

ΔΙΗΜΕΡΙΔΑ "ΟΙ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ"

**ΣΗΡΑΓΓΑ ΑΝΗΛΙΟΥ
ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ – ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ**

**Εισηγητές: Ν. ΜΟΥΡΤΖΑΣ, Δρ. ΓΕΩΛΟΓΟΣ
Η. ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ, ΠΟΛ. ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ**

**Ιωάννινα, 15-16/10/99
"ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε."
& Ε.Ε.Σ.Υ.Ε.**

ΣΗΡΑΓΓΑ ΑΝΗΛΙΟΥ – ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ – ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η σήραγγα Ανηλίου μήκους 2.1 Km ανήκει στο τμήμα 3.3 της Εγνατίας Οδού. Προβλέπεται η κατασκευή 2 σηράγγων με κλίση 2.6%. Το γεωλογικό περιβάλλον είναι πολύπλοκο. Η γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής συγκροτείται από σχηματισμούς του φλύσχη. Κατά μήκος της σήραγγας η γεωλογική δομή χαρακτηρίζεται από πέντε κύριες επιπτώσεις που έχουν προκαλέσει τη συνολική στρέψη των σχηματισμών του φλύσχη. Οι διάφορες φάσεις των γεωλογικών μελετών και οι φάσεις των γεωφυσικών και γεωτεχνικών ερευνητικών εργασιών πεδίου, είχαν άμεση αλληλεξάρτηση για να καταστεί δυνατή η δόμηση μιας τεχνικογεωλογικής τομής στον άξονα της σήραγγας. Η κατά μήκος τομή περιγράφεται με βάση τη λιθολογία και την τεκτονική. Επίσης διαιρείται σε 6 τεχνικογεωλογικές και 10 γεωτεχνικές ενότητες με βάση τα χαρακτηριστικά της βραχομάζας. Προβλέπονται βασικά 7 κατηγορίες προσωρινών μέτρων υποστήριξης. Η πρώτη επιλογή των μέτρων υποστήριξης έγινε με βάση την αναμενόμενη σύγκλιση που υπολογίστηκε με αναλυτικές σχέσεις. Η επιλεγείσα κατηγορία μέτρων υποστήριξης με αναλυτικές σχέσεις ελέγχθηκε στη συνέχεια με αριθμητικές μεθόδους. Χρησιμοποιήθηκαν δύο προγράμματα Η/Υ (UDEEC-Version 3.00 και FLAC3D, 2.00). Στα επόμενα παρουσιάζονται συνοπτικά τα γεωλογικά- γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας και τα πορίσματα των παραπάνω αναλύσεων σε χαρακτηριστικές διατομές με διαφορετικά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Η σήραγγα Ανηλίου με μήκος 2.1 Km, διέρχεται οριζοντιογραφικά, Νότια του χωρίου Ανηλίου και ανήκει στο τμήμα 3.3. της Εγνατίας Οδού. Το Δυτικό Μέτωπο (είσοδος) βρίσκεται σε υψόμετρο +1034 m και το Ανατολικό (έξοδος) σε υψόμετρο +1089. Το μέγιστο ύψος των υπερκειμένων είναι 240m. Προβλέπεται η κατασκευή δύο σηράγγων με κλίση 2,6% περίπου. Αρχικά μελετήθηκε σαν σήραγγα μονού κλάδου διπλής κατεύθυνσης με παράλληλη κατασκευή βοηθητικής σήραγγας διαφυγής. Η απόφαση όμως να κατασκευαστεί η γέφυρα Μετσόβου με 4 λωρίδες κυκλοφορίας, οδήγησε στην ανάγκη κατασκευής δύο σηράγγων. Η τυπική διατομή των σηράγγων είναι πεταλοειδής, με διάμετρο 10.5m, ελεύθερο ύψος 7.0m στον άξονα και λωρίδες κυκλοφορίας πλάτους 3.75m.

1.2 ΕΡΕΥΝΕΣ ΠΕΔΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ

Η πολυπλοκότητα των γεωλογικών και γεωτεχνικών συνθηκών στην ευρύτερη περιοχή διέλευσης της σήραγγας, κατέστησε υποχρεωτική την αλληλεξάρτηση των διαφόρων φάσεων γεωλογικών μελετών και γεωφυσικών και γεωτεχνικών ερευνητικών εργασιών, για να διαπιστωθούν στο μέγιστο δυνατό βαθμό οι κρατούσες γεωλογικές - γεωτεχνικές συνθήκες και να απαντηθούν βασικά ερωτήματα για τη στρωματογραφική και τεκτονική δομή του χώρου.

Σήραγγα Ανηλίου - Γεωλογική δομή - Σχεδιασμός - Ανάλυση

Οι φάσεις συλλογής των πληροφοριών περιέλαβαν :

- Στάδιο αναγνωριστικής μελέτης για την επιλογή της βέλτιστης χάραξης με βάση τις τεχνικογεωλογικές συνθήκες κατά μήκος δύο διερευνουμένων χαράξεων, που περιελάμβανε γεωλογική χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:5.000, αξιολόγηση υπαρχουσών γεωτρήσεων και σύνταξη τεχνικογεωλογικών τομών.

- Στάδιο οριστικής μελέτης, που περιελάμβανε γεωλογική χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:1000, και γεωφυσικές έρευνες με σεισμικές και ηλεκτρικές διασκοπήσεις κατά μήκος του άξονα της σήραγγας. Το γεωτρητικό πρόγραμμα που επίσης έγινε σε φάσεις ανάλογα με την διαμορφούμενη εκάστοτε γεωλογική αντίληψη περί της δομής της περιοχής, περιέλαβε 15 ερευνητικές δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, που έγιναν σε επιλεγμένες θέσεις, ώστε να απαντηθούν συγκεκριμένα στρωματογραφικά και τεκτονικά ερωτήματα. Οι εκτελούμενες γεωλογικές, γεωφυσικές και διατρητικές εργασίες, αξιολογούνταν άμεσα ώστε να προγραμματίζεται η χρονική αλληλουχία κάθε διακεκριμένης εργασίας με στόχο την καταγραφή του πλησιέστερου προς την πραγματικότητα γεωλογικού και γεωτεχνικού περιβάλλοντος της σήραγγας σε μία περιοχή έντονης πολυπλοκότητας. Με βάση τα στοιχεία των παραπάνω μελετών και ερευνών, κατά μήκος του άξονα της σήραγγας, διαπιστώθηκε η ανάπτυξη, σε βάθος, των διαφόρων λιθολογικών τύπων και των τεκτονικών δομών, η διάκριση των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων, οι συνθήκες των υπογείων νερών, η μικροτεκτονική ανάλυση της βραχομάζας και τέλος οι συνθήκες διάνοιξης και υποστήριξης της σήραγγας.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

2.1 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Η γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής του Μετσόβου συγκροτείται από σχηματισμούς του φλύσχη που διακρίνονται σε τρεις διαφορετικές λιθοστρωματογραφικές ομάδες (ΖΟΥΡΟΣ & ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ [1]). Η ομάδα Πολυτών αποτελεί το λεπιωμένο κάλυμμα του Πινδικού φλύσχη που επωθείται από τα ανατολικά στην ομάδα του Ζαγορίου. Η τελευταία θεωρείται ότι ανήκει στο φλύσχη του συγκλίνου Ηπείρου – Ακαρνανίας. Κατά μήκος της επώθησης παρεμβάλλεται ορίζοντας με έντονη τεκτονική καταπόνηση, χαοτική δομή και ποικίλη λιθολογική σύσταση στην οποία επικρατούν οι Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι της Πίνδου. Σύμφωνα με τον DESPAIRES [2] η ομάδα των Πολυτών εξελίσσεται κανονικά προς τα πάνω σε αυτή του Μετσόβου, ενώ οι ΖΟΥΡΟΣ & ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ [1] υποστηρίζουν ότι η επαφή μεταξύ τους είναι τεκτονική και ο φλύσχη του Μετσόβου αποτελεί συνέχεια του Ιονίου φλύσχη που αποκαλύπτεται με τη μορφή τεκτονικού παραθύρου.

2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ

Η γεωλογική δομή, κατά μήκος της χάραξης, χαρακτηρίζεται από πέντε κύριες επιπτεώσεις με διεύθυνση Β-Ν και ανατολικές διευθύνσεις κλίσης, που συνοδεύονται από άλλες μικρότερης κλίμακας και έχουν προκαλέσει τη συνολική στρέψη των σχηματισμών του φλύσχη προς τα ανατολικά με γωνίες 35° – 40° (Σχ. 2.1α και 2.2.) Οι επιπτεώσεις αυτές εξελίσσονται κατά μήκος, ή εντός των λεπτομερέστερων φάσεων του φλύσχη, που είτε έχουν σχηματιστεί κατά τη διάρκεια της εκδήλωσής τους, είτε έχουν διευκολύνει τις κινήσεις τους, λειτουργώντας ως λιπαντικό μέσο.

Σήραγγα Ανηλίου - Γεωλογική δομή - Σχεδιασμός - Ανάλυση

Η πρώτη κύρια εφίππευση, δυτικά του Ανηλίου, διαχωρίζει τους παχυστρωματώδεις ψαμμίτες, που κλίνουν με γωνίες $25^{\circ} - 40^{\circ}$ προς τα ΒΑ και ΑΒΑ, από τους σχηματισμούς του τεκτονικού μείγματος, που αποτελούνται από έντονα παραμορφωμένους ιλυολίθους, με αραιές ενδιστρώσεις ψαμμιτών και εναλλαγές ιλυολίθων και ψαμμιτών, που περιέχουν φακούς και σώματα ψαμμιτών και ιλυολίθων σε χαοτική διάταξη.

Η δεύτερη κύρια εφίππευση, στις δυτικές παρυφές του Ανηλίου, συνοδεύεται από τέσσερις μικρότερης κλίμακας παράλληλης διεύθυνσης εφίππεύσεις, που τοποθετούν τους παχυστρωματώδεις έως άστρωτους ψαμμίτες επί των έντονα παραμορφωμένων ιλυο-αργιλοψαμμιτικών, έντονα παραμορφωμένων, σχηματισμών του τεκτονικού μείγματος, διαμορφώνοντας κατά μήκος τις ζώνες μυλονιτωμένων υλικών, τεκτονικών λατυπτοπαγών και κατακλασιτών.

Η τρίτη κύρια εφίππευση, στις ανατολικές παρυφές του Ανηλίου, φέρει τους σχηματισμούς τεκτονικού μείγματος επί των ψαμμιτών, προκαλώντας την έντονη τεκτονική τους παραμόρφωση. Η εφίππευση συνοδεύεται στο τέμαχος της οροφής της από δύο ανάστροφα ρήγματα ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνσης, που κλίνουν προς Β με κατακόρυφες μετατοπίσεις της τάξεως των 40m.

Η τέταρτη κύρια εφίππευση, 300m περίπου, ανατολικά της προηγούμενης, εξελίσσεται στο σχηματισμό του τεκτονικού μείγματος και προκλήθηκε από την προς τα δυτικά κίνηση της μάζας των παχυστρωματωδών ψαμμιτών, που αναπτύσσονται στην οροφή της. Η κίνηση αυτή προκάλεσε την έντονη τεκτονική παραμόρφωση των ιλυοψαμμιτικών σχηματισμών που παρεμβάλλονται μεταξύ αυτής και της προηγούμενης.

Η πέμπτη και τελευταία εφίππευση, στην ανατολική κατάληξη της περιοχής μελέτης, συνοδεύεται από τέσσερις τουλάχιστον, μικρότερης κλίμακας, παράλληλης διεύθυνσης εφίππεύσεις, που έχουν προκαλέσει την έντονη τεκτονική καταπόνηση των σχηματισμών, που αποτελούνται από ψαμμίτες, λεπτοστρωματώδεις ιλυολίθους με αραιές ενδιστρώσεις ψαμμιτών, αργιλοποιημένες ζώνες μυλονιτών και τεκτονικών λατυπτοπαγών.

2.3 ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΔΟΜΩΝ

Με σκοπό να επιβεβαιωθεί και να διερευνηθεί περαιτέρω ο κινηματικός χαρακτήρας των εφίππεύσεων, πραγματοποιήθηκε ανάλυση των τεκτονικών δομών στο μεσοσκοπικό πεδίο. Η ανάλυση βασίστηκε σε μετρήσεις αξονικών επιπέδων πτύχωσης, στον προσδιορισμό των b-αξόνων των πτυχών και σε γραμμώσεις ολίσθησης ρηγμάτων αναστροφής ή κανονικού χαρακτήρα κίνησης. Τα συμπεράσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται στα διαγράμματα του σχήματος 2.1. και 2.1α. και συνοψίζονται ως ακολούθως:

Υπό την επίδραση μιας Α-Δ διευθυνόμενης πίεσης, με φορά από τα ανατολικά προς τα δυτικά, δημιουργούνται πτυχές με ανατολικά κεκλιμένα αξονικά επίπεδα και ανάστροφα ρήγματα με διεύθυνση Β-Ν.

Λόγω φαινομένων επαναπτύχωσης ή και αποφόρτισης του τασικού πεδίου σχηματίζονται πτυχές έως και παράλληλα της πίεσης. Σε απόκριση της πίεσης, ή λόγω μεταβολής του πεδίου των τάσεων, η περιοχή υφίσταται διαστολή κατά τη διεύθυνση Β-Ν. Έτσι δημιουργούνται

Σήραγγα Ανηλίου - Γεωλογική δομή - Σχεδιασμός - Ανάλυση

κανονικά ρήγματα με Α-Δ διευθύνσεις. Μεταξύ των διευθύνσεων των ανάστροφων και κανονικών ρηγμάτων αναπτύσσονται ρήγματα με πλάγιες έως οριζόντιες μετατοπίσεις και κινηματικό χαρακτήρα που υπαγορεύεται από τον προσανατολισμό τους με τους κύριους άξονες της τάσης.

2.4 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Οι γεωλογικές συνθήκες που αναμένεται να συναντηθούν κατά μήκος του άξονα της σήραγγας έχουν ως ακολούθως :

- **Τμήμα μεταξύ των Χ.Θ. 11+486 και Χ.Θ. 11+538**

Από το δυτικό μέτωπο της σήραγγας και σε μήκος περίπου 35m αναμένεται να διατηρηθούν παχυστρωματώδεις ψαμμίτες, με αραιές ενδιαστρώσεις λεπτοστρωματωδών ιλυολίθων, ενώ στο υπόλοιπο τμήμα μέχρι το μέτωπο της πρώτης κύριας εφίππευσης θα διατηρηθούν ιλυόλιθοι με αραιές λεπτές ενδιαστρώσεις ψαμμιτών.

- **Τμήμα μεταξύ των Χ.Θ. 11+538 και Χ.Θ. 11+960**

Στο τμήμα αυτό αναμένεται να διατηρηθούν οι σχηματισμοί του τεκτονικού μείγματος, που παρεμβάλλονται μεταξύ της πρώτης και δεύτερης κύριας εφίππευσης, και αποτελούνται από έντονα τεκτονικά παραμορφωμένους ιλυολίθους, ιλυολίθους με αραιές ενδιαστρώσεις ψαμμιτών και σώματα ψαμμιτών και ιλυολίθων. Στην κατάληξη του τμήματος αυτού και σε μήκος 150 m περίπου, η σήραγγα προβλέπεται να διασχίσει ζώνες μυλονιτιωμένων υλικών, τεκτονικών λατυποπαγών και κατακλαστικών ζωνών της ευρείας ζώνης της κύριας εφίππευσης και των δευτερευουσών εφίππεύσεων που αναπτύσσονται παράλληλα με αυτές.

- **Τμήμα μεταξύ των Χ.Θ. 11+960 και Χ.Θ. 12+390**

Στο τμήμα αυτό εκτιμάται ότι αφού η σήραγγα διατρήσει σε μήκος 20-30 m τεκτονικά λατυποπαπαγή και μυλονίτες της κύριας ζώνης εφίππευσης θα διασχίσει την αντικλινική δομή, που διαμορφώνεται στη μάζα των ψαμμιτών και των ιλυολίθων, καθώς και τις έντονα καταπονημένες τεκτονικά ζώνες, που αναπτύσσονται κατά μήκος δύο πιθανών, μικρότερης κλίμακας και παράλληλων με την κύρια, εφίππεύσεων.

Τέλος σε μήκος 180m περίπου, στην κατάληξη του τμήματος, η σήραγγα θα διατρήσει γενικά συμπαγείς ψαμμίτες και ιλυόλιθους για να συναντήσει την έντονα διαταραγμένη ζώνη που διαμορφώνεται στην περιοχή της τρίτης κατά σειρά κύριας εφίππευσης του χώρου.

- **Τμήμα μεταξύ των Χ.Θ. 12+390 και Χ.Θ. 12+760**

Οι έντονα κερματισμένοι αποσασθρωμένοι και αργιλοποιημένοι ιλυόλιθοι, που περιέχουν ογκόλιθους και σώματα ψαμμιτών, εναλλαγών ψαμμιτών και ιλυολίθων και συμπαγών ιλυολίθων, σε χαοτική διάταξη, αποτελούν τους σχηματισμούς του τεκτονικού μείγματος, που παρεμβάλλονται μεταξύ της τρίτης και τέταρτης κύριας εφίππευσης και αναμένεται να διατρήσει η σήραγγα στο τμήμα αυτό.

- **Τμήμα μεταξύ των Χ.Θ. 12+760 και Χ.Θ. 13+390**

Σήραγγα Ανηλίου - Γεωλογική δομή - Σχεδιασμός - Ανάλυση

Στο τμήμα αυτό η σήραγγα αναμένεται να διατρήσει, για μήκος 100m, λεπτοστρωματώδεις ιλυόλιθους με αραιές ενδιαστρώσεις μεσοστρωματωδών ψαμμιτών και στη συνέχεια για μήκος 530m περίπου μέσο – έως παχυστρωματώδεις συμπαγείς ψαμμίτες. Ένα ανάστροφο ρήγμα με διεύθυνση Β-Ν κάθετη προς αυτή του άξονα της σήραγγας και απότομη κλίση αναμένεται να συναντηθεί περί τη Χ.Θ. 13+110.

- **Τμήμα μεταξύ των Χ.Θ. 13+390 και Χ.Θ. 13+605**

Το τμήμα αυτό αναπτύσσεται σε μια έντονα διαταραγμένη ζώνη, που διαμορφώνει η πέμπτη κατά σειρά κύρια εφίππευση καθώς και μια σειρά δευτερεύουσες εφίππεύσεις. Οι σχηματισμοί του τεκτονικού μείγματος, που αναμένεται να διατρηθούν αποτελούνται από αργιλοποιημένους ιλυόλιθους, υλικά μυλονίτη και τεκτονικά λατυπτοπαγή.

2.5 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

Οι ψαμμίτες λόγω της ανάπτυξης δευτερογενούς πορώδους, ανήκουν στους περατούς σχηματισμούς του χώρου και αναμένονται εποχιακές κατεισδύσεις νερών σε ζώνες έντονου κερματισμού του πετρώματος και κατά μήκος ρηγμάτων που διασχίζουν τη μάζα τους. Οι ιλυόλιθοι και οι σχηματισμοί του τεκτονικού μείγματος, λόγω της αργιλομιγούς και ετερογενούς σύστασής τους, χαρακτηρίζονται από εναλλαγές αδιαπέρατων και διαπερατών ζωνών, που διαμορφώνουν συνθήκες ανάπτυξης περιορισμένης δυναμικότητας επικρεμάμενης υδροφορίας.

Το καθεστώς των υπογείων νερών κατά μήκος της σήραγγας εκτιμάται ως ακολούθως :

- Στο τμήμα μεταξύ χ.θ. 11+486 και Χ.Θ. 11+540 αναμένονται εποχιακές κατεισδύσεις νερών (στάγδην, συνθήκες εφύγρανσης)

- Στο τμήμα μεταξύ των Χ.Θ. 11+540 και Χ.Θ. 12+790 λόγω της λιθολογικής ετερογένειας της βραχομάζας οι στεγνές συνθήκες μπορεί να εναλλάσσονται με συνθήκες εποχιακών κατεισδύσεων (στάγδην) και εφύγρανσης λόγω παρουσίας επικρεμάμενων υδροφόρων οριζόντων. Υπάρχει κίνδυνος εισροών νερού κατά μήκος ρηγμάτων και κατακλαστικών ζωνών.

- Στο τμήμα μεταξύ Χ.Θ. 12+790 και Χ.Θ. 13+390 επικρατούν ξηρές έως υγρές συνθήκες. Τοπικά αναμένονται κατεισδύσεις νερών κατά μήκος ρηγμάτων και κατακλαστικών ζωνών.

- Στο τμήμα μεταξύ των Χ.Θ. 13+390 και Χ.Θ. 13+540, λόγω της λιθολογικής ετερογένειας της βραχομάζας, οι στεγνές συνθήκες μπορεί να εναλλάσσονται με συνθήκες εποχιακών κατεισδύσεων (στάγδην). Υπάρχει κίνδυνος εισροών νερού κατά μήκος ρηγμάτων και κατακλαστικών ζωνών.

- Τέλος, στο τμήμα μεταξύ των Χ.Θ. 13+540 και Χ.Θ. 13+605 αναμένεται μόνιμη παρουσία νερού τόσο κατά τη διάτρηση όσο και κατά τη διαμόρφωση του ανατολικού μετώπου της σήραγγας.

3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Η Τεχνικογεωλογική κατάταξη της βραχομάζας γίνεται με βάση τα αποτελέσματα των γεωλογικών ερευνών επιφανείας και την εξέταση των πυρήνων των γεωτρήσεων. Ο καθορισμός των κατηγοριών της βραχομάζας, έλαβε υπόψιν τη φυσική κατάσταση της βραχομάζας σύμφωνα με την πρόταση του ISRM (E.T. Brown [3]).

Κατά μήκος της σήραγγας απαντήθηκαν 7 Τεχνικογεωλογικές Ενότητες (ΤΕ) :

ΤΕ1

Μεσοκοκκώδης έως λεπτοκοκκώδης, καστανότεφρος, κυρίως παχυστρωματώδης έως μεσοστρωματώδης ΨΑΜΜΙΤΗΣ, που περιέχει κατά θέσεις ενδιστρώσεις ιλυολίθου. Η αντοχή του αδιαταράκτου πετρώματος είναι μέση έως πολύ υψηλή. Οι ασυνέχειες είναι σε μεγάλες ή μέσες αποστάσεις (200-6000 mm). Τα ίχνη των διακλάσεων μεταβάλλονται από πολύ μικρά έως μέσα (<1m έως 10m). Οι επιφάνειες των ασυνεχειών είναι ελαφρά οξειδωμένες και είναι κυρίως τραχείες και επίπεδες (JRC 8-14). Τα επίπεδα διάστρωσης είναι μάλλον λεία έως τραχεία (JRC 4-8).

ΤΕ2

Ως ΤΕ1, αλλά με έντονο κερματισμό από ισχυρή διάβρωση. Η αντοχή του αδιαταράκτου πετρώματος μειώνεται.

