

# Τύποι φραγμάτων, γεωτεχνικά προβλήματα και συμπαραομαρτούντα έργα

Ο.Α. Παπαγεωργίου

*Πολιτικός Μηχανικός. Σύμβουλος Μηχανικός, Γεν. Γραμματέας Ελληνικής Επιτροπής Μεγάλων Φραγμάτων (Μέλος της Διεθνούς Επιτροπής Μεγάλων Φραγμάτων ICOLD)*

*Λέξεις κλειδιά:* τύποι φραγμάτων, γεωτεχνικά προβλήματα, συμπαραομαρτούντα έργα

**ΠΕΡΙΛΗΨΙΣ:** Περιγράφονται οι διάφοροι τύποι φραγμάτων, οι σχετικές γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες, τα μέτρα θεμελιώσεως, προβλήματα σε στενές κοιλάδες, τα θέματα τεκτονικών ρηγμάτων, τα θέματα σεισμικότητας και επαγομένης σεισμικότητας, θέματα σχετικά με υλικά φραγμάτων, τα συμπαραομαρτούντα έργα (σιμεντενέσεις, αγκυρώσεις, αποστραγγίσεις, υπερχειλιστής, σήραγγες ή αγωγοί εκτροπής), η έννοια του «μοντέρνου» φράγματος και η έννοια της θεωρίας και πράξεως σχεδιασμού φραγμάτων.

## Type of dams, geotechnical problems and ancillary works

O.A.Papageorgiou

*Civil Engineering, Consultant Engineering, General Secretary of Greek Committee of Large Dams. (Member of International Committee of Large Dams –ICOLD)*

**ABSTRACT:** There are described the different types of dams, relevant geological and geotechnical conditions, the foundation measures, problems in narrow valleys, the subjects of tectonic faults, the subjects of seismicity and triggered seismicity, subjects relevant to dam materials, the ancillary works (grouting, rock anchors, drainage, spillways, tunnel or diversion conduit), the notion of “modern” dam and the notion of theory and praxis of dam planning and design.

### 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Δια την περιγραφήν της καταστάσεως της μελέτης και κατασκευής φραγμάτων καταρτίζεται διεθνώς μία «Έκθεσις επί της Καταστάσεως της Τέχνης» (A state of the Art Report). Λόγω της εκτάσεως και του πολυσχιδούς του θέματος και του διατιθεμένου δια την αντίστοιχον συνεδρίαν χρόνου η τοιαύτη έκθεσις θα είναι κατ' ανάγκην συνοπτική και θα επικεντρωθή κυρίως εις το φράγμα καθ' εαυτό και την θεμελίωσίν του και παρεμπιπτόντως εις συμπαραομαρτούντα έργα (σιμεντενέσεις, αποστραγγίσεις, αγκυρώσεις, υπερχειλιστής, λεκάνη εκτονώσεως κλπ.).

## 2 ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΗ

### 2.1 *Η έννοια της τέχνης*

Εν φράγμα είναι προϊόν διεργασίας πνευματικής και δραστηριότητας τεχνικής, το οποίον πρέπει να πληροί τας αναγκαίας και ικανάς συνθήκας δια την επιτυχή εξυπηρέτησιν του αντιστοίχου σκοπού εντός δε επαρκών ορίων ασφαλείας. Η λυσιτελής σύνθεσις εις μίαν συνισταμένην των ανωτέρω διεργασιών και δραστηριοτήτων συνιστά «Τέχνην» (Art), επιτυχής όρος καθιερωθείς εις την διεθνή πρακτικήν.

### 2.2 *Συνιστώσαι της τέχνης*

Η εν προκειμένω «Τέχνη» είναι συνισταμένη τριών συνιστωσών, αι οποίαι είναι:

- α. Η επιστημονική παιδείσις και γνώσις του φάσματος των σχετικών θεμάτων.
- β. Η Εμπειρία εκπηγάζουσα όχι εκ θεωρητικής ενατενήσεως αλλά εξ αντικειμενικής βιώσεως και συνεκτιμήσεως των παραγόντων του αντιστοίχου φάσματος προβλημάτων.
- γ. Η Τεχνική Κρίσις, δηλόν ότι σύνθεσις των εξής συστατικών:
  - Ποία και εις ποίαν έκτασιν η εκάστοτε εφαρμοστέα επιστημονική γνώσις.
  - Ποία και εις ποίαν έκτασιν η εφαρμοστέα εκάστοτε εμπειρία.
  - Ποίον το κατάλληλον περιθώριον ασφαλείας, δηλ. ποίος ο «υπολογισμένος κίνδυνος» (calculated risk).

### 2.3 *Ο υπολογισμένος κίνδυνος*

Ο Καθηγητής Α. Casagrande εις την 2αν διάλεξιν TERZAGHI εις την Αμερικανικήν Εταιρείαν Πολιτικών Μηχανικών (ASCE) την 21-10-1964 ανέπτυξε το θέμα: “Ρόλος του «Υπολογισμένου Κινδύνου» εις την Τεχνικήν Χωματουργικών Έργων και Θεμελιώσεων”, ανέφερε δε ότι η έννοια του «Υπολογισμένου Κινδύνου» περικλείει τα ακόλουθα δύο διακεκριμένα βήματα:

- α. Την χρήσιν ατελούς γνώσεως, καθοδηγούμενης υπό της κρίσεως και της πείρας, προς εκτίμησιν των πιθανών φασμάτων όλων των συναφών ποσοτήτων των υπεισερχομένων εις την λύσιν ενός προβλήματος.
- β. Την απόφασιν επί ενός καταλλήλου περιθωρίου ασφαλείας, ή βαθμού κινδύνου, λαμβανομένων υπόψη οικονομικών παραγόντων και του μεγέθους των απωλειών, αι οποίαι θα προέκυπτον από αστοχίαν.

Τα αναφερόμενα εις την διεθνή βιβλιογραφίαν παραδείγματα αστοχιών φραγμάτων και τεχνικών έργων, πολλών εξ αυτών με τραγικάς συνεπείας, δεικνύουν υπό την έννοιαν του «Υπολογισμένου Κινδύνου», ότι εις ωρισμένας περιπτώσεις αυτός έφθασεν εις το όριον παρ’ ολίγον ατυχήματος, εις άλλας δε περιπτώσεις ήτο μικρότερος του ανακύναντος πραγματικού κινδύνου (με αποτέλεσμα ατύχημα) είτε λόγω ανθρωπίνου λάθους και παραλείψεως, είτε λόγω ατελείας των υπαρχουσών τότε γνώσεων.

Ο καθηγητής Κ. Terzaghi διετύπωσε το 1929 προφητικώς ως εξής τας συμβουλάς του: Ο Πολιτικός Μηχανικός «δια να αποφυγή τας υφισταμένας πρακτικάς ατελείας πρέπει πρώτον να μεταφράζη κατ’ ορθόν τρόπον τα στοιχεία τα παρεχόμενα υπό του γεωλόγου από απόψεως φυσικής και μηχανικής. Κατόπιν πρέπει να ατενίζη τας πλέον δυσμενείς μηχανικάς υποθέσεις, αι οποίαι δύνανται να ανακύψουν εκ των υφισταμένων γεωλογικών συνθηκών. Τέλος πρέπει να υποθέσῃ δια την μελέτην του έργου τας πλέον δυσμενείς δυνατότητας. Αυταί αι διανοητικάί διεργασίαι αντιπροσωπεύουν την σπουδαιότεραν, την δυσχερεστέραν και την πλέον παραμελημένην προσπάθειαν εις το πεδίον της μελέτης των θεμελιώσεων φραγμάτων».

### 3 ΤΟ ΦΡΑΓΜΑ ΩΣ ΔΟΜΙΚΩΣ ΦΟΡΕΥΣ

#### 3.1 Ο στόχος

Η μετά του περιβάλλοντος γεωλογικού–γεωτεχνικού σχηματισμού συγκράτησις και αποθήκευσις ύδατος, και ο έλεγχος των εξ αυτού φορτίσεων και δυνάμεων, δήλον ότι υδροστατικών, διηθήσεως και διαβρώσεως, υδροδυναμικών (σεισμός, κυματισμός).

#### 3.2 Ο φορέυς

Αι συνιστώσαι αι επηρεάζουσαι τον σχεδιασμόν και την συμπεριφοράν ενός φράγματος είναι βασικώς τρεις:

- α. Ο γεωλογικός–γεωτεχνικός σχηματισμός ο περιβάλλων το φράγμα και αποτελών μετά του φράγματος έν υπερστατικών σύστημα. Ούτος επηρεάζει το φράγμα και επηρεάζεται υπ' αυτού (μηχανικά ιδιότητες, υδροτεχνικά ιδιότητες: υδροπερατότης, ενεσιμότης, στραγισιμότης).
- β. Το στεγανωτικόν στοιχείον: Το συγκρατούν το ύδωρ και τας υπ' αυτού εξασκουμένας δυνάμεις διηθήσεως.
- γ. Το στοιχείον (στοιχεία) στηρίξεως του στεγανωτικού στοιχείου. Εις άλλους τύπους φραγμάτων τα δύο στοιχεία συμπίπτουν εις άλλους είναι αυτοτελή και ξεχωριστά.

Εις τας επόμενας παραγράφους θα γίνη συνοπτική παρουσίασις των ανωτέρω στοιχείων.

### 4 ΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΝ-ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

#### 4.1 Ισοπικαί Ζώναι

Εις τον ελληνικόν χώρον αι ισοπικαί (τεκτονικαί) ζώναι είναι εξ ανατολών προς δυσμάς (κατεύθυνσις ορογεννητικού κύματος) βασικώς αι ζώναι Ροδόπης, Αξίου, Πελαγονική, Υποπελαγονική, Παρνασσού–Γκιώνας, Πίνδου, Γαβρόβου–Τριπολιτσάς, Αδριατικοϊόνιος, Πρεαπούλιος (BRUNN, AUBOUIN). Βάσει νεωτέρων ερευνών ωρισμένοι εξ αυτών υποδιαιρούνται εις μικροτέρας εκτάσεως ζώνας, με αντιστοιχούνται ιδιαίτερα χαρακτηριστικά.

Εκάστη εκ των ζωνών περιλαμβάνει σειράν σχηματισμών πυριγενών, ηφαιστειογενών, μεταμορφωσιγενών, ιζηματογενών ή μερικούς εξ αυτών.

#### 4.2 Τεκτονισμός

Οι ανωτέρω σχηματισμοί έχουν υποστεί την επιρροήν και καταπόνησιν των κατά τον σχηματισμόν των και μετά ταύτα εχουσών δράσει ορογεννητικών και τεκτονικών κινήσεων (πτυχώσεις, τεκτονικά ρήγματα κλπ) με αποτέλεσμα την διατμητικήν εξαίτησιν των ασθενεστέρων μελών των (παραμένονσα αντοχή), τον κερματισμόν των πλέον δυσκάμπτων μελών (ασυνέχειαι, διακλάσεις, καρστικοποιήσις κλπ), την παρουσίαν ζωνών διατμήσεως και τεκτονικών ρηγμάτων διαπερόντων ένα ή περισσότερους σχηματισμούς (τεκτονικά ρήγματα διαφόρων τύπων αναλόγως της αντιστοίχου εξαίτησεως: διατμητικής, εφελκυστικής, θλιπτικής, στρεπτικής κ.λπ.) και αντίστοιχον σεισμικότητα (δρώσαν ή λανθάνουσαν ή πιθανήν).

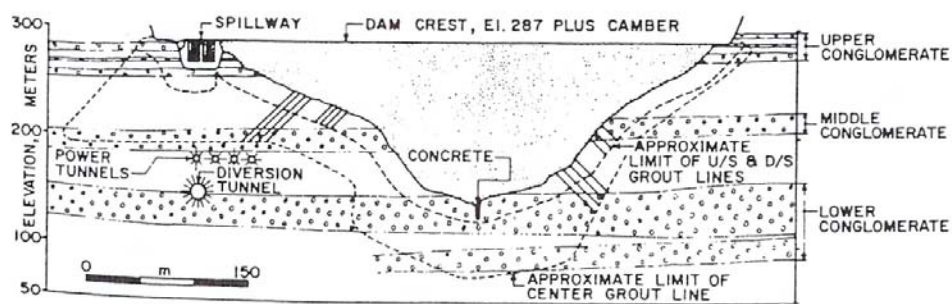
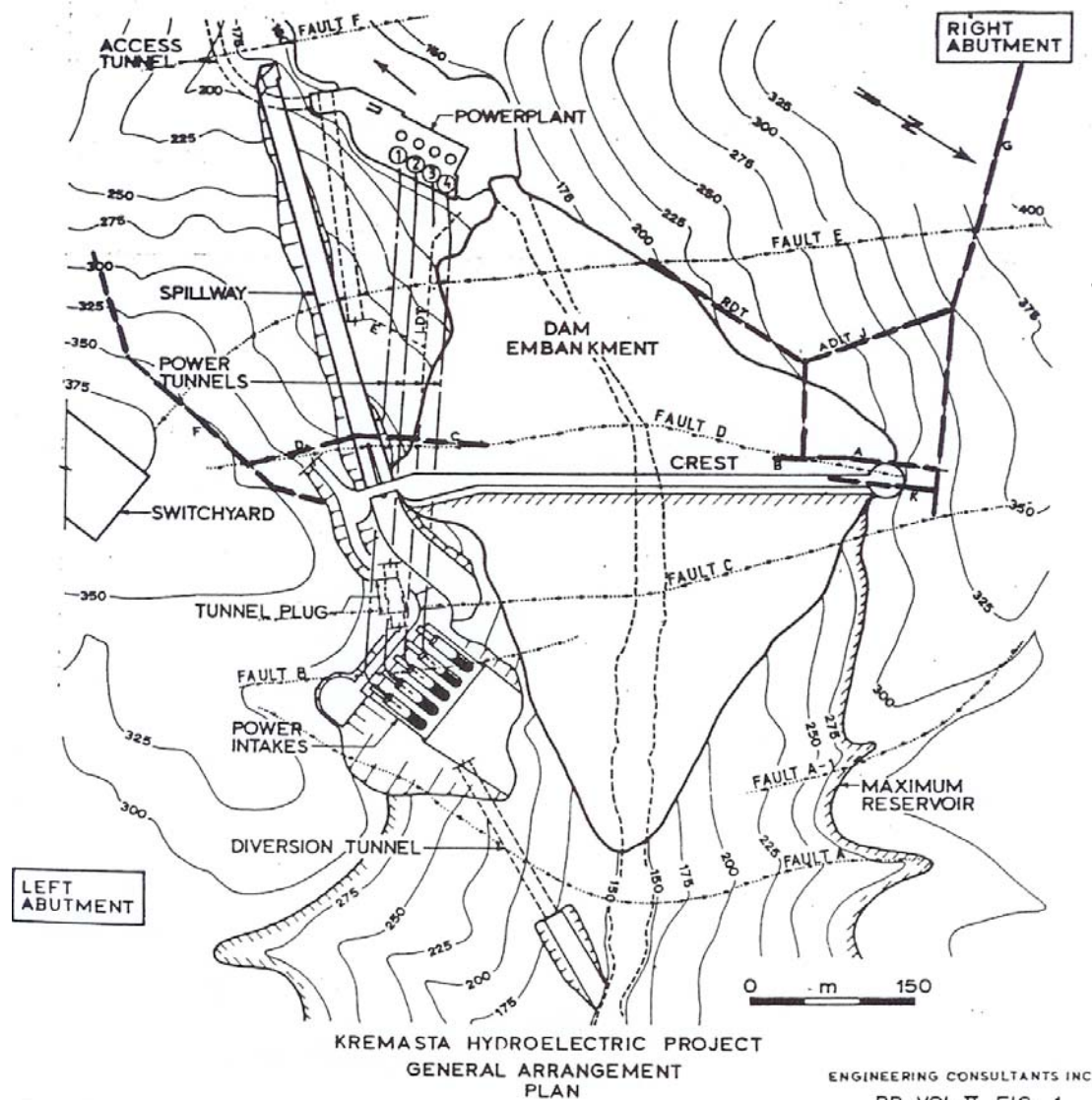
#### 4.3 Σχεδιασμός και λειτουργία των έργων

Η ορθή και πλήρης διάγνωσις, αξιολόγησις και ενσωμάτωσις των εις εκάστην περίπτωσιν γεωτεχνικών χαρακτηριστικών των ανωτέρω παραγόντων εις την μελέτην και τον σχεδιασμόν του αντιστοίχου φράγματος και συμπαρομαρούντων έργων είναι βασικής και κεφαλαιώδους σημασίας δια την ασφαλή, απρόσκοπτον και αποδοτικήν λειτουργίαν των.

