



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΔΠΜΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΟΡΕΙΝΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μαυροδάκος Γεώργιος

Μεταλλειολόγος Μεταλλουργός Μηχανικός

Επιβλέπων: Νομικός Παύλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΔΠΜΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΟΡΕΙΝΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ
CALCULATION OF PRIMARY SUPPORT OF A MOUNTAIN TUNNEL

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μαυροδάκος Γεώργιος

Μεταλλειολόγος Μεταλλουργός Μηχανικός

Επιβλέπων: Νομικός Παύλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Τριμελής εξεταστική επιτροπή:

Νομικός Παύλος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Μπενάρδος Ανδρέας, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Γιούτα-Μήτρα Παρασκευή, Ε.Δι.Π. Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023

Πρόλογος

Ο προκαταρκτικός σχεδιασμός της σήραγγας Θεοδωριάνων – Μελισσουργών αποτελεί το έργο της Ερευνητικής Ομάδας του Ε.Μ.Π. που υλοποιήθηκε στα πλαίσια προγραμματικής σύμβασης συνεργασίας μεταξύ της Περιφέρειας Ηπείρου και του Μετσόβιου Κέντρου Διεπιστημονικής Έρευνας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί ο υπολογισμός των μέτρων υποστήριξης της σήραγγας Θεοδωριάνων – Μελισσουργών, βάσει του Ερευνητικού έργου και των προτάσεών του.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή του Ε.Μ.Π. Παύλο Νομικό για την καθοδήγηση και την υποστήριξη καθ' όλη την διάρκεια της συγγραφής της εργασίας. Για την διάθεσή του να επιλύσουμε τις απορίες μου, τις εύστοχες παρατηρήσεις και τις συμβουλές του, καθώς και για την πρότασή του να ασχοληθώ με αυτό το πολύ ενδιαφέρον θέμα.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Sven Fischer και Matthias Filus από την εταιρεία FIDES DV-Partner για τις απαντήσεις και την καθοδήγηση που μου πρόσφεραν για την χρήση του λογισμικού Wintube.

Στην συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω: την οικογένεια μου, την Φωτεινή, τον Παναγιώτη, την Σμαράγδα και τη Φρόσω για την συνεχή ενθάρρυνσή τους, την όπως πάντα πνευματική και υλική, όταν απαιτήθηκε, υποστήριξή τους.

Την σύντροφό μου Αθηνά για την πλήρη συμπαράστασή της, το κουράγιο που μου έδινε σε διάφορες στιγμές που κάτι δεν μου έβγαине, την βοήθειά της στην μορφοποίηση και τις διορθώσεις της στο κείμενο, καθώς και για το ενδιαφέρον που έδειξε για διάφορα θέματα γεωτεχνικής φύσης (δεν ήταν και η πρώτη Μηχανολόγος μηχανικός που ασχολήθηκε με την γεωτεχνική μηχανική).

Τον ξάδερφό μου Θεοδωρή Μουγιάκο, Πολιτικό δομοστατικό μηχανικό, για την περιεκτική γνώση που μου πρόσφερε συνοπτικά πάνω σε βασικά ζητήματα για τους Ευρωκώδικες και για σχέδια οπλισμών σηράγγων. Τον Γεωλόγο και Μεταλλειολόγο μηχανικό Γιάννη Τριτσιμπίδα, τον ξάδερφό μου Δρ. Ναυπηγό-Μηχανολόγο και Αρχιτέκτονα μηχανικό Παντελή Στεφανή και τον Μηχανολόγο μηχανικό Χρήστο Καλλιόστρα, για όλες τις γνώσεις που μου πρόσφεραν τα πρώτα χρόνια που εργάστηκα και ήταν καθοριστικά για την μετέπειτα ακαδημαϊκή και επαγγελματική μου πορεία.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω το πιο θερμό ευχαριστώ σε όλους τους καθηγητές και καθηγήτριες του μεταπτυχιακού προγράμματος, καθώς και στο υπόλοιπο εκπαιδευτικό και

διοικητικό προσωπικό. Για την προσφορά τους στην επαγγελματική σταδιοδρομία και ειδίκευση βάσει των σύγχρονων απαιτήσεων στον σχεδιασμό και στην κατασκευή υπογείων έργων στους νέους και όχι μόνο μηχανικούς. Επειδή διατηρούν σε υψηλό επίπεδο ένα πλήρως ανταγωνιστικό, ενδιαφέρον, δημόσιο και δωρεάν μεταπτυχιακό πρόγραμμα, σε ένα από τα καλύτερα πανεπιστήμια της χώρας και από τα κορυφαία του κόσμου.

Περίληψη

Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί ο προκαταρκτικός σχεδιασμός του συστήματος προσωρινής υποστήριξης καθώς και της τελικής επένδυσης από συμβατικό, έγχυτο οπλισμένο σκυρόδεμα της σήραγγας Θεοδωριάνων – Μελισσουργών. Ο σχεδιασμός της σήραγγας στην παρούσα εργασία ακολουθεί ακριβώς τις προτάσεις της ερευνητικής ομάδας του ΕΜΠ. Όσο αφορά τον σχεδιασμό της προσωρινής υποστήριξης ακολουθείται η τεχνική έκθεση του έργου «Προκαταρκτική διερεύνηση και σχεδιασμός οδικής σήραγγας μεταξύ των οικισμών Θεοδωριάνων – Μελισσουργών» που υλοποιήθηκε από το Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας του ΕΜΠ με τη συμβολή μελών ΔΕΠ της Σχολής Μεταλλειολόγων – Μεταλλουργών Μηχανικών. Στα πλαίσια της εργασίας πραγματοποιείται βιβλιογραφική ανασκόπηση των μέχρι τώρα δημοσιευμένων ερευνών και μελετών της Ερευνητικής ομάδας του ΕΜΠ. Επίσης πραγματοποιείται μια προσέγγιση για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό της προσωρινής υποστήριξης της διευρυμένης τυπικής διατομής σε θέση έκτακτης στάθμευσης (layby) καθώς και διαστασιολόγηση του οπλισμού της τελικής επένδυσης στην συγκεκριμένη θέση. Ταυτόχρονα πραγματοποιείται διερεύνηση για την βέλτιστη γεωμετρία και την αλληλουχία των σταδίων της τμηματικής εκσκαφής της σήραγγας στην θέση διευρυμένης διατομής. Για τον σχεδιασμό χρησιμοποιούνται δισδιάστατες αναλύσεις πεπερασμένων στοιχείων. Συγκεκριμένα η προσομοίωση του προβλήματος πραγματοποιείται με το λογισμικό Wintube, οι υπολογισμοί στο λογισμικό SofistiK. Για την παραγωγή των σχεδίων και για διάφορες απαραίτητες μετρήσεις χρησιμοποιείται το λογισμικό AutoCAD και το λογισμικό Microsoft Office Excel για παραγωγή διαγραμμάτων. Τέλος βάσει των αποτελεσμάτων η διάνοιξη της σήραγγας θεωρείται πλήρως εφικτή, τεχνικά και οικονομικά εφαρμόσιμη, ενώ παρατίθενται σχέδια οπλισμών της τελικής επένδυσης κατά μήκος της σήραγγας, προτείνεται σύστημα προσωρινής υποστήριξης της διευρυμένης τυπικής διατομής σε θέση έκτακτης στάθμευσης (layby) και πραγματοποιείται εκτίμηση για τη βέλτιστη μεθοδολογία εφαρμογής της τμηματικής εκσκαφής στην συγκεκριμένη θέση.

Πίνακας Περιεχομένων

1 Εισαγωγή.....	1
1.1 Σήραγγες	1
1.2 Προσδιορισμός του Προβλήματος	1
1.3 Στόχος της παρούσας εργασίας	1
1.4 Έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της εργασίας	2
1.5 Διαθέσιμα Στοιχεία.....	3
1.6 Δομή της εργασίας	3
1.7 Περιορισμοί της εργασίας	5
2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση/ Ανασκόπηση της Πρότασης της Ερευνητικής Ομάδας.....	5
2.1 Γενικά στοιχεία	5
2.2 Αρχές σχεδιασμού - Βασικές Παραδοχές- Πρότυπη Διατομή 10,5T	8
2.3 Αναμενόμενες γεωλογικές-γεωτεχνικές συνθήκες διάνοιξης ,	9
2.3.1 Τεχνικογεωλογικές ενότητες	9
2.3.2 Γεωτεχνική συμπεριφορά κατά τη διάνοιξη	14
2.3.3 Στοιχεία σεισμικότητας της περιοχής	17
2.3.4 Υπολογισμός της παραμόρφωσης κατά μήκος της σήραγγας.....	18
2.3.5 Ειδικά θέματα κατά την διάνοιξη της σήραγγας	25
2.4 Γεωμετρικά Στοιχεία	26
2.5 Σχεδιασμός διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης της σήραγγας	29
2.5.1 Αρχές Σχεδιασμού.....	30
2.5.2 Συνοπτική Περιγραφή Κατηγοριών υποστήριξης.....	31
2.5.3 Ενδεικτική εφαρμογή κατηγοριών υποστήριξης κατά μήκος της σήραγγας.....	58
2.6 Τελική Επένδυση της σήραγγας	60
3 Προσωρινή Υποστήριξη της σήραγγας.....	63
3.1 Παρουσίαση Μεθοδολογίας	63
3.1.1 Εισαγωγή-Διευκρινήσεις.....	63
3.1.2 Γεωμετρία Διατομής & Υλικά Κατηγοριών Υποστήριξης.....	64
3.1.3 Προσομοίωση της τρίτης διάστασης & συντελεστές αποτόνωσης.....	66
3.1.4 Μέτρο ελαστικότητας βραχόμαζας και πλευρική περίσφιξη	69
3.1.5 Ανάλυση Σηράγγων με το λογισμικό Sofistik / Wintube Fides.....	74
3.1.6 Περιγραφή αριθμητικών μοντέλων	77
3.1.7 Εξαγωγή & Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	98

3.2	Κατηγορία προσωρινής υποστήριξης SC-I.....	103
3.2.1	Αριθμητικό μοντέλο Ανάλυσης "SC-I_B1_H300m"	103
3.2.2	Αποτελέσματα Ανάλυσης "SC-I_B1_H300m"	108
3.3	Κατηγορία προσωρινής υποστήριξης SC-II	109
3.3.1	Αριθμητικό μοντέλο Ανάλυσης "SC-II_B2_H270m"	109
3.3.2	Αποτελέσματα Ανάλυσης "SC-II_B2_H270m".....	115
3.3.3	Αριθμητικό μοντέλο Ανάλυσης "SC-II_B1_H400m"	116
3.3.4	Αποτελέσματα Ανάλυσης "SC-II_B1_H400m".....	121
3.4	Κατηγορία προσωρινής υποστήριξης SC-IIIa	123
3.4.1	Αριθμητικό μοντέλο Ανάλυσης "SC-IIIa_B1_H500m"	123
3.4.2	Αποτελέσματα Ανάλυσης "SC-IIIa_B1_H500m".....	128
3.4.3	Αριθμητικό μοντέλο Ανάλυσης "SC-IIIa_B2_H380m"	130
3.4.4	Αποτελέσματα Ανάλυσης "SC-IIIa_B2_H380m".....	135
3.5	Κατηγορία Υποστήριξης SC-IIIb	137
3.5.1	Αριθμητικό μοντέλο Ανάλυσης "SC-IIIb_B3_H300m"	137
3.5.2	Αποτελέσματα Ανάλυσης "SC-IIIb_B3_H300m"	142
3.6	Κατηγορία υποστήριξης SC-IV	144
3.6.1	Αριθμητικό μοντέλο Ανάλυσης "SC-IV_B3_H400m"	144
3.6.2	Αποτελέσματα Ανάλυσης "SC-IV_B3_H400m"	150
3.6.3	Αριθμητικό μοντέλο Ανάλυσης "SC-IV_B2_H500m"	152
3.6.4	Αποτελέσματα Ανάλυσης "SC-IV_B2_H500m"	157
3.7	Κατηγορία υποστήριξης SC-V	160
3.7.1	Αριθμητικό μοντέλο Ανάλυσης "SC-V_B3_H500m"	160
3.7.2	Αποτελέσματα Ανάλυσης "SC-V_B3_H500m"	166
4	Τελική Επένδυση της σήραγγας.....	169
4.1	Παρουσίαση Μεθοδολογίας.....	169
4.2	Υπολογισμός επικάλυψης οπλισμού.....	171
4.3	Διαστασιολόγηση οπλισμού με τα λογισμικά Wintube – Sofistik	174
4.4	Εισαγωγή ελατηρίων και φορέα τελικής επένδυσης.....	175
4.5	Εισαγωγή φορτίων - συνδυασμός δράσεων.....	179
4.6	Αποτελέσματα	185
5	Τυπική διατομή σε θέση έκτακτης στάθμευσης.....	196
5.1	Προσωρινή Υποστήριξη της σήραγγας σε θέση έκτακτης στάθμευσης.....	196

5.1.1 Αρχές Σχεδιασμού – Παραδοχές	196
5.1.2 Κατηγορία προσωρινής υποστήριξης SC-VI.....	199
5.1.3 Συντελεστές αποτόνωσης.....	203
5.1.4 Μέτρο Ελαστικότητας.....	205
5.1.5 Διερεύνηση της τμηματικής εκσκαφής.....	206
5.1.6 Αριθμητικό Μοντέλο ανάλυσης SC-VI_B1_H400m.....	207
5.1.7 Αποτελέσματα.....	214
5.2 Τελική επένδυση της σήραγγας σε θέση έκτακτης στάθμευσης	221
5.2.1 Συνοπτική Παρουσίαση Μεθοδολογίας/ Παραδοχές.....	221
5.2.2 Αποτελέσματα.....	223
6 Συμπεράσματα.....	224
7 Αναφορές/Βιβλιογραφία	230
8 Extended Abstract.....	232

Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 1 : Εύρη τιμών του γεωλογικού δείκτη αντοχής GSI ανά Τεχνικογεωλογική Ενότητα B1,B2,B3,B4. Τροποποιημένο σχήμα από[1]	11
Σχήμα 2 : Εύρη τιμών των ασβεστολιθικών τεχνικογεωλογικών ενότητων B1,B2,B3, που αναμένεται να συναντηθούν κατά την όρυξη της σήραγγας(χάραξη TA-4).Σχήμα τροποποιημένο από [1][2].....	12
Σχήμα 3 : Γεωλογική-γεωτεχνική μηκοτομή της χάραξης TA-4.Σχήμα τομής τροποποιημένο από [1].	13
Σχήμα 4 : Νέος Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας Ελλάδας(2003) & η θέση της σήραγγας. Χάρτης από [8]	18
Σχήμα 5 Παραμόρφωση της σήραγγας συναρτήσει της σχετικής αντοχής της βραχομάζας και εκτίμηση για προβλήματα λόγω σύνθλιψης. Σχήμα από [9]	21
Σχήμα 6 Ποσοστιαία παραμόρφωση ϵ (%) κατά μήκος της σήραγγας.....	23
Σχήμα 7 Αναμενόμενη ποσοστιαία παραμόρφωση κατά μήκος της σήραγγας για το γεωλογικό μοντέλο της χάραξης TA-4 και γεωτεχνικές παραμέτρους της κάθε τεχνικογεωλογικής ενότητας που αναμένεται να συναντηθεί.....	24
Σχήμα 8 Τυπική διατομή χρήσης της σήραγγας για διατομή 10.5T κατά ΟΜΟΕ-ΤΟΣ 2002.[4]	28
Σχήμα 9 10 Τυπική διατομή 10.5T.Γραμμές εκσκαφών, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα & κέλυφος τελικής επένδυσης έγχυτου σκυροδέματος.	28
Σχήμα 11 Γεωμετρικά Στοιχεία Χάραξης της γραμμής B βάσει των δυο κέντρων K1 & K2. Περιφέρεια- όρια υπόγειας εκσκαφής.	29
Σχήμα 12 Εμβαδόν υπόγειας εκσκαφής, βάση της πρότυπης διατομής 10,5T και παραδοχών Πίνακα 8	29
Σχήμα 13 Ενδεικτικά κατασκευαστικά σχέδια: πρότυπη διατομή και μηκοτομή, της κατηγορίας υποστήριξης SC-I	35
Σχήμα 14 Ενδεικτικά κατασκευαστικά σχέδια: πρότυπη διατομή και μηκοτομή, της κατηγορίας υποστήριξης SC-II	39
Σχήμα 15 Ενδεικτικά κατασκευαστικά σχέδια: πρότυπη διατομή και μηκοτομή, της κατηγορίας υποστήριξης SC-IIIa	43
Σχήμα 16 Ενδεικτικά κατασκευαστικά σχέδια: πρότυπη διατομή και μηκοτομή, της κατηγορίας υποστήριξης SC-IIIb.	48
Σχήμα 17 Ενδεικτικά κατασκευαστικά σχέδια: πρότυπη διατομή και μηκοτομή, της κατηγορίας υποστήριξης SC-IV.	52
Σχήμα 18 Ενδεικτικά κατασκευαστικά σχέδια: πρότυπη διατομή και μηκοτομή, της κατηγορίας υποστήριξης SC-V.	57
Σχήμα 19 Μηκοτομή της σήραγγας με την εκτιμώμενη εφαρμογή κατηγοριών προσωρινής υποστήριξης κατά μήκος της. Σχέδιο με πληροφορίες από [1] & [2].....	59
Σχήμα 20 Ενδεικτικό σχέδιο για τον προσδιορισμό της Γραμμής B με βάση τις πληροφορίες και τα ενδεικτικά κατασκευαστικά σχέδια της ενότητας 2.5.2.....	64
Σχήμα 21 Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά, το φυσικό εντατικό πεδίο και η διάμετρος της σήραγγας που εισάγονται για την χάραξη της καμπύλης σύγκλισης αποτόνωσης.	67

Σχήμα 22 Ενδεικτική εικόνα από το υπολογιστικό φύλλο στο excel όπου πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί για την συγκεκριμένη ανάλυση. Με κίτρινο πλαίσιο σημαίνονται τα μεγέθη που υπολογίζονται στο λογισμικό RocSupport.	69
Σχήμα 23 Ενδεικτική απεικόνιση της τάσης περιορισμού σ_3	71
Σχήμα 24 Λόγος E_{rm}/ E_i συναρτήσεως του μέγεθος της πλευρικής τάσης περιορισμού σ_3 , κατά τους I. Vazaios, K. Farahmand, N. Vlachopoulos, M.S. Diederichs (2017.[12]).....	71
Σχήμα 25 Ενδεικτικό σχέδιο με τις απαραίτητες πληροφορίες για την εισαγωγή της γεωμετρίας του προβλήματος στο λογισμικό Wintube(.dxf import)	84
Σχήμα 26 Ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο της ανάλυσης "SC-I_B1_H300m"	108
Σχήμα 27 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N ανάλυσης "SC-I_B1_H300m"	109
Σχήμα 28 Ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο της ανάλυσης "SC-II_B2_H270m"	115
Σχήμα 29 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N ανάλυσης "SC-II_B2_H270m"	116
Σχήμα 30 Ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο της ανάλυσης "SC-II_B1_H400m".....	121
Σχήμα 31 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N ανάλυσης "SC-II_B2_H270m"	122
Σχήμα 32 Διαρροή των στοιχείων της βραχομάζας περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής στο τελικό στάδιο προσομοίωσης.....	122
Σχήμα 33 Ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο της ανάλυσης "SC-IIIa_B1_H500m".....	128
Σχήμα 34 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N ανάλυσης "SC-IIIa_B1_H500m"	129
Σχήμα 35 Διαρροή των στοιχείων της βραχομάζας περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής στο τελικό στάδιο προσομοίωσης.....	129
Σχήμα 36 Αριθμητικό μοντέλο της ανάλυσης "SC-IIIa_B2_H380m"	130
Σχήμα 37 Ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο της ανάλυσης "SC-IIIa_B2_H380m".....	135
Σχήμα 38 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N ανάλυσης "SC-IIIa_B2_H380m"	136
Σχήμα 39 Διαρροή των στοιχείων της βραχομάζας περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής στο τελικό στάδιο προσομοίωσης.....	136
Σχήμα 40 Ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο της ανάλυσης "SC-IIIb_B3_H300m".....	143
Σχήμα 41 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N ανάλυσης "SC-IIIb_B3_H300m".....	143
Σχήμα 42 Διαρροή των στοιχείων της βραχομάζας περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής στο τελικό στάδιο προσομοίωσης.....	144
Σχήμα 43 Ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο της ανάλυσης "SC-IV_B3_H400m"	150
Σχήμα 44 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N ανάλυσης "SC-IV_B3_H400m".....	151
Σχήμα 45 Διαρροή των στοιχείων της βραχομάζας περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής στο τελικό στάδιο της προσομοίωσης "SC-IV_B3_H400m".....	151
Σχήμα 46 Ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο της ανάλυσης "SC-IV_B2_H500m"	158
Σχήμα 47 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N ανάλυσης "SC-IV_B2_H500m".....	158
Σχήμα 48 Διαρροή των στοιχείων της βραχομάζας περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής στο τελικό στάδιο της προσομοίωσης "SC-IV_B3_H400m".....	159

Σχήμα 49 Ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο της ανάλυσης "SC-V_B3_H500m".....	166
Σχήμα 50 Κατανομή αξονικών δυνάμεων στο κέλυφος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής κατά το τελικό στάδιο.....	167
Σχήμα 51 Κατανομή καμπτικών ροπών στο κέλυφος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής κατά το τελικό στάδιο.....	167
Σχήμα 52 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N ανάλυσης "SC-V_B3_H500m"	168
Σχήμα 53 Διαρροή των στοιχείων της βραχομάζας περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής στο τελικό στάδιο της προσομοίωσης "SC-V_B3_H500m".....	168
Σχήμα 54 Γεωμετρία προβλήματος διαστασιολόγησης οπλισμού ορθογωνικής διατομής με αξονική δύναμη και καμπτική ροπή βάσει EN 1992-1-1:2004.Σχήμα από εγχειρίδιο χρήσης του Sofistik.[14].....	170
Σχήμα 55 Εκτιμώμενη εφαρμογή των Κατηγοριών Οπλισμού κατά μήκος της σήραγγας	187
Σχήμα 56 Σχέδιο Οπλισμού κατηγορίας KO-1. Γενική διάταξη.....	190
Σχήμα 57 Σχέδιο Οπλισμού κατηγορίας KO-1. Πίνακας Οπλισμών.	191
Σχήμα 58 Σχέδιο Οπλισμού κατηγορίας KO-2. Γενική διάταξη.....	192
Σχήμα 59 Σχέδιο Οπλισμού κατηγορίας KO-2. Πίνακας Οπλισμών.	193
Σχήμα 60 Σχέδιο Οπλισμού κατηγορίας KO-3. Γενική διάταξη.....	194
Σχήμα 61 Σχέδιο Οπλισμού κατηγορίας KO-3. Πίνακας Οπλισμών.	195
Σχήμα 62 Ενδεικτική κάτοψη εσοχής έκτακτης στάθμευσης (ΟΜΟΕ-ΤΟΣ, Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων - Τεύχος Οδικών Σηράγγων, 2002)[4]	196
Σχήμα 63 Γεωμετρικός Προσδιορισμός της τυπικής διατομής σε θέση έκτακτης στάθμευσης βάσει της ενδεικτικής κάτοψης των οδηγίων της ΟΜΟΕ(2002)	197
Σχήμα 64 Παράλληλη μετατόπιση της εσωτερικής επιφάνειας της τελικής επένδυσης ώστε η περίμετρος της υπόγειας εκσκαφής να συμπεριλάβει τα νέα όρια κυκλοφορίας.....	198
Σχήμα 65 Ενδεικτική προσέγγιση του τρόπου κατασκευής της τυπικής διατομής σε θέση έκτακτης στάθμευσης	198
Σχήμα 66 Η διεύρυνση της διατομής κατά 2,3 m, μεταξύ των Χ.Θ.582 και Χ.Θ.612.....	199
Σχήμα 67 Ενδεικτικά κατασκευαστικά σχέδια: πρότυπη διατομή και μηκοτομή, της κατηγορίας υποστήριξης SC-VI.....	202
Σχήμα 68 Καμπύλη σύγκλισης αποτόνωσης για την τυπική διατομή σε θέση έκτακτης στάθμευσης.RocSupport	203
Σχήμα 69 Δημιουργία πλαστικής ζώνης περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής κατά την πλήρη αποτόνωση.....	203
Σχήμα 70 Καμπύλη σύγκλισης αποτόνωσης για την τυπική διατομή σε θέση έκτακτης στάθμευσης. Καββαδάς(2005)[17]	204
Σχήμα 71 Μηκοτομικό Προφίλ Μετατοπίσεων(Vlachopoulos & Diederichs (2009), για την τυπική διατομή σε θέση έκτακτης στάθμευσης.....	205
Σχήμα 72 Αριθμητικό μοντέλο της ανάλυσης SC-VI_B1_H400m.....	209
Σχήμα 73 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N ανάλυσης SC-VI_B1_H400m NATM 0...214	
Σχήμα 74 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N ανάλυσης SC-VI_B1_H400m NATM 1...215	
Σχήμα 75 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N ανάλυσης SC-VI_B1_H400m NATM 2...215	

Σχήμα 76 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N με όλους τους συνδυασμούς φόρτισης από τις τρεις αναλύσεις με τους προτεινόμενους τρόπους τμηματικής εκσκαφής(SC-VI_B1_H400m NATM 0,1,2).	215
Σχήμα 77 Ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο της ανάλυσης SC-VI_B1_H400m*	216
Σχήμα 78 Κατανομή εντατικών μεγεθών στο κέλυφος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής της ανάλυσης SC-VI_B1_H400m*	217
Σχήμα 79 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης ανάλυσης SC-VI_B1_H400m*	218
Σχήμα 80 Διαρροή των στοιχείων της βραχομάζας περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής στο τελικό στάδιο της προσομοίωσης SC-VI_B1_H400m*	218
Σχήμα 81 Ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο της ανάλυσης SC-VI_B1_H400m.....	219
Σχήμα 82 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης ανάλυσης SC-VI_B1_H400m.....	220
Σχήμα 83 Διαρροή των στοιχείων της βραχομάζας περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής στο τελικό στάδιο της προσομοίωσης SC-VI_B1_H400m	220
Σχήμα 84 Συγκριτικό Διάγραμμα αλληλεπίδρασης με τα αποτελέσματα των αναλύσεων SC-VI_B1_H400m* και SC-VI_B1_H400m.....	227

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1 : Τεχνικογεωλογικές ενότητες και εύρη τεχνικογεωλογικών παραμέτρων. Τροποποιημένος πίνακας από [1][2].....	10
Πίνακας 2 : Γεωτεχνικές παράμετροι σχεδιασμού ανά κατηγορία βραχομάζας. Πίνακας από : [1][2].....	12
Πίνακας 3 : Η εκτίμηση της συμπεριφοράς της βραχομάζας κατά τη διάνοιξη της σήραγγας για την κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα. Γεωτεχνικές πληροφορίες του Πίνακα 3 λήφθηκαν από την μελέτη της Ερευνητικής Ομάδας [1][2]......	15
Πίνακας 4: Περιγραφή της συμπεριφοράς κατά την διάνοιξη της σήραγγας και πιθανοί μηχανισμοί αστοχίας. Το περιεχόμενο της περιγραφής στον Πίνακα 4 προέρχεται από την τεχνική έκθεση της Ερευνητικής Ομάδας του έργου. [2].....	16
Πίνακας 5 Αποτελέσματα υπολογισμών θλιπτικής αντοχής της βραχομάζας & αναμενόμενη μέγιστη παραμόρφωση για κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα για ύψος των μέγιστων υπερκειμένων σχηματισμών(500m)	20
Πίνακας 6 Αποτελέσματα υπολογισμών της παραμόρφωσης κατά μήκος της σήραγγας...22	22
Πίνακας 7 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά πρότυπης διατομής 10,5 T. Πίνακας από [1] & [2]	26
Πίνακας 8 Παραδοχές για τη διατομή εκσκαφής για την εκτέλεση αριθμητικών αναλύσεων της διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης της σήραγγας. Πίνακας από [2]	27
Πίνακας 9 Αντιμετώπιση των δυνητικών μηχανισμών αστοχίας. Τροποποιημένος πίνακας με πληροφορίες από [2].	30
Πίνακας 10 Ενδεικτική κατασκευαστική ακολουθία της κατηγορίας υποστήριξης SC-I. Πίνακας από [2]	33
Πίνακας 11 Ενδεικτική κατασκευαστική ακολουθία της κατηγορίας υποστήριξης SC-II. Πίνακας από [2]	37
<i>Πίνακας 12 Ενδεικτική κατασκευαστική ακολουθία της κατηγορίας υποστήριξης SC-IIIa.</i> <i>Πίνακας από [2].</i>	41
<i>Πίνακας 13 Ενδεικτική κατασκευαστική ακολουθία της κατηγορίας υποστήριξης SC-IIIb.</i> <i>Πίνακας από [2].</i>	45
Πίνακας 14 Ενδεικτική κατασκευαστική ακολουθία της κατηγορίας υποστήριξης SC-IV. Πίνακας από [2]......	50
Πίνακας 15 Ενδεικτική κατασκευαστική ακολουθία της κατηγορίας υποστήριξης SC-V. Πίνακας από [2]......	54
Πίνακας 16 Εκτιμώμενη εφαρμογή κατηγοριών προσωρινής υποστήριξης κατά μήκος της σήραγγας. Πίνακας από[2].....	58
Πίνακας 17 Τύποι διατομής τελικής επένδυσης και εφαρμογή ανάλογα της κατηγορία προσωρινής υποστήριξης. Σχέδια & πληροφορίες από [2].	60
Πίνακας 18 Ενδεικτικός πίνακας με τα μέτρα υποστήριξης που προσομοιώνονται.	64
Πίνακας 19 Χαρακτηριστικά ολόσωμων πλαισίων κατηγοριών προσωρινής υποστήριξης SC-II, IIIa, IIIb και IV που προσομοιώνονται στην παρούσα εργασία. Προδιαγραφές δικτυωτών πλαισίων (LG) από [2].	65
Πίνακας 20 Χαρακτηριστικά ηλώσεων που προσομοιώνονται ανά κατηγορία υποστήριξης.	66
Πίνακας 21 Μέτρο ελαστικότητας βραχομάζας σύμφωνα με τους E. Hoek & M.S. Diederichs (2005).[11].....	70

Πίνακας 22 Μέτρο ελαστικότητας της βραχομάζας που επιλέγεται για κάθε ανάλυση ανά κατηγορία υποστήριξης. Οι τιμές που επιλέγονται έχουν επισημανθεί με εντονότερη γραμματοσειρά	73
Πίνακας 23 Περιγραφή των υποπρογραμμάτων του λογισμικού Sofistik. Όλες οι πληροφορίες του Πίνακα προέρχονται από τα εγχειρίδια χρήσης του προγράμματος(manuals).[14].....	74
Πίνακας 24 Συγκεντρωτικός Πίνακας με τις ισοδύναμες παραμέτρους Mohr-Coulomb για κάθε αριθμητική ανάλυση.....	78
Πίνακας 25 Αποτελέσματα των ισοδύναμων παραμέτρων από το λογισμικό RSdata για κάθε ανάλυση.	79
Πίνακας 26 Προσδιορισμός του συντελεστή FAKS για την βραχομάζα και το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για κάθε στάδιο της ανάλυσης SC-IV-B2-H500m.....	95
Πίνακας 27 Ενδεικτικός συγκεντρωτικός πίνακας με τα στάδια της ανάλυσης SC-IV-B2-H500m και τους συντελεστές FAKS της κάθε οντότητας-ομάδας.	96
Πίνακας 28 Μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης SC-I_B1_H300m.....	103
Πίνακας 29 Μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης SC-II_B2_H270m.	110
Πίνακας 30 Μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης SC-II_B1_H400m.	116
Πίνακας 31 Μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης SC-IIIa_B1_H500m.	123
Πίνακας 32 Μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης SC-IIIa_B2_H380m.	130
Πίνακας 33 Μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης SC-IIIa_B2_H380m.	137
Πίνακας 34 Μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης SC-IV_B3_H400m.....	144
Πίνακας 35 Μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης SC-IV_B2_H500m.....	152
Πίνακας 36 Μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης SC-V_B3_H500m.	160
Πίνακας 37 Κατηγορίες έκθεσης σχετιζόμενες με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Πίνακας από ΕΛΟΤ EN.[16].....	172
Πίνακας 38 Ενδεικτική διάρκεια ζωής σχεδιασμού. Πίνακας από ΕΛΟΤ EN.[16]	172
Πίνακας 39 Συνιστώμενη κατηγοριοποίηση κατασκευών. Πίνακας από ΕΛΟΤ EN.[16]	173
Πίνακας 40 Απαιτήσεις τιμών ελάχιστης επικάλυψης, από άποψη ανθεκτικότητας σε διάρκεια για χάλυβα οπλισμού. Πίνακας από ΕΛΟΤ EN.[16].....	173
Πίνακας 41 Επικάλυψη Οπλισμών. Πίνακας από ΕΛΟΤ EN.[16]	174
Πίνακας 42 Οι διατομές της τελικής επένδυσης που εισάγονται στο πρόγραμμα.	178
Πίνακας 43 Αποτελέσματα Sofistik για την διαστασιολόγηση του οπλισμού της τελικής επένδυσης: απαίτηση σε οπλισμό για κάθε ανάλυση	185
Πίνακας 44 Οι Κατηγορίες Οπλισμού της τελικής επένδυσης της σήραγγας.....	186
Πίνακας 45 Ενδεικτικό μήκος εφαρμογής Κατηγοριών Οπλισμού.....	187
Πίνακας 46 Υπολογισμός της διατομής του οπλισμού διανομής	188

Πίνακας 47 Υπολογισμός του απαραίτητου οπλισμού διανομής βάσει του Ευρωκώδικα	188
Πίνακας 48 Υπολογισμός μήκους μάτισης κύριου οπλισμού.....	188
Πίνακας 49 Ενδεικτική εικόνα από τα μεγέθη που εισάγονται στους υπολογισμούς για την χάραξη της χαρακτηριστικής γραμμής.	204
Πίνακας 50 Προτεινόμενες διατάξεις τμηματικής εκσκαφής προς διερεύνηση.	206
Πίνακας 51 Μετατροπή των παραμέτρων της βραχομάζας από Hoek – Brown σε ισοδύναμες Mohr-Coulomb ME το λογισμικό RSdata της Rocscience, για την ανάλυση SC-VI_B1_H400m.	208
Πίνακας 52 Μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της SC-VI_B1_H400m.	208
Πίνακας 54 Περιγραφή φορτίων για τον σχεδιασμό της τελικής επένδυσης της τυπικής διατομής σε θέση έκτακτης στάθμευσης.....	222

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1 : Η βελτιστοποιημένη χάραξη TA-4. Χάραξη επι της οποίας πραγματοποιείται ο σχεδιασμός στην παρούσα εργασία. [τροποποιημένη εικόνα από Google Earth].	7
Εικόνα 2: Τρισδιάστατη απεικόνιση του ορεινού όγκου «Τούρλας» μεταξύ των οικισμών Μελισσουργών – Θεοδωριάνων. [τροποποιημένη εικόνα από Google Earth].....	8
Εικόνα 3 Ενδεικτική εικόνα με τον καθορισμό της στρωματογραφίας, κατασκευστικών στοιχείων και ορίων του μοντέλου από το λογισμικό Wintube.	85
Εικόνα 4 Περιορισμός των μετακινήσεων κατά την διεύθυνση X στην “δεξιά” γραμμή, που αποτελεί πλευρικό όριο του μοντέλου.	86
Εικόνα 5 Ενδεικτική Εικόνα από το “παράθυρο” της εντολής “generate system anchoring” στο λογισμικό Wintube.	86
Εικόνα 6 Ενδεικτική εικόνα από το πρόγραμμα Wintube για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων και συμπεριφοράς της βραχομάζας που προσομοιώνεται.	87
Εικόνα 7 Ενδεικτική εικόνα από το πρόγραμμα Wintube για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων του εκτοξευόμενου σκυροδέματος	88
Εικόνα 8 Ενδεικτική εικόνα από το πρόγραμμα Wintube για τον ορισμό της διατομής στοιχείου δοκού του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.	88
Εικόνα 9 Εισαγωγή Σύμμικτης Διατομής Εκτοξευόμενου σκυροδέματος(H=35cm+HEB160) με την χρήση της γλώσσας Cadinp στο πρόγραμμα Teddy.	89
Εικόνα 10 Ενδεικτική εικόνα από τον ορισμό της σύμμικτης διατομής και τις ιδιότητές της που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς.	90
Εικόνα 11 Ενδεικτική εικόνα από το πρόγραμμα Wintube για τον ορισμό της διατομής στοιχείου δοκού που προσομοιώνει το ακύριο βράχου.	91
Εικόνα 12 Ενδεικτική εικόνα από τον κάναβο των πεπερασμένων στοιχείων στο πρόγραμμα Wintube.	92
Εικόνα 13 Ο συντελεστής πλευρικών ωθήσεων K0 εντάσσεται στο αρχικό(πρώτο) στάδιο της κάθε ανάλυσης με γλώσσα CADINP στο TEDDY	97
Εικόνα 14 Οι μετακινήσεις που υπολογίζονται στο πρώτο στάδιο θεωρούνται μη πραγματικές και δεν λαμβάνονται υπόψη στα επόμενα στάδια. Η εντολή TYPE ACTI στο στάδιο 2(1 ^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής)	97
Εικόνα 15 Ενδεικτική εικόνα με το παράθυρο υπολογισμού στο Teddy και την επιτυχή ολοκλήρωση των υπολογισμών της ανάλυσης.....	98
Εικόνα 16 Ενδεικτική εικόνα με την εντολή “CAPA” για τον σχεδιασμό περιβάλλουσας αντοχής.....	100
Εικόνα 17 Αλληλουχία εργασιών στο Sofistik Graphic για την εξαγωγή εντατικών μεγεθών από στοιχεία δοκού.	101
Εικόνα 18 Αλληλουχία εργασιών στο Sofistik Graphic για την εξαγωγή πλαστικοποιημένων στοιχείων εδάφους.....	102
Εικόνα 19 Αριθμητικό μοντέλο της ανάλυσης “SC-I_B1_H300m”	103
Εικόνα 20 Συμμετοχή της κάθε ομάδας στοιχείων ανά στάδιο προσομοίωσης της ανάλυσης “SC-I_B1_H300m”	104
Εικόνα 21 Αριθμητικό μοντέλο της ανάλυσης “SC-II_B2_H270m”.....	110
Εικόνα 22 Συμμετοχή της κάθε ομάδας στοιχείων ανά στάδιο προσομοίωσης της ανάλυσης “SC-II_B2_H270m”	111

Εικόνα 23 Αριθμητικό μοντέλο της ανάλυσης "SC-II_B1_H400m".....	117
Εικόνα 24 Συμμετοχή της κάθε ομάδας στοιχείων ανά στάδιο προσομοίωσης της ανάλυσης "SC-II_B1_H400m"	117
Εικόνα 25 Αριθμητικό μοντέλο της ανάλυσης "SC-IIIa_B1_H500m"	123
Εικόνα 26 Συμμετοχή της κάθε ομάδας στοιχείων ανά στάδιο προσομοίωσης της ανάλυσης "SC-IIIa_B1_H500m"	124
Εικόνα 27 Συμμετοχή της κάθε ομάδας στοιχείων ανά στάδιο προσομοίωσης της ανάλυσης "SC-IIIa_B2_H380m"	131
Εικόνα 28 Αριθμητικό μοντέλο της ανάλυσης "SC-IIIb_B3_H300m"	138
Εικόνα 29 Συμμετοχή της κάθε ομάδας στοιχείων ανά στάδιο προσομοίωσης της ανάλυσης "SC-IIIb_B3_H300m"	138
Εικόνα 30 Αριθμητικό μοντέλο της ανάλυσης "SC-IV_B3_H400m"	145
Εικόνα 31 Συμμετοχή της κάθε ομάδας στοιχείων ανά στάδιο προσομοίωσης της ανάλυσης "SC-IV_B3_H400m".....	146
Εικόνα 32 Αριθμητικό μοντέλο της ανάλυσης "SC-IV_B2_H500m"	153
Εικόνα 33 Συμμετοχή της κάθε ομάδας στοιχείων ανά στάδιο προσομοίωσης της ανάλυσης "SC-IV_B2_H500m".....	153
Εικόνα 34 Αριθμητικό μοντέλο της ανάλυσης "SC-V_B3_H500m"	161
Εικόνα 35 Συμμετοχή της κάθε ομάδας στοιχείων ανά στάδιο προσομοίωσης της ανάλυσης "SC-V_B3_H500m"	161
Εικόνα 36 Παράθυρο εντολής "Generate inner lining" στο λογισμικό Wintube, για την αυτόματη δημιουργία δοκών και ελατηρίων.	175
Εικόνα 37 Ενδεικτική εικόνα από το λογισμικό Wintube από το στάδιο διαστασιολόγησης της τελικής επένδυσης.	176
Εικόνα 38 Συμμετοχή της κάθε ομάδας στοιχείων στο στάδιο ανάλυσης της τελικής επένδυσης.	177
Εικόνα 39 Προσομοίωση σημείων έδρασης του φορέα τελικής επένδυσης.	179
Εικόνα 40 Αύξηση του ίδιου βάρους της επένδυσης με την χρήση του συντελεστή FACD	180
Εικόνα 41 Εισαγωγή φορτίου επίχωσης τόξου στο Wintube.....	181
Εικόνα 42 Φορτίο λόγω ίδιου βάρους ανεμιστήρων αερισμού.	181
Εικόνα 43 Φορτίο υδροστατικών πιέσεων.	182
Εικόνα 44 Εισαγωγή μεταβλητών φορτίων κυκλοφορίας.....	183
Εικόνα 45 Εισαγωγή τυχηματικό φορτίο έκρηξης.	183
Εικόνα 46 Φορτίο λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς εσωτερικής-εξωτερικής επιφάνειας του φορέα κατά $\pm 10^{\circ}\text{K}$	184
Εικόνα 47 Η εντολή "DESI" στο υποπρόγραμμα AQB στο περιβάλλον του TEDDY με την χρήση της γλώσσας CADINP	184
Εικόνα 48 Περιγραφή της ανάλυσης για την διαστασιολόγηση της τελικής επένδυσης με την γλώσσα CADINP. Παρατηρούνται οι φορτίσεις με τους αντίστοιχους συντελεστές. .	223

1 Εισαγωγή

1.1 Σήραγγες

Οι σήραγγες αποτελούν από τα πιο σύνθετα έργα με τα οποία έρχεται αντιμέτωπη η τεχνική κοινότητα στα έργα υποδομής, στη μεταλλευτική και εξορυκτική βιομηχανία. Οι διάφορες επιτυχημένες και συνεχώς αναπτυσσόμενες τεχνολογίες διάνοιξης σηράγγων, το μεταβλητό και εξαιρετικά ποικιλόμορφο γεωλογικό περιβάλλον εντός του οποίου διανοίγονται, οι δυσμενείς και ιδιαίτερες κατά περίπτωση καταστάσεις που δύναται να συναντηθούν καθώς και η σύγχρονη διεπιστημονική προσέγγιση κατά τον σχεδιασμό τους (οικονομικά, τεχνικά, κοινωνικά και οικολογικά-περιβαλλοντικά κριτήρια) καθιστούν τον σχεδιασμό σηράγγων ως μια από τις πιο απαιτητικές περιπτώσεις σχεδιασμού και κατασκευής υπόγειων έργων. Οι πολλαπλές και μεταβαλλόμενες παράμετροι σχεδιασμού που περιγράφονται παραπάνω έχουν σαν αποτέλεσμα ακόμα και για τους ευρωπαϊκούς αλλά και τους εθνικούς κανονισμούς να μην προτείνουν μια συγκεκριμένη μεθοδολογία σχεδιασμού, και γενικά προτείνουν και την χρήση προχωρημένων υπολογιστικών μεθόδων.

1.2 Προσδιορισμός του Προβλήματος

«Το πρόβλημα του σχεδιασμού και κατασκευής σηράγγων παραμένει ένα ιδιαίτερα σύνθετο, με πολλαπλές συνιστώσες παραμέτρους, διαφορετικής και μεταβαλλόμενης δράσης»[3].

«Οι γεωτεχνικοί υπολογισμοί και ειδικότερα οι υπολογισμοί σηράγγων είναι από τα πιο σύνθετα προβλήματα που έχει να επιλύσει ο μηχανικός με πολλαπλές και μεταβαλλόμενες παραμέτρους σε τόπο και χρόνο»[13].

Η παρούσα εργασία ασχολείται με τον πρόβλημα του προκαταρκτικού σχεδιασμού σηράγγων, συγκεκριμένα με την επιλογή βέλτιστης λύσης μεταξύ ασφάλειας, λειτουργικότητας και οικονομίας για το σύστημα της προσωρινής υποστήριξης όσο και για την τελική επένδυση της σήραγγας.

1.3 Στόχος της παρούσας εργασίας

«Οι μελέτες των έργων Πολιτικού Μηχανικού των οδικών σηράγγων και των συνοδών έργων τους αποσκοπούν στην διερεύνηση και επιλογή της βέλτιστης λύσης για την εκσκαφή, άμεση

υποστήριξη και την τελική επένδυση με γνώμονα την ασφάλεια και την οικονομία τόσο κατά την κατασκευή όσο και κατά τη λειτουργία της»[4].

Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί ο προκαταρκτικός σχεδιασμός του συστήματος προσωρινής υποστήριξης καθώς και της τελικής επένδυσης από συμβατικό, έγχυτο οπλισμένο σκυρόδεμα της σήραγγας Θεοδωριάνων – Μελισσουργών. Επίσης στα πλαίσια της εργασίας πραγματοποιείται μια προσέγγιση για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό της προσωρινής υποστήριξης της διευρυμένης τυπικής διατομής σε θέση έκτακτης στάθμευσης (layby) καθώς και διαστασιολόγηση του οπλισμού της τελικής επένδυσης στην συγκεκριμένη θέση. Ταυτόχρονα πραγματοποιείται διερεύνηση για την βέλτιστη γεωμετρία και την αλληλουχία των σταδίων της τμηματικής εκσκαφής της σήραγγας στην θέση διευρυμένης διατομής.

1.4 Έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της εργασίας

Για τον σχεδιασμό της σήραγγας πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση των μέχρι τώρα δημοσιευμένων ερευνών και μελετών της Ερευνητικής ομάδας του ΕΜΠ. Αναλυτική παρουσίαση των διαθέσιμων στοιχείων παρουσιάζεται παρακάτω.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο σχεδιασμός της σήραγγας στην παρούσα εργασία ακολουθεί ακριβώς τις προτάσεις της ερευνητικής ομάδας του ΕΜΠ. Όσο αφορά τον σχεδιασμό της προσωρινής υποστήριξης ακολουθείται η τεχνική έκθεση του έργου «Προκαταρκτική διερεύνηση και σχεδιασμός οδικής σήραγγας μεταξύ των οικισμών Θεοδώριανων – Μελισσουργών» που υλοποιήθηκε από το Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας του ΕΜΠ με τη συμβολή μελών ΔΕΠ της Σχολής Μεταλλειολόγων – Μεταλλουργών Μηχανικών [2]. Συγκεκριμένα ακολουθούνται οι αρχές σχεδιασμού και οι κατηγορίες υποστήριξης που προτείνει κατά μήκος της σήραγγας.

Για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά:

Πρόγραμμα Η/Υ	Χρήση
Microsoft Office Word	Παραγωγή Κειμένου
Microsoft Office Excel	Υπολογισμοί, Παραγωγή Διαγραμμάτων
AutoCAD 2022	Παραγωγή Σχεδίων, Μετρήσεις

Wintube Fides	Γραφικό περιβάλλον χρήστη, Προσομοίωση του προβλήματος
SofistiK	Υπολογισμός Αναλύσεων με Πεπερασμένα Στοιχεία, Διαχείριση Αποτελεσμάτων

1.5 Διαθέσιμα Στοιχεία

- ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας (ΕΜΠ/ΜΕΚΔΕ), «Προκαταρκτική διερεύνηση και σχεδιασμός από το Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας οδικής σήραγγας οικισμών Θεοδώριανων – Μελισσουργών: Α' ΦΑΣΗ», Αθήνα, Οκτώβριος 2021.
- ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας (ΕΜΠ/ΜΕΚΔΕ), «Προκαταρκτική διερεύνηση και σχεδιασμός από το Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας οδικής σήραγγας οικισμών Θεοδώριανων – Μελισσουργών: Β' ΦΑΣΗ», Αθήνα, Ιούνιος 2022.

1.6 Δομή της εργασίας

Στο **Κεφάλαιο 1** παρουσιάζεται η εισαγωγή της εργασίας. Στην εισαγωγή πραγματοποιείται ο προσδιορισμός του προβλήματος και παρατίθεται ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας. Στην συνέχεια παρουσιάζεται η έρευνα που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της εργασίας και παρουσιάζονται τα διαθέσιμα στοιχεία βάσει αυτής. Τέλος δίδεται μια σύντομη περιγραφή της δομής αλλά και των περιορισμών της εργασίας.

Το **Κεφάλαιο 2** αποτελεί την ενότητα στην οποία περιγράφονται όλα τα στοιχεία που προκύπτουν από την βιβλιογραφική ανασκόπηση. Συγκεκριμένα δίδονται τα γενικά στοιχεία του έργου, οι βασικές παραδοχές που πραγματοποιούνται κατά τον σχεδιασμό από την Ερευνητική ομάδα καθώς και οι εκτιμήσεις για τις αναμενόμενες γεωλογικές-γεωτεχνικές συνθήκες κατά την διάνοιξη. Στην συνέχεια παρατίθενται τα γεωμετρικά στοιχεία της διατομής της σήραγγας και περιγράφονται αναλυτικά οι αρχές σχεδιασμού. Επιπλέον δίδεται συνοπτική περιγραφή των κατηγοριών υποστήριξης και η εκτιμώμενη εφαρμογή τους κατά μήκος της σήραγγας. Τέλος περιγράφονται οι οδηγίες για την διαστασιολόγηση

της μόνιμης επένδυσης πάντα σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση των ερευνών και μελετών της Ερευνητικής Ομάδας.

Στο **Κεφάλαιο 3** ξεκινά το κύριο μέρος της εργασίας που πραγματεύεται τον προκαταρκτικό σχεδιασμό της προσωρινής υποστήριξης της σήραγγας. Αρχικά παρουσιάζεται η μεθοδολογία των δισδιάστατων αναλύσεων πεπερασμένων στοιχείων που ακολουθείται με τις απαραίτητες διευκρινήσεις. Στην συνέχεια δίδεται αναλυτική περιγραφή των γεωμετρικών στοιχείων και των υλικών που προσομοιώνονται, των συντελεστών αποτόνωσης που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση της τρίτης διάστασης και το μέτρο ελαστικότητας της βραχομάζας. Επίσης πραγματοποιείται περιγραφή του τρόπου εργασίας που ακολουθείται για την ανάλυση σηράγγων με το λογισμικό Sofistik και του Wintube της Fides μέσω της αναλυτικής περιγραφής της δημιουργίας των αριθμητικών μοντέλων. Ενδεικτικά αναφέρονται: μετατροπή των παραμέτρων Hoek – Brown της βραχομάζας σε ισοδύναμες Mohr-Coulomb, εισαγωγή των ορίων του μοντέλου, στρωματογραφίας και κατασκευαστικών στοιχείων, προσδιορισμός των υλικών, διατομών και των μηχανικών χαρακτηριστικών τους, η διακριτοποίηση του μοντέλου και η προσομοίωση των φάσεων τμηματικής διάνοιξης και κατασκευής. Επιπρόσθετα παρουσιάζεται η μεθοδολογία εξαγωγής και διαχείρισης των αποτελεσμάτων. Τέλος έπειτα από μια σύντομη περιγραφή του κάθε αριθμητικού μοντέλου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κάθε ανάλυσης για κάθε κατηγορία υποστήριξης.

Στο **Κεφάλαιο 4** συνεχίζει το κύριο μέρος της εργασίας που πραγματοποιείται το προκαταρκτικό σχεδιασμό της τελικής επένδυσης της σήραγγας από έγχυτο σκυρόδεμα. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθείται για την διαστασιολόγηση του οπλισμού του κελύφους της τελικής επένδυσης, ακολουθεί ο υπολογισμός της ελάχιστης απαραίτητης επικάλυψης του οπλισμού σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα, η περιγραφή των αριθμητικών μοντέλων (μέθοδος δοκών – ελατηρίων), η εισαγωγή εξωτερικών φορτίων λειτουργίας και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Τέλος περιγράφονται οι παραδοχές που πραγματοποιούνται για την ενοποίηση των αποτελεσμάτων σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες οπλισμού κατά μήκος της σήραγγας και δίδονται ενδεικτικά σχέδια οπλισμών.

Το **Κεφάλαιο 5** αποτελεί το τελευταίο μέρος του κυρίως κορμού της εργασίας και πραγματεύεται τον προκαταρκτικό σχεδιασμό της τυπικής διατομής σε θέση έκτακτης στάθμευσης. Αρχικά παρουσιάζονται οι αρχές σχεδιασμού και οι παραδοχές που πραγματοποιούνται για τον προσδιορισμό της γεωμετρίας της διατομής, στην συνέχεια παρατίθενται αναλυτική περιγραφή της κατηγορίας υποστήριξης και των υλικών που

προσομοιώνονται, των συντελεστών αποτόνωσης που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση της τρίτης διάστασης και το μέτρο ελαστικότητας της βραχομάζας. Επίσης πραγματοποιείται διερεύνηση για τον βέλτιστο τρόπο εφαρμογής της τμηματικής εκσκαφής και έπειτα από την σύντομη περιγραφή του αριθμητικού μοντέλου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Τέλος αναγράφεται συνοπτικά η μεθοδολογία και οι παραδοχές που πραγματοποιούνται για την διαστασιολόγηση του οπλισμού της τελικής επένδυσης καθώς και τα αποτελέσματά της.

Στο **Κεφάλαιο 6** πραγματοποιείται τεχνική αποτίμηση των αποτελεσμάτων και των προτάσεων της εργασίας μέσω επιμέρους συμπερασμάτων.

1.7 Περιορισμοί της εργασίας

Ο λόγος συγγραφής της παρούσας εργασίας είναι εκπαιδευτικός. Υπάρχουν βασικοί περιορισμοί της εργασίας που ενδεχομένως επηρεάζουν τα αποτελέσματα και τις προτάσεις της. Παρακάτω αποτυπώνονται, έστω και θεματικά, τα αίτια και η φύση των περιορισμών.

Οι παραδοχές κατά τον σχεδιασμό, η απλοποίηση ορισμένων συνθηκών και η αβεβαιότητα ορισμένων παραμέτρων αποτελούν βασικούς περιορισμούς της παρούσας εργασίας. Επιπλέον, ενδεχομένως παραλήψεις ή παρανοήσεις κυρίως κατά την χρήση εξειδικευμένων προγραμμάτων-λογισμικών η/υ, με αρκετές δυνατότητες ανάλυσης, δυνατότητες παραμετροποίησης του προβλήματος και δυνατότητες προσομοίωσης σύνθετων γεωμετριών και υλικών, θα πρέπει να θεωρούνται αρκετά πιθανές. Επιπρόσθετα ο σχεδιασμός μεγάλων έργων υποδομής, με χρήση σύγχρονων λογισμικών υπολογιστικών μεθόδων ανάλυσης, αποτελεί ούτως ή άλλως δοκιμασία για έναν νέο μηχανικό, πέρα από το γεγονός ότι και τα αποτελέσματα αυτών των αναλύσεων πάντα απαιτούν την αποτίμηση και αξιολόγηση ενός έμπειρου μηχανικού ή και συνήθως ολόκληρης της μελετητικής ομάδας. Πιο συγκεκριμένη και τεχνική αποτίμηση των αποτελεσμάτων αλλά και των περιορισμών των προτάσεων της εργασίας πραγματοποιείται και στο τέλος της, στα συμπεράσματα.

2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση/ Ανασκόπηση της Πρότασης της Ερευνητικής Ομάδας

2.1 Γενικά στοιχεία

Ο σχεδιασμός της σήραγγας Μελισσουργών Θεοδωριάνων αποτελεί το αποτέλεσμα της έρευνας στα πλαίσια προγραμματικής σύμβασης συνεργασίας μεταξύ της Περιφέρειας

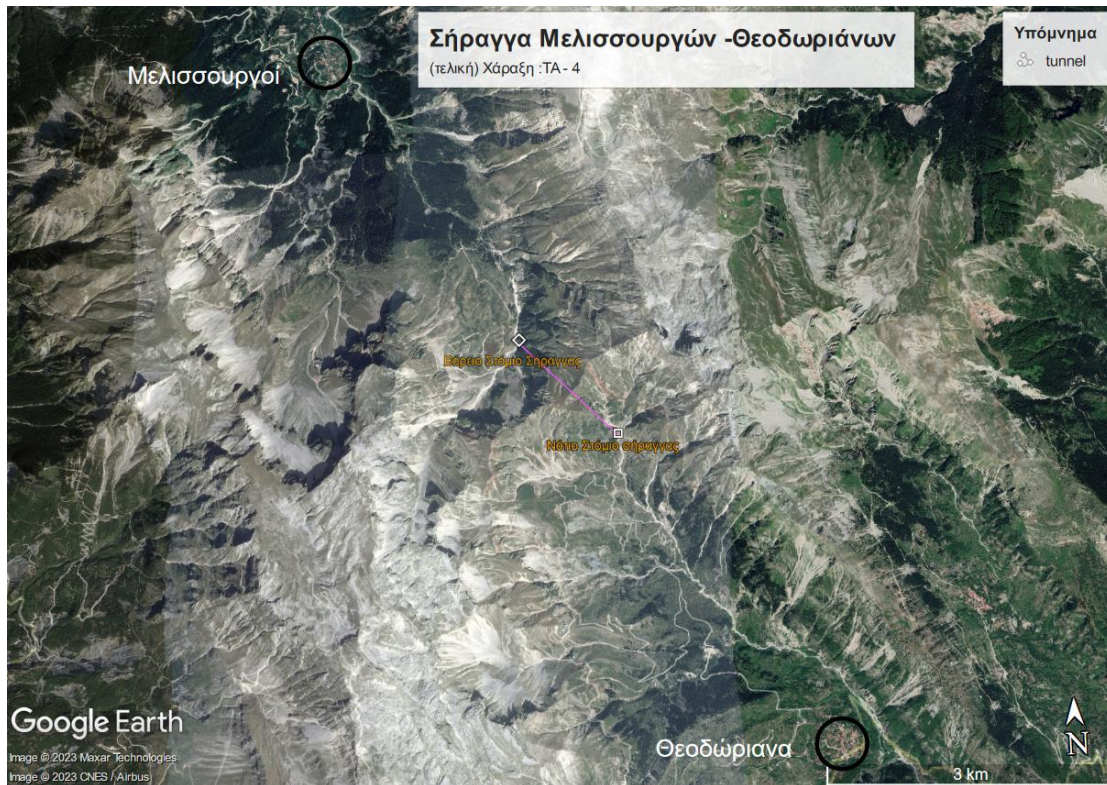
Ηπείρου και του Μετσόβιου Κέντρου Διεπιστημονικής Έρευνας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Σύμφωνα και με τον πρόλογο της Ερευνητικής Ομάδας :

«Η προκαταρκτική διερεύνηση και ο σχεδιασμός οδικής σήραγγας μεταξύ των οικισμών Θεοδωριάνων. - Μελισσουργών αφορά σε ένα καινοτόμο έργο που ολοκληρώνει τον «δακτύλιο των Τζουμέρκων» και ενοποιεί τον χώρο των Τζουμέρκων, δίνοντας παράλληλα μια νέα σύνδεση από/προς την Περιφέρεια Θεσσαλίας προς από το κέντρο της Περιφέρειας Ηπείρου. Αυτό επιτυγχάνεται με ένα σύγχρονο συγκοινωνιακό έργο που επιτυγχάνει βέλτιστη περιβαλλοντική προστασία, λειτουργώντας ως σήραγγα βάσης.

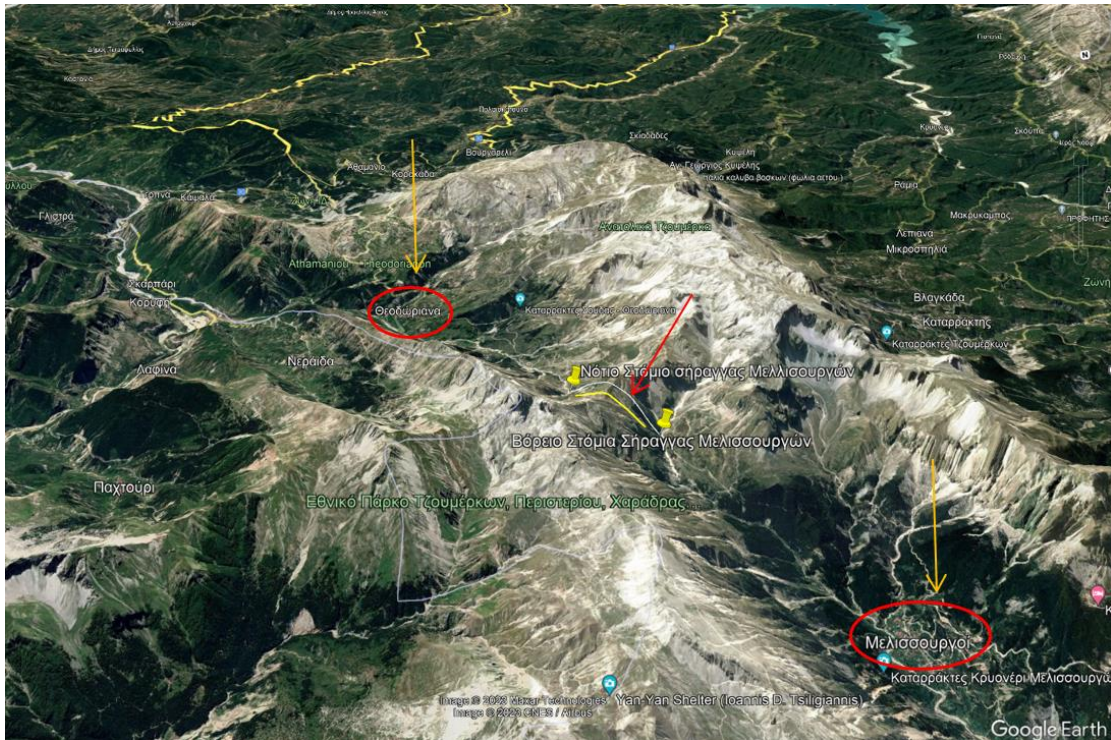
Στόχοι του ερευνητικού έργου είναι να εκτιμηθούν τα χαρακτηριστικά της προτεινόμενης λύσης, το κόστος της αλλά και τα ευρύτερα οφέλη που θα προκύψουν από την ανάπτυξη σήραγγας που θα ενώνει τους δύο οικισμούς αλλά και ευρύτερα τους Δήμους Κεντρικών και Βορείων Τζουμέρκων, μειώνοντας την απομόνωσή τους, ενισχύοντας την κατεύθυνση της ισόρροπης οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης και συνεπώς, βελτιώνοντας το δυναμικό ανάπτυξης των Τζουμέρκων συνολικά»[1].

Αξίζει να σημειωθεί ότι η Ερευνητική ομάδα εξέτασε πολλαπλές χαράξεις για το που η σήραγγα θα τμήσει τον ορεινό όγκο «Τούρλας» που παρεμβάλλεται μεταξύ των δυο οικισμών. Χρησιμοποιώντας κατάλληλα κριτήρια όπως το μήκος, τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά, την ασφάλεια των στομίων, την συναρμογή με το υφιστάμενο οδικό δίκτυο, την αποφυγή ζώνης επώθησης άρα και κατακερματισμού και ισχυρού τεκτονισμού των γεωλογικών στρωμάτων και σχηματισμών που βρίσκονται σε γειτνίαση με την ζώνη της επώθησης κατέληξε στην επιλογή της χάραξης με κωδικό-όνομα TA-4. Η παρούσα εργασία, αξιοποιώντας την προκαταρκτική μελέτη της Ερευνητικής ομάδας [1] αλλά και την μελέτη του προκαταρκτικού σχεδιασμού συμπεριλαμβανομένης της προσωρινής υποστήριξης [2], ακολουθεί την βελτιστοποιημένη χάραξη TA-4.



Εικόνα 1 : Η βελτιστοποιημένη χάραξη ΤΑ-4. Χάραξη επι της οποίας πραγματοποιείται ο σχεδιασμός στην παρούσα εργασία. [τροποποιημένη εικόνα από Google Earth].

Ειδικότερα η θέση της σήραγγας βρίσκεται στον νομό Άρτας στην περιοχή των Τζουμέρκων. Το βόρειο στόμιο, που αποτελεί και το στόμιο εισόδου της σήραγγας, βρίσκεται νοτιοανατολικά του οικισμού Μελισσουργών. Το νότιο στόμιο εξόδου βρίσκεται βορειοδυτικά του οικισμού Θεοδώριανα. Βάσει της τελικής πρότασης για την χάραξη της σήραγγας, τουλάχιστον στην παρούσα φάση, η σήραγγα έχει συνολικό μήκος 1500m και οριζοντιογραφικά ο άξονάς της συμπίπτει με την διεύθυνση βορειοδυτικά – νοτιοανατολικά. Το μέγιστο πάχος υπερκειμένων της σήραγγας είναι περίπου 500m. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι «οι ακριβείς θέσεις έναρξης και πέρατος του υπόγειου τμήματος της σήραγγας θα καθοριστούν κατά την οριστική μελέτη του έργου» [1][2], που πιθανώς θα υπάρχει και πολύ καλύτερη εικόνα για τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά και τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών από την ανάπτυξη ενός στοχευμένου γεωτεχνικού προγράμματος ερευνών πεδίου και εργαστηρίου.



Εικόνα 2: Τρισδιάστατη απεικόνιση του ορεινού όγκου «Τούλρας» μεταξύ των οικισμών Μελισσοουργών – Θεσσαριάνων. [τροποποιημένη εικόνα από Google Earth].

2.2 Αρχές σχεδιασμού - Βασικές Παραδοχές- Πρότυπη Διατομή 10,5T

Η Ερευνητική ομάδα, λαμβάνοντας υπόψιν την Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία, τις εθνικές οδηγίες οδοποιίας και οδικών σηράγγων καθώς και την δυνατότητα του έργου να αδειοδοτηθεί- εγκριθεί έγκυρα από τις αρμόδιες υπηρεσίες εξέτασε δύο εναλλακτικά σενάρια με επικρατέστερο αυτό της σήραγγας μονού κλάδου διπλής κατεύθυνσης κυκλοφορίας, με μία λωρίδα κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση και τυπική διατομή 10.5T κατά τις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων-Τεύχος Οδικών Σηράγγων (ΟΜΟΕ-ΤΟΣ 2002)[2][4].

Η παρούσα εργασία σύμφωνα και με την επισκόπηση του συνόλου των προτάσεων και των εκτιμήσεων της Ερευνητικής ομάδας πραγματοποιείται μόνο το επικρατέστερο σενάριο, δηλαδή αυτό της προτυποποιημένης διατομής 10,5T σύμφωνα με τις εθνικές οδηγίες της ΟΜΟΕ-ΤΟΣ.

Η Ερευνητική ομάδα πρότεινε η όρυξη και η κατασκευή της σήραγγας να πραγματοποιηθεί με συμβατικά μέσα. Επομένως η παρούσα εργασία για τον σχεδιασμό της διάνοιξης και της προσωρινής υποστήριξης ακολουθεί την μέθοδο NATM.

2.3 Αναμενόμενες γεωλογικές-γεωτεχνικές συνθήκες διάνοιξης ,

Σύμφωνα με την Τεχνική Έκθεση Α΄ Φάσης[1] η σήραγγα θα διανοιχθεί σε ασβεστόλιθους της ζώνης Πίνδου. Ο γεωλογικός σχηματισμός αυτός έχει επωθηθεί επί των γεωλογικών σχηματισμών φλύσχη της Ιόνιας ζώνης στην ευρύτερη περιοχή του έργου. Ο ασβεστόλιθος της ζώνης της Πίνδου δημιουργήθηκε όταν ακόμα ο ελλαδικός χώρος αποτελούσε τον βυθό ενός ωκεανού θάλασσας με μέτριο βάθος κατά τον Μεσοζωικό αιώνα και κατά την Τριαδική Περίοδο, δηλαδή περίπου πριν 225 εκατομμύρια χρόνια. Η περιοχή της Πίνδου εκείνη την εποχή, ήταν αυλάκι με μεγαλύτερο σχετικά βάθος, δημιουργώντας τις συνθήκες, μαζεύοντας ιζήματα, για την ιζηματογένεση - διαγένεση και δημιουργία του συγκεκριμένου ασβεστόλιθου. Οι συγκεκριμένοι ασβεστόλιθοι(ανώτερου τριαδικού) αναμένεται να είναι λεπτοπλακώδεις με κατά θέσεις ενστρώσεις πηλινών [1]. Στους ασβεστόλιθους του Ανώτερου Τριαδικού που βρίσκονται στην περιοχή, επίσης παρεμβάλλονται λεπτά στρώματα από μάργες με χαρακτηριστικά απολιθώματα [5]. Τέλος και σύμφωνα πάντα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση των γεωλογικών και γεωτεχνικών αξιολογήσεων της Ερευνητικής ομάδας που προέρχονται τόσο από γεωλογικές παρατηρήσεις από τις εργασίες πεδίου όσο και από τις δύο δειγματοληπτικές γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν κατά την Α΄ Φάση πλησίον των θέσεων των στομιών της σήραγγας στη χάραξη TA-2: *«Οι ασβεστόλιθοι εμφανίζονται πολυπτυχωμένοι με ισοκλινή δομή και ανορθωμένα στρώματα. Εμφανίζουν σε βάθος μεγάλο πάχος, ενώ στη ζώνη της επώθησης εμφανίζουν έντονο κερματισμό έως απώλειας της δομής τους»*[1][2].

2.3.1 Τεχνικογεωλογικές ενότητες

Κατά την γεωλογική και γεωτεχνική αξιολόγηση, διακρίθηκαν από την Ερευνητική ομάδα τέσσερις (4) τύποι βραχομάζας (B1, B2, B3 και B4) που συγκροτούν τις τέσσερις (4) Τεχνικογεωλογικές Ενότητες [1],[2]. Ενότητες που χαρακτηρίζονται από σχετικά κοινές μηχανικές ιδιότητες και αναμένεται να παρουσιάζουν κοινή συμπεριφορά κατά την διάνοιξη της σήραγγας. Στην συνέχεια παρουσιάζεται η κατάταξη των τεσσάρων ενοτήτων που αντιπροσωπεύουν τους τέσσερις τύπους βραχομάζας στο διάγραμμα γεωλογικού δείκτη αντοχής GSI (Marinos & Hoek 2000) [6] στο Σχήμα 1 καθώς και η κατάταξη των ενοτήτων B1,B2 ,B3, που αναμένεται να συναντηθούν κατά την όρυξη, στο διάγραμμα GSI για ασβεστολιθικές βραχομάζες (Marinos 2007) [7] στο Σχήμα 2. Επίσης στον Πίνακα 1 δίδεται μια πρώτη γεωλογική περιγραφή των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων και των ασβεστολιθικών μαζών που τις αποτελούν. Στην συνέχεια, στον ίδιο πίνακα δίδονται και οι πρώτες τιμές, με εύρος, των τεχνικογεωλογικών και μηχανικών παραμέτρων τους, πάντα σύμφωνα με την

αξιολόγηση και την κατηγοριοποίηση που πρότεινε η Ερευνητική ομάδα κατά την γεωλογική και γεωτεχνική έρευνα [1].

Πίνακας 1 : Τεχνικογεωλογικές ενότητες και εύρη τεχνικογεωλογικών παραμέτρων. Τροποποιημένος πίνακας από [1][2]

Τ.Ε.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	GSI	m_i	σ_{ci} (MPa)
B1	«Πολύ τεμαχώδης έως διαταραγμένος-πτυχωμένος ασβεστόλιθος με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχη που σχηματίζονται από 4 οικογένειες ασυνέχειες» [1]	45-55	14	50-80
B2	«Πτυχωμένος λεπτοστρωματώδης ασβεστόλιθος με γωνιώδη τεμάχη που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Κατά θέσεις απαντώνται με λεπτές ενδιαστρώσεις κερατολίθων & πηλιτών» [1]	35-45	14	40-70
B3	«Κατακερματισμένος λεπτοστρωματώδης ασβεστόλιθος με πιθανές εναλλαγές πηλιτικών στρώσεων. Η βραχομάζα παρουσιάζεται με ανοικτή δομή και μικρά γωνιώδη τεμάχη» [1]	22-27	12	30-50
B4	«Κατακερματισμένος έως διατηρημένος σχηματισμός φλύσχη Ιόνιας Ζώνης.»[1] (εναλλαγές ιλυολιθικών και ψαμμιτικών στρωμάτων)*	17-22	7	10-15

Όπου:







Τ.Ε. : Τεχνικογεωλογικές Ενότητες

GSI : γεωλογικός δείκτης αντοχής (Marinos & Hoek 2000)

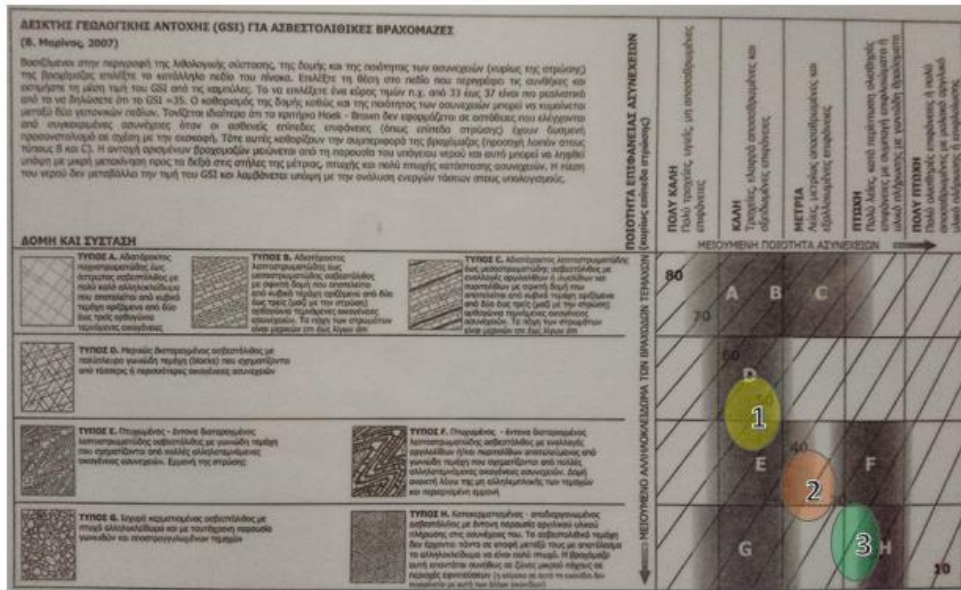
m_i : παράμετρος αντοχής του κριτηρίου Hoek-Brown για το άρρηκτο πέτρωμα

σ_{ci} : αντοχή σε μονοαξονική θλίψη άρρηκτου πετρώματος

***Σημείωση:** οι Τ.Ε. B1,B2,B3 αναμένεται να συναντηθούν κατά την όρυξη, η Τ.Ε. B4 αποτελεί τον φλύσχη της Ιόνιας Ζώνης, σχηματισμό τον οποίο λόγω της έντονης τεκτονικής καταπόνησης που του έχει επιβληθεί και οδηγεί στα μειωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά και την κατηγοριοποίησή του στις ασθενέστερες κατηγορίες βραχομάζας, η χάραξη TA-4 τον αποφεύγει.

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) (E. Hoek, Π. Μαρίνος, 2000) Βασίζομενοι στην περιγραφή της λιθολογικής σύστασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχειών της βραχώμαζας εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI από τις καρπύλες. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 έως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι το GSI =35. Ο καθορισμός της δομής καθώς και της ποιότητας των ασυνεχειών μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ δύο γειτονικών πεδίων. Τονίζεται ιδιαίτερα ότι το κριτήριο Hoek - Brown δεν εφαρμόζεται σε αστάθεις που ελέγχονται από συγκεκριμένες ασυνέχειες όταν οι ασθενείς επιπέδες επιφάνειες (όπως διατμημένα επίπεδα στρώσης) έχουν δυσμενή προσανατολισμό σε σχέση με την εκκοκφή. Τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχώμαζας. Η αντοχή ορισμένων βραχώμαζών μειώνεται από την παρουσία του υπόγειου νερού και αυτό μπορεί να ληφθεί υπόψη με μικρή μετακίνηση προς τα δεξιά στις στήλες της μέτριας, πτωχής και πολύ πτωχής κατάστασης ασυνεχειών. Η πίεση του νερού δεν μεταβάλλει την τιμή του GSI και λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων στους υπολογισμούς.		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →				
ΔΟΜΗ		ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τροχιές, υιές, μη αποσβρωμένες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τροχιές, ελαφρά αποσβρωμένες και οξείδιωμένες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσβρωμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες	ΠΤΩΧΗ Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με συμπαγή επιρροισμάτα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσβρωμένες με μολακό αργιλικό υλικό πλήρωσης ή επηφλοίσθη
 ΑΡΡΗΚΤΗ Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση	90				N/A	N/A
 ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ/ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ Αδιατάρακτη βραχώμαζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών	80	70				
 ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ Μερικώς διαταραγμένη βραχώμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών	70	60	50			
 ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας	60	50	40			
 ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ Ισχυρά κερματισμένη βραχώμαζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιώδων και αποστραγγυλωμένων τεμαχίων	50	40	30	20		
 ΦΥΛΛΩΔΗΣ/ ΔΙΑΤΜΗΜΕΝΗ Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχώμαζα. Η φύλλωση επικρατεί έναντι οποιαδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιώδων τεμαχίων (η κλίμακα σε αυτό το εικονίδιο δεν συγκρίνεται με αυτή των άλλων εικονιδίων)	40	30	20	10		
	N/A	N/A				

Σχήμα 1 : Εύρη τιμών του γεωλογικού δείκτη αντοχής GSI ανά Τεχνικογεωλογική Ενότητα B1,B2,B3,B4. Τροποποιημένο σχήμα από[1]



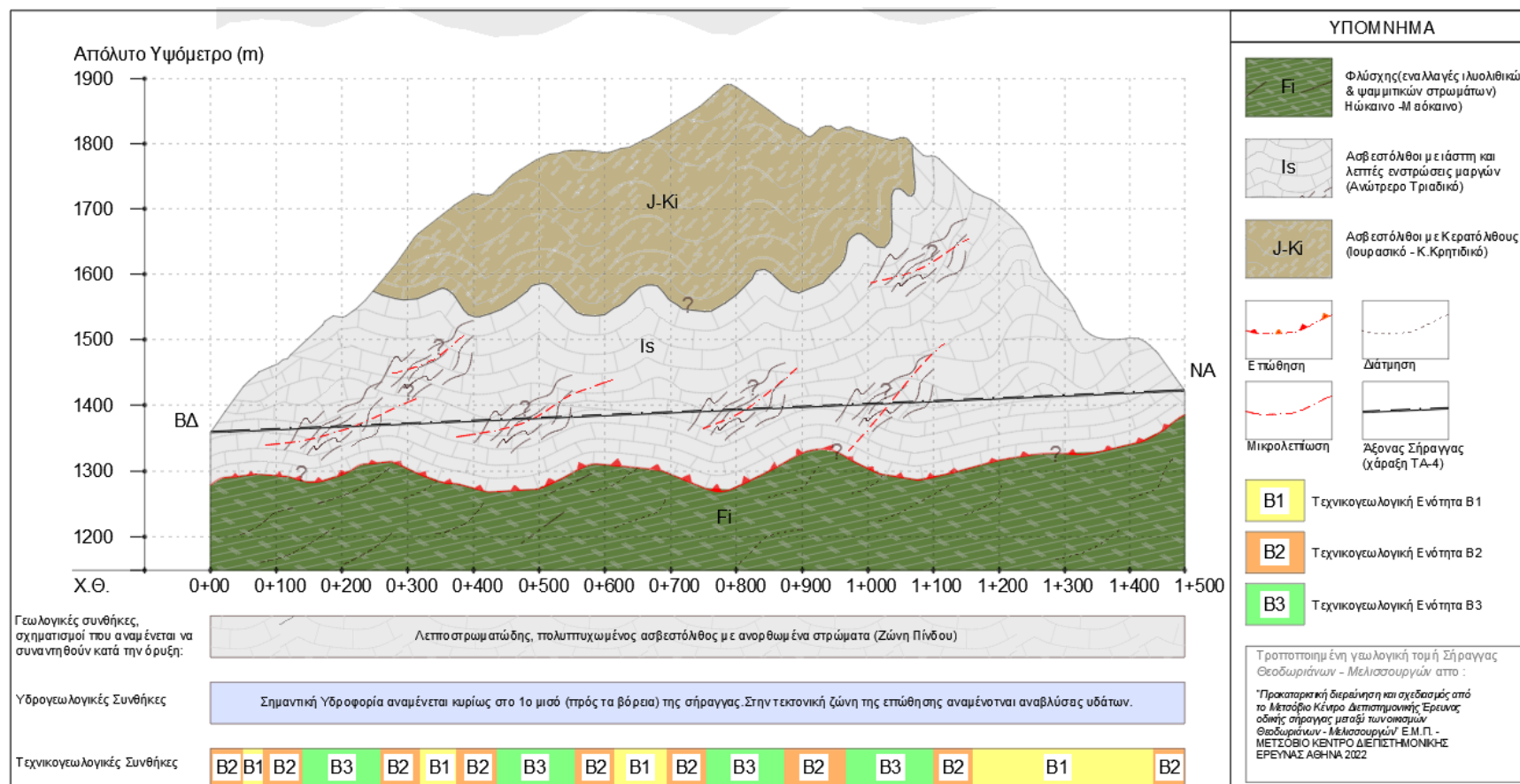
Σχήμα 2 : Εύρη τιμών των ασβεστολιθικών τεχνικογεωλογικών ενοτήτων B1,B2,B3, που αναμένεται να συναντηθούν κατά την όρυξη της σήραγγας(χάραξη TA-4).Σχήμα τροποποιημένο από [1][2].

Στο Πίνακα 2 παρουσιάζονται συνοπτικά οι γεωτεχνικές παράμετροι σχεδιασμού ανά Τεχνικογεωλογική Ενότητα, σύμφωνα με την μελέτη της Ερευνητικής ομάδας, οι οποίες προέκυψαν όπως περιγράφεται στην συνέχεια. Για τον γεωλογικό δείκτη αντοχής GSI και για την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη λαμβάνονται οι μέσες τιμές που παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 1. Το μέτρο ελαστικότητας του άρρηκτου πετρώματος και για το ειδικό βάρος γ του άρρηκτου πετρώματος λαμβάνονται από εργαστηριακές δοκιμές της Α' φάσης.[1][2]

Πίνακας 2 : Γεωτεχνικές παράμετροι σχεδιασμού ανά κατηγορία βραχομάζας. Πίνακας από : [1][2]

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ	GSI	mi	σ_{ci} (MPa)	Ei (GPa)	γ (kN/m ³)
B1	50	14	65	45	26.5
B2	40	14	55	40	26.5
B3	25	12	40	35	26.5

Ακολούθως, στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η τροποποιημένη γεωλογική-γεωτεχνική τομή κατά μήκος του άξονα της σήραγγας στην χάραξη TA-4. Η τομή, που σχεδιάστηκε βάσει της μηκοτομής που παρουσιάστηκε από την Ερευνητική Ομάδα, περιέχει πληροφορίες για την εκτίμηση εμφάνισης των γεωλογικών σχηματισμών καθώς και των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων κατά την διάνοιξη σε κάθε χιλιομετρική θέση(X.Θ.) Περιέχονται επίσης πληροφορίες για τις υδρογεωλογικές συνθήκες και εκτίμηση συνάντησης υπόγειων υδάτων.



Σχήμα 3 : Γεωλογική-γεωτεχνική μηκοτομή της χάραξης TA-4. Σχήμα τομής τροποποιημένο από [1].











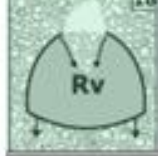

Τέλος, σύμφωνα με τους περιορισμούς και τις αναγκαίες παραδοχές που πραγματοποιήθηκαν από την Ερευνητική Ομάδα κατά τον προκαταρκτικό σχεδιασμό και την γεωλογική-γεωτεχνική εκτίμηση των συνθηκών διάνοιξης, πρέπει να σημειωθούν τα εξής:

- «*Η ποσόστωση και οι θέσεις εμφάνισης των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων της αναμενόμενης βραχομάζας εντός της σήραγγας είναι ενδεικτικές και θα καθορισθούν μετά την εκτέλεση του κατάλληλου τεχνικογεωλογικού προγράμματος ερευνών.*»[1]
- «*Οι θέσεις των μικρολεπιώσεων είναι ενδεικτικές και δεν μπορεί να αποκλειστεί το ενδεχόμενο να υπάρχουν και άλλες παράλληλες ζώνες με πτωχότερης ποιότητας βραχομάζα.*»[1]
- «*Στην ευρύτερη βιβλιογραφία, στη βάση της ζώνης της Πίνδου απαντάται κλαστικός γεωλογικός σχηματισμός ονομαζόμενος ως “Κλαστικό Τριαδικό” αποτελούμενος από λεπτό έως μεσοκοκκώδεις ψαμμίτες με παρεμβολές πηλιτικών και αργιλικών στρωμάτων(πάχος: 100m).Στην περιοχή του έργου, σύμφωνα με το γεωλογικό φύλλο ΠΓΜΕ Αγνάντα (Κλίμακας 1/50000) δε φαίνεται να απαντάται, αλλά δεν μπορεί να αποκλειστεί η παρουσία του.*»[1]
- «*Οι γεωτεχνικές παράμετροι σχεδιασμού θα πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω τόσο κατά την οριστική μελέτη όσο και κατά την κατασκευή του έργου.*»[2]

2.3.2 Γεωτεχνική συμπεριφορά κατά τη διάνοιξη





Σύμφωνα με την Ερευνητική Ομάδα: «*Η εκτίμηση της συμπεριφοράς της βραχομάζας κατά τη διάνοιξη της σήραγγας για την κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα πραγματοποιείται αρχικά με βάση το διάγραμμα συμπεριφοράς κατά τη διάνοιξη σήραγγας Tunnel Behaviour Chart – TBC (Μαρίνος, 2007).*»[1][2] Η κατάταξη της συμπεριφοράς κάθε σχηματισμού στο παραπάνω διάγραμμα TBC (Μαρίνος, 2007)[7], κατά την διάνοιξη σήραγγας εντός του, πραγματοποιείται βάσει της δομής του, της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη άρρηκτου τεμάχους και του φυσικού εντατικού πεδίου που προκύπτει από το ύψος των υπερκείμενων σχηματισμών. Επομένως σύμφωνα με τα εύρη τιμών του γεωλογικού δείκτη αντοχής(GSI) που δόθηκαν στον Σχήμα 1 από όπου και προκύπτει η δομή του κάθε ασβεστολιθικού σχηματισμού που αποτελεί την κάθε ενότητα(T.E.), και την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη άρρηκτου τεμαχίου του βράχου δίδεται στον Πίνακα 2 πραγματοποιείται η κατάταξη των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων. Με βάση τα παραπάνω παρουσιάζεται ο Πίνακας 3 με την εκτίμηση για την συμπεριφορά κατά την διάνοιξη και τον πιθανό μηχανισμό αστοχίας που μπορεί να εκδηλωθεί ανά σχηματισμό της κάθε τεχνικογεωλογικής ενότητας.

Πίνακας 3 : Η εκτίμηση της συμπεριφοράς της βραχομάζας κατά τη διάνοιξη της σήραγγας για την κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα. Γεωτεχνικές πληροφορίες του Πίνακα 3 λήφθηκαν από την μελέτη της Ερευνητικής Ομάδας [1][2].

T.E.	σ_{ci} (MPa)	Διάγραμμα γεωλογικού δείκτη αντοχής GSI & ΔΟΜΗ (Marinos & Hoek 2000)	Διάγραμμα συμπεριφοράς κατά τη διάνοιξη σήραγγας Tunnel Behavior Chart – TBC (Μαρίνος, 2007)	Συμπεριφορά κατά την Διάνοιξη Μηχανισμοί Αστοχίας	
B1	65	<p>ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ Μικρές, διατεταγμένες βραχίονες με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από πύσσους ή περισσότερες ομογενείς οσφυοειδείς</p> 		Χαμηλά υπερκείμενα: (Wg) (Ch) 	Υψηλά άνω των 100m υπερκείμενα: (Wg) 
B2	55	<p>ΔΙΑΤΑΞΙΜΗΝΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ΠΥΣΣΩΜΕΝΗ Πυρραμική με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από αλληλοεπικαλυπόμενες ομογενείς οσφυοειδείς. Ελαφρώς σπράσις ή ασηπτότητα</p> 		Χαμηλά υπερκείμενα: (Ch) (Wg) 	Υψηλά άνω των 70m υπερκείμενα: (Ch-Sh) 
B3	40	<p>ΑΠΟΔΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ Ελαφρά κρυσταλλική βραχίονες με πηχά αλληλοεπικαλυπόμενα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιαίων και αποστραγγυλιωμένων τεμαχίων</p> 		Χαμηλά υπερκείμενα: (Rv) 	Υψηλά άνω των 70m υπερκείμενα: (Ch-Sh) 

Όπου:

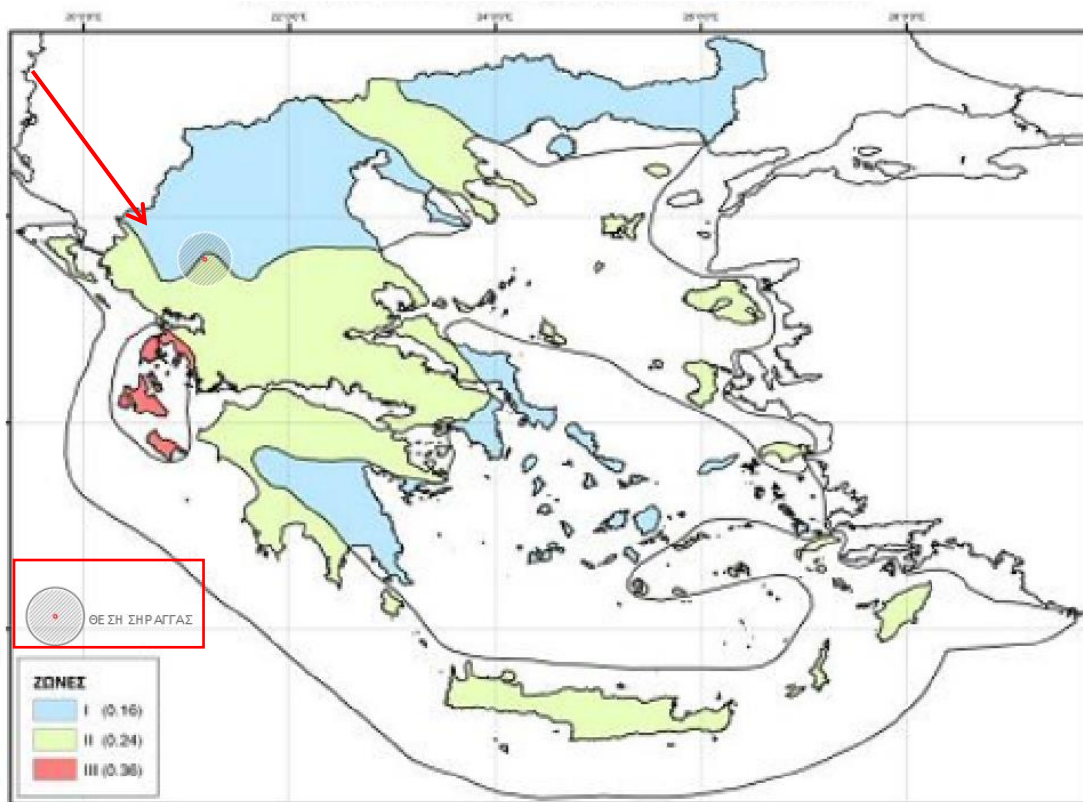
Πίνακας 4: Περιγραφή της συμπεριφοράς κατά την διάνοιξη της σήραγγας και πιθανοί μηχανισμοί αστοχίας. Το περιεχόμενο της περιγραφής στον Πίνακα 4 προέρχεται από την τεχνική έκθεση της Ερευνητικής Ομάδας του έργου. [2]

Συμπεριφορά κατά την Διάνοιξη Μηχανισμοί Αστοχίας	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
(Wg) (Ch) TE B1 <100m 	«Αναμένονται κυρίως βαρυντικές σφηνοειδείς αστοχίες (Wg) και μικρές καταπτώσεις τύπου καμινάδας» (Ch)[2]
(Wg) TE B1 >100m 	«Σε υψηλά υπερκείμενα αναμένονται μικρές αστοχίες τύπου σφήνας (Wg) λόγω της καλής περισφιξης της βραχομάζας»[2]
(Ch) (Wg) TE B2 <70m 	«Σε χαμηλά υπερκείμενα αναμένονται βαρυντικές αστοχίες τύπου καμινάδας (Ch) και μικρές σφηνοειδείς αστοχίες (Wg)»[2]
(Ch-Sh) TE B2 >70m 	«Σε υψηλά υπερκείμενα αναμένονται μικρές αστοχίες τύπου καμινάδας (Ch) λόγω της καλής περισφιξης της βραχομάζας, καθώς και μικρές παραμορφώσεις με την εκδήλωση διατμητικών αστοχιών μικρής έκτασης (Sh).»[2]

(Rv) TE B3 >70m		<i>«Σε χαμηλά υπερκείμενα αναμένονται καταρροές της βραχομάζας (Rv) λόγω του πτωχού αλληλοκλειδώματος.»[2]</i>
(Ch-Sh) TE B3 >70m		<i>Σε υψηλά υπερκείμενα αναμένονται αστοχίες τύπου καμινάδας (Ch) καθώς και παραμορφώσεις με την εκδήλωση διατμητικών αστοχιών μικρής έκτασης (Sh). Σε πολύ υψηλά υπερκείμενα είναι πιθανή η εμφάνιση σύνθλιψης (Sq)[2]</i>

2.3.3 Στοιχεία σεισμικότητας της περιοχής

Στο τεύχος «Προκαταρκτική διερεύνηση και σχεδιασμός από το Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας οδικής σήραγγας οικισμών Θεοδωριάνων – Μελισσουργών: Α' ΦΑΣΗ», αναφέρεται: «Σύμφωνα με την αναθεώρηση του Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας (ΦΕΚ 1154/Β/12-8-2003) του ισχύοντα Αντισεισμικού Κανονισμού (Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός, ΝΕΑΚ 2000), η περιοχή κατατάσσεται σε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II με συντελεστή εδαφικής επιτάχυνσης $a = 0,24$.» [1]. Παρακάτω παρατίθεται ο Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας με τις περιοχές κατάταξης και την θέση της σήραγγας.



Σχήμα 4 : Νέος Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας Ελλάδας(2003) & η θέση της σήραγγας. Χάρτης από [8]

2.3.4 Υπολογισμός της παραμόρφωσης κατά μήκος της σήραγγας

Από την βιβλιογραφική ανασκόπηση της μελέτης της Ερευνητικής Ομάδας του έργου[2] εξάγεται το συμπέρασμα ότι για τον σχεδιασμό της άμεσης υποστήριξης της σήραγγας πρώτο βήμα αποτέλεσε η εκτίμηση για την δυνατότητα παραμόρφωσης της βραχομάζας κατά μήκος της σήραγγας και η δημιουργία πλαστικής ζώνης περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής, ζώνης εντός της οποίας η βραχομάζα διαρρέει. Ο υπολογισμός και η μεθοδολογία πραγματοποιήθηκε με χρήση αναλυτικών μεθόδων που προτείνουν οι Hoek & Marinos (2000)[9] και παρουσιάζεται παρακάτω.

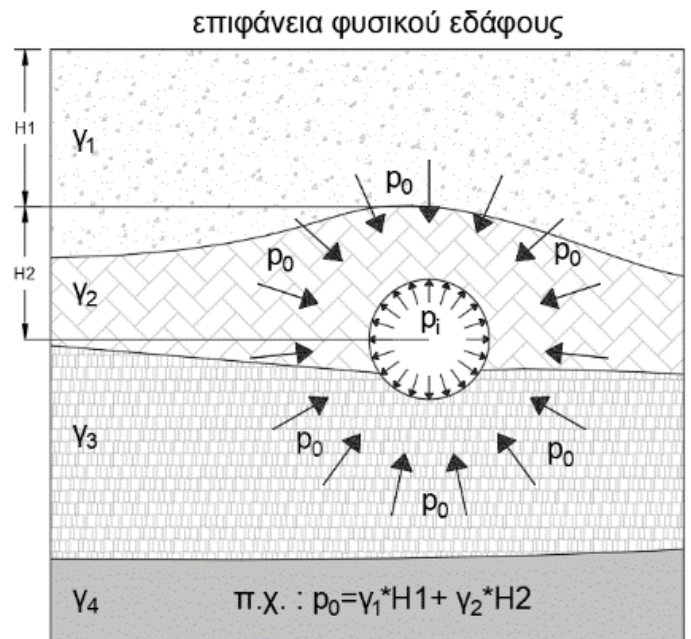
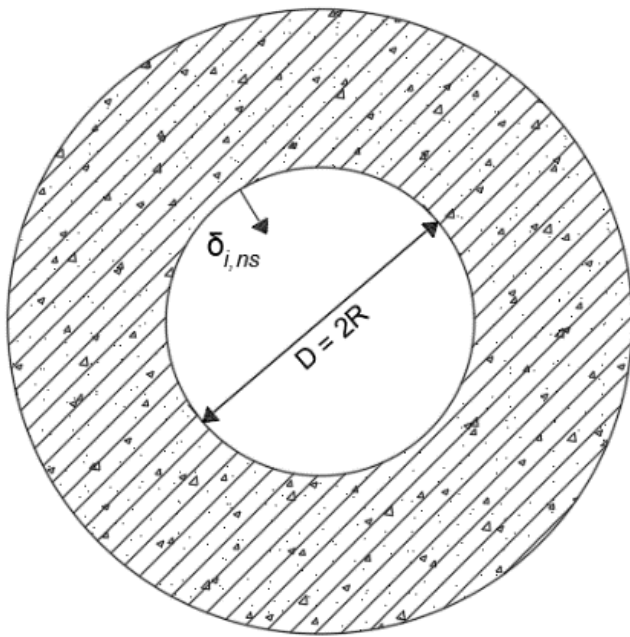
Σύμφωνα με τους Hoek & Marinos (2000)[9], η ποσοστιαία παραμόρφωση ε της σήραγγας δίδεται από τον τύπο:

$$\varepsilon = 100 \times \left(0.002 - 0.0025 \frac{p_i}{p_0} \right) \left(\frac{\sigma_{cm}}{p_0} \right)^{\left(2.4 \frac{p_i}{p_0} - 2 \right)} \quad (1)$$

Όπου:

ε η εκατοστιαία αναλογία κλεισίματος της σήραγγας προς τη διάμετρο

$$\varepsilon = \frac{\Delta D}{D} \times 100 = \frac{\delta_{i,ns}}{R} \times 100, \text{ αδιάστατη}$$



*παραδοχή «υδροστατικής» φόρτισης ($K_0=1$)

p_i προσφερόμενη πίεση υποστήριξης

p_0 είναι η τάση του φυσικού εντατικού πεδίου, που υπολογίζεται από το βάθος H και το ειδικό βάρος γ των υπερκειμένων γεωλογικών σχηματισμών

$$p_0 = \gamma \times H$$

σ_{cm} είναι η θλιπτική αντοχή της βραχομάζας, η οποία μπορεί να υπολογιστεί από τις παραμέτρους αντοχής m_i και σ_{ci} του κριτηρίου αστοχίας Hoek – Brown(2002)[10] για το άρρηκτο πέτρωμα και την ταξινόμηση της βραχομάζας σύμφωνα με το δείκτη GSI (βλέπε Πίνακα 2):

$$\sigma_{cm} = (0.0034m_i^{0.8})\sigma_{ci}\{1.029 + 0.025e^{-0.1m_i}\}^{GSI} \quad (2)$$

Σημείωση: ο υπολογισμός πραγματοποιήθηκε για θεώρηση ανυποστήρικτης σήραγγας. Επομένως $p_i = 0$ και η εξίσωση (1) γίνεται:

$$\varepsilon = 0.2 \left(\frac{\sigma_{cm}}{p_0} \right)^{-2} \quad (3)$$

Στην συνέχεια, κατά τη μελέτη της Ερευνητικής Ομάδα [2], υπολογίζεται από τις παραπάνω σχέσεις η αναμενόμενη μέγιστη παραμόρφωση για το ύψος των μέγιστων υπερκειμένων σχηματισμών κατά την χάραξη της σήραγγας, δηλαδή για 500m, για κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα. Παρουσιάζεται ο πίνακας με τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν στο excel.

Κεφάλαιο 2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση/ Ανασκόπηση της Πρότασης της Ερευνητικής Ομάδας

Πίνακας 5 Αποτελέσματα υπολογισμών θλιπτικής αντοχής της βραχομάζας & αναμενόμενη μέγιστη παραμόρφωση για κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα για ύψος των μέγιστων υπερκειμένων σχηματισμών(500m)

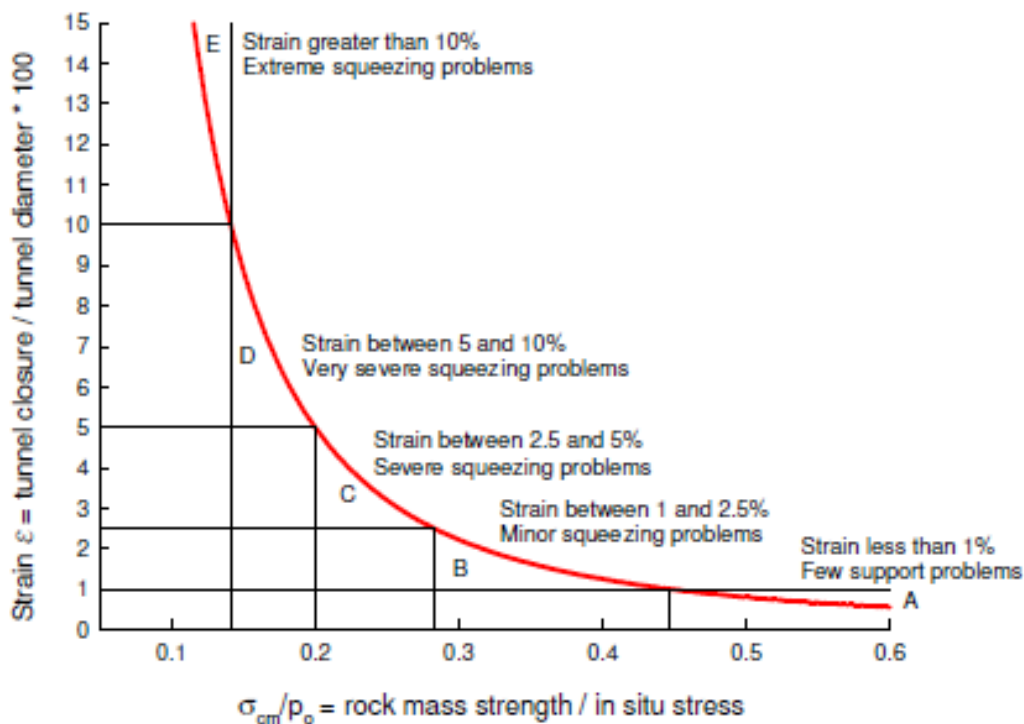
INPUTS				OUTPUTS			
TE B1	σ_{ci}	65	MPa	mb	s	a	σ_{cmass}^*
	GSI	50		2,347481	0,00386592	0,50573356	10,27477
	m_i	14					(Mpa)
	D	0		*εξίσωση(2)			
TE B2	σ_{ci}	55	MPa	mb	s	a	σ_{cmass}^*
	GSI	40		1,642468	0,001272634	0,51136847	6,153553
	m_i	14					(Mpa)
	D	0		*εξίσωση(2)			
TE B2	σ_{ci}	40	MPa	mb	s	a	σ_{cmass}^*
	GSI	25		0,823934	0,000240369	0,531267162	2,434609
	m_i	12					(Mpa)
	D	0		*εξίσωση(2)			

Σημείωση: οι παράμετροι του γενικευμένου κριτηρίου αστοχίας Hoek – Brown(2002) **mb**, **s**, **a** δεν χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό

INPUTS					OUTPUTS
TE	σ_{cm} (Mpa)	γ (KN/m ³)	$P_0=\gamma*H$ (Mpa)	σ_{cm}/P_0	ϵ (%) εξίσωση(3)
B1	10,27	26,5	13,25	0,78	0,33
B2	6,15	26,5	13,25	0,46	0,93
B3	2,39	26,5	13,25	0,18	6,15

Στο Σχήμα 5 των Hoek & Marinos (2001)[9] παρουσιάζεται η παραμόρφωση της σήραγγας συναρτήσει της σχετικής αντοχής της βραχομάζας, σύμφωνα με τις παραπάνω μαθηματικές σχέσεις που έχουν προτείνει. Στο ίδιο σχήμα διακρίνουν πέντε ζώνες Α έως Ε, στις οποίες βάσει της αναμενόμενης παραμόρφωσης της βραχομάζας μπορεί να εκτιμηθούν το μέγεθος των προβλημάτων κατά την διάνοιξη και υποστήριξη της σήραγγας λόγω της σύνθλιψης.

