

ΔΙΗΜΕΡΙΔΑ "ΟΙ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ"

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΚΣΚΑΦΗ ΤΩΝ ΦΡΕΑΤΩΝ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΣΟΒΑΘΡΩΝ Μ1 ΤΗΣ
ΓΕΦΥΡΑΣ ΒΟΤΟΝΟΣΙΟΥ**

**Εισηγητής: Γ. ΝΤΟΥΝΙΑΣ
Σ. ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ
Ι. ΦΙΚΙΡΗΣ
Ε. ΛΥΜΠΕΡΗΣ
Τ. ΚΟΤΣΑΝΟΠΟΥΛΟΣ
Ε. ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ**

**Ιωάννινα, 7 & 8/12/2001
"ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε."
& Ε.Ε.Σ.Υ.Ε.**

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΚΣΚΑΦΗ ΤΩΝ ΦΡΕΑΤΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΣΟΒΑΘΡΩΝ Μ1 ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΒΟΤΟΝΟΣΙΟΥ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Παρουσιάζεται η μελέτη και εκσκαφή των φρεάτων θεμελίωσης των δυτικών μεσοβάθρων (Μ1) της γέφυρας Βοτονοσίου. Τα φρέατα, διαμέτρου εκσκαφής 10.3 έως 13m και βάθους 30 έως 35m, διανοίχτηκαν σε απότομο πρηνές του φλύσχη της Πίνδου με καλά γεωτεχνικά χαρακτηριστικά. Περιγράφεται η μελέτη των φρεάτων ώστε να φέρουν ασφαλώς τα φορτία της γέφυρας καθώς και η μελέτη διάνοιξής τους. Τελικώς παρουσιάζεται η εκσκαφή και η γεωλογική αποτύπωσή τους καθώς και τα εφαρμοσθέντα μέτρα υποστήριξης.

1. Η ΓΕΦΥΡΑ ΒΟΤΟΝΟΣΙΟΥ - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γέφυρα Βοτονοσίου κατασκευάζεται στο τμήμα 3.2 της Εγνατίας οδού. Θα γεφυρώνει τον Ποταμό Μετσοβίτικο μετά από επίχωμα που θα κατασκευασθεί στην έξοδο της σήραγγας Ανθοχωρίου και θα εκτείνεται έως την είσοδο της σήραγγας Βοτονοσίου. Το μέγιστο άνοιγμα της γέφυρας, που θα κατασκευασθεί με τη μέθοδο της προβολοδόμησης, είναι 230m και βρίσκεται κοντά στο άνω όριο των δυνατοτήτων της μεθόδου. Το άνοιγμα αυτό υπερβαίνει τα ανοίγματα της γέφυρας Τατάρνας (196m) και του Ευρίπου (215m), θα είναι το μεγαλύτερο στην Ελλάδα (πλην της γέφυρας Ρίου ανοίγματος 560m) και θα συγκαταλέγεται μεταξύ των 15 μεγαλύτερων σε όλο τον κόσμο (απογραφή 1998). Το μέγιστο ελεύθερο ύψος των μεσοβάθρων ξεπερνά τα 50m. Μηκοτομές των δύο κλάδων της γέφυρας παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.

Τα μεσόβαθρα τοποθετούνται σε απότομα πρηνή του Μετσοβίτικου. Για την ασφαλή θεμελίωση και την αποφυγή εκτεταμένων εκσκαφών μεγάλης κλίμακας, που θα δημιουργούσαν υπερβολικά υψηλά μόνιμα πρηνή, επελέγη η λύση των φρεάτων που διανοίγονται κοντά στα πρηνή και παρουσιάζονται στο Σχήμα 2. Αυτή η γειτονία με τα απότομα πρηνή δημιούργησε ερωτήματα σχετικά με την ευστάθεια της θεμελίωσης και αποτέλεσε αντικείμενο διεξοδικής μελέτης. Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον συγκεντρώθηκε στα μεσόβαθρα Μ1 που βρίσκονται στο Νότιο πρηνές του Μετσοβίτικου, και ιδιαίτερα στο Μ1α που βρίσκεται πλησιέστερα προς το ποτάμι, λόγω της κατώτερης ποιότητας του φλύσχη στο αντέρεισμα αυτό. Η επάρκεια των φρεάτων αποδείχθηκε με αναλυτικές και αριθμητικές μεθόδους. Οι υποθέσεις της μελέτης όμως έπρεπε να επιβεβαιωθούν κατά την κατασκευή. Αυτό έγινε με τη συνεχή λεπτομερή καταγραφή της γεωλογικής δομής κατά την εκσκαφή των φρεάτων. Η εκσκαφή των φρεάτων Μ1 έγινε από τον Μάιο έως τον Σεπτέμβριο του 2001 όπου και επιβεβαιώθηκε ότι οι υποθέσεις της μελέτης ήταν επαρκώς συντηρητικές.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ

Στην ευρύτερη περιοχή της γέφυρας εμφανίζεται ο φλύσχος της γεωτεκτονικής ενότητας της Πίνδου. Ο φλύσχος αποτελείται, από κάτω προς τα πάνω, από μια ερυθρά πηλινική ζώνη πάχους 60 m περίπου που ακολουθείται από μία ζώνη εναλλαγών ψαμμιτικών και ιλυολιθικών στρωμάτων πάχους 50 m και τέλος από μία ζώνη παχυστρωματωδών ψαμμιτών με πάχος

Μελέτη και εκσκαφή των φρεάτων θεμελίωσης των μεσοβάθρων M1 της γέφυρας Βοτονοσίου

μεγαλύτερο από 200 m. Λόγω της έντονης λεπίωσης του Πινδικού φλύσχη, η παραπάνω στρωματογραφική σειρά επαναλαμβάνεται σε αλλητάλληλα λέπια μεταβλητού πάχους με γενική διεύθυνση μετώπων BBD-NNA, δημιουργώντας μία πολύπλοκη δομή.

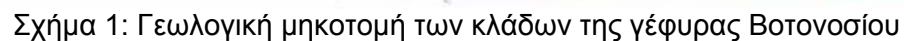
Στην περιοχή της γέφυρας κυριαρχούν οι παχυστρωματώδεις ψαμμίτες. Πρόκειται για σχηματισμό με πάχος στρωμάτων κυμαινόμενο από 0.30 m έως και 5 m και παρεμβολές ιλυολιθικών ενστρώσεων πάχους λίγων mm μέχρι μερικών cm. Συχνά παρεμβάλλονται μεταξύ των ψαμμιτικών στρωμάτων ιλυολιθικά στρώματα όπως επίσης και στρώματα εναλλαγών ψαμμιτών και ιλυολίθων.

Η αντικλινική δομή του αριστερού αντερείσματος και η πιθανή παρουσία ρήγματος κατά μήκος της κοίτης του Μετσοβίτικου δημιουργεί διαφοροποιημένες συνθήκες δομής στα δύο αντερείσματα. Η διεύθυνση κλίσης των στρωμάτων είναι και στα δύο αντερείσματα αντίρροπη προς τα πρηνή, συμβάλλοντας έτσι στην ευστάθειά τους (Σχήμα 1).

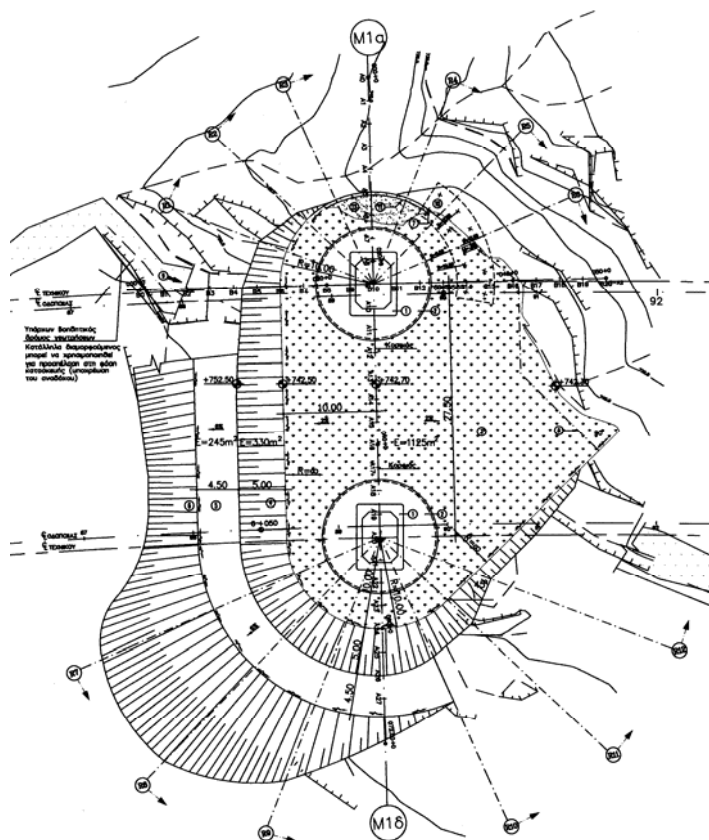
Στο δεξιό αντέρεισμα κυριαρχούν παχυστρωματώδεις ψαμμίτες με παράταξη ΒΔ-ΝΑ και κλίση αντίρροπη προς το φυσικό πρηνές. Η στρώση παρουσιάζει γεωμετρικά στοιχεία $B:45^{\circ}/041^{\circ}$, επιφάνειες μεγάλου μήκους (>20 m), τραχείες και ελαφρά αποσαθρωμένες κοντά στην επιφάνεια. Οι αρμοί των στρώσεων παρουσιάζουν άνοιγμα <0.1 mm και είναι συνήθως πληρωμένοι με ιλυολιθικό υλικό. Η ψαμμιτική βραχομάζα διατέμνεται από δύο συστήματα διακλάσεων που στη θέση έδρασης των μεσοβάθρων έχουν γεωμετρικά στοιχεία $J1:78^{\circ}/308^{\circ}$ και $J2:48^{\circ}/237^{\circ}$. Τα εν λόγω συστήματα περιλαμβάνουν ασυνέχειες μικρού μήκους και ανοίγματος, με ελαφρά τραχείες και ελαφρά αποσαθρωμένες επιφάνειες, συνήθως πληρωμένες με ιλυολιθικό υλικό. Σε γενικές γραμμές ο ψαμμιτικός σχηματισμός παρουσιάζει ασθενή τεκτονισμό. Ο χαλαρός μανδύας που καλύπτει το ψαμμιτικό υπόβαθρο έχει πολύ μικρό πάχος και σε πολλά σημεία απουσιάζει εντελώς.

Το αριστερό αντέρεισμα δομείται από εναλλαγές ψαμμιτών και ιλυολίθων, με κυριαρχία των ψαμμιτών. Από τα διαθέσιμα στοιχεία κατά τη φάση της μελέτης, τα στρώματα παρουσίαζαν παράταξη με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ και κλίση αντίρροπη προς το φυσικό πρηνές, κατά τη μελέτη μετρήθηκε $B:15^{\circ}/318^{\circ}$, επιφάνειες μεγάλου μήκους (>20 m), τραχείες και μέτρια αποσαθρωμένες. Οι αρμοί των στρώσεων παρουσίαζαν άνοιγμα <0.1 mm και ήταν συνήθως πληρωμένοι με ιλυολιθικό υλικό. Η βραχομάζα διατέμνεται από τρία συστήματα διακλάσεων που κατά τη φάση της μελέτης και στην περιοχή έδρασης των μεσοβάθρων M1 μετρήθηκαν ως $J1:31^{\circ}/230^{\circ}$, $J2:84^{\circ}/209^{\circ}$, και $J3:84^{\circ}/291^{\circ}$. Τα εν λόγω συστήματα περιλαμβάνουν ασυνέχειες μικρού μήκους και ανοίγματος, με τραχείες και αποσαθρωμένες επιφάνειες, συνήθως πληρωμένες με ιλυολιθικό υλικό. Τοπικά η δομή της βραχομάζας εμφανίζονταν αποδιοργανωμένη λόγω τεκτονικής καταπόνησης κυρίως εκεί όπου κυριαρχούσε ο ιλυόλιθος. Το πρηνές καλύπτεται τοπικά από σημαντικού πάχους μανδύα. Η δομή του αντερείσματος, όπως χαρτογραφήθηκε κατά την κατασκευή, παρουσιάζεται σε επόμενο κεφάλαιο.

