



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΖΕΥΞΗ ΣΑΛΑΜΙΝΑΣ – ΠΕΡΑΜΑΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΩΝ

Λουκά Η. Λιώρη

Νικόλαου Χ. Παπαχαραλάμπους

Επιβλέπων: Αλέξανδρος Ι. Σοφιανός
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΖΕΥΞΗ ΣΑΛΑΜΙΝΑΣ – ΠΕΡΑΜΑΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΩΝ

Λουκά Η. Λιώρη

Νικόλαου Χ. Παπαχαραλάμπους

Επιβλέπων: Αλέξανδρος Ι. Σοφιανός
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 19/10/2015

Α. Σοφιανός, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Π. Νομικός, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Κ. Λουπασάκης, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2015

Copyright © Λουκάς Λιώρης, Νικόλαος Παπαχαραλάμπους, 2015

Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του μαθήματος «Τεχνικές Διάνοιξης Σηράγγων» του 9ου εξαμήνου της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ).

Προτού ξεκινήσει η παρουσίαση της διπλωματικής εργασίας, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα κ. Αλέξανδρο Σοφιανό, Καθηγητή ΕΜΠ. Η καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, οι σημαντικές γνώσεις που μας μετέδωσε και το βιβλιογραφικό υλικό που μας παρείχε, βοήθησαν τα μέγιστα στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Γεώργιο Μιγκίρο, Καθηγητή ΕΚΠΑ, για την πολύτιμη βοήθειά του κατά την ανάλυση των γεωλογικών στοιχείων που παρουσιάζονται στην παρούσα διπλωματική.

Ακόμα, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την Αττικό Μετρό Α.Ε. και ιδιαίτερα τον κ. Στέλιο Κουκουτά, Δρ. Μηχανολόγο Μηχανικό της Αττικό Μετρό Α.Ε., για όλες τις πολύτιμες πληροφορίες που μας παρείχε και ιδιαίτερα για τις γνώσεις που μας μετέδωσε σχετικά τη μηχανική διάνοιξη των σηράγγων.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Παύλο Νομικό, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών και τον κ. Κωνσταντίνο Λουπασάκη, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, για την καθοδήγηση τους καθώς και για τη συμμετοχή τους στην τριμελή εξεταστική επιτροπή.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας, για την αμέριστη κατανόηση και συμπαράσταση τους, τόσο κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, όσο και για όλα τα χρόνια φοίτησής μας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός μόνιμης ζεύξης της νήσου Σαλαμίνας με το Πέραμα. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται η γενική παρουσίαση του Έργου αυτού, από την επιλογή του τρόπου ζεύξη έως τον τρόπο κατασκευής και λειτουργίας του.

Η εργασία αποτελείται από τέσσερα μέρη. Στο πρώτο μέρος παρουσιάζονται γενικές πληροφορίες για τις ζεύξεις πορθμών καθώς και αξιολογούνται οι πιθανοί τρόποι σύνδεσης της Σαλαμίνας με το Πέραμα, όπου επιλέγεται εν τέλει η υποτυθμένα σιδηροδρομική σήραγγα και στη συνέχεια η σύνδεση της με το Μετρό της Αθήνας. Ακόμη, σχεδιάζεται η χάραξη της σήραγγας και της επέκτασης του Μετρό έως το Πέραμα.

Στο δεύτερο μέρος, πραγματοποιείται μια γεωλογική περιγραφή της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος και στη συνέχεια, αναλύονται οι συναντώμενοι σχηματισμοί κατά μήκος της χάραξης του Έργου. Τέλος, κατασκευάζεται η γεωλογική τομή της χάραξης και περιγράφεται η γεωμορφολογία της περιοχής.

Στο τρίτο μέρος της εργασίας διερευνάται ο τρόπος διάνοιξης της σήραγγας και των σταθμών του Περάματος και των Παλουκίων. Αρχικά παρουσιάζονται οι μέθοδοι κατασκευής σηράγγων και σταθμών που βρίσκουν ευρεία εφαρμογή σήμερα, και στη συνέχεια, κατόπιν αξιολόγησης των διαθέσιμων στοιχείων, επιλέγεται η διάνοιξη της σήραγγας με τη χρήση μηχανής ολομέτωπης κοπής και πιο συγκεκριμένα με τη χρήση TBM με Ασπίδα Εξισορρόπησης Πίεσης Εδάφους (EPB), ενώ για την κατασκευή των σταθμών, η μέθοδος ανοικτού ορύγματος.

Στο τέταρτο και τελευταίο μέρος της εργασίας, καταστρώνεται το χρονοδιάγραμμα κατασκευής του Έργου και υπολογίζεται το ύψος του προϋπολογισμού. Ακόμη, επιχειρείται μια οικονομική αξιολόγηση του επενδυτικού σχεδίου με τη χρήση σχετικών κριτηρίων (IRR & NPV), καθώς και μια ανάλυση ευαισθησίας. Με τις μεθόδους αυτές, αναδεικνύονται η κερδοφορία του Έργου και η ευαισθησία της επένδυσης στις μεταβολές των οικονομικών δεδομένων αντίστοιχα.

ABSTRACT

The subject of this diploma thesis is the design of a permanent crossing of the Salamis-Perama Strait. A general presentation of this project is organized, containing the whole process, from the selection of the crossing method, to its construction and operation.

The thesis consists of four parts. In the first one, general information regarding strait crossing is provided and evaluated. After that, the solution of railway subsea tunnel and its connection to the Athens Metro, is selected and designed.

The second part, is a geological description of the area of interest. Also, an analysis of the formations encountered along the alignment of the tunnel is performed, followed by the mapping of the geological longitudinal section.

In the third part, the most common methods for the construction of Metro tunnels and stations are presented. Next, the mechanized tunnelling method is selected, based on the available data. More specifically, the Earth Pressure Balance Shield (EPB) TBM, is picked out. As for the stations, the “cut and cover” construction method is elected.

In the final -fourth- part, the project schedule is set and the budget is estimated. Furthermore, an economic assessment of the investment is attempted, using proper criteria, such as NPV and IRR, followed by a sensitivity analysis. Finally the value and the profitability of the project is proved.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ii
ABSTRACT	iii
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	vi
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	ix
ΛΙΣΤΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ	x
ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	x
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΓΕΦΥΡΕΣ.....	2
1.2 ΣΗΡΑΓΓΕΣ.....	8
1.2.1 Πλωτές.....	11
1.2.2 Επιπυθμένες.....	14
1.2.3 Υποπυθμένες	18
2. ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΖΕΥΞΗΣ.....	27
2.1 ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΖΕΥΞΗΣ	28
2.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΖΕΥΞΗΣ.....	31
3. ΧΑΡΑΞΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	43
3.1 ΧΑΡΑΞΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ	44
3.2 Η ΖΕΥΞΗ.....	49
4. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ.....	53
4.1 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	53
4.2 ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	55
4.3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	57
4.3.1 Σαλαμίνα	58
4.3.2 Πέραμα.....	60
4.4 ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ.....	62
4.5 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΖΕΥΞΗΣ	64
4.5.1 Γεωλογική δομή χάραξης	67
4.5.2 Επιλογή υπερκλειμένου.....	69
4.5.3 Γεωλογική τομή χάραξης.....	71
4.5.4 Γεωμορφολογικές συνθήκες κατά μήκος της χάραξης.....	75
5. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΟ.....	77
5.1 ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ (NATM).....	77
5.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΟΙΧΤΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΧΩΣΗΣ (CUT & COVER).....	81

5.3 ΜΗΧΑΝΕΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ (TBM).....	83
5.3.1 Ιστορική εξέλιξη των TBM	83
5.3.2 Τα μέρη της μηχανής	86
5.3.3 Τύποι TBM.....	87
5.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΑΘΜΩΝ	94
5.4.1 Υπόγεια μέθοδος εκσκαφής (NATM).....	95
5.4.2 Μέθοδος ανοιχτού ορύγματος (Cut & Cover).....	97
5.4.3 Μέθοδος επικάλυψης – εκσκαφής (Cover & Cut).....	101
6. ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ.....	103
6.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ – ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	105
6.1.1 EPB vs Slurry	108
6.1.2 Επιλογή του τύπου υποστήριξης μετώπου	111
6.1.3 Επιλογή μηχανής.....	114
6.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΠΙΛΕΧΘΕΙΣΑΣ ΜΗΧΑΝΗΣ (EPB).....	116
6.2.1 Τεχνικά στοιχεία επιλεχθείσας μηχανής.....	120
6.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΑΘΜΩΝ, ΣΥΝΔΕΤΗΡΙΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΚΑΙ ΦΡΕΑΤΟΣ	130
6.3.1 Κατασκευή σταθμών	130
6.3.2 Κατασκευή εγκάρσιων συνδετήριων διαβάσεων	137
6.3.3 Κατασκευή φρέατος αερισμού	138
7. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	141
7.1 ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ	142
7.2 ΠΡΟΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΨΟΥΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	145
7.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	153
7.3.1 Καθαρά Παρούσα Αξία (Net Present Value - NPV)	153
7.3.2 Εσωτερικός Δείκτης Απόδοσης (Internal Rate of Return - IRR).....	154
7.3.3 Χρόνος ανάκτησης κεφαλαίου (payback period)	156
7.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ.....	156
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	167
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	171
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.....	A
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2.....	E

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Ο πορθμός του Γιβραλτάρ (ebooks.edu.gr)	2
Εικόνα 2: Η γέφυρα του Brooklyn (hdimagelib.com).....	3
Εικόνα 3: Η κρεμαστή γέφυρα Golden Gate του San Francisco (plus.google.com)	5
Εικόνα 4: Τεχνικά χαρακτηριστικά της γέφυρας Golden Gate (Wikipedia.org)	5
Εικόνα 5: Η γέφυρα Χαρίλαος Τρικούπης στο Ρίο-Αντίρριο (nafraktia.gr).....	6
Εικόνα 6: Τεχνικά χαρακτηριστικά της γέφυρας Ρίου-Αντιρρίου (easypedia.gr).....	7
Εικόνα 7: Σχεδιασμός της ζεύξης του Μαλιακού, με μπλε εικονίζεται η εθνική οδός, ενώ με πράσινο η σχεδιαζόμενη διπλή ζεύξη (kataskeui.blogspot.com)	8
Εικόνα 8: Εσωτερικό σήραγγας (maxiscience.gr).....	9
Εικόνα 9: Κατηγορίες υποβρύχιων σήραγγων (tunneltalk.com)	10
Εικόνα 10: Γραφική απεικόνιση πλωτής σήραγγας (tunneltalk.com)	11
Εικόνα 11: Σενάριο για την Υπερ-Ατλαντική πλωτή σήραγγα (tunneltalk.com)	12
Εικόνα 12: Μια πρόταση για τη διαμόρφωση της Υπερ-Ατλαντικής σήραγγας (popsci.com)	13
Εικόνα 13: Εργασίες για την εγκατάσταση της επικαθήμενης σήραγγας στον πυθμένα (1. Διάνοιξη υφαλαύλακα, 2. Βύρθιση των caissons, 3. Επανεπίχωση) (mtr-shatincentrallink.kh)	14
Εικόνα 14: Σπόνδυλοι κατά την κατασκευή τους στη νηοδόχο (gudconsult.de).....	15
Εικόνα 15: Η είσοδος του Maastunnel (cob.nl).....	15
Εικόνα 16: Η είσοδος της σήραγγας Ακτίου-Πρεβέζης (yrodomes.com)	17
Εικόνα 17: Σχηματική απεικόνιση της σήραγγας Ακτίου-Πρεβέζης (nextlevelgroup.gr)	18
Εικόνα 18: Σχηματική απεικόνιση υποπυθμείας σήραγγας (unibasin.instabul.edu.tr).....	19
Εικόνα 19: Σχηματική απεικόνιση της σήραγγας της Μάγχης (Eurotunnel.com).....	21
Εικόνα 20: Γεωλογική τομή του Channel Tunnel (Wikipedia.org)	22
Εικόνα 21: Η σήραγγα του Seikan (Wikipedia.org).....	22
Εικόνα 22: Μηκοτομή της σήραγγας του Seikan (Wikipedia.org).....	23
Εικόνα 23: Άποψη από το εσωτερικό της σήραγγας του Seikan (scientific.net).....	24
Εικόνα 24: Οριζοντιογραφία της υποθαλάσσιας αρτηρίας Θεσσαλονίκης (egnatia.eu).....	25
Εικόνα 25: Η Σαλαμίνα από δορυφόρο (wikipedia.org)	27
Εικόνα 26: Η χάραξη της επιπυθμείας οδικής ζεύξης	34
Εικόνα 27: Η διαφορά στη μεταφορική ικανότητα αλλά και στην επιφάνεια που καταλαμβάνει η μετακίνηση κάθε ανθρώπου, μεταξύ Ι.Χ. και Μετρό (Καραγιάννης, 2014)	39
Εικόνα 28: Η Σαλαμίνα και οι ακτές της Αττικής (maps.google.com)	43
Εικόνα 29: Χάρτης της προτεινόμενης χάραξης της γραμμής.....	45

Εικόνα 30: Σταθμός Μετρό Αγίου Δημητρίου (ametro.gr)	46
Εικόνα 31: Μέρος του χάρτη του σχεδίου ανάπτυξης του Μετρό (ametro.gr)	47
Εικόνα 32: Τραμ (wikipedia.org).....	48
Εικόνα 33: Η υποπυθμένα σήραγγα.....	50
Εικόνα 34: Τυπική διατομής σήραγγας Μετρό Φ6,2m	51
Εικόνα 35: Παλαιογραφικός χάρτης του Σαρωνικού κόλπου πριν από 18.000 χρόνια. Με μαύρη γραμμή η σημερινή ακτογραμμή (Μαριολάκος & Θεοχάρης, 2001)	54
Εικόνα 36: Παλαιογραφικός χάρτης του Σαρωνικού κόλπου πριν από 12.000 χρόνια. Με μαύρη γραμμή η σημερινή ακτογραμμή (Μαριολάκος & Θεοχάρης, 2001)	54
Εικόνα 37: Παλαιογραφικός χάρτης του Σαρωνικού κόλπου πριν από 7.000 χρόνια. Με μαύρη γραμμή η σημερινή ακτογραμμή (Μαριολάκος & Θεοχάρης, 2001)	55
Εικόνα 38: Χάρτης σεισμικών επικέντρων στην περιοχή της Σαλαμίνας (στοιχεία από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών).....	56
Εικόνα 39: Καταγραφή μικροσεισμικότητας στην περιοχή του Σαρωνικού κόλπου (Makris et al., 2004).....	57
Εικόνα 40: Οι νεοτεκτονικές δομές της νήσου Σαλαμίνας, με τα κύρια περιθωριακά ρήγματα - ρηξιγενείς ζώνες καθώς και ορισμένα από τα κυριότερα ρήγματα μικρότερης τάξης (Μαριολάκος & Θεοχάρης, 2001)	63
Εικόνα 41: Τμήμα του γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ - Φύλλο Αθήναι-Πειραιεύς	65
Εικόνα 42: Γεωλογική τομή κατά μήκος της χάραξης	68
Εικόνα 43: Στρωματογραφική στήλη στην περιοχή της χάραξης.....	69
Εικόνα 44: Διάνοξη σήραγγας με τη χρήση συμβατικών μεθόδων (NATM) (ametro.gr)...	79
Εικόνα 45: Διάνοξη με πολλαπλά μέτωπα (Hoek, 2001)	80
Εικόνα 46: Κατασκευή μέρους της σήραγγας με τη μέθοδο Cut & Cover (ametro.gr).....	82
Εικόνα 47: Το πρώτο TBM που κατασκευάστηκε από τον C. Wilson (Maidl, Herrenknecht, 2008)	84
Εικόνα 48: Το TBM με το οποίο ο Beaumont προσπάθησε να κατασκευάσει τη Σήραγγα της Μάγχης το 1882 Wilson (Maidl, Herrenknecht, 2008).....	85
Εικόνα 49: Το TBM του Robbins Wilson (Maidl, Herrenknecht, 2008).....	85
Εικόνα 50: Τα μέρη του TBM (σε μηχανή ανοικτού τύπου ολομέτωπης κοπής για σκληρά πετρώματα (phdtbm.com)	86
Εικόνα 51: TBM ανοικτού τύπου (ita-aites.org)	88
Εικόνα 52: Single Shield TBM ολομέτωπης κοπής (herrenknecht.com).....	89
Εικόνα 53: Double Shield TBM (therobbinscompany.com).....	90
Εικόνα 54: Double Shield TBM (therobbinscompany.com).....	90
Εικόνα 55: EPB TBM (Guglielmetti V., 2008)	91
Εικόνα 56: Slurry Shield TBM (Guglielmetti V., 2008))	92

Εικόνα 57: Mixshield TBM (herrenknecht.com)	93
Εικόνα 58: Μηχανή ολομέτωπης κοπής με μονή ασπίδα (therobbinscompany.com)	94
Εικόνα 59: Κατασκευή του σταθμού Αμπελόκηποι, με τη χρήση της συμβατικής μεθόδου (Αττικό Μετρό Α.Ε., 2007).....	96
Εικόνα 60: Κατασκευή του σταθμού Αττική με τη μέθοδο ανοικτού ορύγματος (Αττικό Μετρό Α.Ε., 2007).....	98
Εικόνα 61: Κατασκευή του σταθμού Αγία Παρασκευή με τη μέθοδο Cut & Cover (ergodomiki.eu).....	100
Εικόνα 62: Διάνοξη σήραγγας σε αστικό περιβάλλον με τη χρήση TBM (centralsubwayblog.com)	104
Εικόνα 63: EPB TBM (facesupport.org)	109
Εικόνα 64: Slurry Shield TBM (facesupport.org)	110
Εικόνα 65: Πεδίο εφαρμογής EPB & SPB TBM (Lovat R., 2007).....	111
Εικόνα 66: Τρισδιάστατη απεικόνιση EPB(αριστερά) & SPB(δεξιά) Φ6m (Lovat R., 2007)	112
Εικόνα 67: Εφαρμογή μηχανών εκσκαφής EPB και Slurry TBM (Κουκουτάς Στ., TEE, 2002)	115
Εικόνα 68: EPB TBM (herrenknecht.com).....	116
Εικόνα 69: Τα μέρη του EPB TBM (Guglielmetti V., 2008)	117
Εικόνα 70: Έναρξη εργασιών μηχανικής διάνοξης σηράγγων, Φρέαρ Νέου Σιδηροδρομικού σταθμού Θεσσαλονίκης	121
Εικόνα 71: Τυπική διατομή της σήραγγας Φ6,2m.....	122
Εικόνα 72: Κοπτική Κεφαλή EPB TBM, Εργοστασιακή δοκιμή στο Εργοστάσιο της Herrenknecht (Μετρό Θεσσαλονίκης Φ6,2m).....	123
Εικόνα 73: Έμβολα προώθησης EPB TBM, Εργοστασιακή δοκιμή στο Εργοστάσιο της Herrenknecht (Μετρό Θεσσαλονίκης Φ6,2m).....	124
Εικόνα 74: Hybrid EPB / Single Shield TBM (tunnel-online.info)	126
Εικόνα 75: Segments EPB TBM, Εργοστασιακή δοκιμή στο εργοστάσιο της Herrenknecht (Μετρό Θεσσαλονίκης Φ6,2m)	128
Εικόνα 76: Δωμάτιο ελέγχου της μηχανής EPB TBM στο Μετρό Θεσσαλονίκης.....	129
Εικόνα 77: Σχηματική απεικόνιση εργασιών κατασκευής σταθμού Μετρό σε αστικό περιβάλλον με τη μέθοδο ανοικτού ορύγματος (metro.net)	131
Εικόνα 78: Στάδια κατασκευής σταθμού Μετρό με τη μέθοδο ανοικτού ορύγματος (metro.net)	132
Εικόνα 79: Σχηματική απεικόνιση τελικής διαμόρφωσης σταθμού Μετρό (metro.net)	134
Εικόνα 80: Κάτοψη φρέατος υποδοχής TBM	135
Εικόνα 81: Τομή φρέατος υποδοχής TBM.....	136

Εικόνα 82: Τομές σταθμού Αναλήψεως	137
Εικόνα 83: Φρέαρ αερισμού (mred.tuc.gr).....	139
Εικόνα 84: Φρέαρ Κομνηνού (Αττικό Μετρό Α.Ε.).....	140

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης των μέσων μεταφοράς στις Ευρωπαϊκές πόλεις (Καραγιάννης, 2014).....	40
Πίνακας 2: Γεωλογικοί σχηματισμοί κατά μήκος της χάραξης.....	72
Πίνακας 3: Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά τριαδικών ασβεστόλιθων	73
Πίνακας 4: Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά σχιστολίθων	74
Πίνακας 5: Πίνακας γεωτεχνικής περιγραφής και υδροπερατότητας σχηματισμών.....	114
Πίνακας 6: Απαιτούμενος χρόνος για την ολοκλήρωση κάθε εργασίας (σε εργάσιμες ημέρες)	143
Πίνακας 7: Ύψος επένδυσης	146
Πίνακας 8: Ταμειακές ροές.....	150
Πίνακας 9: Προδιαγραφές μηχανήματος ολομέτωπης κοπής με ασπίδα εξισορρόπησης πίεσης πολφού:	D
Πίνακας 10: Ετήσια αναμενόμενη προσέλευση επιβατών	E
Πίνακας 11: Μείωση των εσόδων κατά 20%	F
Πίνακας 12: Μείωση των εσόδων κατά 10%	G
Πίνακας 13: Αμετάβλητα έσοδα.....	H
Πίνακας 14: Αύξηση εσόδων κατά 10%	I
Πίνακας 15: Αύξηση εσόδων κατά 20%	J
Πίνακας 16: Μείωση επένδυσης κατά 20%	K
Πίνακας 17: Μείωση επένδυσης κατά 10%	L
Πίνακας 18: Αμετάβλητη επένδυση	M
Πίνακας 19: Άυξηση επένδυσης κατά 10%.....	N
Πίνακας 20: Αύξηση επένδυσης κατά 20%.....	O
Πίνακας 21: Μείωση λειτουργικού κόστους κατά 20%	P
Πίνακας 22: Μείωση λειτουργικού κόστους κατά 10%	Q
Πίνακας 23: Αμετάβλητο λειτουργικό κόστος.....	R
Πίνακας 24: Αύξηση λειτουργικού κόστους κατά 10%	S
Πίνακας 25: Αύξηση λειτουργικού κόστους κατά 20%	T
Πίνακας 26: Μεταβολή ΚΠΑ ανάλογα με το προεξοφλητικό επιτόκιο.....	U

ΛΙΣΤΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1: Διέλευση επιβατών 2020-2049	148
Γράφημα 2: Ταμειακή Ροή	151
Γράφημα 3: Ετήσιες ταμειακές ροές	152
Γράφημα 4: Μεταβολή της ΚΠΑ ανάλογα με τη μεταβολή των εσόδων του Έργου	158
Γράφημα 5: Μεταβολή του IRR ανάλογα με τη μεταβολή των εσόδων του Έργου	159
Γράφημα 6: Μεταβολή της ΚΠΑ ανάλογα με τη μεταβολή του αρχικού κεφαλαίου	160
Γράφημα 7: Μεταβολή του IRR ανάλογα με τη μεταβολή του αρχικού κεφαλαίου	161
Γράφημα 8: Μεταβολή της ΚΠΑ ανάλογα με τη μεταβολή του λειτουργικού κόστους του Έργου	162
Γράφημα 9: Μεταβολή του IRR ανάλογα με τη μεταβολή του λειτουργικού κόστους του Έργου	163
Γράφημα 10: Μεταβολή της ΚΠΑ ανάλογα με τη μεταβολή του προεξοφλητικού επιτοκίου	164

ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ροής των κύριων εργασιών	144
-------------------------------------------------------	-----

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μεταφορές αποτελούν διαχρονικά αναπόσπαστο κομμάτι της ανθρώπινης ζωής. Χιλιάδες χρόνια πριν, ο άνθρωπος μετακινείτο πεζός προκειμένου να εξασφαλίσει την επιβίωση του (τροφή, καταφύγιο κ.α.). Σύντομα όμως διαπίστωσε πως οι φυσικές του δυνάμεις έθεταν περιορισμούς ως προς την ταχύτητα, την απόσταση αλλά και το επιπλέον βάρος που μπορούσε να κουβαλήσει.

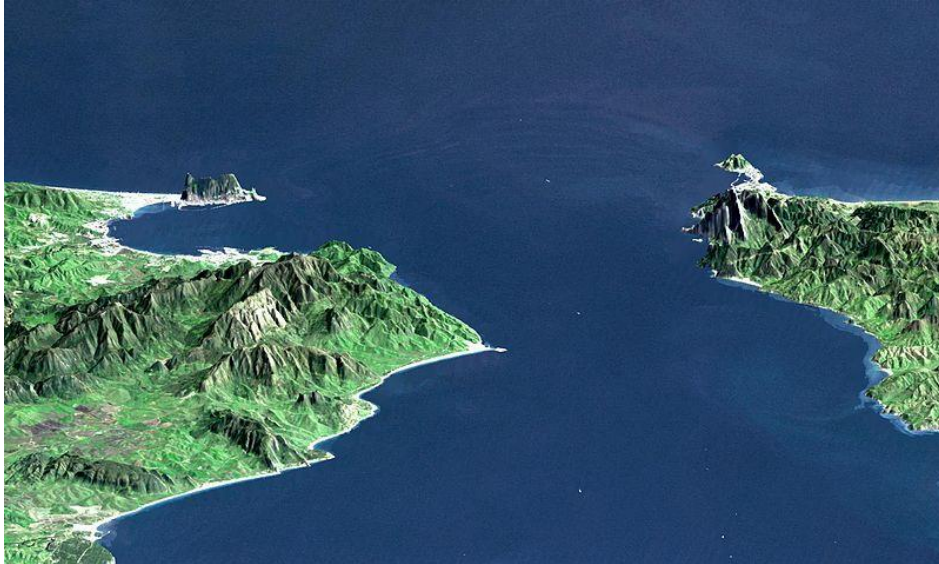
Έτσι, οι ανάγκες του, -όπως συμβαίνει πάντα- οδήγησαν τον άνθρωπο στην εξεύρεση λύσεων για την ικανοποίησή τους. Όσο αυξάνονταν οι ανάγκες, εξελίσσονταν και τα μέσα που χρησιμοποιούσε για τη μεταφορά τόσο του ιδίου όσο και των αγαθών του. Έτσι από τη χρήση ζώων και μονόξυλων πλοιαρίων, πέρασε στην επινόηση του τροχού και του πανιού, στη συνέχεια στη χρήση του ατμού και έφτασε στην κατασκευή των γνωστών μας, σύγχρονων μεταφορικών μέσων.

Παράλληλα με την εξέλιξη των μέσων μεταφοράς, ο άνθρωπος, έπρεπε συνεχώς να κατασκευάζει τις απαραίτητες υποδομές για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης τους. Αρχικά, ο άνθρωπος για τις μετακινήσεις του ακολουθούσε το ρου των ποταμών ή άλλων φυσικών διαβάσεων. Οι ανάγκες του όμως επέβαλαν την αξιοποίηση της σκέψης και της εργασίας για την κατασκευή έργων υποδομής.

ΖΕΥΞΗ ΠΟΡΘΜΩΝ

Ένα από τα προβλήματα που ο άνθρωπος κλήθηκε να ξεπεράσει ήταν η σύνδεση πορθμών, δηλαδή δύο σημείων μεταξύ των οποίων μεσολαβεί στενή λωρίδα θάλασσας. Παλαιότερα, αυτή γινόταν κυρίως ακτοπλοϊκά. Όμως η μεγάλη εξάρτηση των δρομολογίων από τις καιρικές συνθήκες καθώς και ο μεγάλος χρόνος που απαιτείται, υπαγόρευαν την ανεύρεση και άλλων λύσεων όπου ήταν δυνατό. Έτσι τα τελευταία χρόνια για τη σύνδεση των πορθμών κατασκευάζονται συνήθως μόνιμες ζεύξεις που μπορεί να είναι γέφυρες ή σήραγγες. Για την επιλογή

του τρόπου σύνδεσης, λαμβάνονται υπόψη οι ιδιαιτερότητες κάθε περιοχής καθώς και οι διάφοροι περιορισμοί (οικονομικοί, κοινωνικοί κ.α.).



Εικόνα 1: Ο πορθμός του Γιβραλτάρ (ebooks.edu.gr)

1.1 ΓΕΦΥΡΕΣ

Γέφυρα είναι κάθε τεχνικό έργο με οποιαδήποτε διάταξη ανοιγμάτων που φέρει μια οδό πάνω από οποιοδήποτε τύπου εμπόδιο με απόσταση άνω των 6 μέτρων. Οι γέφυρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη γεφύρωση ξηρών ή υγρών κωλυμάτων, για τη δημιουργία άνω και κάτω διαβάσεων σιδηροδρομικών γραμμών, τροχιόδρομων και οδών κάθε κατηγορίας και χρήσης.(Δ. Κωνσταντινίδης, 2012)



Εικόνα 2: Η γέφυρα του Brooklyn (hdimagelib.com)

Πρωταρχικό ρόλο στην εξέλιξη της γεφυροποιίας διαδραμάτισαν τα διαθέσιμα υλικά κατασκευής σε κάθε εποχή. Ο πρωτόγονος άνθρωπος κατασκεύαζε ξύλινες γέφυρες, γέφυρες από σχοινιά μορφής δοκού, ή κρεμαστές. Οι οργανωμένες κοινωνίες λόγω των αυξανόμενων αναγκών τους δοκίμασαν νέα υλικά και μεθόδους κατασκευής. Αρχικά ως δομικό υλικό χρησιμοποιήθηκαν λίθοι, με τους Κινέζους, τους Ρωμαίους και αργότερα τους Τούρκους να κατασκευάζουν λίθινες γέφυρες μορφής ημικυκλικών και οξυκόρυφων τόξων με μεγάλο άνοιγμα. Στη συνέχεια εξ' αιτίας της βιομηχανικής επανάστασης, άρχισε η εκτεταμένη χρήση χάλυβα στη γεφυροποιία. Η πρώτη μεταλλική γέφυρα που κατασκευάστηκε στην Ευρώπη είναι η ονομαζόμενη Pond des Artes (Γέφυρα των Τεχνών) και βρίσκεται στο Παρίσι (Σ. Γρίσπος & Α. Γεωργανής, 2009). Στην Κίνα, στη Μ. Βρετανία και στις Η.Π.Α. κατασκευάστηκαν γέφυρες από χυτοσίδηρο. Η ανακάλυψη του σκυροδέματος στις αρχές του 20ου αιώνα, έδωσε και συνεχίζει να δίνει λύσεις στις συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις των κοινωνιών, λόγω των καλών μηχανικών του ιδιοτήτων. Ο συνδυασμός οπλισμένου σκυροδέματος και προέντασης βοήθησε στην γεφύρωσή ακόμα μεγαλύτερων ανοιγμάτων, αύξησε τη διάρκεια ζωής των γεφυρών, ενώ ταυτόχρονα μείωσε τη δαπάνη κατασκευής και συντήρησής τους (Δ. Κωνσταντινίδης, 2012)

Οι γέφυρες, ανάλογα με τη στατική λειτουργία του φορέα ή του φέροντος συστήματος, διακρίνονται σε:

- γέφυρες επιφανειακών φορέων
- γέφυρες φορέων μορφής δοκού
- πλαισιωτές γέφυρες
- τοξωτές γέφυρες
- καλωδιωτές γέφυρες
- κρεμαστές γέφυρες

Οι γνωστότερες γέφυρες παγκοσμίως είναι: η γέφυρα Golden Gate στο San Francisco που χαρακτηρίζεται ως ένα από τα επτά θαύματα του σύγχρονου κόσμου, η γέφυρα του Brooklyn στη New York, η Tower στο Λονδίνο, η Vecchio στη Φλωρεντία που στη σημερινή της μορφή υπάρχει από το 1345 αλλά και η γέφυρα Chengyang στην ομώνυμη πόλη της Κίνας (η επωνομαζόμενη και γέφυρα του ανέμου και της βροχής).

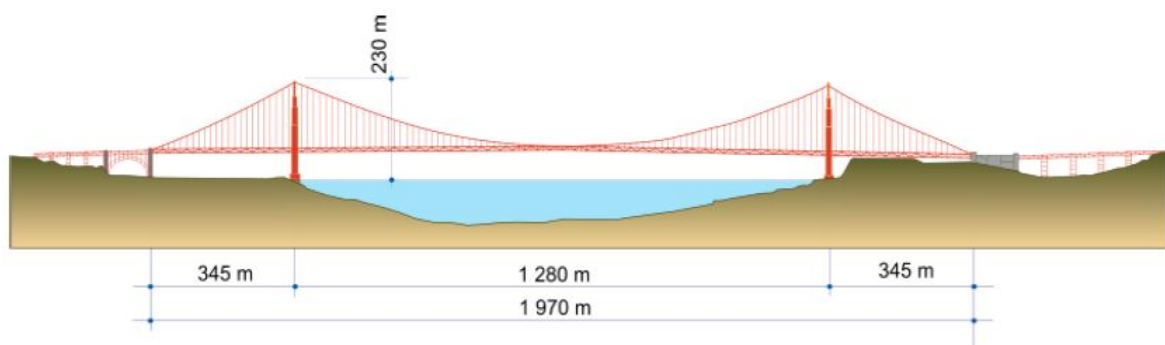
ΓΕΦΥΡΑ GOLDEN GATE

Μία από τις γνωστότερες και ομορφότερες γέφυρες παγκοσμίως είναι η Golden Gate που βρίσκεται στο San Francisco της California. Έχει κηρυχθεί ως ένα από τα σύγχρονα θαύματα του κόσμου από την Αμερικάνικη Εταιρεία Πολιτικών Μηχανικών (Δ. Γεωργακόπουλος & Κ. Λόη, 2012). Πρόκειται για μία κρεμαστή γέφυρα που συνδέει το San Francisco με την κομητεία Marin. Η κατασκευή της διήρκησε πάνω από τέσσερα χρόνια και ολοκληρώθηκε το 1937 ενώ το συνολικό της κόστος ανήλθε σε 35 εκατομμύρια δολάρια.



Εικόνα 3: Η κρεμαστή γέφυρα Golden Gate του San Francisco (plus.google.com)

Έχει συνολικό μήκος 2.042 μέτρα και αποτελείται από δύο πύργους συνολικού ύψους 230 μέτρων πάνω από τη θάλασσα και 150 πάνω από το οδόστρωμα. Η διατομή τους στο πάνω μέρος είναι μικρότερη από ότι στη βάση. Τα καλώδια ανάρτησης που υποστηρίζονται από τους πύργους έχουν συνολικό μήκος 129.000 χιλιόμετρα.



Εικόνα 4: Τεχνικά χαρακτηριστικά της γέφυρας Golden Gate ([Wikipedia.org](https://www.wikipedia.org))

Ο αρχιτέκτονας Irving Morrow επέλεξε να δώσει στη γέφυρα ένα χρώμα έντονο πορτοκαλί. Έτσι συμπληρώνεται το φυσικό περιβάλλον, ενώ ταυτόχρονα ενισχύεται η όψη της γέφυρας στην ομίχλη, φαινόμενο σύνηθες στην περιοχή (Δ. Γεωργακόπουλος & Κ. Λόη, 2012).

ΓΕΦΥΡΑ ΡΙΟΥ-ΑΝΤΙΡΡΙΟΥ

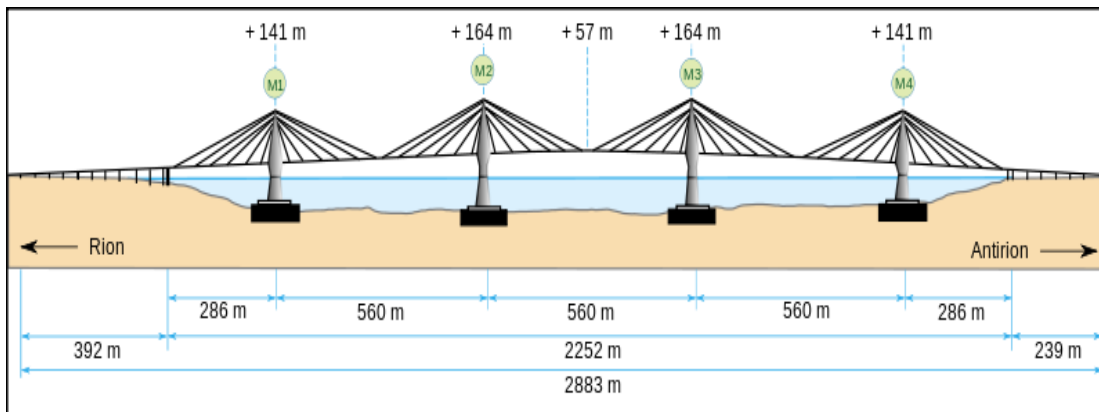
Στην Ελλάδα, η σημαντικότερη γέφυρα είναι η ονομαζόμενη Χαρίλαος Τρικούπης, ή αλλιώς γέφυρα Ρίου - Αντιρρίου. Πρόκειται για μια καλωδιωτή γέφυρα μεταξύ Ρίου (κοντά στην Πάτρα) και Αντιρρίου που συνδέει την Πελοπόννησο με τη δυτική ηπειρωτική Ελλάδα και φέρει το όνομα του πρώτου οραματιστή αυτού του έργου και πρώην πρωθυπουργού της Ελλάδας. Την κατασκευή της ανέλαβε η ανάδοχος κοινοπραξία που αποτελείται από τις εταιρείες «DUMEZ - GTM» (VINCI CONSTRUCTION - GRAND PROJETS), «Ελληνική Τεχνοδομική Α.Ε.», «Τεχνική Εταιρεία Βόλου Α.Ε.», «Ιωάννου – Παρασκευαΐδης Overseas Ltd.», «Αθηνά Α.Ε.Τ.Β. & Α.Ε.», «Προοδευτική Α.Τ.Ε.» και «Κ.Ι. Σαραντόπουλος Α.Ε.». Η κατασκευή της ξεκίνησε το 1998 και ολοκληρώθηκε το 2004.



Εικόνα 5: Η γέφυρα Χαρίλαος Τρικούπης στο Ρίο-Αντίρριο (nafraktia.gr)

Με συνεχές μήκος καταστρώματος 2.252 μέτρα, είναι η μεγαλύτερη καλωδιωτή γέφυρα στον κόσμο, ενώ το μέγιστο βάθος θεμελίωσης φτάνει τα 65 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας και το ύψος της φτάνει τα 48 μέτρα, επιτρέποντας έτσι τη διέλευση πολύ μεγάλων πλοίων. Η γέφυρα, αποτελείται από 4 πυλώνες ύψους 227 μέτρων με απόσταση 560 μέτρων μεταξύ τους και 368 λεπτά καλώδια που συγκρατούν τον αυτοκινητόδρομο. Έχει κατασκευαστεί ώστε να αντέχει σεισμό μεγαλύτερο από 7,4 βαθμούς της κλίμακας Ρίχτερ, να αντέχει σε ενδεχόμενη σύγκρουση τάνκερ εκτοπίσματος 180.000 τόνων που κινείται με ταχύτητα 16 κόμβων, καθώς και σε ταχύτητα ανέμου 250 χλμ/ώρα. Επίσης είναι

σχεδιασμένη ώστε να απορροφά πιθανές μετατοπίσεις έως και 2 μέτρων μεταξύ δύο βάθρων σε οποιαδήποτε κατεύθυνση.



Εικόνα 6: Τεχνικά χαρακτηριστικά της γέφυρας Ρίου-Αντιρρίου (easypedia.gr)

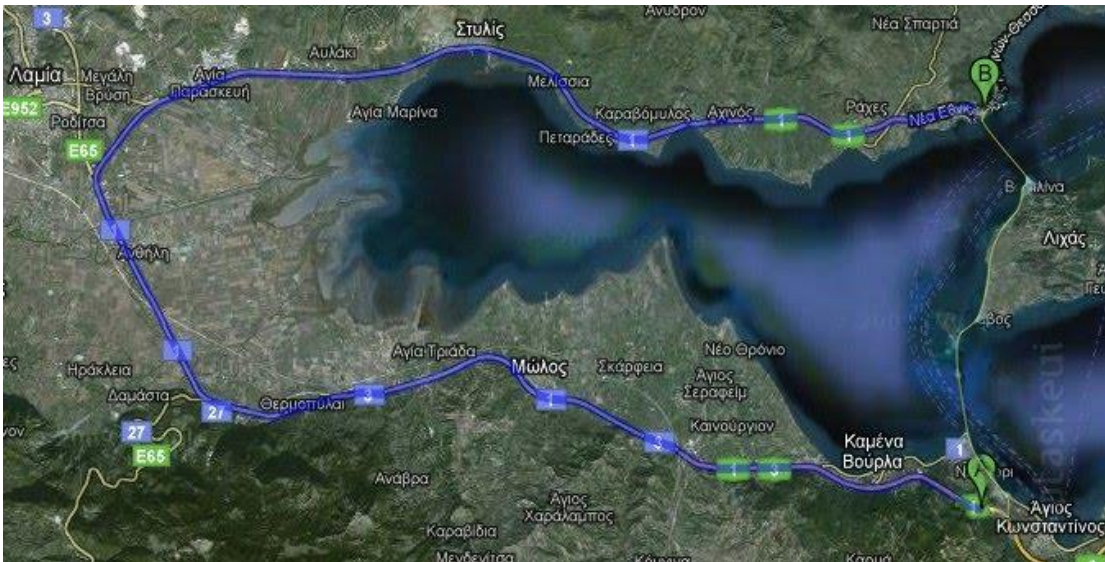
Το ανάγλυφο του πυθμένα εμφανίζει απότομες κλίσεις προς τις δύο ακτές και ένα μεγάλο οριζόντιο πλάτωμα σε βάθος περίπου 60 μέτρων κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Ο πυθμένας αποτελείται από ιζήματα μεγάλου πάχους, που αποτελούνται από παχιές αργιλικές στρώσεις αναμειγμένες σε ορισμένα σημεία με λεπτή άμμο και ιλύ.

ΔΙΠΛΗ ΖΕΥΞΗ ΜΑΛΙΑΚΟΥ

Ένα project που συζητήθηκε έντονα στη χώρα μας ήταν η ζεύξη του Μαλιακού κόλπου. Ο λόγος ήταν η μείωση της διαδρομής από την Αθήνα στη Θεσσαλονίκη καθώς και ο περιορισμός των ατυχημάτων που συνέβαιναν στο πέταλο του Μαλιακού. Αρχικά η πρόταση περιελάμβανε την κατασκευή μίας επικαθήμενης στον πυθμένα υποθαλάσσιας σήραγγας συνολικού μήκους 4,5 χιλιομέτρων συμπεριλαμβανομένων και των προσβάσεων.

Όμως, στη συνέχεια, προτάθηκε η διπλή ζεύξη του Μαλιακού, η οποία θα ξεκινούσε ανάμεσα στον Άγιο Κωνσταντίνο και τα Καμμένα Βούρλα, στη θέση Ασπρονέρι, μέσω γέφυρας θα περνούσε στο ακρωτήριο «Λιχάδα» της Βόρειας Εύβοιας και θα κατέληγε στο ακρωτήριο «Βασιλίνα» απ' όπου με γεφύρωση θα περνούσε το δίαυλο Ωρεών και θα κατέληγε στο ακρωτήριο «Τάπια» κοντά στα

διόδια της Πελασγίας. Έτσι, θα συντόμεινε η διαδρομή για Αθήνα κατά 70 χιλιόμετρα και θα έδινε χερσαία επικοινωνία στην Εύβοια με τη Στερεά Ελλάδα και τη Θεσσαλία. Το έργο όμως δεν προχώρησε κυρίως λόγω των αντιδράσεων κατοίκων της περιοχής.



Εικόνα 7: Σχεδιασμός της ζεύξης του Μαλιακού, με μπλε εικονίζεται η εθνική οδός, ενώ με πράσινο η σχεδιαζόμενη διπλή ζεύξη (kataskeui.blogspot.com)

1.2 ΣΗΡΑΓΓΕΣ

Παραδοσιακά, σήραγγες ή στοές ονομάζονται οι οριζόντιες ή παραοριζόντιες τεχνητά σκαμμένες υπόγειες δίοδοι. Είναι δύσκολα και έντεχνα έργα που διανοίγονται σε βάθη που ποικίλουν από πολύ μικρά έως πολύ μεγάλα, πάνω ή κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα και οι διαστάσεις τους κυμαίνονται από πολύ μικρές έως πολύ μεγάλες (Α.Ι. Σοφιανός, 2011).

Η κατασκευή υπόγειων στοών συναντάται για πρώτη φορά στα μεταλλεία της λίθινης εποχής, ενώ οι πρώτες δίοδοι διέλευσης πεζών κατασκευάστηκαν για την πρόσβαση σε χώρους λατρείας θεών στη Μάλτα και την Αίγυπτο μεταξύ 3000 και 1000 π.Χ. Η πρώτη σήραγγα κάτω από ποτάμι κατασκευάστηκε το 2000 π.Χ. κάτω από τον ποταμό Ευφράτη, και είχε μήκος 1 χλμ. Η κατασκευή στη Σάμο, τον 6ο αιώνα π.Χ., του μήκους ~1400m Ευπαλίνειου ορύγματος για την παροχέτευση

νερού στην πόλη της Σάμου (Πυθαγόρειο), αποτελεί την πρώτη διάνοιξη σήραγγας από δύο στόμια, με συνάντηση στο μέσον της διαδρομής (Σταματιάδης, 1884).



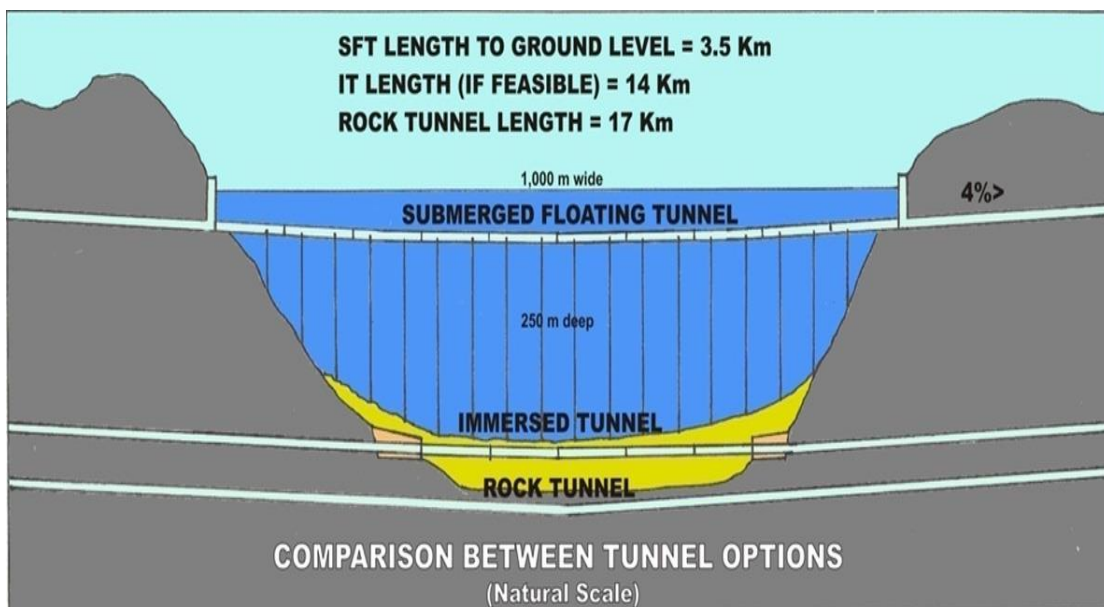
Εικόνα 8: Εσωτερικό σήραγγας (maxiscience.gr)

Εξ αιτίας της προόδου της τεχνολογίας και της μεγάλης, πλέον, ικανότητας των μηχανών διάτρησης και κοπής του πετρώματος αλλά και των μεθόδων στήριξης και βελτίωσης του, έχουν αναπτυχθεί νέες μέθοδοι διάνοιξης σηράγγων. Έτσι, δυνάμεθα να διακρίνουμε πλέον το σύνολο των σήμερα κατασκευαζόμενων σηράγγων σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τις υπόγειες και τις υποβρύχιες (Α.Ι. Σοφιανός, 2011). Οι υπόγειες, ανάλογα με τον τρόπο εκσκαφής τους, χωρίζονται σε διάτρησης (bored), υπόγειας εκσκαφής και κοπής και επίχωσης (cut and cover). Οι υποβρύχιες, ανάλογα με τον τρόπο έδρασής τους, διακρίνονται σε επιπυθμένες (immersed tube), υποπλεύουσες ή πλωτές (floating) και υποπυθμένες (subsea).

ΥΠΟΒΡΥΧΙΕΣ

Υποβρύχιες σήραγγες κατασκευάζονται όχι μόνο κάτω από τη θάλασσα, αλλά και κάτω από μεγάλα ποτάμια ή και λίμνες, όπου ουσιαστικά η γεωλογία δεν είναι εμφανής λόγω των υδάτων. Αυτές, επηρεάζονται περισσότερο από τη γεωλογική αβεβαιότητα και το ρίσκο σε σχέση με τις υπόλοιπες σήραγγες λόγω της περιορισμένης ποσότητας γεωλογικών δεδομένων, καθώς και της πολύ μικρής απόστασης από τεράστιες ποσότητες νερού. (Palmstrom, 1994)

Οι σήραγγες σε υδάτινο περιβάλλον διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: τις υποπυθμένες (διάνοιξη κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας), τις επιπυθμένες (τοποθετημένες πάνω στον πυθμένα) και τις πλωτές (οι οποίες επιπλέουν μέσα στο θαλάσσιο νερό). Είναι ευνόητο ότι για το σχεδιασμό των υποπυθμένων σηράγγων σημαντικό ρόλο παίζει η γεωλογική δομή στη θέση κατασκευής, όπως αντίστοιχα συμβαίνει και στις σήραγγες που διανοίγονται στην ξηρά. Στις πλωτές σήραγγες καθοριστικός παράγοντας είναι η θαλάσσια υδραυλική, ενώ στις επικαθήμενες στον πυθμένα σήραγγες αναλογικά λαμβάνονται υπόψη τόσο η γεωλογική κατασκευή του πυθμένα όσο και η υδροδυναμική του θαλάσσιου περιβάλλοντος.



Εικόνα 9: Κατηγορίες υποβρύχιων σηράγγων (tunneltalk.com)

1.2.1 Πλωτές

Βυθιζόμενη πλωτή σήραγγα (Submerged Floating Tunnel - SFT) είναι μια επιπλέουσα υποδομή μεταφορών η οποία μέσω ενός συστήματος πρόσδεσης που ανθίσταται στην άνωση του νερού, διατηρείται σε ισορροπία. Μια μεγάλου μήκους επιπλέουσα σήραγγα είναι η ενδεδειγμένη επιλογή για ένα σιδηροδρομικό σύστημα, αλλά προκειμένου να αποτελέσει μια μεταφορική υποδομή για σιδηροδρομική χρήση, είναι απαραίτητη η πιστοποίηση ασφαλείας υπό διάφορες συνθήκες φόρτισης.



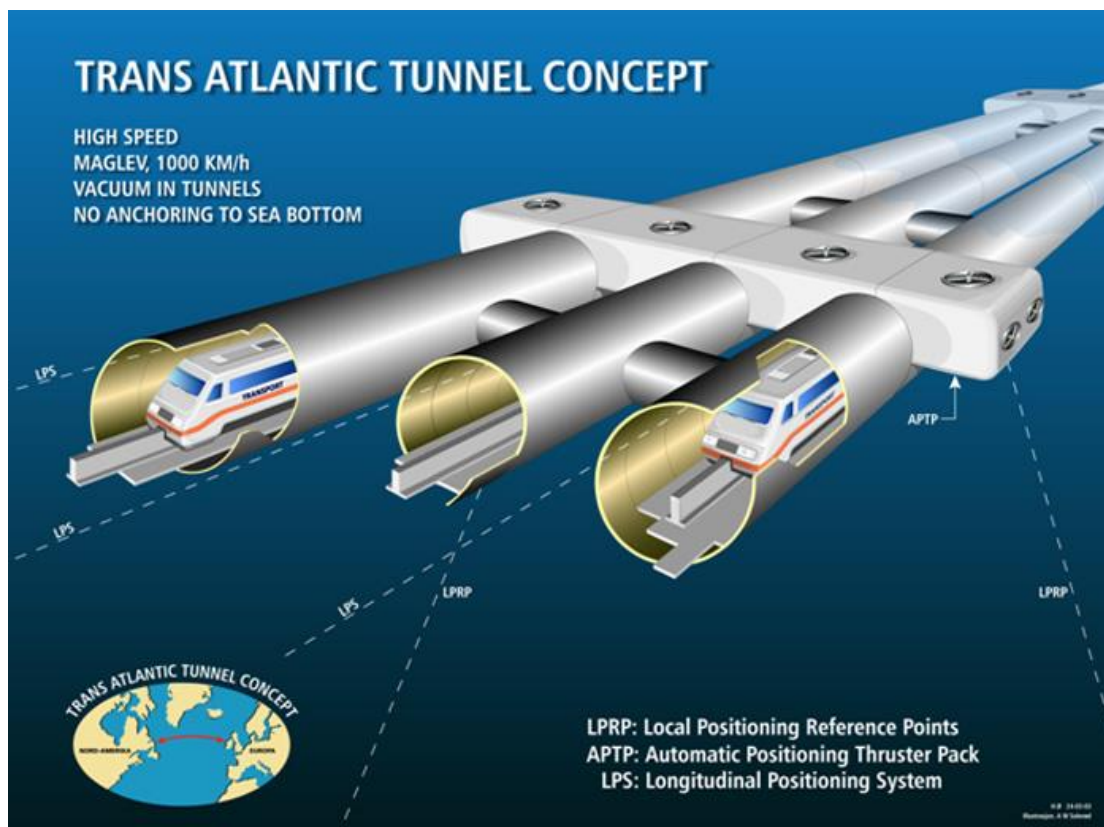
Εικόνα 10: Γραφική απεικόνιση πλωτής σήραγγας (tunneltalk.com)

Η πλωτή σήραγγα, λέγεται επίσης και Γέφυρα του Αρχιμήδη, η ιδέα της οποίας προέκυψε πριν από πάνω από 150 χρόνια. Μια ρεαλιστική SFT προτάθηκε για τη σύνδεση των στενών της Messina της Ιταλίας το 1969, η οποία θα αποτελείτο από στελέχη σκυροδέματος και χαλύβδινα κελύφη (Martine, 2010). Στη Νορβηγία το 1987, η Νορβηγική Διοίκηση Δημοσίων Οδών (Norwegian Public Road Administration), προώθησε το προσχέδιο της υποπλέουσας σήραγγας στο Hogsfjord. Μετά από αυτό, ερευνητικά προγράμματα ακολούθησαν προκειμένου

να αυξηθούν οι προσπάθειες ανάπτυξης τέτοιων σιδηρόδρομων στην Ιταλία, την Ιαπωνία και τη Νορβηγία. Όμως, μέχρι και σήμερα καμία πλωτή σήραγγα δεν έχει κατασκευαστεί. Ο λόγος που δεν έχει κατασκευαστεί είναι η μη πιστοποίηση ασφαλείας έναντι σημαντικών ατυχημάτων.

TRANS-ATLANTIC TUNNEL

Το πλέον φιλόδοξο σχέδιο της σιδηροδρομικής αεροδυναμικής αποτελεί η κατασκευή της Υπερατλαντικής (trans-Atlantic) σήραγγας, η οποία θα ενώνει την Ευρώπη με τη Βόρεια Αμερική, διερχόμενη κάτω από τον Ατλαντικό Ωκεανό. Είναι ένα έργο που πρώτος οραματίστηκε ο γιός του Jules Verne, Michel Verne. Αρκετά βιβλία και ταινίες είχαν ως κεντρική ιδέα τη σήραγγα αυτή.