Σημείωση: η σχετική αντοχή της βραχομάζας ορίζεται από τον λόγο σ_{cm}/P_0 και αποτελεί ένα από τα βασικότερα μεγέθη σχεδιασμού στην κατασκευή σηράγγων. Συσχετίζει την αντοχή της βραχομάζας με το επιτόπου φυσικό εντατικό πεδίο, δίδοντας μια πρώτη εκτίμηση για τις συνθήκες κατά την διάνοιξη της σήραγγας.



Σχήμα 5 Παραμόρφωση της σήραγγας συναρτήσει της σχετικής αντοχής της βραχομάζας και εκτίμηση για προβλήματα λόγω σύνθλιψης. Σχήμα από [9]

Επομένως, βάσει του Πίνακα 5 και του Σχήματος 5, εξάγεται το συμπέρασμα ότι για τις τεχνικογεωλογικές ενότητες (TE) B1 και B2 η μέγιστη παραμόρφωση είναι μικρότερη από 1% και επομένως δεν αναμένονται ιδιαίτερα προβλήματα κατά την διάνοιξη της σήραγγας εντός αυτών των ενοτήτων.

Σημείωση: Μικροί τοπικοί μηχανισμοί αστάθειας, όπως για παράδειγμα μια σφηνοειδής ολίσθηση λόγω δυσμενούς συνδυασμού του προσανατολισμού των ασυνεχειών της

βραχομάζας και της χάραξης της σήραγγας, δύναται να συναντηθούν και το σύστημα υποστήριξης, όπως θα παρουσιαστεί παρακάτω, σχεδιάζεται για να τους αντιμετωπίσει.

Αντίθετα για την τεχνικογεωλογική ενότητα B3 η μέγιστη αναμενόμενη παραμόρφωση υπολογίστηκε 5,92% εντάσσοντας την ενότητα στην κατηγορία D του Πίνακα 5, έτσι αναμένονται πολύ σημαντικά προβλήματα σύνθλιψης.

Τέλος για τον υπολογισμό της παραμόρφωσης κατά μήκος της σήραγγας, χωρίς μέτρα υποστήριξης, σύμφωνα με τα παραπάνω χρησιμοποιήθηκε υπολογιστικό φύλλο του excel.

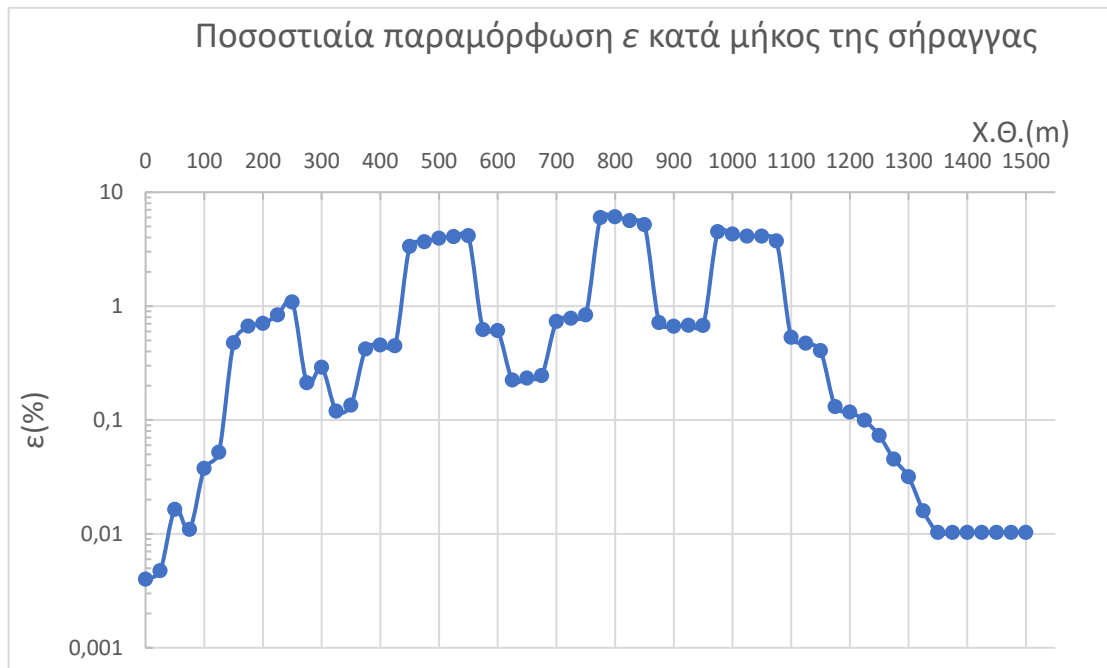
Πίνακας 6 Αποτελέσματα υπολογισμών της παραμόρφωσης κατά μήκος της σήραγγας

X.Θ.(m)	ΥΨΟΣ(m)	TE	σ_{cm} (Mpa)	γ(KN/m³)	ρ_0 (Mpa)	σ_{cm}/ρ_0	ϵ(%)
0	0,1	2	6,15	26,5	0,000615	10000	0,004
100	100,5	2	6,15	26,5	2,66325	2,309209	0,037506
200	169,08	3	2,39	26,5	4,48062	0,533408	0,702927
300	279,29	2	6,15	26,5	7,401185	0,830948	0,289656
400	350	2	6,15	26,5	9,275	0,663073	0,454891
500	400,18	3	2,39	26,5	10,60477	0,22537	3,937646
600	404,98	2	6,15	26,5	10,73197	0,573054	0,60903
700	444,05	2	6,15	26,5	11,76733	0,522634	0,732209
800	496,92	3	2,39	26,5	13,16838	0,181495	6,07154
900	423,07	2	6,15	26,5	11,21136	0,548551	0,664655
1000	417,46	3	2,39	26,5	11,06269	0,216041	4,285048
1100	377,95	2	6,15	26,5	10,01568	0,614037	0,530445
1200	296,78	1	10,27	26,5	7,86467	1,30584	0,117287
1300	154,17	1	10,27	26,5	4,085505	2,513765	0,031651

1400	85,18	1	10,27	26,5	2,25727	4,549744	0,010275
1500	5	2	6,15	26,5	0,1325	46,41509	0

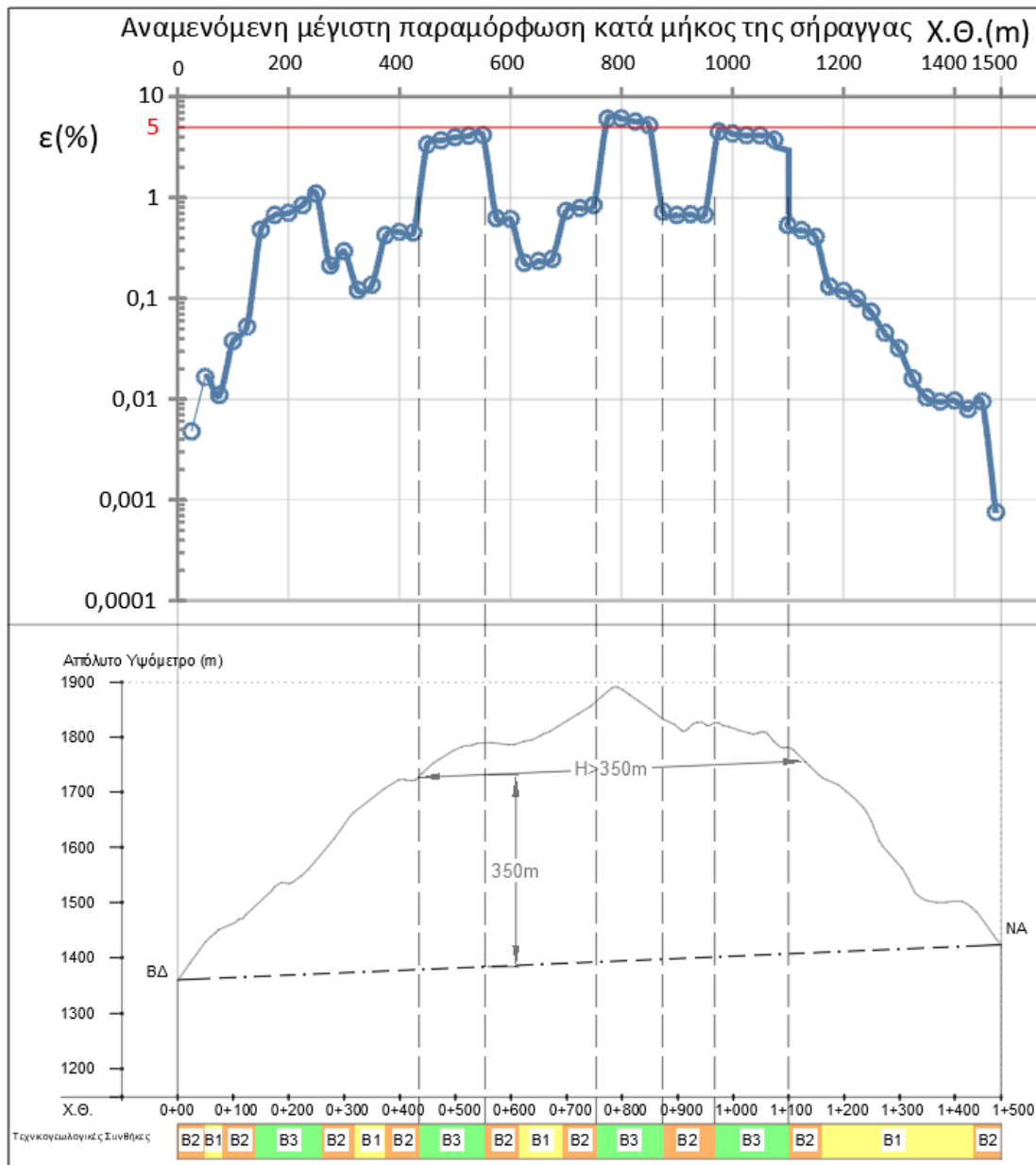
Σημείωση: Στον παραπάνω Πίνακα 6 παρουσιάζονται οι υπολογισμοί μόνο ανά 100 μέτρα κατά μήκος της σήραγγας.(οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν ανά 25 μέτρα).

Έπειτα χαράσσεται το διάγραμμα της παραμόρφωσης κατά μήκος της σήραγγας.



Σχήμα 6 Ποσοστιαία παραμόρφωση ε (%) κατά μήκος της σήραγγας.

Τέλος στο Σχήμα 7 το διάγραμμα της παραμόρφωσης κατά μήκος της σήραγγας του Σχήματος 6 συγκρίνεται με την γεωτεχνική μηκοτομή του Σχήματος 3. Αποτυπώνονται τα υψόμετρα του άξονα της ερυθράς της σήραγγας, του φυσικού εδάφους και επομένως το ύψος των υπερκειμένων σχηματισμών και οι τεχνικογεωλογικές ενότητες που αναμένονται να συναντηθούν κατά την όρυξη, πάντα σύμφωνα με την χάραξη TA-4.



Σχήμα 7 Αναμενόμενη ποσοστιαία παραμόρφωση κατά μήκος της σήραγγας για το γεωλογικό μοντέλο της χάραξης TA-4 και γεωτεχνικές παραμέτρους της κάθε τεχνικογεωλογικής ενότητας που αναμένεται να συναντηθεί.

Συμπερασματικά παρατίθεται το κείμενο από το Ερευνητικό έργο[2]:

«Προκύπτει ότι τα ενδεχόμενα προβλήματα σύνθλιψης εντοπίζονται στο κεντρικό τμήμα της σήραγγας στις περιοχές που αναμένεται να συναντηθεί η TE B3 σε βάθη μεγαλύτερα από 350m. Οι περιοχές αυτές εντοπίζονται μεταξύ των Χ.Θ. 0+434 - Χ.Θ. 0+552, Χ.Θ. 0+753 - Χ.Θ. 0+872, και Χ.Θ. 0+965 - Χ.Θ. 1+096, και έχουν συνολικό μήκος 370 m περίπου.

Για το υπόλοιπο τμήμα της σήραγγας δεν αναμένονται προβλήματα κατά τη διάνοιξη λόγω σύνθλιψης, καθώς η παραμόρφωση της σήραγγας παραμένει κάτω του 1%, πλην της περιοχής

μεταξύ των Χ.Θ. 0+242 και Χ.Θ. 0+258, όπου η αναμενομένη παραμόρφωση της σήραγγας είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από 1%.»[2]

2.3.5 Ειδικά θέματα κατά την διάνοιξη της σήραγγας

Παρουσιάζεται αυτούσιο το κείμενο από την αντίστοιχη ενότητα του Ερευνητικού έργου [2] για την ακριβή αποτύπωση των ειδικών θεμάτων κατά την διάνοιξη της σήραγγας και των παραδοχών που διέπουν το σχεδιασμό της:

«Εξαιτίας του μορφολογικού ανάγλυφου, του μεγάλου ύψους υπερκειμένων στο κεντρικό τμήμα της σήραγγας και της ιδιαίτερης γεωλογίας και τεκτονικής της περιοχής διέλευσης της σήραγγας με την παρουσία της τεκτονικής επαφής της επώθησης της Ζώνης Πίνδου πάνω στην Ιόνια Ζώνη, ενδέχεται να προκύψουν ειδικά θέματα διάνοιξης, η πιθανότητα εμφάνισης των οποίων θα πρέπει να αξιολογηθεί με περαιτέρω γεωτεχνική διερεύνηση αλλά και με γεωερευνητικές εργασίες κατά την φάση κατασκευής της σήραγγας. Συγκεκριμένα:

- *Αν και η σήραγγα διέρχεται σε μέγιστο βάθος περί τα 500 μέτρα, με αποτέλεσμα να αναμένονται σημαντικές πιέσεις της βραχομάζας, δεν αναμένονται οριζόντιες πιέσεις μεγαλύτερες από τις κατακόρυφες. Για τους σκοπούς της παρούσας τεχνικής έκθεσης θεωρήθηκε ότι ο λόγος των οριζόντιων προς τις κατακόρυφες τάσεις είναι 0.7, που θεωρείται ως ένα άνω όριο για τη συγκεκριμένη περιοχή. Παρόλα αυτά, τόσο κατά την οριστική μελέτη όσο και κατά τη φάση της διάνοιξης, θα πρέπει να εκτιμηθεί το εντατικό πεδίο της βραχομάζας και να αξιολογηθεί η πιθανότητα εμφάνισης τιμών του συντελεστή K μεγαλύτερων του 0.7.*
- *Η υψηλή εντατική κατάσταση στο κεντρικό τμήμα της σήραγγας σε συνδυασμό με την παρουσία πτωχής ποιότητας βραχομάζας ενδέχεται να οδηγήσει σε εκτεταμένες ζώνες «πλαστικοποίησης» με αποτέλεσμα την εμφάνιση παραμορφώσεων και συγκλίσεων κατά την κατασκευή της σήραγγας.[...]. Για τις περιπτώσεις αυτές προβλέπεται στην παρούσα τεχνική έκθεση η εφαρμογή κατηγορίας υποστήριξης με κλειστό τελικό δάπεδο μορφής ανεστραμμένου τόξου από σημαντικού πάχους εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Πέραν τούτου, τόσο κατά την οριστική μελέτη όσο και κατά τη φάση της διάνοιξης, θα πρέπει να αξιολογηθεί η τυχόν ανάγκη εφαρμογής ενδοτικού συστήματος υποστήριξης καθώς και η ανάγκη εφαρμογής περαιτέρω μέτρων για την εξασφάλιση της ευστάθειας του μετώπου της εκσκαφής.*
- *Από την επιτόπου γεωλογική αναγνώριση δεν εντοπίσθηκαν στοιχεία που να παραπέμπουν σε έντονη καρστικοποίηση της βραχομάζας. Συνεπώς μεγάλου μεγέθους καρστικά έγκοιλα*

δεν αναμένεται να συναντηθούν κατά τη διάνοιξη. Ωστόσο, θα πρέπει να πραγματοποιείται συστηματική έρευνα με διατρήσεις προπορείας κατά τη διάνοιξη ώστε στην περίπτωση που συναντηθούν να εντοπιστεί έγκαιρα η γεωμετρία τους και να σχεδιαστούν τα κατάλληλα μέτρα γεφύρωσης.

- Ζώνες αυξημένης υδροφορίας και σημαντικές εισροές υδάτων: όπως αναφέρεται στην έκθεση τεχνικογεωλογικής αξιολόγησης των σχηματισμών διάνοιξης της σήραγγας, τα υπόγεια ύδατα αναμένονται να κινούνται κατά μήκος της ζώνης επώθησης των σχηματισμών των ζωνών Πίνδου και Ιόνιας με αποτέλεσμα να ενδέχεται να συναντηθούν κατά την διάνοιξη ζώνες αυξημένης υδροφορίας και σημαντικές εισροές υδάτων. Στην εναλλακτική χάραξη TA-4 που επιλέχθηκε ως η βέλτιστη κατά την Α Φάση του έργου, η ζώνη επώθησης αναμένεται να διατρέχει τη χάραξη της σήραγγας κατά μήκος σε απόσταση κάτω από το δάπεδο της σήραγγας εκτιμώμενη ως μεγαλύτερη των 30 m. Κατά τη διάνοιξη θα πρέπει να γίνεται συστηματική έρευνα προπορείας με διατρήσεις ώστε να εντοπισθεί έγκαιρα η τυχόν παρουσία ζωνών αυξημένης υδροφορίας και σε περίπτωση εμφάνισης να σχεδιασθούν τα κατάλληλα μέτρα στεγάνωσης, αποστράγγισης και απαγωγής των υδάτων.

Φαινόμενα ψαθυρής θραύσης ή/και ακαριαίας διάρρηξης-εκρηκτικής συμπεριφοράς του ασβεστολίθου στην περιοχή υψηλών υπερκειμένων στο κεντρικό τμήμα της σήραγγας εν γένει δεν αναμένονται, λόγω του κερματισμού της βραχομάζας. Στην περίπτωση εμφάνισης τέτοιων φαινομένων θα πρέπει να εξετάζονται τα κατά περίπτωση ενδεδειγμένα μέτρα αντιμετώπισης» [2]

2.4 Γεωμετρικά Στοιχεία

Όπως αναφέρεται στην ενότητα 2.2 της παρούσας εργασίας η τυπική διατομή της σήραγγας διαμορφώνεται σύμφωνα με την κατηγορία 10.5T (ΟΜΟΕ-ΤΟΣ, Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων - Τεύχος Οδικών Σηράγγων, 2002)[4] με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Πίνακας 7 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά πρότυπης διατομής 10,5 T. Πίνακας από [1] & [2]

Λωρίδες κυκλοφορίες	1 λωρίδα κυκλοφορίας, πλάτους 3,50 m
Λωρίδες καθοδήγησης	1 λωρίδα καθοδήγησης ανά κατεύθυνση πλάτους 0,25 m
Λωρίδα έκτακτης ανάγκης (Λ.Ε.Α.)	
Πλάτος οδοστρώματος	$2 \times 3,50 + 2 \times 0,25 = 7,50 \text{ m}$

Πλάτος πεζοδρομίων	1.00 m
Πλάτος καταστρώματος	7,50 + 2 x 1,00 m = 9,50 m

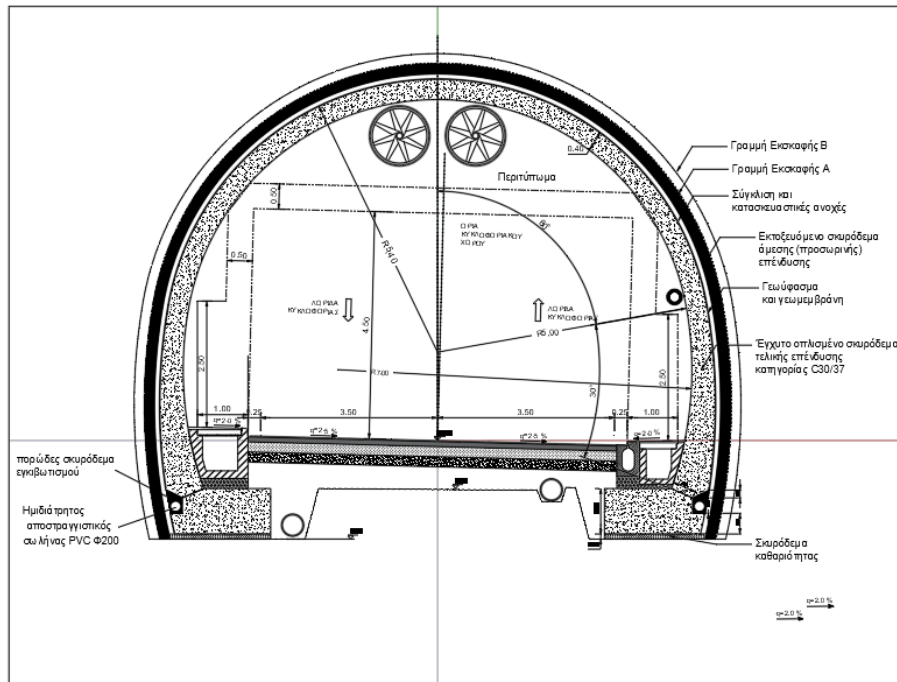
«Για τη διατομή εκσκαφής που χρησιμοποιείται για της αριθμητικές αναλύσεις διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης της σήραγγας, που περιγράφονται στην παρούσα τεχνική έκθεση, γίνονται οι παραδοχές του παρακάτω πίνακα. Για το σενάριο σήραγγας αμφίπλευρης κυκλοφορίας γίνεται χρήση των διαστάσεων της τυπικής διατομής 10.5T των ΟΜΟΕ.»[2]

Πίνακας 8 Παραδοχές για τη διατομή εκσκαφής για την εκτέλεση αριθμητικών αναλύσεων της διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης της σήραγγας. Πίνακας από [2]

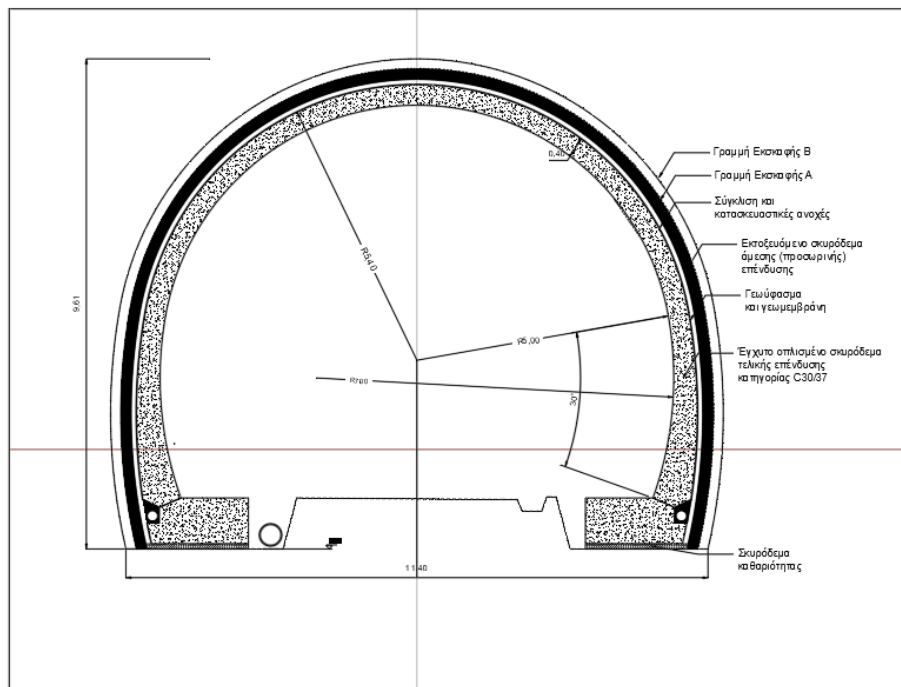
Παραδοχές	Διατομή
	10.5T (ΟΜΟΕ-ΤΟΣ)
Πάχος οδοστρωσίας για εύκαμπτο οδόστρωμα σύμφωνα με το Error! Reference source not found.	52 cm
- Ασφαλτικές στρώσεις	12 cm
- Βάση	20 cm
- Υπόβαση	20 cm
Ύψος θεμελίου	90 cm
Πάχος μόνιμης επένδυσης στο θόλο	40 cm
Πάχος μεμβράνης και γεωυφάσματος	1.0 cm
Συγκλίσεις και κατασκευαστικές ανοχές	10 cm
Πάχος προσωρινής υποστήριξης	20 cm

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται σχέδια της τυπικής διατομής σύμφωνα με τα παραπάνω. Παρουσιάζεται σχέδιο τυπικής διατομής 10,5T με όλες τις πληροφορίες στην τελική κατάσταση ολοκλήρωσης της κατασκευής, ακολουθεί σχέδιο μόνο με τις γραμμές

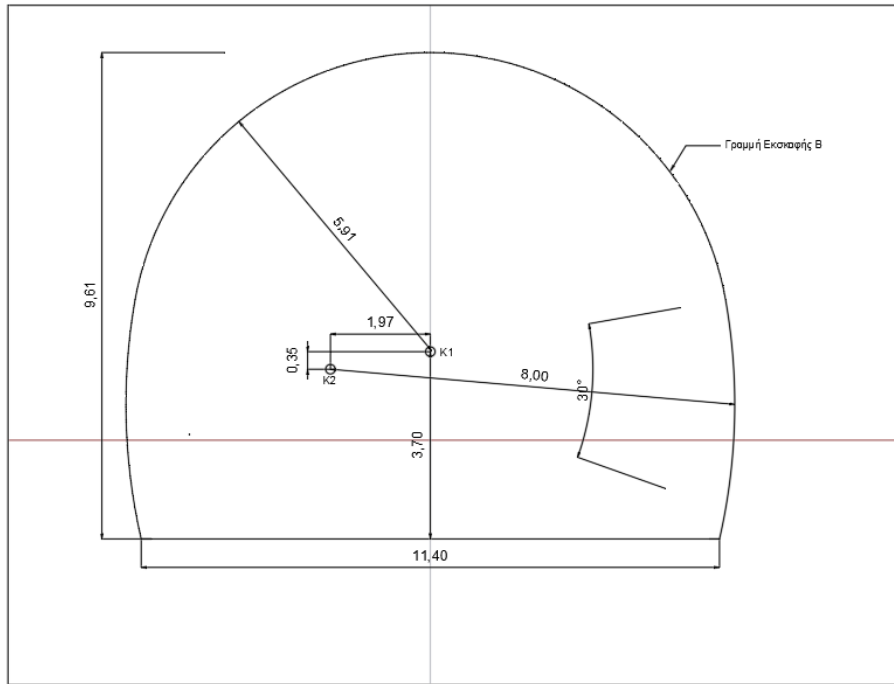
εκσκαφής, το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα της άμεσης υποστήριξης και την τελική επένδυση. Ακολουθεί σχέδιο για την χάραξη της πλέον εξωτερικής γραμμής εκσκαφής Β που ορίζει το περίγραμμα της υπόγειας εκσκαφής και τέλος παρουσιάζεται το εμβαδόν της διατομής.



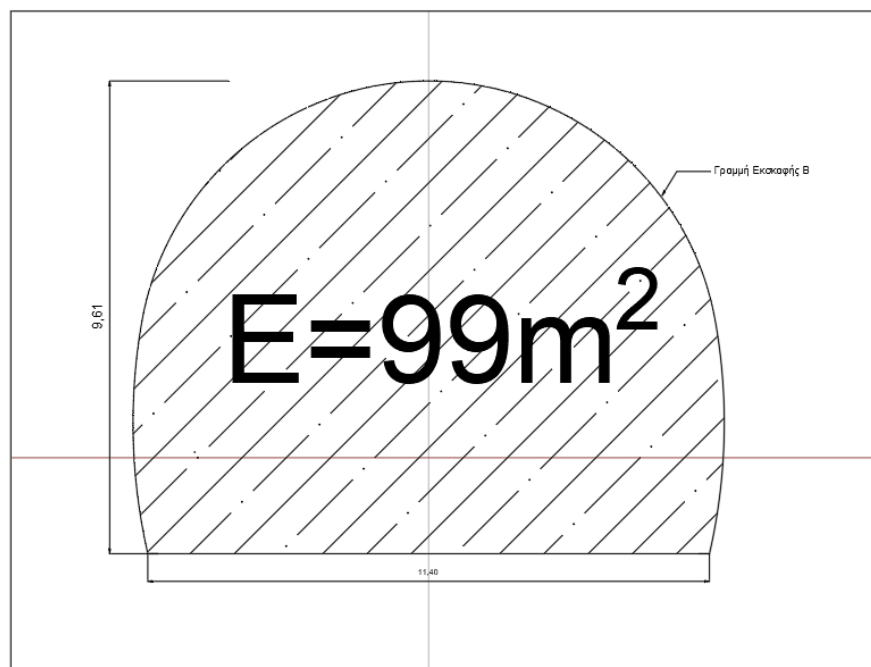
Σχήμα 8 Τυπική διατομή χρήσης της σήραγγας για διατομή 10.5T κατά ΟΜΟΕ-ΤΟΣ 2002.[4]



Σχήμα 9 10 Τυπική διατομή 10.5T.Γραμμές εκσκαφών, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα & κέλφος τελικής επένδυσης έγχυτου σκυροδέματος.



Σχήμα 11 Γεωμετρικά Στοιχεία Χάραξης της γραμμής Β βάσει των δυο κέντρων K1 & K2. Περιφέρεια- όρια υπόγειας εκσκαφής.



Σχήμα 12 Εμβαδόν υπόγειας εκσκαφής, βάση της πρότυπης διατομής 10,5T και παραδοχών Πίνακα 8

2.5 Σχεδιασμός διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης της σήραγγας


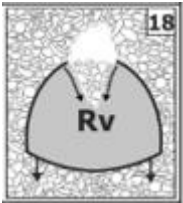
Στο μεγαλύτερο μέρος της ενότητας 2.5 το κείμενο παρατίθεται αυτούσιο από το έργο της Ερευνητικής ομάδας [2], για την ακριβή αποτύπωση των αρχών σχεδιασμού που οδηγούν στις τελικές προτάσεις για το σύστημα προσωρινής υποστήριξης της σήραγγας.

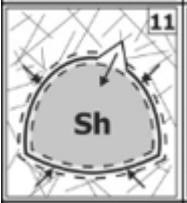

Υπενθυμίζεται ότι οι αναλύσεις για την άμεσης υποστήριξη της σήραγγας στην παρούσα εργασία υπαγορεύονται από τον προκαταρκτικό σχεδιασμό που πραγματοποιήθηκε από την Ερευνητική Ομάδα και συγκεκριμένα από την μελέτη της προσωρινής υποστήριξης [2].

2.5.1 Αρχές Σχεδιασμού

«Όπως αναφέρθηκε, η σήραγγα αναμένεται να διανοιχτεί εντός των ασβεστολιθικών σχηματισμών της Ζώνης Πίνδου που έχουν επωθηθεί επάνω στους σχηματισμούς της Ιόνιας Ζώνης. Οι σχηματισμοί εμφανίζονται από μέτρια έως έντονα κερματισμένοι και διαταραγμένοι, ενώ τα μέγιστα υπερκείμενα στο κεντρικό τμήμα της σήραγγας είναι της τάξης των 500 m. Το εύρος του αναμενόμενου κερματισμού της βραχομάζας σε συνδυασμό με το ύψος των υπερκειμένων κατά μήκος της εναλλακτικής χάραξης TA-4 δημιουργούν τους τύπους συμπεριφοράς της βραχομάζας που περιγράφηκαν στον Πίνακα 3 (της παρούσας έκθεσης). Για αυτούς τους τύπους συμπεριφοράς διακρίνονται οι παρακάτω δυνητικοί μηχανισμοί αστοχίας της βραχομάζας»[2]. Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται οι δυνητικοί μηχανισμοί αστοχίας και ο τρόπος αντιμετώπισής τους.

Πίνακας 9 Αντιμετώπιση των δυνητικών μηχανισμών αστοχίας. Τροποποιημένος πίνακας με πληροφορίες από [2].

Μηχανισμός Αστοχίας	Αντιμετώπιση/ Τρόπος Υποστήριξης
	<p>«Δομικές αστοχίες (σφηνοειδείς ολισθήσεις ή πτώσεις τεμαχών) λόγω βαρύτητας (Wg), είτε αυτοτελώς είτε σε συνδυασμό με υπερεκσκαφές και αστοχίες τύπου καμινάδας (Ch). Για την αντιμετώπισή τους προβλέπεται η εφαρμογή ενός πυκνού κανάβου αγκυρίων σε συνδυασμό με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, ενώ όταν δύνανται να εμφανισθούν αστοχίες τύπου καμινάδας θα εφαρμόζονται δοκίδες προπορείας σε μικρές αξονικές αποστάσεις στο θόλο της εκσκαφής.» [2]</p>
	<p>«Άμεση καταρροή της βραχομάζας στο εσωτερικό της σήραγγας (Rv). Για την αντιμετώπισή αυτού του πιθανού μηχανισμού αστοχίας προβλέπεται η συστηματική</p>

	<p>εφαρμογή δοκίδων προπορείας από αυτοδιατρυόμενα αγκύρια στο θόλο της εκσκαφής, η προστασία του θόλου και των παρειών με την εφαρμογή πυκνού κανάβου αγκυρίων, καθώς και η τοποθέτηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος με εγκιβωτισμένα δικτυωτά πλαίσια.»[2]</p>
	<p>«Μικρές έως μέτριες παραμορφώσεις (Sh). Θα αντιμετωπισθούν με την εφαρμογή ενός πυκνού κανάβου αγκυρίων σε συνδυασμό με επένδυση από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ικανού πάχους»[2]</p>
	<p>«Σημαντικές παραμορφώσεις - Σύνθλιψη (Sq). Για τις περιπτώσεις αυτές προβλέπεται η εφαρμογή κατηγορίας υποστήριξης με κλειστό τελικό πυθμένα μορφής ανεστραμμένου τόξου, εφαρμογή της υποστήριξης συγχρόνως με την εκσκαφή και ολοκλήρωσή της σε απόσταση το πολύ 10 m από το μέτωπο της εκσκαφής. Το πάχος της επένδυσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι 35 cm και εφαρμόζονται πλαίσια ολόσωμης διατομής μορφοχάλυβα. Κατά τη φάση οριστικής μελέτης θα πρέπει να εξεταστεί περαιτέρω εάν απαιτούνται πρόσθετα μέτρα προστασίας της ευστάθειας του μετώπου της εκσκαφής, η κατασκευή προσωρινού ανάστροφου πυθμένα από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα καθώς και εάν απαιτούνται βαριές δοκοί (σωλήνες) προπορείας.»[2]</p>

2.5.2 Συνοπτική Περιγραφή Κατηγοριών υποστήριξης

Σύμφωνα με το Ερευνητικό έργο [2], «Για την αντιμετώπιση των δυνητικών μηχανισμών αστοχίας κατά τη διάνοιξη της σήραγγας σχεδιάσθηκαν οι έξι (6) κατηγορίες υποστήριξης»[2]. Για την ακριβή αποτύπωση των τεχνικών πληροφοριών που προκύπτουν

από την βιβλιογραφική ανασκόπηση, τα περισσότερα τμήματα κατά την συνοπτική περιγραφή των κατηγοριών υποστήριξης που ακολουθεί, παραμένουν αυτούσια από το Ερευνητικό έργο [2], αντίθετα, τα σχέδια παράγονται στο Autocad και προέρχονται από αυτές τις πληροφορίες.

Σημείωση: Από τα παρακάτω σχέδια εξάγεται η τελική γεωμετρία της γραμμής εκσκαφής B. Η οποία αποτελεί την γραμμή που ορίζει την περιφέρεια της υπόγειας εκσκαφής που προσομοιώνεται, σε επόμενο στάδιο της εργασίας, στην αριθμητική ανάλυση της κάθε κατηγορίας υποστήριξης.

2.5.2.1 Κατηγορία προσωρινής υποστήριξης SC-I

«Η κατηγορία υποστήριξης SC-I είναι η ελαφρύτερη των κατηγοριών που προτείνεται να εφαρμοσθούν για τη διάνοιξη της σήραγγας. Προβλέπεται να εφαρμοσθεί στις περιοχές που αναμένεται να συναντηθεί η TE B1, όπου ο κύριος μηχανισμός αστοχίας είναι οι βαρυτικές σφηνοειδείς αστοχίες (σφηνοειδείς ολισθήσεις ή καταπτώσεις τεμαχών λόγω βαρύτητας, Wg) και μικρές καταπτώσεις τύπου καμινάδας (υπερεκσκαφή ή αστοχία τύπου καμινάδας) σε περιοχές χαμηλών υπερκειμένων. Για την TE B1, ο ασβεστολιθικός σχηματισμός χαρακτηρίζεται από αρκούντως υψηλές γεωτεχνικές παραμέτρους και συνεπώς δεν αναμένονται ιδιαίτερα προβλήματα εντατικής αστοχίας κατά την διάνοιξη της σήραγγας. Η κατηγορία SC-I έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

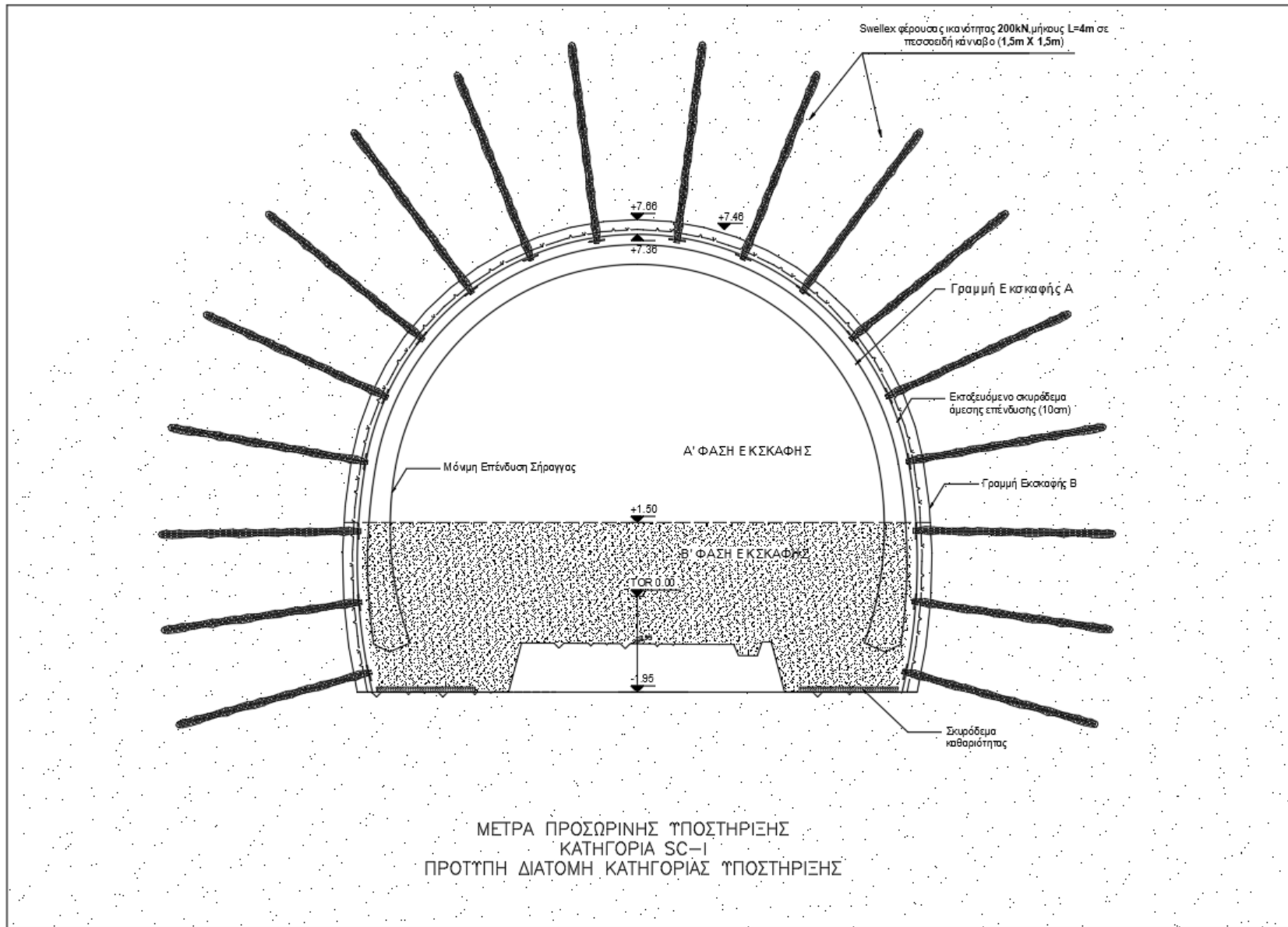
- Εφαρμογή σε βραχομάζα TE B1 σε βάθη έως 300m.
- Εκσκαφή σε δυο φάσεις: εκσκαφή άνω ημιδιατομής (Α' Φάση) με βήμα προχώρησης 2.0-2.5m, και εκσκαφή βαθμίδας (Β' Φάση) με βήμα προχώρησης 4.0-5.0m.
- Εφαρμογή αγκυριών τύπου Swellex φέρουσας ικανότητας 200kN, μήκους 4m σε πεσσοειδή κάρναβο $S_c \times S_L = 1.5m \times 1.5m$.
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37, χαρακτηριστικής θλιπτικής αντοχής κυλίνδρου $f_{ck} = 30MPa$, στατικού πάχους 10 cm εκ των οποίων τα 5 cm ινοπλισμένο με χαλύβδινες ίνες τουλάχιστον 40 kg/m³. Εναλλακτικά, και σε περίπτωση που παρατηρηθούν ρωγμές στο σκυρόδεμα της άμεσης υποστήριξης, εφαρμογή ενός δομικού πλέγματος T188.
- Μη συστηματική εφαρμογή 5 cm ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος για την προστασία του μετώπου εκσκαφής, όπου απαιτηθεί, αναλόγως των γεωτεχνικών συνθηκών.
- Για το γεωμετρικό προσδιορισμό των γραμμών εκσκαφής λαμβάνονται υπόψη συγκλίσεις και κατασκευαστικές ανοχές 5 cm και απόσταση γραμμών A-B 20 cm.»[2]

Στατικώς απαιτούμενο πάχος μόνιμης επένδυσης, d3	40 cm
Στατικώς απαιτούμενο πάχος άμεσης υποστήριξης, d1	10 cm
Σύγκλιση και κατασκευαστικές ανοχές, d2	5 cm
Πάχος στεγάνωσης (μεμβράνης/γεωφάσματος) και εξομαλυντικής στρώσης, d3'	1+3* cm
Απόσταση γραμμών Α – Β, d0	20 cm

Ακολουθεί ο Πίνακας με την ενδεικτική κατασκευαστική ακολουθία της κατηγορίας υποστήριξης SC-I.

Πίνακας 10 Ενδεικτική κατασκευαστική ακολουθία της κατηγορίας υποστήριξης SC-I. Πίνακας από [2]

Α. ΑΝΩ ΗΜΙΔΙΑΤΟΜΗ		Βήμα εκσκαφής 2.0 – 2.5m	
- Εκσκαφή			X
- Εφαρμογή 1 ^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m ³ . Τοποθέτηση 5 cm ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο μέτωπο (όπου απαιτείται)			X
- Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων			X
- Εφαρμογή 2 ^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm χωρίς ίνες			X-I
Β. ΚΑΤΩ ΗΜΙΔΙΑΤΟΜΗ (ΒΑΘΜΙΑ)		Βήμα εκσκαφής 4.0 – 5.0m	
- Εκσκαφή			Y
- Εφαρμογή 1 ^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m ³ .			Y
- Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων			Y
- Εφαρμογή 2 ^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm χωρίς ίνες			Y-I



2.5.2.2 Κατηγορία προσωρινής υποστήριξης SC-II

«Η κατηγορία υποστήριξης SC-II είναι σχεδιασμένη με αυξημένο πάχος επένδυσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος στα 15 cm για την αντιμετώπιση υψηλότερων πιέσεων της βραχομάζας σε μεγαλύτερα βάθη, δικτυωτό πλαίσιο LG70-20-25 και μη συστηματική τοποθέτηση ράβδων προπορείας (αναλόγως των επί τόπου γεωτεχνικών συνθηκών). Προβλέπεται να εφαρμοσθεί στις περιοχές που αναμένεται να συναντηθεί η TE B1 σε βάθη μέχρι 400m και η TE B2 σε βάθη μέχρι 270 m.

Η κατηγορία SC-II έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

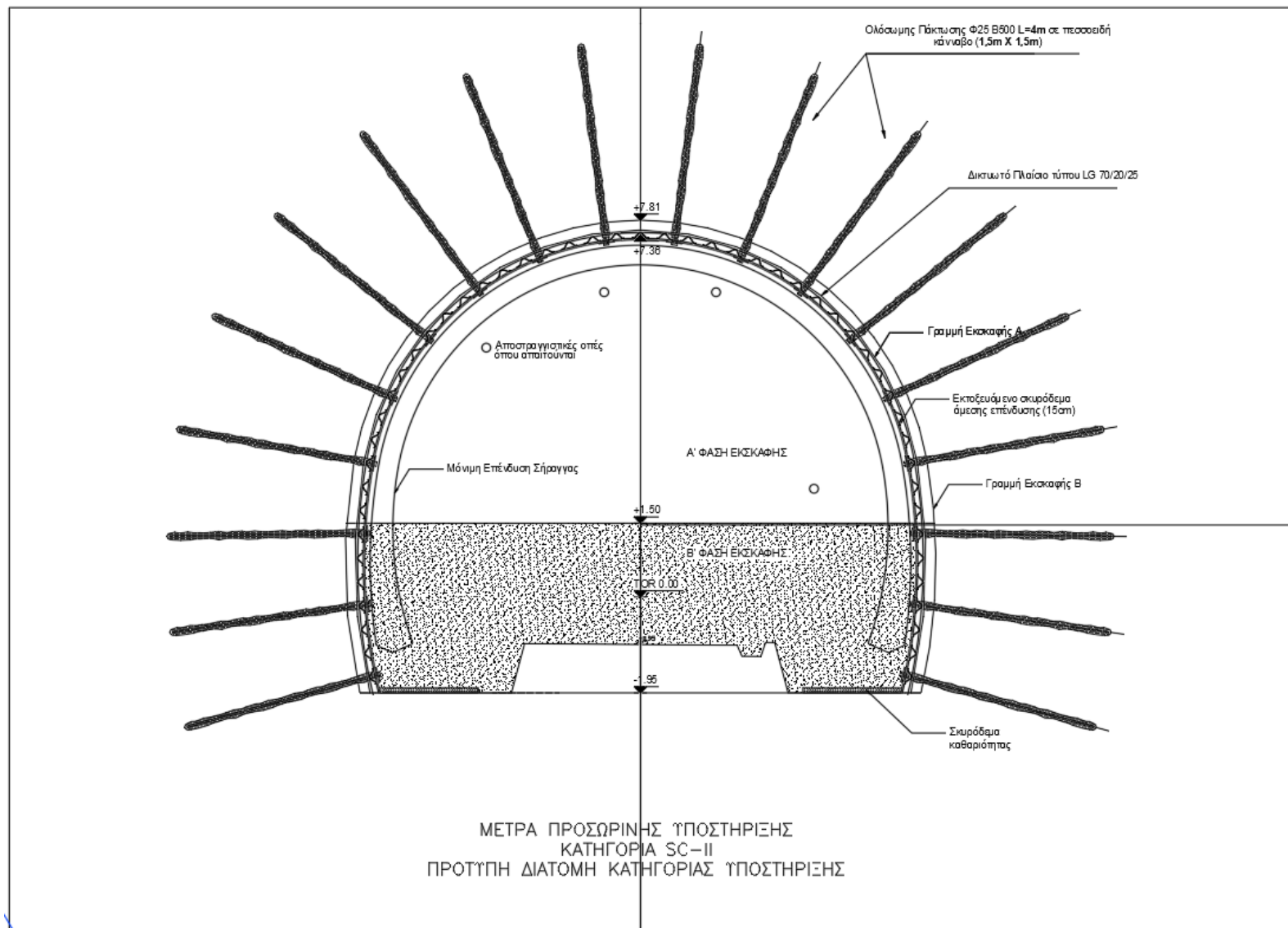
- Εφαρμογή σε βραχομάζα TE B1 σε βάθη έως 400m/ TE B2 σε βάθη μέχρι 270 m
- Εκσκαφή σε δυο φάσεις: εκσκαφή άνω ημιδιατομής (Α΄ Φάση) με βήμα προχώρησης 1.5-2.0m, και εκσκαφή βαθμίδας (Β΄ Φάση) με βήμα προχώρησης 3.0-4.0m.
- Εφαρμογή αγκυρίων πλήρους πάκτωσης διαμέτρου $\Phi 25/B500$ φέρουσας ικανότητας 245kN (χαρακτηριστική τιμή φορτίου διαρροής), μήκους 4.0m σε πεσσοειδή κάρναβο $S_c \times S_L = 1.5m \times 1.5m$.
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37, χαρακτηριστικής θλιπτικής αντοχής κυλίνδρου $f_{ck} = 30MPa$, στατικού πάχους 15 cm, εκ των οποίων τα 10 cm ινοπλισμένο με χαλύβδινες ίνες τουλάχιστο $40kg/m^3$. Εναλλακτικά, και εφόσον παρατηρούνται ρωγματώσεις της επένδυσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, τοποθέτηση ενός (1) δομικού πλέγματος T188.
- Δικτυωτό πλαίσιο LG70-20-25 ανά βήμα εκσκαφής
- Μη συστηματική εφαρμογή δοκίδων προπορείας από ράβδους χάλυβα $\Phi 28/B500$, $L = 5.0m$ σε αξονικές αποστάσεις 35 cm ανά δύο βήματα προχώρησης (αναλόγως των γεωτεχνικών συνθηκών στην κατηγορία βραχομάζας B2)
- Μη συστηματική εφαρμογή 5 cm ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος για την προστασία του μετώπου εκσκαφής, όπου απαιτηθεί και αναλόγως των γεωτεχνικών συνθηκών.
- Για το γεωμετρικό προσδιορισμό των γραμμών εκσκαφής λαμβάνονται υπόψη συγκλίσεις και κατασκευαστικές ανοχές 6 cm και απόσταση γραμμών A-B 20 cm.»[2]

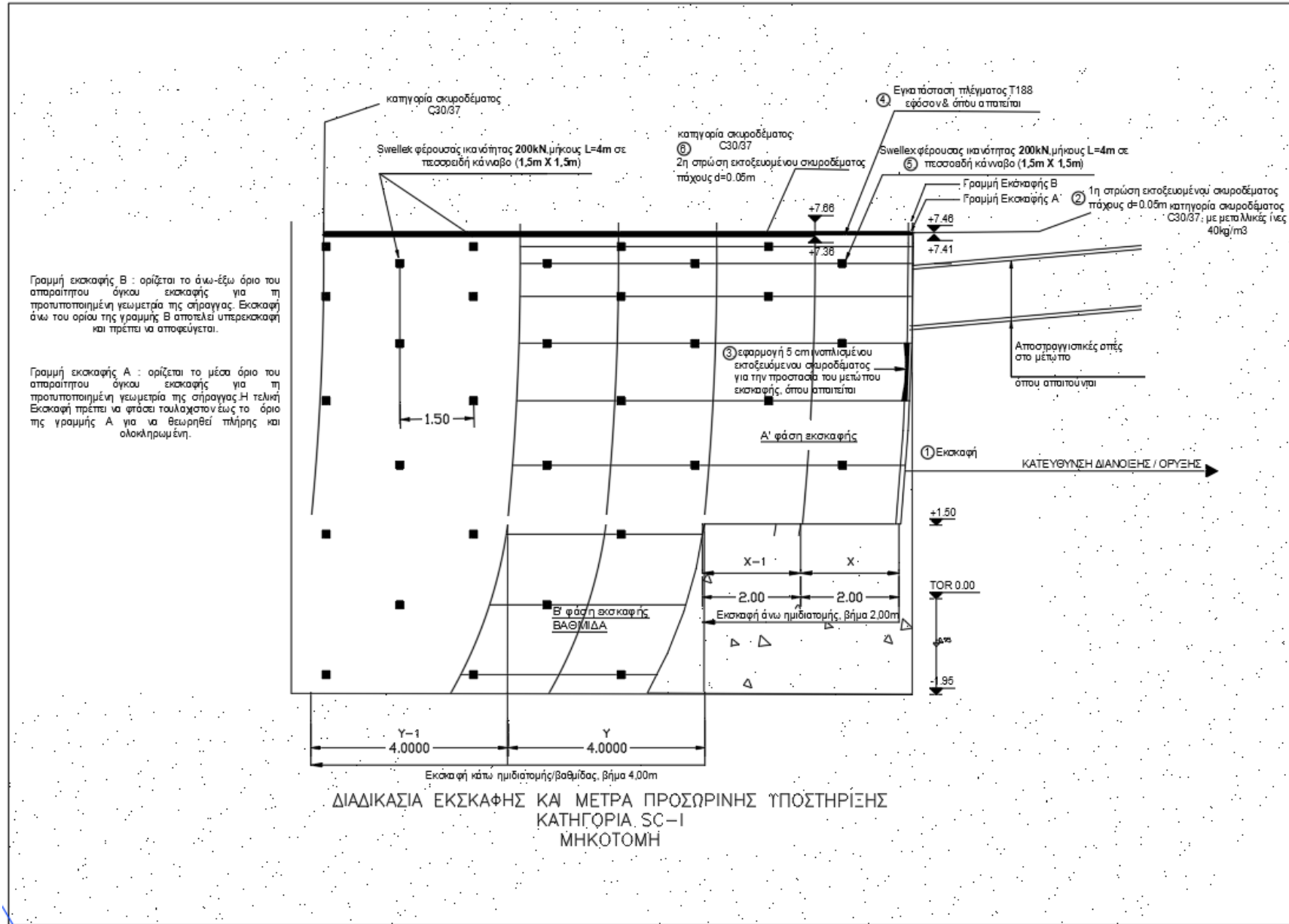
Στατικός απαιτούμενο πάχος μόνιμης επένδυσης, d3	40 cm
---	-------

Στατικός απαιτούμενο πάχος άμεσης υποστήριξης, d1	15 cm
Σύγκλιση και κατασκευαστικές ανοχές, d2	6 cm
Πάχος στεγάνωσης (μεμβράνης/γεωφάσματος) και εξομαλυντικής στρώσης, d3'	1+3* cm
Απόσταση γραμμών Α – Β, d0	20 cm

Πίνακας 11 Ενδεικτική κατασκευαστική ακολουθία της κατηγορίας υποστήριξης SC-II. Πίνακας από [2]

A. ANΩ ΗΜΙΔΙΑΤΟΜΗ	Βήμα εκσκαφής 1.5 – 2.0m
- Εκσκαφή	X
- Εφαρμογή 1ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 3 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m ³ . Τοποθέτηση 5 cm ινοπλισμένο στο μέτωπο (όπου απαιτείται)	X
- Τοποθέτηση δικτυωτού πλαισίου LG70-20-25	X
- Εφαρμογή 2ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 7 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m ³ . Τοπικός εγκιβωτισμός του δικτυωτού πλαισίου.	X
- Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων	X
- Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων συγκράτησης πλαισίων	X-I
- Τοποθέτηση ράβδων προπορείας (όπου απαιτείται)	X-I
- Εφαρμογή 3ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm χωρίς ίνες	X-I
B. ΚΑΤΩ ΗΜΙΔΙΑΤΟΜΗ (ΒΑΘΜΙΑ)	Βήμα εκσκαφής 3.0 – 4.0m
- Εκσκαφή	Y
- Εφαρμογή 1ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 3 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m ³	Y
- Τοποθέτηση δικτυωτού πλαισίου LG70-20-25	Y
- Εφαρμογή 2ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 7 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m ³ . Τοπικός εγκιβωτισμός του δικτυωτού πλαισίου.	Y
- Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων	Y
- Εφαρμογή 3ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm χωρίς ίνες	Y-I





Σχήμα 14 Ενδεικτικά κατασκευαστικά σχέδια: πρότυπη διατομή και μηκοτομή, της κατηγορίας υποστήριξης SC-II

2.5.2.3 Κατηγορία προσωρινής υποστήριξης SC-IIIa

«Η κατηγορία υποστήριξης SC-IIIa προβλέπεται να εφαρμοσθεί στις περιοχές που αναμένεται να συναντηθούν οι TE B1 και TE B2 σε υψηλά υπερκείμενα. Η κατηγορία SC-IIIa έχει αυξημένο στατικό πάχος επένδυσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε σχέση με την κατηγορία SC-II, τοποθέτηση δικτυωτού πλαισίου, μεγαλύτερου μήκους αγκύρια και εφαρμογή (μη συστηματική) ράβδων προπορείας τοπικά στην περιοχή του θόλου για την αντιμετώπιση πιθανών μικροκαταπτώσεων.

Η κατηγορία SC-IIIa έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Εφαρμογή σε βραχομάζα TE B2 σε βάθη από 270m έως 380m και σε βραχομάζα TE B1 σε βάθη από 400m έως 500m.
- Εκσκαφή σε δυο φάσεις: εκσκαφή άνω ημιδιατομής (Α' Φάση) με βήμα προχώρησης 1.5 - 2.0 m στην άνω ημιδιατομή, και εκσκαφή βαθμίδας (Β' Φάση) με βήμα προχώρησης 3.0 - 4.0 m.
- Εφαρμογή αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης $\Phi 25$, από χάλυβα B500, φέρουσας ικανότητας 245kN (χαρακτηριστική τιμή φορτίου διαρροής), μήκους $L=5.0$ m σε πεσσοειδή κάρναβο $SC \times SL=1.5m \times 1.5m$.
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37, χαρακτηριστικής θλιπτικής αντοχής κυλίνδρου $f_{ck}=30$ MPa, στατικού πάχους 25 cm, εκ των οποίων 20 cm ινοπλισμένο, και επιπλέον οπλισμένο με ένα δομικό πλέγμα T188.
- Δικτυωτό πλαίσιο LG95-20-30 ανά βήμα εκσκαφής
- Μη συστηματική εφαρμογή ράβδων προπορείας $\Phi 28/B500$, $L=5.0m$ σε αξονικές αποστάσεις 35 cm ανά δύο βήματα προχώρησης (αναλόγως των γεωτεχνικών συνθηκών στην κατηγορία B2)

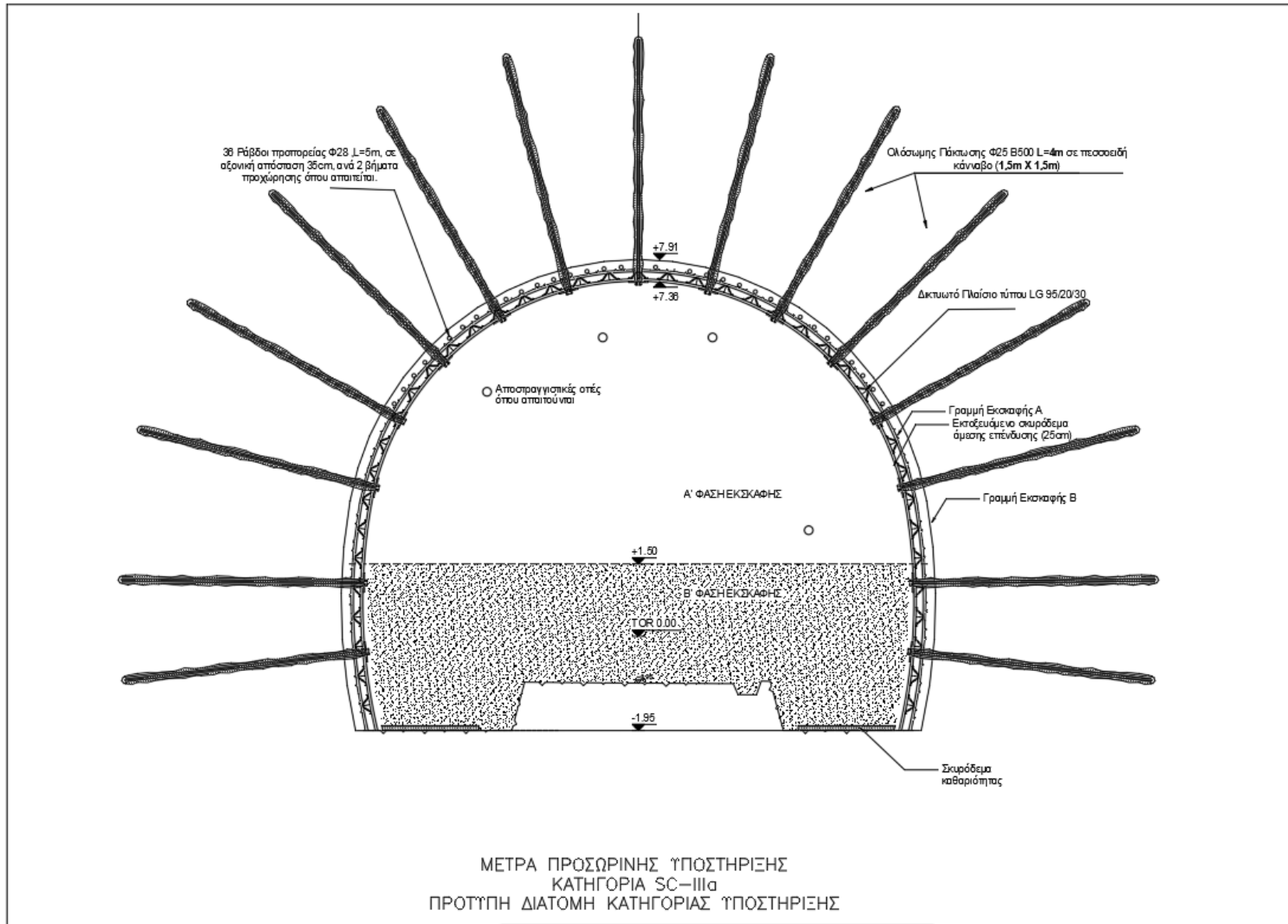
Για τον γεωμετρικό προσδιορισμό των γραμμών εκσκαφής λαμβάνονται υπόψη συγκλίσεις και κατασκευαστικές ανοχές 7 cm και απόσταση γραμμών A-B 20 cm»[2]

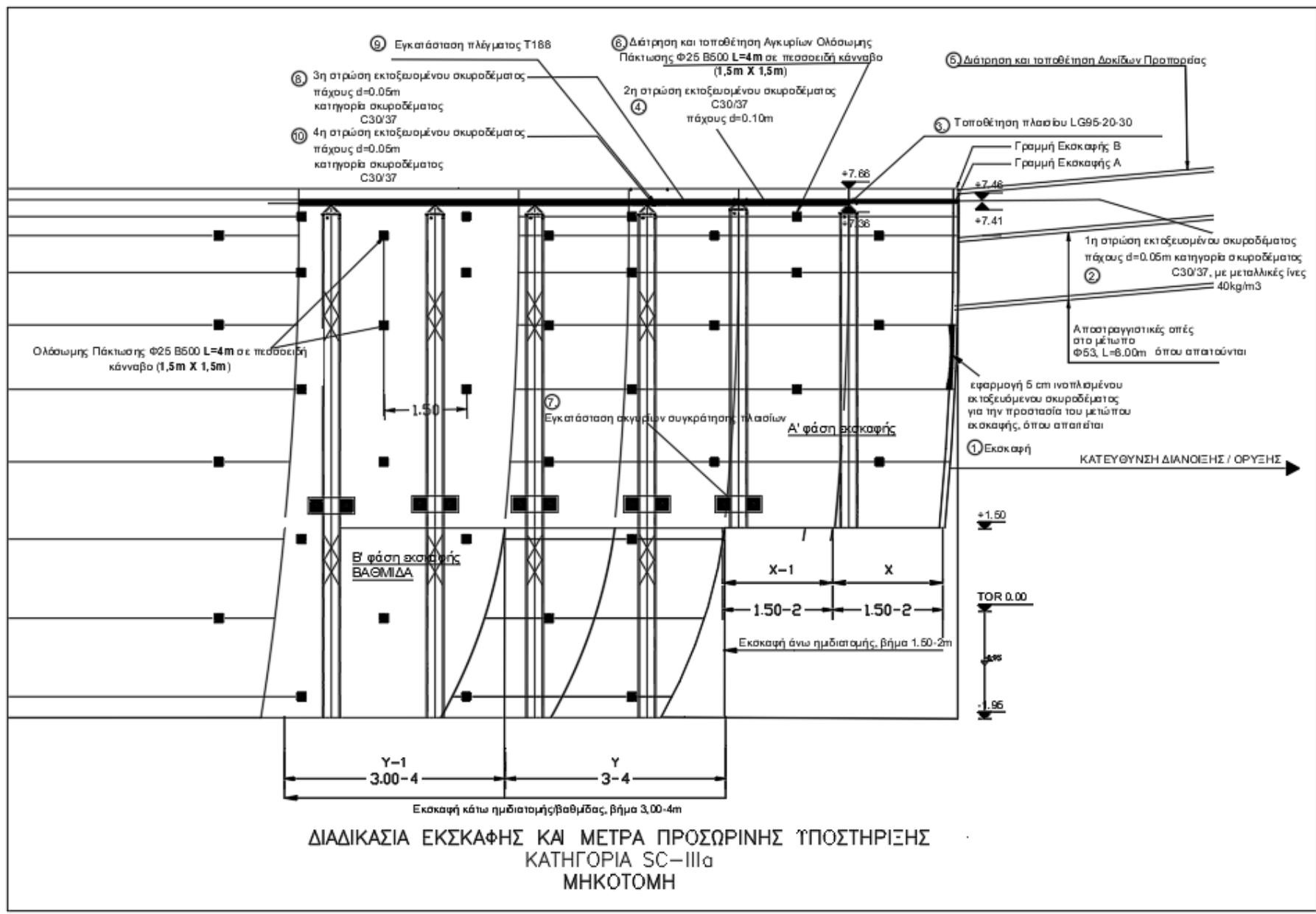
Στατικώς απαιτούμενο πάχος μόνιμης επένδυσης, d3	40 cm
Στατικώς απαιτούμενο πάχος άμεσης υποστήριξης, d1	25 cm
Σύγκλιση και κατασκευαστικές ανοχές, d2	7 cm

Πάχος στεγάνωσης (μεμβράνης/γεωυφάσματος) και εξομαλυντικής στρώσης, d3'	1+3* cm
Απόσταση γραμμών Α – Β, d0	20 cm

Πίνακας 12 Ενδεικτική κατασκευαστική ακολουθία της κατηγορίας υποστήριξης SC-IIIa. Πίνακας από [2].

Α. ΑΝΩ ΗΜΙΔΙΑΤΟΜΗ		Βήμα εκσκαφής 1.50 – 2.00m
- Εκσκαφή με ελαφρώς κεκλιμένο μέτωπο		X
- Εφαρμογή 1ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m ³ . Τοποθέτηση 5 cm ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στο μέτωπο (όπου απαιτείται)		X
- Τοποθέτηση δικτυωτού πλαισίου LG95-20-30		X
- Εφαρμογή 2ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m ³ .		X
- Διάτρηση και τοποθέτηση ράβδων προπορείας		X
- Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων		X-1
- Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων συγκράτησης πλαισίων		X-1
- Εφαρμογή 3ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m ³ .		X-1
- Τοποθέτηση δομικού πλέγματος T188		X-2
- Εφαρμογή 4ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm χωρίς ίνες.		X-2
Β. ΚΑΤΩ ΗΜΙΔΙΑΤΟΜΗ (ΒΑΘΜΙΑ)		Βήμα εκσκαφής 3.00 – 4.00m
- Εκσκαφή		Y
- Εφαρμογή 1ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m ³ .		Y
- Τοποθέτηση δικτυωτού πλαισίου LG95-20-30		Y
- Εφαρμογή 2ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m ³ .		Y
- Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων		Y-1
- Εφαρμογή 3ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m ³ .		Y-2
- Τοποθέτηση δομικού πλέγματος T188		Y-2
- Εφαρμογή 4ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm χωρίς ίνες.		Y-2





Σχήμα 15 Ενδεικτικά κατασκευαστικά σχέδια: πρότυπη διατομή και μηκοτομή, της κατηγορίας υποστήριξης SC-IIIα

2.5.2.4 Κατηγορία προσωρινής υποστήριξης SC-IIIb

«Η κατηγορία υποστήριξης SC-IIIb προβλέπεται να εφαρμοσθεί στις περιοχές που αναμένεται να συναντηθεί η TE B3 σε υπερκείμενα μέχρι 300m. Η κατηγορία SC-IIIb έχει το ίδιο πάχος εκτοξευόμενου σκυροδέματος και το ίδιο δικτυωτό πλαίσιο με την κατηγορία SC-IIIa με μικρότερο βήμα προχώρησης (1.0 έως 1.5 m στην άνω ημιδιατομή, 2.0 έως 3.0 m στη βαθμίδα). Επίσης, αντί των αργυρίων ολόσωμης πάκτωσης προβλέπεται η εφαρμογή αυτοδιατρύμενων αγκυρίων (self drilling) στην περίπτωση που η οπή των διατρημάτων των αγκυρίων δεν παραμένει ευσταθής μέχρι την τοποθέτηση και ενεμάτωση των αγκυρίων. Ομοίως, προβλέπονται δοκίδες προπορείας από αυτοδιατρύμενα αγκύρια.

Η κατηγορία SC-IIIb έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

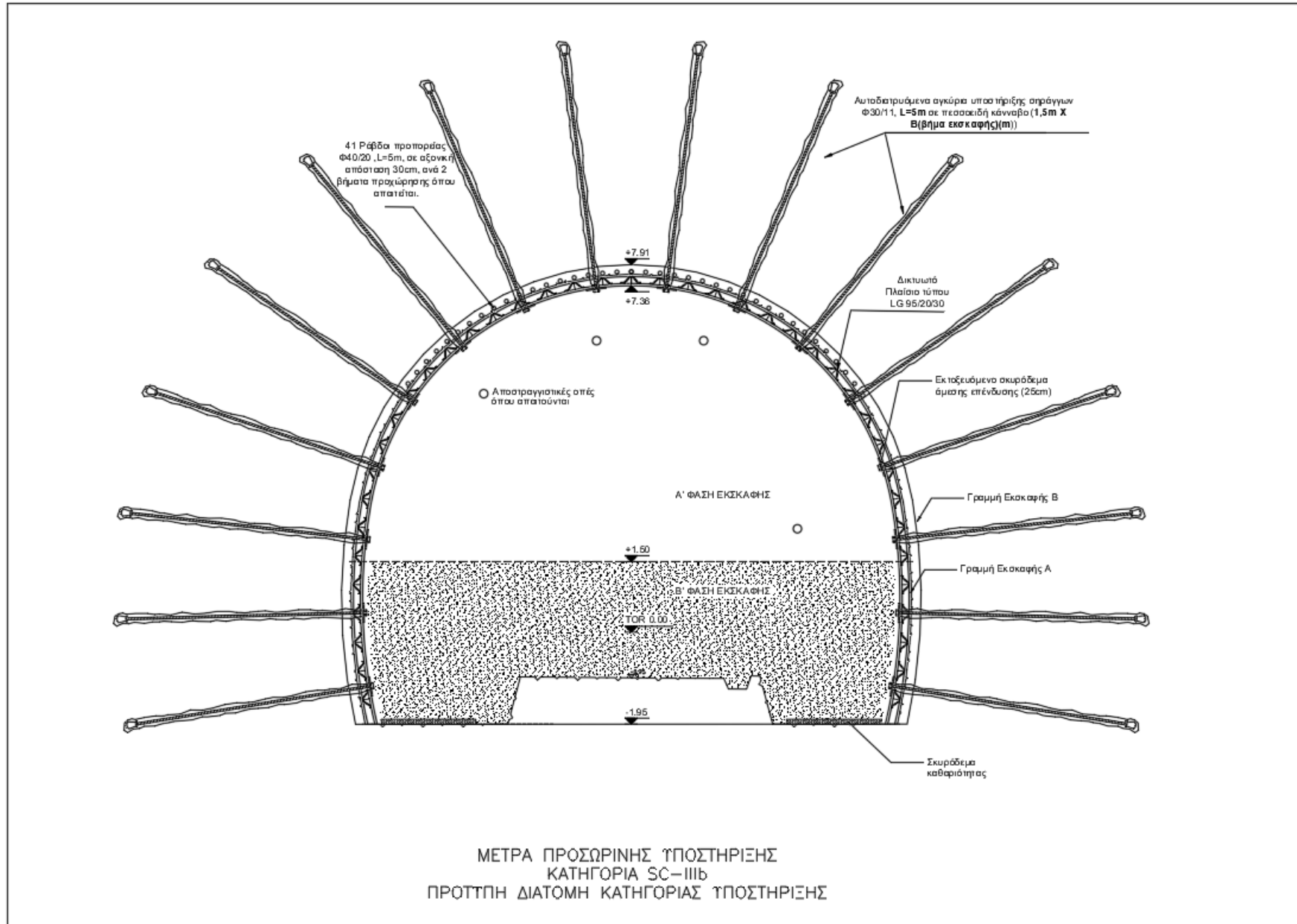
- Εφαρμογή σε βραχομάζα TE B3 σε βάθη έως 300 m.
- Εκσκαφή σε δυο φάσεις: εκσκαφή άνω ημιδιατομής (Α΄ Φάση) με βήμα προχώρησης 1.0 - 1.5 m στην άνω ημιδιατομή, και εκσκαφή βαθμίδας (Β΄ Φάση) με βήμα προχώρησης 2.0 - 3.0 m.
- Εφαρμογή αυτοδιατρύμενων αγκυρίων Φ30/11, φέρουσας ικανότητας 260 kN (φορτίο διαρροής 260 kN, φορτίο θραύσης 320 kN), μήκους $L=5.0$ m σε πεσσοειδή κάνναβο $S_C \times S_L=1.5m \times$ Βήμα εκσκαφής.
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37, χαρακτηριστικής θλιπτικής αντοχής κυλίνδρου $f_{ck}=30MPa$, στατικού πάχους 25 cm, εκ των οποίων 20 cm ινοπλισμένο, και επιπλέον οπλισμένο με ένα δομικό πλέγμα T188.
- Ένα δικτυωτό πλαίσιο LG95-20-30 ανά βήμα εκσκαφής
- Εφαρμογή δοκίδων προπορείας από αυτοδιατρύμενα αγκύρια Φ40/20, μήκος $L=5.0$ m, σε αζονικές αποστάσεις 30 cm, ανά 2 βήματα προχώρησης, όπου απαιτείται
- Για τον γεωμετρικό προσδιορισμό των γραμμών εκσκαφής λαμβάνονται υπόψη συγκλίσεις και κατασκευαστικές ανοχές 7 cm και απόσταση γραμμών A-B 20 cm.»[2]

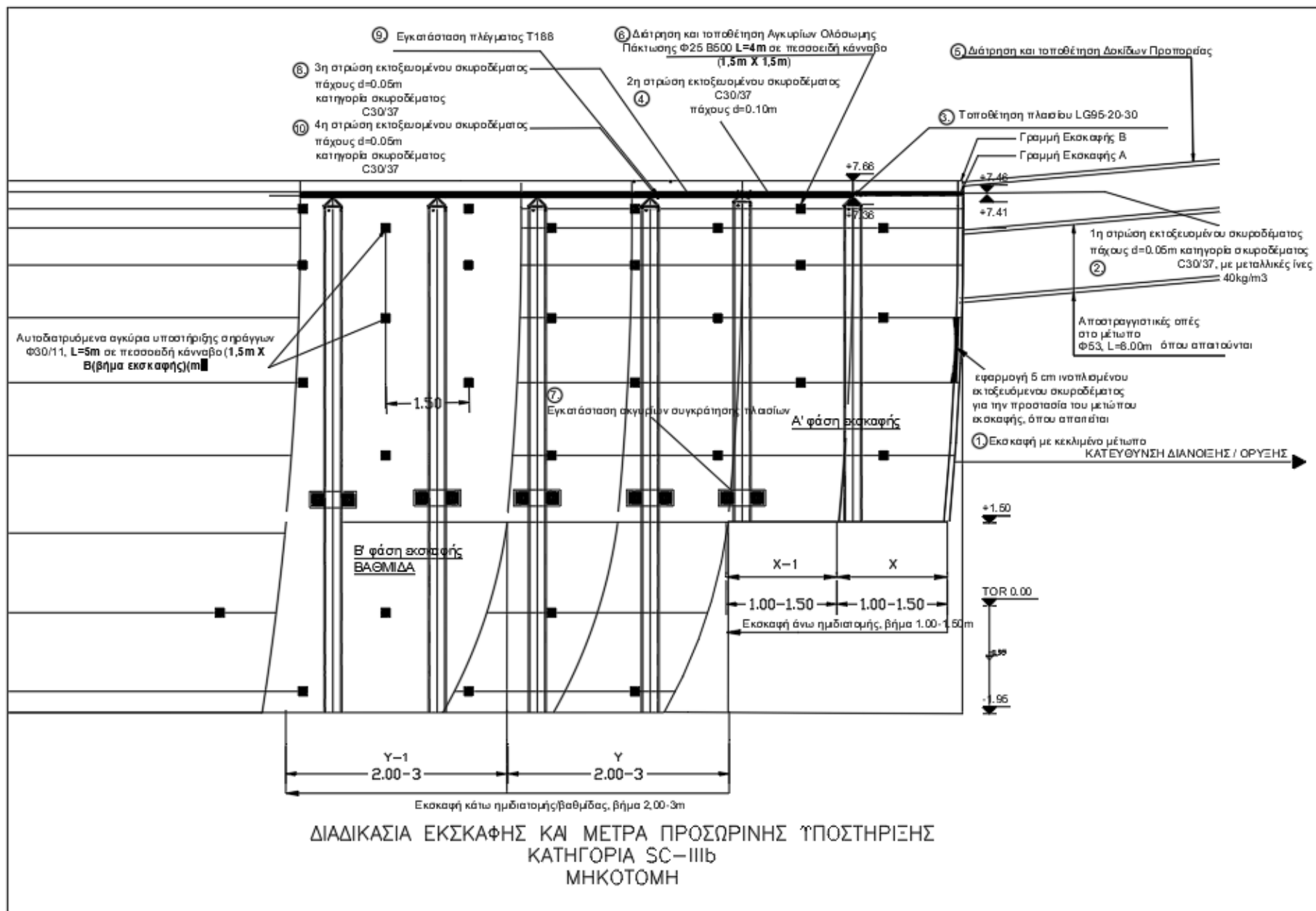
Στατικώς απαιτούμενο πάχος μόνιμης επένδυσης, d3	40 cm
Στατικώς απαιτούμενο πάχος άμεσης υποστήριξης, d1	25 cm
Σύγκλιση και κατασκευαστικές ανοχές, d2	7 cm
Πάχος στεγάνωσης (μεμβράνης/γεωφάσματος) και εξομαλυντικής στρώσης, d3'	1+3* cm
Απόσταση γραμμών Α – Β, d0	20 cm

Πίνακας 13 Ενδεικτική κατασκευαστική ακολουθία της κατηγορίας υποστήριξης SC-IIIb. Πίνακας από [2].

A. ΑΝΩ ΗΜΙΔΙΑΤΟΜΗ	Βήμα εκσκαφής 1.00 – 1.50m
- Εκσκαφή με ελαφρώς κεκλιμένο μέτωπο	X
- Εφαρμογή 1ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m ³ . Τοποθέτηση 5-10 cm ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στο μέτωπο (όπου απαιτείται)	X
- Τοποθέτηση δικτυωτού πλαισίου LG95-20-30	X
- Εφαρμογή 2ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m ³ .	X
- Διάτρηση και τοποθέτηση δοκίδων προπορείας	X
- Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων	X-1
- Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων συγκράτησης πλαισίων	X-1
- Εφαρμογή 3ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m ³ .	X-1
- Τοποθέτηση δομικού πλέγματος T188	X-2
- Εφαρμογή 4ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm χωρίς ίνες.	X-2

<i>B. ΚΑΤΩ ΗΜΙΔΙΑΤΟΜΗ (ΒΑΘΜΙΑ)</i>	<i>Βήμα εκσκαφής 2.00 – 3.00m</i>
- <i>Εκσκαφή</i>	Y
- <i>Εφαρμογή 1ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m³. Τοποθέτηση 5 cm ινοπλισμένο στο μέτωπο (όπου απαιτείται)</i>	Y
- <i>Τοποθέτηση δικτυωτού πλαισίου LG95-20-30</i>	Y
- <i>Εφαρμογή 2ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m³.</i>	Y
- <i>Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων</i>	Y-1
- <i>Εφαρμογή 3ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m³.</i>	Y-2
- <i>Τοποθέτηση δομικού πλέγματος T188</i>	Y-2
- <i>Εφαρμογή 4ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm χωρίς ίνες.</i>	Y-2





Σχήμα 16 Ενδεικτικά κατασκευαστικά σχέδια: πρότυπη διατομή και μηκотоμή, της κατηγορίας υποστήριξης SC-IIIb.

2.5.2.5 Κατηγορία προσωρινής υποστήριξης SC-IV

«Η κατηγορία υποστήριξης SC-IV προβλέπεται να εφαρμοσθεί στις περιοχές που αναμένεται να συναντηθεί η TE B2 σε υπερκείμενα μεγαλύτερα από 380m και η TE B3 σε υπερκείμενα από 300 m έως 380m. Η κατηγορία SC-IV έχει αυξημένο πάχος εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε σχέση με τις κατηγορίες SC-IIIa και SC-IIIb καθώς και δικτυωτό πλαίσιο μεγαλύτερης διατομής.

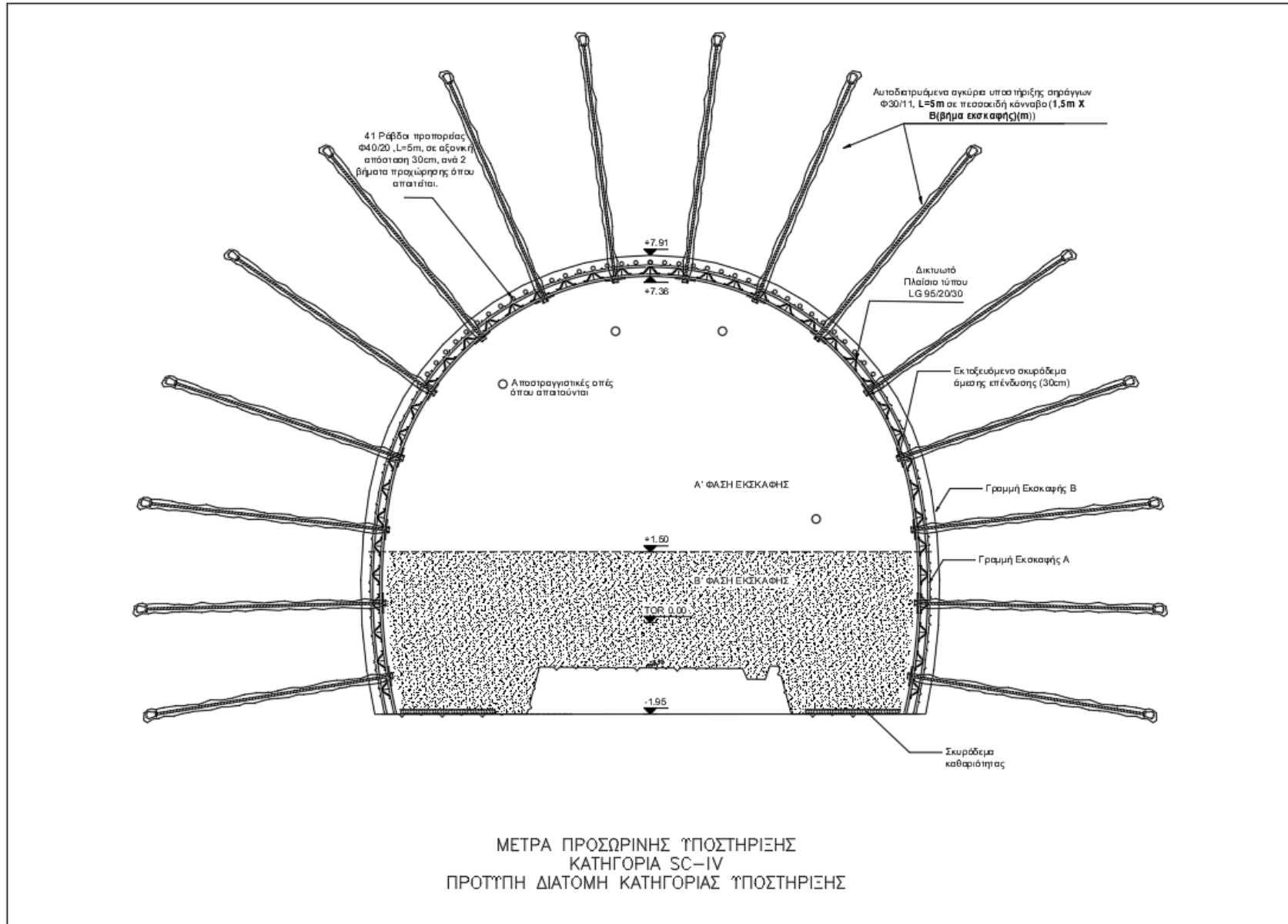
Η κατηγορία SC-IV έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

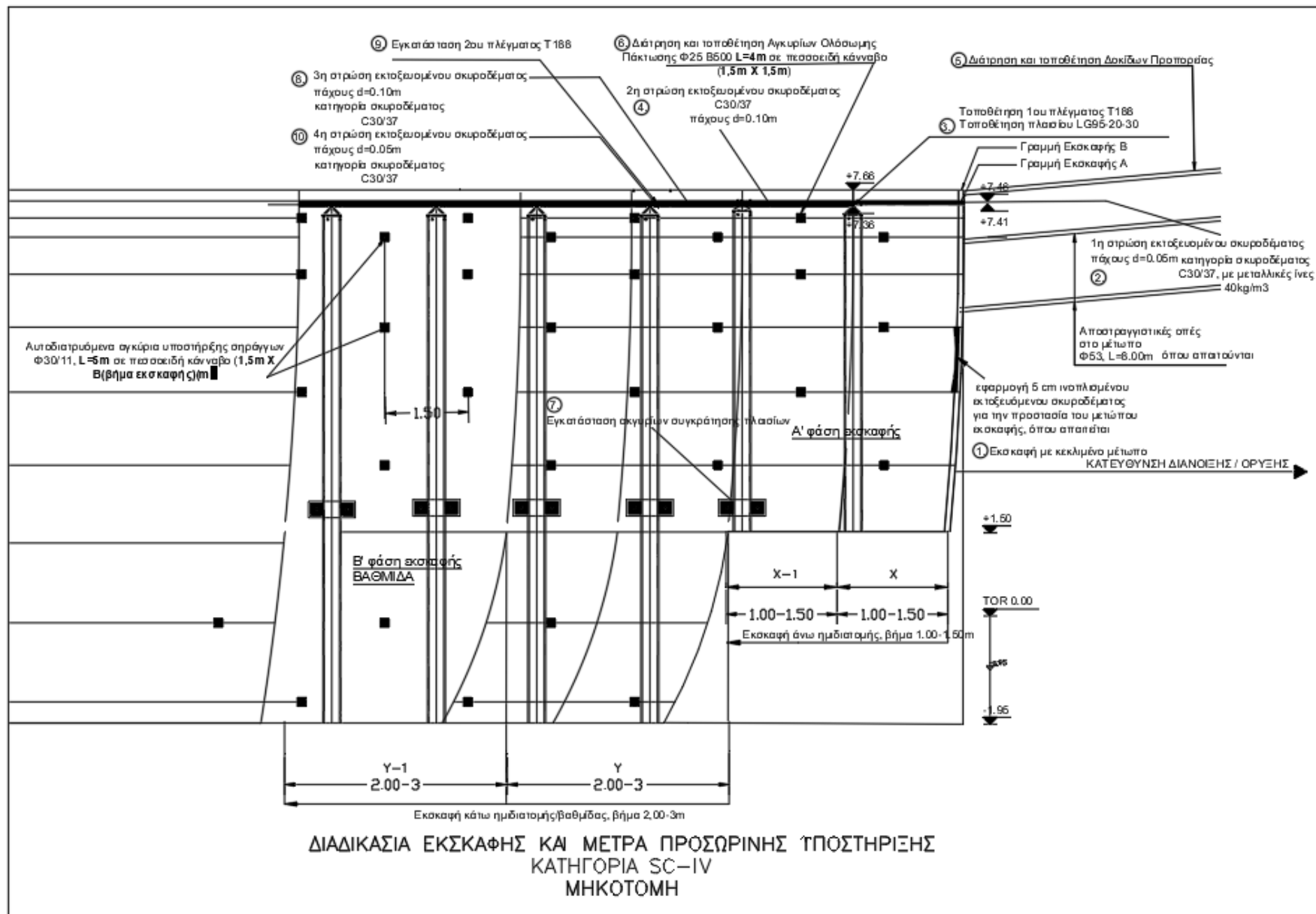
- Εφαρμογή σε βραχομάζα TE B2 σε βάθη από 380 m έως 500m, και σε βραχομάζα TE B3 σε βάθη από 300m έως 380m.
- Εκσκαφή σε δυο φάσεις: εκσκαφή άνω ημιδιατομής (Α΄ Φάση) με βήμα προχώρησης 1.0 - 1.5 m, και εκσκαφή βαθμίδας (Β΄ Φάση) με βήμα προχώρησης και 2.0 - 3.0 m.
- Εφαρμογή αυτοδιατρυόμενων αγκυρίων Φ30/11, φέρουσας ικανότητας 260 kN (φορτίο διαρροής 260 kN, φορτίο θραύσης 320 kN), μήκους $L=5.0$ m σε πεσσοειδή κάνναβο $S_c \times S_L=1.5m \times$ Βήμα εκσκαφής.
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37, χαρακτηριστικής θλιπτικής αντοχής κυλίνδρου $f_{ck}=30MPa$, στατικού πάχους 30 cm οπλισμένο με διπλό δομικό πλέγμα T188.
- Ένα δικτυωτό πλαίσιο LG 115/26/34 ($H=175$ mm) ανά βήμα εκσκαφής
- Εφαρμογή δοκίδων προπορείας από αυτοδιατρυόμενα αγκύρια Φ40/20, μήκους $L=5.0$ m, σε αζονικές αποστάσεις 30 cm, ανά 2 βήματα προχώρησης, όπου απαιτείται
- Για το γεωμετρικό προσδιορισμό των γραμμών εκσκαφής λαμβάνονται υπόψη συγκλίσεις και κατασκευαστικές ανοχές 10 cm και απόσταση γραμμών A-B 20 cm.»[2]

Στατικός απαιτούμενο πάχος μόνιμης επένδυσης, d3	40 cm
Στατικός απαιτούμενο πάχος άμεσης υποστήριξης, d1	30 cm
Σύγκλιση και κατασκευαστικές ανοχές, d2	10 cm
Πάχος στεγάνωσης (μεμβράνης/γεωυφάσματος) και εξομαλυντικής στρώσης, d3΄	1+3* cm
Απόσταση γραμμών A – B, d0	20 cm

Πίνακας 14 Ενδεικτική κατασκευαστική ακολουθία της κατηγορίας υποστήριξης SC-IV. Πίνακας από [2].

Α. ΑΝΩ ΗΜΙΔΙΑΤΟΜΗ	Βήμα εκσκαφής 1.00 – 1.50m
<ul style="list-style-type: none"> - Εκσκαφή με κεκλιμένο μέτωπο - Εφαρμογή 1ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm. Τοποθέτηση 5-10 cm ινοπλισμένο στο μέτωπο (όπου απαιτείται) - Τοποθέτηση 1^{ου} δομικού πλέγματος T188 - Τοποθέτηση δικτυωτού πλαισίου LG 115/26/34 - Εφαρμογή 2ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 cm - Διάτρηση και τοποθέτηση δοκίδων προπορείας - Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων - Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων συγκράτησης πλαισίων - Εφαρμογή 3ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 cm. - Τοποθέτηση 2^{ου} δομικού πλέγματος T188 - Εφαρμογή 4ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm 	<ul style="list-style-type: none"> X X X X X X X-1 X-1 X-1 X-2 X-2
Β. ΚΑΤΩ ΗΜΙΔΙΑΤΟΜΗ (ΒΑΘΜΙΔΑ)	Βήμα εκσκαφής 2.00 – 3.00m
<ul style="list-style-type: none"> - Εκσκαφή - Εφαρμογή 1ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm - Τοποθέτηση 1^{ου} δομικού πλέγματος T188 - Τοποθέτηση δικτυωτού πλαισίου LG 115/26/34 - Εφαρμογή 2ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 cm. - Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων - Εφαρμογή 3ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 cm. - Τοποθέτηση δομικού πλέγματος T188 - Εφαρμογή 4ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm. 	<ul style="list-style-type: none"> Y Y Y Y Y Y-1 Y-1 Y-2 Y-2





Σχήμα 17 Ενδεικτικά κατασκευαστικά σχέδια: πρότυπη διατομή και μηκοτομή, της κατηγορίας υποστήριξης SC-IV.

2.5.2.6 Κατηγορία προσωρινής υποστήριξης SC-V

«Η κατηγορία υποστήριξης SC-V προβλέπεται να εφαρμοσθεί στις περιοχές που αναμένεται να συναντηθεί η TE B3 σε περιοχές υψηλών υπερκειμένων. Όπως προέκυψε από τη διερεύνηση του δυναμικού σύνθλιψης της βραχομάζας, σε υπερκείμενα μεγαλύτερα από 350 m η βραχομάζα B3 εμφανίζει έντονο δυναμικό σύνθλιψης. Για το λόγο αυτό η κατηγορία υποστήριξης SC-V σχεδιάστηκε με κατασκευή ανάστροφου τόξου τελικού πυθμένα (invert). Παράλληλα, για την αποτροπή καταπτώσεων πάνω από το μέτωπο εκσκαφής, εξαιτίας του κατακερματισμού και του πτωχού αλληλοκλειδώματος των τεμαχών της βραχομάζας, εφαρμόζονται δοκίδες προπορείας.

Η κατηγορία SC-V έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Εφαρμογή σε βραχομάζα TE B3 σε βάθη έως 500m. Μπορεί επίσης να εφαρμοσθεί στις άλλες κατηγορίες βραχομάζας μέχρι το βάθος των 500 m, με αντικατάσταση των δοκίδων προπορείας από αυτοδιατρύμενα αγκύρια με δοκίδες προπορείας από ράβδους χάλυβα (ράβδους προπορείας) όπου απαιτείται.
- Εκσκαφή σε τρεις φάσεις: εκσκαφή άνω ημιδιατομής (Α΄ Φάση) με βήμα προχώρησης 1.0 m, εκσκαφή βαθμίδας (Β΄ Φάση) με βήμα προχώρησης 2.0 m και εκσκαφή του τελικού invert με βήμα προχώρησης 2.0m. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι η εκσκαφή και η υποστήριξη της βαθμίδας και του ανεστραμμένου πυθμένα να ακολουθούν σε μικρή απόσταση την εκσκαφή της άνω ημιδιατομής (μέγιστη απόσταση 10m).
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37 πάχους 35 cm στην άνω ημιδιατομή, τις παρειές και το τελικό ανάστροφο τόξο, εκ των οποίων 30 cm είναι ινοπλισμένο με 40kg/m³ μεταλλικές ίνες.
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37, ινοπλισμένο με 40kg/m³ μεταλλικές ίνες, πάχους 10εκ, στο μέτωπο της άνω ημιδιατομής. Το μέτωπο διαμορφώνεται κεκλιμένο ως προς το εσωτερικό της σήραγγας για τη βελτίωση της ευστάθειας.
- Δοκίδες προπορείας από αυτοδιατρύμενα αγκύρια (self drilling) κοίλης ράβδου Ø40/20 μήκους 6m, σε αξονικές αποστάσεις 30εκ. Τοποθετούνται ανά δεύτερο βήμα εκσκαφής.
- Μεταλλικό πλαίσιο ολόσωμης διατομής HEB160 από χάλυβα S275, ανά βήμα εκσκαφής στην άνω ημιδιατομή και τη βαθμίδα.
- Εάν κρίνεται απαραίτητο κατά την κατασκευή, διεύρυνση της εκσκαφής του πυθμένα της άνω ημιδιατομής (elephant foot) κατά 0.75-1.0 m.

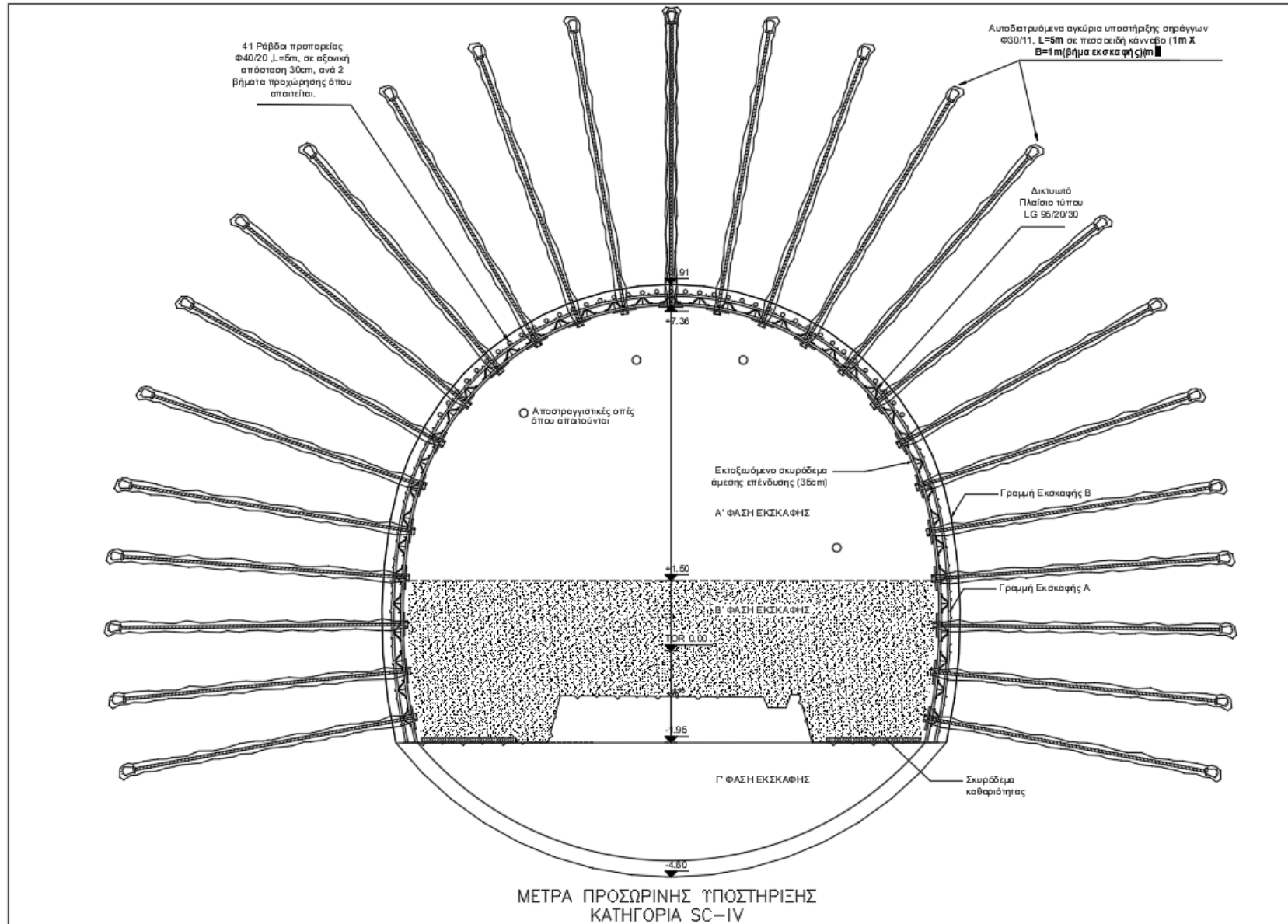
- Τελικό ανάστροφο τόξο πυθμένα (*final invert*) με 35εκ εκτοξευόμενου σκυροδέματος και διπλό πλέγμα T188 στην άνω και κάτω παρειά του τόξου.
- Τελική επένδυση από έγχυτο σκυρόδεμα πάχους 40εκ. στη στέψη και 75 cm στον πυθμένα
- Για το γεωμετρικό προσδιορισμό των γραμμών εκσκαφής λαμβάνονται υπόψη συγκλίσεις και κατασκευαστικές ανοχές 15 cm και απόσταση γραμμών A-B 20 cm (στην άνω ημιδιατομή και στη βαθμίδα).»[2]

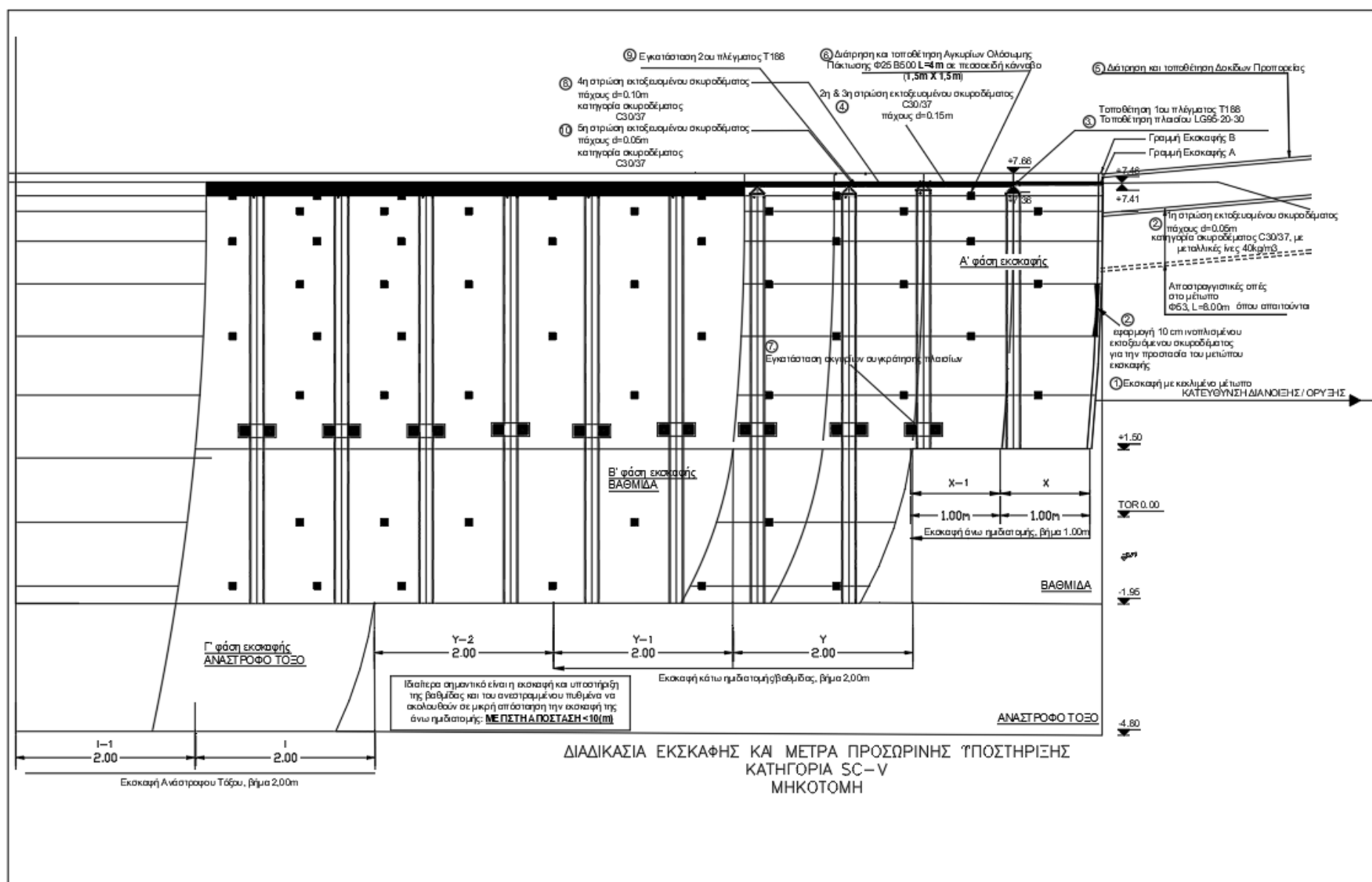
Στατικώς απαιτούμενο πάχος μόνιμης επένδυσης, d3	40 cm
Στατικώς απαιτούμενο πάχος άμεσης υποστήριξης, d1	35 cm
Σύγκλιση και κατασκευαστικές ανοχές, d2	15 cm
Πάχος στεγάνωσης (μεμβράνης/γεωφάσματος) και εξομαλυντικής στρώσης, d3'	1+3* cm
Απόσταση γραμμών A – B, d0	20 cm

Πίνακας 15 Ενδεικτική κατασκευαστική ακολουθία της κατηγορίας υποστήριξης SC-V. Πίνακας από [2].

