης. Επίσης, στην περιοχή έχουν ακόμη καταγραφεί αρκετά σπήλαια τα οποία όμως δεν είναι επαρκώς αξιοποιημένα ώστε να αποτελέσουν πόλο ανάπτυξης.

2.4.2. Γεωλογία, τεκτονικά και εδαφολογικά χαρακτηριστικά

2.4.2.1. Γεωλογική δομή

Ευρύτερη περιοχή του έργου

Η περιοχή της Λάρισας ανήκει στην Πελαγονική Γεωτεκτονική ζώνη. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της βρίσκονται πάνω στην αυτόχθονη ενότητα του Ολύμπου και εμφανίζονται στο ΒΑ όριο της περιοχής μελέτης, ενώ το υπόλοιπο τμήμα της περιοχής καλύπτεται από Πλειστοκαινικές λιμναίες – ποταμολιμναίες αποθέσεις και προσχώσεις του Πηνειού και Τιταρήσιου. Αναλυτικά, τα πετρώματα που δομούν την ευρύτερη περιοχή, ανάλογα με την ηλικία του από τα παλαιότερα προς τα νεότερα είναι τα εξής:

- Παλαιοζωικό – Μεσοτριάδικό: Περιλαμβάνει σύστημα μεταμορφωμένων πετρωμάτων της Πελαγονικής ζώνης όπως μοσχοβιτικούς σχιστόλιθους, γνεύσιους και γνευσιοσχιστόλιθους, που η ορυκτολογική τους παραγένεση συνδέεται με την πρασινοσχιστολιθική φάση μεταμόρφωσης.

Τέτοια συστήματα αποτελούν το γεωλογικό υπόβαθρο της λεκάνης της Λάρισας και συναντώνται επιφανειακά κυρίως στις ημιορεινές περιοχές στα βόρεια της λεκάνης.

- Μέσο – Τριαδικό – Ιουρασικό: Περιλαμβάνει μάρμαρα και κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους πάχους 300m περίπου.
- Ανώτερο μειόκαινο: Περιλαμβάνει επικλυσιογενή-πολυγενή-συμπαγή κροκαλοπαγή πάχους 80m περίπου. Εμφανίζεται στα δυτικά του νομού.
- Πόντιο – πλειο – πλειστόκαινο: Περιλαμβάνει ποταμοχερσαίους σχηματισμούς μέγιστου πάχους 100m περίπου, που καλύπτουν το νοτιοδυτικό μέρος της λεκάνης της Λάρισας.
- Πλειστόκαινο: Περιλαμβάνει ποταμολιμναίες αποθέσεις που καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση των βορείων παρυφών της λεκάνης της Λάρισας και αποτελούνται κυρίως από αργίλους και άμμους σημαντικού πάχους.
- Ολόκαινο: Στην ευρύτερη περιοχή της Λάρισας περιλαμβάνει κυρίως αλλουβιακές αποθέσεις και πρόσφατες ποτάμιες αναβαθμίδες (ιδιαίτερα στην ευρύτερη κοίτη του Πηνειού). Στα δυτικά της λεκάνης επίσης, παρατηρούνται παλιά και σύγχρονα πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων.

Το ανατολικό και δυτικό τμήμα της πεδιάδας της Θεσσαλίας διαχωρίζεται από μία σειρά αντρεισμάτων ημιορεινού ή λοφώδους ανάγλυφου, με ιδιαίτερη ανάπτυξη ανθρακικών πετρωμάτων στα βόρεια τμήματα. Τα τμήματα αυτά που αποτελούνται από μάρμαρα – κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους τους οποίους διατρέχουν ο Πηνειός και ο Τιταρήσιος, πριν την έξοδό τους στην Ανατολική Θεσσαλία.

Το πεδινό τμήμα της ανατολικής Θεσσαλίας αποτελείται από μία σειρά μαργών, μαργαϊκών ασβεστολίθων και κροκαλοπαγών στα παλαιότερα ιζήματά του, που επικάθονται στα δυτικά όρια της πεδιάδας. Σε αυτά επικάθονται σειρά ποταμολιμναίων και ποταμοχερσαίων αποθέσεων από ψαμμίτες, μάργες, αργιλοαμμώδη υλικά με κροκαλομιγείς διάσπαρτους ορίζοντες. Οι παλαιότερες αυτές προσχώσεις εμφανίζονται στην επιφάνεια νότια του Πηνειού και συνθέτουν την λοφώδη περιοχή Ταουσάνης. Αποτελούν το άμεσο υπόβαθρο των νεότερων και σύγχρονων προσχώσεων του ποταμού που αποτελούνται από ανοικτότεφρα ως καστανότεφρα ασύνδετα υλικά από αργίλους, ιλύες, άμμους και σε μικρό ποσοστό από κροκάλες. Το πάχος των παλαιότερων και νεότερων αυτών προσχώσεων ανέρχεται σε λίγες εκατοντάδες μέτρα (300 μ. κατά μέσο όρο στο δυτικό τμήμα της ανατολικής Θεσσαλίας). Το βραχώδες υπόβαθρο είναι, κατά περίπτωση, μάρμαρα ή γνευσιοσχιστόλιθοι, που εμφανίζονται στην επιφάνεια πάλι βόρεια και ανατολικά της Γυρτώνης, στην περιοχή της συμβολής του Πηνειού με τον Τιταρήσιο. Η ποικιλία στην σύσταση των προσχώσεων εξαρτάται από την

διανομή στην πεδιάδα των υδρογραφικών μορφών του Πηνειού και του Τιταρήσιου, τόσο σήμερα όσο και στο παρελθόν: κώνοι με πλέον ανδρομερές υλικό, θέσεις παλαιών και εγκαταλειμμένων κοιτών, πλημμυρικές ζώνες.

Γενικά πάντως, ο κώνος του Τιταρήσιου έχει περισσότερα ανδρομερή υλικά (κροκάλες, άμμοι) από ότι ο κώνος του Πηνειού μετά την έξοδό του από τα στενά Καλαμακίου. Οι αποθέσεις του ποταμού Πηνειού εμφανίζουν στην επιφάνεια σύσταση αποτελούμενη από λεπτόκοκκη άμμο, αμμοϊλύ ή αργιλλώδη ιλύ, ενώ η διαπερατότητά τους, είναι εν γένει χαμηλή. Τα υλικά αυτά είναι εξαιρετικά ευαίσθητα στη διάβρωση τόσο στην περιοχή του μελετώμενου ρουφράκτη όσο και στην περίμετρο αυτού.

Στο πεδινό τμήμα μπορούμε να κατατάξουμε την κατάσταση των προσχώσεων από πλευράς συστάσεως σε:

- Προσχώσεις ιλυοαμμώδους και αμμώδους υλικού στις ζώνες των παλαιών και νέων κοιτών. Ζώνες με κροκάλες συναντώνται σε παλαιότερες κοίτες.
- Προσχώσεις ιλυοαργιλικού, ιλυώδους και αργιλικού υλικού στις ζώνες ανάπτυξης των πλημμύρων του ποταμού.
- Προσχώσεις ιλυοαργιλικού υλικού με λατύπες, στις ζώνες χερσαίων διεργασιών.

Εγγύτερη περιοχή του έργου

Η περιοχή του έργου, όπου διατρέχει μαιανδρικά ο Πηνειός ποταμός, αποτελεί ένα λοφώδες και βραχώδες έξαρμα του Θεσσαλικού κάμπου με αβαθή υπολείμματα γαιωδών επικαλυμμάτων και υλικά Ελουβιακού μανδύα από την αποσάθρωση των γρανιτογενεσιακών και γνευσιοσχιστολιθικών πετρωμάτων του βραχώδους υποβάθρου, αλλά και από υπολείμματα ποταμίων – λιμναίων αποθέσεων επί αναδιαβρωμένων αναβαθμίδων της περιοχής. Τα πρανή του ποταμού σε όλη την έκταση του έργου είναι βραχώδη και η μεγάλη γεωλογική ηλικία των πετρωμάτων αλλά και η περίπλοκη τεκτονική ιστορία της περιοχής διαμορφώνουν ένα σταθερό μεν αλλά και έντονα πτυχωμένο και διαρρηγμένο υπόβαθρο.

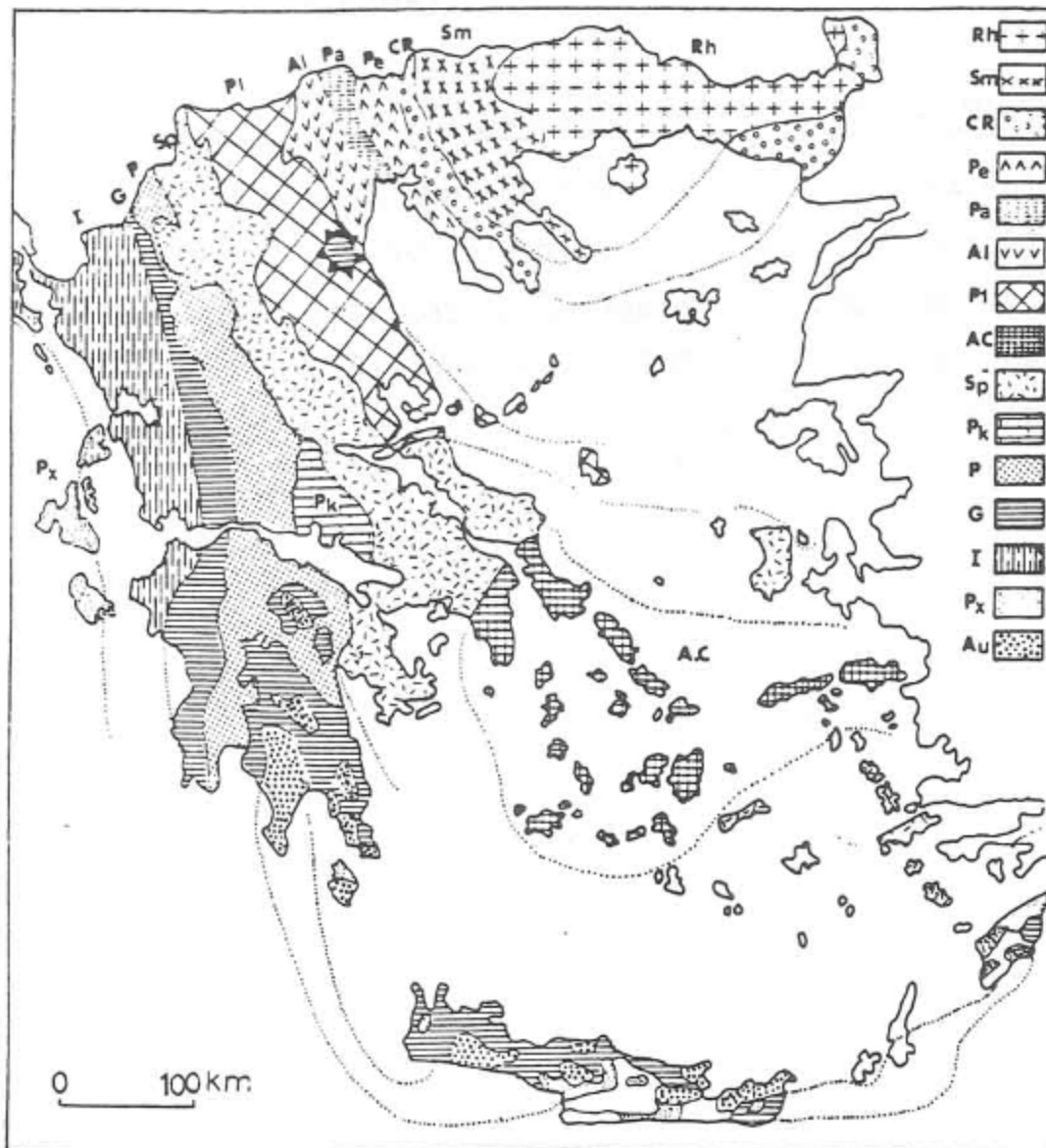
Στην ευρύτερη περιοχή αλλά και στη θέση του έργου διακρίνονται έντονα πτυχωμένοι σχηματισμοί με συγκλινο-αντίκλινα κανονικά ή και ανεστραμμένα, και με την παρουσία ρηγμάτων και διακλάσεων να είναι εμφανής. Τα ρήγματα είναι σχεδόν κατακόρυφα, εγκάρσια ή παράλληλα με τους άξονες των πτυχών.

Η λιθοστρωματογραφία της θέσης του έργου παραπέμπει σε υδατοστεγανό βραχώδες υπόβαθρο γενικά, αρκετά υγιές, λόγω της έντονης διάβρωσης του

ποταμού και απομάκρυνσης των σχετικά εξαλλοιωμένων και αποσαθρωμένων υλικών, λόγω ισχυρών ροών του ποταμού.

Η γεωμορφολογία και τοπογραφία της περιοχής επιτρέπει εύκολη προσπέλαση και από τις δύο όχθες και σχετικά μικρές εκσκαφές ή διατάραξη του τοπίου.

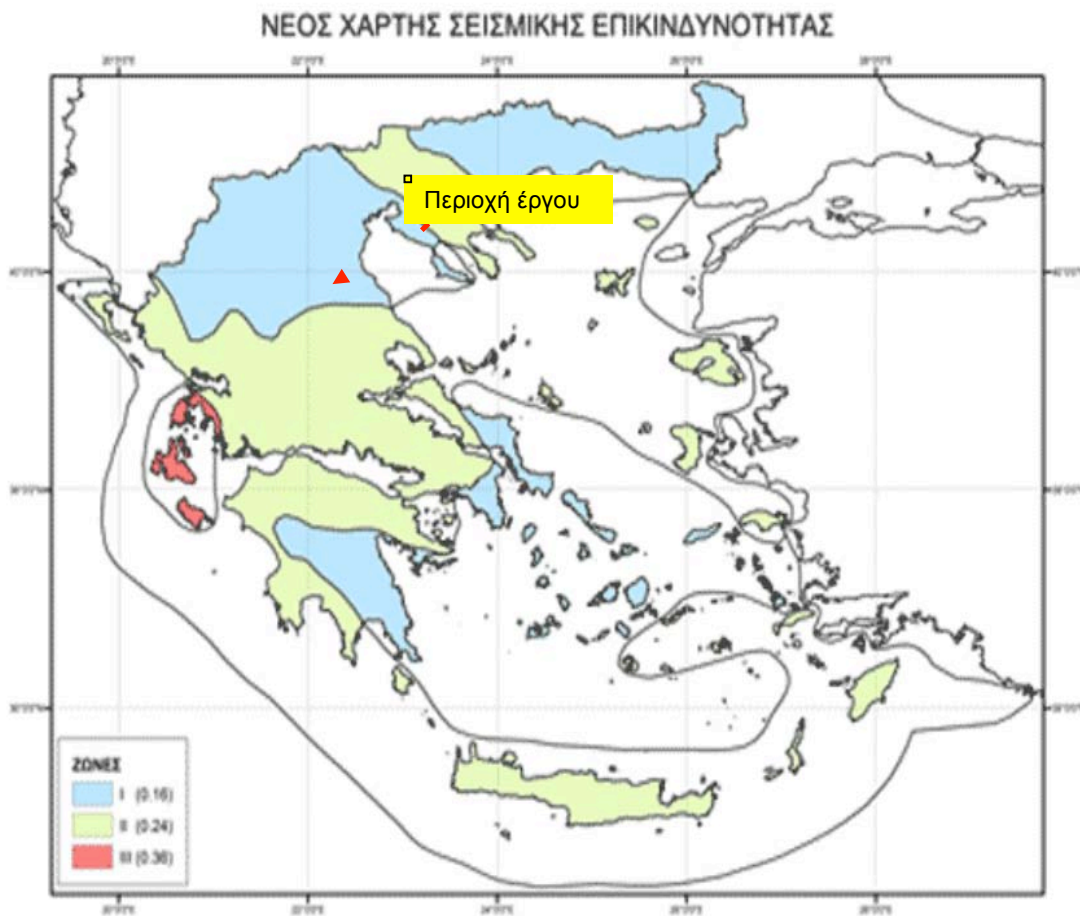
Η περιοχή του έργου εντάσσεται στην Πελαγονική γεωλογική ζώνη όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.4.2.1. Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνικών ζωνών. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιοδοτική ζώνη, (Pe: Ζώνη Παιανίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικό-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού - Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου - Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα Ταλέα όρη - πλακώδεις ασβεστόλιθοι πιθανόν της Ιονίου ζώνης. (Κατά Mountrakis et al. 1983)

2.4.2.2 Σεισμικότητα

Η σεισμικότητα της περιοχής του έργου καθορίζεται από τις διατάξεις του τροποποιημένου ΦΕΚ (Αρ. Φύλλου 1154/ 12-08-2003) περί «Νέου Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού», σύμφωνα με τις οποίες η ευρύτερη περιοχή μελέτης κατατάσσεται στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I. Ο σεισμικός συντελεστής (α) για τη ζώνη αυτή είναι **0,16**.



Σχήμα 2.4.2.2. Ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας

2.4.3 Στερεοπαροχή

Τα αιωρούμενα στερεά που αντιπροσωπεύουν τα φερτά υλικά ενός ποταμού, παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του έτους καθώς εξαρτώνται άμεσα από την ένταση των βροχοπτώσεων και τις υδραυλικές συνθήκες ροής. Έτσι σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων προκαλείται εντονότερη διάβρωση του εδάφους της λεκάνης απορροής ενός ποταμού και τα φερτά υλικά είναι αυξημένα. Με βάση αναλύσεις του Υπ. Γεωργίας, οι

συγκεντρώσεις φερτών υλών στον Πηνειό κυμαίνονται στις ξηρές περιόδους μεταξύ 5 και 20 mg/l, αλλά μετά από βροχοπτώσεις παρατηρούνται σημαντικά υψηλότερες συγκεντρώσεις της τάξης των 50 mg/l που ορισμένες φορές ξεπερνούν και τα 100 mg/l.

Τα φερτά υλικά του Πηνειού στην περιοχή της Λάρισας είναι κυρίως λεπτόκοκκα υλικά προερχόμενα από την πεδινή λεκάνη όπως άργιλοι και ιλύες με μικρό ποσοστό άμμου.

2.4.4. Φυσικό Περιβάλλον

2.4.4.1. Γενικά Στοιχεία

Η μορφολογική κατανομή της έκτασης του νομού έχει ως εξής:

Πεδινή, κατά 48%

Ημιορεινή, κατά 25% και

Ορεινή, κατά 27%

Από πλευράς χρήσεως γης, το 45% , 2.413 km², είναι γεωργική γη, το 40% , 2155 km², βοσκότοποι, το 10% , 565 km², δάση.

Ο Νομός Λάρισας κατέχει το 6.1% της γεωργικής γης της χώρας, και συμμετοχή στο Α.Ε.Π. του κλάδου γεωργίας, κτηνοτροφίας και δασών 18.10% στο σύνολο της χώρας. Η γεωργική γη διακρίνεται σε πεδινή κατά 73%, ημιορεινή κατά 16% και ορεινή κατά 11%.

2.4.4.2 Ειδικές φυσικές περιοχές

Στη συνέχεια περιγράφονται περιοχές του Νομού Λάρισας με ιδιαίτερη οικολογική αξία. Οι λόγοι που προσδίδουν ιδιαίτερο οικολογικό ενδιαφέρον στις περιοχές αυτές είναι:

- Η παρουσία μιας αξιόλογης ποικιλίας οικοσυστημάτων
- Η μεγάλη ποικιλότητα σε είδη χλωρίδας και πανίδας
- Η παρουσία σημαντικής, δηλαδή σπάνιας, απειλούμενης, προστατευόμενης ή ενδημικής χλωρίδας ή πανίδας
- Η παρουσία βιοτόπων ή αλλιώς οικοτόπων, που χαρακτηρίζονται ως σημαντικοί ή ως βιότοποι προτεραιότητας σύμφωνα με τα κριτήρια της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ, του CORINE BIOTOPES PROJECT ή άλλων διεθνών προγραμμάτων ή συμβάσεων (π.χ. BIRDLIFE INTERNATIONAL)
- Η διαχείριση μεγάλων πληθυσμών ορνιθοπανίδας

- Η παρουσία ευάλωτων βιοτόπων που χρήζουν προστασίας
 - Η μεγάλη αισθητική, πολιτιστική και ιστορική αξία και το ιδιαίτερο φυσικό κάλλος.
 - Η ύπαρξη σημαντικών παλαιοντολογικών ή γεωμορφολογικών στοιχείων
- Από το σύνολο των περιοχών που αξιολογούνται ως σημαντικές οικολογικά οι λιγότερες είναι αυτές που προστατεύονται από την ελληνική νομοθεσία με ποικίλους χαρακτηρισμούς (εθνικός δρυμός, αισθητικό δάσος, κλπ.).

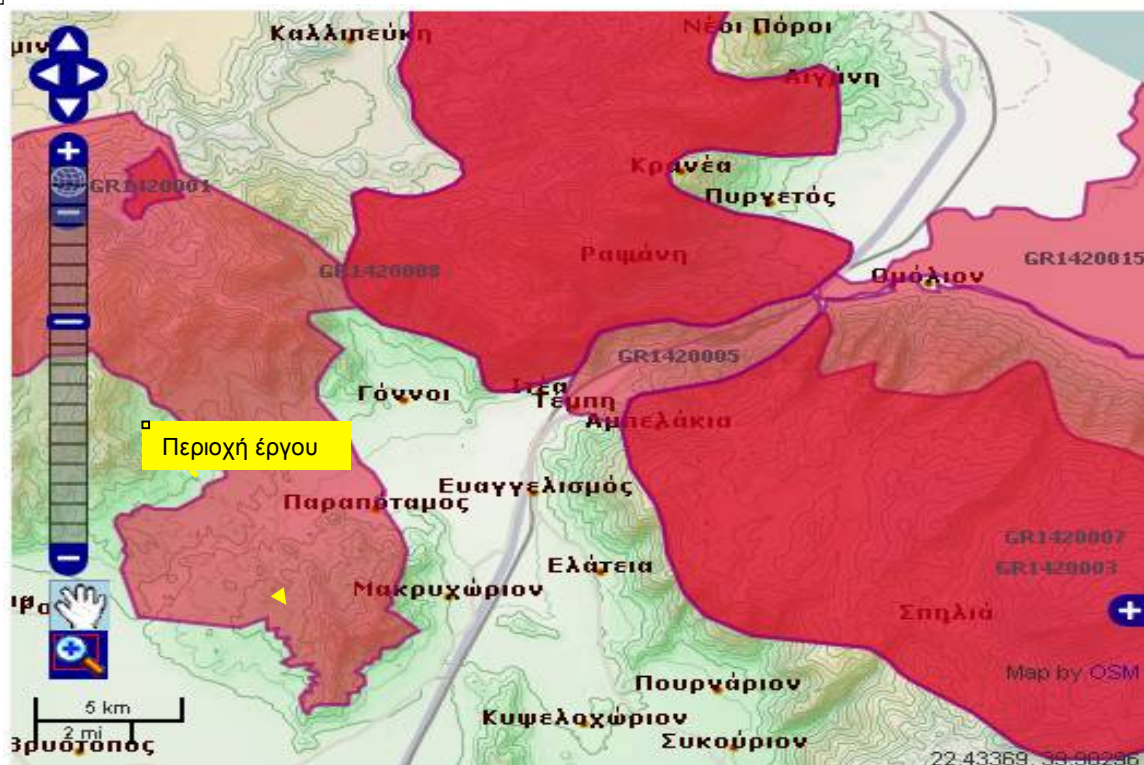
2.4.4.3. Θεσμοθετημένες περιοχές προστασίας

Περιοχές NATURA, Περιοχές Κοινοτικής Σημασίας (SCI) και Ειδικές Ζώνες Διατήρησης (SPA)

Η Οδηγία 92/43/ΕΟΚ "για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας" ορίζει τη δημιουργία ενός Ευρωπαϊκού Οικολογικού Δικτύου Ειδικών Ζωνών Διατήρησης, του Δικτύου NATURA 2000, που θα διασφαλίζει τους χώρους όπου εμφανίζονται οι τύποι οικοτόπων και τα είδη χλωρίδας και πανίδας κοινοτικού ενδιαφέροντος. Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο που υιοθέτησε την Οδηγία ομόφωνα το 1992, θεωρεί ότι ένα τέτοιο δίκτυο είναι αναγκαίο καθώς τα στοιχεία που απειλούν τους οικοτόπους και την άγρια ζωή είναι γενικά διασυννοριακής φύσεως. Η κατηγορία των Περιοχών Κοινοτικής Σημασίας (SCI) όσον αφορά την Μεσογειακή ζώνη, στην οποία ανήκει εξ ολοκλήρου η Ελλάδα, **οριστικοποιήθηκε και δημοσιεύθηκε** στην επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων τεύχος με αριθμό L259 vol.49 21/9/06. Στην κατηγορία SPA ανήκουν προστατευτέες περιοχές που περιέχονται και στον κατάλογο Natura 2000, αλλά επικεντρώνονται στην προστασία των πουλιών με βάση την Οδηγία του Συμβουλίου Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 79/409/ΕΟΚ, της 2.4.1979 για τη διατήρηση και προστασία των άγριων πουλιών της Ευρώπης.

		ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΤΟΠΟΥ	Κάλυψη (ha)
GR1420001	SCI	ΚΑΤΩ ΟΛΥΜΠΟΣ - ΚΑΛΛΙΠΕΥΚΗ	12437.76
GR1420003	SCI	ΑΙΣΘΗΤΙΚΟ ΔΑΣΟΣ ΟΣΣΑΣ	19580.19
GR1420004	SCI	ΚΑΡΛΑ - ΜΑΥΡΟΒΟΥΝΙ - ΚΕΦΑΛΟΒΡΥΣΟ ΒΕΛΕΣΤΙΝΟΥ-ΝΕΟΧΩΡΙ	43435.5
GR1420005	SCI/SPA	ΑΙΣΘΗΤΙΚΟ ΔΑΣΟΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ ΤΕΜΠΩΝ	1335.87
GR1420006	SPA	ΟΡΟΣ ΜΑΥΡΟΒΟΥΝΙ	36331.56
GR1420007	SPA	ΟΡΟΣ ΟΣΣΑ	24125.98
GR1420008	SPA	ΚΑΤΩ ΟΛΥΜΠΟΣ, ΟΡΟΣ ΓΟΔΑΜΑΝΙ ΚΑΙ ΚΟΙΛΑΔΑ ΡΟΔΙΑΣ	24572.05
GR1420009	SPA	ΣΤΕΝΑ ΚΑΛΑΜΑΚΙΟΥ ΚΑΙ ΟΡΗ ΖΑΡΚΟΥ	4169.49
GR1420010	SCI	ΣΤΕΝΑ ΚΑΛΑΜΑΚΙΟΥ	474.19
GR1420011	SPA	ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΕΣΣΑΛΙΚΟΥ ΚΑΜΠΟΥ	95596.12
GR1420012	SPA	ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΑΡΣΑΛΩΝ	4928.54
GR1420013	SPA	ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΥΡΝΑΒΟΥ	9476.99

Πίνακας 2.4.4.2.1. Ζώνες SPA και SCI του Ν.Λαρίσης και της ευρύτερης περιοχής



Σχήμα 2.4.4.2.2. Η περιοχή του έργου βρίσκεται εντός της περιοχής SPA «Κάτω Όλυμπος, όρος Γοδαμάνι και κοιλάδα Ροδιάς» με κωδικό αριθμό GR 1420008

2.4.4.4. Μη-Θεσμοθετημένες Περιοχές

Πρόκειται για περιοχές καταγεγραμμένες από διάφορες έρευνες.

