

# Ο Γεωλογικός Παράγοντας στη Μελέτη, κατασκευή και Λειτουργία των Υδροηλεκτρικών Έργων.

Σ. Ραυτόπουλος  
Γεωλόγος ΔΕΗ Α.Ε / ΔΕΥ

## 1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Καθώς η φύση των Υδροηλεκτρικών Έργων είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με το Γεωλογικό Μέσο που τα φιλοξενεί, η γνώση και η διαχείριση του τελευταίου, αναδεικνύεται ως ο ακρογωνιαίος λίθος, τόσο για τη μελέτη όσο για την κατασκευή αλλά πολύ περισσότερο για την λειτουργία των παραπάνω Έργων.

Η προσέγγιση των Γεωλογικών συνθηκών σε προκαταρκτικό ή οποιοδήποτε μεταγενέστερο στάδιο, αποτελεί μια ατέρμονα διαδικασία, που συνοδεύει το Έργο από τη φάση της επιλογής της θέσης για την κατασκευή του, έως και την συντήρησή του κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του.

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται δύο από τις βασικότερες γεωλογικές παραμέτρους που εξετάζονται κατά την μελέτη ενός Υ.Η.Ε.. Την **ευστάθεια των πρανών** και την **υπόγεια υδραυλική**. Παράλληλα αναδεικνύει τα προβλήματα που είναι δυνατόν να προκύψουν κατά την κατασκευή ή την λειτουργία του Έργου, από την μη ορθή εκτίμηση των παραμέτρων αυτών.

Σαν περιπτώσεις αναφοράς χρησιμοποιούνται τα Υ.Η.Ε. Πολυφύτου στο νομό Κοζάνης και Κρεμαστών στο νομό Αιτωλοακαρνανίας αντίστοιχα.

## 2. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ ΣΤΗ ΖΩΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Το σύνολο των Γεωλογικών εργασιών που εκπονούνται απο τα πλέον πρώιμα στάδια της μελέτης ενός Υδροηλεκτρικού Έργου έχει πάντοτε στόχο την προσέγγιση του γεωλογικού μέσου και των φυσικών παραμέτρων του.

Η προμελέτη αποτελεί κρίσιμο στάδιο, της διαδικασίας σχεδιασμού ενός Υδροηλεκτρικού έργου, κατά το οποίο η ανίχνευση της Γεωλογικής παραμέτρου οδηγεί στην ερμηνεία της Γεωλογικής δομής που είναι το κλειδί για την απάντηση μιας σειράς κρίσιμων ερωτημάτων. Ερωτήματα σχετικά με τη δυνατότητα της περιοχής να φιλοξενήσει το έργο (φάση προμελέτης) καθώς και με τον τρόπο που θα αντιμετωπισθούν τα διάφορα προβλήματα (φάση μελέτης). Εδώ πρέπει να σημειώσουμε τη δυσχερή πολλές φορές διερεύνηση της γεωλογικής δομής, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου η τελευταία παρουσιάζει μεγάλη πολυπλοκότητα. Στην περίπτωση αυτή είναι πιθανόν να μη είναι δυνατό σε ικανοποιητικό βαθμό, το ξεκαθάρισμα της δομής, έτσι ώστε ο Γεωλογικός παράγοντας να καθίσταται αρκετά προβλέψιμος. Επιπροσθέτως ο χαρακτήρας της ανομοιογένειας του γεωυλικού, σε πολλές περιπτώσεις καθιστά επιβεβλημένη την συντηρητική θεώρηση των γεωλογικών και γεωτεχνικών παραμέτρων μελέτης. Σε άλλες περιπτώσεις από τον ίδιο λόγο πιθανόν να διαφύγουν προβλήματα ενώ άλλα να υποβαθμιστούν, ή και να μην ληφθούν καθόλου υπόψη. Οι Γεωλογικές εργασίες που εκτελούνται στη υπόψη φάση, είναι η συλλογή στοιχείων από προηγούμενες έρευνες και γενικά ότι προϋπάρχει για την περιοχή μελέτης. Είναι οι γεωλογικές αποτυπώσεις και χαρτογραφήσεις της ευρύτερης καθώς και της στενότερης περιοχής του Έργου, όπως επίσης και η υπεδαφική έρευνα με γεωτρήσεις, ερευνητικές στοές, σκάμματα κ.λ.π., επι τόπου δοκιμές, εργαστηριακές δοκιμές και γεωφυσικές διασκοπήσεις. Από

τα αποτελέσματα των προηγούμενων εργασιών, καθορίζεται η τελική θέση του Έργου, με πιθανές μετακινήσεις τμημάτων του. Θα μπορούσε επίσης να προκύψει συνολική μετακίνηση του Έργου ανάντι ή κατάντι. Επι πλέον σχεδιάζονται οι εκσκαφές και οι διάφορες επεμβάσεις, καθώς επίσης και τα μέτρα προστασίας που θα απαιτηθούν. Σε σπανιότερες περιπτώσεις μπορεί να προκύψει ακόμη και ακύρωση του Έργου, εφόσον οι γεωλογικές συνθήκες δεν αποδειχθούν ικανές και επαρκείς για την κατασκευή του.

Η κατασκευή του έργου αποτελεί μια ξεχωριστή ενότητα από πλευράς γεωλογίας, όπου επιβεβαιώνεται ή διαψεύδεται ενδεχομένως το γεωλογικό μοντέλο που έχει προηγουμένως θεωρηθεί και που πάνω του οικοδομείται ο σχεδιασμός και η γενική διάταξη του Έργου, τόσο σε επιτελικό, όσο και πιο λεπτομερειακό επίπεδο. Εφαρμόζεται η μελέτη, γίνεται έλεγχος αποκλίσεων μεταξύ των προβλεπομένων και συναντούμενων γεωλογικών συνθηκών και όπου είναι δυνατόν γίνεται προσαρμογή της μελέτης στις πραγματικές συνθήκες. Εκτελούνται λεπτομερείς γεωλογικές καταγραφές των ευρημάτων, γεωλογικές χαρτογραφήσεις των μετώπων που σταδιακά αποκαλύπτονται από τις εκσκαφές. Εκτελούνται υπεδαφικές συμπληρωματικές έρευνες με γεωτρήσεις κ.λ.π., με στόχο τον ακριβή προσδιορισμό των γεωλογικών συνθηκών, στην περιοχή θεμελίωσης του εκάστοτε Έργου.

