



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ



ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΣΥΜΕΩΝ

ΥΔΡΟΛΗΠΤΙΚΑ ΕΡΓΑ: ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ, ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ, ΑΡΧΕΣ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ, ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ
ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΗ ΧΩΡΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2018





ΣΥΜΕΩΝ ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ:5025

ΥΔΡΟΛΗΠΤΙΚΑ ΕΡΓΑ: ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ, ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ, ΑΡΧΕΣ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ, ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΗ
ΧΩΡΟ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Γεωλογίας,
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

Επιβλέπων Μάττας Χρήστος ΕΔΙΠ Τμήματος Γεωλογίας



© Συμεών Παπαδημητρίου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωλογίας, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

ΥΔΡΟΛΗΠΤΙΚΑ ΕΡΓΑ: ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ, ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ, ΑΡΧΕΣ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ, ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΗ
ΧΩΡΟ-Διπλωματική Εργασία

© Simos Papadimitriou, School of Geology, Dept. of Geology, 2018

All rights reserved.

WATER ABSTRACTION WORKS: GENERAL CHARACTERISTICS, CATEGORIES,
OPERATION PRINCIPLES, CASE STUDIES FROM GREECE AND ABROAD – *Bachelor
Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



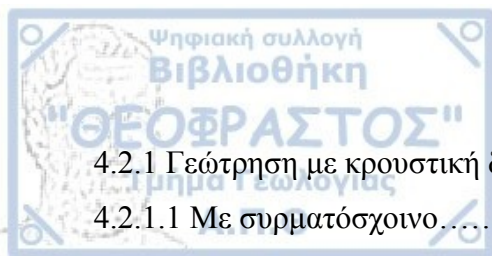
Ευχαριστίες

Για την συγγραφή της παρακάτω πτυχιακής θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Μάττα Χ. για τις συμβουλές, τις επισημάνσεις για την ολόκληρωση της πτυχιακής μου εργασίας. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Βουδούρη Κ. καθώς και τον κ. Μαρίνο Β. για την συμβολή τους στην διαμόρφωση του τρόπου σκέψης μου τον οποίο θα πρέπει να έχει ένας γεωλόγος τελειώνοντας το Τμήμα της Γεωλογίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω πρώτα την γιαγιά μου για την υπομονή της και την οικογένεια μου για την στήριξη που μου παρείχαν στα φοιτητικά μου χρόνια.



Περιεχόμενα

Περίληψη.....	8
Abstract.....	8
1. Εισαγωγή.....	9
1.1 Βασικές εννοιες της υδρογεωλογίας.....	9
1.1.1 Κύκλος του νερού.....	9
1.1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την κίνηση του νερού.....	10
1.1.3 Είδη υδροφορέων.....	10
2 Είδη υδρομαστευτικών έργων.....	11
2.1 Ιστορική αναδρομή.....	11
2.2 Κατηγορίες υδρομαστευτικών έργων	14
3. Εκτεταμένα έργα.....	15
3.1 Τάφροι.....	15
3.2. Στοές-σήραγγες.....	16
3.3. Γαλαρίες.....	16
3.4. Υπόγεια φράγματα.....	17
3.5. Φράγματα.....	18
3.5.1. Άκαμπτα φράγματα.....	20
3.5.1.1. Φράγματα βαρύτητας.....	20
3.5.1.2 Τοξωτά φράγματα.....	23
3.5.1.3 Αντηριδωτά φράγματα.....	23
3.5.2. Εύκαμπτα φράγματα.....	26
3.5.2.1 Γεωφράγματα.....	26
4. Κατακόρυφα έργα.....	32
4.1 Πηγάδια.....	32
4.1.1 Σκαφτά πηγάδια.....	32
4.1.2 Διάτρητα πηγάδια.....	33
4.1.3 Σωληνωτά πηγάδια.....	34
4.1.4 Πηγάδια με εκτόξευση.....	35
4.2 Γεωτρήσεις.....	36



4.2.1 Γεώτρηση με κρουστική διάτρηση.....	37
4.2.1.1 Με συρματόσχοινο.....	37
4.2.1.2 Με ελεύθερη πτώση.....	39
4.2.1.3 Με υδραυλικό τρόπο.....	39
4.2.1.4 Μέθοδος Καλιφόρνιας.....	40
4.2.1.5 Κρουστικό γεωτρύπανο.....	41
4.2.2 Περιστροφική διάτρηση.....	42
4.2.2.1 Συνοδά μέρη.....	43
4.2.3 Υδραυλική περιστροφική μέθοδος με κανονική κυκλοφορία πολτού.....	46
4.2.4 Υδραυλική περιστροφική μέθοδος διάτρησης με ανάστροφη κυκλοφορία.....	47
4.2.5 Περιστροφική μέθοδος διάτρησης με αέρα.....	48
4.2.6 Περιστροφική-Κρουστική μέθοδος διάτρησης με αέρα.....	50
5 Συνοδά έργα γεώτρησης.....	52
5.1 Συμπλήρωση υδρογεωτρήσεων.....	52
5.1.1 Σωλήνωση.....	52
5.1.2 Χαλίκωση της Γεώτρησης.....	54
5.2 Διεγραφίες ή καταγραφές (well logging)	54
6 Παραδείγματα εφαρμογών από τον Ελληνικό χώρο.....	56
6.1 Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του Ελλαδικού χώρου	57
6.1.1 Βροχομετρικά χαρακτηριστικά της Ελλάδας	57
6.1.2 Περιοχές με εμφάνιση καρστικών δομών στον Ελλαδικό χώρο.....	57
6.1.3 Χρήση νερού στην Ελλάδα.....	58
6.1.4 Αστικοποίηση.....	59
6.2 Μεγάλα φράγματα	60
6.3 Λιμνοδεξαμενές	64
6.3.1 Σύντομη περιγραφή χαρακτηριστικών των λιμνοδεξαμενών.	64
6.3.2 Χαρακτηριστικά παραδείγματα.....	66
6.4 Αρχαία υδροληπτικά έργα από τον Ελληνικό χώρο.....	69
6.5 Φράγματα από το Διεθνή χώρο.....	74
7 Συμπεράσματα.....	81
Βιβλιογραφία	83

Περίληψη

Η παρακάτω πτυχιακή εργασία έχει ως κύριο σκοπό την εκτενή παρουσίαση των κυριότερων υδροληπτικών έργων επιφανειακού και υπόγειου νερού. Τα υδροληπτικά έργα είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινής επιβίωσης του ανθρώπου καθώς το εύρος εφαρμογής τους μεγαλώνει συνεχώς. Η ύδρευση, άδρευση, αποθήκευση και η παραγωγή ενέργειας από το νερό είναι κάποιοι από τους λόγους που τα υδροληπτικά έργα κατασκευάζονται. Λόγο της μεγάλης σημασίας των έργων αυτών γίνεται λεπτομερής ανάλυση πάνω στις κατηγορίες, τα γενικά χαρακτηριστικά και τις αρχές λειτουργίας των έργων. Ακόμα γίνεται αναφορά σε κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα των παραπάνω έργων τόσο από τον Ελληνικό όσο και τον διεθνή χώρο. Η κατασκευή του κάθε υδροληπτικού έργου επιλέγεται με βάση τους σκοπούς και ανάγκες που καλείται να εξυπηρετήσει, τις δυνατότητες κατασκευής (γεωλογικά-γεωμορφολογικά κριτήρια) και την επιδράση στο οικοσύστημα που βρίσκεται στον χώρο κατασκευής του για αυτό το λόγο αναπτύσσονται λεπτομερώς τόσο τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους όσο και τα μειονεκτήματα- πλεονεκτήματα του κάθε έργου. Η παρούσα διπλωματική στοχεύει να παρουσιάσει συνοπτικά και περιεκτικά τα κυριότερα υδροληπτικά έργα που χρησιμοποιήθηκαν και χρησιμοποιούνται διαχρονικά από την ανθρωπότητα.

ABSTRACT

The main aim of this thesis is the extensive presentation of the main water and surface waterworks. Waterworks are an integral part of everyday human survival as their scope of application is constantly growing. Water supply, watering, storage and energy production are some of the reasons why waterworks are being built. Because of the great importance of these projects, a detailed analysis is made on the categories, the general characteristics and the principles of operation the projects. Still reference is made to some characteristic examples of the above works from both Greek and the international. The construction of each hydropower project is selected on the basis of the purposes and needs to be served, the possibilities of construction (geological- geomorphological criteria) and the influence on the ecosystem located in the area of construction. For this reason their technical characteristics are developed in detail and the disadvantages- advantages of each project. The present diploma aims to summarize the main waterworks that have been used over time by mankind.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τους αρχαίους ακόμα χρόνους της γέννησης των πρώτων πολιτισμών το νερό υπήρξε πηγή ζωής. Η εμφάνιση των πρώτων σύγχρονων ανθρώπων ξεκίνησε στην Παλαιολιθική εποχή 200.000 χρόνια πριν. Ήταν κυρίως κυνηγοί και συλλέκτες και ζούσαν ως νομάδες μετακινούμενοι κοντά σε ποτάμια και πηγές που τους εξασφάλιζαν την πρόσβαση σε νερό. Πριν περίπου 7000 χρόνια κατά την διάρκεια της Νεολιθικής εποχής ξεκίνησε η οργανωμένη γεωργία και κτηνοτροφία. Οι σημαντικότεροι πολιτισμοί αναπτύχθηκαν κοντά σε πηγές νερού για την κάλυψη των αυξημένων αναγκών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν αυτοί των Αιγύπτιων στον Νείλο, των Σουμερίων, των Βαβυλώνιων κα. στην Μεσοποταμία στην περιοχή του Τίγρη και του Ευφράτη (Καλουμένου Ε. κ.α 2012). Το νερό υπήρξε βασικό αγαθό στην εξέλιξη και εξάπλωση των πολιτισμών καθώς και το μέσο για την εξάπλωση του εμπορίου το οποίο αναπτύχθηκε μέσω αυτού όπως έγινε στην Ινδία, στην Κίνα και στην Αμερική (UNESCO International hydrological Programme, Hassan 2011). Η συνεχής ανάπτυξη των κοινωνιών έχει ως φυσικό επακόλουθο την αύξηση των αναγκών και της ζήτησης διαθέσιμων πόρων για την επιβίωση. Μαζί με την αύξηση του πληθυσμού, την δημιουργία μόνιμων οικισμών, την ανάπτυξη της γεωργίας και την βελτίωση του επιπέδου ζωής η ανάγκη για εύρεση νερού και μεταφορά του γινόταν ολοένα και πιο μεγάλη. Έτσι η ανθρωπότητα με την πάροδο του χρόνου στράφηκε στην εκμετάλλευση και των υπόγειων υδάτινων πέρα των επιφανειακών για να καλύψει της ανάγκες του με μια σειρά από τεχνολογικά έργα που ονομάζονται υδρομαστευτικά και θα τα αναλύσουμε στα παρακάτω κεφάλαια.

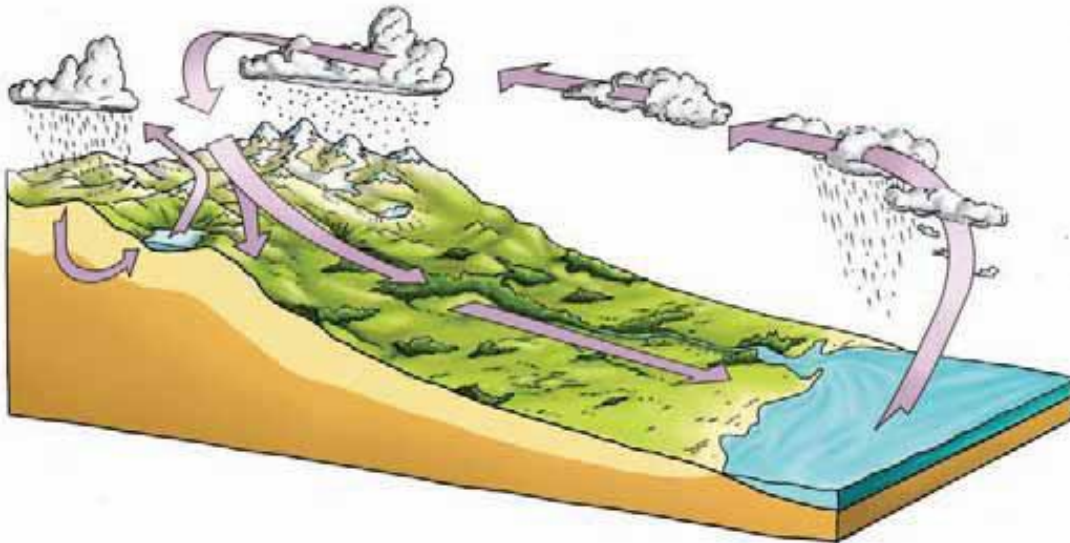
Φαινόμενα όπως αυτό της υφαλμύρισης και της ρύπανσης εμφανίστηκαν λόγω της υπερεκμετάλλευσης και της αλόγιστης χρήσης στις σύγχρονες κοινωνίες. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζονται τα σημαντικότερα έργα υδρομάστευσης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων.

1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

1.1.1 Κύκλος του νερού

Ο κύκλος του νερού γνωστός και ως υδρολογικός κύκλος περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες μέσω των οποίων το νερό κυκλοφορεί σε θάλασσα και ξηρά. Το νερό είναι γνωστό ότι παίρνει τις εξής τρεις μορφές υγρό, αέριο και στερεό, νερό, υδρατμοί, χιόνι και πάγος αντίστοιχα.

Το νερό λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στην επιφάνεια της Γης από την υγρή κατάσταση εισέρχεται στην αέρια (υδρατμοί) δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο τα σύννεφα. Στην συνέχεια λόγω της συμπύκνωσης οι υδρατμοί υγροποιούνται και επιστρέφουν στην επιφάνεια της Γης με την μορφή υετού (βροχή, χαλάζι). Το νερό ακολουθεί διάφορες πορείες (Εικόνα 1), μπορεί να επιστρέψει στην θάλασσα, μια ποσότητα αποθηκεύεται στους υπόγειους υδροφορείς με την διαδικασία της κατείσδυσης, ενώ ένα μέρος του με την επιφανειακή απορροή καταλήγει σε λίμνες και ποτάμια με τελικό αποδέκτη τη θάλασσα.



Εικόνα 1. Κύκλος του νερού (Διαδραστικά σχολικά βιβλία 2007).

1.1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την κίνηση του νερού

Το νερό όταν φτάνει στην επιφάνεια της ξηράς μπορεί να κινηθεί είτε επιφανειακά είτε υπόγεια. Η πορεία του εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες (Βουδούρης Κ. 2013):

1. Γεωμορφολογικοί (η κλίση, το εμβαδόν και το σχήμα της λεκάνης απορροής)
2. Χρήσεις γης (το είδος της βλάστησης, η παρουσία του ανθρώπου στην περιοχή)
3. Λιθολογικά χαρακτηριστικά (το είδος των πετρωμάτων, περατότητα, πορώδες)
4. Το ποσοστό υγρασίας του εδάφους (επηρεάζει την κατείσδυση του νερού)

1.1.3. Είδη υδροφορέων

Οι υδροφορείς χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες όπως φαίνεται στην Εικόνα 2 (Βουδούρης Κ. 2013) :

- Στους ελεύθερους υδροφορείς όπου η βάση τους αποτελείται από αδιαπέρατο γεωλογικό σχηματισμό (στεγανό στρώμα) ενώ στην οροφή τους το παραπάνω σώμα απουσιάζει.
- Στους υπό πίεση υδροφορείς στους οποίους σε αντίθεση με τους ελεύθερους τόσο το υπόβαθρο όσο και η οροφή τους αποτελείται από αδιαπέρατα στρώματα με αποτέλεσμα το νερό να παραμένει εγκλωβισμένο



Εικόνα 2 Είδη υδροφορέων (Δαουλάρη Γ 2007).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΙΔΗ ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

2.1 Ιστορική αναδρομή

Τα πρώτα υδρομαστευτικά έργα έκαναν την εμφάνισή τους από τους αρχαίους ακόμα χρόνους στην ευρύτερη περιοχή του Ιράκ κοντά στους ποταμούς Ποταμοί Τίγρης, Ευφράτης (Βουδούρης Κ. 2003 αλλά και στην περιοχή της Ιορδανίας την 4^η χιλιετία π.Χ.) (Φιλίντας & Πολύζος 2008). Τα έργα αυτά στόχευαν κυρίως στην εκμετάλλευση των επιφανειακών και πηγαίων νερών της περιοχής για την κάλυψη των αναγκών . Οι τρόποι μεταφοράς νερού χωρίζονταν σε δύο κατηγορίες. Τον ανοιχτό που ήταν ένα κανάλι από πέτρες και κονίαμα (Εικόνα 3) και τον κλειστό αγωγό που αποτελούταν από χωματίινους σωλήνες (Εικόνα 4). Στον Ελλαδικό χώρο έργα όπως το Αδριάνειο υδραγωγείο σε Αθήνα και Κόρινθο και η Ευπαλίνειος

σήραγγα τη Σάμου αποτελούν τα σημαντικότερα οριζόντια υδρομαστευτικά έργα (Βουδούρης Κ. 2003). Τα Qanats (Εικόνα 5) αναγνωρίζονται ως τα σημαντικότερα έργα εκμετάλλευσης υπόγειου νερού της αρχαιότητας και κάνουν την εμφάνιση τους σε διάφορα μέρη της μεσογείου και όχι μόνο. Αποτελούνται από μια σήραγγα που ενώνει τους πυθμένες διαδοχικών πηγαδιών (Angelakis et al 2012). Ένα εξίσου σημαντικό υδροληπτικό έργο της αρχαιότητας είναι τα πηγάδια. Κάνουν την εμφάνιση τους την ίδια εποχή περίπου με τα qanat, υπάρχουν αναφορές για σημαντικό αριθμό πηγαδιών στην Μέση Ανατολή και στην Ελλάδα (Εικόνα 6, 7).

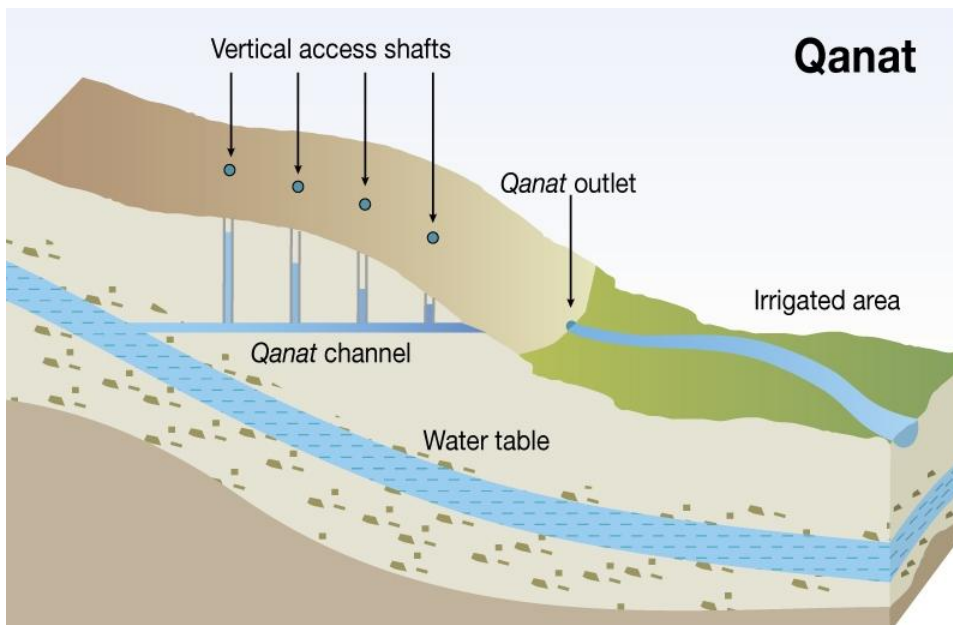


Εικόνα 3 Ανοιχτό κανάλι για την μεταφορά νερού στην Λάρνακα (Μιχαηλίδης 2009).



Ο πετρώκτιστος σκεπαστός αγωγός των Κλασικών χρόνων που καταλήγει στο αρχαίο λιμάνι του Κιτίου στην τοποθεσία Παμπούλα [Μεγάλη Κυπριακή Εγκυκλοπαίδεια, τ. 7, σελ. 121]

Εικόνα 4 Κλειστός αγωγός (Μιχαηλίδης 2009).



Εικόνα 5 Qanat (Middle East Institute 2014).



Εικόνα 6 Αρχαίο πηγάδι στο Tel Aviv (New Network Archaeology 2014).



Εικόνα 7 Αρχαίο πηγάδι στο λιμάνι της Λάρνακας (Μιχαηλίδης 2009).

2.2 Κατηγορίες υδρομαστευτικών έργων.

Τα έργα υδρομάστευσης των επιφανειακών και υπόγειων νερών με κριτήριο το μέγεθός τους χωρίζονται στις εξής κατηγορίες (Βουδούρης Κ.2015):

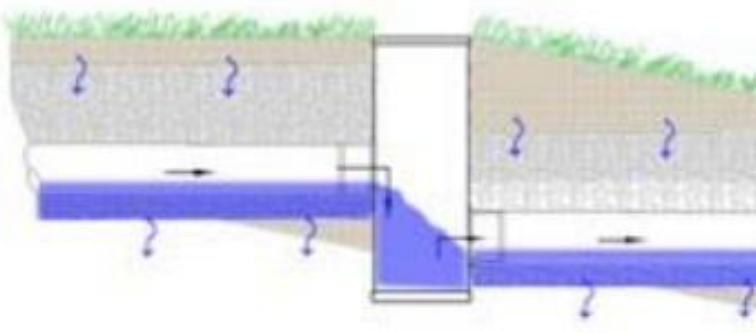
1. Τα εκτεταμένα (φράγματα, τάφροι, στοές-σήραγγες (γαλαρίες), υπόγεια φράγματα).

2. Τα κατακόρυφα (πηγάδια, γεωτρήσεις).
3. έργα υδρομάστευσης πηγών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΚΤΕΤΑΜΕΝ ΕΡΓΑ

3.1. Τάφροι

Οι τάφροι έχουν ποικίλο βάθος και πλάτος συνήθως κυμαίνονται μέχρι μερικά μέτρα. Κατασκευάζονται για την εκμετάλλευση επιφανειακών απορροών ή και ροές υδάτων κοντά στην επιφάνεια (Εικόνα 8) . Τα ορύγματα είναι ανοιχτά και έχουν μια μικρή κλίση προς το φρεάτιο συλλογής (υδροληψίας), είναι ευθύγραμμα ή τεθλασμένα και μπορεί να έχουν διακλαδώσεις. Είναι ανοιχτά και πληρώνονται με χονδρόκοκκο υλικό (κροκάλες, χαλίκια, άμμο) στην βάση τους μέχρι την στάθμη του υπόγειου νερού και στην συνέχεια λεπτόκοκκο και έχουν ως σκοπό τη μεταφορά και κατείσδυση του επιφανειακού νερού προς τους υδροφορείς (Βουδούρης Κ. 2015).



Εικόνα 8 Σχηματική απεικόνιση τάφρου (Pennsylvania stormwater 2006).

Μερικά από τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα παρουσιάζονται παρακάτω

https://www.susdrain.org/delivering-suds/using-suds/suds-components/infiltration/infiltration_trench.html :

Πλεονεκτήματα:

- μειώνει αισθητά την επιφανειακή απορροή και αυξάνει την κατείσδυση.

- Μειώνεται σε μεγάλο βαθμό η πιθανότητα μόλυνσης του υδροφορέα καθώς φιλτράρεται από τους γεωλογικούς σχηματισμούς.

- Μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί σε πλευρικά σημεία (π.χ. σε δρόμους)

Μειονεκτήματα:

- Υπάρχει μεγάλη πιθανότητα χωρίς την κατάλληλη συντήρηση η τάφος να αποφραχτεί από φερτά υλικά.
- Πολλές τάφοι έχουν αποτύχει λόγω της λάθος επιλογής θέσης κατασκευής.
- Η δράση του περιορίζεται κυρίως σε μικρές λεκάνες απορροής.

3.2. Στοές-σήραγγες

Χρησιμοποιούνται κυρίως για την εκμετάλλευση υπόγειων υδροφορέων με μικρό πάχος. Έχουν διάφορες χρήσεις, μπορούν να τοποθετηθούν κάτω από την στάθμη του υπόγειου νερού (στραγγιστήρια) αλλά και πάνω από αυτήν (συλλεκτήρια έργα) όπως φαίνεται στην Εικόνα 9 (Βουδούρης Κ. 20015).

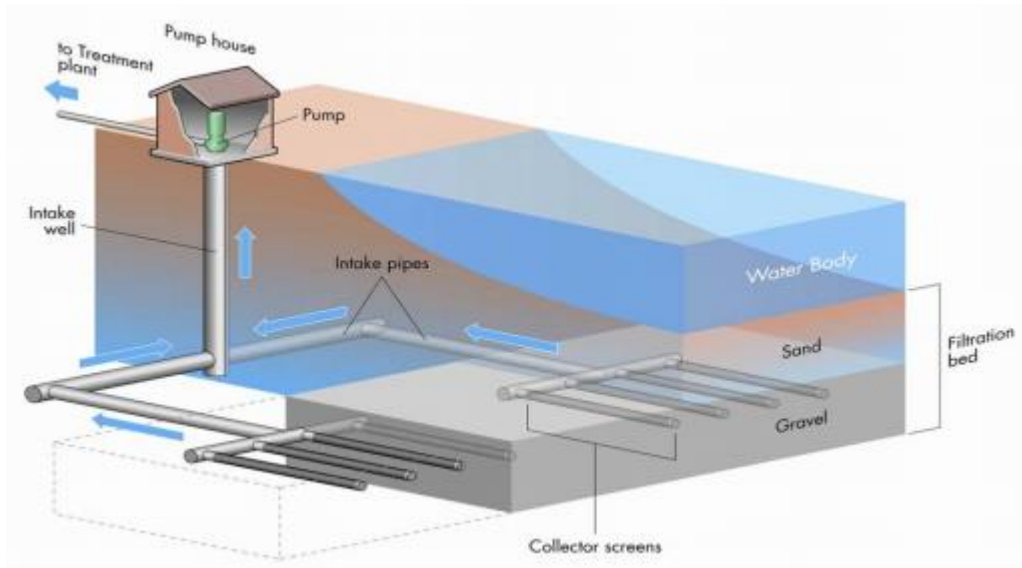


Εικόνα 9 Σύγχρονη σήραγγα συλλογής διηθούμενου νερού (<https://www.graf-water.com/stormwater-management/stormwater-management/infiltration-tunnel/infiltration-tunnel.html>).

3.3. Γαλαρίες

Κατασκευάζονται δίπλα στην κοίτη υδρορεύματος σε χαλαρά πετρώματα με παράλληλη διάταξη με σκοπό τον εμπλουτισμό από αυτά. Σε χαλαρά πετρώματα οι γαλαρίες επενδύονται με

φιλτροσωλήνες ή χαλκοσωλήνες ενώ στην περίπτωση των σκληρών πετρωμάτων δεν είναι απαραίτητη η χρήση τους (Βουδούρης Κ. 2015). Για να γίνει ύδρευση από τις γαλαρίες διατρητοί σωλήνες τοποθετούνται σε βάθος 5-10 m. από την κοίτη του ποταμού (Εικόνα 10). Η λειτουργία της γαλαρίας βασίζεται στην ροή του ποταμού αλλά ακόμα και εάν η ροή είναι αμελητέα το νερό που ρέει υπόγεια φιλτράρεται από την άμμο που υπάρχει κάτω από την κοίτη του ποταμού (Er. Rajvir Singh Jurel et al 2013). Οι παράγοντες που πρέπει να λάβουμε υπόψη για την κατασκευή γαλαρίας είναι πολλοί. Περιλαμβάνουν την ζήτηση νερού αλλά και την βιώσιμη απόδοση του υπόγειου νερού. Ακόμα πρέπει να υπάρχει ο διαθέσιμος χώρος για την κατασκευή του έργου, να υπολογιστεί η πιθανή μόλυνση ανάλογα τον πληθυσμό του κέντρου για να υπάρξει και ανάλογη επεξεργασία νερού. Επίσης πρέπει να γνωρίζουμε την απόσταση μέχρι τον υδροφόρο ορίζοντα για να υπολογίσουμε το βάθος της εκσκαφής καθώς και την φύση του πετρώματος στην ακόρεστη ζώνη (περιοχές με ασβεστολιθικό πέτρωμα συνήθως αποφεύγονται) (Sourcebook of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Small Island Developing States UNEP-IETC, 1998, 230 p.).