Περιοχές CORINE

Είναι οι σημαντικότεροι βιότοποι της χώρας μας, σύμφωνα με την καταγραφή που έγινε στα πλαίσια του CORINE BIOTOPES PROJECT και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Περιοχές CORINE	Κωδ.Αριθμ.
Δέλτα Πηνειού	AG0020006
Λιβάδια Τερψιθέας (Λάρισα)	AG0030017
Μαυροβούνι Λάρισας	AG0010044
Ορη Κάτω Όλυμπος και Οσσα, Τέμπη και Δέλτα Πηνειού	AG0010042
Όρος Κάτω Όλυμπος	AG0030013
Όρος Οσσα (Κίσσαβος)	AG0030014
Στενά Καλαμακίου	AG0010045
Στενό Ροδιάς Τυρνάβου	AG0030012

Πίνακας 2.4.4.4.1. Περιοχές CORINE



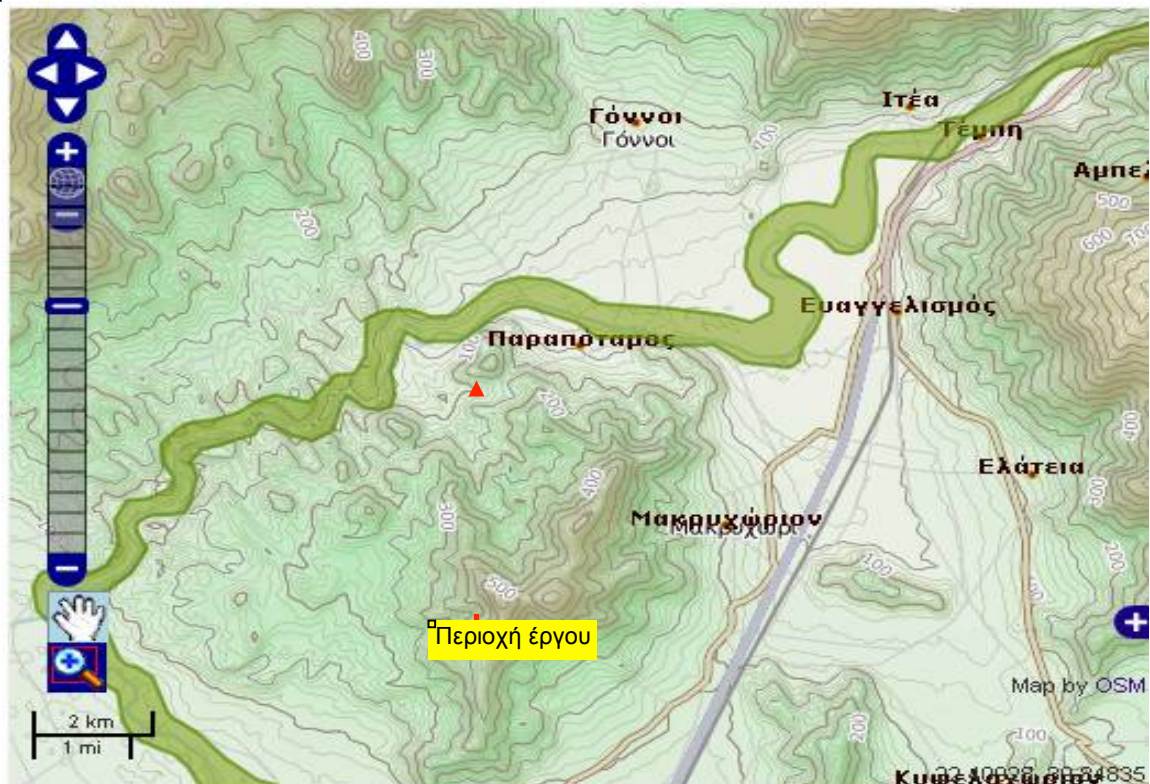
Σχήμα 2.4.4.4.1. Η περιοχή του έργου βρίσκεται εκτός των ορίων των παραπάνω περιοχών σε μικρή απόσταση από τα όρια της περιοχής «Στενό Ροδιάς Τυρνάβου»

Η περιοχή του έργου βρίσκεται εκτός των ορίων των παραπάνω περιοχών σε μικρή απόσταση από τα όρια της περιοχής «Στενό Ροδιάς Τυρνάβου» με κωδ. αριθμ. Α00030012

Άλλοι βιότοποι

Άλλοι βιότοποι	Κωδ.Αριθμ.
Περιοχή Φαρσάλων	ΑΒ3080136
Ποταμός Πηνειός Θεσσαλίας	ΑΒ3090040

Πίνακας 2.4.4.4.2. Άλλοι βιότοποι



Σχήμα 2.4.4.4.2. Η περιοχή του έργου βρίσκεται εντός του βιότοπου «Ποταμός Πηνειός Θεσσαλίας»

2.4.5. Περιγραφή του φυσικού περιβάλλοντος της περιοχής μελέτης

2.4.5.1. Χλωρίδα – βλάστηση

Ευρύτερη περιοχή μελέτης

Η κυριότερη φυτοκοινωνική διάπλαση που έχει καταγραφεί στην περιοχή της Θεσσαλίας είναι η *Quercetalia illicis* (Ευρομεσογειακή ζώνη βλάστησης) η οποία υποδιαιρείται στις υποζώνες *Oleo Ceratonion* και *Quercion illicis*. Η πρώτη υποζώνη συναντάται σε μικρές νησίδες στις θερμότερες και ξηρότερες περιοχές περιλαμβάνοντας και ενώσεις φρυγάνων. Η δεύτερη υποζώνη εμφανίζεται στις υγρότερες περιοχές της ζώνης, κοντά στο Πήλιο και την Όσσα. Θεωρείται έντονα υποβαθμισμένη, κυρίως λόγω της υπερβόσκησης και των εκχερσώσεων. Από αυτή τη ζώνη αρχίζει να εμφανίζεται η μακία βλάστηση με χαρακτηριστικά είδη το *Quercus ilex* (Αριά), *Quercus coccifera* (Πουρνάρι), *Arbutus unedo* (Κουμαριά), *Spartium junceum* (Σπάρτο), *Phillyrea media* (Φιλλυρέα) και *Fraxinus ornus* (Φράξος όρνος).

Το κυρίαρχο είδος στους θαμνώνες είναι το πουρνάρι (*coccifera*), το οποίο δίνει της αντίστοιχη χλωριδική φυσιογνωμία στην περιοχή. Άλλα είδη που

συνατώνται σε αυτές τις περιοχές είναι: *Paliurus aculeatus* (παλιούρι), *Erica arborea* (ρείκι), *Olea europea* (αγριελιά), *Paraver rhoeas* (παπαρούνα), *Patricaria chamomilla* (χαμομήλι) και άλλα.

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης, όπως ορίζεται από τη λεκάνη απορροής του ποταμού Πηνειού εντός του Ν. Λάρισας βρίσκεται εξ' ολοκλήρου στην υποζώνη βλάστησης *Ostryo-Carpinion* και πιο συγκεκριμένα στον αυξητικό χώρο *Coccifero Carpinetum*. Χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτού είναι η μεγάλη έκταση των πρίνων και που οφείλουν την εξάπλωσή τους κυρίως στη μεγάλη αντοχή του πρίνου στη βοσκή, τις πυρκαγιές και τις άλλες ανθρωπογενείς επιδράσεις αλλά και στη μεγάλη ριζοβλαστική και πρεμνοβλαστική ικανότητά του.

Το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης καταλαμβάνεται από καλλιεργούμενες εκτάσεις. Το έδαφος είναι κατά κύριο λόγο πεδινό, ενώ οι λοφώδεις και ημιορεινές περιοχές στα κράσπεδα της λεκάνης είναι ως επί το πλείστον βραχώδεις με περιορισμένη ως ελάχιστη φυσική βλάστηση αποτελούμενη ως επί το πλείστον από θαμνώνες και αείφυλλα-πλατύφυλλα.. Επιπλέον, κάποιες περιορισμένες εκτάσεις της περιοχής που δεν καλλιεργούνται συνήθως χρησιμοποιούνται ως χορτολίβαδα για κτηνοτροφική εκμετάλλευση. Στις χορτολιβαδικές εκτάσεις χαρακτηριστικό είδος υψηλής ανάπτυξης είναι το *Paliurus aculeatus* (παλιούρι).

Βόρεια και ανατολικά της περιοχής του έργου συναντάται η ορεινή ζώνη που αποτελείται από τους πρόποδες του όρους Κάτω Όλυμπος και του όρους Όσσα, μεταξύ των οποίων σχηματίζεται η κοιλάδα των Τεμπών που καταλήγει στο Δέλτα του ποταμού Πηνειού. Οι βιότοποι αυτοί περιλαμβάνουν εκτεταμένα βοσκοτόπια, άγριους και καλλιεργημένους ελαιώνες, εκτεταμένα δάση ελάτων και οξυάς και φρύγανα με παλαιά δάση Καστανιάς στις ανατολικές πλαγιές του όρους Όσσα. Το Δέλτα του Πηνειού έχει παραλιακά και παραποτάμια δάση, αμμώδεις θαμνότοπους και θίνες. Στα παραποτάμια δάση γίνονται παράνομες υλοτομίες, ενώ στην παραλιακή περιοχή γίνεται υπεράντληση νερού και παράνομη δόμηση.

Η κοιλάδα των Τεμπών οριοθετείται από τις πλαγιές του Κάτω Ολύμπου και τις βορειοδυτικές πλαγιές της Όσσας. Την περιοχή διασχίζει ο Πηνειός, που δημιουργεί παραποτάμια βλάστηση από είδη όπως Πλατάνι, Φράξος, Πτελέα, ποδισκοφόρος Δρυς και πεδινό Σφεντάμι.

Υγρότοποι ή σημαντικά οικοσυστήματα δεν απαντώνται στην άμεση περιοχή των έργων. Στην ευρύτερη περιοχή υπάρχει ένας αξιοσημείωτος υγρότοπος, το Μάτι Τυρνάβου που βρίσκεται σε απόσταση 8,5 km βόρεια του Τυρνάβου και παρουσιάζει σημαντική ποικιλότητα σε είδη χλωρίδας και πανίδας παρά τη μικρή έκταση. Σύμφωνα με την Μελέτη Οριοθέτησης υγρότοπου Μάτι

Τυρνάβου, η έκταση του υγρότοπου ανέρχεται σε 464 στρέμματα στα οποία περιλαμβάνεται η λίμνη Αργυροπουλείου, οι πηγές, η παραλίμνια βλάστηση και η κοίτη του ποταμού Τιταρήσιου.

Εγγύτερη περιοχή έργου

Στην άμεση περιοχή του έργου η απαντώμενη βλάστηση είναι αυτή της πλημμυρικής κοίτης του ποταμού Πηνειού που εκτείνεται κατά μήκος της όχθης.

Η παραποτάμια βλάστηση του Πηνειού αποτελείται κυρίως από ημιυδρόβια ελόφυτα, δεινδρώδη υγρόφιλα και άλλα κυρίως μονοετή είδη. Τα ημιυδρόβια ελόφυτα αναπτύσσονται σε υγρά εδάφη με υψηλό ποσοστό υγρασίας, ενώ τα δεινδρώδη υδρόφιλα αναπτύσσονται σε υγρά εδάφη στην μεταβατική ζώνη από το νερό προς τα στεγνά εδάφη. Τα κυριότερα φυτικά είδη που παρατηρούνται στην παραποτάμια ζώνη του π. Πηνειού είναι:

Ζοχός	<i>Onchus oleraceus</i>
Ήρα	<i>Lolium temulentum</i>
Αγριάδα	<i>Agropyrum repens</i>
Αγριοβρώμη	<i>Avena fatua</i>
Αγριοκάλαμο	<i>Phragmites communis</i>
Τριφ. Έρπον	<i>Trifolium repens</i>
Καβάκι	<i>Populus nigra</i>
Πλάτανος	<i>Populus babylonica</i>
Λεύκη	<i>Populus alba</i>
Πτελιά	<i>Ulmus campestris</i>
Μουριά	<i>Morus alba</i>
Ιτιά	<i>Salix alba</i>
Βούρλα	<i>Juncus maritimus</i>
Καλάμι	<i>Arundo donax</i>
Ακακία	<i>Robinia pseudacacia</i>
Κουτσουπιά	<i>Cercis siliquastrum</i>
Βαμβακιά, αγκάθι	<i>Carduus arvensis</i>

Πίνακας 2.4.5.1. Φυτικά είδη στον ποταμό Πηνειό

Το οικοσύστημα των εκβολών του Πηνειού ποταμού παρουσιάζει μεγάλη οικολογική αξία ως προς τον αριθμό χλωρίδας και πανίδας. Η περιοχή του Δέλτα του Πηνειού φυτοκοινωνιολογικά και χλωριδικά αποτελεί μία από τις πιο αξιόλογες παράκτιες περιοχές της χώρας. Η χλωρίδα συντίθεται από 462

είδη φυτών. Η βλάστηση περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό μονάδων, που ανήκουν σε 4 μεγάλες κατηγορίες:

- Δάση από Πλάτανο, Σκλήθρο, Φράξο, Δρυ, Λεύκη κ.α.
- Θαμνώνες από Tamarix (Αλμυρίκι)
- Θαμνώνες από Paliurus (Παλιούρι)
- Αλοφυτική, αμμόφιλη και άλλη βλάστηση (Καλαμιώνες κ.α.)

Τα υπολείμματα των υγροτοπικών δασών κατέχουν εξέχουσα θέση στο όλο τοπίο. Η ορνιθοπανίδα και η ιχθυοπανίδα προσδίδουν μεγάλη οικολογική αξία στο οικοσύστημα των εκβολών.

2.4.5.2 Πανίδα

Χερσαία πανίδα

Στα παραποτάμια δάση του Πηνειού και των παραποτάμων του διατηρείται μια αξιόλογη πανίδα όπως είναι τα σαΐνια (*Accipiter brevipes*), μικρά μεταναστευτικά γεράκια που φωλιάζουν εκεί και θα εγκαταλείψουν την περιοχή αν καταστραφούν αυτά τα δάση. Επίσης οι σπάνιοι μαυροπελαργόι (*Ciconia nigra*) φωλιάζουν και τρέφονται εκεί. Τα δύο αυτά είδη προστατεύονται από το παράρτημα Ι της οδηγίας 79/409/ΕΟΚ "Περί διατηρήσεως των αγρίων πτηνών". Άλλο αξιόλογο σπάνιο είδος πανίδας του οικοσυστήματος αυτού είναι ή βίδρα (*Lutra lutra*), της οποίας οι τελευταίοι πληθυσμοί επιβιώνουν ακόμα στα καθαρότερα τμήματα των ποταμών αυτών. Εκτός από χώρο φωλιάσματος και διαβίωσης για πολλά είδη πανίδας οι στενές αυτές λωρίδες βλάστησης αποτελούν και διάδρομους επικοινωνίας και εποικισμού (corridors).

Ένα τέτοιο τμήμα παραποτάμιου δάσους βρίσκεται στην παρόχθια ζώνη του Πηνειού και εκτείνεται από την πόλη της Λάρισας μέχρι τα στενά της Ροδιάς και στη συνέχεια μέχρι την είσοδο του φαραγγιού των Τεμπών.

Ορνιθοπανίδα ευρύτερης περιοχής

Το είδος και το μέγεθος των βιοτόπων που απαιτούνται και τη διαβίωση και διατήρηση κάθε ζωικού είδους, η επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα στις φυσικές ζώνες βλάστησης, καθώς και η δημιουργία αγροοικοσυστημάτων επιτρέπουν την παρουσίαση της πανίδας σε αντιστοιχία με τα είδη των οικοσυστημάτων που παρατηρούνται στην περιοχή της μελέτης.

Η πανίδα στην περιοχή των έργων όπως επίσης και σε ολόκληρο το πεδινό καλλιεργήσιμο τμήμα της Θεσσαλίας είναι φτωχή καθώς η συστηματική

εκμετάλλευση της γης έχει εξαφανίσει τη φυσική βλάστηση που απαιτείται για την συντήρηση φυσικής πανίδας. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ποικιλότητα της ορνιθοπανίδας στο όρος Όλυμπος, στην περιοχή Τεμπών - Όσσας και στο Δέλτα του ποταμού Πηνειού.

Ο Όλυμπος είναι το υψηλότερο βουνό της Ελλάδας με υψηλές κορυφές, γκρεμούς καθώς και δασωμένες πλαγιές. Η περιοχή του Ολύμπου είναι σημαντική για τα αρπακτικά. Στην περιοχή εμφανίζονται το Όρνιο (*Gyps fulvus*) (T), και ο Μαυροπετρίτης (*Falco eleonogae*). Επίσης στην περιοχή αναπαράγονται τα εξής είδη:

Σφηκιάρης	<i>Pernis apivorus</i>
Γυπαετός	<i>Gypaetus barbarus</i> (E)
Μαυρόγυπας	<i>Aegyptius monachus</i> (E)
Φιδετός	<i>Circaetus gallicus</i>
Σαΐνι	<i>Accipiter brevipes</i>
Χρυσαιτός	<i>Aquila chrysaetos</i> (E)
Σταυραετός	<i>Hieraetus pennatus</i> (T)
Χρυσογέρακας	<i>Falco biarmicus</i> (T)
Πετρίτης	<i>Falco peregrinus</i>

Πίνακας 2.4.5.2. Χερσαία πανίδα στον ποταμό Πηνειό

Από το 1987 λειτουργεί στο όρος Κάτω Όλυμπος ταΐστρα για τα Όρνια. Αναπαραγόμενα είδη στην περιοχή Κάτω Ολύμπου - Τεμπών - Όσσας και Δέλτα Πηνειού είναι ο Μικροτσικνιάς (*Ixobrychus minutus*), ο Νυχτοκόρακας (*Nycticorax nycticorax*), ο Μαυροπελαργός (*Ciconia nigra*), (E), ο Πελαργός (*Ciconia ciconia*), ο Σφηκιάρης (*Pernis apivorus*), ο Ασπροπάρης (*Neophron percopterus*), το Όρνιο (*Gyps fulvus*), η Αλκυόνη (*Alcedo atthis*) και ο Δρυομυγοχάφτης (*Ficedula semitorquata*).

Σημαντική επίσης περιοχή για τα αρπακτικά είναι τα στενά Καλαμακίου. Η περιοχή αυτή είναι φαράγγι του ποτ. Πηνειού με γκρεμούς και παραποτάμιο δάσος που διασχίζει γυμνούς λόφους. Οι κύριες ανθρώπινες δραστηριότητες είναι η κτηνοτροφία και το κυνήγι. Αναπαραγόμενα είδη ορνιθοπανίδας είναι ο Ασπροπάρης (*Neophron percopterus*), η Χαλκοκουρούνα (*Coracias garrulus*) (T), ενώ εμφανίζονται το Όρνιο (*Gyps fulvus*), η Αετογερακίνα (*Buteo rufinus*) και ο Χρυσαιτός (*Aquila chrysaetos*).

Στα φυσικά χερσαία οικοσυστήματα της ημιορεινής και ορεινής ζώνης η αλεπού απαντάται καθ' όλη την διάρκεια του έτους και πολλές φορές κατέρχεται στα πεδινά για αναζήτηση τροφής. Η νυφίτσα και το κουνάβι συναντώνται κυρίως στα δρυοδάση. Αγέλες αγριόχοιρων έχουν καταγραφεί σε όλα τα υψόμετρα, σε περιοχές αείφυλλων σκληρόφυλλων και δρυοδασών. Ο λαγός και ο σκίουρος απαντώνται στην ζώνη αείφυλλων - σκληρόφυλλων,

σε όλα τα υψόμετρα, ενώ ο ασβός απαντάται σε χαμηλά υψόμετρα με πυκνή χαμηλή βλάστηση. Επίσης στην περιοχή διαβιούν διάφορα είδη νυχτερίδας, όπως η νανονυχτερίδα και η βουνονυχτερίδα. Στα φυσικά χερσαία οικοσυστήματα απαντάται πλούσια ερπετοπανίδα όπως σαύρες, χελώνες, φίδια.

Στα αγροοικοσυστήματα που αποτελούνται από καλλιεργούμενες εκτάσεις, ο αριθμός των ειδών της πανίδας είναι σημαντικά μειωμένος εξ αιτίας της δραστηρικής αλλαγής των βιοτόπων, των εντατικών γεωργικών δραστηριοτήτων και των δυσμενών οικολογικών συνθηκών που δημιουργούνται. Τα είδη που απαντώνται σε αυτά τα οικοσυστήματα είναι εκείνα που ικανοποιούν τις τροφικές ανάγκες τους και ζουν σε γειτνιάζοντα οικοσυστήματα και εκείνα που οι προσαρμοστικές τους ιδιότητες επιτρέπουν να φωλιάζουν σε ελεύθερες μικροζώνες που δημιουργούνται ανάμεσα στις καλλιέργειες, όπως η παρόχθια ζώνη των αποστραγγιστικών τάφρων.

Το είδος και ο αριθμός των ειδών που απαντώνται εξαρτώνται από το είδος και την μέθοδο της καλλιέργειας. Περισσότερα είδη συναντώνται σε καλλιεργημένες εκτάσεις που γειτνιάζουν με φυσικά οικοσυστήματα και σε περιοχές εμφάνισης φυσικών ή τεχνητών υδατορευμάτων. Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις φιλοξενούν αρκετά είδη μικροπανίδας που τρέφονται με υπολείμματα και έντομα των γεωργικών καλλιεργειών.

Σημαντικός αριθμός πτηνοπανίδας υπάρχει επίσης, στους έξι μικρούς αρδευτικούς ταμιευτήρες που κατασκευάστηκαν στην περιοχή της πρώην λίμνης Κάρλας. Έχουν παρατηρηθεί πάνω από 20 είδη πτηνών, τα περισσότερα από τα οποία είναι σπάνια με μεγαλύτερη παρουσία πτηνών στον ταμιευτήρα Καλαμακίου.

Ο υγροβιότοπος Μάτι Τυρνάβου φιλοξενεί 76 είδη ορνιθοπανίδας, από τα οποία τα 31 είναι ενδημικά, ενώ τα υπόλοιπα εμφανίζονται ορισμένες εποχές του έτους ή είναι διερχόμενα. Επιπλέον, από τα αμφίβια και ερπετά οι χελώνες και οι νεροχελώνες είναι αρκετά απειλούμενα είδη και προστατεύονται από την Ελληνική και διεθνή νομοθεσία, ενώ από τα θηλαστικά η νυφίτσα προστατεύεται από την Ελληνική νομοθεσία και η βίδρα από την Ελληνική και Διεθνή νομοθεσία.

2.4.5.3 Ιχθυοπανίδα

Στον ποταμό Πηνειό έχουν παρατηρηθεί είδη ιχθύων τα οποία είναι χαρακτηριστικά των ποτάμιων οικοσυστημάτων καθώς και των οικοσυστημάτων των εκβολών των ποταμών. Τα είδη αυτά ζουν στα γλυκά και στα υφάλμυρα νερά ενώ κάποια από αυτά είναι ενδημικά στη

συγκεκριμένη περιοχή. Τα είδη που απαντά κανείς στα οικοσυστήματα του ποταμού Πηνειού είναι τα κάτωθι:

- Acipenser Sturio (Στουρούνι):
- Coreogonus Lavaretus (Κορέγονος):
- Salaria Fluviatilis (Ποταμοσαλιάρα)
- Esox Lucius (Τούρνα)
- Tinca Tinca (Γλήνι)
- Silurus Glanis (Γουλιανός)
- Leuciscus Cephalus (Κέφαλος)
- Cyprinus Carpio (Κυπρίνος)
- Barbus Barbus (Μπριάνα)

2.5 Εκτίμηση και αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Σύμφωνα με εκπεφρασμένη άποψη τόσο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όσο και της Ελληνικής Κυβέρνησης, δίνονται δυνατότητες και αντίστοιχα κίνητρα για την αξιοποίηση των εγχωρίων εναλλακτικών πηγών ενέργειας, προκειμένου να μειωθεί η ρύπανση από συμβατικά καύσιμα.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια, κατατάσσεται στις ήπιες (ανανεώσιμες) μορφές ενέργειας. Για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, δεν χρησιμοποιείται καύσιμο, με συνέπεια να μην υπάρχουν ούτε προϊόντα καύσης, ούτε απόβλητα (στερεά, υγρά και αέρια). Από τα μηχανήματα που εγκαθίστανται, χρησιμοποιείται η δυναμική ενέργεια του νερού, χωρίς να υπάρχει κατανάλωση ή ρύπανση αυτού και χωρίς αύξηση της θερμοκρασίας του νερού των ποταμών. Επίσης, οι υδροστρόβιλοι είναι στιβαρές και αξιόπιστες μηχανές που απαιτούν μικρή συντήρηση και επίβλεψη.

Όπως κάθε τεχνικό έργο, ένα μικρό ΥΗΕ αποτελεί μία παρέμβαση στο περιβάλλον, τόσο το φυσικό όσο και το κοινωνικό και πολιτιστικό. Η παρέμβαση αυτή λαμβάνει χώρα τόσο κατά την φάση της κατασκευής και όσο και της λειτουργίας του. Στις περισσότερες περιπτώσεις η έκταση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μπορεί να μετριασθεί και το έργο να γίνει αποδεκτό με επεμβάσεις που επιβαρύνουν τον προϋπολογισμό και ενδεχόμενα επηρεάζουν εν μέρει την οικονομική απόδοση του έργου. Κατά γενικό κανόνα, τα μικρά ΥΗΕ θεωρούνται ως έργα με αντιμετωπίσιμες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σύγκριση με άλλα έργα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα ΜΥΗΕ έργα έχουν μικρού μεγέθους αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις αλλά κυρίως θετικές, όπως για παράδειγμα τον συνδυασμό τους σε ορισμένες

περιπτώσεις με άλλες χρήσεις και διευθετήσεις του νερού (ύδρευση, άρδευση), τον έλεγχο της στάθμης κατά την διάρκεια πλημμύρων, την δημιουργία χώρων αναψυχής και τουρισμού, την κατασκευή έργων υποδομής σε απομακρυσμένες περιοχές (δρόμων, γεφυρών κλπ).

Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά το Παράρτημα της ΚΥΑ 13727/724/2003 ως προς την αντιστοίχιση των δραστηριοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί (ήτοι ισχύος μικρότερης ή ίσης των 10 MW) χαρακτηρίζονται ως μη οχλούσες δραστηριότητες.

Επίσης δεν πρέπει να παραληφθεί ότι η παραγωγή ενέργειας από υδροηλεκτρικό έργο εγκατεστημένης ισχύος την εκπομπή στην ατμόσφαιρα σημαντικές εκπομπές CO₂ ετησίως, για την περίπτωση κατά την οποία η ίδια ποσότητα ενέργειας παρήγετο από λιγνιτικό σταθμό.

2.6 Επιπτώσεις σε περίπτωση αστοχίας του έργου.

Αν η προσπάθεια που επιχειρείται από τον κύριο του έργου τελικά αποτύχει, για τον οποιοδήποτε λόγο, ή επιτύχει και σταματήσει να λειτουργεί (π.χ. για διοικητικούς λόγους), τότε δεν θα υπάρχουν καθόλου επιπτώσεις μιας και το νερό θα συνεχίσει να ρέει, αναξιοποίητο πλέον στην κοίτη που έχει διαμορφώσει εδώ και χρόνια. Αν τα έργα της υδροληψίας για τον οποιοδήποτε λόγο καταρρεύσουν, τότε δεν υπάρχει κανένας απολύτως κίνδυνος για τους κατοίκους της ευρύτερης περιοχής του έργου που βρίσκονται στα κατάντη του σημείου υδροληψίας.

3. Μελέτη και σχεδιασμός φράγματος έργου

3.1 Επιλογή τύπου φράγματος

Ο τύπος που θα χρησιμοποιηθεί στο παρών έργο θα ορισθεί εξετάζοντας τις παραμέτρους και ιδιαιτερότητες της τοποθεσίας κατασκευής του φράγματος στον ποταμό Πηνειό.

- Χωμάτινο φράγμα

Ο τύπος αυτός θα οδηγήσει σε μεγάλο όγκο θραυστών υλικών για το μικρό σχετικά ύψος φράγματος ($\approx 7\text{m}$). Στην περίπτωση αυτού θα κατασκευαστεί ανάντη και κατόντη επιφάνεια με μικρή κλίση, ώστε να εξασφαλίζεται η ευστάθεια τους, συνήθως 2:1 έως 4:1. Το κυρίως σώμα του φράγματος θα αποτελείται από αδιαπέρατο πυρήνα πάχους μεγαλύτερου από 3m για την ευκολία στην συμπύκνωση και μεταφορά των θραυστών υλικών.

