

130 ΧΡΟΝΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ
ΜΗΤΕΡΑ-ΤΡΟΦΟΣ
ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



Ιστορική αναδρομή στην ανάπτυξη
των υποδομών της Ελλάδας
1887-2017

ΑΘΗΝΑ 2018

**130 ΧΡΟΝΙΑ ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ
ΜΗΤΕΡΑ–ΤΡΟΦΟΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**Ιστορική αναδρομή στην ανάπτυξη
των υποδομών της Ελλάδας
1887-2017**

Αθήνα 2018

Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΤΙΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ*

του Σπύρου Καβουνίδη

Δρ. Πολιτικού Μηχανικού - Εδαφομηχανικού

Προέδρου και Διευθ. Συμβούλου της Έδαφος Α.Ε.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όταν πριν πάνω από 90 χρόνια ο Karl Terzaghi εξέδωσε το βιβλίο του *Erdbau-mechanik auf Bodenphysikalischer Grundlage* μια νέα επιστήμη, αυτή της γεωτεχνικής μηχανικής, γεννήθηκε. Συνδυάζοντας τη μηχανική με τη γεωλογία και την υδραυλική, θεωρίες θραύσης και καταστατικούς νόμους τάσεων-παραμορφώσεων σε γεωλογικά υλικά οδήγησε στην επιστημονική εξέταση του εδάφους και των γεωϋλικών με θεωρία και πείραμα και εμπειρία.

Το έδαφος, στα έργα πολιτικού μηχανικού, έπαυσε να αποτελεί ανεξέλεγκτο παράγοντα, το «κακό» έδαφος να αποδίδεται στο κακό το ριζικό μας και το «καλό» έδαφος σε θεϊκή εύνοια.

Όλες οι κατασκευές είναι πάνω στο έδαφος ή μέσα στο έδαφος ή και χρησιμοποιούν το έδαφος ως υλικό κατασκευής. Πλέον, στα μεγάλης κλίμακας έργα που έγιναν ή γίνονται στην Ελλάδα, ο ρόλος της γεωτεχνικής μηχανικής είναι κεντρικός.

Αν λοιπόν στο μεγαλύτερο μέρος του 20^{ου} αιώνα στην Ελλάδα είχαμε την πρώιμη ιστορία της γεωτεχνικής μηχανικής, στα τέλη του και στις πρώτες δεκαετίες του 21^{ου} αιώνα μπήκαμε με ιδιαίτερη ορμή στους σημαντικούς ιστορικούς της χρόνους. Είναι μια ιστορία που βιώνουμε καθημερινά στο γραφείο και στο ύπαιθρο, στο εργαστήριο και στον υπολογιστή. Και πάντα όλα μαζί σε συνδυασμό.

* Το παρόν κεφάλαιο αφιερώνεται στη μνήμη του πατέρα μου, Κώστα Καβουνίδη, αποφοίτου της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ, το 1938.

Γιατί η γεωτεχνική μηχανική είναι και θεωρία και πράξη και πείραμα και εμπειρία και προσομοίωμα και τέχνη. Γι' αυτό την αγαπάμε. Η συντριπτική πλειοψηφία των γεωτεχνικών μηχανικών αγαπάει αυτό που κάνει. Το πρωτοαγάπησε σπουδάζοντάς το. Στο ΕΜΠ πρωτάρχισαν να διδάσκονται μαθήματα θεμελιώσεων στο μεσοπόλεμο, μετά τον πόλεμο και εδαφομηχανική. Το 1982 δημιουργήθηκε ο τομέας Γεωτεχνικής στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, το 2004 θεσπίστηκε, η κατεύθυνση γεωτεχνικού μηχανικού, ενώ ήδη από το 1998 έχει καθιερωθεί (μαζί με τη Σχολή Μεταλλειολόγων) το μεταπτυχιακό στο Σχεδιασμό και Κατασκευή Υπογείων Έργων.

Βρεθήκαμε μπρος σε ιστορίες μυστηρίου, μπρος στις κατολισθήσεις που πρέπει να βρούμε το δράστη και το κίνητρό του, δηλαδή τα αίτια και τους τρόπους δράσης τους, ώστε τα στοιχεία που μαζεύουμε -τα πειστήρια- να τα αξιοποιήσουμε με τους τρόπους που υποδεικνύουν οι επιστημονικές μας γνώσεις για να αποτρέψουμε την επανάληψη του «εγκλήματος» -της αστοχίας-. Συνήθως βέβαια η δράση είναι προληπτική. Για να μην συμβεί το «έγκλημα». Για να θεμελιωθούν ασφαλώς οι γέφυρες, για να στέκουν σταθερά τα πρηνή. Για να υποστηριχτούν σωστά οι σήραγγες. Για να θεμελιωθούν με ασφάλεια τα κτίρια και να αντιστηριχθούν οι εκσκαφές. Για να διαστασιολογηθούν σωστά και με χρήση κατάλληλων υλικών τα φράγματα και τα επιχώματα. Για να επιστρωθούν καταλλήλως τα αεροδρόμια. Για να στέκουν ακλόνητοι οι λιμενοβραχίονες. Για να κατασκευαστούν σωστά οι χώροι απόθεσης απορριμμάτων και για να εντάξουμε τα έργα αρμονικά στο περιβάλλον. Για να προβλέψουμε πως μεταδίδεται ο σεισμός μέσα στο έδαφος και πως αλληλοεπιδρά με τις κατασκευές. Για να βελτιώσουμε το έδαφος και να αποτρέψουμε τη ρευστοποίηση.

Η γεωτεχνική μηχανική, ο νεότερος τομέας του πολιτικού μηχανικού, έχει τη γοητεία του, μα κυρίως, είναι απαραίτητος για το σχεδιασμό και την κατασκευή των έργων υποδομής με ασφάλεια και οικονομία.

Παρακάτω γίνεται αναφορά σε κάποια παλαιότερα, πρόσφατα ή σύγχρονα έργα υποδομής που, ειδικευμένοι στη γεωτεχνική, Πολιτικοί Μηχανικοί του ΕΜΠ είχαν τον κύριο ή σημαντικό ρόλο.

Λόγω του «νεαρού» της ηλικίας της Γεωτεχνικής Μηχανικής ως επιστήμης και ως τομέα και μάλιστα στην Ελλάδα, δεν έχουν περιληφθεί έργα με σημαντικά γεωτεχνικά αντικείμενα αν δεν έχουν πρόσφατες προεκτάσεις.

Επίσης πρέπει να ειπωθεί ότι το βασικό κριτήριο της παρουσίας είναι να αναδειχθεί το εύρος των έργων με σημαντικό γεωτεχνικό αντικείμενο, δηλαδή, το εύρος υπερίσχυσε της εμβάθυνσης ή της ιεράρχησης βάσει κάποιας (αβέβαιης) αξιολόγησης της σημασίας.

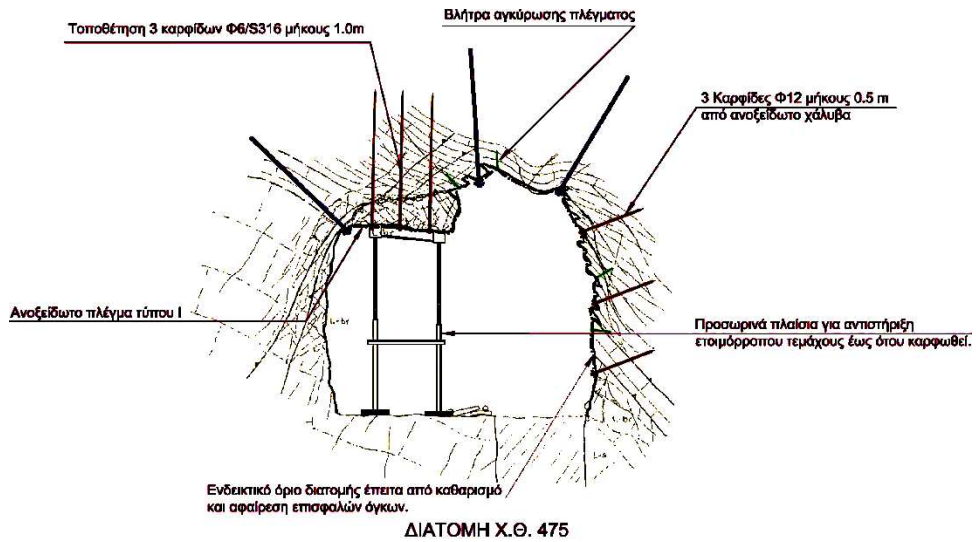
2 ΠΑΛΙΕΣ ΙΣΤΟΡΙΕΣ ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ

2.1 Ευπαλίειο Υδραγωγείο

Το υδραγωγείο του Ευπαλίνου στη Σάμο, κατασκευασμένο τον 6^ο αιώνα π.Χ., έγινε αμέσως διάσημο για την αμφίστομη κατασκευή μιας σήραγγας μήκους 1 036 m χάρις στην περιγραφή του Ηροδότου. Μια σήραγγα πρόσβασης με γενικές διαστάσεις 1.8×1.8 m διανοίχθηκε ταυτόχρονα από τα δύο μέτωπα χρησιμοποιώντας για πρώτη φορά επιστημονικές μαθηματικές μεθόδους για το σχεδιασμό και την παρακολούθηση της όδευσης εξασφαλίζοντας τη συνάντηση των δύο μετώπων κάτω από το υψηλότερο σημείο του λόφου που διαπερνά. Στο πλάι της σήραγγας αυτής, χρησιμοποιώντας την ως οδηγό, διανοίχθηκε μια βαθιά τάφρος που στον πυθμένα της τοποθετήθηκαν οι πήλινοι αγωγοί μεταφοράς του νερού. Το έργο αυτό, που περιλαμβάνεται στην Παγκόσμια Κληρονομιά της UNESCO από το 1992, ανακηρύχθηκε το 2015 ως Διεθνές Τοπόσημο Σηραγγοποιίας από τη Διεθνή Ένωση Σηράγγων και Υπογείων Έργων (<http://www.eupalinos-tunnel.gr/>).

Η σήραγγα διανοίχθηκε σε σχηματισμούς που κυμαίνονται από εξαιρετικά ασθενείς (τεκτονισμένες λεπτοπλακώδεις αργιλόμαργες, ελαφρά συγκολλημένα κορήματα) έως πολύ ισχυροί (μεσοστρωματώδεις άρρηκτοι ασβεστόλιθοι) και με συχνά έντονη παρουσία νερού. Αποτελεί ουσιαστικά ένα εξαιρετικό γεωτεχνικό έργο, πρωτοπόρο για την εφαρμογή μεθόδων τοπογράφησης κατά την κατασκευή, τον τρόπο αντιμετώπισης προβλημάτων διάνοιξης σε ασταθείς σχηματισμούς, την εφαρμογή μεθόδων μόνιμης υποστήριξης κτλ.

Το έργο αυτό αναστήλωθηκε σε τρεις περιόδους 1882-1884, 1971-1973 και 2013-2015. Η τελευταία αναστήλωση έγινε μετά από μια διεπιστημονική μελέτη και περιλάμβανε επισκευές στη μόνιμη επένδυση από λιθοδομή, υποστήριξη ασταθών περιοχών με χρήση ανοξειδωτων αγκυρίων βράχου διαφορετικών διαστάσεων, εφαρμογή αγκυρωμένων ανοξειδωτων ελαφρών διχτυωτών πλεγμάτων, βελτίωση της βραχομάζας με τσιμεντενέσεις, κατασκευή πλαισίων από ανοξειδωτο χάλυβα για δημιουργία διαδρόμων ασφαλούς διέλευσης σε προβληματικές περιοχές κλπ. Στη Φωτ. 2.1.1 φαίνεται σημερινή άποψη της επισκέψιμης πλέον, στοάς και στο Σχήμα 2.1.1 διατομή με ορισμένα από τα έργα υποστήριξης.



Σχήμα 2.1.1 Διατομή με ορισμένα από τα έργα υποστήριξης

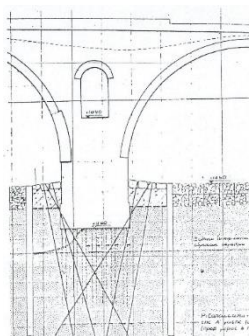


Φωτ. 2.1.1 Μέτρα υποστήριξης

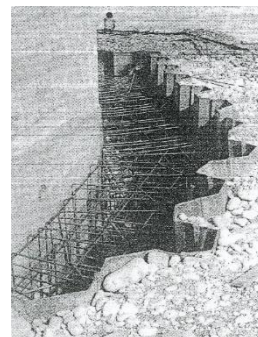
2.2 Το Γεφύρι της Άρτας



Φωτ. 2.2.1 Παλιά Γέφυρα Άρτας



Σχήμα 2.2.1 Σχηματική Τομή ενίσχυσης βάθρου Γέφυρας Άρτας



Φωτ. 2.2.2 Ενισχύσεις βάθρων σε παλιά Γέφυρα Άρτας

Γνωστή και πολυτραγουδισμένη η Παλιά Γέφυρα της Άρτας, χρειάστηκε τη μελέτη και την κατασκευή σημαντικών γεωτεχνικών έργων για να ανακτήσει την ευστάθειά της. Συγκεκριμένα εγκιβωτίστηκαν τα βάθρα με πασσαλοσανίδες (30 t) και ενισχύθηκε το υποκείμενο έδαφος με ριζοπασσάλους (700 m) και ενέσεις (300 m³). Για την προστασία της κοίτης κατασκευάστηκαν διάφραγμα συγκρατήσεως κατάντη (900 m²), συρματοκιβώτια (35 000 m³) και χωματουργικές διευθετήσεις (200 000 m³).

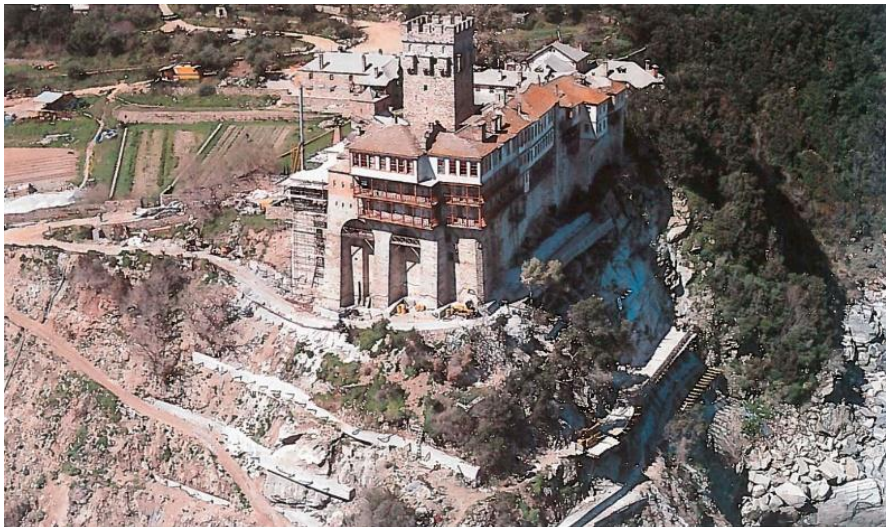
Στη Φωτ. 2.2.1 φαίνεται η (παλιά) εικόνα του γεφυριού και στη Φωτ. 2.2.2 παρουσιάζονται ενισχύσεις των βάθρων στη φάση κατασκευής. Εξ' άλλου στο Σχήμα 2.2.1 παρουσιάζονται σε τομή έργα ενίσχυσης βάθρου.

2.3 Η Μονή Σταυρονικήτα στο Άγιο Όρος

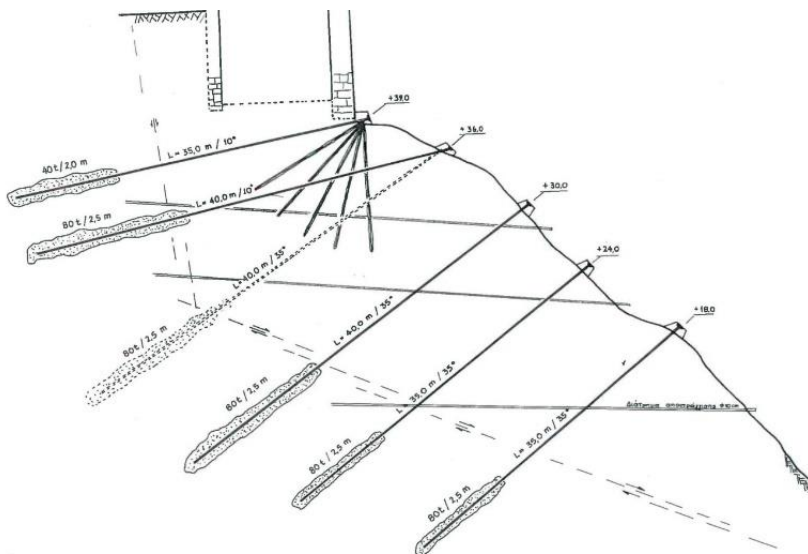
Ένα δείγμα της πολιτιστικής μας κληρονομιάς με ιστορία άνω των χιλίων ετών χρειάστηκε σύγχρονες γεωτεχνικές επεμβάσεις για να εξασφαλιστεί η ευστάθειά του. Ρωγματώσεις τόσο στην τοιχοποιία όσο και στο βραχώδες υπόβαθρο αποκαταστάθηκαν και παρακολούθηθηκαν ενοργάνως. Έγιναν γεωλογικές και γεωτεχνικές έρευνες και μελετήθηκε η υπάρχουσα -μειωμένη- ευστάθεια όσο και τα μέτρα για την αποκατάσταση αποδεκτής ευστάθειας. Το μέτρα περιελάμβαναν προεντεταμένες αγκυρώσεις, αγκυροδοκούς, μικροπασσάλους, αποστραγγιστικές διατρήσεις, τσιμεντενέσεις, ηλώσεις κ.α.

