

ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ ΜΕΤΣΟΒΙΤΙΚΟΥ – ΕΜΠΕΙΡΙΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΤΗΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ*

Κ. ΚΑΡΑΠΑΝΤΕΛΑΑΚΗΣ¹, Σ. ΡΑΥΤΟΠΟΥΛΟΣ¹, Χ. ΜΙΝΟΠΕΤΡΟΣ¹

ΣΥΝΟΨΗ

Το ΥΠΕ ΜΕΤΣΟΒΙΤΙΚΟΥ κατασκευάζεται στην κοιλάδα του ομώνυμου ποταμού, στο τεκτονικό παράθυρο Χρυσοβίτας - Περιστερίου. Το σύνολο των εκτεταμένων υπόγειων κατασκευών του Έργου είναι τοποθετημένο στον αυτόχθονο φλύσχη της εσωτερικής Ιόνιας ζώνης. Ο φλύσχος είναι κατ' εξοχήν πηλινικός, περιλαμβάνει όμως και εκτεταμένους φαζούς χαλαρών άσφροτων προζαλοπαγών μέσα στα οποία κατασκευάστηκαν ή πρόκειται να κατασκευασθούν σημαντικά υπόγεια Έργα. Η αστάθεια των θρανών, που συνίσταται κυρίως σε κληνιζότητα των υλικών της τεκτονικής ζώνης της βάσης του επωθημένου καλύμματος, η λιθολογία του φλύσχη και η καταπόνηση των σχηματισμών από τα σημαντικά τεκτονικά γεγονότα ήταν τα κύρια προβλήματα που αντιμετώπισε η μελέτη και η κατασκευή.

SUMMARY

Metsovitikos Hydro-electric Project is currently under construction in the homonymous riverbed. It is situated in the Chrysovitsa – Peristeri tectonic window, near the western border of the big overthrust of Pindos zone. It is a small project with 25MW fixed power and 60GWh annual output. However, the underground works go to a significant extent, comprising about 5km of water tunnels, 500m of road tunnels, 120m of surge tank, underground powerhouse and a downstream surge tank chamber. Up to date 4km of water tunnels and 400m of road tunnels have already been constructed, all of them in the autochthonous flysch formation of the inner Ionian zone.

The flysch formation, that has a clayey character, comprises siltstones with thin-bedded sandstones. Interbedded in the lithological sequence are isolated zones of thick-bedded sandstones as well as lenses of massive conglomerates, discordant to the other flysch formation. The siltstones have high content of swelling argillaceous materials (approximately 20%) and very often are highly tectonised. The conglomerates are loosely cemented with a matrix of silty sand and are hardly tectonised. The choice of the position of the underground works was extremely difficult since they had to go as far as possible from the area affected because of Pindos zone overthrust. Significant difficulties were met during the compilation of the longitudinal geological section and generally for the prognosis of the existing geological conditions since the conglomerates and the sandstones are not consistently developed and wedging is appeared towards edgeways. The longitudinal geological section and the geological prognosis of the design were verified to a satisfactory degree. The behaviour of the distinct lithological formations during the excavation process was briefly as follows; Siltstones; Small advance (<1.5m), need for immediate support, combining steel sets and bolts. The behaviour of the formation deteriorates significantly due to humidity and tectonism. Conglomerates; Large advance, ease to implement the design excavation lines, limited and no immediate need for primary support implementation. Sandstones; The orientation of bedding is decisive for the stability. Unfavorable bedding orientation leads to significant overbreak on the roof and assists to the creation of unexpected excavation lines. Favourable bedding orientation results to a behaviour similar to that of the conglomerate formation.¹

Two important issues came up during the construction:

- The deformations on the vertical walls of the supported tunnel section which occurred some weeks or even months after the primary support completion. The swelling of the silty rock mass is probably responsible for these deformations. That situation was confronted with the application of additional bolts.
- The roof collapsed along a section of 8m length of the access tunnel, which occurred three months after the excavation, in the conglomerate formation, within a zone of highly weathered and tectonised rock. The main

* UNDERGROUND WORKS OF THE METSOVITIKOS HYDROELECTRIC PROJECT - EXPERIENCE FROM DESIGN AND CONSTRUCTION. Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεοφράστου - Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

¹ Γεωλόγοι ΔΕΗ (Δ/ση Ανάπτυξης Υδροηλεκτρικών Έργων / Τομέας Γεωλογίας, Αιγυλιότου 56-58 Αθήνα.

causes of that collapse were the hydrostatic loads due to the clogging of the installed drainage pipes as well as the insufficient and poorly constructed support.

1. ΤΟ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΕΡΓΟ ΜΕΤΣΟΒΙΤΙΚΟΥ

Το ΥΗΕ Μετσοβίτικου κατασκευάζεται στον ποταμό Μετσοβίτιζο, παραπόταμο του Αράχθου.

Ενεργειακά το Έργο είναι μικρομεσαίο, με εγκατεστημένη ισχύ 25 MW, και προβλεπόμενη ετήσια παραγωγή 60 GWh περίπου. Εξμεταλλεύεται το νερό του Αώου, που με το ΥΗΕ Πηγών Αώου εκτρέπεται στο Μετσοβίτιζο, καθώς και μέρος του νερού του Μετσοβίτικου - μέχρι $10 \text{ m}^3 / \text{sec}$ - που δεσμεύεται με ειδική υδροληψία, απαλλαγμένο από χονδρόκοκκα φερτά υλικά.

Από άποψη υπόγειων κατασκευών, το έργο είναι μεγάλο αφού περιλαμβάνει:

Σήραγγα Προσαγωγής, μήκους 4000 m. - Σήραγγα Φυγής μήκους 700 m. - Σήραγγα Προσπέλασης μήκους 300 m. - Βοηθητικές Σήραγγες μήκους 250 m. - Υπόγειο Σταθμό Παραγωγής όγκου περίπου 20.000 m^3 - Φρέαρ Ανάπασης διαμέτρου εκσκαφής 13,2 m, και βάθους 120 m. και Θάλαμο Κατάλη Ανάπασης όγκου 4.000 m^3 περίπου.