Επίσης για τον έλεγχο των διαρροών θα κατασκευαστούν φίλτρα αποστράγγισης. Υπολογίζοντας τις εργασίες αυτές θα κατασκευαστεί ένας μεγάλος όγκος φράγματος από θραυστά υλικά μήκους 50-60m, ύψους 7m και πλάτους μεγαλύτερο των 30m.

Η εγκατάσταση αγωγού προσαγωγής ή πτώσεως θα δημιουργήσει προβλήματα συνάφειας μεταξύ του σώματος του φράγματος και του αγωγού εμφανίζοντας σε βάθος χρόνου κενά διέλευσης ύδατος και θραυστών υλικών με τελικό αποτέλεσμα την αστοχία της κατασκευής. Για την εγκατάσταση του αγωγού εκτός του κυρίως σώματος του φράγματος θα πρέπει να γίνει διάνοιξη στον βράχο του υπεδάφους θεμελίωσης ή στα πλευρικά βραχώδη τοιχώματα-αντιρείσματα. Αυτές οι εργασίες αυξάνουν τον χρόνο κατασκευής και τον προϋπολογισμό ενός μικρού ΥΗΕ δυσανάλογα. Η επιλογή του χωμάτινου φράγματος κρίνεται λιγότερο πιθανή και αντιοικονομική.

- Φράγμα λιθορριπής

Ο τύπος αυτός απαιτεί την εναπόθεση λίθων λατομείου ακανόνιστου σχήματος χωρίς λεπτόκοκκα και την δόνηση των λίθων ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με τα χωμάτινα φράγματα. Η εύρεση και προμήθεια λίθων από λατομείο στην γύρω περιοχή του έργου δεν είναι δύσκολη αλλά αντιοικονομική και αυτό γιατί όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως ο όγκος της όλης κατασκευής αυξάνει τον προϋπολογισμό του έργου δυσανάλογα. Οι ανάντη και κατόντη επιφάνειες θα έχουν πιο απότομες κλίσεις απ' ό,τι στα χωμάτινα φράγματα της τάξης των 1,3:1 έως 1,4:1. Το συνολικό πλάτος φράγματος φθάνει ύστερα από υπολογισμούς στα 20m. Στην ανάντη επιφάνεια θα κατασκευαστεί πλάκα σκυροδέματος μικρού πάχους ($\approx 30\text{cm}$ και θα αυξάνει προς τον πυθμένα) με αρμούς διαστολής μεταξύ των πλακών. Το

πλάτος των πλακών θα είναι περίπου 10m δηλαδή θα δημιουργηθούν 5 με 6 τέτοιες πλάκες κατακόρυφα στο σώμα του φράγματος.

Αυτά τα στοιχεία, για ένα μικρό ΥΗΕ, οδηγούν σε μη οικονομικό σχεδιασμό, πολυπλοκότητα στην κατασκευή και μεγάλο χρόνο κατασκευής.

- Τοξωτό φράγμα

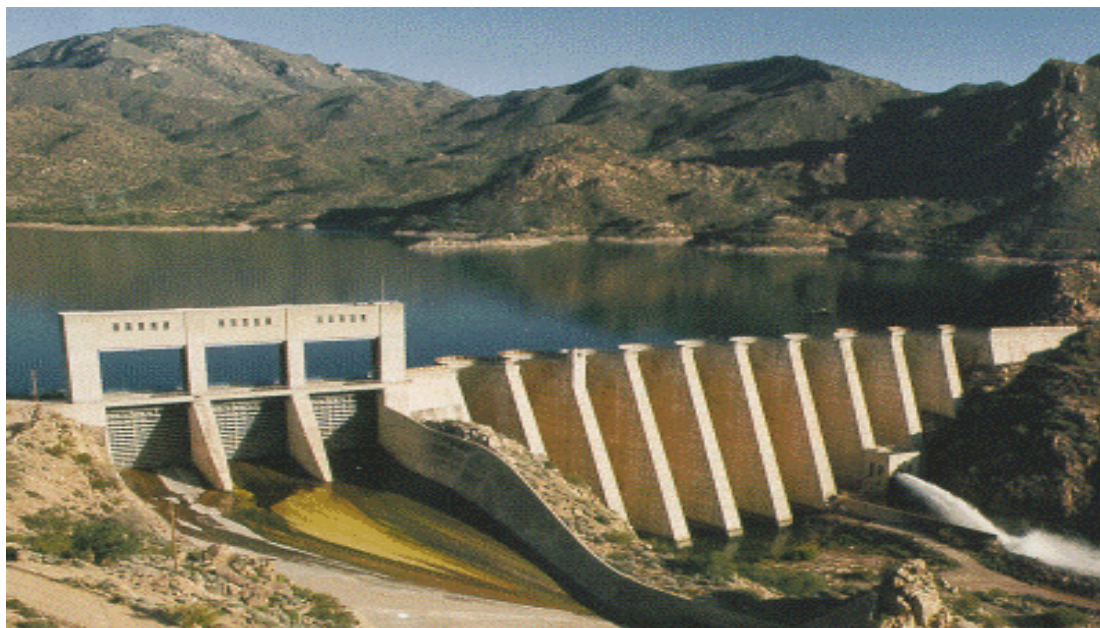
Ο τύπος αυτός φράγματος επιλέγεται σε τοποθεσίες ποταμών με χαράδρες στενού πλάτους και για φράγματα μεγάλου ύψους. Επίσης τα πλευρικά τοιχώματα θα πρέπει να αποτελούνται από στιβαρό και συμπαγή βράχο για την ασφαλή μεταφορά των φορτίων νερού. Στο παρών έργο υπάρχουν τα τοιχώματα βράχου καλής ποιότητας αλλά ο λόγος πλάτος προς ύψος φράγματος ξεπερνά κατά πολύ την θεωρητικά οριακή τιμή των πέντε μονάδων. Πιο συγκεκριμένα για πλάτος 60m και ύψος 7m ο λόγος αυτός ισούται με 8.5 μονάδες. Σε μικρά ΥΗΕ αποφεύγεται η επιλογή τοξωτού φράγματος λόγω των υψηλότερων προδιαγραφών που απαιτεί η μελέτη και κατασκευή του.



Σχήμα 3.1.1. Τοξωτό φράγμα

- Αντηριδωτο φράγμα

Ο τύπος αυτός φράγματος απαιτεί μικρότερο όγκο σκυροδέματος αλλά οι αρμοί μεταξύ των πλακών αποτελούν ευπαθείς σημείο της κατασκευής λόγω των θερμοκρασιακών μεταβολών. Μπορεί να θεωρηθεί και ως κούφιο φράγμα βαρύτητας. Επίσης το κόστος κατασκευής είναι υψηλό λόγω της σχεδιαστικής πολυπλοκότητας των τοξωτών κελύφων ή αντηρίδων.



Σχήμα 3.1.2. Αντηριδωτό φράγμα

- Φράγμα βαρύτητας από σκυρόδεμα

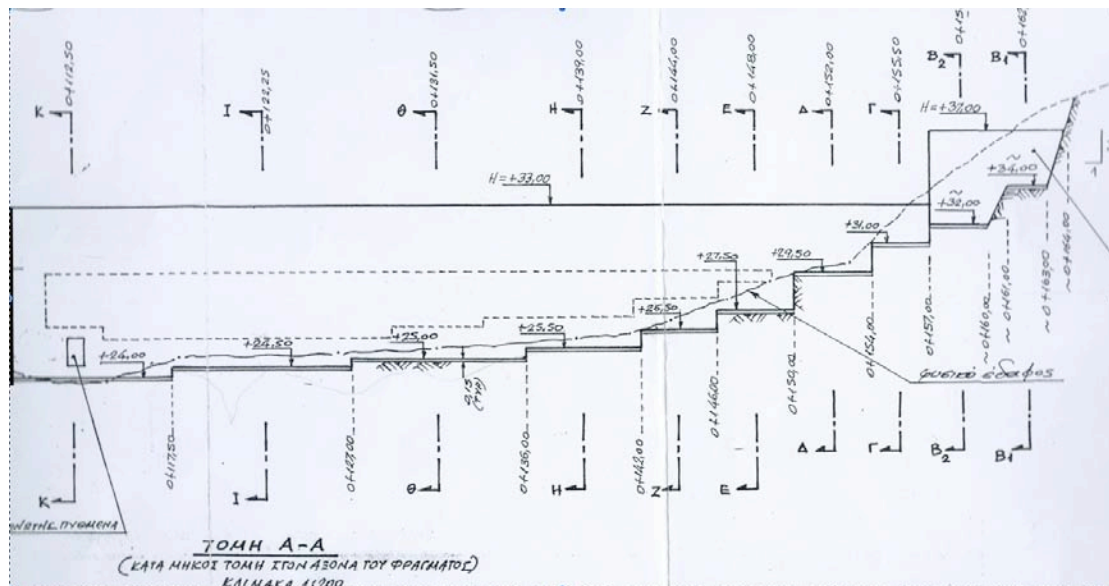
Το φράγμα βαρύτητας απαιτεί την κατασκευή ενός όγκου άοπλου σκυροδέματος με χαρακτηριστικά τα οποία να αποτρέπουν την ολίσθηση και ανατροπή της κατασκευής. Η διαδικασία κατασκευής είναι ευρέως διαδεδομένη και απλή καθώς το ίδιο βάρος του φράγματος (συνυπολογίζοντας θυροφράγματα, γέφυρες, εκκενωτές πυθμένα και άλλα εξαρτήματα προσαρτημένα στο σώμα του φράγματος) αντιστέκεται στα φορτία νερού. Οι ανάντη και κατάντη επιφάνειες επιτρέπουν απότομες κλίσεις διότι δεν υπάρχει ο κίνδυνος ευστάθειας που συναντούμε στα χωμάτινα-λιθόριπτα φράγματα. Το πλάτος φράγματος σύμφωνα με τους ελέγχους ασφάλειας θα κυμανθεί μεταξύ των έξι (6) έως δεκαπέντε (15) μέτρων. Η επιλογή τύπου φράγματος βαρύτητας κρίνεται πιο δελεαστική σε σχέση με τους άλλους τύπους φραγμάτων για την ευκολία και οικονομία της κατασκευής.



Σχήμα 3.1.3. Φράγμα βαρύτητας

3.2 Μελέτη κύριου σώματος φράγματος βαρύτητας

Για την μελέτη του φράγματος βαρύτητας θα εξεταστούν διάφορες διαστασιολογήσεις της διατομής του κυρίως σώματος του φράγματος θεωρώντας το ως τοίχο αντιστήριξης. Οι δοκιμές αυτές έχουν σκοπό την ικανοποίηση των συνθηκών ευστάθειας έναντι ολίσθησης και ανατροπής του φράγματος βαρύτητας. Οι δυνάμεις που ασκούνται είναι κυρίως οι υδροστατικές στην ανάντη και κατάντη πλευρά, η δύναμη άνωσης, η δύναμη των φερτών υλικών του ποταμού, το ίδιο βάρος του φράγματος και η δύναμη τριβής με το έδαφος. Επίσης λαμβάνεται υπόψη η δύναμη που αναπτύσσεται κατά την διάρκεια του σεισμού και η οποία οφείλεται στην αδράνεια της μάζας του φράγματος υπό την επίδραση οριζόντιας επιτάχυνσης a η οποία θεωρείται ότι είναι της τάξεως του 5-10% της επιτάχυνσης της βαρύτητας. Η μηκοτομή του υδατορέματος στη θέση κατασκευής του φράγματος δίνεται σε σχήμα παρακάτω.



Σχήμα 3.2.1. Μηκοτομή υδατορέματος

Η στέψη του φράγματος θα βρίσκεται σε υψόμετρο +34m και σύμφωνα με την μηκοτομή στον άξονα του φράγματος ο μέσος όρος υψομέτρου εδάφους ισούται με +26.125m. Το μέσο ύψος φράγματος ισούται με $34-26.125=7.8m$.

Παραδοχή 1^η: Το ύψος στάθμης νερού ανάντη του φράγματος ισούται με 14.8m υπολογίζοντας σε αυτό την πλημμυρική παροχή $1500m^3/sec$ ύψους 7m.

Παραδοχή 2^η: Η άνωση στο υπέδαφος του φράγματος υπολογίζεται για συνθήκες κανονικής λειτουργίας με ανάντη στάθμη νερού τα 7.80m. Παραβλέπεται η στάθμη λόγω πλημμύρας γιατί αυτή διαρκεί ελάχιστα 24ωρα και δεν επαρκεί για την διόδυσή του νερού στο υπέδαφος του φράγματος.

Παραδοχή 3^η: Η κατάντη στάθμη νερού υπολογίζεται σύμφωνα με το κεφάλαιο 3.4 και ισούται με 1.973m για περίοδο πλημμύρας $1500m^3/sec$. Στην λεκάνη καταστροφής ενέργειας δημιουργείται στάθμη νερού ύψους 9.10m λόγω του υδραυλικού άλματος.

Παραδοχή 4^η: Η άνωση στο υπέδαφος της λεκάνης καταστροφής ενέργειας δεν προστίθεται στους υπολογισμούς του φράγματος καθώς η λεκάνη αποτελεί ανεξάρτητο τμήμα κατάντη αυτού. Οι ανωστικές δυνάμεις αυτού ισοσταθμίζονται με καταλληλη εγκατάσταση αγωγών αποστράγγισης ανά 5m περίπου για τις δύο κάθετες διευθύνσεις της ροής.

Παραδοχή 5^η: Η κατασκευή-δημιουργία τσιμεντενέσεων στον ανάντη πόδα του φράγματος με σκοπό την δημιουργία κουρτίνας κρίνεται απαραίτητη. Αυτό θα μειώσει την διόδυση του νερού στο υπέδαφος. Κατάντη αυτής της κουρτίνας και σε απόσταση ίση με το $1/3$ και $2/3$ του πλάτους φράγματος τοποθετούνται δύο σειρές ανεστραμμένων ημικυκλικών πλαστικών σωλήνων ως δεύτερη γραμμή προστασίας από ανωστικές δυνάμεις. Σε κάθε σειρά των σωλήνων διανοίγονται οπές αποστράγγισης οι οποίες κατευθύνουν το νερό

στους σωλήνες και από εκεί κατάντη του φράγματος. Υπολογίζοντας σε πραγματικές συνθήκες και υπέρ της ασφαλείας θεωρείται ότι αυτές οι κατασκευές δεν λειτουργούν απολύτως άριστα καθώς υπάρχει αδυναμία επιθεώρησής τους.

Ανάλυση φορτίων:

1. Φορτίο νερού: Η υδροστατική δύναμη πίεσης του νερού ίση προς: $p = \rho \cdot g \cdot h = \gamma \cdot h$, όπου ρ η πυκνότητα του νερού, h το βάθος κάθε σημείου ως προς την στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας και g η επιτάχυνση της βαρύτητας.

Η οριζόντια συνιστώσα στην ανάντη πλευρά ανά μονάδα μήκους του φράγματος προκύπτει ίση προς $P_{w1} = \gamma \cdot \frac{h^2}{2}$ και εφαρμόζεται σε βάθος ίσο προς τα 2/3 του h .

$$P_{w1} = 10 \cdot (7.8 + 7)^2 / 2 = 1095.2 \text{ kN/m}$$

Η οριζόντια συνιστώσα στην κατάντη πλευρά, P_{w2} , προκύπτει όπως παραπάνω.

$$P_{w2} = 10 \cdot 1.973^2 / 2 = 19.463 \text{ kN/m} \text{ για ύψος στάθμης νερού } 1.973 \text{m}$$

2. Φορτίο από φερτά: Η σταδιακή συγκέντρωση σημαντικών καταλοίπων από ιζημα, κυρίως προσχώσεις (λάσπες) στην πρόσοψη του φράγματος παράγει μία προκύπτουσα οριζόντια δύναμη P_ϕ ίση προς:

$P_\phi = K_\alpha \cdot (\gamma_{\text{ιζημα}} - \gamma_{\text{νερό}}) \cdot \frac{z^2}{2}$, όπου $K_\alpha = \frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta}$ με θ την γωνία τριβής του ιζήματος, $\gamma_{\text{ιζημα}}$ το ειδικό βάρος του ιζήματος και z το βάθος του ιζήματος. Ασκείται το φορτίο σε βάθος $z/3$

Ακριβής πρόβλεψη για την συγκέντρωση φορτίων δεν μπορεί να υπάρξει παρά μόνο εκτιμήσεις συγκρινόμενες με άλλα φράγματα. Για τις ανάγκες του προβλήματος θεωρήθηκε z ίσο με το 1/3 του ύψους φράγματος h , $z = h/3 = 7.80/3 = 2.6 \text{m}$

$K_\alpha = 1 - \sin 40 / 1 + \sin 40 = 0.2174$ για ιζημα αμμώδες με γωνία τριβής $\theta = 40$.

Το ειδικό βάρος της άμμου ισούται με $\gamma_{\text{άμμος}} = 18 \text{ kN/m}^3$.

Συνιπολογίζοντας τα παραπάνω προκύπτει: $P_\phi = 0.2174 \cdot (18 - 10) \cdot 2.6^2 / 2 = 5.878 \text{ kN/m}$ ασκούμενο σε απόσταση $x = z/3 = 2.6/3 = 0.866 \text{m}$ από την βάση του φράγματος.

3. Φορτίο άνωσης: Εσωτερικές πιέσεις νερού αναπτύσσονται μέσα σε ένα φράγμα σκυροδέματος σαν αποτέλεσμα διείσδυσης νερού κατά μήκος ασυνεχειών, για παράδειγμα αρμούς, σχισμές, ρωγμές και επίσης από διαποτισμό στη δομή των πόρων του βράχου ή του σκυροδέματος.

Θεωρείται γραμμική διανομή των υποπίεσεων στην βάση του φράγματος και μείωση τους από την υδροστατική τιμή $\gamma_{\text{νερό}} \cdot h_1 = 10 \cdot 7.8 = 78 \text{ kN/m}^2$ στην ανάντη πλευρά έως $\gamma_{\text{νερό}} \cdot h_2 = 10 \cdot 1.973 = 19.73 \text{ kN/m}^2$ στην κατάντη. Η συνισταμένη αυτών

των υποπιέσεων στη βάση του φράγματος (πλάτους T) συμβολίζεται με P_u και αν δεν υπάρχουν οπές ανακούφισης τότε είναι ίση με: $P_u = \gamma_{\text{νερό}} \cdot T \cdot (h_1 + h_2)/2$ και ενεργεί στο κέντρο βάρους του διαγράμματος διανομής πίεσης σε απόσταση, από τον ανάντη πόδα του φράγματος, $x = T/3 \cdot (2 \cdot h_2 + h_1)/(h_2 + h_1)$. Σύμφωνα όμως με την 5^η παραδοχή η κατανομή του ανωστικού φορτίου αλλάζει δραματικά. Θα έχουν λοιπόν την εξής μορφή: 78kN/m στον ανάντη πόδα, 20kN/m σε απόσταση $T/3$ έως $2T/3$ μετρούμενο από τον ανάντη πόδα και 19.73kN/m στον κατάντη πόδα του φράγματος.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω προκύπτει $P_u = \gamma_{\text{νερό}} \cdot [7.80 \cdot (T/3) - (7.80 - 2) \cdot T/12 + (2 + 1.973) \cdot T/3]$ και ασκείται στο κέντρο βάρους του διαγράμματος άνωσης.

4. Φορτίο ίδιου βάρους σώματος φράγματος: Το ίδιο βάρος ενεργεί μέσω του κέντρου βάρους της διατομής (A_c) φράγματος και είναι ίσο με: $W_{IB} = \gamma_c \cdot A_c$ όπου γ_c το ειδικό βάρος του σκυροδέματος.
5. Φορτίο όνυχα: Στο ανάντη και κατάντη πόδα του φράγματος κατασκευάζονται όνυχες πλάτους 1m, βάθους από 0.5m έως 2m. Αυτοί εκμεταλλεύονται την έδρασή τους σε βράχο ο οποίος αντιστέκεται στην ολίσθηση και ανατροπή λόγω της τριβής που δημιουργείται στην διεπιφάνειά τους. Θλιπτική αντοχή βράχου 290kPa, τάση κάθετη στην διεπιφάνειά βράχου-όνυχα και διατμητική τάση περίπου 0.40 της κύριας τάσης.
6. Φορτίο σεισμού: Το έργο ανήκει στην πελαγωνική ζώνη με σεισμικό συντελεστή, που αναφέρεται στο κεφάλαιο 2.4.2.2., ίσο με $a_h = 0.16$ ($a_v = 0.5 a_h$) και ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I. Σύμφωνα με αυτό υπολογίζονται οι εξής δυνάμεις αδράνειας: οριζόντια $P_{eh} = \pm a_h W_{IB}$ και κατακόρυφα $P_{ev} = \pm a_v W_{IB}$. Όπως και το ίδιο βάρος, οι δυνάμεις αδράνειας θεωρείται ότι λειτουργούν στο κέντρο βάρους του φράγματος.
 - Οι μοχλοβραχίονες των φορτίων μετρούνται από τον κατάντη πόδα του φράγματος.
 - Πραγματοποιούνται δοκιμές διαστασιολόγησης σύμφωνα με τα παραπάνω φορτία.

1^η δοκιμή: Για διαστάσεις φράγματος με πλάτος στέψης 2.50m, πλάτος φράγματος 10.00m και κατάντη πόδα $x = 1.50m$.

$P_{w1} = 1095.2$ kN/m με μοχλοβραχίονα $x = 4.93m$

$P_{w2} = 19.46$ kN/m με μοχλοβραχίονα $x = 0.66m$

$P_{\phi} = 5.878$ kN/m με μοχλοβραχίονα $x = 0.86m$

$P_u = 344.13$ kN/m με μοχλοβραχίονα $x = 6.41m$

$W_{IB}=25*(7.80*2.50+1.50*7.50+6.30*7.50/2)=25*54.375= 1359.375$ kN/m με
μοχλοβραχίονα $x=6.08$ m

$P_{o1}=290*1=290$ kN/m μοχλοβραχλιονας $x=9$ m

$P_{o2}=280*0.5=145$ kN/m μοχλοβραχλιονας $x=1$ m

$F_{o\lambda}=(P_{w1}-P_{w2}+P_{\varphi}-P_{o1}-P_{o2})/(W_{IB}-P_u)=646.618/1015.25=0.637<0.75$ αποδεκτό

$F_{av}=(W_{IB}*x+P_{w2}*x+0.40*P_{o1}*x+0.40*P_{o2}*x)/(P_{w1}*x+P_{\varphi}*x+P_u*x)=9379.84/7610.2$
 $6=1.23<1.25$ οριακά μη αποδεκτό αποτέλεσμα.

2^η δοκιμή: Για διαστάσεις φράγματος με πλάτος σ τέψης 2.50m, πλάτος
φράγματος 8.00m και κατάντη πόδα $x=1.50$ m.

$P_{w1}= 1095.2$ kN/m με μοχλοβραχίονα $x=4.93$ m

$P_{w2}= 19.46$ kN/m με μοχλοβραχίονα $x=0.66$ m

$P_{\varphi}= 5.878$ kN/m με μοχλοβραχίονα $x=0.86$ m

$P_u= 274.56$ kN/m με μοχλοβραχίονα $x=5.08$ m

$W_{IB}=25*(7.80*2.50+1.50*5.50+6.30*5.50/2)=25*45.075= 1126.875$ kN/m με
μοχλοβραχίονα $x=4.79$ m

$P_{o1}=290*1=290$ kN/m μοχλοβραχλιονας $x=9$ m

$P_{o2}=280*0.5=145$ kN/m μοχλοβραχλιονας $x=1$ m

$F_{o\lambda}=(P_{w1}-P_{w2}+P_{\varphi}-P_{o1}-P_{o2})/(W_{IB}-P_u)=646.618/852.315=0.7586<0.75$ οριακά μη
αποδεκτό

$F_{av}=(W_{IB}*x+P_{w2}*x+0.40*P_{o1}*x+0.40*P_{o2}*x)/(P_{w1}*x+P_{\varphi}*x+P_u*x)=5410.574/6799.$
 $155=0.96<1.25$ μη αποδεκτό

3^η δοκιμή: Για διαστάσεις φράγματος με πλάτος στέψης 2.50m, πλάτος
φράγματος 8.00m και κατάντη πόδα $x=2.00$ m.

$P_{w1}= 1095.2$ kN/m με μοχλοβραχίονα $x=4.93$ m

$P_{w2}= 19.46$ kN/m με μοχλοβραχίονα $x=0.66$ m

$P_{\varphi}= 5.878$ kN/m με μοχλοβραχίονα $x=0.86$ m

$P_u= 274.56$ kN/m με μοχλοβραχίονα $x=5.08$ m

$W_{IB}=25*(7.80*2.50+2.00*5.50+5.80*5.50/2)=25*46.45= 1161.25$ kN/m με
μοχλοβραχίονα $x=4.34$ m

$P_{o1}=290*1=290$ kN/m μοχλοβραχλιονας $x=9$ m

$P_{o2}=280*0.5=145$ kN/m μοχλοβραχλιονας $x=1$ m

$F_{o\lambda}=(P_{w1}-P_{w2}+P_{\varphi}-P_{o1}-P_{o2})/(W_{IB}-P_u)=646.618/886.69=0.729<0.75$ μη αποδεκτό

$F_{av}=(W_{IB}*x+P_{w2}*x+0.40*P_{o1}*x+0.40*P_{o2}*x)/(P_{w1}*x+P_{\varphi}*x+P_u*x)=5052.66/6799.1$
 $55=0.91<1.25$ μη αποδεκτό

4^η δοκιμή: Για διαστάσεις φράγματος με πλάτος στέψης 2.50m, πλάτος
φράγματος 10.00m και κατάντη πόδα $x=2.50$ m.

$P_{w1}= 1095.2$ kN/m με μοχλοβραχίονα $x=4.93$ m

$P_{w2}= 19.46$ kN/m με μοχλοβραχίονα $x=0.66$ m

$P_{\varphi} = 5.878 \text{ kN/m}$ με μοχλοβραχίονα $x=0.86\text{m}$
 $P_u = 344.13 \text{ kN/m}$ με μοχλοβραχίονα $x=6.41\text{m}$
 $W_{IB} = 25 \cdot (7.80 \cdot 2.50 + 2.50 \cdot 7.50 + 5.30 \cdot 7.50/2) = 25 \cdot 58.125 = 1453.125 \text{ kN/m}$ με
μοχλοβραχίονα $x=5.85\text{m}$
 $P_{o1} = 290 \cdot 1 = 290 \text{ kN/m}$ μοχλοβραχίονας $x=9\text{m}$
 $P_{o2} = 280 \cdot 0.5 = 145 \text{ kN/m}$ μοχλοβραχίονας $x=1\text{m}$

$F_{o\lambda} = (P_{w1} - P_{w2} + P_{\varphi} - P_{o1} - P_{o2}) / (W_{IB} - P_u) = 646.618 / 1108.995 = 0.583 < 0.75$ αποδεκτό
 $F_{av} = (W_{IB} \cdot x + P_{w2} \cdot x + 0.40 \cdot P_{o1} \cdot x + 0.40 \cdot P_{o2} \cdot x) / (P_{w1} \cdot x + P_{\varphi} \cdot x + P_u \cdot x) = 8513.624 / 7610.264 = 1.263 < 1.25$ οριακά αποδεκτό

5^η δοκιμή: Για διαστάσεις φράγματος με πλάτος στέψης 3.00m, πλάτος φράγματος 10.00m και κατάντη πόδα $x=2.50\text{m}$.