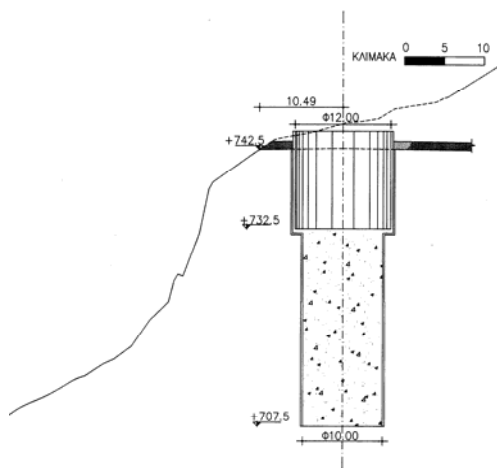
Λόγω της σχετικώς μεγάλης υδροπερατότητας της βραχομάζας η αποστράγγιση της περιοχής γίνεται στα χαμηλότερα υψομετρικά σημεία, προς την κοίτη του Μετσοβίτικου.



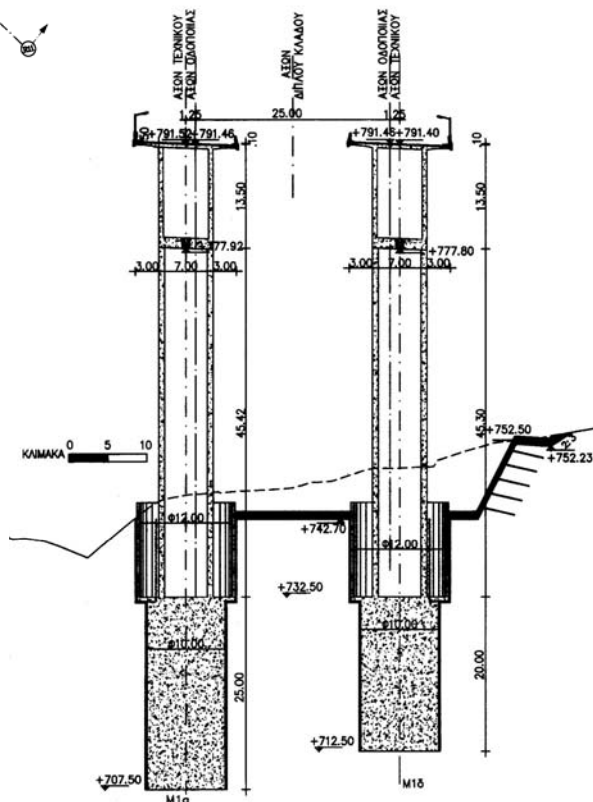
Μελέτη και εκσκαφή των φρεάτων θεμελίωσης των μεσοβάθρων M1 της γέφυρας Βοτονοσίου



(α) Οριζοντιογραφία



(β) Δυσμενέστερη διατομή φρέατος M1α



(γ) Εγκάρσια διατομή των μεσοβάθρων M1

Σχήμα 2: Διάταξη μεσοβάθρων M1

3. ΤΑ ΜΕΣΟΒΑΘΡΑ Μ1α ΚΑΙ Μ1δ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Για την όρυξη των μεσοβάθρων Μ1 δημιουργήθηκε ένα ενιαίο επίπεδο μετά από εκσκαφή που δημιούργησε μόνιμα πρανή μέγιστου ύψους περίπου 20m. Κατά τη διάρκεια των εκσκαφών διαπιστώθηκε ότι το εδαφικό κάλυμμα είχε τοπικά μεγάλο βάθος, γεγονός που οδήγησε σε συμπληρωματική γεωτεχνική έρευνα και εγκατάσταση οργάνων. Από τις μετρήσεις διαπιστώθηκε ότι μέχρι στιγμής δεν υπάρχουν κατολισθητικές κινήσεις.

Τα βάθρα θεμελιώνονται με φρέατα μεγάλης διαμέτρου. Για την όσο το δυνατόν καλύτερη έδραση των φρεάτων και την διατήρηση του επιθυμητού ελεύθερου ύψους στους στύλους των πυλώνων, το πακτωμένο τμήμα ξεκινά σε βάθος 10m από το επίπεδο των γενικών εκσκαφών. Αυτό εξασφαλίζεται με τη δημιουργία προ-φρεάτων. Το βάθρο Μ1α βρίσκεται πολύ κοντά στο απότομο πρανές. Αυτό, σε συνάρτηση με την γενική κλίση των στρώσεων από το Μ1δ προς το Μ1α, οδήγησε στην υιοθέτηση μεγαλύτερου βάθους για το Μ1α. Έτσι και τα δύο φρέατα απολήγουν εντός της ίδιας ψαμμιτικής ζώνης που εντοπίστηκε από τις γεωτρήσεις και επιβεβαιώθηκε κατά την κατασκευή. Το Μ1α έχει προ-φρέαρ διαμέτρου εκσκαφής 13m και βάθους 10m ενώ το κυρίως φρέαρ έχει διάμετρο εκσκαφής 10.3m και βάθος 25m. Το Μ1δ έχει προ-φρέαρ διαμέτρου εκσκαφής 13m και βάθους 10m ενώ το κυρίως φρέαρ έχει διάμετρο εκσκαφής 10.3m και βάθος 20m. Η διάταξη των φρεάτων παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.

Με βάση τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων και τις αποτυπώσεις επιφανείας έγινε βραχομηχανική κατάταξη του φλύσχη σύμφωνα με το γεωλογικό δείκτη αντοχής GSI (Hoek, et. al. 1995, Hoek & Marinos (2000)). Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το τροποποιημένο κριτήριο Hoek & Brown (Hoek & Brown 1997) για να εκτιμηθούν οι παράμετροι αντοχής της βραχομάζας, θεωρούμενης ως συνεχούς ομογενούς μέσου. Πέραν του GSI, για την εφαρμογή του κριτηρίου Hoek & Brown απαιτείται η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη του αδιατάρακτου βράχου σ_c και ο συντελεστής m_i . Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στους ψαμμίτες και στις εναλλαγές ψαμμιτών με ιλυολίθους παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Παράμετροι κριτηρίου Hoek & Brown

Παράμετρος	Ψαμμίτες		Ψαμμίτες και Ιλυόλιθοι	
	άνω όριο	κάτω όριο	άνω όριο	κάτω όριο
σ_c (Mpa)	80	60	30	20
GSI	75	60	50	35
m_i	19	19	9	9

Οι αντίστοιχες παράμετροι αντοχής που προέκυψαν και χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις συνεχούς μέσου δίνονται στον Πίνακα 2. Για τις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκαν κατά κανόνα τα κάτω όρια των τιμών.

Πίνακας 2: Παράμετροι διατμητικής αντοχής βάσει του κριτηρίου Hoek & Brown

Μελέτη και εκσκαφή των φρεάτων θεμελίωσης των μεσοβάθρων M1 της γέφυρας Βοτονοσίου

Παράμετρος	Ψαμμίτες		Ψαμμίτες και Ιλυολίθοι	
	άνω όριο	κάτω όριο	άνω όριο	κάτω όριο
c' (kN/m ²)	2500	950	460	220
ϕ' (°)	60	58	44	38

Από τις δοκιμές διατμητικής αντοχής σε ασυνέχειες προέκυψε μεγάλο εύρος παραμέτρων. Για τις αναλύσεις ευστάθειας σφηνών λήφθηκε συντηρητικά ότι η διατμητική αντοχή κυμαίνεται από $c'=0$ και $\phi'=25^\circ$ έως $c'=0$ και $\phi'=35^\circ$ στην περίπτωση στρώσεως ψαμμίτη – ψαμμίτη και από $c'=0$ και $\phi'=13^\circ$ έως $c'=0$ και $\phi'=20^\circ$ στην περίπτωση στρώσεως ψαμμίτη – ιλυολίθου. Για τις φυσικές ασυνέχειες ιλυολίθου η διατμητική αντοχή κυμαίνεται από $c'=0$ και $\phi'=13^\circ$ έως $c'=0$ και $\phi'=20^\circ$. Τέλος, για την περίπτωση ασυνεχειών σε σχηματισμούς εναλλαγών ψαμμιτών – ιλυολίθων το εύρος της διατμητικής αντοχής φυσικών ασυνεχειών εκτιμήθηκε ότι ήταν από $c'=0$ και $\phi'=20^\circ$ έως $c'=0$ και $\phi'=30^\circ$.

Το μέτρο παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας προσδιορίσθηκε λαμβάνοντας υπόψη i) τα αποτελέσματα των επιτόπου δοκιμών ντιλατομέτρου που εκτελέσθηκαν σε διάφορα βάθη στη γεώτρηση του φρέατος M1α, ii) χρησιμοποιώντας διεθνώς παραδεκτές εμπειρικές σχέσεις (Hoek & Brown, 1997) και iii) το μέτρο παραμορφωσιμότητας όπως αυτό προέκυψε από τις εργαστηριακές δοκιμές σε δοκίμια συμπαγούς πετρώματος. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζεται συγκεντρωτικά το εύρος διακύμανσης του μέτρου παραμορφωσιμότητας για τους τρεις ανωτέρω διαφορετικούς τρόπους υπολογισμού του. Για τις αναλύσεις έγινε παραδοχή άνω ορίου 4.0MPa και κάτω ορίου 1.5MPa.

Πίνακας 3: Εκτίμηση μέτρου παραμορφωσιμότητας

Μέθοδος υπολογισμού	Μέτρο παραμορφωσιμότητας, GPa			
	Ψαμμίτες		Εναλλαγές Ψαμμιτών Ιλυολίθων	
	άνω όριο	κάτω όριο	άνω όριο	κάτω όριο
Ντιλατομετρήσεις	7	2	1	0.5
Εμπειρική σχέση*	37.7	13.7	5.4	1.8
Εργαστηριακώς	30	10	-	-

$$* E = \sqrt{\frac{\sigma_c}{100}} 10^{\frac{GSI-10}{40}} \quad (\text{Hoek \& Brown, 1997})$$

4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ – ΕΛΑΤΗΡΙΑΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ

Οι φορτίσεις των μεσοβάθρων υπολογίσθηκαν από τη στατική μελέτη με υπόθεση πλήρους πακτωμένης θεμελίωσης. Με τους κρίσιμους συνδυασμούς αυτών των φορτίσεων έγιναν οι γεωτεχνικές αναλύσεις από όπου προέκυψε μια αρχική ομάδα ελατηριακών σταθερών. Αυτές οι σταθερές στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν στη στατική μελέτη για την εξαγωγή μιας βελτιωμένης ομάδας φορτίσεων. Αυτές ελέγχθηκαν πάλι στις γεωτεχνικές αναλύσεις και με διαδοχικούς ελέγχους εξήχθησαν οι τελικές ελατηριακές σταθερές.

