

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

**ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΒΑΛΣΑΜΙΩΤΗ (ΧΑΝΙΑ) ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ
ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΟΥΡΑΝΙΑ ΣΤΙΒΑΚΤΑΚΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: Δρ. ΜΩΥΣΙΔΗ ΜΑΡΓΑΡΙΤΑ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Δρ. ΜΑΚΡΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: Δρ. ΚΟΥΛΗ ΜΑΡΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: Δρ. ΜΩΥΣΙΔΗ ΜΑΡΓΑΡΙΤΑ

ΧΑΝΙΑ 2019

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οφείλω να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στην κ. Μωυσίδα Μαργαρίτα για την επίβλεψη αυτής της διπλωματικής εργασίας αλλά και για την σημαντική βοήθεια της ως προς την εκπόνηση της. Παρά τις αυξημένες υποχρεώσεις της υπήρξε πρόθυμη να μου προσφέρει τις γνώσεις και την εμπειρία της. Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον Διευθυντή του εργαστηρίου Γεωφυσικής και Σεισμολογίας HSNC καθηγητή κ. Βαλλιανάτο Φίλιππο που παραχώρησε τις μετρήσεις μικροθορύβου στο φράγμα Βαλσαμιώτη. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν απο τον Ιούνιο εως τον Νοέμβριο του 2017 απο τον καθηγητή κ. Βαλλιανάτο Φίλιππο, την Δρ. Μωυσίδα Μαργαρίτα και την σύμπραξη των συνεργατών του Εργαστηρίου στο πλαίσιο των δράσεων της Εδρας UNESCO "Solid Earth Physics and Geohazards Risk Reduction. Στην συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και την αδερφή μου των οποίων η υποστήριξη και η πίστη στις δυνατότητες μου αποτέλεσε αρωγό σε όλους τους στόχους μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η σεισμική απόκριση του φράγματος Βαλαμιώτη με την χρήση εδαφικού θορύβου. Οι καταγραφές εδαφικού θορύβου έγιναν στην στέψη καθώς και στην βάση θεμελίωσης στο Βόρειο και Νότιο αντέρεισμα απο τον Ιούνιο έως τον Νοέμβριο του 2017. Το μέγιστο ύψος του νερού στο φράγμα καταγράφηκε στα 190 μέτρα (απο την επιφάνεια της θάλασσας) τον Ιούνιο του 2007, ενώ τον Νοέμβριο του 2017 το ύψος του νερού στο φράγμα έφτανε τα 167 μέτρα (απο την επιφάνεια της θάλασσας). Οι φασματικοί λόγοι των οριζόντιων προς την κατακόρυφη συνιστώσα του μικροθορύβου έδειξαν συχνότητες διέγερσης στις χαμηλές, μέσες και υψηλές συχνότητες. Οι φασματικοί λόγοι δείχνουν οτι το ύψος του νερού ενδέχεται να επηρεάζει τα δυναμικά χαρακτηριστικά του φράγματος. Φαινόμενα συντονισμού κυρίως κατά την διάρκεια ισχυρού σεισμικού γεγονότος σε κοντινή απόσταση απο την θέση θεμελίωσης του φράγματος δεν μπορούν να αποκλειστούν.

ABSTRACT

The purpose of this study is the seismic response estimation of Valamiotis Dam using ambient noise. The dataset of ambient noise was acquired from June till November 2017 and the measurements were recorded along the crown and at the base foundation of the dam. The highest water level (190 m from sea level) was recorded in July 2017, while in November the water level reached 167m (from sea level). The horizontal to vertical spectral ratios indicated amplified peaks at low, medium and high frequencies. Moreover, it seems that the water level is highly prone to affect the dynamic characteristics of the dam. Resonance phenomena could not be excluded.

Περιεχόμενα :

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγικά στοιχεία για τα φράγματα	5
1) Είδη ταξινόμησης φραγμάτων	5
1.1.1 Ανάλογα με τον σκοπό	5
1.1.2 Ανάλογα με την χρήση	6
1.1.3 Ανάλογα με την γεωμετρία και τα υλικά κατασκευής	6
1.2.1 Συνοδά έργα φραγμάτων	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Τα φράγματα στο Ελληνικό χώρο	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
3.1.1 Ο ρόλος της γεωλογίας και τεκτονικής στην κατασκευή φραγμάτων– Διεθνής εμπειρία	18
3.1.2 Αστοχίες σε φράγματα με βάση τα γεωλογικά και τεκτονικά κριτήρια σχεδιασμού	21
3.1.3 Φράγματα και ασκούμενες δυνάμεις	24
3.1.4 Σεισμική επικινδυνότητα στα φράγματα	25
3.1.5 Ευστάθεια φραγμάτων	26
3.1.6 Ρήγματα και η σημασία τους στο σχεδιασμό φραγμάτων	32
3.1.7 Γεωλογικά – Γεωτεχνικά κριτήρια σχεδιασμού	35
3.1.8 Γεωλογικές – τεχνικογεωλογικές έρευνες και προβλήματα	36
3.2.1 Τύποι πετρωμάτων και φράγματα	37
3.2.2 Μεταμορφωμένα πετρώματα	39
3.2.3 Ιζηματογενή πετρώματα	40
3.2.4 Εδαφικοί σχηματισμοί	43
3.3.1 Γεωλογικές συνθήκες και διάνοιξη	44
3.3.2 Επίδραση της στρώσης στη διατομή της σήραγγας	46
3.3.3 Επίδραση προσανατολισμού ασυνεχειών	48
3.3.4 Απόκρημνα πρανή	49
3.3.5 Υλικά αποσάθρωσης	50
3.3.6 Επίδραση σεισμών	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:	
4.1 Σεισμικά Κύματα	52
4.2 Ενόργανη παρακολούθηση φραγμάτων.	53
4.3 Σεισμική εδαφική απόκριση απόκριση	54
4.4 Μικροθόρυβος-Μεθοδολογία	57
4.5 Μέθοδος HVSR	57

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:

5.1	Θέση-Μορφολογία Βαλσαμιώτη	60
5.2	Τοπογραφικά-Τεχνολογικά στοιχεία	61
5.3	Γεωλογική και τεκτονική δομή Κρήτης και πιο συγκεκριμένα του φράγματος Βαλσαμιώτη	62
5.4	Διακλάσεις και ρήγματα φράγματος	63
5.5	Γεωτεχνικές έρευνες υπαίθρου	63
5.6	Εργαστηριακές δοκιμές	64
5.7	Βάθος εκσκαφών	64
5.8	Γεωτρήσεις φράγματος	64
5.9	Τελικά αποτελέσματα	64
5.10	Σεισμικές διασκοπήσεις	65
5.11	Σεισμικότητα	66
5.12	Κλίσεις πρανών εδάφους	67
5.13	Όργανα παρακολούθησης και ελέγχου	68

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1	Μετρήσεις Μικροθορύβου στο φράγμα Βαλσαμιώτη	71
6.2	Αποτελέσματα	72
6.3	Σύνοψη Αποτελεσμάτων	102

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Συμπεράσματα	106
--------------	-----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	108
--------------	-----

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	111
-----------	-----

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγικά στοιχεία για τα φράγματα:

Τα φράγματα κατατάσσονται στις κατασκευές Υδραυλικών Τεχνικών Έργων, σχεδιάζονται και υλοποιούνται σε κοίτες χειμάρρων και ποταμών. Η διάταξη τους συνήθως είναι κάθετη προς τη διεύθυνση ροής και έχουν σκοπό τη διακοπή της ροής του νερού και τη συγκέντρωση του σε έναν ταμιευτήρα (ή λεκάνη κατάκλισης), ο οποίος βρίσκεται στα ανάντη του φράγματος, για ελεγχόμενη χρήση. Αφενός, σήμερα αποτελούν σημαντικά τεχνικά έργα λόγω της ποικιλότροπης αξιοποίησης τους σε διάφορες χρήσεις (παραγωγή ενέργειας, ύδρευση, άρδευση, βιομηχανική χρήση και ανάσχεση πλημμυρών), αφετέρου όμως προκαλούν ευρύτερες παρεμβάσεις στο γεωλογικό περιβάλλον περισσότερο από κάθε άλλο τεχνικό έργο. (ΤΣΙΦΗ 2014; ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007).

1. Είδη-Ταξινόμηση φραγμάτων

Γενικά τα φράγματα ταξινομούνται σύμφωνα με το σκοπό τη χρήση τους, τη γεωμετρία και τα υλικά κατασκευής τους. Το μέγεθος και ο τύπος ενός φράγματος εξαρτώνται από τις γεωλογικές και τοπογραφικές συνθήκες της περιοχής που πρόκειται να κατασκευαστεί από τη δυνατότητα διάθεσης των απαραίτητων σε κάθε περίπτωση υλικών κατασκευής και ποσοτήτων νερού που είναι αναγκαία αλλά και διαθέσιμα. Καθώς εξελίσσεται η τεχνολογία, εξελίσσεται και ο τρόπος δημιουργίας επιφανειακών ταμιευτήρων με την βοήθεια των φραγμάτων. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα είδη των φραγμάτων.(ΤΣΙΦΗ 2014), (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007):

1.1.1 Ανάλογα με τον σκοπό

- Συγκέντρωσης νερού: Δημιουργία λεκανών κατάκλισης (τεχνητών λιμνών) με τη συγκέντρωση του νερού σε επιφανειακούς ταμιευτήρες.
- Εκτροπής: Γίνεται εκτροπή της ροής του νερού είτε για παροχέτευση σε συγκεκριμένο χώρο ή για τη διεξαγωγή εργασιών στη ξηρά και διακρίνονται σε:
 - A) Μόνιμα.
 - B) Προσωρινά.
- Ανάσχεσης: Επιβράδυνση της ταχύτητας ροής με σκοπό τον τεχνητό εμπλουτισμό των υδροφορέων αλλά και την αποφυγή ή τη μείωση της διάβρωσης εξαιτίας χειμαρρικών φαινομένων.

- Ρύθμισης: Ρυθμιστικά για την ελεγχόμενη παροχέτευση νερού, τον έλεγχο και την πρόληψη πλημμύρων.

1.1.2 Ανάλογα με την χρήση

- Υδροηλεκτρικά (Ενεργειακά)
- Αρδευτικά (Άρδευση)
- Υδρευτικά (Υδρευση)
- Πολλαπλής σκοπιμότητας (Υδροηλεκτρικά και αρδευτικά): Συνδυασμός χρήσεων που έχει ως πλεονέκτημα την ορθολογική διαχείριση του νερού αλλά και την κατανομή των δαπανών σε περισσότερους καταναλωτές και χρήστες νερού.

1.1.3 Ανάλογα με την γεωμετρία και τα υλικά κατασκευής

Σύμφωνα με τη ταξινόμηση από τον Λιακούρη (1995), έχουμε τις εξής κατηγορίες :

a) Άκαμπτα φράγματα

▪ Φράγματα Βαρύτητας:

Τα φράγματα βαρύτητας είναι συμπαγής, μονολιθικές κατασκευές κατασκευάζονται από άοπλο σκυρόδεμα ή και από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα. Συνήθως είναι ευθεία στο σχεδιασμό αν και σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να είναι ελαφρά καμπύλη και η διατομή του να είναι περίπου τραπεζοειδής (BELL, 1993). Η λειτουργία ενός τέτοιου φράγματος βασίζεται στο βάρος του με το οποίο και αντισταθμίζει τις υδροστατικές πιέσεις, την άνωση, τις σεισμικές φορτίσεις και τις δυνάμεις ανατροπής. Επιπλέον, με την κατάλληλη επιλογή της διατομής και τον έλεγχο των συνθηκών θεμελίωσης, αποφεύγεται ο κίνδυνος διαφορικών καθιζήσεων.

Τα φράγματα βαρύτητας μπορούν να αντέξουν μόνο τις μικρότερες διαφορικές κινήσεις και χρειάζονται μεγάλες ποσότητες τσιμέντου, δεδομένου ότι η αντίσταση στη μετατόπιση και στην απόκριση σε στατικές αλλά και σε δυναμικές φορτίσεις επιτυγχάνονται από το ίδιο το βάρος. Ωστόσο, τέτοιου είδους φράγματα έχουν κατασκευασθεί σε έντονο διερρηγμένο και διαφορετικής σύστασης πέτρωμα αλλά και σε ποτάμια αποθέσεις, όπου η θεμελίωση απαιτεί υλοποίηση εξειδικευμένων μεθοδολογιών βελτίωσης πριν κατασκευασθεί. Το στένεμα μιας κοιλάδας αποτελεί σε μερικές περιπτώσεις μια κατάλληλη θέση όπου το υγιές

πέτρωμα βρίσκεται συνήθως κοντά στην επιφάνεια τόσο στην θεμελίωση όσο και στα ακρόβαθρα. Η διαθεσιμότητα, σε λογική απόσταση επαρκών δανειοθαλάμων, με κατάλληλα αδρανή για σκυρόδεμα. Η εξέλιξη της τεχνικής του κυλινδρούμενου σκυροδέματος επέτρεψαν την ανανέωση της μορφής των φραγμάτων βαρύτητας.

▪ Τοξωτά φράγματα:

Σε σύγκριση με τα φράγματα βαρύτητας επιτυγχάνεται οικονομία στον όγκο του σκυροδέματος έως και 70%, ενώ για μεγάλο πάχος λειτουργούν και ως φράγματα βαρύτητας. Τα τοξωτά φράγματα κατασκευάζονται συνήθως από άοπλο σκυρόδεμα υψηλής ποιότητας και σε μερικές περιπτώσεις από οπλισμένο, είναι δε καμπύλα στον σχεδιασμό με την κυρτή τους επιφάνεια προς τα ανάντη. Επιπλέον, εξαπλώνουν τις υδροστατικές πιέσεις στα αντερείσματα.

Σύμφωνα με τον BELL (1993) είναι εφικτό να αντισταθούν σε μεγάλες παραμορφώσεις των σχηματισμών θεμελίωσης, εφόσον αυτές είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες. Από το νερό του ταμιευτήρα μετακινούν το μεγαλύτερο μέρος της οριζόντιας ώθησης στα ακρόβαθρα με την λειτουργία του τόξου και σε συνδυασμό με την περιορισμένη διατομή τους, σημαίνει ότι θεσμοθετούν θλιπτικά φορτία σε στενές ζώνες στα ακρόβαθρα και στη βάση. Συνεπώς, η αντοχή της βραχομάζας στα ακρόβαθρα και στην κατάντη περιοχή του φράγματος πρέπει να είναι αναμφίβολη και το μέτρο ελαστικότητας αρκετά υψηλό για να εξασφαλίσει, ότι η παραμόρφωση της, κάτω από την ώθηση του τόξου, δεν είναι αρκετά μεγάλη ώστε να παραμορφωθεί υπερβολικά το τόξο.

Κατάλληλες θέσεις για τοξωτά φράγματα αποτελούν τα στενά φαράγγια, όπου τα πλευρικά τοιχώματα είναι ικανά να δεχθούν την ώθηση που δημιουργείται από την λειτουργία του τόξου. Το τόξο πρέπει να στερεώνεται καλά στα ακρόβαθρα.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες τοξωτών φραγμάτων:

- Σταθερής καμπυλότητας (Constant-radius)
- Μεταβλητής καμπυλότητας (μείωση με το βάθος από τη στέψη) (variable-radius)

«Δομοί» καλούνται τα φράγματα διπλής καμπυλότητας δηλαδή κατά την οριζόντια και κατακόρυφη. Τέλος, υπάρχουν δομοί πολλαπλής καμπυλότητας ή φράγματα, τα οποία κατασκευάζονται με δύο ή περισσότερα διαδοχικά τόξα ή δομούς.

▪ Αντηριδωτά φράγματα:

Η κατασκευή αυτών των φραγμάτων συνιστάται λόγω οικονομίας του σκυροδέματος σε σχέση με την κατασκευή φράγματος βαρύτητας, τοξωτού ή χωμάτινου. Τα αντηριδωτά φράγματα εδραιώνουν μια πλάκα με οπλισμένο σκυρόδεμα μεταβλητού πλάτους που κλίνει ανάντη και η οποία συγκρατείται από αριθμό αντηρίδων με άξονες κάθετα προς την πλάκα. Οι αντηρίδες συγκρατούν την πλάκα και μεταφέρουν τις δυναμικές και τις στατικές ωθήσεις στην θεμελίωση. Οι αντηρίδες θα πρέπει να σχεδιάζονται με σκοπό να μην επιτρέπουν την ολίσθηση κατά μήκος στην επιφάνεια ολίσθησης. Ο όγκος του σκυροδέματος μειώνεται σημαντικά έως και 1/6 ή 1/10 του αντίστοιχου όγκου του φράγματος βαρύτητας με την κατασκευή αντηρίδων που αποτελούν τον σημαντικό συντελεστή στερεότητας και αντοχής του φράγματος.

Υδροστατικές πιέσεις μεταφέρονται κυρίως στην επιφάνεια θεμελίωσης και λιγότερο στις αντηρίδες, τα αντηριδωτά φράγματα επιτυγχάνουν οικονομία στον όγκο του αναγκαίου σκυροδέματος έως 90% σε σχέση με τα φράγματα βαρύτητας. Επιπλέον, αποτελούν εναλλακτική λύση σε σύγκριση με άλλα τσιμέντινα φράγματα, σε σημεία όπου τα αδρανή του σκυροδέματος είναι σε περιορισμένες ποσότητες και το πέτρωμα θεμελίωσης ικανοποιητικό, τα οποία και διαδοχικά απαιτούν πολύ περιορισμένες εκσκαφές στη θεμελίωση. Για να αποτραπεί η ολίσθηση κατά μήκος της επιφάνειας θεμελίωσης θα πρέπει να γίνει σωστός σχεδιασμός αντηρίδων.

▪ Μικτά φράγματα:

- Βαρύτητας-τοξωτά
- τοξωτά-αντηριδωτά κ.λπ.

b) Εύκαμπτα φράγματα

Τα εύκαμπτα φράγματα αποτελούνται από γαιώδη υλικά όπως είναι άργιλος, άμμος, κροκάλες και ευμεγέθη βραχώδη τεμάχια. Σύμφωνα με τον

Λιακούρης(1995), τα φράγματα αυτά μπορούν να δεχτούν παραμορφώσεις χωρίς θραύση, οι παραμορφώσεις αυτές μπορεί να προέρχονται είτε από διαφορικές καθιζήσεις είτε σεισμικές ωθήσεις.

▪ Χωμάτινα φράγματα:

Τα χωμάτινα φράγματα έχουν κατασκευαστεί σε ποικιλότροπους σχηματισμούς θεμελίωσης όπως χαλαρά, μη στερεοποιημένα υλικά ποτάμιων αποθέσεων έως πολύ σκληρά πετρώματα, διακρίνονται σε :

- Ομογενή χωμάτινα: Αποτελούνται σχεδόν εξολοκλήρου από ομοιόμορφα φυσικά υλικά κατασκευής.
- Ετερογενή χωμάτινα ή και λιθόρριπτα: Αποτελούνται από ζωνώδεις κατασκευές με υλικά διάφορων γεωμηχανικών ιδιοτήτων σε διαφορετικά ποσοστά.

Είναι εύκαμπτες κατασκευές για τις οποίες δεν απαιτείται οι εδαφικοί σχηματισμοί θεμελίωσης να είναι εξαιρετικής ποιότητας (για παράδειγμα αμμοχάλικας, αλλουβιακές αποσβέσεις). Τα χωμάτινα φράγματα είναι κατασκευές που δομούνται από επιχώματα εδαφικών και αδρανών υλικών με αδιαπέρατο πυρήνα ώστε να γίνεται έλεγχος της διήθησης-διαφυγής του νερού. Ο πυρήνας συνήθως αποτελείται από αργιλικά υλικά, σε περιπτώσεις που δεν είναι διαθέσιμες οι απαιτούμενες ποσότητες χρησιμοποιούνται πλάκες σκυροδέματος ή ασφαλτοσκυρόδεμα. Επιπλέον, ο πυρήνας εξαπλώνεται συνήθως με την μορφή όνυχα μέσα στους σχηματισμούς θεμελίωσης, στις περιπτώσεις που η διήθηση κάτω από το φράγμα μπορεί να ελεγχθεί. Σε μερικές περιπτώσεις οι τομές αυτές επεκτείνονται αρκετά βαθιά μέσα στα ακρόβαθρα ως πλευρικοί τάφροι. Στο σχήμα παρουσιάζονται αποθέσεις

▪ Μικτά ή σύνθετα φράγματα:

Η κατασκευή των μικτών φραγμάτων πραγματοποιείται όταν στην κοιλάδα υπάρχουν πετρώματα με διαφορετικές γεωμηχανικές ιδιότητες, επίσης όταν υπάρχει μορφολογική ποικιλία στην τοπογραφία, δηλαδή μεγάλη διαφορά κλίσεων των δύο πρανών όπου θα γίνει η θεμελίωση

▪ Λιθόρριπτα φράγματα:

Είναι φράγματα απλούστερης μορφής σε σύγκριση με τα χωμάτινα φράγματα και δομούνται από υλικά μεγαλύτερης διαμέτρου. Η κατασκευή των λιθόρριπτων φραγμάτων αποτελείται από γαιώδη-εδαφικά υλικά και δεν υλοποιείται σε ζωνώδη μορφή, όμως το σώμα του κατασκευάζεται είτε

από χονδροκλαστικά υλικά ποτάμιας προέλευσης είτε από βραχώδη υλικά που προέρχονται από δανειοθαλάμους της γύρω περιοχής. Τα υλικά αυτά έχουν μέγεθος 50 έως 100 kg και με ειδικά μηχανήματα διαστρώνονται και συμπυκνώνονται σε στρώσεις του 1 και 1,5 m. Επιπλέον, τα λιθόρριπτα φράγματα στο κέντρο του σώματος έχουν αδιαπέρατο πυρήνα που αποτελείται από αργιλικό υλικό και μπορεί να είτε κατακόρυφος είτε κεκλιμένος.

Το αξονοσυμμετρικό φράγμα κυλινδρούμενο Σκληρού επιχώματος διακρίνεται: 1) από την ευκολία της κατασκευής του με την απαλοιφή των δυσμενών παραγόντων των κοινών φραγμάτων βαρύτητας, 2) από το μειωμένο κόστος κατασκευής μιας και δεν απαιτείται δημιουργία αρμών συστολο- διαστολής, οπλισμοί κ.α. Χωρίς την παρουσία των αρμών συστολο-διαστολής η όποια ρωγμάτωση που ίσως αναπτυχθεί αφήνεται ανεξέλεγκτη και θεωρείται ότι οι πιθανές ρωγμές θα αποσβεθούν με την επίδραση του ίδιου του βάρους της κατασκευής χωρίς να αναμένεται να προκαλέσουν προβλήματα ευστάθειας στο φράγμα. (Δημοπούλου 2008)

Το ισχνό κυλινδρούμενο σκυρόδεμα που αποτελεί δομικό υλικό των Α.Σ.Κ.Ε διαθέτει τα χαρακτηριστικά των συνηθισμένων R.C.C. (παρόμοια με του συμβατικού) και συμπεριφέρεται σαν εύκαμπτο φράγμα. Σε ένα τέτοιο έργο είναι δυνατή η θεμελίωση εύκαμπτων θεμελιώσεων χωρίς ικανοποιητική αντοχή για φράγματα βαρύτητας. Ο υπερχειλιστής (συνήθως βαθμωτός) προσαρμόζεται επάνω στο σώμα του φράγματος επιτρέποντας την υπερπήδηση του χωρίς να προκαλεί αστοχίες στα έργα. Ο καλύτερος τρόπος εκμετάλλευσης των χαρακτηριστικών του είναι η διαμόρφωση αξονοσυμμετρικής τραπεζοειδούς διατομής με κλίσεις παρειών της τάξης 0,7:1 (ο:κ) με στόχο την ομοιόμορφη κατανομή των τάσεων και την ανάπτυξη διατμητικής αντοχής (Δημοπούλου 2008). Το επίχωμα που προκύπτει δεν αποτελεί στεγανή κατασκευή. Η περατότητα του αντιμετωπίζεται με εξωτερική στεγάνωση, επιπλέον ανεκτές είναι οι περιορισμένες διαρροές οι οποίες αντιμετωπίζονται με αποστραγγιστικό σύστημα. Στην ορθή λειτουργία των αποστραγγίσεων καθοριστικό ρόλο έχουν η ποιότητα του νερού και των αδρανών. Κύριοι παράγοντες καθορισμού της ποιότητας του δομικού υλικού και των αντοχών του αποτελούν η ποιότητα και η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών. Χαρακτηριστικό της μικρής αντοχής που απαιτείται από το υλικό είναι η χρησιμοποίηση υλικών της περιοχής του έργου. (Δημοπούλου 2008)

Η φιλοσοφία της βέλτιστης εκμετάλλευσης των διατιθέμενων ανά περιοχή και χρονική στιγμή είναι εκ φύσεως μια ορθολογική αντιμετώπιση της κατασκευής οποιουδήποτε έργου. Στην Ελλάδα η φιλοσοφία αυτή εφαρμόζεται με συνεχή διερεύνηση των ιδιοτήτων, με σκοπό την βελτιστοποίηση των μεθόδων σχεδιασμού και κατασκευής των έργων.

1.2.1 Συνοδά έργα φραγμάτων

Ανεξάρτητα του είδους του φράγματος κατασκευάζονται παράλληλα με το σώμα και κάποια συνοδά έργα για τα οποία απαιτείται λεπτομερείς προκαταρκτικές έρευνες όσον αφορά την τοπογραφία και την υπεδάφια δομή (Wahlstrom 1974) για την ορθή λειτουργία και την εξασφάλιση της ασφάλειας του. Σύμφωνα με τον Λιακούρη (1995), τα συνοδά αυτά έργα είναι (ΤΣΙΦΗ 2014),(ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007) :

- Εκχειλιστής ή Υπερχειλιστής (Spillway): η θέση τους και το μέγεθος τους προσδιορίζεται από το είδος του φράγματος και το μέγεθος του, την τοπογραφία της περιοχής αυτής, τη γεωλογία αλλά και από την ιστορική ανασκόπηση της ροής του ποταμού μέσα στο φράγμα. Ο εκχειλιστής διοχετεύει το νερό με ομαλή ροή διαμέσου των θυροφραγμάτων, ενώ ο υπερχειλιστής όταν η στάθμη περάσει πάνω από το ανώτερο επιτρεπόμενο όριο (χωρίς την χρήση θυροφραγμάτων), διοχετεύει το νερό του ταμιευτήρα του ταμιευτήρα στο κατώτερο σημείο του φράγματος.
- Θυροφράγματα (Gates): είναι πόρτες που βρίσκονται στις κορυφές των εκχειλιστών ώστε να ελέγχεται η ροή του νερού.
- Υδροφράγτες (Locks): αποτελούν κινητά φράγματα και χρησιμοποιούνται για την ανύψωση και την μείωση της στάθμης κατά μήκος των καναλιών ή των ποταμών (είναι τύποι θυροφραγμάτων).
- Σήραγγα επίσκεψης (Inspection gallery): βρίσκεται κατά μήκος του άξονα του έργου όπου μέσω αυτής πραγματοποιούνται οι τσιμεντενέσεις, καθώς ανυψώνεται το έργο συμπεριφέρεται σαν σήραγγα αποστράγγισης.
- Πρόφραγμα (Cofferdam): είναι μία προσωρινή μικρή κατασκευή χωμάτινου φράγματος πάνω από το κύριο φράγμα ώστε να συγκεντρώνεται νερό και να ελέγχεται η ροή κατά την διάρκεια υλοποιήσεως του φράγματος μέσω της σήραγγας εκτροπής.
- Σήραγγα εκτροπής (Diversion tunnel): κατασκευάζεται στο ένα από τα δύο πρηνή ώστε να διευκολύνει τις εργασίες με την εκτροπή του νερού που προέρχεται από το ποτάμι προς τα κατάντη. Στην περίπτωση επικείμενων μεγάλων παροχών νερού από ποτάμια, συνδυάζεται η σήραγγα εκτροπής με το πρόφραγμα και συσσωματώνονται με το κυρίως φράγμα.

- Υδροληψία (φρεάτιο και αγωγός προσαρμογής) (Intake-shaft and Headrace tunnel): διαδίδεται το νερό του ταμιευτήρα στα κατάντη του φράγματος για διαφορετικές χρήσεις του νερού.
- Σήραγγες τσιμεντενέσεων (Grouting galleries): συμβάλουν στην λειτουργία των τσιμεντενέσεων σε διαφορετικά ύψη των αντρεισμάτων.
- Σήραγγες αποστράγγισης (Drainage galleries): χρησιμοποιούνται για την αποστράγγιση των αντρεισμάτων (σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ως αποστραγγιστικές και οι σήραγγες των τσιμεντενέσεων).
- Λεκάνη ηρεμίας (Stilling basin): η λεκάνη αυτή τοποθετείται στα κατάντη του φράγματος με στόχο την αποφυγή της διάβρωσης στον πόδα και συμβάλει στην ομαλή εκτροπή του νερού στην κατάντη κοίτη του ποταμού.
- Εκκενωτής πυθμένα (Bottom outlet): είναι μία σήραγγα που βοηθάει στην μείωση της στάθμης του ταμιευτήρα ή και στην ολική εκκένωση του, εξαιτίας της στερεοπαροχής της λεκάνης.
- Υδροηλεκτρικός σταθμός (Hydroelectric power plant): εδραιώνεται στο πόδι του φράγματος ή σε μια απόσταση στα κατάντη και είναι ο σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ταμιευτήρας άντλησης-αποθήκευσης νερού (Pumped-Storage reservoirs): εκεί αποθηκεύεται το αντλούμενο νερό κυρίως της νυχτερινές ώρες το οποίο έχει ήδη χρησιμοποιηθεί από τον υδροηλεκτρικό σταθμό ώστε να παραχθεί ενέργεια σε περίοδο αιχμής ή να γίνει εκτροπή του νερού σε διαφορετικές χρήσεις.

Κεφάλαιο 2

2.1 Τα φράγματα στον ελληνικό χώρο

Τα πρώτα φράγματα που κατασκευάστηκαν στην Ελλάδα ανήκουν στην κατηγορία των φραγμάτων βαρύτητας. Για παράδειγμα το 1931 η κατασκευή του φράγματος (ύψους 63m) στον Μαραθώνα που είχε στόχο την ύδρευση των Αθηνών. Έπειτα την δεκαετία του 50' ξεκίνησε η κατασκευή των μεγάλων φραγμάτων της ΔΕΗ. Τα φράγματα αυτά είναι (Λιακούρης 1994,1995):

- **Φράγμα Άγρα:** είναι χωμάτινο φράγμα, μήκους 630 m και βρίσκεται στην Έδεσσα. Γίνεται χρήση της λίμνης Βεγορίτιδας και του ποταμού Βόδα. Η γεωλογία της περιοχής αποτελείται κυρίως από πετρώματα της ζώνης Αξιού και προς τα δυτικά όρια της πεδιάδας Νησιού από πετρώματα της Πελαγονικής ζώνης. Επιπλέον ο ταμιευτήρας καλύπτεται από λιμναίες τεταρτογενής αποθέσεις.
- **Φράγμα Ασωμάτων:** είναι χωμάτινο φράγμα, περιέχει στο κέντρο αργιλικό πυρήνα και βρίσκεται στον Αχελώο. Όσον αφορά την γεωλογία στην θέση του φράγματος αποτελείται από σχηματισμούς του οφιολιθικού συμπλέγματος της ζώνης Αλμωπίας όμως η βάση του ταμιευτήρα αποτελείται από αμφιβολιτικούς, γνεύσιους και οφιόλιθους. Επιπλέον, έχουν εμφανιστεί βλάβες οι οποίες σχετίζονται με την απουσία της αποστράγγισης στο δεξιό ακρόβαθρο, στην αριστερή πλευρά της κοίτη του ποταμού με την ύπαρξη διαταραγμένης ζώνης και στο αριστερό ακρόβαθρο τη διαρροή νερού.
- **Φράγμα Γλαύκου:** βρίσκεται στην Αχαΐα. Όσον αφορά την γεωλογία της περιοχής αποτελείται από πετρώματα, όπως Κρητιδικό ασβεστόλιθο, πρώτος φλύσχη και ραδιορίτες Ιουρασικούτης, ζώνης της Πίνδου. Αποτελείται από έργα συγκέντρωσης αλλά και μετακίνησης του νερού όπως είναι το φράγμα υδροληψίας, οι διώρυγες και η σήραγγα προσαγωγής, ο θάλαμος δικλείδων αλλά και ο πύργος εκτόνωσης. Επιπλέον αποτελείται και από έργα τα οποία παράγουν ενέργεια όπως είναι ο αγωγός πτώσεως και ο σταθμός.
- **Φράγμα Θησαυρού:** είναι Λιθόρριπτο φράγμα και διαθέτει κεντρικό αδιαπέρατο πυρήνα. Γεωλογικά η περιοχή του φράγματος αποτελείται από κρυσταλλόσχιστώδεις σχηματισμοί της ζώνης Ροδόπης όπως είναι οι γνεύσιοι, οι μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι, οι αμφιβολιτικοί γνεύσιοι και οι γρανιτογνεύσιοι, ο ταμιευτήρας ωστόσο αποτελείται από ίδια πετρώματα αλλά επιπλέον και από φακούς μαρμάρων. Οι τεχνικογεωλογικές βλάβες

που προέκυψαν συσχετιζόταν με σημαντική αστάθεια στο δεξί πρανές και λιγότερη στο αριστερό. Εφάρμοσαν μέτρα αποστράγγισης και αντιστήριξης, τροποποίησαν την λεκάνη αποτόνωσης και μετακίνησαν τον σταθμό παραγωγής. Επιπλέον, έγινε χρήση διαφραγματικών κουρτινών κάτω από την κοίτη βάθους 120m, ενώ παράλληλα έγινε και τοποθέτηση τσιμεντενέσεων τάπητα.

- **Φράγμα Ιλαρίωνα:** αποτελείται από κοίτη με αμμοχάλικα και αδιαπέρατο πυρήνα, το φράγμα αυτό βρίσκεται στον Αλιάκμονα. Η γεωλογία στην θέση του φράγματος αποτελείται από κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, ασβεστόλιθους και φυλλίτες ωστόσο στον ταμιευτήρα συναντάμε την ίδια γεωλογία αλλά και δουνίτες της Πελαγονικής ζώνης και μολασσοί σχηματισμοί Μεσοελληνικής αύλακας όπως μάργες και κροκαλοπαγή. Οι τεχνικογεωλογικές βλάβες σχετίζονται με την αστάθεια των πρανών πλησίον του άξονα του φράγματος αλλά και την διαρροή του νερού από τον ταμιευτήρα εξαιτίας των υδροπερατών γεωλογικών σχηματισμών.
- **Φράγμα Καστρακίου:** είναι χωμάτινο φράγμα και έχει κεντρικό αργιλικό πυρήνα επίσης βρίσκεται στον Αλιάκμονα. Στην θέση του φράγματος έχουμε παρουσία φλύσχη της Ιονίου ζώνης όπως παχυστρωματώδεις ψαμμίτες, ιλυόλιθοι, όσον αφορά την γεωλογία του ταμιευτήρα αποτελείται και αυτή από τους ίδιους σχηματισμούς και επιπλέον ελάχιστους ασβεστόλιθους. Οι τεχνικογεωλογικές βλάβες προέκυψαν από παλιές κατολισθήσεις στα πρανή του ταμιευτήρα.
- **Φράγμα Κρεμαστών:** είναι χωμάτινο φράγμα και διαθέτει αργιλικό πυρήνα, επίσης βρίσκεται στον Αχελώο. Η γεωλογία στη θέση του φράγματος αποτελείται από φλύσχη της ζώνης Γαβρόβου (δηλαδή κροκαλοπαγή, ιλυόλιθοι, ψαμμίτες), ωστόσο στην θέση του ταμιευτήρα συναντάμε φλύσχη Γαβρόβου και ασβεστόλιθους της ζώνης Γαβρόβου οι οποίοι καταλαμβάνουν μικρή έκταση. Το φράγμα εμφάνισε βλάβες η κυριότερη όμως ήταν η διαχείριση των διαρροών του νερού στα αντερείσματα και στην κοίτη όπου οι διαρροές έχουν τη μορφή πηγών μετά το γέμισμα του ταμιευτήρα. Οι διαφυγές νερού γινόταν μέσω των ψευδοκάρστ και των κατώτερων ρηγμάτων κυρίως μέσα από το κροκαλοπαγές, η βλάβη αυτή αποτράπηκε με την εφαρμογή τσιμεντενέσεων και τη δημιουργία σηράγγων. Κατά την διάρκεια θεμελίωσης προέκυψαν και άλλες βλάβες όπως η ανακάλυψη διαβρωσιγενούς ανοίγματος κάτω από το ποτάμι και η αστάθεια των πρανών στις κοντινές περιοχές της λίμνης.
- **Φράγμα Λάδωνα:** είναι ένα φράγμα βαρύτητας. Σχετικά με την γεωλογία στην θέση του φράγματος αλλά και του ταμιευτήρα κυριαρχούν ασβεστόλιθοι Ολώνου –Πίνδου, διακρίνεται όμως και η παρουσία αργιλικών σχιστόλιθων. Στο φράγμα αυτό δημιουργήθηκε διαφραγματική κουρτίνα με

πυκνό δίκτυο 111 γεωτρήσεων όπου έχουν βάθος 16-80 m και συνολικό μήκος 5217m, ακόμη η απορρόφηση του είναι περίπου 500 τόνοι τσιμέντου.

- **Φράγμα Λούρου:** είναι φράγμα βαρύτητας και με χρονολογία κατασκευής το 1954. Όσον αφορά την γεωλογία του στην θέση του φράγματος αποτελείται από Ιουρασικούς ασβεστόλιθους της Ιονίου ζώνης, οι ίδιοι γεωλογικοί σχηματισμοί είναι και στη θέση ταμιευτήρα. Επιπλέον, ο ταμιευτήρας έχει καλυφτεί με φερτά υλικά σε αντίθεση με πριν το 80% από τη στερεοπαχή του ποταμού αλλά και από τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για το δρόμο Άρτα-Ιωάννινα.
- **Φράγμα Μεσοχώρας:** είναι Λιθόρριπτο φράγμα η πάνω πλάκα αποτελείται από σκυρόδεμα και βρίσκεται στον Αχελώο. Όσον αφορά την γεωλογία στη θέση του φράγματος αποτελείται από λεπτό-λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους, αργιλικούς σχιστόλιθους και κερατόλιθους της ζώνης Πίνδου, ωστόσο ο ταμιευτήρας αποτελείται από Ιουρασικούς – Κρητιδικούς ασβεστόλιθους της ζώνης Πίνδου και νεώτερος φλύσχης. Οι βλάβες που προέκυψαν σε αυτό το φράγμα είναι η ευστάθεια του πρανούς που εμφανίζεται στα ανάντη και στην είσοδο της σήραγγας εκτροπής, επιπλέον η εξομάλυνση των παρειών του στενού περάσματος του ποταμού στην επιφάνεια της ζώνης του φράγματος. Ακόμη ένα πρόβλημα αποτελούν οι συνέπειες από ένα μεγάλο σεισμό και τέλος η απόσπαση δύο επιπέδων, ιλυώδους άμμου από αποθέσεις του ποταμού κατάντη του φράγματος.
- **Φράγμα Μετσοβικού:** είναι χωμάτινο φράγμα, με αδιαπέρατο πυρήνα και βρίσκεται στο Άραχθος-παραπ. Μεσοβίτικου. Όσο αφορά την γεωλογία στη θέση του φράγματος αυτή αποτελείται από φλύσχη της Ιονίου ζώνης όπως και ο ταμιευτήρας ωστόσο στην κύρια θέση του φράγματος κυριαρχούν οι ιλύολιθοι.
- **Φράγμα Πλατανόβρυσης:** είναι φράγμα βαρύτητας με κυλινδρικό σκυρόδεμα (R.C.C.) και βρίσκεται στο Νέστο. Η γεωλογία στην θέση του φράγματος αποτελείται από μιγμάτες, γρανιτογενεσίους και από αμφιβολιτικούς γνεύσιους, ωστόσο κρυσταλλόσχιστώδεις σχηματισμοί της ζώνης Ροδόπης (όπως είναι οι γνεύσιοι και οι γρανίτες) παρουσιάζονται στην θέση του ταμιευτήρα. Το φράγμα αυτό δεν παρουσίασε σοβαρές βλάβες.
- **Φράγμα Π. Αώου:** το ΥΗΕ Π. Αώου συνιστάται από το βοηθητικό, το κύριο φράγμα και από πέντε αυχενικά. Το κυρίως φράγμα είναι χωμάτινο φράγμα με κεκλιμένο αργιλικό πυρήνα. Σχετικά με τη γεωλογία στη θέση του φράγματος είναι οφιόλιθοι Πίνδου. Το βοηθητικό φράγμα είναι και αυτό χωμάτινο με αργιλικό πυρήνα. Επιπλέον και τα πέντε αυχενικά φράγματα είναι χωμάτινα, και η γεωλογία στη θέση του ταμιευτήρα αποτελείται από φλύσχη της Πίνδου. Οι βλάβες που προέκυψαν σε αυτό το φράγμα εμφανίστηκαν και στο στάδιο της μελέτης αλλά και της κατασκευής, οι

οποίες συσχετιζόταν με τη γεωλογία των υπόγειων κατασκευών την ευστάθεια των πρανών και της θεμελίωσης.

- **Φράγμα πολύφυτου:** είναι λιθόρριπτο φράγμα, έχει κεκλιμένο πυρήνα και βρίσκεται στον Αλιάκμονα. Σχετικά με τους γεωλογικούς σχηματισμούς στη θέση του φράγματος αποτελείται από αμφιβολιτικούς γνεύσιους, ωστόσο στον ταμιευτήρα εμφανίζονται γνεύσιοι και ιζήματα του Νεογενούς (όπως για παράδειγμα μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι). Για να επιλεχθεί το ιδανικό είδος φράγματος ληφθούν υπόψη οι ακόλουθοι τεχνικογεωλογικοί παράγοντες, η παρουσία κατολίσθησης στο δεξιό αντέρεισμα, η παρουσία ανομοιόμορφης αποσαθρωμένης ζώνης, γιατί θεμελίωση του τσιμέντινου φράγματος ο κίνδυνος κατολισθήσεων με τις βαθιές εκσκαφές, η επιβεβαίωση ενεργών ρηγμάτων νεότερης ηλικίας που διαπιστώθηκαν σεισμικά ενεργά και οι κατευθύνσεις κυρίων ρηγμάτων και ανοιχτών διακλάσεων παράλληλα προς τον ποταμό.
- **Φράγμα Πουρναρίου:** είναι χωμάτινο φράγμα και βρίσκεται στον Άραχθο. Σχετικά με τους γεωλογικούς σχηματισμούς στον ταμιευτήρα και στην θέση του φράγματος είναι από φλύσχη της Ιονίου ζώνης και παρουσιάζονται εναλλαγές παχυστρωματωδών ψαμμιτών και ιλυόλιθων. Οι τεχνικογεωλογικές βλάβες που παρουσιάστηκαν είναι στην φυσική σταθεροποίηση του πρανού στην υδροληψία και στον εκχειλιστή.
- **Φράγμα Στράτου:** είναι χωμάτινο φράγμα και βρίσκεται στον Αχελώο σχετικά με τη γεωλογία στην θέση του φράγματος εμφανίζονται ποταμιές από θέσης και φλύσχης Ιονίου ζώνης (όπως ψαμμίτες και ιλυόλιθοι) στα αντερείσματα. Στη θέση του ταμιευτήρα παρουσιάζονται οι ίδιοι γεωλογικοί σχηματισμοί. Οι βλάβες σε αυτό το φράγμα ήταν κυρίως τεχνικές όπως για παράδειγμα τα έργα εξόδου και διαφυγής των υδάτων από τον υπόγειο σταθμό.
- **Φράγμα Συκιάς:** είναι χωμάτινο φράγμα και βρίσκεται στον Αχελώο. Σχετικά με τους γεωλογικούς σχηματισμούς στην θέση του φράγματος παρατηρούμε εναλλαγές Κρητιδικών ασβεστόλιθων και αργιλικών σχιστόλιθων της ζώνης Πίνδου, ενώ στην θέση του ταμιευτήρα παρατηρούνται εναλλαγές ασβεστόλιθων κερατόλιθων αργιλικών σχιστόλιθων, ιλυόλιθων και Πινδικός φλύσχης.
- **Φράγμα Σφηκιάς:** είναι λιθόρριπτο φράγμα, περιέχει αργιλικό πυρήνα και βρίσκεται στον Αλιάκμονα. Σχετικά με τους γεωλογικούς σχηματισμούς στην θέση του φράγματος αλλά και του ταμιευτήρα είναι σχιστόλιθοι και γνευσιοί τις Πελαγονικής ζώνης. Η κυριότερη βλάβη ήταν στην αστάθεια των πρανών τόσο στον άξονα του φράγματος όσο και στον δρόμο της Σφυκιάς – Ασωμάτων και οι διαρροές νερού που εμφανίστηκαν κατά την πλήρωση του ταμιευτήρα.

- **Φράγμα Ταυρωπού:** είναι τοξωτό φράγμα βαρύτητας και βρίσκεται Ν. Πλαστήρα. Η γεωλογία του αποτελείται από λεπτό έως μεσοστρωματώδεις ασβεστόλιθους Πίνδου και αργιλικές ενδιαστρώσεις. Στη θέση του ταμειυτήρα κυρίαρχη ο φλύσχης Πίνδου.

Φράγματα στην Κρήτη:

- **Φράγμα Αποσελέμη:** είναι χωμάτινο φράγμα με κεντρικό αδιαπέρατο πυρήνα, σώματα στήριξης από γαιώδη και βραχώδη υλικά όπως ο φυλλίτης, από μεταβατικές ζώνες διαβαθμισμένων υλικών ασβεστολιθικών λατομείων και εξωτερικών ζωνών προστασίας προς τα ανάντη και τα κατόντη του πρανούς. Βρίσκεται στο Ν. Ηρακλείου.(Μ. Καββαδάς κ.α.)
- **Φράγμα Ποταμών Αμαρίου:** είναι τεχνητό φράγμα στον Ν. Ρεθύμνης στόχος είναι η άρδευση στο κάμπο Ρεθύμνης.(ΟΑΚΑΕ)
- **Φράγμα Βαλσαμιώτη:** είναι αξονομετρικό φράγμα από κυλινδρούμενο σκληρό επίχωμα (RCC), με ανάντη στεγανό μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος και βρίσκεται στο Ν. Χανίων. Σκοπός του έργου είναι η ενίσχυση της άρδευσης του Νομού Χανίων, με κόστος 40 εκ. € και λειτουργεί από τον Μάρτιο του 2014.(ΟΑΚΑΕ)

Κεφάλαιο 3

3.1.1 Ο ρόλος της γεωλογίας και τεκτονικής στην κατασκευή φραγμάτων – Διεθνής εμπειρία

Ένας από τους κυριότερους παράγοντες για την κατασκευή φραγμάτων είναι η εκτίμηση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του γεωλογικού περιβάλλοντος η οποία μπορεί να έχει επίδραση - επίπτωση επάνω στην πιθανή κατασκευή. Σύμφωνα με τον HUNT (1984) άλλοι στόχοι είναι :

- Μέσα στην ζώνη επιρροής του φράγματος να γίνει προσδιορισμός της οριζόντιας διανομής και του πάχους των βραχωδών και των εδαφικών σχηματισμών.
- Προσδιορισμός των υδρογεωλογικών συνθηκών.
- Εκτίμηση των γεωλογικών καταστροφικών φαινομένων, για παράδειγμα ασταθείς ζώνες, καθιζήσεις, ρήγματα, και την σεισμικότητα της περιοχής.
- Σχετικά με την εκτίμηση-αναγνώριση των γεωλογικών υλικών να γίνει δειγματοληψία των γεωχημικών υλικών, ταξινόμηση και μέτρηση των γεωχημικών παραμέτρων τους.
- Να γίνουν επιτόπου δοκιμές

Πριν από την πραγματοποίηση μεγάλων τεχνικών έργων προηγείται η ερευνητική εργασία όπου προϋποθέτει την συγκέντρωση και την αξιολόγηση όλων των διαθέσιμων στοιχείων της βιβλιογραφίας και των αεροφωτογραφιών κ.λπ., σχετικά με το σκληρό πέτρωμα (υπόβαθρο) αλλά και τις μείζονες διαρρήξεις (ρήγματα), την επιφανειακή γεωλογία, τις κλιματικές συνθήκες και την σεισμικότητα της περιοχής όπου θα πραγματοποιηθούν τα έργα αυτά αλλά και στην ευρύτερη περιοχή (όπως πλημμύρες, υπόγεια νερά, καθιζήσεις, αποτυχίες των πρηνών και διογκούμενα εδαφικά υλικά).