$P_{w1} = 1095.2 \text{ kN/m}$ με μοχλοβραχίονα $x=4.93\text{m}$
 $P_{w2} = 19.46 \text{ kN/m}$ με μοχλοβραχίονα $x=0.66\text{m}$
 $P_{\varphi} = 5.878 \text{ kN/m}$ με μοχλοβραχίονα $x=0.86\text{m}$
 $P_u = 344.13 \text{ kN/m}$ με μοχλοβραχίονα $x=6.41\text{m}$
 $W_{IB} = 25 \cdot (7.80 \cdot 3.00 + 2.50 \cdot 7.00 + 5.30 \cdot 7.00/2) = 25 \cdot 59.45 = 1486.25 \text{ kN/m}$ με
μοχλοβραχίονα $x=5.832\text{m}$
 $P_{o1} = 290 \cdot 1 = 290 \text{ kN/m}$ μοχλοβραχίονας $x=9\text{m}$
 $P_{o2} = 280 \cdot 0.5 = 145 \text{ kN/m}$ μοχλοβραχίονας $x=1\text{m}$

$F_{o\lambda} = (P_{w1} - P_{w2} + P_{\varphi} - P_{o1} - P_{o2}) / (W_{IB} - P_u) = 646.618 / 1142.12 = 0.566 < 0.75$ αποδεκτό
 $F_{av} = (W_{IB} \cdot x + P_{w2} \cdot x + 0.40 \cdot P_{o1} \cdot x + 0.40 \cdot P_{o2} \cdot x) / (P_{w1} \cdot x + P_{\varphi} \cdot x + P_u \cdot x) = 9782.65 / 7610.26 = 1.29 > 1.25$ αποδεκτό

Σην διατομή λαμβάνεται υπόψη το πρόσθετο εμβαδόν λόγω της καμπυλότητας του εκχειλιστή όπως αυτό περιγράφεται στο κεφάλαιο 3.3. Εμβαδόν αυτού 10m^2 . $W_{IB} = 25 \cdot (59.45 + 10) = 1736.25 \text{ kN/m}$ με μοχλοβραχίονα $x=5.496\text{m}$.

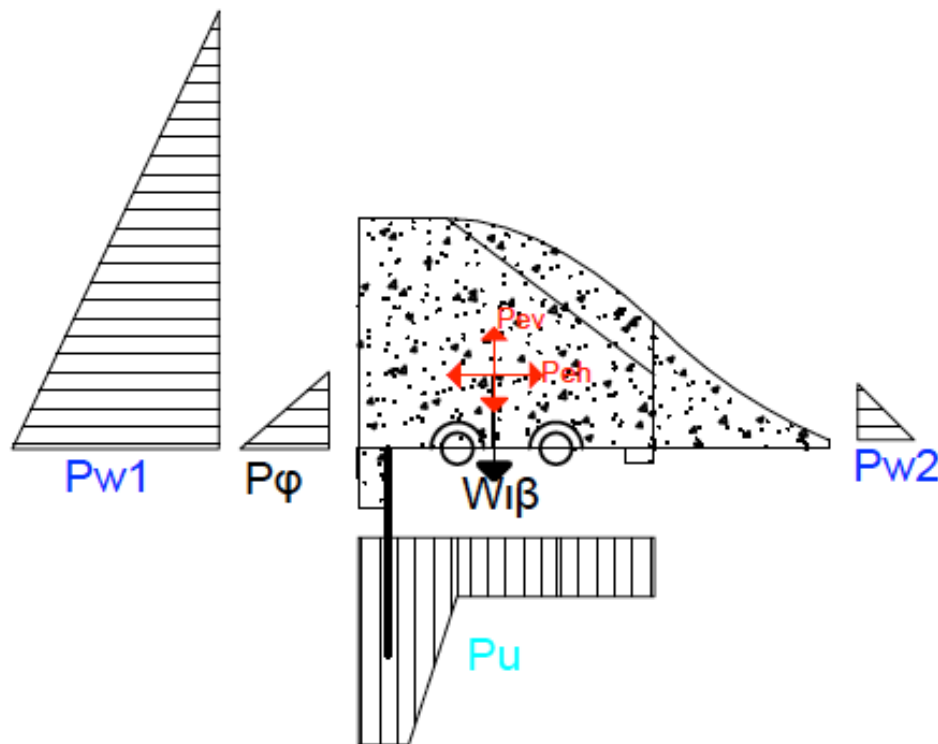
Η διατομή ελέγχεται για την περίπτωση σεισμού με $P_{eh} = 0.16 \cdot W_{IB} = 277.8 \text{ kN/m}$, $P_{ev} = 0.08 \cdot W_{IB} = 138.9 \text{ kN/m}$ με μοχλοβραχίονες $x=2.842\text{m}$ και $x=5.496\text{m}$ αντίστοιχα.

$F'_{o\lambda} = (P_{w1} - P_{w2} + P_{\varphi} - P_{o1} - P_{o2} + P_{eh}) / (W_{IB} - P_u - P_{ev}) = 924.42 / 1253.22 = 0.737 < 0.75$
αποδεκτό
 $F'_{av} = (W_{IB} \cdot x + P_{w2} \cdot x + 0.40 \cdot P_{o1} \cdot x + 0.40 \cdot P_{o2} \cdot x) / (P_{w1} \cdot x + P_{\varphi} \cdot x + P_u \cdot x + P_{eh} \cdot x + P_{ev} \cdot x) = 10657.27 / 9162.546 = 1.163 < 1.25$ μη αποδεκτό

Ο έλεγχος της ευστάθειας έναντι ανατροπής δεν είναι αποδεκτός. Για αυτό το λόγο αυξάνεται το βάθος έδρασης του ανάντη όνυχια από 1m σε 2m. $P_{o1} = 290 \cdot 2 = 580 \text{ kN/m}$. Τα υπόλοιπα δεδομένα παραμένουν ως έχουν.

$$F''_{av} = (W_{IB} \cdot x + P_{w2} \cdot x + 0.40 \cdot P_{o1} \cdot x + 0.40 \cdot P_{o2} \cdot x) / (P_{w1} \cdot x + P_{\phi} \cdot x + P_u \cdot x + P_{eh} \cdot x + P_{ev} \cdot x) = 11701.27 / 9162.54 = 1.277 > 1.25 \text{ αποδεκτό.}$$

Σύμφωνα με τις δοκιμές, το σώμα του φράγματος έχει τελικές διαστάσεις όπως αυτές αναγράφονται στην 5^η δοκιμή. Στο παρακάτω σχήμα εμφανίζονται τα φορτία που ασκούνται στην διατομή του φράγματος.



Σχήμα 3.2.2. Διατομή φράγματος βαρύτητας με τα ασκούμενα σε αυτό φορτία

3.3 Εκχειλιστής φράγματος

Εκχειλιστές (spillways) υπάρχουν σε όλα τα φράγματα για λόγους ασφαλείας. Ρόλος τους είναι να παρέχουν ελεγχόμενη έξοδο προς τα κατόντη στο νερό του ταμιευτήρα του φράγματος όταν η στάθμη ξεπεράσει κάποιο όριο. Ο τύπος και οι διαστάσεις του εκχειλιστή επιλέγονται έτσι ώστε η μέγιστη εκτιμώμενη πλημμυρική παροχή σχεδιασμού να διέρχεται αυτοτελώς από το σώμα του χωρίς να λαμβάνεται υπόψη άλλη συμπληρωματική παροχέτευση. Υπάρχουν διάφοροι τύποι εκχειλιστών φραγμάτων.

Ο πιο συνηθισμένος έχει για την κατόντη παρειά του ως πρότυπο τη μορφή του κάτω μέρους της υδάτινης φλέβας, που υπερχειλίζει από εκχειλιστή λεπτής στέψης. Με τον σχεδιασμό αυτό επιδιώκεται ομαλή ροή του νερού σε

συνεχή επαφή με την παρειά, ώστε να αποφεύγεται το φαινόμενο της σπηλαιώσης.

Η παροχή ενός εκχειλιστή αυτού του τύπου μπορεί να υπολογιστεί από τον

$$\text{τύπο: } Q = C \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot B \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

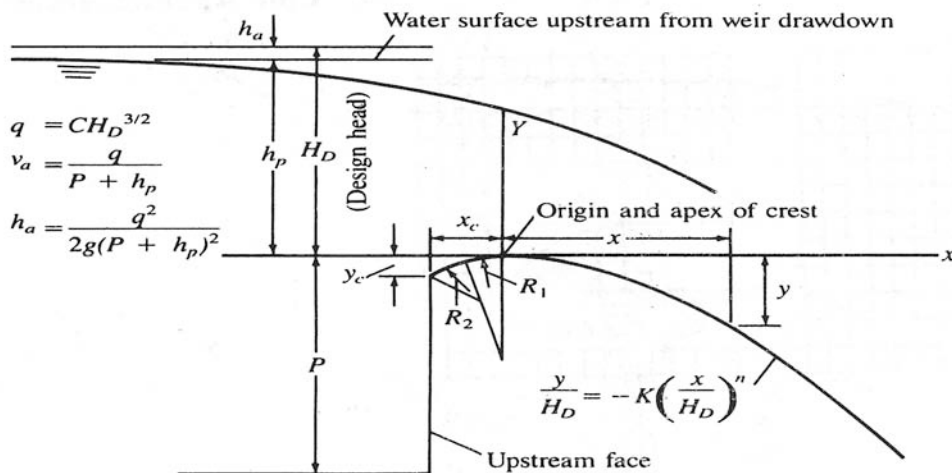
Όπου η τιμή του C υπολογίζεται από τον τύπο: $C=0.40+0.05H/P$

B το μήκος στέψης [m]

H η διαφορά στάθμης της ροής ανάντι του υπερχειλιστή και της στέψης του υπερχειλιστή [m]

g η επιτάχυνση της βαρύτητας 9.81m/s^2

P το ύψος στέψης του υπερχειλιστή



Σχήμα 3.3.1. Εκχειλιστής στέψης

Η ροή σχηματίζει μία δέσμη νερού, η κάτω παρειά της οποίας καθορίζει μία επιφάνεια πίεσης σταθερής και ίσης προς την ατμοσφαιρική. Οι συντεταγμένες $y=f(x)$ της κάτω παρειάς της υδάτινης δέσμης εξαρτάται από την παροχή που υπερχειλίζει. Εάν η κάτω παρειά της υδάτινης δέσμης στερεοποιηθεί διαμορφώνεται ένας υπερχειλιστής καμπύλης στέψης, ο οποίος σε σύγκριση με τον υπερχειλιστή λεπτού τοιχώματος έχει τα ίδια χαρακτηριστικά όμως με πολύ μεγαλύτερη αντοχή ώστε να παραλαμβάνει τις δυνάμεις που ασκεί το νερό σε αυτόν. Επί πλέον στην κατασκευή αυτή, για παροχή ίση προς την παροχή σχεδίασης, στην βρεχόμενη επιφάνεια του υπερχειλιστού επικρατεί σταθερή στατική πίεση ίση με την ατμοσφαιρική με αποτέλεσμα να είναι μηδενικές οι δυνάμεις που αναπτύσσονται σε αυτόν. Παρακάτω δίνονται στοιχεία για την χάραξη της κάτω παρειάς της ελεύθερης δέσμης δηλαδή της διατομής της καμπύλης στέψης, τα οποία ισχύουν για την συνήθη περίπτωση κατά την οποία η κινητική ενέργεια της ανάντι ροής στην διώρυγα είναι αμελητέα.

Στην περίπτωση όπου η ανάντι επιφάνεια του φράγματος είναι κάθετη ισχύουν τα εξής: $h_a=0$, $K=0.50$, $n=1.872$, $R_1=0.53H_D$, $R_2=0.235H_D$, $x_c=0.283H_D$, $y_c=0.127H_D$

Η εξίσωση εύρεσης της κάτω παρειάς της δέσμης νερού: $\frac{y}{H_D} = -K \left(\frac{x}{H_D}\right)^n$

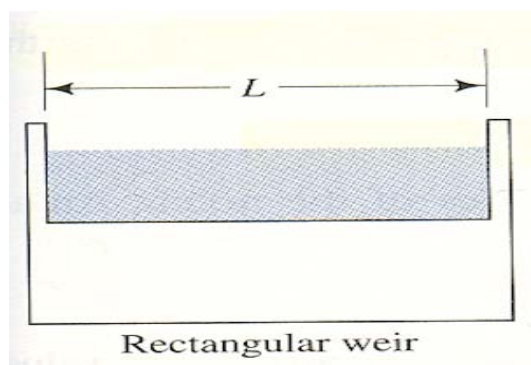
Η μορφή του υπερχειλιστού καμπύλης στέψης προκύπτει από την στερεοποίηση της καμπύλης της κάτω παρειάς της δέσμης για την παροχή σχεδιασμού του υπερχειλιστού. Άρα η μορφή του υπερχειλιστού συμπίπτει με την καμπύλη της ελεύθερης δέσμης μόνο για την παροχή σχεδιασμού για την οποία η επιφάνεια του υπερχειλιστού είναι μία επιφάνεια σταθερής πίεσης και ίσης με την ατμοσφαιρική. Έτσι για παροχές μικρότερες της παροχής σχεδιασμού θα αναπτύσσεται υπερπίεση στην επιφάνεια και για παροχές μεγαλύτερες θα αναπτύσσεται υποπίεση. Στο παρών έργο σύμφωνα με δεδομένα της υδρολογικής μελέτης για περίοδο επαναφοράς $T=100$ έτη η παροχή είναι $1500\text{m}^3/\text{sec}$. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο παράγραφο η παροχή αυτή είναι θεωρητική. Ο υπολογισμός του υδροστατικού ύψους H υπολογίζεται σύμφωνα με τον πιο πάνω τύπο.

$C=0.40+0.05H/P$ όπου $P=34-26.2=7.8\text{m}$

$1500\text{m}^3/\text{s}=(0.40+0.05*H/7.8)*(2*9.81)*H^{3/2}$

Υπολογίζεται η τιμή του $H=6.31\text{m}$

Δεύτερος τρόπος υπολογισμού και επαλήθευσης του ύψους στάθμης νερού H ανάντι του φράγματος σε περίοδο πλημμύρας με περίοδο επαναφοράς $T=100$ έτη, παροχή $Q=1500\text{m}^3/\text{sec}$, ορθογωνική διατομή εκχειλιστή πλάτους $L=48\text{m}$ όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα υπολογίζεται μέσω του τύπου: $Q = 3.33 \cdot L \cdot H^{3/2}$ όπου Q μετριέται σε ft^3/sec και L , H σε ft

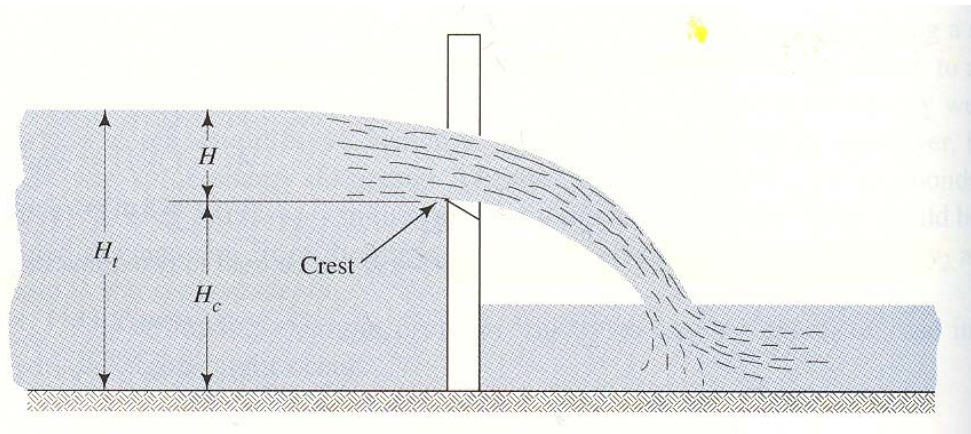


$$Q=1500\text{m}^3/\text{sec}=52972.00\text{ft}^3/\text{sec}$$

$$L=48\text{m}=157.48\text{ft}$$

$$H=(52972.00/(3.33*157.48))^{2/3}=21.689\text{ft}=6.61\text{m}$$

Σχήμα 3.3.2. Εκχειλιστής στέψης ορθογωνικής διατομής



Σχήμα 3.3.3. Εκχειλιστής

Στην συνέχεια θα υπολογιστούν χαρακτηριστικά της ροής του υπερχειλιστού. Το μήκος στέψης ισούται με $B=48m$, όλο το φράγμα είναι υπερχειλιστής, και η παροχή σχεδιασμού $Q=1500m^3/sec$.

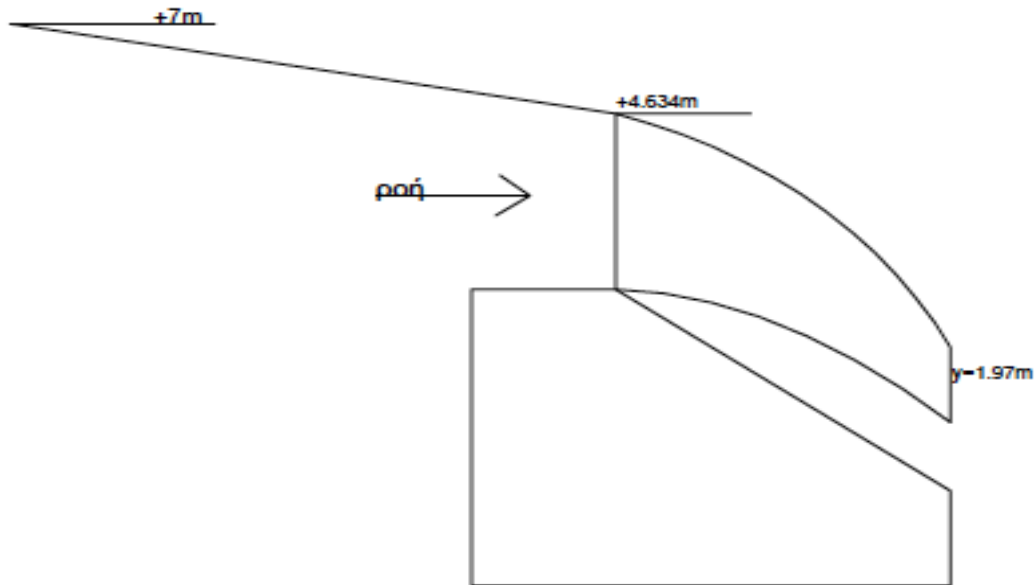
$$\frac{y}{7} = -0.50 \left(\frac{x}{7}\right)^{1.872}$$

Σε απόσταση $x=1.0m$ από την αρχή των αξόνων x,y όπως φαίνεται στο σχήμα η δέσμη νερού υπολογίζεται με y ως το ύψος της από την αρχή των αξόνων ως $y = -7 \cdot 0.50 \cdot \left(\frac{1}{7}\right)^{1.872} = -0.09163m$

Ακολουθώντας την ίδια τεχνική υπολογίζεται η κάτω παρειά της δέσμης και τα σημεία x, y από την αρχή των αξόνων παρουσιάζονται παρακάτω:

x	y
1m	-0.0916m
2m	-0.3354m
3m	-0.7165m
4m	-1.2277m
5m	-1.8643m
6m	-2.6226m
7m	-3.5m

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται γραφικά η ροή πάνω από το σώμα του φράγματος για πλημμυρική παροχή 100ετίας, $Q=1500m^3/s$.



Σχήμα 3.3.4. Ροή νερού πάνω από το φράγμα για παροχή 100ετίας

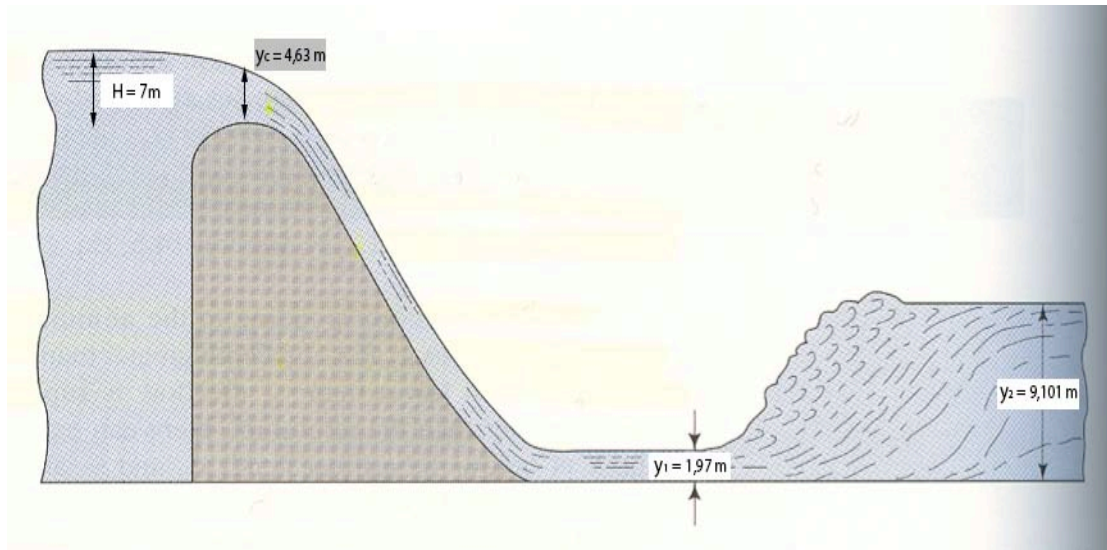
3.4 Υδραυλικό άλμα (hydraulic jump)

Το υδραυλικό άλμα είναι το φαινόμενο κατά το οποίο πραγματοποιείται μετάβαση από υπερκρίσιμη σε υποκρίσιμη ροή ή αλλιώς μετάβαση από ροή με αριθμό Froude μεγαλύτερου του ένα ($Fr > 1$) σε ροή μικρότερου του ένα ($Fr < 1$). Οι απώλειες ενέργειας προκαλούνται από τη δημιουργία έντονης τύρβης στην περιοχή μεταβολής του βάθους. Η μετάβαση από υποκρίσιμη σε υπερκρίσιμη ροή δεν δημιουργεί υδραυλικό άλμα.

Οι πιο συνήθεις περιπτώσεις δημιουργίας υδραυλικού άλματος είναι οι εξής:

1. Άλμα κατάντι θυροφράγματος.
2. Άλμα στον κατάντι πόδα εκχειλιστή.
3. Άλμα σε επικλινές δάπεδο ή πλαγιά υδραυλικής κατασκευής.

Στο πιο κάτω σχήμα παρουσιάζεται ενδεικτικά ένα υδραυλικό άλμα στην κατάντι πλευρά φράγματος με y_1 , y_2 τα ύψη στάθμης νερού σε υπερκρίσιμη και υποκρίσιμη ροή αντίστοιχα.



Σχήμα 3.4.1. Υδραυλικό άλμα για παροχή 100ετίας

Το πλάτος στέψης B είναι αρκετά μεγάλο συγκριτικά με το μέγεθος του ύψους της στάθμης νερού πλημμυρικής παροχής. Λόγω αυτού, πάνω από την στέψη η ροή θα έχει κρίσιμο βάθος. Ο Hunter Rouse έδειξε πειραματικά ότι το βάθος ροής στην πτώση ισούται με 0.715 του κρίσιμου βάθους ροής ($y=0.715 \cdot y_c$). Το y_c εμφανίζεται σε απόσταση περί τα $3y_c-4y_c$ ανάντη της πτώσης, για πρακτικούς λόγους όμως υπολογίζεται προσεγγιστικά ότι στο χείλος της πτώσης $y=y_c$.

Από τις εξισώσεις ειδικής ενέργειας για ορθογωνικής διατομής ανοικτό αγωγό αν θέσουμε $\frac{\partial E}{\partial y} = 0$, υπολογίζονται τα εξής:

$$\text{Κρίσιμο βάθος: } y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \cdot b^2}}$$

$$\text{Κρίσιμη ταχύτητα: } V_c = \sqrt{g \cdot y_c}$$

$$\text{Κρίσιμη ειδική ταχύτητα: } E_c = \frac{3}{2} y_c$$

Όπως προκύπτει από τις πιο πάνω σχέσεις, τόσο το y_c όσο και το E_c αυξάνουν με την παροχή (Q).

Πραγματοποιούνται πιο κάτω υπολογισμοί του υδραυλικού άλματος για διάφορες χαρακτηριστικές τιμές πλυμμηρικών παροχών.

1^η δοκιμή: πλημμυρική παροχή $Q=1500\text{m}^3/\text{sec}$ περιόδου επαναφοράς $T=100$ έτη, ύψος στάθμης νερού ανάντη της στέψης του φράγματος $H=7\text{m}$, πλάτος στέψης $L=48\text{m}$, εμβαδόν διατομής $A=L \cdot H=336\text{m}^2$, ταχύτητα ροής $V=Q/A=4.46\text{m}/\text{sec}$

Κρίσιμο βάθος ροής πάνω από την στέψη του φράγματος: $y_c=4.634\text{m}$

Κρίσιμη ταχύτητα ροής πάνω από την στέψη του φράγματος: $V_c=6.742\text{m}/\text{sec}$

Κρίσιμη ειδική ενέργεια: $E_c=6.951\text{m}$

Αριθμός $Fr=1$

Εφαρμόζω την εξίσωση ενέργειας για μετάβαση από την διατομή πάνω στη στέψη του φράγματος στην διατομή (1).

$$\Delta z + E_c = E_1 \quad \Rightarrow \Delta z + y_c + \frac{V_c^2}{2g} = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} \Rightarrow y_1 = 14.51m, y_1 = 1.973m, y_1 = -1.737m$$

Από τις τρεις λύσεις που υπολογίστηκαν, η τιμή $y_1=1.973m$ γίνεται δεκτή.

Η παροχή παραμένει σταθερή και η ταχύτητα ισούται με: $V_1=Q/(B \cdot y_1)=15.83m/sec$, ο αριθμός Froude: $Fr = \frac{V_1}{\sqrt{g y_1}} = \frac{15.83}{\sqrt{9.81 \cdot 1.973}} = 3.59 > 1$ (υπερκρίσιμη ροή).

Για τον υπολογισμό του βάθους ροής της διατομής (2) θα χρησιμοποιηθεί ο

εξής τύπος: $y_2 = \frac{y_1}{2} \left(\sqrt{1 + 8 \cdot Fr_1^2} - 1 \right)$

Αντικαθιστώντας στον τύπο υπολογίζεται το βάθος $y_2=9.101m$

Η ταχύτητα ροής ισούται με: $V_2=Q/A=3.43m/sec$

Η απώλεια ενέργειας υπολογίζεται ως: $E_1 - E_2 = \frac{(y_2 - y_1)^3}{(4 \cdot y_1 \cdot y_2)} = 5.04m$

Μήκος υδραυλικού άλματος:

$$L = 220 \cdot y_1 \cdot \tanh \frac{Fr_1 - 1}{22} = 220 \cdot 1.973 \cdot \tanh(0.11772) = 434.06 \cdot \frac{e^{0.11772} - e^{-0.11772}}{e^{0.11772} + e^{-0.11772}} = 50.862m$$

2^η δοκιμή: παροχή $Q=1000^3/sec$, ύψος στάθμης νερού ανάντη στέψης φράγματος $H=3.40m$, πλάτος στέψης $B=48m$, εμβαδόν διατομής $A=L \cdot H=163.2m^2$, ταχύτητα ροής $V=Q/A=6.12m/sec$.

Κρίσιμο βάθος ροής πάνω από την στέψη του φράγματος: $y_c=3.537m$

Κρίσιμη ταχύτητα ροής πάνω από την στέψη του φράγματος: $V_c=5.89m/sec$

Κρίσιμη ειδική ενέργεια: $E_c=5.3055m$

Αριθμός $Fr=1$

$$\Delta z + E_c = E_1 \Rightarrow y_1=12.97m, y_1=1.373m, y_1=-1.2417m$$

Από τις τρεις λύσεις που υπολογίστηκαν, η τιμή $y_1=1.373m$ γίνεται δεκτή.

Η παροχή παραμένει σταθερή και η ταχύτητα ισούται με: $V_1=Q/(B \cdot y_1)=15.173m/sec$, ο αριθμός Froude: $Fr = \frac{V_1}{\sqrt{g y_1}} = \frac{15.173}{\sqrt{9.81 \cdot 1.373}} = 4.13 > 1$ (υπερκρίσιμη ροή).

