

Η ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Από

Π. Γ. Μαρίνο¹

Περίληψη

Κάποιες μεγάλες καταστροφές φραγμάτων - St Francis, Malpasset, Vazont - αποτέλεσαν, πάνω από κάθε τι άλλο, σταθμούς για τη συνειδητή και ουσιαστική είσοδο της γεωλογίας στη μελέτη και κατασκευή των φραγμάτων. Αλλά και η στατιστική στα αίτια των βλαβών και των άλλων καταστροφών μεγάλων φραγμάτων είναι εξ ίσου εύγλωττη: το 50% των ζημιών ή καταστροφών των μεγάλων φραγμάτων οφείλεται σε γεωλογικές καταστάσεις του υπεδάφους, που είτε δεν έγιναν αντιληπτές είτε αγνοήθηκαν είτε υποτιμήθηκαν.

Συζητείται το εύρος και η βαρύτητα της συμμετοχής της Τεχνικής Γεωλογίας στα διάφορα στάδια της Μελέτης και κυρίως το πού πρέπει να ολοκληρώνεται η κύρια γεωλογική πληροφόρηση, η επισημάνση των σημαντικών προβλημάτων και η δυνατότητα αντιμετώπισής τους. Επίσης η συμμετοχή και στα στάδια κατασκευής και λειτουργίας του έργου. Το ύψος του τελικού κόστους της σωστής γεωλογικής - γεωτεχνικής έρευνας στο τελικό κόστος του έργου δεν δικαιολογεί ποτέ την οικονομία που προβάλλεται συχνά στις χρηματοδοτήσεις των πρώτων σταδίων της μελέτης.

Στη συνέχεια δίνεται το περίγραμμα της διάρθρωσης της τεχνικογεωλογικής μελέτης στη θέση του φράγματος, του ταμιευτήρα και των σύνδρομων έργων του και συζητούνται τα μέσα έρευνας και το πρόβλημα της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων.

Για την Ελλάδα δίνεται ένα γενικό συνοπτικό πλαίσιο των γεωλογικών της ιδιαιτεροτήτων στην κατασκευή των φραγμάτων. Χαρακτηριστικά δίνονται οι επιδράσεις του τεκτονικού στύλ και η κάποια γενική συμπεριφορά και οι διαφοροποιήσεις των ασβεστόλιθων ως προς τη στεγανότητα του χώρου της θέσης του φράγματος και του ταμιευτήρα και του φλύσχη ως προς τη θεμελίωση του έργου.

Τέλος συζητείται η εικόνα από την εξέλιξη της γεωλογίας στις μελέτες των φραγμάτων του ελληνικού χώρου και ο ρόλος και η θέση του Έλληνα Γεωλόγου στη διαδικασία των μελετών - κατασκευών.

Η αναγκαιότητα για ευρύτερη εκμετάλλευση του επιφανειακού νερού του πλανήτη μας τόσο σαν μια πηγή ενέργειας χωρίς προβλήματα εξάντλησης, όσο και για την κάλυψη των σημερινών υψηλών, ποιοτικά και ποσοτικά, αναγκών για την άρδευση και ύδρευση, έχουν οδηγήσει πολλές χώρες, όπως και τη δική μας σε μια προώθηση των προγραμμάτων τους για την δημιουργία νέων φραγμάτων και ταμιευτήρων, έργων δηλαδή που προκαλούν τις πιο μεγάλες συγκρούσεις με το γεωλογικό τους περιβάλλον, από ότι κάθε άλλο τεχνικό έργο και που η ενδεχόμενη καταστροφή τους μπορεί να έχει, πάλι, τις πιο σοβαρές και πιο τραγικές συνέπειες.

Σήμερα μπορεί να λεχθεί με βεβαιότητα ότι η συμβολή της γεωλογίας τόσο στη μελέτη όσο και στην κατασκευή και λειτουργία των φραγμάτων είναι αναγνωρισμέ-

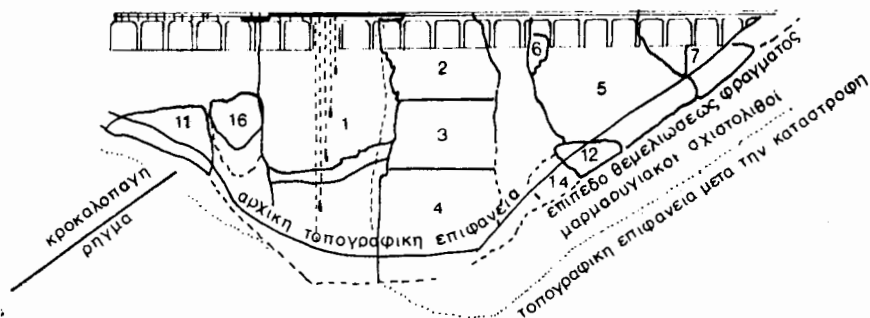
1. Καθ. Τεχνικής Γεωλογίας Πανεπιστημίου Θράκης

νη. Η αναγνώριση όμως αυτή δεν έγινε αυτόματα, ενώ είναι βέβαιο επίσης ότι συναντώνται και σήμερα ακόμη, σε ορισμένες περιπτώσεις, προβλήματα τόσο από την ιδιαιτερότητα των έργων όσο και από τη δυσκολία επικοινωνίας μεταξύ των γεωλόγων και των μηχανικών, των υπεύθυνων για τα έργα αυτά.

1. ΕΝΑ ΤΡΑΓΙΚΟ ΜΗΝΥΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΘΙΕΡΩΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Το φράγμα St. Francis στην Καλιφόρνια ήταν ένα φράγμα βαρύτητας 60m ύψους, που για την κατασκευή του, το 1926, ούτε ζητήθηκε ούτε δόθηκε γεωλογική συμβουλή. Το άνω δεξιό αντάρωμα αποτελείτο από ένα κροκαλοπαγές. Η υπόλοιπη θέση, κοίτη και αριστερό αντάρωμα, συνίστατο από μαρμαρυγιακό σχιστόλιθο, μέτριας αντοχής· το αριστερό μορφολογικά πρανές ήταν αναπτυγμένο μάλιστα κατά το επίπεδο σχιστότητας του πετρώματος. Η επαφή μεταξύ των δύο σχηματισμών ήταν τεκτονική με ζώνη ρήγματος εύρους 2m, αποτελούμενη από σπασμένο υλικό που είχε καταλήξει σε μορφή χαλικομιγούς αργίλου.

Το φράγμα έσπασε το 1928 όταν η λίμνη πλησίαζε για πρώτη φορά την ανώτατη της στάθμη. Πάνω από 500 άτομα χάθηκαν και οι υλικές ζημιές ήταν ανυπολόγιστες. Οι έρευνες για τα αίτια της καταστροφής έδειξαν ότι το φράγμα, αυτό το ίδιο, είχε καλή κατασκευή και ότι πρώτη αιτία της καταστροφής ήταν η προοδευτική εξασθένηση της αντοχής της ζώνης του ρήγματος και του κροκαλοπαγούς· δείγματα του κροκαλοπαγούς που δοκιμάστηκαν αποσυντίθεντο ύστερα από ανατάραξη σε νερό μετά 10 λεπτά. Το κροκαλοπαγές βρέθηκε ότι είχε συγκολλητική ουσία που αποτελείτο από αργιλικά ορυκτά και γύψο. Σε ξερή κατάσταση συμπεριφερότο σαν βράχος, αλλά η ποιότητά του υποβαθμιζόταν πολύ γρήγορα σε έδαφος, όταν ερχόταν σε επαφή με το νερό.

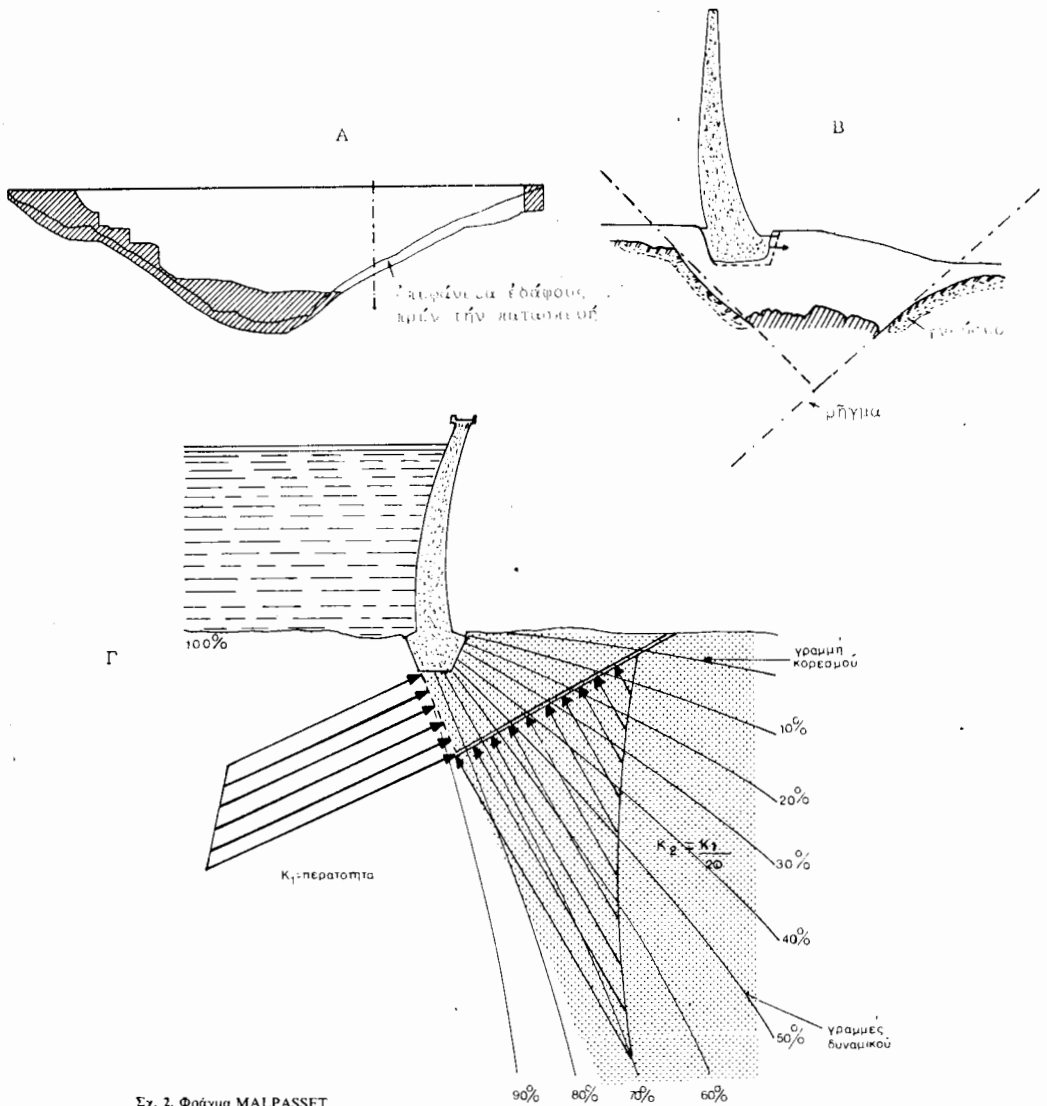


Σχ. 1.: Κατασκευή του St. Francis Dam. (Καλιφόρνια, από ASCE Trans, 1928).

Η καταστροφή αυτή αποτέλεσε τον αποφασιστικό σταθμό για την, με τραγικό τρόπο, κατανόηση του πρωταρχικού ρόλου που παίζει η γνώση των γεωλογικών συνθηκών στη μελέτη ενός φράγματος.

2. Η ΚΑΘΙΕΡΩΣΗ

Η συμμετοχή όμως της Τεχνικής Γεωλογίας στη μελέτη, κατασκευή και



Σχ. 2. Φράγμα MALPASSET

- A: Το φράγμα μετά την καταστροφή
 B: Το δυέδρο που εκτινάχθηκε στο άριστο αριστερό άκτερο
 Γ: Ένταση ύποπίεσεων στο δυέδρο κάτω από το φράγμα
 --- ανάντη έπιφάνεια του δυέδρου (σχιότητα καί ρωγμές έφελκυσμού)
 // κατάντη έπιφάνεια του δυέδρου (ρήςμα με άργιλική πλήρωση)
 Σκιασμένο τμήμα: μείωση περατότητας από συμπίεση
- ('Από J. BERNAIX, Etude Géotechnique de la roche de Malpasset, Dunod, 1967)

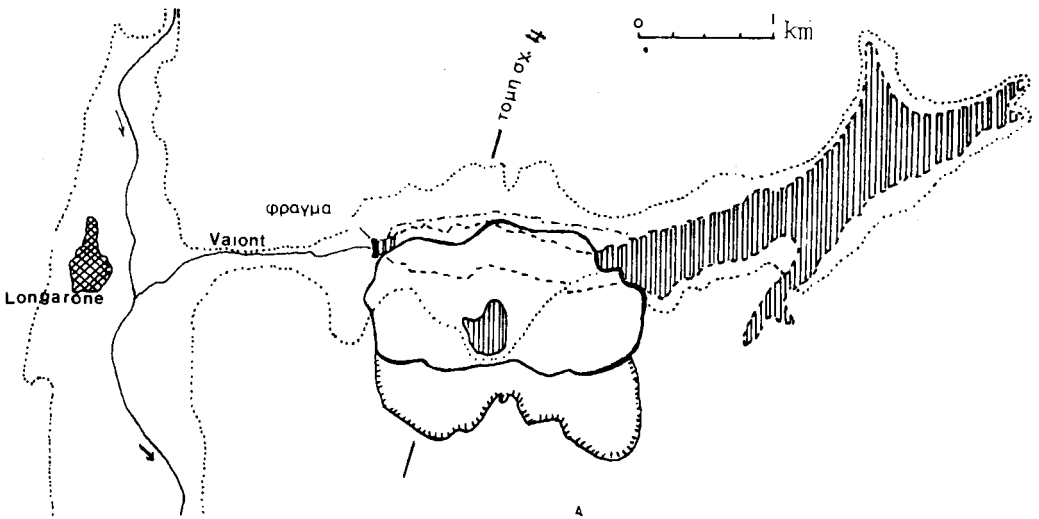
λειτουργία των φραγμάτων δεν συστηματοποιήθηκε αμέσως, παρ' όλες τις προσπάθειες που ονομαστοί επιστήμονες κατέβαλαν προς την κατεύθυνση αυτή. Η καθιέρωση και η απ' αυτή εξέλιξη της Γεωλογίας στα φράγματα δεν έγινε τελικά χωρίς και άλλα τραγικά τιμήματα.

Πράγματι αν η πλήρης άγνοια των γεωλογικών φαινομένων και της δυναμικής τους, ήταν η αιτία για την καταστροφή του φράγματος του St. Francis, τόσο και η κακή χρησιμοποίηση της γεωλογίας έγιναν, σ' ένα μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό, αιτία για αποτυχίες και καταστροφές, με αποκορύφωμα την καταστροφή του φράγματος Malpasset το 1959 στη ΝΑ Γαλλία και το δράμα του Vaiont στη Β. Ιταλία το 1963. Κακή χρησιμοποίηση που σημαίνει ατελή γεωλογική μελέτη και είτε αδυναμία αναγνώρισης των γεωλογικών κινδύνων είτε υποεκτίμησή τους. Επί πλέον οι δυσκολίες, συχνά πολύ μεγάλες, επικοινωνίας με μια κοινή γλώσσα του γεωλόγου και των μηχανικών του έργου, καθήλωναν τη συμβολή της γεωλογίας σε στοιχειώδη επίπεδα.

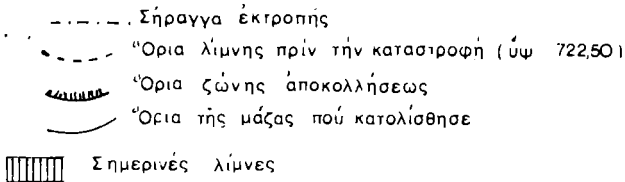
Το τοξωτό φράγμα του Malpasset κατασκευάστηκε πάνω σε υγιή και μέτρια ρωγματωμένο γνεύσιο απόλυτα κατάλληλο να δεχθεί τις απαιτήσεις ενός τέτοιου έργου. Ο γνεύσιος ήταν πραγματικά αδιαπέρατος (απουσία μεγάλων ρωγμών) ώστε να μην υπάρχουν και προβλήματα διαφυγών. Παρ' όλα αυτά το φράγμα καταστράφηκε προκαλώντας 350 θύματα ύστερα από το για πρώτη φορά πλησίασμα της ανώτατης στάθμης της λίμνης. Για την καταστροφή υπήρξε συγκυρία πολλών παραγόντων ανάμεσα στους οποίους ήταν και η απουσία αποστραγγιστικών έργων κάτω από το φράγμα, που επιβάλλοντο για την ανακούφιση των υποπίεσεων λόγω της αδιαπερατότητας του πετρώματος. Οι υποπίεσεις «ετίναξαν» μια διεδρική μάζα του γνεύσιου κάτω από το φράγμα, μάζα που οριζέτο από ένα ρήγμα στα κατάντη, που διαχωρίζε το πέτρωμα και που είχε αργιλικό συμπίεστο υλικό πληρώσεως. Η συμπίεση της μάζας βοηθημένη και από τη συμπίεσότητα του αργιλικού υλικού, αφ' ενός δημιούργησε ρωγμές εφελκυσμού ανάντη του φράγματος, εξασφαλίζοντας άμεση υδραυλική σύνδεση του ταμιευτήρα με το χώρο θεμελιώσεως και αφ' ετέρου μείωση της περατότητας κατάντη του έργου, άρα και της όποιας ικανότητας αποστραγγίσεως. Εδώ χαρακτηριστικό είναι, όπως επισημαίνουν οι πραγματογνώμονες μετά την καταστροφή, ότι οι γεωλογικές εκθέσεις που έγιναν πριν και κατά την κατασκευή του φράγματος δεν περιείχαν ούτε σχέδια ούτε τομές, ούτε περιγραφές και τομές γεωτρήσεων ή άλλων ερευνητικών έργων. Η γεωλογική γλώσσα που χρησιμοποιείτο ήταν βέβαιο ότι δεν μπορούσε να είχε γίνει αντιληπτή από τους μελετητές και κατασκευαστές μηχανικούς και ότι και ο γεωλόγος λίγη ή καθόλου γνώση είχε για τις απαιτήσεις θεμελιώσεως του συγκεκριμένου τύπου φράγματος που προτεινέτο.

Επί πλέον οι ερευνητικές εργασίες δεν επισήμαναν την παρουσία του κύριου ρήγματος ώστε να διαφανεί, ενδεχόμενα, ο δυνατός μηχανισμός της καταστροφής.

Το 1963 στο φράγμα του Vaiont μια τεράστια μάζα από ασβεστόλιθους αποσπαστηκε από το βουνό των αριστερών πρανών της λίμνης ανάντη του φράγματος και με μεγάλη ταχύτητα γέμισε τη λίμνη και έφθασε μέχρι τα δεξιά της πρανή. Η μάζα μεγαλύτερη από 240.10^6 m^3 εκδίωξε βίαια το νερό που υπερπήδησε τη στέψη του φράγματος σε ύψος πάνω από 100 μέτρα και ερήμωσε την περιοχή κατάντη του



Σχ. 3: Χάρτης της τεχνητής λίμνης Vaiiont και της κατολισθήσεως του 1963.



φράγατος καταστρέφοντας και την πόλη Longarone με 2.100 θύματα. Αξίζει να σημειωθεί ότι από την μοναδική αυτή δοκιμασία το τοξωτό φράγμα δεν έπαθε τίποτα, χαρακτηριστικό της καλής μελέτης και κατασκευής, αυτού του ίδιου.

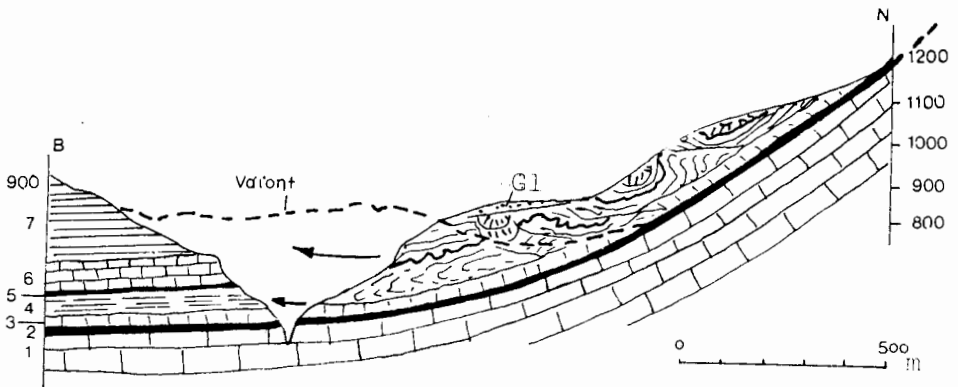
Γεωλογικά η περιοχή παρουσιαζόταν να αποτελείται από συμπαγείς ασβεστόλιθους που εμφανίζονταν στη βάση του φαραγγιού κάτω από ένα σύστημα πιο εύκαμπτο από μάργες και λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους με ακατάστατη δομή στο αριστερό πρανές, ίσως από παλαιότερες μετακινήσεις του. Το σύνολο διατρεχόταν από κυκλοφορίες νερού στις οποίες ήρθε να προστεθεί και η δράση των μεταβολών της στάθμης του νερού του φράγατος.

Με την αύξηση της στάθμης του νερού της λίμνης, δεν άργησε να φανεί μια επιτάχυνση των μετακινήσεων της πλαγιάς του βουνού. Η τελική επιτάχυνση και ρήξη, που συνέπεσε και με περίοδο σημαντικών βροχοπτώσεων, φαίνεται ότι οφείλεται σ' ένα μεγάλο μέρος στο κλείσιμο των ρωγμών στα κατώτερα υψομετρικά μέρη της πλαγιάς, κλείσιμο που πιθανόν βοηθήθηκε και από τις συμπίεσεις της μάζας από τις προηγούμενες μετακινήσεις. Έτσι το νερό της βροχής, που ύστερα και από τις προηγούμενες κατολισθήσεις μπορούσε να διηθηθεί πιο εύκολα από τις ρωγμές αποκολλήσεως των ανωτέρων τμημάτων, αποστραγγιζόταν, υπόγεια, πιο

δύσκολα με αποτέλεσμα μεγαλύτερο ακόμη τμήμα του πρηνούς να βρίσκεται κάτω από τη δυσμενή επίδρασή του.

Τα αίτια της καταστροφής είναι σαφώς γεωλογικά. Εδώ αν και εμελετήθηκαν οι γεωλογικές συνθήκες για το ίδιο το φράγμα και αν και αυτό κατασκευάστηκε όπως έπρεπε, δεν προβλέφθηκαν οι κίνδυνοι από την αστάθεια των φυσικών πρηνών της λίμνης. Κανονικά, από την μελέτη των στοιχείων της μελέτης πριν από την καταστροφή, έπρεπε να προβλεφθεί ότι η κατάληξη θα ήταν αυτή. Παρ' όλα αυτά, είτε γιατί εκτιμήθηκε, κακώς, ότι οι επιταχύνσεις των μετακινήσεων που επισημάνθηκαν αφορούσαν ενδεχομένως κατολισθήσεις επιπόλαιων και επιφανειακών μόνο μαζών, είτε για άλλους λόγους, δεν ελήφθησαν, αν όχι μέτρα προστασίας, τουλάχιστον μέτρα συναγερμού απέναντι σε καταστροφή. Στην περίπτωση της καταστροφής του Vailont σε αντίθεση με άλλες καταστροφές, δεν πρόκειται για άγνοια της γεωλογικής αιτίας που εγκυμονούσε κινδύνους ούτε για τη μη επισήμανσή της. Αντίθετα πρόκειται στην αρχή για υποτίμησή της και στη συνέχεια για κακή εκτίμηση. Η περιοχή από την αρχή, όταν γινόταν η μελέτη της κατασκευής του φράγματος, ήταν γνωστό ότι παρουσιάζει φαινόμενα αστάθειας. Παρ' όλα αυτά η σχετική, τότε, μελέτη δεν φαίνεται να κάλυψε το αντικείμενο αυτό από όλες τις πλευρές του, ώστε είτε να απορρίψει την περιοχή για κατασκευή φράγματος είτε, αν ήταν σύμφωρο, να εκτελεστούν έργα προστασίας του φράγματος.

Στη συνέχεια, όταν το φράγμα κατασκευάστηκε και εκδηλώθηκαν πιο φανερά πια και κάτω από τις νέες συνθήκες ισορροπίας που επέβαλε η παρουσία της λίμνης, τα φαινόμενα αστάθειας, δεν έγινε η έγκαιρη εκτίμηση του πραγματικού κινδύνου, και αυτό, παρ' όλο που έγιναν οι απαραίτητες εργασίες παρατηρήσεων της κατολισθήσεως.



Σχ. 4: Εγκάρσια Γεωλογική Τομή στη θέση της κατολισθήσεως

GI μόραινες, 7 μάργες, 6 συμπαγείς ασβεστόλιθοι, 5 μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, 4 μάργες, 3 ασβεστόλιθοι, 2 λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι, 1 συμπαγείς ασβεστόλιθοι.

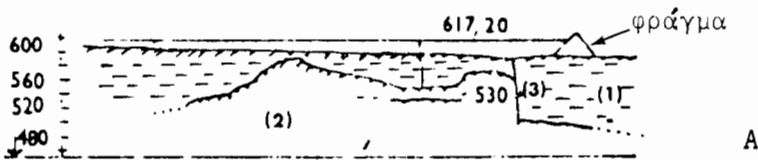
Η επιφάνεια ολισθήσεως αντιστοιχεί στον ορίζοντα 2. Με διακεκομμένη γραμμή η σημερινή τοπογραφική επιφάνεια, δεξιά συνεχίζεται με την δομική επιφάνεια του ορίζοντα 2 που αποκαλύφθηκε από την κατολισθήση.

(από Selli et al, *Giornale Geol.*, 33, 1-154, 1964)

Σε μια γενική θεώρηση η έρευνα που έκανε η Διεθνής Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων (1973) έδειξε ότι από ένα σύνολο 9.000 μεγάλων φραγμάτων (ύψος πάνω από 15m) που κατασκευάστηκαν από το 1900 - 1965, 200 παρουσίασαν σοβαρά ατυχήματα και καταστράφηκαν. Και στις δύο περιπτώσεις η έρευνα έδειξε ότι τα περισσότερα από τα μισά περιστατικά οφείλοντο σε γεωλογικά αίτια. Από το 1965 ως προστεθούν επίσης τουλάχιστον 2 καταστροφές μεγάλων φραγμάτων, το 1976, του Vestre Gansdal στη Νορβηγία και του Teton στις ΗΠΑ. Ας σημειωθεί επίσης ότι τουλάχιστον 10% από το σύνολο των έργων παρουσίασαν εκπλήξεις κατά τη διάρκεια της κατασκευής τους.

Εκτός όμως από τις περιπτώσεις αυτές που αφορούν το ίδιο το φράγμα και την ασφάλειά του, υπάρχουν πολλές άλλες περιπτώσεις αστοχιών που αφορούν τη στεγανότητα της λίμνης και την εμφάνιση σημαντικών διαφυγών που οδήγησαν είτε σε αχρήστευση έργων είτε σε πολυδάπανες και δύσκολες διορθωτικές επεμβάσεις. Η πατρίδα μας έχει εδώ δυστυχώς τροφοδοτήσει τη διεθνή εμπειρία με την άτυχη περίπτωση του φράγματος του Περδίκας.

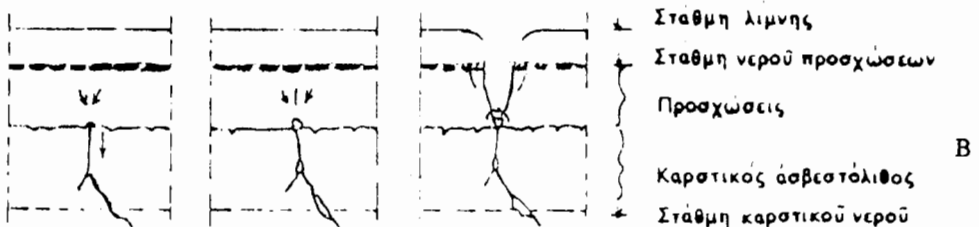
Το φράγμα του Περδίκας κοντά στην Πτολεμαΐδα βρίσκεται τόσο αυτό όσο και η λίμνη του πάνω σε αργιλομαργαϊκά και ψαμμιτικά πετρώματα στεγανά στο σύνολό τους. Σ' ορισμένες όμως θέσεις της λίμνης το ασβεστολιθικό παλαιό ανάγλυφο έφθανε



(1): Αργιλομάργες

(2): Καρστικός ασβεστόλιθος

(3): Ρήγμα



Σχ. 5. Φράγμα Περδίκας

A: Γεωλογική τομή κάτω από την λίμνη (άνοδος ασβεστολίθου από το ρήγμα)

B: Μηχανισμός διαβρώσεως και δημιουργία καταβοθρών

(Από Kaesaris, N., Falconnier, A et al, Felsmechnik III/1, 1965)

με πολύ μικρή κάλυψη κάτω από τη σημερινή επιφάνεια. Οι ασβεστόλιθοι, καρστικοί, εμφάνιζαν υδροφορία με χαμηλή υψομετρική στάθμη. Μετά την πλήρωση της λίμνης, το φορτίο του νερού της παράσερνε προοδευτικά την άργιλο μέσα στα καρστικά κενά με τελικό αποτέλεσμα την εμφάνιση στην επιφάνεια καταβοθρών που άδειασαν τη λίμνη.

3. ΤΑ ΘΕΜΑΤΑ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΑ ΑΙΤΙΑ ΑΣΤΟΧΙΩΝ

Τα πιο σημαντικά τεχνικογεωλογικά προβλήματα σχετικά με την κατασκευή ενός φράγματος αναφέρονται: στην ποιότητα της θεμελίωσης, με διαφοροποιήσεις στις απαιτήσεις ανάλογα με τον τύπο του έργου· στην στεγανότητα κάτω και γύρω από το φράγμα και στη στεγανότητα της λίμνης· στην ευστάθεια των αντερείσμάτων γύρω από το φράγμα και τους κινδύνους κατολισθήσεων στη λίμνη· στις συνθήκες των σύνδρομων έργων - σήραγγες, υπερχειλιστής κ.ά. και στα υλικά κατασκευής.

Οι περισσότερες καταστροφές ή ζημιές που οφείλονται στη γεωλογία έχουν αιτία κάποιο ελάττωμα στα ανωτέρω θέματα. Από μια συγκέντρωση περιστατικών που παρουσιάζει ο Stapledon (1976) τα αίτια είναι: ολίσθηση - θραύση θεμελίωσης, υποπίεσεις, διαλύσεις και εσωτερικές διαβρώσεις, μετακινήσεις ή παραμορφώσεις στα αντερείσματα, υποσκαφή από πλημμύρες, υπερβολικές παραμορφώσεις στη θεμελίωση, υπερβολικές παραμορφώσεις στο φράγμα.

Για να εκδηλωθούν όμως αυτά τα ελαττώματα, εκτός από κάποιες περιπτώσεις όπου αγγίζοντο τα όρια γνώσης της κατά περίπτωση εποχής και χωρίς να λαμβάνονται οι κατάλληλοι συντελεστές ασφαλείας, υπεύθυνοι ήταν: τα κενά τεχνικών γνώσεων του γεωλόγου του έργου· τα κενά τεχνικογεωλογικών γνώσεων του μηχανικού· λανθασμένες ή ατελείς γεωλογικές γνωματεύσεις· ατελές ή περιορισμένο πρόγραμμα ερευνητικών εργασιών πεδίου.

Την τελευταία περίπτωση τη συναντούμε και όταν επικρατεί ένα πνεύμα κακώς εννοούμενης οικονομίας, ενώ έχει αποδειχθεί ότι το κόστος μιας κανονικής γεωλογικής - γεωτεχνικής έρευνας είναι ασήμαντο, μέχρι 4%, σε σχέση με τη δαπάνη μελέτης και κατασκευής του έργου, πολύ περισσότερο ακόμη αφού συνδέεται μ' αυτή την ίδια την οικονομικότερη κατασκευή και την ασφάλεια του έργου.

4. ΣΤΑΔΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ ΚΑΙ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Οι τεχνικογεωλογικές δραστηριότητες δεν πρέπει να σταματούν στο στάδιο της μελέτης αλλά παραμένουν συνέχεια σ' όλα τα στάδια δημιουργίας και ζωής του έργου.

4.1. Μελέτη σκοπιμότητας και επιλογή της θέσης. Στο στάδιο αυτό καλύπτεται η γενική γεωλογική θεώρηση της ευρύτερης περιοχής μέσα στην οποία εντάσσεται το φράγμα και ο ταμιευτήρας. Εδώ θα αναγνωρισθούν οι χαρακτήρες που διαμορφώνουν τη γενική τεχνικογεωλογική ταυτότητα της περιοχής -π.χ. τεκτονικό στυλ που ελέγχει τη γεωμετρία των λιθοστρωματογραφικών ενοτήτων, γενικευμένα προβλήματα ασταθών ζωνών κ.λ.π. Επίσης εδώ ανήκει και η πρώτη αναγνώριση της σεισμικής επικινδυνότητας της περιοχής. Επισημαίνονται οι κατ' αρχήν πιο καλές θέσεις με γενικά κριτήρια -υδρολογικά μορφολογικά, χρήσης, κ.λ.π. και επιλέγεται η καλύτε-

ρη, ή εναλλακτικά οι καλύτερες, ύστερα από γεωλογική έρευνα σε επίπεδο προκαταρκτικής μελέτης. Ολοφάνερα γεωτεχνικά προβλήματα ή αδιαφιλονίκητα προβλήματα στη στεγανότητα της λίμνης όπως μπορούν να φανούν από μία πρώτη γεωλογική αναγνώριση επιφάνειας, πρέπει να αποκαλύπτονται από το στάδιο αυτό, ώστε έγκαιρα να εγκαταλείπεται η θέση και να αναζητείται καλύτερη γεωλογικά που και τελικά θα είναι οικονομικότερη. Τέτοιες καταστάσεις σε καμία περίπτωση δεν επιτρέπεται να περνάνε απαρατήρητες και τα προβλήματά τους, απαγορευτικά και ασύμφορα οικονομικά για τó έργο, να εμφανίζονται στη διάρκεια της Μελέτης. Στη φάση αυτή είναι δυνατό να εκτελεστούν ορισμένες περιορισμένες ερευνητικές εργασίες για την έρευνα σε βάθος (γεωφυσικά, γεωτρήσεις) αν η συμβολή τους είναι καθοριστική στην επιλογή της θέσης. Μετά την επιλογή, στη φάση αυτή της Προκαταρκτικής Μελέτης, της θέσης του φράγματος, συντάσσεται το κανονικό πρόγραμμα των ερευνητικών εργασιών που θα ακολουθήσουν.

4.2. Προμελέτη. Στη διάρκεια της Προμελέτης πρέπει να καλύπτεται η γεωλογική πληροφόρηση στο μεγαλύτερο της ποσοστό. Ύστερα από τη λεπτομερή τεχνικογεωλογική μελέτη - χαρτογραφήσεις, ερευνητικές εκσκαφές και στοές, δοκιμές- πρέπει να γίνεται γνωστή η γεωλογική κατάσταση της θέσης του φράγματος και τα προβλήματα που ενδεχόμενα υπάρχουν ή θα εμφανισθούν. Εδώ σε κάποια φάση οριστικοποιείται και ο άξονας του έργου. Το ερευνητικό πρόγραμμα που αρχικά συντάσσεται πρέπει λοιπόν πάντα να έχει μία ελαστικότητα ως προς κάποιες μεταβολές στο είδος, τα βάθη και τις θέσεις των ερευνητικών έργων που προδιαγράφονται συμβατικά στην αρχή της μελέτης, με τη σύνταξη του αρχικού προγράμματος. Οι γεωτεχνικές συνθήκες θεμελιώσεως και ευστάθειας των αντερεισμάτων, η στεγανότητα του χώρου κάτω και γύρω από το φράγμα όσο και τα προβλήματα κατολισθήσεων ή στεγανότητας της λίμνης, πρέπει να μπορούν να καθορίζονται από το στάδιο αυτό και να προσεγγίζεται ικανοποιητικά η έκταση και σε πρώτη προσέγγιση και το είδος και η διαστασολόγηση των έργων που θα απαιτηθούν για τη βελτίωση του γεωλογικού υλικού και την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών.

Η βασική μελέτη και διάταξη των έργων του Μελετητή πρέπει να μπορεί να διαμορφωθεί από την τεχνικογεωλογική μελέτη που θα αξιολογεί τα αποτελέσματα των ερευνητικών εργασιών στο στάδιο αυτό. Στο ίδιο εδώ στάδιο πρέπει να εξασφαλισθεί γεωλογικά ο εντοπισμός, η επάρκεια και η καταλληλότητα των δανειοθαλάμων σε συνδυασμό με την οριστικοποίηση και του τύπου του φράγματος που επιβάλλουν οι γεωλογικές συνθήκες.

4.3. Οριστική Μελέτη και Μελέτη εφαρμογής. Εδώ συμπληρωματικά μόνο γεωλογικά θέματα εξετάζονται και δίνονται πιο λεπτομερή γεωμετρικά στοιχεία σχεδιασμού σχετικά με τα έργα βελτιώσεων ή προστασίας που θα απαιτηθούν, όπως και απαντήσεις στα πρόσθετα γεωτεχνικά ερωτήματα του Μελετητή προκειμένου να ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός του φράγματος και των σύνδρομων του έργου. Η Τεχνική Γεωλογία παρέχει τέλος και βοήθεια στην σύνταξη των τεχνικών προδιαγραφών και των τευχών δημοπρατήσεων.

4.4. Κατασκευή. Η παρουσία εδώ του εξειδικευμένου και έμπειρου, απαραίτητα, γεωλόγου επιβεβαιώνει, το λιγότερο, ότι η γεωλογική κατάσταση που αποκαλύπτε-

ται από τις εκσκαφές κατά την κατασκευή είναι αυτή που είχε ληφθεί υπ' όψη στη διάρκεια της μελέτης. Διαφορετικά η όποια παραλλαγή πρέπει να εξετάζεται για τις ενδεχόμενες τροποποιήσεις που μπορεί να επιβάλει στην κατασκευή. Επί πλέον, όπως σχεδόν πάντα συμβαίνει, κάποιες αλλαγές για εργοταξιακούς λόγους έτσι κι αλλιώς απαιτούνται να γίνουν στην εφαρμογή της μελέτης, χωρίς να υπάρχει απαραίτητα γεωλογική μεταβολή· και εδώ πρέπει ο γεωλόγος να απαντήσει στα ερωτήματα που θα του θέσει ο κατασκευαστής ως προς τις συνέπειες αυτών των αλλαγών. Ο γεωλόγος πάλι του επιβλέποντα μηχανικού είναι σύμβουλος του για κάθε γεωτεχνικό πρόβλημα που εμφανίζεται. Στη διάρκεια της κατασκευής γίνονται γεωλογικές αποτυπώσεις και συντάσσονται τομές και δελτία των γεωλογικών εμφανίσεων, των μετακινήσεων της βραχομάζας, των παρατηρήσεων επί του υπόγειου νερού, κ.ά.

4.5. Λειτουργία. η αναγκαιότητα και η ευθύνη της γεωλογίας είναι τώρα η εξασφάλιση ότι το φράγμα και τα όργανά του λειτουργούν, από γεωτεχνικής πλευράς, όπως είχε μελετηθεί· διαφορετικά βοηθά στο σχεδιασμό και την κατασκευή διορθωτικών μέτρων. Ελέγχει και κρατά δελτία σχετικά με την παρακολούθηση οργάνων ελέγχου και ασφαλείας των έργων, π.χ. του φορτίου του νερού κάτω από τη θεμελίωση, των μετακινήσεων στα αντερείσματα, των κατολισθήσεων στον ταμιευτήρα κ.λ.π. Δεν είναι λίγες οι φορές όπου, προκειμένου να εκτελεσθούν πρόσθετα μέτρα ασφαλείας ή διορθωτικά μέτρα, απαιτείται η εκτέλεση νέων πρόσθετων ερευνητικών έργων και η εξέταση των γεωτεχνικών δελτίων, τομών, μετρήσεων κ.λ.π. που συντάχθηκαν στη διάρκεια των προηγούμενων σταδίων.

Σ' όλα τα στάδια τα αποτελέσματα των γεωλογικών εργασιών πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη από τους μηχανικούς υπεύθυνους άλλων επί μέρους αρμοδιοτήτων, συγχρόνως με την εξέλιξη κάθε σταδίου. Ο γεωλόγος πρέπει συνεπώς να βρίσκεται σε συχνή συνεργασία με τους άλλους αρμόδιους τόσο στο εργοτάξιο, όσο και στο γραφείο ή το εργαστήριο.

Τονίζουμε την ανάγκη να βρίσκεται ο τεχνικογεωλόγος από πάνω από τις εκσκαφές όταν κατασκευάζεται το έργο και εμφανίζεται άμεσα γυμνό το πέτρωμα. Η καταστροφή του φράγματος του St. Francis ή του Malpasset π.χ. θα είχαν αποφευχθεί αν το έμπειρο γεωλογικό μάτι παρατηρούσε τα γεωλογικά φαινόμενα και τις καταστάσεις που εμφανίζοντο με την πρόοδο των εκσκαφών.

Εκτός όμως από τη γεωλογική και γεωτεχνική εικόνα στο σχεδιασμό του φράγματος, η εκτίμηση των σεισμοτεκτονικών χαρακτηριστικών της περιοχής της θέσης του φράγματος έχει εξ ίσου προεξέχουσα σημασία. Εδώ σημασία έχει: γνώση του μεγαλύτερου σεισμού που λογικά μπορεί να αναμένεται να εκδηλωθεί στην περιοχή της θέσης· η συχνότητα των δυνατών καταστροφικών σεισμών και τα χαρακτηριστικά των εδαφικών κινήσεων· ο χαρακτήρας και η σοβαρότητα των παραμορφώσεων και η αναγνώριση ενεργών ρηγμάτων· τέλος η δυνατότητα της εκδηλώσεως συμπαρομαρτούσας σεισμικής δράσης. Η συνεργασία των ειδικών με τον τεχνικογεωλόγο είναι απαραίτητη τόσο στά στάδια της μελέτης, όσο και της λειτουργίας του έργου.

5. Η ΕΡΕΥΝΑ

Η έρευνα αφορά στην αρχή τη γενική όπως τονίστηκε γεωλογική γνώση της περιοχής ώστε να καθορισθεί το γεωλογικό πλαίσιο που θα αφορά στη συνέχεια το έργο: γεωλογική ιστορία - διεργασίες και αποτελέσματα, ενεργές δυναμικές διαδικασίες, εντοπισμός κύριων τεκτονικών δομών, σε σχέση με το χώρο επηρεασμού του φράγματος.

Η έρευνα αυτή βασίζεται στην βιβλιογραφία, τους χάρτες και τα γεωλογικά στοιχεία που υπάρχουν, στη μελέτη αεροφωτογραφιών και σε εντοπισμένες γεωλογικές έρευνες σε σημεία που από την αρχή αξίζει να εξεταστούν, ή όπου υπάρχουν κενά στην υπάρχουσα πληροφόρηση. Οι χάρτες εδώ έχουν κλίμακες 1:20.000 - 1:50.000.

Στην συνέχεια στο στάδιο 2 και 3 γίνεται η ένταξη της γεωλογίας της θέσης του φράγματος, εντοπίζεται και προσδιορίζεται η φύση και οι χαρακτήρες των κύριων γεωλογικών μορφών και επιλύονται τα ερωτήματα σχετικά με τα θέματα που αφορούν το έργο (§ 3). Στη μεθοδολογία ανήκει εδώ η γεωλογική χαρτογράφηση 1:5.000 για την περιοχή της λίμνης, 1:1000 - 1:500 για τη θέση του φράγματος και των σύνδρομων έργων του. Επίσης τα ερευνητικά έργα βάθους, έμμεσα όπως οι γεωφυσικές μέθοδοι, άμεσα όπως οι γεωτρήσεις, τα πηγάδια, τάφροι, στοές. Ο συνδυασμός των μεθόδων δίνει οπωσδήποτε ασφαλέστερη πληροφόρηση.

Για κάθε μέθοδο πρέπει να είναι γνωστές οι αδυναμίες και η αξιοπιστία τους, ανάλογα και με τη φύση των πετρωμάτων. Οι γεωφυσικές μέθοδοι π.χ. που κυρίως χρησιμοποιούνται, δηλ. οι σεισμικές και ηλεκτρικές, δεν μπορούν να δίνουν λεπτομέρειες παρά γενικές εικόνες και τις περισσότερες φορές έχουν αξία στον προσδιορισμό της επιφάνειας του πετρώματος κάτω από το εδαφικό του κάλυμμα. Οι γεωτρήσεις είναι η πιο συνηθισμένη, απαραίτητη, μέθοδος έρευνας που δίνει τις πιο πολλές πληροφορίες. Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων από τη δειγματοληψία και τις δοκιμές που γίνονται στις γεωτρήσεις χρειάζεται προσοχή ώστε να εκτιμηθούν τα ελαττώματα που οφείλονται από την τεχνική της διατρήσεως, ή από την κακή λειτουργία από το χειριστή. Π.χ. τα μηχανικά ασθενέστερα στρώματα συχνά διαφεύγουν της προσοχής αφού κονιοποιούνται ή παραμορφώνονται. Η ρωγμάτωση επίσης και οι υπολογισμοί παραμέτρων όπως το RQD εύκολα μπορεί να υπερεκτιμηθούν από την αποσυμπίεση και τη μηχανική κακοποίηση που προκαλεί η διάτρηση. Οι θέσεις των γεωτρήσεων δεν πρέπει να ορίζονται με κριτήρια μόνο τοπογραφικά και σε σύμμετρη κατανομή· οι γεωλογικές ιδιορρυθμίες και μεταβολές θα επιβάλουν τη θέση τους. Είναι λοιπόν απαραίτητο να έχει προηγηθεί η τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση της θέσης.

Οι ερευνητικές στοές προσφέρουν την καλύτερη και αντιπροσωπευτικότερη, κατά πολύ, πληροφόρηση και αφαιρούν την ανάγκη ερμηνείας των παρατηρήσεων όπως κάνουν οι άλλες μέθοδοι. Το κόστος τους βέβαια είναι ψηλό αλλά επιβάλλονται είτε όταν ο τύπος του φράγματος και οι επί τόπου δοκιμές το απαιτούν είτε όταν η πληροφόρηση για την ακριβή εικόνα του γεωλογικού υλικού είναι ατελής. Κυρίως δίνουν πληροφορίες για την κατάσταση της βραχομάζας και επιτρέπουν τη γεωτεχνική τους ταξινόμηση και διατίμηση. Η επιλογή θέσεων έτσι ώστε οι στοές αυτές να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στην κατασκευή του έργου επιδιώκεται

πάντοτε. Η αναγκαιότητα των επί τόπου δοκιμών, πάντοτε πιο αντιπροσωπευτικών, πρέπει να προκύπτει και από τις απαιτήσεις του τύπου του φράγματος αλλά και από την τεχνικογεωλογική κατάσταση της βραχομάζας. Σε πολλές περιπτώσεις τέλος απαιτείται μια ιδιαίτερη υδρογεωλογική έρευνα σε ευρεία έκταση για τη μελέτη στεγανότητας (π.χ. περίπτωση καρστικών σχηματισμών).

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της έρευνας είναι μία από τις πιο υπεύθυνες δραστηριότητες του τεχνικογεωλόγου. Ο τεχνικογεωλόγος έχει λάβει υπ' όψη του όλα τα στοιχεία, αλλά ξεχωρίζει εκείνα που ενδιαφέρουν το έργο και τα μεταφράζει με βάση τις τεχνικές απαιτήσεις του φράγματος — έχοντας πάντοτε στη σκέψη του ότι μπορεί να γίνουν αντιληπτά από τον μηχανικό. Ποσοτικοποιεί τα αποτελέσματα όσο η φύση τους το επιτρέπει και όσο μπορεί, αφήνει δε τη συνέχεια στον μηχανικό δίνοντάς του και τα πλαίσια της επιλογής των σωστών συντελεστών ασφάλειας. Τα σχέδια, οι τομές, τα προφίλ πρέπει να γίνονται αντιληπτά από το μηχανικό και να αφορούν άμεσα την τεχνική του θέματος π.χ. χάρτες του βάθους του επιφανειακού καλύμματος για τις εκσκαφές, χάρτες και τομές δανειοθαλάμων, χάρτες, τομές και διαγράμματα ευστάθειας πρανών, περατότητας κλπ.

Θα πρέπει πάντως στην έρευνα του φράγματος να προσεχθεί μήπως η μεγάλη σήμερα εξέλιξη στη σύνδεση του Τεχνικού Γεωλόγου και του Μηχανικού, μέσα στα πλαίσια της Γεωτεχνικής, αποπροσανατολίσει από τους κύριους στόχους και οδηγήσει σε αντίθετα αποτελέσματα. Πράγματι, όπως επισημαίνεται από τον Cuénod (1979), η ποιότητα των ερευνών για τις θεμελιώσεις είναι σήμερα αφάνταστα πιο υψηλή παρά πριν 20 χρόνια. Ο αριθμός και η ποικιλία των γεωτεχνικών δοκιμών είναι συνήθως ικανή ώστε παράμετροι αντιπροσωπευτικοί των γεωλογικών φαινομένων να μπορούν να προσδιορισθούν. Από την άλλη όμως πλευρά η στενή προσήλωση στην έρευνα αυτή και η μελέτη των αποτελεσμάτων συχνά ανταγωνιστικών δεν πρέπει να μας κάνουν να ξεχνούμε τις πραγματικές γεωλογικές σχέσεις. Υπάρχει κίνδυνος να παραμερισθούν τα κύρια προβλήματα και οι γεωλογικές συνθήκες, ενώ θα προσπαθούμε να λύσουμε λεπτομέρειες.

Τέλος είναι επίσης επικίνδυνο να τυποποιήσουμε τη διαδικασία, τον τρόπο και τις μεθόδους της έρευνας σ' ένα φράγμα. Στην πράξη κάθε περίπτωση πρέπει να θεωρείται και να αναλύεται σαν ιδιαίτερη.

6. ΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΟΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Η ιστορία κατασκευής φραγμάτων στην Ελλάδα, είναι πρόσφατη. Εκτός από το φράγμα βαρύτητας του Μαραθώνα για την ύδρευση της Αττικής, τα πρώτα μεγάλα φράγματα κατασκευάζονται στη δεκαετία του 50. Πρώτα το φράγμα βαρύτητας του Λούρου, καμπύλο σε κάτοψη, με ένα ύψος 18 μ. και το φράγμα του Λάδωνα 59 μ. ύψους. Ακολουθούν το τοξωτό φράγμα του Μέγδοβα, διπλής καμπυλότητας, ύψους 83 μ. και στη συνέχεια το φράγμα των Κρεμαστών στον Αχελώο, χωμάτινο με κεντρικό αργιλικό πυρήνα, ύψους 165 μ. Στη συνέχεια το 1969, τελειώνει το χωμάτινο φράγμα στο Καστράκι, στον Αχελώο, ύψους 96 μ. και μετά το φράγμα του Πολύφυτου λιθόρριπτο με κεντρικό αργιλικό πυρήνα, ύψους 112 μ. Τα φράγματα αυτά μαζί με το χωμάτινο φράγμα του Πουρναρίου στον Άραχθο που εγκαινιάσθηκε πρόσφατα,

ύψους 102 μ., είχαν για πρώτο και κύριο σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για τον ίδιο σκοπό σήμερα κατασκευάζονται τα φράγματα Ασωμάτων και Σφηκιάς στον Αλιάκμονα, Στράτου στον Αχελώο και Πηγών Αώου. Πλήθος τέλος, άλλων θέσεων, όπως στο Νέστο, τον Αλιάκμονα, τον Αραχθό, τον Βοϊδομάτη, τον Σαραντάπορο, τον Καλαμά, τον Αχελώο κ.ά. βρίσκονται σε κάποιο στάδιο μελέτης.

Αντίθετα τα φράγματα που έχουν κατασκευαστεί για αρδευτικούς ή υδρευτικούς σκοπούς είναι σήμερα ακόμη λίγα σε αριθμό. Εκτός από το άτυχο χωμάτινο φράγμα του Περδίκια, έχει κατασκευαστεί το χωμάτινο φράγμα του Πηνειού στην Πελοπόννησο, ύψους 53 μ. για άρδευση και το φράγμα του Μόρνου, χωμάτινο ύψους 126 μ. για την ύδρευση του Λεκανοπεδίου Αττικής. Ολοκληρωμένες μελέτες και μελέτες που εκπονούνται υπάρχουν όμως για πολλές άλλες θέσεις, στη Θεσσαλία, Θράκη, Πελοπόννησο, Ρόδο, Χαλκιδική κ.ά.

Σ' όλα τα φράγματα η γεωλογική κατασκευή είχε προεξάρχοντα λόγο στην επιλογή της θέσης, στον τύπο του φράγματος και στα έργα βελτίωσης και προστασίας που μερικές φορές πήραν εντυπωσιακές διαστάσεις (π.χ. στεγανοποίηση τμήματος της λίμνης του Μόρνου, στήριξη της βάσης των αντρευσμάτων του - κ.ά.). Πολλές θέσεις κατάλληλες για φράγματα απορρίφθηκαν για γεωλογικούς ακριβώς λόγους, τις περισσότερες φορές, ευτυχώς, στα πρώτα στάδια της μελέτης.

Τα πιο ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της γεωλογίας των φραγμάτων στην Ελλάδα είναι η τεκτονική δομή στο χώρο των έργων, οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί και ο φλύσχος.

Η **τεκτονική δομή** είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και διαταράσσει την όποια λιθοστρωματογραφική συνέχεια ή μονοτονία. Καθορίζει τη γεωμετρία των σχηματισμών προκαλώντας μια διασπορά και μια ποικιλία γεωλογικών καταστάσεων. Στην κλίμακα επίσης των εμφανίσεων ελέγχει το καθεστώς ρωγμάτωσης της βραχομάζας. Επίσης το στυλ της και συνεπώς οι επιπτώσεις του πάνω στην τεχνική γεωλογία των φραγμάτων ελέγχεται από τη γενικότερη δυναμική, παλιότερη ή σύγχρονη, του ελληνικού χώρου.

Οι **ασβεστόλιθοι**, μια που καλύπτουν το 30% της επιφάνειας της Ελλάδος, λίγες φορές δεν απασχολούν την κατασκευή ενός φράγματος, είτε στη θέση κατασκευής του είτε στον ταμιευτήρα του. Η καρστικότητα τους ποικίλει αλλά η τελική στεγανότητα των σχηματισμών ελέγχεται από την τεκτονική τους θέση και γεωμετρία, που μπορεί να δημιουργήσει καταστάσεις τελικά ευνοϊκές για την ασφάλεια της λίμνης. Επίσης η συνδυασμένη μελέτη στις στάθμες των καρστικών υδροφορέων είναι απαραίτητη για τις έρευνες στεγανότητας. Η υδρογεωλογική δηλαδή τελικά μελέτη μιας πολύ πιο ευρύτερης περιοχής βασισμένη πάνω σε καλή τεκτονική και παλαιογεωγραφική γνώση του εκεί γεωτεκτονικού συνόλου, αποτελεί τη βάση για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς των ασβεστολίθων από πλευράς στεγανότητας.

Ο **φλύσχος**, με κύρια ανάπτυξη στη Δυτική και Κεντρική Ελλάδα, εμφανίζεται συχνά στα φράγματα όπου αν εξασφαλίζει στεγανότητα στη λίμνη τους, η σύσταση και ετερογένειά του μπορεί να προβληματίζει στη θεμελίωση και στην ευστάθεια των αντρευσμάτων και κλιτύων. Η συμπεριφορά του ποικίλλει από εκείνη, καμιά φορά, του αργιλικού εδάφους, μέχρι τη συμπεριφορά του βράχου καλών αντοχών. Η ενδιάμεση συμπεριφορά, δηλαδή των εναλλαγών ψαμμιτών με ιλυόλιθους, μάργες και

σχιστόλιθους είναι η πιο συνηθισμένη. Η οποιαδήποτε πάντως συμπεριφορά μπορεί να μεταβληθεί ριζικά σε χειρότερη από την τεκτονική ταλαιπωρία που μπορεί να δέχτηκε ο φλύσχος τόσο τοπικά, όσο και στην κλίμακα της τεκτονικής καταπόνησης της ζώνης που ανήκει (π.χ. ο φλύσχος της Πίνδου είναι πιο αναστατωμένος από το πιο ήρεμο φλύσχη του Γαββρόβου).

7. ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΑ ΓΕΩΛΟΓΟΥ ΣΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

Ο ρόλος της γεωλογίας δεν αμφισβητήθηκε ποτέ στη διάρκεια της μελέτης των ελληνικών φραγμάτων. Αν εξαιρεθεί η περίπτωση του Περδικά, τα αποτελέσματα από την κατασκευή και λειτουργία τους δείχνουν ότι ο ρόλος αυτός, στο τελικό αποτέλεσμα, παρ' όλες τις καθυστερήσεις και υπερβάσεις που ορισμένες φορές σημειώθηκαν «παίχθηκε τελικά σωστά»: κάποια μικροπροβλήματα, που πάντα εμφανίζονται σε τέτοιου είδους έργα, δεν μπορούν να αλλάξουν τη διαπίστωση αυτή.

Ο Έλληνας γεωλόγος όμως άργησε να μπει στο κύκλωμα των μελετών - κατασκευών, αφού αυτές γινόταν από ξένα γραφεία ή εταιρείες που και σήμερα, σε πιο περιορισμένο βέβαια βαθμό, συνεχίζουν να αναλαμβάνουν τα φράγματα. Στη συνέχεια άρχισε να συμμετέχει και σαν συνεργάτης των ξένων στις μελέτες και κατασκευές. Σήμερα μπορεί να είναι ο υπεύθυνος τεχνικογεωλόγος του Έλληνα μελετητή ή του Έλληνα εργολάβου. Σ' αυτό βοήθησε η πείρα που απόκτησε από την εργασία του μέχρι σήμερα ή και οι εξειδικεύσεις από τις πιο εξελιγμένες, τα πρόσφατα χρόνια, στον τομέα των εφαρμογών, σπουδές του.