Η επί τροχάδην ή επιπολαία εξέταση ή η άγνοια ή αγνόησις των εν λόγω χαρακτηριστικών ωδήγησεν εις αστοχίαν και ατύχημα ή εις ολικήν ή μερικήν ανατροπήν του σχεδιασμού, του κόστους και της λειτουργίας των αντιστοίχων έργων. Έκ της πληθώρας των γνωστών διεθνώς σχετικών περιπτώσεων έργων θα περιορισθή εδώ η αναφορά εις δύο ελληνικά χαρακτηριστικά παραδείγματα ελλειπούς ή αστόχου σχεδιασμού λόγω αγνοήσεως εμφανών δυσμενών γεωλογικών–γεωτεχνικών χαρακτηριστικών.

#### 4.4 *Παράδειγμα I<sup>ov</sup>: Φράγμα Κρεμαστών επί του Αχελώου*

Πρόκειται περί χωματινού φράγματος ύψους 150 m (όγκος 7.500.000 m<sup>3</sup>). Ο γεωλογικός σχηματισμός (ζώνη Γαβρόβου) περιλαμβάνει εκεί παχέα στρώματα ιλυολίθου–αργιολίθου εναλλασσόμενα με παχέα στρώματα κροκαλοπαγών κειμένων επί του αξονικού επιπέδου αντικλίνου με πολύ μεγάλην ακτίνα (ελαφρά κλίσις στρωμάτων προς ανάντη και κατάντη).



Εικών 1: Φράγμα Κρεμαστών, (Κάτοψις και Μηκτομή), Τελική Διάταξις Διαφραγμάτων: — — —

Το φράγμα (Εικών 1) έχει τοποθετηθεί (εφελκυστικόν πεδίων) επί τεκτονικού κέρατος (horst) με κανονικά (εξ εφελκυσμού) πολλάκις «ανοικτά» παρακατακόρυφα τεκτονικά ρήγματα εμφανή και εγκάρσια επί την ροήν του ποταμού και κλιμακούμενα εις βαθμίδας κατερχομένας προς τα ανάντη και προς τα κατάντη του φράγματος. Λόγω του τεκτονισμού είχαν δημιουργηθεί κατά μήκος των ασυνεχειών και ρηγμάτων (ή και επιφανειών διαστρώσεως) καρστικοποιήσεις των κροκαλοπαγών μέχρι δημιουργίας σπηλαιωδών κοιλοτήτων ιδίως εις το εσωτερικόν του δεξιού ακροβάθρου και εμφάνισης εκτεταμένη θειούχων θερμών πηγών εις αμφοτέρωτα τα ακρόβαθρα χρησιμοποιουμένων δια γνωστά τότε ιαματικά λουτρά.

Τα ως άνω σημαντικά γεωλογικά-γεωτεχνικά χαρακτηριστικά ηγνοήθησαν κατά την μελέτην και τον σχεδιασμόν καθώς και κατά την κατασκευήν (1963-1966) του φράγματος, το οποίον αντί της λήψεως των αναγκαίων μέτρων εξοπλίσθη μόνον με ένα τυπικόν διάφραγμα σιμεντενέσεων βασισθέν εις χονδρικόν κανόνα (βάθος = 0,80 του υδροστατικού ύψους).

Η εν λόγω παράλειψις και αβλεψία είχαν ως αποτέλεσμα ευθύς από της ενάρξεως πληρώσεως του ταμιευτήρος (1966) εκτεταμένας διαρροάς προς τα κατάντη λόγω αμέσου επικοινωνίας του ταμιευτήρος με τα τεκτονικά ρήγματα και τα καστικοποιημένα κροκαλλοπαγή και την δημιουργίαν κινδύνων δια την ευστάθειαν τόσον του δεξιού ακροβάθρου όσον και του υπερκειμένου του υδροηλεκτρικού σταθμού αριστερού ακροβάθρου.

Δια την μείωσιν των κινδύνων κατέστη αναγκαία η κράτησις του ταμιευτήρος εις χαμηλήν στάθμην επί μακρόν χρονικόν διάστημα και αντίστοιχος σημαντική απώλεια ενεργείας και η παράλληλος διεξαγωγή εργασιών σιμεντενέσεων υπό ροήν και ως εκ τούτου μη ευχερώς ελεγχόμενων, χρονοβόρων δε και δαπανηρών, καθώς και εργασιών αποστραγγίσεων προς έλεγχον των εντός των ακροβάθρων υδροστατικών πιέσεων. Δια την διεξαγωγήν των εν λόγω εργασιών κατέστη αναγκαία η εκσκαφή εντός των ακροβάθρων δικτύου σιμράγγων εις διάφορα επίπεδα ανάντη και κατάντη της αρχικής κουρτίνας σιμεντενέσεων. Αι διαρροαί και αι υδροστατικάί πιέσεις ετέθησαν ούτω υπό έλεγχον, αλλά η απώλεια ύδατος (και αντιστοίχου ενεργείας) δεν εξηλείφθη, απαιτείται δε προσοχή εις τους χειρισμούς της λειτουργίας του ταμιευτήρος.

#### 4.5 Παράδειγμα 2<sup>ον</sup>: Φράγμα και Υ.Η. Έργον Θησαυρού

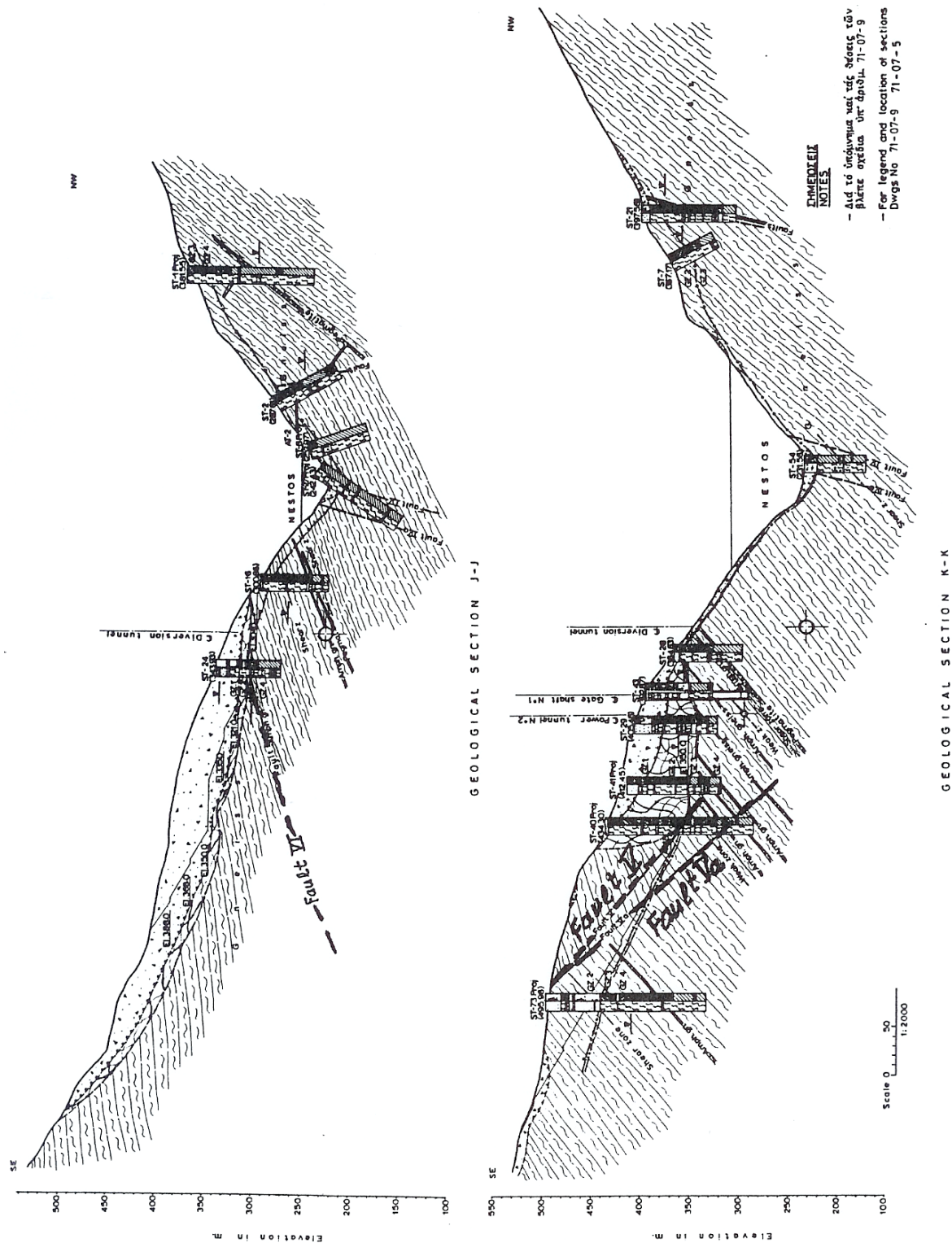
α. Το φράγμα επί του ποταμού Νέστου έχει ύψος 172 m (ύψ. +218 έως + 390) και ως εδημοπρατήθη (1984-1985), είναι λιθόρριπτον με λεπτόν πυρήνα (πλάτος 0,4H) εξ αμμώδους ιλύος ή ιλυώδους άμμου (ψαθυρός πυρήν: προϊόν αποσαθρώσεως γνευσίων) και συνολικού όγκου 11.000.000 m<sup>3</sup>.

β. Γεωλογικά-Γεωτεχνικά Στοιχεία: Ο γεωλογικός σχηματισμός εις την θέσιν του φράγματος αποτελείται βασικώς εκ γνευσίων με παρεμβολάς μαρμαριγιακών και αμφιβολιτικών σχιστολιθών και με διεισδύσεις απλιτικών και πηγματιτικών φλεβών. Ο ρους του ποταμού είναι εις την θέσιν του φράγματος κάθετος επί την σχιστότητα παρουσιάζουσιν κλίσιν προς τα κατάντη μεταβαλλομένην (20°- 30° ανάντη μέχρις 75°-80° κατάντη εις την κατά 90° προς τα δεξιά κατάντη στροφήν του ποταμού). Τα κύρια τεκτονικά ρήγματα εμφανίζονται εις δύο ομάδας, δήλον ότι μία ομάς ρηγμάτων (με παράταξιν περίπου παράλληλον προς την σχιστότητα) αντιπροσωπευομένων υπό δύο ρηγμάτων (Fault III, Fault II) εμφανιζομένων εις το κατάντη όριον της θέσεως του φράγματος (του ενός εξ αυτών F-II αποτελούντος το ανατολικόν όριον της παρά τον κατάντη πόδα του φράγματος επί της αριστεράς όχθης σημαντικής εις μέγεθος ασταθούς μάξης) και υφ' ενός ρηγματος (Fault F-I: παρακατακορύφου) εμφανιζομένου παρά τον ανάντη πόδα του φράγματος.





Εικών 2 . ΥΗΕ Θησαυρού- Φράγμα: Κάτοψις και Γεωλογική Χαρτογράφησης, (Προμελέτη) Engineering Report – 1979



Εικόν 3: ΥΗΕ Θησαυρού – Γεωλογικά Τομαί J-J, K-K. Engineering Report- 1979





Δευτέραν ομάδα αποτελούν τεκτονικά ρήγματα τέμνοντα την φύλλωσιν και σχιστότητα περίπου καθέτως (κατεύθυνσίν των περίπου παράλληλος προς τον ποταμόν) αντιπροσωπευόμενα εις το δεξιόν ακρόβαθρον υπό δύο ρηγμάτων (F-V, F-Va) με κλίσιν προς τον ποταμόν και με εμφανή γεωμορφολογικήν έκφρασιν (περί το ύψ. +490-520) και υπό ετέρου σημαντικού τεκτονικού ρήγματος (Fault F-VI: Πράσινον ρήγμα) με κλίσιν περίπου  $25^\circ$  προς το εσωτερικόν του ακροβάθρου άνευ μιν εμφανούς επιφανειακής εκφράσεως (κάλυψις του υπό προϊόντων αποσαθρώσεως) αλλά σαφώς διαπιστωθέντος δια γεωτρήσεων και ερευνητικών στοών (πρασινόχρους διατετμημένη στοιβάς πάχους 1,0 m περίπου με καφέχρουν ένστρωσιν αργιλικήν: μονομυλονίτης  $\phi_t = 11^\circ$ ). Το ρήγμα F-VI υψομετρικώς κατερχόμενον προς τα ανάντη αποτελεί το κάτω όριον (υψ. +330 περίπου) της εις το παρόν δεξιόν ακρόβαθρον και υπεράνω και ανάντη αυτού ασταθούς μάζης (Περιοχαί Α, Β, C: Εικόν 5).

Αι ως άνω δύο διατεταραγμέναι ασταθείς μάζαι είχαν σαφή γεωμορφολογικήν έκφρασιν (μορφολογία κατολισθήσεων). Η ανάντη δεξιά διασχίζεται υπό χαραδρώσεων (Fault F-I) και εκτείνεται από του υψ. + 330 (δεξιόν ακρόβαθρον) μέχρι του υψ.+520 της κλιτύος καλυπτομένης υπό κορρημάτων και προϊόντων αποσαθρώσεως σημαντικού πάχους (μέχρις 80 m: γεωτρήσεις, ερευνητικά στοαί). Η κατάντη αριστερά διατεταραγμένη μάζα (όγκος εκτιμηθείς από  $700.000 \text{ m}^3$  έως πιθανώς  $4.000.000 \text{ m}^3$ ) με κατάντη όριον το ρήγμα F-II και ανάντη όριον ζώνην διατμήσεως ή αντίστοιχον τεκτονικόν ρήγμα εξικνείται από της κοίτης (υψ.+220) μέχρις υψομέτρου +540 (περίπου) με διαπίστωσιν δειγμάτων μετακινήσεως (γραμμώσεις) κατά την διεξαχθείσαν παλαιότερον (έως το 1976) γεωτεχνικήν έρευναν (γεωτρήσεις, στοαί).