Άποψη της Μονής με τα στερεωτικά μέτρα φαίνεται στη Φωτ. 2.3.1. ενώ το Σχήμα 2.3.1 παρουσιάζει χαρακτηριστική τομή του νοτιοανατολικού πρσανούς με

σχεδιασμένες τις γεωτεχνικές επεμβάσεις (αγκύρια, μικροπάσσαλοι, στραγγιστικές οπές).

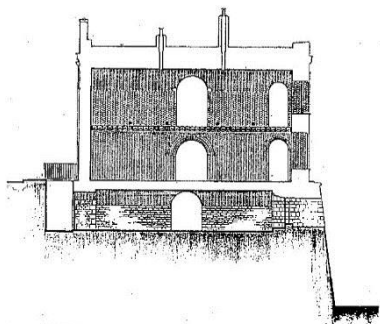


Φωτ. 2.3.1 Συνολική άποψη των στερεωτικών μέτρων στα πρανή της Ι. Μονής Σταυρονικήτα



Σχήμα 2.3.1 Χαρακτηριστική τομή του νοτιοανατολικού πρανούς. Διακρίνονται τα μόνιμα προεντεταμένα αγκύρια, οι μικροπάσσαλοι και οι αποστραγγιστικές οπές

2.4 Αποκατάσταση Αγγλικών Στρατώνων Κέρκυρας



Σχήμα 2.4.1 Σχηματική Τομή Στρατώνων Κέρκυρας



Φωτ. 2.4.1 Φάση εργασιών ενίσχυσης εδάφους θεμελίωσης στους Στρατώνες Κέρκυρας

Βασικό έργο για την αποκατάσταση του ιστορικού κτιρίου των Αγγλικών Στρατώνων Κέρκυρας ήταν η, απαραίτητη, ενίσχυση του εδάφους θεμελίωσης που έγινε με σειρά τσιμεντενέσεων. Επί πλέον έγιναν έργα επισκευών σε τοίχους, δάπεδα, φρεάτια ανελκυστήρων κλπ.

2.5 Διώρυγα της Κορίνθου

Η διάνοιξη διώρυγας που ενώνει τον Σαρωνικό με τον Κορινθιακό Κόλπο αποτελούσε επιδίωξη από αρχαιότατων χρόνων. Τελικά κατασκευάστηκε τον 19^ο αιώνα και εγκαινιάστηκε το 1893, πολύ πριν η γεωτεχνική μηχανική υπάρξει και καθιερωθεί ως επιστημονικός τομέας.

Το μήκος της διώρυγας είναι 6 345 m το πλάτος της στο επίπεδο της θάλασσας 24.6 m και έχει βάθος 7.5-8 m (ιδέ Φωτ. 2.5.1). Τα εδαφικά υλικά που συνάντησε η εκσκαφή είναι κυρίως μάργες, ασβεστόλιθοι και κροκαλοπαγή και ψαμμίτες. Σχετικά πρόσφατα σ' αυτό το παλιό γεωτεχνικό έργο προστέθηκε ένα νέο έργο, αυτό της νέας οδικής γέφυρας. Η Φωτ. 2.5.2 παρουσιάζει τη γέφυρα αυτή στη φάση κατασκευής. Η θεμελίωση της νέας γέφυρας σε «επισηφαλή» πρανή απαιτήσε ιδιαίτερη μελετητική και κατασκευαστική προσπάθεια καθ' ότι πέραν των πρανών υπάρχει και το ιδιαίτερο πρόβλημα της έντονης σεισμικότητας της περιοχής. Χαρακτηριστική είναι η Φωτ. 2.5.3 από την τοποθέτηση εφεδράνου σεισμικής μόνωσης σε βάθρο της γέφυρας ενώ διακρίνονται και οι φρεατοπάσσαλοι αντιστήριξης.



Φωτ. 2.5.1 Εικόνα της Διώρυγας της Κορίνθου



Φωτ. 2.5.2 Η νέα οδική γέφυρα σε φάση κατασκευής



Φωτ. 2.5.3 Τοποθέτηση εφεδράνου σεισμικής μόνωσης

3 ΣΗΡΑΓΓΕΣ

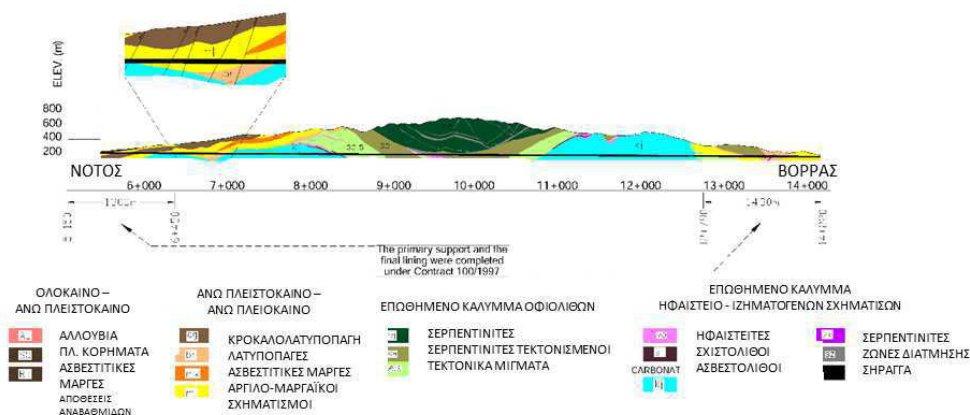
3.1 Σήραγγα Καλλιδρόμου

Η σήραγγα Καλλιδρόμου είναι μια δίδυμη σήραγγα του τμήματος της Νέας Σιδηροδρομικής γραμμής Τιθορέας - Λιανοκλαδίου, υποτμήματος της Ν.Δ.Σ.Γ.Υ.Τ. Αθήνας – Θεσσαλονίκης. Έχει σχεδιαστεί για ταχύτητα 250 km/h, ο κάθε κλάδος της έχει μήκος 9 034 m, η μεταξύ των κλάδων απόσταση είναι 35 m, η γενική της κατεύθυνση Β – Ν, έχει διατομή 58 m² και εξόδους διαφυγής ανά 500 m.

Η ευρύτερη περιοχή της σήραγγας γεωλογικά καλύπτεται από σχηματισμούς υποβάθρου της Πελαγονικής ζώνης των οποίων υπέρκειται μεταλλικές αποθέσεις.

Το σύνολο των μεταλλικών αποθέσεων συνίσταται από (ιδέ γεωλογική κατά μήκος τομή στο Σχ. 3.1.1):

- Κροκαλο-λατυποπαγή, ασβεστιτικές μάργες, ανθρακικά κροκαλοπαγή και αργιλικές μάργες, Ανω πλειοκαινικής – Άνω πλειστοκαινικής ηλικίας
- Αποθέσεις αναβαθμίδων, πλευρικά κορήματα, υλικά κώνων κορημάτων και αλλουβιακές αποθέσεις Άνω πλειστοκαινικής – Ολοκαινικής ηλικίας



Σχήμα 3.1.1 Κατά μήκος τομή στη Σήραγγα Καλιδρόμου

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσίασε το τμήμα διάνοιξης εντός των αργιλικών μαργών ανωπλειοκαινικής – ανωπλειστοκαινικής ηλικίας το οποίο εκτείνεται μεταξύ των χ.θ. 6+470 και 7+115 (από Νότια προς Βόρεια), με ύψος υπερκειμένων από 120 m έως 230 m.

Οι συνθήκες εντός του σχηματισμού αυτού ήταν πολύ δυσμενείς για τη διάνοιξη σήραγγας λόγω της αργιλικής του σύστασης μάλιστα με επικράτηση του μοντμοριλονίτη, της ανάπτυξης πλήθους στυλπών και λείων επιφανειών χαμηλής διατμητικής αντοχής (slickensides), της εν γένει χαμηλής αντοχής του σε σχέση με την τάση υπερκειμένων και λόγω των συνηθών υπόγειου νερού με την εμφάνιση διάσπαρτων ροών μέσα από τους πιο περατούς ορίζοντες σε ένα εν γένει χαμηλής περατότητας περιβάλλον.

Τα προσωρινά μέτρα υποστήριξης που εφαρμόστηκαν περιλάμβαναν εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 30 cm, μεταλλικά πλαίσια HEB 140, δομικό πλέγμα και αυτοδιατρύμενα αγκύρια φορτίου θραύσης 300 kN και 600 kN. Οι εκσκαφές πραγματοποιήθηκαν σε τρία στάδια και η φάση Α (top heading) περιλάμβανε

διεύρυνση στη θεμελίωση των πλαισίων (elephant foot) με κατασκευή μικροπασσάλων, ενίσχυση του μετώπου με τοποθέτηση αγκυρίων από υαλοϊνες (fiberglass) και προσωρινό ανάστροφο τόξο (invert) με διπλό πλέγμα. Μετρήθηκαν συγκλίσεις της τάξης των 70 cm που οδήγησαν σε επαναδιαμόρφωση της διατομής. Χαρακτηριστικό των υποβαθμισμένων γεωτεχνικών συνθηκών και των προβλημάτων που προέκυψαν κατά την κατασκευή ήταν η περί τη χ.θ. 6+625 κατάπτωση μήκους 40 m περίπου, η οποία οδήγησε σε προσωρινή διακοπή των εργασιών (ιδέ Φωτ. 3.1.1).



Φωτ. 3.1.1 Κατάρρευση οροφής στο δεξιό κλάδο στη Χ.Θ. 6+625



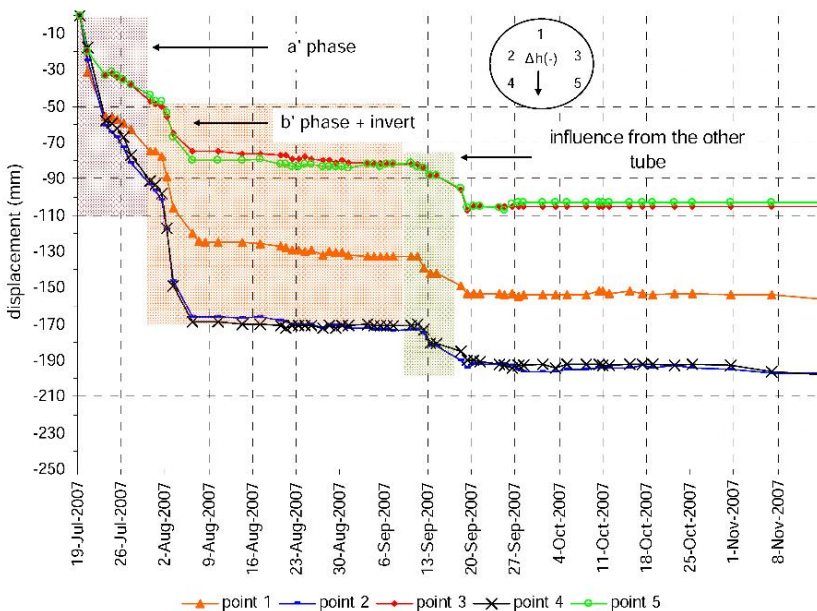
Φωτ. 3.1.2 Όψη δύσκαμπτης και διαρρέουσας υποστήριξης κατά τη φάση κατασκευής της σήραγγας

Μετά τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν συντάχθηκαν εκ νέου πιο λεπτομερείς γεωλογικές και γεωτεχνικές μελέτες βάσει των οποίων επιλέχθηκε η εφαρμογή ενός συνδυασμού δύσκαμπτης και διαρρέουσας υποστήριξης (Yielding –

Double Support) (Φωτ. 3.1.2). Η διαρροή επιτεύχθηκε με χρήση 10 αποσβεστήρων σύνθλιψης εντός του σκυροδέματος που επέτρεπαν συνολική σύγκλιση έως 1 m. Η εκσκαφή έγινε σε 2 φάσεις με βήμα 0.7 – 1 m και στην κάθε μια τοποθετούνταν 35 cm εκτοξευόμενου σκυροδέματος (30/37), 3 πλαίσια lattice girders ανά μέτρο μήκους, διπλό πλέγμα, αυτοδιατρυόμενα αγκύρια 12 m και υποστήριξη του μετώπου με αγκύρια από υαλοϊνες και βλήτρα προπορείας.

Τα συχνότερα προβλήματα, που προέκυψαν κατά τη διάνοιξη, ήταν αστοχίες του μετώπου και εισροή υδάτων, ενώ κατασκευαστική δυσκολία αποτέλεσε η εφαρμογή μεγάλου πάχους εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Από την ενόργανη παρακολούθηση, κατά τη διάνοιξη με τη μέθοδο δύσκαμπτης και διαρρέουσας υποστήριξης (Yielding – Double Support), παρατηρήθηκε ότι στη φάση A (top heading) οι πλευρικές μετακινήσεις ήταν σχετικά μικρές (1 cm ανά ημέρα) σε σχέση με τις κατακόρυφες (3 cm ανά ημέρα). Μετά την ολοκλήρωση της προσωρινής υποστήριξης δεν παρατηρήθηκαν εκ νέου μετακινήσεις, όπως φαίνεται στο διάγραμμα (Σχ. 3.1.2) και η σήραγγα ολοκληρώθηκε επιτυχώς.

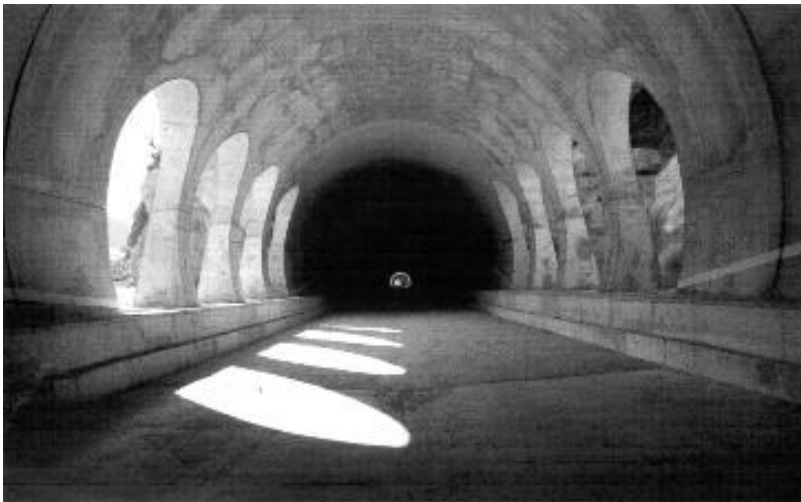


Σχήμα 3.1.2 Διάγραμμα κατακόρυφων μετακινήσεων

3.2 Σιδηροδρομική Σήραγγα στα Τέμπη



Φωτ. 3.2.1 Σήραγγα Τεμπών στη φάση κατασκευής



Φωτ. 3.2.2 Κατασκευασμένη Σήραγγα στα Τέμπη

Η σιδηροδρομική σήραγγα διπλής γραμμής, έχει τελική εσωτερική διάμετρο 12.2 m, μήκος 4 km και 1 km, διαδοχικές μικρού μήκους σήραγγες και cut&covers. Η βραχομάζα κυρίως παρουσιάζει ασβεστολιθικές φάσεις εκτός του τμήματος εξόδου (150 m) όπου παρουσιάζονται εξαλλοιωμένα υλικά (κροκαλο-

παγή και αργιλικά μίγματα). Οι φωτογραφίες 3.2.1 και 3.2.2 παρουσιάζουν τη σήραγγα στη φάση κατασκευής και περαιωμένη, αντίστοιχα.

3.3 Σήραγγα Διχαλορέματος Αυτοκινητοδρόμου Αθηνών - Λαμίας



Φωτ. 3.3.1 Είσοδος δίδυμων σηράγγων περιοχής Αγ. Κωνσταντίνου



Φωτ. 3.3.2 Εσωτερικό κατασκευασμένης σήραγγας περιοχής Αγ. Κωνσταντίνου

Βρίσκεται εκεί που ο νέος αυτοκινητόδρομος Αθηνών-Λαμίας παρακάμπτει την παραλία Αγ. Κωνσταντίνου - Κ. Βούρλων. Πρόκειται για δίδυμες οδικές σήραγγες δύο λωρίδων, ολικού μήκους 2×650 m. Είναι σχετικά αβαθείς σήραγγες που κατασκευάστηκαν κυρίως για ασφαλή διέλευση σε ασταθή μάζα αλλά και για περιβαλλοντικούς λόγους αποφυγής ορύγματος σε περιοχή σημαντικών υδατικών πηγών. Διανοίχθηκαν σε μάργες και κροκαλοπαγή με συμβατικές μεθόδους, δίνοντας ιδιαίτερη βαρύτητα στη σεισμοτεκτονική ιδιαιτερότητα της περιοχής. Η

Φωτ. 3.3.1 δείχνει την είσοδο στην πλευρά του Αγ. Κωνσταντίνου ενώ η Φωτ. 3.3.2 παρουσιάζει το εσωτερικό κατασκευασμένου κλάδου.

