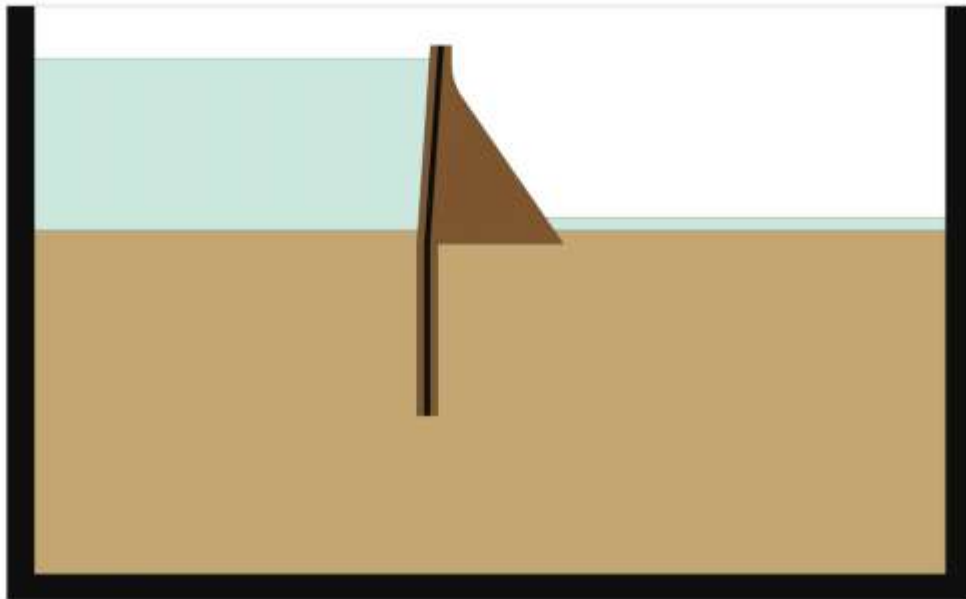




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ  
ΡΟΗΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΦΡΑΓΜΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑ  
ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:**

**ΑΝΑΣΤΟΥΛΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:**

**ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΙΡΗΝΗ  
ΦΟΥΡΝΙΩΤΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ – 2020**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η επιλογή της πτυχιακής εργασίας με τίτλο **“Πειραματική Μελέτη της Υπόγειας Ροής Κάτω από Φράγμα Παρουσία Διαφραγματικού Τοίχου”** ήταν αποτέλεσμα διαρκούς σκέψης και συζήτησης με τους επιβλέποντες καθηγητές, καθώς και η ολοκλήρωσή της, αποτέλεσμα σκληρής δουλειάς.

Η διαδικασία της πειραματικής μελέτης πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Εδαφομηχανικής του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας. Συγκεκριμένα οφείλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς τους επιβλέποντες καθηγητές της εργασίας, κ. Βγενοπούλου Ειρήνη και κ. Φουρνιώτη Νικόλαο, για την καθοδήγησή τους και την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφεραν σε κάθε στάδιο εκπόνησης της εργασίας, καθώς χωρίς την συνεχή βοήθειά τους, η ολοκλήρωση της εργασίας αυτής δεν θα ήταν εφικτή. Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου για την συμπαράσταση που μου έδειξε όλο αυτό το διάστημα, αλλά και για την στήριξη και την εμπιστοσύνη που μου δείχνει καθημερινά.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη της υπόγειας ροής και πιο συγκεκριμένα η μέτρηση της διηθούμενης παροχής κάτω από φράγμα βαρύτητας θεμελιωμένο σε αμμώδες έδαφος. Η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε δύο φορές. Στην πρώτη περίπτωση το φράγμα δεν διαθέτει κάποιο συμπληρωματικό έργο για τον περιορισμό της υπόγειας ροής, ενώ στην δεύτερη περίπτωση έχει κατασκευασθεί διαφραγματικός τοίχος κάτω από το φράγμα. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν και αξιολογήθηκαν, προκειμένου να διαπιστωθεί πόσο σημαντικό ρόλο στην μείωση της διηθούμενης παροχής αποτελεί η ύπαρξη διαφραγματικού τοίχου κάτω από τα φράγματα βαρύτητας. Πιο συγκεκριμένα, η παρούσα εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη.

Στο πρώτο μέρος γίνεται αναφορά στα είδη των φραγμάτων, στις συνθήκες ισορροπίας των φραγμάτων βαρύτητας καθώς και στα οφέλη και τις επιπτώσεις που μπορεί να δημιουργήσει η ύπαρξη ενός φράγματος. Στη συνέχεια, εξετάζονται τα δίκτυα ροής, η ροή μέσα και κάτω από τα φράγματα και η διαπερατότητα των εδαφών. Τέλος, παρουσιάζονται οι μέθοδοι με τις οποίες επιτυγχάνεται ο περιορισμός της ροής με ιδιαίτερη έμφαση να δίνεται στον διαφραγματικό τοίχο, αφού είναι και η μέθοδος που επιλέχθηκε για την πειραματική διαδικασία.

Στο δεύτερο μέρος αναλύονται ο σχεδιασμός και η κατασκευή της πειραματικής διάταξης καθώς και οι δυσκολίες που παρουσιάστηκαν. Ύστερα γίνεται προσέγγιση του πειράματος μέσω θεωρητικών υπολογισμών, ενώ στη συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία της πειραματικής μελέτης. Τέλος, αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την διαδικασία.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	<b>1</b>
<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	<b>2</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>3</b>
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ</b> .....	<b>4</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΦΡΑΓΜΑΤΑ</b> .....	<b>6</b>
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ .....	6
1.2 ΕΙΔΗ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ .....	11
1.2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ .....	11
1.2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ .....	12
1.2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ .....	12
1.3 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ.....	20
1.3.1 ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ .....	20
1.3.2 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΝΑΤΡΟΠΗ .....	22
1.3.3 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΟΛΙΣΘΗΣΗ.....	22
1.4 ΕΡΓΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ – ΣΥΝΟΔΑ ΕΡΓΑ .....	23
1.5 ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ.....	26
1.5.1 ΒΑΣΙΚΑ ΟΦΕΛΗ .....	26
1.5.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ .....	27
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΡΟΗ ΣΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ</b> .....	<b>28</b>
2.1 ΜΟΝΙΜΗ ΥΔΑΤΙΚΗ ΡΟΗ .....	28
2.1.1 ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΡΟΗ .....	28
2.1.2 ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΟΥΣ .....	29
2.2 ΔΙΚΤΥΑ ΡΟΗΣ .....	30
2.3 ΡΟΗ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΧΩΜΑΤΙΝΟ ΦΡΑΓΜΑ.....	31
2.4 ΡΟΗ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΦΡΑΓΜΑ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ .....	33

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΣΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ .....</b>	<b>35</b>
3.1 ΤΑΦΡΟΣ ΔΙΑΚΟΠΗΣ .....	35
3.2 ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΙΚΟΣ ΤΑΠΗΤΑΣ ΚΑΤΑΝΤΗ .....	36
3.3 ΑΝΑΚΟΥΦΙΣΤΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ .....	37
3.4 ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟΣ ΤΑΠΗΤΑΣ ΑΝΑΝΤΗ .....	39
3.5 ΚΟΥΡΤΙΝΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ .....	40
3.6 JET GROUTING .....	42
3.7 ΔΙΑΦΡΑΓΜΑ ΜΕ ΕΓΧΥΤΟΥΣ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ .....	43
3.8 ΠΑΣΑΛΟΣΑΝΙΔΕΣ .....	44
3.9 ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ ΤΟΙΧΟΣ .....	45
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ.....</b>	<b>51</b>
4.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ .....	51
4.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ .....	54
4.3 ΣΥΝΘΕΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ.....	59
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ .....</b>	<b>61</b>
5.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΡΟΗΣ.....	61
5.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ .....	62
5.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΗΘΟΥΜΕΝΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ.....	63
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΣΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΡΟΗΣ .....</b>	<b>65</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ .....</b>	<b>69</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>70</b>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΦΡΑΓΜΑΤΑ

## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

Φράγμα ορίζεται το τεχνικό έργο το οποίο κατασκευάζεται εγκάρσια της κοίτης ενός ρέματος ή ενός ποταμού, με σκοπό την ανακοπή της ροής του και την συγκέντρωση και αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων νερού για μελλοντική χρήση και διάθεσή του με ελεγχόμενο τρόπο. Η λεκάνη συγκέντρωσης του νερού που δημιουργείται ανάντη του φράγματος καλείται ταμιευτήρας. Αξίζει να σημειωθεί πως τα όρια του ταμιευτήρα δεν είναι σταθερά, καθώς μεταβάλλονται ανάλογα με την ποσότητα του νερού που είναι αποθηκευμένη.

Στόχος των φραγμάτων είναι η αναρρύθμιση της ροής των υδατορευμάτων και η αξιοποίηση των υδάτινων πόρων κατά τρόπο οικονομικά αποδοτικότερο. Τα πρώτα φράγματα, των οποίων η κατασκευή χρονολογικά τοποθετείται αρκετούς αιώνες πίσω, είχαν ως κύριο στόχο την παροχή αντιπλημμυρικής προστασίας και κατ' επέκταση την ύδρευση και άρδευση των παρακείμενων περιοχών, ενώ αρκετά αργότερα αποσκοπούσαν και στην παράγωγη υδροηλεκτρικής ενέργειας. Πλέον, τα φράγματα διαφέρουν πολύ σε σχέση με τα υπόλοιπα έργα του Πολιτικού Μηχανικού, κι αυτό γιατί αφενός είναι έργα πολύ μεγαλύτερα από τα παλαιότερα φράγματα και αφετέρου στις μέρες μας χρησιμοποιείται κάθε δυνατή γνώση και τεχνογνωσία στους τομείς της υδραυλικής και των υδροδυναμικών έργων.

Το πρώτο φράγμα που κατασκευάστηκε (περίπου 4.000 π.Χ.) βρισκόταν στην Γιάβα της Ιορδανίας και είχε σκοπό την ύδρευση. Μερικά ακόμη από τα παλαιότερα φράγματα της ιστορίας είναι το φράγμα Σαντ ελ Καφάρα στην Αίγυπτο (2.500 π.Χ.), το γεώφραγμα στον ποταμό Ορόντες (1.300 π.Χ.), το οποίο έχει συντηρηθεί κατά καιρούς και διατηρείται ακόμα, και άλλα.

Από τότε μέχρι και σήμερα είναι επιτακτική η ανάγκη κατασκευής φραγμάτων με συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό καθώς οι ανάγκες για χρήση νερού για ποικίλους σκοπούς ολοένα και αυξάνεται. Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζονται οι χώρες με τα περισσότερα μεγάλα φράγματα (με ύψος μεγαλύτερο των 15 μέτρων) στον κόσμο.

*Πίνακας 1.1: Κατάταξη χωρών με τα περισσότερα μεγάλα φράγματα στον κόσμο. (Διαδίκτυο)*

<b>ΚΑΤΑΤΑΞΗ</b>	<b>ΧΩΡΑ</b>	<b>ΑΡΙΘΜΟΣ</b>
1	Κίνα	23.842
2	Η.Π.Α.	9.265
3	Ινδία	5.102
4	Ιαπωνία	3.116
5	Βραζιλία	1.392
6	Κορέα	1.305
7	Καναδάς	1.166
8	Νότια Αφρική	1.114
9	Ισπανία	1.082
10	Τουρκία	976
11	Ιράν	800
12	Γαλλία	713
13	Ηνωμένο Βασίλειο	607
14	Μεξικό	572
15	Ιταλία	542
16	Αυστραλία	507
17	Νορβηγία	335
18	Αλβανία	308
19	Γερμανία	308
20	Ζιμπάμπουε	254
21	Ρουμανία	246
22	Ταϊλάνδη	218
23	Πορτογαλία	217
24	Σουηδία	190
25	Βουλγαρία	181

Στην Ελλάδα το πρώτο μεγάλο φράγμα κατασκευάστηκε στον Μαραθώνα το 1929 και ο σκοπός του ήταν η ύδρευση της Αθήνας. Να σημειωθεί πως το φράγμα του Μαραθώνα υπάγεται στο φορέα της Ε.Υ.Δ.Α.Π. και εξακολουθεί να υδρεύει την Αθήνα, όπως επίσης το φράγμα της Ραπεντώσας στην Αττική, του Εύηνου στην Αιτωλοακαρνανία και του

Μόρνου στην Φωκίδα. Ενδεικτικά στον πίνακα 1.2 παρουσιάζονται τα μεγαλύτερα φράγματα της Ελλάδας με βάση το ύψος τους.

*Πίνακας 1.2: Τα μεγαλύτερα φράγματα της Ελλάδας με βάση το ύψος τους. (Διαδίκτυο)*

<b>ΦΡΑΓΜΑ</b>	<b>ΕΤΟΣ</b>	<b>ΝΟΜΟΣ</b>	<b>ΤΥΠΟΣ</b>	<b>ΥΨΟΣ</b>
Θησαυρού	1996	Δράμας	Λιθόρριπτο	172
Κρεμαστών	1965	Ευρυτανίας – Αιτωλνίας	Χωμάτινο	165
Μεσοχώρας	Υπό κατασκευή	Τρικάλων	Λιθόρριπτο	151
Μόρνου	1979	Φωκίδας	Χωμάτινο	139
Ιλαρίωνα	2012	Κοζάνης	Χωμάτινο	130
Εύηνου	2001	Αιτωλοακαρνανίας	Χωμάτινο	127
Πολυφύτου	1974	Κοζάνης	Λιθόρριπτο	112
Σμοκόβου	2002	Καρδίτσας	Λιθόρριπτο	104
Πουρναρίου 1	1981	Άρτας	Χωμάτινο	102
Καστρακίου	1969	Αιτωλοακαρνανίας	Χωμάτινο	96
Πλατανόβρυσης	1998	Δράμας	RCC	95
Ταυρωπού	1959	Καρδίτσας	Τοξωτό	83
Σφηκιάς	1985	Ημαθίας	Λιθόρριπτο	82
Πηγών Αώου	1989	Ιωαννίνων	Χωμάτινο	78
Φανερωμένης	2004	Ηρακλείου	Χωμάτινο	75
Παπαδιάς	2008	Φλώρινας	Λιθόρριπτο	67
Γαδουρά	2007	Δωδεκανήσου (Ρόδος)	Χωμάτινο	67
Αποσελέμη	2012	Ηρακλείου	Λιθόρριπτο	61
Πραμόριτσας	2007	Κοζάνης	Λιθόρριπτο	57
Φενεού ή Δόξας	1996	Κορινθίας	Χωμάτινο	56
Λάδωνα	1955	Αρκαδίας	Αντηριδωτό	56
Αμαρίου	2008	Ρεθύμνου	Λιθόρριπτο	55
Μαραθώνα	1929	Αττικής	Βαρύτητας	54
Γρατινής	2002	Ροδόπης	Χωμάτινο	53
Φανερωμένης	2004	Κυκλάδων (Νάξος)	Λιθόρριπτο	52
Ασωμάτων	1985	Ημαθίας	Χωμάτινο	52



Πηνεϊού Ηλείας	1966	Ηλείας	Χωμάτινο	50
Βράχου	2010	Καστοριάς	Λιθόρριπτο	48
Λιβαδίου	2005	Λάρισας	Χωμάτινο	45
Διπόταμαου	2005	Έβρου	Λιθόρριπτο	44
Μπραμιανού	1987	Λασιθίου	Χωμάτινο	44
Ερεσσού	2002	Λέσβου	Χωμάτινο	41
Λευκόγειας	1994	Δράμας	Χωμάτινο	41
Κατάρη	2008	Χίου	Χωμάτινο	40
Βοηθητικό Αώου	1990	Ιωαννίνων	Λιθόρριπτο	40
Καλύβας	2008	Έβρου	Χωμάτινο	39
Ραπεντώσας	2004	Αττικής	Λιθόρριπτο	39
Απολακκιάς	1987	Δωδεκανήσου (Ρόδος)	Χωμάτινο	39
Ινίου	2008	Ηρακλείου	Χωμάτινο	38
Παναγιώτικο	2003	Μαγνησίας	Λιθόρριπτο	38
Πηγών Παιώνιας	1999	Κιλκίς	Λιθόρριπτο	38
Σαραπιού	2011	Χίου	Λιθόρριπτο	35
Σισσανίου	2006	Κοζάνης	Λιθόρριπτο	35
Κατάφυτου	2001	Δράμας	Χωμάτινο	34
Ληθαίου	Υπό κατασκευή	Τρικάλων	RCC	32
Μεσόβουνου	2009	Κοζάνης	Λιθόρριπτο	32
Λιβαδίου	1997	Δωδεκανήσου (Αστ/λαια)	Χωμάτινο	32
Άνω Μεράς	1997	Κυκλάδων (Μύκονος)	RCC	31
Λιβαδίου	2005	Δωδεκανήσου (Πάτμος)	Λιθόρριπτο	30
Στενού	2003	Κυκλάδων (Σέριφος)	Βαρύτητας	30
Μαραθιάς	1992	Κυκλάδων (Μύκονος)	RCC	30
5 Αλωνίων	1990	Ιωαννίνων	Λιθόρριπτο	30
Περδίκας	1962	Κοζάνης	Χωμάτινο	30
Κολχικής	2009	Φλώρινας	Χωμάτινο	29
Ραχών	1995	Σάμου (Ικαρία)	Χωμάτινο	29
Καστανιάς	2011	Μαγνησίας (Αλόνησος)	Λιθόρριπτο	28
Δαφνοζωνάρας	2010	Ευρυτανίας – Αιτωλ/νίας	Βαρύτητας	28
Δεσκάτης	2006	Γρεβενών	Χωμάτινο	28

Κρανέας	2000	Λάρισας	Χωμάτινο	28
Ασκητών	2000	Ροδόπης	Χωμάτινο	28
Γέρμας	2006	Καστοριάς	Χωμάτινο	27
Παρθένι	2002	Δωδεκανήσου (Λέρος)	Χωμάτινο	26
Στράτου	1988	Αιτωλοακαρνανίας	Χωμάτινο	26
Μεσημερίου	2008	Πέλλας	Χωμάτινο	25
Αμάρμπεης	2003	Λάρισας	Χωμάτινο	25
Καστέλι	2001	Λάρισας	Χωμάτινο	25
Βασιλικών	1996	Θεσσαλονίκης	Χωμάτινο	25
Φωλιάς	1995	Καβάλας	Λιθόρριπτο	25
Ασπροχώματος	1993	Λάρισας	Χωμάτινο	25
Πολιτσών	1990	Ιωαννίνων	Λιθόρριπτο	25
Κοντιά	1976	Λέσβου (Λήμνος)	Χωμάτινο	25
Παλαιοπρίονου	2008	Ημαθίας	Χωμάτινο	24
Λογγά	2000	Τρικάλων	Χωμάτινο	24
Λουτρού	2001	Λάρισας	Χωμάτινο	23
Μυλοπότα	1995	Κυκλάδων (Ιος)	Λιθόρριπτο	23
Ζυφιάς	1994	Χίου	Χωμάτινο	23
Καλυβίων	1992	Λάρισας	Χωμάτινο	23
Αλέξη	2009	Τρικάλων	Χωμάτινο	22
Βακέτας	2008	Κυκλάδων (Τήνος)	Βαρύτητας	22
Λούρου	1954	Πρέβεζας	Βαρύτητας	22
Σκεπαρίου	2010	Τρικάλων	Χωμάτινο	21
Μαυραναίων	1992	Γρεβενών	Χωμάτινο	21
Μηλοχωρίου	2009	Κοζάνης	Χωμάτινο	20
Αγίας Βαρβάρας	2007	Ημαθίας	Χωμάτινο	20
Καμαρών	2008	Κυκλάδων (Σίφνος)	Βαρύτητας	20
Φελλίου	1995	Γρεβενών	Χωμάτινο	19
Βασιλειάδας	2008	Καστοριάς	Χωμάτινο	17
Αρδανίου	2004	Έβρου	Χωμάτινο	17
Γυρτώνης	2010	Λάρισας	Βαρύτητας	16
Λιθότοπου	1933/65/82	Σερρών	Χωμάτινο	16

## 1.2 ΕΙΔΗ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Η κατασκευή φραγμάτων είναι από τα πιο σημαντικά έργα του Πολιτικού Μηχανικού και ειδικότερα των επιστημών της Υδραυλικής και της Εδαφομηχανικής. Είναι, όμως, και έργα που πραγματοποιούνται σπανιότερα λόγω των υψηλών δαπανών που απαιτούν. Τα φράγματα δεν είναι έργα που μπορούν να τυποποιηθούν, κι αυτό γιατί κάθε περίπτωση χρήζει διαφορετικής αντιμετώπισης και κατασκευής. Κάθε φράγμα έχει διαφορετικές διαστάσεις, διαφορετικούς φυσικούς παράγοντες που επηρεάζουν την θεμελίωσή του και γενικότερα διαφορετική λειτουργία.

Τα φράγματα διακρίνονται σε 3 μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με: την χρήση, την λειτουργία και τα υλικά κατασκευής τους.

### 1.2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ

Αποθηκευτικά Φράγματα: Ο στόχος τους είναι να συσσωρεύουν μεγάλες ποσότητες νερού στον ταμιευτήρα ανάντη του φράγματος κατά τις περιόδους που υπάρχει πλεόνασμα ώστε να χρησιμοποιηθεί σε περιόδους λειψυδρίας. Εάν το επιτρέπει η μορφολογία της περιοχής μπορούν να κατασκευαστούν περισσότερα από ένα φράγματα κατά μήκος του ποταμού.

Φράγματα Εκτροπής: Σκοπός τους είναι η παροχέτευση του νερού του ποταμού μέσω αγωγών με σκοπό την ύδρευση, άρδευση ή και την βιομηχανική χρήση.

Φράγματα Ανάσχεσης: Η κατασκευή τους έχει σκοπό την ανάσχεση των πλημμυρών. Διακρίνονται σε δύο τύπους. Στην μία περίπτωση το φράγμα λειτουργεί με την ίδια λογική με τα αποθηκευτικά φράγματα. Δηλαδή όταν υπάρχει μεγάλη ροή του ποταμού, λόγω βροχοπτώσεων ή λιώσιμο χιονιού, τότε αποθηκεύει τις μεγάλες αυτές ποσότητες νερού προσωρινά και τις διοχετεύει σταδιακά κατάντη του φράγματος προς αποφυγή πλημμυρών. Στην δεύτερη περίπτωση το νερό αποθηκεύεται στον ταμιευτήρα όσο το δυνατόν περισσότερο χρόνο έτσι ώστε να ανέβει η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα.

Τις περισσότερες φορές τα φράγματα εξυπηρετούν περισσότερους από έναν σκοπούς. Δηλαδή, είναι εφικτό να υφίσταται ένα αποθηκευτικό φράγμα, το οποίο να υδρεύει και

να αρδεύει μια περιοχή ενώ παράλληλα θα μπορεί να παροχετεύει μια βιομηχανική ζώνη και να χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτά τα φράγματα αναφέρονται ως πολλαπλής σκοπιμότητας.

### 1.2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Υπερχειλιζόμενα Φράγματα: Είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να υπερχειλίζουν από την στέψη τους. Αυτό σημαίνει πως τα υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένα τα πρέπει να είναι ανθεκτικά σε τόσο μεγάλες παροχές, διότι στην αντίθετη περίπτωση θα υπάρξει διάβρωση του φράγματος. Τέτοια υλικά μπορεί να είναι ο χάλυβας, το ξύλο και κυρίως το σκυρόδεμα.

Μη Υπερχειλιζόμενα Φράγματα: Είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να μην υπερχειλίζουν από την στέψη τους. Συνήθως χρησιμοποιούν πλευρικούς εκχειλιστές ή αγωγούς που παροχετεύουν το νερό του ταμιευτήρα κατάντη του φράγματος ή για άλλους σκοπούς όπως προαναφέρθηκε. Τα μη υπερχειλιζόμενα φράγματα δημιουργήθηκαν ώστε να επιτρέπεται η κατασκευή φραγμάτων από εδαφικά υλικά.

Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα να γίνει συνδυασμός των δυο αυτών μεθόδων και να δημιουργηθεί μια σύνθετη κατασκευή φράγματος, το οποίο, για παράδειγμα, θα είναι χωμάτινο ή λιθόρριπτο με το υπερχειλιζόμενο τμήμα ή την στέψη του να αποτελείται από οπλισμένο σκυρόδεμα.

### 1.2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Όταν λέμε είδη φραγμάτων τις περισσότερες φορές εννοούμε την κατηγοριοποίηση ως προς το υλικό και τον τύπο κατασκευής.