Το φράγμα έχει ύψος 15 και μήκος 900 m περίπου και δημιουργεί ένα μικρό ταμιευτήρα ωφέλιμης χωρητικότητας 200 χιλ. m^3 . Ο ρόλος αυτού του ταμιευτήρα είναι να αναρρυθμίζει τις εκμεταλλεόμενες παροχές του Μετσοβίτικου, για λίγες μόνο ώρες και να διευκολύνει την υδροληψία.

Από τα έργα αυτά έχουν ήδη κατασκευασθεί η Σήραγγα Προσαγωγής, η Σήραγγα Προσπέλασης και μία Βοηθητική Σήραγγα μήκους 150 m. Το υπόλοιπο Έργο είναι υπό δημοπράτηση.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Η περιοχή του Έργου βρίσκεται στο τεκτονικό παράθυρο Χρυσοβίτσας- Περιστερίου. Στο παράθυρο αυτό αποκαλύπτεται ο αυτοχθονος φλύσχης της εσωτερικής Ιόνιας ζώνης κάτω από το επωθημένο τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου. Το παράθυρο είναι ευρύ και ανοικτό προς την πλευρά του Αράχθου. Στην πραγματικότητα πρόκειται για βαθιά ανατολική εγκόλπωση του μετώπου επώθησης στην κοιλάδα του Μετσοβίτικου, που φθάνει μέχρι το μέσο ρου του ποταμού, στο ύψος περίπου του χωριού Βοτονόσι.

2.1. Λιθοστρωματογραφία

Ο Φλύσχης της ευρύτερης περιοχής του έργου ανήκει στα στρώματα Ζαγορίου, που είναι ο ανώτερος οριζώντα του Φλύσχης του συγκλίνου Αχαρνανιάς - Ηπείρου στην περιοχή (IGPS-IEP 1966). Η ηλικία του είναι Ολιγοκαινική.

Στη συγκεκριμένη θέση του Έργου ο Φλύσχης είναι κατεξοχήν πηλητικός, αποτελούμενος από τεφρούς μεσοστρωματώδεις ιλυόλιθους, με αραιές λεπτοστρωματώδεις ψαμμιτικές ενστρώσεις. Σποραδικά στη λιθολογική σειρά παρεμβάλλονται μεμονωμένες ζώνες χονδρόκοκκων παχυστρωματωδών ψαμμιτών και μεμονωμένοι πάγκοι χαλαρών στρωμένων κροκαλοπαγών. Σποραδικά επίσης η συνέχεια των στρωμάτων διακόπτεται από ακανόνιστα σώματα άστρωτων κροκαλοπαγών, που έχουν φακοειδή ανάπτυξη και παρεμβάλλονται ασυνεχώς στη λιθολογική σειρά. Οι διαστάσεις αυτών των φακών κυμαίνονται από λίγα μέχρι και εκατοντάδες μέτρα.

Τα χαρακτηριστικά των λιθολογικών σχηματισμών που συνιστούν το φλύσχης συνοψίζονται στα ακόλουθα:

Ιλυόλιθοι: Είναι λεπτοστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις και έχουν σκούρο τεφρό χρώμα. Στη σειρά των ιλυολιθικών στρωμάτων παρεμβάλλονται σποραδικά λεπτές ψαμμιτικές ενστρώσεις. Τοπικά σε περιορισμένου πάχους ζώνες, παρατηρείται πύκνωση των ψαμμιτικών ενστρώσεων.

Η ορυκτολογική τους σύσταση, που διερευνήθηκε στη φάση της μελέτης του έργου από τον καθηγητή Ε. Μπόσκο - Ε.Μ.Π. - σε δώδεκα δείγματα που λήφθηκαν από τις ερευνητικές γεωτρήσεις, είναι: Χαλαζιάς 30-36%, Άστριοι 6-12%, Δολομίτης 11-17%, Αργιλικά ορυκτά 43-50%. Από τα αργιλικά ορυκτά το μισό ποσοστό περίπου είναι διογκούμενα (Σμεκτίτης, ορυκτά μικτης δομής Σμεκτίτη - Χλωρίτη).

Η υδατοπερατότητα τόσο του άρρηκτου πετρώματος όσο και της βραχομάζας είναι πολύ μικρή. Ο σχηματισμός είναι πρακτικά στεγανός. Η βραχομάζα, κάτω από την επιφανειακή ζώνη χαλάρωσης είναι κορεσμένη (DOYVEAS, 1990) το νερό όμως των λεπτότατων πόρων είναι, σχεδόν στο σύνολό του, δεσμευμένο με μοριακές δυνάμεις. Οι ελάχιστες κατεισδύσεις γίνονται μέσα από τις ασυνέχειες που είναι επίσης κλειστές σχεδόν στο σύνολό τους.

Στις ατμοσφαιρικές συνθήκες οι ιλυόλιθοι αποσαθρώνονται εξαιρετικά γρήγορα. Η αποσάθρωση είναι φυσική και προκαλεί γρήγορα εξελισσόμενο θινωματοειδές που θα πρέπει να αποδοθεί σε συρρίκνωση, λόγω απώλειας νερού, των διογκούμενων αργιλικών ορυκτών. Η αποσάθρωση αυτή είναι επιφανειακή και περιορι-

ζεται σε λεπτή ζώνη, πάχους < 1m. Η χημική αποσάθρωση της ιλυολιθικής βραχομάζας περιορίζεται και αυτή στην επιφανειακή χαλαρωμένη ζώνη του πετρώματος όπου φθάνουν οι κατεισδύσεις του επιφανειακού νερού.