A. ΑΝΩ ΗΜΙΔΙΑΤΟΜΗ	Βήμα εκσκαφής 1.00 m
- Εκσκαφή με κεκλιμένο μέτωπο	X
- Εφαρμογή 1ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m ³ . Τοποθέτηση 10 cm ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε κεκλιμένο μέτωπο.	X
- Τοποθέτηση δομικού πλέγματος T188 στην περίμετρο της άνω ημιδιατομής	X
- Τοποθέτηση χαλύβδινου πλαισίου HEB160	X
- Εφαρμογή 2ης και 3ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m ³ .	X
- Διάτρηση-τοποθέτηση δοκίδων προπορείας	X
- Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων	X-1
- Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων συγκράτησης πλαισίων	X-1
- Εφαρμογή 4 ^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m ³ .	X-1
- Τοποθέτηση δομικού πλέγματος T188	X-2

- Εφαρμογή 5ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm χωρίς ίνες.	X-2
B. ΚΑΤΩ ΗΜΙΛΙΑΤΟΜΗ (ΒΑΘΜΙΑ) Βήμα εκσκαφής 2.00m	
- Εκσκαφή	Y
- Εφαρμογή 1ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m ³ .	Y
- Τοποθέτηση δομικού πλέγματος T188	Y
- Τοποθέτηση χαλύβδινου πλαισίου HEB160	Y
- Εφαρμογή 2ης και 3ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m ³ .	Y
- Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων	Y-1
- Εφαρμογή 4 ^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m ³ .	Y-1
- Τοποθέτηση δομικού πλέγματος T188	Y-2
- Εφαρμογή 5ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm χωρίς ίνες.	Y-2
Γ. ΑΝΑΣΤΡΟΦΟ ΤΟΞΟ Βήμα εκσκαφής 2.00m	
- Εκσκαφή	I
- Εφαρμογή 1ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 cm ινοπλισμένου με μεταλλικές ίνες 40kg/m ³ .	I
- Τοποθέτηση δομικού πλέγματος T188	I
- Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 20 cm σε 2 στρώσεις (2η και 3η στρώση)	I
- Τοποθέτηση δομικού πλέγματος	I-1
- Εφαρμογή 4 ^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm	I-1





Σχήμα 18 Ενδεικτικά κατασκευαστικά σχέδια: πρότυπη διατομή και μηκοτομή, της κατηγορίας υποστήριξης SC-V.

2.5.3 Ενδεικτική εφαρμογή κατηγοριών υποστήριξης κατά μήκος της σήραγγας

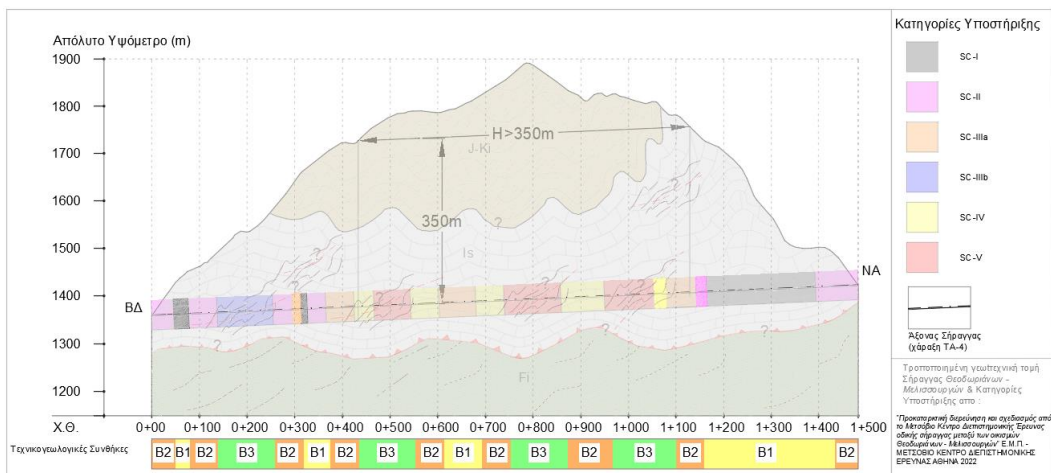
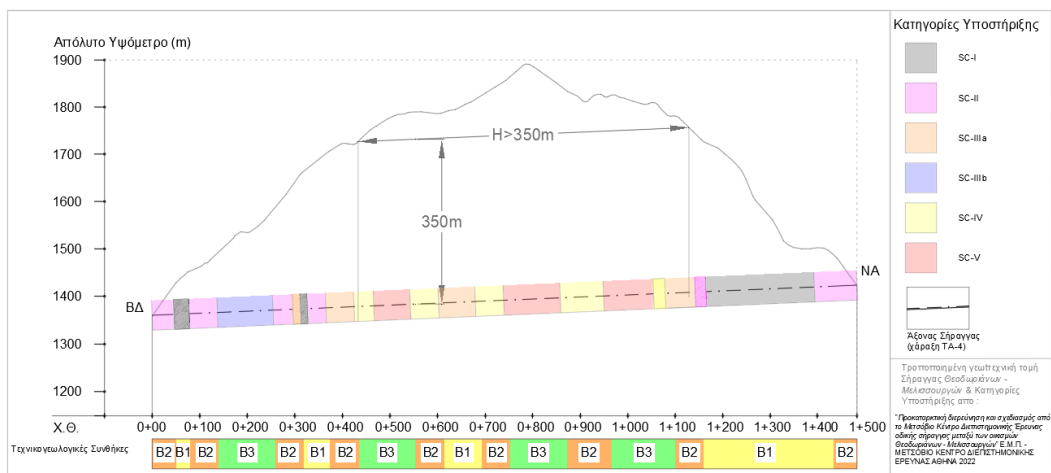
Τέλος σύμφωνα με τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στην μελέτη της Ερευνητικής ομάδας [2], η εκτιμώμενη εφαρμογή των κατηγοριών υποστήριξης κατά μήκος της σήραγγας παρουσιάζεται τον Πίνακα 16.

Πίνακας 16 Εκτιμώμενη εφαρμογή κατηγοριών προσωρινής υποστήριξης κατά μήκος της σήραγγας. Πίνακας από[2]

Χ.Θ.		Μήκος	Κατηγορία βραχομάζας	Κατηγορία υποστήριξης
Από	Έως			
0+000.00	0+046.94	46.9	B2	SC-II
0+046.94	0+078.96	32.0	B1	SC-I
0+078.96	0+139.44	60.5	B2	SC-II
0+139.44	0+258.09	118.7	B3	SC-IIIb
0+258.09	0+300.64	42.5	B2	SC-II
0+300.64	0+317.33	16.7	B2	SC-IIIa
0+317.33	0+331.57	14.2	B1	SC-I
0+331.57	0+371.00	39.4	B1	SC-II
0+371.00	0+431.18	60.2	B2	SC-IIIa
0+431.18	0+473.34	42.2	B3	SC-IV
0+473.34	0+552.15	78.8	B3	SC-V
0+552.15	0+612.63	60.5	B2	SC-IV
0+612.63	0+691.01	78.4	B1	SC-IIIa
10+691.01	0+751.39	60.4	B2	SC-IV
0+751.39	0+872.35	121.0	B3	SC-V

0+872.35	0+964.85	92.50	B2	SC-IV
0+964.85	0+1071.59	106.74	B3	SC-V
1+071.59	1+096.49	24.9	B3	SC-IV
1+096.49	1+160.53	64.0	B2	SC-IIIa
1+160.53	1+183.35	22.8	B1	SC-II
1+183.35	1+414.95	231.6	B1	SC-I
1+414.95	1+505.92	91.0	B2	SC-II

Ακολουθεί σχέδιο της μηκτομής της σήραγγας με την εκτιμώμενη εφαρμογή κατηγοριών προσωρινής υποστήριξης κατά μήκος της.



Σχήμα 19 Μηκτομή της σήραγγας με την εκτιμώμενη εφαρμογή των κατηγοριών προσωρινής υποστήριξης κατά μήκος της. Σχέδιο με πληροφορίες από [1] & [2]

2.6 Τελική Επένδυση της σήραγγας

Σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση μελέτη της Ερευνητικής ομάδας[2] η τελική επένδυση της σήραγγας κατασκευάζεται με οπλισμένο σκυρόδεμα. Η γεωμετρία της τελικής επένδυσης προκύπτει από την εφαρμογή της τυπικής διατομής 10.5Τ, των εθνικών οδηγιών οδοποιίας (ΟΜΟΕ). Σχεδιάστηκαν δύο τύποι, για να εφαρμοστούν κατά μήκος της σήραγγας, ανάλογα με την κατηγορία προσωρινής υποστήριξης που επιλέγεται και παρουσιάζονται παρακάτω.[2]

Πίνακας 17 Τύποι διατομής τελικής επένδυσης και εφαρμογή ανάλογα της κατηγορία προσωρινής υποστήριξης. Σχέδια & πληροφορίες από [2].

	<p>ΤΥΠΟΣ I</p> <p>ΕΦΑΡΜΟΓΗ: SC I,II,IIIa,IIIB,IV</p>
	<p>ΤΥΠΟΣ II</p> <p>ΕΦΑΡΜΟΓΗ: SC - V</p>

Στην συνέχεια δίδονται πληροφορίες για τα κατασκευαστικά στοιχεία και συγκεκριμένες οδηγίες για την αλληλουχία κατασκευών. Βασικές πληροφορίες που αποτυπώνονται για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό της μόνιμης επένδυσης είναι : στατικό πάχος και για τους δύο τύπους διατομής (I & II, όπως φαίνεται και στα σχήματα του Πίνακα 17) ίσο με 40 cm, κατηγορία σκυροδέματος C30/3, χάλυβας οπλισμού B500, τμηματική σκυροδέτηση της σήραγγας ανά 12m με διαμόρφωση κατασκευαστικού αρμού και χρήση υδατοφραγμού (στεγάνωση των ενώσεων-αρμών των αλληπάλληλων σκυροδετήσεων ανά 12 m).

Τέλος δίδονται συγκεκριμένες οδηγίες για την διαστασιολόγηση της τελικής επένδυσης κατά την οριστική μελέτη, οδηγίες που έως έναν βαθμό αποτελούν και μεθοδολογία της παρούσας εργασίας. Πιο συγκεκριμένα παρατίθεται αυτούσιο το κείμενο με τις υποδείξεις της Ερευνητικής ομάδας για την διαστασιολόγηση της τελικής επένδυσης :

«Για τη διαστασιολόγηση της τελικής επένδυσης κατά τη φάση της οριστικής μελέτης του έργου, απαιτείται η λεπτομερής προσομοίωση του φορέα της τελικής επένδυσης με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Ο φορέας της τελικής επένδυσης δύναται να προσομοιωθεί ως ένα επίπεδο πλαίσιο από ραβδωτά στοιχεία δοκού σε αλληλεπίδραση με την περιβάλλουσα βραχομάζα. Οι κόμβοι των πεπερασμένων γραμμικών στοιχείων θα συνδέονται με την βραχομάζα με μη γραμμικά ελατήρια υψηλής ακαμψίας χωρίς δυνατότητα ανάληψης εφελκυστικών φορτίων για την προσομοίωση της αποστραγγιστικής και στεγανωτικής στρώσης. Η μεταφορά των φορτίων από τη βραχομάζα προς την τελική επένδυση θα διενεργείται θεωρώντας σταδιακή απαξίωση των μέτρων προσωρινής υποστήριξης έχω ότου αυτά δεν αναλαμβάνουν καθόλου φορτία. Στη συνέχεια θα επιβάλλονται οι κατάλληλες φορτίσεις για τον έλεγχο της επάρκειας των διατομών στις οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας»[2]

Επίσης σύμφωνα με τις υποδείξεις της Ερευνητικής ομάδας θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατ' ελάχιστον οι ακόλουθες δράσεις:

- *Ίδιο βάρος φορέα τελικής επένδυσης, βάση της διατομής του φορέα και για ειδικό βάρος άοπλου σκυροδέματος 24 kN/m^3 και οπλισμένου σκυροδέματος 25 kN/m^3 . Θα θεωρηθεί ως μόνιμο φορτίο με επί μέρους συντελεστή ασφαλείας 1.35.*
- *Ίδιο βάρος βραχομάζας: θεωρείται ως εξωτερικό επιβαλλόμενο φορτίο και ασκείται με τη σταδιακή απαξίωση των μέτρων προσωρινής υποστήριξης. Θεωρείται μόνιμο φορτίο με επί μέρους συντελεστή ασφαλείας 1.35.*

- Μόνιμο φορτίο επίκλισης θεμελίων ή ανάστροφου πυθμένα με επί μέρους συντελεστή ασφαλείας 1.35.
- Μόνιμο φορτίο λόγω ίδιου βάρους ανεμιστήρων αερισμού, με επί μέρους συντελεστή ασφαλείας 1.35.
- Φορτίο υδροστατικών πιέσεων: θα ληφθεί υπόψη υδροστατική πίεση 50 kPa (αντιστοιχεί σε στήλη νερού ύψους 5 m) που να ακτινικά κάθετα προς την εξωτερική επιφάνεια του φορέα της μόνιμης επένδυσης, ώστε να ληφθεί υπόψη τυχόν αστοχία του συστήματος αποστράγγισης. Θεωρείται μόνιμο φορτίο με επί μέρους συντελεστή ασφαλείας 1.35. Επιπλέον, κατά τη φάση της οριστικής γεωλογικής μελέτης θα πρέπει να εξεταστεί η πιθανότητα εμφάνισης επικρεμάμενου υδροφόρου ορίζοντα και να ληφθεί υπόψη η αντίστοιχη υδροστατική πίεση επί του φορέα της μόνιμης επένδυσης.
- Κινητό φορτίο πεζοδρομίων στην περιοχή των θεμελίων με επί μέρους συντελεστή ασφαλείας 1.50.
- Κινητό φορτίο λειτουργίας για τον τύπο διατομής II επί του ανάστροφου πυθμένα: το φορτίο θα πρέπει να καθοριστεί για δύο βαρέα οχήματα (2xSLW60, με συνολικό φορτίο 2x600 kN, φορτίο τροχού 100 kN, ομοιόμορφο φορτίο 2x33.3 kN/m²). Κινητό φορτίο με επί μέρους συντελεστή ασφαλείας 1.50.
- Φόρτιση πεζοδρομίων με φορτίο τροχού τουλάχιστο 100 kN ως κινητό φορτίο με επί μέρους συντελεστή ασφαλείας 1.50.
- Φορτίο λόγω ομοιόμορφης θερμοκρασιακής μεταβολής κατά τουλάχιστον $\pm 10^{\circ}\text{C}$.
- Φορτίο λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς εσωτερικής-εξωτερικής επιφάνειας του φορέα κατά τουλάχιστον $\pm 10^{\circ}\text{C}$.
- Συστολή ξήρανσης με επιβολή ομοιόμορφης μεταβολής θερμοκρασίας τουλάχιστον -15°C .
- Φορτίο λόγω ενυδάτωσης με επιβολή ομοιόμορφης αύξησης θερμοκρασίας τουλάχιστον 20°C .
- Φορτίο λόγω ερπυσμού με την επιβολή ομοιόμορφης μεταβολής θερμοκρασίας τουλάχιστον -10°C .
- Φορτίο πρόσκρουσης οχήματος: ενδεικτικά ως σημειακή φόρτιση τουλάχιστον 500 kN κάθετα στην κατεύθυνση κυκλοφορίας σε ύψος 1.2 m από το οδόστρωμα. Θεωρείται ως τυχηματικό φορτίο με επί μέρους συντελεστή ασφαλείας 1.0.
- Φορτίο έκρηξης ως ομοιόμορφο φορτίο πίεσης 100 kPa κάθετα στην εσωτερική παρειά της επένδυσης. Θεωρείται ως τυχηματικό φορτίο με επί μέρους συντελεστή ασφαλείας 1.0.

[2]

3 Προσωρινή Υποστήριξη της σήραγγας

3.1 Παρουσίαση Μεθοδολογίας

3.1.1 Εισαγωγή-Διευκρινήσεις

Όπως έχει διατυπωθεί από την εισαγωγή της παρούσας εργασίας οι αναλύσεις για την προσωρινή υποστήριξη της σήραγγας ακολουθούν την μεθοδολογία και την τελική πρόταση για κάθε κατηγορία όπως αυτές προκύπτουν από την μελέτη της Ερευνητικής ομάδας [2].

Συγκεκριμένα η σήραγγα σχεδιάστηκε να διανοιχθεί σύμφωνα με την NATM όπου πραγματοποιείται σταδιακή εκσκαφή και υποστήριξη της διατομής:

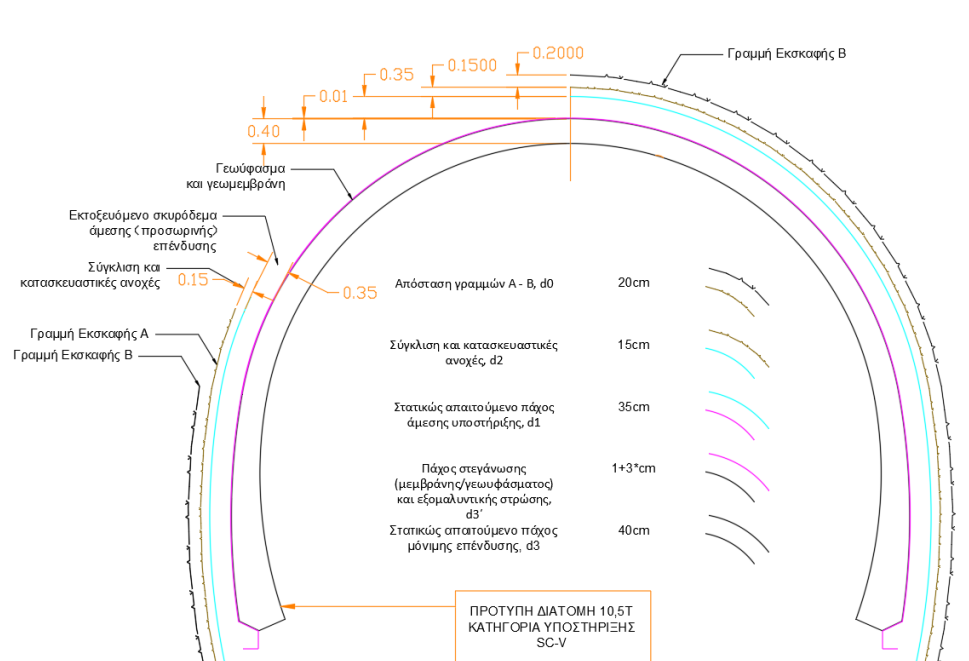
«Η σταδιακή διάνοιξη και υποστήριξη μίας σήραγγας διαταράσσει το φυσικό εντατικό πεδίο, με τη διαταραχή αυτή να ξεκινά έμπροσθεν του μετώπου της εκσκαφής και να ολοκληρώνεται με την επίτευξη μίας βραχυχρόνιας ισορροπίας και την διαμόρφωση ενός δευτερογενούς εντατικού πεδίου μετά την απομάκρυνση του μετώπου. Η υποστήριξη της σήραγγας τοποθετείται σταδιακά πλησίον του μετώπου και φορτίζεται επίσης σταδιακά καθώς ακολουθεί την παραμόρφωση της βραχομάζας.»[2].

Η προσέγγιση της αλληλεπίδρασης βραχομάζας και μέτρων υποστήριξης σε διάφορα στάδια κατασκευής και μέχρι το τελικό, το οποίο ισοδυναμεί με την επίτευξη της τελικής ισορροπίας, πραγματοποιείται μέσω υπολογιστικών αριθμητικών μεθόδων με την χρήση εξειδικευμένων σχετικών λογισμικών και περιγράφεται στις παρακάτω ενότητες. Στην παρούσα εργασία πραγματοποιούνται δισδιάστατες αριθμητικές αναλύσεις με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Οι δισδιάστατες αριθμητικές αναλύσεις με διάφορους τρόπους και προσεγγίσεις που περιγράφονται αναλυτικά στις παρακάτω ενότητες του κεφαλαίου προσομοιώνουν την τμηματική εκσκαφή και την κατασκευή των μέτρων υποστήριξης με την οποία σχεδιάστηκε να πραγματοποιηθεί η διάνοιξη της σήραγγας, αλλά και την επίδραση της τρίτης διάστασης.

Για τον προσδιορισμό της αρχικής κατάστασης κάθε ανάλυσης, δηλαδή για την προσέγγιση του αρχικού φυσικού εντατικού πεδίου χρησιμοποιήθηκε συντελεστής πλευρικών ωθήσεων $K_0 = 0,7$. [2]

3.1.2 Γεωμετρία Διατομής & Υλικά Κατηγοριών Υποστήριξης

Οι πληροφορίες για την χάραξη της γραμμής εκσκαφής B, η οποία αποτελεί την γραμμή που ορίζει την περιφέρεια της υπόγειας εκσκαφής που προσομοιώνεται για κάθε αριθμητική ανάλυση της κάθε κατηγορίας υποστήριξης, λαμβάνονται από τις πληροφορίες και τα ενδεικτικά κατασκευαστικά σχέδια που δίδονται στην ενότητα 2.5.2.



Σχήμα 20 Ενδεικτικό σχέδιο για τον προσδιορισμό της Γραμμής B με βάση τις πληροφορίες και τα ενδεικτικά κατασκευαστικά σχέδια της ενότητας 2.5.2

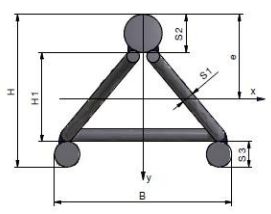
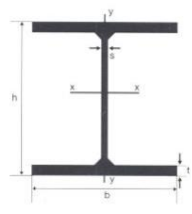
Στην συνέχεια παρατίθεται συνοπτικός πίνακας με τις προδιαγραφές των υλικών υποστήριξης που προσομοιώνονται.

Πίνακας 18 Ενδεικτικός πίνακας με τα μέτρα υποστήριξης που προσομοιώνονται.

Μέτρα Υποστήριξης	Προτυποποιημένη Κατηγορία
Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	C30/37
Οπλισμός Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος	-δεν προσομοιώνεται
ΧαλυβδINA πλαίσια	Χάλυβας B500
Ηλώσεις	Χάλυβας B500
Δοκίδες προπορείας	-δεν προσομοιώνονται

Στην παρούσα εργασία, σε όλες τις αναλύσεις προσομοιώνονται μόνο τα μέτρα υποστήριξης που αναφέρονται στον άνω Πίνακα 18, με τις προδιαγραφές που αναφέρονται ανά μέτρο. Πιο συγκεκριμένα το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα θεωρείται τελείως άοπλο, δεν εισάγεται οπλισμός (πλέγμα ή ίνες) ούτε αυξάνεται η εφελκυστική του αντοχή σε όλες τις αναλύσεις της εργασίας. Τα χαλύβδινα πλαίσια προσομοιώνονται, σε όλες τις κατηγορίες υποστήριξης προτείνονται, εγκιβωτισμένα στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και λειτουργούν ως οπλισμός της πλέον σύμμικτης τελικής διατομής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Πρέπει να σημειωθεί ότι για λόγους προσομοίωσης που αναφέρονται παρακάτω τα δικτυωτά πλαίσια αντικαταστάθηκαν στις αναλύσεις από πλαίσια ολόσωμης διατομής, για κάθε κατηγορία προσωρινής υποστήριξης που τα περιέχουν SC-II, IIIa, IIIb και IV. Κριτήριο για την επιλογή πλαισίου πρότυπης ολόσωμης διατομής που θα αντικαταστήσει το δικτυωτό αποτελεί το εμβαδόν $A(\text{cm}^2)$ της διατομής του, όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 19. Για τη κατηγορία προσωρινής υποστήριξης SC-V δεν πραγματοποιείται αλλαγή στην παρούσα εργασία, δηλαδή προσομοιώνεται το HEB 160. Επίσης όλες οι κατηγορίες ηλώσεων, σε κάθε κατηγορία υποστήριξης προσομοιώνονται σαν ολόσωμης κυκλικής διατομής αγκύρια πλήρους πάκτωσης από χάλυβα B500, με διάμετρο ίση με αυτή που δίδεται στον Πίνακα 20 που ακολουθεί.

Πίνακας 19 Χαρακτηριστικά ολόσωμων πλαισίων κατηγοριών προσωρινής υποστήριξης SC-II, IIIa, IIIb και IV που προσομοιώνονται στην παρούσα εργασία. Προδιαγραφές δικτυωτών πλαισίων (LG) από [2].

	Κατηγορία υποστήριξης που εφαρμόζεται	H (mm)	A (cm ²)		Κατηγορία υποστήριξης που εφαρμόζεται	H (mm)	A (cm ²)
LG 70-20-25	SC-II	115	11.19	IPE 80	SC-II	80	7.64
LG 95-20-30	SC-IIIa, SC-IIIb	145	11.19	IPE 100	SC-IIIa, SC-IIIb	100	10.3
LG 115/26/34	SC-IV	175	19.70	IPE 160	SC-IV	160	20.10

Πίνακας 20 Χαρακτηριστικά ηλώσεων που προσομοιώνονται ανά κατηγορία υποστήριξης.

Κατηγορία Υποστήριξης	Διάμετρος (mm) αγκυρίου από Χάλυβα B500
SC-I	Ø25
SC-II	Ø25
SC-IIIa	Ø25
SC-IIIb	Ø30
SC-IV	Ø30
SC-V	Ø30

3.1.3 Προσομοίωση της τρίτης διάστασης & συντελεστές αποτόνωσης

Οι συντελεστές αποτόνωσης χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση της επίδρασης της τρίτης διάστασης. Είναι μέθοδος ευρέως αποδεκτή και χρησιμοποιούμενη στον σχεδιασμό σηράγγων γενικά και ειδικά σε δισδιάστατες αριθμητικές αναλύσεις. Πρώτο βήμα για την μεθοδολογία αποτελεί η χάραξη της καμπύλης σύγκλισης-αποτόνωσης καθώς και ο υπολογισμός της ακτίνας της πλαστικής ζώνης, στην συνέχεια με την χρήση διαγραμμάτων που συσχετίζουν τις μετακινήσεις των τοιχωμάτων της σήραγγας με την απόσταση από το μέτωπο προσδιορίζεται ο κατάλληλος συντελεστής αποτόνωσης που αντιστοιχεί στην μετακίνηση αυτή. Επομένως με την χρήση πλέον του κατάλληλου συντελεστή αποτόνωσης πραγματοποιείται μια εκτίμηση για την εντατική κατάσταση στη βραχομάζα στην θέση που εφαρμόζονται τα μέτρα υποστήριξης και δεν έχει επιτευχθεί η τελική ισορροπία.

Στην παρούσα εργασία για τον προσδιορισμό των συντελεστών ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

Για την χάραξη της καμπύλης σύγκλισης αποτόνωσης χρησιμοποιείται το λογισμικό Roc Support της εταιρείας Rocscience. Το λογισμικό με την χρήση αναλυτικών μεθόδων υπολογισμού χαράσσει την καμπύλη σύγκλισης-αποτόνωσης. Οι παράμετροι που επηρεάζουν την διαδικασία σύγκλισης των τοιχωμάτων κατά την σταδιακή αποτόνωση της βραχομάζας για ανυποστήρικτη σήραγγα είναι τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά, το φυσικό εντατικό πεδίο και η διάμετρος της σήραγγας. Πιο συγκεκριμένα στο πρόγραμμα εισάγονται τα μεγέθη που φαίνονται στο Σχήμα 21 που ακολουθεί.

Σχήμα 21 Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά, το φυσικό εντατικό πεδίο και η διάμετρος της σήραγγας που εισάγονται για την χάραξη της καμπύλης σύγκλισης αποτόνωσης.

Σημείωση: Για όλες τις τεχνικογεωλογικές ενότητες και σε όλες τις αναλύσεις θεωρείται πλαστική παραμόρφωση της βραχομάζας χωρίς μεταβολή του όγκου, δηλαδή στην παρούσα εργασία παντού θεωρείται γωνία διαστολικότητας $\delta = 0$.

Στην συνέχεια αφού έχει χαραχθεί η καμπύλη σύγκλισης αποτόνωσης επόμενο στάδιο για τον προσδιορισμό των συντελεστών αποτελεί η συσχέτιση των μετακινήσεων των τοιχωμάτων της σήραγγας (που αντιστοιχούν σε κάποιο βαθμό αποτόνωσης) με την απόσταση από το μέτωπο. Σύμφωνα με τους Vlachopoulos & Diederichs (2009) για κυκλική σήραγγα ακτίνας R_T και ακτίνα πλαστικής ζώνης μακριά από το μέτωπο R_P , η ανηγμένη μετατόπιση u_0^* στο μέτωπο της σήραγγας δίνεται από τη σχέση:

$$u_0^* = \frac{u_0}{u_{max}} = \frac{1}{3} e^{-0.15R^*}$$

όπου u_0 είναι η ακτινική μετατόπιση στο μέτωπο, u_{max} η μέγιστη ακτινική μετατόπιση μακριά από το μέτωπο, $R^* = R_p/R_T$. Κατά μήκος της σήραγγας και καθώς απομακρυνόμαστε από το μέτωπο, η ανηγμένη μετακίνηση u^* δίνεται από τη σχέση:

$$u^* = 1 - (1 - u_0^*) \cdot e^{-3X^*/2R^*} \quad (5)$$

$X^* = X/R$ είναι η ανηγμένη απόσταση από το μέτωπο της εκσκαφής.

Στην συνέχεια επιλύεται η ανωτέρω σχέση (5) ως προς τον όρο X/R :

$$u^* = 1 - (1-u_0^*) \times e^{-3x^*/2R^*}$$

$$u^* - 1 = -(1-u_0^*) \times e^{-3x^*/2R^*}$$

$$1 - u^* = (1-u_0^*) \times e^{-3x^*/2R^*}$$

$$e^{-3x^*/2R^*} = \frac{1-u^*}{1-u_0^*}$$

$$\ln e^{-3x^*/2R^*} = \ln\left(\frac{1-u^*}{1-u_0^*}\right)$$

$$\frac{-3x^*}{2R^*} \times \ln e = \ln\left(\frac{1-u^*}{1-u_0^*}\right)$$

$$-3x^* = 2R^* \times \ln\left(\frac{1-u^*}{1-u_0^*}\right)$$

$$x^* = \frac{-2}{3} R^* \times \ln\left(\frac{1-u^*}{1-u_0^*}\right)$$

$$\text{Όπου } R^* = \frac{R_{pmax}}{R_T}, \quad u^* = \frac{u(x)}{u_{max}}, \quad u_0^* = \frac{u(0)}{u_{max}} \text{ και } \frac{u(0)}{u_{max}} = \frac{1}{3} e^{-0.15R_{pmax}/R_T}$$

Επομένως,

$$\frac{x}{R_T} = \frac{-2}{3} \frac{R_{pmax}}{R_T} \times \ln\left(\frac{1 - \frac{u(x)}{u_{max}}}{1 - \frac{u(0)}{u_{max}}}\right)$$

$$\frac{x}{R_T} = \frac{-2}{3} \frac{R_{pmax}}{R_T} \times \ln\left(\frac{1 - \frac{u(x)}{u_{max}}}{1 - \frac{1}{3} e^{-0.15R_{pmax}/R_T}}\right) \quad (6)$$

Τα αποτελέσματα από το Roc Support όπως η μέγιστη u_{max} μετακίνηση των τοιχωμάτων, η ακτίνα της πλαστικής ζώνης και η μετακίνηση των τοιχωμάτων $u(x)$, για κάθε τιμή του

συντελεστή αποτόνωσης λ ($0 < \lambda < 1$) εξάγονται σε υπολογιστικό φύλλο στο excel για την περαιτέρω επεξεργασία τους. Εκεί σύμφωνα με τα παραπάνω ο γνωστός πλέον λόγος $\frac{u(x)}{u_{max}}$ και $\frac{R_{pmax}}{R_T}$ χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί ο λόγος $\frac{x}{R_T}$ με την εξίσωση (6).

Έτσι είναι πλέον εφικτό να προσδιοριστεί ο συντελεστής λ που αντιστοιχεί σε θέση X από το μέτωπο της εκσκαφής. «Η θέση X αντιστοιχεί στην θέση εφαρμογής των μέτρων, τα οποία τοποθετούνται στο μισό του κάθε βήματος διάνοιξης.»[2] Τέλος παρουσιάζεται ενδεικτική εικόνα του υπολογιστικού φύλλου excel για τον προσδιορισμό του βαθμού αποτόνωσης λ στην θέση εφαρμογής των μέτρων υποστήριξης για κάθε βήμα εκσκαφής της συγκεκριμένης ανάλυσης.

RoC Support Export							
Default Project	Rt	6,25	m				
SC-VI EXTENDED REACTION CURVE	p0	10,6	Mpa				
Deterministic	Umax	0,78	mm				
	Rp rocsupport	7,5	m				
Carranza-Torres	Rp/Rt	1,2	-				
	v poisson	0,3	-				
Internal Pressure (MPa)	u final(mm)	pi/p0	λ	u/umax	$\frac{x}{R_T} = \frac{-2}{3} \frac{R_{pmax}}{R_T} \times \ln \left(\frac{1 - \frac{u(x)}{u_{max}}}{1 - \frac{R_{pmax}}{R_T}} \right)$		
10,6	0	1	0	0	Vlachopoulos & Diederichs (2009)		
					X/R	X (m)	E/E ₀
10,42650995	0,010197275	0,98363	0,01637	0,01307	-0,257972501	-1,6123	1
10,2530199	0,020394551	0,96727	0,03273	0,02615	-0,24744479	-1,5465	0,94497
10,07952985	0,030591826	0,9509	0,0491	0,03922	-0,236776688	-1,4799	0,8941
9,906039799	0,040789102	0,93453	0,06547	0,05229	-0,2259644	-1,4123	0,84694
9,732549749	0,050986377	0,91817	0,08183	0,06537	-0,215003976	-1,3438	0,80309
9,559059698	0,061183653	0,9018	0,0982	0,07844	-0,203891301	-1,2743	0,76222
9,385569648	0,071380928	0,88543	0,11457	0,09151	-0,192622083	-1,2039	0,72404
9,212079598	0,081578203	0,86906	0,13094	0,10459	-0,181191851	-1,1324	0,68829
9,038589547	0,091775479	0,8527	0,1473	0,11766	-0,169595936	-1,06	0,65474
8,865099497	0,101972754	0,83633	0,16367	0,13073	-0,157829464	-0,9864	0,6232
8,691609447	0,11217003	0,81996	0,18004	0,14381	-0,145887344	-0,9118	0,59349
8,518119396	0,122367305	0,8036	0,1964	0,15688	-0,13376425	-0,836	0,56546
8,344629346	0,13256458	0,78723	0,21277	0,16995	-0,121454614	-0,7591	0,53896
8,171139296	0,142761856	0,77086	0,22914	0,18303	-0,108952606	-0,681	0,51388
7,997649246	0,152959131	0,7545	0,2455	0,1961	-0,096252116	-0,6016	0,49011
7,824159195	0,163156407	0,73813	0,26187	0,20917	-0,083346741	-0,5209	0,46754
7,650669145	0,173353682	0,72176	0,27824	0,22225	-0,070229762	-0,4389	0,44609
7,477179095	0,183550958	0,70539	0,29461	0,23532	-0,056894125	-0,3556	0,42567
7,303689044	0,193748233	0,68903	0,31097	0,2484	-0,043332414	-0,2708	0,40621
					-0,029536833	-0,1846	0,38765

Σχήμα 22 Ενδεικτική εικόνα από το υπολογιστικό φύλλο στο excel όπου πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί για την συγκεκριμένη ανάλυση. Με κίτρινο πλαίσιο σημαίνονται τα μεγέθη που υπολογίζονται στο λογισμικό RocSupport.

3.1.4 Μέτρο ελαστικότητας βραχομάζας και πλευρική περίσφιξη

Το μέτρο ελαστικότητας της βραχομάζας που χρησιμοποιείται για τις αριθμητικές αναλύσεις προέρχεται από την κατάλληλη απομείωση του μέτρου ελαστικότητας ενός άρρηκτου τμήματος του ίδιου βράχου. Η κατάλληλη αυτή απομείωση ποσοτικοποιείται από την δομή, δηλαδή το βαθμό κερματισμού, και την μηχανική ποιότητα των ασυνεχειών της βραχομάζας. Πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με τους E. Hoek & M.S. Diederichs (2005)[11] το μέτρο ελαστικότητας της βραχομάζας δίδεται από τον τύπο:

$$E_{rm} = E_i \left(0.02 + \frac{1 - \frac{D}{2}}{1 + e^{\left(\frac{60 + 15D - GSI}{11} \right)}} \right) \quad (4)$$

Όπου:

E_{rm}	Μέτρο ελαστικότητας βραχομάζας
E_i	Μέτρο ελαστικότητας ενός άρρηκτου τμήματος
GSI	Δείκτης γεωλογικής αντοχής
D	Βαθμός Διαταραχής (=0*)

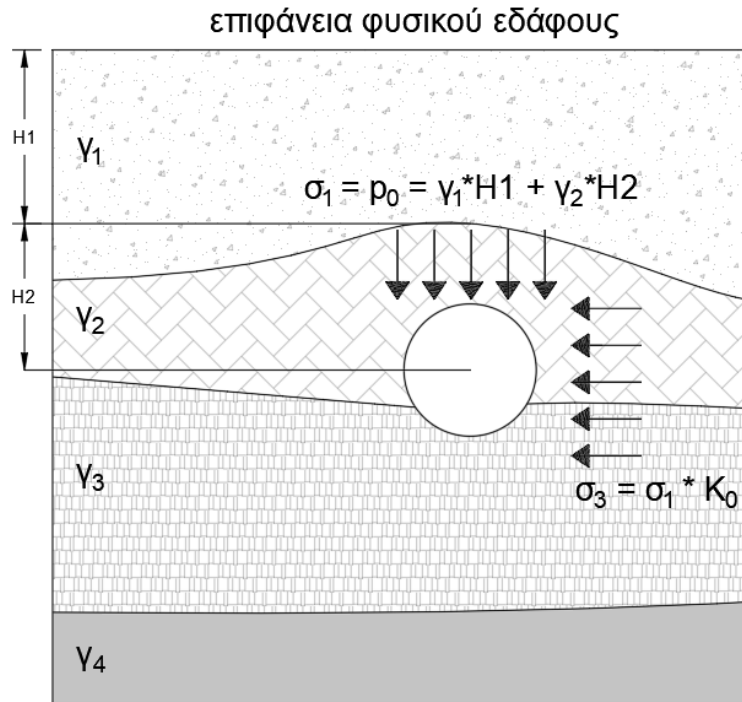
*θεωρείται ορθή εκτέλεση του κύκλου εργασιών διάτρησης ανατίναξης κατά την όρυξη και χαμηλός βαθμός διαταραχής της βραχομάζας από την διαδικασία αυτή.

Επομένως σύμφωνα με το μέτρο ελαστικότητας ενός άρρηκτου τμήματος και την και την τιμή του δείκτη GSI πραγματοποιείται εκτίμηση για το μέτρο ελαστικότητας της βραχομάζας.

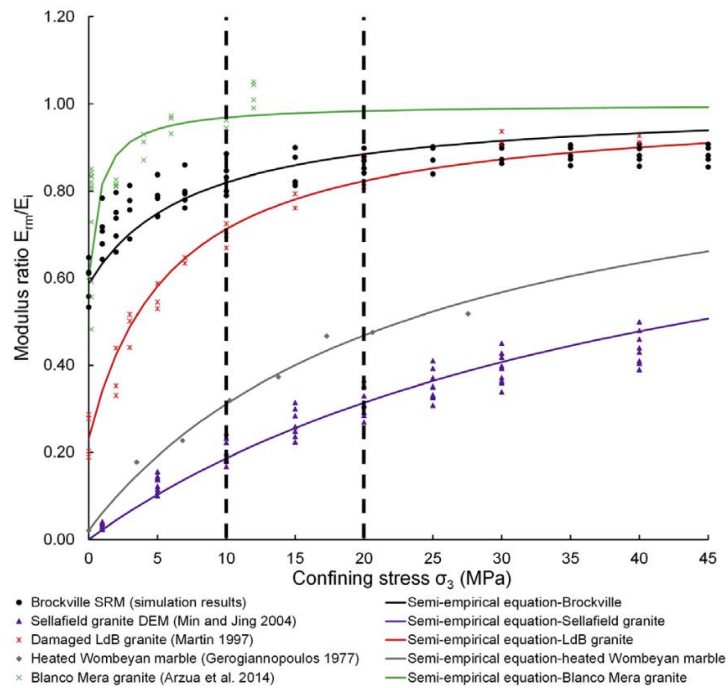
Πίνακας 21 Μέτρο ελαστικότητας βραχομάζας σύμφωνα με τους E. Hoek & M.S. Diederichs (2005).[11]

TE	E_i (GPa)	GSI	D	E_{rm} (GPa)
B1	45	50	0	13,82337
B2	40	40	0	6,386087
B3	35	25	0	2,094949

Από πολλούς ερευνητές και μηχανικούς είναι καλά τεκμηριωμένο ότι το μέτρο ελαστικότητας μιας βραχομάζας με τεμαχώδη δομή (ασυνέχειες), εξαρτάται από το μέγεθος των τάσεων περιορισμού που ασκούνται στη ίδια.[12] Πιο συγκεκριμένα στο Σχήμα 24, οι I. Vazaios, K. Farahmand, N. Vlachopoulos, M.S. Diederichs (2017)[12] προτείνουν μια τιμή για τον λόγο E_{rm}/E_i που εξαρτάται μόνο από το μέγεθος της τάσης περιορισμού σ_3 που προκαλεί την πλευρική περίσφιξη της βραχομάζας. Επομένως λαμβάνεται υπόψη το εντατικό πεδίο που δρά στη βραχομάζα στην φυσική της θέση και επηρεάζει το μέτρο ελαστικότητάς της.



Σχήμα 23 Ενδεικτική απεικόνιση της τάσης περιορισμού σ_3



Σχήμα 24 Λόγος E_{rm}/E_i συναρτήσει του μέγεθος της πλευρικής τάσης περιορισμού σ_3 , κατά τους I. Vazaios, K. Farahmand, N. Vlachopoulos, M.S. Diederichs (2017.[12])

Στην παρούσα εργασία για τις τεχνικογεωλογικές ενότητες B2 και για ύψος υπερκείμενων στρωμάτων άνω των 400 μέτρων (από τον άξονα της σήραγγας) και B3 και για ύψος υπερκείμενων στρωμάτων άνω των 300 μέτρων, επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί το

διάγραμμα του Σχήματος 24. Παρά την χαμηλή ποιότητα των μηχανικών χαρακτηριστικών των συγκεκριμένων ενοτήτων, η απομείωση του μέτρου ελαστικότητας μέσω του τύπου των Hoek & M.S. Diederichs (2005)[11], δηλαδή της εξίσωσης (4), δίδει χαμηλές τιμές. Ταυτόχρονα αγνοείται το μεγάλο ύψος υπερκείμενων στρωμάτων(>300m) το οποίο κύρια συμβάλει στην διαμόρφωση του εντατικού πεδίου περίσφιξης της βραχομάζας μέσω της τάσης σ_3 , από την οποία και πραγματοποιείται μια διαφορετική αν όχι πληρέστερη προσέγγιση για το μέτρο ελαστικότητας της βραχομάζας με την χρήση του διαγράμματος του Σχήματος 24.

Επομένως σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, παρατίθεται ο Πίνακας 22 με το μέτρο ελαστικότητας της βραχομάζας που επιλέγεται για κάθε ανάλυση ανά κατηγορία υποστήριξης.

Πίνακας 22 Μέτρο ελαστικότητας της βραχομάζας που επιλέγεται για κάθε ανάλυση ανά κατηγορία υποστήριξης. Οι τιμές που επιλέγονται έχουν επισημανθεί με εντονότερη γραμματοσειρά

Κατηγορία Υποστήριξης	TE	Ύψος υπερκείμενων σχηματισμών H(m)	E _i (MPa)	E _{rm} (GPa) Hoek & M.S. Diederichs (2005) εξίσωση (4)	σ ₁ κατακόρυφη γεωστατική τάση (MPa) σ ₁ =γ(0,0265MN/m ³)*H(m)	σ ₃ τάση περιορισμού (MPa) σ ₃ =K ₀ (0.7)*σ ₁	Προσδιορισμός λόγου E _i /E _{rm} από διάγραμμα Σχήματος 15 Vazaios(2017)	E _{rm} (GPa) Vazaios(2017)
SC-I	B1	300	45,00	13,82	7,95	5,57	-	-
SC-II	B2	270	40,00	6,39	7,16	5,01	-	-
	B1	400	45,00	13,82	10,60	7,42	-	-
SC-IIIa	B2	380	40,00	6,39	10,07	7,05	0,75	30,00
	B1	500	45,00	13,82	13,25	9,28	-	-
SC-IIIb	B3	300	35,00	2,09	7,95	5,57	0,70	24,50
SC-IV	B3	400	35,00	2,09	10,60	7,42	0,75	26,25
	B2	500	40,00	6,39	13,25	9,28	0,80	32,00
SC-V	B3	500	35,00	2,09	13,25	9,28	0,80	28,00

3.1.5 Ανάλυση Σηράγγων με το λογισμικό Sofistik / Wintube Fides

- SofistiK

«Οι γεωτεχνικοί υπολογισμοί και ειδικότερα οι υπολογισμοί σηράγγων ανήκουν στα σύνθετα προβλήματα που καλείται να λύσει ο μηχανικός με πολλές και μεταβαλλόμενες παραμέτρους. Η προσομοίωση της διάνοιξης των σηράγγων απαιτεί κατ' αρχήν τη μόρφωση ομοιωμάτων σε μέσο που εμφανίζει μη γραμμική συμπεριφορά, λαμβάνοντας υπόψη ποικίλους τρόπους τοποθέτησης άμεσων μέτρων υποστήριξης. Το λογισμικό SOFiSTiK δίνει τη δυνατότητα υλοποίησης τέτοιων ομοιωμάτων. Η γραφική εισαγωγή παρέχει όλες τις δυνατότητες που χρειάζεται ο μελετητής για την παραγωγή πολύπλοκων γεωμετριών σηράγγων και στρωματογραφίας εδάφους, φορτίσεις και συνοριακές συνθήκες. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει αυτόματη γεννήτρια πεπερασμένων στοιχείων. Το λογισμικό SOFiSTiK μπορεί να λάβει υπόψη τη φέρουσα ικανότητα του εδάφους, τη στρωματογραφία, ρωγμές, πολύπλοκες γεωμετρίες, προσομοιώνοντας το σύστημα με πολύ μεγάλη λεπτομέρεια. Επίσης λαμβάνει υπόψη την ελαστοπλαστική συμπεριφορά του υλικού, την ακριβή περιγραφή της χρονικής προόδου της κατασκευής και των φάσεων της εκσκαφής καθώς και δισδιάστατα και τριδιάστατα συστήματα.»[...] «Βασικό χαρακτηριστικό του είναι ότι αποτελείται από μεμονωμένα υποπρογράμματα (modules), τα οποία επικοινωνούν με μία κεντρική βάση δεδομένων. Ο χρήστης μπορεί να διαμορφώσει το δικό του σύνολο από υποπρογράμματα ανάλογα με τις ανάγκες της ανάλυσης του. Σε κάθε στάδιο ο χρήστης έχει πλήρη εποπτεία των δεδομένων και των αποτελεσμάτων. Μπορεί να λάβει υπόψη πολλές παραμέτρους κατά την εισαγωγή των δεδομένων και ελαστοπλαστικά κριτήρια αστοχίας, τα οποία μπορούν να επιλεγούν για την καλύτερη δυνατή προσομοίωση των υλικών.» [13]

Συνοπτικά παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα υποπρογράμματα του Sofistik που χρησιμοποιούνται για την διαμόρφωση των τελικών υπολογισμών:

Πίνακας 23 Περιγραφή των υποπρογραμμάτων του λογισμικού Sofistik. Όλες οι πληροφορίες του Πίνακα προέρχονται από τα εγχειρίδια χρήσης του προγράμματος(manuals).[14]

Υποπρόγραμμα Sofistik	Χρήση
AQUA	Υπολογίζει τις ιδιότητες οποιασδήποτε διατομής, οποιουδήποτε σχήματος, οποιουδήποτε υλικού. Ορίζονται υλικά και διατομές.

<p>SOFIMSHA</p>	<p>Εισαγωγή της γεωμετρίας του φορέα, η αντιστοίχιση των γραμμών με τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά και η διακριτοποίηση των πεπερασμένων στοιχείων.</p> <p>Ταυτόχρονα γίνεται και η κατάλληλη ομαδοποίηση των μελών, ή των φορτίσεων που διευκολύνει το χρήστη.</p>
<p>SOFILOAD</p>	<p>Το πρόγραμμα SOFiLOAD είναι μία γεννήτρια φορτίων. Με την βοήθεια κατάλληλων εντολών, δημιουργούνται φορτίσεις που αποθηκεύονται στην βάση δεδομένων. Οι φορτίσεις αυτές μπορούν να περιγραφούν είτε μέσω γραφικού περιβάλλοντος (στο πρόγραμμα SOFiPLUS), είτε μέσω αρχείου δεδομένων(CADINP). Η τελική ανάλυση πραγματοποιείται από τα προγράμματα-επιλύτες (solvers) SEPP, ASE, STAR, TALPA, ανάλογα με το είδος της ανάλυσης (στο επίπεδο ή στο χώρο, γραμμική ή μη γραμμική ανάλυση) ή την φάση κατασκευής στην οποία αναφέρονται.</p>
<p>AQB</p>	<p>Ανάλυση τάσεων επί των διατομών που έχουν δημιουργηθεί στο AQUA και διαστασιολόγηση των διατομών.</p>
<p>TALPLA</p>	<p>Ατελείται από δυο υποπρογράμματα. Ο διαχειριστής των γεωτεχνικών σταδίων (CSG) επιτρέπει αυτόματα την παραγωγή της κατασκευαστικής ακολουθίας βασισμένη στην περιγραφή μέσω ομάδων</p>

	(groups) των σταδίων κατασκευής & (FEA) πραγματοποιεί τους υπολογισμούς των διαφόρων σταδίων ανάλυσης (προσομοίωση κατασκευαστικών σταδίων) χρησιμοποιώντας την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.
WINGRAPH	Διαχείριση και γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων. Όλες οι πληροφορίες ενός project που μπορούν να παρουσιαστούν γραφικά, δίνονται υπό τη μορφή ενός 'δέντρου'. Τα menu μέσω των οποίων θα προκύψουν τα γραφικά αποτελέσματα, είναι ταξινομημένα με μία λογική σειρά ως εξής: 'System Values', 'Loads', 'Results', 'Design Values', 'Deformed Structure'

Στην συνέχεια γίνεται συγκεκριμένη αναφορά για το πρόγραμμα TEDDY που χρησιμοποιείται. Το Teddy είναι ένα περιβάλλον υποστήριξης και χρήσης της γλώσσας CADNIP. Η γλώσσα CADINP είναι μια πλήρης γλώσσα προγραμματισμού για την περιγραφή και επίλυση δομοστατικών και γεωτεχνικών προβλημάτων.[14]

- Fides-Wintube

«Το πρόγραμμα FIDES-WINTUBE δημιουργήθηκε αρχικά σαν ένα εξειδικευμένο εργαλείο για τον σχεδιασμό σηράγγων. Περιέχει πολλούς οδηγούς που βοηθούν στον καθορισμό και στην εκτέλεση εξειδικευμένων εργασιών για τις σήραγγες. Παρ' όλα αυτά η λειτουργικότητα του WINTUBE είναι καθολική ώστε να αποτελεί εργαλείο επιλογής για πολλές γενικές αναλύσεις πεπερασμένων στοιχείων. Ειδικά όταν πρέπει να αναλυθούν τρισδιάστατα μοντέλα και/ή να προσομοιωθούν διαδοχικές φάσεις κατασκευής. Το ολοκληρωμένο περιβάλλον διεπαφής-SOFISTIK παράγει το πλέγμα και τα αρχεία ελέγχου του υπολογισμού και ξεκινά τον υπολογισμό στο SOFISTIK. Παράγει ένα αρχείο εισαγωγής για το πρόγραμμα SOFISTIK, βασιζόμενο στα γεωμετρικά δεδομένα και τις φορτίσεις μιας δεδομένης σήραγγας. Αποθηκεύει όλα τα δεδομένα σε μορφή CADINP. Αυτό σημαίνει ότι δεν περιέχει την δική του βάση δεδομένων η ένα αρχείο με δική του διαμόρφωση. Τα παραγόμενα δεδομένα μπορούν και πάλι να εισαχθούν και να διαβαστούν καθώς και να επεξεργαστούν. Επίσης μπορούν να διαβαστούν και άλλα αρχεία που έχουν δημιουργηθεί στη γλώσσα CADINP-με το χέρι για παράδειγμα- και

έχουν ακολουθηθεί από γραφική μορφοποίηση. Προσφέρει στον μηχανικό ένα γρήγορο και άνετο εργαλείο για την γραφική δημιουργία ενός τμήματος σήραγγας σε περιβάλλον Windows. Αυτό το ισοδύναμο σύστημα είναι κατάλληλο για τον επακόλουθο υπολογισμό με τα υποπρογράμματα-modules του SOFISTIK (TALPA). Ο χρήστης είναι σε θέση πάρει αυτά τα αρχεία χωρίς τροποποίηση ή να τα τροποποιήσει ή να τα συμπληρώσει μέσω του επεξεργαστή κειμένου TEDDY ή κατευθείαν μέσα από το FIDES-WINTUBE με τις εντολές της γλώσσας CADINP.»[15]

Επίσης : «Το σύστημα παρέχει δυνατότητα εύκολης παραγωγής διατομής σήραγγας καθώς και των απαραίτητων γεωμετρικών στοιχείων. Μπορεί να εισαχθεί DXF-αρχείο από το AutoCAD. Άλλες δυνατότητες επιτρέπουν την αυτόματη παραγωγή αγκυρίων.»[13]

Σύμφωνα με τα παραπάνω η μεθοδολογία που ακολουθείται στην παρούσα εργασία είναι η εξής: Η εισαγωγή της γεωμετρίας και των ιδιοτήτων-προδιαγραφών των υλικών της, καθώς και η στρωματογραφία και τα κατασκευαστικά στάδια εισάγονται στο Wintube. Στην συνέχεια εισάγεται το αρχείο, με τις παραπάνω πληροφορίες στο πρόγραμμα TEDDY. Στο πρόγραμμα TEDDY πραγματοποιούνται διάφοροι χειρισμοί με την γλώσσα CADINP για την επόπτευση και επαναδιαμόρφωση αν απαιτηθεί των υπολογιστικών σταδίων των τελικών υπολογισμών. Από το τελικό παράγωγο της κάθε ανάλυσης στο TEDDY πραγματοποιούνται οι τελικοί υπολογισμοί. Η διαδικασία περιγράφεται λεπτομερώς στην ενότητα 3.1.6 που ακολουθεί.

3.1.6 Περιγραφή αριθμητικών μοντέλων

3.1.6.1 Μετατροπή των παραμέτρων Hoek – Brown της βραχομάζας σε ισοδύναμες Mohr-Coulomb

Το ελαστοπλαστικό κριτήριο αστοχίας με το οποίο πραγματοποιούνται οι αναλύσεις στην παρούσα εργασία είναι το κριτήριο Mohr-Coulomb, το οποίο δύναται να χρησιμοποιηθεί για βραχομάζες με συνοχή και τριβή και με το οποίο είναι εξοικειωμένοι οι περισσότεροι μηχανικοί. Επίσης είναι ένα από τα καταστατικά μοντέλα προσομοίωσης της αστοχίας του υλικού στο λογισμικό Sofistik. Επομένως για την μετατροπή των παραμέτρων της βραχομάζας από Hoek – Brown σε ισοδύναμες Mohr-Coulomb χρησιμοποιείται το λογισμικό RSdata της Rocscience. Η μεθοδολογία που ακολουθείται σε αυτό το λογισμικό περιγράφεται αναλυτικά από τους Hoek – Brown (2002) στην αντίστοιχη δημοσίευση[10]. Στο λογισμικό εισάγονται οι παράμετροι Hoek – Brown της κάθε βραχομάζας και λαμβάνοντας υπόψη το εντατικό πεδίο (πίεση από τους υπερκείμενους γεωλογικούς

σηματισμούς) προσδιορίζονται οι ισοδύναμοι Mohr-Coulomb. Ακολουθεί ο συγκεντρωτικός Πίνακας 24 με τις ισοδύναμες παραμέτρους Mohr-Coulomb για κάθε αριθμητική ανάλυση, καθώς και ο Πίνακας 18 με τα αποτελέσματα.

Πίνακας 24 Συγκεντρωτικός Πίνακας με τις ισοδύναμες παραμέτρους Mohr-Coulomb για κάθε αριθμητική ανάλυση

Κατηγορία Υποστήριξης	TE	Ύψος υπερκείμενων σχηματισμών H(m)	σ_{cm} (Mpa) Hoek - Brown(2002)	σ_{3max} (MPa) $\frac{\sigma'_{3max}}{\sigma'_{cm}} = 0.47 \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.94}$	Συνοχή c (MPa)	Γωνία Τριβής ϕ°
SC-I	B1	300	13,31	3,85	1,49	44
SC-II	B2	270	9,08	3,41	1,03	42
	B1	400	13,31	5,05	1,67	43
SC-IIIa	B2	380	9,08	4,70	1,27	39
	B1	500	13,31	6,23	1,91	41
SC-IIIb	B3	300	4,20	3,60	0,69	32
SC-IV	B3	400	4,20	4,71	0,81	30
	B2	500	9,08	6,09	1,51	37
SC-V	B3	500	4,20	5,81	0,93	28

Ακολουθεί ο Πίνακας 25 με τα αποτελέσματα των ισοδύναμων παραμέτρων από το λογισμικό RSdata για κάθε ανάλυση.

Πίνακας 25 Αποτελέσματα των ισοδύναμων παραμέτρων από το λογισμικό RSDATA για κάθε ανάλυση.

Αριθμητική Ανάλυση	Μετατροπή HB→MC. RSDATA																																												
SC-I-B1-H300m	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" data-bbox="580 353 968 398">Rock</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2" data-bbox="580 405 968 439">Hoek Brown Classification</td> </tr> <tr> <td data-bbox="580 445 836 479">UCS of intact rock (MPa)</td> <td data-bbox="836 445 968 479">65</td> </tr> <tr> <td data-bbox="580 486 836 519">GSI</td> <td data-bbox="836 486 968 519">50</td> </tr> <tr> <td data-bbox="580 526 836 560">mi</td> <td data-bbox="836 526 968 560">14</td> </tr> <tr> <td data-bbox="580 566 836 600">disturbance factor</td> <td data-bbox="836 566 968 600">0</td> </tr> <tr> <td data-bbox="580 607 836 640">Intact Modulus (MPa)</td> <td data-bbox="836 607 968 640">45000</td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="580 647 968 680">Hoek Brown Criterion</td> </tr> <tr> <td data-bbox="580 687 836 721">mb</td> <td data-bbox="836 687 968 721">2.347</td> </tr> <tr> <td data-bbox="580 728 836 761">s</td> <td data-bbox="836 728 968 761">0.00387</td> </tr> <tr> <td data-bbox="580 768 836 801">a</td> <td data-bbox="836 768 968 801">0.506</td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="580 808 968 842">Rock Mass Parameters</td> </tr> <tr> <td data-bbox="580 848 836 882">tensile strength (MPa)</td> <td data-bbox="836 848 968 882">0.107</td> </tr> <tr> <td data-bbox="580 889 836 922">uniaxial compressive strength (MPa)</td> <td data-bbox="836 889 968 922">3.915</td> </tr> <tr> <td data-bbox="580 929 836 963">global strength (MPa)</td> <td data-bbox="836 929 968 963">13.312</td> </tr> <tr> <td data-bbox="580 969 836 1003">modulus of deformation (MPa)</td> <td data-bbox="836 969 968 1003">13823.366</td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="580 1010 968 1043">Failure Range Envelope</td> </tr> <tr> <td data-bbox="580 1050 836 1084">application</td> <td data-bbox="836 1050 968 1084">Tunnels</td> </tr> <tr> <td data-bbox="580 1090 836 1124">sig3max (MPa)</td> <td data-bbox="836 1090 968 1124">3.854</td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="580 1131 968 1164">Mohr Coulomb Fit</td> </tr> <tr> <td data-bbox="580 1171 836 1205">cohesion (MPa)</td> <td data-bbox="836 1171 968 1205">1.416</td> </tr> <tr> <td data-bbox="580 1211 836 1245">friction angle (°)</td> <td data-bbox="836 1211 968 1245">45.371</td> </tr> </tbody> </table>	Rock		Hoek Brown Classification		UCS of intact rock (MPa)	65	GSI	50	mi	14	disturbance factor	0	Intact Modulus (MPa)	45000	Hoek Brown Criterion		mb	2.347	s	0.00387	a	0.506	Rock Mass Parameters		tensile strength (MPa)	0.107	uniaxial compressive strength (MPa)	3.915	global strength (MPa)	13.312	modulus of deformation (MPa)	13823.366	Failure Range Envelope		application	Tunnels	sig3max (MPa)	3.854	Mohr Coulomb Fit		cohesion (MPa)	1.416	friction angle (°)	45.371
Rock																																													
Hoek Brown Classification																																													
UCS of intact rock (MPa)	65																																												
GSI	50																																												
mi	14																																												
disturbance factor	0																																												
Intact Modulus (MPa)	45000																																												
Hoek Brown Criterion																																													
mb	2.347																																												
s	0.00387																																												
a	0.506																																												
Rock Mass Parameters																																													
tensile strength (MPa)	0.107																																												
uniaxial compressive strength (MPa)	3.915																																												
global strength (MPa)	13.312																																												
modulus of deformation (MPa)	13823.366																																												
Failure Range Envelope																																													
application	Tunnels																																												
sig3max (MPa)	3.854																																												
Mohr Coulomb Fit																																													
cohesion (MPa)	1.416																																												
friction angle (°)	45.371																																												

<p>SC-II-B1-H400m</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Rock</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Hoek Brown Classification</td> </tr> <tr> <td>UCS of intact rock (MPa)</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>GSI</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>mi</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>disturbance factor</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Intact Modulus (MPa)</td> <td>45000</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Hoek Brown Criterion</td> </tr> <tr> <td>mb</td> <td>2.347</td> </tr> <tr> <td>s</td> <td>0.00387</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>0.506</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Rock Mass Parameters</td> </tr> <tr> <td>tensile strength (MPa)</td> <td>0.107</td> </tr> <tr> <td>uniaxial compressive strength (MPa)</td> <td>3.915</td> </tr> <tr> <td>global strength (MPa)</td> <td>13.312</td> </tr> <tr> <td>modulus of deformation (MPa)</td> <td>13823.366</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Failure Range Envelope</td> </tr> <tr> <td>application</td> <td>Tunnels</td> </tr> <tr> <td>sig3max (MPa)</td> <td>5.051</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Mohr Coulomb Fit</td> </tr> <tr> <td>cohesion (MPa)</td> <td>1.677</td> </tr> <tr> <td>friction angle (°)</td> <td>43.17</td> </tr> </tbody> </table>	Rock		Hoek Brown Classification		UCS of intact rock (MPa)	65	GSI	50	mi	14	disturbance factor	0	Intact Modulus (MPa)	45000	Hoek Brown Criterion		mb	2.347	s	0.00387	a	0.506	Rock Mass Parameters		tensile strength (MPa)	0.107	uniaxial compressive strength (MPa)	3.915	global strength (MPa)	13.312	modulus of deformation (MPa)	13823.366	Failure Range Envelope		application	Tunnels	sig3max (MPa)	5.051	Mohr Coulomb Fit		cohesion (MPa)	1.677	friction angle (°)	43.17
Rock																																													
Hoek Brown Classification																																													
UCS of intact rock (MPa)	65																																												
GSI	50																																												
mi	14																																												
disturbance factor	0																																												
Intact Modulus (MPa)	45000																																												
Hoek Brown Criterion																																													
mb	2.347																																												
s	0.00387																																												
a	0.506																																												
Rock Mass Parameters																																													
tensile strength (MPa)	0.107																																												
uniaxial compressive strength (MPa)	3.915																																												
global strength (MPa)	13.312																																												
modulus of deformation (MPa)	13823.366																																												
Failure Range Envelope																																													
application	Tunnels																																												
sig3max (MPa)	5.051																																												
Mohr Coulomb Fit																																													
cohesion (MPa)	1.677																																												
friction angle (°)	43.17																																												
<p>SC-II-B2-H270m</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Rock</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Hoek Brown Classification</td> </tr> <tr> <td>UCS of intact rock (MPa)</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>GSI</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>mi</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>disturbance factor</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Intact Modulus (MPa)</td> <td>40000</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Hoek Brown Criterion</td> </tr> <tr> <td>mb</td> <td>1.642</td> </tr> <tr> <td>s</td> <td>0.00127</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>0.511</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Rock Mass Parameters</td> </tr> <tr> <td>tensile strength (MPa)</td> <td>0.043</td> </tr> <tr> <td>uniaxial compressive strength (MPa)</td> <td>1.819</td> </tr> <tr> <td>global strength (MPa)</td> <td>9.084</td> </tr> <tr> <td>modulus of deformation (MPa)</td> <td>6386.087</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Failure Range Envelope</td> </tr> <tr> <td>application</td> <td>Tunnels</td> </tr> <tr> <td>sig3max (MPa)</td> <td>3.411</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Mohr Coulomb Fit</td> </tr> <tr> <td>cohesion (MPa)</td> <td>1.026</td> </tr> <tr> <td>friction angle (°)</td> <td>41.932</td> </tr> </tbody> </table>	Rock		Hoek Brown Classification		UCS of intact rock (MPa)	55	GSI	40	mi	14	disturbance factor	0	Intact Modulus (MPa)	40000	Hoek Brown Criterion		mb	1.642	s	0.00127	a	0.511	Rock Mass Parameters		tensile strength (MPa)	0.043	uniaxial compressive strength (MPa)	1.819	global strength (MPa)	9.084	modulus of deformation (MPa)	6386.087	Failure Range Envelope		application	Tunnels	sig3max (MPa)	3.411	Mohr Coulomb Fit		cohesion (MPa)	1.026	friction angle (°)	41.932
Rock																																													
Hoek Brown Classification																																													
UCS of intact rock (MPa)	55																																												
GSI	40																																												
mi	14																																												
disturbance factor	0																																												
Intact Modulus (MPa)	40000																																												
Hoek Brown Criterion																																													
mb	1.642																																												
s	0.00127																																												
a	0.511																																												
Rock Mass Parameters																																													
tensile strength (MPa)	0.043																																												
uniaxial compressive strength (MPa)	1.819																																												
global strength (MPa)	9.084																																												
modulus of deformation (MPa)	6386.087																																												
Failure Range Envelope																																													
application	Tunnels																																												
sig3max (MPa)	3.411																																												
Mohr Coulomb Fit																																													
cohesion (MPa)	1.026																																												
friction angle (°)	41.932																																												

<p>SC-IIIa-B1-H500m</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Rock</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Hoek Brown Classification</td> </tr> <tr> <td>UCS of intact rock (MPa)</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>GSI</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>m_i</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>disturbance factor</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Intact Modulus (MPa)</td> <td>45000</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Hoek Brown Criterion</td> </tr> <tr> <td>m_b</td> <td>2.347</td> </tr> <tr> <td>s</td> <td>0.00387</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>0.506</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Rock Mass Parameters</td> </tr> <tr> <td>tensile strength (MPa)</td> <td>0.107</td> </tr> <tr> <td>uniaxial compressive strength (MPa)</td> <td>3.915</td> </tr> <tr> <td>global strength (MPa)</td> <td>13.312</td> </tr> <tr> <td>modulus of deformation (MPa)</td> <td>13823.366</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Failure Range Envelope</td> </tr> <tr> <td>application</td> <td>Tunnels</td> </tr> <tr> <td>σ_{3max} (MPa)</td> <td>6.229</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Mohr Coulomb Fit</td> </tr> <tr> <td>cohesion (MPa)</td> <td>1.917</td> </tr> <tr> <td>friction angle (°)</td> <td>41.436</td> </tr> </tbody> </table>	Rock		Hoek Brown Classification		UCS of intact rock (MPa)	65	GSI	50	m_i	14	disturbance factor	0	Intact Modulus (MPa)	45000	Hoek Brown Criterion		m_b	2.347	s	0.00387	a	0.506	Rock Mass Parameters		tensile strength (MPa)	0.107	uniaxial compressive strength (MPa)	3.915	global strength (MPa)	13.312	modulus of deformation (MPa)	13823.366	Failure Range Envelope		application	Tunnels	σ_{3max} (MPa)	6.229	Mohr Coulomb Fit		cohesion (MPa)	1.917	friction angle (°)	41.436
Rock																																													
Hoek Brown Classification																																													
UCS of intact rock (MPa)	65																																												
GSI	50																																												
m_i	14																																												
disturbance factor	0																																												
Intact Modulus (MPa)	45000																																												
Hoek Brown Criterion																																													
m_b	2.347																																												
s	0.00387																																												
a	0.506																																												
Rock Mass Parameters																																													
tensile strength (MPa)	0.107																																												
uniaxial compressive strength (MPa)	3.915																																												
global strength (MPa)	13.312																																												
modulus of deformation (MPa)	13823.366																																												
Failure Range Envelope																																													
application	Tunnels																																												
σ_{3max} (MPa)	6.229																																												
Mohr Coulomb Fit																																													
cohesion (MPa)	1.917																																												
friction angle (°)	41.436																																												
<p>SC-IIIb-B3-H300m</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Rock</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Hoek Brown Classification</td> </tr> <tr> <td>UCS of intact rock (MPa)</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>GSI</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>m_i</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>disturbance factor</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Intact Modulus (MPa)</td> <td>40000</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Hoek Brown Criterion</td> </tr> <tr> <td>m_b</td> <td>1.642</td> </tr> <tr> <td>s</td> <td>0.00127</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>0.511</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Rock Mass Parameters</td> </tr> <tr> <td>tensile strength (MPa)</td> <td>0.043</td> </tr> <tr> <td>uniaxial compressive strength (MPa)</td> <td>1.819</td> </tr> <tr> <td>global strength (MPa)</td> <td>9.084</td> </tr> <tr> <td>modulus of deformation (MPa)</td> <td>6386.087</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Failure Range Envelope</td> </tr> <tr> <td>application</td> <td>Tunnels</td> </tr> <tr> <td>σ_{3max} (MPa)</td> <td>3.767</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Mohr Coulomb Fit</td> </tr> <tr> <td>cohesion (MPa)</td> <td>1.096</td> </tr> <tr> <td>friction angle (°)</td> <td>41.114</td> </tr> </tbody> </table>	Rock		Hoek Brown Classification		UCS of intact rock (MPa)	55	GSI	40	m_i	14	disturbance factor	0	Intact Modulus (MPa)	40000	Hoek Brown Criterion		m_b	1.642	s	0.00127	a	0.511	Rock Mass Parameters		tensile strength (MPa)	0.043	uniaxial compressive strength (MPa)	1.819	global strength (MPa)	9.084	modulus of deformation (MPa)	6386.087	Failure Range Envelope		application	Tunnels	σ_{3max} (MPa)	3.767	Mohr Coulomb Fit		cohesion (MPa)	1.096	friction angle (°)	41.114
Rock																																													
Hoek Brown Classification																																													
UCS of intact rock (MPa)	55																																												
GSI	40																																												
m_i	14																																												
disturbance factor	0																																												
Intact Modulus (MPa)	40000																																												
Hoek Brown Criterion																																													
m_b	1.642																																												
s	0.00127																																												
a	0.511																																												
Rock Mass Parameters																																													
tensile strength (MPa)	0.043																																												
uniaxial compressive strength (MPa)	1.819																																												
global strength (MPa)	9.084																																												
modulus of deformation (MPa)	6386.087																																												
Failure Range Envelope																																													
application	Tunnels																																												
σ_{3max} (MPa)	3.767																																												
Mohr Coulomb Fit																																													
cohesion (MPa)	1.096																																												
friction angle (°)	41.114																																												

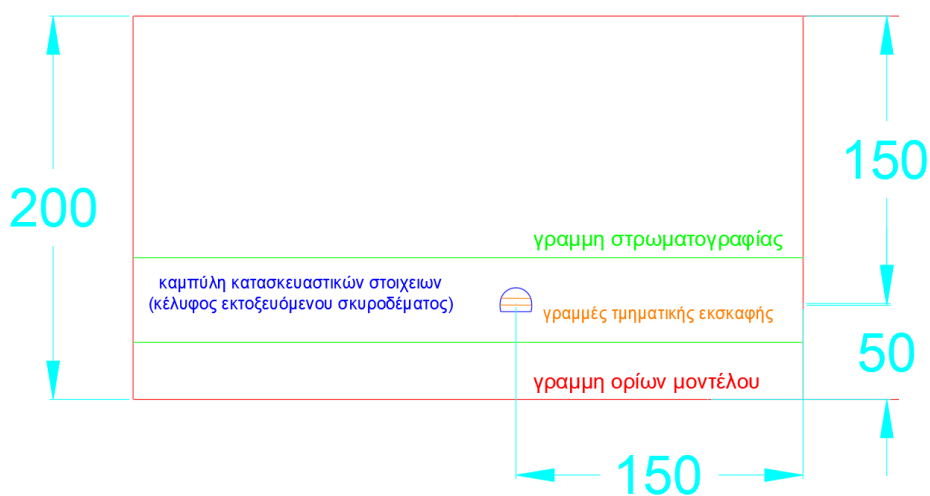
<p>SC-IV-B3-H400m</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Rock</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Hoek Brown Classification</td> </tr> <tr> <td>UCS of intact rock (MPa)</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>GSI</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>mi</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>disturbance factor</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Intact Modulus (MPa)</td> <td>35000</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Hoek Brown Criterion</td> </tr> <tr> <td>mb</td> <td>0.824</td> </tr> <tr> <td>s</td> <td>0.00024</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>0.531</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Rock Mass Parameters</td> </tr> <tr> <td>tensile strength (MPa)</td> <td>0.012</td> </tr> <tr> <td>uniaxial compressive strength (MPa)</td> <td>0.478</td> </tr> <tr> <td>global strength (MPa)</td> <td>4.198</td> </tr> <tr> <td>modulus of deformation (MPa)</td> <td>2094.949</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Failure Range Envelope</td> </tr> <tr> <td>application</td> <td>Tunnels</td> </tr> <tr> <td>sig3max (MPa)</td> <td>4.713</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Mohr Coulomb Fit</td> </tr> <tr> <td>cohesion (MPa)</td> <td>0.814</td> </tr> <tr> <td>friction angle (°)</td> <td>30.161</td> </tr> </tbody> </table>	Rock		Hoek Brown Classification		UCS of intact rock (MPa)	40	GSI	25	mi	12	disturbance factor	0	Intact Modulus (MPa)	35000	Hoek Brown Criterion		mb	0.824	s	0.00024	a	0.531	Rock Mass Parameters		tensile strength (MPa)	0.012	uniaxial compressive strength (MPa)	0.478	global strength (MPa)	4.198	modulus of deformation (MPa)	2094.949	Failure Range Envelope		application	Tunnels	sig3max (MPa)	4.713	Mohr Coulomb Fit		cohesion (MPa)	0.814	friction angle (°)	30.161
Rock																																													
Hoek Brown Classification																																													
UCS of intact rock (MPa)	40																																												
GSI	25																																												
mi	12																																												
disturbance factor	0																																												
Intact Modulus (MPa)	35000																																												
Hoek Brown Criterion																																													
mb	0.824																																												
s	0.00024																																												
a	0.531																																												
Rock Mass Parameters																																													
tensile strength (MPa)	0.012																																												
uniaxial compressive strength (MPa)	0.478																																												
global strength (MPa)	4.198																																												
modulus of deformation (MPa)	2094.949																																												
Failure Range Envelope																																													
application	Tunnels																																												
sig3max (MPa)	4.713																																												
Mohr Coulomb Fit																																													
cohesion (MPa)	0.814																																												
friction angle (°)	30.161																																												
<p>SC-IV-B2-H500m</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Rock</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Hoek Brown Classification</td> </tr> <tr> <td>UCS of intact rock (MPa)</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>GSI</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>mi</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>disturbance factor</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Intact Modulus (MPa)</td> <td>40000</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Hoek Brown Criterion</td> </tr> <tr> <td>mb</td> <td>1.642</td> </tr> <tr> <td>s</td> <td>0.00127</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>0.511</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Rock Mass Parameters</td> </tr> <tr> <td>tensile strength (MPa)</td> <td>0.043</td> </tr> <tr> <td>uniaxial compressive strength (MPa)</td> <td>1.819</td> </tr> <tr> <td>global strength (MPa)</td> <td>9.084</td> </tr> <tr> <td>modulus of deformation (MPa)</td> <td>6386.087</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Failure Range Envelope</td> </tr> <tr> <td>application</td> <td>Tunnels</td> </tr> <tr> <td>sig3max (MPa)</td> <td>6.088</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Mohr Coulomb Fit</td> </tr> <tr> <td>cohesion (MPa)</td> <td>1.51</td> </tr> <tr> <td>friction angle (°)</td> <td>37.118</td> </tr> </tbody> </table>	Rock		Hoek Brown Classification		UCS of intact rock (MPa)	55	GSI	40	mi	14	disturbance factor	0	Intact Modulus (MPa)	40000	Hoek Brown Criterion		mb	1.642	s	0.00127	a	0.511	Rock Mass Parameters		tensile strength (MPa)	0.043	uniaxial compressive strength (MPa)	1.819	global strength (MPa)	9.084	modulus of deformation (MPa)	6386.087	Failure Range Envelope		application	Tunnels	sig3max (MPa)	6.088	Mohr Coulomb Fit		cohesion (MPa)	1.51	friction angle (°)	37.118
Rock																																													
Hoek Brown Classification																																													
UCS of intact rock (MPa)	55																																												
GSI	40																																												
mi	14																																												
disturbance factor	0																																												
Intact Modulus (MPa)	40000																																												
Hoek Brown Criterion																																													
mb	1.642																																												
s	0.00127																																												
a	0.511																																												
Rock Mass Parameters																																													
tensile strength (MPa)	0.043																																												
uniaxial compressive strength (MPa)	1.819																																												
global strength (MPa)	9.084																																												
modulus of deformation (MPa)	6386.087																																												
Failure Range Envelope																																													
application	Tunnels																																												
sig3max (MPa)	6.088																																												
Mohr Coulomb Fit																																													
cohesion (MPa)	1.51																																												
friction angle (°)	37.118																																												

SC-V-B3-H500m	Rock	
	Hoek Brown Classification	
	UCS of intact rock (MPa)	40
	GSI	25
	mi	12
	disturbance factor	0
	Intact Modulus (MPa)	35000
	Hoek Brown Criterion	
	mb	0.824
	s	0.00024
	a	0.531
	Rock Mass Parameters	
	tensile strength (MPa)	0.012
	uniaxial compressive strength (MPa)	0.478
	global strength (MPa)	4.198
	modulus of deformation (MPa)	2094.949
	Failure Range Envelope	
	application	Tunnels
	sig3max (MPa)	5.813
	Mohr Coulomb Fit	
cohesion (MPa)	0.938	
friction angle (°)	28.549	

3.1.6.2 Όρια του μοντέλου, Εισαγωγή στρωματογραφίας & κατασκευαστικών στοιχείων

Τα όρια του μοντέλου βάσει της βιβλιογραφικής ανασκόπησης[2] για την ελαχιστοποίηση της επίδρασης των συνοριακών συνθηκών στα αριθμητικά αποτελέσματα είναι : Τα άνω και πλευρικά όρια τοποθετούνται σε απόσταση ίση με 15 φορές την διάμετρο της σήραγγας, δηλαδή σε απόσταση 150 μέτρων από τον άξονα της σήραγγας διότι $15 \cdot D_{\text{tunnel}} = 15 \cdot 10 = 150\text{m}$. Το κάτω όριο τοποθετείται 5 φορές την διάμετρο, δηλαδή $5 \cdot D_{\text{tunnel}} = 5 \cdot 10 = 50\text{m}$. Η διαμόρφωση του εντατικού πεδίου στα υπολογιστικά μοντέλα των αναλύσεων πραγματοποιείται από το ίδιο βάρος των υπερκείμενων σχηματισμών, δηλαδή από την επίδραση της βαρύτητας σε αυτούς. Σε περίπτωση ανάλυσης όπου το πραγματικό ύψος των υπερκείμενων σχηματισμών υπερβαίνει τα 150 μέτρα (σε όλες), που είναι και το όριο κάποιων μοντέλων από τον άξονα της σήραγγας, τότε το υπόλοιπο "ενεργό" ύψος προσομοιώνεται με το αντίστοιχο γραμμικό φορτίο στην στάθμη του ελεύθερου άνω ορίου του μοντέλου.

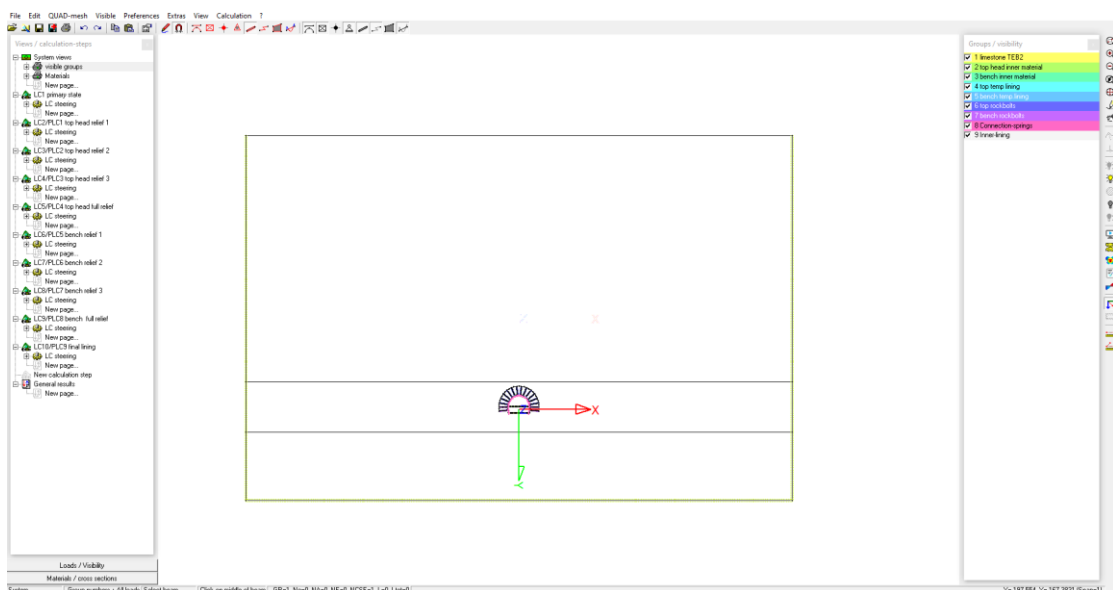
Για την εισαγωγή των ορίων, της στρωματογραφίας και των κατασκευαστικών στοιχείων δημιουργήθηκαν σχέδια που περιέχουν το περίγραμμα των ορίων, τις γραμμές που καθορίζουν τα όρια των στρωμάτων και της τμηματικής εκσκαφής(άνω ημιδιατομή, βαθμίδα, ανάστροφο τόξο) και επίσης γραμμές και καμπύλες που ορίζουν τα κατασκευαστικά στοιχεία. Για την παραγωγή των σχεδίων αξιοποιήθηκαν όλες οι γεωμετρικές πληροφορίες που δίδονται στις αντίστοιχες ενότητες και σχέδια. Τα σχέδια παράχθηκαν σε αρχεία dwg με το σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCad και μετατρέπονται σε dxf για τη εισαγωγή τους στο Wintube.



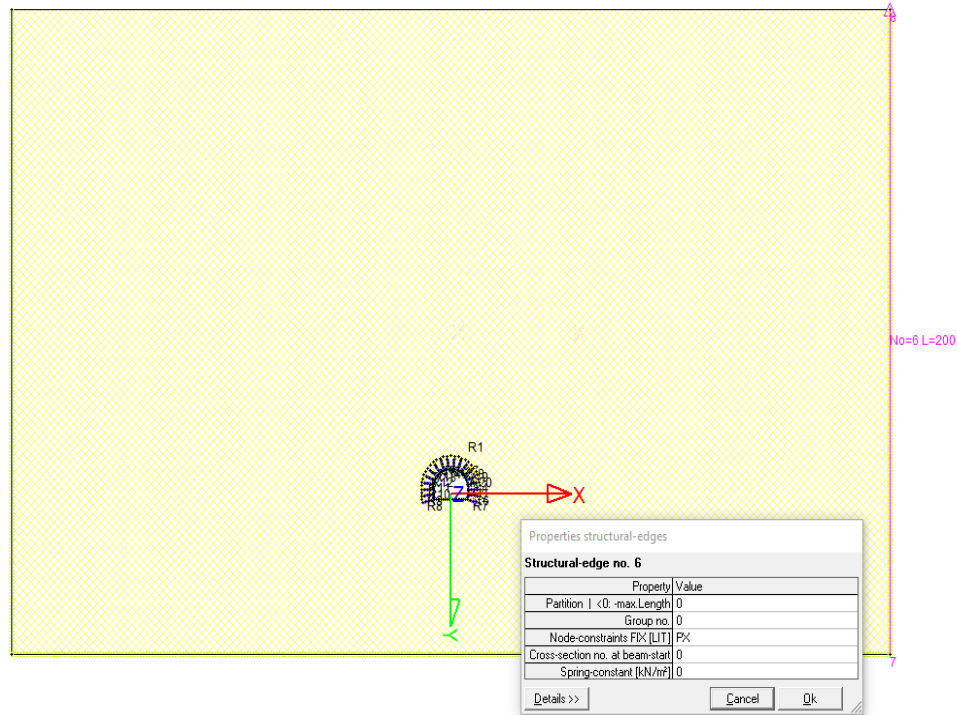
Σχήμα 25 Ενδεικτικό σχέδιο με τις απαραίτητες πληροφορίες για την εισαγωγή της γεωμετρίας του προβλήματος στο λογισμικό Wintube(.dxf import)

Σημείωση: τα απαραίτητα σχέδια που χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή των γεωμετρικών στοιχείων(γραμμές-καμπύλες) πρέπει να εμπεριέχουν τις ελάχιστες δυνατές πληροφορίες ώστε να περιγράψουν τα στοιχεία που προσομοιώνονται. Δηλαδή τα κατασκευαστικά σχέδια που παρατίθενται στην ενότητα 2.5.2 δεν χρησιμοποιήθηκαν καθώς περαιτέρω πληροφορίες σε αργότερο στάδιο της διακριτοποίησης (mesh) ενδεχομένως να δημιουργούσαν προβλήματα στο πρόγραμμα.

Στην συνέχεια, αφού πραγματοποιηθεί η εισαγωγή της γεωμετρίας του προβλήματος στο πρόγραμμα Wintube (import dxf), καθορίζονται οι περιοχές που αποτελούν την βραχόμαζα, καθορίζονται τα όρια του μοντέλου και η καμπύλη που αποτελεί το κέλυφος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Στα όρια του μοντέλου, τα οποία πραγματοποιήθηκε μια εκτίμηση σύμφωνα με τα παραπάνω ώστε να βρίσκονται εκτός ζώνης επιρροής της εκσκαφής, καθορίζονται οι συνοριακές συνθήκες, που είναι η παρεμπόδιση των οριζοντίων μετατοπίσεων στα πλευρικά όρια και η παρεμπόδιση των κατακόρυφων και οριζοντίων μετατοπίσεων στο κάτω όριο. Αυτό πραγματοποιείται προσδίδοντας άπειρη ακαμψία κατά την επιθυμητή διεύθυνση στους κόμβους των πεπερασμένων στοιχείων που αργότερα δημιουργούνται επί των γραμμών των ορίων κατά το στάδιο της διακριτοποίησης. Έτσι από τον ορισμό των διευθύνσεων που εμποδίζεται η μετακίνηση στις γραμμές που αποτελούν τα όρια του μοντέλου εισάγεται ο περιορισμός των μετακινήσεων στο λογισμικό Wintube. Η παρεμπόδιση των μετακινήσεων στα όρια του μοντέλου παρατηρείται στην Εικόνα 4 όπου σημαίνονται με εντονότερη γραμμή.

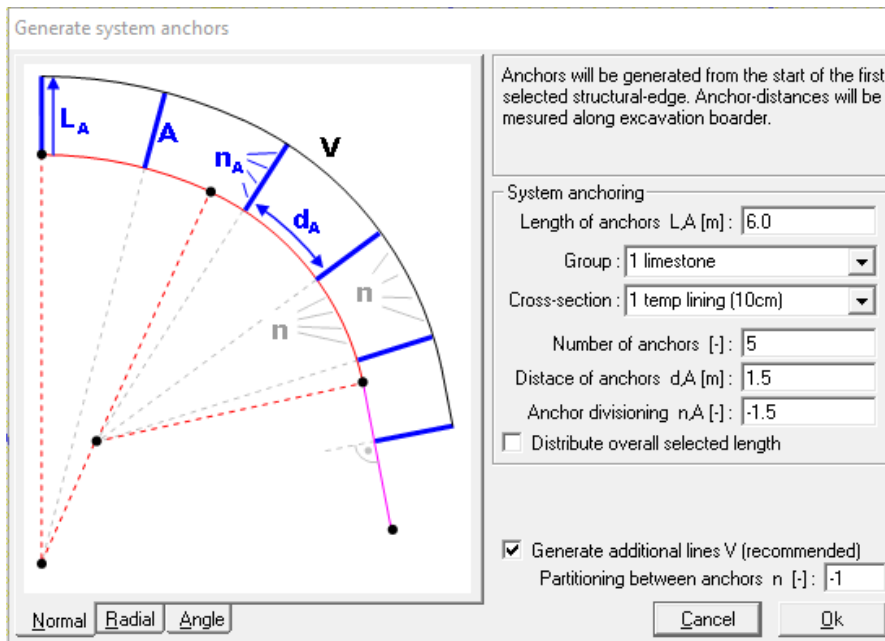


Εικόνα 3 Ενδεικτική εικόνα με τον καθορισμό της στρωματογραφίας, κατασκευαστικών στοιχείων και ορίων του μοντέλου από το λογισμικό Wintube.



Εικόνα 4 Περιορισμός των μετακινήσεων κατά την διεύθυνση X στην “δεξιά” γραμμή, που αποτελεί πλευρικό όριο του μοντέλου.

Τέλος για την εισαγωγή των αγκυρίων χρησιμοποιείται η αντίστοιχη εντολή “generate system anchoring” του προγράμματος Wintube. Η εντολή δίδεται για κάθε ανάλυση για το αντίστοιχο μήκος αγκυρίου και διάταξή τους σύμφωνα με την κατηγορία υποστήριξης.



Εικόνα 5 Ενδεικτική Εικόνα από το “παράθυρο” της εντολής “generate system anchoring” στο λογισμικό Wintube.

3.1.6.3 Προσδιορισμός των υλικών, διατομών και των μηχανικών χαρακτηριστικών τους

Αφού έχει πραγματοποιηθεί η εισαγωγή και ορισμός των στοιχείων της προσομοίωσης στο Wintube προσδιορίζονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών που αποτελούν τα στοιχεία. Ακολουθούν ενδεικτικές εικόνες από το πρόγραμμα.

- Βραχώμαζα: προσδιορίζεται σαν γενικό υλικό με καταστατικό νόμο συμπεριφοράς το κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb. Δίδεται όπως φαίνεται παρακάτω το μέτρο ελαστικότητας, ο λόγος Poisson, το ειδικό βάρος. Για την περιγραφή της πλαστικής συμπεριφοράς της βραχομάζας δίδονται οι παράμετροι του κριτηρίου: η γωνία τριβής και συνοχή, αντοχή της βραχομάζας σε εφελκυσμό και η γωνία διαστολικότητας.

Material-properties

No.: 1 Description: limestone

Material-type
 Concrete Steel
 General material Concrete wizard

Linear | Nonlinear | HYDRA | Fault plane(s)

Property	Value
Elastic modulus [kN/m ²]	1.3823E+07
Poisson's ratio or shear modulus [-]	0.3
Specific weight [kN/m ³]	26.5
Specific weight under buoyancy [kN/m ³]	* = SDFISTiK-preference

Details >> ? Cancel Ok

Material-properties

No.: 1 Description: limestone TEB2

Material-type
 Concrete Steel
 General material Concrete wizard

Linear | Nonlinear | HYDRA | Fault plane(s)

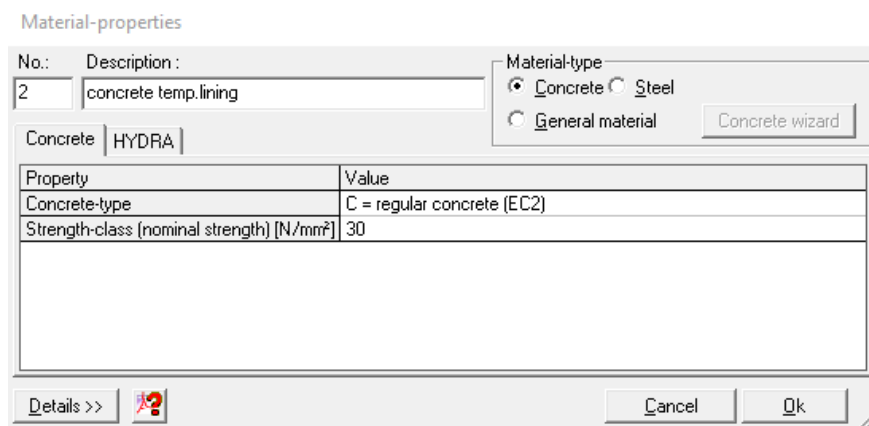
Property	Value
Kind of material law	MOHR = Mohr/Coulomb-Pande/Zienkiewicz: soils with friction and cohesion
Friction angle phi [°]	39
Cohesion c [kN/m ²]	1270
Tensile strength f _{tu} [kN/m ²]	0
Dilatation angle nue [°]	0

Details >> ? Cancel Ok

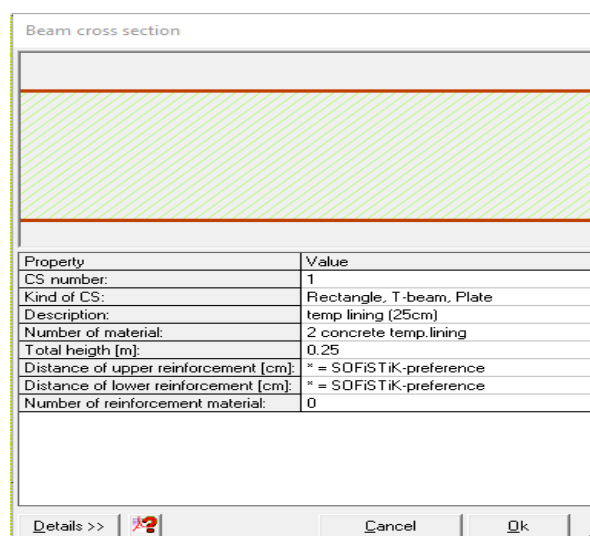
Εικόνα 6 Ενδεικτική εικόνα από το πρόγραμμα Wintube για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων και συμπεριφοράς της βραχομάζας που προσομοιώνεται.

Σημείωση: για όλες τις κατηγορίες βραχομάζας που αποτελούν όλες τις τεχνικογεωλογικές ενότητες θεωρήθηκε στην παρούσα εργασία ότι έχουν μηδενική αντοχή σε εφελκυσμό και πλαστική παραμόρφωση χωρίς μεταβολή όγκου, δηλαδή γωνία διασταλτικότητας $\delta=0$ και $\sigma_{\text{tensile rm}}=0$, για όλες τις αναλύσεις.

- Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα: προσδιορίζεται με την κατηγορία σκυροδέματος που χρησιμοποιείται και οι υπόλοιπες πληροφορίες αντλούνται σύμφωνα με τις προδιαγραφές για την συγκεκριμένη κατηγορία σκυροδέματος από τον Ευρωκώδικα. Προσομοιώνεται σαν στοιχείο δοκού με τον ορισμό της διατομής ανάλογα την ανάλυση.(πάχος κελύφους, διάταξη οπλισμού). Σε όλες τις αναλύσεις δίδεται επικάλυψη οπλισμού ίση με το μηδέν(0), έτσι «καταλαβαίνει» το πρόγραμμα ότι η διατομή δεν οπλίζεται.



Εικόνα 7 Ενδεικτική εικόνα από το πρόγραμμα Wintube για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων του εκτοξευόμενου σκυροδέματος



Εικόνα 8 Ενδεικτική εικόνα από το πρόγραμμα Wintube για τον ορισμό της διατομής στοιχείου δοκού του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Επομένως σύμφωνα με την Εικόνα 8 κατά τον ορισμό της πρότυπης διατομής του δοκαριού που προσομοιώνει το κέλυφος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, προσδιορίζεται το υλικό της διατομής, βλέπε εικόνα 7. Ορίζεται το ύψος της διατομής(πάχος κελύφους) και δίδεται μηδενική επικάλυψη οπλισμού, δηλαδή δεν εισάγεται καθόλου και δεν προσομοιώνεται οπλισμός στις δοκούς που προσομοιώνουν το εκτοξευόμενο σκυροδέμα, όπως αναφέρεται και σε προηγούμενη ενότητα.

- Σύμμικτη Διατομή Εκτοξευόμενου σκυροδέματος: Σε πολλές αναλύσεις το σύστημα υποστήριξης περιέχει χαλύβδινο πλαίσιο εγκιβωτισμένο στο κέλυφος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο πρόγραμμα Wintube δεν υπάρχει η δυνατότητα για την κατευθείαν προσομοίωση των πλαισίων εντός του κελύφους, για παράδειγμα με τον ορισμό του πλαισίου με έναν απλό τρόπο σαν οπλισμό της διατομής. Για την παραπάνω διαδικασία χρησιμοποιείται ο editor TEDDY και η γλώσσα CADINP. Πιο συγκεκριμένα με την βοήθεια του υποπρογράμματος AQUA περιγράφεται με γλώσσα CADINP η γεωμετρία της σύμμικτης διατομής στο TEDDY. Για παράδειγμα στην κατηγορία SC-V το HEB 160 εγκιβωτίζεται σε εκτοξευόμενο σκυροδέμα πάχους 35cm, η εισαγωγή της συγκεκριμένης σύμμικτης διατομής περιγράφεται με την γλώσσα Cadinp όπως παρουσιάζεται παρακάτω στην Εικόνα 9:

```

119 +PROG AQUA urs:MatCs_1 $ Definition of material and cross sections
120 $-----
121 HEAD $(WT_Project)
122 HEAD $(WT_Building)
123 HEAD $(WT_Part)
124 HEAD $(WT_Block)
125 HEAD Definition of material and cross sections
126 PAGE LANO 1 UNII 0
127 CTRL REST 0
128 ECHO MAT FULL
129 ECHO SECT FULL
130 NORM EN 199X-200X $ EuroNorm: EN 1992-1-1:2004, EN 1993-1-1:2005, EN 1994-1-1_2004
131 MAT NO 1 E 63861000 MUE 0.300 GAM 26.50 TITL 'limestone TEB2'
132 NMAT NO 1 TYPE MOHR P1 37.00 P2 1400.00 P3 0.00 P4 0.00
133 HMAT NO 1 TYPE DARC TITL 'limestone TEB2'
134 CONC NO 2 TYPE C FCN 30.00 TITL 'concrete temp.lining'
135 HMAT NO 2 TYPE EC TITL 'concrete temp.lining'
136 STEE NO 3 TYPE S CLAS 500B TITL 'steel'
137 HMAT NO 3 TYPE EC TITL 'steel'
138 CONC NO 4 TYPE C FCN 30.00 TITL 'final lining concrete'
139 MAT NO 5 E 26250000 MUE 0.350 GAM 26.50 TITL 'limestone TEB3'
140 NMAT NO 5 TYPE MOHR P1 30.00 P2 1000.00 P3 0.00 P4 0.00
141 SREC NO 1 H 0.3500 MNO 2 MRF 0 TITL 'temp lining (35cm)'
142 SCIT NO 2 D 0.0300 MNO 3 MRF 0 TITL 'rockbolts'
143 SREC NO 3 H 0.4000 SO 5.00[cm] SU 5.00[cm] MNO 4 MRF 3 TITL 'final lining 1 (40cm)'
144 SREC NO 4 H 0.7500 SO 5.00[cm] SU 5.00[cm] MNO 4 MRF 3 TITL 'final lining invert (75cm)'
145
146 SECT 5 MNO 2 ; POLY OPZ ; VERT 1 0.5 -0.175 ; 2 0.5 0.175
147 PROF 5 MNO 3 TYPE HEB 160
148 END
149
150
151
152

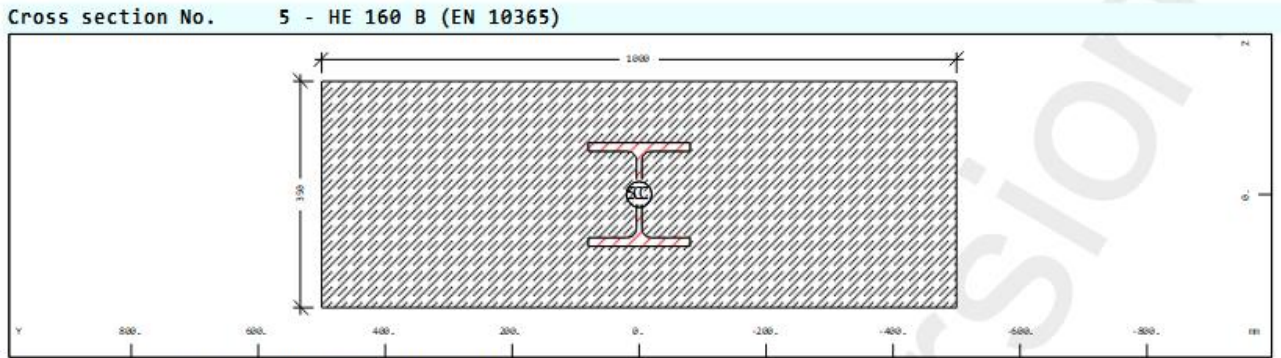
```

```

147 SECT 5 MNO 2 ; POLY OPZ ; VERT 1 0.5 -0.175 ; 2 0.5 0.175
148 PROF 5 MNO 3 TYPE HEB 160
149 END

```

Εικόνα 9 Εισαγωγή Σύμμικτης Διατομής Εκτοξευόμενου σκυροδέματος(H=35cm+HEB160) με την χρήση της γλώσσας Cadinp στο πρόγραμμα Teddy.