3.4 Υπόγεια Caverna του Σταθμού «Αιγάλεω» του Μετρό της Αθήνας



Φωτ. 3.4.1 και 3.4.2 Φάσεις από την κατασκευή της Υπόγειας Caverna του Σταθμού Μετρό Αιγάλεω

Είναι υπόγεια διάνοιξη, μεγάλων διαστάσεων (110 m μήκος, 28 m πλάτος, 18 m ύψος) με μικρό ύψος υπερκείμενων εδαφών (8 m) που διανοίχθηκε σε μετρίως αποσαθρωμένο αθηναϊκό σχιστόλιθο. Η εκσκαφή ξεκίνησε από μεγάλο πλευρικό θάλαμο κι έγινε με μέθοδο τμηματικών εκσκαφών, με προηγούμενη εκείνη του κεντρικού μέρους του θόλου. Οι υποχωρήσεις στην επιφάνεια περιορίστηκαν σε πραγματικά χαμηλές τιμές. Χαρακτηριστικές ποσότητες: εκσκαφή 42 000 m³, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα 3 800 m³, χαλύβδινες δοκοί προπορείας 10 500 m, δικτυωτά μεταλλικά τόξα 260 t, έγχυτο σκυρόδεμα 6 000 m³, χαλύβδινος σπλισμός

600 t, μονώσεις 7 500 m². Οι Φωτ. 3.4.1 και 3.4.2 δείχνουν φάσεις από την κατασκευή.

4 ΦΡΑΓΜΑΤΑ

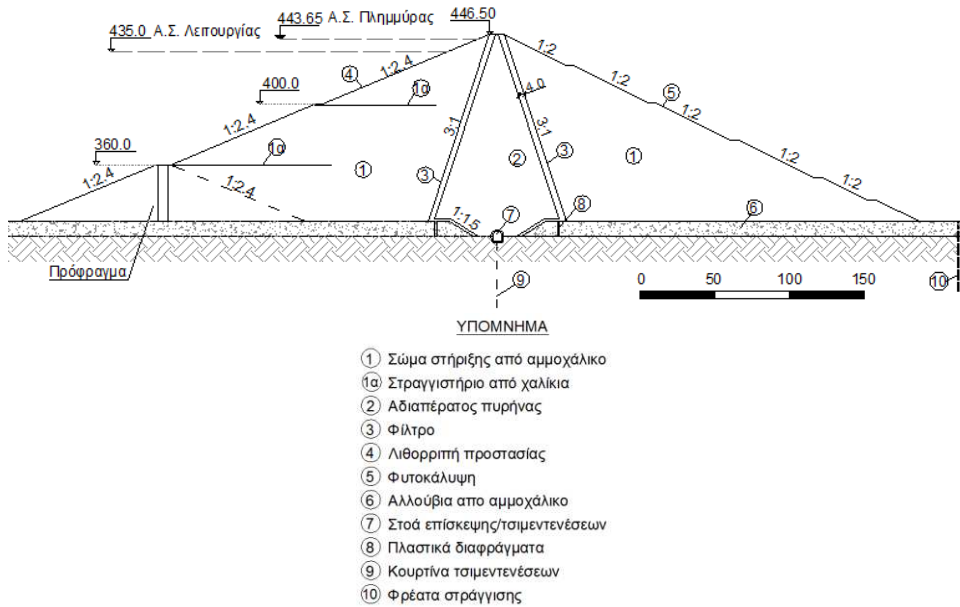
4.1 Μόρνος

Το Φράγμα του Μόρνου (Φωτογραφία 4.1.1) κατασκευάστηκε στο Νομό Φωκίδος, στην κοίτη του ποταμού Μόρνου. Ολοκληρώθηκε το 1979. Το μέγιστο ύψος του φράγματος του Μόρνου είναι 135 m. Το μέγιστο πλάτος στη βάση του είναι 595 m. Το πλάτος του φράγματος στη στέψη είναι 10 m και το συνολικό μήκος της στέψης 815 m. Το φράγμα εδράζεται σε σχηματισμούς του φλύσχη της Πίνδου. Τυπική διατομή του φράγματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.1.1. Για την κατασκευή του φράγματος χρησιμοποιήθηκαν τοπικά υλικά κυρίως από την κατακλυζόμενη λεκάνη του ταμιευτήρα.

Το φράγμα αποτελείται από αδιαπέρατο αργιλικό πυρήνα, μεταβατικές ζώνες φίλτρων εκατέρωθεν του πυρήνα, σώματα στήριξης από αμμοχάλικο ποταμού και προστατευτική λιθορριπή στην ανάντη παρειά από τους ασβεστολίθους που απαντώνται στο μέσον της λίμνης πάνω από τη μέγιστη στάθμη της.



Φωτ. 4.1.1 Απόψη του Φράγματος του Μόρνου



Σχήμα 4.1.1 Τυπική διατομή φράγματος Μόρνου

Σειρά γεωτεχνικών προβλημάτων έπρεπε να αντιμετωπισθούν για την ασφαλή κατασκευή του φράγματος. Οι τσιμεντενέσεις κουρτίνας για τη στεγάνωση της θεμελίωσης είχαν συνολικό μήκος 90.000 m περίπου, εκτάθηκαν σε βάθη πάνω από 120 m και κατασκευάστηκαν μέσω στοών και σιηράγγων τσιμεντενέσεων. Στην περιοχή του φράγματος έχουν κατασκευαστεί στοές και σιηράγγες συνολικού μήκους περίπου 2 170 m.

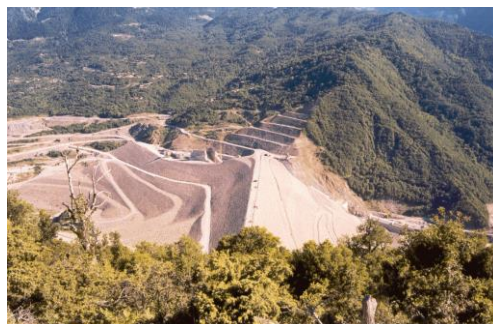
Για τη σταθεροποίηση μιας μεγάλης κατολίσθησης στο ανάντη δεξιό αντέρεισμα απαιτήθηκε η κατασκευή ενός εκτεταμένου σταθεροποιητικού αναβαθμού ποδός σε επαφή με το φράγμα.

Στην πλειονότητά του ο ταμιευτήρας του Μόρνου είναι στεγανός, πλην της περιοχής της κλιτύς του όρους «Πύρνος», περίπου 6 km ανατολικά του φράγματος, λόγω των διαπερατών καρστικών ασβεστολιθικών πετρωμάτων που δομούν την περιοχή αυτή. Στον Πύρνο κατασκευάστηκε έργο στεγανοποίησης της επιφάνειας των ασβεστολίθων, συνολικού μήκους 3 km και μέσου πλάτους 100 m. Περιλαμβάνει συμπιεσμένο διαπερατό επίχωμα και στραγγιστικό φίλτρο που καλύπτεται από ασφαλτικό τάπητα στεγάνωσης (η μοναδική τέτοια εφαρμογή στην Ελλάδα). Στη βάση του επίχωματος έχει κατασκευαστεί στοά στράγγισης και επίσκεψης μήκους 3 000 m με τρεις εγκάρσιες σιηράγγες διοχέτευσης των διηθήσεων προς τα καρστικά έγκοιλα του Πύρνου.

Στο φράγμα είναι εγκατεστημένα πολλά όργανα για τη γεωτεχνική παρακολούθησή του. Πρόσφατη επιθεώρηση ασφαλείας έδειξε ότι το φράγμα συμπεριφέρεται πολύ καλά με ελάχιστες καθιζήσεις μετά την κατασκευή (μέγιστη 65 cm) και μικρές διηθήσεις νερού.

4.2 Εύηνος

Το Φράγμα του Ευήνου άρχισε να κατασκευάζεται το 1992 στην Ορεινή Ναυπακτία. Τα έργα του φράγματος και της υδροληψίας, καθώς και τα μέτρα σταθεροποίησης των κατολισθήσεων που σημειώθηκαν ολοκληρώθηκαν την άνοιξη του 2001.

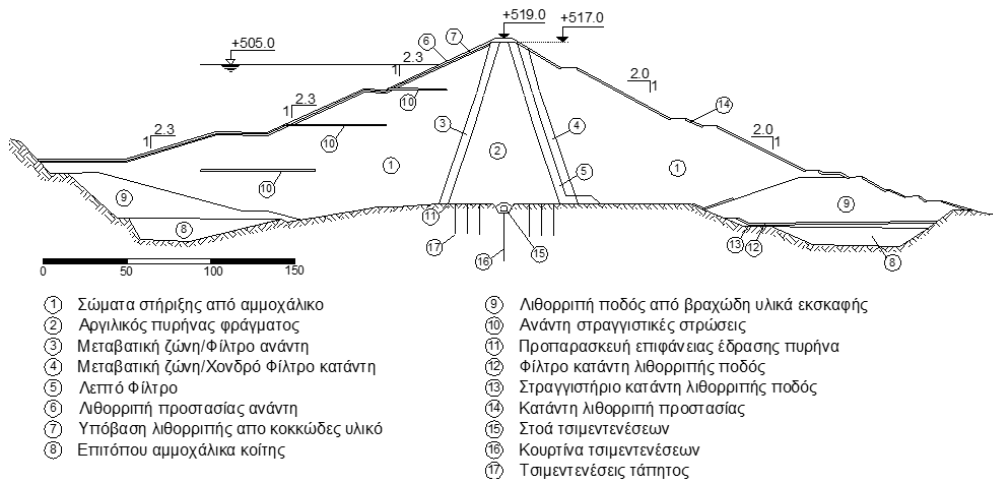


Φωτογραφία 4.2.1 Το φράγμα του Ευήνου σε φάσεις κατασκευής

Το φράγμα κατασκευάστηκε σε καμπή του ποταμού λίγο ανάντη από την κανονική επαφή του φλύσχη της Πίνδου με τον υποκείμενο κρητιδικό ασβεστόλιθο. Η επιλογή του τύπου του φράγματος έγινε κυρίως λόγω γεωλογικών συνθηκών. Το φράγμα έχει ύψος 126 m και αποτελείται από ευρύ κεντρικό αργιλικό πυρήνα και κελύφη από αμμοχάλικα ποταμού και λιθορριπή ψαμμιτικού φλύσχη. Ο πυρήνας κατασκευάστηκε από ιλυολιθικό φλύσχη με ειδική μέθοδο απόληψης. Τυπική διατομή του φράγματος (θεωρητική) παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.2.1. Το πλάτος του φράγματος στη στέψη είναι 10 m και το συνολικό μήκος της στέψης περίπου 600 m. Για τη σταθεροποίηση του αριστερού αντερείσματος κατασκευάστηκε σταθεροποιητικός αναβαθμός σε επαφή με το φράγμα.

Για την επιτάχυνση της κατασκευής του φράγματος τοποθετήθηκε στοά τσιμεντενέσεων στην επαφή θεμελίωσης – πυρήνα στην ευρεία κούη και στο αριστερό αντέρεισμα του φράγματος. Στο δεξιό αντέρεισμα διανοίχθηκαν σήραγγες τσιμεντενέσεων. Οι τσιμεντενέσεις κουρτίνας εκτελέστηκαν δια των στοών και σήραγγων ταυτόχρονα με την κατασκευή του αναχώματος. Το σύνολο του μήκους

των στοών και σηράγγων, πλην της εκτροπής – εκκένωσης και του υπερχειλιστή, είναι 1 722.5 m.



Σχήμα 4.2.1 Τυπική διατομή φράγματος Ευήνου (θεωρητική)

Κατά την κατασκευή του έργου ενεργοποιήθηκαν δύο κατολισθήσεις στα αριστερά πρηνή του ταμιευτήρα. Η πρώτη μόλις ανάντη της περιοχής εισόδου του υπερχειλιστή (κατολίσθηση 1993 ή Αγ. Δημητρίου) και η δεύτερη 500 m ανάντη του άξονα του φράγματος (κατολίσθηση ΕΟ 24). Οι κατολισθήσεις σταθεροποιήθηκαν με μέτρα διευθέτησης της επιφανειακής απορροής με κατασκευή έργων σύλληψης και απαγωγής του νερού των ρεμάτων, αποστραγγιστικές σήραγγες μήκους ~700 m σε δύο κλάδους και αναχώματα ποδός. Επίσης στην κατολίσθηση 1993, στην κεντρική περιοχή της, διανοίχτηκαν 71 κατακόρυφα φρέατα στραγγισής. Στο φράγμα είναι εγκατεστημένα ποικίλα όργανα για τη γεωτεχνική παρακολούθησή του. Πρόσφατη επιθεώρηση ασφαλείας έδειξε ότι το φράγμα συμπεριφέρεται πολύ καλά με ελάχιστες καθιζήσεις μετά την κατασκευή (μέγιστη 29 cm στη στέψη) και μικρές διηθήσεις νερού.

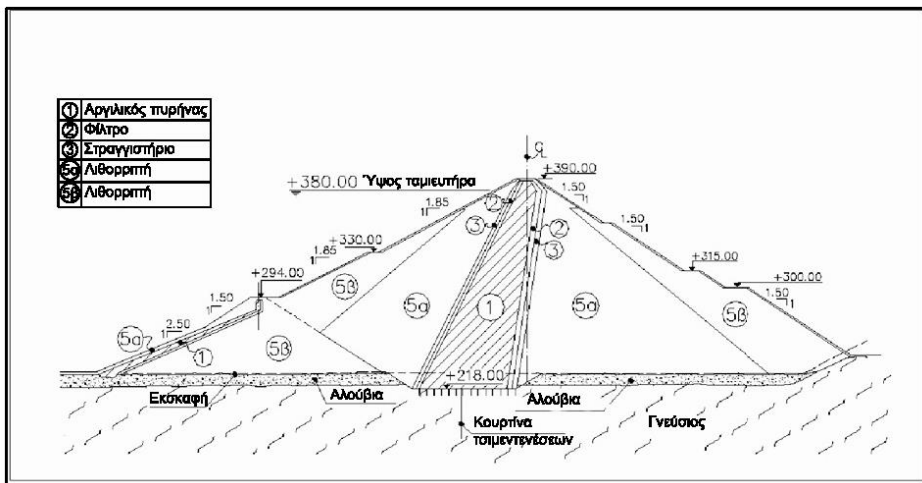
4.3 Φράγμα Θησαυρού και Βραχολίσθηση σε Λεκάνη Αποτόνωσης

Το λιθόρριπτο Φράγμα του Θησαυρού – Νέστου, ύψους 168 m από την επιφάνεια του εδάφους, μελετήθηκε τη δεκαετία του '70 σε επίπεδο προμελέτης. Οι έρευνες που έγιναν περιέλαβαν πάνω από 100 γεωτρήσεις κατακόρυφες και κεκλιμένες συνολικού μήκους πάνω από 6 000 m, σεισμικές και γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις

πάνω από 6 500 m, δεκάδες ερευνητικά φρέατα, 16 ερευνητικές στοές και εκατοντάδες εργαστηριακές δοκιμές σε βραχώδη και εδαφικά δείγματα.

Το υπόβαθρο στη θέση του Φράγματος αποτελείται κυρίως από γνεύσιο, γρανιτικό γνεύσιο και στρώσεις σχιστολίθου με μίκα ενώ υπάρχουν άφθονες πηγματικές φλέβες συχνά σχετιζόμενες με ρήγματα και ζώνες διάτμησης.

Η οριστική μελέτη εκπονήθηκε τη δεκαετία του '80 τροποποιώντας τον αρχικό σχεδιασμό τόσο στο σύστημα εκχείλισης όσο και του σταθμού παραγωγής λόγω των στοιχείων που διαδοχικά αποκαλύπτονταν (όπως ασταθή πρηνή κ.λπ.) με την πρόοδο του έργου και τα πορίσματα των πρόσθετων γεωερευνητικών εργασιών. Το Σχήμα 4.3.1 δείχνει τυπική διατομή του Φράγματος με την προβλεπόμενη διαζώνηση.



Σχήμα 4.3.1 Τυπική Διατομή του Φράγματος Θησαυρού

Να σημειωθεί ότι κατασκευάστηκε κουρτίνα τσιμεντενέσεων που έφτασε μέχρι βάθους 120 m από την επιφάνεια για τον έλεγχο της διήθησης ενώ στα αντερείσματα κατασκευάστηκαν τόσο στοές τσιμεντενέσεων όσο και στραγγιστικές για την στράγγιση ασταθών μαζών ανεβάζοντας το συνολικό μήκος των στοών σε περίπου 5 000 m. Η Φωτ. 4.3.1 παρουσιάζει μια γενική εικόνα του Φράγματος με τον ταμιευτήρα.