Χωμάτινα Φράγματα: Είναι ο συνηθέστερος τύπος φραγμάτων κυρίως γιατί κατασκευάζεται από υλικά τα οποία βρίσκονται στην περιοχή και τα οποία δεν χρειάζονται σημαντική επεξεργασία. Δεν έχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις ως προς το έδαφος θεμελίωσης. Επίσης η μηχανοποίηση τα έχει καταστήσει πολύ οικονομικότερα. Πιο συγκεκριμένα, για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται ελεγμένα ως προς την ποιότητα

εκχώματα από δανειοθαλάμους, τα οποία μεταφέρονται με φορτηγά στο φράγμα όπου και εναποτίθενται. Το εδαφικό υλικό στρώνεται σε λεπτές στρώσεις πάχους 0,30-0,50 m με την βοήθεια αποξεστών, ισοπεδωτών ή προωθητών. Κάθε στρώση βρέχεται και συμπυκνώνεται με οδοστρωτήρες, κατσικοπόδαρα ή αυτοκινούμενους δονητές ώστε να αποκτήσει την μέγιστη συμπύκνωση. Δεν είναι υπερχειλιζόμενα από την στέψη λόγω κινδύνου διάβρωσης και για αυτό το λόγο απαιτείται η κατασκευή υπερχειλιστή.



*Εικόνα 1.1: Το φράγμα Ασπρόκρεμμου στη Πάφο της Κύπρου. (Διαδίκτυο)*

Τα χωμάτινα φράγματα κατασκευάζονται με τρεις διαφορετικούς τρόπους:

α) *Ομογενή:* Κατασκευάζονται εξ' ολοκλήρου από το ίδιο είδος υλικό, το οποίο θα πρέπει να είναι σχεδόν αδιαπέρατο. Τα πρανή έχουν μικρή κλίση ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος διάβρωσής τους. Επίσης, πολλές φορές τοποθετούνται στραγγιστήρια. Αυτό σημαίνει πως θα έχουμε μεγαλύτερες κλίσεις αφού δεν θα έχουμε τον κίνδυνο της διάβρωσης και κατ' επέκταση μικρότερο όγκο του φράγματος.

β) *Ετερογενή:* Είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος χωμάτινου φράγματος. Στο κέντρο τους τοποθετείται ένα παχύ στρώμα αδιαπέρατου υλικού, συνήθως αργίλου, το οποίο αποτελεί τον πυρήνα του φράγματος. Ανάντη και κατάντη του πυρήνα τοποθετείται μια λεπτή στρώση ημιπερατών υλικών ενώ όλο το υπόλοιπο σώμα του πυρήνα αποτελείται από διαπερατά υλικά.



γ) *Με διάφραγμα*: Κατασκευάζονται από διαπερατά γαιώδη υλικά και μία λεπτή στρώση αδιαπέρατου υλικού που τοποθετείται από το ανάντη πρηνές του φράγματος μέχρι και κατακόρυφα στο κέντρο του, ώστε να μην επιτραπεί η διέλευση του νερού μέσα από αυτό. Συνήθως αυτή η στρώση αποτελείται από σκυρόδεμα.

Λιθόρριπτα Φράγματα: Η τρόπος κατασκευής τους και η διατομή τους μοιάζει πολύ με αυτή των χωμάτινων φραγμάτων. Τα φράγματα αυτού του τύπου κατασκευάζονται με λίθους διαφόρων μεγεθών καλά διαβαθμισμένους (κροκάλα, βράχοι, κ.ά.). Κατασκευάζονται σε περιοχές όπου υπάρχει διαθεσιμότητα βραχωδών υλικών που βρίσκονται ελεύθερα ή αποτελούν εκχώματα άλλων τεχνικών έργων, και η μεταφορά κάθε άλλου υλικού κρίνεται αντισυμβατική. Επίσης, αν υπάρχει περίπτωση μελλοντικής υπερύψωσης του φράγματος, τα λιθόρριπτα φράγματα έχουν σημαντικό προβάδισμα έναντι των χωμάτινων. Άλλα πλεονεκτήματα των λιθόρριπτων φραγμάτων είναι πως δεν επηρεάζονται από βροχές οπότε η κατασκευή τους μπορεί να πραγματοποιείται και τον χειμώνα, η θεμελίωση – στεγανοποίηση του εδάφους είναι ανεξάρτητη από την κατασκευή της λιθορριπής, κλπ.



*Εικόνα 1.2: Το φράγμα Θησαυρού στη Δράμα. (Διαδίκτυο)*

Η στεγανοποίηση του λιθόρριπτου φράγματος μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους:

α) *Αδιαπέρατη μεμβράνη ανάντη*: Κατασκευάζεται συνήθως από σκυρόδεμα ή ασφαλτοσκυρόδεμα. Η κατασκευή της πραγματοποιείται μετά την κατασκευή του

φράγματος και υπάρχει η δυνατότητα επιθεώρησης και επισκευής της. Το ανάντη τμήμα της λιθορριπής δεν παρουσιάζει ολίσθηση διότι συγκρατείται από την μεμβράνη. Τέλος, αν κριθεί απαραίτητη η υπερύψωση του φράγματος, η αδιαπέρατη μεμβράνη διευκολύνει την διαδικασία.

β) *Κεκλιμένος πυρήνας*: Μπορεί να κατασκευαστεί από άργιλο ή από σκυρόδεμα. Παρουσιάζει πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα έναντι της αδιαπέρατης μεμβράνης ανάντη. Θετικό είναι ότι δεν εκτίθεται στους εξωτερικούς παράγοντες κάτι που θα βοηθήσει στην αντοχή του σε βάθος χρόνου. Αρνητικό όμως είναι ότι δεν υπάρχει η δυνατότητα επιθεώρησης ή επισκευής του.

γ) *Κεντρικός πυρήνας*: Κατασκευάζεται κατακόρυφα από άργιλο ή σκυρόδεμα. Παρουσιάζει τα ίδια χαρακτηριστικά με τον κεκλιμένο πυρήνα.

Φράγματα Βαρύτητας (Σκυροδέματος): Κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα και συνήθως όπου υπάρχει βράχος ως έδαφος θεμελίωσης, ώστε να εξασφαλισθεί η σταθερότητα-ισορροπία του. Μπορούν να κατασκευασθούν και σε αλλουβιακές αποθέσεις, είναι όμως απαραίτητο να γίνουν οι απαιτούμενες στεγανοποιήσεις στο υπέδαφος.



*Εικόνα 1.3: Το φράγμα του Μαραθώνα στην Αττική. (Διαδίκτυο)*

Τα φράγματα βαρύτητας έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να υπερχειλίζουν από την στέψη τους, δεδομένου ότι το σκυρόδεμα δεν διαβρώνεται από μεγάλες παροχές και πιέσεις. Αρκετές είναι οι φορές που τα φράγματα βαρύτητας χρησιμοποιούνται ως τμήμα των χωμάτινων φραγμάτων. Μπορούν να κατασκευασθούν οριζόντια ή καμπύλα σε κάτοψη με τα τελευταία να είναι πιο οικονομικά στην κατασκευή αλλά και πιο ασφαλή. Ένας αρνητικός παράγοντας στην κατασκευή φραγμάτων από σκυρόδεμα είναι οι ρηγματώσεις με την πάροδο του χρόνου. Αυτές συνήθως οφείλονται στην συρρίκνωση του σκυροδέματος αλλά και στις θερμοκρασιακές μεταβολές. Η συρρίκνωση εξαρτάται από την ποσότητα τσιμέντου στο σκυρόδεμα, την ποιότητα, αλλά και τις διαστάσεις των αδρανών. Για να αποφύγουμε τέτοια φαινόμενα, τουλάχιστον σε μεγάλο βαθμό, είναι απαραίτητο να τηρείται αυστηρά η αναλογία χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων υλικών. Όσον αφορά τις θερμοκρασιακές μεταβολές είναι λογικό, αφού το σκυρόδεμα εκλύει θερμότητα και το περιβάλλον έχει χαμηλότερη θερμοκρασία, να δημιουργηθούν ρηγματώσεις λόγω συστολοδιαστολών. Επίσης, οι καιρικές συνθήκες είναι ένας παράγοντας ρηγματώσεων. Επειδή λοιπόν, οι ρηγματώσεις μπορεί να είναι καταστροφικές στην κατασκευή ενός φράγματος συμπαγούς, κρίνεται απαραίτητη η κατασκευή φραγμάτων από μονολιθικά μπλοκ ύψους περίπου 1,50-2,00 μέτρων, σε ισόχρονα διαστήματα.

Τοξωτά Φράγματα (Σκυροδέματος): Κατασκευάζονται σε περιοχές όπου ο λόγος πλάτους προς ύψους του φράγματος είναι μικρός, όπως σε ρεματιές και φαράγγια. Έχουν τοξοειδή κάτοψη και λειτουργούν ως αμφίπακτα τόξα. Η πίεση του νερού ασκείται στην κυρτή επιφάνεια και μεταβιβάζεται στις πλαγιές της κοιλάδας ως οριζόντιες δυνάμεις. Επηρεάζεται σημαντικά από θερμοκρασιακές μεταβολές, αν σκεφτεί κανείς πως η ανάντη πλευρά είναι σχεδόν ολόκληρη βυθισμένη στο νερό, ενώ η κατάντη πλευρά είναι εκτεθειμένη στις καιρικές συνθήκες. Έτσι δημιουργούνται συστολοδιαστολές στις δυο πλευρές, αν λάβουμε υπόψη το μικρό πάχος που έχει η κατασκευή. Ένα τοξωτό φράγμα μπορεί να είναι απλής ή διπλής καμπυλότητας. Είναι σημαντικό να γίνει έλεγχος αντοχής στις πλαγιές που θα στηριχθεί το φράγμα, έτσι ώστε να μπορούν να δεχθούν τις δυνάμεις του τόξου. Τα τοξωτά φράγματα παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα, όπως το ότι δεν αναπτύσσονται υποπιέσεις και δεν κινδυνεύει από ανατροπή ή ολίσθηση σε αντίθεση με τα φράγματα βαρύτητας όπου είναι απαραίτητος ο έλεγχος ευστάθειας του φράγματος. Θετικό είναι επίσης ότι, όντας φράγμα σκυροδέματος, υπερχειλίζει από την στέψη χωρίς



κίνδυνο διάβρωσης. Υπάρχουν τοξωτά φράγματα σταθερής ακτίνας, σταθερής επίκεντρης γωνίας, μεταβλητής ακτίνας και γωνίας.



*Εικόνα 1.4: Το φράγμα του Hoover στη Νεβάδα των Η.Π.Α. (Διαδίκτυο)*

Αντηριδωτά Φράγματα (Σκυροδέματος): Η κατασκευή τους αποτελείται α) από μια επίπεδη ή καμπύλη πλάκα σκυροδέματος, κλίσεως περίπου  $45^\circ$ , με μικρό σχετικά βάρος που τοποθετείται στην ανάντη πλευρά κάθετα στο ρεύμα και β) τις αντηρίδες, που είναι παράλληλες στο ρεύμα, στις οποίες στηρίζεται η πλάκα σκυροδέματος και κατανέμει τα φορτία από την υδροστατική πίεση που δέχεται από το νερό. Το τοίχιο αυξάνει το πάχος του καθώς αυξάνεται το βάθος και συνεχίζει και στο υπέδαφος μέχρι να συναντήσει βραχώδες έδαφος, ώστε να μειωθεί η διήθηση κάτω από το φράγμα. Σε αυτό συμβάλλουν σημαντικά και οι κουρτίνες τσιμεντενέσεων που εμποδίζουν αποτελεσματικά την διήθηση. Ένα αντηριδωτό φράγμα μπορεί εύκολα να αυξήσει το ύψος του απλά επεκτείνοντας την κεκλιμένη πλάκα σκυροδέματος και τις αντηρίδες. Η φιλοσοφία του μοιάζει με του φράγματος βαρύτητας, με την διαφορά ότι τα αντηριδωτά απαιτούν πολύ λιγότερες ποσότητες σκυροδέματος, έως και  $2/3$  λιγότερο υλικό. Αυτό τα καθιστά οικονομικότερα όσον αφορά το κόστος του υλικού κατασκευής, αλλά το όφελος αυτό αντισταθμίζεται από τις αυξημένες απαιτήσεις σε εργασίες καλουπώματος και

τοποθέτησης οπλισμού. Λόγω του μικρού πάχους του τοιχίου δεν αναπτύσσονται δυνάμεις άνωσης εξαιτίας της διάβρωσης του υπεδάφους και γι' αυτό δεν κατασκευάζονται στραγγιστήρια, σε αντίθεση με τα φράγματα βαρύτητας.



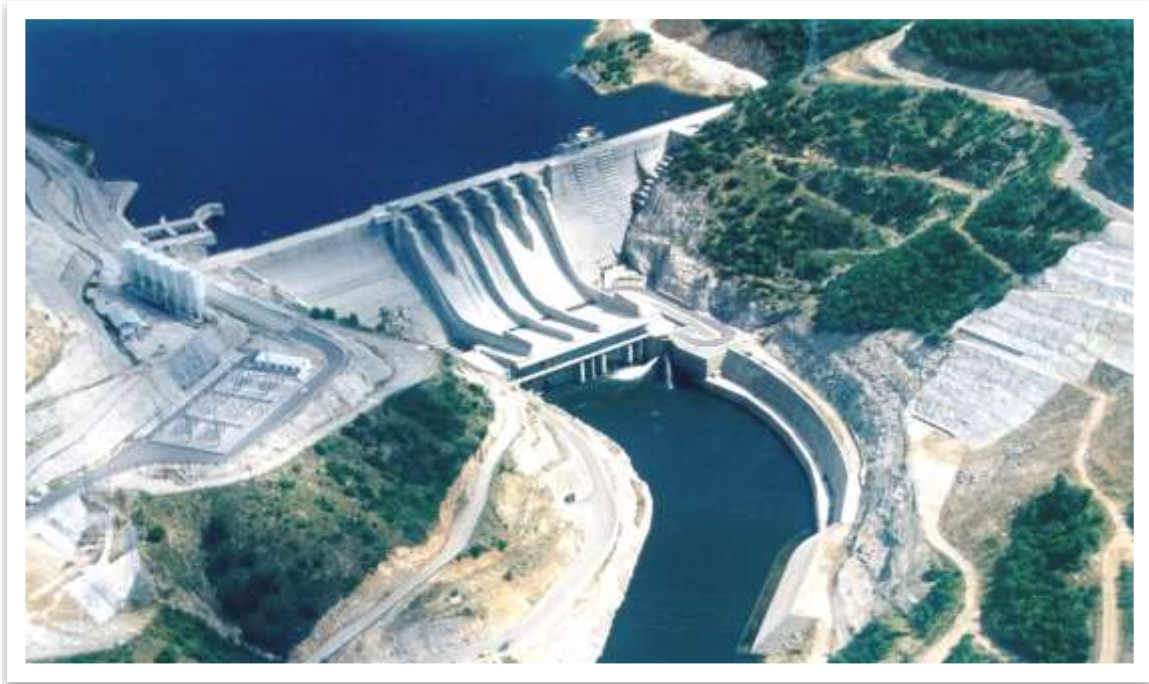
*Εικόνα 1.5: Το φράγμα του Λάδωνα στην Αρκαδία. (Διαδίκτυο)*

Οι αντηρίδες πρέπει να θεμελιώνονται σε υγιή βράχο, σε διαφορετική περίπτωση η βάση της αντηρίδας θα πρέπει να έχουν μεγαλύτερο πλάτος, ώστε να μειωθούν οι αναπτυσσόμενες τάσεις στο έδαφος. Χρειάζεται, όμως, μελέτη, διότι μεγαλύτερη επιφάνεια έδρασης σημαίνει μεγαλύτερες ανωστικές δυνάμεις. Αυτό επιτυγχάνεται με διαπλάτυνση του κάτω άκρου, με την κατασκευή κυψελωτών αντηρίδων και με την δημιουργία οπλισμένου πέδιλου.

Το αδιαπέρατο ανάντη τμήμα μπορεί να πάρει διάφορες μορφές. Η πιο συνήθης είναι η πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος. Άλλες μορφές είναι οι κυλινδρικές επιφάνειες, οι θολωτές επιφάνειες, και τέλος, υπάρχει η δυνατότητα απουσίας του τοιχίου. Σε αυτή την περίπτωση, γίνεται διαπλάτυνση της ανάντη πλευράς των αντηρίδων, έως ότου δημιουργηθεί μια ενιαία αδιαπέρατη πλάκα. Οι αρμοί μεταξύ των αντηρίδων μονώνονται με χαλκό ή κάποιο μονωτικό υλικό.



Φράγματα Ισχνού Κυλινδρούμενου Σκυροδέματος (RCC): Είναι σχετικά καινούριος και εναλλακτικός τρόπος κατασκευής φραγμάτων, που ξεκίνησε να εφαρμόζεται περίπου στα τέλη της δεκαετίας του 1980. Κατασκευάζονται από σκυρόδεμα φτωχό σε ποσότητες τσιμέντου και νερού, ενώ δεν απαιτούν καλής ποιότητας αδρανή υλικά.

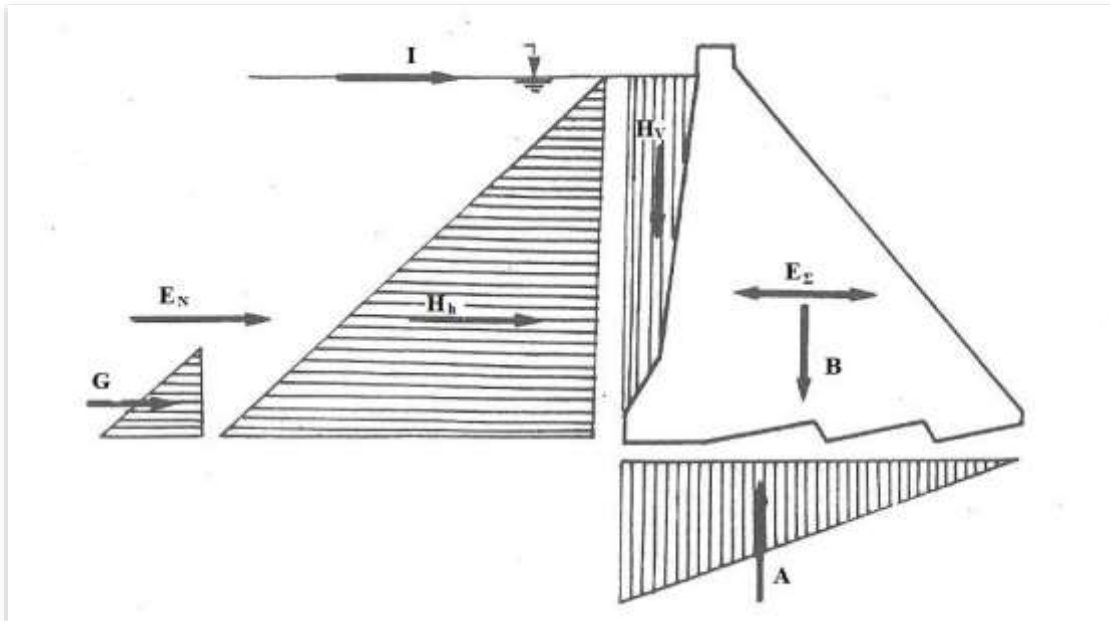


*Εικόνα 1.6: Το φράγμα Πλατανόβρυσης στη Δράμα. (Διαδίκτυο)*

Πιο συγκεκριμένα, η περιεκτικότητα του RCC σε τσιμέντο δεν υπερβαίνει τα  $90 \text{ kg/m}^3$ . Οι μικρές ποσότητες τσιμέντου στο σκυρόδεμα βοηθούν στην αύξηση του μέτρου ελαστικότητας και την αποφυγή της ψαθυρότητας του υλικού. Μεγάλες ποσότητες τσιμέντου οδηγούν σε αύξηση των αναπτυσσόμενων θερμοκρασιών, που ως αποτέλεσμα έχουν την συστολοδιαστολή του σκυροδέματος και κατ' επέκταση την ρηγμάτωσή του. Οι μειωμένες ποσότητες νερού βοηθούν στην καλύτερη συμπίκνωση του μίγματος με τη χρήση οδοστρωτήρων. Σαν υλικό παρουσιάζει πολύ καλή συνοχή και αντοχή συγκριτικά με τα γαιώδη και λιθόρριπτα φράγματα. Η διατομή τους μοιάζει αρκετά με αυτή των χωμάτινων φραγμάτων, καθώς είναι συμμετρικά. Όπως στα περισσότερα φράγματα που κινδυνεύουν από διάβρωση, έτσι και στα RCC τοποθετείται αδιαπέρατη μεμβράνη στην ανάντη πλευρά, συνήθως κατασκευασμένη από συμβατικό οπλισμένο σκυρόδεμα ή ασφαλτοσκυρόδεμα, για πλήρη στεγανοποίηση. Τα φράγματα ισχνού κυλινδρούμενου σκυροδέματος απαιτούν λιγότερο χρόνο και λιγότερα υλικά, συνεπώς και χαμηλότερο κόστος κατασκευής.

## 1.3 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

### 1.3.1 ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ



Εικόνα 1.7: Αναπτυσσόμενες δυνάμεις σε φράγμα βαρύτητας. (Τσόγκας – Τσόγκα, 2000)

Βάρος του Φράγματος (B): Είναι κατακόρυφη δύναμη και εξαρτάται τόσο από τις διαστάσεις του φράγματος, όσο και από το ειδικό βάρος του υλικού κατασκευής του.

$$B = \gamma_b \cdot V \text{ (KN)} \quad \text{ή} \quad B = \gamma_b \cdot E \text{ (KN/m)}$$

Όπου:

- $\gamma_b$ : ειδικό βάρος του σκυροδέματος ( $\text{KN/m}^3$ )
- $V$ : όγκος του φράγματος ( $\text{m}^3$ )
- $E$ : εμβαδό διατομής του φράγματος ( $\text{m}^2$ )

Υδροστατική Πίεση (H): Ασκείται στην ανάντη πλευρά (και ενίοτε και στην κατόντη αν υπάρχει νερό μετά το φράγμα και στη συνέχεια συνυπολογίζονται) και αναλύεται σε δύο επιμέρους δυνάμεις, την οριζόντια  $H_h$  και την κατακόρυφη  $H_v$ :

$$H_h = 1/2 \cdot \gamma_w \cdot h^2 \text{ (KN/m)} \quad \text{και} \quad H_v = E_w \cdot \gamma_w \text{ (KN/m)}$$

Όπου:

- $\gamma_w$ : ειδικό βάρος του νερού ( $KN/m^3$ )
- $h$ : βάθος του νερού ( $m$ )
- $E_w$ : εμβαδό της επιφάνειας του νερού που βρίσκεται πάνω από την ανάντη πλευρά του φράγματος (αν είναι κεκλιμένη).

Άνωση (A): Λόγω της υδροστατικής πίεσης ανάντη, το νερό τείνει να βρεθεί στο κατάντη μέρος του φράγματος. Κατά την ροή του κάτω από το φράγμα δημιουργεί ανωστικές δυνάμεις που προσπαθούν να το ωθήσουν προς τα πάνω. Συνήθως η κατανομή των υποπίεσεων είναι τριγωνικής μορφής, εκτός αν υπάρχει υδροστατική πίεση κατάντη, οπότε παίρνει την μορφή τραπεζίου.

$$A=1/2 \cdot k \cdot \gamma_w \cdot (h+h') \cdot b \text{ (KN/m)}$$

Όπου:

- $k$ : συντελεστής πίεσης πόρων
- $h'$ : ύψος νερού κατάντη (αν υπάρχει) ( $m$ )
- $b$ : πλάτος φράγματος ( $m$ )

Σεισμός (E): Μια σεισμική δόνηση μπορεί να προκαλέσει δυο είδη δυνάμεων. Αφενός την δύναμη που προκαλείται από την αδράνεια του φράγματος και αφετέρου την δύναμη λόγω της αδράνειας του νερού. Λόγω της αδράνειας του φράγματος αναπτύσσονται και οριζόντιες αλλά και κατακόρυφες δυνάμεις. Αυτές έχουν εναλλασσόμενη κατεύθυνση λόγω των σεισμικών κυμάτων. Οι κατακόρυφες θεωρούνται αμελητέες, ενώ οι οριζόντιες υπολογίζονται από τη σχέση:

$$E_S=B \cdot \alpha \text{ (KN/m)}$$

Όπου:

- $\alpha$ : επιτάχυνση του εδάφους και οι τιμές της κυμαίνονται από 0,05 έως 0,75

Οι δυνάμεις λόγω αδράνειας του νερού δίνονται από την σχέση:

$$E_N=0,543 \cdot \alpha \cdot \gamma_w \cdot h^2 \text{ (KN/m)}$$

Πάγος (I): Κατά την χειμερινή περίοδο, σε περιοχές όπου η θερμοκρασία πέφτει υπό το μηδέν για μεγάλα χρονικά διαστήματα, στην επιφάνεια του νερού του ταμιευτήρα δημιουργείται ένα στρώμα πάγου. Όπως είναι γνωστό, όταν το νερό παγώνει, διαστέλλεται. Αποτέλεσμα αυτής της διαστολής είναι η ώθηση που δημιουργεί ο πάγος στο φράγμα. Για τον προσδιορισμό της δύναμης τοποθετούνται σε κάποια φράγματα μηχανισμοί που υπολογίζουν τις ωθήσεις αυτές.