Static properties of cross section

Mat	A[m ²]	Ay[m ²]	Iy[m ⁴]	yc[mm]	ysc[mm]	E[N/mm ²]	g[kg/m]	I-1[m ⁴]
MRf	It[m ⁴]	Az[m ²]	Iz[m ⁴]	zc[mm]	zsc[mm]	G[N/mm ²]		I-2[m ⁴]
		Ayz[m ²]	Iyz[m ⁴]					α[°]
2	3.7762E-01	3.152E-01	3.700E-03	0.0	0.0	32837	904.0	2.921E-02
3 ¹	1.159E-02	3.101E-01	2.921E-02	0.0	0.0	13682	(BEAM)	3.700E-03

¹ No valid reinforcements are defined

Mat	material number	yc[mm],zc[mm]	ordinate of elastic centroid
A[m ²]	sectional area	ysc[mm],zsc[mm]	ordinate of shear centre
Ay[m ²],Az[m ²],Ayz[m ²]	transverse shear deformation area	E[N/mm ²]	Young's modulus
Iy[m ⁴],Iz[m ⁴],Iyz[m ⁴]	bending moment of inertia	g[kg/m]	mass per length
I-1[m ⁴],I-2[m ⁴],α[°]	principal moments of inertia and angle of the principal axes		
MRf	reinforcement material number		
It[m ⁴]	torsional moment of inertia		
G[N/mm ²]	Shear modulus		

Additional static properties of cross section

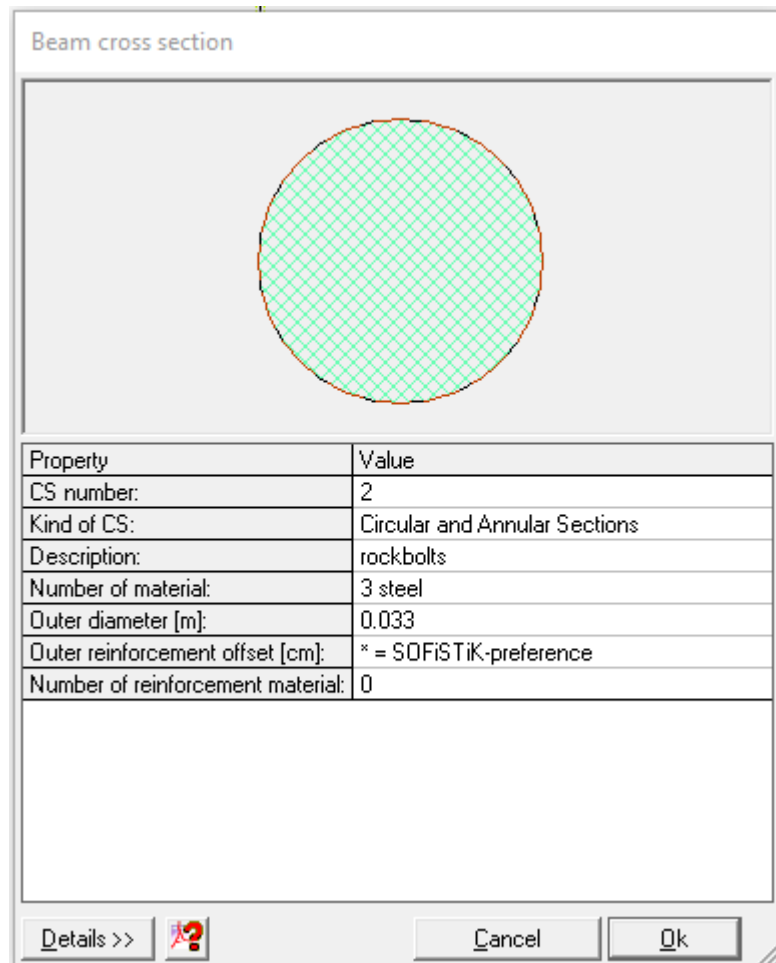
α-T[1/K]	ymin[mm]	zmin[mm]	hymin[mm]	AK[m ²]	MRs	1/WT[1/m ³]	1/WVy[1/m ²]
	ymax[mm]	zmax[mm]	hzmin[mm]	AB[m ²]		1/WT2[1/m ³]	1/WVz[1/m ²]
1.0E-05	-500.0	-175.0	661.2	1.874E-01	3	6.182E+01	1.876E+01
	500.0	175.0	228.2	3.446E-01		2.723E+01	2.510E+01

α-T[1/K]	Elongation coefficient
ymin[mm],zmin[mm],ymax[mm],zmax[mm]	extreme coordinates relative to centroid
hymin[mm],hzmin[mm]	minimum value for internal lever
AK[m ²]	torsional equivalent area (Bredt)
MRs	transverse reinforcements material number
1/WT[1/m ³],1/WT2[1/m ³]	torsional resistance
1/WVy[1/m ²],1/WVz[1/m ²]	shear force resistance
AB[m ²]	gross concrete area

Εικόνα 10 Ενδεικτική εικόνα από τον ορισμό της σύμμικτης διατομής και τις ιδιότητές της που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς.

Το υλικό των χαλύβδινων πλαισίων είναι χάλυβας B500.

- Αγκύρια : προσδιορίζεται με την κατηγορία χάλυβα που χρησιμοποιείται και οι υπόλοιπες πληροφορίες αντλούνται σύμφωνα με τις προδιαγραφές για την συγκεκριμένη κατηγορία χάλυβα από τον Ευρωκώδικα (παντού B500). Προσομοιώνεται σαν στοιχείο δοκού με τον ορισμό της διατομής ανάλογα την ανάλυση.(εξωτερική διάμετρος αγκυρίου)



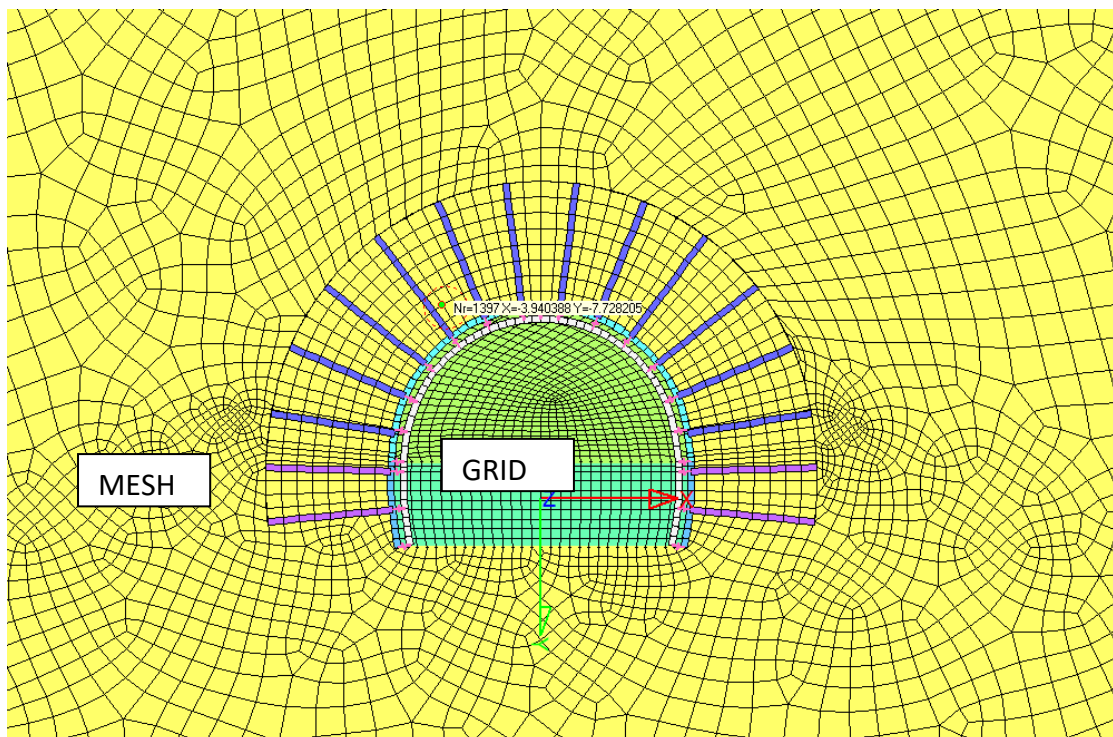
Εικόνα 11 Ενδεικτική εικόνα από το πρόγραμμα Wintube για τον ορισμό της διατομής στοιχείου δοκού που προσομοιώνει το ακύριο βράχου.

3.2.6.4 Διακριτοποίηση

«Στη συνέχεια κατασκευάζεται δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων, το οποίο αποτελείται από τετρακομβικά στοιχεία. Με την εντολή MESH στο πρόγραμμα Wintube κατά την προσομοίωση δημιουργείται ένα δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων, το οποίο προσαρμόζεται στη γεωμετρία του προβλήματος που πρόκειται να αναλυθεί. Κάθε στοιχείο υλικού, που ορίζεται από τους κόμβους του πλέγματος, αποκρίνεται στα εξωτερικά φορτία και τις συνοριακές συνθήκες του προβλήματος, σύμφωνα με τη σχέση τάσεων – παραμορφώσεων και το κριτήριο αστοχίας, που μαζί συγκροτούν το καταστατικό προσομοίωμα του υλικού. Σκοπός είναι η ακριβέστερη και πληρέστερη προσομοίωση της εκσκαφής, των μέτρων υποστήριξης, αλλά και της συμπεριφοράς τους γενικότερα.»[13]

Δίδονται ορισμένες προσεγγίσεις για την καλύτερη διακριτοποίηση του προβλήματος βάσει πληροφοριών και οδηγιών που δίδονται στο εγχειρίδιο χρήσης του προγράμματος(manual)[15]. Ο κάναβος των πεπερασμένων στοιχείων δημιουργείται από

μέσα προς τα έξω με την εντολή “Grid”. Στα στοιχεία δοκού του εκτοξευόμενου σκυροδέματος και μόνο δίδεται “partition”, δηλαδή καθορίζεται πόσες φορές ο κানাβος των πεπερασμένων στοιχείων θα τμήσει την κάθε δοκό δημιουργώντας κόμβο εκεί. Αφού ολοκληρωθεί η εντολή “Grid” εντός του χώρου που πραγματοποιείται η εκσκαφή, για την διακριτοποίηση των θέσεων εκτός του χώρου αυτού και μέχρι τα όρια του μοντέλου χρησιμοποιείται η εντολή “Mesh” και δίδεται μέγιστη διάσταση της πλευράς του τετρακομβικού στοιχείου ίση με 10 μέτρα. Ακολουθούν ενδεικτικές εικόνες από την διακριτοποίηση από το πρόγραμμα Wintube.



Εικόνα 12 Ενδεικτική εικόνα από τον κানাβο των πεπερασμένων στοιχείων στο πρόγραμμα Wintube.

3.1.6.5 Προσομοίωση των φάσεων κατασκευής

Βάσει της βιβλιογραφικής ανασκόπησης στη παρούσα εργασία η κάθε ανάλυση για τις κατηγορίες υποστήριξης SC-I, SC-II, SC-IIIa, SC-IIIb και SC-IV αποτελείται από 9 στάδια. Τέσσερα στάδια προσομοίωσης της αποτόνωσης της άνω ημιδιατομής μέχρι και την τελική εκσκαφή, τέσσερα στάδια προσομοίωσης της αποτόνωσης της κάτω ημιδιατομής (βαθμίδα) μέχρι την τελική εκσκαφή και ένα αρχικό στάδιο προσδιορισμού του αρχικού εντατικού πεδίου. Η ανάλυση της κατηγορίας υποστήριξης SC-V αποτελείται από 10 στάδια καθώς προστίθεται το στάδιο κατασκευής του τελικού αναστροφου τόξου. Σε αυτά τα στάδια η αποτόνωση της βραχομάζας προσομοιώνεται με τους συντελεστές αποτόνωσης για κάθε στάδιο σύμφωνα με την διαδικασία που παρουσιάζεται στην ενότητα 3.1.3. Σε κάθε στάδιο

προσομοιώνεται η σταδιακή ένταξη των μέτρων υποστήριξης σύμφωνα με την κατασκευαστική ακολουθία που παρουσιάζεται στο αντίστοιχο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης. Επίσης για κάθε κατηγορία υποστήριξης προσομοιώνεται η σκλήρυνση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, δηλαδή προσομοιώνεται η σταδιακή επίτευξη της ονομαστικής του αντοχής. Όλα τα παραπάνω είναι δυνατόν να προσομοιωθούν στο πρόγραμμα Sofistik με τον εξής τρόπο:

Κάθε στοιχείο ενεργοποιείται ή απενεργοποιείται μέσω της ομάδας που ανήκει (εντός του προγράμματος) για κάθε στάδιο της ανάλυσης σύμφωνα με την κατασκευαστική ακολουθία που προτείνεται. Επιπλέον δίδεται η δυνατότητα μέσω των συντελεστών που παρουσιάζονται παρακάτω να προσομοιωθεί η αποτόνωση της βραχομάζας καθώς και η σταδιακή σκλήρυνση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Οι συντελεστές αυτοί είναι :

FACS (Factor for loads from primary stress state): συντελεστής, ο οποίος δίνει τη δυνατότητα μείωσης της ελαστικής ακαμψίας του υλικού που πρόκειται να χαλαρώσει σε κάποιο στάδιο αποτόνωσής του.

FACD (Factor for dead load in positive y direction): συντελεστής, ο οποίος ελέγχει το ίδιο βάρος του υλικού που πρόκειται να χαλαρώσει σε κάποιο στάδιο αποτόνωσής του.

FACP (Factor for stresses from primary load case): συντελεστής, ο οποίος ελέγχει τις εξωτερικές πιέσεις σε σχέση με εκείνες του προηγούμενου σταδίου προσομοίωσης.

FACL (Factor for loads from PLC): συντελεστής, ο οποίος ελέγχει τις εξωτερικές δυνάμεις σε σχέση με εκείνες του προηγούμενου σταδίου προσομοίωσης.

Σύμφωνα με τα παραπάνω για την προσομοίωση της αποτόνωσης της βραχομάζας σε κάποιο στάδιο κάποιας ανάλυσης χρησιμοποιείται ο συντελεστής αποτόνωσης λ που αντιστοιχεί. Η αρχική ακαμψία της βραχομάζας σε σχέση με την απομειωμένη της ακαμψία σε κάποιο βαθμό αποτόνωσης λ δίδεται από τον τύπο που ακολουθεί συναρτήσει του συντελεστή [17]:

$$\frac{E}{E_0} = \frac{(1 - 2\nu)(1 - \lambda)}{(1 - 2\nu) + \lambda} \quad (5)$$

Όπου:

E_0	Ακαμψία της βραχομάζας, μέτρο young
E	Απομειωμένη ακαμψία σε κάποιο βαθμό αποτόνωσης λ
ν	Λόγος Poisson
λ	Βαθμός αποτόνωσης

Για την προσομοίωση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος υπολογίζεται η τελική δυστένεια (αντίσταση στην αξονική παραμόρφωση) της διατομής του για κάθε ανάλυση. Σε κάθε στάδιο προσομοίωσης της σκλήρυνσής του υπολογίζεται από πριν η δυστένεια του σταδίου από το γινόμενο $E \times A$ όπου A είναι το εμβαδόν της διατομής και E το μέτρο ελαστικότητας για την αντίστοιχη σκλήρυνση, προφανώς μικρότερο του τελικού. Από τον λόγο της τελικής δυστένειας (πλήρη επίτευξη ονομαστικών μηχανικών χαρακτηριστικών όπως η αντοχή και το μέτρο young και πλήρες πάχος της τελικής διατομής) ως προς την δυστένεια του συγκεκριμένου σταδίου υπολογίζεται ο συντελεστής FACS για το συγκεκριμένο στάδιο της συγκεκριμένης ανάλυσης. Με αυτόν τον τρόπο προσομοιώνεται η σταδιακή σκλήρυνση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Άρα για την προσομοίωση της αποτόνωσης της βραχομάζας σε κάθε στάδιο της κάθε ανάλυσης εισάγεται ο συντελεστής $FACS = \frac{E}{E_0}$ και για το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε κάθε στάδιο της κάθε ανάλυσης εισάγεται ο συντελεστής

$$FACS = \frac{E \times A}{E_0 \times A_{final}} \quad (6)$$

Επομένως βάσει των παραπάνω για κάθε ανάλυση πραγματοποιούνται υπολογισμοί στο excel για τον προσδιορισμό του συντελεστή FACS ,και για την βραχομάζα και για το σκυρόδεμα, για κάθε στάδιο της ανάλυσης. Ενδεικτικό υπολογιστικό φύλλο excel με τους υπολογισμούς για τον προσδιορισμό του συντελεστή FACS για συγκεκριμένη ανάλυση παρουσιάζεται παρακάτω:

Πίνακας 26 Προσδιορισμός του συντελεστή FACS για την βραχόμαζα και το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για κάθε στάδιο της ανάλυσης SC-IV-B2-H500m.

		ΒΡΑΧΟΜΑΖΑ				ΑΜΕΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ - ΕΚΤ.ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ			
#	STAGE	p_i/p_0	$\lambda = (1-p_i/p_0)$	ν Pois.	E/E_0 *εξις.(5)	ΠΑΧΟΣ(t) (cm)	E_{young} (Mpa)	Δυστένεια= $E \cdot A$ (MN)	συντελεστής FACS *εξις(6)
1	PRIMARY	1	0	0,3	1	0	0	0	0
2	TOP 1	0,42	0,58	0,3	0,1714	0	0	0	0
3	TOP 2	0,23	0,77	0,3	0,0786	15	5000	750	0,166
4	TOP 3	0,14	0,86	0,3	0,0444	25	10000	2500	0,555
5	TOP 4	0	1	0,3	0	30	15000	4500	1
BENCH									
6	1	0,42	0,58	0,3	0,1714	0	0	0	0
BENCH									
7	2	0,23	0,77	0,3	0,0786	15	5000	750	0,166
BENCH									
8	3	0,14	0,86	0,3	0,0444	25	10000	2500	0,555
BENCH									
9	4	0	1	0,3	0	30	15000	4500	1
					inputs			Για επίπεδη παραμόρφωση L=1	inputs

Στην συνέχεια μέσω του Excavation Step Wizzard στο λογισμικό Wintube καθορίζονται τα στάδια της ανάλυσης με τους κατάλληλους συντελεστές που προσομοιώνουν τις φάσεις εκσκαφής και τοποθέτησης των μέτρων άμεσης υποστήριξης, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 27 παρακάτω. Στον Πίνακα 27 παρατηρείται η συμμετοχή της κάθε οντότητας-ομάδας σε κάθε στάδιο και με τον αντίστοιχο συντελεστή FACS όπως υπολογίστηκε από το excel που δημιουργείται για κάθε ανάλυση.

Πίνακας 27 Ενδεικτικός συγκεντρωτικός πίνακας με τα στάδια της ανάλυσης SC-IV-B2-H500m και τους συντελεστές FAKS της κάθε οντότητας-ομάδας.

Overview of Groups

Edit item : ALPH Factor of prliminary relief 0.0<alpha<1.0 (FACS=FACL=FACP=FACD=alpha)

Take all group properties with copy and fill
 Copy only to activated groups activate groups automaticly

Gruppe		LC 1	LC 2	LC 3	LC 4	LC 5	LC 6	LC 7	LC 8	LC 9	LC 10
1	limestone TEB2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	top head inner material	1	0.017	0.08	0.044						
3	bench inner material	1	1	1	1	1	0.017	0.08	0.044		
4	top temp lining			0.16	0.55	1	1	1	1	1	
5	bench temp.lining							0.16	0.55	1	
6	top rockbolts				1	1	1	1	1	1	
7	bench rockbolts								1	1	
12	Connection-springs										1
14	Inner-lining										1

Hide non-active groups

Cancel Ok

Πρέπει να σημειωθεί ότι για ρεαλιστικά αποτελέσματα της προσομοίωσης των φάσεων κατασκευής στο λογισμικό είναι κρίσιμο να δοθούν οι τιμές του συντελεστή συνολικής ακαμψίας FAKS και στους υπόλοιπους συντελεστές, δηλαδή για κάθε στάδιο κάθε ανάλυσης ισχύει:

$$FAKS = FAKD = FAKL.$$

Τέλος για τον προσδιορισμό της αρχικής εντατικής κατάστασης κάθε ανάλυσης χρησιμοποιείται ο συντελεστής πλευρικής ώθησης $K_0=0,7$. Ο συντελεστής εντάσσεται στο αρχικό(πρώτο) στάδιο της κάθε ανάλυσης με γλώσσα CADINP στο TEDDY και συγκεκριμένα στο υποπρόγραμμα που τρέχει τους υπολογισμούς των φάσεων κατασκευής TALPA. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μετακινήσεις κατά το αρχικό στάδιο της ανάλυσης δεν λαμβάνονται υπόψη καθώς το πρώτο στάδιο των υπολογισμών (PRIMARY STATE) θεωρείται ότι υπολογίζει και προσομοιώνει το αρχικό εντατικό πεδίο, δηλαδή την ισορροπία της φυσικής θέσης πριν την διαταραχή της από την εκσκαφή. Επομένως οι μετακινήσεις που υπολογίζονται κατά αυτό το υπολογιστικό στάδιο θεωρούνται μη πραγματικές και δεν λαμβάνονται υπόψη στα επόμενα στάδια. Αυτό στο πρόγραμμα Teddy ή στο Wintube είναι

εφικτό από τη εντολή TYPE ACTI και δίδεται πριν την έναρξη των υπολογισμών του TALPA από το στάδιο 2 της κάθε ανάλυσης και έπειτα.

```

22570 LC 1 TITL 'primary state'
22571 GRP NO VAL FACS PLC FACL FACD HW K $ Description
22572 1 FULL 1.0000 0 1.0000 1.0000 999.00 0.7 $ limestone TEB2
22573 2 FULL 1.0000 0 1.0000 1.0000 999.00 0.7 $ top head inner material TEB3
22574 3 FULL 1.0000 0 1.0000 1.0000 999.00 0.7 $ bench inner material TEB3
22575 4 OFF $ top temp lining
22576 5 OFF $ bench temp.lining
22577 6 OFF $ top rockbolts
22578 7 OFF $ bench rockbolts
22579 10 FULL 1.0000 0 1.0000 1.0000 999.00 0.7 $ limestone TEB3
22580 11 OFF $ INVERT temp lining
22581 12 OFF $ Connection-springs
22582 13 FULL 1.0000 0 1.0000 1.0000 999.00 0.7 $ invert inner material
22583 14 OFF $ Inner-lining-1top
22584 15 OFF $ Inner-lining-2invert
22585 END
    
```

Εικόνα 13 Ο συντελεστής πλευρικών ωθήσεων K0 εντάσσεται στο αρχικό(πρώτο) στάδιο της κάθε ανάλυσης με γλώσσα CADINP στο TEDDY

```

22642 PLC 1 TYPE ACTI $ ignore displacements of primary loadcase
22643 LC 2 TITL 'PLC1 top head relief 1'
22644 GRP NO VAL FACS PLC FACL FACD HW $ Description
22645 1 FULL 1.0000 1 1.0000 1.0000 999.00 $ limestone TEB2
22646 2 YES 0.0550 1 0.0550 0.0550 999.00 $ top head inner material TEB3
22647 3 FULL 1.0000 1 1.0000 1.0000 999.00 $ bench inner material TEB3
22648 4 OFF $ top temp lining
22649 5 OFF $ bench temp.lining
22650 6 OFF $ top rockbolts
22651 7 OFF $ bench rockbolts
22652 10 FULL 1.0000 1 1.0000 1.0000 999.00 $ limestone TEB3
22653 11 OFF $ INVERT temp lining
22654 12 OFF $ Connection-springs
22655 13 FULL 1.0000 1 1.0000 1.0000 999.00 $ invert inner material
22656 14 OFF $ Inner-lining-1top
22657 15 OFF $ Inner-lining-2invert
22658 END
    
```

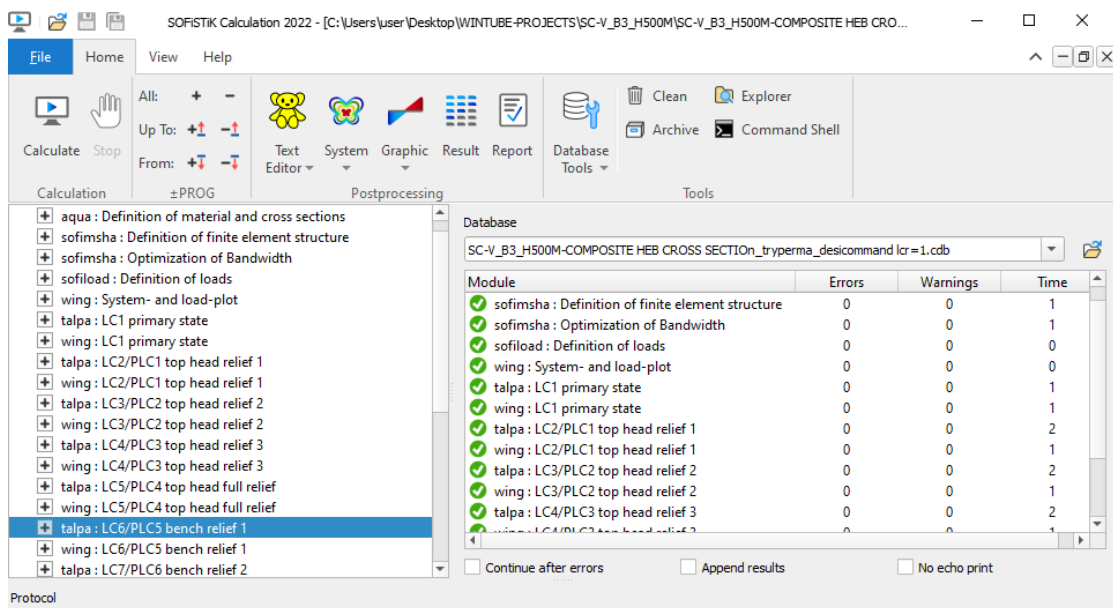
Εικόνα 14 Οι μετακινήσεις που υπολογίζονται στο πρώτο στάδιο θεωρούνται μη πραγματικές και δεν λαμβάνονται υπόψη στα επόμενα στάδια. Η εντολή TYPE ACTI στο στάδιο 2(1^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής)

3.1.6.6 Εξαγωγή στο Teddy & Υπολογισμός-τρέξιμο της ανάλυσης

Μετά την ολοκλήρωση των εργασιών στο περιβάλλον του Wintube η ακριβής περιγραφή του προβλήματος εξάγεται στο πρόγραμμα Teddy σε μορφή γλώσσας Cadinp. Στο περιβάλλον του προγράμματος Teddy πραγματοποιούνται όλες επιμέρους εργασίες που περιγράφονται παραπάνω αλλά και παρακάτω (όπως για την εξαγωγή αποτελεσμάτων) και αφορούν χειρισμούς με την γλώσσα Cadinp. Με την ολοκλήρωση των επί μέρους εργασιών

στο πρόγραμμα Teddy, είναι εφικτός ο οπτικός έλεγχος ολόκληρης της ανάλυσης αλλά και η παραμετροποίηση επιμέρους τμημάτων της χωρίς πλέον να είναι απαραίτητος ο επανασχεδιασμός της από την αρχή.

Στο τέλος δίδεται η εντολή “compute” και πραγματοποιούνται οι επαναληπτικοί υπολογισμοί ανά στάδιο της ανάλυσης μέχρι την επίτευξη της τελικής ισορροπίας. Ακολουθεί ενδεικτική εικόνα με το παράθυρο υπολογισμού στο Teddy και την επιτυχή ολοκλήρωση των υπολογισμών της ανάλυσης.



Εικόνα 15 Ενδεικτική εικόνα με το παράθυρο υπολογισμού στο Teddy και την επιτυχή ολοκλήρωση των υπολογισμών της ανάλυσης.

3.1.7 Εξαγωγή & Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Για την εξαγωγή αποτελεσμάτων από τις αναλύσεις χρησιμοποιούνται τα υποπρογράμματα του Sofistik Report Browser, Sofistik Graphic. Μέρος των αποτελεσμάτων εξάγεται απευθείας από τα άνω προγράμματα, ενώ όπου απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία εξάγονται σε κατάλληλη μορφή και εισάγονται στο excel για παραγωγή διαγραμμάτων και αντίστοιχα στο Autocad για παραγωγή σχεδίων.

Πιο συγκεκριμένα και σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση της μελέτης της Ερευνητικής ομάδας [2] τα αποτελέσματα που εξάγονται για τον έλεγχο της επάρκειας της κάθε κατηγορίας υποστήριξης είναι: οι ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο της ανάλυσης, τα εντατικά μεγέθη για την πραγματοποίηση ελέγχου επάρκειας της διατομής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος με την χρήση διαγραμμάτων

αλληλεπίδρασης και εικόνα της διαρροής των στοιχείων που προσομοιώνουν την βραχώμαζα, δηλαδή το εύρος της πλαστικής ζώνης κατά το τελικό στάδιο της ανάλυσης.

Στην συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά ο τρόπος εργασίας που ακολουθείται για την εξαγωγή των άνω αποτελεσμάτων για την παρούσα εργασία. Αρχικά πρέπει να σημειωθεί ότι χρησιμοποιήθηκαν έτοιμες «συλλογές εντολών» (templates) στο λογισμικό Wintube ώστε να χρησιμοποιηθούν σαν εντολές στην γλώσσα Cadinp. Οι εντολές καθοδηγούν το πρόγραμμα Teddy στην προβολή συγκεκριμένων αποτελεσμάτων με τα υποπρογράμματα Sofistik Report Browser & Sofistik Graphic. Τα υποπρογράμματα αυτά ενεργοποιούνται από τον χρήστη μετά την ολοκλήρωση των υπολογισμών της ανάλυσης, απευθείας μέσα από το περιβάλλον του προγράμματος Teddy.

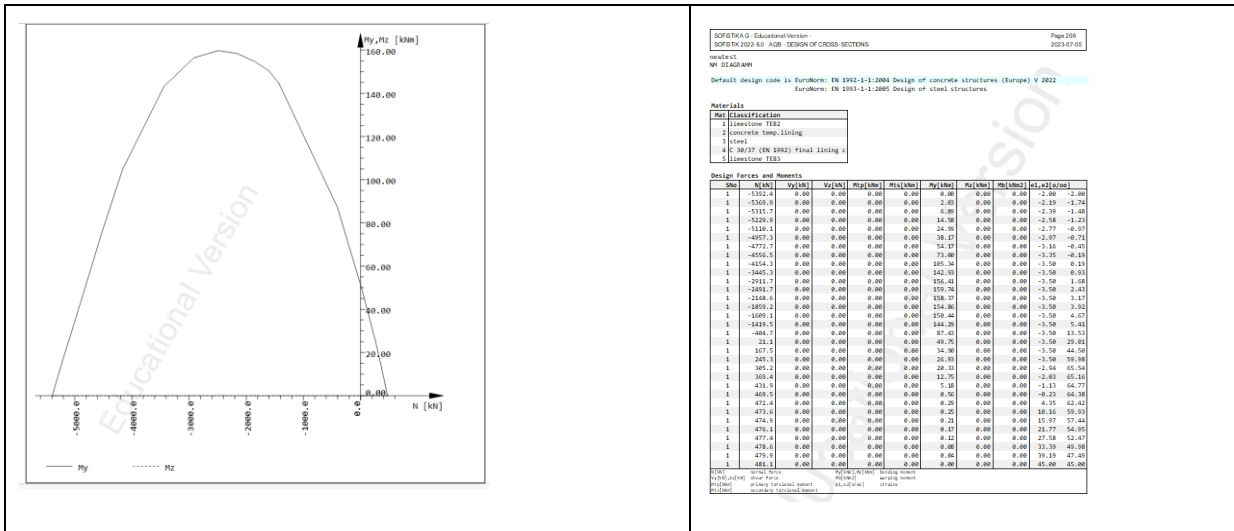
- Ολικές Μετατοπίσεις

Εξάγονται και χρησιμοποιούνται απευθείας από την «γεννήτρια» αποτελεσμάτων του Sofistik Report Browser.

- Έλεγχος επάρκειας εκτοξευόμενου σκυροδέματος με διαγράμματα M-N

Η περιβάλλουσα αντοχής της εκάστοτε διατομής σχεδιάζεται σύμφωνα με τον Ερωκώδικα2. Αυτό πραγματοποιείται με την εντολή της γλώσσας Cadinp “CAPA” και εισάγεται με το υποπρόγραμμα AQB στο Teddy. Έπειτα η περιβάλλουσα προβάλλεται στο Sofistik Report Browser και εισάγεται στο excel για περαιτέρω επεξεργασία.

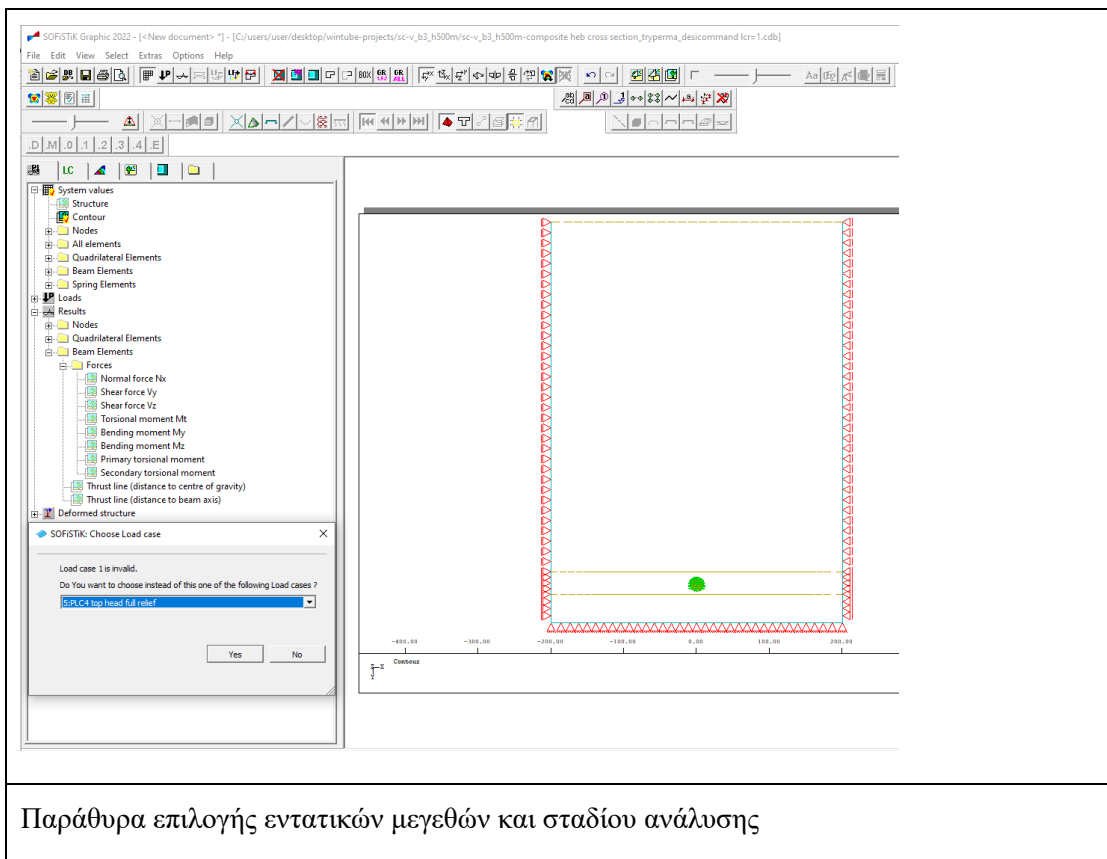
<pre> 23415 +PROG AQB urs:2 23416 HEAD NM DIAGRAMM 23417 echo bsec 23418 ECHO full 23419 CAPA 5 TASK NM STAT ULTI 23420 end 23421 </pre>	<p>←TEDDY “CAPA” COMMAND</p>
--	------------------------------



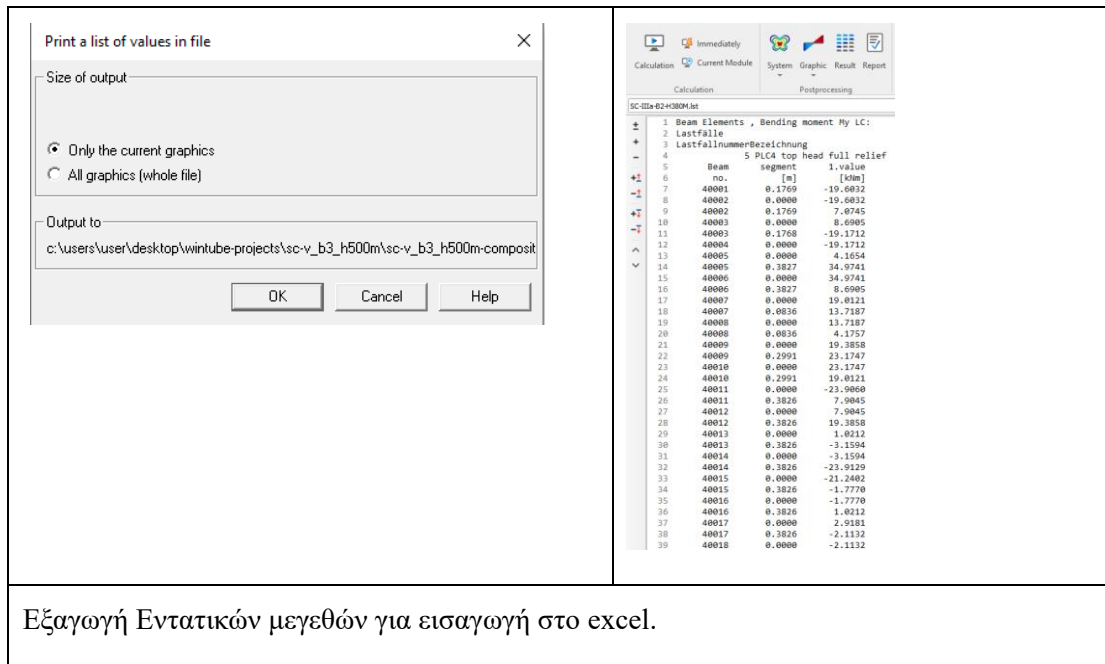
Αποτέλεσμα της εντολής στο Sofistik Report Browser

Εικόνα 16 Ενδεικτική εικόνα με την εντολή “CAPA” για τον σχεδιασμό περιβάλλουσας αντοχής

Για την εξαγωγή των εντατικών μεγεθών, δηλαδή μέγεθος αξονικής δύναμης και μέγεθος ροπής για κάθε κάθε στοιχείο δοκού του εκτοξευόμενου σκυροδέματος χρησιμοποιείται το Sofistik Graphic. Για κάθε επιθυμητό στάδιο της ανάλυσης εξάγονται τα επιθυμητά εντατικά μεγέθη από την περιφέρεια της εκσκαφής και εισάγονται στο excel για την περαιτέρω επεξεργασία τους.



Παράθυρα επιλογής εντατικών μεγεθών και σταδίου ανάλυσης

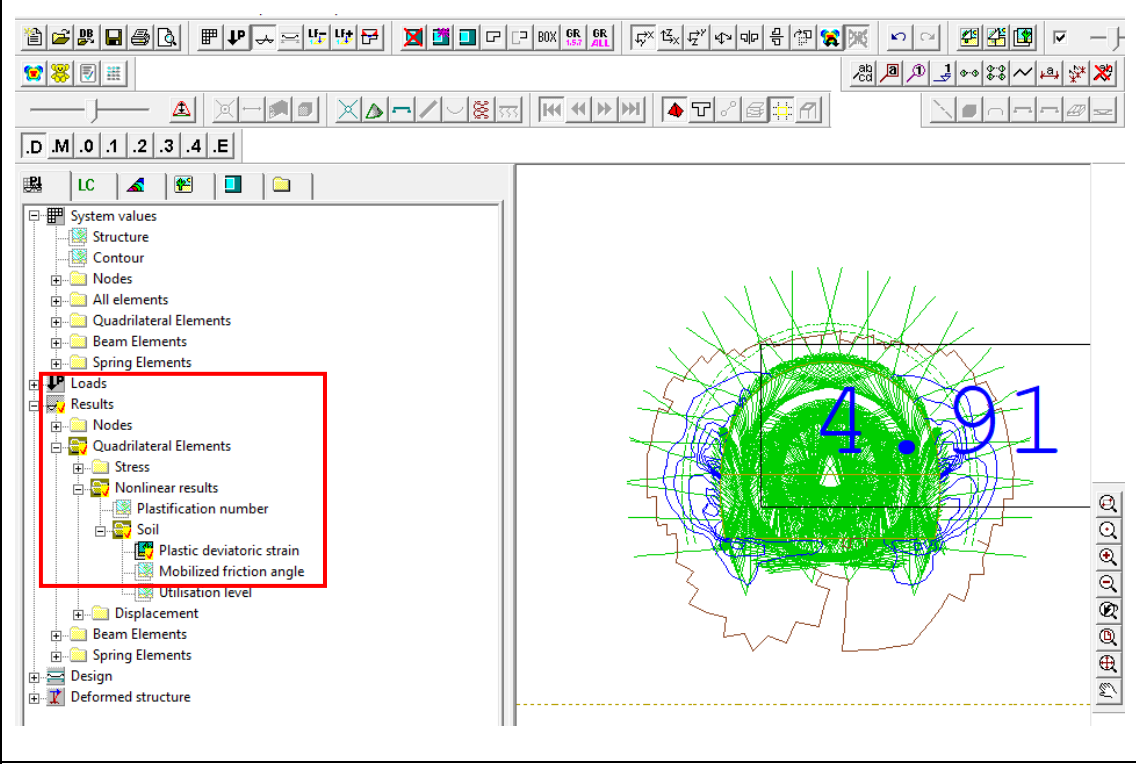


Εικόνα 17 Αλληλουχία εργασιών στο Sofistik Graphic για την εξαγωγή εντατικών μεγεθών από στοιχεία δοκού.

Πλέον είναι εφικτός ο έλεγχος επάρκειας του εκτοξευόμενου με χρήση διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης M-N που σχεδιάζονται στο excel σύμφωνα με τα παραπάνω.

- Εύρος της πλαστικής ζώνης

Για την εξαγωγή των πλαστικοποιημένων στοιχείων που προσομοιώνουν την βραχώμαζα χρησιμοποιείται το Sofistik Graphic. Επιλέγεται από την στήλη results τα αποτελέσματα για τα τετρακομβικά στοιχεία, μη γραμμικά αποτελέσματα (το υλικό έχει αστοχήσει, βρίσκεται στην πλαστική περιοχή) και επιλέγονται τα στοιχεία εδάφους για το τελευταίο στάδιο της κάθε ανάλυσης. Στην συνέχεια πραγματοποιείται η εξαγωγή τους σε αρχείο .dxf το οποίο εισάγεται στο Autocad για την περαιτέρω σχεδιαστική επεξεργασία και τελική παρουσίαση του εύρους της πλαστικής ζώνης περίξ της υπόγειας εκσκαφής.



Παράθυρα επιλογής πλαστικοποιημένων στοιχείων εδάφους

Εξαγωγή σχεδίου dxf από το tab file->export dxf

Εικόνα 18 Αλληλουχία εργασιών στο Sofistik Graphic για την εξαγωγή πλαστικοποιημένων στοιχείων εδάφους.

3.2 Κατηγορία προσωρινής υποστήριξης SC-I

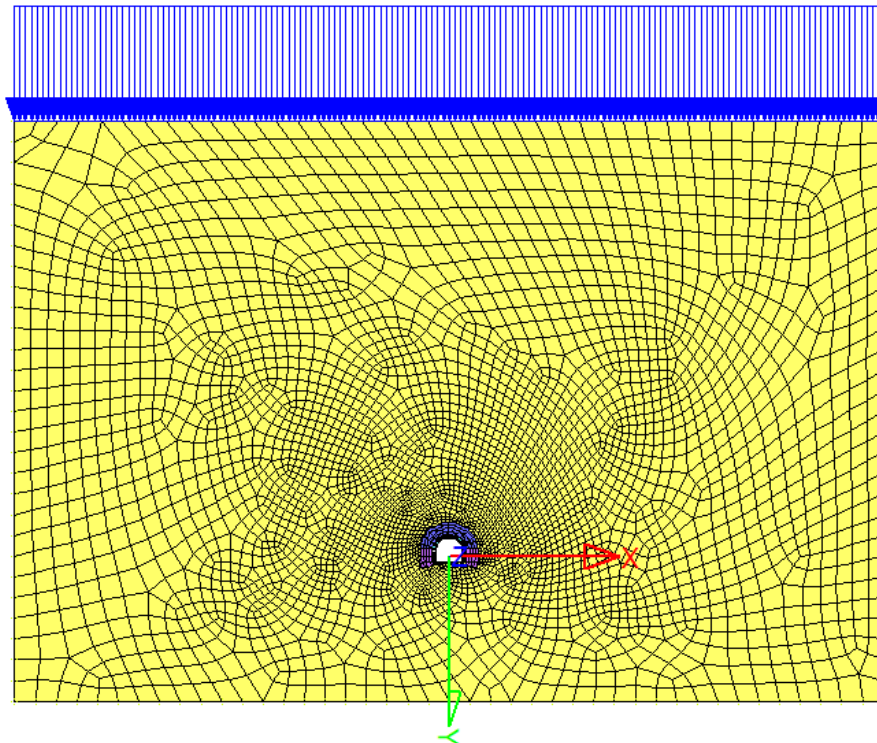
3.2.1 Αριθμητικό μοντέλο Ανάλυσης "SC-I_B1_H300m"

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 28.

Πίνακας 28 Μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης SC-I_B1_H300m.

Κατηγορία Υποστήριξης	TE	γ (MN/m ³)	E_m (GPa)	ν	Συνοχή c (MPa)	Γωνία Τριβής ϕ°	Γωνία Διαστολικότητας δ°	σ_{cm} tensile(Mpa) αντοχή σε εφελκυσμό
SC-I	B1	0,0265	13,82	0,30	1,49	44	0	0

Ακολουθεί ενδεικτική εικόνα με το μοντέλο της προσομοίωσης. Οι διαστάσεις είναι αυτές που περιγράφονται στην ενότητα 3.1.6.2. Για την προσομοίωση του πραγματικού ύψους των υπερκείμενων σχηματισμών στην συγκεκριμένη ανάλυση εισάγεται το αντίστοιχο γραμμικό φορτίο ίσο με 3980 kN/m.



Εικόνα 19 Αριθμητικό μοντέλο της ανάλυσης "SC-I_B1_H300m"

Ακολουθεί εικόνα από το λογισμικό Wintube με την συμμετοχή της κάθε ομάδας στοιχείων ανά στάδιο προσομοίωσης.

Overview of Groups

Edit item : ALPH Factor of preliminary relief $0.0 < \alpha < 1.0$ (FACS=FACL=FACP=FACD= α)

Take all group properties with copy and fill
 Copy only to activated groups activate groups automatically

Gruppe		LC 1	LC 2	LC 3	LC 4	LC 5	LC 6	LC 7	LC 8	LC 9	LC 10
1	limestone	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	top head inner material	1	0.2511	0.1233	0.059						
3	bench inner material	1	1	1	1	1	0.2511	0.1233	0.059		
4	top temp lining			0.33	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	
5	bench temp lining							0.33	0.667	0.667	
6	top rockbolts			1	1	1	1	1	1	1	
7	bench rockbolts							1	1	1	
8	Connection-springs										1
9	Inner-lining										1

Hide non-active groups

Cancel Ok

Εικόνα 20 Συμμετοχή της κάθε ομάδας στοιχείων ανά στάδιο προσομοίωσης της ανάλυσης "SC-I_B1_H300m"

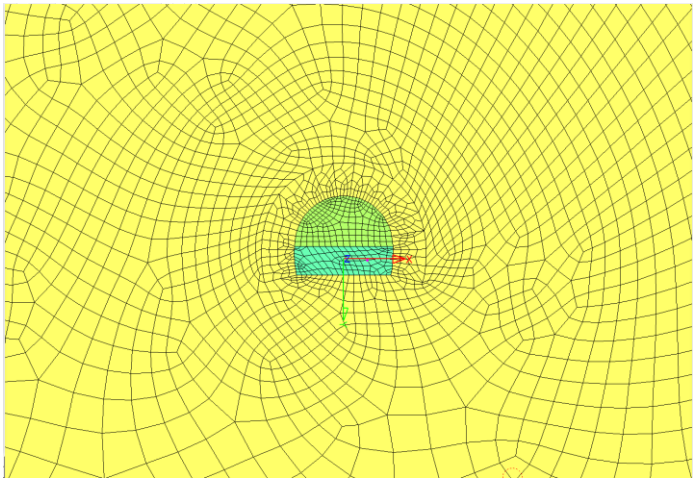
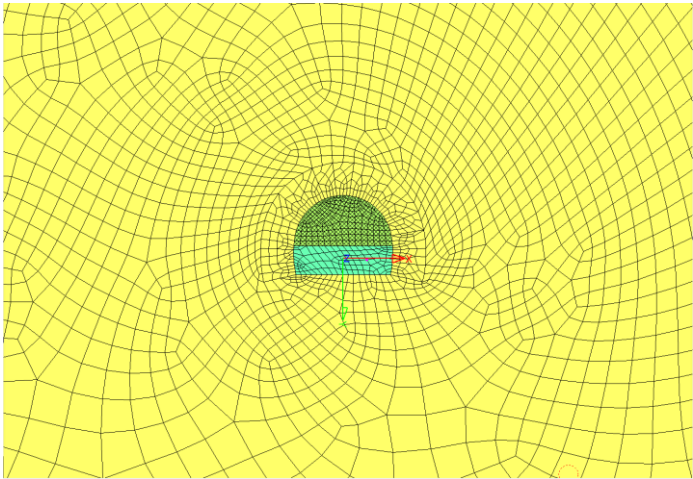
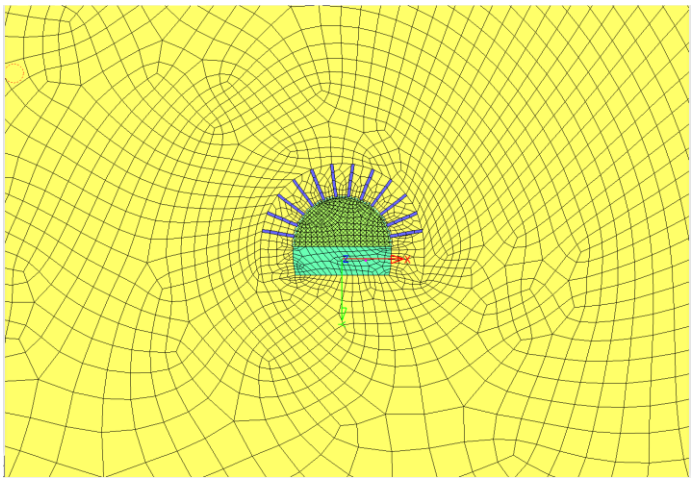
Τέλος παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας με τα στάδια προσομοίωσης του αριθμητικού μοντέλου. Επίσης παρουσιάζονται συνολικά αλλά και ανά βήμα οι επιμέρους συντελεστές που χρησιμοποιούνται για την αποτόνωση της βραχομάζας και για την σταδιακή σκλήρυνση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

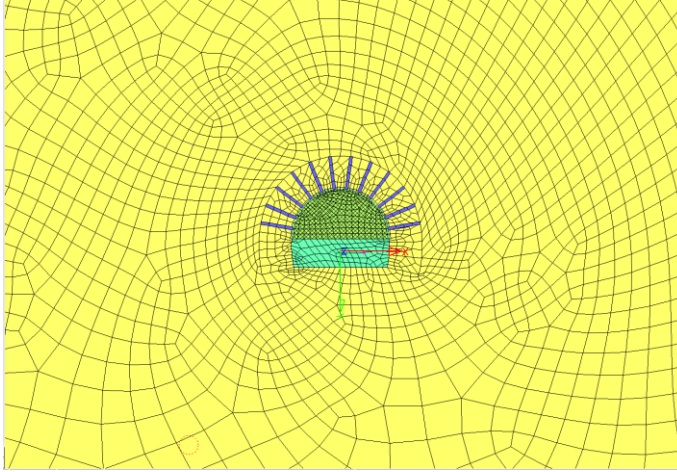
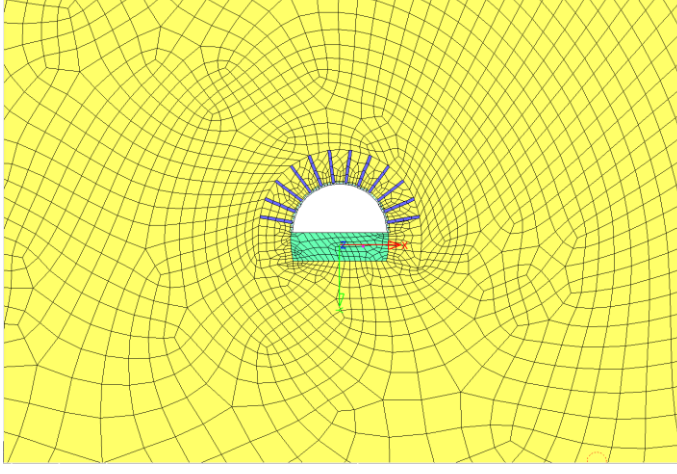
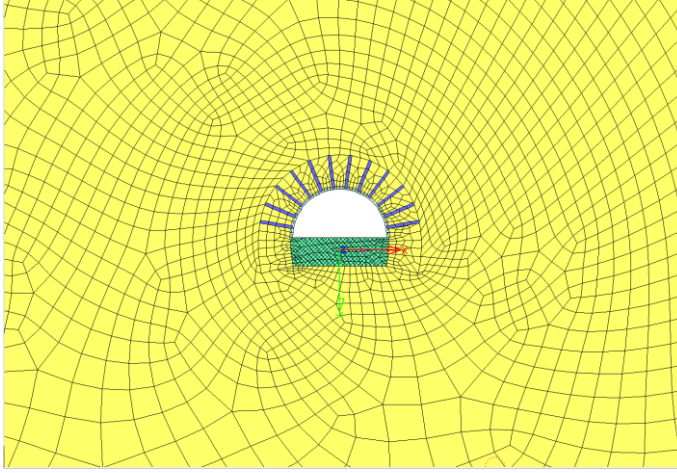
Ανάλυση: SC-I-B1-H300m

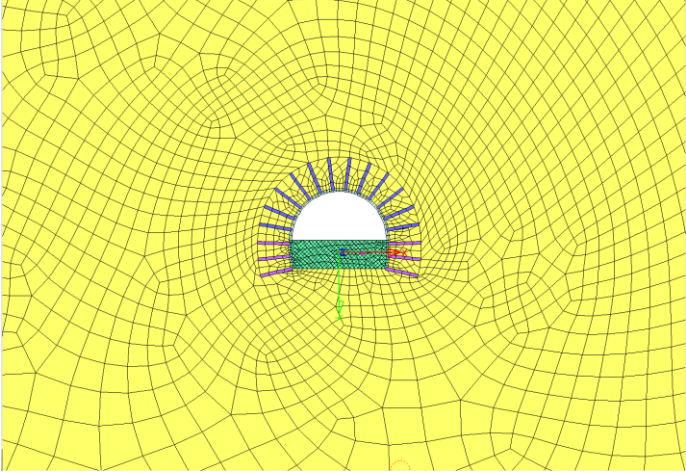
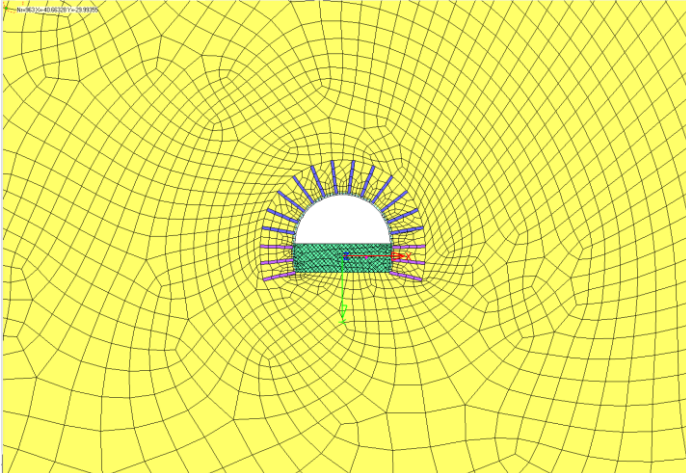
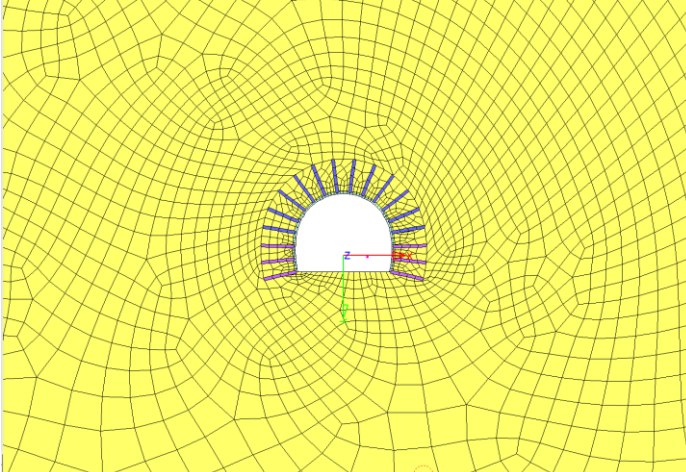
Συγκεντρωτικός πίνακας συντελεστών αποτόνωσης βραχομάζας και σκλήρυνσης σκυροδέματος για κάθε στάδιο της ανάλυσης.

STAGE	ΒΡΑΧΟΜΑΖΑ				ΑΜΕΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ - ΕΚΤ.ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ				
	ρ_i/ρ_0	$\lambda = (1-\rho_i/\rho_0)$	ν (TE B1)	E/E_0	ΠΛΑΧΟΣ(t) (cm)	Eyoung (Mpa)	Δυστένεια(αξονική δυσκαμψία)= $E \cdot A$ (MN)	συντελεστής FAKS *SOFISTIK	
PRIMARY	0	1	0,3	0	0	0	0	0	
TOP 1	0,54	0,46	0,3	0,251163	0	0	0	0	
TOP 2	0,33	0,67	0,3	0,123364	5	5000	250	0,166666667	
TOP 3	0,18	0,82	0,3	0,059016	10	10000	1000	0,666666667	
TOP 4	0	1	0,3	0	10	15000	1500	1	
BENCH 1	0,54	0,46	0,3	0,251163	0	0	0	0	
BENCH 2	0,33	0,67	0,3	0,123364	5	5000	250	0,166666667	
BENCH 3	0,18	0,82	0,3	0,059016	10	10000	1000	0,666666667	
BENCH 4	0	1	0,3	0	10	15000	1500	1	

Πίνακας Σταδίων Ανάλυσης

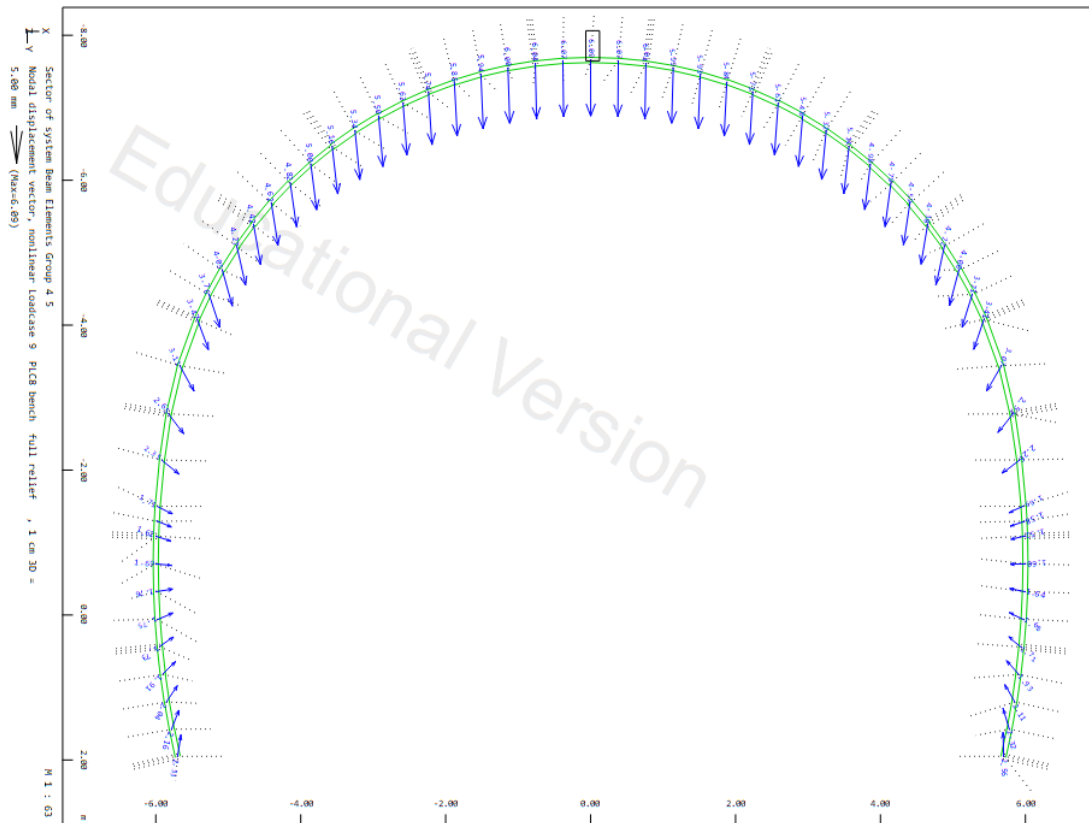
Ενδεικτική εικόνα από το Στάδιο προσομοίωσης & Ενεργές Ομάδες από τα στάδια της ανάλυσης στο Wintube	Περιγραφή
	<p>Στάδιο 1</p> <p>Αρχικό στάδιο. Διαμόρφωση φυσικού εντατικού πεδίου($H=300m, K=0,7$)</p>
	<p>Στάδιο 2</p> <p>1^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=B/2, E/E_0=0,25$)</p>
	<p>Στάδιο 3</p> <p>2^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=B+B/2, E/E_0=0.12$)</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυριών</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=5\text{ cm}, E/E_c= 0.333$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.16$</p>

	<p>Στάδιο 4</p> <p>3^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=2*B+B/2$, $E/E_0=0.06$)</p> <p>Σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=10\text{ cm}$, $E/E_c=0.667$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.66$</p>
	<p>Στάδιο 5</p> <p>Πλήρης αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=\infty$, $E/E_0=0$)</p> <p>Πλήρης σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=10\text{ cm}$, $E/E_c=1.0$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=1$</p>
	<p>Στάδιο 6</p> <p>1^η αποτόνωση βαθμίδας</p> <p>$E/E_0=0.25$</p>

	<p>Στάδιο 7</p> <p>2^η αποτόνωση βαθμίδας</p> <p>$E/E_0=0.12$</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυριών</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=5\text{ cm}$, $E/E_c= 0.333$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.16$</p>
	<p>Στάδιο 8</p> <p>3^η αποτόνωση βαθμίδας</p> <p>$E/E_0=0.06$</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυριών</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=10\text{ cm}$, $E/E_c= 0.667$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.66$</p>
	<p>Στάδιο 9</p> <p>Πλήρης αποτόνωση βαθμίδας $E/E_0=0$</p> <p>Πλήρης σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=10\text{ cm}$, $E/E_c= 1.0$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=1$</p>

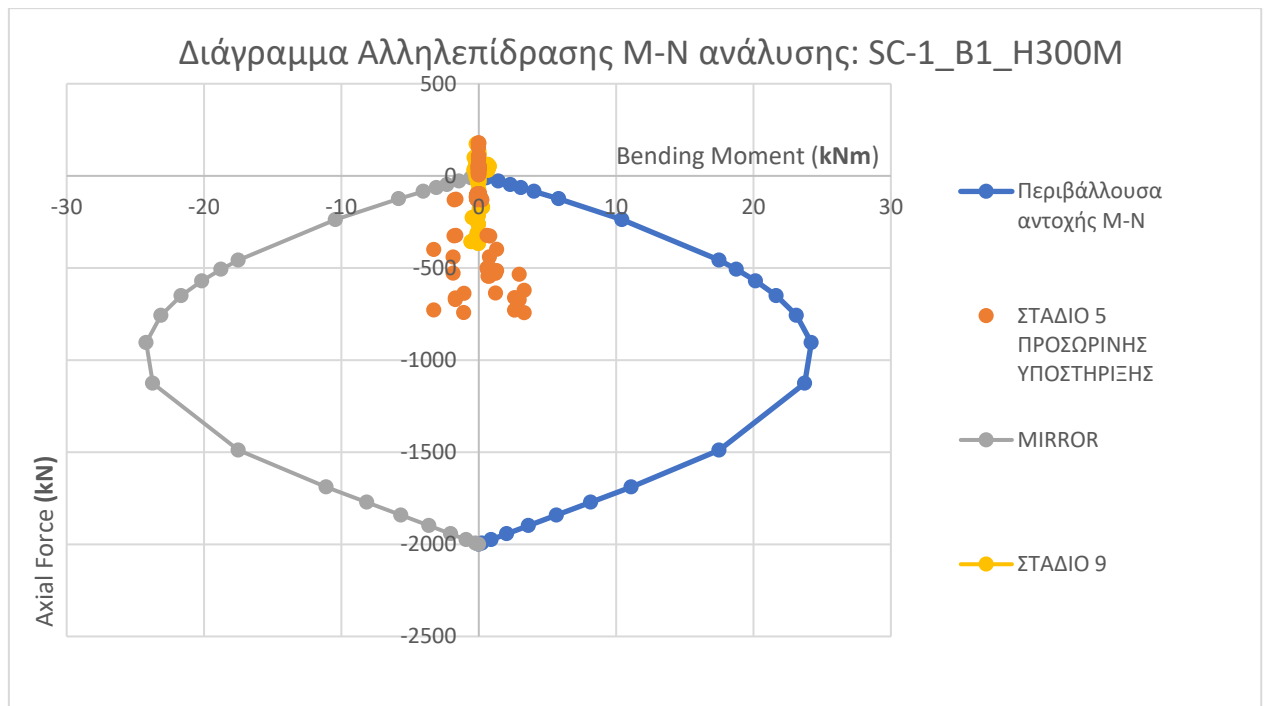
3.2.2 Αποτελέσματα Ανάλυσης "SC-I_B1_H300m"

Στο Σχήμα 26 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο 9 της ανάλυσης. Μέγιστη μετατόπιση εμφανίζεται στην στέψη ίση με 6mm.



Σχήμα 26 Ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο της ανάλυσης "SC-I_B1_H300m"

Ο έλεγχος επάρκειας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος πραγματοποιείται με την χρήση διαγράμματος αλληλεπίδρασης στο Σχήμα 27 που ακολουθεί.



Σχήμα 27 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N ανάλυσης "SC-I_B1_H300m"

Στο διάγραμμα παρατηρούνται τα περισσότερα σημεία εντός της περιβάλλουσας. Τα σημεία αποτυπώνουν τον συνδυασμό φόρτισης αξονικής δύναμης και ροπής για κάθε στοιχείο δοκού του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Το λογισμικό κατά του υπολογισμού χρησιμοποιεί καταστατικό μοντέλο με ίδιο μέτρο ελαστικότητας κατά την φόρτιση και την αποφόρτιση. Το μέτρο ελαστικότητας ενός υλικού κατά την αποφόρτισή του είναι γνωστό ότι είναι πολύ μεγαλύτερο από το μέτρο ελαστικότητας κατά την φόρτισή του. Επομένως σε σημεία όπου η βραχόμαζα αποφορτίζεται εμφανίζονται μεγαλύτερες μετακινήσεις από τις πραγματικές. Για παράδειγμα στη βάση της επένδυσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος εμφανίζονται ανυψώσεις του δαπέδου που προκαλούν εφελκυστικές αξονικές δυνάμεις, επομένως σημεία με θετικό πρόσημο αξονικής δύναμης στο διάγραμμα, εμφανίζονται εκτός περιβάλλουσας. Το παραπάνω αποτέλεσμα θεωρείται ότι προκύπτει από αδυναμία της προσομοίωσης και δεν αναμένεται να εμφανιστούν τέτοια φαινόμενα κατά την διάνοιξη της σήραγγας.[2]

3.3 Κατηγορία προσωρινής υποστήριξης SC-II

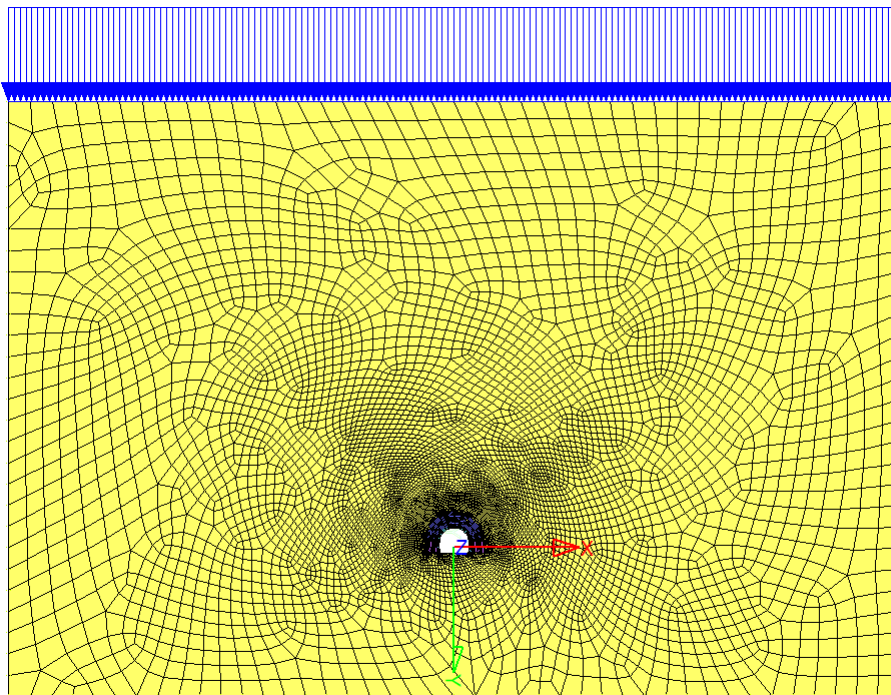
3.3.1 Αριθμητικό μοντέλο Ανάλυσης "SC-II_B2_H270m"

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 29.

Πίνακας 29 Μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης SC-II_B2_H270m.

Κατηγορία Υποστήριξης	TE	γ (MN/m ³)	E_m (GPa)	ν	Συνοχή c (MPa)	Γωνία Τριβής ϕ°	Γωνία Διαστολικότητας δ°	σ_{cm} tensile (Mpa) αντοχή σε εφελκυσμό
SC-II	B2	0,0265	6,39	0,30	1,03	42	0	0

Ακολουθεί ενδεικτική εικόνα με το μοντέλο της προσομοίωσης. Οι διαστάσεις είναι αυτές που περιγράφονται στην ενότητα 3.1.6.2. Για την προσομοίωση του πραγματικού ύψους των υπερκείμενων σχηματισμών στην συγκεκριμένη ανάλυση εισάγεται το αντίστοιχο γραμμικό φορτίο ίσο με 3180 kN/m.



Εικόνα 21 Αριθμητικό μοντέλο της ανάλυσης "SC-II_B2_H270m"

Ακολουθεί εικόνα από το λογισμικό Wintube με την συμμετοχή της κάθε ομάδας στοιχείων ανά στάδιο προσομοίωσης.

Overview of Groups

Edit item : ALPH Factor of prliminary relief 0.0<alpha<1.0 (FACS=FACL=FACP=FACD=alpha)

Take all group properties with copy and fill

Copy only to activated groups activate groups automatically

Gruppe		LC 1	LC 2	LC 3	LC 4	LC 5	LC 6	LC 7	LC 8	LC 9	LC 10
1	limestone	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	top head inner material	1	0.2512	0.1437	0.0786						
3	bench inner material	1	1	1	1	1	0.2511	0.1436	0.0786		
4	top temp lining			0.222	0.444	1	1	1	1	1	
5	bench temp lining							0.222	0.444	1	
6	top rockbolts			1	1	1	1	1	1	1	
7	bench rockbolts							1	1	1	
8	Connection-springs										1
9	Inner-lining										1

Hide non-active groups

Cancel Ok

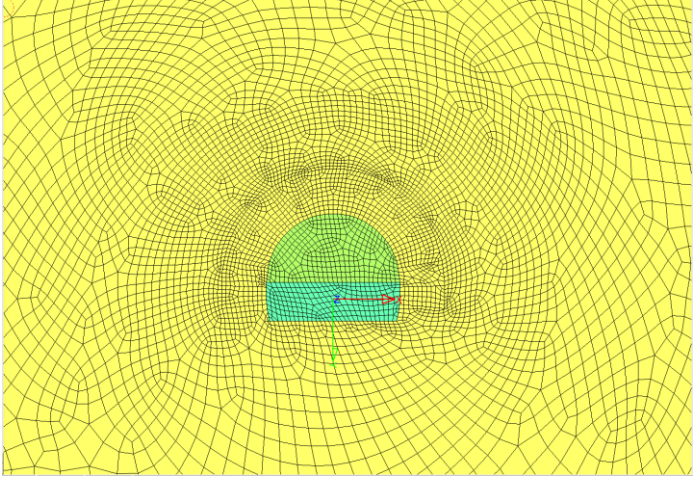
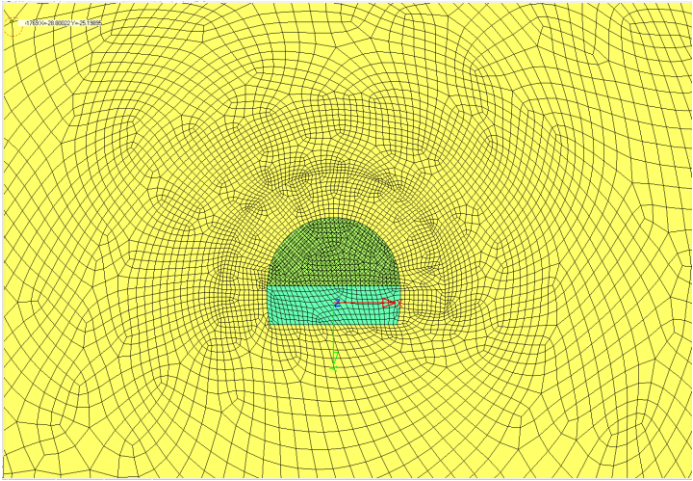
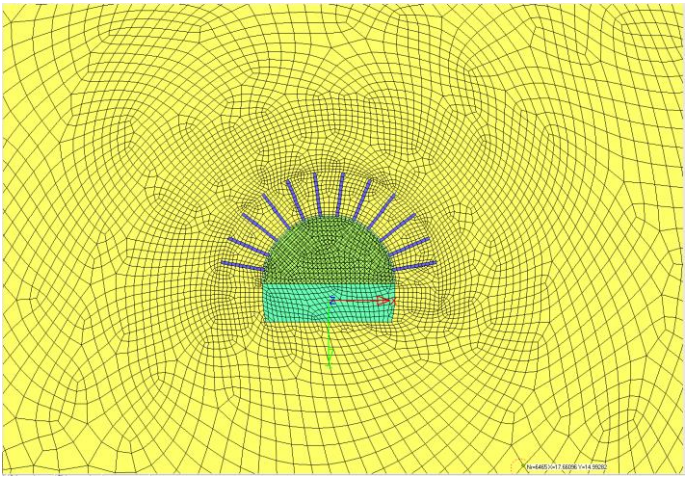
Εικόνα 22 Συμμετοχή της κάθε ομάδας στοιχείων ανά στάδιο προσομοίωσης της ανάλυσης "SC-II_B2_H270m"

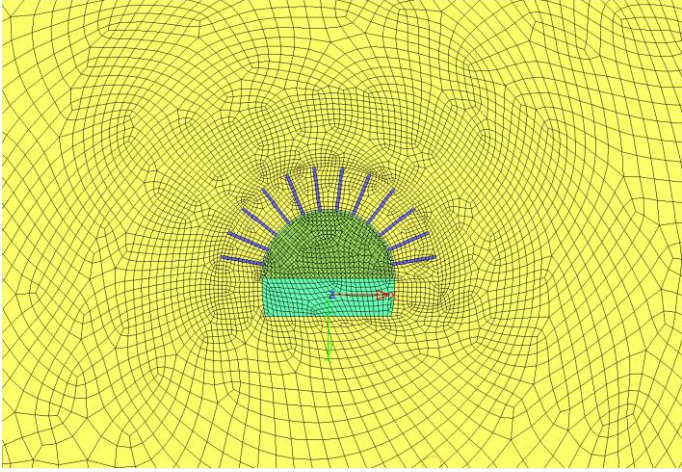
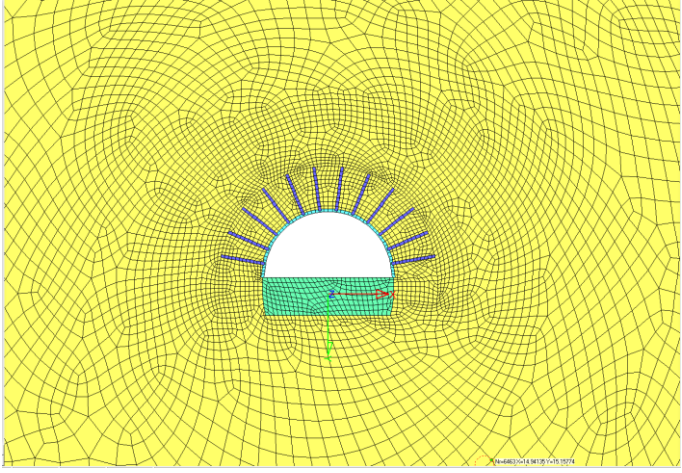
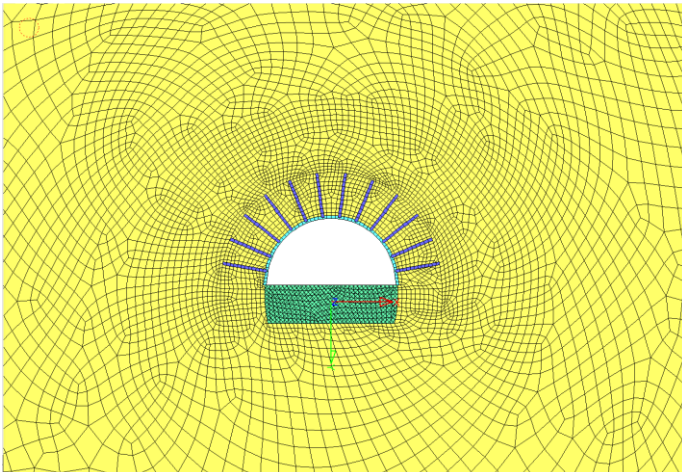
Τέλος παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας με τα στάδια προσομοίωσης του αριθμητικού μοντέλου. Επίσης παρουσιάζονται συνολικά αλλά και ανά βήμα οι επιμέρους συντελεστές που χρησιμοποιούνται για την αποτόνωση της βραχομάζας και για την σταδιακή σκλήρυνση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

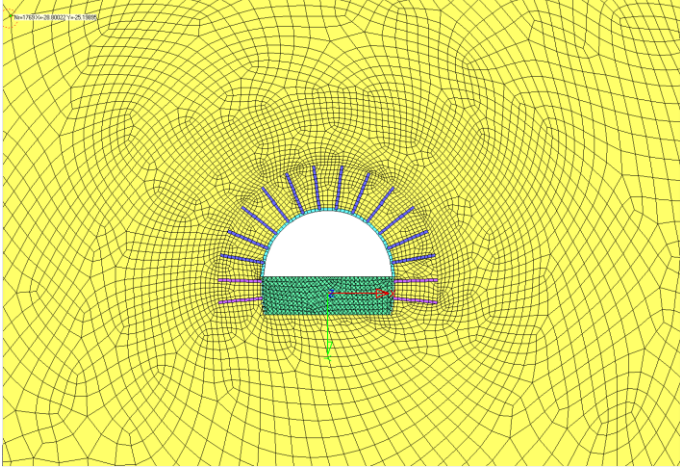
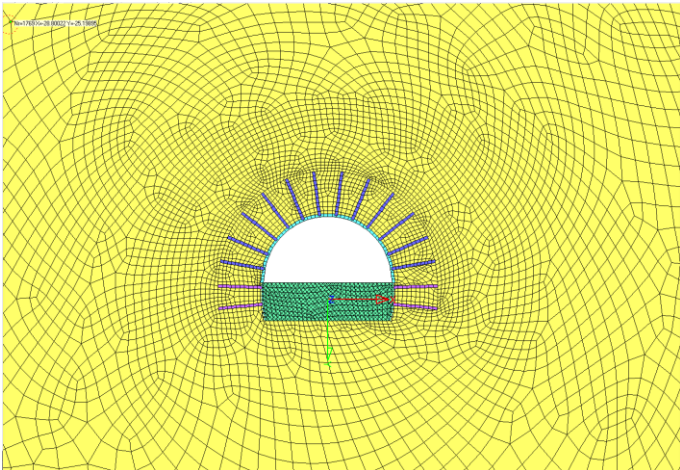
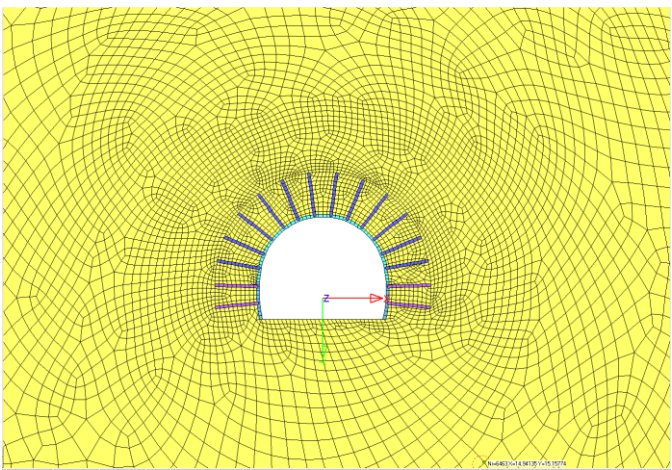
Ανάλυση: SC-II-B2-H270m									
Συγκεντρωτικός πίνακας συντελεστών αποτόνωσης βραχομάζας και σκλήρυνσης σκυροδέματος για κάθε στάδιο της ανάλυσης.									
SC-II-B2-H270M		ΒΡΑΧΟΜΑΖΑ				ΑΜΕΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ - ΕΚΤ.ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ			
#	STAGE	ρ/ρ_0	$\lambda = (1-\rho/\rho_0)$	ν (TE B1)	E/E_0	ΠΑΧΟΣ(t) (cm)	Eyoung (Mpa)	Δυστένεια(αξονική δυσκαμψία)=E*A (MN)	συντελεστής FACS *SOFISTIK
1	PRIMARY	0	1	0,3	0	0	0	0	0
2	TOP 1	0,54	0,46	0,3	0,251163	0	0	0	0
3	TOP 2	0,37	0,63	0,3	0,143689	10	5000	500	0,22222222
4	TOP 3	0,23	0,77	0,3	0,078632	10	10000	1000	0,44444444
5	TOP 4	0	1	0,3	0	15	15000	2250	1
6	BENCH 1	0,54	0,46	0,3	0,251163	0	0	0	0
7	BENCH 2	0,37	0,63	0,3	0,143689	10	5000	500	0,22222222
8	BENCH 3	0,23	0,77	0,3	0,078632	10	10000	1000	0,44444444
9	BENCH 4	0	1	0,3	0	15	15000	2250	1
					INPUTS				INPUTS

Πίνακας Σταδίων Ανάλυσης

Ενδεικτική εικόνα από το Στάδιο προσομοίωσης & Ενεργές Ομάδες από τα στάδια της ανάλυσης στο Wintube	Περιγραφή
--	-----------

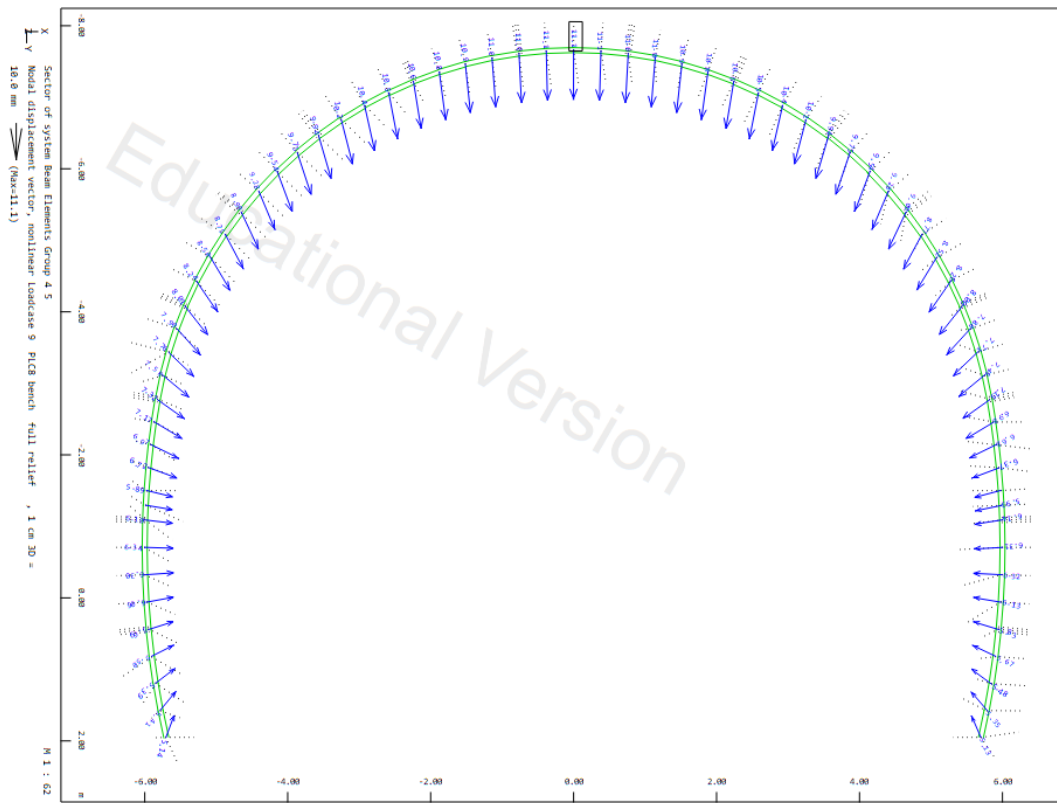
	<p>Στάδιο 1</p> <p>Αρχικό στάδιο. Διαμόρφωση φυσικού εντατικού πεδίου($H=270m, K=0.7$)</p>
	<p>Στάδιο 2</p> <p>1^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=B/2, E/E_0=0.25$)</p>
	<p>Στάδιο 3</p> <p>2^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=B+B/2, E/E_0=0.14$)</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυρίων</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=10\text{ cm}, E/E_c=0.333$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.22$</p>

	<p>Στάδιο 4</p> <p>3^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=2*B+B/2$, $E/E_0=0.08$)</p> <p>Σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=10$ cm, $E/E_c= 0.667$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.44$</p>
	<p>Στάδιο 5</p> <p>Πλήρης αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=\infty$, $E/E_0=0$)</p> <p>Πλήρης σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=15$ cm, $E/E_c= 1.0$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=1$</p>
	<p>Στάδιο 6</p> <p>1^η αποτόνωση βαθμίδας</p> <p>$E/E_0=0.25$</p>

	<p>Στάδιο 7</p> <p>2^η αποτόνωση βαθμίδας</p> <p>$E/E_0=0.14$</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυρίων</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=10$ cm, $E/E_c= 0.333$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.22$</p>
	<p>Στάδιο 8</p> <p>3^η αποτόνωση βαθμίδας</p> <p>$E/E_0=0.08$</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυρίων</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=10$ cm, $E/E_c= 0.667$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.44$</p>
	<p>Στάδιο 9</p> <p>Πλήρης αποτόνωση βαθμίδας $E/E_0=0$</p> <p>Πλήρης σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=15$ cm, $E/E_c= 1.0$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=1$</p>

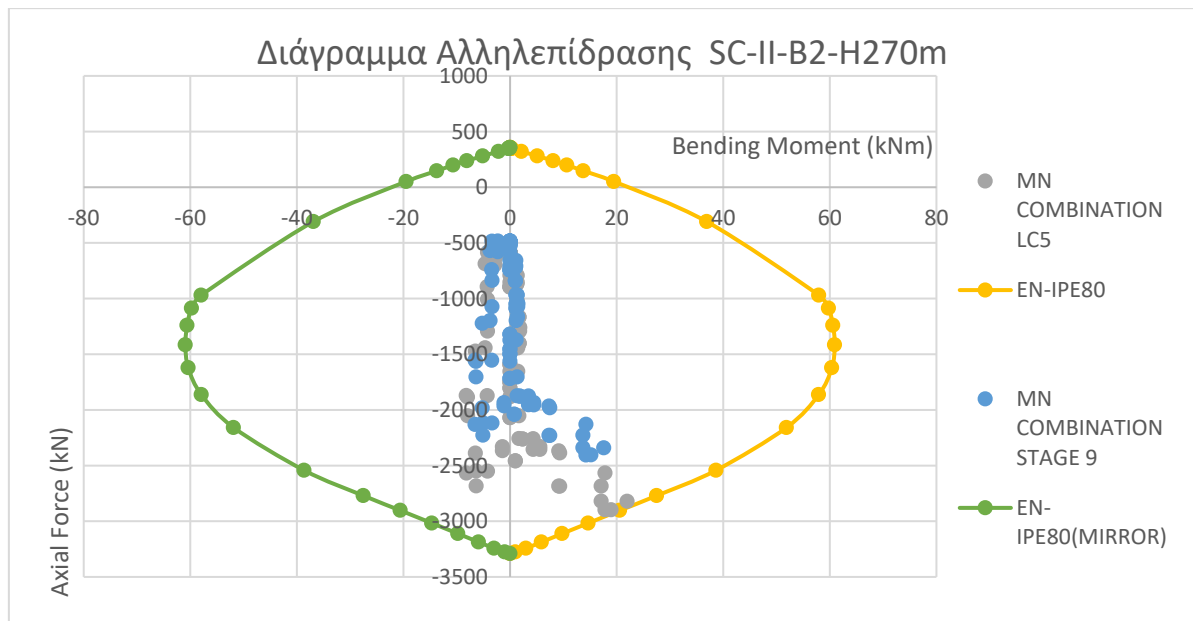
3.3.2 Αποτελέσματα Ανάλυσης "SC-II_B2_H270m"

Στο Σχήμα 28 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο 9 της ανάλυσης. Μέγιστη μετατόπιση εμφανίζεται στην στέψη ίση με 11mm.



Σχήμα 28 Ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο της ανάλυσης "SC-II_B2_H270m"

Ο έλεγχος επάρκειας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος πραγματοποιείται με την χρήση διαγράμματος αλληλεπίδρασης στο Σχήμα 29 που ακολουθεί.



Σχήμα 29 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N ανάλυσης "SC-II_B2_H270m"

Στο διάγραμμα παρατηρούνται όλα τα σημεία εντός της περιβάλλουσας. Τα σημεία αποτυπώνουν τους συνδυασμούς φόρτισης (αξονικής δύναμης και ροπής) του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

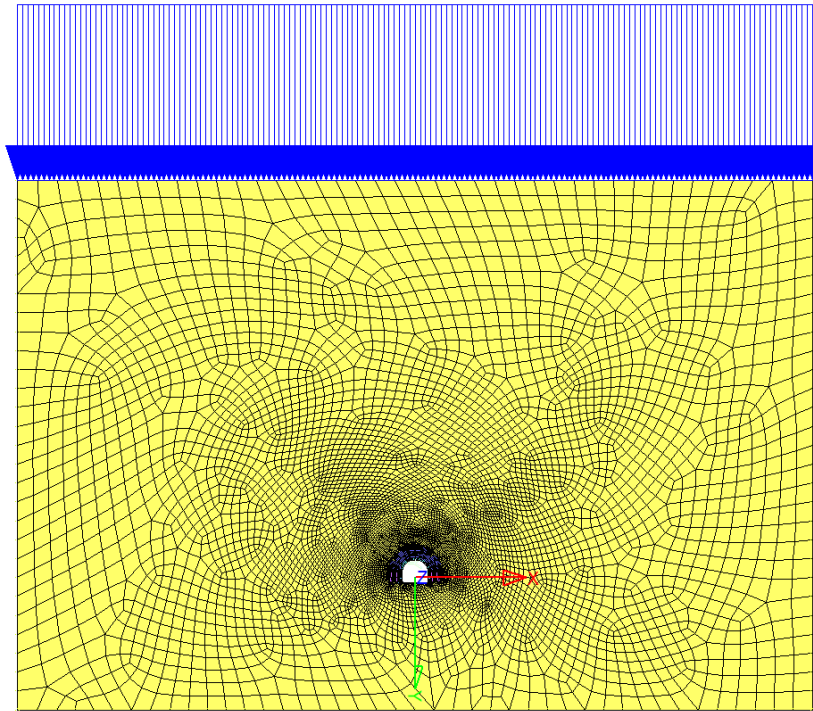
3.3.3 Αριθμητικό μοντέλο Ανάλυσης "SC-II_B1_H400m"

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 30.

Πίνακας 30 Μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης SC-II_B1_H400m.

Κατηγορία Υποστήριξης	TE	γ (MN/m ³)	E_m (GPa)	ν	Συνοχή c (MPa)	Γωνία Τριβής φ°	Γωνία Διαστολικότητας δ°	σ_{cm} tensile (Mpa) αντοχή σε εφελκυσμό
SC-II	B1	0,0265	13,82	0,30	1,67	43	0	0

Ακολουθεί ενδεικτική εικόνα με το μοντέλο της προσομοίωσης. Οι διαστάσεις είναι αυτές που περιγράφονται στην ενότητα 3.1.6.2. Για την προσομοίωση του πραγματικού ύψους των υπερκείμενων σχηματισμών στην συγκεκριμένη ανάλυση εισάγεται το αντίστοιχο γραμμικό φορτίο ίσο με 6625 kN/m.



Εικόνα 23 Αριθμητικό μοντέλο της ανάλυσης "SC-II_B1_H400m"

Ακολουθεί εικόνα από το λογισμικό Wintube με την συμμετοχή της κάθε ομάδας στοιχείων ανά στάδιο προσομοίωσης.

Overview of Groups

Edit item : ALPH Factor of primary relief $0.0 < \alpha < 1.0$ (FACS=FACL=FACP=FACD=alpha)

Take all group properties with copy and fill

Copy only to activated groups activate groups automatically

Gruppe		LC 1	LC 2	LC 3	LC 4	LC 5	LC 6	LC 7	LC 8	LC 9	LC 10
1	limestone	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	top head inner material	1	0.2436	0.1283	0.0628						
3	bench inner material	1	1	1	1	1	0.2436	0.1283	0.0628		
4	top temp lining			0.222	0.444	1	1	1	1	1	
5	bench temp lining							0.222	0.444	1	
6	top rockbolts			1	1	1	1	1	1	1	
7	bench rockbolts							1	1	1	
8	Connection-springs										1
9	Inner-lining										1

Hide non-active groups

Cancel Ok

Εικόνα 24 Συμμετοχή της κάθε ομάδας στοιχείων ανά στάδιο προσομοίωσης της ανάλυσης "SC-II_B1_H400m"

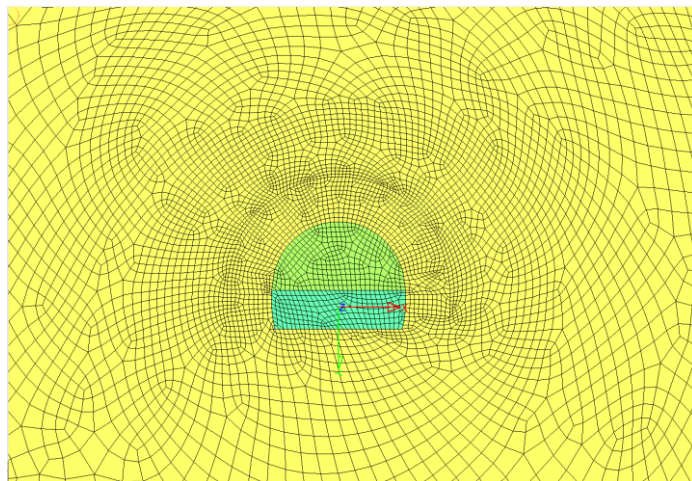
Τέλος παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας με τα στάδια προσομοίωσης του αριθμητικού μοντέλου. Επίσης παρουσιάζονται συνολικά αλλά και ανά βήμα οι επιμέρους συντελεστές που χρησιμοποιούνται για την αποτόνωση της βραχομάζας και για την σταδιακή σκλήρυνση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Ανάλυση: SC-II-B1-H400m									
Συγκεντρωτικός πίνακας συντελεστών αποτόνωσης βραχόμαζας και σκλήρυνσης σκυροδέματος για κάθε στάδιο της ανάλυσης.									
#	STAGE	ΒΡΑΧΟΜΑΖΑ				ΑΜΕΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ - ΕΚΤ.ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ			
		ρ_i/ρ_0	$\lambda = (1-\rho_i/\rho_0) \nu$ (TE B1)	ν	E/E_0	ΠΑΧΟΣ(t) (cm)	Eyoung (Mpa)	Δυστένεια(αξονική δυσκαμψία)=E*A (MN)	συντελεστής FACS *SOFISTIK
1	PRIMARY	0	1	0,3	0	0	0	0	0
2	TOP 1	0,53	0,47	0,3	0,243678	0	0	0	0
3	TOP 2	0,34	0,66	0,3	0,128302	10	5000	500	0,222222222
4	TOP 3	0,19	0,81	0,3	0,06281	10	10000	1000	0,444444444
5	TOP 4	0	1	0,3	0	15	15000	2250	1
6	BENCH 1	0,53	0,47	0,3	0,243678	0	0	0	0
7	BENCH 2	0,33	0,67	0,3	0,123364	10	5000	500	0,222222222
8	BENCH 3	0,19	0,81	0,3	0,06281	10	10000	1000	0,444444444
9	BENCH 4	0	1	0,3	0	15	15000	2250	1

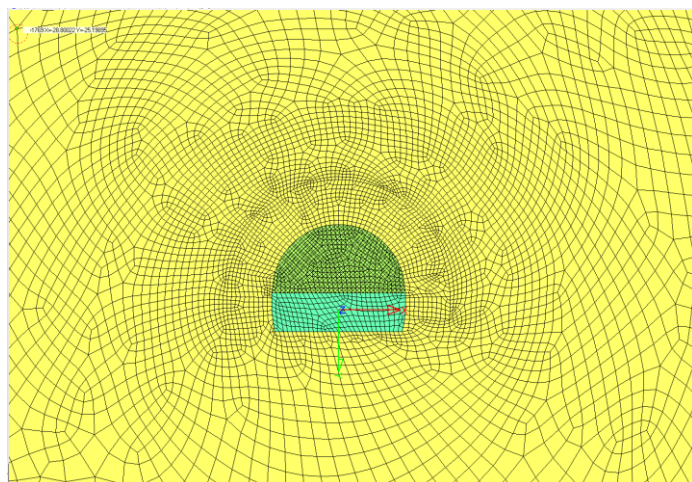
Πίνακας Σταδίων Ανάλυσης

Ενδεικτική εικόνα από το Στάδιο προσομοίωσης & Ενεργές Ομάδες από τα στάδια της ανάλυσης στο Wintube

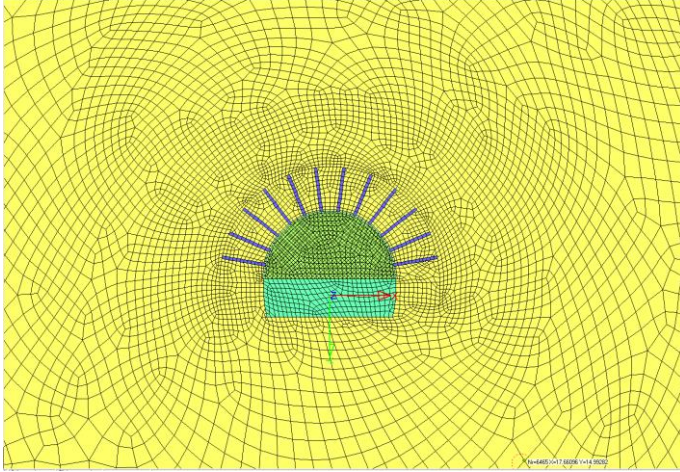
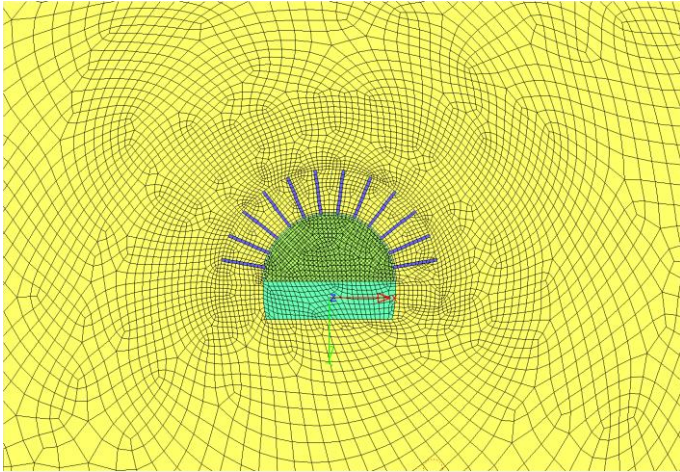
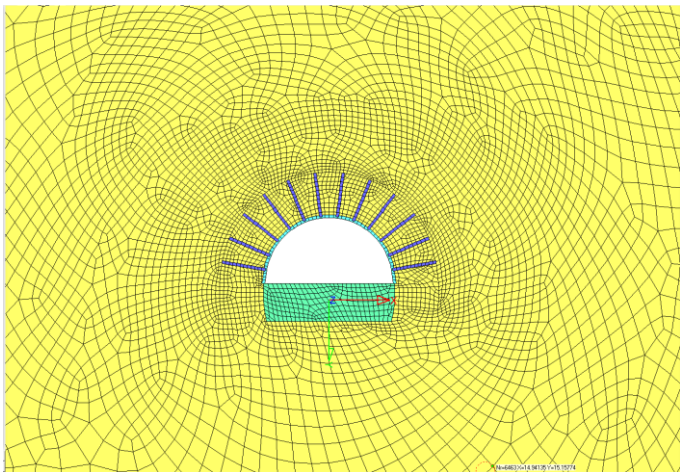
Περιγραφή

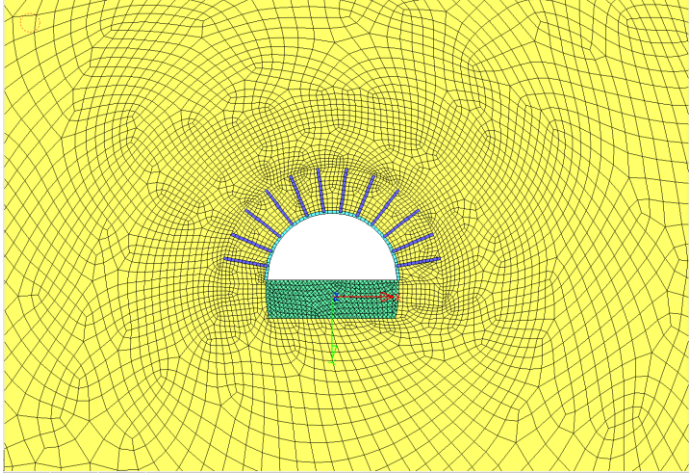
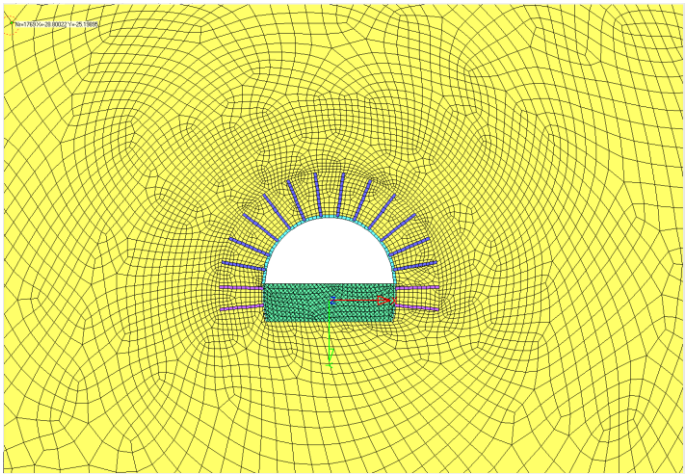
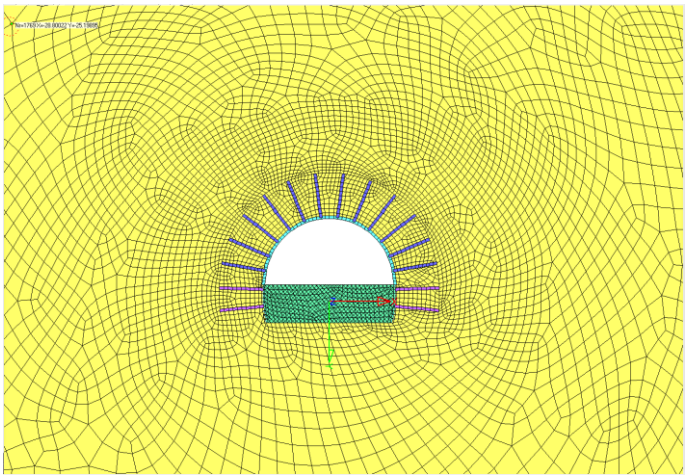


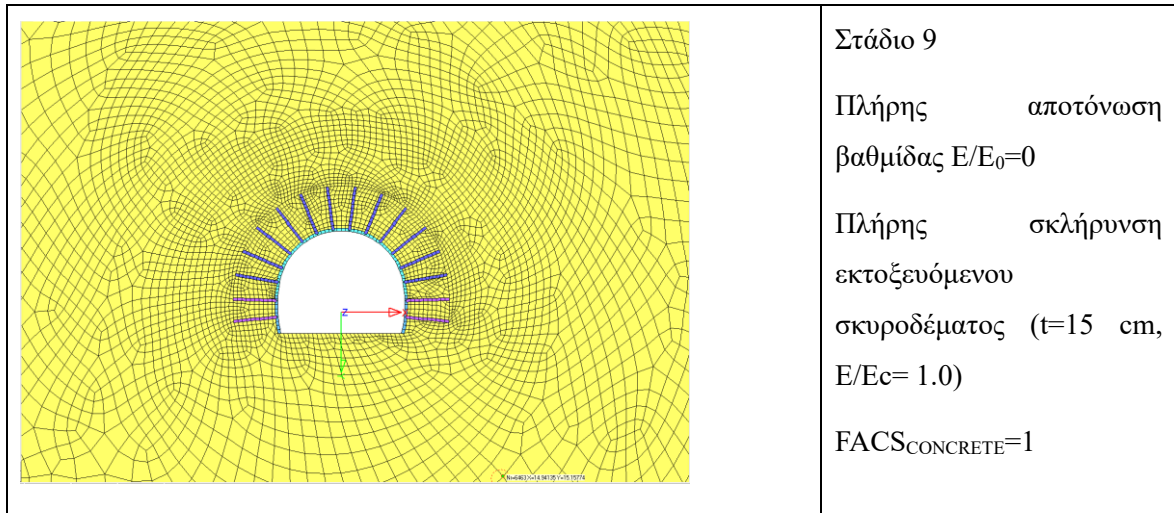
Στάδιο 1
 Αρχικό στάδιο. Διαμόρφωση φυσικού εντατικού πεδίου(H=400m,K=0.7)



Στάδιο 2
 1^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής (S=B/2,E/E₀=0.24)

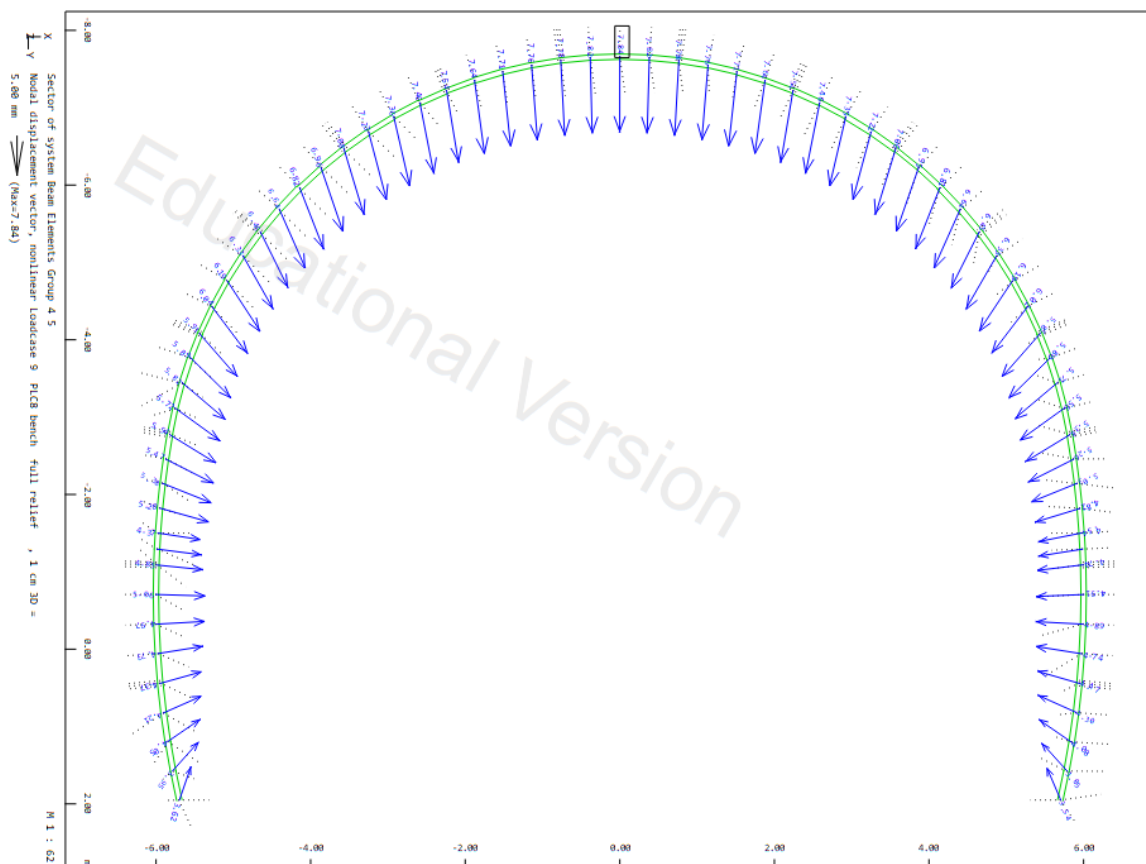
	<p>Στάδιο 3</p> <p>2^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=B+B/2, E/E_0=0.12$)</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυριών</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=10 \text{ cm}, E/E_c=0.333$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.22$</p>
	<p>Στάδιο 4</p> <p>3^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=2*B+B/2, E/E_0=0.06$)</p> <p>Σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=10 \text{ cm}, E/E_c=0.667$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.44$</p>
	<p>Στάδιο 5</p> <p>Πλήρης αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=\infty, E/E_0=0$)</p> <p>Πλήρης σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=15 \text{ cm}, E/E_c=1.0$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=1$</p>

	<p>Στάδιο 6</p> <p>1^η αποτόνωση βαθμίδας</p> <p>$E/E_0=0.24$</p>
	<p>Στάδιο 7</p> <p>2^η αποτόνωση βαθμίδας</p> <p>$E/E_0=0.12$</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυρίων</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=10\text{ cm}$, $E/E_c=0.333$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.22$</p>
	<p>Στάδιο 8</p> <p>3^η αποτόνωση βαθμίδας</p> <p>$E/E_0=0.06$</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυρίων</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=10\text{ cm}$, $E/E_c=0.667$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.44$</p>



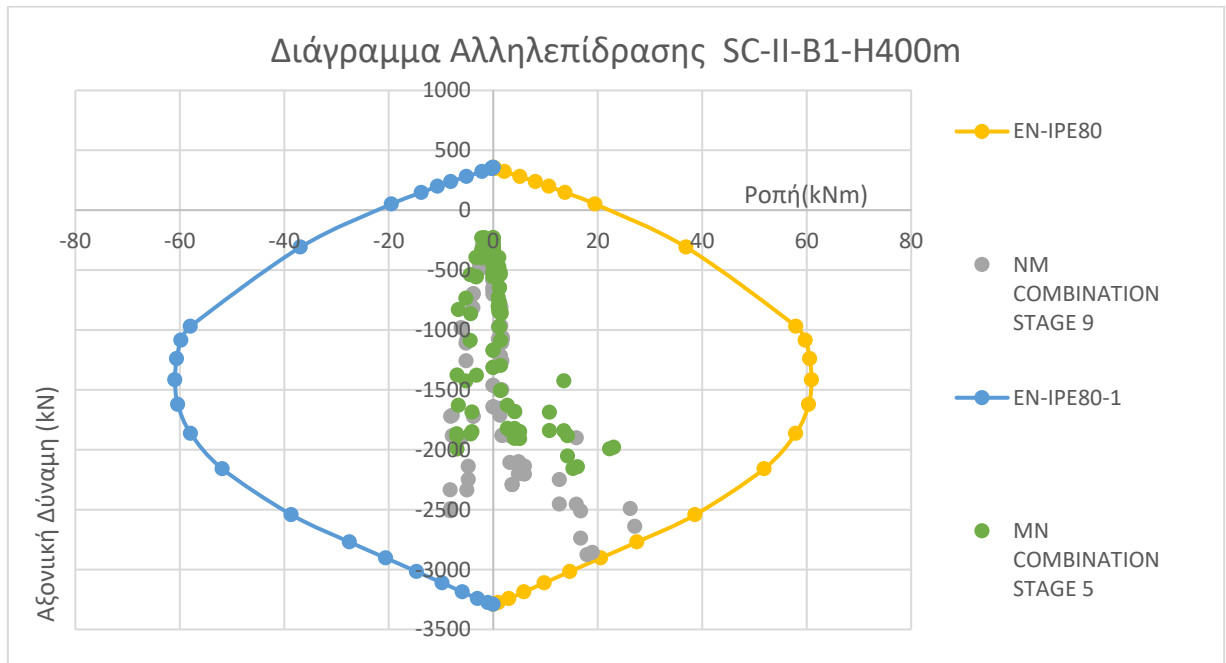
3.3.4 Αποτελέσματα Ανάλυσης "SC-II_B1_H400m"

Στο Σχήμα 30 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο 9 της ανάλυσης. Μέγιστη μετατόπιση εμφανίζεται στην στέψη ίση με 8mm.



