

Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΥΨΗΛΗΣ ΚΑΛΩΔΙΩΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΤΗΣ ΧΑΛΚΙΔΑΣ

Π. Μαρίνος*, Ν. Φυτρολάκης* και Δ. Βαϊναλής**

ABSTRACT

The paper describes the results of the geological investigations which contributed to the knowledge of the geotechnical conditions for the foundation of a cable bridge constructed in an area with complicated geological conditions and earthquake activity. The main problems were the understanding of the structural geometry of the area and the evaluation of the behaviour of a serpentinite, soil-like, mass at the foundation of one of the 90-meter-high piers which were finally founded inside this weak material on friction piles, due to the internal roughness of the mass. The recent activity of the faults in the area is also discussed.

ΣΥΝΩΨΗ

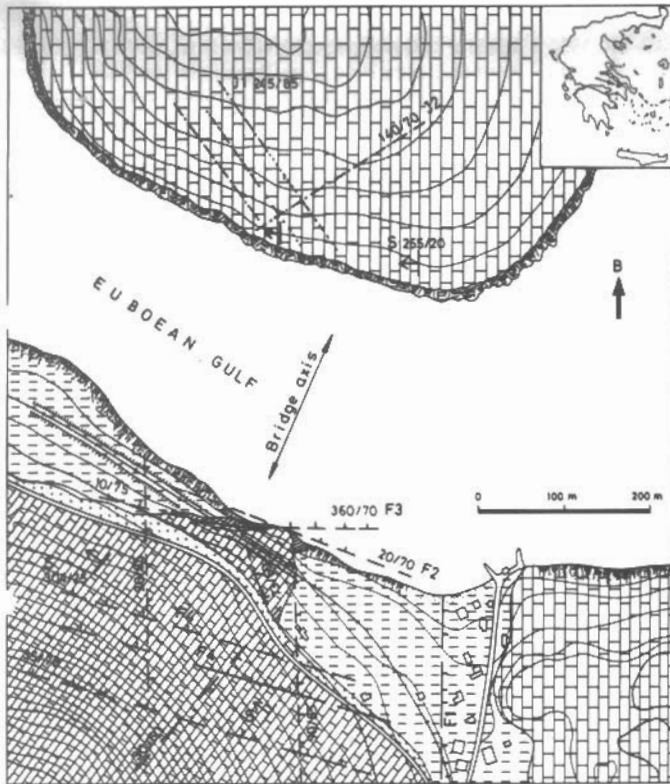
Η εργασία αναφέρεται στα αποτελέσματα της γεωλογικής έρευνας που συνέβαλαν στη γνώση των γεωτεχνικών συνθηκών για την κατασκευή της υψηλής καλωδιωτής γέφυρας Χαλκίδας, σε μία περιοχή με σύνθετες γεωλογικές συνθήκες. Εκτός από την παρουσίαση των συνθηκών θεμελίωσης των γεφυρών προσβάσεως επί των ασβεστολίθων, η εργασία επικεντρώνεται κυρίως στην κατανόηση της τεκτονικής γεωμετρίας που επικρατεί στην περιοχή και στην εκτίμηση της συμπεριφοράς μιας μάζας σερπεντινίτη. Αυτή η μάζα αναπτύσσεται, σε τεκτονική σχέση ελεγχόμενη τόσο από κανονικά ρήγματα όσο και επιπτεύσεις, στο χώρο θεμελίωσης ενός από τους δύο πυλώνες της κυρίας γέφυρας, 90 m ύψους. Ο σερπεντινίτης, με περιορισμένες εμφανίσεις στην επιφάνεια, ερευνηθήκε με γεωτρήσεις και με δοκιμές επιτόπου και στο εργαστήριο. Η πρώτη συνολική εικόνα του είναι αυτή μιας εδαφόμαζας με πολύ χαμηλή αντοχή. Η κατάσταση αυτή ήταν υπέρ μιας επιλογής θεμελίωσης με πασσάλους αιχμής που θα αναφέροντο, όμως, στο εκεί βαθιά υποκείμενο ασβεστόλιθο (-50 m). Η ανομοιογένεια όμως στην κατανομή των μηχανικών παραμέτρων και της αντοχής, λόγω της ακατάστατης αποσάθρωσης της μάζας, επιτρέπει την ανάπτυξη μιας εσωτερικής "τραχύτητας" στη μάζα του σερπεντινίτη που μπορεί να επιτρέπει την εκδήλωση του παράγοντα της τριβής. Πράγματι η λύση που εφαρμόστηκε ήταν αυτή της θεμελίωσης με πασσάλους τριβής μέχρι βάθους -27 m μόνο.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στοχεύοντας στην απομάκρυνση της υπεραστικής κυκλοφορίας της Χαλκίδας, που σήμερα αποτελεί το κατ' εξοχή πρόβλημα της πόλης, το Υπουργείο Δημοσίων Έργων μελέτησε την παράκαμψη της με νέο δρόμο που αρχίζει περίπου στο ύψος του τοπικού τσιμεντεργοστασίου, στην βοιωτική ακτή, γεφυρώνει τον

* Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

** Γεωλόγος.



1. Dumps 2. Neogene and Quaternary deposits
 3. Cretaceous limestone 4. Serpentine and schists
 5. Triassic-Jurassic limestone 6. -+-F Faults 7. -.-.-J Joints
 8. Δ S Bedding

Εχ. 1: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής ζεύξης.

Fig. 1: Geological map of the bridge area.

