

ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΙ

Δήμος Αντωνίου
Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων
Κυπριακή Δημοκρατία
Λευκωσία Κύπρος
e-mail:d.antoniou@cytanet.com.cy

1. ΓΕΝΙΚΑ

Με εξαίρεση το μεγάλο Σινικό Τείχος, τα φράγματα αποτελούν τα μεγαλύτερα έργα που έχουν κατασκευαστεί από τον άνθρωπο. Ιστορικά τα φράγματα έχουν προστατεύσει ολόκληρες περιοχές από πλημμύρες, έχουν αρδεύσει ολόκληρες πεδιάδες και έχουν παράξει τεράστιες ποσότητες καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας.

Χωρίς τα φράγματα η μοντέρνα ζωή μας όπως την ξέρουμε απλά δεν θα ήταν η ίδια.

Μετά το πρώτο φράγμα που κτίστηκε στην Αίγυπτο πριν περίπου 5000 χρόνια, οι μηχανικοί συνέχισαν να κτίζουν νέους τύπους φραγμάτων για να δαμάσουν τις πραγματικά τεράστιες δυνάμεις που ασκούνται από το νερό. Σταματώντας τη ροή του νερού και αποθηκεύοντας το πίσω από μεγάλα φράγματα, αμέσως δημιουργεί την ανάγκη για ύπαρξη αυξημένης ασφάλειας αλλά και μελέτης σεναρίων άμεσης δράσης σε περίπτωση αστοχίας. Τα αποτελέσματα μπορεί να είναι πραγματικά καταστροφικά τόσο σε απώλεια ανθρώπινων ζώων, όσο και σε περιουσίες και γενικά στην οικονομία του τόπου. Η κατηγοριοποίηση των φραγμάτων σύμφωνα με την επικινδυνότητα τους και την καταστροφή που θα προκαλέσουν σε περίπτωση αστοχίας είναι σήμερα απαραίτητη και επιβάλλεται νομοθετικά στις περισσότερες χώρες. Επίσης επιβεβλημένη είναι και η μελέτη και παραγωγή χαρτών πλημμύρας, οι οποίοι δείχνουν τις περιοχές που θα επηρεαστούν σε περίπτωση αστοχίας ενός φράγματος.

Η Κύπρος κατέχει μια από τις πρώτες θέσεις στην Ευρώπη στον αριθμό φραγμάτων συγκριτικά με την έκτασή της. Τα τελευταία 40 χρόνια έχουν κτιστεί πάνω από 40 μεγάλα φράγματα με συνολική χωρητικότητα πέραν των 300 εκ. κυβ. μέτρων νερού. Τα φράγματα αυτά βοήθησαν τόσο στην ανάπτυξη της γεωργίας όσο και στην μείωση του προβλήματος της ύδρευσης που όπως είναι γνωστό από παλιά μαστίζει το νησί.

Τα μεγαλύτερα φράγματα της Κύπρου είναι κυρίως χωμάτινα (embankment), με αργιλικό πυρήνα και ανάχωμα από βραχομάζα ή χώμα (alluvial).

Είναι γνωστό ότι η Κύπρος βρίσκεται σε μια περιοχή υψηλής σεισμικότητας και έχει κατά καιρούς υποστεί τεράστιες καταστροφές από σεισμούς. Ισχυροί σεισμοί μπορούν να προκαλέσουν ζημιές στα φράγματα οι οποίες μπορεί να επηρεάσουν την ασφάλειά τους. Για την καταγραφή των σεισμών έχουν τοποθετηθεί 23 επιταχυνσιογράφοι στα πιο μεγάλα και σημαντικά φράγματα.

Πέραν όμως από τα όργανα αυτά, κατά την διάρκεια της κατασκευής ενός φράγματος τοποθετούνται διάφορα άλλα γεωτεχνικά όργανα, τα οποία μετρούν και καταγράφουν άλλες παραμέτρους που βοηθούν τον μηχανικό να παρακολουθήσει την συμπεριφορά του φράγματος. Από αυτές τις μετρήσεις μπορεί να φανεί αν ένας ισχυρός σεισμός έχει προκαλέσει κάποιο πρόβλημα στο φράγμα, να αξιολογηθεί το μέγεθος του προβλήματος και να ληφθούν κάποια μέτρα επιδιόρθωσης.

Σκοπός του παρόντος είναι η περιγραφή των διαφόρων γεωτεχνικών οργάνων που τοποθετούνται στα φράγματα, η παρουσίαση πραγματικών μετρήσεων και πως από αυτές μπορεί να φανεί αν έχει ένας σεισμός προκαλέσει κάποιες αλλαγές στη κανονική συμπεριφορά του φράγματος.

2. ΤΥΠΟΙ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Τα φράγματα μπορούν να ομαδοποιηθούν σύμφωνα με τον τύπο των υλικών από τα οποία κατασκευάζονται και με τον τρόπο που επιτυγχάνουν τη στεγανότητα και τη σταθερότητα τους ως εξής:

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

- Φράγματα βαρύτητας
- Τοξοειδή
- Concrete Buttress Dams

ΧΩΜΑΤΙΝΑ

- Χωμάτινα με αργιλικό πυρήνα
- Χωμάτινα- λιθόριπτα με αργιλικό πυρήνα

ΛΙΘΟΡΙΠΤΑ ΜΕ ΑΝΑΝΤΗ ΠΛΑΚΑ

3. ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ-ΣΕΙΣΜΟΙ

Πληροφορίες σχετικές με τους παράγοντες που προκαλούν αστοχίες σε φράγματα συλλέγονται από το 1850 περίπου. Προφανώς, η τεχνολογία έχει αλλάξει δραστικά από την εποχή εκείνη και τα βελτιωμένα κριτήρια στη μελέτη (design standards) και οι καλύτερες πρακτικές κατασκευής συνεχίζουν να μειώνουν τον αριθμό των αστοχιών. Παρ' όλα αυτά, η αναλογία των αστοχιών των φραγμάτων που αποδίδονται σε συγκεκριμένες αιτίες έχει παραμείνει σχετικά σταθερή με το πέρασμα των χρόνων.

Μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Middlebrooks σχετικά με τις αιτίες αστοχίας 220 χωμάτινων φραγμάτων κατά την περίοδο 1850 – 1950, συνοψίζει τους παράγοντες που έχει παρατηρηθεί ότι προκαλούν αστοχίες σε φράγματα και τη συχνότητα που συμβαίνουν αυτές (βλ. Πίνακα 1). Είναι ενδιαφέρον να παρατηρήσει κάποιος ότι 50% των αστοχιών που έχουν καταχωρηθεί από τους Middlebrooks πραγματοποιήθηκαν τα πρώτα πέντε χρόνια μετά την κατασκευή των φραγμάτων ενώ το 19% αστόχησαν κατά τη διάρκεια του πρώτου γεμίσματος (βλ. πίνακα 2).

Υπάρχουν δύο συνθήκες ταμειυτήρα που πρέπει να εξεταστούν σαν μέρος οποιασδήποτε ανάλυσης αστοχίας φράγματος.

1. Με κανονικό υψόμετρο νερού
2. Με υψόμετρο νερού που υπερπηδά πάνω από το φράγμα.

Μια ανασκόπηση των πληροφοριών του πίνακα 1, υποδεικνύει ότι μια από τις δύο αυτές συνθήκες υψόμετρου του νερού του ταμιευτήρα υφίστανται την στιγμή της αστοχίας. Για αστοχίες λόγω πλημμύρας, το επίπεδο του νερού μέσα στον ταμιευτήρα θα ξεπεράσει το επίπεδο της στέψης του φράγματος. Για άλλου τύπου αστοχίες, π.χ. λόγω διαρροών, εσωτερικής διάβρωσης, αστοχιών των πρανών του φράγματος λόγω στατικών ή σεισμικών φορτίσεων, το επίπεδο του νερού στον ταμιευτήρα είναι ή στο κανονικό επίπεδο ή κοντά σε αυτό.

Η αστοχία του φράγματος με το επίπεδο του νερού στον ταμιευτήρα σε κανονικό υψόμετρο, συχνά ορίζεται και σαν αστοχία ηλιόλουστης μέρας (“sunny day” failure) και μπορεί να υπάρχουν λίγες ή καθόλου ενδείξεις της ενεργοποίησης της αστοχίας. Αντιθέτως, μια αστοχία φράγματος με το επίπεδο του νερού στον ταμιευτήρα κοντά ή ακριβώς στη στέψη συνήθως συνδυάζεται με ένα γεγονός ακραίας πλημμύρας. Σ’ αυτήν την περίπτωση, μπορεί να προηγηθούν πολλές ώρες προειδοποίησης λόγω των προφανών ακραίων μετεωρολογικών συνθηκών οι οποίες προκαλούν την πλημμύρα. Επομένως, αυτές οι δύο συνθήκες στον ταμιευτήρα είναι σημαντικές επειδή αναπαριστούν την πιθανότητα για δύο διαφορετικά μεγέθη πλημμύρας σε μια αστοχία φράγματος, αλλά και λόγω του ότι οι περιστάσεις που περιβάλλουν αυτούς τους δύο τύπους αστοχίας μπορεί να εισάγουν σημαντικά διαφορετικές καταστάσεις όσον αφορά τις συνέπειες στις ζωές και στις περιουσίες αλλά και την προειδοποίηση των κατοίκων κατάντι.

Μια ζημιά σε ένα φράγμα μπορεί να εξελικτεί σε αστοχία του, με συνέπεια την απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων νερού στη κατάντη κοιλάδα. Το αποτέλεσμα μπορεί να είναι καταστροφικό συμπεριλαμβανομένης της απώλειας ζωών και περιουσιών.

TABLE 1. CAUSES OF EARTH DAM FAILURES 1850 – 1950

CAUSE	SOURCE MECHANISM	% OF TOTAL
OVERTOPPING	FLOOD	30%
PIPING / INTERNAL EROSION OF EMBANKMENT OR FOUNDATION	SEEPAGE, PIPING	25%
CONDUIT LEAKAGE	AND	13%
DAMAGE / FAILURE OF UPSTREAM MEMBRANE / SLOPE PAVING	INTERNAL EROSION	5%
EMBANKMENT INSTABILITY – SLIDES	VARIES	15%
MISCELLANEOUS	VARIES	12%

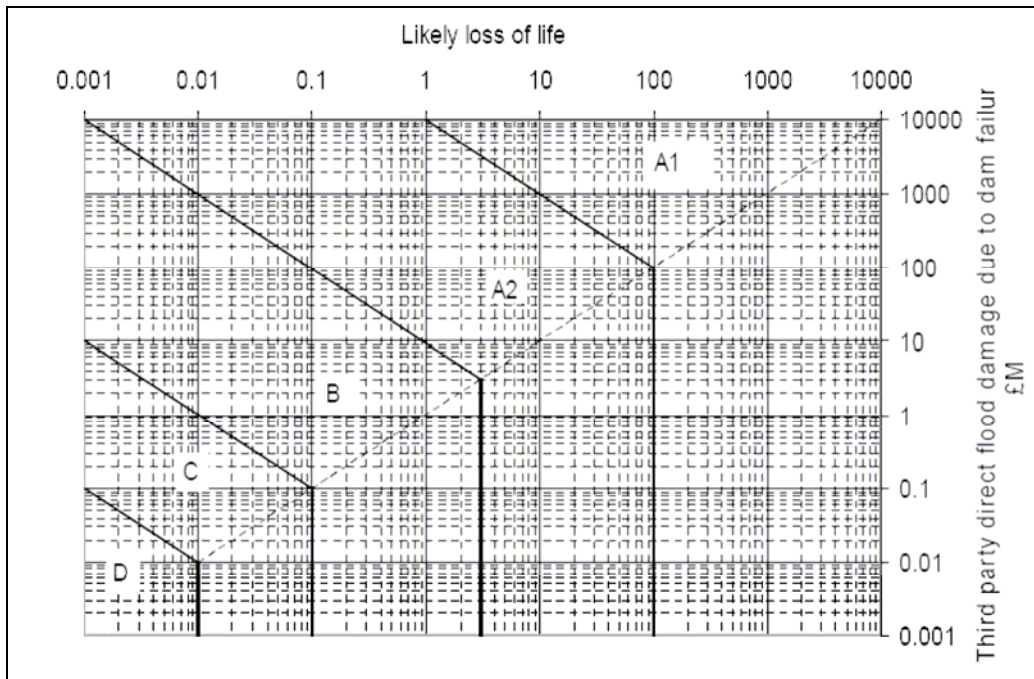
TABLE 2. DAM FAILURES – AGE OF DAM AT TIME OF FAILURE

NUMBER OF YEARS AFTER COMPLETION	CAUSE OF FAILURE (%)				TOTAL %
	OVERTOPPING	CONDUIT LEAKAGE	SEEPAGE	SLIDES	
0 - 1	9	23	16	29	19%
1 – 5	17	50	34	24	31%
5 - 10	9	9	13	12	11%
10 - 20	30	9	13	12	16%
20 –50	32	9	24	23	22%
50 - 100	3	0	0	0	1%

4. ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ (Risk and Hazard)

Οι αστοχίες των φραγμάτων είναι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος επειδή οι καταστροφές που μπορεί να προκαλέσουν είναι τεράστιες, τόσο σε ανθρώπινες ζωές όσο και σε υλικές ζημιές και είναι μεγαλύτερες από τι μπορεί να προκαλέσει η αστοχία οποιασδήποτε άλλης ανθρώπινης κατασκευής. Αυτό είναι λόγω της καταστρεπτικής δύναμης του κύματος των πλημμυρών που δημιουργούνται από την ξαφνική κατάρρευση ενός μεγάλου φράγματος.