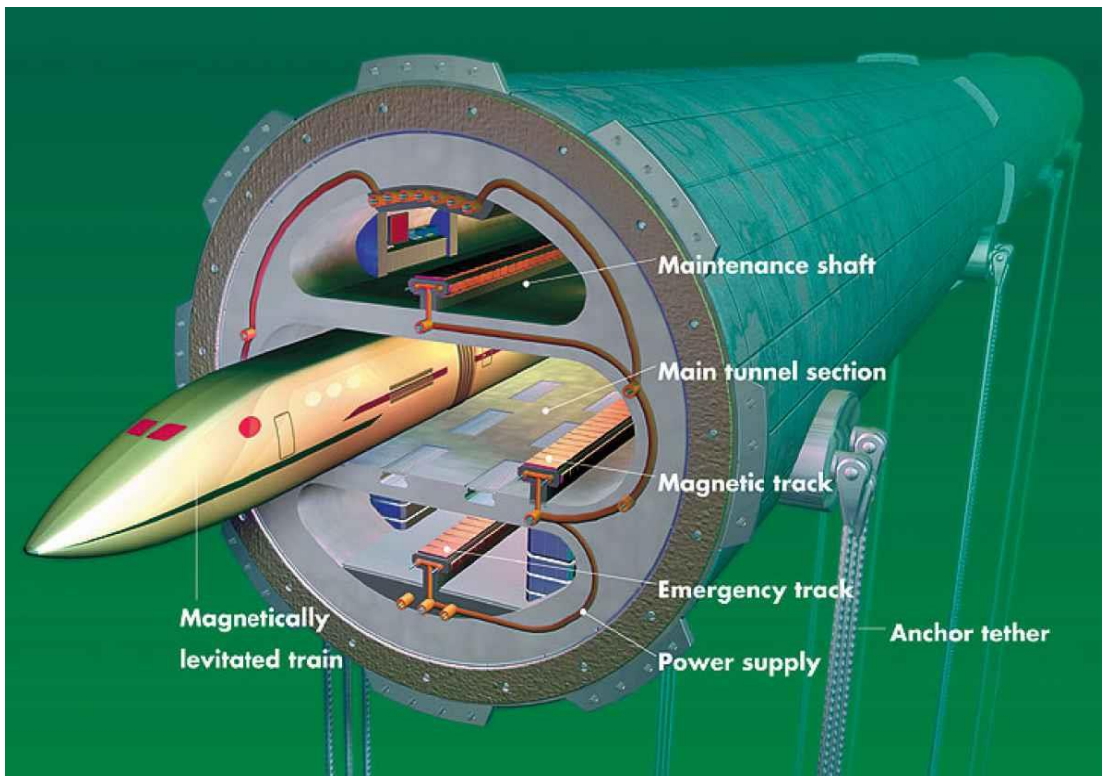


Εικόνα 11: Σενάριο για την Υπερ-Ατλαντική πλωτή σήραγγα (tunneltalk.com)

Σύμφωνα με τις επικρατέστερες ιδέες, η σήραγγα πρόκειται να είναι πλωτή σιδηροδρομική, σε βάθος ανώτερο των 50 μέτρων κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας και θα συνδέει το Λονδίνο (Μ. Βρετανία) με τη Νέα Υόρκη (Η.Π.Α.).

Υπερηχητικά τρέινα, κινούμενα με μαγνητική ώθηση εντός της σήραγγας μήκους άνω των 5.000 χιλιομέτρων, με κενό αέρος και απουσία αντίστασης, αναμένεται να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να εξασφαλίζουν μικρό σχετικά χρόνο διαδρομής.

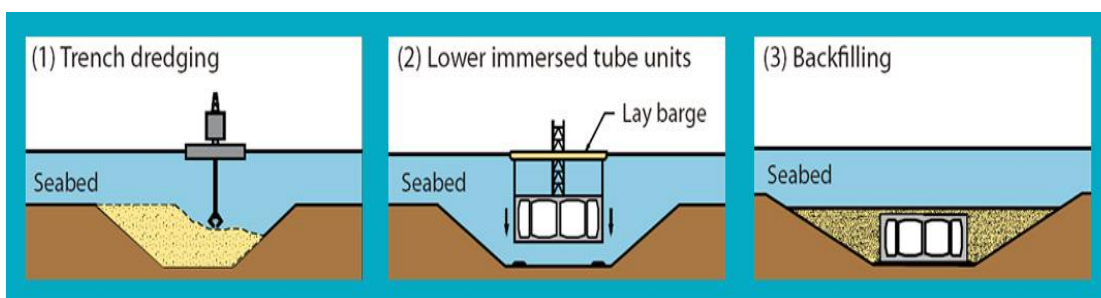
Μεγάλα αγκάθια για την πραγματοποίηση του project αυτού αποτελούν αφενός η τεχνολογική υστέρηση της εποχής σε σχέση με την απαιτούμενη τεχνολογία, και αφετέρου οι τεράστιες δαπάνες που πρέπει να γίνουν. Εν έτει 2015, η κατασκευή μιας υπερ-Ατλαντικής σήραγγας φαντάζει άπιαστο όνειρο, όμως, υπάρχει η ελπίδα για την πραγματοποίηση του έργου αυτού στο μέλλον.



Εικόνα 12: Μια πρόταση για τη διαμόρφωση της Υπερ-Ατλαντικής σήραγγας (popsci.com)

1.2.2 Επιπυθμένες

Οι επιπυθμένες (ή επικαθήμενες ή βυθιζόμενες) σήραγγες αποτελούνται από προκατασκευασμένα τμήματα (σπονδύλους ή caissons) από χάλυβα ή σκυρόδεμα τοποθετημένα σε τάφρους οι οποίες έχουν διανοιχθεί σε πυθμένες θαλασσών ή λιμνών. Σε κάθε όχθη στο τέλος των τάφρων, γίνονται εκσκαφές για την κατασκευή της εισόδου και εξόδου της σήραγγας. Οι σπόνδυλοι, κατασκευάζονται συνήθως σε μικρή απόσταση από τη θέση της σήραγγας σε ναυπηγεία, ξηρές αποβάθρες ή λεκάνες χύτευσης και στεγανοποιούνται από προσωρινά διαφράγματα. Στη συνέχεια, επιπλέοντας, οδηγούνται πάνω από την τάφρο, βυθίζονται στην κατάλληλη θέση και ενώνονται με τους υπόλοιπους σπονδύλους κάτω από το νερό. Τα προσωρινά διαφράγματα αφαιρούνται και η τάφρος καλύπτεται με εδαφικό υλικό για την προστασία των σπονδύλων. Επιπυθμένες σήραγγες χρησιμοποιούνται ευρέως για σύνδεση αυτοκινητοδρόμων και σιδηροδρόμων σε μικρά σχετικά βάθη, όπου οι τάφροι μπορούν να εκσκαφθούν με πλωτό εξοπλισμό.



Εικόνα 13: Εργασίες για την εγκατάσταση της επικαθήμενης σήραγγας στον πυθμένα (1. Διάνοξη υφαλούλακα, 2. Βύθιση των caissons, 3. Επανεπίχωση) (mtr-shatincentrallink.kh)

Η πρώτη εφαρμογή της χρονολογείται το 1896 στο λιμάνι της Βοστώνης στις Η.Π.Α., ενώ το 1910 κατασκευάστηκε η πρώτη σιδηροδρομική επιπυθμένα σήραγγα κάτω από τον ποταμό του Detroit. Η πρώτη οδική σήραγγα τέτοιου είδους κατασκευάστηκε λίγο αργότερα και πάλι στις Η.Π.Α. το 1928 μεταξύ Oakland και Alameda της California. Στην Ευρώπη, η πρώτη επιπυθμένα σήραγγα, το Maas Tunnel, κατασκευάστηκε το 1942 στο Rotterdam της Ολλανδίας. Άλλες αξιοσημείωτες περιπτώσεις είναι το Drodgen Tunnel που

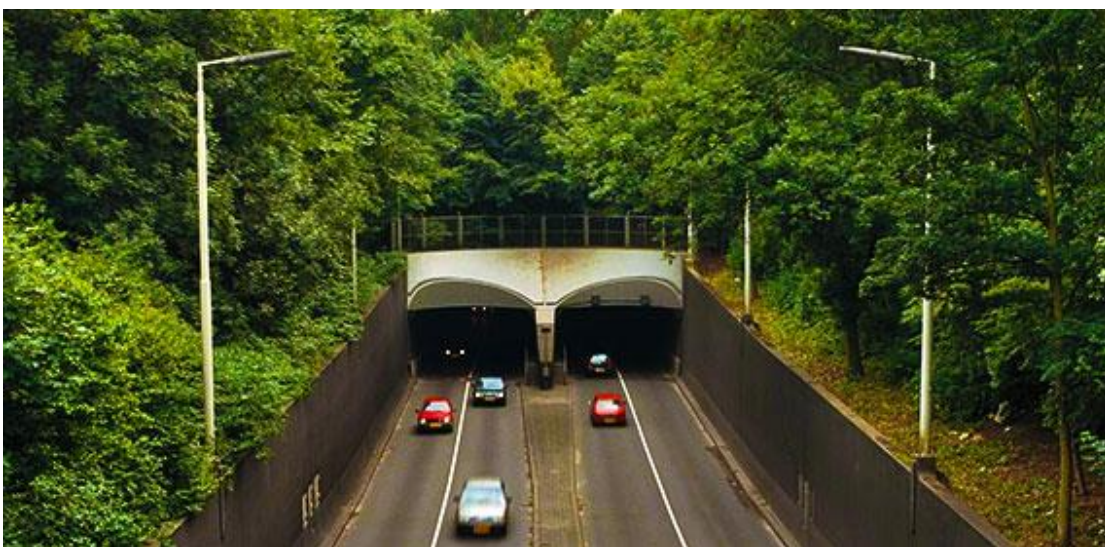
συνδέει Δανία και Σουηδία, η σήραγγα του Μαρμαρά στην Τουρκία, η σήραγγα του λιμανιού του Σίδνεϋ κ.α.



Εικόνα 14: Σπόνδυλοι κατά την κατασκευή τους στη νηοδόχο (gudconsult.de)

MAASTUNNEL

Το Maastunnel πρόκειται για μία επικαθήμενη στον πυθμένα υποβρύχια οδική σήραγγα που βρίσκεται στο Rotterdam της Ολλανδίας και συνδέει τις δύο όχθες του ποταμού Nieuwe Maas (παραπόταμος του Ρήνου). Η κατασκευή της ξεκίνησε το 1937 και ολοκληρώθηκε το 1942 και αποτέλεσε την πρώτη οδική σήραγγα στην Ολλανδία.



Εικόνα 15: Η είσοδος του Maastunnel (cob.nl)

Έχει συνολικό μήκος 1373 μέτρα με μέγιστο βάθος τα 20 μέτρα από την επιφάνεια του ποταμού. Οι σπόνδυλοι κατασκευάστηκαν σε ξηρή αποβάθρα και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε υφαλούλακα που είχε διανοιγεί στον πυθμένα του ποταμού. Αποτελείται από 9 caissons από οπλισμένο σκυρόδεμα, μήκους άνω των 60 μέτρων, ύψους 6 μέτρων και πλάτους 25. Μάλιστα, η συγκεκριμένη αποτελεί την πρώτη επιπυθμένα σήραγγα παγκοσμίως με ορθογωνική διατομή αφού παλαιότερα κατασκευάζονταν μόνο κυκλικές (L. Gravesen & N.S. Rasmussen, 1993)

ΣΗΡΑΓΓΑ ΠΡΕΒΕΖΑ-ΑΚΤΙΟ

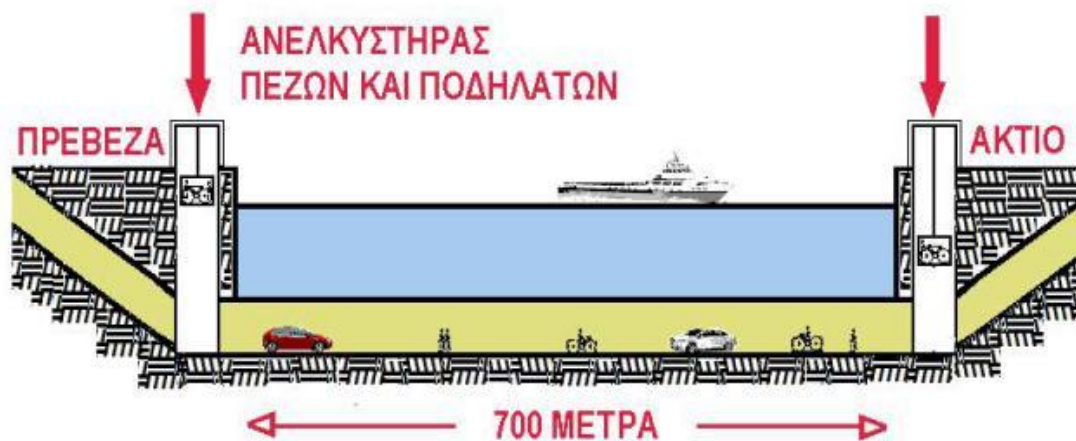
Στην Ελλάδα, το 2002 ολοκληρώθηκε η πρώτη –και μοναδική έως τώρα– επικαθήμενη σήραγγα και συνδέει το Άκτιο με την Πρέβεζα. Την κατασκευή της ανέλαβε η κοινοπραξία που συνέστησαν οι εταιρείες «Christiani Nielsen Ltd.» και «ΤΕΓΚ Α.Ε.».

Έχει συνολικό μήκος 1570 μέτρα εκ των οποίων τα 909 μέτρα είναι υποθαλάσσια και μέγιστο βάθος 27 μέτρα. Τα διερχόμενα οχήματα διασχίζουν την απόσταση σε 1 με 1,5 λεπτό περίπου, ενώ η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα είναι τα 60 χιλιόμετρα. Επίσης, η διέλευση απαγορεύεται τόσο σε πεζούς όσο και σε ποδήλατα, ενώ η διέλευση οχημάτων που μεταφέρουν επικίνδυνα φορτία ή καύσιμα επιτρέπεται σε συγκεκριμένες ημέρες και ώρες.



Εικόνα 16: Η είσοδος της σήραγγας Ακτίου-Πρεβέζης (yrodomes.com)

Αποτελείται από 8 σπονδύλους, ο μεγαλύτερος εκ των οποίων έχει μήκος 134,5 μέτρα και πάχος τοιχωμάτων ένα μέτρο. Τα τμήματα της σήραγγας τοποθετήθηκαν σε υφαλαύλακα, ο πυθμένας του οποίου είχε βελτιωθεί με την κατασκευή χαλικοπασσάλων, λόγω της λιθολογικής σύστασης από λεπτόκοκκο άμμο της εδαφικής στρώσης έδρασης της σήραγγας, και της προκύπτουσας επικινδυνότητας ρευστοποίησης από τυχόν σεισμική δραστηριότητα. Η εσωτερική διατομή της σήραγγας είναι ορθογωνική με διαστάσεις 10,60 μέτρα πλάτος και 5,30 μέτρα ύψος, ενώ διαθέτει και δύο πεζοδρόμια πλάτους 1,30 μέτρων για έκτακτες ανάγκες ή εργασίες συντήρησης (Τσιαμπάος, 2012).



Εικόνα 17: Σχηματική απεικόνιση της σήραγγας Ακτίου-Πρεβέζης (nextlevelgroup.gr)

Στην πλευρά του Ακτίου βρίσκεται ο σταθμός των διοδίων, ενώ ο σταθμός ελέγχου βρίσκεται στην Πρέβεζα, την Κυανή Ακτή. Επίσης, η λειτουργία και συντήρηση της σήραγγας, από το 2014, πέρασαν στην εταιρεία Εγνατία Οδός Α.Ε.

1.2.3 Υποπυθμένες

Υποπυθμένες καλούνται οι σήραγγες οι οποίες διανοίγονται κάτω από τον πυθμένα θάλασσας, λίμνης ή ποταμού, όπου η γεωλογία είναι ουσιαστικά κρυμμένη από το νερό. Τέτοιου είδους σήραγγες μπορούν να διανοιγούν με χρήση μηχανών ολομέτωπης κοπής (TBM -Tunnel Boring Machine), με χρήση εκρηκτικών υλών σε ευσταθή πετρώματα ή/και συμβατικών μηχανικών μέσων (Μέθοδος NATM ή ADECO-RS).

Αναλυτικότερα, στις υποπυθμένες σήραγγες, η φύση και οι ιδιότητες των γεωλογικών σχηματισμών που διαπερνώνται παίζουν κυρίαρχο ρόλο στο σχεδιασμό και την κατασκευή τους. Πρόκειται για ένα έργο που γίνεται εξ' ολοκλήρου μέσα στο υπέδαφος, όπως και οι σήραγγες στην ξηρά, οπότε και ο σχεδιασμός της σήραγγας ακολουθεί την ίδια μεθοδολογία με αυτή των συμβατικών σηράγγων, με το επιπλέον στοιχείο της παρουσίας της στήλης του

θαλάσσιου νερού, η οποία προσθέτει ένα πρόσθετο φορτίο στην καταπόνηση της σήραγγας. Επίσης, ιδιαίτερη προσοχή δίνεται και στην αποφυγή εισόδου θαλασσινού και υπόγειου νερού στο χώρο της σήραγγας. Η πιθανή εισροή των υδάτων αυτών μπορεί να προκαλέσει τεράστια προβλήματα κατά την διάνοιξη, ακόμα και να πλημμυρίσει τη σήραग्ga.(Palmstrom, 1994) Οι υποθαλάσσιες σήραγγες συνήθως γίνονται σε βάθος μεγαλύτερο των 100 μέτρων από τον πυθμένα της θάλασσας.



Εικόνα 18: Σχηματική απεικόνιση υποπυθμίνιας σήραγγας (unibasin.instabul.edu.tr)

Τα ιδιαίτερα προβλήματα των υποθαλάσσιων σήραγγων είναι επομένως:

- Η μικρή απόσταση από ανεξάντλητη πηγή υδάτων
- Η περιορισμένη γνώση για την κατάσταση της βραχομάζας
- Το γεγονός πως οποιαδήποτε διαρροή νερού πρέπει να αντληθεί τόσο κατά τη κατασκευή όσο και κατά τη λειτουργία της σήραγγας

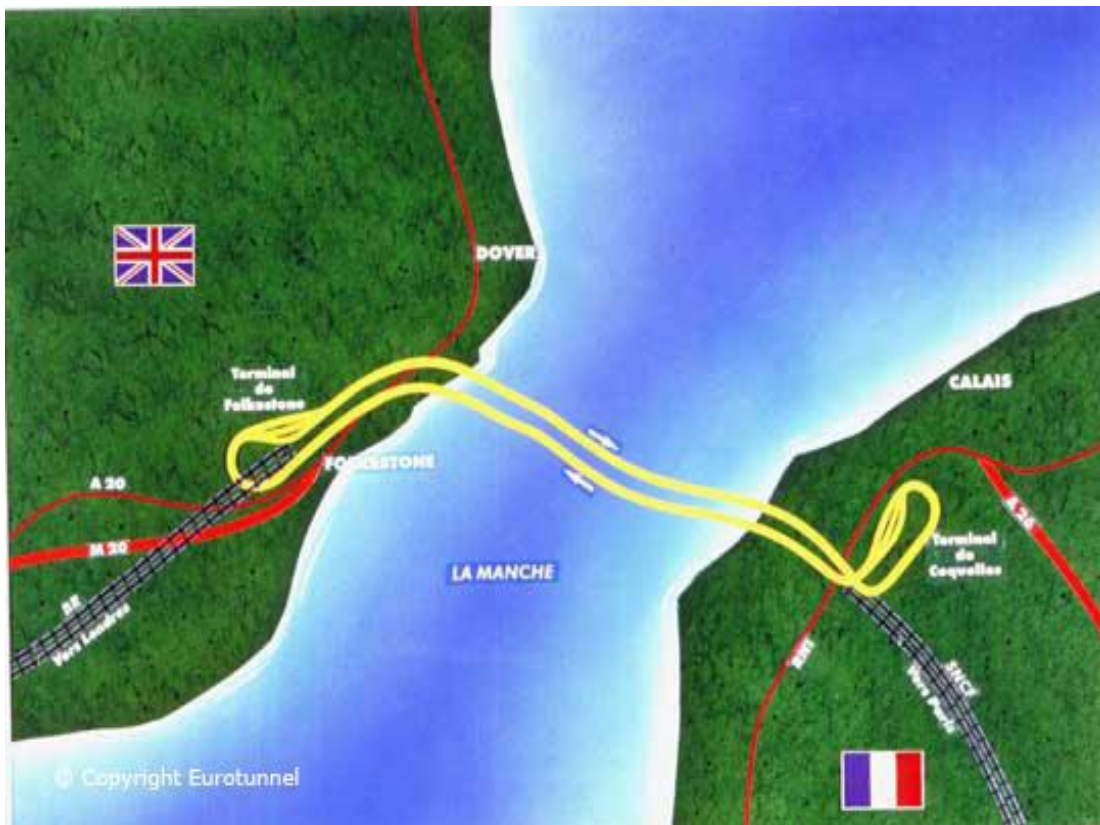
Συνεπώς, μία υποπυθμίνια σήραग्ga απαιτεί εις βάθος προγραμματισμό των εργασιών και περιλαμβάνει ειδικά μέτρα ασφαλείας.

Όπως ήδη σημειώθηκε, ένας πολύ σοβαρός κίνδυνος, ο οποίος είναι άμεσα συνδεδεμένος με την υποθαλάσσια σήραγγοποιία, είναι η απότομη διείσδυση των υδάτων. Ούτε ο αριθμός των επικίνδυνων ζωνών εισροής υδάτων, μήτε ο μέγιστος ρυθμός εισροής αυτών μπορούν να προβλεφθούν. Η εμπειρία των Νορβηγών σε αυτόν τον τομέα δείχνει ότι το ρίσκο της εισροής μεγάλης ποσότητας νερού μειώνεται κατακόρυφα, όταν βελτιώνονται οι επικίνδυνες αυτές ζώνες με τη χρήση ενεμάτων (κυρίως τσιμεντενέσεων – pregROUTING) πριν το μέτωπο της διάνοιξης φθάσει εκεί. Αφού γίνει η παραπάνω βελτίωση, η διάνοιξη μπορεί να συνεχιστεί ουσιαστικά μέσα από μια ασφαλή ζώνη.

Η σήραγγα που σχεδιάζεται προκειμένου να συνδέσει τη Σιβηρία με την Αλάσκα στον Βερίγγειο πορθμό, πρόκειται να αποτελέσει τη μεγαλύτερου μήκους υποπυθμένα σήραγγα παγκοσμίως αφού το μήκος της θα ανέρχεται σε 150 χιλιόμετρα. Επίσης, θα έχει μεγάλη διατομή αφού θα είναι ταυτόχρονα σιδηροδρομική και οδική και θα φιλοξενεί αγωγούς πετρελαίου και φυσικού αερίου. Η κατασκευή της, αναμένεται να διαρκέσει 15 χρόνια και προγραμματίζεται να τεθεί σε χρήση το 2030 (Τσιαμπάος, 2012).

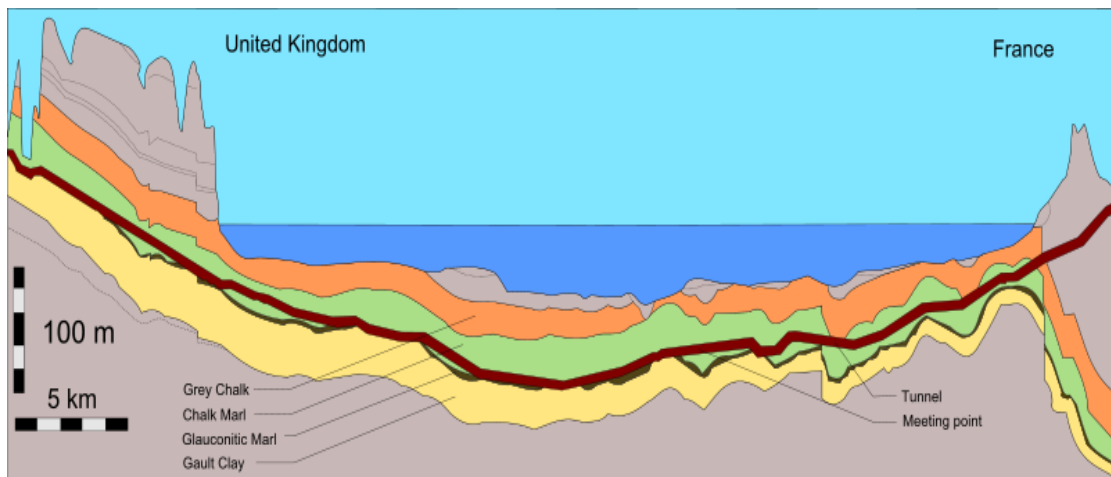
Η ΣΗΡΑΓΓΑ ΤΗΣ ΜΑΓΧΗΣ (CHUNNEL)

Η σημαντικότερη μέχρι στιγμής κατασκευασμένη υποπυθμένα σήραγγα είναι η σήραγγα της Μάγχης, γνωστή και ως Channel Tunnel (ή Chunnel), η οποία έχει χαρακτηριστεί ως ένα από τα επτά θαύματα του σύγχρονου κόσμου. Βρίσκεται κάτω από τη Μάγχη (εξ ου και το όνομα) στο στενό του Dover και συνδέει την Αγγλία με τη Γαλλία. Πρόκειται για σιδηροδρομική σήραγγα μήκους 50,5 χιλιομέτρων εκ των οποίων τα 37,9 βρίσκονται κάτω από τη θάλασσα και το μέγιστο βάθος της φτάνει τα 79 μέτρα.



Εικόνα 19: Σχηματική απεικόνιση της σήραγγας της Μάγχης (Eurotunnel.com)

Η ιδέα για την κατασκευή της σήραγγας προέκυψε στις αρχές του 19ου αιώνα. Το 1880 έγινε η πρώτη προσπάθεια υλοποίησης της. Έκτοτε έγιναν διάφορες απόπειρες, αυτή όμως που στέφθηκε με επιτυχία ήταν εκείνη του 1987. Η κατασκευή της ολοκληρώθηκε το 1994 και κόστισε συνολικά 4650 δισεκατομμύρια λίρες. Στην πραγματικότητα αποτελείται από τρεις σήραγγες, 2 σιδηροδρομικές και μία service, μέσα σε κρητιδική μάργα για την διάνοιξη των οποίων η ανάδοχος κοινοπραξία χρησιμοποίησε 11 μηχανές ολομέτωπης κοπής (TBM).



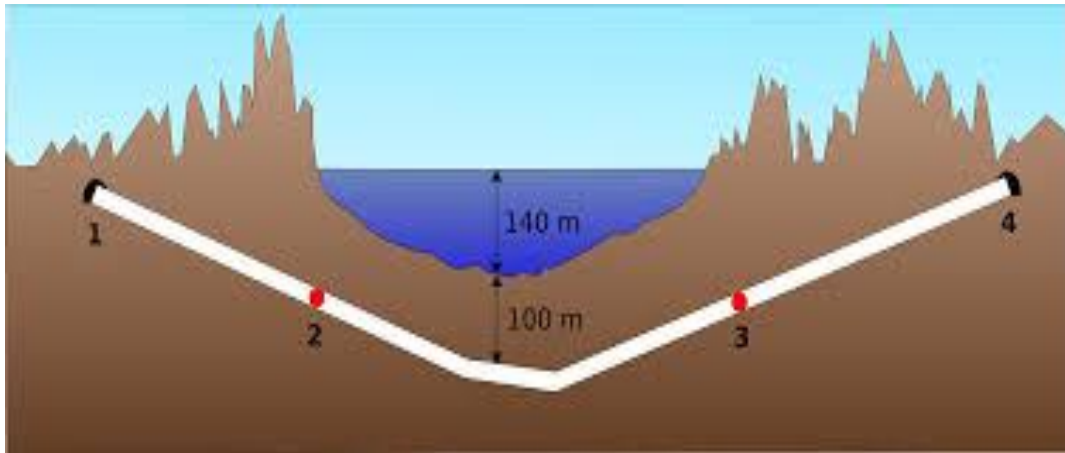
Εικόνα 20: Γεωλογική τομή του Channel Tunnel (Wikipedia.org)

Η ΣΗΡΑΓΓΑ ΤΟΥ ΣΕΙΚΑΝ (SEIKAN TUNNEL)

Μια επίσης άξια αναφοράς υποπυθμένα σήραγγα είναι η σήραγγα Seikan στην Ιαπωνία η οποία συνδέει τα νησιά Honshu και Hokkaido, διερχόμενη κάτω από το Tsugaru Strait. Πρόκειται για μία σιδηροδρομική σήραγγα συνολικού μήκους 53,85 χιλιομέτρων, με τα 23,3 από αυτά να βρίσκονται κάτω από τον πυθμένα. Μάλιστα είναι η βαθύτερη καθώς και δεύτερη μακρύτερη (μετά την κεντρική σήραγγα της γραμμής 3 του Μετρό του Guangzhou στην Κίνα) σιδηροδρομική σήραγγα παγκοσμίως.



Εικόνα 21: Η σήραγγα του Seikan (Wikipedia.org)



Εικόνα 22: Μηκοτομή της σήραγγας του Seikan (Wikipedia.org)

Στα χρόνια της κυριαρχίας του αυτοκράτορα Taisho (1912-1925) εξετάστηκε για πρώτη φορά η δυνατότητα σύνδεσης των νησιών Hokkaido και Honshu, χωρίς όμως κάποιο αποτέλεσμα. Οι πρώτες έρευνες ξεκίνησαν το 1946 μετά την ήττα της Ιαπωνίας στον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο και συνεχίστηκαν μέχρι το 1964, όταν και ξεκίνησε η κατασκευή. Η σήραγγα Seikan παραδόθηκε στο κοινό τον Απρίλη του 1988.

Το τμήμα κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας αποτελείται από ηφαιστειακά, πυροκλαστικά και ιζηματογενή πετρώματα της νεογενούς περιόδου και είναι πτυχωμένο σε ένα σχεδόν κατακόρυφο σύγκλινο. Για τη διάνοιξη της σήραγγας, αρχικά χρησιμοποιήθηκε μηχανή ολομέτωπης κοπής (TBM), στη συνέχεια όμως εγκαταλείφτηκε λόγω των συνεχών εναλλαγών των γεωλογικών σχηματισμών στο μέτωπο της σήραγγας. Έτσι, η διάνοιξη συνεχίστηκε με τη χρήση εκρηκτικών αλλά και με μηχανικά μέσα.



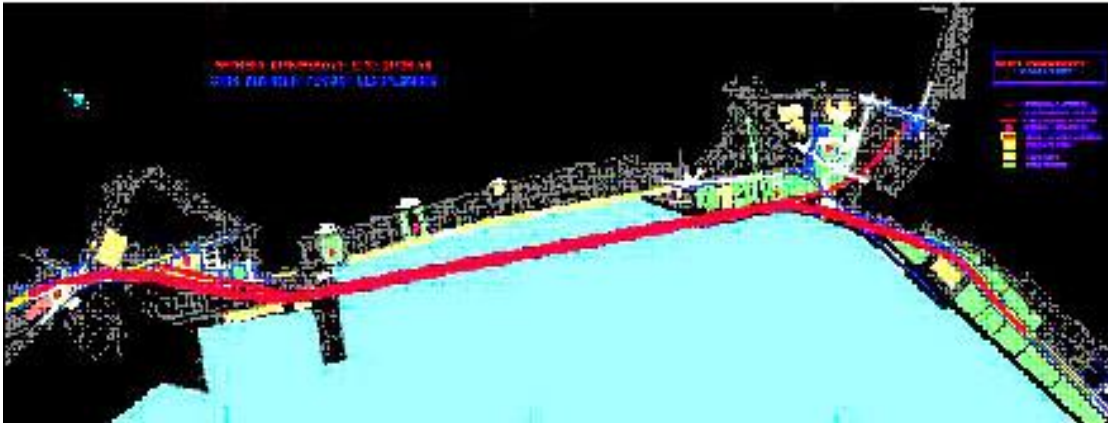
Εικόνα 23: Άποψη από το εσωτερικό της σήραγγας του Seikan (scientific.net)

ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΑΡΤΗΡΙΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Στη χωροταξική Μελέτη Θεσσαλονίκης του 1968, διατυπώθηκε για πρώτη φορά επίσημα η πρόθεση ζεύξης του Θερμικού κόλπου. Για αρκετά χρόνια εγκαταλείφθηκε σαν ιδέα, όμως το 2000 το project υιοθετήθηκε από τη Γενική Κυκλοφοριακή Μελέτη με κάποιες διαφοροποιήσεις. Η υποθαλάσσια αρτηρία Θεσσαλονίκης επρόκειτο για ένα σχέδιο διαμπερούς αυτοκινητοδρόμου κατά μήκος της παραλίας της πόλης, με ένα τμήμα υποθαλάσσιο, που θα συνέδεε το δυτικό με το ανατολικό τμήμα της Θεσσαλονίκης παρακάμπτοντας το Κέντρο. Το συνολικό μήκος θα ήταν 6,5 χιλιόμετρα, εκ των οποίων τα 4 υπόγεια (2,5 χιλιόμετρα σήραγγες και 1,5 χιλιόμετρο cut and cover). Θα είχε 3 λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, λωρίδα έκτακτης ανάγκης (ΛΕΑ) και πεζοδρόμια.

Η κατασκευή της θα γινόταν με σύμβαση παραχώρησης σε ιδιωτική κοινοπραξία, η οποία είχε επιλεγεί. Το έργο ακυρώθηκε το 2009 λόγω

προβλημάτων στη χρηματοδότηση του εξαιτίας των συνεχόμενων καθυστερήσεων στην έναρξη κατασκευής του.



Εικόνα 24: Οριζοντιογραφία της υποθαλάσσιας αρτηρίας Θεσσαλονίκης (egnatia.eu)

2.ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΖΕΥΞΗΣ

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η Σαλαμίνα, ή αλλιώς Κούλουρη, είναι το μεγαλύτερο νησί του Σαρωνικού Κόλπου και το κοντινότερο στις ακτές της Αττικής, απέχοντας 1200 μέτρα από το Πέραμα και 500 μέτρα από τις ακτές της Μεγαρίδας. Βρίσκεται ΒΔ στο Σαρωνικό και έναντι του Κόλπου της Ελευσίνας.

Σύμφωνα με τη μυθολογία, ο πρώτος βασιλιάς του νησιού, Κυχρεύς, θέλοντας να τιμήσει τη μητέρα του, Σαλαμίνα, έδωσε το όνομά της στο βασίλειό του. Επίσης, άλλες ονομασίες του νησιού κατά τους αρχαίους χρόνους ήσαν: Πιτυούσα, Σκιράς και Κυχρεία.



Εικόνα 25: Η Σαλαμίνα από δορυφόρο (wikipedia.org)

Το νησί, οφείλει τη διεθνή του φήμη στη Ναυμαχία της Σαλαμίνας που έλαβε χώρα το 480 π.Χ. κατά τους περσικούς πολέμους μεταξύ των Ελλήνων και της

Περσικής Αυτοκρατορίας, με αποτέλεσμα τη νίκη του ελληνικού στόλου. Επίσης, είναι η πατρίδα του τραγικού ποιητή Ευριπίδη καθώς και του ομηρικού Αίαντα του Τελαμώνιου.

Πρωτεύουσα και μεγαλύτερη πόλη του νησιού είναι η ομώνυμη πόλη. Έχει έκταση 93,5 τετραγωνικά χιλιόμετρα και πληθυσμό 39.000 κατοίκους. Μάλιστα, η Σαλαμίνα, αποτελεί το νησί με τη μεγαλύτερη πυκνότητα μόνιμου πληθυσμού στην Ελλάδα. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, αποτελεί παραθεριστικό προορισμό και ο πληθυσμός της αυξάνεται κατακόρυφα από τον μεγάλο αριθμό επισκεπτών που δέχεται.

Η σύνδεσή της με την Αττική γίνεται ακτοπλοϊκά και έτσι καθημερινά εκτελούνται αρκετά δρομολόγια από το πορθμείο των Παλουκίων προς το Πέραμα και τον Πειραιά (και αντίστροφα). Αξίζει να σημειωθεί πως τα Παλούκια επί δύο συναπτά έτη (2008 και 2009), σύμφωνα με στοιχεία της Eurostat, βρίσκονταν στη δεύτερη θέση πανευρωπαϊκά, στη λίστα με τα λιμάνια με τη μεγαλύτερη διακίνηση επιβατών (στην 3^η θέση το «απέναντι» λιμάνι του Περάματος και στην 4^η του Πειραιά). Επίσης υπάρχει ακτοπλοϊκή σύνδεση και με τη Νέα Πέραμο από το λιμάνι που βρίσκεται πλησίον του μοναστηριού της Παναγίας της Φανερωμένης.

Στις βορειοανατολικές ακτές του νησιού εδρεύει ο Ναύσταθμος Σαλαμίνας, η μεγαλύτερη ελληνική ναυτική βάση. Εκεί ναυλοχεί το μεγαλύτερο μέρος των πολεμικών πλοίων της χώρας, καθώς και στεγάζεται η πλειονότητα των διοικητικών υπηρεσιών του ελληνικού πολεμικού ναυτικού. Ο Ναύσταθμος έχει σημαντική συμβολή στην οικονομική ζωή του νησιού, καθώς απασχολείται μεγάλος αριθμός γηγενούς πληθυσμού.

2.1 ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΖΕΥΞΗΣ

Η σύνδεση της Σαλαμίνας με το Πέραμα γίνεται σήμερα μόνο με οχηματαγωγά πλοία. Αυτός ο τρόπος σύνδεσης διατηρεί το χάσμα ανάμεσα στη Σαλαμίνα και την Αττική, με όλα τα αρνητικά συνεπακόλουθα για την ανάπτυξη της περιοχής και την ευχέρεια των μετακινήσεων.

Συγκεκριμένα, ο χρόνος που απαιτείται για τη μετάβαση από τη μία ακτή στην άλλη είναι σημαντικός, ειδικά για εκείνους οι οποίοι είναι υποχρεωμένοι να εκτελούν το δρομολόγιο αυτό σε καθημερινή βάση. Επίσης, η πραγματοποίηση ή μη των ακτοπλοϊκών δρομολογίων εξαρτάται από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες ιδίως κατά τους χειμερινούς μήνες, επομένως υπάρχει πιθανότητα να διακοπεί η σύνδεση του νησιού με την Αττική σε περίπτωση δυσμενών καιρικών φαινομένων.

Έτσι λοιπόν, θα μπορούσε να κατασκευαστεί μια μόνιμη ζεύξη της Σαλαμίνας με την απέναντι πλευρά της Αττικής και πιο συγκεκριμένα με το Πέραμα. Μια τέτοια ζεύξη μπορεί να πραγματοποιηθεί με την κατασκευή γέφυρας ή σήραγγας. Με τον τρόπο αυτόν θα διευκολύνονταν οι μετακινήσεις εκατομμυρίων ανθρώπων ετησίως, ενώ παράλληλα θα συντελείτο περαιτέρω ανάπτυξη της περιοχής.

Άλλωστε η ιδέα μιας ζεύξης δεν γεννήθηκε στην παρούσα διπλωματική. Ήδη από το 1990 έχουν γίνει σκέψεις για τη σύνδεση του νησιού με την Αττική. Έχουν προταθεί διάφοροι τρόποι σύνδεσης, με επικρατέστερη τη λύση της επικαθήμενης στον πυθμένα οδικής σήραγγας. Μάλιστα, η λύση αυτή, έχει φτάσει αρκετές φορές σε διαδικασία δημοπράτησης, χωρίς όμως να προχωρήσει σε φάση κατασκευής. Επίσης στο προηγούμενο Ρυθμιστικό Σχέδιο της Αθήνας (ΡΣΑ), αυτό του 2014, προτάθηκε η σύνδεση της Σαλαμίνας με το Πέραμα με ελαφρύ Μετρό.

Ας αναλύσουμε όμως εκτενέστερα το τι έχει να προσφέρει η κατασκευή μιας μόνιμης ζεύξης στη Σαλαμίνα, το Πέραμα αλλά και την ευρύτερη περιοχή.

Από το Στενό διέρχονται ετησίως 11 εκατομμύρια επιβάτες καθώς και 4 εκατομμύρια οχήματα, από τα οποία το 10-15% περίπου είναι φορτηγά και λεωφορεία. Ο μέσος χρόνος διέλευσης με τις σημερινές συνθήκες υπολογίζεται μεταξύ 20 και 35 λεπτών. Με τη ζεύξη Σαλαμίνας- Πέραματος μειώνεται δραστικά ο χρόνος διέλευσης και έτσι ανοίγονται νέες προοπτικές για την ανάπτυξη των περιοχών και τη γρήγορη και ασφαλή μετακίνηση πολιτών και εμπορευμάτων.

Ειδικότερα, η ζεύξη Σαλαμίνας - Περάματος θα επιφέρει άμεσα οφέλη στους χρήστες της, όπως:

- μείωση του χρόνου διέλευσης, γεγονός που συνεπάγεται, τη μείωση του συνολικού κόστους διέλευσης,
- βελτίωση της άνεσης και της ποιότητας της διέλευσης,
- σημαντική βελτίωση της χρονικής αξιοπιστίας κάθε μετακίνησης,
- διασφάλιση των μετακινήσεων ανεξάρτητα από καιρικές συνθήκες κ.λ.π..
- ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας των υφιστάμενων επιχειρήσεων και δημιουργία προϋποθέσεων για ίδρυση νέων στις μέχρι τώρα γεωγραφικά απομονωμένες περιοχές της Σαλαμίνας,
- προώθηση της κοινωνικοοικονομικής και πολιτισμικής ανάπτυξης της ανωτέρω περιοχής.

Το Έργο της ζεύξης, τόσο κατά το στάδιο της κατασκευής όσο και κατά το στάδιο της λειτουργίας του, θα δημιουργήσει μεγάλο αριθμό θέσεων εργασίας τόσο άμεσα όσο και έμμεσα, που θα δώσουν διέξοδο και θα ανοίξουν νέους ορίζοντες για την απασχόληση του ανθρώπινου δυναμικού της περιοχής. Πιο συγκεκριμένα:

- Προσλαμβάνεται εργατικό δυναμικό από την ευρύτερη περιοχή του έργου που θα εκπαιδευτεί κατάλληλα, ώστε να στελεχώσει τα συνεργεία κατασκευής του Έργου.
- Αυξάνονται οι θέσεις εργασίας, ιδιαίτερα κατά την περίοδο κατασκευής
- Αυξάνονται σημαντικά οι θέσεις εργασίας για να καλυφθούν οι ανάγκες παραγωγής στις επιχειρήσεις, τις βιοτεχνίες και τις βιομηχανίες της ευρύτερης περιοχής, που με τα αναγκαία υλικά τους, τα προϊόντα και τις υπηρεσίες τους θα στηρίζουν την κατασκευή και τη λειτουργία του Έργου.
- Δημιουργούνται νέες θέσεις απασχόλησης σε παραγωγικές μονάδες και επιχειρήσεις και από την οικιστική ανάπτυξη της περιοχής.

2.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΖΕΥΞΗΣ

Η εργασία αυτή έχει ως σκοπό την παρουσίαση μιας υποπτυθμένης σιδηροδρομικής σήραγγας που θα συνδέσει ουσιαστικά τους μελλοντικούς σταθμούς Μετρό Περάματος και Σαλαμίνας.

Πριν εξετάσουμε τις εναλλακτικές λύσεις για τη ζεύξη των περιοχών που μας ενδιαφέρουν, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη κάποια στοιχεία.

Όπως ήδη αναφέρθηκε και παραπάνω, στα στενά μεταξύ Σαλαμίνας και Περάματος και συγκεκριμένα ΒΑ στη νήσο Σαλαμίνα, βρίσκεται ο Ναύσταθμος Σαλαμίνας που αποτελεί τη μεγαλύτερη ελληνική ναυτική βάση καταλαμβάνοντας εκτάσεις εκατέρωθεν του ΒΑ διαύλου. Εκεί βρίσκεται το μεγαλύτερο μέρος των πολεμικών πλοίων του Ελληνικού Πολεμικού Ναυτικού. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο να μην παρεμποδίζεται η διέλευση των σκαφών του Ναυστάθμου.

Εξίσου σημαντικός παράγοντας για την επιλογή του έργου για τη ζεύξη της Σαλαμίνας με το Πέραμα αποτελεί η ύπαρξη οργανικών ιζημάτων στον πυθμένα των Στενών, τα οποία είναι απόβλητα από τη βιομηχανική δραστηριότητα της ευρύτερης περιοχής. Τα οργανικά αυτά ιζήματα δυσχεραίνουν την έδραση και τη θεμελίωση κατασκευών στον πυθμένα της θάλασσας. Προκειμένου να πάψουν να αποτελούν πρόβλημα, απαιτείται αρχικά η απομάκρυνσή τους και στη συνέχεια η επεξεργασία και η απόθεσή τους σε κάποιον κατάλληλο χώρο που επίσης θα πρέπει να επιλεγεί.

Επίσης, για την επιλογή μας θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι η περιοχή ενδιαφέροντος μας βρίσκεται πολύ κοντά στα μεγάλα αστικά κέντρα της Αθήνας και του Πειραιά όπου είναι έντονο το κυκλοφοριακό πρόβλημα λόγω του πολύ μεγάλου αριθμού Ι.Χ οχημάτων. Μάλιστα, δε μπορούμε να αγνοήσουμε τις αντιδράσεις της κοινωνίας της Σαλαμίνας προς την οδική σήραγγα, φοβούμενοι πως θα επακολουθήσει και δεύτερη ζεύξη (Φανερωμένη-Μέγαρα) και έτσι θα συνδέεται ο Πειραιάς με την εθνική οδό Αθηνών-Κορίνθου, γεγονός που θα υποβαθμίσει, όπως ισχυρίζονται, το νησί.

Επιπρόσθετα, θα πρέπει να τονίσουμε τα πλεονεκτήματα που προσδίδει ο υπόγειος σιδηρόδρομος (Μετρό) ιδίως στα μεγάλα αστικά κέντρα. Συγκεκριμένα, μειώνεται κατά πολύ η απαιτούμενη ενέργεια για τη μεταφορά των ανθρώπων, ελαττώνεται ο αριθμός των κινούμενων οχημάτων στους δρόμους και επομένως επιτυγχάνεται κυκλοφοριακή αποσυμφόρηση, μειώνεται το κόστος χρήσης και συντήρησης των οχημάτων για τους πολίτες, καθώς και ο αριθμός των ατυχημάτων στους δρόμους. Επίσης, είναι φιλικό προς το περιβάλλον, καθώς συντελεί στη μείωση των εκπεμπόμενων αέριων ρύπων.

Αρχικά, ας δούμε γιατί επιλέγουμε τη λύση της υποτυθμένης σήραγγας σε σχέση με τις υπόλοιπες εναλλακτικές.

Γιατί όχι γέφυρα

Η ζεύξη της Σαλαμίνας με το Πέραμα με την κατασκευή γέφυρας, παρόλο που φαντάζει ως μια λύση ιδιαίτερα συμφέρουσα, δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί λόγω της ύπαρξης του Ναυστάθμου. Οι φόβοι για εγκλωβισμό των πολεμικών σκαφών στα στενά σε περίπτωση εμπόλεμης κατάστασης και βομβαρδισμού της γέφυρας, αλλά και ο περιορισμός της ευελιξίας τους, δεν επιτρέπουν την κατασκευή γέφυρας στην περιοχή και δεν επιδέχονται κάποιες αμφισβητήσεως. Επίσης η ύπαρξη οργανικών αποβλήτων στον πυθμένα των Στενών θα δημιουργούσε αρκετά προβλήματα στην έδραση και θεμελίωση των πυλώνων της γέφυρας.

Άρα λοιπόν, θα πρέπει να κατασκευαστεί σήραγγα για τη συγκεκριμένη ζεύξη. Η σήραγγα θα μπορούσε να είναι πλωτή, επιτυθμένα ή υποτυθμένα

Γιατί όχι πλωτή

Η λύση της πλωτής σήραγγας (σηραγγογέφυρα) απορρίπτεται λόγω της μη ύπαρξης ιδιαίτερης τεχνογνωσίας, αφού τέτοιο έργο δεν έχει κατασκευαστεί ποτέ και υπάρχει μόνο σε μελέτες. Ακόμα όμως και αν το παραβλέπαμε, η ύπαρξη του Ναυστάθμου σε συνδυασμό με τα μικρά βάθη που συναντάμε στα Στενά, καθιστούν την πλωτή σήραγγα αδόκιμη για την εξεταζόμενη ζεύξη.

Γιατί όχι επιπυθμένα

Η λύση της επιπυθμένης σήραγγας, φαίνεται αρκετά συμφέρουσα, εξ αιτίας του μικρού βάθους του πυθμένα αλλά και του μικρού μήκους κατασκευής. Επίσης αυτή η λύση έχει προταθεί από το Υπουργείο Υποδομών Μεταφορών και Δικτύων (ΥΠ.Υ.ΜΕ.ΔΙ) και προβλέπεται να κατασκευαστεί στο διάυλο Σαλαμίνας-Περάματος για τη σύνδεση του νησιού με την Αττική. Συγκεκριμένα η χάραξη της σύνδεσης αυτής σχεδιάστηκε από την ακτή του Περάματος βόρεια του Λιμένα έως την νησίδα του Αγίου Γεωργίου που βρίσκεται περίπου στα δύο τρίτα της απόστασης ανάμεσα στις ακτές του Περάματος και της Σαλαμίνας. Η νησίδα συνδέεται με τη Σαλαμίνα διαμέσου ενός διαδρόμου πάνω σε επίχωμα που καταλήγει στον Λιμένα Παλουκίων. Ο δρόμος που θα οδηγεί από τον Λιμένα Παλουκίων έως τη είσοδο της σήραγγας πάνω στη νησίδα Αγίου Γεωργίου, θα κατασκευαστεί παράλληλα σ' αυτόν τον συνδετικό διάδρομο πάνω σε επίχωμα.

Η υποθαλάσσια σήραγγα θα κατασκευαστεί πάνω σε αύλακα που θα εκσκαφτεί στον πυθμένα και θα είναι προκατασκευασμένη κατά τμήματα (σπονδύλους). Οι σπόνδυλοι θα καθελκυσθούν και να μεταφερθούν στον άξονα της σήραγγας όπου και θα ποντιστούν στην τάφρο, συνδεόμενοι εν συνεχεία ο ένας με τον άλλο. Μετά τη σφράγιση των αρμών συνδέσεως θα γίνει επικάλυψη της όλης κατασκευής.

Αναλυτικότερα, η υποθαλάσσια σήραγγα θα έχει μήκος περίπου 1,1 χιλιόμετρο και με τις προσβάσεις της συνολικό μήκος έργου περί τα 3 χιλιόμετρα, από τον ανισόπεδο κόμβο (Α/Κ) Περάματος μέχρι τον Α/Κ Παλουκίων, καθώς ενδεχομένως και των οδικών τμημάτων παράκαμψης των πόλεων Περάματος και Σαλαμίνας μήκους περίπου 14,5 χιλιομέτρων. Το τελικό μήκος του δρόμου που θα κατασκευασθεί, αναμένεται να είναι 17,5 χιλιόμετρα, καθώς εκτείνεται από την υπάρχουσα λεωφόρου Σχιστού-Σκαραμαγκά, με την οποία συνδέεται με ανισόπεδο κόμβο, οδεύει μέσα στην περιοχή του ναυτικού οχυρού Σκαραμαγκά και μέχρι την περιοχή του κολυμβητηρίου Περάματος όπου δημιουργείται κόμβος για τη σύνδεσή του με την υφιστάμενη οδό Περάματος-Κερασινίου-Πειραιά.



Εικόνα 26: Η χάραξη της επιτυθμένης οδικής ζεύξης

Η χάραξη θα ολοκληρωθεί με:

- την κατασκευή του Ανισόπεδου Κόμβου Σαλαμίνας και του συνδετήριου τμήματος με την πόλη μέσω δύο ισόπεδων κόμβων για να επιτυγχάνεται η σύνδεση τόσο με την πόλη όσο και με το υφιστάμενο οδικό δίκτυο προς Αιάντειο που εξυπηρετεί τη δυτική και νότια πλευρά του νησιού,
- την κατασκευή της Βόρειας Παράκαμψης της πόλης της Σαλαμίνας συνδεόμενη με κόμβο με την Οδό Σαλαμίνας - Φανερωμένης.

Παρόλα αυτά, όπως είδαμε παραπάνω και με τις άλλες εναλλακτικές περιπτώσεις, αποκλείουμε την κατασκευή επιτυθμένης σήραγγας για τους παρακάτω λόγους.

Αρχικά, παρουσιάζονται αρκετά προβλήματα κατά την κατασκευή της. Όπως και με την γέφυρα, θα επηρεαζόταν η ομαλή διέλευση των σκαφών του Ναυστάθμου, λόγω του αναγκαίου κλεισίματος των διαύλων κατά την τοποθέτηση των σπονδύλων.

Ακόμα, γνωρίζουμε ότι ο πυθμένας της περιοχής αποτελεί περιοχή αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, αφού πιθανολογείται ότι εκεί βρίσκονται αρχαία λείψανα από την Ναυμαχία της Σαλαμίνας που έλαβε χώρα σε εκείνο το σημείο το 480 π.Χ. μεταξύ Ελλήνων και Περσών. Πιθανή αναταραχή του βυθού από τις εργασίες θα μπορούσε να καταστρέψει τους αρχαιολογικούς αυτούς θησαυρούς. Για την αποφυγή αυτού θα χρειάζονταν εργασίες εξεύρεσης και απομάκρυνσης των ευρημάτων, διαδικασία που θα απαιτούσε πολύ χρόνο.

Τέλος στον πυθμένα του στενού υπάρχουν πολλά απόβλητα από την καθημερινή διέλευση των πλοίων καθώς και λύματα από τη βιομηχανική δραστηριότητα της περιοχής. Για το λόγο αυτό, τα απόβλητα θα πρέπει να απομακρυνθούν, να υποστούν την κατάλληλη επεξεργασία και να αποτεθούν σε κατάλληλο χώρο. Κάτι τέτοιο θα είναι ιδιαίτερα χρονοβόρο, κοστοβόρο και πολύπλοκο.

Γιατί υποπυθμένα

Έχοντας αποκλείσει λοιπόν τη λύση της γέφυρας για τους λόγους που προαναφέραμε καθώς και τους άλλους τύπους σηράγγων (πλωτή, επιπυθμένα), καταλήγουμε στην κατασκευή υποπυθμένας σήραγγας, η οποία θα συνδέσει τους μελλοντικούς σταθμούς Μετρό Περάματος και Σαλαμίνας.

Η επιλογή αυτού του είδους σήραγγας έγινε κυρίως για την αποφυγή των προβλημάτων που αναφέρθηκαν ήδη στις άλλες εναλλακτικές λύσεις, λόγω του ότι οι εργασίες διάνοιξης της θα γίνονται κάτω από τον πυθμένα

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, μεγάλο ρόλο στην κατασκευή των επιπυθμένων σηράγγων, παίζει η γεωλογία της περιοχής. Όμως, στον πυθμένα των θαλασσών, όπου η γεωλογία δεν είναι ορατή, πολλές φορές δεν έχουν γίνει αρκετές έρευνες, και έτσι δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα για τη γεωλογική τους κατάσταση. Στην εξεταζόμενη περίπτωση λοιπόν, το γεγονός πως διατίθεται σχετικά μεγάλο πλήθος γεωλογικών δεδομένων για την υποθαλάσσια περιοχή μεταξύ Σαλαμίνας και Περάματος, είναι ιδιαίτερα σημαντικό. Έτσι, οι επιπλέον έρευνες οι οποίες απαιτείται να γίνουν θα είναι σαφώς λιγότερες (και φθηνότερες).

Οι υποπυθμένες σήραγγες αποτελούν κατασκευές ιδιαίτερως ασφαλείς για τους χρήστες τους. Επίσης, εφόσον διανοίγονται υπόγεια, δεν καταλαμβάνουν χώρο ούτε επιφέρουν επιπτώσεις στην επιφάνεια της γης, ή στον πυθμένα της θάλασσας. Παράλληλα τόσο κατά την κατασκευή, όσο και κατά τη λειτουργία των υποπυθμένων σιηράγγων δεν υπάρχει κάποια παρακώλυση της ναυσιπλοΐας. Μάλιστα είναι ιδιαίτερα σημαντικό το γεγονός πως είναι φιλικές προς το περιβάλλον καθώς δεν το επιβαρύνουν καθ' οιονδήποτε τρόπο.

Έτσι λοιπόν, είναι αυταπόδεικτο το γεγονός πως η ελεύθερη και απρόσκοπτη λειτουργία του Ναυστάθμου δεν πρόκειται να επηρεαστεί τόσο από την κατασκευή όσο και από τη λειτουργία μιας υποπυθμένης σήραγγας, και η διέλευση των σκαφών θα συνεχίσει να πραγματοποιείται ανεμπόδιστα.

Επίσης, λόγω της μεγάλης απόστασης που θα μεσολαβεί μεταξύ του πυθμένα της θάλασσας και της περιοχής όπου θα διανοιγεί η σήραγγα, αποφεύγεται με επιτυχία οποιαδήποτε απρόσμενη «συνάντηση» αρχαίων λειψάνων, η οποία θα αφενός μεν θα καθυστερούσε την κατασκευή του Έργου, αφετέρου δε, θα έθετε σε κίνδυνο τις αρχαιότητες.

Επιπλέον, αφού όπως είπαμε το βάθος κατασκευής της σήραγγας θα είναι μεγάλο, η ύπαρξη των οργανικών ιζημάτων στον πυθμένα των Στενών, δεν πρόκειται να αποτελέσει ανασταλτικό παράγοντα για την πραγματοποίηση του συγκεκριμένου έργου.

Τέλος, επίσης λόγω του μεγάλου βάθους αλλά και εξ' αιτίας της χρήσης των πλέον σύγχρονων κατασκευαστικών μεθόδων που θα εφαρμοστούν, η διάνοιξη της σήραγγας δεν θα προκαλέσει οποιοδήποτε πρόβλημα, τόσο στον πυθμένα της θάλασσας, όσο και στην επιφάνεια του εδάφους.

Έτσι, αφού επιλέξαμε τον τρόπο με τον οποίο θα γίνει η ζεύξη, δηλαδή με υποπυθμένα σήραγγα, στη συνέχεια θα εξηγήσουμε γιατί επιλέξαμε τη σιδηροδρομική σήραγγα έναντι της οδικής.

