

Μελέτη και κατασκευή έργων αποπεράτωσης σιδηροδρομικής σήραγγας Μελισσίου.

Design and construction of Melissi railway tunnel remaining works.

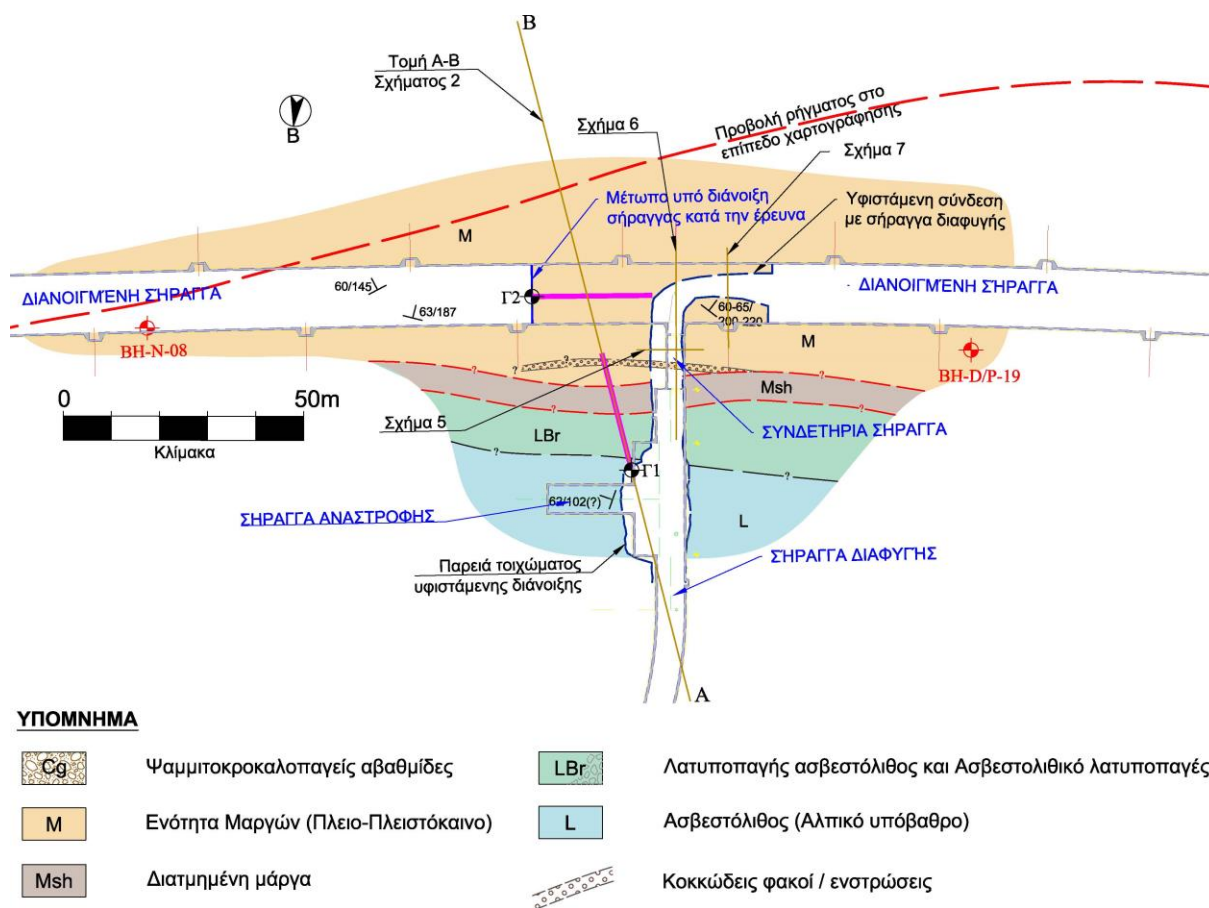
ΦΙΚΙΡΗΣ, Ι.	Πολιτικός Μηχανικός, MSc, DIC, ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε.
ΓΚΙΚΑΣ, Β.	Μεταλλειολόγος Μηχανικός MSc, ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε., Υ.Δ. Ε.Μ.Π.
ΛΥΜΠΕΡΗΣ, Ε.	Γεωλόγος, MSc, ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε.
ΚΑΡΑΓΚΙΟΥΛΕΣ, Β.	Πολιτικός Μηχανικός, ΜΕΤΚΑ Α.Ε.
ΣΟΛΩΜΟΣ, Δ.	Μεταλλειολόγος Μηχανικός, ΘΕΜΕΛΗ Α.Ε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Η σήραγγα Μελισσίου, μήκους ~1485m, θα αποτελεί τμήμα της νέας σιδηροδρομική γραμμής Κορίνθου – Πατρών. Στο αντικείμενο εργολαβίας αποπεράτωσης του έργου συμπεριλήφθηκε και η ολοκλήρωση της μη διανοιχθείσας σήραγγας, περί τη συμβολής της με τη σήραγγα διαφυγής, όπου επικρατούν μαργαίκοι σχηματισμοί σε τεκτονική επαφή με το ασβεστολιθικό υπόβαθρο. Παρουσιάζεται η μεθοδολογία διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης της σιδηροδρομικής σήραγγας στην περιοχή της συμβολής με την ήδη διανοιχθείσα σήραγγα διαφυγής που παραλήφθηκε με σημαντικές γεωμετρικές διαφοροποιήσεις ως προς την προβλεπόμενη διατομή και με σημαντική καταπόνηση των προσωρινών μέτρων υποστήριξης.