Μελέτη και εκσκαφή των φρεάτων θεμελίωσης των μεσοβάθρων Μ1 της γέφυρας Βοτονοσίου

Χρησιμοποιήθηκαν τρεις γενικοί τύποι υπολογισμών. Πρώτον χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της οριακής ισορροπίας, με ένα μοντέλο που κατασκευάστηκε ειδικά για την εκτίμηση της ευστάθειας της σφήνας που δημιουργείται μεταξύ του δυσμενέστερου φρέατος θεμελίωσης (Μ1α) και του πρανούς. Δεύτερον χρησιμοποιήθηκαν αναλυτικές και ημι-εμπειρικές μέθοδοι για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας των φρεάτων θεμελίωσης καθώς και των αναμενομένων μετακινήσεων υπό τα φορτία της γέφυρας. Τέλος, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων για την εκτίμηση τόσο της γενικότερης ευστάθειας υπό την φόρτιση της γέφυρας όσο και των προκαλουμένων παραμορφώσεων των φρεάτων. Οι δύο τελευταίες μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν και για τον υπολογισμό των ελατηριακών σταθερών.

4.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΟΡΙΑΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

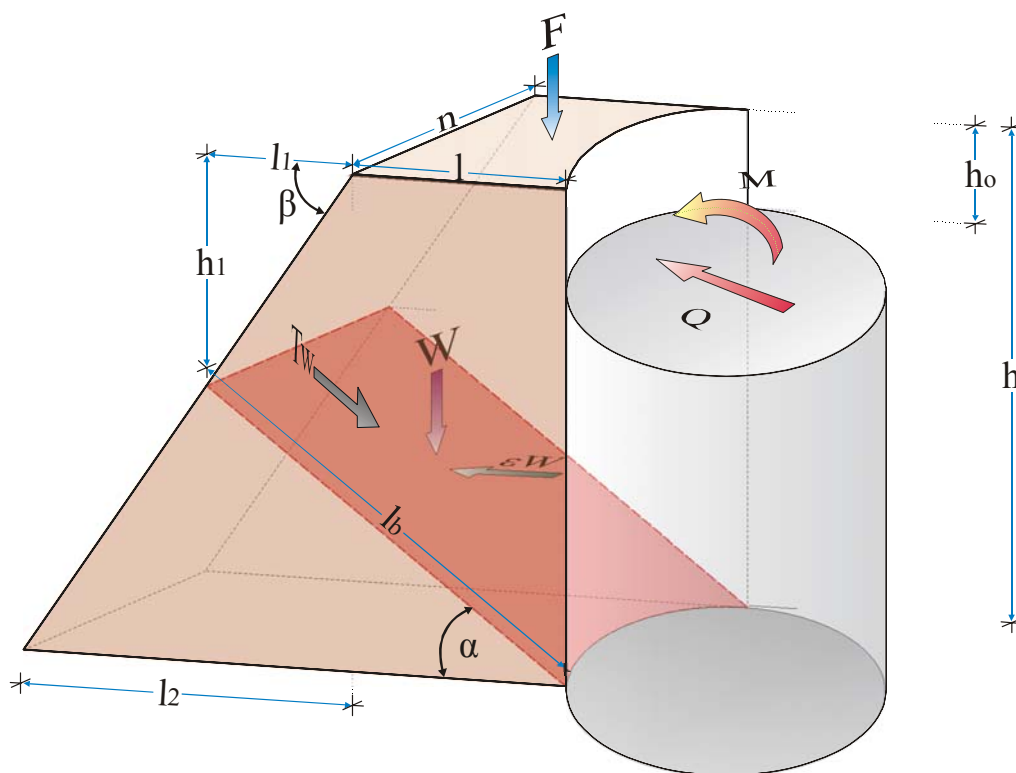
Για τον έλεγχο της σφήνας που δημιουργείται μεταξύ του φρέατος θεμελίωσης και του πρανούς κατασκευάστηκε ειδικό μοντέλο βασισμένο σε αρχές οριακής ισορροπίας. Το μοντέλο αυτό εξετάζει την ευστάθεια έναντι ολίσθησης επί ενός επιπέδου στρώσεως, υποθέτοντας ότι απαρτίζεται από ασθενή ιλυόλιθο, και έναντι ανατροπής περί το σημείο που η επιφάνεια αυτή τέμνει το φυσικό πρανές. Η μόρφωση του μοντέλου παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.

Στο μεσόβαθρο Μ1α υπετέθη ότι η κλίση των στρώσεων είναι 15° και η αντοχή της $c = 0$ και $\phi = 15^\circ$. Για τον υπολογισμό της πλευρικής αντίστασης της τρισδιάστατης σφήνας υπετέθη ότι η διατμητική αντοχή της βραχομάζας είναι $c = 0$ και $\phi = 35^\circ$. Οι παραδοχές αυτές είναι δυσμενείς και τα αποτελέσματα είναι συνεπώς συντηρητικά. Οι συντελεστές ασφαλείας που προέκυψαν για τις δυσμενέστερες φορτίσεις κατά τη φάση λειτουργίας, λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών και κατά το σεισμό είναι αποδεκτοί και παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Συντελεστής ασφαλείας Μεσοβάθρου Μ1α – Δυσμενής διατομή 5

Φορτική κατάσταση	FS	
	Ολίσθηση	Ανατροπή
Θερμοκρασιακές μεταβολές	67.16	17.2
Λειτουργία	_*	_*
Σεισμός	7.15	4.87

*Δεν δημιουργείται δυνατότητα ολίσθησης ή ανατροπής της σφήνας διότι οι ροπές και οι δυνάμεις κατευθύνονται προς το εσωτερικό του πρανούς.



Σχήμα 3: Μοντέλο οριακής ισορροπίας για έλεγχο ευστάθειας μεγάλων σφηνών

4.2 ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΗΜΙ-ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

4.2.1 ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΦΟΡΤΙΑ

Υπολογίσθηκε η φέρουσα ικανότητα κάθε φρέατος με δύο μεθόδους. Η πρώτη μέθοδος ήταν του Ladanyi (1977) βασισμένη στις αρχές των Rosenberg & Journeaux (1976). Η δεύτερη ήταν αυτή που περιγράφεται από τον Wyllie (1999). Οι υπολογισμοί έδειξαν ότι οι αναπτυσσόμενες διατμητικές τάσεις στις παρειές του φρέατος καθώς και οι ορθές τάσεις στον πυθμένα υπολείπονται σημαντικά των αντίστοιχων αντοχών της βραχομάζας.

Η μέθοδος Wyllie (1999) χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των κατακόρυφων ελατηριακών σταθερών των φρεάτων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 5. Η φέρουσα ικανότητα εμπεριέχει συντελεστή ασφαλείας 2 για την πλευρική τριβή και 3 για την αντίσταση αιχμής.

Πίνακας 5: Μέθοδος Wyllie – Φέρουσα ικανότητα και υποχωρήσεις

Μελέτη και εκσκαφή των φρεάτων θεμελίωσης των μεσοβάθρων Μ1 της γέφυρας Βοτονοσίου

Φρέαρ		Φέρουσα ικανότητα (MN)	Επιβαλλόμενο φορτίο (MN)	Υποχώρηση υπό το επιβαλλόμενο φορτίο (m)	Κατακόρυφο ελατήριο MN/m
Μ1α	Άνω όριο	1950	145	0.0037	39189
	Κάτω όριο	1867		0.0052	27885
Μ1δ	Άνω όριο	1773	143	0.0034	42059
	Κάτω όριο	1715		0.0055	26000

4.2.2 ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΡΟΠΗ

Για τον έλεγχο σε οριζόντια φορτία και ροπή χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Randolph (1981) όπως παρουσιάζεται από τον Bell (1992). Η μέθοδος αυτή υποθέτει οριζόντιο έδαφος στο οποίο έχει τοποθετηθεί φρέαρ διαμέτρου B και βάθους D στην κεφαλή του οποίου ασκείται οριζόντια δύναμη H και ροπή M. Η υπόθεση είναι προφανώς μη ακριβής για το φρέαρ Μ1α και τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν ενδεικτικώς. Οι υπολογισθείσες οριζόντιες μετακινήσεις και στροφές των κεφαλών των φρεάτων ήταν πολύ μικρές. Οι οριζόντιες μετακινήσεις κυμαίνονταν από 1.4 έως 3.3 mm ενώ οι στροφές κυμαίνονταν από 0.014° έως 0.034°. Επίσης ελέγχθηκε χωριστά η απόκριση σε οριζόντια δύναμη και σε ροπή. Το οριζόντιο ελατήριο κυμαίνονταν από 18672 έως 119733 MN/m ενώ το στροφικό ελατήριο κυμαίνονταν από 1000434 έως 2150452 MN/rad.

4.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Για τον έλεγχο της ευστάθειας των πρηνών επί των οποίων θεμελιώνονται τα βάθρα, υπό τη δράση των φορτίων της γέφυρας, και τον υπολογισμό ελατηριακών σταθερών έγιναν αναλύσεις με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα H/Y PLAXIS v.7.1 που έχει δημιουργηθεί ειδικά για την ανάλυση γεωτεχνικών προβλημάτων. Οι αναλύσεις έγιναν σε δύο διαστάσεις με υπόθεση επίπεδης παραμόρφωσης (plane strain). Τα βάθρα, τα φρέατα θεμελίωσης και το έδαφος θεμελίωσης είναι εξόχως τρισδιάστατα. Για την μετατροπή και έλεγχο του τρισδιάστατου προβλήματος σε δύο διαστάσεις έγιναν ορισμένες απλουστευτικές παραδοχές. Οι συντηρητικές αυτές παραδοχές ήταν ότι [α] στο επίπεδο ελέγχου το πάχος του φρέατος υπετέθη ίσο με την διάμετρο, δηλαδή 10 m, [β] το πλάτος του πυλώνα επί του οποίου έγινε αναγωγή των φορτίων θεωρήθηκε ότι είναι 8 m και έτσι οι δυνάμεις και ροπές εντός του επιπέδου της ανάλυσης διαιρέθηκαν διά 8 και [γ] δεν λαμβάνεται υπόψη η ευεργετική επίδραση των άκρων στην τρίτη διάσταση.

Ανά ζεύγος μεσοβάθρων εξετάστηκαν τέσσερις γεωμετρίες:

- ο Κατά μήκος του άξονα του τεχνικού στον αριστερό κλάδο
- ο Κατά μήκος του άξονα του τεχνικού στο δεξιό κλάδο
- ο Εγκάρσια προς τον άξονα της Ε.Ο.

Μελέτη και εκσκαφή των φρεάτων θεμελίωσης των μεσοβάθρων M1 της γέφυρας Βοτονοσίου

- ο Κατά μήκος της δυσμενέστερης ακτινικής διατομής του πλησιέστερου στο πρανές βάθρου.