Γιατί όχι οδική

Η οδική σήραγγα, λόγω της πολύ μεγάλης χρήσης οχημάτων Ι.Χ. στις μέρες μας, φαντάζει αρχικά ως η πλέον συμφέρουσα επιλογή αφού θα διευκολύνει τις μετακινήσεις ανθρώπων και εμπορευμάτων από και προς τη Σαλαμίνα.

Με μια τέτοια σήραγγα όμως, ενθαρρύνεται η χρήση αυτοκινήτου τόσο από τους κατοίκους του νησιού, όσο και από τους επισκέπτες με αποτέλεσμα τον κίνδυνο κυκλοφοριακής συμφόρησης της σήραγγας σε ώρες αιχμής, αλλά και την «υπερφόρτωση» του νησιού από Ι.Χ. ιδίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω του τουρισμού.

Επίσης οι εκπομπές καυσαερίων από τα Ι.Χ. θα επιβαρύνουν ακόμα περισσότερο την ήδη ρυπασμένη ατμόσφαιρα της περιοχής. Μάλιστα, ένα τέτοιο έργο θα συναντήσει τις έντονες αντιδράσεις της τοπικής κοινωνίας, αφού πέραν των ανωτέρω, οι κάτοικοι της Σαλαμίνας φοβούνται πως -ειδικά- με μια μελλοντική δεύτερη ζεύξη, το νησί τους θα μετατραπεί σε τμήμα της εθνικής οδού και θα χάσει πλέον το νησιωτικό του χαρακτήρα. Τέλος, τα ferry boats θα πάψουν να έχουν λόγο ύπαρξης – ιδίως εάν το αντίτιμο για την διέλευση από τη σήραγγα είναι οικονομικό – και έτσι θα χαθούν από την περιοχή, πολύτιμες θέσεις εργασίας.

Γιατί σιδηροδρομική

Από την άλλη η σιδηροδρομική σύνδεση, και πιο συγκεκριμένα η σύνδεση με το Μετρό, μπορεί να λύσει τα προαναφερθέντα προβλήματα.

Τα αστικά σιδηροδρομικά δίκτυα έχουν αναπτυχθεί ραγδαία σε παγκόσμιο επίπεδο και έχουν αποκτήσει πρωτεύοντα ρόλο ακόμα και στον τρόπο με τον οποίο αναπτύσσεται μια πόλη. Ο σημαντικότερος ρόλος των αστικών σιδηροδρομικών δικτύων απορρέει από το πλήθος των πλεονεκτημάτων που συγκεντρώνουν αυτά. Τα πλεονεκτήματα αυτά σε συνδυασμό με την ταχύτατη ανάπτυξη των αστικών κέντρων και την υπερσυγκέντρωση πληθυσμού στις πόλεις ανέδειξαν τα αστικά σιδηροδρομικά δίκτυα σε βασικό δομικό και λειτουργικό στοιχείο μιας σύγχρονης πόλης.

Η λειτουργία του Μετρό έχει σαν άμεσο στόχο τις ταχύτερες και ασφαλέστερες μετακινήσεις του επιβατικού κοινού, που το χρησιμοποιεί καθημερινά.

Το σύστημα του Μετρό συνδυάζεται με τα άλλα μέσα μαζικής μεταφοράς (λεωφορεία, τρόλεϊ, σιδηρόδρομο), προωθώντας έτσι την χρήση όλων των δημοσίων μέσων μεταφοράς και βελτιώνοντας την κυκλοφοριακή ροή.

Το βασικό όφελος που παρέχει το Μετρό, είναι η λιγότερη κίνηση Ι.Χ. οχημάτων, που έχει ως αποτέλεσμα, την μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και την γενικότερη βελτίωση της ποιότητας ζωής των αστικών κέντρων. Επίσης προσφέρει μία μοναδική ευκαιρία να αναβαθμίσει την εικόνα της πόλης, να συμβάλει στην εξοικονόμηση ενέργειας και να έλθουν στο φως αρχαιολογικοί θησαυροί.

Ως προς τη μεταφορική ικανότητα, τα αστικά σιδηροδρομικά μέσα, κυρίως τα βαριά αλλά και τα ελαφρά, υπερέχουν σημαντικά των οδικών, ενώ επίσης διαθέτουν και υψηλότερη χωρητικότητα γραμμής. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η μεταφορική ικανότητα του ΙΧ αυτοκινήτου είναι 1,2-2 άτομα ανά όχημα και των οδικών ΜΜΜ 40-300, ενώ η αντίστοιχη μεταφορική ικανότητα των ελαφρών σιδηροδρομικών ΜΜΜ φτάνει τα 40-600 και των βαριών τα 140-2000 άτομα.

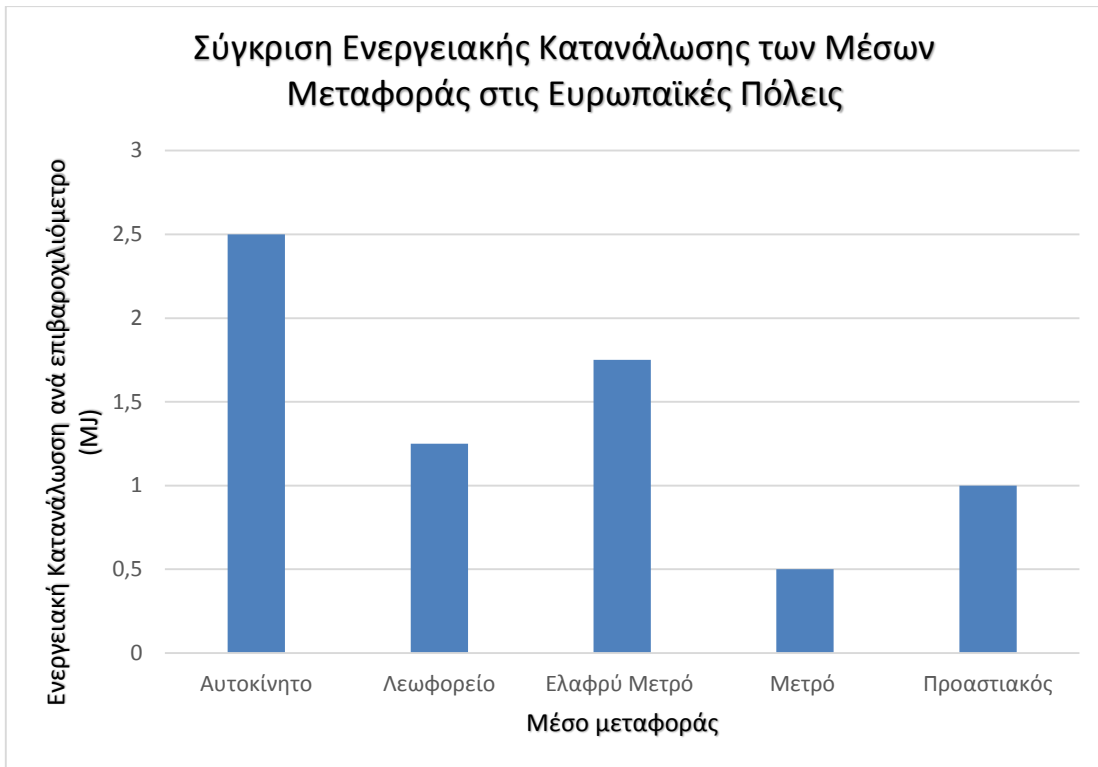
Επιπλέον τα πλεονεκτήματα των αστικών σιδηροδρομικών δικτύων σχετίζονται και με τη μικρή επιφάνεια αστικού χώρου που καταλαμβάνει η μετακίνηση κάθε ανθρώπου. Για παράδειγμα ένας επιβάτης ΙΧ αυτοκινήτου που κινείται με 40 χιλιόμετρα ανά ώρα καταλαμβάνει επιφάνεια 60 τετραγωνικών μέτρων, ενώ ο επιβάτης του Μετρό που κινείται με σαφώς μεγαλύτερη ταχύτητα καταλαμβάνει περίπου δέκα φορές λιγότερο χώρο (Ανδρικοπούλου et. al, 2007).



Εικόνα 27: Η διαφορά στη μεταφορική ικανότητα αλλά και στην επιφάνεια που καταλαμβάνει η μετακίνηση κάθε ανθρώπου, μεταξύ Ι.Χ. και Μετρό (Καραγιάννης, 2014)

Λόγω της προαναφερθείσας μεγάλης μεταφορικής ικανότητας που διαθέτουν, μειώνεται σημαντικά η κυκλοφοριακή συμφόρηση στις πόλεις. Έτσι, οι μετακινήσεις εντός του αστικού ιστού γίνονται συνολικά ταχύτερες ενώ ταυτόχρονα αναβαθμίζεται ολόκληρη η εικόνα της πόλης.

Σύμφωνα με τα πορίσματα διαφόρων μελετών, η ενεργειακή απόδοση των αστικών σιδηροδρομικών μέσων μεταφοράς είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των οχημάτων ιδιωτικής χρήσης. Ειδικότερα, ένα Ι.Χ. αυτοκίνητο καταναλώνει 2,5 MJ ανά επιβατοχιλιόμετρο, ενώ τα αστικά σιδηροδρομικά μέσα (τραμ και Μετρό) καταναλώνουν μόλις 0,5-0,7 MJ (Καραγιάννης, 2014).



Πίνακας 1: Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης των μέσων μεταφοράς στις Ευρωπαϊκές πόλεις (Καραγιάννης, 2014)

Επίσης, τα αστικά σιδηροδρομικά μέσα, υπερέχουν έναντι των οδικών και όσον αφορά την ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλείται από την εκπομπή καυσαερίων από τα οχήματα. Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες, οι εκπομπές αέριων ρύπων εξ' αιτίας των μεταφορών στις Ευρωπαϊκές πόλεις, είναι υποδιπλάσιες σε σχέση με αυτές των πόλεων των Ηνωμένων Πολιτειών, γεγονός που οφείλεται στην πιο εκτεταμένη χρήση των αστικών σιδηροδρόμων στη Γηραιά Ήπειρο αλλά και στην πιο συμπαγή μορφή των πόλεων.

Ακόμα, πρέπει να επισημανθεί και ο κοινωνικός ρόλος των μέσων μαζικής μεταφοράς. Είναι εξόχως σημαντική η δυνατότητα μετακίνησης που προσφέρουν εν γένει τα ΜΜΜ στο σύνολο του πληθυσμού, ακόμα και σε ομάδες που ενδεχομένως παρουσιάζουν αυξημένες δυσκολίες μετακίνησης, όπως Α.Μ.Ε.Α., ηλικιωμένους και παιδιά.

Έτσι λοιπόν με όλα τα παραπάνω γίνονται εύκολα διακριτά τα πλεονεκτήματα της σιδηροδρομικής σύνδεσης της Σαλαμίνας με την Αττική, σε σχέση με την οδική. Επίσης είναι σαφές πως για να πραγματοποιηθεί μια τέτοια

ζεύξη απαιτείται κατ' αρχάς η επέκταση του Μετρό μέχρι τις ακτές του Περάματος. Άρα λοιπόν εφόσον θα πραγματοποιηθεί μια τέτοια επέκταση θα επωφεληθούν όλες οι περιοχές από τις οποίες θα διέρχεται η νέα αυτή γραμμή του Μετρό.

Πιο συγκεκριμένα, και πάντα με βάση τα προηγούμενα, τα οφέλη που πρόκειται να προσδώσει το προτεινόμενο έργο τόσο στη Σαλαμίνα και το Πέραμα, όσο και στην ευρύτερη περιοχή είναι ιδιαίτερος σημαντικά.

Με τον τρόπο αυτό, εξασφαλίζεται η εύκολη μετακίνηση των επιβατών και επομένως η μείωση της χρήσης των Ι.Χ. οχημάτων. Έτσι, αποφεύγεται η κυκλοφοριακή συμφόρηση και, λόγω του φιλικού προς το περιβάλλον χαρακτήρα του, η μείωση των εκπεμπόμενων αέριων ρύπων και της καταναλισκόμενης ενέργειας για τις μεταφορές.

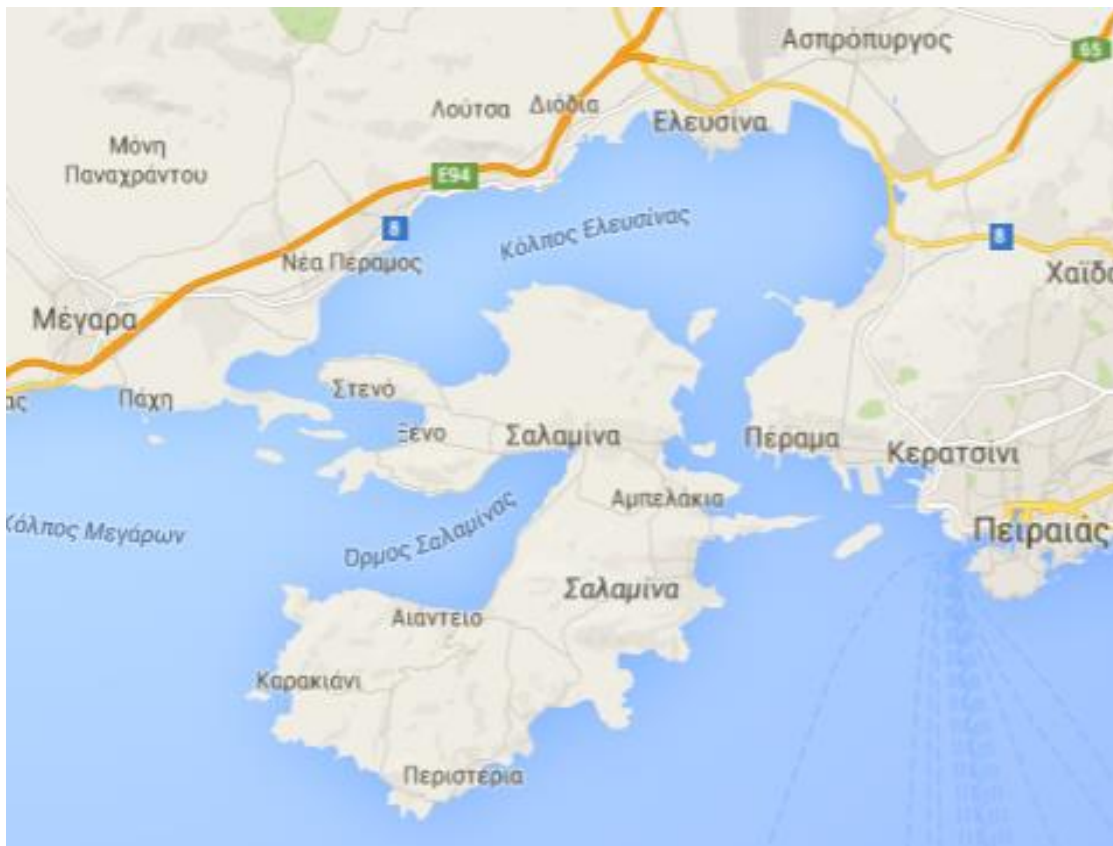
Επίσης, το Μετρό είναι ένα ταχύτατο μέσο μεταφοράς που θα διευκολύνει στις μετακινήσεις τους, τους κατοίκους της Σαλαμίνας που εργάζονται μακριά από αυτήν και αναγκάζονται να διέρχονται από τα Στενά σε καθημερινή βάση. Μάλιστα, λόγω της άνεσης, της ακρίβειας στα δρομολόγια, της ταχύτητας και της οικονομικότητάς του, το Μετρό μπορεί να βοηθήσει στην περαιτέρω τουριστική ανάπτυξη της Σαλαμίνας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Επιπλέον, αφού έχει ήδη επιλεγεί πως η σήραγγα θα είναι υποπυθμεία, τεχνικά η σιδηροδρομική θα ήταν βολικότερη αφού δεν θα χρειάζεται να ανέλθει έως την επιφάνεια, γεγονός που σημαίνει μικρότερο μήκος σήραγγας.

Τέλος, για όσους επιθυμούν να μεταφέρουν και τα οχήματά τους, θα υπάρχει πάντα η δυνατότητα μεταφοράς τους με τα ήδη υπάρχοντα ferry boats, γεγονός που εγγυάται παράλληλα ότι δε θα χαθούν θέσεις εργασίας.

3. ΧΑΡΑΞΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Για την πραγματοποίηση του προτεινόμενου στην παρούσα διπλωματική Έργου, και τη σύνδεση της Σαλαμίνας με το Μετρό της Αθήνας, απαιτείται η κατασκευή μιας νέας Γραμμής ή η επέκταση μίας εκ των υπάρχουσών έως το Πέραμα.



Εικόνα 28: Η Σαλαμίνα και οι ακτές της Αττικής (*maps.google.com*)

Παρακάτω, παρουσιάζεται μια ενδεικτική πρόταση προκειμένου να φτάσει το Μετρό ως την περιοχή ενδιαφέροντός μας, για την κατάρτιση της οποίας ελήφθησαν υπ' όψιν διάφορα σχέδια για την μελλοντική ανάπτυξη του δικτύου του Μετρό της Αθήνας από την εταιρεία «Αττικό Μετρό Α.Ε.». Βασικό γνώμονα αποτέλεσε η εξυπηρέτηση των πυκνοκατοικημένων και υποβαθμισμένων περιοχών γύρω από τον Πειραιά καθώς και η -κατά το δυνατόν- μικρότερου μήκους γραμμή.

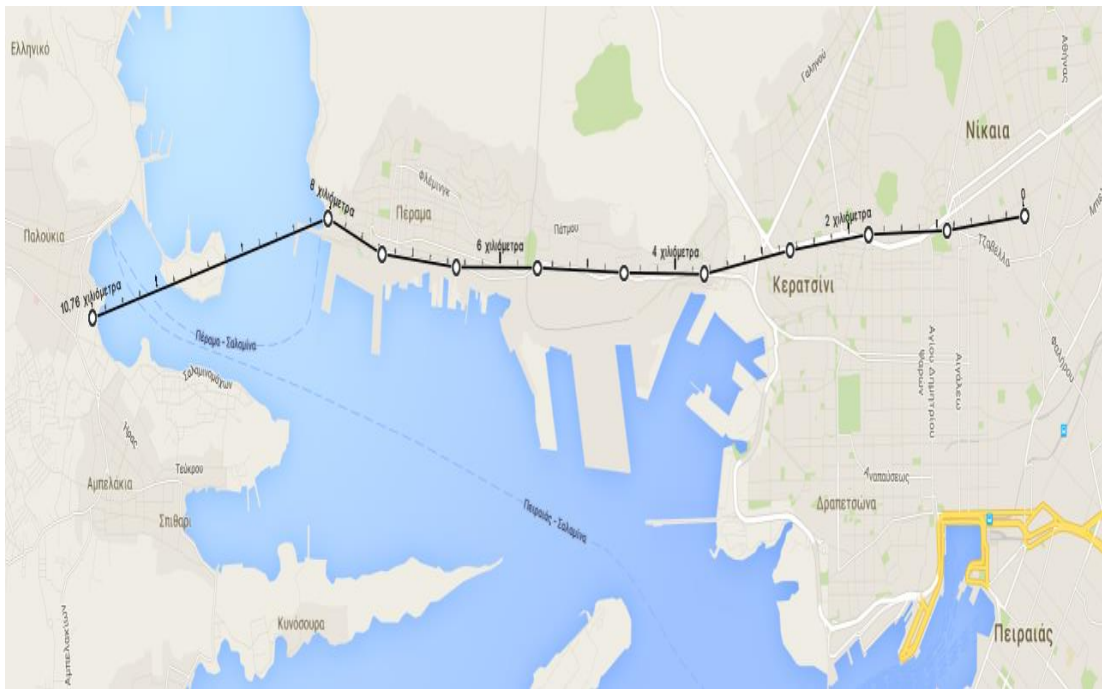
Η ακόλουθη πρόταση, αν και πιθανώς επιδέχεται βελτιώσεων, εκτός από το ότι καθιστά εφικτό το Έργο μας, πρόκειται να αναβαθμίσει το συγκοινωνιακό δίκτυο και, κατά συνέπεια, την ποιότητα ζωής των κατοίκων των περιοχών από όπου θα διέρχεται το Μετρό.

3.1 ΧΑΡΑΞΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ

Για τη σύνδεση της Σαλαμίνας με την Αττική με Μετρό, προτείνουμε την επέκταση της Γραμμής 3 του Μετρό, Αεροδρόμιο - Δημοτικό Θέατρο. Συγκεκριμένα, μεταξύ του σταθμού Νίκαια και του σταθμού Μανιάτικα, θα γίνει διακλάδωση, η οποία θα καταλήγει αρχικά στο Πέραμα και στη συνέχεια, μέσω της υποπυθμείας σήραγγας, στη Νήσο Σαλαμίνα.

Εναλλακτικά θα μπορούσε να γίνει επέκταση μετά τον σταθμό «Δημοτικό Θέατρο» στον Πειραιά που θα φτάνει ως τις ακτές του Περάματος, κάτι που όμως δεν προτιμάται λόγω της ύπαρξης ιδιαίτερα σκληρών βραχωδών σχηματισμών στις περιοχές μεταξύ Περάματος και Πειραιά.

Αναλυτικότερα, ο κλάδος αυτός, αρχικά θα διέρχεται κάτω από την οδό Εφέσου και στη συνέχεια θα ακολουθήσει την οδό Π. Ράλλη/Λεωφόρο Σαλαμίνας στην περιοχή του Κερατσινίου. Από εκεί και μετά, η γραμμή θα συνεχίσει υπό την Λεωφόρο Δημοκρατίας, διασχίζοντας την πόλη του Περάματος, φτάνοντας στην περιοχή του κολυμβητηρίου Περάματος. Στο σημείο εκείνο, θα κατασκευαστεί ο σταθμός του Περάματος, και θα ακολουθήσει, η κατασκευή της υποπυθμείας σήραγγας με τη Σαλαμίνα. Αυτή, θα ακολουθήσει ευθεία διαδρομή, θα διέλθει κάτω από το νησί Άγιος Γεώργιος και θα φτάσει στην περιοχή των Παλουκίων. Ο σταθμός θα κατασκευαστεί στο οικοδομικό τετράγωνο που περικλείεται από τις οδούς Σαλαμινομάχων, Βέργη, Παπαφλέσσα και τη Λεωφόρο Αμπελακίων.



Εικόνα 29: Χάρτης της προτεινόμενης χάραξης της γραμμής

Το συνολικό τμήμα της γραμμής θα είναι περί τα 11 χιλιόμετρα. Από τη Νίκαια ως την ακτή του Περάματος, θα έχουμε μήκος γραμμής 8.1 χιλιόμετρα. Με δεδομένο ότι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σταθμών Μετρό προτιμάται να μην υπερβαίνει το 1 χιλιόμετρο, απαιτείται η κατασκευή τουλάχιστον εννέα σταθμών στην πλευρά της Αττικής, συμπεριλαμβανομένου και του σταθμού που θα κατασκευαστεί στην ακτή του Περάματος. Στον ανωτέρω χάρτη απεικονίζεται η χάραξη με τους λιγότερους δυνατούς σταθμούς και τις μεγαλύτερες δυνατές αποστάσεις μεταξύ αυτών.

Με την κατασκευή της γραμμής αυτής, πέραν των κατοίκων ολόκληρου του νησιού της Σαλαμίνας αλλά και του Περάματος, θα εξυπηρετηθούν άμεσα και οι κάτοικοι των δήμων Κερατσινίου και Νίκαιας. Επίσης, έμμεσα θα εξυπηρετηθούν και κάτοικοι άλλων κοντινών περιοχών (π.χ. Δραπετσώνα) αλλά και θα βελτιωθεί συνολικά το δίκτυο συγκοινωνιών της Αττικής.

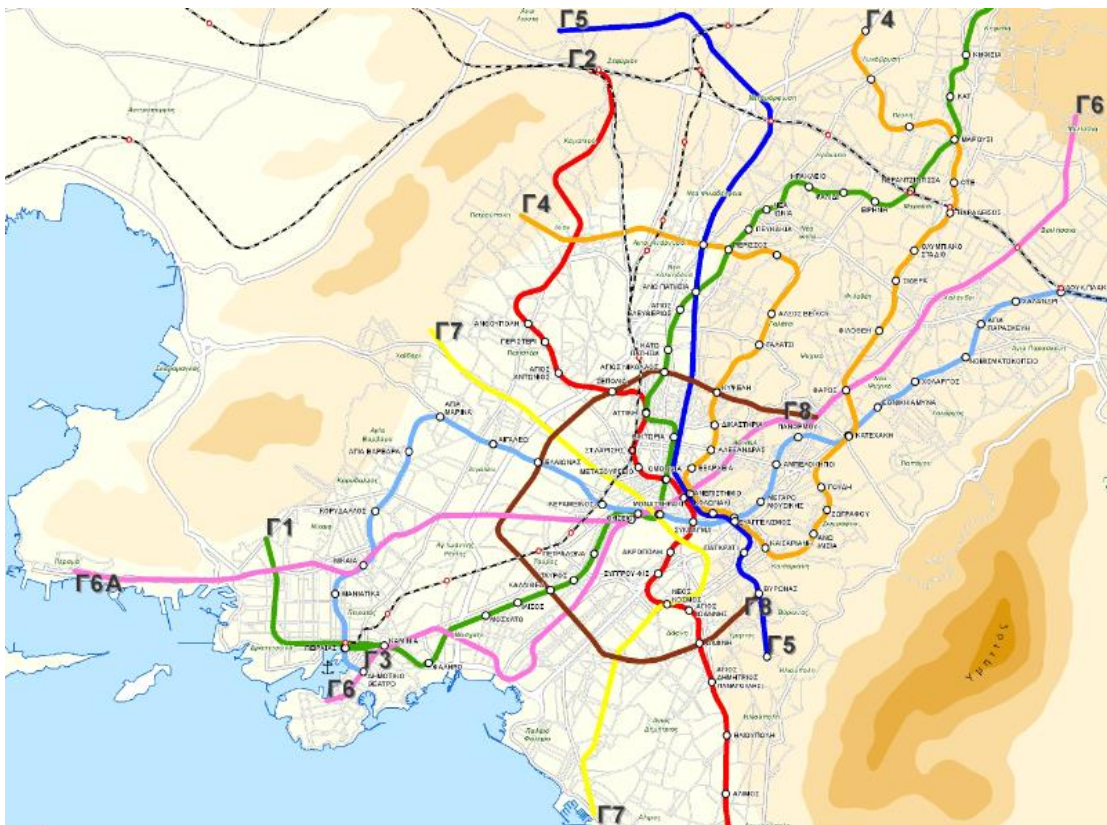
Επίσης, για την καλύτερη εξυπηρέτηση των επιβατών αλλά και την διευκόλυνση της λειτουργίας του Μετρό, θα πρέπει να εξεταστεί η κατασκευή ενός ακόμα –τερματικού- σταθμού, μετά το σταθμό των Παλουκίων, μέσα την πόλη της Σαλαμίνας.

Οι νέοι σταθμοί της επέκτασης της Γραμμής 3 του Μετρό θα είναι τελευταίας τεχνολογίας, με αυτόματους συρμούς χωρίς οδηγό, με θύρες επί των αποβάθρων, ασύρματο σύστημα σηματοδότησης τύπου CTBC, εξελιγμένα συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας κλπ.



Εικόνα 30: Σταθμός Μετρό Αγίου Δημητρίου (ametro.gr)

Η εταιρεία Αττικό Μετρό Α.Ε., βέβαια, στην μελέτη ανάπτυξης που έχει καταστρώσει, προτείνει μια γραμμή με διαφορετική χάραξη προκειμένου το Μετρό να φτάσει στο Πέραμα. Πρόκειται για τη γραμμή Γ6Α, η οποία επισημαίνεται με ροζ χρώμα στον ακόλουθο χάρτη που συνετάχθη, από την Αττικό Μετρό το 2012, και παρουσιάζονται τόσο οι υπάρχουσες όσο και οι μελλοντικές γραμμές του Μετρό της Αθήνας.



Εικόνα 31: Μέρος του χάρτη του σχεδίου ανάπτυξης του Μετρό (ametro.gr)

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, δεν επελέγη η προτεινόμενη από την Αττικό Μετρό χάραξη, διότι το μήκος γραμμής είναι αρκετά μεγάλο, και έτσι τα προαπαιτούμενα έργα για την πραγματοποίηση της ζεύξης, πολύ πιο χρονοβόρα.

Η εναλλακτική λύση του Τραμ

Αντί για Μετρό, η σύνδεση της Σαλαμίνας με την Αττική θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί και με κάποιο άλλο μέσο σταθερής τροχιάς, όπως με τραμ ή ελαφρύ Μετρό.

Όσον αφορά το τραμ, θα γινόταν επέκταση της ήδη υπάρχουσας γραμμής από τον Πειραιά ως το Πέραμα και από κει, μέσω της υποτυθμένης σήραγγας, στα Παλούκια Σαλαμίνας. Σε αυτή την περίπτωση, θα μπορούσε να ακολουθηθεί η χάραξη της παλαιάς γραμμής του τραμ η οποία διερχόταν μέσα από την πόλη του Περάματος και σε μεγάλο βαθμό διατηρείται μέχρι σήμερα.



Εικόνα 32: Τραμ (Wikipedia.org)

Αν προκρινόταν η σύνδεση της Σαλαμίνας με ελαφρύ Μετρό, θα κατασκευαζόταν μια εξ' ολοκλήρου καινούρια γραμμή. Όπως προτάθηκε στο Ρυθμιστικό Σχέδιο της Αθήνας του 2014, η γραμμή αυτή θα μπορούσε να είναι: Πειραιάς - Κερατσίνι – Πέραμα – Σαλαμίνα.

Τα πλεονεκτήματα αμφοτέρων των ανωτέρω προτάσεων έναντι της πρότασης αυτής της διπλωματικής, είναι αφενός μεν το γεγονός πως θα εξασφαλίζεται ευκολότερα η ομαλή διεξαγωγή των δρομολογίων, αφού θα υπάρχει αρχή, μέση και τέλος, αφετέρου δε το μικρότερο κόστος τόσο του τραμ όσο και του ελ. Μετρό σε σχέση με το Μετρό. Επίσης, είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον σε σύγκριση με το Μετρό.

Από την άλλη, πρόκειται για δύο μέσα που το μεν τραμ δεν είναι ιδιαίτερα δημοφιλές στην Ελλάδα, το δε ελαφρύ Μετρό είναι άγνωστο. Άρα η ανάπτυξη των μέσων αυτών θα καθυστερήσει περισσότερο σε σχέση με το καθιερωμένο ως το βέλτιστο αστικό συγκοινωνιακό μέσο στη συνείδηση του Έλληνα, Μετρό. Επίσης

και τα δύο διαθέτουν μικρότερη μεταφορική ικανότητα και αναπτύσσουν σαφώς μικρότερη ταχύτητα σε σχέση με το Μετρό.

3.2 Η ΖΕΥΞΗ

Η ζεύξη της Σαλαμίνας με το Πέραμα, θα πραγματοποιηθεί με την κατασκευή υποπυθμένης σήραγγας, η οποία θα συνδέεται με το δίκτυο του Μετρό της Αθήνας.

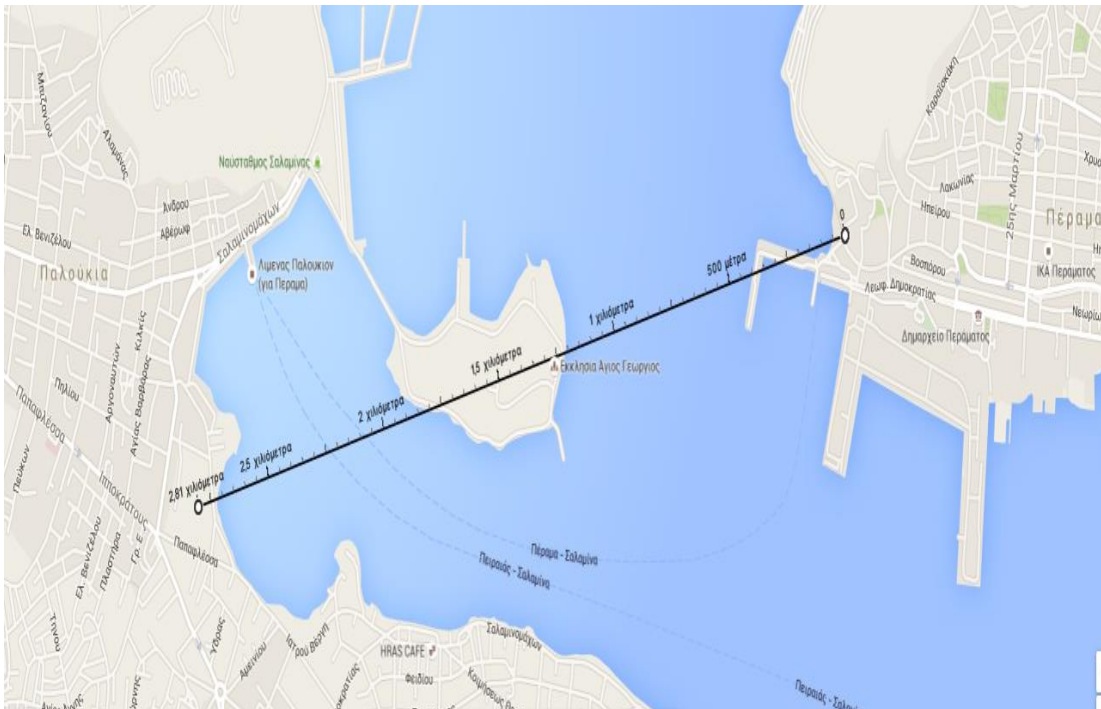
Στο Πέραμα και συγκεκριμένα κάτω από την περιοχή του κολυμβητηρίου Περάματος, θα κατασκευαστεί υπόγειος σταθμός Μετρό, στην Χ.Θ. 0+000 του Έργου, ο τελευταίος από την μεριά της Αττικής. Αυτό, λοιπόν, θα αποτελεί το σημείο εκκίνησης του Έργου. Από εκεί θα ξεκινά η υποθαλάσσια σήραγγα, η διάνοιξη της οποίας θα πραγματοποιηθεί με μηχανή ολομέτωπης κοπής (TBM). Η πορεία που θα ακολουθήσει, θα είναι μια ευθεία γραμμή. Η σήραγγα, θα διέλθει κάτω από τη νήσο του Αγίου Γεωργίου, και θα καταλήξει στην περιοχή των Παλουκίων στο νησί της Σαλαμίνας. Πιο συγκεκριμένα, θα φτάσει στο οικοδομικό τετράγωνο που περικλείεται από τις οδούς Σαλαμινομάχων, Βέργη, Παπαφλέσσα και τη Λεωφόρο Αμπελακίων, όπου και θα κατασκευαστεί ο σταθμός της Σαλαμίνας, στην Χ.Θ. 3+040.

Όσον αφορά τους σταθμούς του Περάματος και των Παλουκίων, οι οποίοι αποτελούν την αφετηρία και τον τερματισμό του έργου αντίστοιχα, θα κατασκευασθούν με τη μέθοδο ανοικτού ορύγματος,. Η απόσταση σε ευθεία γραμμή μεταξύ των δύο σταθμών είναι 2,8 χιλιόμετρα.

Τέλος θα δημιουργηθούν υπόγειες εγκαταστάσεις εναπόθεσης, καθαρισμού και ελαφριάς συντήρησης συρμών στον επίσταθμο πίσω από το σταθμό «Παλούκια». Η κατασκευή του θα γίνει με τη συμβατική μέθοδο (NATM).

Παρόλο που η απόσταση των σταθμών του Περάματος και των Παλουκίων είναι πολύ μεγαλύτερη της προτεινόμενης μεταξύ δύο σταθμών, δεν θα υπάρχει σταθμός ανάμεσα τους. Στην περιοχή της Νήσου Αγίου Γεωργίου πρόκειται να κατασκευαστεί κατακόρυφο φρέαρ αερισμού, για την εξασφάλιση του καλύτερου δυνατού αερισμού στη σήραγγα, τόσο κατά την κατασκευή όσο και κατά τη

λειτουργία του έργου. Το φρέαρ θα μπορούσε να κατασκευαστεί και στο υποθαλάσσιο τμήμα της σήραγγας, κάτι το οποίο δεν προτιμάται λόγω της ύπαρξης του Ναυστάθμου.



Εικόνα 33: Η υποπυθμμένα σήραγγα

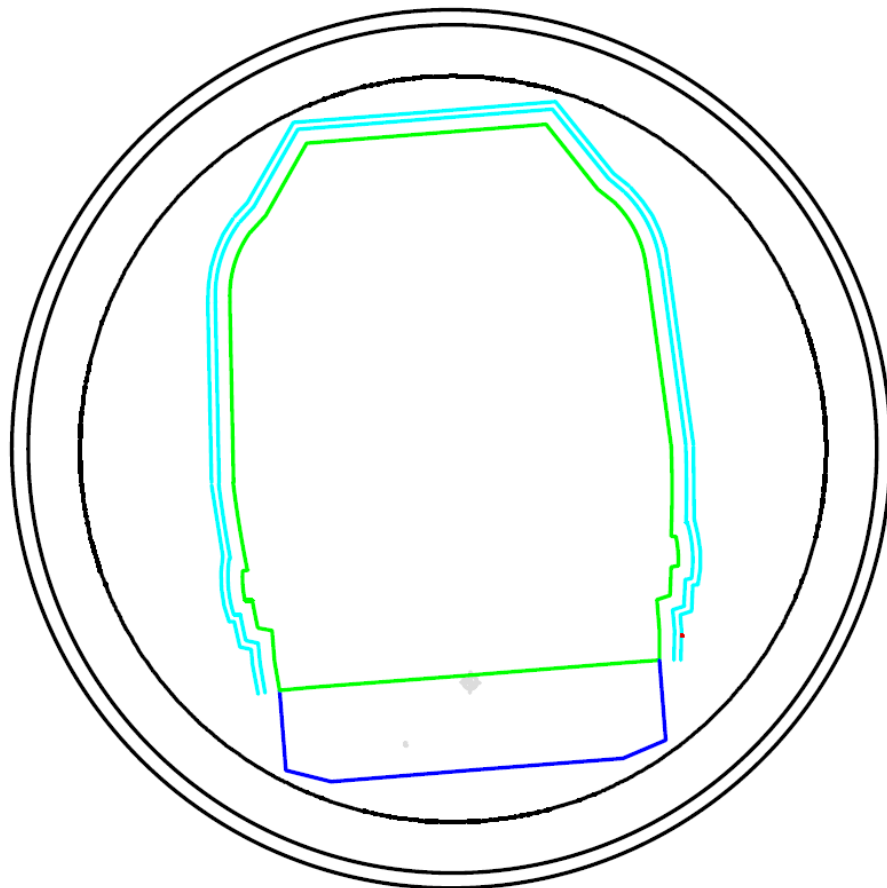
Διατομές

Για τη ζεύξη της Σαλαμίνας με την Αττική, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, θα κατασκευαστεί υποπυθμμένα σήραγγα από το Πέραμα στα Παλούκια. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για δίδυμη σήραγγα με απόσταση περίπου 6 μέτρα μεταξύ των δύο κλάδων. Το συνολικό μήκος του κάθε κλάδου θα ανέρχεται σε 3040 μέτρα, ενώ το μέγιστο βάθος θα φτάνει τα 42 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας. Η διάμετρος εκσκαφής θα είναι ίση με αυτήν των σηράγγων του Μετρό της Θεσσαλονίκης, ήτοι 6,2 μέτρα, ενώ η εσωτερική διάμετρος μετά την τοποθέτηση και της τελικής επένδυσης θα είναι 5,3 μέτρα. Μεταξύ των κλάδων πρόκειται να κατασκευαστούν 3 συνδετήριες σήραγγες ανά 760 μέτρα. Επίσης, κάτω από τη νησίδα του Αγίου Γεωργίου, θα κατασκευαστεί κατακόρυφο φρέαρ αερισμού, αφού κρίνεται απαραίτητο λόγω του μεγάλου μήκους της σήραγγας.

Η κατασκευή δίδυμης σήραγγας με κλάδους μικρής διατομής και μονής τροχιάς, προτιμήθηκε έναντι μίας σήραγγας μεγάλης διατομής και διπλής τροχιάς για λόγους ασφαλείας. Σε περίπτωση κάποιου σοβαρού ατυχήματος (π.χ. πυρκαγιά) σε μια μονή υποπυθμένα σήραγγα, οι επιβάτες θα εγκλωβίζονταν εντός της. Με την κατασκευή δίδυμης σήραγγας καθώς και μικρότερων σιηράγγων που θα συνδέουν τους δύο κλάδους, δίνεται η δυνατότητα διαφυγής σε περίπτωση οποιουδήποτε ατυχήματος, αφού οι επιβάτες θα μπορούν να μεταβούν στον παρακείμενο κλάδο και από εκεί να εξέλθουν από τη σήραγγα.

Επίσης, για την εξασφάλιση του καλύτερου αερισμού της σήραγγας, θα κατασκευαστεί κατακόρυφο φρέαρ στη νήσο Άγιος Γεώργιος, διατομής 7 μέτρων.

Σε παρακάτω κεφάλαιο θα περιγραφούν αναλυτικότερα οι μέθοδοι κατασκευής που θα εφαρμοστούν για το σύνολο του Έργου.



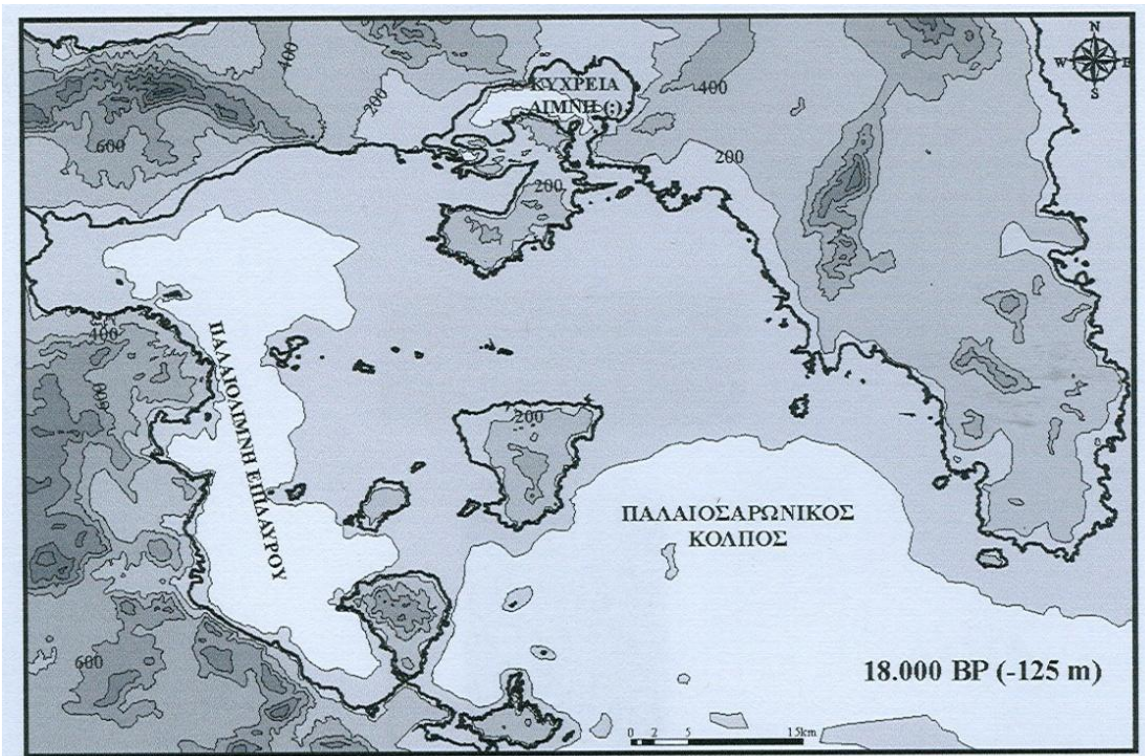
Εικόνα 34: Τυπική διατομή σήραγγας Μετρό Φ6,2m

4. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ

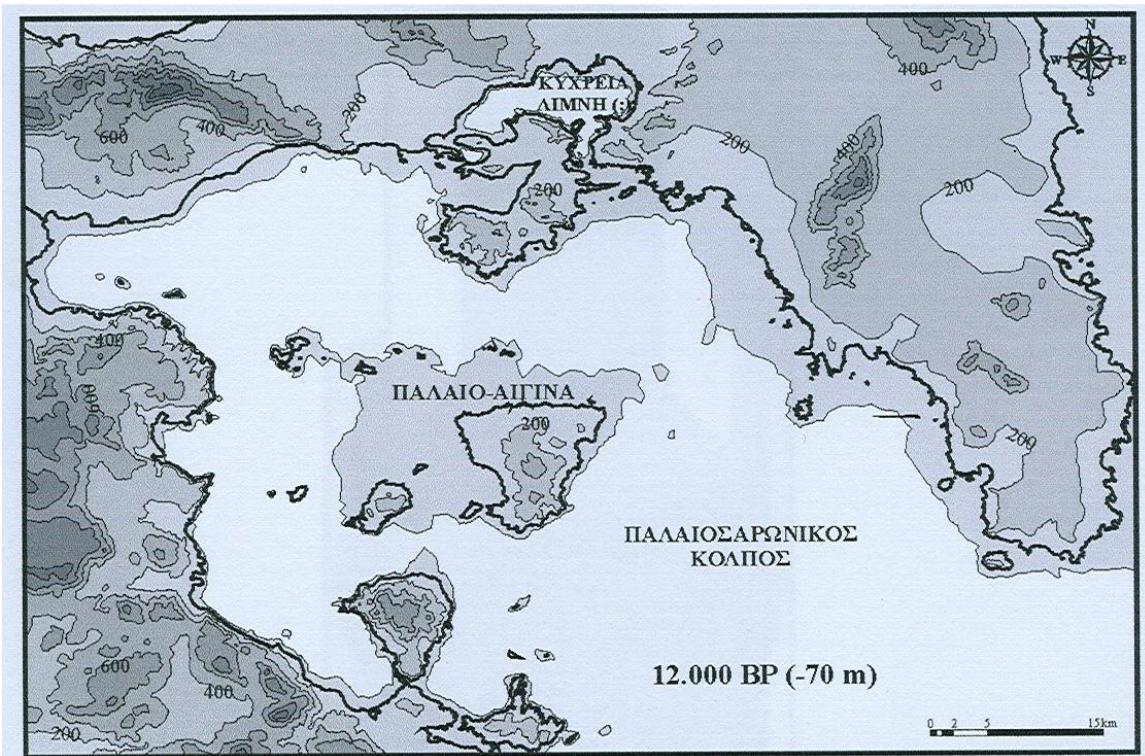
4.1 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο Σαρωνικός κόλπος, όπως και όλη η περιοχή του Αιγαίου, στα διάφορα στάδια της γεωλογικής του ιστορίας, έχει αλλάξει μορφή από παλαιοκλιματικές και γεωπεριβαλλοντικές μεταβολές. Τα τελευταία 20.000 χιλιάδες χρόνια, εκτός από τις τοπικές κατακόρυφες κινήσεις των ακτών που οφείλονται κυρίως σε τεκτονικά αίτια, λόγω της παγκόσμιας μεταβολής της στάθμης της θάλασσας, η θέση της ακτογραμμής αυτής έχει αλλάξει, όπως φαίνεται στους χάρτες που ακολουθούν (Τσιαμπάος, 2012)

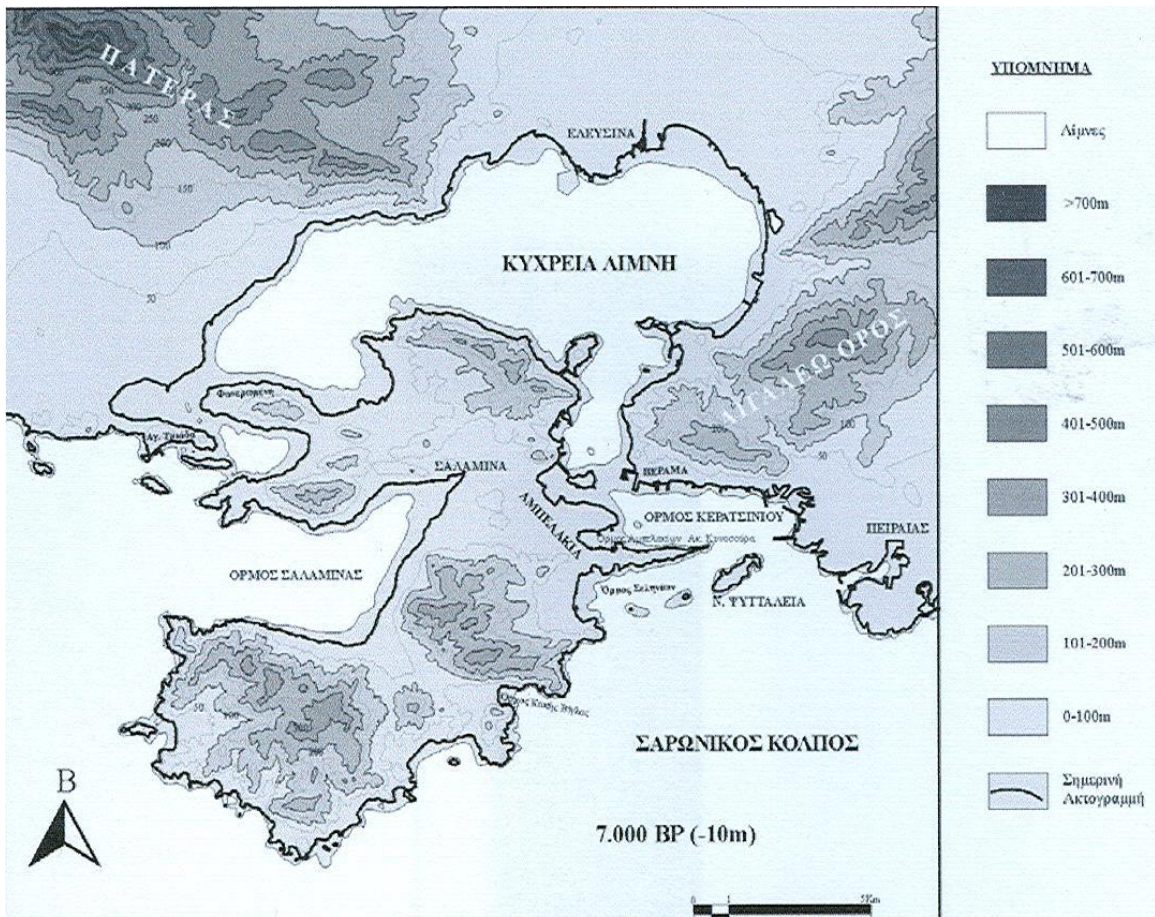
18.000 χρόνια πριν, τόσο η Σαλαμίνα, όσο και η Αίγινα, ήσαν ενωμένες με την Αττική, καθότι η στάθμη της θάλασσας βρισκόταν 125 μέτρα χαμηλότερα από ότι σήμερα. Πριν από 12.000 χρόνια, η στάθμη της θάλασσας ανήλθε κατά 55 μέτρα, όμως η Σαλαμίνα και η Αίγινα εξακολουθούσαν να είναι ενωμένες με την Αττική. Προ 7.000 ετών, η στάθμη της θάλασσας είχε φθάσει να βρίσκεται μόλις 10 μέτρα κάτω από τη σημερινή, όμως ακόμα μια λεπτή λωρίδα ξηράς συνέδεε τη Σαλαμίνα με την περιοχή του Περάματος.



Εικόνα 35: Παλαιογραφικός χάρτης του Σαρωνικού κόλπου πριν από 18.000 χρόνια. Με μαύρη γραμμή η σημερινή ακτογραμμή (Μαριολάκος & Θεοχάρης, 2001)



Εικόνα 36: Παλαιογραφικός χάρτης του Σαρωνικού κόλπου πριν από 12.000 χρόνια. Με μαύρη γραμμή η σημερινή ακτογραμμή (Μαριολάκος & Θεοχάρης, 2001)



Εικόνα 37: Παλαιογραφικός χάρτης του Σαρωνικού κόλπου πριν από 7.000 χρόνια. Με μαύρη γραμμή η σημερινή ακτογραμμή (Μαριολάκος & Θεοχάρης, 2001)

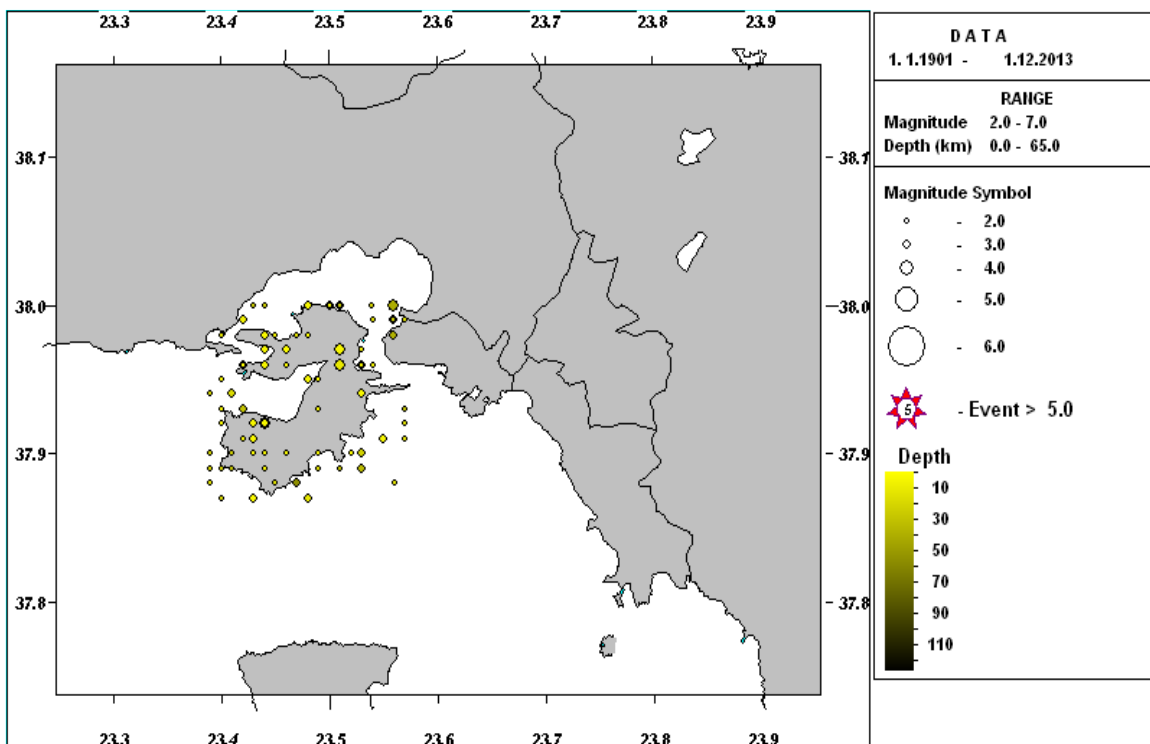
4.2 ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Σε ότι αφορά τη σεισμική δραστηριότητα της ευρύτερης περιοχής μελέτης, αυτή χαρακτηρίζεται μέτρια αφού σύμφωνα με το Χάρτη Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας του Ελληνικού Χώρου που αναφέρεται στο Νέο Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΟΑΣΠ 2000), ανήκει στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II (Εικόνα 22).

Στην Αττική παρουσιάζεται μέτρια σεισμικότητα, αφού σύμφωνα με τα ιστορικά στοιχεία αλλά και τις ενόργανες παρατηρήσεις και καταγραφές δεν σημειώνονται πολύ μεγάλα μεγέθη σεισμών. Μέχρι και πριν από τον τελευταίο μεγάλο σεισμό, αυτόν του Σεπτεμβρίου του 1999, υπήρχε λανθασμένα η άποψη ότι μόνο οι εστίες μεγάλων σεισμών που βρίσκονται, σε απόσταση 50-100

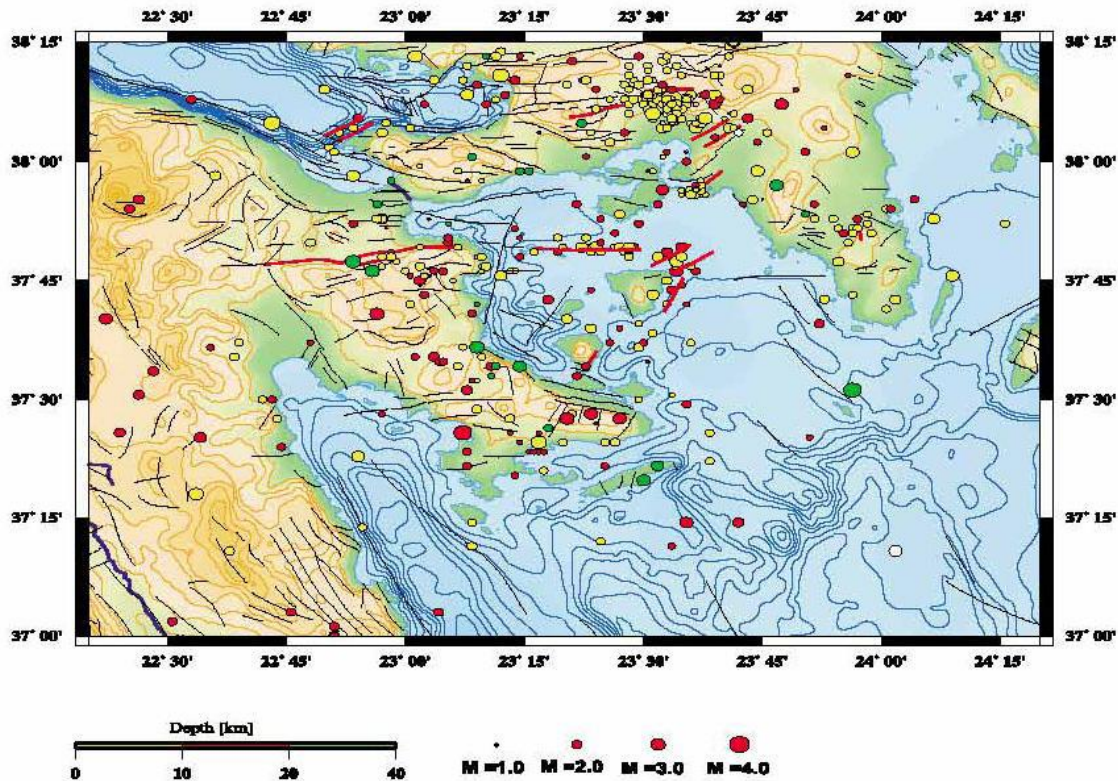
χιλιομέτρων από την Αττική, είναι αυτές που προκαλούν συνήθως βλάβες στην περιοχή.