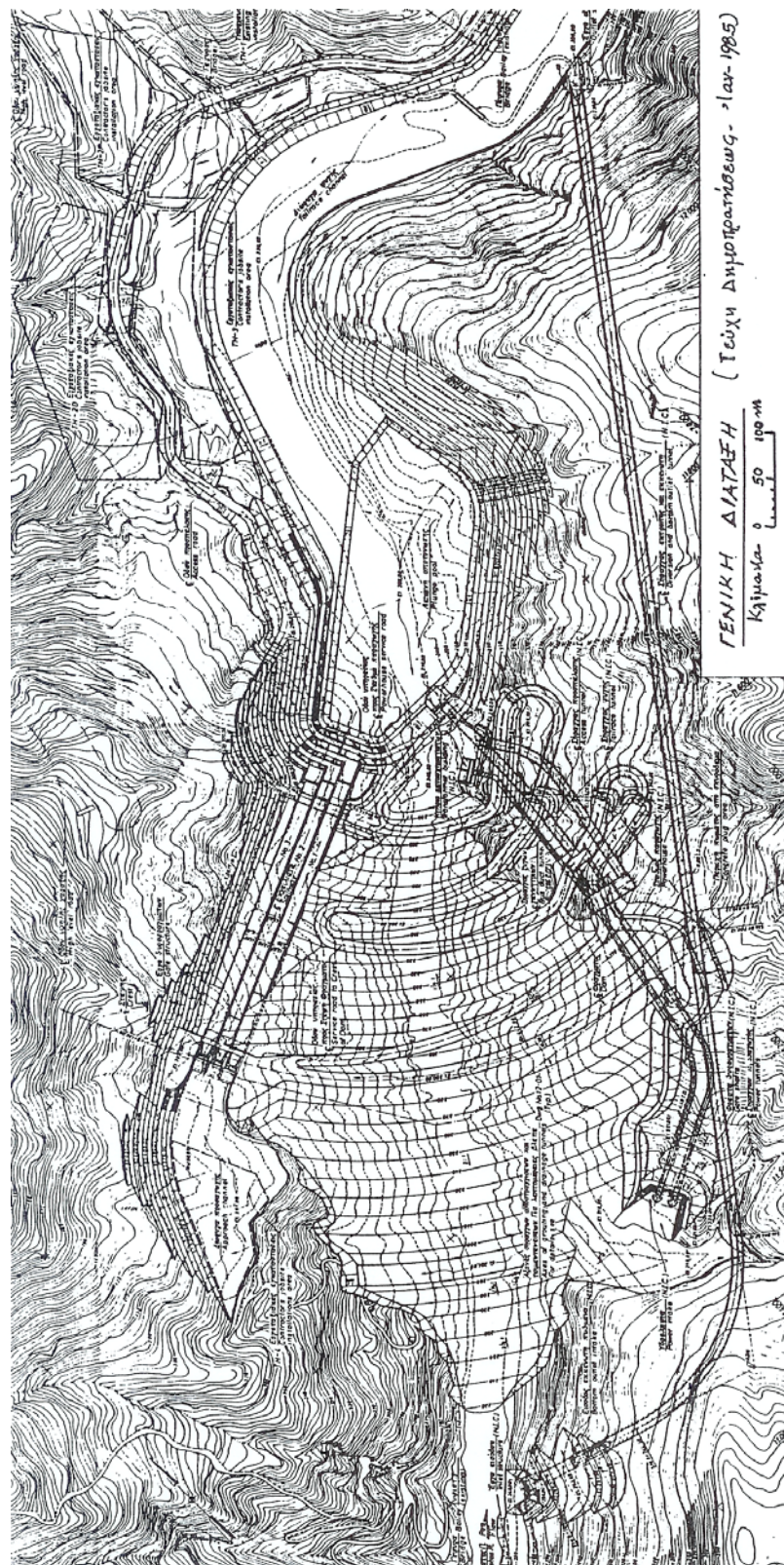
γ. Προμελέτη (1976-1979): Εν όψει των ανωτέρω γεωλογικών-γεωτεχνικών χαρακτηριστικών ο γράφων, δηλ. ο εν προκειμένω ομιλητής, ως Προϊστάμενος τότε του Τομέως Προμελετών (1976) έχων την ευθύνην σχεδιασμού του Υ.Η Έργου θησαυρού (φάσις προμελέτης), προέτεινεν και εγένετο αποδεκτή η διάταξις η δεικνυομένη εις τα συνημμένα σκαριφήματα (εικόνες 2,4) (τοποθέτησις του φράγματος περίπου 300m κατάντη της δημοπρατηθείσης: 1984-1985), η οποία προσέτι εξησφάλιζεν την δυνατότητα και ευχέρειαν περαιτέρω επί μέρους προσαρμογών, εάν τούτο θα καθίστατο σκόπιμον κατά την οριστικήν μελέτην. Ούτω το φράγμα (Προμελέτη-Engineering Report 1979: οκτώ τόμοι) ετοποθετείτο καθ' όλας τας ζώνας του επί σταθερού βραχώδους υποβάθρου, η ανάντη δεξιά ασταθής μάζα απεμακρύνετο δι' εσκαφής ( $11.000.000 \text{ m}^3$ ) και μετά κατάλληλον επεξεργασίαν ετοποθετείτο εις το φράγμα (πλατύς πυρήν= 0,80H), ο υπερχειλιστής (δύο σήραγγες) ετοποθετείτο εντός σταθερού βραχώδους υποβάθρου εις την δεξιάν όχθην με εκφόρτησιν των παροχών εις την κατάντη προς τα δεξιά στροφήν της κοίτης (άνευ προβλημάτων ασταθείας), κατάντη δε της εις την αυτήν στροφήν εκβαλλούσης σήραγγος εκτροπής-φυγής του εις την δεξιάν όχθην υπογείου σταθμού, του οποίου η υδροληψία ετοποθετείτο εντός σταθερού βραχώδους υποβάθρου. Εις τον πόδα της αριστεράς κατάντη διετεταραγμένης μάζης ετοποθετείτο σημαντική βαθμής σταθεροποίησης (ύψους 70 m). Εις αμφοτέρα τα ακρόβαθρα και υπό την κοίτην προεβλέπετο εκτεταμένον δίκτυον σιράγγων σιμεντενέσεων-αποστραγγίσεων, ενώ εκτεταμένον δίκτυον σιράγγων αποστραγγίσεως προεβλέπετο υπό το πρηνές της εσκαφής ανάντη δεξιά καθώς και υπό και περί την κατάντη αριστερά διατεταραγμένην μάζαν.

δ. Μελέτη Δημοπρατήσεως (1984-1985): Η μελέτη δημοπρατήσεως συνετάγη κατά τα έτη 1983-1984 διά το φράγμα και τον υπερχειλιστήν με έναρξιν κατασκευής το φθινόπωρον του 1985 (Σύμβασις ΤΗ-2D), ενώ είχαν προηγηθεί η κατασκευή της σήραγγος εκτροπής (Σύμβασις ΤΗ-1: 1982-1985) με μήκος 1600 m (περιβάλλουσα αμφοτέρων των διατάξεων δηλ. προμελέτης και μελέτης δημοπρατήσεως). Κατά την σύνταξιν της μελέτης δημοπρατήσεως και παρά τας επανειλημμένας προειδοποιήσεις υπό του γράφοντος περί των συνεπαγομένων κινδύνων ηγνοήθησαν τα ευρήματα της μέχρι τότε εκτεταμένης γεωλογικής-γεωτεχνικής έρεύνης καθώς και η διεξοδική εκτεταμένη προμελέτη (Engineering Report-1979: οκτώ τόμοι).









Εικόν 6: ΥΗΕ Θησαυρού-Μελέτη Δημοπρατήσεως (1983-1985). Φράγμα-Κάτοπις

Το φράγμα ετοποθετήθη (Εικόνες 5,6) περί τα 300 m ανάντη εκείνου της προμελέτης με αποτέλεσμα έδρασιν του καθώς και της υδροληψίας (κεκλιμένης) επί της δεξιάς ανάντη ασταθούς μάζης. Ο υπερχειλιστής ετοποθετήθη εις το αριστερόν ακρόβαθρον με (αντι σταθεροποιήσεως) εκσκαφήν λεκάνης ηρεμήσεως (βάθους 30 m) εις τον πόδα της αριστερά κατάντη διατεταραγμένης μάζης αφεθείσης προσέτι άνευ οιουδήποτε μέτρου σταθεροποιήσεως (αποστράγγισης), δημιουργουμένου ούτω κινδύνου μαζικής κατολισθήσεως με ανεξέλεγκτους καταστροφικάς συνεπείας ιδίως εις περίπτωσιν εκφορτίσεως του υπερχειλιστού (διάβρωσις του φράγματος, πνιγμός του εις την λεκάνην ηρεμήσεως εκβάλλοντος υπογείου σταθμού εκ της δεξιάς όχθης).

ε. Συμπεριφορά και Ανασχεδιασμός: Την άνοιξιν του 1986 κατά την διάρκειαν παρά την κοίτην εκσκαφών διά την θεμελίωσιν του φράγματος και κυρίως του ανάντη προφράγματος ανεξωογονήθησαν παλαιαί κατολισθήσεις εις την ανάντη ασταθή μάζαν (περιοχή Α: ίδε συνημμένον σκαρίφημα, Εικόν 5), αι οποίαι κατέστησαν ανεφάρμοστον την δημοπρατηθείσαν διάταξιν και τύπον υδροληψίας (κεκλιμένη). Με την εν συνεχεία περαιτέρω πρόοδον των εκσκαφών (1986-1988) εις το δεξιόν ακρόβαθρον διά την αφαίρεσιν των κατολισθήσεων και την θεμελίωσιν του φράγματος και της υδροληψίας (εις νέαν θέσιν και με νέον κατακόρυφον πυργοειδή τύπον) ήρχισαν (άνοιξις 1988) επί του αποκαλυφθέντος τεκτονικού (πρασίνου) ρήγματος F-VI (υφ.+380 κατάντη, υψ.+280 ανάντη, Εικόν 3) και με την συμβολήν και των ρηγμάτων F-V FVa (Εικόν 2) εκδηλούμεναι μετακινήσεις του δεξιού ακροβάθρου (περιοχή Α) από το υψ.+330 (τάφος πυρήνος) μέχρι του υψ. +490 (στέψις φράγματος υψ. +390) με ταχύτητα ερπυσμού 4 mm/ημέραν έως 12 mm/ημέραν (βροχόπτωσις) και με κυρίαν κατεύθυνσιν προς την κοίτην, αι οποίαι μετακινήσεις με την πρόοδον των εκσκαφών (φθινόπωρον 1988- άνοιξις 1989) επεξετάθησαν και εις τας ανάντη εν συνεχεία του δεξιού ακροβάθρου περιοχάς (περιοχαί Β, C: Εικόν 5) με έδραν των μετακινήσεων βασικώς τα υποκείμενα αυτών τεκτονικά ρήγματα F-VI και F-I και με ταχύτητα ερπυσμού επί του ρήγματος F-VI εις τον πόδα της περιοχής Β 170 mm/ημερ. (7 mm/ώραν) την 13-2-89.

Αι ανωτέρω μετακινήσεις πέραν της δικαιώσεως των προβλέψεων της προμελέτης (Engineering Report-1979) εδημιούργουν τον κίνδυνον ανατροπής του έργου (απολύτως απαραίτητου δι' εθνικούς λόγους) και απήτουν την επείγουσαν λήψιν μέτρων. Κατόπιν προτάσεων του γράφοντος εγένετο ανασχεδιασμός του έργου (1986-1989) (πχ. Εικόνες 7,8) με τροποποιήσεις εις τας ζώνας του φράγματος, την υιοθέτησιν κατακόρυφου πυργοειδούς υδροληψίας (έδρασις επί του βραχώδους υποβάθρου), θαλάμου θυροφραγμάτων υπογείου χαμηλότερον του ρήγματος F-VI (αντί φρέατος), την δι' εκσκαφής αποφόρτισιν του δεξιού ακροβάθρου (περιοχή Α- υψ.+390 έως +520: αφαίρεσις 1.700.000 m<sup>3</sup>, Αυγ. 1988- Ιούνιος 1989) και αντίστοιχα εκτεταμένα μέτρα αποστραγγίσεως (στραγγιστήρια γεωτρήσεις, δίκτυον στοών αποστραγγίσεως εις τρία επίπεδα), την δι' εκσκαφής αποφόρτισιν της εν συνεχεία ανάντη περιοχής Β (αφαίρεσις 1.000.000 m<sup>3</sup> περίπου: Μάιος 1989- Ιούνιος 1990) και την τοποθέτησιν διά λιθορριπής βαθμίδων ποδός (αντιστήριξις των περιοχών Α, Β, C), την εγκατάστασιν δικτύου στοών αποστραγγίσεως εις το δεξιόν ακρόβαθρον (εις τρία επίπεδα) καθώς και περί και υπό την κατάντη αριστερά διατεταραγμένην μάζαν, πέραν μερικής αποφορτίσεως της διά βελτιώσεως της θέσεως των οδών προσπελάσεως, μη υφισταμένης της δυνατότητος τοποθετήσεως βαθμίδος ποδός, ως εις την προμελέτην.

Η διαπίστωσις κατά περαιτέρω έρευναν (Μάιος 1991) της υπάρξεως υπό την κατάντη αριστερά διατεταραγμένην μάζαν τεκτονικού ρήγματος εκτεινομένου υπό το δεξιόν αντέρεισμα και με κλίσιν προς την κοίτην επηύξησεν τους κινδύνους ολισθήσεώς της και τας εξ αυτών αναφερθείσας συνεπείας και κατέστησεν αναγκαίον τον ανασχεδιασμόν (π.χ. Εικόνες 7,8) και του συγκροτήματος παραγωγής εις θέσιν και διάταξιν ομοίαν με εκείνην της προμελέτης (1979: υπόγειος υδροηλεκτρικός σταθμός, θάλαμος αναπλάσεως, σήραγξ φυγής με έξοδον εις την κατάντη προς τα δεξιά στροφήν του ποταμού). Προσέτι λόγω της επιβαλλομένης εκ των ανωτέρω μειώσεως του βάθους της κατέστη αναγκαίος, κατόπιν προτάσεως υπό του γράφοντος, ο ανασχεδιασμός και της λεκάνης εκτονώσεως του υπερχειλιστού και η λήψις προσθέτων μέτρων (βαθμίσ εις υψόμετρον +230 αντιστηρίξεως του ποδός της αριστεράς όχθης εις την δεξιάν,



ανύψωσις του πυθμένος της λεκάνης εκτονώσεως κατά 15 m δηλ. εις υψόμετρον +215, δημιουργία ρουφράκτου υπερχειλίσεως κατάντη (Εικόν 7) και πραγματοποίησις υδατίνου προσκεφαλαίου ικανού πάχους) διά την επίτευξιν εκτονώσεως της ενεργείας πλημμυρικών εκφορτίσεων άνευ υποσκαφής του ποδός της εν λόγω μάξης.

Η τοιαύτη αναδιάταξις κατέστησε, κατόπιν προτάσεως του γράφοντος, δυνατήν και την κατασκευήν του ΗΥ Έργου Θησαυρού ως αντλητικού, καθιστώντος εφικτήν την ρύθμισιν των υδάτων του Νέστου διά του ταμιευτήρος του Η.Υ. Έργου Θησαυρού (συμπληρουμένου του συγκροτήματος διά της εκτροπής του κατάντη Αρκουδορέματος με το φράγμα της Πρασινάδας προς τον ταμιευτήρα Πλατανόβρυσης).

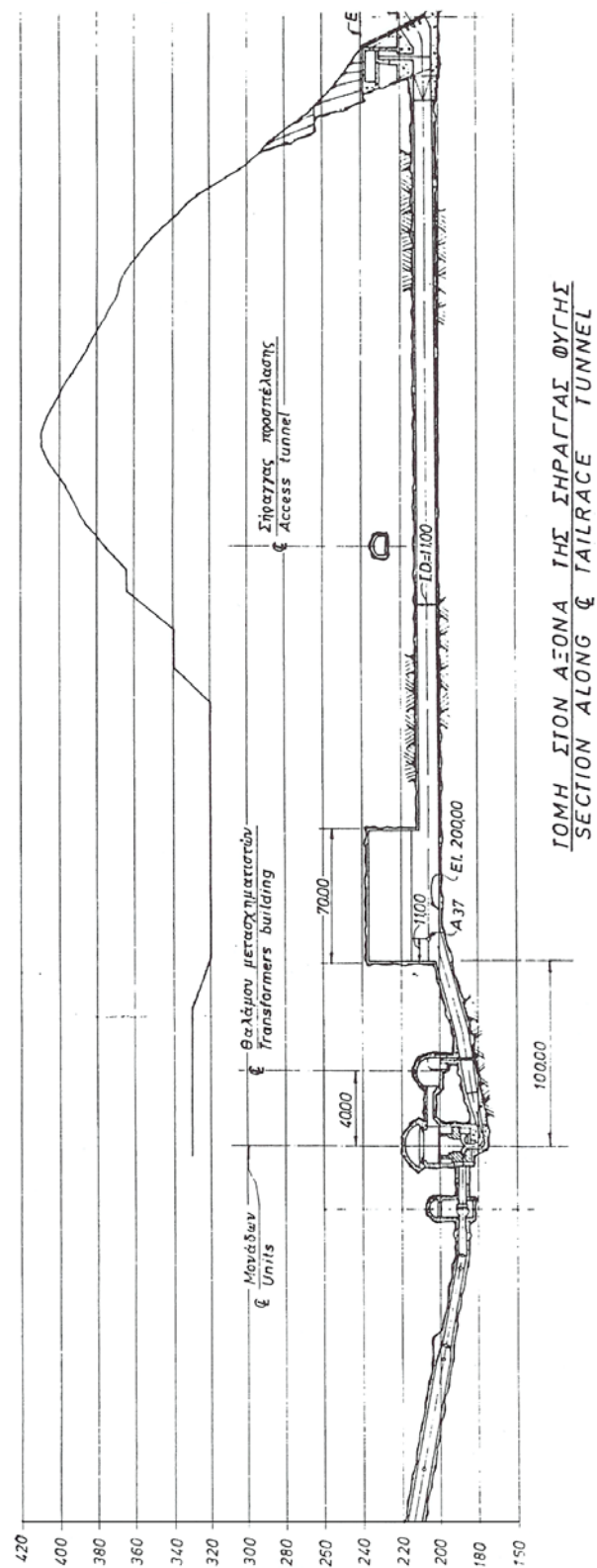
στ. Κατάρρευσις του κατάντη δεξιού πρανούς της λεκάνης εκτονώσεως (10-2-2008): Εις το 2<sup>ον</sup> Συνέδριον Γεωτεχνικής Μηχανικής (Θεσσαλονίκη-Οκτώβριος 1992) εδημοσιεύθη υπό τεσσάρων συγγραφέων άρθρον με τίτλον: «Εκσκαφή και συμπεριφορά υψηλών πρανών στη λεκάνη αποτόνωσης του ΥΗΕ Θησαυρού (Πρακτικά, τόμος 1: σελ. 415-422), όπου εις το εκεί: «Σχ. 1-Γεωλογία-Σύστημα Οργάνων» δεικνύεται εν κατόψει η τοπογραφία, τα σχετικά γεωλογικά στοιχεία καθώς και η βαθμίς (υψομ. +230) αντιστηρίξεως των δύο οχθών (Εικόν 9). Ο γράφων, εκτελών (1992) χρέη Γενικού Εισηγητού εις την αντίστοιχον συνεδρίαν, εσχολίασεν τότε (1992), καθ' ότι είχαν υποχρέωσιν, το εν λόγω άρθρον και επεσήμανεν (επικαλούμενος και το γνωστόν πείραμα TORICELI) ότι η υδροστατική πίεσις (και όχι ο όγκος ύδατος) είναι ο καθοριστικός παράγων δυνάμενος και με ελαχίστην βροχόπτωσην, ευνοουμένην υπό του υπάρχοντος συστήματος παρακατοκορύφων διακλάσεων διηκουσών καθ' όλον το ύψος του πρανούς, να προκαλέση προβλήματα ευσταθείας εις το πρανές (εργοταξιακόν Σχέδιον Αρ. Δ.-1.10, Κλ.=1:500 π.χ Τομή Γ-Γ), επεσήμανεν ότι διά της διεξαχθείσης σημαντικής εκσκαφής (προς προσπορισμόν και υλικών κατασκευής του φράγματος) επραγματοποιείτο (1990-1991) σημαντική προϊούσα (προς τα κάτω) μείωσις της (οριζοντίου) τάσεως  $\sigma_3$  έναντι της  $\sigma_1$  (κατακορύφου) παραμενουμένης εν τη ουσία σταθεράς, διετύπωσεν τότε (1992) την εκτίμησιν βάσει όχι θεωρητικών αναλύσεων (πεπερασμένα στοιχεία, μέθοδος SWEDGE κ.λπ) αλλά αξιολογήσεως διεξαχθεισών μετρήσεων (μηκυνσιόμετρα πολλαπλής αγκυρώσεως- MPBX: Multiple Position Borehole Extensometers) ότι εις τας δεικνυόμενας (εργοταξιακόν σχέδιον Δ-1.10) διατομάς του πρανούς το όριον οριακής ισορροπίας ευρίσκετο εις το υψόμετρον +280 (Τομαί Β-Β, Γ-Γ) και εις το υψόμετρον +270 (Τομαί Α-Α, Δ-Δ) με σκοπουμένην εκσκαφήν (Μελέτη Δημοπρατήσεως: 1983-1985) από του υψομέτρου +400 (Τομή Γ-Γ) έως το υψόμετρον +200 (όλαι αι τομαί- Σχ. Δ-1,10), προέβαλλεν διαφάνειαν δεικνύουσαν τον τρόπον καταρρεύσεως υψηλού πρανούς (Leopold Mueller- Salzburg, Felsmechanik und Ingenieur Geologie- 1963) και προέτεινεν (τότε: 1992) ομάδα μέτρων αφ' ενός ενοργάνου παρακολουθήσεως (MPBX) και αφ' ετέρου σταθεροποιήσεως του κατάντη του φράγματος δεξιού πρανούς της λεκάνης εκτονώσεως.