Αναλύσεις έγιναν για τις δυσμενέστερες φορτίσεις λειτουργίας και σεισμού. Ενδεικτικά αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων στην εγκάρσια τομή των φρεάτων καθώς και στη δυσμενέστερη διατομή του φρέατος στο απότομο πρανές παρουσιάζονται στα Σχήματα 4 & 5. Ελέγχθηκαν οι προκαλούμενες μετακινήσεις καθώς και ο συντελεστής ασφαλείας έναντι αστοχίας του φρέατος. Ο συντελεστής ασφαλείας στο PLAXIS υπολογίζεται ως ο λόγος της υπάρχουσας διατμητικής αντοχής προς την διατμητική αντοχή που δίδει αστοχία ($FS = 1.0$). Αυτό επιτυγχάνεται με σταδιακή μείωση των δύο συντελεστών της διατμητικής αντοχής c και $\tan\phi$ έως ότου δημιουργηθεί αστοχία, ανιχνεύοντας παράλληλα τις μετακινήσεις ορισμένων κρισίμων σημείων του φορέα ώστε να ελέγχεται η γενική ευστάθεια της κατασκευής και όχι αυτή κάποιου επουσιώδους στοιχείου (π.χ. ενός μικρού απότομου αναβαθμού).

Οι συντελεστές ασφαλείας για τη δυσμενέστερη ακτινική διατομή R5 του φρέατος M1α (Σχήμα 2) με τις δυσμενέστερες φορτίσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.

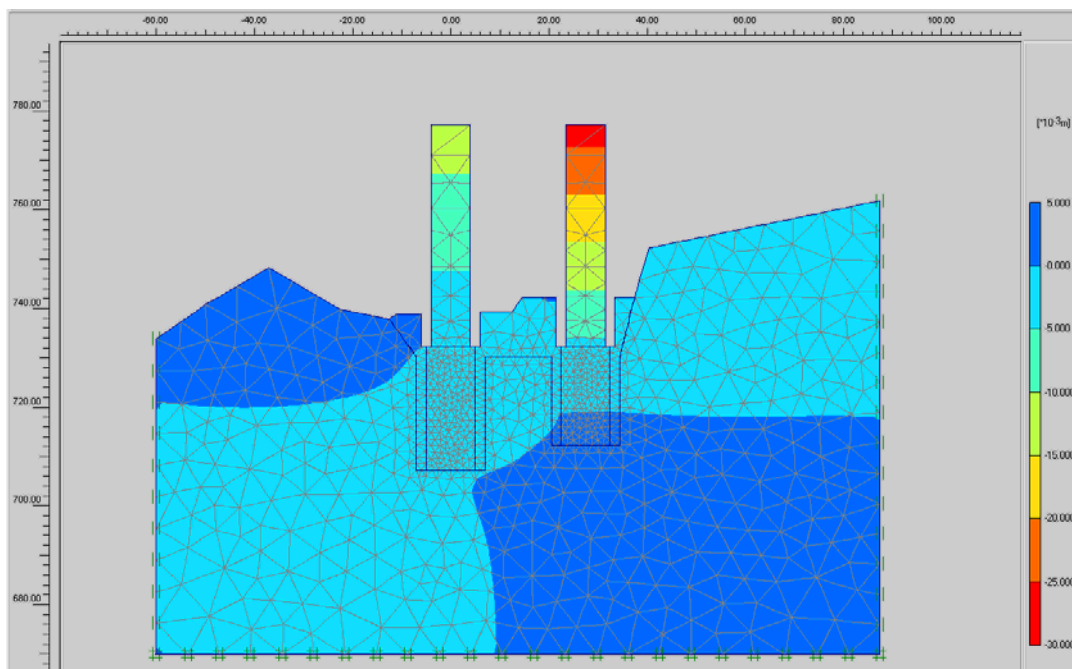
Πίνακας 6: Συντελεστές ασφαλείας φρεάτων με το PLAXIS v.7.1

Φρέαρ M1α	Κατάσταση λειτουργίας	Συντελεστής ασφαλείας			
		Θερμοκρασιακές μεταβολές		Σεισμός	
		Κάτω όριο	Άνω όριο	Κάτω όριο	Άνω όριο
Διατομή R5	Ευνοϊκή φόρτιση	2.36	3.36	1.59	2.27

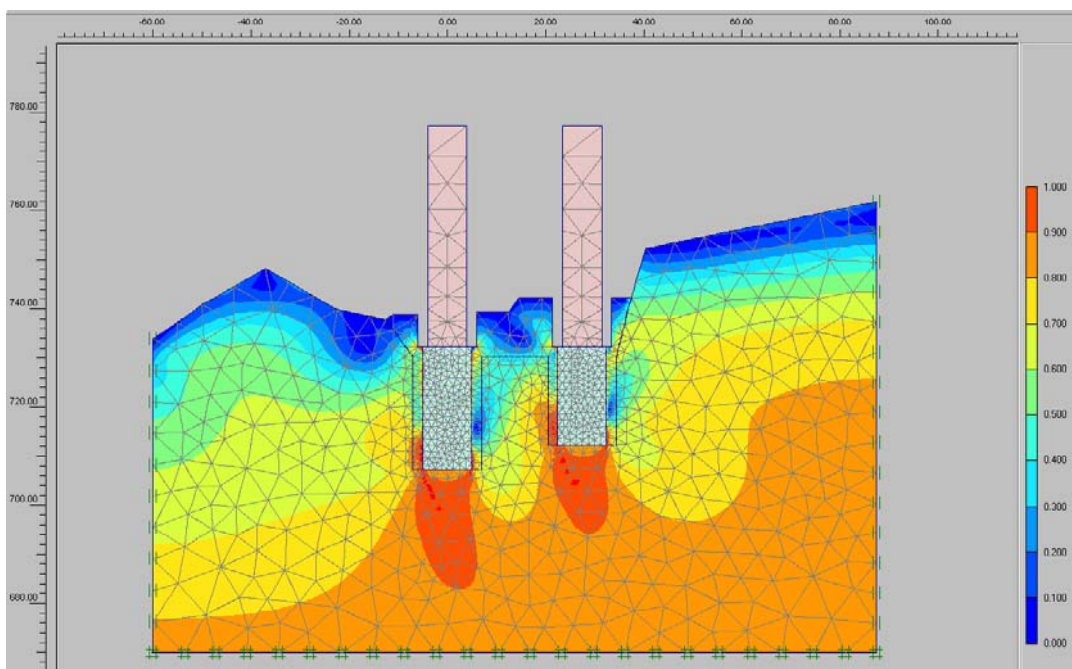
Έγινε επίσης ένας μεγάλος αριθμός αναλύσεων με στόχο την εκτίμηση των αναμενόμενων μετακινήσεων στις κεφαλές των βάθρων. Οι μετακινήσεις και στροφές που υπολογίσθηκαν παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 7. Επειδή οι υπολογισθείσες μετακινήσεις ήταν πολύ μικρές με τα φορτία λειτουργίας εξετάσθηκε ως ακραία περίπτωση μόνον η περίπτωση της σεισμικής φόρτισης. Έτσι έγιναν 18 συνολικά αναλύσεις ανά ζεύγος μεσοβάθρων ως ακολούθως:

- Εγκάρσια στον άξονα του τεχνικού (Y-Y) με το άνω όριο και με το κάτω όριο των παραμέτρων εδάφους.
- Για το βάθρο του αριστερού κλάδου κατά X-X με το άνω και κάτω όριο των παραμέτρων.
- Για το βάθρο του δεξιού κλάδου κατά X-X με το άνω και κάτω όριο των παραμέτρων.
- Όλες οι αναλύσεις έγιναν αρχικά με την υπόθεση ότι το έδαφος είναι ουδέτερο, δηλαδή δεν εφαρμόσθηκε στο έδαφος σεισμικός συντελεστής. Στη συνέχεια επαναλήφθηκαν με σεισμικούς συντελεστές για δύο περιπτώσεις: α) με κατακόρυφη σεισμική συνιστώσα προς τα άνω και (β) προς τα κάτω. Η οριζόντια συνιστώσα ελήφθη πάντα με κατεύθυνση προς το πρανές.

Μελέτη και εκσκαφή των φρεάτων θεμελίωσης των μεσοβάθρων M1 της γέφυρας Βοτονοσίου



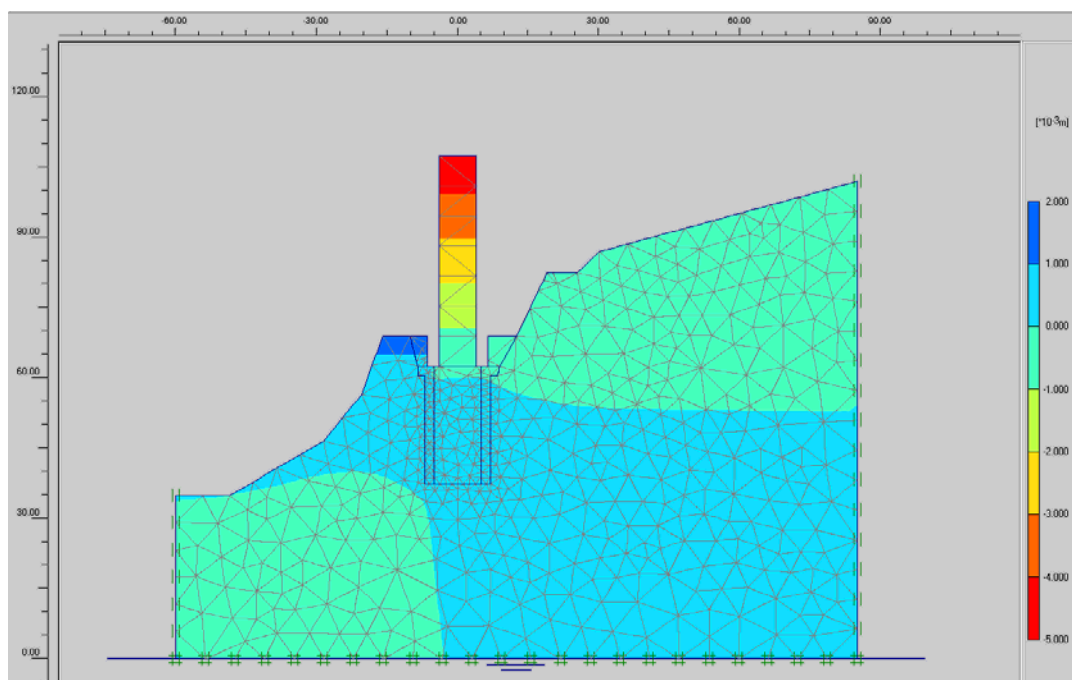
(α)



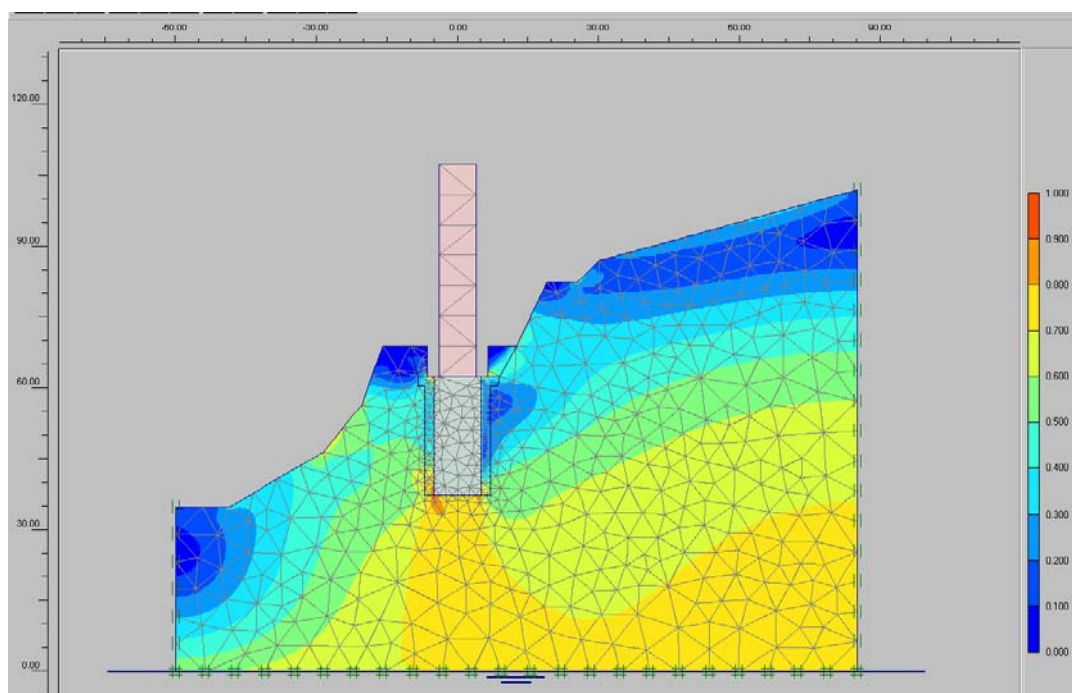
(β)