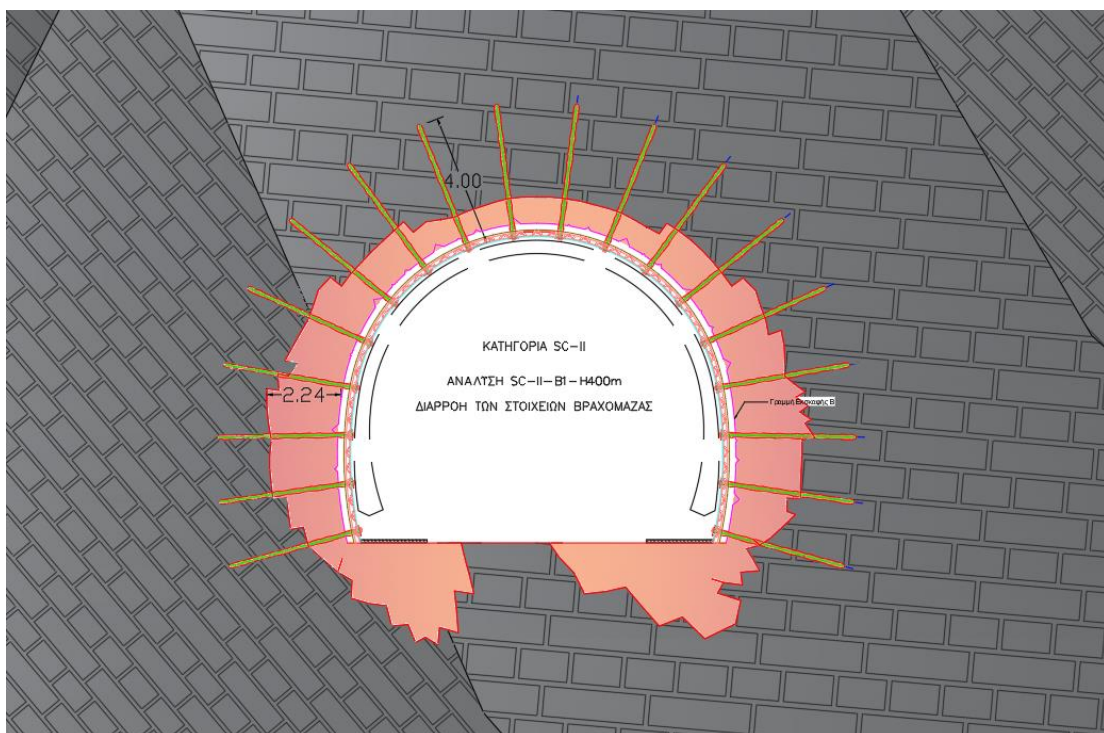
Σχήμα 30 Ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο της ανάλυσης "SC-II_B1_H400m".

Ο έλεγχος επάρκειας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος πραγματοποιείται με την χρήση διαγράμματος αλληλεπίδρασης στο Σχήμα 31 που ακολουθεί.



Σχήμα 31 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N ανάλυσης "SC-II_B2_H270m"

Στο διάγραμμα του Σχήματος 31 παρατηρούνται όλα τα σημεία εντός της περιβάλλουσας αντοχής.



Σχήμα 32 Διαρροή των στοιχείων της βραχομάζας περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής στο τελικό στάδιο προσομοίωσης.

Στο Σχήμα 32 παρατηρείται η δημιουργία μικρής πλαστικής ζώνης περιμετρικά του ανοίγματος. Επίσης παρατηρείται ότι όλα τα αγκύρια εκτείνονται πέρα της πλαστικής ζώνης.

3.4 Κατηγορία προσωρινής υποστήριξης SC-IIIa

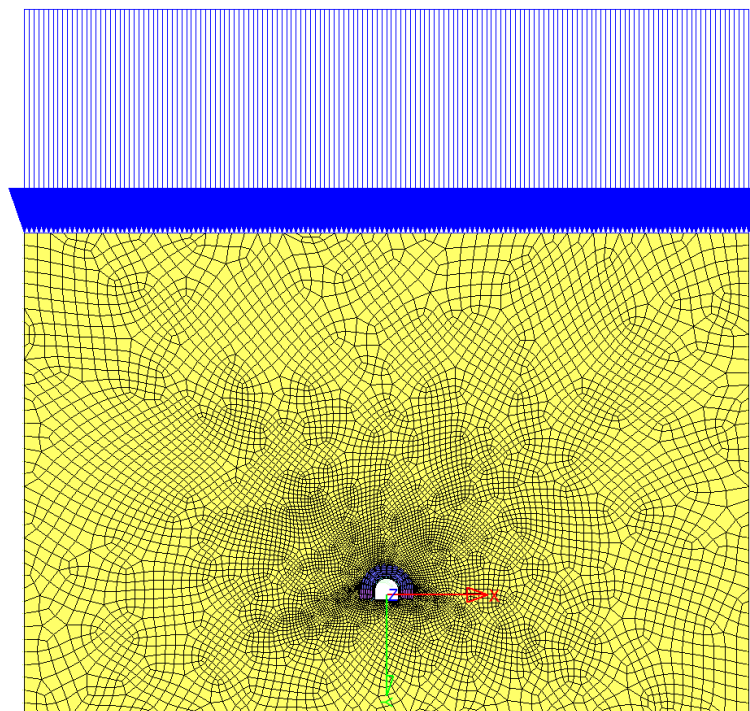
3.4.1 Αριθμητικό μοντέλο Ανάλυσης "SC-IIIa_B1_H500m"

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 31.

Πίνακας 31 Μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης SC-IIIa_B1_H500m.

Κατηγορία Υποστήριξης	TE	γ (MN/m ³)	E_m (GPa)	ν	Συνοχή c (MPa)	Γωνία Τριβής ϕ°	Γωνία Διαστολικότητας δ°	$\sigma_{cmensile}$ (MPa) αντοχή σε εφελκυσμό
SC-IIIa	B1	0,0265	13,82	0,30	1,91	41	0	0

Ακολουθεί ενδεικτική εικόνα με το μοντέλο της προσομοίωσης. Οι διαστάσεις είναι αυτές που περιγράφονται στην ενότητα 3.1.6.2. Για την προσομοίωση του πραγματικού ύψους των υπερκείμενων σχηματισμών στην συγκεκριμένη ανάλυση εισάγεται το αντίστοιχο γραμμικό φορτίο ίσο με 9270 kN/m.



Εικόνα 25 Αριθμητικό μοντέλο της ανάλυσης "SC-IIIa_B1_H500m"

Overview of Groups

Edit item : ALPH Factor of primary relief 0.0<alpha<1.0 (FACS=FACL=FACP=FACD=alpha)

Take all group properties with copy and fill
 Copy only to activated groups activate groups automatically

Gruppe		LC 1	LC 2	LC 3	LC 4	LC 5	LC 6	LC 7	LC 8	LC 9	LC 10
1	limestone TEB1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	top head inner material	1	0.2292	0.109	0.051						
3	bench inner material	1	1	1	1	1	0.2292	0.109	0.051		
4	top temp lining			0.2	0.533	1	1	1	1	1	
5	bench temp lining							0.2	0.533	1	
6	top rockbolts			1	1	1	1	1	1	1	
7	bench rockbolts							1	1	1	
8	Connection-springs										1
9	Inner-lining										1

Hide non-active groups

Cancel Ok

Εικόνα 26 Συμμετοχή της κάθε ομάδας στοιχείων ανά στάδιο προσομοίωσης της ανάλυσης "SC-IIIa_B1_H500m"

Τέλος παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας με τα στάδια προσομοίωσης του αριθμητικού μοντέλου. Επίσης παρουσιάζονται συνολικά αλλά και ανά βήμα οι επιμέρους συντελεστές που χρησιμοποιούνται για την αποτόνωση της βραχομάζας και για την σταδιακή σκλήρυνση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

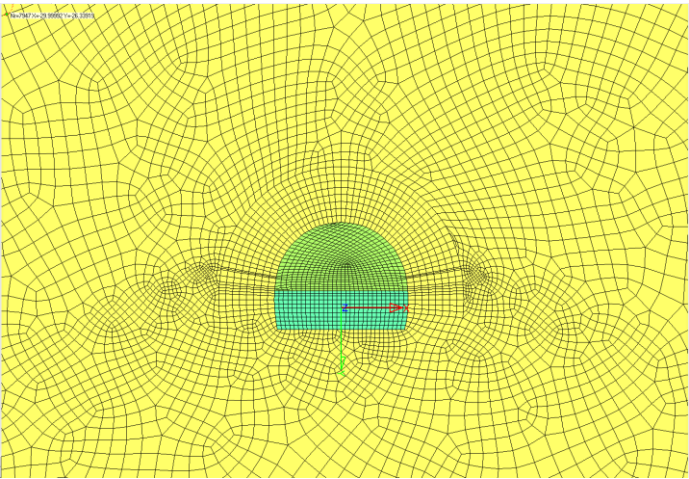
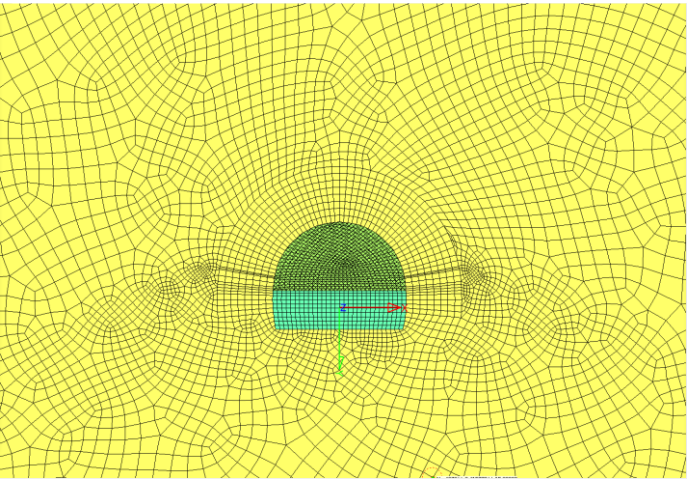
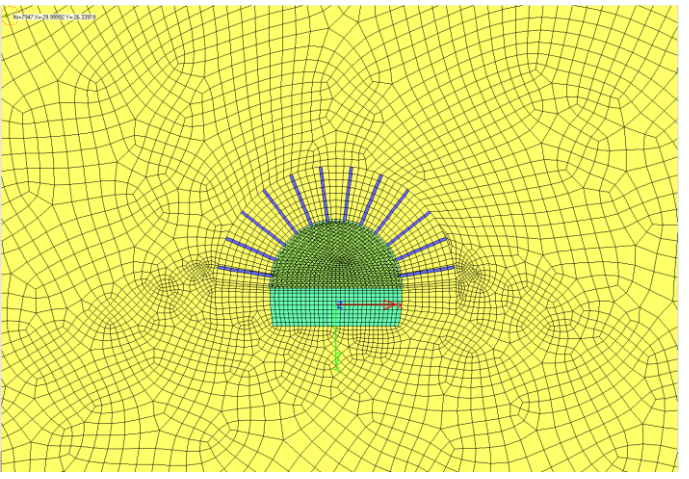
Ανάλυση: SC-IIIa-B1-H500m

Συγκεντρωτικός πίνακας συντελεστών αποτόνωσης βραχομάζας και σκλήρυνσης σκυροδέματος για κάθε στάδιο της ανάλυσης.

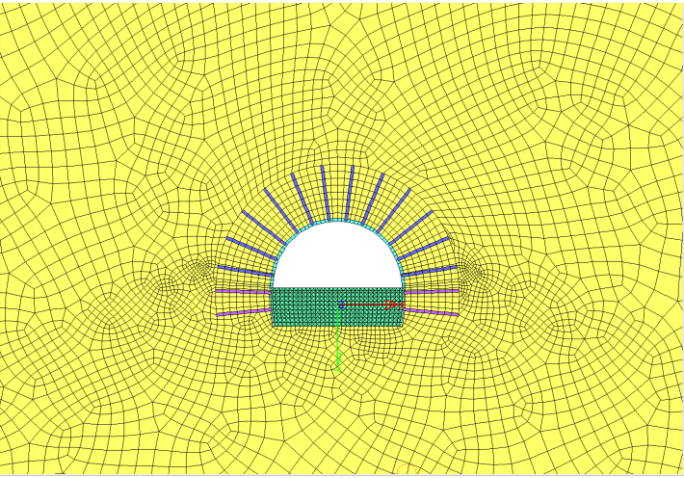
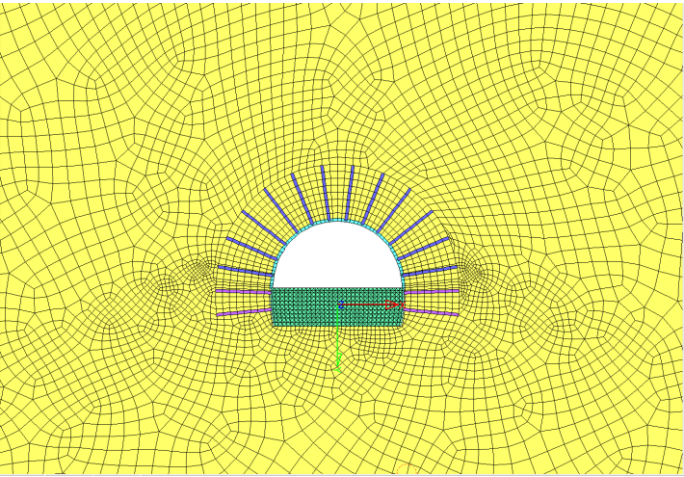
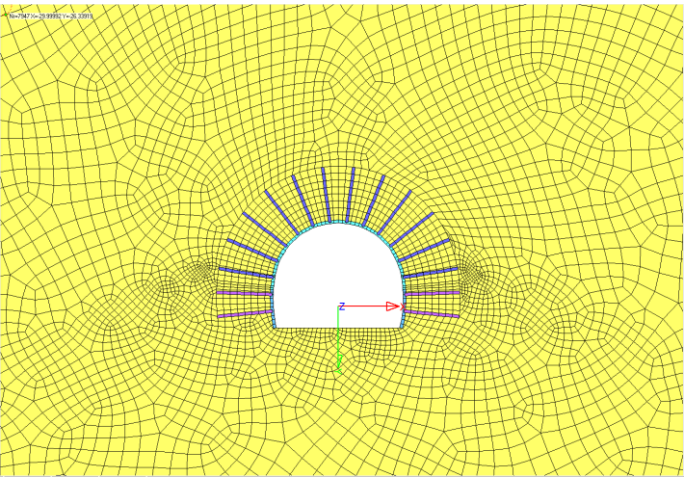
#	STAGE	ΒΡΑΧΟΜΑΖΑ				ΑΜΕΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ - ΕΚΤ.ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ			
		ρ/ρ_0	$\lambda = (1-\rho/\rho_0)$	ν (TE B1)	E/E_0	ΠΑΧΟΣ(t) (cm)	Eyoung (Mpa)	Δυστένεια(αξονική δυσκαμψία)=E*A (MN)	συντελεστής FAKS *SOFISTIK
1	PRIMARY	0	1	0,3	0	0	0	0	0
2	TOP 1	0,51	0,49	0,3	0,229213	0	0	0	0
3	TOP 2	0,3	0,7	0,3	0,109091	15	5000	750	0,2
4	TOP 3	0,16	0,84	0,3	0,051613	20	10000	2000	0,533
5	TOP 4	0	1	0,3	0	25	15000	3750	1
6	BENCH 1	0,51	0,49	0,3	0,229213	0	0	0	0
7	BENCH 2	0,3	0,7	0,3	0,109091	15	5000	750	0,2
8	BENCH 3	0,16	0,84	0,3	0,051613	20	10000	2000	0,533
9	BENCH 4	0	1	0,3	0	25	15000	3750	1
					inputs				inputs

Πίνακας Σταδίων Ανάλυσης

Ενδεικτική εικόνα από το Στάδιο προσομοίωσης & Ενεργές Ομάδες από τα στάδια της ανάλυσης στο Wintube	Περιγραφή
--	-----------

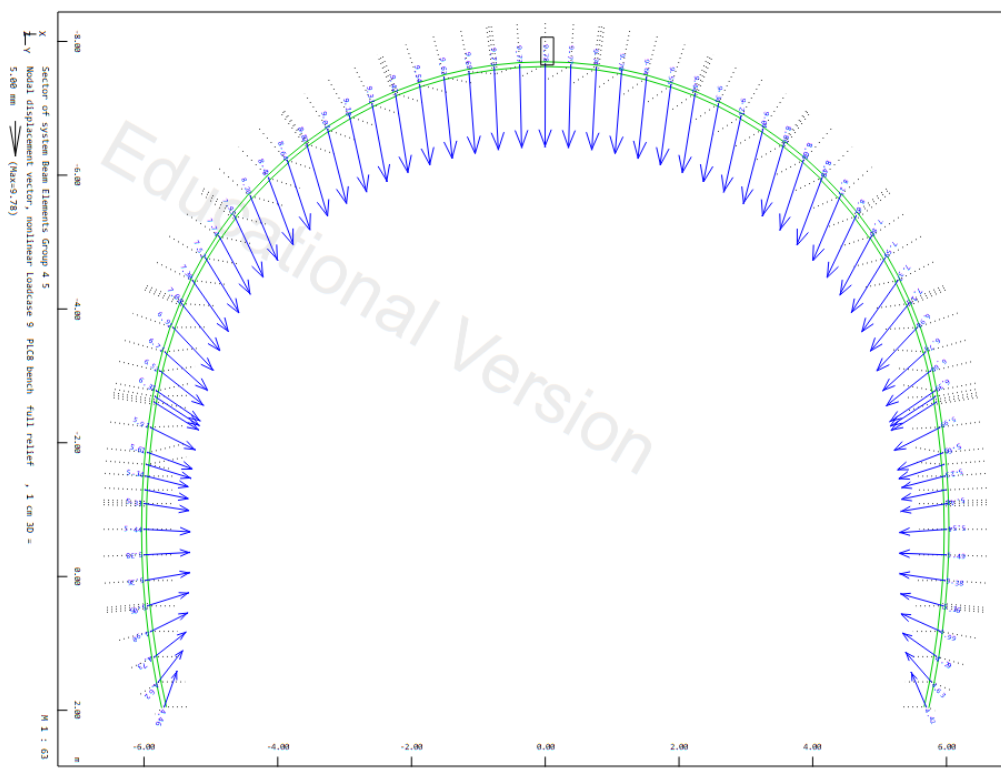
	<p>Στάδιο 1</p> <p>Αρχικό στάδιο. Διαμόρφωση φυσικού εντατικού πεδίου($H=500m, K=0,7$)</p>
	<p>Στάδιο 2</p> <p>1^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=B/2, E/E_0=0.23$)</p>
	<p>Στάδιο 3</p> <p>2^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=B+B/2, E/E_0=0.11$)</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυρίων</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=15\text{ cm}, E/E_c= 0.333$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.2$</p>

	<p>Στάδιο 4</p> <p>3^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=2*B+B/2$, $E/E_0=0.05$)</p> <p>Σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=20$ cm, $E/E_c= 0.667$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.53$</p>
	<p>Στάδιο 5</p> <p>Πλήρης αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=\infty$, $E/E_0=0$)</p> <p>Πλήρης σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=25$ cm, $E/E_c= 1.0$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=1$</p>
	<p>Στάδιο 6</p> <p>1^η αποτόνωση βαθμίδας $E/E_0=0.23$</p>

	<p>Στάδιο 7</p> <p>2^η αποτόνωση βαθμίδας</p> <p>$E/E_0=0.11$</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυρίων</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=15$ cm, $E/E_c= 0.333$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.2$</p>
	<p>Στάδιο 8</p> <p>3^η αποτόνωση βαθμίδας</p> <p>$E/E_0=0.05$</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυρίων</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=20$ cm, $E/E_c= 0.667$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.53$</p>
	<p>Στάδιο 9</p> <p>Πλήρης αποτόνωση βαθμίδας $E/E_0=0$</p> <p>Πλήρης σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=25$ cm, $E/E_c= 1.0$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=1$</p>

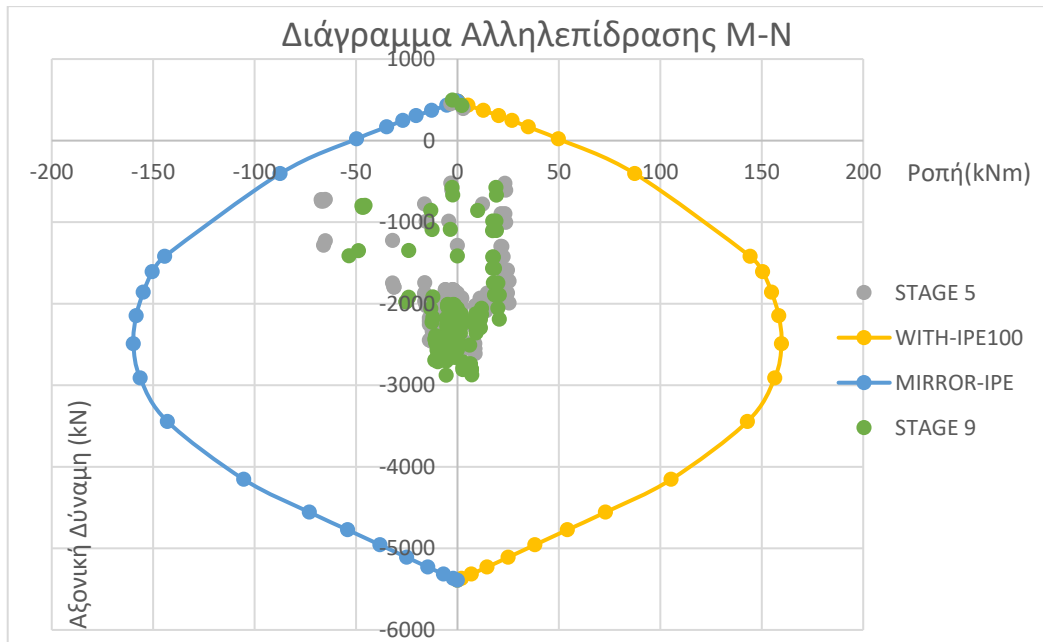
3.4.2 Αποτελέσματα Ανάλυσης "SC-IIIa_B1_H500m"

Στο Σχήμα 33 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο 9 της ανάλυσης. Μέγιστη μετατόπιση εμφανίζεται στην στέψη ίση με 10mm.



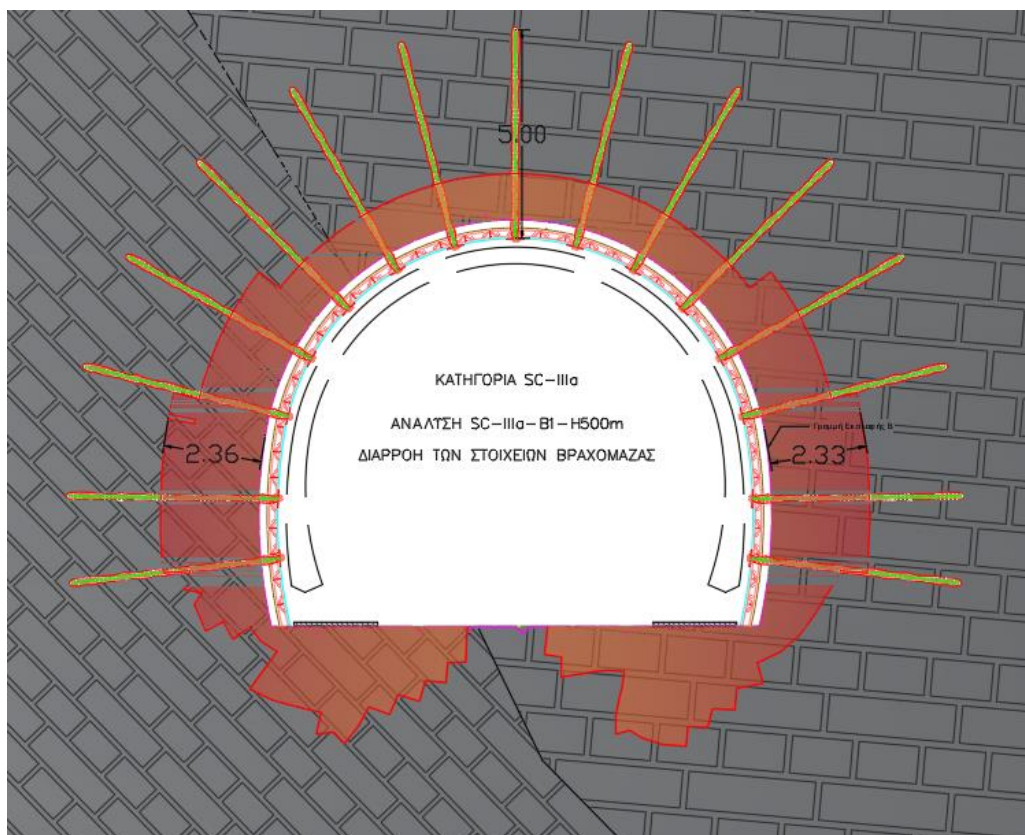
Σχήμα 33 Ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο της ανάλυσης "SC-IIIa_B1_H500m".

Ο έλεγχος επάρκειας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος πραγματοποιείται με την χρήση διαγράμματος αλληλεπίδρασης στο Σχήμα 34 που ακολουθεί.



Σχήμα 34 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N ανάλυσης "SC-IIIa_B1_H500m"

Στο διάγραμμα του Σχήματος 34 παρατηρούνται όλα τα σημεία εντός της περιβάλλουσας αντοχής. Τα σημεία αποτυπώνουν τον συνδυασμό φόρτισης αξονικής δύναμης και ροπής για κάθε κόμβο των στοιχείων δοκού του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.



Σχήμα 35 Διαρροή των στοιχείων της βραχομάζας περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής στο τελικό στάδιο προσομοίωσης.

Στο Σχήμα 35 παρατηρείται η δημιουργία πλαστικής ζώνης περιμετρικά του ανοίγματος. Επίσης παρατηρείται ότι όλα τα αγκύρια εκτείνονται πέρα της πλαστικής ζώνης.

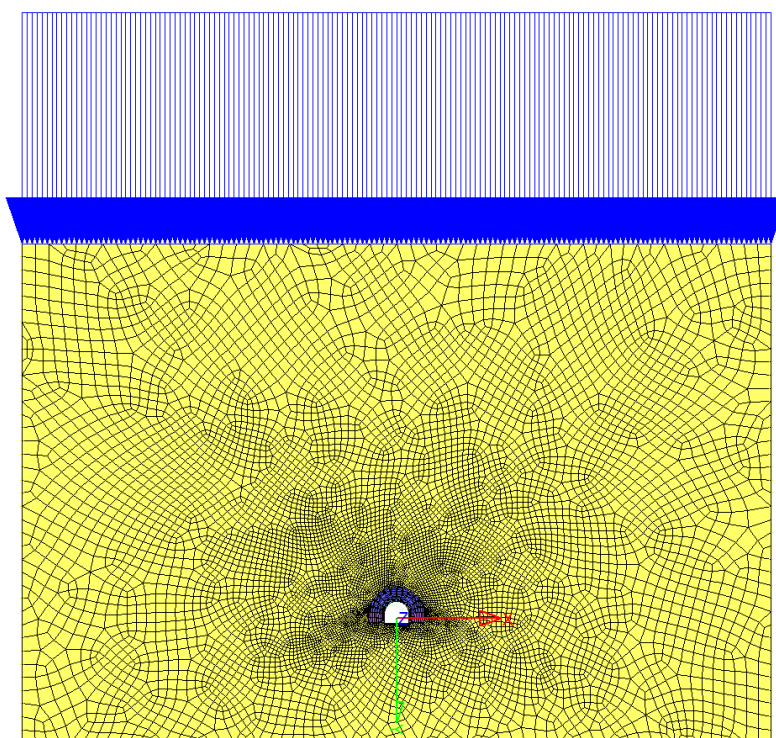
3.4.3 Αριθμητικό μοντέλο Ανάλυσης "SC-IIIa_B2_H380m"

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 32.

Πίνακας 32 Μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης SC-IIIa_B2_H380m.

Κατηγορία Υποστήριξης	TE	γ (MN/m ³)	E_m (GPa)	ν	Συνοχή c (MPa)	Γωνία Τριβής ϕ°	Γωνία Διαστολικότητας δ°	$\sigma_{\text{cm}}^{\text{tensile}}$ (Mpa) αντοχή σε εφελκυσμό
SC-IIIa	B2	0,0265	6,386	0,30	1,27	39	0	0

Ακολουθεί ενδεικτική εικόνα με το μοντέλο της προσομοίωσης. Οι διαστάσεις είναι αυτές που περιγράφονται στην ενότητα 3.1.6.2. Για την προσομοίωση του πραγματικού ύψους των υπερκείμενων σχηματισμών στην συγκεκριμένη ανάλυση εισάγεται το αντίστοιχο γραμμικό φορτίο ίσο με 6100 kN/m.



Σχήμα 36 Αριθμητικό μοντέλο της ανάλυσης "SC-IIIa_B2_H380m"

Overview of Groups

Edit item : ALPH Factor of prliminary relief 0.0<alpha<1.0 (FACS=FACL=FACP=FACD=alpha)

Take all group properties with copy and fill
 Copy only to activated groups activate groups automatically

Gruppe		LC 1	LC 2	LC 3	LC 4	LC 5	LC 6	LC 7	LC 8	LC 9	LC 10
1	limestone TEB2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	top head inner material	1	0.2086	0.109	0.055						
3	bench inner material	1	1	1	1	1	0.2086	0.109	0.055		
4	top temp lining			0.2	0.533	1	1	1	1	1	
5	bench temp lining							0.2	0.533	1	
6	top rockbolts			1	1	1	1	1	1	1	
7	bench rockbolts							1	1	1	
8	Connection-springs										1
9	Inner-lining										1

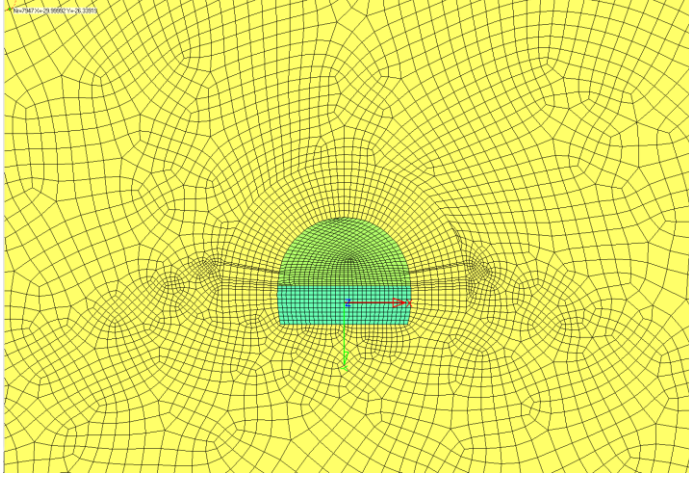
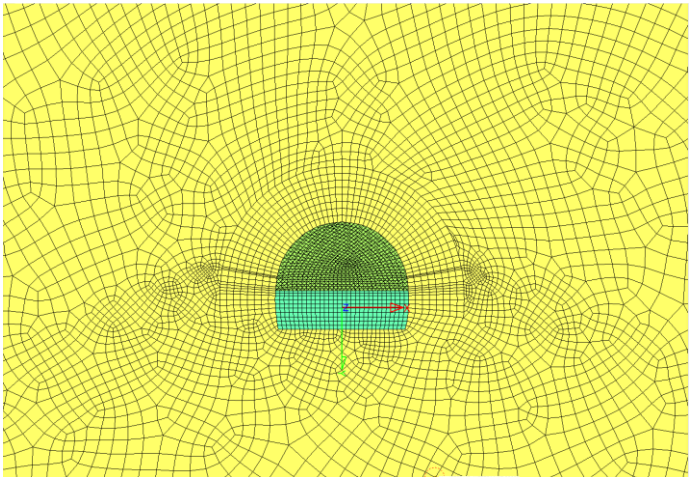
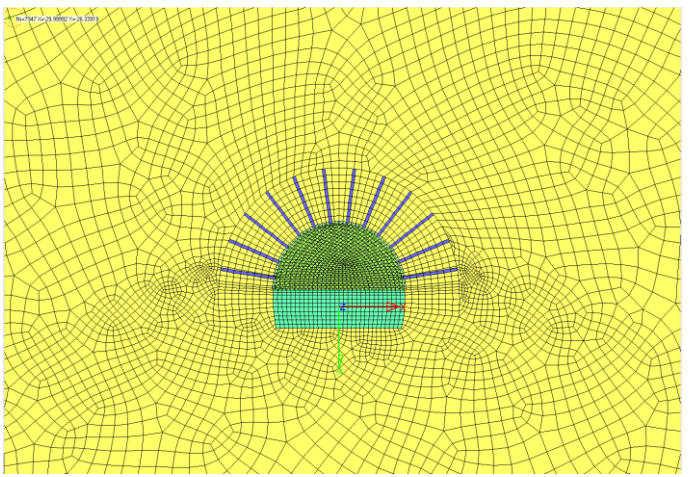
Hide non-active groups

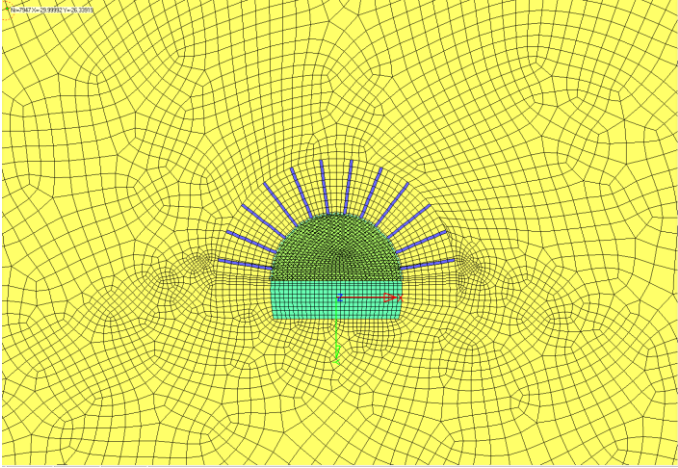
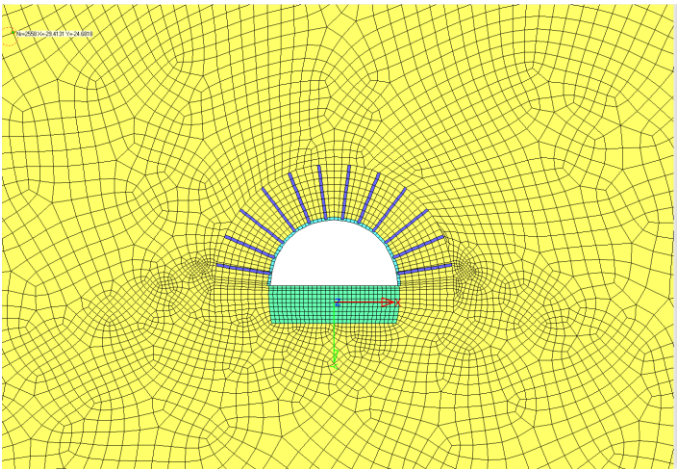
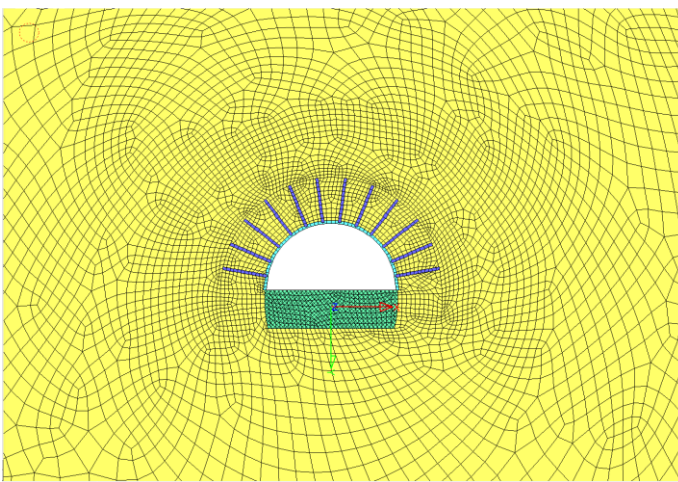
Cancel Ok

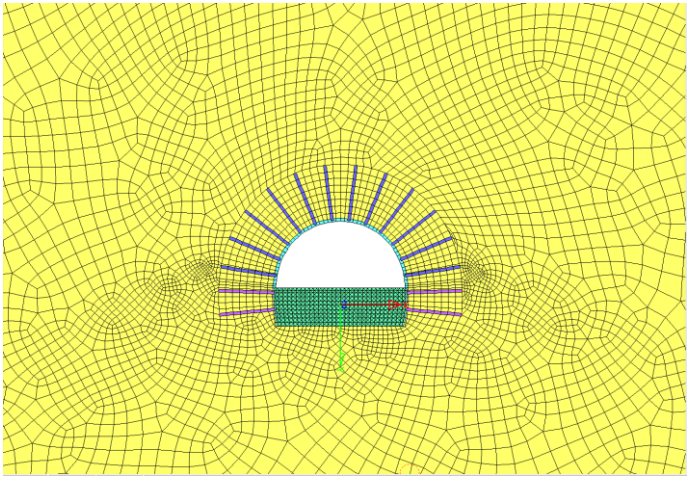
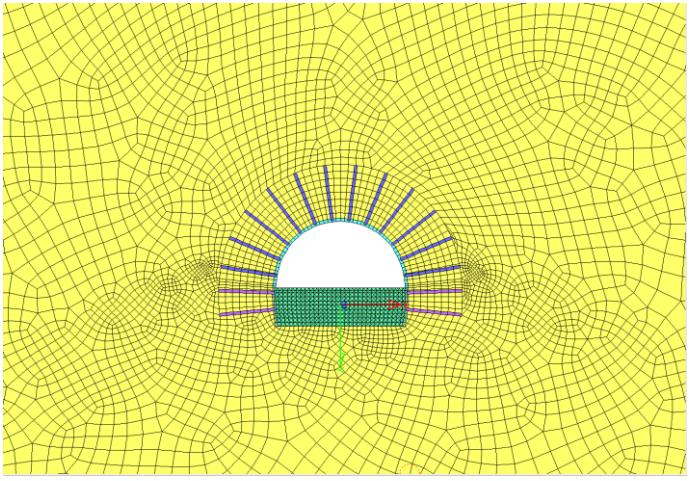
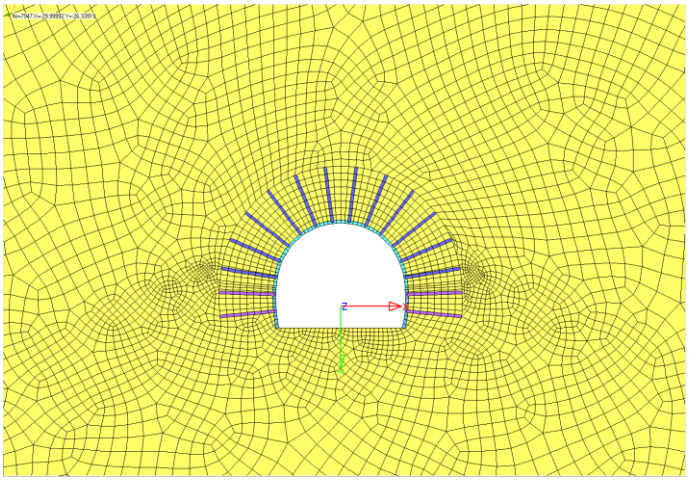
Εικόνα 27 Συμμετοχή της κάθε ομάδας στοιχείων ανά στάδιο προσομοίωσης της ανάλυσης “SC-IIIa_B2_H380m”

Τέλος παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας με τα στάδια προσομοίωσης του αριθμητικού μοντέλου. Επίσης παρουσιάζονται συνολικά αλλά και ανά βήμα οι επιμέρους συντελεστές που χρησιμοποιούνται για την αποτόνωση της βραχομάζας και για την σταδιακή σκλήρυνση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Ανάλυση: SC-IIIa-B2-H380m										
Συγκεντρωτικός πίνακας συντελεστών αποτόνωσης βραχομάζας και σκλήρυνσης σκυροδέματος για κάθε στάδιο της ανάλυσης.										
		ΒΡΑΧΟΜΑΖΑ				ΑΜΕΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ - ΕΚΤ.ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ				
#	STAGE	ρ/ρ_0	$\lambda=(1-\rho/\rho_0)$	ν (TE B2)	E/E_0	ΠΑΧΟΣ(t) (cm)	Eyoung (Mpa)	Δυστένεια(αξονική δυσκαμψία)=E*A (MN)	συντελεστής FACS *SOFISTIK	
1	PRIMARY	1	0	0,3	1	0	0	0	0	
2	TOP 1	0,48	0,52	0,3	0,208696	0	0	0	0	
3	TOP 2	0,3	0,7	0,3	0,109091	15	5000	750	0,2	
4	TOP 3	0,17	0,83	0,3	0,055285	20	10000	2000	0,533	
5	TOP 4	0	1	0,3	0	25	15000	3750	1	
6	BENCH 1	0,48	0,52	0,3	0,208696	0	0	0	0	
7	BENCH 2	0,3	0,7	0,3	0,109091	15	5000	750	0,2	
8	BENCH 3	0,17	0,83	0,3	0,055285	20	10000	2000	0,533	
9	BENCH 4	0	1	0,3	0	25	15000	3750	1	
					INPUTS				INPUTS	
Πίνακας Σταδίων Ανάλυσης										
Ενδεικτική εικόνα από το Στάδιο προσομοίωσης & Ενεργές Ομάδες από τα στάδια της ανάλυσης στο Wintube							Περιγραφή			

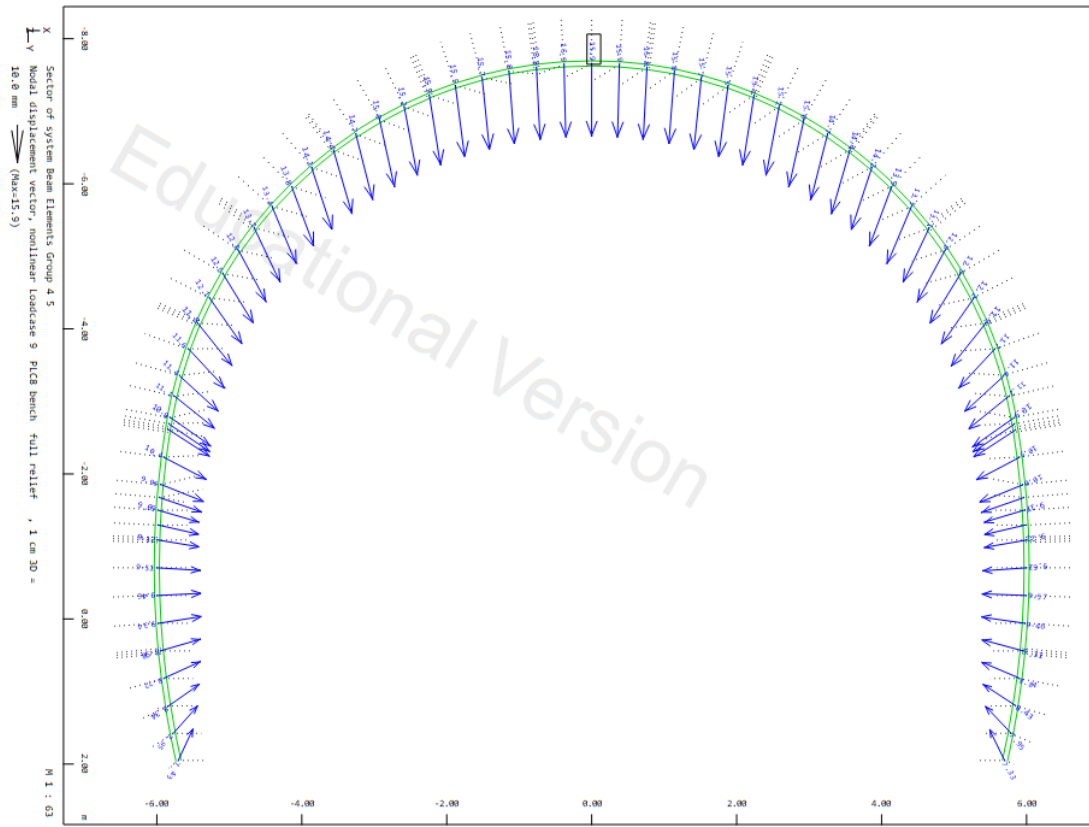
	<p>Στάδιο 1</p> <p>Αρχικό στάδιο. Διαμόρφωση φυσικού εντατικού πεδίου($H=500m, K=0,7$)</p>
	<p>Στάδιο 2</p> <p>1^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=B/2, E/E_0=0.21$)</p>
	<p>Στάδιο 3</p> <p>2^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=B+B/2, E/E_0=0.11$)</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυρίων</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=15\text{ cm}, E/E_c=0.333$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.2$</p>

	<p>Στάδιο 4</p> <p>3^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=2*B+B/2$, $E/E_0=0.05$)</p> <p>Σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=20$ cm, $E/E_c= 0.667$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.53$</p>
	<p>Στάδιο 5</p> <p>Πλήρης αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=\infty$, $E/E_0=0$)</p> <p>Πλήρης σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=25$ cm, $E/E_c= 1.0$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=1$</p>
	<p>Στάδιο 6</p> <p>1^η αποτόνωση βαθμίδας</p> <p>$E/E_0=0.21$</p>

	<p>Στάδιο 7</p> <p>2^η αποτόνωση βαθμίδας</p> <p>$E/E_0=0.11$</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυρίων</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=15$ cm, $E/E_c= 0.333$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.2$</p>
	<p>Στάδιο 8</p> <p>3^η αποτόνωση βαθμίδας</p> <p>$E/E_0=0.05$</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυρίων</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=20$ cm, $E/E_c= 0.667$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.53$</p>
	<p>Στάδιο 9</p> <p>Πλήρης αποτόνωση βαθμίδας $E/E_0=0$</p> <p>Πλήρης σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=25$ cm, $E/E_c= 1.0$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=1$</p>

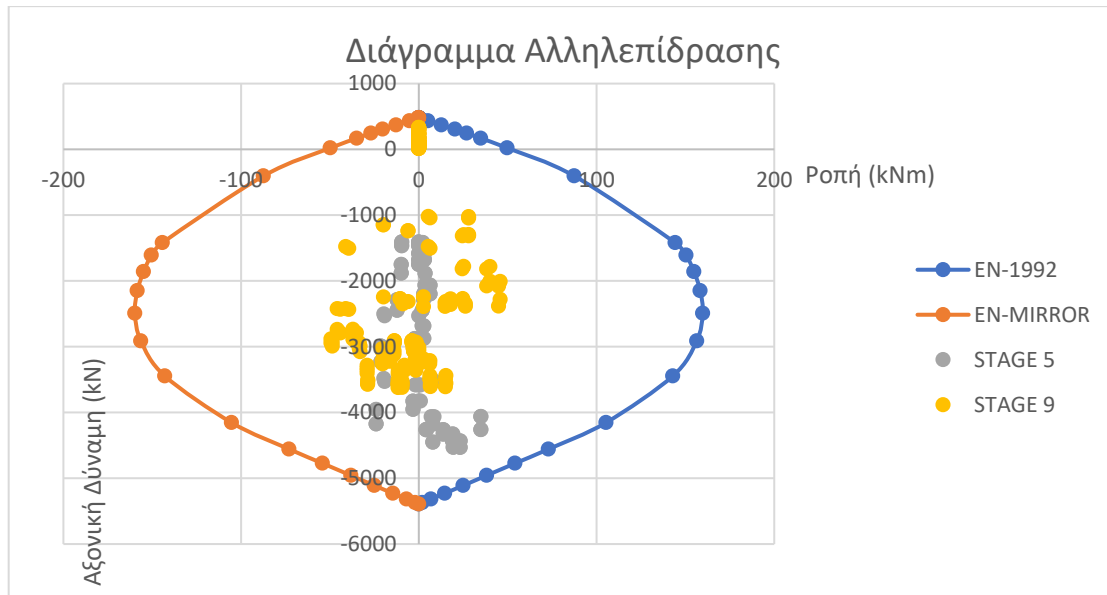
3.4.4 Αποτελέσματα Ανάλυσης "SC-IIIa_B2_H380m"

Στο Σχήμα 37 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο 9 της ανάλυσης. Μέγιστη μετατόπιση εμφανίζεται στην στέψη ίση με 15mm.



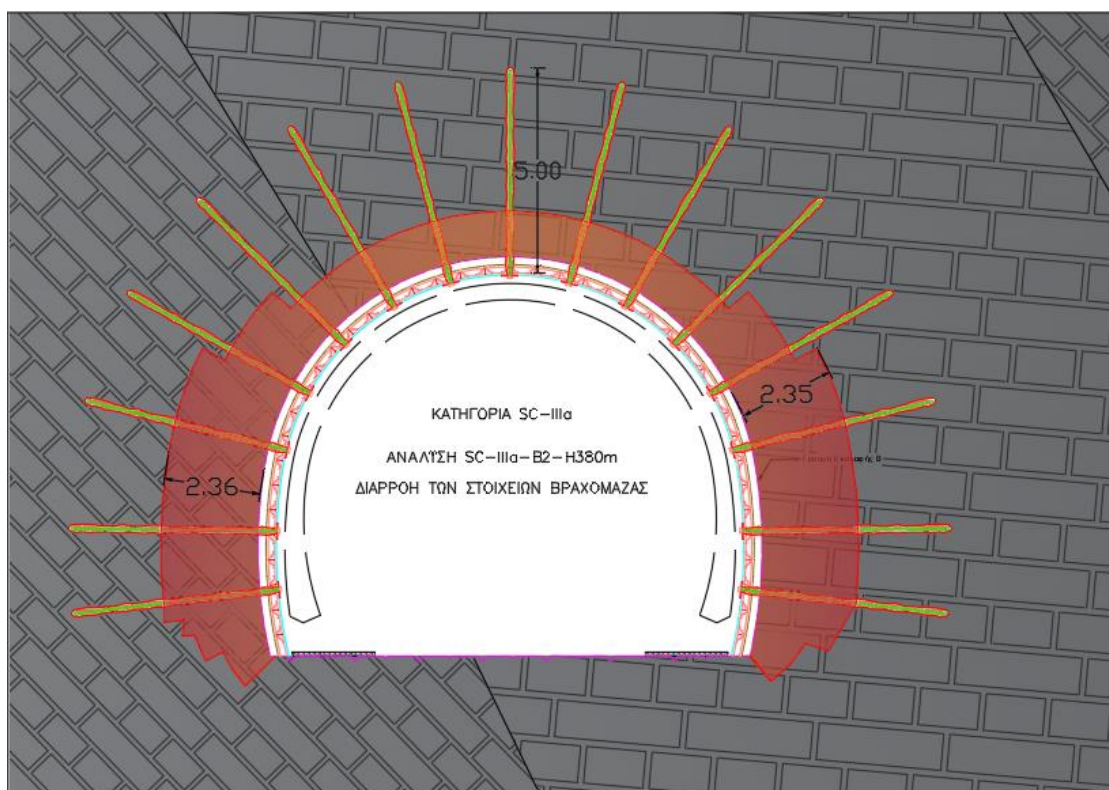
Σχήμα 37 Ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο της ανάλυσης "SC-IIIa_B2_H380m".

Ο έλεγχος επάρκειας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος πραγματοποιείται με την χρήση διαγράμματος αλληλεπίδρασης στο Σχήμα 38 που ακολουθεί.



Σχήμα 38 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N ανάλυσης "SC-IIIa_B2_H380m"

Στο διάγραμμα του Σχήματος 38 παρατηρούνται όλα τα σημεία εντός της περιβάλλουσας αντοχής.



Σχήμα 39 Διαρροή των στοιχείων της βραχομάζας περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής στο τελικό στάδιο προσομοίωσης.

Στο Σχήμα 39 παρατηρείται η δημιουργία πλαστικής ζώνης περιμετρικά του ανοίγματος. Επίσης παρατηρείται ότι όλα τα αγκύρια εκτείνονται πέρα της πλαστικής ζώνης. Τέλος βάσει

των διαγραμμάτων και σχημάτων με τα αποτελέσματα της ενότητας 3.4 η κατηγορία υποστήριξης SC-IIIa εκτιμάται επαρκής.

3.5 Κατηγορία Υποστήριξης SC-IIIb

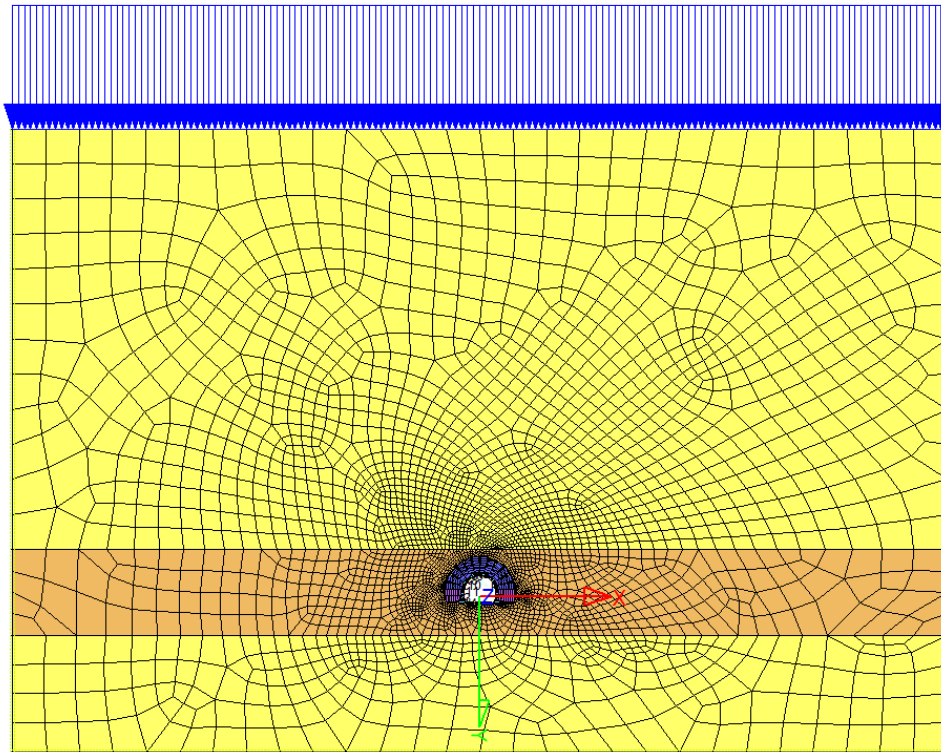
3.5.1 Αριθμητικό μοντέλο Ανάλυσης "SC-IIIb_B3_H300m"

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 33.

Πίνακας 33 Μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης SC-IIIa_B2_H380m.

Κατηγορία Υποστήριξης	TE	γ (MN/m ³)	E_m (GPa)	ν	Συνοχή c (MPa)	Γωνία Τριβής ϕ°	Γωνία Διαστολικότητας δ°	$\sigma_{\text{cm tensile}}$ (Mpa) αντοχή σε εφελκυσμό
SC-IIIb	B3	0,0265	24,5	0,35	0,69	32	0	0
	B2	0,0265	6,38	0,30	1,1	36	0	0

Ακολουθεί ενδεικτική εικόνα με το μοντέλο της προσομοίωσης. Οι διαστάσεις είναι αυτές που περιγράφονται στην ενότητα 3.1.6.2. Για την προσομοίωση του πραγματικού ύψους των υπερκείμενων σχηματισμών στην συγκεκριμένη ανάλυση εισάγεται το αντίστοιχο γραμμικό φορτίο ίσο με 3975 kN/m. Στην συγκεκριμένη ανάλυση θεωρείται ζώνη πάχους 25m της τεχνικογεωλογικής ενότητας TE B3 στην οποία πραγματοποιείται η τμηματική διάνοιξη της σήραγγας(ο άξονας της σήραγγας διέρχεται από το κέντρο της ζώνης). Άνω και κάτω των ορίων της ζώνης, η βραχομάζα θεωρείται ότι ανήκει στην τεχνικογεωλογική ενότητα TE B2.Σκοπός της ανάλυσης είναι να προσομοιώσει την διέλευση της σήραγγας από περιοχές που αντιστοιχούν στην ζώνη επώθησης.[2] Εντός της ζώνης θεωρείται ότι η βραχομάζα παρά τον έντονο κερματισμό της λόγω άμεσης γειννίας με την περιοχή επώθησης (Ζώνη της Πίνδου επί της Ιόνιας), διατηρεί υψηλό μέτρο ελαστικότητας λόγω της περίσφιξης της βραχομάζας, όπως περιγράφεται στην ενότητα 3.1.4.



Εικόνα 28 Αριθμητικό μοντέλο της ανάλυσης "SC-IIIb_B3_H300m"

Overview of Groups

Edit item : ALPH Factor of prliminary relief $0.0 < \alpha < 1.0$ (FACS=FACL=FACP=FACD=alpha)

Take all group properties with copy and fill

Copy only to activated groups activate groups automaticly

Gruppe		LC 1	LC 2	LC 3	LC 4	LC 5	LC 6	LC 7	LC 8	LC 9	LC 10
1	limestone TEB2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	top head inner material	1	0.16	0.11	*						
3	bench inner material	1	1	1	1	1	0.16	0.11	0.07		
4	top temp lining			0.2	0.533	1	1	1	1	1	
5	bench temp.lining							0.2	0.533	1	
6	top rockbolts			1	1	1	1	1	1	1	
7	bench rockbolts							1	1	1	
8	Connection-springs										1
9	Inner-lining										1

Hide non-active groups

Cancel Ok

Εικόνα 29 Συμμετοχή της κάθε ομάδας στοιχείων ανά στάδιο προσομοίωσης της ανάλυσης "SC-IIIb_B3_H300m"

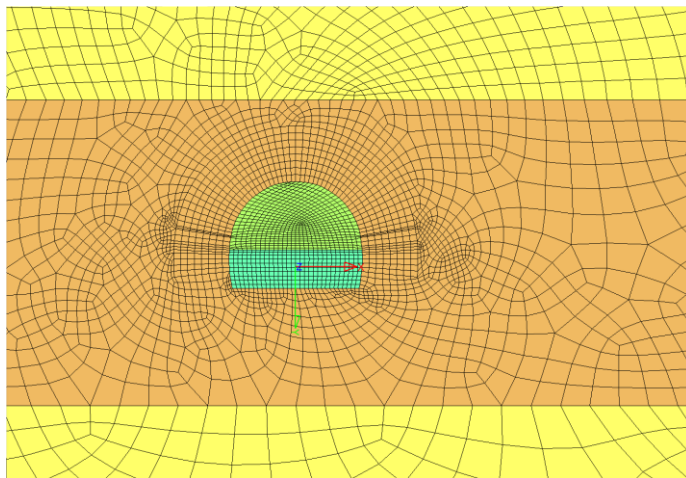
Τέλος παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας με τα στάδια προσομοίωσης του αριθμητικού μοντέλου. Επίσης παρουσιάζονται συνολικά αλλά και ανά βήμα οι επιμέρους συντελεστές που χρησιμοποιούνται για την αποτόνωση της βραχομάζας και για την σταδιακή σκλήρυνση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Ανάλυση: SC-IIIb-B3-H300m									
Συγκεντρωτικός πίνακας συντελεστών αποτόνωσης βραχόμαζας και σκλήρυνσης σκυροδέματος για κάθε στάδιο της ανάλυσης.									
#	STAGE	ΒΡΑΧΟΜΑΖΑ				ΑΜΕΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ - ΕΚΤ.ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ			
		ρ/ρ_0	$\lambda = (1-\rho/\rho_0) \nu$ (TE B2)	E/E_0		ΠΑΧΟΣ(t) (cm)	Eyoung (Mpa)	Δυστένεια(αξονική δυσκαμψία)=E*A (MN)	συντελεστής FACS *SOFISTIK
1	PRIMARY	1	0	0,3	1	0	0	0	0
2	TOP 1	0,41	0,59	0,3	0,1657	0	0	0	0
3	TOP 2	0,31	0,69	0,3	0,1138	15	5000	750	0,2
4	TOP 3	0,23	0,77	0,3	0,0786	20	10000	2000	0,533
5	TOP 4	0	1	0,3	0	25	15000	3750	1
6	BENCH 1	0,41	0,59	0,3	0,1657	0	0	0	0
7	BENCH 2	0,31	0,69	0,3	0,1138	15	5000	750	0,2
8	BENCH 3	0,23	0,77	0,3	0,0786	20	10000	2000	0,533
9	BENCH 4	0	1	0,3	0	25	15000	3750	1

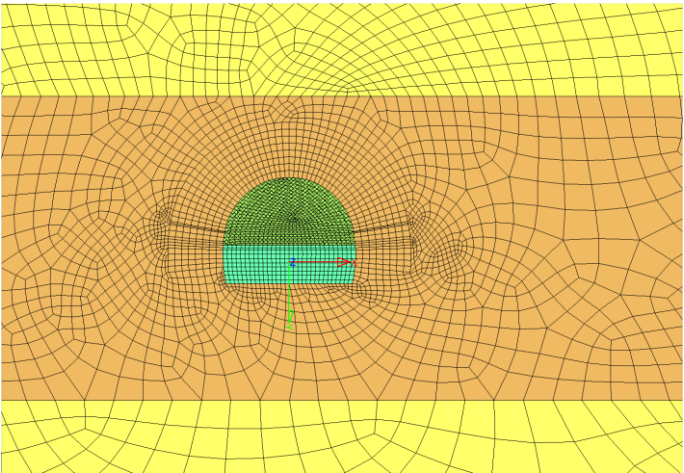
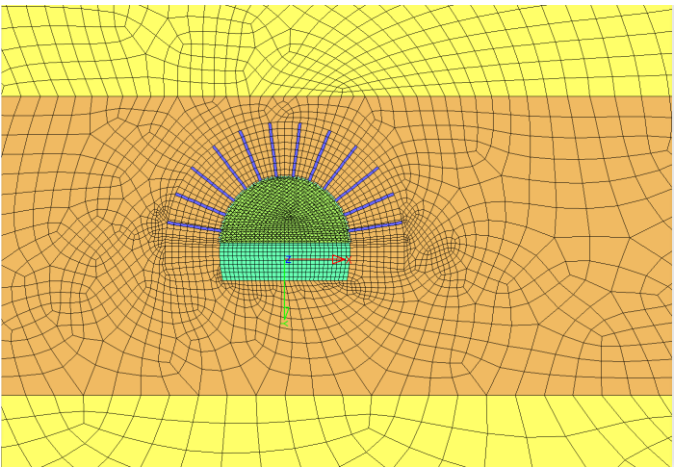
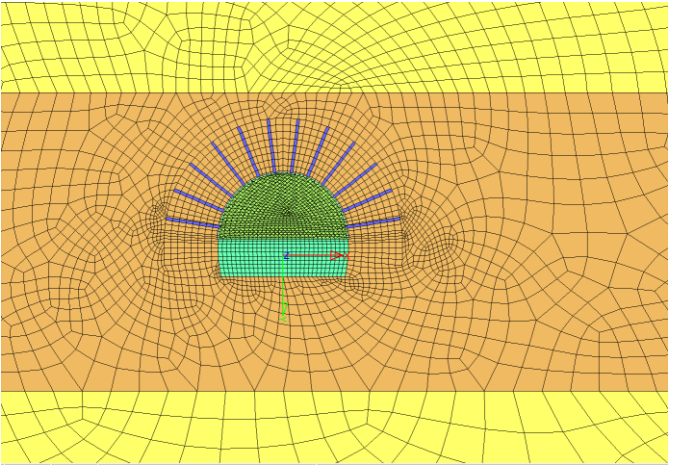
Πίνακας Σταδίων Ανάλυσης

Ενδεικτική εικόνα από το Στάδιο προσομοίωσης & Ενεργές Ομάδες από τα στάδια της ανάλυσης στο Wintube

Περιγραφή



Στάδιο 1
 Αρχικό στάδιο.
 Διαμόρφωση φυσικού εντατικού πεδίου(H=500m,K=0,7)

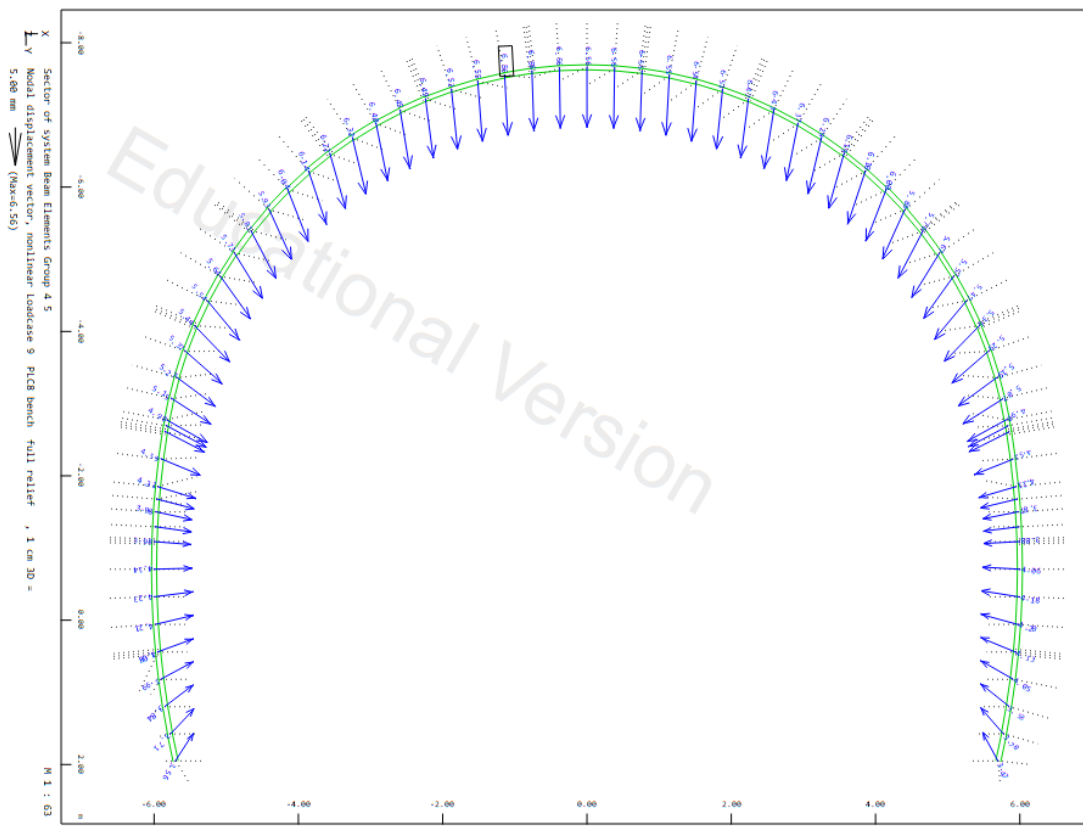
	<p>Στάδιο 2</p> <p>1^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=B/2, E/E_0=0.16$)</p>
	<p>Στάδιο 3</p> <p>2^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=B+B/2, E/E_0=0.11$)</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυρίων</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=15\text{ cm}, E/E_c=0.333$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.2$</p>
	<p>Στάδιο 4</p> <p>3^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=2*B+B/2, E/E_0=0.08$)</p> <p>Σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=20\text{ cm}, E/E_c=0.667$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.53$</p>

	<p>Στάδιο 5</p> <p>Πλήρης αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=\infty$, $E/E_0=0$)</p> <p>Πλήρης σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=25$ cm, $E/E_c= 1.0$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=1$</p>
	<p>Στάδιο 6</p> <p>1^η αποτόνωση βαθμίδας</p> <p>$E/E_0=0.16$</p>
	<p>Στάδιο 7</p> <p>2^η αποτόνωση βαθμίδας</p> <p>$E/E_0=0.11$</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυρίων</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=15$ cm, $E/E_c= 0.333$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.2$</p>

	<p>Στάδιο 8</p> <p>3^η αποτόνωση βαθμίδας</p> <p>$E/E_0=0.08$</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυρίων</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=20$ cm, $E/E_c= 0.667$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.53$</p>
	<p>Στάδιο 9</p> <p>Πλήρης αποτόνωση βαθμίδας $E/E_0=0$</p> <p>Πλήρης σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=25$ cm, $E/E_c= 1.0$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=1$</p>

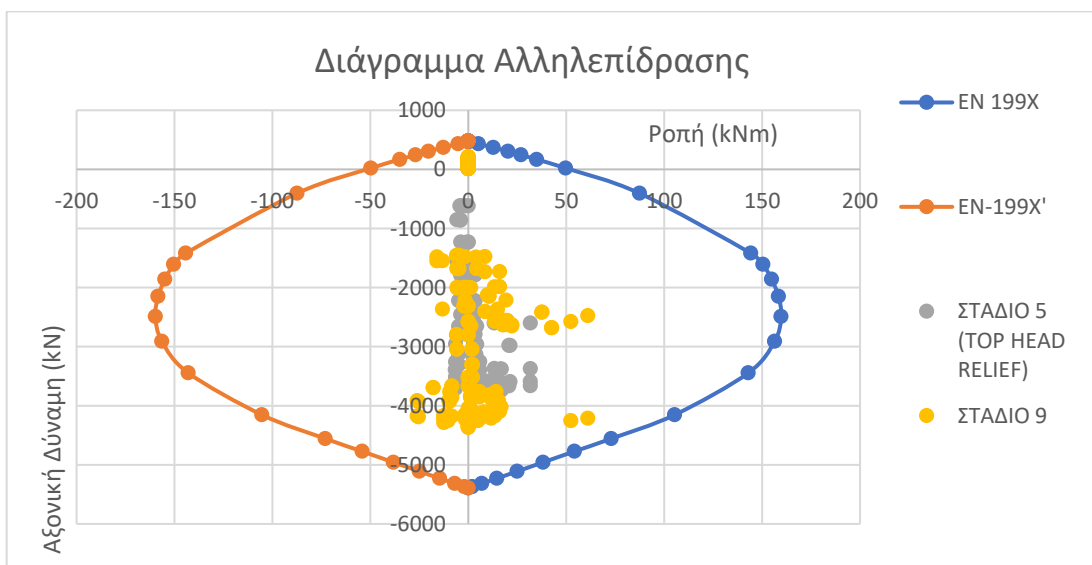
3.5.2 Αποτελέσματα Ανάλυσης "SC-IIIb_B3_H300m"

Στο Σχήμα 40 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο 9 της ανάλυσης. Μέγιστη μετατόπιση εμφανίζεται στην στέψη ίση με 7mm.



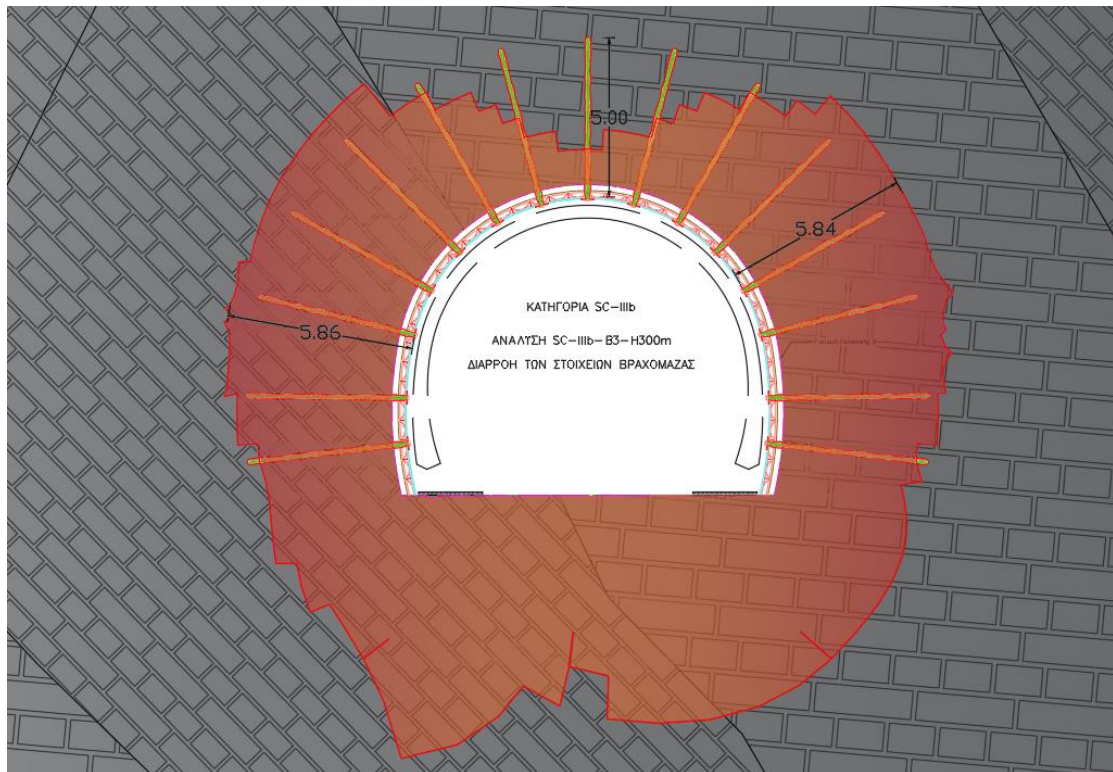
Σχήμα 40 Ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο της ανάλυσης "SC-IIIb_B3_H300m".

Ο έλεγχος επάρκειας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος πραγματοποιείται με την χρήση διαγράμματος αλληλεπίδρασης στο Σχήμα 41 που ακολουθεί.



Σχήμα 41 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N ανάλυσης "SC-IIIb_B3_H300m"

Στο διάγραμμα του Σχήματος 41 παρατηρούνται όλα τα σημεία εντός της περιβάλλουσας αντοχής.



Σχήμα 42 Διαρροή των στοιχείων της βραχομάζας περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής στο τελικό στάδιο προσομοίωσης.

Στο Σχήμα 42 παρατηρείται δημιουργία πλαστικής ζώνης με μεγάλη έκταση. Σε ορισμένα σημεία το εύρος της ζώνης φτάνει μέχρι και 7 m από την περιφέρεια της υπόγειας εκσκαφής.

3.6 Κατηγορία υποστήριξης SC-IV

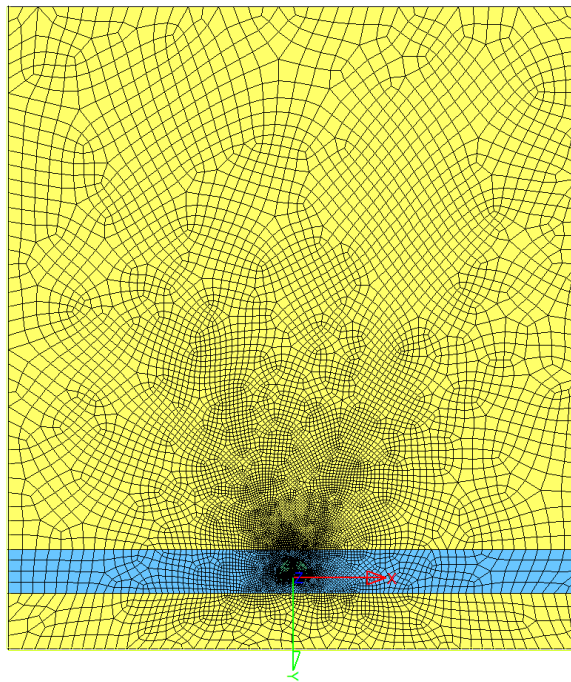
3.6.1 Αριθμητικό μοντέλο Ανάλυσης "SC-IV_B3_H400m"

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 34.

Πίνακας 34 Μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης SC-IV_B3_H400m.

Κατηγορία Υποστήριξης	TE	γ (MN/m ³)	E_{tm} (GPa)	ν	Συνοχή c (MPa)	Γωνία Τριβής ϕ°	Γωνία Διαστολικότητας δ°	σ_{cm} tensile (Mpa) αντοχή σε εφελκυσμό
SC-IV	B3	0,0265	26,25	0,35	0.81	30	0	0
	B2	0,0265	6,386	0,30	1,27	39	0	0

Ακολουθεί ενδεικτική εικόνα με το μοντέλο της προσομοίωσης. Οι διαστάσεις για τα πλευρικά & κάτω όρια του μοντέλου είναι αυτές που περιγράφονται στην ενότητα 3.1.6.2. Για την προσομοίωση του πραγματικού ύψους των υπερκείμενων σχηματισμών στην συγκεκριμένη ανάλυση εισάγεται το πλήρες ύψος 400m. Στην συγκεκριμένη ανάλυση θεωρείται ζώνη πάχους 25m της τεχνικογεωλογικής ενότητας TE B3 στην οποία πραγματοποιείται η τμηματική διάνοιξη της σήραγγας(ο άξονας της σήραγγας διέρχεται από το κέντρο της ζώνης). Άνω και κάτω των ορίων της ζώνης, η βραχώμαζα θεωρείται ότι ανήκει στην τεχνικογεωλογική ενότητα TE B2. Σκοπός της ανάλυσης είναι να προσομοιώσει την διέλευση της σήραγγας από περιοχές που αντιστοιχούν στην ζώνη επώθησης.[2] Εντός της ζώνης θεωρείται ότι η βραχώμαζα παρά τον έντονο κερματισμό της λόγω άμεσης γειννίασης με την περιοχή επώθησης (Ζώνη της Πίνδου επί της Ιόνιας), διατηρεί υψηλό μέτρο ελαστικότητας λόγω της περίσφιξης της βραχομάζας, όπως περιγράφεται στην ενότητα 3.1.4.



Εικόνα 30 Αριθμητικό μοντέλο της ανάλυσης "SC-IV_B3_H400m"

Overview of Groups

Edit item : FACS Factor for group stiffnesses

Take all group properties with copy and fill

Copy only to activated groups activate groups automatically

Gruppe		LC 1	LC 2	LC 3	LC 4	LC 5	LC 6	LC 7	LC 8	LC 9	LC 10
1	limestone TEB2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	top head inner material	1	0.1193	0.079	0.051						
3	bench inner material	1	1	1	1	1	0.1193	0.079	0.051		
4	top temp lining			0.16	0.55	1	1	1	1	1	
5	bench temp lining							0.16	0.55	1	
6	top rockbolts				1	1	1	1	1	1	
7	bench rockbolts								1	1	
12	Connection-springs										1
14	Inner-lining										1
15	LIMESTONE TEB3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Hide non-active groups

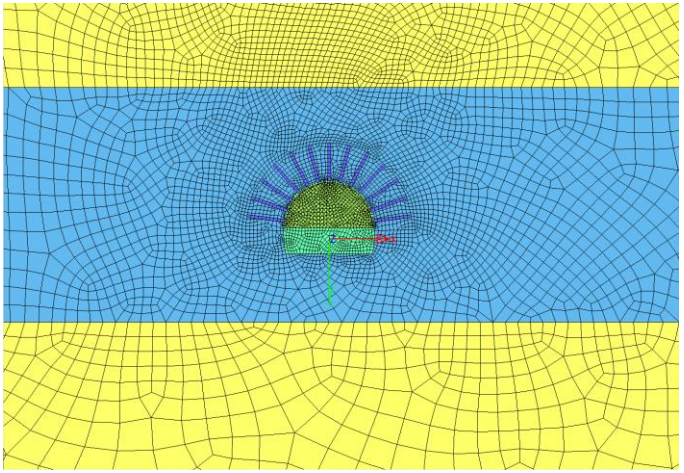
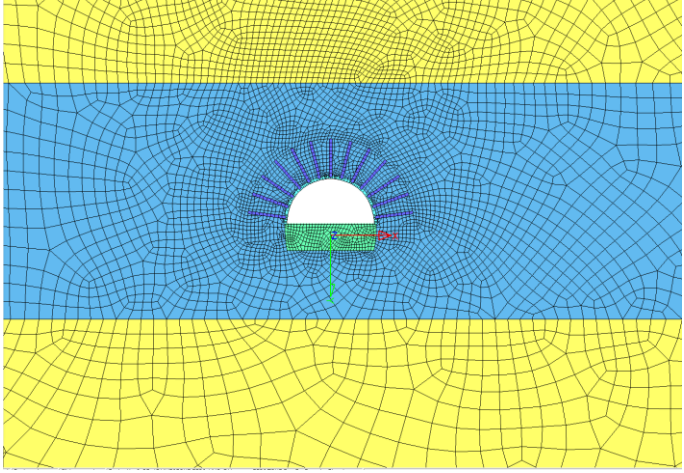
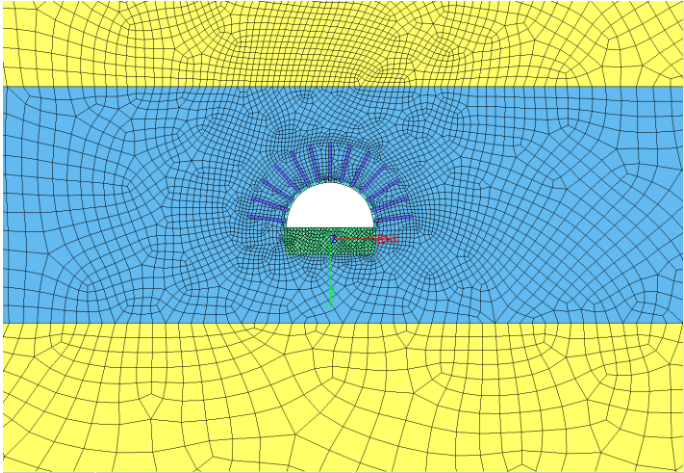
Cancel Ok

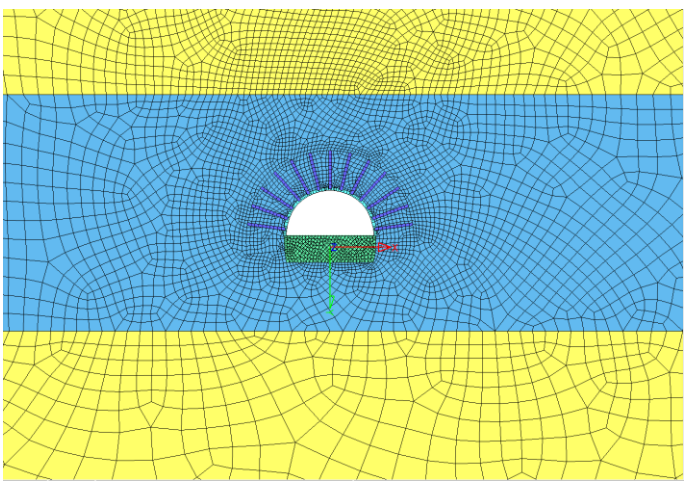
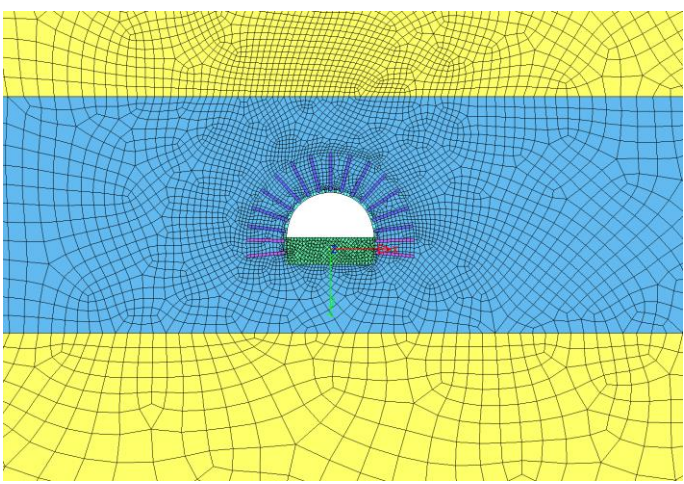
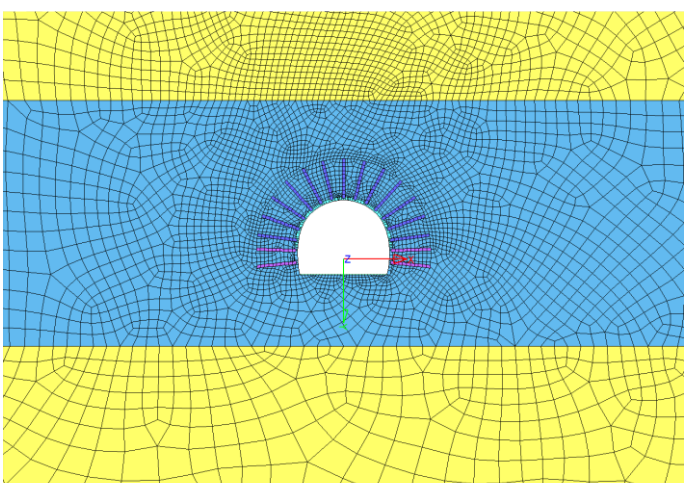
Εικόνα 31 Συμμετοχή της κάθε ομάδας στοιχείων ανά στάδιο προσομοίωσης της ανάλυσης "SC-IV_B3_H400m"

Τέλος παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας με τα στάδια προσομοίωσης του αριθμητικού μοντέλου. Επίσης παρουσιάζονται συνολικά αλλά και ανά βήμα οι επιμέρους συντελεστές που χρησιμοποιούνται για την αποτόνωση της βραχομάζας και για την σταδιακή σκλήρυνση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Ανάλυση: SC-IV-B3-H400m									
Συγκεντρωτικός πίνακας συντελεστών αποτόνωσης βραχομάζας και σκλήρυνσης σκυροδέματος για κάθε στάδιο της ανάλυσης.									
#	STAGE	ΒΡΑΧΟΜΑΖΑ				ΑΜΕΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ - ΕΚΤ.ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ			
		ρ_i/ρ_0	$\lambda = (1-\rho_i/\rho_0) \nu$ (TE B3)	E/E_0		ΠΑΧΟΣ(t) (cm)	Eyoung (Mpa)	Δυστένεια(αξονική δυσκαμψία)=E*A (MN)	συντελεστής FACS *SOFISTIK
1	PRIMARY	1	0	0,35	1	0	0	0	0
2	TOP 1	0,37	0,63	0,35	0,119	0	0	0	0
3	TOP 2	0,27	0,73	0,35	0,079	15	5000	750	0,167
4	TOP 3	0,19	0,81	0,35	0,051	25	10000	2500	0,556
5	TOP 4	0	1	0,35	0	30	15000	4500	1
6	BENCH 1	0,37	0,63	0,35	0,119	0	0	0	0
7	BENCH 2	0,27	0,73	0,35	0,079	15	5000	750	0,167
8	BENCH 3	0,19	0,81	0,35	0,051	25	10000	2500	0,556
9	BENCH 4	0	1	0,35	0	30	15000	4500	1
					inputs				inputs
Πίνακας Σταδίων Ανάλυσης									
Ενδεικτική εικόνα από το Στάδιο προσομοίωσης & Ενεργές Ομάδες από τα στάδια της ανάλυσης στο Wintube							Περιγραφή		

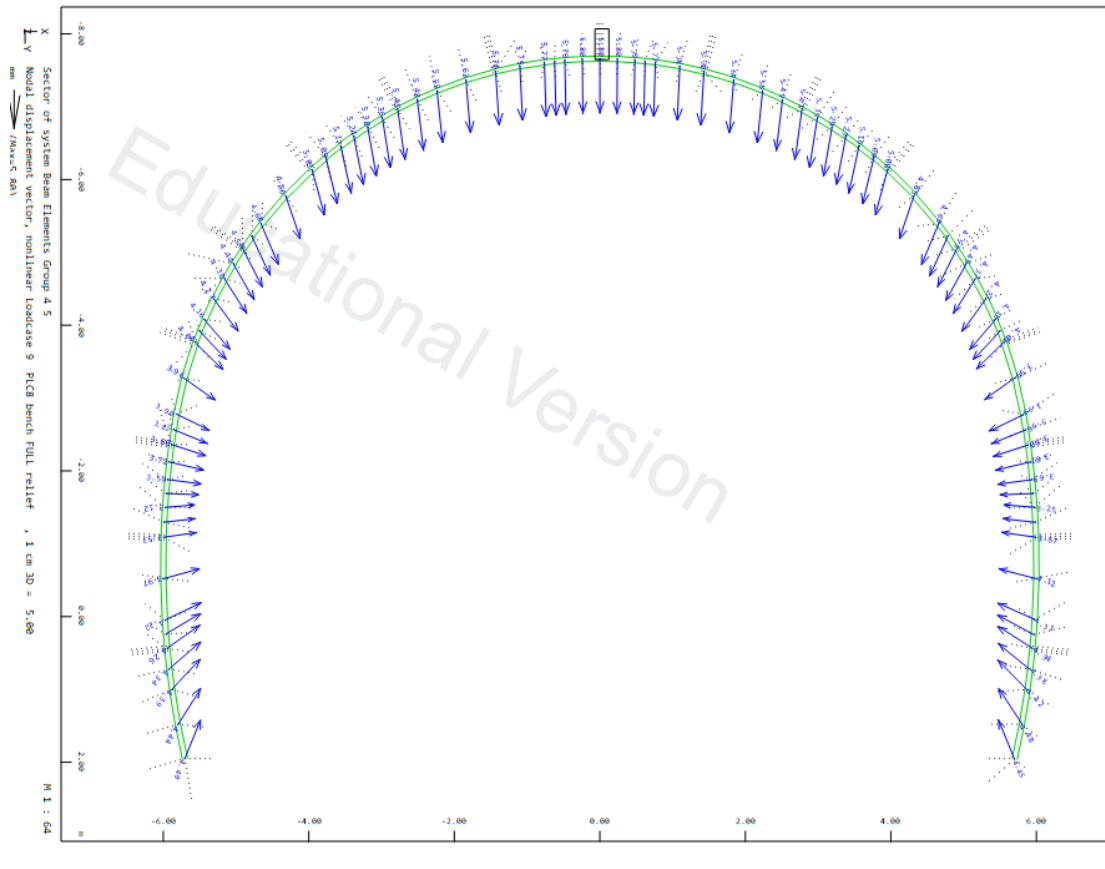
	<p>Στάδιο 1</p> <p>Αρχικό στάδιο. Διαμόρφωση φυσικού εντατικού πεδίου($H=400m, K=0,7$)</p>
	<p>Στάδιο 2</p> <p>1^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=B/2, E/E_0=0.12$)</p>
	<p>Στάδιο 3</p> <p>2^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=B+B/2, E/E_0=0.11$)</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=15\text{ cm}, E/E_c=0.333$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.167$</p>

	<p>Στάδιο 4</p> <p>3^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=2*B+B/2$, $E/E_0=0.05$)</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυρίων</p> <p>Σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=25$ cm, $E/E_c= 0.667$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.55$</p>
	<p>Στάδιο 5</p> <p>Πλήρης αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=\infty$, $E/E_0=0$)</p> <p>Πλήρης σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=30$ cm, $E/E_c= 1.0$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=1$</p>
	<p>Στάδιο 6</p> <p>1^η αποτόνωση βαθμίδας</p> <p>$E/E_0=0.12$</p>

	<p>Στάδιο 7</p> <p>2^η αποτόνωση βαθμίδας</p> <p>$E/E_0=0.08$</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=15$ cm, $E/E_c= 0.333$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.16$</p>
	<p>Στάδιο 8</p> <p>3^η αποτόνωση βαθμίδας</p> <p>$E/E_0=0.05$</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυρίων</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=25$ cm, $E/E_c= 0.667$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.55$</p>
	<p>Στάδιο 9</p> <p>Πλήρης αποτόνωση βαθμίδας $E/E_0=0$</p> <p>Πλήρης σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=30$ cm, $E/E_c= 1.0$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=1$</p>

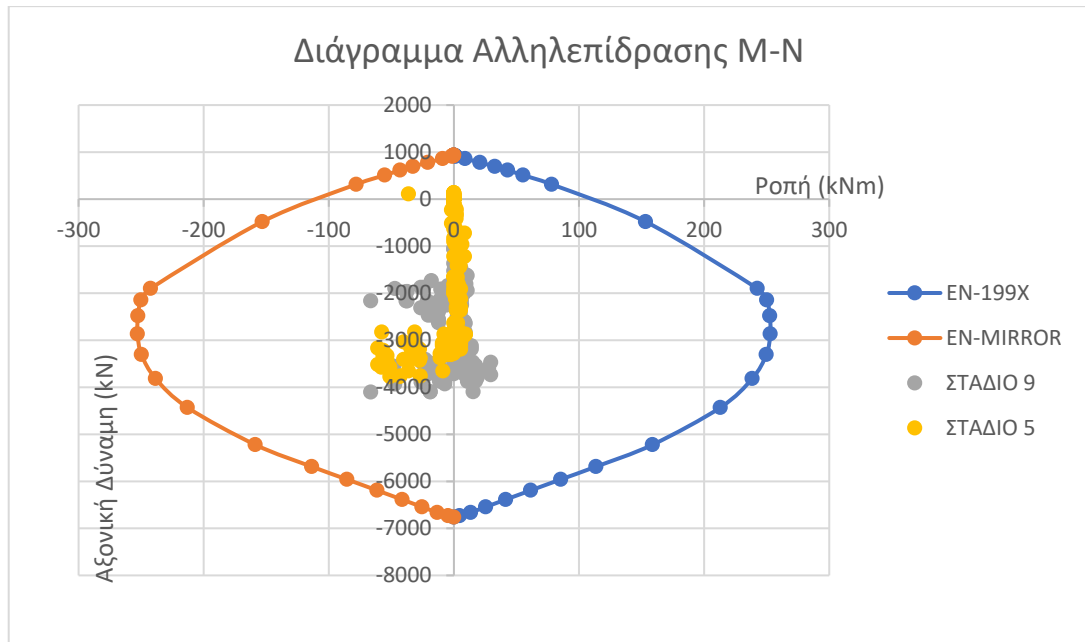
3.6.2 Αποτελέσματα Ανάλυσης "SC-IV_B3_H400m"

Στο Σχήμα 43 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο 9 της ανάλυσης. Μέγιστη μετατόπιση εμφανίζεται στην στέψη ίση με 6mm.



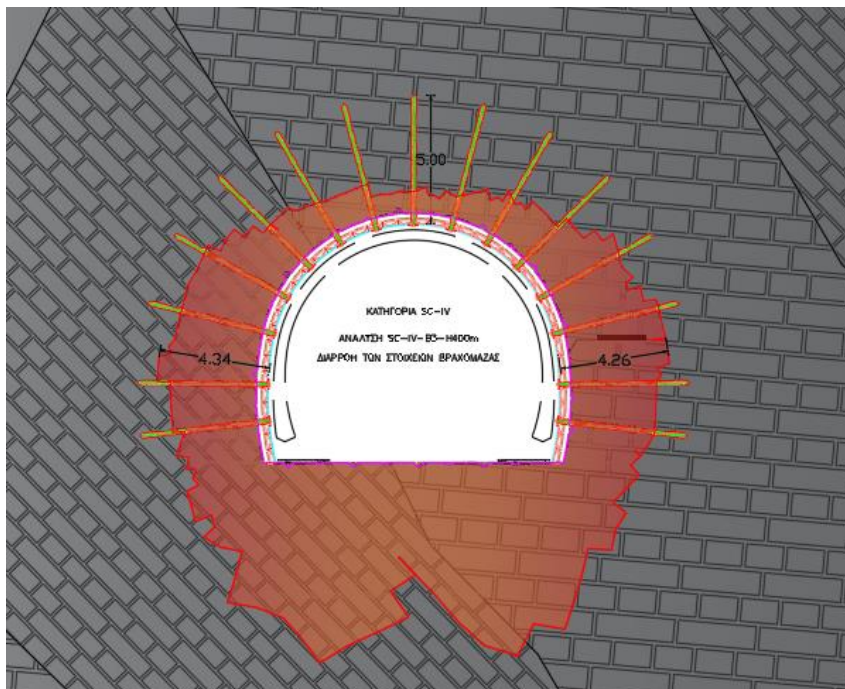
Σχήμα 43 Ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο της ανάλυσης "SC-IV_B3_H400m"

Ο έλεγχος επάρκειας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος πραγματοποιείται με την χρήση διαγράμματος αλληλεπίδρασης στο Σχήμα 44 που ακολουθεί.