Ένα σημαντικό γεωτεχνικό πρόβλημα παρουσιάστηκε το 2008 όταν στο δεξιό αντέρεισμα κατάντη του Φράγματος εκδηλώθηκε κατολίσθηση σε πρηνές ύψους περίπου 330 m με όγκο κατολισθημένων υλικών περίπου 335 000 m³. Το βραχώδες πρηνές δομείται από γρανιτογνεύσιους και γνεύσιους. Η κύρια μάζα της α-

στοχίας προήλθε από σφηνοειδή βραχολίσθηση με πολυεδρική και ασύμμετρη γεωμετρία (ιδέ Φωτ. 4.3.2).



Φωτ. 4.3.1 Το Φράγμα Θησαυρού



Φωτ. 4.3.2 Βραχολίσθηση σε δεξιό αντέρεισμα του Φράγματος

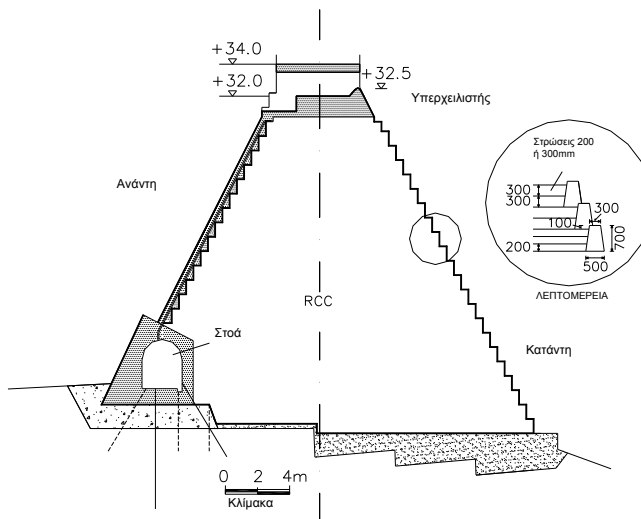
Για την αποκατάσταση μετά την απομάκρυνση των κατολισθημένων υλικών (που έφραζαν εν μέρει τη διατομή κατάντη του Φράγματος) αναδιαμορφώθηκε η γεωμετρία του πρανούς και έγιναν έργα άρσης της αστάθειας με αγκυρώσεις και στραγγίσεις.

4.4 Μαραθιά Μυκόνου

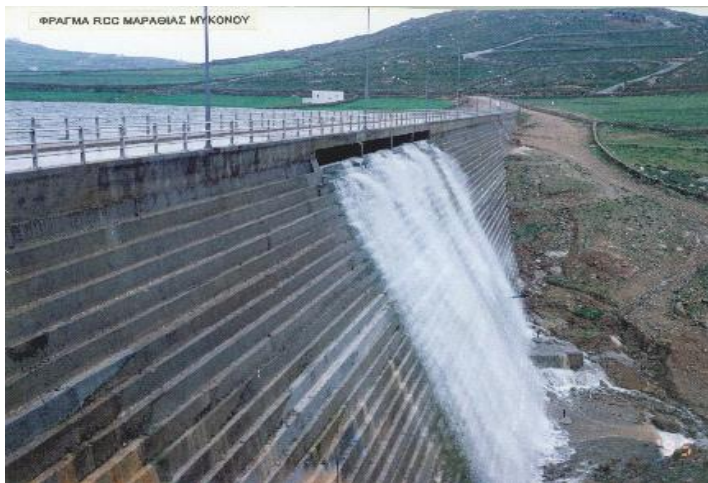
Το Φράγμα Μαραθιάς στη Μύκονο είναι το πρώτο φράγμα από κυλινδρικό σκυρόδεμα (RCC) που κατασκευάστηκε στην Ελλάδα. Τα φράγματα RCC έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα όπως ότι μπορούν να χρησιμοποιούν χαμηλής ποιότη-

τας αδρανή και μικρή περιεκτικότητα σε τσιμέντο της τάξεως των 70 έως 90 kg/m^3 .

Το φράγμα Μαραθιάς έχει ύψος 30 m και αφού κατασκευάστηκε παρακολούθηθηκε ενοργάνως εντατικά και 3 έτη μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα. (ιδέ Σχ. 4.4.1 και Φωτ. 4.4.1).



Σχήμα 4.4.1 Τομή του φράγματος Μαραθιάς στη θέση του υπερχειλιστή



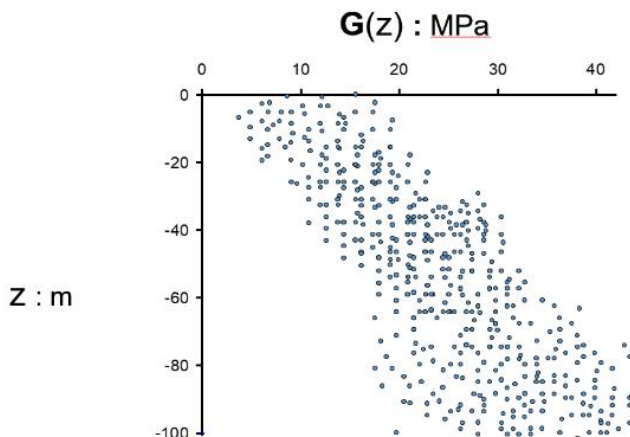
Σχήμα 4.4.1. Το φράγμα Μαραθιάς με λειτουργία του υπερχειλιστή

5 ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΣ ΓΕΦΥΡΩΝ

5.1 Ρίο - Αντίρριο

Η θεμελίωση της γέφυρας του Ρίου – Αντιρρίου είχε να αντιμετωπίσει μείζονα προβλήματα λόγω α) του μεγάλους βάθους της θάλασσας (περίπου 65 m) β) του χαλαρού/μαλακού εδάφους θεμελίωσης που είχε και μεγάλο πάχος και γ) του ισχυρού σεισμικού συντελεστή ($\max S_A = 1.2 g$). Η λύση που δόθηκε προέβλεπε επιφανειακή θεμελίωση του κάθε πυλώνα με κυλινδρικό βάθρο διαμέτρου στη βάση 90 m σε διαστρωμένο αμμοχάλικο και ενίσχυση του εδάφους με χαλύβδινους σωλήνες διαμέτρου 2 m και μήκους 25 m.

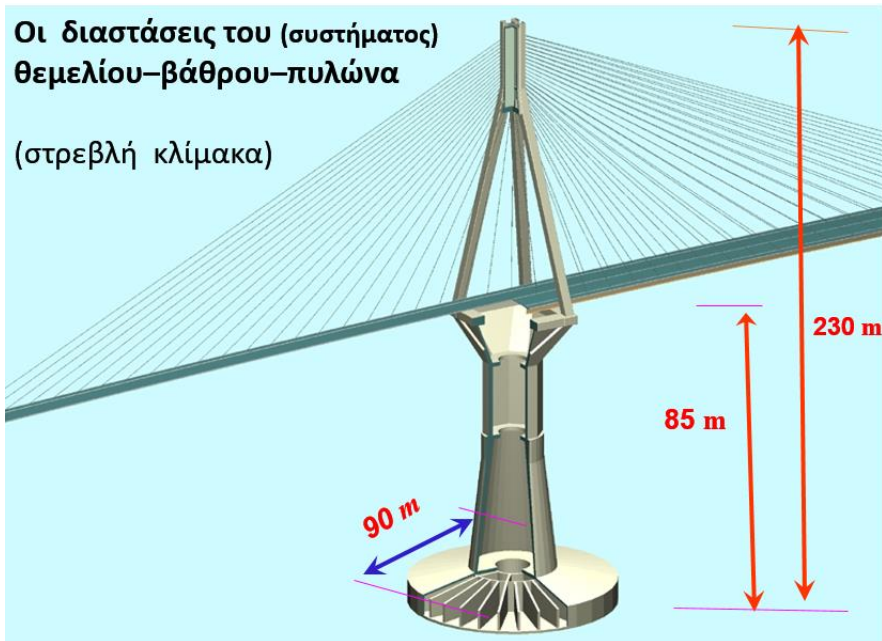
Το Σχήμα 5.1.1 δίνει τις μετρήσεις του μέτρου διάτμησης (G) με το βάθος με εμφανή τη διασπορά αλλά και την αύξηση με το βάθος.



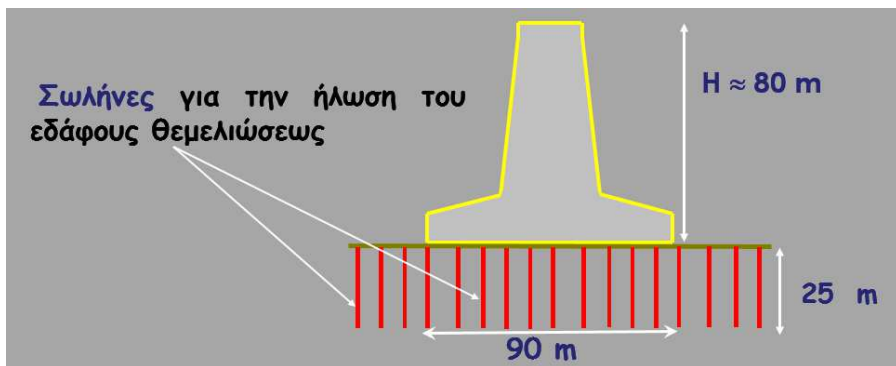
Σχήμα 5.1.1 Το εδαφικό προφίλ σε όρους μέτρου διάτμησης

Το Σχήμα 5.1.2 παρουσιάζει σχηματικά το σύστημα θεμελίου – βάρου – πυλώνα ενώ στο Σχήμα 5.1.3 παρουσιάζονται σε τομή οι χαλύβδινι σωλήνες που «ηλώνουν» το έδαφος θεμελίωσης.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, όπως προέκυψε από τις αναλύσεις, η συμβολή της στροφικής και μετακινησιακής ενδοσιμότητας του εδάφους (K_θ , K_H) στην ιδιοπερίοδο του βάρου είναι τόσο σημαντική ώστε από αυτήν εξαρτάται το μέγεθος της επιτάχυνσης και άρα και το μέγεθος των αδρανειακών και υδροδυναμικών δυνάμεων. Τελικά δηλαδή απ' αυτήν εξαρτάται η αντισεισμική επάρκεια του βάρου.



Σχήμα 5.1.2 Σχηματική αναπαράσταση του συστήματος Θεμελίου – Βάθρου - Πυλώνα



Σχήμα 5.1.3 Θεμελίωση Βάθρου με ενίσχυση του εδάφους με χαλύβδινους σωλήνες

5.2 Γέφυρα Σερβίων

Κατασκευάστηκε στον Ποταμό Αλιάκμονα πριν από την πλήρωση του ταμιευτήρα του φράγματος Πολυφύτου (Φωτ. 5.2.1). Έχει μήκος περίπου 1350 m, 27 μεσόβαθρα και 2 ακρόβαθρα. Το ύψος των βάθρων είναι από 20 m έως 60 m. Τα επιχώματα πρόσβασης φτάνουν μέχρι ύψος 15 m.



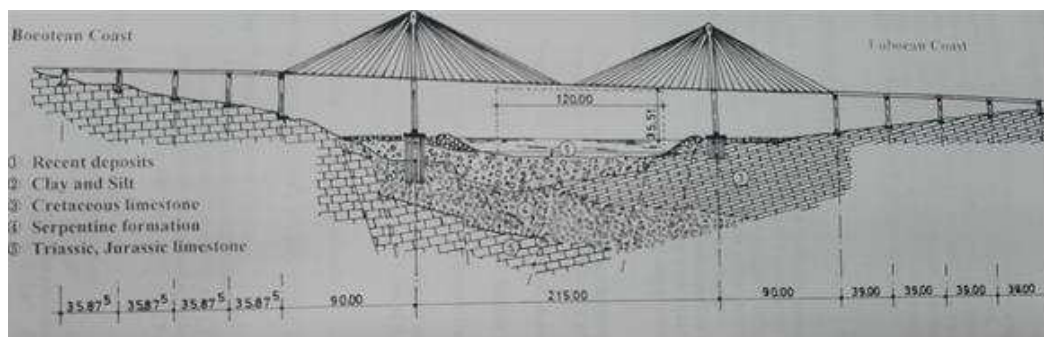
Φωτ. 5.2.1 Όψη της Γέφυρας των Σερβίων

Η γέφυρα είχε σχεδιαστεί με βάθρα επί πασσάλων, χωρίς τότε να έχει διαπιστωθεί η μεγάλη ευαισθησία (βαθμός ευαισθησίας 8) του εδάφους έδρασης που είναι μάργα με λόγο κενών περί το 2.70. Η μάργα ήταν έντονα προστερεοποιημένη -πράγμα που αρχικά δεν είχε διαπιστωθεί λόγω έντονης προστερεοποίησης έφθανε πρακτικά σε θραύση, με δείκτη $C_c = 1.15$. Με δειγματοληψία αδιατάρακτου δείγματος μορφής block προσδιορίστηκε εργαστηριακά η πραγματική σχέση φορτίων-υποχωρήσεων και έγινε επανασχεδιασμός ώστε τα επιχώματα να φτάνουν μέχρι ύψους 15 m περιορίζοντας το συνολικό μήκος της γέφυρας.

Η θεμελίωση των πασσάλων στη μάργα ήταν επικίνδυνη λόγω της απώλειας αντοχής του υλικού και προτάθηκε η έδραση με πέδιλα με αφαίρεση του επιφανειακού υλικού από αμμοϊλυώδη άργιλο (πάχους περίπου 6 m), σε μήκος περίπου 100 m και πλάτος 40 m, ώστε αφενός να αποφευχθεί η επίδραση από την πλήρωση της λίμνης και αφετέρου να εξασφαλιστούν συνθήκες μονοδιάστατης στερεοποίησης και να μειωθούν οι δευτερογενείς υποχωρήσεις. Αποφασίστηκαν ήπιες εκσκαφές για να μη διαταραχθεί το υλικό έδρασης και η έδραση των βάθρων να γίνει σε συμπυκνωμένο αμμοχάλικο ποταμού πάχους 5 m. Εξ άλλου η δοκιμή στερεοποίησης έδειξε ότι το γέμισμα της λίμνης δε δημιουργεί φαινόμενο θραύσης. Στη βαθιά κοίτη όπου το υπέδαφος ήταν σταθερό (αμμοχάλικο-βράχος-ασβεστόλιθος), τα υψηλά βάθρα θεμελιώθηκαν επί πασσάλων.

5.3 Νέα Γέφυρα Χαλκίδας (Ευρίπου)

Η Νέα Γέφυρα Χαλκίδας είναι καλωδιωτή γέφυρα πάνω από τον πορθμό του Ευρίπου στην Εύβοια, κοντά στη Χαλκίδα, τριών ανοιγμάτων (90 m-215 m-90 m), με δύο γέφυρες πρόσβασης τεσσάρων ανοιγμάτων η κάθε μία (36 m και 39 m) και δύο επιχώματα σε χαλαρές αποθέσεις. Η γεωτεχνική τομή παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.3.1:

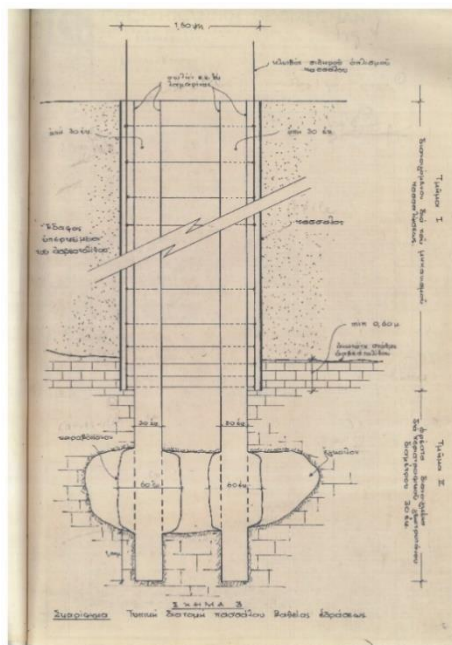


Σχήμα 5.3.1 Γεωτεχνική Τομή κατά μήκος της Νέας Γέφυρας Χαλκίδας

Η θεμελίωση των πυλώνων του κεντρικού τμήματος της γέφυρας έγινε επί φρεατοπασσάλων διαμέτρου $\Phi 120$ cm. Οι πάσσαλοι εδράζονται είτε σε οφιολίθους είτε σε κρητιδικούς ασβεστόλιθους. Για την έδραση των πασσάλων εντός των ασβεστολίθων, χρησιμοποιήθηκε κατά την εκτέλεση των γεωτρήσεων ειδικό μηχάνημα καταγραφής των παραμέτρων διάτρησης για την αποτύπωση των εγκοίλων (Enpasol). Η θεμελίωση των πυλώνων έγινε σε βάθος περίπου 30 m.

