



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΛΟΓΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

# Σχεδιασμός και Αξιολόγηση παραμέτρων κατασκευής Υπόγειου Χώρου πολλαπλών χρήσεων στην Αττική

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Άρτεμις Μπαλαφούτη

Επιβλέπων: Μπενάρδος Α., Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ, 2023





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΛΟΓΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

## Σχεδιασμός και Αξιολόγηση παραμέτρων κατασκευής Υπόγειου Χώρου πολλαπλών χρήσεων στην Αττική

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Άρτεμις Μπαλαφούτη

Επιβλέπων: Μπενάρδος Α., Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 26/10/2023

Μπενάρδος Ανδρέας, Καθηγητής, .....

Νομικός Παύλος, Καθηγητής,.....

Ζευγώλης Ιωάννης, Αναπληρωτής Καθηγητής, .....

ΑΘΗΝΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ, 2023

Copyright © Άρτεμις Μπαλαφούτη, 2023

Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

## Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Σχεδιασμός και Αξιολόγηση παραμέτρων κατασκευής Υπόγειου Χώρου πολλαπλών χρήσεων στην Αττική», εκπονήθηκε στο πλαίσιο του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών της Σχολής Μεταλλειολόγων-Μεταλλουργών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Σκοπός της είναι η προμελέτη κατασκευής ενός υπόγειου χώρου πολλαπλών χρήσεων στο Λυκαβηττό. Ο χώρος θα λειτουργεί ως υπόγειος σταθμός αυτοκινήτων σε ειρηνικές περιόδους, ενώ σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης θα μετατρέπεται σε καταφύγιο προστασίας ανθρώπων.

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή του Ε.Μ.Π. κ. Ανδρέα Μπενάρδο, για την ανάθεση και επίβλεψη της παρούσας εργασίας καθώς και για την πολύτιμη βοήθεια του κατά την συγγραφή της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Παύλο Νομικό και τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Ιωάννη Ζευγώλη για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή και για τις χρήσιμες παρατηρήσεις τους.

Δεν θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω θερμά την κα. Παρασκευή Γιούτα – Μήτρα, μέλος του Εργαστηριακού Διδακτικού Προσωπικού της Σχολής Μεταλλειολόγων – Μεταλλουργών Μηχανικών, για την καθοδήγηση που μου παρείχε, τις πολύτιμες συμβουλές της, την υπομονή και το χρόνο που διέθεσε να μου λύσει όλες μου τις απορίες, κατά την ενασχόληση μου με το λογισμικό RS2.

Ακόμα, οφείλω να ευχαριστήσω θερμά, τον Επίκουρο Καθηγητή του Ε.Μ.Π. κ. Ιωάννη Βακαλά, για την προθυμία και την υπομονή που έδειξε καθώς και τον χρόνο που αφιέρωσε για να με βοηθήσει με το σχεδιασμό των γεωλογικών τομών.

Τέλος, δε θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω την οικογένεια και τις φίλες μου, που με στήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας αλλά και των προπτυχιακών μου σπουδών.

## Περίληψη

Η ανάπτυξη των υπόγειων έργων στις σύγχρονες μεγαλουπόλεις, είναι επακόλουθο της αστικοποίησης αλλά και της υιοθέτησης πρακτικών, φιλικών προς το περιβάλλον. Η Αθήνα, όντας η πολυπληθέστερη πόλη της χώρας, δεν θα μπορούσε να αποτελέσει εξαίρεση από τις πόλεις που επενδύουν, σταδιακά, στην ανάπτυξη υπόγειων έργων.

Οι υπόγειοι σταθμοί αυτοκινήτων, στο κέντρο της Αθήνας και όχι μόνο, είναι πολυάριθμοι. Παρόλα αυτά, σε ορισμένες περιοχές με έντονη εμπορική δραστηριότητα και μεγάλη επισκεψιμότητα, η εύρεση χώρου στάθμευσης παραμένει δύσκολη.

Ένα ακόμη πρόβλημα που δυστυχώς αντιμετωπίζουν αρκετές περιοχές παγκοσμίως είναι η παρουσία απειλών όπως τρομοκρατικές επιθέσεις ακόμα και πόλεμοι. Λαμβάνοντας υπόψη και τις φυσικές καταστροφές που συνέβησαν τελευταία σε αρκετές περιοχές του κόσμου, συμπεριλαμβανομένου και της χώρας μας, κρίνεται απαραίτητη η κατασκευή κατάλληλων υπόγειων χώρων για την προστασία ανθρώπων σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Η Ελλάδα, μπορεί παλαιότερα να είχε προβεί στο σχεδιασμό και την κατασκευή τέτοιων χώρων, ωστόσο σήμερα δεν υπάρχουν πλέον λειτουργικοί χώροι προστασίας.

Μια περιοχή που πληροί τις προδιαγραφές για να καλύψει την ανάγκη προστασίας ανθρώπων σε περίπτωση απειλής αλλά και την ανάγκη στάθμευσης στο κέντρο της Αθήνας, είναι ο Λυκαβηττός.

Στην παρούσα εργασία, εξετάζονται οι παράμετροι σχεδιασμού ενός τέτοιου χώρου στο Λυκαβηττό. Παρατίθενται οι βασικές προδιαγραφές για την κατασκευή του σύμφωνα με την ελληνική κυρίως νομοθεσία και εξετάζονται τα γεωλογικά και γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Με βάση τα συγκεκριμένα στοιχεία γίνεται ο σχεδιασμός του προτεινόμενου χώρου και η προσομοίωση του στο λογισμικό της Rock Science, RS2, για τον έλεγχο της ευστάθειας του ανοίγματος και της αποτελεσματικότητας των μέτρων υποστήριξης. Η εργασία ολοκληρώνεται με μια εκτίμηση του χρόνου και του κόστους της κατασκευής, με βάση βιβλιογραφικά κυρίως δεδομένα.

## **Abstract**

The development of underground works in contemporary megacities is a consequence of urbanization and the adoption of environmentally friendly practices. Athens, being the most populous city in the country, could not be an exception to the cities that gradually invest in the development of underground projects.

The underground car parks, in the center of Athens and beyond, are numerous. Nevertheless, in some areas with intense commercial activity and high traffic, the problem of finding a parking space remains difficult.

Another problem that many regions of the world are unfortunately facing is the presence of threats, such as terrorist attacks and even wars. Taking into account the natural disasters that have recently occurred in several regions of the world, including our country, it is considered necessary to build suitable underground spaces to protect people in emergency situations. Although Greece may have previously planned and built such shelters, existing structures are nonfunctional.

This thesis, investigates the design parameters of a multipurpose underground facility in Lycabettus, an area in the center of Athens. The basic specifications for the construction of such spaces are listed, mainly, in accordance with Greek legislation. Also, the geological and geotechnical characteristics of the area are examined. Based on the specific data, the proposed space is designed and simulated utilizing Rock Science software, RS2. The aim of simulation is to assess the stability of the structure's opening and the effectiveness of the support measures. The thesis is completed by estimating the construction timeline and costs, based mainly on bibliographic data.

# Περιεχόμενα

<b>1. Εισαγωγή</b> .....	1
1.1 Παραδείγματα Καταφυγίων.....	3
1.1.1 Στο εξωτερικό .....	3
1.2.2 Στην Ελλάδα .....	5
1.2 Παραδείγματα Υπόγειων Χώρων Στάθμευσης.....	7
<b>2. Βασικές Προδιαγραφές Σχεδίασης</b> .....	9
2.1 Χώρων Στάθμευσης Αυτοκινήτων.....	9
2.2 Καταφυγίων .....	13
2.2.1 Στο εξωτερικό .....	13
2.2.2 Στην Ελλάδα .....	15
<b>3. Μελέτη της Περιοχής Ενδιαφέροντος</b> .....	17
3.1 Περιοχή Κατασκευής του Έργου και Πληθυσμός της .....	17
3.2 Αριθμός Αυτοκινήτων σε σχέση με τον πληθυσμό .....	18
3.3 Κυκλοφοριακά Στοιχεία και Χώροι Στάθμευσης στο Κέντρο της Αθήνας.....	20
<b>4. Γεωλογικό Υπόβαθρο</b> .....	23
4.1 Γεωλογικές και Τεκτονικές Συνθήκες στο Λεκανοπέδιο Αθηνών.....	23
4.1.1 Γεωλογικά Στοιχεία .....	23
4.1.2 Τεκτονική Ανάλυση.....	24
4.2 Γεωλογικές Συνθήκες στον Λυκαβηττό .....	27
<b>5. Σχεδιασμός Έργου</b> .....	31
5.1 Επιλογή της κατάλληλης θέσης.....	31
5.2 Γεωτεχνικά Στοιχεία Περιοχής και Επιλογή Μέτρων Υποστήριξης.....	32
5.3 Διαστασιολόγηση Χώρου – Σχέδιο Κατασκευής .....	38
5.4 Αερισμός – Φωτισμός – Πυρασφάλεια / Πυρόσβεση .....	44
5.5 Μοντέλο RS2 – Έλεγχος μέτρων υποστήριξης .....	46
<b>6. Μέθοδος, Χρόνος, Κόστος Κατασκευής</b> .....	62



6.1 Επιλογή Μεθόδου – Μηχανικά Μέσα Διάνοιξης.....	62
6.2 Roadheaders .....	62
6.2.1 Χαρακτηριστικά.....	62
6.2.2 Κατηγορίες.....	63
6.2.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα .....	64
6.3 Εκτίμηση Χρόνου και Κόστους Κατασκευής .....	65
6.3.1 Υπολογισμός Εξορυσσόμενου Όγκου Πετρώματος .....	65
6.3.2 Εκτίμηση Χρόνου Ολοκλήρωσης του Έργου.....	66
6.3.3 Εκτίμηση Κόστους Κατασκευής του Έργου .....	67
<b>7. Συμπεράσματα .....</b>	<b>70</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>72</b>
<b>Παράρτημα: Γεωλογικό Φύλλο Αθήνα – Πειραιάς.....</b>	<b>76</b>

## Εικόνες

Εικόνα 1: Εγκαταλελειμμένο στρατιωτικό καταφύγιο (Bunker de Lumieres) στο Jeju Island της Ν. Κορέας που έχει μετατραπεί σε χώρο καλλιτεχνικών εκθέσεων (Yun J., 2022) .....	4
Εικόνα 2: Κολυμβητήριο κάτω από την επιφάνεια του εδάφους στο Itäkeskus στο Ελσίνκι, που μπορεί να μετατραπεί σε καταφύγιο έκτακτης ανάγκης προστατεύοντας 3800 άτομα (Μπενάρδος Α. και Καλιαμπάκος Δ., 2010) .....	4
Εικόνα 3: Διάδρομος από το κρησφύγετο στο Λυκαβηττό (urbanspeleology) .....	6
Εικόνα 4: Πλατεία Estienne - d'Orves, Μασσαλία, πριν και μετά την κατασκευή του υπόγειου σταθμού αυτοκινήτων (Μπενάρδος Α. και Καλιαμπάκος Δ., 2010) .....	8
Εικόνα 5: Υπόγειος Χώρος Στάθμευσης (Stigbergsgaraget) στη Σουηδία (SwedenUnderground.com).....	8
Εικόνα 6: Όρια Περιοχής Κολωνακίου (Δημητριάδη Φ., 2016).....	17
Εικόνα 7: Χώροι στάθμευσης γύρω από το Λυκαβηττό (Google Maps) .....	21
Εικόνα 8: Χώροι Στάθμευσης, Κολωνάκι (Google Maps).....	22
Εικόνα 9: Χώροι Στάθμευσης, Νεάπολη (Google Maps).....	22

Εικόνα 10: Χώροι Στάθμευσης σε απόσταση μικρότερη από 600m από την πλατεία Κολωνακίου (parkaround).....	22
Εικόνα 11: Σχηματική Απεικόνιση της Γεωλογικής Δομής του Λεκανοπεδίου Αθηνών ....	24
Εικόνα 12: Εμφανίσεις Άνω Κρητιδικών συμπαγών ασβεστολίθων της Ενότητας των Αθηνών (CA) μέσα σε ένα πελαγικό κυρίως αργιλοψαμμιτικό σύνολο (Sch A) στα παλαιά Λατομεία Τουρκοβουνίων (Παπανικολάου Δ.Ι. et al., 2004) .....	25
Εικόνα 13: Υπόμνημα που αναφέρεται στον Χάρτη 3 (προέκυψε από Boronkay K. et al., 2021).....	28
Εικόνα 14: Σημείο Εισόδου του Υπόγειου Χώρου στην οδό Η. Ρογκάκου (Google Earth)31	
Εικόνα 15: Απόσταση του σημείου Εισόδου του Σταθμού από το μετρό Ευαγγελισμός ...	32
Εικόνα 16: Απόσταση του σημείου Εισόδου του Σταθμού από την Πλατεία Κολωνακίου	32
Εικόνα 17: Διατομή των θαλάμων.....	39
Εικόνα 18: Διατομή των Στοών - Διαδρόμων.....	40
Εικόνα 19: Κάτοψη του Υπόγειου Σταθμού - Καταφυγίου.....	43
Εικόνα 20: Δημιουργία εκσκαφής και περιβάλλον πέτρωμα στο RS2.....	47
Εικόνα 21: Εμφάνιση του πρώτου σημείου αστοχίας όταν η εσωτερική τάση είναι ίση με 0,45 .....	49
Εικόνα 22: Εμφάνιση περισσότερων σημείων αστοχίας όσο μειώνεται η εσωτερική πίεση .....	49
Εικόνα 23: Καμπύλη σύγκλισης – αποτόνωσης, στο στάδιο 13 (σε κύκλο) αλλάζει η κλίση της καμπύλης.....	50
Εικόνα 24: Στάδια Διάνοιξης κάθε θαλάμου. Από πάνω και αριστερά: 2ο, 3ο, 4ο, 5ο, 6ο και 7ο ώστε να ολοκληρωθεί η διάνοιξη και η υποστήριξη όλου του πρώτου θαλάμου....	51
Εικόνα 25: Χαρακτηριστικά των κοχλιών που επιλέχθηκαν για την υποστήριξη.....	52
Εικόνα 26: Χαρακτηριστικά σκυροδέματος.....	53
Εικόνα 27: Χαρακτηριστικά ενίσχυσης του σκυροδέματος.....	54
Εικόνα 28: Διάνοιξη και εφαρμογή υποστήριξης σε όλους τους θαλάμους .....	54
Εικόνα 29: Σημεία αστοχίας σε διάτμηση και εφελκυσμό γύρω από την εκσκαφή και κοντά στην επιφάνεια.....	55
Εικόνα 30: Καθίζηση επιφάνειας.....	55
Εικόνα 31: Διάγραμμα με σημείο του σκυροδέματος που αστοχεί και η θέση του στην εκσκαφή.....	58
Εικόνα 32: Παράδειγμα υπολογισμού της μέγιστης (1.711MN) και ελάχιστης (-0.245MN) τιμής της αξονικής δύναμης για το σκυρόδεμα, στο τελευταίο στάδιο (25).....	58

Εικόνα 33: Εφαρμογή reference stage για τον υπολογισμό των μέγιστων μετακινήσεων (incremental) ανά στάδιο, συγκεκριμένα για το στάδιο 3 ..... 59

## Πίνακες

Πίνακας 1: Διαστάσεις θέσεων στάθμευσης και διαδρόμων ανάλογα με τη γωνία στάθμευσης - Στάθμευση με αυτοεξυπηρέτηση (B1) (Π.Δ 326/91- άρθρο 2) .....	10
Πίνακας 2: Εμπειρικές τιμές του συντελεστή υπολογισμού των καθοριστικών φόρτων (K) ενός σταθμού αυτοκινήτων (Π.Δ 326/91 – άρθρο 5) .....	11
Πίνακας 3: Μέση απόδοση εγκαταστάσεων διεκπεραίωσης εισόδου (Π.Δ. 326/9 – άρθρο 5).....	11
Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά Πετρώματος .....	34
Πίνακας 5: Μέθοδος εκσκαφής, υποστήριξη και προφυλάξεις που πρέπει να ληφθούν για διάφορες συνθήκες βραχώμαζας (απόσπασμα από Singh - Goel, 1999) (Σοφιανός Α.Ι., 2018).....	36
Πίνακας 6: Διαίρετης Χρήσης Σήραγγας (Σοφιανός Α.Ι., 2018).....	38
Πίνακας 7: Τιμές εσωτερικής τάσης που εφαρμόζονται για τη σταδιακή αποτόνωση της εκσκαφής.....	48
Πίνακας 8: Συγκεντρωτικός πίνακας με τα στάδια, την αποτόνωση και εγκατάσταση της υποστήριξης, καθώς και τις τιμές των μέγιστων μετακινήσεων (incremental και αθροιστικές), και των μέγιστων φορτίσεων (αξονικές, διατμητικές, ροπές).....	60
Πίνακας 9: Κατηγοριοποίηση των Roadheaders με βάση το βάρος και την ισχύ του μηχανήματος (Σουλαδάκη Μ. και Ταμπακοπούλου Σ., 2006) .....	64
Πίνακας 10: Υπολογισμοί του εξορυσσόμενου όγκου πετρώματος ( $m^3$ ) για τον κάθε θάλαμο και την κάθε στοά χωριστά καθώς και του συνολικού όγκου (in situ και λαμβάνοντας υπόψη το επίπλησμα) .....	66
Πίνακας 11: Εκτίμηση των μέσων τιμών του τελικού και των επιμέρους κοστών κατασκευής.....	69

## Σχήματα

Σχήμα 1: Σκαρίφημα των θέσεων στάθμευσης με επισήμανση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών τους (Φ, Β, Β1, Π, Δ, Ε) (Π.Δ 326/91 - άρθρο 2) .....	9
Σχήμα 2: Διάγραμμα υπολογισμού απαιτούμενου χώρου αναμονής αυτοκινήτων για μια λωρίδα εισόδου σταθμού με αυτοεξυπηρετούμενη στάθμευση (Π.Δ 326/91 - άρθρο 5 εδ. 1α).....	12

Σχήμα 3: Τομή AA' (προέκυψε από τον Χάρτη 4) .....	29
Σχήμα 4: Τομή BB' (προέκυψε από τον Χάρτη 4) .....	29
Σχήμα 5: Γεωτεχνική Ταξινόμηση της βραχώμαζας της περιοχής με βάση το GSI .....	33
Σχήμα 6: Διάγραμμα κύριων τάσεων ( $\sigma_1$ - $\sigma_3$ ) .....	34
Σχήμα 7: Κατηγορίες δριμύτητας σύνθλιψης (ανυποστήρικτη σήραγγα, Hoek & Marinos, 2000), (Σοφιανός Α.Ι., 2018) .....	35
Σχήμα 8: Οδηγίες μόνιμης στήριξης για διάνοιξη με την NTM, βασιζόμενες στο δείκτη Q (Grimstad and Barton, 1993) (Σοφιανός Α.Ι., 2018) .....	38
Σχήμα 9: Μέρη ενός roadheader (Deshmukh S. et al., 2020) .....	63

## Διαγράμματα

Διάγραμμα 1: Διάγραμμα κατακόρυφης μετακίνησης συναρτήσει της απόστασης (Καμπύλη καθίζησης) για τα στάδια 6, 12, 18 και 25 .....	56
Διάγραμμα 2: Διάγραμμα Αξονικής Δύναμης για τον έλεγχο των αγκυρίων .....	56
Διάγραμμα 3: Διαγράμματα Αλληλεπίδρασης για τον έλεγχο του σκυροδέματος .....	57
Διάγραμμα 4: Καμπύλη συγκλίσεων ( $U/U_\infty$ ) σε σχέση με την απόσταση από το μέτωπο ( $x/R$ ) .....	61
Διάγραμμα 5: Συσχέτιση κόστους κατασκευής ( $\text{€/m}^3$ ) με το GSI του πετρώματος (Paraskevoudoulou C. and Benardos A., 2013) .....	68

## Χάρτες

Χάρτης 1: Χάρτες ποσοστού νοικοκυριών του Δήμου Αθηναίων σχετικό με την κατοχή αυτοκινήτων (Μαλούτας Θ. και Σπυρέλλης Σ.Ν., 2019) .....	19
Χάρτης 2: Γεωλογικός Χάρτης της Αττικής με κλίμακα 1:100000 (ΙΓΜΕ - Παπαδέας Γ.)	26
Χάρτης 3: Γεωλογικός Χάρτης του Λυκαβηττού, με κλίμακα 1:12.257,87 .....	28
Χάρτης 4: Γεωλογικός Χάρτης με ισοϋψείς (ανά 10m) κλίμακας 1:10000, χάραξη τομών AA', BB' και υπόγειου χώρου κατασκευής (με κίτρινο χρώμα) (τροποποίηση από Χάρτης 3) .....	29

# 1. Εισαγωγή

Η κατασκευή υπόγειων έργων εντός του αστικού ιστού δεν είναι σύγχρονη υπόθεση. Έχει ξεκινήσει από τα αρχαία χρόνια. Ωστόσο, σήμερα είναι ευρέως διαδεδομένη η κατασκευή τους σε παγκόσμιο επίπεδο για αρκετούς λόγους.

Πρώτα απ' όλα, η συσσώρευση του πληθυσμού στα μεγάλα αστικά κέντρα σε συνδυασμό με την απουσία ορθού πολεοδομικού σχεδιασμού, έχουν συντελέσει στην έλλειψη διαθέσιμων επιφανειακών χώρων. (Μπενάρδος Α. και Καλιαμπάκος Δ., 2010) Ακόμη, η υπόγεια ανάπτυξη άνθισε λόγω της ανάγκης προστασίας του περιβάλλοντος. Με υπόγεια αντί για επιφανειακά έργα, εξασφαλίζεται η διατήρηση του γεωμορφολογικού αναγλύφου και η όσο το δυνατόν μικρότερη διαταραχή του οικολογικού συστήματος, εφόσον δεν επηρεάζονται τα επιφανειακά ύδατα. (Σουλαδάκη Μ. και Ταμπακοπούλου Σ., 2006) Επίσης, λόγω εξέλιξης της τεχνολογίας και τεχνογνωσίας σε θέματα που αφορούν το σχεδιασμό και την κατασκευή τέτοιων έργων, το κόστος κατασκευής τους έχει μειωθεί αρκετά καθιστώντας εφικτή την υλοποίησή τους.

Πέραν όλων αυτών των λόγων, η περαιτέρω ανάπτυξη των υπόγειων έργων συντελέστηκε λόγω βασικών χαρακτηριστικών τους που τα καθιστούν καταλληλότερα έναντι των επιφανειακών. Τα υπόγεια έργα παρέχουν ασφάλεια καθώς έχουν περιορισμένα σημεία πρόσβασης και άρα είναι οι ιδανικοί χώροι για φύλαξη εξοπλισμού μεγάλης αξίας. (Μπενάρδος Α. και Καλιαμπάκος Δ., 2010) Επίσης, είναι απομονωμένοι χώροι και ιδανικοί για την προστασία ανθρώπων ή πραγμάτων από φυσικές καταστροφές, σεισμούς, επιθέσεις ή απειλές. Άλλο βασικό χαρακτηριστικό τους είναι οι σταθερές κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν εκεί, καθώς αυτοί οι χώροι δεν επηρεάζονται από τις θερμοκρασιακές μεταβολές. (Σουλαδάκη Μ. και Ταμπακοπούλου Σ., 2006) Αυτό, τους καθιστά κατάλληλους για την διαφύλαξη υλικών ευαίσθητων σε μεταβολές τις θερμοκρασίας.

Ειδικότερα, οι υπόγειοι χώροι στάθμευσης πλεονεκτούν των επιφανειακών αφού έχουν μεταξύ άλλων, περιβαλλοντικά οφέλη. Εξασφαλίζεται αρχικά η εξοικονόμηση επιφανειακών εκτάσεων που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν ως χώροι πρασίνου και αναψυχής. Επιπλέον, περιορίζεται η οπτική ρύπανση και όχληση που θα προκαλούνταν από την κίνηση των αυτοκινήτων και επιτυγχάνεται η προστασία των οχημάτων από τις καιρικές συνθήκες. (Σουλαδάκη Μ. και Ταμπακοπούλου Σ., 2006)

Στα κύρια μειονεκτήματα των υπόγειων χώρων στάθμευσης έναντι των επιφανειακών, θα μπορούσε να επισημανθεί το υψηλότερο κόστος κατασκευής τους καθώς και το αυξημένο κόστος λειτουργίας τους λόγω κατανάλωσης ενέργειας για το φωτισμό και αερισμό τους. (Μπενάρδος Α. και Καλιαμπάκος Δ., 2010) Ακόμα, για τους υπόγειους χώρους στάθμευσης, συνήθως είναι μεγαλύτερος ο χρόνος κατασκευής και μπορεί να υπάρξουν επιπλέον απρόβλεπτες καθυστερήσεις λόγω εμφάνισης χειρότερων γεωλογικών και γεωτεχνικών συνθηκών από τις εκτιμώμενες.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προμελέτη για το σχεδιασμό υπόγειου χώρου πολλαπλών χρήσεων κάτω από το Λυκαβηττό. Ο χώρος αυτός θα πληρεί τις απαιτούμενες προδιαγραφές για να λειτουργήσει ως Κατασκευή Δημόσιου Ενδιαφέροντος Προστασίας Ανθρώπων και Πραγμάτων (Κ.Δ.Ε.Π.Α.Π) σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Ωστόσο, λόγω του ότι θα ήταν οικονομικά ασύμφορο να αξιοποιηθεί ο χώρος μόνο σε μη ειρηνικές περιόδους, θα λειτουργεί σε καθημερινή βάση και ως χώρος στάθμευσης αυτοκινήτων. Όπως είναι λογικό, ένας τέτοιος χώρος δεν θα μπορούσε να γίνει επιφανειακά. Πρώτον λόγω της ασφάλειας και της προστασίας που πρέπει να παρέχει αυτός και δεύτερον λόγω του γεωμορφολογικού αναγλύφου της περιοχής το οποίο δεν επιτρέπει την επιφανειακή ανάπτυξη του έργου.

Η ιδέα για την κατασκευή ενός χώρου προστασίας σε μη ειρηνικές περιόδους προϋπήρχε πάντα, αλλά ξεκίνησε να αναπτύσσεται περαιτέρω στο Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Εκείνη την περίοδο, αρκετές χώρες του κόσμου, μεταξύ αυτών και η Ελλάδα, προέβησαν στην κατασκευή καταφυγίων, πολλά από τα οποία δεν παρέμειναν λειτουργικά έως σήμερα. Παραδείγματα καταφυγίων λειτουργικών και μη στη σύγχρονη εποχή παρατίθενται στην ενότητα 1.1.

Μπορεί για αρκετά χρόνια η επισκευή των υπαρχόντων ή η κατασκευή νέων καταφυγίων να μην ήταν από τις προτεραιότητες αρκετών κρατών παγκοσμίως, ωστόσο σήμερα είναι πιο επίκαιρη από ποτέ, λόγω των πολέμων που εξελίσσονται τόσο στην Ευρώπη όσο και στη Μέση Ανατολή.

## 1.1 Παραδείγματα Καταφυγίων

### 1.1.1 Στο εξωτερικό

Η κατασκευή καταφυγίων (shelters) σε διάφορες χώρες του εξωτερικού έχει ξεκινήσει από τον 20<sup>ο</sup> αιώνα, περίπου κατά τη διάρκεια του Ψυχρού Πολέμου. Εκείνη την περίοδο, αρκετές χώρες μεταξύ αυτών οι ΗΠΑ και η Ν. Κορέα που αναφέρονται στην συνέχεια, κατασκεύαζαν αρκετά καταφύγια για να προστατέψουν τους κατοίκους τους από τις πολεμικές συρράξεις. Πολλά από τα καταφύγια που κατασκευάστηκαν τότε, δεν έχουν συντηρηθεί, με αποτέλεσμα να μην επιτελούν τον αρχικό τους σκοπό σήμερα, ωστόσο υπάρχουν και αρκετά που είτε κατασκευάστηκαν εκείνη την περίοδο είτε και αργότερα, και παραμένουν λειτουργικά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα μεταξύ άλλων, τα καταφύγια στη Φιλανδία.

Κατά την διάρκεια του ψυχρού πολέμου, η Αμερικανική κυβέρνηση, κατασκεύασε καταφύγια σε περίπτωση πυρηνικής καταστροφής στη χώρα. (Georgiou A., 2022) Ωστόσο, σε αντίθεση με τα καταφύγια στη Σοβιετική Ένωση, αυτά στην Αμερική δεν έγιναν για να προστατέψουν το ευρύ κοινό παρά μόνο τους προνομιούχους. (Ibid.) Όσα καταφύγια κατασκευάστηκαν στις ΗΠΑ εκείνη την περίοδο δεν ήταν “bomb shelters”, δηλαδή για προστασία από πυρηνική ή συμβατική επίθεση αλλά “fallout shelters”, δηλαδή για προστασία από τα αποτελέσματα της πυρηνικής έκρηξης. (Ibid.) Σχεδόν όλα τα καταφύγια δεν συντηρήθηκαν και ορισμένα από αυτά χρησιμοποιήθηκαν για άλλους σκοπούς ή απλώς παραμελήθηκαν. Πέρα από τα καταφύγια που έφτιαξε η κυβέρνηση, πολλοί κάτοικοι και ιδιώτες κατασκεύαζαν ιδιωτικά καταφύγια, των οποίων η θέση δεν είναι γνωστή σήμερα. (Ibid.)

Την ίδια περίοδο, η Ν. Κορέα κατασκεύαζε καταφύγια για προστασία σε περίπτωση αεροπορικής επιδρομής. (Yun J., 2022) Στη Σεούλ συγκεκριμένα κατασκευάζονται πολλά καταφύγια, η τοποθεσία των περισσότερων από αυτά όμως είναι άγνωστη στο ευρύ κοινό. Σε αντίθεση με την Αμερική, στη Σεούλ δεν προβάλλεται πολύ από τα μέσα ενημέρωσης η ζωή σε ένα καταφύγιο και δεν αναφέρεται η πιθανότητα αξιοποίησης τους σε περίπτωση πυρηνικής καταστροφής. (Ibid.) Επίσης μια άλλη σημαντική διαφορά είναι ότι στη Σεούλ οι κάτοικοι δεν έχουν τη δυνατότητα και τις γνώσεις για κατασκευή ιδιωτικών καταφυγίων. Κάποια από τα καταφύγια που είναι γνωστή η τοποθεσία τους, σήμερα έχουν μετατραπεί σε χώρους τέχνης, όπως αυτό της Εικόνα 1, ή αθλητισμού ή λειτουργούν ως επισκέψιμοι χώροι στο κοινό. (Ibid.) Πάντως η αρχική τους χρήση έχει χαθεί, λόγω της μη ορθής συντήρησής τους.



*Εικόνα 1: Εγκαταλελειμμένο στρατιωτικό καταφύγιο (Bunker de Lumieres) στο Jeju Island της Ν. Κορέας που έχει μετατραπεί σε χώρο καλλιτεχνικών εκθέσεων (Yun J., 2022)*

Μια ευρωπαϊκή χώρα που έχει επενδύσει αρκετά στην κατασκευή καταφυγίων είναι η Φιλανδία. Τα περισσότερα καταφύγια (bunkers) της χώρας, κατασκευάστηκαν την δεκαετία του '60 και του '70. (WION, 2022) Μόνο στο Ελσίνκι, υπάρχουν περισσότερα από 5000 bomb shelters, αρκετά για να προστατευθεί όλος ο πληθυσμός της πόλης, ενώ σε ολόκληρη τη χώρα υπάρχουν παραπάνω από 50.000. (Cuetaara I., 2022) Τα καταφύγια στην Φιλανδία αξιοποιούνται και για άλλες χρήσεις σε περιόδους ειρήνης (Εικόνα 2), πληρώντας όμως τις προδιαγραφές για να μετατραπούν γρήγορα και να λειτουργήσουν ως καταφύγια όταν χρειάζεται. Ένα από αυτά κατασκευασμένο το 2003, λειτουργεί ως αθλητικό κέντρο και μπορεί να στεγάσει 6000 άτομα. (WION, 2022) Γενικά, στη Φιλανδία είναι υποχρεωτικό τα κτίρια μεγαλύτερα από ένα συγκεκριμένο μέγεθος να διαθέτουν ένα δικό τους καταφύγιο. (Cuetaara I., 2022) Σε αντίθεση με άλλους λαούς, οι Φιλανδοί έχουν εξοικειωθεί με τη ζωή κάτω από την επιφάνεια του εδάφους (underground city) και είναι καλά προετοιμασμένοι σε περίπτωση πιθανής πολεμικής σύρραξης.



*Εικόνα 2: Κολυμβητήριο κάτω από την επιφάνεια του εδάφους στο Itäkeskus στο Ελσίνκι, που μπορεί να μετατραπεί σε καταφύγιο έκτακτης ανάγκης προστατεύοντας 3800 άτομα (Μπενάρδος Α. και Καλιαμπάκος Δ., 2010)*



Ένα άλλο παράδειγμα αξιοποίησης χώρων ως καταφύγια σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, είναι στο Κάιρο της Αιγύπτου, όπου τρία υπόγεια γκαράζ σε κεντρικά σημεία της πόλης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως καταφύγια. (Farahat M.A.Z., 2015) Το πιο μεγάλο από όλα, έχει έκταση 84.000 m<sup>2</sup>, και μπορεί να εξυπηρετήσει 1400 οχήματα και να προστατέψει 42.000 άτομα. (Ibid.) Ακολουθεί το επόμενο με 36.000 m<sup>2</sup>, για 600 οχήματα και 18.000 άτομα και το τρίτο με 20.000 m<sup>2</sup>, για 400 οχήματα και 10.000 άνθρωπους. Αυτοί οι τρεις χώροι έχουν και άλλες παροχές πέρα από χώρο στάθμευσης, όπως μαγαζιά, καφετέριες, αίθουσες σινεμά και πολλές ακόμα και μπορούν να χρησιμεύσουν ως καταφύγια και σε συμβατικές και σε πυρηνικές καταστροφές. (Ibid.)

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω, πολλές χώρες ανά τον πλανήτη, είχαν μεριμνήσει για την προστασία των ανθρώπων σε περίπτωση συμβατικής ή πυρηνικής καταστροφής, με την κατασκευή καταφυγίων μετά το τέλος του Β' Παγκόσμιου Πολέμου. Η Ελλάδα, είναι μέσα σε αυτές, μόνο που τα καταφύγια που κατασκευάστηκαν δεν είναι πλέον αξιοποιήσιμα.