Σχήμα 44 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N ανάλυσης "SC-IV_B3_H400m"

Στο διάγραμμα του Σχήματος 44 παρατηρούνται όλα τα σημεία εντός της περιβάλλουσας αντοχής.



Σχήμα 45 Διαρροή των στοιχείων της βραχομάζας περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής στο τελικό στάδιο της προσομοίωσης "SC-IV_B3_H400m".

Στο Σχήμα 45 παρατηρείται δημιουργία πλαστικής ζώνης με εκτεταμένο εύρος περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής.

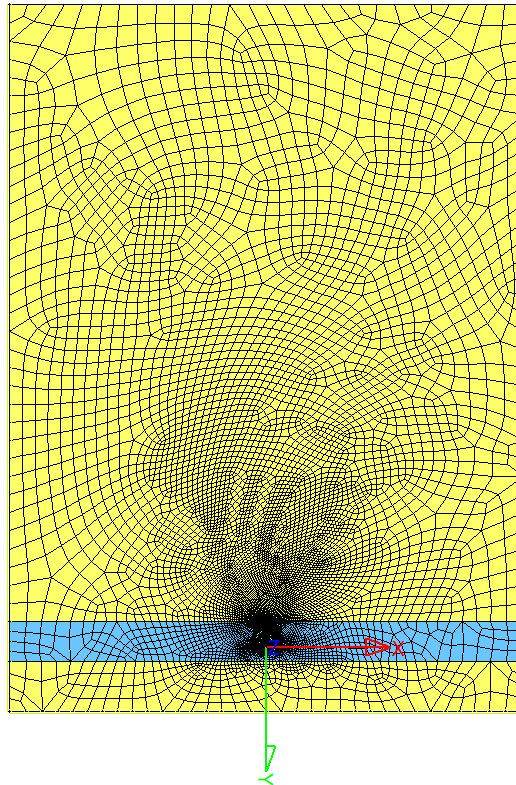
3.6.3 Αριθμητικό μοντέλο Ανάλυσης "SC-IV_B2_H500m"

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 35.

Πίνακας 35 Μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης SC-IV_B2_H500m.

Κατηγορία Υποστήριξης	TE	γ (MN/m ³)	E_m (GPa)	ν	Συνοχή c (MPa)	Γωνία Τριβής ϕ°	Γωνία Διαστολικότητας δ°	$\sigma_{cmensile}$ (MPa) αντοχή σε εφελκυσμό
SC-IV	B2	0,0265	Εντός ζώνης (25m) 26,25	0,30	1,51	37	0	0
	B2	0,0265	Εκτός ζώνης 6,386	0,30	1,51	37	0	0

Ακολουθεί ενδεικτική εικόνα με το μοντέλο της προσομοίωσης. Οι διαστάσεις για τα πλευρικά & κάτω όρια του μοντέλου είναι αυτές που περιγράφονται στην ενότητα 3.1.6.2. Για την προσομοίωση του πραγματικού ύψους των υπερκείμενων σχηματισμών στην συγκεκριμένη ανάλυση εισάγεται το πλήρες ύψος 500m. Στην συγκεκριμένη ανάλυση θεωρείται ζώνη πάχους 25m της τεχνικογεωλογικής ενότητας TE B2 στην οποία πραγματοποιείται η τμηματική διάνοιξη της σήραγγας(ο άξονας της σήραγγας διέρχεται από το κέντρο της ζώνης).Εντός της ζώνης θεωρείται ότι η βραχομάζα παρά τον έντονο κερματισμό, διατηρεί υψηλό μέτρο ελαστικότητας λόγω της περίσφιξης της βραχομάζας, όπως περιγράφεται στην ενότητα 3.1.4.



Εικόνα 32 Αριθμητικό μοντέλο της ανάλυσης "SC-IV_B2_H500m"

Overview of Groups

Edit item : FACS Factor for group stiffnesses

Take all group properties with copy and fill
 Copy only to activated groups activate groups automatically

Gruppe		LC 1	LC 2	LC 3	LC 4	LC 5	LC 6	LC 7	LC 8	LC 9	LC 10
1	limestone TEB2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	top head inner material	1	0.017	0.08	0.044						
3	bench inner material	1	1	1	1	1	0.017	0.08	0.044		
4	top temp lining			0.16	0.55	1	1	1	1	1	
5	bench temp lining							0.16	0.55	1	
6	top rockbolts				1	1	1	1	1	1	
7	bench rockbolts								1	1	
12	Connection-springs										1
14	Inner-lining										1

Hide non-active groups

Cancel Ok

Εικόνα 33 Συμμετοχή της κάθε ομάδας στοιχείων ανά στάδιο προσομοίωσης της ανάλυσης "SC-IV_B2_H500m"

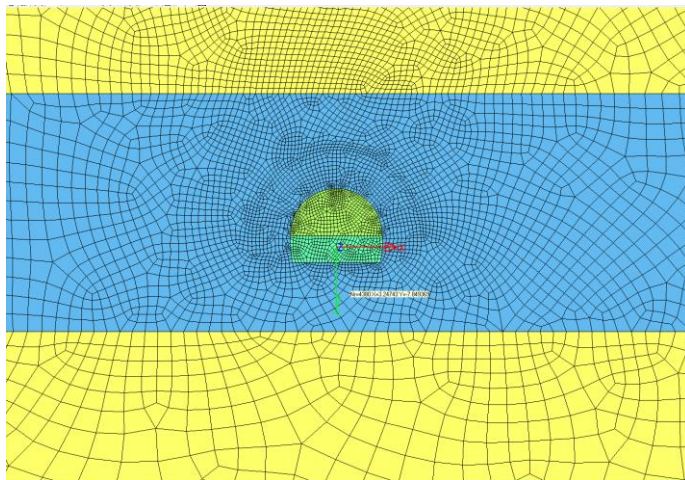
Τέλος παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας με τα στάδια προσομοίωσης του αριθμητικού μοντέλου. Επίσης παρουσιάζονται συνολικά αλλά και ανά βήμα οι επιμέρους συντελεστές που χρησιμοποιούνται για την αποτόνωση της βραχομάζας και για την σταδιακή σκλήρυνση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Ανάλυση: SC-IV-B2-H500m									
Συγκεντρωτικός πίνακας συντελεστών αποτόνωσης βραχόμαζας και σκλήρυνσης σκυροδέματος για κάθε στάδιο της ανάλυσης.									
#	STAGE	ΒΡΑΧΟΜΑΖΑ				ΑΜΕΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ - ΕΚΤ.ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ			
		ρ_i/ρ_0	$\lambda = (1-\rho_i/\rho_0) \nu$ (TE B2)	E/E_0		ΠΑΧΟΣ(t) (cm)	Eyoung (Mpa)	Δυστένεια(αξονική δυσκαμψία)=E*A (MN)	συντελεστής FACS *SOFISTIK
1	PRIMARY	1	0	0,3	1	0	0	0	0
2	TOP 1	0,42	0,58	0,3	0,1714	0	0	0	0
3	TOP 2	0,23	0,77	0,3	0,0786	15	5000	750	0,1667
4	TOP 3	0,14	0,86	0,3	0,0444	25	10000	2500	0,5556
5	TOP 4	0	1	0,3	0	30	15000	4500	1
6	BENCH 1	0,42	0,58	0,3	0,1714	0	0	0	0
7	BENCH 2	0,23	0,77	0,3	0,0786	15	5000	750	0,1667
8	BENCH 3	0,14	0,86	0,3	0,0444	25	10000	2500	0,5556
9	BENCH 4	0	1	0,3	0	30	15000	4500	1
					inputs				inputs

Πίνακας Σταδίων Ανάλυσης

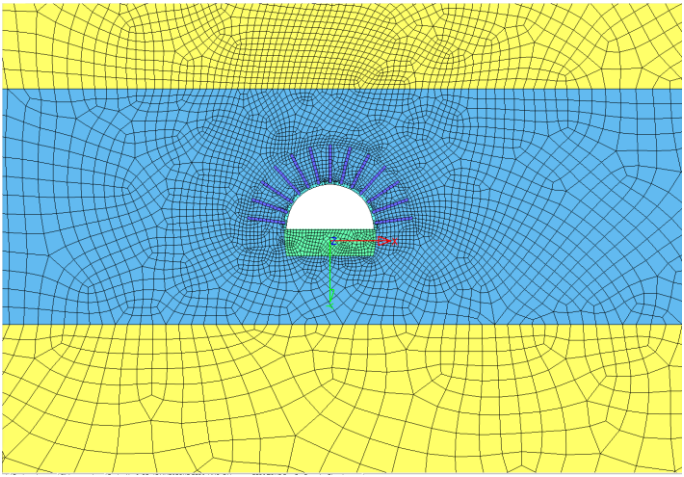
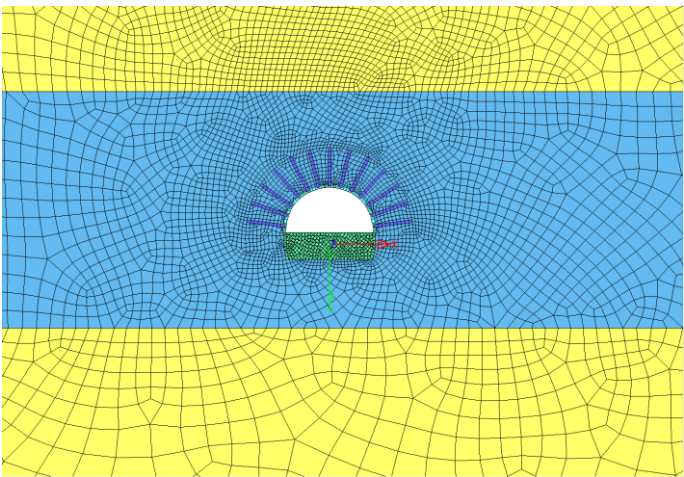
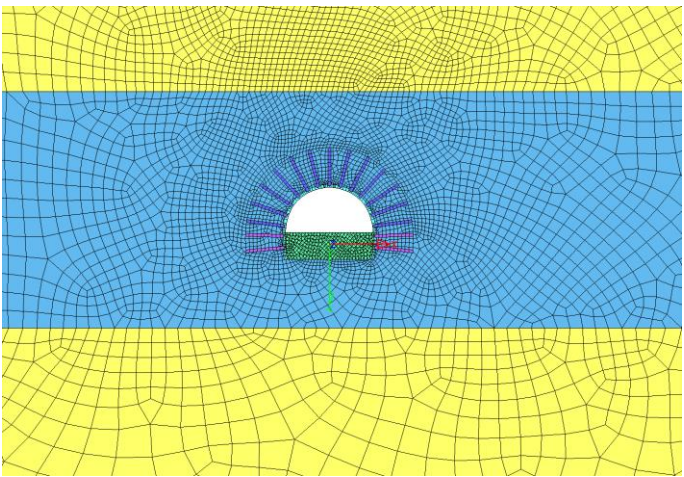
Ενδεικτική εικόνα από το Στάδιο προσομοίωσης & Ενεργές Ομάδες από τα στάδια της ανάλυσης στο Wintube

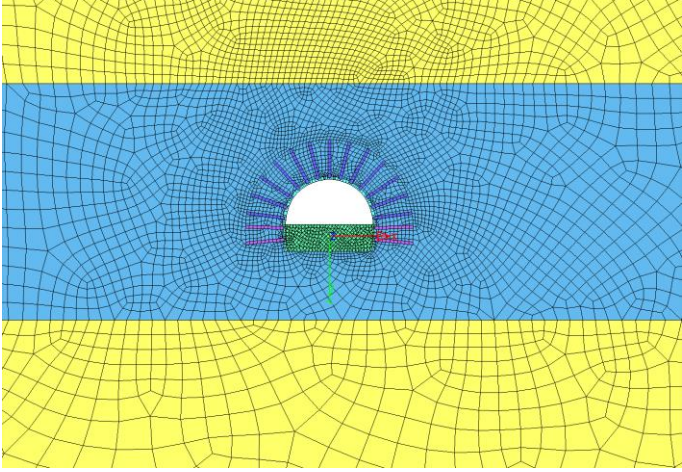
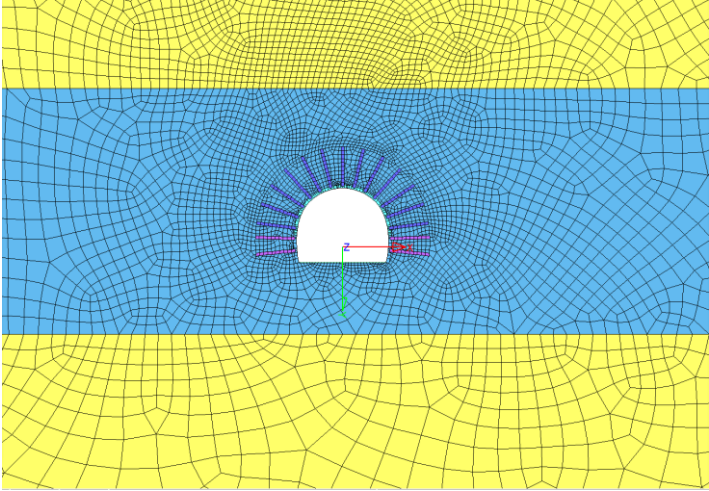
Περιγραφή



Στάδιο 1
Αρχικό στάδιο. Διαμόρφωση φυσικού εντατικού πεδίου(H=500m,K=0,7)

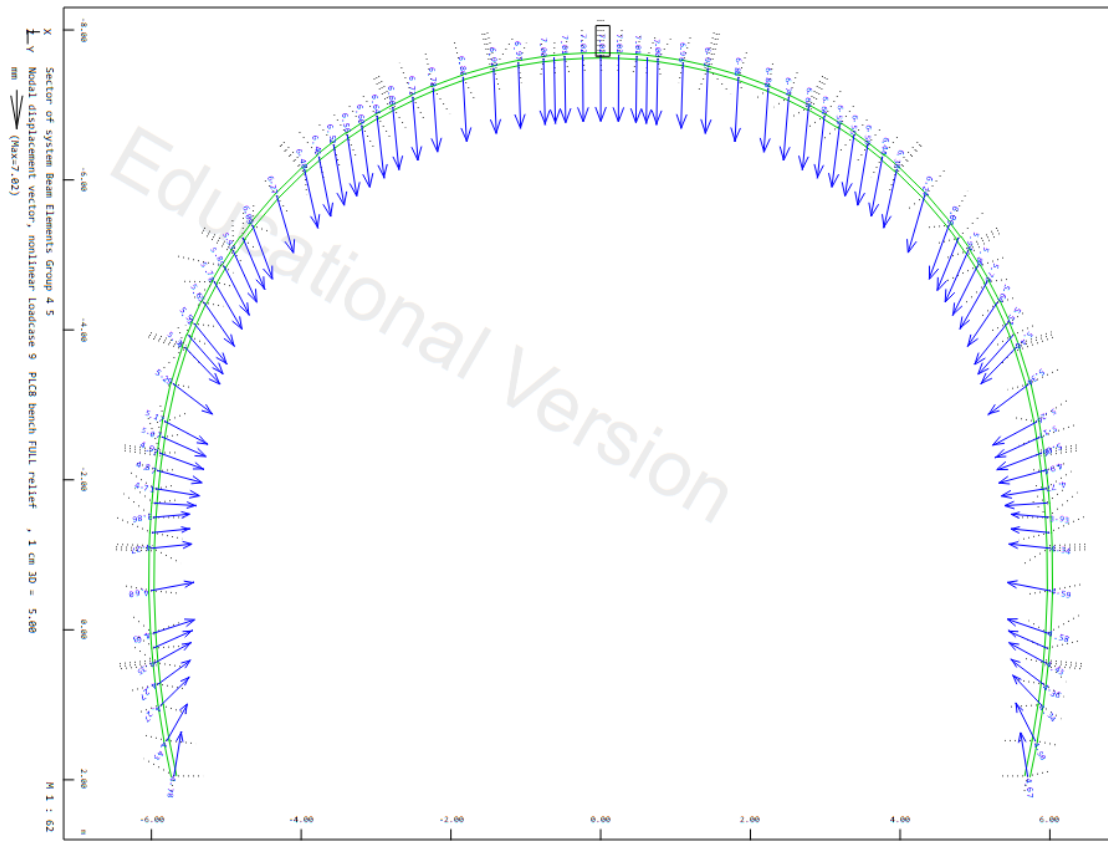
	<p>Στάδιο 2</p> <p>1^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=B/2, E/E_0=0.17$)</p>
	<p>Στάδιο 3</p> <p>2^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=B+B/2, E/E_0=0.08$)</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυρίων</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=15\text{ cm}, E/E_c=0.333$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.166$</p>
	<p>Στάδιο 4</p> <p>3^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=2*B+B/2, E/E_0=0.04$)</p> <p>Σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=25\text{ cm}, E/E_c=0.667$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.55$</p>

	<p>Στάδιο 5</p> <p>Πλήρης αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=\infty$, $E/E_0=0$)</p> <p>Πλήρης σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=30$ cm, $E/E_c= 1.0$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=1$</p>
	<p>Στάδιο 6</p> <p>1^η αποτόνωση βαθμίδα</p> <p>$E/E_0=0.17$</p>
	<p>Στάδιο 7</p> <p>2^η αποτόνωση βαθμίδα</p> <p>$E/E_0=0.08$</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυρίων</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=15$ cm, $E/E_c= 0.333$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.166$</p>

	<p>Στάδιο 8</p> <p>3^η αποτόνωση βαθμίδας</p> <p>$E/E_0=0.04$</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=25$ cm, $E/E_c= 0.667$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.55$</p>
	<p>Στάδιο 9</p> <p>Πλήρης αποτόνωση βαθμίδας $E/E_0=0$</p> <p>Πλήρης σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=30$ cm, $E/E_c= 1.0$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=1$</p>

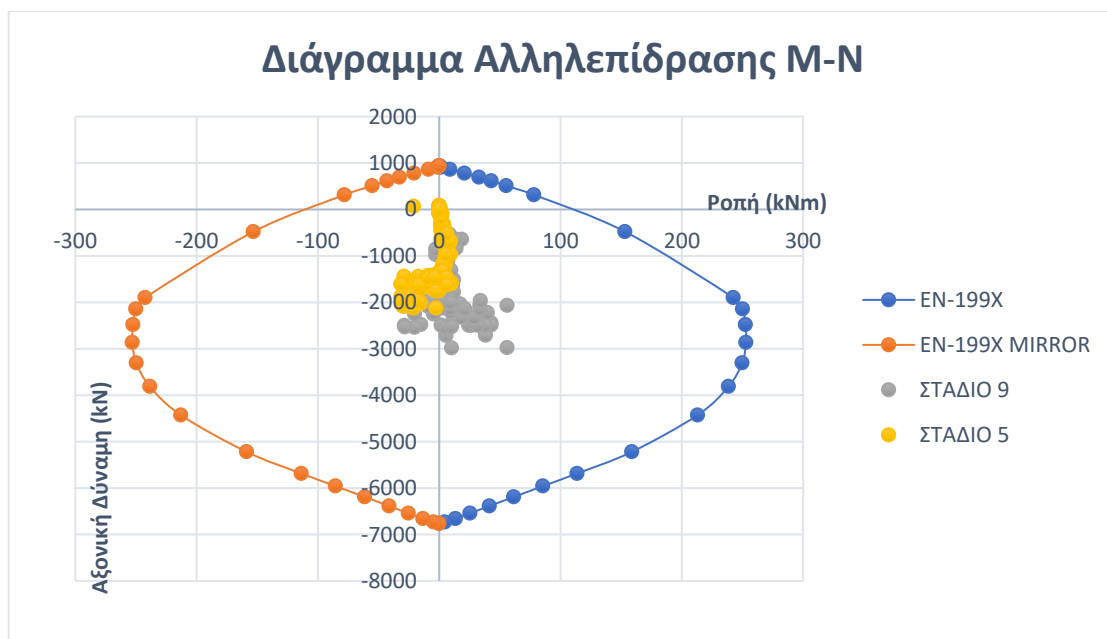
3.6.4 Αποτελέσματα Ανάλυσης "SC-IV_B2_H500m"

Στο Σχήμα 46 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο 9 της ανάλυσης. Μέγιστη μετατόπιση εμφανίζεται στην στέψη ίση με 7mm.



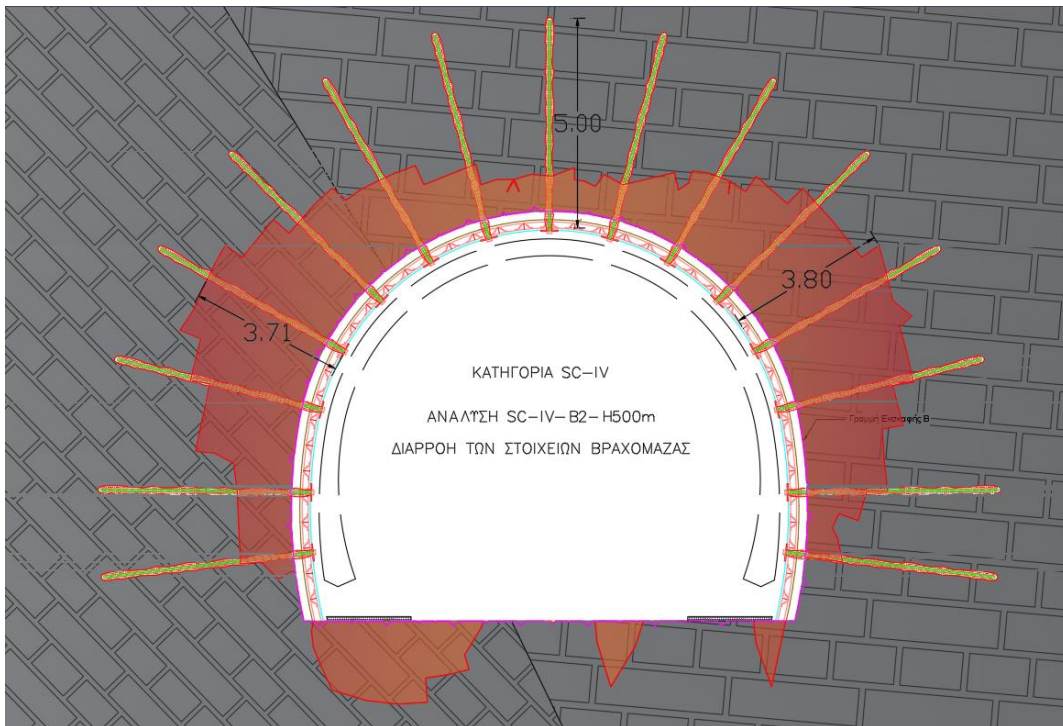
Σχήμα 46 Ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο της ανάλυσης "SC-IV_B2_H500m"

Ο έλεγχος επάρκειας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος πραγματοποιείται με την χρήση διαγράμματος αλληλεπίδρασης στο Σχήμα 47 που ακολουθεί.



Σχήμα 47 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N ανάλυσης "SC-IV_B2_H500m"

Στο διάγραμμα του Σχήματος 48 παρατηρούνται όλα τα σημεία εντός της περιβάλλουσας αντοχής.



Σχήμα 48 Διαρροή των στοιχείων της βραχομάζας περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής στο τελικό στάδιο της προσομοίωσης "SC-IV_B3_H400m".

Στο Σχήμα 48 παρατηρείται η δημιουργία πλαστικής ζώνης περιμετρικά του ανοίγματος. Επίσης παρατηρείται ότι όλα τα αγκύρια εκτείνονται πέρα της πλαστικής ζώνης.

3.7 Κατηγορία υποστήριξης SC-V

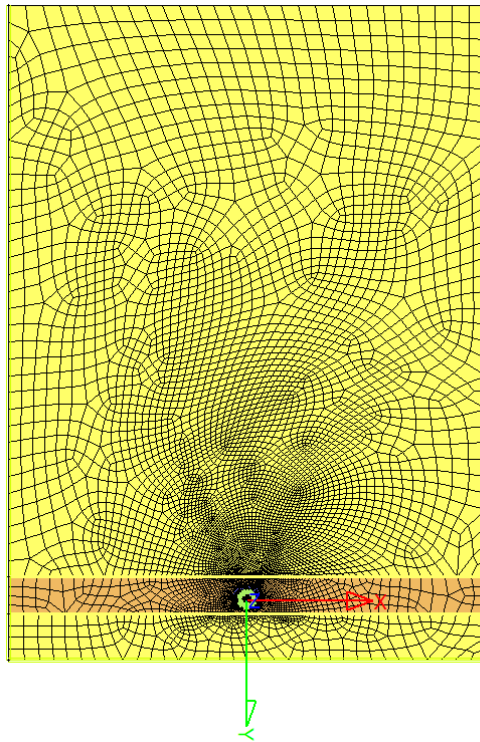
3.7.1 Αριθμητικό μοντέλο Ανάλυσης "SC-V_B3_H500m"

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 36.

Πίνακας 36 Μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της ανάλυσης SC-V_B3_H500m.

Κατηγορία Υποστήριξης	TE	γ (MN/m ³)	E_m (GPa)	ν	Συνοχή c (MPa)	Γωνία Τριβής ϕ°	Γωνία Διαστολικότητας δ°	$\sigma_{cmensile}$ (MPa) αντοχή σε εφελκυσμό
SC-V	B3	0,0265	28,00	0,35	0.93	28	0	0
	B2	0,0265	6,386	0,30	1,51	37	0	0

Ακολουθεί ενδεικτική εικόνα με το μοντέλο της προσομοίωσης. Οι διαστάσεις για τα πλευρικά & κάτω όρια του μοντέλου είναι αυτές που περιγράφονται στην ενότητα 3.1.6.2. Για την προσομοίωση του πραγματικού ύψους των υπερκείμενων σχηματισμών στην συγκεκριμένη ανάλυση εισάγεται το πλήρες ύψος υπερκείμενων σχηματισμών (500m). Στην συγκεκριμένη ανάλυση θεωρείται ζώνη πάχους 25m της τεχνικογεωλογικής ενότητας TE B3 στην οποία πραγματοποιείται η τμηματική διάνοιξη της σήραγγας(ο άξονας της σήραγγας διέρχεται από το κέντρο της ζώνης). Άνω και κάτω των ορίων της ζώνης, η βραχομάζα θεωρείται ότι ανήκει στην τεχνικογεωλογική ενότητα TE B2.Σκοπός της ανάλυσης είναι να προσομοιώσει την διέλευση της σήραγγας από περιοχές που αντιστοιχούν σε περιοχές άμεσης γειτνίασης με την ζώνη επώθησης.[2] Εντός της ζώνης θεωρείται ότι η βραχομάζα παρά τον έντονο κερματισμό της λόγω άμεσης γειτνίασης με την περιοχή επώθησης (Ζώνη της Πίνδου επί της Ιόνιας), διατηρεί υψηλό μέτρο ελαστικότητας λόγω της περίσφιξης της βραχομάζας, όπως περιγράφεται στην ενότητα 3.1.4. Η συγκεκριμένη ανάλυση είναι από τις πιο κρίσιμες καθώς κάνει την αναγκαία παραδοχή που πρέπει να διερευνηθεί, δηλαδή να συναντηθεί κατά την διάνοιξη η τεχνικογεωλογική ενότητα με τις πιο φτωχές γεωτεχνικές ιδιότητες (TE B3) στο μέγιστο ύψος υπερκείμενων σχηματισμών (500m).



Εικόνα 34 Αριθμητικό μοντέλο της ανάλυσης "SC-V_B3_H500m"

Overview of Groups

Edit item : FACS Factor for group stiffnesses

Take all group properties with copy and fill

Copy only to activated groups activate groups automatically

Gruppe		LC 1	LC 2	LC 3	LC 4	LC 5	LC 6	LC 7	LC 8	LC 9	LC 10
1	limestone TEB2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	top head inner material	1	0.1193	0.079	0.051						
3	bench inner material	1	1	1	1	1	0.1193	0.079	0.051		
4	top temp lining			0.16	0.55	1	1	1	1	1	
5	bench temp lining							0.16	0.55	1	
6	top rockbolts				1	1	1	1	1	1	
7	bench rockbolts								1	1	
12	Connection-springs										1
14	Inner-lining										1
15	LIMESTONE TEB3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Hide non-active groups

Cancel Ok

Εικόνα 35 Συμμετοχή της κάθε ομάδας στοιχείων ανά στάδιο προσομοίωσης της ανάλυσης "SC-V_B3_H500m"

Τέλος παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας με τα στάδια προσομοίωσης του αριθμητικού μοντέλου. Επίσης παρουσιάζονται συνολικά αλλά και ανά βήμα οι επιμέρους συντελεστές που χρησιμοποιούνται για την αποτόνωση της βραχομάζας και για την σταδιακή σκλήρυνση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Ανάλυση: SC-V-B3-H500m

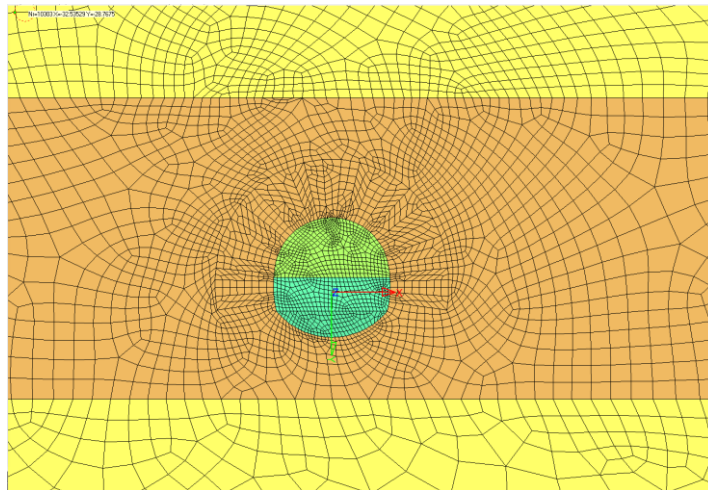
Συγκεντρωτικός πίνακας συντελεστών αποτόνωσης βραχόμαζας και σκλήρυνσης σκυροδέματος για κάθε στάδιο της ανάλυσης.

#	STAGE	ΒΡΑΧΟΜΑΖΑ				ΑΜΕΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ - ΕΚΤ.ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ			
		ρ_i/ρ_0	$\lambda = (1-\rho_i/\rho_0)$	ν (TE B3)	E/E_0	ΠΑΧΟΣ(t) (cm)	Eyoung (Mpa)	Δυστένεια(αξονική δυσκαμψία)=E*A (MN)	συντελεστής FACS *SOFISTIK
1	PRIMARY	0	1	0,35	0	0	0	0	0
2	TOP 1	0,2	0,8	0,35	0,0545	0	0	0	0
3	TOP 2	0,16	0,84	0,35	0,0421	20	5000	1000	0,1905
4	TOP 3	0,13	0,87	0,35	0,0333	30	10000	3000	0,5714
5	TOP 4	0	1	0,35	0	35	15000	5250	1
6	BENCH 1	0,2	0,8	0,35	0,0545	0	0	0	0
7	BENCH 2	0,16	0,84	0,35	0,0421	20	5000	1000	0,1905
8	BENCH 3	0,13	0,87	0,35	0,0333	30	10000	3000	0,5714
9	BENCH 4	0	1	0,35	0	35	15000	5250	1
10	INVERT 1	0	1	0,35	0	35	15000	5250	1

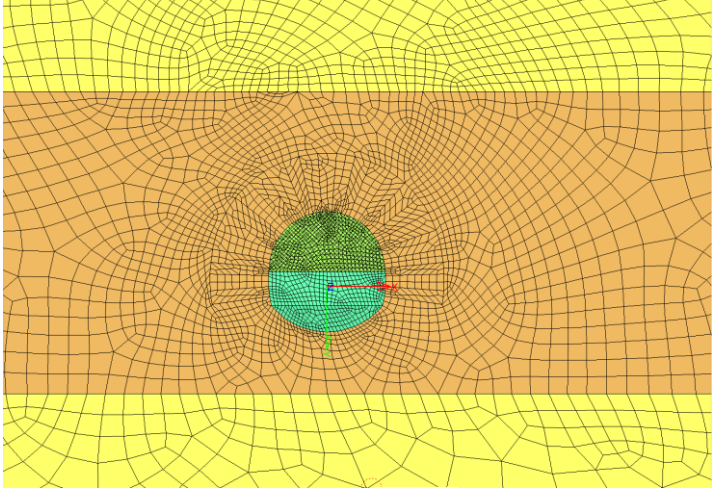
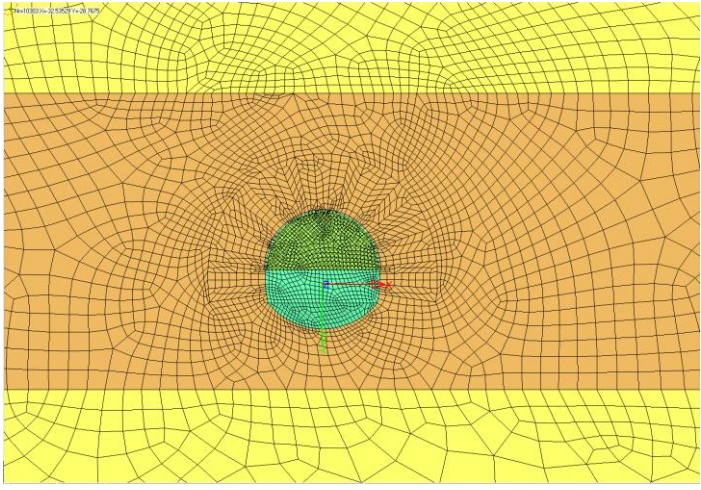
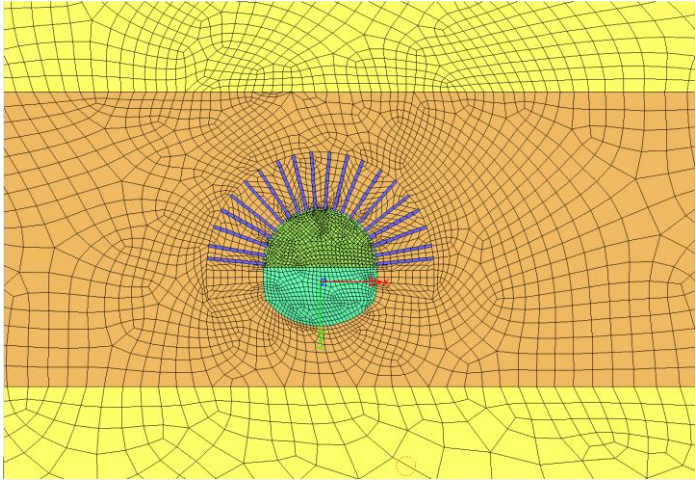
Πίνακας Σταδίων Ανάλυσης

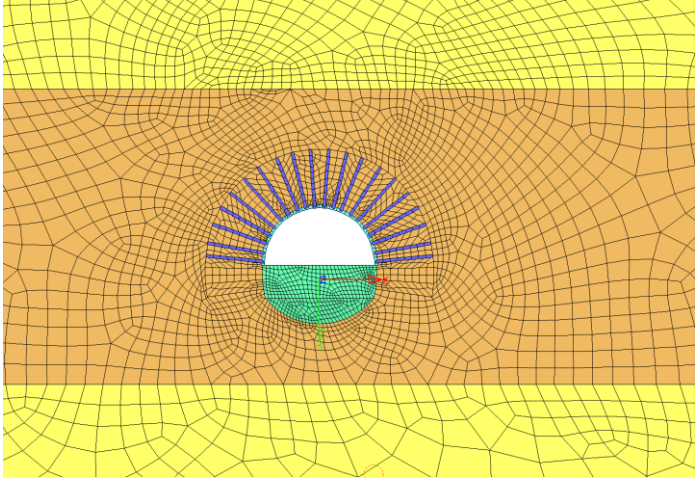
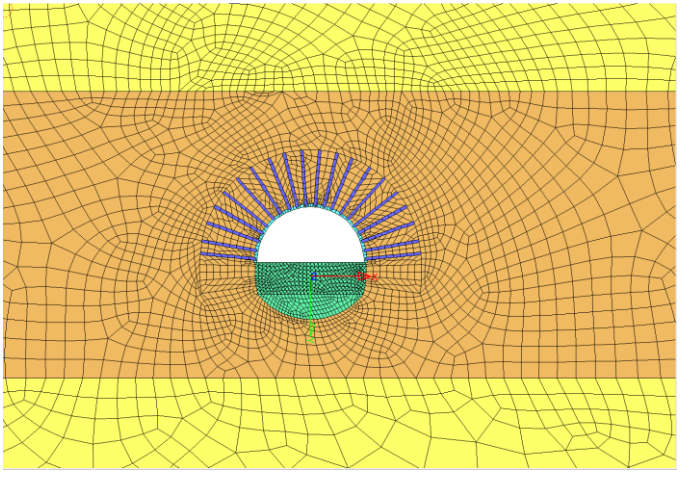
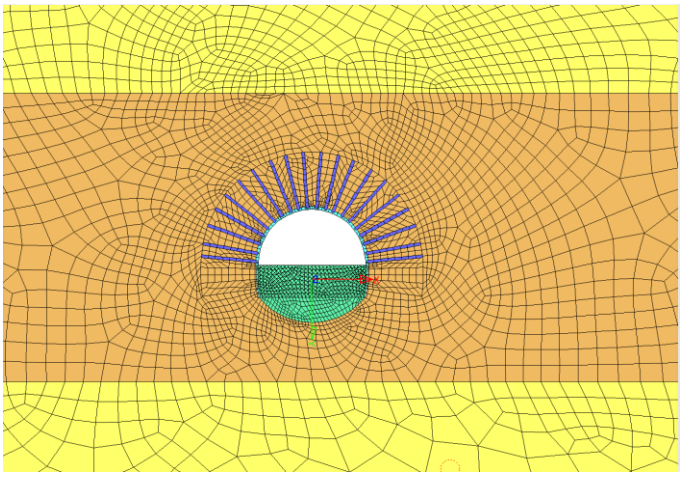
Ενδεικτική εικόνα από το Στάδιο προσομοίωσης & Ενεργές Ομάδες από τα στάδια της ανάλυσης στο Wintube

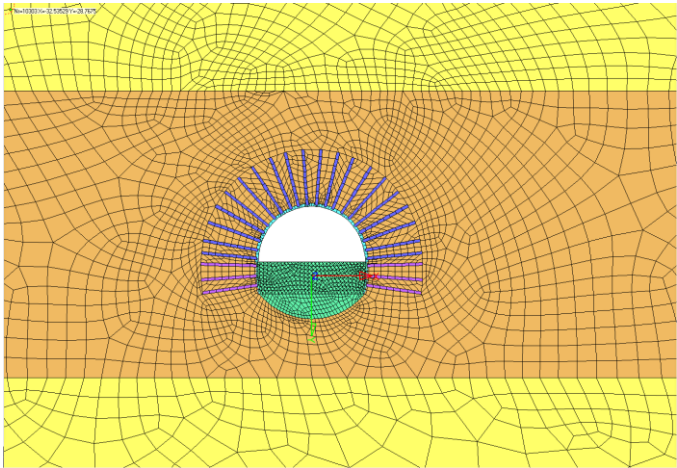
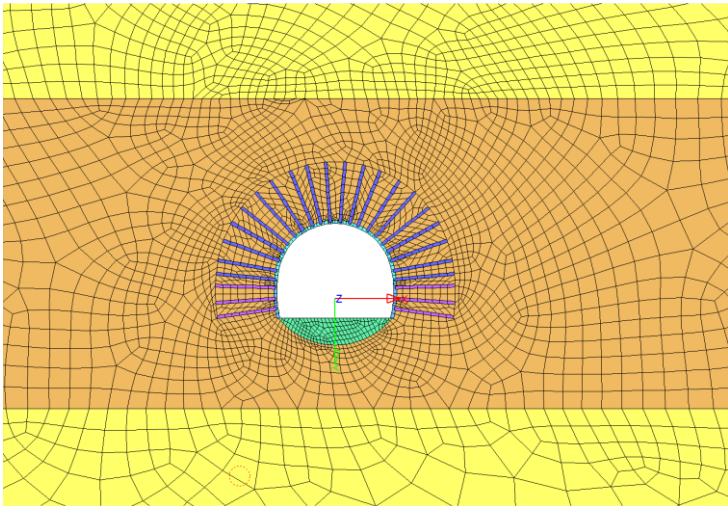
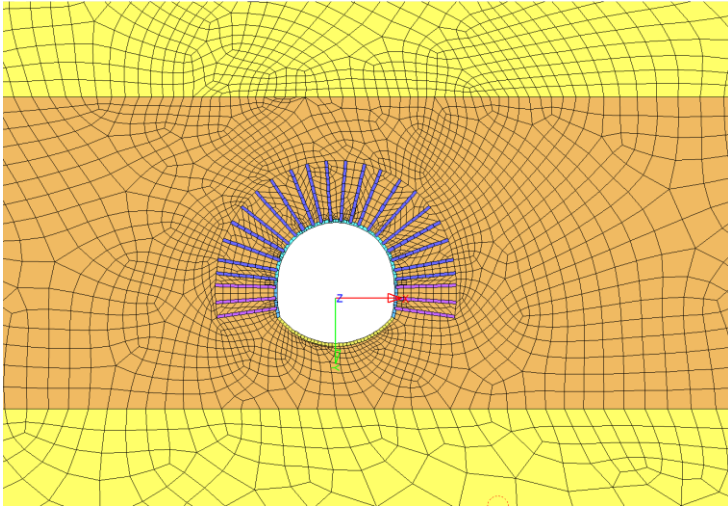
Περιγραφή



Στάδιο 1
 Αρχικό στάδιο.
 Διαμόρφωση φυσικού
 εντατικού
 πεδίου(H=500m,K=0,7)

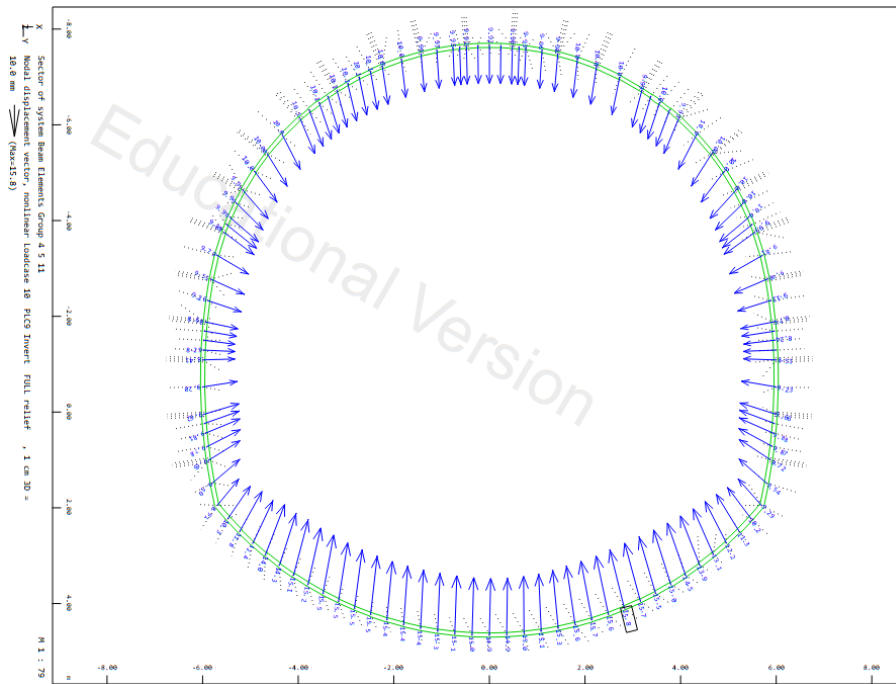
	<p>Στάδιο 2</p> <p>1^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=B/2, E/E_0=0.05$)</p>
	<p>Στάδιο 3</p> <p>2^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=B+B/2, E/E_0=0.04$)</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=20\text{ cm}, E/E_c=0.333$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.19$</p>
	<p>Στάδιο 4</p> <p>3^η αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=2*B+B/2, E/E_0=0.03$)</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυρίων</p> <p>Σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=30\text{ cm}, E/E_c=0.667$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.57$</p>

	<p>Στάδιο 5</p> <p>Πλήρης αποτόνωση άνω ημιδιατομής ($S=\infty$, $E/E_0=0$)</p> <p>Πλήρης σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=35$ cm, $E/E_c= 1.0$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=1$</p>
	<p>Στάδιο 6</p> <p>1^η αποτόνωση βαθμίδας</p> <p>$E/E_0=0.05$</p>
	<p>Στάδιο 7</p> <p>2^η αποτόνωση βαθμίδας</p> <p>$E/E_0=0.04$</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=20$ cm, $E/E_c= 0.333$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.19$</p>

	<p>Στάδιο 8</p> <p>3^η αποτόνωση βαθμίδας</p> <p>$E/E_0=0.03$</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυριών</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=30$ cm, $E/E_c= 0.667$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.57$</p>
	<p>Στάδιο 9</p> <p>Πλήρης αποτόνωση βαθμίδας $E/E_0=0$</p> <p>Πλήρης σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=35$ cm, $E/E_c= 1.0$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=1$</p>
	<p>Στάδιο 10</p> <p>Πλήρης εκσκαφή ανάστροφου τόξου στον πυθμένα</p> <p>Πλήρης σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ($t=35$ cm, $E/E_c= 1.0$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=1$</p>

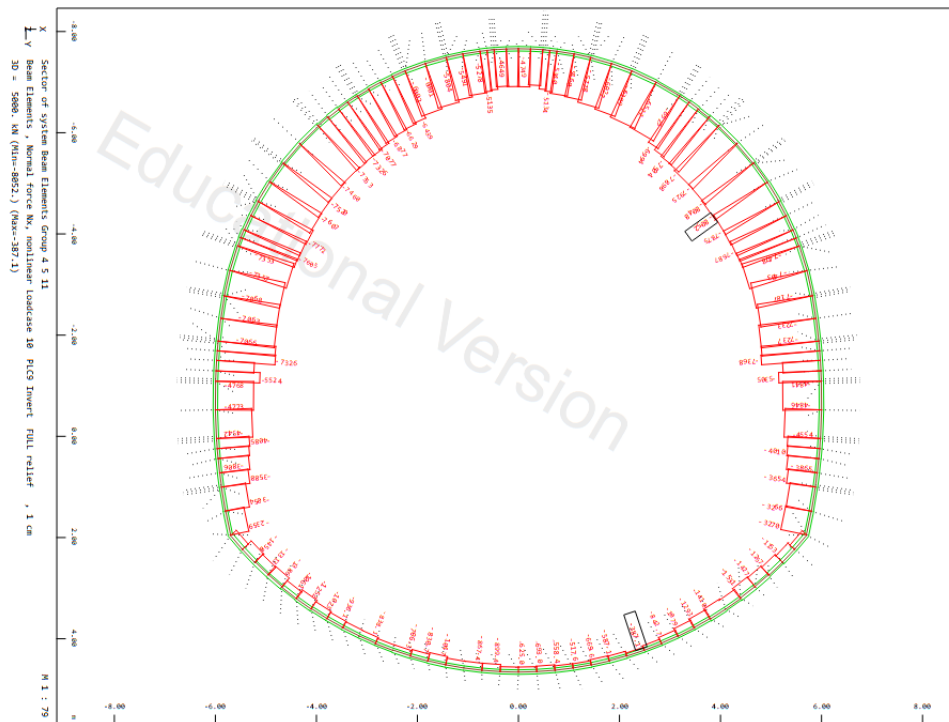
3.7.2 Αποτελέσματα Ανάλυσης "SC-V_B3_H500m"

Στο Σχήμα 49 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο 10 της ανάλυσης. Μέγιστη μετατόπιση εμφανίζεται στον πυθμένα ως ανύψωση, συγκεκριμένα στο ανάστροφο τόξο της σήραγγας η ολική μετατόπιση είναι ίση με 16mm. Στις παρειές της σήραγγας 9mm. Η μετατόπιση στη στέψη είναι 10 χιλιοστά του μέτρου(mm).

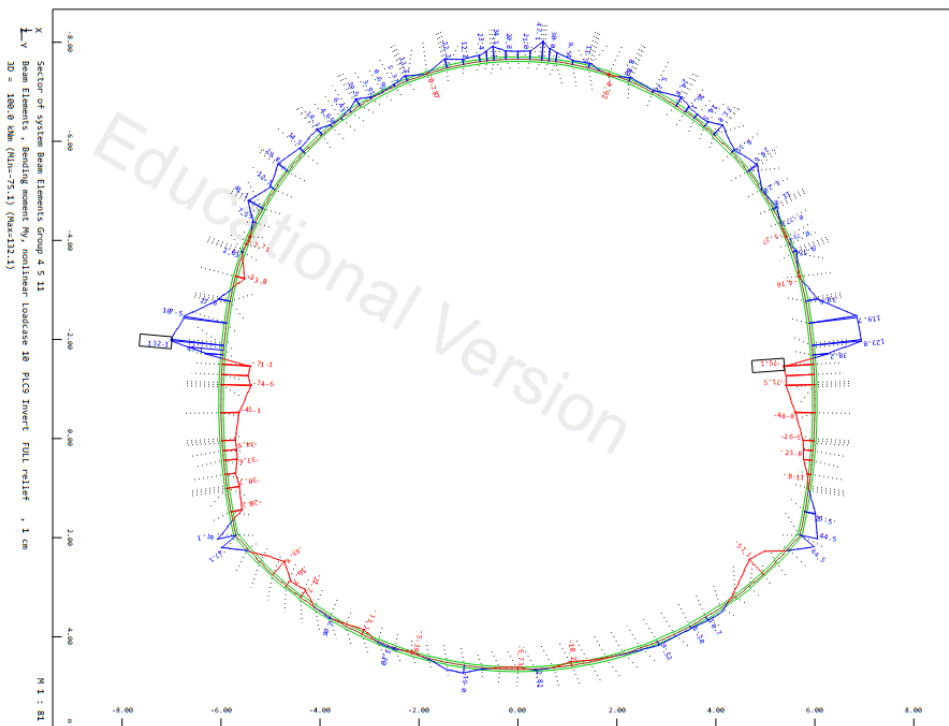


Σχήμα 49 Ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο της ανάλυσης "SC-V_B3_H500m"

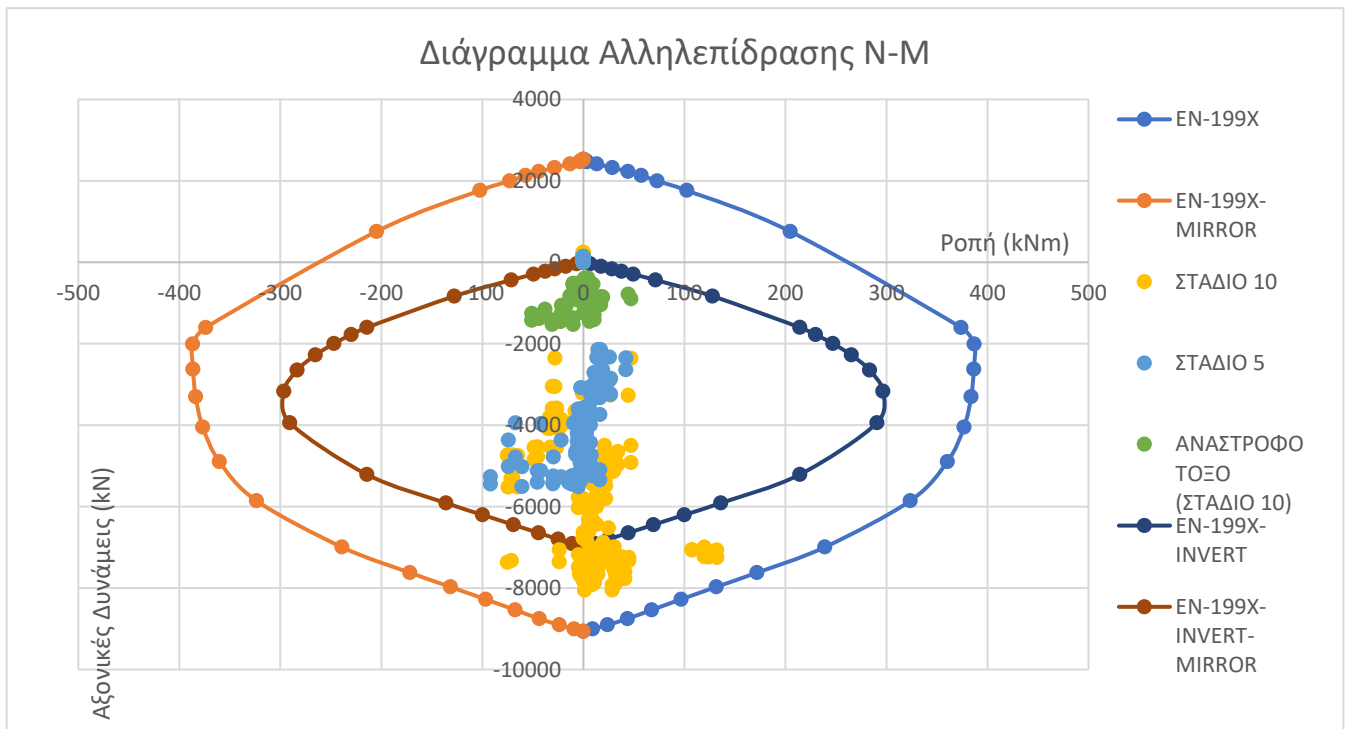
Ο έλεγχος επάρκειας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος πραγματοποιείται με την χρήση διαγράμματος αλληλεπίδρασης στο Σχήμα 50 που ακολουθεί. Επίσης παρατίθενται σχήματα(50 & 51) με την κατανομή αξονικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών στο κέλυφος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής κατά το τελικό στάδιο 10 της ανάλυσης.



Σχήμα 50 Κατανομή αξονικών δυνάμεων στο κέλυφος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής κατά το τελικό στάδιο

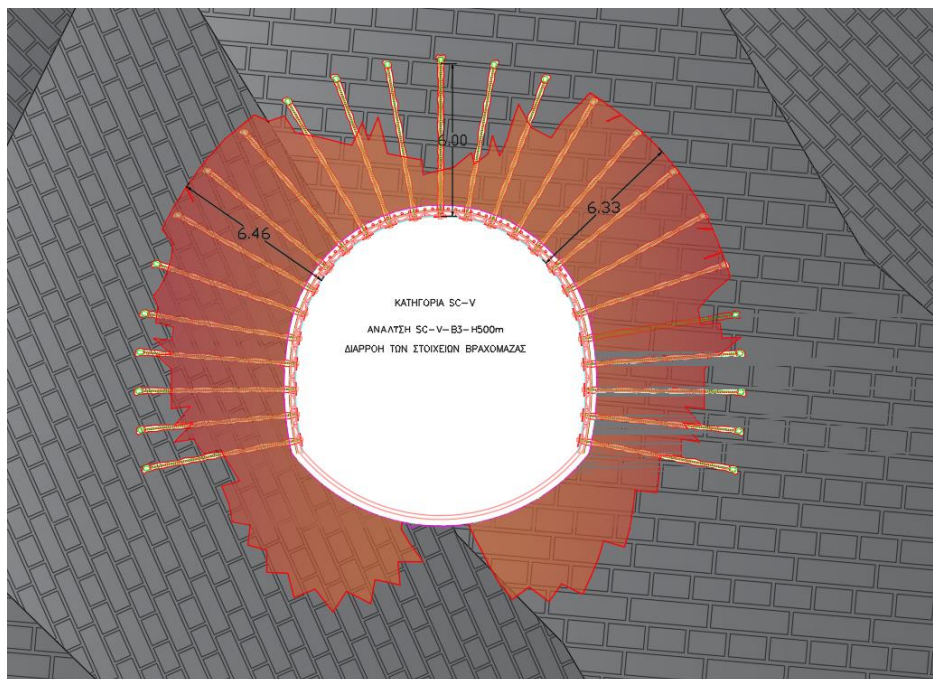


Σχήμα 51 Κατανομή καμπτικών ροπών στο κέλυφος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής κατά το τελικό στάδιο



Σχήμα 52 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N ανάλυσης "SC-V_B3_H500m"

Στο διάγραμμα του Σχήματος 52 παρατηρούνται όλα τα σημεία εντός της περιβάλλουσας αντοχής. Τα σημεία αποτυπώνουν τον συνδυασμό φόρτισης αξονικής δύναμης και ροπής σε ενδεικτικές τομές επί των στοιχείων δοκού του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο αντίστοιχο στάδιο της ανάλυσης.



Σχήμα 53 Διαρροή των στοιχείων της βραχομάζας περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής στο τελικό στάδιο της προσομοίωσης "SC-V_B3_H500m".

Στο σχήμα 53 παρατηρείται δημιουργία πλαστικής ζώνης με μεγάλη έκταση. Σε ορισμένα σημεία το εύρος της ζώνης φτάνει μέχρι και 6.5 m από την περιφέρεια της υπόγειας εκσκαφής. Επίσης το εύρος της πλαστικής ζώνης ξεπερνά το μήκος των αγκυρίων (6m) εκτός από 5 -6 περιπτώσεις (κυρίως στην στέψη). Παρόλα αυτά με την δράση ενός πυκνού κανάβου αγκυρίων, ακόμα και αν όλο το μήκος πάκτωσής τους βρίσκεται εντός της ζώνης που διαρρέει [2], σε συνδυασμό με τον έλεγχο ευστάθειας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, η κατηγορία υποστήριξης SC-IV εκτιμάται επαρκής.

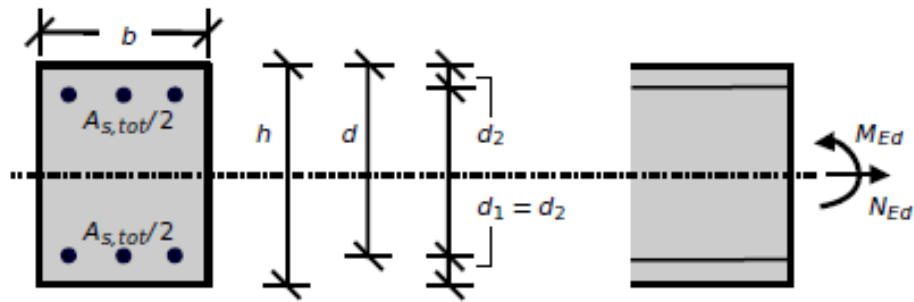
4 Τελική Επένδυση της σήραγγας

4.1 Παρουσίαση Μεθοδολογίας

Για την διαστασιολόγηση του οπλισμού της τελικής επένδυσης στην παρούσα εργασία, πραγματοποιείται προσπάθεια να ακολουθηθούν οι οδηγίες που περιγράφονται στην ενότητα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης 2.4.

Επομένως, για κάθε μια ανάλυση προσωρινής υποστήριξης που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3 δημιουργείται ένα τελικό στάδιο στο οποίο απενεργοποιούνται τα μέτρα άμεσης υποστήριξης (εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και αγκύρια) και μέσω ελατηρίων φορτίζεται ο φορέας της τελικής επένδυσης που προσομοιώνεται με στοιχεία δοκού. Στην συνέχεια με βάση τα εντατικά μεγέθη που προκύπτουν για κάθε νέο στοιχείο δοκού που προσομοιώνει τον φορέα της τελικής επένδυσης, το λογισμικό με την χρήση του Ευρωκώδικα 2(EN 1992-1-1:2004) [18] πραγματοποιεί τους υπολογισμούς για την απαίτηση σε οπλισμό. Η διαδικασία υπολογισμού του απαραίτητου οπλισμού που ακολουθεί το πρόγραμμα περιγράφεται παρακάτω:

Στο αντίστοιχο στάδιο προσομοίωσης της τελικής επένδυσης, υπολογίζεται ένας συνδυασμός αξονικής δύναμης και καμπτικής ροπής σε ενδεικτικές τομές που πραγματοποιεί το πρόγραμμα για κάθε στοιχείο δοκού της μόνιμης επένδυσης, αυτά τα μεγέθη αποτελούν τη βάση για τον προσδιορισμό της απαίτησης σε οπλισμό της διατομής σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα(EN 1992-1-1:2004) [18], όπως αναλυτικά παρουσιάζεται παρακάτω:



Σχήμα 54 Γεωμετρία προβλήματος διαστασιολόγησης οπλισμού ορθογωνικής διατομής με αξονική δύναμη και καμπτική ροπή βάσει EN 1992-1-1:2004. Σχήμα από εγχειρίδιο χρήσης του Sofistik.[14]

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \times h^2 \times f_{cd}}$$

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \times h^2 \times f_{cd}}$$

Προσδιορισμός ω_{tot} από κατάλληλο διάγραμμα βάσει γεωμετρίας της διατομής και ανηγμένων εντατικών μεγεθών & τελικός υπολογισμός απαίτησης οπλισμού.

$$A_{s,tot} = \omega_{tot} \times \frac{b \times h}{\frac{f_{yd}}{f_{cd}}}$$

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{A_{s,tot}}{2}$$

Όπου:

M_{Ed}	Ροπή σχεδιασμού.
N_{Ed}	Αξονική Δύναμη.
μ_{Ed}	Ανηγμένη Ροπή σχεδιασμού
v_{Ed}	Ανηγμένη Αξονική Δύναμη
$A_{s,tot}$	Συνολικό Εμβαδόν οπλισμού
A_{s1}	Εμβαδόν οπλισμού άνω ίνας
A_{s2}	Εμβαδόν οπλισμού κάτω ίνας
h	Στατικό ύψος διατομής

$f_{cd} = a_{cc} \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$	Αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος
$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$	Αντοχή σχεδιασμού χάλυβα

Τέλος παρατίθεται βασική σημείωση για τις τιμές του μέτρου ελαστικότητας της βραχομάζας που λαμβάνονται για τις αναλύσεις της μόνιμης επένδυσης. Το μέτρο ελαστικότητας λαμβάνεται από τις εξισώσεις που προτείνουν οι Hoek & M.S. Diederichs (2005)[11]. Συγκεκριμένα δεν λαμβάνεται υπόψη η εκτίμηση για αυξημένο μέτρο ελαστικότητας λόγω περίσφυξης της βραχομάζας όπως προτείνουν οι I. Vazaios, K. Farahmand, N. Vlachopoulos, M.S. Diederichs (2017)[12]. Η απαίτηση για οπλισμό σε αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν με την παραδοχή αυξημένου μέτρου ελαστικότητας ήταν η ελάχιστη που βασίζεται στην γεωμετρία της διατομής(EN 1992-1-1:2004) [18]. Επομένως, για την αποφυγή της υποδιαστασιολόγησης της διατομής, οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται με το «χαμηλό» μέτρο ελαστικότητας ανά κατηγορία βραχομάζας.(βλέπε ενότητα 3.1.4)

4.2 Υπολογισμός επικάλυψης οπλισμού

Η επικάλυψη του οπλισμού υπολογίζεται σύμφωνα με τις διατάξεις του Ευρωκώδικα 2(EN 1992-1-1:2004) [18]. Αρχικά από τον Πίνακα 37, επιλέγεται η κατηγορία XC2 καθώς θεωρείται ότι η επιφάνεια του σκυροδέματος, τουλάχιστον από την εξωτερική πλευρά της σήραγγας υπόκεινται σε μακροχρόνια επαφή με το νερό και δημιουργείται κίνδυνος για διάβρωση του οπλισμού από την ενανθράκωση του σκυροδέματος.

Πίνακας 37 Κατηγορίες έκθεσης σχετιζόμενες με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Πίνακας από ΕΛΟΤ EN.[16]

Χαρακτηρισμός Κατηγορίας	Περιγραφή περιβάλλοντος	Ενδεικτικά παραδείγματα κατηγοριών έκθεσης
1 Κανένας κίνδυνος διάβρωσης ή προσβολής		
X0	Για σκυρόδεμα χωρίς οπλισμό ή ενσωματωμένο μέταλλο. Όλες οι εκθέσεις με εξαίρεση τις περιπτώσεις παγετού (ψύξης/απόψυξης), απότριψης ή χημικής προσβολής. Για σκυρόδεμα με οπλισμό ή ενσωματωμένο μέταλλο. Πολύ ξηρό	Σκυρόδεμα στο εσωτερικό κτιρίων με πολύ χαμηλή υγρασία αέρος
2 Διάβρωση προκαλούμενη από ενανθράκωση σκυροδέματος		
XC1	Ξηρό ή μόλις υγρό	Σκυρόδεμα στο εσωτερικό κτιρίων με χαμηλή υγρασία αέρα Σκυρόδεμα που είναι μόνιμως καλυμμένο με νερό
XC2	Υγρό, σπανίως ξηρό	Επιφάνειες σκυροδέματος που υπόκεινται σε μακροχρόνια επαφή με το νερό. Πολλές περιπτώσεις θεμελίων.
XC3	Μέτρια υγρασία	Σκυρόδεμα στο εσωτερικό κτιρίων με μέτρια ή υψηλή υγρασία αέρα Εξωτερικό σκυρόδεμα που προφυλάσσεται από τη βροχή
XC4	Κυκλική εναλλαγή ύγρανσης - ξήρανσης	Επιφάνειες σκυροδέματος που υπόκεινται σε επαφή με το νερό, εκτός της κατηγορίας έκθεσης XC2

Από τον Πίνακα 38, επιλέγεται κατηγορία διάρκειας ζωής σχεδιασμού S5 που αντιστοιχεί σε ενδεικτική διάρκεια ζωής του έργου ίση με 100 χρόνια καθώς πρόκειται για σχεδιασμό μεγάλου (υπόγειου) οδικού έργου κοινής ωφέλειας.

Πίνακας 38 Ενδεικτική διάρκεια ζωής σχεδιασμού. Πίνακας από ΕΛΟΤ EN.[16]

Κατηγορία Διάρκειας Ζωής Σχεδιασμού	Ενδεικτική διάρκεια ζωής σχεδιασμού (χρόνια)	Παραδείγματα
1	10	Προσωρινές Κατασκευές ⁽¹⁾
2	25	Δομικά στοιχεία τα οποία μπορούν να αντικατασταθούν π.χ. εφέντρανα
3	25	Αγροτικές και παρεμφερείς κατασκευές
4	50	Κτήρια και παρεμφερή
5	100	Μνημειακά κτήρια, γέφυρες και άλλα τεχνικά έργα

Πίνακας 39 Συνιστώμενη κατηγοριοποίηση κατασκευών. Πίνακας από ΕΛΟΤ ΕΝ.[16]

Κατηγορία Κατασκευής							
Κριτήριο	Κατηγορία έκθεσης σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1	XD2 / XS1	XD3 / XS2 / XS3
Χρόνος ζωής σχεδιασμού 100 χρόνια	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2
Κατηγορία αντοχής(1) 2)	≥ C30/37 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C30/37 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C35/45 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C40/50 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C40/50 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C40/50 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C45/55 μείωση κατηγορίας κατά 1
Δομικό στοιχείο με γεωμετρία πλάκας (η θέση του οπλισμού δεν επηρεάζεται από τη διαδικασία κατασκευής)	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1
Διασφάλιση ειδικού ελέγχου ποιότητας παραγωγής σκυροδέματος	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1

Βάσει του Πίνακα 39, για κατηγορία σκυροδέματος C30/37, χρόνο σχεδιασμού(100) προκύπτει αύξηση κατηγορίας +2. Επομένως:

$$XC2+2 = XC4$$

Πίνακας 40 Απαιτήσεις τιμών ελάχιστης επικάλυψης, από άποψη ανθεκτικότητας σε διάρκεια για χάλυβα οπλισμού. Πίνακας από ΕΛΟΤ ΕΝ.[16]

Περιβαλλοντική απαίτηση για την $c_{min,dur}$ (mm)											
Κατηγορία Κατασκευής	Κατηγορία έκθεσης σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1										
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3
S1	10	20	10	20	20	25	25	35	20	25	35
S2	10	20	15	25	25	30	30	40	25	30	40
S3	10	20	20	30	30	35	35	45	30	35	45
S4	10	25	25	35	35	40	40	50	35	40	50
S5	15	30	30	40	40	45	45	55	40	45	55
S6	20	35	35	45	45	50	50	60	45	50	60

Από τον παραπάνω Πίνακα 40 για XC4 & κατηγορία κατασκευής S5 λαμβάνεται τιμή $c_{min,dur}=40\text{mm}$. Προκειμένου να υπολογιστεί η ονομαστική επικάλυψη C_{nom} πρέπει να γίνει μια προσαύξηση στην ελάχιστη επικάλυψη ώστε να ληφθούν υπόψη οι αποκλίσεις Δc_{dev} . Η απαιτούμενη ελάχιστη επικάλυψη πρέπει να αυξάνεται κατά την απόλυτη τιμή της αποδεκτής παρέκκλισης :

$$C_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

Σημείωση: Η τιμή της Δc_{dev} για χρήση σε κάθε χώρα παρατίθεται στο αντίστοιχο εθνικό προσάρτημα. Η συνιστάμενη τιμή είναι **10mm**.

Πίνακας 41 Επικάλυψη Οπλισμών. Πίνακας από ΕΛΟΤ EN.[16]

Επικάλυψη οπλισμών (c_{min})

Πρέπει να προβλέπεται ελάχιστη επικάλυψη c_{min} , ώστε να διασφαλιστεί:

- ασφαλής μεταφορά των δυνάμεων συνάφειας
- προστασία του χάλυβα έναντι διάβρωσης (ανθεκτικότητα σε διάρκεια)
- επαρκής πυροπροστασία (βλ. EN 1992-1-2)

Πρέπει να χρησιμοποιείται η μεγαλύτερη τιμή c_{min} που να ικανοποιεί τις απαιτήσεις τόσο για τις συνθήκες συνάφειας όσο και για τις περιβαλλοντικές

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

$c_{min,b}$	ελάχιστη επικάλυψη βάσει απαίτησης συνάφειας
$c_{min,dur}$	ελάχιστη επικάλυψη βάσει περιβαλλοντικών συνθηκών
$\Delta c_{dur,y}$	πρόσθετη ασφάλεια στοιχείου
$\Delta c_{dur,st}$	απομείωση της ελάχιστης επικάλυψης σε περίπτωση χρήσης ανοξείδωτου χάλυβα
$\Delta c_{dur,add}$	απομείωση της ελάχιστης επικάλυψης σε περίπτωση σκυροδέματος με πρόσθετη προστασία επίστρωσης

Σημείωση : Οι τιμές των $\Delta c_{dur,y}$, $\Delta c_{dur,st}$ και $\Delta c_{dur,add}$ για χρήση σε κάθε χώρα παρατίθεται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα. Οι συνιστώμενες τιμές είναι 0 mm

Τέλος πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί σύμφωνα με τις υποδείξεις του Πίνακα 41 και επιλέγεται η μέγιστη από τις τρεις τιμές που υπολογίζονται. Επιλέγεται η μέγιστη τιμή 40mm. Η επικάλυψη που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς και δηλώνεται στα σχέδια είναι η ονομαστική επικάλυψη και ορίζεται ως εξής:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 40 + 10 = 50 \text{ mm}. \rightarrow c_{nom} = 50 \text{ mm}.$$

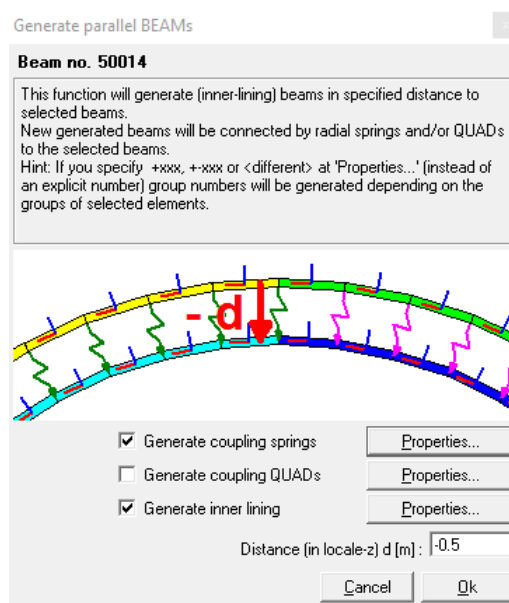
4.3 Διαστασιολόγηση οπλισμού με τα λογισμικά Wintube – Sofistik

«Μια από τις πιο σημαντικές δυνατότητες του συστήματος SOFiSTiK είναι η διαστασιολόγηση της επένδυσης με αυτόματη παραλαβή των εντατικών μεγεθών που προκύπτουν από την ανάλυση του συστήματος»[13]. Ταυτόχρονα το λογισμικό Wintube αποτελεί ένα πολύ φιλικό για τον χρήστη γραφικό περιβάλλον το οποίο δίνει την δυνατότητα για αυτόματη παραγωγή ελατήριων και νέων στοιχείων δοκού που θα προσομοιώσουν τον φορέα της τελικής επένδυσης. Η δυνατότητα εισαγωγής πλήθους εξωτερικών φορτίων διαφόρων ειδών, πραγματοποιείται επίσης γραφικά με αρκετά απλό τρόπο. Το Sofistik, με το οποίο πραγματοποιούνται οι τελικοί υπολογισμοί για την απαίτηση σε οπλισμό, διαθέτει

βιβλιοθήκες πλήρως ενημερωμένες με αρκετούς διεθνείς κανονισμούς και τον Ευρωκώδικα.[14]

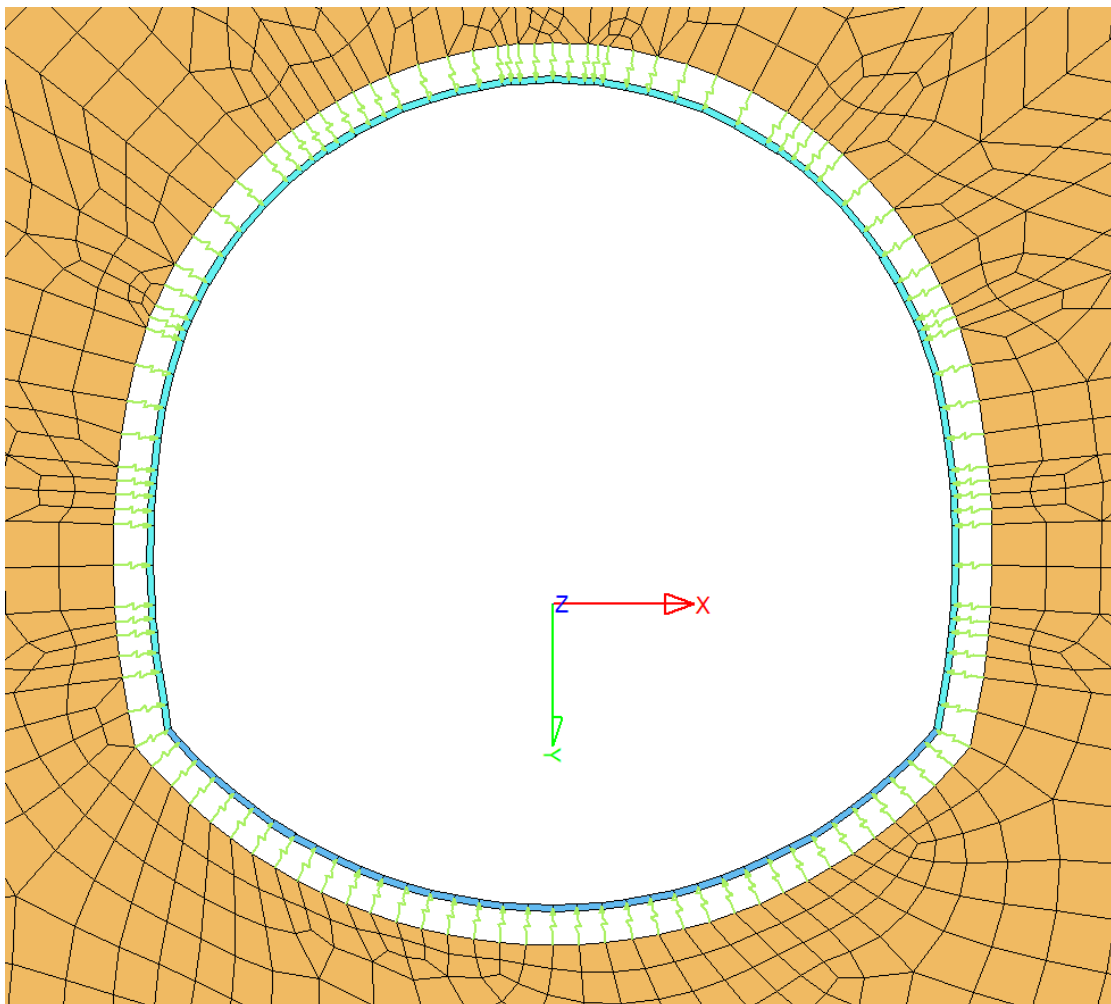
4.4 Εισαγωγή ελατηρίων και φορέα τελικής επένδυσης

Η μέθοδος που ακολουθείται από το πρόγραμμα είναι η μέθοδος στοιχείων δοκού και ελατηρίων(Beam – Spring Method) για την διαστασιολόγηση της τελικής επένδυσης. Η απενεργοποίηση των μέτρων άμεσης υποστήριξης κατά το τελικό στάδιο υπολογισμού των οπλισμών της τελικής επένδυσης πραγματοποιείται από τις αντίστοιχες ομάδες στις οποίες συμμετέχουν με τον μηδενισμό του συντελεστή FACS(βλέπε ενότητα 3.1.6.5). Στην συνέχεια και μόνο στο αντίστοιχο στάδιο ανάλυσης της τελικής επένδυσης εισάγονται τα ελατήρια με την χρήση της εντολής “Generate inner lining” (και ενεργοποιούνται με τον συντελεστή FACS).Με την χρήση της εντολής επί των δοκών του εκτοξευόμενου σκυροδέματος που είναι σε επαφή με την περιβάλλουσα βραχώμαζα, το πρόγραμμα δημιουργεί νέα στοιχεία δοκού και ελατήρια τα οποία συνδέουν την βραχώμαζα με τα νέα στοιχεία δοκού που προσομοιώνουν την τελική επένδυση της σήραγγας. Για να πραγματοποιηθούν τα παραπάνω στο πρόγραμμα εισάγεται η αξονική απόσταση μεταξύ των δοκών προσωρινής και τελικής επένδυσης καθώς και επιλέγεται η αυτόματη παραγωγή ελατηρίων και δοκών όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 36. Η αξονική απόσταση μεταξύ των κελυφών εξάγεται από τα ενδεικτικά κατασκευαστικά σχέδια που παρατίθενται στην ενότητα 3.1.2.



Εικόνα 36 Παράθυρο εντολής “Generate inner lining” στο λογισμικό Wintube, για την αυτόματη δημιουργία δοκών και ελατηρίων.

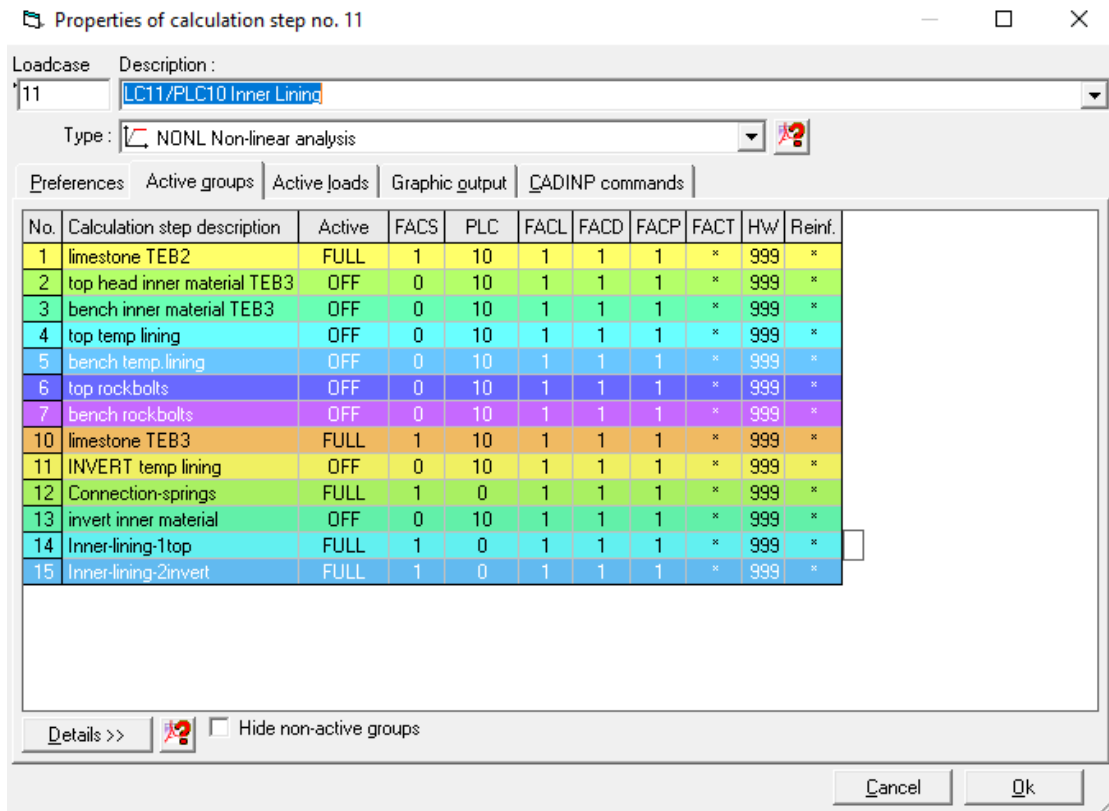
Για την εκτίμηση της δυσκαμψίας των ελατηρίων το λογισμικό χρησιμοποιεί την δυσκαμψία του περιβάλλοντος εδάφους και την γεωμετρία της επένδυσης της σήραγγας. Τα ελατήρια προσομοιώνονται ώστε να αναλάβουν μόνο θλιπτικά φορτία για την προσομοίωση της αποστραγγιστικής και στεγανωτικής στρώσης. Επίσης η πιθανότητα ανάληψης εφελκυστικών φορτίων από τα ελατήρια σημαίνει ότι η περιβάλλουσα βραχώμαζα έλκει την τελική επένδυση, κάτι που δεν είναι ρεαλιστικό. Παρουσιάζεται ενδεικτική εικόνα από το στάδιο ανάλυσης της τελικής επένδυσης, όπου παρατηρούνται τα ελατήρια και τα νέα στοιχεία δοκού που προσομοιώνουν την τελική επένδυση της σήραγγας, επίσης παρατηρείται η απουσία των μέτρων προσωρινής υποστήριξης λόγω της απενεργοποίησής τους.



Εικόνα 37 Ενδεικτική εικόνα από το λογισμικό Wintube από το στάδιο διαστασιολόγησης της τελικής επένδυσης.

Ακολουθεί ενδεικτική εικόνα από την συμμετοχή της κάθε ομάδας στοιχείων στο στάδιο της ανάλυσης της τελικής επένδυσης. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής FACS είναι μηδέν για όλες τις ομάδες εκτός από αυτές που αντιπροσωπεύουν την περιβάλλουσα βραχώμαζα, τα

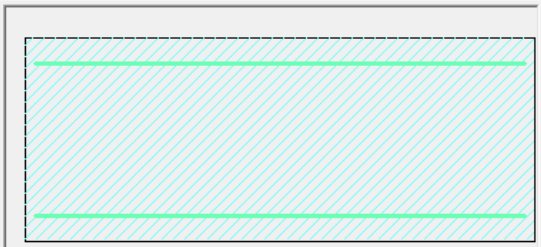

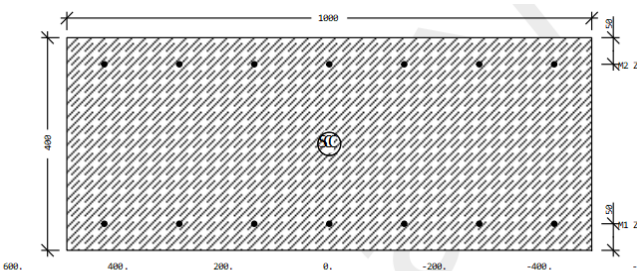
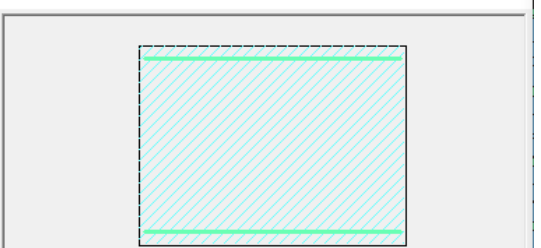

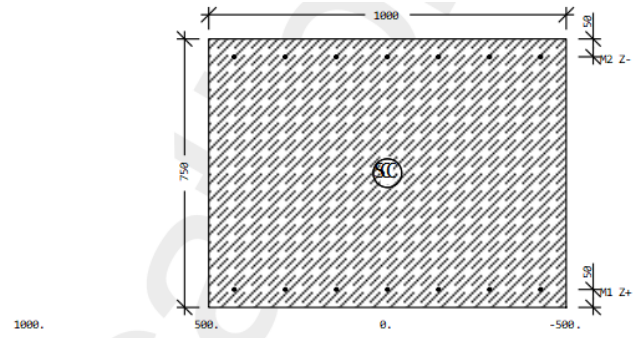
ελατήρια, τους δοκούς της τελικής επένδυσης. Με αυτόν τον τρόπο και μετά την επίλυση από το πρόγραμμα προσδιορίζονται τα εντατικά μεγέθη των δοκών της επένδυσης, απαραίτητα για τον προσδιορισμό της απαίτησής τους σε οπλισμό.



Εικόνα 38 Συμμετοχή της κάθε ομάδας στοιχείων στο στάδιο ανάλυσης της τελικής επένδυσης.

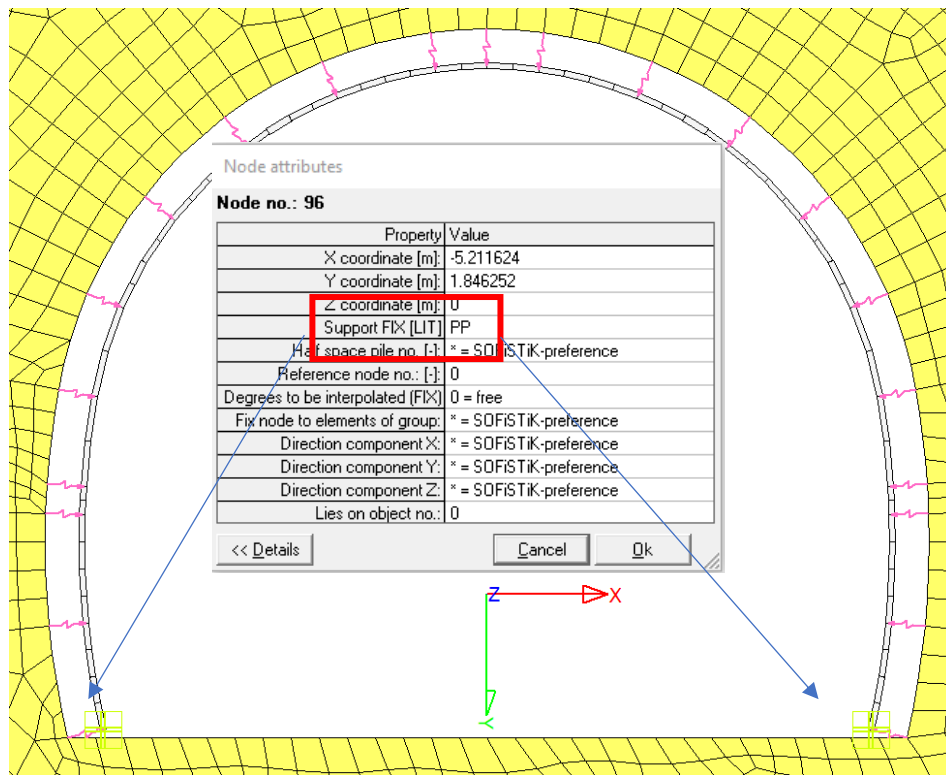
Στην συνέχεια, παρουσιάζονται ενδεικτικά οι διατομές της τελικής επένδυσης που εισάγονται στο πρόγραμμα. Για τον τύπο I στατικό ύψος διατομής 40cm, για τον τύπο II στατικό ύψος διατομής 40cm (παρειές στέψη) και στατικό ύψος ανάστροφου τόξου 75cm βάση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης[2] και επικάλυψη οπλισμού για όλες τις διατομές ίση με 5cm, (βλέπε ενότητα 4.2).

Πίνακας 42 Οι διατομές της τελικής επένδυσης που εισάγονται στο πρόγραμμα.

ΤΥΠΟΣ I & II (παρειές στέψη)																			
<p>Beam cross section</p>  <table border="1" data-bbox="167 649 710 862"> <thead> <tr> <th>Property</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CS number:</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Kind of CS:</td> <td>Rectangle, T-beam, Plate</td> </tr> <tr> <td>Description:</td> <td>final lining 1 (40cm)</td> </tr> <tr> <td>Number of material:</td> <td>4 final lining concrete</td> </tr> <tr> <td>Total height [m]:</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>Distance of upper reinforcement [cm]:</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Distance of lower reinforcement [cm]:</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Number of reinforcement material:</td> <td>3 steel</td> </tr> </tbody> </table> <p>Details >>  Cancel Ok</p>	Property	Value	CS number:	3	Kind of CS:	Rectangle, T-beam, Plate	Description:	final lining 1 (40cm)	Number of material:	4 final lining concrete	Total height [m]:	0.4	Distance of upper reinforcement [cm]:	5	Distance of lower reinforcement [cm]:	5	Number of reinforcement material:	3 steel	 <p>final lining 1 (40cm)</p> <p>Πρότυπη διατομή κελύφους τελικής επένδυσης, $b=1\text{m}$. Βάσει της γεωμετρίας της συγκεκριμένης διατομής πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί για την απαίτηση σε οπλισμό(επιφάνεια οπλισμού cm^2)</p>
Property	Value																		
CS number:	3																		
Kind of CS:	Rectangle, T-beam, Plate																		
Description:	final lining 1 (40cm)																		
Number of material:	4 final lining concrete																		
Total height [m]:	0.4																		
Distance of upper reinforcement [cm]:	5																		
Distance of lower reinforcement [cm]:	5																		
Number of reinforcement material:	3 steel																		
<p>ΤΥΠΟΣ II (ανάστροφο τόξο)</p> <p>Beam cross section</p>  <table border="1" data-bbox="167 1489 710 1702"> <thead> <tr> <th>Property</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CS number:</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Kind of CS:</td> <td>Rectangle, T-beam, Plate</td> </tr> <tr> <td>Description:</td> <td>final lining invert (75cm)</td> </tr> <tr> <td>Number of material:</td> <td>4 final lining concrete</td> </tr> <tr> <td>Total height [m]:</td> <td>0.75</td> </tr> <tr> <td>Distance of upper reinforcement [cm]:</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Distance of lower reinforcement [cm]:</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Number of reinforcement material:</td> <td>3 steel</td> </tr> </tbody> </table> <p>Details >>  Cancel Ok</p>	Property	Value	CS number:	4	Kind of CS:	Rectangle, T-beam, Plate	Description:	final lining invert (75cm)	Number of material:	4 final lining concrete	Total height [m]:	0.75	Distance of upper reinforcement [cm]:	5	Distance of lower reinforcement [cm]:	5	Number of reinforcement material:	3 steel	 <p>final lining invert (75cm)</p> <p>Πρότυπη διατομή κελύφους τελικής επένδυσης, $b=1\text{m}$. Βάσει της γεωμετρίας της συγκεκριμένης διατομής πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί για την απαίτηση σε οπλισμό(επιφάνεια οπλισμού cm^2)</p>
Property	Value																		
CS number:	4																		
Kind of CS:	Rectangle, T-beam, Plate																		
Description:	final lining invert (75cm)																		
Number of material:	4 final lining concrete																		
Total height [m]:	0.75																		
Distance of upper reinforcement [cm]:	5																		
Distance of lower reinforcement [cm]:	5																		
Number of reinforcement material:	3 steel																		

Τέλος, για την προσομοίωση του φορέα της τελικής επένδυσης (ΤΥΠΟΣ I), με τα στοιχεία δοκού που παρουσιάζονται παραπάνω εισάγονται οι κατάλληλες στηρίξεις στα ακραία

σημεία, σημεία έδρασης του φορέα. Συγκεκριμένα με τον περιορισμό των μετακινήσεων κατά την διεύθυνση X και Y επι των ακραίων κόμβων των στοιχείων δοκού, εισάγονται αρθρώσεις στα σημεία έδρασης. Ακολουθεί ενδεικτική εικόνα από το λογισμικό Wintube.



Εικόνα 39 Προσομοίωση σημείων έδρασης του φορέα τελικής επένδυσης.

4.5 Εισαγωγή φορτίων - συνδυασμός δράσεων

Σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση της μελέτης της Ερευνητικής ομάδας [2] (βλέπε ενότητα 2.4) εντάσσονται επιπλέον δράσεις επί της τελικής κατασκευής. Οι δράσεις αντιπροσωπεύουν μόνιμες, παροδικές ή/και τυχηματικές φορτίσεις που προκύπτουν κατά την λειτουργία της σήραγγας και εκπορεύονται από οδηγίες εθνικών κανονισμών.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται έλεγχος για οριακή κατάσταση αστοχίας. Σε γενικές γραμμές ο Ευρωκώδικας 1 (EN 1991-1-1,5,6,7: 2002) [19] προτείνει για έλεγχο επάρκειας της τελικής επένδυσης και την διαστασιολόγηση των διατομών συνδυασμούς δράσεων στην οριακή κατάσταση αστοχίας ως εξής : τα μόνιμα φορτία πολλαπλασιάζονται με 1,35, η χαρακτηριστική τιμή της βασικής μεταβλητής δράσης με 1,50, ενώ οι υπόλοιπες μεταβλητές δράσεις αφού πολλαπλασιαστούν με 1,50, πολλαπλασιάζονται με μειωτικούς συντελεστές κατά σειρά και τέλος τα τυχηματικά φορτία δεν λαμβάνονται υπόψη [19]. Τέλος οι θερμικές δράσεις θεωρούνται μεταβλητές.[19]

Συγκεκριμένα στην εργασία παρουσιάζεται-πραγματοποιείται ένας και μόνο συνδυασμός φόρτισης για έλεγχο επάρκειας και διαστασιολόγηση της διατομής σε οριακή κατάσταση αστοχίας μαζί με ένα τυχηματικό φορτίο(έκρηξης) και συμψηφισμό των μεταβλητών δράσεων. Η παραδοχή αυτή πραγματοποιείται καθώς από τις αναλύσεις της τελικής επένδυσης προκύπτει ότι τα μεταβλητά και τυχηματικά φορτία έχουν ελάχιστη επιρροή σε σχέση με τα μόνιμα φορτία κυρίως σε σχέση με αυτά που προκύπτουν λόγω ιδίου βάρους της βραχομάζας και έχουν προσαυξηθεί με τον συντελεστή 1,35. Οι θερμικές δράσεις θεωρούνται, και εισάγονται κάποιες από αυτές.

Τα εξωτερικά επιβαλλόμενα φορτία, μόνιμα είτε μεταβλητά, εισάγονται με γραφικό τρόπο, στο φιλικό για τον χρήστη περιβάλλον του προγράμματος Wintube. Ο πολλαπλασιασμός των μόνιμων φορτιών ιδίου βάρους πραγματοποιείται με χρήση των συντελεστών ανά ομάδα στοιχείων στο πρόγραμμα Teddy (βλέπε ενότητα 3.1.6.5). Η διαδικασία και ο συνδυασμός των δράσεων για τις αναλύσεις της τελικής επένδυσης παρουσιάζονται παρακάτω:

- Ίδιο βάρος φορέα τελικής επένδυσης (x 1,35)

Μόνιμο φορτίο με επί μέρους συντελεστή ασφαλείας 1,35. Ο πολλαπλασιασμός του ίδιου βάρους της επένδυσης πραγματοποιείται με την χρήση του συντελεστή FACD=1,35 στο πρόγραμμα Teddy στο αντίστοιχο στάδιο της ανάλυσης. Ακολουθεί ενδεικτική εικόνα.

LC 11	TITL	'PLC10	LC11/PLC10	Inner L	ining'				
GRP	NO	VAL	FACS	PLC	FACL	FACD	HW	\$	Description
	1	FULL	1.0000	10	1.35	1.35	999.00	\$	limestone TEB2
	2	OFF						\$	top head inner material TEB3
	3	OFF						\$	bench inner material TEB3
	4	OFF						\$	top temp lining
	5	OFF						\$	bench temp.lining
	6	OFF						\$	top rockbolts
	7	OFF						\$	bench rockbolts
	10	FULL	1.0000	10	1.0000	1.0000	999.00	\$	limestone TEB3
	11	OFF						\$	INVERT temp lining
	12	FULL	1.0000	0	1.0000	1.0000	999.00	\$	Connection-springs
	13	OFF						\$	invert inner material
	14	FULL	1.0000	0	1.0000	1.35	999.00	\$	Inner-lining-1top
	15	FULL	1.0000	0	1.0000	1.35	999.00	\$	Inner-lining-2invert
END									

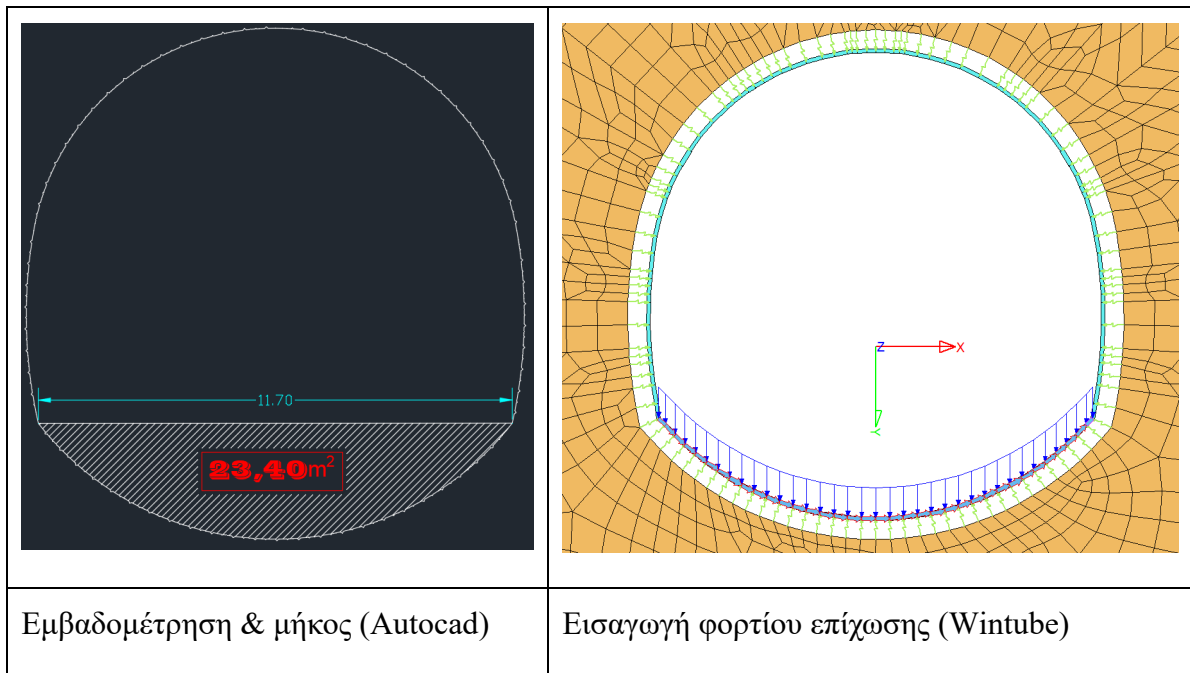
Εικόνα 40 Αύξηση του ίδιου βάρους της επένδυσης με την χρήση του συντελεστή FACD

- Ίδιο βάρος βραχομάζας (x 1,35)

Ασκείται με την απενεργοποίηση των μέτρων άμεσης υποστήριξης και η αύξησή του κατά 35% πραγματοποιείται με την χρήση του συντελεστή FACD=1.35 στο πρόγραμμα Teddy στο αντίστοιχο στάδιο της ανάλυσης.(βλέπε Εικόνα 40).

- Μόνιμο φορτίο επίχωσης ανάστροφου πυθμένα (x 1,35)

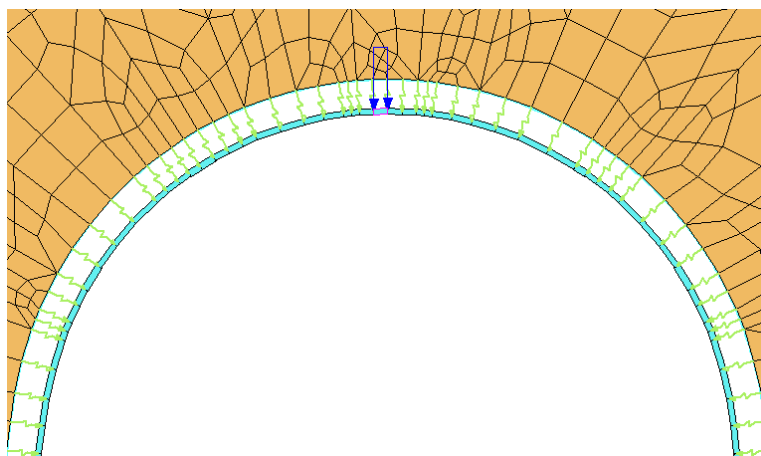
Πραγματοποιείται εισαγωγή του φορτίου στο Wintube με γραφικό τρόπο. Για τον υπολογισμό του μεγέθους του φορτίου πραγματοποιούνται οι παρακάτω παραδοχές. Ειδικό βάρος υλικού επίχωσης 20kN/m^3 , εμβαδόν περιοχής επίχωσης $23,40\text{m}^2$. Άρα συνολικό φορτίο ανά μέτρο σήραγγας ίσο με $20 \cdot 23,40 \cdot 1(\text{m}) = 468\text{ kN}$, αύξηση(35%) $468\text{kN} \cdot 1,35 = 631,8\text{kN}$. Εισάγεται το αντίστοιχο γραμμικό φορτίο $631.8\text{kN}/11.7\text{m} = 54\text{kN/m}$.



Εικόνα 41 Εισαγωγή φορτίου επίχωσης τόξου στο Wintube.

- Μόνιμο φορτίο λόγω ίδιου βάρους ανεμιστήρων αερισμού (x 1,35)

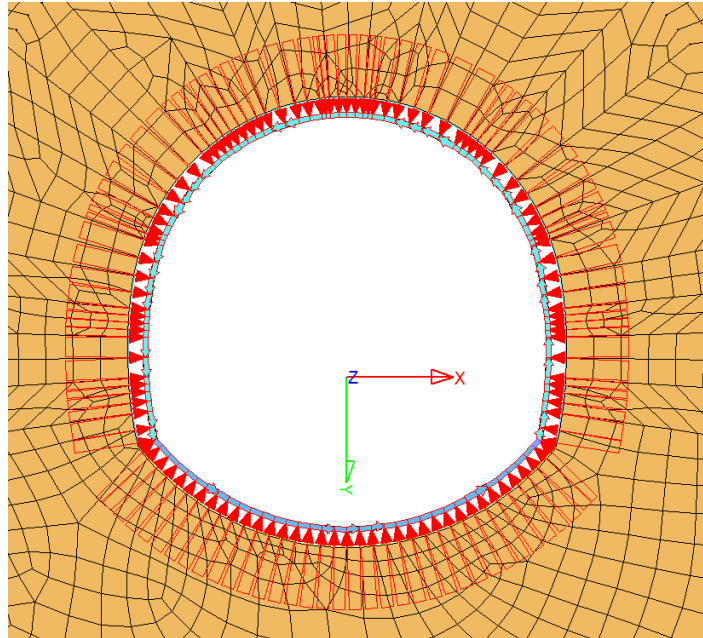
Θεωρείται βάρος ανεμιστήρα $1\text{t} = 1000\text{kg}$. Το βάρος ασκεί δύναμη λόγω βαρύτητας ίση με $1000\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 9810\text{N} = 10\text{kN} \cdot 1,35 = 13,5\text{kN}$. Το σημειακό φορτίο στη στέψη ανάγεται στο αντίστοιχο μήκος ενός στοιχείου δοκού και εισάγεται ως γραμμικό.



Εικόνα 42 Φορτίο λόγω ίδιου βάρους ανεμιστήρων αερισμού.