Τέλος η φάση της λειτουργίας του έργου, προκειμένου πάντα για την γεωλογία, αποτελεί την διαδικασία παρατήρησης, ελέγχου της συμπεριφοράς του και ίσως αναθεώρησης στοιχείων του γεωλογικού μέσου, που μέχρι τότε είχαν θεωρηθεί σε επίπεδο μηχανισμών, παραμέτρων και απόκρισής του, με στόχο την πρόληψη αστοχιών που είναι και το σημαντικότερο ζητούμενο για το Έργο. Ερμηνεύονται τα στοιχεία των μετρήσεων και ενδείξεων των οργάνων που είναι εγκατεστημένα στο Έργο, αξιολογούνται συνολικά σύμφωνα και με την συνολική εικόνα που παρουσιάζει το Έργο, σε συνδυασμό πάντοτε με τα υπάρχοντα γεωλογικά στοιχεία και τα ως κατασκευάστησαν σχέδια. Η διαδικασία αυτή μπορεί να οδηγήσει στην αλλαγή και την εκ νέου θεώρηση των προγραμματισμένων εργασιών ελέγχου και παρακολούθησης του Έργου, όπως επίσης και της έντασης και συχνότητας της παρακολούθησης της εξέλιξης πιθανών φαινομένων αντίστοιχα. Σε πολλές περιπτώσεις, είναι δυνατόν ακόμη και σε αυτή τη φάση να προκύψει αναθεώρηση του γεωλογικού μοντέλου, πράγμα που μπορεί να οδηγήσει σε νέες έρευνες και γενικά να ανοίξει έναν νέο κύκλο επαναπροσδιορισμού του προσδιορισμού του Γεωλογικού παράγοντα.

Γίνεται επομένως φανερό ότι είναι πιο σωστό να μιλάμε πάντοτε για προσέγγιση του Γεωλογικού παράγοντα και όχι για πλήρη ή απόλυτη γνώση αυτού. Αυτό είναι και το αναμενόμενο, καθ' όσον το πολυπαραμέτρο του χαρακτήρα που παρουσιάζει σχεδόν πάντοτε το γεωλογικό μέσο και η εκ φύσεως ετερογένειά του, δεν επιτρέπουν συχνά την πλήρη εκτίμησή του και κατά συνέπεια τον ακριβή προσδιορισμό των παραμέτρων του και κατ' επέκταση της συμπεριφοράς του.

### 3. ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΕΡΓΟ ΠΟΛΥΦΥΤΟΥ

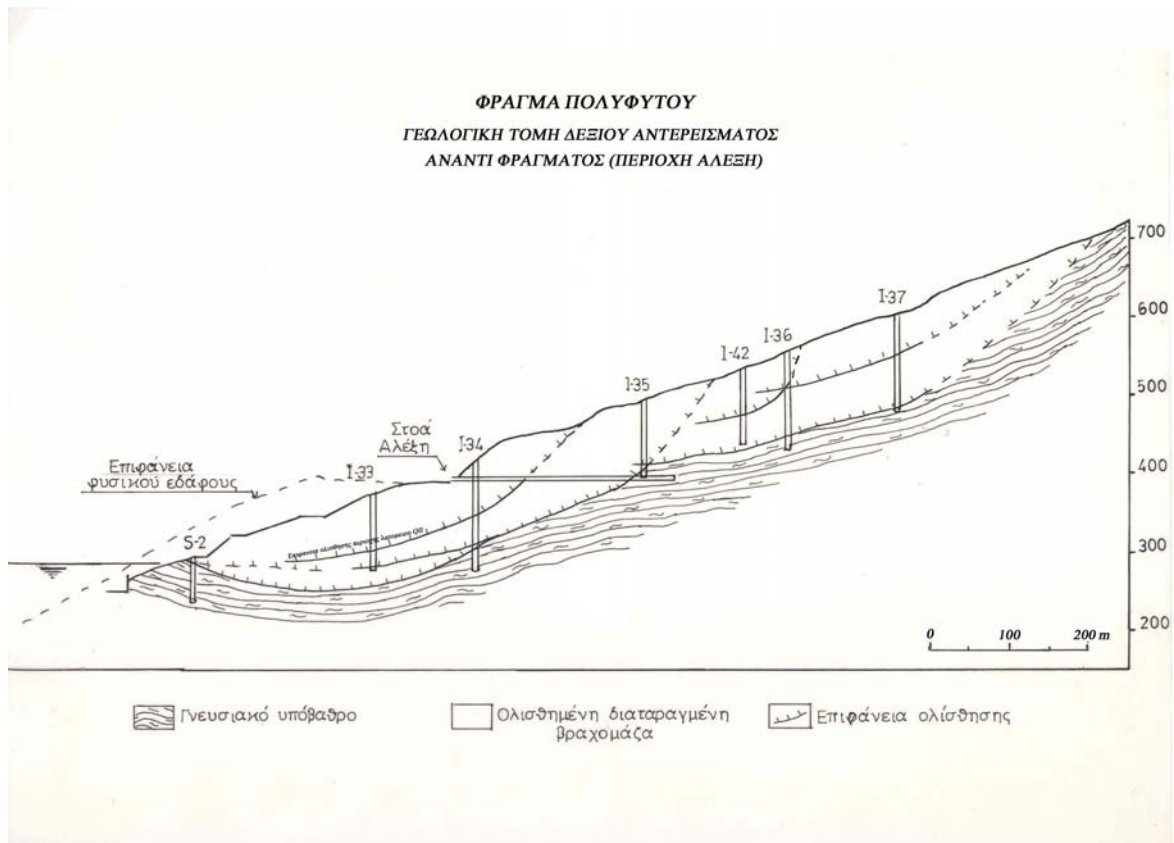
#### 3.1. Στοιχεία του έργου.

Το Υ.Η.Ε. Πολυφύτου, βρίσκεται στο νομό Κοζάνης, σε απόσταση 45 Km Νοτιοδυτικά της πόλης της Κοζάνης.. Το φράγμα είναι λιθόρριπτο συνολικού όγκου 3.459.000 m<sup>3</sup>, με αργιλικό πυρήνα. Έχει ύψος 105 m. και μήκος στη στέγη 297 m. Ο ταμιευτήρας έχει εμβαδόν 74 Km<sup>2</sup> και χωρητικότητα 1.940.000 m<sup>3</sup>. Η εγκατεστημένη ισχύς του Έργου είναι 3 X 125 MW ενώ η μέση παραγόμενη ετήσια ηλεκτρική ενέργεια ανέρχεται σε 400 GWh.

Στην αμέσως ανάντι του φράγματος περιοχή, επι του δεξιού αντερείσματος, βρίσκεται η περιοχή Αλέξη, η οποία φιλοξενεί μια παλιά αστάθεια μεγάλης κλίμακας.

### 3.2 Γεωλογία περιοχής «Αλέξη».

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της ευρύτερης περιοχής του έργου ανήκουν στην Πελαγονική γεωτεκτονική ζώνη, που δομείται από μεταμορφωμένα πετρώματα της σειράς των γνευσίων. Πιο συγκεκριμένα στην περιοχή ενδιαφέροντος επικρατούν οι μαρμαρυγικοί και ιδιαίτερα οι μοσχοβιτικοί γνεύσιοι. Τακτικές παρεμβολές βιοιτιτικών και αμφιβολιτικών γνευσίων, παρουσιάζονται ακανόνιστα στην κυρίως γνευσιακή βραχομάζα.