Στην εικόνα 38, φαίνονται τα σεισμικά επίκεντρα στην περιοχή της Σαλαμίνας για σεισμούς μεγέθους $M > 2$ από το 1901 έως το 2013, σύμφωνα με τα στοιχεία του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Αξίζει να σημειωθεί πως καμία επιφανειακή εκδήλωση διάρρηξης ή εδαφικής αστοχίας στην ευρύτερη περιοχή δε συνδέεται με τους σεισμούς αυτούς, παρά μόνο κάποιες καταστροφές λόγω των σεισμικών δονήσεων.



Εικόνα 38: Χάρτης σεισμικών επίκεντρων στην περιοχή της Σαλαμίνας (στοιχεία από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών)

Οι Makris et al. (2004), οι οποίοι εγκατέστησαν ένα φορητό σεισμολογικό δίκτυο τόσο στην ξηρά όσο και στον υποθαλάσσιο χώρο και κατέγραψαν ένα αριθμό 739 μικροσεισμών για ένα διάστημα 45 ημερών, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα επίκεντρα εμφανίζουν μια ευθυγράμμιση σε διεύθυνση Α- Δ, και πιθανολογούν την ύπαρξη ενός ρήγματος νότια από τη Σαλαμίνα (Εικόνα 27), το οποίο μπορεί να συνδεθεί με σεισμό μεγέθους $M=6.5$ (Τσιαμπάος, 2012)



Εικόνα 39: Καταγραφή μικροσεισμικότητας στην περιοχή του Σαρωνικού κόλπου (Makris et al., 2004)

4.3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η ευρύτερη περιοχή Σαλαμίνας - Περάματος αποτελείται από γεωλογικούς σχηματισμούς που ανήκουν από γεωτεκτονική άποψη στην Υποπελαγονική ζώνη . Η Σαλαμίνα και το απέναντι της τμήμα της Αττικής έχει αποτελέσει αντικείμενο διαφόρων γεωλογικών μελετών. Παραθέτουμε κάποιες εξ αυτών: Γαϊτανάκης (1982), Γαϊτανάκης κ.α. (1984), Τάταρης και Σίδερης (1989), Θεοχάρης (2001), Μαριολάκος κ.α. (2001).

Στη Σαλαμίνα απαντούν τόσο αλπικοί όσο και μεταλπικοί σχηματισμοί. Στο νησί εμφανίζεται όλη η ακολουθία των πετρωμάτων της «Υποπελαγονικής» ενότητας, ενώ παρατηρείται μία χαρακτηριστική διαφοροποίηση της γεωλογικής δομής στο νότιο και στο βόρειο τμήμα του νησιού κατά μήκος της γραμμής Αιάντειο – Κακή Βίγλα. Στο νότιο τμήμα εμφανίζονται τα παλιότερα πετρώματα,

έως τους ανωτριάδικους ασβεστόλιθους, ενώ βορειότερα μόνο οι ανωτριάδικοί ασβεστόλιθοι και τα νεώτερα ιζήματα (Τάταρης & Σίδερης, 1989).

4.3.1 Σαλαμίνα

Στην Σαλαμίνα απαντώνται αλπικοί σχηματισμοί, οι οποίοι διακρίνονται σε δύο κύριες ενότητες που είναι η ενότητα Αττικής και η Υποπελαγονική ενότητα. Στην Υποπελαγονική ενότητα διακρίνονται οι υποενότητες Βοιωτική, Μαλιακή και Μετακρητιδικό τεκτονικό κάλυμμα.

Στη Βοιωτική διακρίνονται ανθρακικοί σχηματισμοί του Μέσου Ιουρασικού. Πρόκειται για στρωματώδεις, υπολιθογραφικούς, μερικές φορές κονδυλώδεις ασβεστόλιθους, κατά θέσεις δολομιτωμένους, με κονδύλους ή διαστρώσεις πυριτόλιθων. Μέσα σε αυτούς αναπτύσσεται το σύστημα των σχιστοκερατόλιθων που συνιστάται από ψαμμίτες, αργίλους, μάργες και οφιολιθικά σώματα.

Στη Μαλιακή διακρίνονται οι ακόλουθοι σχηματισμοί, από κάτω προς τα επάνω:

- Νεοπαλαιοζωικοί – Μεσοτριάδικοί ανθρακικοί σχηματισμοί. Πρόκειται για σύμπλεγμα στρωμάτων ηλικίας Ανώτερου Λιθανθρακοφόρου – Μέσου Τριάδικου και μέγιστου πάχους 400 μέτρων περίπου, της φάσης Halstatt, που αποτελείται από λεπτό- έως παχυστρωματώδεις σιφρούς έως μαργαϊκούς ασβεστόλιθους (συνήθως με έντονη κρυσταλλικότητα, βιομικριτικούς και με σπαριτική υφή). Κατά θέσεις πρόκειται για δολομίτες, πάχους μέχρι και 200 μέτρα, εναλλασσόμενους με τράπεζες σιφρού, βιτουμενιούχου ασβεστόλιθου, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται στρώματα και ενστρώσεις κερατόλιθων, αργιλικών σχιστολίθων, ψαμμιτών (τοπικά σερικιτιωμένων), κροκαλοπαγών (τοπικά χαλαζιακών), φακοειδών ασβεστόλιθων και σπανιότερα ηφαιστειακών τόφφων. Επίσης, εγκλείει και σώματα βασικών εκρηξιγενών πετρωμάτων, κυρίως κερατοφυρών που συνοδεύονται από τοφφίτες.

- Μεσοτριαδικό – Μεσοϊουρασικό ανθρακικό σχηματισμοί. Πρόκειται για αδιάφετα μεσο- έως παχυστρωματώδη ανθρακικά πετρώματα, ισχυρά κερματισμένα, έντονα καρστικά, τοπικά δολομιτωμένα, ωλιθικά και με ενστρώσεις και κονδύλους κερατόλιθων καθώς και με λεπτά στρώματα αργιλικού σχιστόλιθου, ηλικίας Λιάσιου – Δογγέριου. Στα ανώτερα μέλη αναπτύσσονται μεσοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι συνήθως στιφροί, κονδυλώδους όψεως, καλά στρωμένοι και συχνά αμβνιτοφόροι. Προς τους κατώτερους ορίζοντες απαντώνται ασβεστόλιθοι και σε μικρότερη αναλογία δολομίτες, μικροκρυσταλλικοί, ενίοτε δε στιφροί, μεσο- έως λεπτοστρωματώδεις και με πυριτόλιθους. Στα κατώτερα απαντώνται μικροκρυσταλλικοί, μεσο- έως παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες.
- Ανώτερη σχιστοψαμμικοκερατολιθική διάπλαση (Τιθώνιο – Κατώτερο Κρητιδικό). Πρόκειται για ένα σύστημα ηλικίας Τιθώνιου – Κατώτερου Κρητιδικού, πάχους 50-200 μέτρα περίπου, από σχιστομαργαϊκά στρώματα με ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, ασβεστόλιθους, καμιά φορά μαργαϊκούς, κερατόλιθους και σερπεντινωμένους περιδοτίτες, με ασήμαντες εμφανίσεις χρωμιτών και μικρών σωμάτων γάββρων, σπιλιτών, ανδεσιτών, κ.λ.π. Κατά θέσεις απαντώνται ως ολισθόλιθοι, σώματα, ενίοτε αρκετά ογκώδη, αμφιβολιτών, διμαρμαρυγιακών σχιστόλιθων και χαλαζιτών.
- Σχηματισμός φλύσχη. Πρόκειται για εναλλαγές μικρού πάχους, αργιλομαργαϊκών αποθέσεων, ψαμμιτών, ψηφιτοπαγών, ασβεστολιθικών φακών, κ.α., με μέγιστο πάχος 150 μέτρα περίπου και ηλικία Μαιστρίχτιο – Παλαιόκαινο. Κατά θέσεις, οι χαρακτήρες των μεταβατικών στρωμάτων προς τους υποκείμενους ασβεστόλιθους διαφέρουν. Επίσης κατά θέσεις, απαντώνται μέσα στο φλύσχη ολισθόλιθοι μεγάλων διαστάσεων από ποικίλα πετρώματα, όπως ασβεστόλιθοι, κερατόλιθοι και εκρηξιγενή.

Στο Μετακρητιδικό Τεκτονικό κάλυμμα, το οποίο για πρώτη φορά διακρίνεται σαφώς στη γεωλογική δομή της Αττικής, διακρίνονται ανωκρητιδικό

ανθρακικοί σχηματισμοί. Πρόκειται για λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους, τοπικά μαργαϊκούς, που εξελίσσονται σε παχυστρωματώδεις, συμπαγείς και μεταπίπτουν προς τα επάνω σε λεπτοστρωματώδεις μέχρι φυλλώδεις ασβεστόλιθους. Κατά θέσεις παρατηρούνται κερατολιθικές ενστρώσεις. Η ηλικία του σχηματισμού είναι Κενομάνιο – Σενώνιο και το πάχος του φτάνει κατά θέσεις τα 100 μέτρα. Στην επαφή τους με τους υπορκείμενους οφιόλιθους εμφανίζονται λατεριτικά σιδηρομεταλλεύματα.

4.3.2 Πέραμα

Στο Πέραμα συναντώνται μεταλπικοί σχηματισμοί. Οι μεταλπικές λεκάνες του Νομού Αττικής, σχεδόν πάντα ανοικτές προς τη θάλασσα, αποτελούν μεταλπικά ρηξιγενή βυθίσματα.

Η λεκάνη Μεγάρων – Αθήνας – Μεσογείων, αποτελείται από ένα σύνολο υπολεκανών, οι οποίες ορίζονται κύρια από ΒΑ και ΒΔ ρηξιγενείς δομές. Τα Γεράνεια, ο Κιθερώνας και η Πάρνηθα τις διαχωρίζουν από τις υπόλοιπες λεκάνες της Αττικής. Εσωτερικά τα Γεράνια, η Σαλαμίνα και το Αιγάλεω διαχωρίζουν την υπολεκάνη Μεγάρων – Ελευσίνας από αυτή των Αθηνών, ενώ ο Υμηττός και τα όρη της Λαυρεωτικής διαχωρίζουν τη λεκάνη των Μεσογείων από αυτή των Αθηνών.

Το περιβάλλον σχηματισμού και οι φάσεις των μεταλπικών αποθέσεων στις λεκάνες της Αττικής, παρουσιάζουν ιδιορρυθμίες που σχετίζονται με εξελισσόμενες ρηξιγενείς δομές, από το Μειόκαινο μέχρι σήμερα και με επικοινωνία τους προς τη θάλασσα, όπου και τα βυθίσματα Ευβοϊκού, Σαρωνικού και Κορινθιακού.

Έτσι οι ποταμοχερσαίες και λιμναίες φάσεις εξελίσσονται πλευρικά και στρωματογραφικά σε υφάλμυρες και θαλάσσιες από το Μειόκαινο στο Πλειστόκαινο, ενώ οι υπερκείμενοι ασύμφωνα Πλειστοκαινικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν στη μεγαλύτερη έκταση τους ποταμολιμναίο περιβάλλον, με εκτεταμένους αναβαθμούς.

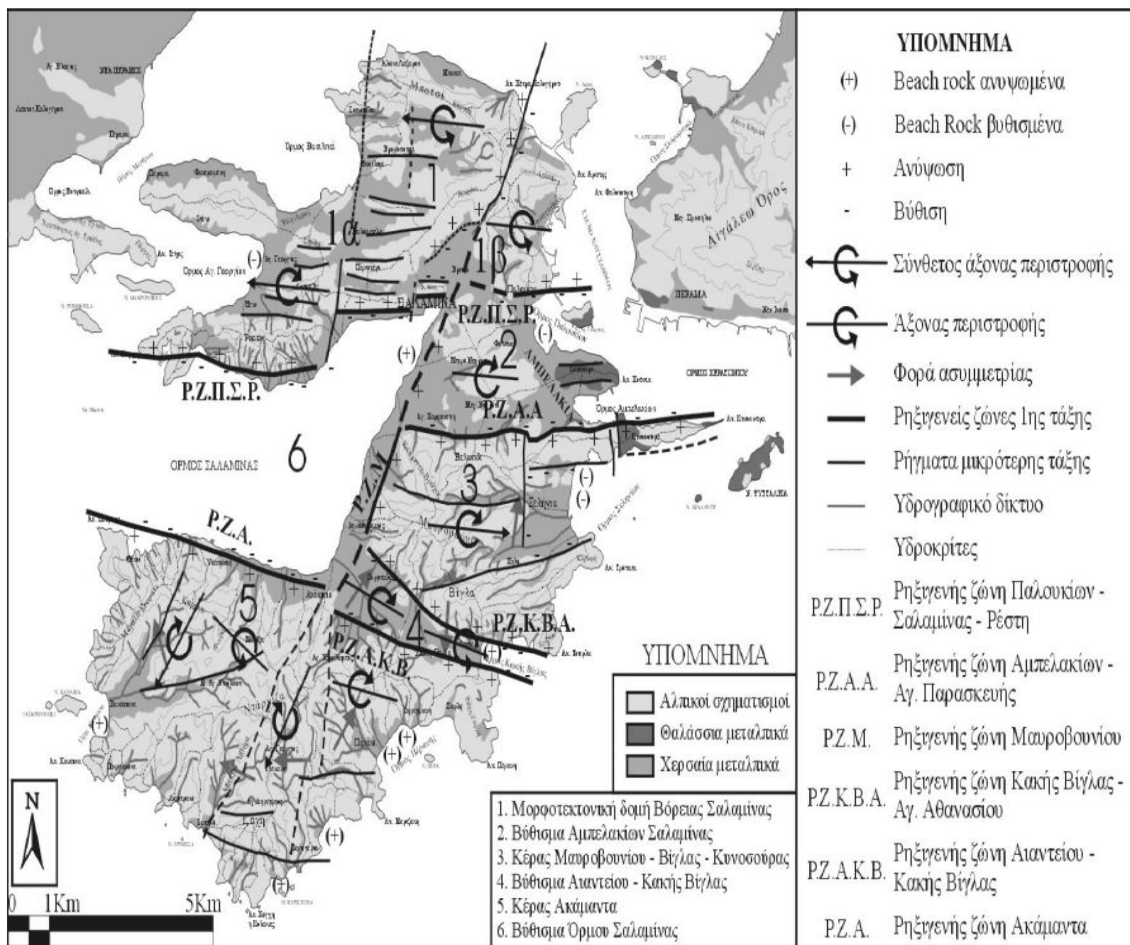
Οι μεταλπικοί σχηματισμοί της Αττικής διακρίνονται σε Τεταρτογενείς σχηματισμούς και αποθέσεις και σε Νεογενείς σχηματισμούς.

Οι νεογενείς σχηματισμοί είναι:

- Πλειοκαινικοί σχηματισμοί. Διακρίνονται σε:
 - Θαλάσσιους, από κροκαλοπαγή, μάργες, ψαμμούχες μάργες, ψαμμίτες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους
 - Υφάλμυρους έως λιμναίους, από μάργες, ψαμμίτες, ψηφιτοπαγή, κροκαλοπαγή, ασβεστόλιθους, καστανές αργίλους και μικρές ενστρώσεις άμμων και χαλαρών κροκαλοπαγών. Τοπικά απαντώνται λιγνιτικά στρώματα μέσα στις μάργες των ανωτέρων μελών των σχηματισμών. Στη βάση τους απαντούν κατά θέσεις συνεκτικά κροκαλοπαγή, με κροκάλες ποικίλου μεγέθους.
 - Λιμναίους (κυρίως) και υφάλμυρους, από εναλλαγές μαργών, αμμούχων μαργών, συνεκτικών ή χαλαρών κροκαλοπαγών και ψαμμιτών, οι οποίοι μεταβαίνουν προς τα επάνω σε μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, που εναλλάσσονται με πλακώδεις μάργες και μικρές ενστρώσεις ψαμμιτών και κροκαλοπαγών, με κατά θέσεις ενστρώσεις λιγνιτών και ρυοδακιτικής σύστασης πυροκλαστικών.
 - Ποταμοχερσαίους, από ποικίλης συνεκτικότητας, αργίλους, αμμούχους αργίλους και πηλούς, εναλλασσόμενους με στρώματα ψαμμιτών και κροκαλοπαγών, τα οποία κατά θέσεις παίρνουν ικανό πάχος.
 - Μεικτοί θαλάσσιοι, λιμνοθαλάσσιοι και κυρίως λιμναίοι, από εναλλαγές μαργών, αργίλων, ψαμμιτών, τραβερίνων, μαργαϊκών ασβεστολίθων και κροκαλοπαγών που κατά θέσεις περικλείουν λεπτά στρώματα λιγνίτη. Τοπικά επάνω σε αυτούς του σχηματισμούς απαντώνται ολισθόλιθοι ασβεστολίθων.
- Μειοκαινικοί σχηματισμοί, χερσαίοι έως ποταμολιμναίοι, από τραβερίνες, μάργες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή, σε εναλλαγή, με παρουσία κατά θέσεις λιγνιτικών φακών και ενδιαστρώσεων, με υπερκείμενες καστανέρυθρες παλαιοεδαφικές αποθέσεις από αμμούχο άργιλο και ιλύ που περιέχουν τη γνωστή «Πικερμική» πανίδα. Κατά θέσεις προς τους ανώτερους ορίζοντες απαντώνται και παράκτιοι σχηματισμοί από κοραλλιογενείς ασβεστόλιθους.

4.4 ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ

Η μορφοτεκτονική δομή Βόρειας Σαλαμίνας είναι μία σύνθετη νεοτεκτονική δομή η οποία οριοθετείται στο νότιο τμήμα της από την ρηξιγενή ζώνη Παλουκίων – Σαλαμίνας – Ρέστη (Ρ.Ζ.Π.Σ.Ρ.). Στο εσωτερικό αυτής της δομής αναπτύσσονται δύο 2ης τάξης νεοτεκτονικές δομές, το τεκτονικό κέρασ Ρέστη – Μπατασί και το τεκτονικό βύθισμα Παλουκίων – Λέρου. Στις δομές 2ης τάξης αναπτύσσονται ένα σύνολο δομών μικρότερης τάξης που οφείλονται στον κατακερματισμό της περιοχής σε μικρότερα ρηξιτεμάχη από το πλήθος των ρηγμάτων που τη διασχίζουν. Η παρουσία στο δυτικό άκρο του τεκτονικού κέρατος Ρέστη – Μπατασί ιζημάτων της ανωκρητιδικής επίκλυσης, καθώς και η ύπαρξη βυθισμένων beach rock στον όρμο του Αγ. Γεωργίου δείχνει μία περιστροφή της δομής αυτής προς τα δυτικά γύρω από οριζόντιο άξονα διεύθυνσης περίπου Β-Ν. Η μείωση των υψομέτρων των επιφανειών επιπέδωσης, στο λόφο Μπατασί, δείχνει επίσης μία περιστροφή της περιοχής προς νότο γύρω από οριζόντιο άξονα διεύθυνσης περίπου Α-Δ. Η αντίστροφη κίνηση φαίνεται να πραγματοποιείται στον λόφο Ρέστης, δηλαδή περιστροφή προς βορρά. Οι κινήσεις αυτές πραγματοποιούνται μέσω διαδοχικών τεκτονικών βυθισμάτων και κεράτων μικρότερης τάξης. Στο τεκτονικό βύθισμα Παλουκίων – Λέρου η κατανομή των επιφανειών επιπέδωσης καθώς και η γεωλογική δομή της περιοχής με τις μεγαλύτερες εμφανίσεις της διάπλασης και των οφιολιθικών πετρωμάτων να βρίσκονται στο νότιο τμήμα της δείχνει μία περιστροφή προς τα ΝΝΔ γύρω από οριζόντιο άξονα διεύθυνσης περίπου ΒΔ-ΝΑ. Η κίνηση αυτή δεν είναι τόσο έντονη στο νότιο ανατολικό άκρο της δομής όπου εμφανίζεται ο λόφος Βροκκή καθώς και στο νότιο δυτικό άκρο όπου εμφανίζεται ο λόφος Προφ. Ηλίας οι οποίοι ανυψώνονται από την δράση της ρηξιγενούς ζώνης Παλουκίων – Σαλαμίνας – Ρέστη. Η κίνηση αυτή δικαιολογεί την ύπαρξη της βυθιζόμενης περιοχής Βρεπτό, το οποίο είναι ένα βύθισμα ενεργό. Ο χώρος αυτός είναι χώρος διασταύρωσης μεγάλων ρηξιγενών ζωνών, τόσο διεύθυνσης Α-Δ όσο και ΒΑ-ΝΔ. Τα ρήγματα διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ λειτουργούν σαν ψαλιδωτά ρήγματα.



Εικόνα 40: Οι νεοτεκτονικές δομές της νήσου Σαλαμίνας, με τα κύρια περιθωριακά ρήγματα - ρηξιγενείς ζώνες καθώς και ορισμένα από τα κυριότερα ρήγματα μικρότερης τάξης (Μαριολάκος & Θεοχάρης, 2001)

Σε ό,τι αφορά τη νεοτεκτονική εξέλιξη της Σαλαμίνας, τα αλπικά πετρώματα της Σαλαμίνας έχουν υποστεί την κύρια αλπική παραμορφωτική φάση στο διάστημα Α. Ηώκαινο – Ολιγόκαινο. Στο Κ. Μειόκαινο η περιοχή βρισκόταν στην τότε οπισθοτάφρο του Ελληνικού τόξου. Τα παλαιότερα μεταλλικά ιζήματα που συναντάμε είναι Άνω Μειοκαινικής ηλικίας στην χερσόνησο της Κυνόσουρας. Σ' αυτό το διάστημα (Α. Μειόκαινο) πρέπει να άρχισε η λειτουργία των ρηξιγενών ζωνών του Ακάμαντα και Παλουκίων – Σαλαμίνας – Ρέστη με τη δημιουργία τριών κύριων δομών. Δύο τεκτονικά κέρατα στην βόρεια και την νότια Σαλαμίνα και ένα βύθισμα ανάμεσά τους. Η δομή στην νότια Σαλαμίνα που σήμερα αντιπροσωπεύει το τεκτονικό κέρασ του Ακάμαντα πρέπει να είναι η πρώτη που χέρσευσε στο Αν. Μειόκαινο ή στο Πλειόκαινο. Η άποψη αυτή επιβεβαιώνεται από την απουσία των θαλάσσιων μεταλλικών ιζημάτων (χωρίς να αποκλείεται η πιθανότητα να

διαβρώθηκαν), την έκταση που καταλαμβάνουν οι επιφάνειες επιπέδωσης, την αναπτυγμένη μορφή υδρογραφικού δικτύου καθώς και από την απουσία εκτεταμένων χερσαίων αποθέσεων. Η εικόνα της περιοχής είναι εκείνη περιοχής που βρίσκεται υπό καθεστώς διάβρωσης για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η δομή στην βόρεια Σαλαμίνα πρέπει να χέρσευσε αργότερα. Κατά το Πλειόκαινο τμήματά της όπως στο δυτικό άκρο όπου εμφανίζεται ο σχηματισμός Περάματος - Φανερωμένης καθώς και στο ανατολικό άκρο δυτικά του λόφου Βροκκή, όπου συναντάμε υπολείμματα θαλάσσιων ιζημάτων κάτω από χερσαίες αποθέσεις, πρέπει να συνέχιζαν να είναι θαλάσσιες ή παράκτιες ή λιμνοθαλάσσιες λεκάνες. Σημαντικά τμήματα όμως της δομής πρέπει να είχαν χερσεύσει όπως φαίνεται από τα χερσαία Πλειοκαινικά ιζήματα που έχουν αποθεθεί στη μορφοτεκτονική δομή της Βόρειας Σαλαμίνας. Η ενδιάμεση δομή παρουσιάζει την πιο σύνθετη εξέλιξη. Το ανατολικό τμήμα της δομής πρέπει να αποτελούσε τμήμα θαλάσσιας λεκάνης κατά την διάρκεια του Πλειοκαίνου, διάστημα κατά το οποίο αρχίζει η δράση των ρηξιγενών ζωνών Μαυροβουνίου, Αμπελακίων – Αγ. Παρασκευής και Κακής Βίγλας – Αγ. Αθανασίου που είχε σαν αποτέλεσμα τον κερματισμό της δομής με την δημιουργία των επιμέρους σημερινών δομών 1ης τάξης, όπως του βυθίσματος Αμπελακίων – Σαλαμίνας, του τεκτονικού κέρατος Μαυροβουνίου, του βυθίσματος Αιαντείου – Κακής Βίγλας και του βυθίσματος του όρμου της Σαλαμίνας. Η περιστροφή προς τα ανατολικά των μακροδομών πρέπει να εξελίσσεται από αυτό το χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα την χέρσευση καταρχήν των δυτικών περιοχών. Αυτό αποδεικνύεται από την ύπαρξη των Πλειοκαινικής ηλικίας κορημάτων κυρίως στο δυτικό τμήμα καθώς και από τα θαλάσσια ιζήματα της Βίγλας το οποία είναι μάλλον παράκτιας ή λιμνοθαλάσσιας φάσης. Μετά το Πλειόκαινο η περιοχή χερσεύει συνολικά, για να υποστεί την εξέλιξη κατά το Τεταρτογενές με τις επιπτώσεις της αυξομείωσης των παγετώνων σε παγκόσμια κλίμακα και τα γεωδυναμικά φαινόμενα που τους ακολούθησαν.

4.5 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΖΕΥΞΗΣ

Για την δημιουργία της γεωλογικής τομής κατά μήκος της χάραξης της υποθαλάσσιας σήραγγας, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ και συγκεκριμένα από το φύλλο Αθήνα-Πειραιάς. Επίσης, για τη χάραξη

της σήραγγας, ελήφθη υπόψη το γεγονός πως σύμφωνα με την Αττικό Μετρό, η κλίση της σήραγγας δε μπορεί να ξεπερνάει το 4%. Ως ελάχιστο ύψος υπερκείμενων σχηματισμών, επελέγη $h=30\text{m}$ (από την ερυθρά), ενώ οι είσοδοι-έξοδοι της σήραγγας θα κατασκευαστούν σε βάθος 20m από την επιφάνεια του εδάφους.

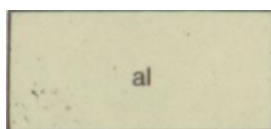
Ακολουθεί τμήμα του γεωλογικού χάρτη που χρησιμοποιήθηκε καθώς και υπόμνημα αυτού.



Εικόνα 41: Τμήμα του γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ - Φύλλο Αθήναι-Πειραιεύς

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ



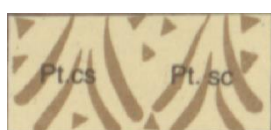
Αλλουβιακές αποθέσεις (al)



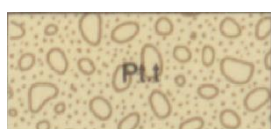
Παράκτιες αποθέσεις (cd)



Πλευρικά κορήματα και κώνοι
κορημάτων (H.sc)

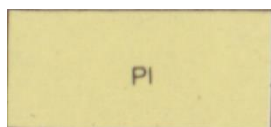


Παλαιοί κώνοι κορημάτων (Pt.cs)



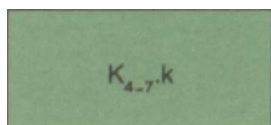
Αναβαθμίδες μέσα σε χειμάρρους
(Pt.t)

ΝΕΟΓΕΝΕΣ



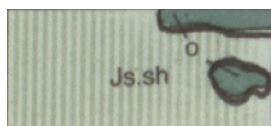
Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και
ψαμμίτες (Pl)

ΑΝΩΤ. ΑΛΒΙΟ – ΤΟΥΡΩΝΙΟ



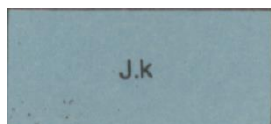
Ασβεστόλιθοι (K4-7.k)

ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ



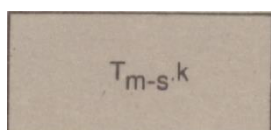
Σχιστοκερατολιθική διάπλαση (Js.sh)

ΛΙΑΣΙΟ – ΔΟΓΓΕΡΙΟ



Ασβεστόλιθοι (J.k)

ΜΕΣΟ – ΑΝΩΤΕΡΟ ΤΡΙΑΔΙΚΟ

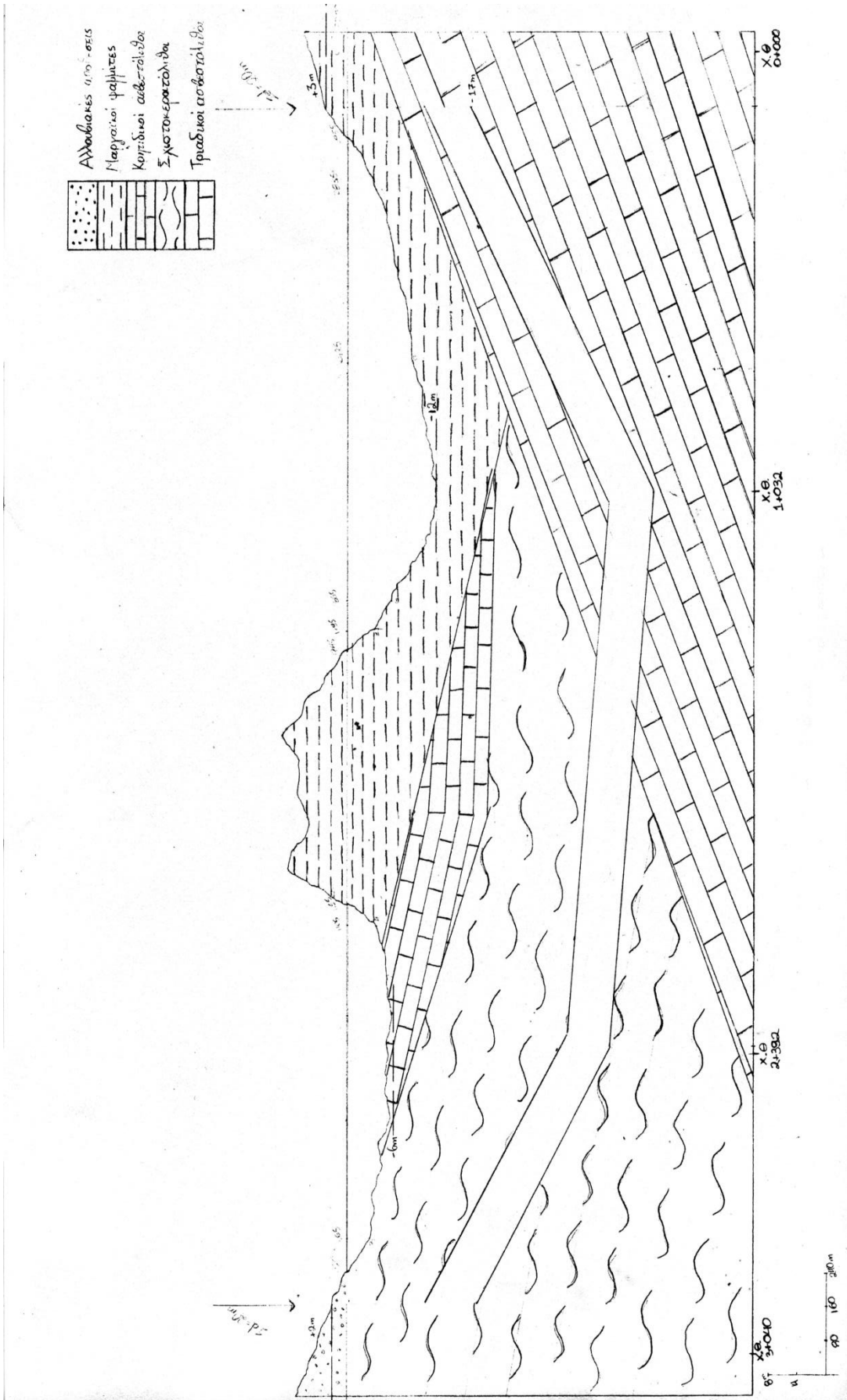


Ασβεστόλιθοι (Tm-s.k)

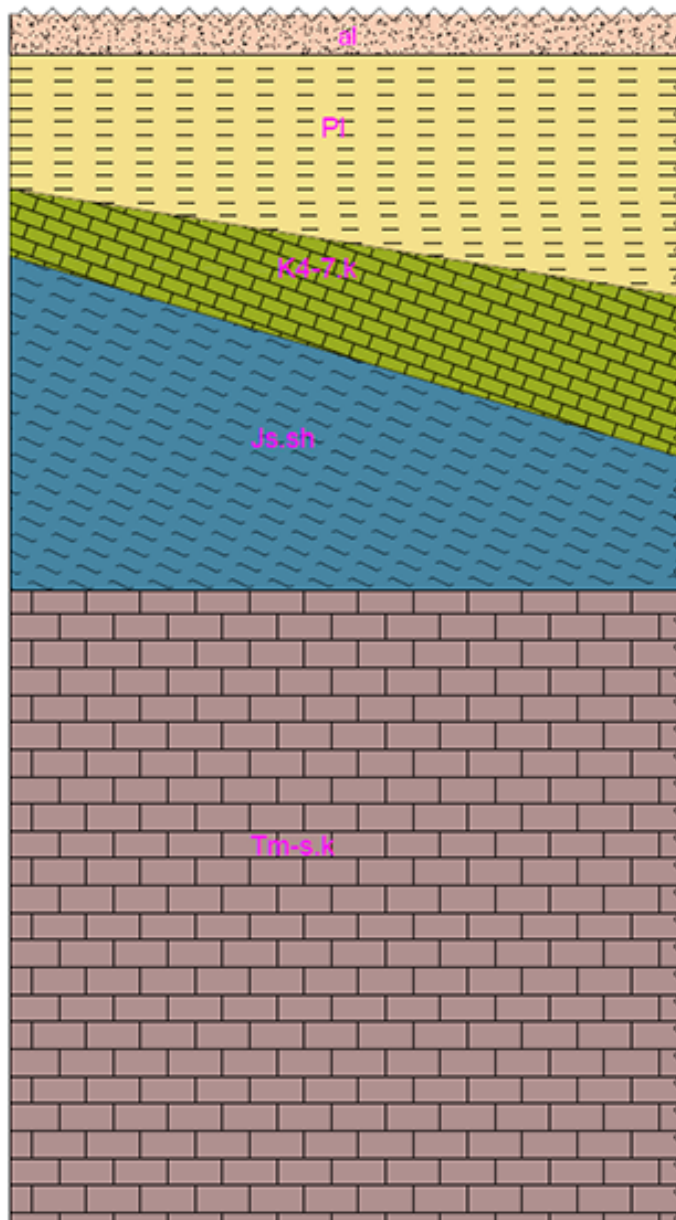
4.5.1 Γεωλογική δομή χάραξης

Κατά μήκος της χάραξης του έργου, όπως φαίνεται από τον συνημμένο τμήμα του γεωλογικού χάρτη και την στρωματογραφική στήλη, απαντώνται από κάτω προς τα επάνω οι εξής σχηματισμοί :

- Ασβεστόλιθοι (Tm-s.k), του Μέσο – Ανώτερου Τριαδικού, τεφροί, παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι στα ανώτερα μέλη, με μέσο πάχος τα 50 μέτρα.
- Σχιστοκερατόλιθοι (Js.sh), του Ιουρασικού, αργιλικί εναλλασσόμενοι με ερυθρούς ραδιολαρίτες και με λεπτοπλακώδεις ερυθρωπούς ή τεφρούς ασβεστόλιθους με κερατόλιθους, με μέσο πάχος 25 μέτρα.
- Ασβεστόλιθοι (K4-7.k), του Κρητιδικού, επικείμενοι της σχιστοκερατολιθικής διαπλάσεως, τεφροί, πλακώδες. Προς τα πάνω εξελίσσονται σε παχυστρωματώδεις ή άστρωτους. Στη νήσο του Αγίου Γεωργίου, μέσα στους μικροκλαστικούς ασβεστόλιθους παρατηρείται ένα λατυποπαγές με θραύσματα από οφιόλιθους, κερατόλιθους και κόκκους χαλαζία. Μέσο πάχος τα 5 μέτρα.
- Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και ψαμμίτες (Pl), επικλυσιγενή ιζήματα θαλάσσιας ή παράκτιας φάσεως. Στη βάση του απαντούν κροκαλοπαγή (μέγεθος κροκάλος 5-20 εκ.) με παρεμβολές ψαμμιτών και ψαμμούχων μαργών. Στα ανώτατα μέλη εναλλάσσονται με λιμναία και χερσαία ιζήματα, κυρίως κροκαλοπαγή. Μέσο πάχος τα 10 μέτρα.
- Αλλουβιακές αποθέσεις (al) με μέσο πάχος τα 3 μέτρα.



Εικόνα 42: Γεωλογική τομή κατά μήκος της χάραξης



Εικόνα 43: Στρωματογραφική στήλη στην περιοχή της χάραξης

4.5.2 Επιλογή υπερκειμένου

Ως ελάχιστο ύψος υπερκείμενων σχηματισμών επελέγησαν τα 30 μέτρα. Για να πραγματοποιηθεί η επιλογή αυτή, σχεδιάστηκαν τρία διαφορετικά σενάρια.

Αρχικά, ως βάση όλων των εναλλακτικών λύσεων, θεωρήθηκε ότι οι σταθμοί του Μετρό στην είσοδο και έξοδο της σήραγγας θα βρίσκονται σε βάθος 20 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους. Αυτό επελέγη με κύριο γνώμονα την ευστάθεια

των στομίων, και την κατασκευή τους εντός της περιοχής των ασβεστόλιθων από τη μία και των σχιστόλιθων από την άλλη. Επίσης, αν οι σταθμοί βρίσκονταν σε μικρότερα βάθη, θα καθίστατο από πολύ δύσκολό έως τεχνικά αδύνατον να μπορέσει η σήραγγα να κατασκευαστεί στο απαιτούμενο βάθος, λόγω του περιορισμού που υφίσταται ως προς τη μέγιστη κλίση (4%).

Απόρριψη 20m

Στο πρώτο σενάριο η διάνοιξη ξεκινάει από βάθος 20 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους και ως ελάχιστο ύψος υπερκείμενων κατά μήκος της χάραξης ετέθησαν τα 20 μέτρα από την ερυθρά.

Με δεδομένη την υποχρέωση τήρησης του ορίου μέγιστης κλίσης (4%) για σήραγγες Μετρό, η χάραξη θα έπρεπε να γίνει με υπερκείμενα μικρότερα των 20 μέτρων σε κάποια σημεία (και κυρίως στην περιοχή μεταξύ Σαλαμίνας και Αγίου Γεωργίου). Κάτι τέτοιο θα καθιστούσε επισφαλής τη διέλευση της σήραγγας από τα σημεία αυτά καθότι μεγάλο μέρος των σχηματισμών είναι νεογενείς. Για την διατήρηση του ελαχίστου ύψους που ετέθη, απαιτούνται πολύπλοκες και δύσκολες τεχνικά λύσεις. Παράλληλα, όπως ήδη αναφέρθηκε, μέρος της διάνοιξης της σήραγγας, θα έπρεπε να γίνει σε νεογενείς σχηματισμούς, κάτι που, λόγω των πτωχών μηχανικών τους ιδιοτήτων δεν κρίνεται ενδεδειγμένο.

Απόρριψη 40m

Σε αυτό το σενάριο η διάνοιξη ξεκινάει από βάθος 20 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους και ως ελάχιστο ύψος υπερκείμενων κατά μήκος της χάραξης ετέθησαν τα 40 μέτρα από την ερυθρά.

Δηλαδή, από την μεριά του Περάματος και από την Χ.Θ. 0+000 ως τη Χ.Θ. 0+900, η σήραγγα θα έπρεπε να «κατέβει» κατά 35 μέτρα. Κάνοντας τους υπολογισμούς, προκύπτει ότι η κλίση του τμήματος αυτού θα είναι 3,89%, δηλαδή πολύ κοντά στη μέγιστη επιτρεπτή, οπότε για λόγους ασφαλείας δεν θεωρείται η ιδανική. Επίσης, λόγω του μεγάλου βάθους και των επακόλουθων μεγαλύτερων κλίσεων, είναι προφανές ότι το πραγματικό προς διάνοιξη μήκος της σήραγγας θα μεγάλωνε κατά πολύ, γεγονός που θα αύξανε το κόστος αλλά και το χρόνο

κατασκευής. Τέλος, λόγω του μεγάλου ύψους των υπερκειμένων, η κατασκευή θα δεχόταν μεγάλες πιέσεις.

Επιλογή 30m

Τέλος, δοκιμάστηκε ο σχεδιασμός της σήραγγας λαμβάνοντας ως ελάχιστο ύψος υπερκειμένων από την ερυθρά, τα 30 μέτρα κατά μήκος της χάραξης.

Στο σενάριο αυτό, το όριο των 30 μέτρων που ετέθη ως ύψος υπερκειμένων, τηρείται αβίαστα καθ' όλο το μήκος της σήραγγας, ενώ επίσης η μέγιστη κλίση που θα χρησιμοποιηθεί ανέρχεται στο 2,78%, απέχοντας έτσι αρκετά από την οριακή τιμή της (4%). Επιπλέον, το μεγαλύτερο τμήμα της σήραγγας διανοίγεται σε ασβεστόλιθο, οι καλές μηχανικές ιδιότητες του οποίου διευκολύνουν τόσο την εκσκαφή όσο και την υποστήριξη της κατασκευής μας. Μάλιστα, το πραγματικό μήκος της σήραγγας, δε διαφοροποιείται ιδιαίτερα σε σχέση με την απόσταση σε ευθεία γραμμή μεταξύ των δύο σταθμών.

4.5.3 Γεωλογική τομή χάραξης

Έχοντας δημιουργήσει την γεωλογική τομή κατά μήκος της χάραξης του έργου και αφού σχεδιάστηκε σε αυτήν η επιθυμητή χάραξη της σήραγγας, γίνονται πλέον εύκολα διακριτοί οι σχηματισμοί μέσα από τους οποίους αναμένεται να διέλθει η σήραγγά μας.

Στον ακόλουθο πίνακα, περιγράφονται οι συναντώμενοι κατά τη διάνοιξη σχηματισμοί, ανά εκατό μέτρα χάραξης.

Χιλιομετρική Θέση (ΧΘ)	Απαντώμενος σχηματισμός
0,00-100,00	Tm-s.k
100,00-200,00	Tm-s.k
200,00-300,00	Tm-s.k
300,00-400,00	Tm-s.k
400,00-500,00	Tm-s.k
500,00-600,00	Tm-s.k
600,00-700,00	Tm-s.k
700,00-800,00	Tm-s.k
800,00-900,00	Tm-s.k
1.000,00-1.100,00	Tm-s.k
1.100,00-1.200,00	Tm-s.k
1.200,00-1.300,00	Tm-s.k
1.300,00-1.400,00	Tm-s.k
1.400,00-1.500,00	Tm-s.k
1.500,00-1.600,00	Tm-s.k
1.600,00-1.664,00	Tm-s.k
1.664,00-1.700,00	Js.sh
1.700,00-1.800,00	Js.sh
1.800,00-1.900,00	Js.sh
1.900,00-2.000,00	Js.sh
2.000,00-2.100,00	Js.sh
2.100,00-2.200,00	Js.sh
2.200,00-2.300,00	Js.sh
2.300,00-2.400,00	Js.sh
2.400,00-2.500,00	Js.sh
2.500,00-2.600,00	Js.sh
2.600,00-2.700,00	Js.sh
2.700,00-2.800,00	Js.sh
2.800,00-2.900,00	Js.sh
2.900,00-3.000,00	Js.sh
3.000,00-3.040,00	Js.sh

Πίνακας 2: Γεωλογικοί σχηματισμοί κατά μήκος της χάραξης

Συγκεκριμένα από ΧΘ 0+000 έως ΧΘ 1+664, ξεκινώντας από την ακτή του Περάματος με κατεύθυνση Δυτική – Νοτιοδυτική, η σήραγγα διέρχεται μέσα από τους Τριαδικούς ασβεστόλιθους (Tm-s.k). Είναι γενικά παχυστρωματώδεις μέχρι άστρωτοι, κατά θέσεις λατυποπαγείς, ρηγματωμένοι, πτυχωμένοι και καρστικοποιημένοι, μέτρια σκληροί, μέσης μέχρι υψηλής αντοχής. Παρουσιάζουν αυξημένη δευτερογενή υδροπερατότητα και υδροφορία ακανόνιστη και μεγάλου βάθους(Σαμπατακάκης Ν., 1991).

		Εύρος τιμών	
Βραχώδες υλικό	Ασβεστόλιθος		
Φυσικά & μηχανικά χαρακτηριστικά	$\rho_d(kN/m^3)$	25 – 26,8	
	SHV	36 – 50	
	$\sigma_c(MPa)$	29,5 – 87,5	
	$I_{s(50)}(MPa)$	3 – 10	
	$\sigma_t(MPa)$	3,8 – 6,5	

Πίνακας 3: Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά τριαδικών ασβεστόλιθων

ρ_d : Ξηρή Πυκνότητα, SHV: Σκληρότητα (Ένδειξη Σφυριού Schmidt – L), σ_c : Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη,, $I_{s(50)}$: Δείκτης σημειακής φόρτισης, σ_t : Αντοχή σε εφελκυσμό

Από ΧΘ 1+664 έως ΧΘ 3+040, συναντάμε σχιστοκερατολιθικούς σχηματισμούς (Js.sh), με ποιότητα βραχομάζας από μέτρια έως πολύ πτωχή, γενικά στεγανοί με ισχυρά κυμαινόμενη υδροπερατότητα. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα φυσικά και μηχανικά τους χαρακτηριστικά των σχηματισμών αυτών.

		Εύρος τιμών	
Βραχώδες υλικό	Σχιστόλιθος		
Φυσικά & μηχανικά χαρακτηριστικά	$\rho_d (kN/m^3)$	21,5 – 27,5	
	$\sigma_c (MPa)$	1,5 – 89,5	
	$E_L (MPa)$	0,3 – 30,0	
	$I_{s(50)} (MPa)$	1 – 10,5	
	$\sigma_t (MPa)$	0,5 – 6,5	

Πίνακας 4: Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά σχιστολίθων

ρ_d : Ξηρή Πυκνότητα, σ_c : Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη, E_L : Εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας που αντιστοιχεί στο 50% της αντοχής (GPA), $I_{s(50)}$: Δείκτης σημειακής φόρτισης, σ_t : Αντοχή σε εφελκυσμό

Ο σταθμός του Περάματος θα κατασκευαστεί εντός των Τριαδικών ασβεστόλιθων, σε βάθος 20 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους. Υπέρ των ασβεστόλιθων, συναντάμε μαργαϊκούς ψαμμίτες πάχους περίπου 10 μέτρων, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από μέτριας έως πολύ πτωχής ποιότητας. Επίσης παρουσιάζουν μεγάλη συνεκτικότητα, αλλά λόγω της αποσάθρωσης, μέρος τους έχει μετατραπεί σε ημι-συνεκτικό ενώ κατά ζώνες μπορεί να χαρακτηριστεί και ασύνδετο.

Ο σταθμός στα Παλούκια Σαλαμίνας θα κατασκευαστεί εντός σχιστοκερατολιθικών σχηματισμών, σε βάθος 20 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ στην επιφάνεια συναντώνται αλλουβιακές αποθέσεις μικρού πάχους.

4.5.4 Γεωμορφολογικές συνθήκες κατά μήκος της χάραξης

Η χάραξη του έργου θα ακολουθεί ουσιαστικά την «κάθετη» απόσταση των ακτών Περάματος – Σαλαμίνας, διερχόμενη κάτω από τη νήσο του Αγίου Γεωργίου. (εικόνα) Ακολουθεί μια γενική περιγραφή του ανάγλυφου κατά μήκος της χάραξης:

Ξεκινώντας από τις ακτές του Περάματος, έχουμε ένα χερσαίο τμήμα με κλίση 2,42%, το οποίο χαρακτηρίζεται από σταθερότητα και αποτελείται κυρίως από νεογενείς σχηματισμούς.

Στη συνέχεια, συναντάμε το πρώτο από τα δύο θαλάσσια τμήματα, μια ανοικτή λεκάνη η οποία έχει μέγιστο βάθος τα 12 μέτρα και κλίση 1,43% από τη μεριά του Περάματος και 3,33% από τη μεριά της νήσου του Αγίου Γεωργίου.

Έπεται το δεύτερο χερσαίο τμήμα, το νησί Άγιος Γεώργιος, που επίσης χαρακτηρίζεται από σταθερότητα ενώ αποτελείται και αυτό από νεογενείς σχηματισμούς. Ως μέγιστο ύψος έχει τα 10 μέτρα, με κλίσεις εκατέρωθεν 5,21% (από τη μεριά του Περάματος) και 10,63% (από τη μεριά της Σαλαμίνας).

Ακολουθεί το δεύτερο κατά σειρά θαλάσσιο τμήμα, με μέγιστο βάθος τα 6 μέτρα και κλίση 2,31% προς τον Άγιο Γεώργιο και 1% προς τη Σαλαμίνα.

Τέλος, έχουμε το τρίτο χερσαίο τμήμα στα Παλούκια Σαλαμίνας, το οποίο αποτελείται από παράκτιες αποθέσεις και παρουσιάζει κλίση 2,40%.

5.ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΟ

5.1 ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ (NATM)

Η Νέα Αυστριακή Μέθοδος Διάνοιξης (New Austrian Tunnelling Method ή NATM), χρησιμοποιείται για την εκσκαφή των υπόγειων σταθμών και διαφόρων βοηθητικών σηράγγων (εσοχές κλιμάκων, προσβάσεις, συνδέσεις γραμμών, κλπ.).

Η NATM, που αναπτύχθηκε στις αρχές του 1960 στην Αυστρία, είναι μια ημιεμπειρική – ημιεμπειρική λογική κατασκευής. Βασίζεται στις αρχές μηχανικής συμπεριφοράς των πετρωμάτων, όταν αυτές συνδυάζονται με μετρήσεις παρακολούθησης της συμπεριφοράς υπογείων διανοίξεων κατά την κατασκευή τους. Η λέξη «μέθοδος» (method) που χρησιμοποιείται διεθνώς είναι ατυχής καθόσον δεν πρόκειται για συγκεκριμένη τεχνική εκσκαφής και υποστήριξης. Η NATM χρησιμοποιεί διάφορους ήδη δοκιμασμένους τρόπους εξόρυξης (με μηχανικά μέσα) και υποστήριξης, με τη διαφορά ότι με τη συνεχή παρακολούθηση των μετακινήσεων στην περιφέρεια της σήραγγας και τη συνεχή αναθεώρηση της εφαρμοζόμενης υποστήριξης προσπαθεί να επιτύχει την πλέον σταθερή και οικονομική επένδυση. (Σοφιανός, 2011) Ως «μέθοδος» εκσκαφής παρέχει την απαραίτητη ευελιξία που απαιτείται για την αντιμετώπιση των ποικίλων συνθηκών που δύναται να παρουσιαστούν όσον αφορά τις συνθήκες τις βραχομάζας, καθώς και για την ορθή επιλογή της υποστήριξης που σχετίζεται με τη μέθοδο αυτή (εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, πλέγμα οπλισμού, χαλύβδινα τόξα, αγκύρια, πάσσαλοι προπορείας, κλπ.). Έτσι επιτυγχάνεται η σταθερή εκσκαφή αλλά και ο επαρκής και αποτελεσματικός έλεγχος των καθιζήσεων του εδάφους.

Γενικότερα, η συμβατική μηχανική διάνοιξη εφαρμόζεται σε γεωμάζες που η δομή και η αντοχή τους το επιτρέπουν. Τα εδάφη δύναται να απομακρυνθούν σχετικά εύκολα με χρήση χειρονακτικών εργαλείων ή ελαφριών μηχανημάτων, όμως παρουσιάζουν προβλήματα αστάθειας της εσκαπτόμενης διατομής. Στα πλαίσια της σηραγγοποιίας, μαλακή γεωμάζα ορίζεται ως ο οποιοσδήποτε τύπος γεωμάζας που απαιτεί υποστήριξη αμέσως μετά την εκσκαφή, προκειμένου να

εξασφαλιστεί η σταθερότητα της. Στις μαλακές γεωμάζες συμπεριλαμβάνονται τα μαλακά πετρώματα και τα εδάφη, καθώς και τα ισχυρά τεκτονισμένα πετρώματα.

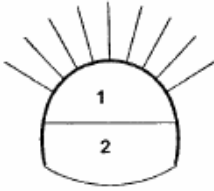
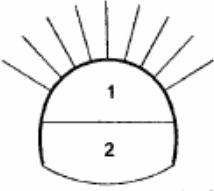
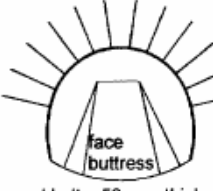
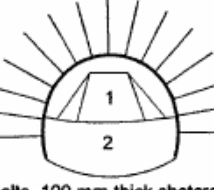
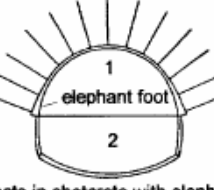
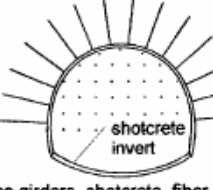
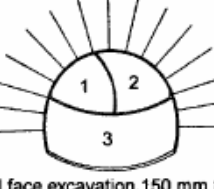
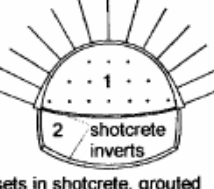
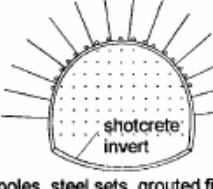
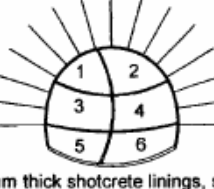
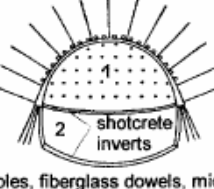
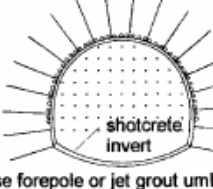
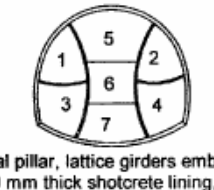

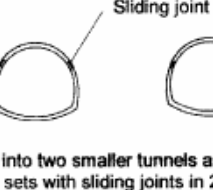
Η επιλεγμένη μέθοδος διάνοιξης της σήραγγας, ο βαθμός δυσκολίας και το επακόλουθο κόστος καθορίζονται πρωταρχικά από τον χρόνο ευστάθειας του εδαφικού υλικού. Αυτός, εκτός από το υφιστάμενο εντατικό πεδίο, εξαρτάται κυρίως από την ποιότητα του πετρώματος και το μέγεθος του υπογείου ανοίγματος. Η τμηματική εξόρυξη της διατομής, σε αντίθεση με την ολομέτωπη, αποτελεί συνήθη πρακτική, που με το διαχωρισμό της διατομής σε πολλαπλά μέτωπα, μειώνει το ενεργό μέγεθος του ανοίγματος, και επιτυγχάνεται η βελτίωση των συνθηκών ευστάθειας.

Εφόσον, η ευστάθεια του μετώπου μέχρι το επόμενο βήμα εκσκαφής είναι εξασφαλισμένη, τότε η διαδικασία της διάνοιξης περιορίζεται στον έλεγχο της επάρκειας των τοιχωμάτων της σήραγγας. Επειδή η ευστάθεια της σήραγγας και ειδικότερα του μετώπου εξαρτώνται από το μέγεθος της σήραγγας, η σταθερότητα του μετώπου επιτυγχάνεται, είτε με τη μείωση της διατομής σε επί μέρους εκσκαπόμενα τμήματα, για καθένα από τα οποία το μέτωπο είναι ευσταθές χωρίς την απαίτηση πρόσθετων μέτρων, είτε με τη χρήση πρόσθετων μέτρων βελτίωσης του εδάφους έμπροσθεν του μετώπου.