- Φορτίο υδροστατικών πιέσεων (x 1,00)

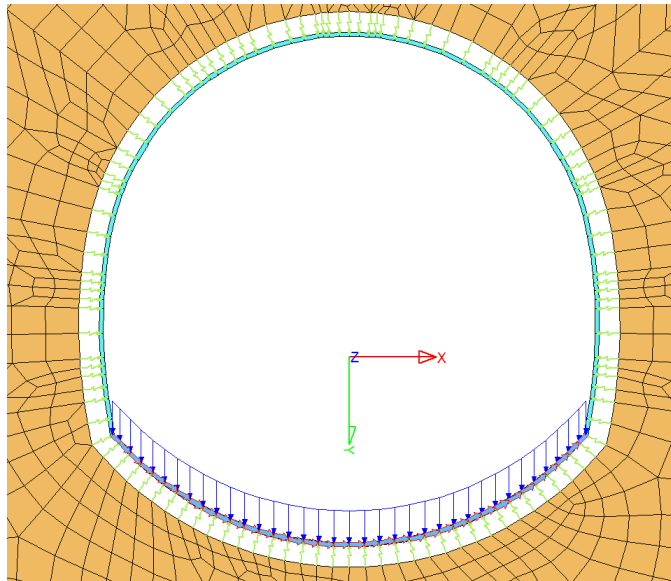
Λαμβάνεται : «υπόψη υδροστατική πίεση 50 kPa (αντιστοιχεί σε στήλη νερού ύψους 5 m) που να ακτινικά κάθετα προς την εξωτερική επιφάνεια του φορέα της μόνιμης επένδυσης, ώστε να ληφθεί υπόψη τυχόν αστοχία του συστήματος αποστράγγισης»[2]



Εικόνα 43 Φορτίο υδροστατικών πιέσεων.

- Κινητό φορτίο λειτουργίας (x 1,50)

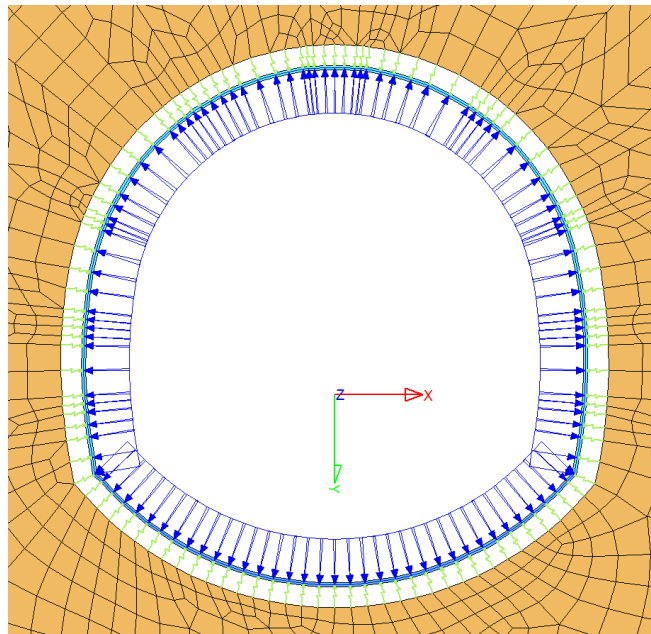
Θεωρείται ομοιόμορφο φορτίο που συμπεριλαμβάνει δυο βαρέα οχήματα (2xSLW60 [19], βλέπε ενότητα 2.4) και κινητό φορτίο πεζοδρομίων ομοιόμορφα καταναμημένο επί του ανάστροφου τόξου: $2 \times 33,3 + 3,4(\text{πεζοδρόμια}) = 70 \text{ kN/m}^2$, εισάγεται το αντίστοιχο γραμμικό φορτίο.



Εικόνα 44 Εισαγωγή μεταβλητών φορτίων κυκλοφορίας

- Τυχηματικό φορτίο έκρηξης (X1,00)

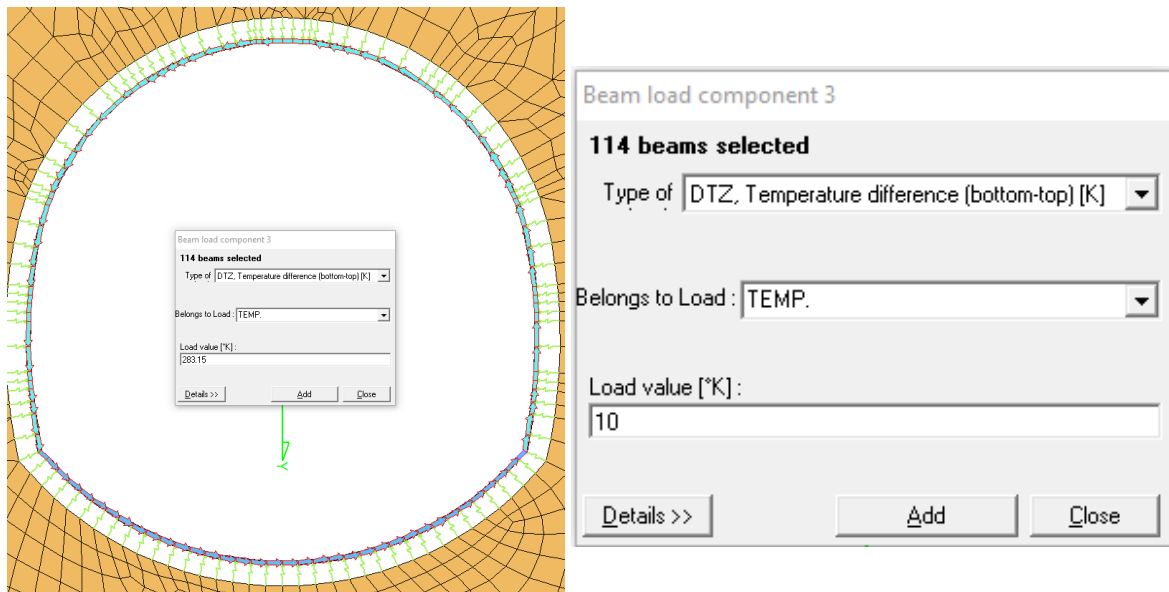
Θεωρείται ομοιόμορφο φορτίο πίεσης 100kPa κάθετα στην εσωτερική παρεία της επένδυσης, εισάγεται το αντίστοιχο γραμμικό φορτίο.



Εικόνα 45 Εισαγωγή τυχηματικό φορτίο έκρηξης.

- Θερμοκρασιακό φορτίο.

Φορτίο λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς εσωτερικής-εξωτερικής επιφάνειας του φορέα κατά $\pm 10^{\circ}\text{C}$. Στο λογισμικό Wintube δίδεται η δυνατότητα για απευθείας εισαγωγή θερμοκρασιακών φορτίων λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς εσωτερικής-εξωτερικής επιφάνειας (DTZ-temperature difference top-bottom) στις δοκούς της τελικής επένδυσης. Η εισαγωγή του φορτίου πραγματοποιείται σε βαθμούς Kelvin.



Εικόνα 46 Φορτίο λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς εσωτερικής-εξωτερικής επιφάνειας του φορέα κατά $\pm 10^{\circ}\text{K}$.

Σημείωση: για τον ΤΥΠΟ I του φορέα της επένδυσης δεν λαμβάνονται υπόψη τα φορτία που επιδρούν στο τόξο του ανάστροφου πυθμένα της σήραγγας, όπως τα μεταβλητά φορτία κυκλοφορίας και το μόνιμο φορτίο επίχωσης.

Τέλος η εντολή για την διαστασιολόγηση των διατομών δίδεται η εντολή “DESI” στο υποπρόγραμμα AQB στο περιβάλλον του TEDDY με την χρήση της γλώσσας CADINP. Ακολουθεί ενδεικτική εικόνα της εντολής.

```

19973 +Prog aqb urs:1
19974 head lc10 perma lining
19975 page lano 1
19976 lc 10
19977 beam grp 9
19978 desi stat ulti
19979 rein lcr 10
19980 end
    
```

Εικόνα 47 Η εντολή “DESI” στο υποπρόγραμμα AQB στο περιβάλλον του TEDDY με την χρήση της γλώσσας CADINP

4.6 Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων για τον ένα συνδυασμό δράσεων που περιγράφεται στην παραπάνω ενότητα παρατίθενται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 43 που ακολουθεί.

Η απαίτηση σε οπλισμό που παρουσιάζεται στον συγκεντρωτικό πίνακα των αποτελεσμάτων είναι η επιλεγμένη μέγιστη τιμή ανάμεσα σε αυτές που υπολογίζει το πρόγραμμα. Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται σε ενδεικτικές τομές για κάθε στοιχείο δοκού που προσομοιώνει την τελική επένδυση. Συγκεκριμένα η τιμή που παρατίθεται, As1 ή As2 είναι η μέγιστη τιμή που υπολογίζεται και δίδει την επιφάνεια ελάχιστου απαραίτητου οπλισμού της άνω ή κάτω ίνας μεταξύ των πρότυπων διατομών που εισάγονται στο πρόγραμμα και η γεωμετρία τους παρατίθεται στην ενότητα 4.4 (βλέπε Πίνακα 42).

Πίνακας 43 Αποτελέσματα Sofistik για την διαστασιολόγηση του οπλισμού της τελικής επένδυσης: απαίτηση σε οπλισμό για κάθε ανάλυση

Κατηγορία Υποστήριξης	TE	Ύψος υπερκειμένων σχηματισμών H(m)	ΤΥΠΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	Αξονική δύναμη σχεδιασμού NRd [kN]	Ροπή σχεδιασμού MRd [kNm]	ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΣΕ ΟΠΛΙΣΜΟ (SOFISTIK EXPORT) As(cm ²)	
SC-I	B1	300	I	SC-I-B1-H300m	-2657,9	-379,82	4,55	
SC-II	B2	270		SC-II-B2-H270m	-95,1	-175,13	10,29	
	B1	400		SC-II-B1-H400m	40,9	-87,77	5,98	
SC-IIIa	B2	380		SC-IIIa-B2-H380m	-12,7	-279,03	18,86	
	B1	500		SC-IIIa-B1-H500m	265,2	-183,31	14,81	
SC-IIIb	B3	300		SC-IIIb-B3-H300m	-722,7	-519,99	32,12	
SC-IV	B3	400		SC-IV-B3-H400m	7706,5	-409,82	29,25	
	B2	500		SC-IV-B2-H500m	-3400,4	412,7	6,25	
SC-V	B3	500		II	παρειές, στέψη ανάστροφο τόξο	SC-V-B3-H500m	594,58	45,16
							-7709,9	7,33
					-14553,6	-231,23		

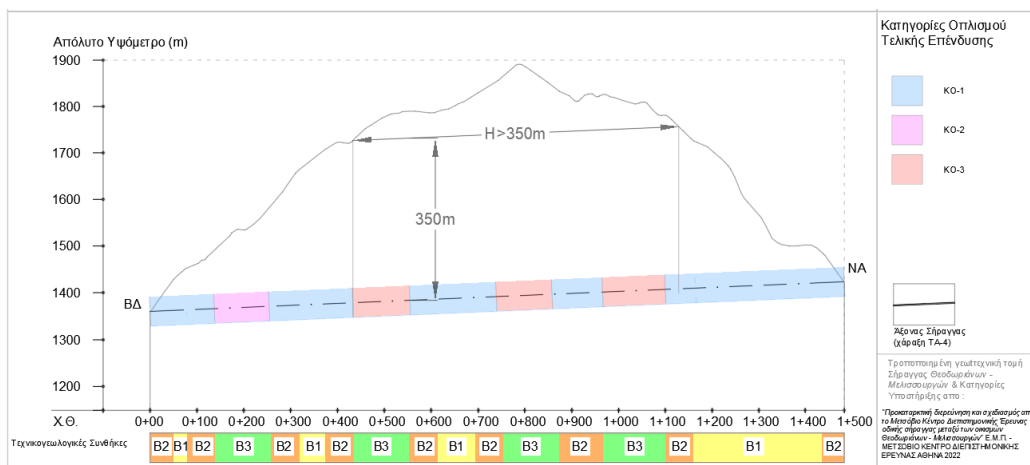
Με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα 43, πραγματοποιούνται παραδοχές και ομαδοποιήσεις και προτείνεται η τελική επιλογή οπλισμού της διατομής της τελικής επένδυσης και η τελική διάταξή του κατά μήκος της σήραγγας. Συγκεκριμένα τα αποτελέσματα ομαδοποιούνται με τον εξής τρόπο: για τις τεχνικογεωλογικές ενότητες B1 & B2 με ύψος υπερκειμένων μικρότερο από 380 m προτείνεται ενιαία διάταξη οπλισμού βάσει των αποτελεσμάτων των επιμέρους αναλύσεων, δηλαδή με την επιλογή της μέγιστης τιμής για απαίτηση σε οπλισμό. Αντίστοιχα προτείνεται διάταξη οπλισμού για τεχνικογεωλογική ενότητα(TE) B3 για ύψος υπερκειμένων μικρότερο από 380 m. Η ίδια διαδικασία, με την διάκριση ανάμεσα σε (TE) B1 & B3 και (TE) B3, πραγματοποιείται και για ύψος υπερκειμένων μεγαλύτερο από 380 m.

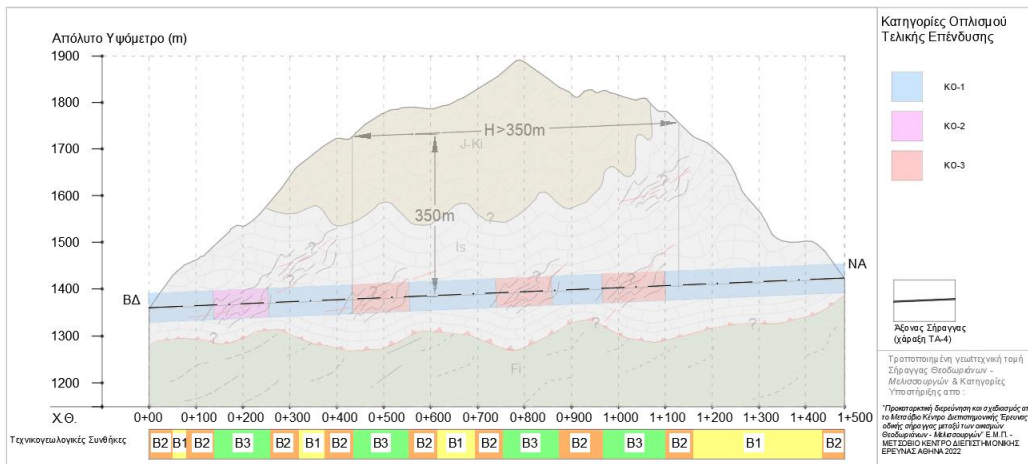
Με την εφαρμογή της μεθοδολογίας ενοποίησης των αποτελεσμάτων που περιγράφεται παραπάνω προκύπτουν 3 Κατηγορίες Οπλισμού για την τελική επένδυση κατά μήκος της

σήραγγας. Τα αποτελέσματα για τις τεχνικογεωλογικές ενότητες B1 & B2 ενοποιούνται ανεξαρτήτως του ύψους των υπερκειμένων καθώς βάσει των αποτελεσμάτων απαιτείται μεγαλύτερη πυκνότητα οπλισμού στις αντίστοιχες κατηγορίες βραχομάζας σε χαμηλά υπερκείμενα (<380m) από ότι σε υψηλά (>380m). Αυτό εξηγείται από τις μεγάλες γενικά αξονικές δυνάμεις που προκύπτουν σε μεγάλα υπερκείμενα. Συγκεκριμένα, ο οπλισμός απαιτείται κυρίως για την αντίσταση σε κάμψη, καθώς το σκυρόδεμα υπό καθαρή αξονική θλίψη έχει μεγάλες αντοχές. Επιπλέον η διατομή υπό μεγάλη αξονική θλίψη δύναται να υπόκειται σε μεγαλύτερα μεγέθη ροπής. Επομένως η ίδια διατομή, με ίδιο μέγεθος ροπής και χαμηλή αξονική δύναμη απαιτεί παραπάνω οπλισμό σε αντίθεση με την περίπτωση όπου ενεργεί συνδυαστικά και μεγάλη αξονική δύναμη. (τα παραπάνω παρατηρούνται και στους συνδυασμούς των εντατικών μεγεθών σχεδιασμού στον Πίνακα 43). Επομένως με βάση τις παραπάνω παραδοχές παρουσιάζεται ο Πίνακας 44 με τις Κατηγορίες Οπλισμού ΚΟ-1,2,3 που περιέχουν την τελική επιλογή (βάσει της απαίτησης) και διάταξη του οπλισμού ανά τρέχον μέτρο σήραγγας.

Πίνακας 44 Οι Κατηγορίες Οπλισμού της τελικής επένδυσης της σήραγγας

Κατηγορία Οπλισμού Τελικής Επένδυσης	ΤΥΠΟΣ	(ΤΕ)	Υψος υπερκειμένων σχηματισμών H(m)	ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΣΕ ΟΠΛΙΣΜΟ (SOFISTIK EXPORT) As(cm ²)	ΕΠΙΛΟΓΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ As(cm ²)	ΤΕΜΑΧΙΑ & ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΒΕΡΓΑΣ(Ø) ΑΝΑ ΤΡΕΧΟΝ ΜΕΤΡΟ (1m)	ΚΑΘΑΡΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΠΑΡΑΛΛΗΛΩΝ ΡΑΒΔΩΝ(cm)	Κιλά οπλισμού/κυβικό μέτρο (kg/m ³)	
ΚΟ-1	I	B1 & B2	0<H<500	18,86	18,99	5Ø22	17,8	74,5	
ΚΟ-2		B3	0<H<380	32,12	35,32	5Ø30	17	138,6	
ΚΟ-3	II	B3	380<H<500	παρειές, στέψη	45,16	45,37	5Ø34	16,6	178
				ανάστροφο τόξο	7,33	45,37	5Ø34	16,6	95





Σχήμα 55 Εκτιμώμενη εφαρμογή των Κατηγοριών Οπλισμού κατά μήκος της σήραγγας

Πίνακας 45 Ενδεικτικό μήκος εφαρμογής Κατηγοριών Οπλισμού

Κ.Ο. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ(m)	ΠΟΣΟΣΤΟ(&)
1	1000	67
2	120	8
3	380	25

Για την τελική τεχνική περιγραφή της διάταξης του οπλισμού των Κατηγοριών ΚΟ-1,2,3 παράγονται ενδεικτικά σχέδια για την κάθε κατηγορία. Παρακάτω παρουσιάζονται οι αρχές που ακολουθούνται για την πλήρη πρόταση διαστασιολόγησης του οπλισμού και της διάταξής του που περιγράφεται στα σχέδια οπλισμού:

1. Η άνω και κάτω ίνα οπλίζεται ομοιόμορφα με άνω και κάτω σχάρα οπλισμού.
2. Ο υπολογισμός της διαμέτρου των βεργών οπλισμού διανομής (δευτερεύον οπλισμός) πραγματοποιείται σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα (EN -1992 1-1)[18] συναρτήσει της διατομής του κύριου οπλισμού. $\Phi_{sec.}=2/3\Phi(mm)$ άρα:

Πίνακας 46 Υπολογισμός της διατομής του οπλισμού διανομής

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ			Επιλέγεται:
ΚΟ	Φ(mm)	Φsec.=2/3Φ(mm)	Φsec. (mm)
1	22	14,67	14
2	30	20	20
3	34	22,67	22

3. Ο υπολογισμός της απαιτούμενης πυκνότητας του οπλισμού διανομής (δευτερεύον οπλισμός) πραγματοποιείται σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα (EN -1992 1-1 παρ. 3.3.1.1(2))[18], βάσει του υπολογισμένου απαιτούμενου κύριου οπλισμού. $A_{secondary} = 20\% * A_s(\text{cm}^2/\text{m})$, άρα:

Πίνακας 47 Υπολογισμός του απαραίτητου οπλισμού διανομής βάσει του Ευρωκώδικα

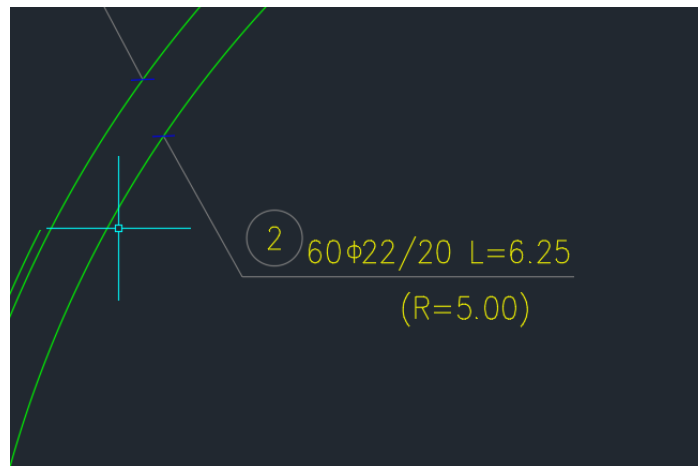
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ				Επιλέγεται:	
ΚΟ	ΤΕΜΑΧΙΑ/m	As cm ² /m	Asec = 20% * As(cm ² /m)	Asec (cm ² /m)	ΤΕΜΑΧΙΑ/m
1	5Φ22	18,99	3,798	6,16	4Φ14
2	5Φ30	35,32	7,064	12,57	4Φ20
3	5Φ34	45,37	9,074	15,21	4Φ22

4. Για τον προσδιορισμό του μήκους μάτισης, η διατομή της βέργας πολλαπλασιάζεται με το 67, δηλαδή ΜΗΚΟΣ ΜΑΤΙΣΗΣ = 67*Φ(mm), άρα:

Πίνακας 48 Υπολογισμός μήκους μάτισης κύριου οπλισμού.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΗΚΟΥΣ ΜΑΤΙΣΗΣ			Επιλέγεται:
ΚΟ	Φ(mm)	ΜΗΚΟΣ ΜΑΤΙΣΗΣ = 67*Φ(mm)	ΜΗΚΟΣ ΜΑΤΙΣΗΣ(m)
1	22	1474	1,50
2	30	2010	2,00
3	34	2278	2,30

5. Οπλισμός διάτμησης – συνδετήρες. Προτείνεται εγκατάσταση συνδετήρων $\Phi 12/20$.
6. Η σκυροδέτηση, κατά στην συνήθη πρακτική στην σηραγγοποιία πραγματοποιείται ανά 12 m με κατασκευαστικό αρμό που προσφέρει και αντισεισμική προστασία[17]. Επομένως ο οπλισμός διανομής τοποθετείται σε βέργες των 12 μέτρων μήκους χωρίς απαίτηση για μάτιση.
7. Ο συμβολισμός που χρησιμοποιείται στα σχέδια που παρατίθενται στην συνέχεια ακολουθεί τον πρακτικό συμβολισμό που συνοδεύει τα σχέδια οπλισμού κατά την συνήθη πρακτική. Παράδειγμα:



2 = Κωδικός συγκεκριμένης βέργας οπλισμού

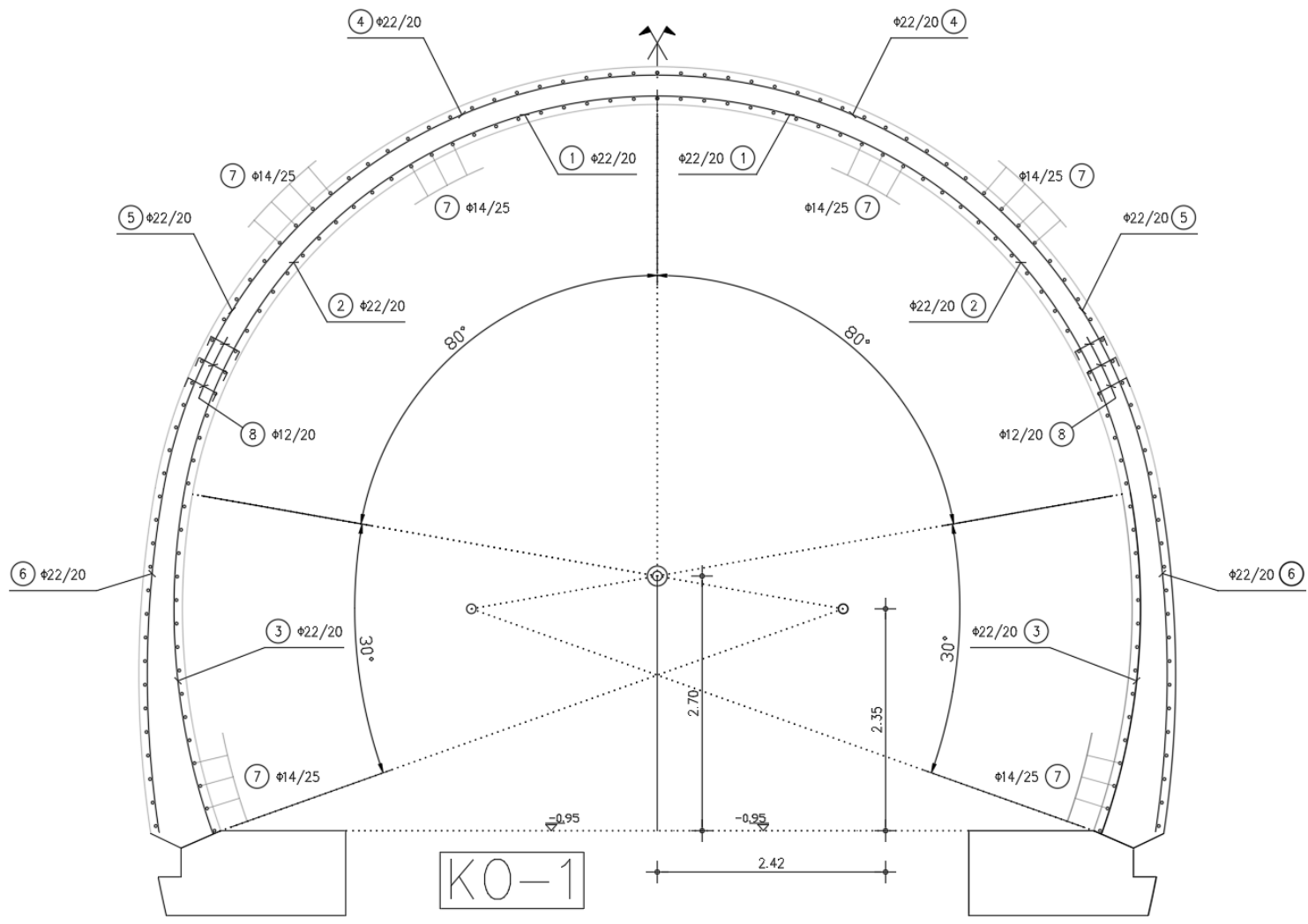
60 = τεμάχια

Φ22/20 = διάμετρος βέργας σε χιλιοστά (mm) που τοποθετείται ανά 20 εκατοστά (cm)

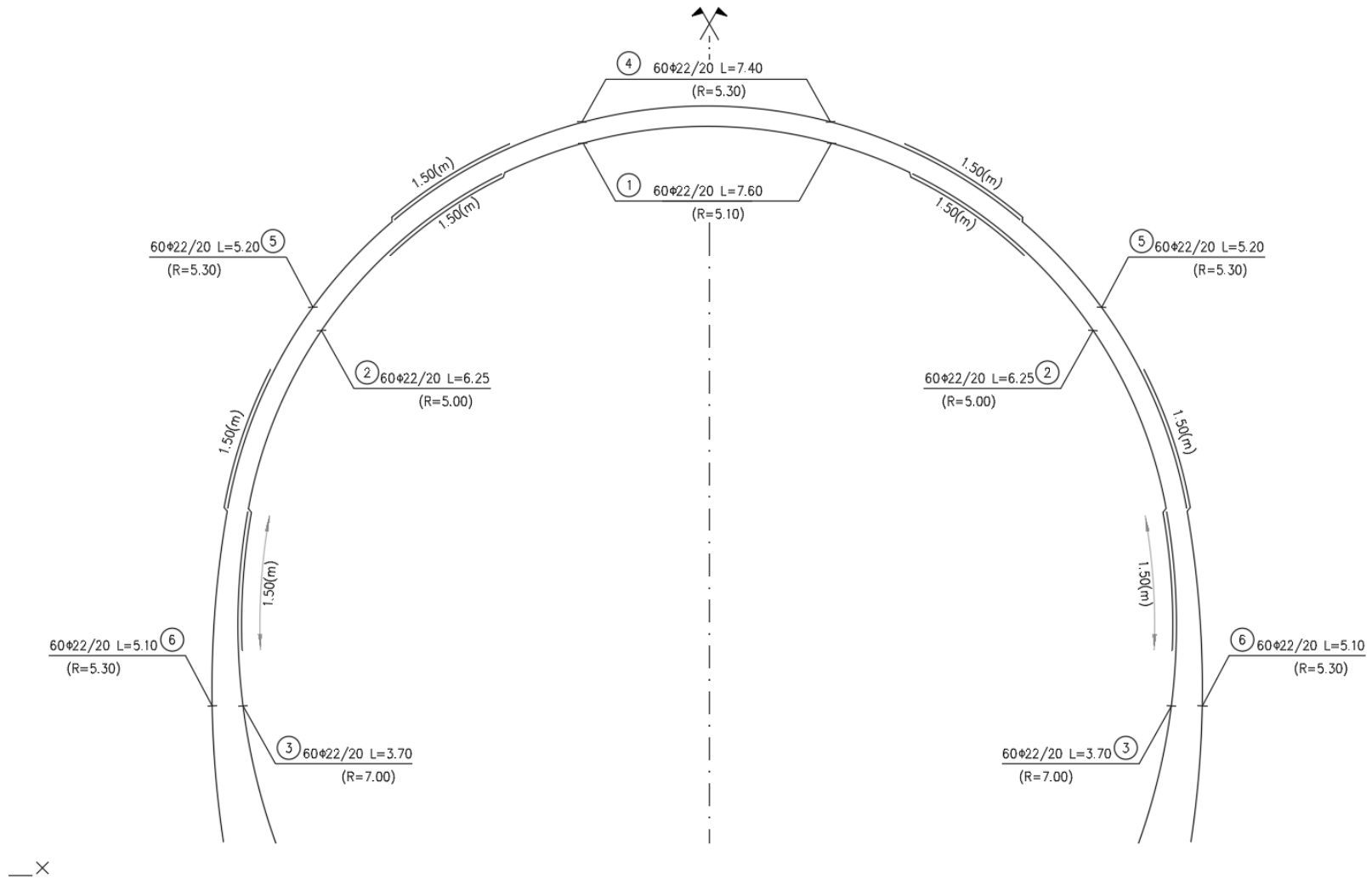
L = μήκος βέργας σε μέτρα (m)

R = ακτίνα κύκλου σε μέτρα στον οποίο εγγράφεται η καμπυλότητα της βέργας με κωδικό 2

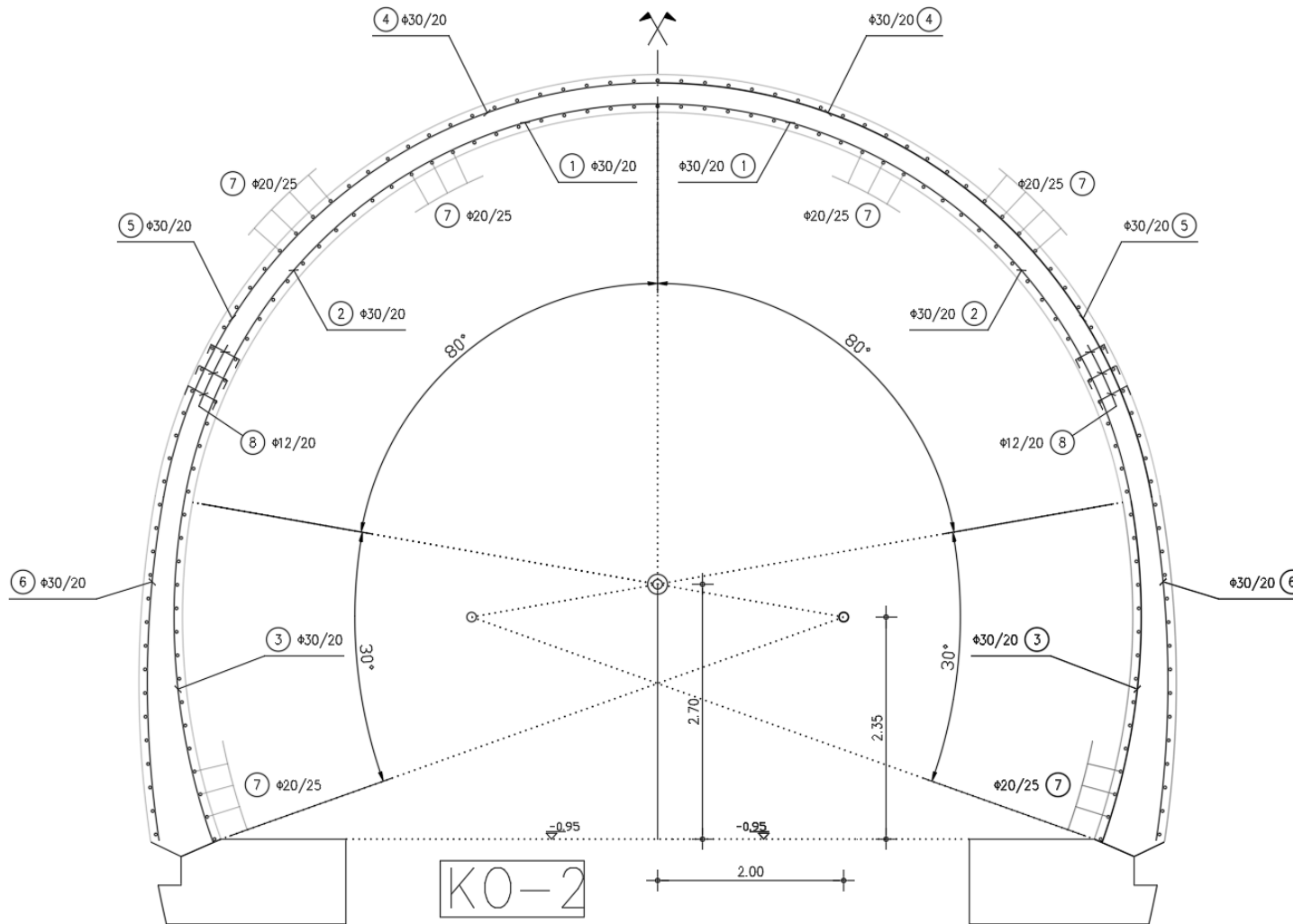
Τέλος παρουσιάζονται τα σχέδια οπλισμού των τριών κατηγοριών:



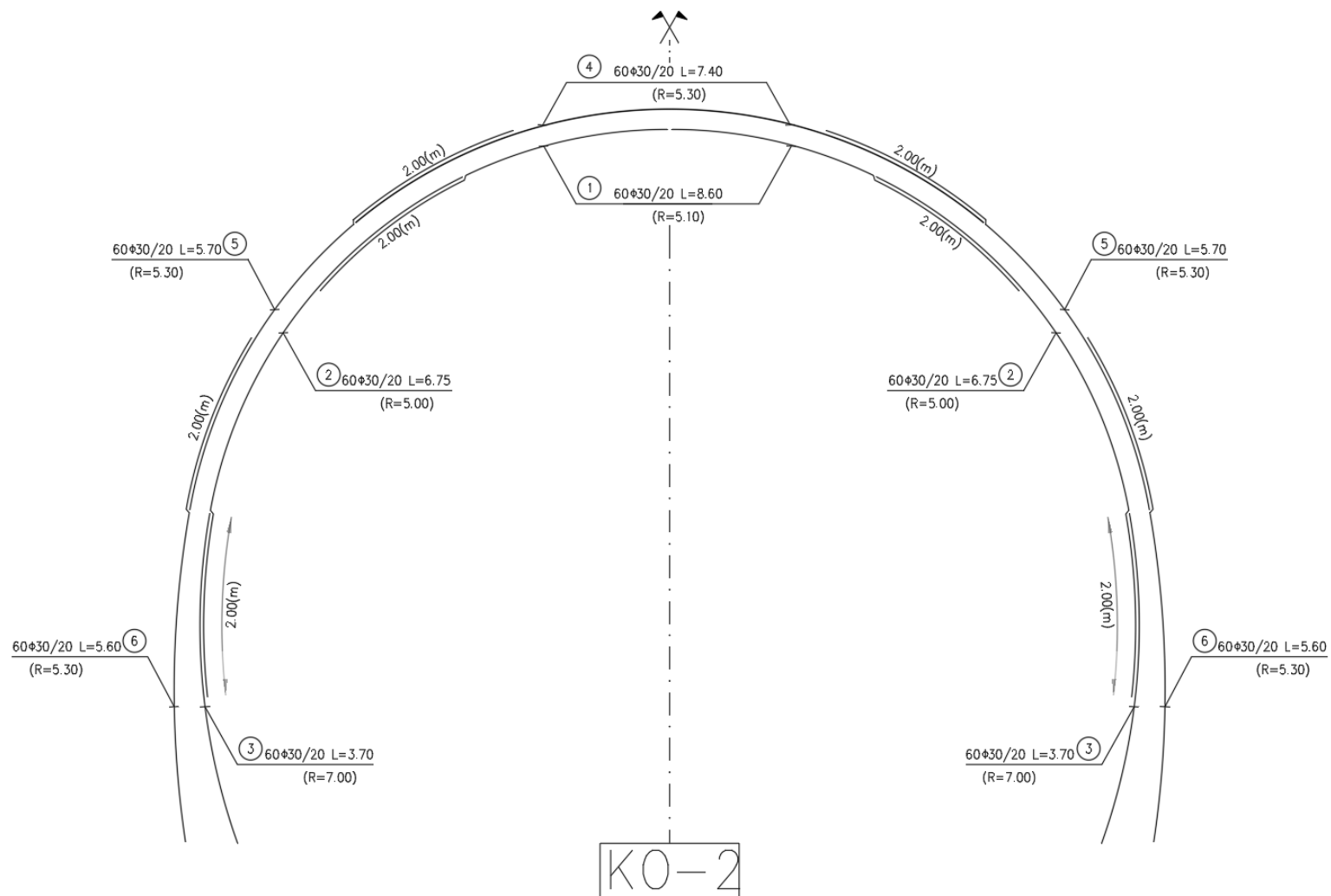
Σχήμα 56 Σχέδιο Οπλισμού κατηγορίας KO-1. Γενική διάταξη



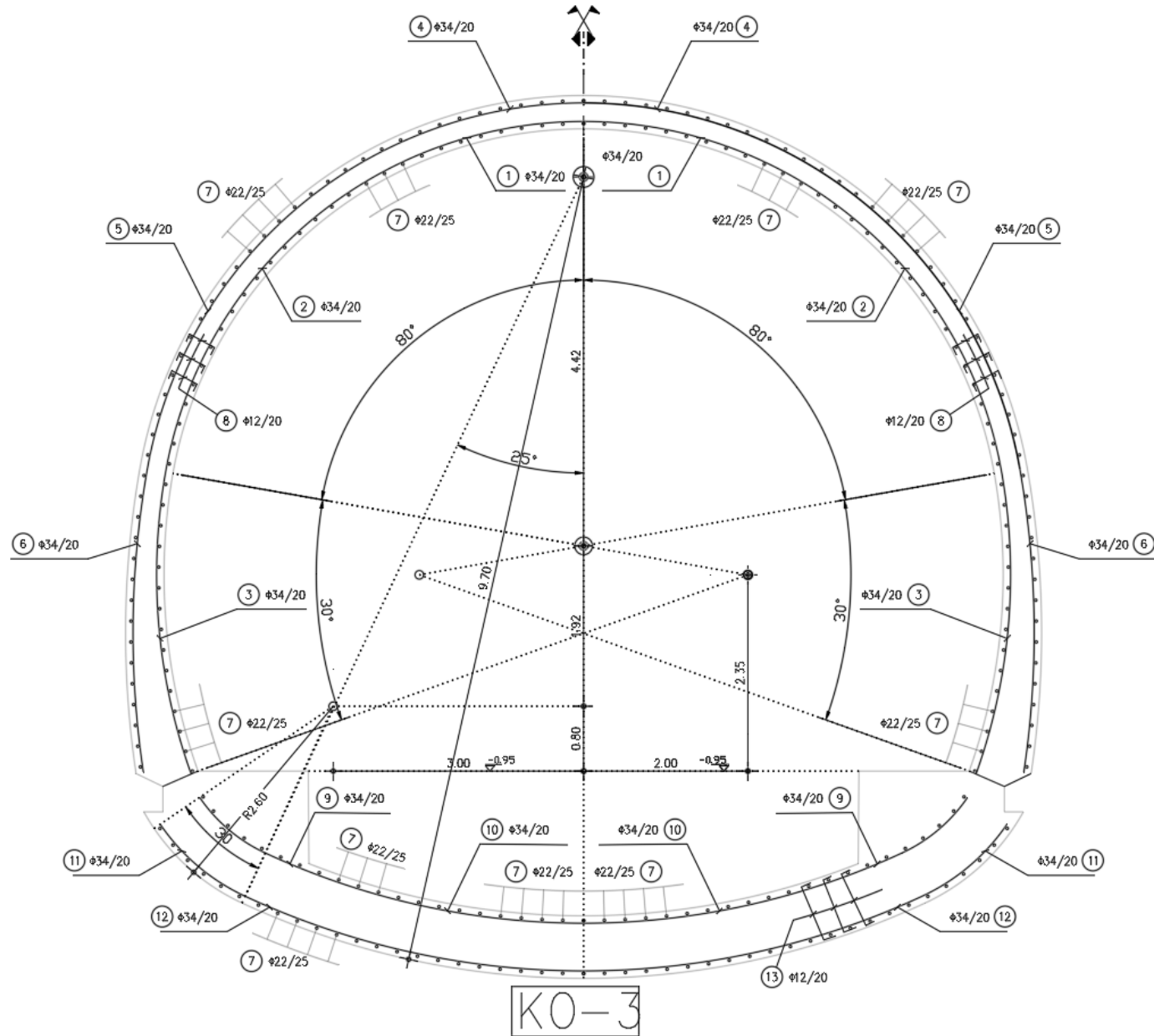
Σχήμα 57 Σχέδιο Οπλισμού κατηγορίας KO-1. Πίνακας Οπλισμών.



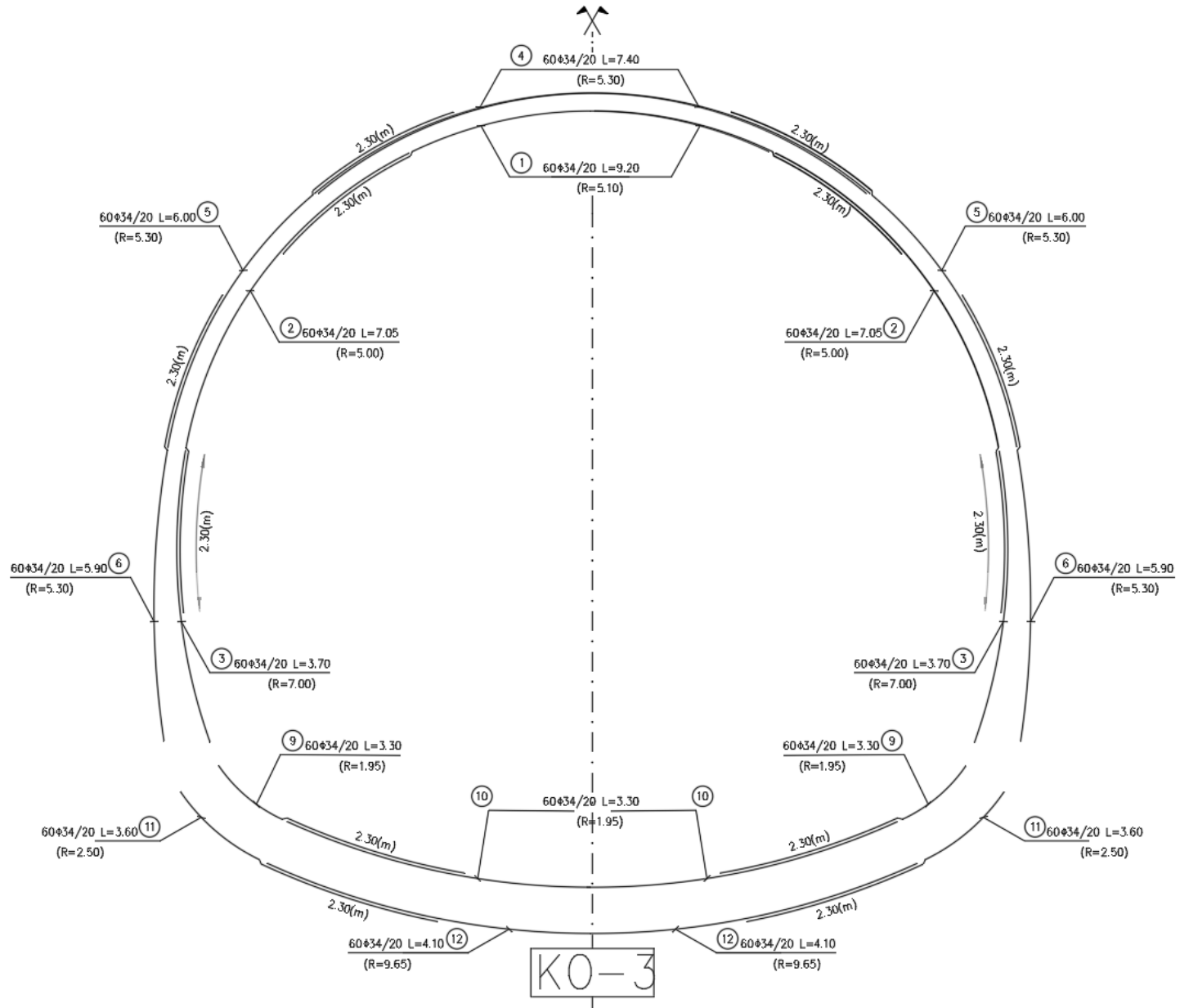
Σχήμα 58 Σχέδιο Οπλισμού κατηγορίας KO-2. Γενική διάταξη



Σχήμα 59 Σχέδιο Οπλισμού κατηγορίας KO-2. Πίνακας Οπλισμών.



Σχήμα 60 Σχέδιο Οπλισμού κατηγορίας KO-3. Γενική διάταξη



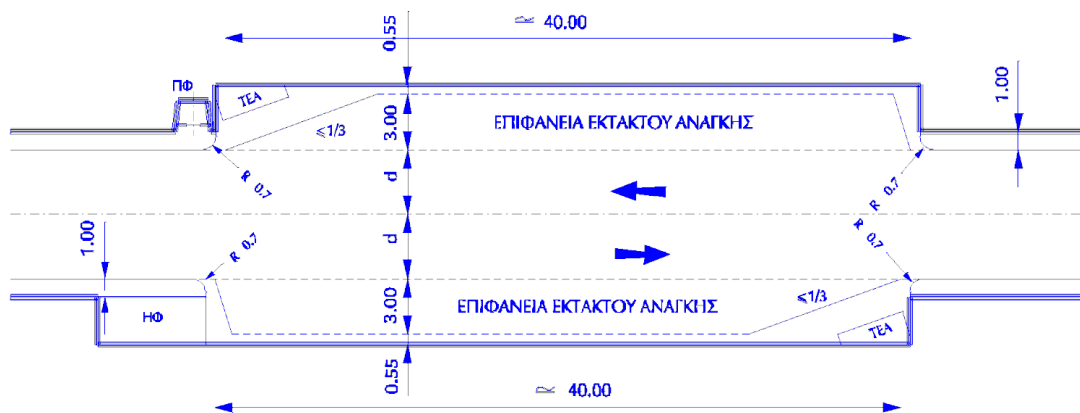
Σχήμα 61 Σχέδιο Οπλισμού κατηγορίας ΚΟ-3. Πίνακας Οπλισμών.

5 Τυπική διατομή σε θέση έκτακτης στάθμευσης

5.1 Προσωρινή Υποστήριξη της σήραγγας σε θέση έκτακτης στάθμευσης

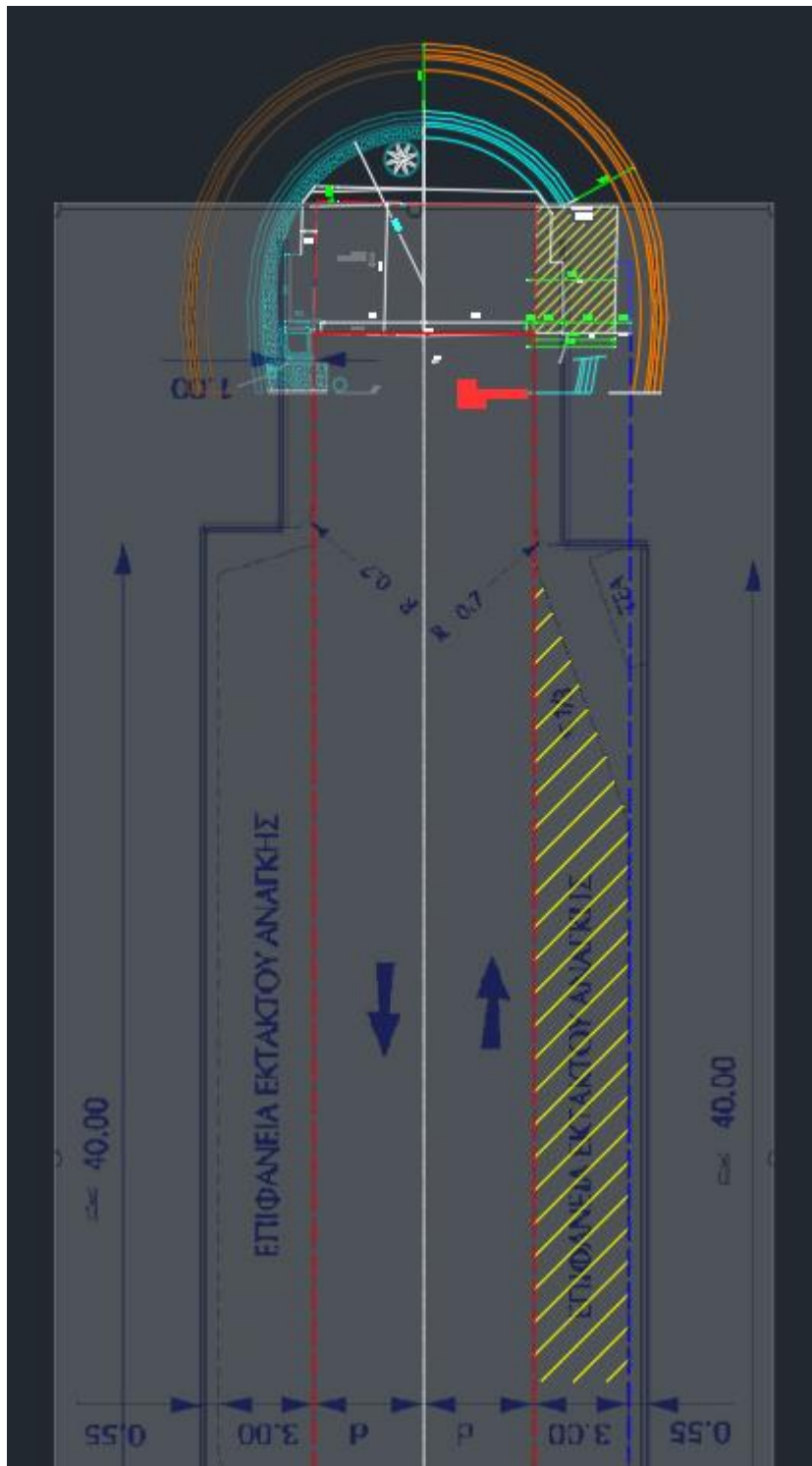
5.1.1 Αρχές Σχεδιασμού – Παραδοχές

Η επιλογή για την προτεινόμενη θέση κατασκευής της αμφίπλευρης εσοχής έκτακτης στάθμευσης πραγματοποιείται σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση[2], συγκεκριμένα μεταξύ των Χ.Θ. 0+612 και Χ.Θ. 0+662. Όπως αναφέρεται και στην ενότητα 2.4 και βάσει της γεωλογικής τομής που παρατίθεται στην ενότητα 2.3.1 η θέση της κατασκευής βρίσκεται εντός της τεχνικογεωλογικής ενότητας ΤΕ Β1.

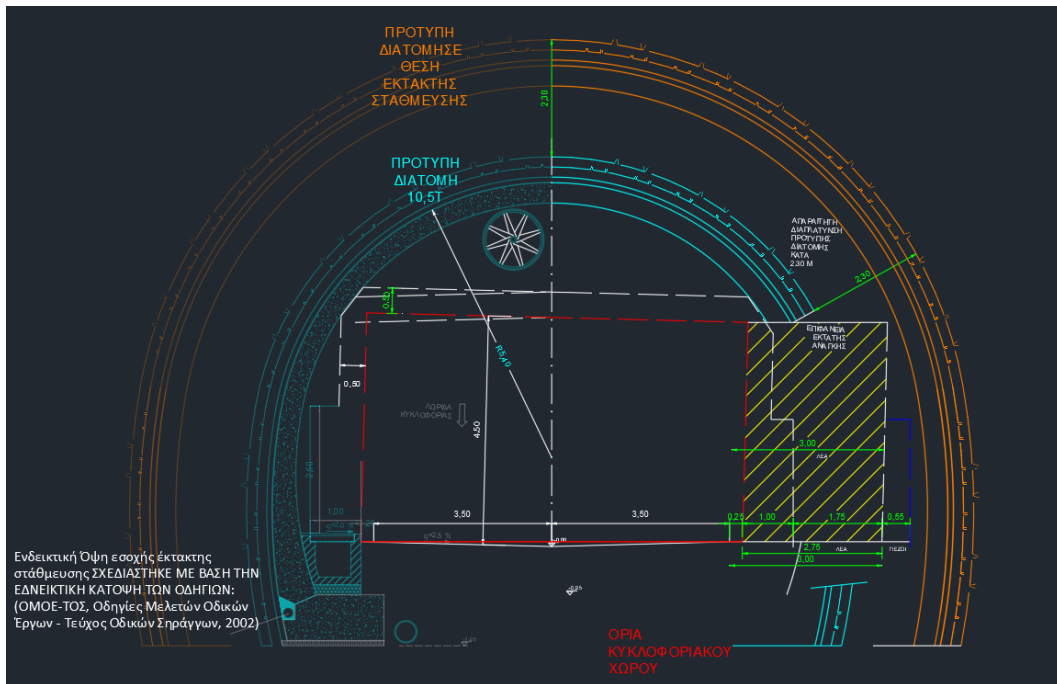


Σχήμα 62 Ενδεικτική κάτοψη εσοχής έκτακτης στάθμευσης (ΟΜΟΕ-ΤΟΣ, Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων - Τεύχος Οδικών Σηράγγων, 2002)[4]

Ο προσδιορισμός της γεωμετρίας της τυπικής διατομής σε θέση έκτακτης στάθμευσης πραγματοποιείται με τον εξής τρόπο: βάσει της ενδεικτικής κάτοψης της εσοχής που παρατίθεται στο Σχήμα 62 και με την κατάλληλη σύγκρισή της με την πρότυπη διατομή 10,5Τ, όπως διακρίνεται στο Σχήμα 63, προκύπτει το απαραίτητο μήκος διαπλάτυνσης. Συγκεκριμένα με αύξηση κατά 2,75m στο πλάτος και το αντίστοιχο ύψος ορίων κυκλοφοριακού χώρου, ορίζεται σε επίπεδο τομής η επιφάνεια έκτακτης ανάγκης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 64. Με την αναγκαία πλέον παράλληλη μετατόπιση της εσωτερικής επιφάνειας της τελικής επένδυσης ώστε η περίμετρος της υπόγειας εκσκαφής να συμπεριλάβει τα νέα όρια κυκλοφορίας και σε συνδυασμό με το σύστημα άμεσης υποστήριξης και το κέλυφος της τελικής επένδυσης που ενδεικτικά προτείνεται παρακάτω προσδιορίζεται η γραμμή Β και η τελική γεωμετρία της διευρυμένης διατομής.

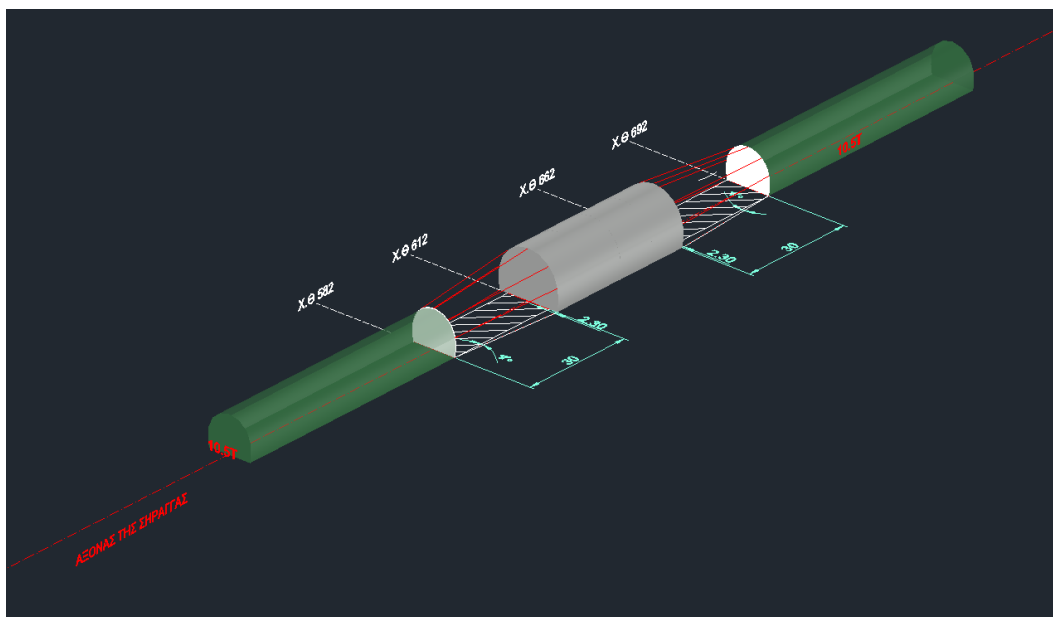


Σχήμα 63 Γεωμετρικός Προσδιορισμός της τυπικής διατομής σε θέση έκτακτης στάθμευσης βάσει της ενδεικτικής κάτοψης των οδηγών της ΟΜΟΕ(2002)



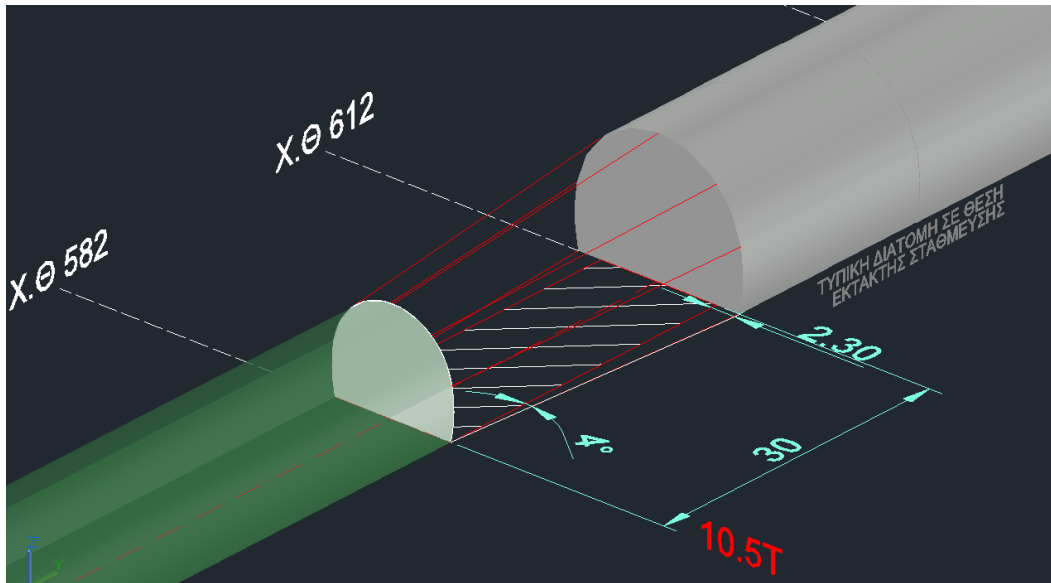
Σχήμα 64 Παράλληλη μετατόπιση της εσωτερικής επιφάνειας της τελικής επένδυσης ώστε η περίμετρος της υπόγειας εκσκαφής να συμπεριλάβει τα νέα όρια κυκλοφορίας

Βασική παραδοχή πραγματοποιείται στην παρούσα εργασία για την προσέγγιση του τρόπου κατασκευής της αμφίπλευρης εσοχής. Θεωρείται ότι διεύρυνση της διατομής πραγματοποιείται σταδιακά επι της τυπικής διατομής 10,5Τ έως ότου η περιφέρεια της υπόγειας εκσκαφής φθάσει την νέα περιφέρεια της τυπικής διατομής σε θέση έκτακτης στάθμευσης.



Σχήμα 65 Ενδεικτική προσέγγιση του τρόπου κατασκευής της τυπικής διατομής σε θέση έκτακτης στάθμευσης

Συγκεκριμένα ξεκινώντας από και την Χ.Θ.582 και την διατομή 10,5Τ, στα επόμενα 30 μέτρα πραγματοποιείται η διεύρυνση κατά 2,3μ με αύξηση της κλίσης των διατρημάτων στην περιφέρεια της υπόγειας εκσκαφής κατά 4 °μοίρες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 66.



Σχήμα 66 Η διεύρυνση της διατομής κατά 2,3 m, μεταξύ των Χ.Θ.582 και Χ.Θ.612.

5.1.2 Κατηγορία προσωρινής υποστήριξης SC-VI

Βάσει των παραδοχών της προηγούμενης ενότητας, η κατηγορία υποστήριξης SC-VI σχεδιάζεται για την εφαρμογή της στην τυπική διατομή σε θέση έκτακτης στάθμευσης, εντός των τεχνικογεωλογικών συνθηκών της ΤΕ Β1. Το ύψος των υπερκείμενων σχηματισμών βάσει της γεωλογικής τομής στην χιλιομετρική θέση (Χ.Θ.633) που αντιστοιχεί στο μέσο κατά μήκος της τυπικής διατομής είναι περίπου 400m. Σε υψηλά υπερκείμενα, άνω των 100 m, για την τεχνικογεωλογική ενότητα ΤΕ Β1 αναμένονται μικρές αστοχίες τύπου σφήνας (Wg) λόγω της καλής περίσφιξης της βραχομάζας(βλέπε ενότητα 2.3.2).

Σύμφωνα με τα παραπάνω και την μεθοδολογία για την εκτίμηση του δυναμικού σύνθλιψης που περιγράφεται στην ενότητα 2.3.4, η ποσοστιαία παραμόρφωση ε της ανυποστήρικτης σήραγγας υπολογίζεται σύμφωνα με τους Hoek & Marinos (2000)[9] :

$$\varepsilon = 0.2 \left(\frac{\sigma_{cm}}{p_0} \right)^{-2} \rightarrow \varepsilon = 0.2 \left(\frac{10,27}{0,0265 \cdot 400} \right)^{-2} \rightarrow \varepsilon = 0.213$$

Στην συνέχεια από την παραμόρφωση της σήραγγας συναρτήσει της σχετικής αντοχής της βραχομάζας πραγματοποιείται εκτίμηση για λίγα προβλήματα λόγω σύνθλιψης κατά την διάνοιξη, βάσει του Σχήματος 5 της ενότητας 2.3.4.

Παρά τις ευνοϊκές γεωτεχνικές συνθήκες η κατηγορία SC-VI σχεδιάζεται συντηρητικά. Για τον έλεγχο των τοπικών δυνατικών αστοχιών τύπου σφήνας σχεδιάζεται πυκνός κάναβος αγκυρίων, καθώς λόγω της διευρυμένης έκτασης της υπόγειας εκσκαφής θεωρούνται μεγαλύτερες πιθανότητες για τον δυσμενή συνδυασμό του προσανατολισμού του συστήματος των ασυνεχειών του ασβεστόλιθου με την διεύθυνση της διάνοιξης. Επίσης η μεγάλη έκταση της τυπικής διατομής σε θέση έκτακτης στάθμευσης καθιστά απαραίτητο τον έλεγχο και τον περιορισμό των ενδεχόμενων εκτεταμένων συγκλίσεων της βραχομάζας, μέσω μιας σύμμικτης διατομής εκτοξευόμενου σκυροδέματος με οπλισμό πλαισίου ολόσωμης διατομής.

Σημείωση: Τα χαρακτηριστικά της κατηγορίας υποστήριξης SC-VI είναι ενδεικτικά και παρουσιάζονται μόνο τα στοιχεία που θα προσομοιωθούν στις δισδιάστατες αριθμητικές αναλύσεις. Η ευστάθεια του μετώπου της σήραγγας, καθώς και τα μέτρα υποστήριξής του δεν διερευνώνται στην παρούσα εργασία.

Η κατηγορία υποστήριξης SC-VI έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Εφαρμογή σε βραχομάζα TE B1 σε βάθος 400m για την διευρυμένη διατομή σε θέση έκτακτης στάθμευσης.
- Τμηματική εκσκαφή σε τρεις φάσεις: εκσκαφή άνω ημιδιατομής (Α΄ Φάση) με βήμα προχώρησης 1m, εκσκαφή μεσαίας βαθμίδας (Β΄ Φάση) με βήμα προχώρησης 2m και εκσκαφή κάτω βαθμίδας (Γ΄ Φάση) με βήμα προχώρησης 2m
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37 πάχους 40 cm στην περιφέρεια και των τριών τμηματικών εκσκαφών
- Μεταλλικό πλαίσιο ολόσωμης διατομής HEB300 από χάλυβα S275, ανά βήμα εκσκαφής στην άνω ημιδιατομή και τις βαθμίδες.
- Αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης Φ30/11 από χάλυβα B500, με μήκος L=6(m) σε κάναβο 1(m)X1(m).
- Τελική επένδυση από έγχυτο σκυρόδεμα πάχους 40εκ.
- Για το γεωμετρικό προσδιορισμό των γραμμών εκσκαφής λαμβάνονται υπόψη συγκλίσεις και κατασκευαστικές ανοχές 15 cm και απόσταση γραμμών A-B 20 cm (στην άνω ημιδιατομή και στη βαθμίδα).[2]

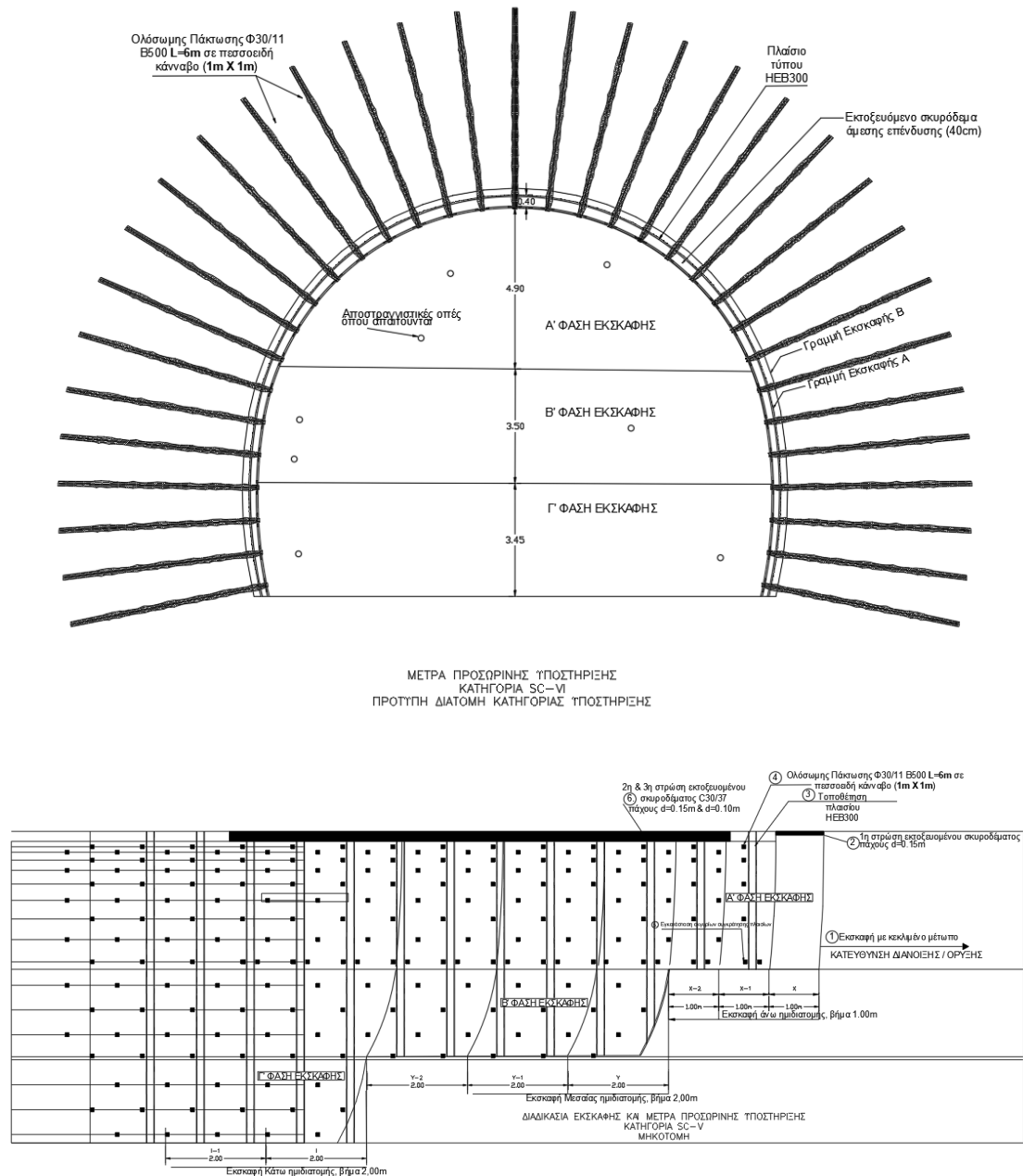
Στατικός απαιτούμενο πάχος μόνιμης επένδυσης, d3	40 cm
---	-------

Στατικός απαιτούμενο πάχος άμεσης υποστήριξης, d1	40 cm
Σύγκλιση και κατασκευαστικές ανοχές, d2	15 cm
Πάχος στεγάνωσης (μεμβράνης/γεωυφάσματος) και εξομαλυντικής στρώσης, d3'	1+3* cm
Απόσταση γραμμών A – B, d0	20 cm

A. ΑΝΩ ΗΜΙΔΙΑΤΟΜΗ		Βήμα εκσκαφής 1.00 m
- Εκσκαφή		X
- Εφαρμογή 1ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 cm		X
- Τοποθέτηση χαλύβδινου πλαισίου HEB300		X-1
- Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων		X-1
- Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων συγκράτησης πλαισίων		X-1
- Εφαρμογή 2ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 cm		X-2
- Εφαρμογή 3ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 cm.		X-2
B. ΜΕΣΑΙΑ ΗΜΙΔΙΑΤΟΜΗ		Βήμα εκσκαφής 2.00m
- Εκσκαφή		Y
- Εφαρμογή 1ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 cm		Y
- Τοποθέτηση χαλύβδινου πλαισίου HEB300		Y-1
- Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων		Y-1
- Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων συγκράτησης πλαισίων		Y-1
- Εφαρμογή 2ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 cm		Y-2
- Εφαρμογή 3ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 cm.		Y-3
Γ. ΚΑΤΩ ΗΜΙΔΙΑΤΟΜΗ		Βήμα εκσκαφής 2.00m
- Εκσκαφή		I
- Εφαρμογή 1ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 cm		I
- Τοποθέτηση χαλύβδινου πλαισίου HEB300		I-1
- Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων		I-1
- Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων συγκράτησης πλαισίων		I-1

- Εφαρμογή 2ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 cm	I-2
- Εφαρμογή 3ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 cm.	I-3

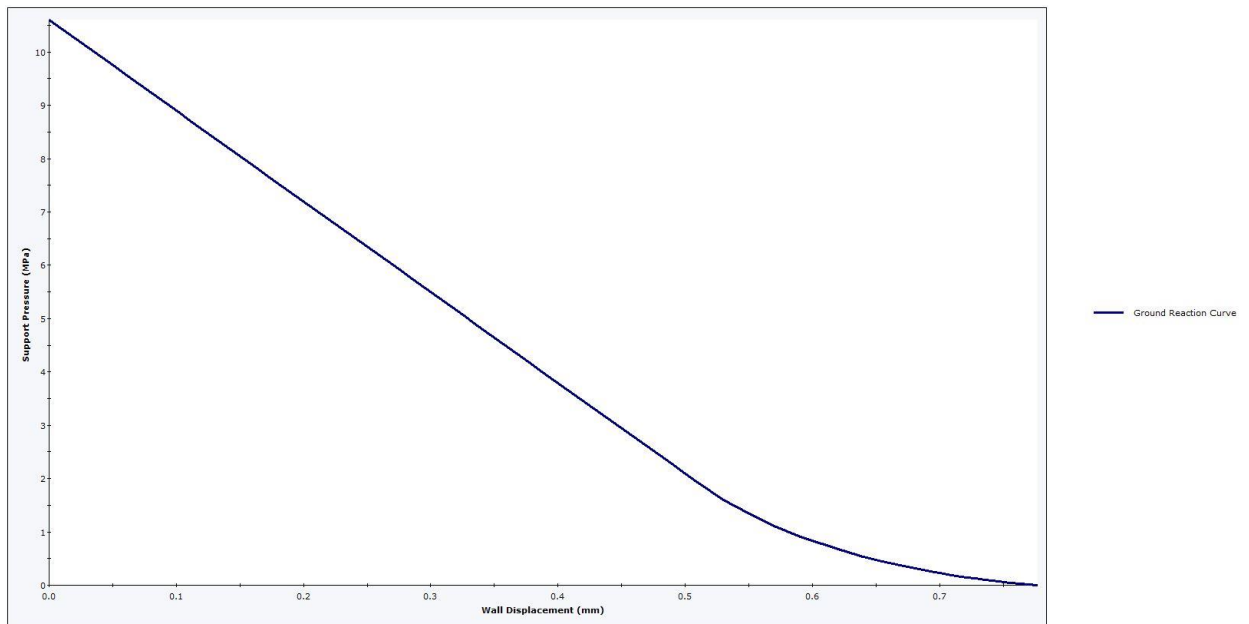
Ακολουθούν ενδεικτικά σχέδια της κατηγορίας υποστήριξης SC-VI που σχεδιάζεται για την προσωρινή υποστήριξη της τυπικής διατομής σε θέση έκτακτης στάθμευσης.



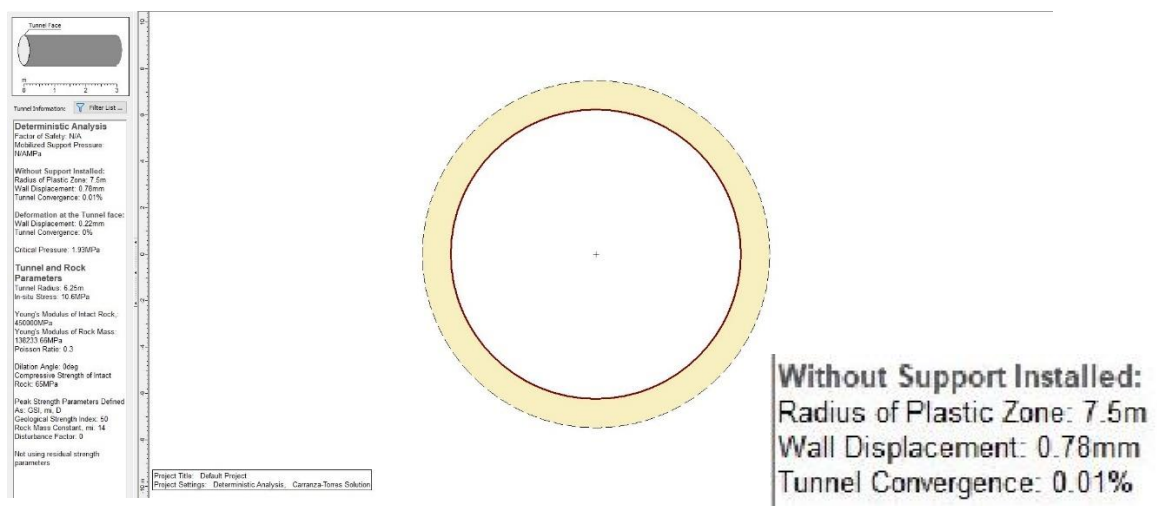
Σχήμα 67 Ενδεικτικά κατασκευαστικά σχέδια: πρότυπη διατομή και μηκοτομή, της κατηγορίας υποστήριξης SC-VI

5.1.3 Συντελεστές αποτόνωσης

Για την προσομοίωση της επίδρασης της τρίτης διάστασης χρησιμοποιούνται οι συντελεστές αποτόνωσης σύμφωνα με την μεθοδολογία που παρουσιάζεται αναλυτικά στην αντίστοιχη ενότητα (3.1.3). Αρχικά πραγματοποιείται η χάραξη της χαρακτηριστικής γραμμής (καμπύλη σύγκλισης αποτόνωσης) και η εκτίμηση για το εύρος της πλαστικής ζώνης κατά την πλήρη αποτόνωση στο λογισμικό Roc Support.



Σχήμα 68 Καμπύλη σύγκλισης αποτόνωσης για την τυπική διατομή σε θέση έκτακτης στάθμευσης. RocSupport

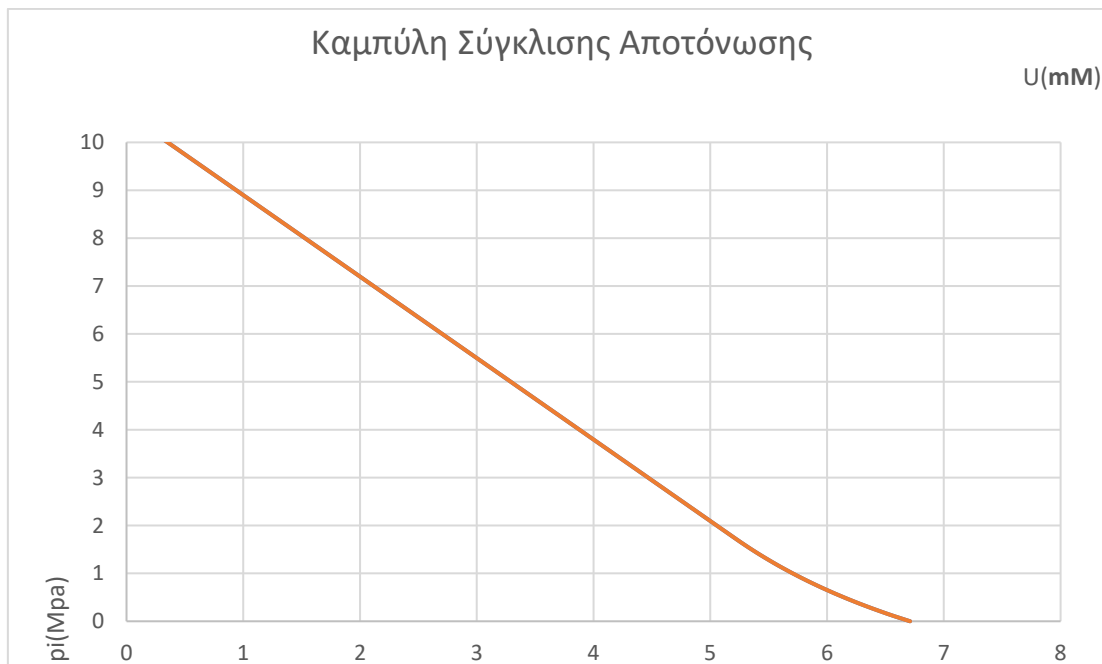


Σχήμα 69 Δημιουργία πλαστικής ζώνης περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής κατά την πλήρη αποτόνωση.

Επίσης πραγματοποιείται η χάραξη της χαρακτηριστικής γραμμής (καμπύλη σύγκλισης αποτόνωσης) σύμφωνα με την μεθοδολογία που προτείνει ο ομότιμος καθηγητής γεωτεχνικής του Ε.Μ.Π Μ.Καββαδάς [17].

Πίνακας 49 Ενδεικτική εικόνα από τα μεγέθη που εισάγονται στους υπολογισμούς για την χάραξη της χαρακτηριστικής γραμμής.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΕ Β1 (SC-VI)	
Ύψος υπερκείμενων H (m)	400
Διάμετρος σήραγγας D (m)	12,5
Ειδικό βάρος (γ) kN/m ³	26,5
Συνοχή c kPa	-
Γωνία εσωτερικής τριβής (ϕ)	43,317
Μέτρο Ελαστικότητας (E) MPA	13823
Λόγος Poisson ν	0,3
GSI (HOEK MARINOS)	50
σ_{ci} (MPa)	65
mi (hoek-brown)	-
Συντελεστής ουδέτερων ωθήσεων (Ko) μετατροπή του εντατικού πεδίου σε υδροστατικό	0,7
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΕΝΑ ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	
ρ_0 kPa	10600
G μέτρο διάτμησης Mpa	5316,692
k_p	5,370122
σ_{cm} (kPa)	10270
Ns	2,064265
$\lambda_{critical}$	0,83813
pi critical	
ακτίνα πλαστικής ζώνης r_{pMAX} ΠΛΗΡΗ ΑΠΟΤΟΝΩΣΗ $\lambda=1$ (m)	7,736209
γωνία διαστολικότητας($\phi/6$)	0
διαστολικότητα K στην πλαστ. ζώνη	1
Eyoung rockmass MPA από RS2****	13823,4



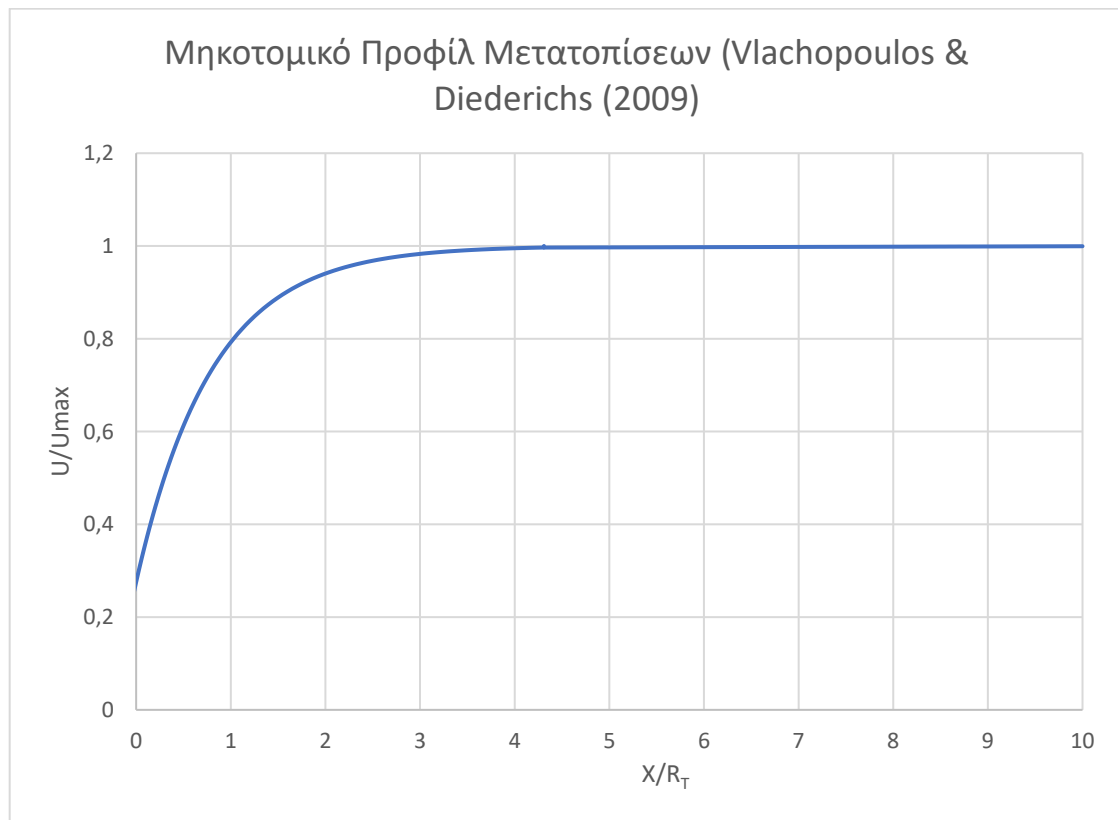
Σχήμα 70 Καμπύλη σύγκλισης αποτόνωσης για την τυπική διατομή σε θέση έκτακτης στάθμευσης.

Καββαδάς(2005)[17]

Από την σύγκριση των δυο σχημάτων παρατηρείται μια μικρή διαφορά των καμπυλών μεταξύ των αποτελεσμάτων των δυο μεθοδολογιών. Οι υπολογισμοί συνεχίζονται με τα

αποτελέσματα του RocSupport διότι είναι ελαφρώς δυσμενέστερα ως προς την τελική μετακίνηση ($7,78\text{mm} > 6.80\text{mm}$) καθώς η ακτίνα πλαστικής ζώνης είναι σχεδόν ίδια μεταξύ των δυο μεθόδων ($7,50 \approx 7,73$).

Σύμφωνα με τους Vlachopoulos & Diederichs (2009) είναι πλέον εφικτό να προσδιοριστεί ο συντελεστής λ που αντιστοιχεί σε θέση X από το μέτωπο της υπόγειας εκσκαφής. Οι υπολογισμοί και η χάραξη του διαγράμματος πραγματοποιούνται στο excel βάσει των εξισώσεων που παρατίθενται στην ενότητα 3.1.3.



Σχήμα 71 Μηκοτομικό Προφίλ Μετατοπίσεων (Vlachopoulos & Diederichs (2009), για την τυπική διατομή σε θέση έκτακτης στάθμευσης.

5.1.4 Μέτρο Ελαστικότητας

Για την αριθμητική ανάλυση της κατηγορίας υποστήριξης SC-VI πραγματοποιούνται και οι δύο παραδοχές, μέσα από δυο διαφορετικές αναλύσεις, για το μέτρο ελαστικότητας της βραχομάζας που περιγράφονται στην ενότητα 3.1.4.

- Απομείωση του μέτρου ελαστικότητας μέσω του τύπου των Hoek & M.S. Diederichs (2005)[11]. E_{rm} (GPa)= **13.823** (βλέπε ενότητα 3.1.4.)
- Απομείωση του μέτρου ελαστικότητας σύμφωνα με τους: I. Vazaios, K. Farahmand, N. Vlachopoulos, M.S. Diederichs (2017)[12]. E_{rm} (GPa)= **34.650**

Οι υπολογισμοί για την δεύτερη περίπτωση είναι:

$$\sigma_1 = \gamma_{B1} \times H_{400(m)} = 10.60 \text{MPa}$$

$$\sigma_3 = \sigma_1 \times K_0 = 10.60 \text{MPa} \times 0.7 = 7.42$$

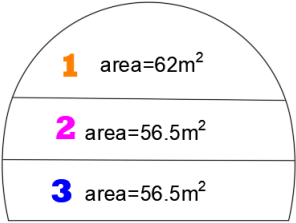
για $\sigma_3 = 7.42$ από το διάγραμμα του Σχήματος 24 της ενότητας 3.1.4 προκύπτει $E_i/E_{rm} = 0.77 \rightarrow E_{rm} = 0.77 \times 45(\text{GPa}) = 34.65 \text{GPa}$

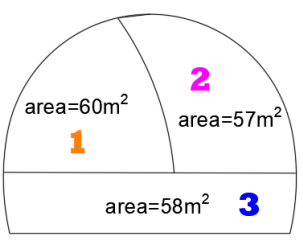
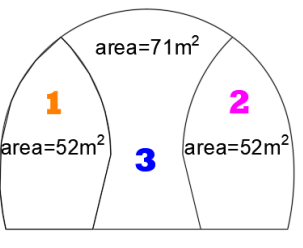
5.1.5 Διερεύνηση της τμηματικής εκσκαφής

Βασικό πλεονέκτημα της διάνοιξης σήραγγων με συμβατικά μέσα έναντι των μεθόδων μηχανοποιημένης ολομέτωπης εκσκαφής είναι η δυνατότητα της τμηματικής εκσκαφής του μετώπου της σήραγγας. Η προχώρηση του μετώπου πραγματοποιείται σταδιακά και επομένως «με τον τρόπο αυτό μειώνεται η επιφάνεια του μετώπου της εκσκαφής κάθε φάσης και συνεπώς μειώνεται η συνολική σύγκλιση του τοιχώματος (σε σχέση με την εκσκαφή της διατομής σε μια φάση) και βελτιώνεται η ευστάθεια της διατομής αποφεύγοντας την αποδιοργάνωση της περιβάλλουσας βραχώμαζας.»[17].

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας πραγματοποιείται μια προσέγγιση για την επιλογή της γεωμετρίας και την αλληλουχία εκσκαφής των επιμέρους τμημάτων της τμηματικής εκσκαφής. Συγκεκριμένα εξετάζονται τρία διαφορετικά σενάρια τμηματικής εκσκαφής της σήραγγας για την τυπική διατομή σε θέση έκτακτης στάθμευσης των οποίων οι επιφάνειες και η προτεινόμενη αλληλουχία εκσκαφής παρουσιάζονται παρακάτω.

Πίνακας 50 Προτεινόμενες διατάξεις τμηματικής εκσκαφής προς διερεύνηση.

Προτεινόμενη Εκσκαφής	Διάταξη	Τμηματικής	Κωδικός Τμηματικής Εκσκαφής
			NATM 0

 <p>area=60m² 1 area=57m² 2 area=58m² 3</p>	<p>NATM 1</p>
 <p>area=71m² 3 area=52m² 1 area=52m² 2</p>	<p>NATM 2</p>

Τα επιμέρους τμήματα των τμηματικών εκσκαφών που προτείνονται προς διερεύνηση έχουν περίπου επιφάνεια ίση με 60m². Σε αντίστοιχη επιφάνεια ίση με περίπου 60m², στους ίδιους γεωλογικούς σχηματισμούς, πραγματοποιείται και η τμηματική εκσκαφή της άνω ημιδιατομής της πρότυπης διατομής 10,5T στις υπόλοιπες αναλύσεις που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 3 με ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Η εκτίμηση για τον βέλτιστο τρόπο τμηματικής διάνοιξης της τελικής διατομής σε θέση έκτακτης στάθμευσης πραγματοποιείται με διαγράμματα αλληλεπίδρασης M-N για την σύμμικτη διατομή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Αναλυτική παράθεση αποτελεσμάτων και η επιλογή του τελικά προτεινόμενου τρόπου εκσκαφής πραγματοποιείται στην αντίστοιχη ενότητα αποτελεσμάτων.

5.1.6 Αριθμητικό Μοντέλο ανάλυσης SC-VI_B1_H400m

Αρχικά πραγματοποιείται η μετατροπή των παραμέτρων της βραχομάζας από Hoek – Brown σε ισοδύναμες Mohr-Coulomb χρησιμοποιείται το λογισμικό RSdata της Rocscience, όπως περιγράφεται στην ενότητα 3.1.6.1.

Πίνακας 51 Μετατροπή των παραμέτρων της βραχομάζας από Hoek – Brown σε ισοδύναμες Mohr-Coulomb ME το λογισμικό RSdata της Rocscience, για την ανάλυση SC-VI_B1_H400m.

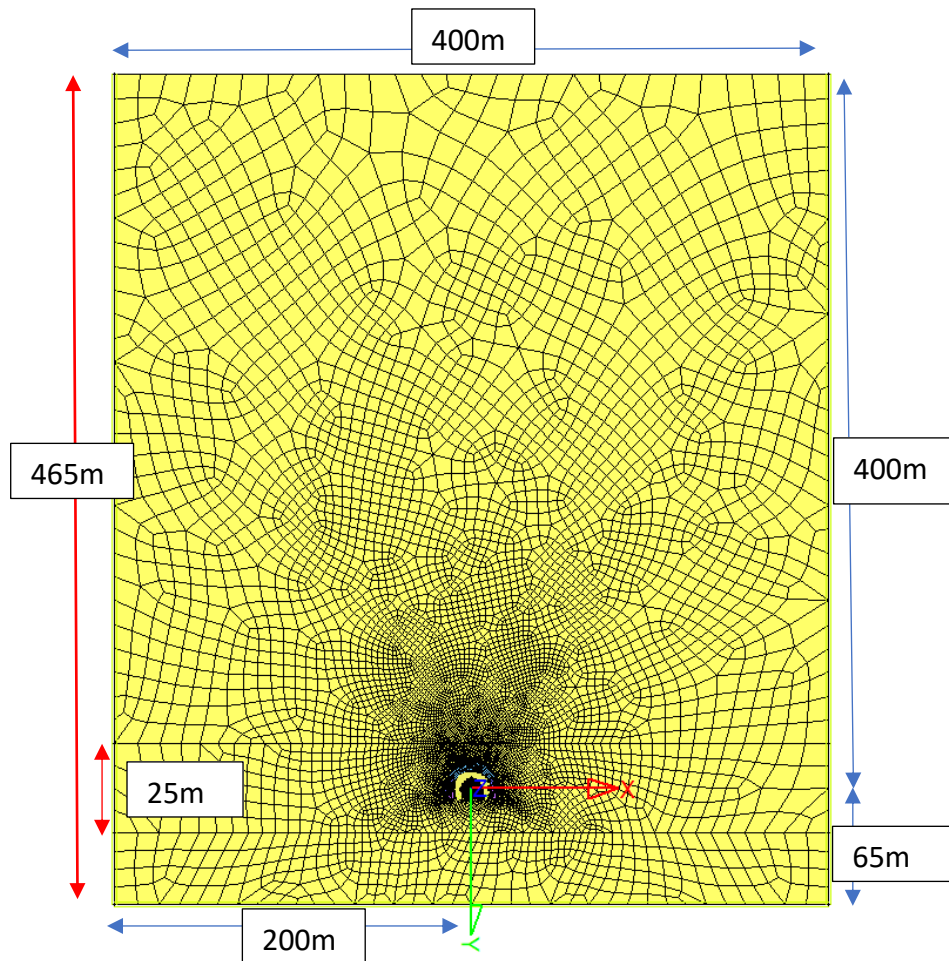
Rock	
Hoek Brown Classification	
UCS of intact rock (MPa)	65
GSI	50
mi	14
disturbance factor	0
Intact Modulus (MPa)	45000
Hoek Brown Criterion	
mb	2.347
s	0.00387
a	0.506
Rock Mass Parameters	
tensile strength (MPa)	0.107
uniaxial compressive strength (MPa)	3.915
global strength (MPa)	13.312
modulus of deformation (MPa)	13823.366
Failure Range Envelope	
application	Tunnels
σ_3 max (MPa)	4.961
Mohr Coulomb Fit	
cohesion (MPa)	1.658
friction angle (°)	43.317

Στην συνέχεια παρατίθενται Πίνακας 52 με τις μηχανικές ιδιότητες της βραχομάζας για την συγκεκριμένη ανάλυση.

Πίνακας 52 Μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που εισάγονται στην προσομοίωση της SC-VI_B1_H400m.

Κατηγορία Υποστήριξης	TE	γ (MN/m ³)	E_m (GPa)	ν	Συνοχή c (MPa)	Γωνία Τριβής ϕ°	Γωνία Διαστολικότητας δ°	σ_{cm} tensile(Mpa) αντοχή σε εφελκυσμό
SC-VI	B1	0,0265	13,82 34,65	0,30	1,658	43	0	0

Τα όρια του μοντέλου σχεδιάζονται βάσει της βιβλιογραφικής ανασκόπησης[2] για την ελαχιστοποίηση της επίδρασης των συνοριακών συνθηκών στα αριθμητικά αποτελέσματα και ακολουθούνται οι οδηγίες που περιγράφονται αναλυτικά στην ενότητα 3.1.6.2. Για την προσομοίωση του πραγματικού ύψους των υπερκείμενων σχηματισμών στην συγκεκριμένη ανάλυση εισάγεται το πλήρες ύψος υπερκείμενων σχηματισμών (400m). Για τις αναλύσεις με την θεώρηση για αυξημένο μέτρο ελαστικότητας λόγω πλευρικής περίσφιξης δημιουργείται ζώνη πάχους 25m. Ακολουθεί ενδεικτική εικόνα του μοντέλου της ανάλυσης.



Σχήμα 72 Αριθμητικό μοντέλο της ανάλυσης SC-VI_B1_H400m.

Τέλος παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας με τα στάδια προσομοίωσης του αριθμητικού μοντέλου. Επίσης παρουσιάζονται συνολικά αλλά και ανά βήμα οι επι μέρους συντελεστές που χρησιμοποιούνται για την αποτόνωση της βραχομάζας και για την σταδιακή σκλήρυνση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι αυτή που περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 3.

Ανάλυση: SC-V-B3-H500m

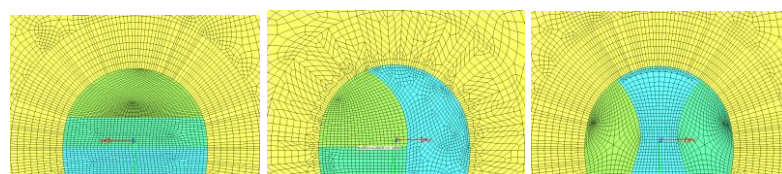
Συγκεντρωτικός πίνακας συντελεστών αποτόνωσης βραχομάζας και σκλήρυνσης σκυροδέματος για κάθε στάδιο της ανάλυσης.

#	STAGE	ΒΡΑΧΟΜΑΖΑ				ΑΜΕΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ - ΕΚΤ.ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ			
		ρ_i/ρ_0	$\lambda = (1-\rho_i/\rho_0)$	ν (TE B1)	E/E_0	ΠΑΧΟΣ(t) (cm)	Eyoung (Mpa)	Δυστένεια= E*A (MN)	συντελεστής FAKS *SOFISTIK
1	PRIMARY	0	1	0,3	0	0	0	0	
2	TOP 1	0,56	0,44	0,3	0,2667	0	0	0	
3	TOP 2	0,42	0,58	0,3	0,1714	15	5000	750	
4	TOP 3	0,29	0,71	0,3	0,1045	30	10000	3000	
5	TOP 4	0	1	0,3	0	40	15000	6000	
6	BENCH MIDDLE 1	0,56	0,44	0,3	0,2667	0	0	0	
7	BENCH 2	0,42	0,58	0,3	0,1714	15	5000	750	
8	BENCH 3	0,29	0,71	0,3	0,1045	30	10000	3000	
9	BENCH 4	0	1	0,3	0	40	15000	6000	
10	BOTTOM 1	0,56	0,44	0,3	0,2667	0	0	0	
11	BOTTOM 2	0,42	0,58	0,3	0,1714	15	5000	750	
12	BOTTOM 3	0,29	0,71	0,3	0,1045	30	10000	3000	
13	BOTTOM 4	0	1	0,3	0	40	15000	6000	
					inputs			inputs	

Πίνακας Σταδίων Ανάλυσης

Ενδεικτική εικόνα από το Στάδιο προσομοίωσης & Ενεργές Ομάδες από τα στάδια της ανάλυσης στο Wintube

Περιγραφή



NATM 0

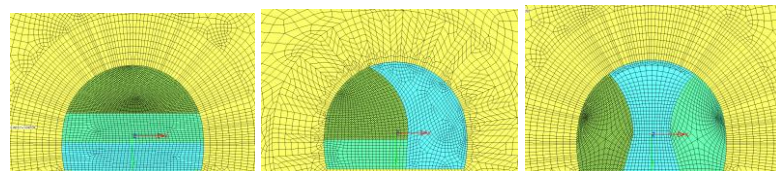
NATM 1

NATM 2

Στάδιο 1

Αρχικό στάδιο. Διαμόρφωση φυσικού εντατικού πεδίου

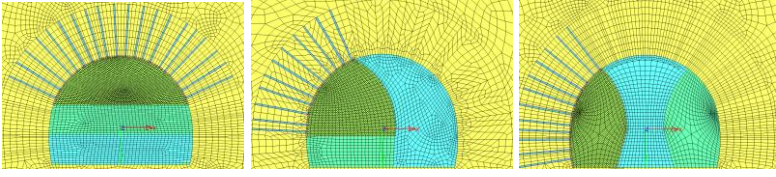
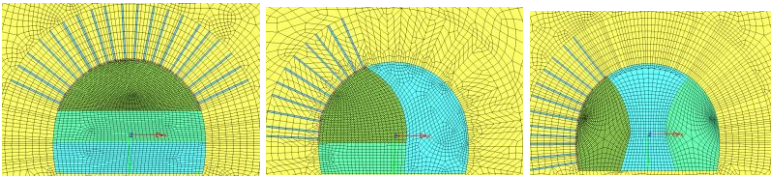
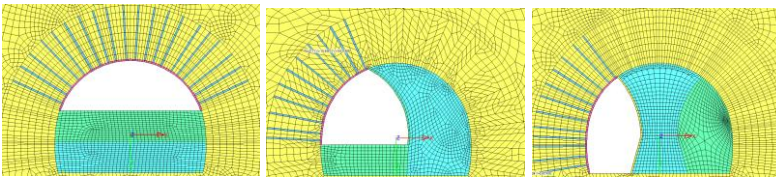
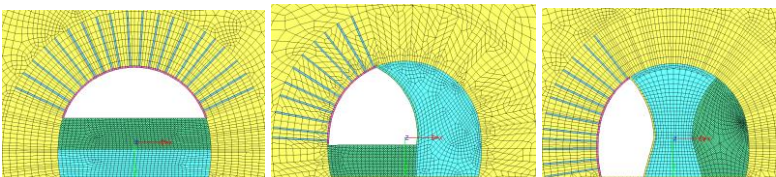
(H=400m,K=0.7)

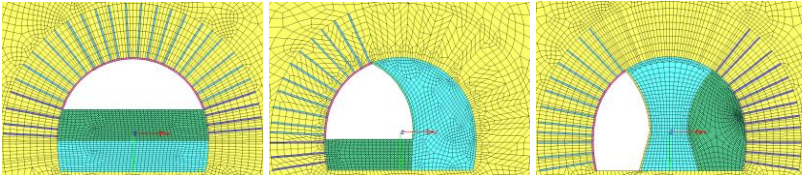


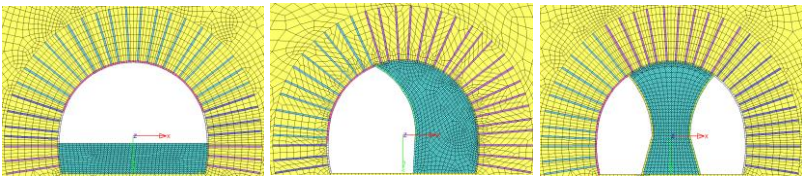
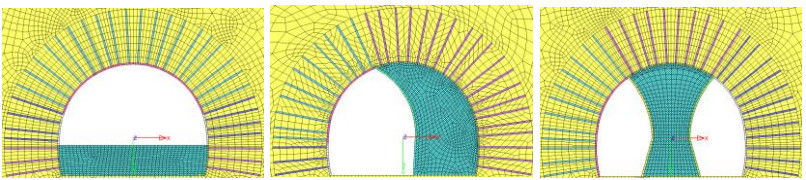
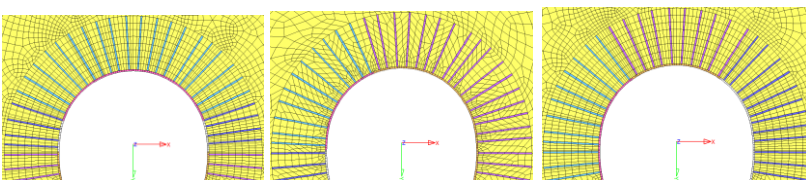
Στάδιο 2

1^η αποτόνωση 1ης ημιδιατομής

(S=B/2,E/E₀=0.266)

 <p>NATM 0 NATM 1 NATM 2</p>	<p>Στάδιο 3</p> <p>2^η αποτόνωση 1ης ημιαδομής $S=B+B/2, E/E_0=0.17$</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυρίων</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος $(t=15 \text{ cm}, E/E_c=0.333)$</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.125$</p>
	<p>Στάδιο 4</p> <p>3^η αποτόνωση 1ης ημιαδομής ($S=2*B+B/2, E/E_0=0.104$)</p> <p>Σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος $(t=30 \text{ cm}, E/E_c=0.667)$</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.50$</p>
	<p>Στάδιο 5</p> <p>Πλήρης αποτόνωση 1ης ημιαδομής ($S=\infty, E/E_0=0$)</p> <p>Πλήρης σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος $(t=40 \text{ cm}, E/E_c=1.0)$</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=1$</p>
	<p>Στάδιο 6</p> <p>1^η αποτόνωση 2ης ημιαδομής $E/E_0=0.266$</p>

 <p>NATM 0 NATM 1 NATM 2</p>	<p>Στάδιο 7</p> <p>2^η αποτόνωση 2ης ημιδιατομής</p> <p>$E/E_0=0.17$</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυρίων</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=15\text{cm}$, $E/E_c= 0.333$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.125$</p>
	<p>Στάδιο 8</p> <p>3^η αποτόνωση 2ης ημιδιατομής</p> <p>$E/E_0=0.104$</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=30\text{ cm}$, $E/E_c= 0.667$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.50$</p>
	<p>Στάδιο 9</p> <p>Πλήρης αποτόνωση 2ης ημιδιατομής $E/E_0=0$</p> <p>Πλήρης σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=40\text{ cm}$, $E/E_c= 1.0$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=1$</p>
	<p>Στάδιο 10</p> <p>1^η αποτόνωση 3ης ημιδιατομής $E/E_0=0.266$</p>

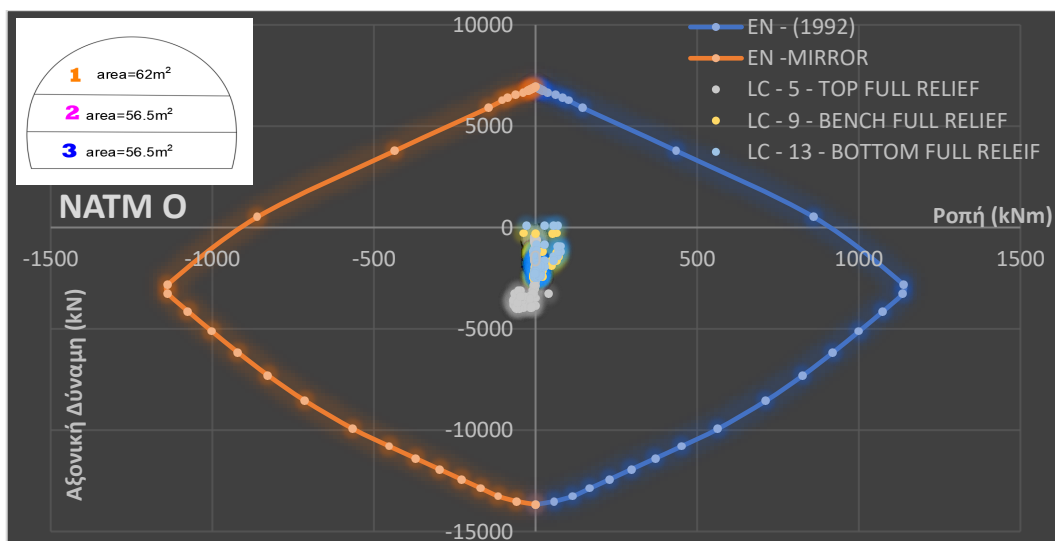
 <p>NATM 0 NATM 1 NATM 2</p>	<p>Στάδιο 11</p> <p>2^η αποτόνωση 3ης ημιδιατομής</p> <p>$E/E_0=0.17$</p> <p>Ενεργοποίηση αγκυρίων</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=15$ cm, $E/E_c= 0.333$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.125$</p>
	<p>Στάδιο 12</p> <p>3^η αποτόνωση 3ης ημιδιατομής</p> <p>$E/E_0=0.104$</p> <p>Ενεργοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=30$ cm, $E/E_c= 0.667$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=0.50$</p>
	<p>Στάδιο 13</p> <p>Πλήρης αποτόνωση 3ης ημιδιατομής $E/E_0=0$</p> <p>Πλήρης σκλήρυνση εκτοξευόμενου σκυροδέματος</p> <p>($t=40$ cm, $E/E_c= 1.0$)</p> <p>$FACS_{CONCRETE}=1$</p>

5.1.7 Αποτελέσματα

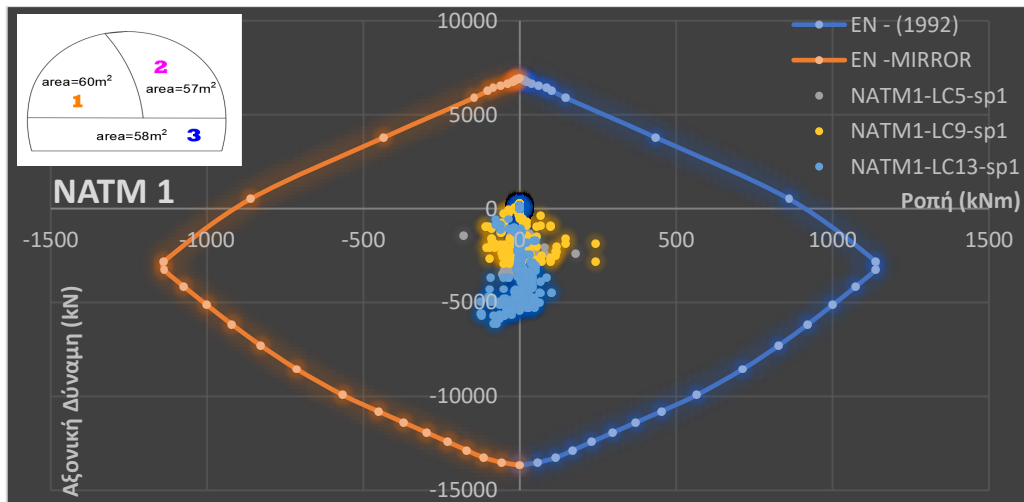
5.1.7.1 Διερεύνηση της τμηματικής εκσκαφής.