Σχήμα 4: Αριθμητικές αναλύσεις με το πρόγραμμα PLAXIS σε εγκάρσια τομή των μεσοβάθρων M1. α) Ισοτιμές οριζοντίων μετακινήσεων και β) Ισοτιμές σχετικών διατμητικών τάσεων (relative shear stresses)

Μελέτη και εκσκαφή των φρεάτων θεμελίωσης των μεσοβάθρων Μ1 της γέφυρας Βοτονοσίου



(α)



(β)

Σχήμα 5: Αριθμητικές αναλύσεις με το πρόγραμμα PLAXIS στη δυσμενέστερη τομή του μεσοβάθρου Μ1α. α) Ισοτιμές οριζοντίων μετακινήσεων και β) Ισοτιμές σχετικών διατμητικών τάσεων (relative shear stresses)

Μελέτη και εκσκαφή των φρεάτων θεμελίωσης των μεσοβάθρων Μ1 της γέφυρας Βοτονοσίου
Πίνακας 7: Προκαλούμενες μετακινήσεις λόγω επιβολής φορτίων γέφυρας

Φρέαρ	Παράμετροι εδάφους	Σεισμικοί συντελεστές εντός του εδάφους	Κατακόρυφη υποχώρηση	Πλευρική μετακίνηση	Στροφή
			(mm)	(mm)	(°)
Μ1α	άνω όριο	χωρίς σεισμό	13.78	1.43	0.0156
		με σεισμό	17.49	15.09	0.0209
	κάτω όριο	χωρίς σεισμό	4.38	0.42	0.0222
		με σεισμό	3.22	3.69	0.0113
Μ1δ	άνω όριο	χωρίς σεισμό	13.83	4.15	0.0292
		με σεισμό	18.29	15.83	0.0319
	κάτω όριο	χωρίς σεισμό	4.09	0.43	0.0226
		με σεισμό	2.71	4.06	0.0118

Για την εκτίμηση των ελατηριακών σταθερών έγινε νέα σειρά αναλύσεων ανά μεσόβαθρο όπου επιβλήθηκαν μεμονωμένα κατακόρυφα φορτία, οριζόντια φορτία και ροπές. Τα φορτία που επιβλήθηκαν ήταν προσεγγιστικά ίσα με τα μεγαλύτερα φορτία που θα επιβληθούν στην θεμελίωση λόγω σεισμού. Για όλα τα φορτία πλην των ροπών εξετάστηκαν δύο ενδεχόμενα για την φόρτιση του εδάφους (α) χωρίς επιβολή ισοδύναμων σεισμικών συντελεστών και (β) με χρήση σεισμικών συντελεστών.

Στον Πίνακα 8 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα για την περίπτωση που το έδαφος είναι ουδέτερο, δηλαδή δεν επιβάλλεται σεισμικός συντελεστής.

Πίνακας 8: Ελατηριακές σταθερές, ουδέτερο έδαφος

Φρέαρ	Ελατηριακή σταθερά									
	K _x GN/m		K _y GN/m		K _z GN/m		K _{φx} GN/rad		K _{φy} GN/rad	
	άνω	κάτω	άνω	κάτω	άνω	κάτω	άνω	κάτω	άνω	κάτω
Μ1α	21.20	8.28	17.60	7.28	32.95	10.81	1369.48	960.27	1340.31	966.51
Μ1δ	24.41	9.97	19.12	7.58	31.72	10.34	1389.93	959.74	1400.94	948.45

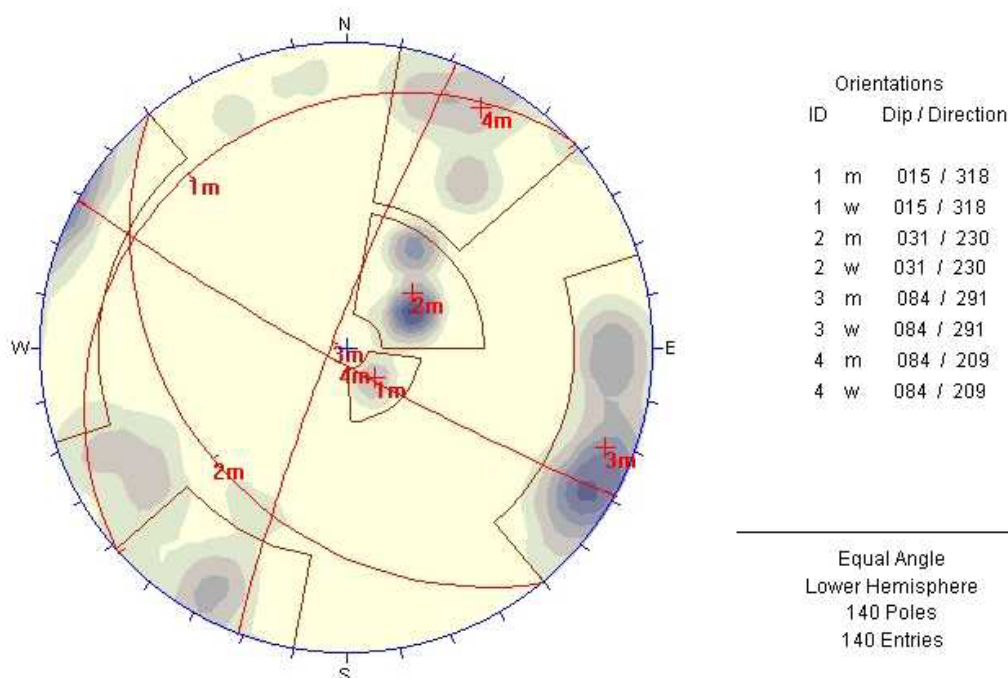
5. ΕΚΣΚΑΦΗ ΦΡΕΑΤΩΝ

5.1 ΜΕΛΕΤΗ

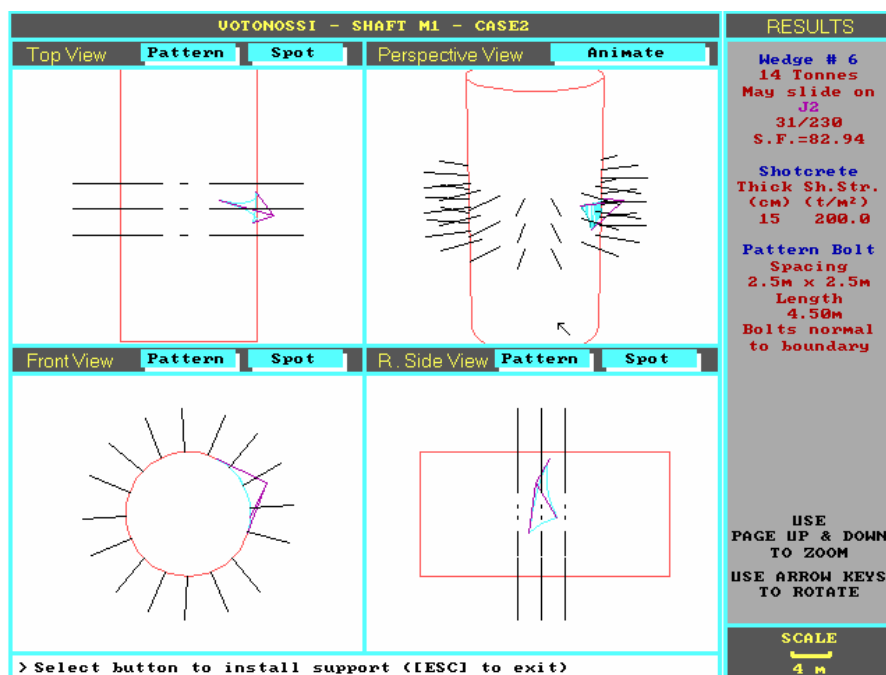
Για τη μελέτη εκσκαφής χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία δομής της βραχομάζας του Κεφαλαίου 2 και τα γεωτεχνικά στοιχεία που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 3. Η ευστάθεια των τοιχωμάτων των φρεάτων ελέγχθηκε με δύο τρόπους που αντιμετώπισαν δύο διαφορετικούς μηχανισμούς πιθανών αστοχιών. Ο πρώτος εξέτασε την βραχομάζα ως συνεχές μέσο ενώ ο δεύτερος ως ένα υλικό που διακόπτεται από τις οικογένειες των ασυνεχειών.

Το κάτω πιθανό όριο της αντοχής της βραχομάζας είναι περίπου ίσο με το μέγιστο κατακόρυφο φορτίο που αναπτύσσεται στο βάθος των φρεάτων. Έτσι σύμφωνα με θεωρητικές και εμπειρικές προσεγγίσεις (π.χ. , Hoek, 1999) τα τοιχώματα των φρεάτων θα παρουσιάσουν μικρή σύγκλιση και θα ισορροπήσουν.