- 1: Φερτές ύλες, 2: Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις, 3: Κρητιδικό ασβεστόλιθοι, 4: Σερπεντινίτες και σχιστόλιθοι, 5: Τριαδικό - Ιουρασιακό ασβεστόλιθοι, 6: Ρήγμα, 7: Διακλάσεις, 8: Στρώσεις.

από σκυρόδεμα, αναρτάται με χαλύβδινα καλώδια κάθε 6 m από δύο πυλώνες ύψους ~90 m πάνω από τη θάλασσα. Οι γέφυρες προσβάσεως, μήκους 4x35,875 (Βοιωτία) και 4x39,00 (Εύβοια) αποτελούνται από προκατασκευασμένες προεντεταμένες δοκούς διατομής διπλού ταύ και επί τόπου σκυροδετηθείσα εγκάρσια προεντεταμένη πλάκα κυκλοφορίας. Η έδραση των δοκών γίνεται σε δίδυμα κιβωτιοειδή βάθρα.

Η θεμελίωση των δύο πυλώνων του κεντρικού τμήματος έγινε με σύστημα φρεατοπασσάλων Φ120 σε βάθος ~27 μέτρων στην βοιωτική και 15 μέτρων στην ευβοϊκή ακτή.

Οι πυλώνες προστατεύονται με ισχυρές λιθορριπές και ογκολίθους από την πρόσκρουση των πλοίων.

2. ΟΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Η γεωλογία της περιοχής έχει μελετηθεί από διάφορους ερευνητές (Guernet, Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.

θαλάσσιο δίαυλο στη θέση Στενό και συνεχίζεται στην χερσόνησο Μπαταριά στην ευβοϊκή ακτή.

Το πρώτο και σημαντικότερο τμήμα του όλου έργου, που περιλαμβάνει την βοιωτική προσπέλαση και την υψηλή γέφυρα, ολοκληρώθηκε το 1993.

Το εντυπωσιακότερο στοιχείο του δρόμου αποτελεί η υψηλή αυτή γέφυρα, που είναι η σημαντικότερη σ' όλη την Ελλάδα και ασφαλώς μία από τις μεγάλες της Ευρώπης. Το συνολικό της μήκος είναι 694,5 m με κεντρικό άνοιγμα 215 και ελεύθερο ύψος 34,20 m (Σταθόπουλος, 1987).

Η γέφυρα αποτελείται από τις προσβάσεις και το κεντρικό τμήμα. Τα στοιχεία του κεντρικού ανοίγματος επιτρέπουν τη διέλευση μεγάλων πλοίων που πλέουν προς και από Χαλκίδα. Η γέφυρα προβλέπεται κρεμαστή στο κεντρικό και τα παράπλευρα προς αυτό ανοίγματα, δηλαδή σε μήκος 395 m και συμβατική στο υπόλοιπο μήκος των 299,5 m. Το κατάστρωμα της γέφυρας, που είναι

1971, Κατσικάτσος, 1979 και άλλοι). Η περιοχή της γέφυρας είχε εξεταστεί, για τον σκοπό της ζεύξης, πρώτα από τον Παπαγεωργιάκη (1970). Κατά τη διάρκεια της μελέτης για το ως άνω περιγραφέν τελικό έργο, διεξήχθη από τους ε-δω συγγραφείς λεπτομερής γεωλογική έρευνα.

Η εξάπλωση και γενική δομή των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής της ζεύξης φαίνεται στο σχ. 1:

- η βοιωτική ακτή με το λόφο Μεγάλο Βουνό δομείται από παλαιότερους ασβεστόλιθους και δολομίτες (Τριαδικού). Είναι μέσο ως παχυστρωματώδεις με κλίσεις μέτριες (20-30°) προς τα ΒΔ

- η ευβοϊκή ακτή, με το λόφο Μπαταριά συνιστάται από τους νεώτερους, κρητιδικής ηλικίας, ασβεστόλιθους, κυρίως μεσοστρωματώδεις με ελαφρώς πιο ήπιες κλίσεις.

Ειδικότερα:

Ολοκαινικές αποθέσεις: Αποτελούνται κυρίως από αμμόδη και ιλυώδη υλικά με λίγα χαλίκια που καλύπτουν τους παλαιότερους σχηματισμούς κυρίως στον πυθμένα και στις ακτές. Το πάχος τους δεν ξεπερνά τα 3 m και είναι πολύ χα-λαρά υλικά.

Πλειστοκαινικές αποθέσεις: Αποτελούνται κυρίως από εναλλαγές ερυθρών αργίλων με άμμο και ασβεστολιθικών κροκαλών ή λατύπων μέσα σε αργιλοαμμό-δες υλικό. Το πάχος τους στη ξηρά δεν ξεπερνά τα 8m ενώ στο πυθμένα της θά-λασσας προς τη νότια πλευρά φθάνει τα 20m. Έχουν υποστεί μια ικανοποιητική συμπύκνωση ως και σχετική διαγένεση. Η σύνδεση των κροκαλών και λατυπών είναι συνήθως ασθενής και μόνο τοπικά, εκεί όπου υπερτερεί το ασβεστικό υλικό, είναι ισχυρή.