5.4 Γέφυρα Αχέροντα

Η γέφυρα για την οδό Πρέβεζας – Ηγουμενίτσας πάνω από τον ποταμό Αχέροντα είχε να αντιμετωπίσει στη θεμελίωσή της το πρόβλημα των σημαντικών -και εν πολλοίς απροσδιόριστης πυκνότητας και μεγέθους -καρστικών εγκοίλων. Με ειδική διαδικασία κατά την κατασκευή προσδιορίστηκαν, όπου υπήρχαν, οι θέσεις των εγκοίλων κάτω από κάθε βάθρο. Οι φρεατοπάσσαλοι της θεμελίωσης έφταναν μέχρι το βάθος του υγιούς ασβεστολίθου και ακολουθούσε διάνοιξη και σκυροδέτηση, πασσάλων μικρότερης διαμέτρου με χρήση ειδικού караβόπανου για να συγκρατεί το σκυρόδεμα κατά τη διέλευση των πασσάλων μέσα από τα έγκοιλα. Σχηματική τομή παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.4.1.

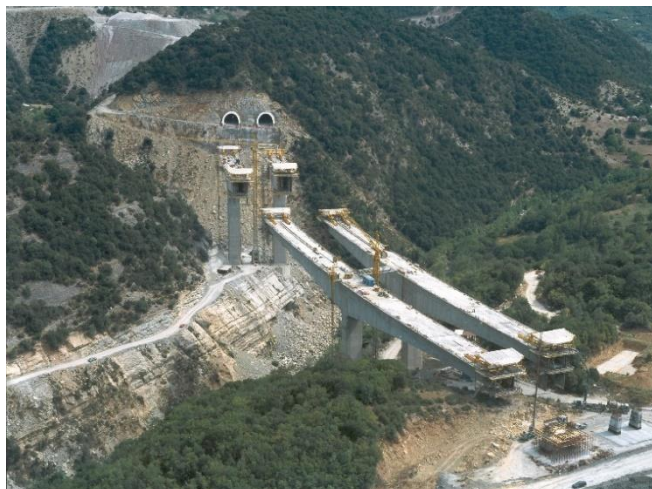


Σχήμα 5.4.1 Τομή φρεατοπασσάλου με πασσάλους μικρότερης διαμέτρου να διέρχονται μέσω εγκοίλου

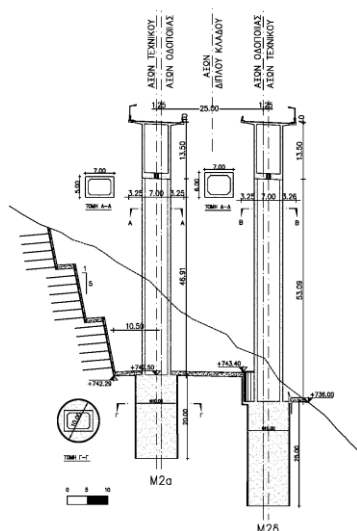
5.5 Γέφυρα Βοτονοσίου

Η γέφυρα Βοτονοσίου αποτελεί δίδυμη οδογέφυρα της Εγνατίας Οδού, που γεφυρώνει τον ποταμό Μετσοβίτικο μεταξύ των σηράγγων Ανθοχωρίου και Βοτονοσίου. Πρόκειται για γέφυρα τριών ανοιγμάτων συνολικού μήκους 490 m, κατασκευασμένη με τη μέθοδο της προβολοδόμησης. Με κεντρικό άνοιγμα 230 m η γέφυρα καθίστατο, την περίοδο κατασκευής της, η δεύτερη μεγαλύτερη γέφυρα στην Ελλάδα (μετά τη γέφυρα του Ρίου των 560 m) και μία από τις 15 μεγαλύτερες παγκοσμίως, που κατασκευάστηκαν με τη μέθοδο της προβολοδόμησης. Για τη θεμελίωση των μεσοβάθρων που τοποθετήθηκαν σε κοντινή γειτονία με απότομα φυσικά πρηνή κατασκευάστηκαν φρέατα διαμέτρου 10 m και μεγίστου βάθους 35 m, πληρωμένα με οπλισμένο σκυρόδεμα σε περιοχή που γεωλογικά δομείται από παχυστρωματώδεις ψαμμίτες της ζώνης Πίνδου, με παρεμβολές ιλυολιθικών ενστρώσεων μεταβαλλόμενου πάχους. Αποτέλεσε μια από τις πρώτες γέφυρες που θεμελιώθηκαν στη χώρα μας με φρέατα, λύση που εκ των υστέρων χρησιμοποιήθηκε και σε άλλες μεγάλων ανοιγμάτων γέφυρες αυτοκινητοδρόμων. Τα φρέατα θεμελίωσης της γέφυρας, ήταν από τις πρώτες περιπτώσεις έργων (πλην σηράγγων) όπου υπήρξε συνεχής επιτόπου παρουσία στο έργο του γεωτε-

χνικού μελετητή για την επιβεβαίωση κατά την κατασκευή των τεχνικογεωλογικών και γεωτεχνικών συνθηκών που υιοθετήθηκαν στη μελέτη. Στη Φωτ. 5.5.1 φαίνεται τμήμα της γέφυρας Βοτονοσίου υπό κατασκευή και στο Σχήμα 5.5.1 παρουσιάζεται εν τομή θεμελίωση μεσοβάθρου σε απότομο πρανές.



Φωτ. 5.5.1 Τμήμα της Γέφυρας Βοτονοσίου σε φάση κατασκευής



Σχήμα 5.5.1 Τομή Θεμελίωσης Μεσοβάθρου

6 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ

6.1 Νέοι Λιμένες Ηγουμενίτσας και Πατρών

Έχει καταστεί πλέον δυνατή η θεμελίωση λιμενικών εγκαταστάσεων ακόμη και στα πιο δυσχερή από γεωτεχνικής άποψης υλικά πυθμένα όπως οι μαλακές (οργανικές) άργιλοι και ιλύες. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν δύο (2) από τους σημαντικότερους λιμένες που κατασκευάστηκαν την τελευταία 20ετία στην Ελλάδα, ο Νέος Λιμένας Ηγουμενίτσας και ο Νέος Λιμένας Πατρών (ιδέ Φωτ. 6.1.1 του υπό κατασκευή Νέου Λιμένος Ηγουμενίτσας, Φωτ. 6.1.2 του υπό κατασκευή επιχώματος προφορτίσεως στον Νέο Λιμένα Πατρών και Φωτ. 6.1.3 ο κατασκευασμένος Νέος Λιμένας Πατρών).

Ιδιαίτερα δυσμενείς συνθήκες θεμελίωσης εμφανίζονται εξ αιτίας της παρουσίας ενός παχέος επιφανειακού στρώματος αποτελούμενου από πολύ μαλακές ως υδαρείς αργίλους και αμμοιλύες εξαιρετικά χαμηλής διατμητικής αντοχής, που

δεν ήταν τεχνικά δυνατό ή οικονομικά συμφέρον να αντιμετωπιστεί με εκσκαφή και αντικατάσταση.

Στα δύο έργα επιλέχθηκε λύση βελτίωσης και ενίσχυσης του πυθμένα θεμελίωσης σε συνδυασμό με υιοθέτηση μίας ελαφριάς μορφής κρηπιδότοιχου από κυψελωτά κιβώτια/caissons. Διαδοχικά εκτελέστηκαν:

- Έμπηξη γεωσυνθετικών στραγγιστήριων σε βάθη 15-20 m για την επιτάχυνση της στερεοποίησης και αύξηση της διατμητικής αντοχής.
- Προφόρτιση της περιοχής των κρηπιδωμάτων με σταδιακά κατασκευαζόμενο επίχωμα, με στόχο αφ' ενός την ολοκλήρωση του μεγαλύτερου μέρους των καθιζήσεων προ της τοποθέτησεως των κυψελωτών κιβωτίων, αφ' ετέρου την βελτίωση των διατμητικών χαρακτηριστικών του στρώματος της μαλακής αργιλοίλλυος, πριν από την ολοκλήρωση της κατασκευής των κρηπιδοτοιχών.



Φωτ. 6.1.1 Απόψη του Νέου Λιμένα Ηγουμενίτσας (φάση κατασκευής)



Φωτ. 6.1.2 Κατασκευαζόμενο επίχωμα προφορτίσεως σε Νέο Λιμένα Πατρών

- Κατασκευή χαλικοπασσάλων προκειμένου να ενισχυθεί η αντοχή του ανώτερου τμήματος του στρώματος της μαλακής αργιλοίλλυος και να συμπυκνωθεί περαιτέρω το έδαφος θεμελίωσης.
- Αφαίρεση του επιχώματος προφόρτισης, τοποθέτηση των caissons, πλήρωση των πίσω κυψελών με αμμοχαλικώδες υλικό και ολοκλήρωση της κατασκευής.



Φωτ. 6.1.3 Νέος Λιμένας Πατρών

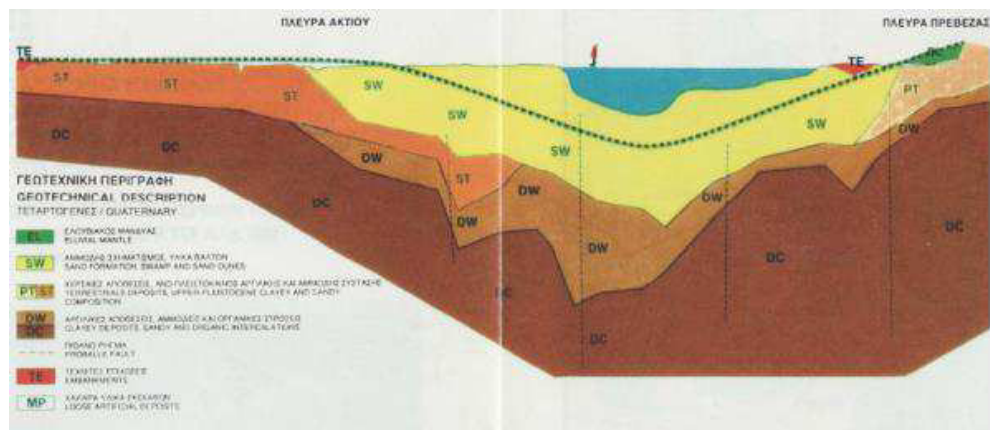
6.2 Υποθαλάσσια Σήραγγα Πρέβεζας - Ακτίου

Η υποθαλάσσια σήραγγα Πρέβεζας - Ακτίου συνδέει το θαλάσσιο στενό που χωρίζει τη Στερεά Ελλάδα από την Ήπειρο στο άνοιγμα του Αμβρακικού κόλπου. Έχει συνολικό υποθαλάσσιο οδικό μήκος 910 m και μέγιστο βάθος 27 m κάτω από τη θάλασσα.

Οι ερευνητικές γεωτρήσεις του πυθμένα έγιναν με πλωτό γεωτρήπανο (Φωτ. 6.2.1). Η γεωλογική μηκοτομή φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχ. 6.2.1).



Φωτ.6.2.1 Πλωτό Γεωτρήπανο



Σχήμα 6.2.1 Γεωλογική μηκοτομή πυθμένα

Για την ασφαλή έδραση και αντισεισμική συμπεριφορά έγινε βελτίωση του εδάφους του θαλάσσιου πυθμένα σε όλο το μήκος της σήραγγας με τη χρήση χαλικοπασσάλων για την αποτροπή ρευστοποίησης του εδάφους. Στην περιοχή του έργου εντοπίστηκε θέση με αποθέσεις ισομεγέθων κόκκων χαλικιών, η οποία αξιοποιήθηκε ως δανειοθάλαμος υλικού πλήρωσης των χαλικοπασσάλων. Η διάταξη των χαλικοπασσάλων ήταν σε κάρναβο 1.8×1.8 m, διαμέτρου 0.8 m.

7 ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΑ

7.1 Επέκταση Διαδρόμου Α/Δ Μακεδονίας

Προκειμένου να επεκταθεί ο Διάδρομος 10/28 του Αεροδρομίου της Θεσσαλονίκης (Μακεδονία) κατασκευάστηκε επίχωμα από κοκκώδη υλικά στη θάλασσα επί πολύ μαλακού πυθμένα (Φωτ. 7.1.1).

Το μέγιστο βάθος της θάλασσας ήταν 16 m. Προηγήθηκε εγκατάσταση κατακορύφων πλαστικών στραγγιστηρίων κάτω από την επιφάνεια του πυθμένα για την επιτάχυνση των καθιζήσεων και ηλεκτρικών πιεζομέτρων παλλόμενης χορδής για την παρακολούθηση της εκτόνωσης των πιέσεων πόρων με το χρόνο.

Το επίχωμα συμπυκνώθηκε με τη μέθοδο της βαθιάς δονητικής συμπίκνωσης από την επιφάνεια του επιχώματος όταν αυτό έφτασε πάνω από τη στάθμη της θάλασσας. Σε έξαλα τμήματα του επιχώματος στο διάδρομο και στον τροχοδρόμο εφαρμόστηκε κυλιόμενη προφόρτιση.

Κατά την κατασκευή του επιχώματος γίνονταν συστηματικές μετρήσεις επιφανειακών και εσωτερικών καθιζήσεων για τον προσδιορισμό της εξασθένησης

της ταχύτητας καθιζήσεως με το χρόνο σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά συμπεριφοράς των πολύ μαλακών υλικών του πυθμένα.



Φωτ. 7.1.1 Αεροδρόμιο Μακεδονία Επέκταση διαδρόμου 10/28 στη θάλασσα

7.2 Βελτιώσεις Περιφερειακών Αεροδρομίων

Αρκετά από τα περιφερειακά αεροδρόμια της χώρας χρειάζονται αναβάθμιση της περιοχής αεροπορικής κίνησης (airside). Η γεωτεχνική έρευνα είναι καθοριστική στην αποκάλυψη των αιτίων φθορών και καταπονήσεων στα υφιστάμενα οδοστρώματα και διά των κατάλληλων αναλύσεων και υπολογισμών στο σχεδιασμό των τυχόν απαιτούμενων έργων αποκατάστασης φθορών και καταπονήσεων. Σημειωτέον ότι και οι γεωτεχνικές έρευνες γίνονται υπό ιδιαίτερα αυστηρούς χρονικούς περιορισμούς για να μην παρεμποδίζεται η κίνηση αεροσκαφών και ο σχεδιασμός των έργων και αυτή η καθεαυτή η κατασκευή τους λαμβάνει υπόψη το κριτήριο της ελάχιστης δυνατής παρενόχλησης της κίνησης των αεροσκαφών.

Στη Φωτ. 7.2.1 διακρίνονται χαρακτηριστικές βαριές καταπονήσεις σε οδόστρωμα από σκυρόδεμα και σε οδόστρωμα από άσφαλτο (Φωτ. 7.2.1.α και 7.2.1.β αντίστοιχα). Στη Φωτ. 7.2.2 διακρίνεται γεωτρύπανο κατά τη διάνοιξη γεώτρησης τη νύχτα για να μην υπάρξει κίνηση αεροσκαφών.



Φωτ. 7.2.1 Χαρακτηριστικές βαριές καταπονήσεις (α) σε οδόστρωμα από σκυρόδεμα και (β) σε οδόστρωμα από άσφαλτο



Φωτ. 7.2.2 Γεωτρύπανο κατά τη διάνοιξη γεώτρησης δίπλα από διάδρομο αποπροσγείωσης αεροσκαφών τη νύχτα για να μην υπάρχει κίνηση αεροσκαφών

8 ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΩΝ

8.1 Επίχωμα Αυτ/μου ΠΑΘΕ από Ελαφρά Υλικά (EPS)

Κατασκευάστηκε κατά μήκος του Αυτ/μου ΠΑΘΕ, στην περιοχή του ημικόμβου Θερμοπυλών. Πρόκειται για την πρώτη και μεγαλύτερη εφαρμογή ελαφρών επιχωμάτων από διογκωμένη πολυστερίνη στην Ελλάδα και μία από τις μεγαλύτερες διεθνώς, σε συνολικό μήκος 1 030 m και ύψος έως 8.5 m.

Στην περιοχή αυτή προβλεπόταν επίχωμα από γαιώδη υλικά και βελτίωση της έδρασης με εξυγιαντική στρώση και χαλικοπασσάλους. Κατά την κατασκευή του επιχώματος, όταν το ύψος του έφθασε τα 4 m, έλαβε χώρα αστοχία σε μήκος 200 m περίπου, με καθίζηση ≈ 1 m και δημιουργία ρωγμής με άνοιγμα ≈ 2 m παράλληλα στον άξονα και σε απόσταση >10 m από το άκρο της στέψης (ιδέ Φωτ. 8.1.1). Η αστοχία οφειλόταν στην παρουσία αργίλου, υψηλής πλαστικότητας, πολύ μαλακής έως βάθος 15 m και ιδιαίτερα συμπιεστής έως βάθος ≈ 25 m.