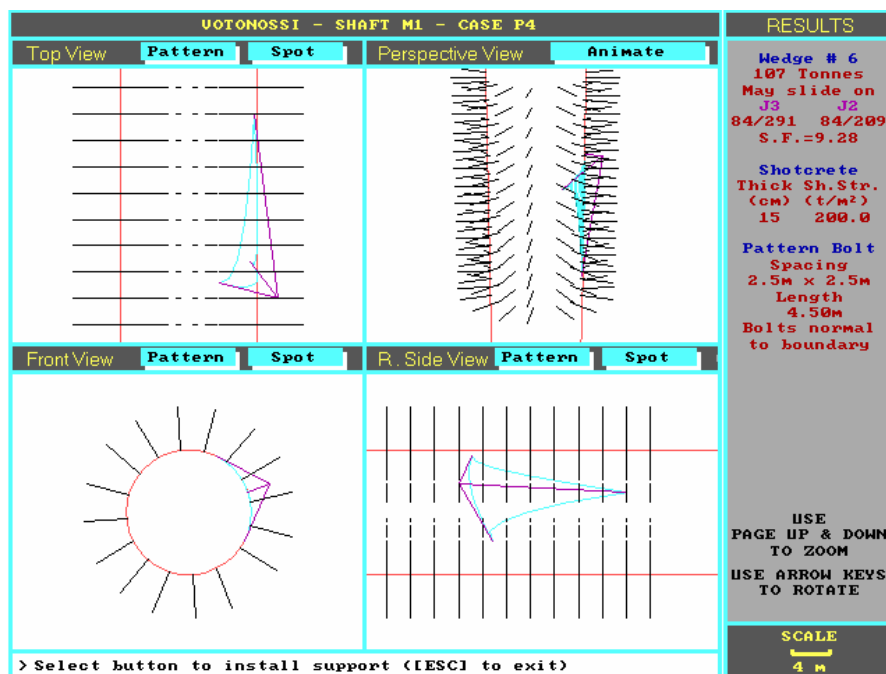
Έτσι ο κρίσιμος μηχανισμός είναι αυτός της δημιουργίας σφηνών. Ενδεικτική επεξεργασία των δεδομένων των ασυνεχειών με το πρόγραμμα DIPS παρουσιάζεται στο Σχήμα 6, από όπου προέκυψαν οι βασικές επιφάνειες αδυναμίας (στρώση B και τρεις οικογένειες ασυνεχειών J1, J2 και J3) που παρουσιάστηκαν και στο Κεφάλαιο 2. Η δημιουργία σφηνών και τα απαιτούμενα μέτρα σταθεροποίησης εξετάστηκαν με το πρόγραμμα UNWEDGE του Rock Engineering Group. Επειδή το UNWEDGE επεξεργάζεται μόνο τρία επίπεδα αδυναμίας κάθε φορά, ενώ στην περίπτωση μας υπάρχουν τέσσερα, έγιναν τέσσερις αναλύσεις για όλους τους συνδυασμούς των επιπέδων. Εξετάστηκαν χωριστά τα προ-φρέατα με διάμετρο 13m και τα



Σχήμα 6: Στερεογραφική προβολή στρώσεων και ασυνεχειών στη θέση των μεσοβάθρων M1.

Μελέτη και εκσκαφή των φρεάτων θεμελίωσης των μεσοβάθρων M1 της γέφυρας Βοτονοσίου


(α) Προ-φρέατα (d=13m), Συνδυασμός B-J1-J3



(β) Προ-φρέατα (d=13m), Συνδυασμός J1-J2-J3

Σχήμα 7: Τυπικά αποτελέσματα προγράμματος H/Y UNWEDGE

Μελέτη και εκσκαφή των φρεάτων θεμελίωσης των μεσοβάθρων M1 της γέφυρας Βοτονοσίου

κυρίως φρέατα με διάμετρο 10.3m. Ο Πίνακας 9 παρουσιάζει συνοπτικά τις διάφορες αναλύσεις. Είναι εμφανές ότι χωρίς μέτρα υποστήριξης ολισθαίνουν πολλές σφήνες. Στο Σχήμα 7 παρουσιάζονται ενδεικτικώς οι δημιουργούμενες σφήνες για συνδυασμούς B-J1-J3 και J1-J2-J3. Τα μέτρα προστασίας που σχεδιάστηκαν για την άμεση υποστήριξη των παρειών των φρεάτων M1 ήταν τα ακόλουθα:

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε δύο στρώσεις συνολικού πάχους 15 cm
- Δομικό πλέγμα T131
- Αγκύρια πλήρους πάκτωσης Φ25, S500, 16 τεμάχια ανά βήμα 2.5 m.

Πίνακας 9: Μεσόβαθρα M1 – Αποτελέσματα αναλύσεων UNWEDGE

Συνδυασμός επιπέδων αδυναμίας	Διάμετρος φρέατος (m)	Δυσμενέστερη σφήνα	Συντελεστής ασφαλείας		Παρατηρήσεις
			Χωρίς μέτρα	Με μέτρα υποστήριξης	
B-J1-J2	13	#1	1.23	1.49	Μη πιθανή
B-J2-J3	13	#6	0.09	11.27	
B-J1-J3	13	#6	0.78	82.88	
J1-J2-J3	13	#6	0.09	9.6	
B-J1-J2	10.5	#1	1.23	1.63	Μη πιθανή
B-J2-J3	10.5	#6	0.09	17.35	
B-J1-J3	10.5	#6	0.78	123.47	
J1-J2-J3	10.5	#6	0.09	13.99	

Η εκσκαφή των φρεάτων προβλέφθηκε να γίνει με ελεγχόμενες ανατινάξεις έτσι ώστε να προκληθεί η μικρότερη δυνατή διαταραχή στην περιβάλλουσα βραχομάζα και ειδικότερα στα φρέατα που βρίσκονται πολύ κοντά στα πρανή. Η προβλεπόμενη μέθοδος ήταν αυτή της απαλής μετάτμησης (smooth blasting) με μικρό κάθε φορά βάθος διάτρησης και ανατίναξης. Η μέθοδος αυτή προβλέπει αρχικά την δημιουργία μικρού κώνου στο κέντρο του φρέατος και με διαδοχικές εκρήξεις την χαλάρωση του υπολοίπου φρέατος με τελευταία την ανατίναξη των διατηρημάτων στην περίμετρο.

5.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Κατά τη διάρκεια της κατασκευής έγινε λεπτομερής καταγραφή της γεωλογικής δομής των παρειών των φρεάτων. Τα γεωλογικά δεδομένα που συλλέχθηκαν βρίσκονται σε συμφωνία με τις υποθέσεις της μελέτης και με τα ευρήματα των ερευνητικών γεωτρήσεων. Ο φλύσχος στα μεσόβαθρα δομείται από ψαμμίτες και ιλυόλιθους. Οι ψαμμίτες αποτελούν τον κυρίαρχο λιθολογικό σχηματισμό και εμφανίζονται μεσο-παχυστρωματώδεις, ενώ οι ιλυόλιθοι παρουσιάζουν λεπτοστρωματώδη εσωτερική δομή και παρεμβάλλονται είτε με τη μορφή λεπτών ενδιαστρώσεων είτε παχύτερων οριζόντων. Από τον τρόπο κυρίως που εναλλάσσονται οι παραπάνω λιθολογίες (πάχος και συχνότητα εναλλαγών) πραγματοποιήθηκε διαχωρισμός των πετρωμάτων στους γεωλογικούς σχηματισμούς Α έως Ε που παρουσιάζονται στα Σχήματα 8 & 9.

Οι σχηματισμοί παρουσιάζουν γενική διεύθυνση κλίσεως προς ΒΒΔ (330-020°) με κλίσεις 8-14° (μέση τιμή 11°/345°) επιτρέποντας την παρατήρησή τους και στα δύο φρέατα (εκτός του σχηματισμού Δ) γεγονός που υποδηλώνει τη μεγάλη πλευρική τους συνέχεια (>30 m). Στο M1α

Μελέτη και εκσκαφή των φρεάτων θεμελίωσης των μεσοβάθρων Μ1 της γέφυρας Βοτονοσίου

οι σχηματισμοί συναντώνται σε χαμηλότερα επίπεδα επειδή βρίσκεται βορείως του Μ1δ. Από τις μετρήσεις επιφανείας κατά τη μελέτη είχαν υποτεθεί για τη στρώση 15°/318°, που βρίσκεται σε πολύ καλή συμφωνία με την πραγματικότητα. Οι αναλύσεις για την ευστάθεια των φρεάτων με το μοντέλο οριακής ισορροπίας επαναλήφθηκαν με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Κατά τη διάνοιξη δεν παρατηρήθηκε σημαντική παρουσία νερού παρά μόνο υγρασία που εντεινόταν κατά τις βροχοπτώσεις.

Βάσει της αποτύπωσης, ο επικρατέστερος γεωλογικός σχηματισμός που συναντήθηκε ήταν ο ψαμμίτης σε ποσοστό 70% περίπου και κατηγορίας GSI 37 έως 55, ο ιλυολίθος σε ποσοστό 15% περίπου και εύρους διακύμανσης GSI από 27 έως 37 και οι εναλλαγές σε ποσοστό επίσης περίπου 15% και GSI από 35 έως 43. Η συνολική εικόνα της βραχομάζας κυμαίνεται μεταξύ των κατηγοριών Β και C (τιμές GSI από 40 έως 50) σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση των Hoek & Marinos (2000). Υιοθετώντας μια μείωση των τιμών σ_c και m_i για τον ψαμμίτη της τάξεως του 20% και χρησιμοποιώντας τις πλήρεις τιμές σ_c και m_i για τις εναλλαγές ιλυολίθου - ψαμμίτη, προκύπτουν οι τιμές του Πίνακα 10:

Πίνακας 10: Παράμετροι κριτηρίου Hoek – Brown από τα στοιχεία κατασκευής

Ψαμμίτης	Εναλλαγές ψαμμίτη – ιλυολίθου
$\sigma_{c \text{ ψαμ}}=48\text{Mpa}$ GSI _{ψαμ} =46 $m_{i \text{ ψαμ}}= 15$	$\sigma_{c \text{ εναλ}}=20\text{Mpa}$ GSI _{εναλ} =39 $m_{i \text{ εναλ}}= 9$

Χρησιμοποιώντας στατιστική επεξεργασία προκύπτουν οι χαρακτηριστικές τιμές $\sigma_c=39\text{Mpa}$, GSI = 43 και $m_i = 13$. Εφαρμόζοντας το κριτήριο Hoek-Brown προκύπτει για επίπεδο τάσεων 700KPa τιμή $\phi \approx 50^\circ$ και $c=430\text{KPa}$ που είναι σαφώς μεγαλύτερες από αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στη σχετική μελέτη. Τέλος, το μέτρο παραμορφωσιμότητας που προκύπτει από την εμπειρική σχέση των Hoek – Brown (1997) για $\sigma_c=39\text{MPa}$ και GSI ≈ 43 προκύπτει $E=4.16\text{GPa}$ πολύ κοντά στο άνω όριο των 4GPa που διερευνήθηκε στη μελέτη και σαφώς μεγαλύτερο από το κάτω όριο των 1.5GPa.

Στα Σχήματα 10 και 11 παρουσιάζονται η γεωμετρία των φρεάτων, όπως διανοίχτηκαν, και τα μέτρα υποστήριξης που εφαρμόστηκαν. Στην κεφαλή των προ-φρεάτων κατασκευάστηκαν περιμετρικά προστατευτικά τοιχεία ύψους 1.6m, ενώ για τη σκυροδέτηση των τοιχίων χρησιμοποιήθηκε μεταλλότυπος στην εσωτερική πλευρά, στηριγμένος σε δύο πλαίσια HEB140.

Εκτός της εφαρμογής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος και του μεταλλικού πλέγματος T131 που προβλέπονταν από τη μελέτη τοποθετήθηκαν επίσης μεταλλικά πλαίσια HEB140 συνδεδεμένα μεταξύ τους με διαδοκίδες IPB 80. Οι αποστάσεις των πλαισίων ήταν 1.2m περίπου στα προ-φρέατα και 1.7m περίπου στα κυρίως φρέατα.

Πριν τη έναρξη της εκσκαφής των προ-φρεάτων έγινε κατακόρυφη περιμετρική προ-ρηγμάτωση. Τα κυρίως φρέατα διανοίχτηκαν σε δύο στάδια, κάθε στάδιο καταλάμβανε το μισό φρέαρ. Της διάνοιξης του κάθε σταδίου προηγήθηκε περιμετρική προ-ρηγμάτωση ή περιμετρική γραμμική διάτρηση. Τα τοιχώματα του κάθε σταδίου δεν ήταν απαραίτητα κατακόρυφα όπως παρουσιάζεται στα Σχήματα 10 και 11.

Στο Σχήμα 12 παρουσιάζονται φωτογραφίες από την κατασκευή ενώ στο Σχήμα 13 παρουσιάζονται οι τελικές παρειές των ολοκληρωμένων φρεάτων.

