



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΛΟΓΩΝ- ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**<< Προκαταρκτικός σχεδιασμός στομίων εισόδου και εξόδου
σε ορεινή σήραγγα >>**

Παπαθεοδώρου Χριστίνα

Επιβλέπων καθηγητής
Νομικός Παύλος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΛΟΓΩΝ- ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**<< Προκαταρκτικός σχεδιασμός στομίων εισόδου και εξόδου
σε ορεινή σήραγγα >>**

Παπαθεοδώρου Χριστίνα

Επιβλέπων καθηγητής : Νομικός Παύλος, καθηγητής Ε.Μ.Π.

Τριμελής εξεταστική επιτροπή

Νομικός Παύλος, Καθηγητής ΕΜΠ (επιβλέπων)

Μπενάρδος Ανδρέας, Καθηγητής ΕΜΠ

Ζευγώλης Ιωάννης, Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός σε προκαταρκτικό στάδιο των στομίων εισόδου και εξόδου σε ορεινή σήραγγα. Το θέμα απαιτούσε τον εντοπισμό της θέσης των στομίων, με σκοπό την ασφαλή μετάβαση στη υπόγεια διάνοιξη, καθώς και πρόταση μέτρων υποστήριξης αυτών, και τη μελέτη και το σχεδιασμό των ορυγμάτων (πλευρικών πρανών), καθώς και αντίστοιχων μέτρων υποστήριξης σε περίπτωση αστάθειας τους. Η σήραγγα μελέτης θα βρίσκεται στην περιφέρεια της Ηπείρου, και συγκεκριμένα στην περιοχή των Κεντρικών Τζουμέρκων. Η επιλογή του θέματος προέκυψε έπειτα από συζήτηση με τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Νομικό Παύλο και εκπονήθηκε υπό την επίβλεψή του.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την επιτυχή διεξαγωγή της διπλωματικής εργασίας είναι η εξής:

- ✓ Αναζήτηση και μελέτη βιβλιογραφίας σε θέματα που αφορούν το γενικότερο αντικείμενο των στομίων σηράγγων.
- ✓ Μελέτη και κατανόηση των υπαρχόντων στοιχείων (γεωλογικών, γεωτεχνικών, γεωμετρικών και σχεδιαστικών) από τις δοθείσες εκθέσεις της υπό μελέτης σήραγγας.
- ✓ Διαχωρισμός των ζητούμενων της εργασίας σε τρία μέρη, με σκοπό την απλοποίηση κάθε βήματος αλλά και την αναλυτικότερη επεξεργασία τους.
- ✓ Εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη θέση των στομίων, το σχεδιασμό των πρανών και την υποστήριξη αυτών που προτάθηκε από την παρούσα διαδικασία.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Νομικό Παύλο για την ανάθεση του θέματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε μέχρι το τέλος της διαδικασίας αυτής.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στην Δρ Γιούτα-Μήτρα Παρασκευή, μέλος του Εργαστηριακού Διδακτικού Προσωπικού στο Εργαστήριο Τεχνολογίας Διάνοιξης Σηράγγων του Τομέα Μεταλλευτικής, της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, η οποία με καθοδήγησε υπομονετικά και πρόθυμα σε οποιοδήποτε κόλλημα πρόκυπτε κατά την πειραματική διαδικασία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι ορεινές περιοχές της Ελλάδας αποτελούν και τις πιο απομονωμένες περιοχές της χώρας μιας και οι συνδέσεις τους με κεντρικούς οδικούς άξονες είναι ελάχιστες, σε σχέση με την έκταση αλλά και των δυνατοτήτων των περιοχών αυτών, και η κατάσταση του ήδη υπάρχοντος επαρχιακού οδικού δικτύου είναι πολύ κακή. Προκύπτει συνεπώς η αναγκαιότητα μελέτης και κατασκευής έργων που θα μπορούσαν να βελτιώσουν την κατάσταση αυτή. Ένα τέτοιο έργο αποτελεί η υπό μελέτη οδική σήραγγα Θεοδωριάνων-Μελισσουργών, η οποία θα βρίσκεται στην περιοχή των Τζουμέρκων, στην Ήπειρο. Στόχος της είναι η άμεση σύνδεση των Δήμων Κεντρικών και Βόρειων Τζουμέρκων, η οποία θα διευκολύνει τις μετακινήσεις μεταξύ των περιοχών αυτών αλλά και με τις γύρω, θα παρέχει σύνδεση με κεντρικούς οδικούς άξονες της χώρας και θα δώσει την ευκαιρία για τουριστική ανάπτυξη των ορεινών αυτών περιοχών, δημιουργώντας ένα ασφαλές και γρήγορο πέρασμα.

Η παρούσα διπλωματική εργασία, αξιοποιώντας τα δεδομένα των μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί, επιχειρεί να ασχοληθεί με τα στόμια εισόδου και εξόδου της σήραγγας αυτής, ένα θέμα το οποίο δεν έχει θιχτεί σε καμία μελέτη ως τώρα και αποτελεί την πρώτη προσπάθεια προσδιορισμού της θέσης αλλά και σχεδιασμού αυτών. Στόχος, επομένως, είναι να εντοπισθούν οι θέσεις των στομίων εισόδου και εξόδου της σήραγγας, τα σημεία που ξεκινάει δηλαδή η υπόγεια διάνοιξη αυτής, να υπολογισθεί η αναγκαία υποστήριξή τους, όντας τα πιο ευάλωτα σημεία της συνολικής διάνοιξης του έργου, καθώς επίσης και να σχεδιαστούν τα ορύγματα πλευρικά αυτής. Διαθέσιμα στοιχεία είναι η χάραξη της σήραγγας, τόσο σε μηκοτομή όσο και σε οριζοντιογραφία, ένας τοπογραφικός χάρτης της περιοχής, τα γεωλογικά στοιχεία της υπό μελέτης περιοχής και μία γεώτρηση σε κάθε στόμιο.

ABSTRACT

The mountainous regions of Greece are the most isolated areas of the country, as their connections with central roads are minimal, in relation to the size and potential of these areas, and the condition of the existing provincial road network is very poor. It is therefore necessary to design and build projects that could improve this situation. One such project is the Theodoriana-Melisourgoi road tunnel, which is currently under study and will be located in the area of Tzoumerka, in Epirus. Its aim is to provide a direct link between the municipalities of Central and Northern Tzoumerka, which will facilitate travel between these areas and with the surrounding areas, provide a connection to the main roads of the country and provide an opportunity for the development of tourism in these mountainous areas, creating a safe and fast passage.

The present thesis, utilizing the data of the studies that have been carried out, attempts to deal with the inlet and outlet of this tunnel, a subject that has not been touched in any study so far and is the first attempt to determine the location and design of these. The aim is therefore to identify the locations of the tunnel inlets and outlets, i.e. the points where the underground excavation of the tunnel begins, to calculate the necessary support for them, which are the most vulnerable points in the overall excavation of the project, and to design the lateral trenches of the tunnel. The available data are the tunnel layout, both in plan and in horizontal sections, a topographical map of the area, the geological data of the study area and a borehole in each mouth.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	8
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΣΤΟΜΙΑ ΣΗΡΑΓΓΩΝ	11
1.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	11
1.2. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΟΜΙΩΝ.....	11
1.2.1. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά έργου.....	11
1.2.2. Γεωλογικές και υδρολογικές συνθήκες.....	12
1.2.3. Μέτρα υποστήριξης	12
1.2.4. Λειτουργικότητα.....	14
1.2.5. Περιβαλλοντικές περιορισμοί.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΟΔΙΚΗ ΣΗΡΑΓΓΑ ΘΕΟΔΩΡΙΑΝΩΝ- ΜΕΛΙΣΣΟΥΡΓΩΝ	16
2.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	16
2.1.1. Προσβασιμότητα ορεινών περιοχών	16
2.1.2. Υπάρχον οδικό δίκτυο Τζουμέρκων	17
2.2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ- ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	19
2.2.1. Γεωλογικές συνθήκες	19
2.2.2. Υδρογεωλογικές συνθήκες.....	19
2.2.3. Ταξινόμηση τεχνικογεωλογικών ενοτήτων	20
2.3.1. Επιλογή χάραξης	23
2.3.2. Αναμενόμενες τεχνικογεωτεχνικές ενότητες χάραξης ΤΑ- 4	24
2.3.3. Χαρακτηριστικά χάραξης ΤΑ-4	25
2.3.4. Προκαταρκτικός γεωμετρικός σχεδιασμός σήραγγας	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΙΤΡΕΠΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΩΝ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΤΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΤΩΝ ΣΤΟΜΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΑΥΤΩΝ	27
3.1. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ	27
3.2. ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ	27
3.3 ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.....	28
ΒΗΜΑ 1^ο Σχεδιασμός στο AutoCAD της διατομής της σήραγγας.	28
ΒΗΜΑ 2^ο Εισαγωγή της διατομής από το AutoCAD στο RS2.	29
ΒΗΜΑ 3^ο Σχεδιασμός των ορίων της εκσκαφής.	30
ΒΗΜΑ 4^ο Εισαγωγή των δεδομένων του γεωυλικού- πετρώματος, μέσα στο οποίο βρίσκεται η σήραγγα.....	32

ΒΗΜΑ 5^ο Εισαγωγή σταδίων στην εκσκαφή.....	35
ΒΗΜΑ 6^ο Διαχωρισμός της διατομής της εκσκαφής σε άνω ημιδιατομή και βαθμίδα.	36
ΒΗΜΑ 7^ο Προσθήκη των κατανεμημένων φορτίων που προκύπτουν από την αποτόνωση των τάσεων λόγω εκσκαφής.	37
ΒΗΜΑ 8^ο Δημιουργία πλέγματος και διακριτοποίησης στο μοντέλο.....	41
ΒΗΜΑ 9^ο Υπολογισμός και εμφάνιση αποτελεσμάτων μοντέλων χωρίς την προσθήκη μέτρων υποστήριξης.	43
ΒΗΜΑ 10^ο Προσθήκη μέτρων υποστήριξης.....	49
ΒΗΜΑ 11^ο Υπολογισμός και εμφάνιση αποτελεσμάτων μοντέλων.	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΣΤΟΜΙΩΝ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΥΤΩΝ	64
4.1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ	64
4.2. ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.....	64
4.2.1. Εύρεση ακριβούς τοποθεσίας στομίων	64
4.2.2. Στόμιο Μελισσοουργών- βόρειο στόμιο σήραγγας.....	66
4.2.3. Στόμιο Θεοδωριάνων- νότιο στόμιο σήραγγας	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΈΛΕΓΧΟΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ	80
5.1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ	80
5.2. ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.....	80
5.2.1. Στόμιο Μελισσοουργών – βόρειο στόμιο σήραγγας	80
5.2.3. Στόμιο Θεοδωριάνων – νότιο στόμιο σήραγγας.....	82
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	84
Βιβλιογραφία	86

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες με εικόνες από την επιτόπια παρατήρηση.....	21
Πίνακας 1. Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά ενότητας B2.....	32

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Μεγάλος όγκος εκσκαφών λόγω απότομου ανάγλυφου, (Ye Fei, 2012)	11
Εικόνα 2. Διαμόρφωση ορύγματος για (α) μέτωπο κάθετο στον άξονα αλλά υπό γωνία με την παράταξη του πρανούς (β) μέτωπο λοξό στον άξονα αλλά κάθετο στην παράταξη του πρανούς, (Σοφιανός, 2018)	12
Εικόνα 3. Ροή επιφανειακού νερού κατά την κατασκευή στομίου, Κίνα, (Ye Fei, 2012)	12
Εικόνα 4. Δοκοί προπορείας, (Σοφιανός, 2018)	13
Εικόνα 5. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, (Mrampalis, n.d.).....	13
Εικόνα 6. Φρεατοπάσσαλοι, (Georevna, n.d.).....	13
Εικόνα 7. Ωθήσεις στα τοιχία, (Σοφιανός, 2018)	14
Εικόνα 8. Σήμανση πριν την είσοδο στο υπόγειο τμήμα της σήραγγας, (Kentriki odos, n.d.)	14
Εικόνα 9. Στόμιο πλήρως εναρμονισμένο με το περιβάλλον, Κίνα, (Ye Fei, 2012).....	15
Εικόνα 10. Αυτοκινητόδρομοι εθνικού οδικού δικτύου, (Tempo24.news, n.d.).....	16
Εικόνα 11. Η υπάρχουσα οδική σύνδεση Βόρειων και Κεντρικών Τζουμέρκων (κόκκινο) και η σύνδεση αυτών μέσω αγροτικών οδών (κίτρινο), (Έρευνας)	17
Εικόνα 12. Απεικόνιση των τεσσάρων εναλλακτικών χαράξεων της σήραγγας, (Έρευνας) ...	23
Εικόνα 13. Απεικόνιση των χαράξεων σε εγκάρσια διατομή, (Έρευνας)	23
Εικόνα 14. Οι εναλλακτικές χαράξεις TA-2 και TA-4, καθώς και η καθώς και η TA-1, η οποία διέρχεται εντός του φλυσχικού σχηματισμού της επώθησης και εντός μίας μεγάλης πιθανής κατολισθησης (μωβ περιοχή). Με κίτρινο σημειώνεται η επιφάνεια επώθησης όπως διαπιστώθηκε στις περιοχές των δύο στομίων, (Έρευνας).....	24
Εικόνα 15. Τεχνικογεωλογική τομή χάραξης TA-4, (Έρευνας).....	25
Εικόνα 16. Τυπική διατομή 10.5T, (Έρευνας).....	26
Εικόνα 17. Σχεδιασμός γραμμής εκσκαφής Α της διατομής 10.5T στο AutoCAD	28
Εικόνα 18. Τυπική διατομή χρήσης της σήραγγας για διατομή 10.5T, (Έρευνας)	28
Εικόνα 19. Εισαγωγή διατομής από το AutoCAD στο RS2	29
Εικόνα 20. Ορισμός διατομής ως όριο εκσκαφής	29
Εικόνα 21. Θέσπιση ορίων με την εντολή "box"	30
Εικόνα 22. Δημιουργία ορίων εξαπλάσιων της διαμέτρου της διατομής.....	31
Εικόνα 23. Διαμόρφωση άνω εξωτερικού ορίου εκσκαφής	31
Εικόνα 24. Προσδιορισμός γεωτεχνικών χαρακτηριστικών του πετρώματος	32
Εικόνα 25. Εισαγωγή βασικών συνθηκών πετρώματος	33
Εικόνα 26. Επιλογή κριτηρίου αστοχίας.....	33
Εικόνα 27. Εισαγωγή παραμέτρων σχετικά με την αντοχή του πετρώματος	34
Εικόνα 28. Παράμετροι σχετιζόμενοι με τις υδρολογικές συνθήκες του πετρώματος	34
Εικόνα 29. Μετάβαση στις ρυθμίσεις του μοντέλου	35
Εικόνα 30. Εισαγωγή σταδίων στο μοντέλο	36
Εικόνα 31. Εικονίδιο "Add Stage" στην επιφάνεια εργασίας	36
Εικόνα 32. Σχεδιασμός δύο σταδίων εκσκαφής.....	37
Εικόνα 33. Εντολές για την προσθήκη των φορτίων λόγω αποτόνωσης των τάσεων	38
Εικόνα 34. Προσθήκη φορτίου στην άνω ημιδιατομή.....	38

Εικόνα 35. Προσθήκη συντελεστή μείωσης της εσωτερικής πίεσης της άνω ημιδιατομής σε όλα τα στάδια του μοντέλου	39
Εικόνα 36. Επιτυχής προσθήκη του φορτίου στην άνω ημιδιατομή	39
Εικόνα 37. Εκκαφή της άνω ημιδιατομής	40
Εικόνα 38. Εισαγωγή τιμών συντελεστή μείωσης εσωτερικής πίεσης στη βαθμίδα	40
Εικόνα 39. Εκκαφή της βαθμίδας.....	41
Εικόνα 40. Εισαγωγή πλέγματος και διακριτοποίησης στο μοντέλο	42
Εικόνα 41. Προσθήκη περιορισμών στις μετακινήσεις του μοντέλου.....	42
Εικόνα 42. Προσθήκη επιτρεπτών μετακινήσεων.....	43
Εικόνα 43. Τελική μορφή μοντέλου έχοντας προσδιοριστεί επιθυμητές μετακινήσεις ...	43
Εικόνα 44. Μοντέλο 1 (1Dx6Dx6D), στάδιο υπολογισμού δεδομένων.....	44
Εικόνα 45. Μοντέλο 1 (1Dx6Dx6D), στάδιο μετάβασης στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων	45
Εικόνα 46. Μοντέλο 1 (1Dx6Dx6D), συνολικές μετατοπίσεις στο τελευταίο στάδιο	45
Εικόνα 47. Μοντέλο 2 (7mxDx6D), στάδιο υπολογισμού δεδομένων.....	46
Εικόνα 48. Μοντέλο 2 (7mxDx6D), στάδιο μετάβασης στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων	46
Εικόνα 49. Μοντέλο 2 (7mxDx6D), συνολικές μετατοπίσεις στο τελευταίο στάδιο.....	47
Εικόνα 50. Μοντέλο 3 (5.5mxDx6D), στάδιο υπολογισμού δεδομένων.....	47
Εικόνα 51. Μοντέλο 3 (5mxDx6D), στάδιο μετάβασης στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων	48
Εικόνα 52. Μοντέλο 3 (5mxDx6D), συνολικές μετατοπίσεις στο τελευταίο στάδιο.....	48
Εικόνα 53. Προσδιορισμός χαρακτηριστικών αγκυρίων.....	49
Εικόνα 54. Επιλογή τύπου αγκυρίου	50
Εικόνα 55. Εντολή για χρήση συνήθων τύπων αγκυρίων	50
Εικόνα 56. Προσδιορισμός εφελκυστικής αντοχής και μέτρου ελαστικότητας αγκυρίων	51
Εικόνα 57. Προσδιορισμός ιδιοτήτων σκυροδέματος	52
Εικόνα 58. Προσδιορισμός τύπου σκυροδέματος	52
Εικόνα 59. Επιλογή τύπου οπλισμού του σκυροδέματος	53
Εικόνα 60. Προσδιορισμός βήματος	53
Εικόνα 61. Προσδιορισμός αντόχης σε θλίψη σκυροδέματος.....	54
Εικόνα 62. Προσθήκη μοτίβου αγκυρίων στην άνω ημιδιατομή.....	54
Εικόνα 63. Προσθήκη βασικών πληροφοριών αγκυρίων	55
Εικόνα 64. Τελική τοποθέτηση αγκυρίων στην άνω ημιδιατομή.....	55
Εικόνα 65. Προσθήκη σκυροδέματος στην άνω ημιδιατομή.....	56
Εικόνα 66. Επιλογή τύπου σκυροδέματος	56
Εικόνα 67. Αποδοχή της περιοχής τοποθέτησης του σκυροδέματος	57
Εικόνα 68. Τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης σε όλη την διατομή	57
Εικόνα 69. Στάδιο 1	58
Εικόνα 70. Στάδιο 2	58
Εικόνα 71. Στάδιο 3	59
Εικόνα 72. Στάδιο 4	59
Εικόνα 73. Στάδιο 5	60
Εικόνα 74. Στάδιο 6	60
Εικόνα 75. Στάδιο 7	61
Εικόνα 76. Στάδιο 8	61
Εικόνα 77. Στάδιο 9	62
Εικόνα 78. Στάδιο υπολογισμού δεδομένων στο τελικό μοντέλο.....	62
Εικόνα 79. Τελικό μοντέλο (7mxDx6D), συνολικές μετατοπίσεις με μέτρα υποστήριξη.....	63

Εικόνα 80. Μηκοτομή σήραγγας	64
Εικόνα 81. Μεγέθυνση μηκοτομής, αποστάσεις σχεδιασμού γραμμής εκσακφής Α' στην ευρύτερη περιοχή του βόρειου στομίου της σήραγγας	65
Εικόνα 82. . Μεγέθυνση μηκοτομής, αποστάσεις σχεδιασμού γραμμής εκσακφής Α' στη ευρύτερη περιοχή του νοτίου στομίου της σήραγγας.....	65
Εικόνα 83. Υπολογισμός απόστασης μέχρι την θέση της υπόγειας διάνοιξης	66
Εικόνα 84. Γέμισμα με κίτρινο του πετρώματος που πρόκειται να διαμορφωθεί σε βαθμίδες, βόρειο στόμιο.....	66
Εικόνα 85. Μεγέθυνση του προς διαμόρφωση σε βαθμίδες πετρώματος, βόρειο στόμιο ...	67
Εικόνα 86. Οριζοντιογραφία της χάραξης της σήραγγας.....	67
Εικόνα 87. Χάρτης ισοψών της περιοχής μελέτης	68
Εικόνα 88. Αποτύπωση χάρτη ισοψών στο Google Earth	68
Εικόνα 89. Αποτέλεσμα συνδυασμού των δύο χαρτών	69
Εικόνα 90.Απεικόνιση τομών βόρειου στομίου με μωβ χρώμα	69
Εικόνα 91. . Τομή στη χιλιομετρική θέση 0+013m	70
Εικόνα 92.Τομή στη χιλιομετρική θέση 0+000m	70
Εικόνα 93. Τομή στη χιλιομετρική θέση 0+006m.....	71
Εικόνα 94. Διαμόρφωση χώρου στη θέση 0+000m, εναλλακτική 2η	72
Εικόνα 95. Διαμόρφωση χώρου στη θέση 0+000m, εναλλακτική 1η	72
Εικόνα 96. Διαμόρφωση βαθμίδων στη θέση 0+006m, προβολή διατομής σήραγγας στο βάθος.....	73
Εικόνα 97. Διαμόρφωση βαθμίδων στη θέση 0+006m	73
Εικόνα 98. Διαμόρφωση βαθμίδων στη θέση 0+0013m	74
Εικόνα 99. Γέμισμα με κίτρινο του πετρώματος που πρόκειται να διαμορφωθεί σε βαθμίδες, νότιο στόμιο	74
Εικόνα 100. Μεγέθυνση του προς διαμόρφωση σε βαθμίδες πετρώματος, νότιο στόμιο....	75
Εικόνα 101. Απεικόνιση τομών νοτίου στομίου με μωβ χρώμα	75
Εικόνα 1023. Τομή στη χιλιομετρική θέση 1+494.5m	76
Εικόνα 103. Τομή στη χιλιομετρική θέση 1+506m.....	76
Εικόνα 1044. Τομή στη χιλιομετρική θέση 1+482.6m.....	77
Εικόνα 105. Διαμόρφωση βαθμίδων στην θέση 1+494.5m, εναλλακτικός σχεδιασμός με επιχωμάτωση	78
Εικόνα 106. Διαμόρφωση βαθμίδων στη θέση 1+506m	78
Εικόνα 107. Διαμόρφωση βαθμίδων στην θέση 1+482.6m.....	79
Εικόνα 108. Διαμόρφωση βαθμίδων στην θέση 1+482.6m.....	79
Εικόνα 109. Διαμόρφωση βαθμίδων στην θέση 1+494.5m, εναλλακτικός σχεδιασμός με βαθμίδες και στις δύο πλευρές.....	79
Εικόνα 110. Έλεγχος για κυκλική αστοχία σε ξηρές συνθήκες, στόμιο Μελισσουργών.....	81
Εικόνα 111. Έλεγχος για κυκλική αστοχία σε πλήρως κορεσμένες συνθήκες, στόμιο Μελισσουργών	81
Εικόνα 112. . Έλεγχος για κυκλική αστοχία σε περίπτωση σεισμού, στόμιο Μελισσουργών	82
Εικόνα 113. Έλεγχος για κυκλική αστοχία σε ξηρές συνθήκες, στόμιο Θεοδωριάνων.....	82
Εικόνα 114. Έλεγχος για κυκλική αστοχία σε πλήρες κορεσμένες συνθήκες, στόμιο Θεοδωριάνων.....	83
Εικόνα 115. Έλεγχος για κυκλική αστοχία σε περίπτωση σεισμού, στόμιο Θεοδωριάνων....	83
Εικόνα 116. Μέτρα υποστήριξης κατηγορίας SC-IIIΑ.....	84

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΣΤΟΜΙΑ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

1.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



Εικόνα 1. Στάδιο κατασκευής στομιών, σήραγγα Κλόκοβας, (Agrinio Press, χ.χ.)

ορατότητας των οδηγών, οι δυσκολίες στην κατασκευή, διότι έχουν να αντιμετωπίσουν τις δυσμενέστερες συνθήκες γεωτεχνικά αλλά και το εκάστοτε ανάγλυφο της περιοχής, και τέλος την αισθητική εναρμόνιση με το περιβάλλοντα χώρο, μιας και αποτελεί το πιο εμφανές μέρος της σήραγγας.

Τα στόμια μίας σήραγγας είναι το σημείο σύνδεσης του υπόγειου με του επίγειου τμήματος αυτής. Ο σχεδιασμός τους αλλά και η κατασκευή τους αποτελούν απαιτητικές διαδικασίες, καθώς πρέπει να ληφθούν υπόψη οι τεχνικές λειτουργίες που εξυπηρετεί ένα στόμιο, που ποικίλουν από την προστασία έναντι καταπτώσεων βράχων έως και τη μέριμνα για σωστές συνθήκες



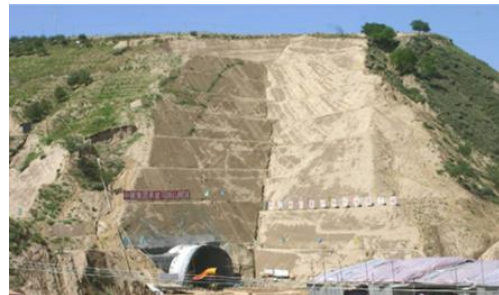
Εικόνα 2. Αισθητική εναρμόνιση στομιών με το περιβάλλον, Ιταλία, (D Peila, 2002)

1.2. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΟΜΙΩΝ

Ο σχεδιασμός ενός στομίου δεν αποτελεί μία τυποποιημένη συνταγή που ακολουθείται κατά γράμμα σε κάθε περίπτωση, αλλά αντιθέτως, λόγω των διαφόρων παραγόντων που τον επηρεάζουν, αποτελεί κάθε φορά μία νέα περίπτωση. Η διαμόρφωση, συνεπώς, ενός στομίου επηρεάζεται άμεσα κάθε φορά από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του έργου, από τις γεωλογικές συνθήκες που συναντώνται στην περιοχή, από τη δυνατότητα μόρφωσης κατάλληλων φορέων αντιστήριξης, από τις τεχνικές λειτουργίες που οφείλει να εξυπηρετήσει και από τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς.

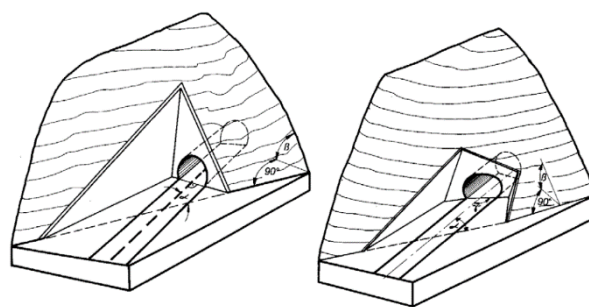
1.2.1. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά έργου

Το ανάγλυφο της περιοχής και η χάραξη της οδού της σήραγγας σε σχέση με το στόμιο είναι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό. Ένα έντονα επικλινές ανάγλυφο έρχεται να αυξήσει τον όγκο των απαιτούμενων εκσκαφών, διακινδυνεύοντας σε πρώτη φάση την ισορροπία του πρανούς και δημιουργώντας σε δεύτερη φάση αντισυμβατικά έργα εκσκαφών. Ταυτόχρονα, μία λοξή προς την παράταξη του πρανούς



Εικόνα 1. Μεγάλος όγκος εκσκαφών λόγω απότομου ανάγλυφου, (Ye Fei, 2012)

χάραξη, δημιουργεί εκσκαφές ασύμμετρες προς τον άξονα της οδού, δημιουργώντας πάλι μεγαλύτερο όγκο εκσκαφές, αλλά κυρίως δυσκολίες στην δυνατότητα ανάληψης των ωθήσεων του εδάφους και άρα στη σταθεροποίηση του πρανούς.



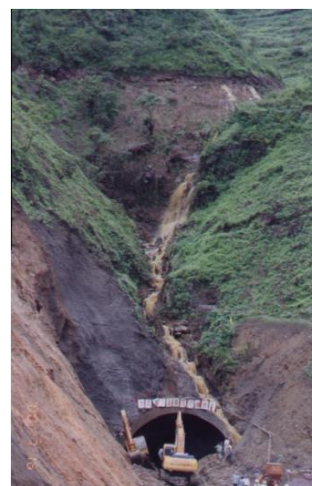
α. Μέτωπο κάθετο στον άξονα

β. Μέτωπο λοξό στον άξονα

Εικόνα 2. Διαμόρφωση ορύγματος για (α) μέτωπο κάθετο στον άξονα αλλά υπό γωνία με την παράταξη του πρανούς (β) μέτωπο λοξό στον άξονα αλλά κάθετο στην παράταξη του πρανούς, (Σοφιανός, 2018)

1.2.2. Γεωλογικές και υδρολογικές συνθήκες

Οι γεωλογικές συνθήκες έχουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των στομιών και αυτό γιατί η διάνοιξη των μετώπων των στομιών έχει να αντιμετωπίσει τα επιφανειακά τμήματα του εκάστοτε πετρώματος. Αυτό σημαίνει πως, σε σχέση με τα βαθύτερα τμήματα του πετρώματος, αυτό συναντάται αποσαθρωμένο, άρα με μειωμένη αντοχή, καθώς και πιο χαλαρωμένο και κατακερματισμένο, λόγω των πιο ανοικτών διακλάσεων και των εκτονώσεων των κατακλάσεων. Κορήματα κλιτύος, αποθέσεις, κατολισθήσεις αλλά και ερπυσμός του πρανούς δύναται να εντοπισθούν. Επιπλέον, μεγάλη σημασία έχει η ύπαρξη ρηγμάτων και κυρίως η ενεργότητά τους. Όλα τα παραπάνω είναι συνθήκες που δυσχεραίνουν την ευστάθεια των πρανών και άρα του στομιού και της σήραγγας γενικότερα.



Εικόνα 3. Ροή επιφανειακού νερού κατά την κατασκευή στομιού, Κίνα, (Ye Fei, 2012)

Κομβικός παράγοντας είναι, επίσης, και η ύπαρξη νερών στο έργο. Σε σημεία όπου υπάρχει ροή νερού, ειδικά σε συνδυασμό με χαλαρούς σχηματισμούς, θα πρέπει να απορρίπτονται σαν πιθανές θέσεις στομιών, διότι υπάρχει κίνδυνος αστοχιών.

1.2.3. Μέτρα υποστήριξης

1.2.3.1. Προ-όρυγμα

Κατά κύριο κανόνα η διαμόρφωση των στομιών προηγείται της έναρξης της υπόγειας διάνοιξης, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν μπορεί να συμβεί και το ανάποδο. Η όρυξή τους πρέπει να γίνεται σε βήματα τέτοια ώστε να μην υπάρξει διέγερση της ώθησης του πρανούς. Τα βήματα αυτά καθορίζονται από τις γεωλογικές συνθήκες και οι επιφάνειες αυτές εκσκαφής που δημιουργούνται θα πρέπει να υποστηρίζονται άμεσα, ώστε να αποκλείεται ο ερπυσμός της γεωμάζας.

Τα μέτρα υποστήριξης που επιλέγονται κάθε φορά συναρτώνται με τις αναμενόμενες γεωτεχνικές συνθήκες. Σε ένα υγιές πέτρωμα μερικά ακύρια στο πάνω μέρος του μετώπου μπορεί να αρκούν για την σταθεροποίηση του αυτού, ενώ σε ένα πιο κακής ποιότητας πέτρωμα περαιτέρω μέτρα, όπως η σταδιακή διεύρυνση της σήραγγας να είναι αναγκαία.

Τέλος, δοκοί προπορείας, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, κατασκευή φρεατοπασσάλων, προενίσχυση με τσιμεντενέσεις, μείωση της κλίσης των πρανών ή και τράβηγμα της τελικής επένδυσης προς τα έξω και επίχωση αυτής είναι μερικά μέτρα που δύναται να χρησιμοποιηθούν σε εδαφικούς σχηματισμούς.



Εικόνα 4. Δοκοί προπορείας, (Σοφιανός, 2018)



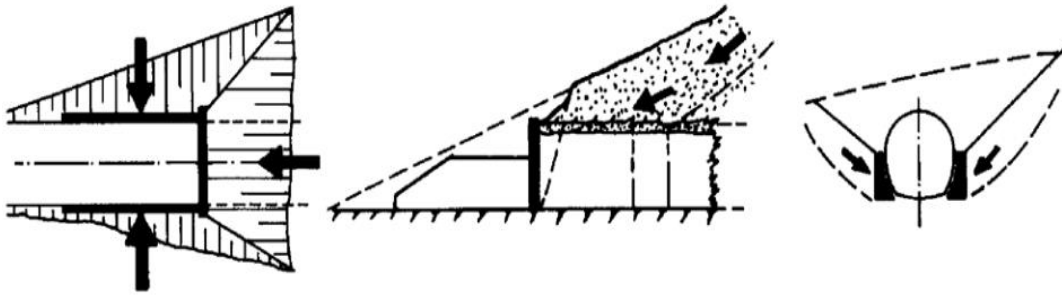
Εικόνα 5. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, (Μραμπάλις, n.d.)



Εικόνα 6. Φρεατοπάσσαλοι, (Geoerevna, n.d.)

1.2.3.2. Τοιχία στομίων

Τα τοιχία στην περιοχή των στομίων είναι κατασκευές που αποσκοπούν στην εξυπηρέτηση μιας σειράς λειτουργιών. Αρχικά, όντας προέκταση της επένδυσης προς τα έξω, αντιστέκονται στις ερπυστικές ωθήσεις των περιβαλλόντων πετρωμάτων, αναλαμβάνουν ένα μέρος της ώθησης αυτής στα πλευρά του ορύγματος και οδηγούν την ερπυστική ώθηση του πρανούς στο υπέδαφος, γι' αυτό το λόγο απαιτούν και αποτελεσματική θεμελίωση. Ταυτόχρονα, αντιστέκονται στην προς τα έξω ώθηση των πρώτων πλαισίων, παρέχουν προστασία έναντι των καταπτώσεων λίθων και, τέλος, δίνουν



Εικόνα 7. Ωθήσεις στα τοιχία, (Σοφιανός, 2018)

ένα τέλος στην επένδυση και τη στεγάνωση της σήραγγας.

1.2.4. Λειτουργικότητα

Σε μία πολύ γενικευμένη εικόνα, οι τεχνικές λειτουργίες ενός στομίου σχετίζονται με την οδική ασφάλεια και τη μέριμνα της περιοχής κατασκευής του έργου.

1.2.4.1. Οδική ασφάλεια

Η οδική ασφάλεια περιλαμβάνει όλους εκείνους τους παράγοντες που ασχολούνται και εξασφαλίζουν την ασφαλή οδήγηση, μετακίνηση και μεταφορά κατά μήκος της όδευσης στη σήραγγα. Επομένως, ένα στόμιο πρέπει να διαμορφώνεται έτσι ώστε να παρέχει τον κατάλληλο φωτισμό, επιτρέποντας στους οδηγούς την ασφαλή μετάβαση από την ανοικτοσύνη της υπαίθρου στο σκοτάδι μίας τεχνητά φωτισμένης σήραγγας, να παρέχει



Εικόνα 8. Σήμανση πριν την είσοδο στο υπόγειο τμήμα της σήραγγας, (Kentriki

επαρκή οδική σήμανση, καθοδηγητική χωρίς υπερβολές σε αυτή και, τέλος, να αποφεύγει την ύπαρξη μεγάλων δομημάτων πλησίον του, αποφεύγοντας την απόσπαση προσοχής των οδηγών.

1.2.4.2. Εξυπηρέτηση περιοχής έργου

Οι περιοχές των στομίων, όντας τα εμφανή σημεία της σήραγγας, χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής κατά τη λειτουργία αυτής. Αρχικά, πρέπει να σχεδιάζονται μέτρα για την μείωση του θορύβου, ειδικά όταν εδράζονται σε κατοικημένες περιοχές. Έπειτα, επειδή

η κυκλοφορία πάνω από τα στόμια δεν είναι επιθυμητή, η περίφραξη αυτών, με διακριτικό και εναρμονισμένο με τον περιβάλλοντα χώρο τρόπο, είναι αναγκαία. Τέλος, ιδιαίτερη σημασία οφείλει να δοθεί και στην βλάστηση, στην υπάρχουσα και στην πρόσθετη, ώστε να συνδέει όμορφα τα στόμια με το τοπίο, ενώ ταυτόχρονα να εξυπηρετεί και λειτουργίες σκιάστρου, περιορίζοντας την πιθανότητα τύφλωσης. Σε κάθε περίπτωση, η πρόσθετη φύτευση, πρέπει να επιλέγεται κατάλληλα, λαμβάνοντας υπόψη το τοπικό κλίμα, με σκοπό να βοηθάει στην εύρυθμη λειτουργία της σήραγγας και όχι να δημιουργεί προβλήματα.

1.2.5. Περιβαλλοντικές περιορισμοί

Τα στόμια οφείλουν να υπακούουν σε ορισμένους περιβαλλοντικούς περιορισμούς. Αδιαμφισβήτητο ένα όρυγμα στομίου μοιάζει με ξένο σώμα στο περιβάλλοντα χώρο, αφού πρόκειται για μία κατασκευή που διαφέρει σε μορφή και χρώμα από αυτό, δημιουργώντας έτσι μία αντιαισθητική εικόνα. Επομένως, ένας προσεγμένος, καλαίσθητος σχεδιασμός είναι απαραίτητος. Όσον το δυνατό μικρότερο όρυγμα, εναρμόνιση με το ανάγλυφο και χρώματα που να συμφωνούν με αυτά της περιοχής είναι κάποιες βασικές παράμετροι.



Εικόνα 9. Στόμιο πλήρως εναρμονισμένο με το περιβάλλον, Κίνα, (Ye Fei, 2012)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΟΔΙΚΗ ΣΗΡΑΓΓΑ ΘΕΟΔΩΡΙΑΝΩΝ- ΜΕΛΙΣΣΟΥΡΓΩΝ

2.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1.1. Προσβασιμότητα ορεινών περιοχών

Στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια να βελτιωθεί η προσβασιμότητα στην επικράτεια με τη υλοποίηση μεγάλων έργων υποδομής. Η γέφυρα του Ρίου-Αντιρρίου, στο παρελθόν, η Ιονία και η Εγνατία οδός αποτελούν τέτοια παραδείγματα. Δυστυχώς όμως, η βελτίωση της προσβασιμότητας που



επιζητάται από τέτοια έργα δεν είναι

Εικόνα 10. Αυτοκινητόδρομοι εθνικού οδικού δικτύου, (Tempo24.news, n.d.)

ομοιόμορφη, αφού μπορεί να βοήθησαν σημαντικά τις περιοχές της Δυτικής Ελλάδας που βρίσκονται πλησίον των έργων αυτών, περιοχές πιο απομακρυσμένες δεν επωφελούνται ουσιαστικά από αυτά. Ίσα ίσα ωθούνται χειρότερα στην απομόνωση.

Οι ορεινές περιοχές της Ελλάδας, επομένως, είναι αυτές που αντιμετωπίζουν τα περισσότερα αναπτυξιακά και πληθυσμιακά προβλήματα, αποτελώντας από τους πιο απομονωμένους οικισμούς της χώρας. Τόσο η δυσκολία πρόσβασης σε αυτές όσο και μετακίνησης μεταξύ αυτών, τονώνουν την τάση για εγκατάλειψη και απομόνωση, αλλά και βάζουν εμπόδια στις αναπτυξιακές προοπτικές των περιοχών αυτών. Τέτοιες περιοχές χρειάζονται σύνδεση με μεγάλους κεντρικούς οδικούς άξονες, ώστε να προσελκύουν ξένο κόσμο, αλλά κυρίως ενίσχυση των οδικών υποδομών σε τοπικό επίπεδο, με σκοπό να διευκολύνουν και να κρατήσουν τον ήδη υπάρχοντα πληθυσμό τους.

Η περιοχή των Τζουμέρκων στην Ήπειρο αποτελεί τυπική περίπτωση όπου τα οφέλη των μεγάλων έργων υποδομής δεν ωφέλησαν την υφιστάμενη κατάσταση. Η σύνδεση με την Ιονία οδό βοηθάει την προσβασιμότητα της περιοχής αδιαμφισβήτητα, αλλά δεν είναι απίθανο να λειτουργήσει αντίστροφα ενισχύοντας ακόμα περισσότερο την τάση για εγκατάλειψη μιας και η περιοχή τα τελευταία χρόνια είναι αρκετά αδρανής- ανενεργή. Η ανάπτυξη των υποδομών σε τοπικό επίπεδο, περιλαμβάνοντας τόσο υποδομές μεταφορών όσο υγείας και εκπαίδευσης, είναι και η κύρια λύση για την ουσιαστική ενεργοποίηση των περιοχών αυτών.

2.1.2. Υπάρχον οδικό δίκτυο Τζουμέρκων

Η έντονη μορφολογία και η ύπαρξη πολυάριθμων φυσικών εμποδίων, όπως ποτάμια και ορεινοί όγκοι, είναι και αυτά που καθορίζουν την μορφή του οδικού δικτύου της περιοχής. Με σκοπό να προσαρμόζονται στο ανάγλυφο της περιοχής, τμήματα του οδικού δικτύου συναντώνται με υψηλές κλίσεις, ακατάλληλες- επικίνδυνες αλληλουχίες καμπυλών-ευθυγραμμίων, μικρές ακτίνες



καμπυλότητας, θέσεις περιορισμένης ορατότητας και πολλά άλλα. Πέρα από την μορφή του οδικού δικτύου αυτού καθαυτού, στις περιοχές

Εικόνα 2. Υπάρχον οδικό δίκτυο Τζουμέρκων, (Rotan news,



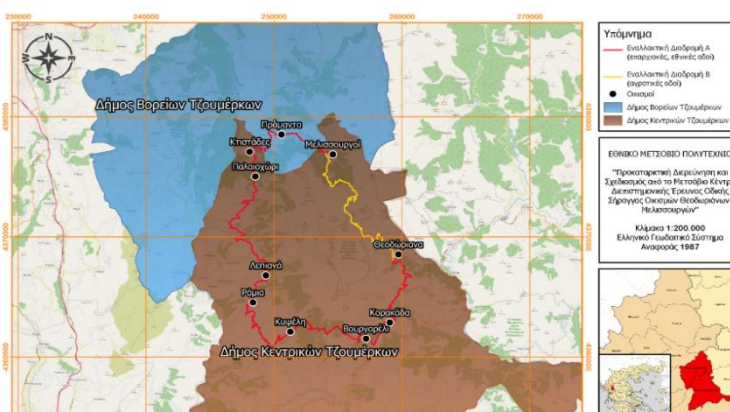
Εικόνα 3. Κατολίσηση λόγω έντονων καιρικών συνθηκών, (Proinos logos, n.d.)

αυτές εξαιτίας των δύσκολων χειμώνων που αντιμετωπίζουν, με έντονες βροχοπτώσεις, παγετούς αλλά και χιόνια, και σε συνδυασμό με την γεωλογία της περιοχής, οι μετακινήσεις δυσχεραίνονται ακόμα περισσότερο αφού δημιουργούνται συχνά καταπτώσεις στο κατάστρωμα του οδοστρώματος. Από όσα

προαναφέρθηκαν είναι εμφανές πως στην περιοχή των Τζουμέρκων

συναντάται ένα οδικό δίκτυο στο οποίο η ευχερής μετακίνηση είναι περιορισμένη και σίγουρα απαιτεί μεγάλο χρόνο μετακίνησης.