ABSTRACT : The 1485m long Melissi tunnel will be part of the new Korinthos – Patra railway line. The scope of works of a new construction contract included the completion of the tunnel excavation at the area of the junction with the escape gallery, where a marl formation dominates nearby the tectonic contact with the limestone bedrock. The excavation methodology as well as the support measures that were applied are presented, at an area where the constructed in the past escape gallery had severe geometrical deviations, with respect to the foreseen cross section, and its temporary support measures were subjected to severe stressing.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σήραγγα Μελισσίου, μήκους 1485m, βρίσκεται στον νομό Κορινθίας και θα αποτελεί τμήμα της νέας σιδηροδρομικής γραμμής υψηλών ταχυτήτων Κορίνθου - Πατρών στο τμήμα Κιάτο – Ροδοδάφνη. Η σήραγγα Μελισσίου, στο πλαίσιο παλαιάς εργολαβίας, είχε διανοιχθεί μερικώς και παρέμεινε ημιτελής για παρατεταμένο χρονικό διάστημα. Στο αντικείμενο νέας εργολαβίας αποπεράτωσης των έργων συμπεριλήφθηκε, μεταξύ άλλων και η ολοκλήρωση της σήραγγας Μελισσίου στην οποία τμήμα περίπου 15% του ολικού μήκους ήταν μη διανοιγμένο, ενώ σε τμήμα περίπου 65% του ολικού μήκους εκκρεμούσαν οι υπολειπόμενες εργασίες Β' και Γ' φάσης εκσκαφής. Το μη διανοιγμένο τμήμα της σιδηροδρομικής σήραγγας χωροθετείτο περί τη θέση της συμβολής με την προβλεπόμενη 280m μήκους σήραγγα διαφυγής η οποία είχε μεν διανοιχθεί στο παρελθόν, με σημαντικές ωστόσο γεωμετρικές διαφοροποιήσεις ως προς την προβλεπόμενη διατομή (Σχήμα 1). Οι γεωμετρικές διαφοροποιήσεις (μεγαλύτερη διατομή) που διαπιστώθηκαν περί την περιοχή της συμβολής πιθανότατα εξυπηρέτησαν την κατασκευή σε προηγούμενη εργολαβία λόγω χρήσης της σήραγγας διαφυγής ως δεύτερο μέτωπο διάνοιξης της κύριας σήραγγας. Μετά τη συμβολή και σε συνέχεια της σήραγγας διαφυγής υφίστατο διανοιγμένη μικροσήραγγα, εντός του προβλεπόμενου περιγράμματος εκσκαφών της σιδηροδρομικής σήραγγας με μικρότερη όμως διατομή εκσκαφής.



Σχήμα 1. Διάταξη σηράγγων περί τη συμβολή και γεωλογικές συνθήκες στο επίπεδο των υπογείων εκσκαφών.

Figure 1. Layout of tunnels at the junction area and geological conditions of the underground excavation level.

Το παρόν άρθρο συνοψίζει τα αποτελέσματα συμπληρωματικής γεωτεχνικής έρευνας που εκτελέστηκε στην περιοχή της συμβολής, δεδομένης της αποκαλυφθείσας ιδιαιτερότητας των τοπικών γεωλογικών / γεωτεχνικών συνθηκών (τεκτονική επαφή μαργών και ασβεστολίθων). Παρουσιάζονται επίσης τα έργα διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης για την ολοκλήρωση, “ξετρύπημα”, της σιδηροδρομικής σήραγγας και οι εφαρμοσθείσες λύσεις ενίσχυσης των σημαντικά καταπονημένων διανοιγμένων υπογείων τμημάτων περί τη συμβολή. Πληροφορίες σχετιζόμενες με στοιχεία της μελέτης και της πρώτης φάσης κατασκευής του έργου παρουσιάζονται από τους Saroglou et. al. 2011.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Η χάραξη της σιδηροδρομικής σήραγγας ακολουθεί μια γενική κατεύθυνση Α-Δ και βρίσκεται σε τμήμα όπου οριζοντιογραφικά ακολουθεί μικρή δεξιόστροφη καμπή κατά την αύξηση της χιλιομέτρησης (προς Πάτρα) διερχόμενη νοτίως του οικισμού Μελισσίου.