Επόμενο βήμα είναι η σύνταξη του τεχνικογεωλογικού χάρτη και προκαταρκτική μελέτη αξιολόγησης της ζώνης που μας ενδιαφέρει ώστε να καταλήξουμε σε συμπεράσματα που αφορούν: 1) την αποφυγή των περιοχών με αρκετά δύσκολες-επικίνδυνες συνθήκες, 2) τον προσδιορισμό γεωλογικών δομών που οδηγούν σε δυσμενείς συνθήκες, 3) τη θεωρία του προγράμματος σχετικά με την υπόγεια έρευνα αλλά ακόμη και τις απαιτήσεις για τις εκσκαφές και τη θεμελίωση.

Σύμφωνα με τον BELL (1980), διάφοροι φυσικοί παράγοντες έχουν επίρεια στον σχεδιασμό των φραγμάτων, σημαντικότερος παράγοντας εκ των οποίων είναι η γεωλογία, καθορίζει τις συνθήκες θεμελίωσης αλλά και τα διαθέσιμα υλικά κατασκευής των φραγμάτων. Μερικές φορές όμως είναι δύσκολο να διευρυνθούν

ακόμα και με τις συστηματικές ερευνητικές εργασίες που βρίσκονται στο στάδιο της προκατασκευής και εμφανίζονται με τις εκσκαφές ενώ υπάρχει η πιθανότητα να εμφανιστούν κατά την διάρκεια του χρόνου αστοχίες που σχετίζονται συνήθως με την γεωλογική δομή παρά με το σχεδιασμό κατασκευής.

Παραδείγματα των αστοχιών που μπορεί να προκύψουν είναι:

- αστοχία στην θεμελίωση 40%
- ανεπάρκεια του εκχειλιστή 23%
- πτωχή ή κακή κατασκευή 12%
- ανώμαλη καθίζηση 10%
- υψηλές πιέσεις των πόρων σε χωμάτινα φράγματα άντλησης-αποθήκευσης νερού 5%
- καταστάσεων πολέμου 3%
- σεισμοί 2%
- μη ορθή λειτουργία 2%
- ασθενή υλικά 2%
- ολισθήσεις των επιχωμάτων 2%

Οι BLYTH and DE FREITAS (1976) θεωρούν ότι από τους τεχνικογεωλογικούς χάρτες οι μηχανικοί αντλούν αρκετά χρήσιμα στοιχεία, παραδείγματα τέτοιων στοιχείων είναι το βάθος των ρωγμών, το βάθος της αποσύνθεσης, οι μεταβολές στην αντοχή, οι ζώνες καθιζήσεων, το ενδεχόμενο δημιουργίας σεισμικών εστιών, οι περιοχές με υψηλές τεκτονικές τάσεις και οι κατολισθήσεις.

Ο BEAVIS (1985) εκτιμώντας μία περιοχή με σκοπό την κατασκευή φράγματος αναφέρει τις κύριες γεωλογικές απαιτήσεις ως εξής:

- Σχετικά με τα χαρακτηριστικά της αντοχής και της παραμόρφωσιμότητας, ο καλός σχηματισμός θεμελίωσης
- Για την αποφυγή εκτεταμένων εκσκαφών στα φράγματα βαρύτητας η αποσύνθεση να είναι επιφανειακή
- Σταθερά και ανεκτικά πρηνή
- Η θεμελίωση να είναι σταθερή με όσο το δυνατόν λιγότερες διαρροές κατά μήκος της, αυτό θα επιτευχθεί με συγκεκριμένο προσανατολισμό των τεκτονικών ασυνεχειών
- Τεκτονικές ασυνέχειες με προσανατολισμό, ώστε τη θεμελίωση να παραμένει ευσταθής και οι διαρροές κατά μήκος να είναι ελάχιστες.

Ο DEERE (1974) επικεντρώνεται στην σημασία του σκοπού κατασκευής του φράγματος. Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει την αναγνώριση στο ύπαιθρο, την εκτίμηση των διαθέσιμων στοιχείων και την ερμηνεία αεροφωτογραφιών, Με σκοπό την εκ των προτέρων εκτίμηση των δυσμενών συνθηκών, τη λήψη των

απαραίτητων μέτρων ώστε να αποφευχθούν οι καθυστερήσεις, οι αντιδικίες ή ακόμα και η αστοχία στην περίπτωση μη ορθής διάγνωσης αυτών των συνθηκών.

Πλήρη διερεύνηση και μελέτη πρέπει να πραγματοποιηθεί στα γεωλογικά χαρακτηριστικά όπως τα ρήγματα, η βαθιά αποσύνθεση, η καρστικοποίηση, οι διαρρήξεις και οι ζώνες διάτμησης, κατά μήκος των διαφορετικών στρώσεων ιζηματογενών πετρωμάτων και κατά μήκος της σχιστότητας των διαφοροποιημένων πετρωμάτων και μυλονιτίωσης. Οι ζώνες αυτές είναι αρκετά σημαντικές εξαιτίας της μεγάλης συνέχειας και της μικρής αντοχής τους, μπορούν να προκαλέσουν βέβαια αστοχίες στα τσιμεντένια φράγματα εξαιτίας της ολίσθησης σε περίπτωση που υπάρχει συγκεκριμένος προσανατολισμός.

Σύμφωνα με τους MC LEAN and GRIBBLE (1985) οι κυριότερες διαφυγές νερού από έναν ταμιευτήρα πραγματοποιούνται μέσω των περατών εδαφικών σχηματισμών, των βραχωδών υδροφορέων και των κατά μήκος ρηγμάτων και κύριων διαρρήξεων. Ο KIERSCH (1988) τονίζει την σημασία της τεκτονικής στην κατασκευή των φραγμάτων.

Ο ARNOLD (1988) υποστηρίζει ότι τα φράγματα πρέπει να θεμελιώνονται σε συνεκτικό σχηματισμό και σε περιοχές όπου είναι γεωλογικά και σεισμολογικά σταθερές, έπειτα τονίζει ότι οι κατάλληλες περιοχές ώστε να κατασκευαστούν τέτοιου είδους έργα έχουν ήδη αξιοποιηθεί συνεπώς σήμερα να στρεφόμεστε σε περιοχές με περίπλοκες γεωλογικές συνθήκες. Σε μία τέτοια περιοχή θα πρέπει να γίνει λεπτομερής έρευνα ώστε να προσδιοριστούν τα μειονεκτήματα στην θεμελίωση, την ανάλυση της σημασίας αυτών και το σχεδιασμό των φραγμάτων με βάση τα στοιχεία θεμελίωσης. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Επιπλέον, γίνεται χρήση νέων τεχνολογιών όπως αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες, χρονολόγηση των ρηγμάτων, μέσα από γεωτρήσεις μέτρηση των ιδιοτήτων του πετρώματος με την χρήση γεωφυσικών μεθόδων και προχωρημένες σεισμολογικές έρευνες κ.λπ.

Σύμφωνα με τον ARNOLD (1988), οι κυριότερες αστοχίες των φραγμάτων και συνεπώς τα κυριότερα προβλήματα που προκλήθηκαν σε αυτά στις ΗΠΑ είναι:

- Διαφυγές νερού. Φράγματα με τέτοιες αστοχίες είναι, Colstrip Surge Pond Dam, Colstrip Effluent Dam, μεταξύ άλλων.
- Ρήγματα. Πρέπει να προσδιορίζονται κατά την γεωλογική μελέτη. Και σε περίπτωση που διαπιστωθεί η ύπαρξη τους κατά το κατασκευαστικό στάδιο του φράγματος τότε θα πρέπει να γίνει αναπροσαρμογή στον σχεδιασμό του φράγματος, με συνέπεια την καθυστέρηση του έργου. Η επίδραση του ρήγματος στο φράγμα σχετίζεται με την σεισμική κίνηση στην θεμελίωση και την επερχόμενη αλληλεπίδραση εδάφους-ανωδομής. Είναι γνωστές οι

μέθοδοι και οι τεχνικές αντιμετώπισης μίας ζώνης διάρρηξης (απομάκρυνση υλικού πλήρωσης και αποφυγή διαρροών). Τα φράγματα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να αντιστέκονται στη μετακίνηση κατά μήκος των ρηξιγενών ζωνών, (λαμβάνοντας υπόψη του υπάρχοντα ρήγματος και τη σεισμικότητα της περιοχής). Προβλήματα από ρήγματα έχουν προκληθεί στα εξής φράγματα: Cedar Springs Dam, Baldwin Hills Dam, Auburn Dam.

- Ανύψωση της θεμελίωσης εξαιτίας της απελευθέρωσης τάσεων. Για παράδειγμα τα φράγματα είναι Garison Dam και Carstic Dam.
- Κοιλότητες της θεμελίωσης (λόγω του φαινομένου καρστικοποίησης). Για παράδειγμα το φράγμα Keban Dam.
- Διαρρήξεις στην θεμελίωση των φραγμάτων. Οι διαρρήξεις στα ακρόβαθρα είναι πιθανό να προκαλέσουν αστάθεια των πρανών, ενώ αν οι διαρρήξεις είναι κάτω από τα φράγματα ανοίγουν διόδους για διαφυγές και σταδιακά συμμετέχουν στη διάβρωση της θεμελίωσης. Τέτοια φράγματα είναι: Teton Dam, Green Lake Dam.

3.1.2 Αστοχίες σε φράγματα με βάση γεωλογικά - τεκτονικά κριτήρια.

Λαμβάνοντας υπόψην όλα τα στοιχεία μέχρι και σήμερα οι κυριότερη αιτία αστοχιών των φραγμάτων είναι: η Αστοχία στην γεωλογική σύσταση και στην δομή θεμελίωσης.(LEGGET and HATHEWAY 1988).

Τη χρονολογική περίοδο 1864 έως 1876 αναφέρθηκαν γύρω στις 100 αστοχίες οι οποίες ήταν αποτελέσματα της υποσκαφή των υδροπερατών σχηματισμών κάτω από την θεμελίωση του έργου. Επιπλέον, την χρονολογική περίοδο 1869 έως 1919 αναφέρθηκαν περισσότερες από 60 αστοχίες σε χωμάτινα φράγματα. Γνωστά παραδείγματα τέτοιων αστοχιών είναι στην Καλιφόρνια το 1928 St Francis, στη νότια Γαλλία το 1959 Malpasset, το 1963 στην Ιταλία Vajont και την ίδια χρονολογία το φράγμα Πέρδικα κοντά στην Πτολεμαΐδα, στη Νορβηγία το 1976 το Vestre Gansdal και στις Η.Π.Α το Teton στο Idaho. Επιπλέον, στην καλιφόρνια το 1963 στον ταμειυτήρα του Baldwin Hills του L.A υπήρξε αστοχία.

Το 1973 η Διεθνής Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων ανέφερε ότι από τα 9000 μεγάλα φράγματα τα οποία είχαν ύψος πάνω από 15 m και κατασκευάσθηκαν την χρονολογική περίοδο 1900 έως 1965, στα 200 από αυτά εμφανίστηκαν σοβαρές βλάβες και τα 90 καταστράφηκαν. Σύμφωνα με την έρευνα που πραγματοποιήθηκε και για τους δύο τύπους επιπτώσεων, το μεγαλύτερο μέρος από τα μισά αυτά συμβάντα προκλήθηκαν από γεωλογικά αίτια. Επιπλέον, το σύνολο του ποσοστού των έργων που εμφάνισαν απροσδόκητες συνθήκες κατά τη διάρκεια υλοποιήσεις τους είναι το λιγότερο 10% (MAPINOS 1994).

Ο BEAVIS (1985) συμπεραίνει ότι κανένα από τα γεωλογικά δεδομένα-ενδείξεις δεν θα πρέπει να παραβλέπονται και να διερευνώνται σε βάθος. Στο φράγμα της Σκωτίας Monar εμφανίστηκαν 4 συστήματα διαρρήξεων στη θεμελίωση του φράγματος και το μεγαλύτερο μέρος των διαρρήξεων ήταν γεμάτες με αργιλικό υλικό (γωνία εσωτερικής τριβής διαρρήξεων 50° περίπου και γεμάτες με αργιλικό υλικό 25°). Αναγκαία για την ανάλυση της επίδρασης των διαρρήξεων στην ευστάθεια του φράγματος ήταν η εφαρμογή τσιμεντενέσεων για την παραγωγή κουρτίνας. Οι στόχοι της εφαρμογής τσιμεντενέσεων ήταν:

- 1) Μείωση των διαφυγών κάτω από το φράγμα
- 2) Πλήρωση των διαρρήξεων και ελάττωση της επερχόμενης παραμόρφωσης της θεμελίωσης
- 3) Την αύξηση της διατμητικής αντοχής κατά μήκος των διαρρήξεων.

Δύο τόμους εξέδωσε το Τμήμα Τεχνικής Γεωλογίας της Γεωλογικής Εταιρίας της Αμερικής (Engineering Geology Case Histories 1-5 (1964) και 6-10 (1968)). Σε αυτούς τους τόμους αναφέρονται παραδείγματα φραγμάτων που είτε αστόχησαν είτε αντιμετώπισαν σοβαρές βλάβες με βάση τα τεκτονικά-γεωλογικά κριτήρια, ενώ ταυτόχρονα γίνεται αναφορά και πάρθηκαν μέτρα ανάλογα την περίπτωση. Πιο συγκεκριμένα για την προσπάθεια αυτή:

Στον ταμιευτήρα του φράγματος Baldwin Hills παρατηρήθηκε αστοχία εξαιτίας της μετακίνησης του ρήγματος στην θεμελίωση (James 1968). Ο GRUMMER (1963) σε έρευνα του με θέμα τις αστοχίες φραγμάτων επισημαίνει ότι «κάθε φράγμα που συγκρατεί νερό παρουσιάζει ένα πιθανό κίνδυνο που ποτέ δεν θα πρέπει να υπερεκτιμηθεί ή υποεκτιμηθεί».

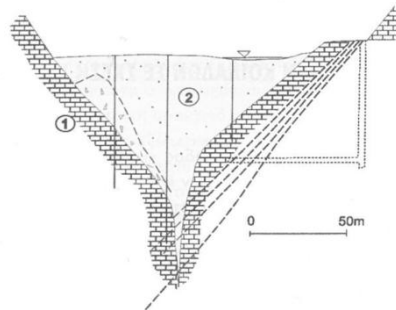
Έρευνα ως προς τις αστοχίες φραγμάτων έχουν κάνει αρκετοί επιστήμονες σε διεθνές επίπεδο. Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά τα συμπεράσματα και οι απόψεις και άλλων συγγραφέων.

- Στο φράγμα Dillon (Κολοράντο) βρίσκεται σε περιοχή η οποία χαρακτηρίζεται από ιζηματογενή πετρώματα, τα οποία διατέμνονται από αρκετά ρήγματα και από διερρηγμένα στρώματα, χρειάστηκε για να γίνει θεμελίωση του τσιμεντενέσεις.(Wahlstrom and hornback.1968).
- Επιπλέον, οι WAHLSTROM et al (1968) επισημαίνουν το πόσο σημαντική είναι η διογκωσιμότητα των θραυσμένων υλικών πλήρωσης σε ρηξιγενείς ζώνες. Οι συγγραφείς θεωρούν σημαντική την μελέτη των ιδιοτήτων διογκωσης και της ορυκτολογικής σύστασης τους, τα δεδομένα αυτά συμβάλουν στην αξιολόγηση ενδεχόμενων προβλημάτων κατά μήκος των ρηγμάτων αυτών.

- Ο συγγραφέας MAPINOS (1994) αναλύει τις αστοχίες που υπάρχουν στα φράγματα στην Καλιφόρνια το St.Francis, στη Γαλλία το Malpasset, στην Ιταλία Vaiont και στην Ελλάδα το φράγμα Πέρδικα κοντά στην Πτολεμαΐδα.
- Οι συγγραφείς JAMES et al (1988) παρουσιάζουν τα διδάγματα που προκύπτουν από τις αστοχίες σε διαφορετικές περιπτώσεις και αναφέρουν ότι οι αστοχίες αυτές έχουν σχετίζονται με γεωλογικά και τεκτονικά στοιχεία. Επιπλέον, πιο λεπτομερείς αναφορά πραγματοποιείται στις αστοχίες των ταμιευτήρων του Baldwin Hills, του Vajont και των φραγμάτων Malpasset, St.Francis και Teton.

Τις γεωλογικές συνθήκες αναλύουν οι WAGGONER (1968) σε περίπτωση θεμελίωσης φραγμάτων και των συνοδών έργων αλλά αναφέρουν και τις απαιτήσεις που θα εμφανιστούν ως προς την κατασκευή. Στην συνέχεια αναφέρουν ότι τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ότι η κατασκευή φραγμάτων αυξάνεται συνεχώς χωρίς την ορθή γνώση και πληροφόρηση των διαφορετικών συνθηκών με αποτέλεσμα να αποτυγχάνουν τα έργα και να αναζητούνται αποζημιώσεις από τους κατασκευαστές.

Οι αστοχίες στα παραπάνω φράγματα επιδεικνύουν την σημασία της λεπτομερειακής έρευνας στην θέση θεμελίωσης αλλά και στην ευρύτερη περιοχή. Συμπερένεται ότι η γνώση και ο καθορισμός του αναγλύφου της κοιλάδας, των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών καθώς και η σωστή ερμηνεία των χαρακτηριστικών του υποβαρου κατω απο μια θέση φράγματος είναι σημαντικός παράγοντας για τον σχεδιασμό του φράγματος. Ο καθορισμός του αναγλύφου γίνεται με γεωτρήσεις, πηγάδια . Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται υπεδάφια έρευνα στον άξονα φράγματος (Zaruba and Mend, 1976). Στην περίπτωση αυτή έγινε συνδιασμός κατακόρυφων και πλάγιων γεωτρήσεων για την χαρτογράφηση και την ακριβή αποτύπωση των σχηματισμών του βραχώδους υποβάθρου και την αποκάλυψη ύπαρξης «θαμμένου καναλιού».



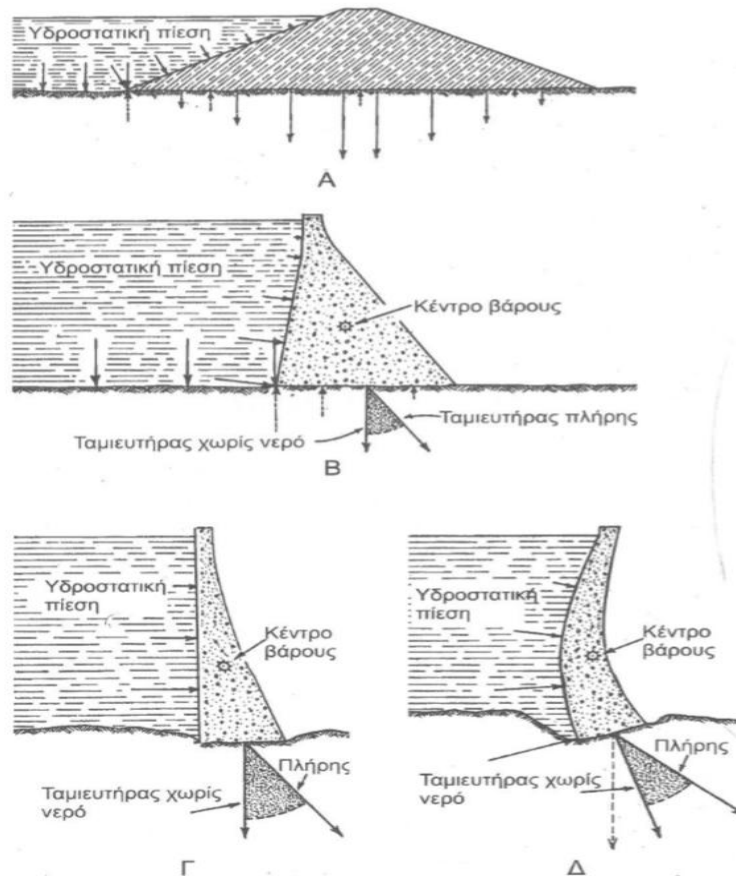
Σχήμα 1: Υπεδαφική έρευνα στον άξονα του φράγματος (από ZARUBA – MENCL, 1976), (ΚΟΥΚΗΣ, ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ). 1) Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, 2) Ποταμοχειμάρριες αποθέσεις. Ο συνδυασμός κατακόρυφων και πλάγιων γεωτρήσεων καθώς φρέατος και δοκιμαστικής στοάς, βοήθησαν στη χαρτογράφηση και ακριβή αποτύπωση των σχηματισμών του βραχώδους υπόβαθρου και την αποκάλυψη ύπαρξης «θαμμένου καναλιού» (buried channel)

3.1.3 Φράγματα και Ασκούμενες δυνάμεις

Η κατασκευή φραγμάτων και η πλήρωση του ταμιευτήρα με νερό, έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη τάσεων εξαιτίας της προσθήκης φορτίων (επίδραση βάρους στον πυθμένα και στα αντερείσματα της κοιλάδας) που δεν υπήρχαν πριν την κατασκευή του φράγματος. Οι αναπτυσσόμενες τάσεις πρέπει να μελετηθούν ώστε να αποφευχθεί κάθε αβεβαιότητα για την ασφάλεια του φράγματος.

Για τα τσιμέντινα φράγματα ισχύει ότι οι τάσεις που δρουν στα θεμέλια είναι συνάρτηση της κατανομής του πάνω στην επιφάνεια δομής του και του βάρους του φράγματος, διότι δρουν σαν συμπαγείς, μονολιθικές κατασκευές παρόλο που μπορούν να ανεχτούν μικρές μετατοπίσεις και κινήσεις κατά μήκος των αρμών διαστολής. Αντίθετα, ελαστοπλαστική συμπεριφορά παρουσιάζουν τα χωμάτινα και τα λιθόρριπτα φράγματα όπου οι τάσεις στα θεμέλια τους εξαρτώνται από το πάχος του φράγματος πάνω από κάθε σημείο. Προσομοίωση των τάσεων που ασκούνται σε αυτά τα φράγματα θα μπορούσαν να αποτελέσουν οι πιέσεις του νερού που δέχεται ένας ταμιευτήρας, (όπου η κατανομή τους μεταβάλλεται λόγω της αντοχής που έχουν τα υλικά κατασκευής από τη φύση τους). Οι πιέσεις αυτές στον ταμιευτήρα αυξάνονται γραμμικά με το βάθος και είναι υδροστατικές. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Συμπερασματικά λοιπόν αξίζει να τονίσουμε ότι, σύμφωνα με τον BELL (1980) οι στατικές φορτίσεις περιέχουν τις υδροστατικές πιέσεις και το βάρος κατασκευής, αν και η επιρροή της άνωσης, (εξαιτίας της βύθισης μέρος του φράγματος), περιορίζει την επίδραση αυτών των δύο δυνάμεων. Επιπλέον, οι δυναμικές φορτίσεις που δέχεται το φράγμα αφορούν την σεισμικότητα, τη δράση του κύματος, τις δονήσεις και την υπερχείλιση του νερού. Στο σχήμα παρουσιάζεται το είδος των πιέσεων που ασκούνται σε διάφορους τύπους φραγμάτων.



Σχήμα 2: Πιέσεις (δυνάμεις) που ενεργούν σε φράγματα και θεμελιώσεις σε τομή. Τα τόξα με εστιγμένη γραμμή όπου φαίνονται, υποδεικνύουν πιέσεις λόγω άνωσης που συνδέονται με διηθήσεις κάτω από τα φράγματα (WAHLSTROM 1974). Α. Χωμάτινο φράγμα, Β. τσιμεντένιο φράγμα, Γ. Τοξωτό φράγμα με κατακόρυφη ανάντη όψη, Δ. Τοξωτό φράγμα με καμπύλες όψεις.

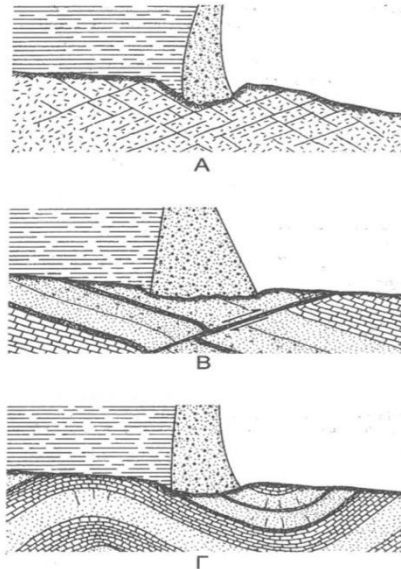
3.1.4 Σεισμική επικινδυνότητα στα φράγματα

Για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων για τις πιθανές επιπτώσεις των σεισμών στα φράγματα είναι απαραίτητη η μελέτη και η αξιολόγηση όλων των γεωλογικών και σεισμολογικών στοιχείων. Συνήθως, οι ζημιές στις κατασκευές σε συμπαγή πετρώματα είναι πιο μικρές σε σχέση με αυτές στα χαλαρά υλικά και ιδιαίτερα στα κορεσμένα. Κατά κανόνα, οι σεισμοί δεν προκαλούν σοβαρές βλάβες στα τσιμεντένια φράγματα όπου βρίσκονται πάνω σε συμπαγή, υγιή πετρώματα. Αντίθετα τα λιθόρριπτα και χωμάτινα φράγματα επηρεάζονται από τα σεισμικά κύματα, όμως ενδέχεται να δεχθούν μικρές μετακινήσεις χωρίς θραύση, εάν α) τα υλικά κατασκευής δεν είναι πολύ ασθενή ή β) δεν έχουν μετατοπιστεί εξαιτίας κινήσεων εφελκυσμού κατά μήκος των ρηγμάτων μέσα στο σώμα του φράγματος. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

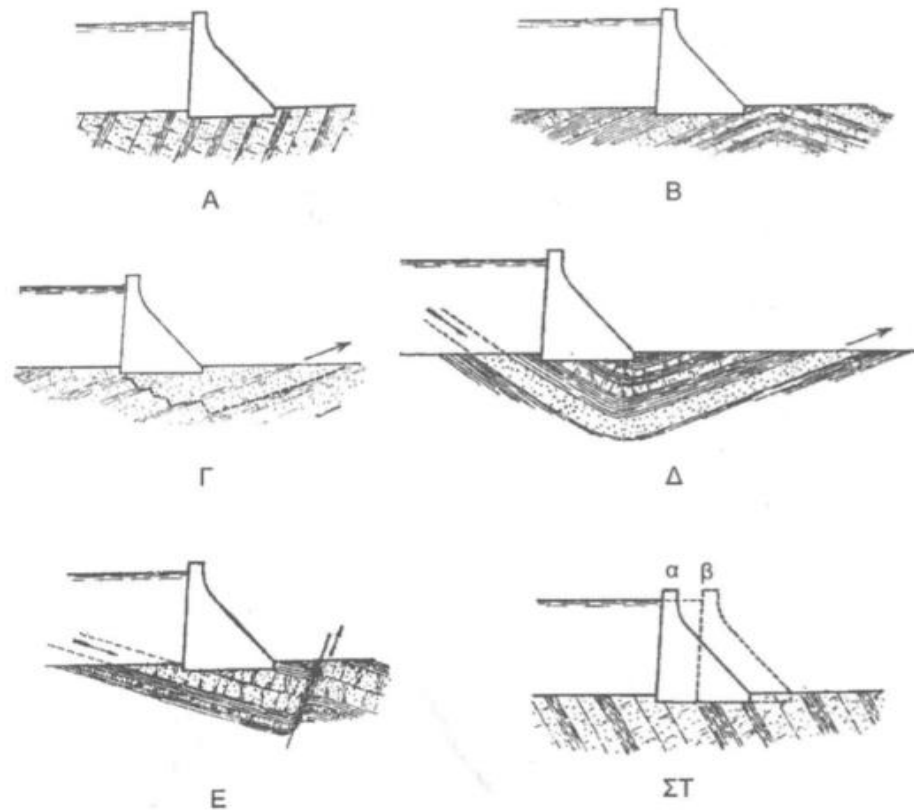
Επισημαίνεται ότι ακόμα και εάν δεν υπάρχουν εμφανής βλάβες στα φράγματα (λόγω σεισμού), πιθανά μπορεί να δημιουργήσουν μικρές μετατοπίσεις στα θεμέλια οι οποίες επηρεάζουν τις συνθήκες ροής του υπόγειου νερού μέσα στο φράγμα και κατά θέσεις να δημιουργηθούν διαρρήξεις ή να ξανά ανοίξουν ρωγμές, οι οποίες σφραγίστηκαν κατά την διάρκεια τσιμεντενέσεων. Απεναντίας, στον ταμιευτήρα ακόμα και μετά από ασθενείς δονήσεις είναι πιθανόν να προκληθούν εκτεταμένες μετακινήσεις μαζών. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

3.1.5 Ευστάθεια φραγμάτων

Στην υπό μελέτη περιοχή εάν υπάρχουν επιφάνειες ασυνέχειας από πριν (όπως στρώση, ρωγμή, σχιστότητα, ρήγματα) συγκεκριμένου προσανατολισμού, τότε θα ανακλαστούν σε αυτές οι διατμητικές δυνάμεις. Κάτω από την άσκηση υπερβολικών πιέσεων στο νερό, ο συγκεκριμένος προσανατολισμός των επιπέδων ασυνέχειας μπορεί να οδηγήσει σε θραύση των θεμελίων εξαιτίας της ολίσθησης των τσιμεντινών φραγμάτων.



Σχήμα 3: παρουσιάζονται οι συνθήκες που διευκολύνουν την αστοχία στην θεμελίωση σε τσιμεντινά φράγματα. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ) Α: Πυκνό δίκτυο διακλάσεων σε κρυσταλλικά πετρώματα που ευνοούν την εύκολη διατμητικά μετατόπιση της βραχομάζας. Β. Ιζηματογενή πετρώματα με κλίση προς τα κατόντη, διατέμνονται από ρήγμα με αντίθετη κλίση και υλικά χαμηλής αντοχής κατά μήκος της ζώνης αυτού. Γ. Πτυχωμένα στρώματα (ασβεστόλιθοι και ψαμμίτες), με λεπτές, ασθενείς ενστρώσεις αργιλικού σχιστόλιθου παρουσιάζουν δυνατότητα αστοχίας της θεμελίωσης (WAHLSTROM 1974)



Σχήμα 4: Συνθήκες ευστάθειας τοιμέντινων φραγμάτων σε στρωσιγενή πετρώματα (ZARUBA-MENCL 1976).

A. Η Ισχυρή κλίση των στρωμάτων προς τα ανάντη είναι ευνοϊκή για τη θεμελίωση ενός φράγματος.

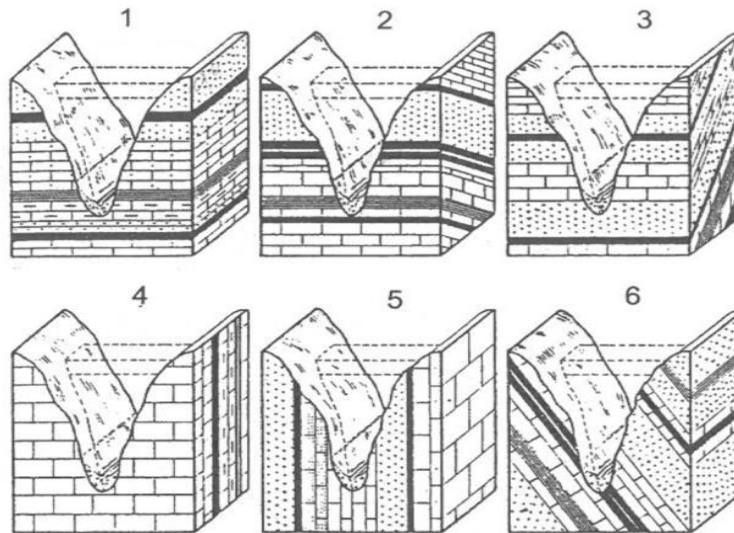
B. Φράγμα θεμελιωμένο σωστά στο σκέλος αντίκλιου που κλίνει προς τα ανάντη,

Γ. όταν τα στρώματα έχουν μέση κλίση προς τα ανάντη μπορεί να υπάρξει διαμητική θραύση της θεμελίωσης του φράγματος κατά μήκος των επιπέδων στρώσης.

Δ. Ακατάλληλη θέση του φράγματος στο σκέλος ενός αντίκλιου με κλίση προς τα κατάντη.

Ε. Σε διαταραγμένα λόγω ρήγματος στρώματα, με μέση κλίση προς τα κατάντη, σημειώνονται διαφυγές νερού μέσω των υδροπερατών στρωμάτων και κατά μήκος του ρήγματος, που προοδευτικά οδηγούν σε αστοχία.

ΣΤ. Η επίδραση της άνωσης σε ένα φράγμα μειώνεται όταν η ανάντη πλευρά θεμελιώνεται σε αδιαπέρατα στρώματα (β), ενώ το αντίθετο συμβαίνει στην περίπτωση θεμελίωσης σε περατά στρώματα (α).



Σχήμα 5: Συνθήκες θεμελίωσης φράγματος σε σχέση με τη στρώση (DESIO 1973), (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΗΣ). 1,4,5: Κατάλληλες, 2: Πολύ κατάλληλες, 3: Ακατάλληλες, 6: Ακατάλληλες στη δεξιά πλευρά και ευνοϊκές στο υπόλοιπο τμήμα.

Περισσότερο επιρρεπή είναι τα πετρώματα που παρουσιάζουν έντονη σχιστότητα και είναι ευαίσθητα προς την κατεύθυνση αυτή είναι οι σχιστόλιθοι και οι φυλλίτες, οι λεπτότερες στρώσεις ασθενών ζωνών σε υγιή βραχομάζα και η ύπαρξη επίπεδων (flat-lying) διαρρήξεων κατά μήκος των οποίων ελαττώνεται η εγγενής διατμητική αντοχή της βραχομάζας. Ακόμη και οι σχηματισμοί που περιλαμβάνουν το διογκούμενο ορυκτό του μοντμοριλονίτη, εξαιτίας της ελάττωσης του συντελεστή τριβής ανάμεσα της τσιμέντινης κατασκευής και της θεμελίωσης (BELL 1980).

Συνήθως, η ολίσθηση της κατασκευής αποτρέπεται με την παρουσία ανώμαλης επιφάνειας και πάκτωσης σε κάποιο βάθος μέσα στην θεμελίωση. Επιπρόσθετα, η ολίσθηση μπορεί να αποτραπεί με κατάλληλη κλίση στο σώμα του φράγματος στην ανάντη πλευρά και προς το εσωτερικό της κοιλάδας .

Ακόμη ένας σημαντικός παράγοντας για τη μελέτη ευστάθειας των πρηνών και τον σχεδιασμό ενός φράγματος είναι ο προσδιορισμός της πίεσης του νερού των πόρων που δημιουργείται στους σχηματισμούς της θεμελίωσης. Πρόκειται για μεταβλητή δύναμη που ενεργεί προς όλες τις κατευθύνσεις και γίνεται η αιτία για αλλαγές στο καθεστώς των τάσεων στην βραχομάζα (ελάττωση της αντοχής σε θλίψη των πετρωμάτων και η αύξηση της παραμόρφωσης που επιδέχεται). Επιπλέον, το νερό στους πόρους των εδαφικών σχηματισμών μπορεί να γίνει η αιτία ανύψωσης των στρωμάτων της θεμελίωσης καθώς και του ίδιου του φράγματος, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται η διατμητική αντοχή και η αντίσταση σε ολίσθηση μέσα στην βραχομάζα να ελαττώσει τον συντελεστή τριβής (μεταξύ των στρωμάτων σε στρωσιγενή πετρώματα και της θεμελίωσης και του φράγματος) και να συντείνει

στην διόγκωση ορισμένων πετρωμάτων και την επιτάχυνση του ρυθμού αλλοίωσης αυτών. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Είναι πιθανό στα αντερείσματα που στηρίζουν τα ακρόβαθρα του τσιμέντινου φράγματος να υπάρξουν θραύσεις. Αυτό όμως είναι σπάνιο διότι μετά την εκσκαφή, θεμελιωθεί το φράγμα αυξάνεται η αντοχή των αντερεισμάτων (αύξηση του βάρους του φράγματος). Είναι όμως είναι εφικτό να συμβούν θραύσεις στα αντερείσματα που στηρίζουν τα ακρόβαθρα του τσιμέντινου φράγματος, γιατί πάνω από το τσιμέντινο φράγμα υπάρχει η ικανότητα θραύσης των πρανών με το μηχανισμό της μετακίνησης μαζών. Τα πρανά που βρίσκονται πάνω και κάτω από τα χωμάτινα και λιθόρριπτα φράγματα είναι δυνατόν να υποστούν θραύση κατά μήκος των επιφανειών που τέμνουν τα ακρόβαθρα του φράγματος, όταν είναι αρκετά κρημνώδη και εξασθενίζουν από την κατείδυση του υπόγειου νερού. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Το βάρος στη θεμελίωση του φράγματος θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από αυτό των εδαφικών υλικών που αφαιρέθηκαν ιδιαίτερα στην περίπτωση που η θεμελίωση αποτελείται από περισσότερα του ενός στρώματα με διαφορετική φυσικοχημική ιδιότητα, έτσι ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα ανύψωσης στα πετρώματα. Εάν η πίεση ανύψωσης που έχει δημιουργηθεί στα υλικά θεμελίωσης υπερβαίνει το (ενεργό) βάρος του φράγματος, η διαδικασία της ανύψωσης συνεχίζεται μετά το πέρας της κατασκευής του φράγματος και απαιτεί αρκετό χρονικό διάστημα για να ολοκληρωθεί.. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Στα φράγματα πρόσθετη καθίζηση δημιουργείται με το πλήρες γέμισμα του ταμιευτήρα με νερό, το ποσό της καθίζησης αυτής εξαρτάται από την αντοχή των σχηματισμών θεμελίωσης, γενικότερα στα φράγματα προκαλείται καθίζηση κάτω από το ίδιο φορτίο.

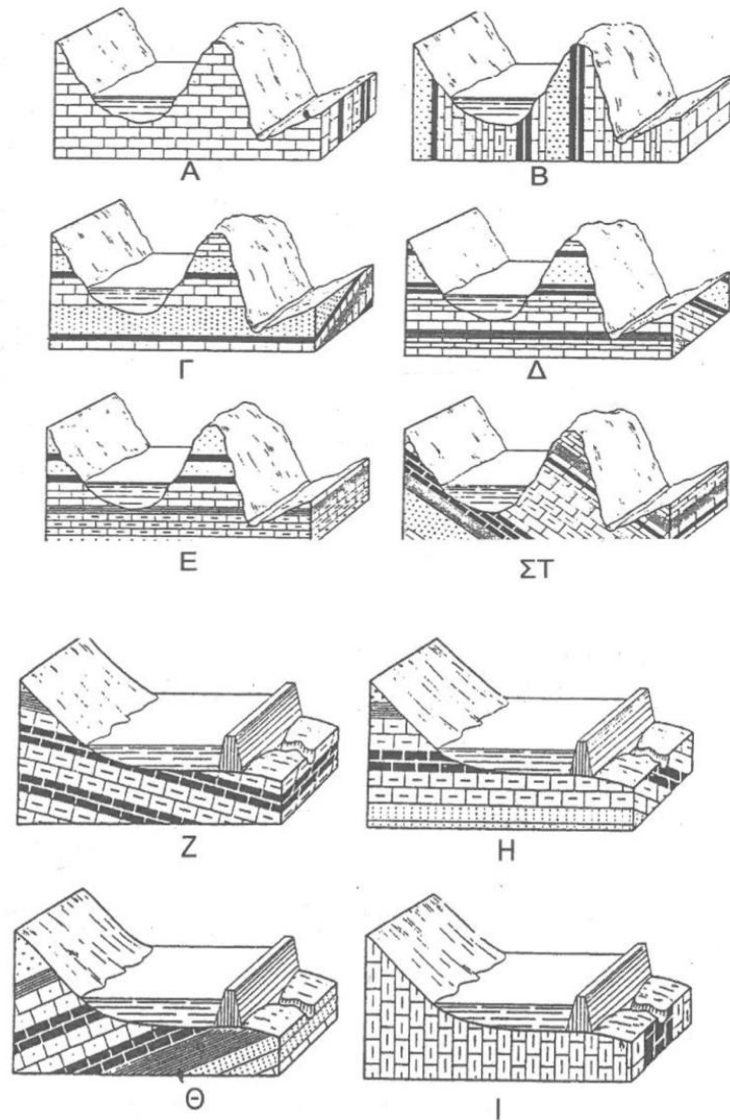
Πολύ σημαντικός παράγοντας αποτελεί η διαφυγή νερού στα τσιμέντινα φράγματα η διαφυγή του νερού (percolation) μέσα από τη θεμελίωση τους μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μικρής διαπερατότητας και πολύ καλής ποιότητας υδροπερατότητας πέτρωμα. Σε μεγάλης διαπερατότητας πετρώματα η υπερβολική διαρροή κάτω από το φράγμα μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την πρόκληση βλαβών στην θεμελίωση. Ένα τέτοιο φαινόμενο σαφώς και έχει συνέπειες, οι οποίες πηγάζουν από την ικανότητα έκπλυσης του νερού του υλικού πλήρωσης διαρρήξεων και ρωγμών, το οποίο σταδιακά προκαλεί καθίζηση καθώς και σε διεύρυνση των διαρρήξεων με συνέπεια την ελάττωση της αντοχής της βραχομάζας)

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ενίσχυσης του παραπάνω προβλήματος, όπως α) η τοποθέτηση αδιαπέρατου εδαφικού τάπητα στο κατώτερο τμήμα στα ανάντη του

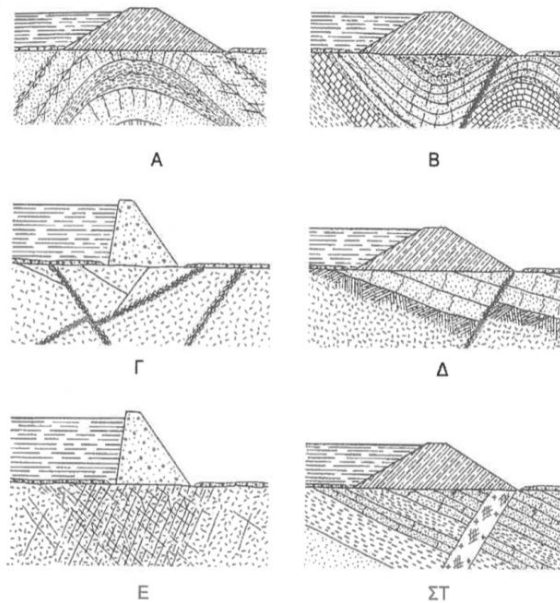
φράγματος και β) η δημιουργία διαφραγμάτων (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007). Για τον έλεγχο των διαφυγών τοποθετούνται συνήθως εντός και κάτω από το φράγμα στραγγιστήρια από πορώδη υλικά (άμμου ή χάλικες), τα οποία τοποθετούνται μέσα ή κάτω από το φράγμα (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 200).

Οι δυνάμεις άνωσης κατά την πλήρωση της λεκάνης και οι διαρκείς επεμβάσεις στα πρανά κατά την κατασκευή συνοδών έργων επιδρούν στην ευστάθεια των πρανών της λεκάνης κατάκλυσης και των αντερεισμάτων. Στην περίπτωση που οι κατολισθήσεις λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό της λεκάνης κατάκλυσης, έχουμε πλήρωση της λεκάνης με υλικά ελαττώνοντας έτσι τον χρόνο ζωής του φράγματος και ενεργοποίηση των κυματισμών οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν ζημία στο φράγμα. Ενώ, όταν οι κατολισθήσεις πραγματοποιούνται στα αντερείσματα του φράγματος έχουμε πλήξει της συναρμογής του φράγματος με τους περικλείοντες σχηματισμούς και ενεργοποίηση κατολίσθησης στα υλικά του σώματος (στα χωμάτινα φράγματα). (ΛΟΥΠΑΣΑΚΗΣ), (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Η πίεση λόγω άνωσης στην ανάντη πλευρά του, που δρα στο φράγμα αποδίδεται στο νερό που διηθείται κάτω από αυτό με υδροστατικό φορτίο του ταμιευτήρα. Η πίεση ισούται με το βάθος θεμελίωσης κάτω από τη στάθμη του νερού επί το ειδικό βάρος του νερού και διαφέρει από την πίεση του νερού των πόρων στους σχηματισμούς κάτω από αυτό. Η πίεση αυτή μπορεί να μειωθεί με την ομαλή διοχέτευση του νερού προς τα κατάντη και αυτό μπορεί να επιτευχθεί με ενσωματωμένα στραγγιστήρια στην θεμελίωση και τη βάση του φράγματος. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007). Σχετικά με τα προβλήματα στεγανότητας-διαφυγών στον ταμιευτήρα αυτά συνήθως αναφέρονται στις περιπτώσεις διαφυγές σε ανισότροπα υπόβαθρα (στρώση, διαρρήξεις, ρωγματώσεις, αποσάθρωση). Στο σχήμα 6 παρουσιάζονται οι συνθήκες στεγανότητας-διαφυγών σε ταμιευτήρες σε σχέση με τη λιθολογική σύσταση, τη στρωματογραφική διάρθρωση και γεωμετρία των στρωμάτων (DESIO 1973). Στο σχήμα 7 παρουσιάζονται ιδεατές τομές φραγμάτων που διάφορους τύπος ζωνών πιθανής διαφυγής νερού σε βραχώδες υπόβαθρο (Wahlstrom, 1974).



Σχήμα 6: Συνθήκες στεγανότητας-διαφυγών σε ταμειυτήρες σε σχέση με τη λιθολογική σύσταση, τη στρωματογραφική διάρθρωση και γεωμετρία των στρωμάτων (DESIO 1973). Τα στρώματα με το μαύρο χρώμα είναι υδροπερατά. Α.,Γ.,Δ.,Ζ.,Η.,Ι.: Ακατάλληλες, Β.,Ε., Θ.: Κατάλληλες ΣΤ Αμφίβολες Κούκης-Σαμπατακάκης).



Σχήμα 7: Ιδεατές τομές φραγμάτων που δείχνουν διάφορους τύπους ζωνών πιθανής διαφυγής νερού σε βραχώδες υπόβαθρο (WAHLSTROM 1974).

- A. Ψαθυρά ψαμμιτικά στρώματα, έντονα διερρηγμένα λόγω αντίκλινου.
- B. Διερρηγμένοι ψαμμίτες σε πτυχωμένα πετρώματα διατέμνονται από ζώνη ρήγματος που διευκολύνει την κυκλοφορία υπόγειου νερού κάτω από το φράγμα.
- Γ. Ρήγματα σε ψαθυρό κρυσταλλικό πέτρωμα δημιουργούν διόδους κυκλοφορίας υπόγειου νερού.
- Δ. Διερρηγμένοι ψαμμίτες και αποσαθρωμένη ζώνη γρανίτη κάτω από τα ιζήματα αυτά καθώς και ζώνη ρήγματος, δημιουργούν διόδους κυκλοφορίας υπόγειου νερού.
- Ε. Έντονα διερρηγμένα κρυσταλλικά πετρώματα είναι περατά στην ροή υπόγειου νερού.
- ΣΤ. Φλέβα εκρηξιγενούς πετρώματος με πυκνή διάρρηξη διατέμνει ιζηματογενείς σειρά και δημιουργεί δίοδο για κίνηση υπόγειου νερού.

3.1.6 Ρήγματα και η σημασία τους στο σχεδιασμό φραγμάτων

Η θέση των ρηγμάτων και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους καθορίζονται από τις επιφανειακές παρατηρήσεις και τις υπεδαφικές έρευνες. Η μελέτη σχεδιασμού περιλαμβάνει τον προσδιορισμό (αναγνώριση-εκτίμηση) των ρηγμάτων που έχουν (λόγω γειτνίασης) επηρεάσει την κατασκευή. Εκτιμώντας το μήκος του ρήγματος μπορούμε να λάβουμε πληροφορίες για το μέγεθος και το τύπο της μετακίνησης

που μπορεί να προκληθεί. Η παρουσία ενεργών ή μη ενεργών ρηγμάτων είναι σημαντική για την κατασκευή του φράγματος. Η Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας των ΗΠΑ (NRC) ορίζει ως ενεργό ρήγμα αυτό που παρουσιάζει κίνηση εδώ και 35000 χρόνια ή αλλιώς μέσα σε Ολόκαινο. Εμπειρικές σχέσεις συσχετίζουν το μέγεθος του σεισμού και της μετακίνησης του ρήγματος ή και το μέγεθος του σεισμού και το μήκος της επιφανειακής διάρρηξης.