Η οδική σήραγγα που μελετάται αναπτύσσεται εξ' ολοκλήρου στον δήμο Κεντρικών Τζουμέρκων και έρχεται να ενώσει τους οικισμούς των Θοδωριανών και Μελισσοουργών και κατ' επέκταση τους δήμους Κεντρικών και Βόρειων Τζουμέρκων. Η μέχρι τώρα σύνδεση των οικισμών αυτών ακολουθεί μία κυκλική διαδρομή (κόκκινη διαδρομή), η οποία αποτελείται από το οδικό δίκτυο που περιγράφηκε παραπάνω, απαιτώντας έτσι για αυτά τα περίπου 75 χιλιόμετρα χρόνο μετακίνησης περίπου 2,5 ώρες. Αυτή η αδυναμία σύνδεσης των Κεντρικών και Βόρειων Τζουμέρκων στο βόρειο-ανατολικό σημείο επαφής τους είναι και το βασικό πρόβλημα της περιοχής, αφού σε τοπικό επίπεδο η μετακίνηση από δήμο σε δήμο ακολουθώντας την



Εικόνα 11. Η υπάρχουσα οδική σύνδεση Βόρειων και Κεντρικών Τζουμέρκων (κόκκινο) και η σύνδεση αυτών μέσω αγροτικών οδών (κίτρινο), (Ερευνας)

κυκλική διαδρομή αποτελεί μία ταλαιπωρία, αλλά επίσης επειδή ούτε η σύνδεση από Ιονία και Εγνατία οδό που φθάνει μέχρι τα Πράμαντα μπορεί διοχετευθεί προς τα Κεντρικά Τζουμέρκα αλλά και ούτε η εθνική οδός Τρικάλων- Άρτας μπορεί να συνδεθεί με τα Βόρεια Τζουμέρκα, συμβάλλοντας στην ανισόμετρη ανάπτυξη των δύο δήμων. Την ανάγκη για την δημιουργία της σύνδεσης αυτής, που έρχεται να υλοποιήσει η οδική σήραγγα Μελισσουργών- Θεωριανών ολοκληρώνοντας τον << δακτύλιο των Τζουμέρκων >>, είχε προσπαθήσει να καλύψει η διάνοιξη ενός χωμάτινου δρόμου στη δεκαετία του '80, ο οποίος όμως δεν θα μπορούσε να αποτελέσει πραγματική σύνδεση των Δήμων αυτών.

2.2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ- ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.2.1. Γεωλογικές συνθήκες

Στην περιοχή που μελετάται να κατασκευαστεί η σήραγγα συναντώνται οι γεωλογικοί σχηματισμοί των γεωτεκτονικών ενοτήτων (ζωνών) Πίνδου και Ιονίου. Η πρώτη αποτελείται από σειρές ασβεστολιθικών σχηματισμών, ηλικίας Τριαδικού- Ιουρασικού, ενώ η δεύτερη από φλύσικούς σχηματισμούς. Βασικό χαρακτηριστικό της περιοχής είναι η μεγάλη τεκτονική επαφή, εδώ επώθηση, της Πίνδου επί της Ιονίας ενότητας, η οποία και έχει καταπονήσει ισχυρά τους σχηματισμούς των δύο ενοτήτων.

Η γεωμετρία της μεγάλης αυτής τεκτονικής επαφής δεν είναι σαφής. Μια επαφή τέτοιου είδους είναι αρκετά ακανόνιστη με την κλίση του επιπέδου της να μεταβάλλεται συνεχώς. Στους χάρτες απεικονίζεται η κύρια επαφή, ωστόσο είναι αδύνατο να προσδιοριστεί επακριβώς ο τρόπος με τον οποίο αυτή πτυχώνεται ή διακόπτεται σε βάθος και κατά την διεύθυνση της κύριας κίνησης.

Ασβεστολιθικοί σχηματισμοί του του Τριαδικού (ασβεστόλιθοι με ίασπι) με λεπτοπλακώδη μορφή και κατά θέσεις ενστρώσεις πηλιτών είναι οι σχηματισμοί που εκτιμάται ότι θα συναντηθούν στην περιοχή μελέτης. Οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί εμφανίζονται πολυπτυχωμένοι με ισοκλινή δομή και ανορθωμένα στρώματα ως αποτέλεσμα της μορφής τους αλλά και της παρουσίας των πιο <<όλκιμων>> στρωμάτων πηλιτών. Έτσι, σε βάθος εμφανίζονται σε μεγάλο πάχος. Στην ζώνη επώθησης, ωστόσο, είναι τόσο ισχυρά καταπονημένοι, που συναντώνται πολύ εντονότερα κερματισμένοι μέχρι και χωρίς δομή.

Παράλληλα, οι σχηματισμοί του φλύσχη της περιοχής, που συνίστανται από ιλυολιθικούς σχηματισμούς με ενστρώσεις ψαμμιτικών πάγκων, εμφανίζονται έντονα πτυχωμένοι και διατμημένοι. Η δομή τους δε, εξαιτίας του ισχυρού τεκτονισμού, δεν είναι εμφανής.

2.2.2. Υδρογεωλογικές συνθήκες

Η περιοχή των Τζουμέρκων χαρακτηρίζεται τόσο από το πολύ έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο όσο και από τα πολύ έντονα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα καθόλη τη διάρκεια του έτους (χιόνι, βροχοπτώσεις). Ο συνδυασμός αυτών έχει ως ακόλουθο τη δημιουργία καταρρακτών, με ροή μόνιμη ή και παροδική, οι οποίοι επισημαίνουν τις πολύ μεγάλες ποσότητες υδατικού δυναμικού, επιφανειακού και υπόγειου, της περιοχής αυτής.

Εστιάζοντας, τώρα, στις υδρολογικές συνθήκες που πρόκειται να συναντηθούν με βάση τους τους σχηματισμούς που διατρέχουν το μήκος της σήραγγας γίνονται οι εξής παρατηρήσεις:

Φλύσχη. Κατά την διαδικασία διάνοιξης της σήραγγας στον σχηματισμό του φλύσχη, η υδροφορία αναμένεται να είναι με μορφή υγρασίας, παρά με την μορφή υπόγειων υδροφόρων οριζόντων.

Ο σχηματισμός του φλύσχη, παρόλο που εμφανίζει ετερογένεια στην σύστασή του, με στρώσεις υδροπερατών στρωμάτων να εναλλάσσονται με άλλες αδιαπέρατων, είναι γενικά αδιαπέρατος. Μικρής δυναμικότητας επικρεμάμενοι υδροφόροι οριζόντες είναι δυνατό να σχηματιστούν, σε σημεία όπου η κυκλοφορία του νερού εμποδίζεται από αδιαπέρατες ιλιολιθικές ενστρώσεις. Κατά μήκος επιφανειών ασυνεχειών, όπως στρώσεις,

ρήγματα, διακλάσεις κλπ., ο φλύσχος εμφανίζει δευτερογενές πορώδες, διάκενα δηλαδή που δημιουργήθηκαν λόγω τεκτονισμού, αποσάθρωσης, διάλυσης, δράσης του έμβιου κόσμου κ.ά. Επιπλέον, είναι δυνατό να υπάρξει παγίδευση υπόγειου νερού και στις περιοχές που το πέτρωμα εντοπίζεται έντονα κερματισμένο. Απόρροια αυτής είναι η ανάπτυξη υδροστατικών πιέσεων, που οδηγούν σε αύξηση της πίεσης των πόρων, μείωση της διατμητικής αντοχής και τελικά στη δημιουργία ασταθών τμημάτων στο μέτωπο της εκσκαφής.

Ασβεστόλιθος. Κατά την διαδικασία διάνοιξης της σήραγγας στους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς, η υδροφορία προβλέπεται να είναι ιδιαίτερα υψηλής δυναμικότητας, με σημαντικές εισροές υδάτων, εξαιτίας της μεγάλης περατότητας του σχηματισμού.

Οι ασβεστόλιθοι οι οποίοι συναντώνται χαρακτηρίζονται από τον έντονο κατακερματισμό τους και την ύπαρξη δευτερογενούς πορώδους. Σε συνδυασμό με το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων της περιοχής, είναι και αυτοί που πρόκειται να καθορίσουν την δυναμικότητα των υπόγειων υδροφόρων. Οι ζώνες όπου υπάρχει διάρρηξη του σχηματισμού μπορούν να λειτουργήσουν είτε σαν ζώνες ροής είτε σαν στεγανά διαφράγματα ανάλογα με τον υλικό που τις πληρώνει. Σε κάθε περίπτωση, τέτοιες ζώνες απαιτούν προσοχή κατά την διάρκεια κατασκευής του έργου καθώς σε τέτοιες συνθήκες συναντώνται πληρωμένες με υπόγεια νερά υψηλής πίεσης, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μη αναμενόμενες εισροές μεγάλων ποσοτήτων νερού. Τέλος, λόγω της ύπαρξης των αδιαπέρατων κερατολιθικών και πηλιτικών ενστρώσεων, που εμποδίζουν την εκτενή κατείσδυση και ροή του νερού σε βάθος και άρα την καρστικοποίηση του ασβεστόλιθου σε μεγάλες εκτάσεις, δεν αναμένεται η παρουσία καρστικών εγκοίλων σε βαθμό που θα προκαλέσουν πρόβλημα.






Ζώνη επώθησης. Κατά τη διάνοιξη της σήραγγας πάνω ή και κοντά στη ζώνη επώθησης οι συνθήκες δημιουργούν τις κατάλληλες προϋποθέσεις για ανάπτυξη σημαντικής υδροφορίας και εισροές υδάτων.

Πρακτικά, οι υδροπερατοί ασβεστόλιθοι επικάθονται πάνω στον αδιαπέρατο φλύσχο. Απόρροια αυτού είναι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, όπου στην συγκεκριμένη περιοχή το ύψος των βροχοπτώσεων είναι πολύ υψηλό, που εισέρχονται στον ασβεστόλιθο να κατεisdύουν μέχρι να συναντήσουν το στρώμα του φλύσχο. Στην επαφή αυτή, η περεταίρω κατείσδυση του νερού δεν είναι δυνατή και άρα το νερό κινείται κατά μήκος αυτής. Έτσι, στο ύψος αυτής ή και λίγο πιο ψηλά εμφανίζονται στην επιφάνεια πηγές.

2.2.3. Ταξινόμηση τεχνικογεωλογικών ενότητων

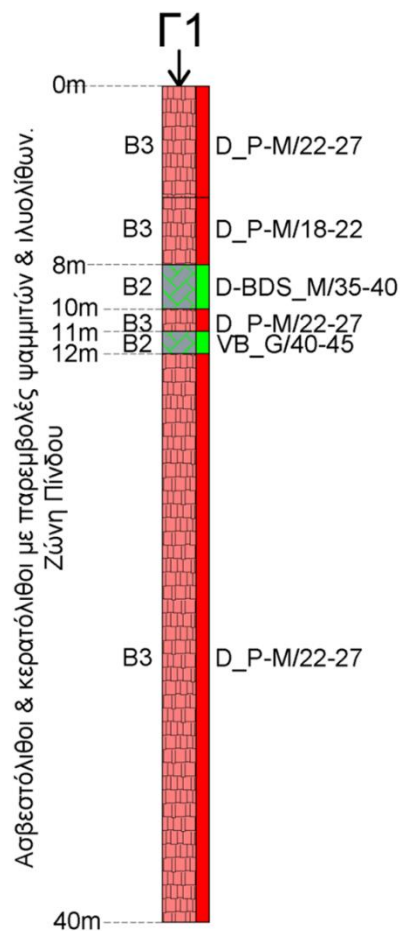
Για την ταξινόμηση των σχηματισμών σε τεχνικογεωλογικές ενότητες συνδυάστηκαν πληροφορίες που λήφθηκαν τόσο από επιτόπια παρατήρηση όσο και από δύο γεωτρήσεις που έλαβαν χώρα. Οι δύο αυτές γεωτρήσεις (Γ1 και Γ2) πραγματοποιήθηκαν σε θέσεις όπου με βάση τα χαρακτηριστικά του ορεινού όγκου αλλά και το ήδη υπάρχον οδικό δίκτυο θα μπορούσαν να αποτελέσουν θέσεις των στομιών της σήραγγας. Η γεώτρηση Γ1 αφορά το βόρειο στόμιο στην περιοχή των Μελισσουργών, ενώ η γεώτρηση Γ2 το νότιο στόμιο στην περιοχή των Θεοδωριάνων.

Οι σχηματισμοί, λοιπόν, ταξινομήθηκαν σύμφωνα με το γεωτεχνικό σύστημα RMR και GSI σε τέσσερις (4) τύπους βραχομαζών (B1, B2, B3, B4) και σε έναν (1) τύπο για τα κορήματα (E1). Αναλυτικά οι ενότητες έχουν ως εξής

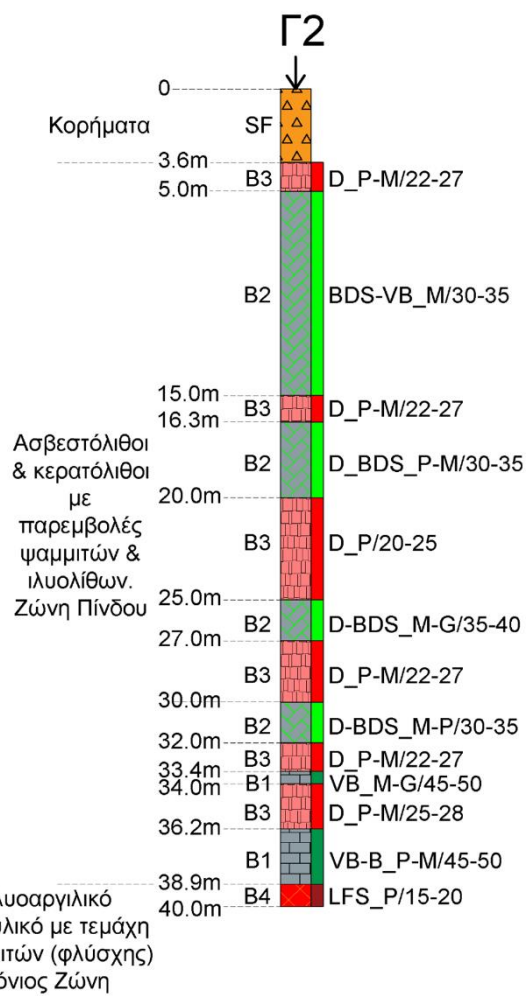
ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	GSI	mi	σ _{ci} (MPa)	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ
E1	Κορήματα (SF). Πιθανώς 2 ΤΕ: α) μετρίως πυκνά και β) πολύ πυκνά συγκολλημένα				
B1	Πολύ τεμαχώδης έως διαταραγμένος- πτυχωμένος ασβεστόλιθος με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από τέσσερις οικογένειες ασυνέχειες.	45- 55	14	100	
B2	Πτυχωμένος λεπτοστρωματώδης ασβεστόλιθος με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεταγμένες οικογένειες ασυνεχιών. Κατά θέσεις απαντώνται με λεπτές ενδιαστρώσεις κερατολίθων και πηλιτών.	35- 45	14	100	
B3	Κατακερματισμένος λεπτοστρωματώδης ασβεστόλιθος με πιθανές εναλλαγές πηλιτικών στρώσεων. Η βραχομάζα παρουσιάζεται με ανοικτή δομή και μικρά γωνιώδη τεμάχια.	22- 27	12	80	
B4	Κατακερματισμένος έως διατμημένος σχηματισμός φλύσχη (εναλλαγές ιλυολιθικών και ψαμμιτικών στρωμάτων)	17- 22	7	15	

Πίνακας 1. Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες με εικόνες από την επιτόπια παρατήρηση

Οι γεωτρήσεις αναλυτικά έδειξαν:



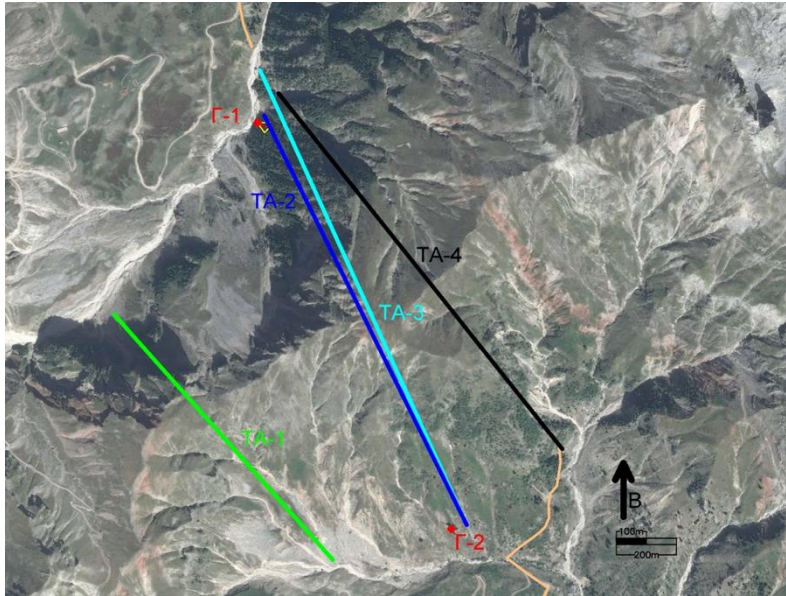
Εικόνα 5. Γεώτρηση Γ1, στόμιο Μελισσουργών, (Έρευνας)



Εικόνα 6. Γεώτρηση Γ2, στόμιο Θεοδωριάνων, (Έρευνας)

2.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

2.3.1. Επιλογή χάραξης



Εικόνα 12. Απεικόνιση των τεσσάρων εναλλακτικών χαράξεων της σήραγγας, (Ερευνας)

Με βάση τις γεωλογικές και τεχνικογεωλογικές συνθήκες που συναντώνται, το υπάρχον οδικό δίκτυο αλλά και την μορφολογία της περιοχής μελέτης διαμορφώθηκαν τέσσερις (4) εναλλακτικές χαράξεις, οι TA-1, TA-2, TA-3 και TA-4. Με γνώμονα, τώρα, τις επικράτουςες συνθήκες αλλά και μία σειρά από άλλα κριτήρια, όπως το μήκος

όδευσης, το επίπεδο συναρμογής με το οδικό δίκτυο της περιοχής κ.α., αξιολογήθηκαν οι τέσσερις αυτές εναλλάκτικες.

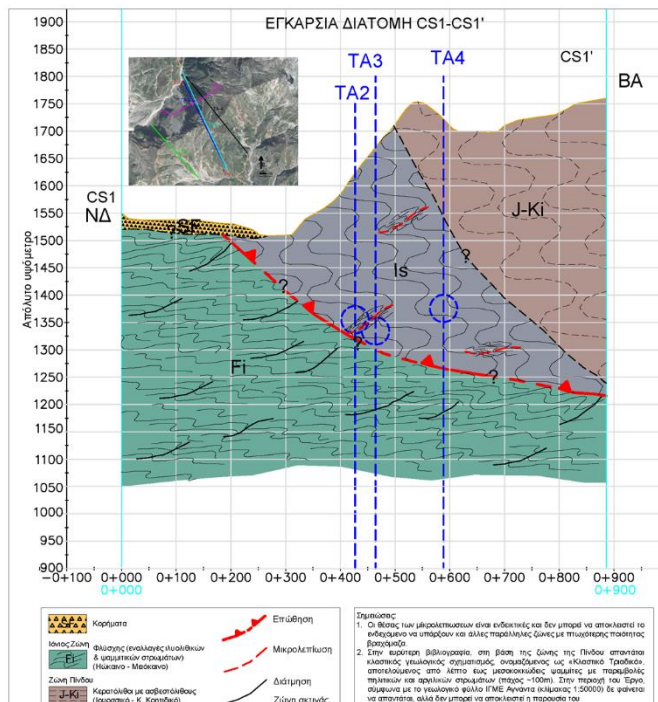
Αναλυτικά τα χαρακτηριστικά κάθε χάραξης έχουν ως εξής:

✓ χάραξη TA-1

Χαρακτηρίζεται από το μικρότερο μήκος οδευσης αλλά και ύψος υπερκειμένων σε σύγκριση με οποιαδήποτε άλλη χάραξη. Το βασικό της μειονέκτημα, είναι οι δυσχερείς γεωτεχνικές συνθήκες που συναντά, ειδικά στην περιοχή του βόρειου στομίου, στους Μελισσουργούς, όπου υπάρχει μεγάλη πιθανότητα η σήραγγα να βρεθεί σε τμήμα παλαιολίσθησης.

✓ χάραξη TA-2

Μεταφέρθηκε αρκετά δυτικότερα της TA-1, με σκοπό την εύρεση βελτιωμένων γεωτεχνικών συνθηκών, αλλά και την αποφυγή του φλυσχικού σχηματισμού που θα δυσκολεύει τις εργασίες κατασκευής ακόμα περισσότερο. Ωστόσο, η χάραξη αυτή φαίνεται να επηρεάζεται από την ζώνη επώθησης που βρίσκεται πλησίον



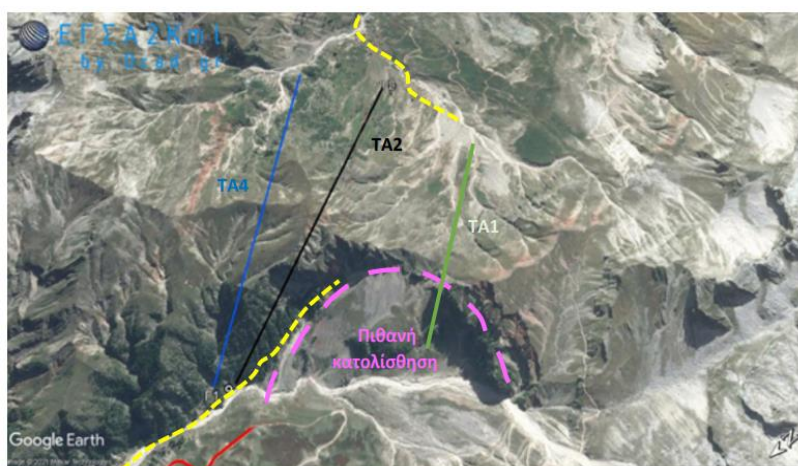
Εικόνα 13. Απεικόνιση των χαράξεων σε εγκάρσια διατομή, (Ερευνας)

της, με συνέπεια τον έντονο τεκτονισμό των σχηματισμών, αλλά και εν τέλει ενδέχεται να συναντήσει τον φλυσικό σχηματισμό.

✓ χάραξη TA-3

Σχεδιάστηκε με μετατόπιση βορειότερα του βορείου στομίου σε σχέση με αυτό της TA-2, ώστε να υπάρξει κάποια περισσότερη απομάκρυνση από τη ζώνη επώθησης και άρα σχετικά πιο βελτιωμένες γεωτεχνικές συνθήκες. Ωστόσο, μετακίνηση του στομίου βορειότερα συνεπάγεται και αύξηση του μήκους της σήραγγας και κατά συνέπεια και του κόστους.

✓ χάραξη TA-4



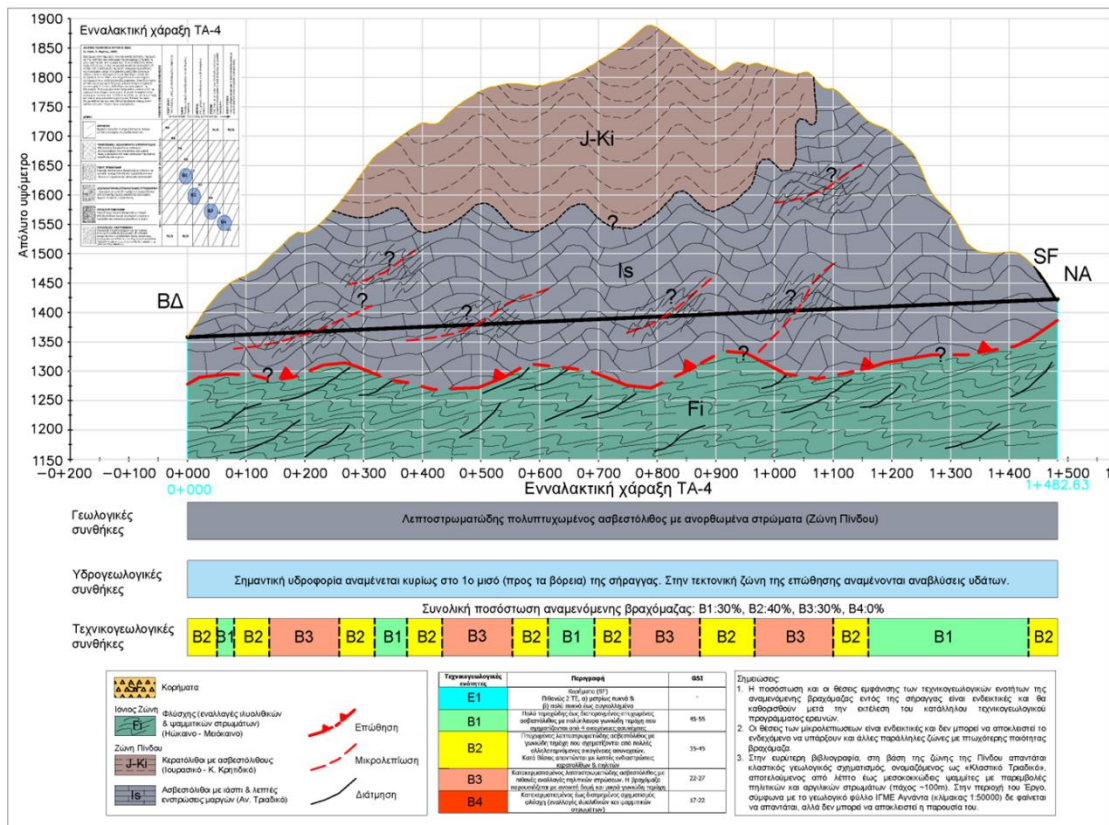
Αποτελεί μία συνολικά βορειότερη χάραξη καθώς αν και κρατάει τη βορειότερη θέση του βόρειου στομίου, τοποθετεί σε τελείως διαφορετική θέση το νότιο. Πλεονεκτεί των άλλων χαράξεων στις γεωτεχνικές συνθήκες που πρόκειται να συναντηθούν, αφού απομακρύνεται από την ζώνη επώθησης. Το μήκος της χάραξης δεν είναι το

Εικόνα 14. Οι εναλλακτικές χαράξεις TA-2 και TA-4, καθώς και η καθώς και η TA-1, η οποία διέρχεται εντός του φλυσικού σχηματισμού της επώθησης και εντός μίας μεγάλης πιθανής κατολίσθησης (μωβ περιοχή). Με κίτρινο σημειώνεται η επιφάνεια επώθησης όπως διαπιστώθηκε στις περιοχές των δύο στομίων, (Έρευνας)

μικρότερο αλλά σε σύγκριση την χάραξη TA-2 είναι περίπου το ίδιο και με μικρότερο ύψος υπερκευμένων. Επομένως, με βάση το σύνολο των κριτηρίων που αναφέρθηκαν, η προτιμητέα χάραξη είναι η TA-4, η οποία αποτελεί μία βελτιωμένη εκδοχή της TA-2, αφού οι γεωτεχνικές συνθήκες αναμένονται καλύτερες.

2.3.2. Αναμενόμενες τεχνικογεωτεχνικές ενότητες χάραξης TA- 4

Η χάραξη TA-4 αναμένεται να πλεονεκτεί στις γεωτεχνικές συνθήκες σε σχέση με τις υπόλοιπες χαράξεις μιας και μία βορειότερη χάραξη σαν αυτή συνεπάγεται και απόσταση μεγαλύτερη από την ζώνη επώθησης. Η χάραξη συνεπώς θα συναντήσει τους ανορθωμένους και πολυπτυχωμένους τριαδικούς ασβεστόλιθους αλλά η καταπόνηση αναμένεται να είναι πιο περιορισμένη καθώς επίσης και η ύπαρξη συμπαγών δομών. Παρατίθεται η μηκοτομή της χάραξης, όπου φαίνονται γραφικά οι γεωλογικές και υδρολογικές συνθήκες που αναμένεται να συναντηθούν κατά την διάνοιξη της σήραγγας.



Εικόνα 15. Τεχνικογεωλογική τομή χάραξης TA-4, (Ερευνας)

2.3.3. Χαρακτηριστικά χάραξης TA-4

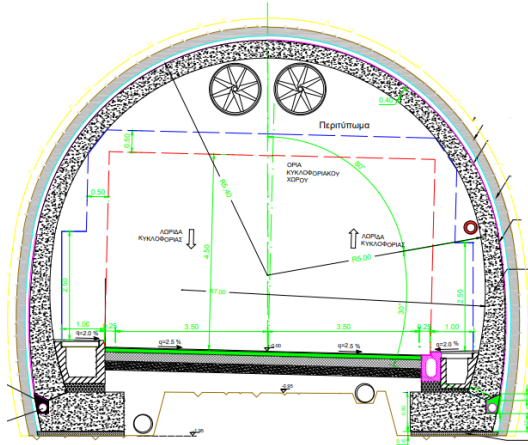
Η χάραξη TA-4 έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Οριζοντιογραφικά ακολουθείται η διεύθυνση ΒΔ- ΝΑ.
- Μηκοτομικά σχεδιάζεται με σταθερή κατά μήκος κλίση περίπου 2.3%, λόγω των υψομέτρων των θέσεων των στομιών, σε ανωφέρεια προς τον νότιο στόμιο των Θοδωριανών. Ο καθορισμός των θέσεων των στομιών και κατ' επέκταση και της κατά μήκος κλίσης είναι αποτέλεσμα της προσπάθειας προσαρμογής στο έντονο ανάγλυφο και της αποφυγής παρουσίας ρεμάτων.
- Το υπόγειο τμήμα της σήραγγας υπολογίζεται περίπου 1.500m.
- Το μέγιστο ύψος των υπερκειμένων που θα συναντηθεί δεν θα ξεπεράσει τα 500m.
- Προτείνεται η σήραγγα να κατασκευαστεί με μηχανικά μέσα, εφαρμόζοντας την μέθοδο NATM όσον αφορά τη διάνοιξη και την προσωρινή υποστήριξη, ενώ σαν τελική επένδυση να χρησιμοποιηθεί οπλισμένο σκυρόδεμα.
- Όσον αφορά τα γεωμετρικά στοιχεία, θα κατασκευαστεί σήραγγα μονού κλάδου, διπλής κατεύθυνσης κυκλοφορίας, με μία λωρίδα κατεύθυνσης ανά κυκλοφορία, διατομής 10,5Τ.

2.3.4. Προκαταρκτικός γεωμετρικός σχεδιασμός σήραγγας

Τα στοιχεία από την Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία (ΕΜΗΚ) είναι αυτά που λαμβάνονται κατά κύρια βάση υπ' όψιν για τον σχεδιασμό ενός έργου, καθώς σε αυτά φαίνεται ο κυκλοφοριακός φόρτος που πρόκειται να εξυπηρετήσει το εκάστοτε έργο. Στο

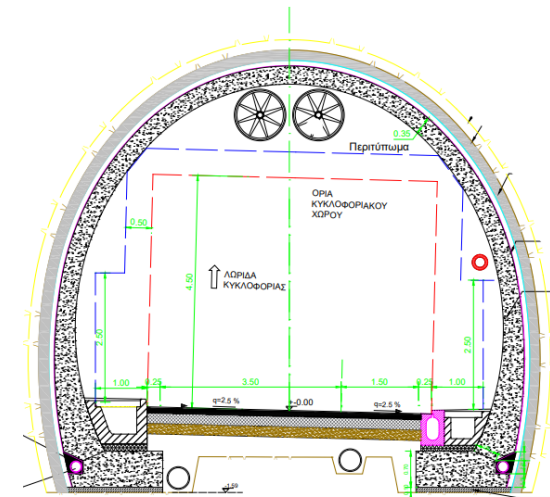
συγκεκριμένο έργο όμως υπάρχει μία ιδιαιτερότητα. Η σήραγγα αυτή έρχεται να δημιουργήσει μία νέα για την περιοχή σύνδεση και επομένως δεν υπάρχουν στοιχεία για τον τωρινό κυκλοφοριακό φόρτο. Επομένως, εφόσον η δομή που θα σχεδιαστεί είναι και αυτή που θα δημιουργήσει τον κυκλοφοριακό φόρτο, έγινε μία παραδοχή όσων αφορά την ΕΜΗΚ. Η παραδοχή αυτή έρχεται να θέσει έναν αριθμό 200 οχημάτων ανά ημέρα, που όχι μόνο πρόκειται να καλύψει τον πραγματικό κυκλοφοριακό φόρτο αλλά και αυτόν που δύναται να δημιουργηθεί λόγω μελλοντικής ανάπτυξης των περιοχών.



Εικόνα 16. Τυπική διατομή 10.5Τ, (Έρευνας)

σε περίοδο ανάπτυξης. Σε προσπάθεια προσέγγισης της ΕΜΗΚ της περιοχής, προτάσσεται σαν δεύτερη επιλογή σήραγγα μονού κλάδου μονής κατεύθυνσης με διατομή Τ7.5, η οποία θέτει ένα όριο 500 οχημάτων ανά ημέρα. Ωστόσο, η πρόταση αυτή αν και φαίνεται να αρμόζει για τις δεδομένες απαιτήσεις, παραμένει σαν δεύτερο εναλλακτικό σχέδιο μιας και σε πρώτο πλάνο δεν περιλαμβάνεται στους ελληνικούς κανονισμούς, γεγονός που καθιστά την έγκριση της από τις αρμόδιες αρχές από χρονοβόρα έως και απορριπτέα, και έπειτα η διαφορά κόστους από το βασικό σενάριο δεν ξεπερνά το 20-25%.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση έργου, όμως, ο σχεδιασμός έρχεται να καθοριστεί από την μικρότερη δυνατή διατομή που επιτρέπεται από την ελληνική νομοθεσία για σήραγγα μονού κλάδου διπλής κατεύθυνσης λόγω μικρής ΕΜΗΚ. Η διατομή αυτή είναι η 10.5Τ και μάλιστα αξίζει να αναφερθεί ότι, με τις ελάχιστες απαιτήσεις ασφαλείας, η ΕΜΗΚ για μία τέτοια σήραγγα δεν πρέπει να ξεπερνά τα 2000 οχήματα/ μέρα, η οποία υπερκαλύπτει εμφανώς τον υποτιθέμενο κυκλοφοριακό φόρτο της περιοχής ακόμα και



Εικόνα 9. Τυπική διατομή Τ7.5, (Έρευνας)

Επομένως, η σήραγγα που θα κατασκευαστεί θα είναι μονού κλάδου, διπλής κατεύθυνσης κυκλοφορίας, με μία λωρίδα κατεύθυνσης ανά κυκλοφορία, διατομής 10,5Τ, με επίκλιση 2,5%, χωρίς απαίτηση για σχεδιασμό λωρίδων έκτακτης ανάγκης (Λ.Ε.Α.), οδών διαφυγής και εξόδων κινδύνου παρά μόνο διαμόρφωση μίας αμφίπλευρης εσοχής έκτακτης στάθμευσης περίπου στα μισά της σήραγγας. Ακολουθούνται οι ελάχιστες απαιτήσεις ασφαλείας για σήραγγες του διευρωπαϊκού οδικού δικτύου σύμφωνα με τις διατάξεις του ΦΕΚ 264 Α' 2007, λόγω του μικρού κυκλοφοριακού φόρτου που πρόκειται να εξυπηρετήσει όπως προαναφέρθηκε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΙΤΡΕΠΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΩΝ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΤΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΤΩΝ ΣΤΟΜΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΑΥΤΩΝ

3.1. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

Για την ερμηνεία των δεδομένων, για την επεξεργασία αυτών αλλά και την εξαγωγή συμπερασμάτων χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά προγράμματα- λογισμικά. Αναλυτικά περιγράφονται παρακάτω:

✓ AutoCAD



Το AutoCAD αποτελεί ένα λογισμικό σχεδιασμού της Autodesk. Χρησιμοποιείται επί το πλείστον από αρχιτέκτονες μηχανικούς, μηχανικούς όλων των κλάδων, αλλά και από οποιοδήποτε επαγγελματία στον τομέα των κατασκευών, για το σχεδιασμό δισδιάστατων και τρισδιάστατων μοντέλων.

✓ RS2- Rock and Soil 2-Dimensional analysis program



Το RS2 είναι ένα πρόγραμμα της Rock Science για τη δισδιάστατη ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων γεωτεχνικών κατασκευών με εφαρμογές τόσο σε έργα ενός πολιτικού μηχανικού όσο και ενός μεταλλειολόγου μηχανικού. Χρησιμοποιείται για ανάλυση βράχου αλλά και εδάφους και μέσω αυτού αναλύεται ένα σύνολο πεπερασμένων στοιχείων γενικού σκοπού για το σχεδιασμό σηράγγων αλλά και της υποστήριξης τους, υπόγειων και υπαίθριων εκσκαφών, ευστάθειας πρανών, θεμελιώσεων και πολλά άλλα.

✓ Slide2



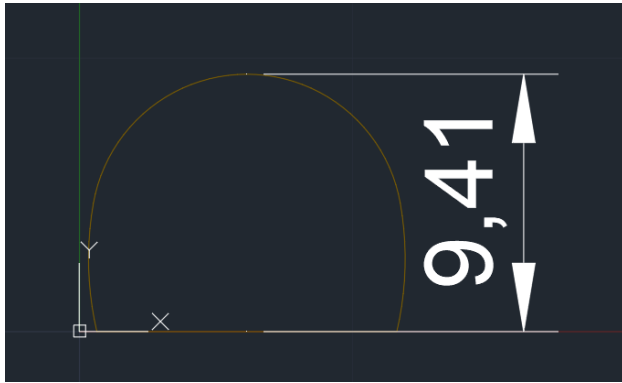
Το RSDData είναι ένα 2D πρόγραμμα της Rock Science που εξετάζει την ευστάθεια πρανών. Υπολογίζει την οριακή ισορροπία και αξιολογεί τον συντελεστή ασφαλείας ή της πιθανότητα αστοχίας, κυκλικών ή μη κυκλικών επιφανειών αστοχίας σε εδαφικά ή βραχώδη πρανή.

3.2. ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Χρησιμοποιήθηκε σε πρώτη φάση το λογισμικό AutoCAD για το σχεδιασμό της διατομής της σήραγγας, με σκοπό να εισαχθεί αυτή στο RS2 για τις περαιτέρω απαραίτητες αναλύσεις. Στην συνέχεια, μέσω του προγράμματος RS2 υπολογίστηκε το ύψος των υπερκειμένων πάνω από τη διατομή, το οποίο μας επιτρέπει να ξεκινήσει η υπόγεια διάνοιξη και άρα κατ' επέκταση τον εντοπισμό των θέσεων των στομιών.

3.3 ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

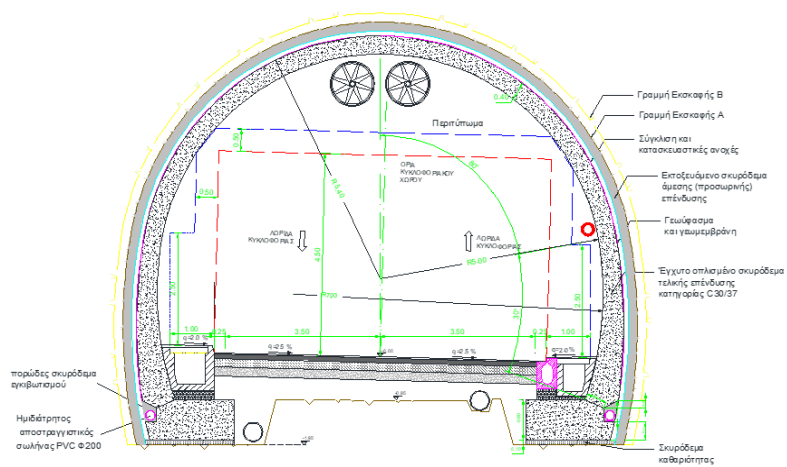
ΒΗΜΑ 1^ο Σχεδιασμός στο AutoCAD της διατομής της σήραγγας.



Η διατομή, βάση μελέτης, που έχει επιλεγθεί για την συγκεκριμένη σήραγγα είναι η 10.5Τ. Συγκεκριμένα, σχεδιάστηκε η γραμμή εκσκαφής Α, με σκοπό να υπολογιστεί και η απαιτούμενη υποστήριξη στις θέσεις αυτές.

Εικόνα 17. Σχεδιασμός γραμμής εκσκαφής Α της διατομής 10.5Τ στο AutoCAD

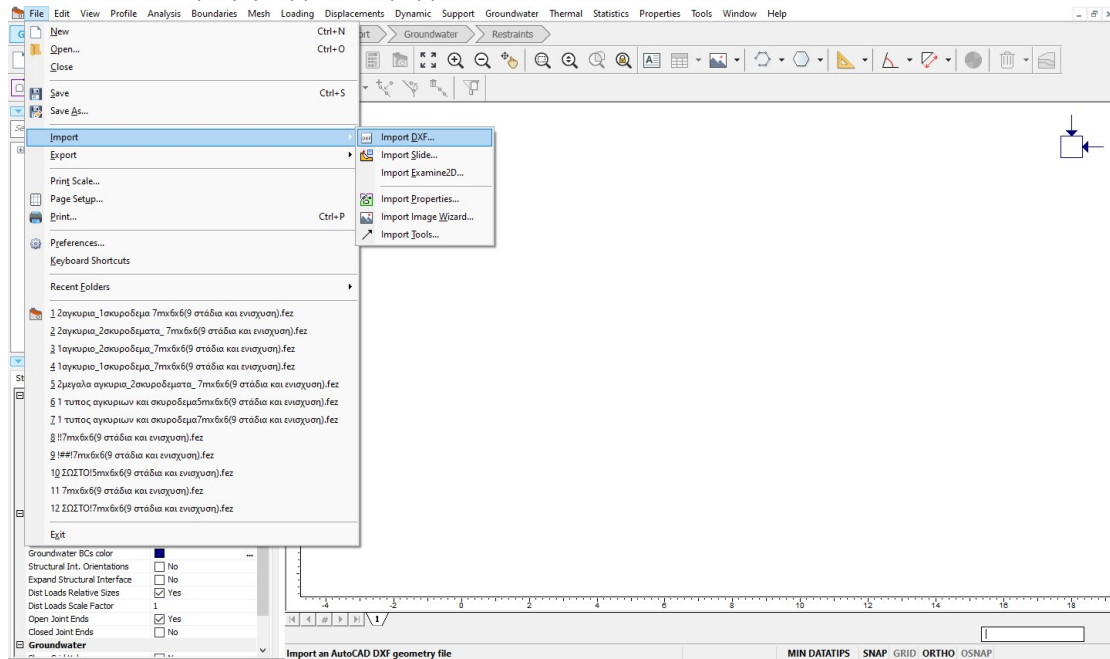
Υπενθυμίζεται ότι η γραμμή εκσκαφής Α αποτελεί το όριο της ελάχιστης απαιτούμενης εκσκαφής. Δηλαδή, στο εσωτερικό της διατομής αυτής δεν επιτρέπεται η ύπαρξη γεωυλικού. Από την άλλη, η γραμμή εκσκαφής Β αποτελεί



το όριο της μέγιστης αποδεκτής εκσκαφής, μέχρι το οποίο η εκσκαφή δικαιολογείται. Πέρα από αυτό έχουμε υπερεκσκαφή.

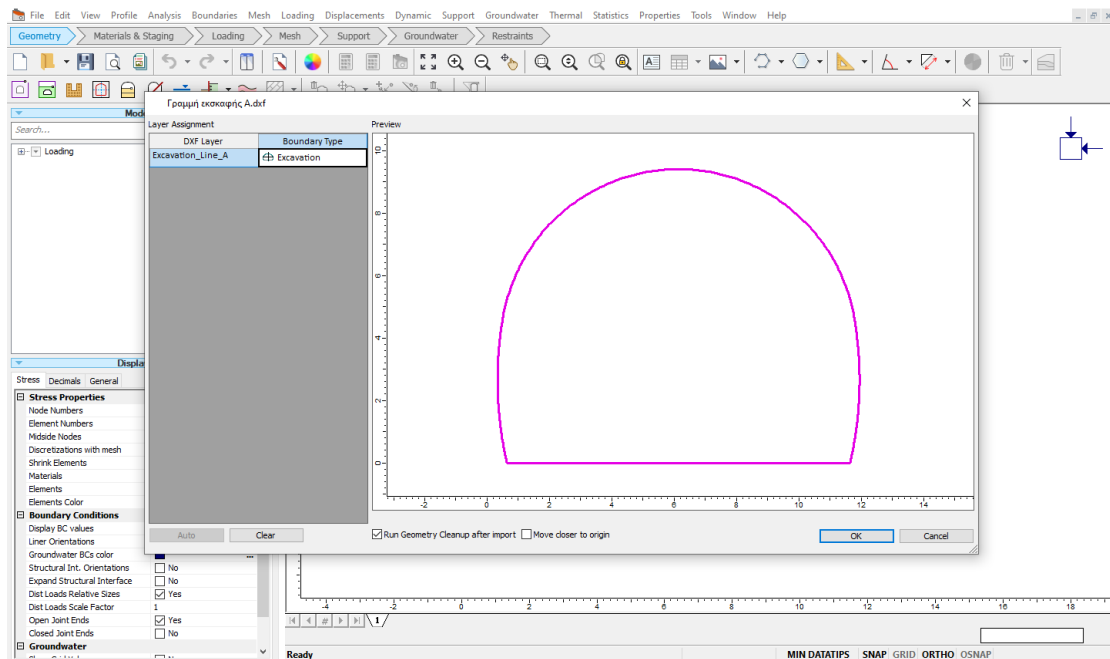
Εικόνα 18. Τυπική διατομή χρήσης της σήραγγας για διατομή 10.5Τ, (Ερευνας)

ΒΗΜΑ 2^ο Εισαγωγή της διατομής από το AutoCAD στο RS2.



Εικόνα 19. Εισαγωγή διατομής από το AutoCAD στο RS2

Προσδιορίζεται ότι η διατομή που εισάγεται αποτελεί όριο εκσκαφής.

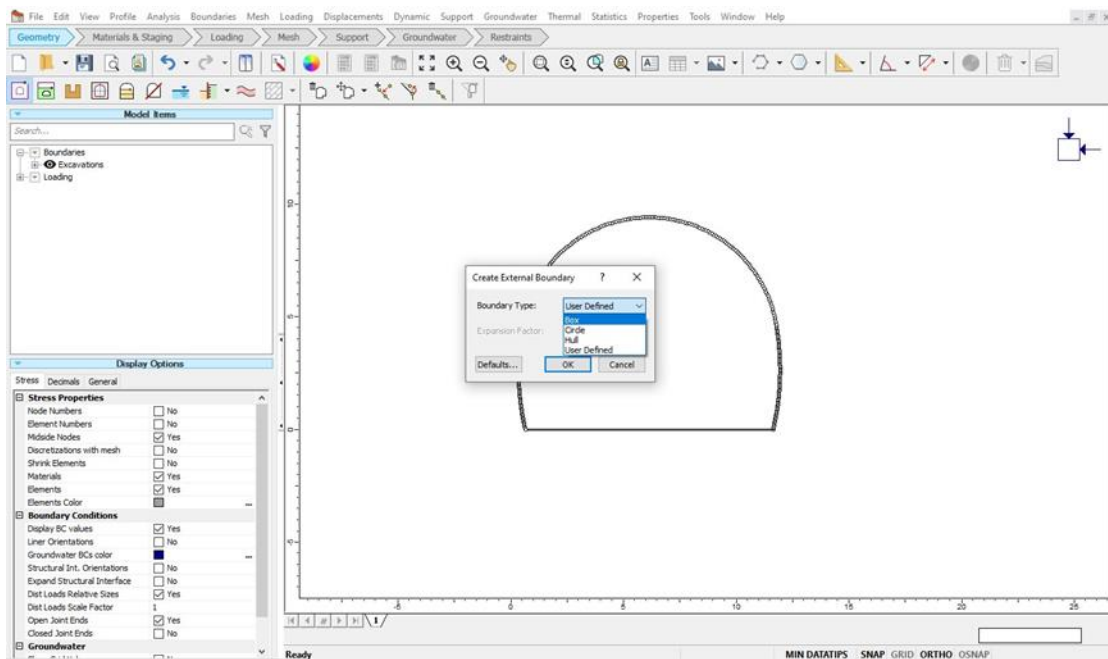


Εικόνα 20. Ορισμός διατομής ως όριο εκσκαφής

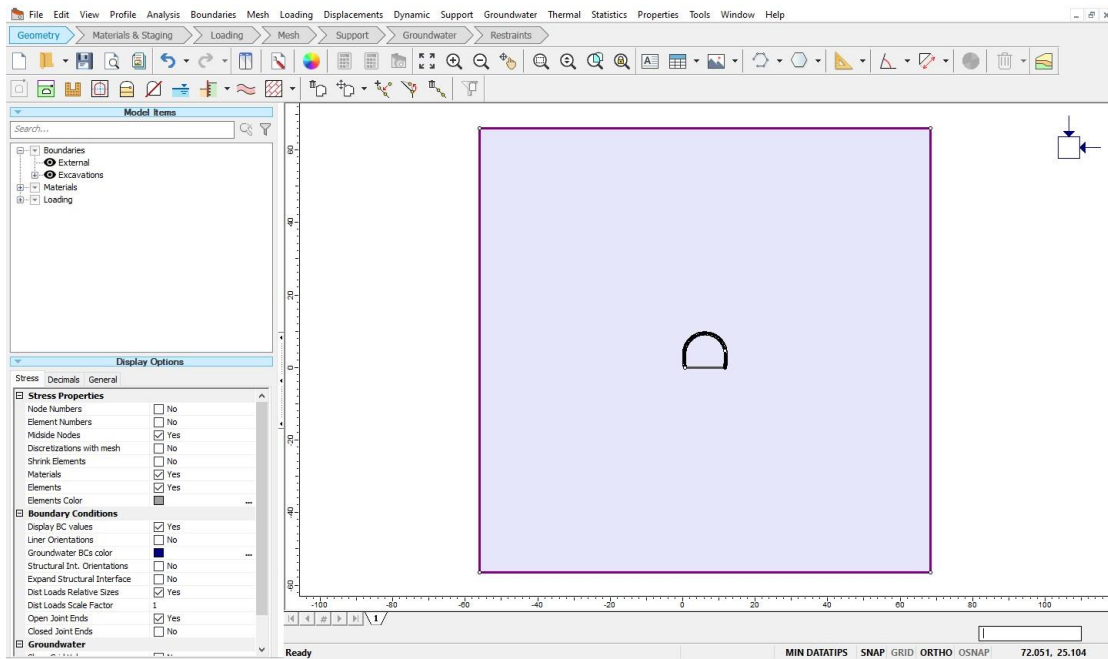
ΒΗΜΑ 3^ο Σχεδιασμός των ορίων της εκσκαφής.

Θέτονται τα όρια της εκσκαφής χρησιμοποιώντας την επιλογή "box", με σκοπό να δημιουργηθεί ένα τετράγωνο ορίων γύρω από την προς εκσκαφή διατομή μας. Η εντολή αυτή δημιουργεί αυτόματα ένα τετράγωνο ορίων εκσκαφής, το οποίο είναι πολλαπλάσιο της διαμέτρου της διατομής. Επιλέγεται ένα όριο εξαπλάσιο αυτής, μιας και παρέχει τον κατάλληλο χώρο μέσα στον οποίο λαμβάνουν μέρος οποιεσδήποτε μετακινήσεις εξαιτίας της εκσκαφής.

Σε αυτό το σημείο οφείλει να αναφερθεί ότι κάνοντας αυτή την επιλογή γίνεται η παραδοχή ότι και στις πραγματικές συνθήκες υπάρχει χώρος εξαπλάσιος της διατομής πλευρικά αυτής. Εάν ισχύει ή όχι η παραδοχή αυτή θα υπολογισθεί σε επόμενο κεφάλαιο, όπου θα σχεδιαστούν οι πραγματικές τομές στις θέσεις αυτές.

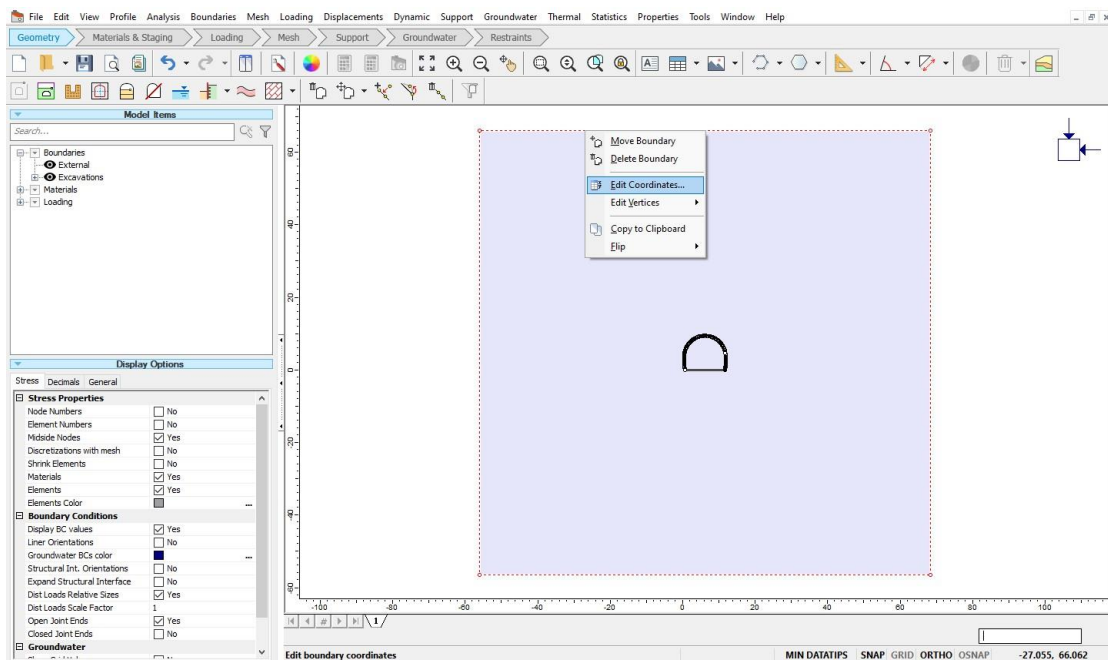


Εικόνα 21. Θέσπιση ορίων με την εντολή "box"



Εικόνα 22. Δημιουργία ορίων εξαπλάσιων της διαμέτρου της διατομής

Επειδή σκοπός είναι να βρεθούν οι πιθανές θέσεις των στομιών της σήραγγας, τα άνω όρια της εκσκαφής πρέπει να διαμορφωθούν κατάλληλα, μιας και ένα ύψος υπερκειμένων της τάξης των 56 μέτρων ($9.41 \times 6 = 56.46$) στη θέση στομιών είναι απαγορευτικό. Πραγματοποιώντας, επομένως, δεξί κλικ πάνω στα όρια και έπειτα “Edit Coordinates”, διαμορφώνονται οι επιθυμητές συντεταγμένες των άνω ορίων.



Εικόνα 23. Διαμόρφωση άνω εξωτερικού ορίου εκσκαφής

Γενικά, θα πραγματοποιηθούν τρία δοκιμαστικά μοντέλα με την μεταξύ τους διαφορά να αποτελεί το ύψος των υπερκειμένων. Επομένως, κάθε φορά χρησιμοποιώντας την εντολή αυτή θα διαμορφώνονται τα όρια του μοντέλου ανάλογα. Το πρώτο μοντέλο θα έχει άνω όριο ίσο με μία διάμετρο διατομής ($9.41\text{m} \approx 9.5\text{m}$), το δεύτερο με 7m υπερκείμενα

και, τέλος, το τρίτο με ύψος υπερκειμένων 5m, δηλαδή ίσο περίπου με τη μισή διάμετρο της διατομής.

ΒΗΜΑ 4^ο Εισαγωγή των δεδομένων του γεωυλικού- πετρώματος, μέσα στο οποίο βρίσκεται η σήραγγα.

Με το που προσδιορίστηκαν τα όρια, αυτόματα εισήχθησε στο χώρο αυτό ένα γεωυλικό, με ονομασία "Material 1". Ωστόσο, επειδή δεν διαθέτει τα πραγματικά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά του πετρώματος που συναντάται στη σήραγγα, θα πρέπει να εισαχθούν τα σωστά.

Από την μελέτη είναι γνωστό ότι και στα δύο στόμια, εισόδου και εξόδου, συναντάται ασβεστόλιθος (limestone) και μάλιστα η τεχνικογεωλογική ενότητα B2. Αναλυτικά τα χαρακτηριστικά της ενότητας B2 που θα εισαχθούν στο πρόγραμμα δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

B2	
GSI	40
m_i	14
σ_{ci} (MPa)	55
E_i (MPa)	40
γ (KN/m ³)	26.5

όπου:

m_i → σταθερά υλικού (ακέραιο πέτρωμα)

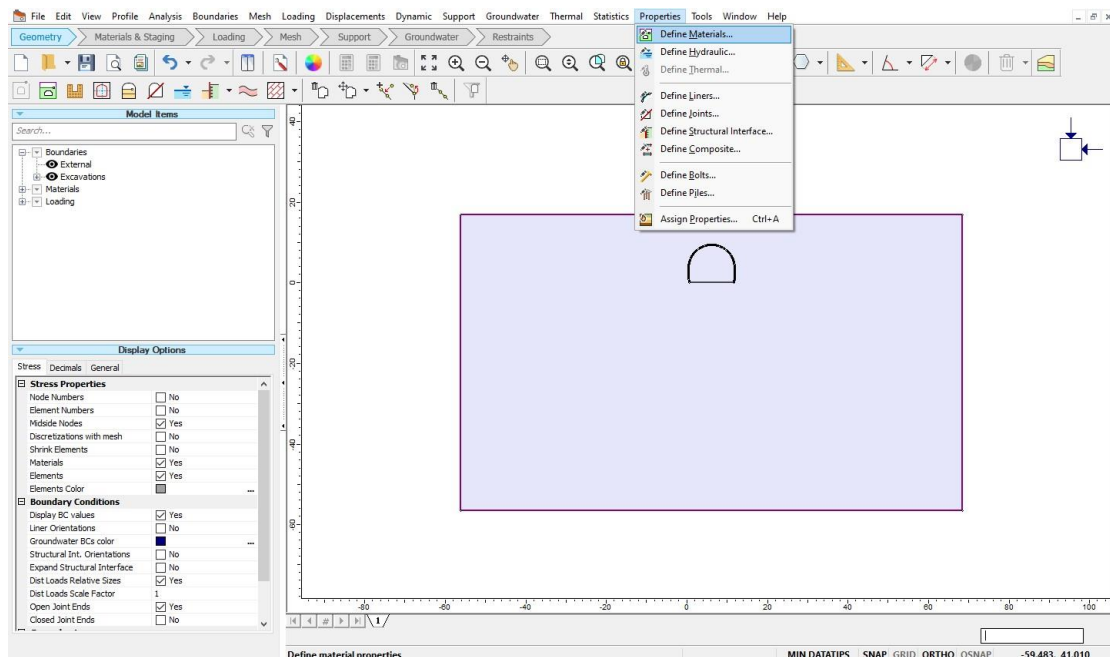
σ_{ci} → αντοχή σε μονοαξονική θλίψη

E_i → μέτρο ελαστικότητας

γ → μοναδιαίο βάρος πετρώματος

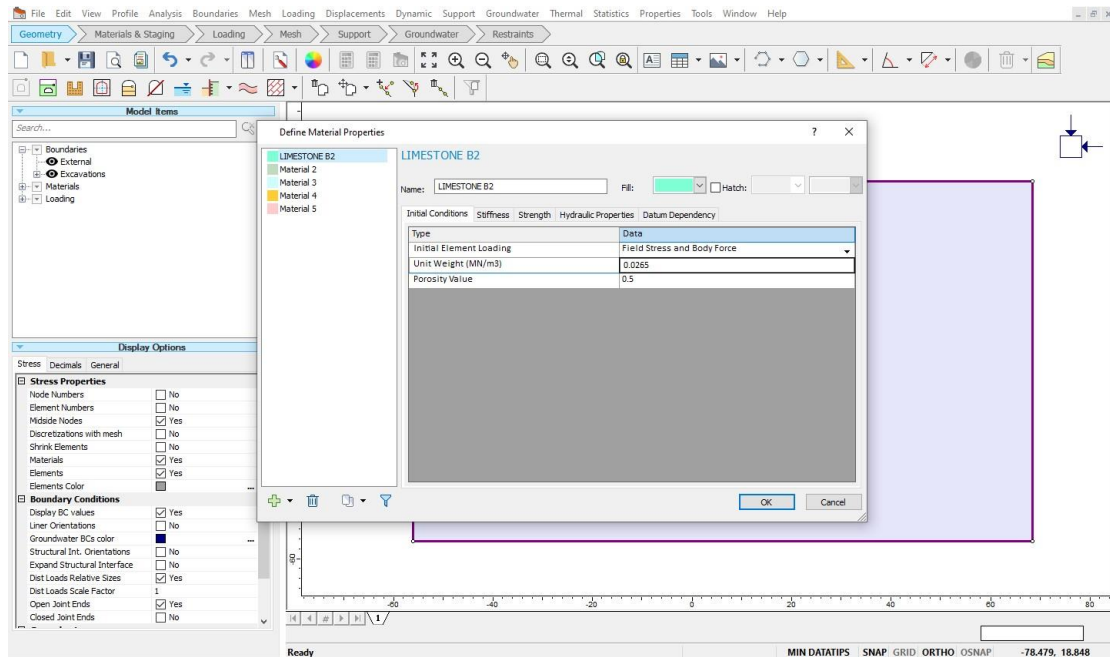
Πίνακας 2. Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά ενότητας B2

Κάνοντας κλικ στην εντολή "Properties" και στην συνέχεια στην επιλογή "Define Materials", θα εισαχθούν τα χαρακτηριστικά του πετρώματος.



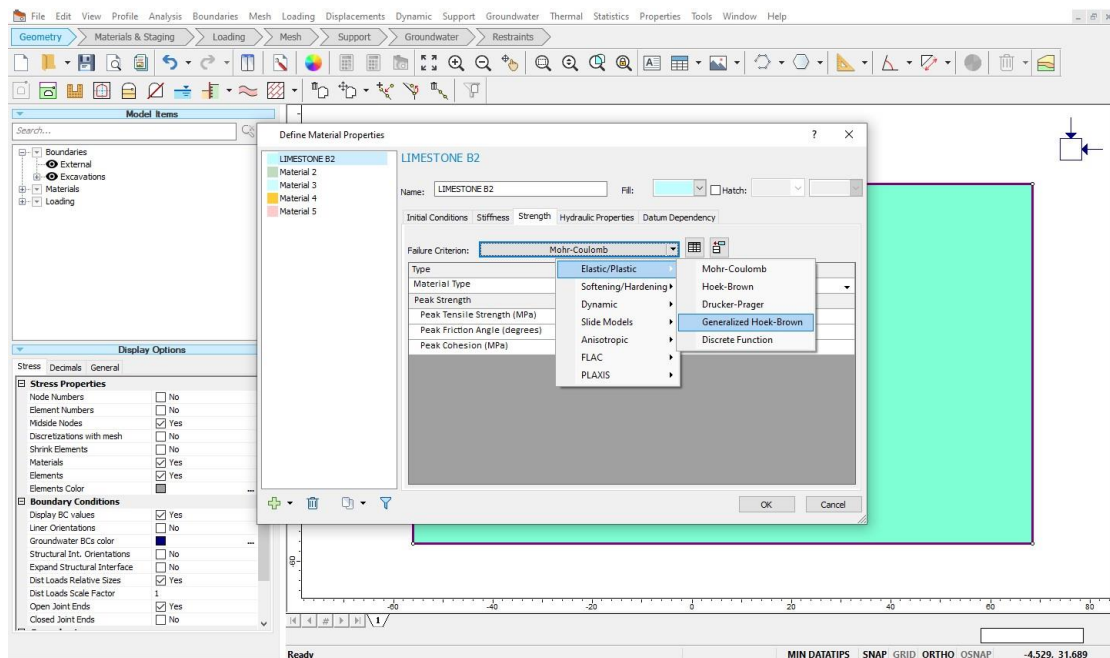
Εικόνα 24. Προσδιορισμός γεωτεχνικών χαρακτηριστικών του πετρώματος

Σε πρώτο στάδιο προσδιορίζονται οι βασικές συνθήκες (Initial Conditions), δηλαδή το όνομα (Name) και το μοναδιαίο βάρος (Unit Weight) του γεωλικού.



Εικόνα 25. Εισαγωγή βασικών συνθηκών πετρώματος

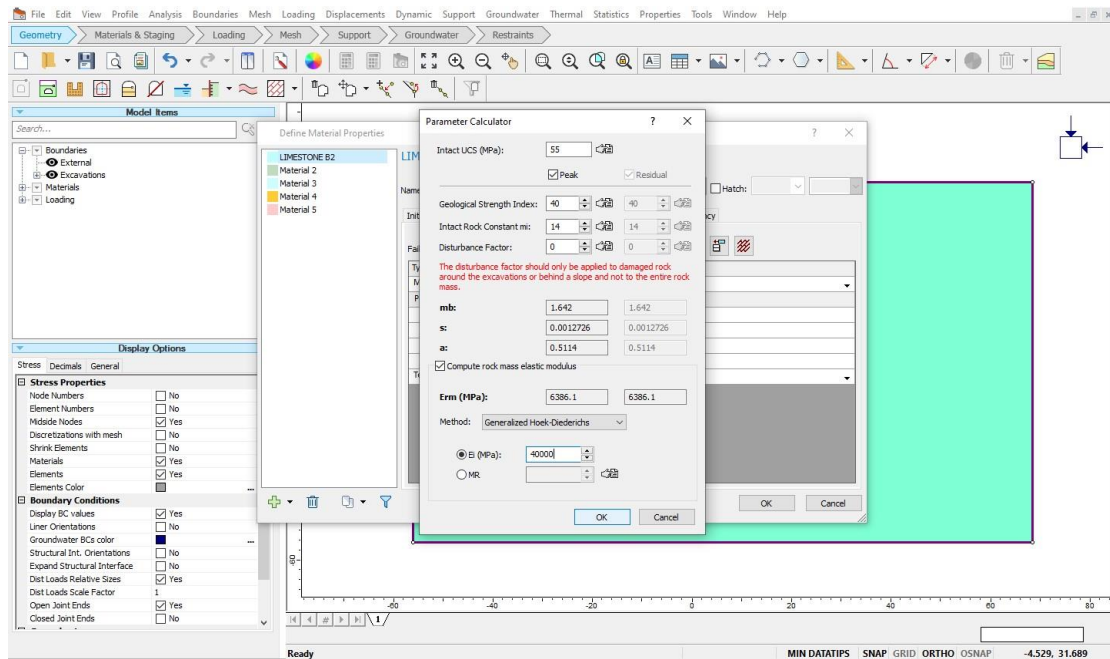
Στη συνέχεια, εισάγονται πληροφορίες σχετικά με την αντοχή του πετρώματος. Σαν κριτήριο αστοχίας (Failure Criterion) επιλέγεται το “Generalized Hoek- Brown”, το οποίο δύναται να εφαρμοστεί τόσο σε πλαστικά όσο και σε ελαστικά πετρώματα.



Εικόνα 26. Επιλογή κριτηρίου αστοχίας

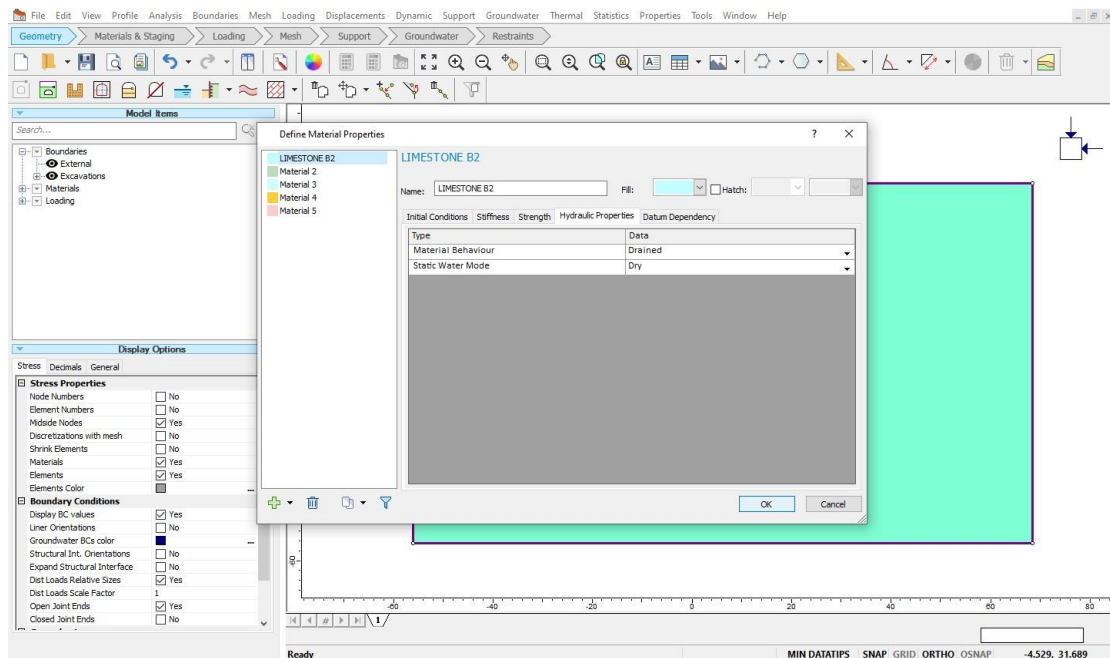
Έπειτα, επιλέγεται ο τύπος του πετρώματος (Material type) ως ελαστικό (elastic). Έχοντας κάνει αυτή την επιλογή, το πρόγραμμα απαιτεί τη συμπλήρωση κάποιων παραμέτρων, οι οποίες όμως δεν παρέχονται από την μελέτη του έργου. Επομένως, επιλέγεται το εικονίδιο με την εντολή “Parameter Calculator”, για να εισαχθούν τα δεδομένα

του πετρώματος που είναι διαθέσιμα και αυτό στη συνέχεια να συμπληρώσει τις ζητούμενες παραμέτρους αυτόματα.



Εικόνα 27. Εισαγωγή παραμέτρων σχετικά με την αντοχή του πετρώματος

Τέλος, όσον αφορά τις υδρολογικές συνθήκες, η συμπεριφορά του υλικού (Material behaviour) χαρακτηρίζεται ως στραγγισμένη (drained), καθώς το πέτρωμα λόγω της φύσης του δεν συγκρατεί το νερό.

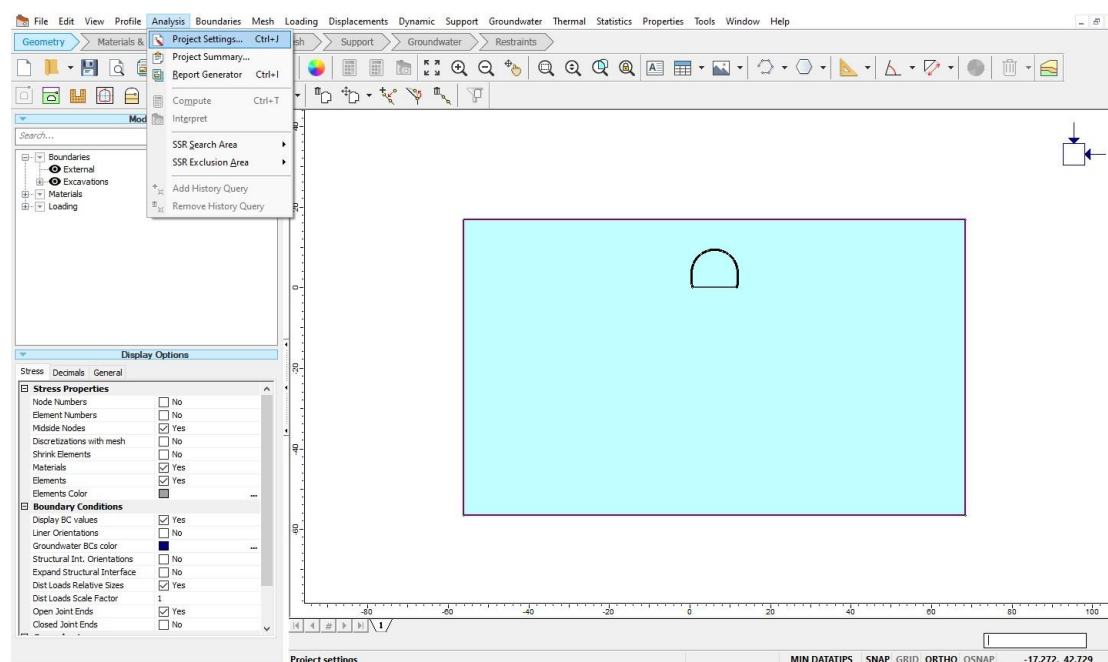


Εικόνα 28. Παράμετροι σχετιζόμενοι με τις υδρολογικές συνθήκες του πετρώματος

ΒΗΜΑ 5^ο Εισαγωγή σταδίων στην εκσκαφή.

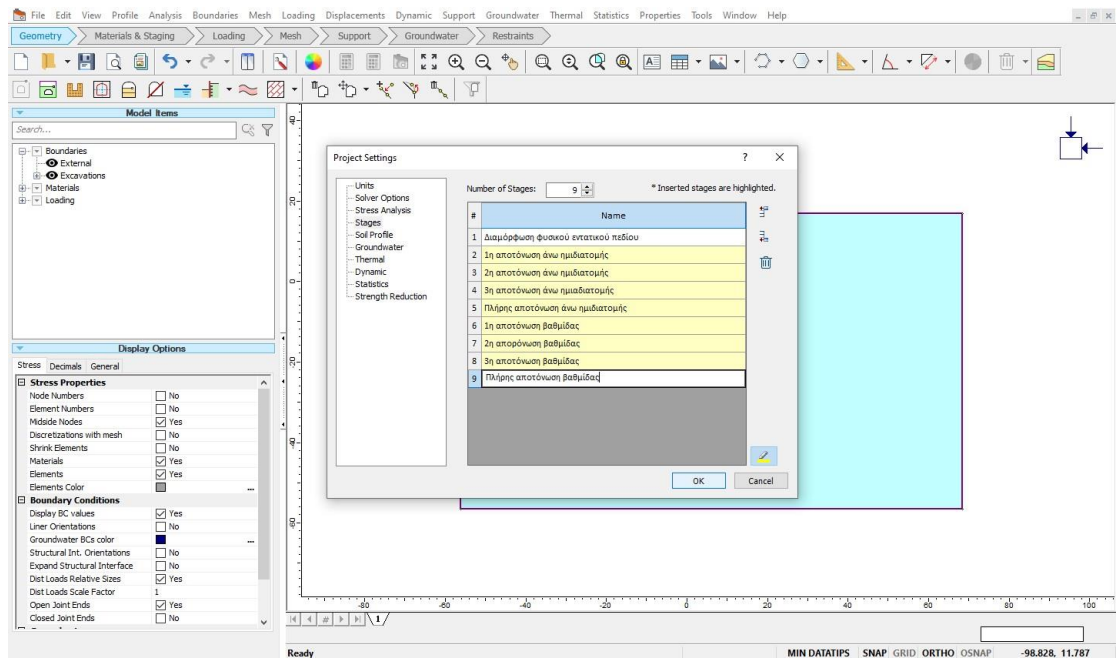
Στο μοντέλο θα δημιουργηθούν συνολικά εννιά στάδια, όπως πραγματοποιήθηκε και στην μελέτη, έτσι ώστε αυτό να προσεγγίζει όσο το δυνατό περισσότερο τις πραγματικές συνθήκες της σταδιακής εκσκαφής. Επιπλέον, αναφέρεται ότι η διατομή δεν θα διανοιχθεί σε ένα μόνο βήμα, αλλά σε δύο. Στο πρώτο μέρος της εκσκαφής λαμβάνει μέρος η εκσκαφή του άνω μέρους της διατομής (άνω ημιδιατομή) και στο δεύτερο μέρος το κάτω μέρος αυτής (βαθμίδα). Τα πρώτα πέντε στάδια, επομένως, σχετίζονται με την εκσκαφή της άνω ημιδιατομής και της αποτόνωσης των τάσεων αυτής, ενώ τα υπόλοιπα τέσσερα με την εκσκαφή της βαθμίδας και την αντίστοιχη αποτόνωση.

Κάνοντας κλικ στην εντολή “Analysis” και στην συνέχεια επιλέγοντας το “Project Settings”, γίνεται μετάβαση στις ρυθμίσεις του μοντέλου.



Εικόνα 29. Μετάβαση στις ρυθμίσεις του μοντέλου

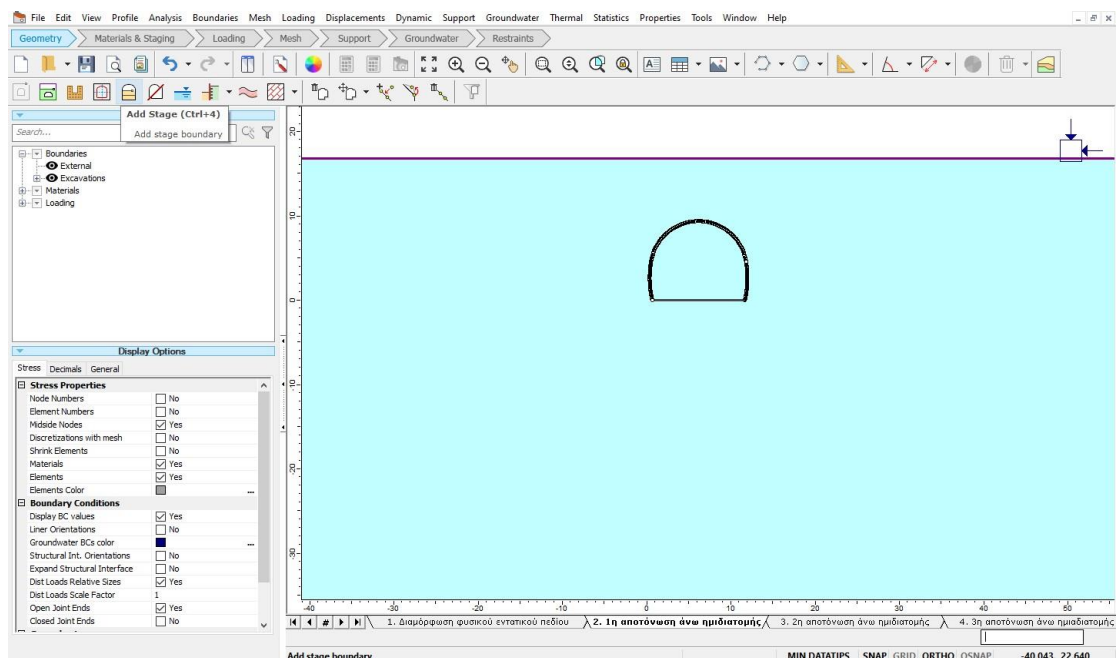
Επιλέγεται η εντολή “Stages” στην αριστερή στήλη, γίνεται αύξηση των σταδίων από ένα σε εννιά (number of stages) και τα ονομάζονται σύμφωνα με την μελέτη του έργου.



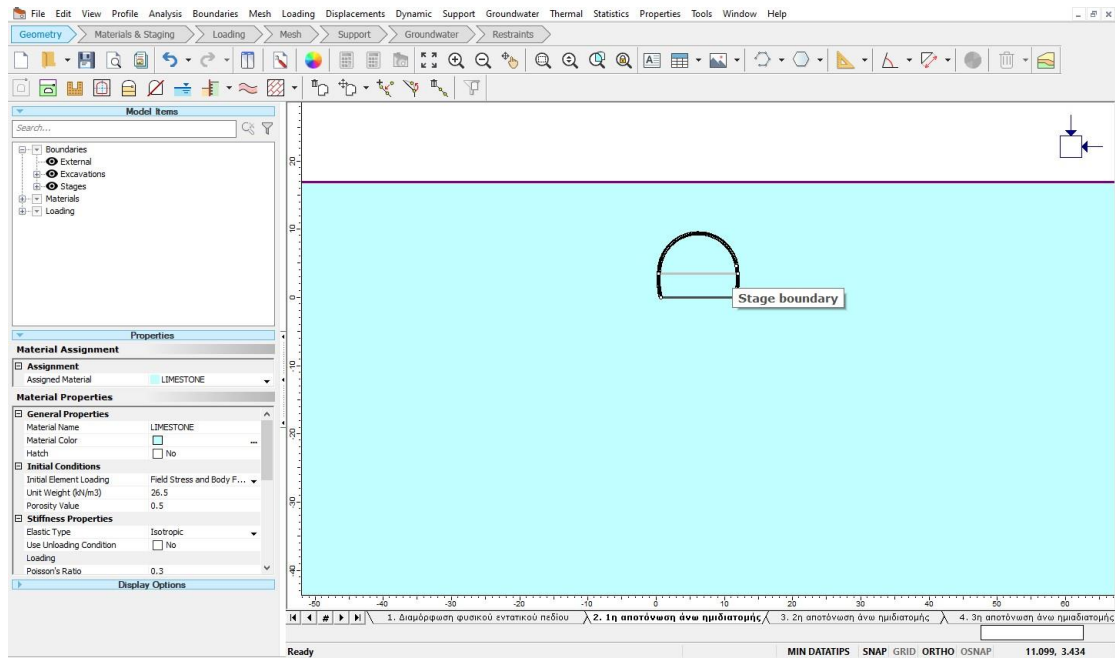
Εικόνα 30. Εισαγωγή σταδίων στο μοντέλο

ΒΗΜΑ 6^ο Διαχωρισμός της διατομής της εκσκαφής σε άνω ημιδιατομή και βαθμίδα.

Επιλέγεται το εικονίδιο "Add Stage" και στη συνέχεια χειροκίνητα προσδιορίζεται το επιθυμητό αρχικό και τελικό σημείο του ορίου.



Εικόνα 31. Εικονίδιο "Add Stage" στην επιφάνεια εργασίας



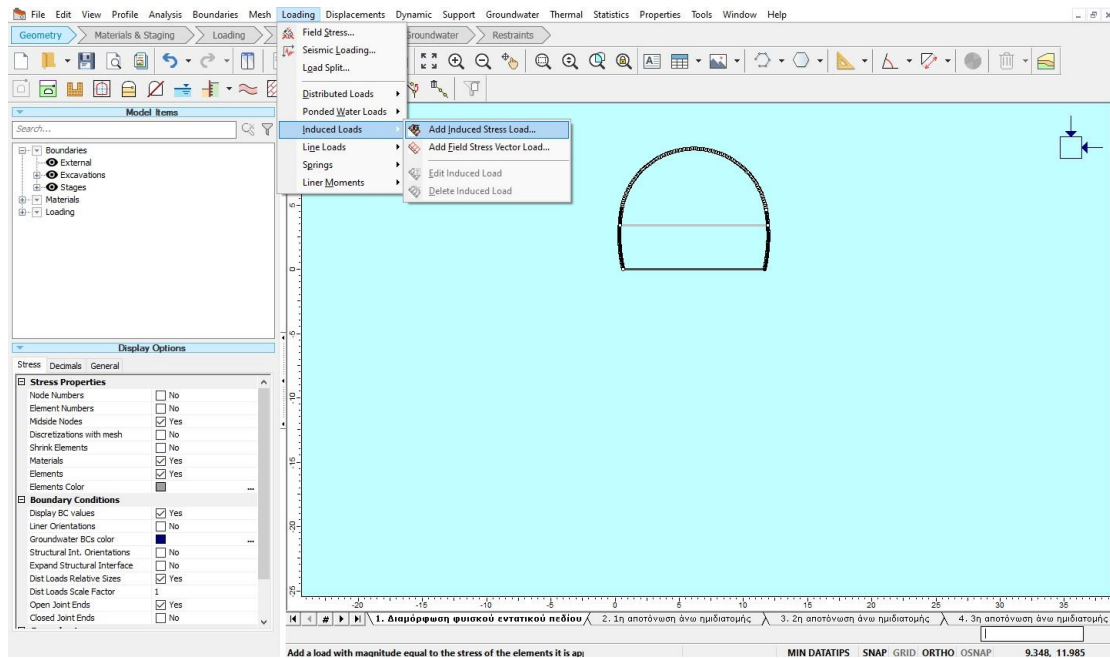
Εικόνα 32. Σχεδιασμός δύο σταδίων εκσκαφής

ΒΗΜΑ 7^ο Προσθήκη των κατανεμημένων φορτίων που προκύπτουν από την αποτόνωση των τάσεων λόγω εκσκαφής.

Αρχικά, πρέπει να αναφερθεί ότι στα επόμενα βήματα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή σε ποιο στάδιο γίνεται οποιαδήποτε επεξεργασία, ώστε η κάθε εντολή που δίνεται κάθε φορά να βρίσκεται στο σωστό στάδιο.

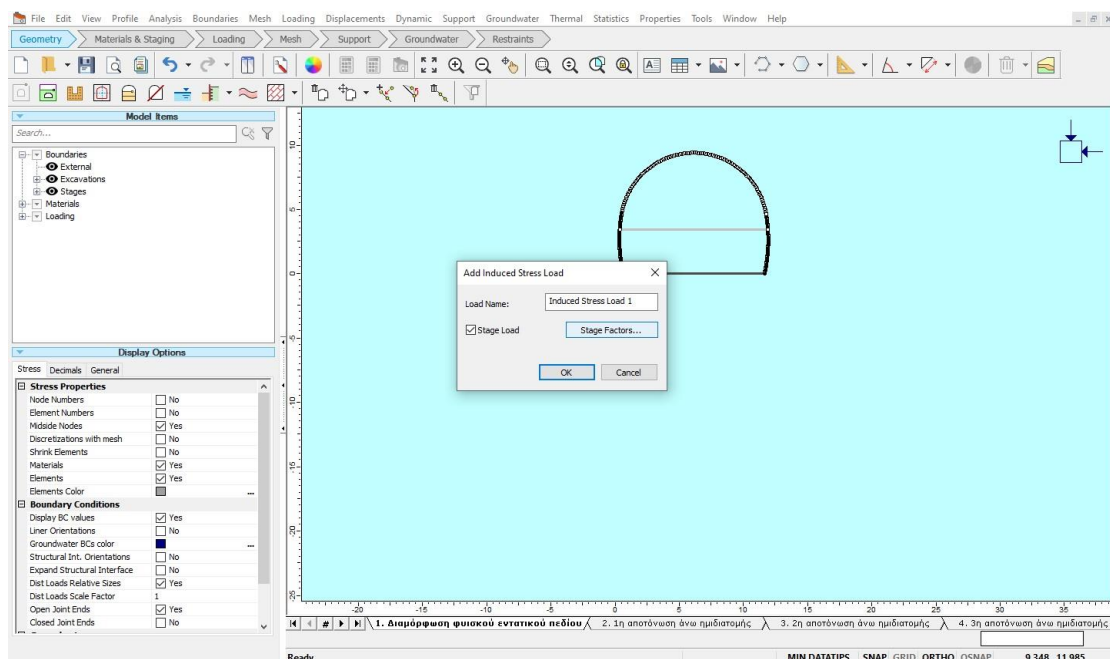
Η εκσκαφή της άνω ημιδιατομής, άρα και η πρώτη φάση της αποτόνωσης λαμβάνουν μέρος στο δεύτερο στάδιο. Επομένως, ιδιαίτερη προσοχή δίνεται ώστε οι εντολές που θα δίνονται να βρίσκονται στο δεύτερο στάδιο, δηλαδή στη δεύτερη καρτέλα.

Για την προσθήκη του φορτίου της άνω ημιδιατομής, επιλέγεται η εντολή "Loading", έπειτα η "Induced Loads" και, τέλος, η "Add Induced Stress Load".



Εικόνα 33. Εντολές για την προσθήκη των φορτίων λόγω αποτόνωσης των τάσεων

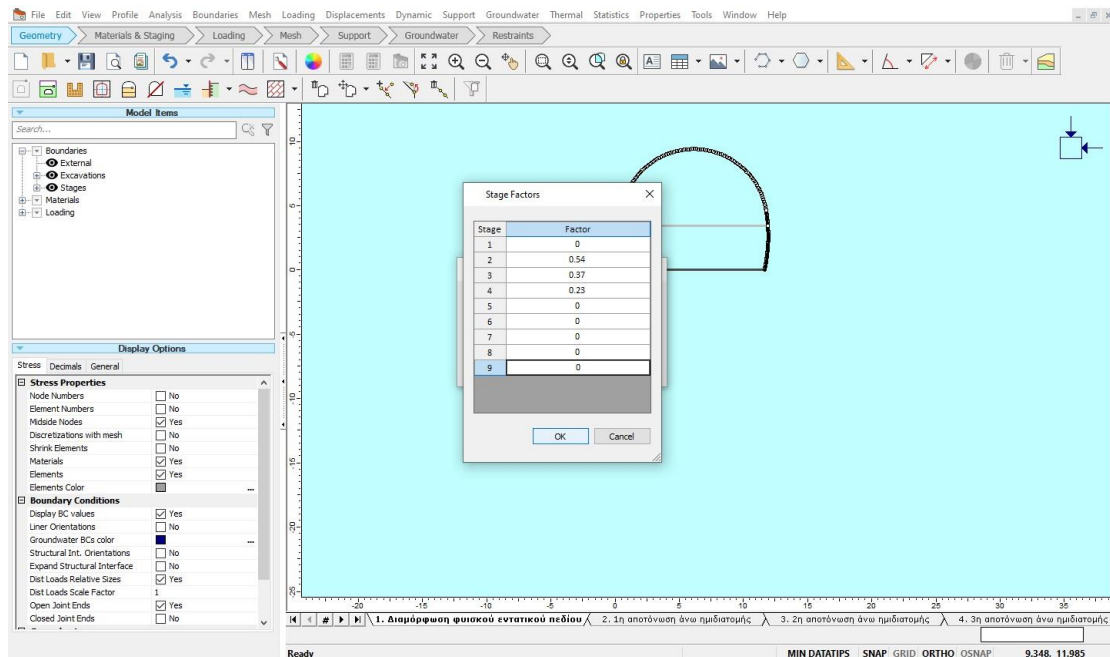
Στην επιφάνεια εργασίας αυτόματα εμφανίζεται ένας πίνακας. Σε αυτόν επιλέγεται η εντολή "Stage Load", αφού η αποτόνωση λαμβάνει μέρος σε τρία στάδια (2^ο με 4^ο). Έχοντας διαθέσιμη πλέον την εντολή "Stage Factors", εισάγονται οι ζητούμενοι τιμές του συντελεστή μείωσης της εσωτερικής πίεσης σε κάθε στάδιο.



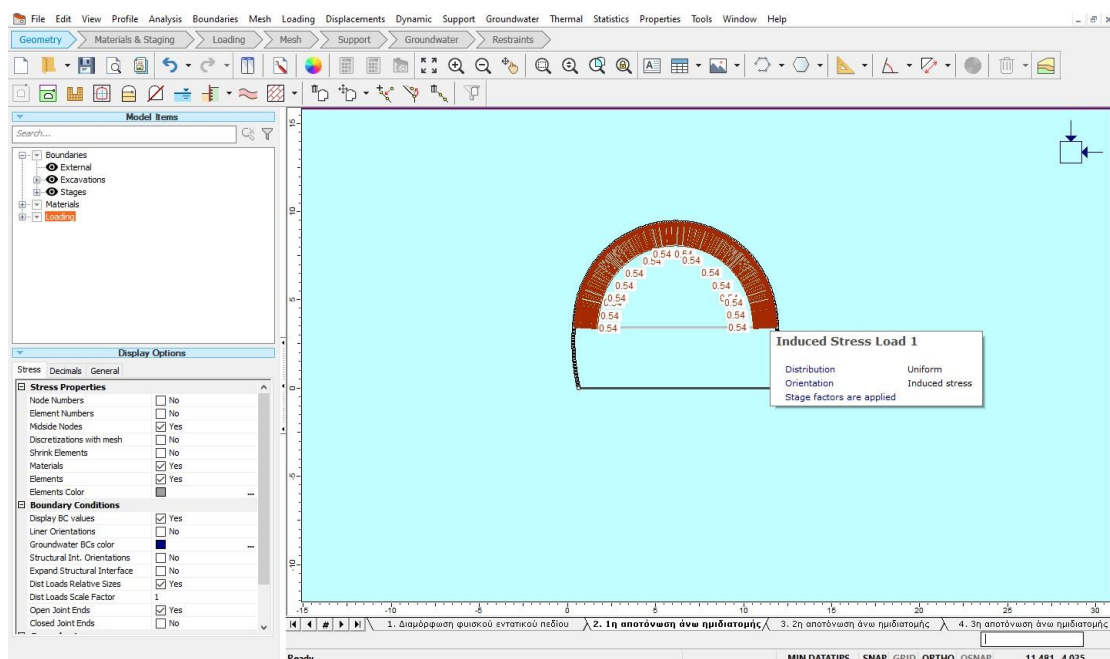
Εικόνα 34. Προσθήκη φορτίου στην άνω ημιδιατομή

Στο πρώτο στάδιο, όπου η εκσκαφή δεν έχει λάβει μέρος, δεν υπάρχει αποτόνωση, άρα συμπληρώνεται "0". Στο δεύτερο στάδιο, όπου έχει πραγματοποιηθεί η εκσκαφή της άνω ημιδιατομής, ο συντελεστής μείωσης της εσωτερικής πίεσης ισούται με 0.54, στο τρίτο στάδιο με 0.37, στο τέταρτο στάδιο με 0.23 και στα μετέπειτα στάδια, όπου έχει υπάρξει πλήρης αποτόνωση της ημιδιατομής, ισούται με 0. Τονίζεται ότι οι τιμές του συντελεστή

μείωσης της εσωτερικής πίεσης δεν επιλέχθηκαν τυχαία, αλλά εισήχθησαν από την μελέτη του έργου. Με την αποδοχή των αλλαγών αυτών, χειροκίνητα εφαρμόζεται στην εσωτερική πλευρά της άνω ημιδιατομής το φορτίο.

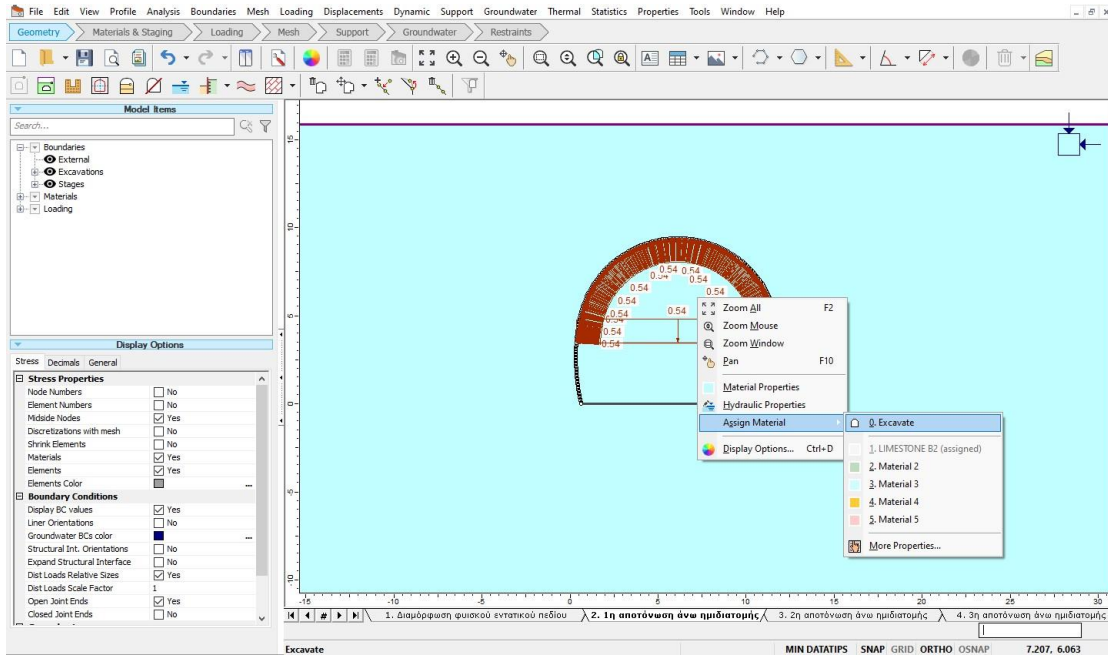


Εικόνα 35. Προσθήκη συντελεστή μείωσης της εσωτερικής πίεσης της άνω ημιδιατομής σε όλα τα στάδια του μοντέλου



Εικόνα 36. Επιτυχής προσθήκη του φορτίου στην άνω ημιδιατομή

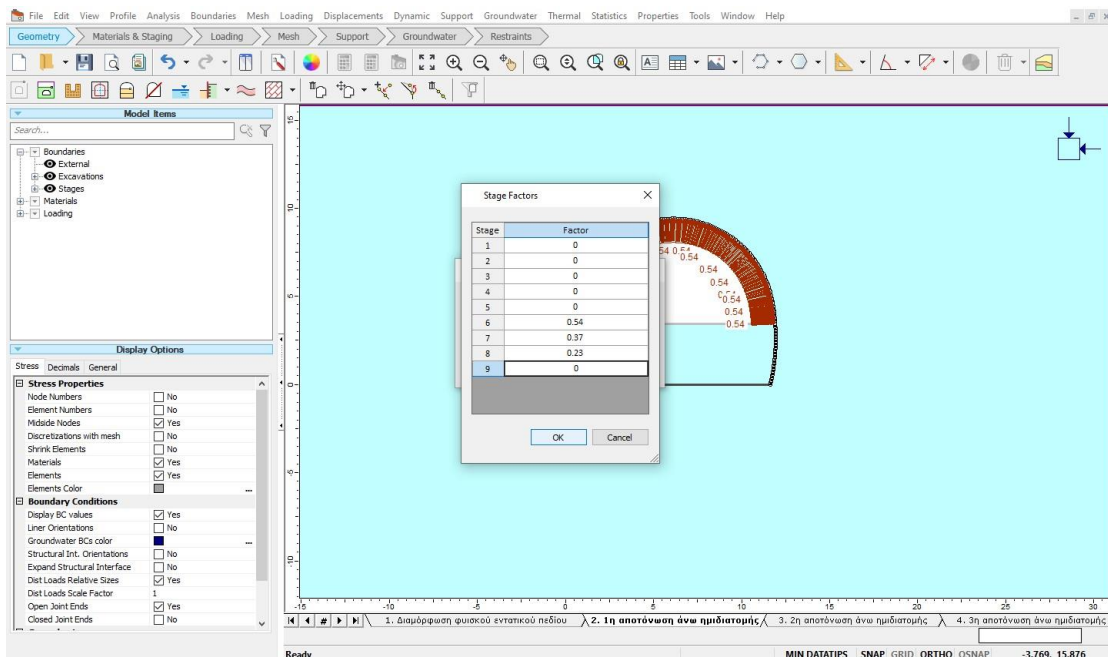
Τέλος, προστίθενται στο δεύτερο στάδιο του μοντέλου η εκσκαφή της άνω ημιδιατομής, ένα βήμα που θα μπορούσε να προηγηθεί της όλης διαδικασίας προσθήκης του φορτίου. Κάνοντας δεξί κλικ στο χώρο της άνω ημιδιατομής, διαλέγοντας την επιλογή "Assign Material" και τέλος "0.Excavate", πραγματοποιείται η εκσκαφή.



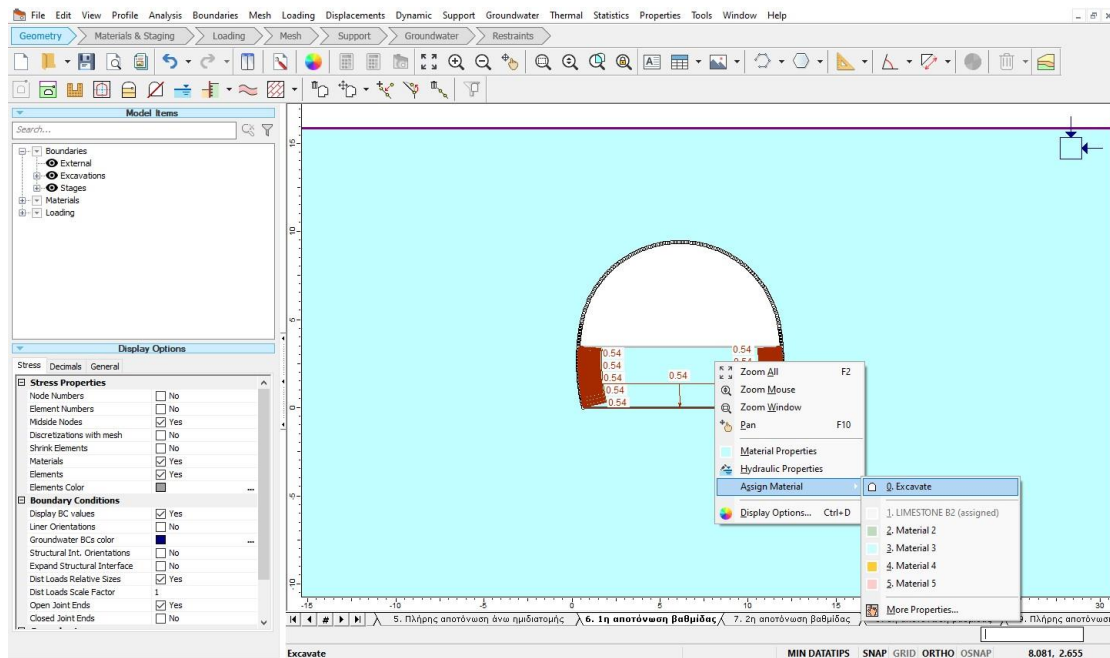
Εικόνα 37. Εκσκαφή της άνω ημιδιατομής

Ακολουθώντας την ίδια σειρά εντολών, δημιουργείται και ένα δεύτερο αντίστοιχο φορτίο αυτή την φορά στην βαθμίδα.

Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στο γεγονός ότι αυτό το φορτίο εμφανίζεται στο έκτο στάδιο, στο οποίο λαμβάνει μέρος η εκσκαφή της βαθμίδας, οπότε στα προηγούμενα πέντε στάδια ο ζητούμενος συντελεστής ισούται με 0. Ολοκληρώνεται στο ένατο στάδιο, όπου έχει υπάρξει πλήρης αποτόνωση της βαθμίδας και ισούται και πάλι με 0. Επομένως, στα στάδια έξι, επτά και οκτώ ο συντελεστής λαμβάνει τις τιμές 0.54, 0.37 και 0.23 αντίστοιχα. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται εκσκαφή στο στάδιο έξι.



Εικόνα 38. Εισαγωγή τιμών συντελεστή μείωσης εσωτερικής πίεσης στη βαθμίδα



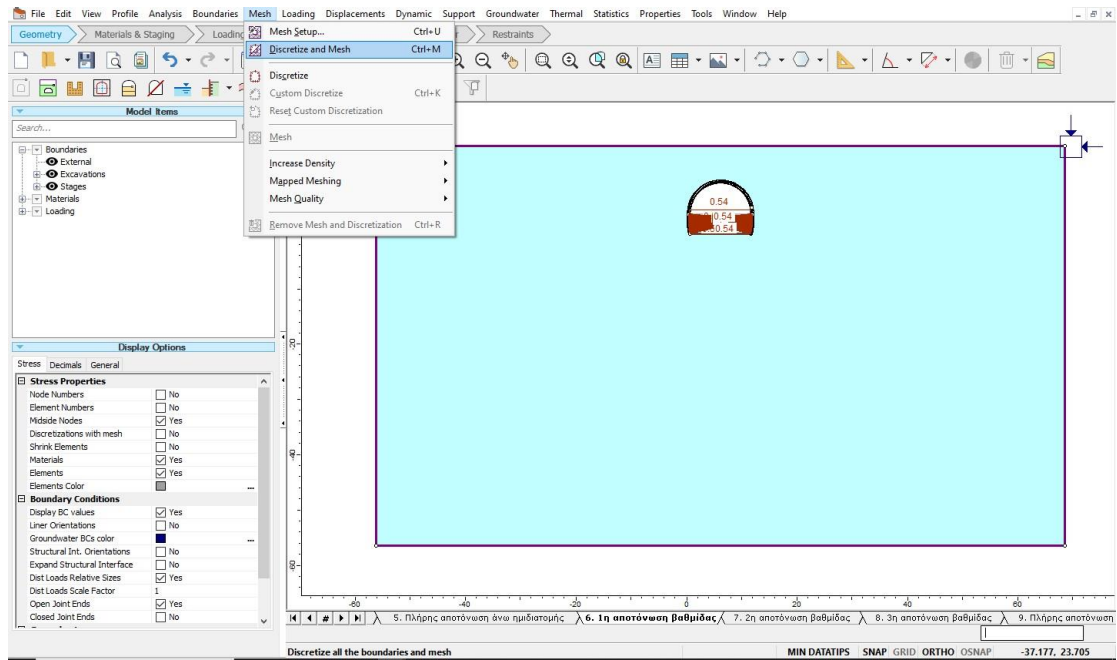
Εικόνα 39. Εκσκαφή της βαθμίδας

ΒΗΜΑ 8^ο Δημιουργία πλέγματος και διακριτοποίησης στο μοντέλο.

Το πλέγμα είναι ένα από τα θεμελιώδη στοιχεία της διαδικασίας προσομοίωσης στην ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων. Είναι ένα δίκτυο που αποτελείται από κελιά και σημεία (ή κόμβους). Μπορεί να έχει σχεδόν οποιοδήποτε σχήμα ή μέγεθος και χρησιμοποιείται για την επίλυση μερικών διαφορικών εξισώσεων. Κάθε κελί του πλέγματος αντιπροσωπεύει μια μεμονωμένη λύση της εξίσωσης, η οποία, όταν συνδυάζεται με ολόκληρο το δίκτυο, οδηγεί σε μια λύση για ολόκληρο το πλέγμα. Η επίλυση ολόκληρου του αντικειμένου χωρίς τη διαίρεσή του σε μικρότερα κομμάτια μπορεί να είναι αδύνατη λόγω της πολυπλοκότητας που υπάρχει μέσα στο αντικείμενο

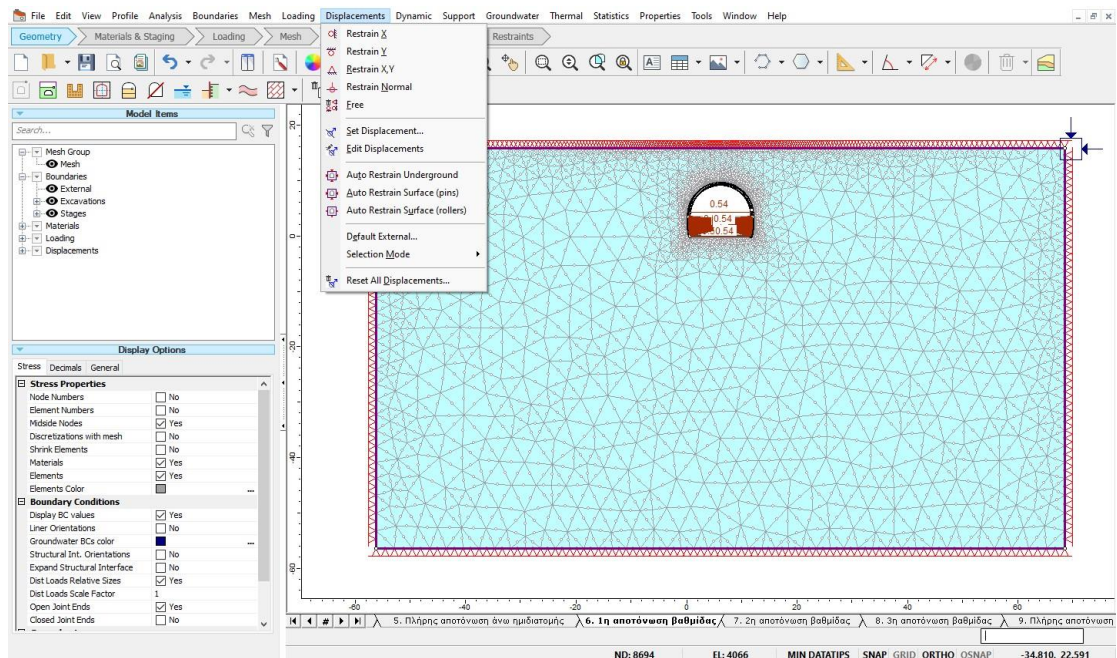
Το πρώτο βήμα για την αριθμητική επίλυση ενός συνόλου μερικών διαφορικών εξισώσεων είναι η διακριτοποίηση των εξισώσεων και η διακριτοποίηση του πεδίου του προβλήματος. Η διαδικασία διακριτοποίησης των εξισώσεων σχετίζεται με μεθόδους όπως η μέθοδος πεπερασμένων διαφορών, η μέθοδος πεπερασμένου όγκου και η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων, σκοπός των οποίων είναι να πάρουν τις εξισώσεις σε συνεχή μορφή και να δημιουργήσουν ένα σύστημα αλγεβρικών εξισώσεων διαφορών. Η διαδικασία διακριτοποίησης του πεδίου δημιουργεί ένα σύνολο διακριτών κελιών και, επομένως, σημεία ή κόμβους που καλύπτουν το συνεχές πεδίο του προβλήματος.

Επιλέγοντας την εντολή “Mesh” και στη συνέχεια “Discretize and Mesh”, το μοντέλο είναι έτοιμο να τρέξει.

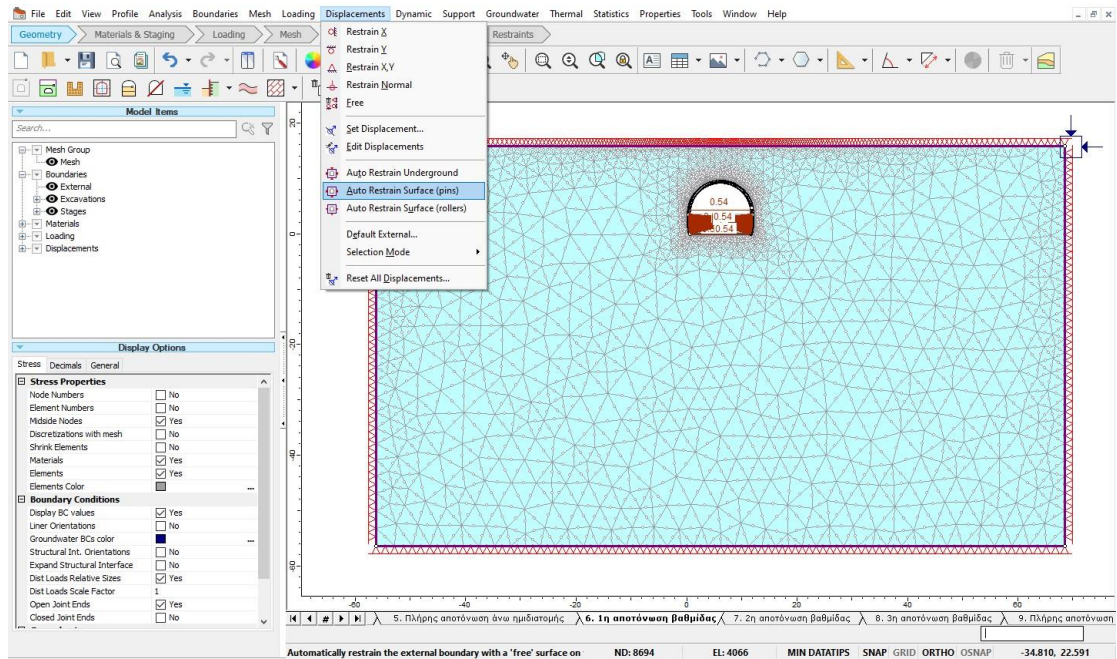


Εικόνα 40. Εισαγωγή πλέγματος και διακριτοποίησης στο μοντέλο

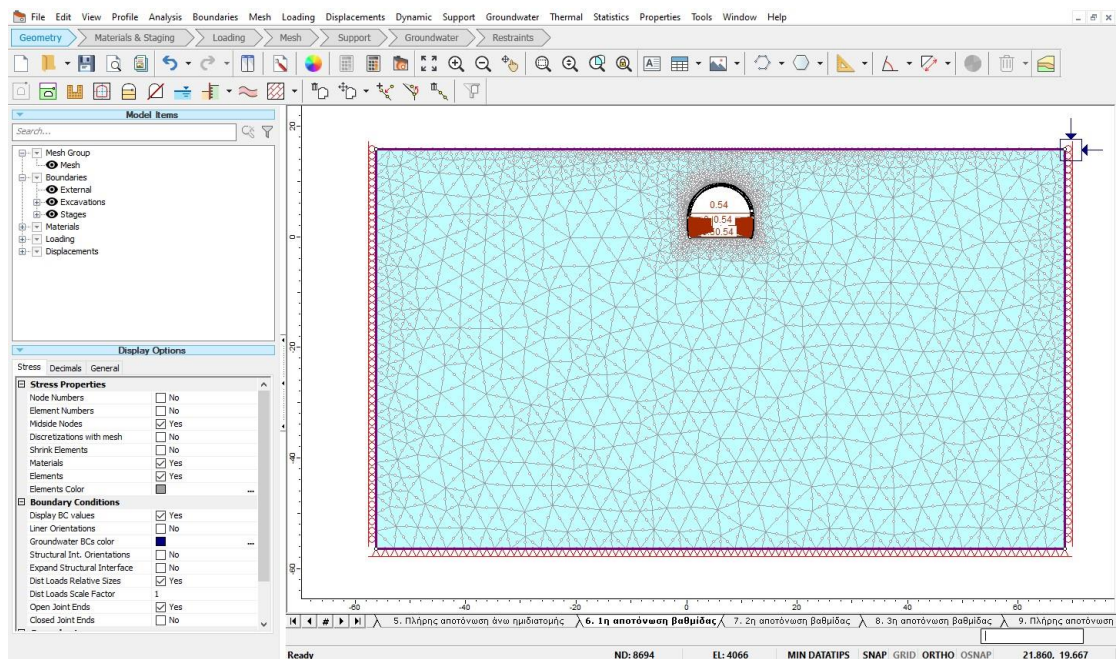
Τέλος, προσοχή πρέπει να δοθεί στις οριακές συνθήκες μετατοπίσεων του μοντέλου. Στην εντολή “Displacements”, επιλέγεται το “Auto Restrain Surface (pins)”, όπου με αυτή την εντολή το εξωτερικό άνω όριο της εκσκαφής αφήνεται ελεύθερο σε μετακινήσεις και τα πλευρικά και κάτω όρια πακτώνονται. Ωστόσο, επειδή τα πλαϊνά όρια τα εκσκαφής δεν χρειάζεται να είναι πακτωμένα παρά μόνο να περιοριστούν οι μετατοπίσεις τους στον άξονα του x, επιλέγεται το “Restrain X” και εφαρμόζεται χειροκίνητα στα όρια αυτά.



Εικόνα 41. Προσθήκη περιορισμών στις μετακινήσεις του μοντέλου



Εικόνα 42. Προσθήκη επιτρεπτών μετακινήσεων



Εικόνα 43. Τελική μορφή μοντέλου έχοντας προσδιοριστεί επιθυμητές μετακινήσεις

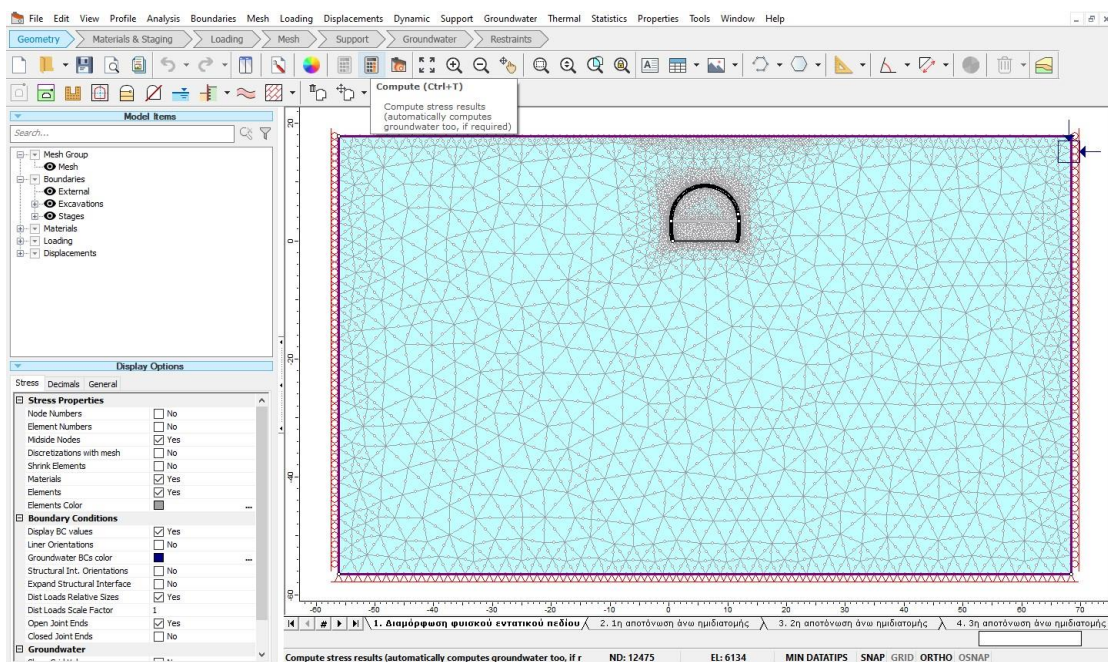
ΒΗΜΑ 9^ο Υπολογισμός και εμφάνιση αποτελεσμάτων μοντέλων χωρίς την προσθήκη μέτρων υποστήριξης.

Έχοντας πραγματοποιήσει τις παραπάνω ρυθμίσεις, έχουν προσεγγιστεί όσο το δυνατό περισσότερο οι συνθήκες που αναμένεται να συναντηθούν κατά την εκσκαφή.

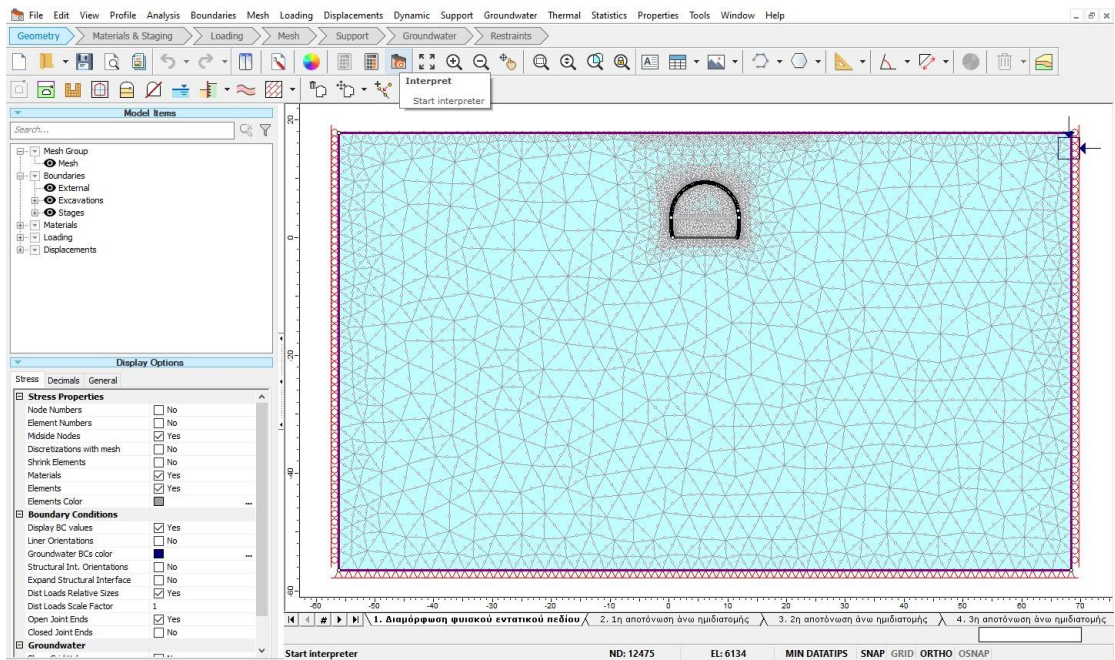
Στο βήμα αυτό θα εξεταστούν τρία διαφορετικά μοντέλα, με μόνη διαφορά το ύψος των υπερκειμένων. Το πρώτο μοντέλο θα έχει ύψος υπερκειμένων ίσο με μία διάμετρο διατομής, άρα περίπου 9.5m. Το δεύτερο μοντέλο θα έχει 7m υπερκείμενα και το τρίτο 5m.

Γενικά, ένα ύψος υπερκειμένων μεγαλύτερο του μισού της διαμέτρου της διατομής της σήραγγας είναι ένα πρώτο βήμα για διερεύνηση για πιθανή θέση στομίου, για αυτό και το ένα μοντέλο έχει ύψος υπερκείμενων 5m. Το μοντέλο με υπερκείμενα ίσα με τη διάμετρο της διατομής, που είναι το μοντέλο με τα υψηλότερα υπερκείμενα, δύσκολα θα γίνει αποδεκτό ως θέση στομίου μιας και τα περίπου 9.5m υπερκείμενα είναι αρκετά για έναν τέτοιο σκοπό. Τέλος, τα 7m υπερκείμενα αποτελούν μία ενδιάμεση τιμή.

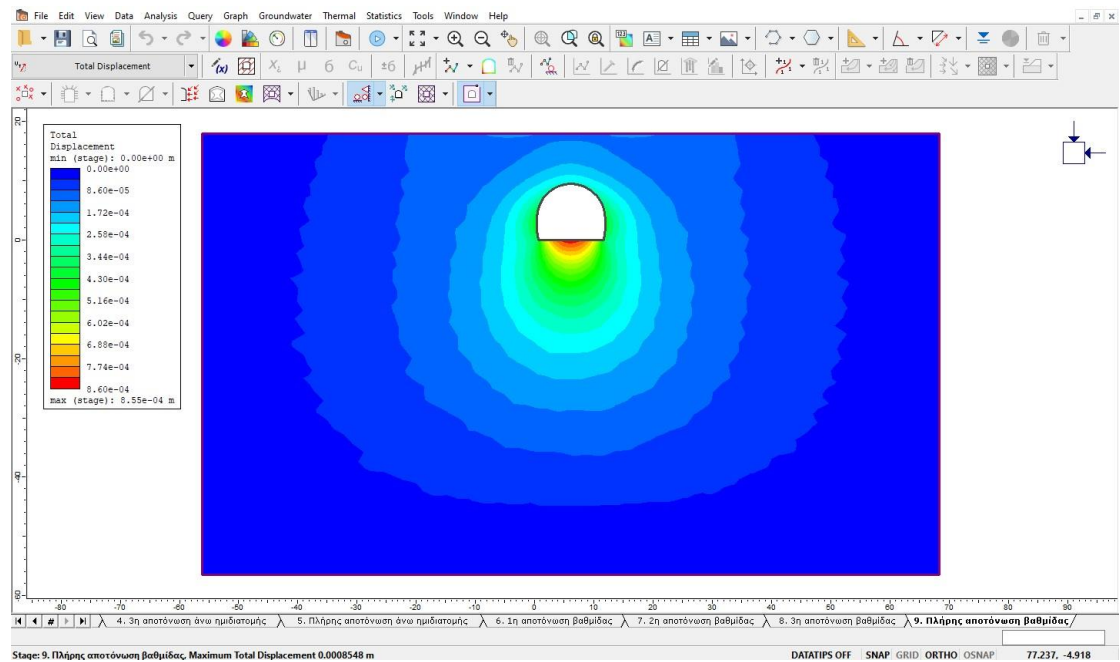
Κάνοντας κλικ στο εικονίδιο "Calculate", το λογισμικό επεξεργάζεται τα δεδομένα που έχουμε εισάγει. Μόλις πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός, γίνεται κλικ στο εικονίδιο "Interpret". Γίνεται μετάβαση αυτόματα στην γραφική ερμηνεία των αποτελεσμάτων.



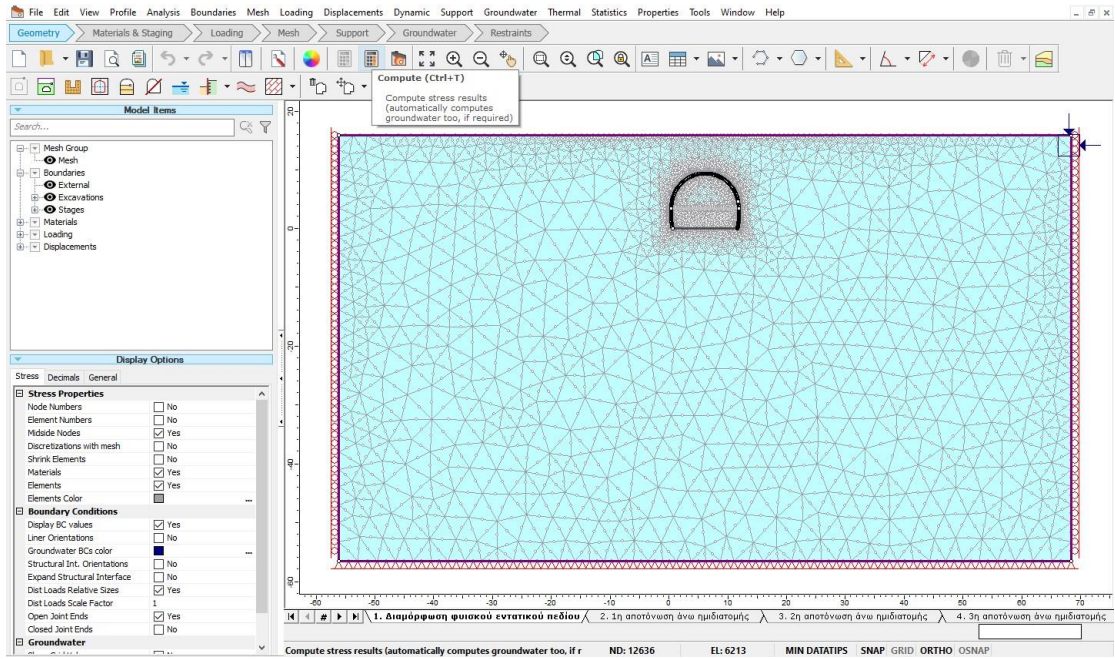
Εικόνα 44. Μοντέλο 1 (1Dx6Dx6D), στάδιο υπολογισμού δεδομένων



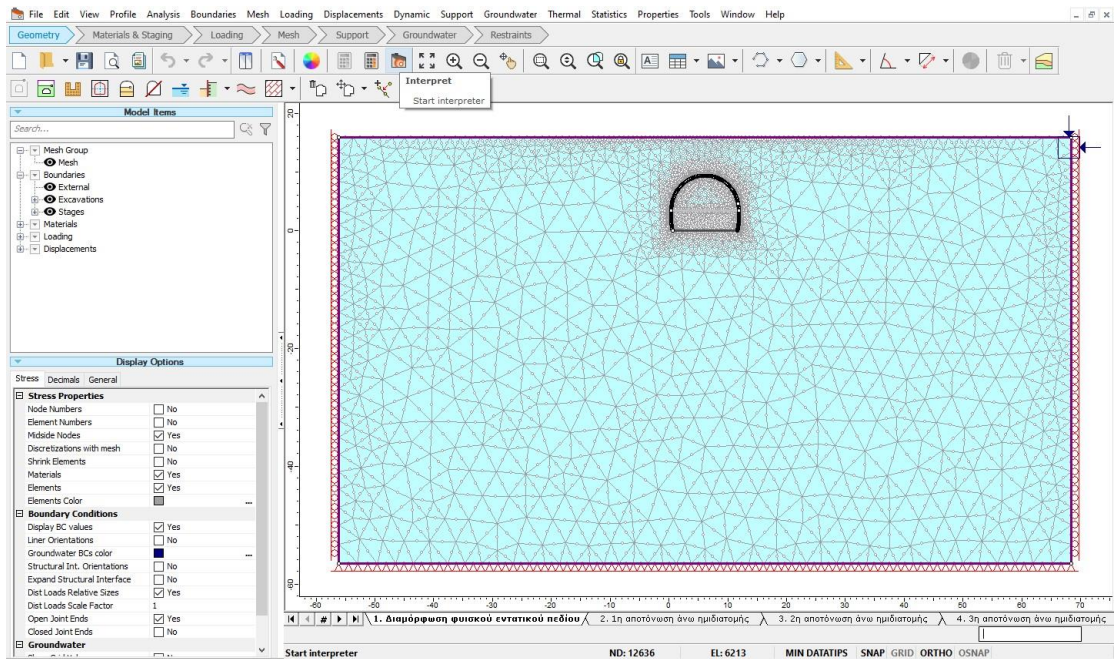
Εικόνα 45. Μοντέλο 1 (1Dx6Dx6D), στάδιο μετάβασης στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων



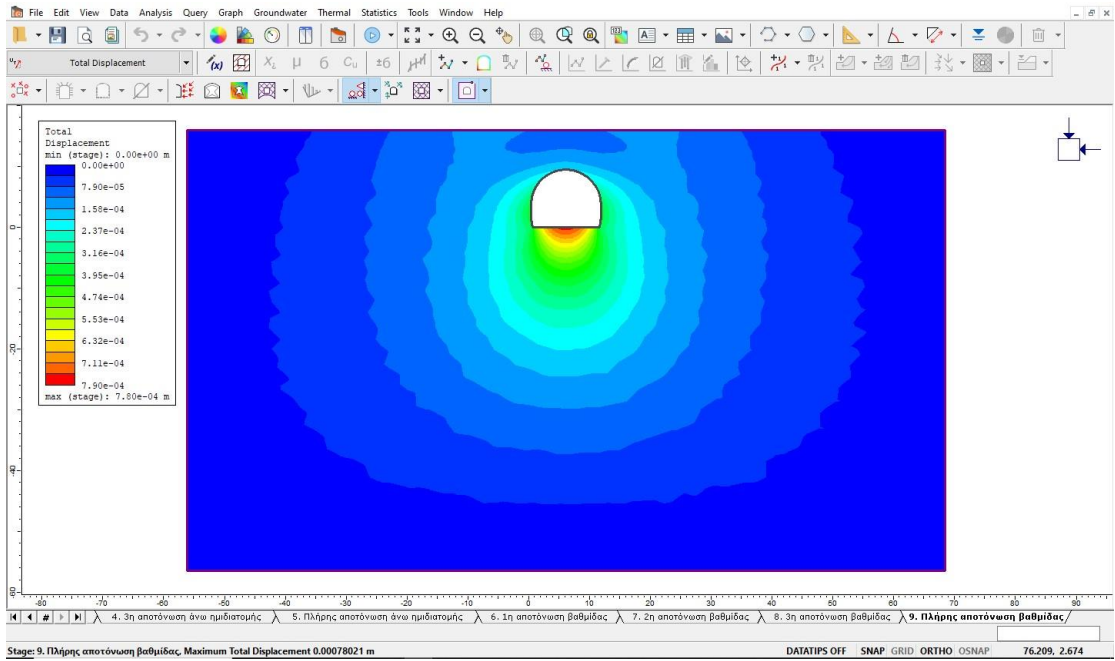
Εικόνα 46. Μοντέλο 1 (1Dx6Dx6D), συνολικές μετατοπίσεις στο τελευταίο στάδιο



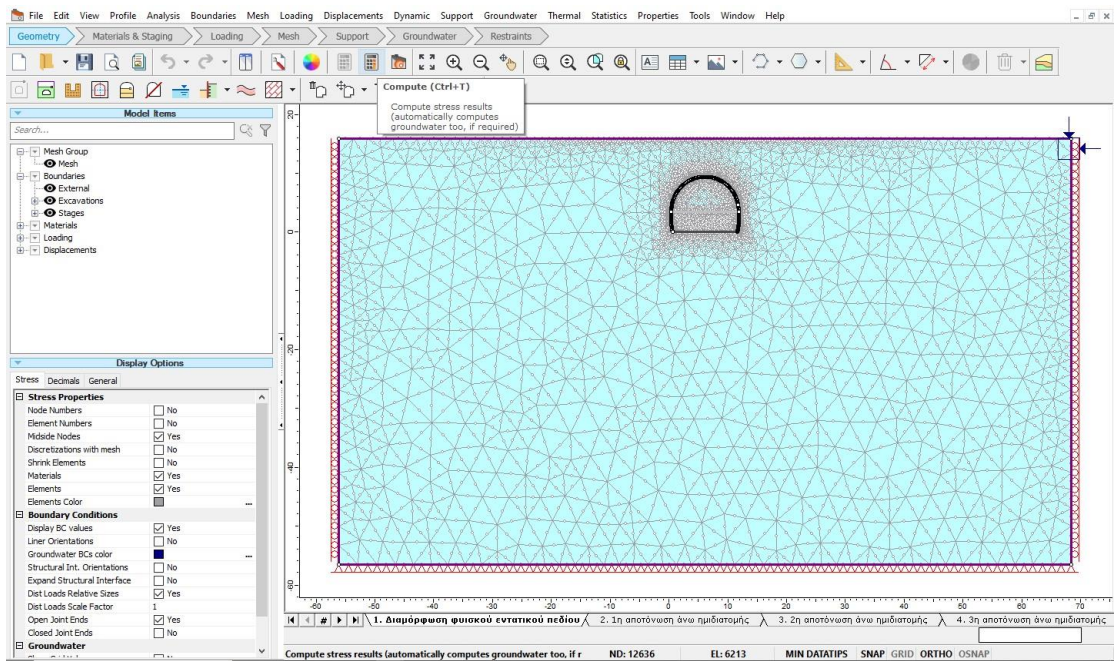
Εικόνα 47. Μοντέλο 2 (7mx6Dx6D), στάδιο υπολογισμού δεδομένων



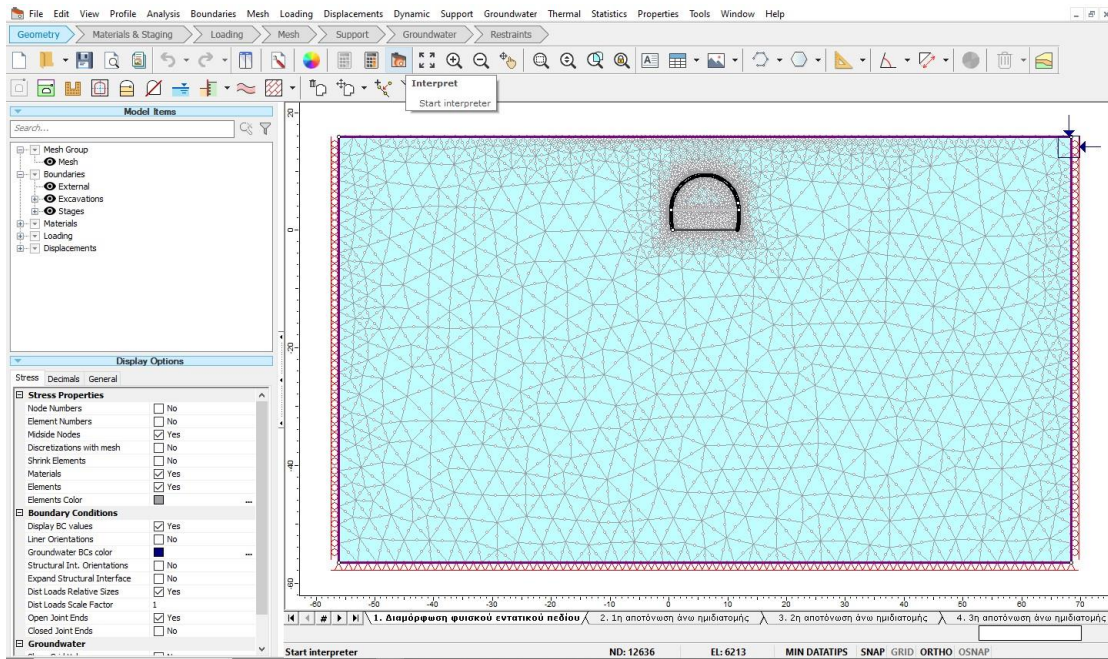
Εικόνα 48. Μοντέλο 2 (7mx6Dx6D), στάδιο μετάβασης στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων



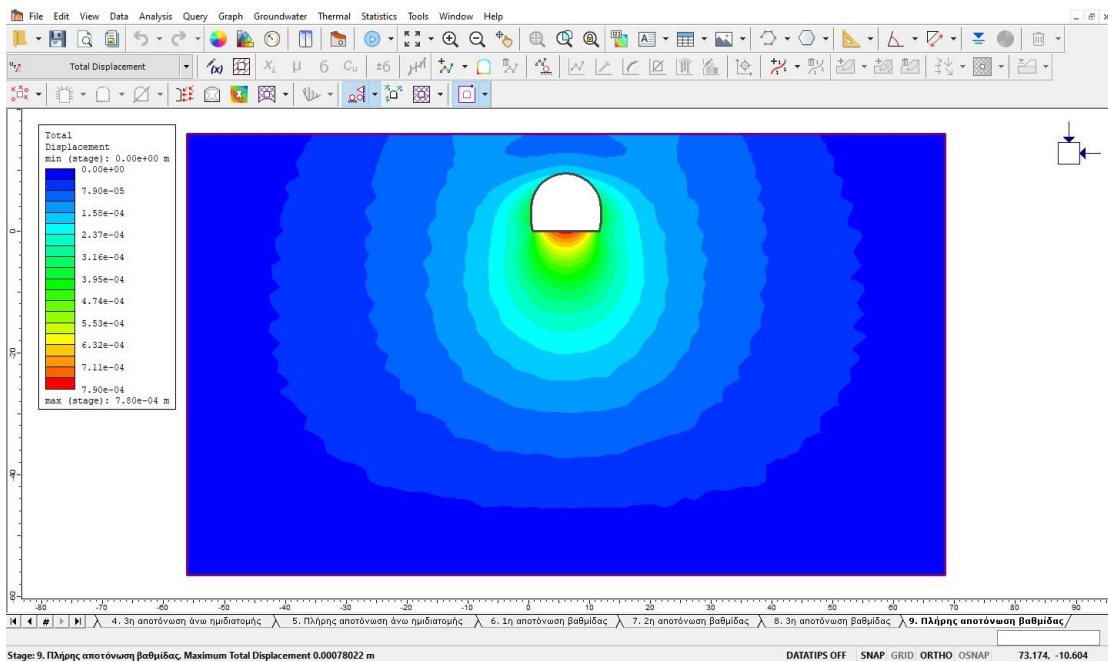
Εικόνα 49. Μοντέλο 2 (7mxDx6D), συνολικές μετατοπίσεις στο τελευταίο στάδιο



Εικόνα 50. Μοντέλο 3 (5.5mxDx6D), στάδιο υπολογισμού δεδομένων



Εικόνα 51. Μοντέλο 3 (5mX6Dx6D), στάδιο μετάβασης στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων



Εικόνα 52. Μοντέλο 3 (5mX6Dx6D), συνολικές μετατοπίσεις στο τελευταίο στάδιο

Είναι εμφανές πως οι μετακινήσεις και στα τρία μοντέλα είναι πολύ μικρές, οπότε η επιλογή του επιθυμητού ύψους των υπερκειμένων, και άρα η θέση του εκάστοτε στομιού, δεν θα κριθεί από αυτές. Εφόσον και τα τρία μοντέλα είναι κατάλληλα, η τοποθέτηση υποστήριξης θα συνεχίσει με το μοντέλο των 7m. Τα επτά μέτρα υπερκείμενα είναι ένα αποδεκτό νούμερο μιας και παρέχει ένα ικανοποιητικό χώρο πάνω από τη στέψη της διατομής για τοποθέτηση μέτρων υποστήριξης και ταυτόχρονα χωρίς αυτό να δημιουργεί μία αντιαισθητική εικόνα.