Φερτά Υλικά (G): Είναι η πίεση που προκαλείται από το φαινόμενο της ιζηματοποίησης. Θεωρείται αμελητέα λόγω του μικρού της μεγέθους.

### 1.3.2 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΝΑΤΡΟΠΗ

Ευστάθεια έναντι ανατροπής σε ένα φράγμα δίνει η δύναμη του βάρους του φράγματος και η κατακόρυφη υδροστατική πίεση (αν υπάρχει). Οι υπόλοιπες δυνάμεις που αναπτύσσονται τείνουν να το ανατρέψουν. Υπολογίζονται ροπές ως προς το ανάντη ή κατάντη κάτω άκρο του φράγματος. Για να ισορροπεί ένα φράγμα πρέπει:

$$\frac{M_{ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ}}{M_{ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ}} \geq 2 \sim 3$$

### 1.3.3 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΟΛΙΣΘΗΣΗ

Για να μην ολισθήσει ένα φράγμα βαρύτητας πρέπει το γινόμενο των κατακόρυφων δυνάμεων  $R_V$  με τον συντελεστή τριβής  $\mu$  να είναι μεγαλύτερο από τις οριζόντιες δυνάμεις ολίσθησης  $R_H$ .

$$F_s = \mu \cdot \frac{R_V}{R_H} \geq 1,5$$

## 1.4 ΕΡΓΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ – ΣΥΝΟΔΑ ΕΡΓΑ

Εκχειλιστής ή Υπερχειλιστής: Αποτελεί το πιο σημαντικό έργο ασφαλείας ενός φράγματος. Είναι η κατασκευή μέσα από την οποία (εκχειλιστής) ή πάνω από την οποία (υπερχειλιστής) παροχετεύονται οι πλημμυρικές απορροές του ταμιευτήρα. Αν η παροχή ρυθμίζεται μηχανικά (π.χ. θυρόφραγμα), τότε ο εκχειλιστής θεωρείται ελεγχόμενος. Αν η ροή ελέγχεται μόνο από την γεωμετρία του, τότε κάνουμε λόγο για ελεύθερο υπερχειλιστή.



*Εικόνα 1.8: Ο υπερχειλιστής (θυρόφραγμα) στον ποταμό Αλφειό στην Ηλεία. (Προσωπικό αρχείο)*

Ανάλογα τον τύπο του φράγματος, διακρίνονται σε εκχειλιστές λεπτής στέψης και σε ευρείας στέψης. Οι εκχειλιστές – υπερχειλιστές μπορούν να εκτείνονται κατά μήκος ολόκληρου του φράγματος (καθολικοί εκχειλιστές) ή σε ένα τμήμα του (μερικοί εκχειλιστές). Οι μερικοί εκχειλιστές έχουν διάφορες μορφές. Οι πιο συνήθεις είναι οι ορθογωνικοί, οι τραπεζοειδείς και οι τριγωνικοί. Τον ρόλο του υπερχειλιστή στα φράγματα βαρύτητας αναλαμβάνει η ίδια η στέψη του. Τα γεωφράγματα είναι αδύνατον να υπερχειλίζουν από την στέψη ως έχουν, διότι κινδυνεύουν από διάβρωση. Για το λόγο αυτό ή κατασκευάζονται υπερχειλιστές από σκυρόδεμα ή η υπερχειλίση γίνεται μέσω πλευρικών αγωγών και σηράγγων που καταλήγουν κατόπιν του φράγματος.



Εκκενωτής Πυθμένα: Είναι επίσης ένα πολύ σημαντικό έργο ασφαλείας. Πρακτικά ο εκκενωτής πυθμένα είναι αγωγός που διέρχεται μέσα από το φράγμα, βρίσκεται πολύ χαμηλότερα από τη στάθμη υδροληψίας και μπορεί να παροχετεύσει νερό από τον ταμιευτήρα στα κατάντη του φράγματος. Σκοπός του είναι να είτε να διατηρεί σταθερή την παροχή κατάντη, σε περίπτωση που δεν υπερχειλίζει το φράγμα, ή σπανιότερα να εκκενώσει γρήγορα τον ταμιευτήρα.

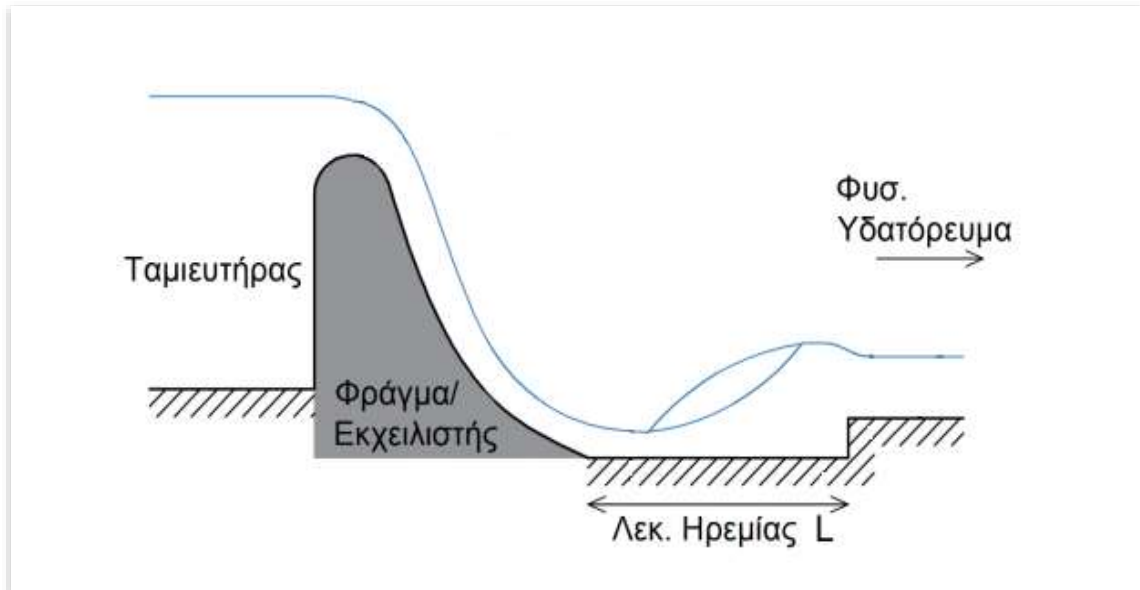


*Εικόνα 1.9: Εκκενωτές πυθμένα στο φράγμα Ταυρωπού. (Διαδίκτυο)*

Στην ανάντη πλευρά του έχει σχάρες από σκυρόδεμα ώστε να συγκρατούν να μεγάλα φερτά υλικά. Στην έξοδό του έχει μια κοίλη βαλβίδα που εκτονώνει την ενέργεια του νερού όταν το κυλινδρικό κάλυμμα αυτής μετακινηθεί προς τα πίσω. Ο εκκενωτής μπορεί να ανοίγει με ηλεκτρική ενέργεια ή χειροκίνητα.



Λεκάνη Ηρεμίας: Διαμορφώνεται κατόπιν του εκχειλιστή και σκοπός της είναι να υποβαθμίσει την ενέργεια του νερού που απορρέει από το φράγμα, με τον έλεγχο του υδραυλικού άλματος. Έτσι αποφεύγεται η διάβρωση του εδάφους μέσω της υποσκαφής στον κατόπιν πόδα του εκχειλιστή. Για την μείωση του μήκους και κατ' επέκταση του κόστους των λεκανών ηρεμίας, έχουν κατασκευαστεί λεκάνες με συμπαγείς οδόντες απόσβεσης.



Εικόνα 1.10: Τυπική Διατομή Λεκάνης Ηρεμίας. (Διαδίκτυο)

## 1.5 ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Με την κατασκευή ενός φράγματος επέρχονται ποικίλες αλλαγές στην περιοχή. Είναι δύσκολο να καθοριστεί εκ των προτέρων το μέγεθος των θετικών και αρνητικών αποτελεσμάτων. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κατασκευής ενός φράγματος διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο φράγματος που κατασκευάζεται, το υπέδαφος, την μορφολογία της ευρύτερης περιοχής και άλλους παράγοντες. Θα πρέπει, λοιπόν, να γίνονται περιβαλλοντικές μελέτες, ώστε να αποσπασθούν τα μέγιστα θετικά και ελάχιστα αρνητικά αποτελέσματα.

### 1.5.1 ΒΑΣΙΚΑ ΟΦΕΛΗ

Η συμβολή των φραγμάτων στην οικονομία των χωρών είναι μεγάλη και ποικίλη. Πέρα, όμως, από την οικονομική ανάπτυξη συμβάλλουν σημαντικά στην περιβαλλοντική και περιφερειακή ανάπτυξη, όταν πραγματοποιούνται περιβαλλοντικές μελέτες πριν την κατασκευή ενός φράγματος. Έχει παρατηρηθεί πως πολλές υποανάπτυκτες περιοχές αναπτύχθηκαν σημαντικά μετά την κατασκευή ενός φράγματος. Πιο συγκεκριμένα αναφέρονται τα οφέλη:

- Ανάπτυξη μιας νέας πανίδας με την δημιουργία νέου περιβάλλοντος.
- Αντιπλημμυρική προστασία.
- Παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας που συμβάλλει στη μείωση των ρυπογόνων μεθόδων παραγωγής (π.χ. πετρέλαιο, λιγνίτης, κλπ).
- Ύδρευση οικισμών και έλεγχος του πόσιμου νερού.
- Αύξηση της παραγωγής των γεωργικών καλλιεργειών και της κτηνοτροφίας, λόγω της δυνατότητας άρδευσης της περιοχής.
- Αύξηση του εισοδήματος από την δημιουργία ιχθυοκαλλιεργειών εντός του ταμιευτήρα
- Αύξηση του εισοδήματος και δημιουργία νέων θέσεων εργασίας από την τουριστική εκμετάλλευση της περιοχής.
- Διοργάνωση υδάτινων σπορ.
- Αύξηση του υδροφόρου ορίζοντα και δημιουργία υδατορευμάτων.

## 1.5.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Εκτός από τα οφέλη της κατασκευής ενός φράγματος, είναι σχεδόν αδύνατον να μην υπάρχουν και σημαντικές επιπτώσεις. Οι επιπτώσεις αυτές εστιάζονται, κυρίως, στην ποιότητα του νερού, στην ανθρώπινη ζωή, στην βιοποικιλότητα και στο μικροκλίμα της περιοχής. Παρακάτω παρουσιάζονται οι σημαντικότερες επιπτώσεις:

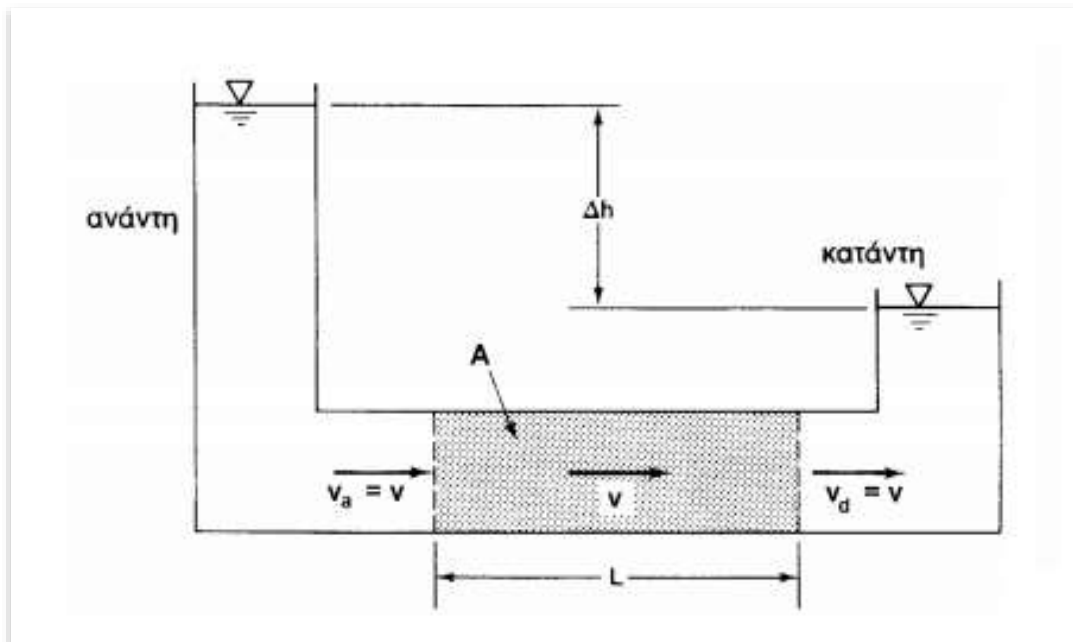
- Η δημιουργία ενός ταμιευτήρα μπορεί να προκαλέσει μεταβολή στη θερμοκρασία και στο οξυγόνο του νερού, κάτι που μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στην πανίδα.
- Καθίσταται αδύνατη η αναπαραγωγή των ψαριών που επιδιώκουν να κινηθούν ανάντη, καθώς επίσης, μπορεί να πεθάνουν κατά την διέλευσή τους από τους εκχειλιστές ή τις αντλίες. Έτσι προκαλείται μεγάλη μείωση του πληθυσμού τους.
- Η εναπόθεση και η αλόγιστη χρήση τοξικών ουσιών και φυτοφαρμάκων στην περιοχή μολύνει το νερό του ταμιευτήρα, αλλά και τα υπόγεια ύδατα, μια καταστροφική συνέπεια για την πανίδα και την υγεία των ανθρώπων της περιοχής σε περίπτωση ύδρευσης.
- Η πλήρωση ενός ταμιευτήρα είναι πιθανόν να καλύψει μνημεία και χώρους ιστορικής σημασίας, δασικές εκτάσεις και περιοχές φυσικού κάλλους.
- Οι κάτοικοι της περιοχής που θα γίνει ο ταμιευτήρας είναι αναγκασμένοι να εγκαταλείψουν τον τόπο τους, τις γεωργικές καλλιέργειες και πολλές φορές ακόμη και τα σπίτια τους, αφού πρόκειται να καλυφθούν από νερό.
- Τα στάσιμα νερά ενδέχεται να προκαλέσουν αύξηση κάποιων ασθενειών, όπως ο τύφος, η χολέρα, η ελονοσία, κ.ά.
- Η δημιουργία ενός ταμιευτήρα με τεράστιες διαστάσεις πολλές φορές επηρεάζει το μικροκλίμα και συγκεκριμένα προκαλούνται μεταβολές στην υγρασία και την θερμοκρασία της ευρύτερης περιοχής.
- Λόγω της μεγάλης επιφάνειας νερού στον ταμιευτήρα προκαλείται μεγαλύτερη εξάτμιση συγκριτικά με πριν την κατασκευή του φράγματος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΡΟΗ ΣΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

### 2.1 ΜΟΝΙΜΗ ΥΔΑΤΙΚΗ ΡΟΗ

#### 2.1.1 ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΡΟΗ

Στην εικόνα 2.1 παρουσιάζεται η μονοδιάστατη ροή του νερού μέσα από εδαφικό υλικό μήκους  $L$ . Όταν η στάθμη στις ανάντη και κατάντη δεξαμενές παραμείνει σταθερή, τότε σχεδόν άμεσα θα έχουμε συνθήκες μόνιμης ροής μέσα στο εδαφικό υλικό.



*Εικόνα 2.1: Μονοδιάστατη ροή διαμέσου του εδάφους. (Καββαδάς, 2006)*

Ζητούμενο είναι να βρεθεί η ποσότητα του νερού που περνά μέσα από το εδαφικό υλικό. Η ποσότητα αυτή χαρακτηρίζεται ως *Διηθούμενη Παροχή* και εξαρτάται από τρεις παράγοντες:

- Διαφορά στάθμης  $\Delta h$  των δύο δεξαμενών
- Μήκος  $L$  του εδαφικού υλικού
- Εμβαδό  $A$  του εδαφικού υλικού

Η διηθούμενη παροχή  $Q$  μελετήθηκε για αμμώδη εδάφη από τον Γάλλο Μηχανικό D'Arcy, που κατέληξε στην παρακάτω έκφραση, γνωστή και ως *Νόμος του Darcy*:

$$Q = k \cdot A \cdot \frac{\Delta h}{L} \quad (m^3/s)$$

Όπου:

- Ο λόγος  $\Delta h/L$  (διαφορά στάθμης δεξαμενών προς μήκος εδαφικού στρώματος) ονομάζεται υδραυλική κλίση ή κλίση της πιεζομετρικής συνάρτησης και συμβολίζεται με  $i$ .
- Ο συντελεστής  $k$  (m/sec) ονομάζεται συντελεστής διαπερατότητας ή υδραυλική αγωγιμότητα.

### 2.1.2 ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

Ο συντελεστής  $k$  χαρακτηρίζει την διαπερατότητα του εδάφους. Μεγάλη τιμή του συντελεστή διαπερατότητας σημαίνει και μεγάλη ευκολία του νερού να διέρχεται μέσα από τα κενά του εδαφικού υλικού, και το αντίστροφο. Ο συντελεστής διαπερατότητας εξαρτάται άμεσα από το εδαφικό υλικό αλλά και από την συμπύκνωσή του. Ενδεικτικά στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται οι τυπικές τιμές  $k$  για τα είδη εδαφών.

Πίνακας 2.1: Τιμές συντελεστή διαπερατότητας για διάφορους τύπους εδαφών. (Τσόγκας – Τσόγκα, 2000)

<i>Τύπος Εδάφους</i>	<i>k (m/sec)</i>
Χάλικες	$1 - 10^{-2}$
Καθαρές Άμμοι	$10^{-2} - 10^{-5}$
Λεπτόκοκκες – Ιλυώδεις Άμμοι	$10^{-5} - 10^{-8}$
Ιλείς, Αργιλώδεις Ιλείς	$10^{-6} - 10^{-9}$
Άργιλοι	$10^{-8} - 10^{-11}$

Μεγάλη ευκολία στην διέλευση πρακτικά σημαίνει μεγαλύτερη ταχύτητα του νερού μέσα στο έδαφος. Η ταχύτητα αυτή ορίζεται ως φαινόμενη ταχύτητα ροής  $U$  και δίνεται από την σχέση:

$$U = \frac{Q}{A} \quad (m/sec)$$

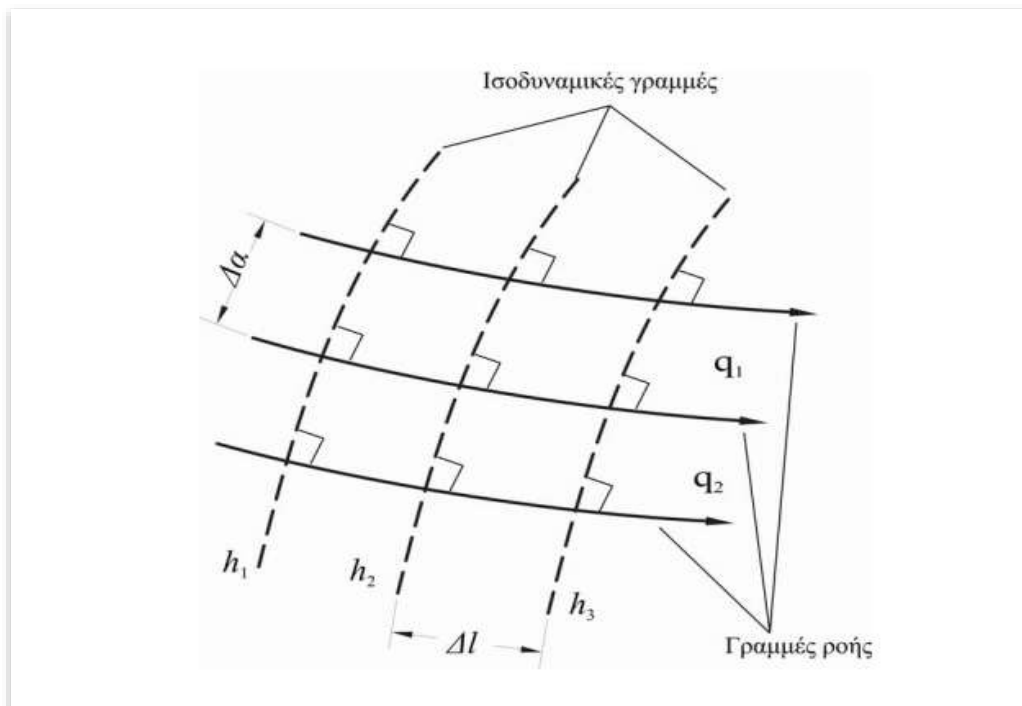
## 2.2 ΔΙΚΤΥΑ ΡΟΗΣ

Ο στόχος των δικτύων ροής είναι η επίλυση της εξίσωσης *Laplace*, που εκφράζει την δισδιάστατη ροή του νερού μέσα από ισότροπο εδαφικό υλικό.

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

Όπου  $h$  το ολικό υδραυλικό ύψος  $h = h_e + h_p$ ,

με  $h_e$ : το γεωμετρικό ύψος και  $h_p$ : το πιεζομετρικό ύψος.



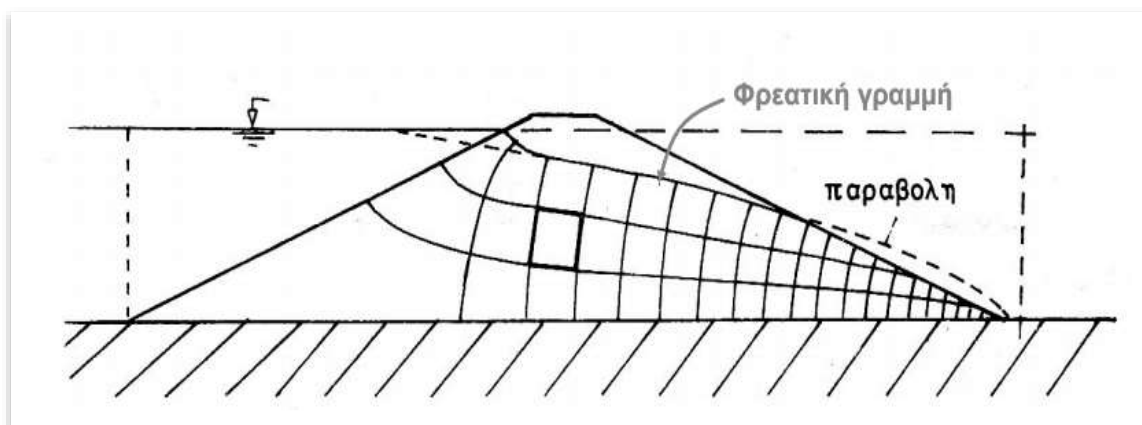
Εικόνα 2.2: Δίκτυο Ροής – Ισοδυναμικές Γραμμές – Γραμμές Ροής. (Μπλούτσος – Λαμπάκης, 2010)

Τα δίκτυα ροής αποτελούνται από δύο οικογένειες καμπυλών που διασταυρώνονται κάθετα μεταξύ τους και δημιουργούν καμπυλόγραμμα τετράγωνα ( $\Delta a = \Delta l$ ):

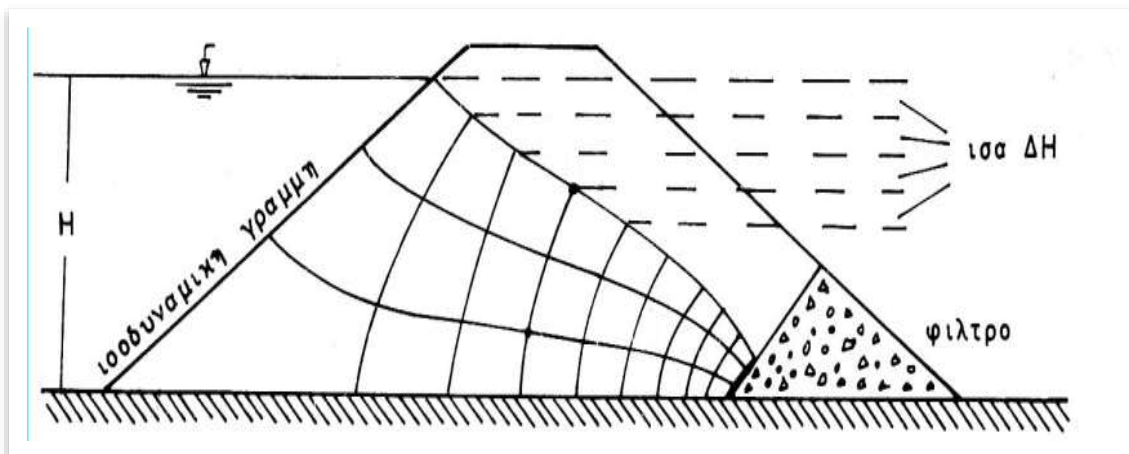
- Ισοδυναμικές Γραμμές: Είναι κάθετες στην πορεία του νερού και κατά μήκος μιας ισοδυναμικής γραμμής το ολικό υδραυλικό ύψος είναι σταθερό ( $h = \text{σταθ.}$ ). Από ισοδυναμική σε ισοδυναμική υπάρχει σταθερή απώλεια υδραυλικού φορτίου ( $h_1 > h_2 > h_3$ ).
- Γραμμές Ροής: Είναι παράλληλες στην πορεία του νερού. Το κενό μεταξύ των γραμμών ροής ονομάζεται *κανάλι ροής*. Όλα τα κανάλια ενός δικτύου ροής μεταφέρουν ίσες ποσότητες νερού ( $q_1 = q_2 = \dots = q_n$ ).