Εικόνα 44: Διάνοιξη σήραγγας με τη χρήση συμβατικών μεθόδων (NATM) (ametro.gr)

Βασικά στοιχεία του συστήματος στήριξης είναι η επένδυση από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και ενίσχυση του πετρώματος με ηλώσεις. Το σκυρόδεμα συνίστανται από τσιμέντο, νερό και λεπτόκοκκα αδρανή, τα οποία εφαρμόζονται με εκτόξευση (με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα). Οι ηλώσεις ή αγκύρια βράχου διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, προεντεταμένα ή ενεργητικά και παθητικά, με τη διαφορά τους να έγκειται στον τρόπο που επιτυγχάνεται η στήριξη του πετρώματος μέσω αυτών.

	MULTIPLE HEADINGS	TOP HEADING AND BENCH	FULL FACE EXCAVATION
NO SQUEEZING	 <p>Safety rockbolts in crown with 50 mm thick shotcrete</p>	 <p>Safety rockbolts in crown with 50 mm thick shotcrete</p>	 <p>Safety rockbolts, 50 mm thick shotcrete and face buttress</p>
MINOR SQUEEZING	 <p>Rockbolts, 100 mm thick shotcrete and face buttress</p>	 <p>Steel sets in shotcrete with elephant foot and invert lining</p>	 <p>Lattice girders, shotcrete, fiber-glass dowels grouted in face</p>
SEVERE SQUEEZING	 <p>Partial face excavation, 150 mm thick shotcrete lining and invert</p>	 <p>Steel sets in shotcrete, grouted fiberglass dowels in face</p>	 <p>Forepoles, steel sets, grouted fiberglass dowels in face</p>
V. SEVERE SQUEEZING	 <p>200 mm thick shotcrete linings, self-drilling rockbolts</p>	 <p>Forepoles, fiberglass dowels, micropile foundations for sets</p>	 <p>Dense forepole or jet grout umbrella and face support</p>
EXTREME SQUEEZING	 <p>Central pillar, lattice girders embedded in 250 mm thick shotcrete lining, no rockbolts</p>	 <p>Forepole umbrella, steel sets with sliding joints, close temporary and final inverts</p>	 <p>Sliding joint</p> <p>Split into two smaller tunnels and use steel sets with sliding joints in 250 mm shotcrete</p>

Εικόνα 45: Διάνοξη με πολλαπλά μέτωπα (Hoek, 2001)

5.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΟΙΧΤΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΧΩΣΗΣ (CUT & COVER)

Η Μέθοδος της Ανοικτής Εκσκαφής και Επίχωσης χρησιμοποιείται ευρέως στους σταθμούς του Μετρό, όπου το ύψος των υπερκειμένων είναι μικρό και τα πετρώματα αποσαθρωμένα.

Για βάθη μικρότερα από 10m είναι οικονομικότερη και πρακτικότερη από τις άλλες μεθόδους εκσκαφής, ειδικά στις σήραγγες Μετρό όπου τα βάθη ανοικτής εκσκαφής δεν ξεπερνούν συνήθως τα 20m.

Η μέθοδος χρησιμοποιείται και στις εισόδους των σηράγγων. Προκειμένου να κατασκευαστεί το όρυγμα της σήραγγας, απαιτείται η διαμόρφωση ασφαλών πρανών. Αυτά είναι δυνατόν να είναι είτε κεκλιμένα είτε κατακόρυφα. Όπου ο χώρος κατασκευής το επιτρέπει, όπως σε περιοχές έξω από την πόλη, η εκσκαφή συμφέρει οικονομικά να γίνει με τη διαμόρφωση ευσταθών κεκλιμένων πρανών. Η κλίση αυτών καθορίζεται από τη συνοχή και γωνία εσωτερικής τριβής του εδάφους. Από την άλλη, η ανεπάρκεια ελεύθερου χώρου μέσα στις πόλεις επιβάλλει τις περισσότερες φορές την κατασκευή κατακόρυφων πρανών. Η απαίτηση για ευστάθεια των πρανών απαιτεί την αντιστήριξη τους με πασσάλους ή τοιχία από σκυρόδεμα.

Ιδιαίτερη χρήση της μεθόδου αυτής, γίνεται και στο κέντρο της πόλης, όπου μας παρέχει μεγαλύτερη ασφάλεια και δυνατότητα ελέγχου στην υλοποίηση της, συγκριτικά με άλλες μεθόδους. Όμως, ως μειονεκτήματα της μεθόδου ανοικτού ορύγματος σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι η ανάγκη απομάκρυνσης αγωγών κοινής ωφέλειας από την περιοχή εκσκαφής αλλά και η παράκαμψη της κυκλοφορίας, έτσι ώστε να εφαρμοσθεί με επιτυχία.

Όταν η εκσκαφή πρέπει να πραγματοποιηθεί κάτω από αστικούς δρόμους, η ανοιχτή εκσκαφή προκαλεί αρκετές δυσκολίες στη διέλευση των οχημάτων και γενικά στις επιφανειακές δραστηριότητες. Αυτή η ενόχληση μπορεί να μειωθεί με την εκσκαφή της σήραγγας σε δύο φάσεις, μια ανοιχτή μέχρι το βάθος της οροφής της σήραγγας και μια υπόγεια κάτω από αυτήν.



Εικόνα 46: Κατασκευή μέρους της σήραγγας με τη μέθοδο Cut & Cover (ametro.gr)

Σχετικά με την ανάγκη υποστήριξης της μεθόδου αυτής, οι κατακόρυφες πλευρές του ορύγματος αντιστηρίζονται συνήθως με τοίχους τύπου Βερολίνου, οι οποίοι έχουν υποστεί αγκύρωση ή στήριξη με αντηρίδες ή με τοίχους από πασσάλους από σκυρόδεμα

Όσον αφορά την υδατοστεγάνωση των σηράγγων που διανοίγονται με τη μέθοδο αυτή, απαιτείται η τοποθέτηση περιμετρικά στεγανοποιητικής μεμβράνης και υδρομαστευτικό γεωϋφασμα. Ακολουθεί η έκχυση της κατασκευής από σκυρόδεμα και η επιχωμάτωση της.

5.3 ΜΗΧΑΝΕΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ (TBM)

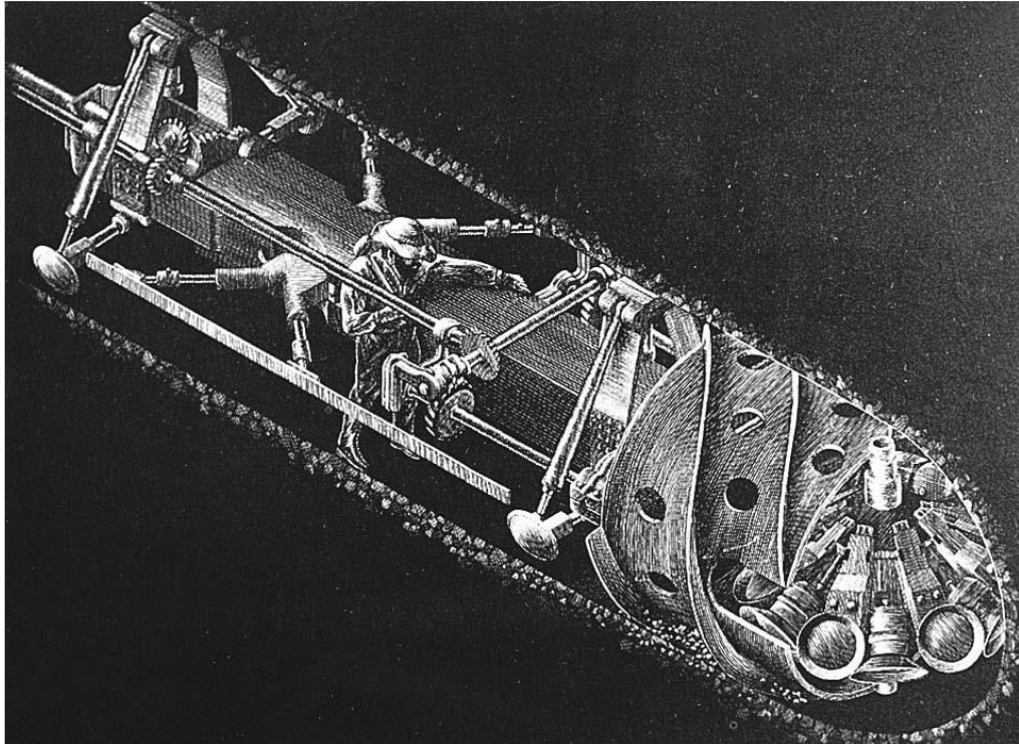
Οι Μηχανές Διάνοιξης Σηράγγων (TBM) χρησιμοποιούνται για τη διάνοιξη σηράγγων διπλής ή μονής γραμμής Μετρό μεταξύ των σταθμών.

5.3.1 Ιστορική εξέλιξη των TBM

Η σηραγγοποιία αναπτύχθηκε γρήγορα κατά την εκβιομηχάνιση που συντελέστηκε στις αρχές του 19^{ου} αιώνα με την κατασκευή σιδηροδρομικών δικτύων. Σε σκληρά πετρώματα, η εκσκαφή γινόταν με drill and blast. Το πρώτο στάδιο της μηχανικής διάνοιξης σηράγγων ήταν η όρυξη διατρημάτων για την τοποθέτηση των εκρηκτικών υλών. Στη συνέχεια έγιναν πολλές προσπάθειες για την κατασκευή μηχανών διάνοιξης σηράγγων που όμως απέτυχαν είτε λόγω των ελλειπών διαθέσιμων τεχνολογικών μέσων της εποχής, είτε λόγω των συνθηκών της προς διάνοιξη βραχομάζας.

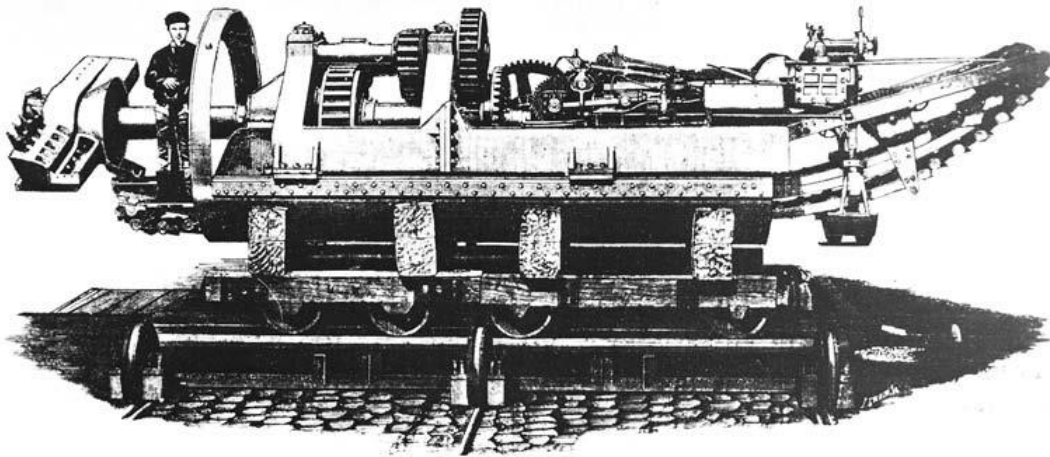
Οι πρώτες μηχανές διάνοιξης σηράγγων δεν ήταν TBM όπως τα ξέρουμε σήμερα. Οι μηχανές αυτές επικεντρώνονταν στην εκσκαφή της περιφέρειας της σήραγγας. Στη συνέχεια απομακρύνονταν και το τμήμα που απέμενε εξορυσσόταν με τη χρήση εκρηκτικών. Έτσι, διαπιστώθηκε σοβαρή μείωση του χρόνου εκτέλεσης του έργου. Με βάση αυτήν την αρχή διανοίχθη και το Mount Cenis tunnel.

Το πρώτο TBM, κατασκευάστηκε το 1851 από τον Αμερικανό Charles Wilson. Η μηχανή πραγματοποιούσε ολομέτωπη εκσκαφή του μετώπου με τη χρήση κοπτικών δίσκων τοποθετημένων σε περιστρεφόμενη κεφαλή. Η μηχανή χρησιμοποιήθηκε στο Hoosac tunnel στη Βοστώνη, όμως μετά τα πρώτα μέτρα διαπιστώθηκε ότι δεν μπορούσε να ανταγωνιστεί τη μέθοδο «διάτρησης - ανατίναξης» (drill and blast) λόγω προβλημάτων στα κοπτικά. Για να το βελτιώσει, ο Wilson, άλλαξε στη συνέχεια ολόκληρο το σχεδιασμό της κοπτικής κεφαλής. Πλέον, η μηχανή πραγματοποιούσε εκσκαφή του πετρώματος μόνο στην περιφέρεια και στο κέντρο του μετώπου και στη συνέχεια γινόταν χρήση εκρηκτικών (B. Maidl et al., 2008).



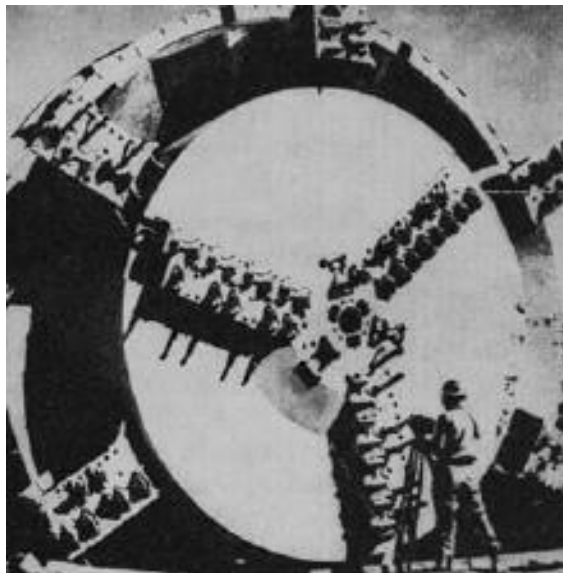
Εικόνα 47: Το πρώτο TBM που κατασκευάστηκε από τον C. Wilson (Maidl, Herrenknecht, 2008)

Στη συνέχεια, κατασκευάστηκαν διάφορες μηχανές με τον ίδιο σκοπό, με πλέον αξιοσημείωτα αυτά των E. Talbot, Cooke & Hunter, F. Beaumont και C. English. Μάλιστα ο Beaumont με τα TBM που κατασκεύασε αποπειράθηκε να κατασκευάσει τη Σήραγγα της Μάγχης, εγχείρημα όμως που σταμάτησε λόγω πολιτικών αιτιών, ενώ έδειχνε εφικτό.



Εικόνα 48: Το TBM με το οποίο ο Beaumont προσπάθησε να κατασκευάσει τη Σήραγγα της Μάγχης το 1882 Wilson (Maidl, Herrenknecht, 2008)

Για τα επόμενα χρόνια δεν σημειώθηκε κάποια ιδιαίτερη πρόοδος στην κατασκευή μηχανών διάνοιξης σηράγγων. Το 1931 οι Schmidt, Kranz & Co. κατασκεύασαν μία μηχανή «νέας γενιάς», τα βασικά εξαρτήματα της οποίας ήταν: η κοπτική κεφαλή, το τμήμα που ήταν υπεύθυνο για την αντιστήριξη καθώς και ένας μηχανισμός απομάκρυνσης των υλικών εκσκαφής. Μία παρόμοια μηχανή χρησιμοποίησε ο Whittaker στην προσπάθειά του να διανοίξει –και αυτός- το Channel Tunnel.



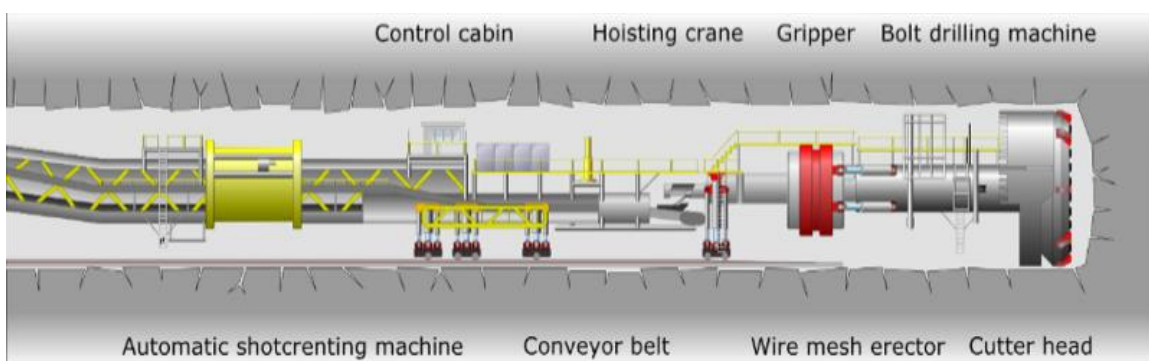
Εικόνα 49: Το TBM του Robbins Wilson (Maidl, Herrenknecht, 2008)

Η μεγάλη ανάπτυξη, όμως, των TBM ξεκίνησε τη δεκαετία του 50' όταν ο μεταλλειολόγος James Robbins, κατασκεύασε μία μηχανή όμοια με τα σημερινά. Η πρώτη επιτυχής εφαρμογή της πραγματοποιήθηκε στο φράγμα του Oahe το 1953.

Στα χρόνια που ακολούθησαν, έγιναν πολλές βελτιώσεις στις μηχανές αυτές. Παρακάτω θα αναλυθεί η δομή των σύγχρονων μηχανών ολομέτωπης κοπής.

5.3.2 Τα μέρη της μηχανής

Ένα πλήρως εξοπλισμένο TBM έχει μήκος περί τα 100 μέτρα. Διαθέτει μηχανισμούς για την κοπή του πετρώματος, την προώθηση, την αντιστήριξη, την εκτέλεση διερευνητικών γεωτρήσεων, την τοποθέτηση της υποστήριξης, την αποκομιδή των υλικών εκσκαφής, τον αερισμό καθώς και την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτά θα πρέπει να προχωρούν μαζί με το μέτωπο της εκσκαφής.



Εικόνα 50: Τα μέρη του TBM (σε μηχανή ανοικτού τύπου ολομέτωπης κοπής για σκληρά πετρώματα (phdtbm.com))

Στο μπροστινό μέρος του TBM, βρίσκεται η κοπτική κεφαλή, που πραγματοποιεί την κοπή του πετρώματος με την ώση και την περιστροφή της. Ακολουθούν η κύρια βάση, που αναλαμβάνει την ώση και στρέψη της κεφαλής και οι μηχανές κίνησης της. Πέριξ του σώματος του TBM, βρίσκονται διατεταγμένα τα ζεύγη πέλδλων αντιστήριξης που ωθώντας το πέτρωμα, διατηρούν τη μηχανή στη σχεδιασμένη χάραξη. Παράλληλα, δεν επιτρέπουν την περιστροφή του σώματος ως αντίδραση στην περιστροφή της κεφαλής. Πίσω από την κοπτική κεφαλή, το δυνατόν πλησιέστερα στο μέτωπο, εγκαθίσταται ο εξοπλισμός της υποστήριξης, που αποτελείται από διατρητικά και ανυψωτές χαλύβδινων πλαισίων και πλέγματος. Συνήθως, στην ίδια περιοχή βρίσκονται διατρητικά στελέχη για

διερευνητικές γεωτρήσεις ή εισπίεση ενεμάτων, ενώ λίγο πιο πίσω υπάρχει μία μηχανή για εκτόξευση σκυροδέματος.

Στο συρμό εξυπηρέτησης που ακολουθεί τη διάνοιξη βρίσκονται το υψηλής τάσης εξέλιτρο ηλεκτρικών καλωδίων ηλεκτροκίνησης και οι σωληνώσεις ύδατος και αποστράγγισης. Μέσα από αυτόν διέρχονται μεταφορικοί ιμάντες που μεταφέρουν τα μπάζα στα οχήματα απόρριψης. Στον περιορισμένο χώρο του συρμού βρίσκονται επίσης οι μετασχηματιστές με το σύστημα διανομής, η καμπίνα του χειριστή του TBM και τα αποδυτήρια των εργαζομένων. (Α.Ι. Σοφιανός, 2008)

5.3.3 Τύποι TBM

Κατά τα τελευταία έτη, το εύρος εφαρμογής της μηχανικής διάνοιξης σηράγγων έχει μεγαλώσει σημαντικά. Οι πιο συνηθισμένες κατηγορίες μηχανών ολομέτωπης κοπής είναι οι εξής:

Μηχανές διάνοιξης σε καλής ποιότητας βράχο μεπέδιλα στήριξης – ανοιχτού τύπου TBM (open TBM) ολομέτωπης κοπής

Οι μηχανές ανοικτού τύπου (open TBM ή Gripper TBM) χρησιμοποιούνται σε σκληρούς βράχους, όπου δεν απαιτείται τελική επένδυση καθώς και σε έργα όπου αναμένονται σημαντικές παραμορφώσεις λόγω υπερκειμένων μεγάλου ύψους. Πρόκειται για μια ευέλικτη μηχανή, αφού η υποστήριξη μπορεί να εγκατασταθεί ακριβώς πίσω από την ασπίδα της κοπτικής κεφαλής. Η υποστήριξη επιτρέπει μια ελεγχόμενη αποτόνωση της βραχομάζας.

Σε περιπτώσεις όπου δεν απαιτείται τελική επένδυση και επικρατούν καλές γεωλογικές συνθήκες, η μηχανή αυτή, προσφέρει μια οικονομικά προσιτή λύση. Όμως όπου επιβάλλεται η τοποθέτηση τελικής επένδυσης, η μηχανή υστερεί σε σχέση με τις αντίστοιχες μηχανές με ασπίδα. Η υποστήριξη που εγκαθίσταται σε σήραγγες που διανοίγονται με TBM ανοικτού τύπου είναι αγκύρια βράχου, χαλύβδινα πλέγματα, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και χαλύβδινα πλαίσια.



Εικόνα 51: TBM ανοικτού τύπου (ita-aites.org)

Μηχανές με μονή ασπίδα (single shield TBM) ολομέτωπης κοπής

Τα TBM με μονή ασπίδα χρησιμοποιούνται συνήθως όταν ένα μεγάλο μέρος του έργου αναμένεται να διέλθει από περιοχές με μη ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες ή εάν αναμένεται να συναντηθούν δυσκολίες κατά μήκος της χάραξης όπως κάποια μεγάλη ρηξιγενής ζώνη. Επίσης τα TBM αυτά έχουν σχετικά μικρή ακτίνα καμπυλότητας.

Ως προς το κόστος, είναι φθηνότερα από τα TBM με διπλή ασπίδα. Όμως, μεγάλο ρόλο κατά τη διάνοιξη παίζουν ο ανεφοδιασμός και η συντήρηση. Αν πρέπει να γίνουν πολλές αλλαγές στα κοπτικά και για κάποιο λόγο περιορίζεται η μεταφορά των segments καθώς και του υπόλοιπου εξοπλισμού στην κοπτική κεφαλή, η απόδοση του TBM, είναι προφανές πως περιορίζεται.



Εικόνα 52: Single Shield TBM ολομέτωπης κοπής (herrenknecht.com)

Μηχανές με διπλή ασπίδα (Double Shield TBMs)

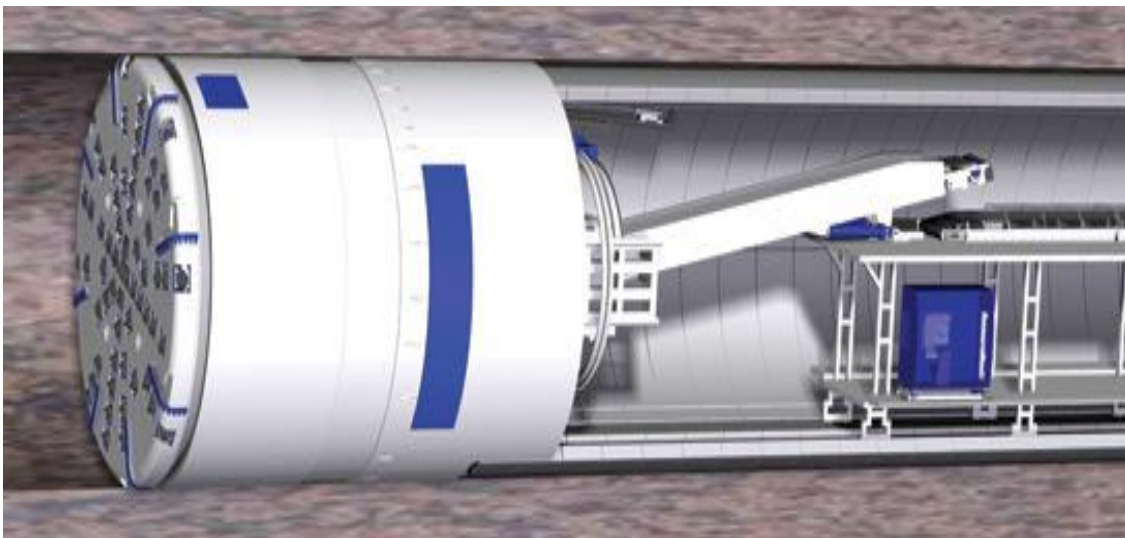
Τα TBM αυτά θεωρούνται τα γρηγορότερα για τη διάνοιξη σηράγγων σε σκληρό βράχο, υπό ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες με συνεχή τοποθέτηση της τελικής υποστήριξης. Οι μηχανές αυτές κόβουν το πέτρωμα ενώ ταυτόχρονα τοποθετούν τα segments για την υποστήριξη της σήραγγας. Αυτή τους η ιδιότητα, αυξάνει την απόδοσή τους στη διάνοιξη μιας σήραγγας.

Αυτός ο τύπος TBM αποτελείται από 3 ασπίδες (μπροστινό, μεσαίο (gripper) και πίσω τμήμα). Μεταξύ της μπροστινής και της μεσαίας ασπίδας, υπάρχει μια «τηλεσκοπική» ασπίδα με δυνατότητα επέκτασης.



Εικόνα 53: Double Shield TBM (therobbinscompany.com)

Σε περιοχές με λιγότερο ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες, η μηχανή μπορεί να λειτουργήσει και ως TBM μονής ασπίδας. Δηλαδή η ασπίδα του μπροστινού τμήματος καθώς και η ασπίδα του gripper θα μετακινούνται μαζί. Η δυνατότητα της αυτή να λειτουργεί τόσο ως μηχανή μονής ασπίδας, όσο και ως double shield TBM, καθιστά τη μηχανή ιδιαίτερα αποτελεσματική και σε έργα που κατασκευάζονται σε περιοχές με εναλλασσόμενη γεωλογία.



Εικόνα 54: Double Shield TBM (therobbinscompany.com)

Μηχανές εξισορρόπησης της πίεσης του εδάφους – (EPB shield).

Για μαλακά, συνεκτικά εδάφη, TBM με υποστήριξη της πίεσης του εδάφους είναι μια προτιμώμενη επιλογή. Οι αποκαλούμενες μηχανές εξισορρόπησης εδάφους (Earth Pressure Balance shields, EPB), μετατρέπουν το εκσκαφθέν υλικό σε εδαφικό πολφό, ο οποίος χρησιμοποιείται ως εύκαμπτο, πλαστικό μέσο υποστήριξης. Αυτό καθιστά δυνατή την εξισορρόπηση της πίεσης στο μέτωπο της εκσκαφής, αποτρέπει την ανεξέλεγκτη εισροή εδαφών στη μηχανή και δημιουργεί της συνθήκες για τη γρήγορη κατασκευή της σήραγγας με τις ελάχιστες δυνατές εγκαταστάσεις.



Εικόνα 55: EPB TBM (Guglielmetti V., 2008)

Μηχανές με αιώρημα /πολφού – (Slurry shield).

Οι μηχανές Slurry shield, είναι TBM, η κοπτική κεφαλή των οποίων εξασφαλίζει τη στήριξη του μετώπου εκσκαφής, συμπιέζοντας ρευστό μέσα στο θάλαμο της κοπτικής κεφαλής. Το ρευστό αυτό (πολφός), είναι συνήθως μπεντονίτης ή

άργιλος αναμεμειγμένα με νερό. Οι μηχανές αυτές είναι κατάλληλες κυρίως για σήραγγες που πρόκειται να διανοιγούν σε ασταθές υλικό και δέχονται μεγάλες υδροστατικές πιέσεις ή πρέπει να αποτραπεί η εισροή υδάτων.



Εικόνα 56: Slurry Shield TBM (Guiglielmetti V., 2008)

Μηχανές για μεγάλες μεταβολές της ποιότητας του γεωλικού (μεικτές καταστάσεις – (Mixshield)).

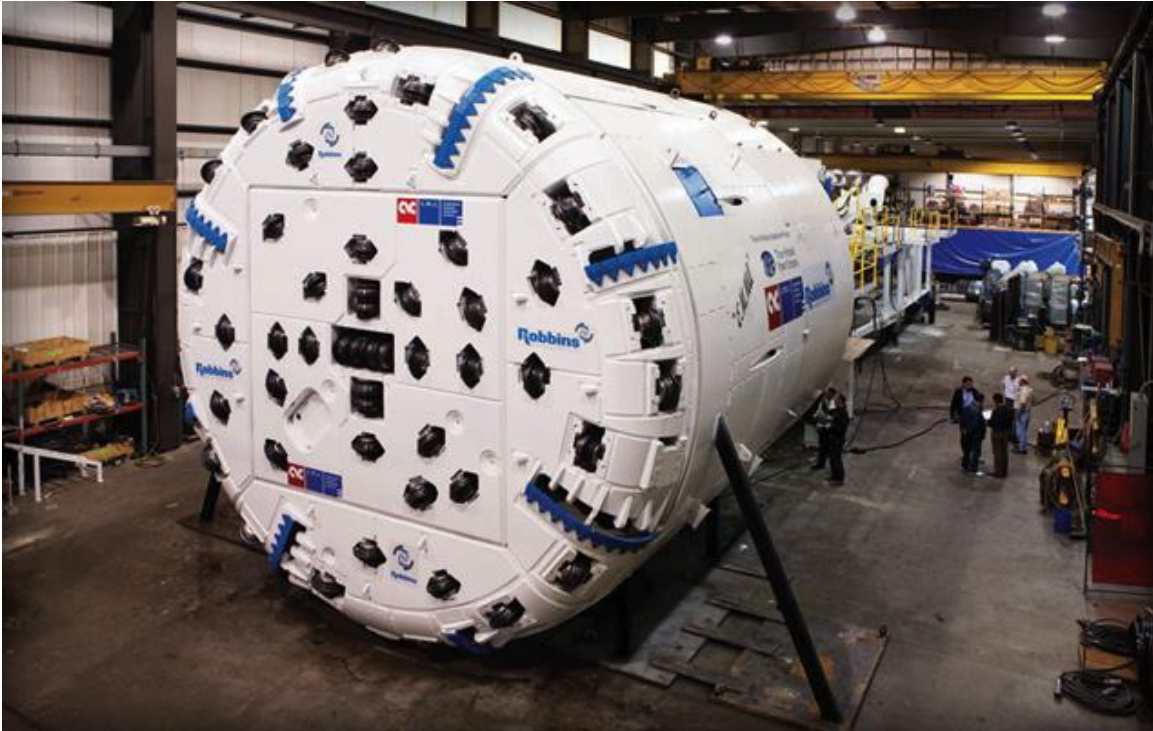
Οι μηχανές Mixshield αποτελούν εξέλιξη των συμβατικών μηχανών εξισορρόπησης πίεσης πολφού (slurry shields). Η πίεση υποστήριξης στο θάλαμο εκσκαφής, ελέγχεται με μεγάλη ακρίβεια, με τη χρήση ενός αυτόματα ελεγχόμενου «μαξιλαριού αέρα». Αυτό σημαίνει ότι οι διαφορετικές γεωλογικές συνθήκες καθώς και οι υψηλές υδροστατικές πιέσεις άνω των 15 bar, μπορούν να ελεγχθούν με ασφάλεια ακόμα και σε σήραγγες με ιδιαίτερα μεγάλες ακτίνες εκσκαφής.



Εικόνα 57: Mixshield TBM (herrenknecht.com)

Ωστόσο εκτός από τις παραπάνω συνήθεις μηχανές υπάρχουν κι άλλες κατηγορίες διαφορετικών μηχανών που χρησιμοποιούνται πιο σπάνια.

Βεβαίως, ξεχωριστή περίπτωση αποτελούν οι μηχανές διάνοιξης με ασπίδα, σημειακής εκσκαφής με μερική υποστήριξη του μετώπου εκσκαφής, ενώ για έργα όπου υπάρχουν ιδιαίτερες συνθήκες τροποποιούνται παλιές μηχανές ή κατασκευάζονται νέες που πληρούν τις προδιαγραφές που απαιτούνται και διαφέρουν σημαντικά από τις συνηθισμένες μηχανές διάνοιξης.



Εικόνα 58: Μηχανή ολομέτωπης κοπής με μονή ασπίδα (therobbinscompany.com)

5.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΑΘΜΩΝ

Ο σταθμός είναι ένα μεγάλο άνοιγμα, συνήθως περίπου 140 μέτρα μήκος και 40 μέτρα πλάτος. Σε ορισμένες περιπτώσεις, θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο, ιδίως όταν απαιτείται και η κατασκευή επιστάθμου στο άκρο του σταθμού. Σε αυτές τις περιπτώσεις, έχει μήκος περίπου 300 μέτρα. Οι επίσταθμοι, είναι απαραίτητοι στους τερματικούς σταθμούς ώστε να μπορούν οι συρμοί να στρίψουν και να συνεχίσουν το αντίστροφο δρομολόγιο. Επίσης τα τρένα μπορούν να σταθμεύουν σε επιστάθμους ή να υπόκεινται σε εργασίες συντήρησης.

Όταν ολοκληρωθεί, ο σταθμός θα φιλοξενήσει:

- Την αποβάθρα του σταθμού στο χαμηλότερο επίπεδο, όπου οι άνθρωποι θα επιβιβάζονται και θα αποβιβάζονται από τους συρμούς.
- Το επίπεδο έκδοσης εισιτηρίων, που θα βρίσκεται περίπου στο μέσον μεταξύ της πλατφόρμας και του επιπέδου του δρόμου.
- Τουλάχιστον μια πύλη εισόδου του σταθμού για το κοινό στο επίπεδο του δρόμου.

- Τουλάχιστον ένα ασανσέρ, δύο κυλιόμενες σκάλες αλλά και σκάλες μεταξύ των επιπέδων.
- Μη δημόσιους χώρους όπου θα βρίσκεται ο εξοπλισμός του σταθμού (επικοινωνίες, ενέργεια, αερισμός, συντήρηση, κ.λπ.)

Οι σταθμοί είναι συνήθως βάθους 15-20 μέτρων για να επιτρέπουν την εύκολη κυκλοφορία των επιβατών από την αποβάθρα του σταθμού στην επιφάνεια. Όταν βρίσκονται κάτω από έναν δρόμο, οι σταθμοί κατασκευάζονται κάτω από προσωρινά καταστρώματα από σκυρόδεμα που επιτρέπουν την κυκλοφορία οχημάτων επί του δρόμου. Εάν βρίσκονται εκτός δρόμου, μπορούν να κατασκευαστούν με ανοικτή εκσκαφή, μία μέθοδο παρόμοια με την κατασκευή ενός κτιρίου.

Για την κατασκευή των Σταθμών του Μετρό, χρησιμοποιήθηκαν σύγχρονες μέθοδοι που εξασφάλισαν ασφαλή, έντεχνη και ταχεία αποπεράτωση του έργου. Οι μέθοδοι κατασκευής των Σταθμών του έργου χρησιμοποιήθηκαν μεμονωμένα ή σε συνδυασμό, όπου κρίθηκαν εφαρμόσιμες, πάντα σε συσχετισμό με το γεωλογικό παράγοντα και τις επί τόπου συνθήκες του περιβάλλοντος χώρου.

Οι μέθοδοι αυτές, οι οποίες αναλύονται στη συνέχεια, είναι οι εξής :

1. Συμβατική μέθοδος εκσκαφής σηράγγων (NATM)
2. Μέθοδος ανοιχτού ορύγματος (Cut & Cover)
3. Μέθοδος επικάλυψης-εκσκαφής (Cover & Cut)

5.4.1 Υπόγεια μέθοδος εκσκαφής (NATM)

Η μέθοδος υπόγειας διάνοιξης σηράγγων με συμβατικά μηχανικά μέσα (έχει επικρατήσει να ονομάζεται μέθοδος NATM ή Νέα Αυστριακή Μέθοδος Σηράγγων) είναι η δεύτερη, κατά σειρά προτίμησης, κατασκευαστική διαδικασία που εφαρμόζεται διεθνώς για την κατασκευή σηράγγων με υπόγεια μέθοδο διάνοιξης, μετά από αυτήν με μηχανές διάνοιξης σηράγγων (TBM). Επίσης, όμως, συχνά χρησιμοποιείται και για την κατασκευή υπόγειων σταθμών Μετρό.

Στις αστικές περιοχές, όπου κατασκευάζονται Μητροπολιτικοί Σιδηρόδρομοι (Μετρό), ενδιαφέρει πρωτίστως να μη διαταραχθούν οι λειτουργίες της πόλης, έστω και αν αυτό συνεπάγεται αύξηση του κόστους των έργων. Με τις υπόγειες μεθόδους κατασκευής σταθμών και σηράγγων, μειώνονται σε μεγάλο βαθμό:

- η κατάληψη χώρων στην επιφάνεια (πλατειών, οδών, ιδιωτικών οικοπέδων, κλπ)
- οι μετατοπίσεις αγωγών κοινής ωφελείας (νερού, ηλεκτρισμού, τηλεφώνου, κ.λ.π.)
- οι παρακάμψεις της οδικής κυκλοφορίας
- οι αρχαιολογικές ανασκαφές



Εικόνα 59: Κατασκευή του σταθμού Αμπελόκηποι, με τη χρήση της συμβατικής μεθόδου (Αττικό Μετρό Α.Ε., 2007)

Στο Μετρό της Αθήνας η μέθοδος NATM χρησιμοποιήθηκε ευρέως, τόσο για την κατασκευή τμημάτων σηράγγων, όσο και ορισμένων από τους Σταθμούς στο κέντρο της Αθήνας (Μοναστηράκι, Ομόνοια, Σύνταγμα κ.α.), καθώς και σε μεγάλα τμήματα των επεκτάσεων του δικτύου προς Δουκ. Πλακεντίας, προς Αγ. Δημήτριο, προς Αγ. Αντώνιο, προς Αιγάλεω και Αγ. Μαρίνα.

5.4.2 Μέθοδος ανοιχτού ορύγματος (Cut & Cover)

Οι υπόγειες μέθοδοι διάνοιξης σηράγγων, είτε με τη μηχανή TBM είτε με συμβατικά μηχανικά μέσα (NATM), επιλέγονται ιδιαίτερα στις κεντρικές περιοχές των πόλεων. Σε περιοχές σχετικά πιο απομακρυσμένες, προτιμάται η μέθοδος ανοικτής εκσκαφής για την κατασκευή τόσο σηράγγων όσο και σταθμών Μετρό. Χρήση αυτής της μεθόδου γίνεται και σε περιπτώσεις όπου, ακόμα και αν βρισκόμαστε στο κέντρο της πόλης, υπάρχει διαθέσιμος χώρος. Αυτό συμβαίνει διότι η μέθοδος ανοικτής εκσκαφής είναι περισσότερο απλή, ασφαλής και κυρίως ελεγχόμενη στην υλοποίηση της.

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι για την εφαρμογή της πρέπει:

- να απομακρυνθούν όλοι οι αγωγοί κοινής ωφελείας που ευρίσκονται στην περιοχή όπου θα γίνουν οι εκσκαφές
- να προηγηθεί αρχαιολογική έρευνα για εντοπισμό τυχόν αρχαιοτήτων
- να γίνουν οι απαιτούμενες παρακάμψεις της κυκλοφορίας

Οι επεμβάσεις αυτές είναι χρονοβόρες, αυξάνουν το κόστος, ενώ συγχρόνως οι αρχαιολογικές έρευνες εμπεριέχουν μεγάλη αβεβαιότητα όσον αφορά τη διάρκεια και το τελικό κόστος τους.



Εικόνα 60: Κατασκευή του σταθμού Αττική με τη μέθοδο ανοικτού ορύγματος (Αττικό Μετρό Α.Ε., 2007)

Παρά το γεγονός πως ονομάζεται μέθοδος «ανοικτού ορύγματος», στην πραγματικότητα πρόκειται για μέθοδο «εκσκαφής και επανεπίχωσης» «cut and cover», καθόσον οι κατασκευές αφού ολοκληρωθούν επιχώνονται και τελικώς καθίστανται και αυτές υπόγειες όπως ακριβώς και στις περιπτώσεις όπου η κατασκευή έγινε με υπόγεια διάνοιξη.

Η μέθοδος αυτή είναι σχετικά απλή. Πρώτα εκσκάπτεται το ορύγμα και εφαρμόζεται η κατάλληλη αντιστήριξη στα (κατακόρυφα) πρηνή του. Στη συνέχεια κατασκευάζεται ο μόνιμος φορέας του σταθμού, από κάτω (θεμελίωση) προς τα επάνω. Αφού ολοκληρωθεί ο μόνιμος φορέας, πραγματοποιείται επικάλυψη της

κατασκευής με επίχωση από γαιώδη υλικά. Τέλος, στην περιοχή λαμβάνει χώρα η απαραίτητη αποκατάσταση.

Αναλυτικότερα, η μέθοδος ανοιχτού ορύγματος, ακολουθεί τα ακόλουθα στάδια:

- Εκτελείται γεωτεχνική/γεωλογική έρευνα και δοκιμές (επί τόπου και εργαστηριακές) για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του εδάφους στην περιοχή όπου έχει σχεδιασθεί να γίνει η κατασκευή μας.
- Γίνεται η μελέτη (υπολογισμοί και σχέδια) εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης, με βάση τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους που προέκυψαν στο προηγούμενο στάδιο. Επίσης, εκτελείται και η μελέτη του μόνιμου φορέα της κατασκευής.
- Εκτελούνται οι απαιτούμενες αρχαιολογικές έρευνες στη περιοχή όπου θα εκτελεστούν οι εκσκαφές, απομακρύνονται όλοι οι αγωγοί κοινής ωφελείας και πραγματοποιούνται οι ενδεχόμενες κυκλοφοριακές παρακάμψεις.
- Η προσωρινή αντιστήριξη της εκσκαφής αποτελείται συνήθως από πασσάλους σκυροδέματος, κυκλικής διατομής με διάμετρο της τάξεως 0.80-1.00μ, που τοποθετούνται ανά αποστάσεις μεταξύ τους 1.50-2.50μ περιμετρικά της προβλεπόμενης εκσκαφής προτού αυτή αρχίσει. Η πασσαλοστοιχία συνδέεται στην κορυφή της με ισχυρή δοκό σκυροδέματος. Η εκσκαφή πραγματοποιείται με συμβατικά μηχανικά μέσα (εκσκαφείς, σφύρες, κλπ) έως ένα καθορισμένο βάθος, π.χ. 3.5μ, και στη συνέχεια τοποθετούνται αγκύρια σε οπές που διανοίγονται στο έδαφος μέσω των πασσάλων. Τα αγκύρια αυτά έχουν μεγάλο μήκος (της τάξεως 15-25μ) και προεντίνονται με την προβλεπόμενη από τη μελέτη δύναμη. Κατόπιν εφαρμόζεται δομικό πλέγμα σε όλη την περιμετρική επιφάνεια του σκάμματος και τοποθετείται εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Μετά από αυτά, συνεχίζεται η εκσκαφή ως την επόμενη στάθμη και τοποθετείται και προεντίνεται άλλη μια σειρά αγκυρίων. Ο κύκλος αυτός συνεχίζεται έως την τελική στάθμη εκσκαφής όπου θα θεμελιωθεί η κατασκευή. Εάν υπάρχει παρουσία υπογείων υδάτων στις επιφάνειες του σκάμματος, αυτά εκτονώνονται με συστηματικά διατρήματα/σωληνώσεις βάθους συνήθως 3-

4μ επί της αντιστήριξης/εκσκαφής και απομακρύνονται με κατάλληλο σύστημα αποστράγγισης.

- Το σύστημα υδατοστεγάνωσης της κατασκευής, όπως συμβαίνει πλέον σε όλο το νέο δίκτυο του Μετρό, τοποθετείται στον πυθμένα και στις περιμετρικές επιφάνειες του σκάμματος και αποτελείται συνήθως από γεωυφάσματα, μεμβράνη υδατοστεγάνωσης και υδατοφραγμούς.
- Η κατασκευή του φέροντος οργανισμού γίνεται κατά φάσεις αρχίζοντας από την θεμελίωση, ακολουθούν τα τοιχία και κατόπιν η πλάκα οροφής εάν πρόκειται για την περίπτωση σήραγγας, ενώ για τους σταθμούς γίνεται, επιπλέον, και η κατασκευή ενδιάμεσων επιπέδων πλακών και τοιχίων. Η κατασκευή αρχίζει με την τοποθέτηση των σιδηρών οπλισμών της πλάκας θεμελίωσης (ή γενικής κοιτόστρωσης) όπως προβλέπονται από τη μελέτη. Κατόπιν γίνεται η έγχυση του σκυροδέματος, κατηγορίας αντοχής C25/30, κατά φάσεις κατά το μήκος της κατασκευής με πρόβλεψη καταλλήλων αρμών. Παρομοίως γίνεται και η κατασκευή των υπολοίπων στοιχείων της μόνιμης κατασκευής.



Εικόνα 61: Κατασκευή του σταθμού Αγία Παρασκευή με τη μέθοδο Cut & Cover (ergodomiki.eu)

Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιήθηκε κατεξοχήν για την εκσκαφή των σταθμών του Έργου, καθώς και σε ελάχιστες περιπτώσεις, για την εκσκαφή

σηράγγων σε σημεία που παρουσιάστηκαν προβλήματα λόγω των πτωχών μηχανικών χαρακτηριστικών του εδάφους. Πολλά τμήματα του δικτύου του Μετρό της Αθήνας κατασκευάστηκαν με τη μέθοδο αυτή, όπως οι Σταθμοί: Σεπόλια, Αττική, Λάρισα, Μεταξουργείο, Συγγρού - Φιξ, Ν.Κόσμος, Αγ.Ιωάννης, Δάφνη της Γραμμής 2 καθώς και Εθνική Άμυνα, Κατεχάκη, Πανόρμου, Μέγαρο Μουσικής, Ευαγγελισμός, Σύνταγμα (ο σταθμός της Γραμμής 2 που είναι σε μικρότερο βάθος), καθώς και τα τμήματα σηράγγων μεταξύ των σταθμών ΑΤΤΙΚΗ-ΛΑΡΙΣΣΑ και ΚΑΤΕΧΑΚΗ-ΕΘΝΙΚΗ ΑΜΥΝΑ . Επίσης, στις επεκτάσεις του δικτύου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος αυτή, όπως στους σταθμούς Άγιος Αντώνιος, Ανθούπολη, Περιστέρι, Άγιος Δημήτριος, Άλιμος (γραμμή 2), Αγία Μαρίνα (Δήμος Αγίας Βαρβάρας), Χολαργός, Αγ. Παρασκευή, Χαλάνδρι και Δ. Πλακεντίας, καθώς και σε τμήμα της σήραγγας Δάφνη - Αγ. Δημήτριος.

5.4.3 Μέθοδος επικάλυψης – εκσκαφής (Cover & Cut)

Παραλλαγή της μεθόδου ανοικτής εκσκαφής αποτελεί και η μέθοδος επικάλυψης και εκσκαφής (στα Αγγλικά cover & cut ή αλλιώς top-down), όπου κατασκευάζεται η πλάκα οροφής του Σταθμού και οι εργασίες εκσκαφής πραγματοποιούνται υπογείως.

Τα στάδια αυτής της κατασκευής είναι τα ακόλουθα:

- κατασκευάζονται από την επιφάνεια τα κατακόρυφα πετάσματα αντιστήριξης (πάσσαλοι, διαφραγματικοί τοίχοι, κλπ) περιμετρικά της εκσκαφής που θα ακολουθήσει,
- γίνεται μια πρώτη εκσκαφή ως τη στάθμη της πλάκας οροφής της κατασκευής. Αναλόγως του βάθους της εκσκαφής αυτής μπορεί να χρειασθεί μια μικρή αντιστήριξη των παρειών,
- σκυροδετείται η πλάκα οροφής επί του πυθμένου της εκσκαφής. Η πλάκα συνδέεται με την περιμετρική αντιστήριξη και στηρίζεται επ' αυτής,
- γίνεται επίχωση πάνω από την πλάκα και αποκαθίσταται η επιφάνεια του εδάφους,

- Ξεκινά η εκσκαφή για το σταθμό ή τη σήραγγα κάτω από τη πλάκα οροφής μέσω ράμπας που έχει αφεθεί σε κάποιο σημείο. Η εκσκαφή γίνεται κατά στάδια ενώ τοποθετούνται διαδοχικά τα απαιτούμενα στοιχεία αντιστήριξης (πχ αγκύρια, αντηρίδες).
- Αφού τελειώσει η εκσκαφή ολόκληρου του ορύγματος ξεκινά η κατασκευή των στοιχείων του μόνιμου φορέα. Τα στοιχεία αυτά είναι συνήθως η πλάκα δαπέδου (θεμελίωσης) και τα πλευρικά τοιχεία, ενώ εάν πρόκειται για σταθμό είναι και η κατασκευή των ενδιάμεσων πλακών των ορόφων. Εάν γίνει χρήση διαφραγματικών τοίχων ως πλευρική αντιστήριξη, δεν κατασκευάζονται άλλοι μόνιμοι τοίχοι, καθόσον οι ίδιοι διαφραγματικοί τοίχοι παίζουν το ρόλο και της τελικής περιμετρικής κατασκευής.

Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ο μειωμένος χρόνος εκτεταμένων εργοταξιακών καταλήψεων και η ταχύτητα αποκατάστασης και απόδοσης σε χρήση της περιοχής (οδική κυκλοφορία, πλατείες, κλπ), και τελικώς η αποφυγή μακρόχρονης όχλησης των λειτουργιών της πόλης.

Τα μειονεκτήματα της είναι, κυρίως, το αυξημένο κόστος και η πολυπλοκότερη κατασκευαστική διαδικασία.

Στο Μετρό της Αθήνας η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε μόνο στον Σταθμό του Συντάγματος (της Γραμμής 2) λόγω της ιδιαιτερότητας της περιοχής. Η μελέτη προέβλεπε την κατασκευή περιμετρικά του Σταθμού μεταλλικών πασσάλων και τη σκυροδέτηση της πλάκας οροφής στη Λεωφόρο Αμαλίας σε δύο φάσεις, μισή-μισή κατά την έννοια του πλάτους του οδοστρώματος, και κατόπιν την κατασκευή του σταθμού κατά φάσεις όπως περιεγράφηκε ανωτέρω. Κατά την κατασκευή του μόνιμου φορέα του σταθμού από κάτω προς τα πάνω, κατασκευάσθηκαν τα εξωτερικά τοιχεία μέσα στα οποία ενσωματώθηκαν οι μεταλλικοί πάσσαλοι αποτελώντας έτσι μέρος των μόνιμων τοιχωμάτων του Σταθμού

6. ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ

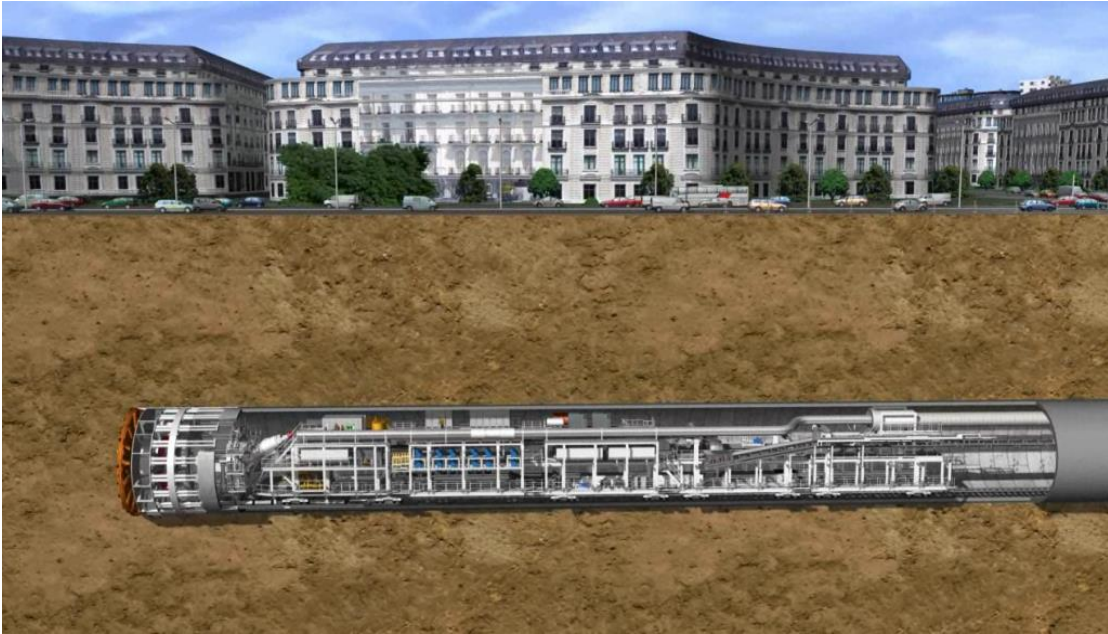
Καλούμενοι να επιλέξουμε την κατάλληλη μέθοδο διάνοιξης για την υποτυθιμένη σήραγγα που θα συνδέει τη Σαλαμίνα με το Πέραμα, έχοντας αξιολογήσει τις υπάρχουσες γεωλογικές παραμέτρους και τις επιτόπου συνθήκες του περιβάλλοντος χώρου, καταλήξαμε στην εφαρμογή της μηχανοποιημένης μεθόδου διάνοιξης. Αυτή θα γίνει με χρήση δύο Μηχανών Ολομέτωπης Διάνοιξης Σηράγγων (TBM) - αφού η σήραγγα θα αποτελείται από δύο κλάδους.

Για την επιλογή αυτή, είναι σημαντική η διεθνής εμπειρία καθώς οι περισσότερες υποτυθιμένες σήραγγες, διανοίχθηκαν με τη χρήση μηχανών ολομέτωπης κοπής.

Εκτός από τα γεωλογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών κατά μήκος της χάραξης, η επιλογή αυτή στηρίχθηκε και στους υφιστάμενους παράγοντες που ευνοούν τη χρήση TBM. Αυτοί είναι:

- Επαρκή γεωλογικά στοιχεία για την περιοχή Σαλαμίνας και Περάματος
- Γεωλογικά στοιχεία που δείχνουν ομοιομορφία της ποιότητας και της συμπεριφοράς του πετρώματος σε όλη τη διάνοιξη
- Χαμηλή έως μέτρια αναμενόμενη εισροή νερών
- Πέτρωμα όχι υπερβολικά σκληρό ή λειαντικό
- Κυκλική διατομή της σήραγγας
- Διάνοιξη από ένα μέτωπο
- Η πρόσβαση από στόμιο παρά από φρέαρ ευνοεί το TBM για μεγάλες διαμέτρους σηράγγων, όπου τα βαριά τμήματα του TBM πρέπει να κατέβουν στην στάθμη της σήραγγας για να συναρμολογηθούν υπόγεια.
- Σήραγγες μεγάλου μήκους, ώστε να επιτρέπει τις μεγάλες αρχικές δαπάνες για την αγορά του TBM
- Διαθεσιμότητα του απαιτούμενου τύπου και της σωστής διαμέτρου TBM. Κατά τη διάρκεια της διάνοιξης το TBM πρέπει να συντηρείται καλά, καθώς η απόδοση του πρέπει να διατηρηθεί μέχρι το τέλος της διάνοιξης.
- Διαθεσιμότητα ειδικευμένης εργασίας. Τα TBM απαιτούν διαφορετικές δεξιότητες από εκείνες για τις άλλες τεχνικές της σηραγγοποιίας.

- Έτοιμες πηγές επαρκούς ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα TBM μπορεί να απαιτήσει τουλάχιστον 5MW εγκατεστημένης ισχύος.