Άνω κρητιδικοί ασβεστόλιθοι: Είναι μέσο στρωματώδεις έως παχυστρωματώ-δεις ασβεστόλιθοι. Το πάχος των στρωμάτων κυμαίνεται μεταξύ 0,30 και 1,5m. Δεν υπάρχουν παρεμβολές λεπτών στρώσεων μάργων μεταξύ των στρωμάτων των ασβεστολίθων και έτσι η επαφή μεταξύ τους είναι πολύ καλή και ενισχύεται η αντίσταση τριβής στις ασυνέχειες στρώσεων. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί διασχίζο-νται από δύο κύρια συστήματα διακλάσεων (J1 και J2) κάθετα προς τη στρώση. Η μέση πυκνότητα των διακλάσεων είναι συνήθως 2,5-3m και οι ασβεστόλιθοι χωρίζονται σε ορθογώνια blocks διαστάσεων 1,5-5m. Το σύστημα J1 στη βόρεια ακτή θεμελίωσης (Ευβοϊκή πλευρά), είναι πιο εμφανές και η θαλάσσια διάβρω-ση είναι πιο έντονη κατά μήκος των διακλάσεων αυτών. Τα στρώματα κλίνουν ε-λαφρά προς τα δυτικά (265°/20°), οι διακλάσεις J1 προς νοτιοδυτικά (245°/ 85°) και J2 προς νοτιοανατολικά (140°/70°). Οι ασβεστόλιθοι αυτοί παρουσι-άζουν επιφανειακά διευρυμένα καρστικά έγκοιλα, τα οποία όμως αναμένεται να στενεύουν με το βάθος. Τα καρστικά έγκοιλα και οι διευρυμένες διακλάσεις είναι συνήθως πληρωμένες με ερυθρά άργιλο και χαλίκια.

Οφιόλιθοι - σχιστοκερατόλιθοι: Τα πετρώματα αυτά εντοπίζονται σε περιο-ρισμένο πάχος και έκταση, στη νότια μόνο ακτή. Στον πυθμένα της θάλασσας και κάτω από τις τεταρτογενείς αποθέσεις παρουσιάζουν όμως αρκετό πάχος μέχρι και 30 m και πρέπει να καλύπτουν μεγάλη έκταση.

Αποτελούνται κυρίως από σερπεντινίτες και λιγότερο από στρώσεις κερατο-λίθων, πλούσιες σε πηλιτικό υλικό. Αποτελούν ένα σύμπλεγμα (melange) πε-τρωμάτων ανώιουρασιακής και κατωκρητιδικής ηλικίας. Τα πετρώματα στην επι-φάνεια είναι συνήθως σαθρά και σπάνια παρατηρούνται συμπαγείς όγκοι σερπε-ντινών που είναι πάντως μικρών διαστάσεων. Στρωματογραφικώς τοποθετούνται μεταξύ των ανωκρητιδικών και των υποκειμένων τριαδικών ασβεστολίθων. Η ε-παφή τους όμως είναι εδω τεκτονική.

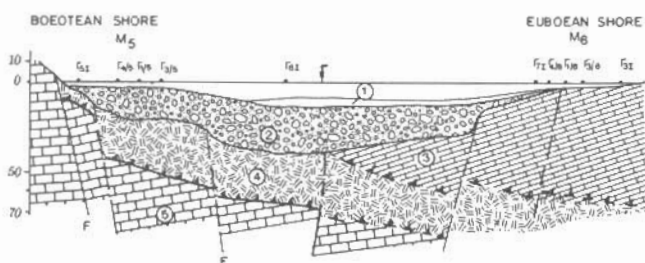
Ασβεστόλιθοι ανωτριαδικής - κατωιουρασιακής ηλικίας: Οι ασβεστόλιθοι αυ-τοί απαντούν στη νότια (βοιωτική) πλευρά θεμελίωσης και καλύπτουν στη συ-

νέχεια μεγάλη έκταση. Κοντά στην ακτή και στη συνέχεια κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας οι ασβεστόλιθοι είναι άστρωτοι και οι διακλάσεις είναι ακανόνιστες και κατά αραιά διαστήματα. Πιο νότια στην πλευρά του λόφου Μεγάλο Βουνό μετατρέπονται σε στρωματώδεις, όπου όμως δεν επηρεάζουν τη θεμελίωση. Η καρστική διάβρωση είναι εμφανής αλλά όχι τόσο όσο να δημιουργεί επικίνδυνες συνθήκες. Τα καρστικά έγκοιλα και οι καρστικοί αγωγοί και εδώ, όπως και στην απέναντι πλευρά, είναι μικρού εύρους σε σχέση με την έκταση που καταλαμβάνει η βάση των βάθρων.

3. Η ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ

3.1 ΟΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ

Ο Ευβοϊκός κόλπος αποτελεί μία νεοτεκτονική τάφρο που σχηματίστηκε από ρήγματα, τα οποία έχουν γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Υπάρχουν όμως και δευτερεύοντα ρήγματα κάθετα προς τα προηγούμενα. Η περιοχή θεμελίωσης της γέφυρας αποτελεί ένα μικρό τμήμα της ευρύτερης τεκτονικής τάφρου. Η γέφυρα δηλαδή είναι θεμελιωμένη πάνω σε δύο ανεξάρτητα τεκτονικά τεμάχια (horsts) μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται η τάφρος. Τα ρήγματα της τάφρου είναι κανονικά. Αν και δεν φαίνονται μέσα στην τάφρο και στο βόρειο κέρασ, με τα δεδομένα της έρευνας στο νότιο κέρασ και των γεωτρήσεων μέσα στην τάφρο σχεδιάστηκε αρκετά αξιόπιστα στην κατά μήκος τομή (σχ. 2).



Σχ. 2: Γεωλογική τομή του στενού της ζεύξης.

Fig. 2: Geological section of the strait.

1: Πρόσφατες θαλάσσιες αποθέσεις. 2: Αργίλοι, ιλύες με ασβεστολιθικά τεμάχια. 3: Κρητικοί ασβεστόλιθοι. 4: Σύστημα οφιολίθων. 5: Τριαδικό - Ιουραστικό ασβεστόλιθοι, F: ρήγματα, III: επιπνεύσεις, Γ: γεωτρήσεις, M: θέσεις πυλώνων.