Βάθος ροής: $y_2=7.37m$

Ταχύτητα ροής: $V_2=Q/A=2.826m/sec$

Απώλεια ενέργειας: $E_1 - E_2=5.32m$

Μήκος υδραυλικού άλματος: $L=42.739m$

3^η δοκιμή: παροχή $Q=500^3/\text{sec}$, ύψος στάθμης νερού ανάντη στέψης φράγματος $H=2.138$ m, πλάτος στέψης $B=48$ m, εμβαδόν διατομής $A=L \cdot H=102.66\text{m}^2$, ταχύτητα ροής $V=Q/A=4.87$ m/sec.

Κρίσιμο βάθος ροής πάνω από την στέψη του φράγματος: $y_c=2.228$ m

Κρίσιμη ταχύτητα ροής πάνω από την στέψη του φράγματος: $V_c=4.67$ m/sec

Κρίσιμη ειδική ενέργεια: $E_c=3.342$ m

Αριθμός $Fr=1$

$\Delta z + E_c = E_1 \Rightarrow y_1=11.094$ m, $y_1=0.729$ m, $y_1=-0.683$ m

Από τις τρεις λύσεις που υπολογίστηκαν, η τιμή $y_1=0.729$ m γίνεται δεκτή.

Η παροχή παραμένει σταθερή και η ταχύτητα ισούται με:

$V_1=Q/(B \cdot y_1)=14.288\text{m/sec}$, ο αριθμός Froude: $Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g y_1}} = \frac{14.288}{\sqrt{9.81 \cdot 0.729}} = 5.34 >$

1 (υπερκρίσιμη ροή).

Βάθος ροής: $y_2=5.155$ m

Ταχύτητα ροής: $V_2=Q/A=2.02$ m/sec

Απώλεια ενέργειας: $E_1-E_2=5.767$ m

Μήκος υδραυλικού άλματος: $L=31.234$ m

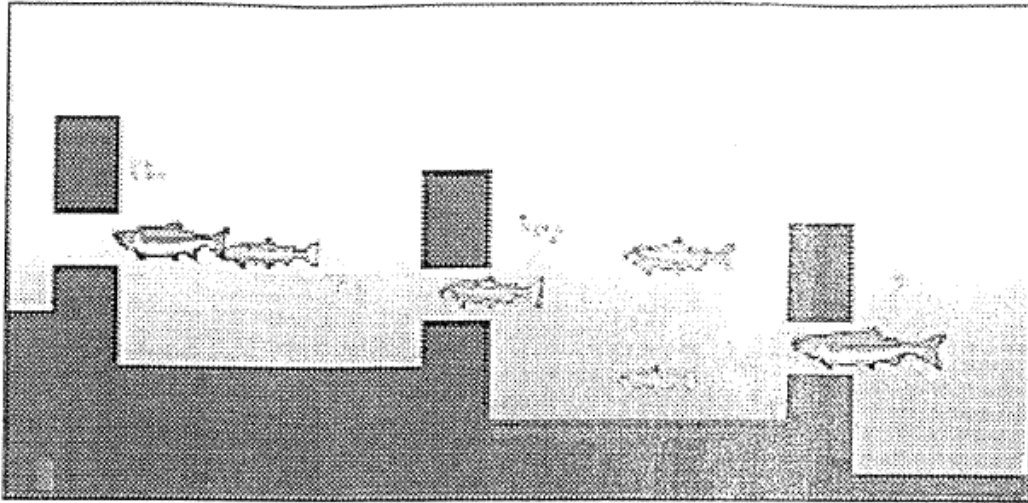
Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα των δοκιμών για την εύρεση του υδραυλικού άλματος δημιουργείται η ανάγκη κατασκευής πλάκας προστασίας του κατάντη πόδα του φράγματος καθώς οι στροβιλισμοί του άλματος θέτουν σε κίνδυνο την μελλοντική ευστάθεια του φράγματος. Η πλάκα αυτή ονομάζεται αλλιώς και λεκάνη καταστροφής ενέργειας και είναι για το παρών έργο της τάξης των 51 μέτρων μήκους.

3.5 Ιχθυόδρομος

Για την περίπτωση του φράγματος προτείνεται η κατασκευή σκάλας ιχθύων. Η ιχθυόσκαλα ξεκινά με την 1^η δεξαμενή (δεξαμενή εξισορρόπησης ή πλήρωσης), διαστάσεων μήκους 1,6 μέτρων, πλάτους 2,4 μέτρου και ύψους 1,0 μέτρου, επί του φράγματος, η οποία τροφοδοτεί το υπόλοιπο τμήμα της ιχθυόσκαλας. Η στέψη του πυθμένα της δεξαμενής είναι σε υψόμετρο +33,60 m έτσι ώστε να διατηρείται βάθος νερού ίσο με 40 cm περίπου στην είσοδο της δεξαμενής πλήρωσης.

Το κατάντη τμήμα της ιχθυόσκαλας αποτελείται από 36 δεξαμενές διαστάσεων 1,6*2,4 m. Έχει συνολικό μήκος 60,0 m περίπου. Οι πυθμένες των δεξαμενών έχουν υψομετρική διαφορά 0,20 m. Οι δεξαμενές διαχωρίζονται από εγκάρσια τοιχία, τα οποία διακόπτονται εναλλάξ σε πλάτος 0,50 m. Ο ιχθυοπληθυσμός έχει την δυνατότητα να κινείται στον πυθμένα των

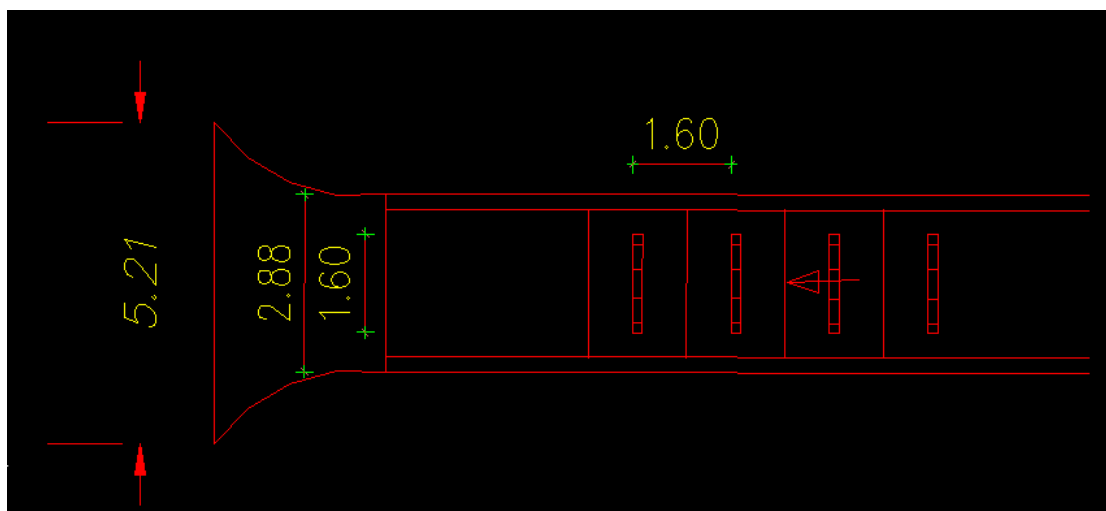
δεξαμενών, μέσω των εγκοπών και στην επιφάνεια των δεξαμενών με υπερπήδηση των κατακόρυφων τοίχων, οι οποίοι έχουν επίσης υψομετρική διαφορά 0,20 m.



Σχήμα 3.5.1. Πλάγια όψη ιχθυόδρομου

Η είσοδος της «σκάλας» θα είναι κατόντη του φράγματος και το σημείο εξόδου στη στέψη του φράγματος. Στην είσοδο της σκάλας πρέπει να υπάρχει μια κατασκευή σαν οδηγός έτσι ώστε να ψάρια να κατευθύνονται στη σκάλα. Το άνοιγμα της σκάλας προτείνεται να είναι 2,88 μέτρα και ο οδηγός 5,21 μέτρα. Η κλίση της ιχθυόσκάλας είναι ίση με 11,7%.

Σε όλο το μήκος της σκάλας πρέπει να παρεμβάλλονται ποταμοφράκτες και διαχωριστικά κάθε 1,60 μέτρα έτσι ώστε να δημιουργούνται στέρνες που να μπορούν να ξεκουράζονται τα ψάρια κατά την άνοδο και να ρυθμίζεται η κυκλοφορία του νερού. Οι ποταμοφράκτες θα τοποθετηθούν στο κέντρο της σκάλας και θα έχουν πλάτος 1,60 μέτρα.



Σχήμα 3.5.2. Κάτοψη σκάλας όπου διακρίνεται η είσοδος της και η διάταξη των ποταμοφρακτών

Υδραυλικοί υπολογισμοί

Η τροφοδοσία με νερό των επί μέρους δεξαμενών της ιχθυόσκαλας (ανάντη και κατάντη του φράγματος), επιτυγχάνεται μέσω της δεξαμενής πλήρωσης-εξισορρόπησης, η στάθμη της οποίας διατηρείται συνεχώς στο υψόμετρο 34,0. Το υψόμετρο αυτό αποτελεί την ανώτατη στάθμη λειτουργίας του έργου η οποία όπως προαναφέρθηκε, με βάση και το σχεδιασμό του έργου, θα διατηρείται σταθερή.

Η διόδευση της παροχής από δεξαμενή σε δεξαμενή, εξασφαλίζεται μέσω του ανοίγματος των τοιχίων των 0,50 m με καταβιβασμό της στάθμης κατά 0,20 m. Η μέγιστη στάθμη νερού μέσα σε κάθε δεξαμενή φτάνει το 1,0 m, και η μέγιστη παροχεταιυτικότητα τα 0,30 m³/sec. Σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία η καταναλισκόμενη ισχύς από δεξαμενή σε δεξαμενή δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 300 W/m³.

Στην περίπτωση μας είναι : $I=9,81*Q*H=9,81*0,30*0,20=0,589 \text{ kW}=589 \text{ W}$. Άρα, ο απαιτούμενος όγκος δεξαμενών $589/300 \sim 2 \text{ m}^3$. Οι διαστάσεις των δεξαμενών που έχουν επιλεγεί έχουν όγκο $\gg 2 \text{ m}^3$, επομένως βρίσκονται από την πλευρά της ασφάλειας.

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς για την λειτουργία της ιχθυόσκαλας απαιτείται η ποσότητα των 300 lt/sec περίπου. Η υπόλοιπη ποσότητα της οικολογικής παροχής θα αποδεσμεύεται στην φυσική κοίτη του ποταμού είτε μέσω του υπερχειλιστή είτε μέσω κατάλληλη διάταξης επί του σώματος του φράγματος.

4. Μελέτη αγωγού προσαγωγής

4.1 Επιλογή υλικού αγωγού προσαγωγής

Το υλικό του αγωγού εξαρτάται από χαρακτηριστικά όπως η παροχή, το μανομετρικό ύψος και το έδαφος έδρασης του αγωγού. Πιο γενικά σε μικρά ΥΗΕ χρησιμοποιούνται σωλήνες από χάλυβα, αμίαντο, πλαστικό, ελατό χυτοσίδηρο, GRP, πολυαιθυλένιο ή οπλισμένο σκυρόδεμα. Παρακάτω αναφέρονται τα χαρακτηριστικά του κάθε υλικού με γνώμονα πάντα το εξεταζόμενο μικρό ΥΗΕ.

- Οι πλαστικοί σωλήνες από εύκαπτο πολυαιθυλένιο, πολυπροπυλένιο ή PVC χρησιμοποιούνται για μικρές παροχές της τάξης των $0.03\text{m}^3/\text{sec}$ και μανομετρικό ύψος $h < 100-150\text{m}$. Πλεονεκτήματα για την χρήση τους είναι το μικρό βάρος, μικρό κόστος, ευκολία στην κατασκευή του αγωγού προσαγωγής ενώ μειονέκτημα είναι η γρήγορη γύρασή τους όταν εκτίθενται σε υπεριώδη ακτινοβολία.
- Οι πλαστικοί σωλήνες από υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο γνωστοί και ως HDPE έχουν αντοχή σε ονομαστική πίεση έως 220bar. Η ένωση των τμημάτων γίνεται είτε με ηλεκτροσυγκόληση θερμαίνοντας τα δύο άκρα με ηλεκτρομούφα είτε με μετωπική θερμική συγκόληση. Τυποποιημένα χαρακτηριστικά HDPE σωληνών: διάμετρος 50 έως 630mm και ονομαστική πίεση λειτουργίας 6 έως 32bar.
- Οι αμιαντοσωλήνες χρησιμοποιούνται για παροχές έως $0.2\text{m}^3/\text{sec}$ και $h < 160\text{m}$. Μειονεκτήματα στην χρήση τους είναι η έλλειψη ελαστικότητας και για τον λόγο αυτό δεν εγκαθίστανται σε επικλινείς έδαφος ή ασταθές. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι η σύνδεσή τους η οποία απαιτεί ειδικούς συνδέσμους μορφής χιτωνίου με στεγανωτικούς δακτυλίους. Αυτά τα εξαρτήματα δυσκολεύουν και αυξάνουν τον χρόνο κατασκευής προσδίδοντας τοπικές απώλειες ενέργειας.
- Οι αγωγοί από οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιούνται για υδραυλικές πτώσεις ύδατος έως τριάντα τριών μέτρων (33m). Βασικό πλεονέκτημα είναι η ευκολία κατασκευής μη τυποποιημένων μεγάλων διατομών. Μειονέκτημα θεωρείται ο χρόνος που απαιτεί το σκυρόδεμα, έναντι των άλλων υλικών, για να υποβληθεί σε φορτία λειτουργίας.
- Οι χαλυβδοσωλήνες χρησιμοποιούνται στα περισσότερα μικρά και μεγάλα ΥΗΕ. Πλεονεκτήματα τους είναι οι ευκολία επί του έργου συγκόλησης, ελαστικότητα, αντοχή σε μεγάλες τιμές πιέσεων, ευκολία εύρεσης των εξαρτημάτων τους στο εμπόριο. Τυποποιημένοι διάμετροι χαλυβδοσωληνών κατασκευάζονται από 8 έως 3000mm.
- Οι σωλήνες από ελατό χυτοσίδηρο έχουν πιο περιορισμένο εύρος διαμέτρου σε σχέση με τους χαλυβδοσωλήνες. Δεν απαιτούν επιτόπου συγκόληση και η σύνδεσή τους είναι γρήγορη και απλή

χρησιμοποιώντας συνδέσμους (αρσενικά-θυληκά) και ελαστικά μέρη που εξασφαλίζουν την στεγανότητα. Η εσωτερική επιφάνεια προσφέρει, σε αν τίθεση με την εξωτερική, πολύ μικρές τιμές τραχύτητας ($\epsilon = 0,03-0,1\text{mm}$). Τυποποιημένοι σωλήνες από ελατό χυτοσίδηρο υπάρχουν στο εμπόριο σε διαμέτρους από 60 έως 2000mm, σε μήκη 6m και ονομαστικές πιέσεις 25 έως 65bar.

- Οι σωλήνες GRP (glass reinforced plastic) κατασκευάζονται από ίνες γυαλιού περιτυλιγμένες σε σπειροειδή μορφή προσφέροντας αυξημένη αντοχή σε αξονική και περιφερειακή φόρτιση αλλά και μειωμένες κατά πολύ υδραυλικές απώλειες. Η σύνδεσή τους απαιτεί συνδέσμους μορφής χιτωνίου και ελαστικές φλάντζες για την στεγανότητά τους. Πλεονεκτήματα των GRP σωληνών είναι το μικρό βάρος, η ευκολία εγκατάστασης, η ανθεκτικότητα σε διάβρωση. Μειονεκτήματα είναι η μικρή αντοχή σε θλιπτικές εξωτερικές δυνάμεις, το περιορισμένο εύρος ονομαστικής πίεσης και η μικρή ακαμψία του υλικού. Τυποποιημένα χαρακτηριστικά GRP είναι τα εξής: διαμέτροι 100 έως 3000mm, μήκη 6,12,18m και ονομαστικές πιέσεις λειτουργίας 6 έως 32 bar.

Η επιλογή του υλικού θα γίνει ύστερα από δοκιμές ως προς τις ολικές υδραυλικές απώλειες του καθενός από τη θέση υδροληψίας έως τη θέση των υδροστροβίλων. Η ταχύτητα ροής θα αλλάζει για την εύρεση της χρυσής τομής μεταξύ υδραυλικών απωλειών, διαστάσεων διατομής και οικονομίας κατασκευής. Δεδομένο θεωρείται ότι για σταθερή τιμή παροχής, όσο μικρότερη η διατομή τόσο μεγαλύτερη η απώλεια ισχύος του ΥΗΕ και η δαπάνη που αντιστοιχεί σε αυτή.

Η επιλογή υλικού του αγωγού προσαγωγής θα εξαρτηθεί από:

- τις υδραυλικές απώλειες που δημιουργεί το κάθε υλικό σε διαφορετικές διαμέτρους και ταχύτητες ροής νερού.
- οικονομικά στοιχεία προμήθειας, κατασκευής και συντήρησης του κάθε υλικού.
- Την επιλογή κατασκευής ενός ενιαίου αγωγού ή τριών ανεξάρτητων αγωγών για τους τρεις υδροστροβίλους του ΥΗΕ.

Η επιλογή της βέλτιστης διαμέτρου αγωγού προκύπτει όταν περιορίζονται οι υδραυλικές απώλειες σε ποσοστό 3 έως 5% του ύψους πτώσεως H. Σύμφωνα με τους Gordon και Penman η επιλογή διαμέτρου καθορίζεται σύμφωνα με την σχέση: $D=0.72 * Q^{0.5}$

Άλλη έρευνα δίνει την βέλτιστη διάμετρο σύμφωνα με τον τύπο: $D=0.7307 * N^{0.43}/H^{0.63}$

Άλλος εμπειρικός τύπος δίνει την βέλτιστη ταχύτητα ροής του νερού: $c=k_c (2 * g * h)^{0.5}$ με $k_c=0.07-0.125$

4.2 Αγωγός προσαγωγής

4.2.1. Γραμμικές απώλειες αγωγού μήκους L=550m

Σε αυτό το υποκεφάλαιο καταγράφονται οι δοκιμές που πραγματοποιούνται για διάφορα υλικά και διατομές αγωγών. Υπολογίζονται οι υδραυλικές απώλειες που αναπτύσσονται κατά μήκος του αγωγού (γραμμικές απώλειες) αλλά και σε σημεία αλλαγής κατεύθυνσης, στα διάφορα εξαρτήματα και όργανα ελέγχου (τοπικές απώλειες). Οι δοκιμές χρησιμοποιούν μεθόδους και τύπους των Darcy-Weisbach, Reynolds, Moody.

Εξίσωση Darcy-Weisbach

$$h_f = f \frac{L}{D_h} \frac{V^2}{2g}$$

Εξισώσεις που συνδέουν τα V, Q, D_h, ν και Re

$$Re = \frac{V}{\nu} D_h$$

$$Q = A V = \pi \frac{D_h^2}{4} V$$

Δοκιμή σε αγωγό GRP (glass reinforced plastic) με διατομή **DN=2400mm**. Σχεδιάζεται παράλληλη διάταξη τριών αγωγών από τη θέση υδροληψίας έως των υδροστροβίλων με μέγιστη παροχή λειτουργίας Q=23.6m³/sec. Επιφάνεια διατομής A= π*R²=3.14*1.2²=4.522m², ταχύτητα ροής V=Q/A=23.6/4.522=5.22m/sec και αριθμός Reynolds Re=V*D/ν= 1.25*10⁷.

Η τραχύτητα του υλικού ισούται με k_s=0.0015-0.01 και η απόλυτη τραχύτητα k_s/D =6.25*10⁻⁷-4.16*10⁻⁶. Σύμφωνα με το διάγραμμα Moody ο συντελεστής f ισούται με f=0.0079.

Οι γραμμικές απώλειες υπολογίζονται ως εξής: h_f=f * L * V²/(D * 2 * g)=2.54m
Δοκιμή σε αγωγό GRP διατομής **DN=3000mm** και παροχής Q=23.6m³/sec. A=π*R²=7.065m², V=Q/A=3.34m/sec, Re=V*D/ν=9.97*10⁶. Τραχύτητα ίση με την παραπάνω δοκιμή και σύμφωνα με το διάγραμμα Moody ο συντελεστής f=0.0082. Οι γραμμικές απώλειες υπολογίζονται ίσες με h_f=0.855m.

Δοκιμή σε αγωγό GRP ειδικής παραγγελίας με διατομή **DN=4000mm** και παροχή Q=23.6*3=70.8m³/sec. Επιφάνεια διατομής A=12.56m², ταχύτητα ροής V=Q/A=5.63m/sec, σχετική τραχύτητα k_s/D=0.0015mm/4000mm=3.75*10⁻⁷, αριθμός Reynolds Re=2.24*10⁷, συντελεστής σύμφωνα με διάγρ. Moody f=0.008.

Οι υδραυλικές γραμμικές απώλειες υπολογίζονται ίσες με: h_f=1.77m.

Για την ίδια διατομή αγωγού (DN=4000mm) αλλά με σχεδιασμό για τρεις αγωγούς σε παράλληλη διάταξη με μέγιστη παροχή για τον καθένα Q=23.6m³/sec, ταχύτητα ροής V=Q/A=1.87m/sec, σχετική τραχύτητα

$k/D=0.0015/4000=3.75 \cdot 10^{-7}$, αριθμός Reynolds $Re=7.48 \cdot 10^6$, συντελεστής f σύμφωνα με το διάγραμμα Moody $f=0.0085$.

Οι υδραυλικές γραμμικές απώλειες υπολογίζονται ίσες με: $h_f=0.208m$

Στην τελευταία δοκιμή υπολογίστηκαν γραμμικές απώλειες σχεδόν αμελητέες για το ύψος πτώσεως το οποίο είναι πολύ θετικό. Η παράλληλη διάταξη τριών αγωγών διαμέτρου 4m έκαστος προυποθέτει την κατασκευή ενός καναλιού πλάτους μεγαλύτερου των 12m, καθώς επίσης η προμήθεια 3X550m αγωγού με διατομή ειδικής παραγγελίας αυξάνει κατά πολύ τον προυπολογισμό του έργου (>2 εκατ. ευρώ).

Δοκιμή σε αγωγό από ελατό χυτοσίδηρο. Η μέγιστη κατασκευαστικά διατομή είναι **DN=2000mm** και υπολογίζονται τρεις αγωγοί σε παράλληλη διάταξη με παροχή $Q=23.6m^3/sec$ ο καθένας. Επιφάνεια διατομής $A= \pi \cdot R^2=3.14m^2$, τραχύτητα υλικού $k_s=0.03-0.1mm$, σχετική τραχύτητα $K_s/D=1.5 \cdot 10^{-5}$ έως $5 \cdot 10^{-5}$, ταχύτητα ροής $V=Q/A=7.51m/sec$, αριθμός Reynolds $Re=1.5 \cdot 10^7$, συντελεστής $f=0.0021-0.0027$.

Οι υδραυλικές απώλειες για αυτό το υλικό αγωγού και για μήκος 550m είναι ίσες με $h_f=1.66$ έως $2.134m$ ανάλογα με τη τραχύτητα.

Δοκιμές σε αγωγό από χάλυβα με τραχύτητα $k_s=0.05-0.10mm$:

1^η Διατομή **DN=2500mm** και παροχή $Q=23.6m^3/sec$.

Οι αγωγοί είναι τρεις σε παράλληλη διάταξη. Επιφάνεια διατομής $A=4.9m^2$, σχετική τραχύτητα $k_s/D=2 \cdot 10^{-5}-4 \cdot 10^{-5}$, ταχύτητα ροής $V=Q/A=4.81m/sec$ και αριθμός Reynolds $Re=1.19 \cdot 10^7$. Ο αριθμός $f=\lambda$ από το διάγραμμα Moody ισούται με $f=0.0095$ και $f=0.0105$ για τραχύτητες 0.05mm και 0.10mm αντίστοιχα. Υδραυλικές απώλειες $h_f=2.46$ έως $2.72m$.

2^η Διατομή **DN=3000mm** και $Q=23.6m^3/sec$.

Οι αγωγοί είναι τρεις σε παράλληλη διάταξη. Επιφάνεια διατομής $A=7.065m^2$, σχετική τραχύτητα $k_s/D=1.66 \cdot 10^{-5}-3.33 \cdot 10^{-5}$, ταχύτητα ροής $V=Q/A=3.34m/sec$ και αριθμός Reynolds $Re=9.97 \cdot 10^6$. Ο αριθμός $f=\lambda$ από το διάγραμμα Moody ισούται με $f=0.0094$ και $f=0.0103$ για τραχύτητες 0.05mm και 0.10mm αντίστοιχα. Υδραυλικές απώλειες $h_f=0.98$ έως $1.07m$.

3^η Για την ίδια διατομή αγωγού αλλά με τραχύτητα $k=0.15-0.2mm$ που αντιστοιχεί σε χαλύβδινο αγωγό με ελαφρά φθορά, υπολογίζονται η σχετική τραχύτητα $k/D=0.00005-0.000066$ και συντελεστής από διάγραμμα Moody $f=0.0109-0.0114$. Υδραυλικές γραμμικές απώλειες $h=1.136-1.19m$

Κριτήριο για την επιλογή υλικού του αγωγού είναι το σχήμα και η κατασκευαστική ευκολία αυτού. Όσον αφορά τους ανοικτούς αγωγούς το ημικυκλικό είναι το σχήμα διατομής το οποίο μεγιστοποιεί την παροχή όμως οι ορθογωνικές και τραπεζοειδής διατομές κατασκευάζονται πιο εύκολα σε ένα

πραγματικό έργο. Η διατομή που παροχετεύει τη μέγιστη παροχή ονομάζεται υδραυλικώς οικονομική διατομή και επιβεβαιώνεται ελαχιστοποιώντας τη βρεχόμενη περίμετρο [P]. Η συνθήκη ελαχιστοποίησης της P είναι: $\frac{\partial P}{\partial h}=0$.

Για τους ανοικτούς αγωγούς η οικονομικότερη ορθογωνική διατομή είναι όταν ισχύει $h=b/2$ με πλάτος b και ύψος h και αποδεικνύεται παρακάτω.

$$P=b+2h, A=bh, \frac{\partial P}{\partial h}=0 \Rightarrow -\frac{A}{h^2} + 2 = 0 \Rightarrow \frac{b}{h} = 2 \Rightarrow h = b/2$$

Για τους ανοικτούς αγωγούς η οικονομικότερη τραπέζοειδής διατομή είναι όταν ισχύει $h = \frac{\sqrt{3}}{2}b$.

$$P = \frac{A}{h} + h \frac{2-\sin \varphi}{2 \cos \varphi}$$

$$\frac{\partial P}{\partial h}=0 \Rightarrow -\frac{A}{h^2} + \frac{2-\sin \varphi}{\cos \varphi} = 0 \Rightarrow h = \sqrt{\frac{A \cos \varphi}{2-\sin \varphi}}$$

Θέτοντας $\varphi=0$ καταλήγουμε στην ορθογωνική διατομή. Για να βρούμε σε ποια γωνία αντιστοιχεί η υδραυλικώς οικονομικότερη τραπέζοειδής διατομή παραγωγίζουμε την σχέση ως προς φ .

$$\frac{\partial P}{\partial \varphi} = \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{2-\sin \varphi}{\cos \varphi} \right) = 0 \Rightarrow -\cos^2 \varphi + 2 \sin \varphi - \sin^2 \varphi = 0 \Rightarrow \sin \varphi = \frac{1}{2} \rightarrow \varphi = 30$$

Συνεπώς το βάθος ροής για $\varphi=30$ θα είναι: $h = \frac{\sqrt{3}}{2}b$.