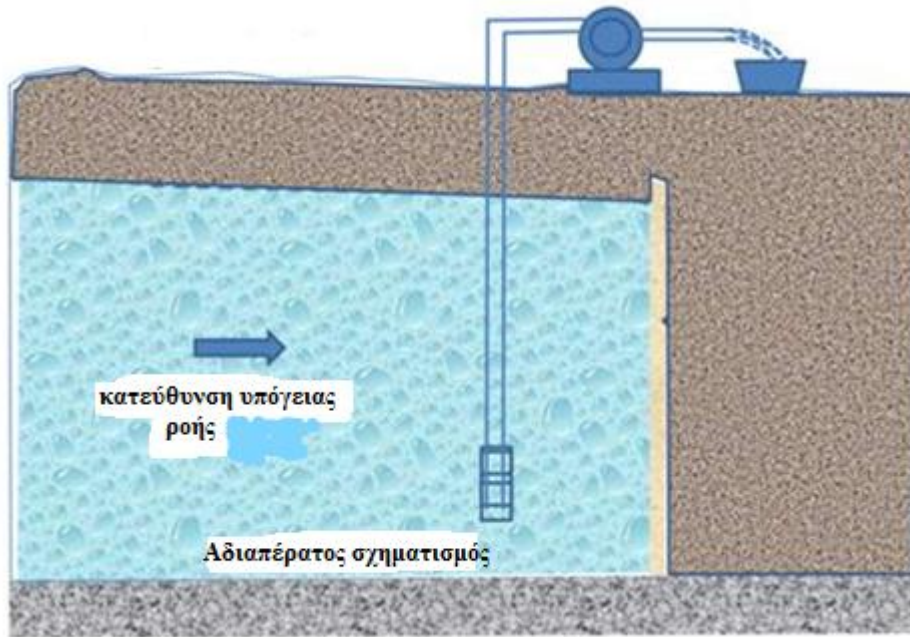


Εικόνα 10 Σύστημα σωληνώσεων για την λήψη νερού από την γαλαρία (Carollo 2016).

3.4. Υπόγεια φράγματα

Κατασκευάζονται σε ειδικές περιπτώσεις όπως όταν υπάρχουν ροές πάνω από αδιαπέρατο σχηματισμό έτσι ώστε να συγκεντρώνεται η υπόγεια ροή στα ανώτερα τμήματα του υπεδάφους (Βουδούρης Κ. 2015) όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 11. Σε αρκετές παράκτιες περιοχές το νερό της βροχής είναι απαραίτητο. Για αυτό το λόγο υπόγεια φράγματα σε συνδυασμό με την

διαδικασία περισυλλογής βρόχινου νερού κάνουν εφικτή την αξιοποίησή τους βοηθώντας στην αποθήκευση (Olofsson et al 2014). Ακόμα χτίζονται σε συνδυασμό με άλλα έργα και αποσκοπούν συνήθως στην προστασία και αξιοποίηση παράκτιων υδροφορέων κυρίως στην αποφυγή της θαλάσσιας διείσδυσης (Βουδούρης Κ. 2015).



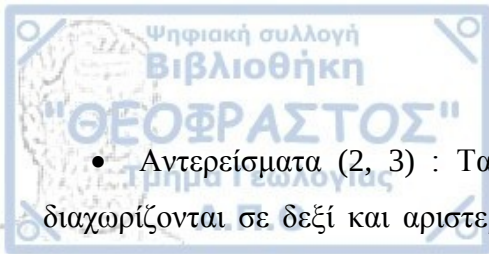
Εικόνα 11 Σχηματική απεικόνιση υπόγειου φράγματος (Olofsson et al 2014).

3.5. Φράγματα

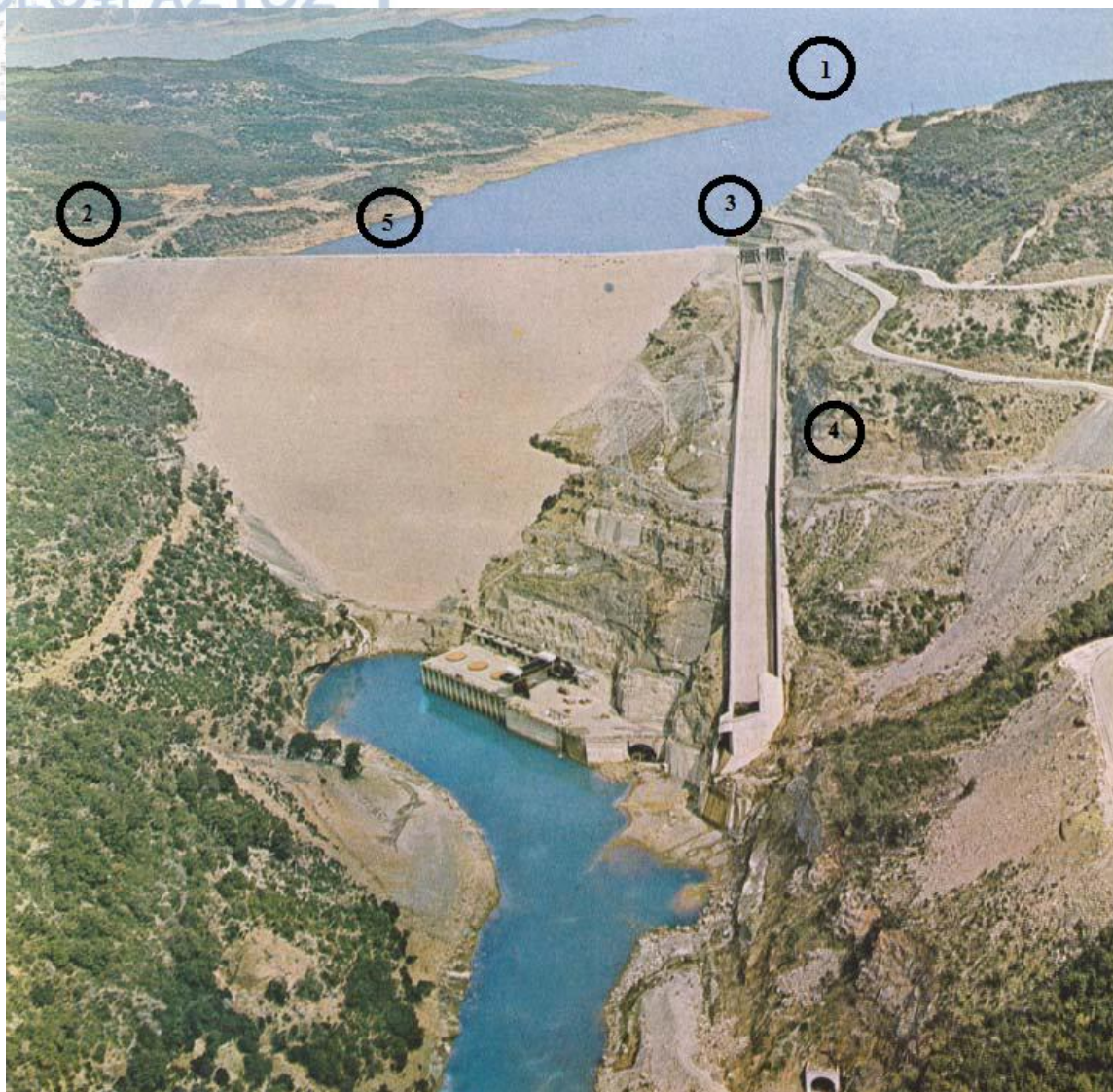
Φράγμα είναι το τεχνικό έργο από αδιαπέρατο υλικό που κατασκευάζεται εγκάρσια στην ροή ενός ποταμού με σκοπό να ανακόψει την φυσική ροή του νερού για μελλοντική χρήση όπως για υδρευτικές και αρδευτικές ανάγκες, για αποθήκευση αλλά και για τον έλεγχο πλημμυρών (<http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg881e/assets/geologikes-meletes-8o-9o-mathima-site.pdf>).

Βασικές έννοιες η οποίες παρουσιάζονται στην Εικόνα 12 :

- Ταμιευτήρας ή λεκάνη κατάκλυσης (1) : Είναι η περιοχή ανάντη του σώματος του φράγματος που αποθηκεύεται το νερό και τα όρια του καθορίζονται από τον όγκο του νερού που είναι αποθηκευμένο.



- Αντερείσματα (2, 3) : Τα σημεία των πρανών στα οποία βρίσκεται το φράγμα και διαχωρίζονται σε δεξί και αριστερό αντίστοιχα (βλέποντας το σώμα του φράγματος από την λεκάνη κατάκλυσης)
- Στέψη φράγματος (5) : Το ανώτερο τμήμα του σώματος του φράγματος (Α.Ευστρατιάδης, Ν. Μαμάσης, Δ. Κουτσογιάννης 2014).
- Υπερχείλιστής (4) : Ένα έργο που κατασκευάζεται για την διοχέτευση του περισσευούμενου νερού κατά την διάρκεια πλημμυρικών ροών. Η τοποθέτηση του έργου αυτού γίνεται λίγο χαμηλότερα από την στέψη του φράγματος.
- Τα φράγματα χωρίζονται σε 2 κατηγορίες ανάλογα το είδος τους (Λουπασάκης 2013-2014, Σαμπατακάκης ηλεκτρονικά μαθήματα Πανεπ. Πάτρας) :
 -
 - 3.5.1. Άκαμπτα
 - 3.5.1.1. Βαρύτητας
 - 3.5.1.2. Τοξωτά
 - 3.5.1.3. Αντηριδωτά
 -
 - 3.5.2. Εύκαμπτα
 - 3.5.2.1. Γεωφράγματα



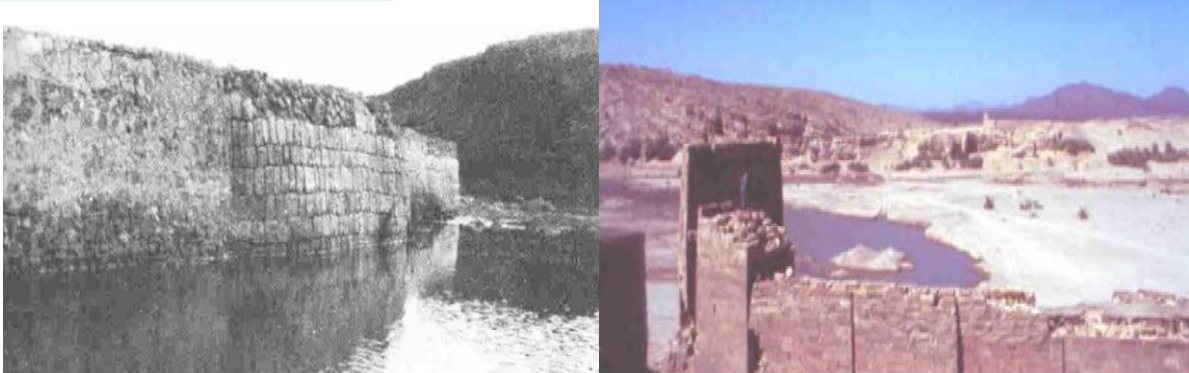
Εικόνα 12 Φράγμα Κρεμαστών (ΕΕΜΦ 2013).

3.5.1. Ακαμπτα φράγματα

3.5.1.1. Φράγματα βαρύτητας

Τα πρώτα φράγματα βαρύτητας εμφανίστηκαν 700-500 π. Χ στην ανατολική Μεσόγειο στην περιοχή του Ιράκ και της Συρίας (Κάτω Sennacherib και Marib Εικόνα 13, 14) και κατασκευάστηκαν για υδρευτικούς λόγους. Έχουν μερικά μέτρα ύψος ενώ το μήκος στέψης τους είναι αρκετά εκατοντάδες. Αποτελούνται από κροκαλοπαγείς λίθους, ψαμμίτες και ασβεστόλιθους. Το στοιχείο που τα ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα είναι το συνδετικό υλικό ένα

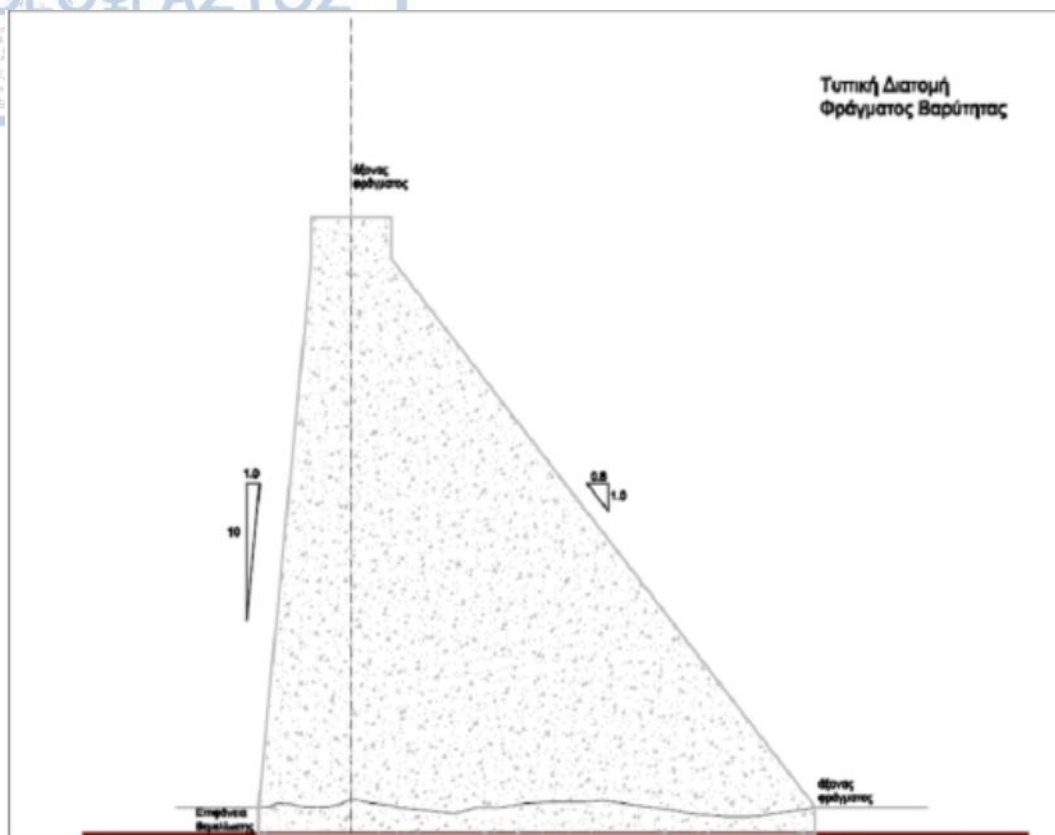
είδος κονιάματος το οποίο συνεχίστηκε να χρησιμοποιείται και στην ρωμαϊκή εποχή (Δημοπούλου 2008).



Εικόνες 13 (αριστερά) 14 (δεξιά). Αριστερά: το φράγμα βαρύτητας στην περιοχή Κάτω Sennacherib (Ιράκ). Δεξιά: το φράγμα βαρύτητας Marib (Δημοπούλου 2008, <http://nabataea.net/marib.html>).

Τα Φράγματα βαρύτητας όπως ορίζει και το όνομα τους χρησιμοποιούν το βάρος τους για την ευστάθειά τους. Το μίγμα που γίνεται χρήση για την δημιουργία ενός τέτοιου φράγματος (συμβατικό ή κυλινδρούμενο) αποτελείται από αδρανή υλικά, νερό, ποζολάνων και τσιμέντου (Δημοπούλου 2008). Οι παρειές του φράγματος έχουν διαφορετικές κλίσεις, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 η ανάντη παρειά είναι συνήθως κατακόρυφη 0,1:1 (Ο:Κ) ενώ η κατόντη παρειά έχει κλίση μικρότερη από 0,75:1(Ο:Κ) (Ευστρατιάδης κ.α. 2014). Τα φράγματα βαρύτητας είναι ιδανικά για την παρεμπόδιση ποταμών σε μεγάλες κοιλάδες ή στενά φαράγγια. Τα φράγματα πρέπει να κατασκευάζονται πάνω σε υψηλής αντοχής και καλής ομοιογένειας βραχώμαζα καθώς βασίζονται κατεξοχήν στο βάρος τους

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



Σχήμα 1 Διατομή φράγματος βαρύτητας (Δημοπούλου Α. 2008).

Από την έναρξη λειτουργίας του φράγματος το σώμα της κατασκευής δέχεται κάποιες δυνάμεις, αυτές είναι οι εξής (Gaurav.H. Tandon 2014):

1. Η υδραυλική πίεση αποτελεί την κυριότερη εξωτερική δύναμη που επιδρά στο φράγμα. Στα ανάντη του φράγματος η πίεση ασκείται από το νερό σε όλη την επιφάνεια του σώματος του φράγματος.

2. Καθώς το νερό αποθηκεύεται στον ταμιευτήρα έχει την τάση να διαρρέει στο έδαφος κάτω από το σώμα του φράγματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ασκεί δυνάμεις άνωσεις στο φράγμα και να μειώνει το βάρος του (υποπίεσεις). Για να αποφευχθεί το παραπάνω δημιουργείται μια κουρτίνα τσιμεντενέσεων στην βάση του φράγματος και γίνεται αποστράγγιση των πετρωμάτων στην θέση θεμελίωσης (<http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg881e/assets/geologikes-meletes-8o-9o-mathima-site.pdf>)

3. Σε περιπτώσεις ισχυρών ανέμων που πνέουν στον ταμιευτήρα κύματα που αναπτύσσονται ασκούν επιπλέον πιέσεις στο σώμα του φράγματος.

4. Όπως τα περισσότερα τεχνικά έργα έτσι και τα φράγματα έχουν ευαισθησία στις σεισμικές δονήσεις και πιο συγκεκριμένα στις επιπτώσεις αυτών (καθιζήσεις, δημιουργία μικρών ρωγμών στο σώμα του φράγματος ή ακόμα και δημιουργία κύματος στον ταμιευτήρα)

3.5.1.2 Τοξωτά φράγματα

Τα τοξωτά φράγματα (Σχήμα 2) σε αντίθεση με τα φράγματα βαρύτητας κατασκευάζονται σε στενές κοιλάδες μεγάλου ύψους καθώς μεταφέρουν τις τάσεις που δέχονται στα αντερείσματα (Καββαδάς 2006). Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μεγάλη οικονομία στον απαιτούμενο όγκο κατασκευής του φράγματος έως και 70% συγκριτικά με τα φράγματα βαρύτητας (Λουπασάκης 2013-2014, <https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/GEO349/%CE%A5%CE%9B%CE%99%CE%9A%CE%9F%20%CE%A0%CE%91%CE%A1%CE%91%CE%94%CE%9F%CE%A3%CE%97%CE%A3%8 %CE%A6%CE%A1%CE%91%CE%93%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%91%20-%20%CE%A4%CE%91%CE%9E%CE%99%CE%9D%CE%9F%CE%9C%CE%97%CE%A3%CE%97.pdf>). Η βραχομάζα στην θέση θεμελίωσης πρέπει να χαρακτηρίζεται από υψηλής ποιότητας πετρώματα με μεγάλη ομοιογένεια με μικρή ρωγμάτωση (<http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg881e/assets/geologikes-meletes-8o-9o-mathima-site.pdf>). Χρειάζεται να γίνει προσεκτική έρευνα των μηχανικών χαρακτηριστικών (π.χ. μέτρο ελαστικότητας, εμμονή ασυνεχειών κ.λπ.) και αντοχή. Συνήθως έχουν μεγάλο ύψος 150-200μ. καθώς οι ταμιευτήρες στις στενές κοιλάδες απαιτούν υψηλό σώμα φράγματος για να έχουν αξιόλογη χωρητικότητα (Καββαδάς 2006).

3.5.1.3 Αντηριδωτά φράγματα

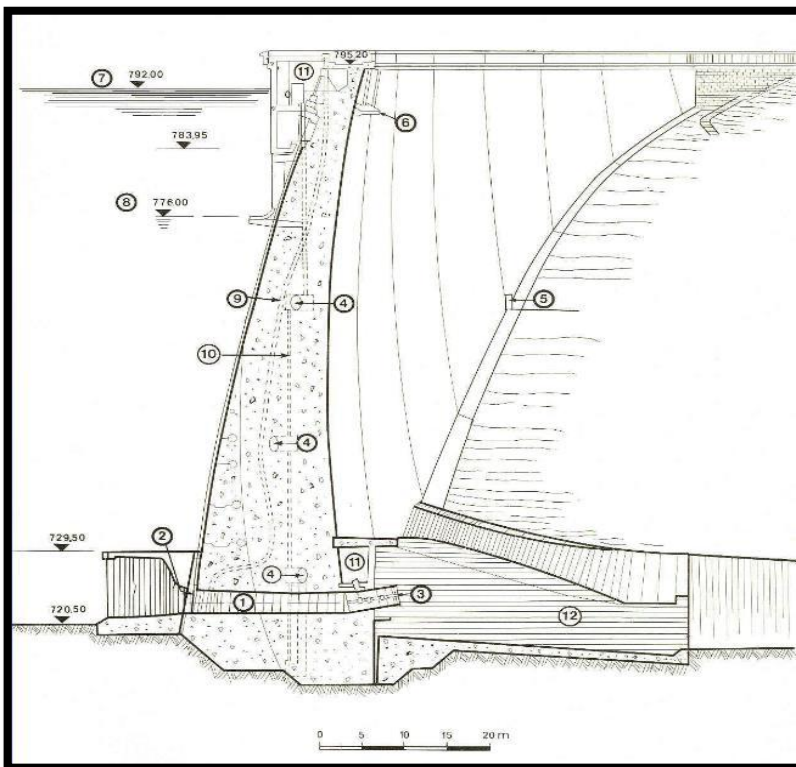
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω τα φράγματα βαρύτητας χρησιμοποιούν το βάρος τους για να στηριχθούν και αποτελούνται από συμπαγές σκυρόδεμα αυξάνοντας το κόστος. Για αυτό το λόγο δημιουργήθηκαν τα αντηριδωτά φράγματα αφαιρώντας σκυρόδεμα από τα σημεία που δεν λαμβάνουν τάσεις (<https://www.scribd.com/document/338370594/27-Arch-and-Buttress-Dams>). Έτσι επιτυγχάνεται οικονομία έως και 90% στον όγκο του σκυροδέματος σε σχέση με τα φράγματα βαρύτητας (Λουπασάκης 2013). Σε αυτά τα φράγματα το κυρίως σώμα αποτελείται

από μια πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος (Λουπασάκης 2013 &

https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/GEO349/%CE%A5%CE%9B%CE%99%CE%9A%CE%9F%20%CE%A0%CE%91%CE%A1%CE%91%CE%94%CE%9F%CE%A3%CE%97%CE%A3%8_%CE%A6%CE%A1%CE%91%CE%93%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%91%20-%20%CE%A4%CE%91%CE%9E%CE%99%CE%9D%CE%9F%CE%9C%CE%97%CE%A3%CE%97.pdf) η

οποία είναι συγκεκριμένου πάχους και τοποθετείται κάθετα στην ροή του ποταμού (<https://www.scribd.com/document/338370594/27-Arch-and-Buttress-Dams>). Οι αντηρίδες βρίσκονται όπως φαίνεται στην Εικόνα 15 στα κατάντη του φράγματος και έχουν μεταβλητό μέγεθος ανάλογα την μορφολογία (Λουπασάκης 2013). Όπως και στα φράγματα βαρύτητας έτσι και στα αντηριδωτά είναι απαραίτητες οι πολύ καλές

συνθήκες θεμελίωσης (ελάχιστες καθιζήσεις ικανοποιητική φέρουσα ικανότητα) (https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/GEO349/%CE%A5%CE%9B%CE%99%CE%9A%CE%9F%20%CE%A0%CE%91%CE%A1%CE%91%CE%94%CE%9F%CE%A3%CE%97%CE%A3%8_%CE%A6%CE%A1%CE%91%CE%93%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%91%20-%20%CE%A4%CE%91%CE%9E%CE%99%CE%9D%CE%9F%CE%9C%CE%97%CE%A3%CE%97.pdf).



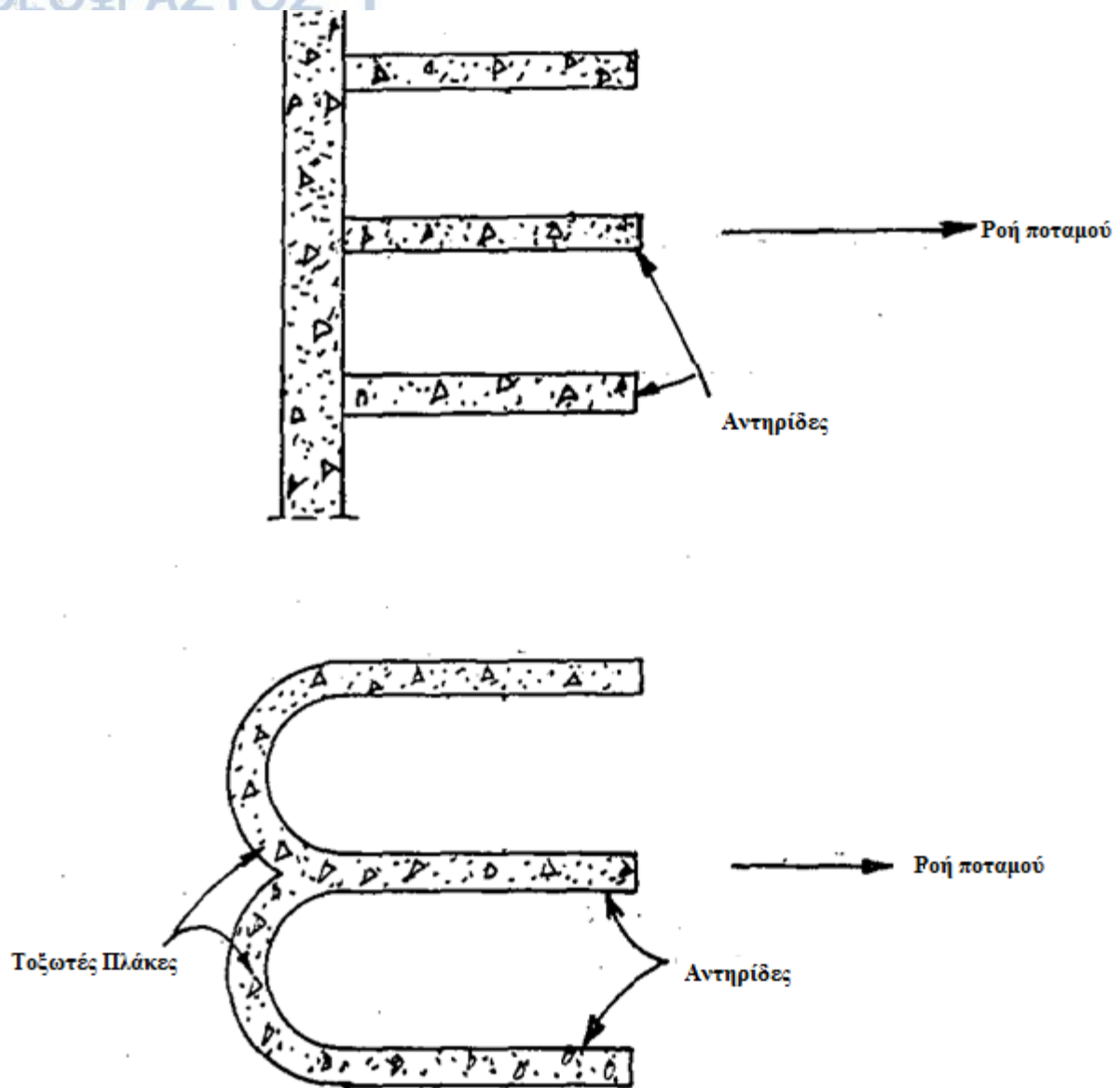
Σχήμα 2 Διατομή τοξωτού φράγματος (Α. Ευστρατιάδης κ.α. 2014).



Εικόνα 15 Στέψη αντηριδωτού φράγματος (<https://theconstructor.org/water-resources/types-buttress-dams-functions-applications/17359/>).

Οι αντηρίδες μπορούν να είναι δύο ειδών(<https://www.scribd.com/document/338370594/27-Arch-and-Buttress-Dams>) (Σχήμα 3) :

1. Τύπος πολλαπλών τοξοτών
2. Τύπος ευθείων πλακών είναι συνήθως μικρού ύψους 20-50 m.



Σχήμα 3 Είδη αντηρίδων που χρησιμοποιούνται στα φράγματα

(<https://www.scribd.com/document/338370594/27-Arch-and-Buttress-Dams>).