### 2.3 ΡΟΗ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΧΩΜΑΤΙΝΟ ΦΡΑΓΜΑ

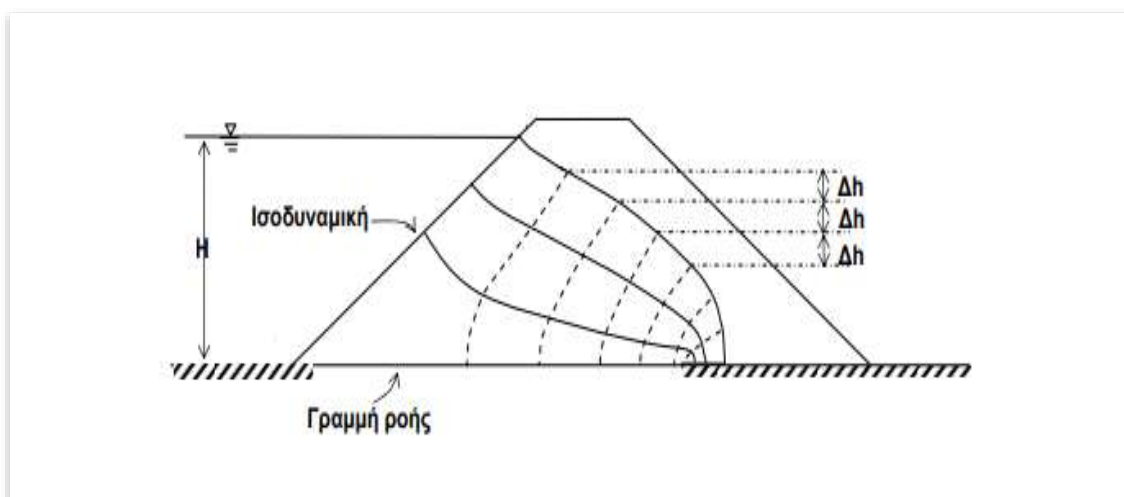
Ένα από τα μειονεκτήματα των χωμάτινων φραγμάτων είναι η διαπερατότητα του υλικού κατασκευής τους. Αυτό οδηγεί σε μόνιμη υδατική ροή μέσα από το φράγμα και επομένως, πέρα από την θεμελίωσή του, αναπτύσσεται ένα δίκτυο ροής και μέσα στο σώμα του. Σε ένα χωμάτινο φράγμα δεν μπορεί να ορισθεί με ακρίβεια η φρεατική γραμμή, δηλαδή η ανώτερη γραμμή του δικτύου ροής. Επειδή πολλές φορές η φρεατική γραμμή καταλήγει στην κατάντη πλευρά του φράγματος και συγκεκριμένα έξω από το σώμα του. Αυτό σημαίνει πως είναι πλήρως διαπερατό και η ροή θα καταλήξει στην κατάντη παρειά, με αποτέλεσμα την διάβρωση και τελικά την αστοχία του φράγματος. Αν δεν ληφθεί προσασία στην ανάντη πλευρά με σκοπό την στεγανοποίηση, τότε είναι απαραίτητη η τοποθέτηση στραγγιστηρίων στον πόδα της κατάντη πλευράς.



Εικόνα 2.3: Δίκτυο ροής σε ομογενές χωμάτινο φράγμα. (Βγενοπούλου, 2012)



*Εικόνα 2.4: Δίκτυο ροής σε ομογενές χωμάτινο φράγμα, παρουσία τριγωνικού στραγγιστηρίου στον κατάντη πόδα. (Τσόγκας – Τσόγκα, 2000)*



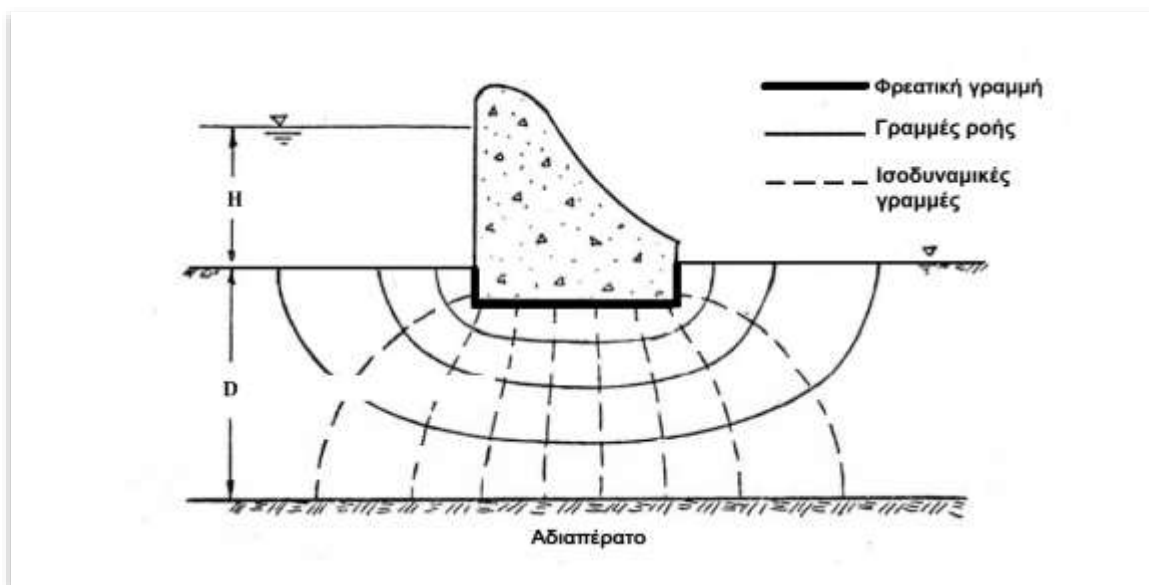
*Εικόνα 2.5: Δίκτυο ροής σε ομογενές χωμάτινο φράγμα, παρουσία οριζόντιου στραγγιστηρίου στον κατάντη πόδα. (Βγενοπούλου, 2012)*

Τα στραγγιστήρια – φίλτρα κατασκευάζονται από λίθους, ώστε να διέλθει το νερό από μέσα τους, χωρίς όμως να παρασυρθεί και το εδαφικό υλικό.

Οι κατακόρυφες αποστάσεις μεταξύ των ισοδυναμικών γραμμών στο σημείο τομής τους με την φρεατική γραμμή είναι ίσες μεταξύ τους. Αυτό αποδεικνύει την σταθερή απώλεια υδραυλικού φορτίου κατά την μετάβαση από την μία ισοδυναμική γραμμή στην άλλη, όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 2.2.



## 2.4 ΡΟΗ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΦΡΑΓΜΑ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ



Εικόνα 2.6: Δίκτυο ροής κάτω από φράγμα βαρύτητας. (Βγενοπούλου, 2012)

Σε αντίθεση με τα χωμάτινα φράγματα, στα φράγματα σκυροδέματος ξέρουμε ακριβώς την θέση της φρεατικής γραμμής. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.6 η φρεατική γραμμή εφάπτεται στο περίγραμμα του φράγματος στην κάτω πλευρά του για όσο αυτό είναι κάτω από τον πυθμένα. Η τελευταία γραμμή ροής είναι η επιφάνεια του αδιαπέρατου στρώματος.

Από το κάθε κανάλι ροής διέρχεται συγκεκριμένη παροχή και ίση με τα υπόλοιπα κανάλια ροής. Η διηθούμενη παροχή ενός καναλιού δίνεται από την σχέση:

$$\Delta Q = k \cdot \frac{h}{n_d} \quad (m^3/sec)$$

Όπου:

- $k$ : συντελεστής διαπερατότητας
- $h$ : συνολικό υδραυλικό φορτίο
- $n_d$ : αριθμός βαθμίδων υδραυλικού φορτίου

Το συνολικό υδραυλικό φορτίο  $h$  ή συνολικό υδραυλικό ύψος είναι η απόσταση από την επιφάνεια του νερού μέχρι τον πυθμένα. Επίσης, είναι η διαφορά του υδραυλικού φορτίου της πρώτης από την τελευταία ισοδυναμική γραμμή. Οι βαθμίδες του υδραυλικού φορτίου  $n_d$  είναι όσες οι ισοδυναμικές γραμμές αφαιρώντας πάντα μία (-1).

Αν πολλαπλασιάσουμε την παροχή για ένα κανάλι  $\Delta Q$  με τα κανάλια ροής που έχει το δίκτυο τότε καταλήγουμε στο εξής:

$$Q = n_f \cdot \Delta Q = n_f \cdot \left( k \cdot \frac{h}{n_d} \right)$$

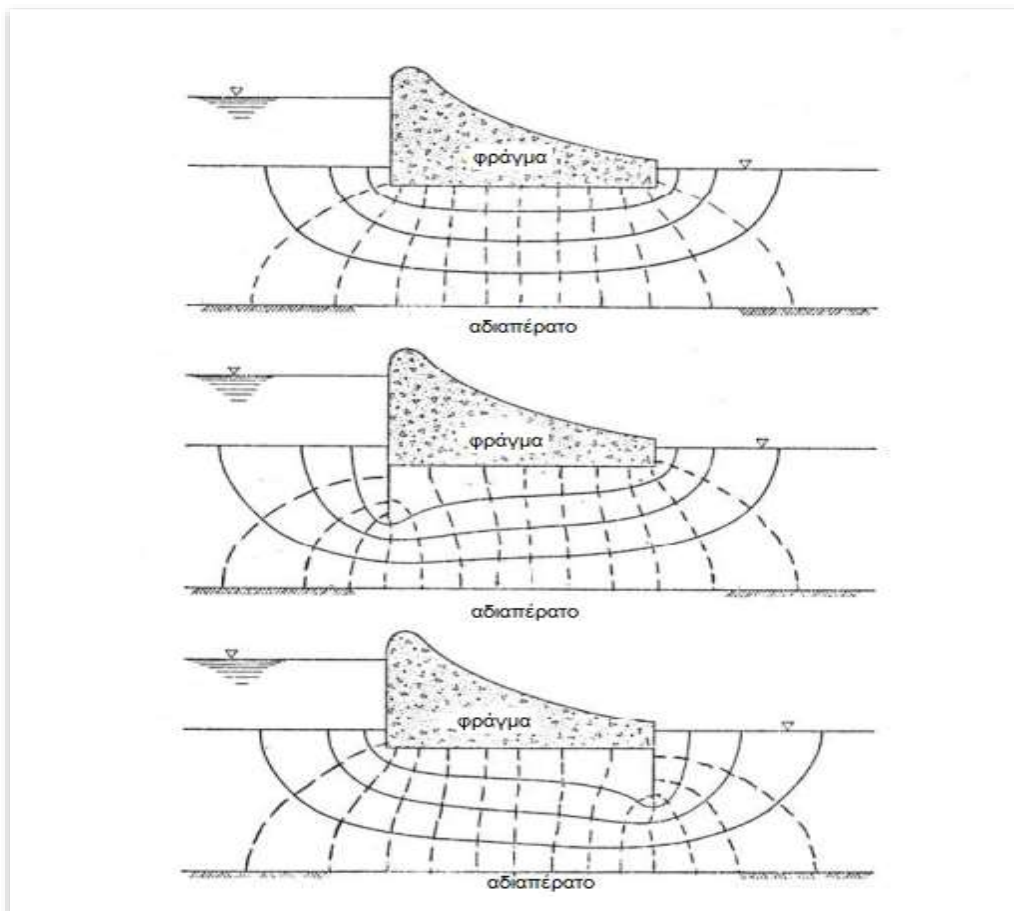
Όπου:

- $n_f$ : τα κανάλια ροής (πλήθος γραμμών ροής μείον 1)

Επομένως, η συνολική παροχή κάτω από το φράγμα δίνεται από τη σχέση:

$$Q = k \cdot h \cdot \frac{n_f}{n_d} \quad (m^3/SEC)$$

Αν υπάρχει κάποιο διάφραγμα κάτω από το φράγμα τότε αλλάζουν μορφή και τα δίκτυα ροής.



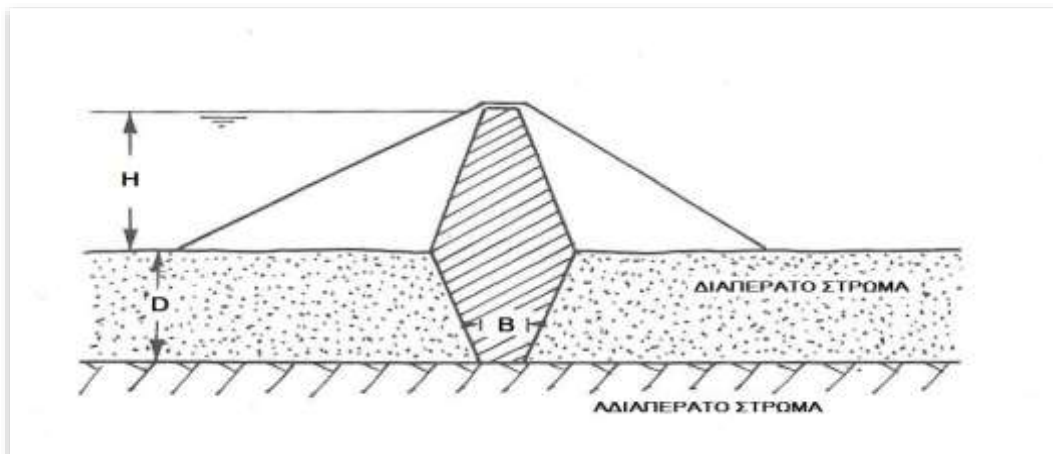
*Εικόνα 2.7: Διάφορες μορφές δικτύου ροής σε φράγμα βαρύτητας χωρίς διάφραγμα ή με διάφραγμα ανάντη ή κατόντη. (Βγενοπούλου, 2012)*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΣΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

Η ροή μέσα από τα χωμάτινα αλλά και κάτω από όλα τα φράγματα αποτελεί έναν ανεπιθύμητο παράγοντα. Εκτός από τις απώλειες νερού ενδέχεται να παρασυρθεί το εδαφικό υλικό της θεμελίωσης ή και του ίδιου του φράγματος (χωμάτινα). Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι τρόποι περιορισμού της ροής μέσα και κάτω από τα φράγματα.

### 3.1 ΤΑΦΡΟΣ ΔΙΑΚΟΠΗΣ

Η τάφρος διακοπής μπορεί να κατασκευαστεί τόσο με κατακόρυφα, όσο και με κεκλιμένα πρανή. Για την κατασκευή τάφρου με κεκλιμένα πρανή χρησιμοποιούνται μηχανικά μέσα για την διάνοιξή της, έως ότου να συναντηθεί βραχώδες αδιαπέρατο υλικό. Στη συνέχεια, το κενό που έχει δημιουργηθεί πληρώνεται με αδιαπέρατο εδαφικό υλικό (συνήθως άργιλο), σε λεπτά στρώματα με κατάλληλη συμπίκνωση. Η κατασκευή τάφρου διακοπής με τη μέθοδο των κατακόρυφων πρανών κοστίζει αρκετά περισσότερο, ειδικά για βάθη μεγαλύτερα από 5m και για αυτό το λόγο αποφεύγεται.



*Εικόνα 3.1: Τυπική διατομή τάφρου διακοπής με κεκλιμένα πρανή. (Τσόγκας – Τσόγκα, 2000)*

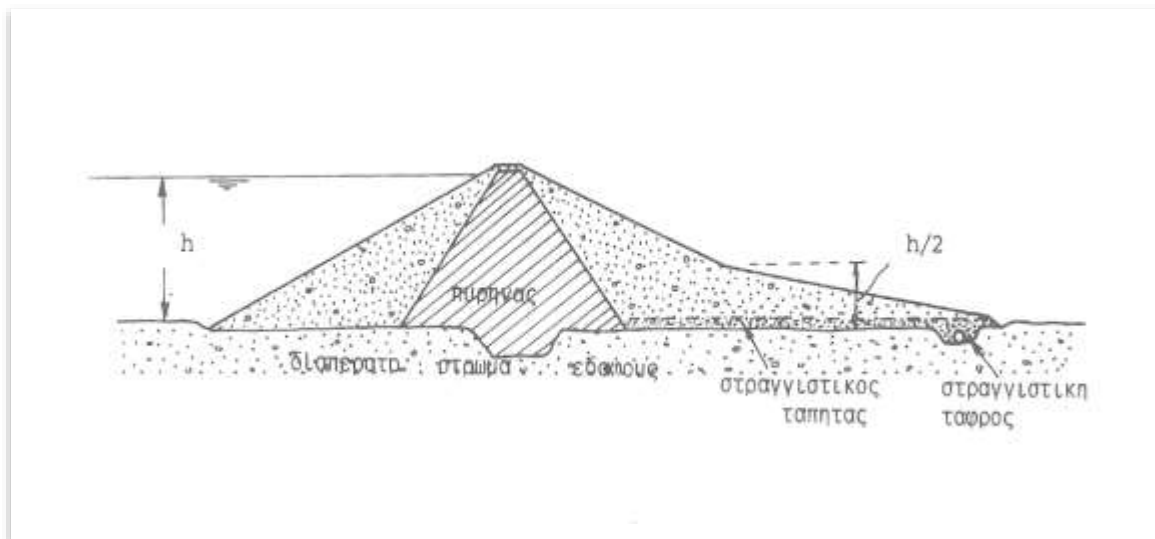
Προκειμένου να αποφευχθεί το φαινόμενο της διασωλήνωσης, είναι απαραίτητο το πλάτος  $B$  της θεμελίωσης της τάφρου να είναι ικανοποιητικό και η άργιλος να εφάπτεται πλήρως στο αδιαπέρατο στρώμα. Για μικρά φράγματα το πάχος της τάφρου είναι:

$$B = H - D$$

Σε κάθε περίπτωση, πρέπει το πάχος της τάφρου να είναι τουλάχιστον 6m, ώστε να διευκολύνεται η πλήρωση και συμπίκνωση με μηχανικά μέσα.

### 3.2 ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΙΚΟΣ ΤΑΠΗΤΑΣ ΚΑΤΑΝΤΗ

Αυτή η μέθοδος κατασκευάζεται σε γαιώδη φράγματα. Στοχεύει λιγότερο στον περιορισμό της ροής του νερού κάτω από το φράγμα και περισσότερο στην προστασία του φράγματος από το φαινόμενο της διασωλήνωσης, που μπορεί να παρασύρει το εδαφικό υλικό της θεμελίωσης με αποτέλεσμα στην αστοχία του ίδιου του φράγματος.



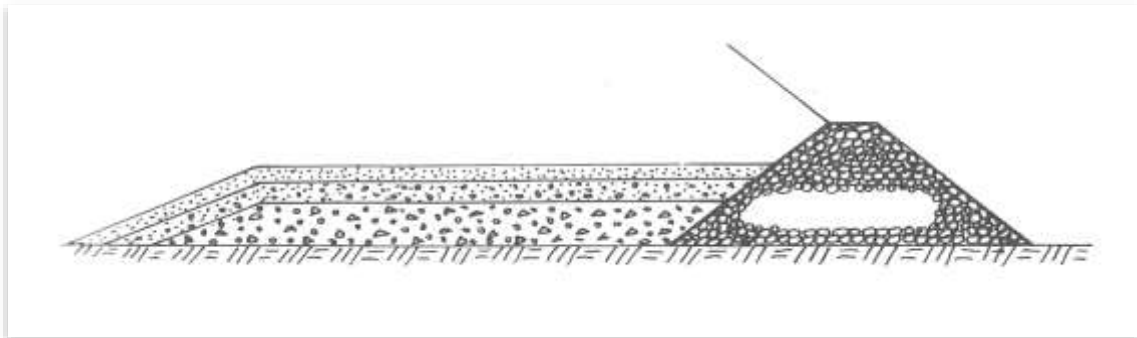
*Εικόνα 3.2: Τοπική διατομή φράγματος με στραγγιστικό τάπητα κατάντη. (Τσόγκας – Τσόγκα, 2000)*

Ένας στραγγιστικός τάπητας κατάντη για να είναι πλήρως λειτουργικός θα πρέπει να μην δημιουργεί ανωστικές δυνάμεις, αλλά αντίθετα να εξουδετερώνει και όποιες ανωστικές δυνάμεις τείνουν να αναπτυχθούν στο φράγμα. Επίσης, πρέπει να επιτρέπει την ελεύθερη ροή της διηθούμενης παροχής κάτω από το φράγμα και να καταλήγει στο στραγγιστικό κανάλι, προφυλάσσοντας πάντα το φράγμα και την θεμελίωσή του από την μεταφορά των κόκκων και το φαινόμενο της διασωλήνωσης.

Για να επιτευχθούν τα παραπάνω πρέπει η δομή του φράγματος να έχει ορισμένα χαρακτηριστικά:

- Η κατάντη ζώνη του φράγματος να είναι εκτεταμένη, ώστε να επιμηκύνεται το δίκτυο ροής.
- Το ύψος της κατάντη ζώνης να είναι τέτοιο, ώστε να μηδενίζεται η άνωση.
- Το φράγμα να έχει διαπερατά στρώματα φίλτρων διαβαθμισμένα σύμφωνα με τις αρχές σχεδιασμού των φίλτρων.
- Στο κατάντη άκρο να υπάρχουν στραγγιστήρια, τα οποία θα παραλαμβάνουν την συνολική διηθούμενη παροχή.

Γνωρίζοντας την διαπερατότητα κατά την οριζόντια, αλλά και κατά την κατακόρυφη διεύθυνση, μπορεί να υπολογισθεί θεωρητικά, μέσω του δικτύου ροής, το ζητούμενο μήκος της κατάντη ζώνης. Τα στραγγιστήρια και τα φίλτρα μπορούν να τοποθετηθούν με διάφορους τρόπους και σε διάφορες θέσεις. Η κάθε μια μέθοδος παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Το βέβαιο είναι πως η κατασκευή φίλτρου και στραγγιστικού τάπητα με διαβάθμιση υλικών από το λεπτότερο στο πιο χονδρό, συμβάλλει στο να μην παρασυρθούν, από το νερό, οι λεπτοί κόκκοι του εδάφους του φράγματος και της θεμελίωσής του.