Εικόνα 62: Διάνοξη σήραγγας σε αστικό περιβάλλον με τη χρήση TBM (centralsubwayblog.com)

Επιπλέον, η διάνοξη της σήραγγας με TBM προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά μηχανικά μέσα (NATM), τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

- μείωση του απαιτούμενου χρόνου ολοκλήρωσης του έργου
- ελαχιστοποίηση της όχλησης στην επιφάνεια
- γρήγορη πρόοδος διάνοξης σε διάφορα γεωυλικά, σε αντίθεση με διάνοξη με συμβατικά μέσα, όπου σε αυτό το τμήμα θα περιοριζόταν σε πολύ μικρούς ρυθμούς προχώρησης
- μείωση των καθιζήσεων λόγω της διάνοξης αλλά και λόγω της δυνατότητας διατήρησης της στάθμης Υδροφόρου Ορίζοντα.
- μικρότερο κόστος διάνοξης και υποστήριξης ανά μέτρο μήκους.
- δεν απαιτείται η τοποθέτηση προσωρινής υποστήριξης, αλλά μόνο μόνιμης

Συνοψίζοντας, λοιπόν, η επιλογή της χρήσης μηχανών ολομέτωπης κοπής για τη συγκεκριμένη σήραγγα, έγκειται στην ισχύ των παραπάνω παραγόντων. Τα

υπάρχοντα γεωλογικά στοιχεία είναι επαρκή και παρουσιάζουν μια ομοιομορφία των σχηματισμών κατά μήκος της χάραξης. Παρόλο που αναμένεται οι σχηματισμοί αυτοί να έχουν μεγάλη περατότητα, πρόκειται για μέτριας σκληρότητας πετρώματα, για την κοπή των οποίων έχουν κατασκευαστεί συγκεκριμένοι τύποι TBM. Η διατομή της σήραγγας θα είναι κυκλική, όπως αυτή που προτείνει το Μετρό και η διάνοιξη θα γίνει από το ένα μέτωπο, ήτοι από το Πέραμα προς τη Σαλαμίνα. Η απόσταση μεταξύ των δύο σταθμών είναι αρκετή για τη χρήση TBM καθώς και το επιλεγμένο TBM θα είναι μέσα από τις διαθέσιμες επιλογές του Μετρό, ώστε να εξασφαλιστεί η διαθεσιμότητα του και το κατάλληλο γνωστικό επίπεδο που απαιτείται για αυτό. Επίσης, όλα τα πλεονεκτήματα που παρουσιάστηκαν έναντι της NATM είναι καθοριστικής σημασίας για την επιλογή αυτής της μεθόδου διάνοιξης. Τέλος, όσον αφορά τη μέθοδο cut and cover, είναι προφανές πως δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε υποτυθμένα σήραγγα.

6.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ – ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Στις αστικές περιοχές, όπου συνήθως οι σχηματισμοί δεν αποτελούνται από βράχους υψηλών αντοχών, οι μηχανές που χρησιμοποιούνται είναι είτε με ασπίδα, είτε ακόμη συχνότερα, μηχανές που εφαρμόζουν πίεση στο μέτωπο (EPB, Slurry, Mixshield). Οι μηχανές της δεύτερης κατηγορίας έχουν ένα σημαντικό πλεονέκτημα για την διάνοιξη σιηράγγων σε κατοικημένες περιοχές, αφού οι επιφανειακές καθιζήσεις, με τους κατάλληλους χειρισμούς της μηχανής, είναι εφικτό να είναι σχεδόν μηδενικές.

Επιπλέον, με την εφαρμογή πίεσης στο μέτωπο εξασφαλίζεται η ευστάθειά του, όπως επίσης και του θόλου. Κατά συνέπεια λοιπόν, αποκλείονται οι καθυστερήσεις είτε λόγω αστοχιών, είτε για βελτιώσεις των σχηματισμών που βρίσκονται στο θόλο της σήραγγας ή στη στάθμη του μετώπου. Έτσι, είναι εφικτό να επιτευχθεί ένα σταθερό και αρκετά υψηλό ρυθμός προχώρησης της εκσκαφής.

Προκειμένου να προσδιοριστεί τόσο ο τύπος της μηχανής TBM που απαιτείται, όσο και το είδος της πίεσης μετώπου για την αναγκαία υποστήριξη για ένα έργο, υπάρχει ένας ελάχιστος αριθμός δεδομένων που απαιτούνται από τον

κατασκευαστή του TBM. Η παροχή περισσότερων δεδομένων από τα ελάχιστα απαιτούμενα, θα βοηθήσει στον γρηγορότερο καθορισμό των προδιαγραφών της μηχανής καθώς και σε μια πιο τεκμηριωμένη απόφαση.

Τα ελάχιστα απαιτούμενα δεδομένα είναι:

- Γεωλογία
- Ευθυγράμμιση (τόσο κάθετη όσο και οριζόντια)
- Τυχόν περιορισμοί στην περιοχή του έργου
- Εμπειρία και γνώση του ανάδοχου
- Διαθεσιμότητα των πρόσθετων υλών και του κόστους αυτών
- Ευαισθησία του αναδόχου στο συνολικό κόστος
- Διαμόρφωση αμαξοστοιχίας

Προκειμένου να προσδιοριστεί το είδος, οι προδιαγραφές και οι απαιτήσεις ενός TBM απαιτούνται οι ακόλουθες πληροφορίες από τους κατασκευαστές των TBM, έτσι ώστε να διασφαλιστεί η επιλογή της κατάλληλης μηχανής για το έργο

Γεωλογία

Οι αναμενόμενες γεωλογικές συνθήκες κατά μήκος της χάραξης είναι κρίσιμες για την επιλογή του TBM. Ο τύπος του εδάφους, των πετρωμάτων και η παρουσία του νερού έχουν ουσιαστικό αντίκτυπο στην επιλογή της μηχανής. Το είδος των πληροφοριών που παρέχονται συνήθως περιλαμβάνουν το είδος και την περιγραφή της βραχομάζας, τα μηχανικά χαρακτηριστικά της, τις κοκκομετρικές καμπύλες των εδαφών και την διαπερατότητα και το επίπεδο του νερού πάνω από την σήραγγα - ή την έλλειψη νερού.

Μια μικρή αλλαγή στην γεωλογία ή την παρουσία του νερού μπορεί να αλλάξει τον τύπο της μηχανής, από μια απλή ανοικτού τύπου μηχανή σε EPB-TBM με ειδικές παραμέτρους.

Ευθυγράμμιση Σήραγγας

Ένα ακόμη σημαντικό δεδομένο για την επιλογή του TBM είναι η ευθυγράμμιση της σήραγγας. Το TBM πρέπει να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι σε θέση να διανοίξει την προτεινόμενη σήραγγα κατά μήκος της προκαθορισμένης χάραξης. Στοιχεία όπως η ελάχιστη οριζόντια ή

κατακόρυφη καμπύλη μπορεί να έχουν σημαντικές διαφορές για τη διάταξη και διαμόρφωση της μηχανής. Επίσης, μέρος της ευθυγράμμισης είναι η κλίση της σήραγγας, χαρακτηριστικό του οποίου η σταθερότητα είναι κρίσιμη και δεν κρίνεται ασφαλές να παραλλάσσεται κατά τη διάνοιξη. Ακόμα, σημαντικό για τους κατασκευαστές και σχεδιαστές του TBM είναι το βάθος της σήραγγας, το οποίο δύναται να επηρεάσει σημαντικά την κατανομή των πιέσεων που ασκούνται τόσο στο μέτωπο όσο και σε όλο το μήκος του TBM μέσα στη σήραγγα.

Περιορισμοί στην περιοχή του έργου

Η πρόσβαση και το μέγεθος του χώρου εργασίας θα επηρεάσουν την επιλογή του TBM. Το μέγεθος του χώρου και των μηχανών, που μπορεί να δεχθεί, τα οποία θα μεταφέρουν τα επιμέρους τμήματα του TBM ώστε να γίνει η συναρμολόγηση του, θα καθορίσουν το μέγεθος αυτών των επιμέρους τμημάτων.

Διαθεσιμότητα των πρόσθετων υλών και του κόστους

Η λειτουργία τόσο του EPB-TBM όσο και του SPB-TBM (Slurry) απαιτούν τη χρήση πρόσθετων υλικών, προκειμένου να ελέγξουν τη συμπεριφορά των εσκαφθέντων υλικών. Τα πρόσθετα που χρειάζεται ένα EPB-TBM είναι νερό, αφρός, πολυμερή, μπεντονίτης ή οποιοσδήποτε συνδυασμός αυτών. Για τα SPB-TBM είναι κυρίως ο μπεντονίτης σε μορφή πολφού, αλλά μπορεί επίσης να περιλαμβάνουν ειδικά πολυμερή και άλλους παράγοντες που βοηθούν στον διαχωρισμό των πιο ψιλών εδαφών.

Η διαθεσιμότητα των προσθέτων αυτών τόσο σε ποσότητα όσο και σε κόστος, μπορεί να περιορίσει την λειτουργία της μηχανής που επιλέχθηκε.

Εμπειρία και γνώση του αναδόχου

Το επίπεδο εμπειρίας του αναδόχου και του τοπικού εργατικού δυναμικού μπορεί επίσης να καθορίσει την προτιμώμενη μηχανή. Εάν αυτοί έχουν χρησιμοποιήσει έναν συγκεκριμένο τύπο μηχανής κατά το παρελθόν, τότε οι γνωστικές υποδομές θα είναι διαθέσιμες για να υποστηρίξουν αυτόν τον τύπο μηχανής. Αντιθέτως, ένας καινούριος και διαφορετικός τύπος μηχανής ενδέχεται να χρειαστεί επιπλέον βοήθεια από τρίτους καθώς και εκπαίδευση του προσωπικού, με αποτέλεσμα ο ανάδοχος να μην είναι σε θέση να υποστηρίξει έναν τέτοιο εξοπλισμό.

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω και φυσικά λαμβάνοντας υπόψη τις διεθνείς πρακτικές όσον αφορά σήραγγες που βρίσκονται κάτω από τον πυθμένα θαλασσών ή ποταμών, καταλήγουμε δια της εις άτοπον απαγωγής, στην επιλογή μίας μηχανής πίεσης μετώπου, δηλαδή μίας εκ των EPB shield και Slurry shield. Και οι δύο αυτοί τύποι είναι κατ' αρχήν κατάλληλοι για την διάνοιξη υποπυθμένων σηράγγων και χρησιμοποιούνται ευρέως. Στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί η απαραίτητη σύγκριση τους και θα επιλεγεί ο καταλληλότερος τύπος για το συγκεκριμένο έργο.

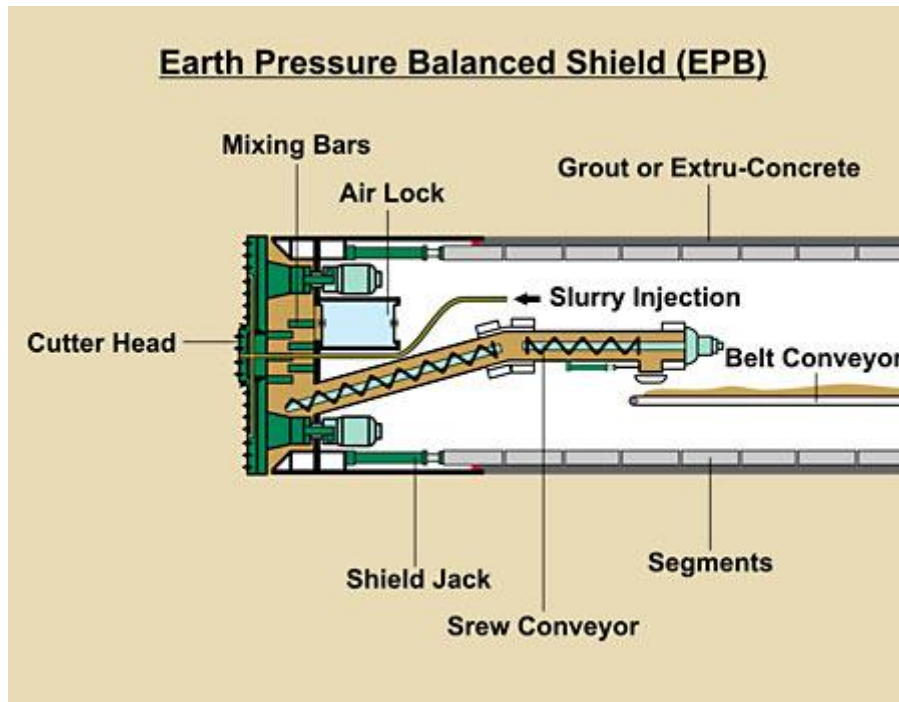
6.1.1 EPB vs Slurry

Οι δύο αυτές μηχανές, EPB και SPB, έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, καθένα από τα οποία πρέπει να εξεταστεί ανεξάρτητα για κάθε σύνολο συνθηκών του έργου. Ένα μειονέκτημα που είναι ήσσονος σημασίας για ένα έργο μπορεί να θεωρηθεί κρίσιμο και να είναι ο κύριος φορέας λήψης αποφάσεων για το επόμενο έργο.

Πλεονεκτήματα του EPB TBM

Το EPB TBM έχει πολλά πλεονεκτήματα, μερικά από τα οποία παρατίθενται εδώ. Αυτά που αναφέρονται είναι σε άμεση σύγκριση με το SPB TBM και το ίδιο θα συμβεί μετά με τα πλεονεκτήματα SPB.

- Συνολικά απλούστερο σύστημα εκμάθησης, λειτουργίας και συντήρησης
- Σε περίπτωση κατάρρευσης του μετώπου, η απώλεια του εδάφους περιορίζεται
- Μπορεί να αξιοποιήσει την ικανότητα αυτοϋποστήριξης του εδάφους
- Ταχύτερος ρυθμός διάνοιξης
- Χαμηλότερο κόστος επένδυσης
- Λιγότερος απαιτούμενος χώρος για τη συναρμολόγηση και τη λειτουργία
- Μικρότερη κατανάλωση των πρόσθετων υλικών (δεν υπάρχει κύκλωμα πολφού)

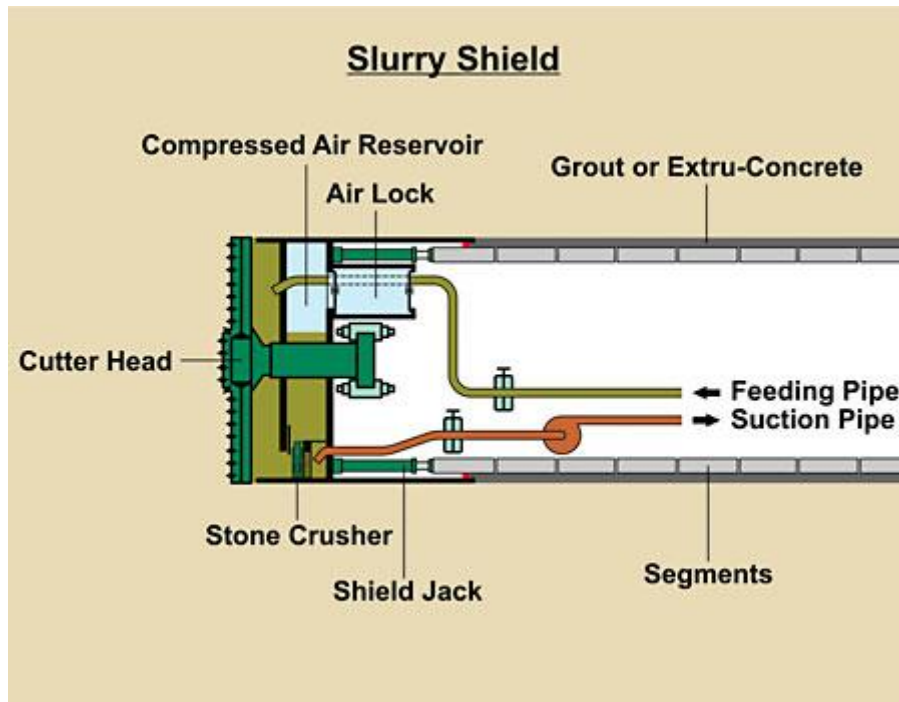


Εικόνα 63: EPB TBM (facesupport.org)

Πλεονεκτήματα του SPB TBM

Μερικά από τα κύρια πλεονεκτήματα του SPB σχέση με μια μηχανή EPB είναι τα εξής:

- Η απαιτούμενη πίεση προσδιορίζεται και ελέγχεται από το σύστημα
- Απαιτείται χαμηλότερη ροπή και ισχύς στην κοπτική κεφαλή
- Τα απορρίμματα δεν έρχονται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα μέχρι να φτάσουν στην επιφάνεια
- Είναι δυνατή η ενσωμάτωση θραυστήρα σκληρών πετρωμάτων
- Πιο καθαρό περιβάλλον μέσα στη σήραγγα



Εικόνα 64: Slurry Shield TBM (facesupport.org)

Ομοιότητες Σχεδιασμού

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο βασικός σχεδιασμός των TBM EPB και SPB TBM έχει αρκετές ομοιότητες. Η συνολική εμφάνιση και πολλά από τα συστήματα από τον έναν τύπο, χρησιμοποιούνται απ' ευθείας στον άλλο με περιορισμένη ή καμία αλλαγή στο σχεδιασμό. Στις ομοιότητες αυτές περιλαμβάνονται:

- Κύριες δομές
- Ακολουθία ικριώματος
- Σύστημα προώθησης
- Τοποθέτηση και έλεγχος των σπονδύλων

Εξισορρόπηση πίεσης μετώπου

Η επιλογή του EPB ή SPB γίνεται με βάση την απαίτηση διατήρησης του ελέγχου του μετώπου εκσκαφής, ώστε να αποφεύγονται οι καθιζήσεις. Και οι δύο τύποι της μηχανής μπορούν να διατηρήσουν πολύ καλό έλεγχο όταν λειτουργούν σωστά. Το SPB TBM διατηρεί τον έλεγχο του μετώπου μέσω του ελέγχου της πίεσης πολφού, της ροής και της πυκνότητας στο θάλαμο της κοπτικής κεφαλής.

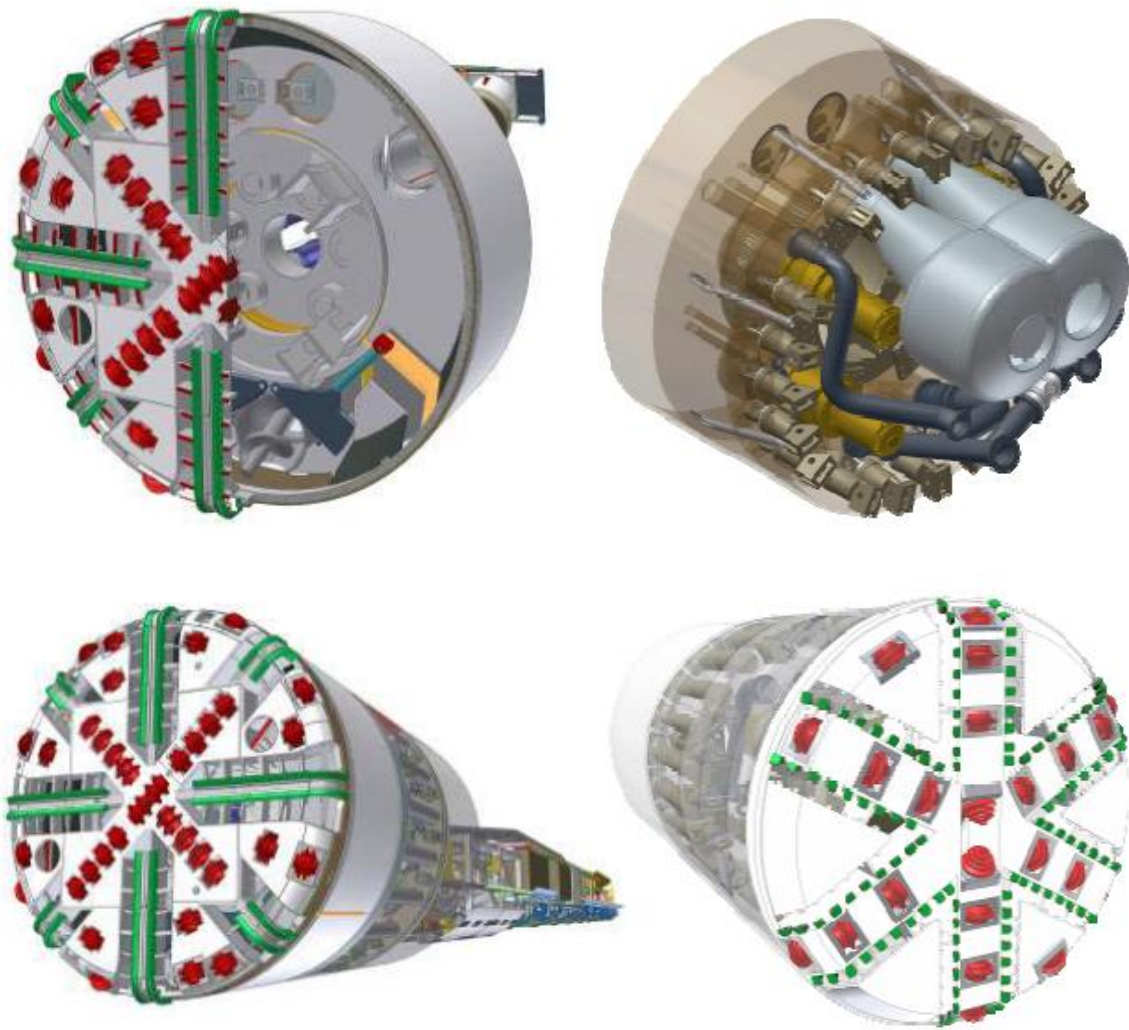
Αντίθετα, το EPB TBM διατηρεί τον έλεγχο αυτό, ελέγχοντας την πίεση της κοπτικής κεφαλής κατά την εκσκαφή, που πραγματοποιείται με το ταίριασμα των ρυθμών άντλησης των εκσκαφθέντων υλικών για την προχώρηση.

6.1.2 Επιλογή του τύπου υποστήριξης μετώπου



Εικόνα 65: Πεδίο εφαρμογής EPB & SPB TBM (Lovat R., 2007)

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα, η χρήση είτε του TBM EPB ή του SPB TBM είναι δυνατή σε ολόκληρο το φάσμα των συνθηκών του εδάφους. Παραδοσιακά επιλέγεται η μηχανή EPB για πιο λεπτομερή εδάφη και το SPB για χονδρομερή κοκκώδη εδάφη. Τα τελευταία χρόνια, η ανάπτυξη των προσθέτων και των συστημάτων έγχυσης αυτών, επέτρεψε στις δύο μηχανές να λειτουργήσουν σε ένα ευρύτερο φάσμα εδαφικών συνθηκών, σε σημείο όπου ο τύπος του εδάφους δεν είναι πλέον το πιο κρίσιμο στοιχείο στη διαδικασία λήψης αποφάσεων για την επιλογή του ενός έναντι του άλλου.



Εικόνα 66: Τρισδιάστατη απεικόνιση EPB(αριστερά) & SPB(δεξιά) Φ6m (Lovat R., 2007)

Τα κριτήρια για τη σύγκριση μεταξύ των δύο τύπων TBM στήριξης μετώπου είναι πολυάριθμα. Μερικά από τα πιο κοινά που εξετάζονται είναι:

- Συνολική απαίτηση ισχύος
- Χρήση και τη διαθεσιμότητα των προσθέτων
- Κόστος του εξοπλισμού
- Απαιτούμενο μέγεθος περιοχής εκσκαφής
- Διάθεση των υλικών εκσκαφής
- Ταχύτητα εκσκαφής
- Εμπειρία εργαζομένων
- Πίεση υποστήριξης

Οι επιδόσεις του κάθε τύπου TBM (EPB ή SPB) σε κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες, καθώς και άλλες, πρέπει να εξετάζονται για κάθε έργο ξεχωριστά. Η τελική απόφαση για ένα έργο μπορεί να βασίζεται στο μέγεθος εκσκαφής, κάτι το οποίο μπορεί να μην ήταν εξίσου σημαντικό για ένα άλλο έργο. Καθένα από τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται πρέπει να θεωρείται ανεξάρτητο και στη συνέχεια να αξιολογείται η συνολική επίδραση του στο έργο.

Για να γίνει τελικά η επιλογή μεταξύ μιας μηχανής διάνοιξης Εξισορρόπησης της Πίεσης Εδάφους (EPB-TBM) και μιας μηχανής Πίεσης Πολφού (SPB-TBM), πρέπει να λάβουμε υπόψη όλα τα κριτήρια επιλογής. Τίποτα δεν μπορεί να κριθεί ως ασήμαντο χωρίς ένα ελάχιστο επίπεδο επανεξέτασης. Τα στοιχεία που μπορεί να είναι ασήμαντα κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων σχετικά με μία θέση εργασίας μπορεί να είναι ζωτικής σημασίας για τη διαδικασία λήψης αποφάσεων σε άλλο έργο.

Άρα λοιπόν, η επιλογή μεταξύ ενός EPB ή SPB για τη διάνοιξη μιας σήραγγας, θα πρέπει να γίνεται κατόπιν ενδελεχούς έρευνας και αξιολόγησης των διαθέσιμων στοιχείων.

Ωστόσο, σε σχέση με τις μηχανές πολφού υπάρχουν δύο χαρακτηριστικοί παράγοντες που την καθιστούν καταλληλότερη. Πρώτος παράγοντας αποτελεί η περατότητα του υλικού εκσκαφής. Διαπερατότητα της τάξεως των 10^{-5} m/s, είναι ένα εμπειρικό όριο λειτουργίας του EPB και μπορεί να ελεγχθεί με έκχυση μπεντονίτη ή άλλων πρόσθετων παραγόντων. Εάν το έδαφος έχει υψηλή διαπερατότητα, το υπόγειο νερό θα καταφέρει να διαπεράσει το υλικό, στο θάλαμο εκσκαφής και στον ατέρμονα κοχλία και να μην είναι εφικτή η «δημιουργία» της απαιτούμενης πίεσης εξισορρόπησης.

Γενικότερα, τα EPB-TBM έχουν εκτελέσει εργασίες με επιτυχία, καθώς είναι κατάλληλα σε μαλακά συνεκτικά εδάφη κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Τα αργιλώδη–ιλύώδη και τα ιλύώδη–αμμώδη εδάφη με πολφώδη έως αραιή σύσταση είναι απόλυτα κατάλληλα για χρήση, μηχανής EPB. Ανάλογα τη σύσταση του εδάφους, είτε δεν χρειάζεται καθόλου ανάμιξη νερού, είτε απαιτείται ελάχιστη ποσότητα.

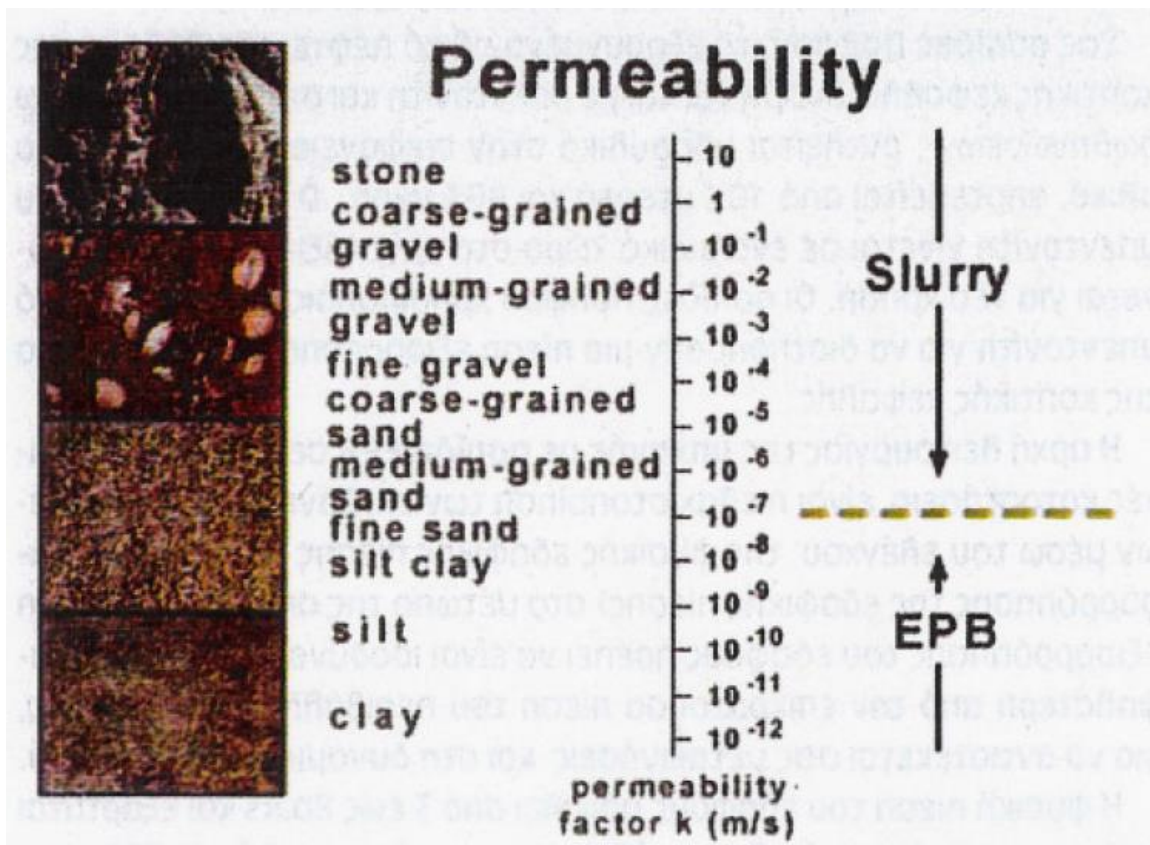
6.1.3 Επιλογή μηχανής

Αφού παρουσιάσαμε αναλυτικά την γεωλογία της περιοχής σε προηγούμενο κεφάλαιο, μπορούμε να συνοψίσουμε τα γεωλογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών που θα συναντήσουμε κατά μήκος της χάραξης του έργου, όπως φαίνεται στον πίνακα:

Interstation	Χ.Θ.	Γεωτεχνική περιγραφή συναντώμενων σχηματισμών	Γεωτεχνική περιγραφή υπερκείμενων σχηματισμών	Υδροπερατότητα σχηματισμών (k)
Σταθμός Πέραμα	0+000	Ασβεστόλιθοι καλής έως μέτριας ποιότητας με αντοχή 25-50 MPa	Ασβεστόλιθοι και μαργαϊκοί ψαμμίτες, μέτριας έως πολύ πτωχής ποιότητας	10^{-6} έως 10^{-7}
Φρέαρ Αγ. Γεωργίου	1+664	Σχιστόλιθοι μέτριας έως πτωχής ποιότητας με αντοχή 5-25 MPa	Σχιστόλιθους, ασβεστόλιθους και νεογενείς σχηματισμούς μέτριας έως πολύ πτωχής ποιότητας	10^{-7} έως 10^{-9}
Σταθμός Παλούκια	3+040	Σχιστόλιθοι μέτριας έως πτωχής ποιότητας με αντοχή 5-25 MPa	Σχιστόλιθοι και παράκτιες αποθέσεις μέτριας έως πολύ πτωχής ποιότητας	10^{-7} έως 10^{-9}
Επίσταθμος	3+200	Σχιστόλιθοι μέτριας έως πτωχής ποιότητας με αντοχή 5-25 MPa	Σχιστόλιθοι μέτριας έως πολύ πτωχής ποιότητας	10^{-7} έως 10^{-9}

Πίνακας 5: Πίνακας γεωτεχνικής περιγραφής και υδροπερατότητας σχηματισμών

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι η διαπερατότητα των σχηματισμών που καλούμαστε να διανοίξουμε κυμαίνεται μεταξύ 10^{-6} έως 10^{-9} .



Εικόνα 67: Εφαρμογή μηχανών εκσκαφής EPB και Slurry TBM (Κουκουτάς Στ., ΤΕΕ, 2002)

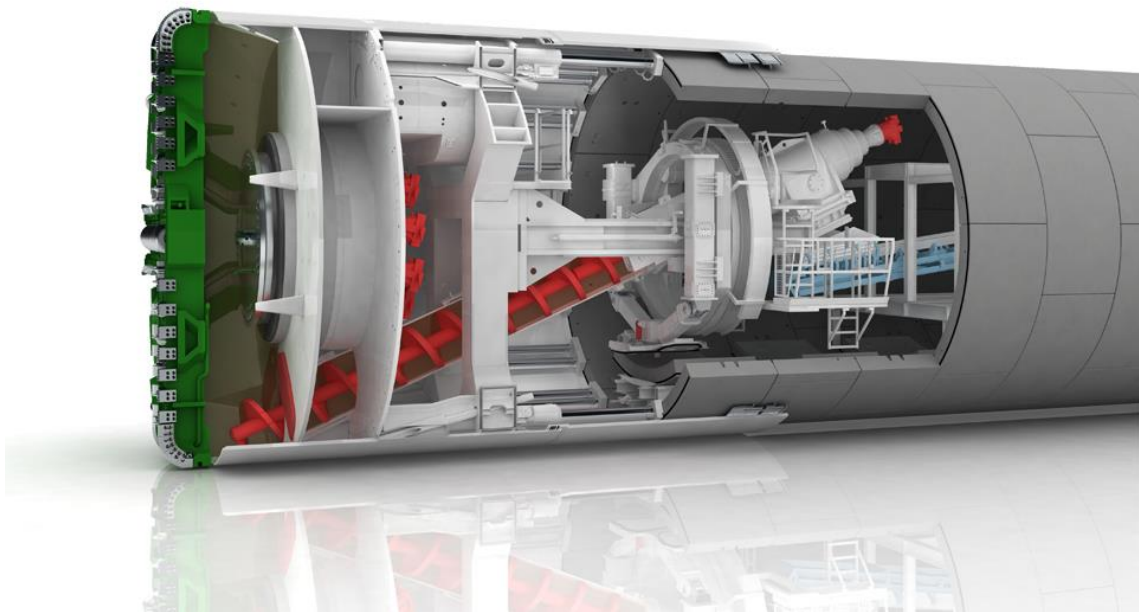
Όπως προκύπτει, η καταλληλότερη μηχανή διάνοιξης της σήραγγας, λόγω της φύσης των συναντώμενων σχηματισμών, είναι μηχανή Ολομέτωπης Κοπής (Tunnel Boring Machine ή TBM). Πιο συγκεκριμένα, κυρίως λόγω της αναμενόμενης υδροπερατότητας, η οποία θα είναι μικρότερη του 10^{-6} , καθώς και λόγω των χαρακτηριστικών των σχηματισμών, θα επιλέξουμε TBM με Ασπίδα Εξισορρόπησης της Πίεσης Εδάφους (Earth Pressure Balance ή EPB).

Επίσης, ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας για την επιλογή αυτή, είναι η ύπαρξη μεγάλης εμπειρίας στη χώρα πάνω σε μηχανές EPB, αφού πολλές σήραγγες του Μετρό έχουν διανοιγεί με αυτές. Μάλιστα, μηχανές Εξισορρόπησης Πίεσης Εδάφους, έχουν χρησιμοποιηθεί σε περιοχές του Ελλαδικού χώρου με σχηματισμούς παρόμοιους με αυτούς που θα συναντηθούν στον πυθμένα των Στενών της Σαλαμίνας με το Πέραμα.

6.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΠΙΛΕΧΘΕΙΣΑΣ ΜΗΧΑΝΗΣ (EPB)

Αρχή λειτουργίας της μηχανής EPB

Η μηχανή εξισορρόπησης πίεσης εδάφους (Earth Pressure Balance Shield-EPBS), είναι βασισμένη στην αρχή της χρήσης της ώθησης και των προωθητικών κινήσεων των TBM, ώστε να διατηρείται η πίεση στο μέτωπο εκσκαφής. Η πίεση στήριξης του μετώπου εφαρμόζεται με τη χρησιμοποίηση των εκσκαφθέντων υλικών.



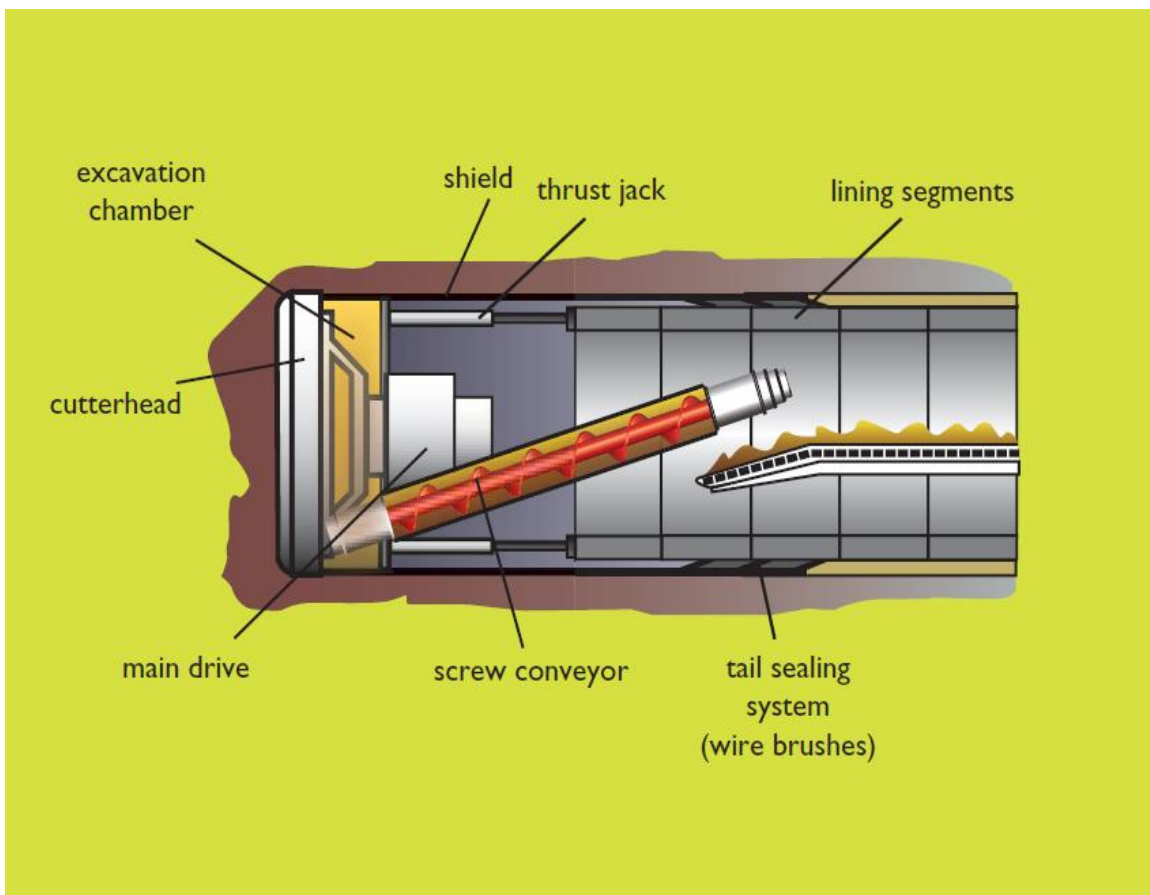
Εικόνα 68: EPB TBM (herrenknecht.com)

Τα ανοίγματα στις κοπτικές κεφαλές των TBM, που είναι εξοπλισμένα με κοπτικά εργαλεία όπως δίσκους και αξίνες, επιτρέπουν τη συλλογή και συσσώρευση των εκσκαφθέντων υλικών στο θάλαμο της κοπτικής κεφαλής. Ο πολφός εξέρχεται από το θάλαμο αυτό, μέσω του ατέρμονα κοχλία μεταφοράς, του λεγόμενου και «κοχλία του Αρχιμήδη». Η ποσότητα του πολφού, είναι ανάλογη με την ταχύτητα στρέψης του κοχλία, ενώ η ποσότητα των εκσκαφθέντων υλικών αντιστοιχεί στην ταχύτητα διάτρησης του TBM. Μέσα στο θάλαμο συντελείται μια δυναμική ισορροπία που βασίζεται στην είσοδο των υλικών εκσκαφής και την

έξοδο του πολφού. Η ρύθμιση αυτής της ισορροπίας μέσω της συνεχούς εναλλαγής της περιστροφής του ατέρμονα κοχλίου, καθιστά δυνατή τη συσσώρευση και την επακόλουθη συμπίεση του υλικού μέσα στο θάλαμο της κοπτικής κεφαλής.

Η πίεση συγκράτησης του μετώπου ελέγχεται με τη διαφοροποίηση της ταχύτητας περιστροφής του ατέρμονα κοχλίου, ως λειτουργία του ρυθμού διάτρησης του TBM.

Συμπληρωματικά ως προς τις βασικές λειτουργίες, την απομάκρυνση του πολφού και τον έλεγχο της πίεσης για την συγκράτηση του μετώπου, ο ατέρμων κοχλίας επιτρέπει τον καταμερισμό της πίεσης στο εσωτερικό του θαλάμου της κοπτικής κεφαλής, από τη μέγιστη τιμή στον κατώτατο επίπεδο του θαλάμου, στην ατμοσφαιρική πίεση στην θύρα απορροής, μέσω του σχηματισμού του λεγόμενου “plug” του υλικού κατά μήκος του κοχλίου.



Εικόνα 69: Τα μέρη του EPB TBM (Guglielmetti V., 2008)

Αναλυτικότερα για το EPB, η αρχή λειτουργίας της μηχανής σε αποσαθρωμένο βράχο και χαλαρά εδάφη στοχεύει στην ελαχιστοποίηση των επιφανειακών καθιζήσεων μέσω του ελέγχου της φυσικής εδαφικής πίεσης (υποστήριξη εξισορρόπησης της εδαφικής πίεσης) στο μέτωπο της σήραγγας. Η πίεση εξισορρόπησης του εδάφους πρέπει να είναι ισοδύναμη ή ελάχιστα υψηλότερη από την επικρατούσα πίεση του περιβάλλοντος εδάφους, για να αντιστέκεται στις μετακινήσεις και στη δυναμική εισροή νερού. Η φυσική πίεση του εδάφους ποικίλει από 1 έως 4 bar και εξαρτάται από τα υπερκείμενα .

Η εξισορρόπηση του μετώπου καθώς το EPB προωθείται, επιτυγχάνεται κρατώντας τον θάλαμο της κοπτικής κεφαλής μπροστά από το κλειστό διάφραγμα και τον ατέρμονα κοχλία μεταφοράς προϊόντων εκσκαφής γεμάτο από υλικό εκσκαφής. Το εξορυσσόμενο υλικό αποσπάται με ελεγχόμενο τρόπο μέσω ενός μεταφορικού ατέρμονα κοχλία, μαζί με τους ρυθμιστικούς παράγοντες, από το θάλαμο της κοπτικής κεφαλής. Στην συνέχεια απομακρύνεται με την χρήση μεταφορικής ταινίας (που βρίσκεται μέσα στην ήδη κατασκευασμένη σήραγγα), μέχρι κάποιο ανοικτό όρυγμα, φρέαρ ή σταθμό. Από το σημείο εκείνο, το εξορυσσόμενο υλικό, επίσης με χρήση μεταφορικού ιμάντα, ο οποίος όμως είναι τοποθετημένος υπό κλίση, καταλήγει σε ειδικό χώρο συγκέντρωσης στην επιφάνεια.

Για να διατηρηθεί ο έλεγχος των προϊόντων εκσκαφής με το EPB, η εκσκαφή ξεκινά περιστρέφοντας την κοπτική κεφαλή και ρυθμίζοντας στον ατέρμονα κοχλία το άνοιγμα της θύρας αποκομιδής του υλικού. Καθώς τα έμβολα προώθησης της μηχανής εκτείνονται, τα προϊόντα εκσκαφής γεμίζουν τον θάλαμο της κεφαλής κοπής με αποτέλεσμα το έδαφος μπροστά από το EPB και μέσα στην κοπτική κεφαλή είναι υπό πίεση. Οι κυψέλες μέτρησης της πίεσης του εδάφους, που βρίσκονται μέσα στον θάλαμο της κοπτικής κεφαλής μετρούν την πίεση του εδάφους. Εάν η πίεση υπερβεί ένα συγκεκριμένο όριο, οι υδραυλικά ελεγχόμενες θύρες εκτόνωσης της πίεσης, που βρίσκονται στον περιστρεφόμενο ατέρμονα κοχλία, αναγκάζονται να ανοίξουν και επιτρέπουν στο υλικό εκσκαφής να περάσει από τις θύρες αυτές στην πρώτη μεταφορική ταινία.

Έτσι λοιπόν, το έδαφος εκσκάπτεται με τη βοήθεια των κοπτικών εργαλείων, τα οποία βρίσκονται επί της κοπτικής κεφαλής και εν συνεχεία πιέζεται προς το θάλαμο εκσκαφής μέσω ανοιγμάτων, τα οποία βρίσκονται και αυτά επί της

κοπτικής κεφαλής. Κατά συνέπεια, υφίσταται ανάμειξη το εκσκαφθέν υλικό με το ήδη υπάρχον στο θάλαμο εκσκαφής. Η πίεση των υδραυλικών κυλίνδρων μεταφέρεται μέσω του τοιχώματος διαχωρισμού στον εδαφικό πολφό, ώστε να αποφευχθεί μια ατυχής είσοδος εδαφικού υλικού από το μέτωπο της σήραγγας μέσα στο θάλαμο. Όταν ο εδαφικός πολφός μέσα στο θάλαμο εκσκαφής δεν μπορεί να συμπιεστεί περαιτέρω, τότε επέρχεται η ισορροπία. Η τρέχουσα πίεση στο μέτωπο της σήραγγας αντιστοιχεί στην ώθηση ηρεμίας. Μια αύξηση της πίεσης του εδαφικού πολφού οδηγεί σε ανύψωση του εδάφους μπροστά από την ασπίδα. Αντίστοιχα μείωση της πίεσης οδηγεί σε ανάπτυξη καθιζήσεων. Με τη βοήθεια του κοχλία μεταφοράς, το υλικό εκσκαφής μεταφέρεται από τον υπό πίεση θάλαμο εκσκαφής στην ταινία μεταφοράς σε ατμοσφαιρική πίεση. Για να υφίσταται μια τέτοιου είδους μεταφορά χωρίς τη χρήση θυρίδας, η περατότητα του νερού στον εδαφικό πολφό πρέπει να είναι χαμηλή, ώστε να αποφευχθεί ροή μέσα από τον κοχλία μεταφοράς.

Κατά τη διάρκεια εκσκαφής με δεδομένη ταχύτητα, η πίεση του εδαφικού πολφού ελέγχεται αλλάζοντας την ταχύτητα περιστροφής του κοχλία μεταφοράς. Όταν το υλικό εκσκαφής εκφορτώνεται με υψηλότερο ρυθμό τότε η πίεση πέφτει. Το αντίστροφο συμβαίνει όταν ο ρυθμός εκφόρτωσης μειώνεται. Με τη βοήθεια αισθητήρων πίεσης εγκατεστημένων σε διάφορα επίπεδα στο τοίχωμα διαχωρισμού, η πίεση του εδαφικού πολφού ελέγχεται συνεχώς από το κέντρο ελέγχου.

Σκοπός είναι να διατηρείται η πίεση του εδαφικού πολφού σε σταθερό επίπεδο κατά τη διάρκεια εκσκαφής. Η πίεση στο θάλαμο εκσκαφής πρέπει να αντισταθμίζει την εδαφική πίεση ώστε να μην αναπτύσσονται καθιζήσεις και ανεξέλεγκτη ροή υλικού. Η εξισορροπούσα πίεση θα πρέπει να είναι μικρότερη από το άθροισμα της ουδέτερης πίεσης του εδάφους και της υδροστατικής πίεσης και συγχρόνως μεγαλύτερη από την ενεργό πίεση του εδάφους και την υδροστατική πίεση. (Bωβού, 2014)

6.2.1 Τεχνικά στοιχεία επιλεγθείσας μηχανής

Το TBM EPB που θα χρησιμοποιηθεί για την διάνοιξη της σήραγγας μας θα είναι το ίδιο με αυτό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του Μετρό της Θεσσαλονίκης. Τα τεχνικά του χαρακτηριστικά περιγράφονται παρακάτω, ενώ στο Παράρτημα Ι παρατίθενται αναλυτικοί πίνακες με τις τεχνικές προδιαγραφές της μηχανής που θα χρησιμοποιηθεί.

Η κεφαλή κοπής του EPB είναι εξοπλισμένη με σταθερούς κοπτικούς δίσκους, σιαγόνες σύνθλιψης και ρυθμιζόμενους έκκεντρους μονταρισμένους κοπτικούς δίσκους, οι οποίοι επιτρέπουν υπερεκκσαφή μέχρι και 10 mm περιμετρικά της κεφαλής κοπής.

Η μηχανή EPB είναι ικανή να λειτουργήσει σε «ανοιχτή λειτουργία» («*open mode*»), όπου ο ατέρμων κοχλίας και ο θάλαμος της κεφαλής κοπής δεν λειτουργεί υπό πίεση και σε «κλειστή λειτουργία» («*close mode*»), όπου ο ατέρμων κοχλίας και ο θάλαμος της κεφαλής κοπής λειτουργούν υπό πίεση. Για τη σήραγγα αυτή, θα λειτουργεί σε *close mode*

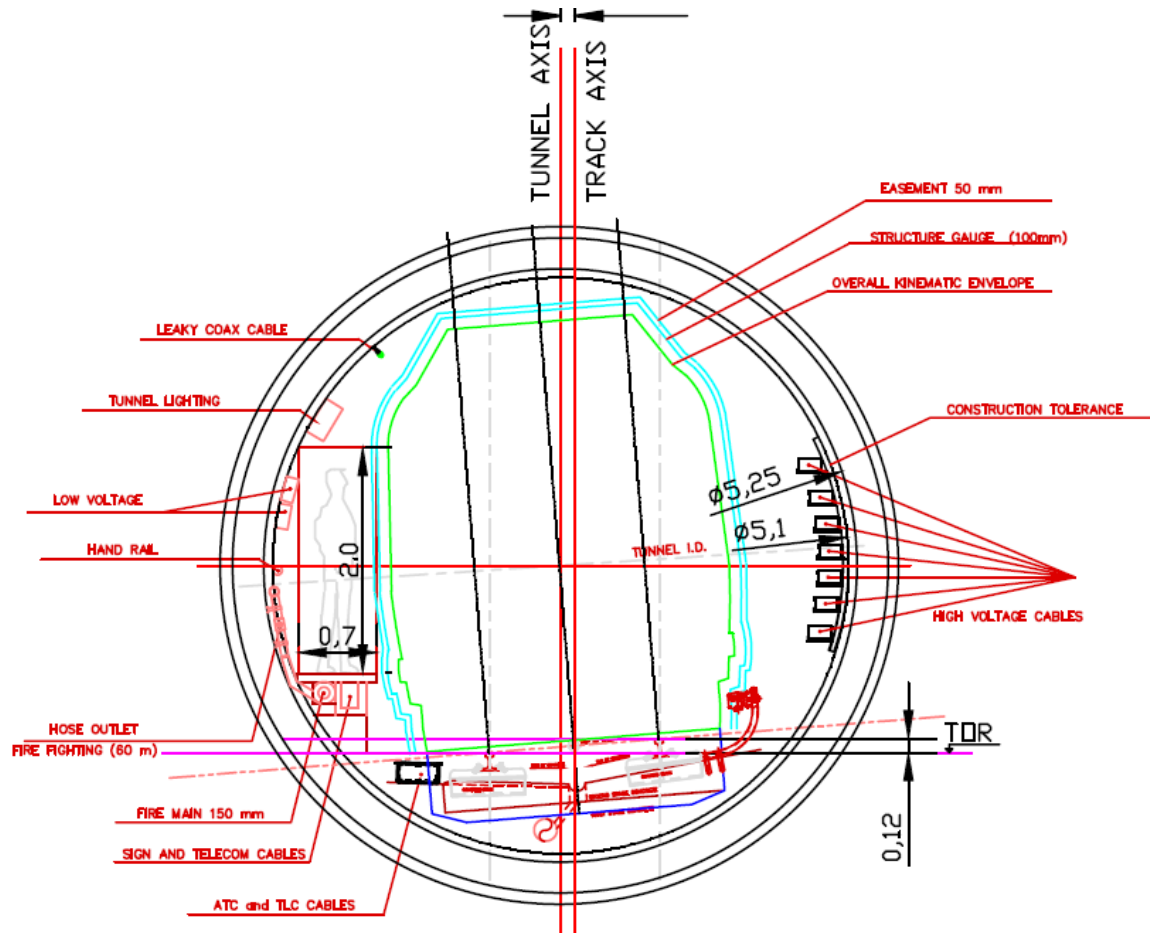
Το EPB χωρίζεται σε δύο κύρια τμήματα:

- την κεφαλή ολομέτωπης κοπής με ασπίδα
- το σύστημα υποστήριξης (*back – up*)



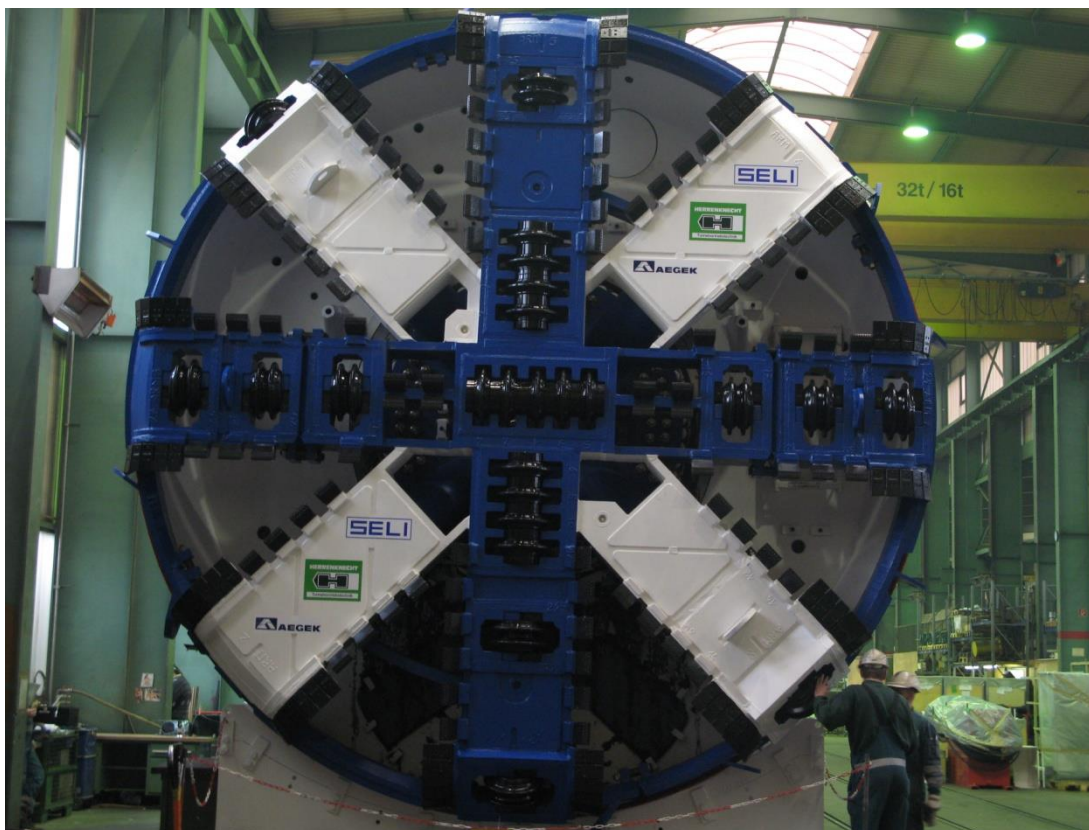
Εικόνα 70: Έναρξη εργασιών μηχανικής διάνοιξης σηράγγων, Φρέαρ Νέου Σιδηροδρομικού σταθμού Θεσσαλονίκης

Η κεφαλή κοπής και το σύστημα υποστήριξης του EPB χωρίζονται σε τομείς για την εύκολη μεταφορά και συναρμολόγησή τους στο εργοτάξιο. Η πίεση λειτουργίας είναι 5 bar και η εξωτερική διάμετρος της μπροστινής ασπίδας είναι 6,17 m. Το συνολικό μήκος του EPB είναι 94 m, ενώ το βάρος του ανέρχεται στους 330 τόνους. Είναι πιθανό, για τη σήραγγα Σαλαμίνας- Περάματος, η πίεση λειτουργίας να πρέπει να ανέλθει σε 6-7 bar.



Εικόνα 71: Τυπική διατομή της σήραγγας $\Phi 6,2m$

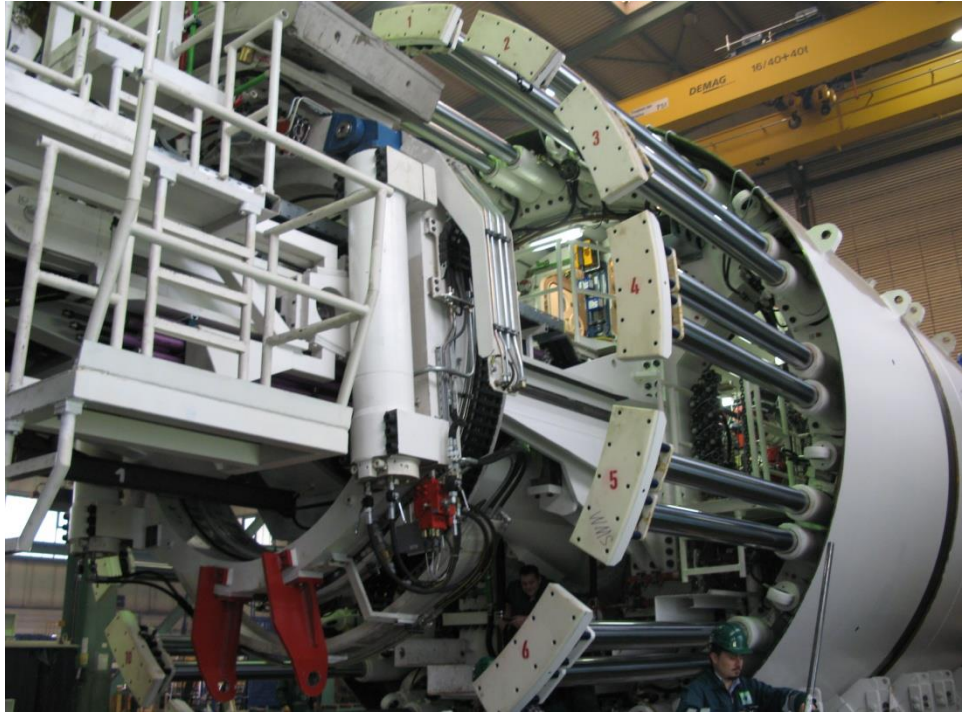
Η ασπίδα του EPB σχεδιάστηκε με τρόπο ώστε να αντέχει όλα τα φορτία και τις δυνάμεις που εμφανίζονται από το υπερκείμενο έδαφος, αλλά και από την λειτουργία της μηχανής, κανονική ή διορθωτική. Η ασπίδα χωρίζεται στην πρόσθια, την ενδιάμεση και την οπίσθια ασπίδα. Συνολικά έχει μήκος 10,2 m.