Το κατάντη τμήμα του εν λόγω υψηλού πρανούς κατέρρευσεν την 10-2-2008 (εκτιμώμενος όγκος περίπου 200.000 m<sup>3</sup>), δηλαδή μετά (κατά προσέγγισιν) 16 ετών από του σχολιασμόν του υπό του γράφοντος (1992) και κατά τρόπον παρόμοιον με τον ανωτέρω προβλεφθέντα, εις την θέσιν δε τοποθετήσεως της οριζοντίου βαθμίδος (υψομ. +230) αντιστηρίξεως των δύο οχθών, δηλαδή δι' ύψος εκσκαφής 400-230=170 m (έναντι σκοπομένου 400-200=200 m κατά την μελέτην δημοπρατήσεως) (Εικόν 9).

Η κατάρρευσις του εν λόγω πρανούς προεκάλεσεν την σχεδόν έμφραξιν της εξόδου της λεκάνης εκτονώσεως απαγορεύουσα (λόγω των συνεπειών της) την εκφόρτισιν πλημμυρικών παροχών. Κατά ευτυχή συγκυρίαν ο Ταμιευτήρ Θησαυρού ευρίσκετο (10-2-2008) 15 m χαμηλότερον του κατωφλίου του υπερχειλιστού παρέχων αντίστοιχον περιθώριον ασφαλείας, ενώ το ΥΗΕ Θησαυρού δύναται και εξακολουθεί να λειτουργή χάρις εις την, κατόπιν προτάσεως υπό του γράφοντος, υπ' αυτού συντελεσθείσαν αναθεώρησιν της μελέτης κατασκευής (παρ. 4.5-ε & Εικόνες 7 & 8).

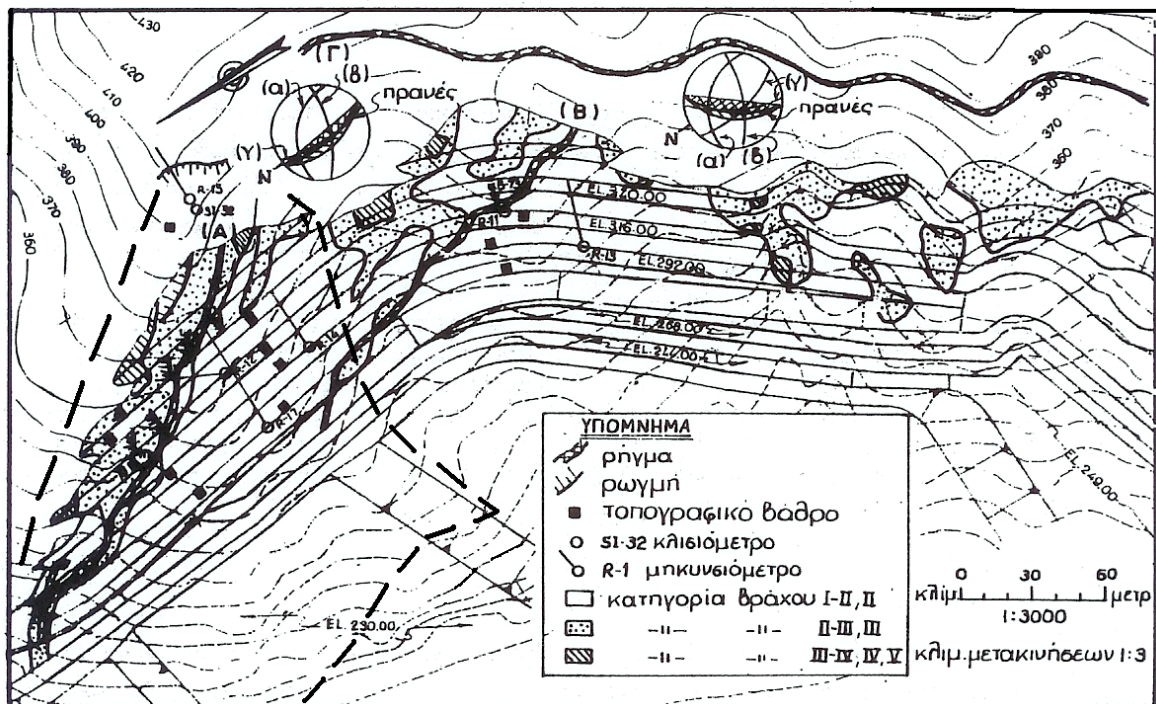


КАТОВИ  
PLAN



Εικών 8: ΥΗΕ Θησαυρού-Συγκρότημα Παραγωγής. Μηκοτομή - Τροποποίησις 1991





Εικόνα 9: Κατάρρευσις του κατάντη δεξιού πρανούς (10-2-2008) της λεκάνης εκτονώσεως-Όριον και έκτασις καταρρεύσεως (κατά προσέγγεσιν): — — —

Τόσον τα παρατεθέντα ανωτέρω τότε (1992) σχόλια του γράφοντος, όσον και το περιεχόμενον του ανωτέρω μνημονευομένου άρθρου (1992) οδηγούν εις το συμπέρασμα, ότι τα τότε υπάρχοντα γεωλογικά και γεωτεχνικά στοιχεία και ευρήματα της γεωλογικής και γεωτεχνικής ερευνής δεν ελήφθησαν αρκούντως υπ' όψιν κατά την σύνταξιν της αντιστοίχου μελέτης δημοπρατήσεως του Υ.Η.Ε. Θησαυρού, με αποτέλεσμα τας ανωτέρω μνημονευθείσας δυσμενείς συνεπείας.

#### 4.6 Συμπεράσματα

Ανεφέρθησαν τα ανωτέρω δύο ελληνικά παραδείγματα (με μη δυνατήν περαιτέρω εδώ σύμπτυξιν των λόγω της φύσεως των), διότι είναι χαρακτηριστικά των δυσμενών συνεπειών (κίνδυνοι, καθυστερήσεις, αύξεις κόστους, απώλεια ενεργείας κ.λπ), αι οποίαι ανακύπτουν εκ της αγνοήσεως βασικών γεωλογικών-γεωτεχνικών χαρακτηριστικών εκ των προτέρων εμφανών δε και γνωστών εις αμφοτέρας τας ως άνω περιπτώσεις δι' άμεσον προβληματισμόν (διά περισσότερα στοιχεία διά το ΥΗΕ Θησαυρού ιδέ ανακοίνωσιν του γράφοντος εις ημερίδαν Τεχνικής Γεωλογίας-Αθήναι, Οκτ. 1991) και παρεμβάσεις του εις το 2<sup>ον</sup> Συνέδριον Γεωτεχνικής Μηχανικής (1992).

#### 4.7 Τύποι φραγμάτων και εξασκούμεναι εξαιτήσεις

Εν φράγμα εξασκεί επί του γεωλογικού σχηματισμού, επί του οποίου θεμελιούται, ωρισμένας δυνάμεις και εξαιτήσεις αλλά και επηρεάζεται εις την συμπεριφοράν και ασφάλειάν του υπό των μηχανικών και υδροτεχνικών ιδιοτήτων του αντιστοίχου σχηματισμού. Κατωτέρω αναφέρονται οι τύποι φραγμάτων κατά σειράν μειουμένης εξαιτήσεως της θεμελιώσεώς των και αντιστοίχως μειουμένων σχετικώς απαιτήσεων μηχανικών χαρακτηριστικών της.

α. Τοξωτά Φράγματα: Είναι ο τύπος φράγματος, ο οποίος επιβάλλει τας μεγαλυτέρας συγκεντρωμένας δυνάμεις (θλιπτικές, διατμητικές) εις την θεμελίωσιν του, επί της οποίας επί πλέον λόγω του μικρού σχετικώς πλάτους της επενεργούν υψηλαί δυνάμεις διηθήσεως (ελεγχόμεναι διά πετάσματος αποστραγγίσεως). Παρουσία ασθενών ενδιαστρώσεων πολλάκις

διατετμημένων (π.χ. αργιλόλιθοι, ιλυόλιθοι, μαρμαριγιακοί ή αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι) ή τεκτονικών ρηγμάτων κατέστησαν αναγκαίαν την διά δαπανηρών υπογείων έργων αντικατάστασιν των διά σκυροδέματος (π.χ. φράγματα FEITSUI-Taiwan, NAGAWADO Ιαπωνία, GOKCEKEYA-Τουρκία, ITAIPU- Βραζιλία), ενώ η ανομοιομορφία μηχανικών και υδροτεχνικών ιδιοτήτων κατά μήκος της θεμελιώσεως μη εγκαίρως διαγνωσθείσα εδημιούργησεν προβλήματα (διαρροάς) και την ανάγκην σημαντικών δαπανών προσθέτων (αναστολή λειτουργίας, διορθωτικά μέτρα κ.λπ: π.χ. φράγματα GABRIL- Πορτογαλία, KOELNBREIN- Αυστρία). Αναφέρονται επίσης προβλήματα και πρόσθετοι δαπάναι λόγω μετακινήσεως των ακροβάθρων εξ' αιτίας της υδροστατικής πίεσεως του ταμιευτήρος (υποχωρητικός ερπυσμός: π.χ. φράγμα ZERUREILA- Πορτογαλία), εξ αιτίας σεισμικής μετακινήσεως πλησίον κειμένου τεκτονικού ρήγματος (δεξιόν ακρόβαθρον- μικρά σύγκλισις: φράγμα PACOIMA- ΗΠΑ), εξ αιτίας σημαντικής συγκλίσεως των ακροβάθρων και των εκατέρωθεν κλιτύων λόγω σημαντικής μεταγενεστέρας ταπεινώσεως του υδατίνου ορίζοντος (φράγμα ZEUZIER- Ελβετία: σύνθλιψις και σημαντική ρηγμάτωσις). Εν συνεχεία της ανωτέρω περιπτώσεως του φράγματος PACOIMA εματαιώθη η κατασκευή τοξωτού φράγματος εις θέσιν AUBURN (ΗΠΑ) (σεισμικότης) παρά τας μέχρι τότε εχούσας πραγματοποιηθεί σημαντικές δαπάνας διά την εκσκαφήν της θεμελιώσεως. Εις το άλλο άκρον του φάσματος είναι η περίπτωση του φράγματος VAJONT (Βόρειος Ιταλία) ανθέξαντος την υπερπήδησιν και πρόσθετον πίεσιν υπό υδατίνης στοιβάδος 150 m κατά την καταστροφικήν εντός του ταμιευτήρος κατολίσθησιν της αριστεράς κλιτύος (1963), δέον όμως να ληφθή υπόψιν ότι τμήμα της στοιβάδος οφείλετο εις αναρρόφησιν και ως εκ τούτου αντίστοιχον μείωσιν της επί του φράγματος προσθέτου υδροστατικής πίεσεως. Πέραν των ανωτέρω αναφερθέντων διεξάγονται εις την θεμελίωσιν αι αναγκαίαι εργασίαι σιμεντενέσεων τάπητος και κουρτίνας. Τοξωτόν φράγμα εις την Ελλάδα είναι το φράγμα Ταυρωπού.

β. Φράγματα Αντηριδωτά: Είναι δύο τύπων, δήλον ότι φράγματα με πολλαπλές αντηρίδας (π.χ. πεπλατυσμένης κεφαλής) και φράγματα με ολιγοτέρας αντηρίδας στηριζούσας σειράν θόλων. Τα φράγματα αυτά δεν προσφέρουν ουσιαστικήν αντιστήριξιν των παρειών της κοιλάδος, επιβάλλουν όμως σημαντικές διατμητικές δυνάμεις επί της θεμελιώσεώς των, ευνοϊκωτέρας κατανομής και μεγέθους διά τον πρώτον τύπον, πλέον δε συγκεντρωμένας διά τον δεύτερον τύπον, ενώ δι' αμφοτέρους τους τύπους αι δυνάμεις διηθήσεως εις την θεμελίωσιν του στεγανωτικού στοιχείου (κεφαλαί, πλάκες ή θόλοι) είναι σημαντικά. Ισχύουν εν προκειμένω παρατηρήσεις παρόμοιαι με εκείνας διά τοξωτά φράγματα.

γ. Φράγματα Βαρύτητος μετά διακένων (Hollow Gravity): Δύνανται να προσφέρουν ένα βαθμόν αντιστηρίξεως των παρειών της κοιλάδος. Ομοιάζουν κατά τίνα βαθμόν με τα αντηριδωτά, επιβάλλουν όμως λόγω και του κατάντη τοιχώματος μικροτέραν εξαίτησιν επί της θεμελιώσεώς των, αλλά αι δυνάμεις διηθήσεως υπό το ανάντη στεγανωτικόν στοιχείον (τοιχώμα) είναι εξ ίσου σημαντικά. Εν συγκρίσει προς τα φράγματα βαρύτητος έχουν σημαντικώς μειωμένην άνωσιν. Τοιούτον φράγμα εις την Ελλάδα είναι το φράγμα Λάδωνος (Πελοπόννησος).

δ. Φράγματα Βαρύτητος: Δύνανται να προσφέρουν αντιστήριξιν των παρειών της κοιλάδος και να ανθέξουν αντιστοίχους θλιπτικές (κατά τον άξονά των) δυνάμεις εις περίπτωσιν τυχόν τάσεως ερπυσμού ή συκλίσεως των παρειών. Επιβάλλουν επί της θεμελιώσεώς των πλην θλιπτικών και ουσιαστικές διατμητικές τάσεις. Διά τον έλεγchon των υδροστατικών πιέσεων ανώσεως κατά την θεμελίωσιν και εντός του σώματος του φράγματος διατάσσονται καθ' ύψος στοαί (καθώς και εις τα ακρόβαθρα) και μεταξύ των διαφράγματα αποστραγγίσεως (πέραν των σιμεντενέσεων τάπητος και κουρτίνας). Τοιούτον φράγμα εις την Ελλάδα είναι το (χαμηλόν) φράγμα Λούρου.