Για τους κλειστούς αγωγούς ισχύει ότι η οικονομικότερη ορθογωνική διατομή είναι όταν ισχύει $b=h$ δηλαδή τετραγωνική διατομή.

$$P=2b+2h, A=bh, \frac{\partial P}{\partial h}=0 \Rightarrow -2\frac{A}{h^2} + 2 = 0 \Rightarrow 2\frac{b}{h} = 2 \Rightarrow h = b$$

Οι ορθογωνικές, τετραγωνικές και τραπέζοειδής διατομές επιτυγχάνονται με την χρήση οπλισμένου σκυροδέματος ως υλικό αγωγού καθώς είναι εύκολο στην κατασκευή του. Η κυκλική διατομή επιλέγεται για τα υλικά αγωγών που ανφέρθηκαν πιο πάνω.

Δοκιμές σε αγωγό από οπλισμένο σκυρόδεμα όπου εξετάζονται διάφορες ταχύτητες ροής και διαστάσεις ορθογωνικής και τετραγωνικής διατομής τραχύτητας $\varepsilon=0.3-0.8\text{mm}$ για λεία επιφάνεια μπετού. $Q=23.6*3=70.8\text{m}^3/\text{sec}$

1^η Διατομή αγωγού: b=6m, h=3m

$$A=bh=18\text{m}^2$$

$$V=Q/A=3.93\text{m}/\text{sec}$$

$$D_h = \frac{4*A}{P} = 2bh/(b+h)=4$$

$$Re=V*D_h/\nu=15644904.5$$

$$\varepsilon/D_h=0.000075-0.0002$$

$$f=0.0115-0.0138$$

$$h_f=1.24-1.49\text{m}$$

2^η Διατομή αγωγού: b=5.5m, h=2.6m

$$\begin{aligned}A &= b h = 14.3 \text{m}^2 \\V &= Q/A = 4.95 \text{m/sec} \\D_h &= 3.53 \text{m} \\Re &= 1.74 \cdot 10^7 \\ \varepsilon/D_h &= 8.49 \cdot 10^{-5} - 2.26 \cdot 10^{-4} \\f &= 0.0117 - 0.0141 \\h_f &= 2.27 - 2.74 \text{m}\end{aligned}$$

3^η Διατομή αγωγού: b=6.8m, h=3.45m

$$\begin{aligned}A &= b h = 23.46 \text{m}^2 \\V &= Q/A = 3.02 \text{m/sec} \\D_h &= 4.577 \text{m} \\Re &= 1.37 \cdot 10^7 \\ \varepsilon/D_h &= 6.55 \cdot 10^{-5} - 1.75 \cdot 10^{-4} \\f &= 0.0113 - 0.0134 \\h_f &= 0.63 - 0.75 \text{m}\end{aligned}$$

4^η Διατομή αγωγού: b=5.6m, h=2.8m

$$\begin{aligned}A &= b h = 15.68 \text{m}^2 \\V &= Q/A = 4.51 \text{m/sec} \\D_h &= 3.73 \text{m} \\Re &= 1.675 \cdot 10^7 \\ \varepsilon/D_h &= 8.04 \cdot 10^{-5} - 2.14 \cdot 10^{-4} \\f &= 0.0116 - 0.014 \\h_f &= 1.77 - 2.14 \text{m}\end{aligned}$$

5^η Διατομή αγωγού: b=8.85m, h=4m

$$\begin{aligned}A &= b h = 35.4 \text{m}^2 \\V &= Q/A = 2 \text{m/sec} \\D_h &= 5.51 \text{m} \\Re &= 1.096 \cdot 10^7 \\ \varepsilon/D_h &= 5.44 \cdot 10^{-5} - 1.45 \cdot 10^{-4} \\f &= 0.011 - 0.013 \\h_f &= 0.22 - 0.26 \text{m}\end{aligned}$$

6^η Διατομή αγωγού: b=4.5m, h=4.5m

$$\begin{aligned}A &= b h = 20.25 \text{m}^2 \\V &= Q/A = 3.49 \text{m/sec} \\D_h &= 4.5 \text{m} \\Re &= 1.56 \cdot 10^7 \\ \varepsilon/D_h &= 6.66 \cdot 10^{-5} - 1.77 \cdot 10^{-4} \\f &= 0.0113 - 0.0135 \\h_f &= 0.86 - 1.02 \text{m}\end{aligned}$$

7^η Διατομή αγωγού: b=4.8m, h=4.8m

$$A=b \cdot h=23.04\text{m}^2$$

$$V=Q/A=3.07\text{m/sec}$$

$$D_h=4.8\text{m}$$

$$Re=1.47 \cdot 10^7$$

$$\varepsilon/D_h=6.25 \cdot 10^{-5}-1.66 \cdot 10^{-4}$$

$$f=0.0112-0.0133$$

$$h_f=0.62-0.73\text{m}$$

8^η Διατομή αγωγού: b=5m, h=5m

$$A=b \cdot h=25\text{m}^2$$

$$V=Q/A=2.83\text{m/sec}$$

$$D_h=5\text{m}$$

$$Re=1.408 \cdot 10^7$$

$$\varepsilon/D_h=6 \cdot 10^{-5}-1.6 \cdot 10^{-4}$$

$$f=0.0111-0.0132$$

$$h_f=0.49-0.59\text{m}$$

4.2.2. Τοπικές απώλειες αγωγού

Οι τοπικές απώλειες προκαλούνται από εξαρτήματα αγωγών, ειδικές διαμορφώσεις, καμπύλα τμήματα, στόμια εισόδου, συστολές και διαστολές διατομών.

Στο παρών έργο εμφανίζονται τοπικές απώλειες στην θέση υδροληψίας και πιο συγκεκριμένα στο σημείο εισόδου του νερού στον αγωγό προσαγωγής. Οι τοπικές απώλειες τέτοιας μορφής υπολογίζονται βάσει του τύπου: $h=K \cdot V^2/2 \cdot g$ Όπου K ο συντελεστής αντίστασης, V η ταχύτητα ροής στον αγωγό και $g=9.81\text{m/s}^2$ η επιτάχυνση της βαρύτητας.

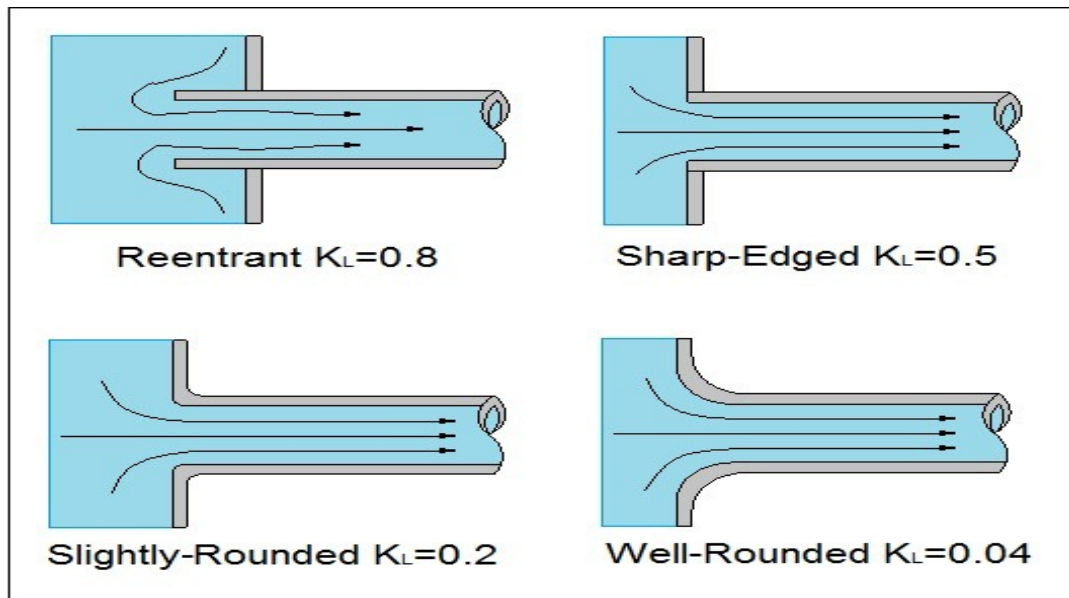
Για διάφορα σχήματα του στομίου εισόδου υπολογίζονται διαφορετικά ποσά απωλειών και η παρακάτω εικόνα δείχνει τον συντελεστή K για κάθε ένα από τα σχήματα αυτά.

Για στόμιο αναρρόφησης από δεξαμενή που προεκτείνεται σε αυτήν η τιμή του K λαμβάνεται για οξείες ακμές $K=2.5-3$ και για στρογγυλεμένες ακμές $K=0.6-1$.

Για στόμιο αναρρόφησης που δεν προεξέχει από το τοίχωμα η τιμή του K λαμβάνεται για οξείες ακμές $K=0.5$ και για στρογγυλεμένες $K=0.2$.

Για στόμιο με ακτίνα $R>0.2D$ η τιμή του K λαμβάνεται ίση με $K=0.04$

R/D	K
0	0.50
0.02	0.28
0.04	0.24
0.06	0.15
0.10	0.09
>0.15	0.04



Σχήμα 4.2.2.1. Διατομές στόμιων εισόδου

Υπολογίζονται οι τοπικές απώλειες στο στόμιο αναρρόφησης που δεν προεξέχει από το τοίχωμα με συντελεστές αντίστασης $K=0.04$ και $K=0.2$. Για ταχύτητες ροής $V=2.5\text{m/sec}$, $V=3\text{m/sec}$, $V=3.5\text{m/sec}$.

- $V=2.5\text{m/sec}$, $K=0.04$
 $h=0.013\text{m}$
- $V=2.5\text{m/sec}$, $K=0.2$
 $h=0.063\text{m}$
- $V=3\text{m/sec}$, $K=0.04$
 $h=0.018\text{m}$
- $V=3\text{m/sec}$, $K=0.2$
 $h=0.092\text{m}$
- $V=3.5\text{m/sec}$, $K=0.04$
 $h=0.025\text{m}$
- $V=3.5\text{m/sec}$, $K=0.2$
 $h=0.125\text{m}$

Οι τοπικές απώλειες του αγωγού κατάντι των υδροστροβίλων μπορούν να υπολογιστούν με τον ίδιο τύπο για συντελεστή αντίστασης $K=1$.

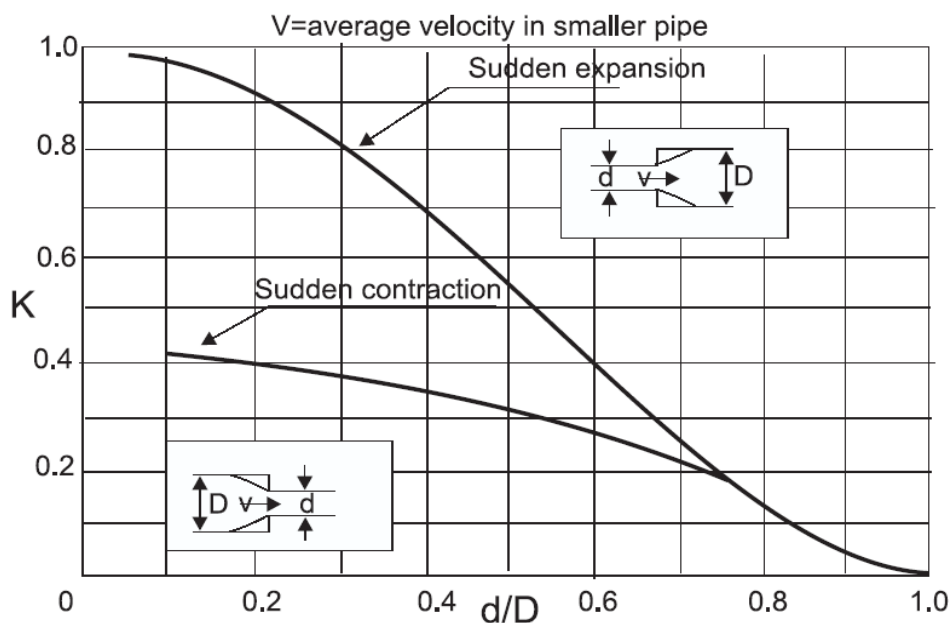
$$h = 1.0 \frac{V^2}{2g}$$

Για $V=2.5\text{m/sec}$ $h=0.32\text{m}$

Για $V=3\text{m/sec}$ $h=0.46\text{m}$

Για $V=3.5\text{m/sec}$ $h=0.62\text{m}$

Απώλειες ενέργειας εμφανίζονται σε ξαφνική συστολή διατομής εξαιτίας της αύξησης της ταχύτητας του νερού στον αγωγό και των στροβιλισμών που δημιουργούνται λόγω της αλλαγής της γεωμετρίας. Ο ακριβής υπολογισμός των τοπικών απωλειών αυτών είναι σχεδόν αδύνατος αλλά κατά προσέγγιση χρησιμοποιείται ο συντελεστής αντίστασης K ο οποίος εξαρτάται από τον λόγο των διατομών A_1/A_2 (ή d/D). Ο παρακάτω πίνακας δείχνει την σχέση μεταξύ των τιμών του συντελεστή K και του λόγου d/D .



Σχήμα 4.2.2.2. Συστολή και διαστολή διατομής αγωγού

Η σχέση υπολογισμού των τοπικών απωλειών σε απότομη συστολή αγωγού (διατομή από D σε d ή A_1 σε A_2) είναι η ακόλουθη: $h = K \frac{V_2^2}{2g}$

Για λόγο διατομών $d/D \leq 0.76$ ο συντελεστής αντίστασης K υπολογίζεται βάσει του τύπου: $K = 0.42 \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)$

Για λόγο διατομών $d/D > 0.76$ ο συντελεστής αντίστασης K υπολογίζεται βάσει του τύπου: $K = \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2 = \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)^2$

Σε ξαφνική αύξηση της διατομής του αγωγού εμφανίζονται τοπικές απώλειες οι οποίες υπολογίζονται από τον τύπο:

$$h = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} = \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2 \frac{V_1^2}{2g} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \frac{V_1^2}{2g}$$

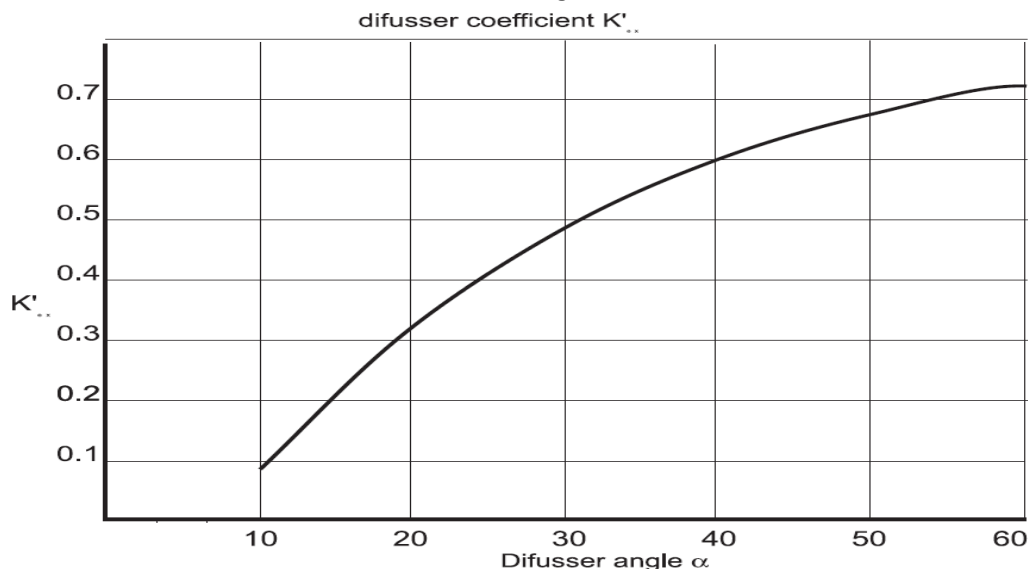
όπου V_1 η ταχύτητα ροής στον αγωγό με διατομή d ή A_1 .

Οι υδραυλικές απώλειες είναι δυνατόν να μειωθούν χρησιμοποιώντας βαθμιαία αύξηση ή μείωση διατομής.

Εμπειρικές τιμές του συντελεστή K για διαφορετικές γωνίες του κώνου συστολής (confuser) δίνονται ως εξής:

Γωνία	K
30°	0.02
45°	0.04
60°	0.07

Για τον κώνο διεύρυνσης (diffuser) η ανάλυση το φαινομένου είναι πιο πολύπλοκη. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τις τιμές του συντελεστή αντίστασης (K) για διάφορες γωνίες (α) του κώνου διεύρυνσης. Οι υδραυλικές απώλειες υπολογίζονται από τον τύπο: $h = K \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$



Σχήμα 4.2.2.3. Συντελεστής αντίστασης K για διάφορες γωνίες (α) του κώνου διεύρυνσης

Ο αγωγός που καταλήγει σε δεξαμενή θεωρείται εξαιρετική περίπτωση διεύρυνσης διατομής όπου η ταχύτητα ροής V_2 ισούται με μηδέν (0) και ο συντελεστής αντίστασης K ισούται με ένα (1).

Αντίθετα η είσοδος του νερού από δεξαμενή σε αγωγό θεωρείται εξαιρετική περίπτωση συστολής και περιγράφεται πιο πάνω στο ίδιο κεφάλαιο.

Μια άλλη θεωρία υπολογισμού του συντελεστή αντίστασης K για βαθμιαίες διαστολές αγωγών (από διατομή d σε D) με γωνία θ του κώνου διαστολής δίνει τους παρακάτω τύπους:

$$K = 2.6 \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2 \text{ για } \theta < 45^\circ$$

$$K = \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2 \text{ για } \theta \geq 45^\circ$$

Η ίδια θεωρία για βαθμιαίες συστολές (από D σε d) ο συντελεστής K υπολογίζεται από τους τύπους:

$$K = 0.8 \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \left(1 - \frac{D^2}{d^2}\right) \text{ για } \theta < 45^\circ$$

$$K = 0.5 \cdot \sqrt{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)} \cdot \left(1 - \frac{D^2}{d^2}\right) \text{ για } \theta \geq 45^\circ$$

4.2.3. Εσχάρα υδροληψίας

Μία από τις σημαντικότερες λειτουργίες της εσχάρας υδροληψίας είναι να ελαχιστοποιηθούν οι ποσότητες των φερτών υλών που μεταφέρονται με το νερό γι' αυτό και η εσχάρα τοποθετείται πριν της εισαγωγής του νερού στον αγωγό. Μία εσχάρα απαρτίζεται από μία ή περισσότερες στρώσεις ομοιόμορφα κατανεμημένων και παράλληλων μεταλλικών ράβδων. Αν το ποτάμι, σε περίοδο πλημμύρας, μεταφέρει μεγάλες ποσότητες φερτών τότε είναι αναγκαία η κατασκευή μιας αφαιρούμενης εσχάρας με μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ των ράβδων (από 100mm έως 300mm) έτσι ώστε να μειωθεί το έργο της κύριας εσχάρας υδροληψίας καθαρισμού.

Οι ράβδοι της εσχάρας καθαρισμού φερτών υλών κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα ή πλαστικό. Οι αποστάσεις μεταξύ των ράβδων ποικίλλουν από 12mm για μικρό ύψος πτώσης τύπου Pelton υδροστρόβιλους έως 150mm για μεγάλους υδροστρόβιλους. Η εσχάρα θα πρέπει να έχει επιφάνεια αρκετά μεγάλη ώστε η ταχύτητα του νερού να μη υπερβαίνει τα 0.75m/sec για μικρές ποσότητες νερού και 1.5m/sec για μεγάλες παροχές. Με τις χαμηλές αυτές ταχύτητες αποφεύγεται η προσέλκυση επιπλέοντων φερτών υλών στην εσχάρα.

Σε ποτάμια τα οποία μεταφέρουν μεγάλο όγκο φερτών, πλωτά φράγματα τοποθετούνται μπροστά από την εσχάρα. Το πιο απλό πλωτό φράγμα αποτελείται από κομμάτια ξυλείας σε σειρά συνδεδεμένα από άκρο σε άκρο με συρματόσχοινο ή αλυσίδα. Τα σύγχρονα πλωτά φράγματα κατασκευάζονται από χάλυβα ή πλαστικό υποστηριζόμενο από καλώδια χάλυβα. Η θέση που θα τοποθετηθούν τα πλωτά φράγματα είναι κρίσιμη διότι σε περίοδο πλημμύρας δεν είναι δυνατός ο καθαρισμός τους και η ταχύτητα προσέγγισης του νερού παραμένει μεταξύ 0.60m/sec και 1.5m/sec. Η μέγιστη δυνατή απόσταση μεταξύ των ράβδων καθορίζεται από τους κατασκευαστές υδροστροβίλων. Τυπικές τιμές αυτών είναι 20-30mm για Pelton, 40-50mm για Francis και 80-100 για Kaplan.

Οι τοπικές απώλειες υδραυλικής ενέργειας λόγω της εσχάρας εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες όπως η απόσταση, το ύψος, το σχήμα, το πάχος των

ράβδων αλλά και η γωνία της εσχάρας ως προς την κατεύθυνση του νερού.

Υπολογίζεται από τον τύπο: $\Delta H = \zeta_g \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$

V η ταχύτητα ροής στον αγωγό μετρούμενη σε m/s, g η επιτάχυνση της βαρύτητας μετρούμενη σε m/s²

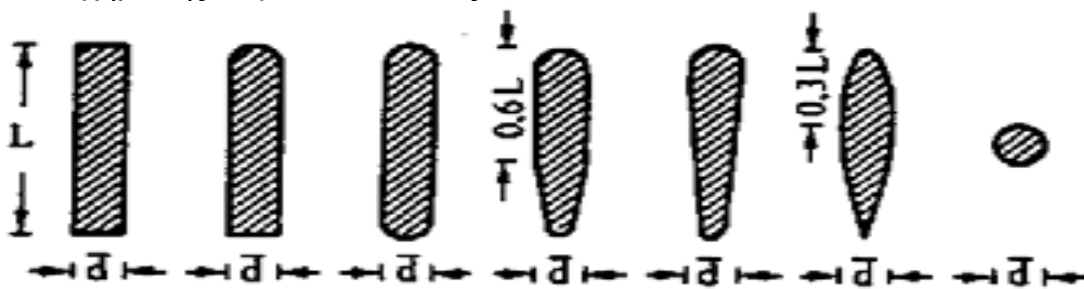
$\zeta_g = \beta_g \cdot \xi \cdot c \cdot \sin(\delta) \cdot \kappa$

όπου για L/d=5 και a/b>0.5: $\xi=(7/3) \cdot (a/b - 1)$

1.1 < c < 1.3 για εσχάρα με μηχανικό τρόπο καθαρισμού

1.5 < c < 2 για εσχάρα με χειροκίνητο τρόπο καθαρισμού

το β_g δίνεται ίσο με: 1.0, 0.76, 0.76, 0.43, 0.37, 0.30, 0.74 αντίστοιχα για το κάθε σχήμα της παρακάτω εικόνας.



Σχήμα 4.2.3.1. Διατομές διαφόρων τύπων ράβδων εσχάρας υδροληψίας

ο συντελεστής κ δίνεται από τον παρακάτω πίνακα όπου α=δ, d το πάχος ράβδου και a η απόσταση μεταξύ ράβδων.

d/a	α	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2
0	α	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
10	α	1.06	1.07	1.08	1.09	1.10	1.11	1.12	1.14	1.50
20	α	1.14	1.16	1.18	1.21	1.24	1.26	1.31	1.43	2.25
30	α	1.25	1.28	1.31	1.35	1.44	1.50	1.64	1.90	3.60
40	α	1.43	1.48	1.55	1.64	1.75	1.88	2.10	2.56	5.70
50	α	1.75	1.85	1.96	2.10	2.30	2.60	3.00	3.80	---
60	α	2.25	2.41	2.62	2.90	3.26	3.74	4.40	6.05	---

Σχήμα 4.2.3.2. Συντελεστής K συναρτήσει των α και d/a

Οι πιο πάνω εξισώσεις ισχύουν για ορθογωνικές εσχάρες αλλά χρησιμοποιούνται και σε άλλα σχήματα. Ο καθαρισμός των εσχάρων είναι πολύ σημαντικός για την μείωση των απωλειών και ο χειροκίνητος καθαρισμός είναι εξαιρετικά δύσκολος σε περίοδο πλημμυρών και ως εκ τούτου ο μηχανικός τρόπος καθαρισμού συνίσταται για μεγάλο όγκο φερτών υλών.

Με δοδομένη την μέγιστη παροχή λειτουργίας του σταθμού η οποία ισούται με $70.8\text{m}^3/\text{sec}$, η ταχύτητα του νερού στην εσχάρα δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα $0.75\text{m}/\text{sec}$ για τους λόγους που αναφέρονται παραπάνω. Γι' αυτό η διατομή της εσχάρας της υδροληψίας πρέπει θεωρητικά να ξεπερνά τα 94m^2 . Στο παρών έργο επιλέχτηκε η κατασκευή της υδροληψίας στην αριστερή όχθη του ποταμού, κυρτό τμήμα καμπύλης υδατορεύματος. Αυτή η διαμόρφωση σχηματίζει μία ζώνη ανακυκλοφορίας και κατακάθησης των φερτών υλικών. Η εσχάρα κατασκευάζεται με διαστάσεις όπως φαίνεται στο σχήμα με κλίση στην ροή $\delta=11.30^\circ$.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι δοκιμές έρευνας για την επιλογή της βέλτιστης εσχάρας.

1^η Δοκιμή: επιλέγεται απόσταση ράβδων ίση με $b=100\text{mm}$, διατομή ράβδων $d=25\text{mm}$, άνοιγμα μεταξύ των ράβδων $a=b-d=75\text{mm}$, $a/b=0.75$

Επιλέγεται λόγω ευκολίας κατασκευής το 3° σχήμα ράβδου με συντελεστή $\beta_g=0.76$, ο συντελεστής ξ υπολογίζεται ίσος με $\xi=7/3*(0.75-1)=-0.5833$

Επιλέγεται $c=2$ λόγω χειροκίνητου τρόπου καθαρισμού εσχάρας και κατασκευής της στην αριστερή όχθη. Γωνία μεταξύ εσχάρας και ροής ισούται με $\delta=11.30^\circ$ και ο συντελεστής k σύμφωνα με τον πίνακα ισούται με $k=1.1678$.

Οπότε υπολογίζεται ο συντελεστής απωλειών ζ ίσος με: $\zeta=0.76*0.5833*2*\sin(11.30^\circ)*1.1678=0.20288$ και οι τοπικές απώλειες λόγω εσχάρας υπολογίζονται ίσες με:

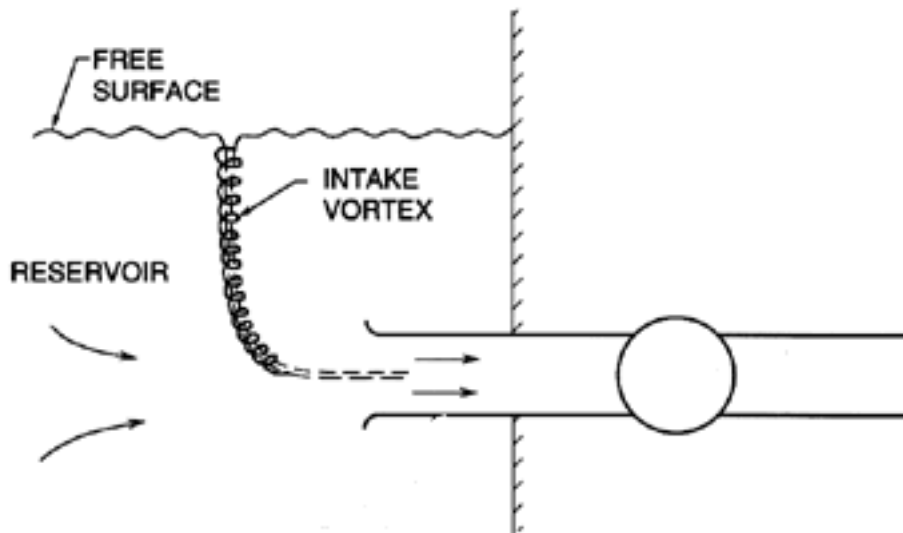
$$\Delta H=0.20288*(3.02)^2/2*g=0.094\text{m}$$

2^η Δοκιμή: $b=150\text{mm}$, $d=25\text{mm}$, $a=150-25=125\text{mm}$, $a/b=0.833$, $\beta_g=0.76$, $c=2$, $\xi=0.3888$, $\zeta=0.1849$. Ακολουθώντας τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται τοπικές απώλειες ίσες με: $\Delta H=0.085\text{m}$

Οι τοπικές απώλειες στην εσχάρα υδροληψίας είναι μικρές. Ισούνται περίπου με το 1% επί του καθαρού μανομετρικού ύψους για κάθε δοκιμή λόγω κυρίως της επιλογής μικρής κλίσης της ροής στην εσχάρα ($\delta=11.3^\circ$). Εναλλακτικά ο συντελεστής απωλειών ζ μπορεί να θεωρηθεί ίσος με 0.19 σύμφωνα με την βιβλιογραφία. $\Delta H=0.19*V^2/2g=0.088\text{m}$

4.2.4. Στροβιλότητα (vorticity)

Στην θέση υδροληψίας η είσοδος του νερού στον αγωγό θα πρέπει να σχεδιάζεται με στόχο την ελαχιστοποίηση των απωλειών ενέργειας και την εμπόδιση στροβιλισμών (δίνες). Η στροβιλότητα μπορεί να εμφανιστεί σε εισαγωγές νερού χαμηλού ύψους και στη συνέχεια να παρέμβει στην ομαλή λειτουργία των υδροστροβίλων.