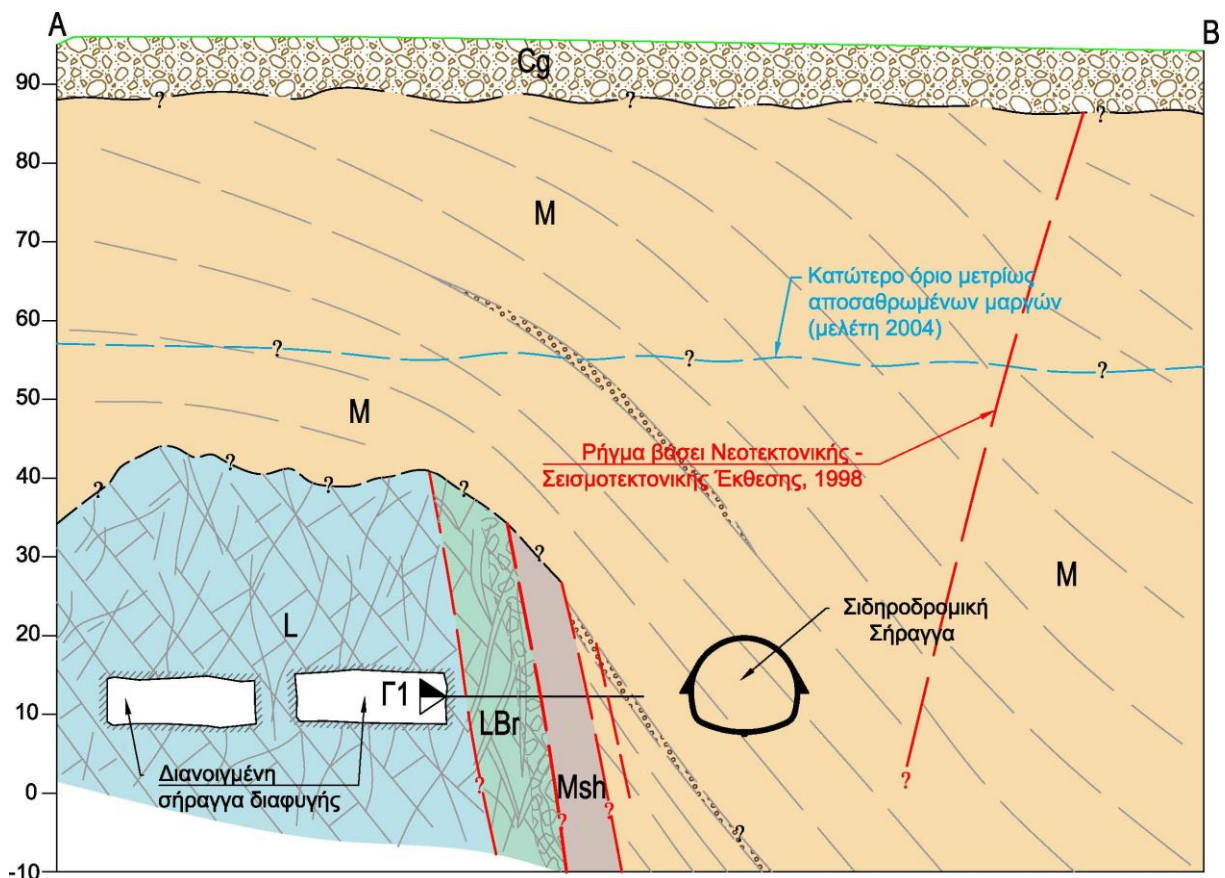
Η ευρύτερη περιοχή του έργου χωροθετείται γεωλογικά εντός μεταλπικών, νεογενών σχηματισμών που έχουν αποτεθεί στο πλαίσιο της ενεργούς νεοτεκτονικής τάφρου του Κορινθιακού κόλπου. Το αλπικό υπόβαθρο επί του οποίου έχουν αποτεθεί ασύμφωνα τα μεταλπικά ιζήματα, δομείται κυρίως από ασβεστολιθικούς σχηματισμούς της ζώνης Γαβρόβου – Τριπόλεως. Η ενότητα των μαργών εντός της σήραγγας εμφανίζεται κυρίως με τη μορφή κυανότεφρης αργιλόμαργας έως ιλυόμαργας, υγιούς – ελαφρά αποσαθρωμένης, ημιβραχώδους δομής, χαμηλής – πολύ χαμηλής αντοχής, με σαφή στρωμάτωση, ελαφρά έως μέτρια κερματισμένη και τοπικά πολύ κερματισμένη. Περιέχει ενστρώσεις εδαφικής αργιλόμαργας αλλά και ψαμμιτικής μάργας και ψαμμίτη με σαφή στρωμάτωση. Επίσης, παρουσιάζονται φακοί μέτρια

συνδεδεμένου / συγκολλημένου αμμοχάλικου, συχνά με μαργαϊκή θεμελιώδη μάζα. Η στρώση κλίνει προς NNA-NNΔ με κλίσεις περί τις 60° και οι ασυνέχειες είναι μικρής - μέσης πυκνότητας, μεγάλης εμμοής, κλειστές, χωρίς πληρώσεις ή με λεπτό υμένα αργιλοαμμώδη, λείες και ενίοτε ολισθηρές με γραμμώσεις (JRC 4-8). Η ενότητα χαρακτηρίζεται ως μαλακός βράχος, με σαφή ανάπτυξη ανισοτροπίας κατά μήκος της στρώσης και παρεμβολή οριζόντων με ασθενέστερα ή και καλύτερα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά.

Το γενικό περιβάλλον της σήραγγας, όντας εντός των μαργαϊκών σχηματισμών, ήταν πολύ μικρής υδροπερατότητας έως πρακτικά αδιαπέρατο. Ωστόσο, σε θέσεις στις οποίες επικρατούσαν πιο αδρόκοκκοι οριζόντες (αμμώδεις, αμμοχαλικώδεις ή ψαμμιτικοί) ή εμφανίζονταν ζώνες διαρρήξεων παρατηρήθηκαν εισροές υδάτων, συνήθως πολύ περιορισμένες, αλλά και ορισμένες τοπικά σημαντικές. Περί τη θέση της συμπληρωματικής γεωτεχνικής έρευνας τα νερά που χρησιμοποιήθηκαν για την προχώρηση της μιας γεωτρήσεως απορροφούνταν (χάνονταν) στην οριζόντια οπή κατά τη διάτρηση του ασβεστολιθικού λατυποπαγούς, ενώ εντός των μαργαϊκών σχηματισμών επέστρεφαν στην κεφαλή της οπής της διάτρησης.

3. ΤΟΠΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΣΥΜΒΟΛΗΣ - ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΡΟΣΩΡΙΝΩΝ ΕΡΓΩΝ

Κατά την επανέναρξη των εργασιών κατασκευής του έργου, μέσω νέας εργολαβίας, διαπιστώθηκε ότι στο χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από τη διακοπή του έργου επιβαρύνθηκαν σημαντικά τμήματα της προσωρινής επένδυσης της διανοιχθείσας σήραγγας, τα οποία βεβαίως σε πολλές περιπτώσεις είχαν ξεπεράσει το χρονικό περιθώριο διάρκειας ζωής που, συνήθως, μελετώνται για να λειτουργούν. Πιο συγκεκριμένα, διαπιστώθηκαν τμήματα της κύριας σήραγγας στα οποία είχαν εκδηλωθεί σημαντικές συγκλίσεις και που απαιτήσαν εκτέλεση εργασιών αποκατάστασης των γεωμετρικών αποκλίσεων του εσωραχίου της προσωρινής υποστήριξης (remining), περιοχές όπου τμήματα της οροφής της διατομής είχαν ή βρίσκονταν υπό συνθήκες κατάρρευσης (καταπτώσεις τύπου καμινάδας) και τμήματα όπου τα



Σχήμα 2. Γεωλογική τομή στην περιοχή της συμβολής σιδηροδρομικής σήραγγας & διαφυγής
Figure 2. Geological cross section at the junction of the railway and escape tunnels.

μέτρα προσωρινής υποστήριξης διατηρούσαν την απαιτούμενη γεωμετρία εκσκαφής, ήταν όμως υπό συνθήκες αυξημένης καταπόνησης. Στην τελευταία κατηγορία ανήκει και η περιοχή της διανοιχθείσας σήραγγας διαφυγής περί τη συμβολή με την μη διανοιχθείσα σιδηροδρομική σήραγγα όπου διαπιστώθηκαν εκτεταμένες ρωγματώσεων στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και στρεβλώσεις στις χαλύβδινες δικτυωτές διατομές.

Η διαμορφωθείσα κατάσταση στις θέσεις των σημαντικών παραμορφώσεων εντός της σήραγγας παραπέμπουν σε συνθήκες φαινομένου σύνθλιψης που εκδηλώνεται κατόπιν της υπερφόρτισης των προσωρινών μέτρων υποστήριξης από διατμητικές αστοχίες αναπτυσσόμενες σε σχετικά εκτεταμένη ζώνη περιμετρικά της διάνοιξης. Τα δεδομένα αυτά επιβεβαιώνουν και εμπειρικές προτάσεις της βιβλιογραφίας (Barla 2002, Hoek & Marinos 2000) καθώς ο λόγος αντοχής βραχόμαζας προς επιτόπου τάσεις (σ_{cm}/p_o) μπορεί να είναι και μικρότερος του 0.3 στις περιοχές υψηλών υπερκειμένων (της τάξεως των 80m) και όπου η αντοχή των μαργών δεν ξεπερνά τα 400kPa.

Ειδικά στην περιοχή της συμβολής των σήραγγων, όπου και επικεντρώνεται το παρόν άρθρο, πέραν της καταπόνησης των μέτρων προσωρινής υποστήριξης διαπιστώθηκε ότι οι επιτόπου εδαφικές συνθήκες διαφοροποιούνταν σε σχέση με τις παραδοχές της μελέτης, σε μια περιοχή βεβαίως όπου οι εκτελεσθείσες γεωτεχνικές έρευνες ήταν περιορισμένες. Πιο συγκεκριμένα, μόλις λίγα μέτρα προ της συμβολής, η επιτόπου χαρτογράφηση των συναντούμενων υπόγειων εδαφικών συνθηκών διαπίστωσε την παρουσία τεκτονικής επαφής των μεταλλικών μαργαϊκών σχηματισμών με το αλπικό ασβεστολιθικό υπόβαθρο (Σχέδια 1, 2). Στη δε περιοχή επαφής με το ασβεστολιθικό υπόβαθρο τα νεογενή ιζήματα εμφανίζονταν ως ασθενής αργιλομαργαϊκός ορίζοντας με λατυποπαγή / διατμημένη δομή.

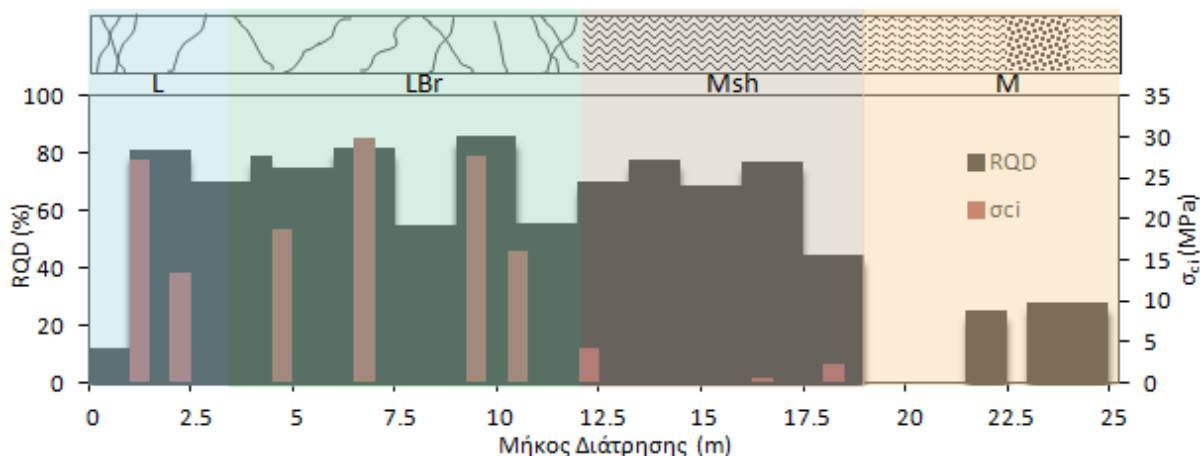
3. ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Για τη διερεύνηση των εδαφικών συνθηκών στο κρίσιμο και προς διάνοιξη υπολειπόμενο τμήμα της σιδηροδρομικής σήραγγας εκτελέσθηκαν δύο οριζόντιες δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, μήκους 25m έκαστη. Οι γεωτρήσεις διανοίχθηκαν από το μέτωπο διάνοιξης της κύριας σήραγγας και από τη διευρυμένη περιοχή της συνδετήριας σήραγγας (Σχήμα 1, 2). Από τις έρευνες προσδιορίσθηκε η στρωματογραφία της στενής περιοχής όπου το ασβεστολιθικό υπόβαθρο ήταν γενικά χαμηλής αντοχής ($\sigma_c=15-20\text{MPa}$) με τιμές RQD μεταξύ 60% και 80%. Οι μάργες ήταν πολύ χαμηλής αντοχής και στην ζώνη διάτμησης ήταν πλήρως αποδομημένες / εδαφοποιημένες, ιδιαιτερότητα που τελικώς ήταν απαραίτητο να ληφθεί υπόψη για τη μελέτη των απαιτούμενων έργων ενίσχυσης της προσωρινής υποστήριξης των ήδη διανοιχθέντος υπογείων έργων σε μια περιοχή όπου λόγω της συμβολής των σήραγγων αναπτύσσονται σημαντικές συγκεντρώσεις τάσεων.

Από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών (Σχήμα 4) και την κατάταξη της βραχόμαζας κατά GSI προέκυψε η περιβάλλουσα αστοχίας του γενικευμένου κριτηρίου Hoek -



Σχήμα 3. Άποψη μάργας σε βαθμίδα εκσκαφής & θέση εκτέλεσης οριζόντιας γεώτρησης.
Figure 3. View of the marl on an excavated bench face and location of horizontal drilling.



Σχήμα 4. Γεωτεχνικές συνθήκες στη διατρηθείσα γεώτρηση από τη σήραγγα διαφυγής (Γ1)
Figure 4. Geotechnical conditions along the borehole drilled inside the escape tunnel (G1).

Brown και το μέτρο ελαστικότητας της βραχώμαζας (Hoek et al., 2002). Μετά από προσαρμογή του γραμμικού κριτηρίου αστοχίας Mohr - Coulomb σε κατάλληλο εύρος τάσεων σύμφωνα με τη μεθοδολογία Sofianos & Nomikos (2005), προσδιορίστηκαν οι γεωτεχνικές παράμετροι σχεδιασμού (Πίνακας 1). Η επιλογή των παραμέτρων της εδαφοποιημένης φάσης της μάργας βασίσθηκε σε εργαστηριακές δοκιμές εφαρμόζοντας κριτήρια εδαφομηχανικής.

5. ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ - ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

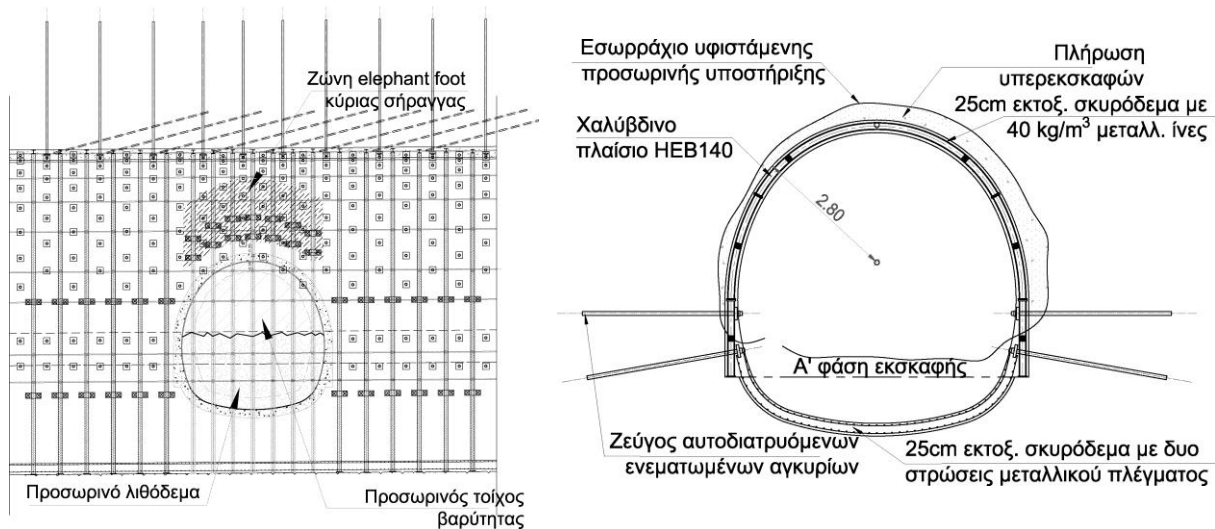
Η ιδιαιτερότητα της γεωμετρίας της υφιστάμενης κατάστασης και των εδαφικών συνθηκών αποτέλεσαν εξ αρχής μια μελετητική και κατασκευαστική πρόκληση. Είναι γνωστό ότι στις θέσεις συμβολής σήραγγων η ανακατανομή των τάσεων αποτελεί ένα τριδιάστατο πρόβλημα με σημαντικές δυσκολίες προσομοίωσης και συνεπώς επιλογής των απαιτούμενων μέτρων υποστήριξης. Στην περίπτωση της σήραγγας Μελισσιού η συγκεκριμένη ιδιαιτερότητα περιπλέκονταν περαιτέρω λόγω της παρουσίας της τεκτονικής επαφής και της εμφάνισης εδαφοποιημένης φάσης μάργας κυρίως προς τη μία παρειά της σιδηροδρομικής σήραγγας, αλλά και της απαίτησης “ξετρυπήματος” σε περιοχή όπου υφιστάμενη υπόγεια διάνοια, μικρότερου διαμέτρου, διαμορφώνει οριζοντιογραφικά στροφή περίπου 90° (Σχήμα 1).

Μελετητικά το πρόβλημα προσεγγίστηκε με σειρά παραμετρικών αριθμητικών αναλύσεων. Διερεύνηση περιπτώσεων σήραγγων σε θέσεις συμβολών παρουσιάζεται, μεταξύ άλλων, από τους Spyridis & Bergmeister (2015), που εφάρμοσαν τη μέθοδο των πεπερασμένα στοιχείων σε διασταυρώσεις σήραγγων κυκλικής διατομής εντός ελαστικού μέσου, τους Hsiao et al. (2009) που εφάρμοσαν τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών σε υπό διάφορες γωνίες διασταυρούμενες σήραγγες και για διάφορους λόγους αντοχής προς επιτόπου τάση και το Jones (2007) που εστιάζει σε διασταύρωση σήραγγας με φρέαρ.

Πίνακας 1. Γεωτεχνικές παράμετροι μελέτης έργων περί τη συμβολή των σήραγγων.

Table 1. Geotechnical design parameters for the works at the tunnels junction area.