Σύμφωνα με τους SHERARD et al 1974, η μέγιστη μετακίνηση κατά μήκος ενός ρήγματος, λόγω σεισμικής διέγερσης, είναι συνήθως μικρότερη των 5 m έως των 7 m και η μέση μετακίνηση του μικρότερη του 1 m. Σύμφωνα με τους ίδιους συγγραφείς το (1963) σε αρκετές περιοχές η κατασκευή φραγμάτων απορρίφθηκε καθώς οι επιλέξιμες διατέμνονται από σεισμογενή ρήγματα. Αναφέρουν επίσης ότι αρκετά φράγματα είναι κατασκευασμένα σε θέσεις μη ενεργών ρηγμάτων. Επιπλέον έχουν κατασκευαστεί φράγματα πάνω σε πιθανά ενεργά ρήγματα κυρίως εξαιτίας της λανθασμένης έρευνας. Σύμφωνα με την ανωτέρω μελέτη τα ειδικά σχεδιασμένα χωμάτινα φράγματα μπορούν να θεμελιωθούν σε οποιαδήποτε θέση (σε αντίθεση με τα φράγματα βαρύτητας).

Τα ενεργά ρήγματα διαφέρουν σε σχέση με τα μη ενεργά ως προς τα χαρακτηριστικά τους για παράδειγμα ως το πλάτος της ρηξιγενούς ζώνης, ως προς το μήκος και το βάθος του ρήγματος αλλά και ως προς την ποιότητα των υλικών πλήρωσης κ.λπ. Γενικότερα, όσο μεγαλύτερο σε μήκος το επιφανειακό ίχνος του ρήγματος τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να υπάρχει ενεργό ρήγμα και η πιθανή σεισμική κίνηση εφόσον αστοχήσει. Στην ύπαιθρο η αναγνώριση των ρηγμάτων γίνεται από την μετακίνηση των στρωμάτων. Υπάρχουν ρήγματα τα οποία δεν μπορούν να εντοπιστούν από επιφανειακή μελέτη παρατηρητών. Σε αρκετές περιπτώσεις η κατασκευή των φραγμάτων έχουν ματαιωθεί εξαιτίας της παρουσίας ρηγμάτων κατά την εκσκαφή, όπως επίσης υπάρχουν αρκετά ρήγματα που δεν έχουν καταγραφεί ακόμα. Σε πολλές περιπτώσεις που παρουσιάστηκαν και διαγνώστηκαν ρήγματα ως μη ενεργά ακυρώθηκαν τα κατασκευαστικά έργα εξαιτίας του κόστους θεραπείας της ζώνης του ρήγματος στη θεμελίωση. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Ένα μη ενεργό ρήγμα μπορεί να ενεργοποιηθεί κατά την διάρκεια σεισμού άρα ο διαχωρισμός ενεργού - μη ενεργού ρήγματος δεν είναι εύκολος, το κύριο βήμα για την σωστή αναγνώριση επέρχεται μέσα από τις απαραίτητες σεισμολογικές έρευνες. Οι έρευνες αυτές μπορεί να απαιτούν μακροχρόνια παρατήρηση (πχ Καλιφόρνια). (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Γενικότερα, η σεισμική συμπεριφορά των χωμάτινων φραγμάτων τα οποία βρίσκονται επάνω σε ενεργά ρήγματα δεν είναι γνωστή καθώς οι πληροφορίες είναι ελλιπείς. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007) Στα πλαίσια ερευνητικών προγραμμάτων

στην Αμερική και η Ιαπωνία εφάρμοσαν προγράμματα όπου αφορούσαν την εγκατάσταση σειсмоγράφων με σκοπό την μέτρηση των κινήσεων του εδάφους σε εγγύς πεδίου περιοχές όπου υπήρχαν μεγάλα ρήγματα.

Ο BOLTON (1981) σε μελέτη του αναφέρει τους πιθανούς τρόπους με τους οποίους μπορεί να προκληθούν αστοχίες σε ένα χωμάτινο φράγμα από σεισμό. Η πρωταρχική αιτία αστοχίας είναι η καταστροφή του φράγματος, εξαιτίας της μεγάλης κίνησης του ρήγματος στην θεμελίωση. Ο BELL (1993) επισημαίνει ότι στις ζώνες των ρηγμάτων είναι δυνατό να υπάρχει έντονα τεκτονισμένο, (ή θρυμματισμένο) υλικό με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ζώνες αδυναμίας, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν κατολίσθηση κατά την διάρκεια εκσκαφής του φράγματος. Συχνά σε ποτάμιες τοποθεσίες υπάρχει παρουσία ρηγμάτων. Σε αυτές τις περιπτώσεις υλικό κατά μήκος της ζώνης διάρρηξης έχει υποστεί μεγάλη αλλοίωση λόγω διάβρωσης (η δημιουργία ενός διαφράγματος μεγάλου βάθους).

Θραύση ρηγμάτων παρατηρούμε σε μεγάλους σεισμούς αλλά και σε μικρότερες δονήσεις οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν συνεχή ολίσθηση. Παράδειγμα τέτοιας ολίσθησης αποτελεί το ρήγμα του Αγ. Ανδρέα στην Καλιφόρνια (ρήγμα ερπυσμού) το οποίο έχει ετήσιο ρυθμό ολίσθησης 20 mm. Σεισμοί που έχουν προκληθεί από τη μετακίνηση ή την απελευθέρωση ενέργειας σε ένα ρήγμα έχουν τη δυνατότητα να ενεργοποιήσουν μικρότερες μετακινήσεις σε ρήγματα όπου η τοποθεσία τους είναι αρκετά χιλιόμετρα μακριά. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι όσο αυξάνεται η απόσταση από το κυρίως ρήγμα τόσο μειώνεται η μετακίνηση αυτή. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Το μήκος θραύσης ενός ρηγματός ανήκει αποκλειστικά στο συνολικό τμήμα του μήκους του ρηγματος. Μεγάλες θραύσεις προκαλούν μεγάλες μετακινήσεις και μεγάλους σεισμούς. Έχει παρατηρηθεί ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός ρηξιγενών θραύσεων τόσο μικραίνει η μετακίνηση του ρηγματος. Σε μεγάλο ποσοστό των θραύσεων των ρηγμάτων οι μετακινήσεις κυμαίνονται κάτω από τα 3 m, ενώ η μεγαλύτερη είναι 8 m, ισχύει όμως ότι η μέση μετακίνηση στο μήκος του ρηγματος είναι μικρότερη από το μισό της μέγιστης. Δηλαδή, τα ζωνώδη φράγματα μπορούν να σχεδιαστούν ακόμα και σε θέσεις με ενεργά ρήγματα. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Συνεπώς, καταλήγουμε ότι σε περίπτωση κατασκευής φράγματος είναι αναγκαία η έρευνα για την παρουσία ενεργών ή μη ενεργών ρηγμάτων στο εγγύς πεδίο. Αναφέρεται ότι σε περίπτωση ενεργοποίησης μη ενεργού ρηγματος η μετακίνηση δεν θα είναι μεγάλη για να προκαλέσει σοβαρή ζημία (ΚΟΥΚΗΣ). Επιπρόσθετα αναφέρεται ότι κατά την διάρκεια σεισμού ενδέχεται να ενεργοποιηθούν μη ενεργά ρήγματα με δυσμενής συνέπειες.

Ειδική αναφορά για την κατασκευή των φραγμάτων και τις σεισμοτεκτονικές έρευνες πραγματοποιεί ο Ο'NEILL (1988). Στον 20^ο αιώνα πάνω από 200 φράγματα έχουν καταστραφεί ή υποστεί βλάβη λόγω σεισμού, σε παγκόσμια κλίμακα. Απεναντίας, καλά σχεδιασμένα φράγματα δεν έχουν υποστεί βλάβες ακόμα και σε περιπτώσεις μεγάλων σεισμών. Οι σεισμικές δονήσεις κατά μήκος ενεργών ρηγμάτων στην περιοχή θεμελίωσης αλλά και στην εγγύς πεδίου περιοχή μπορούν να προκαλέσουν αστοχία στο φράγμα. Γενικότερα δεν προτείνεται η κατασκευή και η θεμελίωση των φραγμάτων κατά μήκος των ενεργών ρηγμάτων παρόλο που αρκετά φράγματα έχουν σχεδιαστεί και δομηθεί επάνω σε ενεργά ρήγματα.

Σε καλά σχεδιασμένα φράγματα όπως είναι το φράγμα St.Andreas είναι δύσκολη η εμφάνιση μετακίνησης του ρήγματος στην θεμελίωση και η δημιουργία ρωγματώσεων. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι τα τσιμέντινα και τα χωμάτινα φράγματα παρουσιάζουν πολύ ικανοποιητικές συμπεριφορές σε περιόδους σεισμών.

Στην θεμελίωση των φραγμάτων η παρουσία ρηγμάτων είναι συχνή. Ένα μεγάλο μέρος αυτών είναι παλαιορήγματα του γεωλογικού υπόβαθρου τα οποία συσχετίζονται με προηγούμενα τεκτονικά περιβάλλοντα τα οποία δεν είναι πια ενεργά. Η ειδική διαχείριση αυτών των ρηγμάτων ως στοιχεία θεμελίωσης στο σχεδιασμό του φράγματος αποτρέπει πιθανές αστοχίες στο φράγμα. Αντίθετα στην περίπτωση παρουσίας νεοτεκτονικών ρηγμάτων θα πρέπει να γίνεται ενδελεχής έρευνα (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Μια ολοκληρωμένη γεωλογική έρευνα σε περιοχή για την κατασκευή φράγματος περιλαμβάνει την μελέτη της σεισμικότητας και της τεκτονικής περιοχής θεμελίωσης αλλά και της ευρύτερης περιοχής. Το μήκος των ρηγμάτων, ο τύπος της κίνησης είναι σημαντικά στοιχεία της έρευνας. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

3.1.7 Γεωλογικά – Γεωτεχνικά κριτήρια σχεδιασμού.

Συνοπτική αναφορά των γεωλογικών-γεωτεχνικών κριτηρίων (ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΛΟΥΠΑΣΑΚΗΣ) :

- Στον ταμιευτήρα η εξασφάλιση στεγανότητας των σχηματισμών που τον δομούν.(πχ. Παρουσία καρστικών σχηματισμών στην λεκάνη κατάκλισης, φράγμα Περδίκκας).
- Όσο το δυνατόν καλύτερη γνώση για την σεισμικότητα της περιοχής.
- Όσον αφορά την επιφάνεια θεμελίωσης του φράγματος να εξασφαλιστεί η στεγανότητα της.
- Να εξασφαλιστεί η ασφαλής θεμελίωση του φράγματος
- Οι δανειοθάλαμοι λήψης υλικών κατασκευής να βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο έργο.
- Ευσταθή πρηνή στην λεκάνη κατάκλισης και στα αντερείσματα

- Στην λεκάνη απορροής να υπάρχουν ανθεκτικοί στην διάβρωση βραχώδης και εδαφικοί σχηματισμοί.
- Εμφάνιση πετρωμάτων τα οποία έχουν ευνοϊκά μηχανικά χαρακτηριστικά ώστε να γίνει ασφαλής θεμελίωση των επιφανειακών και οικονομική διάνοξη των υπόγειων συνοδών έργων.

3.1.8 Γεωλογικές – τεχνικογεωλογικές έρευνες και προβλήματα

Στο Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας Δημόσιων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ) υπάρχει λεπτομερείς αναφορά ισχύουσες προδιαγραφές (Ε 104-850), αναφέρονται στις γεωλογικές-τεχνικογεωλογικές μελέτες και έρευνες, τα στάδια κατασκευής αυτών στον Ελληνικό Χώρο ώστε να εξασφαλιστεί ο ασφαλής σχεδιασμός του ταμιευτήρα και του φράγματος. Η κατασκευή φραγμάτων αναμφισβήτητα κατατάσσονται στην κατηγορία των μεγάλων έργων. Στα έργα αυτά είναι σημαντικά στοιχεία που προέρχονται από γεωλογικές-τεχνικογεωλογικές χαρτογραφήσεις με σκοπό την ανόρυξη δειγμάτων, συλλογή δειγμάτων εδάφους που είναι σημαντικά στην θέση για την διάνοξη στοών, τάφρων και φρεάτων. Σύγκριση πραγματοποιείται με την από τις γεωλογικές και γεωτεχνικές έρευνες και γεωφυσικών διασκοπήσεων χαρτογραφήσεις με αποτέλεσμα να συντάσσονται θεματική χάρτες και (την οριζόντια και κατακόρυφη κατανομή των ενοτήτων διαφορετικών σχηματισμών και υλικών με διαφορετική συμπεριφορά και ιδιότητες). (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Οι γεωφυσικές διασκοπήσεις πραγματοποιούνται στην θέση του φράγματος αλλά και του ταμιευτήρα (λεκάνη κατακλύσεως), οι οποίες βοηθούν στην μελέτη του βάθους και τη λιθολογία του υπόβαθρου και της γεωλογικής δομής, τις υποψήφιες θέσεις δανειοθαλάμων, τις ζώνες αυξημένης υδροφορίας, την ύπαρξη ζωνών διάρρηξης- ρηγμάτων.

Σημαντικός είναι ο ρόλος των γεωτρήσεων τόσο για την αξιολόγηση των δεδομένων όσο των γεωφυσικών. Χρήσιμες κυρίως στους μεγάλους σε έκταση ταμιευτήρες αποδεικνύονται οι σεισμικές διασκοπήσεις, εφόσον υπάρχει λεπτομερείς εικόνα για την γεωλογική δομή της περιοχής η οποία σε συνδυασμό με τις γεωτρήσεις έχει στόχο την αξιολόγηση πιθανών προβλημάτων και τον προσδιορισμό του είδους και της έκτασης των γεωφυσικών μεθόδων. Πιο αναλυτικά συχνά γίνεται χρήση της σεισμικής διάθλασης για την εξέταση-ανακάλυψη θαμμένων καναλιών, για τον εντοπισμό του υπόβαθρου και για τον άμεσο υπολογισμό της τιμής του μέτρου ελαστικότητας. Η γεωηλεκτρική μέθοδος χρησιμοποιείται στην αναζήτηση υδροπερατών στρωμάτων σε αλλουβιακές αποθέσεις κοιλάδων, στον προσδιορισμό του βάθους του υπόβαθρου σε υποψήφιες θέσεις για την κατασκευή φραγμάτων αλλά και στην αναζήτηση θαμμένων καναλιών. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στις παραπάνω παραγράφους ο BELL (1980) συμπεραίνει ότι ο σχεδιασμός που αφορά ένα έργο τέτοιου μεγέθους θεωρείτε πλήρης όταν μελετηθούν και απορριφθούν όλα τα πιθανά γεωλογικά προβλήματα. Γνωστό και αναμενόμενο είναι ότι διαφορετικές περιοχές έχουν διαφορετική γεωλογική ιδιομορφία, σε κάθε περιοχή πρέπει να απαντώνται οι εξής ερωτήσεις:

- 1) Πιο είναι το βάθος που χρειάζεται για την επαρκή θεμελίωση;
- 2) Ποια είναι αντοχή των πετρωμάτων στην θέση θεμελίωσης και στην ευρύτερη περιοχή;
- 3) Ποια η πιθανότητα απώλειας νερού;
- 4) Αν υπάρχουν υλικά που έχουν επιρροή στην εκσκαφή ή τον εκβραχισμό;

Ρήγματα, θαμμένα κανάλια, ζώνες καρστικοποίησης, ενεργές και πιθανές κατολισθήσεις, ζώνες διάτμησης αλλά και μικρού βάθους υδροφόροι ορίζοντες, αποτελούν παράγοντες οι οποίοι μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην ευστάθεια φραγμάτων (αλλά και στο χρόνο ζωής). Άλλοι παράγοντες οι οποίοι μπορεί να συνεισφέρουν στην επικινδυνότητα αστοχίας είναι μεταξύ άλλων η αποσάθρωση, η ολίσθηση και ο ερπυσμός.

3.2.1 Τύποι πετρωμάτων και φράγματα

Γενικότερα, υπάρχουν ελάχιστοι σχηματισμοί οι οποίοι έχουν μικρή αντοχή στα φορτία ακόμη και υψηλών φραγμάτων εξαίρεση δε αποτελούν οι ασθενείς φάσεις των σχιστόλιθων, μαργών, διάφορα είδη εύθρυπτων ψαμμιτών, μαργόλιθων αλλά και πυροκλαστικών πετρωμάτων. Παρακάτω περιγράφονται διάφορες κατηγορίες πετρωμάτων όσον αφορά την καταλληλότητα τους στην θεμελίωση φραγμάτων (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007).

Πυριγενή πετρώματα:

Στα πυριγενή πετρώματα ανήκουν τα πλουτωνικά πετρώματα τα οποία εμφανίζουν ικανοποιητικές αντοχές και θεωρούνται ιδανικά για τη θεμελίωση των τεχνικών έργων με την προϋπόθεση ότι είναι υγιή και όχι παραμορφωμένα.

Και τα πλουτωνικά πετρώματα έχουν δύο είδη πετρωμάτων τα όξινα (για παράδειγμα γρανίτες, γρανοδιορίτες, συηνίτες) και τα βασικά-υπερβασικά πλουτωνικά πετρώματα (για παράδειγμα γάββροι, διαβάσες, περιδοτίτες). Τα όξινα έχουν δομή που αλλιώνεται εξαιτίας της βαθιάς αποσάθρωσης, η οποία έχει καταγραφεί ότι μπορεί να φτάσει 20-30m. Χρειάζεται να προσδιοριστούν η έκταση και η διατμητική αντοχή του αποσαθρωμένου υλικού για να εκτιμηθεί η δυνητική ολίσθηση του σε κατολίσθηση.

Σύμφωνα με τον BELL (1980) στην περίπτωση που υπάρχουν βαθιά αποσαθρωμένες γρανιτικές μάζες υπάρχουν τρεις διαφορετικές λύσεις:

- 1) Για την κατασκευή τσιμεντένιου φράγματος να πραγματοποιηθεί βαθιά εκσκαφή έως το υγιές πέτρωμα.
- 2) Για την θεμελίωση χωμάτινου φράγματος να ληφθούν όλα τα απαραίτητα μέτρα για τις συνθήκες που επικρατούν στον εκχειλιστή και στην ευστάθεια των εκσκαφών.
- 3) Για την θεμελίωση ενός σύνθετου φράγματος για παράδειγμα ένα αντιρηδωτό τμήμα με τον εκχειλιστή στη βάση της κοιλάδας, όπου εκεί κυριαρχεί το υγιές πέτρωμα και έχει χωμάτινα αντερείσματα.

Τα βασικά-υπερβασικά πλουτωνικά πετρώματα συγκροτούν ένα σύστημα πετρωμάτων το οποίο ονομάζεται οφιόλιθοι, αποτελούν ιδανική επιλογή θεμελίωσης τεχνικών έργων εφόσον είναι υγιή διότι έχουν μεγάλη αντοχή, ενώ είναι στεγανοί σχηματισμοί ένα δεν είναι ρηγματωμένοι. Είναι στεγανά πετρώματα, αυτά όμως έχουν την τάση να ρηγματώνονται και να αποσαθρώνονται σε βάθος, οι περιδοτίτες διαλύονται σε σερπενίτες οι οποίοι δεν είναι η καταλληλότερη επιλογή για την θεμελίωση ιδιαίτερα για τσιμέντινα φράγματα. Για την κατασκευή φραγμάτων σε τέτοιες θέσεις επιλέγουμε τις ίδιες λύσεις όπως και στις θέσεις που χαρακτηρίζονται από γρανίτη με έντονες και πυκνές ρωγματώσεις.

Μία άλλη κατηγορία πυριγενών πετρωμάτων είναι τα ηφαιστειακά πετρώματα όπως για παράδειγμα οι ρυόλιθοι, οι τραχείτες, οι ανδεδίτες, οι βαλσάτες και οι δακίτες. Τα πετρώματα αυτά αποτελούν σκληρούς σχηματισμούς υψηλής αντοχής και συνιστώνται για την θεμελίωση τεχνικών έργων απεναντίας οι τόφοι συχνά είναι χαλαροί. Ιδανικές θέσεις φραγμάτων αποτελούν τα συμπαγή βαλσατικά πετρώματα μεγάλου πάχους. Αντίθετα βαλσάτες νεαρής γεωλογικής ηλικίας είναι αρκετά υδροπερατοί μέσω διακλάσεων, ζωνών επαφής και ρηγμάτων. Σε τέτοιους νέους σχηματισμούς μπορούν να προκύψουν βλάβες στην θεμελίωση του φράγματος λόγω αποσάθρωσης, διαφορικής καθίζησης ή ολίσθησης στην περίπτωση που εμφανίζονται ασθενής στρώματα όπως για παράδειγμα τέφρες ή τοφοί ανάμεσα σε βαλσατικές ροές. Αναγκαία μπορεί να θεωρηθεί η κατασκευή χωμάτινων φραγμάτων όπου παχιά και υγιή πετρώματα βασάλτη περιβάλλουν τέτοιους ασθενούς ορίζοντες.

Αντίθετα, οι ρυόλιθοι και οι ανδεδίτες δεν παρουσιάζουν προβλήματα διαφυγής νερού και αποτελούν ιδανική περίπτωση για θεμελίωση η τυχόν αποσάθρωση σε βάθος υποδεικνύει την δημιουργία χωμάτινου φράγματος. Τα πυροκλαστικά όπως είναι για παράδειγμα οι τοφοί και η τέφρα παρουσιάζουν αρκετά διαφορετικές συνθήκες θεμελίωσης, εξαιτίας της ανθεκτικότητας τους, της υδροπερατότητας τους αλλά και της ευρείας κύμανσης τους

3.2.2 Μεταμορφωμένα πετρώματα

Τα μεταμορφωμένα πετρώματα διαφέρουν σημαντικά ως προς την καταλληλότητα τους στην θεμελίωση φραγμάτων. Τα πετρώματα είναι 1) οι γνεύσιοι, οι αμφιβολίτες, 2) οι χαλαζίτες, τα μάρμαρα, οι διάφοροι τύποι σχιστόλιθων εκτός των αργιλικών σχιστόλιθων που ανήκουν στα ιζηματογενή πετρώματα. Όλα τα προαναφερόμενα πετρώματα πλην των μαρμάρων και των χαλαζιτών (εμφανίζουν μακροσκοπικά ζωνώδη ή σχιστοφυή ιστό). Η παρουσία ανισοτροπία; στην μηχανική του συμπεριφορά αποτελεί ιδιαιτερότητα αυτών. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Οι χαλαζίτες ανήκουν στα υγιή και θερμοκρασιακά μεταμορφωμένα πετρώματα, είναι αρκετά σκληρά και αποτελούν ιδανικές θέσεις φραγμάτων (είναι αντοχής μεγαλύτερη από 700 Kg/cm² σε μερικές περιπτώσεις και πάνω από 1400 Kg/cm²). Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δοθεί στις ρωγματώσεις του πετρώματος που προκλήθηκαν από τις τεκτονικές κινήσεις. Χαρακτηριστική ιδιότητα των μαρμάρων αποτελεί η μεγάλη αντοχή τους, επιπλέον δεν αποσαθρώνονται αλλά εμφανίζουν όπως και τα άλλα ανθρακικά πετρώματα μικρή ή μεγάλη καρστικοποίηση. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Αρνητικές επιπτώσεις στην αντοχή των διαφορετικών κατηγοριών μπορεί να έχουν ο σχισμός, η σχιστότητα και η φύλλωση θέτοντας τα περισσότερο επιρρεπή στο να φθαρούν. Οι γνεύσιοι και οι αμφιβολίτες είναι καλοί σχηματισμοί για την θεμελίωση καθώς έχουν ζωνώδη και όχι σχιστοφυή ιστό. Σύμφωνα με τον ΜΑΡΙΝΟ (1991) παραμόρφωση στη ζωνώδη διάταξη είναι πιθανή η ρωγμάτωση του πετρώματος. Η αποσάθρωση και η ρωγμάτωση ελέγχουν την συμπεριφορά του πετρώματος. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Σε μερικές περιπτώσεις χρειάζονται επί τόπου δοκιμές σε μεγάλο εύρος ώστε να μετρηθούν η διατμητική αντοχή και η επιδεκτικότητα σε ολίσθηση η οποία είναι πολύ σημαντική εάν τα πετρώματα έχουν κλίση προς τα κατόντη. Οι φυλλίτες και οι σχιστόλιθοι αποτελούν ιδανικές θέσεις για την κατασκευή φραγμάτων βαρύτητας σε συνδυασμό με πετρώματα καλής ποιότητας που βρίσκονται στην επιφάνεια. Πιθανό βέβαια είναι να προκύψουν βλάβες από τις εκσκαφές κατά την θεμελίωση στις διακλασεις. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Ορισμένοι σχιστόλιθοι και φυλλίτες ιδανικές θέσεις φραγμάτων, ενώ άλλοι είναι ασθενείς πετρώματα και επιλέγονται για την θεμελίωση και τα ακρόβαθρα. Παραδείγματα τέτοιων ασθενών πετρωμάτων είναι οι ταλκικοί, οι σερικιτικοί σχιστόλιθοι και οι χλωριτικοί, (αυτά τα πετρώματα αποτελούνται από πυκνά επίπεδα σχιστότητας, απεναντίας οι μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι είναι πιο

συνηθισμένα πετρώματα με καλύτερη συμπεριφορά). (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Η χρήση κουρτινών τσιμεντενέσεων συμβάλλει στην βελτίωση της θεμελίωσης, αυτό επιτυγχάνεται με την πλήρωση των ρωγμών που έχει στόχο την στεγανότητα της. Σχετικά με την χρήση τους σαν υλικά λιθοπλήρωσης είναι ιδανικά εφόσον υπάρχει ειδική συμπύκνωση. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι κατάλληλα για αυτές τις θέσεις είναι τα λιθόρριπτα φράγματα. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Το μεγαλύτερο μέρος του διαβρωμένου πετρώματος σε θέσεις φραγμάτων με πυριγενή και με μεταμορφωμένα πετρώματα, οφείλεται στις διακλάσεις, στα ρήγματα και στις ζώνες διάτμησης. Ακόμα και αν είναι πληρωμένες οι τσιμεντενέσεις συχνά επιτρέπουν την διαφυγή μέσω των ακρόβαθρων και της θεμελίωσης. Επιτρέπεται κατά την εκσκαφή ακόμα και μικρό άνοιγμα των διακλάσεων μπορεί να οδηγήσει σε ανεπάντευτη περιστροφή και ολίσθηση βραχωδών μαζών, μειώνοντας την αντοχή και την ιδιομορφία της βραχομάζας. Ενώ, η ευστάθεια στα πρηνή της κοιλάδας μπορεί να ελαττωθεί εξαιτίας των στρωματοειδών και επίπεδων διακλάσεων που είναι παράλληλες με την τοπογραφική επιφάνεια. Τελικά, συμπεραίνουμε ότι η δομή των ασυνεχειών έχει μεγάλη επιρροή στην μηχανική συμπεριφορά της βραχομάζας. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

3.2.3 Ιζηματογενή πετρώματα

Τα ιζηματογενή πετρώματα δημιουργούνται από την αποσάθρωση παλαιότερων πετρωμάτων, από την μεταφορά δημιουργώντας έτσι κλαστικά ιζήματα όπως είναι οι ψαμμίτες, οι ιλυόλιθοι, οι αργιλικόι σχιστόλιθοι τα κροκαλοπαγή αλλά και τα κροκαλολατυποπαγή, ή χημικά ιζήματα όπως οι δολομίτες, οι σχιστόλιθοι, οι κερατόλιθοι, οι εβαπορίτες –ανυδρίτης, ο γύψος αλλά και το ορυκτό αλάτι κ.α. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Κατά μεγάλο μέρος οι ψαμμίτες (ανάλογα με τον αριθμό και τον τύπο του ή ανάλογα με την συνοχή του συνδετικού υλικού που κυριαρχεί στους πόρους) έχουν μεγάλης κλίμακας αντοχή. Σημαντικό πρόβλημα φραγμάτων σε θέσεις που χαρακτηρίζονται από ψαμμίτες αποτελεί η παρουσία διαρρήξεων που έχει ως συνέπεια την μείωση της αντίστασης σε περίπτωση ολίσθησης. Παρ' όλα αυτά, γνωρίζουμε ότι οι ψαμμίτες έχουν υψηλούς συντελεστές εσωτερικής τριβής, οι συντελεστές αυτοί όταν βρίσκονται σε φόρτιση τους μεταφέρουν μεγάλες διατμητικές αντοχές. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Η εναλλαγή ψαμμιτών με αργλικούς σχιστόλιθους μπορεί να προκαλέσει ολίσθηση. Η επιφάνεια αργλικών κατά μήκος της επαφής των δύο πετρωμάτων μπορεί να προκαλέσει την ολίσθηση όταν οι κλίσεις τους είναι έξω από τα ακρόβαθρα και τις εκσκαφές του εκχειλιστή. Επιπλέον, μπορούν να ασκηθούν σοβαρές πιέσεις άνωσης στα κάτω αργλικά στρώματα της θεμελίωσης με αποτέλεσμα να ελαττωθεί η αντίσταση για ολίσθηση. Σύμφωνα με τον BELL (1980), ο συνδυασμός εναλλαγής ψαμμιτών και αργλικών πετρωμάτων στην θεμελίωση ενός φράγματος και στα ακρόβαθρα συχνά επιφέρει προβλήματα ανυψώσεων και καθιζήσεων, ενώ το μέγεθος των προβλημάτων εξαρτάται από την συμπεριφορά των αργλικών σχιστόλιθων. Η στεγανότητα των ψαμμιτών επηρεάζεται από την ποσότητα του συνδετικού υλικού στους πόρους και κυρίως από την παρουσία ασυνεχειών. Παρόλο που το πορώδες τους δεν δημιουργούν προβλήματα διηθήσεων και διαφυγών, υπάρχουν και εξαιρέσεις. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Σε ασβεστόλιθους η καταλληλότητα θέσεως φραγμάτων ποικίλλει αρκετά σχετικά με τα ανθρακικά πετρώματα υπάρχει επάρκεια θέσεων φραγμάτων σε ασβεστόλιθους. Ιδανικές θέσεις αποτελούν τα παχυστρωματώδη και τα οριζόντια τα ασβεστολιθικά πετρώματα χωρίς την παρουσία καρστικών εγκοίλων. Σε θέσεις όπου υπάρχουν καρστικοποιημένοι, πολυπτυχωμένοι ή και λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι είναι πιθανό να προκύψουν σοβαρά προβλήματα στην θεμελίωση και στα ακρόβαθρα σχετικά με την φέρουσα στεγανότητα αλλά και την αντοχή. Σε περίπτωση που εμφανίζεται λεπτοστρωματώδες πέτρωμα είναι πιθανό να πραγματοποιηθεί ολίσθηση και απαιτείται η σταθεροποίηση του σχηματισμού θεμελίωσης.(πχ πάκτωση) Συχνά, τα στρώματα που διατέμνονται από εναλλασσόμενες στρώσεις αργίλου ή αργλικού σχιστόλιθου κυρτής όταν κλίνουν προς τα κατάντη μπορούν να δημιουργήσουν αστοχίες. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Στους ασβεστόλιθους πάντα διακρίνουμε σημεία που έχουν υποστεί παραμόρφωση. Οι καρστικές κοιλοότητες των ασβεστόλιθων είναι είτε ανοικτές είτε καλυμμένες με άργιλο, άμμων, ιλύος, χαλικιών ή νερό. Σε περίπτωση που διαγνωσθεί παρουσία τέτοιων πολυάριθμων κοιλοτήτων που εκτίθενται σε βάθος, θα πρέπει να αποφεύγεται η κατασκευή φραγμάτων διότι εξαιτίας αυτών των κοιλοτήτων προκύπτουν ζημιές στην κατασκευή μεγάλων έργων όπως για παράδειγμα μείωση της στεγανότητας των σχηματισμών θεμελίωσης και ελάττωση της φέρουσας ικανότητας. Για να ενισχύσουμε τη φέρουσα αντοχή σε καρστικούς ασβεστόλιθους μπορούμε να πραγματοποιήσουμε βαθύτερες εκσκαφές, ενώ για την ενίσχυση της στεγανότητας μπορούμε να αφαιρέσουμε το υλικό που την καλύπτει και στη θέση του να τοποθετήσουμε τσιμέντο. Οι τσιμεντενέσεις αποτελούν ένα αποτελεσματικό τρόπο σφράγισης των μικρών κοιλοτήτων. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Αστοχίες εξαιτίας της εμφάνισης ασβεστολιθικών σχηματισμών με χαμηλή στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα στον ταμιευτήρα, προέκυψαν στο χωμάτινο φράγμα Περδίκκα κοντά στην Πτολεμαΐδα. Οι σχηματισμοί αυτοί υπόκεινται σε στεγανά νεογενή αργιλομαργαϊκά ιζήματα, το πάχος τους σε ορισμένα είναι μικρό. Αφού, γέμισε η λίμνη έγινε σταδιακά απόπλυση των λεπτομερών αργιλομαργαϊκών υλικών και δημιουργήθηκαν καταβόθρες ώστε να αδειάσουν τον ταμιευτήρα. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Επίσης, για την κατασκευή του τοξωτού φράγματος του Μέγδοβα χρειάστηκε να κατασκευαστεί υπόγειο διάφραγμα κάτω από αυτό. Το φράγμα είναι θεμελιωμένο σε ασβεστόλιθους με μικρή καρστικοποίηση και διαπερατότητα χωρίς την εμφάνιση προβλημάτων. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Κοινά στοιχεία ως προς την συμπεριφορά με τους ασβεστόλιθους παρουσιάζουν οι δολομίτες. Οι διαφορές είναι ότι οι δολομίτες έχουν μικρότερη καρστικοποίηση, το $MgCO_3$ που περιέχουν είναι δυσδιάλυτο και η άμμος κατακάθεται μέσα στις ρωγμές και στους καρστικούς αγωγούς. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Όσον αφορά την απομάκρυνση των εβαπορίτων που έχουν υποστεί διάλυση μπορούν να προκληθεί καθίζηση και καταρρεύσει των στρωμάτων που συσχετίζονται. Ακόμη μπορούν να δημιουργηθούν σε ελάχιστα χρόνια κοιλότητες και αστοχίες εξαιτίας εμφάνισης σχηματισμών γύψου. Απεναντίας, εάν ο ανυδρίτης ενυδατώνεται σε γύψο παράλληλα αυξάνεται ο όγκος ανάμεσα στο 30%-58% που μπορεί να προκαλέσει ανύψωση ή διάρρηξη. Στην περίπτωση όμως που έχουμε εναλλαγές αυτών των πετρωμάτων με στρώματα αργίλου πιθανά να δημιουργούν καθίζηση, ανύψωση ή διάρρηξη σε θέσεις για χωμάτινα ή λιθόρριπτα φράγματα. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Κατά το σχεδιασμό τσιμέντινων φραγμάτων είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη οι αδυναμίες που μπορεί να παρουσιαστούν στην αντοχή και στις ελαστικές ιδιότητες. Οι σχιστόλιθοι καλά τσιμεντωμένοι σε θέσεις με καλή τεκτονική δομή δεν εμφανίζουν βλάβες. Στο σχεδιασμό τσιμέντινων φραγμάτων με μεγάλο ύψος μπορούν να δημιουργούν προβλήματα στην αντοχή και στις ελαστικές ιδιότητες. Ωστόσο, έχουν χαμηλές διατμητικές αντοχές και μέτρο ελαστικότητας σε σύγκριση με το τσιμέντο, γι'αυτό δεν θεωρούνται ιδανικοί για να θεμελιωθεί ένα τοξωτό φράγμα. Εάν παρουσιάζονται αργιλομαργαϊκοί σχιστόλιθοι τότε πιθανές είναι οι καθιζήσεις, με αποτέλεσμα να υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής μόνο χωμάτινων φραγμάτων των οποίων τα συναφή έργα θα εμφανίσουν βλάβες όπως για παράδειγμα ο εκχειλιστής. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Κατά την διάρκεια κατασκευής ενός φράγματος και μετά προκύπτουν διάφορα προβλήματα. Ένα από τα κυριότερα προβλήματα των σχιστόλιθων είναι η ευστάθεια των πρηνών σε τομές- εκσκαφές σε σχηματισμούς με μεγάλη κλίση και

σε αυτούς που αποτελούνται από αργιλικά ορυκτά (μοντμοριλονίτη) πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή. Εάν υπάρχουν ανοικτές ρωγμές- διαρρήξεις και επίπεδα παραμορφώσεων σε αργιλικούς σχιστόλιθους, για σημαντικές αποστάσεις και βάθος μπορεί να προκληθεί μείωση της αντίστασης του πετρώματος στις οριζόντιες δυνάμεις και να δημιουργηθούν υδροστατικές πιέσεις. Όταν το μεγαλύτερο μέρος των ρωγμών είναι καλυμμένο με άργιλο τότε προκύπτουν προβλήματα στην τοποθέτηση τσιμεντενέσεων που πολλές φορές δεν είναι εφικτές. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Ένα άλλο είδος ιζηματογενών πετρωμάτων είναι ο φλύσχης. Ο φλύσχης έχει μεγάλη ετερογένεια, δηλαδή εναλλάσσει συχνά το είδος των πετρωμάτων του από ψαμμίτες, αργιλικούς, ιλυόλιθους, μάργες και κροκαλοπαγή. Ο σχηματισμός του χαρακτηρίζεται υδατοστεγανός με αποτέλεσμα οι ταμιευτήρες να μην εμφανίζουν διαρροή νερού. Ο τύπος των έργων μπορεί να είναι εύκαμπτος δηλαδή χωμάτινα ή λιθόρριπτα φράγματα. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Στην θεμελίωση χωμάτινων και λιθόρριπτων φραγμάτων απαραίτητη είναι η κατασκευή διαφραγμάτων και κυρίως στις θέσεις όπου κυριαρχούν ψαμμίτες και κροκαλοπαγή, διότι μπορεί να προκύψουν βλάβες εξαιτίας των διαφορικών καθιζήσεων. Εάν είναι ασβεστιτικό το συνδετικό υλικό, οι σχηματισμοί αυτοί μπορεί να υποστούν εσωτερική διάβρωση και μεταφορά του συνδετικού αυτού υλικού με συνέπεια να εμφανίζεται διαφυγή νερού παραδείγματα τέτοιων περιπτώσεων είναι το φράγμα Κρεμαστών στην Ελλάδα και το φράγμα St.Francis στην Καλιφόρνια. Ένα ακόμη πρόβλημα που σχετίζεται με το φλύσχη και τα πρηνή των ταμιευτήρων είναι οι κατολισθήσεις. Τονίζεται ότι συχνή αύξηση και μείωση του της στάθμης του νερού στους ταμιευτήρες έχει καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη των κατολισθήσεων. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

3.2.4 Εδαφικοί σχηματισμοί

Στους εδαφικούς σχηματισμούς με ειδική μελέτη και σχεδιασμό μπορούν να κατασκευαστούν χωμάτινα φράγματα και τα συνοδά έργα τους. Τα αργιλικά – αργιλομαργαϊκά στρώματα θεμελίωσης των φραγμάτων παρουσιάζουν βλάβες ανύψωσης, εφόσον το υλικό που θα αποσπαστεί κατά την εκσκαφή υπερβαίνει της κατασκευής. Σε περιπτώσεις που έχουμε περιστροφικές ολισθήσεις είναι πιθανή η εμφάνιση βλάβης στην ευστάθεια των πρηνών. Οι σχηματισμοί αυτοί (δηλαδή αργιλικά- αργιλομαργαϊκά) περιλαμβάνουν οριζοντες κροκαλοπαγών με αργιλικό ή ασβεστιτικό συνδετικό υλικό το οποίο απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή όπως προαναφέρθηκε λόγω προβλημάτων διαφυγής. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Οι αλλουβιακές αποθέσεις αποτελούνται από λεπτομεροί και χονδρόκοκκα υλικά και όταν οι αποθέσεις είναι (αδύναμα στερεοποιημένες) προκύπτουν τα μεγαλύτερα προβλήματα στην θεμελίωση. Οι άργιλοι και οι ιλύες των αποθέσεων

θέτονται σε πλαστική παραμόρφωση ή διατμητική αστοχία κάτω από τα μεγάλα φορτία, (απεναντίας η στερεοποίηση κάτω από τα φορτία αυτά απαιτεί αρκετό χρόνο), με αποτέλεσμα να απαιτούνται εργαστηριακές δοκιμές ώστε να σχεδιαστούν ασφαλείς κατασκευές. Στην περίπτωση ενός χωμάτινου φράγματος η κατασκευή πρανών με μικρότερη κλίση εξασφαλίζει καλύτερες διατμητικές αντοχές στους σχηματισμούς θεμελίωσης. Σε θέσεις μαλακών αργίλων διάφορες τεχνικές μπορεί να εφαρμοσθούν με στόχο την γρηγορότερη στερεοποίηση, όπως για παράδειγμα τάπητες αποστράγγισης με υλικά μικρού πάχους, κατακόρυφα στραγγιστήρια από άμμο σε περιπτώσεις που υπάρχουν αποθέσεις μεγαλύτερου πάχους. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Απεναντίας, όταν οι αποθέσεις είναι χοντρόκοκες (άμμοι,χάλικες) υπόκεινται (από τους μηχανικούς) ν καλή θεμελίωση για τα χωμάτινα φράγματα. Τα βασικά προβλήματα πηγάζουν από την υδροπερατότητα των αδρομερών αλλουβιακών αποθέσεων. Για να αποτραπούν οι διαρροές του νερού κάτω από το φράγμα χρησιμοποιούνται διαφραγματικοί τάφροι- τοίχοι εφόσον δεν είναι μεγάλο το βάθος του στεγανού υπόβαθρου. Σε άλλη περίπτωση χρειάζεται η δημιουργία αδιαπέρατου τάπητα ανάντη, με στόχο να μεγαλώσει η διαδρομή του νερού και η εγκατάσταση των στραγγιστικών έργων κατόντη, ώστε να πραγματοποιηθεί με ασφάλεια η παροχέτευση των διαρροών νερού εκτός του έργου. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Η κατασκευή φραγμάτων δεν προτείνεται σε κορήματα και σε κώνους κορημάτων εξαιτίας της υδροπερατότητας και της αστάθειας των υλικών αυτών. Όταν το πάχος είναι μικρό και μπορεί να αποσπαστούν τότε υπάρχει η δυνατότητα να επιλεγεί μία περιοχή για την κατασκευή τέτοιων έργων. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Οι κατολισθήσεις αποτελούν ένα συχνό φαινόμενο σε κοιλάδες ορεινών περιοχών, επομένως σε υποψήφιες περιοχές για κατασκευή φραγμάτων πρέπει να γίνει λεπτομερής έρευνα για πιθανές κατολισθήσεις κατά την διάρκεια της κατασκευής αλλά και κατά τη λειτουργία του φράγματος (ΚΟΥΚΗΣ 1994).

3.3.1 Γεωλογικές συνθήκες και διάνοιξη.

Υπόγεια νερά

Η κατασκευή σήραγγας με στόχο την χρήση του ως αποστραγγιστικό μέσο μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στην υδρολογική υπάρχουσα κατάσταση της περιοχής από όπου θα περάσει. Για να πραγματοποιηθεί ορθά η μελέτη και ο σχεδιασμός μίας τέτοιας κατασκευής θα πρέπει να ληφθούν υπόψη (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ):

- Οι προσδοκώμενες ποσότητες και οι υπάρχουσες θέσεις εισροής νερού. Επιπλέον, απαραίτητη είναι η αξιολόγηση των προσδοκώμενων μορφών ροών νερού είτε είναι συγκεντρωμένες και διασκορπίζονται.
- Οι επιρροές της υδροστατικής πίεσης στην επένδυση της σήραγγας.
- Οι επιπτώσεις και η αλληλεπίδραση της περιοχής, εξαιτίας της προσδοκώμενης «ταπείνωσης» της στάθμης του υδροφόρου κατά την διάρκεια της κατασκευής όπως καθιζήσεις τεχνικών έργων, στερεύσεις πηγών και πηγαδιών.

Σημαντική είναι η εκτίμηση των θέσεων και των ποσοτήτων νερού για τον σχεδιασμό των ιδανικών μέτρων αποστράγγισης, η κατάλληλη εφαρμογή των μέτρων ώστε να ευνοήσει την ασφάλεια αλλά και την οικονομία του έργου.

Το νερό φτάνει στην σήραγγα με διαφορετικές μορφές. Οι μορφές αυτές είναι (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007):

- 1) Με την μορφή πηγής ή πίδακα, εισροής υπό πίεση από οποιαδήποτε σημείο της σήραγγας. Με αυτήν την μορφή το νερό μπορεί εισβάλει μετά την επαφή του με:
 - Υδροφόρο στρώμα. Για παράδειγμα ορίζοντας άμμου μέσα σε μαργαϊκά στρώματα.
 - Ρηξηγενούς ζώνη.
 - Καρστικών αγωγών.
 - Υδροφόρου φακού. Για παράδειγμα ύπαρξη ασβεστόλιθων μέσα σε σχιστόλιθους (πχ. Μετρό Αθήνας)
 - Οποιοδήποτε είδους υδροφόρων οριζόντων. Για παράδειγμα ελεύθερων, επικρεμάμενων ή υπό πίεση. Συνεπώς, η αποστράγγιση στη σήραγγα γίνεται συνθήκες μόνιμης ή μη μόνιμης ροής.
- 2) Με την μορφή σταγόνων ή ρευμάτων από τα τοιχώματα.
- 3) Με την μορφή σταγόνων από την πάνω πλευρά (οροφή) της σήραγγας, δηλαδή υπό την μορφή βροχής.

Σε περίπτωση που χρησιμοποιηθούν εκρηκτικά για τη διάνοιξη, είναι πιθανό να προκληθούν διεργασίες «διεύρυνσης» των ασυνεχειών της βραχομάζας και της επικοινωνίας της σήραγγας με υδροφόρους ή καρστικούς που βρίσκονται πλησίον, με συνέπεια την εισροή των νερών στη σήραγγα.

Καθώς προχωράει μια κατασκευή η ποσότητα του νερού που αποστραγγίζεται σε μία σήραγγα ελαττώνεται, λόγω της σταδιακής εξάντλησης των αποθεμάτων νερού (εάν έχουμε επικρεμάμενους ορίζοντες, υδροφόρους φακών κ.λπ.). Αύξηση της ροής του νερού μπορούμε να διαπιστώσουμε όταν έχουμε «διεύρυνση» των

ρωγμών στη βραχομάζα οι οποίες έχουν προκληθεί κυρίως από τα εκρηκτικά που χρησιμοποιούνται.

Η παρουσία θειικών ιόντων στο νερό, (ίσως υπάρχει από διάλυση γύψου ή ανυδρίτης ή έχει αποσυντεθεί σιδηροπυρίτης ή πυρροτίνη (όπου ανήκει στα αργιλικά πετρώματα) ή θειικός σίδηρος), μπορεί να προκαλέσει την διάβρωση του σκυροδέματος με το οποίο έχει επενδυθεί η σήραγγα.

Για την βελτιστοποίηση των συνθηκών στεγανοποίησης και εισροών νερού της βραχομάζας εφαρμόζονται διάφορα συστήματα. Για παράδειγμα κατασκευή συστήματος πηγαδιών άντλησης και υδρογεωτρήσεων, εφαρμογή ειδικών τσιμεντενέσεων, υπό οριζόντιες γεωτρήσεις και σε χαλαρούς εδαφικούς σχηματισμούς χρήση ειδικών μεθόδων με σκοπό την βελτίωση του εδάφους και κατάψυξη με ειδικά διαλύματα.

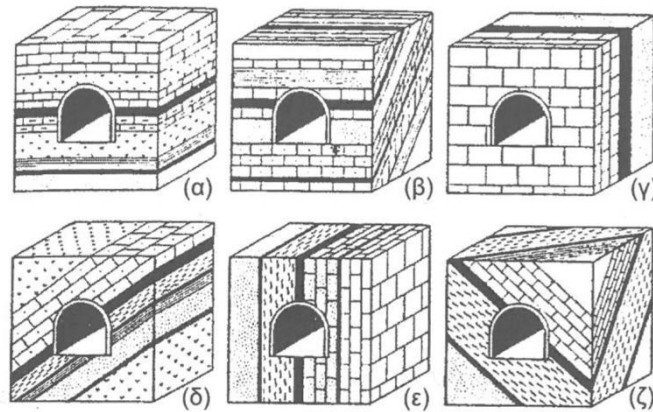
Όταν γίνεται διάνοιξη μίας σήραγγας αλλάζουν οι συνθήκες των υπόγειων νερών και της επιφανειακής ροής του νερού στην γύρο περιοχή. Για τον λόγο αυτό, ο σχεδιασμός και η επιλογή της τοποθεσίας του άξονα της σήραγγας πρέπει να πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη και τις πιθανές επιπτώσεις από τον περιβάλλοντα χώρο. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

3.3.2 Επίδραση της στρώσης στη διατομή της σήραγγας

Ο προσανατολισμός των γεωλογικών στρωμάτων σε σχέση με τον άξονα της σήραγγας επηρεάζει την υποστήριξη της σήραγγας καθώς επιδρά στην κατανομή των τάσεων .