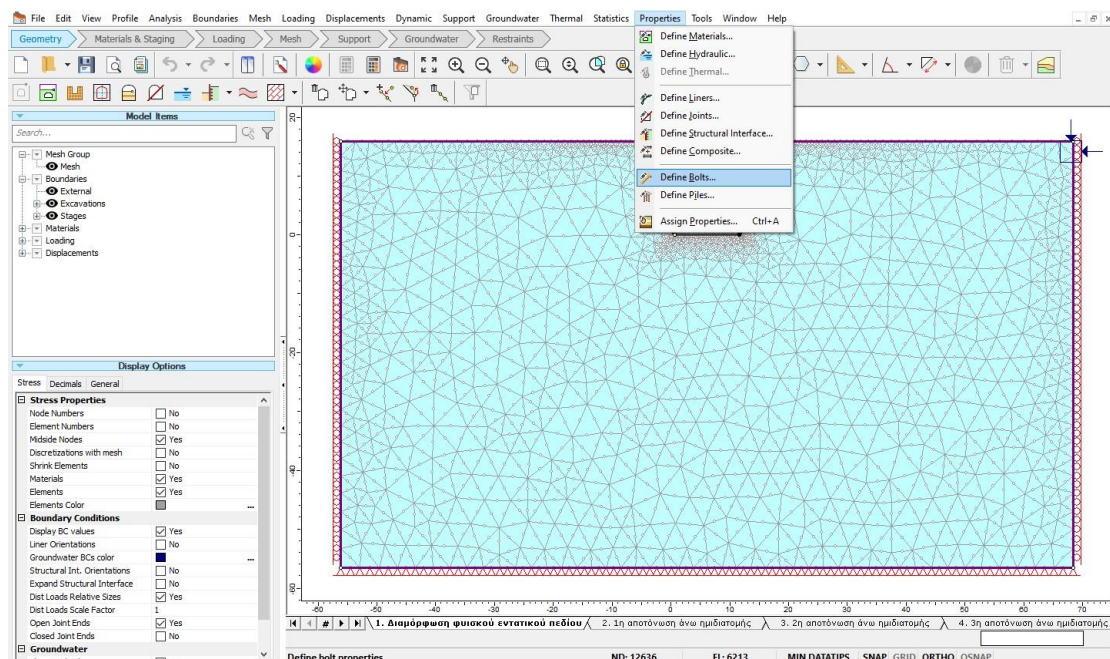
ΒΗΜΑ 10^ο Προσθήκη μέτρων υποστήριξης.

Για μέτρα υποστήριξης δύναται να χρησιμοποιηθούν αγκύρια και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Στην κατασκευή των στομίων συχνά χρησιμοποιούνται δοκοί προπορείας. Το πρόγραμμα, όμως, δεν παρέχει αυτή τη δυνατότητα μιας και προορίζεται για τη μελέτη σήραγγας και όχι στομίων, που αποτελούν ειδική περίπτωση.

Σε πρώτη φάση, θα τοποθετηθούν τα αγκύρια και έπειτα το σκυρόδεμα. Μία πρώτη σκέψη για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών αυτών είναι να χρησιμοποιηθούν αυτά που προτείνονται στην μελέτη για την τεχνικογεωλογική ενότητα B2 με ύψος υπερκειμένων από 0 μέτρα έως 270 μέτρα. Ωστόσο, επειδή το μοντέλο προσομοιάζει θέση στομίων, όπου οι συνθήκες γεωλογικά είναι δυσμενέστερες, θα χρησιμοποιηθεί μία πιο βαριά κατηγορία μέτρων υποστήριξης, η οποία ενδείκνυται να μεν για κατηγορία βραχομάζας B2 με ύψος, αλλά για ύψος υπερκειμένων από 270m έως 380m.

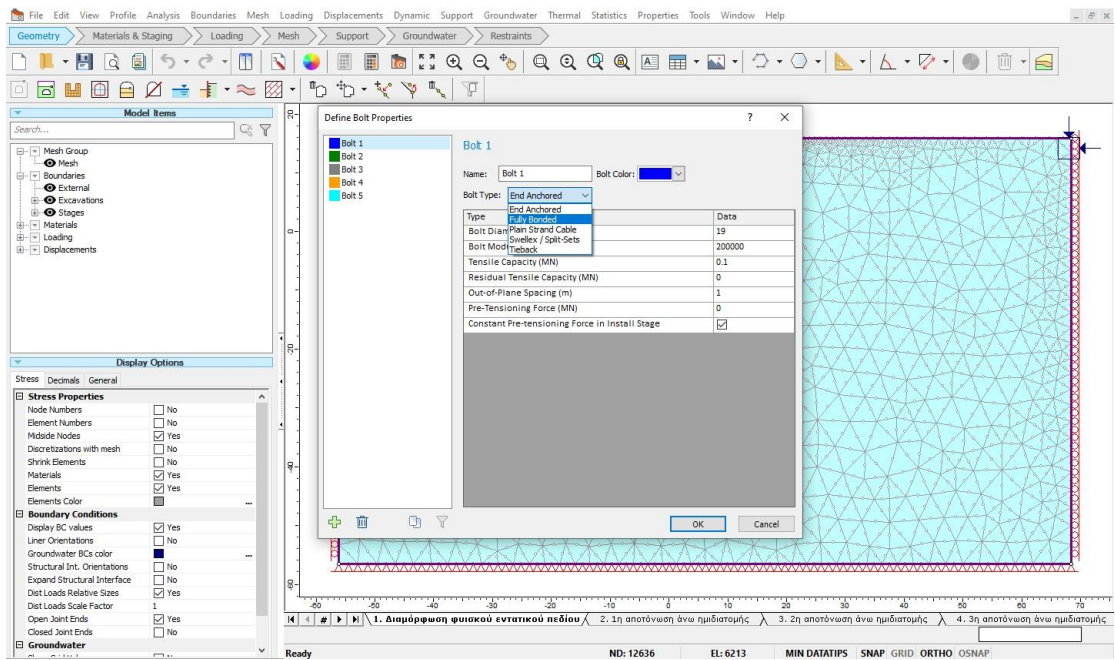
Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στα στάδια που τοποθετείται η υποστήριξη. Τα πρώτα μέτρα υποστήριξης τοποθετούνται στην άνω ημιδιατομή στο τρίτο στάδιο, όπου έχει γίνει η εκκαφή αυτής και έχει αποτονωθεί ως ένα βαθμό. Τα δεύτερα μέτρα υποστήριξης τοποθετούνται αντίστοιχα στην βαθμίδα στο έβδομο στάδιο.

Σε πρώτο στάδιο θα γίνει προσδιορισμός των κύριων χαρακτηριστικών των αγκυριών και του σκυροδέματος και σε δεύτερο στάδιο και τελευταίο στάδιο θα σχεδιαστεί η υποστήριξη. Επιλέγεται η εντολή "Properties" και στη συνέχεια η επιλογή "Define Bolts".

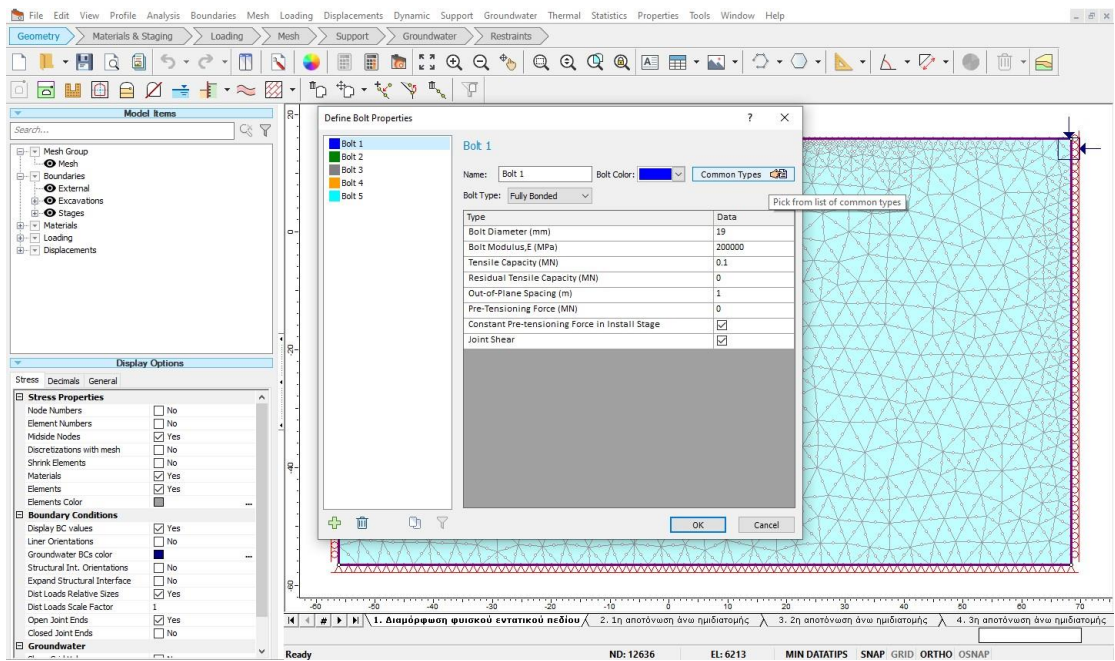


Εικόνα 53. Προσδιορισμός χαρακτηριστικών αγκυριών

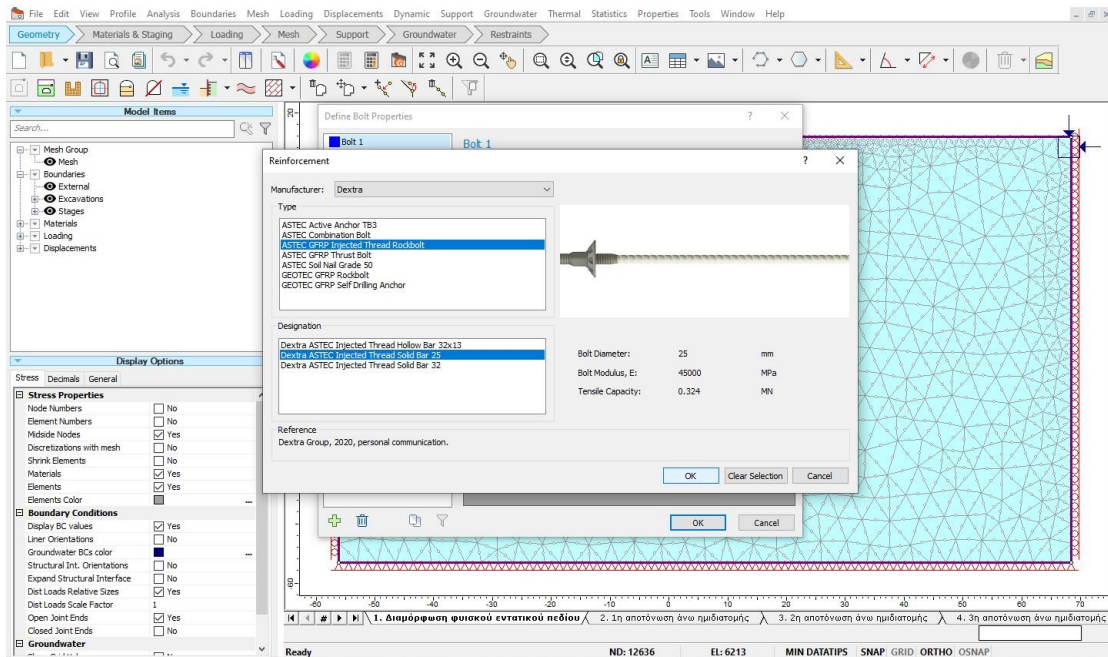
Ακολουθώντας την μελέτη, επιλέγονται αγκύρια πλήρους πάκτωσης (Fully Bonded) και, μάλιστα, για να προσδιοριστούν αυτόματα τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, αξιοποιείται η επιλογή που δίνεται από το πρόγραμμα για εφαρμογή συνήθων τύπων αγκυριών (Common Types). Εμφανίζεται στην οθόνη μία βάση δεδομένων όπου παρέχει έτοιμες επιλογές αγκυριών. Επιλέγεται ο τύπος αγκυριών ASTEC GFRP Injected Thread Rockbolt με διάμετρο Φ25.



Εικόνα 54. Επιλογή τύπου αγκυρίου

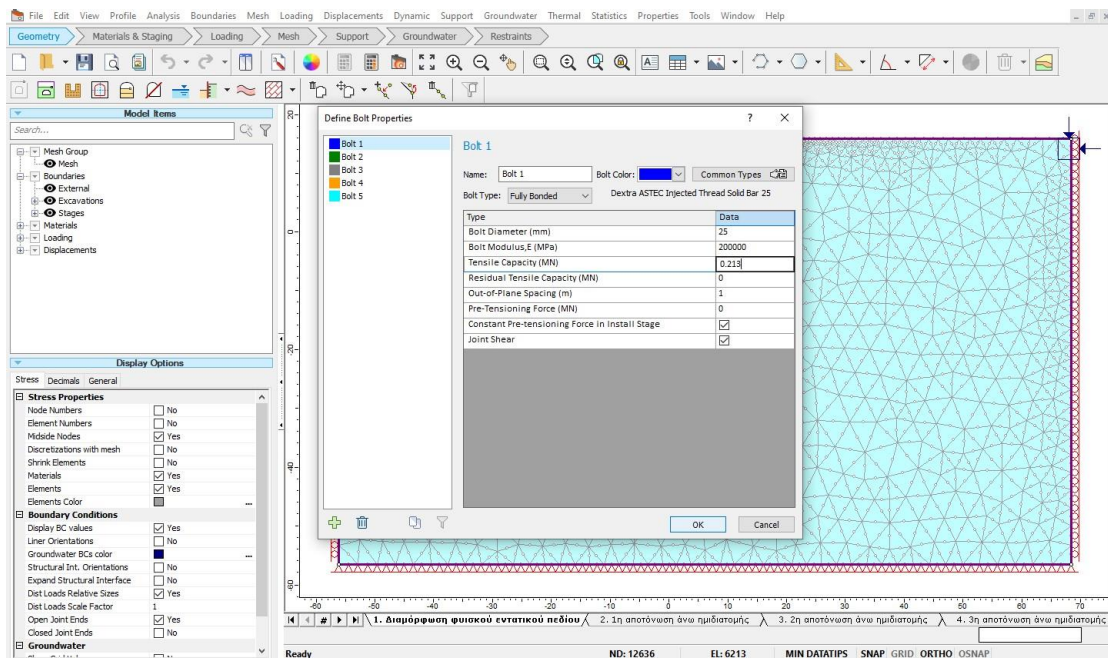


Εικόνα 55. Εντολή για χρήση συνήθων τύπων αγκυρίων



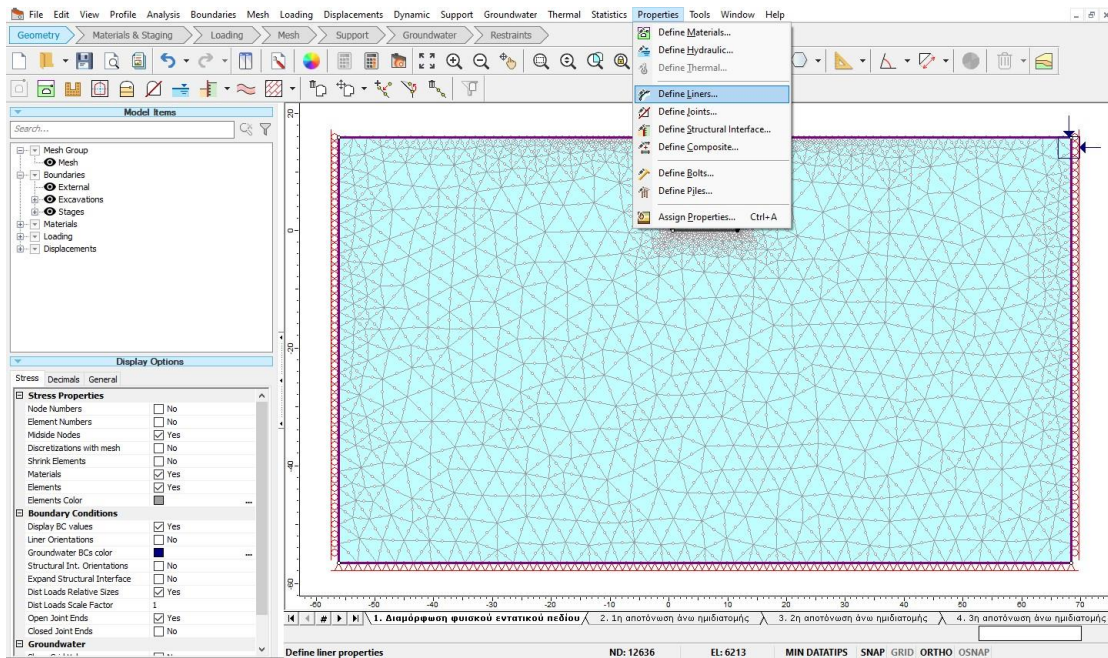
Εικόνα 40. Επιλογή συγκεκριμένου τύπου αγκυρίου με $\Phi 25$

Στη συνέχεια, προσδιορίζεται η εφελκυστική αντοχή, η οποία είναι το γινόμενο της φέρουσας ικανότητας αυτού, και το μέτρο ελαστικότητας των αγκυρίων.



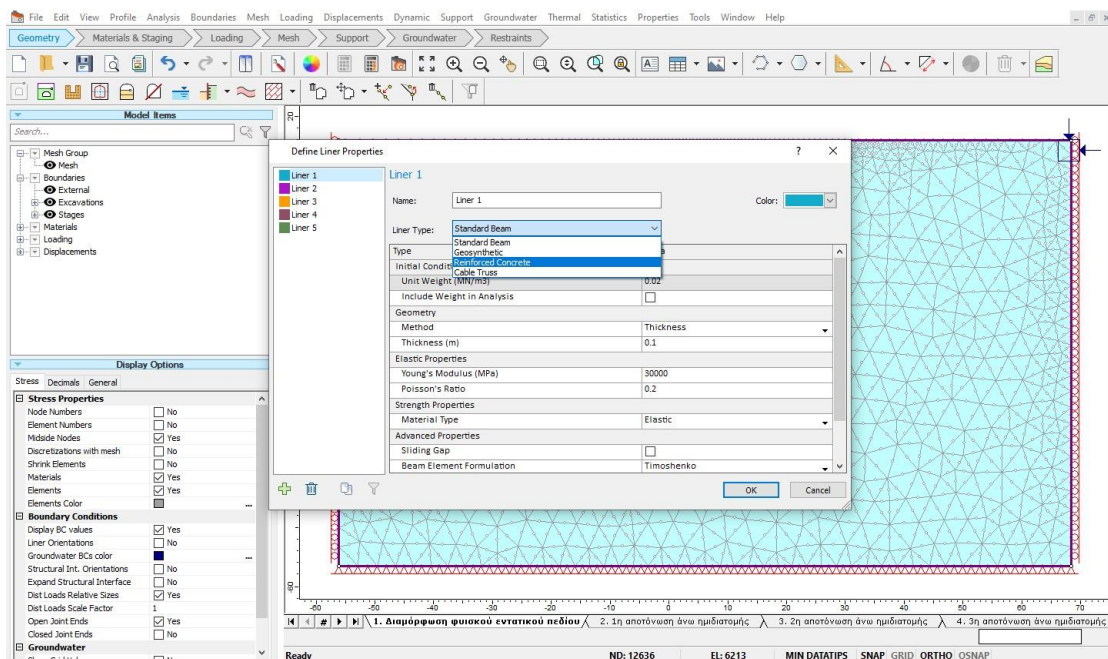
Εικόνα 56. Προσδιορισμός εφελκυστικής αντοχής και μέτρου ελαστικότητας αγκυρίων

Με τον ίδιο τρόπο, προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος. Αυτή τη φορά, όμως, επιλέγεται η εντολή "Define Liners".



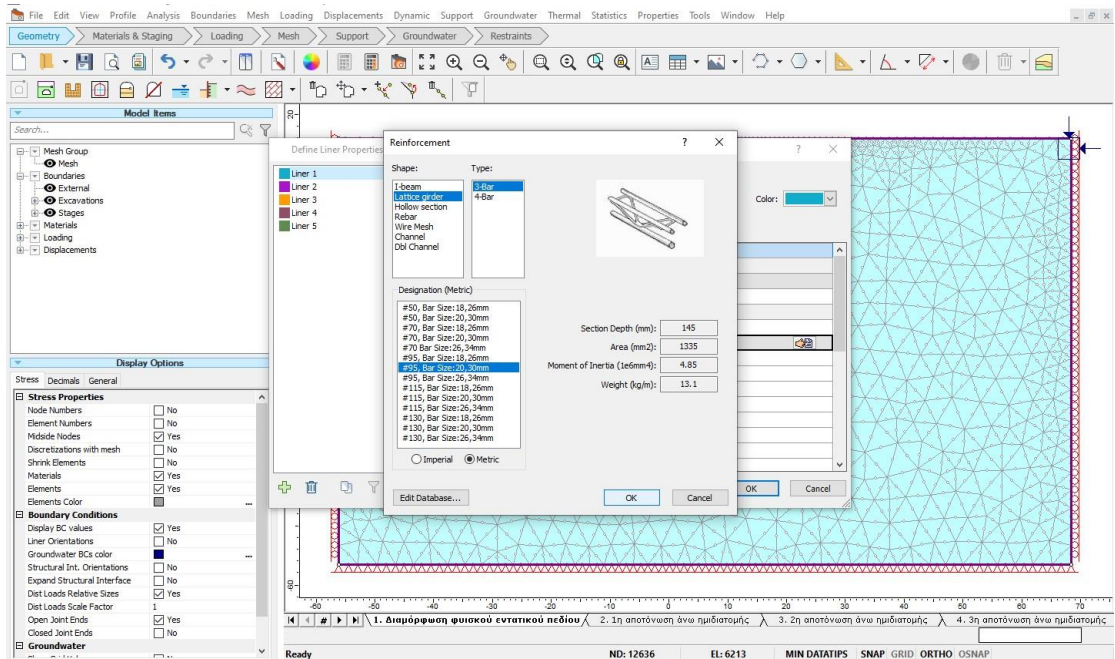
Εικόνα 57. Προσδιορισμός ιδιοτήτων σκυροδέματος

Στην οθόνη εργασίας εμφανίζεται ένας πίνακας, όπου επιλέγεται το σπλισμένο σκυρόδεμα (Reinforced Concrete) ως τύπος σκυροδέματος.



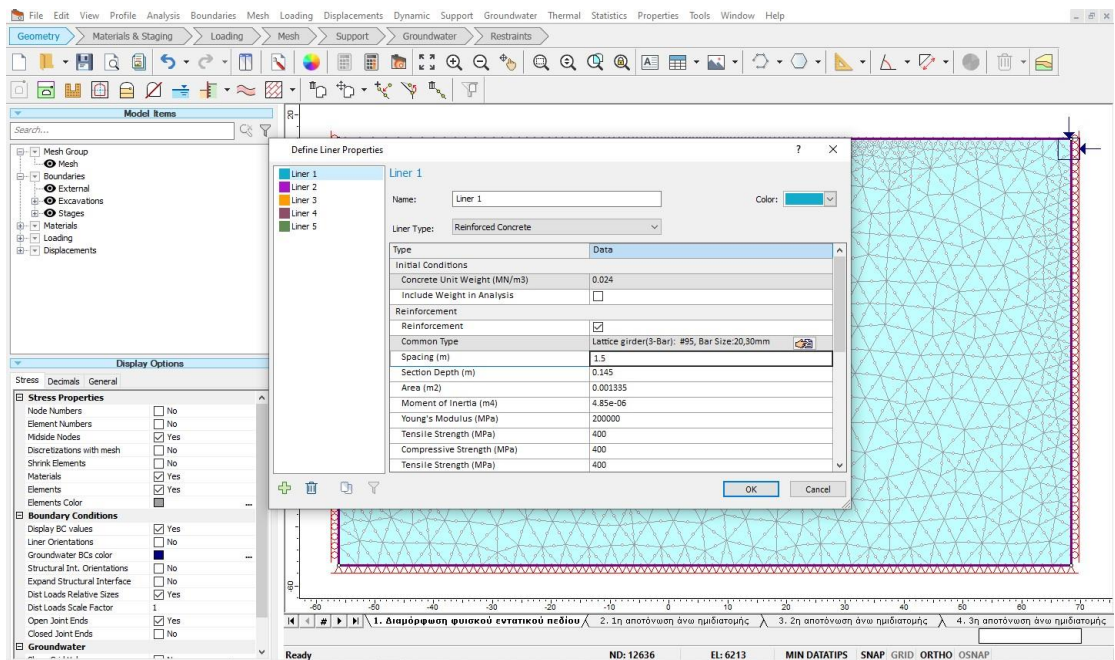
Εικόνα 58. Προσδιορισμός τύπου σκυροδέματος

Πάλι αξιοποιείται η επιλογή για χρήση συνήθη τύπου σκυροδέματος. Επιλέγεται αυτή τη φορά η χρήση δοκών πλέγματος (lattice girder) ως σπλισμός με τρεις δοκούς (3-bar) και συγκεκριμένα το "#95, Bar size: 20, 30mm".



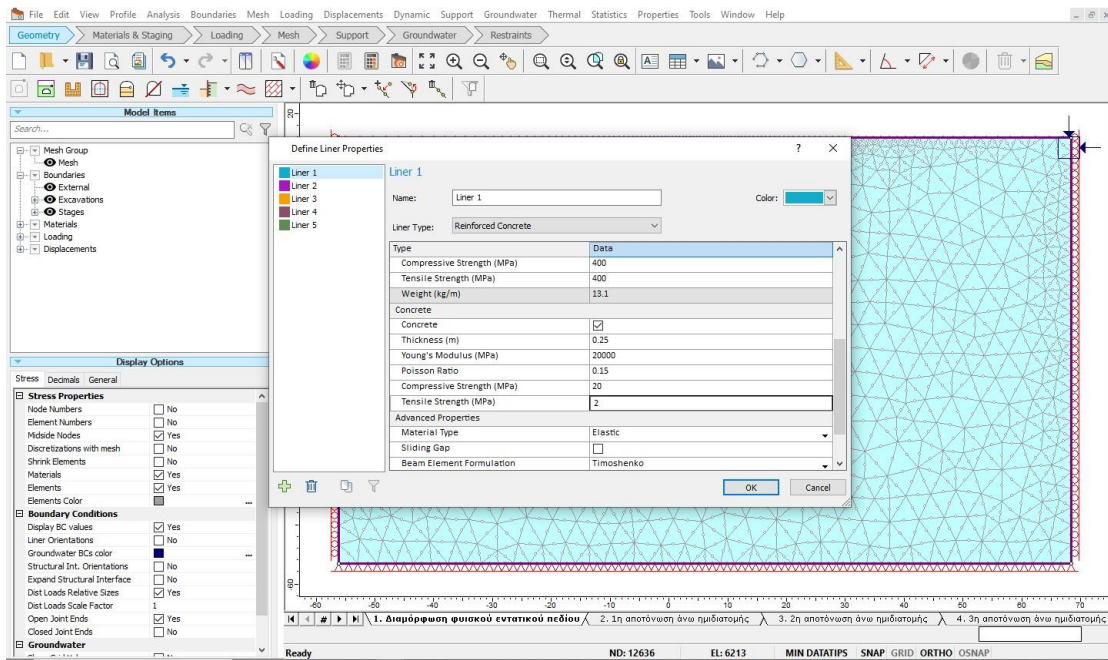
Εικόνα 59. Επιλογή τύπου οπλισμού του σκυροδέματος

Έπειτα, προσδιορίζεται η απόσταση του βήματος ίση με 1.5m, όσο δηλαδή και το βήμα της εκσκαφής.



Εικόνα 60. Προσδιορισμός βήματος

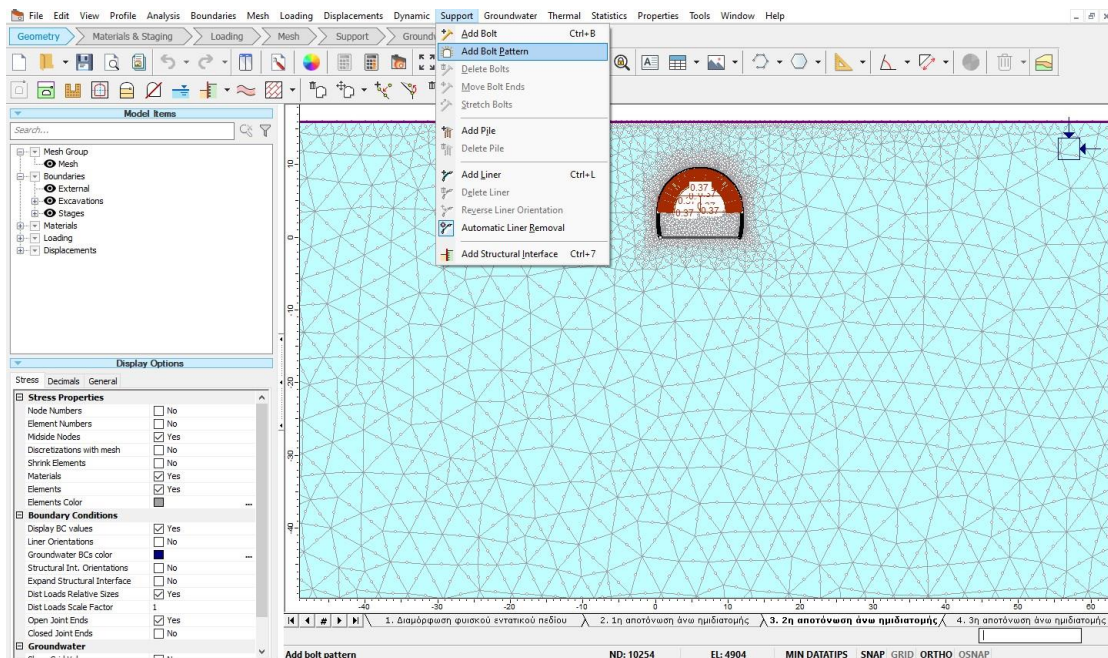
Τέλος, εισάγεται το πάχος (thickness) του σκυροδέματος σε 0.25 m, η αντοχή σε θλίψη ίση με 20 MPa (compressive strength) και μία ενδεικτική τιμή εφελκυστικής αντοχής ίση με 2 MPa.



Εικόνα 61. Προσδιορισμός αντόχης σε θλίψη σκυροδέματος

Τα χαρακτηριστικά των μέτρων υποστήριξης έχουν προσδιοριστεί και έπεται η τοποθέτησή τους.

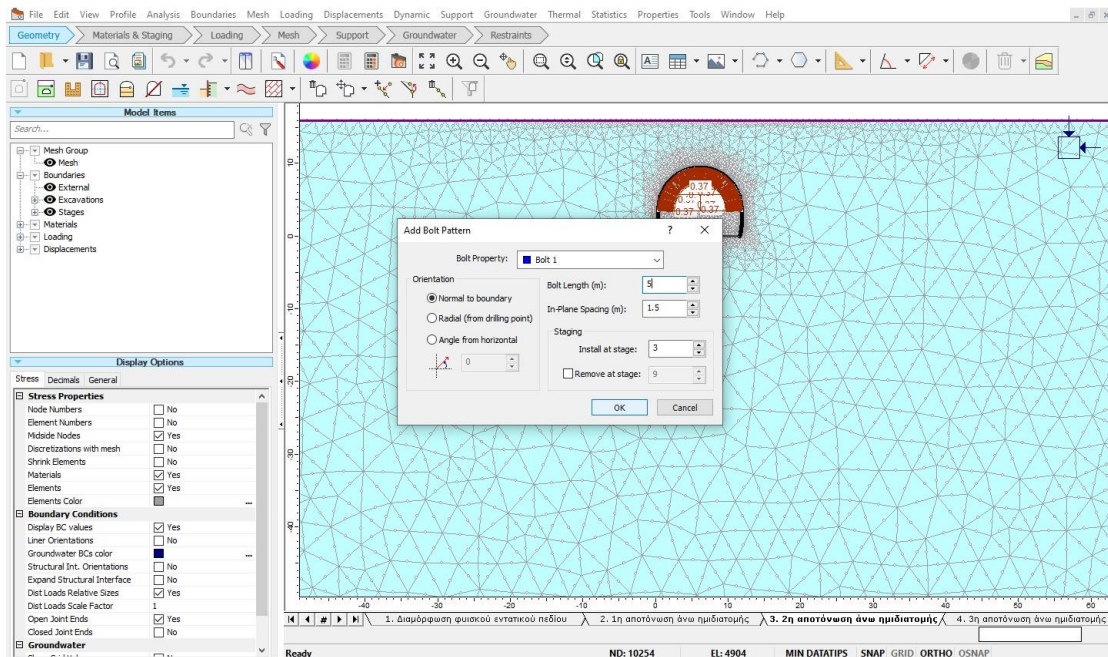
Επιλέγεται το τρίτο στάδιο, όπου θα τοποθετηθούν τα αγκύρια της άνω ημιδιατομής. Γίνεται κλικ στην εντολή “Support” και στη συνέχεια στην επιλογή “Add Bolt Pattern”.



Εικόνα 62. Προσθήκη μοτίβου αγκυρίων στην άνω ημιδιατομή

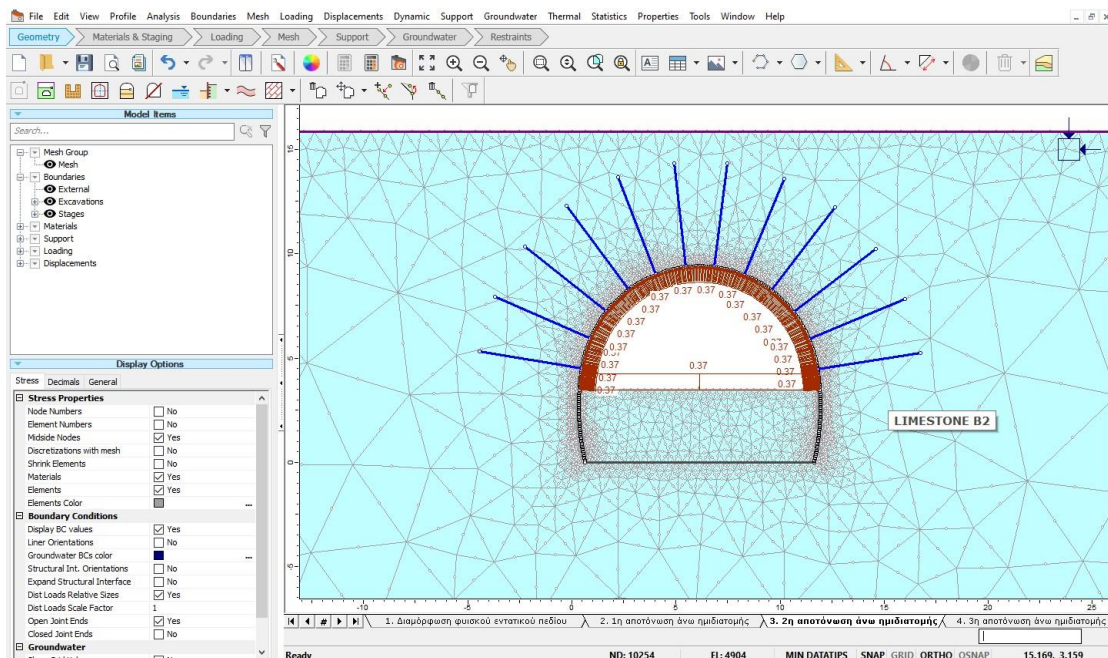
Στην επιφάνεια εργασίας εμφανίζεται ένας πίνακας όπου ζητάει να προσδιοριστούν βασικά χαρακτηριστικά των αγκυρίων που πρόκειται να τοποθετηθούν. Επιλέγονται τα “Bolts 1” στις ιδιότητες των αγκυρίων (Bolt Property) και στη συνέχεια συμπληρώνονται τα υπόλοιπα δεδομένα.

Εισάγεται το μήκος των αγκυριών ίσο με 5 μέτρα (bolt length) καθώς και η απόσταση μεταξύ τους στο επίπεδο (in-plane spacing) ίση με 1.5m. Όσον αφορά το προσανατολισμό (orientation), επιλέγεται να είναι κάθετος στο επίπεδο εφαρμογής.



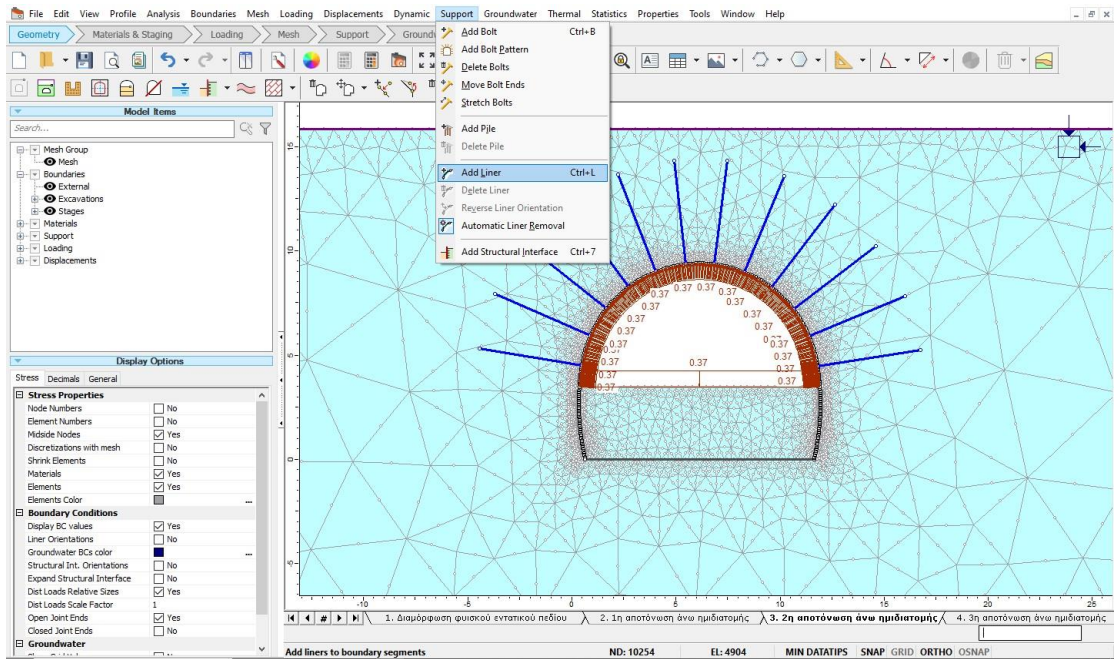
Εικόνα 63. Προσθήκη βασικών πληροφοριών αγκυριών

Αφού εισαχθούν τα δεδομένα αυτά, προσδιορίζεται η θέση του πρώτου αγκυρίου και κινώντας το ποντίκι στα όρια της εκσκαφής προστίθενται τα υπόλοιπα.



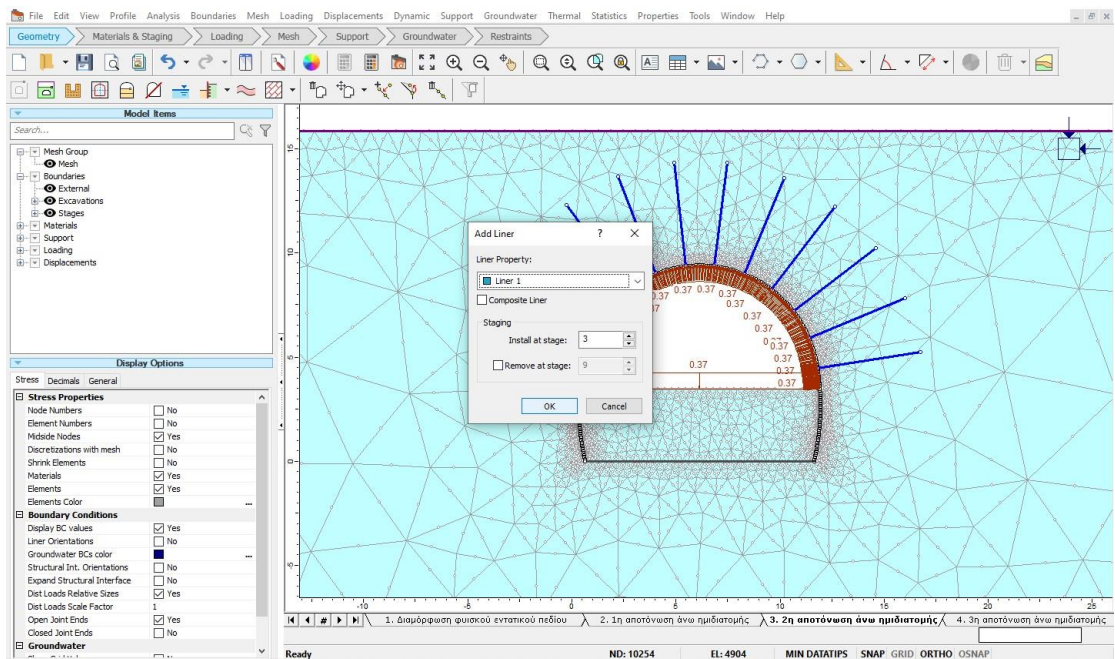
Εικόνα 64. Τελική τοποθέτηση αγκυριών στην άνω ημιδιατομή

Στη συνέχεια, τοποθετείται σκυρόδεμα στην άνω ημιδιατομή. Χρησιμοποιείται και πάλι η εντολή "Support", αλλά επιλέγεται αυτή την φορά η εντολή "Add Liner".



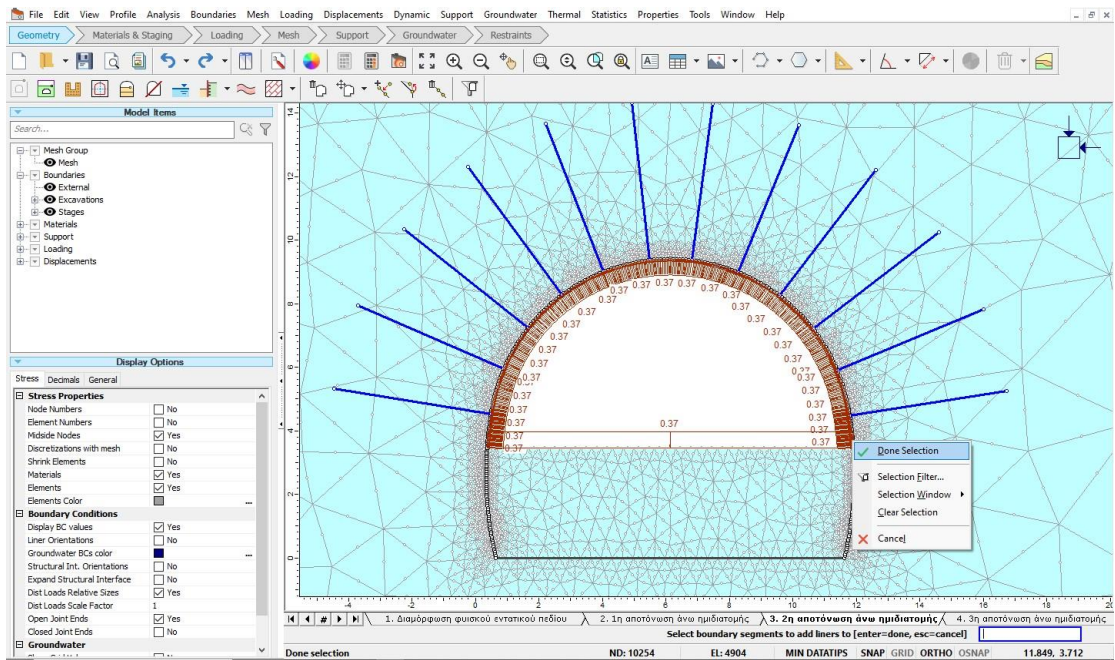
Εικόνα 65. Προσθήκη σκυροδέματος στην άνω ημιδιατομή

Στον πίνακα που εμφανίζεται, επιλέγεται το “Liner 1” σαν τύπος σκυροδέματος (Liner Property).



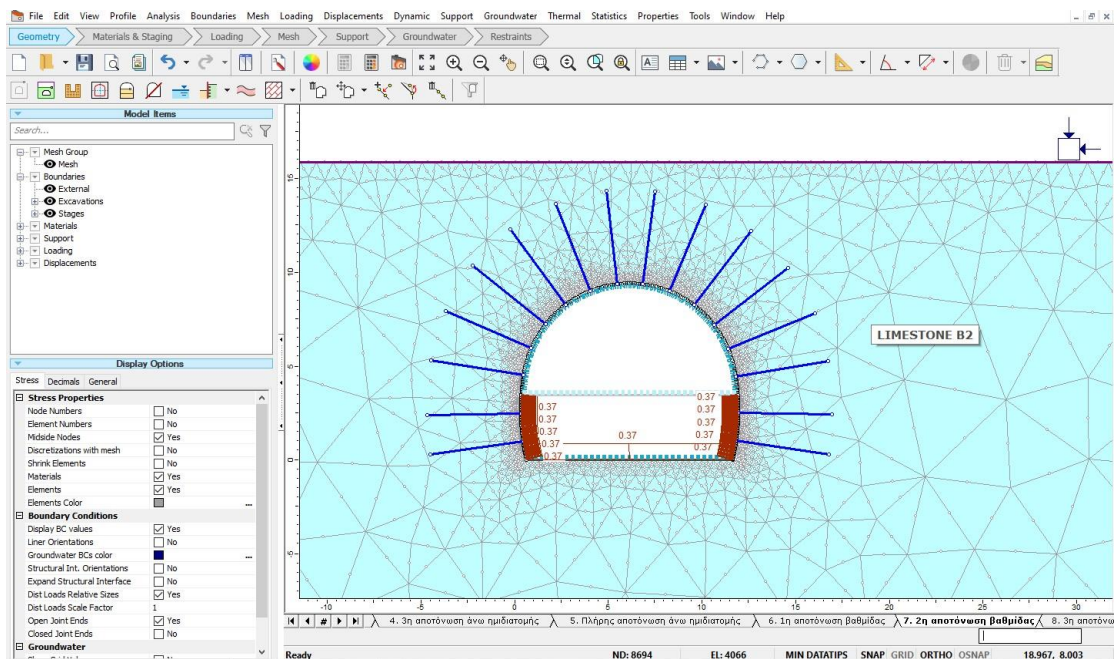
Εικόνα 66. Επιλογή τύπου σκυροδέματος

Έπειτα, χειροκίνητα επιλέγεται η επιθυμητή περιοχή που θα τοποθετηθεί το σκυρόδεμα και κάνοντας δεξί κλικ επιλέγεται η εντολή “Done Selection”.



Εικόνα 67. Αποδοχή της περιοχής τοποθέτησης του σκυροδέματος

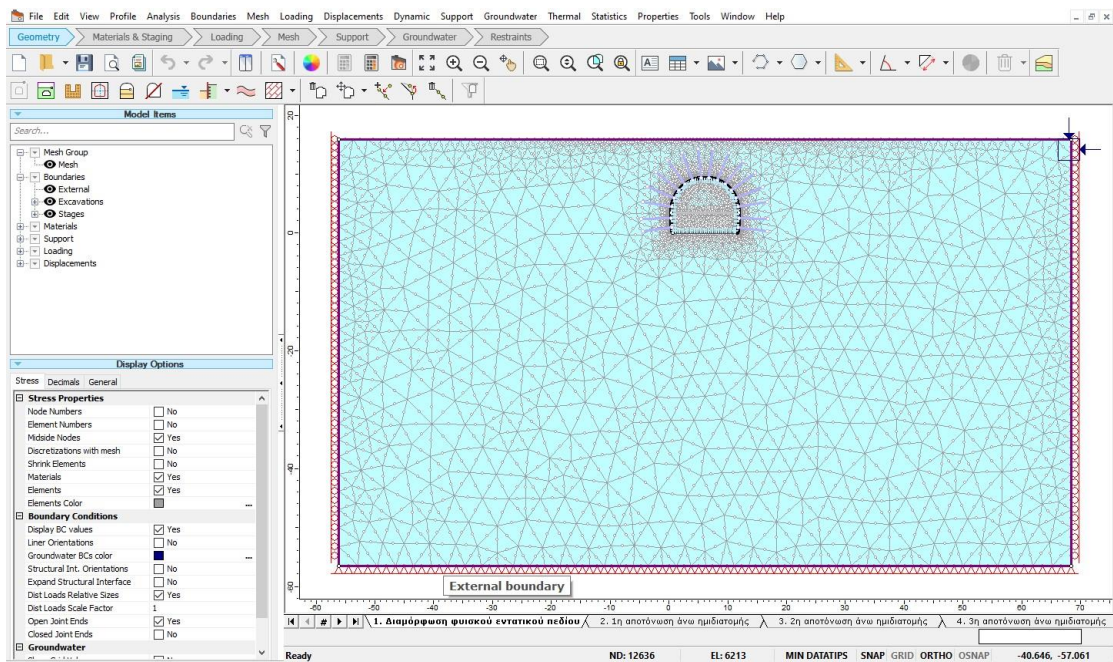
Έχοντας τοποθετήσει και το σκυρόδεμα, ολοκληρώθηκε η τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης στην άνω ημιδιατομή. Ακολουθώντας τα ίδια βήματα, τοποθετείται υποστήριξη και στην βαθμίδα, με προσοχή όμως αυτή να συμβεί στο έβδομο στάδιο.



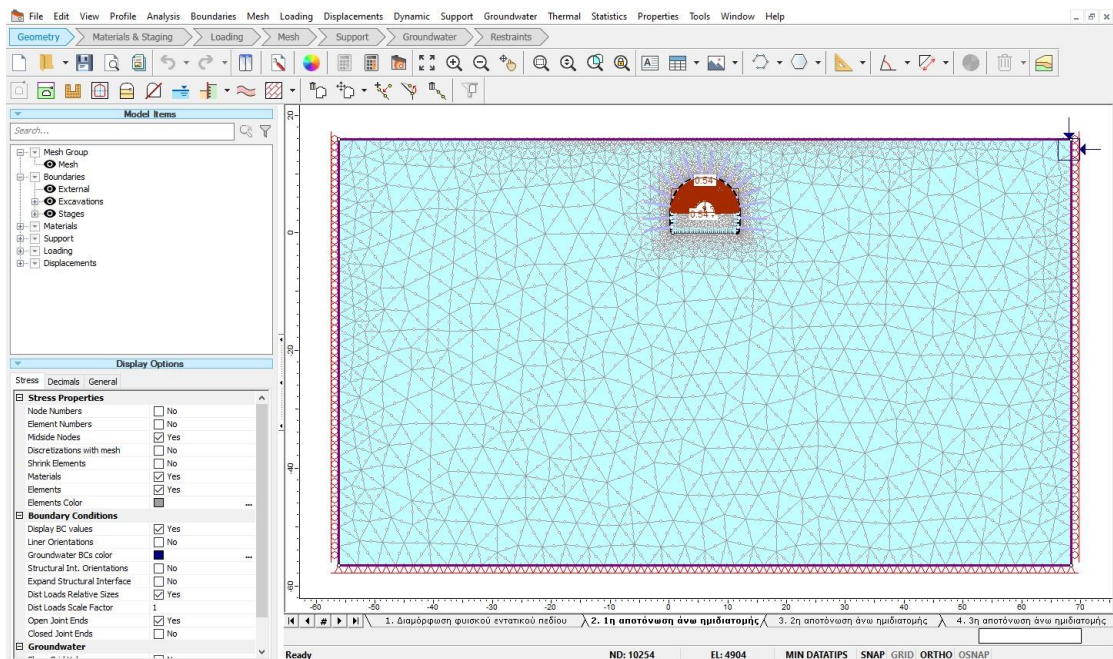
Εικόνα 68. Τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης σε όλη την διατομή

ΒΗΜΑ 11^ο Υπολογισμός και εμφάνιση αποτελεσμάτων μοντέλων.

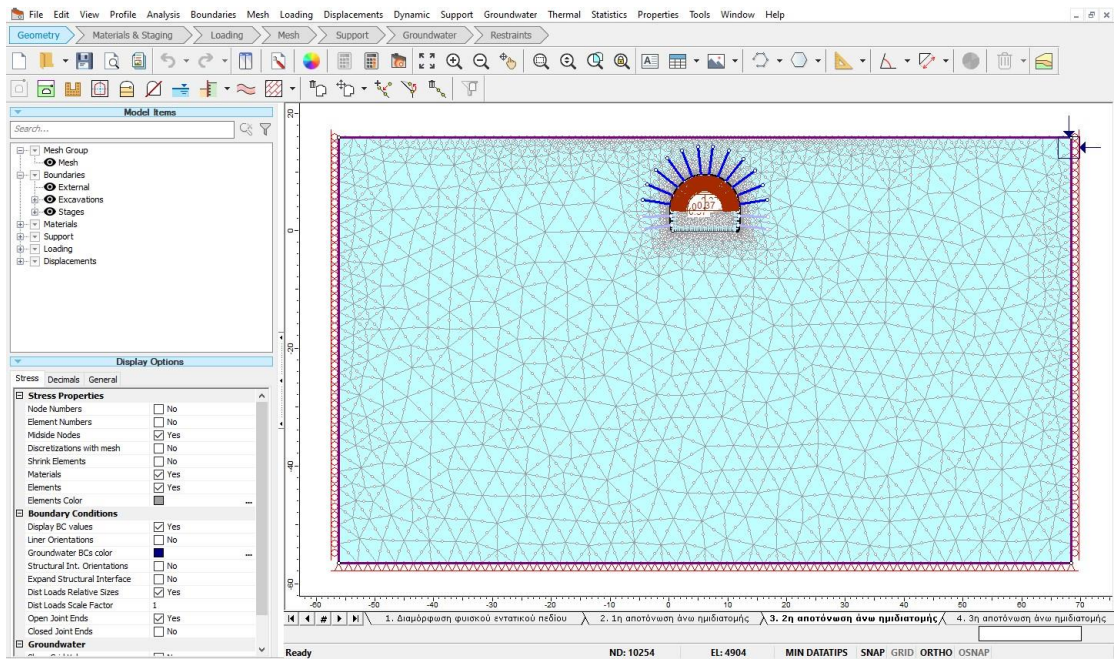
Όλα τα βήματα που προηγήθηκαν δημιούργησαν το τελικό μοντέλο προσομοίωσης των συνθηκών στην περιοχή των στομιών.



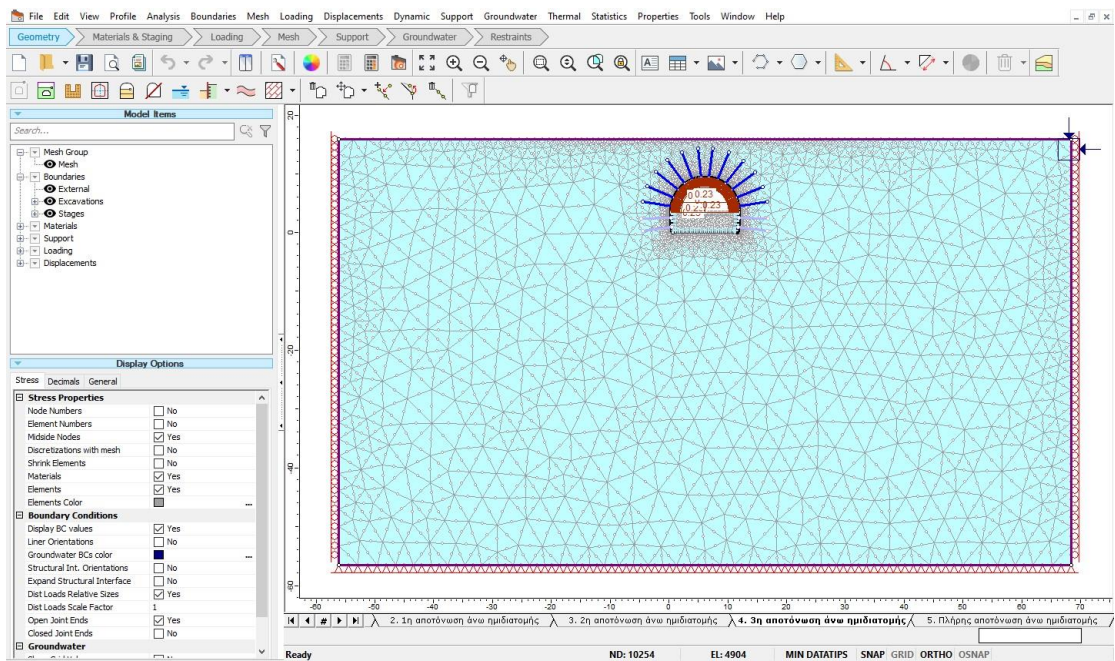
Εικόνα 69. Στάδιο 1



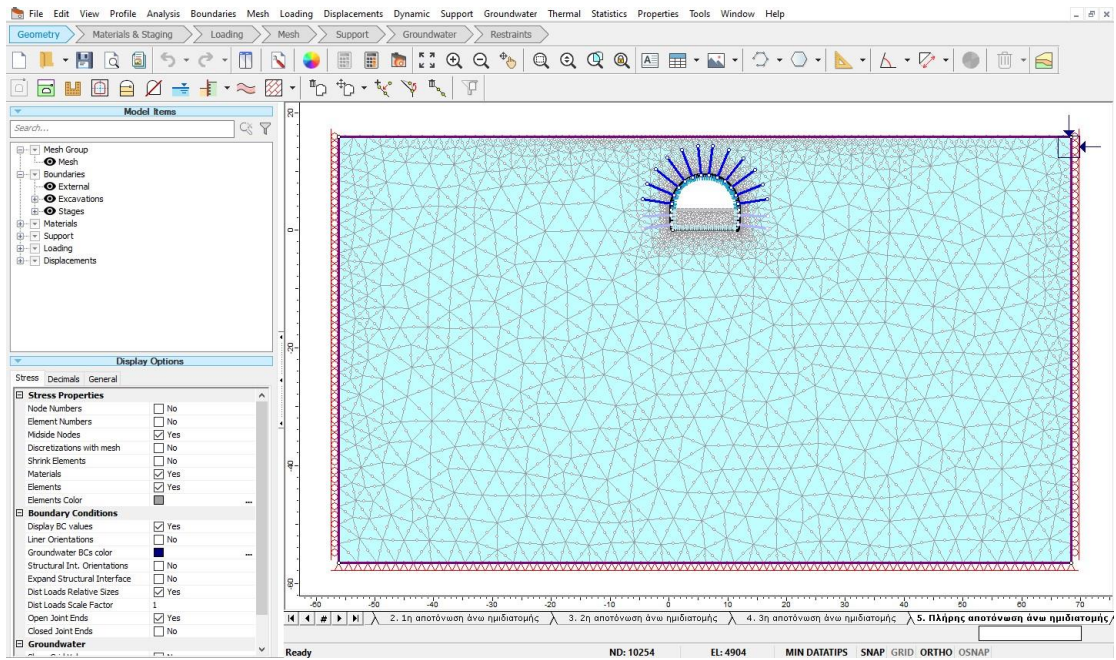
Εικόνα 70. Στάδιο 2



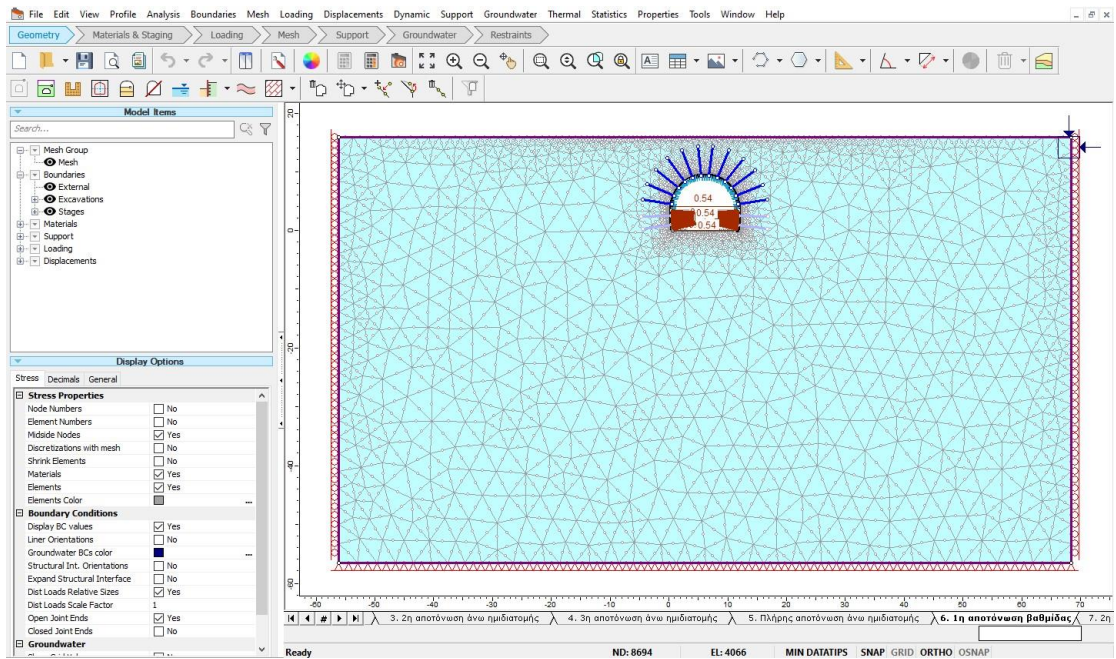
Εικόνα 71. Στάδιο 3



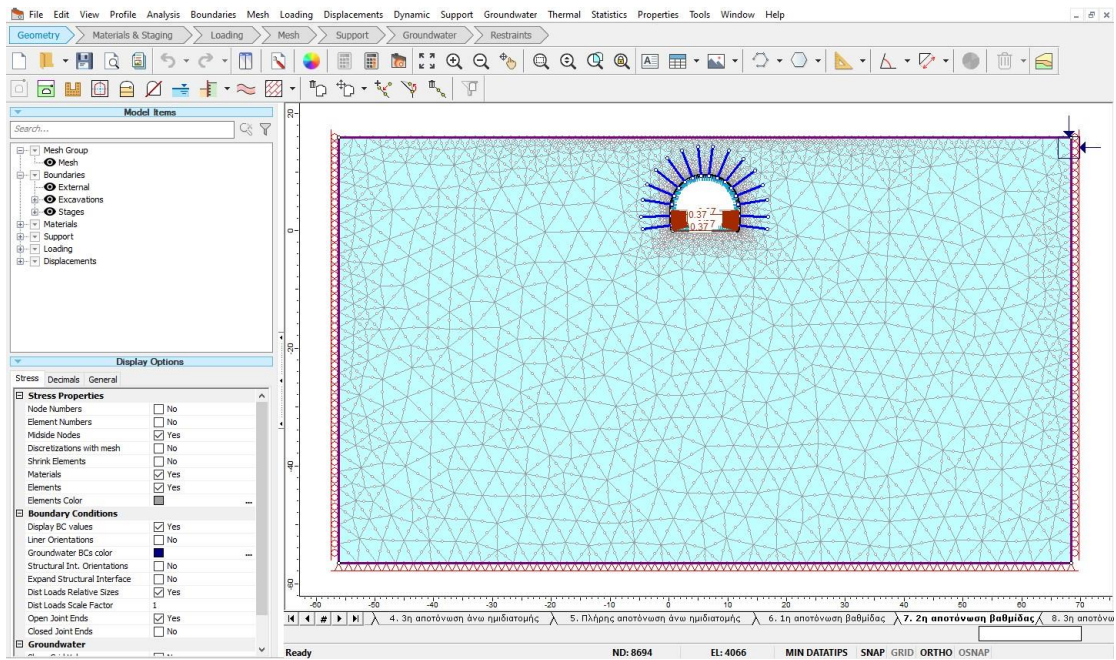
Εικόνα 72. Στάδιο 4



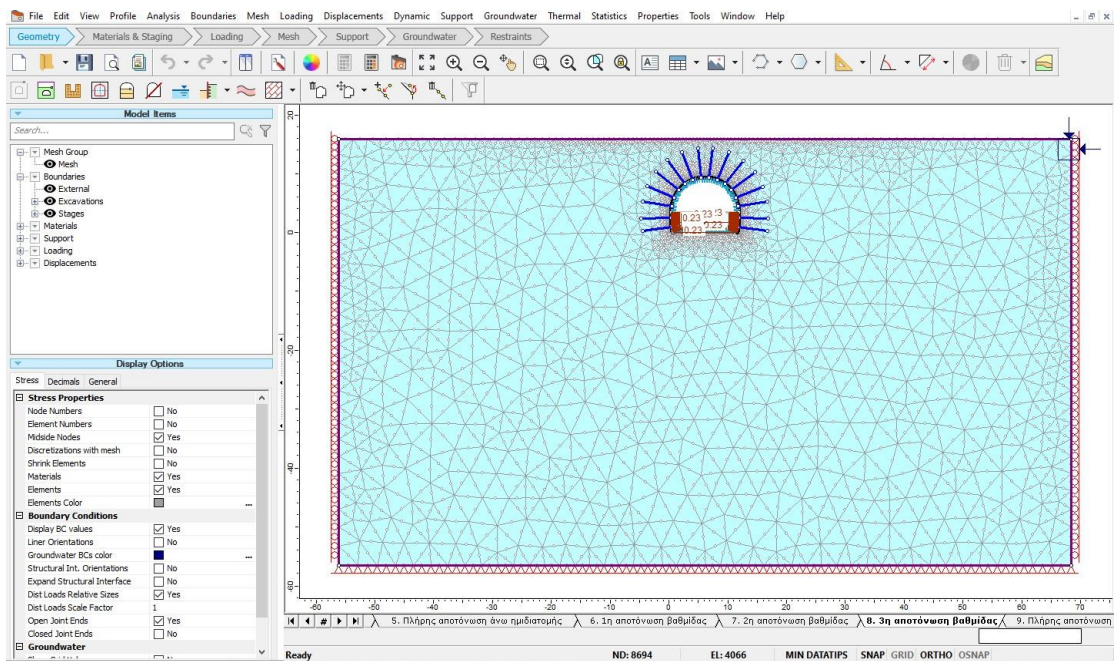
Εικόνα 73. Στάδιο 5



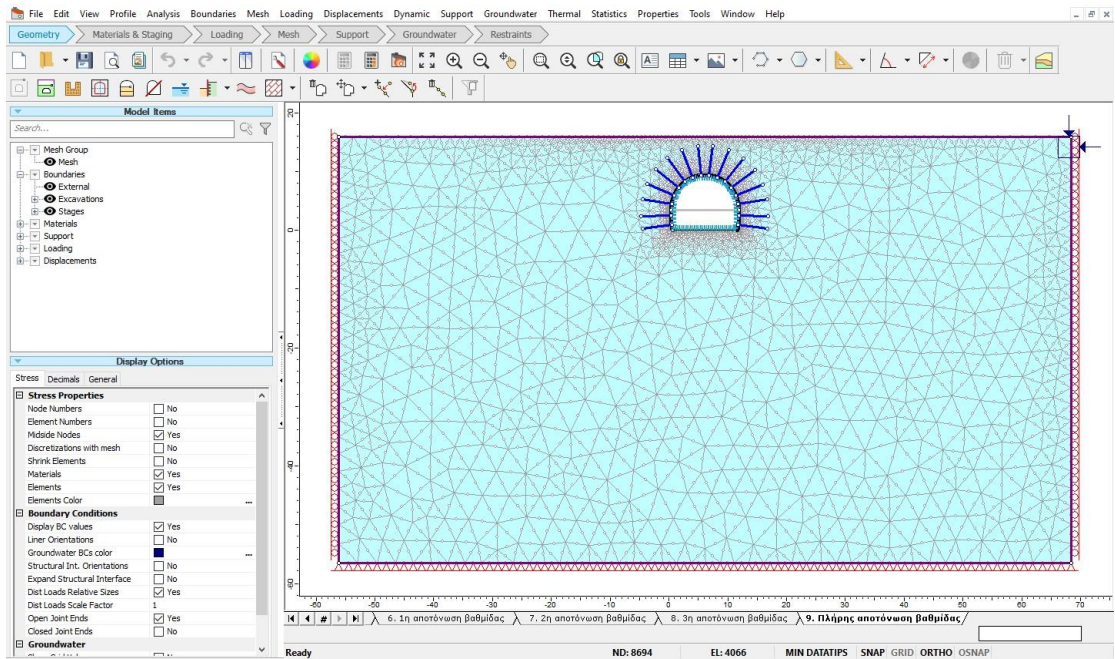
Εικόνα 74. Στάδιο 6



Εικόνα 75. Στάδιο 7

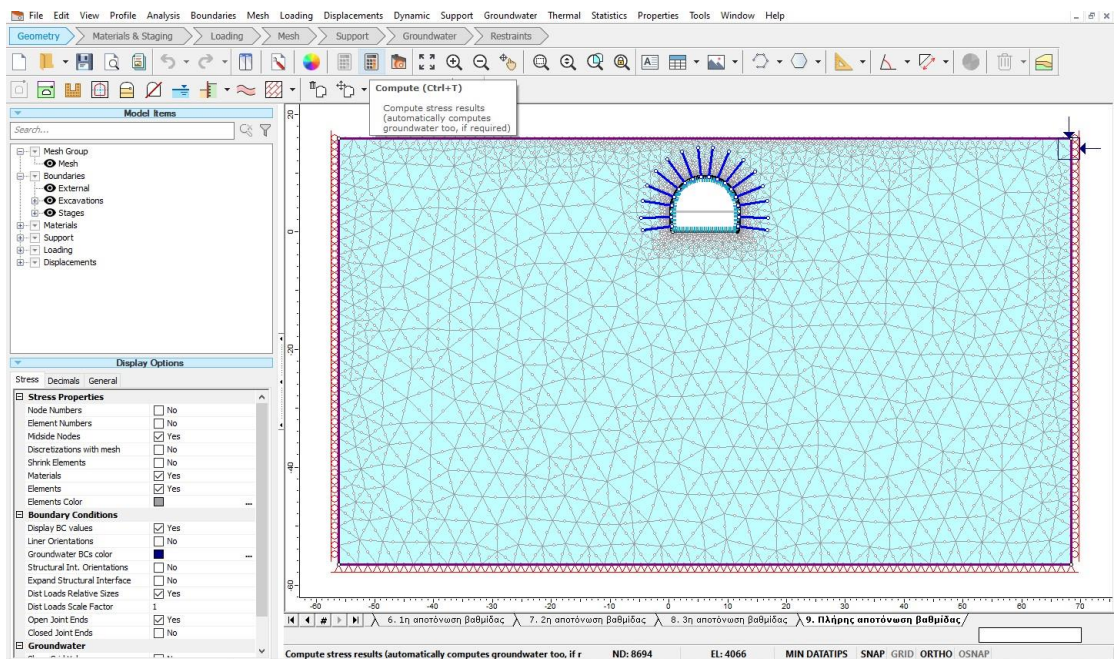


Εικόνα 76. Στάδιο 8

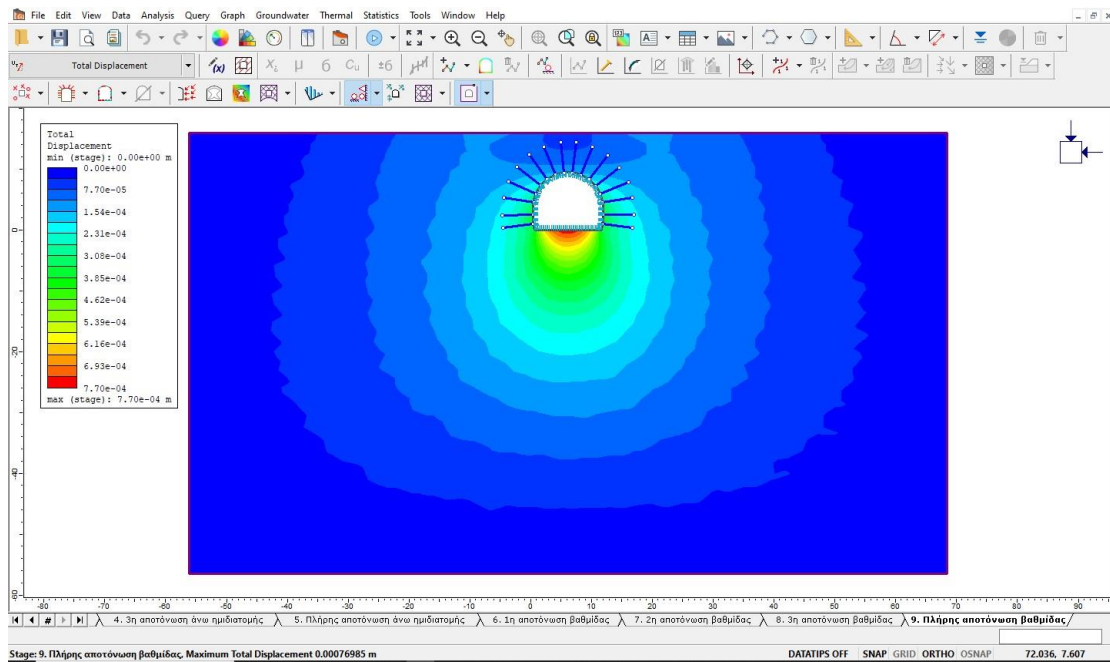


Εικόνα 77. Στάδιο 9

Επιλέγοντας, τώρα, την εντολή “Compute”, το πρόγραμμα επεξεργάζεται και τα δεδομένα της υποστήριξης που εισήχθησαν και, τέλος, με την εντολή “Interpret” εμφανίζει τα τελικά αποτελέσματα.



Εικόνα 78. Στάδιο υπολογισμού δεδομένων στο τελικό μοντέλο



Εικόνα 79. Τελικό μοντέλο (7m \times 6D \times 6D), συνολικές μετατοπίσεις με μέτρα υποστήριξη

Παρατηρείται ότι με την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης, οι μετακινήσεις έχουν περιοριστεί ακόμα περισσότερο και είναι της τάξης των 10^{-4} m. Τα μέτρα υποστήριξης επομένως που χρησιμοποιήθηκαν, αρκούν για την ασφαλή διάνοιξη του υπόγειου τμήματος της σήραγγας στα σημεία αυτά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΣΤΟΜΙΩΝ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΥΤΩΝ

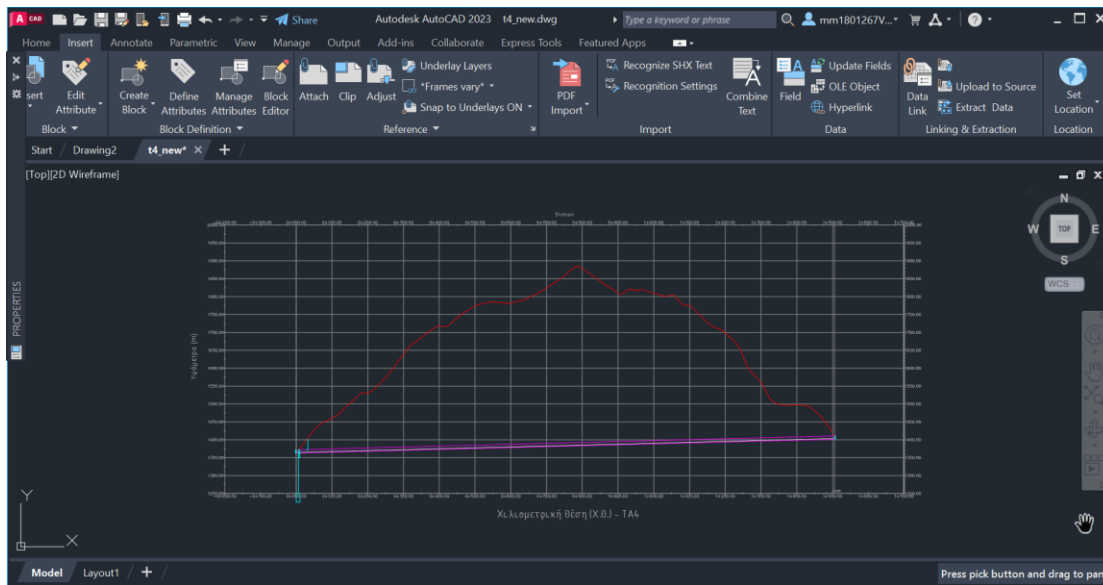
4.1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Σε πρώτη φάση, γνωρίζοντας από το προηγούμενο βήμα το ύψος των υπερκειμένων που ξεκινάει το υπόγειο τμήμα της σήραγγας, υπολογίζεται στο AutoCAD, μέσω του σχεδίου της μηκοτομής της χάραξης, το μήκος που πρέπει να διανυθεί μέχρι εκείνο το σημείο και για τα δύο στόμια. Θα πραγματοποιηθούν τομές στην απόσταση αυτή, από τις οποίες και θα προκύψουν οι βαθμίδες των πλευρικών πρανών.

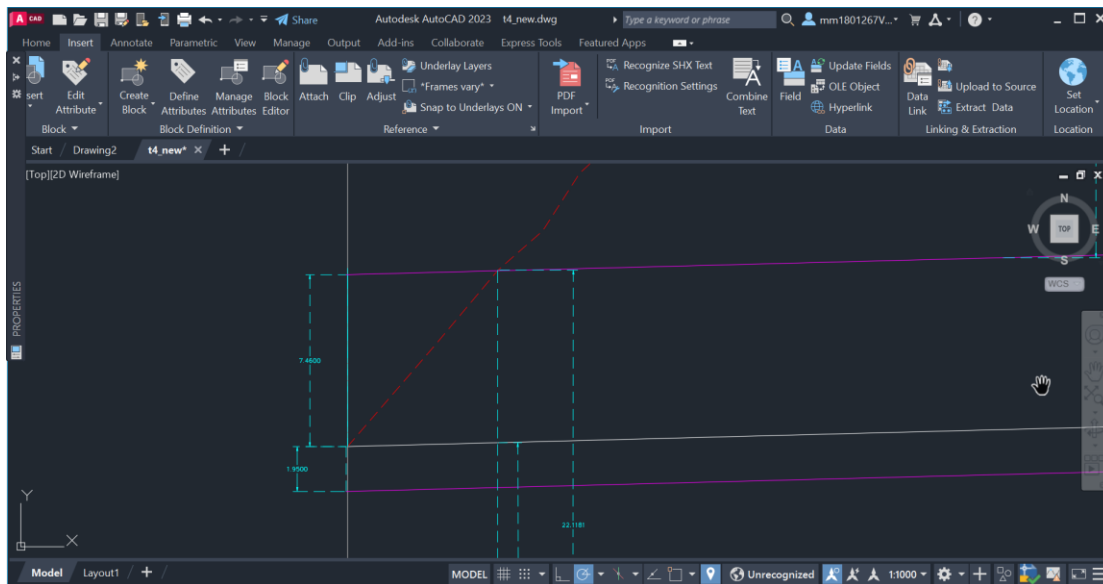
4.2. ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

4.2.1. Εύρεση ακριβούς τοποθεσίας στομίων

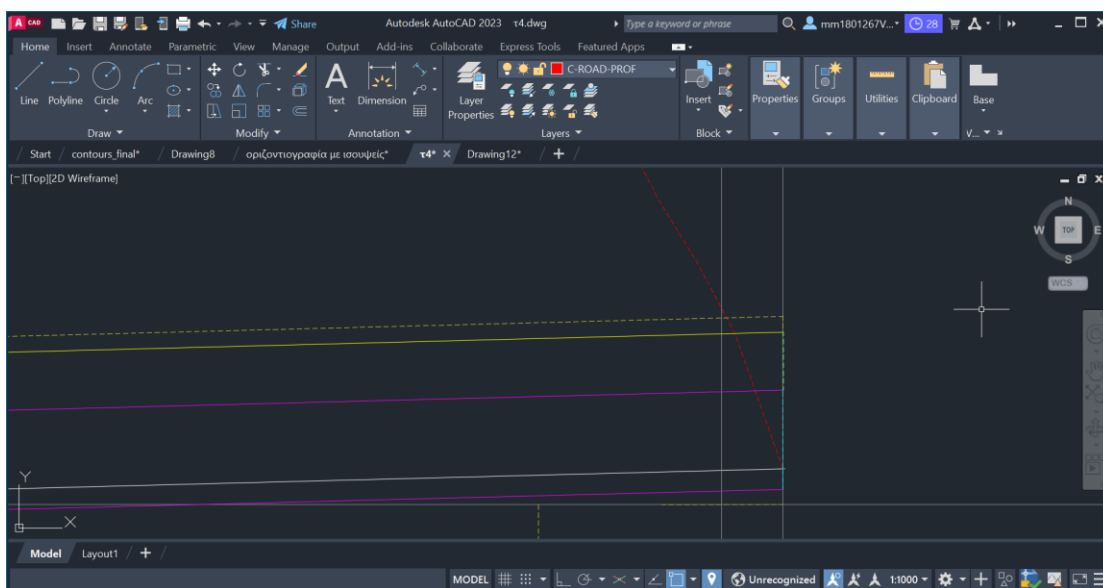
Σε αρχείο του AutoCAD, το οποίο απεικονίζει την μηκοτομή της σήραγγας στο ύψος της ερυθράς, σχεδιάζονται τα όρια της γραμμής εκσκαφής Α'. Με λευκή γραμμή απεικονίζεται η ερυθρά, ενώ με ροζ γραμμή απεικονίζονται τα όρια της συνολικής διατομής (9.41m).