Ψαμμίτες: Είναι σκούροι τεφροί έως τεφροπράσινοι μεσόζοοκοι έως χονδρόζοοκοι, ψαθυροί και ιλυούχοι. Το ποσοστό του κλάσματος ιλύος μεταβάλλεται έντονα, έτσι ώστε να αντιπροσωπεύεται συνήθως όλο το φάσμα των λιθολογικών τύπων, από τους ιλυούχους ψαμμίτες μέχρι τους αμμούχους ιλυόλιθους. Αναπτύσσονται σε στρώματα και πάγκους πάχους μέχρι 2 m. Στη λιθολογική σειρά οι ψαμμίτες σχηματίζουν χαρακτηριστικές ζώνες πάχους από λίγα έως μερικές δεκάδες μέτρα, με ιδιαίτερη γεωμορφολογική σημασία. Στις ψαμμιτικές αυτές ζώνες συχνά συμμετέχουν και μεμονωμένα στρώματα χαλαρών έως μέσης σκληρότητας κροκαλοπαγών.

Τα μεμονωμένα στρώματα και σε μικρότερο βαθμό και ολόκληρες οι ψαμμιτικές ζώνες παρουσιάζουν αταθή οριζόντια ανάπτυξη με έντονες μεταβολές του πάχους τους και απότομες πλευρικές αποσφηνώσεις.

Οι ασυνέχειες της βραχομάζας είναι συχνά ανοικτές και δημιουργούν ένα σημαντικό δευτερογενές πορώδες μέσα στο οποίο κυκλοφορεί και αποθηκεύεται υπόγειο νερό. Η διαπερατότητα του άρρηκτου πετρώματος είναι περιορισμένη.

Αποσθρώνονται σφαιρικά και σχηματίζουν χαρακτηριστικούς επάλληλους συγκεντρικούς φλοιούς. Το βάθος της γενικής αποσάθρωσης είναι πολύ περιορισμένο, 1-2m. Βαθύτερα η αποσάθρωση περιορίζεται σε μικρού πάχους ζώνες, κατά μήκος των ανοικτών ασυνεχειών.

Κροκαλοπαγή: Τα κροκαλοπαγή είναι πολύμικτα με κροκάλες ασβεστολιθικές, οφιολιθικές, κερατολιθικές και ψαμμιτικές που προέρχονται κυρίως από πετρώματα της ζώνης της Πίνδου. Το μέγεθος των κροκαλών ποικίλει από 0,5 έως 10 εκ. και σε μεμονωμένες περιπτώσεις μέχρι 20 εκ. Είναι συνήθως μέτρια έως καλά στρογγυλεμένες. Το συνδετικό τους υλικό είναι αμμουλιώδες και μόνο τοπικά ανθρακικό. Σε κάποιες περιπτώσεις η βασική μάζα είναι διατμημένες και αναξυμωμένες ιλυόλιθος μέσα στον οποίο περιζελούνται οι κροκάλες. Ανάλογα με το είδος του συνδετικού υλικού τα κροκαλοπαγή είναι χαλαρά έως μέσης σκληρότητας.

Η μάζα τους είναι συνήθως χαοτική χωρίς στρώση. Αναπτύσσονται φακοειδώς σε ακανόνιστους όγκους συχνά μεγάλων διαστάσεων - εκατοντάδων μέτρων - που παρεμβάλλονται ασυνεχώς, διακόπτοντας τη συνέχεια των στρωμάτων του υπόλοιπου φλύσχη. Ο σχηματισμός τους οφείλεται σε συνιζηματογενείς υποθαλάσσιες κατολισθήσεις και ερπυσμούς στις πρυφές της αναδυόμενης Πίνδου. Με τις ολισθήσεις αυτές μετατοπίστηκαν χονδρόζοοκα υλικά της ανατολικής παρακτίας ζώνης της Ιόνιας λεκάνης, σε βαθύτερες νηριτικές περιχές, όπου συντηλούνταν η απόθεση του Ιόνιου Φλύσχη. Πρόκειται δηλαδή για «ολισθοστρώματα» (RICHTER, 1973).

Η υδατοπερατότητα του άρρηκτου πετρώματος είναι μικρή. Οι ασυνέχειες της βραχομάζας είναι συνήθως ανοικτές και συχνά διευρυμένες. Μέσα από τις ασυνέχειες αυτές το επιφανειακό νερό κατεισδύει, κυκλοφορεί και αποθηκεύεται στη βραχομάζα. Επειδή όμως οι ασυνέχειες είναι πολύ αραιές και συνήθως δεν επικοινωνούν μεταξύ τους, η υπόγεια υδροφορία είναι γενικά περιορισμένη. Το βάθος της αποσάθρωσης δεν ξεπερνά τα 2-3 m.. Κατά μήκος όμως των ανοικτών ασυνεχειών η αποσάθρωση προχωρά σε σημαντικά βάθη, δημιουργώντας ζώνες αποσάθρωσης πλάτους μέχρι 1m.

2.2. Τεκτονική

Το κυρίαρχο τεκτονικό γεγονός της ευρύτερης περιοχής του Έργου είναι η επώθηση, με την οποία μετακινήθηκε το τεράστιο τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου και τοποθετήθηκε πάνω στους αυτόχθονες σχηματισμούς των δυτικότερων ζωνών, Γαβρόβου και Ιονίου. Η επώθηση είναι δημιουργήμα διαδοχικών συμπιεστικών γεγονότων του τριτογενούς, Ηώκαινο - Πλειόκαινο (ΖΟΥΡΟΣ, 1993).

Η μεγάλη επωθητική κίνηση δημιούργησε, στη βάση του καλύμματος, μια πλατιά τεκτονική ζώνη η οποία απορρόφησε το μέγιστο μέρος των παραμορφώσεων. Αποτελείται από χαοτική διατμημένη ηλιτική μάζα, μέσα στην οποία περιζελούνται κομμάτια και ογκόλιθοι ασβεστολίθων και ψαμμιτών. Τα υλικά της προέρχονται τόσο από το αυτόχθονο όσο και το επωθημένο σύστημα.