Σύμφωνα με κανονισμούς που ισχύουν σε πολλές χώρες, τα φράγματα κατατάσσονται σε κατηγορίες ανάλογα με τις πιθανές συνέπειες σε ανθρώπινες ζωές και περιουσίες που θα προκαλέσει μια αστοχία τους. Όπως φαίνεται στο Σχεδ.1 ακόμα και η πιθανότητα απώλειας μιας ανθρώπινης ζωής κατατάσσει ένα φράγμα στην πιο υψηλή κατηγορία.



Σχεδ.1 Κατάταξη Φραγμάτων σύμφωνα με την επικινδυνότητα των

Στη μελέτη των συνεπειών της αστοχίας ενός φράγματος ο κίνδυνος και η επικινδυνότητα ορίζονται ως εξής:

Επικινδυνότητα (downstream hazard) ορίζεται ως οι πιθανές συνέπειες από μια αστοχία φράγματος, όπως η ενδεχόμενη απώλεια ζωών ή οι ζημιές σε περιουσίες κατάντι του φράγματος από νερά πλημμύρας τα οποία απελευθερώθηκαν από το φράγμα ή από νερά τα οποία απελευθερώθηκαν λόγω μερικής ή ολικής αστοχίας του φράγματος.

Η κατάταξη αναλόγως της επικινδυνότητας δεν αναφέρεται στην κατάσταση του φράγματος ή των βοηθητικών κατασκευών ούτε στην προσδοκώμενη απόδοση ή λειτουργία του φράγματος. Είναι όμως περιγραφική της διάταξης των περιοχών κατάντι του φράγματος και είναι ένας δείκτης του σχετικού μεγέθους των πιθανών συνεπειών σε ανθρώπινες ζωές όταν το συγκεκριμένο φράγμα αστοχήσει.

Ο κίνδυνος ορίζεται ως η πιθανότητα ενός φράγματος να αστοχήσει. Ασχέτως πόσο καλά είναι κατασκευασμένο ή συντηρημένο το φράγμα, ο κίνδυνος αστοχίας δεν μπορεί να μειωθεί στο μηδέν.

Ένα φράγμα μπορεί να έχει μικρό κίνδυνο αστοχίας αλλά μπορεί να παρουσιάζει υψηλή επικινδυνότητα όταν συμβεί η αστοχία, ειδικά όταν μεγάλος αριθμός ανθρώπων ζουν μέσα στη ζώνη πλημμύρας του φράγματος.

Όλα τα φράγματα παρουσιάζουν κάποιο κίνδυνο, ασχέτως πόσο χαμηλός είναι, παρουσιάζουν όμως και μια επικινδυνότητα στο κοινό ή στις περιουσίες.

Οι παράγοντες κινδύνου που μπορεί να προκαλέσουν αστοχία ενός φράγματος ορίζονται σαν υψηλοί κίνδυνοι όταν απειλούνται ζωές ή περιουσίες.

Οι πιο κοινές αιτίες των αστοχιών των φραγμάτων είναι:

- Υπερχείλιση των αναχωμάτων λόγω ανεπάρκειας του υπερχειλιστή
- Λάθη στο σχεδιασμό ή στη κατασκευή
- Γεωλογικά προβλήματα στη θεμελίωση
- Κατολισθήσεις στον ταμιευτήρα
- Ανθρώπινοι παράγοντες
- Λειτουργικοί παράγοντες
- **Σεισμοί**

Υπερχείλιση των αναχωμάτων λόγω της ανεπάρκειας του υπερχειλιστή

Αυτό είναι μια από τις πιο κοινές αιτίες των αστοχιών φραγμάτων και δεν έχει καμία σχέση με τη γεωλογία της περιοχής φραγμάτων. Οποιοδήποτε ανάχωμα κινδυνεύει να αστοχήσει εάν ο υπερχειλιστής είναι μικρός και η πλημμύρα αρκετά μεγάλη ώστε να περάσει πάνω από την στέψη του αναχώματος. Μια τέτοια υπερχείλιση μπορεί να προκληθεί επίσης από ένα κύμα που θα προκαλέσει μια κατολίσθηση στον ταμιευτήρα μετά από ένα σεισμό, η μια μεγάλη κίνηση σε κάποιο ρήγμα που διασχίζει τα θεμέλια του φράγματος.

Η εκτίμηση του μεγέθους της μέγιστης πλημμύρας που ένα φράγμα θα πρέπει να επιζήσει κατά τη διάρκεια της ζωής του είναι μια επιστήμη που έχει υποβληθεί σε συνεχή εξέλιξη κατά τη διάρκεια του τελευταίου αιώνα, με αποτέλεσμα πολλά φράγματα που κατασκευάστηκαν μερικές δεκαετίες πριν, να κρίνονται σήμερα ότι έχουν ανεπαρκή υπερχειλιστή, ακόμα κι αν αυτοί σχεδιάστηκαν στα πρότυπα της ασφάλειας που ίσχυαν κατά την διάρκεια της κατασκευής του φράγματος.

Λάθη στο σχεδιασμό ή στη κατασκευή

Λάθη στην κατασκευή ενός φράγματος μπορεί να αποβούν μοιραία και να οδηγήσουν μέχρι και στην αστοχία του. Ανεπαρκής συμπίκνωση των υλικών ή χρήση του λανθασμένου τύπου υλικών μπορεί να οδηγήσουν σε αυξημένες καθιζήσεις ή σε εσωτερικές διαβρώσεις και σε μεγάλες διαρροές. (piping).

Γενικά στη σχεδιασμό και τη κατασκευή ενός φράγματος πρέπει να προσεχθούν τα εξής σημεία:

- Στη θεμελίωση πρέπει να μην υπάρχουν υλικά που να είναι επιρρεπή σε ρευστοποίηση και να περιέχουν χαλαρά ή ευαίσθητα αργιλώδη υλικά.
- Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός φράγματος να είναι καλά συμπακνωμένα τουλάχιστο στο 95% της μέγιστης ξηρής πυκνότητας ή στο 80% της σχετικής πυκνότητας.

- Ο στατικός συντελεστής ασφάλειας, για όλες τις πιθανές επιφάνειες ολίσθησης είναι μεγαλύτερος από 1.5 σε συνθήκες πλήρους φόρτισης και πίεσεως νερού πόρων πριν από ένα σεισμό.
- Το ελεύθερο ύψος μεταξύ υπερχειλίσσης και στέψης να μην είναι μικρότερο του 3-5% του ύψους του φράγματος.

Γεωλογικά προβλήματα με τα θεμέλια του φράγματος.

Η ποιότητα των θεμελίων του φράγματος είναι από τα πιο σημαντικά που πρέπει να μελετηθούν με κάθε λεπτομέρεια, ώστε να είναι ικανά να δεχθούν τις τεράστιες πιέσεις τόσο του ιδίου του φράγματος, όσο και του νερού, αλλά να μην έχουν άλλα γεωλογικά προβλήματα (ρήγματα, ζώνες διάτμησης κ.λ.π.) η να περιέχουν υλικά που να είναι εύκολα σε διάβρωση και να δημιουργήσουν συνθήκες αποσύνθεσης μετά το γέμισμα του ταμιευτήρα.

Ανθρώπινοι παράγοντες

Η ανθρώπινη συμπεριφορά αποτελεί ακόμα ένα στοιχείο κινδύνου για αστοχία φράγματος. Απλά λάθη, κακή διαχείριση λειτουργιών, αχρείαστες παραλείψεις ή βανδαλισμός, μπορεί να συνδυαστούν με άλλους κινδύνους και να αυξήσουν την πιθανότητα αστοχίας.

Ο μηχανικός εξοπλισμός και τα εξωτερικά μέρη του σώματος του φράγματος όπως π.χ η λιθορριπή (rip-rap) είναι επικίνδυνα για να υποστούν ζημιές από τον άνθρωπο. Πρέπει να λαμβάνονται όλα τα μέτρα περιορισμού της πρόσβασης στα φράγματα σε μη εξουσιοδοτημένα άτομα και οχήματα.

Ακόμα μια δραστηριότητα η οποία προσδίδει κίνδυνο είναι η τάση των ανθρώπων να εγκαθίστανται κατάντι φραγμάτων. Η κατασκευή κατοικιών, κτιρίων και άλλων κατασκευών στη ζώνη πλημμύρας του φράγματος δημιουργεί νέους κινδύνους και πιθανόν να αυξήσει τους κινδύνους αυτούς στο μέλλον.

Λειτουργικοί παράγοντες

Οι λειτουργικοί παράγοντες, οι οποίοι πιθανόν να εισάγουν κινδύνους για αστοχία ενός φράγματος και επιπλέον να δημιουργήσουν κινδύνους σε ανθρώπους και περιουσίες, περιλαμβάνουν την πρόσβαση και το πόσο απόμακρο είναι ένα φράγμα, την απουσία ενός εκπαιδευμένου ή έμπειρου χειριστή, τις ελλειπείς διαδικασίες συντήρησης του φράγματος, την απουσία προγράμματος επιθεώρησης, την αξιοπιστία της τροφοδοσίας ηλεκτρικού εξοπλισμού και την πολυπλοκότητα του εξοπλισμού και των λειτουργικών διαδικασιών του φράγματος.

Σεισμοί

Γενικά είναι παραδεκτό ότι οι σεισμοί μπορούν να προκαλέσουν μικρές η μεγάλες ζημιές στα φράγματα με μικρές όμως πιθανότητες ολοκληρωτικής καταστροφής. Ένας σεισμός μπορεί να προκαλέσει ρηγματώσεις, καθιζήσεις, μετακινήσεις η και ρευστοποιήσεις στα υλικά ενός φράγματος.

Οι μεγαλύτερες μετακινήσεις συνήθως δημιουργούνται στις επιφάνειες επαφής διαφορετικών υλικών, η σε απότομες αλλαγές στις διατομές. Το μέγεθος των μετακινήσεων που μπορεί να υπάρξουν πριν αυτές γίνουν επικίνδυνες εξαρτάται από τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί και από την λεπτομέρεια της εσωτερικής διατομής του φράγματος.

Οι αυξήσεις των πιέσεων των νερών των πόρων είναι άλλο ένα φαινόμενο που παρατηρείται σε ένα σεισμό. Τέτοιες αυξήσεις έχουν σαν αποτέλεσμα την μείωση των ενεργών τάσεων στα υλικά και την ταυτόχρονη μείωση του συντελεστή ασφάλειας.

Ρευστοποίηση είναι ίσως ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα που μπορεί να προκληθούν από ένα σεισμό. Ρευστοποίηση είναι η μεγάλη μείωση της αντοχής των υλικών κατά την διάρκεια σεισμικών δονήσεων. Αυτό προκαλείται κυρίως από αυξήσεις των πιέσεων του νερού των πόρων και ταυτόχρονη μείωση των αντοχών. Συνέπεια της ρευστοποίησης μπορεί να είναι μια αστοχία του ανάντη κυρίως πρανούς που μπορεί να οδηγήσει και σε πλήρη κατάρρευση του φράγματος.

Error! Objects cannot be created from editing field codes.

Φωτο.1 Αστοχία του Φράγματος San Fernando στο σεισμό του 1971

4. ΕΝΟΡΓΑΝΩΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Στα μοντέρνα φράγματα τοποθετούνται διάφορα γεωτεχνικά όργανα τα οποία έχουν σκοπό να καταγράφουν όλες τις παραμέτρους συμπεριφοράς του φράγματος, ώστε ανά πάσα στιγμή να είναι δυνατή η δημιουργία μιας εικόνας της ολικής συμπεριφοράς του.

Τέτοια όργανα είναι:

- Πιεσόμετρα νερού πόρων
- Κύτταρα μέτρησης ολικών πιέσεων
- Κλισιόμετρα
- Καθισήμετρα
- Όργανα μέτρησης επιφανειακών μετακινήσεων
- Επιταχυνσιογράφοι
- Μετακίνησης αρμών

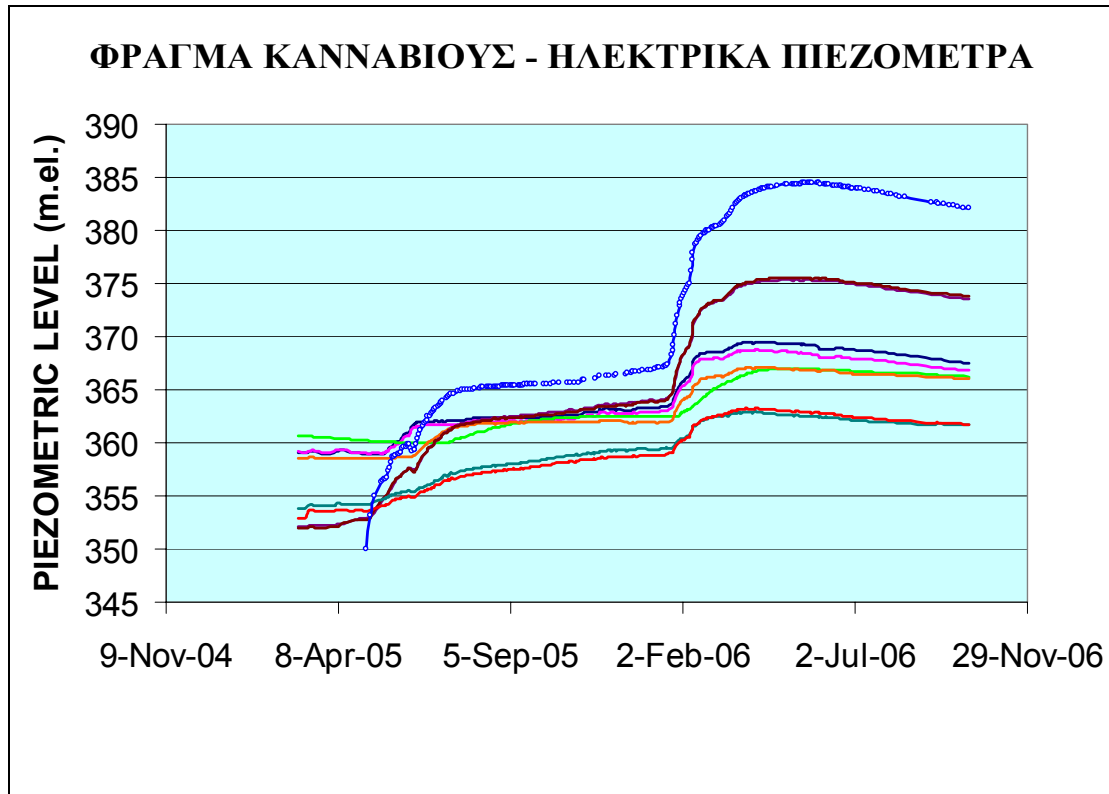
Πιεσόμετρα νερού πόρων

Ο σκοπός αυτών των οργάνων είναι η παρακολούθηση των πιέσεων του νερού των πόρων ειδικά μέσα στον αργιλικό πυρήνα, μιας πολύ σημαντικής και χρήσιμης παραμέτρου τόσο κατά τη διάρκεια της κατασκευής αλλά και κατά τη λειτουργία του φράγματος. Είναι πιθανό κατά την διάρκεια μιας ισχυρής σεισμικής δόνησης να αυξηθούν σημαντικά οι πιέσεις των νερών των πόρων, μέχρι σημείου που να επηρεάσουν την ασφάλεια του φράγματος. Τέτοιες αυξήσεις θα γίνουν αντιληπτές από τα πιεσόμετρα και θα καταγραφούν.

Ο ρυθμός γεμίσματος του φράγματος, πρέπει να ελέγχεται προσεκτικά παρατηρώντας τις αλλαγές των τιμών των πιέσεων του νερού των πόρων μέσα στον αργιλικό πυρήνα του φράγματος, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του πρώτου γεμίσματος του φράγματος.



Φωτο.2 Τοποθέτηση ηλεκτρικών πιεσομέτρων.

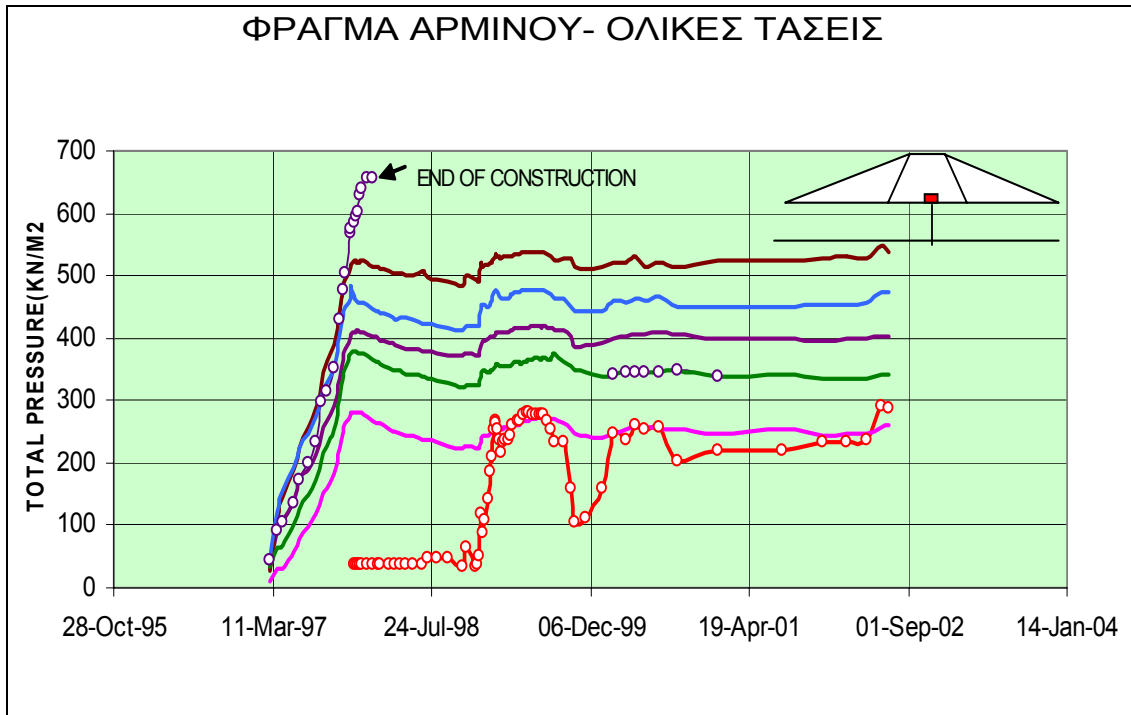


Σχεδ.2 Μετρήσεις ηλεκτρικών πιεσομέτρων στο Φράγμα Κανναβιούς

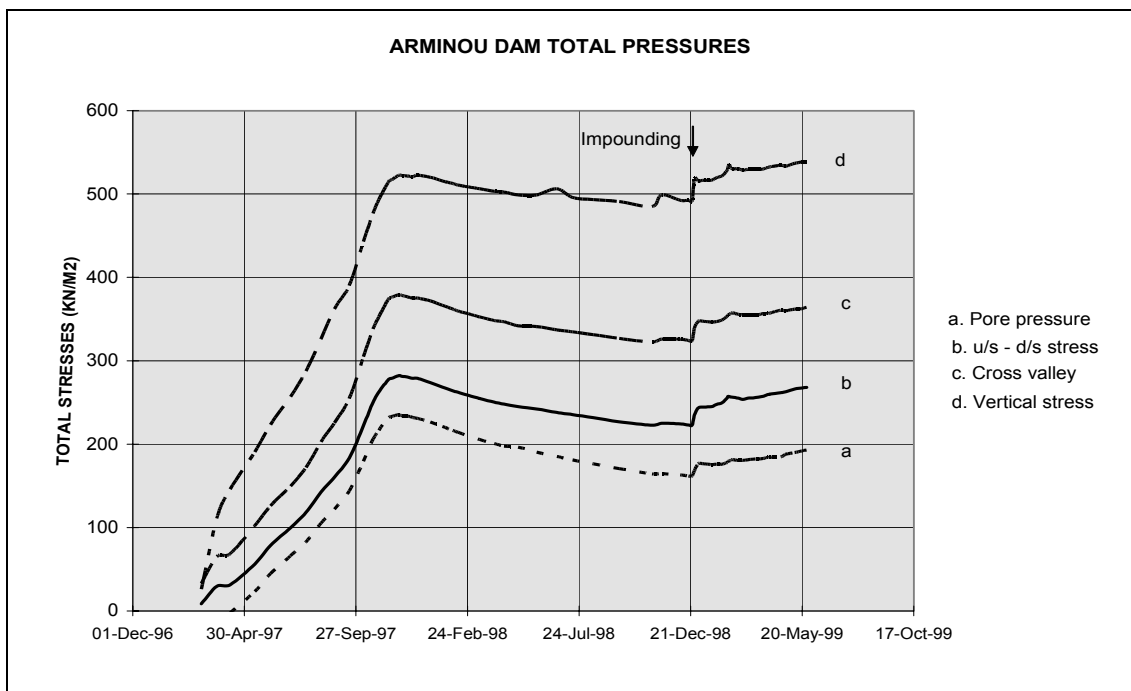
Κύτταρα μέτρησης ολικών πιέσεων

Τα όργανα αυτά τοποθετούνται σε συμπλέγματα (clusters) των πέντε, μαζί με ένα πιεσόμετρο. Αυτά μετρούν τις ολικές πιέσεις σε πέντε διαφορετικές κατευθύνσεις και μαζί με την μέτρηση του πιεσόμετρου επιτρέπουν τον υπολογισμό των ενεργών τάσεων στο σημείο τοποθέτησης τους.

Ένα όργανο είναι εγκατεστημένο να μετρά τη κάθετη πίεση, δύο την οριζόντια στην ανάντη-κατάντη και στην κατεύθυνση κατά μήκος του άξονα και δύο σε κλίση 45 μοιρών. Έτσι από τέτοιες μετρήσεις μπορεί να υπολογιστεί ο βαθμός τυχόν στροφής των κυρίων τάσεων. Επίσης φαίνεται από τις μετρήσεις των οργάνων αυτών πόσο από το συνολικό μέγεθος της φόρτισης μεταφέρεται στο σημείο των οργάνων. Αυτό δείχνει αν έχουν προκληθεί φαινόμενα "κρεμάσματος" (arching) σε πιο ψηλά σημεία του φράγματος, τα οποία μπορεί να δημιουργήσουν συνθήκες υδραυλικών ρηγματώσεων (hydraulic fracturing) που μπορεί να είναι επικίνδυνες.



Σχεδ.3 Μετρήσεις Ολικών τάσεων στο Φράγμα Αρμίνου

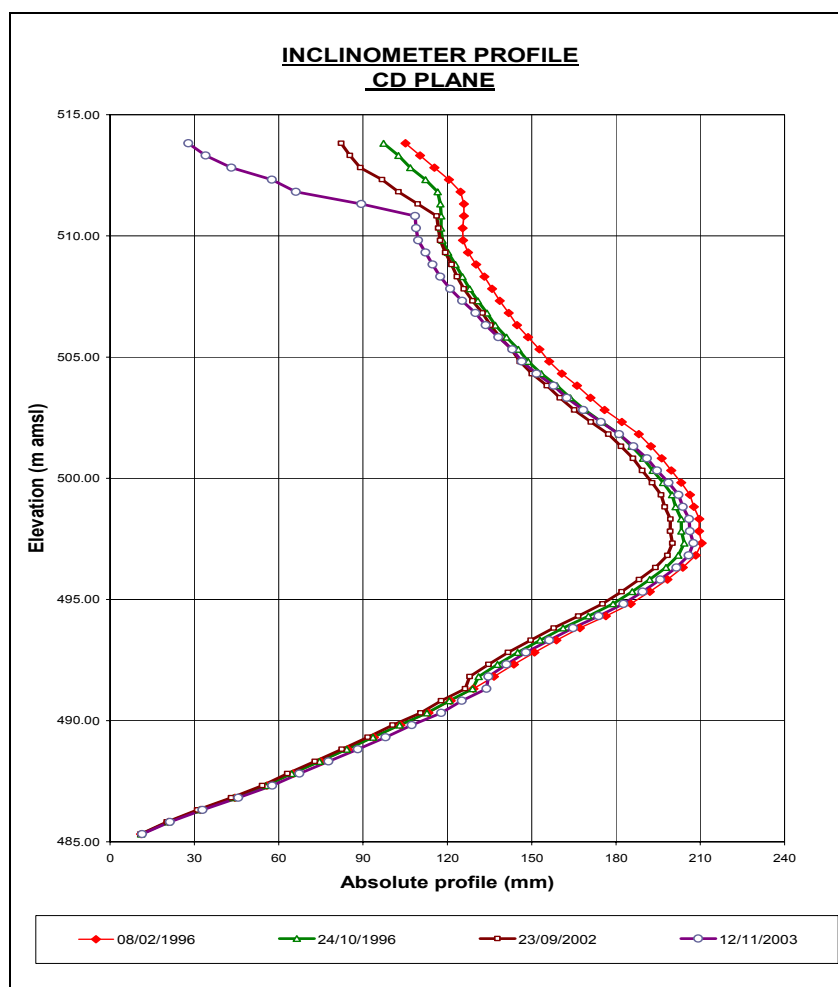


Σχεδ.4 Μετρήσεις Ολικών τάσεων στο Φράγμα Αρμίνου

Κλισιόμετρα

Τα όργανα αυτά είναι κλισιομετρικοί σωλήνες οι οποίοι τοποθετούνται είτε σε γεωτρήσεις, είτε δια μέσου των διαφόρων υλικών κατά την διάρκεια της τοποθέτησης τους, με σκοπό την μέτρηση οριζοντίων μετακινήσεων σε δύο κατευθύνσεις. Η μετρήσεις λαμβάνονται με το κατέβασμα ειδικής τορπίλης σε όλο το μήκος του σωλήνα και την καταγραφή της απόκλισης κάθε μισό μέτρο. Έτσι διαγράφεται το ολικό προφίλ του σωλήνα. Οποιαδήποτε μετακίνηση σε κάποιο σημείο μπορεί να μετρηθεί και να αξιολογηθεί, ιδιαίτερα μετά από κάποιο σεισμική δόνηση.

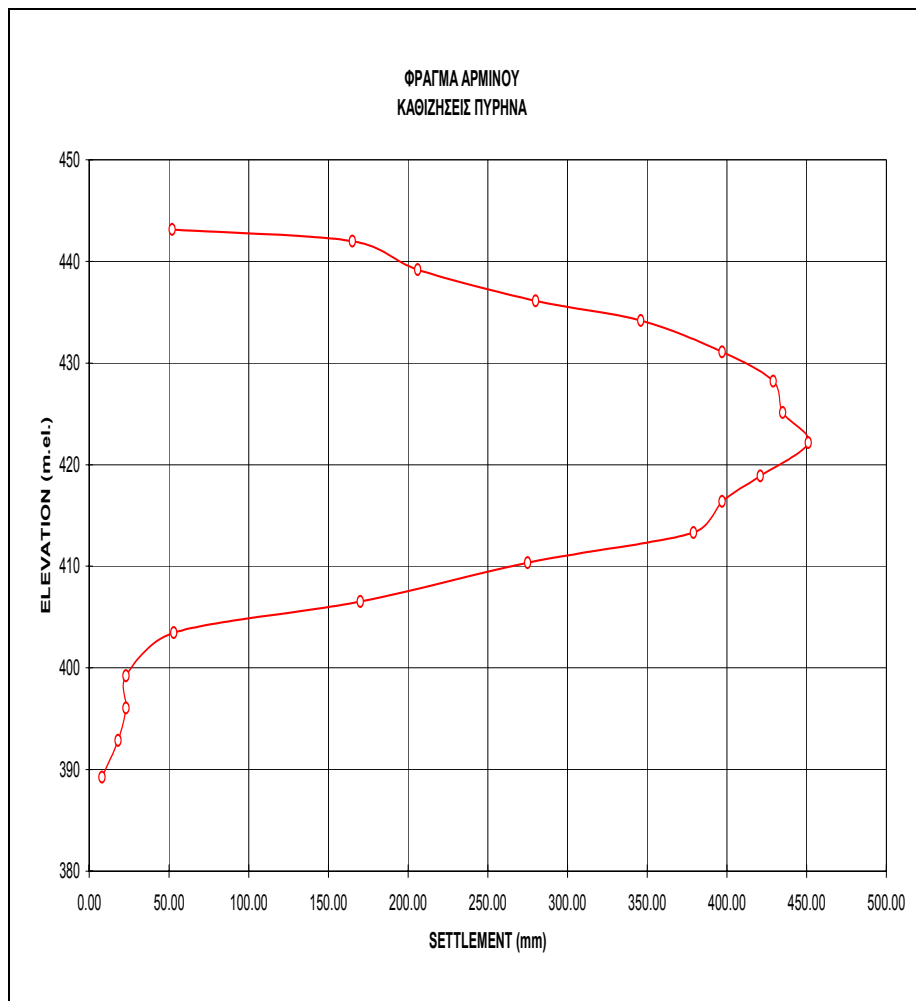
Στο εξωτερικό του σωλήνα μπορεί να τοποθετηθούν μαγνήτες που ακολουθούν κάθετες μετακινήσεις, ώστε να καταγράφεται ταυτόχρονα και η καθίζηση στη περιοχή. Το όργανο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό κυρίως στους αργιλικούς πυρήνες όπου τέτοιες παραμορφώσεις είναι πιο συχνές και μπορεί να επηρεάσουν την σωστή λειτουργία τους.



Σχεδ.5 Μετρήσεις κλισιομέτρου

Καθιζήμετρα

Αυτά μπορεί να είναι υδραυλικά ή υδραργυρικά και μετρούν τοπικές καθιζήσεις. Τοποθετούνται συνήθως σε διάφορα υψόμετρα και τομές, στη ανάντη-κατάντη κατεύθυνση και παρέχουν την δυνατότητα σχεδιασμού τομών που δείχνουν το βαθμό των καθιζήσεων των διαφόρων υλικών και τον υπολογισμό των παραμέτρων μέτρου ελαστικότητας των (modulus of elasticity).



Σχεδ.6 Μετρήσεις καθιζήσεων σε αργιλικό πυρήνα.



Φωτο. 3 Τοποθέτηση υδραυλικού κλισιόμετρου σε αργιλικό πυρήνα.

Επιφανειακές μετακινήσεις

Τοπογραφικά σημεία τοποθετούνται σε επιλεγμένες θέσεις ώστε με την χρήση τοπογραφικών οργάνων μεγάλης ακριβείας να μετριοούνται επιφανειακές μετακινήσεις σε δύο οριζόντιες κατευθύνσεις, αλλά και καθιζήσεις.

Επιταχυνσιογράφοι

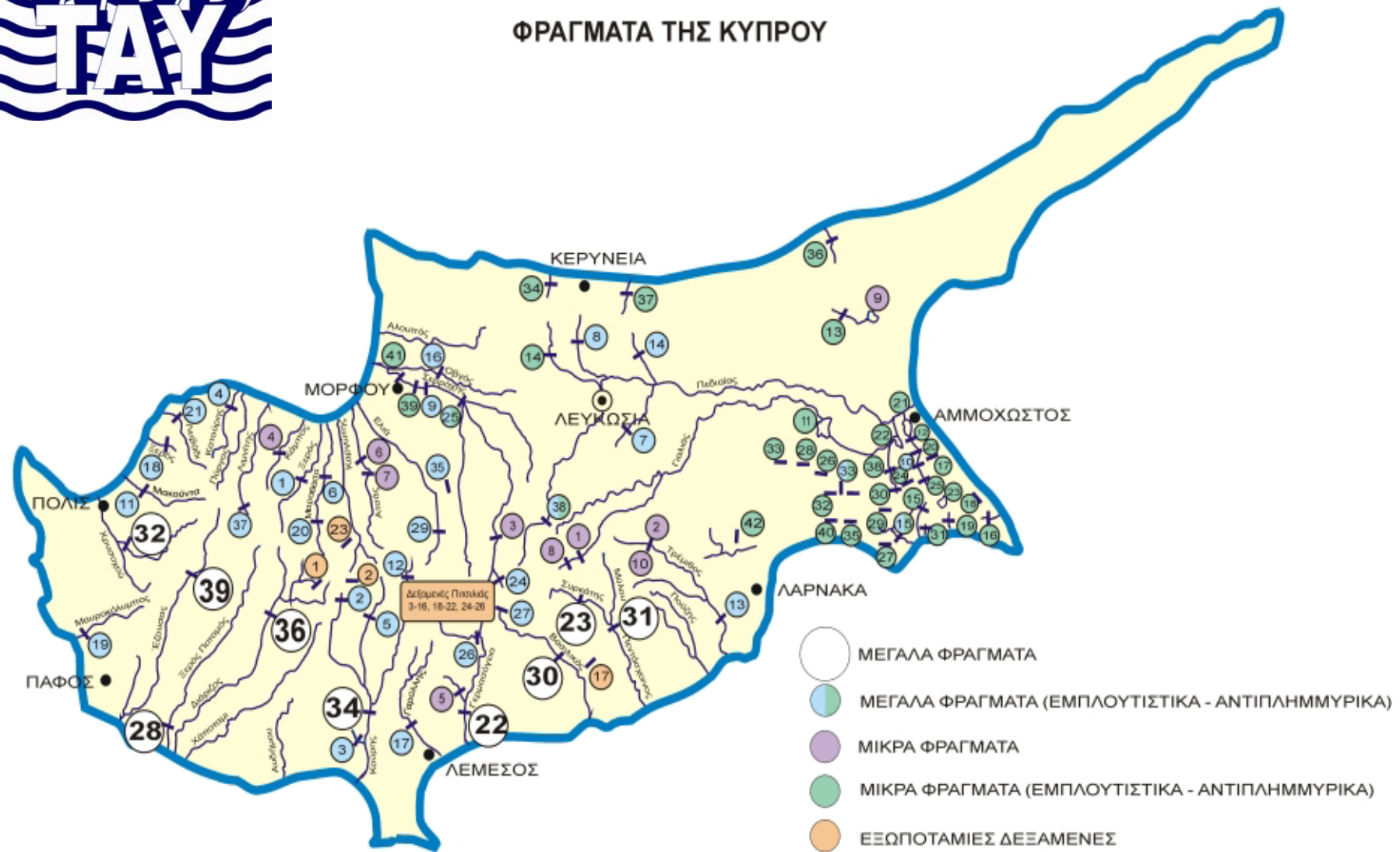
Επιταχυνσιογράφοι ψηφιακής καταγραφής επιταχύνσεως σεισμών τοποθετούνται σε δύο ή τρία σημεία του φράγματος. Ένας στη βάση, ένας στη στέψη και ένας συνήθως σε μια από τις σήραγγες του έργου. Αυτή η διαρρύθμιση δείχνει το βαθμό της διαφοροποίησης του μεγέθους της επιτάχυνσης (απόσβεση ή μεγέθυνση) από τη βάση κυρίως του φράγματος μέχρι τη στέψη.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα φράγματα είναι από τις μεγαλύτερες σε όγκο και σημασία ανθρώπινες κατασκευές. Η τεχνολογία τόσο του σχεδιασμού όσο και της κατασκευής των έργων αυτών εξελίσσεται συνέχεια με αποτέλεσμα όλο και μεγαλύτερα και ψηλότερα φράγματα να κατασκευάζονται. Η κατασκευή τέτοιων έργων συνοδεύεται και με ιδιαίτερους κινδύνους οι οποίοι δεν πρέπει να διαφεύγουν της προσοχής των μηχανικών.

Οι συνέπειες από την αστοχία ενός φράγματος μπορεί να είναι τρομακτικές τόσο σε απώλειες ανθρώπινων ζώων, όσο και σε καταστροφές περιουσιών και γενικά συνοδεύονται από σοβαρές επιπτώσεις στην οικονομία ενός τόπου. Όλα τα φράγματα χρειάζονται προσεκτική φροντίδα και συνεχή έλεγχο από ειδικούς έμπειρους μηχανικούς ώστε να διασφαλίζεται η ασφαλής ζωή και λειτουργία τους.

ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ



ΜΕΓΑΛΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ

Α/Α	ΟΝΟΜΑ	ΕΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΠΟΤΑΜΟΣ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (m ³)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΑΧΩΜΑΤΟΣ				ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗΣ	
					ΤΥΠΟΣ	ΥΨΟΣ m	ΜΗΚΟΣ m	ΟΓΚΟΣ 1 000 m ³	ΜΗΚΟΣ m	ΤΑΧΥΤΗΤΑ m ³ / S
1	Καφίζες	1953	Ξερός (Μόρφου)	113.000	Βαρύτητας	23	26	3	19	53
2	Πέρα Πεδι	1956	Κρυός (Κούρης)	55.000	Βαρύτητας	22	66	4	37	106
3	Καντού	1956	Ταπάχνα (Κούρης)	34.000	Βαρύτητας	15	53	3	31	59
4	Πύργος	1957	Κατούρης	285.000	Βαρύτητας	22	66	8	30	120
5	Τριμήκλινη	1958	Κούρης	340.000	Βαρύτητας	33	76	6	31	59
6	Λεύκα	1962	Σέτραχος (Μαραθάσας)	368.000	Βαρύτητας	35	149	20	31	246
7	Αθαλάσσα	1962	Καλόγηρος (Πεδιαίος)	791.000	Χωμάτινο	18	415	88	240	47
8	Κιόνελι	1962	Αλμυρός (Πεδιαίος)	1.045.000	Χωμάτινο	15	196	46	57	170
9	Μόρφου	1962	Σερράχης	1.879.000	Χωμάτινο	13	1.400	387	450	680
10	Κανλί Κογιού	1963	Τζινάρ (Πεδιαίος)	1.113.000	Χωμάτινο	19	297	52	27	110
11	Αργάκα	1964	Μακούντα	990.000	Λιθόρριπτο	41	137	134	146	280
12	Αγρός	1964	Λιμνάτης	99.000	Χωμάτινο	26	171	53	51	6
13	Κίτι (Τρέμιθος)	1964	Τρέμιθος	1.614.000	Χωμάτινο	22	1.075	173	150	610
14	Μια Μηλιά	1964	Συμεά (Πεδιαίος)	355.000	Χωμάτινο	22	125	53	42	24
15	Λισπέτρι	1964	Ποταμός	340.000	Χωμάτινο	18	540	55	12	90
16	Οβγός	1964	Οβγός	845.000	Χωμάτινο	16	720	147	264	780
17	Πολεμίδα	1965	Γαρύλλης	3.400.000	Χωμάτινο	45	170	215	134	580
18	Αγιά Μαρίνα	1965	Ξερός	298.000	Λιθόρριπτο	33	116	61	26	160
19	Μαυροκόλυμπος	1966	Μαυροκόλυμπος	2.180.000	Χωμάτινο	45	183	302	284	366
20	Καλοπαναγιώτης	1966	Σέτραχος (Μαραθάσας)	363.000	Χωμάτινο	40	137	156	78	204
21	Πωμός	1966	Λειβάδι	860.000	Λιθόρριπτο	38	168	150	129	280
22	Γερμασόγεια	1968	Γερμασόγεια	13.500.000	Χωμάτινο	49	294	525	115	850
23	Λεύκα	1973	Συρκάτης (Πεντάσχοινος)	13.850.000	Χωμάτ/Λιθόρ.	71	233	830	70	300
24	Παλαιχώρι - Καμπί	1973	Ακάκι (Σερράχης)	620.000	Βαρύτητας	33	132	39	45	63
25	Μάσσαρι	1973	Σερράχης	2.273.000	Χωμάτινο	15	1.000	278	110	560
26	Αρακαπός	1975	Γερμασόγεια	129.000	Βαρύτητας	23	97	10	45	204
27	Άγιοι Βαβατσηνιάς	1981	Βασιλικός	53.000	Τοξωτό	19	58	2		63
28	Ασπρόκρεμμος	1982	Ξεροπόταμος	52.375.000	Χωμάτινο	53	700	2.097	230	1.484
29	Ξυλιάτος	1982	Λαγουδερά (Ελιάς)	1.430.000	Λιθόρριπτο	42	155	240	75	100
30	Καλαβασός	1985	Βασιλικός	17.100.000	Λιθόρριπτο	60	482	1.700	69	1.268
31	Διπόταμος	1985	Πεντάσχοινος	15.500.000	Λιθόρριπτο	60	390	1.090	62	1.130
32	Ευρέτου	1986	Σταυρός της Ψώκας	24.000.000	Λιθόρριπτο	70	260	1.400	182	360
33	Άχνα	1987	Εξωποτάμιο φράγμα	6.800.000	Χωμάτινο	16	272	220		35
34	Κούρης	1988	Κούρης	115.000.000	Χωμάτινο	110	550	9.400	408	1.928
35	Βυζακιά	1994	Εξωποτάμιο φράγμα	1.690.000	Χωμάτινο	37	394	366	22	30
36	Αρμίνου	1998	Διάριζος	4.300.000	Χωμάτ/Λιθόρ.	45	208	430	80	2.450
37	Τσακίστρα	2000	Λιμνίτης	100.000	Βαρύτητας	23	79	9	25	400
38	Ταμασός	2002	Πεδιαίος	2.800.000	Χωμάτ/Λιθόρ.	33	200	260	68	800
39	Κανναβιού	2005	Έζουσας	18.000.000	Σκυρόδεμα/Λιθ.	75	650	1.900	119	780

ΦΡΑΓΜΑ ΚΟΥΡΗ



ΦΡΑΓΜΑ ΑΣΠΡΟΚΡΕΜΜΟΥ



ΦΡΑΓΜΑ ΕΥΡΕΤΟΥ



ΦΡΑΓΜΑ ΚΑΝΝΑΒΙΟΥΣ



18 13:21

ΦΡΑΓΜΑ ΚΑΛΑΒΑΣΟΥ



ΦΡΑΓΜΑ ΔΙΠΟΤΑΜΟΥ



ΦΡΑΓΜΑ ΛΕΥΚΑΡΩΝ



ΦΡΑΓΜΑ ΓΕΡΜΑΣΟΓΕΙΑΣ



ΦΡΑΓΜΑ ΑΡΜΙΝΟΥ



ΦΡΑΓΜΑ ΑΣΠΡΟΚΡΕΜΜΟΥ



ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗΣ ΑΣΠΡΟΚΡΕΜΜΟΥ



ΦΡΑΓΜΑ ΕΥΡΕΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ



ΦΡΑΓΜΑ ΕΥΡΕΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ



ΦΡΑΓΜΑ ΚΑΝΝΑΒΙΟΥΣ



2 12:24



ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

- Υπερχείλιση του αναχώματος λόγω ανεπάρκειας του υπερχειλιστή
- Λάθη στο σχεδιασμό ή στη κατασκευή
- Χρήση ακατάλληλων υλικών
- Γεωλογικά προβλήματα στη θεμελίωση
- Διαβρώσεις υλικών
- Ανεπαρκή διαφράγματα ή κουρτίνες – ψηλές υδραυλικές κλίσεις
- Κατολισθήσεις στον ταμιευτήρα
- Σεισμοί

ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝ ΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ

- Ρευστοποίηση-Αστοχία πρηνών
- Καθιζήσεις
- Ρωγματώσεις
- Ενεργοποίηση ρηγμάτων
- Διαρροές

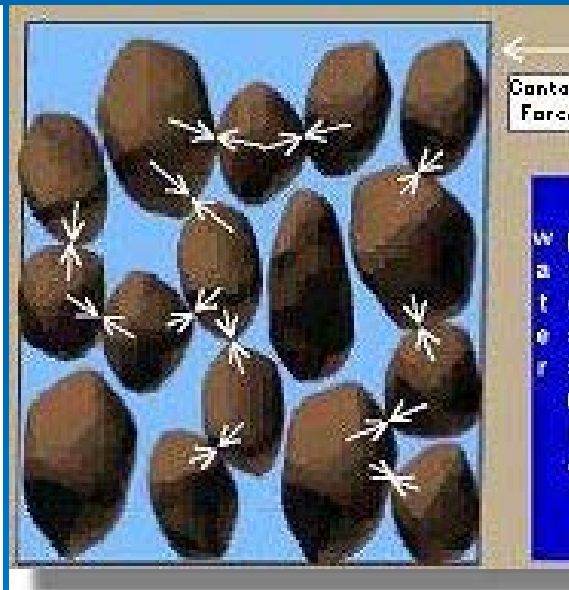
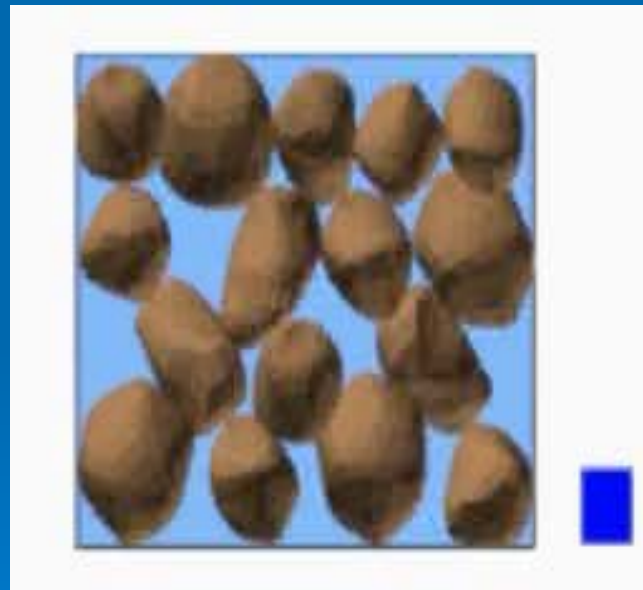
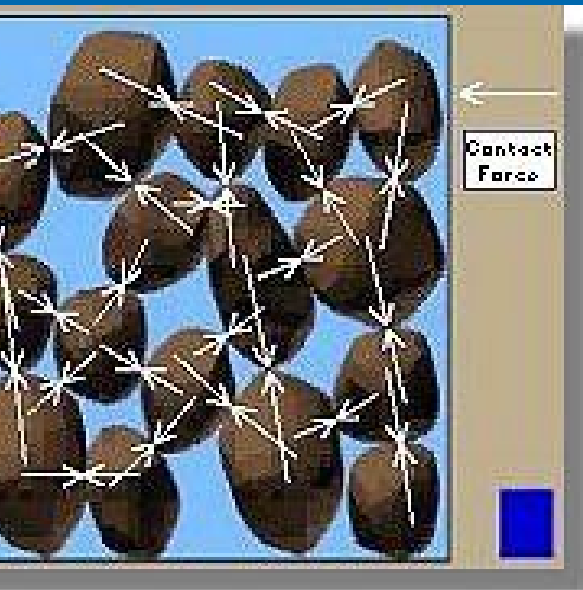
TABLE 1. CAUSES OF EARTH DAM FAILURES 1850 – 1950

CAUSE	SOURCE MECHANISM	% OF TOTAL
OVERTOPPING	FLOOD	30%
PIPING / INTERNAL EROSION OF EMBANKMENT OR FOUNDATION CONDUIT LEAKAGE DAMAGE / FAILURE OF UPSTREAM MEMBRANE / SLOPE PAVING	SEEPAGE, PIPING AND INTERNAL EROSION	25% 13% 5%
EMBANKMENT INSTABILITY – SLIDES	VARIES	15%
MISCELLANEOUS	VARIES	12%

TABLE 2. DAM FAILURES – AGE OF DAM AT TIME OF FAILURE

NUMBER OF YEARS AFTER COMPLETION	CAUSE OF FAILURE (%)				TOTAL %
	OVERTOPPING	CONDUIT LEAKAGE	SEEPAGE	SLIDES	
0 - 1	9	23	16	29	19%
1 – 5	17	50	34	24	31%
5 - 10	9	9	13	12	11%
10 - 20	30	9	13	12	16%
20 –50	32	9	24	23	22%
50 - 100	3	0	0	0	1%

ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗ



LOWER SAN FERNANDO DAM (1971)



LOWER SAN FERNANDO DAM (1971)



LOWER SAN FERNANDO DAM (1971)



LOWER SAN FERNANDO DAM (1971)



VAJONT DAM – ITALY 1963



Representation of the Vajont disaster. Source: http://www.worldwindcentral.com/hotspots/view_hotspot.php?id=1605; accessed June 17, 2006.



ΟΓΚΟΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ	270 ΕΚΜ
ΧΩΡΗΤΗΚΟΤΗΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	150 ΕΚΜ
ΥΨΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	265 Μ
ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗ ΣΤΕΨΗ	250 Μ

Περίπτωση Merriespruit Tailings Dam, Virginia, South Africa



Περίπτωση Merriespruit Tailings Dam, Virginia, South Africa



Περίπτωση Aznalcollar Σεβίλλη, Ισπανία



SAN ANDREAS DAM TUNNEL





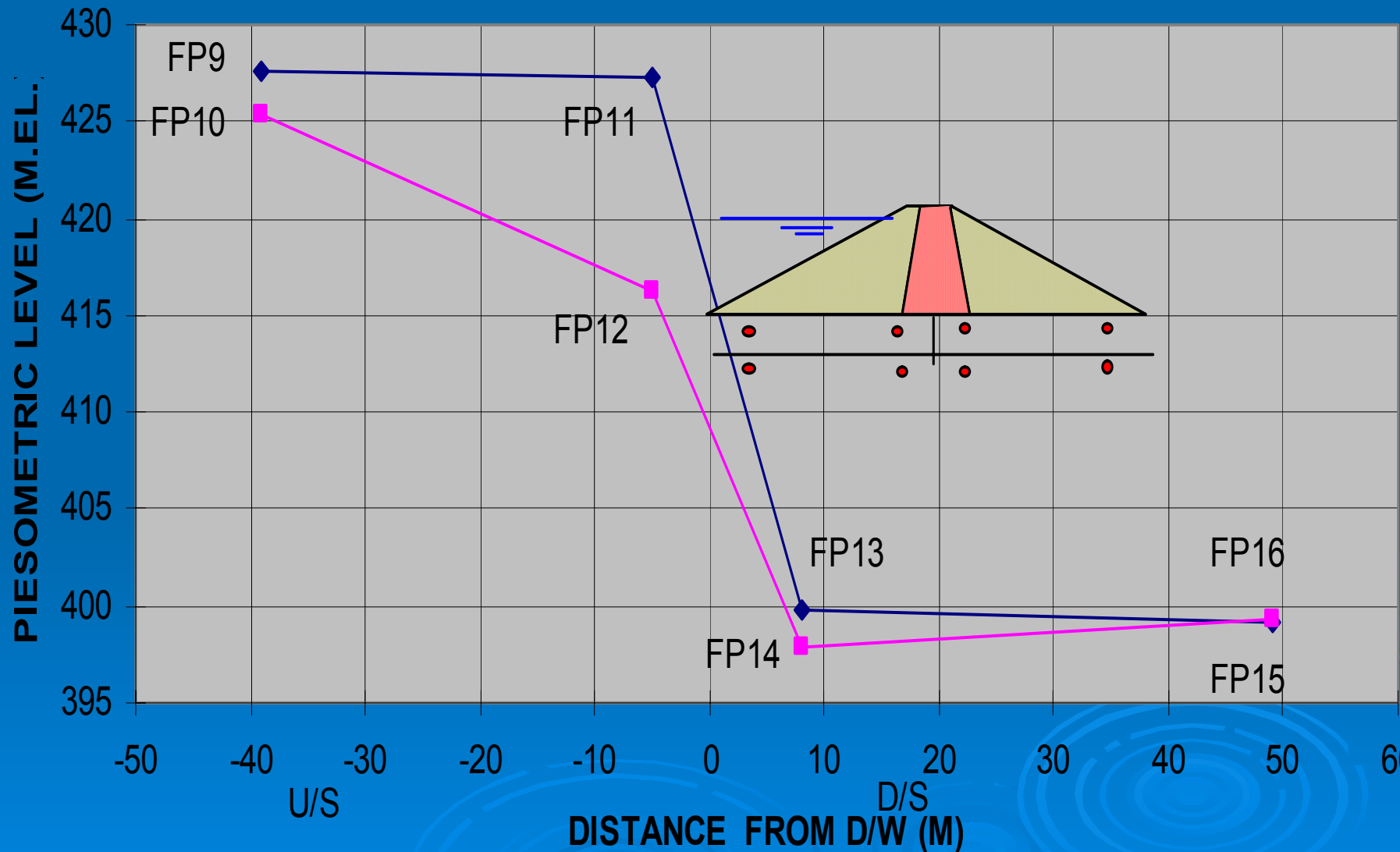
ΟΡΓΑΝΑ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

- ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΑ (ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΠΙΕΣΕΩΣ ΠΟΡΩΝ)
- ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΣ ΟΛΙΚΩΝ ΠΙΕΣΕΩΝ
- ΚΛΕΙΣΙΟΜΕΤΡΑ
- ΚΑΘΙΖΗΜΕΤΡΑ
- ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΑΡΜΩΝ
- ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ
- ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ
- ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ (ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ

ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΚΥΠΡΟΥ ΜΕ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΟΥΣ

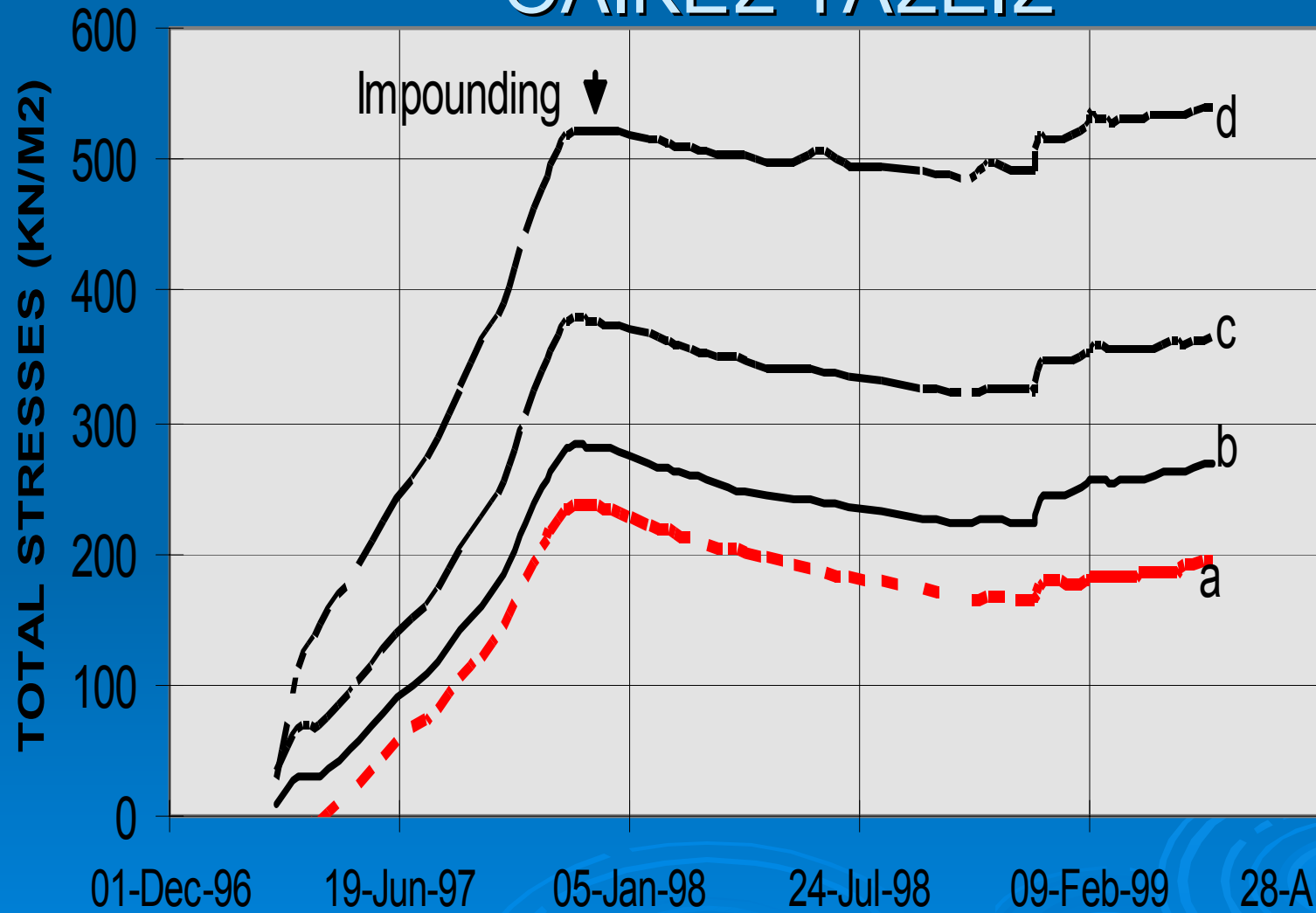
ΟΝΟΜΑ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	ΥΨΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ (μ.)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣ.	ΤΥΠΟΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣ.	ΘΕΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΩΝ
ΑΡΜΙΝΟΥ	45	2	SSA-2	ΣΤΕΨΗ
			SSA-2	ΚΑΤΑΝΤΗ ΒΑΣΗ
ΑΣΠΡΟΚΡΕΜΜΟΣ	53	3	ΕΤΝΑ	ΣΤΕΨΗ
			ΕΤΝΑ	ΚΑΤΑΝΤΗ ΒΑΣΗ
			QDR	ΔΩΜΑΤΙΟ ΦΥΛΑΚΑ
ΓΕΡΜΑΣΟΓΕΙΑ	49	2	ΕΤΝΑ	ΣΤΕΨΗ
			ΕΤΝΑ	ΚΑΤΑΝΤΗ ΒΑΣΗ
ΔΥΠΟΤΑΜΟΣ	60	2	QDR	ΣΤΕΨΗ
			QDR	ΚΑΤΑΝΤΗ ΒΑΣΗ
ΕΥΡΕΤΟΥ	70	2	ΕΤΝΑ	ΣΤΕΨΗ
			ΕΤΝΑ	ΚΑΤΑΝΤΗ ΒΑΣΗ
ΚΑΛΑΒΑΣΟΣ	60	2	QDR	ΣΤΕΨΗ
			QDR	ΚΑΤΑΝΤΗ ΒΑΣΗ
ΚΑΝΝΑΒΙΟΥ	75	3	Κ2	ΣΤΕΨΗ
			Κ2	ΚΑΤΑΝΤΗ ΒΑΣΗ
			Κ2	ΣΗΡΑΓΓΑ ΕΚΤΡΟΠΗΣ
ΚΟΥΡΗΣ	110	3	ΕΤΝΑ	ΣΤΕΨΗ
			ΕΤΝΑ	ΚΑΤΑΝΤΗ ΒΑΣΗ
			QDR	ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ
ΛΕΥΚΑΡΑ	71	2	ΕΤΝΑ	ΣΤΕΨΗ
			ΕΤΝΑ	ΚΑΤΑΝΤΗ ΒΑΣΗ
ΔΥΙΛ.ΥΔ.ΛΕΜΕΣΟΥ		1	ΕΤΝΑ	ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΠΕΔΙΟ
ΔΥΙΛ.ΥΔ.ΤΕΡΣΕΦΑΝΟΥ		1	ΕΤΝΑ	ΑΠΟΘΗΚΗ
	ΣΥΝΟΛΟ	23		

ΦΡΑΓΜΑ ΑΡΜΙΝΟΥ-ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΟ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΤΟΙΧΟ



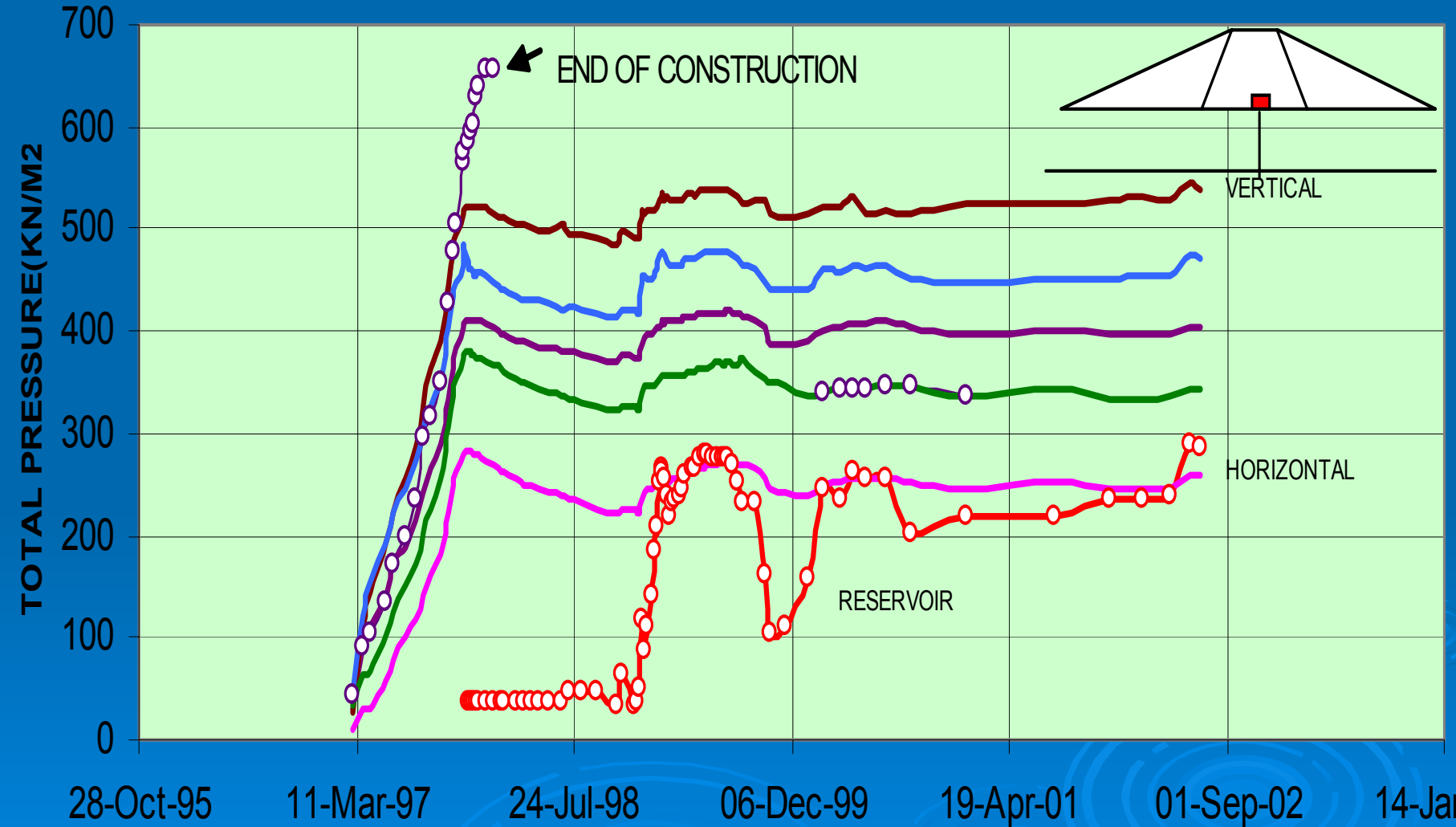
ΦΡΑΓΜΑ ΑΡΜΙΝΟΥ

ΟΛΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

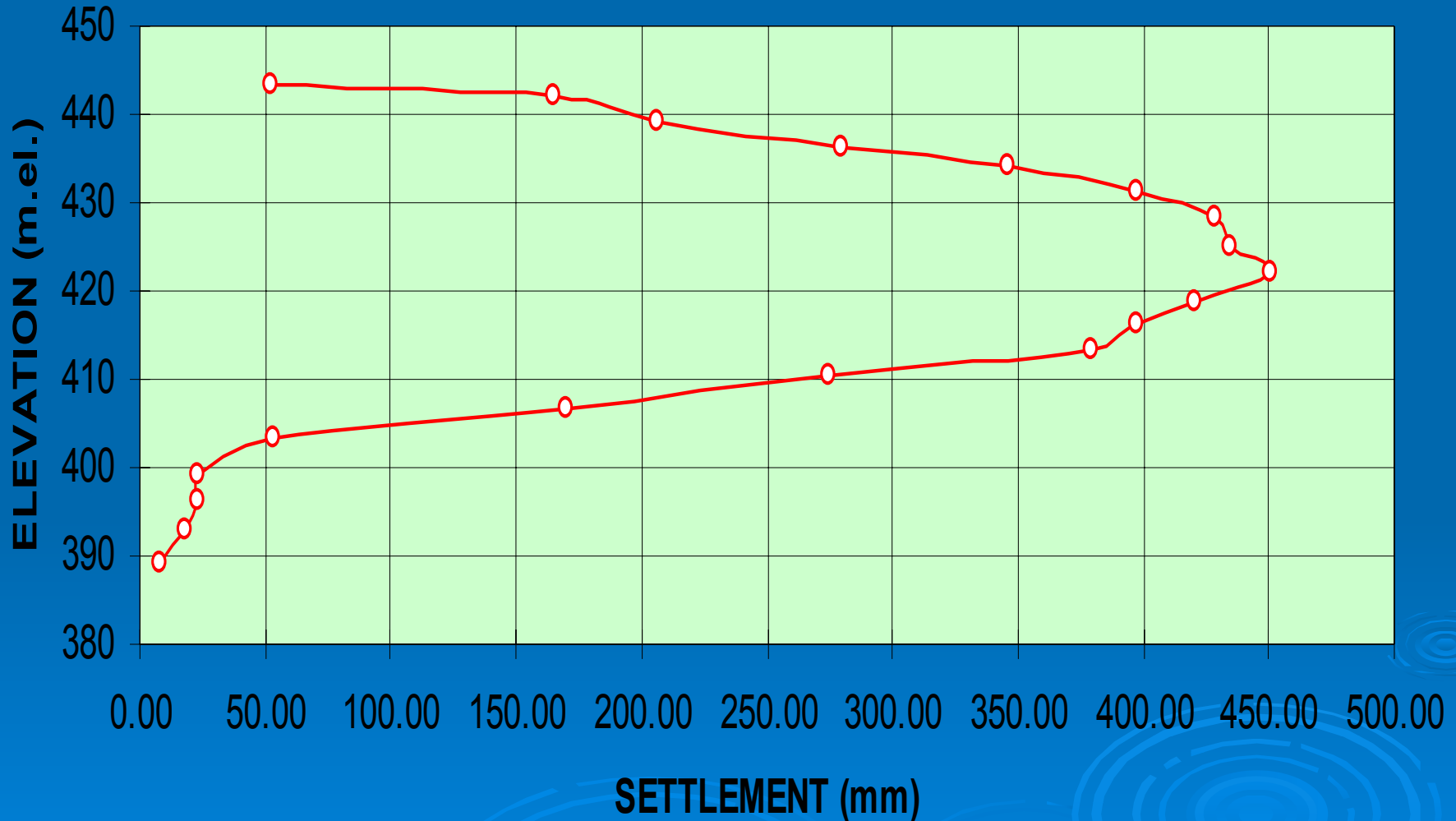


- a. Pore pressure
- b. u/s - d/s str
- c. Cross valle
- d. Vertical stre

ΦΡΑΓΓΜΑ ΑΡΜΙΝΟΥ- ΟΛΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

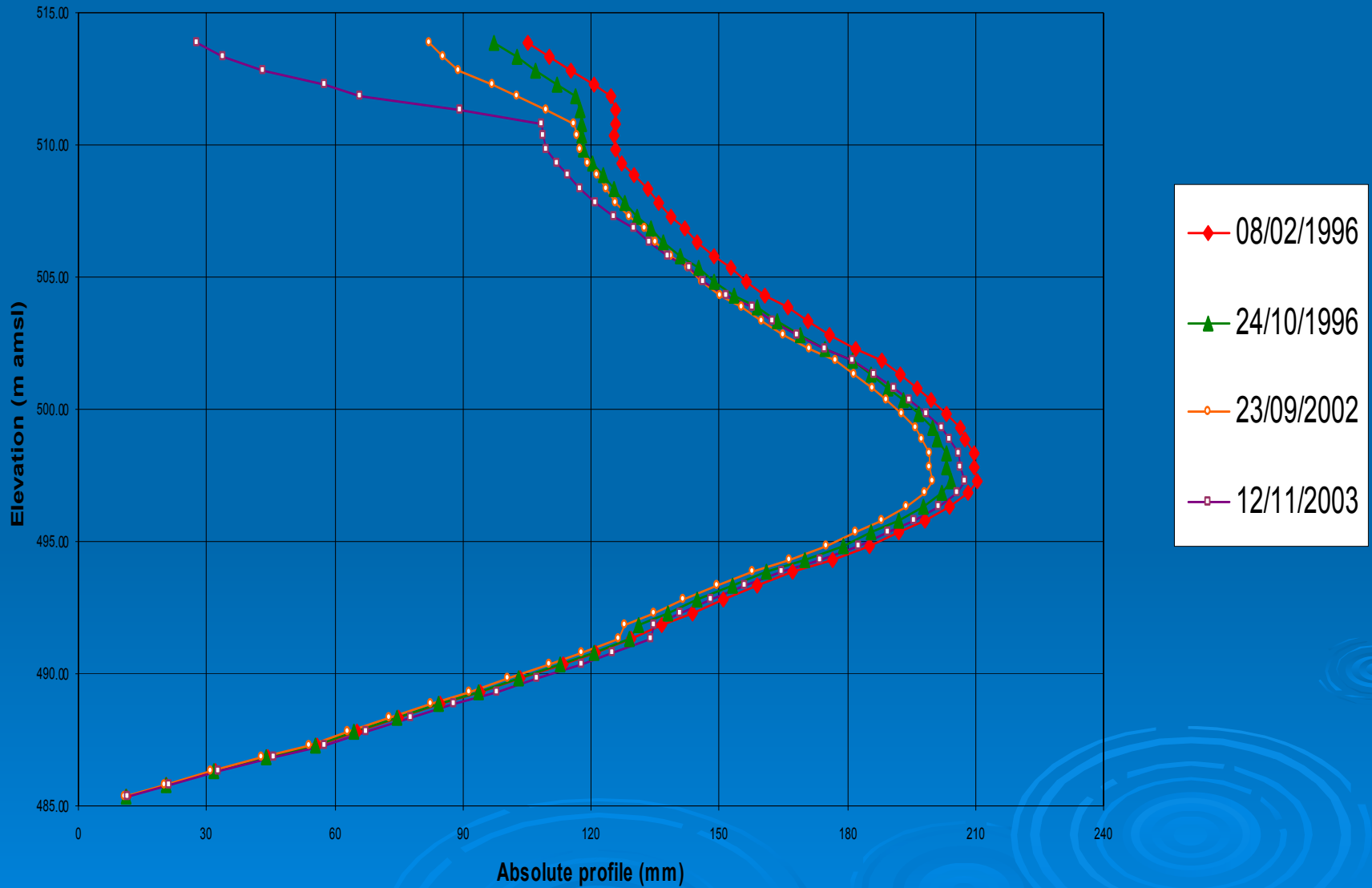


ΦΡΑΓΜΑ ΑΡΜΙΝΟΥ ΚΑΘΙΖΗΣΗ ΠΥΡΗΝΑ

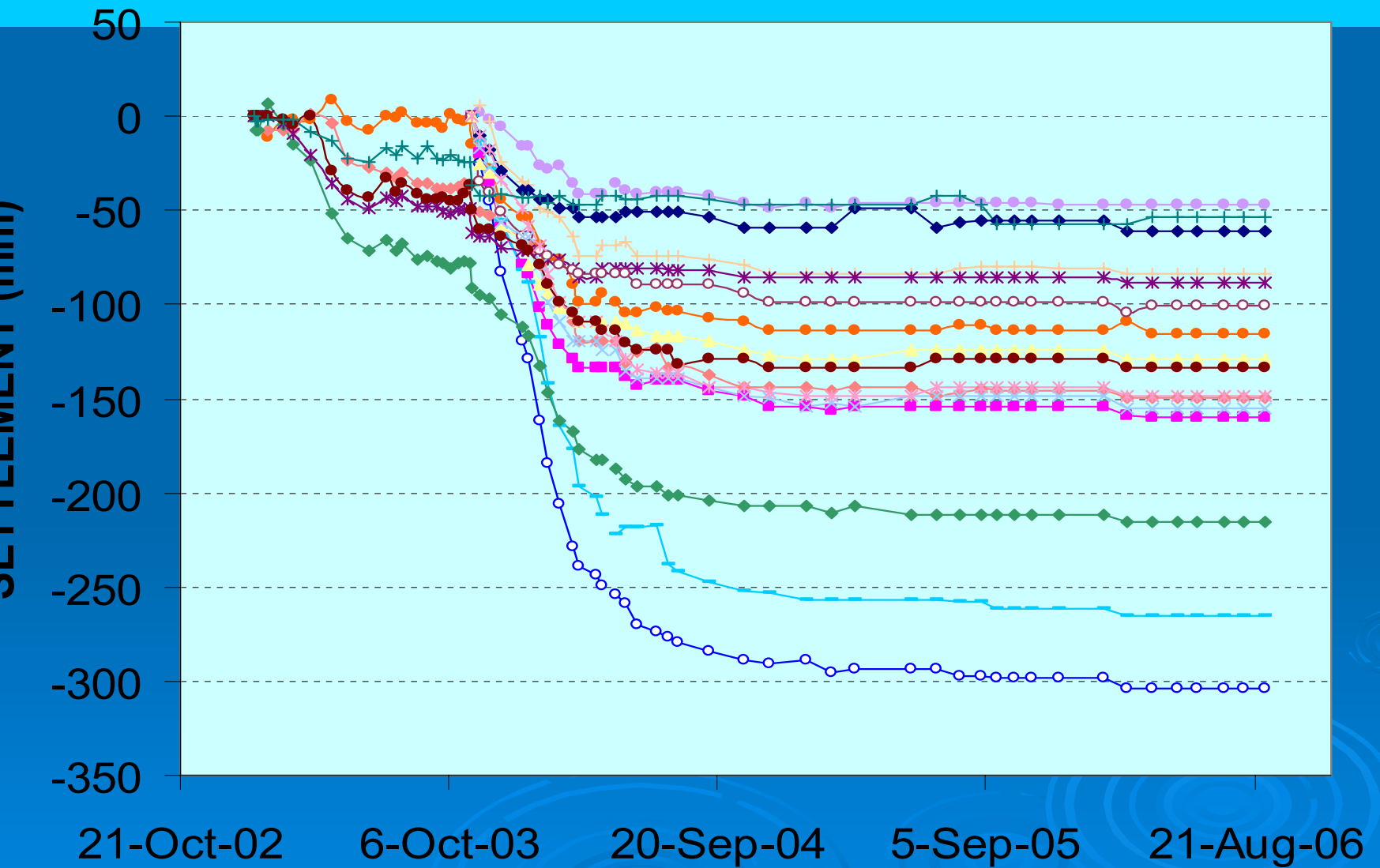


INCLINOMETER PROFILE

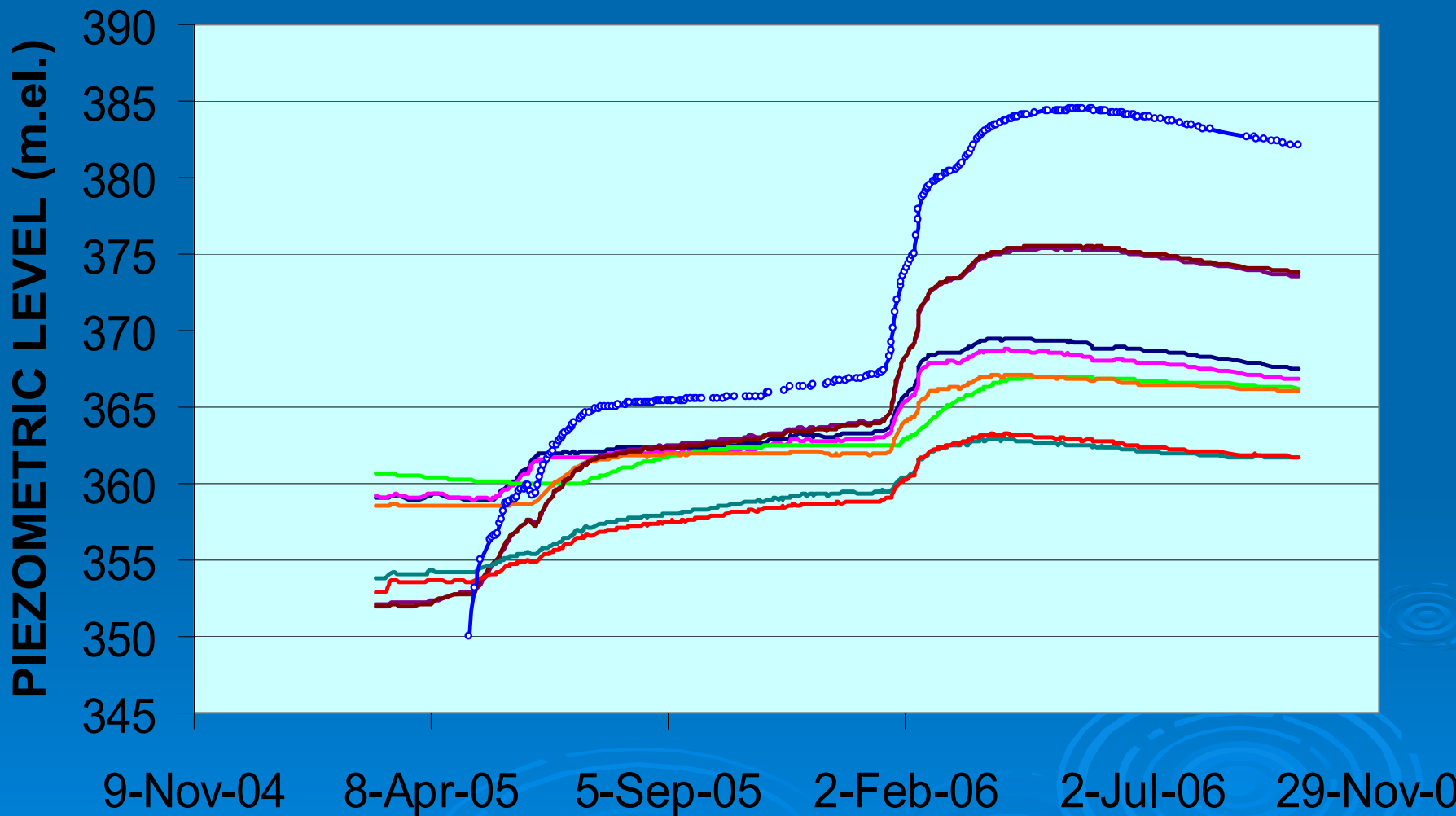
CD PLANE



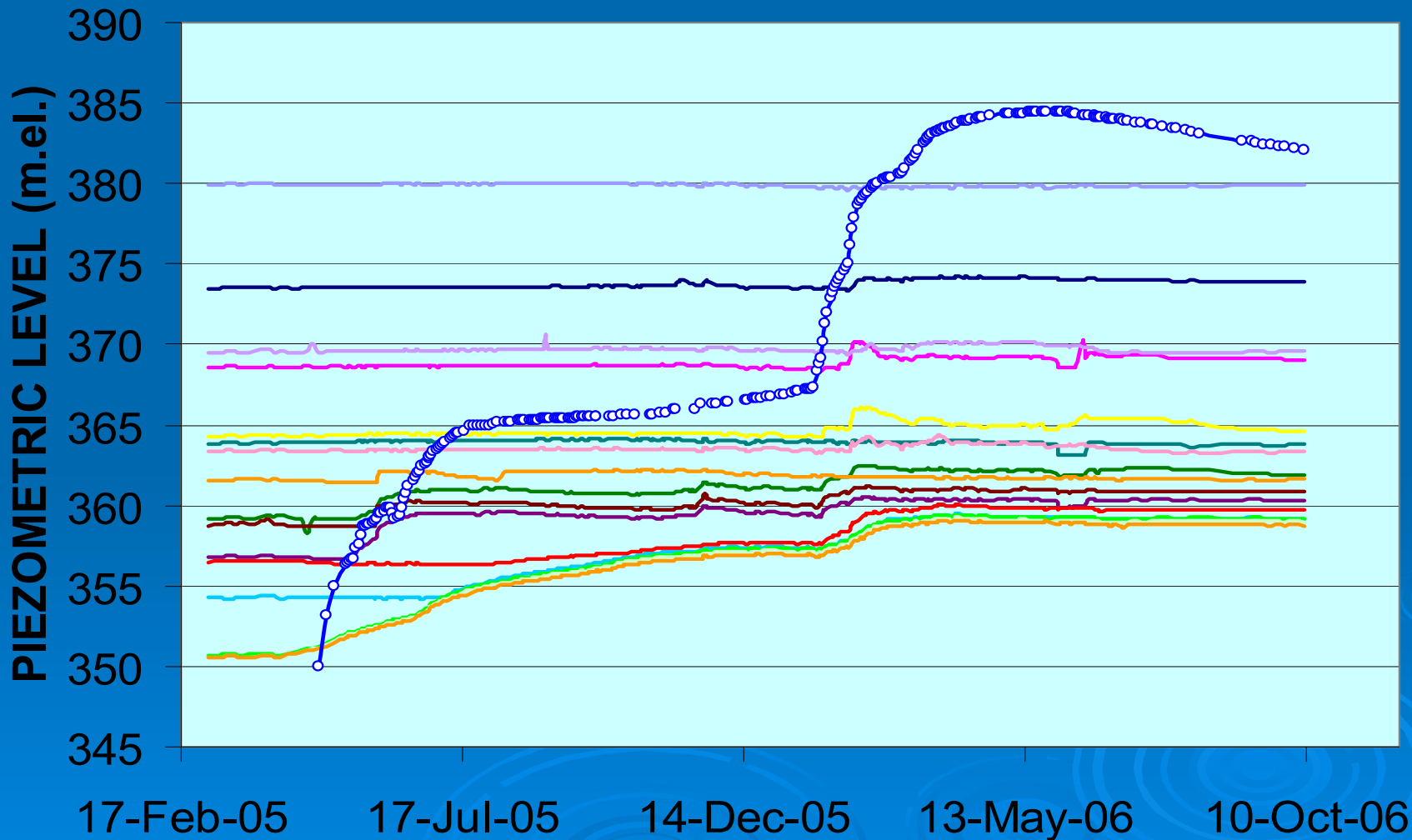
ΚΑΘΙΣΗΣΕΙΣ ΑΝΑΧΩΜΑΤΟΣ (ΕΙ. 382m)



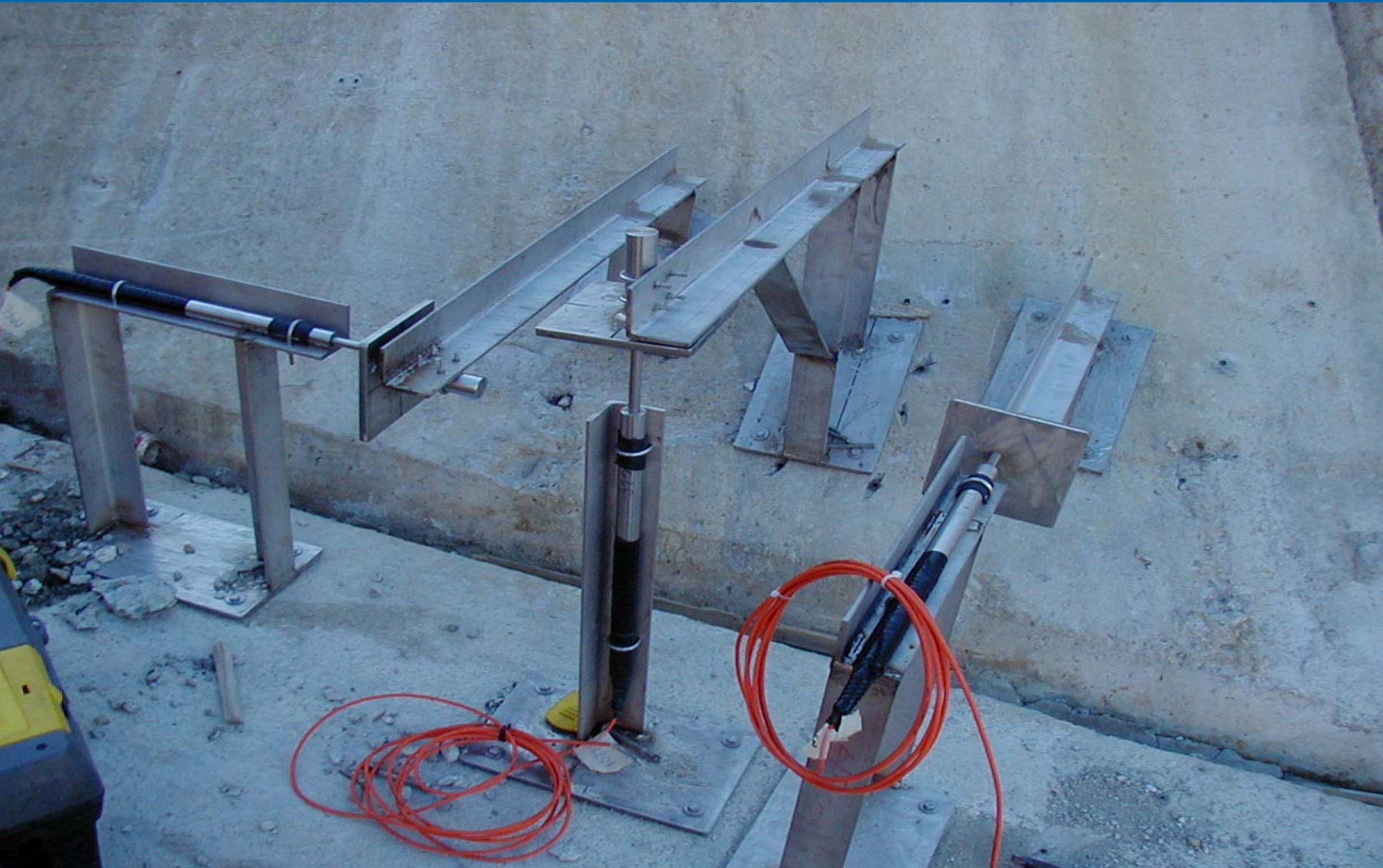
ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΑ ΣΤΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ



ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΑ ΣΤΟ ΑΝΑΧΩΜΑ



ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΟΥ ΑΡΜΟΥ



**ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ
ΣΑΣ**



Δ. ΑΝΤΩΝΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΑΝΑΠΤΥΞΕΩΣ ΥΔΑΤΩΝ
ΚΥΠΡΟΣ