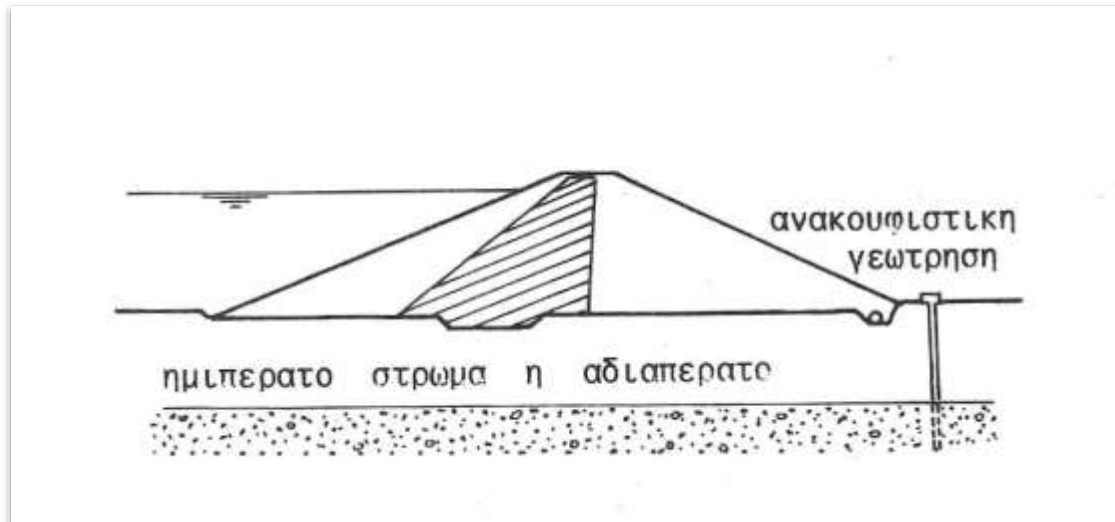


*Εικόνα 3.3: Στραγγιστικός τάπητας με διαβάθμιση υλικών. (Τσόγκας – Τσόγκα, 2000)*

### 3.3 ΑΝΑΚΟΥΦΙΣΤΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

Όταν η στρωματογραφία του διαπερατού υλικού είναι κατά οριζόντιες στρώσεις με λιγότερο διαπερατό το επιφανειακό στρώμα και κάτω από αυτό υπάρχει άλλο στρώμα περισσότερο διαπερατό, τότε ο στραγγιστικός τάπητας παύει να είναι λειτουργικός και προτιμάται η μέθοδος των ανακουφιστικών γεωτρήσεων. Αυτές συμβάλλουν στην μείωση των πιέσεων που αναπτύσσονται στο υπέδαφος και κατ' επέκταση στην αποφυγή της αστοχίας του κατάντη μέρους του φράγματος και της θεμελίωσής του.

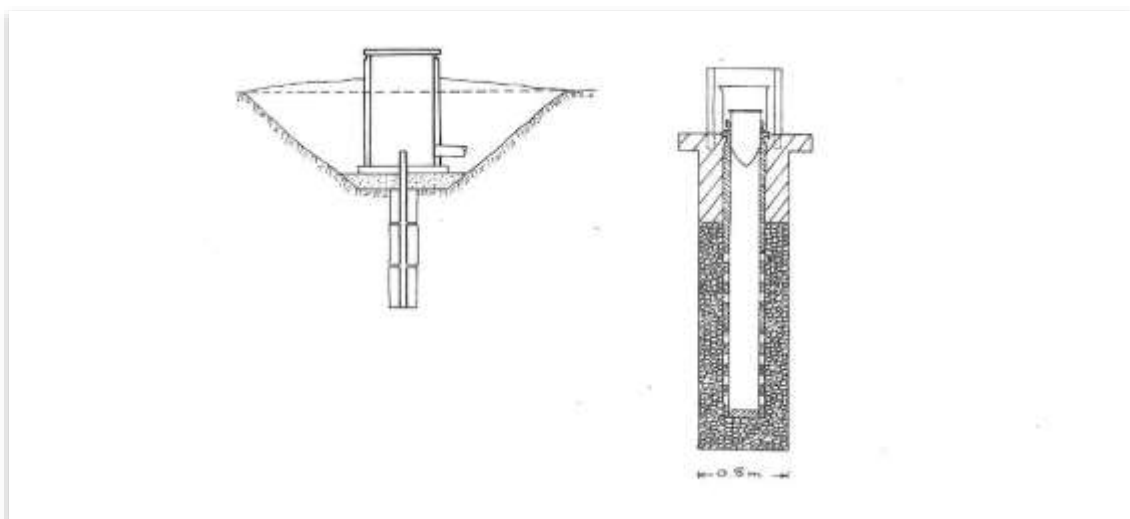
Για να είναι πλήρως λειτουργικές οι ανακουφιστικές γεωτρήσεις πρέπει να εκτείνονται σε βάθος μέχρι να συναντήσουν το διαπερατό στρώμα, ώστε να απελευθερωθεί το υπό πίεση νερό και έτσι να μειωθεί η άνωση. Επίσης δεν θα πρέπει να απέχουν πολύ μεταξύ τους, έτσι ώστε να μην αναπτύσσονται πιέσεις και ανωστικές δυνάμεις μεταξύ γειτονικών γεωτρήσεων. Σημαντικό είναι εξίσου, να μην φρακάρουν και να επιτρέπεται η ελεύθερη ροή μέσα σε αυτές. Αν μετά την κατασκευή του φράγματος εξακολουθεί να παρατηρείται αυξημένη πίεση του νερού στο διαπερατό στρώμα του υπεδάφους, τότε υπάρχει η δυνατότητα να γίνουν συμπληρωματικές γεωτρήσεις.



*Εικόνα 3.4: Τυπική διατομή φράγματος με ανακουφιστική γεώτρηση κατάντη. (Τσόγκας – Τσόγκα, 2000)*

Συνήθως, το βάθος τους είναι περίπου όσο και το ύψος του φράγματος. Η απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων κυμαίνεται από 7,5m για πολύ διαπερατό έδαφος, μέχρι 30m για λιγότερο διαπερατά εδάφη. Η διάμετρος των γεωτρήσεων πρέπει να είναι τουλάχιστον 10cm, ώστε να διευκολύνεται η είσοδος του νερού σε αυτές.

Η κατασκευή των ανακουφιστικών γεωτρήσεων γίνεται με την καταβύθιση ενός σωλήνα. Στη συνέχεια αφαιρείται το υλικό που περικλείει ο σωλήνας και στη θέση του τοποθετείται το φίλτρο. Το κενό μεταξύ φίλτρου και σωλήνα πληρώνεται με υλικό φίλτρου και στη συνέχεια αφαιρείται ο εξωτερικός σωλήνας. Πάνω από το υλικό φίλτρου ρίχνεται σκυρόδεμα για στεγανοποίηση. Τέλος, η γεώτρηση ξεπλένεται από λεπτόκοκκα υλικά, που μπορεί να εμποδίσουν την είσοδο του νερού σε αυτήν.



*Εικόνα 3.5: Μέθοδος κατασκευής ανακουφιστικών γεωτρήσεων. (Τσόγκας – Τσόγκα, 2000)*

### 3.4 ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟΣ ΤΑΠΗΤΑΣ ΑΝΑΝΤΗ

Με την κατασκευή ενός αδιαπέρατου τάπητα επιτυγχάνεται η αύξηση του μήκους της διαδρομής του νερού κάτω από το φράγμα. Αυτός κατασκευάζεται από αδιαπέρατο υλικό (π.χ. άργιλος), τοποθετείται στην ανάντη πλευρά και καταλήγει στον πυρήνα του φράγματος. Κατασκευάζεται όταν το βάθος του διαπερατού στρώματος είναι μεγάλο και πρακτικά αδύνατο ή ασύμφορο να γίνει περιορισμός της ροής με κάποια άλλη μέθοδο. Ο τάπητας εκτείνεται στην επιφάνεια του ανάντη πυθμένα αλλά και στα πρανή αυτού. Το μήκος του συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 100-150m και το πάχος του περίπου 1.50m συνοδευόμενο από στρώμα λιθορριπής πάχους περίπου 0.50m το οποίο βοηθάει στην προστασία του τάπητα.

Για την κατασκευή του τάπητα κρίνεται αναγκαίο να γίνει αφαίρεση της φυτοκάλυψης για ορισμένο βάθος. Στη συνέχεια, το τμήμα αυτό πληρώνεται με γαιώδη αδιαπέρατα υλικά τα οποία στη συνέχεια συμπυκνώνονται με μηχανικά μέσα.

Για μικρά φράγματα το πάχος του τάπητα μπορεί να υπολογισθεί από την σχέση:

$$y = 0,1 \cdot h \quad \text{με} \quad y \geq 1m$$

Όπου:

- **y**: το πάχος του τάπητα
- **h**: το ύψος του νερού στον ταμιευτήρα

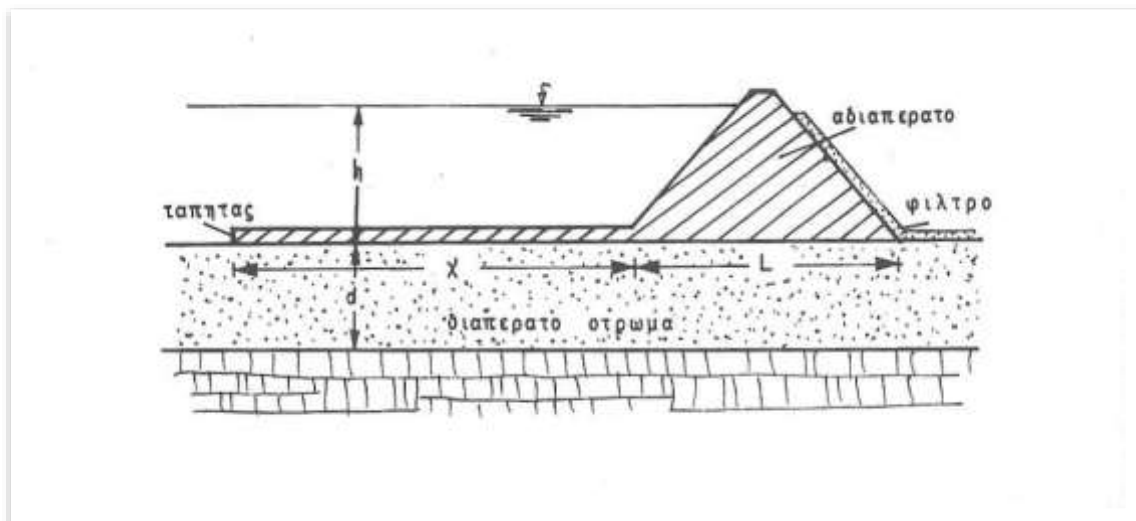
Όσον αφορά το μήκος του τάπητα στην πράξη είναι αποδεκτό εξαπλάσιο ή οκταπλάσιο του ύψους του νερού στον ταμιευτήρα. Μπορεί να υπολογισθεί όμως και από την σχέση:

$$x = \frac{k \cdot h \cdot d - P \cdot Q \cdot L}{P \cdot Q} \quad (m)$$

Όπου:

- **x**: το μήκος του τάπητα (m)
- **k**: ο συντελεστής διαπερατότητας του διαπερατού στρώματος κατά την οριζόντια διεύθυνση
- **h**: το ύψος του νερού του ταμιευτήρα (m)
- **d**: το βάθος του διαπερατού στρώματος (m)
- **P**: η ποσοστιαία επιθυμητή μείωση της ροής
- **L**: το πλάτος της αδιαπέρατης βάσης του φράγματος (m)
- **Q**: η παροχή διήθησης κάτω από το φράγμα, χωρίς τον τάπητα (m<sup>3</sup>/sec)





*Εικόνα 3.6: Τυπική διατομή φράγματος με τη χρήση της μεθόδου του αδιαπέρατου τάπητα ανάντη. (Τσόγκας – Τσόγκα, 2000)*

### 3.5 ΚΟΥΡΤΙΝΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ

Οι τσιμεντενέσεις συμβάλλουν στην μετατροπή ενός διαπερατού υλικού σε αδιαπέρατο. Αυτό επιτυγχάνεται με την έγχυση υλικού που θα πληρώσει τα κενά του εδάφους και θα συνδέσει τους κόκκους μεταξύ τους. Για τον σκοπό αυτό έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα υλικά, όπως τσιμέντο, άσφαλτος, άργιλος και χημικά υλικά. Η κάθε περίπτωση παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η χρήση τσιμέντου και ασφάλτου έχει μεγάλη επιτυχία σε χονδρόκοκκα αλλουβιακά εδάφη, όχι όμως και στα λεπτόκοκκα. Η άργιλος, εξαιτίας της πολύ μικρής διαμέτρου που έχει, παρασύρεται ανάμεσα από τους κόκκους του διαπερατού υλικού, λόγω της διηθούμενης δύναμης. Τα χημικά υλικά παρουσιάζουν σημαντικά οφέλη, όπως ευκολία στην έγχυση σε λεπτόκοκκα εδάφη, με το μόνο αρνητικό το κόστος τους. Συμπερασματικά, καταλήγουμε πως σε χονδρόκοκκο υπέδαφος προτείνεται η χρήση τσιμεντενέσεων, ενώ σε λεπτόκοκκο η χρήση χημικών ενέσεων. Χημικά ενέσιμα υλικά μπορεί να είναι το πυριτικό νάτριο (μόνο του ή σε συνδυασμό με άλλα χημικά) και οι ρητίνες.

Η κουρτίνα τσιμεντενέσεων κατασκευάζεται κατά μήκος του φράγματος και κάτω από αυτό. Πληρώνει τα κενά, εκατέρωθεν του φράγματος σε αρκετά μεγάλο βάθος, του διαπερατού εδαφικού υλικού. Για την κατασκευή τους, ανοίγονται οι πρωτεύουσες οπές διαμέτρου περίπου 10cm, σε απόσταση 12m η μία από την άλλη. Στη συνέχεια, κατασκευάζονται οι δευτερεύουσες οπές στο ενδιάμεσο της απόστασης των πρωτευουσών οπών και αν κριθεί απαραίτητο κατασκευάζονται και τριτεύουσες και

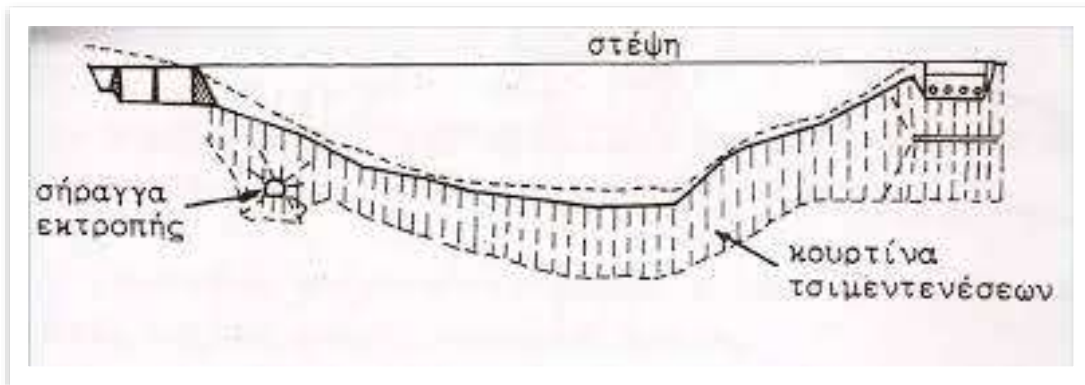


τεταρτεύουσες σειρές τσιμεντενέσεων, πάντα στο ενδιάμεσο της απόστασης της προηγούμενης σειράς. Το βάθος των οπών που θα ανοιχθούν δεν είναι μεγαλύτερο από:

$$d = \frac{H}{3} + 20 \text{ (m)}$$

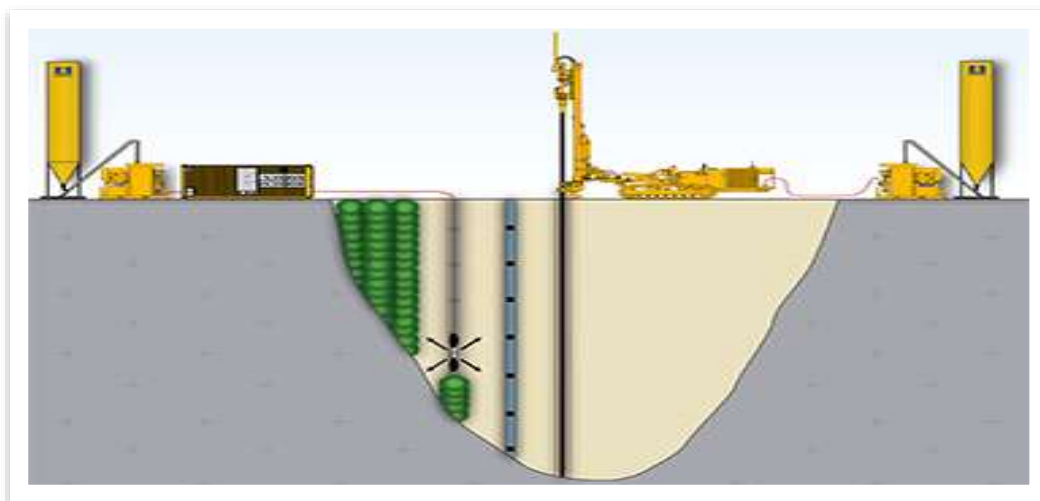
Όπου:

- **d**: το βάθος των οπών (m)
- **H**: το ύψος του φράγματος (m)

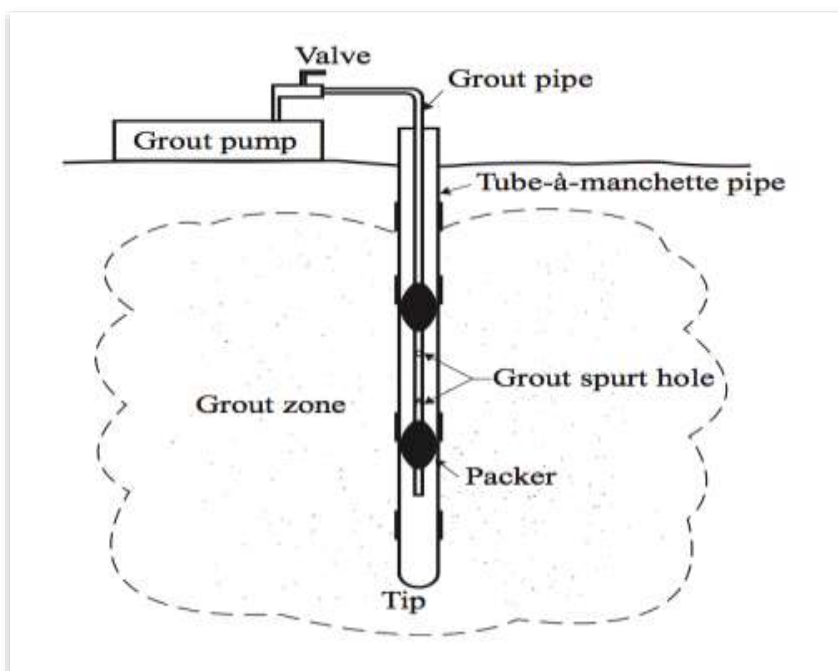


*Εικόνα 3.7: Κατά μήκος τομή φράγματος με κουρτίνα τσιμεντενέσεων. (Τσόγκας – Τσόγκα, 2000)*

Αφού ανοιχθούν οι οπές πληρώνονται με καθαρό νερό και παραμένουν έτσι για περίπου 30 λεπτά. Στη συνέχεια, το Packer στο επιθυμητό βάθος και εκτελείται η διαδικασία εισπίεσης του ενέματος με αυξανόμενες και μειούμενες πιέσεις, ανάλογα με τις πιέσεις που ασκεί το εδαφικό υλικό στη θέση αυτή.



*Εικόνα 3.8: Διαδικασία κατασκευής κουρτίνας τσιμεντενέσεων. (Διαδίκτυο)*



*Εικόνα 3.9: Μέθοδος έκχυσης ενέματος για την κατασκευή κουρτίνας τσιμεντενέσεων. (Διαδίκτυο)*

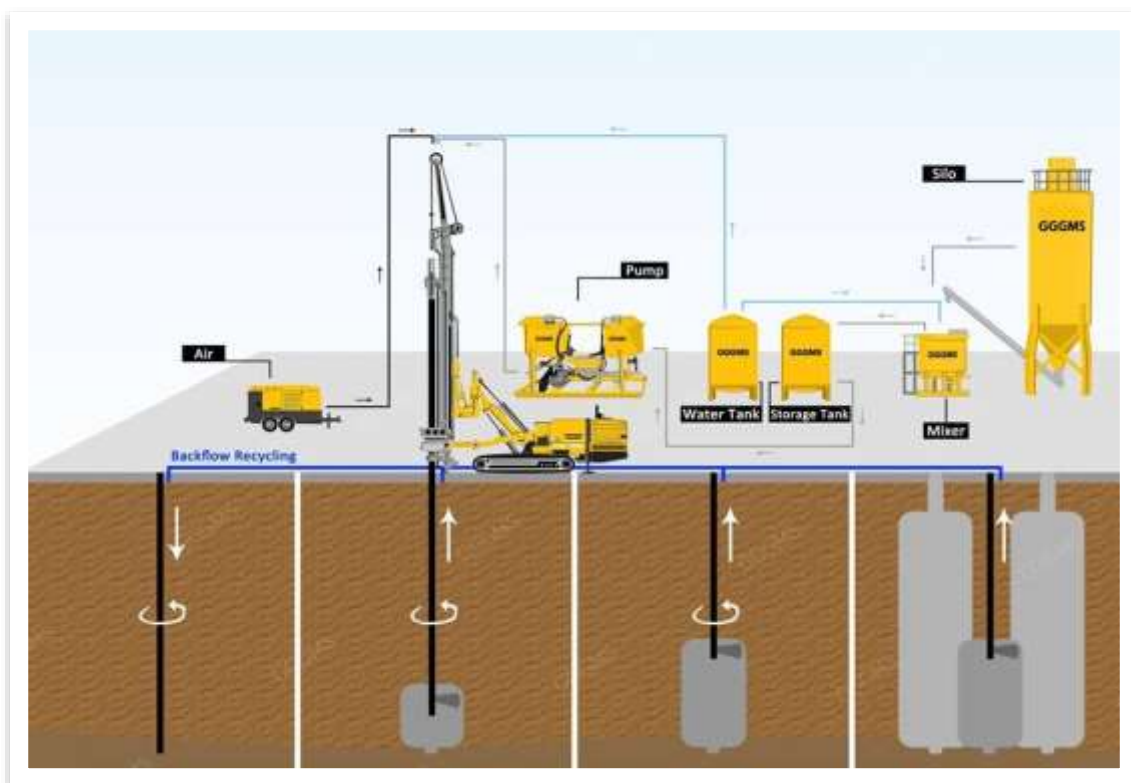
Η αναλογία μπετονίτη είναι σε ποσοστό 1-4% και το ανώτερο 8% του βάρους του τσιμέντου και χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την σταθεροποίηση του ενέματος. Σημαντικό από άποψη κόστους κατασκευής, είναι η δυνατότητα αντικατάστασης του 50% του τσιμέντου με τέφρα, χωρίς να επηρεασθούν η αντοχή και η στεγανότητα του έργου.

### 3.6 JET GROUTING

Αποτελεί μια μέθοδο που εντάσσεται στις τσιμεντενέσεις αφού έχουν πολλά κοινά σημεία. Η καινοτόμα αυτή μέθοδος υπερτερεί σημαντικά έναντι των τσιμεντενέσεων. Σημαντικό είναι πως μπορεί να εφαρμοσθεί σε όλα σχεδόν τα εδάφη, από βραχώδη μέχρι αργιλικά εδάφη.

Για την κατασκευή των εδαφοπασσάλων ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- Διάτρηση οπής έως το επιθυμητό βάθος
- Παραγωγή τσιμεντενέματος
- Εισπίεση τσιμεντενέματος από τα στελέχη με ταυτόχρονη αναμόχλευση του εδάφους υπό συνθήκες προκαθορισμένης γωνιακής ταχύτητας και ταχύτητας ανόδου, καθώς και με προκαθορισμένες πιέσεις και παροχές ενέματος, νερού και αέρα (ανάλογα το σύστημα).