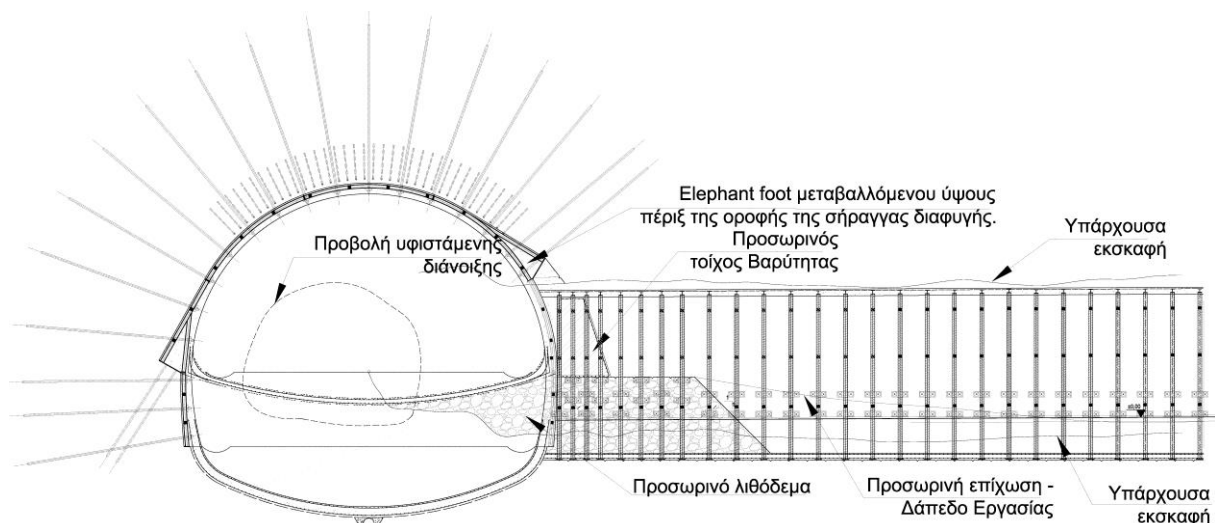
Παράμετρος	Ασβεστολιθικό λατυποπαγές	Ημιβραχώδης Μάργα	Εδαφοποιημένη Μάργα
Φαινόμενο Βάρος γ'	25.5 kN/m ³	22.5 kN/m ³	20.5 kN/m ³
Ενεργός Συνοχή c'	200 kPa	125 kPa	60 kPa
Ενεργός Γωνία Διατμητικής αντοχής φ'	40°	28°	27°
Μέτρο Ελαστικότητας (κύρια φόρτιση) E ₅₀	2500 MPa	190 MPa	70 MPa
Μέτρο Ελαστικότητας (αποφόρτιση) E _{ur}	-	570 MPa	227 MPa
Λόγος Poisson ν	0.25	0.30	0.30



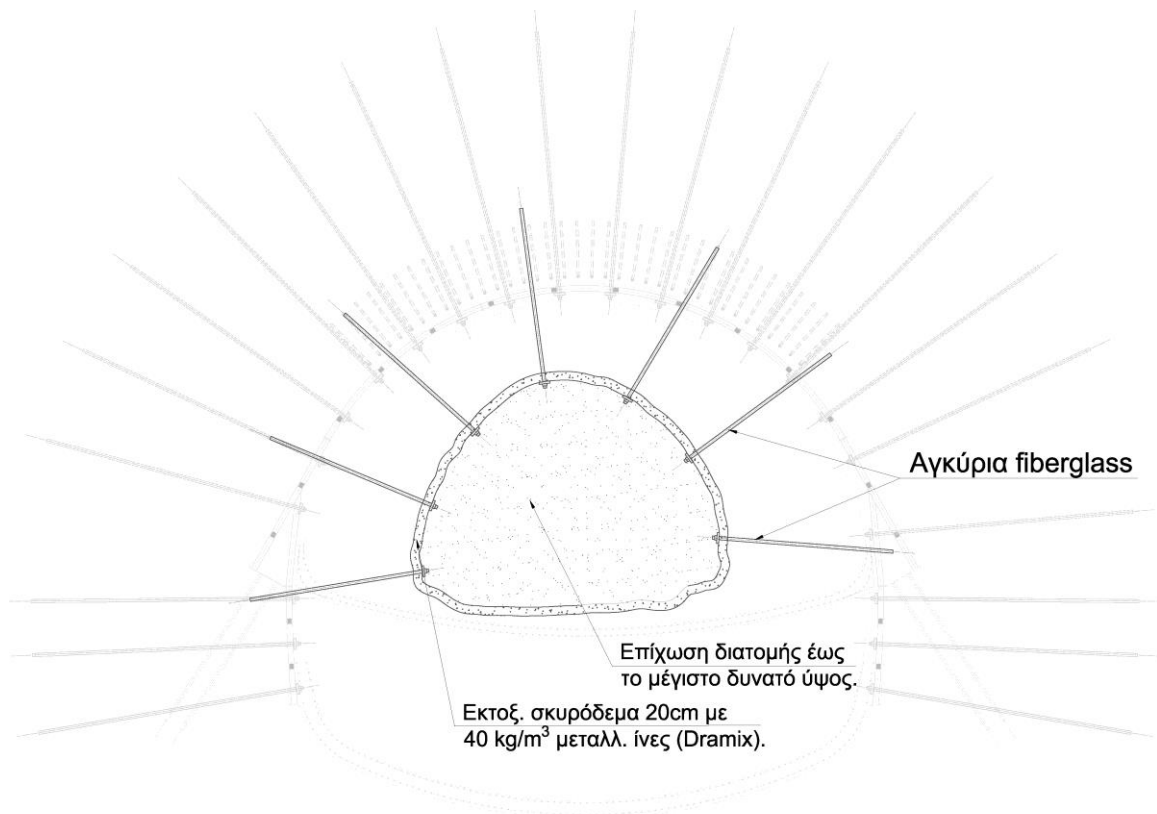
Σχήμα 5. Έργα ενίσχυσης περιοχής συμβολής & μέτρα υποστήριξης σήραγγας διαφυγής
 Figure 5. Additional support measures of junction area & escape tunnel support measures.