1: Recent marine deposits (sandy silt), 2: Clay silt with limestone fragments, 3: Cretaceous limestone, 4: Serpentine complexe, 5: Triassic-Jurassic limestones, F: faults, III: Thrusts, Γ: Bore holes, M: Site of piers.

Στο νότιο κέρασ παρατηρούνται δύο κύρια συστήματα ρηγμάτων. Το ένα έχει γενική διεύθυνση ΑΝΑ-ΔΒΔ (120° - 300°) και κλίνει προς ΒΒΑ ($35^{\circ}/75^{\circ}$ έως $10^{\circ}/70^{\circ}$) και το άλλο έχει διεύθυνση Β-Ν και κλίνει προς τα ανατολικά. Το πρώτο σύστημα είναι παράλληλο ή σχεδόν παράλληλο προς τα κύρια ρήγματα της τεκτονικής τάφρου του Ευβοϊκού Κόλπου. Το ρήγμα F1 είναι μείζον και έχει μήκος αρκετών χιλιομέτρων αλλά και τα ρήγματα F2 και F3 εξελίσσονται προς τα βορειοδυτικά σε μεγάλο ρήγμα. Τα τρία ρήγματα F4 είναι μικρότερα και σημειώνονται ενδεικτικά στους περίπου άξονές τους.

Τα στρώματα κλίνουν με μικρή γενικώς γωνία (20°) προς τα Δ ή ΔΒΔ (265° στο βόρειο και 305° στο νότιο κέρασ).

3.2 ΤΟ ΘΕΜΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ

Οι παρατηρήσεις μας σχετικά με το θέμα των πιθανών μέγιστων μετακινήσεων κατά μήκος ρηγμάτων λόγω σεισμού συνοψίζονται ως εξής:

- Σε ρήγματα που, αλλού, έχουν παρουσιάσει γνωστή πρόσφατη ανάδραση πα-

πατηρείται μία προτίμηση, για τις μεγάλες μετακινήσεις (τάξεως dm), στα τμήματά τους εκείνα που διαχωρίζουν συμπαγείς από λιγότερο συμπαγείς σχηματισμούς.

- Τα διαμήκη ρήγματα ήταν τα πιο "ζωηρά" στην τελική διαμόρφωση του γενικότερου χώρου του Ευβοϊκού κόλπου.

- Δεν φαίνονται μορφολογικές ενδείξεις ενεργότητας στα ρήγματα της περιοχής του Στενού. Το διαμήκες ρήγμα της βοιωτικής ακτής (F3) παρουσιάζει πάντως χαρακτηριστές μορφολογικούς και φύσης πετρωμάτων σε κάθε του πλευρά, πιο έντονους απ' εκείνους του πιθανολογούμενου ρήγματος της ευβοϊκής πλευράς που περνά από την περιοχή του βάθρου M6. Το ρήγμα αυτό F3 δεν διέρχεται από τη στενή ζώνη του βάθρου M5.

- Τα κύρια χαρακτηριστικά όλων σχεδόν των ρηγμάτων είναι δύο: Οι επιφάνειες δεν έχουν λειανθεί (περιορισμένη και βραδεία κίνηση) και επομένως ο συντελεστής τριβής εμφανίζεται ως ικανοποιητικός. Το άλλο χαρακτηριστικό είναι ότι οι περισσότερες επιφάνειες των ρηγμάτων έχουν καλυφθεί με ασβεστιτικές κρούστες και οι κενοί χώροι έχουν πληρωθεί με "απολιθωμένα" εδάφη ερυθρών ή ερυθροκιτρίνων αργίλων ή και με ασβεστίτη, γεγονός που σημαίνει ότι στο πρόσφατο παρελθόν τα ρήγματα αυτά δεν έχουν ενεργοποιηθεί.

Συμπερασματικώς η πιθανότητα σχετικής μετακίνησης, ή στροφής, της μιας ακτής ως προς την άλλη εμφανίζεται περιορισμένη. Ωστόσο ελήφθη υπόψη στην ανάλυση του έργου το ενδεχόμενο διαφορικής καθίζησης μεταξύ των 2 κυρίων βάθρων ίσης προς 0,20 m (Σταθόπουλος, 1987).

3.3 Η ΠΑΛΙΑ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΩΝ ΕΦΙΠΠΕΥΣΕΩΝ

Σχετικά με την παλαιότερη τεκτονική πρέπει να τονιστεί ότι η οφιολιθική - σχιστολιθική σειρά είναι αλλόχθονη και η επαφή με τους υποκείμενους τριαιδικούς ασβεστόλιθους είναι τεκτονική (επίπλευση). Με τις τελευταίες ορογενετικές επαπομενικές κινήσεις οι ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι κινήθηκαν (ολίσθησαν) πάνω στο υποκείμενο οφιολιθικό - σχιστολιθικό σύμπλεγμα. Έτσι και η επαφή αυτή είναι τεκτονική. Και οι δύο τεκτονικές επαφές παρουσιάζουν μυλωνιτώση και αποτελούν επιφάνειες εύκολης ολίσθησης. Το ευνοϊκό εδάφιο στοιχείο είναι η μικρή κλίση των επιφανειών αυτών. Ειδικότερα η οφιολιθική - σχιστοκερατολιθική σειρά έχει καταπονθηθεί έντονα τόσο κατά την επώθησή της, όσο και κατά τη σύνθλιψή της μεταξύ των δύο ασβεστολιθικών σειρών. Η οφιολιθική - σχιστολιθική σειρά συμπεριφέρεται δηλαδή ως "μη ικανό" υλικό σε αντίθεση με τους ασβεστόλιθους.