*Εικόνα 3.10: Κατασκευή εδαφοπασσάλων με τη μέθοδο Jet Grouting. (Διαδίκτυο)*

Για την κατασκευή εδαφοπασσάλων γίνεται χρήση διαφόρων συστημάτων:

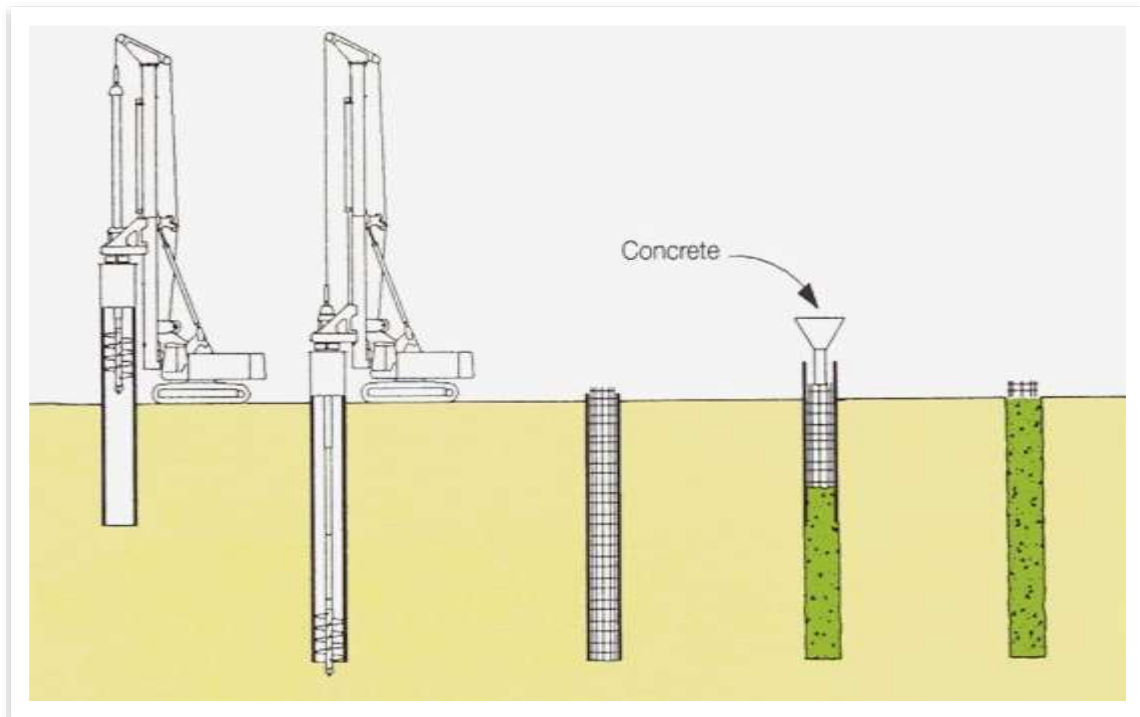
- Απλό ή μονό σύστημα
- Διπλό σύστημα με αέρα
- Διπλό σύστημα με νερό
- Τριπλό σύστημα με νερό και αέρα

Ενδεικτικά το απλό σύστημα προσφέρει στερεοποίηση – στεγανοποίηση ακτίνας έως 0,80m, ενώ το τριπλό σύστημα νερού – αέρα μπορεί να σταθεροποιήσει το έδαφος μέχρι και απόσταση 2,10m από τον άξονα της γεώτρησης.

### 3.7 ΔΙΑΦΡΑΓΜΑ ΜΕ ΕΓΧΥΤΟΥΣ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ

Για την κατασκευή του διαφράγματος με έγχυτους πασσάλους αρχικά ανοίγονται γεωτρήσεις μέχρι το επιθυμητό βάθος και παράλληλα τοποθετούνται κενοί σωλήνες στις οπές ώστε να συγκρατηθεί το εδαφικό υλικό γύρω από τις γεωτρήσεις. Στη συνέχεια τοποθετείται ο οπλισμός στις οπές. Ακολουθεί η πλήρωση των οπών με σκυρόδεμα ενώ

ταυτόχρονα ανασύρονται οι κενοί σωλήνες. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να δημιουργηθεί το διάφραγμα.



*Εικόνα 3.11: Κατασκευή διαφράγματος με την μέθοδο των έγχυτων πασσάλων. (Διαδίκτυο)*

Να σημειωθεί πως όσο βαθύτερη είναι η γεώτρηση, τόσο μικρότερη η διάμετρος της οπής, και αντίστροφα.

### 3.8 ΠΑΣΑΛΟΣΑΝΙΔΕΣ

Οι πασσαλοσανίδες είναι χαλύβδινα φύλλα που αλληλοκλειδώνονται διαμορφώνοντας ένα συνεχές πέτασμα φύλλων. Στη συνέχεια ένα – ένα τα φύλλα εμπήγονται στο έδαφος δημιουργώντας ένα διάφραγμα.

Οι πασσαλοσανίδες, σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους περιορισμού της ροής στα φράγματα, χρησιμοποιούνται για την επιμήκυνση των γραμμών ροής του δικτύου.

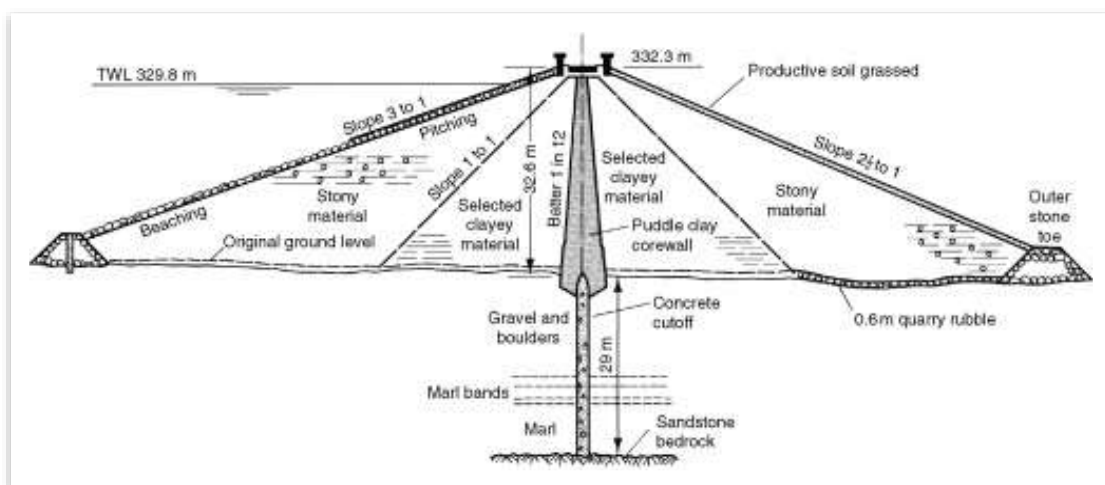
Είναι μέθοδος δαπανηρή και χρονοβόρα σε σύγκριση με άλλες μεθόδους περιορισμού της ροής. Επιπλέον δεν είναι τόσο αποτελεσματική μέθοδος, αφού δημιουργείται χάσμα μεταξύ των πασσαλοσανίδων, το οποίο δεν μπορεί να μονωθεί, με αποτέλεσμα την διέλευση μέρους της διηθούμενης παροχής. Στην καλύτερη εφαρμογής τους, η διηθούμενη παροχή μπορεί να μειωθεί έως 80%.



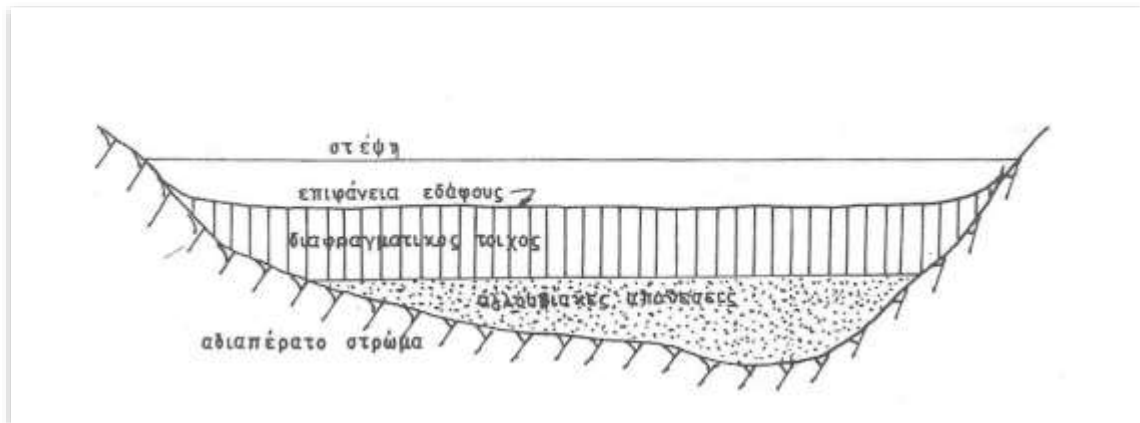
*Εικόνα 3.12: Διαμόρφωση διαφράγματος με τη μέθοδο της έμψηξης πασσαλοσανίδων. (Διαδίκτυο)*

### 3.9 ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ ΤΟΙΧΟΣ

Η μέθοδος του διαφραγματικού τοίχου εφαρμόζεται όταν στο υπέδαφος υπάρχει μεγάλο βάθος διαπερατού υλικού, όπως άμμος, χάλικες, αλλουβιακές αποθέσεις. Σκοπός και αυτής της μεθόδου είναι η απομάκρυνση, όσο το δυνατόν περισσότερο, των γραμμών ροής από το φράγμα.



*Εικόνα 3.13: Κατά πλάτος τομή φράγματος παρουσία διαφραγματικού τοίχου. (Διαδίκτυο)*



*Εικόνα 3.14: Κατά μήκος τομή φράγματος παρουσία διαφραγματικού τοίχου. (Τσόγκας – Τσόγκα, 2000)*

Τα συνήθη πάχη των διαφραγματικών τοίχων είναι 40, 50, 60, 80, 100 cm και πιο σπάνια σε ειδικές περιπτώσεις κατασκευάζονται και τοίχοι με μεγαλύτερο πάχος. Το βάθος τους προκύπτει από τις στατικές απαιτήσεις σχετικά με την ευστάθεια της εδαφικής επιφάνειας και θεωρητικά δεν έχει περιορισμό, όμως για μεγάλα βάθη υπάρχει κίνδυνος εκτροπής του από την προδιαγεγραμμένη θέση. Ένας διαφραγματικός τοίχος αποτελείται από οριζόντια μεμονωμένα τμήματα, αποκαλούμενα και ως φατνώματα, το μήκος των οποίων προκύπτει από τον έλεγχο ευστάθειας, αφού εξαρτάται από διάφορους παράγοντες του περιβάλλοντος, όπως τα χαρακτηριστικά του εδάφους, τα εξωτερικά φορτία, την στάθμη του υπόγειου νερού κ.ά. Γενικά το μήκος των φατνωμάτων κυμαίνεται από 2,50 έως 7,50 m. Εάν εξασφαλίζεται η ευστάθεια, θα πρέπει αφενός για λόγους οργάνωσης εργοταξίου και αφετέρου για να διατηρηθεί ο μικρός αριθμός των κάθετων αρμών, τα φατνώματα να έχουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μήκος. Ένας παράγοντας που επηρεάζει το ελάχιστο μήκος των τμημάτων είναι το πλάτος των μηχανημάτων εκσκαφής που χρησιμοποιούνται για την διάνοιξη της τάφρου με κατακόρυφα πρανή. Αυτά μπορεί να είναι:

- Αρπάγη σε συρματοσχοίνα
- Αρπάγη σε βάκτρο
- Φρέζα διάτρησης με υδραυλική υποσκαφή
- Φτυάρια σε υδραυλικούς εκσκαφείς
- Συρτοί κάδοι σε εκσκαφείς με συρματοσχοίνα





*Εικόνα 3.15: Αρπάγη εκσκαφής σε συρματόσχοινα. (Διαδίκτυο)*

Τα φατνώματα σκάβονται και σκυροδετούνται εναλλάξ αφήνοντας μεταξύ τους εδαφικές γέφυρες, δηλαδή πρώτα σκάβονται τα τμήματα 1,3,5 και στη συνέχεια με την βοήθεια της πλευρικής στήριξής τους κατασκευάζονται τα φατνώματα 2,4,... Ένα φάτνωμα μπορεί να κατασκευαστεί και μονόπλευρα, αρκεί στην άλλη πλευρά να εφαρμοσθεί ένας κοίλος σωλήνας.

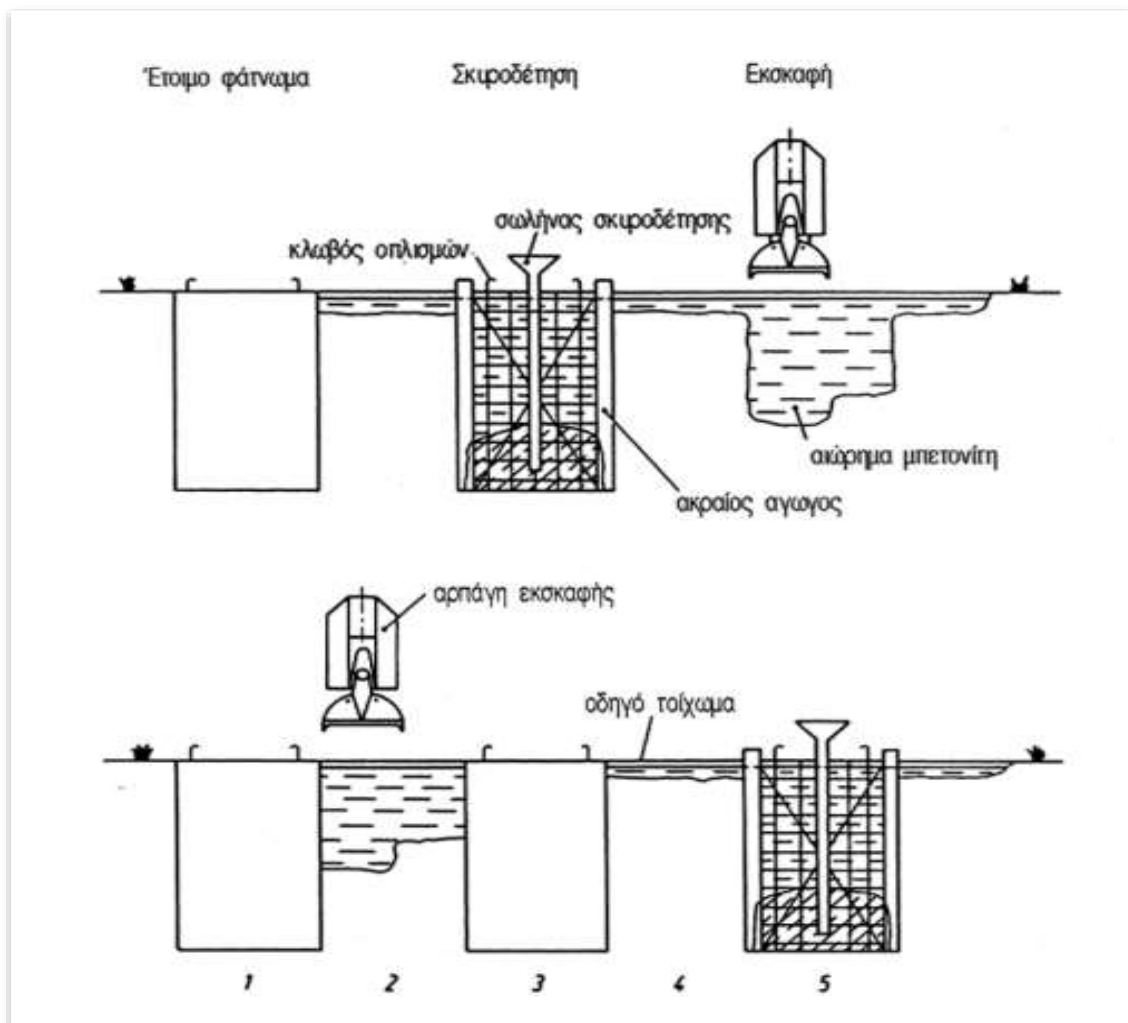
Η κατασκευή ενός διαφραγματικού τοίχου πραγματοποιείται σε ορισμένες φάσεις, οι οποίες αναλύονται παρακάτω:

- Κατασκευή των οδηγών τοιχωμάτων: Αποτελούν προσωρινή κατασκευή και κατασκευάζονται πριν την εκσκαφή του τοίχου. Χρησιμοποιούνται στη καθοδήγηση της αρπάγης εκσκαφής και στην υποστήριξη του εδάφους σε μικρό βάθος, των κλωβών οπλισμού καθώς και των μηχανημάτων ανέλκυσης των αγωγών.
- Εκσκαφή τμήματος: Αρχικά σκάβεται ένα φάτνωμα με τη χρήση εκσκαπτικών μέσων, ως επί το πλείστον χρησιμοποιούνται αρπάγες. Καθώς το υλικό σκάβεται, η τάφρος που δημιουργείται πληρώνεται με ένα αιώρημα νερού – μπετονίτη, που στόχο έχει να δημιουργήσει ένα αντίβαρο του φορτισμένου υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα αλλά και να στηρίξει τα τοιχώματα του σκάμματος, ώστε να αποφευχθεί

η αστάθεια των πρανών. Η αναλογία νερού προς μπετονίτη είναι συνήθως 1:14. Τα σκαπτικά μέσα που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να έχουν οπές, ώστε καθώς απομακρύνονται τα αμμοχάλικα να αδειάζει στην τάφρο το μείγμα του μπετονίτη. Κατά τη διάρκεια της εκσκαφής όλο και περισσότερο μείγμα χρειάζεται να συμπληρώνεται, ώστε να μην υπολείπεται σε καμία περίπτωση της καθορισμένης ελάχιστης στάθμης. Αυτό γίνεται μέσω μιας αντλίας που παροχετεύει νέο αιώρημα.

- Τοποθέτηση ακραίων αγωγών: Η ακραία στήριξη των πρώτων φατνωμάτων μέσα στο έδαφος πραγματοποιείται με την τοποθέτηση κοίλων χαλύβδινων σωλήνων. Αν το βάθος σκυροδέτησης είναι αρκετά μεγάλο, τότε υπάρχει η δυνατότητα συναρμολόγησης μεμονωμένων τμημάτων αγωγών για την δημιουργία ενός ενιαίου μεγάλου μήκους ακραίου αγωγού.
- Τοποθέτηση οπλισμού: Ο οπλισμός μοντάρεται από πριν σε κλωβούς και τοποθετείται στην τάφρο. Οι διαστάσεις των κλωβών είναι ανάλογες των διαστάσεων εκσκαφής. Για μεγάλα βάθη προτείνεται η τοποθέτηση μεμονωμένων κλωβών του οπλισμού, στην εκσκαφή, σε παράθεση. Για την σκυροδέτηση πρέπει να υπάρχει κενό μεταξύ των κλωβών και των τοιχωμάτων. Για να επιτευχθεί αυτό είτε προσδένονται στον κλωβό τμήματα που βοηθούν στην διατήρηση της απόστασης, είτε κρέμονται στην τάφρο εκατέρωθεν του οπλισμού μεταλλικά προφίλ κατά μήκος των φατνωμάτων.
- Σκυροδέτηση: Λόγω του αιωρήματος νερού – μπετονίτη πραγματοποιείται υποβρύχια σκυροδέτηση με υδαρές σκυρόδεμα μέσω ενός κατακόρυφου σωλήνα σκυροδέτησης (μέθοδος Contraktor). Η σύνδεση των φατνωμάτων πραγματοποιείται με την διαμόρφωση εσοχών στο τοίχωμα του διαφραγματικού, οι οποίες αποτελούνται από ξύλο, PVC, και άλλα παρόμοια υλικά. Οι εσοχές πρέπει να είναι κατακόρυφες ώστε να διευκολύνεται η ροή του σκυροδέματος. Το αιώρημα που αναβλύζει λόγω της πλήρωσης της τάφρου με σκυρόδεμα αντλείται και αν είναι σε καλή κατάσταση επαναχρησιμοποιείται, αλλιώς μεταφέρεται σε κάδους απόρριψης.

- Ανέλκυση των ακραίων αγωγών: Η ανέλκυση των ακραίων αγωγών πραγματοποιείται με την βοήθεια υδραυλικών πρεσών εξόλκευσης. Ο κενός χώρος που δημιουργείται μετά την ανέλκυση βοηθάει στην καθοδήγηση της αρπάγης σκάβοντας το διπλανό φάτνωμα. Το κατάλληλο χρονικό σημείο της ανέλκυσης προσδιορίζεται μετά την έναρξη πήξης του σκυροδέματος. Έτσι αφενός δεν θα μετακινηθεί από την προκαθορισμένη θέση το ναπό σκυρόδεμα και αφετέρου δεν θα έχει σκληρύνει τόσο ώστε να κρίνεται αδύνατη η ανέλκυση των αγωγών, στους οποίους εφάπτεται. Πρέπει να σημειωθεί, πως αντί της τοποθέτησης ακραίων αγωγών ως προσωρινό μέτρο σκυροδέτησης, σπανιότερα έχουν χρησιμοποιηθεί χαλύβδινα τμήματα τα οποία παραμένουν μέσα στην εκσκαφή. Στα θετικά της μεθόδου αυτής είναι η παρουσία οπλισμού στην ένωση των φατνωμάτων, και επιπλέον πως δεν χρειάζονται μηχανήματα βαρέως τύπου για την ανέλκυσή τους.



*Εικόνα 3.16: Φάσεις κατασκευής διαφραγματικού τοίχου. (Γιαννόπουλος, 2010)*

Κατά την σκυροδέτηση, μεταξύ των φατνωμάτων είναι σχεδόν βέβαιο πως θα δημιουργηθούν αρμοί διακοπής, οι οποίοι δεν μπορούν να ανακόψουν πλήρως την ροή του νερού. Μια αποτελεσματική λύση στο πρόβλημα αυτό είναι η μετέπειτα στεγανοποίηση των αρμών με ένεση συνθετικής ρητίνης. Υπάρχουν και περιπτώσεις όμως, όπου με την μέθοδο των ακραίων αγωγών, οι αρμοί ήταν τόσο άρτια κατασκευασμένοι, που δεν χρειάστηκαν καμία ιδιαίτερη στεγανοποίηση.

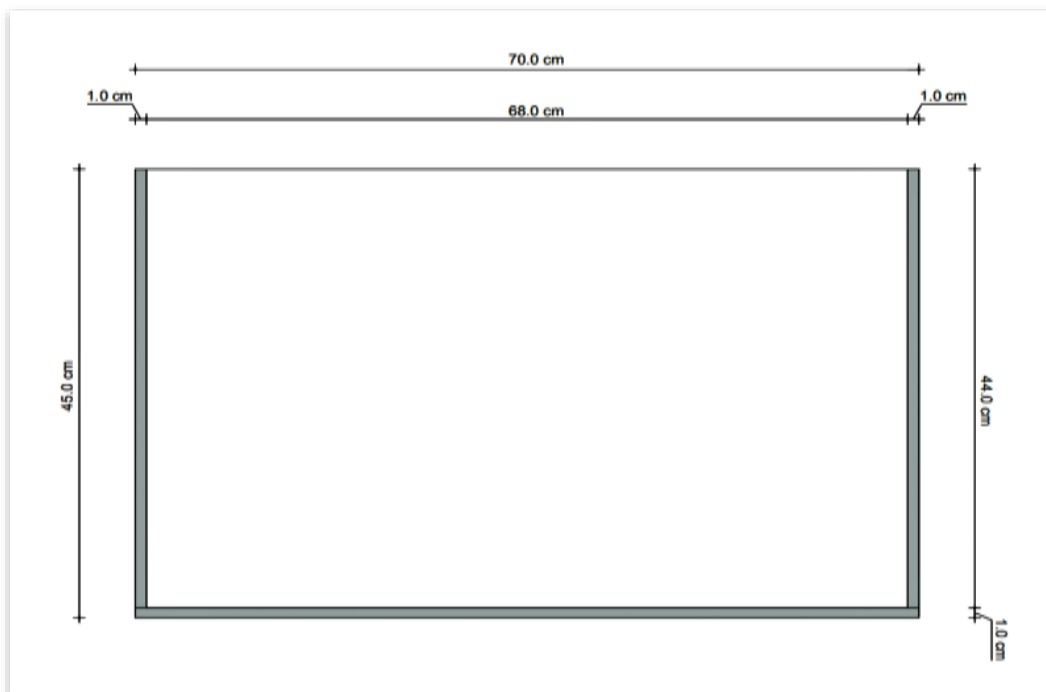
Στην περίπτωση που υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις, όπως επιπεδότητα, ακρίβεια τοποθέτησης και στεγανότητα, ο προκατασκευασμένος διαφραγματικός τοίχος φαντάζει η ιδανική λύση. Εάν τελικά επιλεγεί ο προκατασκευασμένος διαφραγματικός τοίχος, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη πως το πλάτος της εκσκαφής θα πρέπει να είναι προσαυξημένο κατά 10-20 cm, σε σχέση με τα προκατασκευασμένα τμήματα, έτσι ώστε ακόμη και για μια μικρή απόκλιση της εκσκαφής, τα τεμάχια να τοποθετηθούν στην προκαθορισμένη θέση τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

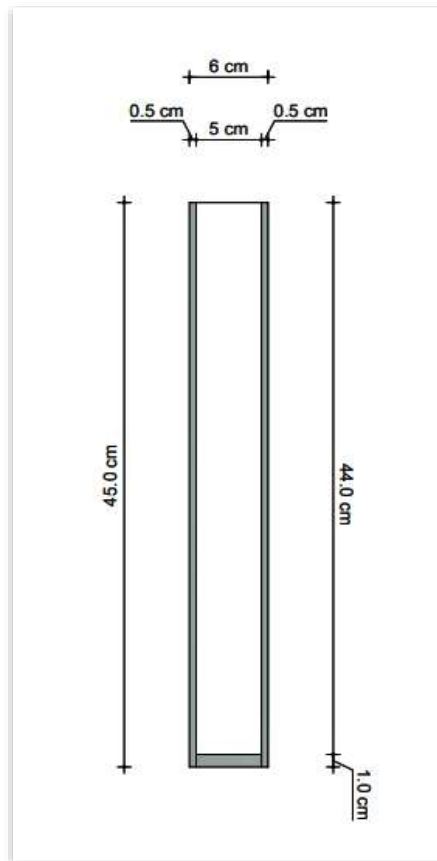
Για την μελέτη της υπόγειας ροής ήταν απαραίτητη η κατασκευή μιας πειραματικής διάταξης, η οποία περιλαμβάνει την πειραματική συσκευή και τα μοντέλα φραγμάτων. Τα στοιχεία σχεδιασμού και κατασκευής της συσκευής και των φραγμάτων αναλύονται παρακάτω.