Εικόνα 80. Μηκοτομή σήραγγας



Εικόνα 81. Μεγέθυνση μηκοτομής, αποστάσεις σχεδιασμού γραμμής εκσκαφής Α' στην ευρύτερη περιοχή του βόρειου στομίου της σήραγγας

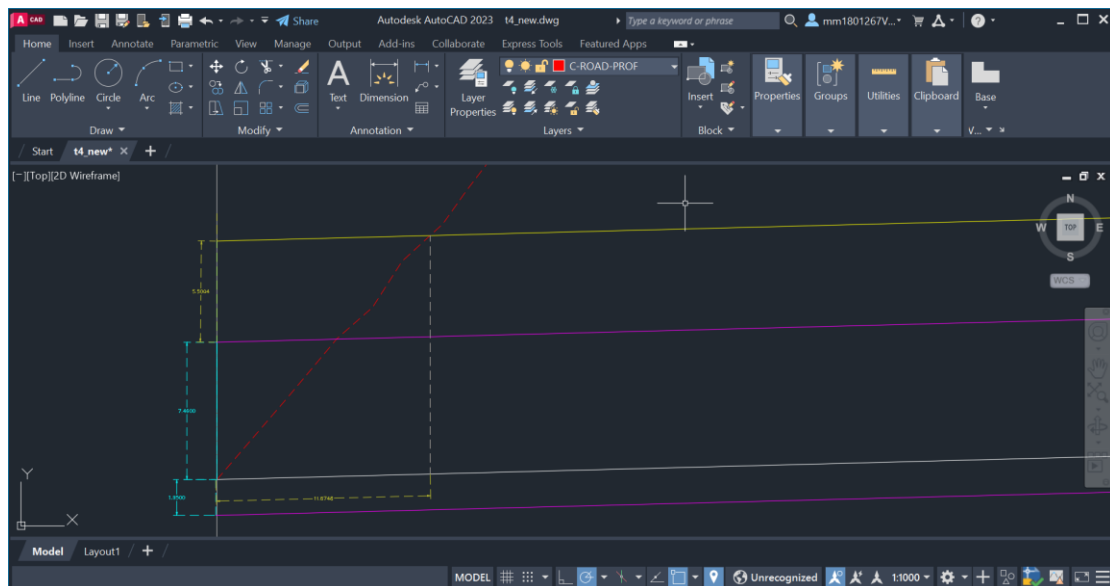


Εικόνα 82. . Μεγέθυνση μηκοτομής, αποστάσεις σχεδιασμού γραμμής εκσκαφής Α' στη ευρύτερη περιοχή του νοτίου στομίου της σήραγγας

Σχεδιάζεται, τώρα, με κίτρινη συνεχή γραμμή μία γραμμή η οποία απέχει από τη στέψη της σήραγγας 7m, ίση απόσταση δηλαδή με το ύψος υπερκειμένων στη θέση των στομιών. Τα σημεία που τέμνει η κίτρινη γραμμή την κόκκινη διακεκομμένη, είναι τα σημεία ουσιαστικά που τα 7m υπερκείμενα συναντούν τον ορεινό όγκο, άρα τα σημεία αυτά αποτελούν τις θέσεις που ξεκινάει η υπόγεια εκσκαφή. Το στόμιο των Μελισσουργών εντοπίζεται στην χιλιομετρική θέση 0+013m, ενώ των Θεοδωριάνων στην θέση 1+482.6m.

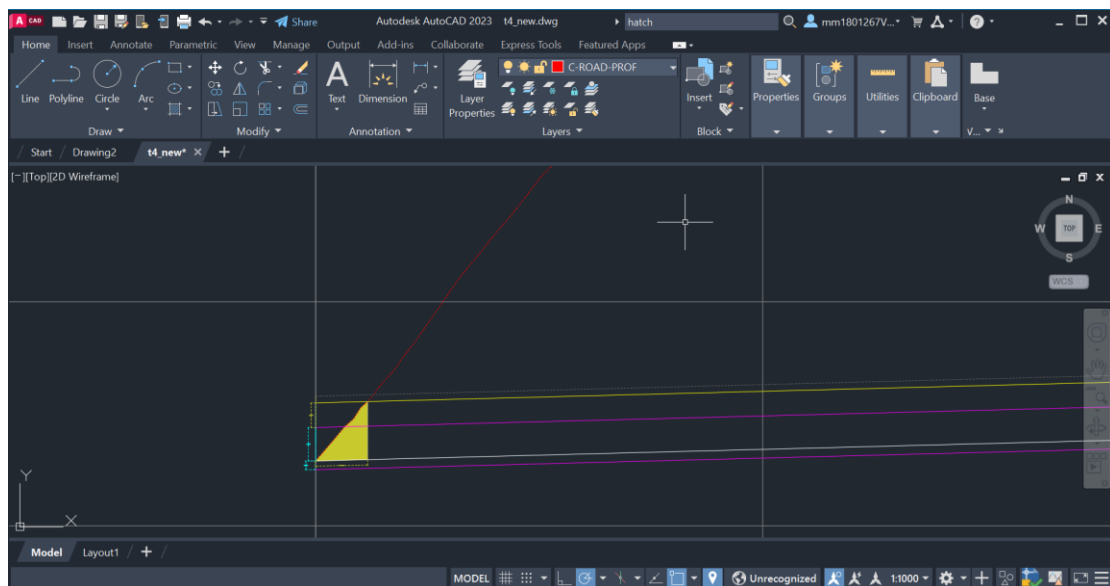
4.2.2. Στόμιο Μελισσοουργών- βόρειο στόμιο σήραγγας

Χρησιμοποιώντας την εντολή των διαστάσεων, υπολογίζεται πως μέχρι εκείνο το σημείο πρέπει να διανυθούν περίπου 13m.

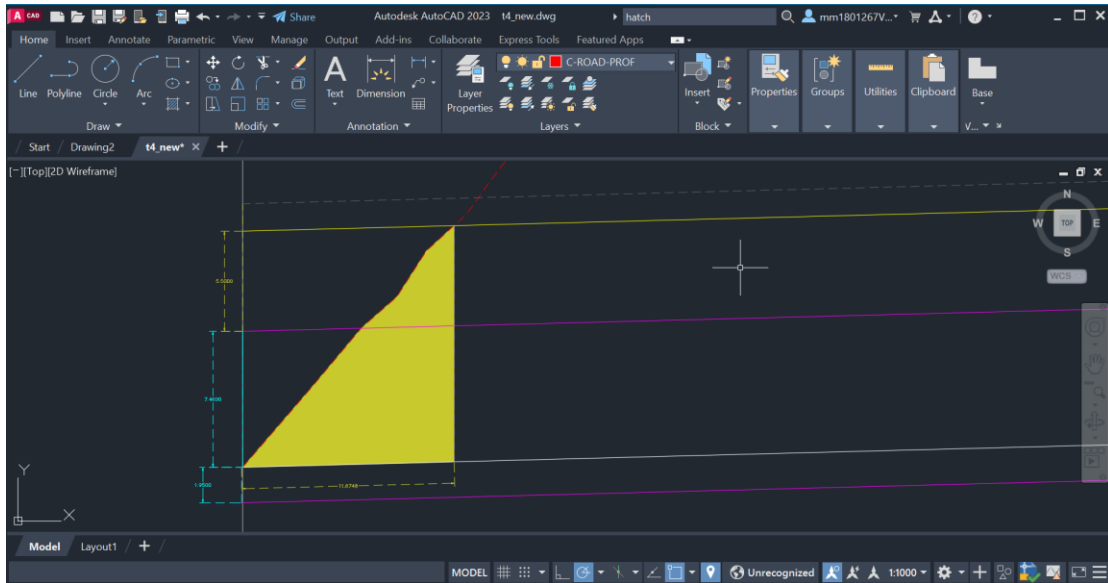


Εικόνα 83. Υπολογισμός απόστασης μέχρι την θέση της υπόγειας διάνοιξης

Επομένως, το πέτρωμα που βρίσκεται πριν από την θέση αυτή πρέπει να διαμορφωθεί κατάλληλα, σε βαθμίδες, ώστε αφενός να διαμορφωθεί το στόμιο και αφετέρου να ξεκινήσει με ασφάλεια η υπόγεια εκσκαφή. Γεμίζεται με κίτρινο χρώμα ο χώρος- πέτρωμα που πρέπει να διαμορφωθεί σε βαθμίδες.



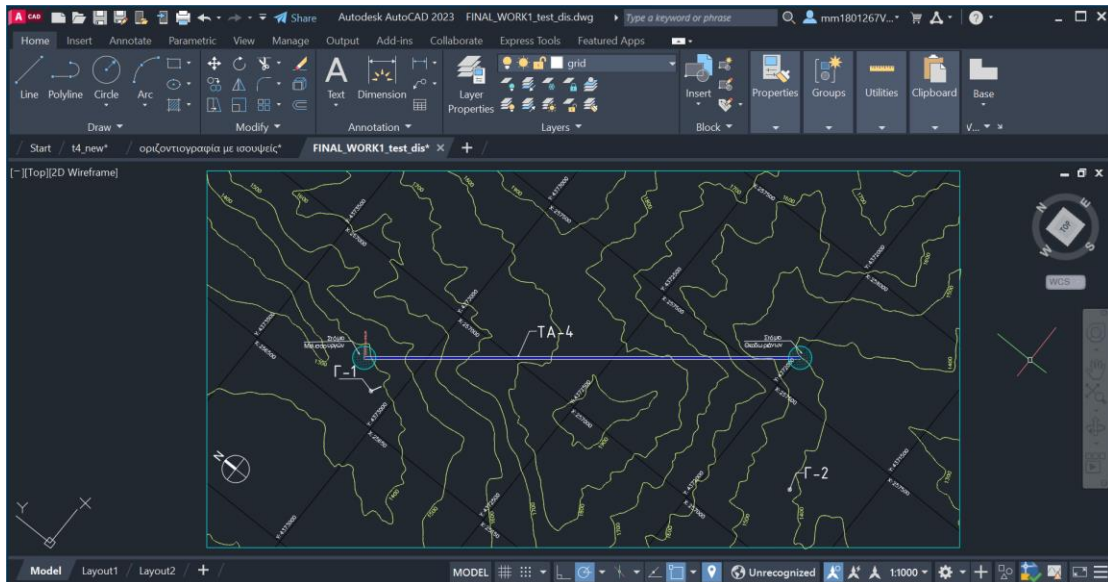
Εικόνα 84. Γέμισμα με κίτρινο του πετρώματος που πρόκειται να διαμορφωθεί σε βαθμίδες, βόρειο στόμιο



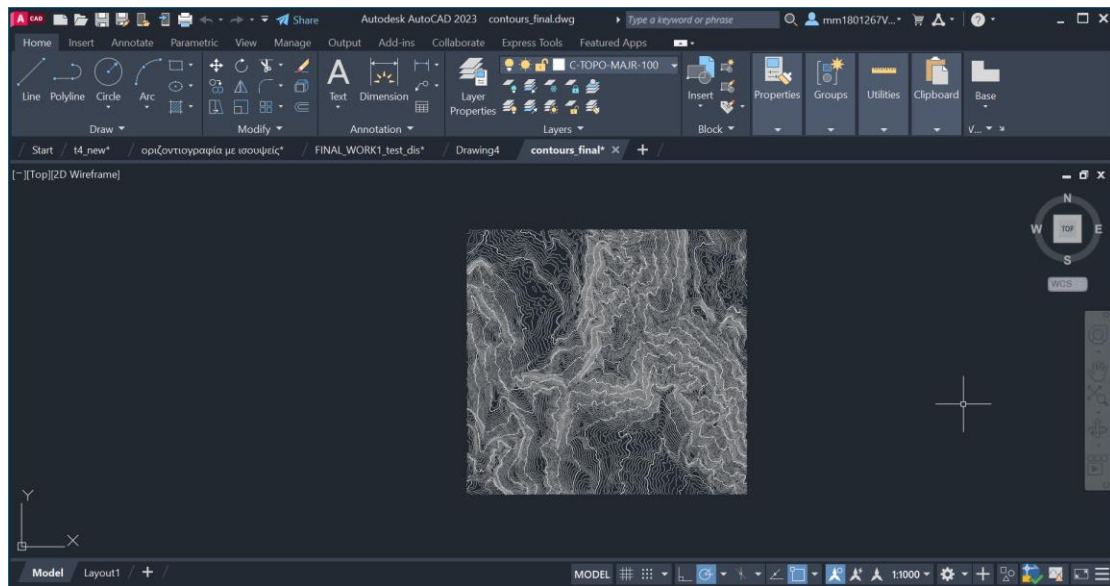
Εικόνα 85. Μεγέθυνση του προς διαμόρφωση σε βαθμίδες πετρώματος, βόρειο στόμιο

Για την διαμόρφωση των βαθμίδων των πλευρικών πρανών, θα σχεδιαστούν τρεις τομές στα 0m, στα 6m και στα 13 μέτρα από την αρχή της δοθείσας χάραξης (0+000), ώστε να υπάρχει μία πλήρης εικόνα της κατανομής του πετρώματος μέχρι το σημείο της υπόγειας διάνοιξης.

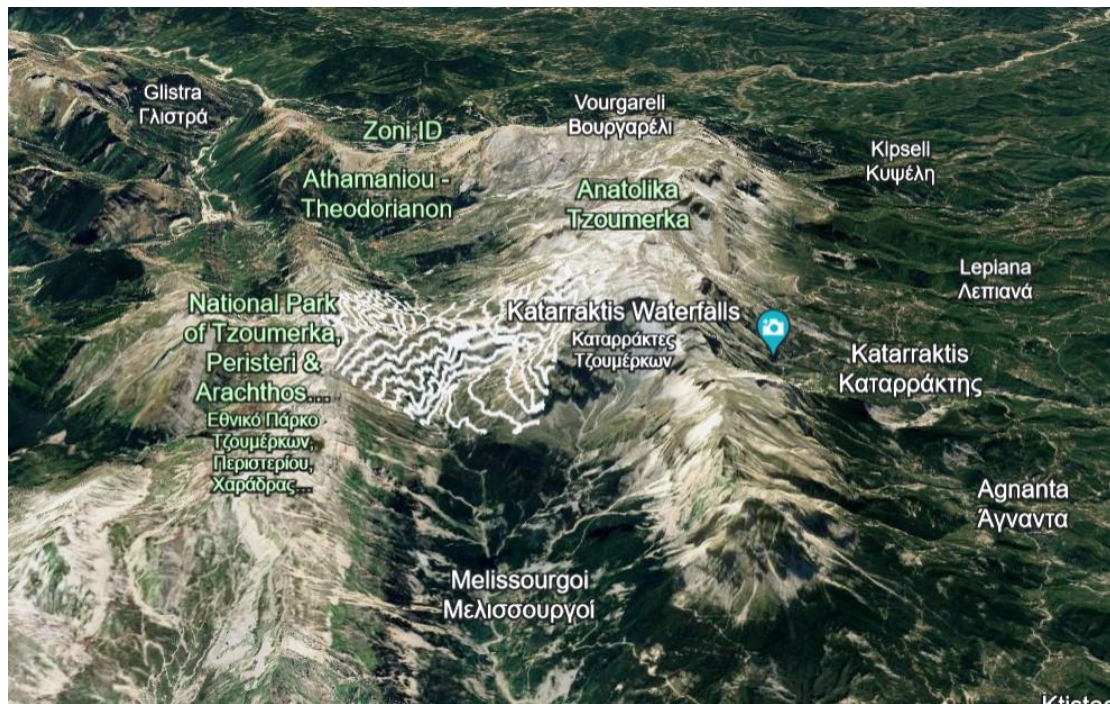
Για τον σχεδιασμό των τομών γίνεται η χρήση των ψηφιοποιημένων χαρτών της περιοχής μελέτης. Ο πρώτος χάρτης απεικονίζει την οριζοντιογραφία της χάραξης της σήραγγας, ενώ ο δεύτερος απεικονίζει τις ισοψείς γραμμές της περιοχής.



Εικόνα 86. Οριζοντιογραφία της χάραξης της σήραγγας

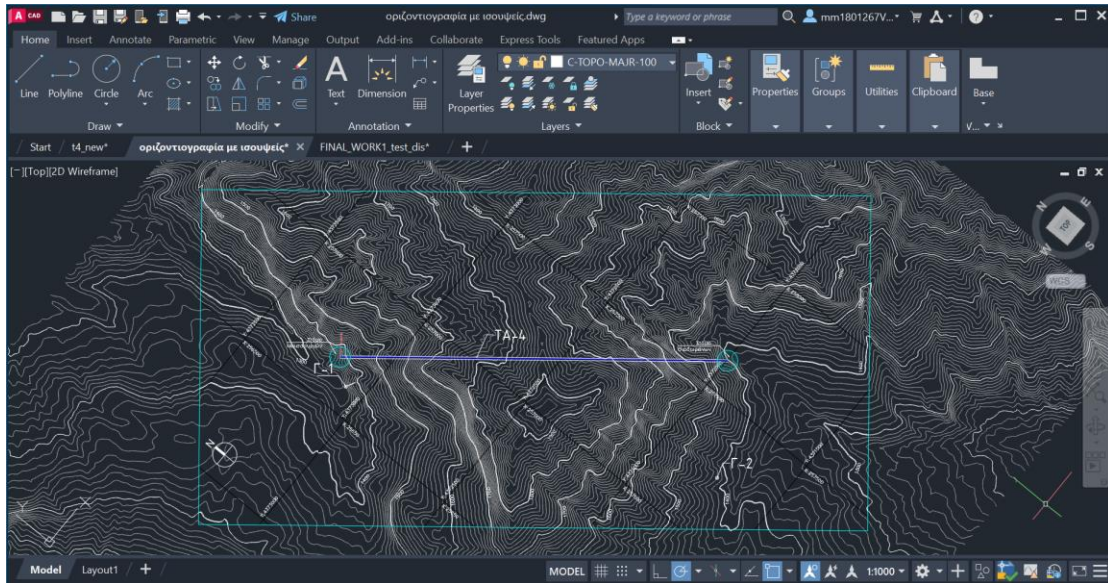


Εικόνα 87. Χάρτης ισοψών της περιοχής μελέτης



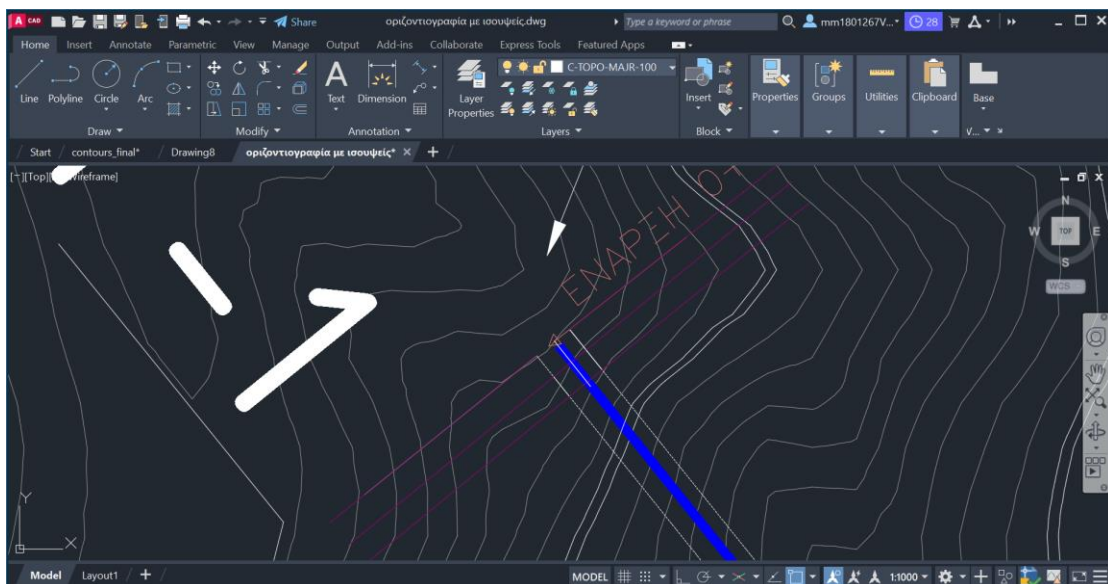
Εικόνα 88. Αποτύπωση χάρτη ισοψών στο Google Earth

Επειδή στον πρώτο χάρτη οι ισοψείς είναι αρκετά αραιές, με συνέπεια να μην είναι δυνατός ο σχεδιασμός των τομών, παρατίθενται οι δύο χάρτες μαζί. Αποτέλεσμα αυτού είναι η δημιουργία ενός λεπτομερέστατου σε ισοψείς γραμμές χάρτη, ιδανικού για τον σχεδιασμό των τομών.



Εικόνα 89. Αποτέλεσμα συνδυασμού των δύο χαρτών

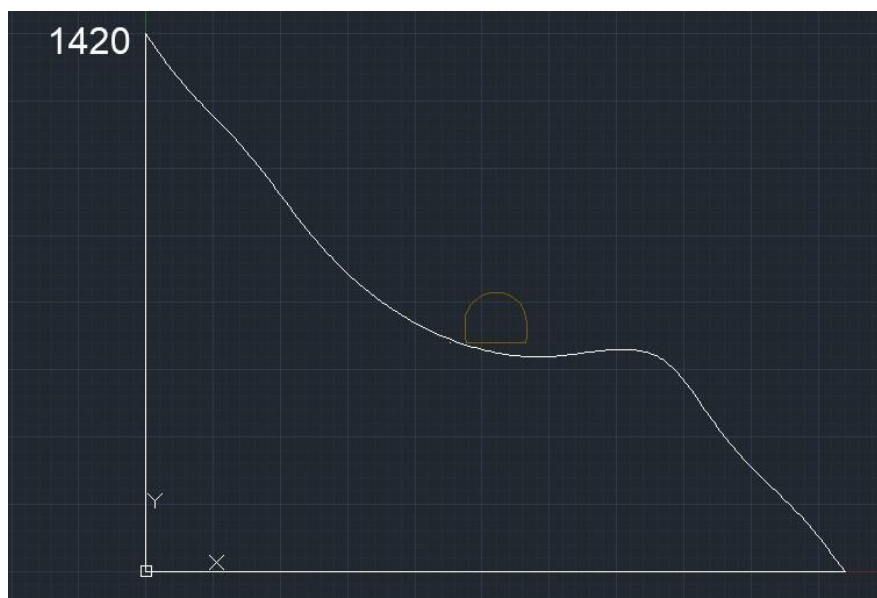
Σχεδιάζονται πάνω στον χάρτη, με μωβ χρώμα, οι τρεις τομές, και εκτείνονται πλευρικά σε απόσταση 65m η καθεμία από το κέντρο της σήραγγας. Αναφέρεται ότι η τομή δύναται να πραγματοποιηθεί και με λιγότερα από 130m (2x65m) απεικόνισης του περιβάλλοντος πετρώματος, διότι δεν θα διαμορφωθεί σε βαθμίδες τόσος μεγάλος όγκος πετρώματος. Ωστόσο, η επιλογή αυτή έγινε με σκοπό να απεικονιστούν οι ίδιες χωρικές συνθήκες με αυτές που θεωρήθηκαν ότι υπάρχουν και στο πρόγραμμα RS2 στο προηγούμενο βήμα και κατ' επέκταση να αποδειχθεί εάν η παραδοχή ήταν σωστή ή λανθασμένη.



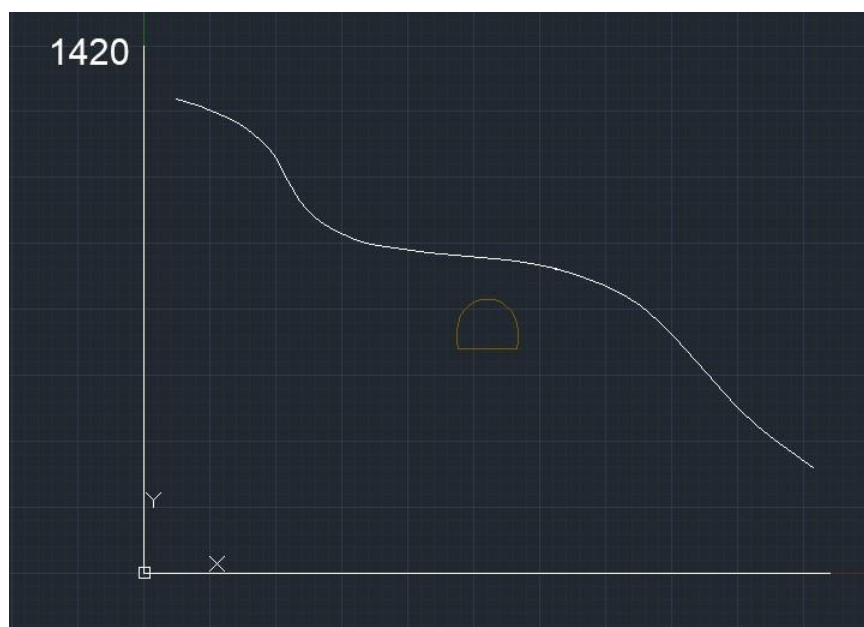
Εικόνα 90. Απεικόνιση τομών βορείου στομίου με μωβ χρώμα

Υπενθυμίζεται ότι οι τομές σχεδιάζονται ως εξής: Σε βαθμονομημένους άξονες τοποθετούνται τα σημεία τομής των ισοψών με τη γραμμή της εκάστοτε τομής. Ο άξονας των x ισούται με το συνολικό μήκος της τομής, ενώ ο άξονας των y με τις τιμές των ισοψών.

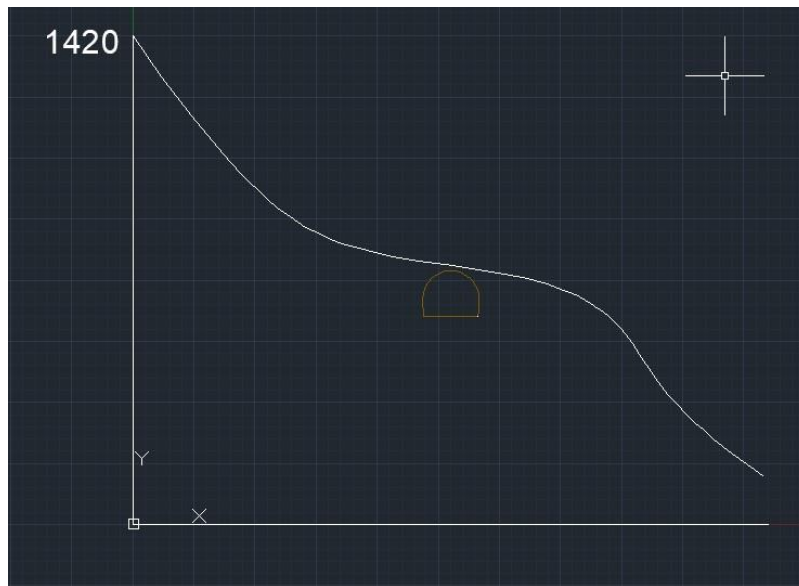
Τα σημεία αυτά εισάγονται απευθείας στο AutoCAD, με σκοπό να σχεδιαστούν ψηφιακά οι τομές. Στις τομές του βορείου στομίου της σήραγγας, το υψόμετρο δεν ξεπερνά τα 1420m, ενώ στις συγκεκριμένες τομές τα υψόμετρα που απεικονίζονται κυμαίνονται από 1320m έως 1420m. Στα σχέδια αυτά εισάγεται και η διατομή (γραμμή εκσκαφής Α') της σήραγγας στο υψόμετρο των 1362.5m. Το υψόμετρο αυτό δεν είναι αυθαίρετο νούμερο, αλλά υπολογίστηκε από το αρχείο της μηκοτομής της σήραγγας. Παραθετονται οι τομές στις εικόνες που ακολουθούν.



Εικόνα 92. Τομή στη χιλιομετρική θέση 0+000m



Εικόνα 91. . Τομή στη χιλιομετρική θέση 0+013m



Εικόνα 93. Τομή στη χιλιομετρική θέση 0+006m

Στο σημείο αυτό, πρέπει να αναφερθεί ότι η παραδοχή που έγινε για ύπαρξη πετρώματος σε απόσταση εξαπλάσια από τη διατομή της σήραγγας στο πρόγραμμα RS2, δεν είναι απολύτως σωστή, μιας και παρατηρείται, λόγω του υψομέτρου, “έλλειψη” πετρώματος από την δεξιά πλευρά. Αυτό, όμως, δεν επηρεάζει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του προγράμματος, αφού η ποιότητα του πετρώματος επιτρέπει ελάχιστες μετακινήσεις κατά την διάνοιξη και μάλιστα πλησίον της σήραγγας. Επομένως, η διαφωνία αυτή στην παραδοχή δεν δύναται να αμφισβητήσει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Θα σχεδιαστούν, τώρα, οι βαθμίδες των πλευρικών πρηνών. Στον σχεδιασμό θα πρέπει να ληφθούν υπ’ όψη κάποιοι παράμετροι. Πρώτον, θα αφεθεί ελεύθερος ένας χώρος μεταξύ διατομής και πλευρικών πρηνών της τάξεως του 1.5m, για τυχόν αξιοποίηση αυτού στο στάδιο εγκατάστασης της μόνιμης επένδυσης. Δεύτερον, ο αναβαθμός μεταξύ των βαθμίδων οφείλει να έχει πλάτος 4m, σύμφωνα με τις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ) και, τέλος, θα ακολουθηθεί μία κλίση πρηνών 3:1, η οποία ενδείκνυται για βραχώδη πετρώματα.

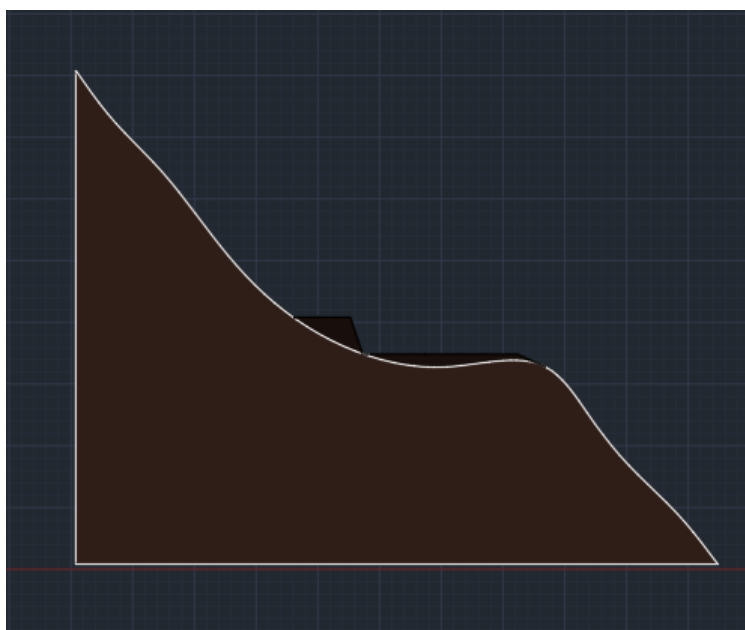
Σχεδιάζονται, επομένως, σε κάθε τομή πλευρικά πρηνή με απόσταση 1.5m από τις παρειές της σήραγγας και με βήμα 2.5m οριζόντια και 7.5m κατακόρυφα, διατηρώντας έτσι την κλίση 3:1. Παραθέτονται οι τομές με τις σχεδιασμένες σε αυτές βαθμίδες.

Στην τομή στην χιλιομετρική θέση 0+000m δεν υπάρχουν πρηνή προς σχεδιασμό αφού το υψόμετρο οριακά ισούται με το πάτωμα της εκσκαφής. Ωστόσο, δίνονται δύο εναλλακτικοί σχεδιασμοί, στους οποίους διαμορφώνεται ο χώρος για ασφαλή μετάβαση στις βαθμίδες που έπονται. Στην πρώτη εναλλακτική σχεδιάζεται στην αριστερή πλευρά και σε απόσταση 1.5m από τον υποτιθέμενο άξονα της σήραγγας μία βαθμίδα με τα προαναφέροντα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά, ενώ ο χώρος κάτω από το πάτωμα της διατομής της σήραγγας και δεξιά αυτής επιχωματώνεται έως το υψόμετρο των 1362.5m. Η δεύτερη εναλλακτική διατηρεί την ιδέα της επιχωμάτωσης, ωστόσο στην αριστερή πλευρά διαμορφώνεται ένα πλάτωμα αντί για βαθμίδα με τις ίδιες διαστάσεις.

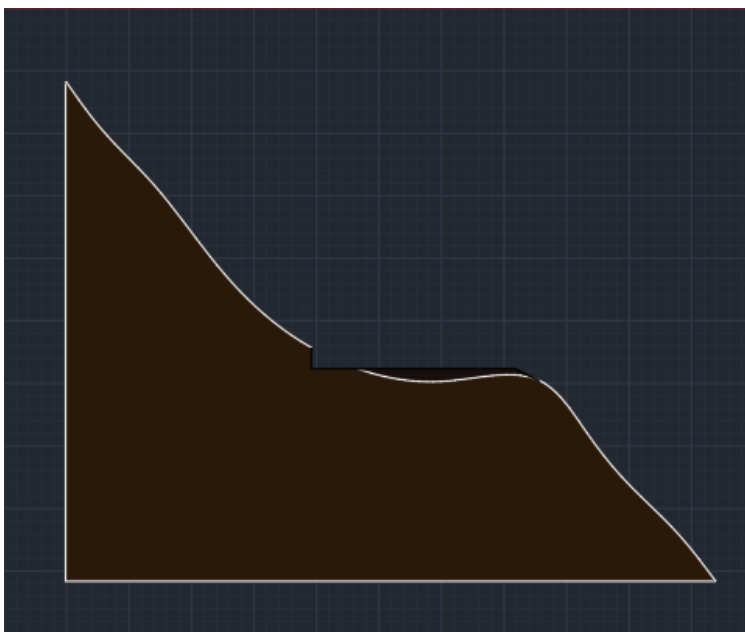
Στην τομή στην χιλιομετρική θέση 0+006m, σύμφωνα με τα υψόμετρα που συναντώνται, διαμορφώνονται στην αριστερή πλευρά μιάμιση βαθμίδα και στην δεξιά μία ολόκληρη. Η περιοχή των βαθμίδων έχει πληρωθεί με λευκές πλάγιες γραμμές. Με πιο

απαλές πλάγιες γραμμές έχει πληρωθεί ο χώρος που καταλαμβάνουν οι βαθμίδες στην επόμενη τομή, στη θέση δηλαδή που ξεκινά η υπόγεια διάνοιξη. Σχεδιάζονται και σε αυτή την τομή για καλύτερη κατανόηση του χώρου που εν τέλει θα διαμορφωθεί. Στην πρώτη εικόνα απεικονίζονται μόνο οι βαθμίδες που αντιστοιχούν στο σημείο αυτό, ενώ στην δεύτερη εικόνα απεικονίζονται οι βαθμίδες της τομής αλλά διατηρείται και η απεικόνιση της διατομής όπως αυτή φαντάζει να είναι στο βάθος.

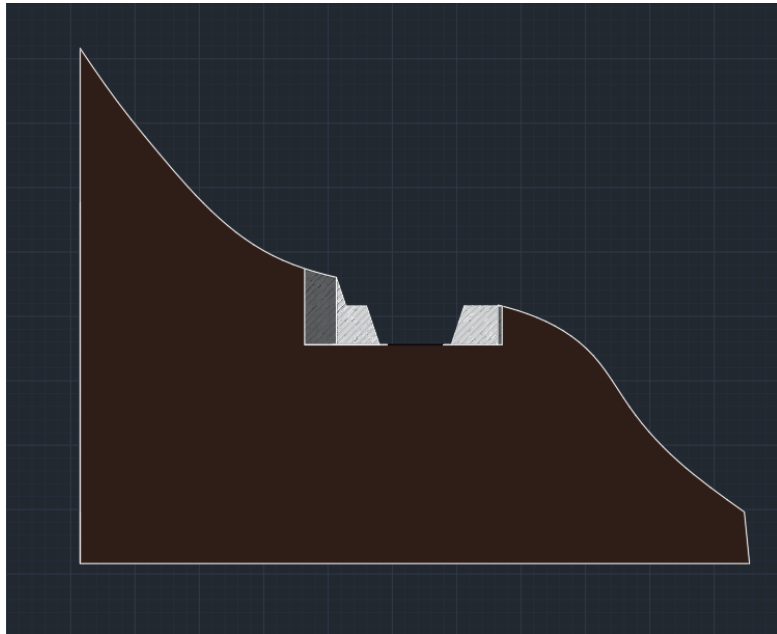
Στην τομή στην χιλιομετρική θέση 0+0013m, όπου εκεί ξεκινά και η υπόγεια διάνοιξη, διαμορφώνονται δύο ολόκληρες βαθμίδες στην δεξιά πλευρά και περίπου δύομισή βαθμίδες στην αριστερή.



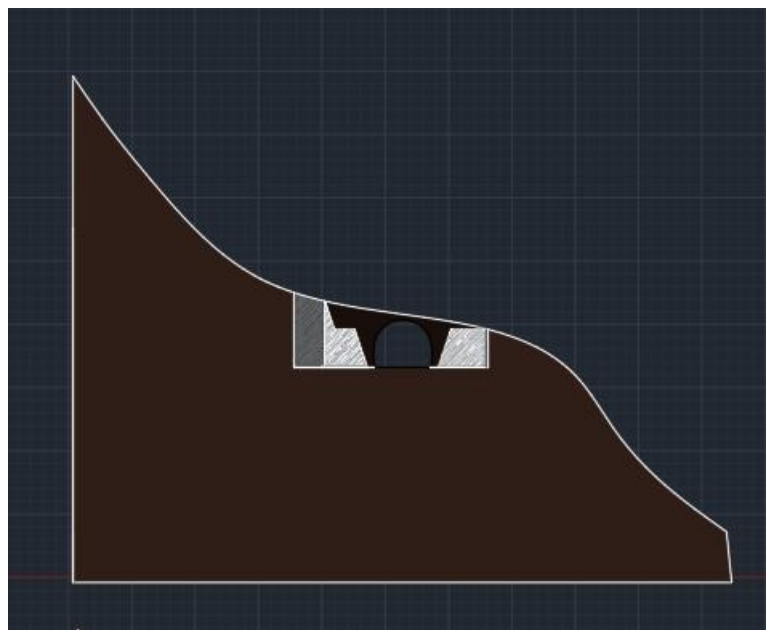
Εικόνα 95. Διαμόρφωση χώρου στη θέση 0+000m, εναλλακτική 1η



Εικόνα 94. Διαμόρφωση χώρου στη θέση 0+000m, εναλλακτική 2η



Εικόνα 97. Διαμόρφωση βαθμίδων στη θέση 0+006m



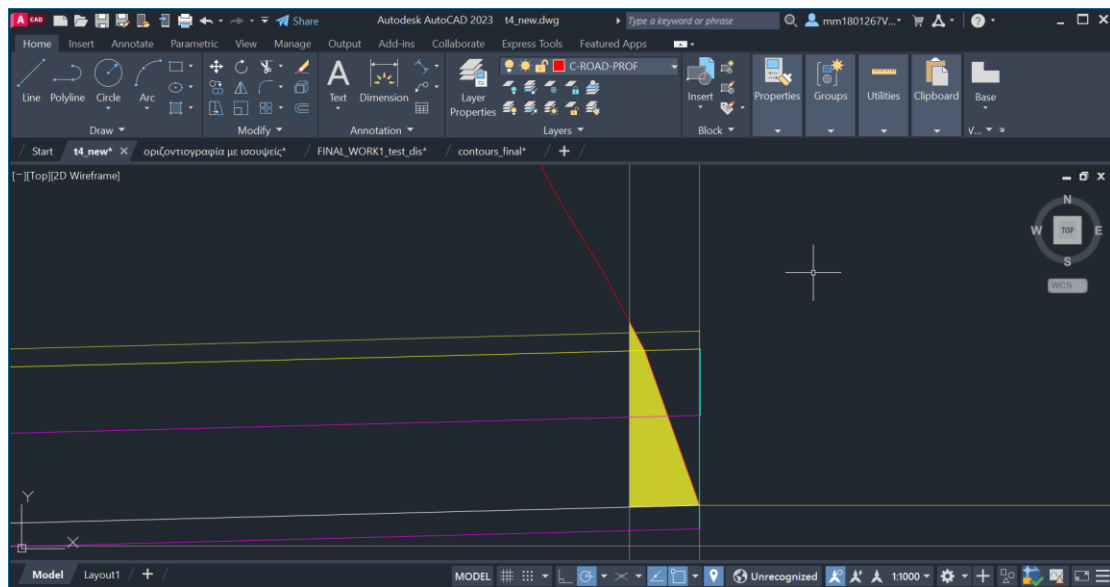
Εικόνα 96. Διαμόρφωση βαθμίδων στη θέση 0+006m, προβολή διατομής σήραγγας στο βάθος



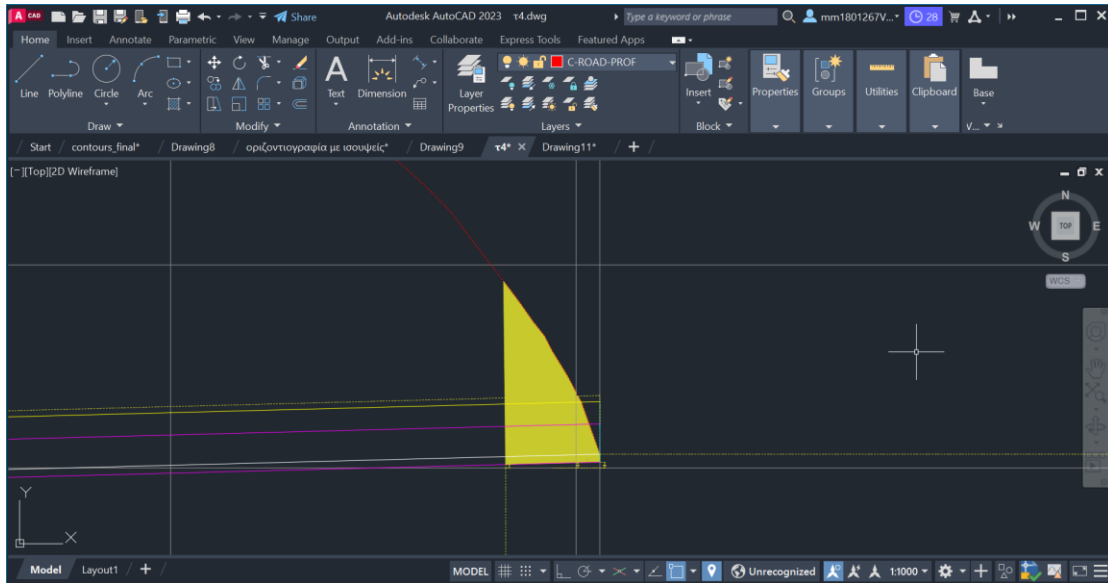
Εικόνα 98. Διαμόρφωση βαθμίδων στη θέση 0+0013m

4.2.3. Στόμιο Θεοδωριάνων- νότιο στόμιο σήραγγας

Γεμίζεται με κίτρινο χρώμα ο χώρος- πέτρωμα που πρέπει να διαμορφωθεί σε βαθμίδες.

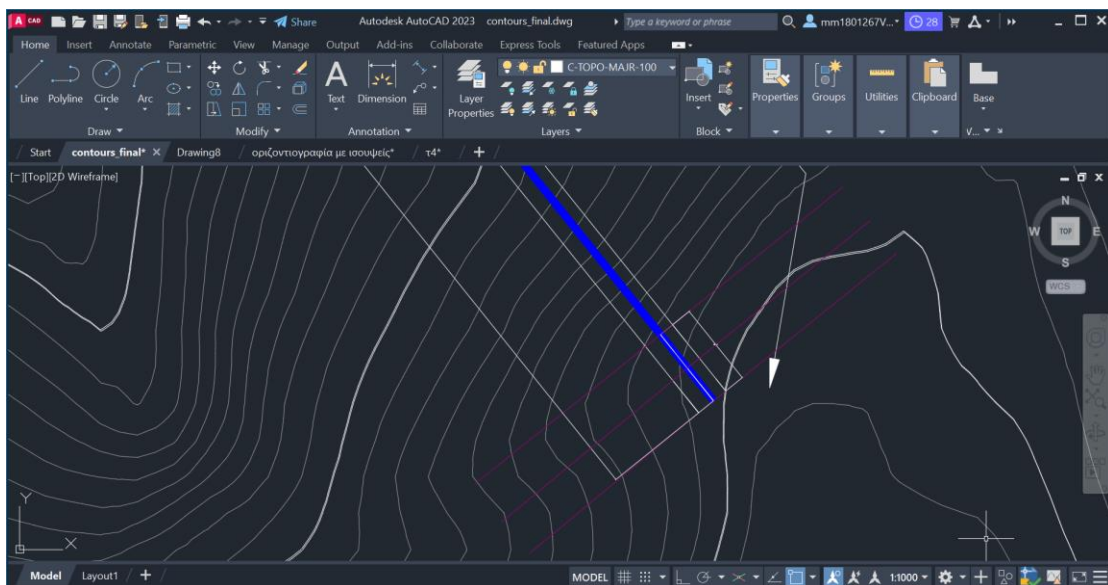


Εικόνα 99. Γέμισμα με κίτρινο του πετρώματος που πρόκειται να διαμορφωθεί σε βαθμίδες, νότιο στόμιο



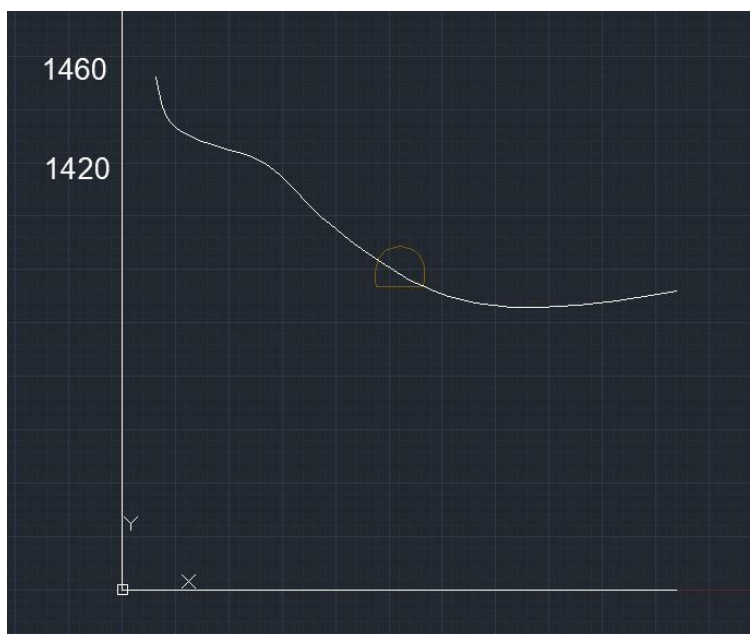
Εικόνα 100. Μεγέθυνση του προς διαμόρφωση σε βαθμίδες πετρώματος, νότιο στόμιο

Για την διαμόρφωση των βαθμίδων των πλευρικών πρανών στο στόμιο αυτό, θα σχεδιαστούν επίσης τρεις τομές στις θέσεις 1+506m, 1+494.5m και 1+482.6m. Απεικονίζονται και αυτές πάνω στον χάρτη, με μωβ χρώμα και εκτείνονται πλευρικά σε απόσταση 65m η καθεμία από το κέντρο της σήραγγας.