### 1.2.2 Στην Ελλάδα

Πριν το Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, επί καθεστώς Μεταξά, κατασκευάστηκαν πολλά καταφύγια αεροπορικών επιδρομών ("air – raid shelters") στην Αττική, την ακριβή θέση των οποίων γνωρίζουν ελάχιστοι σήμερα. (Chrysopoulos P., 2022) Είχαν δημιουργηθεί, καθώς υπήρχε η πεποίθηση ότι θα κυριαρχήσουν οι αεροπορικές επιθέσεις και οι βομβαρδισμοί στις αστικές περιοχές, τα επόμενα χρόνια. Υπήρχαν διαφορές στα καταφύγια που κατασκευάστηκαν τόσο ως προς τον τύπο τους, όσο και ως προς το μέγεθος τους, που κυμαινόταν από στενό θάλαμο ως και καλά οργανωμένο καταφύγιο. (Ibid.) Η κατασκευή των καταφυγίων, έπρεπε να πληρεί ορισμένες προϋποθέσεις, σύμφωνα με το καθεστώς Μεταξά. Να έχει μεταξύ άλλων αεροστεγείς θωρακισμένες πόρτες, για προστασία από χημικά αέρια, χώρους υγιεινής, εξόδους διαφυγής, κεντρικούς και βοηθητικούς θαλάμους. (Ibid.) Βασική προϋπόθεση για κάθε νέο κτίριο με περισσότερους από 3 ορόφους ήταν να διαθέτει ένα καταφύγιο κάτω από αυτό, ικανό να προστατέψει όλους τους κατοίκους του κτιρίου. (Ibid.) Ο χώρος του καταφυγίου καθοριζόταν από τον αριθμό των ανθρώπων που θα στεγάσει, την ώρα παραμονής τους σε αυτό και με βάση το ότι κάθε άνθρωπος καταναλώνει στο καταφύγιο, με κλειστές τις πόρτες, 1m<sup>3</sup>/h αέρα. Στις προδιαγραφές κατασκευής των καταφυγίων υπολογιζόταν χώρος 3m<sup>3</sup>/άτομο, καθώς θεωρούσαν μέγιστη διάρκεια παραμονής σε αυτό τις 3 ώρες. (Ibid.)

Κάποια από τα βασικά καταφύγια που χτίστηκαν τότε στην Αθήνα αναφέρονται παρακάτω, με αυτό στο Λόφο του Αρδηττού και αυτό στο Λυκαβηττό να ξεχωρίζουν. Το καταφύγιο στο Λόφο του Αρδηττού, χτίστηκε το 1936, ήταν 500 m<sup>2</sup> και είχε την ικανότητα να στεγάσει 1300 άτομα. Χρησιμοποιήθηκε ως βάση της Αντίστασης κατά την Γερμανική Κατοχή, αλλά τώρα είναι πλέον εγκαταλελειμμένο. (Chrysopoulos P., 2022)

Στο Λυκαβηττό χτίστηκε την ίδια χρονιά ένα στρατιωτικό καταφύγιο με 2 εισόδους, σε βάθος 100m, κοντά στην εκκλησιά των Αγ. Ισιδώρων. (Ibid.) Είναι μεγαλύτερο από αυτό του Αρδηττού, σε καλύτερη κατάσταση και με εγκαταστάσεις όπως, μεγάλοι θάλαμοι, αποθηκευτικοί χώροι, χώροι υγιεινής, τηλέφωνο και αγωγοί εξαερισμού. Πέρα από καταφύγιο είχε και κατάλληλες δομές για πολυβόλα (“machine-gun holes”) και χρησιμοποιήθηκε από τους Γερμανούς στον Πόλεμο αλλά και αργότερα λειτούργησε ως το 1970. Μετά εγκαταλείφθηκε και σήμερα ανήκει στην Π.Σ.Ε.Α (Πολιτική Σχεδίαση Εκτάκτου Ανάγκης). (Ibid.)



*Εικόνα 3: Διάδρομος από το κρησφύγετο στο Λυκαβηττό (urbanspeleology)*

Ωστόσο, στο κέντρο της Αθήνας, έχουμε και άλλα καταφύγια κάτω από το ξενοδοχείο “Μεγάλη Βρετανία”, το κτίριο της Εθνικής Ασφαλιστικής, το Μετοχικό Ταμείο Στρατού και το παλιό Μέγαρο του Ανώτατου Δικαστηρίου. (Chrysopoulos P., 2022) Από αυτά, το πιο σύγχρονο, που χρησιμοποιήθηκε από τους Ναζί ως φυλακή, είναι αυτό της Εθνικής Ασφαλιστικής. (Ibid.)

Στην υπόλοιπη Αθήνα, υπάρχουν και άλλα πιο μικρά καταφύγια στο Ελληνικό, στη Γλυφάδα, Βούλα, Κηφισιά, στο Ψυχικό, στου Παπάγου, στον Πειραιά και ένα πιο μεγάλο στο Πολύγωνο. Σύμφωνα με ένα άρθρο του 1999 στο “*Εθνος*”, σε όλη την Ελλάδα διασώθηκαν 200 καταφύγια, ωστόσο, τα περισσότερα από αυτά δεν έχουν συντηρηθεί σωστά και είναι έτοιμα προς κατάρρευση. (Chrysopoulos P., 2022)

Ο πόλεμος στην Ουκρανία έδειξε ότι η ύπαρξη καταφυγίων είναι ουσιαστική και η αξιοποίηση τους διαχρονική, και καλό θα ήταν οι χώρες να μεριμνούν για την προστασία των κατοίκων τους, από επιθέσεις. Προς αυτή την κατεύθυνση θα πρέπει να κινηθεί και η Ελλάδα με την κατασκευή νέων, λειτουργικών καταφυγίων, καθώς δεν έχει σήμερα καταφύγια ικανά να επιτελέσουν τον αρχικό τους σκοπό. Πρωτίστως, θα πρέπει να κατασκευαστούν στην πρωτεύουσα, εκεί που κατοικεί το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού της χώρας.

## 1.2 Παραδείγματα Υπόγειων Χώρων Στάθμευσης

Πολυάριθμα είναι τα παραδείγματα υπόγειων χώρων στάθμευσης σε παγκόσμιο επίπεδο στις μέρες μας. Πολλά από αυτά κατασκευάζονται για την εξυπηρέτηση των πελατών μεγάλων πολυκαταστημάτων, σουπερμάρκετ, χώρων εκδηλώσεων, νοσοκομείων αλλά και κατοικιών. Η δημιουργία των υπόγειων σταθμών υιοθετήθηκε ώστε οι επιφανειακοί χώροι να αξιοποιούνται ως χώροι πρασίνου, αναψυχής αλλά και ως χώροι στέγασης. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός υπέργειου σταθμού αυτοκινήτων που μετατράπηκε αργότερα σε υπόγειο, αναδεικνύοντας με αυτόν τον τρόπο την ομορφιά της περιοχής και παρέχοντας χώρο για την ανάπτυξη της, είναι αυτό της Εικόνα 4.

Ο υπέργειος σταθμός αυτοκινήτων στην πλατεία Estienne – d’ Orves, της Μασσαλίας, κατασκευάστηκε το 1965 και παρείχε 375 θέσεις στάθμευσης οι οποίες ήταν κατανομημένες σε 3 ορόφους. (Kisiela L., 2017) Ο σταθμός λειτούργησε ως το 1987, όπου πάρθηκε η απόφαση να μετατραπεί σε υπόγειο, ελευθερώνοντας έτσι τον χώρο της πλατείας για άλλους σκοπούς. (Ibid.)



*Εικόνα 4: Πλατεία Estienne - d'Orves, Μασσαλία, πριν και μετά την κατασκευή του υπόγειου σταθμού αυτοκινήτων (Μπενάρδος Α. και Καλιαμπάκος Δ., 2010)*

Ένα άλλο παράδειγμα υπόγειου σταθμού αυτοκινήτων, αποτελεί το Stigbergsgaraget, της Σουηδίας. (Εικόνα 5) Ένα 15% της επιφάνειας των δρόμων στη Σουηδία χρησιμοποιείται για θέσεις στάθμευσης. (SwedenUnderground.com) Στο πλαίσιο αποδέσμευσης αυτού του χώρου για άλλες χρήσεις, η χώρα προβαίνει στην κατασκευή υπόγειων χώρων στάθμευσης. Ο συγκεκριμένος χώρος, κατασκευάστηκε στο διάστημα 2013 – 2015 και αποτελείται από 300 θέσεις στάθμευσης. (Ibid.) Το αξιοσημείωτο είναι ότι ο σχεδιασμός και η κατασκευή του έγιναν σε σύντομο χρονικό διάστημα, χάρη σε μια καινοτόμο μέθοδο όπου η υλοποίηση των διαφορετικών σταδίων γίνεται ταυτόχρονα, όχι διαδοχικά. Το έργο είχε μεγάλη επιτυχία καθώς το κόστος του ήταν μικρότερο από τον αρχικό προϋπολογισμό και παραδόθηκε συντομότερα από τον προγραμματισμένο χρόνο. (Ibid.)



*Εικόνα 5: Υπόγειος Χώρος Στάθμευσης (Stigbergsgaraget) στη Σουηδία (SwedenUnderground.com)*

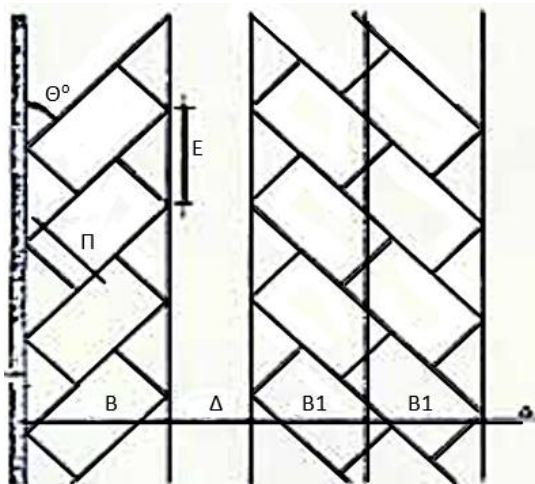
## 2. Βασικές Προδιαγραφές Σχεδίασης

### 2.1 Χώρων Στάθμευσης Αυτοκινήτων

Οι προδιαγραφές για το σχεδιασμό ενός σταθμού αυτοκινήτων γίνονται με βάση το προεδρικό διάταγμα (Π.Δ) 455/76 “Περί όρων και προϋποθέσεων ιδρύσεως και λειτουργίας σταθμών αυτοκινήτων και εγκαταστάσεως εντός αυτών πλυντηρίων - λιπαντηρίων αυτοκινήτων, αντλιών παροχής καυσίμων ως και προϋποθέσεων χορηγήσεως των προς τούτο απαιτούμενων αδειών” καθώς και τις σχετικές τροποποιήσεις που έγιναν το 1980, 1983, 1986 και 1991.

Στο πρώτο άρθρο του Π.Δ 455/76 αναφέρονται οι κατηγορίες των σταθμών αυτοκινήτων οι οποίοι χωρίζονται σε στεγασμένους και υπαίθριους, σε ιδιωτικούς και δημόσιας χρήσης και σύμφωνα με το Π.Δ 326/91, ανάλογα με τον τρόπο εξυπηρέτησης σε στάθμευση με αυτοεξυπηρέτηση ή στάθμευση από υπαλλήλους.

Στο άρθρο 2, μετά από τους ορισμούς του στεγασμένου χώρου και της ωφέλιμης επιφάνειας σταθμού, δίνονται οι κατηγορίες των σταθμών ανάλογα με το μέγεθος τους. Έτσι, οι σταθμοί αυτοκινήτων με ωφέλιμη επιφάνεια μεγαλύτερη από 750 m<sup>2</sup>, είναι σταθμοί μεγάλου μεγέθους. Στο ίδιο άρθρο, από την τροποποίηση του Π.Δ 326/91, δίνονται στη συνέχεια οι διαστάσεις των θέσεων στάθμευσης και των διαδρόμων κυκλοφορίας όπως φαίνονται από το Σχήμα 1 και τον Πίνακα 1.



Σχήμα 1: Σκαρίφημα των θέσεων στάθμευσης με επισήμανση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών τους (Φ, B, B1, Π, Δ, E) (Π.Δ 326/91 - άρθρο 2)

Πίνακας 1: Διαστάσεις θέσεων στάθμευσης και διαδρόμων ανάλογα με τη γωνία στάθμευσης - Στάθμευση με αυτοεξυπηρέτηση (B1) (Π.Δ 326/91- άρθρο 2)

Φ°	B(μ)	B1(μ)	Π(μ)	Δ(μ)	E(μ)	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
0°	2.50	-	2.50	3.50	6.00	επαφή με τοίχο
	-	2.15	2.15	3.50	6.00	μεταξύ διαδρόμων
45°	4.85	4.10	2.50	2.75	3.54	
60°	5.25	4.70	2.50	2.75	2.89	
90°	4.75	4.75	2.50	5.50	2.50	

Στη συνέχεια του άρθρου γίνεται αναφορά για τις θέσεις ΑΜΕΑ που πρέπει να υπάρχουν στους μεγάλους σταθμούς αυτοκινήτων και αυτές θα πρέπει να είναι σε ποσοστό 2% της συνολικής χωρητικότητας του σταθμού και να έχουν πλάτος 3,2m.

Στο άρθρο 4 αναφέρεται μεταξύ άλλων ότι στους μεσαίου και μεγάλου μεγέθους σταθμούς αυτοκινήτων θα πρέπει να υπάρχουν ορισμένοι βοηθητικοί χώροι, όπως χώροι υγιεινής, χώρος διαφύλαξης των ρούχων του προσωπικού, με τον αντίστοιχο αριθμό μεταλλικών ματιοθηκών και αποθήκη ελάχιστης επιφάνειας 10 m<sup>2</sup>.

Στο επόμενο άρθρο αναφέρονται οι προδιαγραφές για το ύψος των θαλάμων στάθμευσης. Έτσι, το ελάχιστο ύψος μεταξύ δαπέδου και οροφής είναι 2,20 m ενώ μεταξύ δαπέδου και δοκών είναι 1,90 m.

Όσον αφορά το πλάτος της εισόδου και της εξόδου των μεγάλων σταθμών αυτοκινήτων, σύμφωνα με το άρθρο 6, θα πρέπει να είναι κατ' ελάχιστο 3 m αν είναι χωριστά η μια από την άλλη, ή τουλάχιστον 7m αν είναι παράπλευρες. Χωρίς διαχωριστικό όμως το ελάχιστο συνολικό πλάτος θα πρέπει να είναι 8 m. Σχετικά με τις εξόδους διαφυγής σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, θα πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον 2 σε κάθε όροφο του σταθμού, όπως αναφέρεται στο άρθρο 4 του Π.Δ 326/91.

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου χώρου αναμονής στην είσοδο ενός χώρου στάθμευσης με αυτοεξυπηρέτηση, γίνεται με βάση το Σχήμα 2 αφού πρώτα ληφθούν υπόψιν ο μέσος ρυθμός αφίξεων σε ώρα αιχμής και η μέση απόδοση των εγκαταστάσεων διεκπεραίωσης εισόδου, όπως αναφέρεται στο άρθρο 5 του Π.Δ 326/91.

Το πρώτο μέγεθος προκύπτει εμπειρικά, πολλαπλασιάζοντας τον συνολικό αριθμό των θέσεων στάθμευσης με το συντελεστή K (Πίνακας 2) ο οποίος εξαρτάται από την κύρια κατηγορία επισκεπτών του σταθμού. Για την κατασκευή του συγκεκριμένου σταθμού κάτω από το Λόφο του Λυκαβηττού, η κύρια ομάδα επισκεπτών του είναι απασχολούμενοι στην παροχή υπηρεσιών/επισκέπτες στο κέντρο της πόλης (I), (συντελεστής K=0,6) και μόνιμοι κάτοικοι (VI), (συντελεστής K=0,3).

Πίνακας 2: Εμπειρικές τιμές του συντελεστή υπολογισμού των καθοριστικών φόρτων (Κ) ενός σταθμού αυτοκινήτων (Π.Δ 326/91 – άρθρο 5)

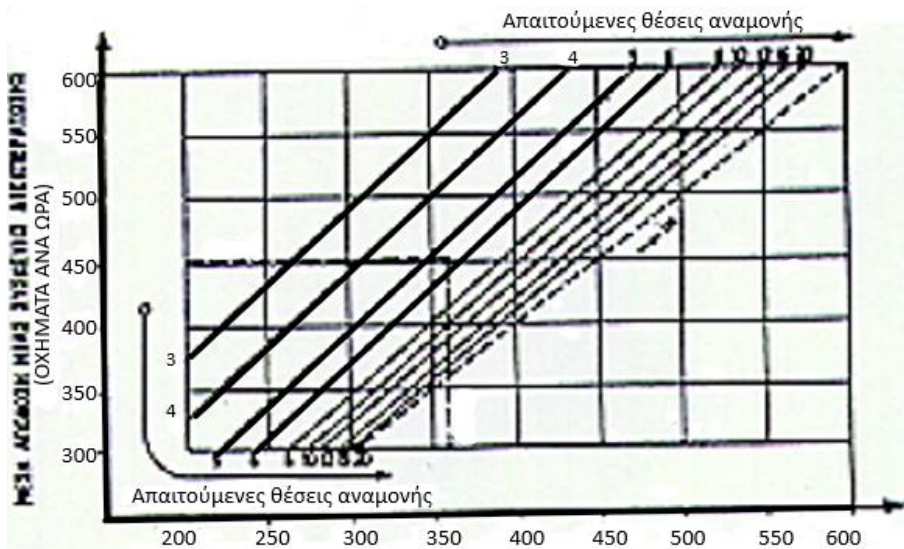
Κύρια κατηγορία επισκεπτών του σταθμού	Συντελεστής Κ (οχήματα ανά ώρα αιχμής και θέση στάθμευσης)
I. Απασχολούμενοι στην διοίκηση και παροχή υπηρεσιών, επισκέπτες του κέντρου πόλεως, επισκέπτες εκθέσεων	0,60
II. Σταθμοί εξυπηρετούντες μετεπιβίβαση (PARK AND RIDE)	0,50
III. Επισκέπτες υπεραγορών και εμπορικών κέντρων	1,20
IV. Απασχολούμενοι στη βιομηχανία και την παραγωγή	1,30
V. Επισκέπτες αθλητικών διοργανώσεων, θεάτρων, αιθουσών συναυλιών και παρεμφερών χρήσεων	0,90
VI. Κάτοικοι	0,30

Το δεύτερο μέγεθος προκύπτει από τον Πίνακα 3. Για την περίπτωση του σταθμού της παρούσας εργασίας, η μέση απόδοση θεωρείται 400 οχήματα/ώρα καθώς η έκδοση του εισιτηρίου θα γίνεται αυτόματα με το πάτημα ενός κουμπιού.

Για την επιφάνεια αναμονής ανά θέση απαιτούνται 12 m<sup>2</sup> σύμφωνα με το ίδιο Π.Δ.

Πίνακας 3: Μέση απόδοση εγκαταστάσεων διεκπεραίωσης εισόδου (Π.Δ. 326/9 – άρθρο 5)

Περιγραφή διαδικασίας	Μέση απόδοση συσκευής (οχήματα ανά ώρα ανά λωρίδα)
- Έκδοση δελτίων στάθμευσης από υπαλλήλους, με χειρόγραφες αναγραφές	180
- Κάρτες διάρκειας σε αυτόματο μηχάνημα	400
- Έκδοση δελτίων στάθμευσης από υπαλλήλους με συσκευή έκδοσης	500
- Αυτόματη έκδοση δελτίου στάθμευσης με πάτημα ενός κουμπιού	400
- Αυτόματη έκδοση δελτίου στάθμευσης με το πάτημα επαγωγικού βρόγχου	
1. σε ευθεία	600
2. σε στροφή	450
- Ελεύθερη είσοδος	700



Σχήμα 2: Διάγραμμα υπολογισμού απαιτούμενου χώρου αναμονής αυτοκινήτων για μια λωρίδα εισόδου σταθμού με αυτοεξυπηρετούμενη στάθμευση (Π.Δ 326/91 - άρθρο 5 εδ. 1α)

Για τις κλίσεις των κεκλιμένων επιπέδων και πιο συγκεκριμένα στα σημεία ελέγχου των εισόδων – εξόδων ενός σταθμού, σύμφωνα με το άρθρο 6 του Π.Δ 326/91, το πλάτος του οδοστρώματος θα πρέπει να μειώνεται, για να διευκολύνεται η επαφή του επισκέπτη με το μηχάνημα έκδοσης εισιτηρίων. Το πλάτος σε αυτό το σημείο ορίζεται στα 2,3m. Ακόμα, πριν το σημείο ελέγχου θα πρέπει να υπάρχει ευθύγραμμο τμήμα τουλάχιστον 6m με κλίση που να μην υπερβαίνει το 7%.

Σύμφωνα με το ίδιο άρθρο του ίδιου Π.Δ, σε ράμπες δύο κατευθύνσεων απαιτείται διαχωριστική νησίδα πλάτους τουλάχιστον 0,5m. Ακόμα, τα καμπύλα τμήματα των κεκλιμένων επιπέδων θα πρέπει να έχουν εγκάρσια κλίση 3 – 5%.

Όσον αφορά τον αερισμό, σύμφωνα με το άρθρο 17 του Π.Δ 455/76, όταν δεν είναι εφικτή η εφαρμογή συστήματος φυσικού αερισμού, όπως στην περίπτωση του έργου της παρούσας εργασίας, απαιτείται η εφαρμογή μηχανικού αερισμού. Με βάση τις προδιαγραφές θα πρέπει να είναι ένας εξαερισμός απαγωγής αέρα με παροχή που να προσφέρει τουλάχιστον 4 ανανεώσεις αέρα ανά ώρα. Για σταθμούς αυτοκινήτων με ωφέλιμη επιφάνεια μεγαλύτερη από 2000 m<sup>2</sup>, η εγκατάσταση μηχανικού εξαερισμού πρέπει να περιλαμβάνει 2 ανεξάρτητους και σε χωριστά ηλεκτρικά κυκλώματα ανεμιστήρες, ώστε σε περίπτωση βλάβης του ενός να λειτουργεί ο άλλος.

Όσον αφορά την πυρασφάλεια των σταθμών αυτοκινήτων, με βάση το άρθρο 21 του Π.Δ 379/80, θα πρέπει να τοποθετηθούν αυτόματοι φορητοί πυροσβεστήρες σε κατάλληλες θέσεις εντός του σταθμού αυτοκινήτων. Ο αριθμός αυτών καθορίζεται από την ωφέλιμη



επιφάνεια του σταθμού, καθώς ο ένας πυροσβεστήρας αντιστοιχεί σε 50m<sup>2</sup> ελεύθερης επιφάνειας.

## 2.2 Καταφυγίων

### 2.2.1 Στο εξωτερικό

Η Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Διαχείρισης Έκτακτης Ανάγκης (FEMA), τμήμα του Υπουργείου Εσωτερικής Ασφάλειας των Ηνωμένων Πολιτειών, δημοσίευσε το 2006 έναν οδηγό για το σχεδιασμό καταφυγίων και δωματίων ασφαλείας για προστασία των ανθρώπων και των κτιρίων από επιθέσεις.

Στο αρχείο αυτό περιλαμβάνονται όλες οι σχεδιαστικές παράμετροι για την κατασκευή καταφυγίων ικανά να προστατέψουν από χημική, βιολογική, ραδιολογική και εκρηκτική επίθεση (CBRE attack). Δεν παρέχονται ωστόσο οδηγίες για το σχεδιασμό των καταφυγίων που προστατεύουν από τις επιπτώσεις μιας πυρηνικής καταστροφής (fallout shelters). (FEMA, 2006)

Υπάρχουν δύο τύποι καταφυγίων, τα αυτόνομα (standalone shelter) που είναι ανεξάρτητες δομές, ικανές να αντέξουν σε επιθέσεις και τα εσωτερικά (internal shelter) που είναι ειδικά κατασκευασμένοι χώροι συνήθως μέσα σε ένα μεγαλύτερο κτίριο, το οποίο χρησιμοποιείται και για άλλους σκοπούς. (FEMA, 2006) Οι δύο αυτοί τύποι μπορούν είτε να λειτουργούν μόνο ως καταφύγια (single-use shelter) είτε να έχουν παραπάνω από μια χρήσεις (multi-use shelter). Μια άλλη κατηγορία καταφυγίων που υπάρχει είναι τα κοινοτικά καταφύγια (community shelter), τα οποία συνήθως είναι κατασκευασμένα κάτω από δομές όπως σχολεία, νοσοκομεία και άλλες παρόμοιες κτιριακές εγκαταστάσεις και είναι ικανά να προστατέψουν τους κατοίκους μιας γειτονιάς. (Ibid.)

Η διάρκεια παραμονής στο καταφύγιο είναι βασικός σχεδιαστικός παράγοντας αυτού. Για μικρή διάρκεια παραμονής (έως 2 ώρες) στο καταφύγιο (tornado shelter), απαιτούνται το λιγότερο 5 ft<sup>2</sup> για κάθε άτομο που στέκεται όρθιο, δηλαδή περίπου 0,46 m<sup>2</sup>/άτομο ή 6 ft<sup>2</sup>, για κάθε καθιστό άτομο. (FEMA, 2006) Αντίθετα, για ένα καταφύγιο μεγάλης διάρκειας παραμονής (hurricane shelter), απαιτούνται το λιγότερο 10 ft<sup>2</sup> ανά άτομο δηλαδή περίπου 0,93 m<sup>2</sup>/άτομο και η μέγιστη διάρκεια παραμονής είναι οι 36 ώρες. Αν η παραμονή είναι από μερικές μέρες έως κάποιες εβδομάδες απαιτούνται 40 ft<sup>2</sup>, ανά άτομο, δηλαδή περίπου 3,7 m<sup>2</sup>. (Ibid.)

Μια άλλη βασική παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν στο σχεδιασμό του καταφυγίου είναι ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσουν οι χρήστες στο καταφύγιο. Στα “tornado shelters” αυτός ο χρόνος θα πρέπει να είναι τα πέντε λεπτά και οι πόρτες του καταφυγίου θα πρέπει να κλείνουν σε 10 λεπτά. (FEMA, 2006) Για τα “hurricane shelters” δεν εφαρμόζονται αυτοί οι περιορισμοί καθώς υπάρχει περισσότερος χρόνος για προετοιμασία. Πέρα από το χρόνο όμως, βασικός παράγοντας στο σχεδιασμό είναι και η πρόσβαση. Θα πρέπει να είναι σε σημείο εύκολα διακριτό και να μην παρεμποδίζεται ο δρόμος προς το καταφύγιο ή ακόμα και η είσοδος σε αυτό από αυτοκίνητα ή άλλα αντικείμενα, γιατί αυτό μπορεί να δημιουργήσει πανικό και χάος σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. (Ibid.)

Άλλες παράμετροι για το σχεδιασμό των καταφυγίων είναι ο κατάλληλος φωτισμός, το ρεύμα έκτακτης ανάγκης, το οποίο για τα καταφύγια μακράς διάρκειας είναι απαραίτητο και για το φωτισμό αλλά και για τον αερισμό, καθώς επίσης και η κατάλληλη σήμανση για την γνώση της τοποθεσίας των καταφυγίων. Τέλος, σημαντικό ρόλο παίζει και η σωστή εκκένωση των κτιρίων και η μεταφορά των ανθρώπων προς το καταφύγιο εντός του κτιρίου με ασφάλεια και προσχεδιασμένο τρόπο. Η συνηθέστερη εκ των τριών μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την εκκένωση των κτιρίων είναι να γίνεται η εκκένωση ανά όροφο αρχίζοντας από εκείνον που είναι πιο κοντά στο χώρο του καταφυγίου. (FEMA, 2006)

Στη συνέχεια του οδηγού, παρουσιάζονται οι σχεδιαστικές παράμετροι καταφυγίων για προστασία από τις εκρήξεις καθώς και εκείνες για προστασία από τη χημική, βιολογική και ραδιολογική καταστροφή (CBR shelter). (FEMA, 2006)

Τα “CBR shelters” μπορούν να προστατέψουν τους ανθρώπους από τη μολυσμένη ατμόσφαιρα, παρέχοντας καθαρό αναπνεύσιμο αέρα με 2 τρόπους. Είτε με την παγίδευση αέρα στο δωμάτιο και μείωση της ανταλλαγής αέρα με το περιβάλλον (unventilated safe room) είτε με την είσοδο ατμοσφαιρικού αέρα στο δωμάτιο, αφού πρωτίστως διέλθει από φίλτρο για να καθαριστεί (ventilated safe room). (FEMA, 2006) Η πρώτη κατηγορία δεν μπορεί να προστατέψει για μεγάλο χρονικό διάστημα λόγω συγκέντρωσης μεγάλης ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα από την ανθρώπινη αναπνοή. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες καταφυγίων (class 1, class 2, class 3) ανάλογα με το αν και πως φιλτράρεται ο αέρας, το κόστος, το επίπεδο και τη διάρκεια προστασίας. Από την πρώτη στην τρίτη κατηγορία, το επίπεδο προστασίας μειώνεται. (Ibid.)

### 2.2.2 Στην Ελλάδα

Το νομοσχέδιο «Ρύθμιση θεμάτων που αφορούν Κατασκευές Δημοσίου Ενδιαφέροντος Προστασίας Ανθρώπων και Πραγμάτων (Κ.Δ.Ε.Π.Α.Π.), για την αντιμετώπιση έκτακτων αναγκών», τέθηκε σε διαβούλευση από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΚΑ) τον Απρίλιο του 2014. Σε αυτό παρουσιάζονται οι προδιαγραφές σχεδίασης των χώρων προστασίας, σύμφωνα με την ευρωπαϊκή εμπειρία και παράλληλα προβλέπονται όλες οι προϋποθέσεις για την αξιοποίηση αυτών των χώρων με άλλες χρήσεις σε περιόδους ειρήνης. Αυτό το νομοσχέδιο καλύπτει το θεσμικό κενό που υπάρχει στον τομέα της προστασίας πληθυσμών σε περίπτωση μιας απειλής ή ενός κινδύνου. (ΥΠΕΚΑ, 2014)

Πιο συγκεκριμένα, στα πρώτα άρθρα του νομοσχεδίου δίνεται ο ορισμός των Κ.Δ.Ε.Π.Α.Π. και ο διαχωρισμός τους, ανάλογα με το αν πρόκειται να αξιοποιηθούν ως χώροι προστασίας ανθρώπων (Κ.Δ.Ε.Π.Α.), πραγμάτων (Κ.Δ.Ε.Π.Π.) ή ειδικού σκοπού (Κ.Δ.Ε.Π.Ε.Σ.), δηλαδή για προστασία από χημική, βιολογική, ραδιολογική και πυρηνική προσβολή (Χ.Β.Ρ.Π). Ανάλογα το μέγεθος της κτηριακής κατασκευής, επιτρέπεται η υλοποίηση μέχρι δύο πολλαπλών χρήσεων σε κάθε Κ.Δ.Ε.Π.Α.Π. (ΥΠΕΚΑ, 2014) Ένα βασικό χαρακτηριστικό σχεδιασμού των χώρων αυτών είναι οι παρεχόμενες θέσεις που θα διαθέτει, δηλαδή ο αριθμός των ατόμων που μπορεί να φιλοξενήσει ο Κ.Δ.Ε.Π.Α.Π. Αυτός δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 3 άτομα ανά 4τ.μ. καθαρού εμβαδού επιφάνειας του Κ.Δ.Ε.Π.Α.Π., δηλαδή όχι παραπάνω από 0.75 άτομα άνα τετραγωνικό μέτρο. (Ibid.)

Με άλλα λόγια, σε **κάθε άτομο** αντιστοιχεί **ελάχιστος χώρος 1,33τ.μ** καθαρού εμβαδού επιφάνειας. Αυτός ο χώρος αντιστοιχεί για τον υπολογισμό των παρεχόμενων θέσεων σε ώρα αιχμής.

Στα επόμενα άρθρα του νομοσχεδίου αναλύονται τα είδη των Κ.Δ.Ε.Π.Α.Π., κατά σκοπό χρήσης και κατά θέση, δηλαδή αν θα βρίσκεται εντός ή εκτός κτηριακής κατασκευής ή μεικτή. Στο άρθρο 15, παρουσιάζονται οι τύποι Κ.Δ.Ε.Π.Α.Π στις κτηριακές κατασκευές ανάλογα με τις διαβαθμίσεις προστασίας τους. Η κατηγορία  $K_{(\Delta)}$  Κ.Δ.Ε.Π.Α αντιστοιχεί σε προσωρινή παραμονή ανθρώπων με μέγιστη διάρκεια τις 24 ώρες και περιλαμβάνει μεταξύ άλλων τα δημόσια και ιδιωτικά γκαράζ, ενώ η κατηγορία  $K_{(\Sigma)}$  είναι η ειδικού σκοπού για προστασία Χ.Β.Ρ.Π. (ΥΠΕΚΑ, 2014) Η κατασκευή που θα αναπτυχθεί στην παρούσα εργασία ανήκει στην κατηγορία  $K_{(\Delta)}$  αλλά ένα μέρος της θα είναι και  $K_{(\Sigma)}$ . Πρόκειται για μια δημόσια κατασκευή υψηλού κινδύνου και υψηλής προστασίας (τύπος Ι). Αυτός ο τύπος κατασκευής χαρακτηρίζεται από ενισχυμένη δομοστατική κατασκευή και

ενισχυμένη θωράκιση πορτών και λοιπών ανοιγμάτων. (Ibid.) Με βάση τις κατηγορίες συμβατικών Κ.Δ.Ε.Π.Α. ως προς τον αριθμό των παρεχόμενων θέσεων, για παραμονή πέρα από 24 ώρες, η αντιστοιχούσα επιφάνεια τ.μ/χρήστη κυμαίνεται από 1,4 έως 1,72. (Ibid.) Για την κατασκευή χώρου στην παρούσα διπλωματική θεωρείται **1,5 τ.μ/χρήστη** για παραμονή **μεγαλύτερη από 24 ώρες**.

Αναφέρονται επίσης ορισμένες γενικές απαιτήσεις για όλους τους τύπους Κ.Δ.Ε.Π.Α.Π. Μια από αυτές είναι ότι οι χώροι προστασίας θα πρέπει να είναι κοντά στα άτομα που πρόκειται να προστατέψουν. (ΥΠΕΚΑ, 2014) Μέγιστη απόσταση θεωρούνται τα 150m από την είσοδο του χώρου προστασίας. Μια άλλη βασική απαίτηση που αφορά τους χώρους προστασίας με πολλαπλές χρήσεις είναι ότι θα πρέπει να είναι εφικτή η αποκλειστική μετατροπή τους σε Κ.Δ.Ε.Π.Α.Π. εντός 12 ωρών. (Ibid.) Πέρα από τις παρεχόμενες θέσεις, στο σχεδιασμό του χώρου ενός Κ.Δ.Ε.Π.Α., θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν και ο χώρος που θα αντιστοιχεί σε εγκαταστάσεις απαραίτητες για τη διαβίωση και προστασία του πληθυσμού, όπως μεταξύ άλλων χώροι υγιεινής, κουζίνας, αποθηκευτικοί χώροι τροφίμων, κρεβάτια και καθίσματα. (Ibid.)

Στο άρθρο 22 του παρόντος νομοσχεδίου, γίνεται αναφορά στις υπόσκαφες Κ.Δ.Ε.Π.Α.Π., που σχετίζονται με την περίπτωση μελέτης της παρούσας εργασίας. Πρόκειται για ειδικό δομικό έργο που αφορά κατάλληλα διασκευασμένους υπόγειους θαλάμους ή/και σήραγγες (σε βραχώδη - ημιβραχώδη εδάφη) με σκοπό την προστασία ανθρώπων σε περιπτώσεις εμφάνισης απειλών ή κινδύνων. Χωρίς περαιτέρω αλλοίωση του φυσικού εδάφους, επιτρέπεται η περιορισμένη εκσκαφή για τη δημιουργία εισόδων τους σε αστικές και περιαστικές περιοχές. (ΥΠΕΚΑ, 2014) Ο σχεδιασμός και η κατασκευή των υπόσκαφων Κ.Δ.Ε.Π.Α.Π., πρέπει να πληρεί τις δομοστατικές προδιαγραφές κατασκευής των αντίστοιχων χώρων προστασίας, εντός κτιριακών εγκαταστάσεων καθώς και τις λειτουργικές προδιαγραφές που σχετίζονται μεταξύ άλλων με τον αερισμό, το φωτισμό, την ύδρευση και την προσβασιμότητα. Όπως και οι χώροι προστασίας εντός κτιρίων, έτσι και οι υπόσκαφες Κ.Δ.Ε.Π.Α.Π., μπορούν να αξιοποιηθούν και σε περιόδους ειρήνης, αρκεί να μπορούν να μετατραπούν σε καταφύγιο εντός 12 ωρών. (Ibid.)

### 3. Μελέτη της Περιοχής Ενδιαφέροντος

#### 3.1 Περιοχή Κατασκευής του Έργου και Πληθυσμός της

Η περιοχή μελέτης είναι ο Λυκαβηττός και οι γειτονιές που βρίσκονται κοντά και γύρω από αυτόν. Η βασική εξ αυτών που θα εξεταστεί είναι το Κολωνάκι. (Εικόνα 6) Πρόκειται για την 3η συνοικία του 1ου Διαμερίσματος του Δήμου Αθηναίων που περιλαμβάνει 2 γειτονιές, αυτή του Κολωνακίου και αυτή με το όνομα Κολωνάκι-Λυκαβηττός. (Δημητριάδη Φ., 2016) Το Κολωνάκι, που περιέχει και το Λυκαβηττό, ξεκινά από την Πανεπιστημίου και εκτείνεται ως την Βασιλίσσης Σοφίας, συνορεύοντας και με τη συνοικία της Νεάπολης στις οδούς Σίνα και Σαρανταπήχου. (Ibid.) Η δεύτερη γειτονιά (Κολωνάκι-Λυκαβηττός), οριοθετείται μεταξύ των οδών Πλουτάρχου – Δίστρα Δώρας – Αριστοδήμου, Μ. Μερκούρη και Λάχητος, περιλαμβάνοντας και το Μέγαρο Μουσικής.



Εικόνα 6: Όρια Περιοχής Κολωνακίου (Δημητριάδη Φ., 2016)

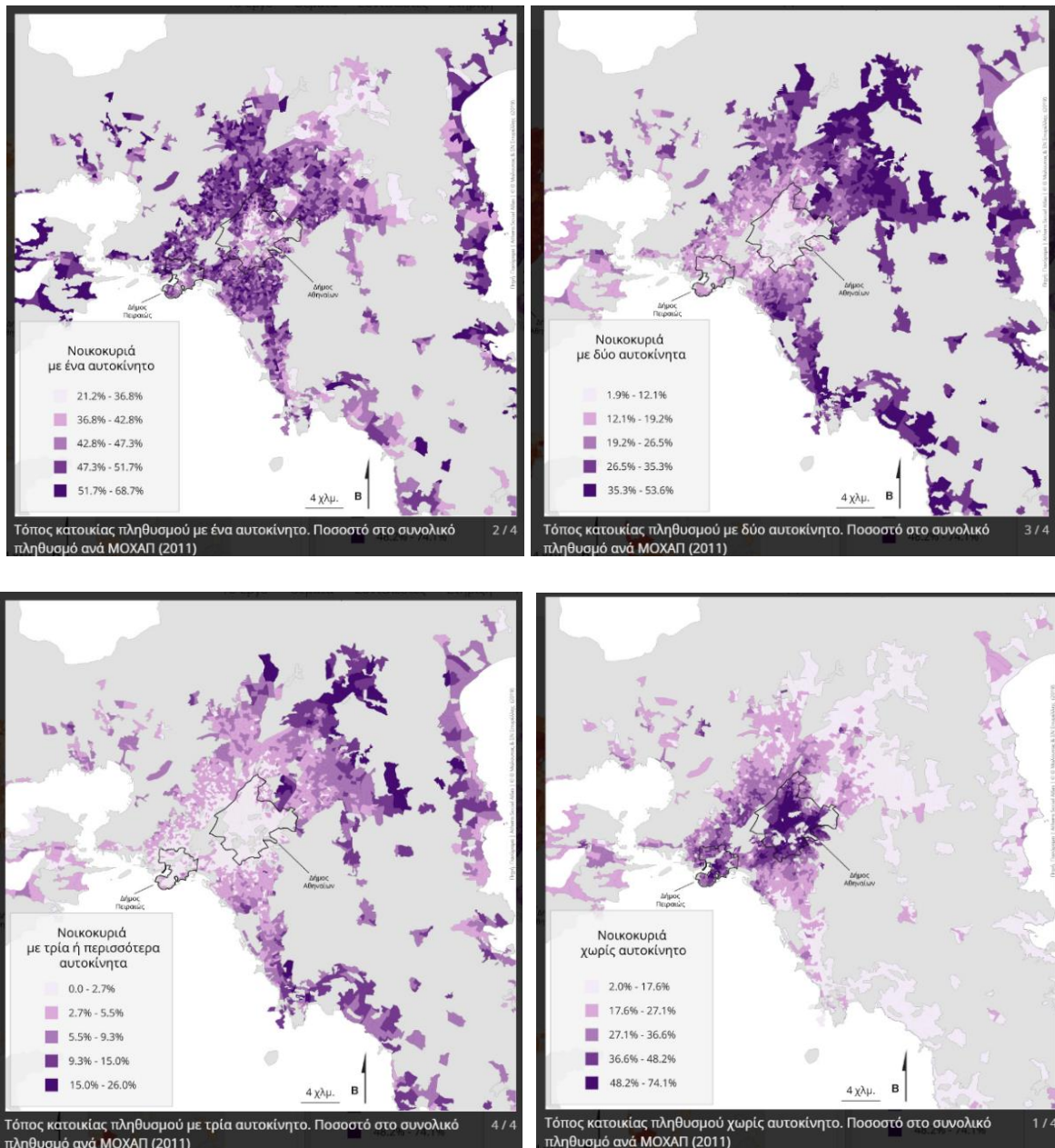
Με βάση την απογραφή που έγινε το 2021, οι μόνιμοι κάτοικοι του Δήμου Αθηναίων σύμφωνα με στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ είναι 643.452 σε σχέση με 664.046 που καταχωρήθηκαν από την απογραφή του 2011. (ΕΛΣΤΑΤ, 2023) Ωστόσο, ο Δήμος Αθηναίων διαιρείται σε 7 διαφορετικά δημοτικά διαμερίσματα. (Κανονίδου Κ., 2020) Το Κολωνάκι, μαζί με Κουκάκι, Ιλίσια, Εξάρχεια, Σύνταγμα – Ομόνοια – Μοναστηράκι, Νεάπολη και Πλάκα ανήκει στο 1<sup>ο</sup> δημοτικό διαμέρισμα (Κανονίδου Κ., 2020), του οποίου οι μόνιμοι κάτοικοι, σύμφωνα με το ΦΕΚ 3134/Β/12-5-23, είναι 74.556.

Με βάση το γεγονός ότι υπάρχουν 7 περιοχές στο 1<sup>ο</sup> δημοτικό διαμέρισμα όπως προαναφέρθηκε, ο πληθυσμός κάθε μιας αν θεωρηθεί ότι αυτός έχει ισοκατανεμηθεί, θα είναι: 10.650 κάτοικοι. Επειδή όμως το Κολωνάκι, όπως και το Κουκάκι, τα Εξάρχεια και τα Ιλίσια, ανήκει στους δήμους με μεγαλύτερο πληθυσμό από άλλους στο 1<sup>ο</sup> διαμέρισμα (Κανονίδου Κ., 2020), μια προσέγγιση του μόνιμου πληθυσμού του, θα μπορούσε να είναι περίπου 11.500 κάτοικοι.

### 3.2 Αριθμός Αυτοκινήτων σε σχέση με τον πληθυσμό

Σύμφωνα με στοιχεία της eurostat (2023a), ο αριθμός των αυτοκινήτων ανά κάτοικο στην Ευρώπη αυξήθηκε το 2021 σε σχέση με το 2020. Φυσικά, η Ελλάδα δεν αποτελεί εξαίρεση από αυτό. Όπως αναφέρεται σε σχετικό άρθρο της eurostat (2023a), στην Αττική φαίνεται να αντιστοιχούν 818 αυτοκίνητα ανά 1000 κατοίκους για το 2021 σε σχέση με τα 814 του 2020 (eurostat, 2022). Στην υπόλοιπη Ελλάδα ωστόσο, το νούμερο αυτό είναι αρκετά χαμηλότερο και μάλιστα δεν ξεπερνάει το 500 σε καμία περιοχή της Ελλάδας (eurostat, 2023a). Συγκριτικά με την προηγούμενη δεκαετία, για τον αριθμό αυτοκινήτων ανά 1000 κατοίκους στην Ελλάδα, τα στοιχεία της eurostat δείχνουν ότι το 2012 μόλις το 47% είχε αυτοκίνητο ενώ το 2021 το ποσοστό αυτό αυξήθηκε σε 53,6% (eurostat, 2023b).

Από τους παρακάτω χάρτες (Χάρτης 1) που βασίζονται στα στοιχεία της απογραφής του 2011, (Μαλούτας Θ. και Σπυρέλλης Σ.Ν., 2019) μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ένα ποσοστό ανθρώπων περίπου 55% στο Δήμο Αθηναίων, δεν έχει αυτοκίνητο, ενώ ένα ποσοστό περίπου 35% έχει ένα αυτοκίνητο. Νοικοκυριά με παραπάνω από ένα αυτοκίνητο στο Δήμο Αθηναίων έχει ένα πολύ μικρό ποσοστό του πληθυσμού. Ειδικότερα, περίπου 9% έχουν 2 αυτοκίνητα, ενώ 1% περίπου έχουν τουλάχιστον 3 αυτοκίνητα. (Μαλούτας Θ. και Σπυρέλλης Σ.Ν., 2019)



*Χάρτης 1: Χάρτες ποσοστού νοικοκυριών του Δήμου Αθηναίων σχετικά με την κατοχή αυτοκινήτων (Μαλούτας Θ. και Σπυρέλλης Σ.Ν., 2019)*

Βέβαια, τα στοιχεία αυτά θα διαφέρουν σε κάποιο βαθμό στις μέρες μας, αν ληφθούν υπόψη και τα στοιχεία της eurostat που προαναφέρθηκαν. Έτσι, τα ποσοστά των νοικοκυριών στο Δήμο Αθηναίων, που έχουν τουλάχιστον ένα αυτοκίνητο θα έχουν αυξηθεί σε σχέση με την προηγούμενη δεκαετία ενώ αυτό τον κατοίκων που δεν έχουν θα έχει μειωθεί. Μια πολύ γρήγορη εκτίμηση θα ήταν ότι πλέον ένα 60% του πληθυσμού του Δήμου Αθηναίων έχει τουλάχιστον ένα αυτοκίνητο.

### 3.3 Κυκλοφοριακά Στοιχεία και Χώροι Στάθμευσης στο Κέντρο της Αθήνας

Όσον αφορά το κυκλοφοριακό πρόβλημα στην Αθήνα, αυτό φαίνεται να γίνεται όλο και πιο έντονο. Σύμφωνα με την *Καθημερινή*, η κυκλοφορία έχει αυξηθεί το 2021 κατά 1,5% σε σχέση με το 2020 (Λιάλιος Γ., 2021). Πολλοί κεντρικοί δρόμοι της Αθήνας, συμπεριλαμβανομένων και των μεγαλύτερων από αυτούς που βρίσκονται γύρω από το Λυκαβηττό, καθημερινά κατακλύζονται από αρκετά αυτοκίνητα. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρει στο άρθρο του ο Λιάλιος (2021), μετά τις μεγάλες αυξήσεις σε σχέση με το 2020 που παρουσιάζονται στην Λ. Κηφισίας και Λ. Κηφισού κατά τις απογευματινές ώρες αιχμής, ακολουθούν η οδός Σταδίου και η Λ. Αλεξάνδρας και προς τα δύο ρεύματα.

Ανάμεσα στους βασικούς δρόμους με κίνηση στην Αθήνα, σύμφωνα με το ενημερωτικό δελτίο του Εργαστηρίου Συγκοινωνιακής Τεχνικής, ΕΜΠ (2023), βρίσκονται και 2 μεγάλοι δρόμοι γύρω από την περιοχή του Λυκαβηττού: η Λ. Αλεξάνδρας (ρεύμα προς Πατησίων) και η Λ. Βασιλίσσης Σοφίας προς Πανεπιστημίου. Η σύγκριση έγινε βάσει μετρήσεων του συνολικού χρόνου που απαιτήθηκε για τη διάνυση της οδού σε σχέση με τις ελεύθερες συνθήκες ροής, το Μάρτιο του 2023 συγκριτικά με το Φλεβάρη του 2023 και το Μάρτιο του 2022. Μπορεί ο συνολικός χρόνος παραμονής των οδηγών στην κίνηση στους δυο αυτούς δρόμους να μην είναι τόσο αυξημένος σε σχέση με άλλους δρόμους της Αθήνας, ωστόσο δεν παύει να δημιουργείται πρόβλημα και η κυκλοφορία να είναι αυξημένη. (Laboratory of Transportation Engineering – NTUA, 2023)

Στην 36<sup>η</sup> έκθεση λειτουργίας του Κέντρου Διαχείρισης και Μελετών Κυκλοφορίας της Περιφέρειας Αττικής (2021) γίνεται η σύγκριση της Κυκλοφορίας σε βασικούς δρόμους της Αθήνας για τα έτη 2018 και 2019. Ανάμεσα σε αυτούς είναι και δύο βασικοί δρόμοι γύρω από την περιοχή μελέτης, η Λ. Αλεξάνδρας και προς τις δυο κατευθύνσεις καθώς και η Πανεπιστημίου στο ύψος της Πεσματζόγλου. Όπως γίνεται φανερό από σχετικά διαγράμματα στην έκθεση αυτή, η Μηνιαία Μέση Ημερήσια κυκλοφορία (ΜΜΗΚ) για την Λ. Αλεξάνδρας κυμαίνεται κοντά στην τιμή 30000, με το ρεύμα προς Πεδίο του Άρεως να παρουσιάζει λίγο μεγαλύτερη τιμή από το αντίθετο. Όσον αφορά την Πανεπιστημίου η ΜΜΗΚ είναι κοντά στην τιμή 50000. Η διαφορά στην τιμή της, δεν είναι πολύ μεγάλη, μεταξύ των δύο εξεταζόμενων ετών και για τους δύο δρόμους. Φυσικά, τον Αύγουστο η κυκλοφορία παρουσιάζεται μειωμένη, όπως είναι λογικό και στους δύο δρόμους. Συγκριτικά με τις υπόλοιπες εξεταζόμενες οδούς που αναφέρονται στην έκθεση αυτή, η Πανεπιστημίου για τα δύο προαναφερθέντα έτη, παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή ΜΜΗΚ.

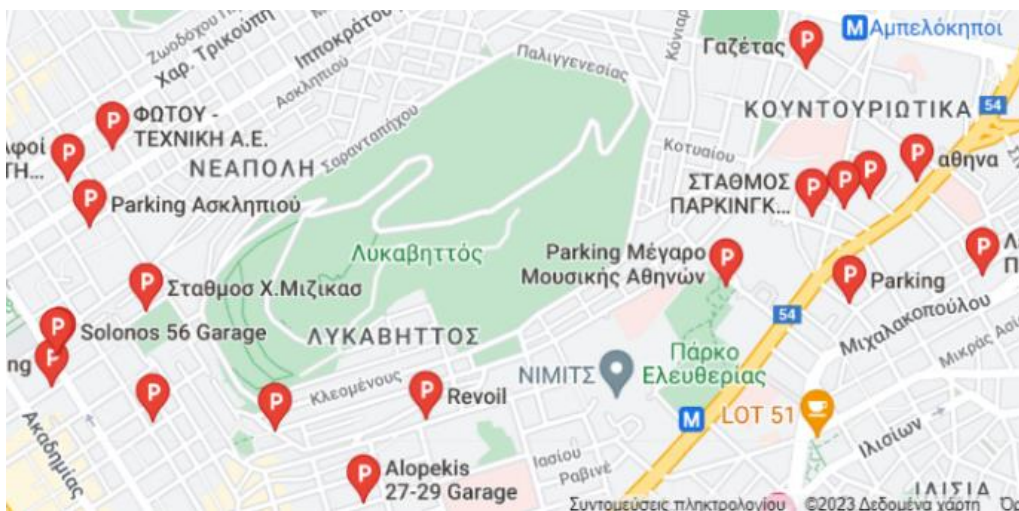


Από όλα τα παραπάνω στοιχεία, γίνεται εύκολα κατανοητό ότι η κίνηση στο κέντρο της Αθήνας τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί πολύ και θα συνεχίσει να αυξάνεται, με αποτέλεσμα οι χώροι στάθμευσης να γίνονται όλο και πιο απαραίτητοι.

Όσον αφορά τους υπάρχοντες χώρους στάθμευσης στην Αθήνα, ο Δήμος Αθηναίων παρέχει 5177 θέσεις για μόνιμους κάτοικους, 3463 για επισκέπτες, 1604 για δίκυκλα και 1000 για ΑΜΕΑ. (Δήμος Αθηναίων - Στάθμευση). Όμως αυτές οι θέσεις, αν ληφθεί υπόψιν ο αριθμός των αυτοκινήτων που κινούνται καθημερινά στους κεντρικούς δρόμους της Αθήνας δεν επαρκούν για να καλύψουν τις ανάγκες των κατοίκων και των επισκεπτών.

Βέβαια, πέρα από τις θέσεις που έχει φροντίσει να παρέχει ο Δήμος Αθηναίων υπάρχουν και αρκετοί υπόγειοι χώροι στάθμευσης γύρω από το Λυκαβηττό (Εικόνα 7) αλλά και συγκεκριμένα στην περιοχή του Κολωνακίου (Εικόνα 8) και της Νεάπολης (Εικόνα 9).

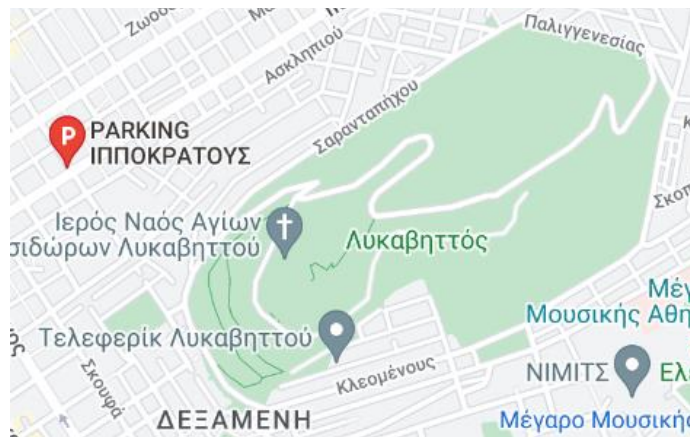
Όπως φαίνεται στην Εικόνα 10, οι υπόγειοι χώροι στάθμευσης που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη από 600m από την πλατεία Κολωνακίου, είναι ελάχιστοι και παρόλο που η περιοχή της Νεάπολης είναι αυτή που έχει τα λιγότερα γκαράζ, κρίνεται πιο σημαντική η κατασκευή υπόγειου χώρου στάθμευσης στο Λυκαβηττό από την μεριά του Κολωνακίου, λόγω της μεγάλης εμπορικής δραστηριότητας της περιοχής.



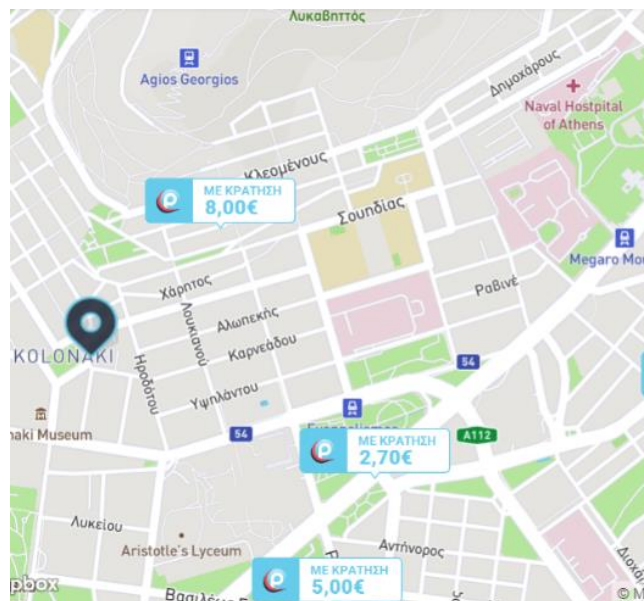
Εικόνα 7: Χώροι στάθμευσης γύρω από το Λυκαβηττό (Google Maps)



Εικόνα 8: Χώροι Στάθμευσης, Κολωνάκι (Google Maps)



Εικόνα 9: Χώροι Στάθμευσης, Νεάπολη (Google Maps)



Εικόνα 10: Χώροι Στάθμευσης σε απόσταση μικρότερη από 600m από την πλατεία Κολωνακίου (parkaround)

## 4. Γεωλογικό Υπόβαθρο

### 4.1 Γεωλογικές και Τεκτονικές Συνθήκες στο Λεκανοπέδιο Αθηνών

#### 4.1.1 Γεωλογικά Στοιχεία

Το Λεκανοπέδιο Αθηνών, καλύπτεται, στα δυτικά και στα βόρεια, από το όρος Αιγάλεω και την Πάρνηθα, που υπάγονται στην Υποπελαγονική Ζώνη ενώ στα ανατολικά και βορειοανατολικά βρίσκεται ο Υμηττός και η Πεντέλη, που ανήκουν στην Αττικοκυκλαδική Ζώνη. (Παπανικολάου Δ.Ι. et al., 2004) Στη μέση, βρίσκεται η Ενότητα των Αθηνών, όπου και ανήκει ο Λυκαβηττός, η περιοχή μελέτης μας. (Εικόνα 11) Μεταξύ της Ενότητας των Αθηνών και του Υμηττού βρίσκεται η Ενότητα Αλεποβουνίου. (Εικόνα 11) (Ibid.)

Η Υποπελαγονική Ζώνη αποτελείται από πετρώματα βαθιάς θάλασσας, με σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση (mélange), κυρίως από ανθρακικά πετρώματα με εναλλαγές κλαστικών, ενώ η Αττικοκυκλαδική Ζώνη δομείται από σχιστόλιθους και μάρμαρα. (Παπανικολάου Δ.Ι. et al., 2004)

Οι σχηματισμοί της Ενότητας των Αθηνών εμφανίζονται επιφανειακά μόνο στα ανώτερα τμήματα των λόφων γιατί καλύπτονται από νεογενείς και τεταρτογενείς μεταλλικές αποθέσεις. Από λιθολογική άποψη, η ενότητα των Αθηνών μπορεί να χωριστεί σε δύο υποενότητες. (Παπανικολάου Δ.Ι. et al., 2004)

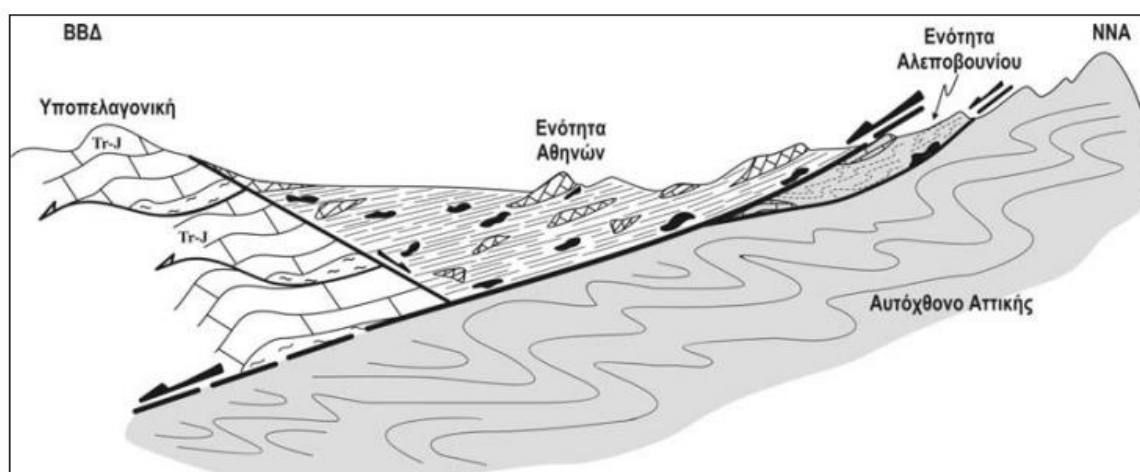
Η πρώτη, αποτελείται από λευκό-γκρίζους, ή πιο σπάνια καστανόχρους, συμπαγείς, άστρωτους - παχυστρωματώδεις νηρητικούς ασβεστόλιθους, σε κάποιες θέσεις δολομιτικούς. (Παπανικολάου Δ.Ι. et al., 2004) Οι ασβεστόλιθοι περιέχουν πλήρεις τομές και θραύσματα ρουδιστών, που προσδιορίζουν κατά βάση ηλικία Σενωνίου. (Ibid.)

Η δεύτερη, αποτελείται από διάφορες λιθολογίες και είναι γνωστή ως "σχιστόλιθοι των Αθηνών". Η ονομασία αυτή δεν αντιπροσωπεύει την πραγματικότητα, καθώς η ενότητα αυτή αποτελείται από αμεταμόρφωτα κλαστικά ιζήματα, όπως ψαμμίτες, άργιλοι, ψαμμούχες μάργες αλλά και από πηλίτες και πλακώδεις μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. (Παπανικολάου Δ.Ι. et al., 2004) Οι τελευταίοι, περιέχουν συχνά πυριτικές ενδιαστρώσεις και κονδύλους πυριτόλιθων.

Στους λόφους του κεντρικού λεκανοπεδίου, (Τουρκοβούνια, Λυκαβηττός, Ακρόπολη) δεν υπάρχει ιδιαίτερη λιθολογική ποικιλία, ωστόσο οι νηρητικοί ασβεστόλιθοι ανωκρητιδικής

ηλικίας, περιβάλλονται στο νότιο τμήμα των λόφων των Τουρκοβουνίων, από πηλίτες, ψαμμούχες μάργες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, τοφφίτες και υπερβασικά σώματα. Οι φάσεις αυτές αποτελούν τον ανώτερο ορίζοντα. (Ibid.) Στην ανατολική μεριά των λόφων κυριαρχούν οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι με εναλλαγή ψαμμιτών και ψαμμούχων μαργών. (Παπανικολάου Δ.Ι. et al., 2004)

Η Ενότητα Αλεποβουνίου, εντοπίζεται στη δυτική μεριά, κατά μήκος των πρόποδων του Υμηττού και δομείται από μεταμορφωμένα πετρώματα. (Ibid.)



Εικόνα 11: Σχηματική Απεικόνιση της Γεωλογικής Δομής του Λεκανοπεδίου Αθηνών  
(Παπανικολάου Δ.Ι. et al., 2004)

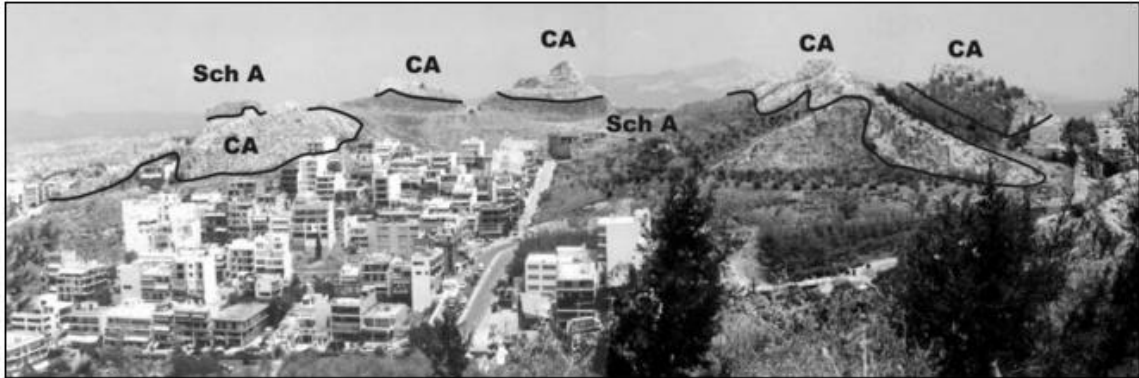
#### 4.1.2 Τεκτονική Ανάλυση

Όσον αφορά την παραμόρφωση της κάθε υποενότητας της Ενότητας των Αθηνών, για την πρώτη είναι κυρίως ρηξιγενής, εκφράζεται μέσω ρηγμάτων, τα οποία είτε περιορίζονται στη μία υποενότητα είτε επηρεάζουν και τις δύο, ενώ για την δεύτερη υποενότητα, αυτή χαρακτηρίζεται από έντονη πτύχωση με ισοκλινείς πτυχές και λεπιώσεις, που μαζί με τα ρήγματα εντείνουν την χαώδη εικόνα της δομής. (Παπανικολάου Δ.Ι. et al., 2004)

Στους νοτιότερους λόφους του κεντρικού τμήματος, ανάμεσα σε αυτούς και ο Λυκαβηττός, οι νηρητικοί ανθρακικοί σχηματισμοί συναντώνται σε ανώτερη θέση, τεκτονικά υπερκείμενοι των πελαγικών φάσεων, με σχεδόν οριζόντια τεκτονική επαφή, δίνοντας την αίσθηση ότι αποτελούν ένα ενιαίο τεκτονικό κάλυμμα. (Ibid.)

Στα παλαιά λατομεία δυτικά και στο κέντρο του Λεκανοπεδίου, διακρίνεται με εντυπωσιακό τρόπο η εσωτερική γεωμετρία της Ενότητας Αθηνών με τις εναλλαγές των δύο υποενοτήτων. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 12, στα παλαιά λατομεία των

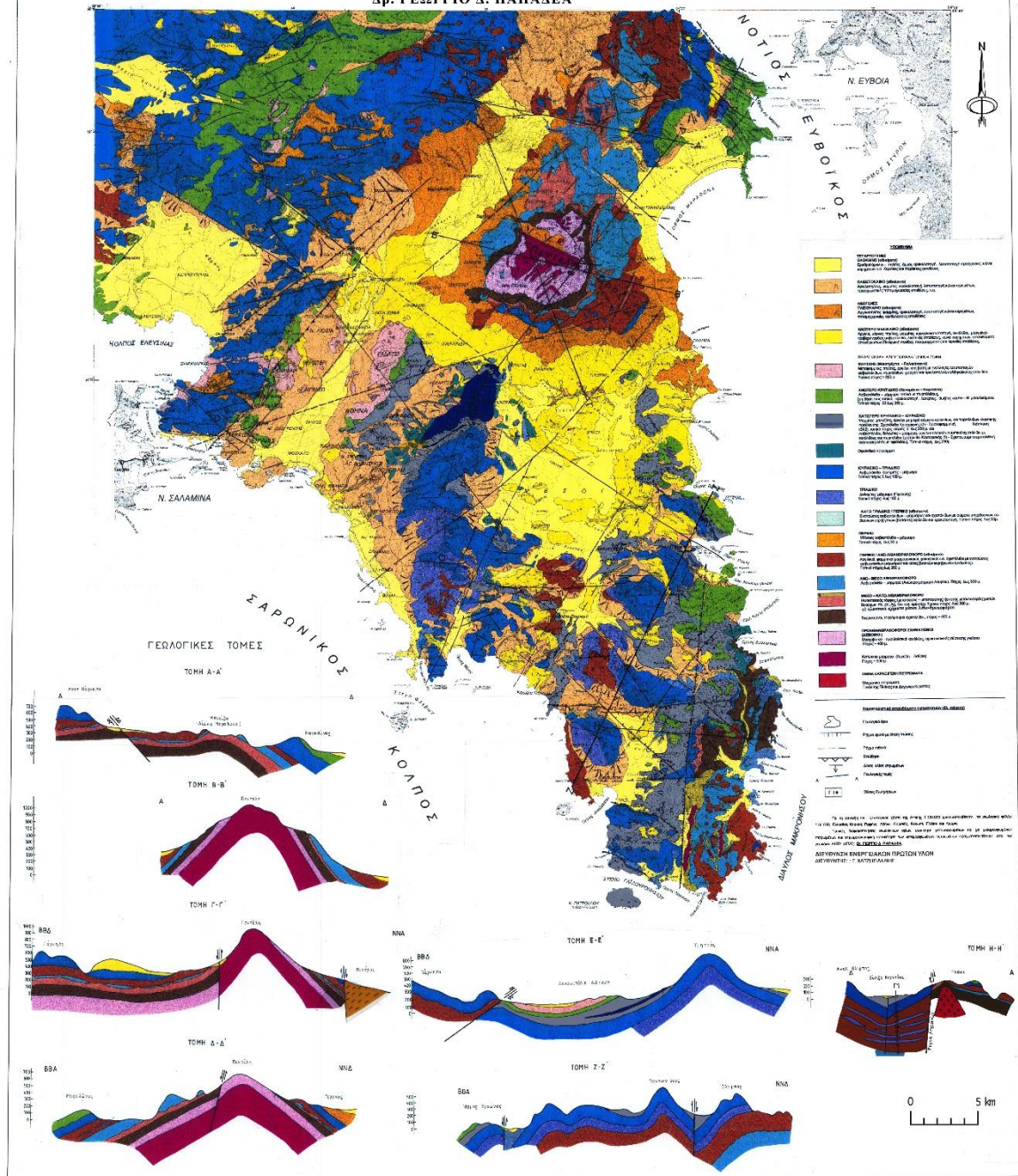
Τουρκοβουνίων, παρατηρούνται τρεις παρεμβολές ανθρακικών μέσα στην πελαγική φάση. (Ibid.)