Ο σχεδιασμός των μέτρων αποκατάστασης έγινε με κριτήρια: α) Την ασφαλή έδραση του επιχώματος έναντι αστοχίας της μαλακής αργίλου, β) Τον περιορισμό των μετακατασκευαστικών καθιζήσεων σε ανεκτά μεγέθη <10 cm και γ) Την ανάγκη ταχείας ολοκλήρωσης και απόδοσης του έργου.

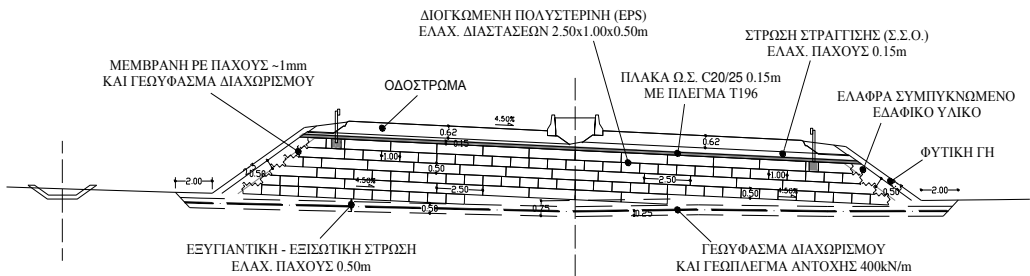


Φωτ. 8.1.1 Ρωγμή και Καθίζηση

Η λύση περιέλαβε τροποποίηση της οδοποιίας για τον περιορισμό του ύψους των επιχωμάτων και κατασκευή τους από προκατασκευασμένα τεμάχια διογκωμένης πολυστερίνης EPS 100, θλιπτικής αντοχής 100 kPa και ελαχίστων διαστάσε-

ων 1×2 m. Με κατάλληλη διάταξη των τεμαχίων επί κεκλιμένης στρώσης έδρασης, περιορισμένου πάχους, επιτεύχθηκε προσαρμογή στις έντονες επικλίσεις της οδού. Τα πλευρικά πρανή καλύφθηκαν με γεωφάσμα και μεμβράνη πολυαιθυλενίου και η στέψη με πλάκα ελαφρά οπλισμένου σκυροδέματος, πάχους 15 cm (ιδέ Σχ. 8.1.1).

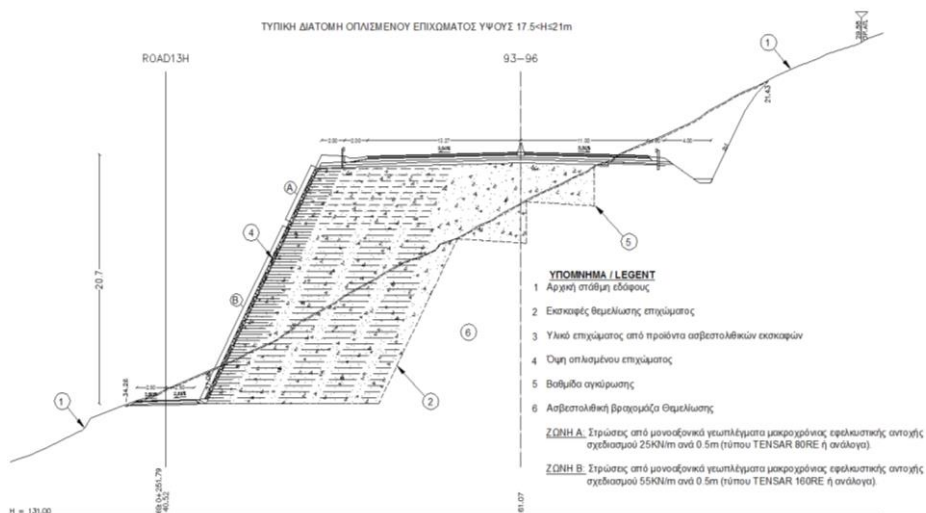
Οι μετρηθείσες υποχωρήσεις ήταν ομοιόμορφες, μεγέθους ≈ 1 cm, πολύ μικρότερες από τα όμορα τμήματα, όπου εφαρμόστηκαν άλλα μέτρα βελτίωσης.



Σχήμα 8.1.1 Ενδεικτική Τομή Επιχώματος EPS

8.2 Οπλισμένο Επίχωμα Ιονίας Οδού

Ο αυτοκινητόδρομος της Ιονίας Οδού στο τμήμα της παράκαμψης Αμφιλοχίας, κατόπιν τεχνικο-οικονομικής βελτιστοποίησης της γεωμετρίας της χάραξης, οδήγησε στην απαίτηση κατασκευής οπλισμένου επιχώματος με απότομη εξωτερική κλίση πρανούς 63° (οριζ : κατ, 1:2) και μέγιστου ύψους 21 m. Η λύση με χωματουργικά έργα προκρίθηκε σε αντικατάσταση μεγαλύτερου κόστους κατασκευής τεχνικών έργων κατά μήκος περιοχής με απότομο ανάγλυφο όπου επικρατούν μέσο-παχυστρωματώδεις και κλαστικοί ασβεστολιθικοί σχηματισμοί. Η διαμόρφωση της όψης του επιχώματος πραγματοποιήθηκε με την τεχνική της περιτύλιξης (wrap-around facing) των γεωσυνθετικών οπλισμών που τοποθετήθηκαν σε προκαθορισμένα από τη γεωτεχνική μελέτη μήκη και πυκνότητες. Αντίστοιχη διακύμανση είχαν και οι τύποι σε ότι αφορά τη μακροχρόνια εφελκυστική αντοχή των μονοαξονικών γεωπλεγμάτων που προβλέφθηκαν καθ' ύψος της διατομής του οπλισμένου επιχώματος.



Σχήμα 8.2.1 Τυπική Διατομή του Οπλισμένου Επιχώματος στην Παράκαμψη Αμφιλοχίας

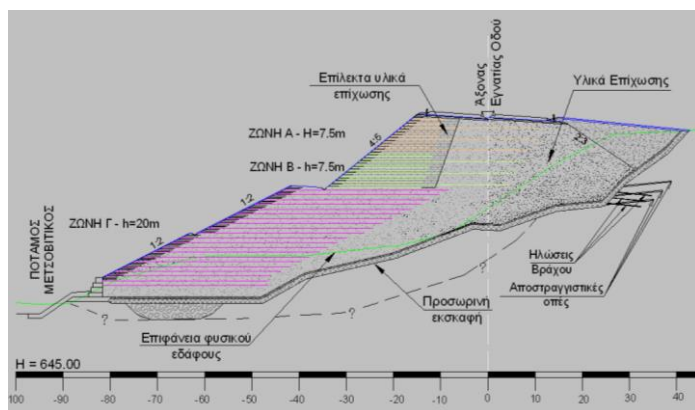


Φωτ. 8.2.1 Όψη του Οπλισμένου Επιχώματος με εμφανή την τεχνική περιτύλιξης των οπλισμών

8.3 Οπλισμένο Επίχωμα Εγνατίας Οδού

Η χάραξη της Εγνατίας οδού περί την περιοχή Μετσόβου, κατά θέσεις, περίπου παραλλήλως με τον ποταμό Μετσοβίτικο απαίτησε σε ορισμένα τμήματα τη μείωση του εύρους κατάληψης των χωματουργικών έργων. Λύση σε τέτοιες περιπτώσεις αποτέλεσαν τα οπλισμένα επιχώματα τα οποία έδωσαν τη δυνατότητα εφαρμογής αυξημένων κλίσεων, συγκριτικά με τις συνήθεις κλίσεις συμβατικών χωματουργικών έργων. Επιπλέον υποβοηθήσαν στη χρησιμοποίηση υψηλών επι-

χωμάτων ιλυολιθικής προέλευσης με υλικά του φλύσχη της περιοχής τα οποία ενισχύθηκαν με γεωπλέγματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το 30 m συνολικού ύψους οπλισμένο επίχωμα στο οποίο έγινε εκτεταμένη εφαρμογή μονοαξονικών και διαξονικών γεωπλεγμάτων, ενώ περί τον πόδα η αντιδιαβρωτική προστασία του επιχώματος επιτεύχθηκε με χρήση λιθοπληρωμένων συρματοκιβωτίων (Serasanetti).



Σχήμα 8.3.1 Διατομή Οπλισμένου Επιχώματος



Φωτ. 8.3.1 Άποψη του Οπλισμένου Επιχώματος της Εγνατίας Οδού. Στο βάθος διακρίνεται το cut and cover Σ1

9 ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

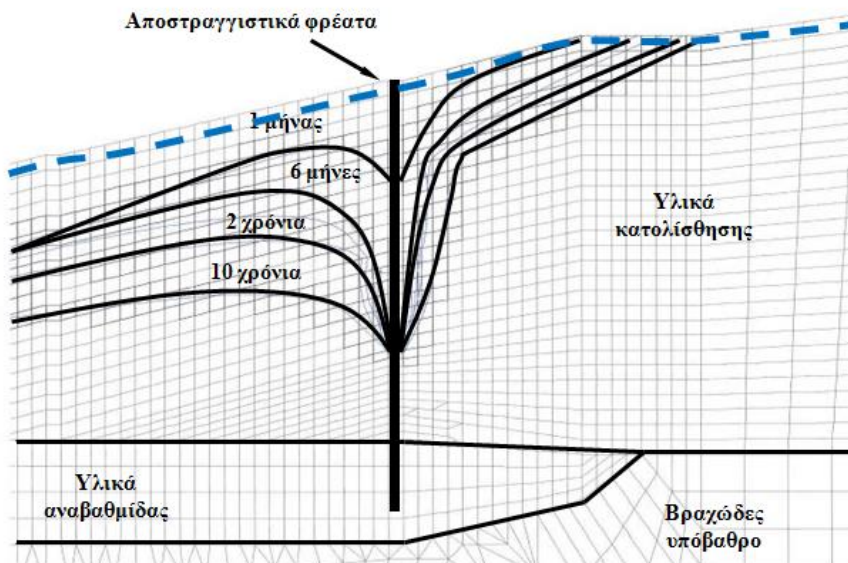
9.1 Διέλευση Εγνατίας Οδού μέσα από Παλιές Κατολισθήσεις

Η χάραξη της Εγνατίας Οδού περνάει αναγκαστικά -σε ορισμένες περιπτώσεις- μέσα από παλιές φυσικές κατολισθήσεις, δηλαδή κόβοντας πρανή που βρίσκονται

σε κατάσταση οριακής ισορροπίας. Τέτοια ήταν η περίπτωση του τμήματος 3.1 στο τμήμα Γιάννενα – Μέτσοβο κοντά στο Περιστέρι. Εκεί υπήρχε κίνηση της τάξεως των 2 cm/έτος μιας φυσικής κατολίσθησης που αφορούσε περί τα 10 εκατομμύρια κυβικά, μήκους περίπου 1000 m και μεγίστου βάθους 35 m.

Η κίνηση εσυντηρείτο από τη συνεχή διάβρωση ποδός από τον ποταμό Μετσοβίτικο. Στην περιοχή λόγω παλαιών κατολισθήσεων είχε καλυφθεί η παλαιά ποτάμια αναβαθμίδα με κοκκώδη, διαπερατά υλικά και είχε μετατοπιστεί η κοίτη του ποταμού. Έτσι ένα βασικό στοιχείο της αύξησης της ευστάθειας της οδού αποτέλεσε η κατασκευή κατακόρυφων φρεάτων μέχρι εντός της αναβαθμίδας τα οποία κατεβάζουν τη στάθμη του υπόγειου ορίζοντα και τα νερά απορρέουν μέσω της αναβαθμίδας. Η μείωση αυτή της πίεσης των πόρων πάνω από την επιφάνεια ολίσθησης οδηγεί σε σημαντική αύξηση της αντοχής που έχει ως συνέπεια σημαντικότερη αύξηση του συντελεστή ασφαλείας. Το Σχήμα 9.1.1 δείχνει το αναλυτικό προσομοίωμα με το διαδοχικό με το χρόνο καταβιβασμό της στάθμης.

Κατασκευάστηκαν 180 αποστραγγιστικά φρέατα μήκους 25-35 m μέχρι τη θαμμένη ποτάμια αναβαθμίδα εξασφαλίζοντας συντελεστή ασφαλείας περί το 1.30 έως 1.35.



Σχήμα 9.1.1 Αναλυτικό προσομοίωμα με το διαδοχικό με το χρόνο καταβιβασμό της στάθμης μετά τη διάνοιξη των αποστραγγιστικών φρεάτων στην κατολίσθηση του Τμήματος 3.1 της Εγνατίας Οδού

Εξ άλλου ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει και η σχετικά γειτονική περιοχή της Εγνατίας, η 2.4, όπου δύο αντίρροπες φυσικές ολισθήσεις συνέκλιναν από νότο και βορρά στον ποταμό Μετσοβίτικο. Η έρευνα, οι μετρήσεις και η μελέτη οδήγησε σε σειρά έργων όπως στραγγιστικά φρέατα, στραγγιστική στοά, μπαρέτες και πασσάλους και, ως ιδιαίτερο στοιχείο, την κάλυψη του ποταμού για περίπου 150 m με τεχνικό επί του οποίου τοποθετήθηκε επίχωμα ως αντίβαρο σταθεροποιητικό και των δύο αντίρροπων κατολισθήσεων (ιδέ Φωτ. 9.1.1).



Φωτ. 9.1.1 Τεχνικό κάλυψης Ποταμού Μετσοβίτικου στο Τμήμα 2.4 της Εγνατίας Οδού προς σταθεροποίηση των κατολισθήσεων διά του αντιβάρου που συνιστά η επίχωση του τεχνικού αυτού. Στιγμιότυπο από την κατασκευή με το ρου του ποταμού προσωρινά εκτραπέντα εντός του ενός φατνώματος του τεχνικού (αριστερά = νότιο φάνωμα) για την κατασκευή του άλλου φατνώματος

9.2 Διέλευση Σ/Γ πάνω από την Κατολίσθηση στο Ικόνιο

Κατά τη διάρκεια εκσκαφών για τη διαμόρφωση ορύγματος της Λεωφόρου Αιγάλεω εκδηλώθηκε κατολίσθηση το 1990. Ακολούθησαν μελέτες και έργα αλλά υπήρξε επανενεργοποίηση της κατολίσθησης καθώς και πλευρική διεύρυνση.

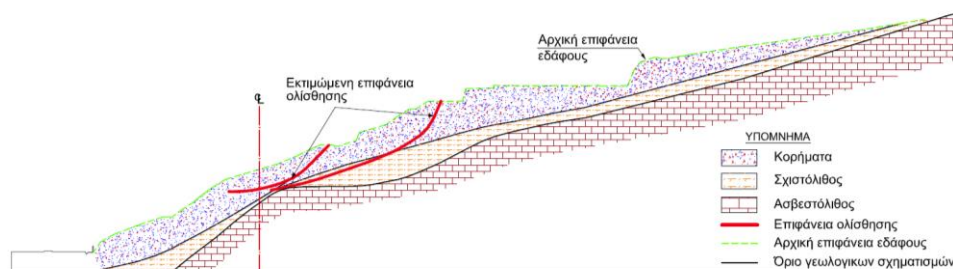
Τελικώς, προκειμένου να προχωρήσει η κατασκευή της Σιδηροδρομικής Γραμμής (σύνδεσης του Λιμένα του Ν. Ικονίου με το υπόλοιπο δίκτυο) και βάσει και των δεδομένων των γεωτεχνικών ερευνών και μελετών που εκτελέστηκαν προκρίθηκε η λύση της γεφύρωσης, ένθεν και ένθεν της κατολισθαίνουσας περιοχής, με σύμμικτη τοξωτή γέφυρα ανοίγματος 110 m. Στη Φωτ. 9.2.1 απεικονίζεται η γέφυρα στη φάση της κατασκευής της.

Η συγκεκριμένη περιοχή γεωτεχνικώς χαρακτηρίζεται από έντονο τεκτονισμό και πολλαπλές πτυχωσεις. Οι τεκτονικές κινήσεις και ιδιαίτερα οι επιπεύσεις του σχιστόλιθου έχουν κατακερματίσει τους σχηματισμούς και έχουν δημιουργήσει μυλωνιτωμένες ζώνες. Υπάρχουν κορήματα ασβεστολιθικής προέλευσης που επικάθηνται στον επωθημένο σχιστόλιθο. Η κατολίσθηση διέρχεται από τα ανώτε-

ρα στρώματα του σχιστόλιθου αμέσως κάτω από τα κορήματα. Σημειωτέον ότι δεν υπάρχει υπόγειος ορίζοντας σε βάθη που μπορεί να ενδιαφέρουν. Χαρακτηριστική διατομή στη θέση της κατολίσθησης παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.2.1.