Εικόνα 72: Κοπτική Κεφαλή EPB TBM, Εργοστασιακή δοκιμή στο Εργοστάσιο της Herrenknecht (Μετρό Θεσσαλονίκης Φ6,2m)

Η κοπτική κεφαλή, που βρίσκεται στην πρόσθια ασπίδα, είναι σχεδιασμένη σύμφωνα με τα φορτία εδάφους, νερού, κυκλοφορίας και εργασίας, καθώς και τις αναμενόμενες συνθήκες φθοράς για τις δύο κατευθύνσεις περιστροφής. Πρόκειται για μια βαριά κατασκευή, που παρέχει την αναγκαία μηχανική υποστήριξη στο μέτωπο της σήραγγας. Περιλαμβάνει ένα συνδυασμό εναλλασσόμενων σιαγόνων σύνθλιψης και κοπτικών δίσκων, οι οποίοι επιλέγονται ανάλογα με τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας που πρόκειται να διανοίξει. Όλα τα κοπτικά εργαλεία της κεφαλής έχουν σχεδιαστεί έτσι, ώστε να αντικαθίστανται από το πίσω μέρος της κοπτικής κεφαλής, μέσα από τον θάλαμο αποκομιδής των προϊόντων εκσκαφής.

Για να διατηρηθεί ο έλεγχος του εδάφους σε συνάρτηση με την αποκομιδή των προϊόντων εκσκαφής, η εκσκαφή ξεκινά ρυθμίζοντας στον ατέρμονα κοχλία το άνοιγμα της θύρας αποκομιδής του υλικού.



Εικόνα 73: Έμβολα προώθησης EPB TBM, Εργοστασιακή δοκιμή στο Εργοστάσιο της Herrenknecht (Μετρό Θεσσαλονίκης Φ6,2m)

Καθώς τα έμβολα προώθησης της μηχανής εκτείνονται, τα προϊόντα εκσκαφής γεμίζουν το θάλαμο της κεφαλής κοπής, με αποτέλεσμα το έδαφος μπροστά από το EPB και μέσα στην κοπτική κεφαλή να είναι υπό πίεση. Οι κυψέλες μέτρησης της πίεσης του εδάφους, που βρίσκονται μέσα στον θάλαμο της κοπτικής κεφαλής μετρούν την πίεση του εδάφους και, εάν αυτή υπερβεί ένα συγκεκριμένο όριο, οι υδραυλικά ελεγχόμενες θύρες εκτόνωσης της πίεσης, που βρίσκονται στον περιστρεφόμενο ατέρμονα κοχλία (κοχλία του Αρχιμήδη), αναγκάζονται να ανοίξουν και επιτρέπουν στο υλικό εκσκαφής να περάσει από τις θύρες αυτές στην πρώτη μεταφορική ταινία.

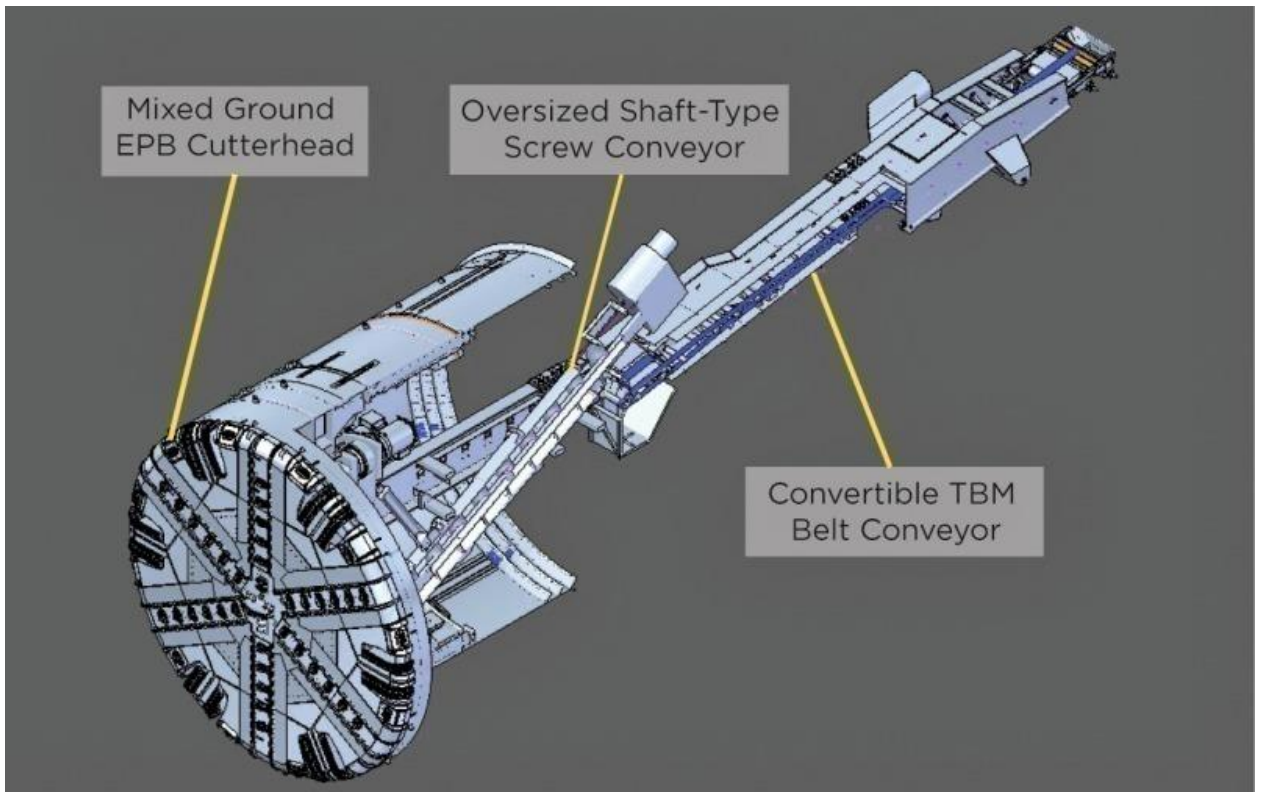
Στην πρόσθια ασπίδα υπάρχει και μία ανθρωποθυρίδα, δηλαδή ένας αεροστεγής θάλαμος, προσαρμοσμένος στις απαιτήσεις των προτύπων ασφαλείας, ο οποίος περιλαμβάνει δύο διαμερίσματα, που λειτουργούν με πίεση εργασίας 5 bar:

- της εκτάκτου ανάγκης (δύο ατόμων) και
- του κυρίως διαμερίσματος (τεσσάρων ατόμων), για την επέμβαση στην κεφαλή καθώς και την διάτρηση της πίεσης στο έδαφος.

Πρέπει να τονιστεί ότι στις αρχές λειτουργίας του EPB είναι και η καταγραφή της πίεσης και του όγκου του **εισπιεζόμενου ενέματος** στο δακτύλιο. Ο κενός χώρος μεταξύ του εξωράχιου του δακτυλίου επένδυσης και του προφίλ εκσκαφής πληρώνεται με ένεμα, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι εδαφικές καθιζήσεις και να σταθεροποιηθεί η επένδυση της σήραγγας. Το ένεμα διοχετεύεται στο δακτυλιοειδές διάστημα με έξι και έξι (6+6) κοχλιωτές αντλίες, με πίεση λειτουργίας 15 bar.

Η εφαρμογή της **οπίσθιας ασπίδας** έχει στόχο:

- να εφοδιάζει συνεχώς με ένεμα (τσιμεντοκονίαμα) το κενό μεταξύ του προκατασκευασμένου δακτυλίου της σήραγγας και του εδάφους μέσω διόδων στο οπίσθιο τμήμα της ασπίδας, εργασία που εκτελείται ταυτόχρονα με την εκσκαφή
- να αποτρέπει την εισροή υπογείου νερού ή ενέματος στο χώρο τοποθέτησης των νέων προκατασκευασμένων στοιχείων, μέσω δύο περιμετρικών σειρών συρμάτων βουρτσών, τοποθετημένων στο άκρο της



Εικόνα 74: Hybrid EPB / Single Shield TBM (tunnel-online.info)

Ο **ατέρμων κοχλίας** είναι τοποθετημένος στην πρόσθια ασπίδα και μέσω του σφραγισμένου θαλάμου της κοπτικής κεφαλής που λειτουργεί υπό πίεση, μεταφέρει το εκσκαφθέν υλικό και το αποθέτει στην πρώτη μεταφορική ταινία. Όταν η κοπτική κεφαλή περιστρέφεται, το σύστημα προώθησης ενεργοποιείται και ο ατέρμων κοχλίας ξεκινά. Η ταχύτητα περιστροφής του κοχλίου είναι αυτή, που καθορίζει το ρυθμό εκσκαφής και με την ελεγχόμενη αποκομιδή του υλικού της κεφαλής, εξασφαλίζεται η ευστάθεια του μετώπου. Η μέγιστη μεταφορική ικανότητά του (100% πληρωμένος) είναι 630 t/h, ενώ το μέγιστο μέγεθος τεμαχίου είναι 240mm.

Αφαιρώντας το μπροστινό τμήμα του ατέρμονα κοχλίου από το χώρο της κεφαλής κοπής, η θύρα ασφαλείας μέσα στο διάφραγμα του θαλάμου εκσκαφής μπορεί να κλείσει και να απομονώσει το θάλαμο. Στην περίπτωση που παρουσιασθεί υψηλή ποσότητα νερού στο έδαφος, μια αντλία νερού, τοποθετημένη στο τέλος του ατέρμονα κοχλίου, μπαίνει σε λειτουργία για την απορροή του νερού και την απομάκρυνσή του.

Το σύστημα των μεταφορικών ταινιών έχει ικανότητα 288 m³/h εκσκαφής υλικού, ξεκινώντας από τον ατέρμονα κοχλία και, μέσω της σήραγγας, αποθέτει το υλικό στην επιφάνεια του εργοταξίου.

Ο **δακτύλιος από προκατασκευασμένα στοιχεία** τοποθετείται στην ουρά της οπίσθιας ασπίδας, μετά από εκσκαφή και προχώρηση 1,5 m του EPB. Η τοποθέτηση των προκατασκευασμένων στοιχείων από σπλισμένο σκυρόδεμα γίνεται από ένα σύστημα ανέγερσης (erector), ο οποίος λειτουργεί με κενό αέρος (βεντούζα), για την ανύψωση και προσωρινή συγκράτηση των στοιχείων μέχρι την τοποθέτησή τους . Στην περίπτωση που χαθεί η παροχή ισχύος, το σύστημα κενού είναι ικανό να διατηρήσει συγκρατημένο το στοιχείο για 30 λεπτά.

Η τοποθέτηση των προκατασκευασμένων στοιχείων ξεκινά από τον πυθμένα της οπίσθιας ασπίδας του EPB και συνεχίζεται εναλλάξ αριστερά / δεξιά έως την κλείδα. Το ελαστικό παρέμβυσμα, που είναι θερμικά συγκολλημένο στην υποδοχή των όψεων του κάθε προκατασκευασμένου στοιχείου, συμπιέζεται μεταξύ των στοιχείων και των δακτυλίων της σήραγγας, εξασφαλίζοντας την υδατοστεγανότητα αυτής.



Εικόνα 75: Segments EPB TBM, Εργοστασιακή δοκιμή στο εργοστάσιο της Herrenknecht (Μετρό Θεσσαλονίκης Φ6,2m)

Τα προκατασκευασμένα στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους και με τον προηγούμενο δακτύλιο με χαλύβδινους κοχλίες υψηλής αντοχής, διαμέτρου 25 mm και μήκους 500 mm. Τα προωθητικά έμβολα βοηθούν στη στήριξη των στοιχείων, κατά την τοποθέτηση των δακτυλίων της σήραγγας. Το προκατασκευασμένο στοιχείο του πυθμένα της σήραγγας τοποθετείται μετά την ολοκλήρωση της εγκατάστασης του δακτυλίου και στην επίπεδη επιφάνειά του τοποθετούνται οι σιδηροτροχιές τύπου 38 kg/m, για την ολίσθηση των βαγονιών υποστήριξης του EPB και του τροχαίου υλικού.

Το **κέντρο ελέγχου** του EPB είναι τοποθετημένο στο μπροστινό φορείο και περιέχει όλα τα απαραίτητα συστήματα καταγραφής και ελέγχου της ασφαλούς λειτουργίας του EPB.



Εικόνα 76: Δωμάτιο ελέγχου της μηχανής EPB TBM στο Μετρό Θεσσαλονίκης

Το σύστημα υποστήριξης του EPB είναι εφοδιασμένο με:

- Σύστημα μεταφοράς της υποστήριξης.
- Κατάστρωμα με σύστημα μονής τροχιάς για εκφόρτωση των στοιχείων της επένδυσης και άλλων υλικών.
- Γερανό για εκφόρτωση των στοιχείων της επένδυσης και άλλων υλικών.
- Χώρους αποθήκευσης με δίκτυα των πρόσθετων ρυθμιστικών παραγόντων.
- Σύστημα αντλιών ενέματος (τσιμεντοκονιάματος) με τα αντίστοιχα δίκτυα.
- Υποδομή και σύνδεση με τις επιφανειακές εγκαταστάσεις για αερισμό, επικοινωνία, κεντρική παροχή ρεύματος, πεπιεσμένο αέρα, νερό ψύξης κτλ.
- Σύστημα τροφοδοσίας λιπαντικού στη συρματοβούρτσα της ασπίδας.
- Εγκαταστάσεις για το προσωπικό (τουαλέτα, τραπεζαρία κτλ.).
- Σύστημα αερισμού του EPB.
- Σύστημα ενδοεπικοινωνίας και τηλεφωνικό δίκτυο.
- Σύστημα πυροπροστασίας και καταπολέμησης πυρκαγιάς.

- Εξοπλισμό πρώτων βοηθειών.

Τέλος σημαντική είναι και **οι συντελεστές απόδοσης** της μηχανής. Όσον αφορά τον **ρυθμό εκσκαφής**, είναι δεδομένο ότι η μέγιστη ταχύτητα προώθησης του EPB ανταποκρίνεται στην εκσκαφή ενός βήματος 1,5 m μήκους, όσο και το μήκος των δακτυλίων των προκατασκευασμένων στοιχείων της επένδυσης.

6.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΑΘΜΩΝ, ΣΥΝΔΕΤΗΡΙΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΚΑΙ ΦΡΕΑΤΟΣ

6.3.1 Κατασκευή σταθμών

Οι σταθμοί θα σχεδιαστούν με περίπου 100 μέτρα πλατφόρμες επιβίβασης. Θα κατασκευαστούν με τη μέθοδο ανοικτού ορύγματος (cut and cover), οι διαστάσεις της εκσκαφής θα είναι 110 μέτρα στο μήκος και 30 μέτρα στο πλάτος, ενώ το βάθος θα ανέρχεται σε 20 μέτρα από την επιφάνεια. Οι πλευρικές είσοδοι θα έχουν μήκος περί τα 10 μέτρα και πλάτος περί τα 7 μέτρα. Η εκσκαφή θα διαρκέσει περίπου 4 μήνες και ο όγκος του εκσκαφθέντος υλικού θα ανέρχεται περίπου σε 66.000 κυβικά μέτρα.

Στο κατώτατο σημείο κάθε σταθμού, θα βρίσκονται οι σιδηροδρομικές τροχιές από όπου θα διέρχονται οι συρμοί καθώς και οι πλατφόρμες επιβίβασης. Στο ανώτερο επίπεδο, θα βρίσκονται εγκατεστημένα τα μηχανήματα πώλησης και επικύρωσης εισιτηρίων καθώς και το δωμάτιο ελέγχου. Στην επιφάνεια θα κατασκευαστούν οι είσοδοι των σταθμών.



Εικόνα 77: Σχηματική απεικόνιση εργασιών κατασκευής σταθμού Μετρό σε αστικό περιβάλλον με τη μέθοδο ανοιχτού ορύγματος (metro.net)

Συστήματα υποστήριξης της εκσκαφής

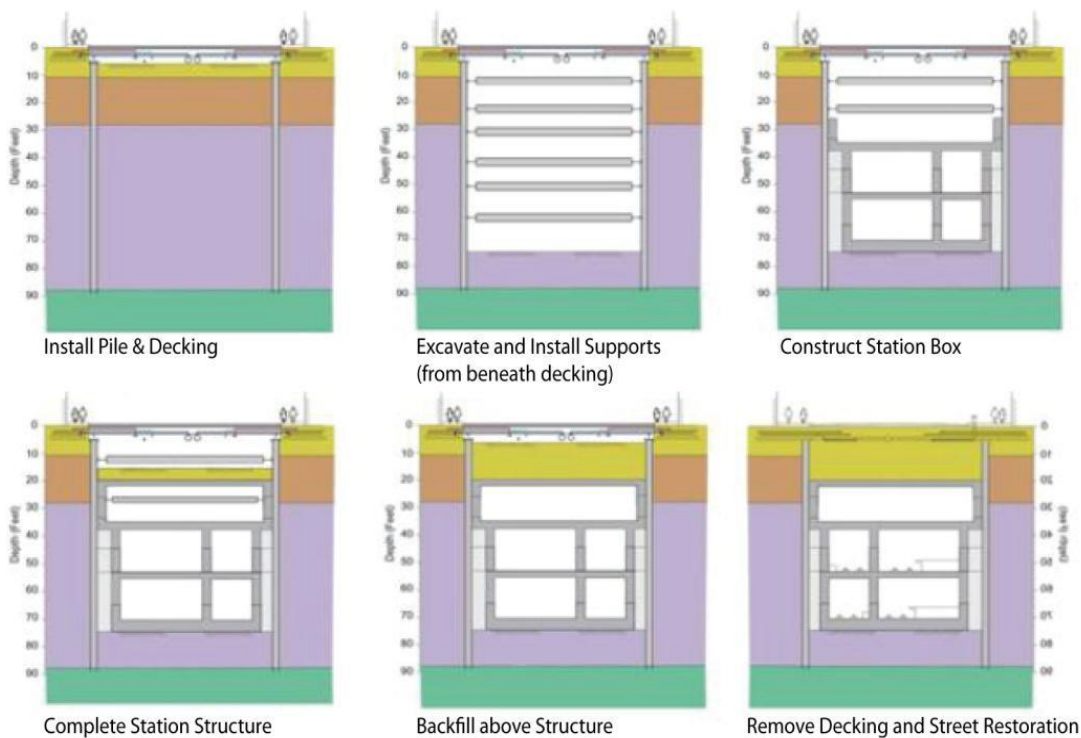
Για τη συγκράτηση του εδάφους γύρω από την εκσκαφή που θα πραγματοποιηθεί, απαιτείται ένα προσωρινό σύστημα αντιστήριξης. Η τελική όμως αντιστήριξη, θα παρέχεται από τη μόνιμη επένδυση από σκυρόδεμα που θα τοποθετηθεί.

Το αρχικό σύστημα αντιστήριξης των εκσκαφών των σταθμών «Πέραμα» και «Παλούκια», θα αποτελείται από πασσαλότοιχους, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, καθώς και αντηρίδες. Η αρχική αντιστήριξη παρέχει κάθετη ευστάθεια, ενώ το έδαφος απομακρύνεται από το σημείο και παραμένει στη θέση της καθ' όλη τη διάρκεια των εργασιών.

Για την αντιμετώπιση των υπογείων υδάτων, θα πρέπει να εγκατασταθούν πάσσαλοι στο περιβάλλον έδαφος για τη βελτίωση της ευστάθειάς του και τη διευκόλυνση της εκσκαφής σε υγρές συνθήκες. Επίσης, θα πρέπει να

κατασκευαστεί τάφος κατά την περίμετρο της εκσκαφής καθώς και ένα δίκτυο σημείων άντλησης των υδάτων, ώστε να μην παρεμποδίζονται οι εργασίες.

Η τελική υποστήριξη περιλαμβάνει πλάκες από σκυρόδεμα, τοίχους και πεζοδρόμια για τις εισόδους του σταθμού. Μικρή πλευρική κίνηση των τοιχωμάτων εκσκαφής μπορεί να συμβεί κατά τη διάρκεια της αφαίρεσης του εδάφους. Οι τοίχοι αυτοί όπως και τα περιβάλλοντα εδάφη θα πρέπει να παρακολουθούνται για τυχόν πλευρικές μετακινήσεις. Σε τέτοια περίπτωση θα ληφθούν όλα τα απαραίτητα διορθωτικά μέτρα.



Εικόνα 78: Στάδια κατασκευής σταθμού Μετρό με τη μέθοδο ανοιχτού ορύγματος (metro.net)

Οι σταθμοί θα κατασκευαστούν με έγχυτη σκυροδέτηση, η οποία θα διαφέρει ουσιαστικά ανάλογα με το μήκος και την διαμόρφωση του σχεδιασμού για κάθε δομή. Θα απαιτηθούν μεγάλες ποσότητες σκυροδέματος καθώς και χάλυβα για τον οπλισμό της κατασκευής.

Τα στάδια κατασκευής του κάθε σταθμού θα περιλαμβάνουν την κατασκευή της βασικής πλάκας θεμελίωσης, η οποία θα ακολουθείται από την εγκατάσταση

των εξωτερικών τοίχων, καθώς και κάθε εσωτερική στήλη. Οι πλάκες θα κατασκευαστούν με παρόμοιο τρόπο με τις κολώνες, τα ενδιάμεσα δάπεδα και τις οροφές. Οι είσοδοι των σταθμών θα χρησιμοποιούνται ως σημεία πρόσβασης κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Οι εξωτερικές είσοδοι πρόκειται να κατασκευαστούν μετά την ολοκλήρωση τους.

Επίσης, απαιτείται η στεγάνωση των σταθμών και ενδεχομένως ένα μόνιμο σύστημα άντλησης των υδάτων, αφού θα βρίσκονται σε πολύ μικρή απόσταση από τη θάλασσα.

Κατά την κατασκευή του κάθε σταθμού, αναμένονται περίπου 5 έως 10 φορτηγά ημερησίως για τη μεταφορά του σκυροδέματος που όταν απαιτείται μπορεί να φθάσουν και τα 30. Οι μεγαλύτερες εγχύσεις σκυροδέματος θα πραγματοποιούνται συνήθως κατά τις βραδινές ώρες, ώστε αφενός να μην παρεμποδίζεται η κυκλοφορία στους γύρω δρόμους και αφετέρου να διευκολύνεται η τροφοδοσία. Επίσης, ιδίως κατά τις περιόδους κορύφωσης των εργασιών για την κατασκευή των σταθμών, θα πρέπει να αναμένεται ένας μεγάλος αριθμός φορτηγών για τη μεταφορά άλλων απαραίτητων υλικών όπως κάγκελα, δομικό χάλυβα, μηχανολογικό και ηλεκτρολογικό εξοπλισμό.

Η ολοκλήρωση των σταθμών του Περάματος και των Παλουκίων (σκυροδέτηση και αρχιτεκτονικά), θα πραγματοποιηθεί μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής της σήραγγας. Αφού ο κάθε σταθμός κατασκευαστεί πλήρως, θα λάβουν χώρα εργασίες επανεπίχωσης και θα γίνει η τελική διαμόρφωση της επιφάνειας πάνω από τον σταθμό.



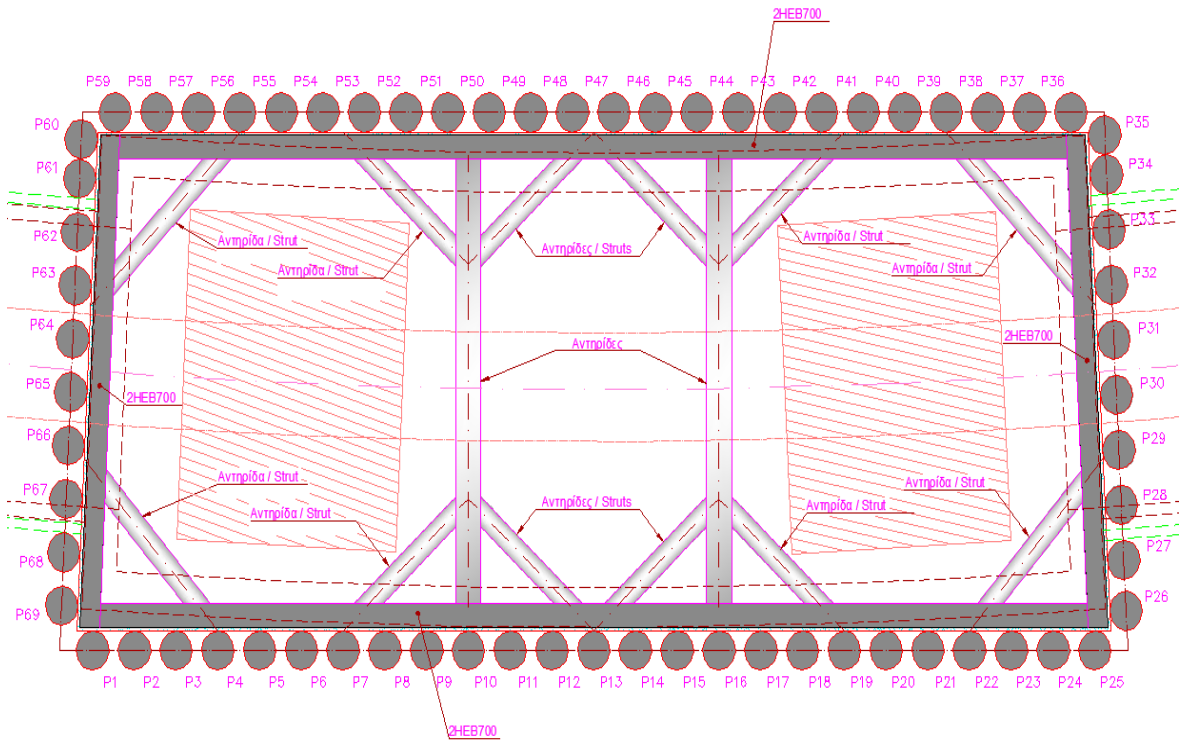
Εικόνα 79: Σχηματική απεικόνιση τελικής διαμόρφωσης σταθμού Μετρό (metro.net)

Η εκσκαφή για τον κάθε σταθμό θα απαιτήσει επανεπίχωση πάνω από την οροφή της κατασκευής, για την πλήρωση της περιοχής μεταξύ της δομής και της επιφάνειας. Αυτή η επίχωση θα γίνει με φερτά υλικά που θα μεταφερθούν με φορτηγά. Αν τα υλικά εκσκαφής, θεωρηθούν κατάλληλα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επανεπίχωση των δύο σταθμών.

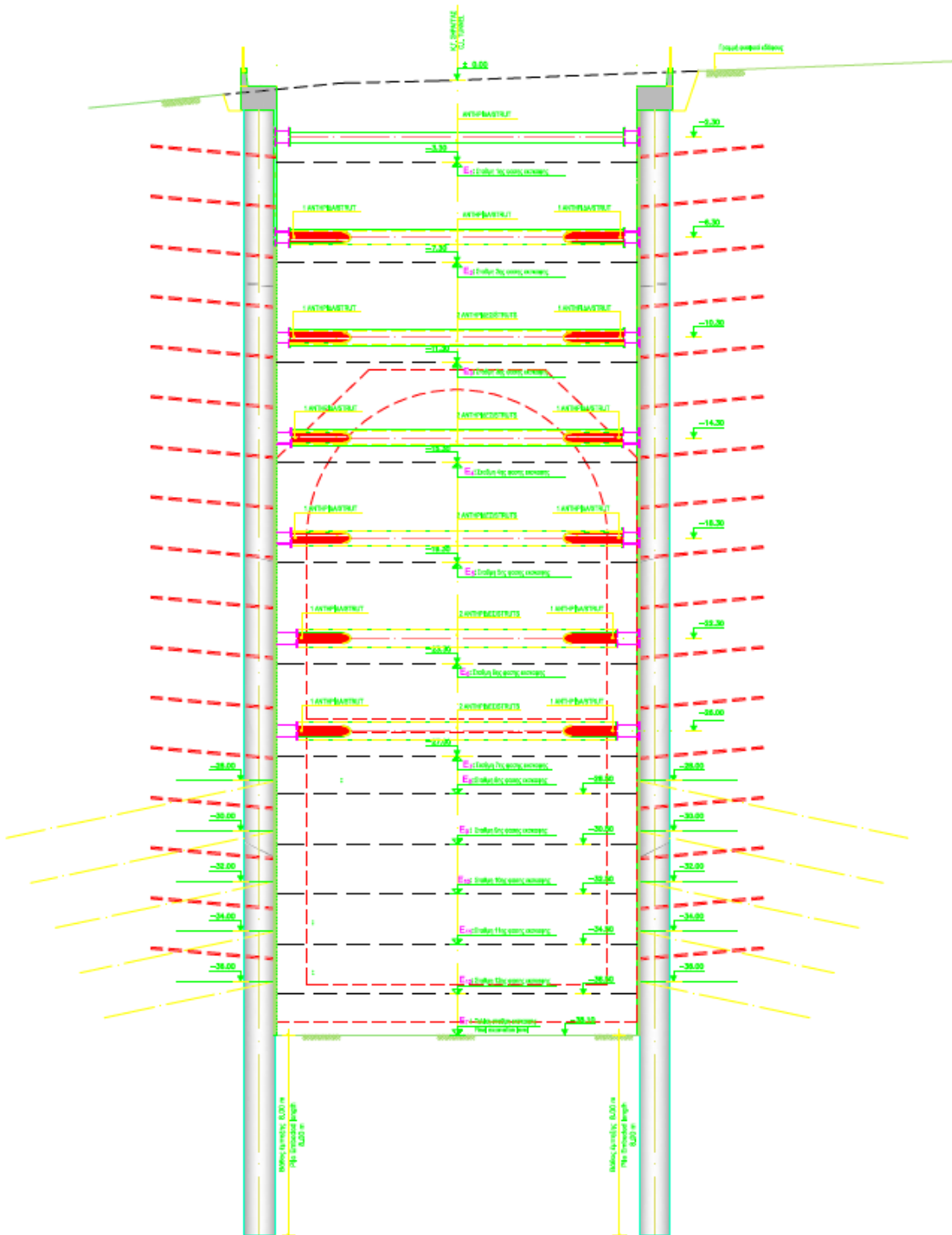
Επίσης, είναι απαραίτητη η κατασκευή δομών για τον εξαερισμό αλλά και τη διαφυγή των ανθρώπων σε περίπτωση ανάγκης. Ο κάθε σταθμός θα φιλοξενεί ένα φρέαρ αερισμού καθώς και μια έξοδο διαφυγής σε κάθε άκρο. Για τον εξαερισμό, θα χρησιμοποιηθούν μεγάλοι ανεμιστήρες ικανοί να απομακρύνουν τον καπνό από τις σήραγγες και το σταθμό σε περίπτωση πυρκαγιάς.

Τέλος, οι σταθμοί θα περιλαμβάνουν και κατασκευές που θα γίνουν στην επιφάνεια του εδάφους, και θα ολοκληρωθούν λίγο πριν το τέλος του κύκλου εργασιών κατασκευής του σταθμού. Αυτές, θα είναι οι είσοδοι, οι κλίμακες, οι ανελκυστήρες αλλά και οι κυλιόμενες σκάλες. Οι σταθμοί, θα έχουν ολοκληρωθεί απόλυτα μετά και το πέρας των εργασιών για την τελική διαμόρφωση του επιφανειακού χώρου..

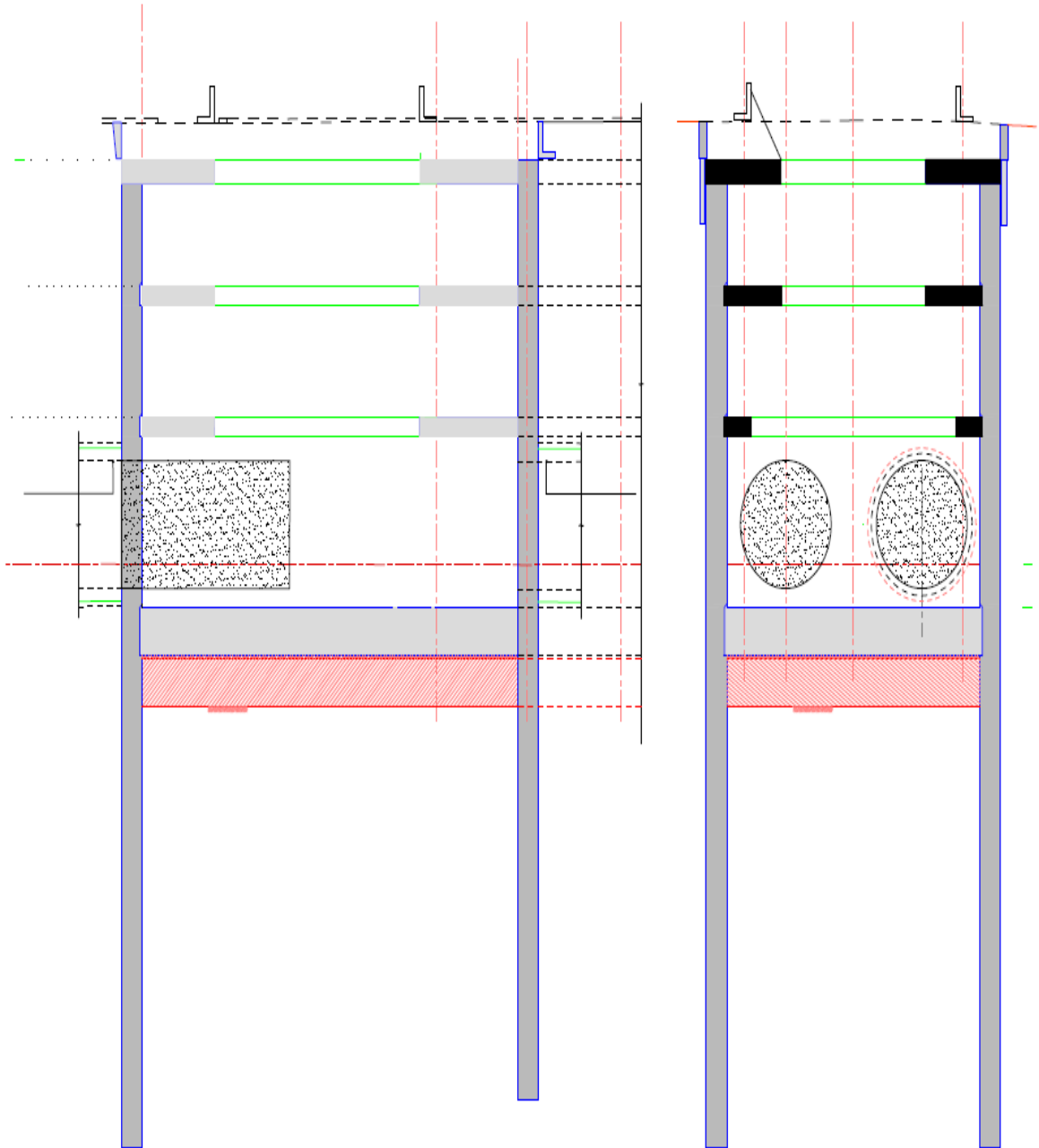
Ακολουθούν σχέδια του φρέατος υποδοχής του TBM στον Πειραιά (σε κάτοψη και τομή), που αποτελεί και την εκσκαφή για την κατασκευή του σταθμού, καθώς και δύο τομές του σταθμού Αναλήψεως. Τα σχέδια αυτά, είναι από κατασκευές αντίστοιχες με τις προταθείσες.



Εικόνα 80: Κάτοψη φρέατος υποδοχής TBM



Εικόνα 81: Τομή φρέατος υποδοχής TBM



Εικόνα 82: Τομές σταθμού Αναλήψεως

6.3.2 Κατασκευή εγκάρσιων συνδετήριων διαβάσεων

Οι εγκάρσιες διαβάσεις μεταξύ των σηράγγων θα είναι κατασκευασμένες ανά 760 μέτρα εντός των σηράγγων. Τα ανοίγματα αυτά θα διανοιγούν με αρκετά απλές μεθόδους. Πριν αρχίσει η εκσκαφή τους, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν τσιμεντενέσεις (ή κάποια άλλη μέθοδος βελτίωσης εδάφους) περιμετρικά της περιοχής που θα εκσκαφθεί.

Οι γεωλογικές συνθήκες που θα διαπιστωθούν επί τόπου, είναι εκείνες που θα καθορίσουν την ακριβή μέθοδο προετοιμασίας για την διάνοιξη μιας συνδετήριας σήραγγας. Μετά τη βελτίωση του εδάφους, θα πρέπει να κατασκευαστεί ένας δακτύλιος τιμεντενέσεων. Επίσης, μπορούν να εγκατασταθούν και αγκύρια πάνω από το περίβλημα της εγκάρσιας σήραγγας.

Οι σήραγγες αυτές, θα εκσκαφθούν με διαδοχικές μεθόδους εκσκαφής και υποστήριξης που απαιτούν τη σταδιακή κοπή του εδάφους σε μικρές περιοχές και την σταθεροποίηση/υποστήριξή του πριν την προχώρηση. Η ευστάθεια του εδάφους εξασφαλίζεται με διάφορες μεθόδους, όπως χαλύβδινα πλαίσια, αγκύρια και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Το εκσκαφθέν υλικό θα απομακρυνθεί από τις κύριες σήραγγες. Η διαδικασία όρυξης των εγκάρσιων αυτών διελεύσεων μπορεί να τροποποιείται κατά την κατασκευή.

Εναλλακτικά, αφού οι συνδετήριες σήραγγες θα βρίσκονται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα, το πάγωμα του εδάφους, είναι μία μέθοδος που θα μπορούσε να εξεταστεί. Η διάνοιξη διευκολύνεται πολύ, αφού αφενός μεν βελτιώνονται οι μηχανικές ιδιότητες του πετρώματος, αφετέρου δε αποκλείεται η εισροή υπογείων υδάτων. Το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι το μεγάλο κόστος.

6.3.3 Κατασκευή φρέατος αερισμού

Η κατασκευή φρεάτων αερισμού, εξόδων κινδύνου και συνδετήριων σηράγγων, γίνεται μετά την ολοκλήρωση της ανασκαφής των κύριων σηράγγων. Τα φρέατα και οι έξοδοι διαφυγής, συνδέουν τη σήραγγα με την επιφάνεια, ενώ οι συνδετήριες σήραγγες κατασκευάζονται εξ' ολοκλήρου κάτω από την επιφάνεια.

Τα συστήματα εξαερισμού καθώς και τα θορυβώδη μηχανήματα που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν, θα εγκατασταθούν σε χώρους κάτω από την επιφάνεια του εδάφους για τον περιορισμό της όχλησης.

Φρέατα αερισμού γενικά πρέπει να κατασκευάζονται μεταξύ των σταθμών, σε απόσταση περίπου 1,5 χιλιομέτρου από κάθε σταθμό. Στο προτεινόμενο έργο, το φρέαρ αερισμού του Αγίου Γεωργίου πρόκειται να κατασκευαστεί σχεδόν στο

μέσον της σήραγγας, δηλαδή περί το 1,5 χιλιόμετρο απόσταση από κάθε σταθμό, ικανοποιώντας έτσι αυτόν τον κανόνα.

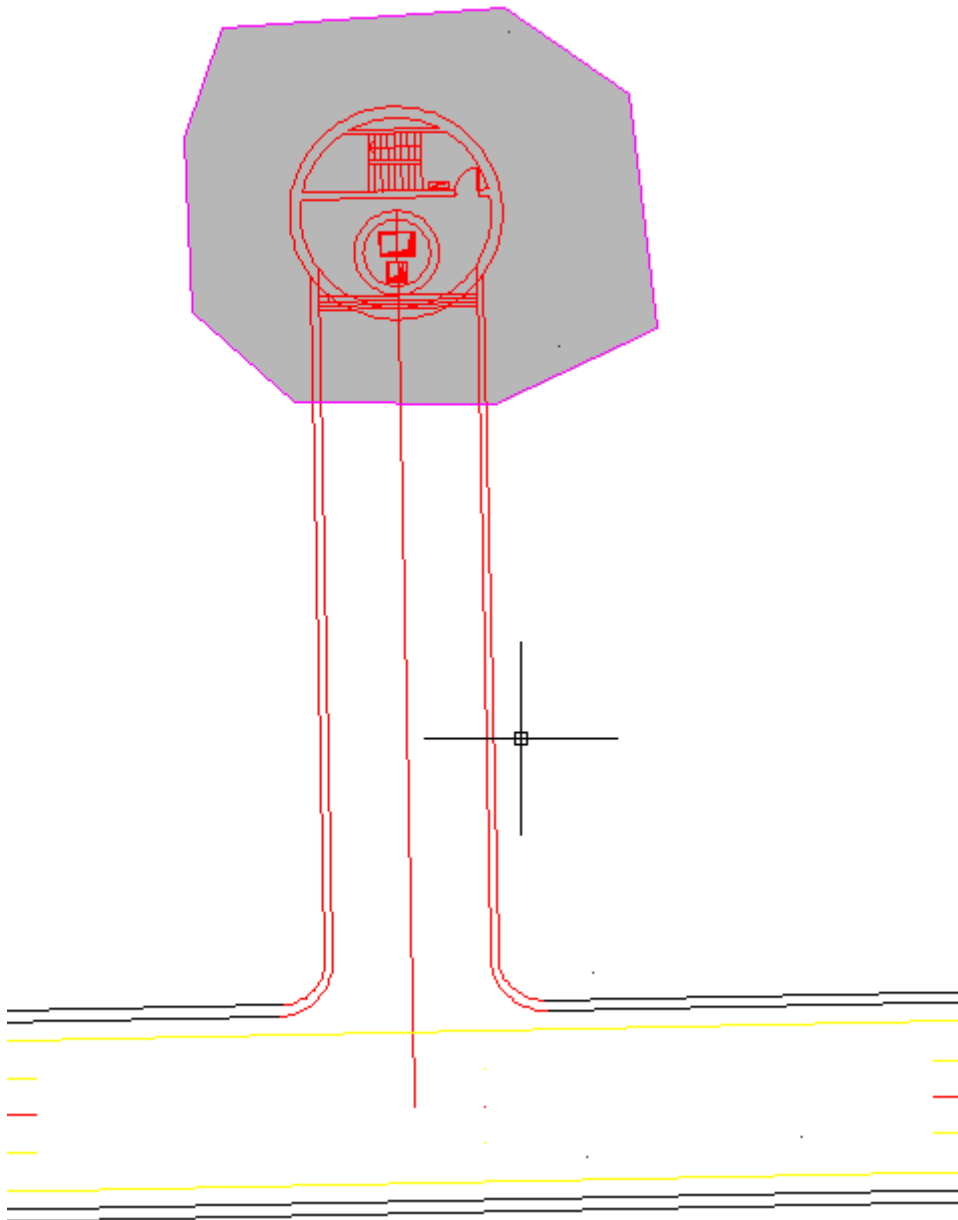
Το φρέαρ αυτό, θα κατασκευαστεί με την εφαρμογή δομικών μεθόδων αντίστοιχων με αυτών που χρησιμοποιούνται για τους σταθμούς. Η διατομή του θα είναι 7 μέτρα και το βάθος του 50 μέτρα.



Εικόνα 83: Φρέαρ αερισμού (mred.tuc.gr)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το φρέαρ του Αγίου Γεωργίου θα παρέχει τον επαρκή αερισμό της σήραγγας, κάτι εξόχως σημαντικό για κάθε υπόγειο έργο. Για αυτόν τον λόγο θα είναι εξοπλισμένο με ένα κατάλληλο σύστημα αερισμού.

Ακολουθεί η κάτοψη αντίστοιχου φρέατος που κατασκευάστηκε από την Αττικό Μετρό στην γραμμή Χαϊδάρι – Πειραιάς (Φρέαρ Κομνηνού).



Εικόνα 84: Φρέαρ Κομνηνού (Αττικό Μετρό Α.Ε.)

7. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Το Έργο το οποίο πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία, δηλαδή η υποθαλάσσια σιδηροδρομική ζεύξη Σαλαμίνας-Περάματος, έχει απασχολήσει και τους αρμόδιους για την κατασκευή αντίστοιχων έργων, φορείς.

Οι πρώτες σκέψεις για τη ζεύξη της Σαλαμίνας ξεκίνησαν στις αρχές της δεκαετίας του '90, όμως υπάρχουν και πιο πρόσφατα στοιχεία που αποδεικνύουν την ύπαρξη ενδιαφέροντος για το εν λόγω έργο. Ως επικρατέστερος τρόπος ζεύξης, θεωρείται σήμερα η επιπυθμένα οδική σήραγγα, χωρίς όμως να αποκλείεται και η προτεινόμενη λύση.

Συγκεκριμένα, στο Σχέδιο Ανάπτυξης του Μετρό που καταρτίστηκε το 2012 από την Αττικό Μετρό Α.Ε., περιλαμβάνεται η κατασκευή γραμμής που θα φτάνει ως το Πέραμα, που όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω αποτελεί προαπαιτούμενο έργο προκειμένου να καταστεί δυνατό το προταθέν.

Επίσης στο Ρυθμιστικό Σχέδιο της Αθήνας (ΡΣΑ) του 2014, προτείνεται η σύνδεση της Σαλαμίνας με την Αττική με ελαφρύ μετρό. Συγκεκριμένα προτείνεται η δημιουργία της γραμμής Πειραιάς-Κερατσίνι-Πέραμα-Σαλαμίνα. Σχετικά με τον τρόπο ζεύξης της Σαλαμίνας με το Πέραμα δεν υπάρχει κάποια περαιτέρω διευκρίνιση.

Από τα παραπάνω, προκύπτει πως πρόκειται για ένα έργο που δεν είναι μόνο μια ιδέα για την εκπόνηση μιας διπλωματικής εργασίας, αντιθέτως πρόκειται για ένα σχέδιο που εξετάζεται από τους αρμόδιους φορείς.

Ακόμα, εν έτει 2015, δεν έχουν γίνει ενέργειες για την υλοποίηση του Έργου, επομένως τα ακόλουθα στοιχεία είναι ενδεικτικά. Αυτά βασίστηκαν σε προηγούμενες σήραγγες του Μετρό, όπου χρησιμοποιήθηκε το ίδιο μηχάνημα EPB-TBM καθώς και σε αντίστοιχους σταθμούς.

7.1 ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ

Για κάθε έτος, θεωρούμε πως οι εργάσιμες ημέρες για την εκτέλεση των εργασιών του Έργου θα είναι 235. Ο αριθμός αυτός προέκυψε αφαιρώντας τα Σάββατα και τις Κυριακές (104), τις επίσημες αργίες του κράτους (12) και τις καλοκαιρινές διακοπές (14) από τις ημέρες του έτους (365).

Όσον αφορά την κατασκευή του έργου, θα χρειαστούν:

- Ένας περίπου μήνας για τη διαμόρφωση των εργοταξιακών χώρων στο Πέραμα, στη Σαλαμίνα και στον Άγιο Γεώργιο.
- Τέσσερις περίπου μήνες για την εκσκαφή και κατασκευή των σταθμών και του φρέατος. Μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα θα κατασκευασθεί και ο χώρος υποδοχής των EPB TBM.
- Ένας περίπου μήνας για τη συναρμολόγηση των Μηχανών Ολομέτωπης Κοπής.
- 319 εργάσιμες ημέρες για τη διάνοιξη της σήραγγας. Συγκεκριμένα, εκτιμάται ότι θα διανοίγονται 5 μέτρα σήραγγας ημερησίως για τα πρώτα 300 μέτρα σήραγγας και 12 μέτρα ημερησίως για την υπόλοιπη (2740 μέτρα σήραγγας), ενώ το TBM του ενός κλάδου θα πρέπει να προπορεύεται του άλλου κατά τουλάχιστον 150 μέτρα. Άρα στις 289 ημέρες που απαιτούνται για τη διάνοιξη των 3040 μέτρων, προστίθενται οι 30 ημέρες επιπλέον που χρειάζονται για την ολοκλήρωση και του δεύτερου κλάδου. Έτσι έχουμε περίπου 304 ημέρες. Υπενθυμίζεται ότι θα χρησιμοποιηθούν δύο Μηχανές Ολομέτωπης Κοπής, μία για τον κάθε κλάδο.
- Αποσυναρμολόγηση των TBM στον σταθμό των Παλουκίων, που θα διαρκέσει περίπου ένα μήνα.
- 2 χρόνια για την εγκατάσταση Η/Μ εξοπλισμού και την ολοκλήρωση της κατασκευής των σταθμών, ήτοι 730 ημέρες, από τις οποίες οι 470 είναι εργάσιμες.

Τα υπόλοιπα υποέργα, όπως η σύνδεση της σήραγγας με το φρέαρ του Αγίου Γεωργίου, αφού το προσπεράσουν τα TBM, καθώς και η κατασκευή του

επιστάθμου των Παλουκίων, θα κατασκευαστούν παράλληλα με τα προαναφερθέντα και έτσι ο χρόνος που θα χρειαστούν δεν συμπεριλαμβάνεται στο συνολικό χρόνο κατασκευής του Έργου.

Τα δεδομένα αυτά φαίνονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα:

Τύπος έργου	Ημέρες
Διαμόρφωση εργοταξιακών χώρων	24
Εκσκαφή και κατασκευή των σταθμών και του φρέατος	94
Συναρμολόγηση TBM	24
Διάνοιξη σήραγγας	304
Αποσυναρμολόγηση TBM	24
Εγκατάσταση Η/Μ και ολοκλήρωση σταθμών	470
ΣΥΝΟΛΟ	940

Πίνακας 6: Απαιτούμενος χρόνος για την ολοκλήρωση κάθε εργασίας (σε εργάσιμες ημέρες)

Έτσι λοιπόν, προκύπτει πως ο συνολικός χρόνος κατασκευής του Έργου θα ανέλθει 4 χρόνια περίπου, ή πιο συγκεκριμένα σε 940 εργάσιμες.

Αμέσως μετά την ολοκλήρωση των εργασιών, η υποτυθιμένα σήραγγα, θα τεθεί σε λειτουργία. Για να συμβεί αυτό, θεωρούμε ως δεδομένο πως θα έχει ήδη κατασκευαστεί η επέκταση του Μετρό ως την ακτή του Περάματος.

Το παραπάνω χρονοδιάγραμμα, πρέπει να τονιστεί, ότι καταρτίστηκε με δεδομένο πως δε θα υπάρξουν καθυστερήσεις στο Έργο.



Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ροής των κύριων εργασιών

7.2 ΠΡΟΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΨΟΥΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Κόστος επένδυσης

Το συνολικό ύψος της επένδυσης που απαιτείται για την κατασκευή του έργου «Υποθαλάσσια Σιδηροδρομική Ζεύξη Σαλαμίνας – Περάματος», υπολογίζεται ότι θα ανέλθει σε 158.000.000 ευρώ. Το ποσό αυτό θα δοθεί τμηματικά κατά τη διάρκεια κατασκευής του Έργου.

Αναλυτικότερα:

- Για την ολοκλήρωση του κάθε μέτρου σήραγγας, απαιτούνται 9.000 ευρώ. Άρα για τα συνολικά 6.080 μέτρα (3.040 κάθε κλάδος) που πρόκειται να κατασκευάσουμε, απαιτούνται 54.720.000 ευρώ.
- Για την αγορά κάθε μηχανής TBM, χρειάζονται περί τα 8.000.000 ευρώ. Επομένως εφόσον πρόκειται να χρησιμοποιηθούν 2 TBM στο παρόν έργο θα χρειαστούν 16.000.000 ευρώ
- Για την κατασκευή και τη διαμόρφωση ενός σταθμού μετρό, κατά μέσον όρο χρειάζονται 6.500 ευρώ για τα έργα Πολιτικού Μηχανικού και 4.500 ευρώ για τα ηλεκτρομηχανολογικά έργα ανά τετραγωνικό μέτρο, δηλαδή συνολικά 36.300.000 ευρώ. Άρα λοιπόν, απαιτούνται 72.600.000 ευρώ για την κατασκευή των σταθμών «Πέραμα» και «Παλούκια».
- Για την κατασκευή του επίσταθμου στα Παλούκια, του φρέατος αερισμού στον Άγιο Γεώργιο και των συνδετήριων σηράγγων θα χρειαστούν περί τα 1.800.000 ευρώ.
- Για έκτακτες δαπάνες που ενδέχεται να απαιτηθούν, θα υπάρχουν ακόμη 12.880.000 ευρώ ως αποθεματικό.

Τα έξοδα παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα:

Τύπος Έργου	Κόστος
Διάνοιξη σήραγγας	54.720.000€
Αγορά TBM	16.000.000€
Κατασκευή σταθμών	72.600.000€
Κατασκευή επίσταθμου, φρέατος & συνδετήριων σηράγγων	1.800.000€
Έκτακτες δαπάνες	12.880.000€
ΣΥΝΟΛΟ	158.000.000€

Πίνακας 7: Ύψος επένδυσης

Έσοδα από την εκμετάλλευση του Έργου

Το μοναδικό έσοδο που θα λαμβάνει η εταιρεία που θα αναλάβει την κατασκευή και λειτουργία του Έργου, είναι η είσπραξη του αντιτίμου του εισιτηρίου που θα πρέπει να καταβάλλουν οι επιβάτες.

Επειδή πρόκειται για ένα δαπανηρό έργο και λόγω της διευκόλυνσης που θα παρέχει στους επιβάτες σε σχέση με τα ferry boats αλλά και της ανάπτυξης που θα επιφέρει στην περιοχή, προτείνεται η χρήση ειδικού εισιτηρίου όπως εφαρμόζεται και για τις μετακινήσεις από και προς το Αεροδρόμιο «Ελευθέριος Βενιζέλος». Το αντίτιμο του εισιτηρίου θα μπορούσε να τοποθετηθεί στο 1,5 ευρώ, κατά τι δηλαδή προσαυξημένο από την τιμή του ενιαίου εισιτηρίου για τα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς το 2015, δηλαδή 1,20 ευρώ.

Για τους κατοίκους του νησιού που θα χρησιμοποιούν το Μετρό σε καθημερινή βάση θα μπορούσε υπάρχει κάποιο ειδικό εισιτήριο με μειωμένο αντίτιμο. Ενδεικτικά, το ειδικό αυτό εισιτήριο, θα μπορούσε να πωλείται προς 80λεπτά του ευρώ, και έτσι δεν θα ετίθετο ζήτημα πρόσθετης οικονομικής επιβάρυνσης των κατοίκων για τη μετακίνησή τους απέναντι, σε σχέση με το ποσό που ήδη καλούνται να καταβάλλουν για τη μεταφορά τους με τα υπάρχοντα επιβατηγά - οχηματαγωγά πλοία. Λόγω έλλειψης στοιχείων όμως, δε θα το λάβουμε υπόψη για την εκτίμηση της επένδυσης στην παρούσα διπλωματική.

Εκτίμηση αριθμού επιβατών

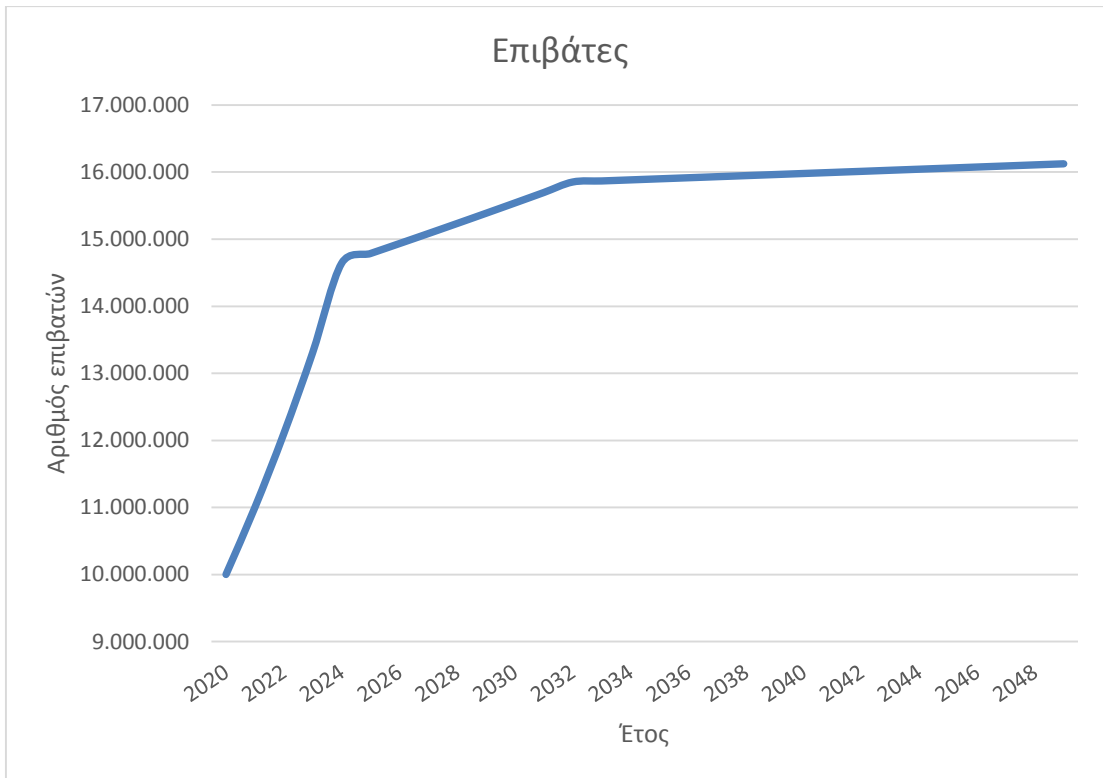
Τα τελευταία χρόνια, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, διέρχονται από το Στενό περί τα 11 εκατομμύρια επιβάτες και 4 εκατομμύρια οχήματα ετησίως μέσω των ferry boats.