Αρχικά πραγματοποιείται εκτίμηση για την επιλογή μεταξύ των προτεινόμενων διατάξεων της τμηματικής εκσκαφής (βλέπε ενότητα 5.1.5) και αξιοποιούνται τρεις διαφορετικές αναλύσεις. Διαφορετικές όσο αφορά την αλληλουχία των φάσεων εκσκαφής αλλά με τις ίδιες γεωτεχνικές συνθήκες, ίδια κατηγορία υποστήριξης και με τα ίδια σε αριθμό και επιφάνεια βήματα εκσκαφής. Και για τις τρεις αναλύσεις θεωρείται ζώνη αυξημένου μέτρου ελαστικότητας λόγω περίσφιξης της βραχομάζας (E_{rm} (GPa)= 34.650).

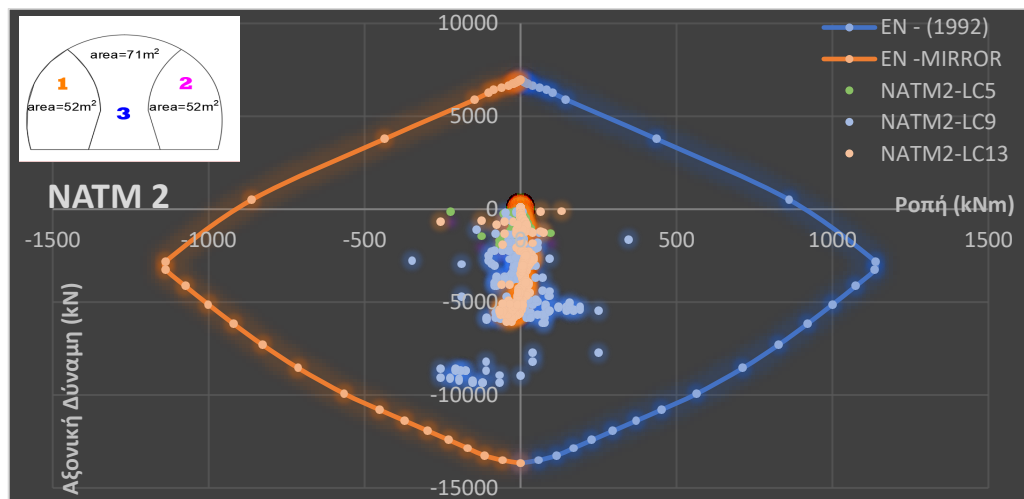
Το κριτήριο για την επιλογή είναι η όσο κατά το δυνατόν χαμηλότερη φόρτιση του συστήματος άμεσης υποστήριξης, δηλαδή με ποιόν τρόπο εκσκαφής, στις ίδιες συνθήκες, η ίδια υποστήριξη καλείται να αναλάβει μικρότερα φορτία. Συγκεκριμένα συγκρίνονται με την χρήση διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης, οι συνδυασμοί φόρτισης στους δοκούς της σύμμικτης διατομής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος με την κατάλληλη εξαγωγή των εντατικών μεγεθών από τα αποτελέσματα των τριών αναλύσεων.



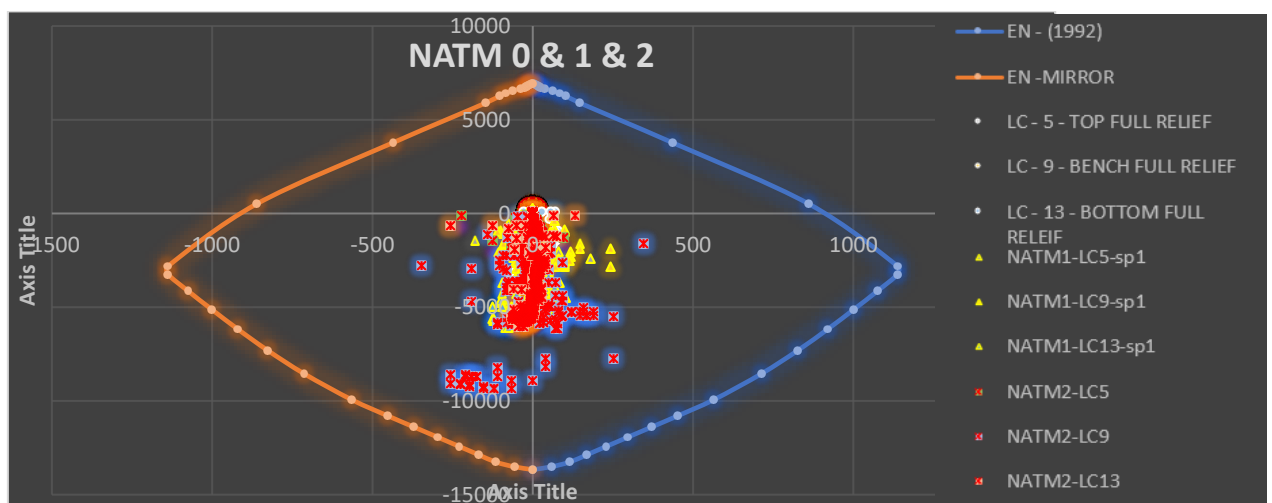
Σχήμα 73 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N ανάλυσης SC-VI_B1_H400m NATM 0



Σχήμα 74 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N ανάλυσης SC-VI_B1_H400m NATM 1



Σχήμα 75 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N ανάλυσης SC-VI_B1_H400m NATM 2



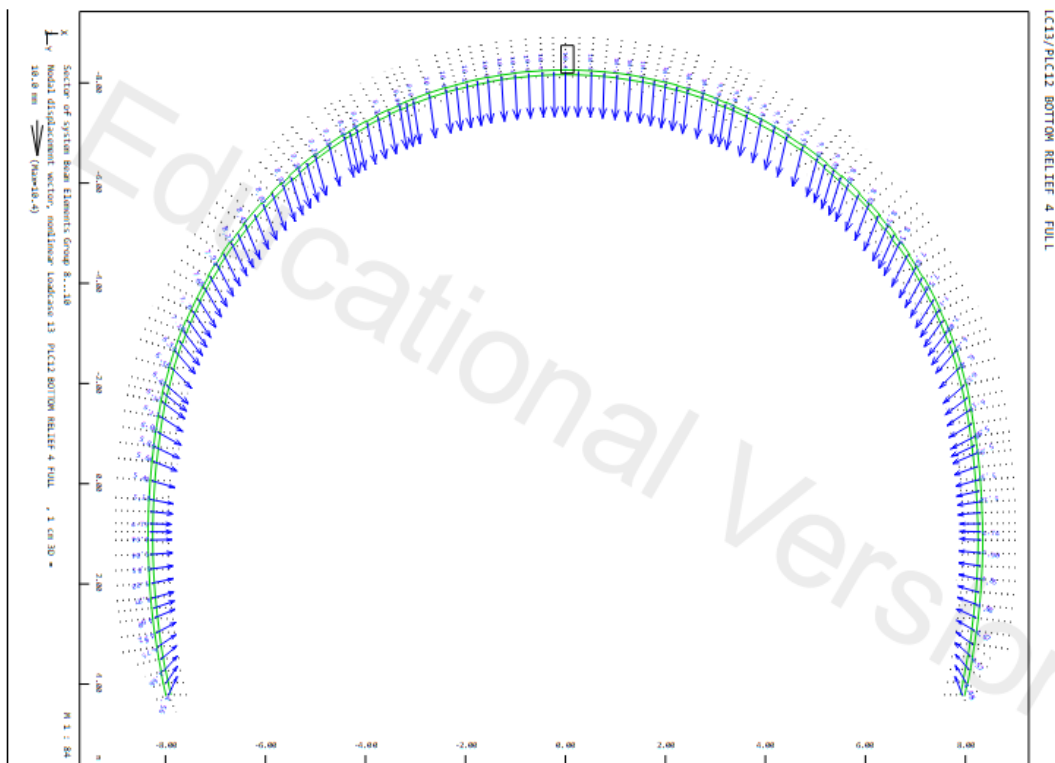
Σχήμα 76 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης M-N με όλους τους συνδυασμούς φόρτισης από τις τρεις αναλύσεις με τους προτεινόμενους τρόπους τμηματικής εκσκαφής(SC-VI_B1_H400m NATM 0,1,2).

Στα Σχήματα 73,74,75 παρατηρούνται τα επιμέρους διαγράμματα αλληλεπίδρασης της κάθε ανάλυσης. Στο συγκριτικό Σχήμα 76, αποτυπώνονται όλοι οι συνδυασμοί φόρτισης κατά την πλήρη αποτόνωση της κάθε φάσης εκσκαφής και από τις τρεις αναλύσεις. Επομένως με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις εξάγεται η εκτίμηση για τη βέλτιστη μεθοδολογία εφαρμογής της τμηματικής εκσκαφής με τον οποία προτείνεται να πραγματοποιηθεί η διάνοιξη της σήραγγας στην τυπική διατομή σε θέση έκτακτης ανάγκης. Η διάταξη της τμηματικής εκσκαφής με τον κωδικό NATM 0 θεωρείται η βέλτιστη επιλογή καθώς τα σημεία που αποτυπώνουν τους συνδυασμούς φόρτισης των δοκών της σύμμικτης διατομής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος απέχουν από την περιβάλλουσα αντοχής περισσότερο σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους που διερευνώνται (NATM1 & 2).

5.1.7.2 Αποτελέσματα SC-VI_B1_H400m* ($E_{RM}=13.823\text{GPa}$)

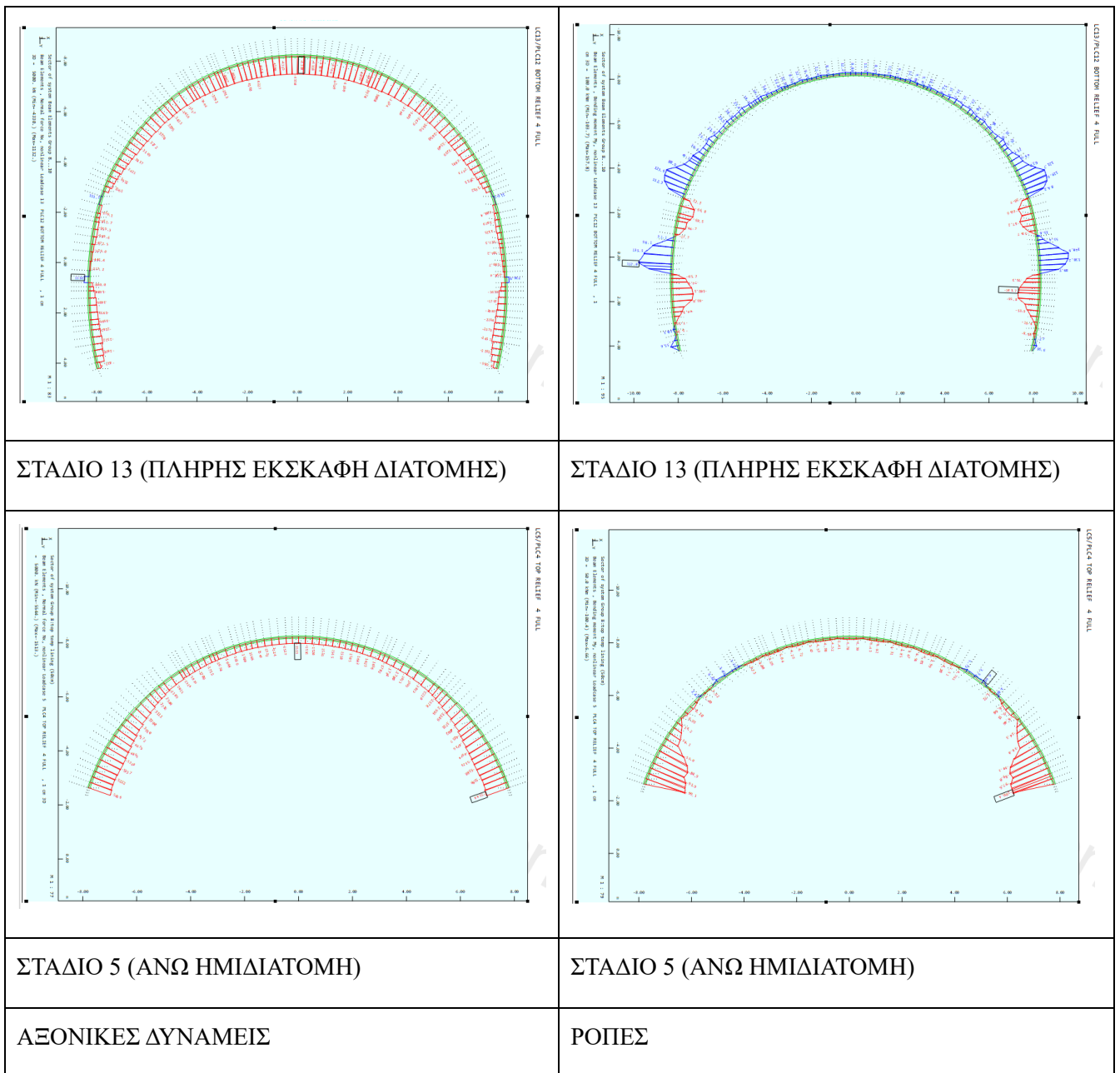
Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης SC-VI_B1_H400m* με μέτρο ελαστικότητας βραχομάζας $E_{RM}=13.823\text{GPa}$.

Στο Σχήμα 77 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο 13 της ανάλυσης. Μέγιστη μετατόπιση εμφανίζεται στη στέγη, η ολική μετατόπιση είναι ίση με 10mm. Στις παρειές της σήραγγας είναι 5mm.

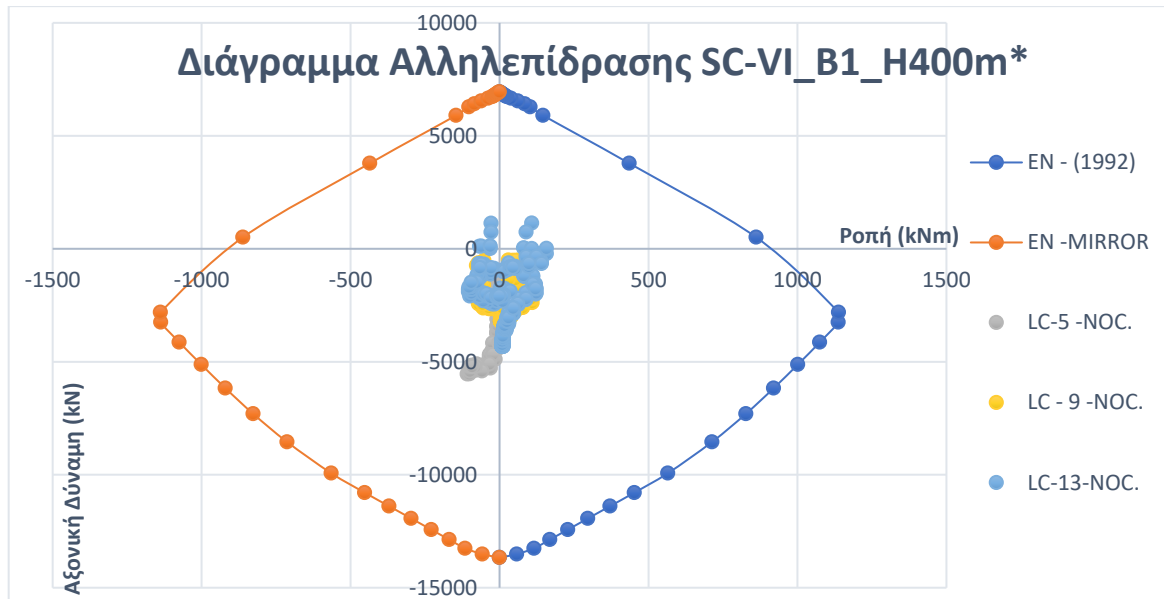


Σχήμα 77 Ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο της ανάλυσης SC-VI_B1_H400m*

Ο έλεγχος επάρκειας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος πραγματοποιείται με την χρήση διαγράμματος αλληλεπίδρασης στο Σχήμα 79 που ακολουθεί. Επίσης παρατίθενται σχήματα με την κατανομή αξονικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών στο κέλυφος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής κατά το στάδιο 5 της πλήρης αποτόνωσης της άνω ημιδιατομής που είναι το δυσμενέστερο και κατά το τελικό στάδιο 13.

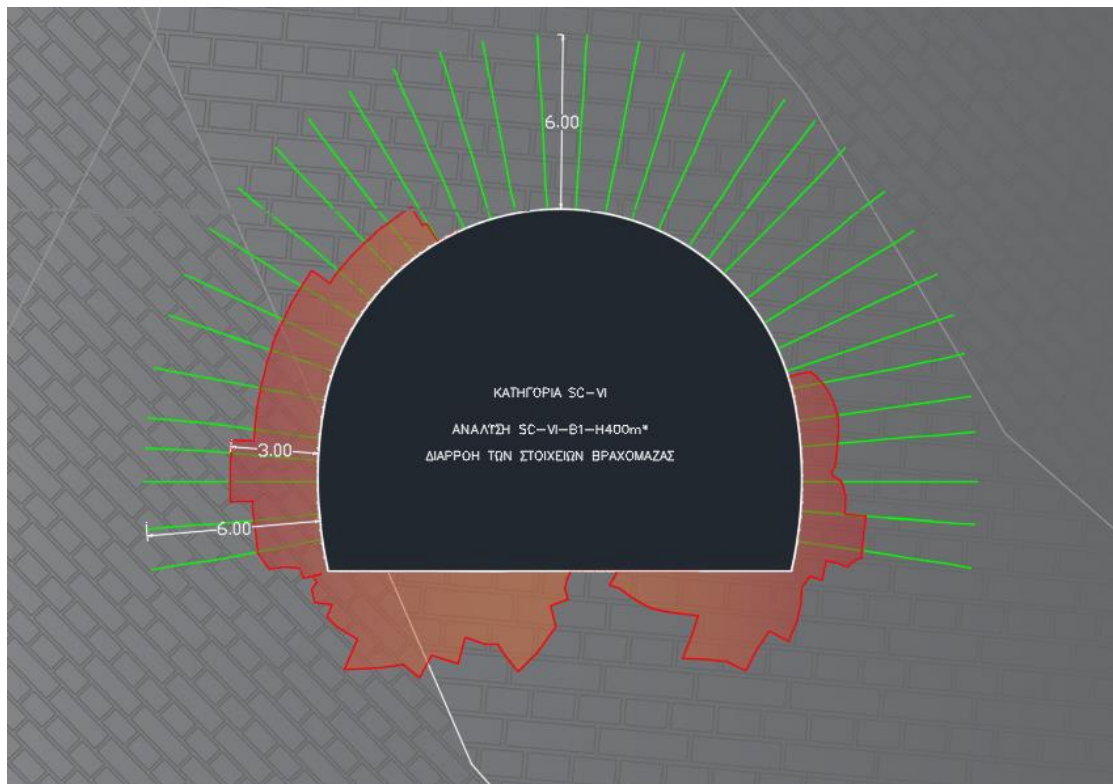


Σχήμα 78 Κατανομή εντατικών μεγεθών στο κέλυφος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής της ανάλυσης SC-VI_B1_H400m*



Σχήμα 79 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης ανάλυσης SC-VI_B1_H400m*

Στο διάγραμμα του Σχήματος 79 παρατηρούνται όλα τα σημεία εντός της περιβάλλουσας αντοχής.



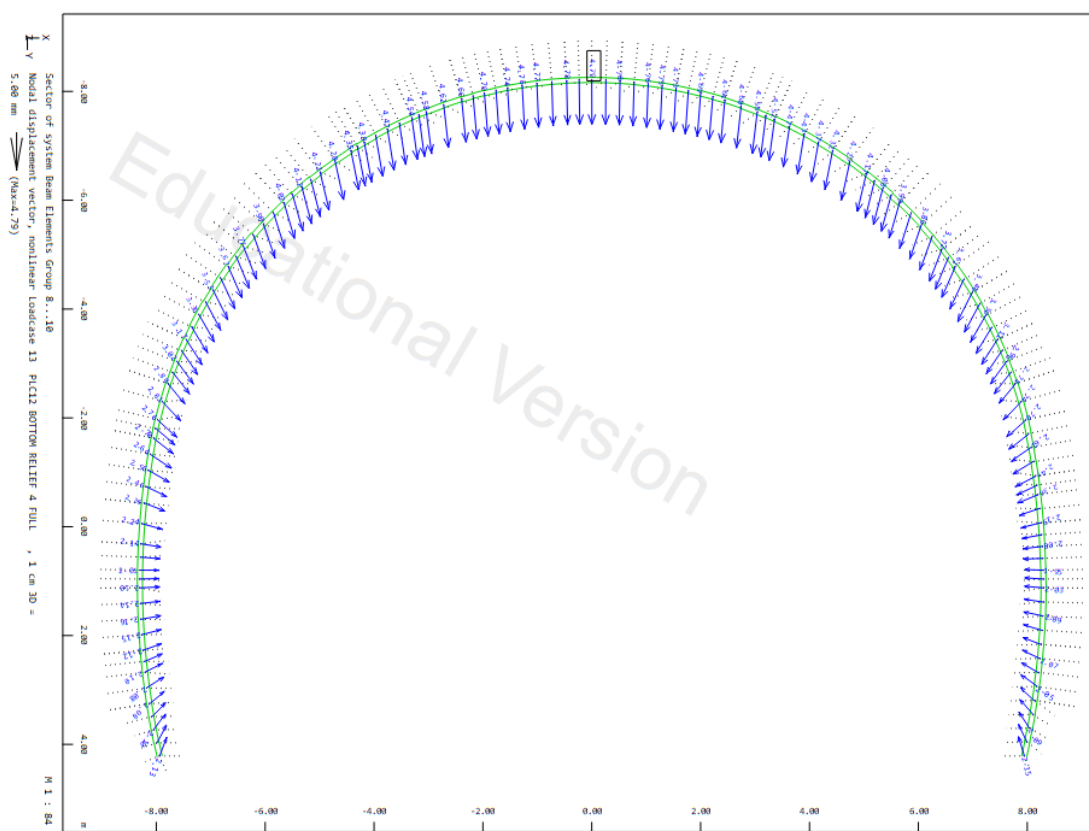
Σχήμα 80 Διαρροή των στοιχείων της βραχομάζας περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής στο τελικό στάδιο της προσομοίωσης SC-VI_B1_H400m*

Στο Σχήμα 80 παρατηρείται η πρόκληση πλαστικών παραμορφώσεων σε κάποια τμήματα της βραχομάζας περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής. Επίσης παρατηρείται ότι όλα τα αγκύρια εκτείνονται πέρα των τμημάτων αυτών.

5.1.7.3 Αποτελέσματα SC-VI_B1_H400m (E_{rm} (GPa)= 34.650)

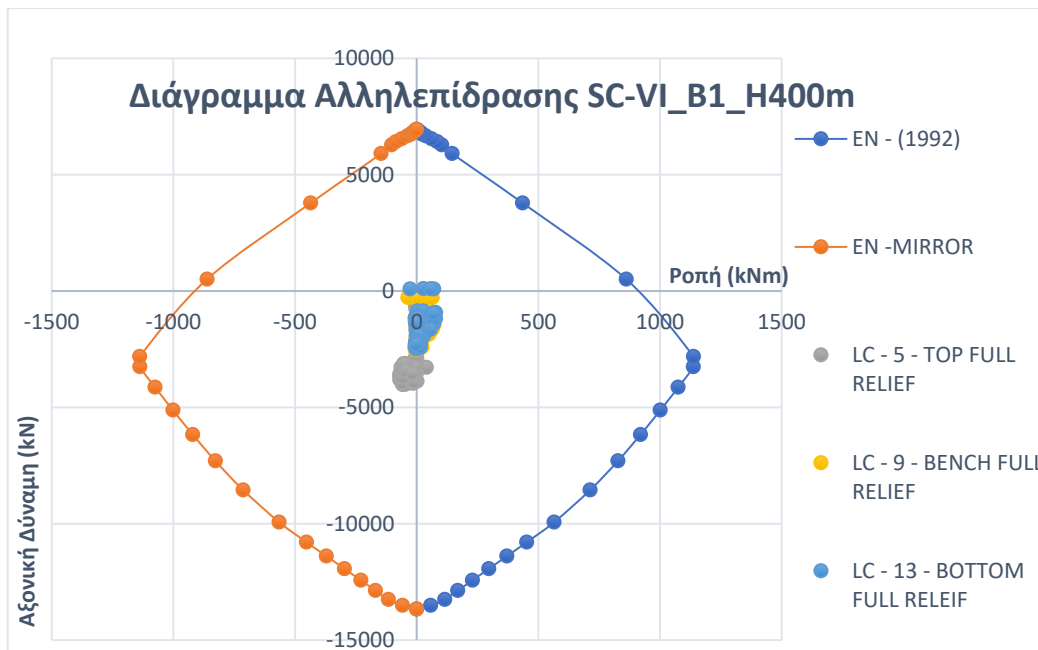
Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης SC-VI_B1_H400m* με μέτρο ελαστικότητας βραχομάζας $E_{RM}=34.650\text{GPa}$.

Στο Σχήμα 81 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο 13 της ανάλυσης. Μέγιστη μετατόπιση εμφανίζεται στην στέψη, ίση με 5mm, στις παρειές της σήραγγας η ολική μετατόπιση είναι 2-3mm.



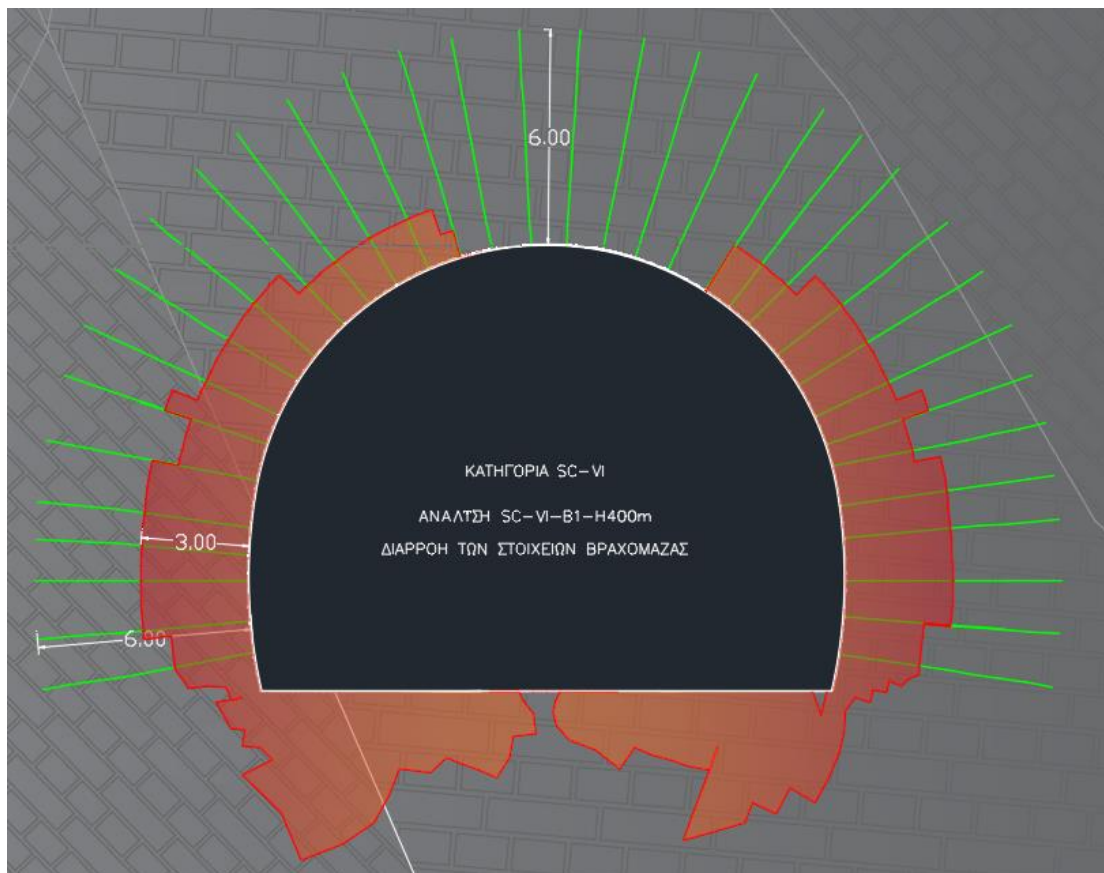
Σχήμα 81 Ολικές μετακινήσεις στην περιφέρεια της εκσκαφής στο τελικό στάδιο της ανάλυσης SC-VI_B1_H400m

Ο έλεγχος επάρκειας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος πραγματοποιείται με την χρήση διαγράμματος αλληλεπίδρασης στο Σχήμα 81 που ακολουθεί.



Σχήμα 82 Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης ανάλυσης SC-VI_B1_H400m.

Στο διάγραμμα του Σχήματος 82 παρατηρούνται όλα τα σημεία εντός της περιβάλλουσας αντοχής.



Σχήμα 83 Διαρροή των στοιχείων της βραχομάζας περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής στο τελικό στάδιο της προσομοίωσης SC-VI_B1_H400m

Στο Σχήμα 83 παρατηρείται η δημιουργία πλαστικής ζώνης περιμετρικά του ανοίγματος. Επίσης παρατηρείται ότι όλα τα αγκύρια εκτείνονται πέρα της πλαστικής ζώνης. Τέλος βάσει των διαγραμμάτων και σχημάτων με τα αποτελέσματα της ενότητας 5.1.7 η κατηγορία υποστήριξης SC-VI εκτιμάται επαρκής και για τις δυο διαφορετικές περιπτώσεις.

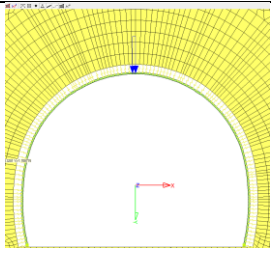
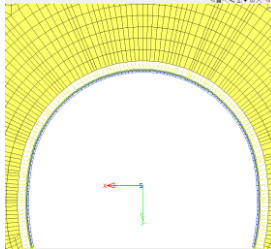
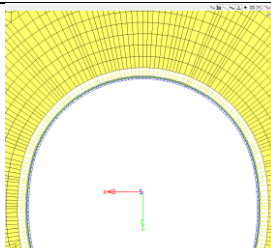
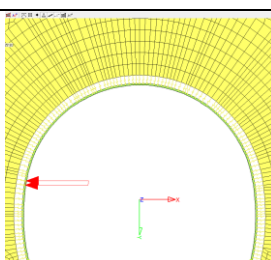
5.2 Τελική επένδυση της σήραγγας σε θέση έκτακτης στάθμευσης

5.2.1 Συνοπτική Παρουσίαση Μεθοδολογίας/ Παραδοχές

Για την διαστασιολόγηση του οπλισμού της τελικής επένδυσης σε θέση έκτακτης στάθμευσης ακολουθείται η μεθοδολογία που περιγράφεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4. Συνοπτικά επισημαίνονται τα παρακάτω:

- Η επικάλυψη του οπλισμού υπολογίζεται σύμφωνα με τις διατάξεις του Ευρωκώδικα 2(EN 1992-1-1:2004, βλέπε 4.2) → $c_{nom} = 50\text{mm}$
- Η μέθοδος που ακολουθείται από το πρόγραμμα είναι η μέθοδος στοιχείων δοκού και ελατηρίων(Beam – Spring Method) για την διαστασιολόγηση της τελικής επένδυσης. (βλέπε 4.3, 4.4)
- Η γεωμετρία της διατομής της τελικής επένδυσης σε θέση έκτακτης στάθμευσης προσδιορίζεται από τις αρχές σχεδιασμού και τις απαραίτητες παραδοχές που περιγράφονται στην ενότητα 5.1.1, με πάχος κελύφους τελικής επένδυσης 0.40 m.
- Η θέση κατασκευής βρίσκεται εντός της τεχνικογεωλογικής ενότητας TE B1, οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται με το «χαμηλό» μέτρο ελαστικότητας (βλέπε ενότητα 3.1.4).
- Πραγματοποιείται ένας συνδυασμός φόρτισης για έλεγχο επάρκειας και διαστασιολόγηση της διατομής, με τα παρακάτω φορτία :

Πίνακας 53 Περιγραφή φορτίων για τον σχεδιασμό της τελικής επένδυσης της τυπικής διατομής σε θέση έκτακτης στάθμευσης

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΕΙΔΟΣ ΦΟΡΤΙΟΥ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ
Ίδιο βάρος φορέα τελικής επένδυσης	Μόνιμο	1,35	-
Ίδιο βάρος βραχομάζας	Μόνιμο	1,35	-
Φορτίο λόγω ίδιου βάρους ανεμιστήρων αερισμού	Μόνιμο	1,35	
Φορτίο λόγω ερπυσμού με την επιβολή ομοιόμορφης μεταβολής θερμοκρασίας τουλάχιστον -10°C.[2]	Μεταβλητό	1,50	
Φορτίο λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς εσωτερικής-εξωτερικής επιφάνειας του φορέα κατά τουλάχιστον ±10°C.[2]	Μεταβλητό	1,50	
Φορτίο πρόσκρουσης οχήματος: ενδεικτικά ως σημειακή φόρτιση τουλάχιστον 500 kN κάθετα στην κατεύθυνση κυκλοφορίας σε ύψος 1.2 m από το οδόστρωμα.[2]	Τυχηματικό	1,00	

Ακολουθεί η ενδεικτική Εικόνα 48 από το Teddy και το συγκεκριμένο στάδιο της ανάλυσης για την διαστασιολόγηση της τελικής επένδυσης στην οποία διακρίνονται όλα τα επιβαλλόμενα φορτία, επαυξημένα με τους κατάλληλους συντελεστές.

```

+PROG TALPA L uns:RS_14 $ LC14/PLC13 Inner Linning
$-----
HEAD $(WT_Project)
HEAD $(WT_Building)
HEAD $(WT_Part)
HEAD $(WT_Block)
HEAD LC14/PLC13 Inner Linning
PAGE LANO 1
SYST PROB NONL
CTRL OPT ITER VAL 50 FMAX -1
CTRL OPT SOLV 1
CTRL AFIX 1
PLC 13 TYPE FULL
LC 14 TITL "PLC13 Inner Linning"
LCC NO 1001 FACT 1.50 $ thermal
LCC NO 1002 FACT 1 $ water
LCC NO 1003 FACT 1 $ crash
LCC NO 1004 FACT 1.35 $ ventilation
LCC NO 1005 FACT 1 $ creep
GRP NO VAL FACS PLC FACL FACD HW $ Description
1 FULL 1.0000 13 1.35 1.35 999.00 $ EXTERNAL LIMESTONE TEB1
2 OFF $ TOP HEAD INNER LIMESTONE
3 OFF $ BENCH MIDDLE INNER LIMESTONE
4 OFF $ BOTTOM INNER LIMESTONE
5 OFF $ top head rockbolts
6 OFF $ bench middle rockbolts
7 OFF $ bottom rockbolts
8 OFF $ top temp lining (50cm)
9 OFF $ bench middle temp lining (50cm)
10 OFF $ bottom temp lining (50cm)
11 FULL 1.0000 0 1.0000 1.0000 999.00 $ Connection-springs
12 FULL 1.0000 0 1.35 1.35 999.00 $ Inner-lining
END
+Prog aqb uns:1
head lc14 perma lining
page lano 1
lc 14
beam grp 12
desi stat ulti
rein lcr 10
end
    
```

Εικόνα 48 Περιγραφή της ανάλυσης για την διαστοσιολόγηση της τελικής επένδυσης με την γλώσσα CADINP. Παρατηρούνται οι φορτίσεις με τους αντίστοιχους συντελεστές.

5.2.2 Αποτελέσματα

Βάσει των υπολογισμών που πραγματοποιεί το Sofistik για τον προσδιορισμό του ελάχιστου απαιτούμενου οπλισμού (βλέπε ενότητα 4.1), η απαίτηση σε οπλισμό για την συγκεκριμένη ανάλυση είναι πολύ μικρή κυρίως λόγω μεγάλων αξονικών δυνάμεων. Συγκεκριμένα στα αποτελέσματα, το πρόγραμμα προτείνει τον ελάχιστο οπλισμό βάσει του Ευρωκώδικα και της γεωμετρίας της διατομής της τελικής επένδυσης. Όπως αναλυτικά περιγράφεται στην ενότητα 4.6, το πρόγραμμα βάσει των εντατικών μεγεθών για κάθε στοιχείο δοκού της τελικής επένδυσης προτείνει ελάχιστο οπλισμό, επομένως λόγω των μεγάλων αξονικών δυνάμεων που δρουν συνδυαστικά με σχετικά χαμηλές ροπές η απαίτηση σε οπλισμό είναι πολύ μικρή. Για την αποφυγή της υποδιαστασιολόγησης καθώς και για την ομαλή ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων προτείνεται η τελική επένδυση στην θέση έκτακτης στάθμευσης να οπλιστεί σύμφωνα με την κατηγορία οπλισμού KO-1. Επισημαίνεται ότι η κατηγορία οπλισμού KO-1 σχεδιάζεται για τις τεχνικογεωλογικές ενότητες TE B1 και B2 για οποιοδήποτε ύψος υπερκειμένων σχηματισμών.

6 Συμπεράσματα

Γεωλογικές - Γεωτεχνικές Συνθήκες

1. Η αβεβαιότητα για τις συνθήκες διάνοιξης είναι δεδομένη για την σήραγγοποιία. Ο παραπάνω ισχυρισμός δεν αποτελεί ανησυχία για την δυνατότητα επιτυχημένης κατασκευής της σήραγγας καθώς η Ερευνητική Ομάδα έχει λάβει υπόψη της το δυσμενέστερο σενάριο κατά την εκτίμηση που πραγματοποιείται για τον σχεδιασμό της γεωλογικής τομής της χάραξης TA-4. Συγκεκριμένα σύμφωνα με την γεωλογική τομή στην περιοχή ενδιαφέροντος αναμένεται να συναντηθεί η τεχνικογεωλογική ενότητα που γειτνιάζει με την ζώνη επώθησης TE B3 στο μέγιστο ύψος των υπερκείμενων σχηματισμών.
2. Η θεώρηση για αυξημένο μέτρο ελαστικότητας της βραχομάζας λόγω πλευρικής περίσφιξης μπορεί να επιβεβαιωθεί ή να καταρριφθεί κατά την φάση έναρξης των εργασιών κατασκευής μέσω ενός προγράμματος οργανομετρήσεων και να οδηγήσει στις απαραίτητες αλλαγές και τροποποιήσεις του σχεδιασμού.
3. Οι παραδοχές που πραγματοποιούνται για τις γεωτεχνικές ιδιότητες των γεωλογικών σχηματισμών που αναμένεται να συναντηθούν κατά την όρυξη της σήραγγας μπορεί να επιβεβαιωθούν ή να τροποποιηθούν μέσω ενός διευρυμένου διερευνητικού γεωτεχνικού προγράμματος πριν τη έναρξη των εργασιών κατασκευής, όπως άλλωστε προτρέπει και η Ερευνητική ομάδα [1][2]. Αντίστοιχα μπορεί να επιβεβαιωθούν ή να τροποποιηθούν με χρήση διαφόρων διατάξεων γεωτεχνικών οργανομετρήσεων και με ανάστροφες αναλύσεις (back analysis) κατά την έναρξη και πρόοδο των εργασιών.
4. Βάσει της γεωλογικής και γεωτεχνικής διερεύνησης και της βιβλιογραφικής ανασκόπησης υπάρχει πιθανότητα να υπάρχουν κατά θέσεις ενστρώσεις πηλιτών εντός των ασβεστολιθικών σχηματισμών καθώς και πιθανότητα να παρεμβάλλονται λεπτά στρώματα από μάργες. Παρά την αβεβαιότητα για την ύπαρξή τους στην υπόγεια εκσκαφή οι λεπτές στρώσεις αναμένεται να μην δημιουργήσουν εντονότερα προβλήματα καθώς οι ζώνες ολίσθησης που δύναται να σχηματίζουν προκαλούν σφηνοειδής ολισθήσεις που συγκρατούνται από το σύστημα υποστήριξης που σχεδιάστηκε. Βάσει των αρχών σχεδιασμού, σε όλες τις κατηγορίες υποστήριξης αντιμετωπίζεται ο μηχανισμός αστοχίας μικρών τοπικών ολισθήσεων τύπου σφήνας. Αντίθετα στρώσεις με μεγαλύτερα πάχη και έκταση στον χώρο ενδεχομένως να

προκαλέσουν μεγαλύτερες συγκλίσεις στο υπόγειο άνοιγμα λόγω της διογκωτικής φύσης τους σε περίπτωση άμεσης γειννίασης με την υπόγεια εκσκαφή.

5. Η διάνοιξη σηράγγων σε ασβεστολιθικές βραχώμαζες θεωρείται πλήρως εφικτή, τεχνικά και οικονομικά εφαρμόσιμη, με πλήθος παραδειγμάτων και εμπειριών και από την εγχώρια μελετητική και κατασκευαστική εμπειρία. Όσο αφορά την αβεβαιότητα εξαιτίας του γεωλογικού παράγοντα, ο μεγαλύτερος κίνδυνος κατά την φάση έναρξης των εργασιών με άμεση επίδραση στην ομαλή διεκπεραίωση του έργου είναι τα μεγάλα μεγέθους καρστικά έγκοιλα. Σύμφωνα με την επιτόπου γεωλογική αναγνώριση της Ερευνητικής ομάδας καρστικά έγκοιλα δεν αναμένεται να συναντηθούν. Παρόλα αυτά προτείνει την συστηματική έρευνα με διατρήσεις προπορείας ώστε *«στην περίπτωση που συναντηθούν να εντοπιστεί έγκαιρα η γεωμετρία τους και να σχεδιαστούν τα κατάλληλα μέτρα γεφύρωσης.»*[2]. Τέλος συμπληρώνεται η δυνατότητα για χρήση ειδικών γεωφυσικών διατάξεων πλησίον του μετώπου με σκοπό την ανίχνευση των εγκοίλων. Ενδεικτικά προτείνεται ο συνδυασμός των γεωφυσικών μεθόδων γεωηλεκτρικής τομογραφίας (ERT) και ηλεκτρομαγνητική διασκόπηση με γεωραντάρ για την ανίχνευση πιθανόν καρστικών εγκοίλων.

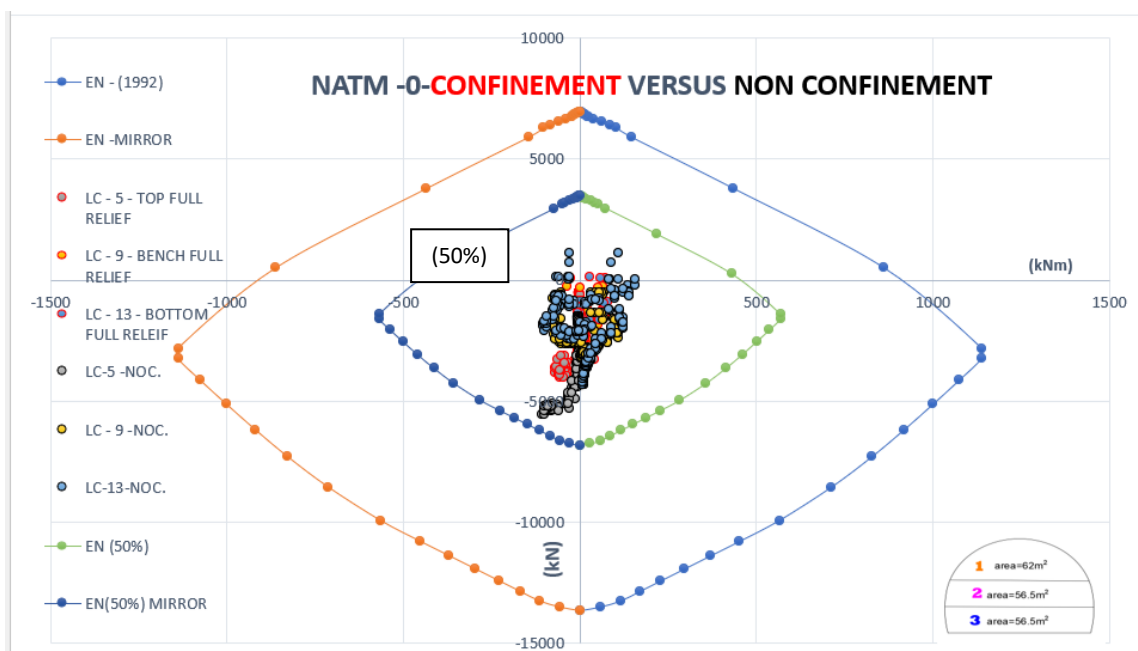
Προσωρινή Υποστήριξη

6. Στο διάγραμμα του Σχήματος 27 παρατηρούνται τα περισσότερα σημεία εντός της περιβάλλουσας ενώ η τελική μετακίνηση στην στέψη που φαίνεται στο Σχήμα 28 είναι πολύ μικρή και ίση με 6mm .Βάσει των άνω αποτελεσμάτων της ενότητας 3.2.2 η κατηγορία υποστήριξης SC-I εκτιμάται επαρκής.
7. Στο διάγραμμα του Σχήματος 29 και 31 παρατηρούνται όλα τα σημεία εντός της περιβάλλουσας, στο Σχήμα 32 παρατηρείται το μικρό εύρος της πλαστικής ζώνης σε υψηλά υπερκείμενα και στο Σχήμα 28 και 30 οι τελικές μετακινήσεις στη στέψη είναι 11 και 8 mm αντίστοιχα. Επομένως βάσει των διαγραμμάτων και σχημάτων με τα αποτελέσματα της ενότητας 3.3.2 και 3.3.4 η κατηγορία υποστήριξης SC-II εκτιμάται επαρκής.
8. Στο διάγραμμα του Σχήματος 34 και 38 παρατηρούνται όλα τα σημεία εντός της περιβάλλουσας, στο Σχήμα 39 και 35 παρατηρείται το εύρος της πλαστικής ζώνης που εκτείνεται περίπου κατά 2,3 m περιμετρικά της υπόγειας εκσκαφής. Στο Σχήμα 33 και 37 οι τελικές μετακινήσεις στη στέψη είναι 10 και 15 mm αντίστοιχα και κρίνονται αποδεκτές. Επομένως βάσει των διαγραμμάτων και σχημάτων με τα

- αποτελέσματα της ενότητας 3.4.2 και 3.4.4 η κατηγορία υποστήριξης SC-IIIa εκτιμάται επαρκής.
9. Στο διάγραμμα του Σχήματος 41 παρατηρούνται όλα τα σημεία εντός της περιβάλλουσας ενώ η τελική μετακίνηση στην στέψη που φαίνεται στο Σχήμα 40 είναι πολύ μικρή και ίση με 7mm . Το εύρος της πλαστικής ζώνης, που παρατηρείται στο Σχήμα 42, ξεπερνά το μήκος των αγκυρίων (5m) εκτός από 4 -5 περιπτώσεις (κυρίως στην στέψη). Παρόλα αυτά με την δράση ενός πυκνού κανάβου αγκυρίων, ακόμα και αν όλο το μήκος πάκτωσής τους βρίσκεται εντός της ζώνης που διαρρέει [2], σε συνδυασμό με τον έλεγχο ευστάθειας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος και τις μικρές τελικές μετακινήσεις, η κατηγορία υποστήριξης SC-IIIb εκτιμάται επαρκής.
 10. Στο διάγραμμα του Σχήματος 44 και 47 παρατηρούνται όλα τα σημεία εντός της περιβάλλουσας, στο Σχήμα 33 και 37 οι τελικές μετακινήσεις στη στέψη είναι 6 και 7 mm αντίστοιχα και κρίνονται χαμηλές. Παρά την εκτεταμένη διαρροή των στοιχείων της βραχομάζας, στο Σχήμα 45, τα αγκύρια φαίνεται να εκτείνονται και να διατηρούν κάποιο μήκος πάκτωσης εκτός αυτής της ζώνης, ενώ στο Σχήμα 48 παρατηρείται πλαστική ζώνη μικρότερου εύρους λόγω των ποιοτικότερων γεωτεχνικών χαρακτηριστικών της τεχνικογεωλογικής ενότητας B2. Βάσει των άνω διαπιστώσεων η κατηγορία υποστήριξης SC-IV εκτιμάται επαρκής.
 11. Στο διάγραμμα του Σχήματος 52 παρατηρούνται όλα τα σημεία εντός της περιβάλλουσας αντοχής. Συγκεκριμένα οι συνδυασμοί φόρτισης των κόμβων του ανάστροφου τόξου (πράσινα σημεία στο Σχήμα 52) παρατηρούνται εντός της περιβάλλουσας αντοχής της άοπλης διατομής του (δεν έχει πλαίσιο HEB), ταυτόχρονα όλοι οι συνδυασμοί φόρτισης για την οπλισμένη διατομή του κελύφους του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στην στέψη και στις παρειές παρατηρούνται εντός περιβάλλουσας και για τα δυο στάδια 5 και 10 (μπλε και κίτρινα σημεία αντίστοιχα στο Σχήμα 52). Στο σχήμα 53 παρατηρείται δημιουργία πλαστικής ζώνης με μεγάλη έκταση. Σε ορισμένα σημεία το εύρος της ζώνης φτάνει μέχρι και 6.5 m από την περιφέρεια της υπόγειας εκσκαφής. Επίσης το εύρος της πλαστικής ζώνης ξεπερνά το μήκος των αγκυρίων (6m) εκτός από 5-6 περιπτώσεις, κυρίως στην στέψη. Συμπερασματικά, με την δράση ενός πυκνού κανάβου αγκυρίων, σε συνδυασμό με τον έλεγχο ευστάθειας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος και την τελική μετακίνηση στην στέψη που παρατηρείται στο Σχήμα 49 ίση με 16mm και η οποία κρίνεται αποδεκτή, η κατηγορία υποστήριξης SC-IV εκτιμάται επαρκής.

Προσωρινή Υποστήριξη Διευρυμένης Διατομής

12. Με βάση τα διαγράμματα και τα σχήματα με τα αποτελέσματα των αναλύσεων SC-VI_B1_H400m* και SC-VI_B1_H400m που παρατίθενται αναλυτικά στην ενότητα 5.1.7.2 και 5.1.7.3 αντίστοιχα, η κατηγορία υποστήριξης SC-VI εκτιμάται επαρκής, είτε θεωρηθεί πλευρική περίσφιξη της βραχομάζας άρα μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας, είτε όχι.
13. Στο διάγραμμα του Σχήματος 84 παρουσιάζονται συγκριτικά οι συνδυασμοί φορτίσεων αξονικής δύναμης και ροπής για τις δυο αναλύσεις. Με κόκκινο πλαίσιο είναι τα αποτελέσματα της ανάλυσης με μέτρο ελαστικότητας E_{tm} (GPa)= 13,823 και με μαύρο πλαίσιο τα αποτελέσματα της ανάλυσης με μέτρο ελαστικότητας E_{tm} (GPa)= 34,650. Όπως ήταν αναμενόμενο στην ανάλυση με το "χαμηλό" μέτρο ελαστικότητας προκύπτουν μεγαλύτερα μεγέθη αξονικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών στο κέλυφος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος της άμεσης υποστήριξης.



Σχήμα 84 Συγκριτικό Διάγραμμα αλληλεπίδρασης με τα αποτελέσματα των αναλύσεων SC-VI_B1_H400m* και SC-VI_B1_H400m

14. Στο διάγραμμα του Σχήματος 84 επίσης παρατηρείται ότι ακόμα και αν η αντοχή του κελύφους του εκτοξευόμενου σκυροδέματος της άμεσης υποστήριξης μειωθεί κατά το μισό η διατομή εξακολουθεί να ευσταθεί και στις δυο περιπτώσεις. Συγκεκριμένα η μειωμένη κατά 50% αντοχή του κελύφους της κατηγορίας υποστήριξης SC-VI περιγράφεται από την περιβάλλουσα αντοχής(50%) και όλοι οι συνδυασμοί φόρτισης βρίσκονται εντός της. Συμπερασματικά μπορεί να εκτιμηθεί ότι παραδοχές που πραγματοποιούνται για τον σχεδιασμό της κατηγορίας SC-VI εμπεριέχουν την

πιθανότητα για υπερδιστασιολόγηση του συστήματος προσωρινής υποστήριξης. Η πιθανότητα αυτή συνειδητά αγνοείται λόγω του μικρού μήκους εφαρμογής της κατηγορίας υποστήριξης(40-50m). Συγκεκριμένα, κρίνεται προτιμότερος ο συντηρητικός σχεδιασμός της κατηγορίας υποστήριξης καθώς λόγω του μικρού μήκους εφαρμογής της δεν επηρεάζεται έντονα το συνολικό κόστος κατασκευής της σήραγγας.

15. Με βάση τα διαγράμματα και τα σχήματα με τα αποτελέσματα των αναλύσεων που παρατίθενται αναλυτικά στην ενότητα 5.1.7.1 η προτεινόμενη διάταξη της τμηματικής εκσκαφής με τον κωδικό NATM 0 θεωρείται η βέλτιστη επιλογή. Τα αποτελέσματά των υπόλοιπων διατάξεων που διερευνώνται δίδουν αρκετά μεγαλύτερα εντατικά μεγέθη, όπως παρατηρείται στην ενότητα 5.1.7.1. Αυτό οφείλεται σε έντονες και απότομες αλλαγές της γεωμετρίας του κελύφους του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, που ενυπάρχουν στις διατάξεις με κωδικό NATM 1 και NATM 2 και προκαλούν «συγκέντρωση τάσεων». Στις περιοχές στις οποίες λόγω αλλαγής της γεωμετρίας προκαλείται συγκέντρωση τάσεων, ξεκινά η αστοχία του υλικού με την δημιουργία ρωγμών που στην συνέχεια διαδίδονται μέσα στο υλικό και συγκεκριμένα στον δακτύλιο του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Συμπερασματικά αυτές οι διατάξεις ενδείκνυται να χρησιμοποιηθούν αν υπάρχει ανάγκη για ενδίδουσα υποστήριξη. Δηλαδή σε περίπτωση που συναντηθεί σχηματισμός με διογκωτική φύση, που προκαλεί μεγάλες συγκλίσεις και παραμορφώσεις στον δακτύλιο του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, μπορεί να εξεταστεί να χρησιμοποιηθεί η διάταξη με κωδικό NATM 2, ώστε ελεγχόμενα η διατομή να εκτονώνει τις επιπλέον συγκλίσεις μέσω μιας ελεγχόμενης μικρής αστοχίας με ανάπτυξη ρωγμών, που θα παρακολουθούνται στα σημεία συγκέντρωσης τάσεων.

Τελική Επένδυση

16. Με το πρόγραμμα οργανομετρήσεων, από τις εκτιμήσεις και επιτόπου παρατηρήσεις που θα προκύψουν κατά την διάρκεια των κατασκευών μπορεί να εκτιμηθεί η πιθανότητα για εμφάνιση επιπλέον φορτίων στο κέλυφος της τελικής επένδυσης λόγω δευτερογενών ερπυστικών φαινομένων της βραχομάζας. Σε περίπτωση εμφάνισης τέτοιων φαινομένων θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για την διαστασιολόγηση του οπλισμού.

17. Κατά τον προκαταρκτικό σχεδιασμό για την κοστολόγηση του έργου θεωρήθηκε ένας ελάχιστος οπλισμός 40 kg ανά κυβικό μέτρο στο θόλο(παρειές, στέψη) και 60 kg ανά κυβικό μέτρο στον ανάστροφο πυθμένα[2]. Στην παρούσα εργασία για τον οπλισμό της τελικής επένδυσης κατά μήκος της σήραγγας σχεδιάζονται 3 κατηγορίες οπλισμού που περιγράφονται αναλυτικά στην ενότητα 4.6. Για την ΚΟ-1 προτείνεται 75kg/m^3 στον θόλο, στην ΚΟ-2 138kg/m^3 στον θόλο, στην ΚΟ-3 προτείνεται 178kg/m^3 στον θόλο και 95kg/m^3 στον ανάστροφο πυθμένα.
18. Και οι τρεις κατηγορίες οπλισμού σχεδιάζονται για το δυσμενέστερο σενάριο. Σε αυτό το σενάριο το κέλυφος της τελικής επένδυσης αναλαμβάνει όλα τα φορτία μέσω της πλήρης απαξίωσης της άμεσης υποστήριξης. Επομένως υπάρχει μεγάλη πιθανότητα για υπερδιαστασιολόγηση του οπλισμού σε σχέση με την πραγματική απαίτηση.
19. Βάσει των αποτελεσμάτων που παρατίθενται αναλυτικά στην ενότητα 4.5 παρατηρείται ότι για τις τεχνικογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στις ΤΕ Β1 και Β2 σε μεγάλα βάθη επικρατούν μεγάλες αξονικές δυνάμεις στο κέλυφος της επένδυσης και χαμηλά μεγέθη ή/και απουσία καμπτικών ροπών. Επίσης στις αναλύσεις που πραγματοποιούνται για τον σχεδιασμό της τελικής επένδυσης το μέτρο ελαστικότητας της βραχομάζας δεν θεωρείται ότι επηρεάζεται από το ύψος των υπερκείμενων στρωμάτων. Η βραχομάζα διατηρεί την απομειωμένη τιμή του μέτρου ελαστικότητας σύμφωνα με τους Hoek & M.S. Diederichs (2005) σε όλη της την έκταση(βλέπε ενότητα 4.2). Συμπερασματικά τουλάχιστον για τις τεχνικογεωλογικές ενότητες Β1 και Β2 θα μπορούσε να εξεταστεί η δυνατότητα για τελείως άοπλες διατομές.
20. Όπως επεξηγείται αναλυτικά στην ενότητα 4.5 στην παρούσα εργασία δεν ακολουθείται ακριβώς η μεθοδολογία που προτείνει ο Ευρωκώδικας για τους συνδυασμούς δράσεων. Αντίθετα πραγματοποιείται ένας και μόνο συνδυασμός στις επιμέρους αναλύσεις για την διαστασιολόγηση του οπλισμού της μόνιμης επένδυσης. Η παραπάνω παραδοχή πραγματοποιείται κυρίως για λόγους απλοποίησης και δευτερευόντως διότι σε κάποιες αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν διαφορετικοί συνδυασμοί φορτίσεων για έλεγχο σε οριακή κατάσταση αστοχίας έδωσαν ίδια αποτελέσματα.

7 Αναφορές/Βιβλιογραφία

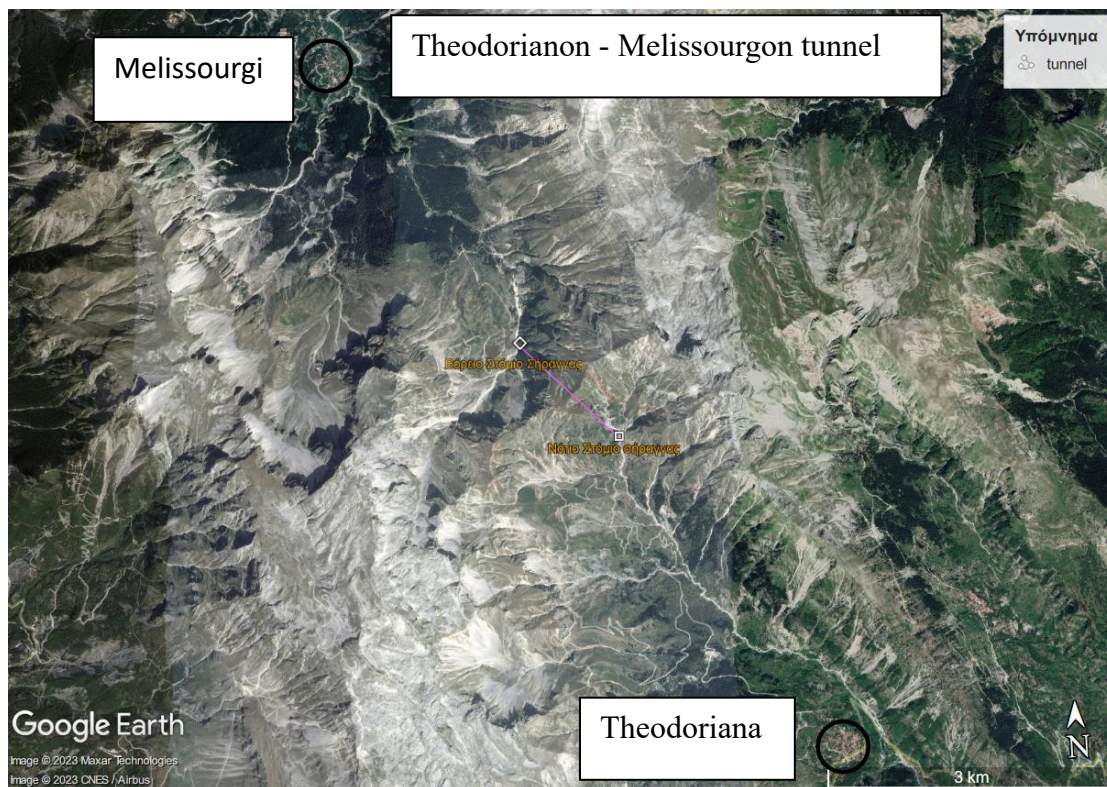
- [1] ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας (ΕΜΠ/ΜΕΚΔΕ), «Προκαταρκτική διερεύνηση και σχεδιασμός από το Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας οδικής σήραγγας οικισμών Θεοδώριανων – Μελισσουργών: Α' ΦΑΣΗ», Αθήνα, Οκτώβριος 2021.
- [2] ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας (ΕΜΠ/ΜΕΚΔΕ), «Προκαταρκτική διερεύνηση και σχεδιασμός από το Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας οδικής σήραγγας οικισμών Θεοδώριανων – Μελισσουργών: Β' ΦΑΣΗ», Αθήνα, Ιούνιος 2022.
- [3] ΑΙΜΙΛΙΟΣ Μ. ΚΩΜΟΔΡΟΜΟΣ (2001)Υπολογιστική Γεωτεχνική Μηχανική γραμμική- μη γραμμική ανάλυση. Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.
- [4] Ο Μ Ο Ε –ΤΕΥΧΟΣ ΟΔΙΚΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΕΡΓΑ ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ
- [5] Ι. ΜΕΛΕΝΤΗ – Β.ΠΑΠΑΖΑΧΟΥ Η ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ,ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 1980
- [6] Marinos, P.G., Hoek, E., 2000. GSI: A geologically friendly tool for rock mass strength estimation. Proceeding of GeoEng2000 at the International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, Melbourne, pp. 1422-1446, Technomic Publishers, Lancaster, Pennsylvania.
- [7] Marinos V. (2007). Geotechnical classification and engineering geological behaviour of weak and complex rock masses in tunneling, Doctoral thesis, School of Civil Engineering, Geotechnical Engineering Department, National Technical University of Athens (NTUA), Athens, July (in greek).
- Hoek,E,Marinos P. And Marinos V.: Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής(GSI) για ασβεστολιθικές βραχώμαζες.V.2005.
- [8]ΟΑΣΠ, ΣΠΜΕ,2000 ΕΑΚ, Αναθεώρηση Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας (ΦΕΚ 1154/Β/12-8-2003)
- [9] Hoek,E, Marinos P., 2000: Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses. Tunnels and Tunnelling International Part 1 & Part 2.

- [10] Hoek, Brown failure criterion – 2002 Edition, <https://www.rocscience.com/assets/resources/learning/hoek/Hoek-Brown-Failure-Criterion-2002>
- [11] E. Hoek a, M.S. Diederichs 2005: Empirical estimation of rock mass modulus. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 43 (2006) 203–215. <https://static.rocscience.cloud/assets/resources/learning/hoek/2006-Hoek-and-Diederichs-estimating-rock-mass-modulus>
- [12] I. Vazaios, K. Farahmand, N. Vlachopoulos, M.S. Diederichs 2017: Effects of confinement on rock mass modulus: A synthetic rock mass modelling (SRM) study Department of Geological Sciences and Geological Engineering, Queen’s University, Kingston, Ontario, K7L 3N6, Canada <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775517302044>
- [13] SOFiSTiK Hellas A.E. 2005 Υπολογισμός Σηράγγων με Πεπερασμένα Στοιχεία. <http://www.sofistik.gr>
- [14] SOFiSTiK AG 2022 User Manuals, Service Pack. Nuremberg, Germany
- [15] FIDES-WinTUBE Manual V.3.1 Graphical Input of a Tunnel Geometry. FIDES DV-Partner Gmbh
- [16] Κατηγορίες περιβαλλοντικής έκθεσης του ΕΛΟΤ EN206-1
- [17] Μ. Καββαδάς, (2005) ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ Ε. Μ. ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
- [18] Eurocode 2 (EN 1992-1-1:2004): Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings
- [19] Eurocode 1 (EN 1991-1-1: 2002): Actions on structures – Part 1-1: General actions – Densities, self-weight, imposed loads for buildings.
- Actions on structures – Part 1-5: General actions – Thermal actions
- Actions on structures – Part 1-6: General actions – Actions during execution
- Actions on structures – Part 1-7: General actions – Accidental actions

8 Extended Abstract

The subject of the thesis is the preliminary design of the temporary support system and the final lining of conventional, cast reinforced concrete of the Theodorianon - Melissourgon tunnel. The design of the tunnel is the result of research within the framework of a cooperation agreement between the Region of Epirus and the Metsovion Interdisciplinary Research Center of the National Technical University of Athens. According to the preface of the project of the Research Team:

"The preliminary investigation and the design of a road tunnel between the settlements of Theodoriana and Melissourgi is an innovative project that completes the "ring of Tzoumerka" and unifies the area of Tzoumerka while providing a new connection from/to the Region of Thessaly to the center of the Region of Epirus. This is achieved with a modern transport project that achieves optimal environmental protection by acting as a base tunnel."



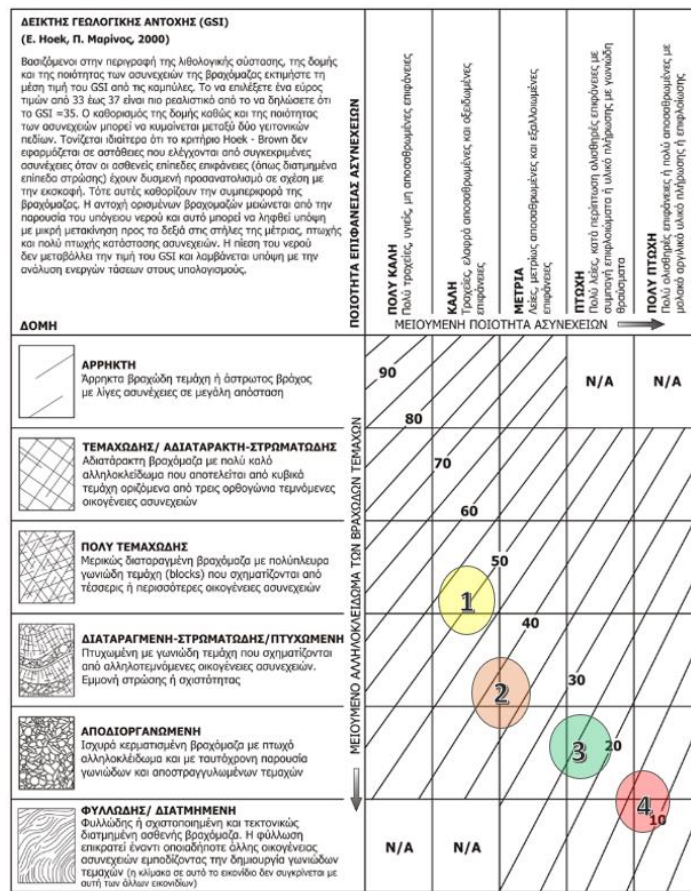
Plan view of the tunnel alignment. (Modified image from Google Earth)

It should be noted that the design of the tunnel in this thesis follows exactly the proposals of the NTUA research team. As far as the design of the temporary support is concerned, the technical report, which was implemented by the Metsovion Interdisciplinary Research

Center of NTUA with the contribution of faculty members of the School of Mining and Metallurgical Engineering, is followed.

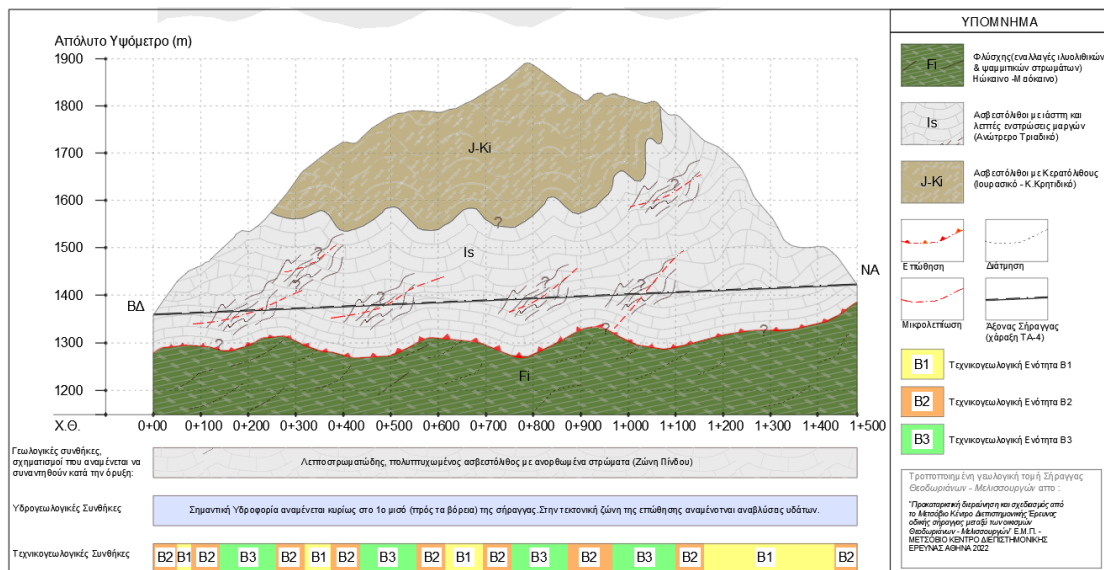
The Research Team proposed that the construction of the tunnel be carried out by conventional means. Therefore, the present thesis for the design of the temporary support follows the NATM method.

According to the Research Team the tunnel will be constructed in limestone of the Pindus zone. During the geological and geotechnical evaluation, four (4) rock mass types (B1, B2, B3 and B4) were distinguished by the Research Team, which constitute the four (4) Engineering Geological Zoning Units (EGZU).



Range of values of the geological strength index GSI per EGZU B1, B2, B3, B4.

The modified geological-geotechnical section along the axis of the tunnel is presented below. The section was drawn based on the geological-geotechnical section presented by the Research Team.



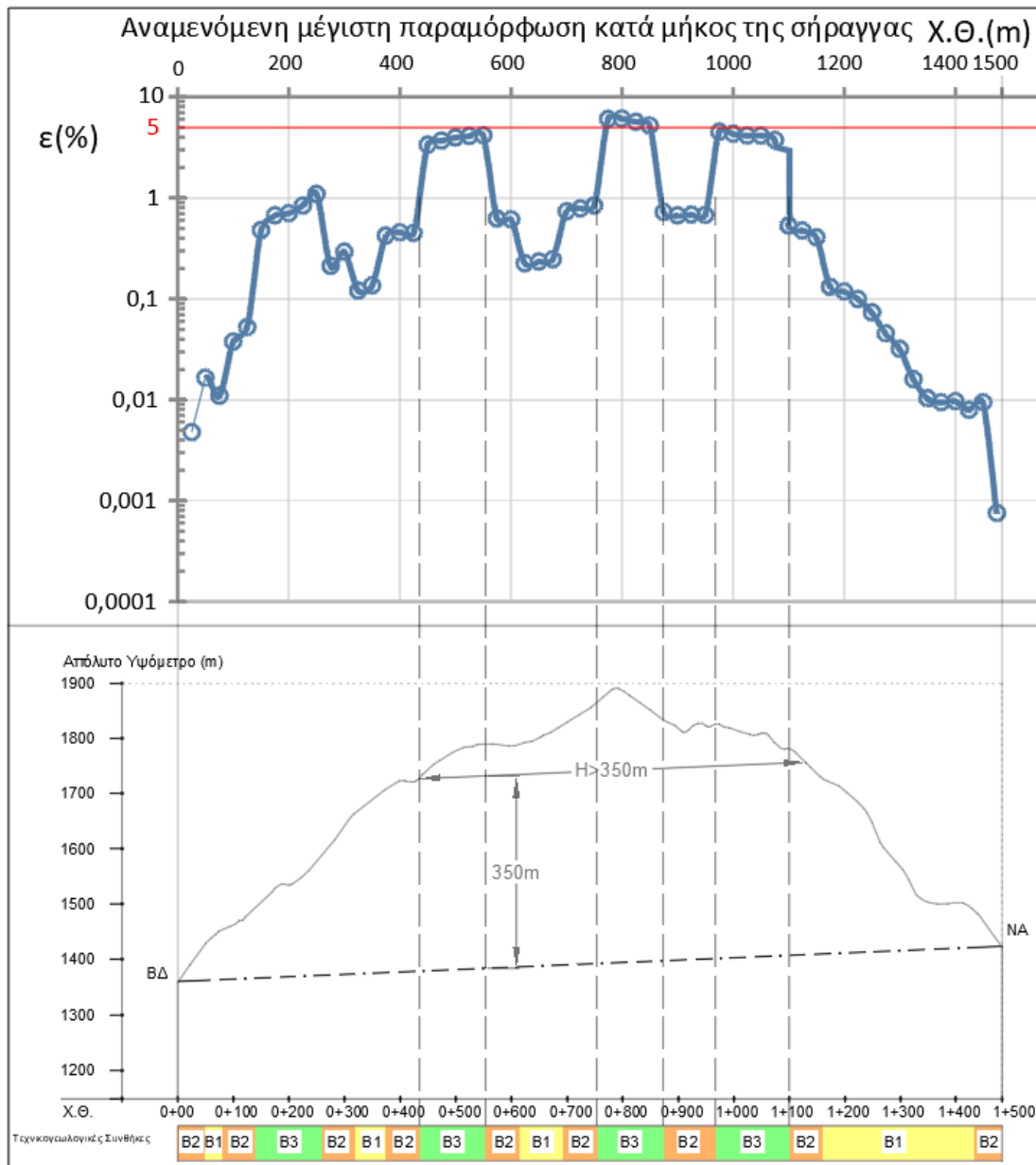
The engineering-geological, geotechnical section along the axis of the tunnel.

The following table summarizes the geotechnical design parameters per EGZU, according to the study of the Research Team.

The geotechnical design parameters per EGZU.

EGZU	GSI	mi	σ_{ci} (MPa)	Ei (GPa)	γ (kN/m ³)
B1	50	14	65	45	26.5
B2	40	14	55	40	26.5
B3	25	12	40	35	26.5

From the literature review of the research project, it is concluded that for the design of the primary support of the tunnel, the first step was the assessment of the deformation potential of the rock mass along the tunnel and the creation of a plastic zone around the perimeter of the underground excavation, a zone within which the rock mass yields. The calculation and methodology were carried out using analytical methods proposed by Hoek & Marinos (2000).

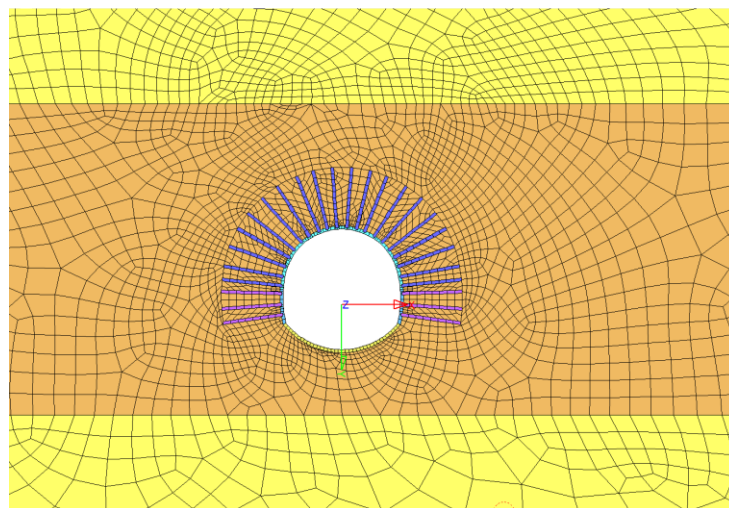
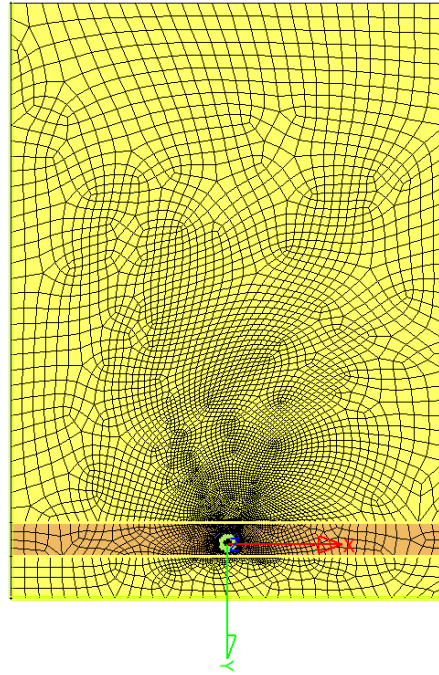


Assessment of the deformation potential of the rock mass along the tunnel axis.

Based on the above and by estimating the behaviour of the rock mass during construction based on the Tunnel Behaviour Chart - TBC (Marinos, 2007), 6 support categories (SC-I, SC-II, SC-IIIA, SC-IIIB, SC-IV, SC-V) were designed for application along the tunnel mainly based on the action of rockbolts in combination with the shotcrete lining. As the index of each category increases, the length of the anchors, the thickness of the shotcrete and the canvas of the anchors increases, with SC-I being the lightest category and SC-V designed with an inverted arc lining for application in large overburden, above 350m, where the B3 zoning unit exhibits a severe squeezing potential. Indicative construction plans are shown below.

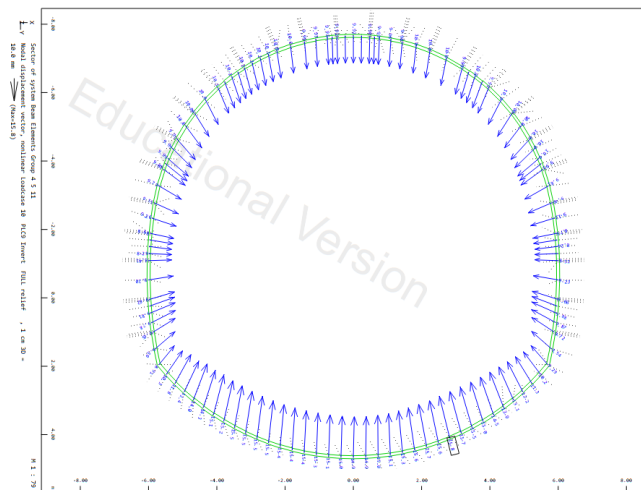
the segmental excavation and the staged construction of the support with which the tunnelling was planned to be carried out, and also the effect of the third dimension.

Specifically, the simulation of the problem is carried out with the Wintube software and the calculations with SofistiK software. The AutoCAD software is used to produce the plans and for various necessary measurements, and the Microsoft Office Excel software is used to produce diagrams and to post process the numerical results.

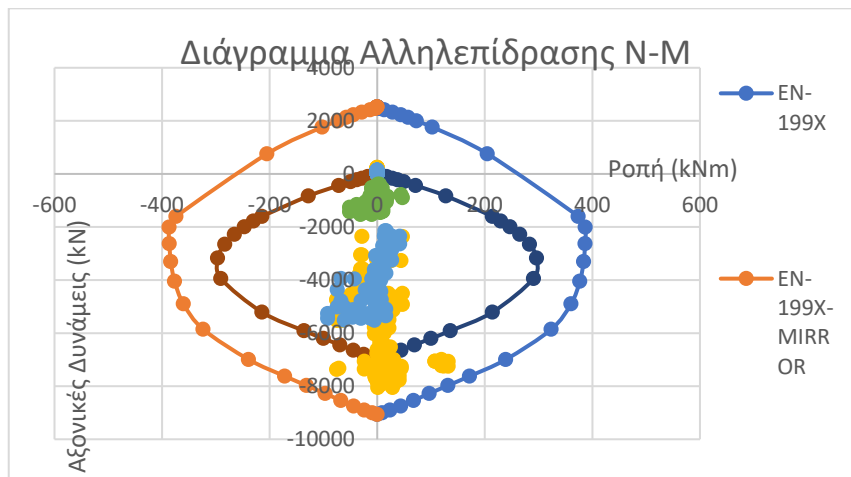


Figures of the FEM model used in the analysis "SC-V_B3_H500m"

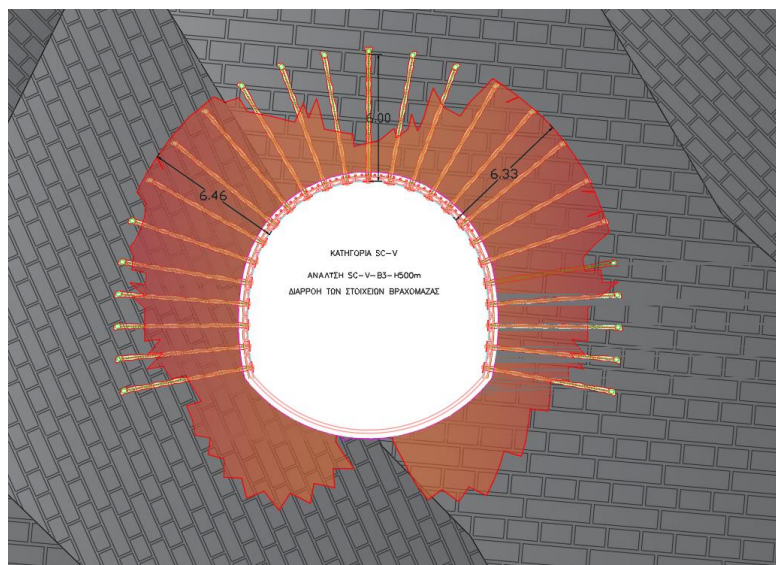
Results of the SC-V_B3_H500m analysis:



Total displacements at the final state of the analysis



M-N interaction diagram of the temporary lining



Plastic zone around the perimeter of the underground excavation at the final state

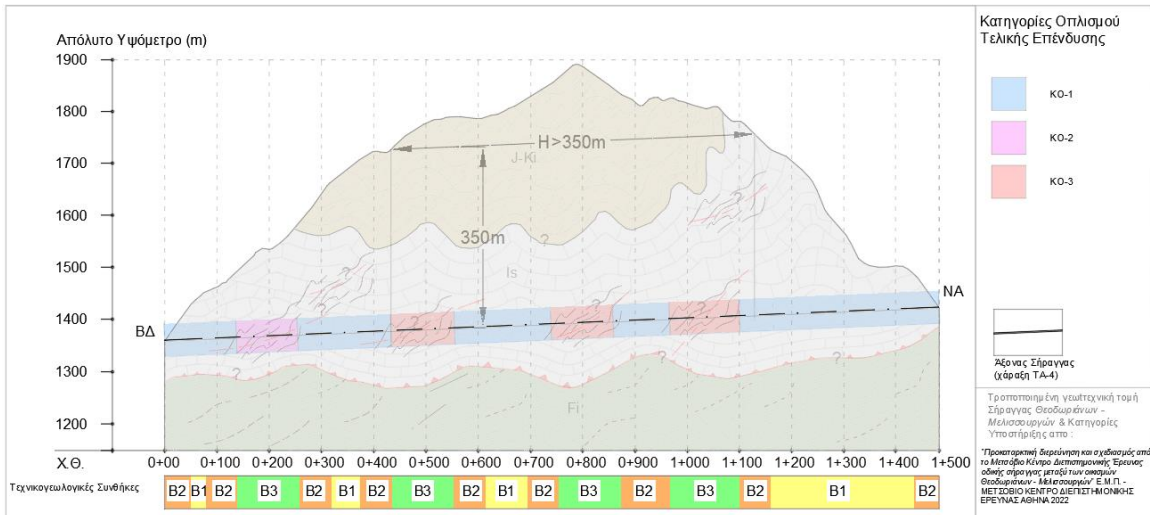
For the dimensioning of the reinforcement of the final lining in this thesis, a final stage is created in which the primary support (shotcrete and rockbolts) are deactivated and through springs, the final-lining, which is simulated with beam elements, carries the load Method (Beam - Spring Method). Then, based on the resulting internal forces values for each new beam element simulating the final lining, the SofistiK software using Eurocode 2 (EN 1992-1-1:2004) performs the calculations for the reinforcement requirement. The minimum required reinforcement concrete cover was calculated in accordance with the provisions of Eurocode 2 (EN 1992-1-1:2004).

In this thesis, an Ultimate Limit State (ULS) analysis is carried out. The reinforcement requirement shown in the summary table of results is the selected maximum value among those calculated by the program. The calculations are performed on illustrative sections for each beam element simulating the final lining.

Summary table of the final lining required reinforcement

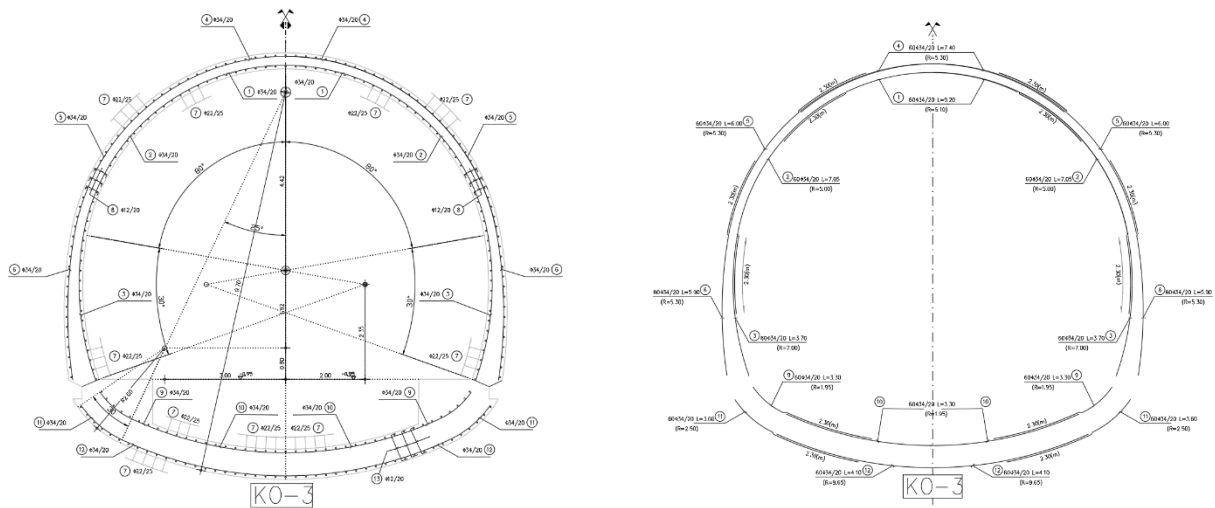
Κατηγορία Υποστήριξης	TE	Ύψος υπερκείμενων σχηματισμών H(m)	ΤΥΠΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	Αξονική δύναμη σχεδιασμού NRd [kN]	Ροπή σχεδιασμού MRd [kNm]	ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΣΕ ΟΠΛΙΣΜΟ (SOFISTIK EXPORT) As(cm ²)		
SC-I	B1	300	I	SC-I-B1-H300m	-2657,9	-379,82	4,55		
SC-II	B2	270		SC-II-B2-H270m	-95,1	-175,13	10,29		
	B1	400		SC-II-B1-H400m	40,9	-87,77	5,98		
SC-IIIa	B2	380		SC-IIIa-B2-H380m	-12,7	-279,03	18,86		
	B1	500		SC-IIIa-B1-H500m	265,2	-183,31	14,81		
SC-IIIb	B3	300		SC-IIIb-B3-H300m	-722,7	-519,99	32,12		
SC-IV	B3	400		SC-IV-B3-H400m	7706,5	-409,82	29,25		
	B2	500		SC-IV-B2-H500m	-3400,4	412,7	6,25		
SC-V	B3	500		II	παρειές, στέψη ανάστροφο τόξο	SC-V-B3-H500m	-7709,9	594,58	45,16
							-14553.6	-231.23	7,33

Assumptions and groups are formed based on the final lining required reinforcement, which integrates the results. Using the result grouping process, three categories of reinforcement for the tunnel's final lining are obtained.



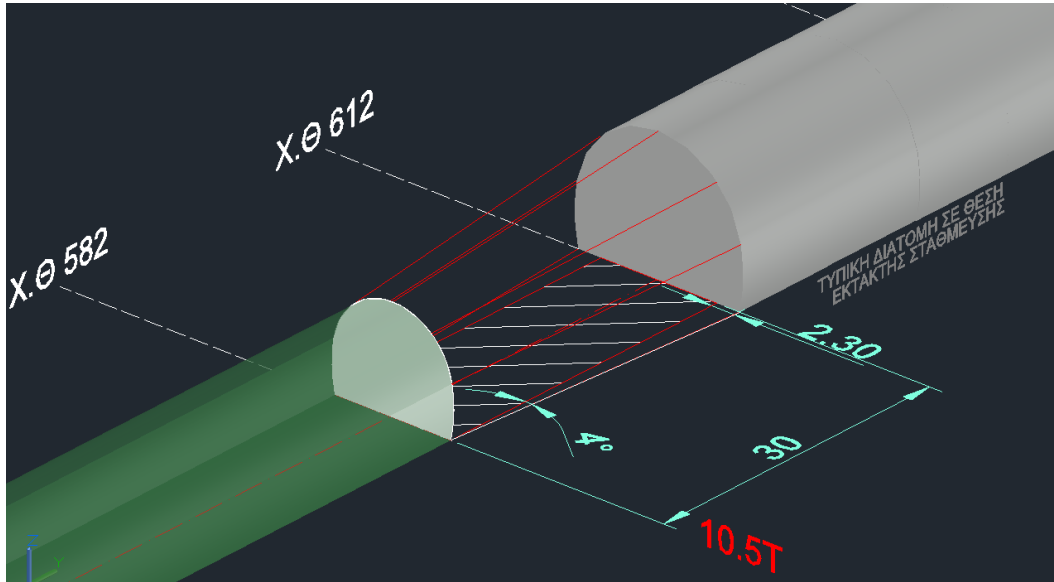
Κατηγορία Οπλισμού Τελικής Επένδυσης	ΤΥΠΟΣ	(ΤΕ)	Υψος υπερκείμενων σχηματισμών H(m)	ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΣΕ ΟΠΛΙΣΜΟ (ΣΟΦΙΣΤΙΚ ΕΧΡΟΤ) As(cm ²)	ΕΠΙΛΟΓΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ As(cm ²)	ΤΕΜΑΧΙΑ & ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΒΕΡΓΑΣ(Ø) ΑΝΑ ΤΡΕΧΟΝ ΜΕΤΡΟ (1m)	ΚΑΘΑΡΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΠΑΡΑΛΛΗΛΩΝ ΡΑΒΔΩΝ(cm)	Κιλά οπλισμού/κυβικό μέτρο (kg/m ³)
KO-1	I	B1 & B2	0<H<500	18,86	18,99	5Ø22	17,8	74,5
KO-2		B3	0<H<380	32,12	35,32	5Ø30	17	138,6
KO-3	II	B3	380<H<500	παρειές, στέψη	45,16	5Ø34	16,6	178
				ανάστροφο τόξο	7,33	45,37	5Ø34	16,6

Estimated application of Reinforcement Categories along the tunnel

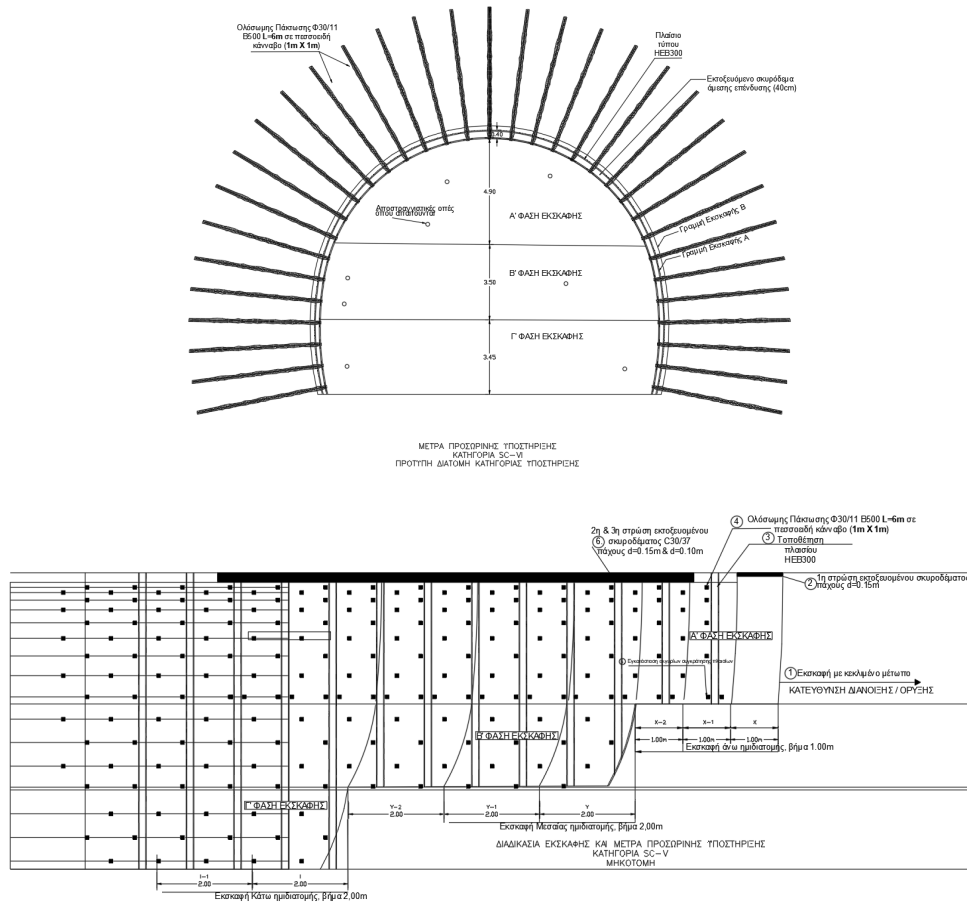


Reinforcement plans of the Reinforcement Category KO-3

An approach for the preliminary design of the temporary support of the enlarged standard cross-section in a layby position and the dimensioning of the reinforcement of the final lining in this position is also carried out.

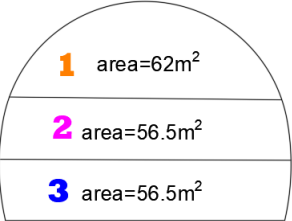
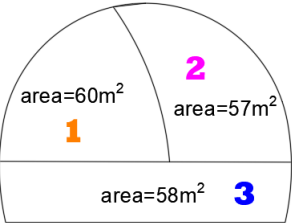
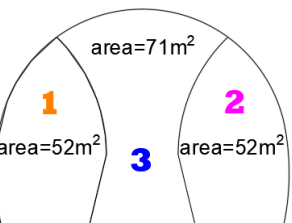


The widening of the cross-section by 2.3 m, between chainage 582 and 612.



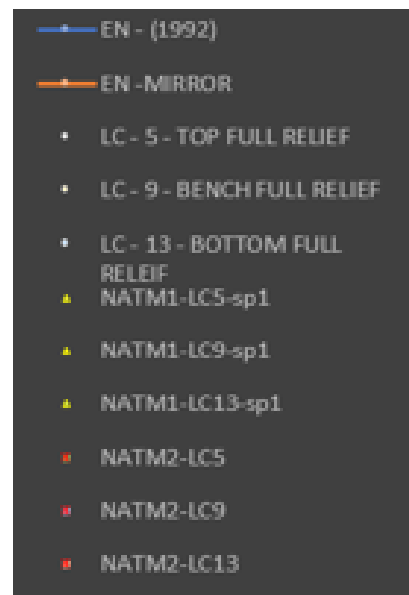
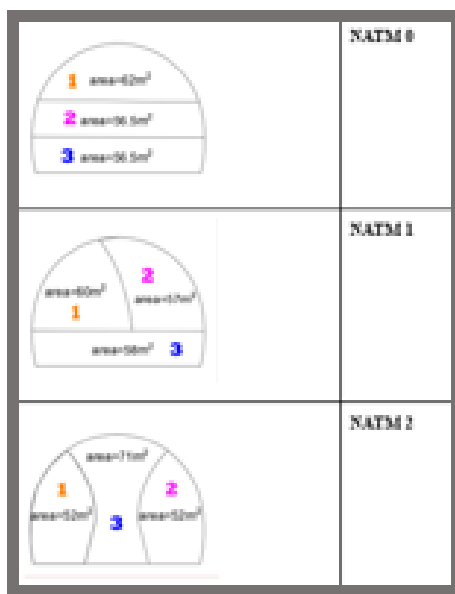
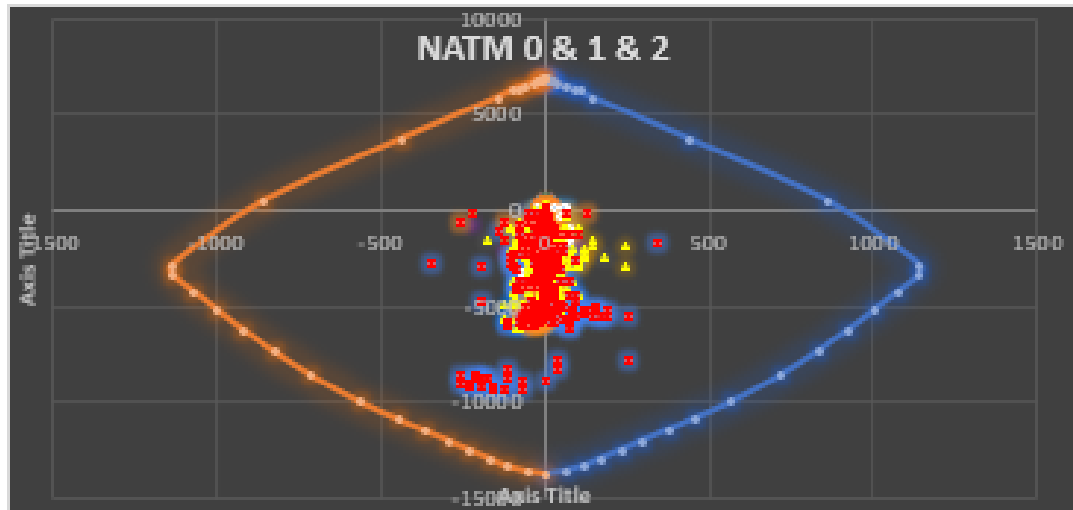
Indicative construction plans of SC-VI (extended) support category.

At the same time, an investigation is carried out for the optimal geometry and sequence of the stages of segmental excavation of the tunnel in the expanded cross-section position. In particular, three different scenarios of segmental excavation of the tunnel are presented below.

	<p>NATM 0</p>
	<p>NATM 1</p>
	<p>NATM 2</p>

Three different scenarios of segmental excavation (NATM 0, NATM, NATM 2)

The criterion for the selection is the lowest possible loading of the support system, i.e. which way of excavation, under the same conditions and the same support is required to carry smaller loads. In particular, the loading combinations on the beams of the composite section of the shotcrete are compared using interaction diagrams, with the appropriate extraction of the internal forces from the results of the three analyses.



M-N interaction diagram of the temporary lining used for the investigation of the optimal geometry and sequence of the segmental excavation.

Based on the diagrams and figures with the results of the analyses presented in detail in the thesis, the proposed layout of the segmental excavation with the index NATM 0 is considered the optimal choice.

In conclusion, based on the results of all the analyses, the tunnel construction is considered fully feasible, technically and economically viable. Reinforcement drawings of the final lining along the tunnel are provided, a temporary support system for the enlarged standard cross-section in the layby position is proposed.