Σχήμα 4.2.4.1. Στροβιλότητα στην είσοδο αγωγού

Οι στροβιλισμοί αυτοί

- δημιουργούν συνθήκες μη ομοιόμορφης ροής νερού
- εισάγουν αέρα στον αγωγό με δυσμενή αποτελέσματα την εμφάνιση δονήσεων και σπηλαιώσης
- Αυξάνουν τις υδραυλικές τοπικές απώλειες και μειώνουν την απόδοση του έργου
- Εισάγουν στον αγωγό φερτά υλικά

Οι τρόποι αποφυγής στροβιλισμών δεν είναι σαφώς καθορισμένοι ούτε υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος τύπος που να επεξεργάζεται στοιχεία και παράγοντες που δημιουργούν στροβιλισμούς. Σύμφωνα με εμπειρικά στοιχεία και την επιτροπή ASCE οι διαταράξεις οι οποίες εισάγουν μη ομοιόμορφη ροή ταχύτητας μπορεί να δημιουργήσουν δίνες.

Τέτοιες αναταράξεις δημιουργούνται από:

- Συνθήκες ασύμμετρης προσέγγισης
- Ανεπαρκή βύθιση
- Διαχωρισμός ροής και σχηματισμός Eddy
- Ταχύτητα προσέγγισης μεγαλύτερη από 0.65m/sec
- Απότομες αλλαγές κατεύθυνσης της ροής

Η έλλειψη επαρκούς βύθισης αλλά και η ασύμμετρη προσέγγιση φαίνεται να είναι οι κύριες αιτίες δημιουργίας δίνης. Όταν η είσοδος του αγωγού βρίσκεται αρκετά βαθιά σε σχέση με την επιφάνεια του νερού και η ροή είναι ομαλή τότε είναι απίθανο να εμφανιστούν δίνες. Εμπειρικοί τύποι δίνουν το ελάχιστο βάθος βύθισης του αγωγού πρόσληψης νερού παρ'όλα αυτά καμία θεωρία δεν περιλαμβάνει όλες τις σχετικές παραμέτρους.

Οι εμπειρικοί τύποι που έχουν δημοσιευτεί για την εύρεση του ύψους βύθισης είναι οι εξής:

- KNAUSS $h \geq D \cdot (1 + 2.3 \frac{V}{\sqrt{g \cdot D}})$
- NAGARKAR $h \geq 4.4 \cdot (V \cdot D^{0.5})^{0.54}$
- ROHAN $h \geq 1.474 \cdot V^{0.48} \cdot D^{0.76}$
- GORDON $h \geq c \cdot V \cdot \sqrt{D}$

C=0.7245 για συνθήκες ασύμμετρης προσέγγισης

C=0.5434 για συνθήκες συμμετρικής προσέγγισης

Όπου V [m/sec] η ταχύτητα ροής στον αγωγό και D [m] η υδραυλική διάμετρος. Το μήκος h μετρείται σε μέτρα [m] από την άνω επιφάνεια του αγωγού έως την ελεύθερη επιφάνεια του νερού.

Δοκιμές για τους αγωγούς που υπολογίστηκαν και αναλύθηκαν πιο πάνω:

Για αγωγό οπλ.σκυροδέματος (5.0mX5.0m) με χαρακτηριστικά: D=5m, V=2.83m/sec

h>=9.647m

h>=11.92m

h>=8.25m

h>=3.44m ή 4.58m

Για αγωγό οπλ.σκυροδέματος (4.50mX4.50m) με χαρακτηριστικά: D=4.5m, V=3.49m/sec

h>=9.94m

h>=12.97m

h>=8.42m

h>=4.02 ή 5.36m

Για αγωγό οπλ.σκυροδέματος (6.80mX3.45m) με χαρακτηριστικά: D=4.577m, V=3.02/sec

h>=9.32m

h>=12.05m

h>=7.96m

h>=3.51 ή 4.68m

Για αγωγό χαλύβδινο ή GRP με χαρακτηριστικά: D=3000mm, V=3.34m/sec

h>=7.25m

h>=11.35m

h>=6.06m

h>=3.14 ή 4.19m

Μία άλλη μέθοδος υποδεικνύει την παρακάτω συνθήκη υπολογισμού του ύψους βύθισης h. (www.pumpfundamentals.com)

$$h = D + 0.574 \cdot Q \cdot \frac{1}{D^{1.5}}$$

όπου:

h μετριέται σε in από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού έως το μέσο της διατομής του αγωγού [1in=0.0254m]

D η διατομή του αγωγού μετριέται σε in

Q η παροχή μετριέται σε USgpm [1USgpm=0.000063m³/sec]

Δοκιμές με τη συνθήκη αυτή:

Για παροχή Q=70.8 m³/sec=1122321.6 USgpm, D=5m=196.85in το ύψος βύθισης: h=430.1in=10.9m

Για παροχή Q=70.8 m³/sec=1122321.6 USgpm, D=4.5m=177.165in το ύψος βύθισης: h=450.35in=11.44m

Οι δοκιμές με τις άνω συνθήκες καταλήγουν στην δημιουργία στροβιλισμών στην είσοδο του νερού αφού το ύψος της επιφάνειας του νερού στην θέση της υδροληψίας θα ισούται με 5.5-6.5m μετρημένο από το μέσο της διατομής του αγωγού για διαστάσεις αγωγού 5mX5m ή 4.5mX4.5m.

Παρακάτω θα γίνουν δοκιμές βάσει των δοσμένων τύπων για αλλαγή διατομής και πιο συγκεκριμένα βαθμιαία διαστολή. Θα πρέπει οι υδραυλικές διάμετροι των δύο αγωγών να μην απέχουν αριθμητικώς αρκετά για να δημιουργηθούν οι λιγότερες δυνατές τοπικές απώλειες. Ως δεδομένο θεωρείται η κατασκευή του ενιαίου αγωγού σπλισμένου σκυροδέματος διαστάσεων διατομής 4.5mX4.5m(A=20.25m²) ή 5mX5m(A=25m²) ή 6.80mX3.45m(A=23.46m²). Το ύψος της επιφάνειας του νερού από την βάση της εισόδου του αγωγού ισούται με 34-25=9m και σκοπός των δοκιμών είναι η αποφυγή στροβιλισμών στην εισαγωγή του νερού.

Για διατομή εισόδου με διαστάσεις 10X2m (V=3.54m/sec, D_h=3.33m) το ύψος βύθισης θα ισούται με: h>=8.07m Knauss, h>=12.05m Nagarkar, h>=6.75 Rohan, h>=3.5 ή 4.68m Gordon, h=14.2m pumpfundamentals.com.

1. Οι υδραυλικές τοπικές απώλειες (θ>45°) για αλλαγή διατομής από 10mX2m

σε 5mX5m υπολογίζονται ως εξής: $h_1 = \left(1 - \frac{3.33^2}{5^2}\right)^2 \cdot \frac{3.54^2}{2 \cdot 9.81} = 0.197m$

2. Οι υδραυλικές τοπικές απώλειες (θ>45°) για αλλαγή διατομής από 10mX2m

σε 4.5mX4.5m υπολογίζονται ως εξής: $h_2 = \left(1 - \frac{3.33^2}{4.5^2}\right)^2 \cdot \frac{3.54^2}{2 \cdot 9.81} = 0.130m$

3. Οι υδραυλικές τοπικές απώλειες (θ>45°) για αλλαγή διατομής από 10mX2m

σε 6.80mX3.45m υπολογίζονται ως εξής: $h_3 = \left(1 - \frac{3.33^2}{4.57^2}\right)^2 \cdot \frac{3.54^2}{2 \cdot 9.81} = 0.141m$

Για διατομή εισόδου με διαστάσεις 11X2m ($V=3.22\text{m/sec}$, $D_h=3.38\text{m}$) το ύψος βύθισης θα ισούται με: $h \geq 7.73\text{m}$ Knauss, $h \geq 11.50\text{m}$ Nagarkar, $h \geq 6.52\text{m}$ Rohan, $h \geq 3.21$ ή 4.30m Gordon, $h=14.04\text{m}$ pumrfundamentals.com.

1. Οι υδραυλικές τοπικές απώλειες ($\theta > 45^\circ$) για αλλαγή διατομής από 11mX2m

σε 5mX5m υπολογίζονται ως εξής: $h_4 = \left(1 - \frac{3.38^2}{5^2}\right)^2 \cdot \frac{3.22^2}{2 \cdot 9.81} = 0.155\text{m}$

2. Οι υδραυλικές τοπικές απώλειες ($\theta > 45^\circ$) για αλλαγή διατομής από 11mX2m

σε 4.5mX4.5m υπολογίζονται ως εξής: $h_5 = \left(1 - \frac{3.38^2}{4.5^2}\right)^2 \cdot \frac{3.22^2}{2 \cdot 9.81} = 0.099\text{m}$

3. Οι υδραυλικές τοπικές απώλειες ($\theta > 45^\circ$) για αλλαγή διατομής από 11mX2m

σε 6.80mX3.45m υπολογίζονται ως εξής: $h_6 = \left(1 - \frac{3.38^2}{4.57^2}\right)^2 \cdot \frac{3.22^2}{2 \cdot 9.81} = 0.109\text{m}$

Αν η βαθμιαία διαστολή του αγωγού υπολογιστεί με γωνία κώνου $\theta < 45^\circ$ τότε οι πιο πάνω τοπικές απώλειες υπολογίζονται πολλαπλασιάζοντάς τις με το αποτέλεσμα της πράξης: $2.6 \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$

Για $\theta = 40^\circ$

$h_1 = 0.197 \cdot 2.6 \cdot \sin(20) = 0.175\text{m}$, $h_4 = 0.155 \cdot 2.6 \cdot \sin(20) = 0.138\text{m}$,

$h_2 = 0.130 \cdot 2.6 \cdot \sin(20) = 0.115\text{m}$, $h_5 = 0.099 \cdot 2.6 \cdot \sin(20) = 0.088\text{m}$,

$h_3 = 0.141 \cdot 2.6 \cdot \sin(20) = 0.125\text{m}$, $h_6 = 0.109 \cdot 2.6 \cdot \sin(20) = 0.097\text{m}$

4.2.5. Πάχος τοιχωμάτων αγωγού προσαγωγής

Το πάχος του τοιχώματος που απαιτείται για την καλή λειτουργία του αγωγού εξαρτάται από το υλικό του αγωγού, την μέγιστη εφελκυστική αντοχή του υλικού, τη διάμετρο του αγωγού και την πίεση λειτουργίας. Σε περιπτώσεις σταθερής ροής, όπου δηλαδή η αποφόρτιση είναι σταθερή στο χρόνο, η πίεση λειτουργίας είναι ίση με το μανομετρικό ύψος στο σημείο αυτό και το πάχος του τοιχώματος υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση: $e = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma_f}$

Όπου e [mm] το πάχος τοιχώματος

P [kN/mm²] η υδροστατική πίεση

D [mm] η εσωτερική υδραυλική διάμετρος

σ_f [kN/mm²] η επιτρεπόμενη εφελκυστική αντοχή

Σε χαλύβδινους αγωγούς η παραπάνω εξίσωση ορίζεται ως εξής:

$$e = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma_f \cdot k_f} + e_s$$

όπου e_s [mm] επιπλέον πάχος για προστασία από διάβρωση

k_f συντελεστής απόδοσης της συγκόλλησης

$k_f = 1.0$ για αγωγούς χωρίς συγκόλληση

$k_f = 0.9$ για συγκολλήσεις επιθεωρημένες με ακτίνες X

σ_f η εφελκυστική αντοχή του χάλυβα ($= 0.50\text{kN/mm}^2 = 500\text{MPa}$)

Το πάχος πρέπει να προσφέρει μεγάλη ακαμψία στον αγωγό για να μην υπάρχει κίνδυνος αστοχίας ή παραμόρφωσης του υλικού. Ο ASME συνιστά ελάχιστο πάχος ισοδύναμο με $t=2.5 \cdot D+1.2\text{mm}$ (όπου το D σε m, t σε mm). Άλλοι οργανισμοί προτείνουν ως ελάχιστο πάχος $t=(D+508)/400$ (όπου t, D σε mm). Σε έργο με μεγάλο ύψος πτώσης είναι βολικό να χρησιμοποιηθεί αγωγός ομοιόμορφης εσωτερικής διαμέτρου και διαφορετικού πάχους ανάλογα με τις υδροστατικές πιέσεις.

Διάφορα σημεία του αγωγού μπορεί να βρίσκονται κάτω από την κλίση της γραμμής ενέργειας και να υποφέρουν από συνθήκες υποπίεσης. Η υποπίεση κατάρρευσης δίνεται από την σχέση:

$$P_c = 882500 \cdot \left(\frac{e}{D}\right)^3$$

όπου D και e η διάμετρος του αγωγού και το πάχος του μετρημένα σε mm.

Η αρνητική αυτή πίεση μπορεί να αποφευχθεί εγκαθιστώντας αγωγό εξαερισμού διαμέτρου (σε cm) που δίνεται από την σχέση:

$$d = 7.47 \cdot \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{P_c}}}$$

όπου $P_c \leq 0.49 \text{ kgN/mm}^2$, αλλιώς ισχύει: $d = 8.94 \cdot \sqrt{Q}$

Ξαφνικές αλλαγές της ροής είναι πιθανόν να συμβούν όταν τα θυροφράγματα ανοίξουν ή κλείσουν απότομα. Η απόρριψη φορτίου από το δίκτυο συντελεί στην ξαφνική διακοπή της ροής με αποτελέσματα την μετακίνηση μιας μάζας νερού στο εσωτερικό του αγωγού. Εμφανίζεται έτσι ένα κύμα νερού στον αγωγό δημιουργώντας υψηλές και χαμηλές πιέσεις, τα αποτελέσματα των οποίων μπορεί να είναι καταστροφικά. Οι πιέσεις αυτές του κύματος νερού είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από τις πιέσεις που επικρατούν σε κατάσταση λειτουργίας του σταθμού και πρέπει να συμπεριληφθούν στον υπολογισμό του πάχους του αγωγού.

Η ταχύτητα του κύματος νερού εξαρτάται από την ελαστικότητα του νερού και του υλικού του αγωγού σύμφωνα με την σχέση:

$$c = \sqrt{\frac{k \cdot 10^{-3}}{\left(1 + \frac{k \cdot D}{E \cdot t}\right) \rho}}$$

όπου:

k το μέτρο ελαστικότητας του νερού $2.1 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$

E το μέτρο ελαστικότητας υλικού του αγωγού $[\text{N/m}^2]$

t το πάχος τοιχώματος του αγωγού $[\text{mm}]$

Ο χρόνος που απαιτείται για το κύμα νερού να φθάσει στη βαλβίδα-θυρόφραγμα κατά την επιστροφή του ονομάζεται και ως κρίσιμος χρόνος (T) όπου $T=2L/c$.

Για απότομο-ξαφνικό κλείσιμο των θυροφραγμάτων (το κύμα νερού φθάνει μετά το κλείσιμο των θυροφραγμάτων) η αύξηση της πίεσης σε μέτρα νερού λόγω του κύματος υπολογίζεται από την σχέση:

$$P = c \frac{\Delta v}{g} \quad \text{όπου } \Delta v \text{ η διαφορά ταχύτητας στον αγωγό}$$

Δοκιμές στο παρών έργο για την περίπτωση απότομου κλεισίματος των θυροφραγμάτων ($T < 2L/c$):

Για υδραυλική διάμετρο χαλύβδινου αγωγού $D=2500\text{mm}$, $E=2 \cdot 10^{11} \text{N/m}^2$, πάχος τοιχώματος $t=10\text{mm}$, η ταχύτητα και η πίεση του κύματος νερού είναι $c=24.07\text{m/sec}$ και $P=47.03\text{m}$ νερού αντίστοιχα.

Για χαλύβδινο αγωγό διαμέτρου $D=3000\text{mm}$, ελαστικότητας υλικού $E=2 \cdot 10^{11} \text{N/m}^2$, πάχους $t=10\text{mm}$, η ταχύτητα και η πίεση του κύματος υπολογίζονται ως $c=22.49\text{m/sec}$ και $P=43.91\text{m}$ νερού.

Για GRP σωλήνα με χαρακτηριστικά $D=2400\text{mm}$, $E=17 \cdot 10^9 \text{N/m}^2$, $t=36.1\text{mm}$, η ταχύτητα κύματος είναι ίση με: $c=15.09\text{m/sec}$ και η πίεσή του ίση με $P=15.20\text{m}$ νερού.

Για GRP σωλήνα με χαρακτηριστικά $D=3000\text{mm}$, $E=17 \cdot 10^9 \text{N/m}^2$, $t=40.3\text{mm}$, η ταχύτητα κύματος είναι ίση με $c=14.35\text{m/sec}$ και η πίεσή του ίση με $P=16.11\text{m}$ νερού.

Για GRP σωλήνα με χαρακτηριστικά $D=4000\text{mm}$, $E=17 \cdot 10^9 \text{N/m}^2$, $t=47.3\text{mm}$, η ταχύτητα κύματος είναι ίση με: $c=13.54\text{m/sec}$ και η πίεση νερού $P=16.10\text{m}$ νερού.

Για σωλήνα τετραγωνικής διατομής από οπλισμένο σκυρόδεμα με χαρακτηριστικά $D_h=5000\text{mm}$, $E=32\text{GPa}=3.2 \cdot 10^{10} \text{N/m}^2$, $t=300\text{mm}$, η ταχύτητα κύματος $c=31.67\text{m/sec}$ και η πίεση του νερού $P=31.67 \cdot (31.69 - 2.83)/9.81=93.23\text{m}$ νερού.

Για σωλήνα τετραγωνικής διατομής από οπλισμένο σκυρόδεμα με χαρακτηριστικά $D_h=5000\text{mm}$, $E=3.2 \cdot 10^{10} \text{N/m}^2$, $t=350\text{mm}$, η ταχύτητα κύματος $c=32.92\text{m/sec}$ και η πίεση του νερού $P=100.98\text{m}$ νερού.

Για σωλήνα τετραγωνικής διατομής α πό οπλισμένο σκυρόδεμα με χαρακτηριστικά $D_h=4500\text{mm}$, $E=3.2 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$, $t=300\text{mm}$, η ταχύτητα κύματος $c=32.53\text{m/sec}$ και η πίεση του νερού $P=96.30\text{m}$ νερού.

Στην περίπτωση όπου το κύμα νερού λόγω απότομου κλεισίματος των θυροφραγμάτων πραγματοποιηθεί σε χρόνο δέκα και πλέον φορές μεγαλύτερο του $T=2L/c$ τότε το φαινόμενο εξασθενεί και μπορεί να αγνοηθεί. Στο μεταξύ αν ισχύει για τον κρίσιμο χρόνο: $T>2L/c$, τότε η πίεση P δεν θα αναπτυχθεί πλήρως επειδή το ανακλώμενο κύμα νερού αρνητικής πίεσης θα αντισταθμιστεί με την θετική πίεση. Σε αυτή την περίπτωση ο τύπος του Allievi μπορεί να υπολογίσει την μέγιστη υπερπίεση.

$$\Delta P = P_o \cdot \left(\frac{N}{2} \pm \sqrt{\frac{N^2}{4} + N} \right)$$

όπου P_o είναι η υδροστατική πίεση εξαρτώμενη από το ύψος πτώσης

$$\text{και } N = \left(\frac{LV_o}{gP_o t} \right)^2$$

όπου V_o η ταχύτητα του νερού στον αγωγό [m/sec]

L το συνολικό μήκος του αγωγού [m]

P_o το μανομετρικό ύψος πτώσης νερού [m]

t ο χρόνος κλεισίματος [s]

Η συνολική πίεση στον αγωγό θα ισούται με $P=P_o+\Delta P$

Δοκιμή για εύρεση πάχους τοιχώματος αγωγού στο παρών έργο όταν ο χρόνος κλεισίματος των θυροφραγμάτων είναι μεγαλύτερος του κρίσιμου χρόνου και μικρότερος από δέκα φορές του χρόνου αυτού:

$$T=2L/c$$

Για το έργο με χαρακτηριστικά:

$D=2500\text{mm}$ χαλύβδινος, $H=10\text{m}$, $Q=23.6\text{m}^3/\text{sec}$, $L=550\text{m}$, χρόνος κλεισίματος $t=30\text{sec}$, πάχος τοιχώματος $t=10\text{mm}$

$$c = \sqrt{\frac{k \cdot 10^{-3}}{\left(1 + \frac{k \cdot D}{E \cdot t}\right) \rho}} = \sqrt{\frac{2.1 \cdot 10^9 \cdot 10^{-3}}{\left(1 + \frac{2.1 \cdot 10^9 \cdot 2500}{2 \cdot 10^{11} \cdot 10}\right) \rho}} = 24.07\text{m/sec}$$

$$t=2L/c=2 \cdot 550/24.07=45.7\text{sec} \quad (45.7\text{sec} < 50\text{sec} < 457\text{sec})$$

$$V=Q/A=4.81\text{m/sec}$$

$$N = \left(\frac{LV_o}{gP_o t} \right)^2 = 0.29$$

$$\Delta P = P_o \cdot \left(\frac{N}{2} \pm \sqrt{\frac{N^2}{4} + N} \right) = 10(0.145 \pm 0.5585) = 7.035\text{m}; -4.135\text{m}$$

Η συνολική πίεση θα είναι ίση με: $P=10\text{m}+7.035\text{m}=17.035\text{m}=1.703\text{kN/mm}^2$

$$\text{Απαιτούμενο πάχος τοιχώματος } e = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma_f} + 1 = \frac{0.167 \cdot 2500}{2 \cdot 500} + 1 = 5.259\text{mm}$$

Για $t=70\text{sec}$: $N=0.148$, $\Delta P=10(0.074 \pm 0.392)=4.66\text{m}; -3.18\text{m}$

Η συνολική πίεση θα είναι ίση με: $10\text{m}+4.66=14.66\text{m}=1.466\text{kN/mm}^2$

Απαιτούμενο πάχος τοιχώματος $e=4.66\text{mm}$

Η αρχική θεώρηση πάχους $t=10\text{mm}$ με την τελική για $e=5.259\text{mm}$ δεν συμπίπτουν οπότε γίνεται νέα θεώρηση για $t=6\text{mm}$ με τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του αγωγού να παραμένουν ίδια.

$C=19.766\text{m/sec}$, $t=2L/c=55.65\text{sec}$, $N=0.202$, $\Delta P=10(0.101 \pm 0.4606)=5.616$; -
 3.596 m

$P=10\text{m}+5.616\text{m}=15.616\text{m}=1.561\text{ kN/mm}^2$

$e=4.9\text{mm}$

Συνεπώς για αγωγό με τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά το πάχος του θα πρέπει να είναι $4.9\text{-}6\text{mm}$

Το πρόβλημα του υδραυλικού πλήγματος γίνεται οξύ στην περίπτωση κατά την οποία έχει αντικατασταθεί το ανοικτό κανάλι με κλειστούς αγωγούς. Για μια πιο αυστηρή και προσεγγισμένη προσέγγιση της κατάστασης είναι αναγκαίο να ληφθεί υπόψη τόσο η ελαστικότητα του υγρού και του υλικού του σωλήνα όσο οι υδραυλικές απώλειες και ο χρόνος κλεισίματος της βαλβίδας-θυροφράγματος. Η μαθηματική προσέγγιση είναι ογκώδης, δυσχερίστη και απαιτεί χρήση προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Για να προσδιοριστεί το ελάχιστο πάχος τοιχώματος αγωγού λαμβάνονται υπόψη δύο περιπτώσεις απότομου κλεισίματος θυροφράγματος. Η πρώτη είναι για κλείσιμο θυροφράγματος υπό τον έλεγχο ανθρώπου και η δεύτερη για κλείσιμο έκτακτης ανάγκης.

Στην πρώτη περίπτωση η υπερπίεση στον αγωγό μπορεί να φθάσει στο 25% του ύψους πτώσεως για τουρμπίνες τύπου Pelton και για τουρμπίνες αντιδράσεως από 25% έως 50%. Οι συμβουλές του κατασκευαστή των τουρμπινών θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη.

Σε χαλύβδινους αγωγούς οι συνδυασμένες εντάσεις (μόνιμες και κινητές) είναι συναρτήσεως της μέγιστης εφελκυστικής αντοχής και του ορίου ελαστικής παραμόρφωσης. Στην περίπτωση φυσιολογικού (όχι απότομου κλεισίματος θυροφράγματος) ο συνδυασμός των εντάσεων θα πρέπει να είναι μικρότερος από 60% του ορίου ελαστικότητας και 38% της μέγιστης εφελκυστικής αντοχής. Σε περίπτωση ανάγκης απότομου κλεισίματος θυροφράγματος ο συνδυασμός των εντάσεων θα πρέπει να είναι μικρότερος από το 96% του ορίου ελαστικότητας και 61% της μέγιστης εφελκυστικής τάσης.

4.2.6. Πύργος ανάπαλσης (surge tower)

Σε έργα όπου υπόκεινται σε κύματα πίεσεως, όπως αυτά ανφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, θα πρέπει να εξετάζεται η εγκατάσταση ενός μηχανισμού έτσι ώστε να μειωθούν οι επιπτώσεις του κύματος. Η πιο απλή κατασκευή είναι ο πύργος ανάπαλσης (surge tower), ένας σωλήνας συνδεδεμένος κάθετα στον αγωγό προσαγωγής του έργου και ανοικτός στο πάνω μέρος του. Ο σκοπός του πύργου ανάπαλσης είναι να μειωθεί το ύψος της στήλης νερού τοποθετώντας μία ελεύθερη επιφάνεια κοντά στον υδροστρόβιλο. Ο πύργος θεωρείται μη αναγκαίος από πολλούς συγγραφείς όταν το μήκος του αγωγού προσαγωγής είναι μικρότερο από πέντε (5) φορές το ύψος πτώσεως ($L < 5 \cdot H$). Επίσης λαμβάνεται υπόψη η επιτάχυνση του νερού t_h μέσα στον αγωγό.