3.4 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ

Η περιοχή παρουσιάζει μία σχετικά μεγάλη σεισμικότητα. Σειρά μελετών που εκπονήθηκαν από τον Ι. Δρακόπουλο έδωσαν τα εξής συμπεράσματα (Σταθόπουλος, 1987):

- οι εδαφικές κινήσεις που έχουν μία σχετικά μεγάλη πιθανότητα 90 έως 95% να μη υπερβληθούν στα επόμενα 100 έως 200 χρόνια (που πρακτικά σημαίνει περίοδο επανάληψης της τάξεως των 900-1000 χρόνων) είναι οι ακόλουθες: $a = 0,20g$, $v = 0,15 \text{ cm/sec}$, $d = 5,0 \text{ cm}$.

Με βάση τα δεδομένα αυτά και ακολουθώντας τις μεθοδολογίες Seed, Newmark & ATC υπεδείχθη το κατάλληλο φάσμα όπου φαίνεται ότι έργα με υψηλή ιδιοπερίοδο, όπως η εν λόγω γέφυρα, καταπονούνται ελάχιστα σε σεισμό.

4. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ

Οι εκτιμήσεις που διατυπώνουμε κατωτέρω για τη συμπεριφορά του γεωλογικού υλικού σε κάθε βάθρο θεμελίωσης βασίζονται, εκτός από τη γεωλογική χαρτογράφηση, και στη μελέτη των πυρήνων των γεωτρήσεων και στα αποτελέσματα τόσο

των δοκιμών εργαστηρίου, όσο και εκείνων που έγιναν στις γεωτρήσεις. Η εκτέλεση του γεωρευνητικού προγράμματος έγινε από την Γεωμηχανική ΕΠΕ.

4.1 ΒΑΘΡΑ ΒΟΙΩΤΙΚΗΣ ΑΚΤΗΣ (A0, M1, M2, M3)

Τα βάθρα θεμελιώνονται στους ασβεστόλιθους του Τριαδικού που, στο χώρο των βάθρων, δεν παρουσιάζουν διαταραχές από πλευράς ρηγματώσεως.

Η επικάλυψη με χαλαρά φερτά υλικά είναι πολύ μικρή όπως και το ανώτερο χαλαρό τμήμα του πετρώματος που δεν δημιουργεί προβλήματα εκσκαφών για τη διαμόρφωση του χώρου έδρασης. Εξαιρεση αποτελεί τμήμα του χώρου του βάθρου M1, όπου κορήματα ασβεστολίθου με άργιλο ξεπερνούν τοπικά τα 4 m.

Ο ασβεστόλιθος παρουσιάζεται με καλή τεχνική συμπεριφορά. Οι υψηλές τιμές RQD και οι τιμές αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (PLT και q_u) είναι χαρακτηριστικές της καλής του εμφάνισης. Τοπικά μόνο συναντώνται κερματισμένα τμήματα και ειδικότερα στην γεώτρηση Γ3 του βάθρου M2 όπου μετά τα 6m τα κερματισμένα τμήματα εναλλάσσονται με συμπαγή. Ανάλογα μετά τα 11m και στη γεώτρηση Γ5 του ίδιου βάθρου. Η καλύτερη εμφάνιση αντιστοιχεί στους ασβεστόλιθους του βάθρου M3. Καρστικά έγκοιλα και φαινόμενα εσωτερικών διαβρώσεων δεν συναντήθηκαν σε ιδιαίτερη πυκνότητα ή μεγέθη. Τα αποτελέσματα από τις δοκιμές περατότητας στους ασβεστόλιθους, αν θεωρηθούν ως απολύτως αξιόπιστα, δίνουν μεν μεγάλες τιμές (10^{-3} - 10^{-4} cm/sec) αλλά δεν αντιστοιχούν καθόλου σε πέτρωμα ιδιαίτερα ανοικτών ρωγμών και οπωσδήποτε όχι ιδιαίτερα καρστικό. Μία εικόνα, στην ίδια κατεύθυνση, δίνουν και τα διαγράμματα Wagon-Drill Enpasol.

4.2 Ο ΠΥΛΩΝΑΣ Μ5 ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ

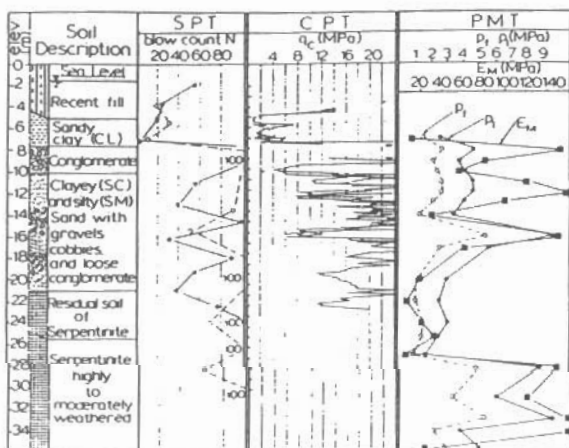
Η στρωματογραφία κάτω από το βάθος των 90 m ύψους πυλώνα περιλαμβάνει:

- τις προσχώσεις της διαύλου (πάχος 13,5 - 19,5 m περίπου)
- το σύστημα σχιστοκερατολίθων με οφιόλιθους (πάχους 24 - 31m περίπου, ως 50 m από την επιφάνεια της θάλασσας)
- τους τριαδικούς ασβεστολίθους.