Φωτ. 9.2.1 Γέφυρα Σ/Γ πάνω από την κατολίσθηση σε φάση κατασκευής



Σχήμα 9.2.1 Διατομή σε Θέση Κατολίσθησης

9.3 Βελτιώσεις που Οδήγησαν σε Κατολισθήσεις

Ενίοτε η βελτίωση υπαρχουσών υποδομών προκαλεί προβλήματα που λύνονται από τη γεωτεχνική μηχανική. Τέτοιο ήταν αυτό της διαπλάτυνσης της Ε.Ο. Αθηνών-Θεσσαλονίκης στην Μαλακάσα. Η κατολίσθηση του 1995 που προκλήθηκε, αντιμετωπίστηκε μετά από έρευνα, αξιολόγηση και μελέτη ευστάθειας τριών δια-

στάσεων με σειρά έργων, το κυριότερο των οποίων ήταν το εκτεταμένο δίκτυο στραγγιστικών σηράγγων μια και το βασικότερο πρόβλημα ήταν ο ιδιαίτερα υψηλός υπόγειος ορίζοντας που εκδηλωνόταν ακόμα και με πηγές στην επιφάνεια. Στο Σχήμα 9.3.1 παρουσιάζεται σε οριζοντιογραφία η κατολίσθηση με την κάτοψη του υπόγειου δικτύου στοών, το Σχήμα 9.3.2 είναι τυπική τομή στραγγιστικής στοάς ενώ στη Φωτ. 9.3.1 φαίνεται ο πόδας της κατολίσθησης που έχει καταστρέψει μέρος της Ε.Ο., στην 9.3.2 η καταστροφή της Σ/Γ Αθήνας – Θεσσαλονίκης και στη Φωτ. 9.3.3 το μέτωπο της κατολίσθησης. Ενδιαφέρον έχει και η διερεύνηση για την επιρροή αντιβάρου στο συντελεστή ασφαλείας. Αυτή έγινε με τρόπο συναφή με αυτόν των γραμμών επιρροής. Το Σχήμα 9.3.3 παρουσιάζει διάγραμμα με την επίδραση επί διατομής ενός μετακινούμενου φορτίου προσδιορίζοντας έτσι από που ξεκινάει η θετική επίδραση ενός αντιβάρου και που είναι η μεγίστη.

Ένα άλλο γνωστό πρόβλημα προκλήθηκε κατά τη βελτίωση της οδού Τρίπολης - Μεγαλόπολης στην Τσακώνα (ιδέ Φωτ. 9.3.4). Η τεράστια κατολίσθηση της Τσακώνας, μήκους σχεδόν 1000 m όπου μετακινήθηκαν περίπου 100 m περί τα 6 εκατομμύρια κυβικά, διερευνήθηκε και μελετήθηκε. Τα γεωτεχνικά στοιχεία υπέδειξαν τη δυνατότητα πρακτικώς «να παρακαμφθεί» η κατολίσθηση με γέφυρα - τη γνωστή γέφυρα της Τσακώνας- θεμελιώνοντας ακριβώς έξω από τα όρια της κατολίσθησης με ένα άνοιγμα τριακοσίων μέτρων. Η θεμελίωση των βάθρων χρειάστηκε ειδική εμπειριστατωμένη μελέτη. Χαρακτηριστικό σχήμα επίλυσης της θεμελίωσης του μεσοβάθρου με πεπερασμένα στοιχεία εμφανίζεται στο Σχήμα 9.3.4. Ο κεφαλόδεσμος πάχους 5 m συνδέει τέσσερα φρέατα μήκους 15 m και διαμέτρου 6 m το καθένα.



Φωτ. 9.3.1 Πόδας της κατολίσθησης που έχει καταστρέψει μέρος της Ε.Ο.



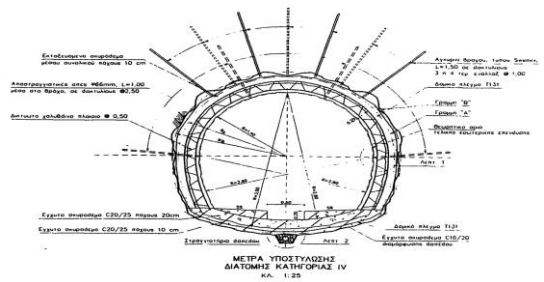
Φωτ. 9.3.2 Η καταστροφή της Σ/Γ Αθήνας – Θεσσαλονίκης



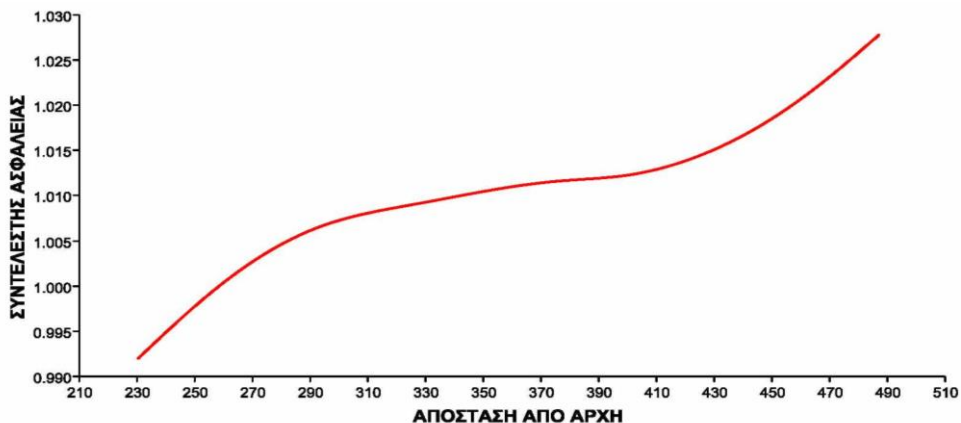
Σχήμα 9.3.1 Οριζοντιογραφία κατολίσθησης Μαλακάσας με την κάτοψη του υπόγειου δικτύου στοών



Φωτ. 9.3.3 Το μέτωπο της κατολίσθησης



Σχήμα 9.3.2 Τυπική τομή στραγγιστικής στοάς

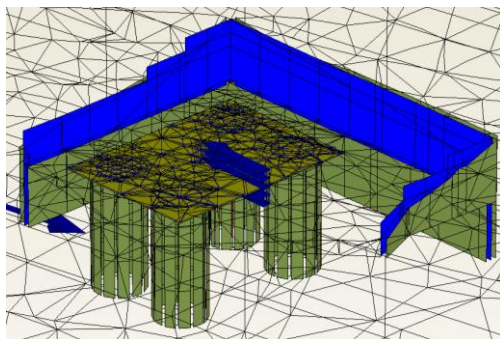


Σχήμα 9.3.3 Διάγραμμα με την επίδραση επί διατομής ενός μετακινούμενου φορτίου

Ένα ιδιαίτερο θέμα αποτέλεσε και η θεμελίωση προσωρινών πυλώνων για υποστήριξη της κατασκευής της γέφυρας. Η θεμελίωση έγινε «επιπλέον» πάνω από τη γραμμή ολίσθησης με τις μετακινήσεις λόγω της κατολίσθησης να συνεχίζονται και με εντονότατη ενόργανη παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο.



Φωτ. 9.3.4 Άποψη της Κατολίσθησης Τσακώνας



Σχήμα 9.3.4 Δίκτυο Πεπερασμένων Στοιχείων για τον Υπολογισμό της Θεμελίωσης του Μεσοβάθρου της Γέφυρας Τσακώνας

10 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ - ΧΥΤΑ

Η κατασκευή ΧΥΤΑ (Χώρων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων), βασικών στοιχείων περιβαλλοντικής υποδομής, προϋποθέτει την εκπόνηση γεωτεχνικών μελετών και ελέγχων.

Συγκεκριμένα οι γεωτεχνικές μελέτες για ΧΥΤΑ συνήθως περιλαμβάνουν:

- Ελέγχους ευστάθειας πρανών εκσκαφών και αναχωμάτων
- Προδιαγραφές υλικών κατασκευής και των υλικών στεγάνωσης και τελικής κάλυψης
- Υπολογισμούς καθιζήσεων
- Αγκυρώσεις των μεμβρανών στεγάνωσης

Παραδείγματα ΧΥΤΑ εμφανίζουν οι παρακάτω φωτογραφίες 10.1 και 10.2 για τους ΧΥΤΑ Λήμνου και Λέσβου, αντίστοιχα.



Φωτ. 10.1 Κατασκευή Κεντρικού Χ.Υ.Τ.Α. Νήσου Λήμνου



Φωτ. 10.2 Κατασκευή Κεντρικού Χ.Υ.Τ.Α. Νήσου Λήμνου

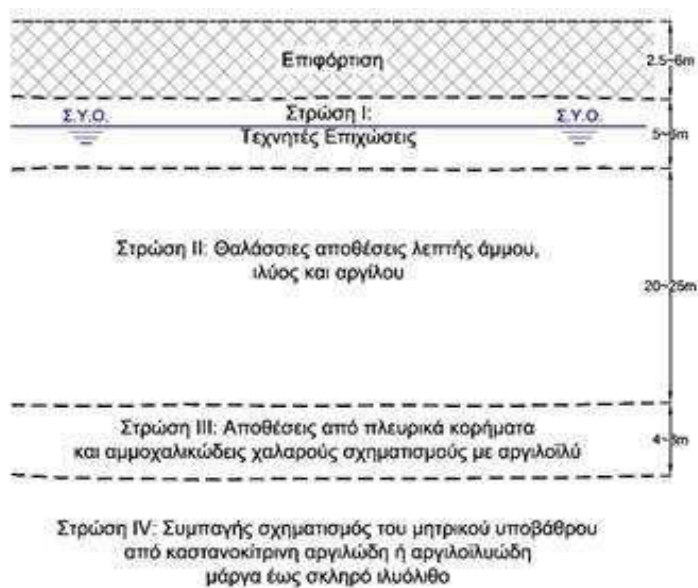
11 ΑΘΛΗΤΙΚΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ

11.1 Θεμελίωση Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας (ΣΕΦ)

Η θεμελίωση του κτιριακού συγκροτήματος του Μεγάλου Κλειστού Γυμναστηρίου Ν. Φαλήρου (ΣΕΦ) απαιτούσε δραστική βελτίωση του εδάφους για την παρα-

λαβή των φορτίων των θεμελίων δεδομένου ότι πέρα των επιχώσεων του πυθμένα, σε ύψος 5 έως 6 μέτρων, οι θαλάσσιες αποθέσεις ήταν ιδιαίτερα συμπιεστές (Σχήμα 11.1.1). Έτσι για την αποφυγή των υποχωρήσεων, ιδιαίτερα των βαθιών στρώσεων, έγινε επιφόρτιση ύψους 2.5 έως 6 μέτρων και εφαρμογή δυναμικής συμπύκνωσης σε όλη την έκταση του χώρου.

Η επιφόρτιση παρέμεινε για χρονικό διάστημα 3 έως 12 μηνών και μετρήθηκαν σημαντικές υποχωρήσεις.



Σχήμα 11.1.1 Σχηματικό Προφίλ του Εδάφους

Η δυναμική συμπύκνωση είχε εξαιρετικά αποτελέσματα. Χρησιμοποιήθηκε βάρος 15 t από ύψος πτώσεως 20 m. Η συμπύκνωση έγινε σε τέσσερις φάσεις. Η συνολική ενέργεια κατά κανόνα υπερέβαινε τα 200 tm/m^2 και ο κάρναβος και ο αριθμός κτύπων καθοριζόταν από τη συμπεριφορά σε υποχωρήσεις, κάθε διακεκριμένης ζώνης, με κριτήριο τη στρωματογραφία.

Το δακτυλιοειδές τμήμα της κάτοψης του κλειστού σταδίου που περιλαμβάνεται μεταξύ του ελλειπτικού περιγράμματος του στίβου και του εξωτερικού κυκλικού περιγράμματος θεμελιώθηκε επί πασσάλων. Η πασσάλωση περιελάμβανε 160 φρεατοπασσάλους διαμέτρου 1.3 m και βάθους 34 έως 38 m οι οποίοι εδράζονται εντός του μητρικού υποβάθρου. Το Στάδιο παρουσιάζεται στη Φωτ. 11.1.1 σε φάση κατασκευής.



Φωτ. 11.1.1 Το ΣΕΦ σε φάση κατασκευής μετά τη βελτίωση του εδάφους και την κατασκευή της θεμελίωσης

11.2 Βελτίωση Εδάφους Κλειστού Σταδίου Θέρμης



Φωτ. 11.2.1 Προφόρτιση με στραγγιστήρια για το Στάδιο Θέρμης

Εφαρμόστηκε προφόρτιση με προκατασκευασμένα στραγγιστήρια για θεμελίωση νέου Σταδίου προς μείωση του κινδύνου ρευστοποίησης και αποφυγή υπερβολικών καθιζήσεων και αρνητικών τριβών πασσάλων και προς βελτίωση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους. Το εμβαδόν της επιφάνειας που προφορτίστηκε ήταν $160\,000\text{ m}^2$, το ύψος επιφάνειας φόρτισης 8.5 m , το βάθος στραγγιστηρίων 26 m και το ολικό μήκος στραγγιστηρίων $1\,500\text{ km}$.

11.3 ΟΑΚΑ

Στο πλαίσιο διοργάνωσης των Ολυμπιακών Αγώνων Αθήνα 2004, οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις στο Ολυμπιακό Αθλητικό Κέντρο της Αθήνας (ΟΑΚΑ) ενοποιήθηκαν αισθητικά, ενώ σε μικρή απόσταση κατασκευάστηκαν μεγάλης έκτασης και όγκου σύνθετες κατασκευές για την εξυπηρέτηση των τηλεοπτικών μεταδόσεων και της δημοσιογραφικής κάλυψης των αγώνων.

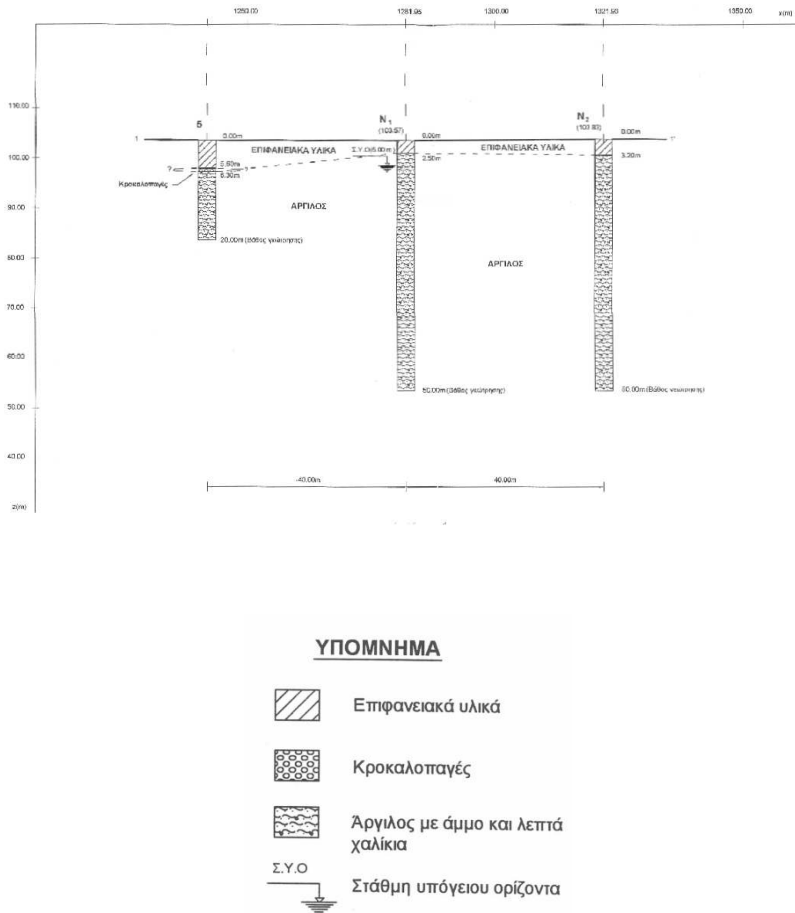
Ειδικότερα, η αισθητική ενοποίηση του ΟΑΚΑ περιλάμβανε τη (μερική) κάλυψη του Ολυμπιακού Σταδίου, την κάλυψη του Ποδηλατοδρομίου, την κατασκευή στεγάστρου στο χώρο της Αγοράς, κατασκευές στις εισόδους και στους σταθμούς λεωφορείων, την ολυμπιακή φλόγα, πεζογέφυρα, κλπ. Το Ολυμπιακό Κέντρο Ραδιοτηλεόρασης (International Broadcasting Center, IBC) και το Κέντρο Γραπτού Τύπου (Media Press Center, MPC) περιλάμβαναν διώροφους υπόγειους χώρους στάθμευσης.

Προκειμένου να θεμελιωθούν με ασφάλεια οι κατασκευές και για την αντιστήριξη των πρηνών εκσκαφής των υπογείων χώρων εκτελέστηκαν συνολικά σαράντα (40) δειγματοληπτικές γεωτρήσεις με βάθη από 15 έως 70 m που συνοδεύονταν από εκτεταμένο πρόγραμμα επιτόπου και εργαστηριακών δοκιμών.

Από τις μετρήσεις των ανοικτών πιεζομέτρων και των πιεζομέτρων τύπου Casagrande βρέθηκε ότι η στάθμη του υπόγειου ορίζοντα κυμαίνεται από 4 έως 19 m περίπου από την επιφάνεια του εδάφους.