\

3.5.2. Εόκαμπτα φράγματα

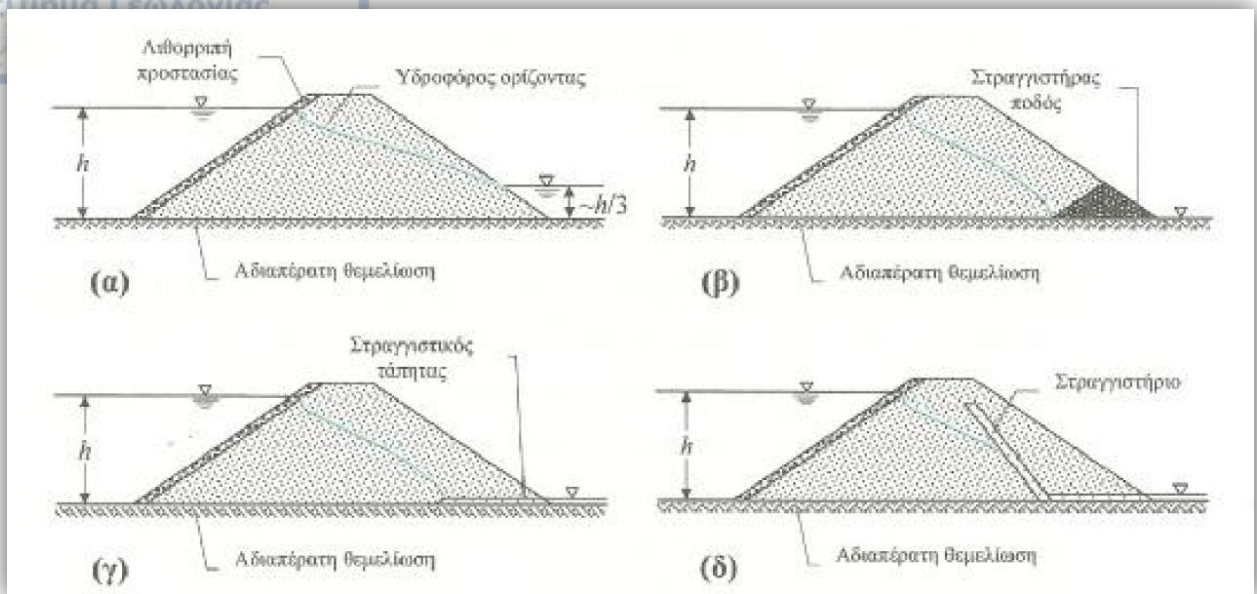
3.5.2.1 Γεωφράγματα

Τα γεωφράγματα αποτελούν μια ευρεία κατηγορία εύκαμπτων φραγμάτων τα οποία χωρίζονται σε χωμάτινα και λιθόρριπτα φράγματα (Ευστρατιάδης κ.α. 2014). Η μεταξύ τους διαφορά είναι ότι τα πρώτα αποτελούνται από εδαφικό υλικό αμμοχάλικα και πλευρικά κορήματα ενώ τα δεύτερα 40-50% από λιθορριπτικά προϊόντα (Βασιλειάδης κ.α. 2015). Τα γεωφράγματα ως εύκαμπτες κατασκευές έχουν την ικανότητα να λαμβάνουν τις μεγάλες τάσεις καθιζήσεων (Λουπασάκης 2013). Ακόμα μπορούν να θεμελιωθούν σε εδάφη και αντερείσματα χαμηλής αντοχής λόγω του μεγάλου εύρους βάσης τους (Καββαδάς 2006). Ένα μεγάλο πλεονέκτημα των γεωφραγμάτων είναι το χαμηλό κόστος τους καθώς γίνεται χρήση των επιτόπου διαθέσιμων υλικών (Καββαδάς 2006). Οι προϋποθέσεις που πρέπει να καλύπτονται για την κατασκευή ενός τέτοιου φράγματος είναι (Καββαδάς 2006) :

1. Οι ποσότητες των επιτόπου υλικών πρέπει να είναι επαρκής έτσι ώστε να μην χρειάζεται μεγάλη μεταφορά υλικών
2. Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να καλύπτουν ορισμένα κριτήρια όπως υψηλή διατμητική αντοχή και μικρής διαπερατότητας για την αποφυγή διαρροής από τον ταμιευτήρα.
3. Τα αντερείσματα στο σημείο έδρασης του φράγματος πρέπει να είναι μικρής διαπερατότητας για να αποφευχθούν διαφυγές νερού.

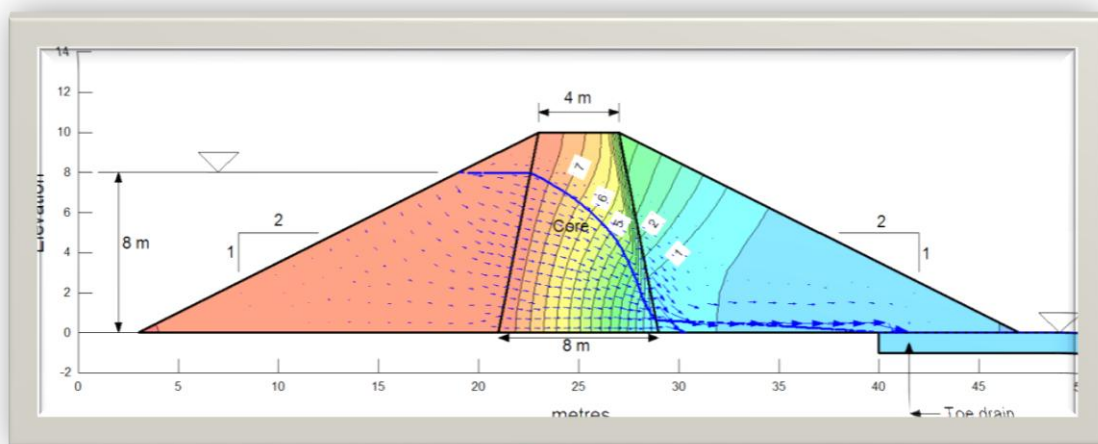
Ένας επιπλέον διαχωρισμός που μπορεί να γίνει στα χωμάτινα γεωφράγματα είναι ως προς το υλικό κατασκευής (Καββαδάς 2006, Λουπασάκης 2013).

1. Ομοιογενή γεωφράγματα που κατασκευάζονται όταν η διαθεσιμότητα υλικών είναι περιορισμένη (Σχήμα 4). Είναι συνήθως περιορισμένου ύψους 20μ. έως 50μ. Διαθέτουν ένα επιπλέον τεχνικό χαρακτηριστικό, το στραγγιστήριο, το οποίο μπορεί να τοποθετηθεί στο πόδι στην βάση ή στο εσωτερικό του σώματος τους φράγματος.



Σχήμα 4 πλήρως ομοιογενές (α), με στραγγιστήρια ποδός (β), με στραγγιστήριο τάπητα (γ) με κεκλιμένο στραγγιστήριο και στραγγιστικό τάπητα (δ) (Δ. Θεοδωρακόπουλος κ.α. 2003).

2. Γεωφράγματα με πολλαπλές ζώνες (Σχήμα 5). Η συνήθης διάταξη για τέτοια φράγματα είναι από μέσα προς τα έξω (κεντρικός αργιλικός πυρήνας, φίλτρα και στραγγιστήρια, σώματα στήριξης).



Σχήμα 5 Γεωφράγμα με πολλαπλές ζώνες με κεντρικό αργιλικό πυρήνα (Ευστρατιάδης , Μαμάσης και Κουτσογιάννης 2014).

Στα φράγματα με πολλαπλές ζώνες ο αργιλικός πυρήνας μπορεί να τοποθετηθεί είτε στο κέντρο είτε σε κεκλιμένη θέση (Σχήματα 6 και 7).

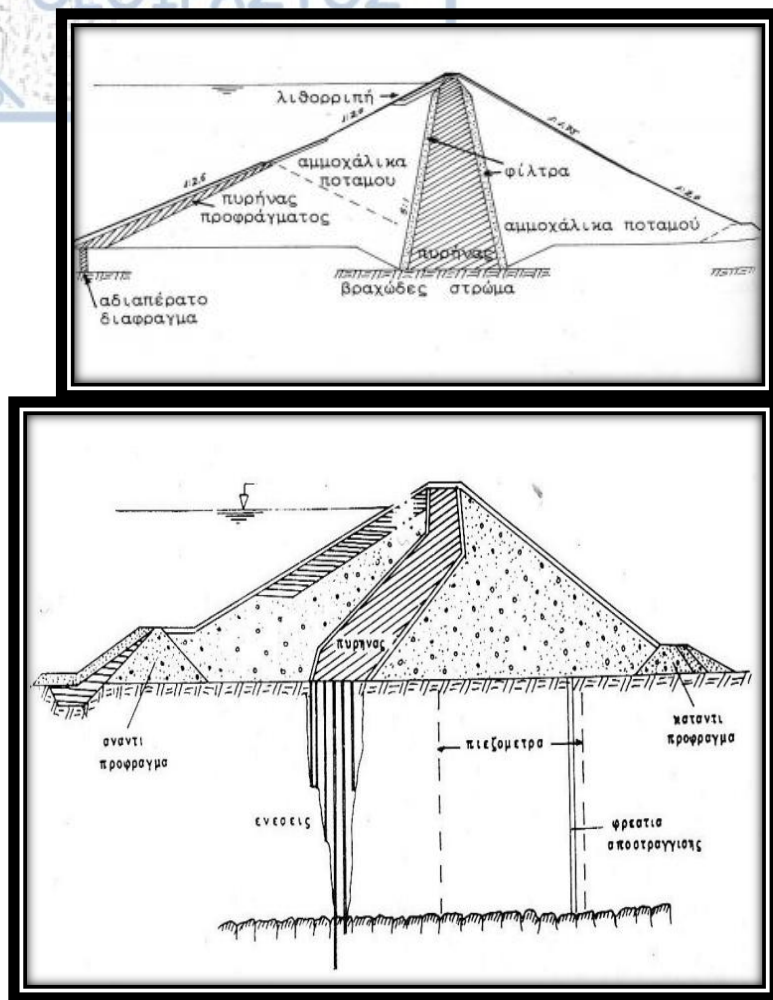
Ο κεντρικός αργιλικός πυρήνας όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 6 (Καββαδάς 2006) :

1. Απαιτεί ταυτόχρονη κατασκευή όλων των ζωνών και την διαθεσιμότητα των υλικών.
2. Για την κατασκευή κουρτίνας τσιμεντενέσεων απαιτείται η διακοπή των εργασιών.
3. Πλεονεκτεί του κεκλιμένου σε περιπτώσεις σεισμικών δονήσεων η καθιζήσεων καθώς αποκαθίσταται η ζημιά ταχύτερα.
4. Σε περίπτωση εκβάθυνσης της τάφρου στην βάση του πυρήνα δεν μεταβάλλεται η οριζόντια θέση του πυρήνα.

Ο κεκλιμένος αργιλικός πυρήνας όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 7 (Καββαδάς 2006):

- Είναι δυνατή η ταυτόχρονη κατασκευή κουρτίνας τσιμεντενέσεων με το κατάντη σώμα του φράγματος.
- Έχει μικρότερο πάχος από τον κεντρικό αργιλικό πυρήνα επομένως και μικρότερη απαίτηση υλικού.
- Είναι εφικτή η κατασκευή του πυρήνα μετά την ολοκλήρωση του σώματος στήριξης στα κατάντη.

Το χρονοδιάγραμμα που απαιτείται για την κατασκευή του φράγματος είναι συντομότερο.



Σχήματα 6, 7 Κεντρικός (πάνω) και Κεκλιμένος (κάτω) αργιλικός πυρήνας.

Όπως είναι γνωστό όλα τα είδη φραγμάτων συνοδεύονται από ένα σύνολο συνοδών έργων αυτά μπορεί να είναι (Ευστρατιάδης κ.α. 2014):

1. Προφράγματα κατάντη και ανάντη του κυρίου φράγματος
2. Έργα διοχέτευσης της κύριας κοίτης ποταμού είτε εντός της κοίτης είτε εκτός. Το παραπάνω επιτυγχάνεται με διώρυγα εκτροπής και σιηράγγων επιφανειακών ή υπόγειων η οποίες φράσσονται προσωρινά (με δοκούς) ή μόνιμα (με πώμα) για την λειτουργία του φράγματος (Ευστρατιάδης, Μαμάσης & Κουτσογιάννης 2014). Μετά την ολοκλήρωση του φράγματος τα δύο παραπάνω συνοδά έργα ενσωματώνονται στο κυρίως (Λουπασάκης 2013).

3. Εκκενωτής πυθμένα αποτελεί έργο ασφάλειας και αποσκοπεί στην εκκένωση του ταμιευτήρα. Γίνεται χρήση μόνο σε έκτακτες περιπτώσεις. Στις σύγχρονες κατασκευές φραγμάτων η χρήση του εκκενωτή είναι μόνιμη για οικολογικούς σκοπούς.

4. Ο υπερχειλιστής (Εικόνα 16, 17) είναι έργο ασφάλειας, διασφαλίζει την ομαλή λειτουργία του φράγματος σε περιπτώσεις πλημμυρικών παροχών καθώς αυτόματα παροχετεύει το νερό προς τα κατάντη (https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/GEO349/%CE%A5%CE%9B%CE%99%CE%9A%CE%9F%20%CE%A0%CE%91%CE%A1%CE%91%CE%94%CE%9F%CE%A3%CE%97%CE%A3%8_%CE%A6%CE%A1%CE%91%CE%93%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%91%20-%20%CE%A4%CE%91%CE%9E%CE%99%CE%9D%CE%9F%CE%9C%CE%97%CE%A3%CE%97.pdf). Η τοποθέτηση του γίνεται μετωπικά στο σώμα του φράγματος όπου υπάρχει μεγάλος κίνδυνος υποσκαφής ή πλευρικά όπου και θα πρέπει να καλύπτονται ορισμένα γεωλογικά κριτήρια (Ευστρατιάδης, Μαμάσης & Κουτσογιάννης 2014).



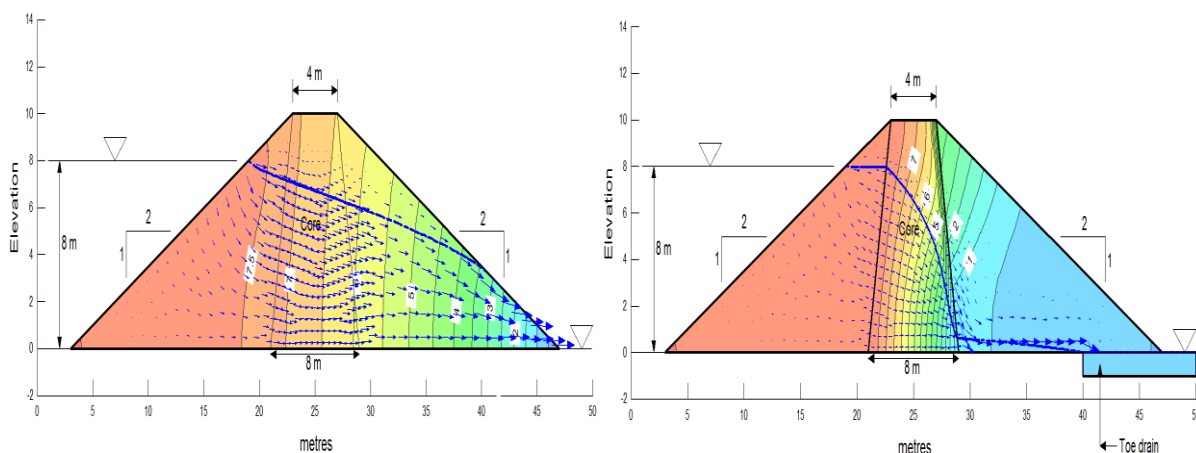
Εικόνα 16 αριστερά (μετωπικός εκχειλιστής Κρεμαστών Ευστρατιάδης, Μαμάσης & Κουτσογιάννης 2014) **Εικόνα 17** & δεξιά (πλευρικός εκχειλιστής φράγμα Πουρναρίου Μουτάφης).

5. Όνυχας πυρήνα (Σχήμα 8) κατασκευάζεται σε εύκαμπτα φράγματα σε περιπτώσεις υδροπερατού γεωλογικού σχηματισμού στην βάση του φράγματος με μικρό πάχος (χρησιμοποιείται αντί κουρτίνα τσιμεντενέσεων σε μικρά πάχη). Στην ουσία αποτελεί επέκταση του πυρήνα του φράγματος στον σχηματισμό της βάσης θεμελίωσης (Λουπασάκης 2013).



Σχήμα 8 Όνυχας πυρήνα (Josep de Trincheria 2017).

6. Στο Σχήμα 9 παρουσιάζονται τα φίλτρα αποστράγγισης και η ροή υδάτων στο κυρίως σώμα του φράγματος. Τα φίλτρα τοποθετούνται στο κατάντη σώμα του φράγματος με σκοπό να αποτραπούν φαινόμενα διασωλήνωσης από τυχόν ύδατα που διηθούνται στον πυρήνα. (Λουπασάκης 2013)



Σχήμα 9 Ομοιογενές φράγμα (αριστερά) Διαζωνισμένο φράγμα (δεξιά) (Ευστρατιάδης, Μαμάσης και Κουτσογιάννης 2014-2015).

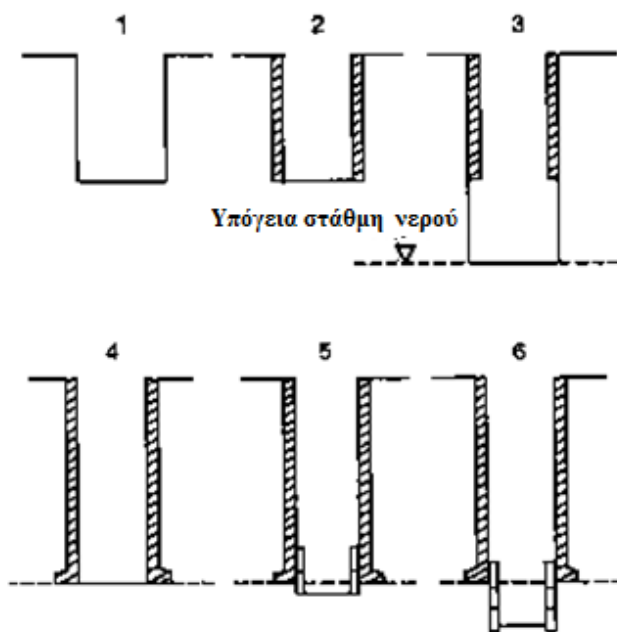
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΕΡΓΑ

4.1 Πηγάδια

Από την αρχαιότητα η ανάγκη του ανθρώπου για την χρήση νερού στην καθημερινότητα του τον ανάγκασε να κατοικήσει κοντά σε πηγές με νερό. Όταν οι κοινωνίες μεγάλωσαν και οι απαιτήσεις αυξήθηκαν υποχρεώθηκε να αναπτύξει διάφορους τρόπους εύρεσης νερού ένας από αυτούς είναι τα πηγάδια. Η κατασκευή πηγαδιών χρονολογείται από την εποχή του Χαλκού (3200-1100 π.Χ.). Σε περιοχές όπως η Κίνα το Πακιστάν στην Κύπρο και στην Κρήτη κάνουν την εμφάνιση τους πηγάδια τα οποία έχουν σκαφτεί με τα χέρια για τις αστικές ανάγκες του οικισμού. Ανάλογα τον τρόπο κατασκευής τα πηγάδια διακρίνονται σε σκαφτά σωληνωτά διάτρητα και σε πηγάδια με εκτόξευση (Βουδούρης Κ. 2015).

4.1.1 Σκαφτά πηγάδια

Τα σκαφτά πηγάδια αποτελούν τα παλαιότερα υδρομαστευτικά έργα με διάμετρο από 1-10 m και βάθος έως και 20 m. Η επένδυση του εσωτερικού τοιχώματος του πηγαδιού γίνεται συνήθως με ξερολιθιά (τοποθετημένη πέτρα χωρίς την χρήση συνδετικού υλικού) για να είναι εφικτή η διέλευση νερού. Στα σκαφτά πηγάδια με βάθος 1-2 m δεν υπάρχει εσωτερική επένδυση (Βουδούρης Κ. 2015). Τα σύγχρονα σκαφτά πηγάδια κατασκευάζονται με τετράγωνη ή κυκλική διατομή (συνήθως χρησιμοποιείται η κυκλική διατομή για οικονομικούς λόγους). Η διάμετρος της διατομής στο μικρότερο πρακτικά σημείο της πρέπει να έχει αρκετό χώρο για δύο άτομα (<http://helid.digicollection.org/en/d/Junr01/8.6.2.html>) . Όπως φαίνεται και στο παρακάτω (Σχήμα 10) ως επένδυση χρησιμοποιούνται τσιμεντένιοι διάτρητοι σωλήνες ενώ περιμετρικά αυτού τοποθετείται χαλικόφιλτρο και η χρήση τσιμέντου γύρο από τα φίλτρα φτάνει μέχρι την στάθμη του νερού. Τα πηγάδια αυτά έχουν μια μέση παροχή 15-20 m³/h και η άντληση σε βάθος μικρότερη 7.8 m γίνεται με την χρήση χειροκίνητων αντλιών (Βουδούρης Κ. 2015).

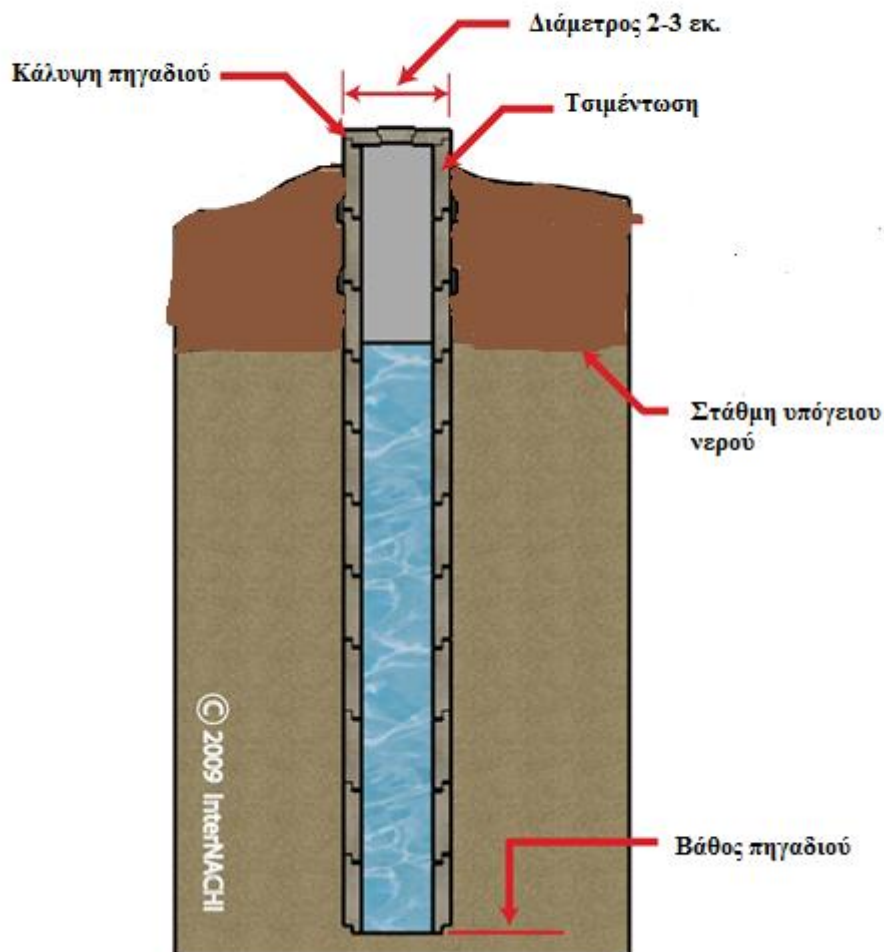


1. Σκάβουμε μέχρι εκεί που μας το επιτρέπουν οι γεωλογικές συνθήκες.
2. Τσιμεντώση τοιχωμάτων
3. Γίνεται εκσκαφή μέχρι την στάθμη του υδροφόρου
4. Τσιμεντώση τοιχωμάτων
5. Τοποθέτηση δαχτυλίων ταυτόχρονα με την συνεχή εκσκαφή
6. Συνέχιση της διαδικασίας μέχρι το επιθυμητό αποτέλεσμα

Σχήμα 10 Σκαφό πηγάδι (<http://helid.digicollection.org/en/d/Junr01/8.6.2.html>).

4.1.2 Διάτρητα πηγάδια

Κατασκευάζονται κυρίως σε χαλαρούς γεωλογικούς σχηματισμούς με την χρήση μηχανοκίνητων εδαφοληπτών (Βουδούρης Κ. 2015) μέχρι να φτάσουν τον υδροφόρο ορίζοντα η να σταματήσουν σε κάποιο υλικό (βράχο) το οποίο εμποδίζει το μηχάνημα (<http://www.alexanderhealth.org/docs/enviroHealth/WellConstructionExamples.pdf>) . Έχουν ως στόχο την εκμετάλλευση αβαθών σχηματισμών για αυτό το λόγο το βάθος κυμαίνεται από 20-30 m ενώ η διάμετρος δεν ξεπερνά το 1 m (Σχήμα 11) . Η απόδοση αυτών των πηγαδιών εξαρτάται από την ποσότητα του νερού στον υδροφορέα και από το πόσο ικανός είναι να ανανεώνει τα αποθέματα (<http://www.alexanderhealth.org/docs/enviroHealth/WellConstructionExamples.pdf>).



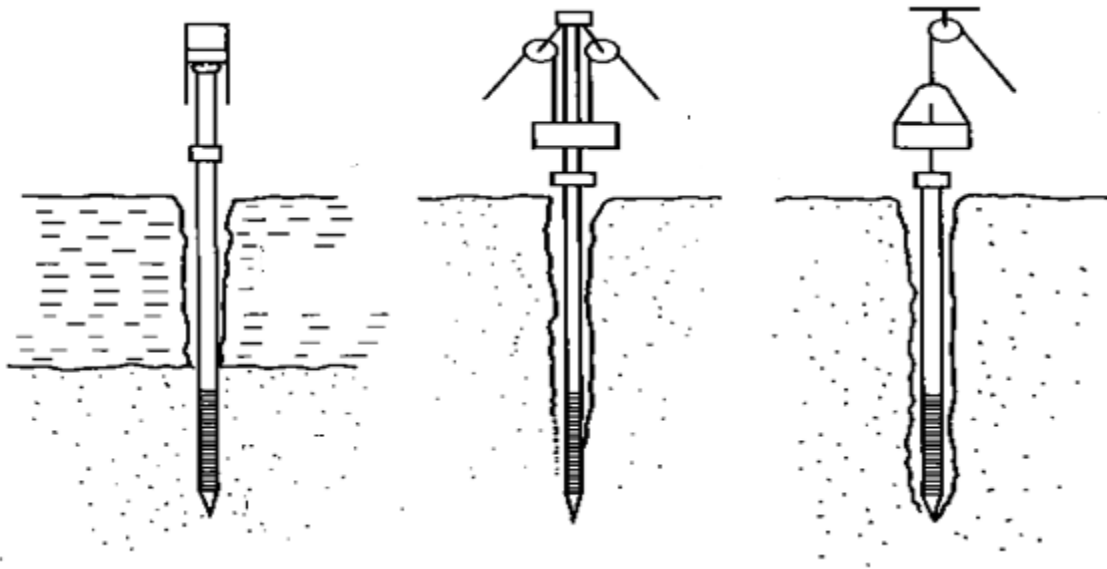
Σχήμα 11 Διάτρητο πηγάδι (<https://www.nachi.org/gallery/?level=picture&id=1090>).

4.1.3 Σωληνωτά πηγάδια

Τα σωληνωτά πηγάδια κατασκευάζονται και αυτά όπως και τα διάτρητα σε λεπτόκοκκους χαλαρούς σχηματισμούς χρησιμοποιούνται για την αποστράγγιση σε θέσης εκσκαφής η την ταπείνωση του υπόγειου υδροφορέα για διάφορες κατασκευές (Βουδούρης Κ. 2015). Όπως φαίνεται στο Σχήμα 12 η θεμελίωση τους γίνεται με την εισαγωγή συνεχόμενων σωλήνων χωρίς κενά με επαναλαμβανόμενες προωθήσεις και την χρήση σφυριών με το πρώτο τμήμα των σωλήνων να είναι μυτερό για να γίνει η εισαγωγή στην άμμο και στο χαλίκι με μεγαλύτερη ευκολία(https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-11/documents/drivenwell_1.pdf). Η αντλία

του πηγαδιού μπορεί να τοποθετηθεί σε δύο σημεία είτε στο πηγάδι είτε στο σπίτι μέσα (https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-11/documents/drivenwell_1.pdf). Τα

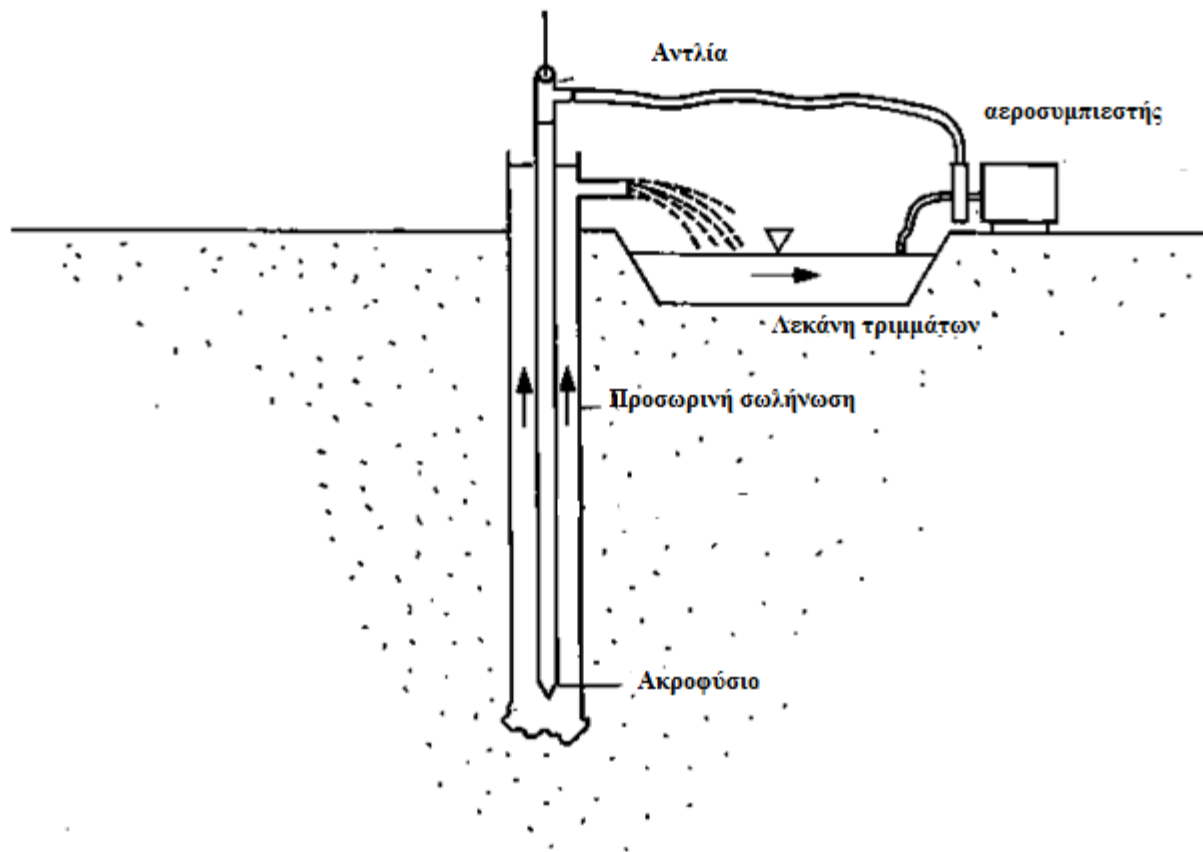
χαρακτηριστικά του είναι 15-20 m και 3-10 cm για το βάθος και την διάμετρο αντίστοιχα (Καλλέργης 1999)



Σχήμα 12 Διαδικασία κατασκευής σωληνωτών πηγαδιών
(<http://helid.digicollection.org/en/d/Junr01/8.6.4.html>).

4.1.4 Πηγάδια με εκτόξευση

Κατασκευάζονται όπως και τα παραπάνω σε λεπτόκοκκους χαλαρούς σχηματισμούς (αλλουβιακά ριπίδια) αλλά χρησιμοποιώντας νερό με πίεση με αποτέλεσμα το έδαφος να διαβρώνεται και να γίνεται η εκβάθυνση του πηγαδιού μέχρι τα 15 m με το εδαφικό υλικό να ωθείται προς τα έξω λόγω της ταχύτητας του νερού για την αποφυγή κατάρρευσης των τοιχωμάτων συχνά γίνεται χρήση θηκών καθώς η εκτόξευση νερού συνεχίζεται (Water Manual for Refugee Situations 1992, Βουδούρης Κ. 2015). Στο Σχήμα 13 βλέπουμε ότι κατά την διάρκεια της διάνοιξης το νερό εκτοξεύεται από έναν σωλήνα οποίος είναι συνδεδεμένος με έναν δεύτερο εύκαμπτο σωλήνα και αυτός με την αντλία πίεσης (Water Manual for Refugee Situations 1992) . Η διάμετρος του είναι ίδια με αυτή των σωληνωτών 3-10 cm και η παροχή τους αρκετά μικρή.



Σχήμα 13 Πηγάδι με εκτόξευση (<http://helid.digicollection.org/en/d/Junr01/8.6.4.html>).

4.2 Γεωτρήσεις

Η αλόγιστη χρήση των επιφανειακών υδροφορέων έχει ως αποτέλεσμα την ρύπανση και εξάντλησή τους έτσι οι γεωτρήσεις είναι ο μόνος τρόπος εκμετάλλευσης των υπόγειων υδροφορέων. Η υδρογεώτρηση είναι ένα τεχνικό έργο που απαιτεί εκτεταμένη και προσεκτική μελέτη καθώς σχεδόν όλες οι εργασίες γίνονται στο υπέδαφος. Τα οικονομοτεχνικά, νομικά υδρογεωλογικά είναι κάποια από τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη.

Οι γεωτρήσεις μπορούν να γίνουν με δύο κύριους τρόπους (Βουδούρης Κ. 2015, Σταματάκη 2006):

1. Με κρουστική διάτρηση
2. Με περιστροφική διάτρηση

4.2.1 Γεώτρηση με κρουστική διάτρηση

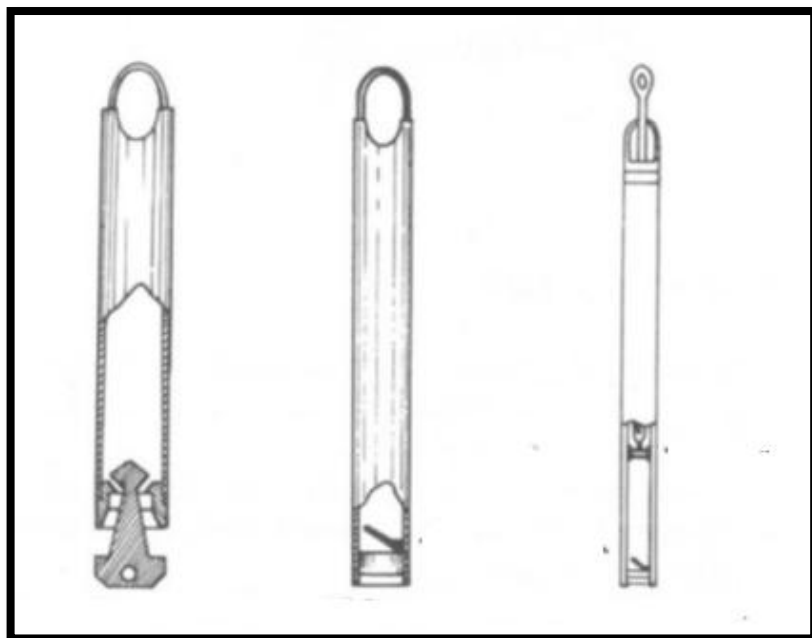
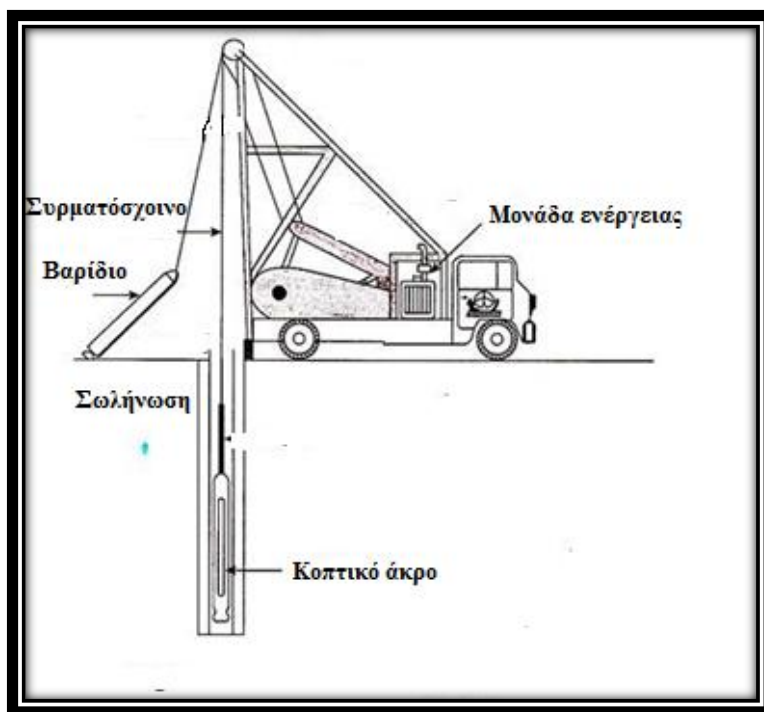
Η κρουστική διάτρηση αποτελεί της παλαιότερη τεχνική διάτρησης και μπορεί να εφαρμοστεί με τους παρακάτω τρόπους:

4.2.1.1 Με συρματόσχοινο

Η διάτρηση των πετρωμάτων γίνεται με την τοποθέτηση ενός κοπτικού άκρου στην αρχή της γεώτρησης το οποίο κρέμεται με συρματόσχοινο μέσω συνδέσμων. Το κοπτικό άκρο μαζί με το συρματόσχοινο με βάρος περίπου 1500kg ανεβοκατεβαίνει 20-40 φορές το λεπτό και προκαλεί κρούσεις στο έδαφος ή στο πέτρωμα με αποτέλεσμα να προκαλείται πολτοποίηση και θραυσμός (Βουδούρης Κ. 2015). Ο μηχανισμός αυτός λειτουργεί είτε με το χέρι παλαιότερα είτε με την βοήθεια περιστρεφόμενου κυλίνδρου και μετατιθέμενης ράβδου. Το κοπτικό άκρο έχει μήκος 1-3 m το σχήμα του δεν είναι συγκεκριμένο ενώ το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένο μπορεί να είναι χάλυβας ή κάποιο άλλο μεταλλικό κράμα. Για να ολοκληρωθεί η γεώτρηση με μεγαλύτερη ευκολία και λιγότερες υλικές ζημιές γίνεται χρήση νερού το οποίο βοηθάει στην ψύξη του κοπιδιού και στην πολτοποίηση του πετρώματος σε τυχόν καταπτώσεις των τοιχωμάτων προστίθεται μπετονίτης έτσι ώστε να συγκρατούνται. Το υλικό που συσσωρεύεται στην γεώτρηση (διατρηθέντα υλικά, πολτός) αφαιρείται με την βοήθεια κάδου αποκομιδής όπως αυτός φαίνεται στο Σχήμα 14 με χωρητικότητα 250 L, ο οποίος λειτουργεί με σύστημα βαλβίδας και σφραγίζει όταν γεμίσει με υλικό (Κανέλλος 2014).

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι το μικρό κόστος (εύκολη συντήρηση, μικρή κατανάλωση) και η εύκολη μεταφορά του εξοπλισμού σε δυσπρόσιτες περιοχές. Η μικρή ποσότητα νερού που χρειάζεται κατά την διάρκεια της διάτρησης και η ακρίβεια στην δειγματοληψία είναι μερικά ακόμη από τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής. (Βουδούρης Κ. 2015, Κανέλλος 2014)

Αντίθετα στα μειονεκτήματα της τεχνικής βρίσκονται οι αργοί ρυθμοί προχώρησης της διάτρησης, το μικρό βάθος (100m), ο περιορισμός στην διάμετρο του φρέατος και η απαραίτητη συνεχής σωλήνωση σε περιπτώσεις χαλαρών υλικών (Κανέλλος 2014, Βουδούρης Κ. 2015)



Σχήμα 14 Κρουστικό μηχανήμα με συρματοσχοινο (πάνω) (Trishna B, <http://www.soilmanagementindia.com/terms-of-service>) κάδοι απομάκρυνσης τριμμάτων (κάτω) (Κανέλλος Σταύρος 2014).

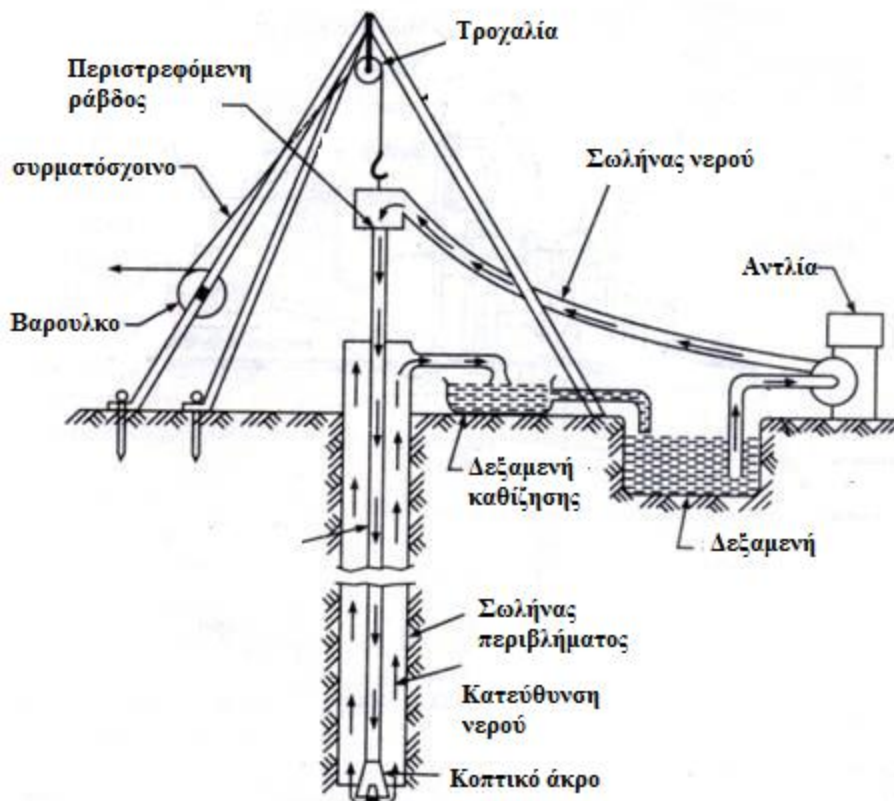
4.2.1.2 Με ελεύθερη πτώση

Η διαδικασία είναι παρόμοια με την παραπάνω με την διαφορά ότι το συρματόσχοινο έχει αντικατασταθεί με μεταλλικές ράβδους και οι σύνδεσμοι έχουν δώσει την θέση τους σε μια διάταξη που επιτρέπει την επαναλαμβανόμενη πτώση του κοπιδιού (Φυτίκας 1998, Βουδούρης Κ. 2015). Σε αυτόν τον τρόπο γεώτρησης αφού η διάτρηση προχωρήσει 1-2 m τότε το κοπτικό άκρο αντικαθίσταται από τον κάδο αποκομιδής έτσι ώστε να καθαριστεί η τρύπα από το υλικό στην συνέχεια το κοπίδι επανατοποθετείται και συνεχίζει η διάτρηση (Βουδούρης Κ. 2015). Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να φτάσουμε στο επιθυμητό βάθος. Η διαδικασία αυτή θεωρείται αρκετά χρονοβόρα και υψηλότερου κόστους λόγω της απαίτησης μεγαλύτερου εργατικού προσωπικού, για αυτό το λόγο δεν προτιμάται.

4.2.1.3 Με υδραυλικό τρόπο

Είναι μια διαδικασία που εκμεταλλεύεται την υδραυλική ενέργεια από το εκτοξευμένο νερό και ταυτόχρονα την ενέργεια των κρούσεων (Βουδούρης Κ., Μαρίνος 2010). Στην υδραυλική γεώτρηση μέχρι ένα μικρό βάθος η διάτρηση γίνεται με την χρήση τρυπανιού και στην συνέχεια για την αποφυγή πτώσης των τοιχωμάτων τοποθετείται ένας σωλήνας (http://www.navodayaengg.in/wp-content/uploads/2015/12/U1_L2-DIFFERENT-TYPES-OF-BORINGS.pdf). Το έδαφος λόγω της πίεσης του νερού και της χρήσης κοπτικού άκρου θρυμματίζεται και έρχεται στην επιφάνεια με μορφή λάσπης. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 15 το μείγμα οδηγείται σε μια δεξαμενή και εκεί γίνεται ο διαχωρισμός από το νερό το οποίο εισέρχεται σε μια δεύτερη δεξαμενή για επαναχρησιμοποίηση (http://www.navodayaengg.in/wp-content/uploads/2015/12/U1_L2-DIFFERENT-TYPES-OF-BORINGS.pdf) Το νερό που διοχετεύεται μέσα στην γεώτρηση μπορεί να ακολουθήσει δύο πορείες:

1. Την κανονική ή αλλιώς θετική πορεία, στην οποία το νερό διέρχεται μέσω των στελεχών και ανεβαίνει στην επιφάνεια από το κενό ανάμεσα στα στελέχη και τα τοιχώματα.
2. Την ανάστροφη πορεία κατά την οποία το νερό ακολουθεί την αντίστροφη κατεύθυνση από αυτή που περιγράψαμε παραπάνω.

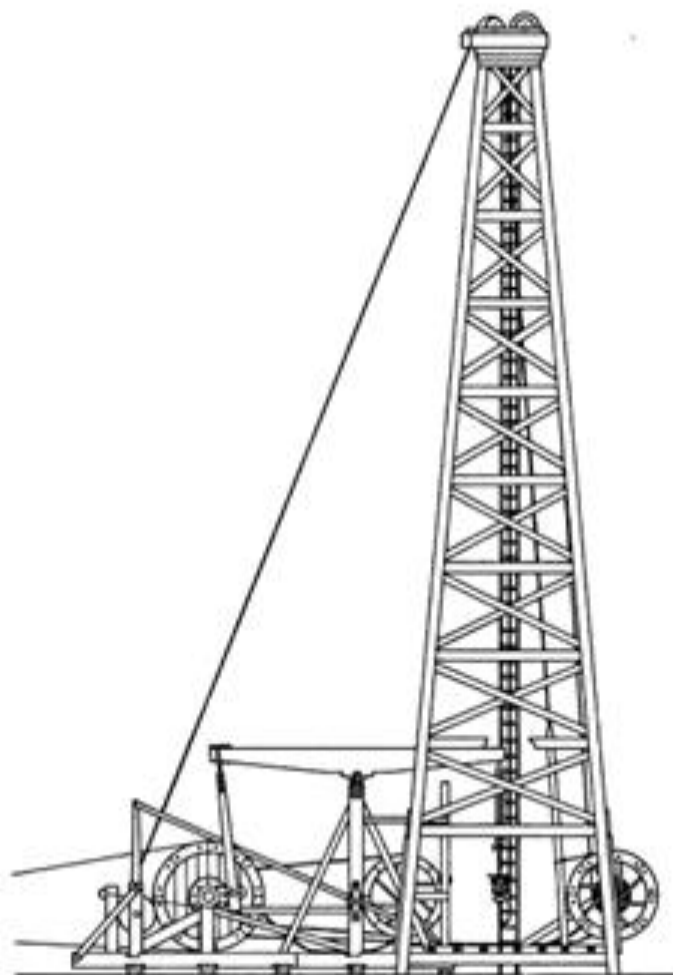


Σχήμα 15 Διάτρηση με υδραυλικό τρόπο (http://www.navodayaengg.in/wp-content/uploads/2015/12/U1_L2-DIFFERENT-TYPES-OF-BORINGS.pdf).

Η υδραυλική κρουστική γεώτρηση είναι η ταχύτερη κρουστική μέθοδος διάτρησης ωστόσο έχει το βασικό μειονέκτημα ότι το νερό που χρησιμοποιείται στην διαδικασία συμπαρασύρει τα υλικά από τα τοιχώματα με αποτέλεσμα η δειγματοληψία να θεωρείται αναξιόπιστη. Ακόμα η εύρεση υδροφορέων μικρής δυναμικότητας είναι αδύνατη καθώς ο προσδιορισμός της στάθμης του υπόγειου νερού γίνεται με μεγάλη δυσκολία.

4.2.1.4 Μέθοδος Καλιφόρνιας

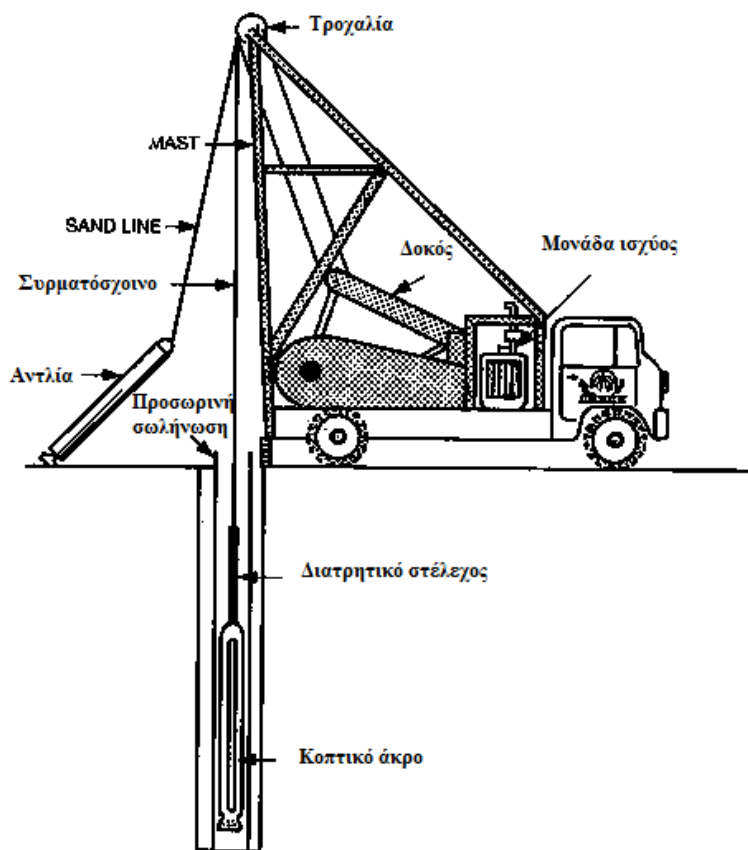
Σε αυτή την μέθοδο γίνεται χρήση ένας κάδος καθαρισμού ο οποίος με υδραυλικό μηχανισμό (Σχήμα 16).προωθείται και ταυτόχρονα με το βάρος του θρυμματίζει τα πετρώματα. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται σε χαλαρούς σχηματισμούς (Βουδούρης Κ., Μαρίνος 2010)



Σχήμα 16 σύστημα Καλιφόρνιας (Forbes, Obeirne 1890-1940).

4.2.1.5 Κρουστικό γεωτρύπανο

Σύμφωνα με την Εικόνα 18 τα κύρια μέρη ενός κρουστικού γεωτρύπανου είναι τα εξής:



Εικόνα 18 Κύρια μέρη κρουστικού γεωτρύπανου (water manual for refugee situations 1992)

Τα κρουστικά γεωτρύπανα είναι απλά στον χειρισμό έχουν χαμηλό κόστος και εύκολη μεταφορά και συντήρηση .

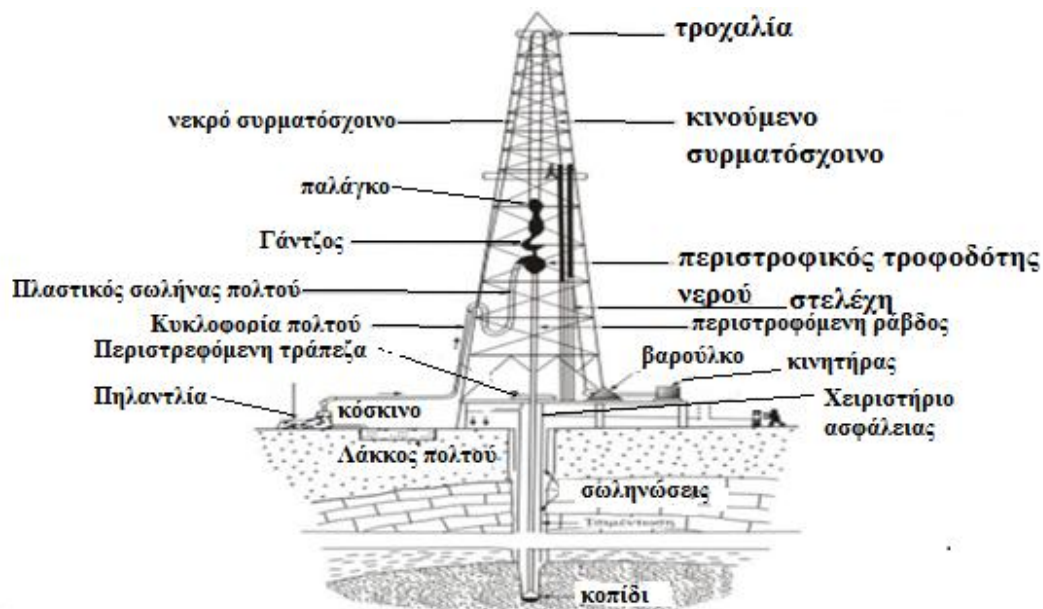
4.2.2 Περιστροφική διάτρηση

Η περιστροφική μέθοδος διάτρησης εφαρμόζεται με πολλές παραλλαγές και αποτελεί μια γρήγορη μέθοδο ανόρυξης γεωτρήσεων. Είναι από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές γεωτρήσεις καθώς έχουν υψηλή απόδοση, δεν είναι αναγκαία η προσωρινή σωλήνωση κατά την διάτρηση επομένως είναι εφικτή και η εκτέλεση γεωφυσικών διασκοπήσεων. Ακόμα υπάρχει η δυνατότητα διάτρησης σε μεγάλο βάθος και σε σκληρά πετρώματα (Βουδούρης Κ. 2015). Η μέθοδος αυτή βασίζεται κυρίως στην άσκηση κατακόρυφης δύναμης (WOB:Weight on Bit) και στην περιστροφή του μηχανισμού (RPM:Rotation per Minute (Κανέλλος 2014, Κελεσιδής 2012). Από τα βασικά μειονεκτήματα της μεθόδου είναι το υψηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης του απαραίτητου εξοπλισμού. Η μη αντιπροσωπευτική δειγματοληψία, η απαίτηση

νερού κατά την διάρκεια της γεώτρησης καθώς και ο καθαρισμός της μετά την ολοκλήρωση της (Βουδούρης Κ. 2015).

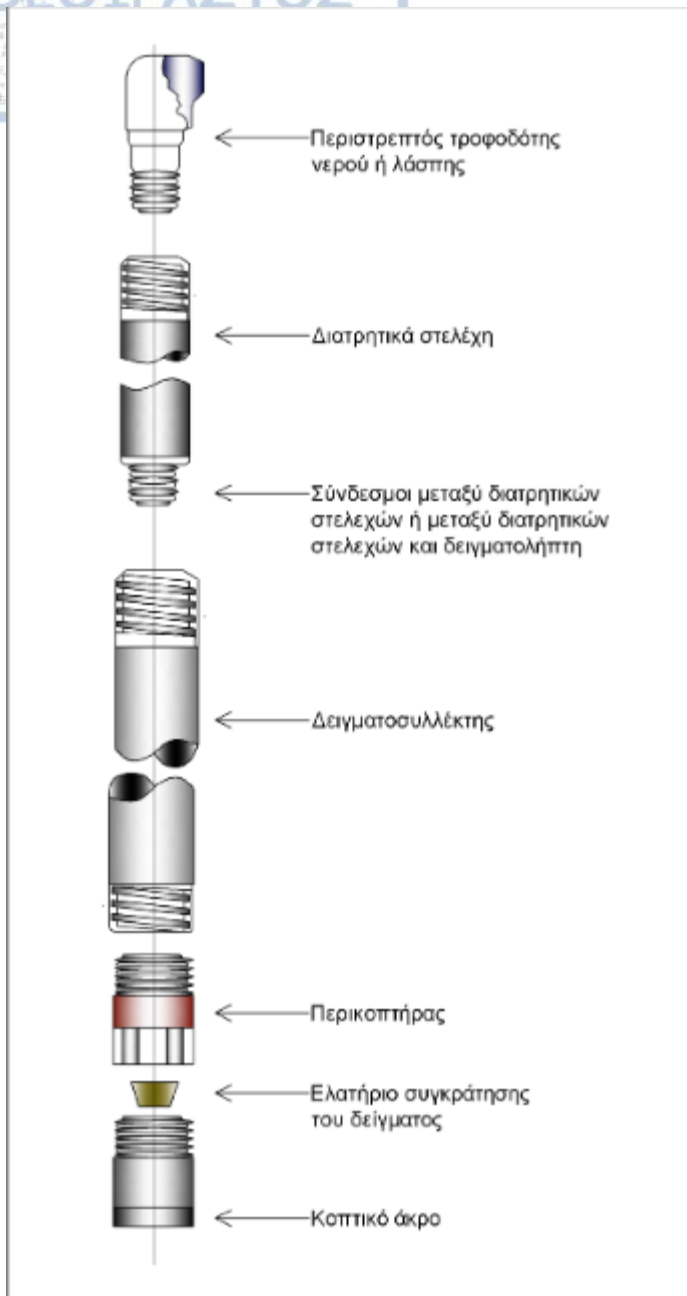
4.2.2.1 Συνοδά μέρη

Σύμφωνα με την Εικόνα 19 το περιστροφικό γεωτρύπανο αποτελείται από τα εξής μέρη (Αντρέου, Χρυσομήλη 2015)



Εικόνα 19 Στελέχη από τα οποία αποτελείται το περιστροφικό κρουστικό γεωτρύπανο (Αντρέου, Χρυσομήλη 2015) .

Η διατρητική στήλη της περιστροφικής γεώτρησης αποτελείται από τα παρακάτω μέρη σύμφωνα με την Εικόνα 20



Εικόνα 20 Κύρια μέρη διατρητικής στήλης (Μόδης, Σταματάκη 2015).

Τα κοπτικά άκρα ή κοπίδια περιστροφικής γεώτρησης έχουν διάφορους τύπους ανάλογα το είδος του πετρώματος που γίνεται η διάτρηση:

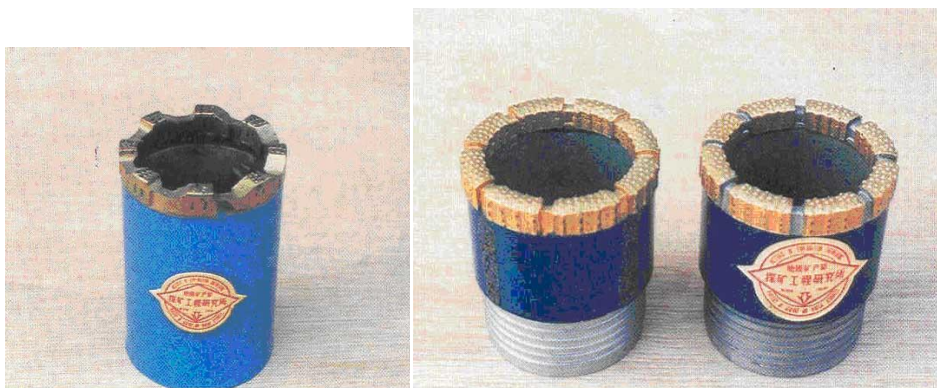
1. Δίφτερο κοπίδι
2. Τρίφτερο κοπίδι
3. Τετράφτερο κοπίδι
4. Τρίκωνο κοπίδι (Εικόνα 21)

5. Πεντάκωνο κοπίδι

Τα πρώτα χρησιμοποιούνται κυρίως για χαλαρούς σχηματισμούς, ενώ τα επόμενα δυο έως και ημισυνεκτικούς. Αντίστοιχα τα τρίκωνα και πεντάκωνα κοπίδια για σκληρούς σχηματισμούς. Υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής των χαλύβδινων δοντιών (Εικόνα 21) τα οποία μπορούν να έχουν διάταξη είτε αραιή (για χαλαρούς σχηματισμούς) είτε πυκνή (για σχηματισμούς με υψηλότερη αντοχή) με τροχούς που φέρουν σφαιρικά καρβίδια όπως φαίνεται στην Εικόνα 22 τις αδαμαντοκορώνες (Βουδούρης Κ. 2015). Το καρβίδιο του βολφραμίου είναι ακόμα μια κεφαλή που γίνεται χρήση καθώς είναι 3 φορές σκληρότερο από τον χάλυβα και με αρκετά υψηλό σημείο τήξης, περίπου στους 2870°C (Κανέλλος 2014). Τα κοπτικά άκρα φέρουν στην άκρη τους ακροφύσια από τα οποία διέρχεται υπό πίεση το αντίστοιχο υλικό το οποίο γίνεται χρήση όπως αέρας, νερό και πολφός (Κανέλλος 2014, Σταματάκη 2007).



Εικόνα 21 Τρίκωνο κοπτικό άκρο με καρβίδιο βολφραμίου (αριστερά) και με χαλύβδινα δόντια (δεξιά) (Κανέλλος 2014).



Εικόνα 22 Κοπτικό άκρο με αδαμοντοκορώνες
(http://www.geo.auth.gr/883/diamond_bits.htm).

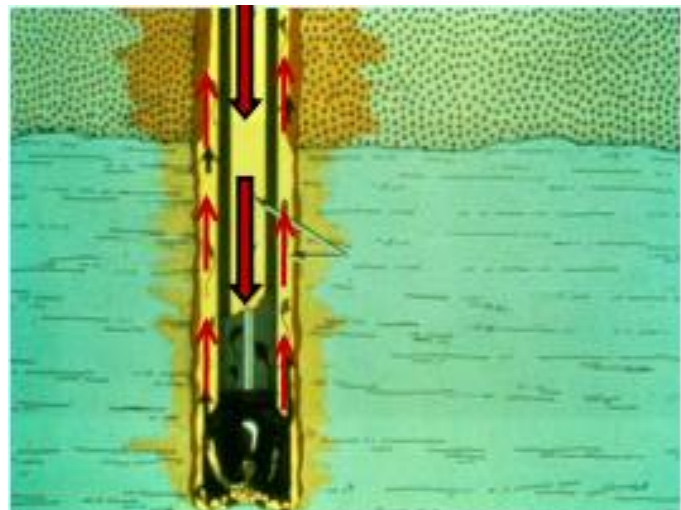
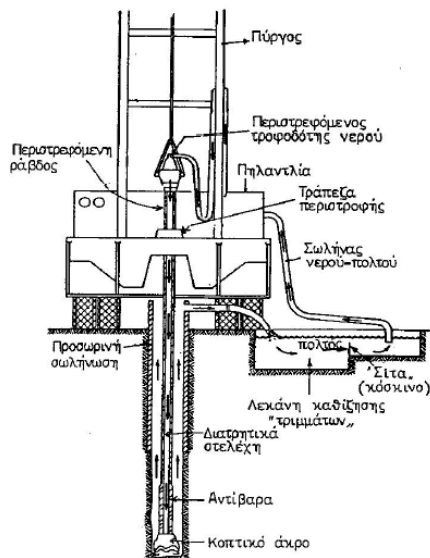
Υπάρχουν 2 είδη περιστροφικής υδραυλικής γεώτρησης:

1. Υδραυλική περιστροφική μέθοδος με κανονική κυκλοφορία πολτού
2. Υδραυλική περιστροφική μέθοδος με ανάστροφη κυκλοφορία πολτού

4.2.3 Υδραυλική περιστροφική μέθοδος με κανονική κυκλοφορία πολτού

Σε αυτή την μέθοδο κατά την διάρκεια της περιστροφής του κοπτικού άκρου μέσω του ακροφύσιου που αναφέρθηκε παραπάνω ο ειδικός πολτός (drilling mud) (διάλυμα νερού συνήθως αναμεμειγμένος με μπετονίτη) εξέρχεται στην διατρητική στήλη. Ο σκοπός του πολτού είναι η ψύξη και η λίπανση του κοπιδιού η άνοδος των τριμμάτων στην επιφάνεια και ένα επιπλέον χαρακτηριστικό είναι η συγκράτηση των τοιχωμάτων (όταν γίνεται χρήση μπετονίτη) (Βουδούρης Κ. 2015). Ο πολφός βρίσκεται στον λάκκο αναρρόφησης και με αντλίες κατευθύνεται στις σωλήνες του γεωτρήπανου. Από εκεί αφού εισχωρήσει από τον περιστρεπτό τροφοδότη (swivel) και από το στέλεχος kelly εισέρχεται στον διατρητικό σωλήνα (Κανέλλος 2014). Η άνοδος του πολφού και των τριμμάτων γίνεται από τον ενδιάμεσο χώρο ανάμεσα στα τοιχώματα και την διατρητική σωλήνα (Φυτίκας 1998 , Βουδούρης Κ. 2015).

Στο Σχήμα 17 περιγράφεται η υδραυλική περιστροφική γεώτρηση με κανονική κυκλοφορία (Φυτίκας 1998).

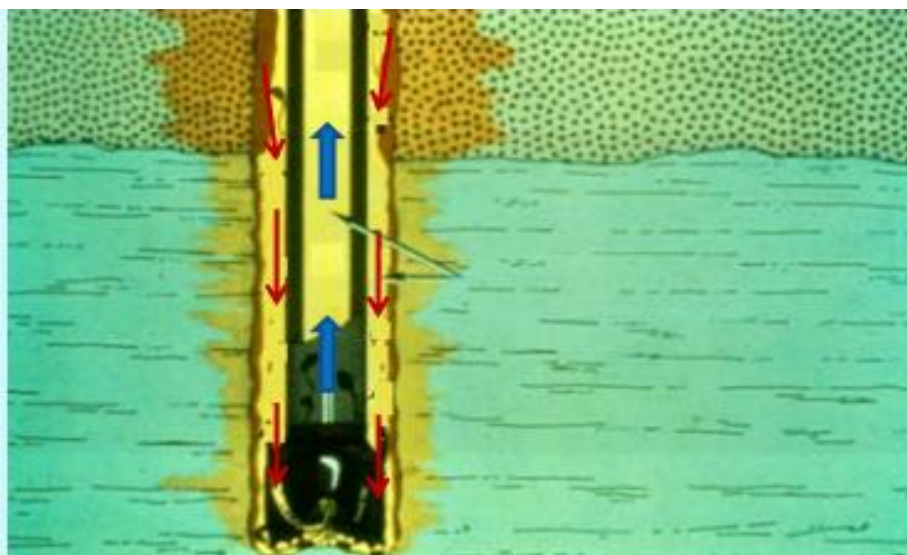


Σχήμα 17 Υδραυλική περιστροφική γεώτρηση με κανονική κυκλοφορία (Φυτίκας 1998, Διαμαντής & Πλιάκας 2017) .

4.2.4 Υδραυλική περιστροφική μέθοδος διάτρησης με ανάστροφη κυκλοφορία

Στην μέθοδο αυτή όπως άλλωστε το δηλώνει το όνομα της και απεικονίζεται στο Σχήμα 18 η κυκλοφορία του πολτού ακολουθεί την ανάστροφη πορεία από την παραπάνω. Ο πολτός ανέρχεται στην επιφάνεια μέσω της διατρητικής στήλης και τοποθετείται μέσα σε μια δεξαμενή όπου γίνεται ο διαχωρισμός από τα τρίμματα σε δονούμενα κόσκινα (shale shakers) (http://diaviou.auth.gr/sites/default/files/pegatraining/3.2%20Technikh%20Gewtrhsewn_Georgakopoulos_0.pdf?fbclid=IwAR3hHl7CHWURKW6w6bHyuS5V62X-EmLyXvr3Lox1Pi0GiYUIV09Y75tBhs). Η απομάκρυνση των τριμμάτων για την αποφυγή ρύπανσης του υδροφόρου απομακρύνονται μέσα σε δεξαμενές με ενισχυμένο πυθμένα. (http://diaviou.auth.gr/sites/default/files/pegatraining/3.2%20Technikh%20Gewtrhsewn_Georgakopoulos_0.pdf?fbclid=IwAR3hHl7CHWURKW6w6bHyuS5V62X-EmLyXvr3Lox1Pi0GiYUIV09Y75tBhs).

Στην συνέχεια με την χρήση αντλιών και σωλήνων ο πολτός εισέρχεται μέσα στην γεώτρηση στον κενό χώρο που υπάρχει ανάμεσα σε διατρητική στήλη και στα τοιχώματα (Βουδούρης Κ. 2015). Αυτή η μέθοδος γεώτρησης ενδείκνυται κυρίως για χαλαρά πετρώματα εκτός από σχηματισμούς με ογκόλιθους. Η περιστροφική μέθοδος με ανάστροφη κυκλοφορία δημιουργήθηκε για την διάτρηση γεωλογικών σχηματισμών με μεγάλη επικινδυνότητα στις καταπτώσεις από τα τοιχώματα (Κανέλλος 2014, Shuter&Teasdale 1989).



Σχήμα 18 Υδραυλική περιστροφική μέθοδος διάτρησης με ανάστροφη κυκλοφορία
(Διαμαντής & Πλιάκας 2017).

Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αντίστοιχα της μεθόδου (Βουδούρης Κ. 2015):

- Ταχύτερος ρυθμός διάτρησης με αυτή την μέθοδο σε χαλαρούς σχηματισμούς.
- Ευκολότερος καθαρισμός της γεώτρησης λόγω σχηματισμού μικρότερου πλάτους πλακών.
- Η χρήση αυτής της μεθόδου σε χαλαρούς σχηματισμούς αυξάνει την ευστάθεια των τοιχωμάτων (παρόλα αυτά η τοποθέτηση χαλικοφίλτρου είναι απαραίτητη λόγω της μεγάλης διαμέτρου).
- Το κόστος της γεώτρησης παραμένει χαμηλό ακόμα και την αύξηση της διαμέτρου της διάτρησης.
- Είναι δυνατή η γεώτρηση μέχρι τα 400m μόνο με την χρήση αεροσυμπιεστή και διπλού σωλήνα. (Φυτίκας 1998).
- Τα χαρακτηριστικά του υδροφόρου σχηματισμού μένουν σχεδόν αναλλοίωτα καθώς η διεύθυνση της λάσπης και του μπετονίτη είναι σχεδόν μηδενική (Φυτίκας 1998)

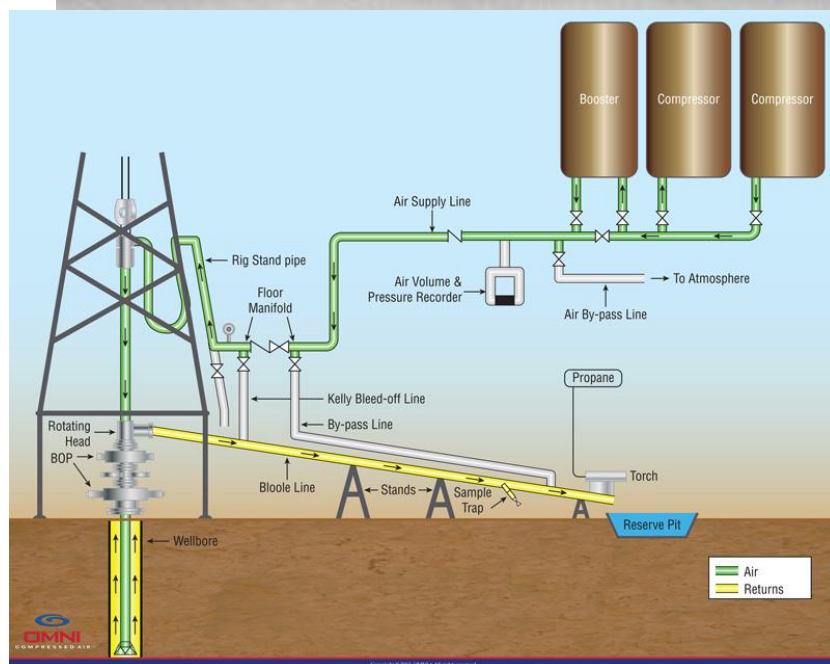
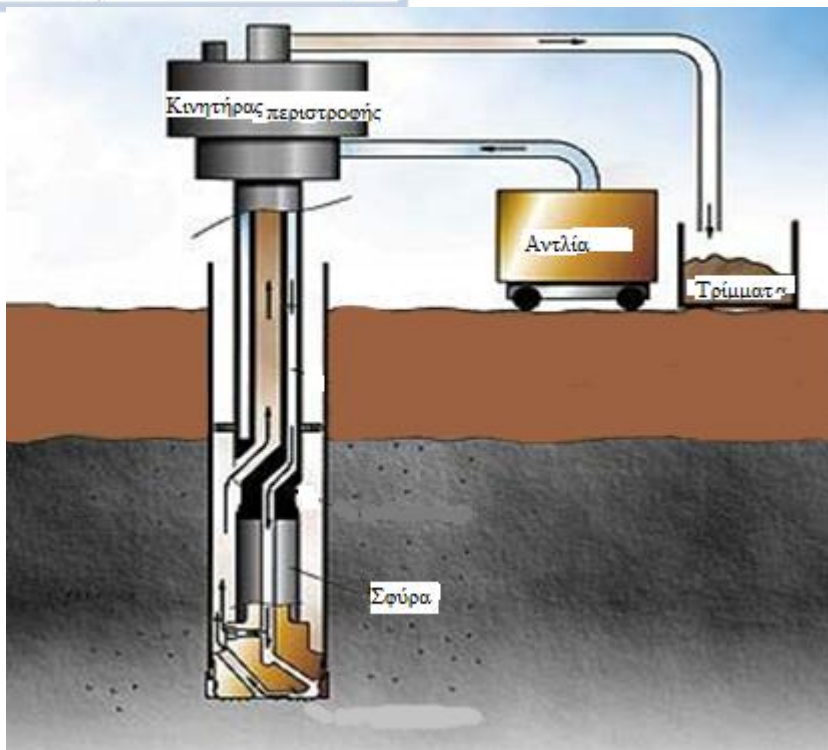
Μειονεκτήματα:

- Η ποσότητα νερού που γίνεται χρήση αυξάνεται συγκριτικά με την μέθοδο της κανονικής κυκλοφορίας καθώς η στάθμη του υπόγειου νερού πρέπει να διατηρείται με τεχνητά μέσα σε υψηλό επίπεδο (3-4m) ώστε να υπάρχει αποτελεσματική υδραυλική κλίση και να επιτυγχάνεται η αναρρόφηση από την αντλία (Φυτίκας 1998) (προσθήκη νερού).
- Αδυναμία χρήσης της μεθόδου σε σχηματισμούς με ογκόλιθους.
- Αδυναμία χρήσης σε βαθιές γεωτρήσεις (150m και άνω) (Φυτίκας 1998).

4.2.5 Περιστροφική μέθοδος διάτρησης με αέρα

Είναι μια μέθοδος που εφαρμόζεται κυρίως σε σκληρά πετρώματα όπως τα ανθρακικά (Βουδούρης Κ. 2015) και δεν μπορεί να γίνει χρήση σε μαλακά αργιλικά πετρώματα (Φυτίκας 1998). Το κυριότερο χαρακτηριστικό της είναι η χρήση αέρα με την χρήση αεροσυμπιεστή (Σχήμα 19), μπορεί ακόμα να γίνει χρήση απορρυπαντικού (υγρό βιομηχανικό σαπούνι με λίγο νερό). Στις βαθιές γεωτρήσεις συνήθως η λιθολογία των πετρωμάτων δεν παραμένει ίδια σε όλο το βάθος επομένως είναι αναγκαστική η προσαρμογή με την χρήση πολτού είτε αέρα και σαπουνιού. Για αυτό το λόγο το γεωτρώπανο θα είναι καλό να διαθέτει και αεροσυμπιεστή και

πηλαντλία (Φυτίκας 1998). Με την ταυτόχρονη εφαρμογή των δύο παραπάνω αυξάνεται η ταχύτητα διάτρησης και η αντοχή του κοπιδιού (Βουδούρης Κ. 2015).



Σχήμα 19 Περιστροφική γεώτρηση με χρήση αέρα.

(<http://www.omnicompressedair.com/unbalanced-drilling> κάτω)

(<http://www.massenzarigs.com/compressed-air-drilling/> πάνω).



Παρακάτω παρουσιάζονται πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου:

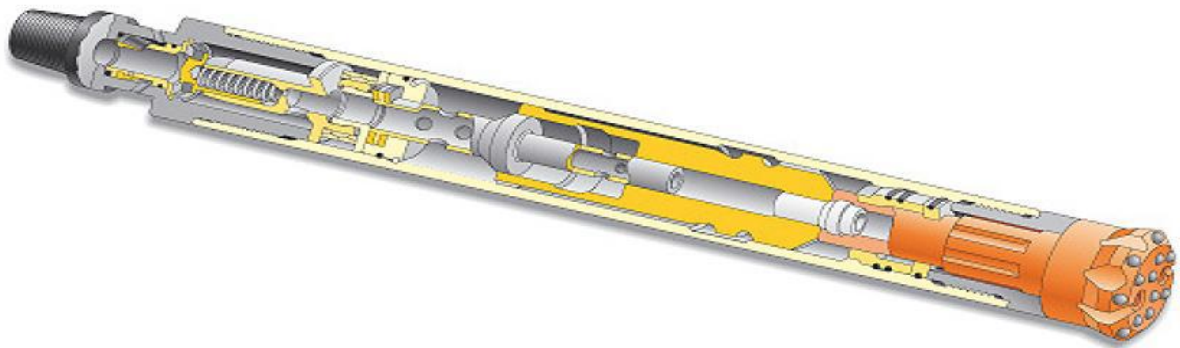
1. Με την χρήση αέρα εξασφαλίζεται ο γρήγορος ρυθμός διάτρησης 10m/h (Βουδούρης Κ. 2015)
2. Πλεονέκτημα στην εξοικονόμηση νερού (Φυτίκας 1998)
3. Με την χρήση σαπουνιού δεν χρειάζεται καθαρισμός των τοιχωμάτων από την λάσπη και τον πολτό μετά το τέλος της γεώτρησης (Φυτίκας 1998 , Βουδούρης Κ. 2015)
4. Υπάρχει η δυνατότητα διάτρησης σε ρηγματωμένους σχηματισμούς αλλά και χαλαρούς ασταθείς διότι δεν υπάρχουν απώλειες όπως συμβαίνει με την χρήση πολτού (Φυτίκας 1998)
5. Με την εφαρμογή αέρα και σαπουνιού τα τρίμματα ανεβαίνουν γρήγορα στην επιφάνεια και διευκολύνεται η διάτρηση δίνοντας έτσι στο κοπτικό άκρο χρόνο ζωής.
6. Μειώνονται σημαντικά οι επιπτώσεις στο περιβάλλον, μικρό ρίσκο μόλυνσης (<http://www.drillpowerqld.com.au/Explain-to-me-What-is-air-rotary-drilling-and-why-do-we-use-it-bgp4166.html>)

Μειονεκτήματα:

1. Αδυναμία εκτέλεσης αντιπροσωπευτικής δειγματοληψίας λόγω των ασταθών τοιχωμάτων και την έλλειψη πολφού (μπετονίτη). Το νερό από τους υδροφόρους ορίζοντες που γίνεται η διάτρηση παρασύρουν τα τρίμματα από τους ανώτερους σχηματισμούς που σε συνδυασμό με την απουσία του σταθεροποιητικού παράγοντα (πολφός) οδηγεί στον μη δυνατό προσδιορισμό της λιθολογικής στήλης. Το πρόβλημα μειώνεται σε ομογενείς και σχετικά μεγάλου πάχους σχηματισμούς (Φυτίκας 1998).
2. Η χρήση του αεροσυμπιεστή έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία σύννεφου σκόνης στο σημείο εργασίας (Κανέλλος 2014).
3. Σε γεωτρήσεις που το μέγεθος των τριμμάτων είναι αρκετά μεγάλο η χρήση αεροσυμπιεστή δεν είναι αρκετή για την απομάκρυνσή τους (Κανέλλος 2014).
4. Όταν γίνεται διάτρηση μόνο με την χρήση αέρα σε σχηματισμούς που περιέχουν υδρογονάνθρακες υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να προκληθεί πυρκαγιά στην γεώτρηση (<http://www.omnicompressedair.com/unbalanced-drilling>).

4.2.6 Περιστροφική-Κρουστική μέθοδος διάτρησης με αέρα

Αποτελεί την πιο εξελιγμένη μορφή διάτρησης. Είναι συνδυασμός τόσο περιστροφικής όσο και κρουστικής μεθόδου. Το κοπτικό άκρο εκτελεί ταυτόχρονα περιστροφική (αργή) και κατακόρυφη κρούση προκαλώντας θρυμματισμό των πετρωμάτων (Βουδούρης Κ. 2015). Το κοπτικό άκρο που χρησιμοποιείται είναι μια περιστροφική-κρουστική σφύρα ή αερόσφυρα (Εικόνα 23) και μεταδίδει 10-20 κραδασμούς/cm (Φυτίκας 1998 & Βουδούρης Κ. 2015). Ένας επιπλέον διαχωρισμός που μπορεί να γίνει στην σφύρα είναι σε πνευματικές και υδραυλικές με βάση το ρευστό που γίνεται χρήση για την κίνηση της (Κανέλλος 2014). Η μέθοδος αυτή κατά τα άλλα είναι ίδια με αυτή της περιστροφικής με χρήση αέρα αλλά είναι 50-100 & ταχύτερη (με την σωστή ρύθμιση βάρους κοπτικού άκρου/στροφών η απόδοση αυξάνει σημαντικά) συγκριτικά με αυτή της περιστροφικής με την χρήση πολτού (Φυτίκας 1998 & Βουδούρης Κ. 2015). Ένα από τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι η γεώτρηση παραμένει ευθύγραμμη με μικρές αποκλίσεις, η μικρή φθορά στο κοπτικό άκρο και στα διατρητικά στελέχη και τα μειωμένα επίπεδα θορύβου (Κανέλλος 2014 & Χριστογιάννη 2010). Αυτό το είδος διάτρησης εφαρμόζεται σε σκληρά πετρώματα με μικρή διάμετρο (Βουδούρης Κ. 2015) ενώ αποφεύγεται η χρήση της σε χαλαρούς σχηματισμούς διότι η έλλειψη πολτού και η κρουστική κίνηση 'γκρεμίζει' τα τοιχώματα (Φυτίκας 1998). Απαγορευτική είναι και η εφαρμογή της σε πλαστικές υγρές αργίλους που φράζουν τις εξόδους του συμπιεσμένου αέρα (Φυτίκας 1998). Ακόμα σημαντικά προβλήματα εμφανίζονται όταν μεγάλου πάχους υδροφόροι συναντηθούν καθώς είναι αδύνατη η μεταφορά της μεγάλης στήλης νερού στην επιφάνεια από τον αεροσυμπιεστή (Φυτίκας 1998). Σε αυτή την περίπτωση η γεώτρηση με την συγκεκριμένη τεχνική δεν μπορεί να φτάσει σε μεγάλα βάθη (250-300 μέγιστο) (Φυτίκας 1998).



Εικόνα 23 Σχηματική απεικόνιση αερόσφυρας (Κανέλλος 2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΝΟΛΑ ΕΡΓΑ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

Όπως προκύπτει από όλα τα προαναφερθέντα οι γεωτρήσεις αποτελούν μια ομάδα κατακόρυφων υδρομαστευτικών έργων μεγάλης σημασίας για την αξιοποίηση των υπόγειων υδροφορέων και όχι μόνο. Για αυτό τον λόγο παρακάτω θα γίνει μια σύντομη αναφορά στις συνοδές διαδικασίες μιας γεώτρησης.

5.1 Συμπλήρωση υδρογεωτρήσεων

Η διαδικασία της συμπλήρωσης περιλαμβάνει ένα σύνολο έργων που είναι εξίσου σημαντικά με την γεώτρηση και είναι τα εξής (Βουδούρης Κ. 2015)

- Η σωλήνωση
- Η χαλίκωση
- Τσιμέντωση στο ανώτερο τμήμα της γεώτρησης
- Τοποθέτηση πιεζομετρικού σωλήνα και αντλητικού σώματος
- Εργασίες διαμόρφωσης του περιβάλλοντος χώρου

5.1.1 Σωλήνωση

Η σωλήνωση είναι το ίδιο σημαντική τόσο κατά την διάρκεια της διάτρησης όσο και μετά το πέρας της. Αποσκοπεί αφενός στην αποτροπή κατάρρευσης των τοιχωμάτων κατά την εκτέλεση του έργου διαχωρίζοντας τα ρευστά της γεώτρησης από τους σχηματισμούς αφετέρου στην προστασία της γεώτρησης από τυχόν ρύπους (Βουδούρης Κ., Μαρίνος 2010). Η σωλήνωση λειτουργεί και ως ένας αγωγός υψηλής αντοχής που με την βοήθεια του συστήματος αποτροπής εκτινάξεων το ρευστό της γεώτρησης μεταφέρεται στην επιφάνεια επιτρέποντας στον έλεγχο της πίεσης των σχηματισμών (Πορφυράκης 2016). Σύμφωνα με τον (Βουδούρης Κ. 2015) δύο είναι τα κύρια είδη σωλήνωσης:

1. Τυφλή σωλήνωση (πλαστικοί (P.V.C) , σιδερένιοι σωλήνες). Το κύριο έργο τους είναι η συγκράτηση των ασταθών τοιχωμάτων της γεώτρησης και η τοποθέτηση της αντλίας στην κορυφή του σωλήνα (Εικόνα 24).

2. Φιλτροσωλήνες (Εικόνα 25). Η τοποθέτηση τους γίνεται στα παραγωγικά μέρη της γεώτρησης στο μήκος δηλαδή του υδροφορέα που μας ενδιαφέρει διότι φέρουν οπές από τις οποίες εισέρχεται το νερό (Βουδούρης Κ. 2015). Οι φιλτροσωλήνες πρέπει να πληρούν κάποιες προδιαγραφές (Βουδούρης 2015 & Δημόπουλος 2007): Να μην εισέρχεται άμμος στο εσωτερικό της γεώτρησης, να έχουν υψηλή αντοχή και να φέρουν την μικρότερη δυνατή αντίσταση στο νερό (Βουδούρης Κ. 2015) . Τα τελευταία χρόνια γίνεται χρήση φιλτροσωλήνων με αμμώδη μανδύα. Οι σωλήνες αυτοί καλύπτονται από διαβαθμισμένους κόκκους άμμου που είναι αποτέλεσμα γόμωσης μεταξύ δύο ομόκεντρων φιλτροσωλήνων ή είναι συγκολλημένοι μεταξύ τους. (Κανέλλος 2014)



Εικόνα 24 Τυφλοί ανοξείδωτοι σωλήνες <http://greek.johnsonwirescreen.com/sale-10423198-6-8-10-12-14-pipe-base-screen-water-well-drill-pipe-for-filters.html>.



Εικόνα 25 Φίλτροσωλήνες ανοξείδωτοι <https://metallmandras.com/proionta/anoxeidwtoi-swlines-geotrisewn/>.

5.1.2 Χαλίκωση της Γεώτρησης

Αμέσως μετά την γεώτρηση ο κενός χώρος που σχηματίζεται ανάμεσα στην τελική σωλήνωση και των τοιχωμάτων της διάτρησης συμπληρώνεται με χαλίκι (Βουδούρης Κ. 2015). Η διαδικασία της χαλίκωσης ξεκινάει αφού τοποθετηθεί και το πιεζόμετρο (Κανέλλος 2014). Η χαλίκωση σταματάει 5m χαμηλότερα από το στόμιο της υδρογεώτρησης ενώ τα υπόλοιπα συμπληρώνονται με τσιμέντο. Σύμφωνα με τους (Βουδούρης & Μαρίνος 2010) η χαλίκωση πραγματοποιείται μόνο σε παραγωγικές γεωτρήσεις με σκοπό :

- Την αύξηση της ενεργής ακτίνας της γεώτρησης.
- Την συγκράτηση των τοιχωμάτων.
- Την αποφυγή δημιουργίας τυρβώδη ροών με την μείωση της ταχύτητας του νερού στην γεώτρηση.
- Την μείωση των εισερχόμενων στερεών υλικών στην γεώτρηση.

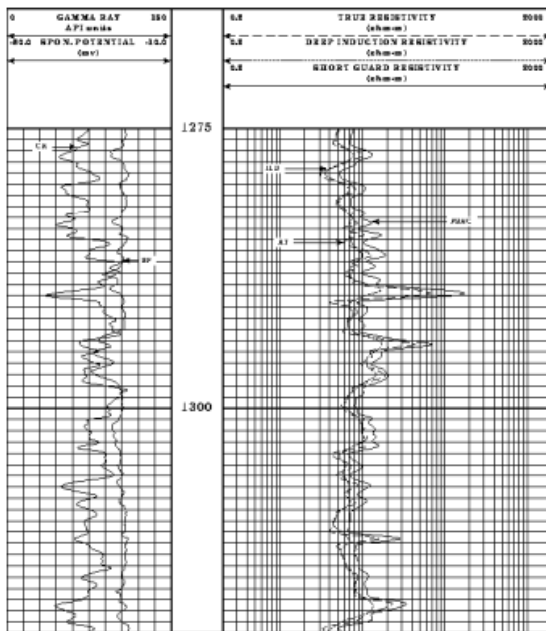
5.2 Διεργαφίες ή καταγραφές (well logging)

Αποτελεί ένα πολύ σημαντικό στάδιο των γεωτρήσεων καθώς μας παρέχει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με το υπέδαφος (Σχήμα 20, 21). Είναι μια διαδικασία που γίνεται σε

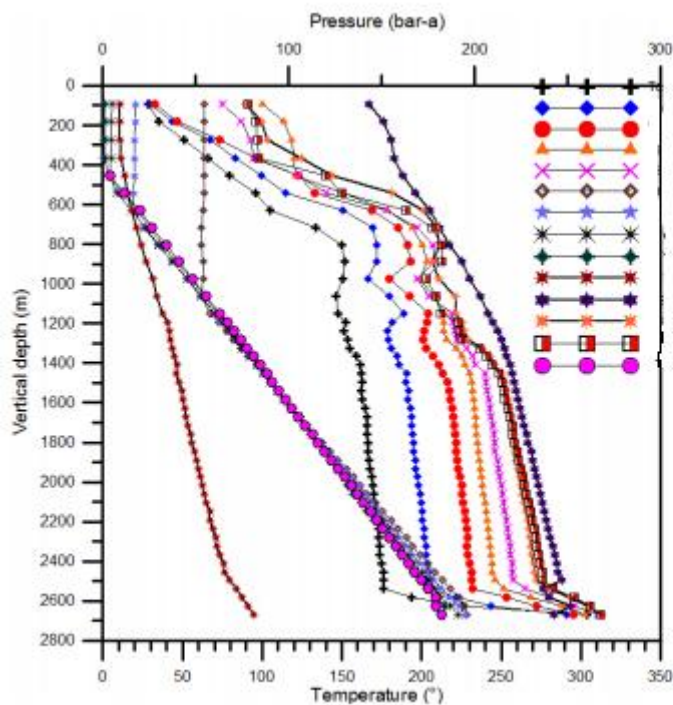
ασωλήνωση γεώτρηση με σκοπό την λεπτομερή καταγραφή των γεωλογικών σχηματισμών και διαφόρων παραμέτρων όπως την κίνηση του υπόγειου νερού και την θέση του υδροφόρου ορίζοντα (Βουδούρης Κ. 2015 & Cornel Ofwona 2010). Οι διεγραφίες μπορούν να γίνουν είτε με οπτική μελέτη σε δείγματα που θα έρθουν στην επιφάνεια (δειγματοληψία), είτε με διάφορα μηχανήματα (δέκτες) που τα κατεβάζουμε στην γεώτρηση (Cornel Ofwona 2010). Σύμφωνα με τον Βουδούρης Κ. (2015) ως δέκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα εξής :

1. Οπτικοί
2. Μαγνητικοί
3. Ακουστικοί
4. Ραδιενεργοί
5. Μηχανικοί
6. Θερμικοί δέκτες
7. Ηλεκτρόδια για την μέτρηση της αντίστασης των σχηματισμών

Παρακάτω παρουσιάζονται παραδείγματα από διεγραφίες σε γεωτρήσεις:



Σχήμα 20 Διεγραφία με ακτίνες γ και ηλεκτρόδια <https://orkustofnun.is/gogn/unu-gtp-sc/UNU-GTP-SC-11-35.pdf>.



Σχήμα 21 Διεγραφίες σε γεώτρηση στην Ολκαρία με σκοπό τον προσδιορισμό πίεσης και θερμοκρασίας <https://orkustofnun.is/gogn/unu-gtp-sc/UNU-GTP-SC-11-35.pdf>.

Με όλα τα παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι η ανάπτυξη και η εξέλιξη των υδρομαστευτικών έργων έχει κάνει τεράστια βήματα. Η Ελλάδα ως αναπτυσσόμενη χώρα έχει ακολουθήσει αυτούς τους ρυθμούς ανάπτυξης και έχει κατασκευάσει αρκετά σημαντικά έργα τα οποία θα τα μελετήσουμε παρακάτω.

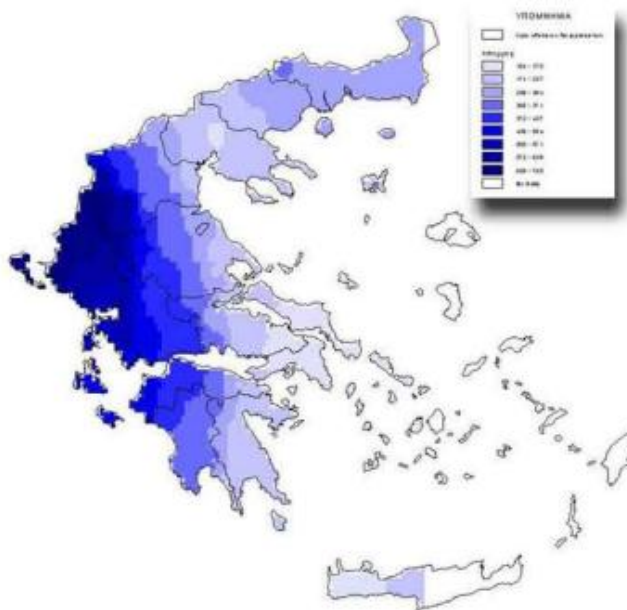
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

Προτού όμως αναφερθούμε στα μεγάλα υδροληπτικά του ελληνικού χώρου πρέπει να κατανοήσουμε τον λόγο της επιλογής τόσο του έργου όσο και της εκάστοτε θέσης του, για αυτό θα κάνουμε μια σύντομη αναφορά στα υδρογεωλογικά και όχι μόνο χαρακτηριστικά του ελλαδικού χώρου.

6.1 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΛΛΑΔΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

6.1.1 Βροχομετρικά χαρακτηριστικά της Ελλάδας

Στην Ελλάδα το υδρογεωλογικό έτος χωρίζεται σε δύο περιόδους. Την υγρή περίοδο από Οκτώβριο μέχρι Απρίλιο και την ξηρή περίοδο από Μάιο μέχρι Σεπτέμβριο (Βουδούρης Κ. 2013). Ειδικότερα παρατηρώντας τον βροχομετρικό χάρτη (Εικόνα 26) συμπεραίνουμε ότι τα μεγαλύτερα ύψη βροχής βρίσκονται στο Δυτικό Ελλαδικό χώρο και την Πελοπόννησο. Μεσαίες τιμές βροχόπτωσης έχουμε στην περιοχή της κεντρικής Μακεδονίας, ενώ ακόμα μικρότερες τιμές έχουμε στην περιοχή της Αττικής και του κεντρικού Αιγαίου. Για αυτό τον λόγο σε συνδυασμό με την μικρή επιφανειακή απορροή σημαντικός αριθμός λιμνοδεξαμενών και φραγμάτων έχει κατασκευαστεί στα νησιά.

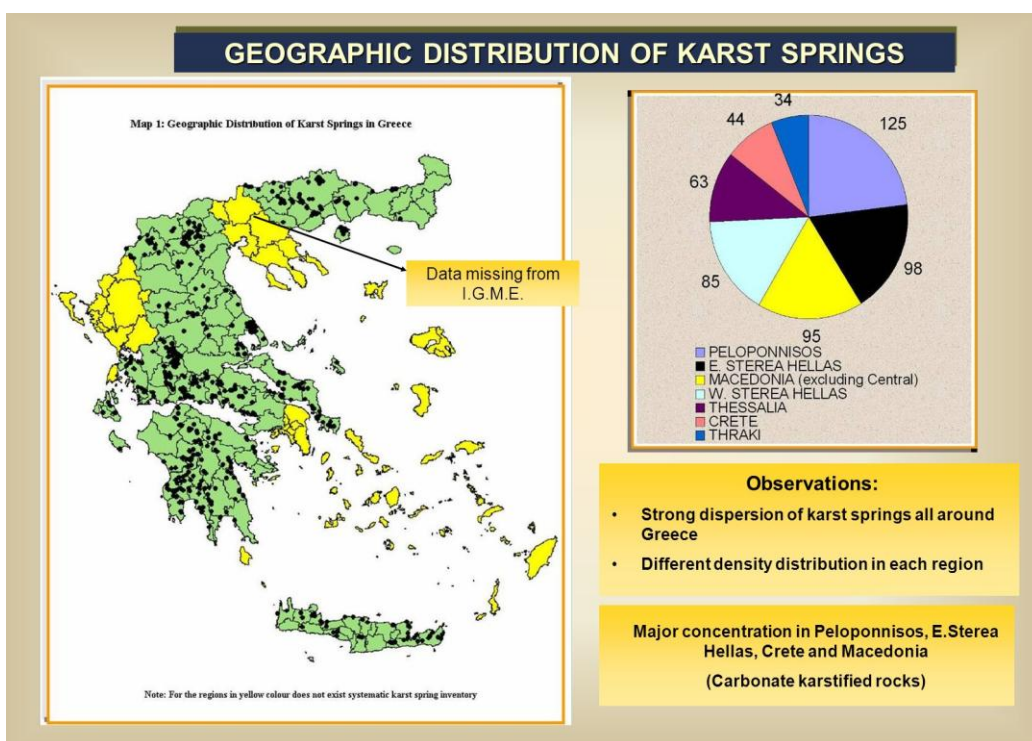


Εικόνα 26 Βροχομετρικός χάρτης (Χρησιαντώνη Μ., 2008 ΕΤΥΜΠ).

6.1.2 Περιοχές με εμφάνιση καρστικών δομών στον Ελλαδικό χώρο

Από γεωλογική άποψη η Ελλάδα αποτελείται σε μεγάλο μέρος από ανθρακικά πετρώματα. Στα ανθρακικά πετρώματα έχουμε την ανάπτυξη ανθρακικών υδροφορέων γνωστών ως κάρστ. Το κάρστ είναι αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων διαλυτικής φύσεως σε ανθρακικά πετρώματα με την κίνηση του νερού το οποίο είναι εμπλουτισμένο με διοξείδιο του άνθρακα (Βουδούρης Κ.

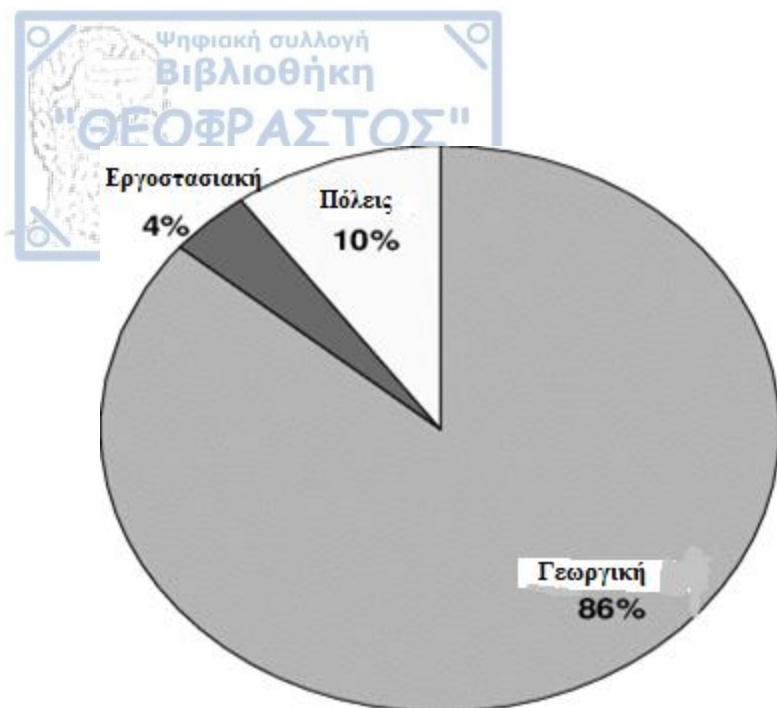
2013). Η παραπάνω διάβρωση των ανθρακικών πετρωμάτων έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία διόδων με αποτέλεσμα μέρος της επιφανειακής απορροής να καταλήγει στους υπόγειους υδροφορείς και σε κάποιες περιπτώσεις να επανέρχονται από σημεία εκφόρτισης (πηγές). Όπως διαπιστώνεται οι καρστικές πηγές στον ελλαδικό χώρο είναι διάσπαρτες (Εικόνα 27) και η συχνότητα εμφάνισης τους διαφέρει ανάλογα με τις γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή (Ομπετσανοφ.Ι. κ.α. 2004). Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την ύπαρξη καρστικού υδροφορέα τόσο για την επιλογή του υδροληπτικού έργου όσο και για την αξιοποίηση του ιδίου καρστικού υδροφορέα καθώς μπορεί να παρέχει καλής ποιότητας νερό και με ικανοποιητική παροχή.



Εικόνα 27 Κατανομή καρστικών πηγών στον Ελληνικό χώρο (Ομπετσάνοφ κ.α. 2004).

6.1.3 Χρήση νερού στην Ελλάδα

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 28 στην Ελλάδα οι υδάτινοι πόροι αξιοποιούνται κυρίως για αγροτική χρήση και σε μικρότερο ποσοστό για υδρευτική βιομηχανική και τέλος ενεργειακή χρήση (Ξενογιάννη κ.α. 2008). Ωστόσο τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια αύξηση 4-8% τον χρόνο ανάλογα την περιοχή (Βουδούρης Κ. 2013).



Εικόνα 28 Χρήση νερού (Κανακούδης & Τσιτσιφλή 2009).

6.1.4 Αστικοποίηση

Ένα αρκετά σοβαρό πρόβλημα που βρίσκεται σε εξέλιξη τα τελευταία χρόνια είναι αυτό της αστικοποίησης (Πίνακας 1). Όλο και μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού μετακινείται κοντά σε αστικά κέντρα οι λόγοι μπορεί να είναι είτε οικονομικοί (εύρεση δουλειάς), είτε γεωγραφικοί καλύτερες συνθήκες ζωής σε πεδινά τμήματα. Αυτό όμως έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των αναγκών στα αστικά κέντρα. Για αυτό το λόγο αρκετά υδροληπτικά έργα έχουν κατασκευαστεί για να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες αυτές.

Περιγραφή	Σύνολα			Ποσοστά επί συνόλου Περιφέρειας	
	Σύνολο	Άρρενες	Θήλεις	Άρρενες	Θήλεις
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	10.816.286	5.303.223	5.513.063	49,0	51,0
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	608.182	299.643	308.539	49,3	50,7
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	1.882.108	912.693	969.415	48,5	51,5
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	283.689	141.779	141.910	50,0	50,0
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΗΠΕΙΡΟΥ	336.856	165.775	171.081	49,2	50,8
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	732.762	362.194	370.568	49,4	50,6
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	547.390	277.475	269.915	50,7	49,3
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	207.855	102.400	105.455	49,3	50,7
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	679.796	339.310	340.486	49,9	50,1
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	577.903	291.777	286.126	50,5	49,5
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ	3.828.434	1.845.663	1.982.771	48,2	51,8
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	199.231	99.984	99.247	50,2	49,8
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	309.015	155.865	153.150	50,4	49,6
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ	623.065	308.665	314.400	49,5	50,5

Πίνακας 1 Κατανομή πληθυσμού (Ελληνική Δημοκρατία Ελληνική Στατιστική Αρχή 2014).

6.2 Μεγάλα φράγματα

Φράγμα Μαραθώνα

Πρόκειται για ένα φράγμα βαρύτητας στον Νομό Αττικής. Το φράγμα αποπερατώθηκε το 1929 και σκοπός του έργου είναι υδρευτικός. Ορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα 2:

Ύψος φράγματος	54 m
Μήκος στέψης	285 m
Όγκος φράγματος	179x10³ m³
Χωρητικότητα ταμ.	41x10⁶ m³
Επιφάνεια ταμιευτήρα	2,45 km²
Εμβαδόν λεκάνης απορροής	118 km²
Παροχή σχεδιασμού υπερχειλιστή	100 m³/sec

Πίνακας 2 Χαρακτηριστικά του φράγματος του Μαραθώνα (Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων 2013).



1	Φράγμα	1	Dam
2	Υπερχειλιστής	2	Spillway
3	Εκκενωτής πυθμένα	3	Bottom outlet
4	Στοά αποστράγγισης	4	Drainage gallery
5	Αντίγραφο του «Θησαυρού των Αθηναίων»	5	Replica of the "Treasury of the Athenians"

Εικόνα 29 Τομή φράγματος Μαραθώνα (Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων 2013).

Το φράγμα κατασκευάστηκε με κύριο σκοπό την υδροδότηση της Αθήνας. Το έργο ξεκίνησε το 1925 με υπεύθυνη εταιρία της Ελληνική Εταιρία Υδάτων (ΕΕΥ). Την μελέτη και κατασκευή ανέλαβε η ULENandCo.USA. Το φράγμα κατασκευάστηκε στην κύρια κοίτη του ποταμού Οινώ (Χαλάνδρου) στην συμβολή του με το ρέμα Βαρνάβα. Το γεγονός που κάνει το φράγμα του Μαραθώνα μοναδικό είναι το μάρμαρο της Πεντέλης το ίδιο μάρμαρο που χτίστηκε η Ακρόπολη. Στον ταμιευτήρα λειτουργεί ο πύργος υδροληψίας, είναι ένα κατακόρυφο κτίσμα 50 μέτρων όπου τα 40-45μ είναι βυθισμένα. Στην βάση του έργου λειτουργούν δύο βάνες για την διοχέτευση νερού στην σήραγγα του Μπογιατίου. Ο υπερχειλιστής του φράγματος όπως φαίνεται και στην Εικόνα 30 βρίσκεται στο δεξί αντέρεισμα με παροχή 100 κ.μ/δευτ (<http://kpe-kastor.kas.sch.gr/limnology/schools/text%20gym%20ag%20stefanou.pdf>) .



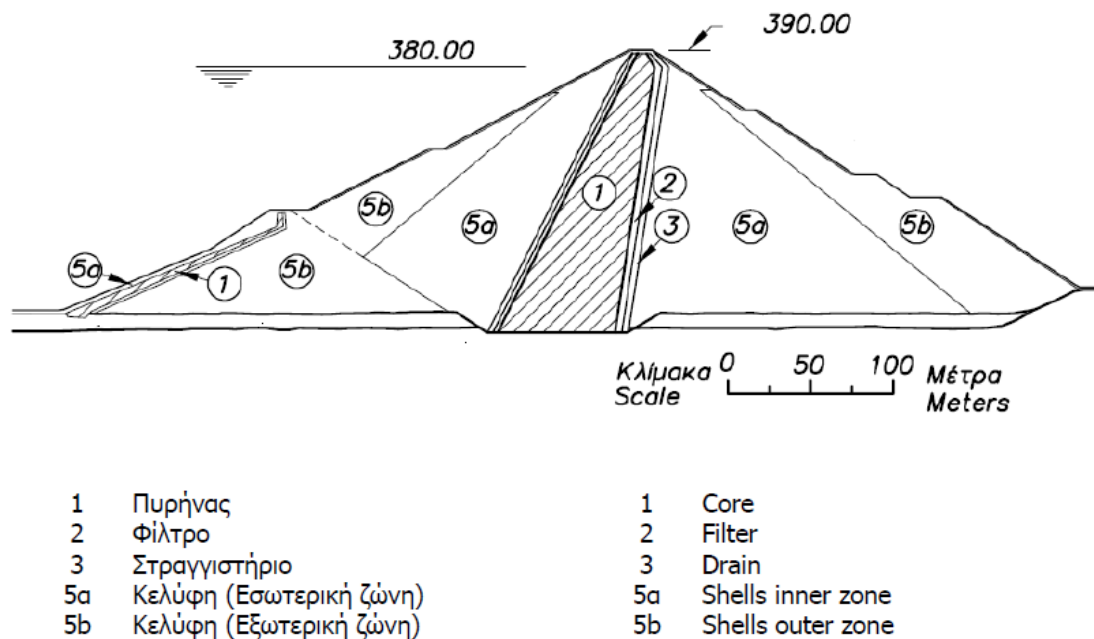
Εικόνα 30 Φράγμα του Μαραθώνα (Μηχανή του χρόνου 2018).

Φράγμα Θησαυρού

Πρόκειται για ένα λιθόρριπτο με κεκλιμένο πυρήνα φράγμα (Εικόνα 29) στον νομό Δράμας. Το φράγμα αποπερατώθηκε το 1996 και ο σκοπός του έργου είναι η υδροηλεκτρική παραγωγή, η άδρευση και ο αντιπλημμυρικός έλεγχος (Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων 2013). Παρακάτω δίνονται κάποια βασικά στοιχεία:

Ύψος φράγματος	172 m
Μήκος στέψης	480 m
Όγκος φράγματος	$12 \times 10^6 \text{ m}^3$
Χωρητικότητα ταμ.	$705 \times 10^6 \text{ m}^3$
Επιφάνεια ταμιευτήρα	20 km^2
Εμβαδόν λεκάνης απορροής	4.258 km^2
Παροχή σχεδιασμού υπερχειλιστή	$6.000 \text{ m}^3/\text{sec}$

Πίνακας 3 Χαρακτηριστικά του φράγματος Θησαυρού (Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων 2013).



Εικόνα 31 Διατομή φράγματος Θησαυρού (Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων 2013).

Η κατασκευή του φράγματος ξεκίνησε από την Δ.Ε.Η. το 1983 και η πλήρωση του ταμιευτήρα ολοκληρώθηκε το 1996. Αποτελεί το μεγαλύτερο φράγμα των Βαλκανίων (Πιτατζή, Μπαράμα 2010) με συνολικό ύψος 175μ. Το φράγμα χτίστηκε κάθετα στον ποταμό Νέστο και εκμεταλλεύεται την φυσική ροή με τρεις υδροηλεκτρικές μονάδες 100 μεγαβάτ η κάθε μια (Πιτατζή, Μπαράμα 2010). Η περιοχή του φράγματος καλύπτεται κυρίως από γνεύσιους με παρεμβολές μαρμαρυγιακών και αμφιβολιτικών σχιστόλιθων. Τα πετρώματα φέρουν φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά και εμφανίζονται πτυχωμένα.



Εικόνα 32 Φράγμα Θησαυρού απεικονίζεται ο ταμιευτήρας στα δεξιά τα δύο αντερείσματα καθώς και οι χωματουργικές διαδικασίες που έχουν γίνει κατάντη του φράγματος (ΑΚΤΟΡ).

6.3 Λιμνοδεξαμενές

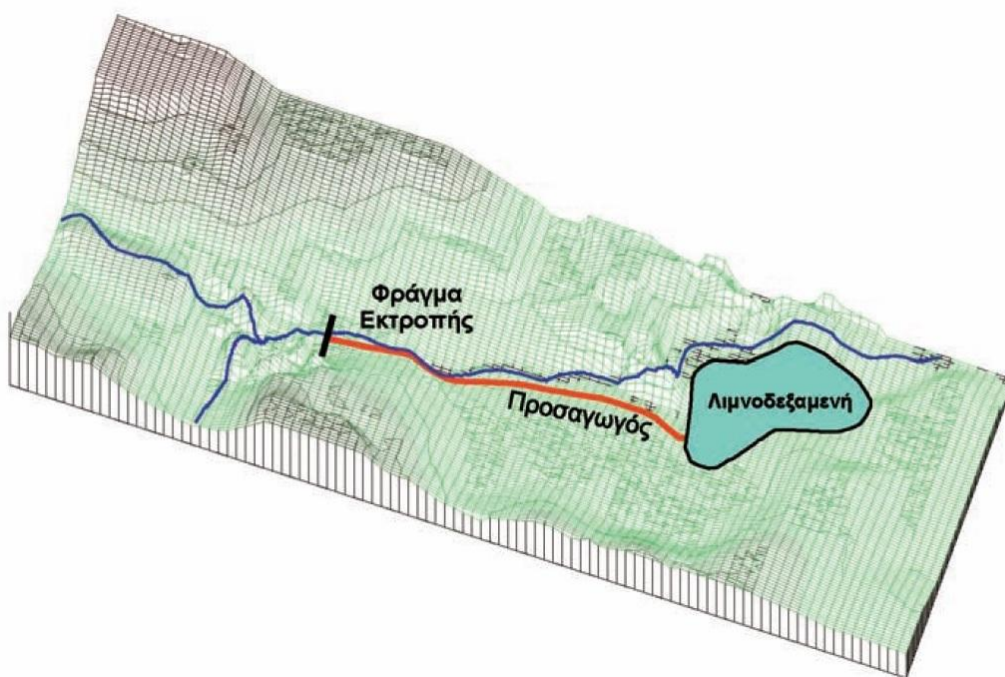
6.3.1 Σύντομη περιγραφή χαρακτηριστικών των λιμνοδεξαμενών.

Σύμφωνα με το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων οι λιμνοδεξαμενές είναι ταμιευτήρες επιφανειακών υδάτων με περιορισμένο μέγεθος και μπορούν να είναι δύο ειδών. Επιποτάμιες όπου η κατασκευή τους γίνεται μέσα στις κοίτες των χειμάρρων και αυτές που κατασκευάζονται σε φυσικές ή τεχνητές λεκάνες κατάκλισης, εξωποτάμιες. Με τον όρο λιμνοδεξαμενή αναφερόμαστε κυρίως στις εξωποτάμιες. Ο όρος αυτός σύμφωνα με την Ειδική Γραμματεία Γ' Κ.Π.Σ. έγινε χρήση πρώτη φορά την δεκαετία του '80 από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης. Πρόκειται για λεκάνες κατάκλισης που κατασκευάζονται σε επιλεγμένες περιοχές με τα απαραίτητα μορφολογικά χαρακτηριστικά και αποτελούνται από τρία τεχνικά έργα : (Εικόνα 33) (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, Φράγκου 2015)

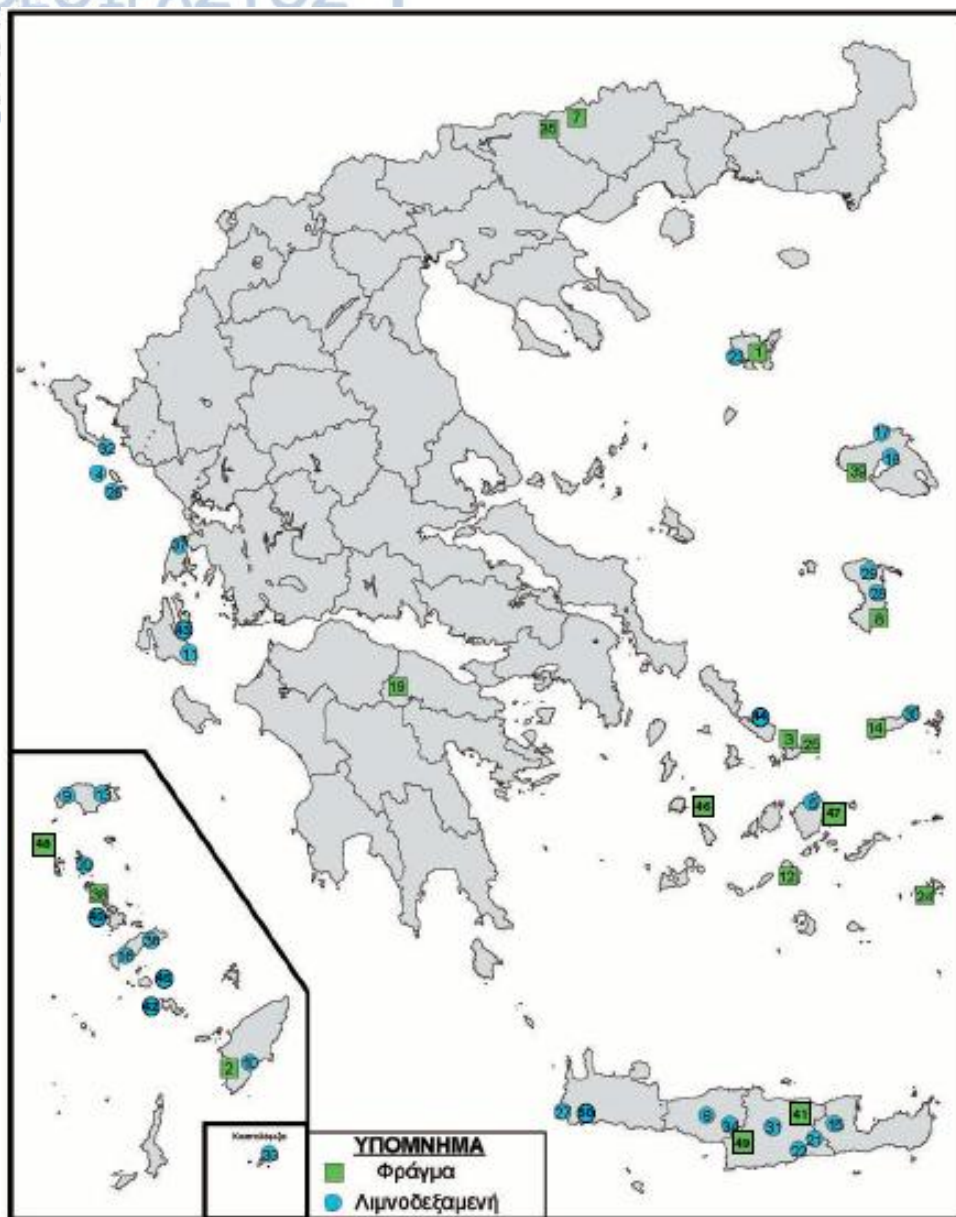
1. Ο βασικός χώρος του ταμιευτήρα. Ιδανική θέση είναι μια φυσική κοιλάτητα στην περιοχή ώστε οι χωματουργικές εργασίες να μειωθούν στο ελάχιστο. Ακόμα από γεωλογικής άποψης εδάφη τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εκσκαφή και για την διαμόρφωση του ταμιευτήρα και την κατασκευή του αναχώματος

2. Ένα χαμηλού σχετικά υπερπηδητό αναβαθμό (φράγμα ανύψωσης στάθμης) που χρησιμεύει στην δέσμευση του νερού με την βοήθεια σχάρας ενώ τα αδρόκοκκα υλικά μεταφέρονται στα κατάντη.

3. Τον κλειστού τύπου αγωγό μεταφοράς νερού από το φράγμα εκτροπής στον ταμιευτήρα. Ο αγωγός αυτός βοηθάει στην μεταφορά με φυσική ροή συνήθως του νερού από το μικρό φράγμα στην λιμνοδεξαμενή. Απαραίτητη είναι λοιπόν η ύπαρξη ρέματος έτσι ώστε η κίνηση του νερού να γίνεται με την βοήθεια της βαρύτητας έστω και με μικρή παροχή.



Εικόνα 33 Σχηματική απεικόνιση της διάταξης των έργων (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων Ειδική Γραμματεία Γ'Κ.Π.Σ 2006) .



Εικόνα 34 Χάρτης Ελλάδος με τις κατασκευασμένες λιμνοδεξαμενές (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων Ειδική Γραμματεία Γ'Κ.Π.Σ 2006).

6.3.2 Χαρακτηριστικά παραδείγματα

Λιμνοδεξαμενή ΧΑΥΓΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ Ν.ΚΡΗΤΗΣ

Πρόκειται για ένα έργο που περατώθηκε το 1995 με κύριο σκοπό χρήσης άδρευση και ύδρευση της περιοχής. Η εξωποτάμια λιμνοδεξαμενή τροφοδοτείται κυρίως από τον χείμαρρο Χανγιά. Η συνολική δαπάνη κατασκευής ανέρχεται σε 3.551.000 ευρώ (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων) στον Πίνακα 3 φαίνονται κάποια βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά .

Ψηφιακή συλλογή

Βιβλιοθήκη

"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

Υψος Αναχώματος

12,5

m

Μήκος στέψης

1151

m

Πλάτος στέψης

6

m

Όγκος Αναχώματος

370.000

m³

Ωφέλιμος όγκος

860.000

m³

Επιφάνεια Ταμιευτήρα

140.000

m²

Στεγανοποίηση
Ταμιευτήρα

Γεωμεμβράνη HDPE,
πάχους 0,75mm

Πίνακας 4 Τεχνικά χαρακτηριστικά (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων).



Εικόνα 35 Λιμνοδεξαμενή Χαυγά (δεξιά) Λιμνοδεξαμενή Αγ Γεωργίου (αριστερά) (ΥΔΡΕΤΜΕ).



Εικόνα 36 Λιμνοδεξαμενή Χαυγά (ΥΔΡΕΤΜΕ).

Λιμνοδεξαμενή Τιταρήσιου-Θεσσαλίας

Πρόκειται για μια λιμνοδεξαμενή στο χωριό Δελέρια του Δήμου Τυρνάβου και συγκεντρώνει την απορροή του χειμάρρου Μπεγδένι συνολικού εμβαδού 53.679 στρ (λεκάνη απορροής). Με εμβαδόν 250000 m^2 και συνολικής χωρητικότητας 1000000 m^3 . Στο έργο περιλαμβάνονται ακόμα ένα έργο υδροληψίας, ένα έργο υπερχείλισης και έναν αγωγό μεταφοράς. Το πλάτος στέψης του αναχώματος ανέρχεται στα 3 μέτρα. Όσο αναφορά το εσωτερικό της λιμνοδεξαμενής η στάθμη του νερού θα ανέρχεται στα 81 μέτρα και η επιφάνεια του θα είναι με μηδενική κλίση (Φράγκου 2015). Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια οικονομικά στοιχεία του έργου (Πίνακας 5) :

Εργασία	Ποσότητα	Τιμή Μονάδας	Τελικό Κόστος
Εκσκαφές	250.000 m ²	3,8 €/ m ²	950.000,00 €
Περίφραξη	1800 μέτρα	13,80/μέτρο	24.840 €
Πέτρες/Λίθοι	146 m ³	16 €/ m ³	2.336 €
Γεωμεμβράνη	250.000 m ²	1,71 m ²	427.500,00 €
Σωλήνες Φ1000	110 μέτρα	133 €/ m	14.630,00 €
Βαλβίδα Πεταλούδας DN 125/150mm - 5"/6"	1	95 €	95 €
Μπετόν	600	76 € / m ³	45.600 €
Οπλισμός	115 Kg/m ³	0,9 € / Kg	62.100 €
ΣΥΝΟΛΟ			1.527.006,00 €

Πίνακας 5 Κοστολόγηση έργου (Φράγκου 2015).

6.4 Αρχαία υδροληπτικά έργα από τον Ελληνικό χώρο

Αδριάνειο υδραγωγείο

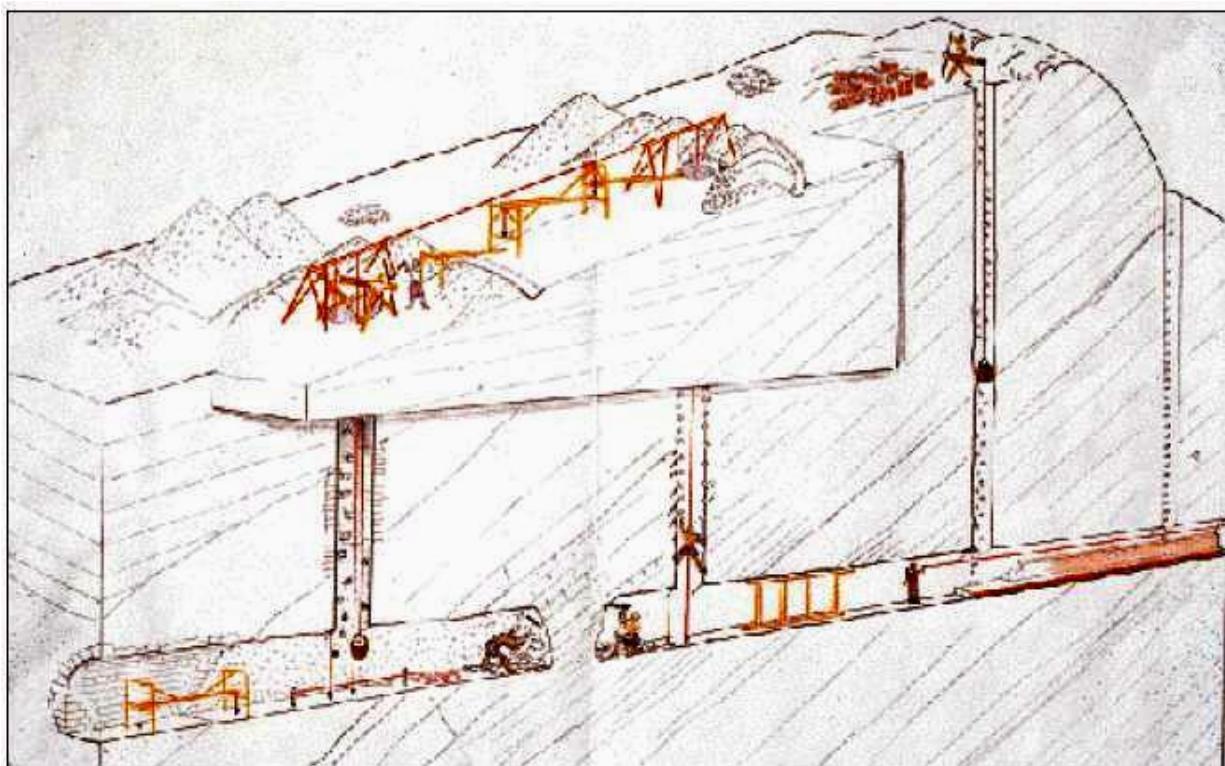
Το Αδριάνειο υδραγωγείο είναι ένα από τα σημαντικότερα υδρομαστευτικά έργα της αρχαιότητας. Χτίστηκε κατά την Ρωμαϊκή εποχή από τον αυτοκράτορα Αδριανό την περίοδο 125 μ.Χ. – 140 μ.Χ., και το κόστος σύμφωνα με τον Ρωμαίο στρατιωτικό Φροντίνο ήταν αρκετά υψηλό για την εποχή (Αβραμίδης Βασίλειος 2014). Ο κύριος κλάδος του υδραγωγείου είχε μήκος 25.957 μέτρα η αρχή του ήταν από το σημερινό αεροδρόμιο της Δεκελείας μέχρι την δεξαμενή του Κολωνακίου. Πρόκειται για μια σήραγγα με ορθογώνια διατομή σε βάθος από 10 μέτρα έως 40 μέτρα από το έδαφος με εσωτερική επένδυση από κονιάματα για την στεγανοποίηση και την ελαχιστοποίηση των απωλειών (Εικόνα 37).



Εικόνα 37 Σήραγγα Αδριάνειου Υδραγωγείου Ολυμπιακό χωριό (Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού Β' Εφορεία Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων) (Αβραμίδης Βασίλειος 2014).

Στην Εικόνα 38 φαίνονται τα φρεάτια τα οποία ήταν τα συνοδά έργα στο κυρίως υδραγωγείο (465 στον αριθμό έχουν ανασκαφεί) με κύριο ρόλο τον εξαερισμό και τον καθαρισμό του κυρίως αγωγού. Τα φρεάτια αυτά βοηθούσαν ακόμα στην γρήγορη κατασκευή του αγωγού καθώς επέτρεπαν την ενασχόληση πολλών συνεργείων στην διάνοιξη αλλά και την γρήγορη απομάκρυνση των προϊόντων εκσκαφής (Αβραμίδης Βασίλειος 2014). Σύμφωνα με τον Αν. Παππά το 1927 το νερό από τον Αδριάνειο υδραγωγείο κατέληγε στην δεξαμενή του

Λυκαβηττού και αποτελούσε την κύρια πηγή υδροδότησης της Αθήνας. Το υδραγωγείο του Αδριανού σταμάτησε να αποτελεί την κύρια πηγή νερού για την Αθήνα μετά την κατασκευή του φράγματος του Μαραθώνα και της σήραγγας Μπογιατίου το 1929 (Αβραμίδης Βασίλειος 2014).



Εικόνα 38 Κατασκευή της σήραγγας και των φρεατίων του Υδραγωγείου (Εφημερίδα Καθημερινή, άρθρο του Ε. Κορρέ 2002).

Το υδραγωγείο του Χορτιάτη

Συμφωνα με τον Μ. Χατζή Ιωάννου το υδραγωγείο του Χορτιάτη αποτελούσε το σημαντικότερο υδραγωγείο της πόλης της Θεσσαλονίκης και η αρχή του βρισκόταν στις πηγές στον Χορτιάτη σε υψόμετρο 600-900 μέτρα πάνω από το σημερινό χωριό. Το qanat της Αγίας Παρασκευής είναι το πιο γνωστό της περιοχής του Χορτιάτη και κατασκευάστηκε για την συλλογή νερού από τις πηγές του βουνού την ρωμαϊκή περίοδο ενώ εμφανείς είναι και οι νεότερες επεμβάσεις και διαμορφώσεις στην βυζαντινή και μεταβυζαντινή εποχή (Μανωλεδάκης-Ανδρούδης 2007) . Το qanat βρίσκεται σε υψόμετρο 575-585 μ. και αποτελεί κομμάτι ενός ευρύτερου υδροληπτικού συστήματος που καλύπτει επιφάνεια 600 τ.μ. (Γκαλά-Γεωργιά 2015) .

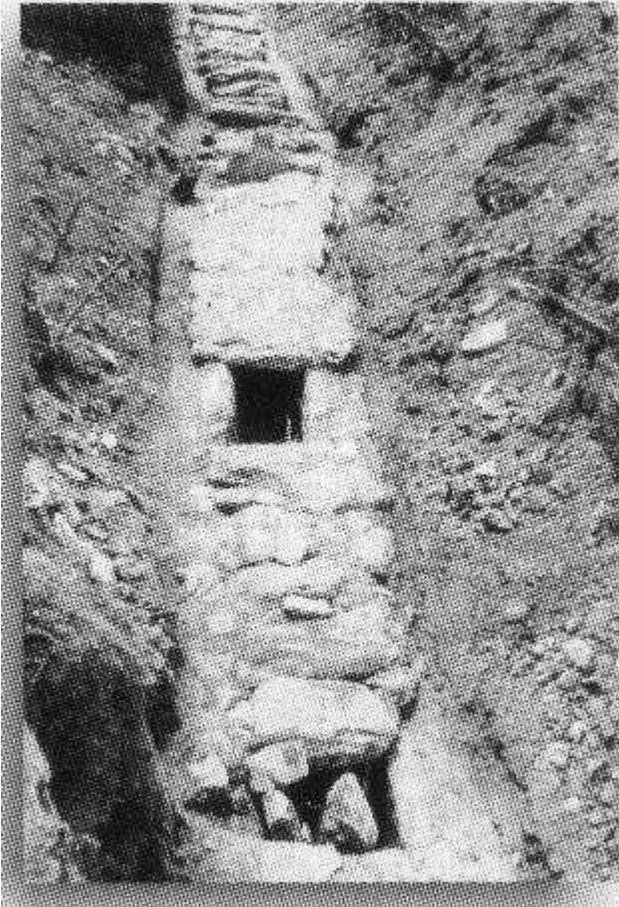
Άλλα έργα που συνοδεύουν το qanat του Χορτιάτη και σχετίζονται με την ροή του νερού βρίσκονται σε μια ευρεία περιοχή γύρο από το Δημοτικό Σχολείο της περιοχής, αυτά είναι (Γκαλά-Γεωργιά 2015):

- Ένας πύργος υδατόπτωσης στον αρχαιολογικό χώρο κοντά στο Δημοτικό Σχολείο όπου οι μεγάλες αποθέσεις αλάτων στο επάνω μέρος του πύργου αποδεικνύουν την κυκλοφορία του νερού. Πιθανολογείται ότι ο πύργος λειτούργησε βοηθητικά σε σύστημα νερόμυλου αλλά συνδεόταν και με τον αγωγό του υδραγωγείου (Εικόνα 39)



Εικόνα 39 Πύργος Υδατόπτωσης (Γκαλά-Γεωργιά 2015).

- Ένας αγωγός μήκους 17 μέτρων αποκαλύφθηκε σε ανασκαφή στην αρχή του χωριού του Χορτιάτη. Ο εν λόγω αγωγός είχε ορθογωνική διατομή, εξωτερικά δομείται από ασβεστοκονίαμα και μικρούς αργούς λίθους το δάπεδό του καλυπτόταν από πλίνθους και σχιστόπλακες ενώ έχει εσωτερική επένδυση από υδραυλικό κονίαμα. Στον αγωγό όπως και στον πύργο παραπάνω βρέθηκαν αποθέσεις αλάτων (Εικόνα 40)



Εικόνα 40 Ο αγωγός στην αρχή του χωριού (Γκαλά-Γεωργιά 2015).

- Μια υδατογέφυρα όπου σώζεται ένα τμήμα της μήκους 100 μέτρων. Ο λόγος κατασκευής της είναι για την ομαλή μετάβαση του αγωγού από μια μισγάγκεια κοντά στην έξοδο του νερού για αυτό και το ύψος της κατασκευής ανέρχεται στα 21 μέτρα (Εικόνα 41).

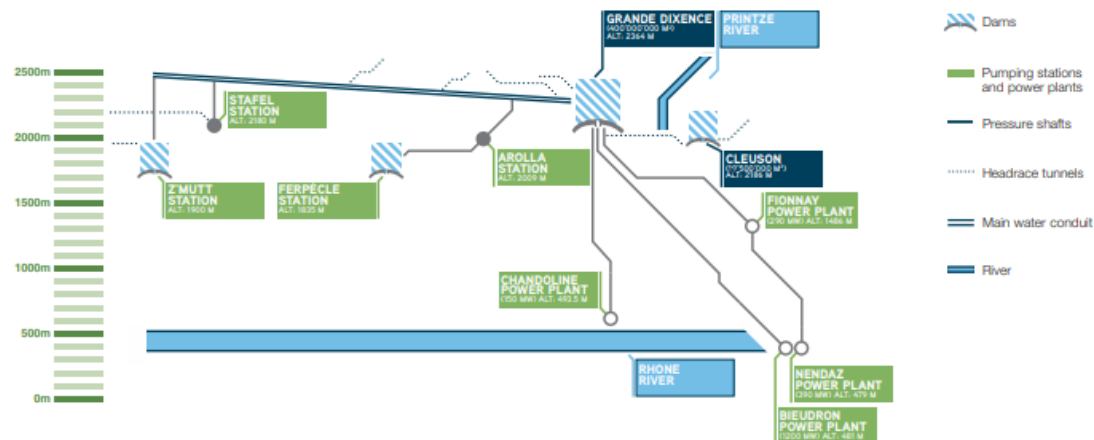


Εικόνα 41 Ο αγωγός πάνω στην υδατογέφυρα (Γκαλά-Γεωργιά 2015).

6.5 Φράγματα από το Διεθνή χώρο

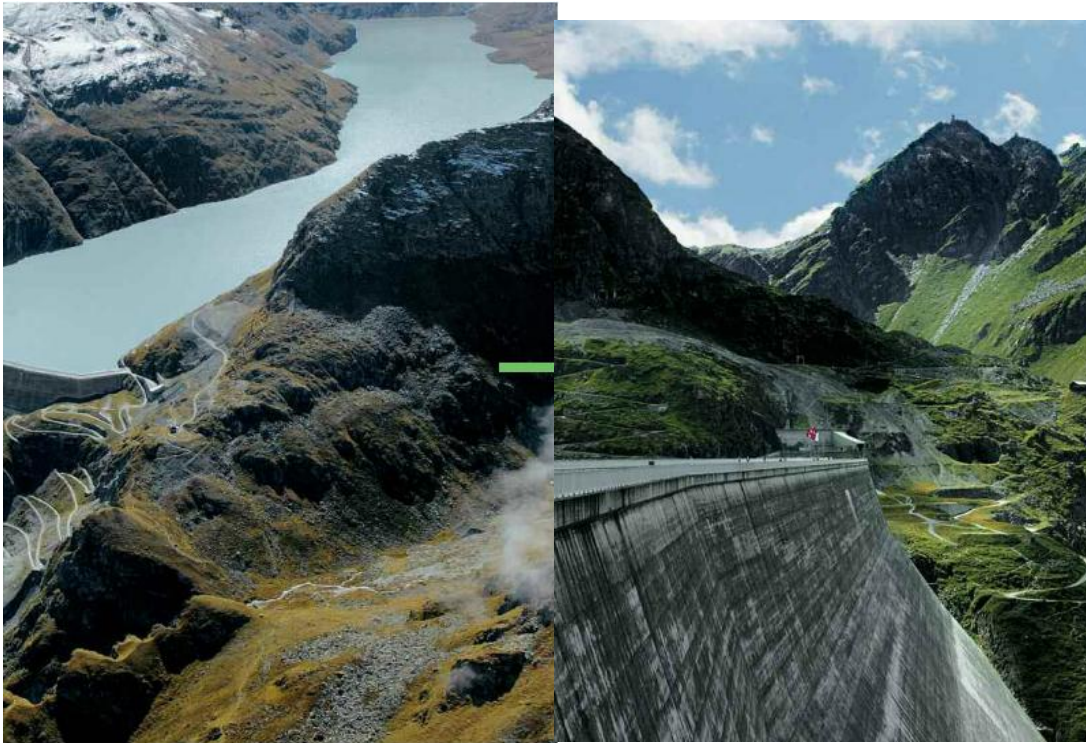
Φράγμα Grande Dixence

Είναι το υψηλότερο φράγμα βαρύτητας, 285 μέτρα, στον κόσμο και βρίσκεται στις Ελβετικές Άλπεις. Το έργο ξεκίνησε το 1951 ενώ το πρώτο φράγμα που είχε χτιστεί στην τοποθεσία 15 χρόνια πριν βυθίστηκε στον ταμιευτήρα. Το φράγμα ολοκληρώθηκε το 1961 3 χρόνια νωρίτερα από τον προβλεπόμενο χρόνο. Το φράγμα αποθηκεύει $400.000.000 \text{ m}^3$ νερού σε έναν ταμιευτήρα 350 km^2 το χρόνο ενώ η κουρτίνα τσιμεντενέσεων στην βάση του σώματος του φράγματος φτάνουν τα 200 μέτρα βάθος. Η λίμνη Dix είναι μια τεχνητή λίμνη στην οποία συλλέγεται το νερό από όλες τις γύρω περιοχές. Ωστόσο στα 2400 μέτρα που βρίσκεται η λίμνη μόνο το 40 % του νερού καταλήγει με φυσική ροή. Για την εκμετάλλευση και των υπόλοιπων περιοχών πέρα από τα αρκετά χιλιόμετρα σηράγγων που σκάφτηκαν κατασκευάστηκαν από την αρχή 4 αντλιοστάσια τα οποία μεταφέρουν $300.000.000 \text{ m}^3$ νερού και καταναλώνουν 380 εκατ. kWh ενέργειας (Εικόνα42) (Grande Dixence <http://www.grande-dixence.ch/docs/default-source/documentation/grande-dixence/Grande-Dixence-A-legend-in-the-heart-of-the-Alps.pdf?sfvrsn=8>).

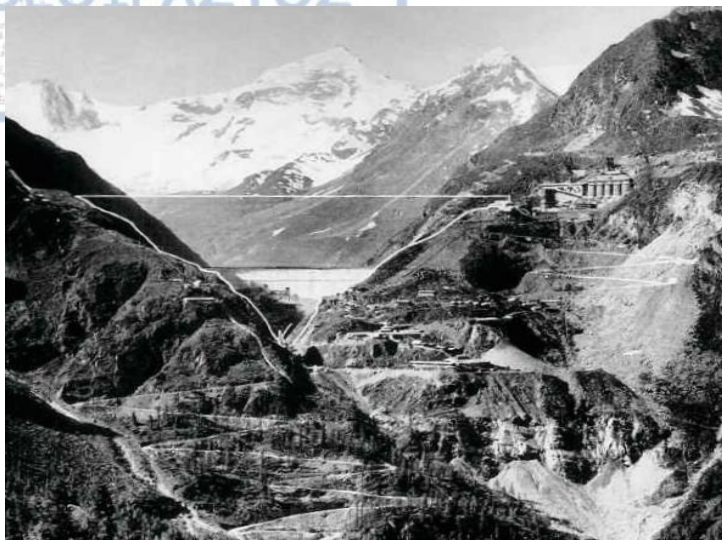


Εικόνα 42 Πανοραμική απεικόνιση του φράγματος Grande Dixence με όλα τα συνοδά έργα (<http://www.grande-dixence.ch/docs/default-source/documentation/grande-dixence/Grande-Dixence-A-legend-in-the-heart-of-the-Alps.pdf?sfvrsn=8>).

Παρόλο την τεράστια ποσότητα νερού που έχει συγκεντρωθεί και τα μέσα που χρησιμοποιούνται όπως αναφέρθηκαν παραπάνω, για να γίνει ακόμα πιο επικερδής η εκμετάλλευση του νερού κατασκευάστηκαν επιπλέον 2 εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ένα στα 1490 μέτρα (Fionnay plant) και στα 490 μέτρα (Nendaz plant) τα οποία τέλος συνδέονται με ένα τρίτο (Chandoline power station). Στην Εικόνα 43 φαίνεται η σύγχρονη μορφή του φράγματος ενώ στην Εικόνα 44 στα αρχικά στάδια κατασκευής του.



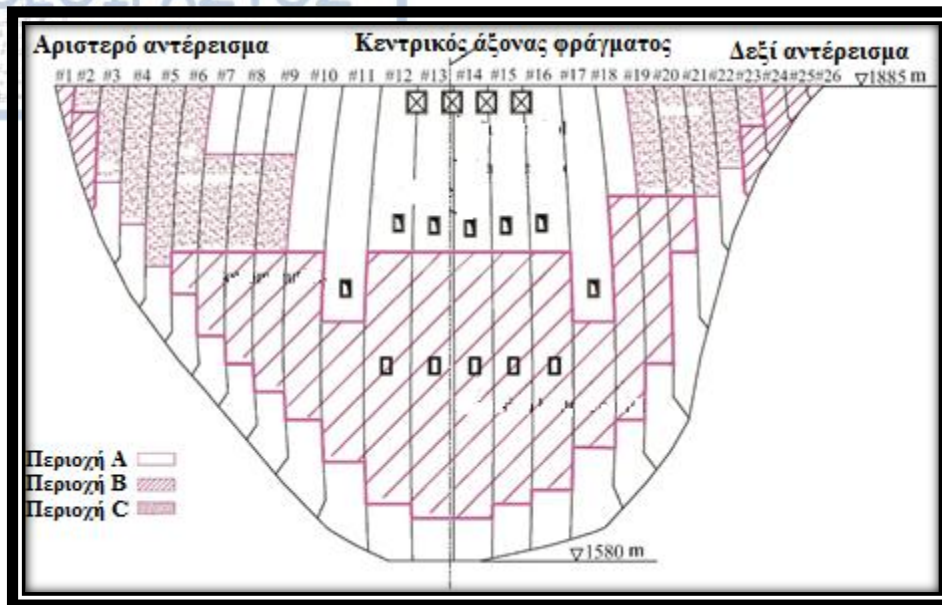
Εικόνα 43 Στην αριστερή εικόνα απεικονίζεται ο ταμιευτήρας του φράγματος και το αριστερό αντέρεισμα ενώ στην δεξιά η στέψη του φράγματος (<http://www.grande-dixence.ch/docs/default-source/documentation/grande-dixence/Grande-Dixence-A-legend-in-the-heart-of-the-Alps.pdf?sfvrsn=8>).



Εικόνα 44 Το φράγμα Grande Dixence στα αρχικά στάδια κατασκευής του (<http://www.grande-dixence.ch/docs/default-source/documentation/grande-dixence/Grande-Dixence-A-legend-in-the-heart-of-the-Alps.pdf?sfvrsn=8>).

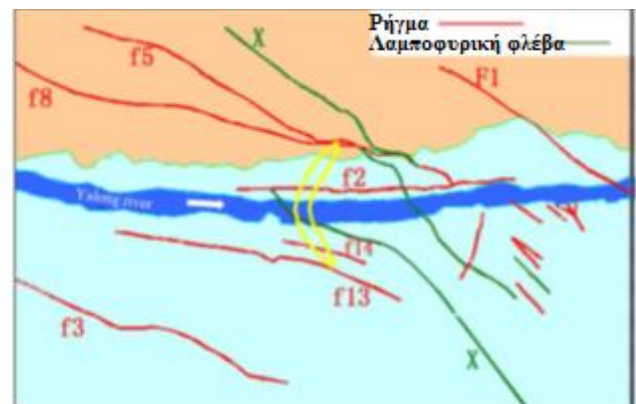
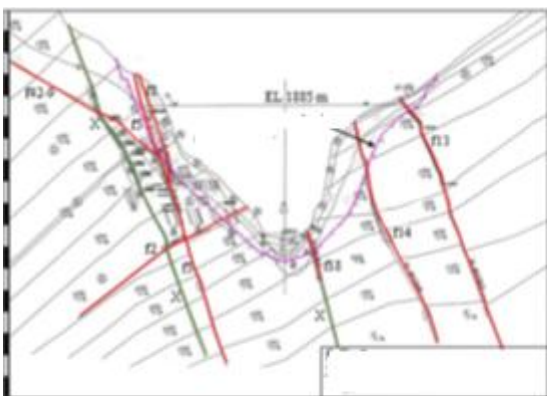
Φράγμα Jinping-I

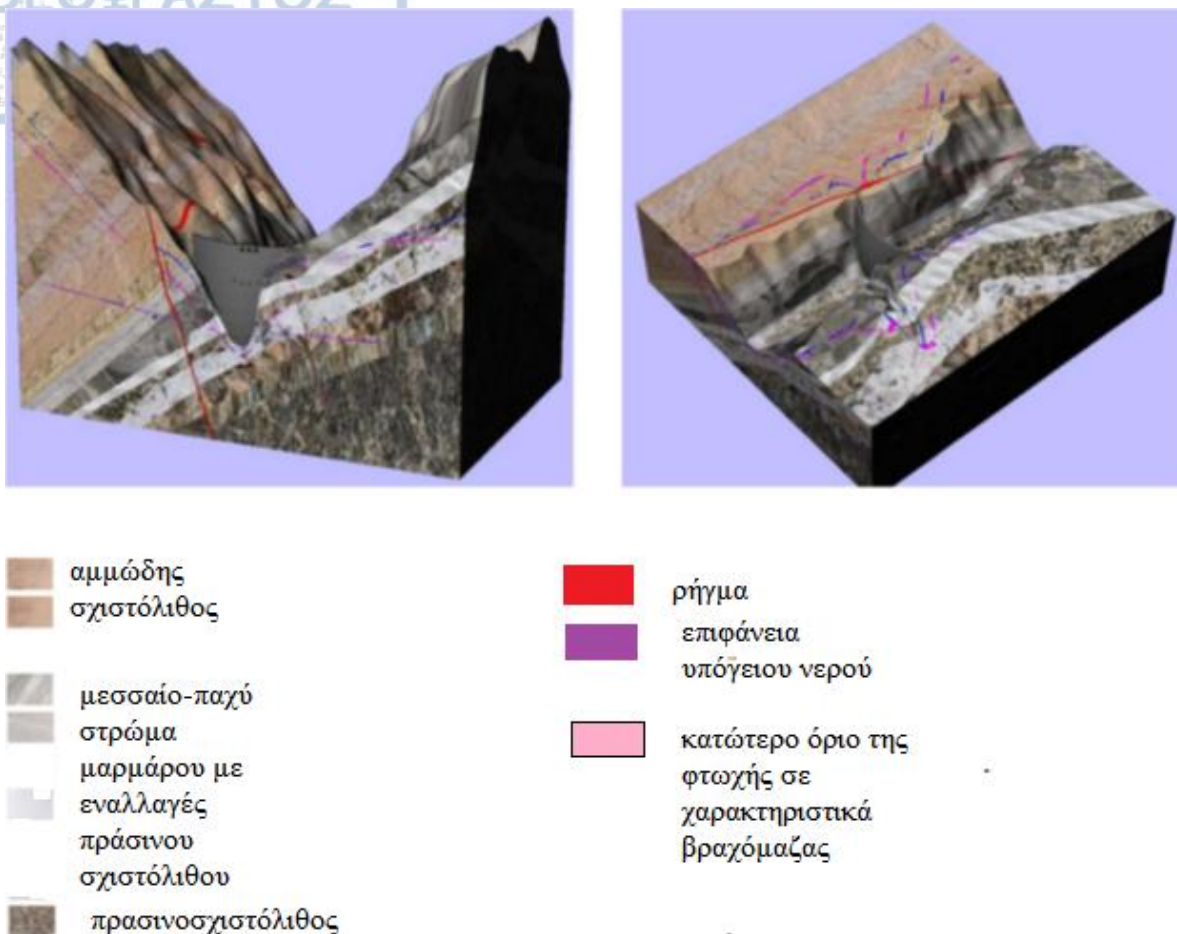
Το φράγμα Jinping-I είναι το υψηλότερο τοξωτό φράγμα στον κόσμο με ύψος 305 m και μήκος στέψης 568 m (Shi-yong Wu et al 2016). Πρόκειται για ένα τοξωτό φράγμα διπλής καμπυλότητας στον ποταμό Yalong στην Κίνα του οποίου η κατασκευή ξεκίνησε το 2005 και ολοκληρώθηκε το 2014. Είναι ένα υδροηλεκτρικό φράγμα ικανό να παράγει 3.600 MW με ταμιευτήρα 7.7 δις m³ από τα οποία τα 4.9 m³ είναι αξιοποιήσιμα (Shi-yong Wu et al 2016). Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα το σώμα του φράγματος αποτελείται από 26 κομμάτια χωρίς επιμήκεις αρθρώσεις και το τσιμέντο που έγινε χρήση χωρίζεται σε 3 περιοχές (A, B, C) ανάλογα με το πόσο περιορισμένη είναι η περιοχή (Εικόνα 45).



Εικόνα 45 Σώμα φράγματος με εμφανή τον διαχωρισμό του στις 3 ζώνες όπως αναφέρθηκε παραπάνω (Shi-yong Wu et al 2016).

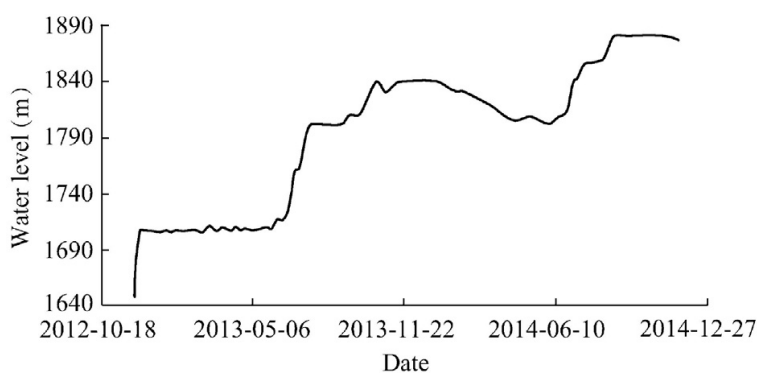
Σύμφωνα με τους (C.A. Tang & Nuwen Xu 2015) (Εικόνα 46) η γεωλογία της περιοχής είναι αρκετά πολύπλοκη καθώς στο αριστερό αντέρεισμα έχουμε πτυχωμένο αμμόδη σχιστόλιθο και μάρμαρα ενώ στο δεξί αντέρεισμα εναλλαγές μαρμάρου σχιστόλιθου και στο υπόβαθρο πράσινο σχιστόλιθο. Τόσο στο αριστερό αντέρεισμα όσο και από την βάση του σώματος του φράγματος διέρχεται μια αλκαλική φλέβα ενώ στην περιοχή υπάρχουν αρκετά ρήγματα.





Εικόνα 46 Γεωλογία της περιοχής του φράγματος (Peng Lin et al 2018).

Λόγο της παραπάνω σύνθετης γεωλογίας ο ταμιευτήρας του φράγματος γέμισε σταδιακά σε 4 φάσεις (Εικόνα 47) ενώ ταυτόχρονα γινόταν στενή παρακολούθηση των μικρό σεισμών που συνέβαιναν, μέχρι την ολοκλήρωση του φράγματος είχαν τοποθετηθεί τουλάχιστον 3450 όργανα μέτρησης (Shi-yong Wu et al 2016).



Εικόνα 47 Διακύμανση του επιπέδου του νερού κατά τις 4 φάσεις (Shi-yong Wu et al 2016).



Εικόνα 48 Το φράγμα Jinping-I (PowerChina 2016).



Εικόνα 49 Υδροηλεκτρικός σταθμός του φράγματος Jinping-I (China Gezhouba Group Co., LTD 2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την βιβλιογραφική έρευνα και την συγγραφή της παραπάνω πτυχιακής προκύπτει ότι η εξέλιξη της πορείας του ανθρώπου από την νομαδική ζωή στην σύγχρονη καθημερινότητα οδήγησε τόσο στην ανάπτυξη όσο και την εφαρμογή ποικίλων υδροληπτικών έργων όπως παρουσιάζονται παραπάνω με σκοπό την αξιοποίηση του επιφανειακού αλλά και του υπόγειου νερού. Στον ελλαδικό χώρο από τα αρχαία ακόμα χρόνια λόγω της ιδιαίτερης γεωμορφολογίας αλλά και του κλίματος που επικρατεί τόσο στην ηπειρωτική όσο και στη νησιωτική χώρα έχουν κατασκευαστεί υδροληπτικά έργα με κύριο σκοπό την εκμετάλλευση και την αποθήκευση των υδάτινων πόρων για την κάλυψη των αναγκών. Στον διεθνή χώρο η ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει βοηθήσει εξίσου στην κατασκευή διάφορων υδροληπτικών έργων ακόμα και στις πιο δυσμενείς γεωλογικές συνθήκες. Από όλα τα παραπάνω αντιλαμβανόμαστε ότι όσο οι κοινωνίες εξελίσσονται και οι ανθρώπινες ανάγκες αυξάνονται η ανάγκη για νέους τρόπους εύρεσης και αξιοποίησης του νερού θα γίνεται όλο και πιο επιτακτική για αυτό το λόγο η χρήση του νερού πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή γνωρίζοντας ότι είναι ένα πολύτιμο αγαθό.

- Αβραμίδης Β., 2014. Αδριάνειο Υδραγωγείο *Τμήμα Αρχαιολογίας και Ιστορικής Έρευνας Δήμος Αχαρνων.*
- Αντρέου Α., Χρυσομήλη Β., 2015. Γεωτρήσεις για τον Εντοπισμό Φυσικού Αερίου και Πετρελαίου στην Κύπρο. *Εργασία Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Τμήμα Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος.*
- Βασιλειάδης Κ., Παπαναστασίου Θ., Σάντα Α., Πάτρα 2015. Στοιχεία σχεδιασμού λιθόρριπτων φραγμάτων με εφαρμογή στο φράγμα Τριανταφυλλίας νομού Φλωρίνης. *Πτυχιακή Εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ελλάδας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε*
- Βουδούρης Κ., Μαρίνος Β., 2010. Υδρομαστευτικά έργα, Τεχνικές διάτρησης , συμπλήρωση, Ανάπτυξη υδρογεώτρησης, δειγματοληπτικές, Γεωτεχνικές γεωτρήσεις, Μέθοδοι Διαγραφιών. *Τεχνική γεωτρήσεων, ΑΠΘ, Τμήμα Γεωλογίας*
- Βουδούρης Κ. Στ., 2015 Εκμετάλλευση και Διαχείριση Υπόγειου νερού. *Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ ISBN 978-960-418-469-9*
- Βουδούρης Κ. Στ., 2013. Τεχνική Υδρογεωλογία – Υπόγεια Νερά. *Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ ISBN 978-960-418-407-1*
- Γκαλά-Γεωργιά Ε. 2015. Δρόμοι του νερού και οργάνωση του χώρου στη Θεσσαλονίκη κατά τη μέση και ύστερη βυζαντινή περίοδο. *Διδακτορική Διατριβή, τόμος Α, ΑΠΘ Σχολή Καλών Τεχνών, Τμήμα Εικαστικών και Εφαρμοσμένων Τεχνών.*
- Δαουλάρη Γ 2007. Μοντελοποίηση Υπόγειας ροής και προσδιορισμός υφάλμυρης ζώνης υπόγειου υδροφορέα περιοχής Φαλασάρνων. *Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος.*

Δημοπούλου, Α., Α. Σεπτέμβριος 2008. Αξονοσυμμετρικά φράγματα κυλινδρούμενου σκληρού επιχώματος. *Διατμηματικό-Διεπιστημονικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών,*

Επιστήμη και τεχνολογία υδατικών πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Αθήνας.

Ελληνική Δημοκρατία Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2014 Απογραφή Πληθυσμού-Κατοικιών 2011 *Δημογραφικά και κοινωνικά χαρακτηριστικά του Μόνιμου Πληθυσμού της χώρας σύμφωνα με την αναθεώρηση των αποτελεσμάτων της Απογραφής Πληθυσμού-Κατοικιών 2011 στις 20/3/2014.*

Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων, 2013. Τα φράγμα της Ελλάδας.

Ευστρατιάδης Α., Μαμάσης Ν., Κουτσογιάννης Δ., Ακαδ. Έτος 2014- 2015, Φράγματα, Υδροηλεκτρικά Έργα. 8^ο εξάμηνο Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Καββαδάς Μ., Ακαδ. Έτος 2006-2007. Ειδικά Γεωτεχνικά έργα- Γεωτεχνική Φραγμάτων. *Εποπτικό υλικό διαλέξεων του μαθήματος, 9^ο Εξ., Πολ. Μηχ. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Γεωτεχνικής.*

Καλουμένου Ε., Γερενσκα Κ., Μούρλας Δ., Αρμάσης Λ., 2012-2013. Ο ρόλος του νερού στον πολιτισμό. 4^ο λύκειο Καλλιθέας, *Ερευνητική Εργασία.*

Κανακούδης Β., Τσιτσιφλή Σ., 2009 Water pricing policies in Greece: Is there a common understanding ?

Κανέλλος Σ., 2014. Τεχνικές Κατασκευής Υδρογεωτρήσεων. *Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών ορυκτών πόρων.*

Κελεσίδης Β.Χ., 2012. Τεχνολογίες Γεωτρήσεων Υδρογονανθράκων: Στάθμη Τεχνικής Προκλήσεις και Προοπτικές, *Διημερίδα ΤΕΕ, Έρευνα και Εκμετάλλευση Υδρογονανθράκων..*

Λουπασάκης, Κ., Έτος 2013-2014. Σημειώσεις Διαλέξεων Μαθήματος Τεχνική Γεωλογία II *Ακαδ., Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. .*

- Μιχαηλίδης Α., 2009. (Phase 1) The aqueducts and the water wisdom of the ancient town of Larnaca, Cyprus, with support from the UNESCO Participation Programm and MIO-ESCEDE EU Core funding, Text editors Alampei I., Roniotes A., Roniotes C. (MIO-ECSDE).
- Μίχας Σ., Δερματάς Δ., Ευστρατιάδης Α., 2015-2016. Εισαγωγή Φράγματα- Υδραυλικές κατασκευές. *Διάλεξη 1^η, 9^ο εξάμηνο, Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο*
- Μόδης Κ., Σταματάκη Σ., 2015. Εισαγωγή στη Μεταλλευτική Έρευνα *Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγράμματα και Βοήθηματα ISBN: 978-960-603-291-2.*
- Μπουλταδάκης Α., 2015. Διαστασιολόγηση, παραμετρική επιλογή εξοπλισμού αντλητικού συγκροτήματος για άρδευση και παρουσίαση 4 γεωτρήσεων του δήμου Πλατανιά Χανίων, *Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Μηχανολογίας Α.Τ.Ε.Ι Κρήτης*
- Ομπετσάνοφ Ι., Κουμαντάκης Ι., Σταματάκη Σ., 2004. Καρστικές πηγές στην Ελλάδα «Αποτύπωση και αξιολόγηση με τη χρήση γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (G.I.S.)»
- Πιτατζή Σ., Μπαραμάτη Ε., 2010. Το φράγμα του Θησαυρού : Ανάλυση φυσικού και τεχνητού τοπίου, Τυπολογία και διαμόρφωση. *ΕΙ Καβάλας, Τμήμα Αρχιτεκτονικής Τοπίου.*
- Πορφυράκης Μ., 2016. Πτυχιακή Εργασία Σχεδιομελέτη επένδυσης σε βαθιά κεκλιμένη γεώτρηση παραγωγής υδρογονανθράκων. *Πτυχιακή Εργασία, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ*
- Σταματάκη Σ., 2006. Δειγματοληπτικές Γεωτρήσεις εφαρμογή στη Μεταλλευτική Έρευνα, *υλικό από τις διαλέξεις «Μεταλλευτική Έρευνα» Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών*
- Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων Ειδική Γραμματεία Γ' Κ.Π.Σ 2006. Τα φράγματα και οι Λιμνοδεξαμενές του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων Β' Έκδοση, *Νέα Έργα*

Φιλίντας Αγ. Θ., Πολύζος Σερ. Θ. 2008. Φράγματα, λειτουργίες οικοσυστήματος και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. *1^ο Πανελλήνιο συνέδριο Μεγάλων Φραγμάτων*

Φράγκου Α. Ι., 2015. Μελέτη λιμνοδεξαμενης στην περιοχή Τιταρήσιου Θεσσαλίας. *Μεταπτυχιακή Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική σχολή, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών*

Φυτίκας Μ., 1998. Τεχνική Γεωτρήσεων. *Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας*

Χρησταντώνη Μ., 2008. Διαχείριση υδατικών πόρων στο πλαίσιο της ευρωπαϊκής οδηγίας 2000/60 η περίπτωση της υδρολογικής λεκάνης του Ραχιάνη. *Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή μηχανικών μεταλλείων μεταλλουργών.*

Ξένη βιβλιογραφία

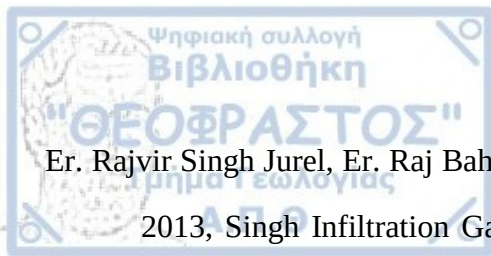
Bo Olofsson, 2011-2014. Water resources management using subsurface dams *KTH Royal Institute of Technology in Stockholm*

Carollo, 2016. Subsurface Desalination Intake Feasibility Study, *City of Santa Barbara Technical Memorandum no. 3 "Basics of Design and Initial Screening"*

Conel Ofwona, Oct. 29- Nov. 19, 2010. Introduction to geophysical well logging and flow testing, Geothermal Development Company Ltd., presented as short course V on exploration for geothermal Resources, orgabized by UNU-GTP, GDC and KenGen, at Lake Bogoria and Lake Naivasha, Kenya, Oct. 29- Nov. 19,

Middle East Institute, 2014. Harvesting Water and Harnessing Cooperation: Qanat Systems in the Middle East and Asia

Cun'an Tang, Lianchong Li, Nuwen Xu, Ke Ma, 2015. "Microseismic monitoring and numerical simulation on the stability of high-steep rock slopes on hydropower engineering. *Journal of rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 7 : 493- 508



Er. Rajvir Singh Jurel, Er. Raj Bahadur Singh, Dr. Sunit Kumar Jurel, Dr. Raghuwar D., Jan-Feb

2013, Singh Infiltration Galleries:-A solution To drinking water supply for urban areas near rivers. *Journal of Mechanical and Civil Enginrrting (IOSR-JMCE)* e-ISSN: 2278-1684 volume 5 Issue 3

Fekri Hassan, 2011. Water history for our times IHP Essays on water history. *Volume 2 International hydrological Programme, United Nations Educational Scientific and Cultural Organization*

Josep De Trincheria, Sebastiao Famba, Desalegn Dawit, Walter Leal Filho, 2017. Best Practices On The Use Of Rainwater For Off-Season Small-Scale Irrigation, *published by Hamburg University of Applied Sciences, Hamburg, Germany. Financed by the ACP- EU Cooperation Programme in Science and Technology (ACP-S& T II). A programme implemented by the ACP Group of States, with the financial assistance of the European Union.*

Pennsylvania Stormwater 2006. Best Management Practices Manual Chapter 6

Peng lin, Jie Shi, Wei-yuan Zhou, Ren-kun Wang, 2018. 3D geomechanical model tests on asymmetric reinforcement and overall stability relating to the Jinping I super-high arch dam. *International journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 102: 28-41,0

Shi-yong Wu, Wei Cao, Jiang Zheng, 2016. Analysis of working behavior of Jinping-I Arch Dam during initial impoundment. *Water Science and Engineering* 9(3): 240-248, Yalong River Hydropower Development Company, Ltd, Chengdu 610051, China

UNHCR The UN Refugee, 1992. Agency water manual for refugee situations. *Program and Technical Support Section*

Διαδικτυακές πηγές

Nabataean travel & Trade, Nabatae.net Copyright 2002 Canbooks <http://nabataea.net/marib.html>

(ανακτήθηκε την 30-10-2018)

The Constructor Civil Engineering Home, Different Types of Buttress Dams- Their Functions and Applications [https://theconstructor.org/water-resources/types-buttress-dams-functions-](https://theconstructor.org/water-resources/types-buttress-dams-functions-applications/17359/)

[applications/17359/](https://theconstructor.org/water-resources/types-buttress-dams-functions-applications/17359/) (ανακτήθηκε την 25-9-2018)

Bored and drilled wells in Piedmont North Carolina
<http://www.alexanderhealth.org/docs/enviroHealth/WellConstructionExamples.pdf>

(ανακτήθηκε την 20-10-2018)

International Association of Certified Home Inspectors, 2009,
<https://www.nachi.org/gallery/?level=picture&id=1090> (ανακτήθηκε την 20-9-2018)

Soil Management, Top 5 Methods Used in Soil Exploration, Soil Engineering, Trishna B.
<http://www.soilmanagementindia.com/soil-exploration/top-5-methods-used-in-soil-exploration-soil-engineering/13877/> (ανακτήθηκε την 15-10-2018)

Department of Civil Engineering nit Rourkela, Subsurface Explotation And Dewatering Unit-1,
http://www.navodayaengg.in/wp-content/uploads/2015/12/U1_L2-DIFFERENT-TYPES-OF-BORINGS.pdf (ανακτήθηκε την 10-10-2018)

Susdrain, Component: Infiltration Trenches 2018, https://www.susdrain.org/delivering-suds/using-suds/suds-components/infiltration/infiltration_trench.html (ανακτήθηκε την 24-9-2018)

Omni Compressed Air LTD, Featuring the most advaced N2 membrane technology available, Underbalanced Drilling, 2014, <http://www.omnicompressedair.com/unbalanced-drilling> (ανακτήθηκε την 20-10-2018)

Massenza Drilling Rings, Compressed Air Drilling, <http://www.massenzarigs.com/compressed-air-drilling/> (ανακτήθηκε την 20-1-2018)

Μεταλλουργία Μανδράς A.B.E.E., <https://metalmandras.com/proionta/anoxeidwtoi-swlines-geotrisewn/> (ανακτήθηκε την 27-10-2018)



Πιανοντας Co. Προϊόντων βιομηχανίας υλικού Hengyuan Κομητειών Anping,ΕΠΕ., 2018,

<http://greek.johnsonwirescreen.com/sale-10423198-6-8-10-12-14-pipe-base-screen-water-well-drill-pipe-for-filters.html> (ανακτήθηκε την 27-10-2018)

Archaeology news network , Ancient Well Unearthed in Northern Tel Aviv, 2014,

<https://archaeologynewsnetwork.blogspot.com/2014/02/ancient-well-unearthed-in-northern-tel.html#myF8K2pi2WLryK3E.97> (ανακτήθηκε την 22-10-2018)

Μηχανή του χρόνου, 2018, <http://www.mixanitouxronou.gr/pos-i-limni-tou-marathonaxedipsase-tin-athina-ke-exafanise-tous-neroulades-to-entiposiako-toxoto-fragma-kataskevastike-apo-penteliko-marmaro-ke-se-afto-doulepsan-2-000-technites-pou-dimiourgisan-i/> (ανακτήθηκε την 19-10-2018)

ΥΔΡΕΤΜΕ Ε.Ε., <http://hydretme.gr/projects.html> (ανακτήθηκε την 19-10-2018)

Grande Dixence, 2017, <http://www.grande-dixence.ch/en> (ανακτήθηκε την 05-10-2018)

Grande Dixence, 2017 <http://www.grande-dixence.ch/docs/default-source/documentation/grande-dixence/Grande-Dixence-A-legend-in-the-heart-of-the-Alps.pdf?sfvrsn=8> (ανακτήθηκε την 05-10-2018)

Jinping- I Dam, Wikipedia, 2018, <https://www.revolvy.com/page/Jinping%252DI-Dam> (ανακτήθηκε την 08-10-2018)

Powerchina, The Jinping-I Double Curvature Arch Dam sets new world record, 2016, http://en.powerchina.cn/2016-12/28/content_27870606.htm (ανακτήθηκε την 08-10-2018)

China Gezhouba Group CO., LTD, Jinping Hydropower Station constructed partly by CGGC goes into full production, 2014, http://www.chinadaily.com.cn/m/gezhouba/2014-12/05/content_21203524.htm (ανακτήθηκε την 08-10-2018)

Διαδραστικά σχολικά βιβλία, Γεωλογία (Α Γυμνασίου), 2007, <http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGYM-A102/148/1058,3812/> (ανακτήθηκε την 28-10-2018)



Γεωργακόπουλος Α., Σύγχρονες Εξελίξεις στις Θαλάσσιες Κατασκευές. Τεχνική Γεωτρήσεων, Επιχειρησιακό πρόγραμμα Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση, Πρόγραμμα Δια Βίου μάθησης

ΑΕΙ για την Επικαιροποίηση Γνώσεων αποφοίτων ΑΕΙ

http://diaviou.auth.gr/sites/default/files/pegatraining/3.2%20Technikh%20Gewtrhsewn_Georgakopoulos_0.pdf?fbclid=IwAR3hHl7CHWURKW6w6bHyuS5V62X-EmLyXvr3Lox1Pi0GiYUIV09Y75tBhs (ανακτήθηκε την 25-9-2018)

Διαμαντής Ι., Πλιάκας Φ.-Κ. Γεωθερμική ενέργεια. Έρευνα- Αξιοποίηση. Παρουσιάσεις από το Μεταπτυχιακό τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου

<https://eclass.duth.gr/modules/document/?course=TMB266> (ανακτήθηκε την 24-10-2018)

Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Καστοριάς, Το φράγμα και η τεχνητή λίμνη του Μαραθώνα ως τμήμα του υδρογραφικού δικτύου της πρωτεύουσας. <http://kpe-kastor.kas.sch.gr/limnology/schools/text%20gym%20ag%20stefanou.pdf> (ανακτήθηκε την 14-10-2018)

Μαρίνος Β., Γεωλογικές Μελέτες Τεχνικών Έργων 8-9^ο Μάθημα «Φράγματα», Τύπος φραγμάτων, επιλογή θέσης φράγματος στεγανότητα φραγμάτων, άλλα έργα αξιοποίησης επιφανειακών υδάτων, «κάποια» περιβαλλοντικά θέματα φραγμάτων. Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας. <http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg881e/assets/geologikes-meletes-8o-9o-mathima-site.pdf> (ανακτήθηκε την 09-10-2018)

Σαμπατακάκης Ν., Δεπούντης Ν., Φράγματα : Ταξινόμηση-κατασκευαστικές απαιτήσεις. Σχολή Θετικών Επιστημών Τμήμα Γεωλογίας Πανεπιστήμιο Πατρών

https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/GEO349/%CE%A5%CE%9B%CE%99%CE%9A%CE%9F%20%CE%A0%CE%91%CE%A1%CE%91%CE%94%CE%9F%CE%A3%CE%97%CE%A3%8_%CE%A6%CE%A1%CE%91%CE%93%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%91%20-%20%CE%A4%CE%91%CE%9E%CE%99%CE%9D%CE%9F%CE%9C%CE%97%CE%A3%CE%97.pdf (ανακτήθηκε την 09-10-2018)



Χρηστάρας Β., Μακεδών Θ., Βασαλάκης Αν., Αδαμαντοφόρα κοπτικά άκρα.

http://www.geo.auth.gr/883/diamond_bits.htm (ανακτήθηκε την 20-09-2018)