*Εικόνα 12: Εμφανίσεις Άνω Κρητιδικών συμπαγών ασβεστολίθων της Ενότητας των Αθηνών (CA) μέσα σε ένα πελαγικό κυρίως αργιλοψαμμιτικό σύνολο (Sch A) στα παλαιά Λατομεία Τουρκοβουνίων (Παπανικολάου Δ.Ι. et al., 2004)*

Στο δυτικό τμήμα του Λεκανοπεδίου, η Ενότητα των Αθηνών υπέρκειται τεκτονικά των σχηματισμών της Πάρνηθας (Υποπελαγονική Ενότητα). Η επαφή αυτή είναι ένα κανονικό ρήγμα μικρής κλίσης προς τα ανατολικά και τέμνεται από ρήγματα διεύθυνσης Α-Δ. (Παπανικολάου Δ.Ι. et al., 2004) Η Ενότητα Αθηνών, υπέρκειται τεκτονικά και των σχηματισμών της μεταμορφωμένης Ενότητας Αλεποβουνίου στο ανατολικό τμήμα του Λεκανοπεδίου. (Ibid.) Η επαφή είναι ένα σημαντικό κανονικό ρήγμα αποκόλλησης το οποίο καλύπτεται κυρίως από μεταλλικούς σχηματισμούς και τα πετρώματα γύρω από αυτή, έχουν υποστεί έντονη διατμητική παραμόρφωση. (Ibid.)

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ  
 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
 Δρ. ΓΕΩΡΓΙΟ Δ. ΠΑΠΑΔΕΑ



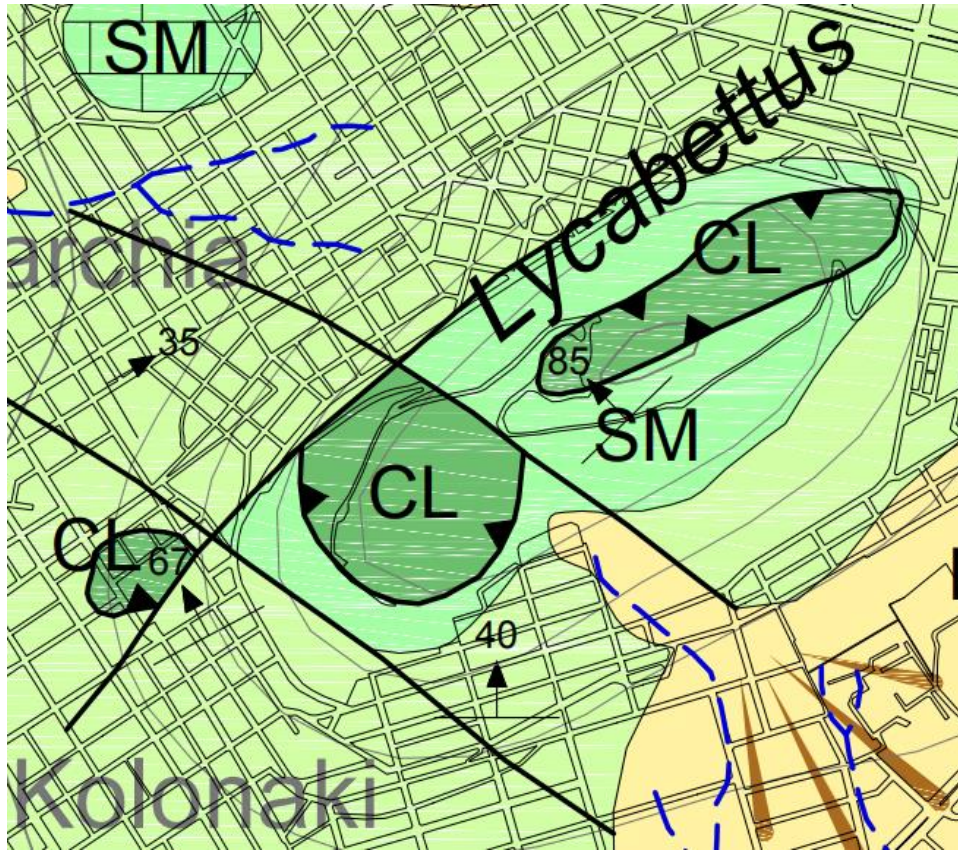
Χάρτης 2: Γεωλογικός Χάρτης της Αττικής με κλίμακα 1:100000 (ΙΓΜΕ - Παπαδέας Γ.)

## 4.2 Γεωλογικές Συνθήκες στον Λυκαβηττό

Όπως φαίνεται από το Χάρτη 3, το ανώτερο τμήμα του Λυκαβηττού, καλύπτεται από ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους (CL, ο συμβολισμός τους σύμφωνα με το υπόμνημα στην Εικόνα 13). (Παπανικολάου Δ.Ι. et al., 2004) Αυτοί οι ασβεστόλιθοι είναι γκριζωποί, παχυστρωματώδεις, μικροκρυσταλλικοί, μέτριας σκληρότητας και συχνά κλαστικοί και καρστικοποιημένοι με μέγιστο πάχος που φτάνει τα 100m. (Koukis G. and Sabatakakis N., 2000)

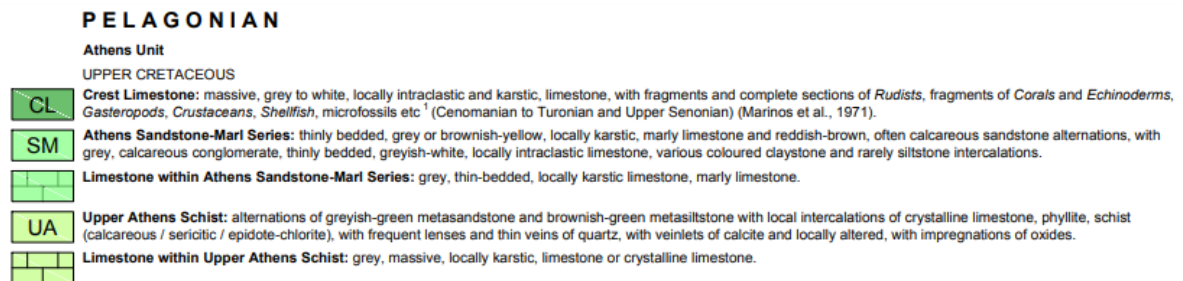
Ακόμα, σύμφωνα με το Χάρτη 3, κάτω από τον ανωκρητιδικό ασβεστόλιθο βρίσκεται ο Αθηναϊκός ψαμμίτης με μαργαϊκές σειρές (SM ο συμβολισμός του σχηματισμού σύμφωνα με το υπόμνημα στην Εικόνα 13). (Boronkay K. et al., 2021) Πρόκειται για γκρι ή καφέ – κίτρινο μαργαϊκό ασβεστόλιθο με εναλλαγές κόκκινο – καφετί ψαμμιτών και γκρι ασβεστούχων κροκαλοπαγών. (Ibid.)

Τέλος, κάτω από αυτόν τον σχηματισμό, συναντάται ο ανώτερος ορίζοντας του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου, όπως χαρακτηριστικά απεικονίζεται και στο χάρτη (UA, ο συμβολισμός του). Ο σχηματισμός αυτός, σύμφωνα με το υπόμνημα (Εικόνα 13) αποτελείται από εναλλαγές γκριζοπράσινου μεταψαμμίτη και καφέ – πράσινου μεταϊλύόλιθου με τοπικές παρεμβολές κρυσταλλικού ασβεστόλιθου, σχιστόλιθου και φυλλίτη. (Boronkay K. et al., 2021)



Χάρτης 3: Γεωλογικός Χάρτης του Λυκαβηττού, με κλίμακα 1:12.257,87

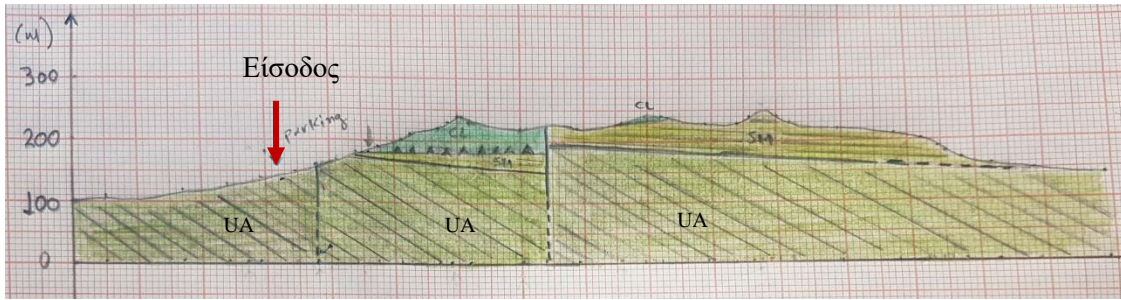
(προέκυψε από Boronkay K. et al., 2021)



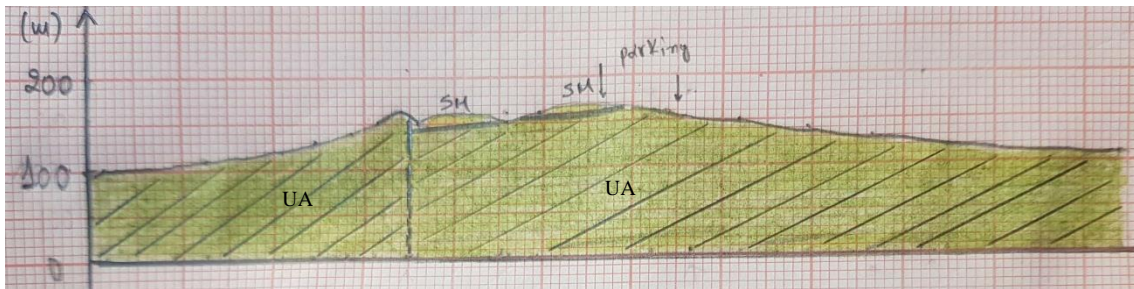
Εικόνα 13: Υπόμνημα που αναφέρεται στον Χάρτη 3 (προέκυψε από Boronkay K. et al., 2021)

Στην περιοχή κατασκευής του έργου, όπως φαίνεται και από τις δύο γεωλογικές τομές (Σχήμα 3, Σχήμα 4) ο σχηματισμός που κυριαρχεί είναι ο ανώτερος ορίζοντας του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου (UA). Στις τομές οι σχηματισμοί εμφανίζονται με τους ίδιους συμβολισμούς όπως στο χάρτη.



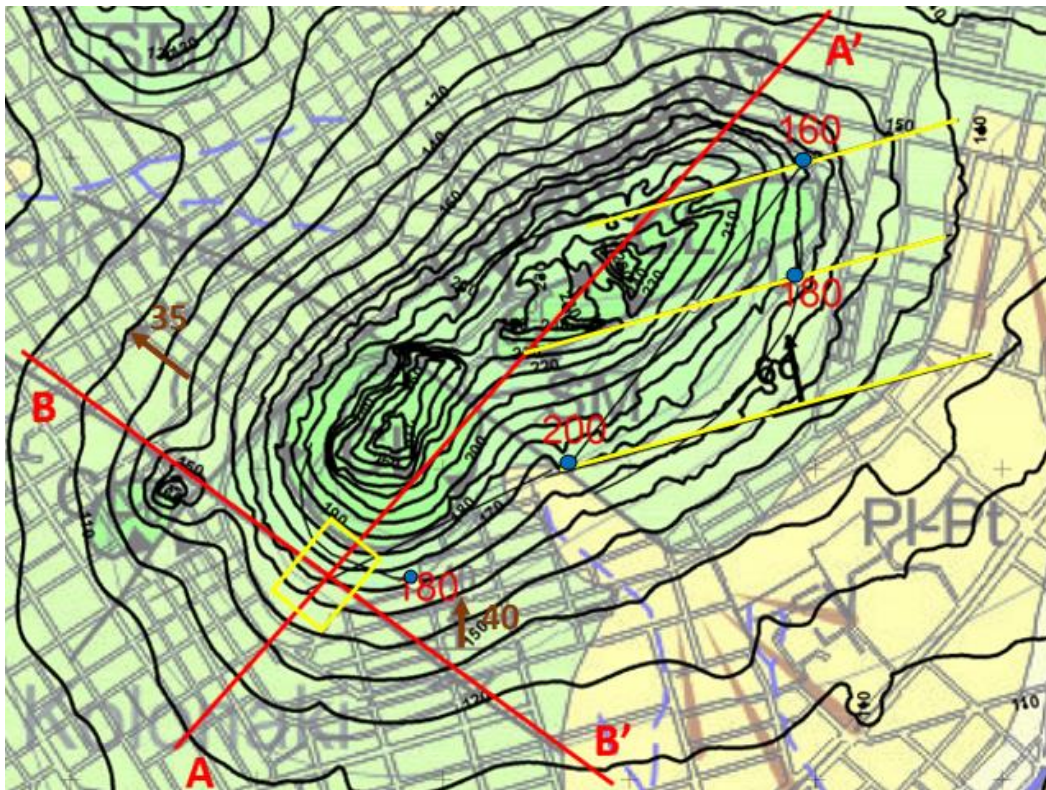


Σχήμα 3: Τομή AA' (προέκυψε από τον Χάρτη 4)



Σχήμα 4: Τομή BB' (προέκυψε από τον Χάρτη 4)

Οι δύο τομές σχεδιάστηκαν με βάση το Χάρτη 4, ο οποίος προέκυψε από τον Χάρτη 3 και από τις ισοϋψείς (ανά 10m) που δημιουργήθηκαν στο QGIS, με βάση το γεωλογικό φύλλο Αθήνα – Πειραιά (Παράρτημα).



Χάρτης 4: Γεωλογικός Χάρτης με ισοϋψείς (ανά 10m) κλίμακας 1:10000, χάραξη τομών AA', BB' και υπόγειου χώρου κατασκευής (με κίτρινο χρώμα) (τροποποίηση από Χάρτη 3)

Αρχικά, έγινε ο σχεδιασμός των ρηγμάτων με βάση τις παρατάξεις τους. Στην τομή AA' εμφανίζονται τα δύο κάθετα ρήγματα ενώ στην BB' μόνο το οριζόντιο. Λαμβάνοντας υπόψη τις παρατάξεις των ρηγμάτων και τα τρία είναι κατακόρυφα.

Στις τομές φαίνονται τα σημεία που βρίσκεται ο υπόγειος χώρος. Το σημείο εισόδου του σταθμού εμφανίζεται μόνο στην τομή AA'. Ξεκινώντας από αυτό το σημείο στην επιφάνεια και με σχεδόν οριζόντια κλίση σχεδιάζεται ο υπόγειος χώρος ο οποίος όπως φαίνεται θα τέμνεται από το πρώτο κατακόρυφο ρήγμα. Τα άλλα δύο ρήγματα βρίσκονται σε απόσταση τέτοια που δεν θα επηρεάσουν το έργο.

Όσον αφορά το σχεδιασμό του στρώματος των ανωκρητιδικών ασβεστόλιθων, τα οποία εμφανίζονται μόνο στην τομή AA', βρέθηκαν τα σημεία τομής της επαφής του στρώματος και της AA' και με βάση τις αντίστοιχες ισοϋψείς σχεδιάστηκαν στην τομή. Αυτό ισχύει για τα στρώματα στη δεξιά πλευρά του δευτέρου ρήγματος. Για το σχεδιασμό της ίδιας επαφής μεταξύ των ρηγμάτων, διαπιστώνεται από το χάρτη ότι τα στρώματα ακολουθούν τις ισοϋψείς όποτε θεωρήθηκαν οριζόντια.

Για το σχεδιασμό του στρώματος των μαργαϊκών ασβεστόλιθων δεξιά του δεύτερου ρήγματος, χρησιμοποιήθηκαν οι ισοϋψείς του φύλλου Αθήνα – Πειραιά και η μεθοδολογία που περιγράφεται στις σημειώσεις του κ. Βακαλά (Βακαλάς Π.Ι., 2023). Σύμφωνα με αυτή, εφόσον η επαφή του στρώματος με τον Αθηναϊκό Σχιστόλιθο τέμνει σε 3 σημεία (με μπλε στο Χάρτη 4) τις ισοϋψείς των 160, 180 και 200, ενώνοντας το σημείο των 160 με αυτό των 200, προκύπτει ένα ευθύγραμμο τμήμα, το μέσο του οποίου ενώνεται με το σημείο των 180 και έτσι προκύπτει η παράταξη των 180 (κίτρινη γραμμή). Οι άλλες δυο παρατάξεις (160 και 200) σχεδιάζονται παράλληλα με αυτήν. Για την επαφή των ίδιων σχηματισμών μεταξύ των δύο ρηγμάτων, χρησιμοποιείται το σημείο που τέμνει η επαφή την ισοϋψή των 180 και σχηματίζεται η παράταξη των 180 παράλληλα με τις άλλες στα δεξιά. Σε ίσες αποστάσεις σχεδιάζονται και οι παρατάξεις των 160 και 200.

Για το σχεδιασμό του ανώτερου οριζόντιου του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου δεξιά του οριζόντιου ρήγματος, χρησιμοποιήθηκε ως μέγιστη κλίση αυτή των 40° που φαίνεται στο Χάρτη 4. Όμως τα στρώματα στην τομή AA' σχεδιάστηκαν με φαινόμενη κλίση 32,7° ενώ στην τομή BB' με κλίση 26,2°. Για τον ίδιο σχηματισμό αριστερά του ίδιου ρήγματος χρησιμοποιήθηκε ως μέγιστη κλίση αυτή των 35°, σύμφωνα με το Χάρτη 4. Έτσι, μόνο στην τομή BB' τα στρώματα σχεδιάστηκαν με φαινόμενη κλίση ίση με τη μέγιστη, καθώς η διεύθυνση μέγιστης κλίσης είναι παράλληλη με την τομή.

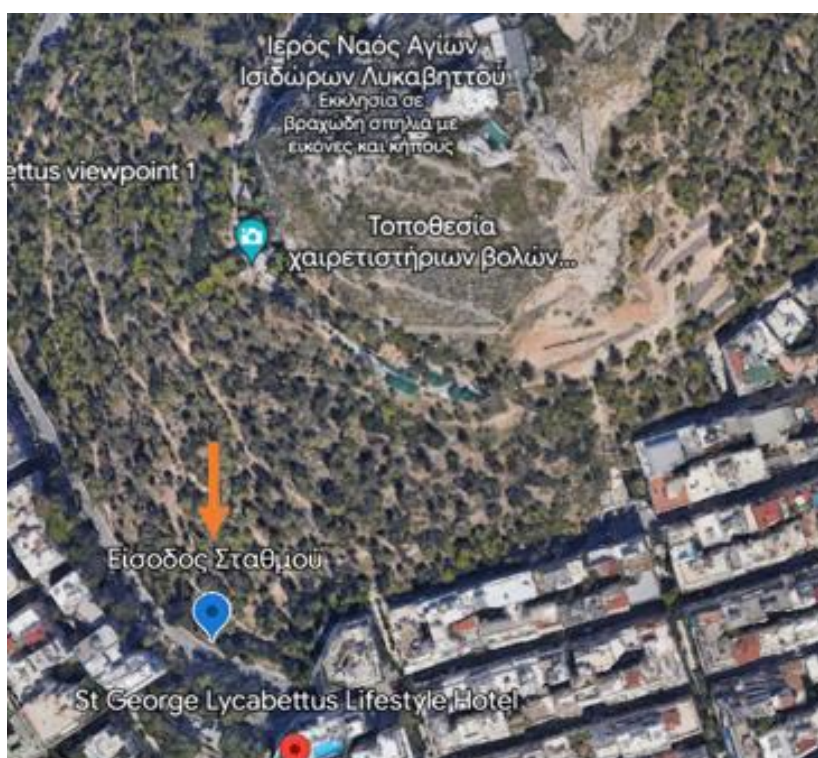
## 5. Σχεδιασμός Έργου

### 5.1 Επιλογή της κατάλληλης θέσης

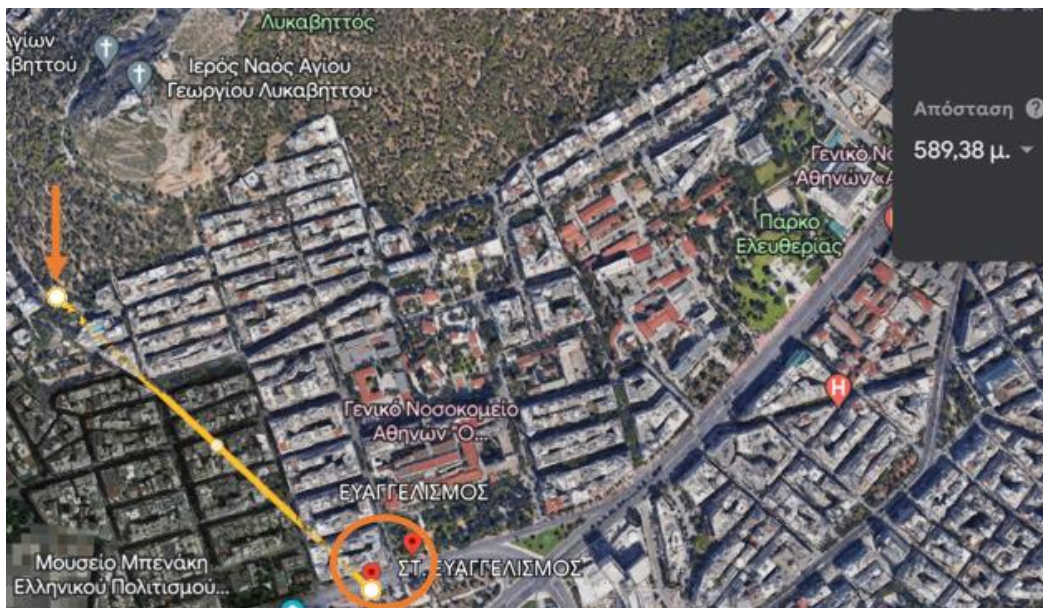
Η περιοχή του Κολωνακίου, όπως φάνηκε και από το πρώτο κεφάλαιο, είναι μια εμπορική και αρκετά πυκνοκατοικημένη περιοχή με χώρους στάθμευσης που πλέον δεν επαρκούν για να καλύψουν τις ανάγκες, τόσο των επισκεπτών όσο και των κατοίκων της. Δεδομένης της αυξημένης ζήτησης για χώρους στάθμευσης και της έλλειψης χώρων για τη δημιουργία αυτών στην ευρύτερη περιοχή, κρίνεται απαραίτητη η κατασκευή υπόγειου χώρου, σε σημείο που δεν θα προκαλέσει μεγάλη οικιστική και περιβαλλοντική όχληση αλλά και που θα βρίσκεται σε κεντρικό σημείο της περιοχής.

Ένας τέτοιος χώρος είναι ο Λόφος του Λυκαβηττού. Μετά από μελέτη των κατάλληλων χαρτών της περιοχής, η είσοδος και η έξοδος του σταθμού επιλέχτηκε να γίνει στην οδό Ηλία Ρογκάκου, στο ύψος του ξενοδοχείου Lykabettus (Εικόνα 14). Το σημείο αυτό απέχει περίπου 590m από τη στάση μετρό “Ευαγγελισμός” (Εικόνα 15) και 307m από την πλατεία Κολωνακίου (Εικόνα 16).

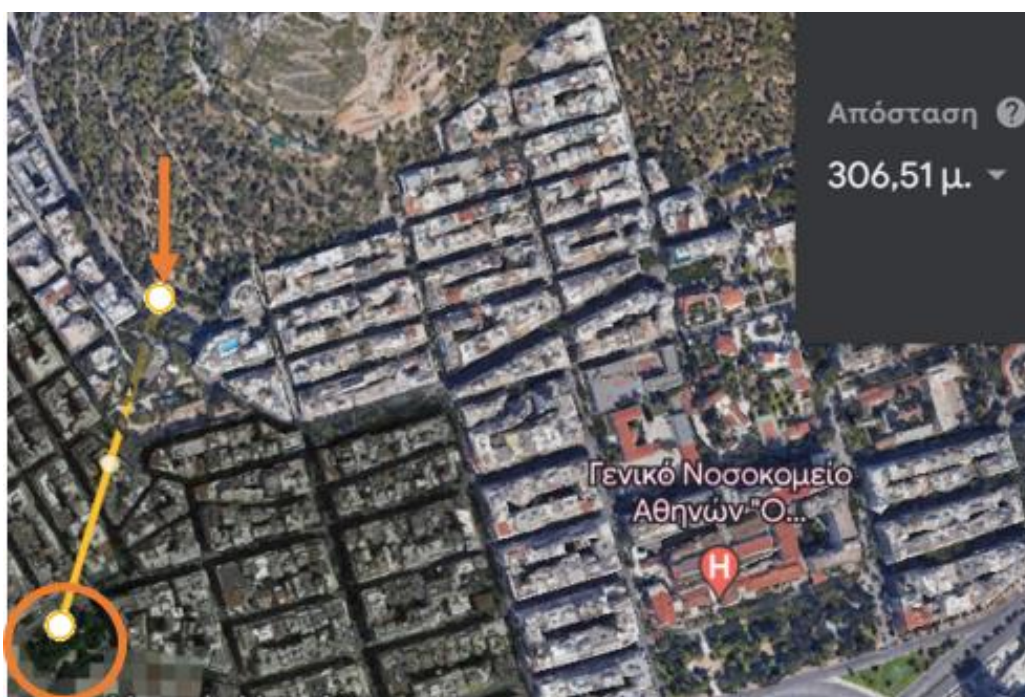
Το υψόμετρο στην περιοχή εισόδου του σταθμού είναι τα 154m (Google Earth) ενώ το μέγιστο υψόμετρο του λόφου είναι τα 278m (Drinia H. et al.,2022).



Εικόνα 14: Σημείο Εισόδου του Υπόγειου Χώρου στην οδό Η. Ρογκάκου (Google Earth)



Εικόνα 15: Απόσταση του σημείου Εισόδου του Σταθμού από το μετρό Ευαγγελισμός  
(Google Earth)


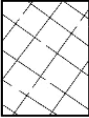






Εικόνα 16: Απόσταση του σημείου Εισόδου του Σταθμού από την Πλατεία Κολωνακίου  
(Google Earth)

## 5.2 Γεωτεχνικά Στοιχεία Περιοχής και Επιλογή Μέτρων Υποστήριξης

Όσον αφορά τη γεωτεχνική ταξινόμηση της βραχώδους στην περιοχή, αυτή έγινε με βάση το δείκτη γεωλογικής αντοχής (GSI) για ρωγματομένους βράχους. Το εύρος τιμών GSI για την περιοχή δόθηκε από τον πίνακα των Hoek and Marinos 2000, όπως φαίνεται από το

Σχήμα 5. Σύμφωνα με αυτόν, το εύρος τιμών GSI κυμαίνεται από 25 – 40 και η βραχώμαζα χαρακτηρίζεται ως έντονα κατακερματισμένη με μέτρια έως πτωχή ποιότητα ασυνεχειών.

<p>ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΡΗΓΜΑΤΩΜΕΝΟΥΣ ΒΡΑΧΟΥΣ (Hoek and Marinos, 2000) Βασίζομενοι στην εμφάνιση της βραχώμαζας (περιγραφή δομής και κατάσταση επιφάνειας ασυνεχειών) εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI, χωρίς υποχρεωτικά μεγάλη ακρίβεια. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 ως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι GSI=35. Σημειώνεται ότι ο Πίνακας δεν εφαρμόζεται σε <u>κινηματικά ελεγχόμενες αστάθειες</u>. Στην περίπτωση που οι ασθενείς επίπεδες επιφάνειες έχουν μη ευνοϊκό προσανατολισμό σε σχέση με το πρηνές εκσκαφής, τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχώμαζας. Η διατμητική αντοχή επιφανειών σε βράχους που υπόκεινται σε εξασθένηση λόγω διακύμανσης της περιεκτικότητας σε υγρασία, είναι περαιτέρω μειωμένη όταν υπάρχει νερό. Όταν, οι βραχώμαζες ανήκουν στις μέτριες έως πτωχές κατηγορίες και υπάρχει νερό τότε μετακινούμαστε προς τα δεξιά. Η υδροστατική πίεση λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων.</p> <p>ΔΟΜΗ</p>	<p>ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ</p> <p>ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχείες, μη αποσπασθωμένες επιφάνειες</p>	<p>ΚΑΛΗ Τραχείες, ελαφρά αποσπασθωμένες και οξειδωμένες επιφάνειες</p>	<p>ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσπασθωμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες</p>	<p>ΠΤΩΧΗ Επιφάνειες ολίσθησης, πολύ αποσπασθωμένες με συμπαγή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα</p>	<p>ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Επιφάνειες ολίσθησης πολύ αποσπασθωμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης</p>
<p>ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →</p>					
 <p>INTACT OR MASSIVE - Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση</p>	90			N/A	N/A
 <p>BLOCKY - Αδιατάρακτη βραχώμαζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών</p>	80	70	60		
 <p>VERY BLOCKY- Μερικώς διαταραγμένη βραχώμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών</p>	70	60	50		
 <p>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας</p>	60	50	40	30	
 <p>DISINTEGRATED - Ισχυρά κερματισμένη βραχώμαζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιωδών και αποστρωγυλωμένων τεμαχίων</p>	50	40	30	20	
 <p>LAMINATED/SHEARED - Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχώμαζα. Η σχιστότητα επικρατεί έναντι οποιασδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιωδών τεμαχίων</p>	40	30	20	10	
<p>↑</p>	N/A	N/A			

Σχήμα 5: Γεωτεχνική Ταξινόμηση της βραχώμαζας της περιοχής με βάση το GSI

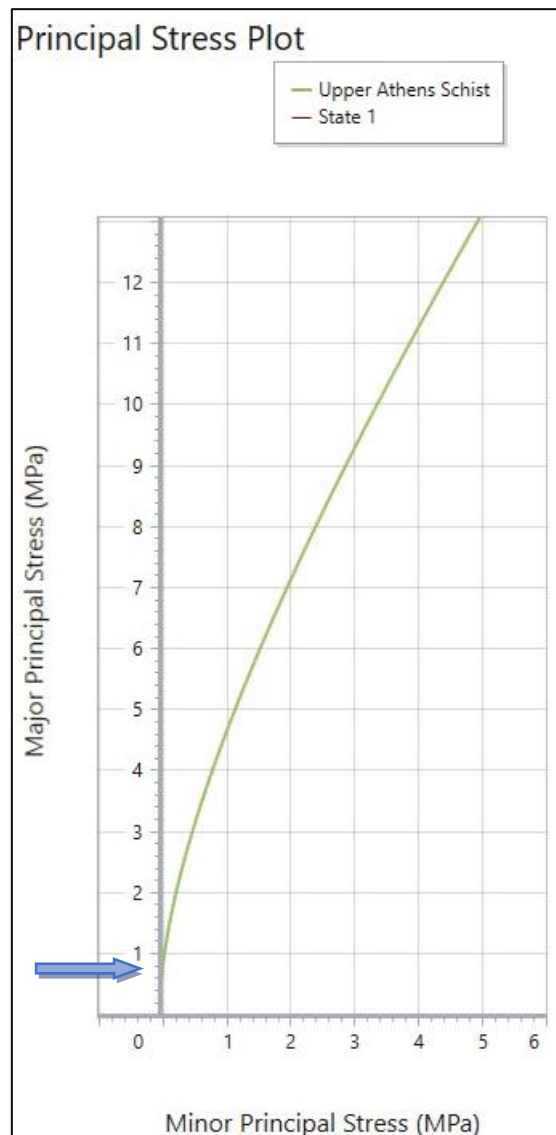
(Hoek & Marinos, 2000)

Για την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (σ<sub>ci</sub>) του ανώτερου ορίζοντα του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου λαμβάνεται μια μέση τιμή αυτή των 20 MPa καθώς σύμφωνα με τους Κούκη και Σαμπατακάκη (Koukis G. and Sabatakakis N., 2000) για τις μάργες και τους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους που βρίσκονται στον Αθηναϊκό Σχιστόλιθο το εύρος τιμών είναι 4 – 65 MPa ενώ για τα κροκαλοπαγή του ίδιου σχηματισμού είναι 3 - 50 MPa.

Από το πρόγραμμα RSData, θεωρώντας GSI = 35, σ<sub>ci</sub> = 20 MPa και m<sub>i</sub> = 7 προκύπτουν τα χαρακτηριστικά της βραχώμαζας που φαίνονται στον Πίνακα 4. Η τιμή του m<sub>i</sub> αντιστοιχεί στις μάργες και επιλέχθηκε ως η χαμηλότερη από όλες τις τιμές των πετρωμάτων που αποτελούν τον ανώτερο ορίζοντα του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου.