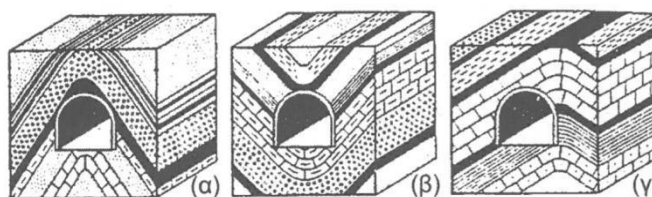
Είναι γνωστό ότι η κατανομή και των τάσεων που διαμορφώνουν την διατομή της σήραγγας, την άμεση στήριξη και την τελική επένδυση, επηρεάζονται ο προσανατολισμός των γεωλογικών στρωμάτων σε σχέση με τον άξονα της σήραγγας.

A) Μονόκλινα. Στο σχήμα 10 (α), (β), και (γ) οι πιέσεις που επιδρούν στη διατομή είναι περίπου ομοιόμορφες και κατακόρυφες ενώ στο σχήμα (δ) και (ζ) οι πιέσεις συγκεντρώνονται στη μία μόνο πλευρά ης σήραγγας, επειδή τα στρώματα κλίνουν λοξά. Το σχήμα (ε) δείχνει ισχυρή πίεση στην κορυφή του τόξου της διατομής. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ).



Σχήμα 8 : Επίδραση της στρώσης των στρωμάτων στη διατομή των σηράγγων (από DESIO 1973), (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ).

Β) Αντίκλινα και σύγκλινα. Όταν ο άξονας της σήραγγας συμπίπτει με τον άξονα ενός αντίκλινου, οι κατακόρυφες πιέσεις εκτονώνονται πλευρικά και στην περίπτωση που τα στρώματα είναι διαπερατά θα υπάρξουν αυξημένες εκροές νερού από τη σήραγγα. Αντίθετα, όταν η σήραγγα έχει τοποθετηθεί σε σύγκλινο τότε αναμένεται συγκέντρωση και αύξηση (σχήμα 11 β), ενώ το νερό τείνει να εισρεύσει μέσα στη σήραγγα. Στα αντίκλινα, τα νεότερα στρώματα παρουσιάζουν περισσότερες εφελκυστικές ρωγμές από τα κατώτερα (σχήμα 11 γ) ενώ το αντίθετο συμβαίνει στα σύγκλινα. Στην περίπτωση που μία σήραγγα διατέμνει εγκάρσια ένα μοναδικό αντίκλινο οι πλευρικές πιέσεις στη σήραγγα είναι μεγαλύτερες κοντά στις εισόδους παρά στο μέσο της, ενώ το αντίθετο συμβαίνει στην ενός μοναδικού σύγκλινου (σχήμα 12). (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ)



Σχήμα 9 : Επίδραση σύγκλινου και αντίκλινου στην επένδυση των σηράγγων (από DESIO 1973), (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ)



Σχήμα 10 : Σήραγγα που διατέμνει εγκάρσια (α) αντίκλινο και (β) σύγκλινο. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ).

3.3.3 Επίδραση προσανατολισμού ασυνεχειών

Σημαντικό ρόλο στη διάνοιξη των σηράγγων έχουν ο προσανατολισμός και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών της βραχομάζας, για παράδειγμα τέτοια χαρακτηριστικά είναι η απόσταση, το υλικό πλήρωσης και η τραχύτητα, επειδή επιβάλλουν τις συνθήκες της αστάθειας της οροφής και των τοιχωμάτων και ακόμη προσδιορίζουν το μέγεθος των εκσκαφών που πιθανό είναι να χρειαστούν εκτός από τη συγκεκριμένη διατομή της σήραγγας. Όταν η βραχομάζα διατέμνεται από τουλάχιστον τρία συστήματα, το τέμαχος μπορεί να απομακρυνθεί με αποτέλεσμα να έχει τη δυνατότητα να καταπέσει από τα τοιχώματα μιας υπόγειας εκσκαφής ή την οροφή. Επομένως, μπορεί να πραγματοποιηθεί έρευνα, για την δυνητική αστάθεια της οροφής εξαιτίας της εμφανίσεως ασυνεχειών που διαχωρίζονται από την βραχομάζα, χρησιμοποιώντας στερεογραφικές προβολές.

Λεπτομερής αναφορά στην δυνητική αστάθεια των τοιχωμάτων κάνουν οι ΗΟΕΚ and ΒRΟWN (1980). Έχουν δημιουργηθεί προγράμματα ηλεκτρονικού υπολογιστή (για παράδειγμα το “UNWEDGE”) με τα οποία υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά των προσδοκώμενων για πτώση – ολίσθηση βραχωδών σφηνών όπως για παράδειγμα η γεωμετρία και το βάρος αλλά και ο συντελεστής ασφάλειας τους. Επιπλέον, μπορούν να υπολογισθούν τα χαρακτηριστικά των αγκυρίων ενεργητικού και παθητικού τύπου που χρειάζονται για τη συγκράτηση και την αντιστήριξη των σφηνών και του πάχους της ζητούμενης στρώσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Εκτός από τις βασικές αρχές που προαναφέρθηκαν ισχύουν και τα εξής:

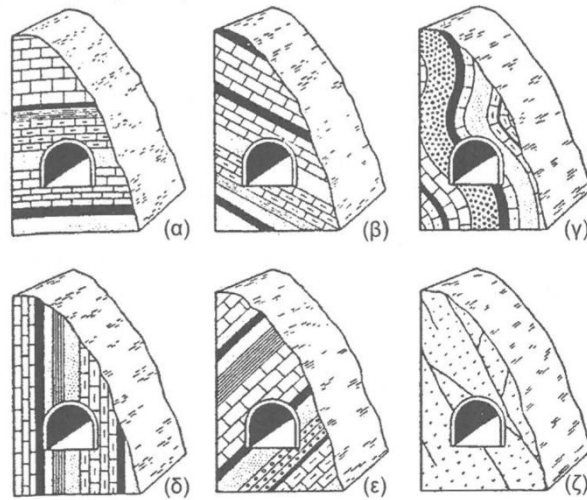
- Όταν οι ασυνέχειες είναι παράλληλες στον άξονα της σήραγγας και κλείνουν με γωνία μεγαλύτερη από 45° (ή σύμφωνα με τον BELL (1980) μεγαλύτερη από 30°) προκαλείται αποκοπή των πλακών από τα τοιχώματα και καταπτώσεις από την οροφή, αποκόλληση των βραχωδών τεμαχών

δημιουργείται όταν εμφανίζονται ασυνέχειες με μικρές κλίσεις των επιπέδων τους.

- Όταν ο άξονας της σήραγγας είναι κάθετος στην κατεύθυνση των ασυνεχειών και οι κλίσεις τους είναι μικρότερες από 15° , προκαλούνται πτώσεις μεγάλων βράχων, από την οροφή ενώ τα τοιχώματα μένουν σχεδόν σταθερά.
- Κάθε στρώμα δρα σαν αντέρεισμα. Όταν ο άξονας είναι κάθετος στην κατεύθυνση σε στρώματα κατακόρυφα ή με μεγάλες κλίσεις του κάθε στρώμα δρα σαν αντέρεισμα
- Το πέτρωμα στην οροφή υποβαστάζεται από την τριβή κατά μήκος των στρώσεων, όταν ο άξονας της σήραγγας είναι παράλληλος με την κατεύθυνση κατακόρυφων στρωμάτων.
- Τα στρώματα παράγουν δράση γέφυρας, δηλαδή πράττουν σαν μία συμπαγής πλάκα και απλά λυγίζουν κάτω από το βάρος τους, όταν η απόσταση ανάμεσα των ασυνεχειών σε οριζόντια στρώματα είναι μεγαλύτερη από το πλάτος της διατομής. Η οροφή δεν χρειάζεται στήριγμα όταν οι δυνάμεις κάμψης είναι μικρότερης από την εφελκυστική αντοχή του πετρώματος. Η οροφή της σήραγγας είναι επίπεδη, όταν τα στρώματα είναι οριζόντια με μεγάλο πάχος και συμπίπτουν με ασυνέχειες οι οποίες έχουν μεγάλη απόσταση, σε αντίθεση με την περίπτωση που τα οριζόντια στρώματα έχουν μικρό πάχος και διελαύνονται από ασυνέχειες με μικρή απόσταση, όπου τότε η οροφή είναι καταλήγει σε αιχμηρό σχήμα.

3.3.4 Απόκρημνα πρανή

Στο σχήμα 11 παρουσιάζεται η επίδραση των απότομων πρανών στην κατασκευή μιας σήραγγας. Οι περιπτώσεις (α), (δ) και (ε) αναφέρονται γενικά σε σταθερές και ευνοϊκές συνθήκες κατασκευής, ενώ η περίπτωση (γ) είναι μέτρια από πλευράς ευστάθειας. Εκτός από τον προσανατολισμό της στρώσης πρέπει να συνεκτιμάται και η παρουσία του νερού. Έτσι, στις περιπτώσεις κυρίως (β), (γ) και λιγότερο στη (γ), αναμένονται προβλήματα αστάθειας στο τμήμα της διατομής προς το πρανές λόγω αστοχιών του. Προς την κατεύθυνση αυτή συμβάλλει και η διαταραχή της βραχομάζας, λόγω της διάνοιξης της σήραγγας. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ).



Σχήμα 11: Σήραγγες κοντά σε απότομα πρανή (DESIO 1973), (ΚΟΥΚΗΣ – ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ)

3.3.5 Υλικά αποσάθρωσης

Γενικά τα υλικά αποσάθρωσης δεν είναι σταθερά, επομένως δεν ευνοούν την διάνοιξη μίας σήραγγας σε αυτά. Στη γεωλογική έρευνα σημαντικό είναι να παρουσιάζεται ολόκληρο το γεωλογικό ανάγλυφο των χαλαρών υλικών αποσάθρωσης που βρίσκεται πάνω από τα πετρώματα, εφόσον δεν έχει γίνει μελέτη των αστοχιών που μπορεί να προκύψουν, η σήραγγα όταν έρθει σε επαφή με τέτοιου είδους υλικά πιθανό είναι να προκαλέσει αστάθειες. Για παράδειγμα για να είναι αξιόπιστη μία μηκοτομή δεν αρκεί μία γεώτρηση, διότι αφού πραγματοποιηθεί η γεωλογική μελέτη και η κατασκευή έχει ως συνεπεία την παραμόρφωση της μηκοτομής της σήραγγας.

3.3.6 Επίδραση σεισμών

Συνήθως, τα επιφανειακά τεχνικά έργα δεν θεωρούνται τόσο ασφαλή σε σύγκριση με τα υπόγεια, εκτός εάν το υπόγειο έργο διαχωρίζεται από ενεργό ρήγμα ή ο γεωλογικός σχηματισμός που περικλείει το έργο χάνει όλη ή μέρος της αντοχής εξαιτίας του σεισμού. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Παραμόρφωση στην διατομή της σήραγγας αλλά και καμπτική αλλοίωση στο υλικό κάλυψης της (επένδυση) προκαλούν τα διατμητικά κύματα. Το μέγεθος αυτής της αλλοίωσης εξαρτάται από την σχέση της διαμέτρου της σήραγγας προς το μήκος του σεισμικού κύματος. Συχνά, η διάμετρος της σήραγγας είναι 15 m και το μήκος του σεισμικού κύματος είναι 100-500 m, επομένως ο λόγος είναι μικρός και η πιθανή αλλοίωση της επένδυσης αρκετά μικρή. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις επιπτώσεις όπου υπάρχει ενεργό ρήγμα ή φαινόμενα ρευστοποίησης με άλλες περιπτώσεις όπως είναι (ΚΟΥΚΗΣ ΚΑΙ ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007):

- 1) Να αποτελείται από μαλακά εδάφη ο γεωλογικός σχηματισμός που περικλείει την σήραγγα, με μήκος σεισμικού κύματος <100m συνεπώς να μπορεί να συσχετισθεί με την διάμετρο της διατομής.
- 2) Να διαπιστώνεται συγκέντρωση των διατμητικών αλλοιώσεων στην περίπτωση όπου ο άξονας της σήραγγας συνοδεύεται από δύο διαφορετικής δυσκαμψίας σχηματισμούς όπως για παράδειγμα κορημάτων και υποκείμενων ασβεστόλιθων.

Εμπειρικά έχει αποδειχθεί ότι κατάλληλο μήκος διαμόρφωσης εγκάρσιων αρμών είναι ανά 10-15m για την ικανοποιητική ανάληψη των σεισμικών φορτίων από την επένδυση και τη διαστασιολόγηση που πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των φορτίσεων. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Κεφάλαιο 4

4.1 Σεισμικά κύματα:

Τα σεισμικά κύματα αποτελούν ελαστικά κύματα που παράγονται με φυσικό ή τεχνητό τρόπο μέσα ή πάνω στην επιφάνεια της Γής και διαδίδονται μέσα σε αυτή. Χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες (στα κύματα χώρου και στα επιφανειακά):

1) Κύματα χώρου: τα οποία διαδίδονται προς κάθε κατεύθυνση στο εσωτερικό της Γής τόσο στα επιφανειακά στρώματα όσο και στα βαθύτερα στρώματα μέχρι το κέντρο της. Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- **Τα Διαμήκη ή Επιμήκη (Longitudinal waves) (P):** προκαλούνται από την διάδοση μεταβολής του όγκου ή της πυκνότητας, σε διεύθυνση παράλληλη προς αυτήν της διάδοσης του κύματος. Διαδίδονται τόσο μέσω των στερεών όσο και μέσω των ρευστών,(ο τρόπος διάδοσης τους είναι ανάλογος των ηχητικών κυμάτων στον αέρα) λόγω της γρήγορης διάδοσης τους ονομάζονται πρωτεύοντα ή κύματα P. (ΑΚΗΣ ΤΣΕΛΕΝΤΗΣ - ΠΑΡΑΣΚΕΥΟΠΟΥΛΟΣ 2013)

- **Τα Εγκάρσια κύματα (Shear waves) (S):** διαδίδονται πιο αργά στον χώρο και φτάνουν μετά τα επιμήκη, γι' αυτό ονομάζονται και δευτερεύοντα ή αλλιώς κύματα S. Κατά την διάδοσή τους τα υλικά σημεία χώρου ταλαντώνονται κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του σεισμικού κύματος. Τα κύματα αυτά προκαλούνται από την αντίδραση του χώρου στη μεταβολή του σχήματος του και δεν είναι δυνατή η διάδοσή τους μέσα σε ρευστά. (ΑΚΗΣ ΤΣΕΛΕΝΤΗΣ - ΠΑΡΑΣΚΕΥΟΠΟΥΛΟΣ 2013)

2) Κύματα Επιφάνειας: Δεν διαδίδονται προς κάθε διεύθυνση αλλά ακολουθούν ορισμένες επιφάνειες ή ορισμένα στρώματα του επιφανειακού τμήματος της Γης. Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- **Τα Love κύματα:** ονομάστηκαν έτσι από τον Βρετανό μαθηματικό Augustus Love, ο οποίος το πιο γρήγορα κύματα από τα δύο είδη 1911 επεξεργάστηκε το μαθηματικό μοντέλο που περιγράφει την κίνηση τους. Είναι τα πιο γρήγορα από τα δύο είδη κυμάτων επιφάνειας. Τα υλικά σημεία κινούνται σε ένα οριζόντιο επίπεδο κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. (ΑΚΗΣ ΤΣΕΛΕΝΤΗΣ - ΠΑΡΑΣΚΕΥΟΠΟΥΛΟΣ 2013)

Τα Rayleigh κύματα: πήραν το όνομα τους από τον Άγγλο φυσικό λόρδο Rayleigh, ο οποίος προέβλεψε μαθηματικά την ύπαρξή τους το 1885.

Είναι πιο αργά από τα Love και το πλάτος τους αποσβένεται αργά. Η κίνηση τους ακολουθεί ένα είδος κύλισης που κινεί τα υλικά σημεία πάνω και κάτω αλλά και οριζόντια παράλληλα στην διεύθυνση του κύματος. Στις περισσότερες μεθόδους σεισμικής γεωφυσικής έρευνας αποτελούν συνήθη ανεπιθύμητο θόρυβο που θα πρέπει να αγνοηθεί ή και να μειωθεί, με εξαίρεση μερικών ειδικών εφαρμογών. (ΑΚΗΣ ΤΣΕΛΕΝΤΗΣ - ΠΑΡΑΣΚΕΥΟΠΟΥΛΟΣ 2013)

4.2 Ενόργανη παρακολούθηση φραγμάτων.

Σημαντική μελέτη μεγάλων έργων αποτελεί η μελέτη απόκρισης των κατασκευών στα στατικά και δυναμικά φορτία που δέχονται τα χωμάτινα φράγματα και πραγματοποιείται με ενόργανη παρακολούθηση (DUNNICLIFF and GORDON (1988)).

Τα όργανα παρακολούθησης έχουν ως στόχο την καταγραφή των οριζόντιων και των κατακόρυφων παραμορφώσεων του συνόλου των έργων και του γεωλογικού περιβάλλοντος θεμελίωσης, επιπλέον την μελέτη απόκρισης του φράγματος στις δυναμικές φορτίσεις (για παράδειγμα σεισμικές δονήσεις, κυματισμός της λεκάνης κατάκλυσης) (ΛΟΥΠΑΣΑΚΗΣ 2002).

Σε τρεις κατηγορίες διασπώνται τα όργανα παρακολούθησης που εγκαθίστανται στα χωμάτινα φράγματα:

- 1) Στα όργανα του υδροηλεκτρικού σταθμού και των συνοδών έργων.
- 2) Στα όργανα του σώματος του φράγματος.
- 3) Στα όργανα των αντερεισμάτων.

Για την καταγραφή των παραμορφώσεων εγκαθίστανται όργανα και δίκτυα παρακολούθησης:

- 1) Κατακόρυφα αποκλισιόμετρα, στο σώμα του φράγματος, στα αντερείσματα αλλά και τα πρανή που το περικλείουν.
- 2) Κύτταρα μέτρησης πιέσεων των γαιών στην ανάντη επιφάνεια θεμελίωσης αλλά και κατάντη μέσα στις γεωτρήσεις.
- 3) Τριγωνομετρικά σημεία ελέγχου των παραμορφώσεων ολόκληρου του έργου.
- 4) Οριζόντια μηκυνσιόμετρα, σώμα του φράγματος.
- 5) Μηκυνσιόμετρα βράχου στα αντερείσματα.

Ενώ, για την παρακολούθηση των ροών εγκαθίστανται :

- 1) Στο σώμα του φράγματος αλλά και στα αντερείσματα, πιεζομετρικά φρεάτια παρατήρησης.
- 2) Στο σώμα και στην επιφάνεια θεμελίωσης του φράγματος. Πιεζομετρικά κύτταρα, πνευματικά και υδραυλικά.

Τέλος, εγκαθίστανται επιταχυνσιογράφοι για την παρακολούθηση και καταγραφή της απόκρισης των κατασκευών στις δυναμικές φορτίσεις.

Η εγκατάσταση του δικτύου τριγωνομετρικών σημείων ελέγχου και των επιταχυνσιογράφων γίνεται στην επιφάνεια των φραγμάτων, ενώ τα υπόλοιπα όργανα τοποθετούνται στο εσωτερικό του φράγματος κατά μήκος των εγκάρσιων και διαμηκών τομών και η εγκατάστασή τους γίνεται κατά την διάρκεια κατασκευής τους έτσι ώστε να δημιουργηθούν ειδικές συνθήκες για την προστασία τους. Επομένως, πολύ σημαντικές είναι οι γνώσεις λειτουργίας του κάθε οργάνου αλλά και οι προδιαγραφές που βοηθούν στην επιλογή του σημείου εγκατάστασης του ώστε να πραγματοποιηθεί η ορθή χρήση του. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

4.3 Σεισμική εδαφική απόκριση απόκριση

Μετά από την εκδήλωση μεγάλων σεισμικών γεγονότων σε παγκόσμια κλίμακα παρατηρείται ανισομερής κατανομή αστοχιών σε κτιριακές υποδομές και τεχνικά έργα (π.χ γέφυρες), η οποία συνδέεται κυρίως με την επίδραση της τοπικής εδαφικής δομής. Παγκόσμιοι καταστροφικοί σεισμοί (όπως στην Αθήνα το 1999 στην L'Aquila το 2009, στο Νεπάλ το 2015) επιβεβαιώνουν την σημασία της επίδρασης των τοπικών εδαφικών συνθηκών (π.χ ιζηματογενείς σχηματισμοί, παρουσία ρηγμάτων) στην κατανομή της σεισμικής καταστροφής. Σύμφωνα με τον David Dwrick (2003), η επιφανειακή και υπεδάφια δομή επηρεάζει την απόκριση της κατασκευής και συγκεκριμένα αναφέρεται (από σημειώσεις Μ.Μωυσίδη): 1) οι εδαφικοί σχηματισμοί, μέσα από τα οποία διέρχεται η σεισμική διέγερση (η οποία διαδίδεται από το μητρικό πέτρωμα) και καταλήγει στην κατασκευή, τροποποιούν το πλάτος της σεισμικής διέγερσης (διαφορά εμπέδησης) και μπορούν να εισάγουν φαινόμενα ενίσχυσης της σεισμικής κίνησης. Οι ανομοιογένειες και πλευρικές μεταβολές της γεωμορφολογίας δημιουργούν φαινόμενα ανάκλασης, διάθλασης ή σκέδασης σεισμικών κυμάτων και προκαλούν διαφοροποίηση της σεισμικής ενέργειας και σημαντικές μεταβολές στα φάσματα απόκρισης. 2) Οι δυναμικές ιδιότητες των υπερκείμενων εδαφικών σχηματισμών διαφοροποιούνται από τις δυναμικές του μητρικού πετρώματος. Η παρουσία ελαστικών, ιζηματογενών

αποθέσεων μεταβάλλει το επίπεδο ενίσχυσης (πλάτος ταλάντωσης) και την θεμελιώδη περίοδο της ταλάντωσης. Σημαντικός παράγοντας είναι επίσης το βάθος του ιζηματογενών, αλλουβιακών και γενικά χαλαρών εδαφών καθώς η ιδιοπερίοδος του εδάφους αυξάνει με το βάθος του βραχώδους υποβάθρου (όπως δίνεται από τον τύπο του Kanai, 1961). 3) Η αύξηση της θεμελιώδους περιόδου (ή μείωση της συχνότητας) της ταλάντωσης των μέτρια εύκαμπτων κατασκευών σε ιζηματογενής θέσεις εξαιτίας της αλληλεπίδρασης εδάφους – κατασκευής μπορεί να οδηγήσει στην κατάρρευση τους. Θα πρέπει επομένως να αποφεύγεται η σύμπτωση της περιόδου συντονισμού του εδάφους και των τεχνικών κατασκευών. Χαρακτηριστικό επίσης παράδειγμα που δείχνει την σημασία της αλληλεπίδρασης εδάφους-ανωδομής είναι η διαφορετική ζημιά που υπέστησαν δίδυμοι πύργοι σε πολύ κοντινή μεταξύ τους απόσταση μετά από τον σεισμό στην πόλη Mirandola της Ιταλίας το 2012. Μετά από τον σεισμό στην πόλη L’Aquila της Ιταλίας το 2009, η κατάρρευση ενός κτιρίου αποδόθηκε στην θέση θεμελίωσης του πάνω σε γεωλογική ασυνέχεια (ρήγμα).

Τα παραπάνω παραδείγματα των επιπτώσεων μετά από σεισμικά γεγονότα δείχνουν ότι η σεισμική κίνηση που ενδέχεται να υποστούν θέσεις οι οποίες βρίσκονται σε κοντινή απόσταση αλλά χαρακτηρίζονται από διαφορετική γεωλογική δομή μπορεί να είναι πολύ διαφορετική καθώς και ότι ο τρόπος που αποκρίνεται το έδαφος στην σεισμική κίνηση είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην σεισμική απόκριση των κτιρίων. Σύμφωνα με τον Douglas et al (2011)..Θεωρητικές και πειραματικές προσεγγίσεις μετά από μεγάλα σεισμικά γεγονότα δείχνουν ότι το πλάτος και η συχνότητα του σεισμικού κύματος επηρεάζεται από την τοπικές γεωλογικές συνθήκες. Οι Theodoulidis et.al, 1995 έδειξαν ότι η περίοδος της σεισμικής κίνησης στις συχνότητες 2-3Hz είναι μεγαλύτερη στα αλλούβια σε σχέση με τον βράχο. Η περίοδος ταλάντωσης μιας 1D εδαφικής στήλης καθορίζεται από την ταχύτητα των εγκάρσιων κυμάτων και από το πάχος του ιζηματογενούς επιφανειακού στρώματος. Σύμφωνα με τον Kanai (1961) οι σχέσεις (1) και (2) δίνουν την σχέση μεταξύ θεμελιώδους εδαφικής περιόδου (και των αρμονικών της αντίστοιχα) με την ταχύτητα των εγκάρσιων κυμάτων και το πάχος του ιζηματογενούς επιφανειακού στρώματος:

$$T_0 = \frac{4H}{U_s}$$

(1)

$$T_n = \frac{4H}{(2n-1)U_s} \quad (2)$$

Αντίστοιχα, η σχέση (3) παρουσιάζει την εξάρτηση μεταξύ της θεμελιώδους εδαφικής συχνότητας με την ταχύτητα των εγκάρσιων κυμάτων και το πάχος του επιφανειακού στρώματος. Η τιμή της θεμελιώδους συχνότητας κυμαίνεται στις χαμηλές συχνότητες (π.χ 0.5 Hz) στην περίπτωση αποθέσεων μεγάλου πάχους ή σε χαλαρών εδαφικών σχηματισμών (μη συνεκτικά πετρώματα) και στις υψηλές συχνότητες (π.χ 10 Hz) σε θέσεις μικρού πάχους εδαφικών σχηματισμών, ή σε σκληρά (συνεκτικά εδάφη).

$$f_0 = \frac{U_s}{4H}$$

Ο όρος ενίσχυση αναφέρεται στην αύξηση του πλάτους των σεισμικών κυμάτων καθώς διέρχονται από την εδαφική δομή. Το πλάτος της ενίσχυσης του σεισμικού κύματος σχετίζεται με την διαφορά εμπέδησης (που αποτελεί μέτρο 'σχετικής αντίστασης' του επιφανειακού και του μητρικού πετρώματος), στην παρουσία του φαινομένου απόσβεσης των ιζημάτων και στα χαρακτηριστικά του προσπίπτοντος κυματικού πεδίου (π.χ προσπίπτουσα γωνία). Στην περίπτωση ενός εδαφικού στρώματος (με πυκνότητα ρ_1 και ταχύτητα εγκάρσιων κυμάτων V_{s1}) που υπέρκειται πάνω από ένα εδαφικό στρώμα (με πυκνότητα ρ_2 και ταχύτητα εγκάρσιων κυμάτων V_{s2}) η ενίσχυση στην θεμελιώδη συχνότητα f_0 , δίνεται από την σχέση (4):

$$A_0 = \frac{1}{\left(\frac{1}{C} + 0.5\pi\zeta_1\right)} \quad (4)$$

όπου C είναι η διαφορά εμπέδησης και ορίζεται ως $C = (\rho_2 V_2)/(\rho_1 V_1)$, όπου ρ_1 , ρ_2 πυκνότητα του υπερκείμενου εδαφικού μέσου και του μητρικού πετρώματος αντίστοιχα, και ζ είναι η απόσβεση των ιζημάτων. Στην περίπτωση που το $\zeta=0$ η ενίσχυση ισούται με το C (δηλαδή με την διαφορά εμπέδησης). Η αύξηση της απόσβεσης του εδαφικού υλικού του μέσου μειώνει την ενίσχυση ιδιαίτερα στις υψηλές συχνότητες (Bard, 1999).

4.4 Μικροθόρυβος

Ο μικροθόρυβος ή αλλιώς εδαφικός θόρυβος αποτελεί αποτέλεσμα των συχνών ταλαντώσεων του εδάφους και οφείλεται σε φυσικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες για παράδειγμα άνεμος, οι μετεωρολογικές συνθήκες και τα παλιρροϊκά κύματα, ή σε ανθρωπογενείς παράγοντες όπως για παράδειγμα τα βιομηχανικά μηχανήματα, τα αυτοκίνητα τα τρένα, ακόμη και η βάδιση των ατόμων. Το πλάτος του εδαφικού θορύβου κυμαίνεται συνήθως 10^{-5} - 10^{-3} cm και η καταγραφή του γίνεται με σεισμόμετρων υψηλής ευαισθησίας.

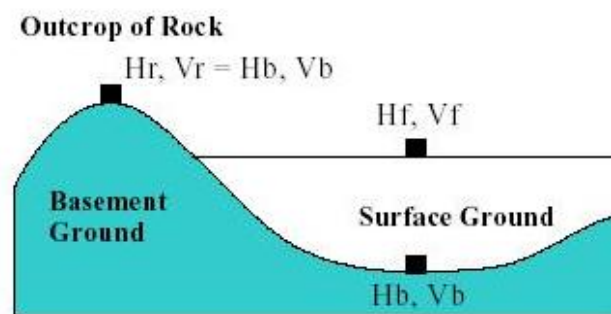
4.5 Μέθοδος HVSR

Οι μετρήσεις εδαφικού θορύβου αποτελούν μια αξιόπιστη και μη - επεμβατικού χαρακτήρα τεχνική γεωφυσικής διασκόπησης. Αρχικά, οι Nogoshi και Igarashi το 1971 πρότειναν την εφαρμογή του φασματικού λόγου των οριζόντιων προς την κατακόρυφη συνιστώσα (H/V) χρησιμοποιώντας ένα σεισμολογικό σταθμό. Αργότερα, ο Nakamura (1989) μετά από πειραματικές παρατηρήσεις και σύγκριση από δεδομένα γεωτρήσεων σεισμούς και εδαφικό θόρυβο πρότεινε μια συνάρτηση μεταφοράς που χαρακτηρίζει την εδαφική στήλη. Η ερμηνεία βασίζεται στο γεγονός ότι η μέγιστη τιμή του φασματικού λόγου σχετίζεται με τις πολλαπλές διαθλάσεις των κατακόρυφων προσπιπτόντων SH κυμάτων, εξαλείφοντας την επίδραση των Rayleigh κυμάτων από τον H/V φασματικό λόγο. Η αξιοπιστία της μεθόδου του φασματικού λόγου των οριζόντιων προς την κατακόρυφη συνιστώσα χρησιμοποιώντας εδαφικό θόρυβο ή/και σεισμικά γεγονότα για την εκτίμηση τοπικών εδαφικών συνθηκών και μικροζωνικών μελετών έχει επιβεβαιωθεί παγκοσμίως (π.χ Field et al. 1995; Pilz et al. 2009; Bindi et al. 2011; Strollo et al.

2011; Moisiidi et al. 2012). Παρακάτω περιγράφεται η απλοποιημένη παρουσίαση της μεθοδολογίας Nakamura (1989). Η επίδραση του εδάφους στην σεισμική κίνηση εκφράζεται ως ο λόγος (ή το φάσμα) μεταφοράς της σεισμικής κίνησης από το σεισμικό υπόβαθρο στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους. Η συνάρτηση μεταφοράς επιφανειακού στρώματος ορίζεται ως :

$$S_T = \frac{S_{HS}}{S_{HB}}$$

S_{HS} και S_{HB} είναι τα οριζόντια φάσματα του εδαφικού θορύβου στην επιφάνεια (S) και στο μητρικό πέτρωμα (B) αντίστοιχα.



Εικόνα 1 Τυπική ιζηματογενής λεκάνη από το άρθρο του Nakamura, 2000.

Οι υποθέσεις στις οποίες στηρίζεται η μέθοδος παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Ο εδαφικός θόρυβος συνίσταται από Rayleigh κύματα που διαδίδονται σε ελαστικό εδαφικό στρώμα το οποίο υπέρκειται πάνω από βραχώδες υπόστρωμα.
2. Η επίδραση των Rayleigh κυμάτων (E_{RW}) στον εδαφικό θόρυβο περιλαμβάνεται στο φάσμα της κατακόρυφης συνιστώσας στην επιφάνεια του ελαστικού στρώματος (S_{VS}) και όχι στο φάσμα της κατακόρυφης συνιστώσας στο μητρικό πέτρωμα (S_{VB}). Υποθέτοντας ότι η κατακόρυφη συνιστώσα του μικροθορύβου δεν ενισχύεται καθώς διαδίδεται από το επιφανειακό στρώμα, η επίδραση των Rayleigh κυμάτων (E_S), δίνεται από την σχέση:

$$E_S = \frac{S_{VS}}{S_{VB}}$$

3. Για ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων (0.2-20Hz), ο φασματικός λόγος της οριζόντιας και κατακόρυφης συνιστώσας στο βραχώδες υπόστρωμα είναι ίσος με 1, δηλαδή:

$$R_B = \frac{SH_B}{SV_B} \approx 1$$

4. Με βάση τα παραπάνω ο λόγος (S_T/E_S) θεωρείται μια συνάρτηση μεταφοράς της γεωλογικής στήλης έχοντας αφαιρέσει την επίδραση των Rayleigh κυμάτων.

$$S_{TT} = \frac{S_T}{E_S} = \frac{\frac{S_{HS}}{S_{VS}}}{\frac{S_{HB}}{S_{VB}}} = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} = \frac{R_S}{R_B}$$

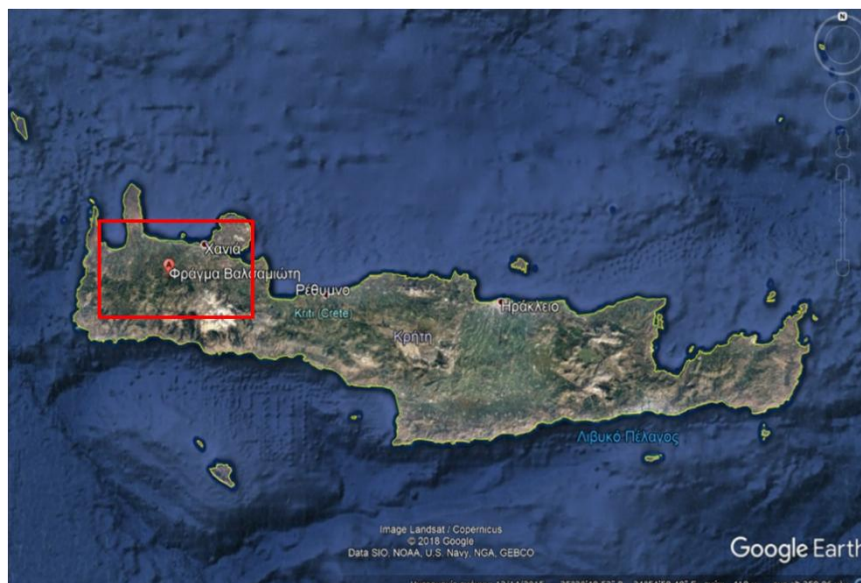
Η σχέση αυτή δείχνει ότι ο φασματικός λόγος της οριζόντιας προς την κατακόρυφη συνιστώσα μπορεί να αποτυπώσει τα δυναμικά χαρακτηριστικά της εδαφικής στήλης. Ο Nakamura το 1996 και το 2000 επανεξέτασε την μεθοδολογία θεωρώντας και την επίδραση των κυμάτων χώρου και των επιφανειακών κυμάτων και κατέληξε στα αρχικά του συμπεράσματα.

Μετά τον καταστροφικό σεισμός τον Μάιο του 2006 στην πόλη Yogyakarta της Ινδονησίας έγιναν καταγραφές εδαφικού θορύβου στο φράγμα sermo της Ινδονησίας. Η θέση του φράγματος χαρακτηρίζεται από παλαιούς ανδρειατικούς γεωλογικούς σχηματισμούς (ανώτερου Ολιγόκαινου έως μεσου Μειόκαινου ή Ολιγο-Μειόκαινου) καθώς και από την ύπαρξη ρήγματος σε θέση γειτνίασης με το φράγμα. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος HVSR και υπολογίστηκαν οι θεμελιώδεις συχνότητες, η ιδιοπερίοδος, η ενίσχυση (Wibowo and Gunawan, 2016). Η θεμελιώδης συχνότητα στο σώμα του φράγματος εκτιμήθηκε από 1.04-1.50Hz, ενώ η θεμελιώδης συχνότητα του εδάφους σε διάφορες θέσεις στην θεμελίωση του φράγματος εκτιμήθηκε από 8.00 – 10.16 Hz. Η ενίσχυση εκτιμήθηκε από 1.03 – 4.94

Κεφάλαιο 5

5.1 Θέση – Μορφολογία Βαλσαμιώτη:

Το φράγμα βρίσκεται στο Β-Α άκρο του ρέματος του Βαλσαμιώτη σε απόσταση 900m από το χωριό Βατόλλακος και 14.5 km από τα Χανιά. Η θέση φράγματος Βαλσαμιώτη στην Κρήτη παρουσιάζεται στην εικόνα 1.



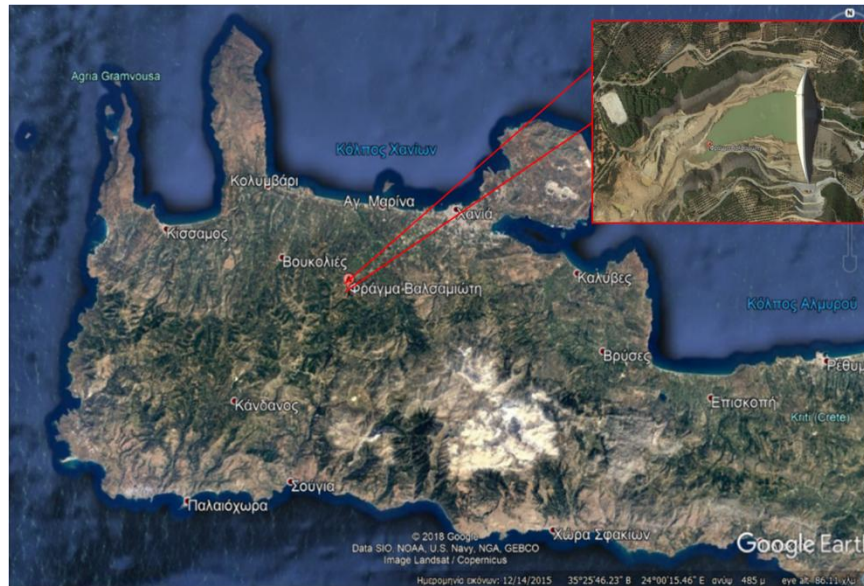
Εικόνα 2: Θέση φράγματος Βαλσαμιώτη στην Κρήτη.

Τα παρακάτω τεχνικογεωλογικά στοιχεία αποτελούν μελέτη του ΟΑΔΥΚ . Στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής τα παρακάτω στοιχεία του Κεφαλαίου 5 παρέχονται από την πτυχιακή της Θεοδωράκη (2009).

Η μορφολογία της ζώνης που βρίσκεται το φράγμα και την περιοχή της λεκάνης κατάκλυσης χαρακτηρίζεται λοφώδης με μεγάλες κλίσεις των φυσικών πρανών. (Θεοδωράκη 2009)

- Νότιο αντέρεισμα: είναι ομαλή βραχώδη πλαγιά, καλυμμένη με θαμνώδη βλάστηση με μικρές επιπεδώσεις. Το πρανές φτάνει μέχρι 275m υψόμετρο. Η μέση κλίση του πρανού (μεταξύ 140 και 180m) είναι περίπου 20°.
- Βόρειο αντέρεισμα: Είναι βραχώδη, απότομη πλαγιά χωρίς επιπεδώσεις, καλυμμένη με άγρια, πυκνή και θαμνώδη βλάστηση. Η μέση κλίση του

πρανούς (μεταξύ 140 και 180m) είναι περίπου 35°. Η πλαγιά φτάνει ως 221m υψόμετρο.



Εικόνα 3: Θέση Βαλασαμιώτη σε σύγκριση με την δυτική Κρήτη.

5.2 Τοπογραφικά – Τεχνολογικά στοιχεία:

Πίνακας 1: Βασικά στοιχεία Λεκανών απορροής. (Θεοδωράκη 2009)

Βασικά στοιχεία Λεκανών Απορροής	
Ταμειυτήρας	Βαλασαμιώτης
Επιφάνεια Km ²	2,85
υψόμετρο	μέγιστο: +520
	Μέσο: + 323
Μέση κλίση κύριας κοίτης	13%
Μήκος κύριας κοίτης	2,900m

Πίνακας 2: Τεχνικά Χαρακτηριστικά (Θεοδωράκη 2009)

Τεχνικά Χαρακτηριστικά	
Διαστάσεις φράγματος	
Μήκος φράγματος στη στέψη (m)	335 m
Ύψος φράγματος από φυσικό έδαφος	67,20 m
Ανώτατη στάθμη νερού	190
Στάθμη στέψης	190,2
Πλάτος πυθμένα στο φυσικό έδαφος	80 m ³
όγκος φράγματος	600.000 m ³
όγκος νερού	6.000.000 m ³
εκμεταλλεύσιμος όγκος νερού	5.900.000 m ³

5.3 Γεωλογική και Τεκτονική Δομή Κρήτης και πιο συγκριμένα του φράγματος Βαλαμιάτη

Η γεωλογία της Κρήτης χαρακτηρίζεται κυρίως από αλπικά και προ-αλπικά πετρώματα, τα οποία συνθέτουν ένα πολύπλοκο οικοδόμημα τεκτονικών καλυμμάτων. Επιπλέον, χαρακτηρίζεται και από την εμφάνιση πολλών μετά-αλπικών ιζημάτων τα οποία καλύπτουν τις λεκάνες που χωρίζουν τα ψηλά βουνά. Το οικοδόμημα αυτό δημιουργείται από ένα αριθμό τεκτονικών ενοτήτων που τοποθετούνται η μία πάνω στην άλλη και ανάλογα με την τεκτονο-στρωματογραφική τους θέση και τη μεταφορική τους ιστορία, οι τεκτονικές ενότητες χωρίζονται σε δύο μεγάλες ομάδες (Μουντράκης 1985, Φασουλάς 2001):

- 1) **Κατώτερα καλύμματα:** η μεταμόρφωση τους έγινε σε συνθήκες υψηλής πίεσης/ χαμηλής θερμοκρασίας. Παραδείγματα αποτελούν οι πλακώδης ασβεστόλιθοι, η σειρά τρυπαλίου και οι φυλλίτες - χαλαζίων σειρών ηλικίας.
- 2) **Ανώτερα καλύμματα:** στην κορυφή των τεκτονικών καλυμμάτων βρίσκονται τα πετρώματα Αστερουσίου και Οφιόλιθων.

Η ζώνη που βρίσκεται το φράγμα αποτελείται κυρίως από πετρώματα της ενότητας φυλλιτών και χαλαζιτών με συνέπεια να δημιουργείται σε μεγάλο βαθμό ένα ετερογενές μίγμα υλικών, συμπαγών (όπως οι χαλαζίτες) και ασταθών (όπως οι φυλλίτες). Επιπλέον, στην κοίτη του ρέματος παρουσιάζονται χαλαρές ποταμοχειμάρριες αποθέσεις μικρού πάχους και πλάτους 60m μεταξύ των δύο αντρεϊσμάτων. Τα πετρώματα των φυλλιτών και των χαλαζιτών παρουσιάζονται με έντονες πτυχώσεις και κατακερματισμένα από πλήρωση των ρηξιγενών ζωνών. Ανάμεσα στο βόρειο και στο νότιο αντέρεισμα της ζώνης του φράγματος

δημιουργείται μεγάλο αντίκλινο και ο άξονας του έχει διεύθυνση A-Δ και είναι παράλληλος με την κύρια ανάπτυξη του ρέματος. (Θεοδωράκη 2009)

Στο βόρειο αντέρεισμα η κύρια σχιστότητα των πετρωμάτων βυθίζεται προς τα BBD με γωνία κλίσης έως 45° με αντίρροπη κλίση από το φυσικό πρανές, ενώ στο νότιο βυθίζεται NNA με γωνία κλίσης 40° με αντίρροπη κλίση. Οι κλίσεις της σχιστότητας στις αντηρίδες είναι ευνοϊκές για την ευστάθεια, διότι είναι αντίθετες προς τις κλίσεις των πρανών. Η σχιστότητα στο νότιο πρανές και πάνω από την ισοϋψής των 190 m, καμπυλώνει προς τα BBD να δημιουργεί στα υψηλότερα τμήματα του νότιου πρανούς σύγκλινη δομή, η οποία είναι παράλληλη της αντίκλινης δομής της κοίτης του ρέματος (Θεοδωράκη 2009). Σύμφωνα με τους μελετητές η δομή δεν επηρεάζει σημαντικά την κατασκευή.

5.4 Διακλάσεις (Διαρρήξεις) πετρωμάτων και ρήγματα φράγματος

Διακλάσεις ονομάζονται διαρρήξεις των πετρωμάτων κατά μήκος των οποίων οι κινήσεις που παρατηρούνται είναι από ελάχιστες έως μηδενικές. Στο νότιο αντέρεισμα κανένα από τα δύο κύρια σύνολα διακλάσεων δεν είναι παράλληλο με την κλίση του ανάλογου φυσικού πρανούς δεν ευνοείται η αποκόλληση βραχών. Η κλίση με διεύθυνση NNA επικρατεί και είναι αντίρροπη της κλίσης του πρανούς. Το ρέμμα παρουσιάζεται με αντίθετες διευθύνσεις κλίσεων των επιφανειών του. Στο βόρειο αντέρεισμα το δεύτερο κυρίαρχο σύνολο που είναι ενταγμένο σε παράταξη ΔΝΔ-ΑΒΑ, εμφανίζεται στο μεγαλύτερο μέρος των μετρήσεων με κλίση προς NNA, δηλαδή ομόρροπα με την κλίση του φυσικού πρανούς.

Η σειρά των κύριων παράλληλων μεταξύ τους κανονικών ρηγμάτων που αναγνωρίστηκαν στο βόρειο πρανές ομόρροπα της φυσικής τους κλίσης, βρίσκονται κατάντη του φράγματος και χαρτογραφικά τουλάχιστον (όπως αναφέρεται από τους μελετητές) δεν φαίνονται να συνεχίζονται στον άμεσο χώρο έδρασης του φράγματος.

5.5 Γεωτεχνικές έρευνες υπαίθρου

Έγιναν γεωτεχνικές έρευνες (περιστροφικές γεωτρήσεις δειγματοληψίας με δοκιμές πίεσης προς τα μέσα, προσδιορισμό υπογείου, αξιολόγηση του βαθμού διάβρωσης και γεωλογική περιγραφή των σχηματισμών). Επιπλέον, στις έρευνες αυτές ανήκει και η εκσκαφή ορυγμάτων υδροληψίας σε διαφορετικές περιοχές. Οι υποψήφιες θέσεις των δανειοθαλάμων-λατομείων επιλέχθηκαν απευθείας σύμφωνα με τις επιστημονικές του ειδικού συμβούλου K.P. Londe από τους γεωλόγους του Μελετητού. (Θεοδωράκη 2009)

5.6 Εργαστηριακές δοκιμές

Στις εργαστηριακές δοκιμές ανήκουν οι δοκιμές γεωτρήσεων με την χρήση καρότων, όπως η μέτρηση αντοχών ώστε να καταταχθεί η βραχομάζα σε συνάρτηση με τη γεωφυσική σεισμική διερεύνηση. Επίσης και οι δοκιμές για τον προσδιορισμό των μηχανικών χαρακτήρων αλλά και την καταλληλότητα τους για αδρανή υλικά και μείγματα ισχνού σκυροδέματος. Επιπλέον, στις δοκιμές αυτές ανήκουν (ΟΑΔΥΚ, Θεοδωράκη 2009, ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ):

- Δοκιμές αλκαλικής αντιδράσεως αδρανών
- Δοκιμές ειδικού βάρους και απορροφητικότητας
- Δοκιμές Los Angeles και υγείας πετρώματος
- Δοκιμές συμπύκνωσης
- Μετρήσεις πυκνότητας και υγρασίας
- Μετρήσεις θλιπτικής αντοχής δοκιμίων ισχνού σκυροδέματος
- Παρασκευή ειδικών δοκιμίων ισχνού σκυροδέματος
- Προσδιορισμός ορίων Atterberg
- Κοκκομετρική διαβάθμιση
- Ορυκτολογικές και πετρογραφικές εξετάσεις

5.7 Βάθος εκσκαφών

Γεωτεχνική και γεωφυσική έρευνα επέδειξαν μέτρια γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους θεμελίωσης. Η τελική επιφάνεια θεμελίωσης θα προκύψει μετά από διαδοχικά στάδια εκσκαφών έως ότου επιτευχθεί η κατάλληλη επιφάνεια θεμελίωσης. Για την θεμελίωση της περιμετρικής στοάς προβλέπεται προκαταρκτική τσιμεντένεσης βάθους περίπου 10 μέτρων και αγκυρίων βάθους 7.50 μπου εδάφους θεμελίωσης. Τυχόν ρωγμές θα κλείνονται με σκυρόδεμα ή τσιμεντοκονίαμα. Επιπλέον μηχανικών χαρακτηριστικών του βράχου είναι η μέτρια. Οι διηθήσεις θα πρέπει να ελέγχονται μέσω ενός διαφράγματος στεγανότητας και δικτύου αποστράγγισης.

5.8 Γεωτρήσεις Φράγματος

Στην περιοχή τοποθεσίας του φράγματος πραγματοποιήθηκαν πέντε γεωτρήσεις δειγματοληψίας. Δύο γεωτρήσεις στο δεξιό αντέρεισμα των 55 και 45 m, δύο γεωτρήσεις στο αριστερό αντέρεισμα με βάθη 40 m και στην κοίτη του χειμάρρου μία γεώτρηση βάθους 30 m (Θεοδωράκη 2009).

5.9 Τελικά Αποτελέσματα

Συνδυάζοντας τα αποτελέσματα των γεωτεχνικών ερευνών και των γεωλογικών και σεισμικών διευρύνσεων προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα για το φράγμα του Βαλσαμιώτη (Θεοδωράκη 2009):

- Στη θέση το φυλλιτικών και χαλαζιτικών, διαφορετικού βαθμού κερματισμού και αποσάθρωσης.
- Η κοίτη καλύπτεται από αποθέσεις με μικρό πάχος περίπου 1,5m, κάτω από τις οποίες κυριαρχούν εναλλαγές χαλαζιτών και φυλλιτών με μικρή διαπερατότητα ($\kappa=10^{-5}$) και μέτριο βαθμό αλλοιώσεως (κυρίως στα φυλλιτικά στρώματα)
- Στο δεξιό αντέρεισμα εμφανίζεται μέτρια διαπερατότητα (περίπου $\kappa=10^{-4}$), τα στρώματα των χαλαζιτών κερματισμένα και μέτρια αποσάθρωση κατά μέσο όρο, σε αντίθεση με τα φυλλιτικά που έχουν υποστεί μεγαλύτερη αποσάθρωση.
- Στο αριστερό αντέρεισμα κυριαρχεί ο χαλαζίτης οποίος είναι κερματισμένος, πιθανά η γενική μηχανική του κατάσταση είναι μάλλον καλύτερη. Η διαπερατότητα είναι μεγαλύτερη ($\kappa=10^3$ - $\kappa=10^{-3}$ cm/sec) σε σύγκριση με το δεξιό αντέρεισμα για βάθη μέχρι 20-30m.
- Η θέση του φράγματος χαρακτηρίζεται από γεωτεκτονική δομή αντίκλινου, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες στην ευστάθεια των αντερεισμάτων.

5.10 Σεισμικές διασκοπήσεις

Οι σεισμικές διασκοπήσεις διεκπεραιώθηκαν στις ζώνες θεμελίωσης του φράγματος Βαλσαμιώτη και πάρθηκαν δείγματα πετρωμάτων από τις περιοχές μελέτης με σκοπό τη χρήση τους σε εργαστηριακές δοκιμές. Από αυτές τις δοκιμές προέκυψε ο γεωμετρικός προσδιορισμός των αποσαθρωμένων και διακλασμένων ζωνών οι οποίες δημιουργούνται στους φυλλίτες και στους χαλαζίτες που εμφανίζονται στις ζώνες θεμελίωσης του φράγματος, αλλά και ο ποιοτικός προσδιορισμός της βραχομάζας (Θεοδωράκη 2009).

Πιο συγκεκριμένα, εξακριβώθηκε ότι για βάθος διερεύνησης έως 40m, το υπέδαφος της ζώνης θεμελίωσης του φράγματος δομείται από εδαφικό μανδύα χαλαρών ιζημάτων με ταχύτητα μετάδοσης από 250 έως 700 m/s, από έντονα αποσαθρωμένη και αποσυμπιεσμένη βραχομάζα με ταχύτητα μετάδοσης από 800 έως 1800 m/s, από έντονα διακλασμένη βραχομάζα με ταχύτητα μετάδοσης από 2000 έως 3500 m/s και τέλος από την μετρίως διακλασμένη μάζα της ενότητας των φυλλιτών και των χαλαζιτών με ταχύτητα 4000 έως 5500 m/s (Θεοδωράκη 2009).

Κατά την εφαρμογή του προγράμματος σεισμικών δημοσκοπήσεων έγινε χρήση σύγχρονης υψηλής τεχνικής ποιότητας, ειδικότερα για την αριθμητική επεξεργασία των παρεμβολών μεταξύ των προφίλ. Τρεις είναι οι ζώνες ταχυτήτων που είναι σημαντικές για τα τεχνικά αυτά έργα (φράγματα) είναι $V_2 > 800$ m/s, $V_3 > 2000$ m/s, $V_4 > 3500$ m/s, το φράγμα του Βαλσαμιώτη που μελετάμε είναι από σκληρό επίχωμα

και η ζώνη των 2000 m/s έχει προτιμηθεί ως στάθμη θεμελίωσης. Με κάθε τρόπο φάνηκε ότι μέσω των βαθέων ορυγμάτων το φράγμα θα θεμελιωνόταν μεταξύ 10 με 25 m από την επιφάνεια (Θεοδωράκη 2009).

5.11 Σεισμικότητα

Το τμήμα Γεωλογίας και Γεωφυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών πραγματοποίησε Μελέτη Σεισμικότητας και Σεισμικού Κινδύνου για την ευρύτερη περιοχή μελέτης, κύριος σκοπός της μελέτης είναι μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, η ταχύτητα και η μετατόπιση. Σύμφωνα με τα δεδομένα αυτά μπορεί να πραγματοποιηθεί η χάραξη των ορίων μέσα στα οποία αναμένεται να κινηθούν οι φασματικές τιμές της εδαφικής κινήσεως. Η γνώση των τιμών αυτών συμβάλει στον αντισεισμικό σχεδιασμό του φράγματος.

Τα κύρια συμπεράσματα της εργασίας αυτής ξέρουμε ότι πραγματοποιήθηκε επανεξέταση και παρουσίαση των μελετών σεισμικότητας της. Η ευρύτερη περιοχή έχει μέση προς υψηλή σχετικά σεισμικότητα. Οι εδαφικές συνθήκες στη θέση του φράγματος είναι σχετικά καλές, αποτελείται από χαλαζίτες και φυλλίτες που ως σύνολο αντιδρούν όπως και οι βραχώδης σχηματισμοί. Επομένως, στα φάσματα αποκρίσεως ως τύπος εδάφους θεωρείται ο S1 (S1=1.0) ή με μεγαλύτερη ακρίβεια τύπος εδάφους S1 και S2 (S=1,2). (Θεοδωράκη 2009).

Με τη χρήση όλων των διαθέσιμων δεδομένων δημιουργήθηκε ο χάρτης των μέγιστων εντάσεων της περιοχής όσο το δυνατόν περισσότερο κοντά στην πραγματική σεισμικότητα των τελευταίων 300 περίπου χρόνων. Σύμφωνα με τον χάρτη των μέγιστων εντάσεων η μέγιστη ένταση (VII) είναι 7.5 βαθμοί της κλίμακας Mercalli στη θέση μελέτης. Επίσης, πραγματοποιήθηκε κατάταξη των παραμέτρων των σημαντικότερων σεισμών από το 1900 έως το 1990 σε αποστάσεις των 165Km από τη θέση μελέτης (Θεοδωράκη 2009).

Για να μελετηθεί η σεισμικότητα έγινε χρήση της μεθόδου των ακραίων τιμών για τους σεισμούς στην κεντρική θέση. Ακόμη με την εφαρμογή της ίδιας μεθόδου υπολογίστηκαν και οι τιμές των παραμέτρων εδαφικής κίνησης, δηλαδή η επιτάχυνση, η ταχύτητα και η μετατόπιση, για διαφορετικές στάθμες στην διάρκεια των 50-100 και 200 χρόνων. (Θεοδωράκη 2009).

Χρησιμοποιώντας την μέθοδο των ακραίων τιμών προέκυψε η στάθμη των μέγιστων μακροσεισμικών εντάσεων I που προσδοκείται να καταγραφεί στην θέση μελέτης για διαφορετικούς χρόνους επαναλήψεως (Θεοδωράκη 2009).

Με σκοπό την αποτύπωση της σεισμικής επικινδυνότητας, όσο το δυνατόν κοντά στην πραγματικότητα, στη θέση μελέτης του φράγματος χρησιμοποιήθηκαν τρεις επιπλέον μέθοδοι (Θεοδωράκη 2009). Οι μέσες τιμές προέκυψαν (και από τις τρεις μεθόδους από την μέθοδο ακραίων τιμών, από την μέθοδο Cornell και την μέθοδο

McGuire) που έχουν αντοχή να μην υπερβούν στα 50 και 200 έτη:(Θεοδωράκη 2009).

Πίνακας 3:

Έτη	Επιτάχυνση a (cm/sec ²)	Ταχύτητα V (cm/sec)	Μετατόπιση d (cm)
50	257	22.0	7.0
200	370	32.9	14.2

Κατά τη διεθνή πρακτική που πραγματώνεται στις περιπτώσεις κατασκευών με μεγάλη βαρύτητα, ο σχεδιασμός στηρίζεται σε δύο κατηγορίες σεισμών. Το σεισμό απρόσκοπτης λειτουργίας του έργου ή αλλιώς OBE που έχει αριθμό επαναλήψεως 475 χρόνια και με σεισμική φόρτιση που εκτιμάται κατά την διάρκεια ζωής του έργου και τον σεισμό SSE με περίοδο επαναλήψεως 10.000 χρόνια, με πιθανότητα να παρουσιάσει φόρτιση κατά την διάρκεια ζωής της κατασκευής 1%, στην περίπτωση τέτοιου σεισμού πιθανό είναι να προκληθούν σοβαρές ζημιές γι'αυτό πρέπει να πραγματοποιηθεί η ασφαλής διακοπή της λειτουργίας του έργου (Θεοδωράκη 2009).

Χρησιμοποιήθηκαν συνθετικά επιταχυνσιογραφήματα των θέσεων μελέτης υπολογίστηκαν με τη μέθοδο των Penzien και Watabe για δύο περιπτώσεις. Η πρώτη περίπτωση είναι για σεισμό OBE (0,26g) και η δεύτερη για σεισμό SSE (0,37g) (Θεοδωράκη 2009).

5.12 Κλίσεις πρανών εδάφους

Στην παρούσα μελέτη παρουσιάζονται στοιχεία που σχετίζονται με τον στόχο της εργασίας. Επιπρόσθετα περαιτέρω στοιχεία που λήφθησαν για την κατασκευή του φράγματος παρουσιάζονται από τον ΟΑΔΥΚ και από την πτυχιακή της Θεοδωράκης 2009. Με βάση τα αποτελέσματα επαληθεύεται το σημαντικότερο πλεονέκτημα των συμμετρικών φραγμάτων, η ταξινόμηση των πιέσεων στην θεμελίωση είναι κατάλληλη, ο ανάντη πόδας του φράγματος εντοπίζεται μόνιμα υπό πίεση (ολικές τάσεις). Στην θέση των θλιπτικών τάσεων εντοπίζονται και οι ενεργές τάσεις του ανάντη πόδα και οι τάσεις αλλάζουν αμυδρά κατά την διάρκεια της χρήσεως (Θεοδωράκη 2009).

5.13 Όργανα παρακολούθησης και Ελέγχου

Οι παρακάτω ειδικές διατάξεις περιέχονται στα όργανα παρακολούθησης και ελέγχου του φράγματος (Θεοδωράκη 2009):

Χρησιμοποιούνται διάφοροι αισθητήρες για την μέτρηση μετατοπίσεων μικρορωγμών, ανοιγμάτων των αρμών, στάθμης ύδατος καθώς και συστήματα σειсмоγράφων (2 σειсмоγράφοι στην στοά Σήραγγα στο βόρειο και το νότιο αντέρεισμα) και εξοπλισμός για την πραγματοποίηση μετρήσεων. Έγινε επιπλέον στατιστική ανάλυση.

Στατική Ανάλυση

Στην στατική ανάλυση εμπεριέχεται ο προσδιορισμός της εντατικής κατάστασης και της κατάστασης παραμορφώσεως μέσα στο σώμα και στην περιοχή θεμελίωσης του φράγματος.

Οι στατικοί υπολογισμοί αυτοί πραγματοποιήθηκαν για τις φορτίσεις ίδιου βάρους του φράγματος και για την υδροστατική πίεση στην περίπτωση που γεμίσει το φράγμα εξαιτίας της μορφής V που έχει η κοιλάδα και εκτός από την δισδιάστατη στατική ανάλυση σε εγκάρσιες διατομές, χρειάζεται και μία τρισδιάστατη προσομοίωση για όσο το δυνατό καλύτερο προσδιορισμό των τάσεων και των παραμορφώσεων της θεμελίωσης και του σώματος του φράγματος. Από 3D ανάλυση προσδιορίστηκαν οι οριακές συνθήκες.

Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με βάση ένα νόμο γραμμικής ελαστικότητας που αντιστοιχεί στο πεδίο των τάσεων που δημιουργούνται στο φράγμα υπό την ενέργεια εξωτερικών δυνάμεων. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των εργαστηριακών ερευνών αποτιμήθηκαν τα ελαστικά χαρακτηριστικά του σκληρού επιχώματος. Οι υποθέσεις για τα χαρακτηριστικά του υπεδάφους στηρίχτηκαν στα αποτελέσματα των μακροσεισμικών ερευνών (Θεοδωράκη 2009).

Από την τρισδιάστατη εντατική κατάσταση του έργου, που προαναφέρθηκε, καθορίστηκαν οι οριακές συνθήκες στις ζώνες που περικλείουν τα επί μέρους έργα όπως για παράδειγμα η στοά τσιμεντενέσεων και η κεκλιμένη στοά καθόδου, τα έργα αυτά με σωστή χρήση μπορούν να προσδιορίσουν την εντατική κατάσταση των έργων και των φορτίσεων τους (Θεοδωράκη 2009).

Με βάση τους υπολογισμούς αυτούς προέκυψε ότι, το σώμα του φράγματος είναι σχεδόν εξ ολοκλήρου σε κατάσταση τριαξονικής θλίψεως, στην διατομή του μεγαλύτερου ύψους στον άξονα του φράγματος εμφανίζονται οι μεγαλύτερες κατακόρυφες ορθές τάσεις. Διαπιστώνονται ελαφριές εφελκυστικές τάσεις σε ορισμένες διατομές στην στέψη και σε συγκεκριμένη περιοχή στον ανάντη πόδα του φράγματος. Οι εφελκυστικές τάσεις είναι σε περιορισμένο χώρο και επεκτείνονται

σε μεγάλες αποστάσεις στο εσωτερικό του σώματος όπου έχουμε και εμφάνιση τριαξονικής θλιπτικής εντατικής κατάστασης και τέλος, ανάντη και κατάντη του φράγματος οι τάσεις διατμήσεως είναι περιορισμένες (Θεοδωράκη 2009).

Δυναμική Ανάλυση

Για την δυναμική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων, έχοντας υπόψη την αλληλεπίδραση του σώματος με το νερό του ταμιευτήρα κατά την διάρκεια του σεισμού. Στον σχηματισμό της σεισμικής απόκρισης του φράγματος συμβάλουν και η συμπίεστικότητα του νερού του ταμιευτήρα αλλά και η επιρροή της κατακόρυφης συνιστώσας του σεισμού (Θεοδωράκη 2009).

Οι σεισμικές δυνάμεις που ενεργούν στο φράγμα εκτιμήθηκαν από την παραπάνω ανάλυση για δύο διαφορετικές συνθήκες όταν ο ταμιευτήρας είναι κενός και όταν είναι πλήρης ο ταμιευτήρας. Επιπλέον, εκτιμήθηκαν και οι υδροδυναμικές πιέσεις που ασκούνται στην ανάντη παρειά του φράγματος (μέτρια προς ισχυρές σεισμικής δράσεως θεωρείται η ευρύτερη περιοχή του Βαλσαμιώτη) (Θεοδωράκη 2009).

Ο προσδιορισμός πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τα αποτελέσματα μίας σεισμικής μελέτης, που προέκυψαν από τον υπολογισμό δύο σεισμικών κινήσεων του βραχώδους εδάφους που θα κατασκευαζόταν το φράγμα, από το τμήμα Γεωλογίας – Γεωφυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών για την δυτική Κρήτη. Οι δύο κινήσεις αυτές αναφερόταν στον σεισμό OBE (με ενδεχόμενο να εμφανιστεί μία φορά κατά την διάρκεια ζωής του φράγματος όπως έχει ξανά αναφερθεί και σε άλλη παράγραφο) και στον σεισμό SSE (με ενδεχόμενο να εμφανιστεί 1%), όπου η ζημιές είναι αποδεκτές στο φράγμα με την προϋπόθεση να μην υπάρξει εκροή νερού στα κατάντη (μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση 0,37g). Από φάσματα αποκρίσεως χαρακτηρίζονται οι σεισμικές κινήσεις (Θεοδωράκη 2009).

Για τον υπολογισμό της δυναμικής συμπεριφοράς του φράγματος χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος φασματικής αναλύσεως. Τα χαρακτηριστικά της ιδιοταλαντώσεως, ο υπολογισμός των τάσεων και την επαλληλία των αποκρίσεων για οποιαδήποτε ιδιομορφία, υπολογίστηκαν με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων όπου εφαρμόστηκαν στην δισδιάστατη διατομή του έργου με το μέγιστο ύψος. Επίσης, στην ίδια διατομή προέκυψαν και οι δυναμικές τάσεις όπου συναθροίστηκαν με τις στατικές τάσεις. Από την εφαρμογή της παραπάνω μελέτης σύμφωνα με την Θεοδωράκη (2009) προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Συγκρίνοντας τις τιμές με την προδιαγραφόμενη αντοχή θλίψεως του σκληρού επιχώματος προέκυψε ότι οι μέγιστες τάσεις θλίψεως διατηρούνται χαμηλές.
- Η δυναμική συμπεριφορά του φράγματος δεν επηρεάζεται από την απότομη αλλαγή της γεωμετρίας του φράγματος κοντά στην στέψη, εφόσον η μάζα στην περιοχή αυτή είναι μικρή και δεν αναπτύσσει δυναμικές τάσεις.
- Η μικρές τιμές των εφελκυστικών δυνάμεων αποδίδονται στην μορφή του φράγματος σε σύγκριση με ένα απλό φράγμα βαρύτητας του οποίου η ανάντη πλευρά είναι σχεδόν κατακόρυφη και θα εμφάνιζε για τις ίδιες συνθήκες δέκα φορές μεγαλύτερες τάσεις εφελκυσμού με αποτέλεσμα την δυσκολία απόσυρσης τους από τους οπλισμούς του μανδύα.
- Στην ανάντη πλευρά του φράγματος δημιουργούνται ελαφρές τάσεις εφελκυσμού. Και στην περίπτωση που η αντοχή του σκληρού επιχώματος σε ελκυσμό θεωρηθεί μηδενική, οι οπλισμοί του ανάντη μανδύα έχουν καταχωρηθεί ώστε η διάσταση τους να είναι σε τέτοια θέση που θα δέχεται τις ελαφρές εφελκυστικές δυνάμεις.

Επίσης ο υπολογισμός των υδροστατικών πιέσεων που οφείλονται στην αλληλεπίδραση νερού-φράγματος κατά μήκος της κεκλιμένης επιφάνειας του.

Συμπερασματικά λοιπόν αξίζει να τονίσουμε ότι από τους αντισεισμικούς υπολογισμούς προέκυψε ότι, η μορφή του φράγματος που επιλέχθηκε είναι κατάλληλα διαμορφωμένη για ενδεχόμενες σεισμικές συνθήκες. Καθώς η διατομή επιτρέπει τον περιορισμό των τάσεων στο σκληρό επίχωμα και την ασφάλεια του φράγματος που επιτυγχάνεται από τον μανδύα που έχει την δυνατότητα να δεχθεί και τις ελάχιστες εφελκυστικές τάσεις σε περίπτωση ενός ισχυρού σεισμού (Θεοδωράκη 2009).

Κεφάλαιο 6

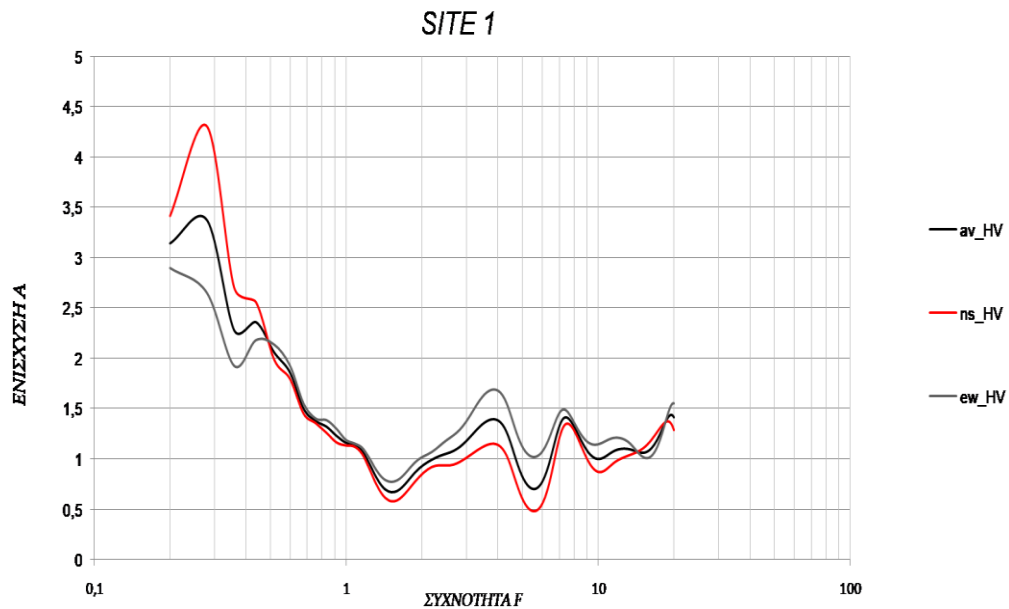
6.1 Μετρήσεις Μικροθορύβου στο Φράγμα Βαλσαμιώτη

Οι μετρήσεις μικροθορύβου καταγράφηκαν από τον Ιούνιο έως τον Νοέμβριο του 2017 σε καλές καιρικές συνθήκες από το Εργαστήριο Γεωφυσικής και Σεισμολογίας HSNC UNESCO (ακολουθώντας τις προδιαγραφές των Mucciarelli et al., 2005 και JS manual WP12, D23.22). Έγινε χρήση του αισθητήρα Lennartz /3D 5sec που συνδέεται με το καταγραφικό Cityshark II. Η επεξεργασία των καταγραφών εδαφικού θορύβου και τον υπολογισμό του μέσου φασματικού λόγου H/V βασίστηκε στα εξής: 1) Επιλογή χρονικών παραθύρων 50 sec χωρίς αλληλοκάλυψη μεταξύ τους μη παροδικού θορύβου με οπτική επιλογή (manual selection) στις τρεις συνιστώσες καταγραφής του εδαφικού θορύβου. 2) Αφαίρεση μέσης στάθμης με συνημητονικό φίλτρο απόληξης (“taper” με εύρος 5%. 3) Για την εξομάλυνση των φασμάτων Fourier, επιλέχθηκε η εφαρμογή του φίλτρου εξομάλυνσης Konno & Ohmachi (1998) με τιμή $b=20$. 4) Υπολογισμός του φάσματος με μετασχηματισμό Fourier για κάθε παράθυρο και κάθε συνιστώσα. Η μέση τιμή των φασμάτων Fourier των οριζόντιων συνιστωσών υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την τεχνική του γεωμετρικού μέσου όρου (geometric average). Η μέση οριζόντια συνιστώσα προκύπτει από τη ρίζα του αθροίσματος των οριζόντιων συνιστωσών. 5) Ζωνοδιαβατό φίλτρο (Bandpass Filtering) στο εύρος συχνοτήτων 0.2-20 Hz. 6) Για κάθε χρονικό παράθυρο υπολογίζονται οι φασματικοί λόγοι H/V, H_{ew}/V και H_{ns}/V και οι μέσοι φασματικοί λόγοι H_{av}/V , H_{ew}/V και H_{ns}/V . Επιπρόσθετα υπολογίζεται ο μέσος φασματικός λόγος H/V και η \pm τυπική απόκλιση (standard deviation, \pm std).

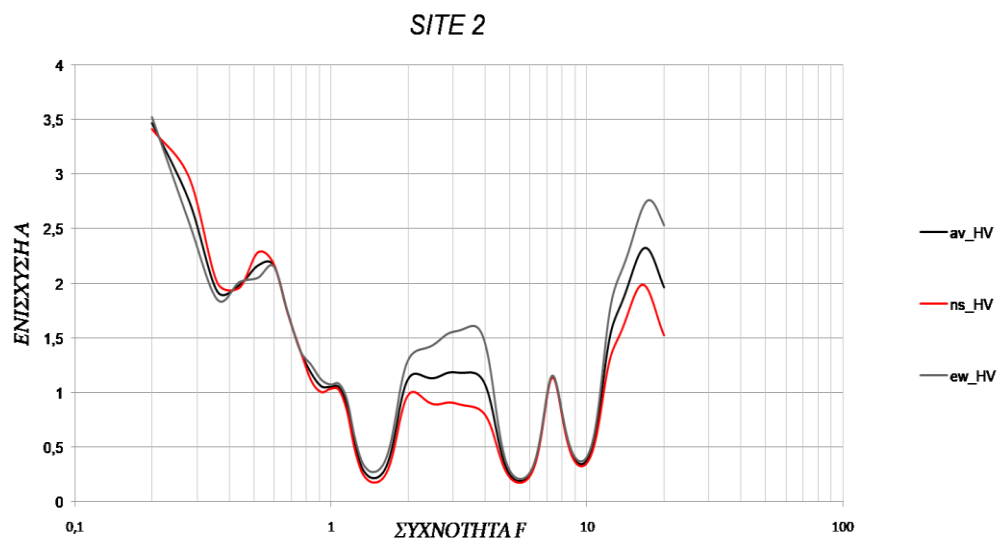
6.2 Αποτελέσματα

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα απο τις μετρήσεις μικροθορύβου στην στέψη αλλά και στα θεμέλια του φράγματος Βαλσαμιώτη.

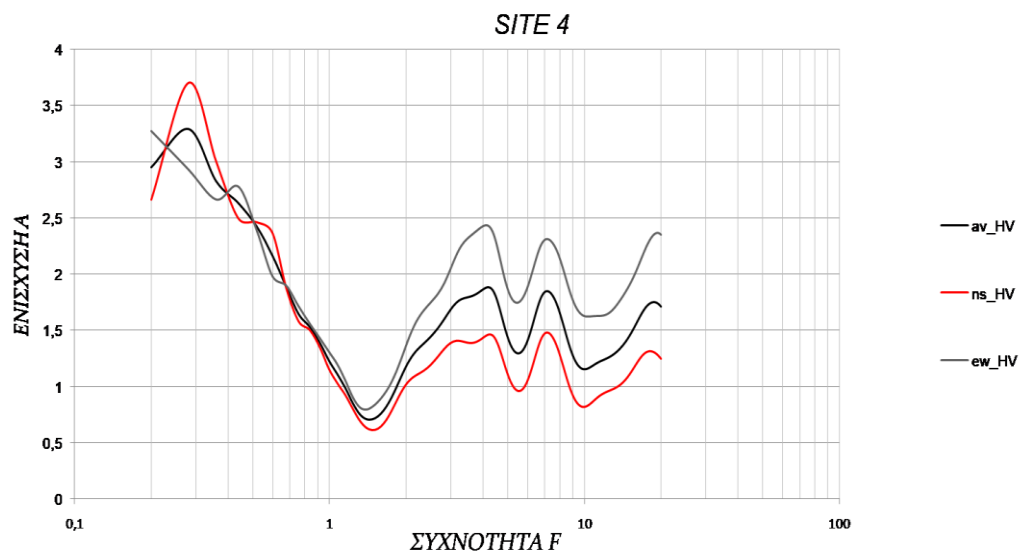
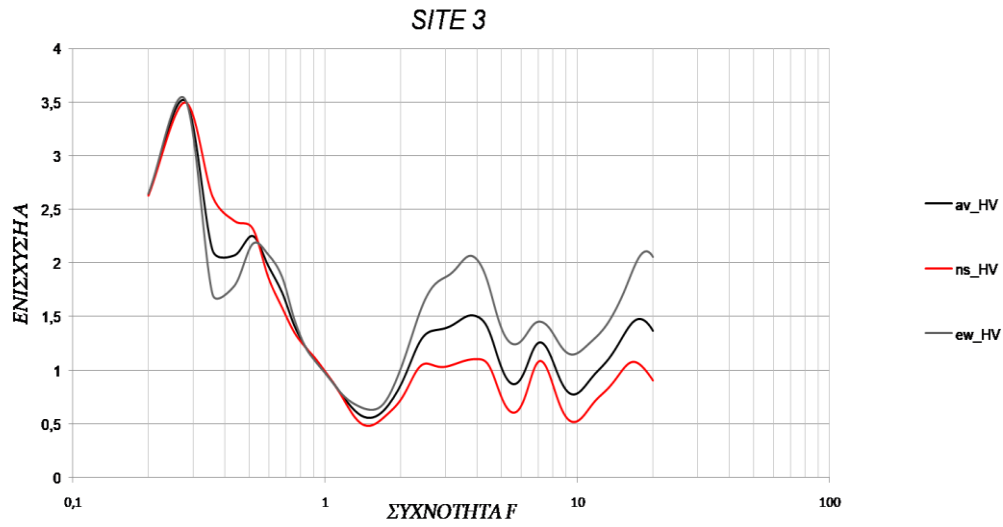
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ: 22_06_2017:

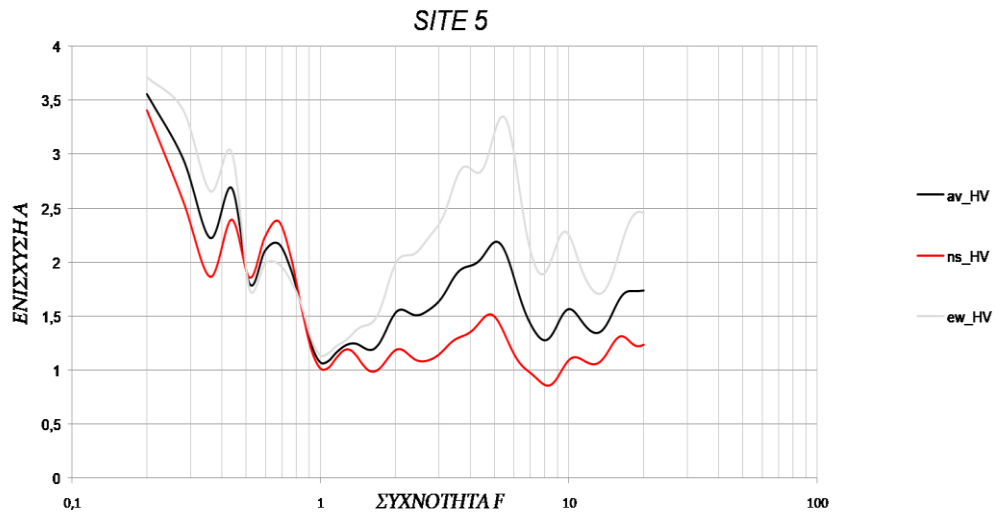


Σχήμα 2 H/V Καμπύλη site 1

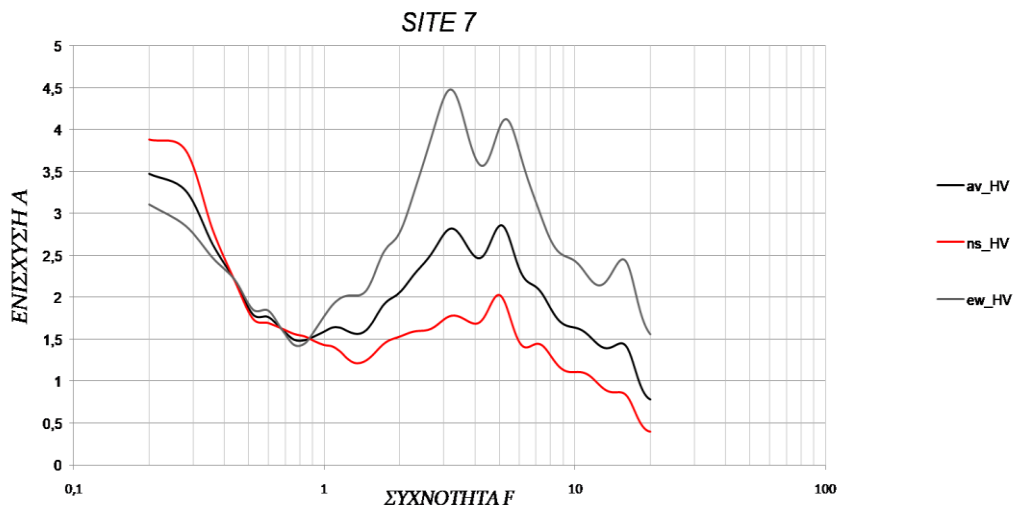


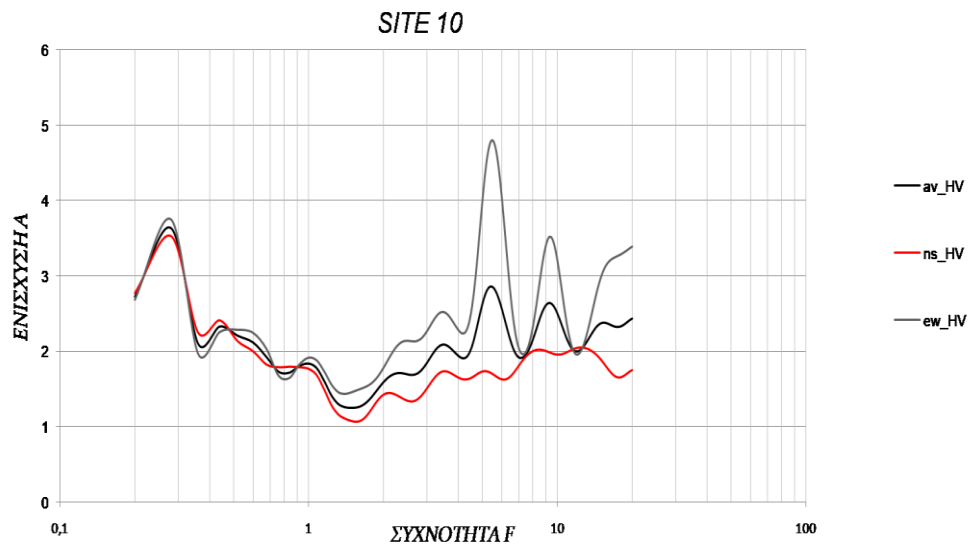
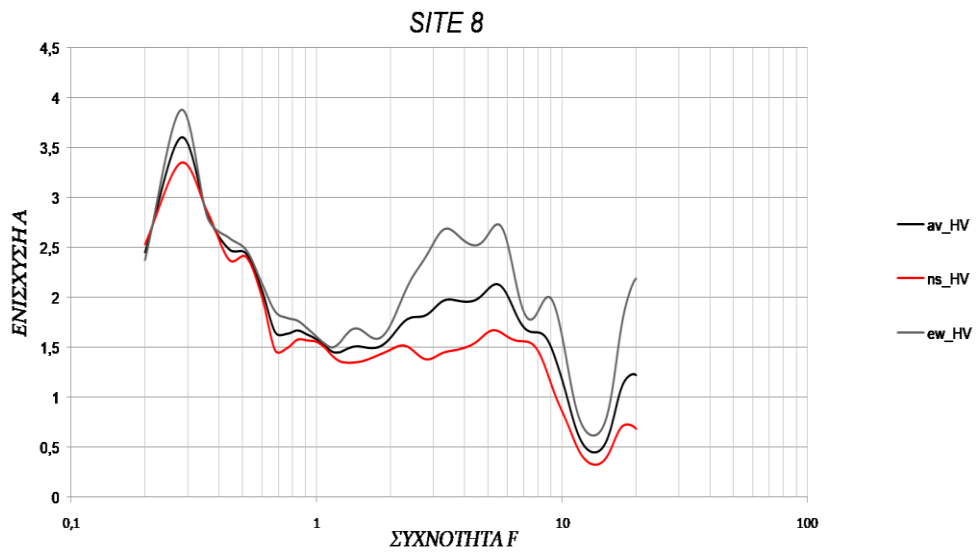
Σχήμα 3 H/V Καμπύλη site 2



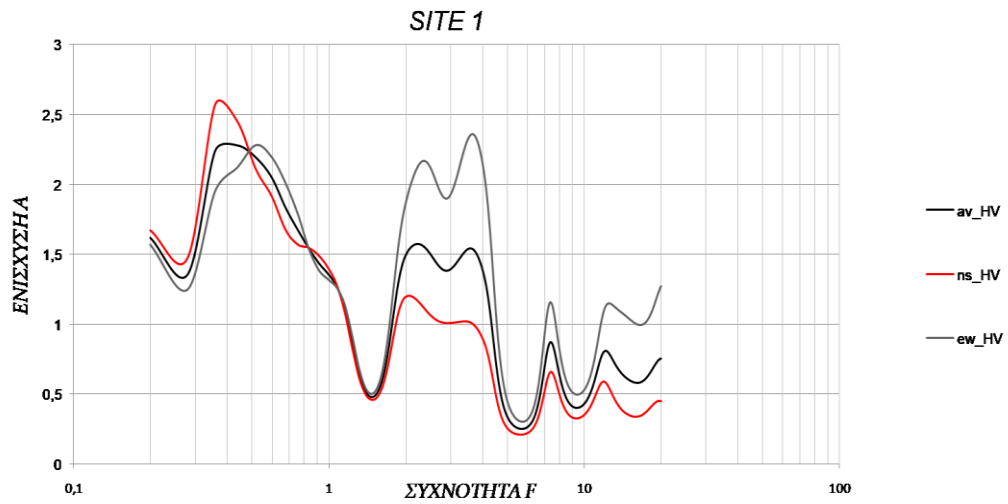


Σχήμα 7

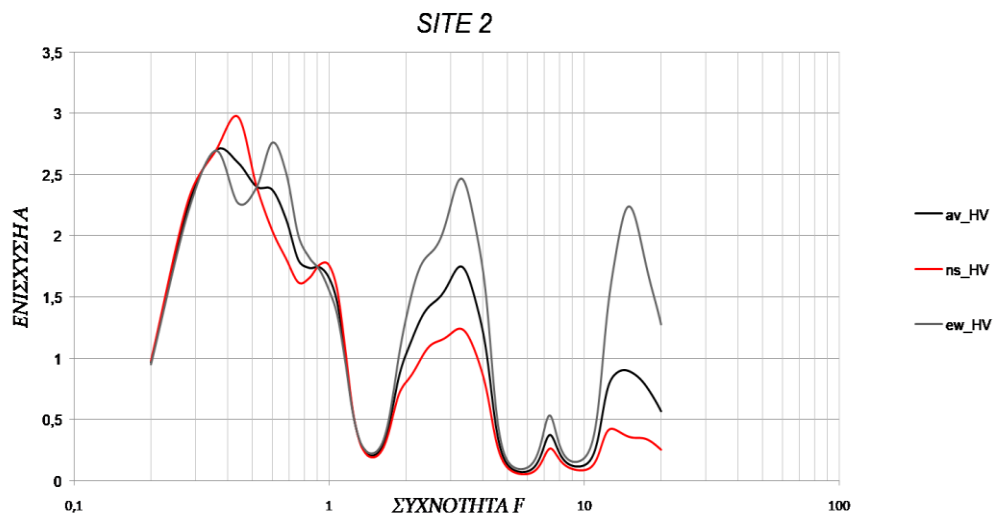




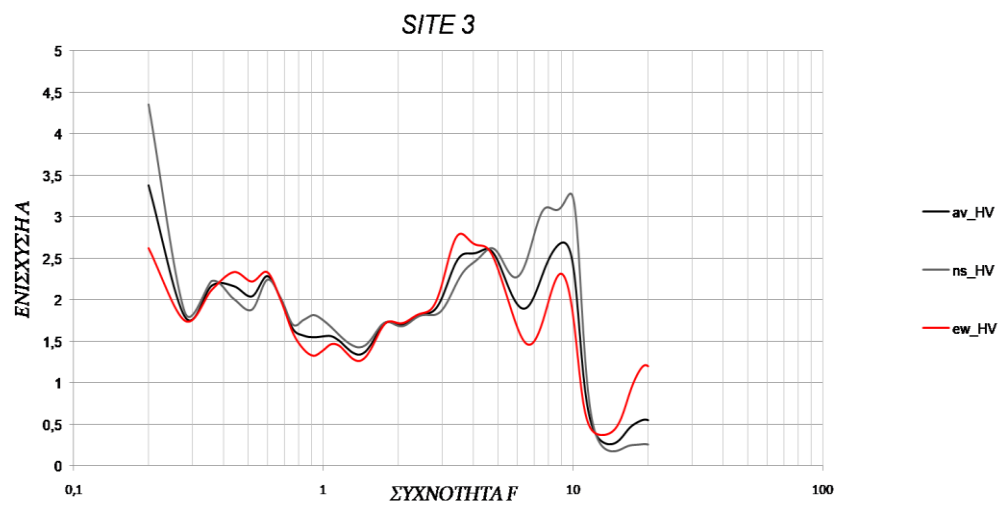
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ: 06_07_2017



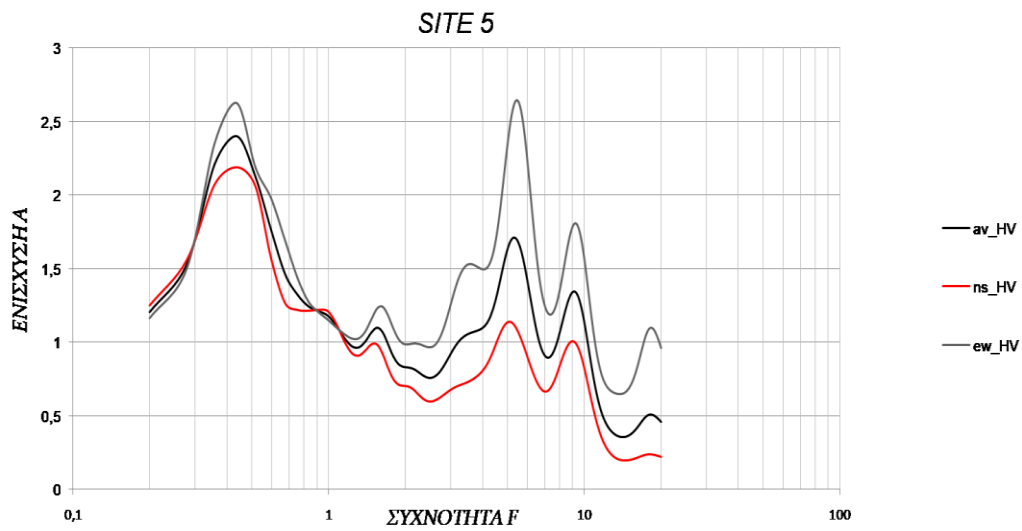
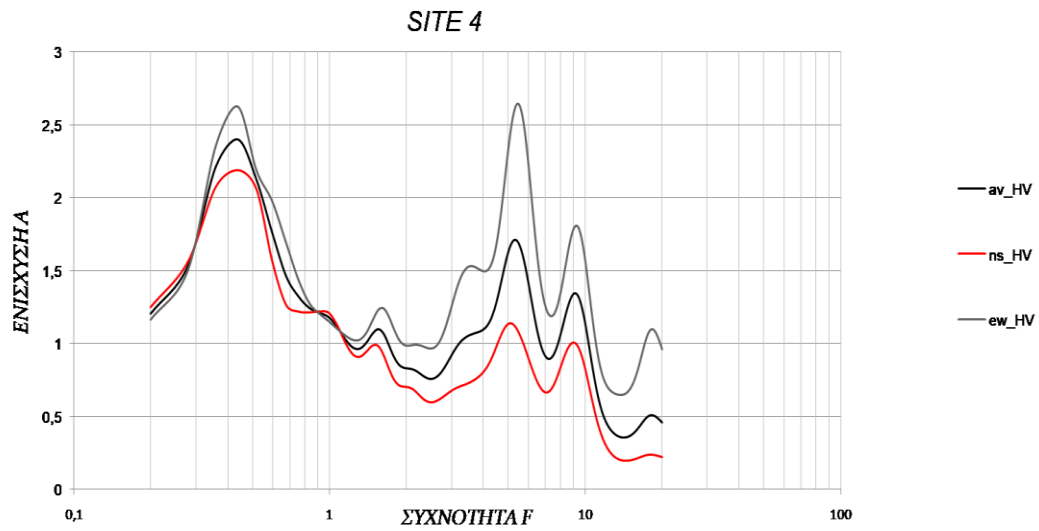
Σχήμα 11 H/V Καμπύλη site 1

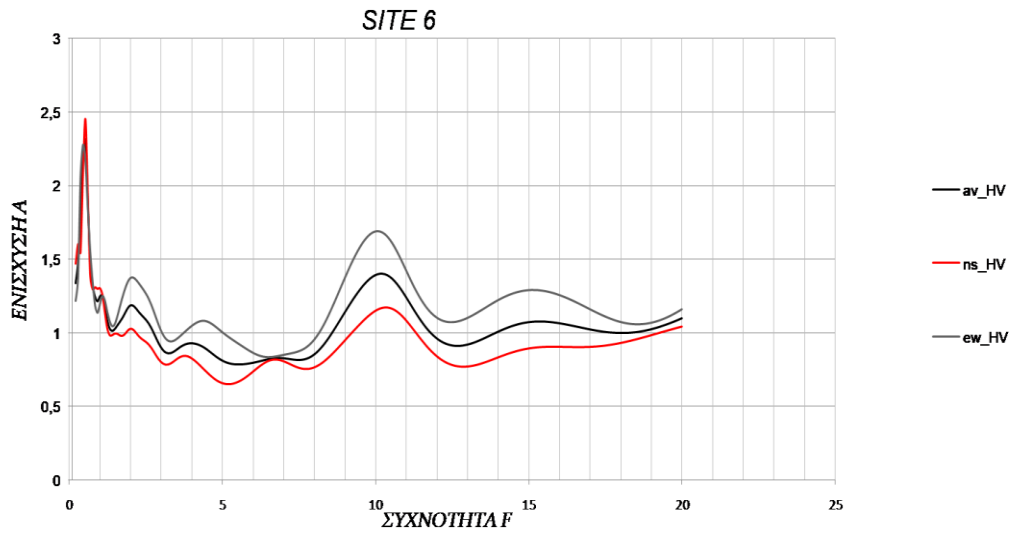


Σχήμα 12 H/V Καμπύλη site 2



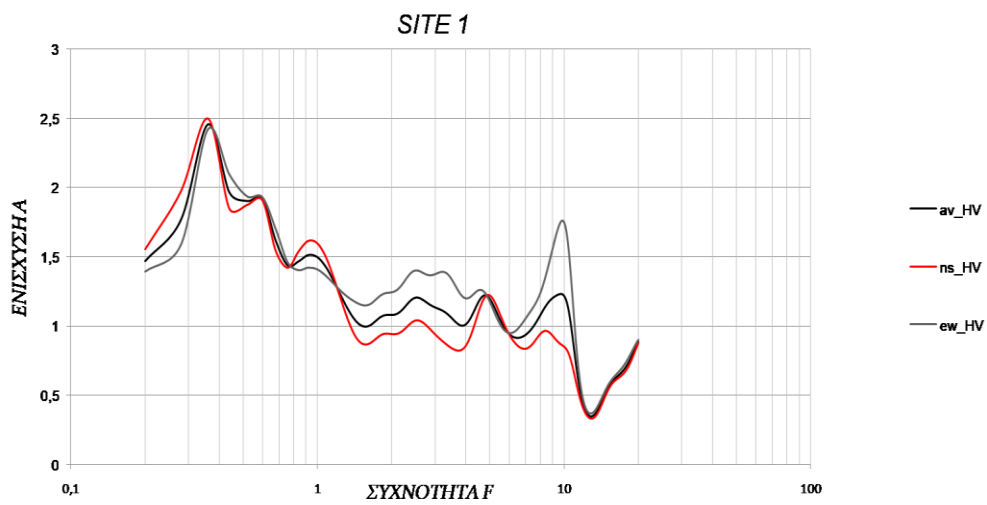
Σχήμα 13 H/V Καμπύλη site 3



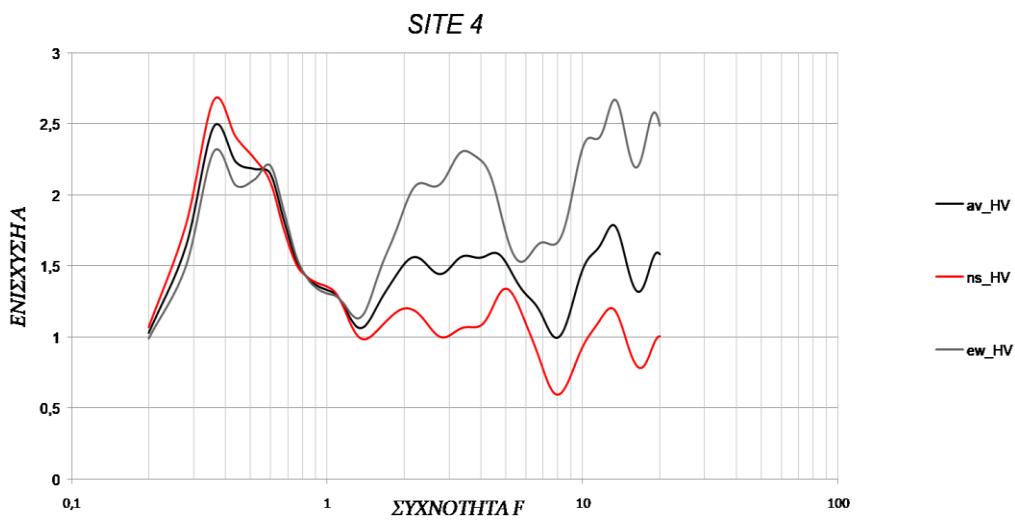
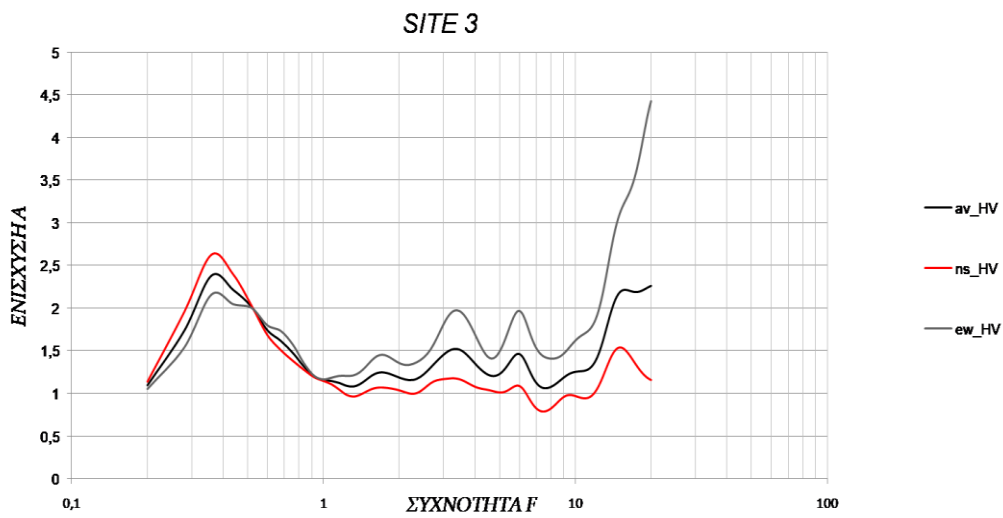
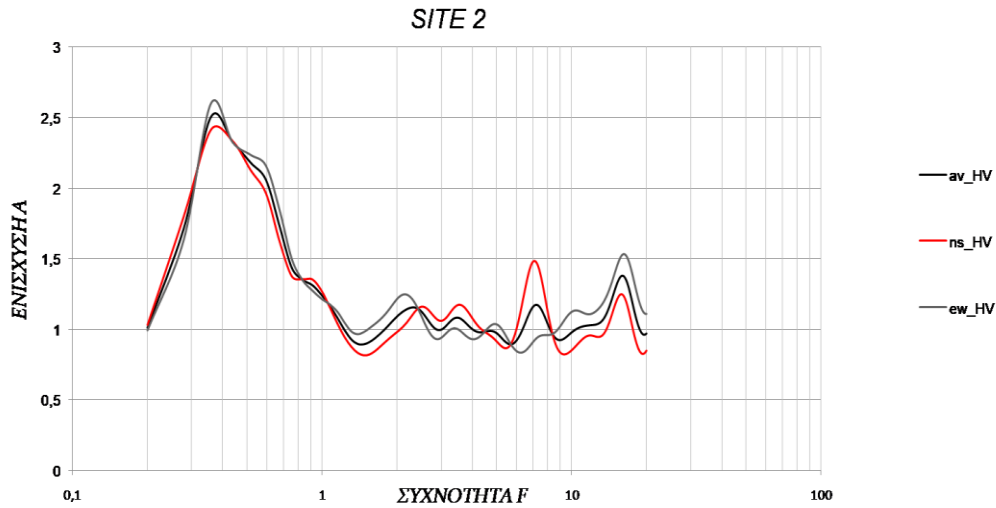


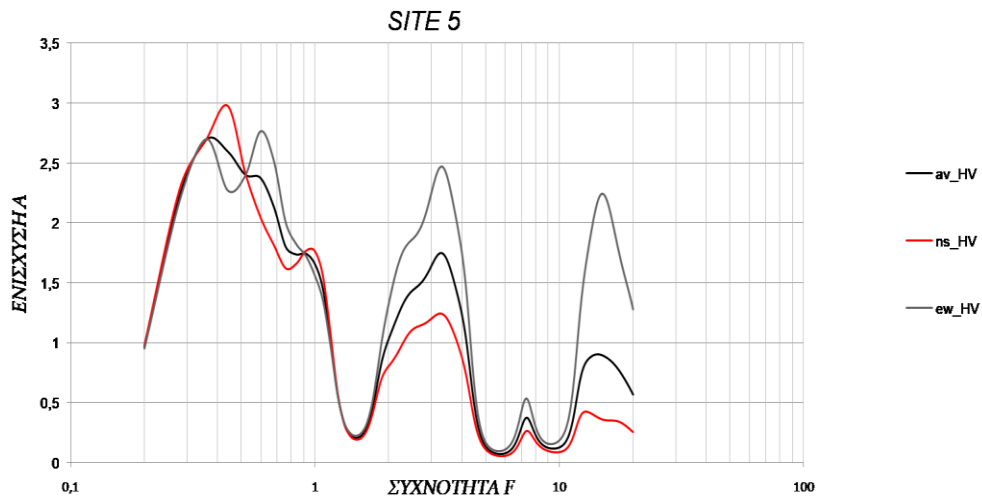
Σχήμα 16 Η/Υ Καμπύλη site 6

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ: 01_09_2017



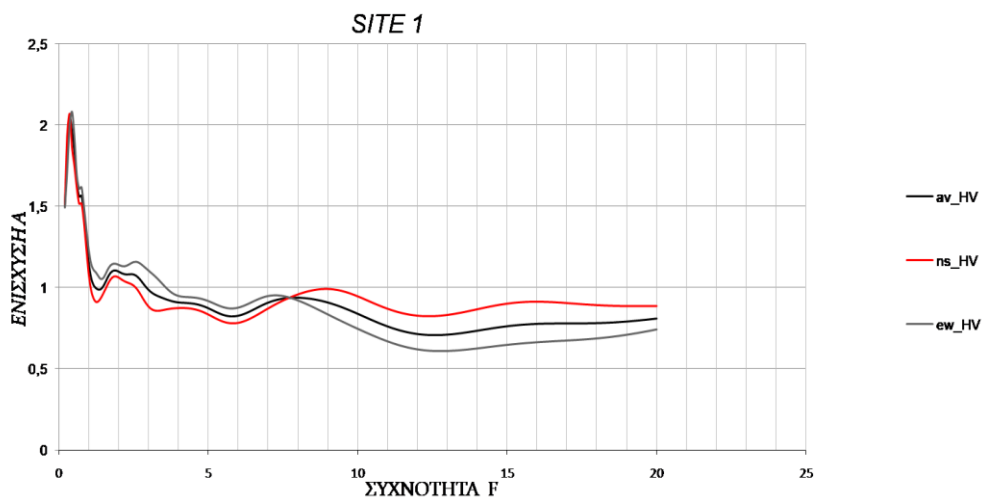
Σχήμα 17 Η/Υ Καμπύλη site 1



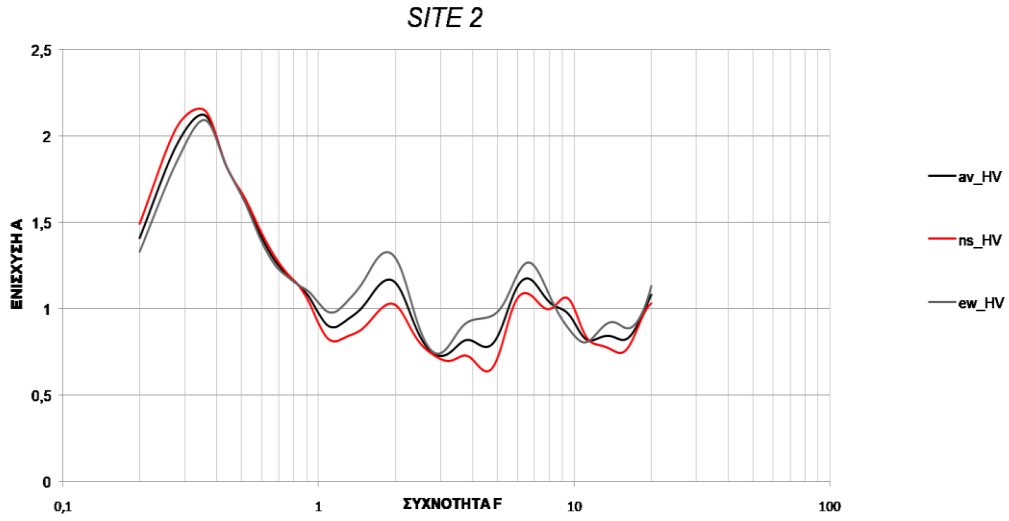


Σχήμα 21 H/V Καμπύλη site 5

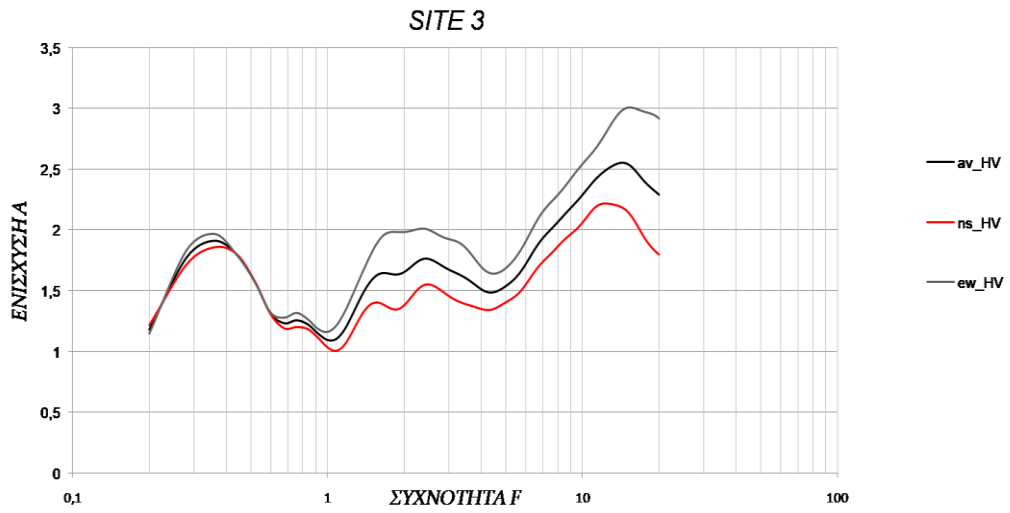
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ: 07_11_2017



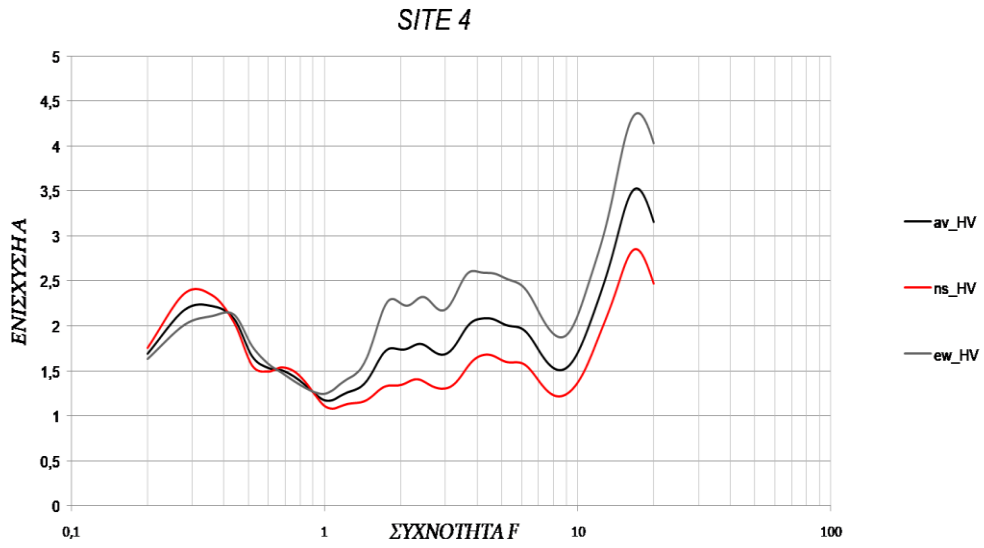
Σχήμα 22 H/V Καμπύλη site 1



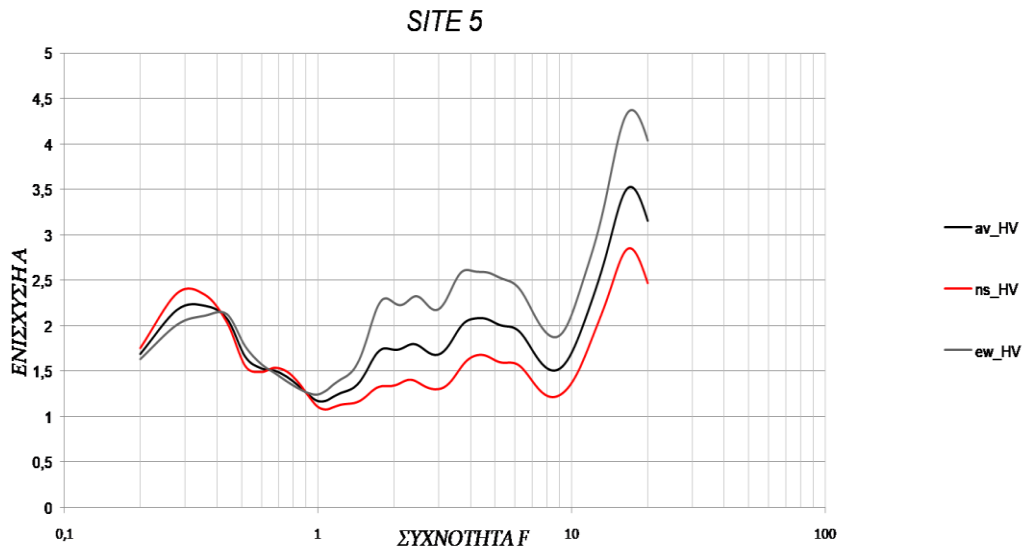
Σχήμα 23 Η/Υ Καμπύλη site 2



Σχήμα 24 Η/Υ Καμπύλη site 3

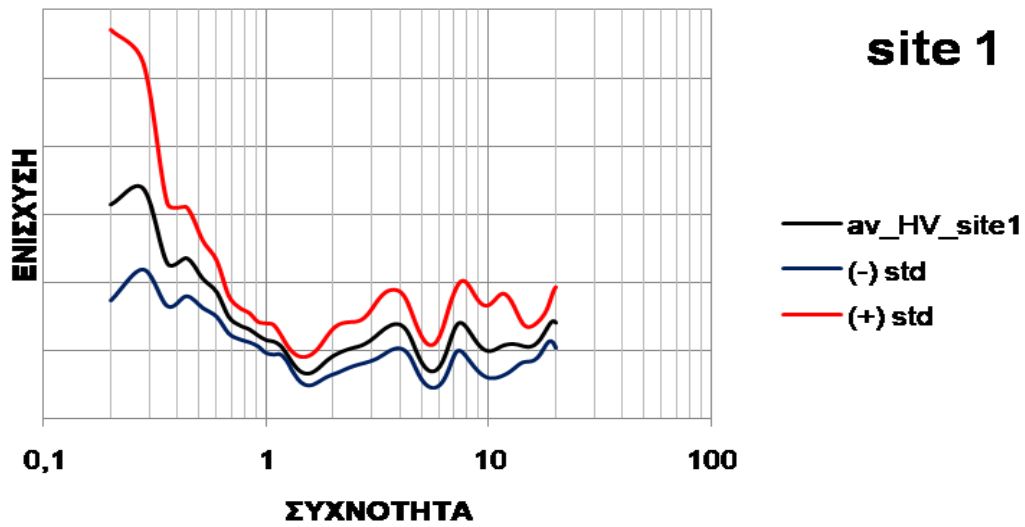


Σχήμα 25 Η/Ν Καμπύλη site 4



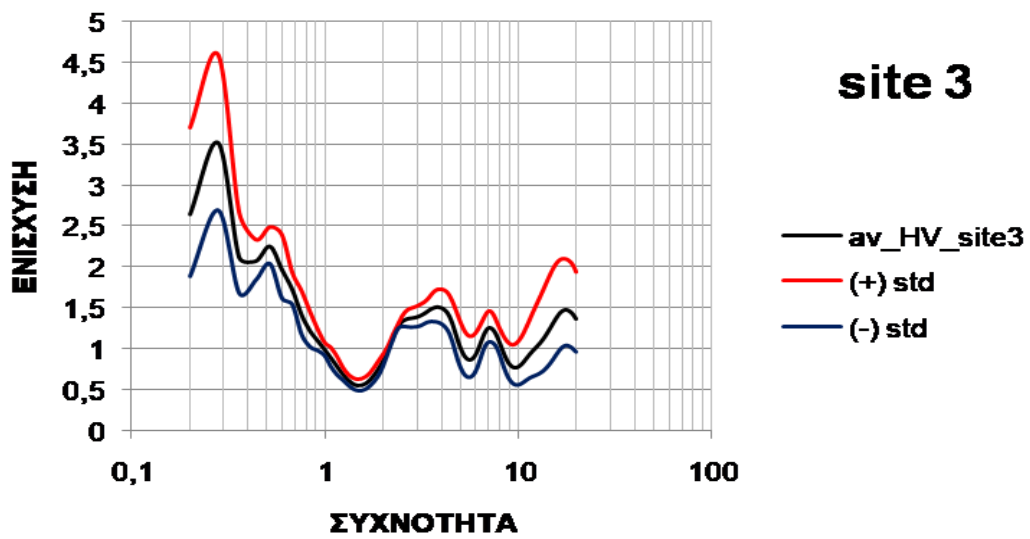
Σχήμα 26 Η/Ν Καμπύλη site 5

1^ο Σετ μετρήσεων 22/06/2017:

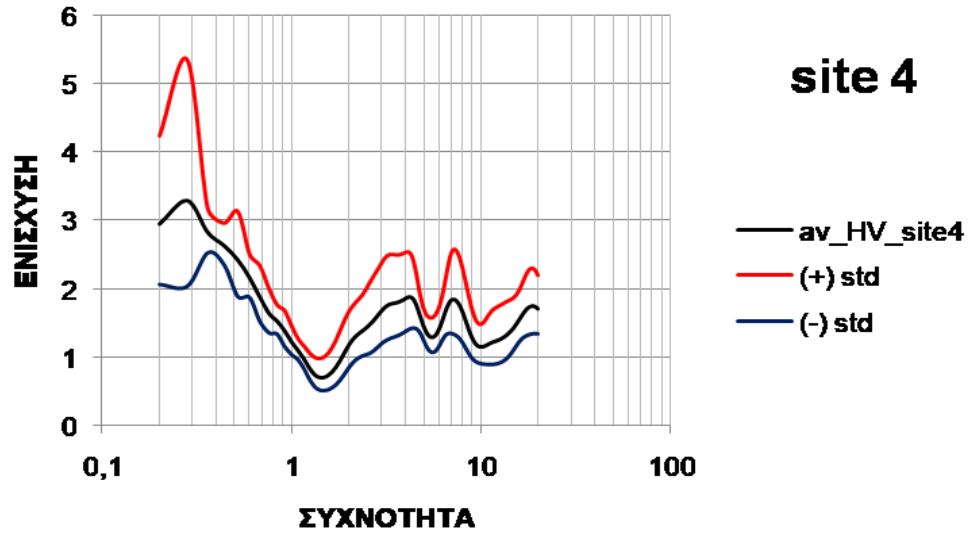


Σχήμα 27 H/V Καμπύλη site 1

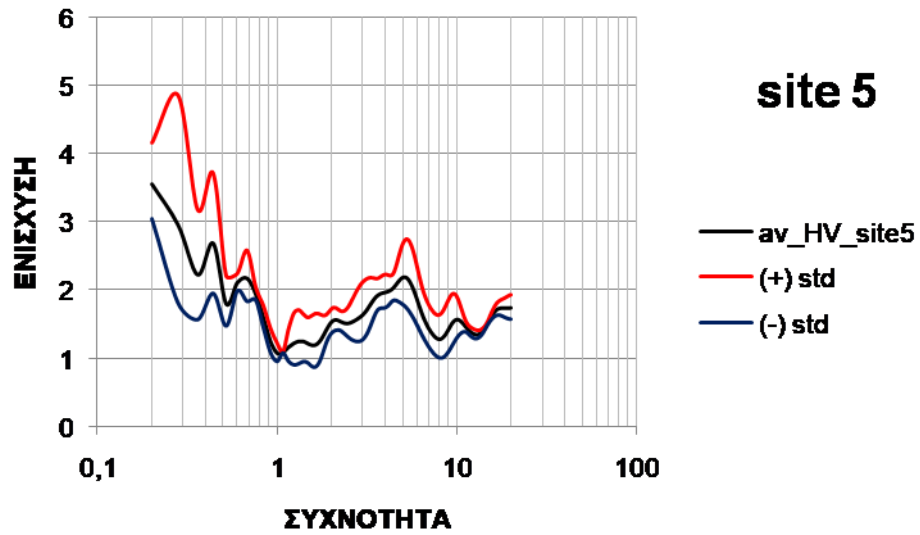
H/V Καμπύλη site 2



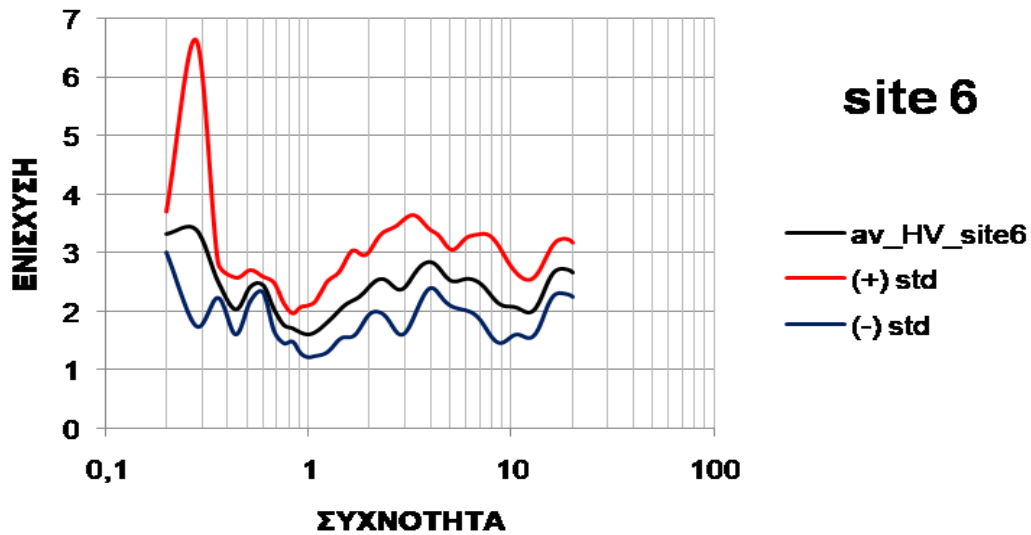
Σχήμα 28 H/V Καμπύλη site 3



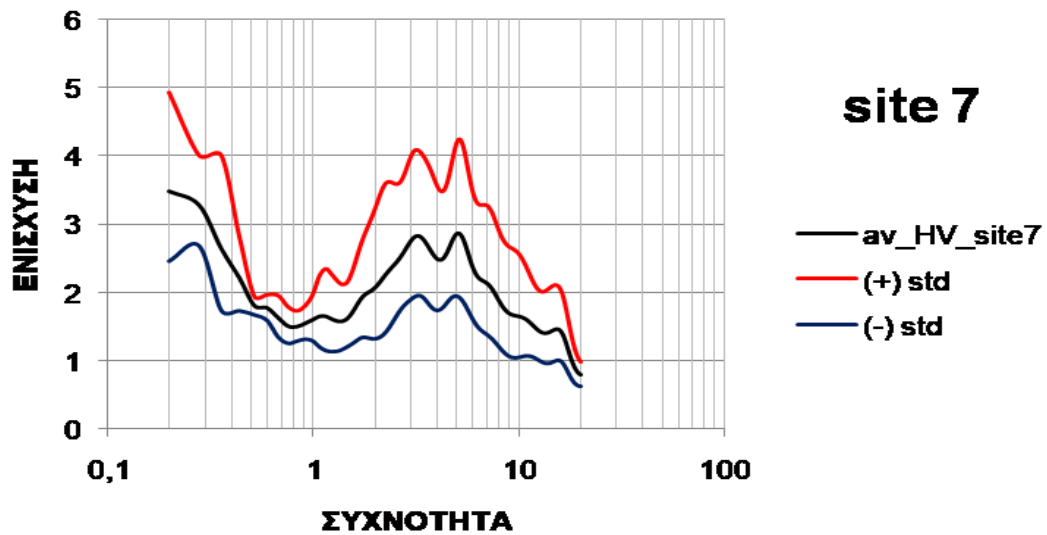
Σχήμα 29 Η/Υ Καμπύλη site 4



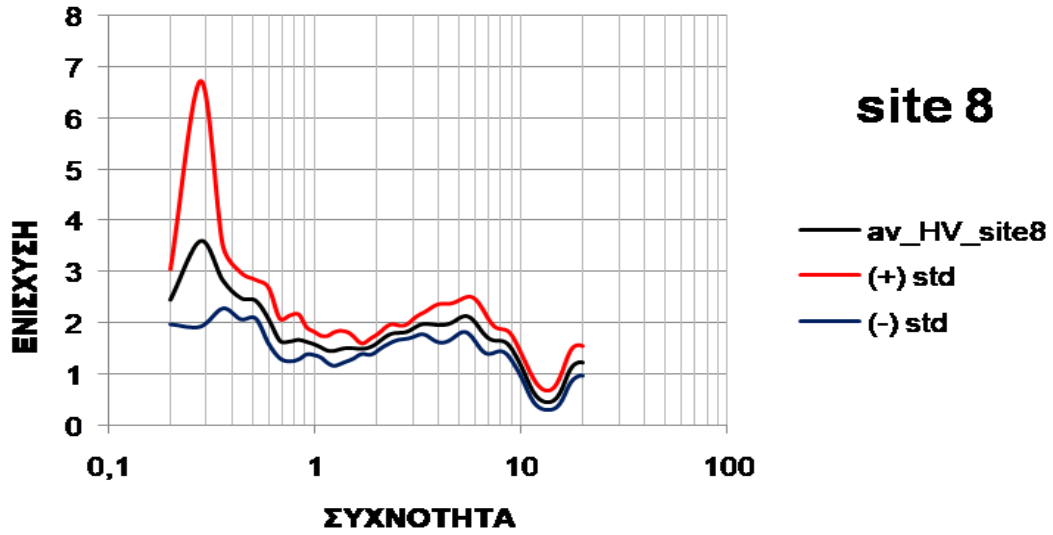
Σχήμα 30 Η/Υ Καμπύλη site 5



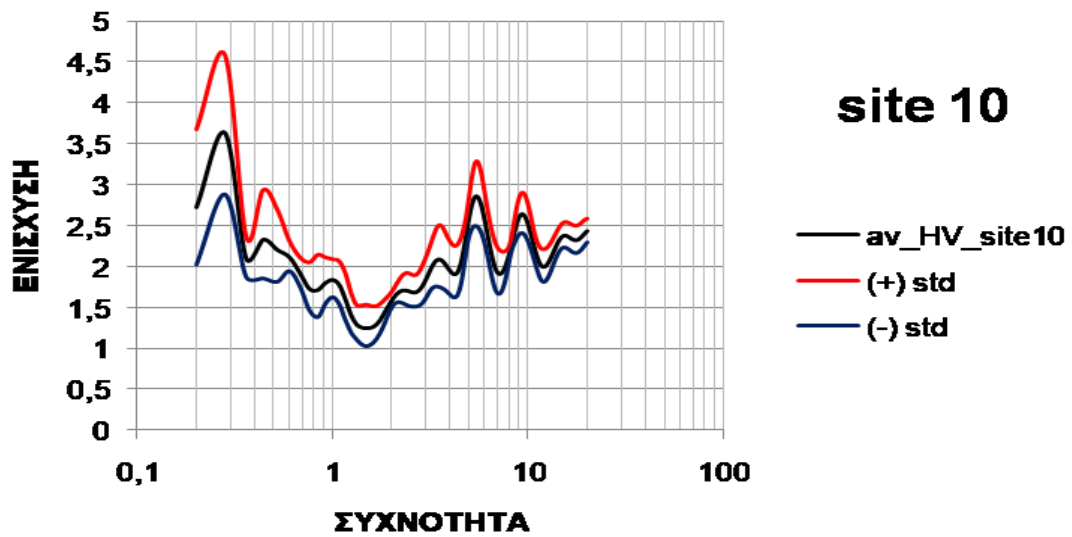
Σχήμα 31 Η/Υ Καμπύλη site 6



Σχήμα 32 Η/Υ Καμπύλη site 7

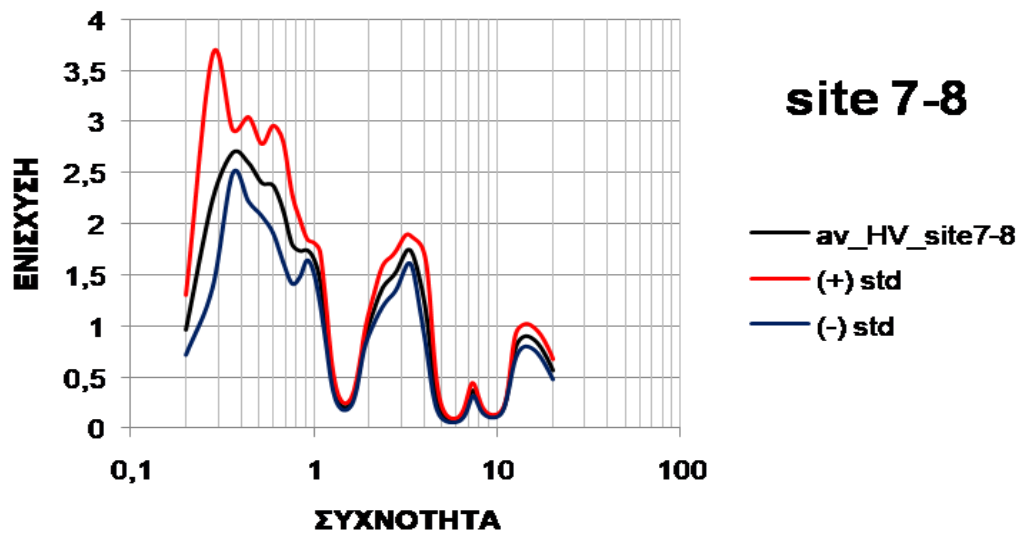


Σχήμα 33 Η/Υ Καμπύλη site 8

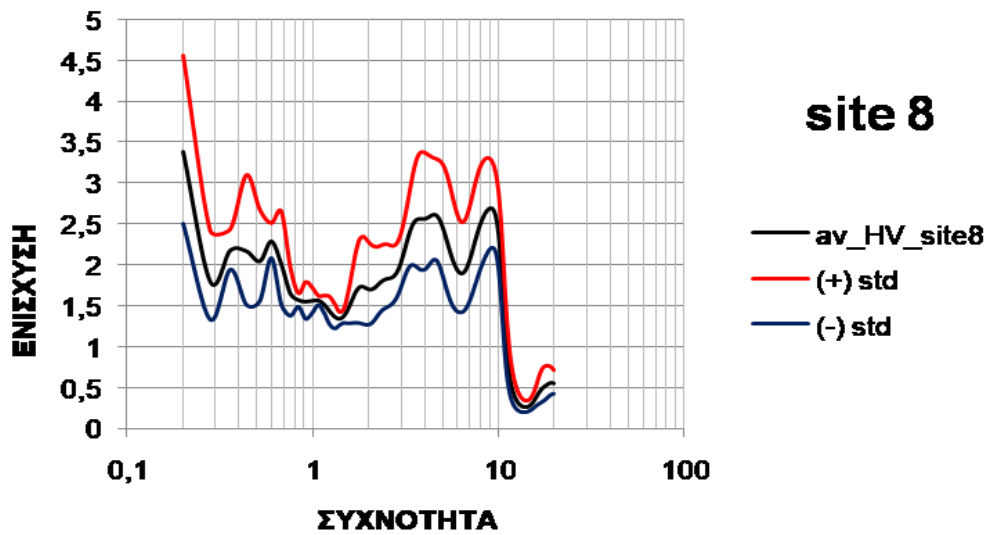


Σχήμα 34 Η/Υ Καμπύλη site 10

2^ο Σετ μετρήσεων 06/07/2017:

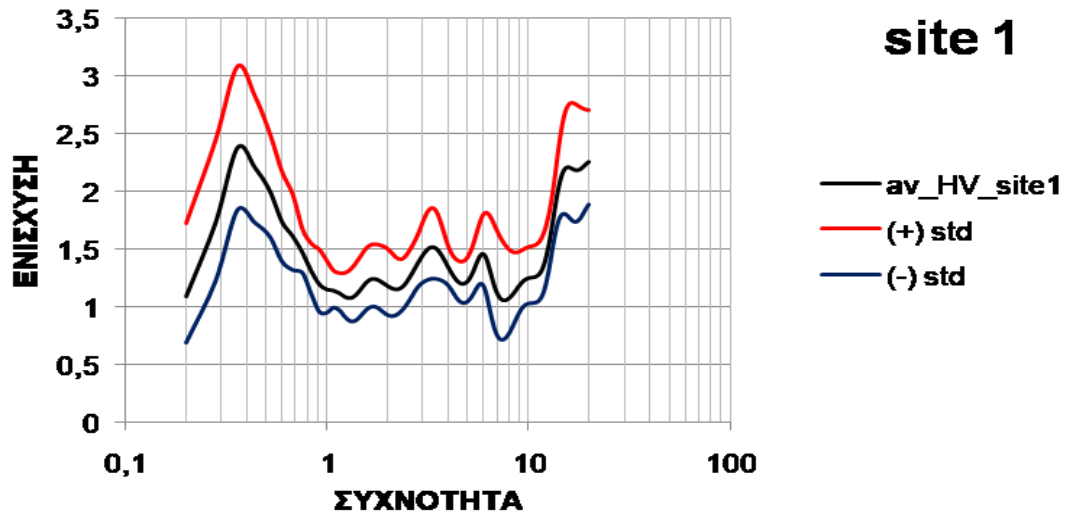


Σχήμα 35 H/V Καμπύλη site 7-8

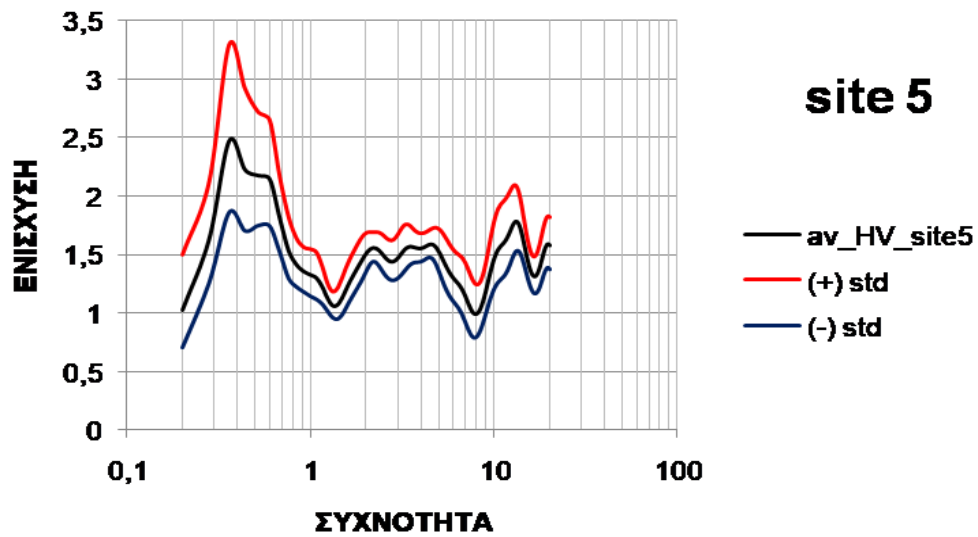


Σχήμα 36 H/V Καμπύλη site 8

3^ο Σετ μετρήσεων 01/09/2017:

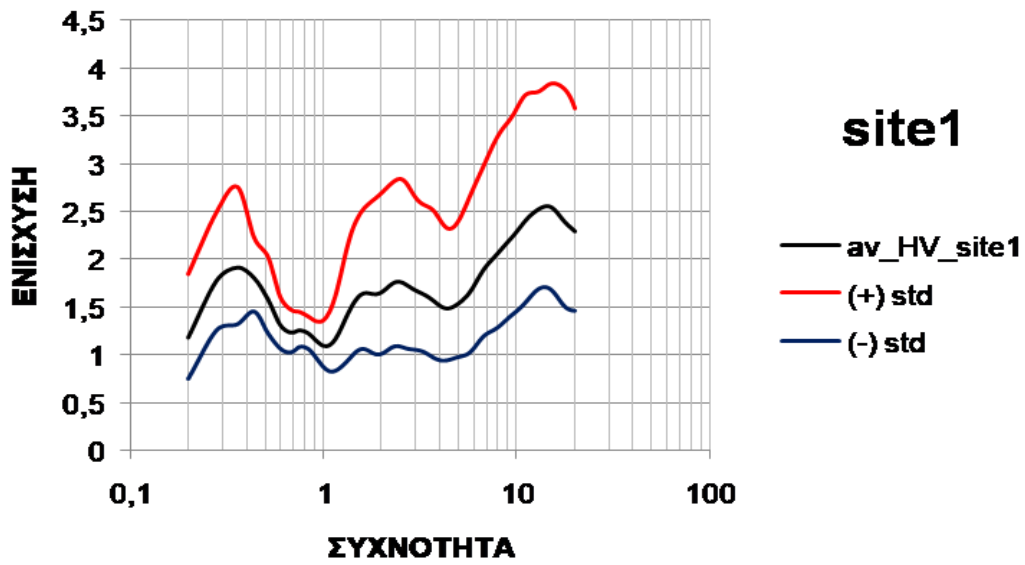


Σχήμα 37 Η/Υ Καμπύλη site 1

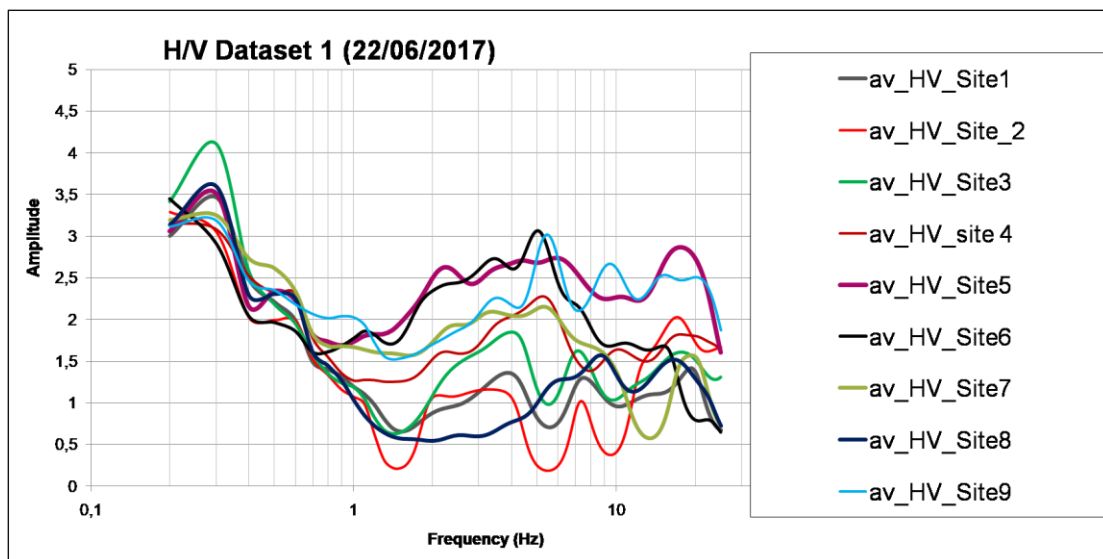


Σχήμα 38 Η/Υ Καμπύλη site 5

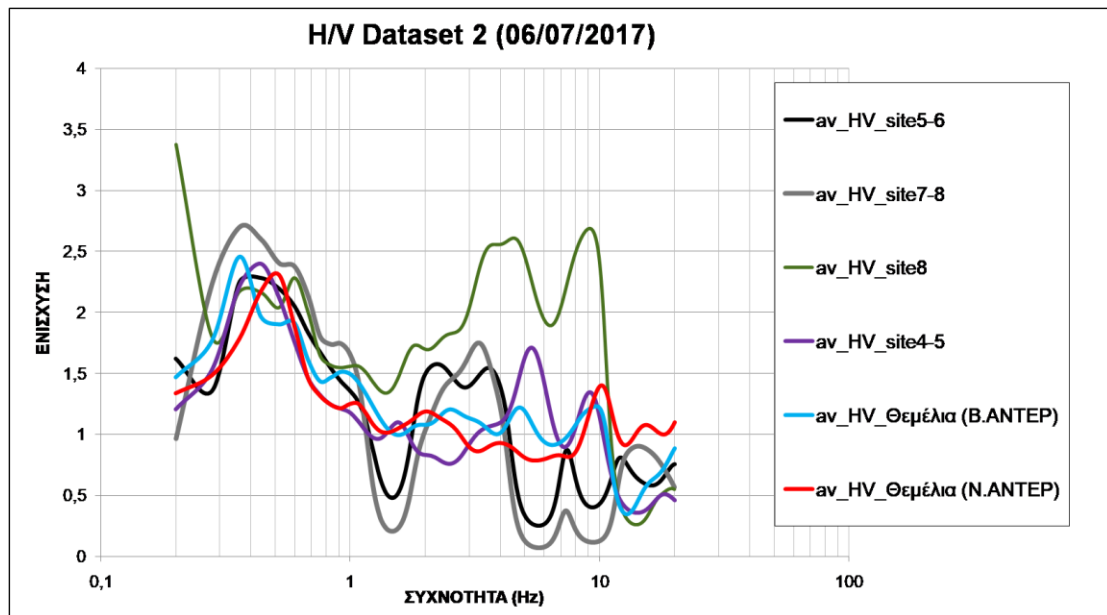
4^ο Σετ μετρήσεων 10/11/2017:



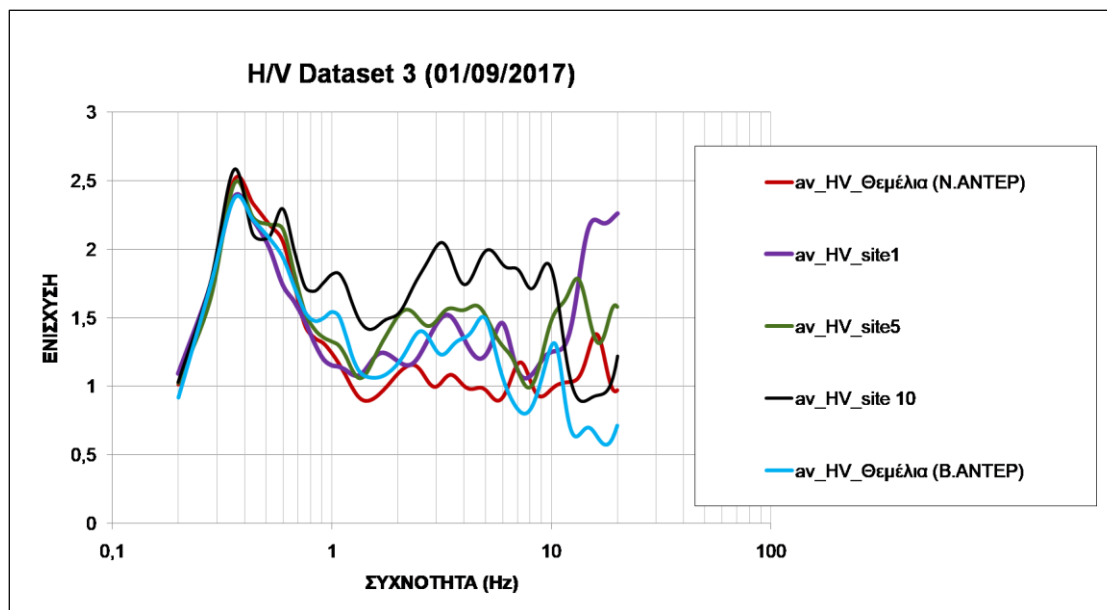
Σχήμα 39 Η/Υ Καμπύλη site 1



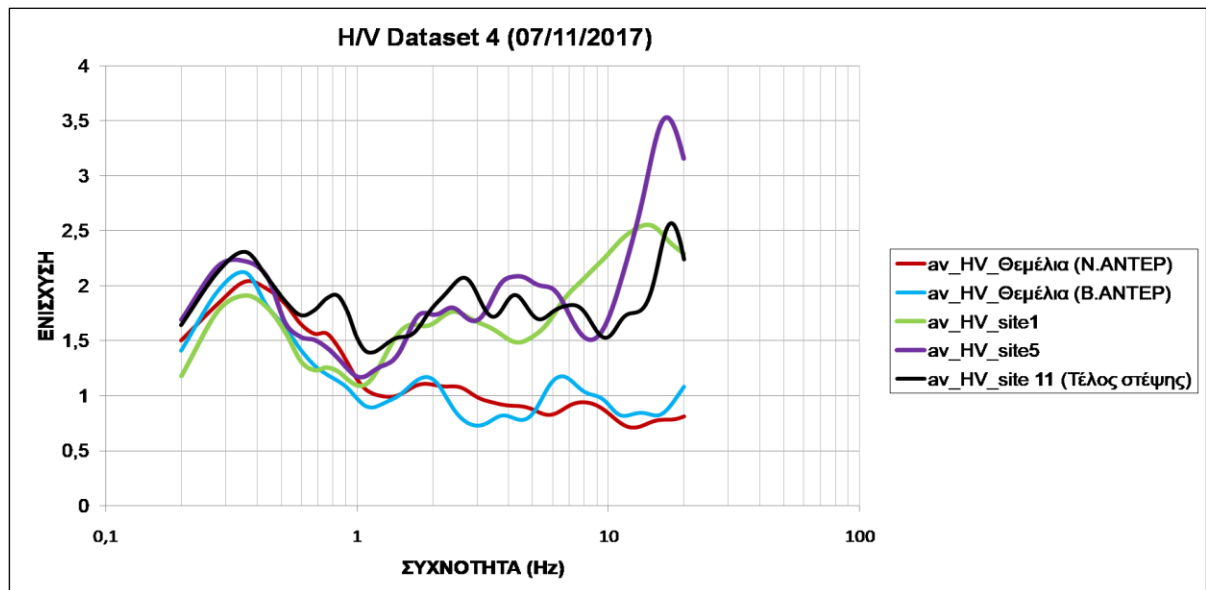
Σχήμα 40 Η/Υ Καμπύλη συνολικά αποτελέσματα Dataset 1



Σχήμα 41 H/V Καμπύλη συνολικά αποτελέσματα Dataset 2

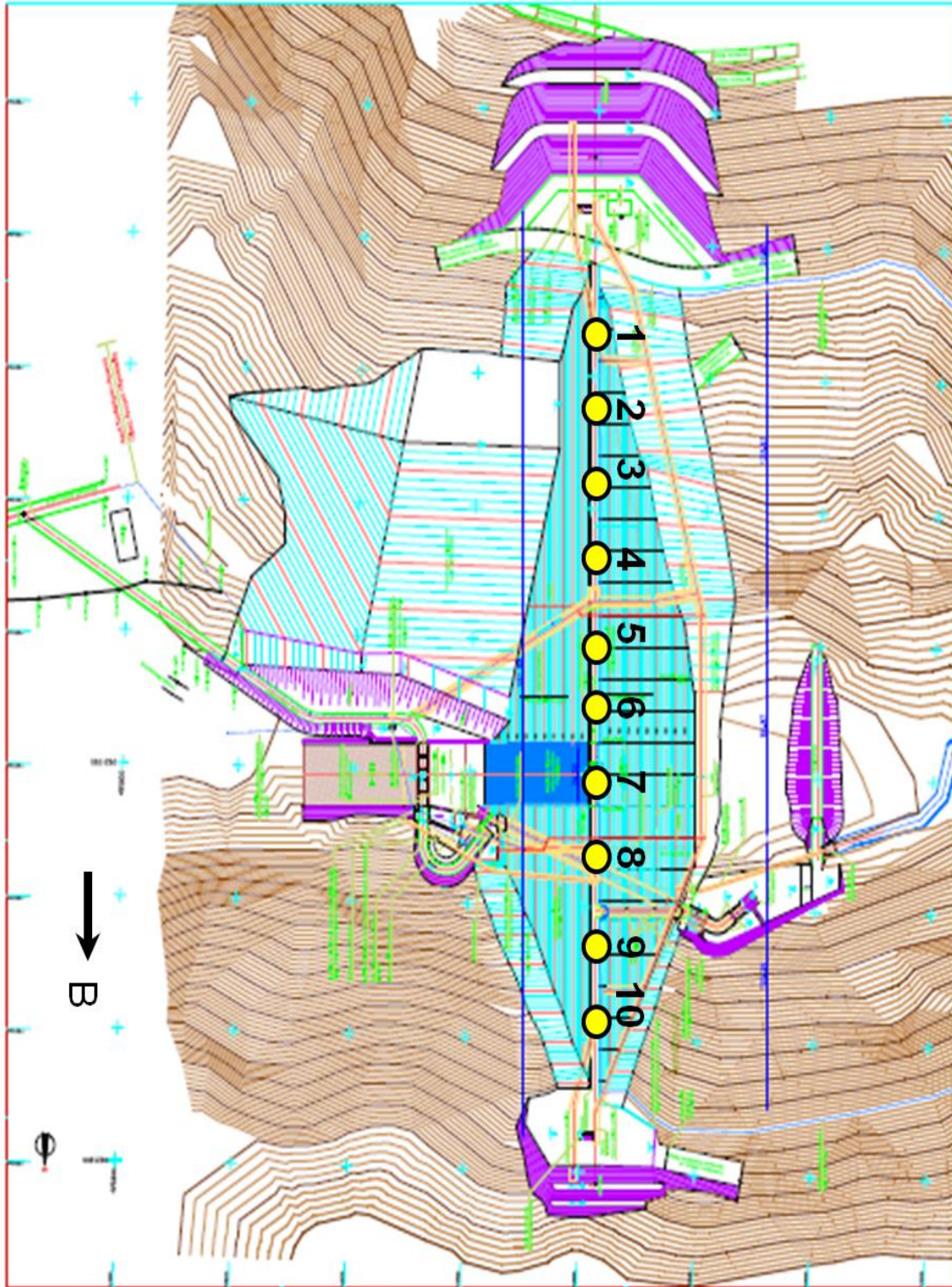


Σχήμα 42 H/V Καμπύλη συνολικά αποτελέσματα Dataset 3

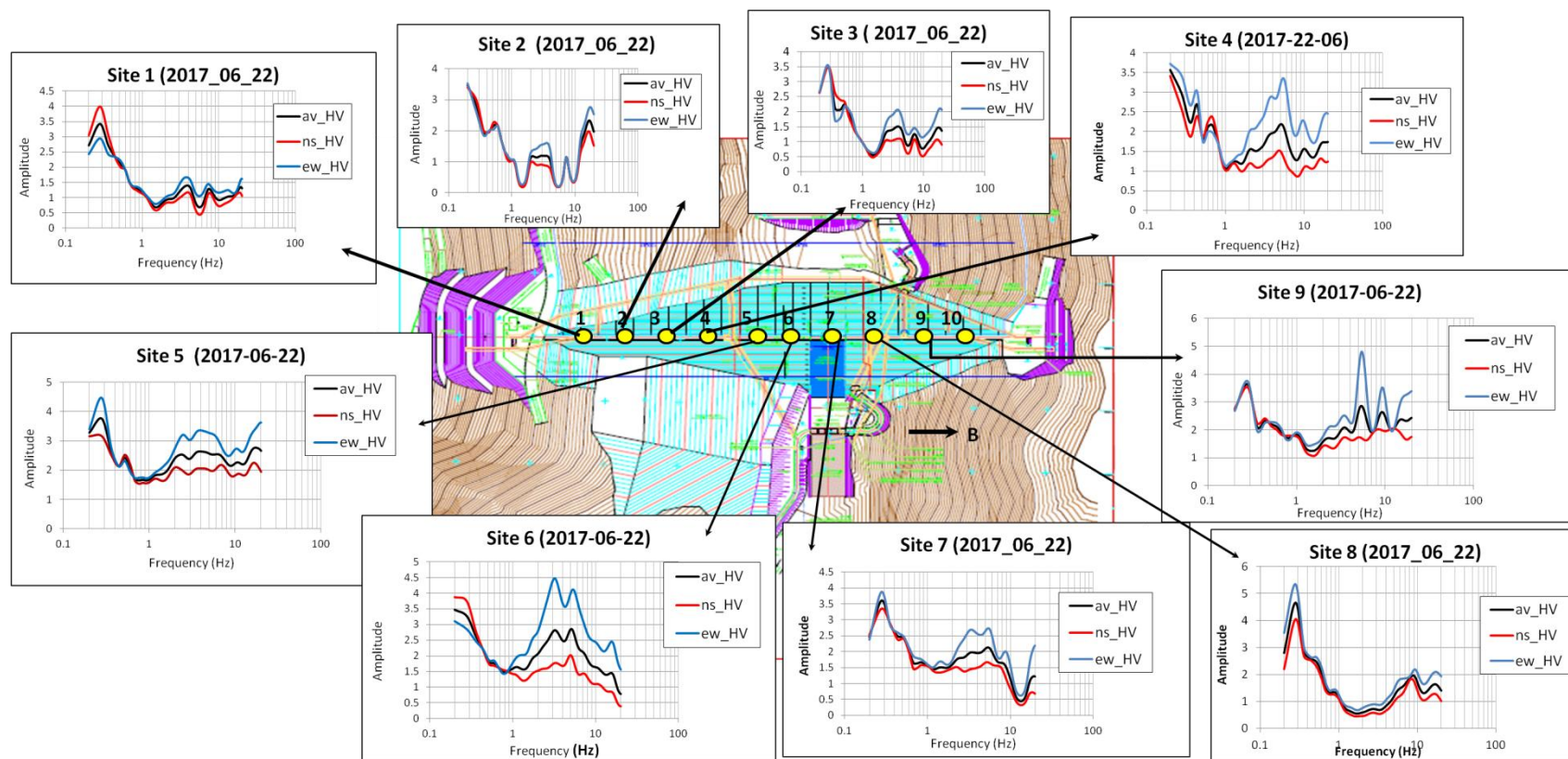


Σχήμα 43 Η/Υ Καμπύλη συνολικά αποτελέσματα Dataset 4

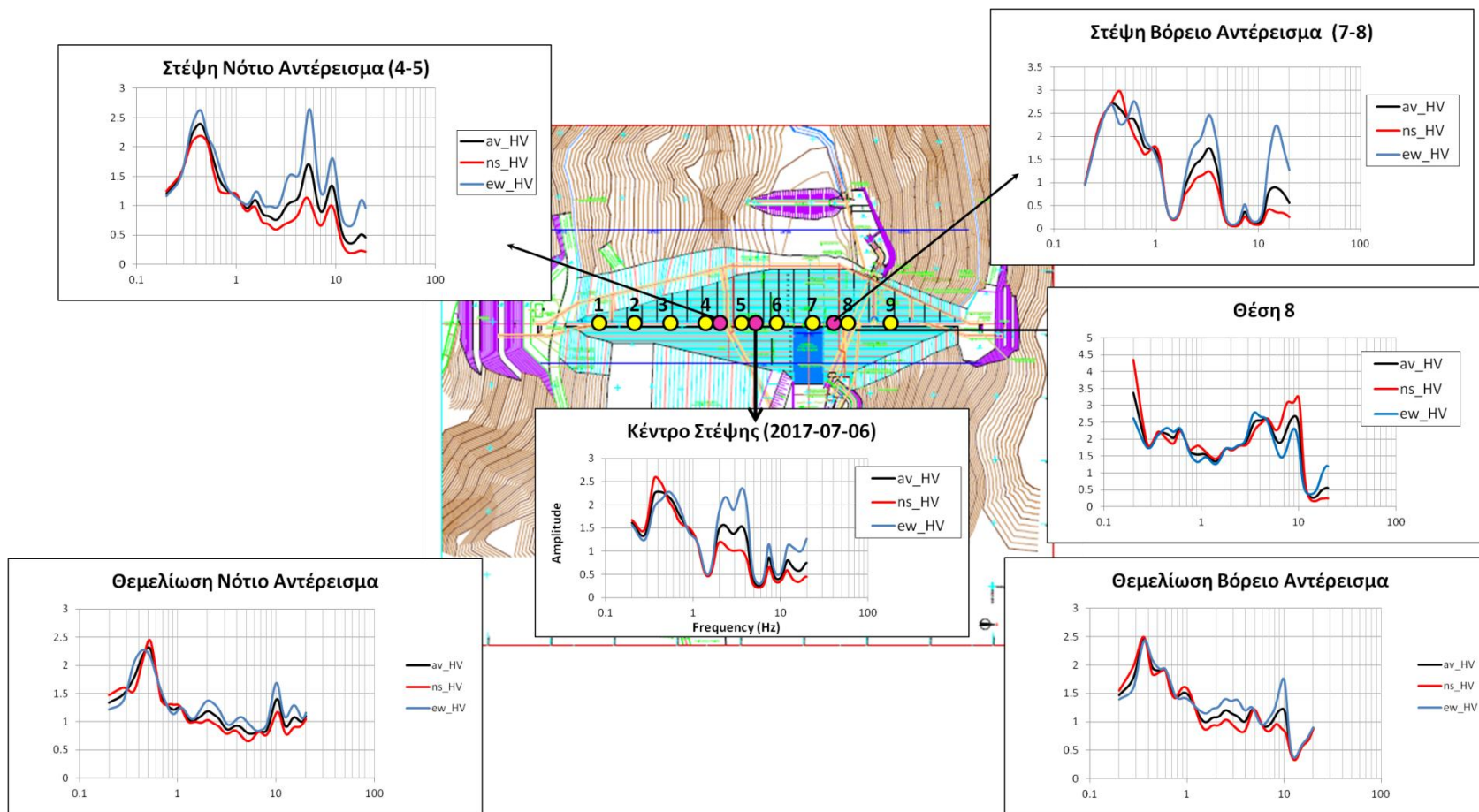
ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΕΣ:



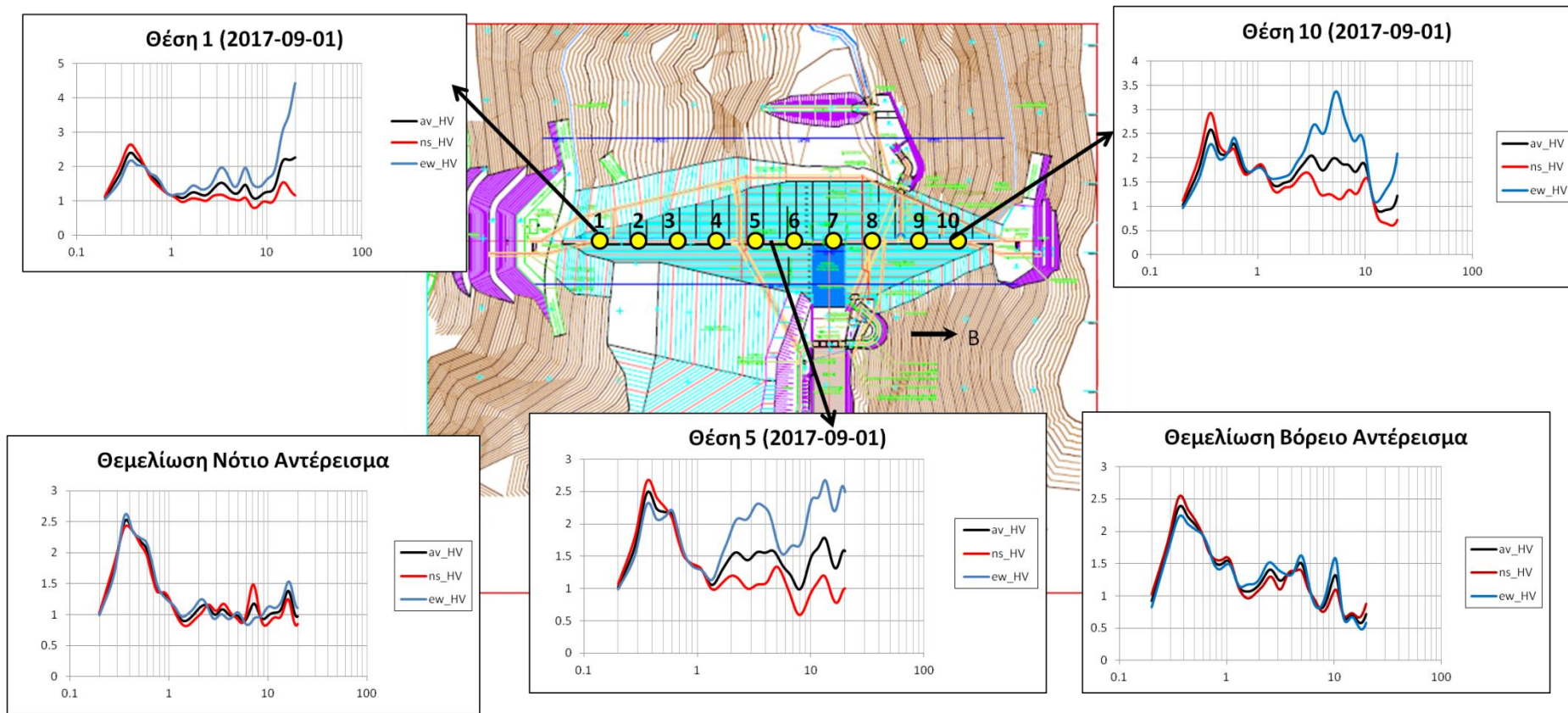
Σχήμα 44: ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΒΑΛΣΑΜΙΩΤΗ ΚΑΙ ΘΕΣΕΙΣ ΜΕΤΗΣΕΩΝ



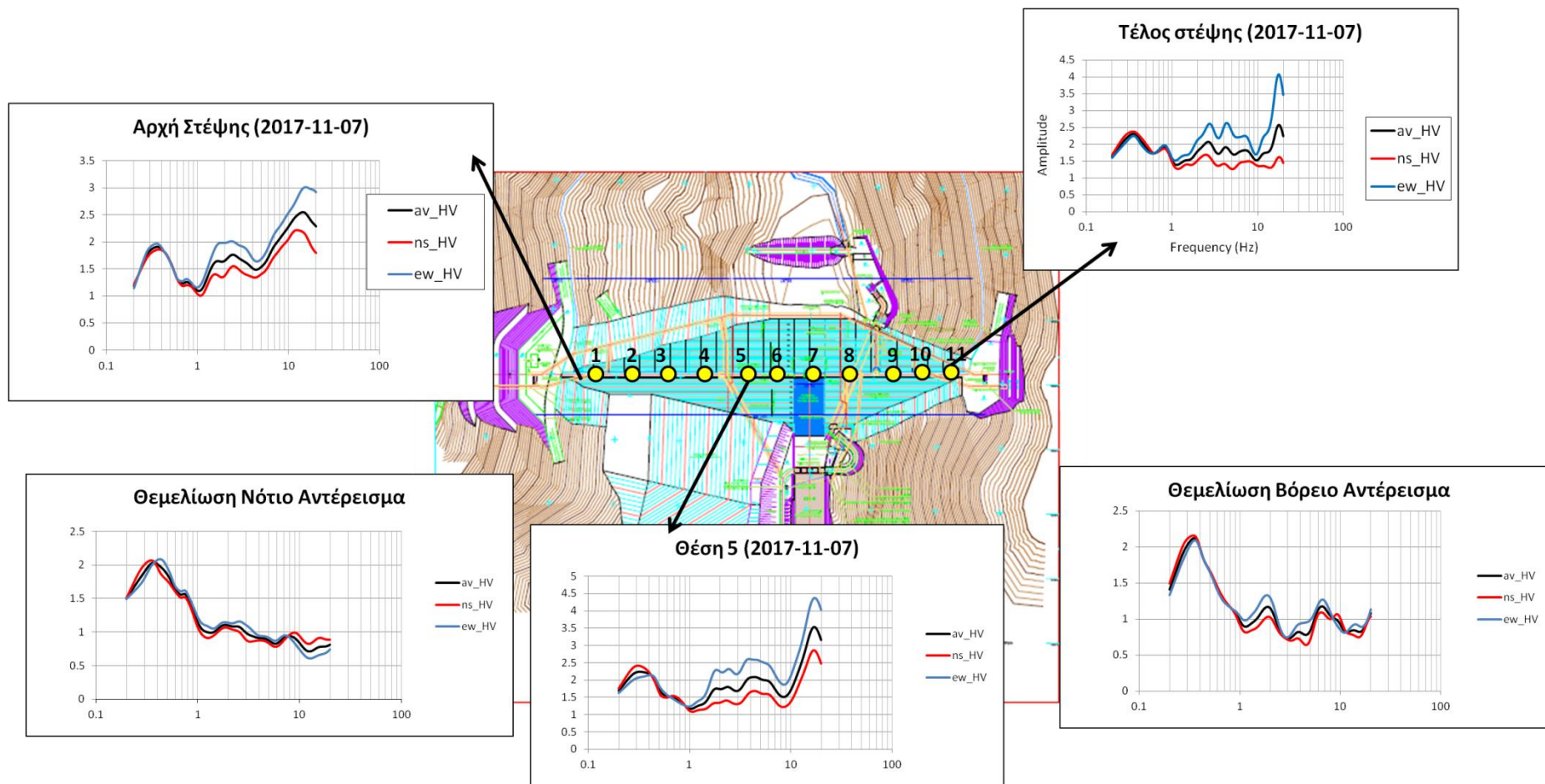
Σχήμα 45: Θέσεις καταγραφής εδαφικού θορύβου στην στέψη και οι αντίστοιχες καμπύλες Η/Ν μικροθορύβου στις θέσεις 1-9. Οι καταγραφές μικροθορύβου έγιναν στις 22 Ιουνίου 2017.



Σχήμα 46: : Θέσεις καταγραφής εδαφικού θορύβου στην στέψη και οι αντίστοιχες καμπύλες H/V μικροθορύβου στις θέσεις με μωβ ένδειξη. Οι καταγραφές μικροθορύβου στην θέση 1 έγιναν στις 06 Ιουλίου 2017.



Σχήμα 47 Θέσεις καταγραφής εδαφικού θορύβου στην στέψη και οι αντίστοιχες καμπύλες H/V μικροθορύβου στις θέσεις με μωβ ένδειξη. Οι καταγραφές μικροθορύβου στην θέση 1 έγιναν στις 01 Σεπτεμβρίου 2017.



Σχήμα 48 Θέσεις καταγραφής εδαφικού θορύβου στην στέψη και οι αντίστοιχες καμπύλες H/V μικροθορύβου στις θέσεις 1-5. Οι καταγραφές μικροθορύβου έγιναν στις 07 Νοεμβρίου 2017

H/V Frequencies and Amplification of the Dam Valsamiotis (FOUR DATASET)																		
	Fo, Ao						F1,A1						F2,A2					
	F0(av)	Fns	Few	A0	Ans	Aew	F1(av)	F1ns	F1ew	A1	Ans	Aew	F2(av)	F2ns	F2ew	A2	Ans	Aew
Dataset1 (22/06/2017) Water Level 190m																		
Site 1	0.35	0.35	0.43	3.37	4.3	2.1	Clear peaks of low amplitude at 3.9 Hz, 7.4 Hz (amplitudes at medium and high frequencies range from 1.09-1.66)											
Site 2	16.5	16.5	17.5	2.31	1.98	2.75	Broad peaks at medium frequencies											
Site 3	0.27	0.27	0.27	3.51	3.49	3.52	3.85	4.01	3.77	1.51	1.10	2.06	7.11	7.11	7.11	2.55	1.08	1.45
Site 4	5.13	5.05	5.44	2.19	1.48	3.35	One peak at medium Frequencies –No other peak											
Site 5	0.27	0.27	0.27	3.76	3.16	4.40	Broad peaks at medium frequencies											
Site 6	3.14	3.14	3.14	2.81	1.77	4.47	One peak at medium Frequencies –No other peak											
Site 7	0.27	0.27	0.27	2.84	2.026	4.09	Broad peaks at medium frequencies											
Site 8	0.27	0.27	0.27	4.65	4.0	5.34	One clear peak at high frequencies (8.39-8.78 Hz, amplitude ~2.0)											
Site 9	0.27	0.27	0.27	3.63	3.52	3.74	5.44	5.13	5.44	2.86	1.73	4.79	Other peak at EW direction at higher					

														frequencies (9.3 Hz) of amplitude 3.5
Dataset2 (06/07/2017) Water Level 188,9 m														
Site A(4-5)	0.43	0.43	0.43	2.39	2.19	2.62	5.28	5.13	5.44	1.71	1.14	2.67	+Multiple peaks	
Site B(5-6)	0.35	0.43	0.51	2.28	2.57	2.28	Clear peaks of low amplitude at medium 2-4 Hz and high frequencies (EW)							
Site C(7-8)	0.35	0.43	0.35	2.69	2.97	2.69	Clear peaks (EW direction) at medium frequencies at 3.3 and 14.91 Hz of amplitude 2.5							
Site 8	4.49	3.53	4.73	3.53	2.61	2.27	2.62	7.8	8.94	2.62	3.11	2.31	One peak at low frequencies 0.35 -0.59 Hz of amplitude 2.2-2.88	
Θεμέλια Νότ.Αντερ	0.51	0.51	0.43	2.30	2.45	2.27	10.21	10.21	10.06	1.40	1.16	1.69		
Θεμέλια Βόρ.Αντερ	0.35	0.35	0.35	2.45	2.49	2.42	10.06	10.06	9.90	1.21	<1	1.76	Clear NS peaks of low amplitude at 5 Hz	
Dataset3 (01/09/2017) Water Level 180m														

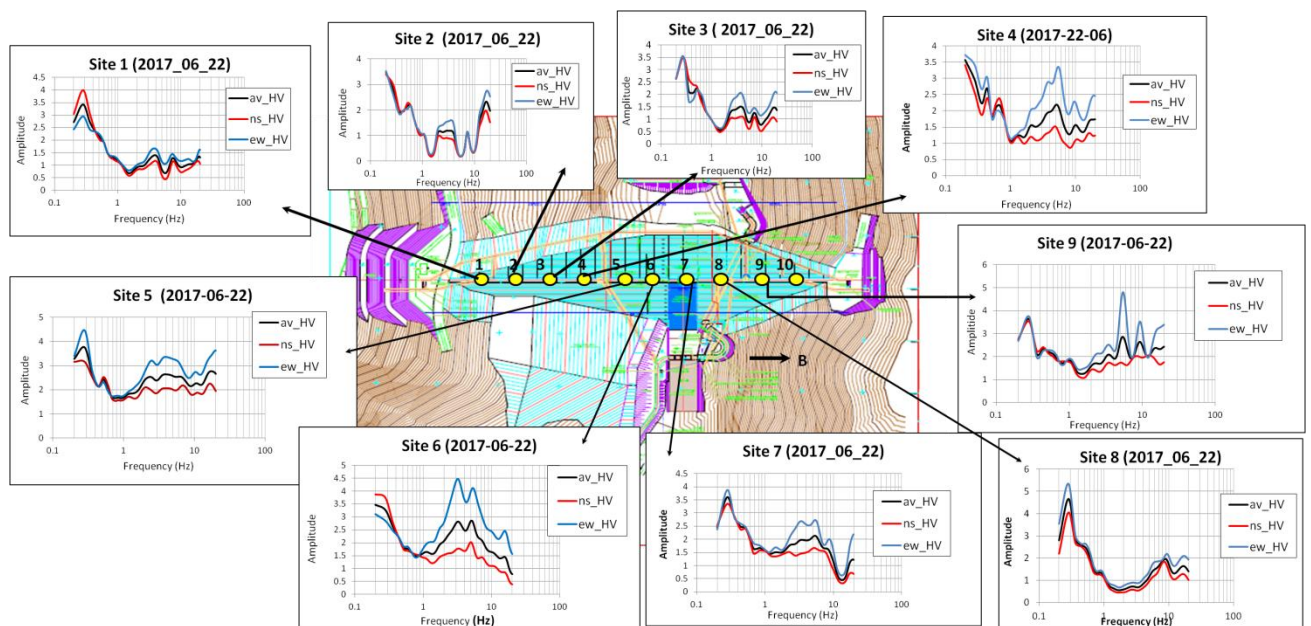
Site 1	0.35	0.35	0.35	2.38	2.62	2.16	Clear Peaks for EW direction at 3.3 Hz and 6 Hz											
Site 5	0.35	0.35	0.35	2.47	2.66	2.30	2.18	2.02	2.34	1.56	1.2	2.08	12.92	12.6	12.6	1.78	1.19	2.58
Site 10	0.35	0.35	0.35	2.57	2.42	2.27	Clear peak for EW direction at 5.52 Hz (with amplitude 3.35)											
Θεμέλια Νότ.Αντερ	0.35	0.35	0.35	2.505	2.41	2.59	7.19	7.11	7.67	1.17	1.48	0.95	15.94	15.86	15.94	1.38	1.25	1.52
Θεμέλια Βόρ.Αντερ	0.35	0.35	0.35	2.8	2.06	2.0												
Dataset4 (10/11/2017) Water Level 167m																		
ΑΡΧΗ ΣΤΕΨΗΣ Site 1	0.35	0.35	0.35	1.91	1.85	1.96	Clear Peaks for EW direction at 3.3 Hz and 6 Hz											
Site 5	0.35	0.27	0.43	2.22	2.35	2.12	10.9	10.9	10.9	1.95	1.56	2.42	Broad peaks at medium frequencies					

ΤΕΛΟΣ ΣΤΕΨΗΣ	17.8	17.9	17.7	2.56	1.62	4.06	0.35	0.35	0.35	2.3	2.7	2.23	Clear Peaks for EW component at medium frequencies 2.7 Hz (amplitude 2.58) and 4.4Hz(amplitude 2.67)					
Θεμέλια Βόρ.Αντερ	0.35	0.35	0.35	2.12	2.14	2.09	2.09	2.09	2.09	1.14	1.01	1.27	6.56	6.48	6.64	1.17	1.09	1.26
Θεμέλια Νότ.Αντερ	0.35	0.35	0.43	2.03	2.06	2.08	Clear peaks of low amplitude at 2Hz and 6.6 Hz											

6.3 Σύνοψη Αποτελεσμάτων

Το πρώτο σετ μετρήσεων μικροθορύβου περιελάμβανε μετρήσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στις 22/06/2017 όταν το ύψος του νερού στο φράγμα έφτανε τα 190m.

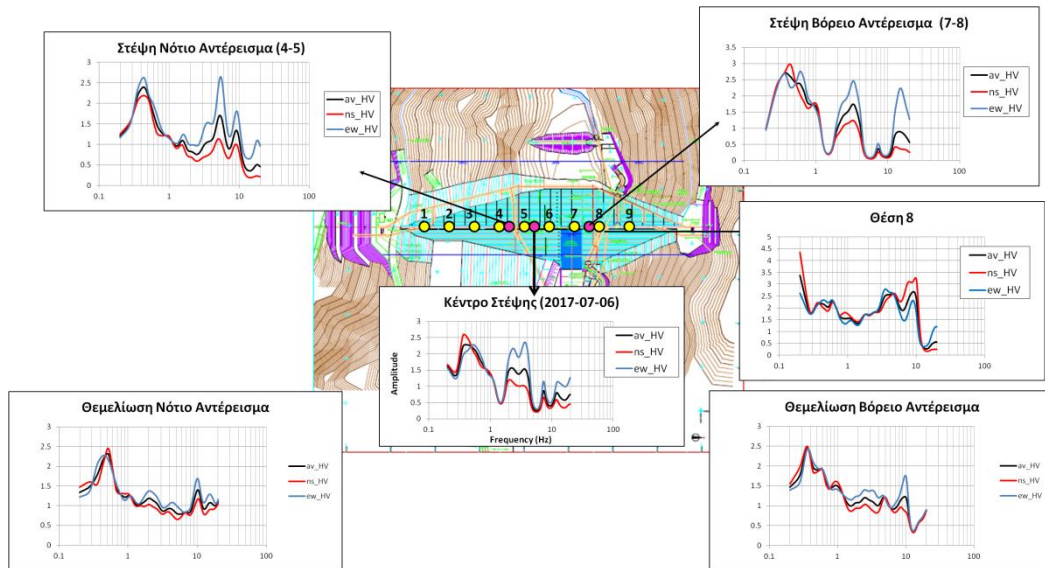
- Στις θέσεις 1, 2, 3, 5, 7, 8 οι φασματικοί λόγοι παρουσιάζουν ενισχυμένες κορυφές στις χαμηλές (0.35 -0.4 Hz), στις μέσες συχνότητες (3.3-7.2Hz) και στις υψηλές συχνότητες (8.2 -17.7Hz)
- Οι θέσεις 4 και 6 παρουσιάζουν μια ενισχυμένη κορυφή στις μέσες συχνότητες (4.8 -5.5 Hz) πλάτους που κυμαίνεται από (2 έως 4.3)
- Στις θέσεις 4, 6 και 9 το πλάτος (ενίσχυση) του φασματικού λόγου H_{ew}/V κατά την διεύθυνση EW είναι μεγαλύτερο σε σχέση με το πλάτος του φασματικού λόγου H_{ns}/V . Το πλάτος των φασματικών λόγων κυμαίνεται μεταξύ 3.5 και 5.



Το δεύτερο σετ μετρήσεων μικροθορύβου περιελάμβανε μετρήσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στις 06/07/2017 όταν το ύψος του νερού στο φράγμα έφτανε τα 188,9m.

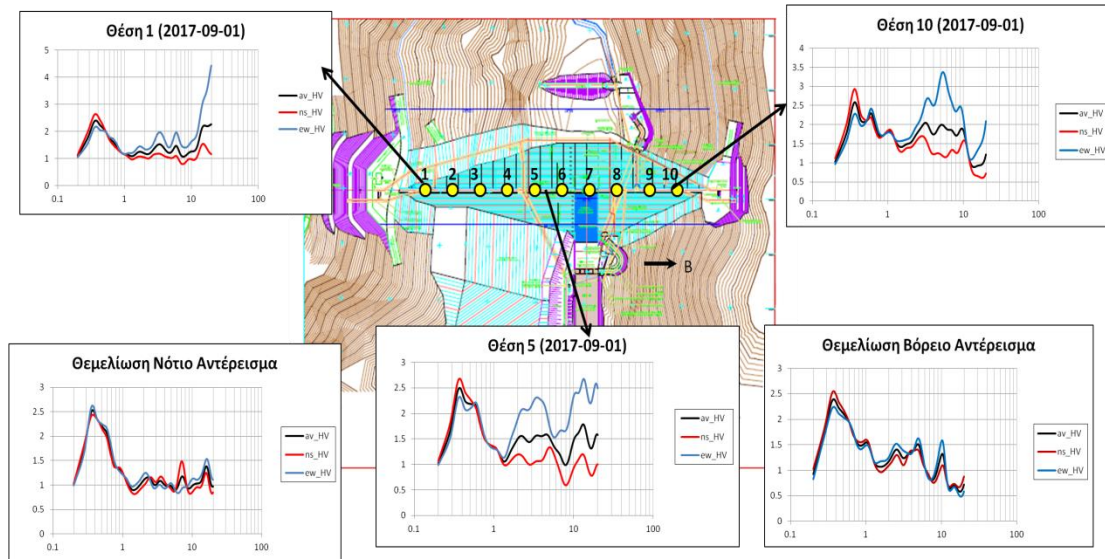
- Στο κέντρο της στέψης αλλά και στις θέσεις μεταξύ των θέσεων 4-5 και 7-8 (με μωβ κύκλους πάνω στην οριζοντιογραφία) παρατηρείται ότι οι φασματικοί λόγοι παρουσιάζουν ενισχυμένες κορυφές στις χαμηλές (0.35-0.43 Hz) μέσες (5.1-7.35 Hz) αλλά και στις υψηλές συχνότητες (10-17 Hz). Επιπρόσθετα στις μέσες και στις υψηλές συχνότητες το πλάτος (ενίσχυση) του φασματικού λόγου H_{ew}/V είναι μεγαλύτερο σε σχέση με το πλάτος του φασματικού λόγου H_{ns}/V . Σε αυτήν την περίπτωση το πλάτος των φασματικών λόγων κυμαίνεται μεταξύ 2.0 και 3.0.
- Στην θεμελίωση του Νότιου και Βόρειου Αντερείσματος το πλάτος των φασματικών λόγων παρουσιάζει θεμελιώδη συχνότητα στις χαμηλές συχνότητες 0.35 Hz, ενώ το πλάτος είναι περίπου 2.5. Παρατηρείται επίσης καθαρή κορυφή μικρότερου πλάτους στην συχνότητα 10Hz. Επίσης, στις υψηλές συχνότητες το πλάτος (ενίσχυση) του φασματικού λόγου H_{ew}/V

είναι μεγαλύτερο σε σχέση με το πλάτος του φασματικού λόγου H_{NS}/V κατά την διεύθυνση NS.



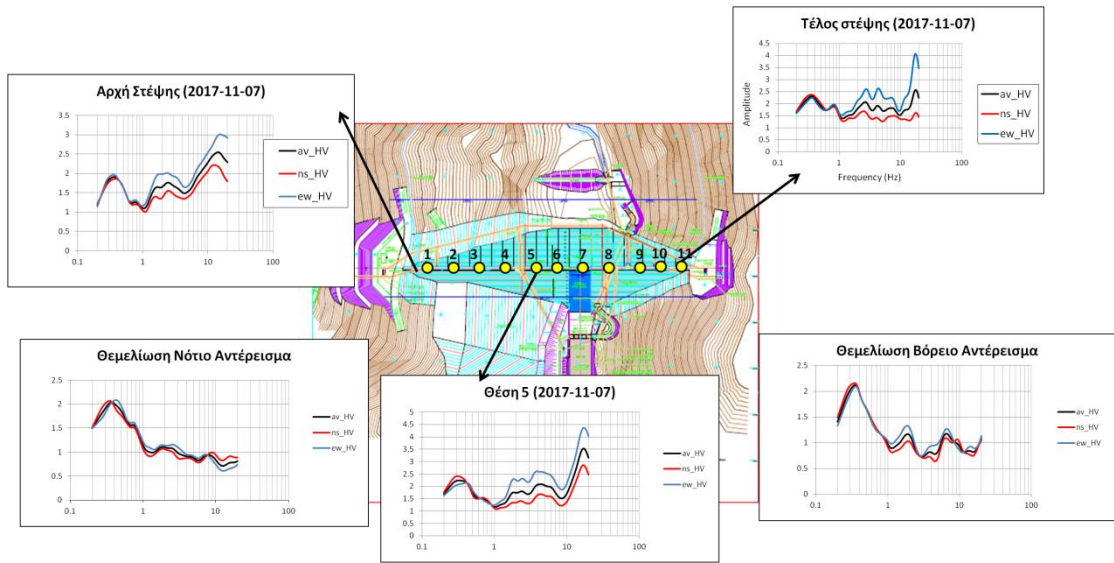
Το τρίτο σετ μετρήσεων μικροθρόβου περιελάμβανε μετρήσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στις 01/09/2017, όταν το ύψος του νερού στο φράγμα έφτανε τα 180 m.

- Στην αρχή της στέψης καθώς και στις θέσεις 5 και 10 παρατηρείται μια κορυφή στην συχνότητα 0.35 Hz με πλάτος 2.66. Στην αρχή της στέψης παρατηρούνται και άλλες κορυφές μικρότερου πλάτους στις μεσαίες συχνότητες (3.3 Hz και 6 Hz). Στις θέσεις 5 και 10 παρατηρείται στο φασματικό λόγο (H_{ew}/V) ενισχυμένη κορυφή στις μέσες συχνότητες (2-5.5Hz). Στις μέσες συχνότητες το πλάτος του φασματικού λόγου H_{ew}/V είναι μεγαλύτερο σε σχέση με το πλάτος του φασματικού λόγου H_{NS}/V (περίπου κατά 2 μονάδες).
- Στην θεμελίωση του Νότιου και Βόρειου Αντερείσματος το πλάτος των φασματικών λόγων παρουσιάζει θεμελιώδη συχνότητα στις χαμηλές συχνότητες 0.35 Hz, ενώ το πλάτος είναι περίπου 2.5. Παρατηρείται επίσης καθαρή κορυφή μικρότερου πλάτους στην συχνότητα 10Hz στο Βόρειο αντέρειαμα και 17 Hz στο νότιο αντέρειαμα.



Το τέταρτο σετ μετρήσεων μικροθορύβου περιελάμβανε μετρήσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στις 07/11/2017, όταν το ύψος του νερού στο φράγμα έφτανε τα 167 m.

- Στην αρχή της στέψης παρατηρείται στους φασματικούς λόγους μια κορυφή στην συχνότητα 0.35 Hz καθώς και μια δεύτερη συχνότητα στις μέσες συχνότητες (3.3 - 6.0Hz). Στην θέση αυτή αλλά και σε κοντινές θέσεις από αυτήν προτείνεται να γίνουν μελλοντικές μετρήσεις. Η ενίσχυση στην συχνότητα των 0.35 Hz είναι 2.5.
- Στην θέση 5 και στο τέλος της στέψης οι φασματικοί λόγοι παρουσιάζουν κορυφές στις χαμηλές 0.35 Hz στις μέσες (2-5Hz) και υψηλές (10-17Hz) συχνότητες.
- Επιπρόσθετα, στις μέσες και στις υψηλές συχνότητες το πλάτος του φασματικού λόγου H_{sw}/V είναι μεγαλύτερο σε σχέση με το πλάτος του φασματικού λόγου H_{NS}/V κατά την διεύθυνση NS. Το πλάτος των φασματικών λόγων στις υψηλές συχνότητες κυμαίνεται μεταξύ 3.5 και 4.5, ενώ το πλάτος των φασματικών λόγων στις χαμηλές συχνότητες είναι περίπου 2.5.
- Στην θεμελίωση του Νότιου και Βόρειου Αντερείσματος το πλάτος των φασματικών λόγων παρουσιάζει θεμελιώδη συχνότητα στις χαμηλές συχνότητες 0.35 Hz, ενώ το πλάτος είναι περίπου 2.5. Παρατηρείται επίσης στο Βόρειο αντέρεισμα κορυφές στους φασματικούς λόγους στην συχνότητα 2 Hz και 6.57Hz μικρότερου πλάτους.



Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα

Οι μετρήσεις μικροθορύβου πραγματοποιήθηκαν απο τον Ιούνιο εως τον Νοέμβριο του 2017 στο πλαίσιο των δράσεων της Εδρας UNESCO "Solid Earth Physics and Geohazards Risk Reduction. Οι καταγραφές εδαφικού θορύβου έγιναν στην στέψη καθώς και στην βάση θεμελίωσης στο Βόρειο και Νότιο αντέρεισμα. Το ύψος του φράγματος είναι 67 μέτρα. Το μέγιστο ύψος του νερού στο φράγμα καταγράφηκε στα 190 μέτρα (απο την επιφάνεια της θάλασσας) τον Ιούνιο του 2017. Το πρώτο σετ μετρήσεων στις 22 Ιουνίου 2017 καταγράφηκε στην στέψη όταν το ύψος του νερού στο φράγμα ήταν 190 μέτρα απο την επιφάνεια της θάλασσας, (67 μέτρα απο την βάση θεμελίωσης). Το δεύτερο και τρίτο σετ μετρήσεων έγιναν στις 6 Ιουλίου και 1 Σεπτεμβρίου 2017 όταν το ύψος του νερού ήταν 188.9 μέτρα και 180 μέτρα, αντίστοιχα. Το τέταρτο σετ μετρήσεων καταγραφήκε στις 10 Νοεμβρίου του 2017 όταν το ύψος του νερού στο φράγμα έφτανε τα 167 μέτρα (απο την επιφάνεια της θάλασσας).

Οι μετρήσεις στην θεμελίωση στο δεύτερο, τρίτο και τέταρτο σετ έγιναν σε κοντινές θέσεις, όχι όμως στις ίδιες λόγω ιδιαίτερων συνθηκών (προσβασιμότητας λόγω ύπαρξης νερού στην θεμελίωση). Η απόσταση μεταξύ των μετρήσεων στην στέψη ήταν περίπου 30-40 μέτρα. Οι μετρήσεις μικροθορύβου στην στέψη στις θέσεις καταγραφής όπως φαίνονται στις οριζοντιογραφίες έδειξαν ότι οι φασματικοί λόγοι παρουσιάζουν ενισχυμένες κορυφές στις χαμηλές, μέσες και υψηλές συχνότητες. Στην θεμελίωση του Νότιου και Βόρειου Αντερείσματος οι φασματικοί λόγοι παρουσιάζουν θεμελιώδη συχνότητα στις χαμηλές συχνότητες 0.35 Hz, ενώ το πλάτος είναι περίπου 2.5. Η χαμηλή συχνότητα στα 0.4 Hz σχετίζεται με την γεωλογία στην θέση θεμελίωσης, η οποία χαρακτηρίζεται απο χαλαρές ποτάμοχειμάρειες αποθέσεις μικρού πάχους. Στους φασματικούς λόγους παρατηρούνται επίσης καθαρές κορυφές μικρότερου πλάτους στις υψηλές συχνότητες 10-17Hz. Επίσης, στις υψηλές συχνότητες το πλάτος (ενίσχυση) του φασματικού λόγου H_{EW}/V (διεύθυνση EW) είναι μεγαλύτερο σε σχέση με το πλάτος του φασματικού λόγου H_{NS}/V (διεύθυνση NS). Οι μέσες και υψηλές συχνότητες

μπορεί να οφείλονται σε πιθανές ετερογένειες της γεωλογικής δομής. Οι φασματικοί λόγοι στην στεψη εδειξαν θεμελιώδη συχνότητα στις χαμηλές (0.35 Hz) στις μέσες συχνότητες (2.1-7.43 Hz) και στις υψηλές συχνότητες (8-18 Hz). Στο τέλος της στέψης οι φασματικοί λόγοι δείχνουν ότι στις υψηλές συχνότητες το πλάτος του φασματικού λόγου H_{EW}/V (διεύθυνση EW) είναι μεγαλύτερο σε σχέση με το πλάτος του φασματικού λόγου H_{NS}/V (διεύθυνση NS). Στις θέσεις 4, 4-5, στο κέντρο της στέψης (θέση 5), 6, 7-8 9 το πλάτος του φασματικού λόγου H_{EW}/V (διεύθυνση EW) είναι μεγαλύτερο σε σχέση με το πλάτος του φασματικού λόγου H_{NS}/V (διεύθυνση NS). Το πλάτος των φασματικών λόγων κυμαίνεται μεταξύ 3.5 και 4.5 (στην EW συνιστώσα). Η οριζόντια συνιστώσα της σεισμικής κίνησης κατά την διεύθυνση EW ενισχύεται περισσότερο σε σχέση με την σεισμική κίνηση κατά την NS διεύθυνση. Οι φασματικοί λόγοι δείχνουν ότι το ύψος του νερού ενδέχεται να επηρεάζει τα δυναμικά χαρακτηριστικά του φράγματος. Φαινόμενα συντονισμού κατά την διάρκεια ισχυρού σεισμού στην ευρύτερη περιοχή του φράγματος Βαλσαμιώτη δεν μπορούν να αποκλειστούν.

Μελλοντική γεωφυσική έρευνα στην βάση θεμελίωσης και στην ευρύτερη περιοχή θα πρέπει να περιλαμβάνει την εκτίμηση της ύπαρξης ρηγμάτων στην βάση της θεμελίωσης, καθώς η παρουσία ρηγμάτων ενεργών ή μη ενεργών μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την κατασκευή του φράγματος και να οδηγήσει στην δημιουργία ρωγμών με αποτέλεσμα την διαφυγή νερού ή ακόμα και στην αστοχία του. Επιπρόσθετα, η ύπαρξη ρήγματος μπορεί να λειτουργήσει ως δίοδος υπόγειας διαφυγής νερού προς τα ανάντη. Μελλοντική σεισμολογική έρευνα και χρήση επιταχυνσιογράφων καθίσταται απαραίτητη για την περαιτέρω εκτίμηση της δυναμικής απόκρισης του φράγματος.

Βιβλιογραφία

- Αποστολίδης Π. (2002), «Προσδιορισμός της εδαφικής δομής με τη χρήση μικροθόρυβου. Εφαρμογή στην εκτίμηση των δυναμικών ιδιοτήτων και της γεωμετρίας των εδαφικών σχηματισμών της Θεσσαλονίκης». Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, πολυτεχνική Σχολή Α.Π.Θ.
- ARNOLD, A. B., (1988). «Foundation defects. Advanced Dam Engineering for design, construction and rehabilitation» (edited by R. B. Jansen). Van Nostrand Reinhold, N. YORK.
- BEAVIS, F. G., (1985). «Engineering Geology», Blackwell Scientific Publications, London.
- BELL, F.G., (1980). «Engineering Geology and Geotechnics». Newnes – Butterworths, London.
- BELL, F. G., (1993). «Engineering Geology». Blackwell Scientific Publications, London.
- Bindi D, Parolai S, Cara F, Di Giulio G, Ferretti G, Luzi L, Monachesi G, Pacor F, Rovelli A (2009) Site amplifications observed in the Gubbio Basin, Central Italy: hints for lateral propagation effects. Bull Seismol Soc Am 99:741–760. doi:10.1785/0120080238
- Chavez-Garcia FJ, Guenca G, Sanchez-Sesma FJ (1995) Site effects in Mexico City urban zone, a complementa study. Soil Dyn Earthq Eng 15:141–146
- BLYTH, F. G. H. and de FREITAS, M.H.,(1976) «A Geology for engineers», 6th edition. Edward Arnold, London.
- ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΟΥΚΗΣ – ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ «Γεωλογία τεχνικών έργων» Εκδόσεις Παπασωτηρίου (2007).
- DERE, D. U., (1974). «Engineering Geologist’s responsibilities in dam foundation studies. Foundation for Dams». An Engineering Foundation Conference, California. Published by American Society of Civil Engineers, N.York.
- DESIO, A. (1973). «Geologia applicata all a Ingegneria». Hoepli, Milano, p, 1194.
- ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΥ, ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ «ΑΞΟΝΟΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΛΗΡΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ», Αθήνα, Σεπτέμβριος 2008, Εθνικό Μετσόβιο πολυτεχνείο.
- DUNNICLIFF J., GORDON G., (1988) «Geotechnical Instrumentation for Monitorring Field Performance», Willey - Interscience Publication, New York, pp. 557.
- FIELD EH, Clement AC, Jacob SM, Aharonian V, Hough SE, Friberg PA, Babaian TO, Karapetian SS, HovanessianSM, Abramian HA (1995) Earthquake site-

response study in Giumri (formely Leninakan), Armenia, using ambient noise observations. Bull Seismol Soc Am 85:349–353

- GUTENBERG B., “Microseisms” Advanced Geophysics (5), 53-92p, 1958
- HOEK, E. and BROWN, E.T (1980). “Underground excavations in rock”. London, Inst. Mining and Metallurgy, p. 527.
- HUNT, R. E., (1984). «Geotechnical Engineering Investigation Manual». Mc Graw-Hill Series in Geotechnical Engineering, N.York.
- ΘΕΟΔΩΡΑΚΗ Μ. «Μελέτη φράγματος Βαλσαμιώτη» Οκτώβριος 2009.
- JAMES, L. B., JANSEN, R.B., KIERSH, G.A., LEPS, T.M., (1988). «Lessons from notable events Advanced Dam Engineering for design, construction and rehabilitation» (edited by R. B. Jansen). Van Nostrand Reinhold, N. YORK.
- ΚΟΥΚΗΣ, Γ., (1994). «Φράγμα Πολύφυτου Κοζάνης. Η συμβολή της τεχνικής γεωλογίας στη διερεύνηση του προβλήματος των κατολισθήσεων». Πρακτικά ημερίδας της Ελληνικής Επιτροπής Τεχνικής Γεωλογίας της Ε.Γ.Ε. «Γεωλογία και Φράγματα, Εμπειρίες από τον Ελληνικό χώρο», Αθήνα 1991.
- Chavez-Garcia FJ, Guenca G, Sanchez-Sesma FJ (1995) Site effects in Mexico City urban zone, a complementary study. Soil Dyn Earthq Eng 15:141–146
- KIERSCH, G. A., (1988). «Geological considerations Advanced Dam Engineering for design, construction and rehabilitation» (edited by R. B. Jansen). Van Nostrand Reinhold, N.YORK
- LEGGET, R.F. and HATHEWAY, A.W., (1988). «Geology and Engineering». Mc Graw- Hill Book Company, N.York.
- ΛΟΥΠΑΣΑΚΗΣ, Κ., (2002). «Μελέτη της συμπεριφοράς του Σώματος Χωμάτινων φραγμάτων με την χρήση μεθόδων αριθμητικής ανάλυσης», Διδακτορική Διατριβή, αριθμός 59 του παραρτήματος της επιστημονικής επετηρίδας του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, σελ. 334.
- ΛΟΥΠΑΣΑΚΗΣ, Κ. Διαφάνειες Διαλέξεων του μαθήματος «Γεωτεχνική Μηχανική». Διδάσκοντες, Δημήτριος Ρόζος, Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ. Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών.
- ΛΙΑΚΟΥΡΗΣ, Δ., (1995). «Γεωλογία και Φράγματα της ΔΕΗ». ΔΕΗ, Δ/ση Εκπαίδευσης.
- LUNDGREN (1986). «Environmental Geology». Practice- Hall, New Jersey, U.S.A.
- Μανακού Μ.(2007). «Συμβολή στο προσδιορισμό τρισδιάστατου εδαφικού προσομοιώματος για την μελέτη σεισμικής απόκρισης: Εφαρμογή στην ιζηματογενή Μυγδόνη Λεκάνη». Διδακτορική διατριβή τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Α.Π.Θ.

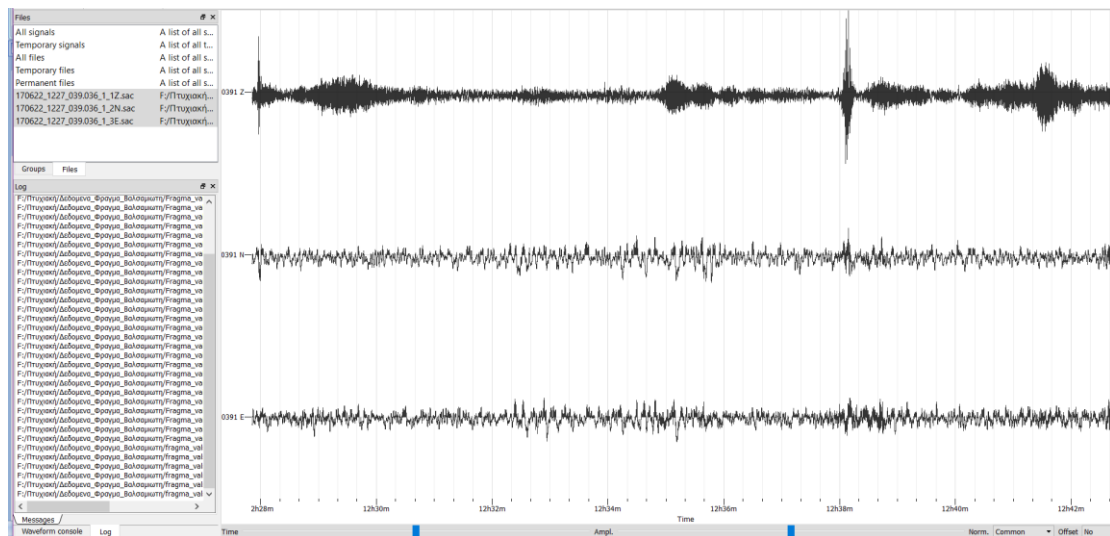
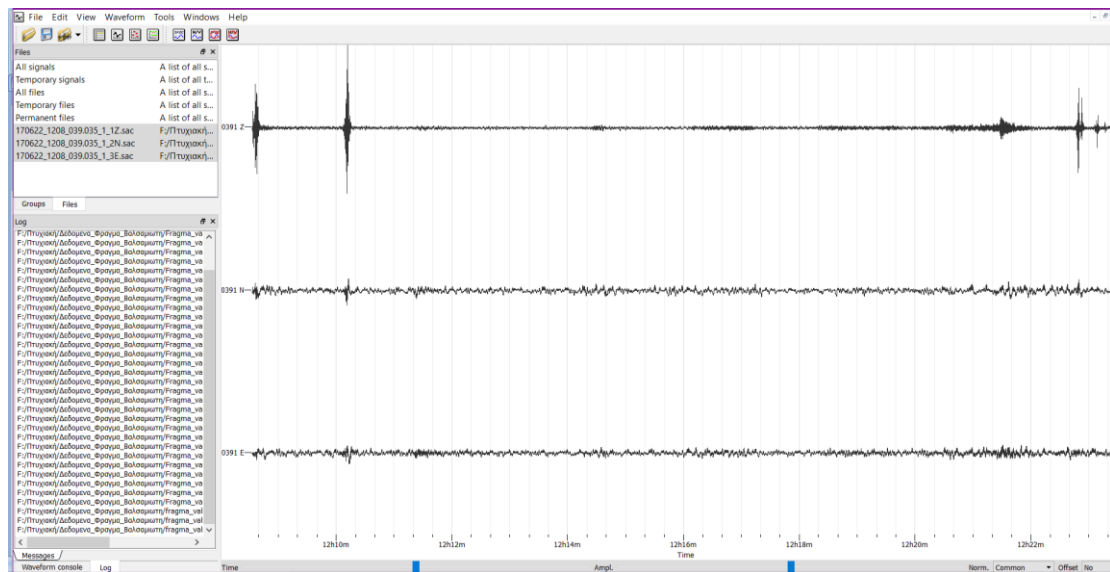
- ΜΑΡΙΝΟΣ, Π., (1991). «Κεφάλαια Τεχνικής Γεωλογίας». Σημειώσεις από τις παραδόσεις στους σπουδαστές του εξαμήνου Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.
- ΜΑΡΙΝΟΣ, Π., (1994). «Γεωλογία φραγμάτων. Διεθνείς και ελληνικές εμπειρίες». Πρακτικά ημερίδας της Ελληνικής Επιτροπής Τεχνικής Γεωλογίας της Ε.Γ.Ε «Γεωλογία και Φράγματα, Εμπειρίες από τον Ελληνικό χώρο». Αθήνα 1991
- ΜΑΝΟΛΑΚΟΣ, V., ΚΟΥΚΙΣ, G. and ΣΑΒΑΤΑΚΑΚΙΣ, N. (2001). “Increasing the tunnel stability by lowering the underground water level. The case of Platamon tunnel, Greece”, Proceeding of AITES-ITA 2001 World Tunnel Congress, Milano, 10-13 June, Vol. III, 361-368.
- Μουντράκης ΔΜ., 1985 Γεωλογία της Ελλάδας University Studio Press, Θεσσαλονίκη σ. 207.
- MC LEAN, A. C., GRIBBLE, C. D., (1985). «Geology for Civil Engineering». Allen and Unwin, London.
- Moisidi M, Vallianatos F, Soupios P, Kershaw S (2012) Spatial spectral variations of microtremors and in southwestern Crete, Greece. J Geophys Eng 9:261–270. doi:10.1088/1742-2132/9/3/261
- ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ Α. ΜΠΑΝΤΗΣ (2011) «Συλλογή και Ανάλυση Μετρήσεων Μικροθόρυβου και Συσχέτιση τους με τα Μικροσεισμικά Αποτελέσματα στον Δήμο Άνω Λιοσίων Αττικής».
- Ο’NEILL, A. L., (1988) «Seismotectonic investigations. Advanced Dam Engineering for design, construction and rehabilitation» (edited by R. B. Jansen). Van Nostrand Reinhold, N. YORK.
- ΟΑΚΑΕ Έργα «Κατασκευής Φράγματος Ποταμών Αμαρίου Ν. Ρεθύμνης» και «Αξιοποίηση Φράγματος Ποταμών Ρεθύμνης».
- Π.ΠΑΡΑΣΚΕΥΟΠΟΥΛΟΣ, Γεωλόγος-Γεωφυσικός, Phd., «Εφαρμοσμένη Γεωφυσική» liberal books, Αθήνα 2013.
- SHERARD, J. L., CLUFF, L.S., and ALLEN, C.R., (1974). «Potentially active faults in dam foundations» Geotechnique, 24, N° 3, 367-428.
- ΤΣΕΛΕΝΤΗΣ ΑΚΗΣ Msc., Phd., DIC., FSTP (JAPAN), Καθηγητής πανεπιστημίου, «Εφαρμοσμένη Γεωφυσική» liberal books, Αθήνα 2013
- ΤΣΙΦΗ ΠΑΥΛΙΝΑ-Δ. «Τεχνικογεωλογικές συνθήκες φράγματος Ιάσμου, Ν. Ροδόπης». Μάρτιος 2014 .
- ΥΠΕΧΩΔΕ/Γ.Γ.Δ.Ε/Δ/ΝΣΗ ΕΡΕΥΝΩΝ ΕΔΑΦΩΝ (ΕΚΙ),(1986). «Τεχνικές προδιαγραφές γεωλογικών εργασιών μέσα στα πλαίσια των μελετών τεχνικών έργων» (Ε104-85) Μ, ΦΕΚ 29/11.2.1986τ. Δεύτερο.
- WAHLSTROM, E.E., (1974). «Dams, Dam foundations and Reservoir sites». Developments in Geotechnical Engineering 6, Elsevier.

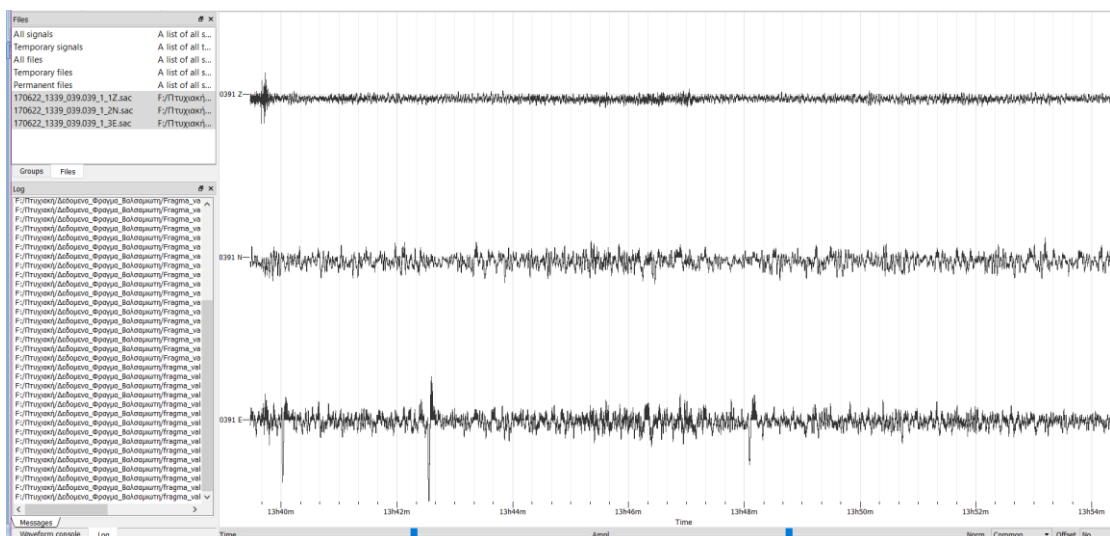
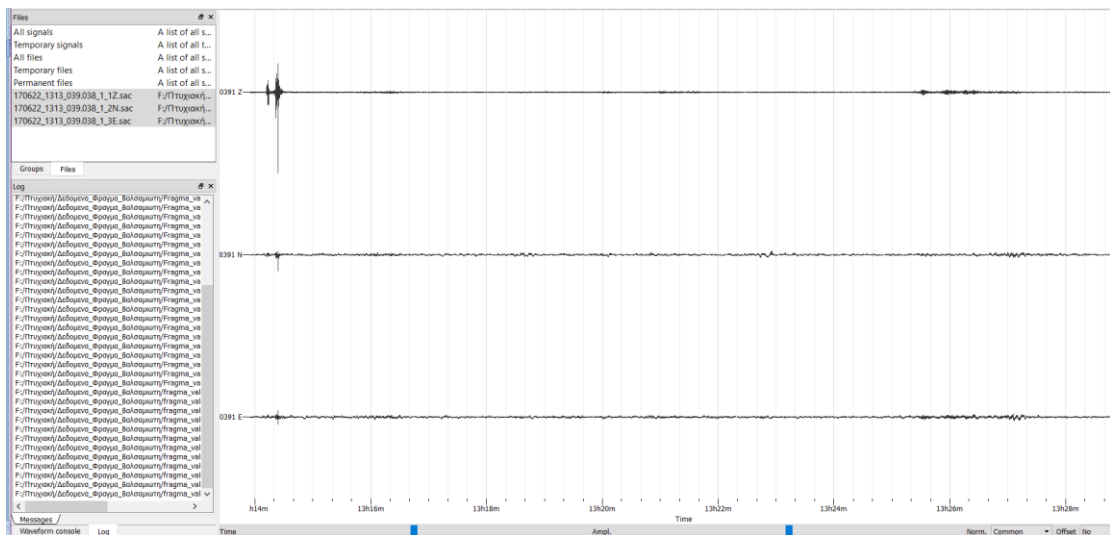
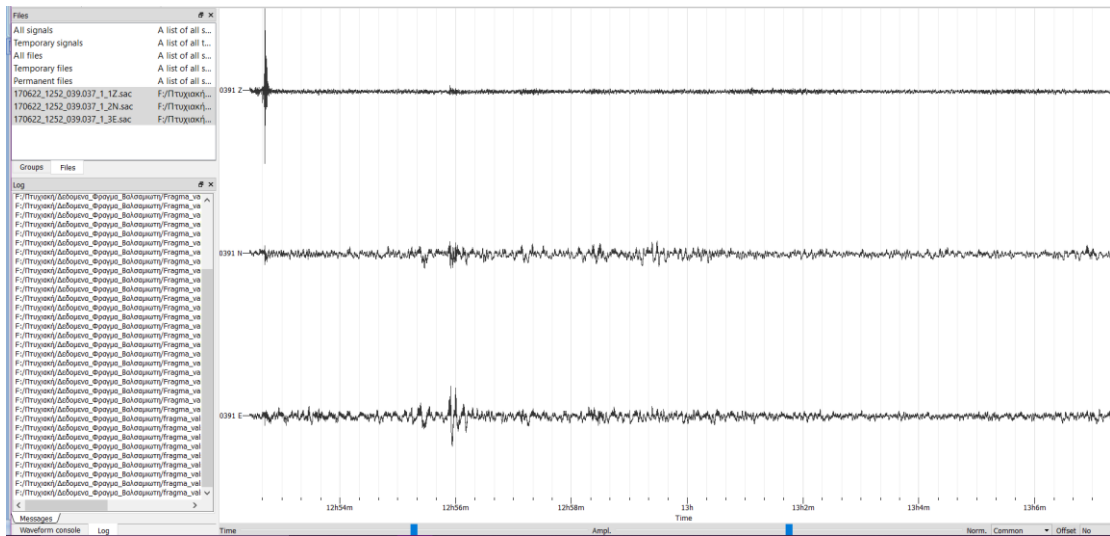
- ZARUBA, Q. and MENCL, V., (1976). «Engineering Geology», Academia, Prague.
- Φασουλάς, Χ.Γ. 2001, οδηγός υπαίθρου Κρήτης Μουσείο Φυσικής Ιστορίας της Κρήτης, Πανεπιστήμιο Κρήτης, σ. 2013.

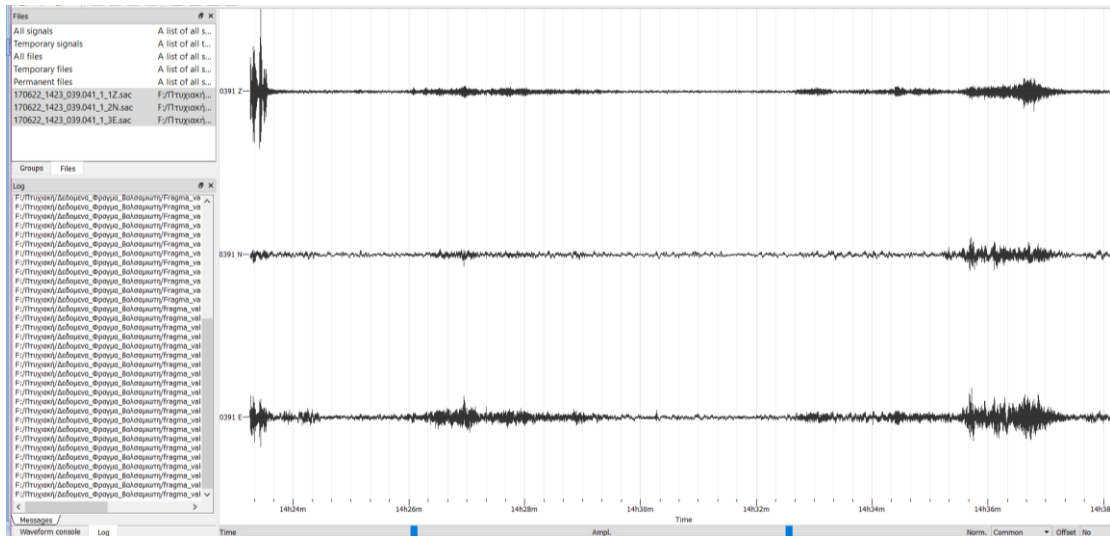
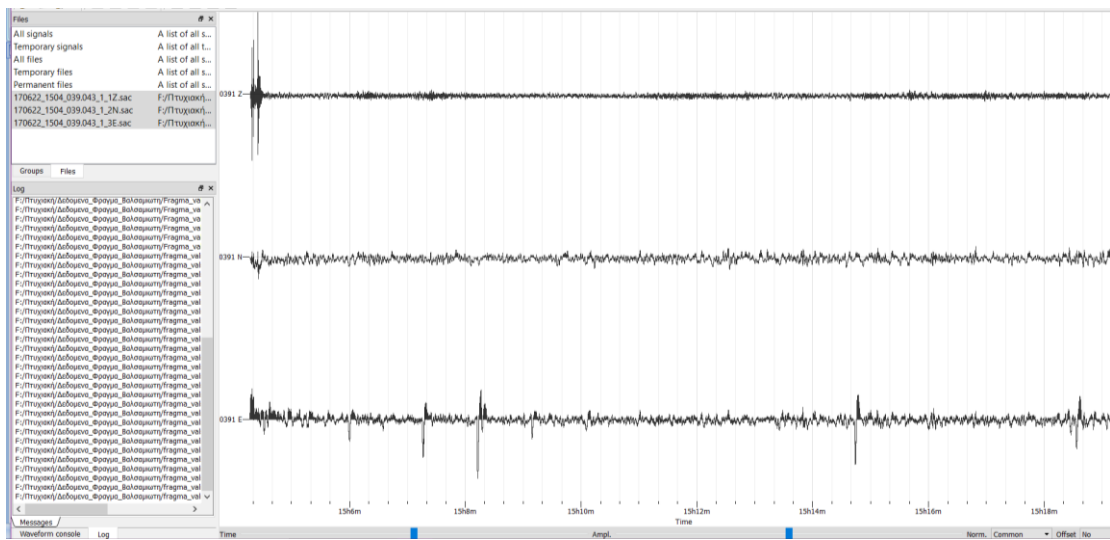
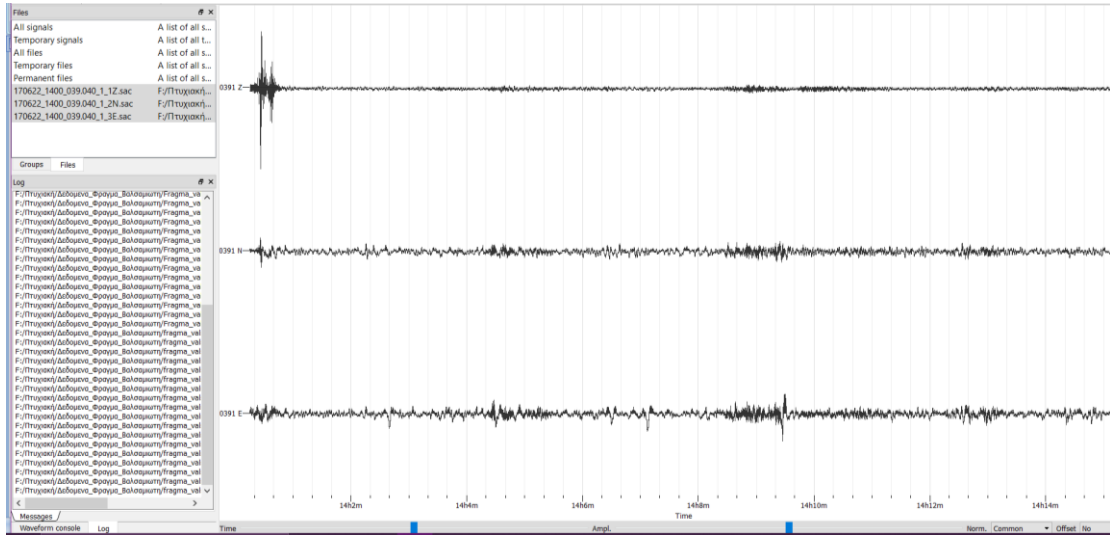
Παράρτημα

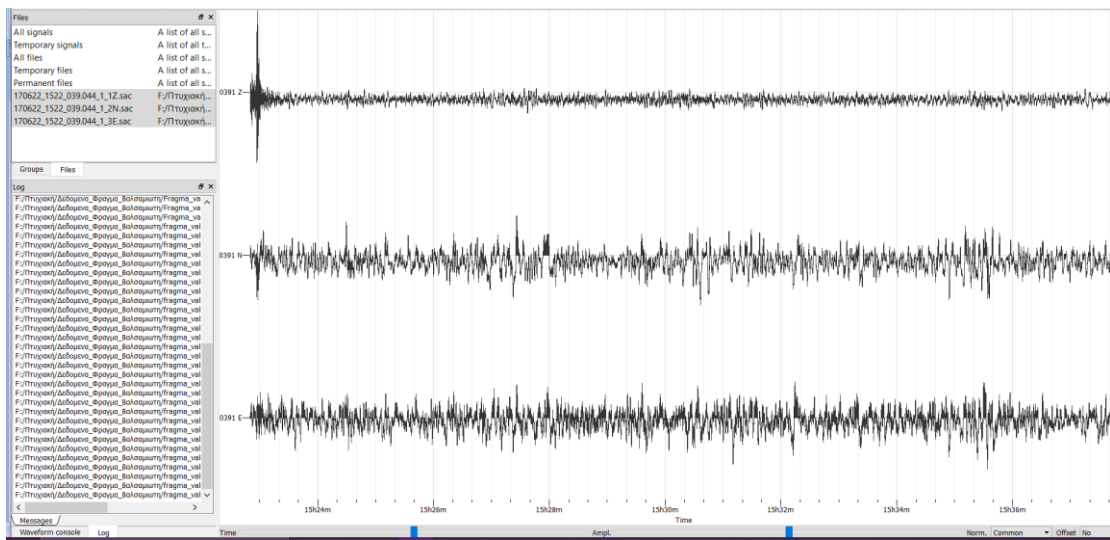
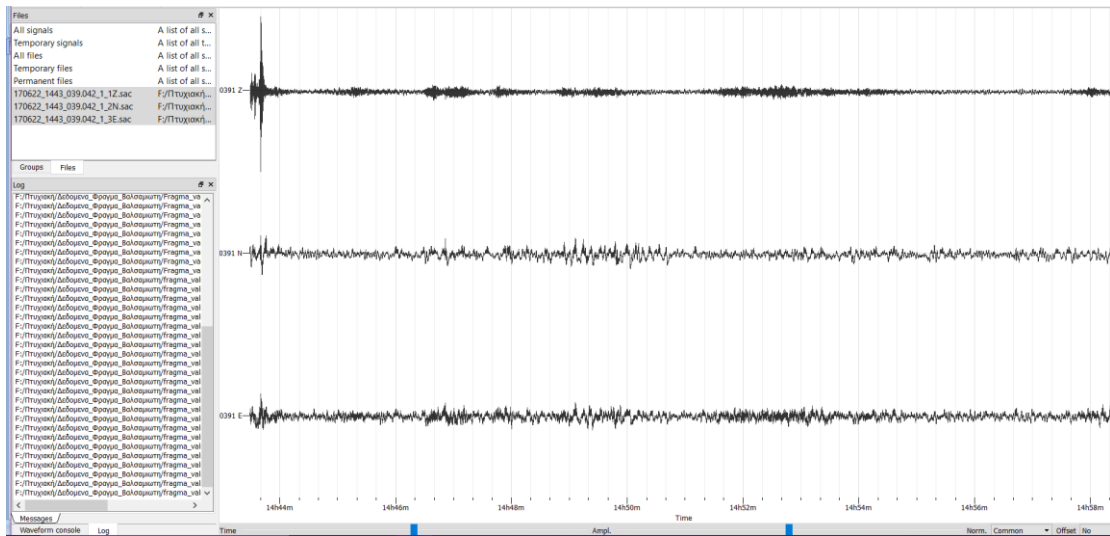
Χρονοσειρές (Χρήση Geopsy)

Μετρήσεις 22/06/2017

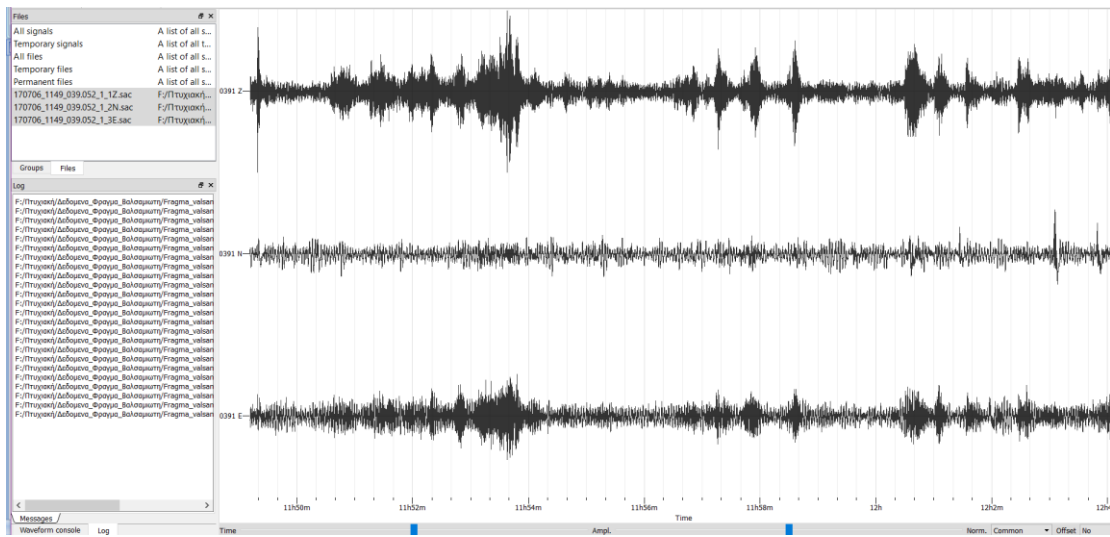
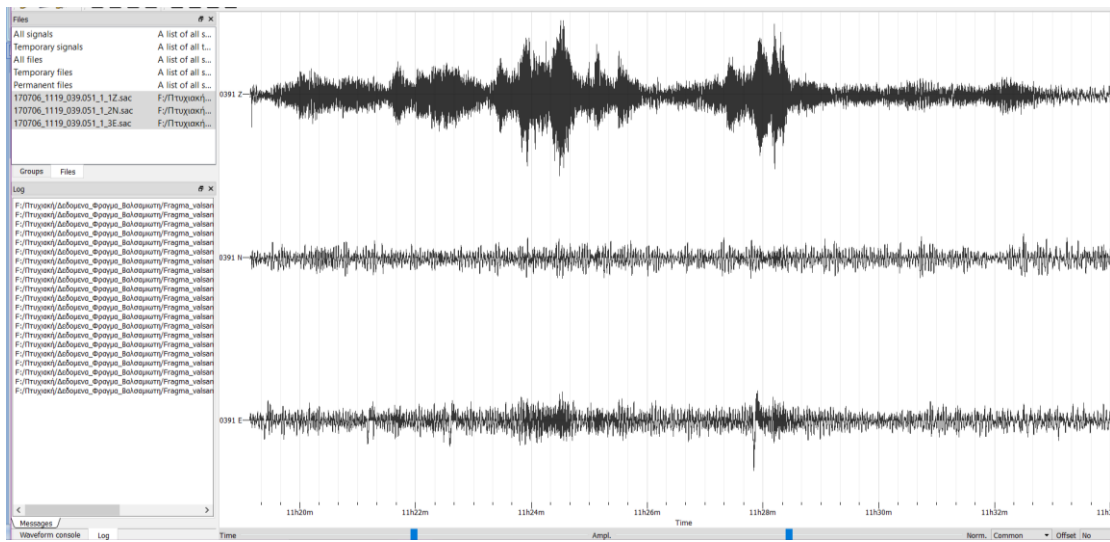
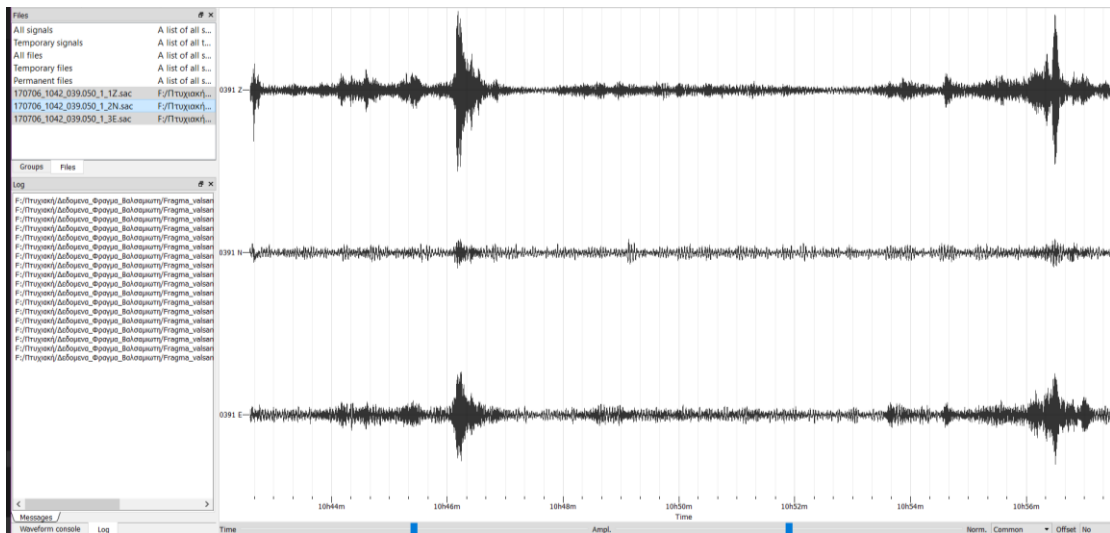


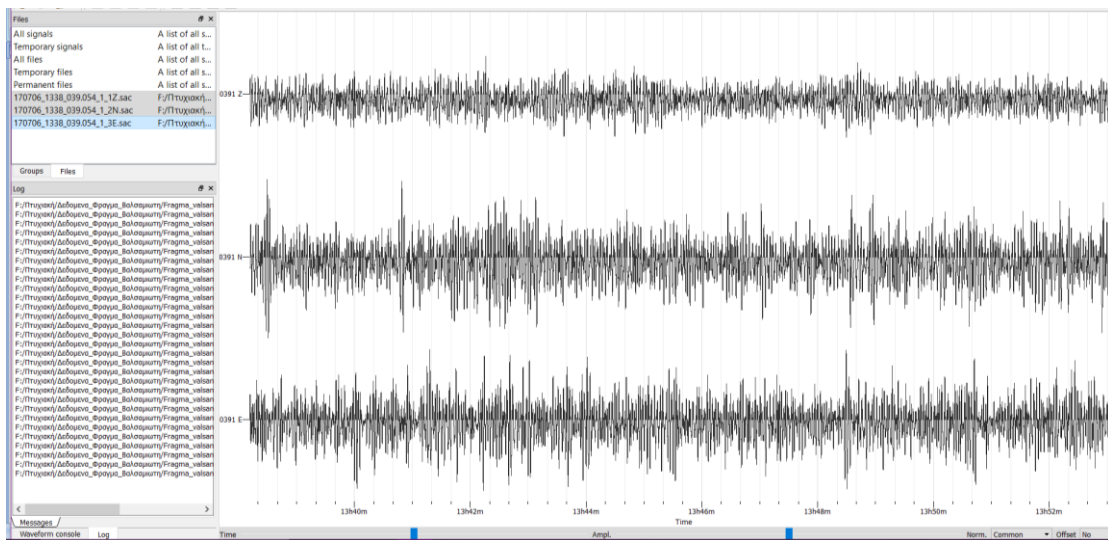
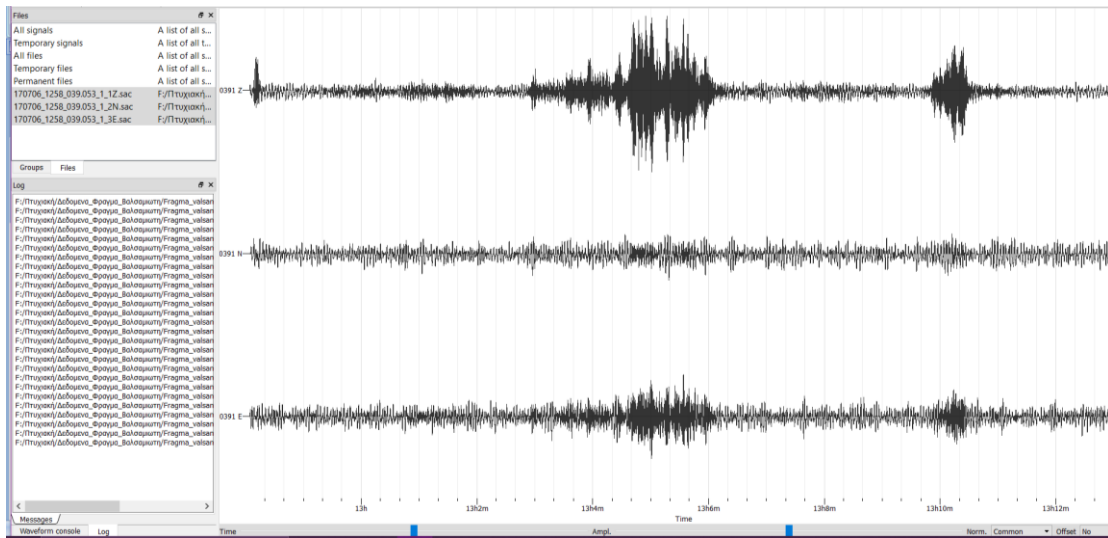


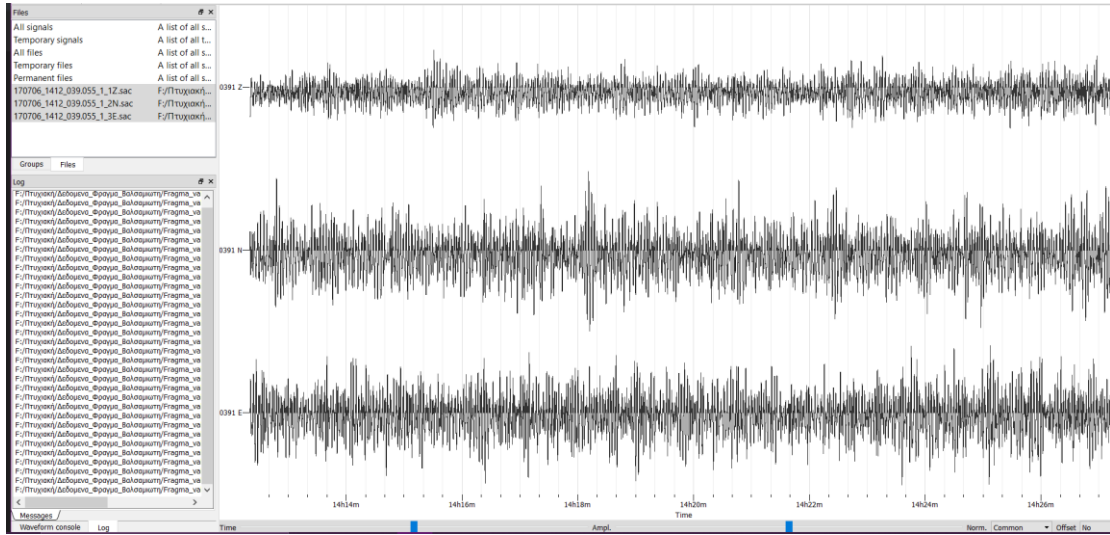




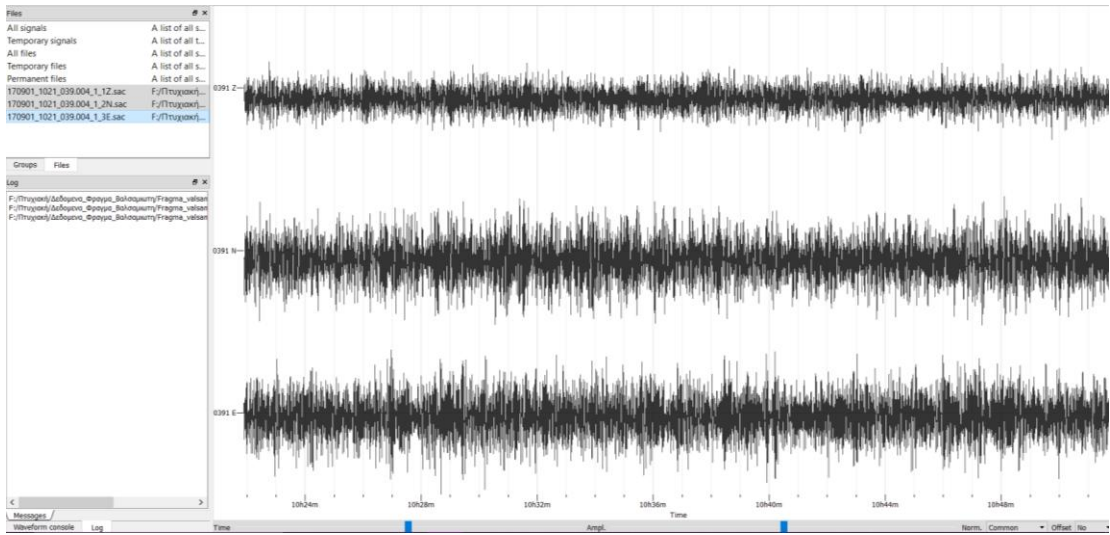
Μετρήσεις 06/07/2017

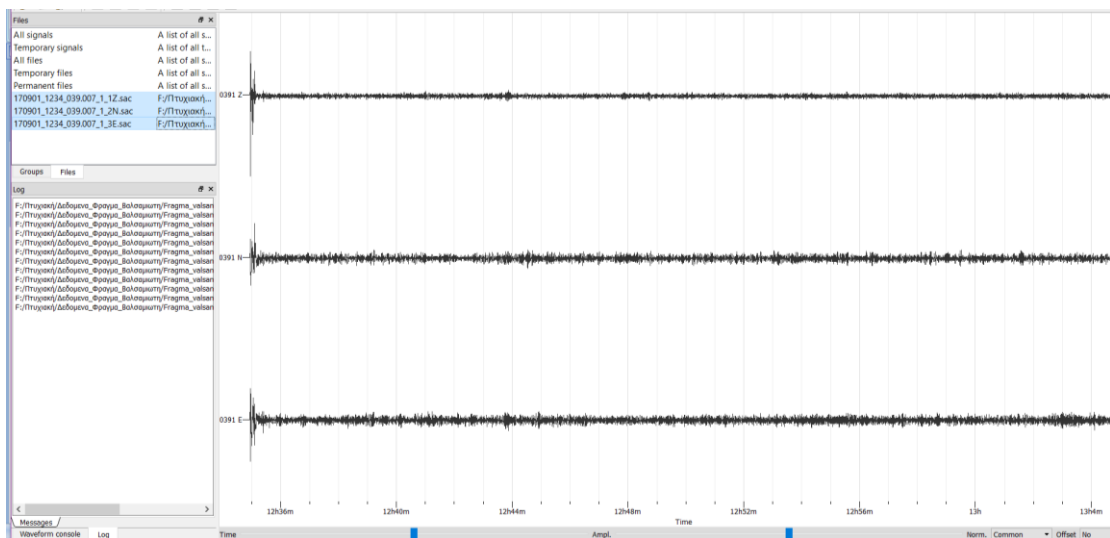
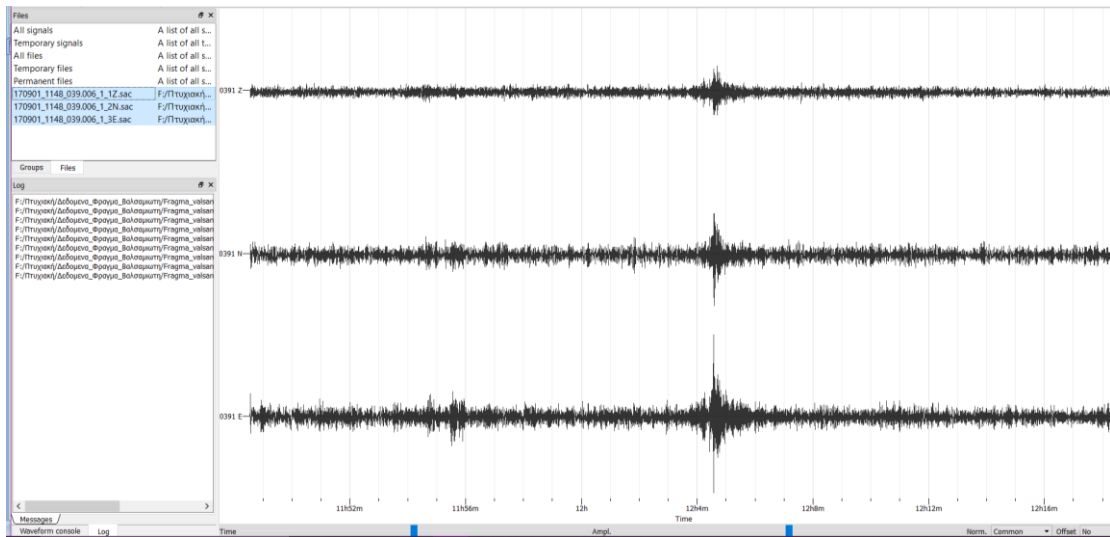
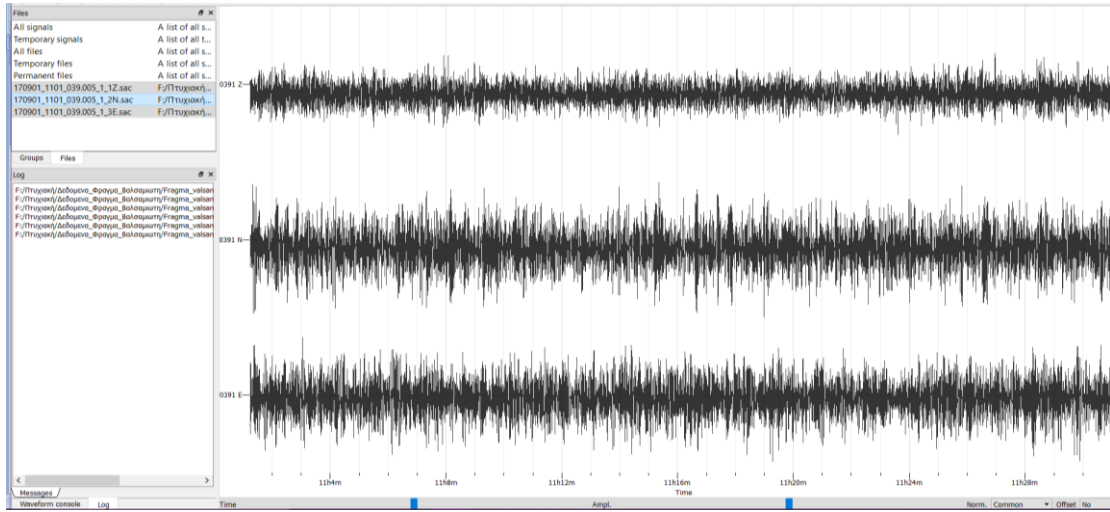


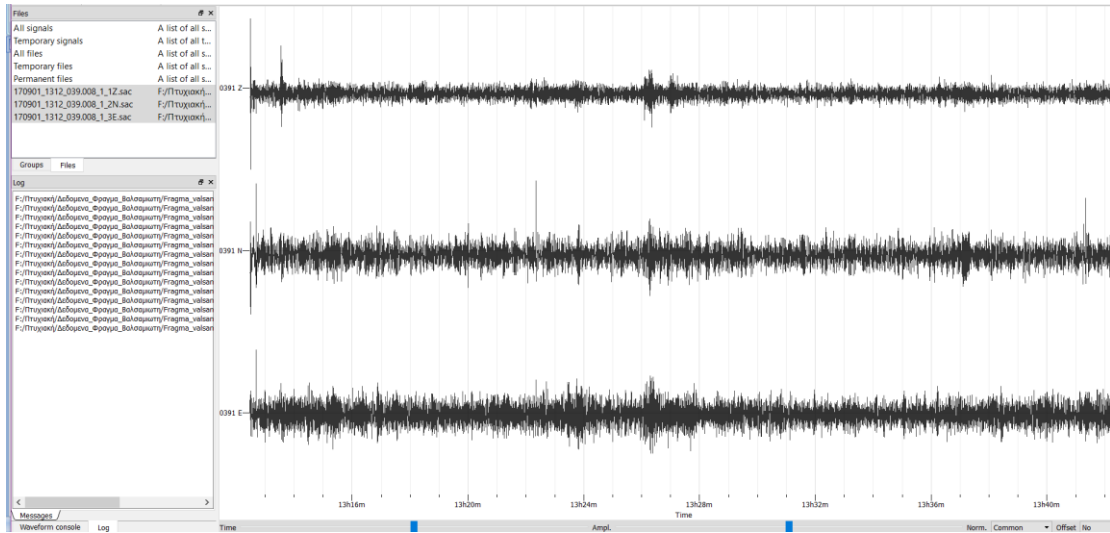




Μετρήσεις 01/09/2017







Μετρήσεις 07/11/2017