Οι προσχώσεις, από τεμάχη διαφόρων διαστάσεων κροκαλών, λατυπών και χαλίκων ασβεστολίθου σε αργιλολυώδες περιβάλλον, παρουσιάζουν μία αρκετά, για την κατηγορία τους, πυκνή δομή.

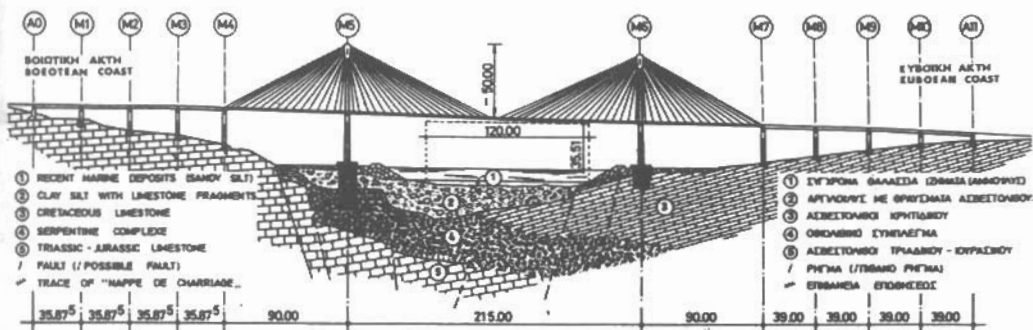
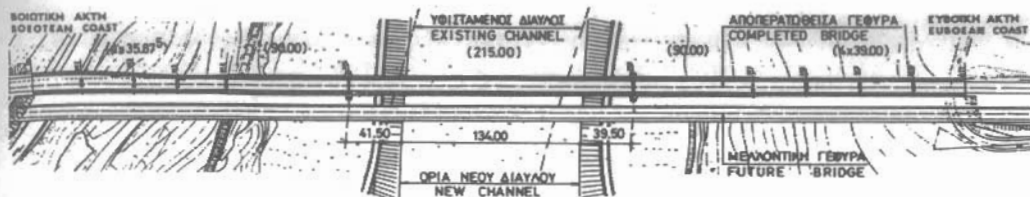
Το σύστημα των σχιστοκερατολίθων και οφιολίθων παρουσιάζει μία μεγάλη πετρογραφική ανομοιογένεια και ακαταστασία και έντονα διατηρημένο χαρακτήρα. Η κατάσταση αυτή μαζί με την αποσάθρωση του πετρώματος, σε σερ-

πεντίνη, που και αυτή παρουσιάζεται με μεγάλη ακαταστασία, δίνει τοπικά ένα υλικό που πρέπει να συμπεριφέρεται τεχνικά, περισσότερο με έδα-



Σχ. 3: Μέσα αποτελέσματα από την πρότυπη Δοκιμή Διεισδύσεως (SPT), τη Δοκιμή Κώνου Διεισδύσεως (CPT) και τη Δοκιμή Συμπυκνωμέτρου Menard.

Fig. 3: Average results from Standard Penetration (SPT), Cone Penetration (CPT) and Menard Pressuremeter (PMT), tests (Frank et al, 1991).



Σχ. 4: Γεωλογική τομή και θεμελίωση της γέφυρας (Γεωλογία από τους συγγραφείς, σχεδιαστικά στοιχεία γέφυρας από Σταθόπουλο, 1987).

Fig. 4: Geological section and foundations features (Geology by the authors; design of the bridge from Stathopoulos, 1987).

φος παρά με βράχο. Χαρακτηριστικό της κατάστασης αυτής είναι τα αποτελέσματα των πολλών δοκιμών που έγιναν στο υλικό αυτό.

Μία αρχική σκέψη ήταν η θεμελίωση του πυλώνα να γίνει με πασσάλους αιχμής μέχρι τον υποκείμενο ασβεστόλιθο που αποτελεί το, αναμφισβήτητο, ικανότερο πέτρωμα για να δεχθεί τα φορτία που μεταφέρει ο πυλώνας, πράγματι οι ασβεστόλιθοι κάτω από τους οφιόλιθους παρουσιάζουν γενικά μία καλή εικόνα, από πλευράς συμπαγότητας. Σε ορισμένες από τις γεωτρήσεις παρουσιάζεται απλώς με μία μεγαλύτερη κάπως ρωγμάτωση και διάβρωση σε πάχος 1-3m, από την διαχωριστική επαφή. Στην επαφή αυτή ο υπερκείμενος οφιόλιθος εμφανίζεται πολύ τριμμένος (Π1).

Η κατασκευαστική δυσκολία για μία τέτοια βαθιά λύση με ευρείας διατομής πασσάλους είναι προφανής. Μία δεύτερη λεπτομερέστερη εξέταση έδειξε ότι, παρ' όλη την κακή ποιότητα της οφιολιθικής μάζας υπάρχουν τμήματα, σκανόνιστα πάντα, με συμπαγή και λιγότερο αποσαθρωμένο οφιόλιθο που "πλέουν" μέσα στο γενικό σύνολο. Το γεγονός αυτό αυξάνει μεν την ανομοιογένεια του υλικού, αλλά του βελτιώνει τη συνολική συμπεριφορά. Από την παρατήρηση των πυρήνων των γεωτρήσεων προέκυψε μία γενική εντύπωση ότι το σύνολο θα έχει καλύτερη συμπεριφορά απ' εκείνη που υπονοούν τα μεμονωμένα αποτελέσματα των δοκιμών στα διάφορα τμήματα του συμπλέγματος αυτού. Οι επί τόπου δοκιμές πρεσσιόμετρου δίνουν επίσης την ίδια εντύπωση της πιο πολλές φορές. Ο αριθμός κρούσεων των δοκιμών πρότυπου διεπίδωσης επιβεβαιώνει την ακαταστασία του υλικού και δεν κατεβαίνουν τελικά σε πολύ χαμηλά επίπεδα (σχ. 3).