### 4.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

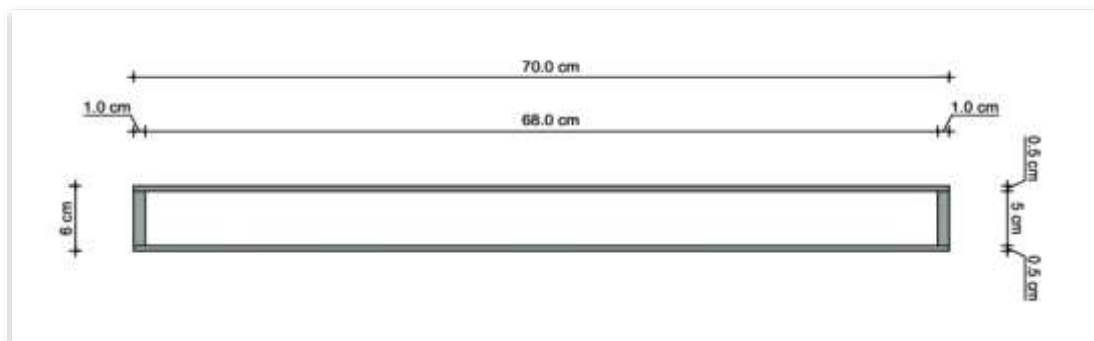
Η συσκευή είναι κατασκευασμένη εξολοκλήρου από Plexiglass. Έχει εξωτερικές διαστάσεις (70 x 45 x 6) cm και εσωτερικές (68 x 44 x 5) cm. Συγκεκριμένα αποτελείται από: α) δύο φύλλα πάχους 5 mm διαστάσεων (70 x 45) cm τα οποία αποτελούν την πρόσοψη και την πίσω όψη της κατασκευής, β) ένα τμήμα πάχους 10 mm και διαστάσεων (70 x 5) cm το οποίο αποτελεί την βάση της κατασκευής και τοποθετείται μεταξύ των δύο φύλλων, και γ) δύο τμήματα πάχους 10 mm και διαστάσεων (44 x 5) cm τα οποία αποτελούν τις δύο πλαϊνές όψεις της κατασκευής και τοποθετούνται κι αυτές εσωτερικά των δύο φύλλων. Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται η μορφή της κατασκευής, καθώς και οι διαστάσεις της.



*Εικόνα 4.1: Πρόσοψη πειραματικής συσκευής.*



*Εικόνα 4.2: Πλάγια όψη πειραματικής συσκευής.*



*Εικόνα 4.3: Κάτοψη πειραματικής συσκευής.*

Η συγκόλληση των plexiglass έχει γίνει με έγχυση χλωροφόρμιου στις ενώσεις, αφού είναι το μόνο υλικό που μπορεί να κολλήσει τα plexiglass τόσο αποτελεσματικά. Αξίζει να σημειωθεί πως η επιλογή plexiglass πάχους 10 mm στο κάτω και στα πλαϊνά τμήματα έχει στόχο την ύπαρξη μεγαλύτερης επιφάνειας συγκόλλησης.

Επιπλέον, εσωτερικά της συσκευής έχει τοποθετηθεί διαφανής σιλικόνη κατάλληλη για μόνιμη έκθεση στο νερό, για μέγιστη στεγανοποίηση.

Εξωτερικά κατά μήκος των δύο πλαϊνών και της κάτω πλευράς τοποθετήθηκαν μεταλλικά ελάσματα πάχους 1 mm και σχήματος Π για ακόμη μεγαλύτερη σταθερότητα



της κατασκευής. Έχουν πλάτος 6 cm και βάθος 2 cm από κάθε πλευρά. Η κόλληση των μεταλλικών Π έγινε με την βοήθεια της ίδιας σιλικόνης που χρησιμοποιήθηκε και εσωτερικά. Η επάνω πλευρά έχει παραμείνει ανοιχτή προς ευκολία της πειραματικής διαδικασίας.

Στην πειραματική συσκευή και συγκεκριμένα στην πίσω όψη έχουν ανοιχθεί δύο οπές (μία ανάντη και μία κατάντη του φράγματος) διαμέτρου 10 mm στις οποίες τοποθετήθηκε ρακόρ με ελαστικές ροδέλες ώστε να μην υπάρχουν απώλειες νερού. Οι οπές αυτές χρησιμεύουν στην παροχέτευση του νερού εκτός της διάταξης ώστε να παραμένει σταθερό το υδραυλικό φορτίο, αλλά και για να μετρηθεί η διηθούμενη παροχή κάτω από το φράγμα μέσω της κατάντη οπής.

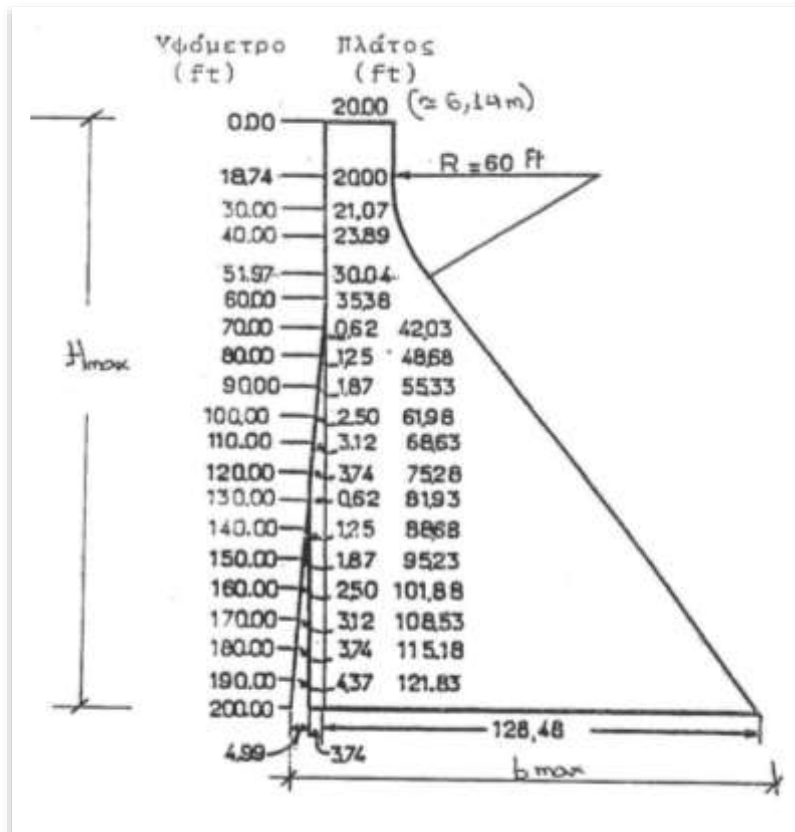
Επίσης σε τέσσερα σημεία (εκ των οποίων ένα στη θέση του φράγματος) έχουν ανοιχθεί διαμπερείς οπές διαμέτρου 6 mm. Σε αυτές έχουν περασθεί τέσσερις βίδες επίσης με ελαστικές ροδέλες που έχουν σφίξει με παξιμάδια από την πίσω πλευρά. Στόχος τους είναι να αποφευχθεί το φαινόμενο της διαστολής της κατασκευής λόγω των πιέσεων του νερού και η συγκράτηση των δύο φύλλων plexiglass στην αρχική απόσταση των 5 cm. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η στεγανότητα μεταξύ της συσκευής και του φράγματος.



*Εικόνα 4.4: Πειραματική συσκευή*

## 4.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Ο σχεδιασμός του προφίλ του φράγματος και ο υπολογισμός των βασικών διαστάσεων, βασίζεται στο τύπο No.2 του WEGMANN. Πρόκειται για ένα φράγμα βαρύτητας σκυροδέματος. Η παρακάτω διατομή έχει σχεδιαστεί για μηδενική άνωση. Το πλάτος στέψης έχει ληφθεί 20 ft (6.14 m).



Εικόνα 4.5: Πρακτικό προφίλ τύπου 2 του Wegmann. (Χατζηθεοδώρου, 2010)

Για την εφαρμογή του προφίλ του Wegmann αρχικά επιλέγω το επιθυμητό πλάτος στέψης. Μετά από αρκετούς υπολογισμούς το καταλληλότερο πλάτος στέψης για το μέγεθος της κατασκευής κρίθηκε 1,5 cm (0.049 ft). Βρίσκω τον λόγο επιθυμητού πλάτους προς πλάτος Wegmann. Συγκεκριμένα:

$$\frac{\text{επιθυμητό πλάτος}}{\text{πλάτος Wegmann}} = \frac{0.049 \text{ ft}}{20.00 \text{ ft}} = 0.00245$$

Στη συνέχεια επανεκτιμώ τα βασικά μεγέθη σχεδιασμού για την κατασκευή του φράγματος, πολλαπλασιάζοντάς τα με τον λόγο που βρήκα πιο πάνω.

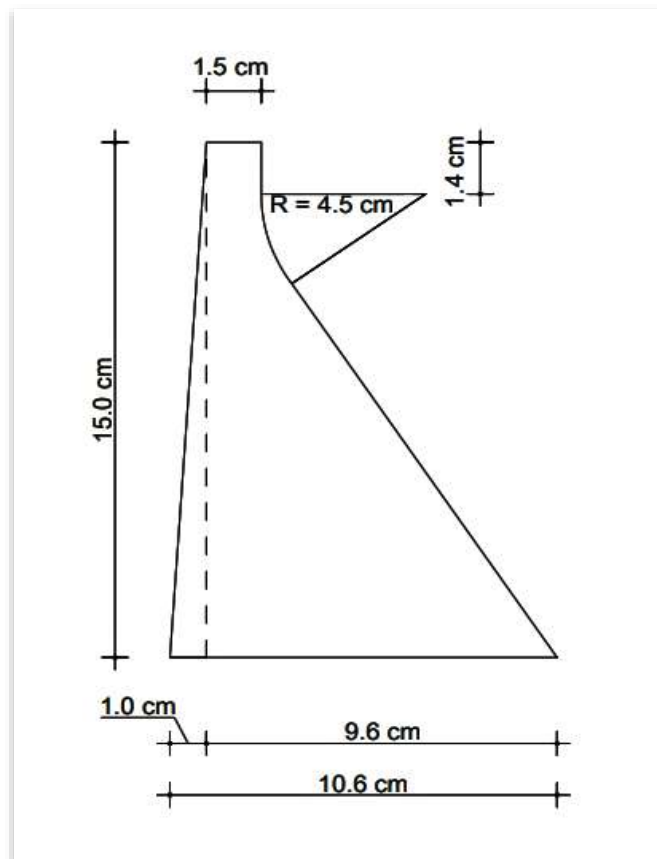
$$R^{new} = 60 \text{ ft} \times 0.00245 = 0.147 \text{ ft} = 4.48 \text{ cm} \approx \mathbf{4.50 \text{ cm}}$$

$$H_{max}^{new} = 200 \text{ ft} \times 0.00245 = 0.49 \text{ ft} = 14.94 \text{ cm} \approx \mathbf{15.00 \text{ cm}}$$

$$b^{new} = 128.48 \times 0.00245 = 0.315 \text{ ft} = 9.60 \text{ cm}$$

Λόγω των πολύ μικρών διαστάσεων είναι πολύ δύσκολο να υπολογισθεί η κλίση της ανάντη παρειάς του φράγματος με βάση το μοντέλο Wegmann. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να σχεδιασθεί προσεγγιστικά. Πιο συγκεκριμένα, αυξήθηκε το πλάτος  $b$  του φράγματος κατά 1 cm. Δηλαδή έχουμε:

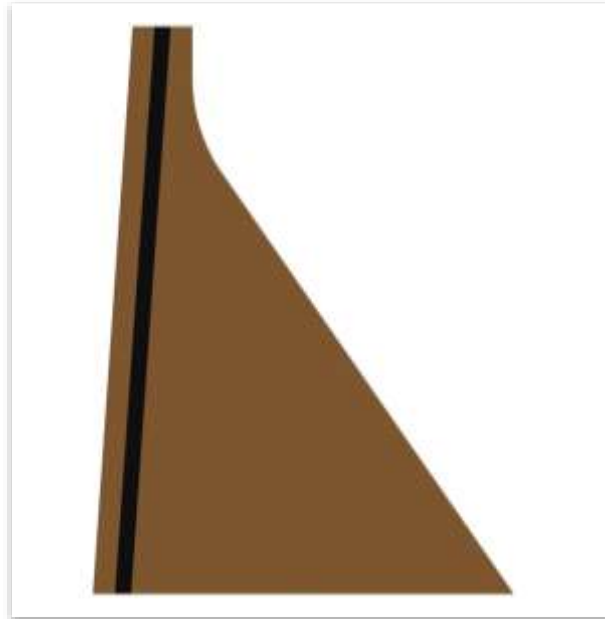
$$b_{max}^{new} = b^{new} + 1 \text{ cm} = \mathbf{10.60 \text{ cm}}$$



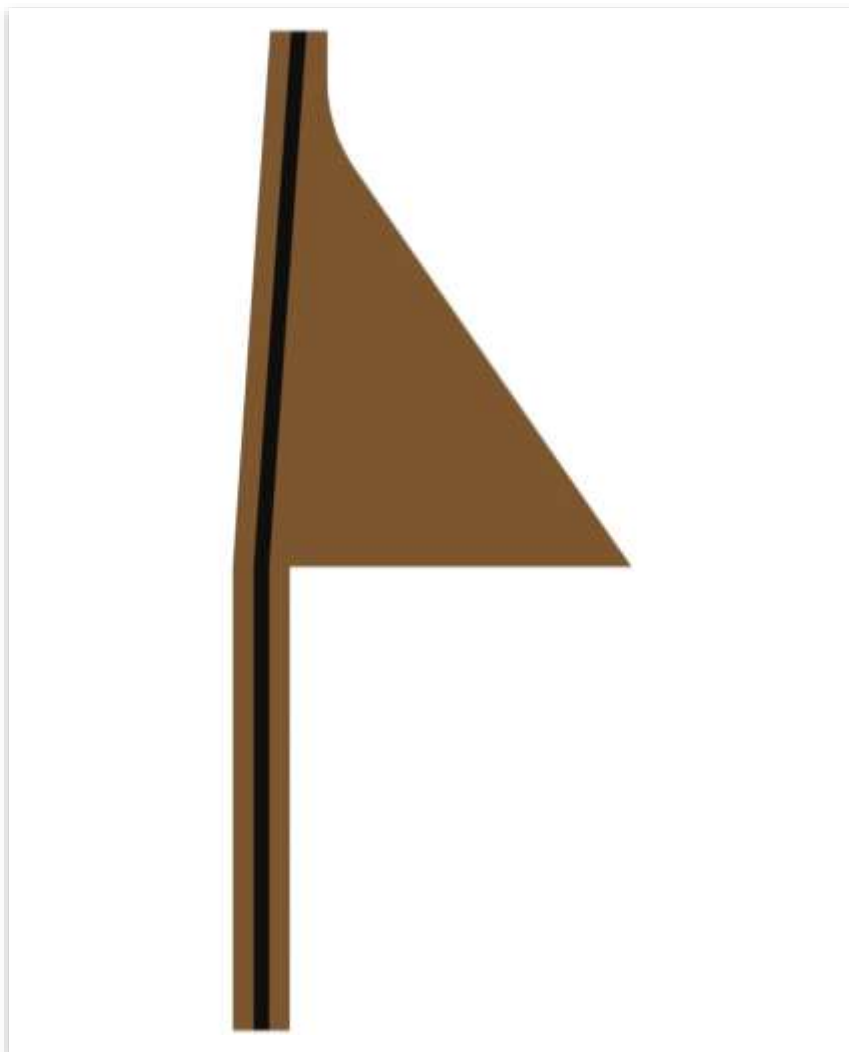
*Εικόνα 4.6: Διαστάσεις μοντέλου φράγματος χωρίς διαφραγματικό τοίχο.*

Στην περίπτωση παρουσίας διαφραγματικού τοίχου οι διαστάσεις του φράγματος παραμένουν ως έχουν με την μόνη διαφορά να είναι η προσθήκη του διαφραγματικού τοίχου κάτω από το φράγμα. Δεν υπάρχει περιορισμός στο ύψος του διαφραγματικού





*Εικόνα 4.8: Ρεαλιστική απεικόνιση μοντέλου φράγματος χωρίς διαφραγματικό τοίχο*



*Εικόνα 4.9: Ρεαλιστική απεικόνιση μοντέλου φράγματος παρουσία διαφραγματικού τοίχου.*



*Εικόνα 4.10: Μοντέλο φράγματος χωρίς διαφραγματικό τοίχο.*

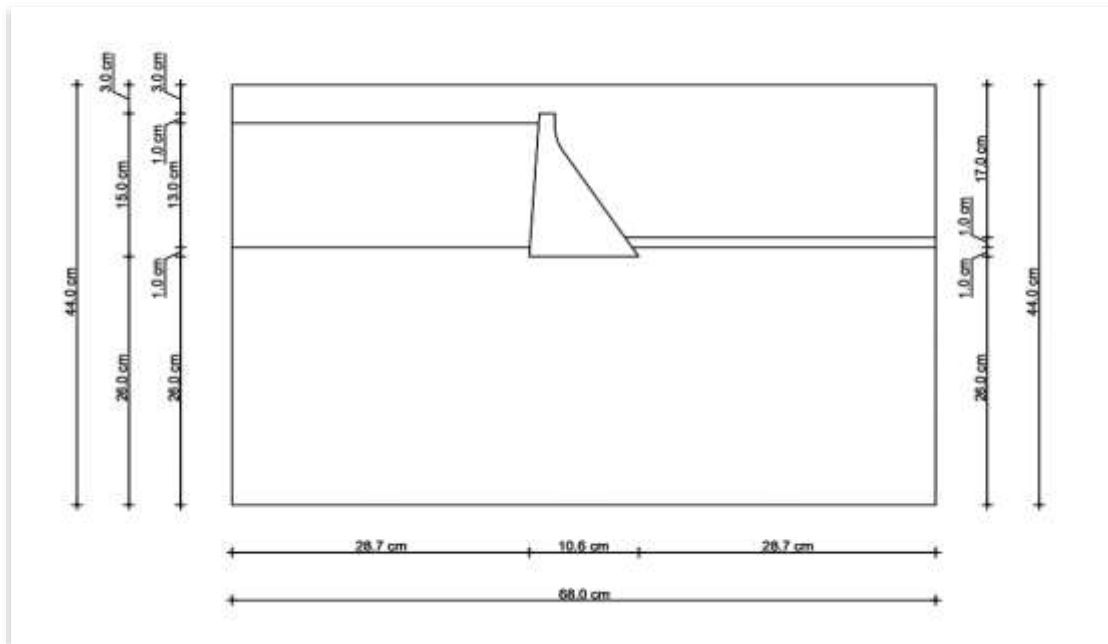


*Εικόνα 4.11: Μοντέλο φράγματος παρουσία διαφραγματικού τοίχου.*

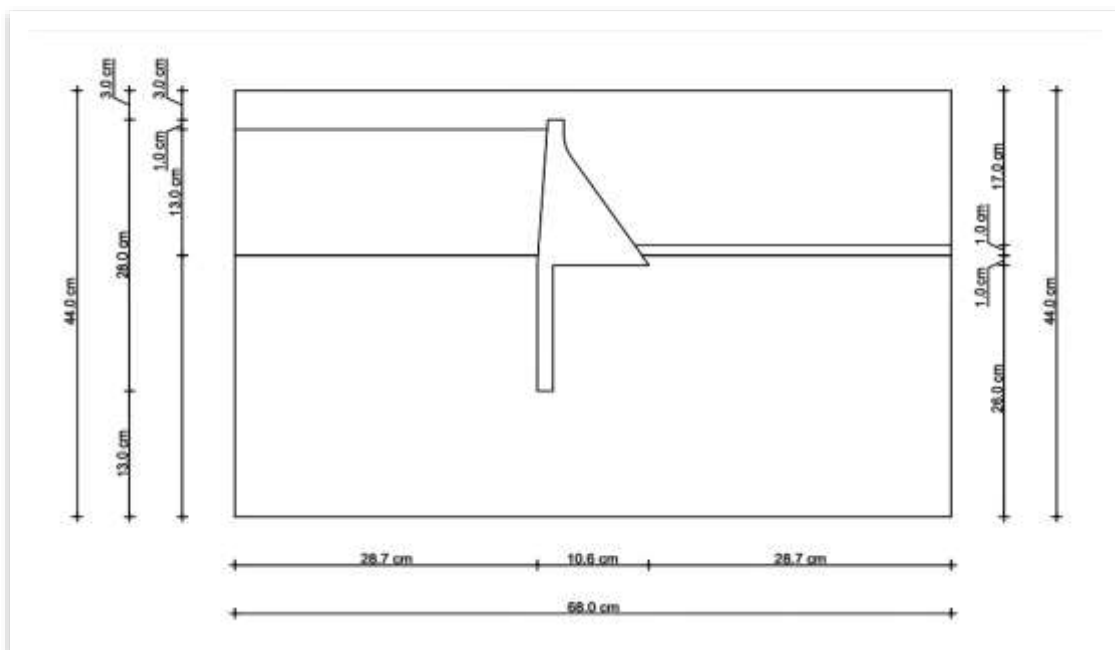


### 4.3 ΣΥΝΘΕΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Η σύνθεση της πειραματικής διάταξης ολοκληρώνεται με την τοποθέτηση των φραγμάτων, του εδαφικού υλικού και του νερού μέσα στην πειραματική συσκευή. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται οι εσωτερικές διαστάσεις, η θέση τοποθέτησης του φράγματος και τα υδραυλικά φορτία.

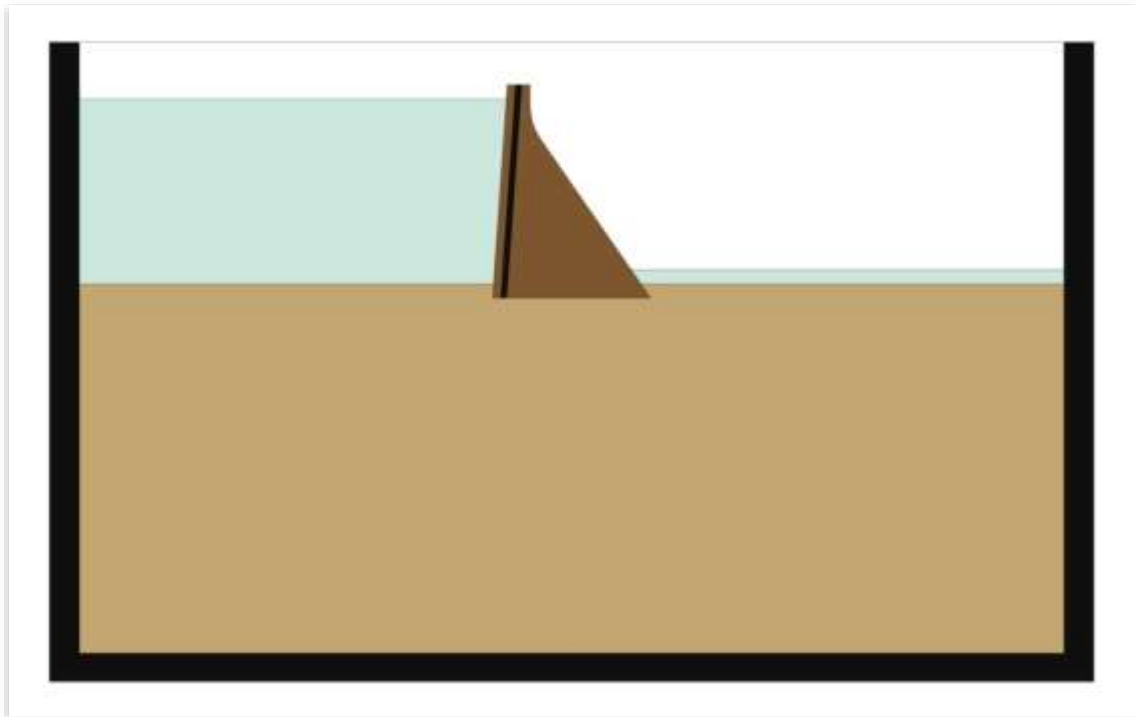


Εικόνα 4.13: Θέση φράγματος χωρίς διαφραγματικό τοίχο και εσωτερικές διαστάσεις της διάταξης.