Τα έργα τα οποία προβλέφθηκαν συνίστατο κατ'αρχήν στην ενίσχυση των υφιστάμενων διανοίξεων τα μέτρα υποστήριξης των οποίων ήταν ήδη ιδιαίτερως καταπονημένα και θα επιβάλλονταν σε περαιτέρω ένταση κατά την προσέγγιση της διάνοιξης της σιδηροδρομικής σήραγγας. Πιο συγκεκριμένα, η σήραγγα διαφυγή σε μήκος περίπου 30m από τη συμβολή, όντας και μεγαλύτερης διατομής, ενισχύθηκε με στρώσεις εκτοξευόμενου σκυρόδεμα για την πλήρωση υπερεκκαφών και τη διαμόρφωση νέου κελύφους επένδυσης πάχους 25cm και με πλαίσια HEB 140 ανά 1.0m έως ανά 0.5m στην περιοχή άμεσης γεινίασης με τη συμβολή (Σχήματα 5 και 6). Στον πυθμένα της υφιστάμενης διάνοιξης της σήραγγας διαφυγής κατασκευάστηκε ανάστροφο τόξο που εκσκάφτηκε σε βήματα των 3.0m.

Η μικρότερης διατομής υφιστάμενη διάνοιξη εντός του περιγράμματος της σιδηροδρομικής σήραγγας (Σχήμα 7) θα υπόκειντο στην αναπόφευκτη μεταβολή των τάσεων έμπροσθεν του μετώπου εκσκαφής. Απαιτήθηκε συνεπώς, η ελαχιστοποίηση της περαιτέρω επιβάρυνση της περιβάλλουσας εδαφικής ζώνης της διάνοιξης αυτής, καθώς αυτό θα είχε αρνητική επίπτωση στην αποτελεσματικότητα των μέτρων προσωρινής υποστήριξης της κύριας σήραγγας. Έτσι πέραν της ενίσχυσης της προσωρινής υποστήριξης της υφιστάμενης διάνοιξης με στρώσεις εκτοξευόμενου σκυροδέματος (20cm) και κάνναβο 2x2m αγκυριών fiberglass (Φ.Ι. 250kN) προβλέφθηκε και επίχωση αυτής στο μέγιστο δυνατό ύψος.



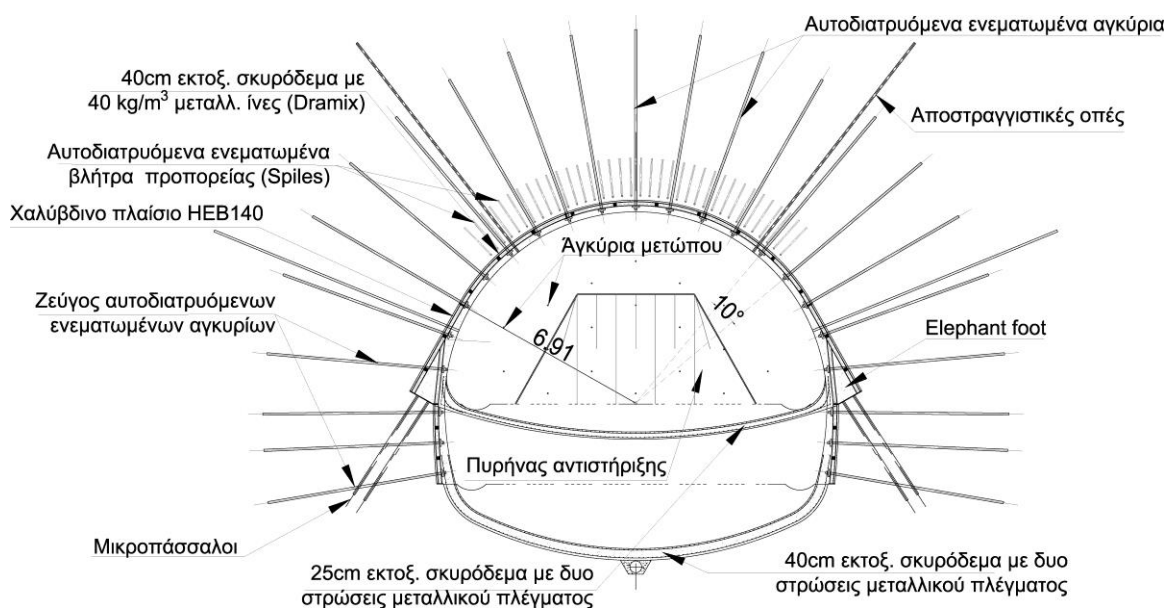
Σχήμα 6. Έργα ενίσχυσης διανοιχθείσας διατομής σήραγγας διαφυγής στη συμβολή
 Figure 6. Additional support of the excavated escape tunnel section at the junction area



Σχήμα 7. Έργα ενίσχυσης υφιστάμενης διάνοιξης εντός του περιτυπώματος της σήραγγας
 Figure 7. Additional support measures of the existing opening within the tunnel section

Εντός της σήραγγας διαφυγής κατασκευάστηκε επίσης προσωρινό έργο εξασφάλισης της διάνοιξης στην παρειάς με την κύρια σήραγγα. Συγκεκριμένα, στο κατώτερο περίπου ήμισυ της διατομής της διαφυγής, περί τη συμβολή, τοποθετήθηκε λιθόδεμα με την άνω στάθμη αυτού να οριοθετείται περί τη στάθμη του ανάστροφου τόξου της Α' φάσης της σιδηροδρομικής σήραγγας. Έτσι δόθηκε η δυνατότητα κατασκευής της πλήρους γεωμετρίας της πρώτης φάσης της σιδηροδρομικής σήραγγας. Επί του λιθοδέματος κατασκευάστηκε ακριβώς στη συμβολή τοίχος βαρύτητας (Σχήματα 5 και 6) που εξυπηρέτησε και την κατά το μέγιστο δυνατό επίχωση της υφιστάμενης διάνοιξης εντός της διατομής της σιδηροδρομικής σήραγγας.