Η καταπόνηση του αυτόχθονου Φλύσχη, τόσο από την επώθηση όσο και την πτύχωση και ανάδυση της περιοχής είναι άνισα κατανεμημένη στις επιμέρους λιθολογικές ζώνες. Στα κροκαλοπαγή, που είναι ο πιο ανθεκτικός και άκαμπτος σχηματισμός της σειράς ο τεκτονισμός είναι ασθενής. Εκδηλώνεται με ένα αραιό σύστημα διακλάσεων με ατελή μεταξύ τους επικωνιωνία και συνήθως ανοικτούς αρμούς. Στους ψαμμίτες ο τεκτονισμός είναι επίσης ασθενής, σαφώς όμως πιο έντονος από ότι στα κροκαλοπαγή. Οι τεκτονικές ασυνέχειες είναι ανοικτές, ανήκουν σε περισσότερα του ενός συστήματα και επικοινωνούν μεταξύ τους. Οι ιλυόλιθοι που είναι το πιο ασθενές και πλαστικό μέρος της λιθολογικής σειράς είναι έντονα τεκτονικά καταπονημένοι, Φηφιάκη Βιβλιοθήκη Θεοφράστους - Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

ιδιαίτερα κοντά στην επαφή τους με τις άκαμπτες μάζες των βραχωλοπαγών, όπου συνήθως είναι έντονα ζεοματιομένοι διατμημένοι και χαοτικοί. Στις άλλες περιοχές ο τεκτονισμός εκδηλώνεται με πυκνές και πλατιές ζώνες διάτμησης και συχνά έντονη πτώση. Οι τεκτονικές ασυνέχειες στους ιλυόλιθους είναι, σχεδόν στο σύνολό τους, κλειστές ή γεμάτες με ασβεσίτη.

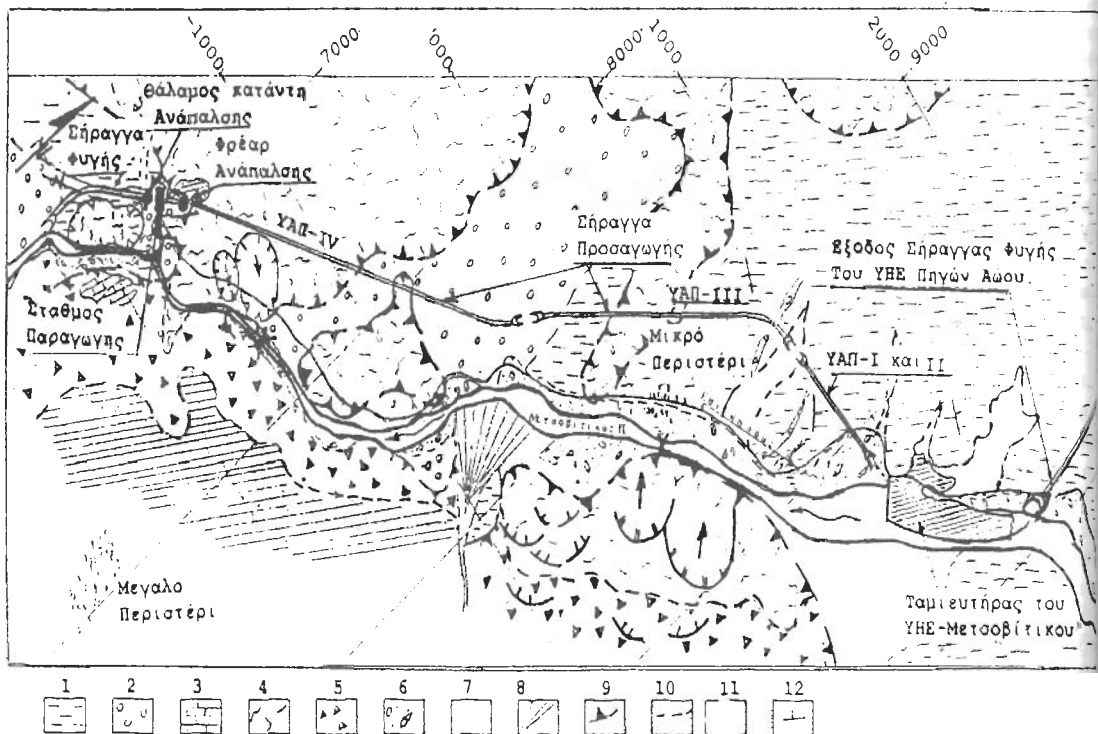
Άλλο σημαντικό τεκτονικό στοιχείο της περιοχής είναι η μεγάλη ρηξιγενής ζώνη του Μετασβίτικου. Πρόκειται για δέση παράλληλων ρηγματίων οριζόντιας μετατόπισης με διεύθυνση Α-Δ, την οποία γενικά ακολουθεί και η κοίτη του ποταμού (ΖΟΥΡΟΣ, 1993). Στην περιοχή ενδιαφέροντος τα ρήγματα της ζώνης είναι από την αριστερή (νότια) πλευρά του ποταμού και δημιουργούν το απότομο ανάγλυφο των ασβεστολιθών. Στη βάση των ρηξιγενών πρηνών σχηματίσθηκε παχύς μανδύας ασβεστολιθικών ζορημάτων και καταπτώσεων. Ο μανδύας, τοποθετημένος πάνω στα κεκλιμένα ηλιθιακά πρηνή του αυτόχθονου φλύσχη και της τεκτονικής ζώνης του καλίματος, βρίζεται σήμερα σε εμφανώς ασταθή ισορροπία (Σχ.1).

3. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

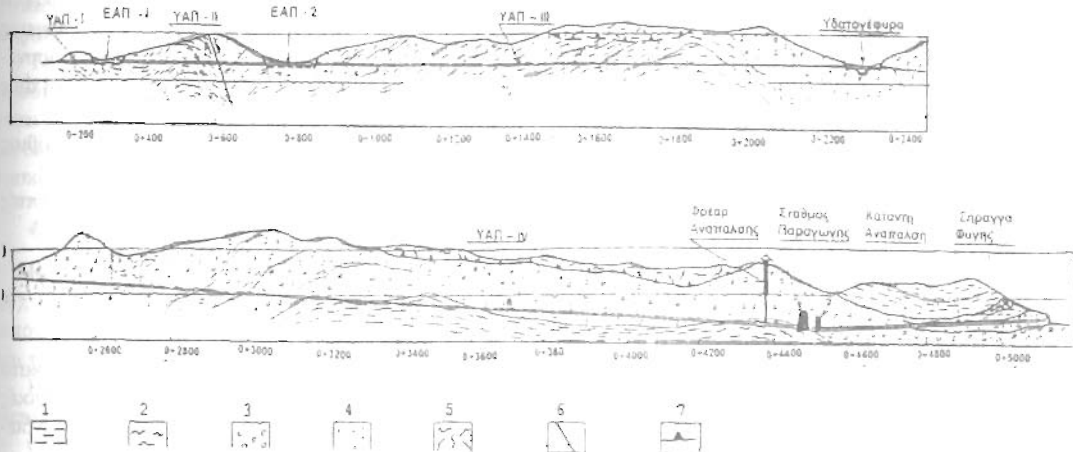
Ιλυόλιθοι: Τα αρνητικά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά της ιλυολιθικής βραχομάζας είναι η υψηλή περιεκτικότητα διογκούμενων αργιλικών ορυκτών και η έντονη τεκτονική καταπόνηση της βραχομάζας.

Φαινόμενα όπως ο γρήγορος θρυμματισμός του πετρώματος στις ατμοσφαιρικές συνθήκες, καθώς και η διόγκωση και ο θρυμματισμός των πυρήνων των γεωτήσεων που παρατηρούνται στους ιλυόλιθους, οφείλονται, κατά την άποψή μας, στην ύπαρξη των διογκούμενων ορυκτών.

Όπου ο τεκτονισμός των ιλυόλιθων είναι έντονος, συνοδεύεται συνήθως και με διάτμηση. Η βραχομάζα εμφανίζεται κατακεραματισμένη σε μικρά φυλλώδη κομμάτια (2-10 εκ.), με λίγες διατμητικές περιβάλλουσες επιφάνειες. Αυτές οι παράλληλες διατμητικές μικροεπιφάνειες δίνουν στη βραχομάζα μια άτυπη σχιστότητα και ανισοτροπία αναφορικά με βασικές γεωμηχανικές παραμέτρους της (γωνία φ, αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη κ.λ.π.). Ο σχετικός προσανατολισμός επομένως της «σχιστότητας», αναφορικά με τους επιμήκεις άξονες των υπόγειων κατασκευών και τη φορά προχώρησης της εκσκαφής, επηρεάζει αποφασιστικά την ευστάθεια την έκταση της απαιτούμενης υποστήριξης και τη μέθοδο διάνοιξης.



Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
 Σχ.1. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής του Έργου Geological map of the project area



Σχ.2. Γεωλογική τομή κατά μήκος του Αγωγού Προσαγωγής Geological map along Power Tunnel

Η διατηρημένη ιλιολιθική βραχομάζα έχει πολύ μικρές αντοχές σε ανεμπόδιστη θλίψη, σχεδόν μηδενικό RQD και πολύ χαμηλές τιμές στη βαθμονόμησή της, στα γνωστά εμπειρικά συστήματα κατάταξης. Στην κατάταξη κατά Bieniawski για παράδειγμα οι τιμές RMR είναι σαφώς μικρότερες του 20.

Η ατεκτόνιστη ιλιολιθική βραχομάζα αντίθετα έχει τιμές RQD 60-90%, έντονα κυμαινόμενες τιμές ανεμπόδιστης θλίψης, από 5-40 Mpa, και τιμές RMR που φθάνουν ή και ξεπερνούν το 80. Η πραγματική συμπεριφορά όμως αυτής της βραχομάζας, στις υπόγειες εκσκαφές, είναι σαφώς κατώτερη της αναμενόμενης για βραχομάζα με τόσο υψηλό RMR. Στο θέμα θα αναφερθούμε σε επόμενη παράγραφο.

Θετικά από τεχνικογεωλογική άποψη χαρακτηριστικά της ιλιολιθικής βραχομάζας είναι, η έλλειψη αποσάθρωσης και η εξαιρετικά ασθενής υπόγεια υδροφορία, που περιορίζεται σε τοπική υγρασία σποραδικά.

Ψαμμίτες: Τα θετικά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά της ψαμμιτικής βραχομάζας είναι ο ασθενής τεκτονισμός - μέσες τιμές RQD > 70% - η γενικά χαμηλή αποσάθρωση, οι μέσες έως υψηλές τιμές αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη 20-60 Mpa.

Αρνητικά χαρακτηριστικά είναι : Οι συχνά ανοικτές τεκτονικές ασυνέχειες. Οι αργιλικές ενστροφώσεις που συχνά παρεμβάλλονται μεταξύ των ψαμμιτικών στρωμάτων και μειώνουν δραστικά τις διατηρητικές αντοχές της βραχομάζας, κατά μήκος των επιφανειών στρώσης, και η υπόγεια υδροφορία που τοπικά μπορεί να είναι σημαντική.

Ο προσανατολισμός των επιφανειών στρώσης, σε σχέση με τους άξονες των υπόγειων κατασκευών, είναι ο κυριότερος παράγοντας που επηρεάζει την ευστάθεια, την έκταση της απαιτούμενης υποστήριξης και το βήμα προχώρησης της εκσκαφής.

Οι τεκτονικές ασυνέχειες, ακόμη και στην περίπτωση που είναι ανοικτές, είναι λιγότερο επικίνδυνες από τη στρώση, διότι είναι λιγότερο επίπεδες, λιγότερο "ολιοθρές" και ασυνεχείς.

Η υπόγεια υδροφορία μπορεί να είναι έντονη, επειδή όμως οι ψαμμιτικές ζώνες είναι γενικά περιορισμένων διαστάσεων και περιλαμβάνονται σε στεγανούς ιλιολιθούς, η αποθηκευτική τους ικανότητα και τροφοδοσία είναι περιορισμένη.