ΤΕ3

Αλληλουχία τεφρών έως καστανότεφρων ή ερυθρών ΙΛΥΟΛΙΘΩΝ. Τα πάχη των στρώσεων κυμαίνονται από 6 mm. έως 60mm x 200mm. Οι επιφάνειες των στρώσεων είναι κυρίως ομαλές και επίπεδες (JRC 2-6) κατά θέσεις με πλήρωση αργίλου. Οι αντοχές του αδιαταράκτου πετρώματος έχουν μεγάλη διακύμανση.

ΤΕ4

Εναλλαγές καστανότεφρου ή ερυθρού ΙΛΥΟΛΙΘΟΥ με ΨΑΜΜΙΤΕΣ. Τα χαρακτηριστικά των ιλυολίθων είναι ίδια με την κατηγορία ΤΕ3. Οι ψαμμιτικές ενστρώσεις έχουν κατά κανόνα μικρό πάχος.

ΤΕ5

ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΜΕΙΓΜΑ κυρίως ερυθροχρώμων ιλυολίθων με εναλλαγές ψαμμίτου (Κόκκινος φλύσχης). Τα πετρώματα εμφανίζονται έντονα διαρρηγμένα και πτυχωμένα. Συμπαγή τεμάχια ιλυολίθων ή ψαμμιτών σε διάφορες διαστάσεις εμφανίζονται εντός αργιλικής ή ιλυώδους μάζας (Block in Matrix Rocks). Χαρακτηριστική είναι η ανομοιογένεια, η χαοτική δομή και η πολύ μικρή αντοχή. Οι ιδιότητες του μείγματος εμφανίζονται να είναι αυτές ενός εδαφικού υλικού. Οι αντοχές των τεμαχίων εμφανίζουν διασπορά. Κατά θέσεις εμφανίζονται ζώνες λεπτοκοκκου μυλωνίτη με μεταβλητό πάχος.

ΤΕ6

ΖΩΝΕΣ ΡΗΓΜΑΤΩΝ, με επικράτηση μαλακού αργιλικού υλικού. Κατά θέσεις εμφανίζονται τεκτονικά λατυποπαγή και έντονα διαρρηγμένο βραχώδες υλικό. Το υλικό αυτό χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα χαμηλή αντοχή.

ΤΕ7

ΕΔΑΦΙΚΑ ΥΛΙΚΑ, πλευρικά κορήματα και υλικά αποσάθρωσης.

4. ΕΚΣΚΑΦΗ ΚΑΙ ΑΜΕΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ**4.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Η επιλογή των «Συστημάτων Υποστήριξης» βασίζεται σε ένα σύστημα κατάταξης της βραχομάζας, που ο αντικειμενικός της σκοπός είναι να δώσει κατά μήκος της σήραγγας τις βασικές κατηγορίες της βραχομάζας με βάση τις ιδιότητές της και επίσης τη συμπεριφορά της κατά τη διάνοιξη της σήραγγας. Η κατάταξη αυτή ακολουθεί τις αρχές διάνοιξης με τη μέθοδο NATM.

Για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος η σήραγγα διαιρέθηκε σε 10 γεωτεχνικές ενότητες (ΓΕ). Κάθε γεωτεχνική ενότητα αντανάκλα ένα τμήμα της σήραγγας όπου αναμένεται ότι θα υπάρχουν σχετικά παρόμοιες γεωτεχνικές συνθήκες από την άποψη των αναμενόμενων γεωλογικών συνθηκών, του αρχικού πεδίου των τάσεων και των προβλέψεων των αναμενόμενων αλλαγών.

Για κάθε γεωτεχνική ενότητα η βραχομάζα εκφράζεται με τα «Συστήματα Υποστήριξης».

Οι «Κατηγορίες μέτρων άμεσης υποστήριξης», (Support Classes), αποφασίζονται με βάση :

- Την εμπειρία
- Τα χαρακτηριστικά της βραχομάζας όπως περιγράφονται στις διάφορες
- τεχνικογεωλογικές ενότητες (ΤΕ)
- Το ύψος των υπερκειμένων
- Το πεδίο τάσεων γύρω από τη σήραγγα.
- Τις αναμενόμενες συγκλίσεις, όπως υπολογίζονται από αναλυτικές σχέσεις και αριθμητικούς υπολογισμούς
- Τα χαρακτηριστικά και τον προσανατολισμό των ασυνεχειών.
- Τους μηχανισμούς θραύσεως του πετρώματος σε σχέση με τη μέθοδο διάνοιξης.

Υιοθετήθηκαν 7 βασικές κατηγορίες υποστήριξης, SCA, SCB, SCC, SCD, SCE, SCF, SCG. Μερικές από τις παραπάνω κατηγορίες υποστήριξης, SCA, SCF και SCG, εμφανίζονται στα Σχ. 4.1., 4.2. και 4.3.

4.2 ΕΙΔΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

Σήραγγα Ανηλίου - Γεωλογική δομή - Σχεδιασμός - Ανάλυση

Συνοπτικά παρουσιάζονται τα στοιχεία ορισμένων χαρακτηριστικών συστημάτων υποστήριξης, όπως προέκυψαν από τις αναλύσεις για τις κατηγορίες στήριξης SCA, SCF και SCG.

Κατηγορία Υποστήριξης SCA – Σχ. 4.1.

Γίνεται κυρίως σε συμπαγείς ψαμμιτικούς σχηματισμούς (TE1). Αστοχίες μόνο λόγω της γεωμετρίας των ασυνεχειών (αποκόλληση των τεμαχίων από την οροφή). Τα στοιχεία υποστήριξης είναι:

ΒΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ:	2,00 – 3,00m για το άνω και κάτω τμήμα
ΑΝΩ ΤΜΗΜΑ	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα d = 15cm 1 Στρώση δομικού πλέγματος T188 Σποραδικά Αγκύρια L=4m, τύπου Swellex (3τεμ./μ.μ.)
ΚΑΤΩ ΤΜΗΜΑ	Ε.Σ. d = 10cm Δομικό πλέγμα T188, 1 στρώση

Κατηγορία Υποστήριξης SCF - Σχ. 4.2

Χρησιμοποιείται στις διατομές, όπου οι τάσεις ξεπερνούν σημαντικά την αντοχή της βραχομάζας, αλλά το μέγεθος των μετακινήσεων εξακολουθεί να επιτρέπει τύπο άκαμπτης υποστήριξης. Τα στοιχεία υποστήριξης είναι:

ΒΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ:	1,00 – 1,20m για το άνω και κάτω τμήμα 2,40m για το ανάστροφο τόξο
ΜΕΤΩΠΟ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	Ε.Σ. 5cm (50% επιφ.), 1 T188, ή μεταλλικές ίνες Αγκύρια L=8m τεμ.5 τύπου self drilling κάθε 3° Β.Π. (ή αγκύρια fiber glass) Μεταλλικοί σωλήνες προπορείας L = 2,5÷5,0m
ΑΝΩ ΤΜΗΜΑ	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα d = 25cm 1 Στρώση δομικού πλέγματος T188 Αγκύρια L=4m, 250 kN και Αγκύρια L=6m, 250 kN Εκτοξ.Σκυρ. προσωρινού ανάστροφου τόξου d=15cm, 1 T188 Μεταλλικά πλαίσια ή lattice girders
ΚΑΤΩ ΤΜΗΜΑ	Ε.Σ. d = 25cm Δομικό πλέγμα T188, 1 στρώση Αγκύρια L=4m, 250 kN Μεταλλικά πλαίσια ή lattice girders
ΑΝΑΣΤΡΟΦΟ ΤΟΞΟ	Ε.Σ. d = 25cm Δομικό πλέγμα T188, 1 στρώση

Κατηγορία υποστήριξης SCG - Σχ. 4.3

Χρησιμοποιείται σε ζώνες ρηγμάτων, όπου οι παραμορφώσεις ξεπερνούν την παραμορφωσιμότητα των συμβατικών επενδύσεων. Ομοιάζει προς το σύστημα F. Πολλά στοιχεία παραμόρφωσης, επιτρέπουν εξασφάλιση ακαμψίας της επένδυσης. Λόγω της αστάθειας του μετώπου χρησιμοποιούνται αγκύρια και ΕΣ. Τα στοιχεία υποστήριξης είναι :

Σήραγγα Ανηλίου - Γεωλογική δομή - Σχεδιασμός - Ανάλυση

ΒΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ:	1,00 m για το άνω και κάτω τμήμα 2,0m για το ανάστροφο τόξο
ΜΕΤΩΠΟ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	Ε.Σ. 5cm (50% επιφ.), 1 T188 ή μεταλλικές ίνες Αγκύρια L=8m τεμ.5 τύπου self drilling Φ.Ι. 200 kN κάθε 3° Β.Π. (ή αγκύρια fiber glass) Μεταλλικοί σωλήνες προπορείας L = 2,5÷5,0m
ΑΝΩ ΤΜΗΜΑ	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα d = 25cm 2 Στρώσεις δομικού πλέγματος T188 Αγκύρια L=6m, 350 kN Εκτοξ.Σκυρ. προσωρινού ανάστροφου τόξου d=15cm, 1 T188 Μεταλλικά πλαίσια ή lattice girders Στοιχεία ελέγχου παραμορφώσεων στο Ε.Σ. και στα μεταλλικά πλαίσια ή lattice girders
ΚΑΤΩ ΤΜΗΜΑ	Ε.Σ. d = 25cm Δομικό πλέγμα T188, 2 στρώσεις Αγκύρια L=6m, 350 kN Μεταλλικά πλαίσια ή lattice girders
ΑΝΑΣΤΡΟΦΟ ΤΟΞΟ	Ε.Σ. d = 25cm Δομικό πλέγμα T188, 2 στρώσεις

5. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ**5.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΜΕ ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ****5.1.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Για μια πρώτη εκτίμηση :

- Του λόγου τάσεων/αντοχή
- Της έκτασης της πλαστικοποιημένης ζώνης
- Του μεγέθους των αναμενόμενων συγκλίσεων και
- Της επάρκειας των μέτρων προσωρινής αντιστήριξης, έγιναν υπολογισμοί με χρήση αναλυτικών σχέσεων (closed form solutions).

Παρά το γεγονός ότι οι αναλυτικοί υπολογισμοί βασίζονται σε γενικευμένες παραδοχές για τη σύνταξη του προσομοιώματος ανάλυσης, επειδή είναι σύντομοι, μπορεί να γίνουν σε ένα μεγάλο πλήθος διατομών κατά μήκος του άξονα της σήραγγας και να δώσουν μια πρώτη εκτίμηση της αναμενόμενης συμπεριφοράς της βραχομάζας, εντοπίζοντας τις περιοχές που παρουσιάζουν ιδιαίτερα προβλήματα.

Οι υπολογισμοί έγιναν σε διατομές ανά 20m. λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παρακάτω :

- Κατηγορία βραχομάζας
- Τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.
- Συχνότητα και προσανατολισμό ασυνεχειών
- Υπόγεια νερά

- Πάχος υπερκειμένων.

5.1.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Λόγος τάσεων – αντοχών

Για τον εντοπισμό ζωνών πιθανής σύνθλιψης, σαν πρώτο βήμα χρησιμοποιείται η σχέση,

$$F_u = \frac{\sigma}{UCS^*} \quad \text{ως λόγος τάσεων/αντοχή, όπου :}$$

F_u = Λόγος τάσεων/αντοχή (Utilization Factor)

σ_i = Εφαπτομενική τάση, στην περίμετρο της σήραγγας.

UCS^* = Χαρακτηριστική αντοχή της βραχομάζας.

Για την εκτίμηση της UCS^* , ελήφθησαν υπ' όψιν οι αντοχές των δοκιμών μονοαξονικής θλίψης, με μείωση ανάλογα με :

- Την τεκτονική δομή των σχηματισμών
- Το μέγεθος της σήραγγας
- Τον προσανατολισμό των στρώσεων σε σχέση με τον άξονα της σήραγγας
- Τα υπόγεια νερά.

Το σχήμα 5.1 δίνει τις τιμές της μονοαξονικής θλίψης για διαφόρους σχηματισμούς. Το Σχ. 5.2 δίνει διακύμανση της αντοχής σε σημειακή φόρτιση.

Πεδίο τάσεως

Για τις αρχικές συνθήκες πριν από τη διάνοιξη, ισότροπο πεδίο ($K_0=1$), οπότε $\sigma_i = 2 \times P_0$, $P_0 = \gamma H$, $\gamma = 27 \text{ KN/m}^3$, H = ύψος υπερκειμένων.

Πλαστικοποιημένες Ζώνες

Ανάλυση κατά Feder. Στις πλαστικοποιημένες ζώνες θεωρείται μείωση της γωνίας ϕ κατά 20% και της συνοχής C κατά 50%.

Μετακινήσεις

Οι μετακινήσεις που προκύπτουν από την ανάλυση, όπου λαμβάνονται υπ' όψιν και τα μέτρα υποστήριξης, δεν παρέχουν ασφάλεια ακρίβειας και οι μετακινήσεις αξιολογούνται ανάλογα με την τάξη του μεγέθους τους, για μια πρώτη ποιοτική εκτίμηση της συμπεριφοράς της βραχομάζας και τον εντοπισμό περιοχών με ιδιαίτερα δυσμενείς συνθήκες. Από τις αναλύσεις, ανάλογα με τα μεγέθη των συγκλίσεων δομούνται οι παρακάτω κατηγορίες :

Σήραγγα Ανηλίου - Γεωλογική δομή - Σχεδιασμός - Ανάλυση

Κατηγορία I

Σύγκλιση μέχρι 7cm. Στην κατηγορία αυτή οι μετακινήσεις είναι μικρότερες από τα ανεκτά όρια παραμόρφωσης της επένδυσης από Ε.Σ. Η κρίσιμη παραμόρφωση για αστοχία της επένδυσης από Ε.Σ. είναι $0,8 \div 1,0\%$, που αντιστοιχεί σε σύγκλιση 10cm και αποδεχόμενοι ότι το 30% της σύγκλισης έχει συντελεστεί προ της τοποθέτησης του Ε.Σ. προκύπτει η σύγκλιση των 7 cm.

Κατηγορία II

Σύγκλιση $7 \div 15$ cm. Η σύγκλιση ξεπερνά το ανεκτό όριο των συνήθων μέτρων υποστήριξης. Απαιτούνται αυξημένα μέτρα υποστήριξης με εύκαμπτο σύστημα ανάληψης των παραμορφώσεων χωρίς αστοχίες.

Κατηγορία III

Σύγκλιση > 15 cm. Ισχυρά σύνθλιψη του πετρώματος κάτω από υψηλές τάσεις (μεγάλο υπερκείμενο). Ακόμα και ενισχυμένα συστήματα υποστήριξης κινδυνεύουν να αστοχήσουν. Πρέπει να προβλέπεται εύκαμπτη υποστήριξη με δυνατότητα ανάληψης μεγάλων φορτίων και σημαντικών παραμορφώσεων.

5.1.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Έκταση πλαστικοποιημένης ζώνης – Σύγκλιση

- Χωρίς αντίσταση μέτρων υποστήριξης Σχ. 5.3 και Σχ. 5.4α
- Με προσομοίωση των μέτρων θεωρώντας μέση αντίσταση 0,3 MPa στην περίμετρο της εκσκαφής Σχ. 5.4β.

Έλεγχος άμεσης υποστήριξης

Εκτός από τον έλεγχο επάρκειας των συστημάτων υποστήριξης με αριθμητικές αναλύσεις ελέγχθηκε η επάρκεια και με αναλυτικές μεθόδους, σε χαρακτηριστικές διατομές.

Σε κάθε κατηγορία υποστήριξης δόθηκε μία αντίσταση στήριξης ανάλογα με την ακαμψία της επένδυσης. Τα αγκύρια θεωρήθηκαν ότι αυξάνουν τη συνοχή της βραχομάζας.

Οι τιμές της αντίστασης της στήριξης κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 0,15 MPa έως 0,40 MPa (για κατηγορία από Α έως Γ) και η αύξηση της συνοχής από 0,0 έως 0,25 MPa (από Α έως Γ). Το Σχ. 5.5 δίνει την εκτιμώμενη σύγκλιση.

5.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΜΕ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

5.2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα μέτρα υποστήριξης χαρακτηριστικών κατηγοριών στήριξης ελέγχθηκαν με αριθμητικές αναλύσεις.

ά. Με το πρόγραμμα H/Y UDEC Version 3.0 (Universal Distinct Element Code), που χάρις στα Διακεκριμένα Στοιχεία (DE), έχει τη δυνατότητα να δίνει τη συμπεριφορά της βραχομάζας σε συνάρτηση με τις ιδιότητες των βραχωδών τεμαχίων (rock blocks) και το σύστημα των ασυνεχειών.

â. Με το πρόγραμμα H/Y FLAC3D2.00, που είναι πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων (FE), το οποίο όμως δεν έχει ευχέρεια προσομοίωσης με βάση τα χαρακτηριστικά των επί μέρων τεμαχίων και των ασυνεχειών. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί για τις περιπτώσεις που η βραχομάζα παρουσιάζεται σχετικά ομοιογενής.

5.2.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΣΕΩΝ

Οι αναλύσεις έγιναν για την επιβεβαίωση της αποτελεσματικότητας επιλεγμένων συστημάτων υποστήριξης, σε διατομές με σημαντική μεταξύ τους διαφορά, ως προς τις γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες και φυσικά αντίστοιχη διαφορά στα μέτρα υποστήριξης.

5.2.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Η αξιολόγηση που παρουσιάζεται είναι συνοπτική. Το κύριο βάρος της αξιολόγησης είναι βασικά η σύνδεση των γεωλογικών – γεωτεχνικών χαρακτηριστικών με τις παραμέτρους που εισάγονται στις αναλύσεις και επίσης η συσχέτιση της συμπεριφοράς της βραχομάζας και των μέτρων υποστήριξης με τα βασικά χαρακτηριστικά του γεωλογικού – γεωτεχνικού προσομοιώματος ανάλυσης.

5.2.4 ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Γεωμετρία Σχ. 5.6

Τα βήματα είναι :

- Εκσκαφή του άνω τμήματος I.
- Τοποθέτηση εκτοξευομένου σκυροδέματος και αγκυρίων στο άνω τμήμα I.
- Εκσκαφή κάτω τμήματος II,
- Υποστήριξη κάτω τμήματος

Προσομοίωση εδάφους, Σχ. 5.7

Ασυνεχές προσομοίωμα, με ασυνέχειες τα επίπεδα των στρώσεων και τα συστήματα διακλάσεων.

Σήραγγα Ανηλίου - Γεωλογική δομή - Σχεδιασμός - Ανάλυση

Γεωτεχνικές παράμετροι

Για την ανάλυση UDEC, χρησιμοποιούνται γεωτεχνικές παράμετροι για τα βραχώδη τεμάχια (rock blocks), διαφορετικές των παραμέτρων των ασυνεχειών.

Προσομοίωση μέτρων υποστήριξης

Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα (ΕΣ)

Θεωρείται ελαστοπλαστικό υλικό που ακολουθεί το κριτήριο αστοχίας Mohr –Coulomb με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

- Συνοχή $C=2,0$ MPa
- Γωνία τριβής $\phi=45^\circ$
- Γωνία διασταλτικότητας (dilation angle) $=3^\circ$
- $E = 10.000$ MPa
- $\nu = 0,20$

Για τη χαλάρωση μετά την πλαστικοποίηση θεωρείται :

- Παραμένουσα συνοχή $C=1,0$ MPa
- Παραμένουσα γωνία τριβής $\phi=22^\circ$.

Αγκύρια

- Αγκύρια πλήρους πακτώσεως μήκους 4,0μ. και 6,00μ. με φέρουσα ικανότητα 250 KN και 350 KN ανάλογα με την κατηγορία υποστήριξης.
- Αγκύρια Swellex 100 KN.
- Αντοχή σε θλίψη του ενέματος 30 MPa και μέτρο διάτμησης $G=12.500$ MPa

5.2.5 ΑΡΧΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΤΑΣΕΩΝ

- Φορτίο υπερκιμένων με φαινόμενο βάρος $\gamma=25$ KNm³
- Συντελεστής οριζοντίων ωθήσεων $K_0=0,30 \times 0,50-1,0$ ανάλογα με τα γεωλογικά – γεωτεχνικά χαρακτηριστικά σε κάθε θέση.

Γενικά το πεδίο κατά τον άξονα της σήραγγας είναι πεδίο συμπίεσης από Α προς Δ λόγω των επιπτεύσεων και εγκάρσια προς τον άξονα είναι πεδίο εφελκυσμού λόγω παράλληλων ρηγμάτων. Έτσι για τις αναλύσεις των διατομών αναμένεται $K_0 < 1,0$ ενώ κατά τον άξονα ενδεχομένως υπάρχουν τιμές $K_0 > 1,0$ που όμως δεν επηρεάζουν τις αναλύσεις 2D.

5.2.6 ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ

Κατά τη διάρκεια των υπολογισμών γίνεται καταγραφή οριζοντίων και κατακορύφων μετακινήσεων σε 6 επιλεγμένα σημεία Σχ. 5.8.

5.2.7 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΣΕ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ

Από όλες τις αναλύσεις που έγιναν παρουσιάζονται τρεις χαρακτηριστικές διατομές :

Η ΔΙΑΤΟΜΗ 1 ΣΤΗ Χ.Θ. 11+850 – TE6 - SCF

- **Γεωλογικά χαρακτηριστικά**

Είναι διατομή εντός τεκτονικού μείγματος, κυρίως ιλυολίθων ερυθροχρώμων, ενίοτε μελανόχρωμων, με περιορισμένες παρεμβολές στρώσεων ψαμμίτη μικρού πάχους, σε χαοτική διάταξη, μυλονίτες, τεκτονικό λατυπτοπαγές και κατακλαστικές ζώνες.

Στην περιοχή αυτή ψαμμίτες (παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι) και ιλυόλιθοι (λεπτοστρωματώδεις) έχουν επιπτευθεί κατά μήκος ενός μετώπου BBA-NNΔ επί των σχηματισμών του τεκτονικού μείγματος προκαλώντας πτυχώσεις και κάμψεις των όγκων μελών (κυρίως ιλυολίθων) – Άξονας σήραγγας περίπου Α-Δ.

Υπάρχουν επίσης συμπιεστικές δομές, όπως μικρής κλίμακας επιπτεύσεις καθώς και αναστροφές και κανονικά ρήγματα, ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης.

Για την ανάλυση UDEC χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω παράμετροι :

- **Για τα βραχώδη τεμάχια (block properties)**
 - Υλικό : Ζώνη ρήγματος
 - Μέτρο ελαστικότητας $E = 750 \text{ MPa}$
 - Λόγος Poisson $\nu = 0,35$
 - Συνοχή $C = 1,00 \text{ MPa}$
 - Γωνία τριβής $\phi = 22,0^\circ$
 - Αντοχή σε εφελκυσμό $\sigma_t = 0,30 \text{ MPa}$
 - Αντοχή σε θλίψη $\sigma_c = 2,97 \text{ MPa}$
- Για τις ασυνέχειες της βραχομάζας θεωρήθηκε ομοιογενής βραχομάζα χωρίς διακεκριμένες ασυνέχειες.
 - Τιμές $K_0 = 0,50$ και $1,0$
 - Ύψος υπερκειμένων $H = 70 \text{ m}$

Από τις αναλύσεις προκύπτουν τα εξής :

- Κατηγορία υποστήριξης F (Σχ.4.2.)
- Η κατανομή των τάσεων και μετακινήσεων γύρω από τη σήραγγα είναι σχετικά ομοιόμορφη. Αυτό οφείλεται στη θεώρηση σχετικά ομοιογενούς βραχομάζας.
- Το ΕΣ συμπεριφέρεται καλά.
- Κατά τη φάση της εκσκαφής του τμήματος I (Top heading) στα αγκύρια αναπτύσσονται μικρές τάσεις. Μεγαλύτερες τάσεις στα αγκύρια εμφανίζονται κατά την εκσκαφή του κάτω τμήματος II (Bench) κυρίως πλησίον του μετώπου της σήραγγας. Αν και οι τάσεις στα αγκύρια είναι μικρές αποφασίστηκε η χρησιμοποίησή τους λόγω αναμενόμενης ανομοιογένειας της βραχομάζας.
- Οι μετακινήσεις είναι σε χαμηλά επίπεδα λόγω του ότι η σήραγγα είναι κλειστής διατομής. Διπλασιάζονται στην περίπτωση παραδοχής $K_0 = 1,0$, ιδιαίτερα οι οριζόντιες μετακινήσεις.
- Οι τάσεις στην επένδυση παραμένουν στην ελαστική περιοχή. Στα Σχ. 5.9α, 5.9β, 5.10α, 5.10β, 5.11α, 5.11β, 5.12α και 5.12β, παρουσιάζονται μερικά από τα αποτελέσματα των αναλύσεων με τα προγράμματα UDEC και FLAC.

Υπάρχει σχετική συμφωνία των αποτελεσμάτων μεταξύ των αναλύσεων UDEC και FLAC.

ΔΙΑΤΟΜΗ 2 ΣΤΗ Χ.Θ. 12+650 – ΤΕ5 - SCG

- *Γεωλογικά χαρακτηριστικά*

Στην περιοχή αυτή αναμένεται η σήραγγα να διατρήσει μιά εκτεταμένη ζώνη εφίππευσης, αποτελούμενη από τεκτονικό μείγμα, παραμορφωμένα υλικά κυρίως ιλυολίθων και ζώνες μυλονίτη. Το υλικό της περιοχής της διατομής, σε μήκος 400μ. βρίσκεται μεταξύ των κυρίων εφίππεύσεων.

Για την ανάλυση UDEC χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω παράμετροι :

- *Για τα βραχώδη τεμάχια (blocks)*

$E = 1500 \text{ MPa}$

$\nu = 0,35$

$C = 1,0 \text{ MPa}$

$\phi = 22^\circ$

$\sigma_t = 0,30 \text{ MPa}$

$\sigma_c = 2,97 \text{ MPa}$

- *Για τις ασυνέχειες της βραχομάζας θεωρήθηκε ομοιογενής μάζα*

– Τιμές $K_0=0,5$ και $K_0=1,0$

– Υψος υπερκειμένων $H=170\text{m}$

Για τις δυσμενείς συνθήκες της βραχομάζας εφαρμόζεται η κατηγορία υποστήριξης SCG. (Σχ. 4.3.). Στην κατηγορία υποστήριξης SCG, προβλέπεται και η παρεμβολή στοιχείων ελέγχου παραμόρφωσης (lining stress controllers, LSC) στην επένδυση, στο ανώτερο τμήμα της εκσκαφής. Η φέρουσα ικανότητα κάθε στοιχείου είναι 175 KN.

Η ανάλυση με τιμές $K_0=0,5$, έδωσε :

- Ικανοποιητική συμπεριφορά της υποστήριξης
- Ανάπτυξη χαμηλών τάσεων στα εδάφη, ιδιαίτερα κατά την εκσκαφή του άνω τμήματος. Τα αγκύρια αναλαμβάνουν μεγαλύτερες δυνάμεις κατά την εκσκαφή του κάτω τμήματος.
- Μετακινήσεις μικρές

Η ανάλυση με τιμές $K_0=1,0$, έδωσε :

- Ανάπτυξη πλαστικοποιημένης ζώνης στις παρειές των πλευρικών τοιχωμάτων της σήραγγας.
- Μετακινήσεις ανάλογες με τις μετακινήσεις των αναλύσεων με $K_0=0,5$.
- Τα στοιχεία ελέγχου παραμορφώσεων της επένδυσης (LSG) εμποδίζουν ζημιές στην επένδυση, στην οποία οι τάσεις παραμένουν στην περιοχή ελαστικής συμπεριφοράς.

Στα Σχ. 5.13α και 5.13β παρουσιάζονται μερικά από τα αποτελέσματα των αναλύσεων.

ΔΙΑΤΟΜΗ 3 ΣΤΗΝ Χ.Θ. 12+850 – ΤΕ3 - SCA

- Γεωλογικά χαρακτηριστικά

Στην περιοχή αυτή αναμένεται η σήραγγα να διατρήσει συμπαγείς λεπτοστρωματώδεις ιλυολίθους, με αρκετές ψαμμιτικές ενστρώσεις που κλίνουν ΒΑ και ΑΒΑ με κλίσεις περίπου 35°. Το υλικό ευρίσκεται εντός της εφίππευσης του ιλυολίθου στην προς τα δυτικά κίνηση της ακολουθίας των ψαμμίτων που αναπτύσσονται στο τμήμα της οροφής της. Η κίνηση αυτή έχει προκαλέσει και έντονη τεκτονική καταπόνηση του συνόλου των ιλυολίθων μεταξύ των επωθήσεων.

Για την ανάλυση UDEC χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω παράμετροι :

- Για τα βραχώδη τεμάχια (blocks)

$E = 9000 \text{ MPa}$

$\nu = 0,25$

$C = 9,0 \text{ MPa}$

$\phi = 28^\circ$

$\sigma_t = 3,0 \text{ MPa}$

$\sigma_c = 30,0 \text{ MPa}$

- Για τις ασυνέχειες της βραχομάζας

	Στρώσεις	-	Διακλάσεις
Jkn Μέτρο Ακαμψίας +	32.500	-	32.500 MPa/m
Jks Μέτρο Ακαμψίας II	1.000	-	1.000 MPa/m
C Συνοχή	0	-	0 MPa
ϕ , Γωνία τριβής	22°	-	22°
ν = Απόσταση ασυνεχειών	1,0	-	2,5 m
προσανατολισμός	- 12°	-	76°

- Τιμές $K_0 = 0,5m.$ και $K_0=1,0$
- Υψος υπερκειμένων 240 m.
- Υιοθετήθηκε κατηγορία υποστήριξης SCA. Σχ.4.1.

Από την ανάλυση προέκυψε :

- Κατά την εκσκαφή του άνω τμήματος οι κύριες τάσεις στην αριστερά παρειά φθάνουν τα 18 MPa
- Υπάρχει κίνδυνος κατάπτωσης βραχωδών τεμαχίων από το αριστερό τμήμα της οροφής, ολίσθηση σφηνών προς την εκσκαφή στη δεξιά πλευρά.
- Υπάρχει κίνδυνος διατμητικής αστοχίας σε επίπεδα ασυνεχειών.
- Κατά την εκσκαφή του κάτω τμήματος τα αγκύρια του κάτω δεξιού και του άνω αριστερού τμήματος αστοχούν στις θέσεις που τέμνουν επίπεδα ασυνεχειών.
- Μέγιστη διατμητική μετακίνηση 5 cm, δεξιά όπου είναι πιθανή η ολίσθηση τεμαχίων.
- Τα αγκύρια ενισχύονται. Πιθανή η χρησιμοποίηση αγκυρίων super swellex, 200 KN.
- Για την ανάλυση με $K_0=1,0$, οι διατμητικές μετακινήσεις είναι μικρότερες.
- Τοποθέτηση αγκυρίων με κλίσεις και κάρναβο που επιλέγεται ανάλογα με τον προσανατολισμό του συστήματος των ασυνεχειών.

Στα Σχ. 14α και 14β, παρουσιάζονται μερικά από τα αποτελέσματα των αναλύσεων.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Ζούρος Ν., Μουντράκης Δ. (1990). Η επώθηση της ζώνης της Πίνδου και η σχέση μεταξύ των εξωτερικών γεωτεκτονικών ζωνών στην περιοχή Μετσόβου – Ανατολικού Ζαγορίου (Βορειοδυτική Ελλάδα). Πρακτικά 5ου Επιστημονικού Συνεδρίου Θεσσαλονίκη.

[2] Despairies A. (1978). Etude sedimentologique de formations a caracteres Flysch et Molasse, Macedoine, Epire, (Grece). Mem. Soc. Geol. France, 136, 339-354.

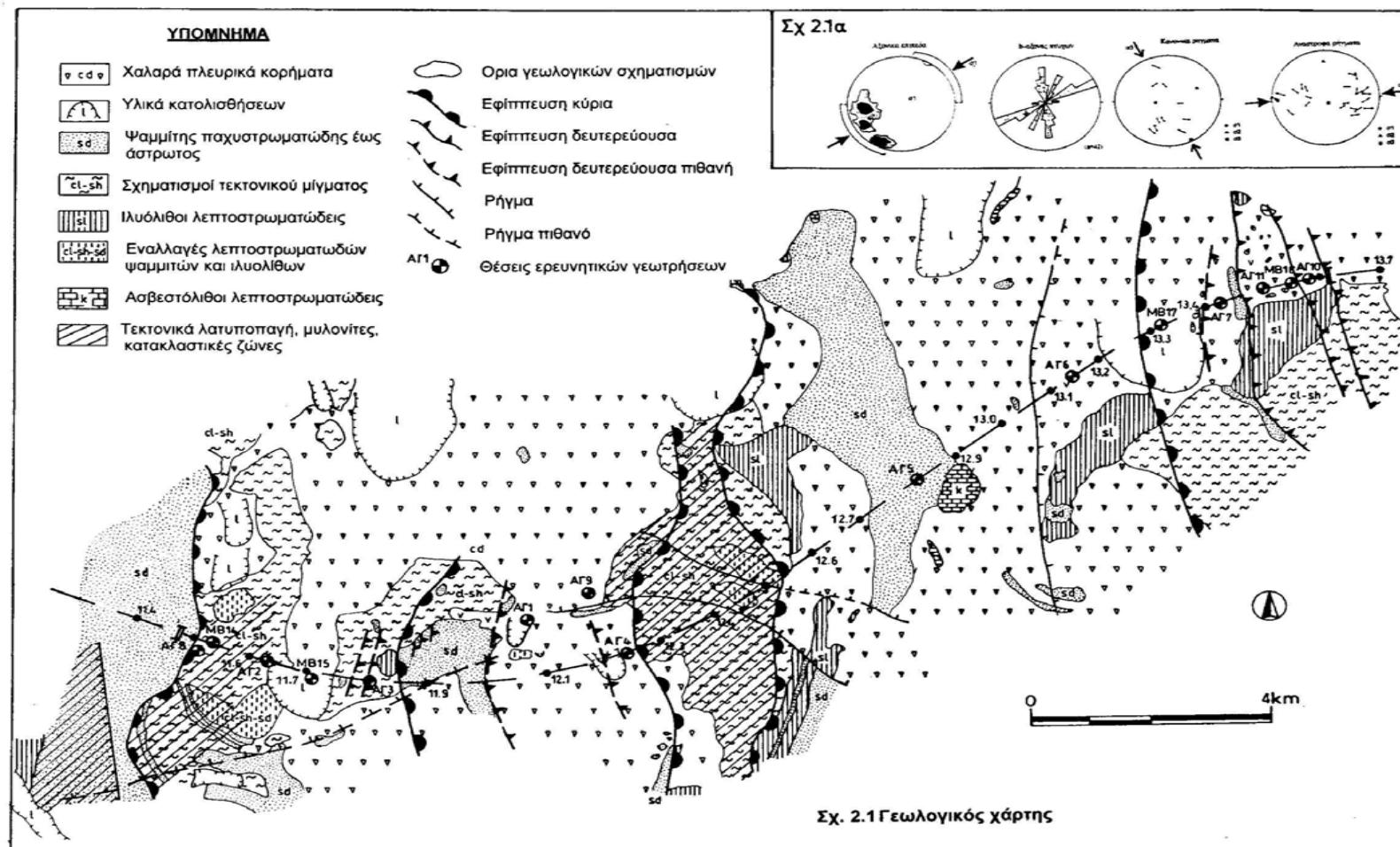
[3] E.T. Brown (ed.) : Rock characterisation. testing & monitoring – ISRM Suggested Methods, 1981.

[4] Feder, G., Arwanitakis, M. : Zur Gebirgsmechanik ausbruchsnaher Bereiche tiefliegender Hohlraumbauten, Berg-und Huttenmannische Monatshefte, 121, Vol. 4, 1976

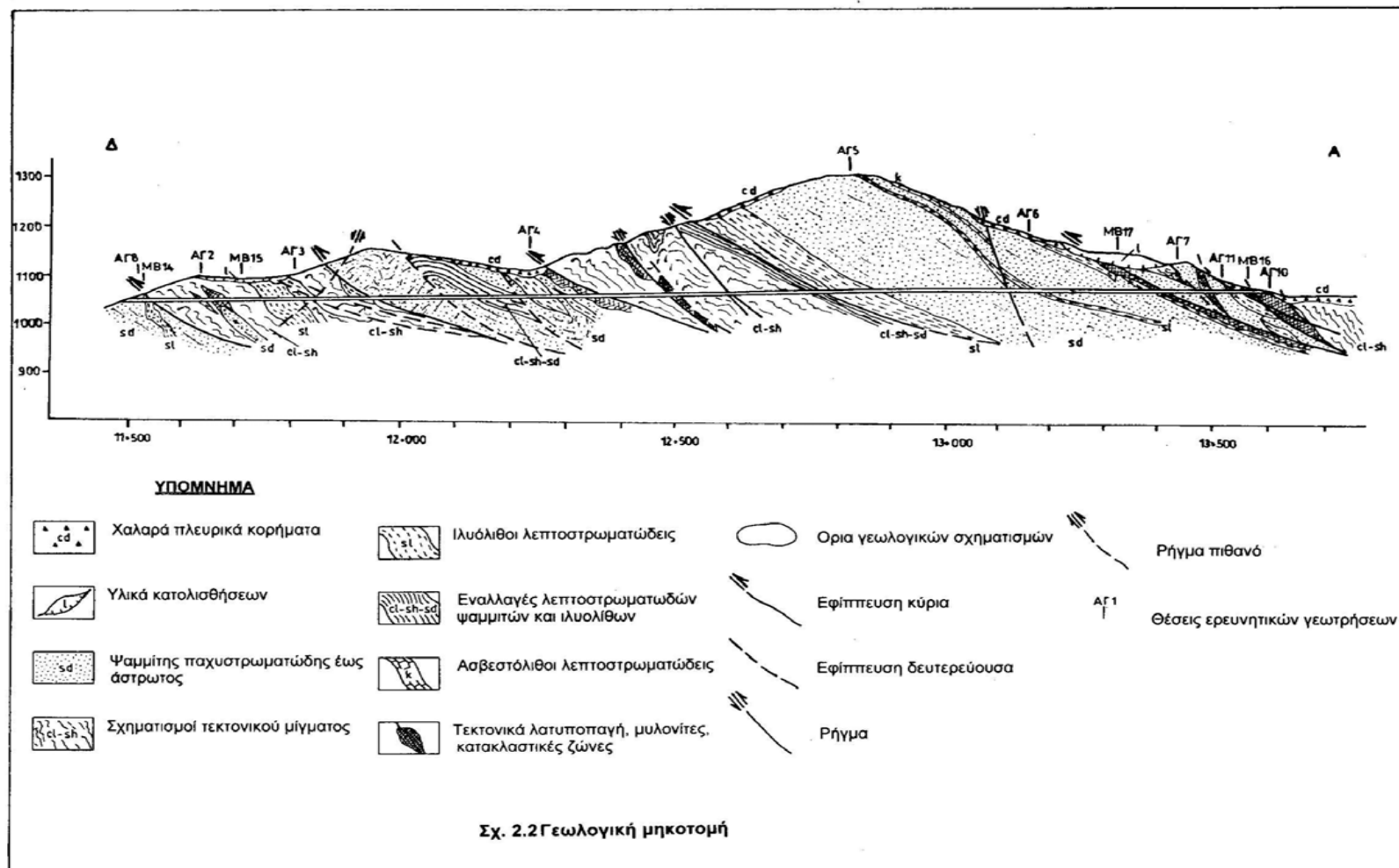
[5] Feder, G.: Versuchsergebnisse und analytische Ansätze zum Scherbruchmechanismus im Bereich tiefliegender Tunnel, Rock Mechanics, Suppl. 6, pp 71-102, 1978.

[6] Schubert W.: Dealing with squeezing conditions in alpine tunnels ; Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol. 29, No.3, pp 145-153, 1996.

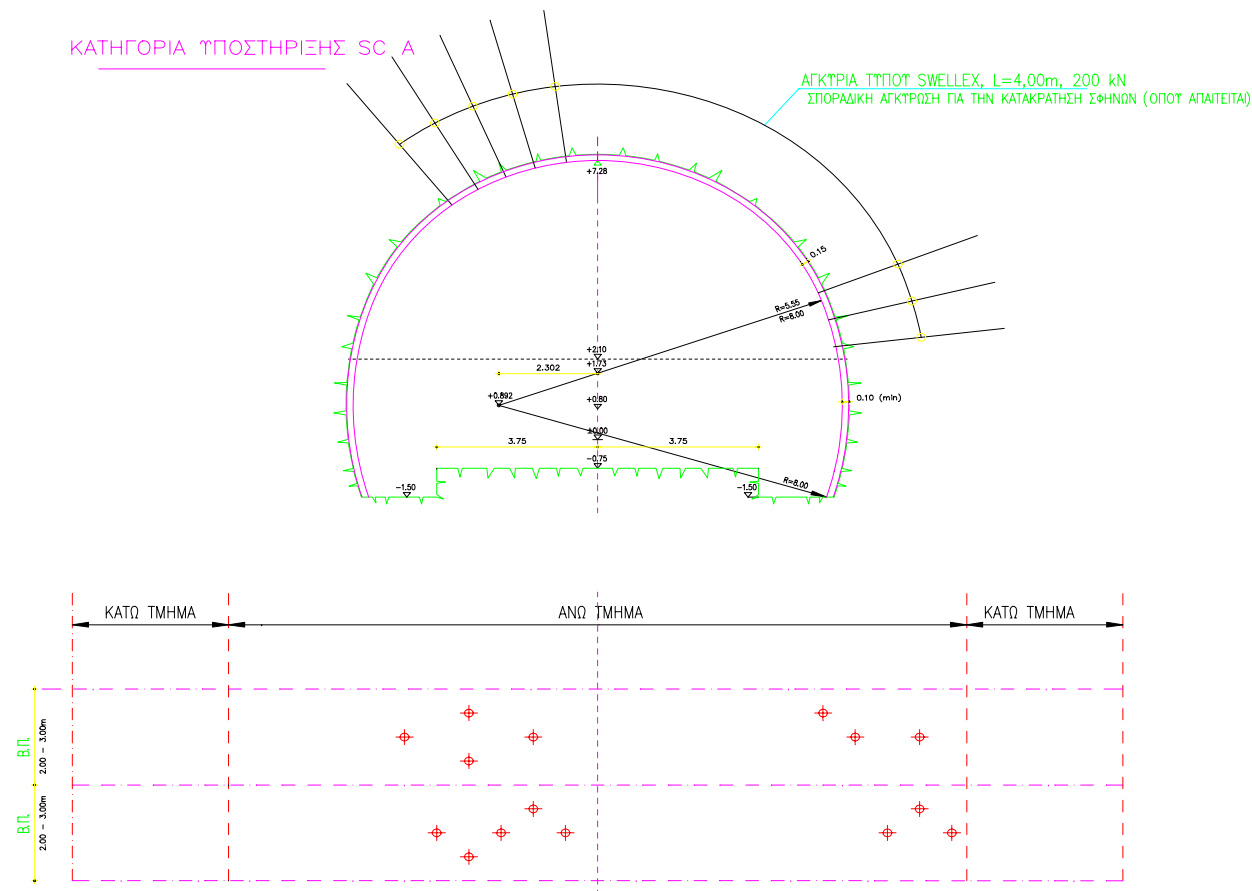
Σήραγγα Ανηλίου - Γεωλογική δομή - Σχεδιασμός - Ανάλυση



Σήραγγα Ανηλίου - Γεωλογική δομή - Σχεδιασμός - Ανάλυση

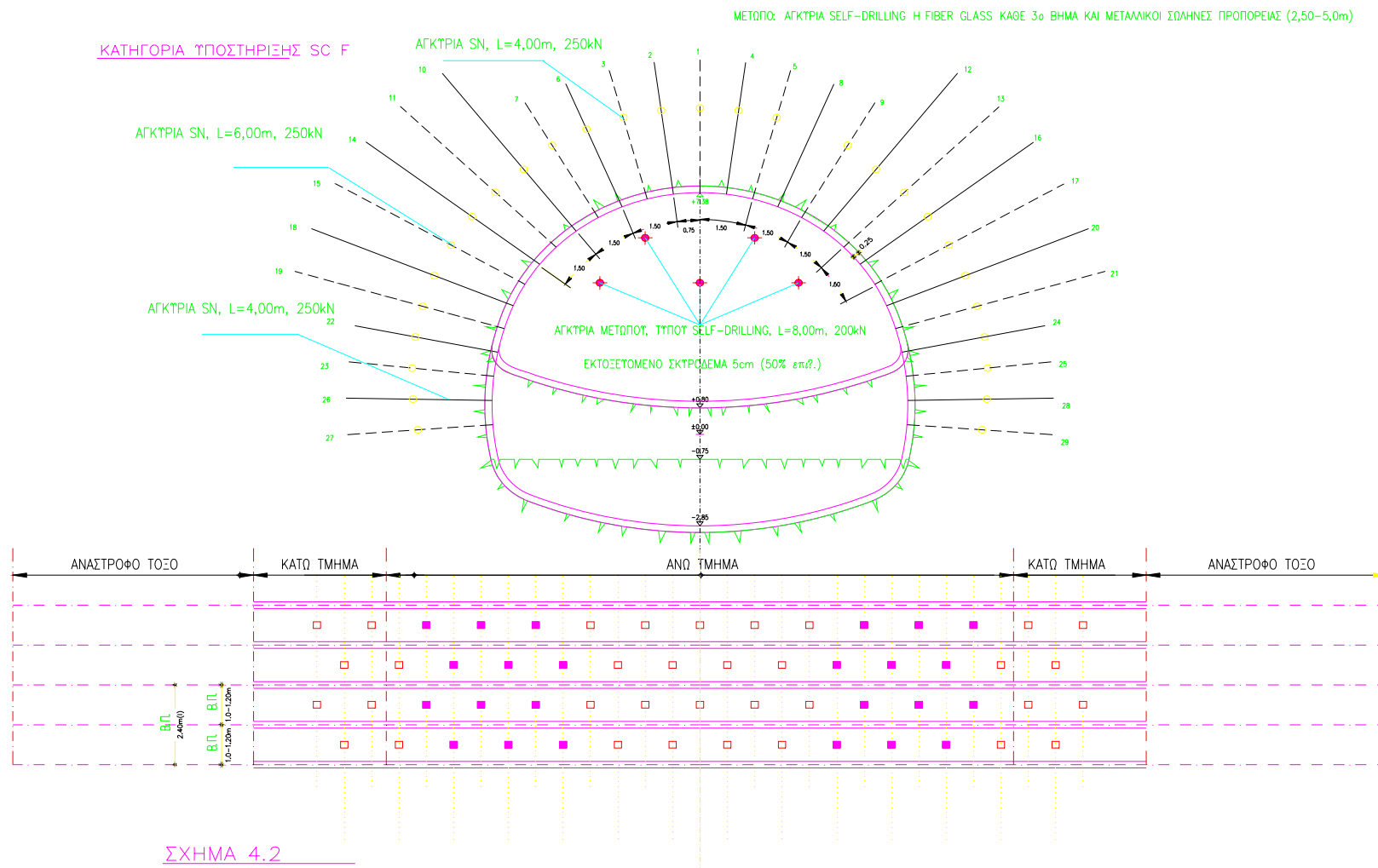


Σήραγγα Ανηλίου - Γεωλογική δομή - Σχεδιασμός - Ανάλυση

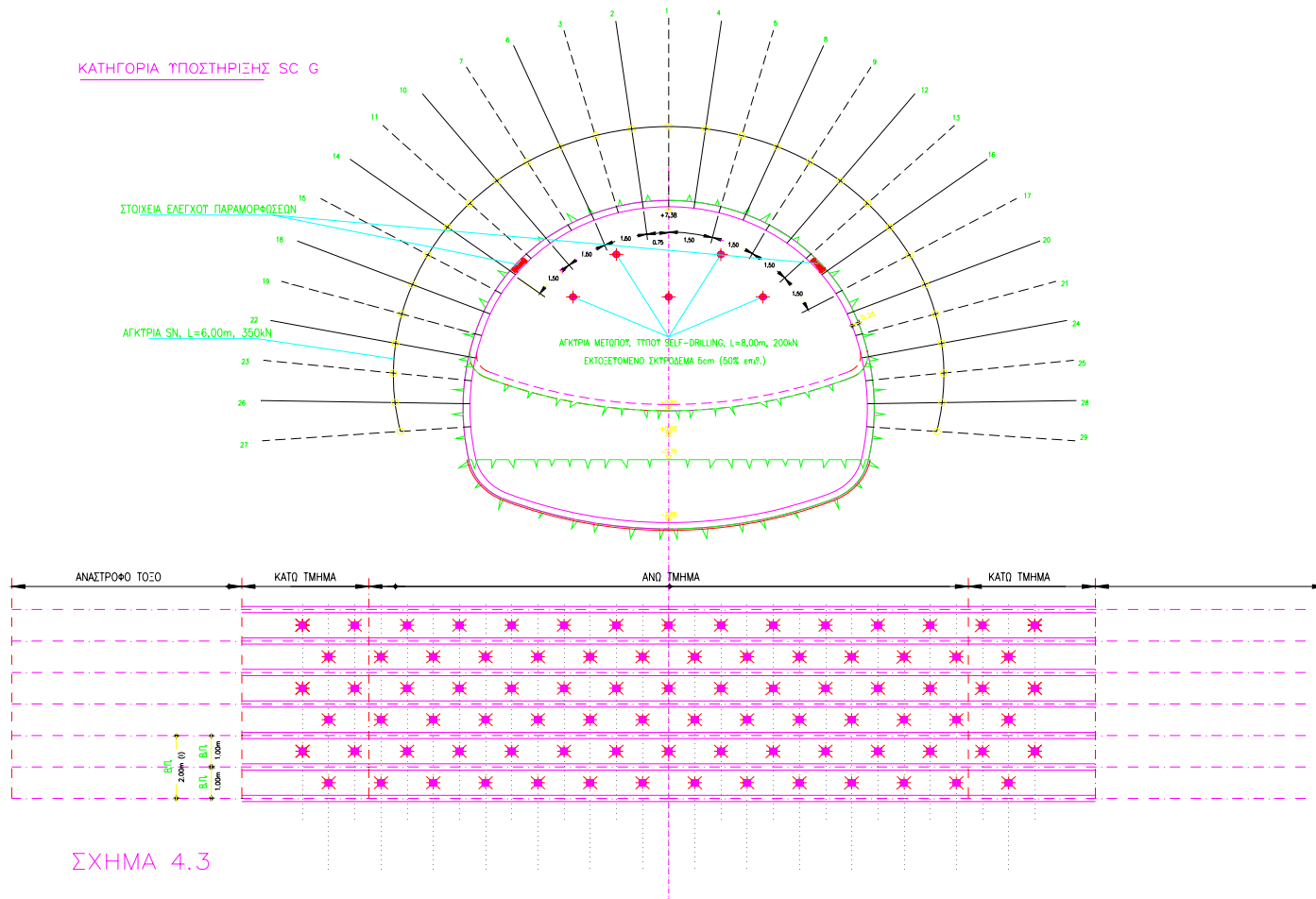


ΣΧΗΜΑ 4.1

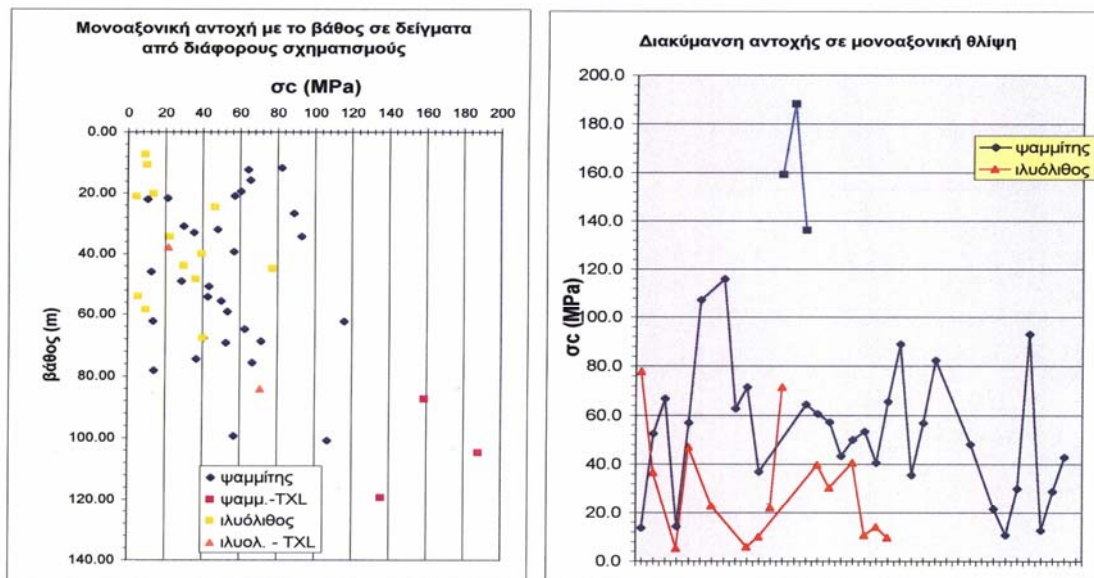
Σήραγγα Ανηλίου - Γεωλογική δομή - Σχεδιασμός - Ανάλυση



Σήραγγα Ανηλίου - Γεωλογική δομή - Σχεδιασμός - Ανάλυση



Σήραγγα Ανηλίου - Γεωλογική δομή - Σχεδιασμός - Ανάλυση

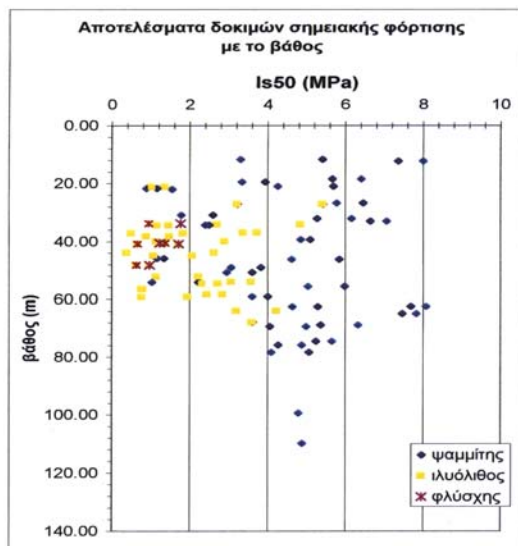


Anilio labresults2.xls, Charts

Page1/8

Σχήμα 5.1
Σχήμα 5.

Σήραγγα Ανηλίου - Γεωλογική δομή - Σχεδιασμός - Ανάλυση

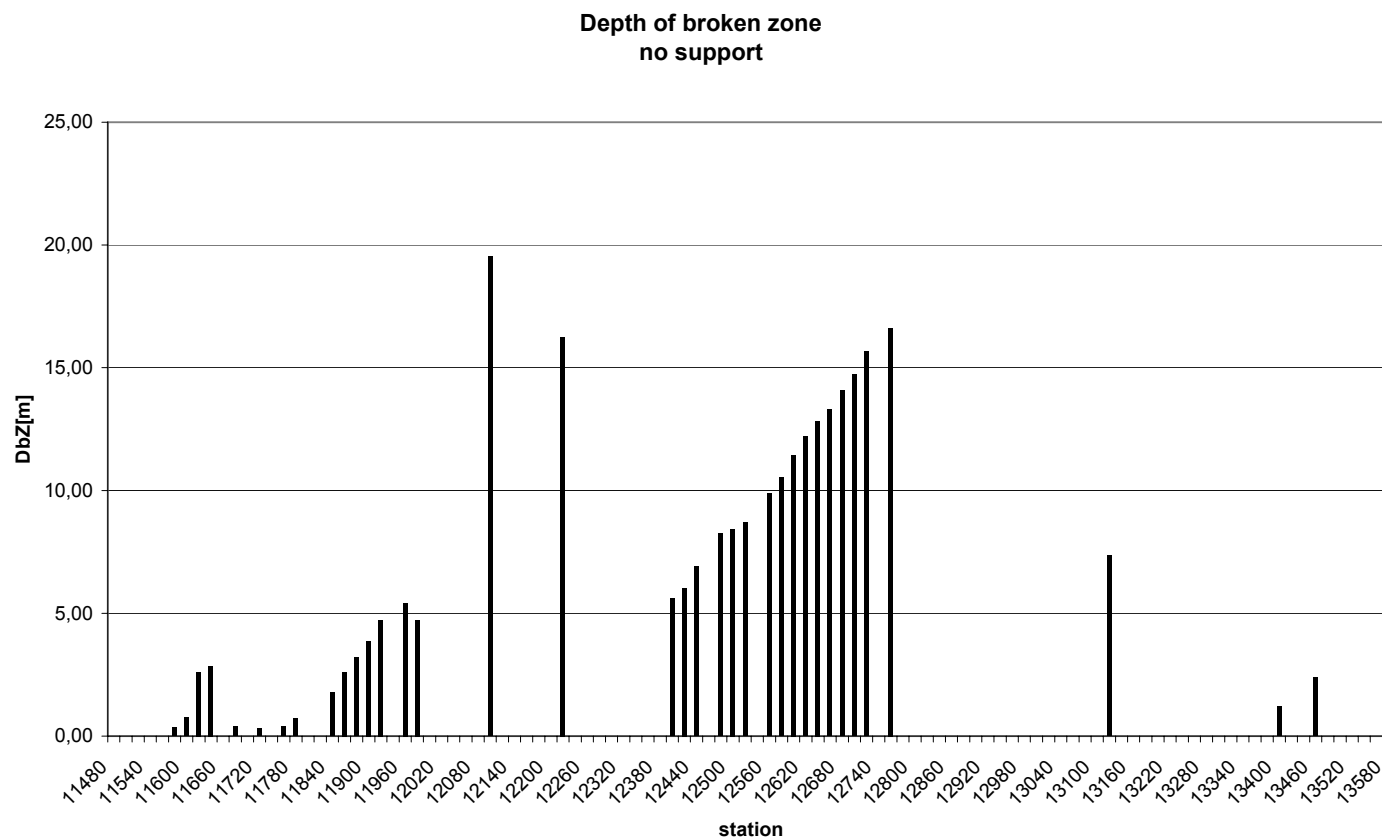


Anilio labresults2.xls, Charts



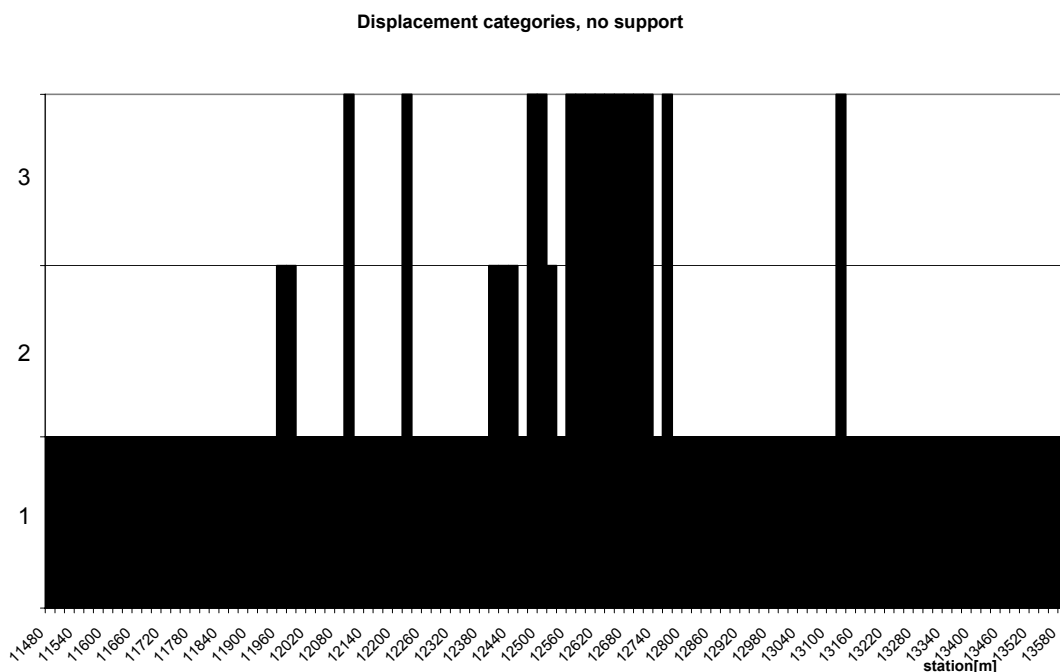
Page3/8

Σήραγγα Ανηλίου - Γεωλογική δομή - Σχεδιασμός - Ανάλυση

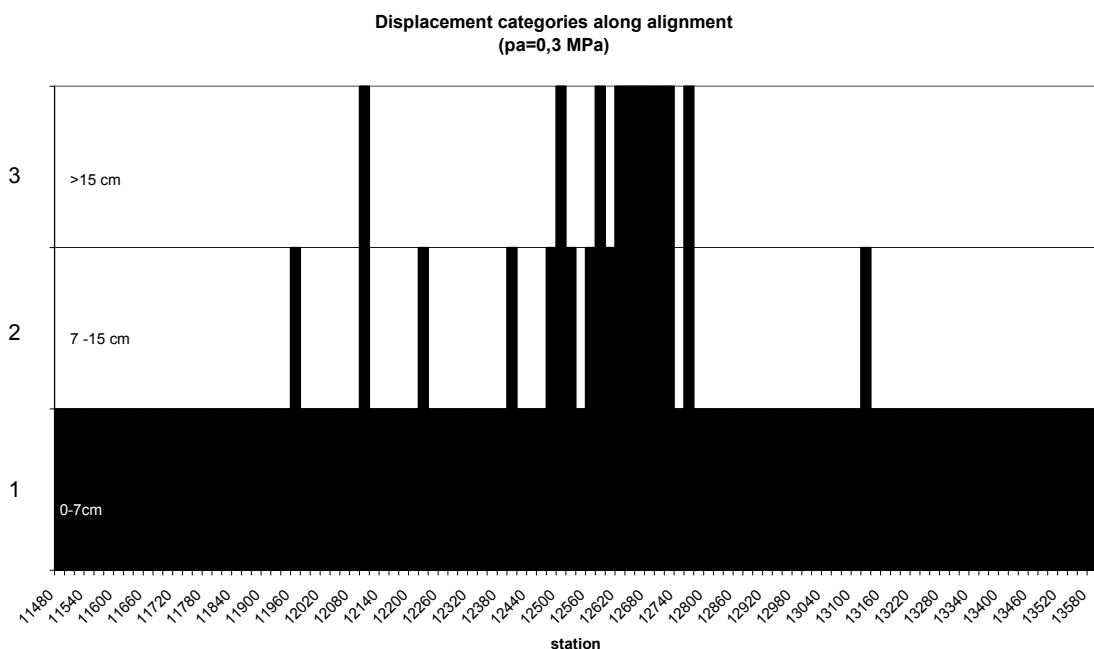


Σχήμα 5.3
Εύρος πλαστικοποιημένης ζώνης (χωρίς υποστήριξη)

Σήραγγα Ανηλίου - Γεωλογική δομή - Σχεδιασμός - Ανάλυση



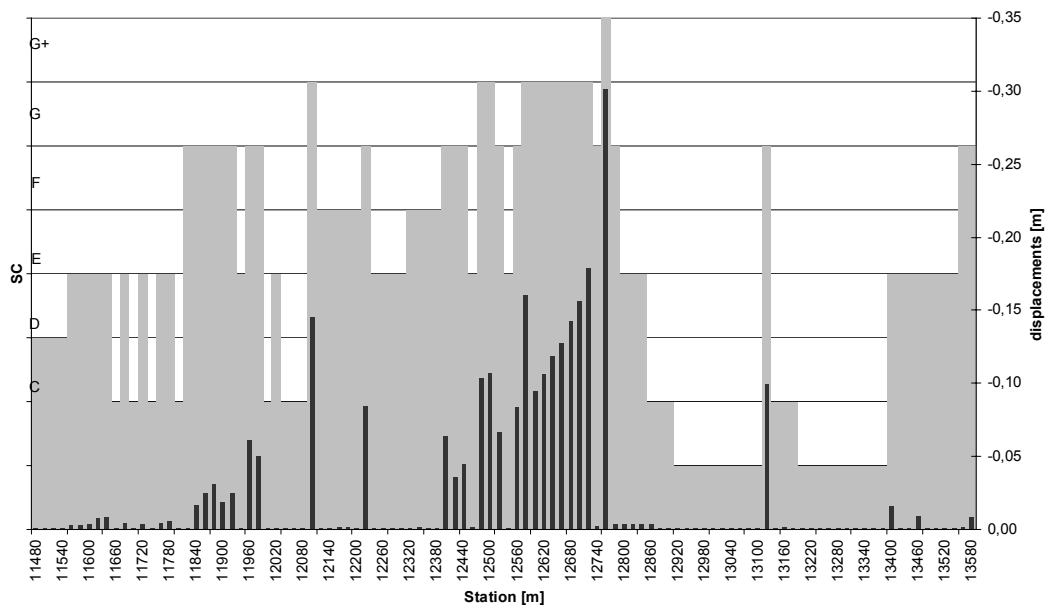
Σχήμα 5.4α
Κατηγορίες σύγκλισης χωρίς υποστήριξη
(Κατ. 1: 0-7 cm, Κατ. 2: 7-15 cm, Κατ. 3: > 15 cm)



Σχήμα 5.4β
Κατηγορίες σύγκλισης με υποστήριξη $p_a=0,3$ MPa στην περίμετρο της εκσκαφής

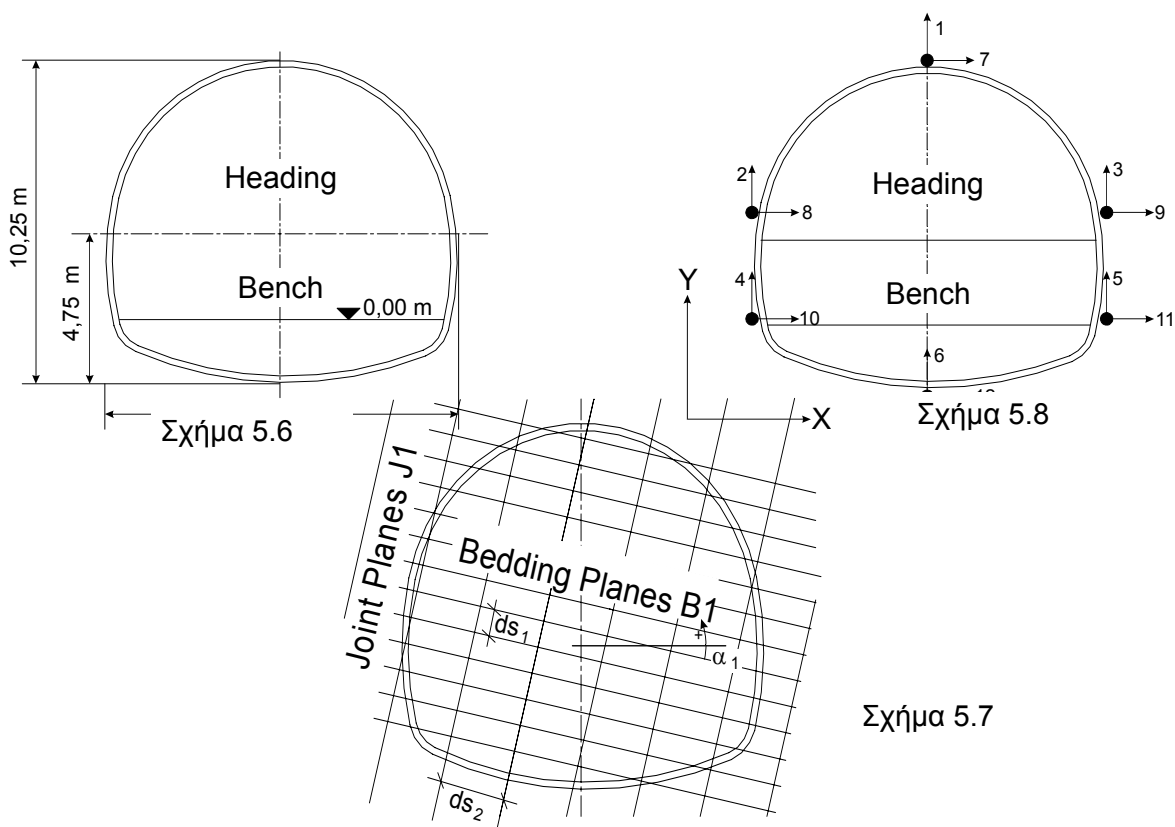
Σήραγγα Ανηλίου - Γεωλογική δομή - Σχεδιασμός - Ανάλυση

Support categories & expected range of displacement



Σχήμα 5.5

Κατηγορίες υποστήριξης και εκτιμώμενη σύγκλιση κατά μήκος της σήραγγας



Σχήμα 5.7