ε. Φράγματα Αναχωματικού Τύπου: Τα φράγματα ταύτα είναι είτε χωμάτινα (ομοιογενή ή διαζωνισμένα), είτε λιθόρριπτα (διαζωνισμένα), είτε αναμίκτου τύπου. Δύνανται να προσφέρουν αντιστήριξιν εις τας παρειάς της κοιλάδος, ενώ ωρισμένοι τύποι εξ αυτών (ομοιογενείς ή με πλατύν αργιλικόν πυρήνα) λόγω δυνατότητος ακινδύνου παραμορφωσιμότητος (ορθός σχεδιασμός απαραίτητος) προσφέρουν μεγάλην προσαρμοστικότητα ιδίως εις περιπτώσεις ειδικών απαιτήσεων (τεκτονικά ρήγματα κ.λπ.). Προσφέρουν μεγαλυτέραν διανομήν των επί της θεμελιώσεως φορτίων, δέον όμως να ληφθή υπ' όψιν (π.χ. περίπτωσις ασθενών ενστρώσεων) ότι

αι μεγαλύτερες διατμητικές τάσεις αναπτύσσονται παρά τον πόδα (μικρόν κατακόρυφον φορτίον, εξάλειψις τυχόν αψιδώσεως). Το μέγεθος των δυνάμεων διηθήσεως εις την θεμελίωσιν εξαρτάται εκ του (πλάτους) του στεγανοποιητικού στοιχείου, ο δε έλεγχός των επιτυγχάνεται δια στοών και αντιστοίχων διαφραγμάτων σιμεντενέσεων και αποστραγγίσεων υπό την θεμελίωσιν και εντός των ακροβάθρων. Τοιαύτα φράγματα εις την Ελλάδα είναι π.χ. τα φράγματα Κρεμαστών, Καστρακίου, Στράτου, Πουρναρίου, Πηνειού Ηλείας, Άγρα, Πηγών Αώου, Ασωμάτων, Γρατινής (χωμάτινα διαζωνισμένα), Πολυφύτου, Σφηκιάς, Θησαυρού (λιθόρριπτα διαζωνισμένα), Μεσοχώρας (λιθόρριπτον + ανάντη πλαξ σκυροδέματος).

#### 4.8 Γεωλογικοί Συσχετισμοί και Αστοχία της θεμελίωσεως ή του Φράγματος

α. Αι εξαιτήσεις (θλιπτικές, εφελκυστικές, διατμητικές) αι επιβαλλόμεναι υπό των διαφόρων τύπων φραγμάτων (ως περιεγράφησαν ανωτέρω) επί του φέροντος γεωλογικού σχηματισμού καθίστανται κρίσιμοι και δύνανται να οδηγήσουν εις αστοχίαν της θεμελίωσεως και του φράγματος εν συνδυασμώ προς αντιστοίχους δυνάμεις διηθήσεως εις περιπτώσεις υπάρξεως (πιθανώς μη εμφανούς) δυσμενούς διατάξεως συστημάτων διακλάσεων ή ασθενών ενστρώσεων (αργιλλικοί ενστρώσεις, διατετμημένοι ζώναι, τεκτονικά ρήγματα) επιπέδου ή κυλινδροειδούς μορφής αναδυομένων εις τα κατάντη ή συνδυασμού αυτών. Τοιαύται περιπτώσεις δίδουν πολλάκις την εντύπωσιν αυτού, το οποίον ο Κ. TERZAGHI απεκάλει «Minor Geologic Details», δηλ. «ήσσονες γεωλογικά λεπτομέρειαι» από απόψεως εμφανίσεως αλλά μείζονος σημασίας, ως αποδεικνύουν πλείσται περιπτώσεις αστοχίας φραγμάτων, ως π.χ. η αστοχία του φράγματος MALPASSET (Γαλλία) με τραγικά αποτελέσματα και πλέον προσφάτως η αστοχία του φράγματος CARSINGTON (Αγγλία) ευτυχώς προ της πληρώσεως του ταμιευτήρος. Αφ' ετέρου επιτυχή αντιμετώπισιν υπό του γράφοντος των "minor geologic details" αποτελεί η υπό του γράφοντος γεωτεχνική μελέτη του φράγματος Γρατινής (ύδρευση βιομηχανικής ζώνης Κομοτηνής) δια λογαριασμόν της ΔΑΥΕ-(ΔΕΗ) (αργιλικαί ενστρώσεις εκ τεκτονικής διατμήσεως αντιστοίχων ενστρώσεων αργιλολίθων-ιλυολίθων).

β. Η ομαλή διαμόρφωσις (δι' εκσκαφής της επιφανείας θεμελίωσεως) είναι αναγκαία ως συνεπαγομένη την ομαλήν εξέλιξιν, και συμβατότητα των καθιζήσεων παρακειμένων εγκαρσίων διατομών του φράγματος. Ως παραδείγματα αναφέρονται εκ μεν της διεθνούς πρακτικής π.χ. ωρισμένοι περιπτώσεις φραγμάτων με ανάντη πλάκα σκυροδέματος (GFRD) ρηγματωθείσαν λόγω ανωμαλίας της επιφανείας θεμελίωσεως και αντιστοιχώς ανίσου πάχους λιθορριπής, εκ δε ελληνικών περιπτώσεων η δημιουργία κατακορύφου ρήγματος και διαρροών εις το φράγμα Πλατανόβρυση (επί του Νέστου: RCC) και η στεγανοποίησις του δια λωρίδος στεγανοποιητικής μεμβράνης στερεωθείσης δια δυτών (ίδε πρακτικά "HYDRO 2006", Διεθνούς Συνεδρίου οργανωθέντος υπό της AQUA Media και της International Hydropower Commision, Porto Carras-Χαλκιδική, September 2006).

## 5 ΤΥΠΟΙ ΦΟΡΕΩΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

### 5.1 Εισαγωγή

Αναλόγως της φύσεως και διατάξεως των δύο συστατικών στοιχείων (στεγανωτικών, στοιχείον στηρίξεως) του φορέως (σώματος) ενός φράγματος είναι δυνατή η διάκρισις εις τας ακόλουθους κατηγορίας και τύπους.

### 5.2 Το στεγανωτικόν και το στηρίζεως συμπίπτουν

α. Τύπος: Εις την κατηγορίαν ταύτην ανήκουν φράγματα εκ σκυροδέματος είτε κλασσικού τύπου είτε πλέον εξελιγμένου τύπου καθώς και χωμάτινα ομοιογενή.

β. Αστοχία του ενός στοιχείου συνεπάγεται αστοχίαν και του ετέρου λόγω καταρρεύσεως του ιστού του σκυροδέματος ή διαβρώσεως του ιστού του επιχώματος.

Μια αιτία αστοχίας σκυροδέματος είναι η αλκαλική αντίδρασις δήλον ότι η χημική προσβολή ωρισμένων τύπων αδρανών υπό των αλκαλίων του σιμέντου (οξειδία Na, K) με αποτέλεσμα την δημιουργίαν διογκουμένης πηγματοειδούς ουσίας διαρηγνυούσης τον ιστόν του σκυροδέματος. Η εξέλιξις είναι βραδεία παρέχουσα ούτω την δυνατότητα προλήψεως ατυχήματος. Με την προοδευτικώς αυξανομένην απόκτησιν εμπειρίας διεπιστώθη ότι πληθαίνουν οι (ορυκτολογικώς και πετρολογικώς) επιρρεπείς τύποι αδρανών και δι' αυτόν τον λόγον απαιτείται η εξάσκησις μεγίστης προσοχής εις την διερεύνησιν της φύσεως των αδρανών και εις την χρησιμοποίησιν του ορθού τύπου σιμέντου και προσμίκτων (πουζουλάνη κ.λπ)

Μία άλλη πιθανή αιτία είναι η υπό ωρισμένας συνθήκας χημική προσβολή και έκπλυσις συστατικών του σιμέντου εκ του σκυροδέματος.

Τα σχετικά προβλήματα καθίστανται οξύτερα εις περιπτώσεις υψηλών φραγμάτων με σχετικώς μικρόν πάχος του στεγανωτικού στοιχείου (υψηλαί δυνάμεις της δι' αυτού διηθήσεως).

Διά φράγματα εκ σκυροδέματος με επαπειλουμένην εκ των ως άνω αιτιών αστοχίαν γενικώς ληφθέντα διορθωτικά μέτρα δεν απεδείχθησαν μακροπροθέσμως αποτελεσματικά και δι' αυτόν τον λόγον εις μίαν περίπτωσιν το φράγμα μετετράπη εις λιθόρριπτον (τοποθέτησις αργιλικού πυρήνος επί της ανάντη παρειάς του και σωμάτων εκατέρωθεν λιθορριπής), ενώ εις άλλας περιπτώσεις αντεκατεστάθη διά της κατασκευής υψηλοτέρου καταλληλοτέρου τύπου φράγματος εις κατάντη θέσιν. Εις πλέον προσφάτους περιπτώσεις εχρησιμοποιήθησαν διά την στεγάνωσιν της ανάντη παρειάς του φράγματος επάλειψις του σκυροδέματος με ρητίνας ή επικάλυψις με σύστημα γεωμεμβράνης.

Μία αιτία αστοχίας ομοιογενούς χωματίνου φράγματος εξ αργίλου είναι η «αιωρησιμότης» (dispersibility) ωρισμένου είδους εδαφών λόγω της παρουσίας ιόντων αναιρούντων λόγω απωθητικών μοριακών δυνάμεων την συνοχήν της αργίλου και δι' αυτόν τον λόγον απαιτείται η εξάσκησις μεγίστης προσοχής εις την διακρίβωσιν τη φύσεως του χρησιμοποιηθησομένου εδαφικού υλικού κατασκευής του φράγματος.

γ. Φράγματα Χωμάτινα Ομοιογενή: Είναι απαραίτητος η διάταξις στραγγιστηρίου καθ' όλον το μήκος του κατάντη ποδός κατ' ελάχιστον, καθώς επίσης είναι αναγκαία η προστασία του κατάντη πρानούς έναντι διαβρώσεως (βροχόπτωσις) και του ανάντη πρानούς έναντι του κυματισμού (φίλτρον + λιθορριπή π.χ.) Τοιούτος τύπος φράγματος χρησιμοποιείται συνήθως διά χαμηλά αναχώματα.

δ. Τοξωτά Φράγματα: Τα δύο στοιχεία (στεγανώσεως, στηρίξεως συμπίπτουν). Τυχόν ρηγματώσεις του στοιχείου στηρίξεως λόγω π.χ. παραμορφώσεων (διαρροαί) έχει δυσμενή μακροπροθέσμως επίδρασιν και επί του στοιχείου στεγανώσεως (παραδείγματα εις προηγηθείσαν παράγραφον).

ε. Φράγματα Βαρύτητος Κλασσικού Τύπου: Κατασκευάζονται διά κοινού τύπου σιμέντου και διά σκυροδέματος εναλλάξ ογκολίθων με συμπύκνωσιν του σκυροδέματος δι' εσωτερικής δονήσεως και με κατακορύφους καθ' ύψος αρμούς διά την αποφυγήν ρηγματώσεως (θερμοκρασία ενυδατώσεως σιμέντου, θερμοκρασιακαί μεταβολαί, συστολή εκ πήξεως κ.λπ). Διά τον έλεγχον της εκλυομένης θερμότητος ενυδατώσεως χρησιμοποιείται ψύξις των αδρανών καθώς και εγκατάστασις εντός των ογκολίθων σωληνώσεων ψυκτικού συστήματος.

στ. Φράγματα Βαρύτητος με δια Κυλινδρώσεως Συμπυκνούμενον Σκυρόδεμα (RCC: Roller Compacted Concrete): Σημειούται κατ' αρχήν ότι το διά κυλινδρώσεως συμπυκνούμενον σκυρόδεμα δεν αφορά τύπον φράγματος αλλά τεχνολογίαν σκυροδέματος. Εφαρμόζεται κυρίως εις φράγματα βαρύτητος (σπανιώτερον εις τοξωτά-βαρύτητος) λόγω της ανεπτυγμένης επιφανείας διά την κίνησιν του εξοπλισμού αλλά και εις άλλας περιπτώσεις τοποθετήσεως μαζικού σκυροδέματος.

Ο εξοπλισμός είναι ο αυτός ως και διά φράγματα αναχωματικού τύπου (φορτηγά αυτοκίνητα ή μεταφορικά ταινία, προωθηταί διά την διάστρωσιν, δονητικοί κύλινδροι διά την συμπύκνωσιν εκάστης στρώσεως). Ο έλεγχος της διαστρώσεως και συμπυκνώσεως επιτυγχάνεται δι' ακτίνων Laser.



Ως συνδετικών υλικών χρησιμοποιείται χαμηλή ποσότης σιμέντου ή μίγμα σιμέντου και ποζουλάνης διά την μείωσιν της θερμοκρασίας ενυδατώσεως (και αντιστοίχου αποφυγής ρηγματώσεως) δεδομένου ότι εν προκειμένω πρόκειται περί ολοσώμου κατασκευής δομυμένης γενικώς κατά μήκος και καθ' ύψος εις συνεχή φάσιν (αι διακοπαί αυξάνουν το κόστος), η δε ποσότης ύδατος είναι η ελαχίστη απαιτούμενη, ώστε το μίγμα να έχη μηδενικήν ή ελαχίστην κάθησιν (slump) καθιστώσαν δυνατήν την (διά μηχανημάτων) διάστρωσιν και κυλινδρώσιν.

Το κόστος του διά κυλινδρουμένου σκυροδέματος φράγματος δύναται (αναλόγως του τύπου και του όγκου) να κατέλθη σημαντικώς κάτω του κόστους αντιστοίχου φράγματος βαρύτητος κλασικού τύπου.

Ο τύπος του εν λόγω φράγματος βαρύτητος εξαρτάται εκ της συμπτώσεως ή μη των δύο συστατικών του στοιχείων. Διά τον εις την προκειμένην παράγραφον (πλέον εξελιγμένον), αναφερόμενον τύπον, όπου το στεγανωτικόν και το στοιχείον στηρίξεως συμπίπτουν, το σώμα του διά κυλινδρουμένου σκυροδέματος φράγματος αποτελεί συγχρόνως και το στεγανωτικόν στοιχείον. Το σκυρόδεμα διαστρώννται εις λεπτάς στρώσεις (συνήθως 30cm), αι οποίαι έχουν μεταξύ των απόλυτον συνάφειαν και συνοχήν και στεγανότητα. Προς τον σκοπόν αυτόν χρησιμοποιείται σκυρόδεμα υψηλού πολτού (σιμέντον + ποζουλάνη+ τυχόν αερακτικόν+ ύδωρ) δηλαδή με υψηλόν λόγον πολτού προς σιμεντοκονίαν (πολτός+λεπτόκοκκον αδρανές π.χ. (-) 5mm), ώστε να πληρούνται όλα τα κενά των αδρανών. Το σιμεντοειδές περιεχόμενον συνήθως υπερβαίνει τα  $150\text{kg/m}^3$  αλλά με υψηλόν ποσοστόν εξ αυτού (γενικώς 60-80%) αποτελούμενον εκ ποζουλάνης. Δι'εκάστην στρώσιν κατασκευάζονται πρώτον διά συνήθους σκυροδέματος τοποθετούμενου δι' οριζοντίως ολισθαίνοντος σιδηροτύπου τα στοιχεία των δύο παρειών του φράγματος (επικαθήμενα επί εκείνων της προηγουμένης στρώσεως) και μετά ταύτα διαστρώννται μεταξύ αυτών και συμπτκνούνται διά κυλινδρώσεως το υψηλού πολτού σκυρόδεμα. Τα στοιχεία των παρειών δεν αποτελούν στεγανωτικόν στοιχείον (π.χ. τυχόν ρωγμαί εκ πήξεως) αλλά απλήν επιδερμίδα προστασίας έναντι εξωτερικών επιρροών (π.χ. καιρικά συνθήκαι). Ως τοιούτον φράγμα είναι το κατασκευασθέν φράγμα Πλατανόβρυσης επί του Νέστου (ύψους 95m).

### 5.3 *Το στεγανωτικόν στοιχείον διάφορον του στοιχείου στηρίξεως*

α. Τύπος: Εις την κατηγορίαν ταύτην ανήκουν φράγματα εκ σκυροδέματος διαφόρων τύπων, καθώς και φράγματα αναχωματικού τύπου διαφόρων ειδών. Συνοπτικώς παρατίθενται τα κατωτέρω :

β. Αστοχία: Αστοχία του στεγανωτικού στοιχείου δύναται (αναλόγως της διαζωνήσεως) να έχη ως συνέπειαν αστοχίαν και του στοιχείου στηρίξεως, ενώ αστοχία του τελευταίου συνεπάγεται αστοχίαν του φράγματος.