Σχήμα 1.

### 3.3. Ιστορικό

Το εγγενές γεωλογικό πρόβλημα της περιοχής του Αλέξη έγινε γνωστό στη φάση κατασκευής του έργου. Μέχρι τότε αποτελούσε μικρής σημασίας θέμα, τουλάχιστον ως προς την έκτασή του, το οποίο σε καμία περίπτωση δεν προκαλούσε ανησυχία για το έργο. Το βόρειο τμήμα του ποδός της μετέπειτα διαπιστωθείσας ευρείας αστάθειας, προοριζόταν για δανειοθάλαμος (λατομείο Q II) υλικών κατασκευής των κελυφών του φράγματος. Κατά τις εκσκαφές που ακολούθησαν στο εν λόγω λατομείο, προκλήθηκαν αρχικά μικροκατολισθήσεις επιφανειακού χαρακτήρα. Οι κατολισθήσεις αυτές αντιμετωπίστηκαν με αποκομιδή των ασταθών υλικών. Τον Νοέμβριο του 1972 και τον Ιούνιο του 1973, άρχισε να διαφαίνεται το πραγματικό πρόβλημα της περιοχής, όταν

εκτός από τη συνέχιση των κατολισθήσεων, άρχισαν από τις εκσκαφές να αποκαλύπτονται ενιαίες και εκτεταμένες αργιλικές ζώνες, καθώς και ζώνες μυλωνιτοποιημένων υλικών. Οι ζώνες αυτές διέτρεχαν περίπου οριζόντια τον πόδα του ευρύτερου πρανούς με βύθιση του ίχνους των στην επιφάνεια του εδάφους προς τα ανάντι. Η διαπίστωση της ύπαρξης σοβαρότερου θέματος, από ότι αρχικά είχε θεωρηθεί, οδήγησε σε έρευνα, με στόχο την εκτίμηση της έκτασης και του βάθους του προβλήματος καθώς και της κινηματικής συμπεριφοράς της ασταθούς πλέον βραχομάζας. Στα πλαίσια αυτά η περιοχή άρχισε να παρακολουθείται γαιωδελτικά, ενώ παράλληλα έγινε γεωλογική αναγνώριση, υπο το πρίσμα της διερεύνησης της ευρύτερης περιοχής, με έμφαση στην ανίχνευση ρωγμών τόσο στην στενότερη, αλλά και στην ευρύτερη στα ανοικτά του πρανούς περιοχή. Εκπονήθηκε επίσης γεωερευνητικό πρόγραμμα, που περιελάμβανε την ανόρυξη 16 γεωτρήσεων όπου εγκαταστάθηκαν όργανα παρακολούθησης της συμπεριφοράς της περιοχής και διανοίχθηκε μια ερευνητική στοά, μήκους 274 m.

#### 3.4. Διαπιστώσεις από την έρευνα.

Σύμφωνα με την γεωλογική έρευνα που εκτελέστηκε στην περιοχή, βρέθηκε ότι υπάρχει μια εκτεταμένη σε επιφάνεια και σε βάθος, παλιά κατολίσθηση, (Σχήμα 1), τοπικό και επιδερμικό τμήμα της οποίας ήταν οι κατολισθήσεις που είχαν προκληθεί στην περιοχή του λατομείου, κατά την διάρκεια των εκσκαφών για την εξόρυξη των υλικών φράγματος. Η εκτεταμένη αυτή κατολίσθηση του Αλέξη, υπακούει σε δικές της αρχές, που λόγω του μεγάλου μεγέθους της, δεν επηρεάστηκαν από τις σχετικά μικρής έκτασης επεμβάσεις στο πρανές με τις εκσκαφές. Αφορά σε ένα μοντέλο διαδοχικών κύκλων αστοχιών, σε διακεκριμένες επιφάνειες σχιστότητας στην πλειοψηφία τους, κατά μήκος στρωμάτων με ιδιαίτερα ασθενή τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά, λόγω του υψηλού βαθμού εξαλλοίωσης που αυτά παρουσιάζουν. Τέτοιες ζώνες απαντούν κυρίως στις παρεμβολές βιοτιτικών και αμφιβολιτικών γνευσίων. Τα εξαλλοιωμένα υλικά των παρεμβολών αυτών υποβαθμίζουν την ποιότητα της βραχομάζας δημιουργώντας τις προϋποθέσεις για αστοχίες κατά μήκος των επιφανειών σχιστότητας. Οι συγκεκριμένες αυτές επιφάνειες συνιστούν τελικά διατμημένες ή και μυλωνιτοποιημένες ζώνες με αξιολογα πάχη και εκτείνονται σε σχετικά μεγάλα βάθη στο εσωτερικό της βραχομάζας, που σε κάποιες περιπτώσεις φθάνουν και ξεπερνούν ακόμη και το βάθος των 120 m.

Η περιοχή του «Αλέξη» επομένως, αποτελεί μια εκτεταμένη, σύνθετη τεχνικογεωλογική ενότητα με παλαιό ιστορικό και σταδιακή χρονική εξέλιξη. Στο παρελθόν έχουν δράσει αλληπάληλοι κύκλοι ασταθειών που αφορούσαν σε διάφορα τμήματά της. Τα τμήματα αυτά εν είδει διαδραστικού μοντέλου επηρεάζοντας το ένα το άλλο, έδωσαν τελικά μια περιπεπλεγμένη συνολική κατάσταση, με ασαφή στις περισσότερες περιπτώσεις στοιχεία βάθους αστοχίας, χωρίς να διαμορφώνεται ένας ενιαίος διατμητικός φορέας με διακριτή γεωμετρία. Αυτό αποτέλεσε και το σοβαρότερο πρόβλημα για την όποια θεώρηση αντιμετώπισής της.

Οι μετακινήσεις αρχικά την περίοδο του 1974, έφθαναν ακόμη και τα 0.5 mm την ημέρα, ενώ από το 1982 και έπειτα περιορίστηκαν στα 0.1 με 0.2 mm την ημέρα. Οι βροχοπτώσεις ήταν ένας παράγοντας που επηρέαζε τον ρυθμό των μετακινήσεων, όπως πιθανόν αντίστοιχα σε μικρότερο όμως βαθμό η αυξημένη στάθμη του ταμειυτήρα κατά τους μήνες Μάιο και Ιούνιο. Οι μετακινήσεις αυτές σήμερα παρουσιάζονται εξαιρετικά μειωμένες. Τόσο οι οριζόντιες όσο και οι κατακόρυφες μετακινήσεις σήμερα, κυμαίνονται σε μερικά χιλιοστά το χρόνο στην πλειοψηφία των περιπτώσεων. Σε μεμονωμένες περιπτώσεις οι μετακινήσεις ξεπερνούν λίγο τα 20 χιλιοστά το χρόνο, σε περιοχές που βρίσκονται αμέσως υπεράνω κύριων επιφανειών αστοχίας, όπως συμβαίνει για παράδειγμα στο εσωτερικό της στοάς του Αλέξη (Σχήμα 2).