Η βαθμονόμηση της βραχομάζας στην κατάταξη κατά Bieniawski δίνει τιμές μέσες έως υψηλές 50-75, δηλαδή κατηγορίες βραχομάζας III-II και με ευνοϊκή διάταξη της στρώσης κατηγορία I.

Κροκαλοπαγή: Οι αντοχές σε ανεμπόδιστη θλίψη είναι γενικά χαμηλές, 8- 20 Mpa και μόνο τοπικά οι τιμές αυτές είναι σημαντικά μεγαλύτερες. Αυτό οφείλεται στη χαλαρή συγκόλληση με το ιλιωαμμώδες συνδετικό υλικό.

Τα θετικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας είναι: Ο ασθενής τεκτονισμός (RQD > 80). Οι διακλάσεις είναι μεμονωμένες και αραιές και μόνο στην περίπτωση που έχουν δυσμενή προσανατολισμό, για το υπόγειο έργο, μπορούν να επηρεάσουν ουσιαστικά την ευστάθεια. Η έλλειψη ιζηματογενών ασυνεχειών (στρώση) είναι ένα εξαιρετικά σημαντικό στοιχείο της βραχομάζας, που επηρεάζει ουσιαστικά την ευστάθεια, την απαιτούμενη υποστήριξη και τη μέθοδο εκσκαφής.

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Η υπόγεια υδροφορία και υδραυλική αφορά κυρίως νερό που κινείται και αποθηκεύεται στις ανοικτές διακλάσεις. Οι διακλάσεις αυτές είναι απομονωμένες ή επιζοινονοούν μεταξύ τους ατελώς, έτσι η αποθηρευτικότητα τους και η τροφοδοσία είναι εξαιρετικά περιορισμένες. Δεν αναπτύσσεται τυπικός ενιαίος υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας στη βραχομάζα. Όταν η υπόγεια εκσκαφή συναντήσει κάποια υδροφορούσα ασυνέχεια, οι εισροές μπορεί να είναι αρχικά σημαντικές, η εξέλιξη τους όμως είναι φθίνουσα και η εξάντλησή τους υπόθεση κάποιων ωρών ή ελάχιστων ημερών.

Συχνά το νερό των απομονωμένων διακλάσεων έχει αυξημένα οργανικά φορτία και ενδείξεις αναερόβιας αποσύνθεσης (υδροθείο).

Η αποσάθρωση είναι γενικά ασθενής και κάτω από την επιφανειακή ζώνη περιορίζεται μόνο σε λεπτές ζώνες κατά μήκος των ανοικτών διακλάσεων.

4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΤΟΥ ΈΡΓΟΥ

4.1. Προβλήματα της μελέτης

Στην προκαταρκτική μελέτη του έργου ο Αγωγός Προσαγωγής είχε σχεδιασθεί σαν ανοικτή διώρυγα, κατά μήκος της καμπύλης 643m (ΔΕΗ/ΔΑΥΕ, 1984). Για το σχεδιασμό αυτό διατυπώθηκαν σοβαρές γεωλογικές ενστάσεις, που αφορούσαν την έντονη, εκδηλωμένη αστάθεια, μεγάλων τμημάτων του πρανούς, στη ζώνη διέλευσης του αγωγού.

Η αστάθεια συνίσταται σε ολισθήσεις μαζών της τεκτονικής ζώνης του καλύμματος, πάνω στον υποκείμενο αυτόχθονο φλύσχη. Εκδηλώνεται με μεγάλες ενεργές κατολισθήσεις, στα χαμηλά του πρανούς και αργούς ερπυσμούς σε ευρύτερες περιοχές του, περίπου μέχρι το υψόμετρο 700m. Το βάθος των ασταθειών είναι μεγάλο, συνήθως αφορά το συνολικό πάχος της χαοτικής τεκτονικής ζώνης που στην περιοχή κυμαίνεται μεταξύ 10 και 30m.

Με αυτά τα δεδομένα ο αρχικός σχεδιασμός απορρίφθηκε. Για ανάλογους λόγους απορρίφθηκε και η εναλλακτική πρόταση διώρυγας στο αριστερό πρανές του ποταμού, όπου ο παχύς μανδύας ασβεστολιθικών κορμημάτων βρίσκεται σε εμφανώς ασταθή ισορροπία πάνω στο κεκλιμένο ηλιθικό υπόβαθρο. Η λύση υπόγειου αγωγού προσαγωγής απέναντι ουσιαστικά η μοναδική, γεωλογικά αποδεκτή, επιλογή.

Στην τελική λύση που επιλέχθηκε, το συγγρότημα παραγωγής, ο αγωγός προσαγωγής και ο αγωγός φηγής είναι στο σύνολό τους υπόγεια. Η διάταξή τους δείχνεται στα σχ.1 και 2 (Κ.Καραπαντελακης, 1993)

Τα κύρια γεωλογικά προβλήματα που αντιμετώπισε η μελέτη αυτών των υπόγειων έργων ήταν :

α. Η χάραξη των σιράγγων και η επιλογή της θέσης των υπόλοιπων υπόγειων έργων, στο πολύπλοκο γεωλογικό περιβάλλον της περιοχής.

Η επιλογή αυτή θα έπρεπε να πάρει υπόψη της την επιφάνεια επώθησης, ιδιαίτερα όπου οι σιράγγες περνούσαν κάτω από αυτή. Τα υπόγεια έργα θα έπρεπε να τοποθετηθούν κατά το δυνατό έξω από τις ζώνες επιρροής της επώθησης. Επίσης θα έπρεπε να ληφθούν υπόψη οι αστάθειες των πρανών τόσο οι εκδηλωμένες όσο και οι δυνητικές. Οι θέσεις των υπόγειων έργων θα έπρεπε οπωσδήποτε να είναι κάτω από τις αστάθειες και σε απόσταση ασφαλείας από αυτές. Στην επιλογή του βάθους των Έργων ήταν δεσμευτικό το υψόμετρο των στροβίλων του Σταθμού Παραγωγής 638 m. που ήταν δεδομένο (Σχ.2).

Η επιλογή της θέσης των υπόγειων Έργων στηρίχθηκε στο τρίτο γεωφωρηντικό πρόγραμμα, που για την περιοχή του προβληματικού τμήματος (ΥΑΠ-IV) περιελάμβανε πυκνό δίκτυο γεωτρήσεων (ΚΑΡΑΠΑΝΤΕΛΑΚΗΣ Κ., 1991).

β. Η ασταθής οριζόντια ανάπτυξη βασικών λιθολογικών σχηματισμών του φλύσχη (ψαμμίτες προκαλοπαγή), δημιούργησαν σοβαρές δυσκολίες και αβεβαιότητες στη σύνταξη των γεωλογικών τομών στους άξονες των Έργων Σχ.2. Οι τομές αυτές γενικά είναι εξαιρετικά σημαντικές, επειδή σε αυτές κυρίως βασίζεται η πρόγνωση των αναμενόμενων γεωλογικών και γεωτεχνικών συνθηκών και κατ' επέκταση η προμέτρηση και ο προϋπολογισμός του Έργου.

Το πρόβλημα αφορούσε κυρίως τον ΥΑΠ-IV όπου επικρατούσαν σχεδόν αποκλειστικά τα προκαλοπαγή και οι ψαμμίτες. Η σημασία του προβλήματος όμως, ειδικά για τη σιράγγα αυτή, μειώνεται από το γεγονός ότι οι δύο λιθολογικοί σχηματισμοί έχουν ανάλογη συμπεριφορά στις υπόγειες εκσκαφές. Έτσι ενδεχόμενη αποτυχία στη γεωλογική μηροτομή δεν θα είχε ουσιαστικές σιμφατικές και οικονομικές επιπτώσεις.

γ. Οι χειρότερες γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες αναμενόταν στον ΥΑΠ-III, όπου η δυσμενής λιθολογία (ιλιόλιθοι) συνδυάζονται με έντονο τεκτονισμό και προδιάτμηση. Ιδιαίτερα κοντά στην επαφή των ιλιόλιθων με τα προκαλοπαγή, όπου η δυσμενής λιθολογία και ο τεκτονισμός προβλεπόταν να συνδυάζεται και με υγρασία, αναμενόταν οι χειρότερες συνθήκες.

Η συμβατική ταξινόμηση της βραχομάζας δεν ακολουθήθηκε κανένα από τα γνωστά συστήματα ταξινόμησης. Η ταξινόμηση στηρίχθηκε στην άμεση εμπειρία που αποκτήθηκε από τη διάνοιξη της Σήραγγας Φυγής του παρακείμενου ΥΠΕ Πηγών Λόφου, στους ίδιους λιθολογικούς σχηματισμούς του Ιόνιου Φλώαχου.

Τα κριτήρια με τα οποία έγινε η ταξινόμηση ήταν το μέγιστο δυνατό βήμα προχώρησης, το είδος, και η ποσότητα των απαιτούμενων μέτρων υποστήριξης καθώς και ο χρόνος τοποθέτησης τους. Τα κριτήρια αυτά είναι και οι κύριοι παράγοντες που διαφοροφώνουν το κόστος της κατασκευής. Με τον τρόπο αυτό επιδιώχθηκε να διαφοροφωθεί δίκαιο σύστημα πληρωμής για επομένως προϋποθέσεις ομαλής εξέλιξης της εργολαβίας κατασκευής του έργου.

4.2. Εμπειρίες και προβλήματα της κατασκευής

Η πρώτη σύμβαση κατασκευής του Έργου, περιέλαβε την εξοκαφή των σηράγγων Προσαγωγής (4.000 m), Προσπέλασης (300 m) και μιας βοηθητικής (150 μ.). Η σύμβαση ολοκληρώθηκε μέσα στα συμβατικά οικονομικά και χρονικά πλαίσια γεγονός που από μόνο του αποδεικνύει γενικά και την ευστοχία της μελέτης και την επάρκεια της κατασκευής.

Η γεωλογική μαρτοτομή της μελέτης κατά μήκος των αξόνων αυτών των σηράγγων, επιβεβαιώθηκε σε ικανοποιητικό βαθμό.

Οι εμπειρίες από την συμπεριφορά των επιμέρους λιθολογικών σχηματισμών στις υπόγειες εξοκαφές συνοψίζεται στα ακόλουθα :

Ιλυόλιθοι: Μικρό βήμα προχώρησης (0,80-1,50 m.) ανάλογα με το βαθμό τεκτονισμού και την παρουσία ή όχι υγρασίας. Για διατομές <30 m², είναι προτιμότερο η διάνοιξη να γίνεται σε μία φάση με περιορισμό, αν απαιτείται, του μήκους βήματος. Η ανάγκη υποστήριξης είναι άμεση. Η τοποθέτηση όλων των μέτρων πρέπει να ολοκληρώνεται πριν την πραγματοποίηση του επόμενου βήματος. Στους πολύ τεκτονισμένους ιλυόλιθους η αγκύρωση προπορείας του θόλου βοηθάει αισθητά την προχώρηση. Σε συνδυασμό έντονου τεκτονισμού με υγρασία, είναι αναγκαία και η υποστήριξη του διαπέδου με την κατασκευή ανάστροφου τόξου.

Κατάλληλα μέτρα υποστήριξης: χαλύβδινα πλαίσια, σε συνδυασμό με παθητικά αγκύρια και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

Στα ιλυολιθικά τμήματα των σηράγγων παρατηρήθηκαν παραμορφώσεις και αυξημένη φόρτιση των μέτρων υποστήριξης κυρίως στους πλευρικούς τοίχους με υστέρηση εβδομαδιαίων ή και μηνών μετά την εξοκαφή.

Το φαινόμενο δεν περιορίζεται μόνο στους έντονα τεκτονισμένους ιλυόλιθους αλλά επεκτείνεται και στο λιγότερο καταπονημένο πέτρωμα. Δείχνει ότι η οριζόντια συνιστώσα στις ανακατανεμημένες τάσεις γύρω από τη σήραγγα είναι αυξημένη, γεγονός που ενδεχομένα συνδέεται και με την παρουσία των διογκούμενων αργιλικών ορυκτών.

Φαμίτες: Ο ρόλος του προσανατολισμού της στρώσης, σε σχέση με το υπόγειο άνοιγμα, είναι καθοριστικός για την συμπεριφορά τους. Με εννοϊκό προσανατολισμό της στρώσης, το μήκος βήματος προχώρησης μπορεί να είναι μεγάλο (>2,5 m.) και η απαιτούμενη υποστήριξη περιορισμένη και όχι άμεση. Με δυσμενή προσανατολισμό της στρώσης ιδιαίτερα με παραινίζοντα θέση των στρωμάτων (κλίση <20°), υπάρχουν έντονα προβλήματα υπερεξοκαφών στο θόλο και αδυναμία ελέγχου της διατομής εξοκαφής. Κατάλληλα μέτρα υποστήριξης το Gunite και τα ενεργητικά αγκύρια (διασπείρομενης κεφαλής).

Κροκαλοπαγή: Παρά τις σχετικά χαμηλές γενικά μηχανικές αντοχές, η συμπεριφορά τους, στις υπόγειες εξοκαφές, είναι πολύ καλή. Η συμπεριφορά αυτή χαρακτηρίζεται από ευκολία τήρησης των θεωρητικών γραμμών της διατομής εξοκαφής, έλλειψη υπερεξοκαφών που αλλοιώνουν τη γεωμετρία της διατομής, μεγάλο βήμα προχώρησης, που υπόκειται μόνο σε κατασκευαστικούς περιορισμούς. Περιορισμένη γενικά και όχι άμεση ανάγκη υποστήριξης. Κατάλληλα μέτρα υποστήριξης είναι εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και ενεργητικά αγκύρια (διασπείρομενης κεφαλής), που θα πρέπει όμως να πακτώνονται, μετά την τάνυσή τους, ώστε να προστατεύονται από μακροπρόθεσμη αποσχία.

Το σημαντικότερο πρόβλημα που αντιμετώπισε η διάνοιξη των σηράγγων στα κροκαλοπαγή, ήταν η κατάρρευση της οροφής, σε ένα τμήμα μήκους 8 m. της Σήραγγας Προσπέλασης. Η κατάρρευση έγινε σε μια κατακόρυφη ζώνη διάρρηξης και έντονης αποσάθρωσης, πλάτους 3-5 μ που τέμνει κάθετα τον άξονα της σήραγγας. Η ζώνη, που είναι παράλληλη προς το απότομο και υψηλό φυσικό τρανές και απέχει από αυτό 30-50 m, είναι χαλαρωμένη λόγω βαρύτητας. Οι αυξημένες κατεισθύσεις στη χαλαρωμένη αυτή ζώνη, προκάλεσαν έντονη αποσάθρωση που εγγίζει τα όρια της πλήρους εξαιολόωσης. Τα χαλαρωμένα υλικά της ζώνης ήταν κορεσμένα, με υψηλή υπόγεια στάθμη.

Κατά την εξοκαφή η ζώνη έδωσε σημαντικές εισροές, που μειώθηκαν όμως σταδιακά μέχρι εξάντλησης. Η υποστήριξη έγινε με χαλύβδινα πλαίσια ΗΕΒ-140 εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και πυκνό δίκτυο αποστραγγι-

οτικών οπών.

Η κατάρρευση, τρεις μήνες μετά τη διάνοιξη και την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης, έγινε υγρή περίοδο και οφείλεται κυρίως στην εμφραξη των αποστραγγιστικών οπών και την κακότεχνη τοποθέτηση των πλαισίων που παραμορφώθηκαν και αστόχησαν κάτω από τα πρόσθετα υδροστατικά φορτία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- DOUVEAS, N.(1990) «Verwitterungstiefe und Untergrundabdichtung beim Talsperrenbau in dem verkarsteten Nord-Pindos Flysch», *Reihe Nr8, Universität. Tübingen* P.165,
- ΔΕΗ/ΔΑΥΕ, 1984 **ΥΠΕ-ΜΕΤΣΟΒΙΤΙΚΟΥ** «Προκαταρκτική μελέτη», ΔΑΥΕ ΔΕΗ/ΔΑΥΕ, Τομέας Υδροδυναμικού και Γενικών Σχεδίων Αξιοποίησης
- ΖΟΥΡΟΣ,Ν.(1993) «Μελέτη των τεκτονικών φαινομένων της επιόθησης του καλύμματος της ζώνης Πίνδου στο χώρο της Ηπείρου», διδ. διατρ., Α.Π.Θεσ/κης
- IGPS - IEP (1966) «Etude Geologique de l'Épire., *Ed. Technip, Paris*, p.306
- ΚΑΡΑΠΑΝΤΕΛΑΚΗΣ,Κ.(1991) **ΥΠΕ-ΜΕΤΣΟΒΙΤΙΚΟΥ**: Έκθεση αξιολόγησης των αποτελεσμάτων του τμήματος γεωερευνητικού προγράμματος, ΔΕΗ/ΔΑΥΕ/ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
- ΚΑΡΑΠΑΝΤΕΛΑΚΗΣ,Κ. (1993) **ΥΠΕ-ΜΕΤΣΟΒΙΤΙΚΟΥ**: Γεωλογική Έκθεση του Έργου, ΔΕΗ/ΔΑΥΕ/ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
- ΚΑΡΑΠΑΝΤΕΛΑΚΗΣ,Κ. (2000) **ΥΠΕ-ΜΕΤΣΟΒΙΤΙΚΟΥ**: Συμπληρωματική Γεωλογική Έκθεση του Έργου, ΔΕΗ/ΔΑΥΕ/ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
- RICHTER, D (1973) «Olisthostrom Olistholith Olisthotherymma und Olisthoplak Als Merkmale von Gleitungs- und Resedimentalionsvorgangen infolge Synsedimentarer tecton. Bewegungen in Geosynklinalbereichen. *N.jb.Geol.Palaont, Abh.143/3*, P.304-344, Stuttgart.