Η ετερογένεια των ασθενών οφιολίθων, όπως περιεγράφη ανωτέρω, προσδίδει τελικά στη μάζα τους μια "εσωτερική τραχύτητα" και το γεγονός αυτό οδήγησε στην τελική επιλογή της θεμελίωσης του πυλώνα.

Η θεμελίωση δηλαδή του πυλώνα έγινε τελικώς με πασσάλους τριβής Φ120, εδραζόμενους μέσα στον σερπεντίνη, σε στάθμη περίπου -27 m. Η φέρουσα ικανότητα ενός τέτοιου πασσάλου εκτιμήθηκε λογιστικά σε 800 t (λειτουργικό φορτίο). Τα αποτελέσματα μιας εξαιρετικά αξιόλογης δοκιμαστικής φόρτισης που διεξήγαγε το ΚΕΔΕ, ήταν απολύτως ικανοποιητικά: Ο δοκιμαστικός πάσσαλος Φ65 υπό το φορτίο των 800 t παρουσίασε πρακτικά ελαστική συμπεριφορά, με μέγιστη βύθιση κεφαλής μικρότερη των 5mm. Εξαιρετη συμπεριφορά παρουσίασε επίσης ο πάσσαλος σε οριζόντια φόρτιση, όπου μέχρι και το φορτίο των 80 t η συμπεριφορά του παρέμεινε ελαστική, με οριζόντια μετατόπιση κεφαλής μικρότερη των 30 mm (Frank et al, 1989).

4.3 Ο ΠΥΛΩΝΑΣ Μ6 ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ

Μετά τα 3,5m υλικών επιχώσεων, σ' όλο το βάθος που διατρήθηκε (38m περίπου) αναπτύσσονται οι κρητιδικοί ασβεστόλιθοι της ευβοϊκής ακτής. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό τους είναι ο πολύ έντονος κερματισμός, ως κατακερματισμός τους, σ' όλο το βάθος που διερευνήθηκε. Ο κατακερματισμός τοπικά έχει οδηγήσει στον θρυμματισμό του βράχου. Τα θρυμματισμένα τεμάχια έχουν περιβληθεί από ιλυοαργιλικό υλικό και δίνουν την εντύπωση πλέον όχι βράχου αλλά συνεκτικού σύναγμα λίθων. Τέτοια τεμάχια συναντώνται όχι μόνο κοντά στην επιφάνεια αλλά και κάτω από τα 10m. Άλλα τμήματα των γεωτρήσεων περιλαμβάνουν απλώς πιο σπασμένα τεμάχια, κάτω των 10 cm. Η συναρμογή του συνόλου, παρ' όλα αυτά, δίνει, πάλι, καλύτερη συμπεριφορά, από τις επί μέρους εικόνες που εμφανίζει το πέτρωμα και δεν αποτρέπει τη θεμελίωση.

Πάντως, εδώ, οι επιμέρους πραγματικές εικόνες είναι, αντίθετα, χειρότερες απ' αυτές που δίνουν τα αποτελέσματα των δοκιμών που, πάλι, δεν είναι αντιπροσωπευτικές.

Τα ανωτέρω ήταν ένας από τους λόγους για την επιλογή πασσάλων και για τη θεμελίωση του πυλώνα αυτού. Τοπικά συμπαγή τμήματα, της τάξεως λίγων δεκάδων εκατοστών συναντώνται σε ορισμένες θέσεις διαφόρων γεωτρήσεων. Η κατάσταση βελτιώνεται πάντως στα βαθύτερα τμήματα.

4.4 ΒΑΘΡΑ ΕΥΒΟΪΚΗΣ ΑΚΤΗΣ (M7, M8, M9, M10, A11)

Οι περιοχές των ευβοϊκών βάθρων έχουν μικρή (1-2m), ως ανύπαρκτη κάλυψη εδαφικού υλικού, πάνω στους κρητιδικούς ασβεστόλιθους που αποτελούν το πέτρωμα της θεμελίωσης. Το επιφανειακό, επίσης, χαλαρό τμήμα των ασβεστόλιθων είναι επιπόλαιο.

Ο γενικός χαρακτήρας των ασβεστόλιθων στα ευβοϊκά βάθρα είναι ο εντονότερος κερματισμός τους σε σχέση με τα βάθρα της βοιωτικής πλευράς. Είναι σαφείς επίσης οι ενδείξεις αυξημένης καρστικοποίησης, από την παρουσία τμημάτων με φαινόμενα διαβρώσεων. Υπάρχουν και τμήματα που ο κερματισμός είναι πολύ έντονος, όχι όμως στο βαθμό του χώρου του βάθρου M6. Πιο ρωγματομένο παρουσιάζεται το ασβεστολιθικό υλικό του βάθρου M9.

Συμπερασματικά οι ασβεστόλιθοι, εδώ, παρουσιάζουν μέτρια ποιότητα αλλά η κατάσταση τους δεν θέτει (και ούτε έθεσε) ειδικά προβλήματα στη θεμελίωση των βάθρων.