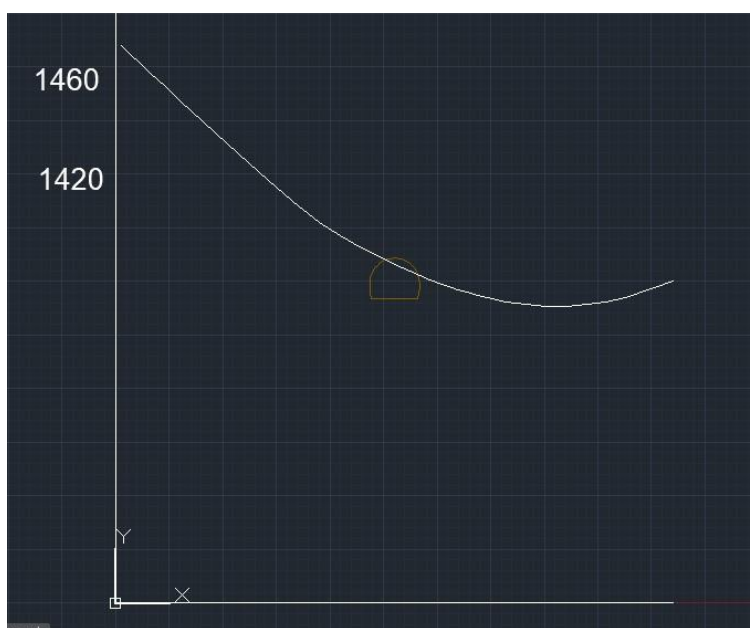


Εικόνα 101. Απεικόνιση τομών νοτίου στομίου με μωβ χρώμα

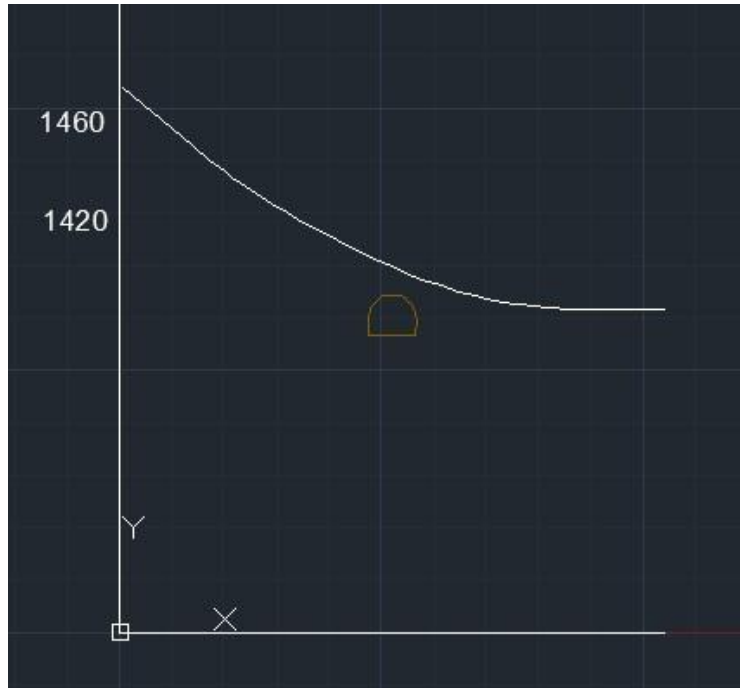
Λειτουργώντας με την ίδια μεθοδολογία, σχεδιάζονται στο AutoCAD οι τομές αυτές. Στις τομές του νότιου στομίου της σήραγγας, το υψόμετρο δεν ξεπερνά τα 1460m, ενώ στις συγκεκριμένες τομές τα υψόμετρα που απεικονίζονται κυμαίνονται από 1320m έως 1460m. Στα σχέδια αυτά εισάγεται και η διατομή (γραμμή εκσκαφής Α') της σήραγγας στο υψόμετρο των 1.401m. Οφείλει να αναφερθεί πως επειδή η σήραγγα έχει κλίση 2°, κανονικά σε κάθε τομή και στα δύο στόμια το πάτωμα της εκσκαφής είναι σε διαφορετικό υψόμετρο. Ωστόσο, η διαφορά του υψομέτρου αυτού από τομή σε τομή είναι ελάχιστη για αυτό και θεωρείται το πάτωμα της σήραγγας σταθερό υψομετρικά στις τομές. Παρατίθενται οι τομές στις εικόνες που ακολουθούν.



Εικόνα 103. Τομή στη χιλιομετρική θέση 1+506m



Εικόνα 1023. Τομή στη χιλιομετρική θέση 1+494.5m



Εικόνα 1044. Τομή στη χιλιομετρική θέση 1+482.6m

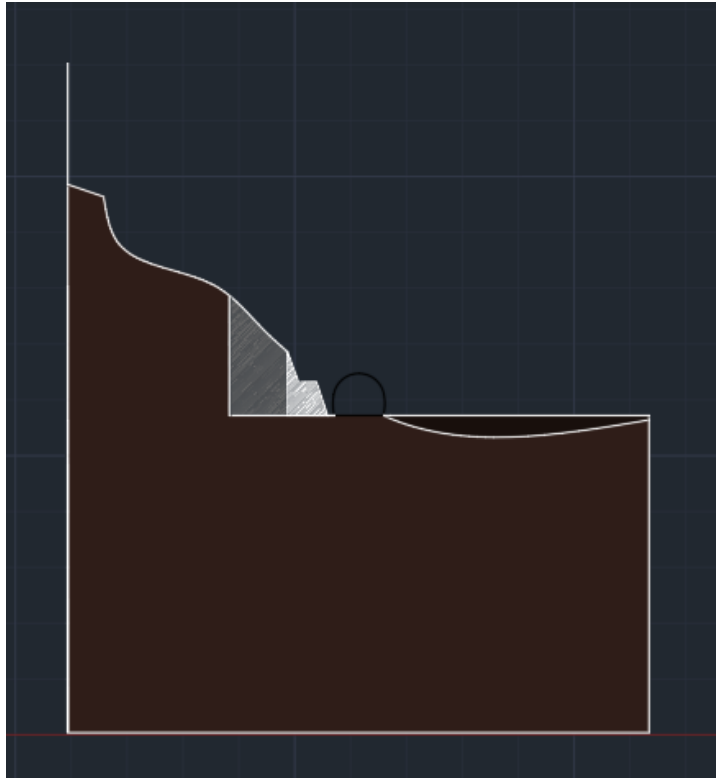
Αντίστοιχη παρατήρηση οφείλει να γίνει και σε αυτό το στόμιο για την παραδοχή της κατανομής του πετρώματος γύρω από την διατομή κατά το στάδιο δημιουργίας του μοντέλου στο RS2. Αν και η πραγματική κατανομή του πετρώματος στο στόμιο αυτό είναι πολύ κοντά σε αυτή που θεωρήθηκε ότι υπάρχει, σε σχέση με το άλλο στόμιο της σήραγγας, εξακολουθεί να υπάρχει μία ελάχιστη διαφωνία στην δεξιά πλευρά λόγω τοπογραφικού ανάγλυφου. Ωστόσο, η διαφωνία αυτή δεν αμφισβητεί την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του μοντέλου.

Τώρα, θα σχεδιαστούν οι βαθμίδες των πλευρικών πρανών, ακολουθώντας τις ίδιες παράμετρος με πριν. Εξετάστηκε και το ενδεχόμενο εφαρμογής άλλων διαστάσεων βαθμίδας, παραδείγματος χάρη 3m οριζόντια και 9m κάθετα, αλλά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πρανούς δεν ευνοούσαν μία τέτοια επιλογή.

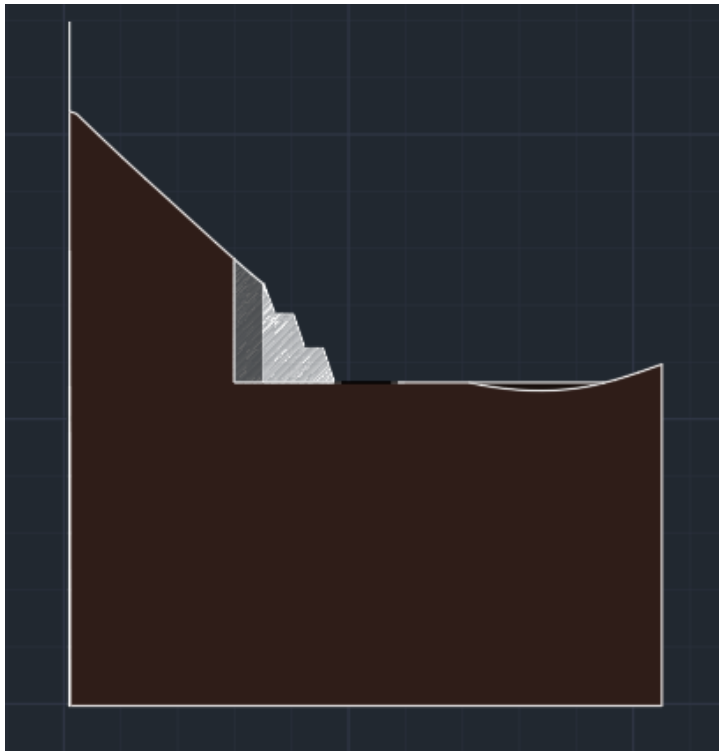
Στην τομή στην χιλιομετρική θέση 1+506m υπάρχουν πρηνή προς σχεδιασμό στην αριστερή πλευρά μόνο, όπου διαμορφώνονται σχεδόν δύο βαθμίδες. Στην δεξιά πλευρά διατηρείται από το προηγούμενο στόμιο η ιδέα της επιχωμάτωσης, με σκοπό την εξομάλυνση του ανάγλυφου πλησίον της σήραγγας.

Στην τομή στην χιλιομετρική θέση 1+494.5m, διαμορφώνονται δύο εναλλακτικοί σχεδιασμοί με τις διαφορές να συναντώνται στην δεξιά πλευρά. Στην πρώτη εναλλακτική διαμορφώνονται τρεις σχεδόν βαθμίδες στην αριστερά της σήραγγας και μία ελάχιστη στην δεξιά, ενώ στον δεύτερο σχεδιασμό στην δεξιά πλευρά σχηματίζεται ένα πλάτωμα με ελάχιστη ίσως και καθόλου επιχωμάτωση, το οποίο είναι και το πιο πιθανό σενάριο μιας και η διαμόρφωση ενός τόσο μικρού όγκου πετρώματος δεν προσφέρει κάτι λειτουργικά.

Στην τομή στην χιλιομετρική θέση 1+482.6m, όπου εκεί ξεκινά και η υπόγεια διάνοιξη, διαμορφώνονται τέσσερις ολόκληρες βαθμίδες στην αριστερή πλευρά και περίπου μιάμιση στην δεξιά.



Εικόνα 106. Διαμόρφωση βαθμίδων στη θέση 1+506m



Εικόνα 105. Διαμόρφωση βαθμίδων στην θέση 1+494.5m, εναλλακτικός σχεδιασμός με επιχωμάτωση



Εικόνα 109. Διαμόρφωση βαθμίδων στην θέση 1+494.5m, εναλλακτικός σχεδιασμός με βαθμίδες και στις δύο πλευρές



Εικόνα 107. Διαμόρφωση βαθμίδων στην θέση 1+482.6m

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΈΛΕΓΧΟΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ

5.1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Εισάγονται στο πρόγραμμα Slide2 η γεωμετρία των πρανών που σχεδιάστηκαν, ώστε να γίνει έλεγχος της ευστάθειας τους σε ξηρές συνθήκες, σε συνθήκες πλήρους κορεσμού από νερό και σε περίπτωση σεισμού. Ουσιαστικά, με την χρήση του προγράμματος, αν και επιχειρείται ο έλεγχος της ευστάθειας του συνολικότερου πρανού, έμφαση θα δοθεί στην ευστάθεια των σχεδιαζόμενων βαθμίδων, αφού η γεωμετρία του πρανού που θα εισαχθεί είναι περιορισμένη στα όρια της τομής. Σκοπός είναι να εξεταστεί εάν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που επιλέχθηκαν για το σχεδιασμό των βαθμίδων είναι ευσταθή στις γεωλογικές συνθήκες της περιοχής και εάν όχι να προταθούν μέτρα υποστήριξης αυτών.

5.2. ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

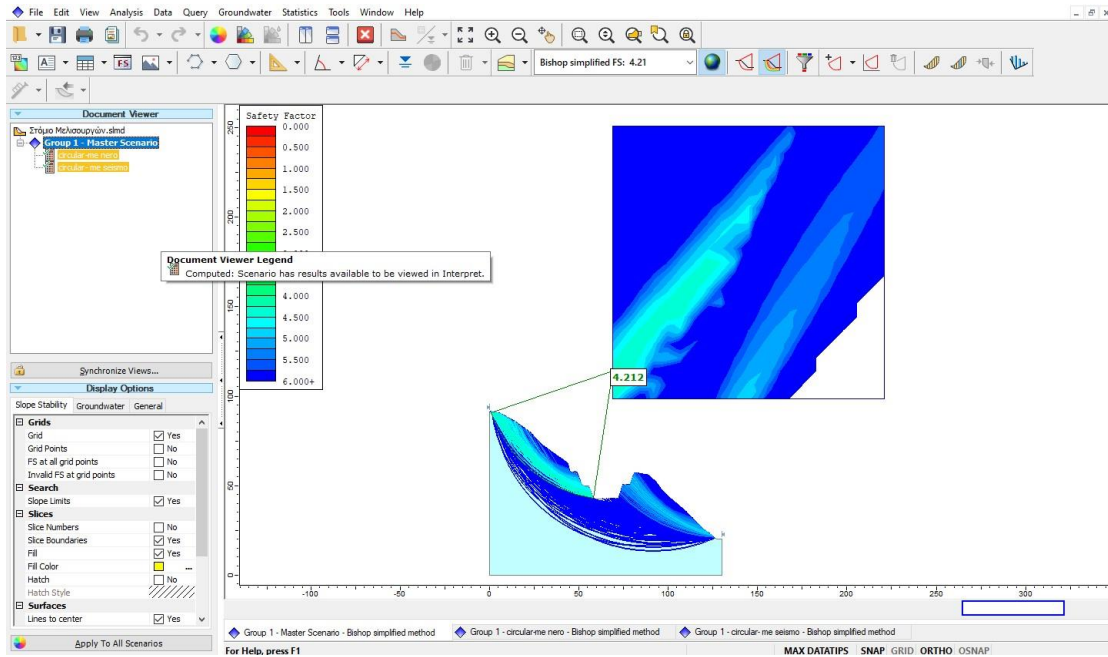
Στην προσπάθεια ανάλυσης του συνολικότερου πρανού, επιλέγεται να εισαχθούν στο πρόγραμμα τα πλευρικά πρανή των θέσεων 0+013m και 1+482.6m της χάραξης, μιας και στις θέσεις αυτές συναντώνται μεγαλύτερος αριθμός βαθμίδων, που σημαίνει μεγαλύτερο ύψος πλευρικών πρανών και άρα πιθανώς δυσμενέστερες συνθήκες ευστάθειας, αλλά κυρίως επειδή συναντώνται ολοκληρωμένες βαθμίδες, όπου η ευστάθεια αυτών είναι που εξετάζεται πρώτιστα.

5.2.1. Στόμιο Μελισσοουργών – βόρειο στόμιο σήραγγας

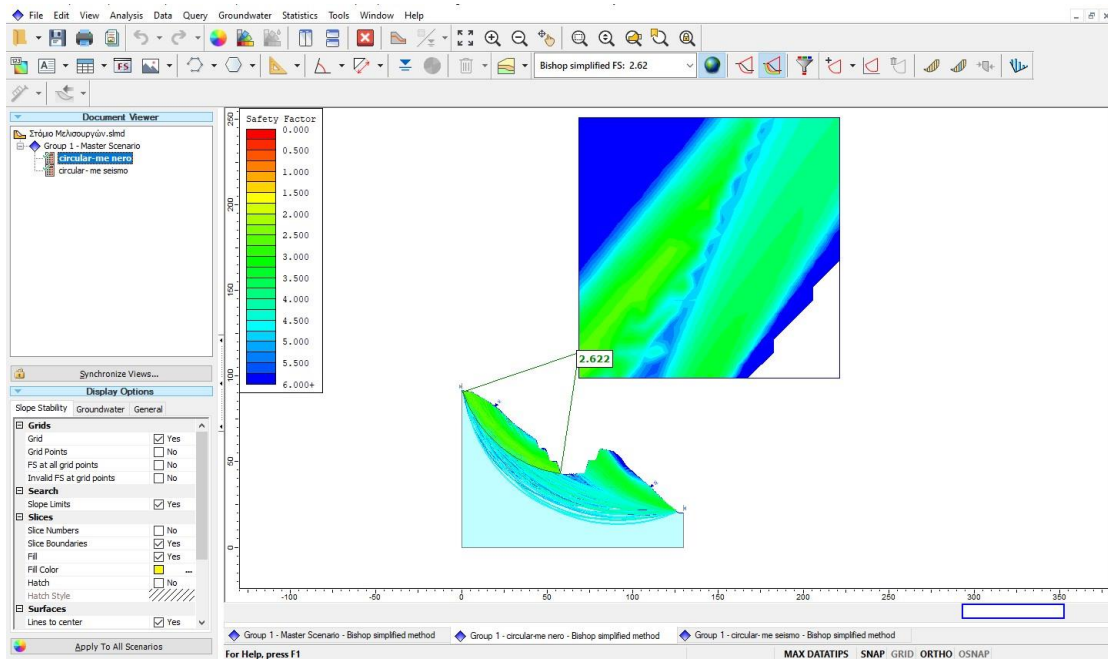
Εισάγεται στο πρόγραμμα η μορφολογία του πρανού και στη συνέχεια καταχωρούνται τα γεωλογικά δεδομένα του ασβεστολίθου που συναντάται στην περιοχή αυτή, δηλαδή της τεχνικογεωλογικής ενότητας Β2.

Εξετάζεται η περίπτωση κυκλικής αστοχίας, σε ξηρές συνθήκες, σε συνθήκες πλήρους κορεσμού από νερό και σε περίπτωση σεισμού. Δεν πραγματοποιήθηκε έλεγχος για μη κυκλική αστοχία, καθώς δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για τον προσανατολισμό των ασυνεχειών της βραχομάζας. Ωστόσο, ο έλεγχος αυτός θα πρέπει απαραίτητα να πραγματοποιηθεί κατά την οριστική μελέτη του έργου.

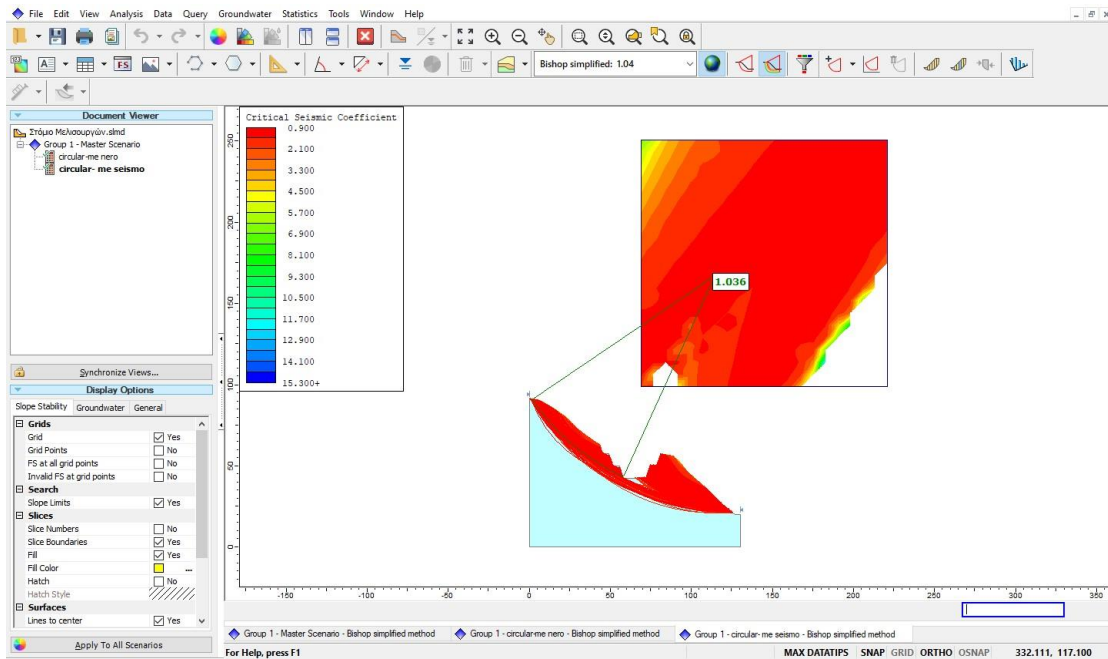
Παρατηρείται πως οι τιμές του συντελεστή ασφαλείας σε ξηρές συνθήκες αλλά και σε πλήρως κορεσμένες από νερό συνθήκες, είναι ιδιαίτερα υψηλές και άρα δεν υπάρχει υπόνοια αστάθειας ή ανάγκη για πρόταση μέτρων υποστήριξης. Σε περίπτωση σεισμού, ο συντελεστής ασφαλείας ικανοποιεί, έστω και οριακά, τις σχετικές απαιτήσεις των ΟΜΟΕ. Ωστόσο, επειδή είναι οριακά πάνω από τη μονάδα, προτείνεται η περαιτέρω διερεύνηση της περίπτωσης αυτής, στο στάδιο του τελικού σχεδιασμού.



Εικόνα 110. Έλεγχος για κυκλική αστοχία σε ξηρές συνθήκες, στόμιο Μελισσουργών



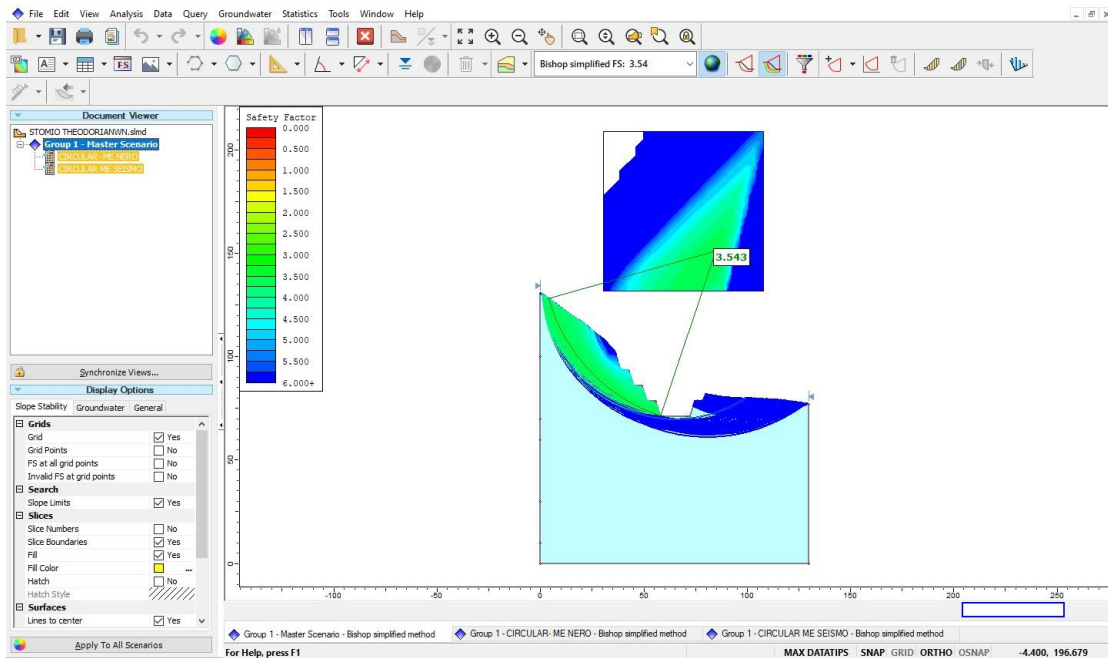
Εικόνα 111. Έλεγχος για κυκλική αστοχία σε πλήρως κορεσμένες συνθήκες, στόμιο Μελισσουργών



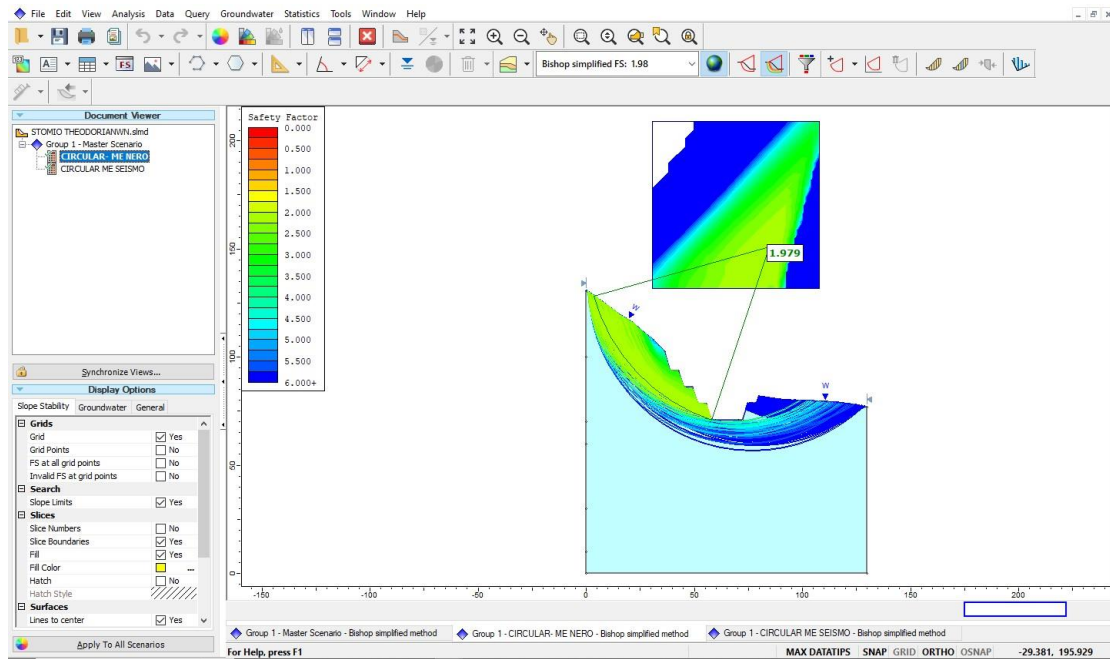
Εικόνα 112. Έλεγχος για κυκλική αστοχία σε περίπτωση σεισμού, στόμιο Μελισσουργών

5.2.3. Στόμιο Θεοδωριάνων – νότιο στόμιο σήραγγας

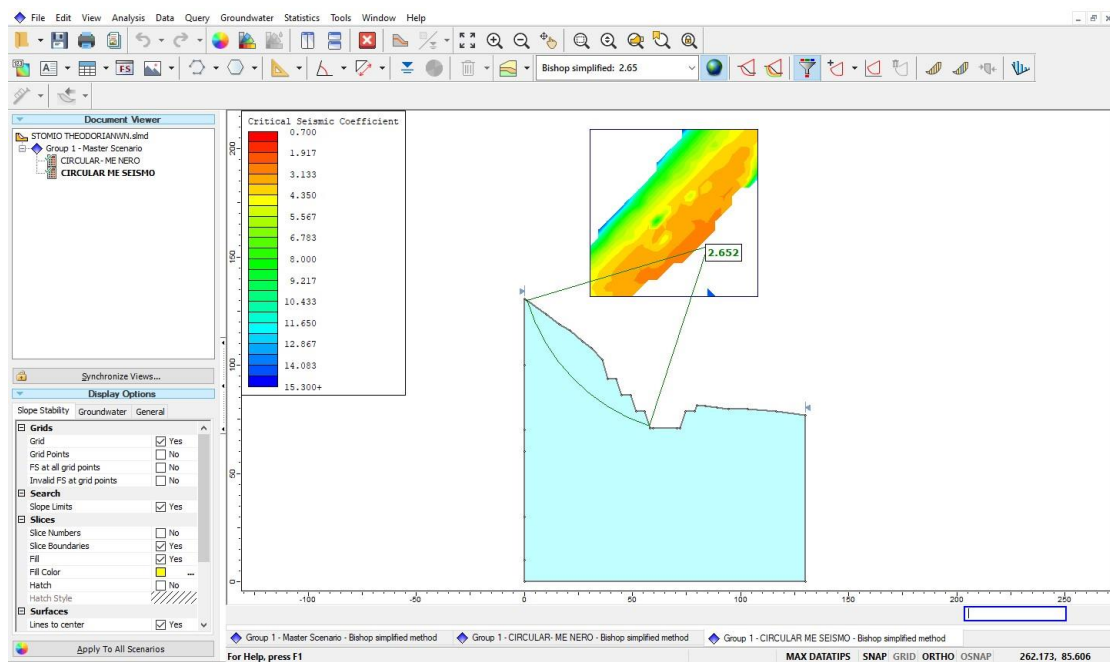
Με τον ίδιο τρόπο, εισάγεται η μορφολογία και η γεωλογία και αυτού του πρσανούς και ελέγχεται η ευστάθεια του στις τρεις αυτές περιπτώσεις.



Εικόνα 113. Έλεγχος για κυκλική αστοχία σε ξηρές συνθήκες, στόμιο Θεοδωριάνων



Εικόνα 114. Έλεγχος για κυκλική αστοχία σε πλήρες κορεσμένες συνθήκες, στόμιο Θεοδωριάνων



Εικόνα 115. Έλεγχος για κυκλική αστοχία σε περίπτωση σεισμού, στόμιο Θεοδωριάνων

Για την περίπτωση ξηρού ή κορεσμένου πρανούς γίνονται ακριβώς οι ίδιες παρατηρήσεις και σε αυτό το στόμιο. Για την περίπτωση σεισμού, η τιμή του συντελεστή ασφαλείας εμφανίζεται υψηλότερη του προηγούμενο στομίου και αρκετά μεγαλύτερη της μονάδας.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά την περάτωση της παρούσας διπλωματικής προκύπτουν κάποια συμπεράσματα όσο και προβληματισμοί σχετικά το θέμα που αναλύθηκε.

Όσον αφορά τα ύψος των υπερκειμένων που οφείλει να υπάρχει πάνω από τη διατομή, με σκοπό να ξεκινήσει με ασφάλεια η υπόγεια διάνοιξη, επιλέχθηκαν τα επτά μέτρα ως ένα κατάλληλο τέτοιο ύψος. Γενικότερα, από τα 5m και πάνω, όπου ισούται με το μισό περίπου του ύψους της διατομής, είναι ένα πρώτο βήμα για τον έλεγχο των μετακινήσεων του πετρώματος λόγω εκσκαφής. Στις συγκεκριμένες γεωλογικές συνθήκες, όπως αποδείχθηκε από τον έλεγχο που έγινε στα μοντέλα που διαμορφώθηκαν, ήδη χωρίς τοποθέτηση υποστήριξης οι μετακινήσεις ήταν ελάχιστες. Επομένως, και οι τρεις προτάσεις για ύψος υπερκειμένων 5m, 7m και 9.5m ήταν θεωρητικά αποδεκτές. Σε αυτό το πλαίσιο, αφού υπήρχε ευχέρεια επιλογών, συνυπολογίστηκαν στην απόφαση και ο αισθητικός παράγοντας, αποκλείοντας έτσι την επιλογή με ύψος υπερκειμένων 9.5m, όπου θα δημιουργούσε ένα απότομο και υψηλό πρηνές, καθώς επίσης και η πιθανότητα για ανάγκη περισσότερου όγκου πετρώματος πάνω από την εκσκαφή σε περίπτωση απαίτησης βαρύτερων μέτρων υποστήριξης, αποκλείοντας έτσι και τα 5m υπερκείμενα ως κατάλληλη επιλογή, χωρίς όμως να είναι απαγορευτική.

Έπειτα, επειδή στα στόμια συναντώνται οι πιο δυσμενείς γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες του πετρώματος, η τοποθέτηση μίας πιο βαριάς υποστήριξης από αυτή που θεωρητικά απαιτείται είναι αν όχι αναγκαία σίγουρα προτιμητέα. Επομένως, για άμεση υποστήριξη προτάσσεται η κατηγορία SC-IIIΑ, η οποία θεωρητικά εφαρμόζεται στην τεχνικογεωλογική ενότητα Β2 που συναντάται και μεν στα στόμια, αλλά για αρκετά μεγαλύτερο ύψος υπερκειμένων δε. Αναλυτικά τα μέτρα υποστήριξης της κατηγορίας αυτής δίνονται παρακάτω:

SC-IIIΑ	Ανοικτή	1.5 - 2.0 m στην άνω ημιδιατομή, 3.0 4.0 m στη βαθμίδα	Ολόσωμης πάκτωσης, Φ25 από χάλυβα Β500	5.0 m	1.5 m x 1.5 m	25 cm (20 cm ινοπλισμένο)	Χαλύβδινες τίνες + 1 δομικό πλέγμα T188	C30/37	Δικτυωτά πλαίσια τύπου LG 95/20/30 (H=145 mm)	36 ράβδοι προπορείας Φ28, L=5.0m, σε αξονική απόσταση 35 cm, ανά 2 βήματα προχώρησης, όπου απαιτείται	Εκτ. σκυρόδεμα πάχους 5 cm (όπου απαιτείται)
---------	---------	--	--	-------	---------------	---------------------------	---	--------	---	---	--

Εικόνα 116. Μέτρα υποστήριξης κατηγορίας SC-IIIΑ

Με την τοποθέτηση των μέτρων αυτών στο μοντέλο, αποδείχθηκε πως οι μετακινήσεις του πετρώματος ήταν ακόμα πιο μικρές και επομένως πρόκειται για μία ορθή και ταυτόχρονα αρκετά συντηρητική πρόταση, η οποία όμως δύναται να αντιμετωπίσει μη αναμενόμενες δυσχερείς γεωτεχνικές συνθήκες τις οποίες το μοντέλο προφανώς δεν δύναται να προβλέψει.

Στη συνέχεια, όσον αφορά τις τομές που σχεδιάστηκαν, με σκοπό την κατανόηση σε πρώτο στάδιο της κατανομής του πετρώματος πριν την υπόγεια διάνοιξη και έπειτα τη διαμόρφωσή αυτού σε βαθμίδες, αρχικά επιβεβαιώθηκε, με μικρή διαφωνία στις τομές του βορείου στομίου των Μελισσουργών, η παραδοχή που είχε γίνει στο μοντέλο του RS2, στο στάδιο θέσπισης εξωτερικών ορίων εκσκαφής, για ύπαρξη πετρώματος σε απόσταση έξι διαμέτρων αυτής πλευρικά της σήραγγας και 7m πάνω από αυτή. Επισημαίνεται, πως αν και τελικά υπήρξε κάποια διαφωνία μεταξύ πραγματικών συνθηκών και του μοντέλου που σχεδιάστηκε, ως προς την κατανομή του όγκου του πετρώματος γύρω από την σήραγγα στα σημεία που ξεκινάει η υπόγεια διάνοιξη, σε καμία περίπτωση δεν αμφισβητούνται τα αποτελέσματα των μετακινήσεων που εξήχθησαν από το πρόγραμμα, θεωρώντας τα

αναξιόπιστα. Η φύση του πετρώματος επέτρεπε εξ' αρχής πολύ μικρές μετακινήσεις και μάλιστα πλησίον της διατομής εκσκαφής. Επομένως, μία διαφορετική κατανομή του πετρώματος και σε απόσταση από την εκσκαφή θα διαφοροποιήσει ελάχιστα έως και καθόλου τα αποτελέσματα, και σε καμία περίπτωση δεν δύναται να αμφισβητηθούν τα αποτελέσματα.

Επιπλέον, οι βαθμίδες που θα σχεδιαστούν θα διατηρούν σταθερή κλίση 3:1, εφόσον συναντάται βραχώδη πέτρωμα, και πλάτος αναβαθμού ίσο με 4m, όπως προτάσσεται από τις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ). Η γεωμετρία που προτείνεται να ακολουθηθεί είναι 2.5m οριζόντια και 7.5m κατακόρυφα για τον εξής λόγο: Εξαιτίας του έντονου τοπογραφικού ανάγλυφου, μέχρι το σημείο που ξεκινάει η υπόγεια διάνοιξη και στα δύο στόμια, το πέτρωμα δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο ώστε να δημιουργηθούν βαθμίδες και στις δύο πλευρές. Σε κάποιες τομές δύναται να διαμορφωθούν βαθμίδες και στις δύο πλευρές, ενώ σε κάποιες άλλες μόνο από την μία πλευρά. Επομένως, η δημιουργία μεγάλων βαθμίδων, της τάξης των 10m, από την μία πλευρά και η απουσία από την άλλη θα δημιουργούν ένα αντιαισθητικό τοπίο. Επιπλέον, μικρές βαθμίδες δημιουργούν μία αίσθηση ενός ατέρμονου πρανούς. Επομένως, η δημιουργία βαθμίδων με τα παραπάνω προτεινόμενα χαρακτηριστικά ταίριαξαν ακριβώς στην θέση όπου ξεκινάει η υπόγεια διάνοιξη στο βόρειο στόμιο και προτείνονται και για τον σχεδιασμό των αντίστοιχων βαθμίδων στο νότιο στόμιο κυρίως για το λόγο που περιγράφηκε παραπάνω, δηλαδή την προσπάθεια εξομάλυνσης του έντονο ασύμμετρου ανάγλυφου.

Προτείνονται, επίσης, και κάποιες εναλλακτικές στο σχεδιασμό στα σημεία όπου η διαμόρφωση βαθμίδων είναι μηδαμινή. Πιο συγκεκριμένα, σε σημεία όπου θεωρητικά διαμορφώνεται ένα μέρος της βαθμίδας που όφειλε να διαμορφωθεί, λόγω έλλειψης πετρώματος, προτείνεται η δημιουργία πλατώματος, με σκοπό την εξομάλυνση του ανάγλυφου πλησίον της σήραγγας, αφού πρακτικά ο σχηματισμός ενός μέρους της βαθμίδας λειτουργικά δεν χρησιμεύει κάπως. Επιπλέον, σε άλλα σημεία, προτείνεται και επιχωμάτωση ούτως ώστε να προσεγγιστεί το υψόμετρο του πατώματος της εκσκαφής και άρα η ασφαλή μετάβαση στις βαθμίδες που έπονται. Αυτές οι εναλλακτικές στους σχεδιασμούς τονίζεται πως δεν είναι παρά προτάσεις για τις περιοχές εκείνες όπου ο όγκος του υπάρχοντος πετρώματος δεν αρκεί για διαμόρφωση ολόκληρων βαθμίδων. Οποιαδήποτε πρόθεση για χρησιμοποίηση αυτών των ιδεών χρήζει διερεύνησης.

Τέλος, ελέγχθηκε από κατάλληλο πρόγραμμα η ευστάθεια των πλευρικών πρανών που διαμορφώθηκαν και κρίθηκαν δεκτά χωρίς την ανάγκη εφαρμογής μέτρων υποστήριξης. Στην πραγματικότητα, έγινε έλεγχος της συνολικότερης ευστάθειας του πρανούς, εστιάζοντας όμως στη γεωμετρία των σχεδιαζόμενων βαθμίδων, κατά πόσο αυτή είναι κατάλληλη στις υπάρχουσες γεωλογικές συνθήκες. Ελέγχθηκαν όχι μόνο σε ξηρές συνθήκες, αλλά και σε πλήρως κορεσμένες από νερό συνθήκες. Στη δυσμενή περίπτωση σεισμικής φόρτισης, έστω και εάν και ο συντελεστής ασφαλείας οριακά ξεπερνάει την μονάδα στο βόρειο στόμιο, που αποτελεί την οριακή συνθήκη, τα πρανά ευσταθούν. Ωστόσο, προτείνεται η περαιτέρω διερεύνηση της ευστάθειας των πλευρικών πρανών του βόρειου στομίου της σήραγγας στο στάδιο του τελικού σχεδιασμού.

Βιβλιογραφία

- Agrinio Press*. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://www.agriniopress.gr/ionia-odos-ayrio-i-panigyriki-dianoix/>
- D Peila, S. P. (2002, October). *Science Direct*. Ανάκτηση από Criteria for technical and environmental design of tunnel portals:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0886779802000287>
- (χ.χ.). *En Geo Draft_Melisourgoi-Theodoriana*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Geoerevna*. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://www.geoerevna.gr/site/index.php/el/eidika-geotexnika-erga/vathies-themeleioseis/freatopassaloi>
- Kentriki odos*. (χ.χ.). Ανάκτηση από
<https://www.kentrikiodos.gr/%CE%BF%CE%B4%CE%AE%CE%B3%CE%B7%CF%83%CE%B7-%CF%83%CE%B5-%CF%83%CE%AE%CF%81%CE%B1%CE%B3%CE%B3%CE%B5%CF%82/>
- Mpampalis*. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://mpampalis-adiataraktikopi.gr/more2.php?l=el&id=7368#&gid=1&pid=4>
- Proinos logos*. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://www.proinoslogos.gr/kyria-themata/9-kyrio-thema/56913-%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%B1%CE%B9%CE%BF-%CF%84%CE%B7%CF%83-%CE%BA%CE%B1%CE%BA%CE%BF%CE%BA%CE%B1%CE%B9%CF%81%CE%B9%CE%B1%CF%83-%CE%B7-%CE%B7%CF%80%CE%B5%CE%B9%CF%81%CE%BF%CF%83>
- Rotan news*. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://rotan-news.gr/2022/04/08/epirus/k-tzoumerkanea-katolisthisi-ston-dromo-theodoriana-neraida-oi-sygchorianoimai-mas-mallon-tha-pane-me-ta-podia-sto-chorio/>
- Tempo24.news*. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://tempo24.news/eidisi/114849/deite-ton-diadrastiko-harti-me-toys-ellinikoys-aytokinitodromoys-ti-leitoyrgei-kai-ti>
- Ye Fei, H. C.-m.-l. (2012, Μάιος). *Landscape design of mountain highway tunnel portals in China*. Ανάκτηση από
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0886779812000065>
- Έρευνας, Μ. Κ. (χ.χ.). *ΕΚΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΕΡΓΟΥ: Προκαταρκτική διερεύνηση και σχεδιασμός από το Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας οδικής σήραγγας μεταξύ των οικισμών Θεοδωριάνων - Μελισσουργών*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων Τεύχος 3*. (2010). Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων.
- Σοφιανός, Α. Ι. (2018). *Διάνοιξη σηράγγων*. Ζωγράφου, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.