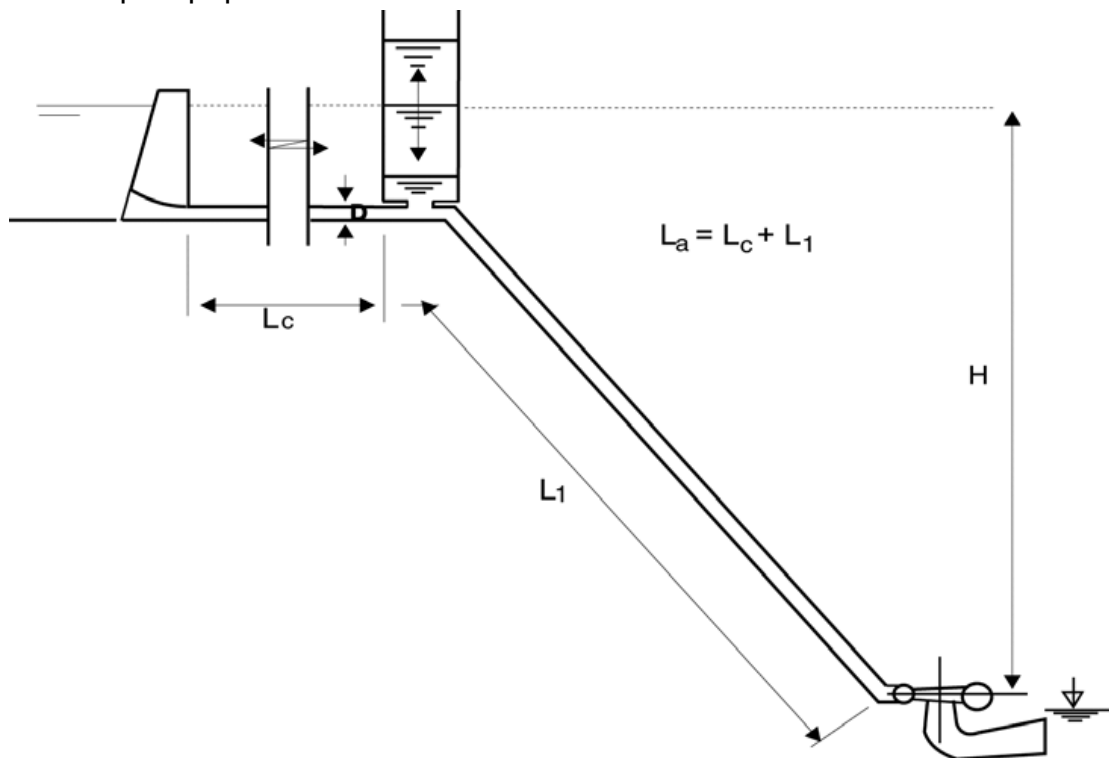
$$t_h = \frac{V \cdot L}{g \cdot H}$$

όπου L το μήκος του αγωγού προσαγωγής [m]

V η ταχύτητα ροής στον αγωγό [m/sec]

H το ύψος πτώσεως [m]

Αν ο χρόνος t_h είναι μικρότερος από 3sec τότε ο πύργος δεν είναι απαραίτητος αλλά αν ξεπερνά τα 6sec τότε ο πύργος ανάπαλσης ή άλλη συσκευή πρέπει να εγκατασταθούν για να αποφευχθούν ισχυρές ταλαντώσεις στον υδροστρόβιλο.



Σχήμα 4.2.6.1. Πύργος ανάπαλσης ανάντη υδροστροβίλων

Σε κατάσταση λειτουργίας του σταθμού δηλαδή με σταθερή ροή στον αγωγό, το ύψος νερού στον πύργο θα είναι ίσο με το ύψος πτώσεως στον αγωγό. Όταν ένα μεταβατικό φαινόμενο συμβεί η πίεση στον αγωγό αυξάνεται και το νερό του αγωγού κατευθύνεται στον πύργο αυξάνοντας το ύψος του νερού στον πύργο. Έπειτα το νερό κατευθύνεται από τον πύργο προς τον αγωγό καθώς η πίεση φθάνει έως το κατώτερο σημείο της, η ροή αντιστρέφεται προς τον πύργο και η στάθμη νερού αυξάνεται. Το φαινόμενο αυτό συνεχίζεται ξανά και ξανά.

Το μέγιστος ύψος της στάθμης νερού αντιστοιχεί στην υπερπίεση του αγωγού εξαιτίας του υδραυλικού πλήγματος και η εγκατάσταση ρυθμιστικής δικλείδας-βαλβίδας στον πύργο θα μειώσει 20 έως 30% το εύρος της στάθμης σε αυτόν. Ο χρόνος t_h διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον σχεδιασμό του συστήματος ρύθμισης και ελέγχου του στροβίλου. Σε ένα άσχημα σχεδιασμένο έργο, ο ελεγκτής και ο πύργος ανάπαλσης αλληλεπιδρούν δημιουργώντας προβλήματα στη ρύθμιση της ταχύτητας του στροβίλου τα οποία δύσκολα αντιμετωπίζονται από τον ελεγκτή.

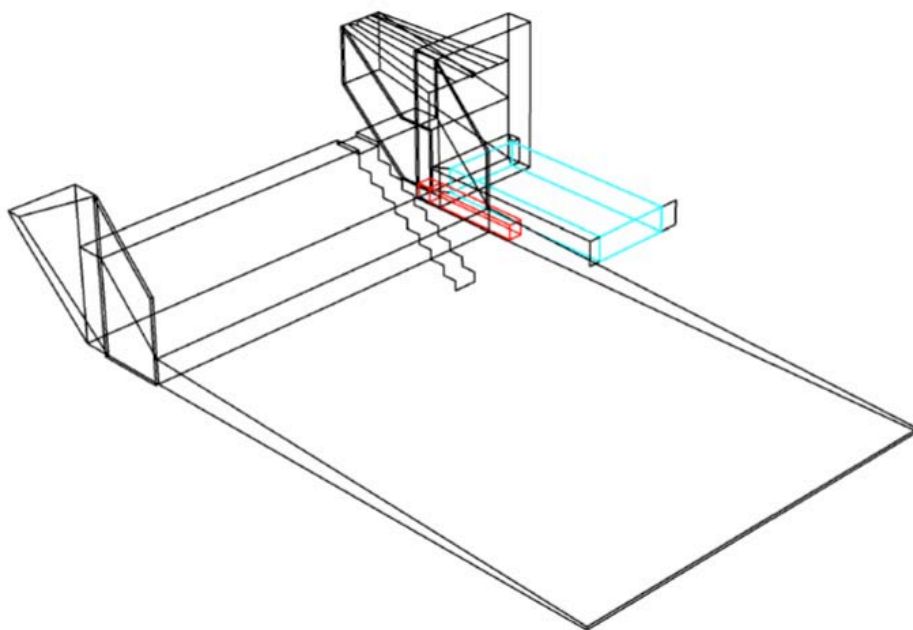
Σε περιπτώσεις όπου το κλείσιμο των θυροφραγμάτων πρέπει να γίνεται ταχεία, μία βαλβίδα ανακούφισης τοποθετείται παράλληλα με τους στροβίλους ώστε να ανοίξει όταν κλείνουν τα θυροφράγματα ή τα μπέκ νερού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επιβράδυνση των αλλαγών ροής του νερού.

Στο παρών έργο για μήκος αγωγού $L=550\text{m}$, ταχύτητα ροής στον αγωγό προσαγωγής $V=3.02\text{m/sec}$, διατομή αγωγού $6.80\text{m}\times 3.45\text{m}$, ύψος πτώσης 10 έως 11m, επιτάχυνση βαρύτητας $g=9.81\text{m/sec}^2$. Ο χρόνος t_h για τον πύργο ανάπαλσης θα είναι ίσος με $t_h=15.4-16.9\text{sec}$.

Ο χρόνος αυτός δείχνει πως ο πύργος ανάπαλσης ή η βαλβίδα ανακούφισης είναι αναγκαία έργα για την εξασφάλιση της καλής λειτουργίας του έργου. Στην περίπτωση κατασκευής πύργου ανάπαλσης, η θέση του στον αγωγό θα βρίσκεται πλησίον του σταθμού και των στροβίλων. Αυτό γιατί το κύμα σε περίπτωση μεταβατικού φαινομένου θα μεταφερθεί και θα εξουδετερωθεί στον πύργο απαλλάσσοντας από υπερπίεσεις το υπόλοιπο μέρος του αγωγού. Έτσι το πάχος των τοιχωμάτων του αγωγού επηρεάζεται σε μικρό βαθμό από το μεταβατικό φαινόμενο και αυτό μειώνει το κόστος κατασκευής του αγωγού.

Η βαλβίδα ανακούφισης θεωρείται δευτερεύουσα επιλογή καθώς ο πύργος είναι πιο απλός στην κατασκευή και δεν υπάρχει κάτι μηχανολογικό σε αυτόν για να φέρει αμφιβολίες για την λειτουργία του.

Το τελικό σχέδιο φράγματος σε 3D όπου εμφανίζονται όλα τα μέρη του που μελετήθηκαν προηγουμένως.



Σχήμα 4.2.6.2. Όψη φράγματος όπου διακρίνονται όλα τα μέρη του

5. Συμπεράσματα

Συμπεράσματα 3^{ου} κεφαλαίου

1. Η διαστασιολόγηση του κυρίως σώματος του φράγματος πραγματοποιήθηκε στο κεφάλαιο 3.2. Σκοπός αυτής η ευστάθεια του φράγματος βαρύτητας. Στα επόμενα κεφάλαια αναλύθηκε η γεωμετρία, πάνω σε x, y άξονες συντεταγμένων, της υδάτινης φλέβας η οποία διοχετεύεται μέσω του εκχειλιστή του φράγματος. Συνεπώς η κατάντη κλίση του εκχειλιστή του φράγματος αντικαθίσταται με την καμπύλη που προκύπτει από την ανάλυση του κεφαλαίου 3.3 για την υδάτινη φλέβα. Η αλλαγή αυτή μόνο θετικά επηρεάζει την ευστάθεια του φράγματος καθώς η διατομή αυτού αυξάνεται. Είναι ένα στοιχείο που λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς του κεφαλαίου 3.2. στη 5η δοκιμή συγκεκριμένα.

2. Κατάντη του φράγματος κρίνεται απαραίτητη η δημιουργία λεκάνης καταστροφής ενέργειας μήκους 51m. Σκοπός αυτής της λεκάνης είναι η αποφυγή θραύσης ή υποσκαφής του κατάντη πόδα σκυροδέματος, γεγονός το οποίο θα προκαλούσε την μελλοντική ανατροπή του φράγματος.

3. Η λεκάνη καταστροφής ενέργειας οπλίζεται με μονή εσχάρα διατομής χάλυβα 25 ή 30cm² και επικάλυψης άνω των 6cm (προτεινόμενη επικάλυψη 8cm). Είναι μία εμπειρική μέθοδος που υιοθετείται σε τέτοιου είδους υδραυλικά έργα όταν η ταχύτητα ροής ξεπερνά τα 4m/sec. Στο κατάντη άκρο της λεκάνης κατασκευάζεται όνυχας για την αποφυγή υποσκαφής της καθώς επίσης και η τοποθέτηση λιθώματος ως μεταβατική ζώνη κρίνεται απαραίτητη. Η ευστάθεια της λεκάνης πραγματοποιείται με την κατασκευή αγκυρώσεων προτεινόμενου βάθους έως 4.5m για την παραλαβή δυνάμεων άνωσης έπειτα από την μέγιστη πλημμυρική παροχή 100ετίας. Η μελέτη αυτών δεν ερυνάται περεταίρω στα πλαίσια της διπλωματικής για ευνόητους λόγους.

4. Η στέψη του φράγματος διαστασιολογείται μεγαλύτερη των 2m για πιθανή μελλοντική εγκατάσταση πρόσθετου μηχανισμού ανύψωσης στάθμης νερού τύπου ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων. Με τέτοιου είδους τεχνολογίες αυξάνεται η στάθμη λειτουργίας του σταθμού προσθέτοντας υδραυλικό ύψος πτώσης νερού ίσο με το ύψος της εγκαθιστούμενης κατασκευής. Το όφελος από την αύξηση της υδραυλικής πτώσης νερού (net head) είναι η αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αξιοποιώντας την ίδια παροχή νερού. Για να γίνει αντιληπτό παρατίθεται παρακάτω ένας απλός υπολογισμός της διαθέσιμης υδραυλικής ισχύος ($N=\gamma \cdot H \cdot Q$) για τυχαία τιμή παροχής με ύψος πτώσης (net head) αυξημένο έως 1.80m. Για παροχή 50m³/sec η υδραυλική ισχύς υπολογίζεται ίση με $N=10 \cdot 10 \cdot 50=5000\text{kW}$ για ύψος 10m και $N=10 \cdot 11.80 \cdot 50=5900\text{kW}$ για ύψος πτώσης 11.80m. Αύξηση δηλαδή 18% της

διαθέσιμης υδραυλικής ισχύος. Δεδομένο θεωρείται το γεγονός πως για την εγκατάσταση τέτοιου είδους κατασκευών η ευστάθεια του φράγματος θα πρέπει να αναλυθεί εκ νέου καθώς οι δυνάμεις άνωσης στο υπέδαφος του φράγματος αυξάνονται.

5. Ο ιχθυόδρομος ενώνεται με την στέψη του φράγματος και έπειτα ακολουθεί την υπολογισμένη, σύμφωνα με το κεφάλαιο 3.5, πορεία του με σταθερή κλίση 11.3° ανεξάρτητη της γεωμετρίας του υπερχειλιστή.

Συμπεράσματα 4^{ου} κεφαλαίου

1. Ο αγωγός προσαγωγής που επιλέγεται για το παρών έργο είναι ορθογωνικής διατομής με διαστάσεις $6.80\text{m} \times 3.45\text{m}$ με χρήση υλικού οπλισμένου σκυροδέματος. Το υλικό αυτό επιλέχτηκε για την ευκολία που παρέχει ως προς την κατασκευή αλλά και για την ευρέως διαδεδομένη τεχνογνωσία γύρω από αυτό. Η διατομή επιλέχτηκε με γνώμονα την οικονομία και ευκολία κατασκευής σε πραγματικές συνθήκες εργοταξίου. Οι γραμμικές υδραυλικές απώλειες του αγωγού ανέρχονται σε 0.75m

2. Το στόμιο αναρρόφησης, στην είσοδο του αγωγού προσαγωγής, που δεν προεξέχει από το τοίχωμα με στρογγυλεμένες ακμές επιλέγεται λόγω των μειωμένων τοπικών απωλειών που παρέχει στο σύνολο της υδραυλικής αξιοποίησης του έργου. Οι τοπικές υδραυλικές απώλειες ανέρχονται σε 0.092m .

3. Η δημιουργία στροβιλισμών στην είσοδο του νερού από την δεξαμενή στον αγωγό προσαγωγής προυποθέτει βύθιση του στομίου εισόδου και υπολογισμός της βέλτιστης διατομής αυτού. Επιλέγεται στόμιο εισόδου με διαστάσεις $11\text{m} \times 2\text{m}$ κατασκευασμένο στον πυθμένα του υδροληψίας καθώς σύμφωνα με το κεφάλαιο 4.2.4. η διατομή αυτή είναι η βέλτιστη για την αποφυγή της στροβιλότητας του νερού.

4. Η προσαρμογή του αγωγού από τη διατομή $11\text{m} \times 2\text{m}$ σε αυτήν του αγωγού προσαγωγής $6.80\text{m} \times 3.45\text{m}$ επιτυγχάνεται υπό γωνία $\theta=45^\circ$ και αναλύεται στο κεφάλαιο 4.2.4. Οι υδραυλικές τοπικές απώλειες ανέρχονται σε 0.109m .

5. Η εσχάρα υδροληψίας υπολογίζεται στο κεφάλαιο 4.2.3 και οι τοπικές απώλειες αυτής είναι ίσες με 0.088m .

6. Οι υδραυλικές απώλειες που υπολογίστηκαν προστίθενται μεταξύ τους. Το σύνολο αυτών ισούται με $0.75\text{m} + 0.092\text{m} + 0.109\text{m} + 0.088 = 1.039\text{m}$. Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί σε ποσοστό 8.1% επί του καθαρού ύψους

πτώσεως νερού μετρούμενο από την στέψη του φράγματος έως τον άξονα των υδροστροβίλων διαμέτρου περίπου 2.5m, δηλαδή $H_{net}=34-(21+2.5/2)=11.75m$. ($1.039/11.75=0.088=8.84\%$). Το ποσοστό αυτό λόγω του μεγάλου μήκους του αγωγού θεωρείται αποδεκτό και δεν επηρεάζει αρνητικά την καλή λειτουργία του σταθμού. Σε αντίθετη περίπτωση το ποσοστό απωλειών, όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 4.1, είναι ιδανικό όταν κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 3 και 5% επί του καθαρού ύψους πτώσεως.

7. Η εύρεση του πάχους τοιχώματος για αγωγό χαλύβδινο θεωρείται προαιρετικό καθώς επιλέγεται η χρήση του οπλισμένου σκυροδέματος για πρακτικούς λόγους που αναφέρονται πιο πάνω.

8. Ο πύργος ανάπαλσης (surge tower) υπολογίστηκε στο κεφάλαιο 4.2.6. με σκοπό τη μείωση του ύψους της στήλης νερού τοποθετώντας μία ελεύθερη επιφάνεια κοντά στον υδροστρόβιλο. Η εγκατάστασή του στο πάνω μέρος του αγωγού προσαγωγής θα πραγματοποιηθεί σε απόσταση 50 έως 100m από τον υδροστρόβιλο.

Κεφάλαιο έρευνας	Αντικείμενο έρευνας	Αποτέλεσμα έρευνας
Επιλογή τύπου φράγματος	Αναλύονται όλοι οι πιθανοί και κατασκευάσιμοι τύποι φραγμάτων για τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας του παρόντος έργου. Διερευνάται η οικονομικότητα και η ευκολία κατασκευής του κάθε τύπου φράγματος.	Επιλέχθηκε ως ιδανικός τύπος φράγματος για τα δεδομένα του έργου το φράγμα βαρύτητας από άοπλο σκυρόδεμα.
Μελέτη κύριου σώματος φράγματος βαρύτητας	Αναπτύσσονται δοκιμές με στόχο την διαστασιολόγηση του κυρίως σώματος του φράγματος θεωρώντας το ως τοίχο αντιστήριξης. Ικανοποιούνται οι συνθηκές ευστάθειας έναντι ολίσθησης και ανατροπής. Αναλύονται οι δυνάμεις που ασκούνται στην κατασκευή σε καταστάσεις ομαλής λειτουργίας, έκτακτης ανάγκης για πλυμμηρική παροχή 100ετίας και σεισμού.	Η διαστασιολόγηση του φράγματος κατόπιν δοκιμών, παραδοχών και βελτιωτικών έργων κατέληξε σε διαστάσεις με πλάτος στέψης 3.00m, πλάτος φράγματος 10.00m και ύψος κατάντη πόδα 2.50m.

Εκχειλιστής φράγματος	Υπολογίζεται η ροή του νερού πάνω από το σώμα του φράγματος. Διερευνάται η αποφυγή σπηλαιώσης με τον κατάλληλο σχεδιασμό της καμπύλης στέψης του εκχειλιστή.	Επιτυγχάνεται η παροχέτευση όγκων νερού κανονικής λειτουργίας και πλημμύρας ποικίλων περιόδων επαναφοράς χωρίς να θέτουν σε κίνδυνο την ακεραιότητα της κατασκευής.
Υδραυλικό άλμα (hydraulic jump)	Εξετάζεται η περίπτωση δημιουργίας υδραυλικού άλματος στον εκχειλιστή για διάφορες τιμές πλημμυρικής παροχής. Σκοπός είναι η διόδευση παροχών χωρίς αυτή να θέτει σε κίνδυνο την ευστάθεια του φράγματος.	Κρίνεται αναγκαία η κατασκευή λεκάνης καταστροφής ενέργειας μήκους 51 μέτρων. Οι δοκιμές για διάφορες τιμές πλημμυρικής παροχής παρουσιάζουν την συμπεριφορά του νερού πάνω από το σώμα του φράγματος και της λεκάνης.
Ιχθυόδρομος	Ερευνάται η ανάγκη προστασίας της ιχθυοπανίδας της περιοχής με στόχο την ευκολία μετακίνησης αυτής είτε προς τα ανάντη είτε προς τα κατόντη του φράγματος.	Διαστασιολογείται ιχθυόδρομος 36 δεξαμενών με κατά μήκος κλίση αυτού 11.7%.
Επιλογή υλικού αγωγού προσαγωγής	Αναλύεται και εξετάζεται κάθε υλικό κατάλληλο για μεταφορά νερού υπό πίεση καθώς και η ικανότητα καθενός ξεχωριστά να παροχετεύει τον όγκο νερού λειτουργίας των υδροστροβίλων με τις μικρότερες δυνατές απώλειες ενέργειας, την οικονομικότερη κατασκευή, προμήθεια και συντήρησή του.	
Γραμμικές απώλειες αγωγού μήκους L=550m	Πραγματοποιούνται δοκιμές για διάφορα υλικά και διατομές αγωγών με γνώμονα την ελαχιστοποίηση των υδραυλικών απωλειών.	Ο αγωγός προσαγωγής που επιλέγεται για το παρών έργο είναι ορθογωνικής διατομής με διαστάσεις 6.80m x 3.45m με χρήση υλικού οπλισμένου σκυροδέματος. Το υλικό

		αυτό επιλέχτηκε για την ευκολία που παρέχει ως προς την κατασκευή αλλά και για την ευρέως διαδεδομένη τεχνογνωσία γύρω από αυτό. Η διατομή επιλέχτηκε με γνώμονα την οικονομία και ευκολία κατασκευής σε πραγματικές συνθήκες εργοταξίου. Οι γραμμικές υδραυλικές απώλειες του αγωγού ανέρχονται σε 0.75m
Τοπικές απώλειες αγωγού	Υπολογίζονται οι τοπικές απώλειες που δημιουργούνται σε διάφορα κρίσιμα σημεία του αγωγού όπως στο στόμιο εισόδου και στην αλλαγή διατομής.	Το στόμιο αναρρόφησης, στην είσοδο του αγωγού προσαγωγής, που δεν προεξέχει από το τοίχωμα με στρογγυλεμένες ακμές επιλέγεται λόγω των μειωμένων τοπικών απωλειών που παρέχει και αυτές ανέρχονται σε 0.092m. Η προσαρμογή του αγωγού από τη διατομή 11.00m x 2.00m σε αυτή του αγωγού προσαγωγής 6.80m x 3.45m επιτυγχάνεται υπό γωνία $\theta=45^\circ$. Οι υδραυλικές τοπικές απώλειες ανέρχονται σε 0.109m.
Εσχάρα υδροληψίας	Ερευνάται η λειτουργία της εσχάρας υδροληψίας και πραγματοποιούνται δοκιμές για την εύρεση χρυσής τομής μεταξύ της ελαχιστοποίησης των διερχόμενων φερτών υλών και των τοπικών υδραυλικών απωλειών.	Η κλίση της ροής νερού στην εσχάρα ισούται με 11.30° , η απόσταση των ράβδων 150mm, η διατομή των ράβδων 25mm, το άνοιγμα μεταξύ των ράβδων 125mm και ο τρόπος καθαρισμού της εσχάρας επιλέγεται ο χειροκίνητος. Οι τοπικές

		υδραυλικές απώλειες ισούνται με 0.088m.
Στροβιλότητα (vorticity)	Αντικείμενο του κεφαλαίου είναι η ελαχιστοποίηση των τοπικών απωλειών και η αποφυγή της στροβιλότητας στην είσοδο του νερού στον αγωγό. Πραγματοποιούνται δοκιμές για διάφορες τιμές διαστάσεων και βύθισης του αγωγού. Κατόπιν πραγματοποιείται έρευνα για βαθμιαία διαστολή του αγωγού.	Επιλέγεται το στόμιο εισόδου διαστάσεων 11.00m x 2.00m για την αποφυγή στροβιλισμών. Η αλλαγή διατομής από 11.00m x 2.00m σε 6.80m x 3.45m υπό γωνία 45° δημιουργεί απώλειες της τάξης των 0.109m.
Πάχος τοιχωμάτων αγωγού προσαγωγής	Υπολογίζεται το απαιτούμενο πάχος τοιχωμάτων χαλύβδινου αγωγού έτσι ώστε να ανταπεξέρχεται στις δυνάμεις που ασκούνται σε αυτόν σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας αλλά και σε περιπτώσεις υδραυλικού πλήγματος. Μελετάται η ταχύτητα και η πίεση του νερού για διάφορα υλικά και διαστάσεις αγωγών σε συνθήκες υδραυλικού πλήγματος.	Για χαλύβδινο αγωγό το πάχος τοιχωμάτων υπολογίζεται ίσο με 6mm. Το υδραυλικό πλήγμα δυσκολεύει την επιλογή πάχους τοιχωμάτων το οποίο οδηγεί στον σχεδιασμό πρόσθετων κατασκευών εξομάλυνσης των υπερπιέσεων.
Πύργος ανάπαλσης (surge tower)	Διερευνάται η αναγκαιότητα κατασκευής ενός πύργου ανάπλασης ο οποίος θα απορροφά τις υπερπιέσεις που δημιουργεί το υδραυλικό πλήγμα τοποθετώντας μία ελεύθερη επιφάνεια νερού κοντά στους υδροστροβίλους.	Απαραίτητη κρίνεται η κατασκευή πύργου ανάπαλσης καθώς ο χρόνος t_h είναι πολλαπλάσιος του κρισίμου. Τοποθετείται σε απόσταση 50 έως 100m από τους υδροστροβίλους.

Πίνακας 5.1. Αντικείμενα και αποτελέσματα έρευνας διπλωματικής

6. Βιβλιογραφία

1. Αργυράκης Ι.Γ., Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί της Δ.Ε.Η. Α.Ε. και η συμβολή τους στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της χώρας
2. Λιακόπουλος Α ., Υδραυλική - κλειστοί αγωγοί, Εκδόσεις Τζιόλα, 1^η έκδοση, 2011
3. Μαμάσης Ν., Στεφανάκος Ι., Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία, Υδροηλεκτρική ενέργεια, Αθήνα 2010
4. Μπότζιος Βαλασκάκης Α., Μελέτη περιβαλλοντικών πιπτώσεων (Μ.Π.Ε.), Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο, ισχύος 6,3MW, στη θέση "ΒΟΥΛΓΑΡΙΚΑ ΜΑΝΔΡΙΑ" επί του ποταμού Πηνειού, Δ.Ε. Αμπελώνα, Δ. Τυρνάβου του Ν. Λάρισας, 2012
5. Παπανικολάου Ν. Π., Ανοικτοί αγωγοί, 2007-2008
6. Παπαντώνης Ε. Δ., Μικρά υδροηλεκτρικά έργα, Αθήνα 2008, 2^η έκδοση
7. Στάμου Ι. Α., Εφαρμοσμένη Υδραυλική, Ροή υπό πίεση σε κλειστούς αγωγούς, Αθήνα 2009
8. Τσακογιάννης Α. Ι., Υδραυλική, μόνιμη ροή σε κλειστούς αγωγούς και σε υδροδυναμικές μηχανές, Θεσσαλονίκη 2002
9. Works of Edward C.E. Wegmann published by John Wiley & Sons, The Design and Construction of Dams, Library of the University of Michigan, Department of Engineering, 1837
10. Fell R., Patrick MacGregor, David Stapledon, Graeme Bell, Mark Foster, Geotechnical engineering of dams, 2nd edition, 2014
11. Krivchenko G., Hydraulic Machines: Turbines and Pumps, 2^η έκδοση, CRC Press, Inc., 1994
12. Kumar A., T. Schei, A. Ahenkorah, R. Caceres Rodriguez, J.-M. Devernay, M. Freitas, D. Hall, Å. Killingtveit, Z. Liu, : Hydropower. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA., 2011
13. Inamdar P. Shreeram, University of Delaware, Hydraulic jump and weir flow»

14. Design of gravity dams, United states department of the interior, Bureau of reclamation, Design manual for concrete gravity dams, a Water resources technical publication, Denver, Colorado, 1976
15. www.bp.com
16. www.sciencedirect.com
17. [_www.esha.com](http://www.esha.com), Guide to develop of SHP1
18. www.pumpfundamentals.com