Το ενδεχόμενο συνάντησης πιο αναπτυγμένων καρστικών εγκοίλων στους ασβεστόλιθους της ευβοϊκής ακτής ήταν πιο υψηλό. Τέτοια κατάσταση αρκετά εντυπωσιακή συναντήθηκε πράγματι στο τμήμα του βάθρου A1, όπου μεγάλα εσωτερικά τμήματα του βράχου είναι γεμάτα με ιλυοαργιλώδες υλικό.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η γεωλογική ανάλυση επέτρεψε τη διάκριση των επί μέρους τεκτονικών τεμαχών της περιοχής που έχουν δημιουργηθεί από την πρόσφατη εξέλιξη του χώρου του Ευβοϊκού κόλπου: Τα βάθρα της γέφυρας προσβάσεως της βοιωτικής ακτής βρίσκονται μέσα στο ίδιο τεκτονικό τέμαχος και το βάθρο Μ5 της καλωδιωτής σε, γειτονικό, δικό του. Ένα από τα ρήγματα της περιοχής περνά πιθανότατα από την περιοχή του βάθρου Μ6. Τα βάθρα της ευβοϊκής ακτής ανήκουν σ' άλλο, δικό τους, τεκτονικό τέμαχος.

Δεν φαίνονται ενδείξεις που να μαρτυρούν ενεργότητα των ρηγμάτων που ορίζουν τα τεκτονικά τεμάχη της περιοχής, παρ' όλο που αυτά ανήκουν στο γενικότερο ενεργό δυναμικό σύστημα της μείζονος περιοχής του Ευβοϊκού κόλπου. Αντίθετα, μπορεί να διατυπωθούν επιχειρήματα για την περιορισμένη ή και μη ενεργότητά τους.

Τα βάθρα της βοιωτικής πλευράς εδράζονται σε τριαδικούς ασβεστόλιθους μέτρια ή λίγο ρωγματομένους, καλής συμπεριφοράς, σε περιβάλλον με μικρή πιθανότητα συνάντησης καρστικών κενών.

Στο βάθρο του υψηλού πυλώνα Μ5 της κεντρικής γέφυρας της βοιωτικής πλευράς του διαύλου, κάτω από τα πρόσφατα υλικά πληρώσεως, αναπτύσσεται από 17 έως 50m περίπου, ένα σύμπλεγμα οφιολίθων και σχιστοκερατολίων ανομοιογενές και με ακατάστατη δομή, πτωχής έως πολύ πτωχής γενικώς συμπεριφοράς. Τελικό υπόβαθρο είναι οι τριαδικοί ασβεστόλιθοι. Εν τούτοις η εσωτερική διαφορική συμπεριφορά του συμπλέγματος επέστρεψε την επιλογή πασσάλων τριβής έναντι της κατασκευής πασσάλων αιχμής μέχρι τους υποκείμενους ασβεστόλιθους.

Το βάθρο του πυλώνα Μ6, στην ευβοϊκή ακτή, αφορά ιδιαίτερα κατακερματισμένους ασβεστόλιθους σ' όλο το χώρο κάτω από την περιοχή του, με τοπικές μεταβάσεις προς συμπεριφορά βραχώδους συνάγματος. Και εδώ επελέγη η λύση πασσάλων.

Τα βάθρα της ευβοϊκής πλευράς θεμελιώθηκαν σε ασβεστόλιθους μέτρια ως αρκετά ρωγματομένους, μέτριας (για ασβεστολιθικό πέτρωμα) ως καλής συμπεριφοράς, χωρίς προβλήματα όμως στη θεμελίωση.

Ως γενικό συμπέρασμα υπογραμμίζεται η συμβολή της γεωλογικής ανάλυσης στο σχεδιασμό της υψηλής αυτής καλωδιωτής γέφυρας, σε σύνθετο γεωλογικό περιβάλλον: ορισμός της τεκτονικής γεωμετρίας, εκτίμηση της ενεργότητας των ρηγμάτων, αναγνώριση της ικανότητας της πολύ πτωχής, από τεχνικής πλευράς, αποσαθρωμένης οφιολιθικής μάζας να αναπτύσσει μία εσωτερική τραχύτητα, γεγονός που εμείωσε σημαντικά την έκταση της θεμελίωσης.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η γέφυρα κατασκευάσθη από την Κοινοπραξία "Τεχνική Εταιρία Βόλου" Α.Ε. και "Ελληνική Τεχνοδομική" Α.Ε., με μελετητή την "ΔΟΜΗ" Α.Ε. Η γεωτεχνική έρευνα εξετελέσθη από τη "Γεωμηχανική" ΕΠΕ. Οι συγγραφείς επιθυμούν να ευχαριστήσουν τη συνδρομή των ανωτέρω κατά τη διάρκεια των ερευνών τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- GUERNET, C. (1971). Contribution à l' étude géologique de l' Eubée et des régions voisines. Thèse Fac. Sciences, Paris.
- FRANK, R., KALTEZIOTIS, N., BUSTAMATE, M., CHRISTOULAS, ST., ZERVOGIANNIS, H. (1991). Evaluation of performance of two piles using pressuremeter method. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 117, 5, 695-712.

- KATSIKATSOS, G. (1979). La structure tectonique d' Attique et de l' île d' Eubée. VI Colloq. Geology Aegean Region, Athens.
- ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΑΚΗΣ, Ι. (1970). Σχέσεις της γεωλογική δομής με τις γεωτεχνικές συνθήκες στην περιοχή της θεμελίωσης της νέας γέφυρας Χαλκίδος. Επιστημονική Επιτηρίς ΕΜΠ.
- ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ, Σ. (1987). Η υψηλή γέφυρα Χαλκίδος. Πρακτικά 8ου Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος.