

**ΔΙΗΜΕΡΙΔΑ
"ΟΙ ΣΗΡΑΓΓΕΣ
ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ"**

**ΣΗΡΑΓΓΑ ΔΩΔΩΝΗΣ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΣΕ ΥΛΙΚΑ ΧΑΛΑΡΟΥ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΚΑΛΥΜΜΑΤΟΣ**

Εισηγητής : Ι. Μάλιος

 ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΛΙΟΥ Α.Ε.

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

**ΣΗΡΑΓΓΑ ΔΩΔΩΝΗΣ – ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΣΕ ΥΛΙΚΑ
ΧΑΛΑΡΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΚΑΛΥΜΜΑΤΟΣ**

1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

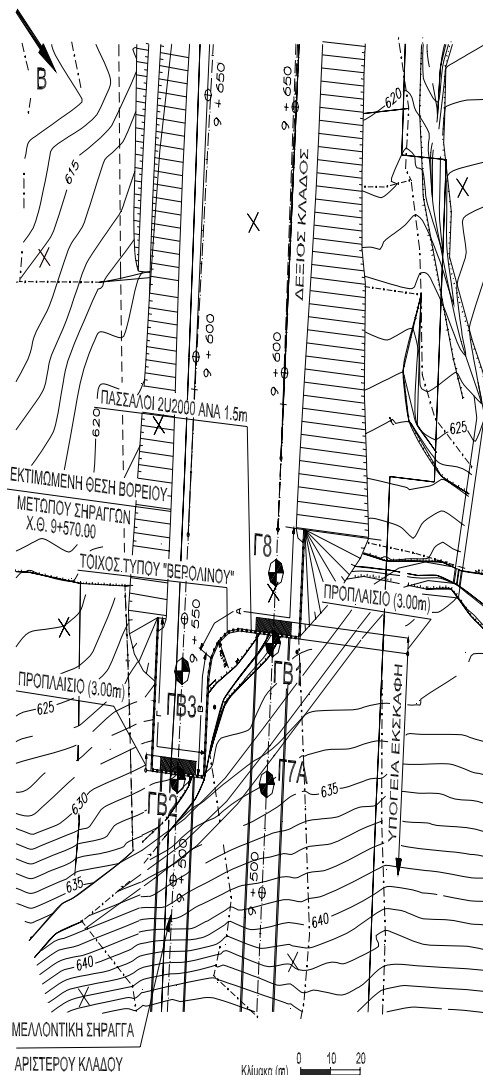
Η σήραγγα βρίσκεται στο Ν. Ιωαννίνων (τμήμα 1.3.2 της Εγνατίας Οδού). Σκοπός της υφιστάμενης χάραξης είναι να μειώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο αρχαίο θέατρο Δωδώνης.

Η υπόγεια εκσκαφή έχει μήκος μεγαλύτερο από 3.000 m, θα ξεκινήσει από το Βόρειο Μέτωπο και αφορά κυρίως τον Δεξιό Κλάδο, ο οποίος θα κατασκευασθεί σε όλο το μήκος του, ενώ ο Αριστερός Κλάδος θα πρέπει να κατασκευασθεί τουλάχιστον για μήκος 15.00 m, σύμφωνα με τους ισχύοντες περιβαλλοντικούς όρους. Η ευστάθεια των στομιών της σήραγγας εξασφαλίζεται προσωρινά με τοίχο τύπου «Βερολίνου» (κατακόρυφοι χαλύβδινοι δοκοί που ηλώνονται και καλύπτονται με ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα).

Τα πρώτα 50 m περίπου, υπόγειας εκσκαφής, αναμένεται να γίνουν σε δυσμενείς γεωλογικές συνθήκες και συγκεκριμένα σε μεταβλητού πάχους αργιλοαμμώδεις αποθέσεις, που υπέρκεινται του ασβεστολιθικού υποβάθρου. Η αντιστήριξη στο τμήμα αυτό απαιτεί ειδικό σχεδιασμό και προσοχή και περιλαμβάνει, πέραν των κλασικών μέτρων αντιστήριξης, προϋποστήριξη του θόλου και του μετώπου και ειδικές θεμελιώσεις στην άνω ημιδιατομή.

Τα μόνιμα ορύγματα στις αργιλοαμμώδεις Τεταρτογενείς αποθέσεις ύψους έως 12.00 m διαμορφώνονται με κλίσεις 1:2 (υ:β) χωρίς πρόσθετα μέτρα ενίσχυσης.

Στο σχήμα 1 που ακολουθεί, παρουσιάζεται η γενική διάταξη των έργων στην περιοχή των στομιών του Βορείου μετώπου.

Σήραγγα Δωδώνης - Σχεδιασμός Σήραγγας σε Υλικά Χαλαρού Επιφανειακού Καλύμματος


Σχήμα 1 : Απόσπασμα Οριζοντιογραφίας στην περιοχή των στομιών του Βορείου Μετώπου.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

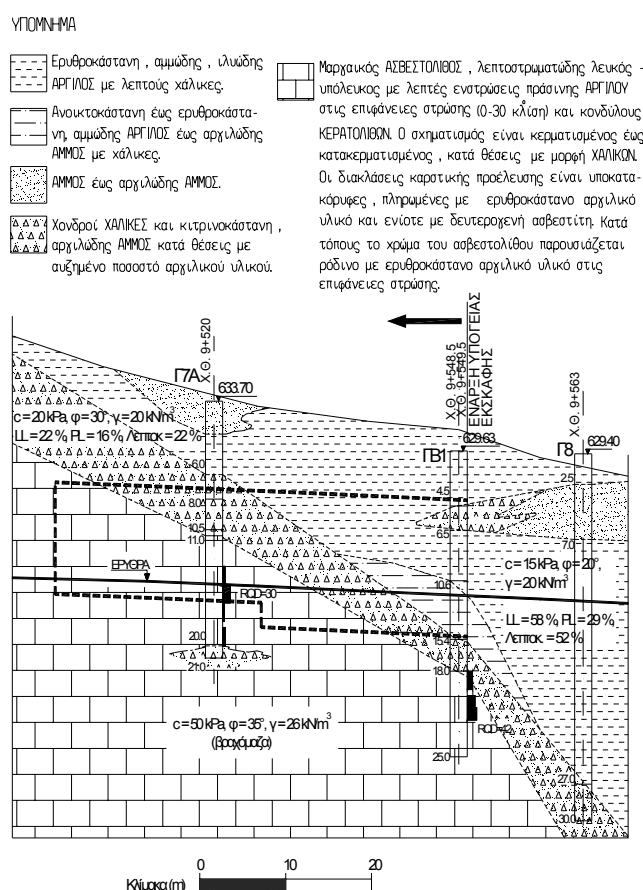
Η ευρύτερη περιοχή της Σήραγγας Δωδώνης εντάσσεται στον χώρο της γεωτεκτονικής ενότητας της Ιονίου.

Στην περιοχή του Βορείου Μετώπου της σήραγγας το γεωλογικό υπόβαθρο συγκροτείται από Άνω Ιουρασικούς ασβεστόλιθους, που καλύπτονται από μανδύα αποσάθρωσης μικρού πάχους και σχηματισμούς κορημάτων κυμαινόμενου πάχους. Το ανάγλυφο του ασβεστολιθικού υποβάθρου φαίνεται να έχει διαβρωθεί έντονα προς τα ανατολικά, με αποτέλεσμα να αυξάνει το πάχος των εδαφικών αποθέσεων στην περιοχή του δεξιού κλάδου. Όπου είναι δυνατή η παρατήρηση ασβεστολίθων στην επιφάνεια εμφανίζονται πτυχώσεις με άξονα ΒΔ-ΝΑ έως ΒΑ-ΝΔ και κλίσεις 20°-30° ΝΔ ή ΝΑ.

Σήραγγα Δωδώνης - Σχεδιασμός Σήραγγας σε Υλικά Χαλαρού Επιφανειακού Καλύμματος

Σύμφωνα με τα ευρήματα των γεωτρήσεων μπορεί να θεωρηθεί, ότι δεν υπάρχει μόνιμος υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας. Ωστόσο το υπόγειο νερό είναι δυνατόν να εγκλωβισθεί σε αμμώδεις φακοειδείς ενστρώσεις εντός των Τεταρτογενών αποθέσεων που καλύπτουν το ασβεστολιθικό υπόβαθρο. Οι περίοδοι βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων, συμβάλλουν στην παροδική ανύψωση της στάθμης των υδάτων εντός των Τεταρτογενών αποθέσεων.

Όσον αφορά τη γεωμετρία των στρωμάτων, παρατηρούνται συχνές αλλαγές πάχους, αποσφηνώσεις και γενικώς ακατάστατη γεωμετρία των σχηματισμών. Σημειώνεται ότι χονδρόκοκκα υλικά εμφανίζονται και εντός του βραχώδους υπόβαθρου, λόγω του έντονου κερματισμού του ασβεστολίθου. Στο σχήμα 2 που ακολουθεί, δίνεται η τεχνικογεωλογική μηκοτομή της σήραγγας (στόμιο Δεξιού κλάδου).



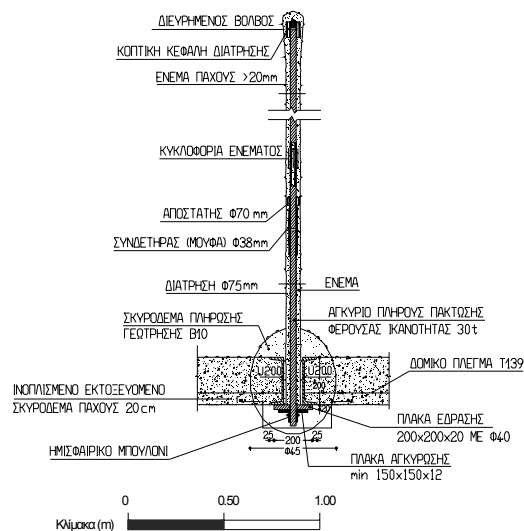
Σχήμα 2: Τεχνικογεωλογική μηκοτομή της σήραγγας (Στόμιο Δεξιού κλάδου).

3. ΤΟΙΧΟΣ ΤΥΠΟΥ «ΒΕΡΟΛΙΝΟΥ»

3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ – ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Ο τοίχος τύπου «Βερολίνου» συνίσταται από χαλύβδινες δοκούς που ηλώνονται και καλύπτονται από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Οι χαλύβδινες δοκοί (2 δοκοί διατομής U 200 St33, συνδεδεμένες με πλάκες) τοποθετούνται σε κατακόρυφα διατομήματα. Οι ενδιάμεσες ηλώσεις είναι κοπτικής κεφαλής, πλήρους πάκτωσης και φέρουσας ικανότητας 30 t (Σχήμα 3).

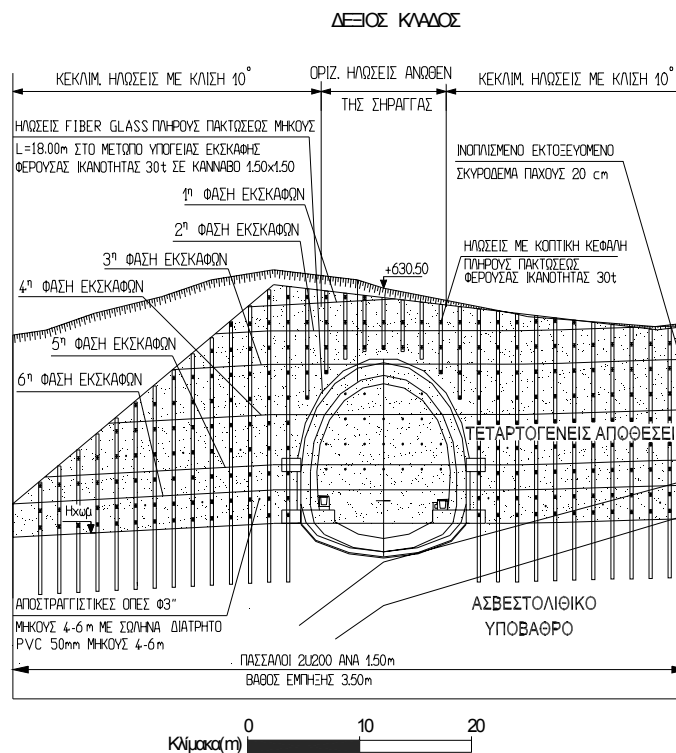
Η αντιστήριξη στον δεξιό κλάδο, όπου επικρατούν οι δυσμενέστερες γεωλογικές συνθήκες, αποτελείται από κάρναβο ηλώσεων 1.50*1.50 m. Στο μέγιστο ύψος του τοίχου (14.00 m) τοποθετούνται 10 σειρές αγκυρών μήκους 12.00 - 18.00 m.



Σχήμα 3 : Λεπτομέρεια ηλώσεων.

Στο μέτωπο της σήραγγας αντί των κοινών ηλώσεων τοποθετούνται ηλώσεις από fiberglass, ώστε να είναι δυνατή η εκσκαφή της σήραγγας. Το σύστημα αντιστήριξης συμπληρώνεται με ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

Στο σχήμα 4 που ακολουθεί, δίνεται απόσπασμα της όψης του τοίχου τύπου «Βερολίνου» και τα βασικά στοιχεία της κατασκευής.

Σήραγγα Δωδώνης - Σχεδιασμός Σήραγγας σε Υλικά Χαλαρού Επιφανειακού Καλύμματος


Σχήμα 4 : Απόσπασμα όψης τοίχου τύπου Βερολίνου.

Οι φάσεις κατασκευής του τοίχου έχουν ως εξής :

- Διάτρηση των οπών για τοποθέτηση των χαλύβδινων δοκών.
- Τοποθέτηση των μεταλλικών δοκών και συγκράτηση στη θέση τους με ισχνό σκυρόδεμα.
- Διαδοχική εκσκαφή σε επίπεδα εργασίας. Σε κάθε επίπεδο εκτελούνται οι εξής εργασίες:
 - Αποκάλυψη των μεταλλικών δοκών με καθαίρεση του ισχνού σκυροδέματος.
 - Εφαρμογή ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε δύο στρώσεις συνολικού πάχους 20 cm, με ενδιάμεσο μεταλλικό πλέγμα.
 - Τοποθέτηση ηλώσεων (Διάτρηση με αέρα και εισπύεση ενέματος για τη δημιουργία διευρυμένου βολβού).

Πάνω από το κατακόρυφο τμήμα του τοίχου τύπου «Βερολίνου», διαμορφώνονται ανοιχτά ορύγματα με μέγιστη κλίση 1:1,5 (υ:β). Τα ορύγματα αυτά προσφέρουν αφενός εξοικονόμηση μέτρων αντιστήριξης αλλά και τη δυνατότητα της πλήρους κάλυψης του τοίχου κατά τη φάση επανεπίχωσης.

Σήραγγα Δωδώνης - Σχεδιασμός Σήραγγας σε Υλικά Χαλαρού Επιφανειακού Καλύμματος

Στα κατώτερα σημεία του τοίχου προβλέπεται η διάνοιξη 2 σειρών αποστραγγιστικών οπών $\varnothing 3''$, μήκους 4.00-6.00 m με διάτρητο πλαστικό σωλήνα. Ο σκοπός των αποστραγγιστικών οπών είναι η αποτόνωση των πιέσεων του νερού το οποίο είναι δυνατόν να εγκλωβισθεί προσωρινά σε αμμώδεις, φακοειδείς ενστρώσεις εντός των αργιλικών υλικών.

Η απορροή των επιφανειακών υδάτων πάνω από τον τοίχο τύπου «Βερολίνου» παραλαμβάνεται από τάφρο οφρύος τραπεζοειδούς διατομής που διατάσσεται στο έρεισμα του εργοταξιακού δρόμου ο οποίος έχει πλάτος 4.00 m. Η τάφρος είναι επενδεδυμένη με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και τα νερά διοχετεύονται εκτός της περιοχής του μετώπου σε φυσικό αποδέκτη.

3.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Ο σχεδιασμός του τοίχου «Βερολίνου» περιλαμβάνει σε πρώτη φάση την διαστασιολόγηση του πετάσματος, δηλαδή τον προσδιορισμό της διατομής των χαλύβδινων δοκών, της αξονικής αποστάσεως τους, του καννάβου τοποθέτησης των ηλώσεων και της φέρουσας ικανότητας των, με βάση τις αναπτυσσόμενες ωθήσεις γαιών. Οι συντελεστές ωθήσεων γαιών υπολογίζονται με ειδικό λογισμικό [1] λαμβάνοντας αυξημένες ενεργητικές ωθήσεις.

Ο προτεινόμενος σχεδιασμός αποβλέπει στην εξασφάλιση των απαιτούμενων συντελεστών ασφαλείας έναντι κάμψης στις μεταλλικές δοκούς [2] και έναντι εφελκυσμού στις ηλώσεις [3].

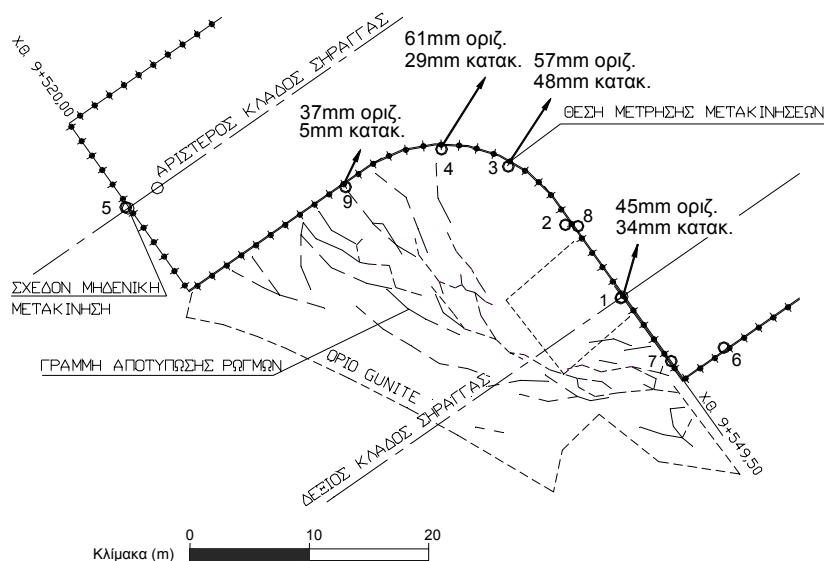
Στην συνέχεια πραγματοποιείται έλεγχος της επενδύσεως από ινοπλισμένο σκυρόδεμα το οποίο εφαρμόζεται μεταξύ των χαλύβδινων δοκών. Για τον υπολογισμό των μέγιστων εφελκυστικών τάσεων που αναπτύσσονται, το σύστημα των χαλύβδινων δοκών και της επενδύσεως προσομοιώνεται με αμφιέριστη δοκό κατάλληλου ανοίγματος.

Μετά την διαστασιολόγηση του πετάσματος, εξετάζεται η ευστάθεια του αντιστηριζόμενου ορύγματος σε κυκλική ολίσθηση κατά Bishop [1] με βάση τους ισχύοντες συντελεστές ασφαλείας [4] και προσδιορίζεται το απαιτούμενο ελεύθερο μήκος των ηλώσεων. Κατά τον έλεγχο έναντι κυκλικής ολίσθησης λαμβάνονται υπόψη οι φάσεις κατασκευής του πετάσματος, δηλαδή η σταδιακή εκσκαφή και αγκύρωση του. Τέλος, υπολογίζεται το μήκος πακτώσεως των ηλώσεων [5] για συνεκτικά εδάφη.

Κατά την κατασκευή πραγματοποιήθηκαν δοκιμές αγκυρίων [3], [6], οι οποίες έδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα επιβεβαιώνοντας το σχεδιασμό των αγκυρίων.

3.3 ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ – ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ

Κατά την διάρκεια της κατασκευής του τοίχου τύπου «Βερολίνου» παρατηρήθηκαν μικρορωγμές άνωθεν αυτού, όταν η εκσκαφή βρισκόταν 4.00 – 5.00 m πάνω από την τελική στάθμη εκσκαφής. Η θέση των ρωγμών φαίνεται στο σχήμα 5 που ακολουθεί.

Σήραγγα Δωδώνης - Σχεδιασμός Σήραγγας σε Υλικά Χαλαρού Επιφανειακού Καλύμματος


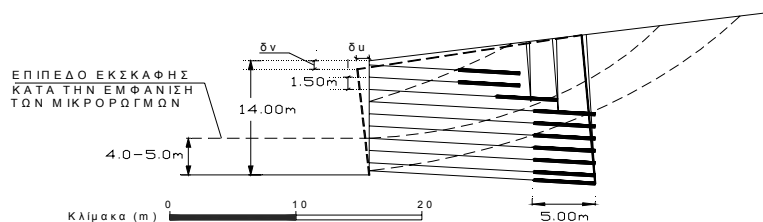
Σχήμα 5: Θέση Ρωγμών και μετακινήσεις της κεφαλής του τοίχου τύπου «Βερολίνου».

Οι παραμορφώσεις σε τοίχους τύπου «Βερολίνου» αποτελούν μέρος της γενικής φιλοσοφίας σχεδιασμού και έχουν διαπιστωθεί σε πολλές περιπτώσεις [7, 8, 9, 10]. Η μέγιστη παρατηρηθείσα μετακίνηση για ύψος πρανούς 13.00 – 16.00 m κυμαίνεται στις περιπτώσεις αυτές από 22-76 mm.

Στην προκειμένη περίπτωση η μέγιστη οριζόντια μετακίνηση της κεφαλής του τοίχου τύπου «Βερολίνου» ήταν $\delta_u = 61$ mm ενώ η μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση ήταν $\delta_v = 48$ mm (Σχήμα 6). Ο ρυθμός μεταβολής των μετακινήσεων ήταν σχετικά σταθερός (περίπου 1,4 mm/ημέρα).

Η παρατηρηθείσα μετακίνηση οφείλεται κατά κύριο λόγο στην επιμήκυνση των αγκυρίων, η οποία έχει διαπιστωθεί σε επί τόπου δοκιμές και μάλιστα έχει βρεθεί [11], ότι οι μετρούμενες επιμηκύνσεις είναι γενικά μεγαλύτερες από τις αναμενόμενες. Η ανηγμένη παραμόρφωση του χάλυβα ποιότητας S650, από τον οποίο είναι κατασκευασμένα τα αγκύρια είναι 3‰ περίπου, άρα για αγκύρια ελεύθερου μήκους 10-13 m, αναμένεται επιμήκυνση 30-39 mm. Πέραν της μετακίνησης αυτής είναι αναγκαία μετακίνηση της τάξεως των 10-20 mm περίπου, για την ανάπτυξη της πλευρικής τριβής στο πακτωμένο τμήμα των αγκυρίων. Επομένως, η αναμενόμενη μετακίνηση του τοίχου είναι 40-60 mm περίπου.

Ο υπολογισμός του ελεύθερου μήκους των αγκυρίων έχει γίνει από λογισμικό, ώστε οι «μικροί κύκλοι ολίσθησης» να αντιμετωπίζονται από τις ανώτερες σειρές ηλώσεων (12-15 m μήκος). Αντίστοιχα οι μεγάλοι κύκλοι που διέρχονται από τη βάση του πρανούς αντιμετωπίζονται από τις υπόλοιπες σειρές ηλώσεων, οι οποίες έχουν μεγαλύτερο μήκος (18 m) (Σχήμα 6).

Σήραγγα Δωδώνης - Σχεδιασμός Σήραγγας σε Υλικά Χαλαρού Επιφανειακού Καλύμματος


Σχήμα 6 : Σχηματική απεικόνιση των παραμορφώσεων του τοίχου Βερολίνου.

Εκ των άνω συνάγεται ότι οι παρατηρηθείσες μετακινήσεις και μικρορωγμές δεν αποτελούν παράγοντα ανησυχίας, όμως θα πρέπει να συνεχισθεί η παρακολούθηση της συμπεριφοράς του συστήματος με λεπτομερείς μετρήσεις των παραμορφώσεων και χαρτογράφηση των πιθανών διαρρήξεων.

Το πρόγραμμα παρακολούθησης του τοίχου Βερολίνου και της υπόγειας εκσκαφής κατά την κατασκευή θεωρείται αναπόσπαστο τμήμα της διαδικασίας σχεδιασμού. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά οι μετρήσεις, ο σκοπός και η συχνότητα εφαρμογής τους.

Α/Α	ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ/ΔΟΚΙΜΕΣ	ΣΚΟΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ/ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ
1	-Χωροσταθμίσεις τοίχου τύπου «Βερολίνου».	-Προσδιορισμός μετακινήσεων τοίχου τύπου «Βερολίνου».	Δύο σημεία καθ' ύψος για κάθε 10 m μήκος τοίχου.
2	-Χωροσταθμίσεις ακριβείας επιφάνειας.	-Προσδιορισμός καθιζήσεων ή πλευρικών κινήσεων του εδάφους άνωθεν της σήραγγας.	Στις εισόδους της σήραγγας σε κάναβο 10 m*10 m.
3	-Συγκλίσεις-Χωροσταθμίσεις εντός της σήραγγας (3 σημεία μέτρησης στην άνω ημιδιατομή και 2 στην κάτω ημιδιατομή).	-Προσδιορισμός της παραμόρφωσης του εσωραχίου της σήραγγας. - Έλεγχος επάρκειας μέτρων αντιστήριξης.	Τακτικά σε διατομές ανά 15 m και αναλόγως των γεωλογικών σχηματισμών.
4	-Επιμηκυνσιόμετρα (3 σημείων μήκους 3, 6 και 9 m).	-Παραμόρφωση περιβάλλοντος εδάφους. -Εκτίμηση πάχους ζώνης χαλάρωσης. -Έλεγχος επάρκειας ηλώσεων.	Σε κάθε αλλαγή γεωλογικού σχηματισμού και όπου αλλού απαιτηθεί. Η έναρξη τοποθέτησης θα γίνει σε υπερκείμενο μεγαλύτερο από 10 m.

Πίνακας 1 : Πρόγραμμα Μέτρησης Παραμορφώσεων.

Ο προσδιορισμός των θέσεων εγκατάστασης των οργάνων εξαρτάται κυρίως από τις τοπικές γεωλογικές - γεωτεχνικές συνθήκες. Η συχνή λήψη μετρήσεων και η παράλληλη καταγραφή των γεωλογικών συνθηκών και της προόδου των εργασιών, αποτελούν παράγοντες εξαιρετικής σημασίας για την επιτυχία του προγράμματος παρακολούθησης.

4. ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ

4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Στα στόμια των δύο κλάδων της σήραγγας κατασκευάστηκαν προπλάισια μήκους 3.00 m έκαστο, τα οποία αποτελούνται από μεταλλικά πλαίσια και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ενισχυμένο με κατάλληλο οπλισμό. Σκοπός του προπλαισίου είναι η προστασία από καταπτώσεις και η εν γένει ασφάλεια κατά τη διάρκεια των υπόγειων εκσκαφών, οι οποίες διεξάγονται μέσα από το προπλάισιο. Για το λόγο αυτό οι διαστάσεις του είναι μεγαλύτερες από τη διατομή εκσκαφής.

Η εκσκαφή και αντιστήριξη της σήραγγας γίνεται με βάση τις αρχές της μεθόδου NATM σε τρεις φάσεις :

- Φάση 1 : Εκσκαφή της άνω ημιδιατομής (top heading).
- Φάση 2 : Εκσκαφή της βαθμίδας (bench).
- Φάση 3 : Εκσκαφή του πυθμένα (invert).

Η προσωρινή αντιστήριξη της σήραγγας (Σχήμα 7) έχει σκοπό να προστατέψει την διανοιγόμενη κοιλότητα έως ότου τοποθετηθεί η τελική επένδυση και είναι στη βάση της παρόμοια με την αντιστήριξη ενός ορύγματος, με τη διαφορά ότι λόγω του κυκλικού σχήματός της, θα ενεργοποιηθεί η αυτοϋποστήρικτη ικανότητα του περιβάλλοντος εδάφους. Η προσωρινή αντιστήριξη μαζί με το γύρω έδαφος φέρουν το φορτίο του υπερκειμένου εδάφους κατά τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργείται και να διατηρείται μια θολωτή κατασκευή.

Τα μέτρα αντιστήριξης και το βήμα προχώρησης κάθε μιας από τις τρεις κατηγορίες προσωρινής αντιστήριξης που έχουν προβλεφθεί, εξαρτώνται από τις γεωτεχνικές συνθήκες και τη γεωμετρία των σχηματισμών. Τα τυπικά μέτρα αντιστήριξης σε όλες τις διατομές είναι εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, πλαίσια και ηλώσεις, ενώ το βήμα προχώρησης προβλέπεται να είναι 0.80 – 1.00 m.

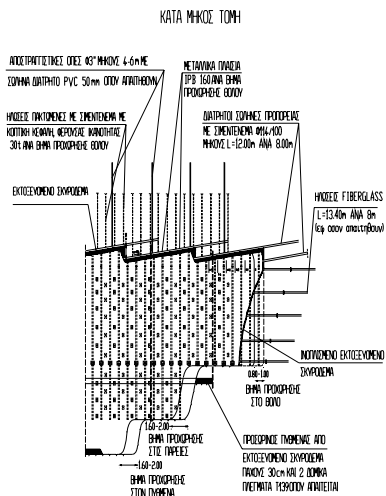
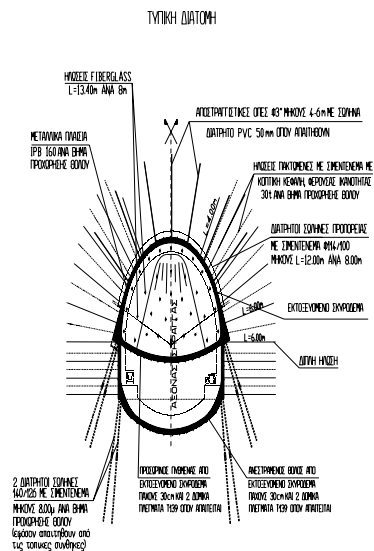
Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (πάχους 30 cm) εξυπηρετεί τις παρακάτω λειτουργίες :

- Εξασφάλιση (μαζί με το περιβάλλον εδάφους) θολωτής φέρουσας κατασκευής.
- Εξασφάλιση παθητικής αντίστασης έναντι της πλαστικοποίησης του εδάφους.
- Κατανομή των φορτίων.

Τα σιδηρά πλαίσια (IPB160) θα τοποθετούνται ανά βήμα προχώρησης της εκσκαφής. Με τη χρήση τους εξασφαλίζεται :

- Προστασία από καταπτώσεις.
- Αντίσταση στην παραμόρφωση του κελύφους του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.
- Ανάλυση και κατανομή τοπικά αυξημένων φορτίων.
- Πρόσθετη διατμητική αντοχή στην περίπτωση αστοχίας του κελύφους του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Σήραγγα Δωδώνης - Σχεδιασμός Σήραγγας σε Υλικά Χαλαρού Επιφανειακού Καλύμματος



Σχήμα 7: Τυπική διατομή μέτρων προσωρινής αντιστήριξης

Σήραγγα Δωδώνης - Σχεδιασμός Σήραγγας σε Υλικά Χαλαρού Επιφανειακού Καλύμματος

Οι ηλώσεις για όλες τις διατομές θα είναι κοπτικής κεφαλής, μήκους 4.00 m - 6.00 m. Η παρουσία τους εξασφαλίζει :

- Τη συρραφή των δομικών στοιχείων μεταξύ τους.
- Την ενίσχυση ζωνών γύρω από την εκσκαφή που τείνουν να εξασθενούν λόγω διατμητικών δυνάμεων.
- Την ενίσχυση της αντοχής του εδάφους σε εφελκυστικές τάσεις.

Η αντιστήριξη στο αρχικό τμήμα, το οποίο χαρακτηρίζεται από δυσμενείς γεωτεχνικές συνθήκες, απαιτεί ειδικό σχεδιασμό και προσοχή κατά την κατασκευή. Εκτός από τα «κλασικά» μέτρα αντιστήριξης (εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, πλαίσια, ηλώσεις) η αντιστήριξη στο τμήμα αυτό περιλαμβάνει : α) προϋποστήριξη του θόλου με σωλήνες προπορείας (forepoling), και υποστήριξη του μετώπου με αγκύρια fiberglass, ώστε να είναι δυνατή η εκσκαφή, β) θεμελίωση των ενδιάμεσων φάσεων εκσκαφής (top heading, bench) με μικροπασσάλους και διεύρυνση της βάσης (elephant foot), γ) προσωρινό ή/και μόνιμο ανεστραμμένο θόλο (invert).

Η προϋποστήριξη του θόλου εξασφαλίζεται με την τοποθέτηση στην περίμετρο της διατομής σωλήνων προπορείας ($\varnothing 114/100$ mm, μήκους 12.00 m, αλληλοκάλυψη 4.00 m). Οι σωλήνες έχουν κλίση 10% προς τα επάνω και διεύθυνση ακτινικά προς τον άξονα της σήραγγας. Επιπλέον, η ευστάθεια του μετώπου ενισχύεται με την τοποθέτηση αγκυρίων fiberglass (μήκους 13,40 m, αλληλοκάλυψη 5,4 m).

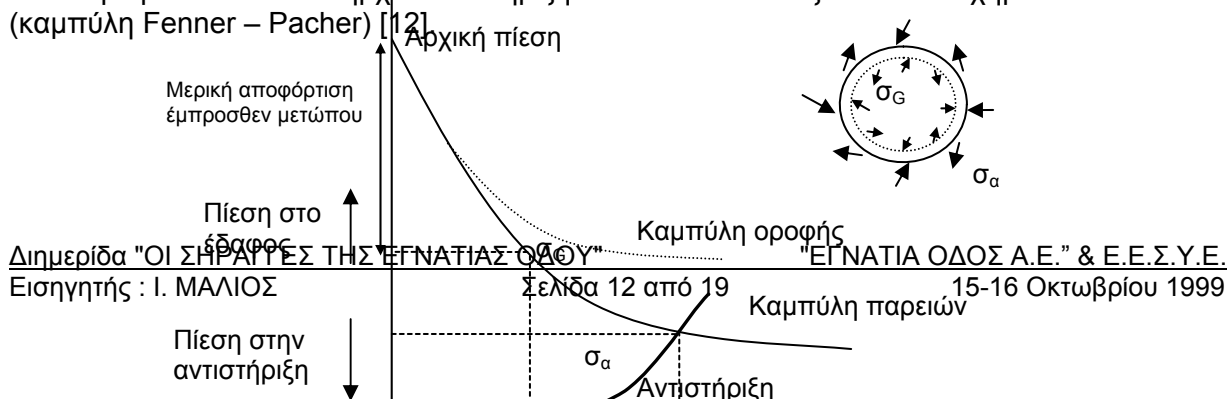
Ο πόδας της άνω ημιδιατομής (top heading) διευρύνεται δημιουργώντας ένα θεμέλιο περίπου 1.00 m από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάνω στο οποίο εδράζονται τα πλαίσια, μεταφέροντας ομοιόμορφα τις αξονικές δυνάμεις στο έδαφος. Ομοίως, στον πόδα της κάτω ημιδιατομής (bench) γίνεται διεύρυνση 0.50 m. Όπου απαιτείται ενίσχυση της φέρουσας ικανότητας του πόδα τοποθετούνται μικροπασσάλοι $\varnothing 140/126$ μήκους 8.00 m.

Οι ποσότητες των μέτρων αντιστήριξης εξαρτώνται από τη θέση του ασβεστολιθικού υποβάθρου σε σχέση με την εκσκαφή και τις γεωτεχνικές παραμέτρους (αντοχή, παραμορφωσιμότητα) των εδαφικών υλικών. Συγκεκριμένα, αναμένεται αύξηση του αριθμού των σωλήνων προπορείας με την πρόοδο της εκσκαφής, εξ' αιτίας της αύξησης των υπερκείμενων (αύξηση φορτίων), και ελάττωση των υπολοίπων μέτρων αντιστήριξης (αγκύρια fiberglass, μικροπασσάλοι, invert) λόγω της ανύψωσης του ασβεστολιθικού υποβάθρου.

4.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Οι υπολογισμοί για την ευστάθεια των μέτρων αντιστήριξης έγιναν τόσο με αναλυτικές όσο και με αριθμητικές μεθόδους.

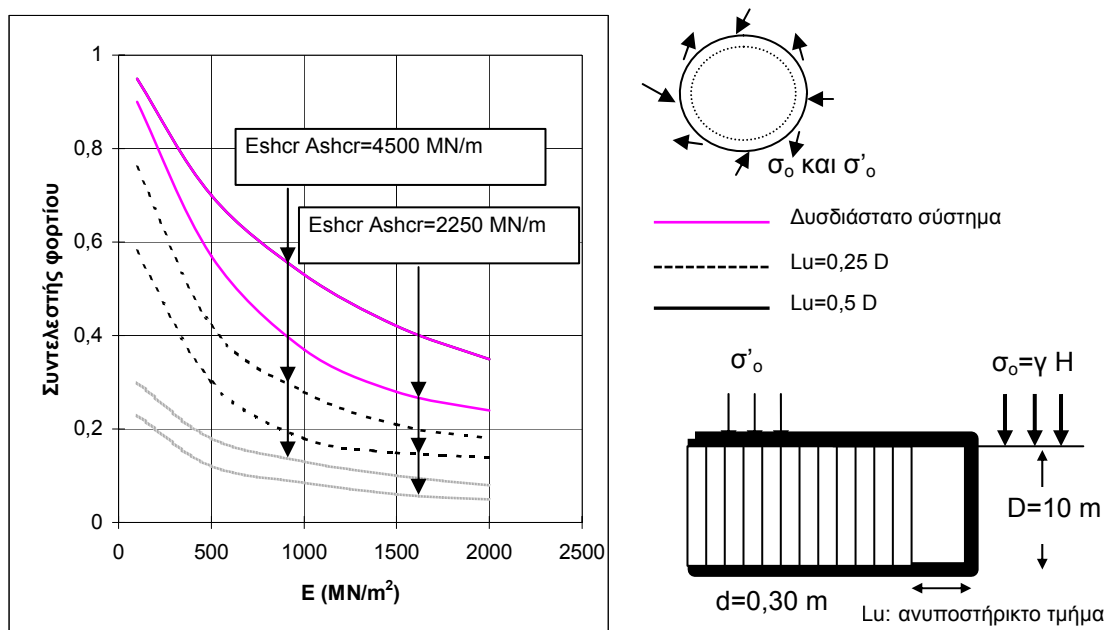
Οι υπολογισμοί με αναλυτικές μεθόδους βασίστηκαν στον υπολογισμό του φορτίου που καλείται να παραλάβει η αντιστήριξη. Το πρόβλημα εστιάζεται στον προσδιορισμό του ποσοστού των αρχικών τάσεων, οι οποίες μπορούν να ανακατανεμηθούν γύρω από την σήραγγα με την κινητοποίηση διατμητικών δυνάμεων στο περιβάλλον έδαφος. Το φορτίο στην προσωρινή αντιστήριξη της σήραγγας εξαρτάται από τις παραμορφώσεις που θα είχε υποστεί το πέτρωμα αν δεν υπήρχε αντιστήριξη. Αυτό απεικονίζεται στο σχήμα που ακολουθεί (καμπύλη Fenner – Pacher)



Σχήμα 8: Καμπύλη Fenner – Pacher.

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι η αντιστήριξη δεν δέχεται φορτία όταν τοποθετηθεί μετά την πραγματοποίηση των παραμορφώσεων και επίσης παίρνει τόσο μεγαλύτερο ποσοστό φορτίου όσο πιο κοντά βρίσκεται στο μέτωπο.

Ο υπολογισμός της κατανομής του φορτίου στην προσωρινή αντιστήριξη έχει γίνει από τον J. Erdmann [13] ο οποίος, με τη χρήση τρισδιάστατης ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων και συγκριτικές μετρήσεις σε σήραγγες, έχει καταλήξει σε συντελεστές φορτίου επί της αντιστήριξης σε σχέση με το υπερκείμενο (αρχική τάση σ_0).



Σχήμα 9: Μοντέλο υπολογισμού φορτίου επί της αντιστήριξης [13]

Οι συντελεστές φορτίου υπολογίζονται με βάση τα χαρακτηριστικά του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, τη διάμετρο της εκσκαφής, το μήκος του ανυποστήρικτου τμήματος της σήραγγας (βήμα εκσκαφής) και το μέτρο ελαστικότητας του εδάφους [13]. Λαμβάνεται το μέτρο ελαστικότητας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, 5 ώρες μετά την διάστρωση 5000 MPa και 10

Σήραγγα Δωδώνης - Σχεδιασμός Σήραγγας σε Υλικά Χαλαρού Επιφανειακού Καλύμματος

ώρες μετά την διάστρωση 15000 MPa. Οι συντελεστές του φορτίου που προκύπτουν είναι 0,70 έως 0,80.

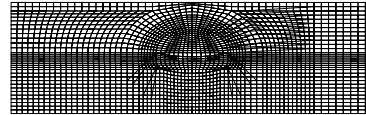
Η προσωρινή αντιστήριξη της άνω ημιδιατομής (δακτύλιος εκτοξευόμενου σκυροδέματος και ηλώσεις) ελέγχεται με σκοπό να διαπιστωθεί η ευστάθεια μέχρι την εκσκαφή της κάτω ημιδιατομής και το κλείσιμο του δακτυλίου. Το πρόβλημα ευστάθειας αρχίζει με την προοδευτική αύξηση της διατμητικής τάσης μεταξύ του εδάφους και του δακτυλίου στην περιοχή του πόδα και καταλήγει στην υπέρβαση της παθητικής αντοχής του εδάφους κάτω από τον πόδα του δακτυλίου της προσωρινής επένδυσης. Ο υπολογισμός των εφαπτομενικών τάσεων που ασκούνται γίνεται με τις εξισώσεις Kirsch υποθέτοντας κυκλικό σχήμα εκσκαφής και στη συνέχεια, με τη βοήθεια του κύκλου Mohr υπολογίζεται η αναγκαία ακτινική τάση για την αποφυγή αστοχίας στο έδαφος στην περιοχή του πόδα. Για κάθε στρώμα εδάφους υπολογίζεται η διαθέσιμη παθητική αντοχή (DIN 4017) και έτσι προκύπτει αν επαρκεί η αντιστήριξη ή πρέπει να ενισχυθεί με τοποθέτηση μικροπασσάλων.

Ο στατικός υπολογισμός των εντατικών μεγεθών στο εκτοξευόμενο σκυροδέμα γίνεται με τη χρήση σύμμικτης διατομής (σκυρόδεμα – πλαίσια – γεώμαζα). Η προσομοίωση του εδάφους γίνεται με ελατήρια. Με τη χρήση σύμμικτης διατομής λαμβάνεται υπόψη η συνδυασμένη δράση εδάφους και σκυροδέματος μέσω της οποίας τελικά μειώνονται οι καμπτικές ροπές στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

Για τον έλεγχο της ευστάθειας του μετώπου, προτού τοποθετηθούν τα μέτρα αντιστήριξης, κατά την διαμήκη αντιστήριξη, γίνεται χρήση του αριθμού ευστάθειας (Stability Number) $N_s = \sigma_o / c_u$. Η υψηλή τιμή του αριθμού ευστάθειας N_s δείχνει πλαστικοποίηση και αστάθεια του μετώπου. Για την αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού απαιτείται η χρήση διαμήκων στοιχείων προϋποστήριξης του μετώπου (δοκοί προπορείας, βλήτρα προπορείας).

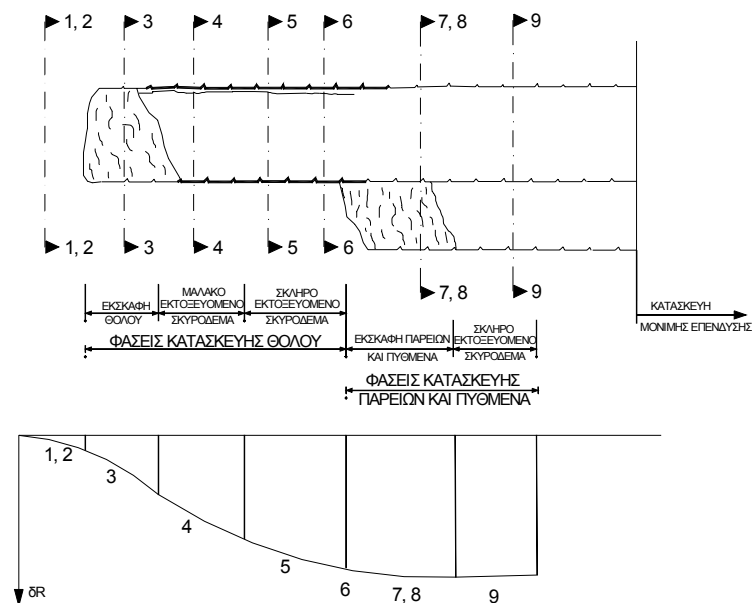
Εκτός από τους προαναφερθέντες υπολογισμούς, η ευστάθεια του συστήματος γεώμαζα – αντιστήριξη ελέγχθηκε και με την αριθμητική μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση από τον τοίχο τύπου «Βερολίνου» και της φάσεις εκσκαφής – αντιστήριξης στη σήραγγα. Το έδαφος προσομοιάζεται με ένα κατάλληλο νόμο υλικών (Mohr – Coulomb) και μια σειρά δυσδιάστατων πεπερασμένων στοιχείων (3 & 4 κόμβων). Η απόκριση ελήφθη σαν γραμμικά ελαστική μέχρι τη διαρροή και πλαστική (χωρίς κράτυνση) μετέπειτα. Τα ελαστοπλαστικά μητρώα ακαμψίας των στοιχείων συντάχθηκαν με αριθμητική ολοκλήρωση ώστε να είναι δυνατή η αντιμετώπιση της μη ελαστικής συμπεριφοράς. Για την περιγραφή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος και των πλαισίων χρησιμοποιήθηκαν γραμμικά στοιχεία ανάλογης διατομής, ενώ για την προσομοίωση ηλώσεων και μικροπασσάλων χρησιμοποιήθηκαν ελατήρια δύο κόμβων με ακαμψία κατά τον άξονα τους μόνο.

Στο Σχήμα 10 παρουσιάζεται το δίκτυο των πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση της κάθε διατομής της σήραγγας. Με την έναρξη της εκσκαφής διαταράσσεται το εντατικό πεδίο στο μέτωπο εκσκαφής και βαθμιαία προκαλείται ανακατανομή των φορτίων η οποία βρίσκεται σε συνάρτηση με τις φάσεις εκσκαφής και τα μέτρα αντιστήριξης που τοποθετούνται.

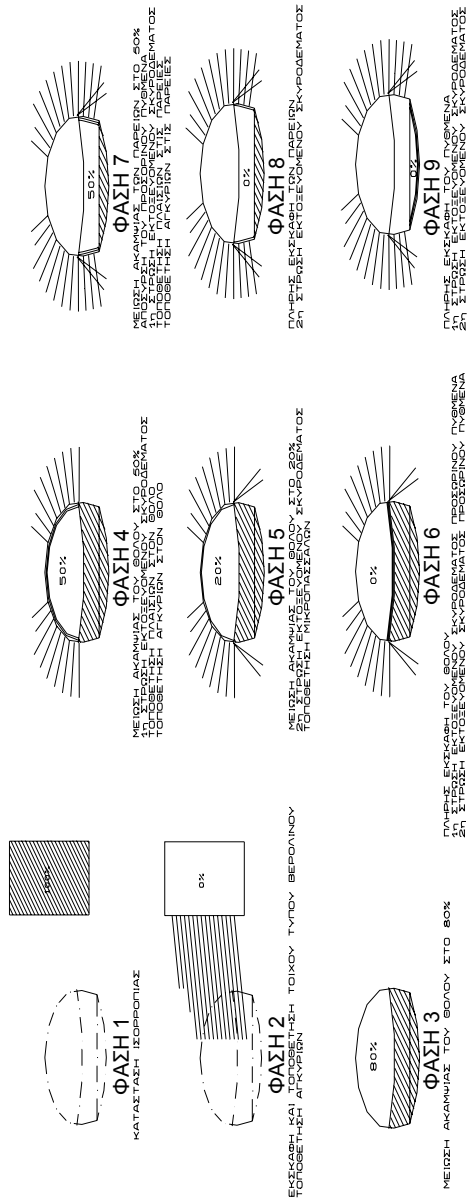
Σήραγγα Δωδώνης - Σχεδιασμός Σήραγγας σε Υλικά Χαλαρού Επιφανειακού Καλύμματος


Σχήμα 10 : Δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων.

Στα σχήματα 11, 12 που ακολουθούν παρουσιάζεται η αλληλουχία των φάσεων εκσκαφής και η προσομοίωση των φάσεων εκσκαφής που χρησιμοποιήθηκε στις επιλύσεις με πεπερασμένα στοιχεία.



Σχήμα 11: Σχηματική αλληλουχία φάσεων εκσκαφής.

Σήραγγα Δωδώνης - Σχεδιασμός Σήραγγας σε Υλικά Χαλαρού Επιφανειακού Καλύμματος


Σήραγγα Δωδώνης - Σχεδιασμός Σήραγγας σε Υλικά Χαλαρού Επιφανειακού Καλύμματος

Από τις επιλύσεις προκύπτουν δεδομένα για τον προσδιορισμό της έντασης και της παραμόρφωσης στο σύνολο της κατασκευής. Πιο συγκεκριμένα λαμβάνονται τα εντατικά μεγέθη της αξονικής έντασης N , της καμπτικής ροπής M , και της διατμητικής έντασης Q , για τις δύο στρώσεις του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, για τα πλαίσια, για τον τοίχο τύπου «Βερολίνου», οι αξονικές δυνάμεις για τα αγκύρια και τους μικροπασσάλους, καθώς και οι μετακινήσεις κατά X και Y στους κόμβους της σήραγγας και του τοίχου αντιστήριξης.

Από τη χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων επαληθεύτηκαν πλήρως τα αποτελέσματα των αναλυτικών υπολογισμών και η διαστασιολόγηση της αντιστήριξης.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Cubus Software, Larix 2G & 2S Excavation Support Structures, Stability calculations for embankments, excavations, retaining walls and embankment dams. User manual, June 1995.
- [2] DIN 17100 & DIN 1050, Beton Kalender, Vol. 1, σελ. 45-52, Εκδ. Μ. Γκιούρδας, 1984.
- [3] DIN 4125, Ground anchorages – Design, construction and testing, November 1990.
- [4] ΟΣΜΕΟ, Εγνατία Οδός Α.Ε., Κεφάλαιο 4, 1997.
- [5] Jelinek, R., u Ostermayer, H., Verpressanker in Boden. De Bauingenier 51 (1976), s. 109-118 in Beton Kalender, Vol. 3 σελ. 643, Εκδ. Μ. Γκιούρδας 1984.
- [6] ISRM, Suggested method for rock anchorage testing, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 22, No 2, pp. 71-83, 1985.
- [7] Puller, Malcolm, Deep excavations, a practical manual p.p. 72-76, Thomas Telford, 1996.
- [8] Tomlinson, M.J., Foundation Design and Construction, p. 645, Longman, 1986.
- [9] Sills et al, 1977, p. 55, in Xanthakos, P.P., Ground anchors and anchored structures, Wiley, 1991.
- [10] Littlejohn and Mac Farlane, 1974, p. 660, in Xanthakos, P.P., Ground anchors and anchored structures, Wiley, 1991.
- [11] Berry, R., 1970, p. 421-422, in Foundations in Tension – Ground anchors, T. H. Hanna, Trans Tech. Publ., 1982.
- [12] Duddeck, H., Der interaktive Bezug zwischen in situ Messung und Standsicherheits – berechnung im Tunnelbau, Felsbau 2, Nr. 1, 1984.

Σήραγγα Δωδώνης - Σχεδιασμός Σήραγγας σε Υλικά Χαλαρού Επιφανειακού Καλύμματος

[13] Erdmann, J., Vergleichende Untersuchungen verschiedeuer Berechnungskonzepte für Tunnelausbauten. Bericht Nr. 83-40. Institut für Static der TU Braunschweig, 1983.