γ. Φράγματα Αντηριδωτά: Το στεγανωτικόν στοιχείον αποτελούν αι πεπλατυσμένοι κεφαλαί των αντηρίδων ή αι εκ σκυροδέματος πλάκες ή θόλοι οι στηριζόμενοι επί των αντηρίδων.

δ. Φράγματα Βαρύτητος μετά Διακένων (Hollow Gravity Dams): Το στεγανωτικόν στοιχείον είναι το ανάντη τοίχωμα, ενώ το στοιχείον στηρίξεως αποτελείται εκ των πλευρικών τοιχωμάτων (αντηρίδων) και του κατάντη τοιχώματος εκάστου ογκολίθου.

ε. Φράγματα Βαρύτητος με δια Κυλινδρώσεως Συμπτκνούμενον Σκυρόδεμα: Είναι διαφόρων τύπων αναλόγως του είδους και της μεθόδου κατασκευής εκάστου εκ των δύο συστατικών στοιχείων. Οι κυριώτεροι τύποι και τα κυριώτερα χαρακτηριστικά αυτών έχουν συνοπτικώς ως εξής :

ο Το Κυλιδρούμενον Φράγμα: Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται εις Ιαπωνίαν. Το σώμα στηρίξεως (σιμεντοειδής περιεκτικότης  $120-130\text{ kg/m}^3$  εκ των οποίων 20-35% ποζουλάνη) τοποθετείται εις στρώσεις 50-100cm πάχους με αρμούς ανά αποστάσεις (διά δονητικής λεπίδος), ενώ το στεγανωτικόν στοιχείον (ανάντη παρειά πάχους 2-3m) κατασκευάζεται διά ξυλοτύπου (σιδηροτύπου) και συνήθους σκυροδέματος. Ομοίως κατασκευάζεται και η κατάντη

παρειά. Το κόστος είναι μόνον κατάτι (περίπου 15%) ευθυνότερον του συνήθους φράγματος βαρύτητας.

- ο Το Φράγμα με Ισχνόν δια Κυλινδρώσεως Συμπυκνούμενον Σκυρόδεμα: Το σώμα στηρίξεως κατασκευάζεται διά σκυροδέματος με σιμεντοειδή περιεκτικότητα (σιμέντον + ποζουλάνη) πολλάκις κατωτέραν των  $100\text{kg/m}^3$  (εκ των οποίων μέχρι 40% ποζουλάνη), διαστρώννεται εις στρώσεις πάχους περίπου 30cm και συμπυκνούνται διά δονητικού κυλίνδρου. Το στεγανωτικόν στοιχείον (ανάντη παρειά) κατασκευάζεται διά ξυλοτύπου (σιδηροτύπου) και δύναται να είναι διαφόρων ειδών ήτοι:

- Διά συνήθους σκυροδέματος πάχους 30-90cm (εις εκάστην στρώσιν) συμπυκνουμένου δι' εσωτερικής δονήσεως εν συνδυασμῷ προς πλησίον της ανάντη παρειάς τοποθετήσεως παχέος συνδετικού κονιάματος μεταξύ των στρώσεων του κυρίου σώματος.
- Διά συνήθους σκυροδέματος (πάχους 30-90cm) τοποθετουμένου διά κατακορύφως ολισθαίνοντος σιδηροτύπου προπορευομένου του κτιρίου σώματος.
- Διά προκατασκευασμένων πλακών εκ συνήθους σκυροδέματος (αγκυρουμένων εντός του κυρίου σώματος) και με γεωμεμβράνην ή ασφαλικόν σκυρόδεμα όπισθεν αυτών.
- Διά σκυροδέματος με υψηλότερον σιμεντοειδές ποσοστόν κατά την ανάντη παρειάν συμπυκνούμενον διά δονητικού κυλίνδρου.
- Δι' επαλείψεως (πολλάκις) της ανάντη παρειάς δι' ελαστομερούς υλικού προς σφράγισιν τυχόν ρωγμών (π.χ. εκ πήξεως).

στ. Φράγμα Βαρύτητος δια Σκληρού Επιχώματος: Το στοιχείον στηρίξεως κατασκευάζεται διά σκυροδέματος εκ κοκκώδους υλικού με χαμηλήν περιεκτικότητα σιμέντου ( $80-90\text{ kg/m}^3$ ) διαστρωννυμένου και συμπυκνουμένου διά δονητικού κυλίνδρου εις το φυσικόν πρηνές του υλικού ( $H=0,8$ :  $V=1$ ). Το στεγανωτικόν στοιχείον (ανάντη παρειά) κατασκευάζεται διά πλακός ωπλισμένου συνήθους σκυροδέματος τοποθετημένου δι' ολισθαίνοντος σιδηροτύπου και αγκυρουμένης εις το σώμα του φράγματος.

Ο τύπος αυτός φράγματος (αποτελών πάντοτε φράγμα βαρύτητος) είναι απομίμησις του λιθορρίπτου φράγματος με ανάντη στεγανωτικήν πλάκα εκ σκυροδέματος, αλλά με την διαφοράν ότι επιβάλλει επί της θεμελιώσεως πολύ μεγαλύτερας τάσεις εκείνου, ενώ αφ' ετέρου η κατασκευή της ανάντη πλακός λόγω της πολύ μεγάλης κλίσεως (0,8:1) είναι δυσχερεστέρα και βραδυτέρα της αντιστοίχου διά λιθορρίπτου φράγμα (κλίσις το πολύ  $H=1,4$ :  $V=1$ )

Ο τύπος αυτός αποτελεί κατά το πλείστον πειραματικήν μέθοδον (ιδέαν), η οποία πρέπει να υποστή την δοκιμασίαν της πράξεως και του χρόνου, συμφώνως προς τον χαρακτηρισμόν των Γάλλων Μηχανικών των προτεινόντων αυτήν.

ζ. Φράγματα Αναχωματικού Τύπου: Τα φράγματα ταύτα δύνανται, αναλόγως των γεωλογικών-γεωτεχνικών συνθηκών και των διαθεσίμων εις «λογικήν» απόστασιν υλικών να είναι του ακολούθου τύπου (συνοπτικώς):

- Φράγματα χωμάτινα εκ του αυτού «αδιαπεράτου» υλικού (γαιώδους) διά την μάζαν των δύο στοιχείων (πυρήν, σώματα στηρίξεως) με την διαφοράν ότι εντός των σωμάτων στηρίξεως διατάσσονται κατακόρυφα ή και οριζόντια στραγγιστήρια περιβαλλόμενα διά καταλλήλων φίλτρων, (φράγματα Πηγών Αώου, φράγμα Selset-Αγγλία).

Επί των πρηνών διατάσσονται προστατευτικά μη διαβρώσιμα στρώσεις (λιθορριπή, κροκάλαι επί φίλτρου ή πλάκες σκυροδέματος (σπανιώτερον) επί του ανάντη πρηνούς ή χλοοτάπης επί του κατάντη πρηνούς ή υλικόν ανθεκτικόν εις διάβρωσιν και μη διατρήσιμον (burrowing animals).

- Φράγματα Χωμάτινα Διαζωνισμένα: Τα σώματα στηρίξεως κατασκευάζονται γενικώς διά κοκκώδους «διαπερατού» υλικού (αμμοχάλικα), με επιφανειακήν προστατευτικήν στρώσιν (λιθορριπή ανάντη, κροκάλαι ή λιθορριπή κατάντη, π.χ. φράγμα Γρατινής – ίδε σχέδια

δημοπρατήσεως και γεωτεχνικήν μελέτην υπό του γράφοντος), ενώ το στεγανωτικόν στοιχείον αποτελείται εκ πυρήνος (π.χ. αργιλλικού) υλικού περιβαλλομένου διά ζωνών φίλτρων (π.χ. φράγματα Κρεμαστών, Καστρακίου, Στράτου, Μόρνου, Πουρναρίου, Ασωμάτων, Γρατινής) ή εκ τοιχείου σκυροδέματος ή ασφατικού σκυροδέματος, (ή εκ γεωμεμβράνης σπανιώτερον). Με ωρισμένα ποτάμια αμμοχάλικα (καλή διαβάθμισις) επετεύχθησαν πολύ υψηλαί πυκνότητες έως  $2,2\text{t/m}^3$  (π.χ. Αχελώος, Άραχθος).

- Φράγματα Λιθόρριπτα Διαζωνισμένα: Τα σώματα στηρίξεως αποτελούνται από λιθορριπήν (διαζωνισμένην κατά προτίμησιν), διαστρωνυμένην και συμπυκνουμένην διά δονητικού κυλίνδρου εις στρώσεις 1,00-1,50 m (κατά προτίμησιν) προς αποφυγήν (ζημιογόνων) υπερβολικών παραμορφώσεων, πράγμα το οποίον κατέστη δυνατόν διά της αναπτύξεως υπό της βιομηχανίας δονητικών μηχανημάτων μεγάλης ικανότητος συμπυκνώσεως (π.χ. βάρους μέχρι 50t), εν αντιθέσει προς παλαιότερα φράγματα, όπου η λιθορριπή απλώς εσωρεύετο εις στρώσεις μεγάλου πάχους (π.χ. 15,0 m) και εχρησιμοποιούντο υδραυλικοί εκτοξευτήρες ύδατος διά την πλήρωσιν διά των λεπτομερεστέρων θραυσμάτων των διακένων. Το στεγανωτικόν στοιχείον δύναται να αποτελείται από εσωτερικόν (κατακόρυφον ή κεκλιμένον) πυρήνα «αδιαπεράτου» υλικού (π.χ. άργιλος, ιλύς) εγκιβωτιζομένου διά καταλλήλων φίλτρων (λεπτοκόκκου, χονδροκόκκου, π.χ. φράγματα Πολυφύτου, Σφηκιάς, Θησαυρού), ή από τοιχείον σκυροδέματος ή ασφατικού σκυροδέματος.

- Φράγματα Αναχωματικού Αναμίκτου Τύπου, όπου τα σώματα στηρίξεως δύνανται να περιλαμβάνουν διάφορα κοκκώδη υλικά (αμμοχάλικα, λιθορριπήν) εις αντιστοίχους ζώνας, το δε στεγανωτικόν στοιχείον πυρήνα κεντρικόν ή κεκλιμένον (πλησίον της ανάντη παρειάς).

- Φράγματα Λιθόρριπτα με Στεγανήν Παρειάν: Το σώμα στηρίξεως αποτελείται από λιθορριπήν διαζωνισμένην και συμπυκνουμένην εις στρώσεις (μέχρις 1,0-1,50 m) διά δονητικού κυλίνδρου, το δε στεγανωτικόν στοιχείον τοποθετείται επί της ανάντη παρειάς και αποτελείται από αδιαπέρατον στοιχείον ήτοι π.χ. πλάκα σκυροδέματος, ασφατικόν σκυρόδεμα, χαλυβδίνην πλάκα, γεωμεμβράνην, με παρεμβολήν μεταβατικής ζώνης κοκκώδους υλικού (π.χ. αμμοχάλικου) μεταξύ του στεγανωτικού στοιχείου και της λιθορριπής.

Τα πλεονεκτήματα αυτού του τύπου φράγματος είναι αφ' ενός μεν ότι ολόκληρον το σώμα λιθορριπής αποτελεί το στοιχείον στηρίξεως έναντι της υδροστατικής πίεσεως του ταμιευτήρος διανεμόν ταύτην εις μεγαλύτεραν έκτασιν, αφ' ετέρου δε ότι εις περίπτωσιν τυχόν ρηγματώσεως του στεγανωτικού στοιχείου το φράγμα δύναται βραχυπροθέσμως να ανθέξη εις μικράν διά μέσου αυτού ροήν άνευ αστοχίας (προϋπόθεσις: ορθή διαζώνησις).

Το φράγμα αποτελείται εκ δύο συστημάτων, ήτοι αφ' ενός μεν από το περιμετρικόν στοιχείον εκ σκυροδέματος (στοά ή πλάξ: πλίνθος) μετά του βραχύδους υποβάθρου, αφ' ετέρου δε από την λιθορριπήν μετά του επ' αυτής στεγανωτικού (ανάντη) στοιχείου. Διά την απρόσκοπτον λειτουργίαν του φράγματος και την αποφυγήν ζημιών είναι αναγκαία η εξασφάλισις της συμβατότητος των παραμορφώσεων μεταξύ των δύο συστημάτων, δεδομένου ότι γενικώς το ανάντη στεγανωτικόν στοιχείον δεν είναι επιδεκτικόν μεγάλων ιδίως συγκεντρωτικών παραμορφώσεων (εν αντιθέσει προς φράγματα με αργιλλικόν εύπλαστον πυρήνα). Αφ' ετέρου πρέπει να εξασφαλίζεται διά το περιμετρικόν στοιχείον αφ' ενός μεν η μηχανική ευστάθεια (έναντι π.χ. ολισθήσεως) αφ' ετέρου δε η υδραυλική ευστάθεια της θεμελιώσεως (υψηλαί δυνάμεις διηθήσεως).

Η πλάξ σκυροδέματος του ανάντη στεγανωτικού στοιχείου υπόκειται εις υψηλάς δυνάμεις διηθήσεως (π.χ.  $i = 200$ ) και ως εκ τούτου είναι αναγκαία η κατάλληλος σύνθεσις σκυροδέματος.

Ο ανάντη ασφαλιστικός τάτης υπόκειται εις γήρανσιν λόγω π.χ. υπερόδους ακτινοβολίας. Το αυτό ισχύει και διά γεωμεμβράνην ως ανάντη στεγανωτικόν στοιχείον, έχουσας εξ όλων των άλλων μικροτέραν διάρκειαν ζωής, απαιτούσαν δε και επιφανειακήν προστασίαν παρουσιάζουσας ωρισμένα προβλήματα εις περίπτωσιν υψηλοτέρων κλίσεων πρανούς, ως εις λιθορριπήν.

Ως φράγμα με ανάντη πλάκα σκυροδέματος μνημονεύεται το λιθόρριπτον φράγμα Μεσοχώρας (150 m ύψους), ως φράγμα δε με ανάντη γεωμεμβράνην κατεσκευάσθη προ ετών (1991) το φράγμα Επισκοπής εις Κύπρον (40 m ύψους).

- Φράγματα Αναμείκτου Τύπου με Στεγανήν Παρειάν: Δεδομένου ότι με φυσικά κοκκώδη υλικά, π.χ. ποτάμια αμμοχάλικα (καλής εν γένει διαβαθμίσεως) επιτυγχάνονται υψηλαί πυκνότητες (μικρά παραμορφωσιμότης) δύνανται ταύτα να χρησιμοποιηθούν διά την στρώσιν στηρίξεως του στεγανωτικού λεπτού στοιχείου της ανάντη παρειάς (ιδέ προηγουμένην παράγραφον), ενώ κατασκευή του στοιχείου στηρίξεως ολοσώμου μόνον δια χρήσεως τοιούτων αμμοχαλικών δύναται να οδηγήσει εις αστοχίαν ολοκλήρου του φράγματος (περίπτωσης αναφερθείσης αστοχίας κινεζικού φράγματος). Λαμβανομένου υπ' όψιν ότι τοιαύτα αμμοχάλικα δεν προσφέρουν ελευθερίαν διά μέσου αυτών ροής (τυχόν ρηγμάτωσις του στεγανωτικού στοιχείου) και επομένως θα πρέπη το σώμα του φράγματος να περιλαμβάνη και μέλη εκ λιθορριπής (ελευθέρας ροής) εις κατάλληλον διάταξιν. Κατά τα λοιπά ισχύουν τα εις την προηγουμένην παράγραφον εκτεθέντα. Ως ελληνικόν παράδειγμα δύναται να αναφερθεί η περίπτωση του ασφαλικού τάπητος στεγανώσεως των κραστικοποιημένων ασβεστολίθων εις Πύρνον (ταμιευτήρ Μόρνου), εντός των οποίων εκτονούται τυχόν διαρροή.

## 6 ΥΛΙΚΑ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Η εις την προηγηθείσαν παράγραφον περιγραφή των διαφόρων τύπων φραγμάτων εμπεριέχει αφ' εαυτής και την μνημόνευσιν διαφόρων υλικών δυναμένων να χρησιμοποιηθούν διά την κατασκευήν φραγμάτων.