Τέλος, σε ότι αφορά στη διάνοιξη της σιδηροδρομικής σήραγγας που ξεκίνησε με την ολοκλήρωση των ανωτέρω έργων, προβλέφθηκε εκσκαφή σε τρεις φάσεις καθ' ύψος, με ενδιάμεσα δάπεδα εργασίας, όπως συνίσταται σε περιπτώσεις περιβάλλοντος υπό δυνάμει συνθήκες σύνθλιψης (Κοναρί 1998). Η εκσκαφή της πρώτης φάσης που προέβλεπε και προσωρινό ανάστροφο τόξο (πάχους 25cm με δύο στρώσεις δομικού πλέγματος) που ολοκληρωνόταν 4m πίσω από το μέτωπο της εκσκαφής, έγινε σε βήματα του 1.0m, που πύκνωσαν εντός της συμβολής σε 0.75m. Μετά το "ξετρύπημα" ακολούθησαν οι Β' και Γ' φάση εκσκαφής με μέγιστη μεταξύ τους απόσταση 3m. Τα μέτρα άμεσης υποστήριξης περιλάμβαναν προ-υποστήριξη του θόλου (αυτόδιατρυόμενα αγκύρια $\Phi=130\text{mm}$, $L=6.0\text{m}$, $\Phi.I. 730\text{kN}$ σε ακτινική απόσταση 30cm τοποθετούμενα ανά 2.0m), αγκύρια μετώπου από υαλόνημα ($d=20\text{mm}$, $L=10.00\text{m}$, $\Phi.I. 250\text{kN}$ σε κάρναβο $1.50 \times 1.50\text{m}$) και πυρήνα αντιστήριξης. Η διατομή εκσκαφής υποστηρίχθηκε με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 40cm και χαλύβδινα πλαίσια HEB 140, ανά βήμα προχώρησης, εδραζόμενα σε διεύρυνση (elephant foot) επί μικροπασσάλων D130mm μήκους 4.0m. Τοποθετήθηκαν επίσης περιμετρικά της εκσκαφής αυτοδιατρυόμενα αγκύρια μήκους $L= 6.0\text{m}$ τοποθετημένα ανά βήμα προχώρησης πεσοειδώς σε κυκλικά τόξα των 10° . Στο μόνιμο κάτω ανάστροφο τόξο τοποθετήθηκαν 40cm εκτοξευόμενου σκυροδεματος με δύο σειρές δομικού πλέγματος. Η διεύρυνση στην περιοχή της συμβολής προβλέφθηκε σε μεταβαλλόμενο ύψος ώστε να εδραστεί στην στέψη του προσωρινού τοίχου βαρύτητας που είχε κατασκευαστεί εντός της σήραγγας διαφυγής.



Σχήμα 8. Μέτρα υποστήριξης σιδηροδρομικής σήραγγας μη διανοιγμένης περιοχής συμβολής
Figure 8. Railway tunnel support measures for the non-excavated junction area section

Οι εργασίες διάνοιξης που τελικώς ολοκληρώθηκαν επιτυχώς, παρακολουθήθηκαν κατά τη φάση της κατασκευής από δίκτυο ενοργάνωσης στο οποίο καταγράφηκαν μετακινήσεις εντός των αποδεκτών ορίων, ακόμη και κατόπιν της καθαίρεση των κρίσιμων στοιχείων υποστήριξης, όπως του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, τμημάτων των πλαισίων, του τοιχώματος και του λιθοδέματος στο τμήμα της διατομής της σήραγγας διαφυγής στη συμβολή.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε. (2016), "Σήραγγα Μελισσίου - Αναθεώρηση Οριστικής Μελέτης Διάνοιξης και Άμεσης Υποστήριξης Περιοχής Συμβολής Σιδ. Σήραγγας και Σήραγγας Διαφυγής".
- Barla, G. (2002), "Tunnelling Mechanics. Tunnelling under squeezing rock conditions", Eurosummer-Scool in Tunnels Mechanics, Innsbruck.
- Bung Beratende Ingenieure (2005), "Σήραγγα Μελισσίου - Έκθεση Μελέτης Εκσκαφής & Προσωρινής Υποστήριξης Σήραγγας Διαφυγής", εκπονήθηκε για λογαριασμό ΕΡΓΟΣΕ ΑΕ
- Bung Beratende Ingenieure (2005), "Σήραγγα Μελισσίου - Έκθεση Μελέτης Εκσκαφής & Προσωρινής Υποστήριξης Υπογείου Τμήματος", εκπονήθηκε για λογαριασμό ΕΡΓΟΣΕ ΑΕ
- Hoek, E. and, Marinos, P. (2000), "Predicting tunnel squeezing in weak heterogeneous masses", Tunnels and Tunnelling Int., Part 1-Nov. Issue, pp. 45-51; Part 2-Dec, pp. 34-36.
- Hoek E., Carrenza - Torres C. and Corkum B. (2002), "Hoek - Brown failure criterion - 2002 edition", Proceedings of the North American Rock Mechanics Society Meeting, Toronto.
- Hsiao, F.Y., Wang, C.L. and Chern, J.C. (2009), "Numerical simulation of rock deformation for support design in tunnel intersection area", Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 24, Issue 1, 2009, Pages 14-21,
- Jones B. (2007), "Stresses in sprayed concrete lined tunnel junctions", Ph.D. thesis. University of Southampton.
- Kovari K. (1998), "Tunnelbau in druckhaftem Gebirge - Tunnelling in squeezing rock", Tunnel 5, pp. 12-31.
- Saroglou, H, Niavis, D. and Kapenis A. (2011). "Tunneling in marls. The case of Melissi tunnel", Proc. 15th European Conf. on Soil Mechanics & Geotechnical Eng, Athens.
- Sofianos A.I. and Nomikos P.P. (2005), "Equivalent Mohr-Coulomb and generalized Hoek-Brown strength parameters for supported axisymmetric tunnels in plastic or brittle rock", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.
- Spyridis, P. and Bergmeister, K. (2015), "Analysis of lateral openings in tunnel linings", Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 50, Pages 376-395.