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά Πετρώματος

Upper Athens Schist	
Hoek Brown Classification	
UCS of intact rock (MPa)	20
GSI	35
m <sub>i</sub>	7
disturbance factor	0
Intact Modulus (MPa)	20000
Hoek Brown Criterion	
m <sub>b</sub>	0.687
s	0.00073
a	0.516
Rock Mass Parameters	
tensile strength (MPa)	0.021
uniaxial compressive strength (MPa)	0.482
global strength (MPa)	2.078
modulus of deformation (MPa)	2268.14
Failure Range Envelope	
application	General
sig3max (MPa)	5
Mohr Coulomb Fit	
cohesion (MPa)	0.684
friction angle (°)	23.262

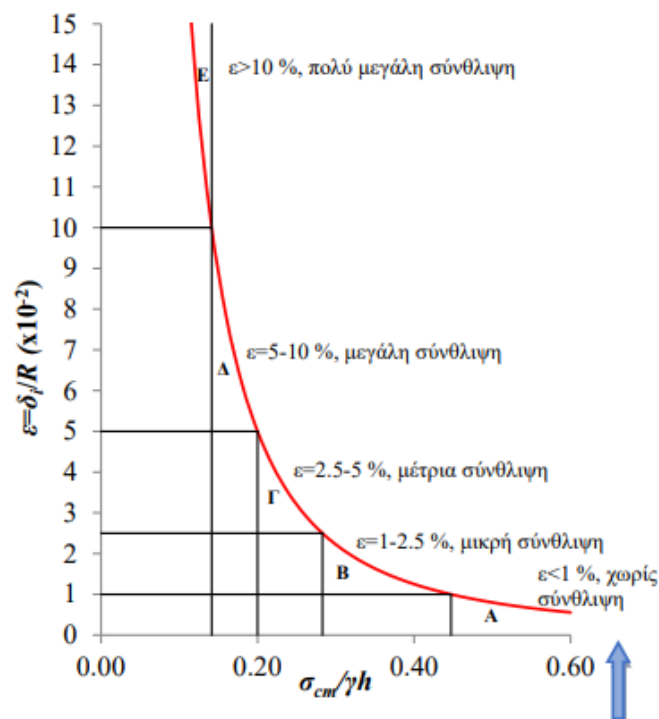


Σχήμα 6: Διάγραμμα κύριων τάσεων (σ<sub>1</sub>- σ<sub>3</sub>)

Ο υπολογισμός της θλιπτικής αντοχής της βραχομάζας ( $\sigma_{cm}$ ) γίνεται από το διάγραμμα στο Σχήμα 6, που δημιουργήθηκε στο RSDData. Σύμφωνα με αυτό, η  $\sigma_{cm}$  υπολογίζεται από το σημείο τομής της καμπύλης με τον κατακόρυφο άξονα και είναι 0,98 MPa.

Η κατακόρυφη τάση που ασκείται από τα μέγιστα υπερκείμενα, εφόσον αυτά είναι 60m, είναι 1,5 MPa εφόσον το ειδικό βάρος του πετρώματος είναι 0,025 kN/m<sup>3</sup>.

Ο λόγος  $\sigma_{cm}/P_0$  είναι 0,65 και άρα με βάση το Σχήμα 7 υπολογίζεται η κατηγορία δριμύτητας της σύνθλιψης, που όπως φαίνεται είναι η A, δηλαδή η παραμόρφωση είναι μικρότερη από 1% και δεν θα υπάρξει σύνθλιψη.




Σχήμα 7: Κατηγορίες δριμύτητας σύνθλιψης (ανυποστήρικτη σήραγγα, Hoek & Marinos, 2000), (Σοφριανός Α.Ι., 2018)

Εφόσον δεν αναμένονται προβλήματα σύνθλιψης, η βραχομάζα, σύμφωνα με τον Πίνακα 5, ανήκει στην δεύτερη κατηγορία και η υποστήριξη που προτείνεται είναι εύκαμπτη, με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και προεντεταμένους κοχλίες ικανής αντοχής. Συχνά μπορεί να απαιτείται και ενίσχυση του σκυροδέματος με ίνες.

Ωστόσο, στην επιλογή της υποστήριξης θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν και η ύπαρξη του κατακόρυφου ρήγματος που τέμνει την κατασκευή. Για να αντιμετωπιστούν τυχόν προβλήματα, που μπορεί να προκληθούν στο έργο μακροχρόνια μετά από ενεργοποίηση του ρήγματος, θα πρέπει να κατασκευαστεί ένας αρμός στο σημείο τομής του ρήγματος με

την κατασκευή ώστε σε περίπτωση σεισμού να χρειαστεί επισκευή μόνο ένα μέρος του χώρου.

Πίνακας 5: Μέθοδος εκσκαφής, υποστήριξη και προφυλάξεις που πρέπει να ληφθούν για διάφορες συνθήκες βραχώμαζας (απόσπασμα από Singh - Goel, 1999) (Σοφιανός Α.Ι., 2018)

Α/Α	Κατηγορία	Μέθοδος εκσκαφής	Τύπος υποστήριξης	Προφυλάξεις
1	Σταθερό - αυτό-υποστηριζόμενο	TBM ή Ολομέτωπη με ελεγχόμενες ανατινάξεις.	Χωρίς υποστήριξη, ή σποραδική ήλωση και λεπτό στρώμα εκτοξευόμενου σκυροδέματος ώστε να μην μεγαλώσουν οι διακλάσεις	Προσοχή για τοπικές σφίγγες ή ζώνες διάτμησης. Αν οι γεωλογικές συνθήκες αλλάζουν συχνά η χρήση TBM δεν συνιστάται.
2	Μη σταθερό – χωρίς προβλήματα σύνθλιψης	Ολομέτωπη με ελεγχόμενες ανατινάξεις από διατηρητικά φορτία.	Εύκαμπτη. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και προεντεταμένοι κοχλίες ικανής αντοχής. Η χρήση τινών στο σκυρόδεμα μπορεί να απαιτείται.	Η πρώτη στρώση σκυροδέματος εναποτίθεται με καθυστέρηση για να εκτονωθεί η ελαστική ενέργεια του πετρώματος, όχι όμως αργότερα από τον ελάχιστο χρόνο αυτουποστήριξης. 
3	Χαλαρόμενο	Με αναβαθμό, διάτρηση και ανατινάξεις.	Χαλύβδινα πλαίσια, προεντεταμένα αγκύρια και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με ίνες (SFRS).	Αναμένονται ισχυρά φορτία, ακόμη και πλευρικά.
4	Συνθλιβόμενο Μικρή σύνθλιψη ( $\delta/R = 1-3\%$ )	Με αναβαθμό, διάτρηση και ανατινάξεις.	Ήλιοι πλήρους συνάφειας και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με ίνες (SFR). Κατασκευή ανάστροφου τόξου στο δάπεδο για την δημιουργία κλειστού δακτυλίου υποστήριξης.	Εγκατάσταση υποστήριξης μετά από κάθε ανατίναξη. Η κυκλική διατομή είναι καλύτερη. Αναμένονται πλευρικές πιέσεις. Το μέτωπο να μην απομακρύνεται επειδή καθυστερεί την δημιουργία κλειστού δακτυλίου υποστήριξης.
	Μέτρια σύνθλιψη ( $\delta/R = 3-5\%$ )	Διάνοιξη με αναβαθμό, διάτρηση και ανατινάξεις.	Εύκαμπτη υποστήριξη με ισχυρούς όγκιμους ήλιους πλήρους συνάφειας και SFRS. Ανάστροφο τόξο στο δάπεδο με ήλιους για την αποφυγή ανώψωσης και τη δημιουργία κλειστού δακτυλίου υποστήριξης. Αν τοποθετηθούν σιδηρά πλαίσια αυτά εγκιβωτίζονται στο σκυρόδεμα.	Εγκατάσταση υποστήριξης μετά από κάθε έκρηξη. Αύξηση του πλάτους της σήραγγας για να απορροφήσει τις συγκλίσεις. Η κυκλική διατομή είναι καλύτερη. Αναμένονται πλευρικές πιέσεις. Απαραίτητα τα όργανα μέτρησης.
	Μεγάλη σύνθλιψη ( $\delta/R > 5\%$ )	Διάνοιξη με αναβαθμό, σε μικρές σήραγγες, με πολλαπλά μέτωπα σε μεγαλύτερες. Με δοκούς προπορείας αν ο χρόνος αυτουποστήριξης είναι μικρός	Πολύ εύκαμπτη υποστήριξη με ισχυρούς όγκιμους ήλιους πλήρους συνάφειας και SFRS υποχώρησης. Αν το σκυρόδεμα αστοχεί τοποθετούνται σιδηρά πλαίσια. Κατασκευή ανάστροφου τόξου στο δάπεδο για την δημιουργία κλειστού δακτυλίου υποστήριξης. Εγκαταβιοσμός των πλασίων στο σκυρόδεμα. Ήλωση του δαπέδου για να μην ανωψωθεί. Μερικές φορές χρησιμοποιούνται σιδηρά πλαίσια με χαλαρή γέμιση ώστε να επιτραπούν κάποιες κινήσεις εκτόνωσης των τάσεων, μέχρι 4% σύγκλιση των παρειών.	Αύξηση του πλάτους της σήραγγας για να απορροφήσει τις συγκλίσεις. Εγκατάσταση του ανάστροφου τόξου το συντομότερο για να ενεργοποιηθεί η πλήρης αντοχή της υποστήριξης. Απαραίτητα τα όργανα για την συνεχή παρακολούθηση των συγκλίσεων. Η κυκλική διατομή είναι καλύτερη.



Ένας δεύτερος τρόπος εκτίμησης των κατάλληλων μέτρων υποστήριξης, είναι μέσω του διαγράμματος που συσχετίζει το δείκτη Q της βραχόμαζας με τις διαστάσεις του ανοίγματος (Σχήμα 8). Εφόσον  $GSI = 35$ , η μετατροπή σε Q γίνεται με βάση τους τύπους (Νομικός Π.Π., 2015) :

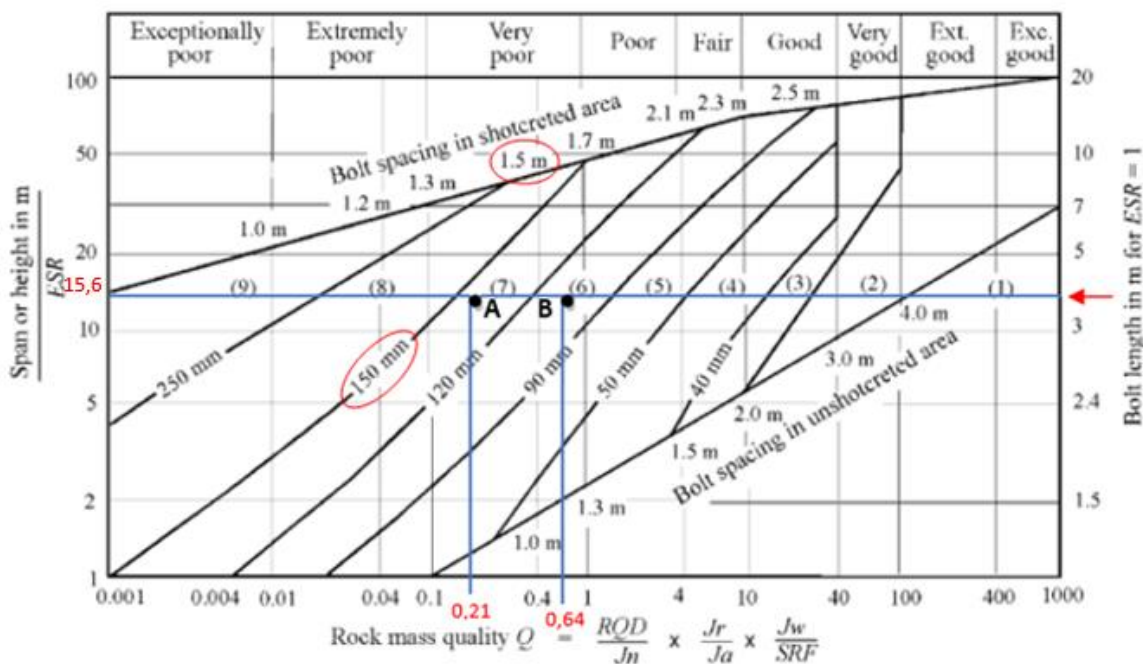
$$GSI = RMR_{89} - 5 \text{ (Hoek et al. 1995)} \quad (5.1)$$

$$Q = e^{\frac{(RMR-44)}{9}} \text{ (Bieniawski 1976)} \quad (5.2)$$

$$Q = 10^{\frac{(RMR-50)}{15}} \text{ (Barton 1995)} \quad (5.3)$$

Από (1):  $RMR = 40 \rightarrow$  (2):  $Q = 0,641$  και (3):  $Q = 0,2154$

Βάζοντας τις τιμές του Q στο διάγραμμα του Σχήμα 8 και με βάση το άνοιγμα του θαλάμου που είναι 15,6m και τον δείκτη  $ESR = 1$  (Πίνακας 6) προκύπτουν τα σημεία A και B, και άρα προτείνεται υποστήριξη μεταξύ των κατηγοριών έξι και επτά. Πιο συγκεκριμένα, επιλέχθηκε για την εξεταζόμενη κατασκευή, ινοπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 150mm και ήλοι με 4,5m μήκος τοποθετούμενοι ανά 1,5m. Στην συνέχεια έγινε ο έλεγχος στο λογισμικό της RocScience, RS2 για την αποτελεσματικότητα των μέτρων υποστήριξης.



#### Κατηγορίες αντιστήριξης

- 1 Ανυποστήρικτη
- 2 Σποραδική ήλωση
- 3 Συστηματική ήλωση
- 4 Συστηματική ήλωση και 40-50mm άοπλο ψεκαζόμενο σκυρόδεμα
- 5 Ινοπλισμένο ψεκαζόμενο σκυρόδεμα πάχους 50-90mm και ήλωση του πετρώματος

- 6 Ινοπλισμένο ψεκαζόμενο σκυρόδεμα πάχους 90-120mm και ήλωση του πετρώματος
- 7 Ινοπλισμένο ψεκαζόμενο σκυρόδεμα πάχους 120-150mm και ήλωση του πετρώματος
- 8 Ινοπλισμένο ψεκαζόμενο σκυρόδεμα πάχους >150mm, με νευρώσεις από οπλισμένο ψεκαζόμενο σκυρόδεμα και ήλωση του πετρώματος
- 9 Επένδυση από έγχυτο σκυρόδεμα

Σχήμα 8: Οδηγίες μόνιμης στήριξης για διάνοιξη με την NTM, βασισμένες στο δείκτη Q (Grimstad and Barton, 1993) (Σοφιανός Α.Ι., 2018)

Πίνακας 6: Διαιρέτης Χρήσης Σήραγγας (Σοφιανός Α.Ι., 2018)

	A	B	C	D	E	F
Χρήση	Προσωρινά μεταλλευτικά ανοίγματα	Φρέατα (α) κυκλικά (β) ορθογωνικά	Μόνιμα μεταλλεία, υδαταγωγοί, στοές	Θάλαμοι αποθήκευσης-επεξεργασίας, ήσσονες σήραγγες	Σταθμοί ισχύος, σήραγγες, καταφύγια, στόμια, συνδέσεις	Πυρηνικοί σταθμοί, Σιδηροδρομικοί σταθμοί, εργοστάσια
ESR	3÷5	2.5 (α) ÷ 2 (β)	1.6	1.3	1	0.8

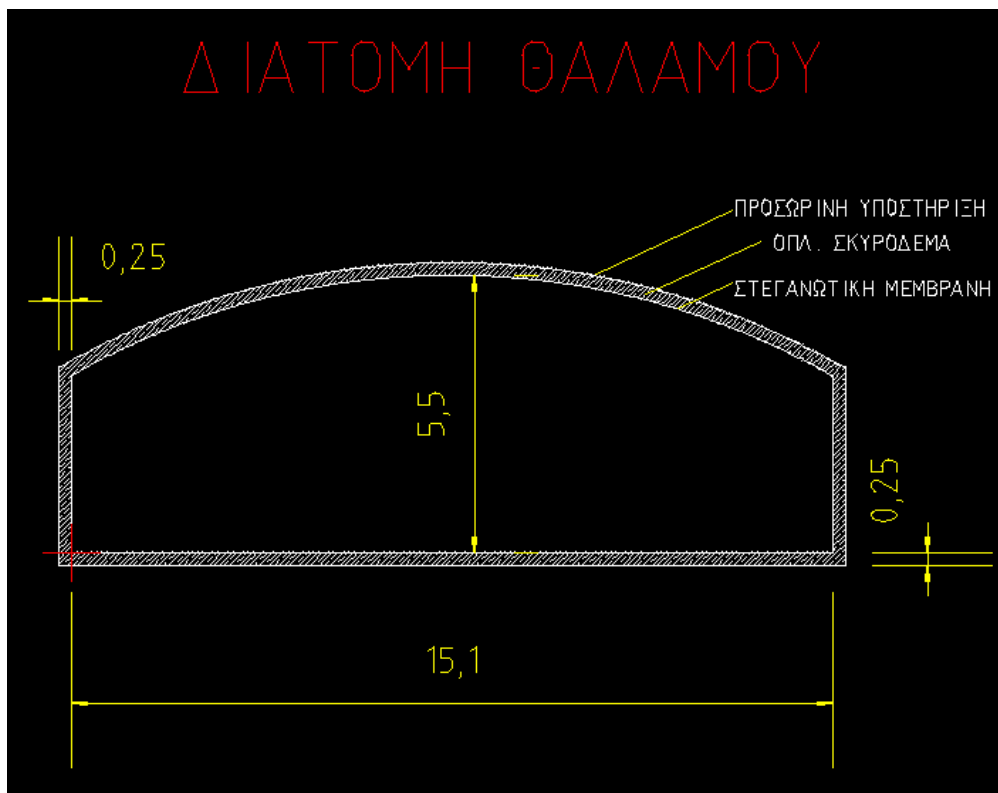
### 5.3 Διαστασιολόγηση Χώρου – Σχέδιο Κατασκευής

Η επιφάνεια εκσκαφής για τη δημιουργία του χώρου στάθμευσης - καταφυγίου έκτακτης ανάγκης, θα είναι συνολικά 14.336,88 m<sup>2</sup> ενώ ο ωφέλιμος χώρος για στάθμευση, μετακίνηση στο χώρο και προστασία σε περίπτωση απειλής, θα είναι 8.571,28 m<sup>2</sup>.

Ο χώρος θα διαθέτει 300 θέσεις στάθμευσης και θα αποτελείται από τέσσερις θαλάμους. Οι τρεις από αυτούς θα έχουν 100 θέσεις στάθμευσης ο καθένας και ο τέταρτος θάλαμος,

ίδιων διαστάσεων με τους υπόλοιπους, θα έχει τις απαραίτητες εγκαταστάσεις (χώροι υγιεινής, χώρος αποθήκευσης τροφίμων, χώρος ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων) για να λειτουργήσει ο χώρος και ως καταφύγιο σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Οι διαστάσεις των θαλάμων θα είναι 15,6m x 125,7m και 6m ύψος. Όπως φαίνεται από την Εικόνα 17, η ωφέλιμη διατομή του θαλάμου, όπως αυτή σχεδιάστηκε στο LibreCAD είναι 15,1m x 5,5m και γύρω από αυτή, από έξω προς τα μέσα, υπάρχει η προσωρινή υποστήριξη, το σπλισμένο σκυρόδεμα (πάχους 0,15m) και η στεγανωτική μεμβράνη. Το συνολικό πάχος και των τριών στρωμάτων θεωρήθηκε ίσο με 0,25m.



Εικόνα 17: Διατομή των θαλάμων

Πέρα από τους θαλάμους θα υπάρχουν και δύο στοές – διάδρομοι, κάθετα σε αυτούς, που θα συνδέουν τους θαλάμους μεταξύ τους αλλά και με την είσοδο και την έξοδο του σταθμού.

Οι διαστάσεις τους θα είναι 5,5m x 98,4m και 6m ύψος. Στο πλάτος αυτό (5,5m) περιλαμβάνεται και πεζοδρόμιο πλάτους 1m και ύψους 0,15m. Όπως φαίνεται από την Εικόνα 18, η ωφέλιμη διατομή της στοάς, όπως σχεδιάστηκε στο LibreCAD είναι 5m x 5,5m και γύρω από αυτή, από έξω προς τα μέσα, υπάρχει η προσωρινή υποστήριξη, το

οπλισμένο σκυρόδεμα (πάχους 0,15m) και η στεγανωτική μεμβράνη. Το συνολικό πάχος και των τριών στρωμάτων είναι 0,25m, ακριβώς όπως και στους θαλάμους.



Εικόνα 18: Διατομή των Στοών - Διαδρόμων

Η είσοδος και έξοδος του σταθμού θα είναι ξεχωριστές με διαστάσεις 5,7m x 9m και ύψος 6m. Στο πλάτος αυτό περιλαμβάνεται και πεζοδρόμιο από τη μία πλευρά, πλάτους 1,2m και ύψους 0,15m. Οι διαστάσεις αυτές επιλέχτηκαν ώστε το καθαρό πλάτος να είναι 4,5m και να πληρούνται οι προδιαγραφές. Για τον σχεδιασμό του μήκους της εισόδου και εξόδου (9m) έγινε μια εκτίμηση των θέσεων αναμονής με βάση το Σχήμα 2 (προέκυψαν λιγότερες από 3), αφού προηγουμένως υπολογίστηκε πρώτον, ο μέσος ρυθμός αφίξεων σε ώρα αιχμής ίσος με 180 λαμβάνοντας υπόψη τη μεγαλύτερη τιμή του συντελεστή Κ (Πίνακας 2) και δεύτερον η μέση απόδοση των εγκαταστάσεων διεκπεραίωσης εισόδου ίση με 400 (Πίνακας 3). Το μήκος σχεδιάστηκε βάσει των 3 θέσεων αναμονής για περισσότερη ασφάλεια και λαμβάνοντας υπόψη το Π.Δ 326/91, εφόσον απαιτούνται 12m<sup>2</sup> για κάθε θέση και το πλάτος είναι 4,5m, χρειάζονται 2,7m για κάθε θέση, δηλαδή 8,1m συνολικά. Ωστόσο, επιλέχτηκαν 9m για μεγαλύτερη άνεση χώρου.

Μεταξύ των τεσσάρων θαλάμων παρεμβάλλονται και 3 στύλοι πετρώματος διαστάσεων 12m x 125,7m και ύψους 6m ο καθένας.

Γενικά, για τον υπολογισμό των βέλτιστων διαστάσεων των στύλων λαμβάνονται υπόψη δύο παράμετροι: οι ασκούμενες τάσεις στους στύλους, λόγω των υπερκείμενων πετρωμάτων και η αντοχή των στύλων η οποία εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά αυτών και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του πετρώματος. (Μπενάρδος Α. και Καλιαμπάκος Δ., 2010)

Για την εκτίμηση της τάσης που δέχεται ο στύλος χρησιμοποιείται η θεωρία της συνεισφέρουσας επιφάνειας, σύμφωνα με την οποία το φορτίο που φέρει ο στύλος είναι το ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο που σχηματίζεται από τους άξονες που τέμνουν στη μέση τον χώρο που περιβάλλει το στύλο. (Μπενάρδος Α. και Καλιαμπάκος Δ., 2010) Η μέση ορθή τάση που ασκείται στο στύλο εξαρτάται από το πλάτος του στύλου ( $W_p$ ), το πλάτος του θαλάμου ( $W_R$ ), και το βάθος από την επιφάνεια που γίνεται η υπόγεια κατασκευή ( $h$ ). Στην περίπτωση της παρούσας κατασκευής, οι στύλοι είναι της μορφής Rib Pillars και ο τύπος της ορθής τάσης δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma_p = \gamma \cdot h \cdot \left(1 + \frac{W_R}{W_p}\right) \quad (5.4)$$

Για την εκτίμηση της αντοχής των στύλων σε θλίψη ( $C_p$ ), υπάρχουν αρκετές εμπειρικές σχέσεις οι οποίες βασίζονται στον «ανάστροφο υπολογισμό», δηλαδή στην ανάλυση της αστοχίας των στύλων. Ο υπολογισμός της  $C_p$  εξαρτάται από το πλάτος ( $W_p$ ) και το ύψος ( $H_p$ ) του στύλου αλλά και από την αντοχή του πετρώματος του στύλου ( $C_1$ ). Για την παρούσα κατασκευή ο υπολογισμός της  $C_p$  έγινε με βάση τον τύπο Obert & Duvall (1967):

$$C_p = C_1 \cdot \left(0,778 + 0,222 \cdot \frac{W_p}{H_p}\right) \quad (5.5)$$

Στον παραπάνω τύπο, για την εκτίμηση του  $C_1$ , χρησιμοποιείται συντελεστής μείωσης της  $\sigma_{ci}$ , ίσος με 50%. Οπότε, εφόσον  $\sigma_{ci} = 20\text{MPa}$ ,  $C_1 = 10\text{MPa}$ .

Όσον αφορά το συντελεστή ασφαλείας των στύλων (SF), αυτός κυμαίνεται από 1,5 – 4 ωστόσο για το σχεδιασμό τους προτείνεται να λαμβάνεται υπόψη η υψηλότερη τιμή του SF. Για τον τύπο Obert & Duvall (1967) η τιμή του SF είναι από 2 – 4, οπότε για την παρούσα κατασκευή θεωρήθηκε SF = 4.

Ο τύπος που συνδέει τα τρία μεγέθη, ( $\sigma_p$ ,  $C_p$ , SF) είναι:

$$SF = \frac{C_p}{\sigma_p} \quad (5.6)$$

Οι στύλοι αστοχούν όταν η θλιπτική τάση υπερβεί την αντοχή τους σε μονοαξονική θλίψη, δηλαδή όταν  $\sigma_p \geq C_p$ , και βάζοντας και τον συντελεστή ασφαλείας η σχέση αυτή γίνεται:

$$\sigma_p \geq \frac{C_p}{SF} \quad (5.7)$$

Λύνοντας την εξίσωση  $\sigma_p = \frac{C_p}{SF}$ , με βάση τις σχέσεις 5.4, 5.5 και θεωρώντας  $H_p = 6\text{m}$ ,  $W_R = 15,6\text{m}$ ,  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ ,  $h = 60\text{m}$ ,  $C_1 = 10\text{MPa}$  και  $SF = 4$ , προκύπτει το ελάχιστο πλάτος του στύλου  $W_p = 10,12\text{m}$ .

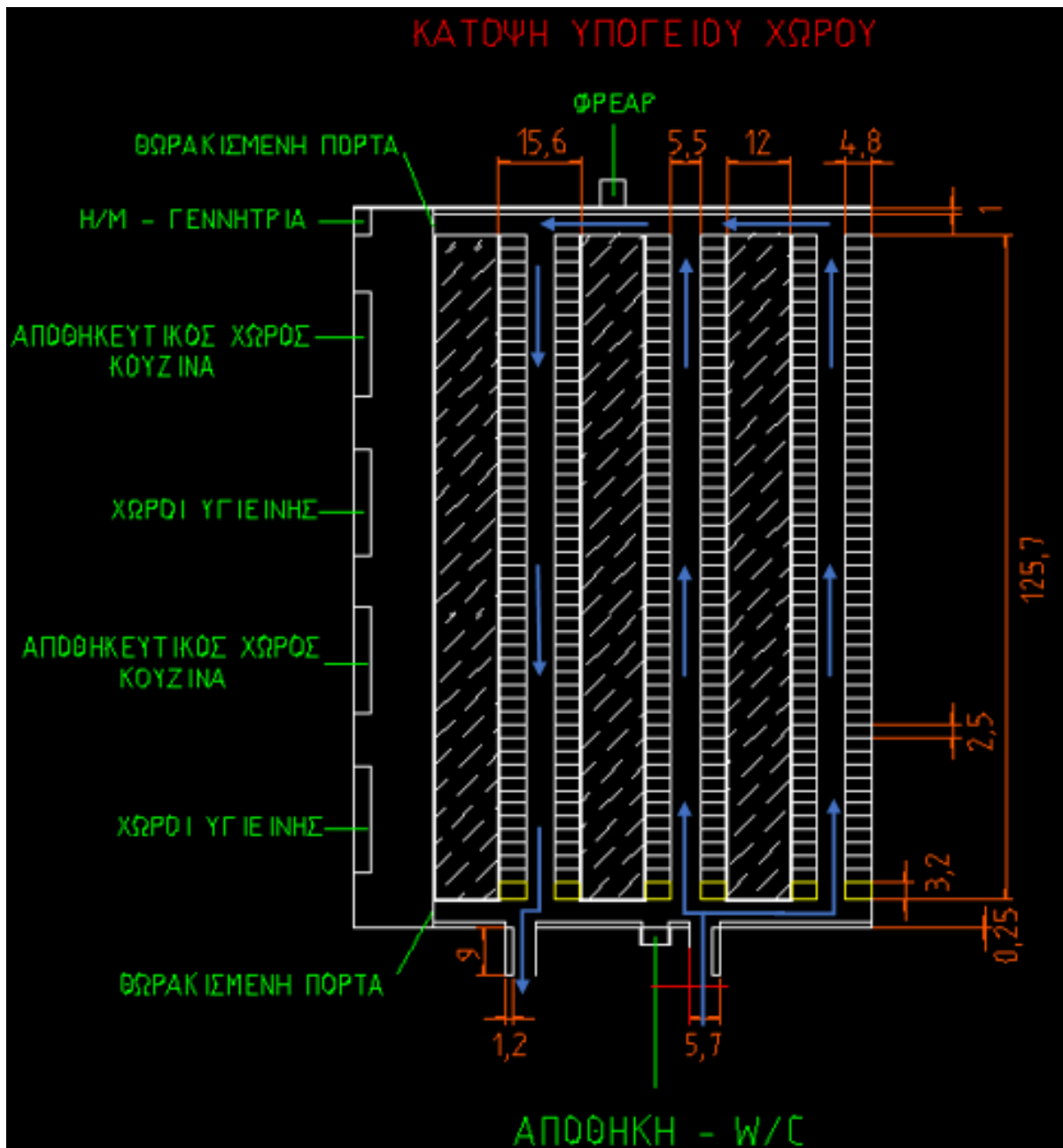
Οπότε για να μην αστοχήσει ο στύλος, θα πρέπει το πλάτος του να είναι μεγαλύτερο από 10,12 m. Για την παρούσα κατασκευή επιλέχθηκε  $W_p = 12 \text{ m}$ .

Όσον αφορά το σχεδιασμό των θέσεων στάθμευσης στους 3 θαλάμους, οι διαστάσεις τους θα είναι 2,5m x 4,8m ώστε να πληρούνται οι προδιαγραφές των σχετικών προεδρικών διαταγμάτων που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 2. Σε κάθε θάλαμο υπάρχουν 100 θέσεις στάθμευσης, 50 από τη μια πλευρά και 50 από την άλλη. Ανάμεσα τους υπάρχει ελεύθερος διάδρομος 5,5m, δηλαδή ο ελάχιστος προτεινόμενος από τα προεδρικά διατάγματα για στάθμευση οχημάτων με γωνία 90°.

Η γωνία στάθμευσης (90°) και το μήκος της θέσης (4,8m) επιλέχθηκαν ως οι καταλληλότερες τιμές, που ελαχιστοποιείται ο συνολικός απαιτούμενος για στάθμευση χώρος, μετά από σύγκριση και υπολογισμούς που έγιναν, για γωνίες στάθμευσης 45°, 60° και 90° και μήκη θέσεων στάθμευσης 4,5m, 4,8m και 5m. Σε όλες τις περιπτώσεις το πλάτος θεωρήθηκε το μικρότερο δυνατό βάσει προδιαγραφών, δηλαδή 2,5m.

Εξετάστηκε επίσης ως μια δεύτερη περίπτωση σχεδιασμού, αυτή των 6 θαλάμων με 50 θέσεις στάθμευσης ο καθένας, που όμως δεν επιλέχθηκε λόγω απαίτησης περισσότερου χώρου.

Ο υπολογισμός του αριθμού και των διαστάσεων των θέσεων ΑΜΕΑ που πρέπει να υπάρχουν στο χώρο στάθμευσης, έγινε σύμφωνα με το άρθρο 2 του Π.Δ 326/91, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2. Έτσι, οι θέσεις αυτές είναι συνολικά 6 (2% του 300), ανά δύο στους τρεις θαλάμους, με πλάτος ίσο με το ελάχιστο βάσει προδιαγραφών, δηλαδή 3,2m. Οι θέσεις αυτές αποτυπώνονται με κίτρινο χρώμα στην κάτοψη της Εικόνα 19.



Εικόνα 19: Κάτοψη του Υπόγειου Σταθμού - Καταφυγίου

Στο σχέδιο της Εικόνα 19 φαίνεται η πορεία που ακολουθεί ένα όχημα αναζητώντας θέση στάθμευσης, από την είσοδο του στο σταθμό, μέχρι την έξοδο του. Οι θάλαμοι είναι μονής κυκλοφορίας, οι δύο δεξιά ανόδου ενώ ο δεύτερος αριστερά καθόδου. Ο αριστερός θάλαμος χρησιμοποιείται μόνο σε περίοδο απειλής ως καταφύγιο και περιέχει, όπως φαίνεται και από την Εικόνα 19, τις απαραίτητες εγκαταστάσεις για την εξυπηρέτηση των ανθρώπων. Ο θάλαμος αυτός χωρίζεται από τους υπόλοιπους με θωρακισμένες πόρτες για να παρέχει ασφάλεια σε περίπτωση απειλής. Οι άλλοι θάλαμοι μπορούν επίσης να αξιοποιηθούν για την προστασία των ατόμων όταν δεν υπάρχουν αυτοκίνητα καθώς και

αυτοί θα διαθέτουν θωρακισμένες πόρτες. Η αποθήκη και οι χώροι υγιεινής που υπάρχουν κατά την είσοδο στο σταθμό, είναι για την εξυπηρέτηση του προσωπικού του και πληρούν τις σχετικές προδιαγραφές. Τέλος υπάρχει και ένα φρέαρ αερισμού του υπόγειου χώρου καθώς και δύο έξοδοι διαφυγής σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Όσον αφορά τη χωρητικότητα του έργου ως προς τα άτομα που μπορεί να προστατέψει σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, με βάση τις προδιαγραφές των Κ.Δ.Ε.Π.Α.Π που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 2, ο ελάχιστος χώρος που απαιτείται για το κάθε άτομο είναι  $1,33\text{m}^2$  σε ώρα αιχμής. Ωστόσο, η εκτίμηση του αριθμού των ατόμων που μπορούν να προστατευτούν έγινε κατανέμοντας  $1,5\text{ m}^2$  ανά άτομο για παραμονή μεγαλύτερη από 24 ώρες.

Τα συνολικά διαθέσιμα τετραγωνικά για προστασία ατόμων είναι 7.592 εφόσον υπάρχουν τέσσερις θάλαμοι διαστάσεων  $125,7\text{m} \times 15,1\text{m}$ . Σε αυτά είναι υπολογισμένοι και οι χώροι υγιεινής, αποθήκευσης τροφίμων, ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και άλλοι βοηθητικοί χώροι.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, με μια αρχική εκτίμηση που έγινε, ο χώρος μπορεί να προστατέψει περίπου 4.000 – 5.000 άτομα.

#### 5.4 Αερισμός – Φωτισμός – Πυρασφάλεια / Πυρόσβεση

Για την κατασκευή του υπόγειου σταθμού αυτοκινήτων – καταφυγίου, όπως και για κάθε άλλο υπόγειο τεχνικό ή μεταλλευτικό έργο, ο αερισμός είναι παράγοντας πρωταρχικής σημασίας ώστε να εξασφαλίζεται η υγεία και ασφάλεια των εργαζομένων και των πελατών του σταθμού αλλά και των ανθρώπων που αναζητούν προστασία σε μη ειρηνικές περιόδους. (Σουλαδάκη Μ. και Ταμπακοπούλου Σ., 2006)

Λόγω της παραγωγής επιβλαβών για την ανθρώπινη υγεία αερίων, κατά τη λειτουργία των κινητήρων εσωτερικής καύσης των αυτοκινήτων, ο αέρας στο υπόγειο έργο θα πρέπει να ανανεώνεται και να είναι πάντα καθαρός σε όλους τους χώρους με περιεκτικότητα σε οξυγόνο μεγαλύτερη ή ίση με 19,5% σε όγκο. (Σουλαδάκη Μ. και Ταμπακοπούλου Σ., 2006)

Όσον αφορά την παροχή του αέρα κατά την περίοδο λειτουργίας του σταθμού, με βάση τις προδιαγραφές που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 2, απαιτούνται 4 ανανεώσεις αέρα ανά ώρα για έναν εξαερισμό. Ωστόσο, επειδή ο ωφέλιμος χώρος στάθμευσης είναι συνολικά  $5.694,21\text{m}^2$  (εφόσον υπάρχουν τρεις θάλαμοι για στάθμευση, διαστάσεων  $125,7\text{m} \times 15,1\text{m}$



ο καθένας), δηλαδή μεγαλύτερος από 2000m<sup>2</sup>, χρειάζονται βάσει κανονισμών δύο ανεμιστήρες σε χωριστά ηλεκτρικά κυκλώματα.

Μπορεί ο αερισμός να είναι πολύ σημαντικός για έναν υπόγειο χώρο, ωστόσο εξίσου σημαντικός είναι και ο φωτισμός, καθώς με την έλλειψη των κατάλληλων συνθηκών φωτισμού, μπορεί να προκληθούν σοβαρά ατυχήματα τόσο στους εργαζόμενους κατά την περίοδο διάνοιξης του έργου, όσο και στους πελάτες κατά την περίοδο λειτουργίας του σταθμού. (Σουλαδάκη Μ. και Ταμπακοπούλου Σ., 2006)

Με βάση τους σχετικούς κανονισμούς για τον φωτισμό στους υπόγειους χώρους, θα πρέπει να εξασφαλίζονται ασφαλείς συνθήκες εργασίας και κυκλοφορίας στο χώρο, με ομοιόμορφα κατανεμημένο φωτισμό ώστε να μην προκαλείται θάμβωση. (Σουλαδάκη Μ. και Ταμπακοπούλου Σ., 2006) Η ένταση του φωτισμού θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 120 LUX σε όλους τους χώρους του υπόγειου έργου, ωστόσο η τιμή της μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος της εργασίας που εκτελείται, κατά την περίοδο εκσκαφής και ανάλογα με τη χρήση του κάθε χώρου του υπόγειου έργου, κατά την περίοδο λειτουργίας του. (Ibid.)

Για έναν υπόγειο χώρο, όπως και για κάθε τεχνικό έργο, πολύ σημαντικές είναι οι έννοιες της πυρασφάλειας και της πυρόσβεσης. Η πυρασφάλεια αναφέρεται στην πρόληψη, ώστε να μην υπάρξει κίνδυνος λόγω πυρκαγιάς, ενώ η πυρόσβεση, αφορά την καταστολή της πυρκαγιάς, δηλαδή τις ενέργειες που γίνονται για την προστασία ανθρώπων και υλικών πραγμάτων σε περίπτωση πυρκαγιάς. (Σουλαδάκη Μ. και Ταμπακοπούλου Σ., 2006)

Η επιλογή των κατάλληλων μέσων πυρόσβεσης είναι ανάλογη του είδους και του μεγέθους της πυρκαγιάς και ο διαχωρισμός τους γίνεται σε δύο κατηγορίες, στα συμβατικά, δηλαδή τα μέσα εκτός των πυροσβεστήρων, που δεν ενεργούν αυτόματα (πυροσβεστικές φωλιές, άμμος, νερό) και στα μη συμβατικά, αυτά δηλαδή που ενεργούν χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. (Σουλαδάκη Μ. και Ταμπακοπούλου Σ., 2006)

Το σύστημα πυρόσβεσης ενός υπόγειου χώρου στάθμευσης, περιλαμβάνει μεταξύ άλλων ένα αυτόματο σύστημα ανίχνευσης, μια αυτόματη εγκατάσταση πυρόσβεσης με καταιονισμό νερού και μια με CO<sub>2</sub> ή άλλο κατάλληλο πυροσβεστικό υλικό, πυροσβεστικές φωλιές και πυροσβεστήρες. (Σουλαδάκη Μ. και Ταμπακοπούλου Σ., 2006)

Για τον αριθμό των αυτόματων φορητών πυροσβεστήρων, σύμφωνα με το Π.Δ 379/80 ισχύει, όπως ειπώθηκε προηγουμένως, ότι ένας πυροσβεστήρας αντιστοιχεί σε 50m<sup>2</sup>

ελεύθερης επιφάνειας, οπότε εφόσον ο ωφέλιμος χώρος είναι 8.571,28m<sup>2</sup>, απαιτούνται περίπου 172 φορητοί πυροσβεστήρες.

### 5.5 Μοντέλο RS2 – Έλεγχος μέτρων υποστήριξης

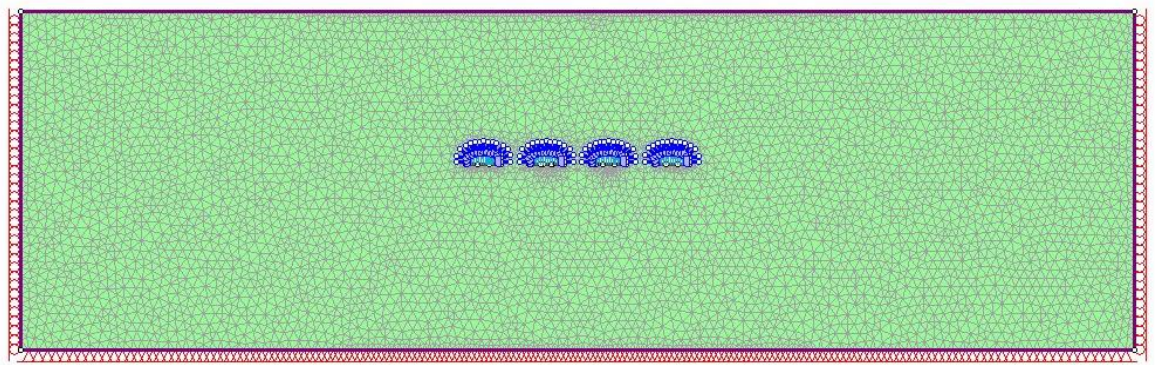
Για την δημιουργία του προσομοιώματος χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό RS2 της εταιρείας Rock Science. Συγκεκριμένα έγινε η ανάλυση για τον έλεγχο της ευστάθειας των θαλάμων και της επάρκειας της υποστήριξης που επιλέχτηκε.

Αρχικά, σχεδιάστηκαν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των θαλάμων και των στύλων σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε στην ενότητα 5.3. Έπειτα, καθορίστηκαν οι μηχανικές ιδιότητες και τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του περιβάλλον πετρώματος, δηλαδή του Ανώτερου Ορίζοντα του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου, όπως αναφέρθηκαν στην ενότητα 5.2. Η προσομοίωση έγινε με την παραδοχή ότι το πέτρωμα είναι ισότροπο για λόγους απλοποίησης. Δεδομένου ότι έχει ένα επίπεδο ανισοτροπίας στην πραγματικότητα, θα πρέπει να ελεγχθεί περαιτέρω η συμπεριφορά της εκσκαφής, λαμβάνοντας υπόψη και τη σχιστότητα του πετρώματος.

Τα όρια, δεξιά και αριστερά της εκσκαφής, ελήφθησαν σε απόσταση δύο φορές μεγαλύτερη από το σύνολο αυτής, δηλαδή από το άθροισμα των 4 θαλάμων και των πετρωμάτων ανάμεσα τους. Η απόσταση που εκτείνονται τα όρια εκατέρωθεν της εκσκαφής, εκτιμάται με βάση το σημείο που θα μειωθούν αισθητά οι όποιες διαταραχές προκληθούν λόγω της διάνοιξης. Λαμβάνοντας υπόψη τις σχέσεις του Kirsch, η απομείωση των διαταραχών εμφανίζεται μετά από τρεις διαμέτρους για ένα ισότροπο, ελαστικό, κυκλικό άνοιγμα εντός υδροστατικού πεδίου. (Σοφιανός Α.Ι., 2018) Στην εξεταζόμενη περίπτωση, μόνο προσεγγιστικά μπορούν να ληφθούν υπόψη τα συμπεράσματα αυτών των σχέσεων, δεδομένου ότι το άνοιγμα δεν είναι κυκλικό. Για γρηγορότερη ανάλυση, επιλέχθηκε δύο φορές μεγαλύτερη, αντί για τρεις, η απόσταση που εκτείνονται τα όρια σε σχέση με το άνοιγμα της εκσκαφής, θεωρώντας ότι επιτυγχάνεται η απαιτούμενη ακρίβεια γύρω από αυτή.

Πάνω από την εκσκαφή, βρίσκονται τα 60m υπερκείμενα, τα οποία με το ίδιο βάρος τους επιφορτίζουν την κατασκευή. Στο κάτω όριο θεωρήθηκε, ότι το πέτρωμα είναι πακτωμένο, για να επιτευχθεί γρηγορότερη σύγκλιση χωρίς να ληφθούν υπόψη οι μικρές τάσεις που μπορεί να εμφανιστούν. Δεξιά και αριστερά το σύνορο έχει κυλίσεις που περιορίζουν την οριζόντια κίνηση, επιτυγχάνοντας την συνέχεια του πετρώματος. Το άνω όριο, αποτελεί

την επιφάνεια του εδάφους και ως εκ τούτου είναι ελεύθερο. Όλα τα παραπάνω απεικονίζονται στην Εικόνα 20.



*Εικόνα 20: Δημιουργία εκσκαφής και περιβάλλον πέτρωμα στο RS2*

Το πλάτος του κάθε θαλάμου (15,6m) είναι μεγάλο και επιλέγεται να διανοιχτεί σε περισσότερες από μια φάσεις. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του πετρώματος κρίνονται χαμηλά και δεδομένου ότι προέρχονται από βιβλιογραφικές πηγές επιλέχτηκε για περισσότερη ασφάλεια, η διάνοιξη του κάθε θαλάμου να γίνει σε 3 φάσεις πλάτους 5,2 m και ύψους 6 m η κάθε μια.

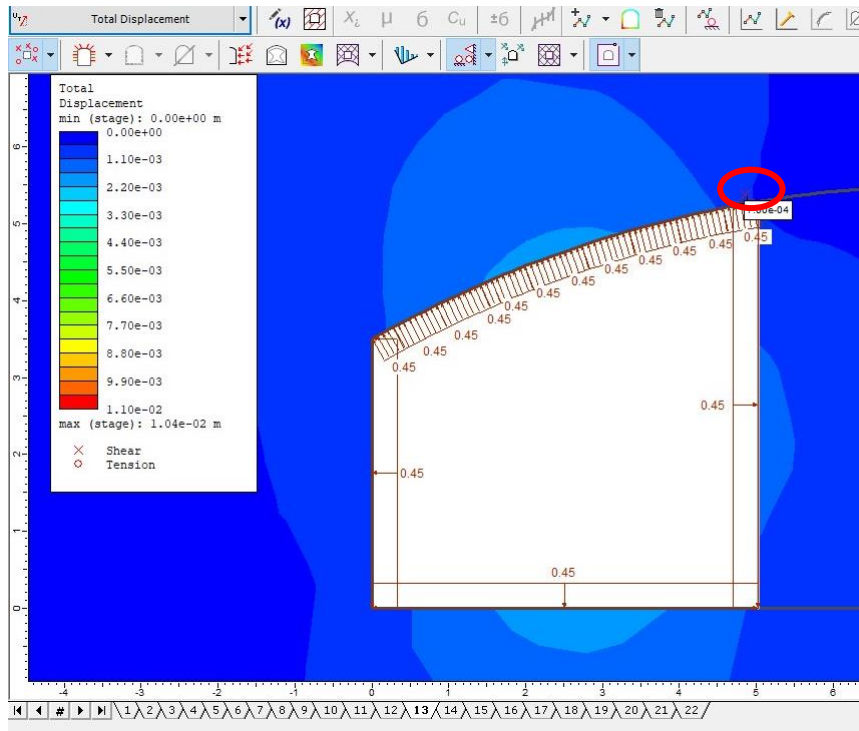
Για μία από αυτές τις τρεις πανομοιότυπες φάσεις εκσκαφής, έγινε η καμπύλη σύγκλισης αποτόνωσης. (Εικόνα 23) Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων και έγινε σταδιακή αποτόνωση της εκσκαφής σύμφωνα με τον Πίνακα 7, ώστε να προσδιοριστεί η απόσταση από το μέτωπο που θα τοποθετηθεί η υποστήριξη του ανοίγματος για να μην υπάρξει αποδιοργάνωση της βραχομάζας.

Η αποτόνωση έγινε σταδιακά με βήμα 0,05, ώστε να είναι πιο λεπτομερής η καμπύλη σύγκλισης – αποτόνωσης που δημιουργήθηκε. Εσωτερική τάση ίση με 1 σημαίνει ότι η τάση που θα εφαρμοστεί είναι ίση με την αρχική που επικρατούσε στο πέτρωμα πριν από οποιαδήποτε εκσκαφή. Στο πρώτο στάδιο που δεν έχει γίνει ακόμα η εκσκαφή, η εσωτερική τάση είναι μηδέν.

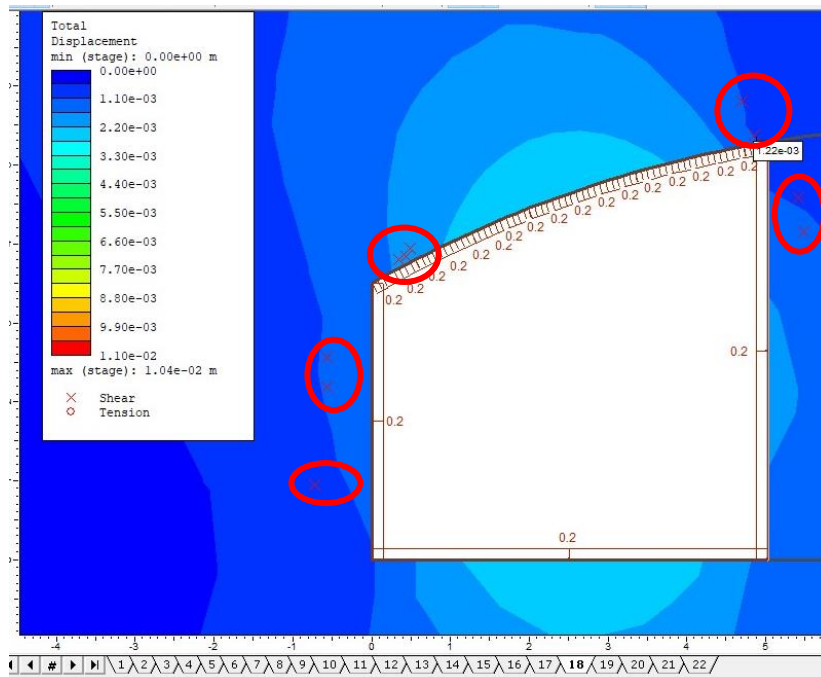
Πίνακας 7: Τιμές εσωτερικής τάσης που εφαρμόζονται για τη σταδιακή αποτόνωση της εκσκαφής

Stage	Factor
1	0
2	1
3	0.95
4	0.9
5	0.85
6	0.8
7	0.75
8	0.7
9	0.65
10	0.6
11	0.55
12	0.5
13	0.45
14	0.4
15	0.35
16	0.3
17	0.25
18	0.2
19	0.15
20	0.1
21	0.05
22	0

Μετά τους υπολογισμούς, προκύπτει ότι το πρώτο σημείο αστοχίας αρχίζει να εμφανίζεται, όπως φαίνεται από την Εικόνα 21, όταν η πίεση είναι ίση με 0,45 δηλαδή ίση με το 45% της αρχικής πίεσης που εφαρμόζοταν στο πέτρωμα. Από εκεί και έπειτα, όσο μειώνεται η τάση τόσο αυξάνονται τα σημεία αστοχίας (Εικόνα 22). Οπότε, θα πρέπει η υποστήριξη να εφαρμοστεί στο προηγούμενο στάδιο δηλαδή όταν η εσωτερική πίεση είναι 0,5, δηλαδή ίση με το 50% της αρχικής.



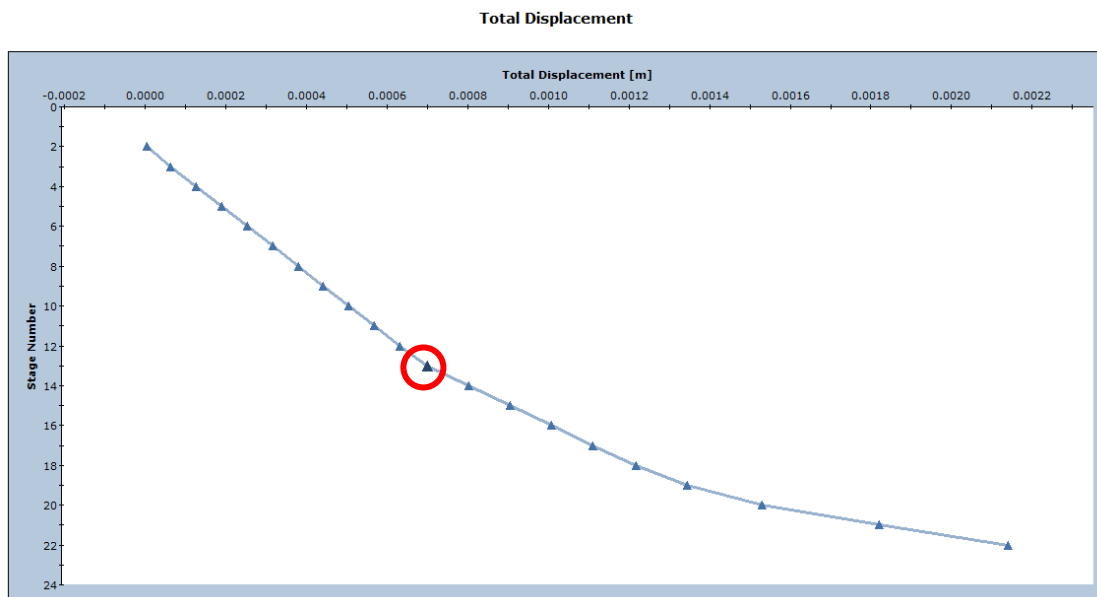
Εικόνα 21: Εμφάνιση του πρώτου σημείου αστοχίας όταν η εσωτερική τάση είναι ίση με 0,45



Εικόνα 22: Εμφάνιση περισσότερων σημείων αστοχίας όσο μειώνεται η εσωτερική πίεση

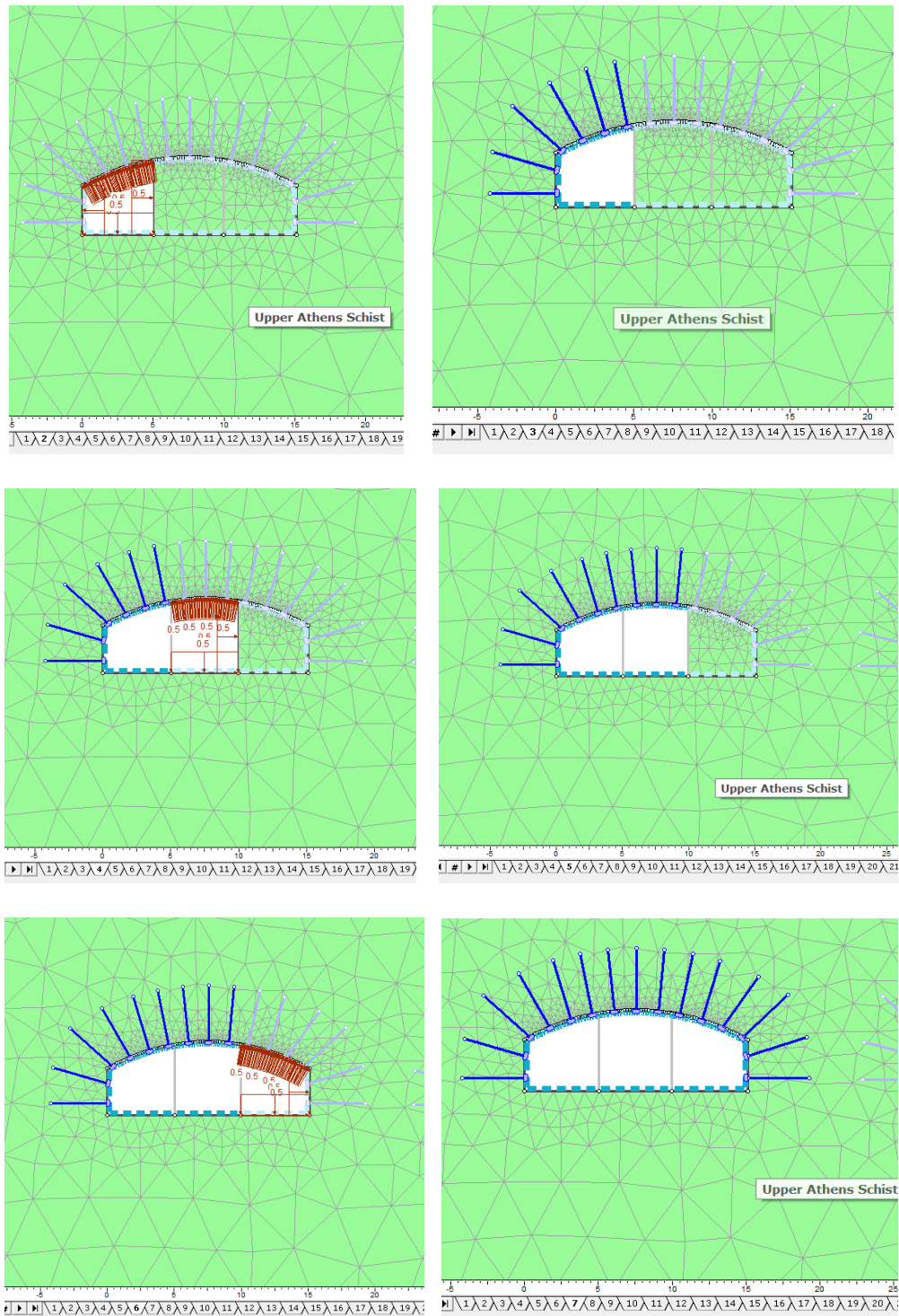
Η καμπύλη σύγκλισης αποτόνωσης του πετρώματος δημιουργήθηκε στην συνέχεια, όπως φαίνεται και από την Εικόνα 23, λαμβάνοντας υπόψη τις εσωτερικές πιέσεις που μειώνονται σε κάθε στάδιο. Από το διάγραμμα, είναι εμφανές ότι έως και το στάδιο 12

όπου η πίεση είναι ίση με 0,5, η καμπύλη έχει τη μορφή ευθείας, ενώ από τα επόμενα στάδια που εμφανίζονται οι αστοχίες, αλλάζει η κλίση της.



Εικόνα 23: Καμπύλη σύγκλισης – αποτόνωσης, στο στάδιο 13 (σε κύκλο) αλλάζει η κλίση της καμπύλης


Δεδομένου ότι η αποτόνωση γίνεται όταν η τάση είναι 0,5, πραγματοποιείται η σταδιακή εκσκαφή όλων των θαλάμων, ώστε να υπολογιστούν οι ολικές μετακινήσεις και να γίνει ο έλεγχος των μέτρων υποστήριξης. Η διαδικασία της διάνοιξης είναι η εξής: στο πρώτο στάδιο δεν έχει ξεκινήσει η εκσκαφή, στο δεύτερο στάδιο γίνεται η διάνοιξη της πρώτης φάσης του πρώτου θαλάμου (Θ1Σ1) με την επιβολή εσωτερικής τάσης ίση με 0,5, στο τρίτο στάδιο γίνεται η υποστήριξη του Θ1Σ1 και στο τέταρτο στάδιο πραγματοποιείται η διάνοιξη της δεύτερης φάσης του πρώτου θαλάμου (Θ1Σ2) (Εικόνα 24). Η διαδικασία αυτή ακολουθείται, με τα ίδια βήματα, ως το 25<sup>ο</sup> στάδιο όπου έχει ολοκληρωθεί η υποστήριξη και της τρίτης φάσης του τέταρτου θαλάμου (Θ4Σ3).



Εικόνα 24: Στάδια Διάνοιξης κάθε θαλάμου. Από πάνω και αριστερά: 2ο, 3ο, 4ο, 5ο, 6ο και 7ο ώστε να ολοκληρωθεί η διάνοιξη και η υποστήριξη όλου του πρώτου θαλάμου

Ως μέτρα υποστήριξης, επιλέχθηκαν αγκύρια και οπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και καθορίστηκαν τα χαρακτηριστικά τους. Οι κοχλίες που επιλέχθηκαν είναι Swellex μήκους 4,2m και φέρουσας ικανότητας 0.14MN, τοποθετημένοι ανά 1,5m. Στην Εικόνα 25, φαίνονται αναλυτικότερα τα χαρακτηριστικά τους.

**Bolt 1**

Name: Bolt 1 Bolt Color: █ Common Types 

Bolt Type: Swellex / Split-Set Dextra DM160

Type	Data
Tensile Capacity (MN)	0.14
Residual Tensile Capacity (MN)	0
Tributary Area (mm <sup>2</sup> )	191
Bolt Modulus, E (MPa)	200000
Out-of-Plane Spacing (m)	1.5
Material Dependent	<input type="checkbox"/>
Bond Shear Stiffness (MN/m/m)	100
Bond Strength (MN/m)	0.17
Residual Bond Strength (MN/m)	0.1
Bolt Model	Plastic ▼
Joint Shear	<input checked="" type="checkbox"/>
Pre-Tensioning Force (MN)	0
Constant Pre-tensioning Force in Install Stage	<input checked="" type="checkbox"/>
Face Plates	<input checked="" type="checkbox"/>
Add Pull-Out-Force	<input type="checkbox"/>

Reinforcement ? X

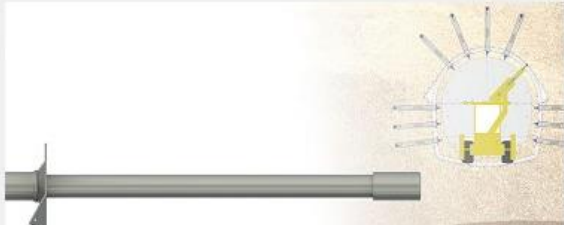
Swellex/Split: Swellex

Manufacturer: Dextra

Type: Expandable Friction Bolt

Designation

- Dextra DM120L
- Dextra DM160
- Dextra DM200
- Dextra DM240



Main Properties

Tensile Capacity:	0.14	MN
Tributary Area:	191	mm <sup>2</sup>
Bolt Modulus:	200000	MPa

Reference  
[Dextra GEOTEC Expandable Friction Bolt Brochure 2019 EN. Dextra Group, 2019.](#)

Εικόνα 25: Χαρακτηριστικά των κοχλιών που επιλέχθηκαν για την υποστήριξη


Το σκυρόδεμα είναι ελαστικό, οπλισμένο, υψηλής αντοχής (40 MPa) και πάχους 15cm, όπως επιλέχτηκε από το Σχήμα 8. Τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος παρουσιάζονται αναλυτικότερα στην Εικόνα 26. Η ενίσχυση του σκυροδέματος (reinforcement) προσομοιάζεται στο πρόγραμμα ως πλέγμα χαρακτηριστικών που απεικονίζονται στην Εικόνα 27.



shotcrete

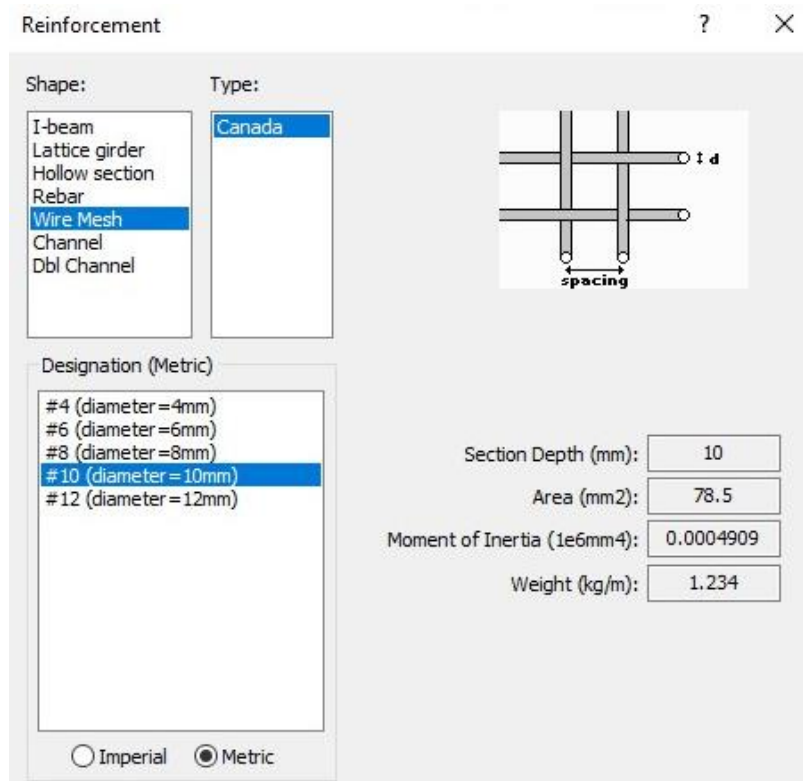
Name:  Color:

Liner Type:

Type	Data
Initial Conditions	
Concrete Unit Weight (MN/m3)	0.024
Include Weight in Analysis	<input type="checkbox"/>
Reinforcement	
Reinforcement	<input checked="" type="checkbox"/>
Common Type	Wire Mesh(Canada): #10 (diameter=10mm) 
Spacing (m)	0.6
Section Depth (m)	0.01
Area (m2)	7.85e-05
Moment of Inertia (m4)	4.909e-10
Young's Modulus (MPa)	200000
Tensile Strength (MPa)	400
Compressive Strength (MPa)	400
Tensile Strength (MPa)	400

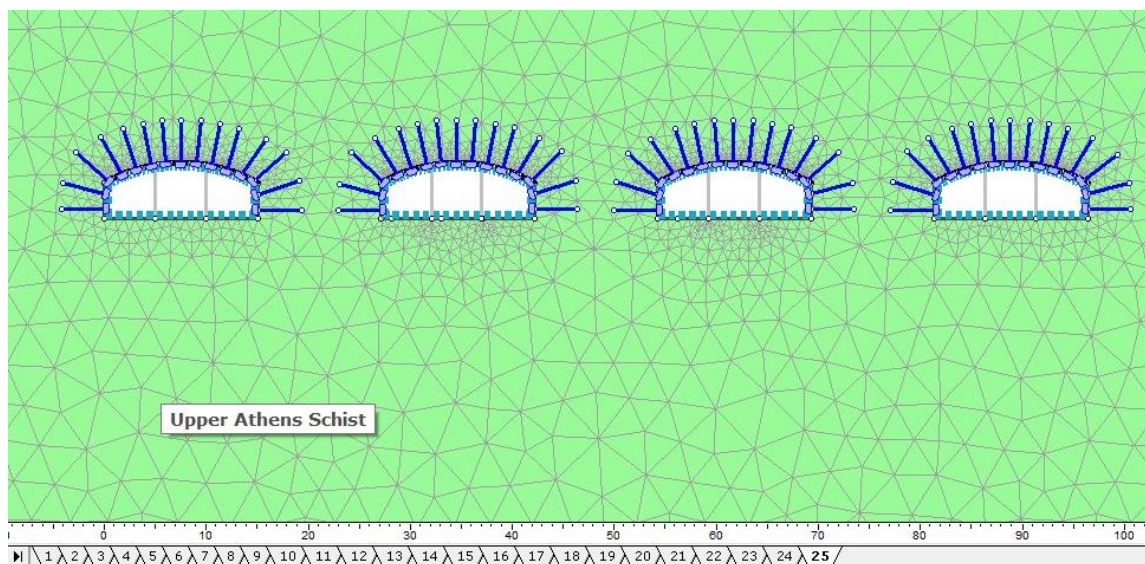
Type	Data
Concrete	
Concrete	<input checked="" type="checkbox"/>
Thickness (m)	0.15
Young's Modulus (MPa)	30000
Poisson Ratio	0.2
Compressive Strength (MPa)	40
Tensile Strength (MPa)	3
Advanced Properties	
Material Type	Elastic
Sliding Gap	<input type="checkbox"/>
Beam Element Formulation	Timoshenko
Stage Properties	
Stage Concrete Properties	<input type="checkbox"/>

Εικόνα 26: Χαρακτηριστικά σκυροδέματος



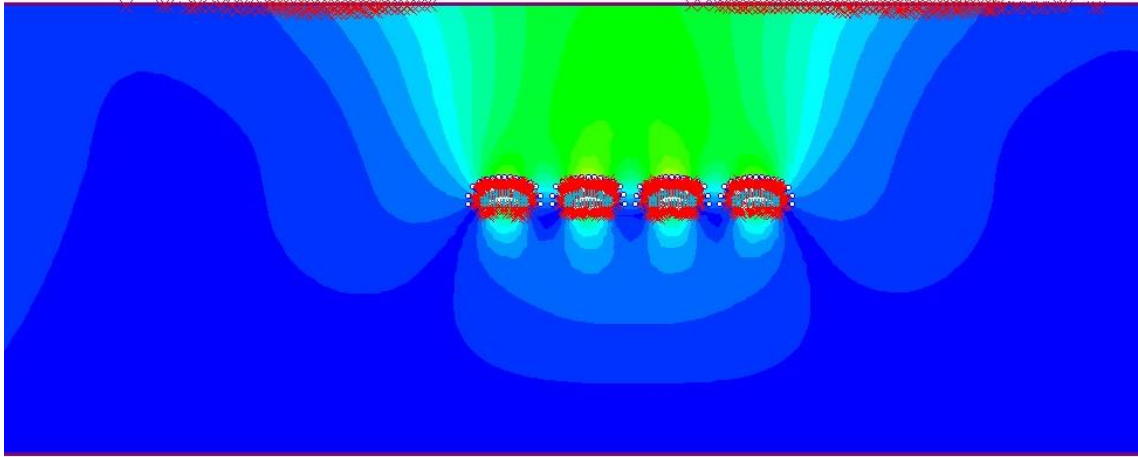
Εικόνα 27: Χαρακτηριστικά ενίσχυσης του σκυροδέματος

Ολοκληρώνοντας τη διάνοιξη και την εφαρμογή της υποστήριξης σε όλους τους θαλάμους, προκύπτει το προσομοίωμα της Εικόνα 28.

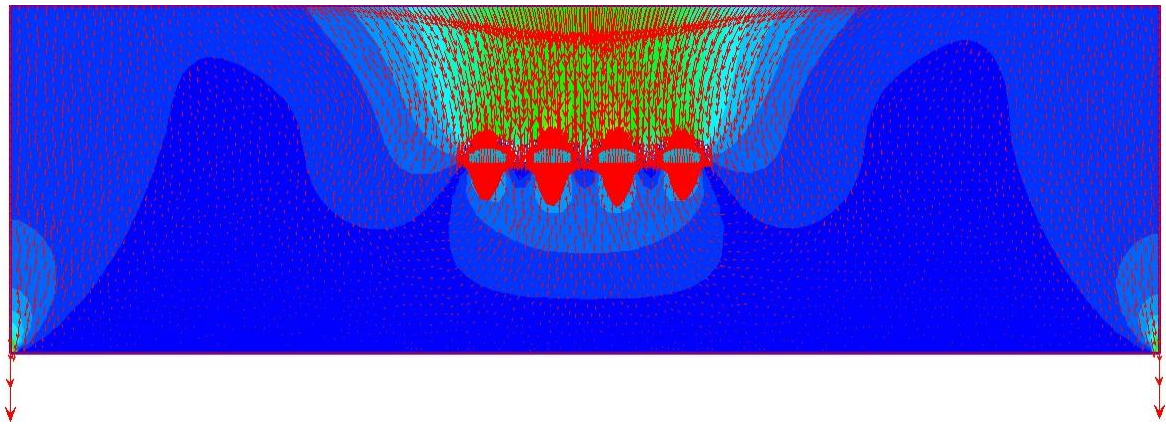


Εικόνα 28: Διάνοιξη και εφαρμογή υποστήριξης σε όλους τους θαλάμους

Στην Εικόνα 29 εμφανίζονται τα σημεία αστοχίας τόσο γύρω από την εκσκαφή, όσο και στην επιφάνεια. Τα σημεία αυτά αστοχούν είτε σε διάτμηση (x) είτε σε εφελκυσμό (o). Από την Εικόνα 30 φαίνεται ότι θα υπάρξει μια καθίζηση της επιφάνειας.

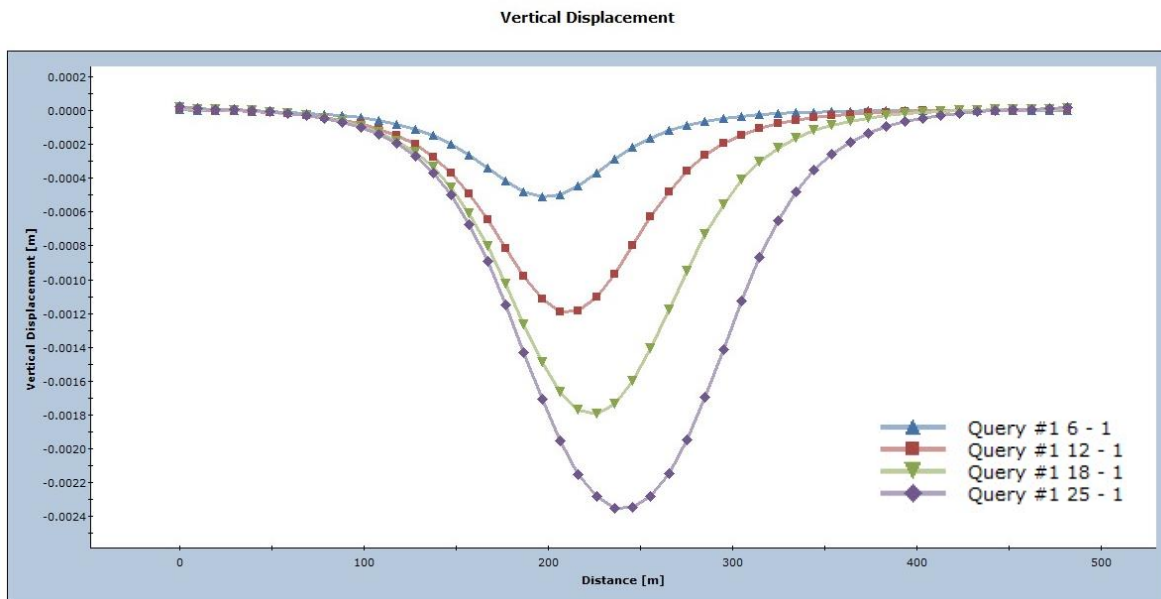


*Εικόνα 29: Σημεία αστοχίας σε διάτμηση και εφελκυσμό γύρω από την εκσκαφή και κοντά στην επιφάνεια*



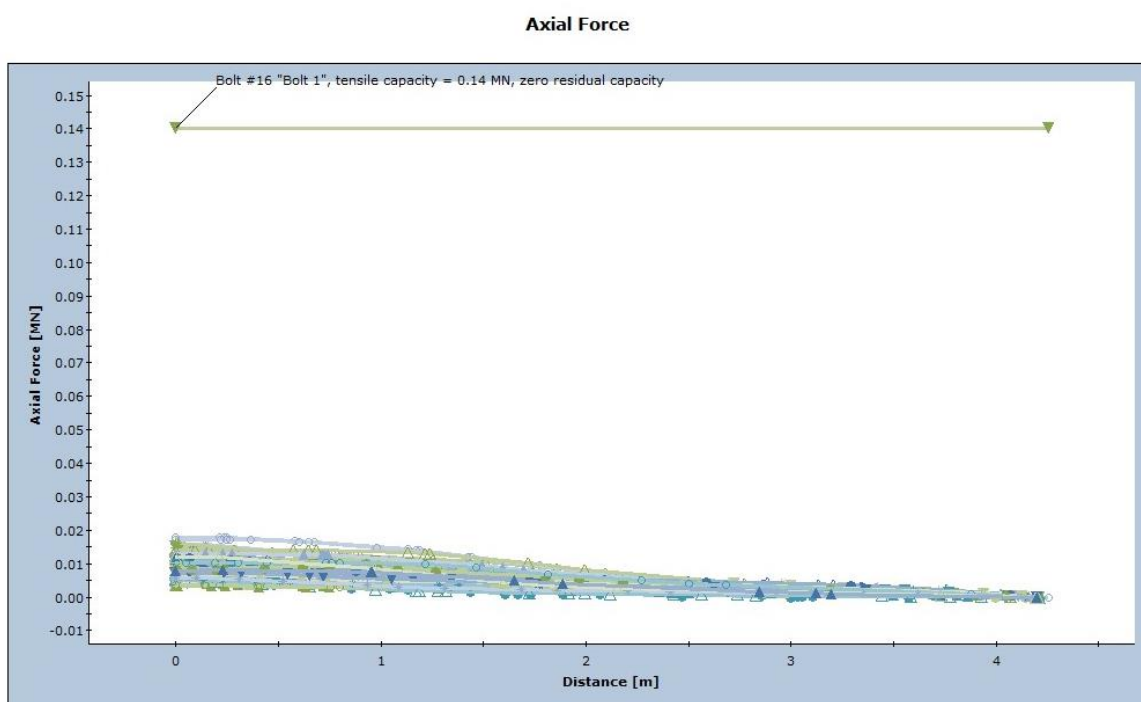
*Εικόνα 30: Καθίζηση επιφάνειας*

Η καμπύλη καθίζησης της επιφάνειας πρέπει να δημιουργηθεί για να ελεγχθεί αν η κατασκευή θα προκαλέσει μεγάλη ή μικρή καθίζηση. Για το σκοπό αυτό, με την επιλογή εμφάνισης των κατακόρυφων μετακινήσεων (vertical displacement) και την μετέπειτα επιλογή όλων των σημείων της επιφάνειας, προκύπτει το διάγραμμα κατακόρυφης μετακίνησης συναρτήσει της απόστασης. Για μεγαλύτερη ευκρίνεια του διαγράμματος, επιλέχτηκε η απεικόνιση μόνο των σταδίων που πραγματοποιείται η αποτόνωση της βραχόμαζας στην τρίτη φάση εκσκαφής κάθε θαλάμου. Έτσι, παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 1, μόνο τα στάδια 6, 12, 18 και 25. Η μέγιστη καθίζηση που δημιουργείται στο τελευταίο στάδιο είναι περίπου 2.4mm, δηλαδή πάρα πολύ μικρή.



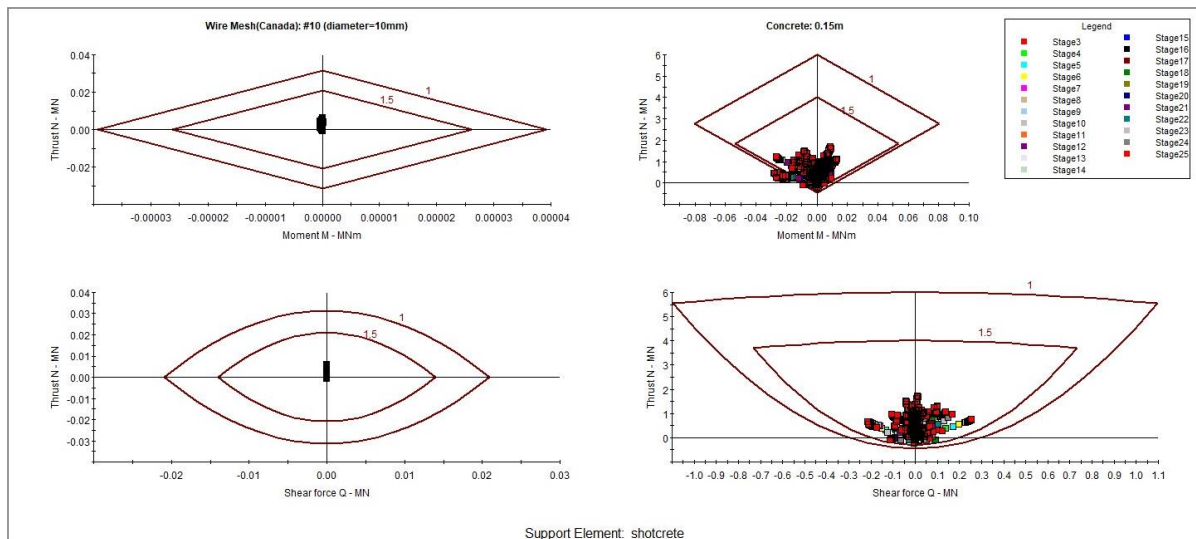
Διάγραμμα 1: Διάγραμμα κατακόρυφης μετακίνησης συναρτήσει της απόστασης (Καμπύλη καθίζησης) για τα στάδια 6, 12, 18 και 25

Βασικό βήμα της προσομοίωσης ήταν να γίνει ο έλεγχος των μέτρων υποστήριξης. Πρώτα, ελέγχθηκε η επάρκεια των αγκυρίων. Με την επιλογή όλων των αγκυρίων στο τελευταίο στάδιο (25) προκύπτει το διάγραμμα αξονικής δύναμης (Διάγραμμα 2) και όπως φαίνεται, για όλα τα αγκύρια, η αξονική δύναμη δεν ξεπερνά την τιμή της φέρουσας ικανότητας (0,14 MN).



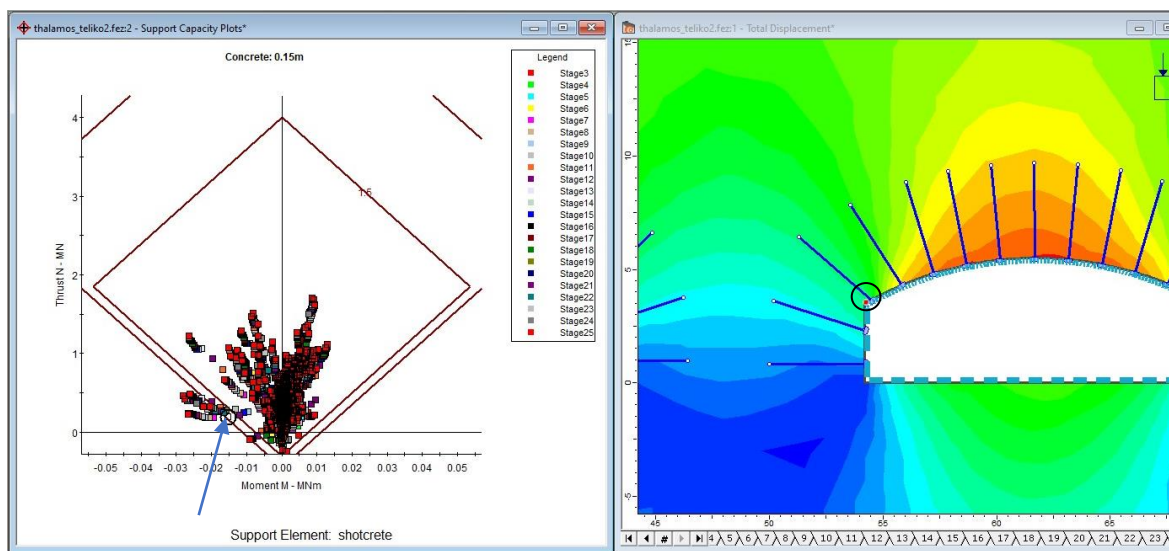
Διάγραμμα 2: Διάγραμμα Αξονικής Δύναμης για τον έλεγχο των αγκυρίων

Ο έλεγχος του σκυροδέματος, εφόσον αυτό είναι ελαστικό, γίνεται με τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης (support capacity plots). Στο Διάγραμμα 3, τα πάνω διαγράμματα είναι αυτά των αξονικών δυνάμεων με ροπές, ενώ τα κάτω είναι τα διαγράμματα των αξονικών δυνάμεων με διατμητικές. Εφόσον στην αντοχή του σκυροδέματος (40 MPa) δεν λήφθηκε υπόψη ο συντελεστής ασφαλείας, για να προκύψουν τα ορθά διαγράμματα θεωρήθηκε συντελεστής ασφαλείας σκυροδέματος ίσος με 1,5.



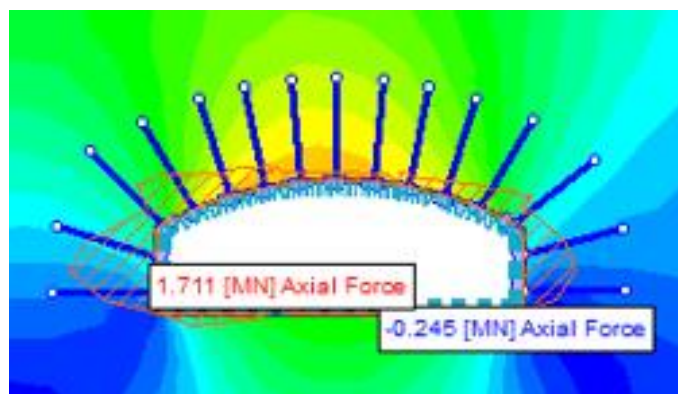
Διάγραμμα 3: Διαγράμματα Αλληλεπίδρασης για τον έλεγχο του σκυροδέματος

Στα τρία εκ των τεσσάρων διαγραμμάτων, είναι αντιληπτό ότι όλα τα σημεία βρίσκονται εντός των γραμμών, ενώ στο τέταρτο (πάνω δεξιά) ορισμένα σημεία είναι εκτός, οπότε γι' αυτά θα πρέπει να γίνει περαιτέρω έλεγχος. Με την επιλογή κάθε ενός από τα συγκεκριμένα σημεία, προέκυψε ότι όλα βρίσκονται στις γωνίες των θαλάμων, καθώς εκεί υπάρχει συσσώρευση τάσεων. Στην Εικόνα 31 για παράδειγμα, το σημείο εκτός του διαγράμματος, το οποίο επιδεικνύεται από το βέλος, βρίσκεται στην αριστερή γωνία του τρίτου θαλάμου. Έτσι, για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος, θα πρέπει είτε να στρογγυλευτούν ελαφρώς οι γωνίες των θαλάμων και να τοποθετηθεί σε αυτές περισσότερο σκυρόδεμα, είτε να αυξηθεί το πάχος του σκυροδέματος σε όλη την περίμετρο της εκσκαφής



Εικόνα 31: Διάγραμμα με σημείο του σκυροδέματος που αστοχεί και η θέση του στην εκσκαφή

Ακόμα, υπολογίστηκαν σε κάθε στάδιο, οι μέγιστες τιμές των αξονικών και διατμητικών δυνάμεων καθώς και των ροπών για το σκυρόδεμα. Όπως φαίνεται από την Εικόνα 32, η μέγιστη τιμή της αξονικής για το σκυρόδεμα, στο στάδιο 25 είναι 1,711 MN. Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθήθηκε σε όλα τα στάδια και για τα τρία μεγέθη, και οι τιμές τους παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 8.

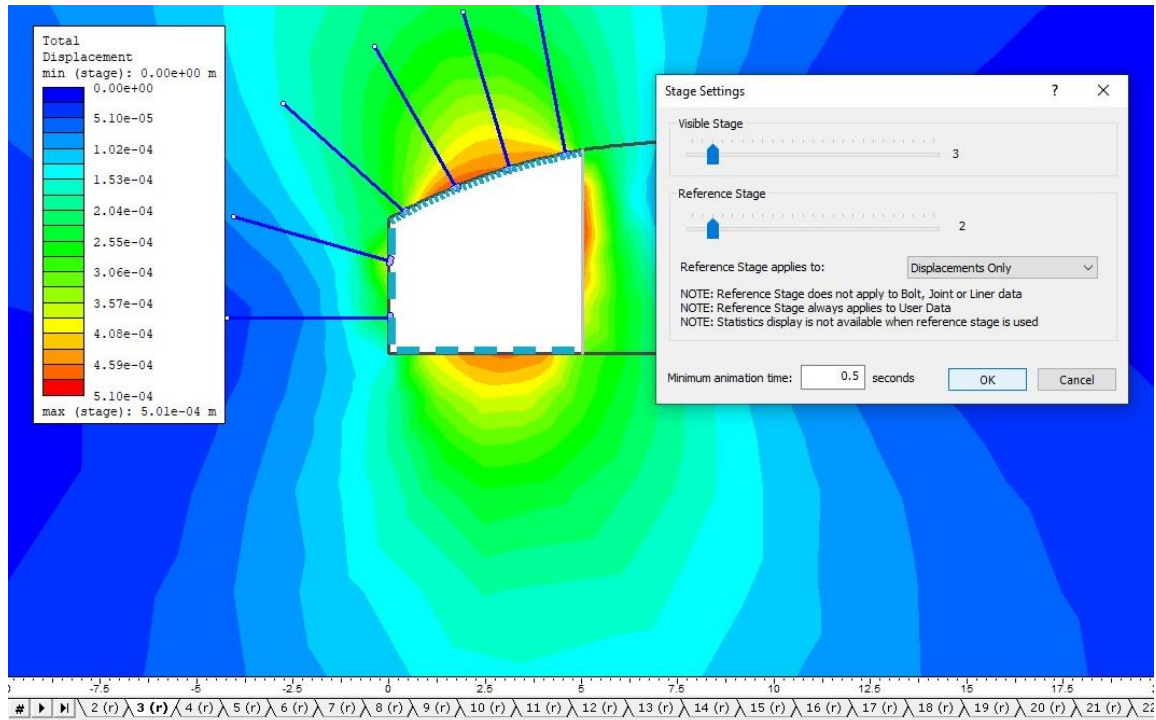


Εικόνα 32: Παράδειγμα υπολογισμού της μέγιστης (1.711MN) και ελάχιστης (-0.245MN) τιμής της αξονικής δύναμης για το σκυρόδεμα, στο τελευταίο στάδιο (25)

Η ολοκλήρωση της προσομοίωσης στο RS2 επιτεύχθηκε με τον υπολογισμό των μετακινήσεων που εκδηλώθηκαν σε κάθε στάδιο. Πρώτα, υπολογίστηκαν οι μέγιστες μετακινήσεις ανά στάδιο (incremental) και στη συνέχεια οι μέγιστες αθροιστικές.

Για τις μετακινήσεις σε κάθε στάδιο, εφαρμόστηκε το reference stage, ώστε να μη ληφθούν υπόψη στους υπολογισμούς, όσες μετακινήσεις υπήρχαν πριν την έναρξη της εκσκαφής. Ως reference stage θεωρήθηκε το προηγούμενο στάδιο από εκείνο στο οποίο

υπολογίστηκαν οι μετακινήσεις. Δηλαδή, για την τιμή της μέγιστης μετακίνησης στο στάδιο 3 θα χρησιμοποιηθεί reference stage το στάδιο 2 και όπως φαίνεται από την Εικόνα 33, αυτή είναι  $5,01 \cdot 10^{-4} \text{m}$ . Η ίδια διαδικασία εφαρμόστηκε για όλα τα στάδια και έτσι προέκυψαν οι τιμές στον Πίνακα 8.



Εικόνα 33: Εφαρμογή reference stage για τον υπολογισμό των μέγιστων μετακινήσεων (incremental) ανά στάδιο, συγκεκριμένα για το στάδιο 3

Για τις μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις κάθε σταδίου, αφαιρέθηκαν οι μετακινήσεις που δεν δημιουργήθηκαν λόγω της διάνοιξης, θέτοντας reference stage 1 στο stage 25. Έτσι, στο πρώτο στάδιο δεν υπάρχουν μετακινήσεις εφόσον δεν έχει ξεκινήσει η εκσκαφή ενώ στο δεύτερο, οι μετακινήσεις είναι  $4,34 \cdot 10^{-4} \text{m}$ .

Οι τελικές αθροιστικές μετακινήσεις στο τελευταίο στάδιο, που θα προκληθούν από την εκσκαφή του έργου υπολογίστηκαν ίσες με 3,91mm, δηλαδή αρκετά μικρές. Οι υπολογισμοί αυτοί έγιναν για κάθε στάδιο και οι τιμές τους εμφανίζονται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8: Συγκεντρωτικός πίνακας με τα στάδια, την αποτόνωση και εγκατάσταση της υποστήριξης, καθώς και τις τιμές των μέγιστων μετακινήσεων (incremental και αθροιστικές), και των μέγιστων φορτίσεων (αξονικές, διατμητικές, ροπές)

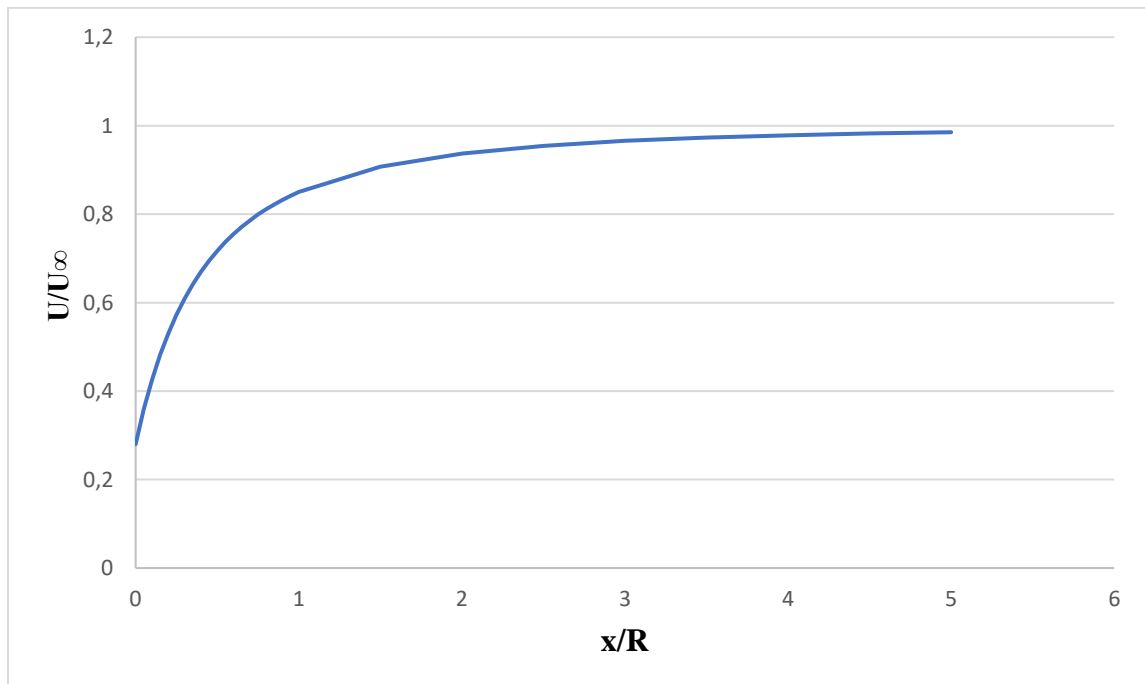
ΣΤΑΔΙΑ	ΑΠΟΤΟΝΩΣΗ	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (m)		ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ		
			ΑΝΑ ΣΤΑΔΙΟ (INCREMENTAL)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΕΣ	ΑΞΟΝΙΚΕΣ (MN)	ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ (MN)	ΡΟΠΕΣ (MNm)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	Θ1Σ1	-	4.34*10 <sup>-4</sup>	4.34*10 <sup>-4</sup>	-	-	-
3	-	Θ1Σ1	5.01*10 <sup>-4</sup>	9.07*10 <sup>-4</sup>	0,551	0,102	0,007
4	Θ1Σ2	-	6.80*10 <sup>-4</sup>	1.23*10 <sup>-3</sup>	0,8	0,138	0,005
5	-	Θ1Σ2	1.02*10 <sup>-3</sup>	1.89*10 <sup>-3</sup>	1,108	0,173	0,006
6	Θ1Σ3	-	7.93*10 <sup>-4</sup>	2.17*10 <sup>-3</sup>	1,265	0,199	0,007
7	-	Θ1Σ3	1.1*10 <sup>-3</sup>	2.53*10 <sup>-3</sup>	1,426	0,224	0,008
8	Θ2Σ1	-	4.82*10 <sup>-4</sup>	2.59*10 <sup>-3</sup>	1,441	0,226	0,008
9	-	Θ2Σ1	7.38*10 <sup>-4</sup>	2.66*10 <sup>-3</sup>	1,461	0,228	0,008
10	Θ2Σ2	-	6.93*10 <sup>-4</sup>	2.73*10 <sup>-3</sup>	1,482	0,231	0,008
11	-	Θ2Σ2	1.02*10 <sup>-3</sup>	2.84*10 <sup>-3</sup>	1,514	0,236	0,01
12	Θ2Σ3	-	8.63*10 <sup>-4</sup>	2.92*10 <sup>-3</sup>	1,537	0,24	0,011
13	-	Θ2Σ3	1.13*10 <sup>-3</sup>	3.02*10 <sup>-3</sup>	1,564	0,245	0,012
14	Θ3Σ1	-	4.92*10 <sup>-4</sup>	3.06*10 <sup>-3</sup>	1,571	0,245	0,012
15	-	Θ3Σ1	6.98*10 <sup>-4</sup>	3.14*10 <sup>-3</sup>	1,578	0,246	0,012
16	Θ3Σ2	-	8.28*10 <sup>-4</sup>	3.24*10 <sup>-3</sup>	1,588	0,248	0,012
17	-	Θ3Σ2	1.08*10 <sup>-3</sup>	3.34*10 <sup>-3</sup>	1,595	0,25	0,013
18	Θ3Σ3	-	8.61*10 <sup>-4</sup>	3.43*10 <sup>-3</sup>	1,602	0,251	0,013
19	-	Θ3Σ3	1.15*10 <sup>-3</sup>	3.53*10 <sup>-3</sup>	1,611	0,253	0,013
20	Θ4Σ1	-	4.95*10 <sup>-4</sup>	3.56*10 <sup>-3</sup>	1,614	0,254	0,013
21	-	Θ4Σ1	6.05*10 <sup>-4</sup>	3.6*10 <sup>-3</sup>	1,617	0,254	0,013
22	Θ4Σ2	-	8.81*10 <sup>-4</sup>	3.66*10 <sup>-3</sup>	1,622	0,255	0,013
23	-	Θ4Σ2	9.23*10 <sup>-4</sup>	3.73*10 <sup>-3</sup>	1,628	0,255	0,013
24	Θ4Σ3	-	9.35*10 <sup>-4</sup>	3.81*10 <sup>-3</sup>	1,657	0,256	0,013
25	-	Θ4Σ3	1.24*10 <sup>-3</sup>	3.91*10 <sup>-3</sup>	1,711	0,257	0,013



Μετά την προσομοίωση στο RS2, υπολογίστηκε η απόσταση από το μέτωπο που πρέπει να τοποθετηθεί η υποστήριξη με βάση την εξίσωση του Panet and Guenet:

$$\frac{U}{U_{\infty}} = 0.28 + 0.72 \left[ 1 - \left( \frac{0.84}{0.84 + x/R} \right)^2 \right] \quad (5.8) \quad (\text{Yiouta – Mitra P. et al., 2010})$$

Στην παραπάνω εξίσωση, το ζητούμενο είναι η απόσταση από το μέτωπο στην οποία ξεκινάει η πλαστικοποίηση, δηλαδή το  $x/R$ . Ο λόγος  $U/U_{\infty}$ , είναι οι κανονικοποιημένες ακτινικές μετακινήσεις (normalized radial displacements) και κυμαίνεται μεταξύ των τιμών μηδέν και ένα. Η  $U$  αναφέρεται στη σύγκλιση που δημιουργείται στο στάδιο τοποθέτησης της υποστήριξης, ενώ η  $U_{\infty}$  είναι η μέγιστη σύγκλιση που εμφανίζεται για εσωτερική πίεση ίση με μηδέν. Από την καμπύλη σύγκλισης – αποτόνωσης (Εικόνα 23) υπολογίστηκαν οι τιμές  $U$  και  $U_{\infty}$  και ο λόγος  $U/U_{\infty}$  ισούται με 0,27854. Για τιμές  $x/R$ , από μηδέν έως ένα με βήμα 0,05 και από ένα έως πέντε με βήμα 0,5, υπολογίστηκαν με βάση την εξίσωση 5.8 οι τιμές του λόγου  $U/U_{\infty}$ . Βρέθηκε ότι για  $x/R$  ίσο με μηδέν, ο λόγος  $U/U_{\infty} = 0,28$ . Άρα, η υποστήριξη θα πρέπει να τοποθετηθεί πάνω στο μέτωπο. Τα συμπεράσματα αυτά φαίνονται καλύτερα στο Διάγραμμα 4.



Διάγραμμα 4: Καμπύλη συγκλίσεων ( $U/U_{\infty}$ ) σε σχέση με την απόσταση από το μέτωπο ( $x/R$ )

## 6. Μέθοδος, Χρόνος, Κόστος Κατασκευής

### 6.1 Επιλογή Μεθόδου – Μηχανικά Μέσα Διάνοιξης

Η επιλογή της μεθόδου κατασκευής ενός υπόγειου έργου, εξαρτάται από δύο βασικούς παράγοντες, τη γεωλογία της περιοχής και το αν αυτό κατασκευάζεται ή όχι εντός κατοικημένης περιοχής. (Σουλαδάκη Μ. και Ταμπακοπούλου Σ., 2006)

Η εκσκαφή του παρόντος έργου, επιλέχτηκε να γίνει με τη μέθοδο κλειστής διάνοιξης και όχι ανοικτής εκσκαφής (cut & cover) καθώς πρόκειται για υπόγειο έργο που διανοίγεται κάτω από ένα λόφο βραχώδους σχηματισμού, κάτι που καθιστά αντικοινομική έως αδύνατη την πρόσβαση από την επιφάνεια. Ειδικότερα, επιλέχτηκε η διάνοιξη με συμβατικά μέσα εκσκαφής, και όχι με μηχανές ολομέτωπης κοπής (TBM) καθώς δεν πρόκειται για γραμμικό έργο, οι διατομές των θαλάμων και των στοών – διαδρόμων του υπόγειου χώρου δεν είναι κυκλικές και το μήκος τους δεν είναι πολύ μεγάλο.

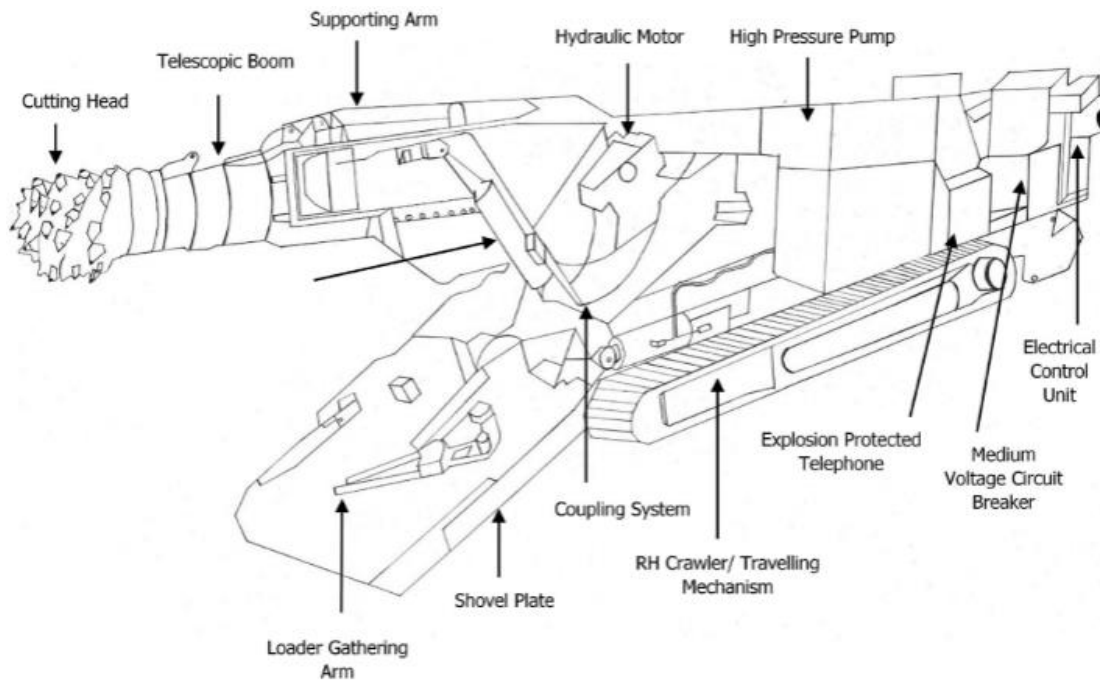
Πιο συγκεκριμένα η διάνοιξη θα γίνει με μηχανήμα σημειακής κοπής καθώς πρώτον από τα γεωλογικά στοιχεία προκύπτει ότι η βραχώμαζα είναι χαμηλής ποιότητας αλλά και δεύτερον η χρήση εκρηκτικών είναι απαγορευτική για έργα εντός του αστικού ιστού εξαιτίας των δονήσεων και του θορύβου που θα προκαλέσουν.

Ένα από τα μηχανικά μέσα, κατάλληλο για την κατασκευή του υπόγειου έργου που μελετάται στην παρούσα εργασία, είναι οι φρέζες (Roadheaders). Τα πρώτα roadheaders, χρησιμοποιήθηκαν για τη μηχανική εξόρυξη άνθρακα τη δεκαετία του '50, ενώ μέχρι τη δεκαετία του '70 η χρήση τους επεκτάθηκε και σε υπόγεια έργα πολιτικού μηχανικού. (Deshmukh S. et al., 2020)

### 6.2 Roadheaders

#### 6.2.1 Χαρακτηριστικά

Το roadheader είναι ένας υβριδικός μηχανικός εκσκαφέας που αποτελείται από το φορείο που κινείται πάνω σε ερπύστριες, μια περιστρεφόμενη κοπτική κεφαλή και τον βραχίονα πάνω στον οποίο βρίσκεται αυτή (Σχήμα 9). Η κοπή γίνεται από δόντια καρβιδίου βολφραμίου που βρίσκονται στην κοπτική κεφαλή σπειροειδώς διατεταγμένα. Η συλλογή των μπαζών γίνεται σε ποδιά και η απομάκρυνση τους με μεταφορικό ιμάντα. (Σοφιανός Α.Ι., 2018; Deshmukh S. et al., 2020)



Σχήμα 9: Μέρη ενός roadheader (Deshmukh S. et al., 2020)

### 6.2.2 Κατηγορίες

Οι φρέζες χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο της κοπτικής κεφαλής: (Σοφιανός Α.Ι., 2018)

- Μηχανές με κεφαλή διαμήκουσ κοπής (σπειροειδής κεφαλή): Η περιστρεφόμενη κοπτική κεφαλή κόβει το πέτρωμα παράλληλα προς τον άξονα της σήραγγας
- Μηχανές με κεφαλή εγκάρσιας κοπής (κεφαλή διπλού τυμπάνου): Οι δύο κοπτικοί κύλινδροι της κοπτικής κεφαλής, περιστρέφονται γύρω από άξονα κάθετο στο βραχίονα
- Μηχανές με έναν ή περισσότερους βραχίονες, με κοπτικές κεφαλές, στερεωμένους σε ασπίδα: Είναι κατάλληλες για μεγάλης διαμέτρου σήραγγες σε σαθρό πετρώμα
- Μηχανές με μεγάλη κεφαλή (τροχός) εγκάρσιας κοπής (Mobile Miner): Ο κατακόρυφα τοποθετημένος πάνω σε ένα κοντό βραχίονα τροχός φέρει κοπτικούς δίσκους στην περιφέρεια του, οι άξονες των οποίων είναι παράλληλοι σε αυτόν του τροχού της κοπτικής κεφαλής. Μπορεί να εκσκάψει ποικιλία διατομών σηράγγων ή θαλάμων σε σκληρότερα πετρώματα από τις κοινές φρέζες

Μία άλλη κατηγοριοποίηση των roadheaders, γίνεται με βάση το βάρος του μηχανήματος και την ισχύ του, όπως φαίνεται στον Πίνακα 9. (Σουλαδάκη Μ. και Ταμπακοπούλου Σ., 2006).

Πίνακας 9: Κατηγοριοποίηση των Roadheaders με βάση το βάρος και την ισχύ του μηχανήματος  
(Σουλαδάκη Μ. και Ταμπακοπούλου Σ., 2006)

Roadheader class	Range of weight (to)	Range of cutter head power (kW)	Range of operation			
			Roadheaders with standard cutting range		Roadheaders with extended cutting range	
			max. section (m <sup>2</sup> )	max. u.c.s. (MPa)	max. section (m <sup>2</sup> )	max. u.c.s. (MPa)
Light	8 - 40	50 - 170	~ 25	60 - 80	~ 40	20 - 40
Medium	40 - 70	160 - 230	~ 30	80 - 100	~ 60	40 - 60
Heavy	70 - 110	250 - 300	~ 40	100- 120	~ 70	50 - 70
Extra heavy	> 100	350 - 400	~ 45	120 - 140	~ 80	80 - 110

### 6.2.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Τα roadheaders πλεονεκτούν γιατί σε αντίθεση με τα TBM που μπορούν να εκσκάψουν μόνο κυκλική διατομή, αυτά μπορούν να δημιουργήσουν διατομή οποιασδήποτε μορφής και διάστασης, για παράδειγμα πεταλοειδή, χωρίς να αλλάζουν τα λειτουργικά τους στοιχεία. (TBM News, 2016) Έχουν ακόμα τη δυνατότητα να λειτουργούν πάνω σε κλειστές καμπύλες και να διανοίγουν ακόμα και εγκάρσιες στοές 90 μοιρών καθώς είναι πιο ευέλικτα από τα TBM. (Ibid.)

Σε σχέση με τη μέθοδο διάτρησης – ανατίναξης, η διάνοιξη με roadheader παρέχει περισσότερη ασφάλεια καθώς δεν χαλαρώνει το περιβάλλον πέτρωμα, κάτι που μπορεί πιο συχνά να συμβεί στην περίπτωση της ανατίναξης. (TBM News, 2016) Ακόμα, με το roadheader επιτυγχάνεται ένα πιο ακριβές προφίλ σήραγγας σε σχέση με το drill and blast, κάτι πολύ σημαντικό για τη μετέπειτα εξοικονόμηση ποσότητας σκυροδέματος για κάλυψη των κενών. Τέλος, η διάνοιξη με roadheader πλεονεκτεί και από άποψη χρόνου, καθώς είναι συνεχής λειτουργία εξόρυξης σε αντίθεση με το drill and blast που είναι ασυνεχούς λειτουργίας, λόγω της αναμονής για τον αερισμό του μετώπου από την χρήση των εκρηκτικών. (Ibid.)

Σε σχέση με τους άλλους μηχανικούς εκσκαφείς, το κύριο πλεονέκτημα των roadheaders, είναι η υψηλή πυκνότητα ισχύος κοπής που παρέχεται από τη μικρή διάμετρο του τυμπάνου κοπής. (Deshmukh S. et al., 2020)

Οι περιορισμοί στη χρήση των roadheaders προκύπτουν από τις ιδιότητες των πετρωμάτων που κόβουν. Πλέον υπάρχουν roadheaders κατάλληλα για όλους τους τύπους πετρωμάτων με θλιπτική αντοχή έως 130 - 140 MPa. Πάνω από αυτό το όριο είναι ακόμα δυνατόν να

χρησιμοποιηθούν, απλώς λόγω του υψηλού ρυθμού κατανάλωσης στα πολύ λειαντικά πετρώματα, η φθορά των κοπτικών και το κόστος συντήρησης του μηχανήματος, καθιστούν την εκσκαφή αντιοικονομική. (TBM News, 2016; Deshmukh S. et al., 2020) Επιπλέον, για να χρησιμοποιηθούν σε πιο σκληρά πετρώματα θα πρέπει να αυξηθεί το βάρος τους, καθώς η θλιπτική αντοχή του πετρώματος σχετίζεται με το βάρος του μηχανήματος. Το βασικό μειονέκτημα όμως, είναι ότι με την αύξηση του βάρους του μηχανήματος, είναι πιο δύσκολος ο χειρισμός του. (Deshmukh S. et al., 2020)

Όσον αφορά το μέγεθος της σήραγγας, δεν υπάρχει περιορισμός στο πόσο μεγάλη θα είναι αλλά στο πόσο μικρή. Θα πρέπει να υπάρχει ο απαραίτητος χώρος αριστερά, δεξιά και πάνω από το μηχάνημα για να μπορέσει να λειτουργήσει. Πιο συγκεκριμένα θα πρέπει να υπάρχουν 45cm δεξιά και άλλα τόσα αριστερά καθώς και 30cm από το υψηλότερο σημείο του μηχανήματος. Για τη διάνοιξη μεγάλης διαμέτρου σήραγγας με roadheader, είναι απαραίτητη η σταδιακή διάνοιξη 6 ανοιγμάτων, τριών στο top heading και τριών στη βαθμίδα. (TBM News, 2016)

## 6.3 Εκτίμηση Χρόνου και Κόστους Κατασκευής

### 6.3.1 Υπολογισμός Εξορυσσόμενου Όγκου Πετρώματος

Η εκτίμηση του χρόνου και του κόστους κατασκευής, έγινε υπολογίζοντας τον όγκο του πετρώματος που εξορύσσεται για την κατασκευή του έργου. Στον υπολογισμό του συνολικού εξορυσσόμενου όγκου, για λόγους ευκολίας, δεν λήφθηκε υπόψη ο όγκος του πετρώματος που προκύπτει από την εκσκαφή των υπόλοιπων χώρων. Δηλαδή του φρέατος, της αποθήκης και των στομίων εισόδου και εξόδου του σταθμού. Έτσι, έγινε η παραδοχή ότι ο συνολικός όγκος προκύπτει μόνο από την εξόρυξη των θαλάμων και των στοών – διαδρόμων.

Για να γίνουν οι υπολογισμοί, υιοθετήθηκαν κάποιες παραδοχές. Πρώτον, το βήμα προχώρησης, που θεωρήθηκε ίσο με 2m και δεύτερον ότι αυτό το βήμα προχώρησης, αναφέρεται στην ημερήσια προχώρηση του έργου και για τις δύο βάρδιες.

Όσον αφορά τη διάνοιξη του κάθε θαλάμου, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 5, αυτή θα γίνει σε τρεις φάσεις, πλάτους 5,2m και ύψους 6m η καθεμία. Οπότε ο όγκος του πετρώματος (in situ), εφόσον το βήμα προχώρησης είναι 2m, είναι 62,4m<sup>3</sup>. Όμως, ο in situ όγκος δεν ταυτίζεται με τον όγκο του πετρώματος που εξορύσσεται λόγω του επιπλήσματος. Έτσι, για τον υπολογισμό του συνολικού εξορυσσόμενου όγκου,

θεωρήθηκε συντελεστής επιπλήσματος 1,3. Άρα, για τον κάθε θάλαμο ο όγκος πετρώματος που εξορύσσεται ημερησίως είναι 81 m<sup>3</sup>/ ημέρα.

Αντίστοιχα, υπολογίστηκε και ο ημερήσιος όγκος πετρώματος που εξορύσσεται κατά την εκσκαφή των στοών – διαδρόμων. Οι διαστάσεις τους είναι 5,5m πλάτος και 6m ύψος και με βήμα προχώρησης 2m, ο in situ όγκος πετρώματος για τις στοές προκύπτει 66m<sup>3</sup>. Πολλαπλασιάζοντας με τον συντελεστή επιπλήσματος προκύπτουν 86 m<sup>3</sup>/ημέρα.

Στην συνέχεια, υπολογίστηκε ο συνολικός εξορυσσόμενος όγκος και από την εκσκαφή των τεσσάρων θαλάμων και από την εκσκαφή των δύο στοών - διαδρόμων.

Πρώτα υπολογίστηκε ο in situ όγκος για τον κάθε θάλαμο μήκους 125,7m και με βάση το επίπλησμα προέκυψε ο τελικός όγκος για τον πρώτο και μετά για όλους τους θαλάμους. Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθήθηκε για την κάθε στοά μήκους 98,4m. Ο συνολικός όγκος υπολογίστηκε και για το in situ πέτρωμα αλλά και λαμβάνοντας υπόψη το επίπλησμα. Οι τιμές όλων των παραπάνω μεγεθών φαίνονται στον Πίνακα 10.

*Πίνακας 10: Υπολογισμοί του εξορυσσόμενου όγκου πετρώματος (m<sup>3</sup>) για τον κάθε θάλαμο και την κάθε στοά χωριστά καθώς και του συνολικού όγκου (in situ και λαμβάνοντας υπόψη το επίπλησμα)*

	<b>Συνολικός Εξορυσσόμενος Όγκος (m<sup>3</sup>)</b>			
	<b>1 Θάλαμος</b>	<b>4 Θάλαμοι</b>	<b>1 Στοά</b>	<b>2 Στοές</b>
<b>in situ</b>	11766	47062	3247	6494
<b>Συντελεστής Επιπλήσματος</b>	1,3	1,3	1,3	1,3
<b>Τελικός όγκος</b>	15295	61181	4221	8443
<b>Σύνολο (4Θ, 2Σ) in situ</b>	53556			
<b>Σύνολο (4Θ, 2Σ) με επίπλησμα</b>	69623			

### 6.3.2 Εκτίμηση Χρόνου Ολοκλήρωσης του Έργου

Η εκτίμηση του χρόνου ολοκλήρωσης του έργου έγινε με βάση τον ημερήσιο εξορυσσόμενο όγκο πετρώματος και για τους θαλάμους και για τις στοές.

Για τον κάθε θάλαμο ο όγκος αυτός είναι 81 m<sup>3</sup>/ημέρα και εφόσον ο συνολικός εξορυσσόμενος όγκος για τους τέσσερις θαλάμους υπολογίστηκε με βάση τον Πίνακα 10, 61.181 m<sup>3</sup>, χρειάζονται περίπου 755 ημέρες για την διάνοιξη όλων των θαλάμων.

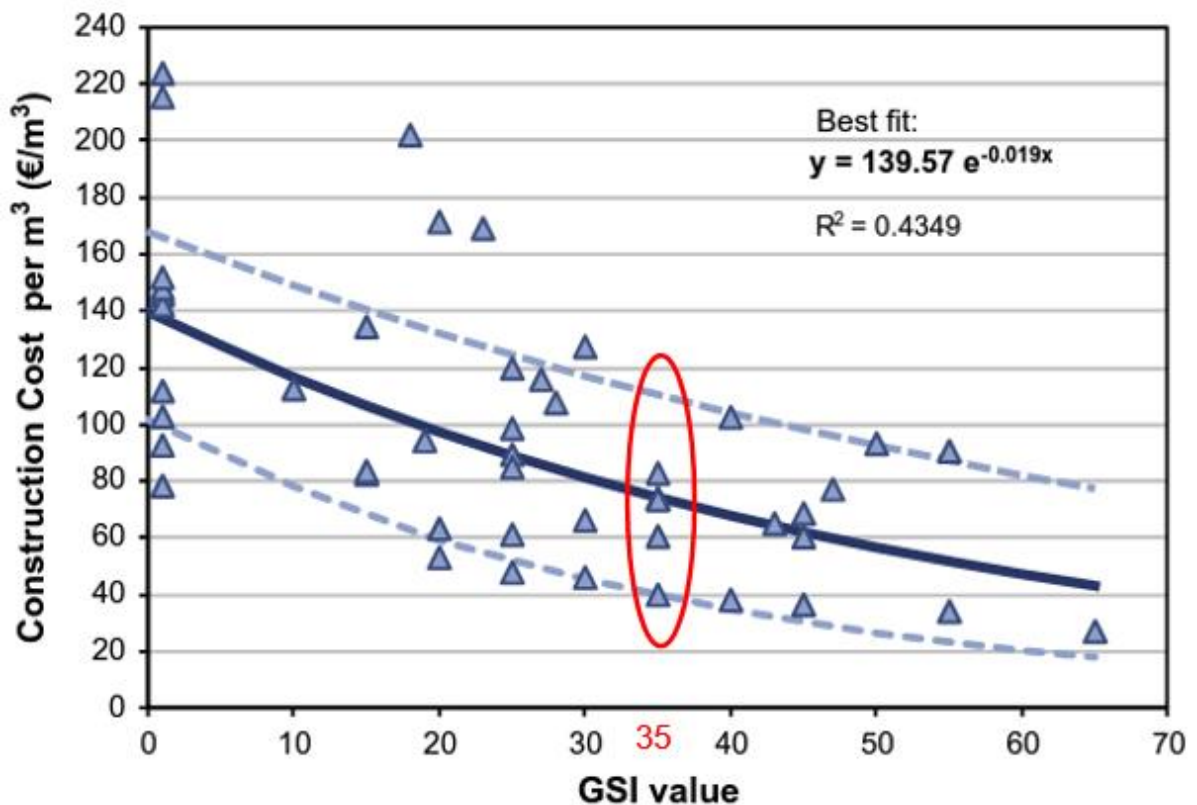
Για τις στοές, εξορύσσονται 86 m<sup>3</sup>/ημέρα και ο συνολικός εξορυσσόμενος όγκος και για τις δύο, σύμφωνα με τον Πίνακα 10, είναι 8.443 m<sup>3</sup>. Άρα χρειάζονται συνολικά 98 ημέρες για την διάνοιξη και των δύο στοών.

Δηλαδή συνολικά, απαιτούνται 853 ημέρες ή 2 χρόνια και 3 μήνες περίπου για την διάνοιξη όλων των θαλάμων και των στοών. Φυσικά, σε αυτόν τον χρόνο θα πρέπει να προστεθεί ο χρόνος διάνοιξης και των υπόλοιπων χώρων, ο χρόνος εγκατάστασης των συστημάτων αερισμού και φωτισμού καθώς και ο χρόνος που απαιτείται για την διαμόρφωση των χώρων του καταφυγίου και την τελική διαμόρφωση του χώρου στάθμευσης.

### 6.3.3 Εκτίμηση Κόστους Κατασκευής του Έργου

Η προμελέτη για την κατασκευή του εξεταζόμενου έργου, ολοκληρώθηκε με την εκτίμηση του συνολικού κόστους. Με βάση το άρθρο εκτίμησης κόστους για την κατασκευή Ελληνικών σηράγγων, (Paraskevoudoulou C. and Benardos A., 2013) το 60 – 70% του συνολικού κόστους για την κατασκευή τους αναφέρεται στο κόστος εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης. Παρόλο που το παρόν έργο δεν είναι σήραγγα, για την εκτίμηση του συνολικού κόστους κατασκευής του υιοθετήθηκε αυτή η παραδοχή.

Η εκτίμηση του κόστους εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης έγινε με βάση το GSI του πετρώματος και υπολογίστηκε, όπως συνηθίζεται για παρόμοια έργα, σε €/m<sup>3</sup> και όχι σε €/m. Για το συγκεκριμένο σκοπό χρησιμοποιήθηκε το Διάγραμμα 5 (Paraskevoudoulou C. and Benardos A., 2013). Ο όγκος (m<sup>3</sup>) στο διάγραμμα αναφέρεται στον in situ όγκο πετρώματος και όχι στον εξορυσσόμενο, δηλαδή λαμβάνοντας υπόψη και το επίπλησμα. Φαίνεται ότι το GSI του πετρώματος έχει ισχυρή επίδραση στο κόστος, καθώς όσο πιο φτωχή είναι η ποιότητα της βραχομάζας (μικρότερο GSI) τόσο πιο υψηλό είναι το κόστος. (Ibid.)



Διάγραμμα 5: Συσχέτιση κόστους κατασκευής (€/m<sup>3</sup>) με το GSI του πετρώματος  
 (Paraskevopoulou C. and Benardos A., 2013)

Στο Διάγραμμα 5, φαίνονται τρεις καμπύλες. Οι διακεκομμένες αφορούν την κατώτερη και ανώτερη τιμή του κόστους ενώ η συνεχόμενη αναφέρεται στην μέση τιμή κόστους. Για GSI = 35, που έχει η βραχόμαζα γύρω από το εξεταζόμενο έργο, οι τιμές του κόστους εμπεριέχονται εντός του εικονιζόμενου κύκλου. Ως κατώτερη τιμή λαμβάνεται αυτή των 40 €/m<sup>3</sup>, ενώ ως ανώτερη αυτή των 110 €/m<sup>3</sup>. Η μέση τιμή κόστους (C) μπορεί να υπολογιστεί με βάση την εξίσωση που προκύπτει μετά από περαιτέρω ανάλυση:

$$C = 139.57 * e^{-0.019GSI} \quad (6.1) \quad (\text{Paraskevopoulou C. and Benardos A., 2013})$$

Για GSI = 35 στην εξίσωση (6.1), το κόστος (C) είναι 71,74 €/m<sup>3</sup>.

Με βάση το Διάγραμμα 5 λοιπόν, θα υπολογιστεί μια μέση τιμή του κόστους εξόρυξης και υποστήριξης. Ο συνολικός όγκος του in situ πετρώματος είναι 53.556 m<sup>3</sup>. (Πίνακας 10) Η μέση τιμή με βάση την εξίσωση 6.1, θα είναι της τάξης των 3,8 εκατομμυρίων ευρώ.

Όμως, αυτό είναι το κόστος εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης και με την παραδοχή ότι αποτελεί το 65% του συνολικού κόστους μπορεί να υπολογιστεί αντίστοιχα, η μέση τιμή αυτού. Έτσι, η μέση τιμή του συνολικού κόστους θα είναι της τάξης των 5,9



εκατομμυρίων ευρώ. Στην παραπάνω τιμή θα πρέπει να προστεθεί ένα 10% του συνολικού κόστους για απρόβλεπτα και ένα 20% που αφορά το εργολαβικό κόστος. Με βάση αυτά τα στοιχεία μια μέση τιμή του τελικού κόστους κατασκευής είναι της τάξης των 7,7 εκατομμυρίων ευρώ. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 11.

Δεδομένης της παραδοχής που έγινε για τον υπολογισμό του συνολικού όγκου πετρώματος, οι παραπάνω εκτιμώμενες τιμές κόστους, θα είναι λίγο υψηλότερες στην πραγματικότητα. Σε αυτές θα πρέπει να προστεθεί το κόστος από την διάνοιξη των υπόλοιπων χώρων, το κόστος από την εγκατάσταση των συστημάτων φωτισμού και αερισμού καθώς και το κόστος από την διαμόρφωση του χώρου του καταφυγίου αλλά και όλου του σταθμού.

*Πίνακας 11: Εκτίμηση των μέσων τιμών του τελικού και των επιμέρους κοστών κατασκευής*

	<b>Κόστος Κατασκευής (εκατ. €)</b>
<b>Διάνοιξη - Υποστηρίξη</b>	3,8
<b>Συνολικό</b>	5,9
Εργολαβικό	1,18
Απρόβλεπτα	0,59
<b>Τελικό</b>	<b>7,7</b>

## 7. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία, πραγματοποιήθηκε μια προμελέτη για την κατασκευή ενός υπόγειου χώρου στάθμευσης - καταφυγίου στο Λυκαβηττό, η οποία βασίστηκε κυρίως σε βιβλιογραφικά δεδομένα. Φυσικά, για την κατασκευή ενός τέτοιου χώρου στην πραγματικότητα, θα πρέπει να διεξαχθεί περαιτέρω έρευνα λαμβάνοντας υπόψη και δεδομένα πεδίου, όπως για παράδειγμα γεωτρήσεις.

Από την προσομοίωση στο λογισμικό RS2, παρά τις απλοποιήσεις που έγιναν, προέκυψε ότι η κατασκευή είναι ευσταθής με τις ελάχιστες δυνατές μετακινήσεις και αμελητέα σχεδόν καθίζηση της επιφάνειας. Από τα διαγράμματα ελέγχου επάρκειας της υποστήριξης διαπιστώθηκε ότι τα επιλεγμένα αγκύρια είναι ικανά να υποστηρίξουν το άνοιγμα. Όσον αφορά το σκυρόδεμα, τα μόνα σημεία που αυτό αστοχεί είναι στις γωνίες του ανοίγματος. Η αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος επιτυγχάνεται μέσω της αύξησης του πάχους του σκυροδέματος στις γωνίες ή μέσω της αύξησης του σε όλη την περιφέρεια της εκσκαφής.

Με βάση τις γεωλογικές τομές που έγιναν στο κεφάλαιο 4, προέκυψε ότι η κατασκευή τέμνεται από ένα κατακόρυφο ρήγμα. Στην προσομοίωση που έγινε με το λογισμικό RS2, το ρήγμα δεν λήφθηκε υπόψη για λόγους απλοποίησης. Ωστόσο, παρά την περαιτέρω έρευνα που πρέπει να γίνει, με τα υπάρχοντα δεδομένα, θα μπορούσαν να υπάρξουν δύο εναλλακτικές προτάσεις στο σχεδιασμό του χώρου. Η πρώτη θα ήταν, η αρχική θέση του υπόγειου χώρου να μετακινηθεί εκτός της ζώνης του ρήγματος, ώστε αυτό να μην επηρεάσει καθόλου την κατασκευή. Η δεύτερη θα ήταν να παραμείνει ο χώρος στην αρχική του θέση και εφόσον το ρήγμα είναι κατακόρυφο, να τοποθετηθεί ένας αρμός στο σημείο που αυτό τέμνει την κατασκευή, ώστε να μην προκληθούν αστοχίες στο χώρο σε περίπτωση ενεργοποίησης του ρήγματος. Στην παρούσα εργασία, επιλέχτηκε για λόγους διευκόλυνσης η δεύτερη λύση, ωστόσο σε περίπτωση υλοποίησης του έργου θα έπρεπε να πραγματοποιηθεί μια λεπτομερής μελέτη κόστους και να επιλεγεί η πλέον οικονομικά συμφέρουσα λύση.

Η κατασκευή ενός υπόγειου χώρου στάθμευσης – καταφυγίου στο κέντρο της Αθήνας κρίνεται σημαντική και επίκαιρη. Πέραν του ότι θα διευκολύνει τη στάθμευση σε μια πυκνοκατοικημένη περιοχή με έντονη εμπορική δραστηριότητα θα παρέχει ασφάλεια και προστασία σε περιόδους έκτακτης ανάγκης.

Φυσικά, ο εξεταζόμενος χώρος, δεν είναι ικανός να προστατέψει όλο τον πληθυσμό της περιοχής, αλλά ούτε και όλης της Αττικής. Ωστόσο, είναι μια αρχική πρόταση που μπορεί να αποτελέσει εφαλτήριο για τη δημιουργία και άλλων τέτοιων χώρων, πρωτίστως στην Αθήνα, που κατοικεί ένα μεγάλο μέρος του πληθυσμού της χώρας και στην συνέχεια και σε άλλες περιοχές.

## Βιβλιογραφία

- Boronkay, K., Stoumpos, G., Benissi, M., Rovolis, G., Korkaris, K., Papastamatiou, D., Dimitriou, G., Chrysikopoulou, A., Miliotis, I., Giakoumis, A., Novack, M. and Marinos, P. 2021. «Geological Map (1:25.000) of Athens Metropolitan Area, Attica (Greece): A review based on Athens Metro ground investigation data.» *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 57. 68-126.
- Chrysopoulos, Philip. 2022. *Underground Shelters in Athens Survive Since Second World War*. 5 March. Πρόσβαση June 2, 2023.  
<https://greekreporter.com/2022/03/05/athens-underground-shelters/>.
- Cuetara, I. 2022. *Helsinki's 'underground city' reflects tense position as Russia's neighbor*. 12 Μάιος. Πρόσβαση Μάιος 20, 2023.  
<https://abcnews.go.com/International/helsinkis-underground-city-reflects-tense-position-russias-neighbor/story?id=84668764>.
- Deshmukh, S., Raina, A.K., Murthy, V.M.S.R., Trivedi, R., Vajre, R. 2020. «Roadheader - A comprehensive review.» *Tunn. Undergr. Space Technol.* 95, 103148.  
<https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103148>.
- Drinia, H., F. Tripolitsiotou, T. Cheila , και G. Zafeiropoulos. 2022. «The Geosites of the Sacred Rock of Acropolis (UNESCO World Heritage, Athens, Greece): Cultural and Geological Heritage Integrated.» *Geosciences* 12, 330.  
<https://doi.org/10.3390/geosciences12090330>.
- Eurostat. 2022. *One car for every two people living in the EU in 2020*. 22 Ιούλιος. Πρόσβαση Ιούνιος 1, 2023. <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220727-1>.
- Eurostat. 2023. *Number of cars per inhabitant increased in 2021*. 30 Μάιος. Πρόσβαση Ιούνιος 1, 2023. <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-eurostat-news/w/ddn-20230530-1>.
- Eurostat. 2023. «Data Browser.» *Passenger cars per 1 000 inhabitants*. 4 Απρίλιος. Πρόσβαση Μάιος 30, 2023.  
[https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/road\\_eqs\\_carhab/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/road_eqs_carhab/default/table?lang=en).
- Farahat, M.A.Z. 2015. «THE USE OF UNDERGROUND GARAGES AS PROTECTIVE STRUCTURES IN CASE OF NUCLEAR EMERGENCIES.» (*Journal of Nuclear and Radiation Physics*) 10.

- FEMA. 2006. *FEMA 453 Risk Management Series: Design Guidance for Shelters and Safe Rooms*. FEMA.
- Georgiou, A. 2022. *Where Are All the Nuclear Bunkers?* 22 Νοέμβριος. Πρόσβαση Μάιος 20, 2023. <https://www.newsweek.com/where-are-all-nuclear-bunkers-1761447>.
- Kisiela, L. 2017. «Marseille: il y a trente ans tombait le parking Estienne-d'Orves.» *La Provence*. Πρόσβαση October 23, 2023. <https://www.laprovence.com/article/societe/4545853/marseille-il-y-a-trente-ans-tombait-le-parking-estienne-dorves.html>.
- Koukis, και Sabatakakis. 2000. «Engineering geological environment of Athens, Greece.» *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* (Springer - Verlag) 59: 127-135.
- Laboratory of Transportation Engineering, NTUA. 2023. *Η κίνηση στους δρόμους της Αθήνας τον Μάρτιο (Monthly Report)*. 25 Μάρτιος . Πρόσβαση Μάιος 30, 2023. <https://www.linkedin.com/pulse/%CE%B7-%CE%BA%CE%AF%CE%BD%CE%B7%CF%83%CE%B7-%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%82-%CE%B4%CF%81%CF%8C%CE%BC%CE%BF%CF%85%CF%82-%CF%84%CE%B7%CF%82-%CE%B1%CE%B8%CE%AE%CE%BD%CE%B1%CF%82-%CF%84%CE%BF%CE%BD/>.
- Paraskevopoulou, C., και A. Benardos. 2013. «Assessing the construction cost of Greek transportation tunnel projects.» *Tunn. Undergr. Space Technol.* 38, 497 - 505. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2013.08.005>.
- Sweden Underground. *Stigbergsgaraget*. Πρόσβαση October 23, 2023. <https://swedenunderground.com/tunnel/stigbergsgaraget/>.
- TBM News. 2016. «Buying a Roadheader?: Here's What to Consider.» *Tunnel Business Magazine*, 1 March. <https://tunnelingonline.com/buying-a-roadheader-heres-what-to-consider/>.
- WION. *Russia's neighbour Finland has an underground shelter that turns into sports facility*. Ερμηνεία: 2022. <https://www.youtube.com/watch?v=ZO24mY5AYuo>.
- YIOUTA - MITRA, P., A. I. SOFIANOS, και R. RAHMANNEJAD. October 2010. «LONGITUDINAL DEFORMATION PROFILE OF A TUNNEL DRIVEN WITHIN A BURGER ROCK MASS.» *ISRM International Symposium 2010 and*



E%BC%CE%BF%CE%AF-%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD-  
%CE%B1%CE%B8%CE%AE%.

Μπενάρδος, Α., και Δ. Καλιαμπάκος. 2010. *Υπόγεια Έργα (Σημειώσεις Μαθήματος)*.  
Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Νομικός, Π.Π. 2015. «Κεφάλαιο 10: Βραχώμαζα.» Στο *Εισαγωγή στη Μηχανική των  
Πετρωμάτων*, του/της Π.Π. Νομικός, 207 - 240. Αθήνα.

Παπανικολάου, και et al. 2004. «Η Γεωλογική Δομή του Αλλόχθονου Συστήματος  
«ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΩΝ ΑΘΗΝΩΝ».» Θεσσαλονίκη: Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής  
Εταιρίας - Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου. 1550 - 1559.

ΠΡΟΕΔΡΙΚΟ ΔΙΑΤΑΓΜΑ: 326/91. Ιούλιος, 1991. *Τροποποίηση του Π.Ν. 455/76 «περί  
όρων και προϋποθέσεων ιδρύσεως και λειτουργίας σταθμών αυτοκινήτων και  
εγκαταστάσεως εντός αυτών πλυντηρίων - λιπαντηρίων αυτοκινήτων, αντλιών  
παροχής καυσίμων ως και προϋποθέσεων χορηγήσεως των προς τούτο  
απαιτούμενων αδ. (ΦΕΚ 117/Α/19-7-91) .*

ΠΡΟΕΔΡΙΚΟΝ ΔΙΑΤΑΓΜΑ: 455/76. Ιούνιος, 1976. *Περί όρων και προϋποθέσεων  
ιδρύσεως και λειτουργίας σταθμών αυτοκινήτων και εγκαταστάσεως εντός αυτών  
πλυντηρίων - λιπαντηρίων αυτοκινήτων, αντλιών παροχής καυσίμων ως και  
προϋποθέσεων χορηγήσεως των προς τούτο απαιτούμενων αδειών. . (ΦΕΚ 169/Α/5-  
7-76) .*

Σουλαδάκη, Μ., και Σ. Ταμπακοπούλου. 2006. *ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ  
ΠΡΟΤΑΣΕΩΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΧΩΡΟΥ ΣΤΟ ΚΟΛΩΝΑΚΙ*.  
Διπλωματική Εργασία, Αθήνα: Δ.Π.Μ.Σ :«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ  
ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ», ΕΜΠ.

Σοφριανός, Α. 2018. *Διάνοιξη Σηράγγων*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο,  
Ζωγράφου.

ΥΠΕΚΑ. 2014. *Δημόσια Διαβούλευση του σχεδίου νόμου «Ρύθμιση θεμάτων που αφορούν  
Κατασκευές Δημοσίου Ενδιαφέροντος Προστασίας Ανθρώπων και Πραγμάτων  
(Κ.Δ.Ε.Π.Α.Π.), για την αντιμετώπιση έκτακτων αναγκών»*. Υπουργείο  
Περιβάλλοντος και Ενέργειας. 25 Απρίλιος. Πρόσβαση Ιούνιος 23, 2023.  
<http://www.opengov.gr/minenv/?p=6136>.