Εις την παρούσαν παράγραφον ο γράφων θεωρεί αναγκαίαν την αναφοράν εις υλικά προερχόμενα ειδικώτερον εκ του σχηματισμού του φλύσχη (συντεκτονικού, κυκλοθεματικής φύσεως γεωλογικού σχηματισμού) συναντωμένου εις σχετικήν αφθονίαν τόσον εις την δυτικήν όσον εις την νότιον Ελλάδα και έχοντος χρησιμοποιηθεί υπό του γράφοντος διά κατασκευήν φραγμάτων κατόπιν καταλλήλου επεξεργασίας και αγωγής τόσον εις το εδαφοτεχνικόν εργαστήριον όσον και εις το εργοτάξιον και με κατάλληλον διαζώνησιν, δήλον ότι του μεν αποσαθρωμένου μέλους (αργιλόλιθος, ιλυόλιθος) διά την κατασκευήν πυρήνος, του δε ισχυροτέρου μέλους (ψαμμίτης, μη αποσαθρωμένος υγιής ιλυόλιθος) διά την κατασκευήν των σωμάτων στηρίξεως ή ελλείψει άλλου οικονομικωτέρου υλικού του αποσαθρωμένου ιλυολίθου-αργιολίθου διά κατασκευήν σωμάτων στηρίξεως με κατάλληλον διάταξιν στραγγιστηρίων. Ως παραδείγματα αναφέρονται φράγματα, διά οποία ηργάσθη ο γράφων, δήλον ότι τα φράγματα ΥΗΕ Πηγών Αώου, Αστερίου (ύδρευσις συγκροτήματος Πατρών), Λιθινών (Ανατολική Κρήτη), Κομποτίου (Ήπειρος).

## 7 ΜΕΤΡΑ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΣ

### 7.1 Εισαγωγή

Η αναφορά εν προκειμένω είναι σχετική με μέτρα αφ' ενός μεν βελτιώσεως των μηχανικών ιδιοτήτων (παραμορφωσιμότης, αντοχή) και των υδροτεχνικών ιδιοτήτων (διαπερατότης-στεγανότης) της θεμελιώσεως και αφ' ετέρου με τον έλεγχον των εκ διηθήσεως υδροστατικών πιέσεων (ευστάθεια).

### 7.2 Σιμεντενέσεις

α. Σιμεντενέσεις Τάπητος: Διεξάγονται καθ' όλην την έδρασιν του στεγανωτικού στοιχείου ενός φράγματος. Το βάθος, τα μίγματα και οι πιέσεις ποικίλουν αναλόγως των εκάστοτε χαρακτηριστικών του αντιστοίχου έργου.



β. Σιμεντενέσεις Διαφράγματος: Η διάταξις και η έκτασις του διαφράγματος πρέπει να προσαρμόζεται οριζοντιογραφικώς και καθ' ύψος (βάθος) εις τα επί τόπου γεωλογικά-γεωτεχνικά χαρακτηριστικά (ιδέ προεκτεθείσαν περίπτωσιν φράγματος Κρεμαστών), ομοίως δε και η μεθοδολογία διεξαγωγής εργασιών και οι τύποι των εκάστοτε αναγκαίων μιγμάτων.

γ. Γήρανσις και Συντήρησις Σιμεντενέσεων: Έχει διαπιστωθεί εκ πραγματικών περιστατικών εις φράγματα ότι πολλάκις επέρχεται γήρανσις του διαφράγματος και μείωσις της αποτελεσματικότητός του (διάρρηξις, χημική ή μηχανική έκπλυσις κ.λπ). Είναι αναγκαία ως εκ τούτου η συνεχής παρακολούθησις της συμπεριφοράς και η επανάληψις προγράμματος σιμεντενέσεων.

### 7.3 Διαφραγματικοί τοίχοι

Κατασκευάζονται με την μέθοδον μπεντονιτικού αιωρήματος και είτε με εγκατάστασιν αλληλοτεννομένων εγχύτων πασσάλων ή συνεχομένων εγχύτων φατνωμάτων εκ σκυροδέματος. Με την μέθοδον της υδροφραΐζας είναι δυνατή η διάτρησις και η εγκατάστασις διαφραγματικοί τοίχου και εντός βραχώδους σχηματισμού (π.χ. φράγματα FONTENELLE και NAVAJO εις U.S.A. αρκετά έτη μετά την έναρξιν λειτουργίας λόγω διαρροών και κινδύνου αστοχίας).

### 7.4 Αποστραγγίσεις

Είναι απαραίτητοι διά τον έλεγχον των υδροστατικών πιέσεων και την βελτίωσιν των συνθηκών ευσταθείας, πολλάκις δε αποτελούν και το μοναδικόν προς τούτο μέσον. Δύνανται να εγκατασταθούν είτε διά διατρήσεως εκ της επιφανείας (California Drains), είτε εκ του εσωτερικού ενός συστήματος στοών καταλλήλως διατεταγμένων, αλλά κατά τρόπον μη συνεπαγόμενον την χαλάρωσιν του σχηματισμού (εσωτερική διάβρωσις).

Η γήρανσις των αποστραγγίσεων έχει παρατηρηθεί εις πολλές περιπτώσεις λόγω π.χ. εμφράξεως (ιλύς, απόθεσις αλάτων κ.λπ) και διά τούτο είναι αναγκαία η συντήρησις των (έκπλυσις, επαναδιάτρησις ή διάτρησις νέων οπών).

### 7.5 Στοαί σιμεντενέσεων, αποστραγγίσεων

Διά τας γεωλογικάς συνθήκας εις Ελλάδα (και όχι μόνον) έχει αποδειχθεί αναγκαία και απαραίτητος η εγκατάστασις συστήματος στοών τόσο διά το διάφραγμα σιμεντενέσεων (αρχική εγκατάστασις, συντήρησις) όσον και διά τας αποστραγγίσεις (αρχική εγκατάστασις, συμπλήρωσις, συντήρησις). Η διάταξις και η έκτασις του αντιστοίχου συστήματος πρέπει να προσαρμόζεται εις τας αντιστοίχους γεωλογικάς και γεωτεχνικάς συνθήκας (προαναφερθέντα παραδείγματα Κρεμαστών και Θησαυρού). Αφ' ετέρου η εγκατάστασις των δύναται καταλλήλως προγραμματιζομένη να επιταχύνη την ολοκλήρωσιν των εργασιών του φράγματος, όμως υπό την προϋπόθεσιν αυστηρού ελέγχου της μεθοδολογίας προς αποφυγήν ζημιών.

Δεν ενδείκνυται η εγκατάστασις στοάς εις την έδρασιν του πυρήνος (παραδειγμα φράγματος Μόρνου), ενώ εάν κριθή τοιαύτη στοά ως αναγκαία εις την κοίτην πρέπει να εγκατασταθή εις επαρκές υπό τον πυρήνα βάθος (περίπτωσις φράγματος Πολυφύτου).

## 8 ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΕΙΣ ΣΤΕΝΑΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ

### 8.1 Τοξωτόν φράγμα

Μέχρι προ τινος εθεωρείτο τούτο ως ο μόνος κατάλληλος τύπος. Εις ωρισμένας περιπτώσεις γεωλογικών-γεωτεχνικών σχηματισμών με ασθενή γεωτεχνικά χαρακτηριστικά ή με επισφαλή τεκτονικά χαρακτηριστικά δεν εκρίθη συμφέρουσα ή ενδεδειγμένη η κατασκευή τοξωτού φράγματος.

## 8.2 *Φράγμα αναχωματικού τύπου*

Με την πρόοδο της τεχνικής κατέστη δυνατή η κατασκευή υψηλών φραγμάτων αναχωματικού τύπου εις στενάς κοιλάδας είτε με εύπλαστον αργιλικόν πυρήνα (π.χ. φράγματα CHICOASEN-Μεξικό, CHIVOR και GUAVIO Κολομβία, DABAKLAMM Αυστρία), είτε με λιθορριπήν και ανάντη πλάκα εκ σκυροδέματος (π.χ. φράγματα COLLILAS – Κολομβία, ΜΕΣΟΧΩΡΑΣ- Ελλάδα). Ταύτα έχουν ως προϋπόθεσιν ορθήν σύνθεσιν (διαμήκη) και εγκαρσίαν διαζώνησιν καθώς και θεώρησιν της επιρροής της στενότητος της κοιλάδος επί της σεισμικής συμπεριφοράς των.

# 9 ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΡΗΓΜΑΤΑ ΚΑΙ ΘΕΜΕΛΙΩΣΙΣ

## 9.1 *Εισαγωγή*

Εις μίαν σεισμογενή χώραν ως η Ελλάς δέον πάντοτε να εξετάζεται η τυχόν δραστηριότης ή πιθανή δραστηριότης τεκτονικού ρήγματος εις την άμεσον γειτονίαν του φράγματος ιδίως δε όταν τούτο παρουσιάζεται εις την θεμελίωσιν του. Θεωρείται διεθνώς ως πιθανώς ενεργόν εν ρήγμα εκδηλώσαν δράσιν ή μετακίνησιν κατά τα τελευταία 10.000 έτη. Πέραν τούτου θα πρέπει να ληφθή υπ' όψιν ο τύπος του ρήγματος και να εκτιμηθή (ει δυνατόν) το μέγεθος και ο τρόπος της τυχόν μετακινήσεώς του (παράδειγμα η αστοχία του φράγματος BALDWIN HILLS – U.S.A.).

## 9.2 *Τύπος φράγματος κατάλληλος*

α. Καθίσταται φανερόν ότι δεν ενδείκνυται επί πιθανώς ή πλησίον ενεργού ή πιθανώς ενεργού τεκτονικού ρήγματος η κατασκευή τοξωτού φράγματος (προαναφερθέντα παραδείγματα φραγμάτων PACOIMA και AUBURN – U.S.A)

β. Διά φράγματα βαρύτητος επί πιθανώς ενεργού τεκτονικού ρήγματος αναφέρονται δύο περιπτώσεις (φράγμα MORRIS – U.S.A και φράγμα CLYDE – Νέα Ζηλανδία), όπου όμως προβλέφθη ειδική διάταξις διά την αντιμετώπισιν τυχόν μετακινήσεως άνευ αστοχίας του φράγματος, ενώ μέχρι τούδε ταύτα δεν ετέθησαν υπό πραγματικήν δοκιμασίαν.

γ. Διά φράγματα αναχωματικού Τύπου αναφέρονται πλείστα παραδείγματα, διότι είναι ο καταλληλότερος τύπος επιδεκτικός παραμορφώσεων άνευ αστοχίας υπό την προϋπόθεσιν ορθής διαζωνήσεως και διαστασιολογήσεως (ζώναι, φράγμα) καθώς και ορθών μέτρων αγωγής του υποκειμένου εις το φράγμα αλλά και ανάντη αυτού τμήματος του ρήγματος. Ο κατ' αρχήν ενδεδειγμένος τύπος είναι ο διαζωνισμένος με εύπλαστον αργιλικόν πυρήνα και ως δευτέρα επιλογή ο λιθορριπτος με ανάντη στοιχείον στεγανώσεως, ιδίως εις περίπτωσιν μη υπάρξεως διαθεσίμου καταλλήλου υλικού διά κατασκευήν ευρέος πλάτους πυρήνος και με την προϋπόθεσιν ορθής αγωγής του υποκειμένου εις το φράγμα και ανάντη αυτού τμήματος του ρήγματος, π.χ. φράγμα Ασιτών (τεκτονική τάφρος με επί τμήματος αυτής σεισμικής εστίας).

Το πλέον χαρακτηριστικόν εν προκειμένω παράδειγμα είναι το χωμάτινον φράγμα (αργιλικός πυρήν) COYOTE (U.S.A) κατασκευασθέν (1936) επί ενεργού τεκτονικού ρήγματος (συνεχής διατμητικός ερπυσμός). Αναφέρονται όμως και άλλα παραδείγματα φραγμάτων με αργιλικόν πυρήνα επί πιθανώς ενεργών ρηγμάτων εις CALIFORNIA (φράγμα PALMDALE, CEDAR SPRINGS, LOS ANGELES).

## 9.3 *Τεκτονικά ρήγματα και μελέται φραγμάτων*

Εν όψει της παρατηρουμένης λειψυδρίας η κατασκευή φραγμάτων (και ταμιευτήρων) θα καθίσταται συνεχώς και περισσότερον αναγκαία και ως εκ τούτου οι εκ τυχόν αστοχίας κίνδυνοι θα βαίνουν αυξανόμενοι. Συνεπώς δεν νοείται μελέτη φράγματος χωρίς να ληφθή υπ' όψιν και να αποτυπωθή η τεκτονική και η σεισμική επικινδυνότης της αντιστοίχου περιοχής και θέσεως φράγματος.

#### 9.4 Ταμιευτήρες – Διεγειρομένη σεισμικότητα

Η εξέταση φραγμάτων και Ταμιευτήρων κατασκευασθέντων εις διάφορα τεκτονικά περιβάλλοντα και συστήματα συγκεντρώσεως τεκτονικών τάσεων τόσο εις διάφορες χώρες όσο και εις την Ελλάδα ωδήγησεν συνοπτικώς εις τα ακόλουθα συμπεράσματα, δηλόν ότι η έκλυσις συγκεντρώσεως τεκτονικών τάσεων εις σημείον ωριμάνσεως προϋποθέτει την ύπαρξιν ενεργού σεισμογόνου τεκτονικού ρήγματος, ενώ η πλήρωσις δι' ύδατος του αντιστοίχου ταμιευτήρος οδηγεί ( $\Delta u > 0$ ) εις χαμηλότερον και επομένως ενεργητικώτερον επίπεδον εκλύσεως των συγκεντρωθεισών τάσεων. Η πλήρωσις ταμιευτήρος κατασκευασθέντος εντός εφελκυστικού πεδίου τεκτονικών τάσεων, δηλαδή διασχιζομένου κυρίως υπό κανονικού ρήγματος ( $\max \sigma_1 =$  κατακόρυφος,  $\min \sigma_3 =$  οριζοντία,  $-\Delta \sigma_3$ ) ή και ρήγματος διατμήσεως (strike slip fault:  $\max \sigma_1$ ,  $\min \sigma_3 =$  οριζόντιες, ενδιάμεσος  $\sigma_2 =$  κατακόρυφος) δύναται να συνεπάγεται σεισμικήν διέγερσιν ιδίως κατά την πρώτην πλήρωσιν (ταμιευτήρες Κρεμαστών, Μαραθώνος), ενώ η πλήρωσις ταμιευτήρος κατασκευασθέντος εντός συμπίεστικού πεδίου τεκτονικών τάσεων, δηλαδή διασχιζομένου υπό αναστροφής ή ρήγματος επωθήσεως ( $\max \sigma_1 =$  οριζόντιος,  $\min \sigma_3 =$  κατακόρυφος,  $+\Delta \sigma_1$ ) δεν οδηγεί εις σεισμικήν διέγερσιν (16 Ελληνικοί ταμιευτήρες, ταμιευτήρες εις τους πρόποδας των Ιμαλαΐων).

Διά περισσότερον εκτεταμένην παρουσίασιν ιδε ανακοίνωσιν του γράφοντος εις τα πρακτικά του διεθνούς συνεδρίου HYDRO 2006 (Porto Carras, Χαλκιδική, Σεπτέμβριος 2006).

## 10 ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗΣ ΚΑΙ ΦΡΑΓΜΑ

### 10.1 Εκτόνωσις ενεργείας υπερχειλίσεως

Η εκτόνωσις της ενεργείας υπερχειλίσεως πλημμυρικής παροχής διεξάγεται βασικώς είτε με εκτίναξιν διά κάδου αναστροφής εντός παρά τον κατάντη πόδα δεξαμενής εκτονώσεως (προεσκαπτομένης ή διαβρωνομένης και εφ' όσον το επιτρέπουν αι γεωλογικά, γεωτεχνικά ή έτεραι συνθήκαι, ιδε π.χ. ανωτέρω περιγραφείσαν περίπτωσιν δεξαμενής ηρεμήσεως ΥΗΕ Θησαυρού) ή άλλως δι' υδραυλικού άλματος εντός παρά τον κατάντη πόδα κατασκευαζομένης δεξαμενής ηρεμήσεως (περίπτωσις ΗΥΕ Πολυφύτου). Εν προκειμένω είναι ανάγκη όμως να διευκρινισθούν τα κάτωθι έναντι εχουσών δημιουργηθεί τυχόν εσφαλμένων εντυπώσεων.

Εις την περίπτωσιν φραγμάτων βαρύτητος με διά κυλινδρώσεως συμπτυνούμενον σκυρόδεμα η κατάντη παρειά κατασκευάζεται πολλάκις βαθμιδωτή, επ' αυτής δε τοποθετείται ο υπερχειλιστής και η αντίστοιχος διώρυξ π.χ. προσδιοριζομένη διά πλευρικών (προκατασκευασμένων) κατακόρυφων τοιχείων αγκυρουμένων εις το σώμα του φράγματος.