Στην περιοχή κυριαρχεί η άργιλος του Αμαρουσίου που σε ορισμένες θέσεις έχει πάχος μεγαλύτερο των 50 m. Είναι στιφρή έως σκληρή και κατά τόπους πολύ σκληρή (ημιβραχώδης), με χρώμα κυρίως καστανό έως ερυθρό· κατά τόπους παρουσιάζεται αμμώδης, με διάσπαρτα χαλίκια ποικίλου μεγέθους. Στην περιοχή, εκτός των πρώτων μέτρων όπου διατρήθηκαν υλικά επιχώσεων, εντοπίστηκαν κατά τόπους μάργες και κροκαλοπαγή σε ημιβραχώδη έως βραχώδη μορφή. Σε περιορισμένες θέσεις εμφανίζονται συνεκτικές έως σκληρές, τεφρομέλαινες έως πρασινομέλαινες άργιλοι με οργανικές προσμίξεις, καθώς και ιλυόλιθος με λεπτές ενστρώσεις λιγνίτη.

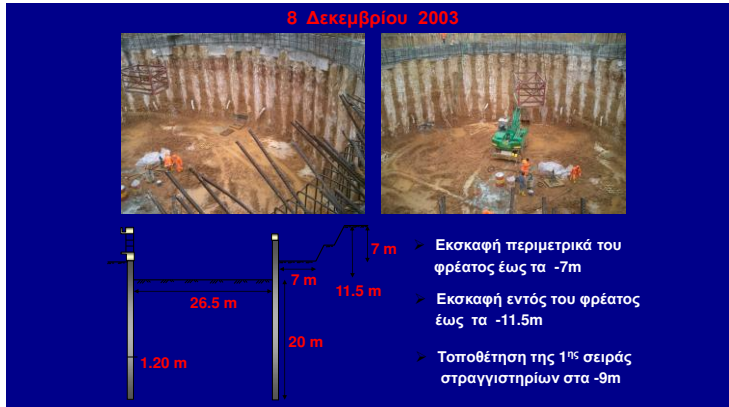
Το Σχήμα 11.3.1 παρουσιάζει γεωτεχνική τομή, τυπική της όλης περιοχής, από γεωτρήσεις που έγιναν στο χώρο του Κέντρου Γραπτού Τύπου (MPC).



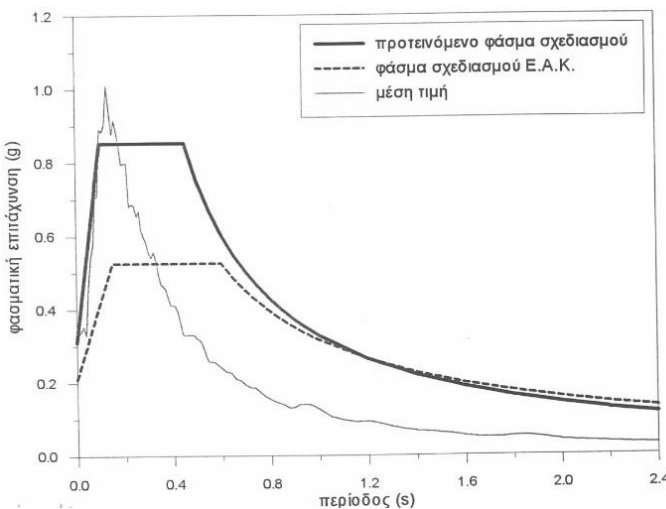
Σχήμα 11.3.1 Γεωτεχνική τομή στο χώρο του Κέντρου Γραπτού Τύπου

Στην ευρύτερη περιοχή πραγματοποιούνταν στο πρόσφατο παρελθόν εκτεταμένη και ανεξέλεγκτη εξόρυξη του λιγνίτη. Για τον εντοπισμό τυχόν υπόγειων στοών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της σεισμικής τομογραφίας έως το βάθος των 80 m. Στη θέση εφαρμογής δεν ανιχνεύθηκαν ζώνες ή δομές που να υποδηλώνουν την ύπαρξη υπόγειων στοών ή κενών.

Ένα ενδιαφέρον τεχνικό θέμα ήταν η αντιστήριξη του (κυλινδρικού) Φρέατος Τελετής Έναρξης, διαμέτρου 26 m που έγινε με πασσάλους μήκους 33.7 m και με χρήση αγκυριών και στραγγιστηρίων. Η Φωτ. 11.3.1 δείχνει τη φάση εκσκαφής με τοποθετημένους τους πασσάλους.



Φωτ. 11.3.1 Εκσκαφή φρέατος



Σχήμα 11.3.2 Σύγκριση προτεινόμενου φάσματος σχεδιασμού, φάσματος Ε.Α.Κ. και μέσης τιμής των αποτελεσμάτων των επιλύσεων

Αξίζει να σημειωθεί ότι στην έρευνα για τη θεμελίωση των βάθρων του στεγάστρου «Calatrava» στο Ολυμπιακό Στάδιο βρέθηκε φερτό υλικό σε κάποιο βάθος πράγμα που οδήγησε στην αύξηση του αριθμού των προβλεπομένων πασσάλων θεμελίωσης του ΝΑ βάθρου.

Επίσης, λόγω της σπουδαιότητας των έργων, προσδιορίστηκε η συμπεριφορά της αργίλου υπό δυναμική φόρτιση με την εκτέλεση δοκιμών cross-hole και πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις εδαφικής απόκρισης, οι οποίες οδήγησαν στην πρόταση επιτάχυνσης και φάσματος σχεδιασμού σημαντικά μεγαλύτερων αυτών που προκύπτουν από την απ' ευθείας εφαρμογή του Αντισεισμικού Κανονισμού.

Το Σχήμα 11.3.2 παρουσιάζει το προταθέν φάσμα σχεδιασμού καθώς και το φάσμα βάσει ΕΑΚ. Είναι προφανής η αύξηση στο φάσμα σχεδιασμού εν σχέσει με αυτό του ΕΑΚ.

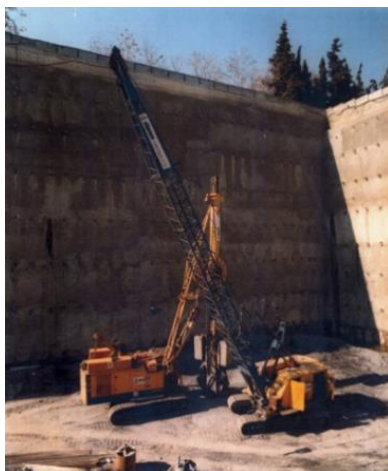
12 ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ

12.1 Μέγαρο Μουσικής

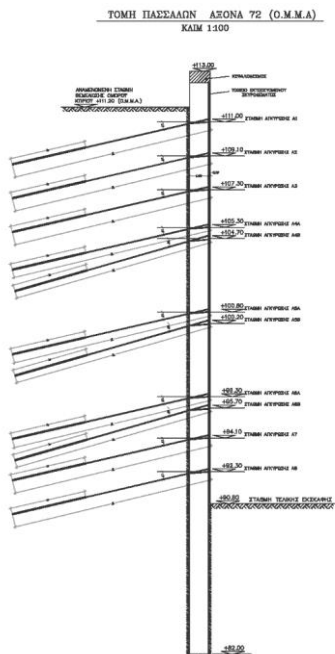
Το Μέγαρο Μουσικής αποτελεί βασική πολιτιστική υποδομή της Αθήνας. Ένα ιδιαίτερο θέμα, πέρα από τις αίθουσες και λοιπές κατασκευές που σε μεγάλο βαθμό είναι υπόγειες, αποτέλεσε η, αναγκαία, βαθειά εκσκαφή για την κατασκευή του υπογείου χώρου στάθμευσης.

Η βαθειά αυτή εκσκαφή αποτέλεσε σημαντικό μελετητικό και κατασκευαστικό θέμα.

Χρησιμοποιήθηκε η κλασική μέθοδος «τοιχίου Βερολίνου» (berlinoise) με πασσάλους, προεντεταμένα αγκύρια και τοιχία εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Οι πάσσαλοι ήταν διαμέτρου 800 mm και 1 000 mm. Στο Σχήμα 12.1.1 παρουσιάζεται τομή πασσάλου με τα προτεντεταμένα αγκύρια ενώ η Φωτογραφία 12.1.1 εμφανίζει την αρχική εκσκαφή με την προσωρινή αντιστήριξη κατά τη διάρκεια εργασιών για την (τοπική) πρόσθετη εκσκαφή. Η όλη εκσκαφή έγινε σε αθηναϊκό σχιστόλιθο και ήταν βάθους περί τα 33 m προς την πλευρά του Ναυτικού Νοσοκομείου και του ΕΑΤ-ΕΣΑ και περί τα 22 m προς το αρχικό Μέγαρο Μουσικής.



Φωτ. 12.1.1 Αντιστήριξη εκσκαφής χώρου στάθμευσης Μεγάρου Αθηνών σε φάση κατασκευής και αντιστήριξης με «μπαρέτες» πρόσθετης τοπικής εκσκαφής



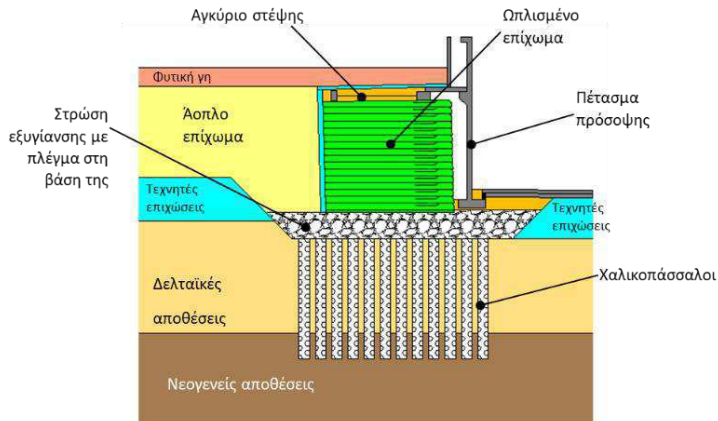
Σχήμα 12.1.1 Τομή πασσάλου με προεντεταμένα αγκύρια για προσωρινή αντιστήριξη εκσκαφής

12.2 Κέντρο Πολιτισμού Ιδρύματος Σταύρος Νιάρχος

Το Κέντρο Πολιτισμού του Ιδρύματος Σταύρος Νιάρχος εδράζεται σε μία περιοχή που βρέθηκαν τεχνητές αποθέσεις, μαλακοί σχηματισμοί δελταϊκών αποθέσεων και ισχυρότεροι νεογενείς σχηματισμοί σε μεγαλύτερο βάθος. Απαιτήθηκε εκτεταμένη γεωτεχνική έρευνα με μεγάλο αριθμό γεωτρήσεων, πεντρομετρήσεων, πρεσσιομετρικών γεωτρήσεων, δοκιμαστικών φρεάτων και δοκιμών άντλησης. Εκτός δε του κτιρίου του Κέντρου Πολιτισμού και του σχεδιασμού της θεμελίωσης του κατασκευάστηκε και υψηλό επίχωμα με άοπλο και οπλισμένο τμήμα, εξυγιαντική στρώση και χαλικοπασσάλους βελτίωσης ζώνης θεμελίωσης στη βάση του οπλισμένου τμήματος του επιχώματος (ιδέ Σχ. 12.2.1). Η ζώνη θεμελίωσης αποτελείται στο ανώτερο στρώμα από αμμώδη άργιλο, στη συνέχεια από ιλυώδη άμμο μέσης πυκνότητας ως τοπικά χαλαρή, ακολουθεί ιδιαίτερα μαλακή αμμώδης άργιλος και τέλος οι ισχυρότερες νεογενείς αποθέσεις.

Για όλα τα υλικά κατασκευής είχαν τεθεί αυστηρές προδιαγραφές για τις ιδιότητές τους. Μάλιστα προς επιβεβαίωση των τιμών της γωνίας διατμητικής αντοχής που είχαν καθοριστεί στα πλαίσια της μελέτης για τα χονδρόκοκκα υλικά κατασκευής του επιχώματος, χρησιμοποιήθηκε και ειδική συσκευή άμεσης διάτμησης μεγάλου μεγέθους για χονδρόκοκκα εδαφικά υλικά (ιδέ Φωτ. 12.2.1) διά της

οποίας επιβεβαιώθηκαν οι τιμές της γωνίας διατμητικής αντοχής των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν.



Σχήμα 12.2.1 Απλοποιημένη διατομή οπλισμένου επιχώματος Κέντρου Πολιτισμού Ιδρύματος Σταύρος Νιάρχος



Φωτ. 12.2.1 Μεγάλου μεγέθους συσκευή άμεσης διάτμησης που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της διατμητικής αντοχής των χονδροκόκκων υλικών του οπλισμένου επιχώματος του Κέντρου Πολιτισμού του Ιδρύματος Σταύρος Νιάρχος

13 ΕΠΙΜΥΘΙΟ

Όπως φαίνεται από την παράθεση και συνοπτική περιγραφή έργων υποδομής στην Ελλάδα η γεωτεχνική μηχανική τόσο στην έρευνα και μελέτη όσο και στην εφαρμογή της στην κατασκευή έπαιξε και παίζει εξαιρετικά σημαντικό ρόλο για τις υποδομές της Ελλάδας.

Η πιο πάνω παράθεση είναι προφανώς εξαιρετικά συνοπτική και ελλειπτική. Είναι εξαιρετικά συνοπτική για να χωρέσει, να φανεί, το εύρος των εφαρμογών της γεωτεχνικής μηχανικής. Και είναι ελλειπτική γιατί δεν μπορούσαν να περιληφθούν πολλά σημαντικά έργα υποδομής.

Σε όλα τα έργα είτε στη μελέτη είτε και στην κατασκευή τους η συμβολή των Ελλήνων Πολιτικών Μηχανικών αποφοίτων του ΕΜΠ με ειδίκευση στη γεωτεχνική μηχανική ήταν καίρια. Και συνεχίζει να είναι στα έργα που βρίσκονται σήμερα στο στάδιο της μελέτης ή της κατασκευής. Και είναι καίρια και σε έργα υποδομής έξω από τα ελληνικά σύνορα κυρίως στον ευρύτερο χώρο της βαλκανικής και της Μ. Ανατολής.

Το μέλλον θα απαιτεί συνέχεια σημαντικά έργα υποδομής. Σήμερα με τις δυνατότητες των νέων τεχνολογιών μπορούν με τη χρήση των μεγάλων δεδομένων (big data) να ανοίξουν νέοι ορίζοντες. Ιδιαίτερα σε θέματα γεωτεχνικής μηχανικής που συχνά είναι «κρυμμένα», χρησιμοποιώντας μαζική ενόργανη παρακολούθηση τόσο στην κατασκευή όσο και στη λειτουργία των έργων είναι δυνατόν να γίνονται τα έργα πιο οικονομικά και πιο ασφαλή. Η μαζική χρήση οργάνων παρακολούθησης/αισθητήρων σε συνδυασμό με την ταυτόχρονη καταγραφή και επεξεργασία μεγάλων δεδομένων (big data) δείχνουν το μέλλον στα έργα πολιτικού μηχανικού και ειδικότερα γεωτεχνικού μηχανικού. Πεδίον δόξης λαμπρόν και για την εναρμόνιση των σπουδών στο ΕΜΠ με τις διαφαινόμενες συνθήκες του μέλλοντος.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Συνάδελφοι που συνέβαλαν με την παροχή στοιχείων διαφόρων έργων είναι οι:

Ντία Ανδρικοπούλου, Πάνος Βέττας, Ελένη Γεωργίου, Γιώργος Γκαζέτας, Αριστείδης Κοντογιάννης, Δημήτρης Κούμouλος, Δημήτρης Κουρούκλης, Νίκος Μουτάφης, Μιγάλης Μπαρδάνης, Γιώργος Ντουνιάς, Γιώργος Παπαχαραλάμπους, Σοφία Σακελλαρίου, Γιάννης Σιώρης, Ηλίας Σωτηρόπουλος, Λεωνίδας Σωτηρόπουλος, Σταύρος Τόλης, Γιάννης Φίκιρης, Κώστας Ψαλλίδας.

Επίσης σημαντική ήταν η συμβολή του προσωπικού της ΕΔΑΦΟΣ στην παρουσίαση του κεφαλαίου και ιδιαίτερα της κας Μαρίας Χρήστου καθώς και των κ.κ. Ρούλας Βάλβη, Αθανασίας Κόντου και Αναστασίας Ντουρούπη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Στοιχεία παρασχέθηκαν από τις εταιρίες ΓΕΩΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Τ.Ε., ΔΕΗ (ΔΑΥΕ) Α.Ε., ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε., ΕΔΡΑΣΗ Χ. ΨΑΛΛΙΔΑΣ Α.Τ.Ε., ΕΡΓΟΣΕ Α.Ε., ΚΑΣΤΩΡ Ε.Π.Ε., ΟΤΜ Α.Τ.Ε., ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ και ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Α.Ε., ΤΡΙΤΩΝ Ε.Π.Ε.