Η πιεζομετρία της περιοχής είναι γενικά χαμηλή, στα επίπεδα του βάθους του υγιούς και πρακτικά αδιαπέρατου γνευσιακού υποβάθρου, ενώ στα υψομετρικά κατώτερα τμήματα της

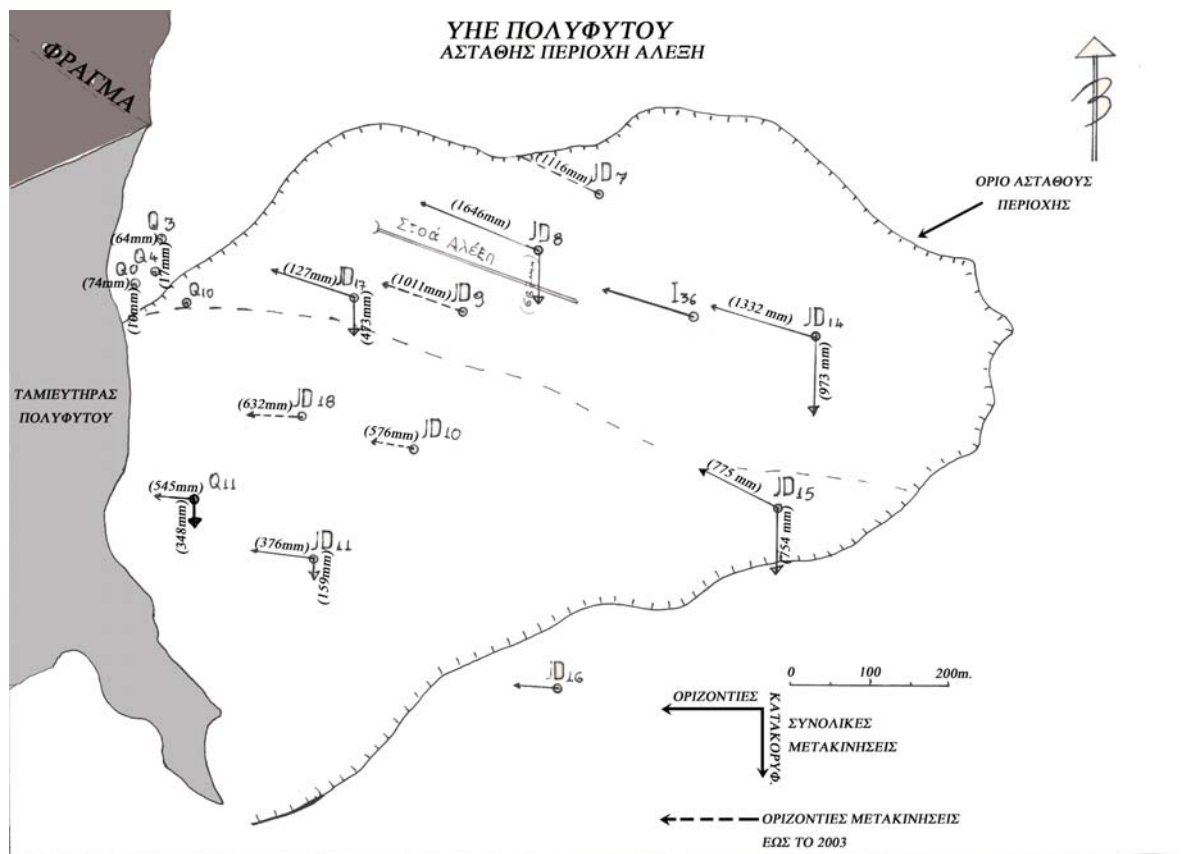
περιοχής, η στάθμη βρίσκεται κοντά στη στάθμη της λίμνης. Δεν αποκλείονται πάντως και τοπικές ανυψώσεις της στάθμης πάνω από αργλικές ζώνες υπο μορφή επικρεμάμενων ή εγκλωβισμένων υδροφόρων οριζόντων.

Αντίθετα, η κατολίπηση της περιοχής του λατομείου, αποτελεί μικροκλίμακα της αστάθειας του Αλέξη, δημιουργήθηκε επί προδιατεταμένης επιφάνειας εξαλλοιωμένων γνευσίων και επηρέασε ένα ρηχό μόνο τμήμα, της επιφάνειας του Αλέξη.

### 3.5. Μέτρα αντιμετώπισης των ασταθειών.

Ερμηνεύοντας τα αποτελέσματα των παραπάνω και θεωρώντας τα δύο γεγονότα των ασταθειών σαν ανεξάρτητα, η αντιμετώπισή τους δρομολογήθηκε σε δύο κατευθύνσεις μία για την ευρύτερη περιοχή του Αλέξη και μια για την αστάθεια του λατομείου.

Για την περιοχή του Αλέξη, οι προοπτικές για ενδεχόμενη σταθεροποίησή περιορίστηκαν μόνο σε εξέταση της ανακούφισής της από εσωτερικές υδροστατικές πιέσεις. Έτσι η στοά των 274 m αποτέλεσε τον κύριο αποστραγγιστικό φορέα του γεωυλικού της κατολίπησης. Παράλληλα όμως



Σχήμα 2

ζωτικής σημασίας ζήτημα τέθηκε η συνεχής παρακολούθηση του φαινομένου, πράγμα το οποίο τηρείται ανελλιπώς. Σύμφωνα με τις μετρήσεις που εκτελούνται, φαίνεται ότι υπάρχουν

μικρομετακινήσεις στην μάζα της κατολίθησης, τέτοιες που θεωρούνται φυσιολογικές για την έκταση και την δυναμική μιας τέτοιας περίπτωσης και οι οποίες τείνουν πιθανότατα αργά και σταθερά σε ισορροπία.

Αντίθετα, για την περιοχή του λατομείου, υπήρξαν όπως προαναφέρθηκε άμεσα μέτρα βελτίωσης των συνθηκών ευστάθειας της κατολίθησης. Τα μέτρα αυτά αφορούσαν κυρίως στην αντιστήριξη του πόδα της περιοχής. Τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά καθώς δεν υπάρχουν αξιόλογες τάσεις μετακινήσεων στη περιοχή, τέτοιες που να δημιουργήσουν προβλήματα στις άμεσα γειτνιάζουσες ευαίσθητες και ζωτικές κατασκευές του έργου (έργα Εισόδου Υδροληψίας και Εκχειλιστή).

#### 4. ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΕΡΓΟ ΚΡΕΜΑΣΤΩΝ.

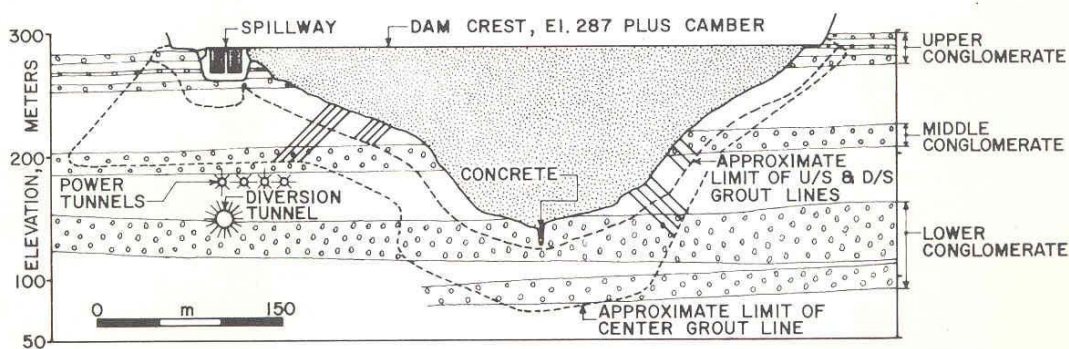
##### 4.1. Στοιχεία του έργου.

Το Υ.Η.Ε. Κρεμαστών βρίσκεται στο νομό Αιτωλοακαρνανίας σε απόσταση 65 Km, από την πόλη του Αγρινίου. Το φράγμα είναι χωμάτινο με αργιλικό πυρήνα, συνολικού όγκου  $8.131.200 \text{ m}^3$ , ύψους 160,3 m, με μήκος στέψης 456 m. Ο ταμιευτήρας του Έργου καλύπτει έκταση  $80,6 \text{ Km}^2$  και ο συνολικός όγκος αποθήκευσης νερού, είναι της τάξεως των  $3,3 \times 10^9 \text{ m}^3$ . Η εγκατεστημένη συνολική ισχύς του σταθμού είναι 437 MW και η παραγόμενη ετήσια ενέργεια 800 GWh.

Το φράγμα των Κρεμαστών παρουσιάζει προβλήματα διαρροών στα αντερείσματα, τα οποία σήμερα είναι τουλάχιστον κατά το ήμισυ περιορισμένα από την περίοδο της πρώτης πλήρωσης, ύστερα από εκτεταμένες επεμβάσεις.

##### 4.2. Γεωλογία-Υδρογεωλογία, περιοχής του Έργου.

Η περιοχή του Υδροηλεκτρικού Έργου Κρεμαστών, δομείται από τους ανώτερους στρωματογραφικά σχηματισμούς της γεωτεκτονικής ζώνης του Γαβρόβου. Τα πετρώματα που



ΜΗΚΟΤΟΜΗ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ (ΟΨΗ ΑΠΟ ΑΝΑΝΤΙ)

Σχήμα 3.

συνθέτουν το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής του φράγματος, είναι κλαστικοί σχηματισμοί του φλύσχη, δηλαδή ψαμμίτες, ιλυολίθοι και κροκαλοπαγή, σε εναλλαγές. Στην ίδια περιοχή υπάρχουν τρεις διακριτές ενότητες κροκαλοπαγών, (Σχήμα 3) που αποτελούν το κύριο χαρακτηριστικό της γεωλογικής δομής της υπόψη περιοχής, οι οποίες κλίνουν με μικρή κλίση προς τα ανάντι. Η υδρογεωλογική συμπεριφορά του σχηματισμού του φλύσχη, λόγω της ετερογενούς του λιθολογικής σύνθεσης, διαφοροποιείται αναλόγως με τον εκάστοτε πετρογραφικό σχηματισμό. Έτσι διακρίνουμε τους πρακτικά αδιαπέρατους ιλυολίθους, τους μικρής γενικά περατότητας ψαμμίτες και τα κροκαλοπαγή που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον από υδραυλικής άποψης. Τα τελευταία, αναπτύσσουν μικρό έως μέτριο πρωτογενές πορώδες, έχουν όμως έντονα δίκτυα διευρυσμένων ρωγμών, ψευδοκαρστικής και όχι μόνον δομής, που τα καθιστά τοπικά εξαιρετικά περατά και από αυτήν την άποψη ακόμη και απρόβλεπτα, στις υδραυλικές τους παραμέτρους. Η παρουσία των τριών ενοτήτων των κροκαλοπαγών σε συνδυασμό με τους υπερκείμενους και υποκείμενους χαμηλής περατότητας ψαμμίτες και ιλυολίθους, δημιουργεί καθεστώς επικραμιάμενων υδροφόρων οριζόντων, εντός των κροκαλοπαγών, ακριβώς επάνω από την επαφή τους με τα γενικά αδιαπέρατα υποκείμενα στρώματα. Λόγω δε της ύπαρξης παρακατακόρυφων συστημάτων ρηγμάτων και άλλων ασυνεχειών, σε κάποιες περιπτώσεις οι διακεκριμένοι υδροφόροι ορίζοντες των κροκαλοπαγών πολλές φορές επικοινωνούν μεταξύ τους. Ένας βαθύτερος υδροφόρος ορίζοντας με θειούχο νερό, αναπτύσσεται σε χαμηλότερα επίπεδα. Ο ορίζοντας αυτός βρίσκεται σε γενικές γραμμές σε επικοινωνία με τον πρώτο, μέσω των διάφορων διακεκριμένων ρηξιγενών δομών της περιοχής.

#### *4.3. Ιστορικό*

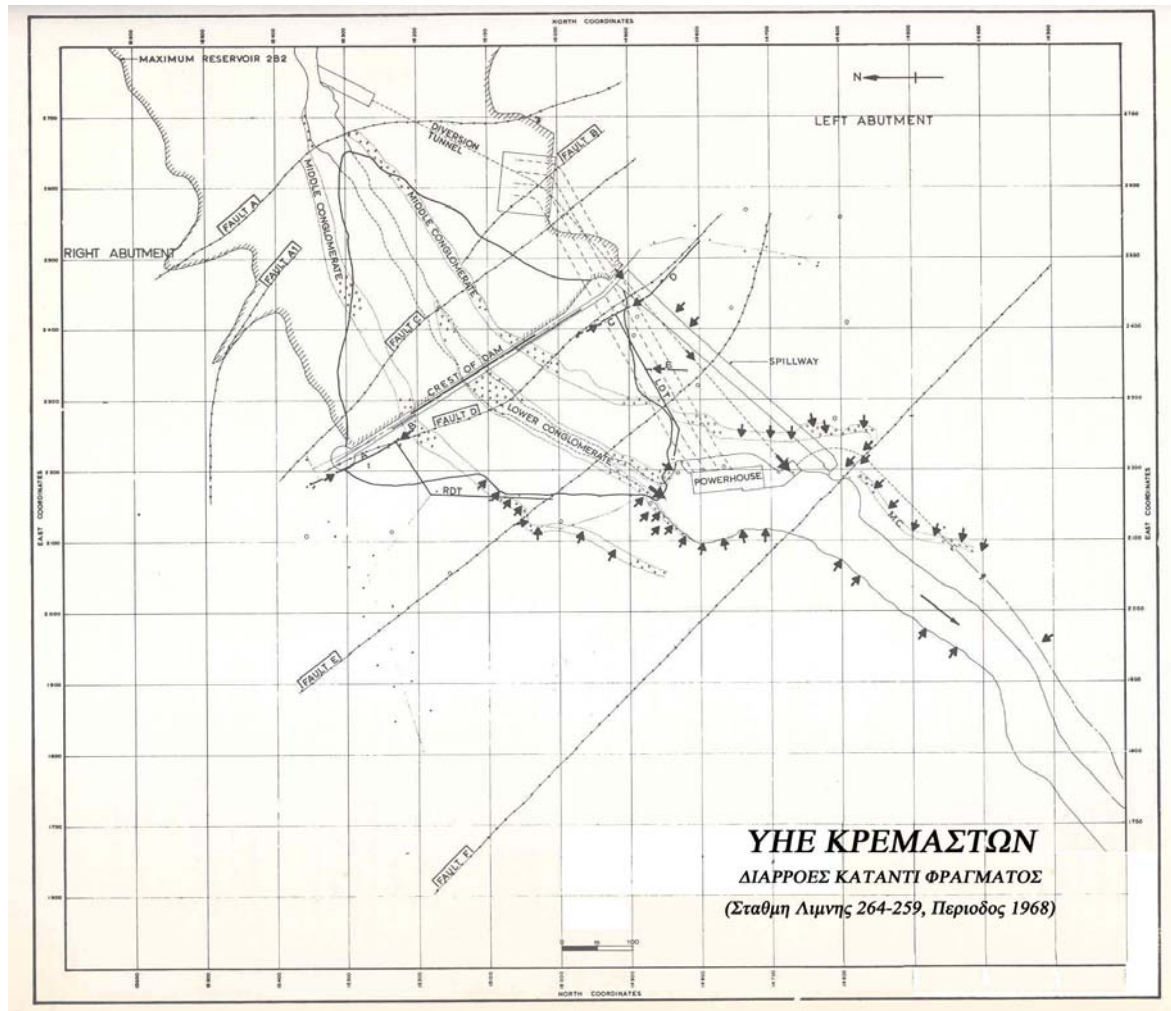
Η κατασκευή του Υδροηλεκτρικού Έργου των Κρεμαστών, δεν περιελάμβανε αρχικά και σύμφωνα με την μελέτη του έργου, στεγανοποίηση των αντρευσμάτων, με διαφραγματική κουρτίνα τσιμεντενέσεων, ως αποτέλεσμα ίσως υποβάθμισης του Γεωλογικού παράγοντα της τοπικά αυξημένης περατότητας που παρουσίαζαν οι σχηματισμοί των κροκαλοπαγών. Αντίθετα τσιμεντενέσεις έγιναν στην περιοχή θεμελίωσης του πυρήνα του φράγματος στην κοίτη και τα αντερείσματα, καθώς και κάτω από το έργο του εκχειλιστή του φράγματος. Το φράγμα περατώθηκε τον Ιούλιο του 1965 και τον ίδιο μήνα έγινε και η έμφραξη της Σήραγγας Εκτροπής. Κατά την άνοδο της στάθμης του ταμιευτήρα, άρχισαν να παρατηρούνται διαρροές και στα δύο αντερείσματα καθώς και στον πόδα του φράγματος (σχήμα 4). Οι διαρροές αυτές, είχαν αυξητική τάση ανάλογα με το ύψος της στάθμης του ταμιευτήρα και την άνοιξη του 1966 όταν η στάθμη έφτασε στο υψόμετρο 268 μ. απέκτησαν τις υψηλότερες τιμές και την μεγαλύτερη έκταση. Ενδεικτικά οι διαρροές αυτές ήταν της τάξεως των 100 lit./sec. στην Σήραγγα Εκτροπής στο αριστερό αντέρεισμα, με αντίστοιχη στάθμη λίμνης στο El. 250 m.

Ο μηχανισμός των διαρροών, ήταν απόλυτα συνδεδεμένος με τα περατά διακεκριμένα στοιχεία των κροκαλοπαγών και κυρίως του μέσου και κατά δεύτερο λόγο του κατώτερου κροκαλοπαγούς, σε συνδυασμό με τα κατακόρυφα ρήγματα D και E τα οποία στην ουσία τα αποστράγγιζαν, μέσω των ανοιγμάτων και των μικροσπηλαιώσεών τους. Τα κροκαλοπαγή αυτά και κυρίως το μέσο ερχόμενο σε επαφή με την λίμνη ανάντι, παροχέτευε λόγω της υψηλής λειτουργικής του περατότητας σημαντικές ποσότητες νερού προς τα κατάντι.

#### *4.4 Πρώτη δέσμη μέτρων περιορισμού των διαρροών (περίοδος 1965-1967).*

Η αντιμετώπιση του προβλήματος, στηρίχτηκε σε δύο άξονες: α) την επέκταση των μέτρων στεγάνωσης, κατά μήκος του άξονα του φράγματος, καθώς και κάθετα σε κάποιες χαρακτηριστικές ρηξιγενείς δομές της ευρύτερης περιοχής (ρήγμα D) και β) την αποστράγγιση των αντρευσμάτων. Για το σκοπό αυτό στο διάστημα 1965-1967, κατασκευάστηκαν δίκτυα στοών και στα δύο αντερείσματα. Μετά το πέρας των παραπάνω εργασιών, η αποτελεσματικότητα αυτών

εκτιμήθηκε ότι ήταν οριακή, σε σημείο που θα ήταν δυνατόν να δημιουργηθούν ακόμη και προβλήματα αστάθειας τόσο για τα αντρείσματα όσο και για το έργο γενικότερα, λόγω τόσο των αυξημένων υδροστατικών πιέσεων των αντρείσμάτων αλλά και των ασυνήθιστα αυξημένων παροχών των διαρροών. Αυτό οδήγησε στην εκ νέου θεώρηση της κατάστασης.



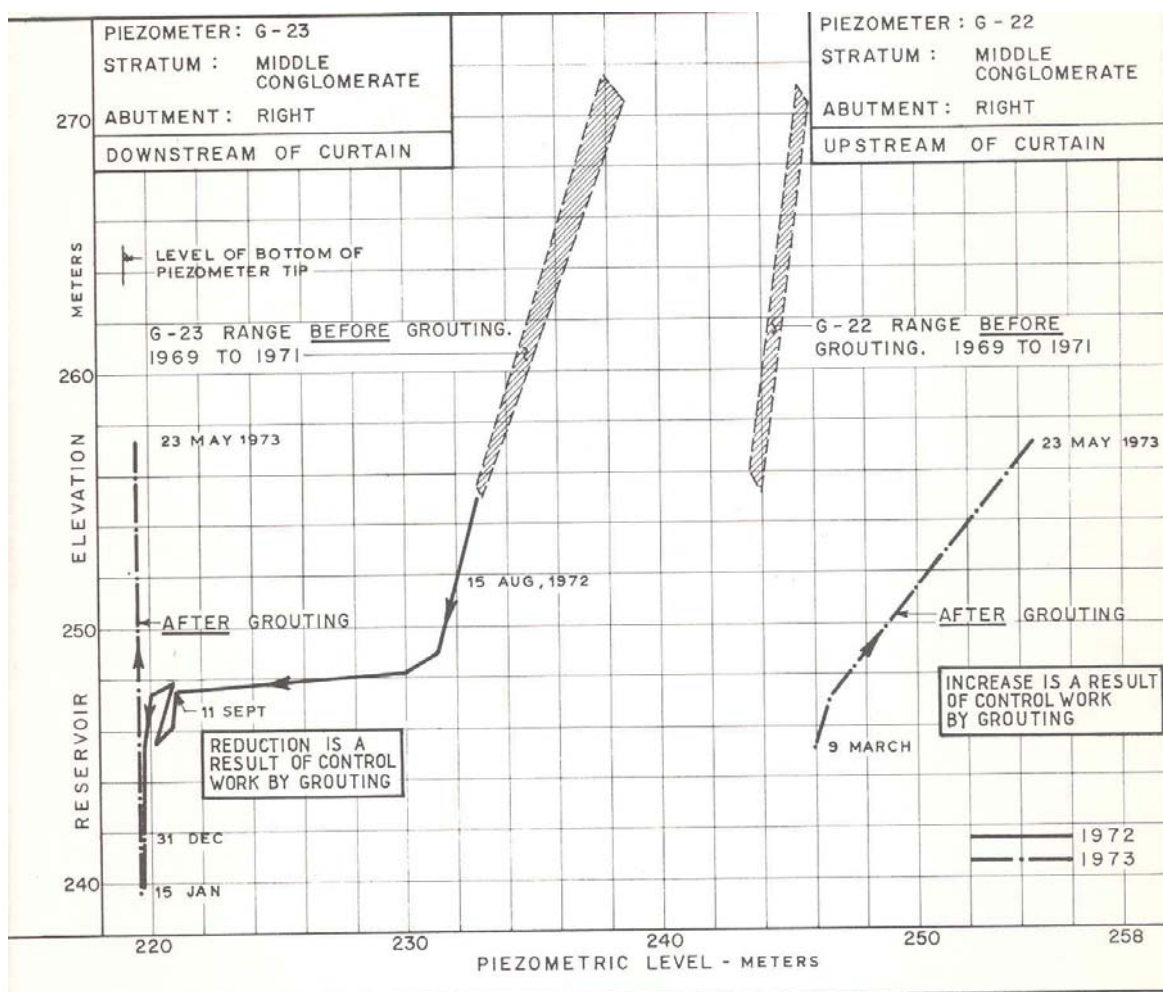
Σχήμα 4.

#### 4.4 Δεύτερη δέσμη μέτρων περιορισμού των διαρροών (περίοδος 1970 - 1973).

Στα πλαίσια της εκ νέου εξέτασης της κατάστασης και του καθεστώτος των διαρροών τον Ιούλιο του 1968 εκπονήθηκε πρόγραμμα νέων εργασιών σύμφωνα με το οποίο δόθηκε προτεραιότητα στην αποστράγγιση του δεξιού αντρείσματος, στην μέτρηση των διαρροών ανά σημείο και περιοχή, την παρακολούθηση των πιέσεων στη θεμελίωση του φράγματος, με την εγκατάσταση πιεζομέτρων στο κατάντι σώμα και στα αντρείσματα. Ο κορμός όμως των νέων εργασιών θα αποτελούνταν από μια νέα επέκταση των τσιμεντενέσεων και των αποστραγγίσεων, με αντίστοιχη κατασκευή νέων στοών και στα δύο αντρείσματα, ώστε να αντιμετωπισθεί πιο αποτελεσματικά το πρόβλημα στο εσωτερικό της βραχομάζας. Οι εργασίες αυτές διήρκεσαν από τον Αύγουστο του



1970, έως τον Απρίλιο του 1973. Οι τεχνικές δυσκολίες, που θα παρουσίαζαν οι παραπάνω σκοπούμενες εργασίες, από την παρουσία της λίμνης, πλὴν των άλλων έκανε αναγκαία πριν απ' όλα την προσεκτική μελέτη της σειράς των εργασιών που θα εκτελούνταν, καθώς και το είδος των ενεμάτων που θα χρησιμοποιούντο, από άποψη πυκνότητας και σύνθεσης. Εδώ σημειώνεται ότι σε άλλες περιπτώσεις προηγούνταν οι τσιμεντενέσεις και αλλού οι αποστραγγίσεις, ανάλογα τα υδροστατικά φορτία και τη ροή του υπόγειου νερού, η οποία θα μπορούσε σε υψηλές ταχύτητες να ξεπλένει τα ενέματα κάνοντας δυσχερές και αναποτελεσματικό το έργο των τσιμεντενέσεων.



### ΥΠΕ ΚΡΕΜΑΣΤΩΝ

Ελεγχος διαρροων αντερεισμάτων.

Ενδεικτική περίπτωση μείωσης πιεσεων καταντι κουρτινας (πιεζομετρο G-23)

και αυξησης πιεσεων αναντι κουρτινας αντιστοιχα (πιεζομετρο G-22),

μετα την εκτελεση των εργασιων στεγανοποιησης και αποστραγγισης αντερεισμάτων (Περιοδος 1970-73)

Σχήμα 5.

#### 4.5. Αποτελέσματα των θεραπευτικών μέτρων.

Οι επεμβάσεις που έγιναν με την δεύτερη ενότητα των θεραπευτικών μέτρων, μείωσε σημαντικά τα προβλήματα του έργου σε όλα τα επίπεδα. Η βασικότερη παράμετρος των υψηλών υδροστατικών πιέσεων στα αντερείσματα, ικανοποιήθηκε σε μεγάλο βαθμό, με τις τιμεντενέσεις και αποστραγγίσεις που έγιναν στο εσωτερικό των αντερεισμάτων (Σχήμα 5.). Παράλληλα με την ανακούφιση της κατάντι του φράγματος περιοχής, μειώθηκαν δραστικά και οι διαρροές και η ταχύτητα κίνησης του υπόγειου νερού στις περισσότερες περιπτώσεις, άρα και η δυναμική που θα μπορούσε να αποδομεί τα τοιχώματα των ρωγμών της βραχομάζας, ξεπλένοντας και διαβρώνοντας το γεωλογικό μέσο και διευρύνοντας τις ασυνέχειές του. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στην Σήραγγα Εκτροπής, οι διαρροές μειώθηκαν κατά 45% από αυτές που υπήρχαν πριν από τις εργασίες των τιμεντενέσεων. Το μοναδικό τμήμα το οποίο εξακολουθεί μέχρι σήμερα να παρουσιάζει αυξημένες παροχές, είναι το κάτω κροκαλοπαγές του δεξιού αντερείσματος, στο οποίο κροκαλοπαγές δεν έγινε διάφραγμα τιμεντενέσεων ανάντι. Οι παροχές του εν λόγω τμήματος, όπως αυτές εκφράζονται από την αποστραγγιστική στοά «Μ», (δεξιό αντερείσμα, χαμηλά), παρουσιάζουν διακυμάνσεις μεταξύ των 170 l/sec και 390 l/sec σε αντίστοιχες στάθμες του ταμιευτήρα 235.50 m. και 276.40 m. Άνω δε του τελευταίου υψομέτρου (276.40 m.) οι υπόψη διαρροές αυξάνουν κατακόρυφα, γεγονός το οποίο σχετίζεται πιθανότατα με το άνω κροκαλοπαγές, το οποίο στις στάθμες αυτές αποτελεί έναν νέο φορέα τροφοδοσίας με νερό του κατάντι υδρογεωλογικού συμπλέγματος των αντερεισμάτων.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.

Ο Γεωλογικός παράγοντας είναι πάντοτε επίκαιρος και κρίσιμος για το έργο, για ολόκληρο τον κύκλο της ζωής του, μέχρι την απαξίωσή του. Σε όλα δε τα στάδια της εξέλιξης του έργου μελετάται και προσεγγίζεται. Στις δύο περιπτώσεις που αναφερθήκαμε, ο Γεωλογικός παράγοντας υποβαθμίστηκε στο στάδιο της μελέτης. Τα προβλήματα που προέκυψαν, έγιναν αντιληπτά για μεν το Υ.Η.Ε. Πολυφύτου στο στάδιο της κατασκευής, για δε το Υ.Η.Ε. Κρεμαστών στο αρχικό στάδιο λειτουργίας αντίστοιχα. Σε κάθε περίπτωση η προσέγγιση του Γεωλογικού παράγοντα σε ικανοποιητικό βαθμό αποτελεί ένα ζητούμενο ζωτικής σημασίας. Ιδιαίτερα για το στάδιο της λειτουργίας, που αποτελεί τη μακροβιότερη συνύπαρξη του έργου με το γεωλογικό μέσο, η απόκριση του Γεωλογικού παράγοντα, εξακολουθεί να παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον. Η ενόργανη και όχι μόνον παρακολούθηση του έργου στη φάση της λειτουργίας του είναι πάντοτε κρίσιμη και δεν πρέπει ποτέ να υποβαθμίζεται με εκπτώσεις στις διαδικασίες ελέγχου, ακόμη και όταν όλα δείχνουν ικανοποιητικά και εμπνέουν ασφάλεια. Εδώ ο εφησυχασμός εγκυμονεί κινδύνους και δημιουργεί επισφαλείς καταστάσεις για το έργο.

## Βιβλιογραφία.

1. Δ. Μουντράκης, 'Γεωλογία Ελλάδος'
2. Δ. Παπανικολάου, 'Γεωλογία Ελλάδος'
3. J.T. Greensmith, "Pertology of the sedimentary rocks" London 1978
4. Ι. Καλλέργης – Γ. Κούκης, 'Τεχνική Γεωλογία'
5. Δ.Ε.Η., 'Works in the quarry II – Alexis area' ,(EW / Δεκέμβριος 1976)
6. Δ.Ε.Η., 'Τεχνικογεωλογική έρευνα ασταθών περιοχών λίμνης Πολυφύτου', (Πανεπιστήμιο Πατρών / Οκτώβριος 1988)
7. Δ.Ε.Η., 'Kremasta Project Report', (ECI / Αύγουστος 1974)

## **Βιογραφικό σημείωμα**

Ο Σπύρος Ραυτόπουλος αποφοίτησε από το Πανεπιστήμιο των Αθηνών το 1982 ως Γεωλόγος. Το 2004 απέκτησε τίτλο μεταπτυχιακών σπουδών M.B.A. του Πανεπιστημίου του Kingston της Αγγλίας. Απασχολείται στην Δ.Ε.Η. από το 1986. Αρχικά και έως το 1992, απασχολήθηκε στην επίβλεψη κατασκευής των Υ.Η. Έργων κεφαλής της Εκτροπής του Αχελώου στη Θεσσαλία, στη Διεύθυνση Ανάπτυξης Υδροηλεκτρικών Έργων. Από το 1992 έως το 2003, απασχολήθηκε με τη μελέτη Υδρ. Έργων στα κεντρικά της ίδιας Διεύθυνσης και παρέσχε υπηρεσίες συμβούλου προς τρίτους φορείς. Το διάστημα από 2001 έως 2003 χρημάτησε προιστάμενος του Τομέα Γεωλογίας. Από το έτος 2003 είναι τοποθετημένος στην Διεύθυνση Παραγωγής ως προιστάμενος του Υποτομέα Γεωλογίας και Σεισμολογίας του Τομέα Ασφάλειας Φραγμάτων.

# THE GEOLOGICAL FACTOR IN HYDROELECTRIC DAM DESIGN, CONSTRUCTION AND OPERATION.

Spyridon Raftopoulos

PUBLIC POWER CORPORATION S.A./ HYDRO POWER PLANTS DESIGN AND OPERATION DPT.

The nature of Hydroelectric Projects is strongly attached to the Geological Environment in which they are constructed, so knowledge and handling of the latter is the most outstanding factor, concerning their design, construction and mostly their operation.

The geological conditions approach, constitute a permanent and perpetual procedure, following the Project, from the very early stages of their life up to their completion and their operation.

This paper refers to two fundamental geological factors which are taken into account, during the design of a H.E.P., like slope stability and underground hydraulics. Furthermore the problems which may occur during the construction as well as their operation, due to underestimation or misinterpretation of the abovementioned factors.

Polyphyton and Kremasta H.E.P., in Kozani and Aetoloakarnania prefectures, have been correspondingly chosen as case studies.

Referring to the Polyphyton H.E.P., an extensive instability located at the right abutment, above and upstream of the dam axis, has been indentified during construction period, leading to partial changes of the geological consideration at the affected area.

At Kremasta H.E.P. case, leakages appeared downstream of the dam mainly at right abutment, during the reservoir impounding, as a result of underestimation of the hydraulic parametes and especially the permeability of the foundation rockmass. These leakages were inadequately confronted while reservoir was being filled and since that time up to date leakages still exist at lower rates.

MAIN TECHNICAL DATA	POLYPHYTON H.E.P.	KREMASTA H.E.P.
Dam type	Earthfill with inclined clay core	Earthfill with central clay core
Crest length	300 m.	456 m.
Dam height	105 m.	160 m.
Dam volume	3.6 Mm <sup>3</sup>	8.1 Mm <sup>3</sup>
Reservoir capacity	1939 Mm <sup>3</sup>	4.750 Mm <sup>3</sup>