Στον τομέα των φορέων, ο κυριώτερος φορέας, η ΔΕΗ μπορεί να εκπονεί σήμερα η ίδια ορισμένο αριθμό από τις γεωλογικές - γεωτεχνικές μελέτες των φραγμάτων που μελετά και έχει εξειδικευμένο Γεωτεχνικό Τμήμα. Οι άλλοι φορείς είναι το Υπουργείο Δημοσίων Έργων, το Υπουργείο Γεωργίας και το Υπουργείο Εσωτερικών (για υδρεύσεις Δήμων), όπου οι γεωλογικές αρμοδιότητες αφορούν κυρίως τους προγραμματισμούς και τις επιβλέψεις. Οι γεωλογικές υπηρεσίες δεν έχουν ειδική οργάνωση για τα φράγματα και οι απαιτήσεις καλύπτονται από μεμονωμένους γεωλόγους που έχουν τις σχετικές γνώσεις και εμπειρίες. Εδώ ορισμένες φορές έρχεται αρωγός η Διεύθυνση Τεχνικής Γεωλογίας του ΙΓΜΕ (για περιπτώσεις του Υ.Δ.Ε. ή Εσωτερικών). Με την μελλοντική ανάπτυξη προγραμμάτων μελέτης νέων φραγμάτων οι γεωλογικές υπηρεσίες στους φορείς αυτούς πρέπει να διευρυνθούν και εξειδικευθούν.

Μερικές παρατηρήσεις που μπορούμε να επισημάνουμε εδώ για τις τεχνικογεωλογικές μελέτες των φραγμάτων διαφόρων φορέων — εκτός περιπτώσεων της ΔΕΗ — είναι οι εξής, χωρίς να σημαίνει ότι αυτά που αναφέρονται συμβαίνουν πάντοτε έτσι: η μη συνεχής και ουσιαστική επίβλεψη του μελετητή γεωλόγου από τον γεωλόγο του εργοδότη ή μη συστηματική και ουσιαστική επίβλεψη του εργολάβου από τον έμπειρο γεωλόγο του μελετητή ή/και του εργοδότη ή μη διαφοροποίηση του εργολάβου των ερευνητικών έργων από τον μελετητή ή μη έγκαιρη είσοδος του εδαφομηχανικού και η παράλληλη εργασία και συνεργασία του με τον τεχνικογεωλόγο ή μη συμμετοχή του τεχνικογεωλόγου σ' όλα τα επίπεδα και

στάδια αποφάσεων· οι δυσκολίες στη χρηματοδότηση, από την αρχή, ενός βέλτιστου προγράμματος ερευνητικών έργων· η τυποποίηση στο πρόγραμμα των ερευνητικών εργασιών και προβλήματα στις χρηματοδοτήσεις παραλλαγμένων μεθόδων ή εξοπλισμών που επιβάλλει η γεωλογική κατασκευή της περιοχής· η μη εξαγωγή των βασικών γεωλογικών πληροφοριών και γεωτεχνικών προβλημάτων από την προμελέτη· εκτέλεση ερευνητικών έργων πριν την ολοκλήρωση της γεωλογικής χαρτογράφησης· μη επισήμανση καθοριστικών προβλημάτων έγκαιρα με αποτέλεσμα μεγάλες υπερβάσεις των προϋπολογισμών (π.χ. Μόρνος).

Κλείνοντας θα θέλαμε να αναφερθούμε στο θέμα των ξένων συμβούλων Τεχνικής Γεωλογίας που καλούνται στις μελέτες και κατασκευές φραγμάτων. Είναι αναμφίβολο ότι η ιδιαιτερότητα των έργων συχνά απαιτεί τη γνώμη ενός ξένου συμβούλου. Ο ξένος σύμβουλος πρέπει να επιλέγεται όχι μόνο από τις ακαδημαϊκές περγαμηνές του, αλλά από την εμπειρία στα έργα αυτά. Ο σύμβουλος πρέπει επίσης να καλείται όχι για να καλύψει κάποια συμβατική υποχρέωση και την ευθύνη των αρμοδίων, αλλά όταν πράγματι υπάρχει πρόβλημα, ή δύσκολη και ασυνήθιστη κατάσταση. Ο σύμβουλος δεν αποδίδει, στην ολιγοήμερη επίσκεψή του, αν δεν έχει πλήρη φάκελλο του έργου, ενημέρωση και όλα τα στοιχεία των ερευνητικών εργασιών, επεξεργασμένα από τον υπεύθυνο τεχνικογεωλόγο του έργου. Τέλος είναι δύσκολο στο διάστημα της σύντομης επίσκεψής του να μπει μέσα στο νόημα της γεωλογικής νομοτέλειας της ευρύτερης περιοχής που μπορεί να ελέγχει χαρακτηριστικά ορισμένα προβλήματα του έργου, κυρίως στα πρώτα στάδια της μελέτης, πολύ περισσότερο όταν αυτή είναι ιδιαίτερα σύνθετη όπως συμβαίνει συχνά στην Ελλάδα, χωρίς τη συνεργασία και βοήθεια του έμπειρου Έλληνα τεχνικογεωλόγου του έργου.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Calambert et al. - Problèmes de Géologie d'ingénieur en régions karstiques. *Bull I.A.E.G.*, **12**, 93-132, 1975.
- Cuénod, Y and Dab Vesco, E. Geological causes of dam breaks and failures. *Bull I.A.E.G.*, **20**, 202-203, 1979.
- Deere Don, U. - Engineering Geologist's responsibilities in dam foundation studies. In *Foundations for Dams, A.S.C.E.*, 1974.
- Fecker, E. - The influence of jointing on failure of Teton dam *Bull I.A.E.G.*, **21**, 232-238, 1980.
- Glagg, Ch., - geological causes of dam incidemys, *Bull IAEG.* **20**, 196-201, 1979.
- Gignoux M., et Barbier, R., - *Géologie des Barrages et Amenagements Hydrauliques, Masson*, 1956.
- Golje A. - *Handbook of Dam Engineering Van Rinhold*, 1977.
- Greek Committee on Large Dams. *Large Dams in Greece*, Athens, 1974.
- Grosnier - Leconte, J. - Note sur l'organisation des reconnaissances géologiques a l' Electricité de France.
- Knill, J. - The application of Engineering Geology in the construction of dams in the United Kingdom. *Colloque Géologie de l' Ingenieur, Soc. Geol. Belg.*, 113-147, 1974.
- Lugeon, M. - *Barrages et Géologie. Dunod* 1932.
- Μαρινός, Π. - Γεωλογία του Ελληνικού χώρου σε σχέση με τα προβλήματα του μηχανικού. Φλύσχης, Σχιστόλιθοι. *Ημερίδα Ε.Ε.Ε.Θ., ΕΜΠ*, 1982.
- Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.

- Marinos, P. - Géologie des barrages dans les régions karstiques de Grèce. Quelques considérations générales, quelques cas particuliers. *Bull I.A.E.G.*, **25**, 133-136, 1982.
- Mary, M. - Barrages - Voûtes. Historique, Accidents et Incidents. Dunod, 1968.
- Müller - Salzburg, L and Fecker, E. - Experience in site investigation for dam construction. *Bull IAEG*, **20**, 51-57, 1979.
- Oborn, L.E. - Seismotectonic and dam construction. *Bull IAEG*, **20**, 94-105, 1979.
- Oliveira, R. - Engineering geological problems related to the study, desing and construction of dam foundation. *Bull. IAEG*, **20**, 4-7, 1979.
- Price, D. et al. - the development of an international code of good practice for site investigation. *Bull I.A.E.G.*, **22**, 147-149, 1980.
- Schyster, R. - Geological causes of dam incidents. Discussion. *Bull I.A.E.G.*, **21**, 231-232.
- Shibakava, V. - A review of the international Symposium "Engineering Geological Problems in Hydrotechnical Construction". *Bull I.A.E.G.*, 1980.
- Stapledon, D.H. - Geologic hazards and water storage. *Bull IAEG*, **14**, 294-262, 1980.
- Stevenson, D.C. and Moore, N.R. - A logical loop for the geological investigation of dam sites. *Q J1 engng. Geol.* **9**, 65-71, 1976.
- Stuart, H. - Reservoir leakage and grounwater control. *Bull Ass. Eng. geol.* **VI. I.** 1-82, 1969.
- Ter Stepanian, G and Arakelian, A. - Some problems of further development of Engineering Geology for hydrotechnical construction. *Bull I.A.E.G.*, **21**, 222-224, 1980.
- Thomas, H. - the Engineering of Large Dams. J. Wiley 1976.
- U. S. Committee of Large Dams. - Lessons from Dam Incidents *U.S.A. ASCE*. 1975.
- Wahlstrom, E. - Dams, Dam Foundations and Reservoir Sites. Elsevier, 1974.
- Záruba, Q and Mencl, V. - Engineering Geologie, Elsevier, 1976.