Στα φρέατα τοποθετήθηκαν όργανα για τον έλεγχο των εσωτερικών παραμορφώσεων και τάσεων καθώς και την παρακολούθηση των εξωτερικών μετακινήσεων των βάθρων αλλά και της βραχομάζας.

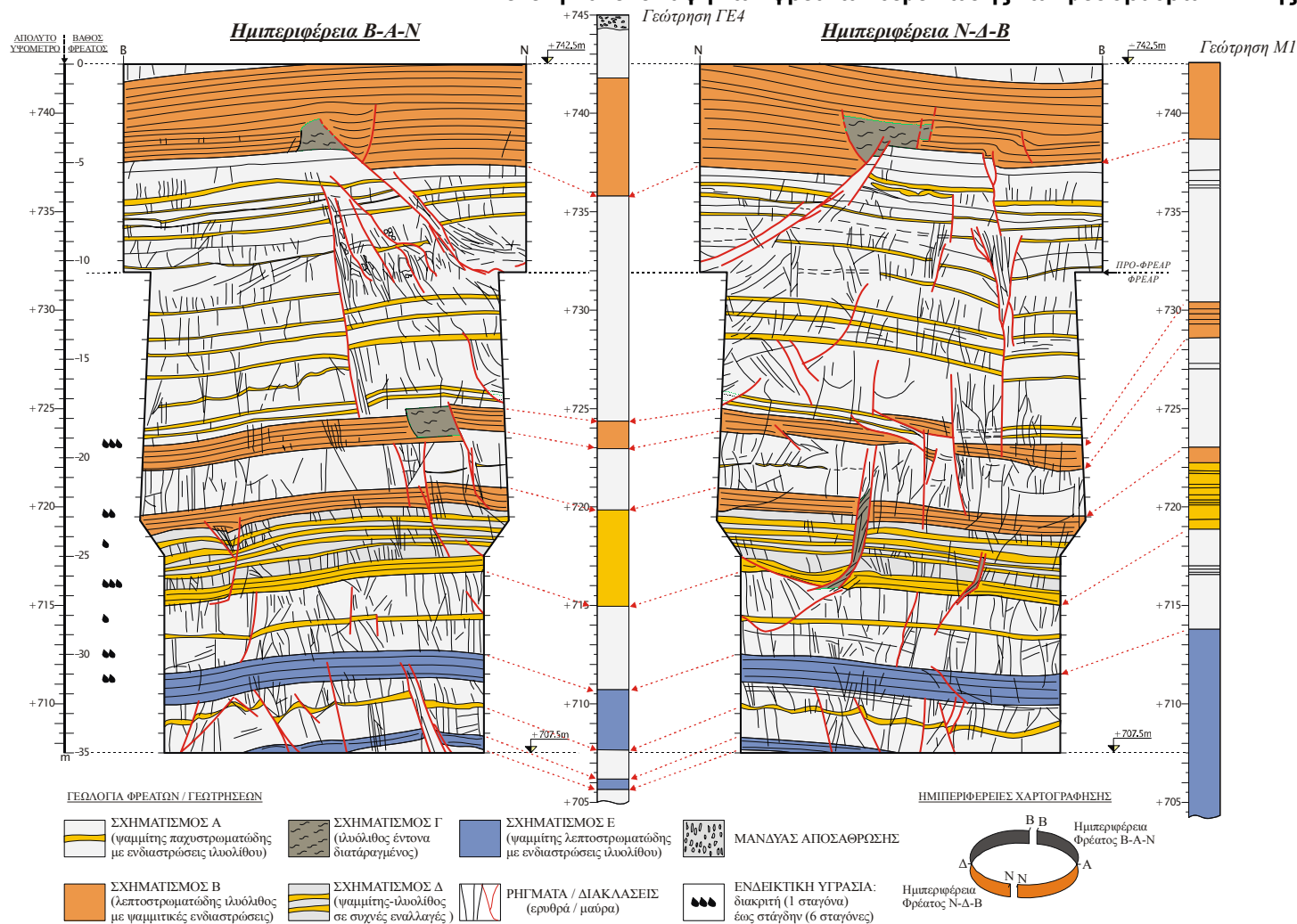
6. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η προμελέτη της γέφυρας Βοτονοσίου έγινε από τη ΔΟΜΗ ΟΕ. Η γεωλογική προμελέτη έγινε από το γραφείο Π. Πατζαρτζή. Η οριστική μελέτη της γέφυρας Βοτονοσίου έγινε από την ΔΟΜΗ Ο.Ε. με συνεργάτες για την γεωλογική και γεωτεχνική μελέτη την ΕΔΑΦΟΣ ΕΠΕ. Ο κ. U. Hegg της Lombardi Italia, ήταν σύμβουλος θεμελιώσεων. Η κατασκευή της γέφυρας πραγματοποιείται από την Κ/Ξ ΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε. – ΑΒΑΞ Α.Ε. – ΑΘΗΝΑ ΑΕΤΒ&ΤΕ – ΜΟΧΛΟΣ Α.Ε. Η συνεργασία όλων των ανωτέρω υπήρξε ιδιαίτερα επικοδομητική. Ευχαριστούμε τέλος την ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟ ΑΕ για την εμπιστοσύνη της και την επιτυχημένη συνεργασία και ιδιαίτερα το κ. Χ. Γεωργανόπουλο, Δ/ντη μελετών ΕΟΑΕ, τόσο για το αμέριστο ενδιαφέρον του για το έργο, όσο και για την επιτυχή πρωτοβουλία του να εισαγάγει το μελετητή στην κατασκευή του έργου.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bell, F.G. (1992). "Engineering in rock masses". Butterworth – Heinemann Ltd.
- Hoek, E., Kaiser, P.K. and Bawden, W.F. (1995). "Support of underground excavations in hard rock", A.A. Balkema.
- Hoek, E, Brown, E.T. (1997). "Practical estimates of rock mass strength". Int. J. Rock Mech. & Mining Sci. & Geomechanics Abstracts. 34(8), 1165-1186.
- Hoek, E. (1999) "Support of very weak rock associated with faults and shear zones", Distinguished lecture, International Symposium on Rock Support and Reinforcement Practice in Mining, Kalgoortie, Australia, 14-19 March, 1999
- Hoek, E, Marinos, P (2000). "Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses such as flysch". Tunnels & Tunneling Int. Vol. 32. No 12.
- Ladanyi, B. (1977). Discussion of "Friction and end bearing tests on bedrock for high capacity Socket design." By P. Rosenberg and N.L. Journeaux. Can. Geotech. Journal, Vol. 13
- Rosenberg P. & Journeaux N.L. (1976). Friction and end bearing tests on bedrock for high capacity Socket design. Can. Geotech. Journal, Vol. 13, 1976
- Randolph, M.F. (1981). "The response of flexible piles to lateral loading". Geotechnique, 31, 247-259.
- Wyllie D.C. (1999). Foundations on rock. 2nd Edition. E & FN Spon .

Μελέτη και εκσκαφή των φρεάτων θεμελίωσης των μεσοβάθρων M1 της γέφυρας Βοτονοσίου



Σχήμα 8: Γεωλογική αποτύπωση φρέατος M1α

Διημερίδα "ΟΙ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ"

Εισηγητής : Γ. ΝΤΟΥΝΙΑΣ, Σ. ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ

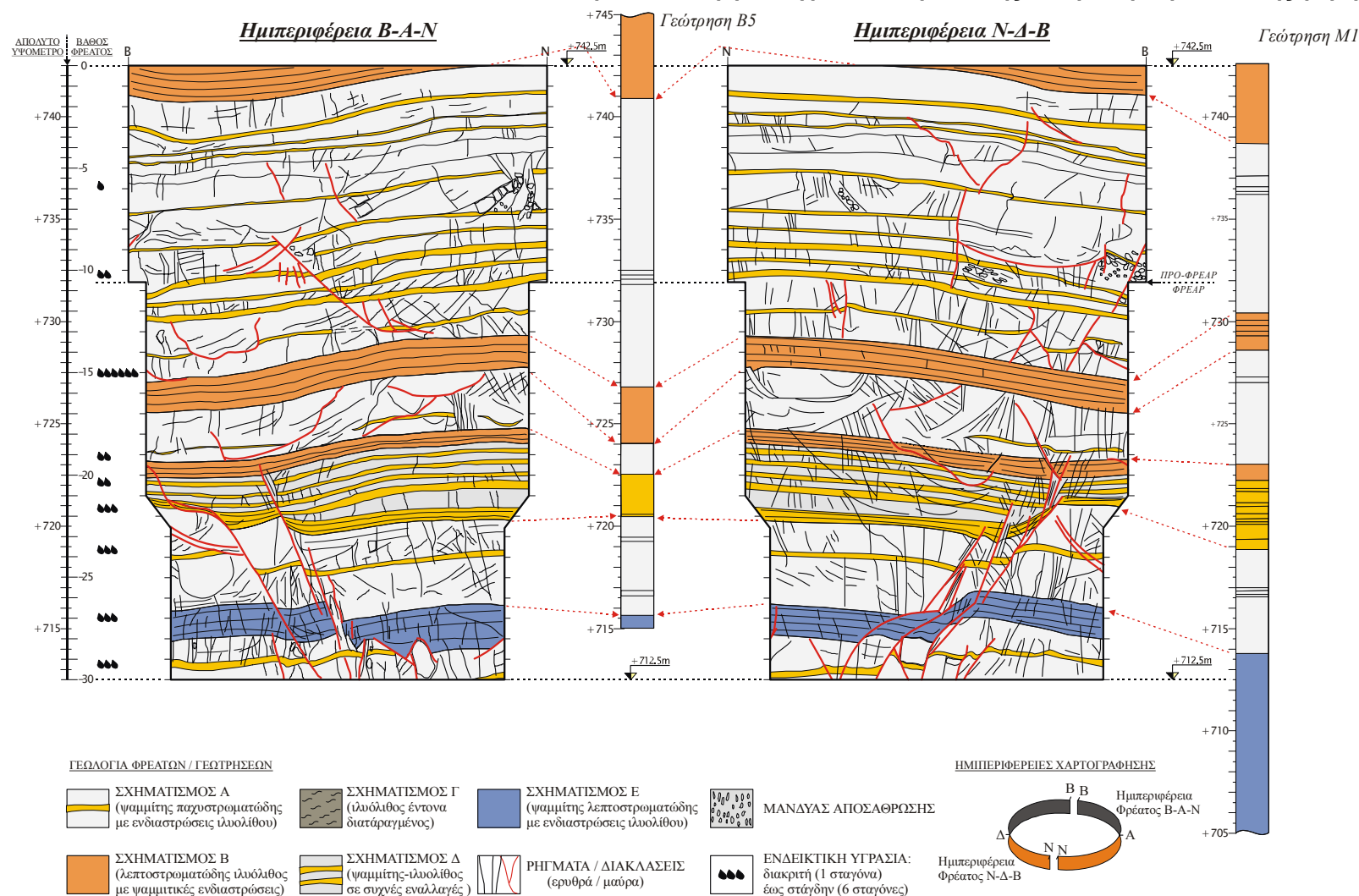
Ι. ΦΙΚΙΡΗΣ, Ε. ΛΥΜΠΕΡΗΣ

Τ. ΚΟΤΣΑΝΟΠΟΥΛΟΣ, Ε. ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ

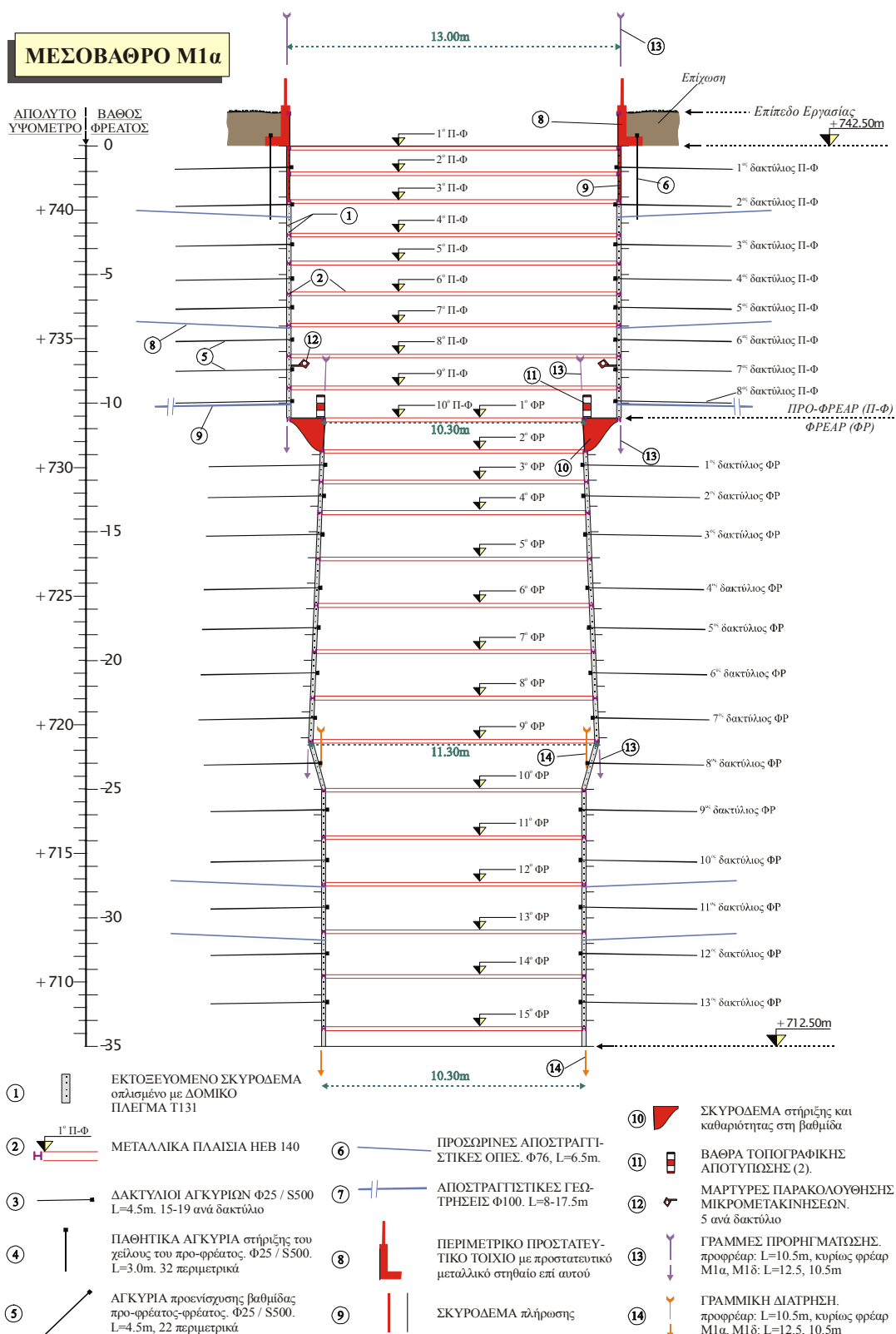
"ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ" Α.Ε. & Ε.Ε.Σ.Υ.Ε.

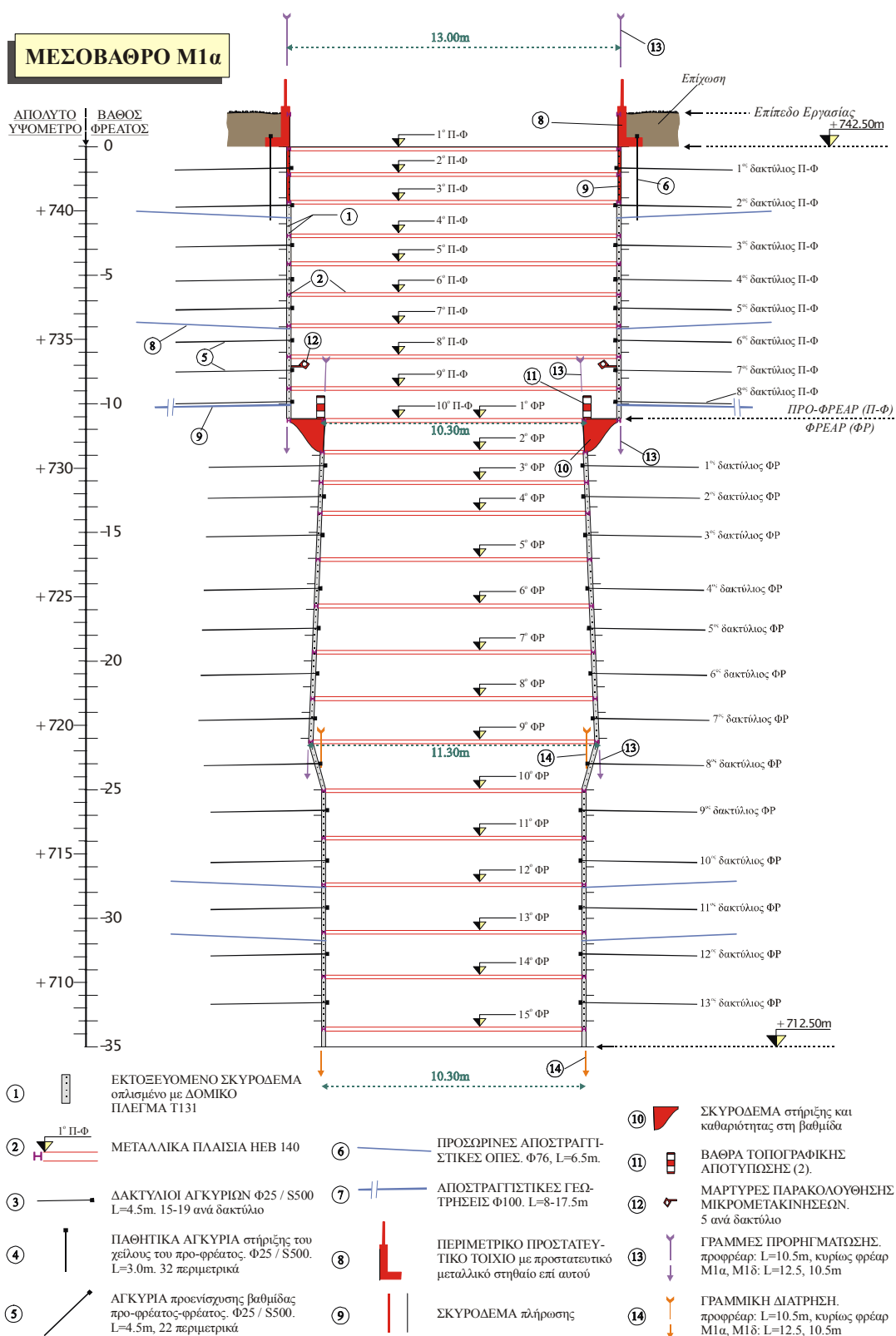
Σελίδα 19 από 24 7 & 8 Δεκεμβρίου 2001

Μελέτη και εκσκαφή των φρεάτων θεμελίωσης των μεσοβάθρων M1 της γέφυρας Βοτονοσίου



Σχήμα 9: Γεωλογική αποτύπωση φρέατος Μ1δ

Μελέτη και εκσκαφή των φρεάτων θεμελίωσης των μεσοβάθρων M1 της γέφυρας Βοτονοσίου

Σχήμα 10: Μέτρα υποστήριξης φρέατος M1α

Μελέτη και εκσκαφή των φρεάτων θεμελίωσης των μεσοβάθρων M1 της γέφυρας Βοτονοσίου


Σχήμα 11: Μέτρα υποστήριξης φρέατος M1δ

Μελέτη και εκσκαφή των φρεάτων θεμελίωσης των μεσοβάθρων Μ1 της γέφυρας Βοτονοσίου



(α) Γενική άποψη φρεάτων Μ1



(β) Τοποθέτηση ηλώσεων βράχου. Αρχικά στάδια εκσκαφής



(γ) Γενική άποψη φρεάτων Μ1



(δ) Διάτρηση και γόμωση οπών με εκρηκτικά για εκσκαφή βραχώμαζας



(ε) Δοκιμαστική εξόλκευση ηλώσεων βράχου



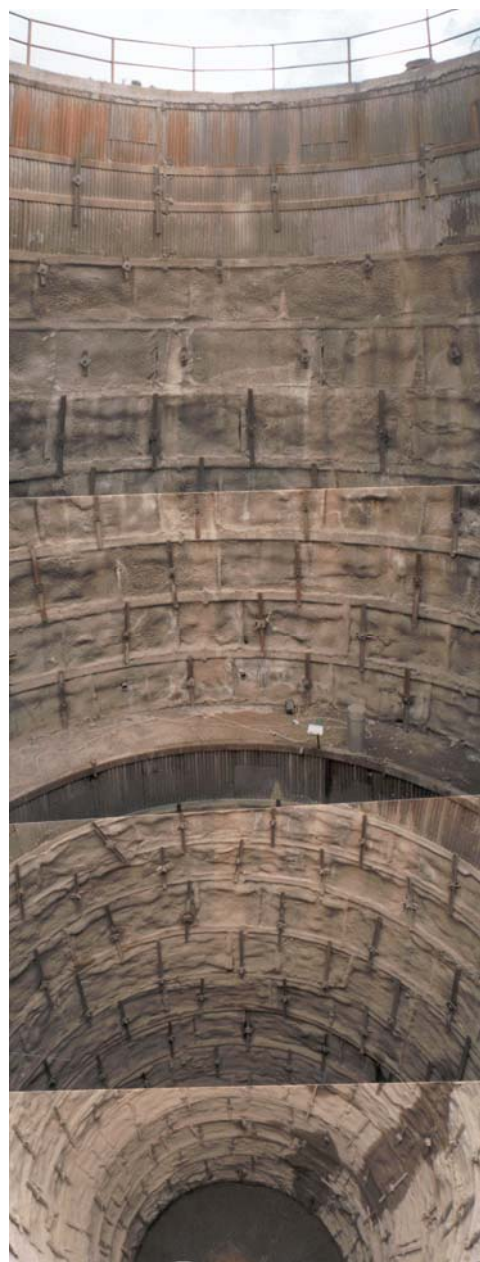
(στ) Εικόνα βραχώμαζας. Ψαμμίτης με λεπτές ενδιαστρώσεις ιλυόλιθου.

Σχήμα 12: Φωτογραφίες κατά την κατασκευή

Μελέτη και εκσκαφή των φρεάτων θεμελίωσης των μεσοβάθρων Μ1 της γέφυρας Βοτονοσίου



(α) Ολοκληρωμένο φρέαρ Μ1α



(β) Ολοκληρωμένο φρέαρ Μ1β

Σχήμα 13: Ολοκληρωμένα φρέατα