Κατά την ροήν της υδατικής συνδόνος επί των βαθμίδων επέρχεται καταστροφή ενεργείας υπερχειλίσεως εις ποσοστόν αυξανόμενον με μειουμένην αντιστοίχως ειδικήν παροχήν, πράγμα το οποίον σημαίνει αύξησιν του μήκους στέψεως του υπερχειλιστού και αύξησιν του μήκους προστασίας έναντι διαβρώσεως του αντιστοίχου τμήματος του κατάντη ποδός του φράγματος (δεξαμενή ηρεμήσεως μικροτέρου μεν εύρους αλλά αναγκαία) δεδομένου ότι απομένει εισέτι προς εκτόνωσιν αντίστοιχον ποσοστόν ενεργείας.

Από τινος ορίου ειδικής παροχής και πέραν (ως απέδειξαν δοκιμαί επί υδραυλικού ομοιώματος) επί των βαθμίδων σχηματίζονται στροβιλοειδείς υδάτινοι κύλινδροι, επί των οποίων τρόπον τινά «ολισθαίνει» η υπερχειλίζουσα σινδώνη με συνέπειαν μικρότερον ποσοστόν απολλυμένης ενεργείας και μεγαλύτερον ποσοστόν ενεργείας παραμενούσης προς εκτόνωσιν εις τον κατάντη πόδα, δηλόν ότι ανάγκην δεξαμενής ηρεμήσεως μεγαλύτερου εύρους.

Αι βαθμίδες της κατάντη παρειάς πρέπει να κατασκευάζονται γενικώς δι' ισχυροτέρου (ανθεκτικού εις την διάβρωσιν υπερχειλίσεως) μίγματος τοποθετουμένου διά ξυλοτύπου ή διά προκατασκευασμένων στοιχείων αγκυρουμένων εις το σώμα του φράγματος ιδίως εις περιπτώσεις σημαντικών πλημμυρικών υπερχειλίσεων.

Γενικώς διά βαθμιδωτούς υπερχειλιστάς (stepped spillways) ρόλον παίζει και η αναλογία ύψους προς πλάτος βαθμίδος, η δε αύξησις της τιμής της από τινος σημείου επηρεάζει δυσμενώς την καταστροφήν ενεργείας την συντελουμένην επί του υπερχειλιστού.

#### 10.2 *Επάρκεια ικανότητος εκφορτίσεως πλημμύρας*

Υπερπήδησις της στέψεως φράγματος πέραν του υπό του υπερχειλιστού ελεγχομένου μήκους της λόγω ανεπαρκούς ικανότητος δύναται αναλόγως του μεγέθους και της διάρκειας να έχη ως συνέπειαν την καταστροφήν φράγματος αναχωματικού τύπου (διάβρωσις) αλλά και φράγματος εκ σκυροδέματος (υποσκαφή της θεμελιώσεως). Είναι γνωστά διεθνώς πλείσται τοιαύται περιπτώσεις (π.χ. καταστροφή φράγματος Αγυιάς Χανίων- 1968).

#### 10.3 *Εκτόνωσις ενεργείας εκφορτίσεως*

Τα γεωλογικά-γεωτεχνικά χαρακτηριστικά παίζουν εν προκειμένω σημαντικόν ρόλον διά την ασφάλειαν του έργου. Εσφαλμένη επιλογή τύπου και διατάξεως έργων δύναται να έχη ως συνέπειαν είτε κατάρρευσιν οιοδήποτε τύπου φράγματος (υποσκαφή της θεμελιώσεως του ή ανατροπή της ευσταθείας της), είτε κατάρρευσιν του φράγματος ομού μετά των παρά τα ακρόβαθρα κατάντη κλιτύων λόγω υποσκαφής των. Ως παραδείγματα χαρακτηριστικά διά τον εν προκειμένω προβληματισμόν αναφέρονται αι περιπτώσεις KARIBA (τοξωτόν φράγμα- Αφρική), KATSE (τοξωτόν φράγμα εις Lesoto Αφρική), ΘΗΣΑΥΡΟΣ (Ελλάς- Ίδε αναφοράν εις προηγούμενην παράγραφον).

### 11 «ΜΟΝΤΕΡΝΟ» ΦΡΑΓΜΑ

Εχει παρατηρηθεί η κατά καιρούς προβολή ωρισμένου τύπου φράγματος ως του πλέον «μοντέρνου» (διά διαφόρους λόγους).

Ο εν προκειμένω ομιλητής θεωρεί αναγκαίον να σημειώση ότι δεν υπάρχει «μοντέρνο» ή «όχι μοντέρνο» φράγμα. «Μοντέρνο» είναι το φράγμα εκείνο, το οποίον ανταποκρίνεται και προσαρμόζεται καλλίτερον εις τας επί τόπου συνθήκας (γεωλογικάς, γεωτεχνικάς, σεισμοτεκτονικάς, υδρολογικάς, υδραυλικάς), διότι η φύσις δεν συγχωρεί βιασμόν, αλλά απεναντίας εκδικείται (π.χ. φράγματα MALPASSET, SAINT FRANSIS κ.λπ).

### 12 ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΙ ΠΡΑΞΙΣ

#### 12.1 *Παράμετροι μελέτης και σχεδιασμού*

Αι παράμετροι αι διέπουσαι τα γεωτεχνικά φαινόμενα είναι πολυάριθμαι, αι τιμαί των παρουσιάζουν γενικώς διασποράν και οι διέποντες αυτάς νόμοι είναι μόνον προσεγγιστικοί, ώστε να μην εξασφαλίζουν μαθηματικήν ακρίβειαν. Τα μεγάλα ατυχήματα εις φράγματα και ταμειυτήρας συνέβησαν όχι λόγω ελλείψεως μεθόδων θεωρητικής αναλύσεως, αλλά αντιθέτως λόγω υπερεκτιμήσεως και υπερεμφάσεως της αξίας των και παραλείψεως εξασκήσεως τεχνικής κρίσεως, λόγω θεωρήσεως ως λεπτομερειών άνευ σημασίας σημαντικών εν τούτοις παραγόντων μη κατ' ανάγκην εμφανών και μη αναγομένων πάντοτε εις θεωρητικήν ανάλυσιν. Ούτω π.χ. το φράγμα MALPASSET, λεπτόν τοξωτόν φράγμα, ήτο από απόψεως θεωρητικής μαθηματικής αναλύσεως εν αριστούργημα, αλλά κατεστράφη εξ αστοχίας της θεμελιώσεως του, διότι δεν έγιναν αντιληπτά ωρισμένα καθοριστικής σημασίας γεωλογικά-γεωτεχνικά χαρακτηριστικά.

#### 12.2 *Ηλεκτρονικοί υπολογισταί και προγράμματα*

Εντός του πλαισίου των ανωτέρω θα πρέπει να εξιολογηθή η ευρυτάτη σήμερον έμφασις επί της χρήσεως προγραμμάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών, η οποία τυχόν καθισταμένη αυτοστοκοπός



θα ωδήγη εις επισφαλή αποτελέσματα και εις επικίνδυνα έργα. Ο KARL TERZAGHI εις διάλεξίν του το 1939 (Institution of Civil Engineers - London) έλεγεν τα ακόλουθα, εις τα οποία σήμερα, εάν έζη, θα αντικαθίστα τον όρον «μαθηματικοί τύποι» με τον όρον «ηλεκτρονικά προγράμματα»:

«Αισθάνομαι βαθέως ανήσυχος εν σχέσει με την αυτοπεποίθησιν την εμπνεομένην εις πολλά μέλη της ερχομένης γεννεάς μηχανικών υπό των γνώσεων μας διότι..... Υφίσταται μία τάσις μεταξύ των νέων και μη πεπειραμένων να αποθέτουν τυφλήν εμπιστοσύνην εις μαθηματικούς τύπους, λησμονούντες ότι πλείστοι εξ αυτών βασίζονται επί προϋποθέσεων μη επακριβώς αναπαραγομένων εις την πράξιν και οι οποίοι, εν πάσει περιπτώσει, είναι συχνά ανίκανοι να λάβουν υπ' όψιν συναφείς διαταραχάς, τας οποίας μόνον η παρατήρησις και πείρα δύνανται να προβλέψουν και ο κοινός νους να αντιμετωπίση».

Η χρήσις ηλεκτρονικών προγραμμάτων έχει έννοιαν μόνον ως μέσον παραμετρικής αναλύσεως προς ταχείαν διερεύνησιν ενός φάσματος συνθηκών περιχαρακουσών το υπό εξέτασιν έργον με τα αποτελέσματα υποβαλλόμενα πάντοτε εις την βάσανον της τεχνικής κρίσεως. Εν προκειμένω είναι σχετική διάλεξις υπό του Καθηγητού R.B. PECK (Νορβηγικόν – Γεωτεχνικόν Ινστιτούτον- Μάιος 1980):

“Where has all the judgement gone??” (που πήγε όλη η τεχνική κρίσις;) καθώς και το βιβλίον του: “Judgement in Geotechnical Engineering” (τεχνική κρίσις εις την Γεωτεχνικήν Μηχανικήν). Ο καθηγητής E. HOEK εις σχετικήν διάλεξίν του επεσήμεινεν: «Είναι σημαντικότερον να κρίνη τις ορθώς παρά να υπολογίση επακριβώς». Και διά τους ηλεκτρονικούς υπολογιστάς: “Garbage in garbage out” (σκουπίδια εισάγεις, σκουπίδια εξάγεις).

### 13 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Τα θέματα τα σχετικά με την μελέτην, τον σχεδιασμόν και την κατασκευήν φραγμάτων είναι πολυσχιδη και ευρυτάτου φάσματος. Ο εν προκειμένω ομιλητής προσεπάθησεν εντός των περιορισμών του χρόνου και του χώρου όχι να εξαντλήση αλλά να παρουσιάση μίαν ταχείαν κατόπτεισιν του ορίζοντος με στόχον να προβληματίση και να διεγείρη την προσοχήν όλων των εξ οιασδήποτε πλευράς και σκοπιάς με φράγματα ασχολουμένων (Δημόσιαι Υπηρεσίαι, Μελετηταί, Κατασκευασταί).

### 14 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Allen, C.R. & Cluff, L.S. (2000), “Active faults in dam foundations, un update”, 12<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering
2. Αναστασόπουλος, Κ & Πανταζής, Κ & Σακελαριάδης, Κ & Χατζησάββας, Κλ & Οικονομίδης, Χρ (1992), “Εκσκαφή και Συμπεριφορά υψηλών Πρανών στην λεκάνη αποτόνωσης του ΥΗΕ Θησαυρού”, 2<sup>ο</sup> Συνέδριον Γεωτεχνικής Μηχανικής, Θεσ/νίκη, Οκτ, Τ.1-σελ. 415-422.
3. Gasagrande, A. (1965), “Role of the Calculated Risk in Earth Work and Foundation Engineering”, ASCE, J. SMED, 91(SM4): 1-40.
4. Gignoux, M & Barbier, R. (1955), “Geologie des Barages et des Amenagements Hydrauliques”, Masson et Cie, Editeurs, 120 Boulevard Saint-Germain, Paris-Vi<sup>e</sup>, 1955, France.
5. International Commission on Large Dams (ICOLD) (1974), “Lessons from Dam Incidents”, 151 Boulevard Haussmann, 75008, Paris, France.
6. International Commission on Large Dams (ICOLD) (1984), “Deterioration of Dams and Reservoirs, Examples and their Analysis”, 151 Boulevard Haussmann, 75008, Paris, France.
7. Jansen, R.B. (1989), “Advanced Dam Engineering”, Van Norstrand Reinhold, New York, U.S.A.

8. Leps, T.M. (1989), "The influence of possible fault offsets on dam design", *Water Power & Dam Construction*, Vol. 41, No 4
9. Mueller, L. (1963), "Die Standfestigkeit von Felsboeschungen als spezifisch geomechanische Aufgabe", *Felsmechanik und Ingenieurgeologie*, Vol I/1, Springer Verlag, Wien, Moelker- bastei 5, Oessterreich.
10. Mueller, L & Fecker, E. (1979), "Geologically Conditioned Risks in Construction of Hydro-Power Plants", *United Nations, Committee on Electric Power, Symposium, Athens (Greece)*, November
11. Παπαγεωργίου, Ορ. (1982), "Φλύσχος – Σχιστόλιθοι", Πρακτικά 1<sup>ης</sup> Ελληνικής Ημερίδος Γεωτεχνικής. Ελληνική Επιστημονική Εταιρεία Εδαφομηχανικής και Θεμελιώσεων. Αθήναι.
12. Παπαγεωργίου, Ορ. (1988), "ΥΗΕ Αγριάς Χανίων – Φράγμα: Καταστροφή και Αποκατάσταση", 1<sup>ο</sup> Πανελλήνιον Συνέδριον Γεωτεχνικής Μηχανικής, Αθήναι 3-5 Φεβρουαρίου, Τεχνικόν Επιμελητήριον Ελλάδος & Ελληνική Επιστημονική Εταιρεία Εδαφομηχανικής και Θεμελιώσεων, Τ.1- σελ. 311-316.
13. Παπαγεωργίου, Ορ. (1988), "Χωμάτινες Κατασκευές", Γενική Εισήγησις, 1<sup>ο</sup> Πανελλήνιον Συνέδριον Γεωτεχνικής Μηχανικής, Αθήναι 3-5 Φεβρουαρίου 1988. Τεχνικόν Επιμελητήριον Ελλάδος & Ελληνική Επιστημονική Εταιρεία Εδαφομηχανικής και Θεμελιώσεων, Τ.3- σελ. 117-124.
14. Παπαγεωργίου, Ορ. (1991), "Γεωμορφολογία, Τεκτονική και Σχεδιασμός Υ.Η. Έργων - Μία Ελληνική Περίπτωσης", Πρακτικά 1<sup>ης</sup> Ημερίδος Ελληνικής Επιτροπής Τεχνικής Γεωλογίας, Νοέμβριος 1991: Γεωλογία και Φράγματα, Εμπειρίες από τον Ελληνικό Χώρο- σελ. 45-54.
15. Παπαγεωργίου, Ορ. (2006), "Φράγμα Αστερίου δ'Υδρευσιν Συγκροτήματος Πατρών: Διάταξις, Θεμελιώσις, Υλικά Κατασκευής, Διαζώνησις", Πρακτικά 5<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαντολογικής Μηχανικής, Ξάνθη, Μάιος 2006. Τεχνικόν Επιμελητήριον Ελλάδος & Ελληνική Επιστημονική Εταιρεία Εδαφομηχανικής & Θεμελιώσεων, Τ-3, σελ. 373-379.
16. Papageorgiou, Or, (2006), "Seismic Aspects of Dams: Reservoir Triggered Seismicity", HYDRO 2006, Intern. Confer. organized by Aqua-Media (London, England) and the International Hydropower Association. Porto Carras, Chalkidiki, Greece, September
17. Peck, R.B. (1980), "Where has all the judgement gone?", Memorial Lecture, Norwegian Geotechnical Institute, Oslo, Norway.
18. Peck, R.B. (1983), "Karl Terzaghi, 1883-1963: Thoughts occasioned by the centenary of his birth", *Geotechnique* No 3, The Institution of Civil Engineers, Marketing Department, 1-7 Great George Street, London SW1 P 3 AA, England.
19. Peck, R. B. (1984), "Judgement in Geotechnical Engineering", *The Professional Legacy of Ralph B. Peck*. John Wiley & Sons. Inc. New York, U.S.A.
20. Pircher, W. (1984), "Der Einfluss von Geologie und Geotechnik auf den Entwurf von Talsperren", *Wasserwirtschaft*, Heft 5
21. Rescher, O.J. (1981), "Geomechanische Modelluntersuchungen fuer die Gruendung von Talsprren", *Felsmechanik*, No 3
22. Sherrard, J.L. (1974), "Potentially Active faults in Dam Foundations", *Geotechnique* 3, The Institution of Civil Engineers, Marketing Department, 1-7 Great George Street, London SW1 P 3 AA, England.
23. Walters, R.C.S (1962), "Dam Geology", Butterworths, London, England.

# Type of dams, geotechnical problems and ancillary works

O.A.Papageorgiou

Civil Engineering, Consultant Engineering, General Secretary of Greek Committee of Large Dams.  
(Member of International Committee of Large Dams –ICOLD)

**ABSTRACT:** There are described the different types of dams, relevant geological and geotechnical conditions, the foundation measures, problems in narrow valleys, the subjects of tectonic faults, the subjects of seismicity and triggered seismicity, subjects relevant to dam materials, the ancillary works (grouting, rock anchors, drainage, spillways, tunnel or diversion conduit), the notion of “modern” dam and the notion of theory and praxis of dam planning and design.