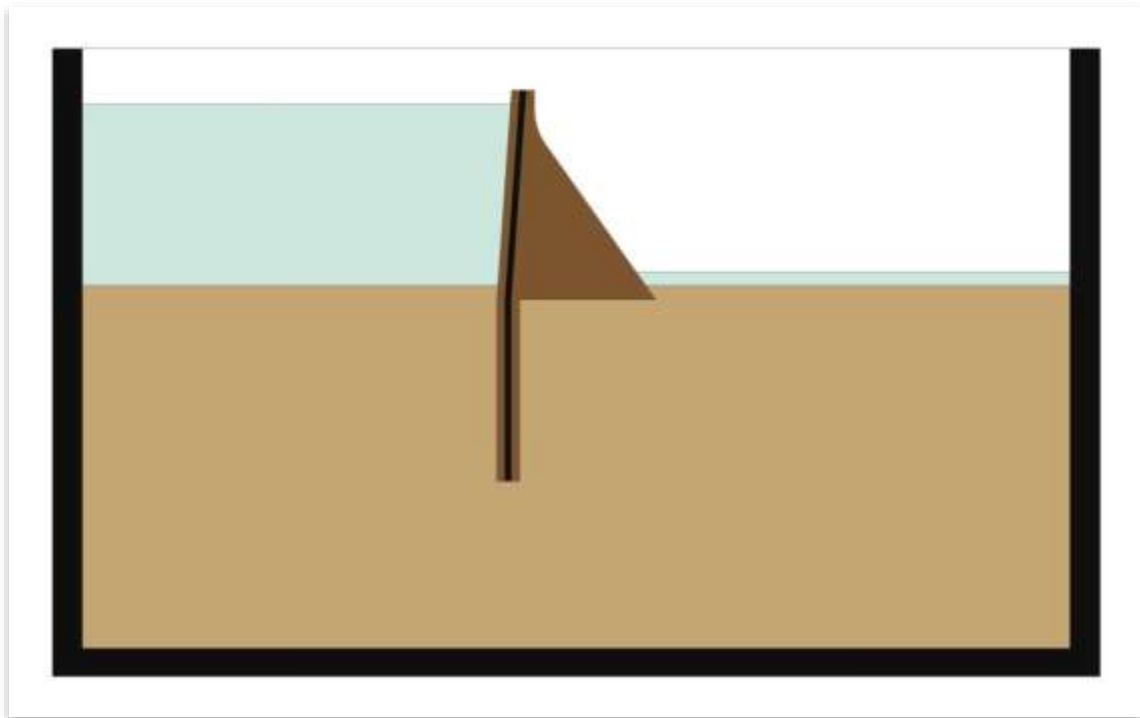


Εικόνα 4.14: Θέση φράγματος με διαφραγματικό τοίχο και εσωτερικές διαστάσεις της διάταξης.

Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται οι δύο τύποι φραγμάτων με γεμάτο ταμιευτήρα σε συνθήκες σταθερής ροής.



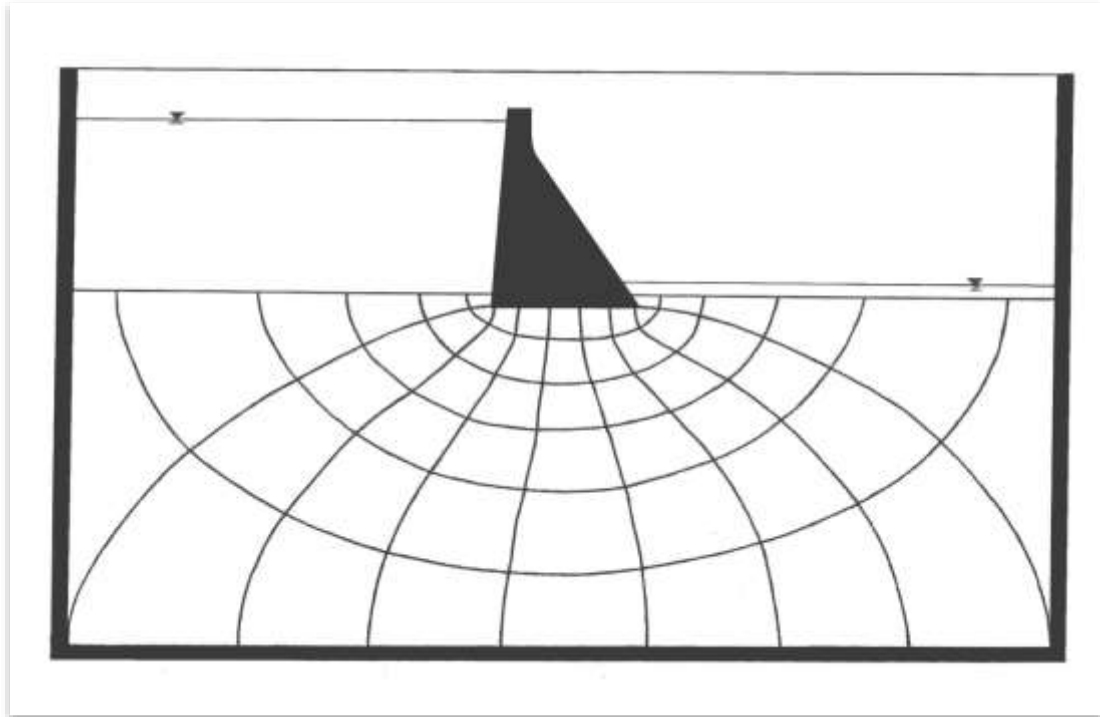
*Εικόνα 4.15: Απεικόνιση της ολοκληρωμένης πειραματικής διάταξης με φράγμα χωρίς διαφραγματικό τοίχο.*



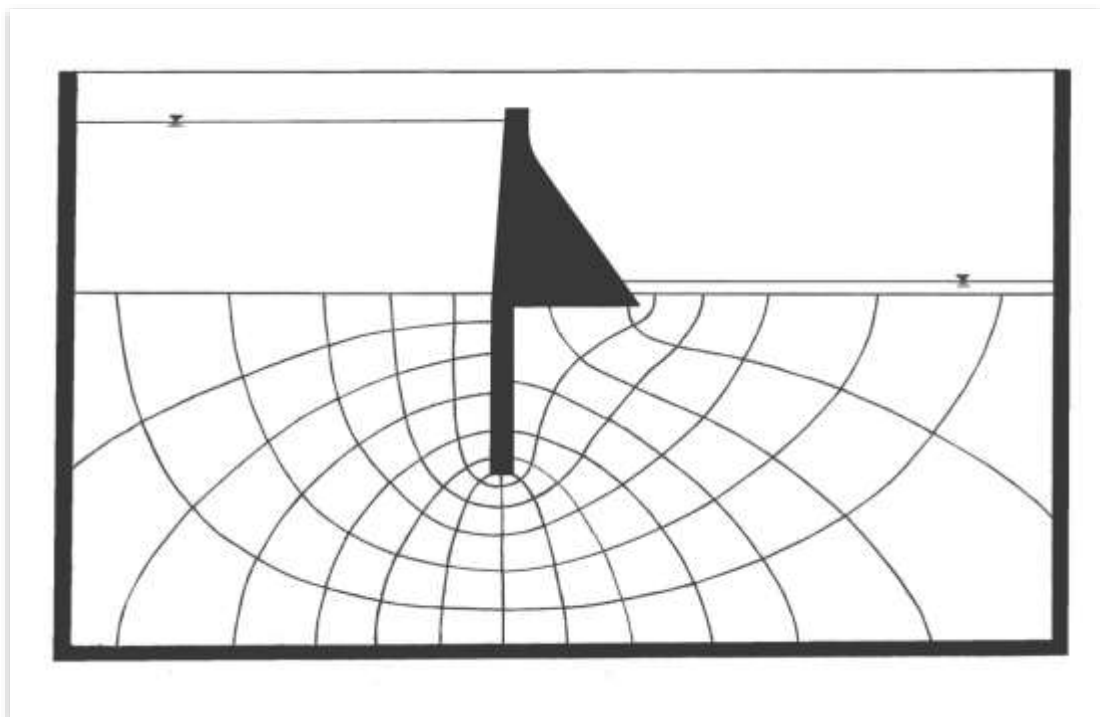
*Εικόνα 4.16: Απεικόνιση της ολοκληρωμένης πειραματικής διάταξης με φράγμα παρουσία διαφραγματικού τοίχου.*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

### 5.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΡΟΗΣ



*Εικόνα 5.1: Δίκτυο ροής κάτω από φράγμα χωρίς διαφραγματικό τοίχο.*



*Εικόνα 5.2: Δίκτυο ροής κάτω από φράγμα παρουσία διαφραγματικού τοίχου.*

Επομένως, στην περίπτωση του φράγματος χωρίς διαφραγματικό τοίχο έχουμε:

- Αριθμός καναλιών ροής  $n_f$ : 6
- Αριθμός ισοδυναμικών διαστημάτων  $n_d$ : 9

ενώ στην περίπτωση του φράγματος παρουσίας διαφραγματικού τοίχου έχουμε:

- Αριθμός καναλιών ροής  $n_f$ : 6
- Αριθμός ισοδυναμικών διαστημάτων  $n_d$ : 14

## 5.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Το εδαφικό υλικό που θα χρησιμοποιηθεί στη μελέτη της διηθούμενης παροχής κάτω από φράγμα είναι καθαρή άμμος απαλλαγμένη από λεπτόκοκκα υλικά, αφού έχει περάσει αρχικά από κόσκινο No. 200 και στη συνέχεια έχει πλυθεί.

Η πυκνότητα της άμμου μετά από συμπύκνωση υπολογίσθηκε  $\gamma_d = 1.636 \text{ kg/m}^3$

Η διαπερατότητα μετρήθηκε με διαπερατόμετρο σταθερού υδραυλικού φορτίου. Η μέτρηση και οι υπολογισμοί παρουσιάζονται παρακάτω.



*Εικόνα 5.3: Μέτρηση διαπερατότητας με διαπερατόμετρο σταθερού υδραυλικού φορτίου.*

- Ύψος δείγματος  $L$ : **19.0 cm**
- Διαφορά στάθμης υδραυλικού φορτίου  $\Delta h$ : **26.0 cm**
- Εσωτερική διάμετρος διαπερατόμετρου  $d$ : **6.4 cm**
- Χρόνος που διήρκησε η μέτρηση  $t$ : **300 sec** (5 min)
- Όγκος νερού που συλλέχθηκε  $V$ : **471 cm<sup>3</sup>**

$$Q = A \cdot k \cdot \frac{\Delta h}{L} \Leftrightarrow k = \frac{Q \cdot L}{A \cdot \Delta h}$$

$$k = \frac{Q \cdot L}{A \cdot \Delta h} = \frac{V \cdot L}{A \cdot t \cdot \Delta h} = \frac{4 \cdot V \cdot L}{\pi \cdot d^2 \cdot t \cdot \Delta h} = \frac{4 \cdot 471 \text{ cm}^3 \cdot 19 \text{ cm}}{3.14 \cdot 40.96 \text{ cm}^2 \cdot 300 \text{ sec} \cdot 26 \text{ cm}}$$

$$k = 3.56 \cdot 10^{-2} \text{ cm/sec}$$

### 5.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΗΘΟΥΜΕΝΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ

- **Φράγμα ΧΩΡΙΣ διαφραγματικό τοίχο**

$$Q = k \cdot \Delta h \cdot \frac{n_f}{n_d} = (3.56 \cdot 10^{-4} \text{ m/sec}) \cdot (0.12 \text{ m}) \cdot \frac{6}{9} = 2.85 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$$

Η πιο πάνω παροχή έχει υπολογισθεί για μήκος φράγματος 1 m. Προκειμένου να υπολογισθεί η διηθούμενη παροχή της διάταξης θα πρέπει να πολλαπλασιασθεί με το μήκος  $l$  του φράγματος (5 cm). Επομένως έχουμε:

$$Q' = Q \cdot l = (2.85 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}) \cdot (0.05 \text{ m})$$

$$Q' = 1.424 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}$$

ή

$$Q' = 1.424 \text{ cm}^3/\text{sec}$$

➤ **Φράγμα ΜΕ διαφραγματικό τοίχο**

$$Q = k \cdot \Delta h \cdot \frac{n_f}{n_d} = (3.56 \cdot 10^{-4} \text{ m/sec}) \cdot (0.12 \text{ m}) \cdot \frac{6}{14} = 1.83 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$$

Η πιο πάνω παροχή έχει υπολογισθεί για μήκος φράγματος 1 m. Προκειμένου να υπολογισθεί η διηθούμενη παροχή της διάταξης θα πρέπει να πολλαπλασιασθεί με το μήκος  $l$  του φράγματος (5 cm). Επομένως έχουμε:

$$Q' = Q \cdot l = (1.83 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}) \cdot (0.05 \text{ m})$$

$$Q' = 0.915 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}$$

ή

$$Q' = 0.915 \text{ cm}^3/\text{sec}$$

Συμπέρασμα: Από τους θεωρητικούς υπολογισμούς της συνολικής διηθούμενης παροχής και των δύο περιπτώσεων, προκύπτει πως με την τοποθέτηση διαφραγματικού τοίχου ύψους 13 cm, η παροχή μειώθηκε κατά 35%. Απομένει να διαπιστωθεί και στην πράξη στο επόμενο κεφάλαιο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΣΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΡΟΗΣ

Αρχικά πραγματοποιήθηκε η μελέτη της υπόγειας ροής κάτω από φράγμα παρουσία διαφραγματικού τοίχου και στη συνέχεια κάτω από φράγμα άνευ διαφραγματικού τοίχου.

Αναλυτικότερα:

### ➤ Μελέτη της υπόγειας ροής κάτω από φράγμα ΜΕ διαφραγματικό τοίχο

Αρχικά τοποθετήθηκε το φράγμα μέσα στην πειραματική συσκευή. Ύστερα η διάταξη γέμιζε με κορεσμένο εδαφικό υλικό, μέχρι το σημείο που έχει ορισθεί από τον σχεδιασμό της πειραματικής διάταξης, με το υδραυλικό ύψος ανάντη αλλά και κατόντη του φράγματος να είναι μηδέν (συνθήκες άδειου ταμιευτήρα).



*Εικόνα 6.1: Ολοκληρωμένη πειραματική διάταξη με φράγμα παρουσία διαφραγματικού τοίχου σε συνθήκες άδειου ταμιευτήρα.*

Στη συνέχεια ο ταμιευτήρας γέμιζε με νερό μέχρι το ύψος της υπερχειλίσης και περιμέναμε να αποκατασταθούν οι συνθήκες σταθερής ροής στα κατόντη του φράγματος, όπως φαίνεται πιο κάτω.





Εικόνα 6.2: Ολοκληρωμένη πειραματική διάταξη με φράγμα παρουσία διαφραγματικού τοίχου σε συνθήκες γεμάτου ταμιευτήρα.

Μετά την αποκατάσταση των συνθηκών σταθερής ροής μετρήθηκε η διηθούμενη παροχή συλλέγοντας το νερό που υπερχειλίζει από το ρακόρ κατάντη του φράγματος.

- Όγκος νερού που συλλέχθηκε  $V$ :  $276 \text{ cm}^3$
- Χρόνος συλλογής νερού  $t$ :  $300 \text{ sec}$  ( $5 \text{ min}$ )

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{276 \text{ cm}^3}{300 \text{ sec}}$$

$$Q = 0.92 \text{ cm}^3/\text{sec}$$

ή

$$Q = 0.92 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}$$

Παρατήρηση: Η πιο πάνω παροχή που μετρήθηκε πειραματικά ( $0.92 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ) βρίσκεται πολύ κοντά στην παροχή που υπολογίστηκε θεωρητικά ( $0.915 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ).

➤ **Μελέτη της υπόγειας ροής κάτω από φράγμα ΧΩΡΙΣ διαφραγματικό τοίχο**

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η ίδια με την παραπάνω μέχρι και το σημείο πριν ο ταμιευτήρας γεμίσει με νερό.



*Εικόνα 6.3: Ολοκληρωμένη πειραματική διάταξη με φράγμα χωρίς διαφραγματικού τοίχου σε συνθήκες άδειου ταμιευτήρα.*



*Εικόνα 6.4: Απόπειρα πλήρωσης του ταμιευτήρα με νερό στην περίπτωση φράγματος χωρίς διαφραγματικό τοίχο.*



*Εικόνα 6.5: Αστοχία θεμελίωσης φράγματος λόγω υποσκαφής.*

Όπως φαίνεται στις εικόνες 6.5 και 6.6 μόλις ξεκίνησε η πλήρωση του ταμιευτήρα με νερό, η θεμελίωση του φράγματος αστόχησε. Συγκεκριμένα πριν προλάβει να γεμίσει ο ταμιευτήρας, το νερό δημιούργησε υποσκαφή κάτω από τη βάση του φράγματος.

Για επιβεβαίωση του αποτελέσματος η συγκεκριμένη διαδικασία πραγματοποιήθηκε πέντε φορές, με όλες από αυτές να έχουν το ίδιο αποτέλεσμα.

Συμπέρασμα: Το φράγμα είχε την τάση να ολισθήσει ή ακόμα και να ανατραπεί. Εξαιτίας, όμως, της πάκτωσης του φράγματος στην πειραματική συσκευή, δεν υπήρχε η δυνατότητα μετακίνησης ή περιστροφής του. Έτσι, η θεμελίωση οδηγήθηκε σε αστοχία.

Εξαιτίας της αστοχίας αυτής, στην περίπτωση όπου το φράγμα δεν συνοδεύεται από διαφραγματικό τοίχο, η διηθούμενη παροχή δεν μπόρεσε να μετρηθεί και κατ' επέκταση να συγκριθεί με την παροχή στην περίπτωση όπου το φράγμα συνοδεύεται από διαφραγματικό τοίχο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Κατά τον θεωρητικό υπολογισμό της διηθούμενης παροχής στο κεφ. 5.3 διαπιστώθηκε πως η παρουσία διαφραγματικού τοίχου συνέβαλε στην μείωση της παροχής κατά 35%. Επίσης, στην περίπτωση όπου το φράγμα συνοδευόταν από διαφραγματικό τοίχο, η πειραματικά μετρηθείσα παροχή είχε εξαιρετικά μικρή απόκλιση από αυτήν που υπολογίστηκε θεωρητικά. Δυστυχώς, στην περίπτωση όπου το φράγμα δεν συνοδευόταν από διαφραγματικό τοίχο, μόλις ξεκίνησε η πλήρωση του ταμιευτήρα με νερό, δημιουργήθηκε υποσκαφή στην βάση του φράγματος και κατ' επέκταση αστοχία της θεμελίωσης. Αιτία ήταν η πάκτωση του φράγματος στην κατασκευή, καθώς δεν υπήρχε η δυνατότητα ολίσθησης ή ανατροπής του φορέα του φράγματος. Επίσης ένας λόγος που συνέβαλε στην αστοχία ήταν το μικρό βάθος θεμελίωσης. Λόγω της αστοχίας αυτής, η διηθούμενη παροχή στην περίπτωση αυτή δεν ήταν εφικτό να μετρηθεί και κατ' επέκταση να συγκριθεί με την αντίστοιχη θεωρητικά υπολογισμένη παροχή, αλλά και με την πειραματικά μετρηθείσα παροχή στην περίπτωση όπου το φράγμα συνοδευόταν από τον διαφραγματικό τοίχο.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Τσόγκας Χ. – Τσόγκα Ε. (2000). «Υδροδυναμικά Έργα – Φράγματα». Αθήνα: Εκδόσεις Των.

Βγενοπούλου Ε. (2012). «ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΕΡΓΑ – Συμπληρωματικές σημειώσεις του μαθήματος “Υδροδυναμικά και Αντιπλημμυρικά Έργα”» (τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής – ΤΕΙ Πάτρας)

Μπλούτσος Α. – Λαμπάκης Ν. (2010). «Υδροδυναμικά & Αντιπλημμυρικά Έργα – Σημειώσεις Εργαστηρίου» (τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής – ΤΕΙ Πάτρας)

Διαδίκτυο: ([http://library.tee.gr/digital/m2354/m2354\\_filintas.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2354/m2354_filintas.pdf))

Διαδίκτυο: ([http://library.tee.gr/digital/m2354/m2354\\_dimopoulos.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2354/m2354_dimopoulos.pdf))

Διαδίκτυο: (<http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teelar/EKDILWSEIS/damConference/eisigiseis/3.1.pdf>)

Διαδίκτυο: (<http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teelar/EKDILWSEIS/damConference/eisigiseis/6.11.pdf>)

Διαδίκτυο: (<http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg881e/assets/geologikes-meletes-8o-9o-mathima-site.pdf>)

Διαδίκτυο: (<http://users.ntua.gr/kavvadas/Books/Soil%20Mechanics/ch04.pdf>)

Διαδίκτυο: ([https://www.itia.ntua.gr/el/getfile/1591/1/documents/Dams\\_01.pdf](https://www.itia.ntua.gr/el/getfile/1591/1/documents/Dams_01.pdf))

Διαδίκτυο: (<https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/TMB244/YDRODYNAMIK A4a.pdf>)

Διαδίκτυο: (<https://docplayer.gr/13535713-Ydroilektrika-erga-8o-examino-sholis-politikon-mihanikon-fragmata-andreas-eystratiadis-nikos-mamasis-dimitris-koysogiannis.html>)

Διαδίκτυο: (<https://constructopia.files.wordpress.com/2014/05/ceb4ceb9ceb1cf86cf81ceb1ceb3cebcecb1cf84ceb9cebacebfc9cf84cebfc9cf87cebfc9.pdf>)

Διαδίκτυο: (<http://repository.library.teimes.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/6693/%CE%95%CE%99%CE%94%CE%97%20%CE%9A%CE%91%CE%99%20%CE%A4%CE%A1%CE%9F%CE%A0%CE%9F%CE%99%20%CE%95%CE%A6%CE%91%CE%A1%CE%9C%CE%9F%CE%93%CE%97%CE%A3%20%CE%A4%CE%A3%CE%99%CE%9C%CE%95%CE%9D%CE%A4%CE%95%CE%9D%CE%95%CE%A3%CE%95%CE%A9%CE%9D%20%CE%A3%CE%A4%CE%91%20%CE%A6%CE%A1%CE%91%CE%93%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%91..pdf?sequence=1&isAllowed=y>)

Διαδίκτυο:(<http://repository.library.teiwest.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/3823/%CE%A3%CE%A4%CE%9F%CE%99%CE%A7%CE%95%CE%99%CE%91%20%CE%A3%CE%A7%CE%95%CE%94%CE%99%CE%91%CE%A3%CE%9C%CE%9F%CE%A5%20%CE%9B%CE%99%CE%98%CE%9F%CE%A1%CE%A1%CE%99%CE%A0%CE%A4%CE%A9%CE%9D%20%CE%A6%CE%A1%CE%91%CE%93%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%A9%CE%9D%20%CE%9C%CE%95%20%CE%95%CE%A6%CE%91%CE%A1%CE%9C%CE%9F%CE%93%CE%97%20%CE%A3%CE%A4%CE%9F%20%CE%A6%CE%A1%CE%91%CE%93%CE%9C%CE%91%20%CE%A4%CE%A1%CE%99%CE%91%CE%9D%CE%A4%CE%91%CE%A6%CE%A5%CE%9B%CE%9B%CE%99%CE%91%CE%A3%20%CE%9D%CE%9F%CE%9C%CE%9F%CE%A5%20%CE%A6%CE%9B%CE%A9%CE%A1%CE%99%CE%9D%CE%97%CE%A3..pdf?sequence=1&isAllowed=y>)

Διαδίκτυο:([http://www.elot.gr/1501-11-03\\_04\\_00\\_TP\\_ENQ\\_170823.pdf](http://www.elot.gr/1501-11-03_04_00_TP_ENQ_170823.pdf))

Διαδίκτυο:(<https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>)