Με την κατασκευή του Έργου, λόγω της εύκολης και γρήγορης σύνδεσης της Σαλαμίνας με την Αττική μέσω του μετρό, ο αριθμός των διερχόμενων επιβατών πρόκειται να αυξηθεί, όπως εξηγήθηκε εκτενέστερα και σε προηγούμενο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Πλέον όσοι επιλέγουν να περάσουν απέναντι χωρίς κάποιο όχημα θα επιλέγουν το μετρό, ενώ παράλληλα πολλοί από εκείνους που μετέφεραν ως τώρα τα οχήματά τους, θα αποθαρρυνθούν από το να συνεχίσουν να το κάνουν, εφόσον θα μπορούν εύκολα πλέον να μεταβούν στον τελικό προορισμό τους μέσω της συγκοινωνίας. Επίσης, περισσότερος κόσμος θα προτιμήσει να επισκεφθεί τη Σαλαμίνα λόγω της ευκολίας που θα προσφέρει το μετρό.

Έτσι λοιπόν, εκτιμάται ότι από τα 11 εκ. επιβατών που διέρχονται το Στενό μέσω της ακτοπλοϊκής σύνδεσης, τα 8 εκ. θα επιλέξουν το Μετρό για τις μετακινήσεις τους, καθώς οι υπόλοιποι ενδέχεται να προτιμήσουν να μεταφέρουν και το όχημά τους μέσω των ferry boats. Επίσης προβλέπεται πως μόλις το Έργο τεθεί σε λειτουργία, θα υπάρξει μια αύξηση των επιβατών κατά 25% για τους λόγους που εξηγήθηκαν και παραπάνω. Επομένως κατά το πρώτο έτος λειτουργίας, αναμένεται να διέλθουν από τα Στενά Σαλαμίνας – Περάματος, μέσω του μετρό, περί τα 10.000.000 επιβάτες.

Επίσης, για τα επόμενα 4 έτη, ο αριθμός των επιβατών αναμένεται να αυξάνεται κατά 10% ετησίως καθώς η Σαλαμίνα θα αναπτύσσεται ως προορισμός για την αναψυχή πολλών κατοίκων της Αττικής και όχι μόνο. Από το 2023 και μετά, προβλέπεται μια ετήσια αύξηση της τάξης του 1% μέχρι και το 2030. Από εκεί και έπειτα, δεν προβλέπονται αυξήσεις στη διέλευση, εφόσον το έργο θα έχει φτάσει στην πλήρη ανάπτυξη του.

Στο παρακάτω γράφημα, παρουσιάζεται η εκτιμώμενη διακύμανση του αριθμού των επιβατών που αναμένεται να διέλθουν από το Στενό μέσω της υποπυθμείας σήραγγας, για τα πρώτα 30 έτη λειτουργίας του Έργου.



Γράφημα 1: Διέλευση επιβατών 2020-2049

Όπως βλέπουμε, ο αριθμός των επιβατών από τα 10.000.000 που αναμένεται να ανέρχεται κατά το πρώτο έτος λειτουργίας του Έργου, βάσει των εκτιμήσεων, πρόκειται να ξεπεράσει τα 14 εκατομμύρια το 2024. Το έτος 2032, δηλαδή μετά από 13 χρόνια λειτουργίας του, αναμένεται να φτάσει στο peak του, με τους επιβάτες να προσεγγίζουν να 16 εκατομμύρια ετησίως. Ο αριθμός αυτός αναμένεται να διατηρηθεί σταθερός μέχρι και το πέρας των 30 ετών λειτουργίας του Έργου, δηλαδή το 2049.

Στον πίνακα που ακολουθεί, απεικονίζονται τα ετήσια οικονομικά δεδομένα που αναμένονται. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται τα δεδομένα σχετικά με τον κύκλο εργασιών, τις πάγιες δαπάνες, τις ετήσιες ροές καθώς και τις ταμειακές ροές, από την εκκίνηση της κατασκευής του Έργου, μέχρι και την ολοκλήρωση 30 ετών από τη λειτουργία του.

Για την κατάρτιση του πίνακα ταμειακών ροών του Έργου, απαιτείται η γνώση των ακόλουθων:

- Ύψος επένδυσης: Το επενδυθέν κεφάλαιο για την κατασκευή του έργου που, όπως υπολογίστηκε και παραπάνω, ανέρχεται σε 158.000.000 ευρώ.
- Ετήσια έσοδα: Τα χρήματα που θα εισπράττει η εταιρεία από την καταβολή του αντιτίμου του εισιτηρίου σε ετήσια βάση.
- Ετήσιες δαπάνες (σταθερά και αναλογικά λειτουργικά έξοδα, τόκοι, χρεολύσια, φόρος εισοδήματος, επιπρόσθετες εκταμιεύσεις κεφαλαίου, π.χ. για ανανέωση εξοπλισμού): Τα χρήματα που πρέπει να δαπανώνται κάθε χρόνο για τη συντήρηση και λειτουργία του έργου.
- Αποσβέσεις: Οι αποσβέσεις είναι η λογιστική διαπίστωση της ζημιάς που προκαλείται στην αξία του ενεργητικού με την χρήση ή με την πάροδο του χρόνου. Η πρακτική των αποσβέσεων συνίσταται στην αφαίρεση ενός συγκεκριμένου ποσού από τα ακαθάριστα κέρδη σε ετήσια βάση, μέχρις ότου το άθροισμα των ετήσιων αποσβέσεων να γίνει ίσο με την αξία αγοράς των πάγιων στοιχείων.

Έτσι με δεδομένα τα παραπάνω, στον πίνακα ταμειακών ροών υπολογίζονται επίσης:

- Ακαθάριστα κέρδη: Η διαφορά των ετήσιων εσόδων με το ετήσιο λειτουργικό κόστος. Είναι τα κέρδη της εταιρείας ανά έτος χωρίς την καταβολή των φόρων.
- Φορολογητέο εισόδημα: Τα προς φορολόγηση έσοδα της εταιρείας που προκύπτουν από τη διαφορά των ακαθάριστων κερδών με τις αποσβέσεις.
- Φόροι: Τα καταβαλλόμενα ποσά για την εξυπηρέτηση των φορολογικών υποχρεώσεων. Υπολογίζονται ως το γινόμενο του φορολογητέου εισοδήματος επί τον φορολογικό συντελεστή (στην περίπτωση μας 26%).
- Ετήσιες ταμειακές ροές: Ορίζεται ως η διαφορά των ταμειακών εισροών και εκροών.
- Ταμειακή ροή: Η ταμειακή ροή του επενδυτικού σχεδίου ορίζεται ως το αλγεβρικό άθροισμα της ροής όλων των ετών της ζωής της επένδυσης

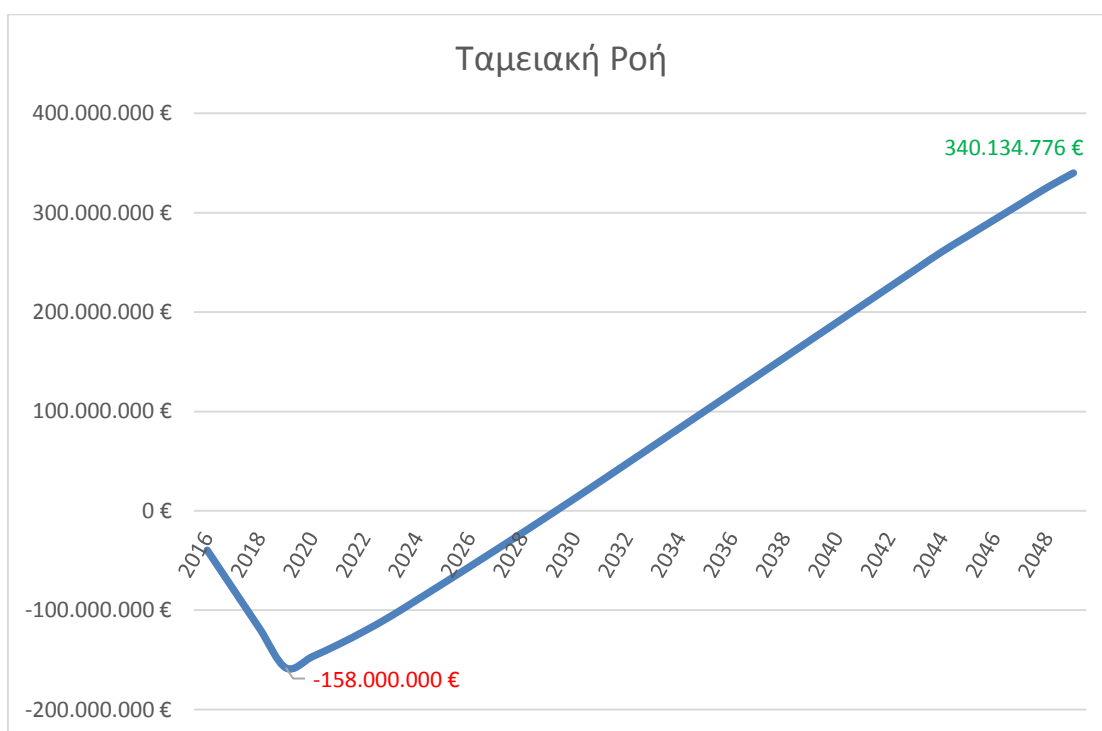
	ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ	ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΑΚΑΘΑΡΙΣΤΑ ΚΕΡΔΗ	ΑΠΟΣΒΕΣΕΙΣ	ΦΟΡΟΛΟΓΗΤΟ ΕΙΣΟΔΗΜΑ	ΦΟΡΟΙ	ΕΤΗΣΙΕΣ ΤΑΜΕΙΑΚΕΣ ΡΟΕΣ	ΤΑΜΕΙΑΚΗ ΡΟΗ
2016	39.500.000 €							-39.500.000 €	-39.500.000 €
2017	39.500.000 €							-39.500.000 €	-79.000.000 €
2018	39.500.000 €							-39.500.000 €	-118.500.000 €
2019	39.500.000 €							-39.500.000 €	-158.000.000 €
2020		15.000.000 €	2.000.000 €	13.000.000 €	6.320.000 €	6.680.000 €	1.736.800 €	11.263.200 €	-146.736.800 €
2021		16.500.000 €	2.000.000 €	14.500.000 €	6.320.000 €	8.180.000 €	2.126.800 €	12.373.200 €	-134.363.600 €
2022		18.150.000 €	2.000.000 €	16.150.000 €	6.320.000 €	9.830.000 €	2.555.800 €	13.594.200 €	-120.769.400 €
2023		19.965.000 €	2.000.000 €	17.965.000 €	6.320.000 €	11.645.000 €	3.027.700 €	14.937.300 €	-105.832.100 €
2024		21.961.500 €	2.000.000 €	19.961.500 €	6.320.000 €	13.641.500 €	3.546.790 €	16.414.710 €	-89.417.390 €
2025		22.181.115 €	2.000.000 €	20.181.115 €	6.320.000 €	13.861.115 €	3.603.890 €	16.577.225 €	-72.840.165 €
2026		22.402.926 €	2.000.000 €	20.402.926 €	6.320.000 €	14.082.926 €	3.661.561 €	16.741.365 €	-56.098.800 €
2027		22.626.955 €	2.000.000 €	20.626.955 €	6.320.000 €	14.306.955 €	3.719.808 €	16.907.147 €	-39.191.653 €
2028		22.853.225 €	2.000.000 €	20.853.225 €	6.320.000 €	14.533.225 €	3.778.638 €	17.074.586 €	-22.117.066 €
2029		23.081.757 €	2.000.000 €	21.081.757 €	6.320.000 €	14.761.757 €	3.838.057 €	17.243.700 €	-4.873.366 €
2030		23.312.575 €	2.000.000 €	21.312.575 €	6.320.000 €	14.992.575 €	3.898.069 €	17.414.505 €	12.541.140 €
2031		23.545.701 €	2.000.000 €	21.545.701 €	6.320.000 €	15.225.701 €	3.958.682 €	17.587.018 €	30.128.158 €
2032		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	47.889.415 €
2033		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	65.650.671 €
2034		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	83.411.928 €
2035		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	101.173.184 €
2036		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	118.934.441 €
2037		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	136.695.697 €
2038		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	154.456.954 €
2039		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	172.218.211 €
2040		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	189.979.467 €
2041		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	207.740.724 €
2042		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	225.501.980 €
2043		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	243.263.237 €
2044		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	261.024.494 €
2045		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	277.142.550 €
2046		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	293.260.607 €
2047		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	309.378.663 €
2048		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	325.496.720 €
2049		23.781.158 €	4.000.000 €	19.781.158 €		19.781.158 €	5.143.101 €	14.638.057 €	340.134.776 €

Πίνακας 8: Ταμειακές ροές

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα, το Έργο στο δέκατο χρόνο λειτουργίας του, αναμένεται να έχει αποσβέσει το επενδυθέν κεφάλαιο. Έτσι, από το 2030 και μετά, οι καθαρές ταμειακές ροές του Έργου θα είναι θετικές, δηλαδή καταγράφει καθαρά κέρδη ετησίως.

Το 2049, 30 χρόνια δηλαδή μετά το έτος παράδοσης του Έργου στο κοινό, η εταιρεία που θα το εκμεταλλεύεται, αναμένεται να έχει συνολικά κέρδη από αυτό που θα ανέρχονται σε 340.134.776 ευρώ, πάνω από 2 φορές δηλαδή μεγαλύτερο από το επενδυθέν κεφάλαιο.

Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η διακύμανση της ταμειακής ροής του συγκεκριμένου επενδυτικού σχεδίου από την έναρξη της κατασκευής μέχρι και τα 30 χρόνια λειτουργίας του.

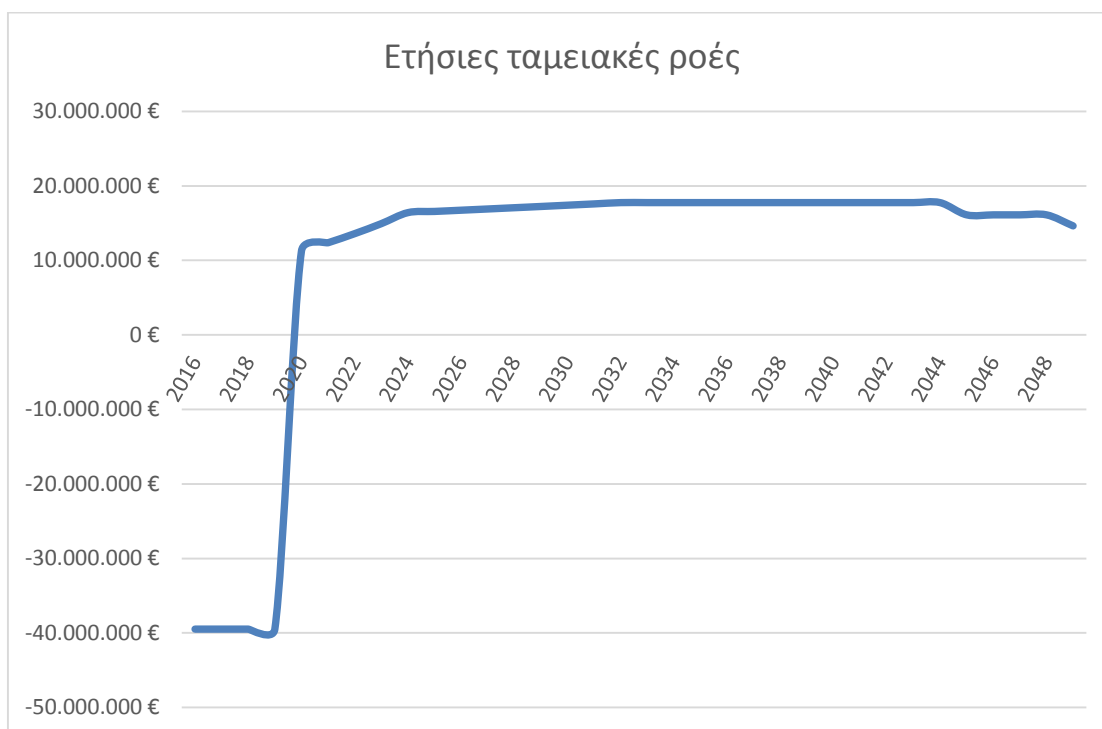


Γράφημα 2: Ταμειακή Ροή

Από το 2032 ως και το 2044, οι ετήσιες ροές παίρνουν τη μεγαλύτερη τιμή τους και φτάνουν στα 17.761.257 ευρώ.

Επίσης τα ετήσια έσοδα από 15.000.000 που φτάνουν κατά το πρώτο έτος λειτουργίας του Έργου, από το 2032 και έπειτα ανέρχονται σε 23.781.158 ευρώ,

καταγράφοντας αύξηση της τάξης του 36,9%. Αναλυτικότερα οι ετήσιες ταμειακές ροές του Έργου από το έτος εκκίνησης της κατασκευής έως το πέρας των 30 ετών λειτουργίας του, φαίνονται στο ακόλουθο γράφημα.



Γράφημα 3: Ετήσιες ταμειακές ροές

Επίσης, οι ετήσιες δαπάνες κατά τη λειτουργία του Έργου, έχουν υπολογιστεί σε 2.000.000 ευρώ. Σε αυτές περιλαμβάνονται οι μισθοί των εργαζομένων στους σταθμούς, στην ασφάλεια και στην συντήρηση, το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος για το σύνολο του Έργου, καθώς και το κόστος για τις απαιτούμενες εργασίες συντήρησης που θα πραγματοποιούνται αλλά και την απόκτηση του κατάλληλου εξοπλισμού. Στα λειτουργικά κόστη, δεν περιλαμβάνονται οι δαπάνες για την αγορά των συρμών, αφού θεωρείται πως η εταιρεία μπορεί να πραγματοποιήσει τα δρομολόγια αξιοποιώντας τους ήδη υπάρχοντες.

Στο τριακοστό έτος λειτουργίας, πρόκειται να πραγματοποιηθεί μια γενική επισκευή στον Η/Μ εξοπλισμό καθώς και στους χρησιμοποιούμενους συρμούς. Το συνολικό κόστος της επισκευής αναμένεται να ανέλθει σε 2.000.000 ευρώ.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημανθεί ότι δεν έχει υπολογισθεί η υπολειμματική αξία του έργου, αφού με το πέρας της τριακονταετίας, θα πρέπει να επαναξιολογηθεί η πραγματική αξία της επένδυσης.

7.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Για την αξιολόγηση της επένδυσης, θα πρέπει να υπολογιστούν κάποια κριτήρια αξιολόγησης επενδυτικών σχεδίων. Αυτά είναι η «Καθαρά Παρούσα Αξία» (Net Present Value, NPV), καθώς και ο Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (Internal Rate of Return, IRR). Επίσης, θα εκτιμηθεί ο Χρόνος Ανάκτησης Κεφαλαίων (payback period)

7.3.1 Καθαρά Παρούσα Αξία (Net Present Value - NPV)

Καθαρά Παρούσα Αξία είναι το άθροισμα των παρουσών αξιών των εισερχόμενων και εξερχόμενων ταμειακών ροών κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου (στην περίπτωσή μας 30 χρόνια). Μετράει το πλεόνασμα ή την έλλειψη ταμειακών ροών, σε όρους παρούσας αξίας, σε σχέση με το κόστος κεφαλαίων που χρησιμοποιήθηκαν για μια επένδυση.

Η ΚΠΑ υπολογίζεται από τον εξής τύπο:

$$\text{ΚΠΑ} = \sum_{t=1}^N \frac{\text{Ταμειακές Εισροές}}{(1+r)^t} - \text{Αρχική Επένδυση}$$

t = Χρονική περίοδος

N = Χρονική διάρκεια της επένδυσης

r = Προεξοφλητικό επιτόκιο

Το επιτόκιο προεξόφλησης καθορίζεται από τον επενδυτικό φορέα με υποκειμενικά κατά βάση κριτήρια και εκφράζει είτε το κόστος κεφαλαίου της επιχείρησης είτε το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο για να καλύψει τον κίνδυνο της επένδυσης έναντι μιας πιο ασφαλούς τοποθέτησης (π.χ. κρατικά ομόλογα)(Καλιαμπάκος Δ., Δαμίγος Δ., 2009).

Εκφράζει την αξία που προκύπτει από την προεξόφληση στο παρόν όλων των ετήσιων καθαρών χρηματοροών που προβλέπονται σε ολόκληρο το χρονικό ορίζοντα ζωής μίας επένδυσης. Η τεχνική της Καθαρής Παρούσας Αξίας μετατρέπει όλα τα κόστη (εκροές) και τα οφέλη (εισροές) της επένδυσης σε σημερινές αξίες, δηλαδή εκφράζει το καθαρό όφελος ή κόστος στη χρονική στιγμή που λαμβάνεται η απόφαση.

Όταν εξετάζεται ένα εναλλακτικό σχέδιο ανεξάρτητα από εναλλακτικές επιλογές, τότε οι όροι αποδοχής ή απόρριψής του σε σχέση με την Καθαρά Παρούσα Αξία διαμορφώνονται ως εξής:

- $KPA > 0$, η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα
- $KPA = 0$, το οικονομικό αποτέλεσμα της επένδυσης είναι οριακό
- $KPA < 0$, η επένδυση απορρίπτεται

Για το Έργο μας, θεωρώντας επιτόκιο προεξόφλησης 8%, υπολογίζουμε ότι η Καθαρά Παρούσα Αξία ανέρχεται σε 967.201 €. Εφόσον $NPV > 0$, η επένδυσή μας με κριτήριο την Καθαρά παρούσα Αξία κρίνεται ως συμφέρουσα.

7.3.2 Εσωτερικός Δείκτης Απόδοσης (Internal Rate of Return - IRR)

Όταν το επιτόκιο προεξόφλησης για μια συγκεκριμένη χρηματοροή αυξάνει, η ΚΠΑ της χρηματοροής μειώνεται. Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR) του κεφαλαίου μπορεί να οριστεί ως το επιτόκιο προεξόφλησης που μηδενίζει τη χρηματοροή, δηλαδή εκείνο το επιτόκιο που εξισώνει την αρχική επένδυση με την αξία όλων των μελλοντικών ταμιακών ροών. Η διαφορά μεταξύ του επιτοκίου που δίνεται από το IRR και του επιτοκίου της προεξόφλησης έγκειται στο γεγονός ότι το πρώτο προσδιορίζεται από τα χαρακτηριστικά του πίνακα των ταμιακών ροών (για

το λόγο αυτό καλείται και εσωτερική απόδοση) ενώ το επιτόκιο προεξόφλησης καθορίζεται εξωγενώς από τον επενδυτικό φορέα.

Το IRR υπολογίζεται από τον εξής τύπο:

$$ΚΠΑ = 0 = \sum_{t=1}^n \frac{ΚΤΡ_t}{(1+EBA)^t} - E_0$$

όπου: $ΚΤΡ_t$ = η Καθαρή Ταμειακή Ροή το έτος t

E_0 = η αρχική επένδυση το χρόνο $t=0$

n = η διάρκεια ζωής του επενδυτικού σχεδίου

EBA = το επιτόκιο προεξόφλησης που καθιστά την $ΚΠΑ = 0$

Όταν εξετάζεται ένα εναλλακτικό σχέδιο ανεξάρτητα από εναλλακτικές επιλογές, τότε οι όροι αποδοχής ή απόρριψής του σε σχέση με τον Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης διαμορφώνονται ως εξής:

- $IRR >$ από το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα
- $IRR =$ με το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση θεωρείται οριακή, εφαρμόζεται όταν δεν υπάρχει καλύτερη εναλλακτική λύση
- $IRR <$ από το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση απορρίπτεται.

Στην περίπτωση μας, με τα παραπάνω δεδομένα, υπολογίζουμε ότι ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης είναι 17%. Εφόσον, το IRR είναι μεγαλύτερο του Επιτοκίου Προεξόφλησης που θεωρήσαμε (8%), η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα. Όμως η τελική κρίση επαφίεται στον επενδυτή.

7.3.3 Χρόνος ανάκτησης κεφαλαίου (payback period)

Το κριτήριο του χρόνου ανάκτησης του κεφαλαίου (Payback period) ανήκει στα καλούμενα ατελή κριτήρια (Τσώλας, 2002, Μπλέσιος, 1991). Ορίζεται ως το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να καλυφθεί η δαπάνη της αρχικής επένδυσης από τις ετήσιες ταμειακές ροές μετά φόρων. Το συγκεκριμένο κριτήριο, σύμφωνα με τον Runge, επικρίνεται ως προς δύο σημεία. Πρώτον, δεν λαμβάνει υπόψη τη διαχρονική αξία του χρήματος και δεύτερον, δεν λαμβάνει υπόψη τις ταμειακές ροές που πραγματοποιούνται μετά την περίοδο επανείσπραξης του κεφαλαίου επένδυσης. (Καλιαμπάκος Δ., Δαμιγος Δ., 2009)

Το κριτήριο εφαρμόστηκε και εφαρμόζεται ευρέως, καθώς κατά μία έννοια εκφράζει το χρονικό διάστημα κατά το οποίο το επενδυμένο κεφάλαιο βρίσκεται «υπό κίνδυνο». Όσο μικρότερη είναι η περίοδος ανάκτησης του κεφαλαίου τόσο ασφαλέστερη θεωρείται η επένδυση. Γενικά, σχέδια με περίοδο ανάκτησης κεφαλαίου μεγαλύτερη από 7-8 χρόνια θεωρούνται από τους επενδυτές ριψοκίνδυνα ή χαμηλής απόδοσης (Torrises, 1998). Ένα άλλο ενδιαφέρον σημείο ως προς το κριτήριο αυτό είναι ότι προσφέρει μια καλή εικόνα των εσόδων που εισρέουν από την επένδυση. (Καλιαμπάκος Δ., Δαμιγος Δ., 2009)

Στη δική μας επένδυση, όπως είδαμε από τον πίνακα ταμειακών ροών, η αρχική επένδυση καλύπτεται από της ετήσιες ταμειακές ροές, το 2030, δηλαδή, ο χρόνος ανάκτησης του κεφαλαίου είναι 10 χρόνια. Αυτός ο χρόνος αποπληρωμής κρίνεται ιδιαιτέρως ικανοποιητικός άρα και σύμφωνα με αυτό το κριτήριο η επένδυση που σχεδιάζουμε κρίνεται συμφέρουσα.

7.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Οι τιμές των οικονομικών παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για την οικονομική αξιολόγηση του συστήματος συμπαραγωγής, εμπεριέχουν κάποιο βαθμό αβεβαιότητας. Η ευαισθησία της οικονομικής βιωσιμότητας της συγκεκριμένης επένδυσης, στις αλλαγές των τιμών κάποιων από των παραμέτρων είναι αντικείμενο της ανάλυσης ευαισθησίας.

Ο αντικειμενικός σκοπός της ανάλυσης ευαισθησίας είναι ο προσδιορισμός των πλέον κρίσιμων για την απόδοση της επένδυσης μεταβλητών. Συχνά, η ανάλυση ευαισθησίας χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τις τιμές συγκεκριμένων μεταβλητών (π.χ. τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος), οι οποίες αντιστρέφουν το τελικό αποτέλεσμα (δηλ. καθιστούν μια επένδυση απορριπτέα). (Καλιαμπάκος Δ., Δαμίγος Δ., 2009)

Σύμφωνα με τη διαδικασία που ακολουθείται από τη συγκεκριμένη μέθοδο, αρχικά υπολογίζεται το αποτέλεσμα (απόδοση) μιας επένδυσης με συγκεκριμένες τιμές στις βασικές μεταβλητές (π.χ. τιμή και μονάδες πώλησης, επιτόκιο προεξόφλησης, ύψος ετήσιων δαπανών, κ.λπ.). Στη συνέχεια, μεταβάλλεται η τιμή μιας μεταβλητής κατά διάφορα ποσοστά, διατηρώντας τις τιμές των υπολοίπων αμετάβλητες, και μετράται η μεταβολή του αποτελέσματος. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για καθεμία από τις βασικές μεταβλητές και υπολογίζονται οι επιπτώσεις στο αποτέλεσμα της επένδυσης. Ως παραλλαγή της μεθόδου μπορεί να εξεταστεί και η περίπτωση της ταυτόχρονης μεταβολής δύο ή περισσότερων εκ των βασικών μεταβλητών. (Καλιαμπάκος Δ., Δαμίγος Δ., 2009)

Όσον αφορά το Έργο, θα γίνει ανάλυση ευαισθησίας για να διαπιστωθεί πως επηρεάζονται τα βασικά κριτήρια για την αξιολόγηση της επένδυσης –δηλαδή η Καθαρά Παρούσα Αξία και ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης- με τη μεταβολή των εσόδων, του αρχικού κεφαλαίου, του λειτουργικού κόστους, καθώς και του επιτοκίου προεξόφλησης.

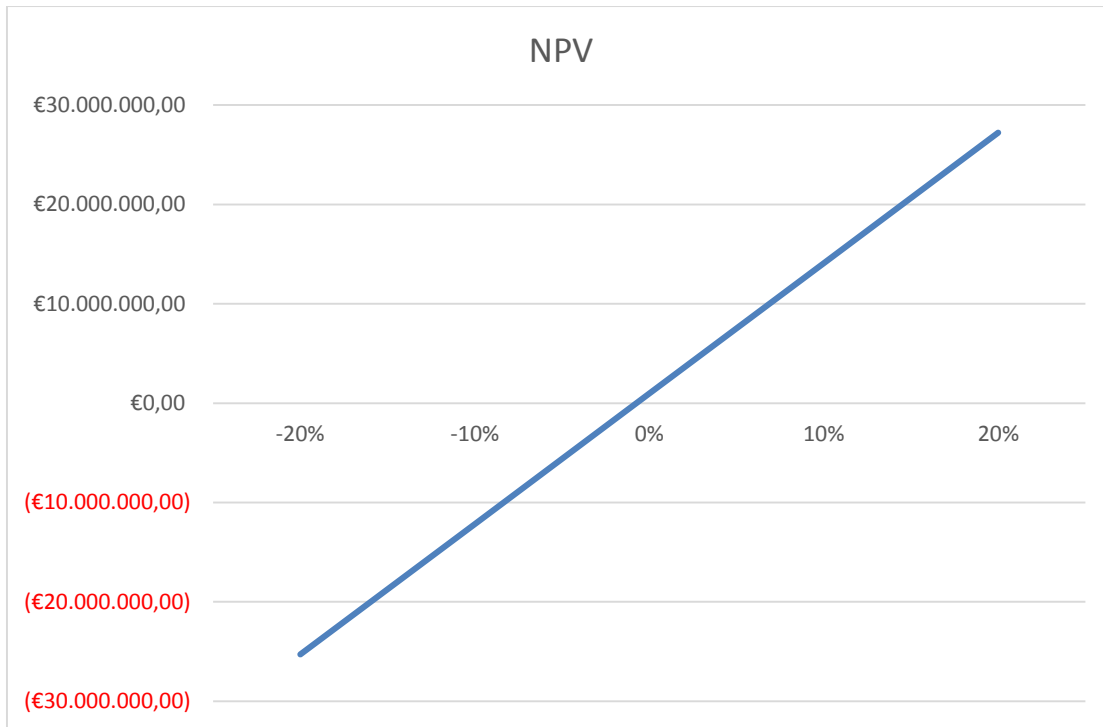
Ευαισθησία της επένδυσης στη μεταβολή των εσόδων (αριθμός επιβατών)

Για τον υπολογισμό των βασικών κριτηρίων για την αξιολόγηση της επένδυσης (NPV και IRR) καταστρώθηκαν πίνακες που περιλαμβάνουν τις αλλαγές στα έσοδα. Οι πίνακες αυτοί περιέχονται στο Παράρτημα.

Συγκεκριμένα καταστρώθηκαν 5 διαφορετικά σενάρια. Στο πρώτο τα έσοδα είναι μειωμένα από όσα υπολογίστηκαν παραπάνω κατά 20%, στο δεύτερο είναι

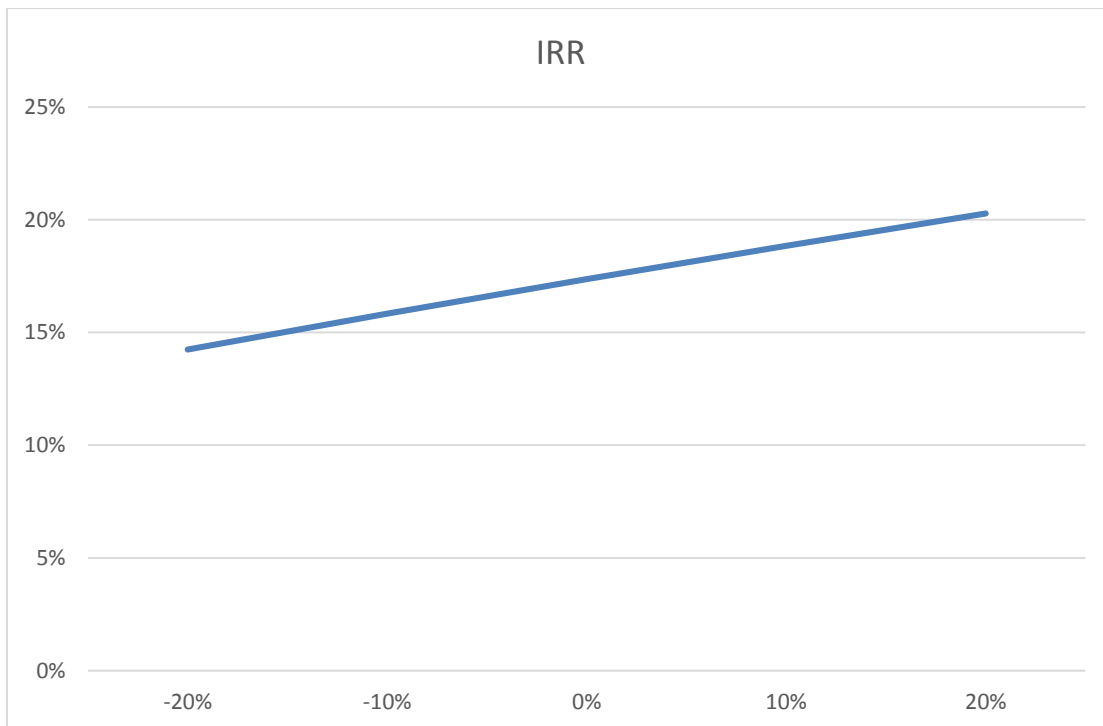
μειωμένα κατά 10%, στο τρίτο παραμένουν σταθερά, ενώ στο τέταρτο και το πέμπτο είναι αυξημένα κατά 10% και 20% αντίστοιχα.

Στο παρακάτω γράφημα φαίνεται η μεταβολή της Καθαρής Παρούσας Αξίας.



Γράφημα 4: Μεταβολή της ΚΠΑ ανάλογα με τη μεταβολή των εσόδων του Έργου

Από το παραπάνω γράφημα, διαπιστώνεται πως η Καθαρά Παρούσα Αξία του Έργου, παρουσιάζει αξιοσημείωτες μεταβολές ανάλογα με τη μεταβολή των εσόδων. Όταν τα έσοδα μειώνονται κατά 20%, η ΚΠΑ ανέρχεται σε -25.284.403 ευρώ, ενώ όταν τα έξοδα αυξάνονται κατά 20%, η ΚΠΑ φτάνει τα 27.218.807 ευρώ.



Γράφημα 5: Μεταβολή του IRR ανάλογα με τη μεταβολή των εσόδων του Έργου

Στο παραπάνω γράφημα, περιγράφεται η μεταβολή του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης της επένδυσης, ανάλογα με τη μεταβολή των εσόδων. Βλέπουμε ότι οι αλλαγές στο IRR είναι σημαντικές καθώς από το 14% που βρίσκεται όταν τα έσοδα είναι μειωμένα κατά 20% σε σχέση με τον αρχικό υπολογισμό, φτάνει στο 16% όταν τα έσοδα είναι όσα υπολογίστηκαν, ενώ όταν αυτά αυξηθούν κατά 20%, το IRR ανέρχεται σε 20%.

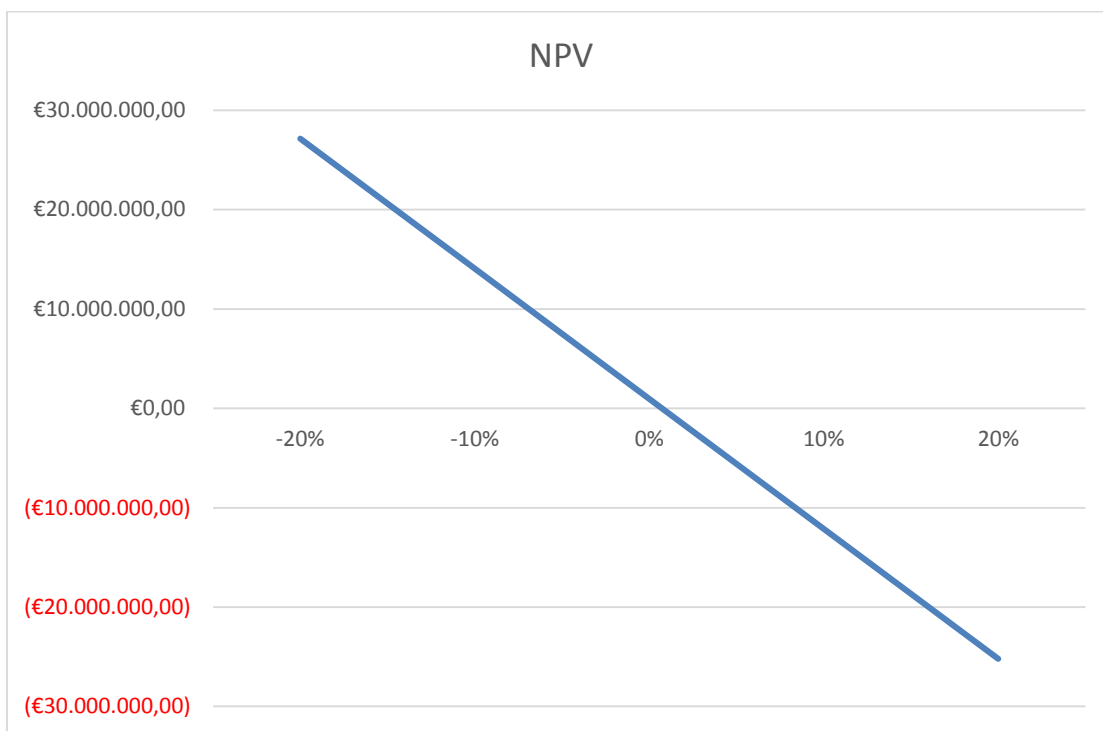
Από τα παραπάνω, λοιπόν, προκύπτει πως η παρούσα επένδυση, παρουσιάζει μια ευαισθησία στη μεταβολή των εσόδων.

Ευαισθησία της επένδυσης στη μεταβολή του αρχικού κεφαλαίου

Όπως προηγουμένως για τα έσοδα, έτσι και για το αρχικό κεφάλαιο ακολουθήθηκε ακριβώς η ίδια διαδικασία.

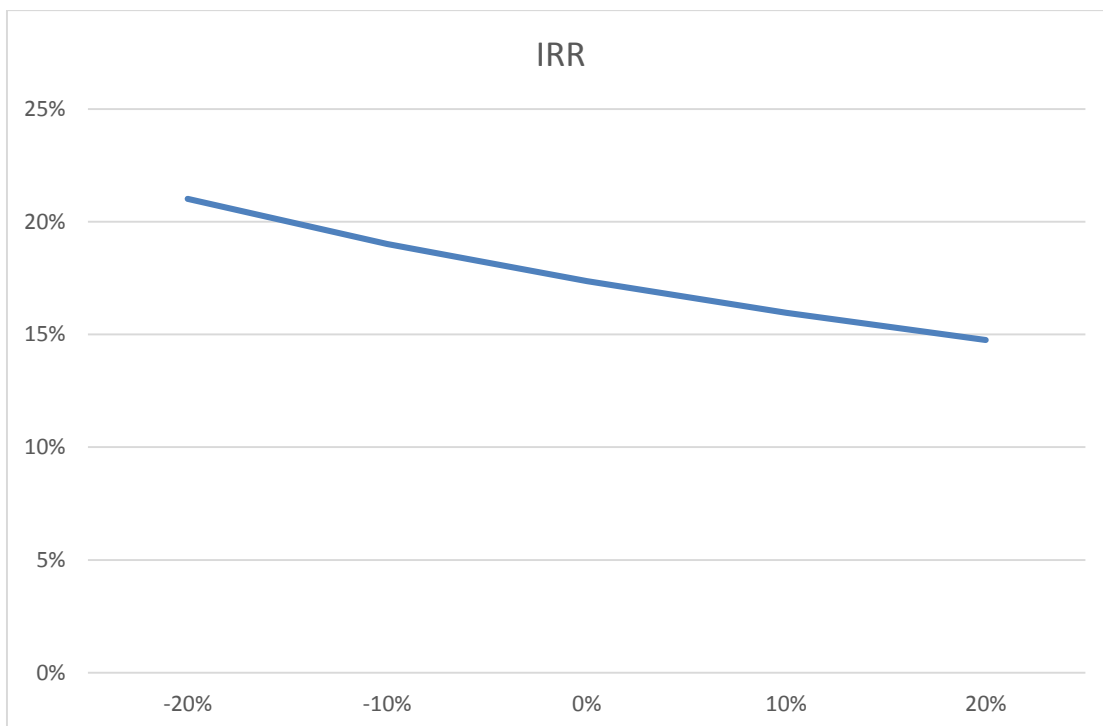
Για τον υπολογισμό των βασικών κριτηρίων για την αξιολόγηση της επένδυσης (NPV και IRR) καταστρώθηκαν πίνακες που περιλαμβάνουν τις αλλαγές στο επενδυθέν κεφάλαιο, οι οποίοι περιέχονται στο Παράρτημα.

Συγκεκριμένα, καταστρώθηκαν 5 διαφορετικά σενάρια. Στο πρώτο, η επένδυση που απαιτείται για την κατασκευή του Έργου, είναι μειωμένη σε σχέση με την υπολογισθείσα κατά 20%, στο δεύτερο είναι μειωμένη κατά 10%, στο τρίτο, το κεφάλαιο, παραμένει σταθερό, ενώ στο τέταρτο και το πέμπτο είναι αυξημένο κατά 10% και 20% αντίστοιχα.



Γράφημα 6: Μεταβολή της ΚΠΑ ανάλογα με τη μεταβολή του αρχικού κεφαλαίου

Στο γράφημα, παριστάνονται οι μεταβολές της Καθαρής Παρούσας Αξίας σε συνάρτηση με τις αλλαγές στο απαιτούμενο προς επένδυση κεφάλαιο για την υλοποίηση του Έργου. Η ραγδαία μεταβολή του NPV είναι ευδιάκριτη. Συγκεκριμένα, επισημαίνεται πως από σχεδόν 30 εκατομμύρια ευρώ όταν το κόστος επένδυσης είναι μειωμένο κατά 20%, η Καθαρά Παρούσα Αξία του Έργου φτάνει να είναι μικρότερη από -20 εκατομμύρια ευρώ αν το κόστος επένδυσης αυξηθεί κατά 20%.



Γράφημα 7: Μεταβολή του IRR ανάλογα με τη μεταβολή του αρχικού κεφαλαίου

Εδώ παρουσιάζεται η μεταβολή του IRR ανάλογα με τη μεταβολή του ύψους της αρχικής επένδυσης. Όπως φαίνεται, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης, εμφανίζει σημαντική μείωση, όσο το αρχικό κεφάλαιο αυξάνεται.

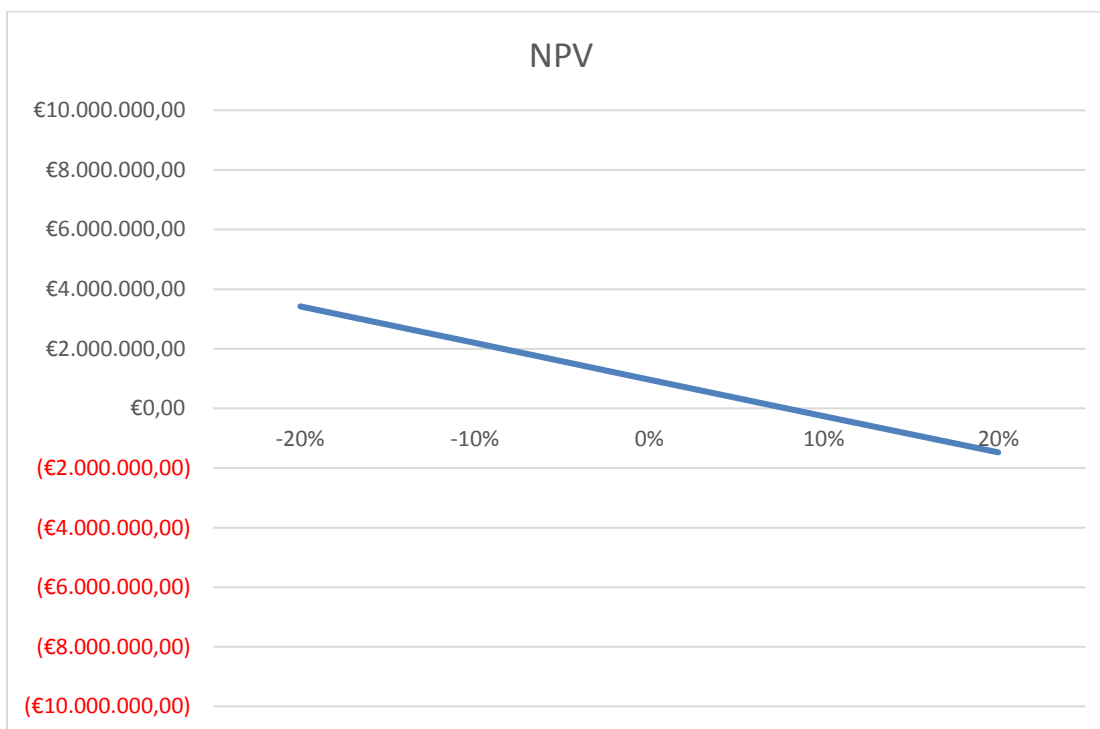
Άρα λοιπόν από τα παραπάνω, προκύπτει πως η επένδυσή που σχεδιάζεται, παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία στη μεταβολή του αρχικού κεφαλαίου.

Ευαισθησία της επένδυσης στη μεταβολή του λειτουργικού κόστους

Όπως προηγουμένως για τα έσοδα, έτσι και για το λειτουργικό κόστος ακολουθήθηκε ακριβώς η ίδια διαδικασία.

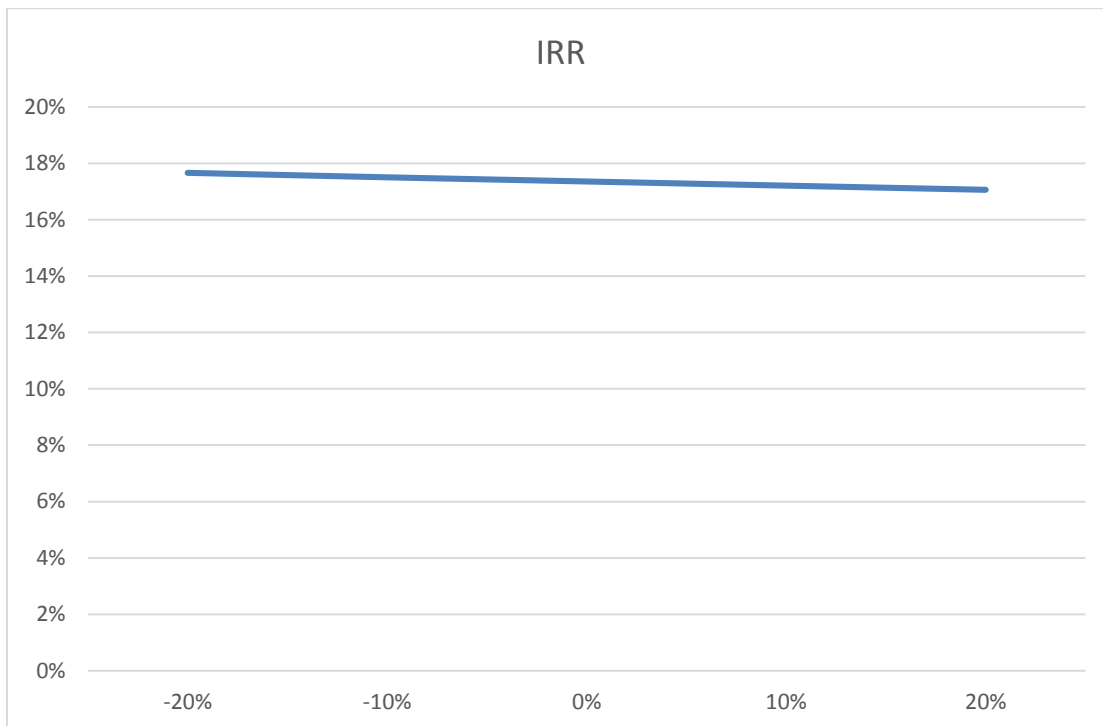
Για τον υπολογισμό των βασικών κριτηρίων για την αξιολόγηση της επένδυσης (NPV και IRR) καταστρώθηκαν πίνακες που περιλαμβάνουν τις αλλαγές στο λειτουργικό κόστος, οι οποίοι περιέχονται στο Παράρτημα.

Συγκεκριμένα, καταστρώθηκαν 5 διαφορετικά σενάρια. Στο πρώτο, το κόστος λειτουργίας του Έργου, είναι μειωμένο σε σχέση με το υπολογισθέν κατά 20%, στο δεύτερο είναι μειωμένο κατά 10%, στο τρίτο, το κόστος, παραμένει σταθερό, ενώ στο τέταρτο και το πέμπτο είναι αυξημένο κατά 10% και 20% αντίστοιχα.



Γράφημα 8: Μεταβολή της ΚΠΑ ανάλογα με τη μεταβολή του λειτουργικού κόστους του Έργου

Στο παραπάνω γράφημα παρουσιάζονται οι μεταβολές της NPV όταν αλλάζει το κόστος λειτουργίας. Όπως φαίνεται, όσο αυξάνεται το λειτουργικό κόστος, μειώνεται η Καθαρά Παρούσα Αξία.



Γράφημα 9: Μεταβολή του IRR ανάλογα με τη μεταβολή του λειτουργικού κόστους του Έργου

Στο γράφημα, παρουσιάζεται η μεταβολή του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης της επένδυσης, ανάλογα με τη μεταβολή του λειτουργικού κόστους. Όπως εύκολα διακρίνεται, παρά τις αλλαγές του κόστους, το IRR παραμένει σχεδόν σταθερό

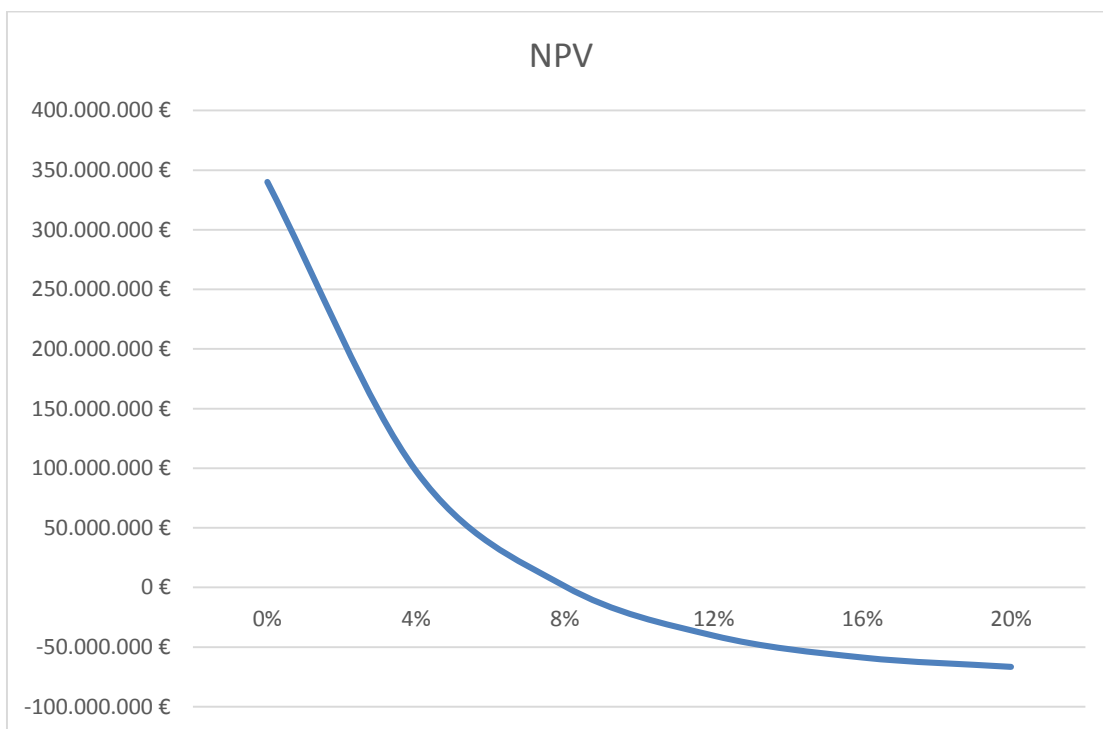
Έτσι λοιπόν, εφόσον το μεν NPV παρουσιάζει σχετικά μικρές μεταβολές, το δε IRR αμελητέες ανάλογα με τις αυξομειώσεις του κόστους λειτουργίας του Έργου, συμπεραίνεται ότι η συγκεκριμένη επένδυση δεν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στη συγκεκριμένη παράμετρο.

Ευαισθησία της επένδυσης στη μεταβολή του προεξοφλητικού επιτοκίου

Το προεξοφλητικό επιτόκιο, αποτελεί μία παράμετρο για τον υπολογισμό της Καθαρής Παρούσας Αξίας. Προκειμένου να παρατηρηθούν οι μεταβολές της ΚΠΑ ανάλογα με τις τιμές που δίνονται στο επιτόκιο προεξόφλησης,

καταστρώθηκαν πίνακες, οι οποίοι περιέχονται στο Παράρτημα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Για την αξιολόγηση της επένδυσης που πραγματοποιήθηκε παραπάνω, έγινε η παραδοχή ότι το προεξοφλητικό επιτόκιο θα ανέρχεται σε 8%. Για την ανάλυση ευαισθησίας, το επιτόκιο θα λάβει τις τιμές 0%, 4%, 8%, 12%, 16% και 20%.



Γράφημα 10: Μεταβολή της ΚΠΑ ανάλογα με τη μεταβολή του προεξοφλητικού επιτοκίου

Στο ανωτέρω γράφημα, παρουσιάζεται η μεταβολή της NPV σε σχέση με τη μεταβολή του επιτοκίου προεξόφλησης. Όπως εύκολα διακρίνεται από το γράφημα, η Καθαρά Παρούσα Αξία της επένδυσης επηρεάζεται ιδιαίτερα από το επιτόκιο προεξόφλησης.

Είναι λοιπόν εύκολα αντιληπτό ότι η επένδυση μας, παρουσιάζει ευαισθησία στο προεξοφλητικό επιτόκιο.

Από την ανάλυση της ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκε για τους παραπάνω οικονομικούς παράγοντες που δύνανται να επηρεάσουν το παρόν επενδυτικό σχέδιο, μπορεί να παρατηρηθεί ότι τα ετήσια έσοδα από το Έργο, το αρχικό κεφάλαιο που θα απαιτηθεί καθώς και το ύψος του προεξοφλητικού επιτοκίου, παίζουν μεγάλο ρόλο για τη βιωσιμότητα της επένδυσης. Δηλαδή, η σχεδιαζόμενη επένδυση, παρουσιάζει έντονη ευαισθησία σε αυτούς.

Αντιθέτως, το λειτουργικό κόστος, δε φαίνεται να αποτελεί έναν ιδιαίτερα σημαντικό παράγοντα, αφού τυχόν μεταβολή του μεταξύ -20% και +20% δεν επηρεάζουν σημαντικά τα βασικά κριτήρια αξιολόγησης της επένδυσης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρείται ο σχεδιασμός μόνιμης ζεύξης της νήσου Σαλαμίνας με το Πέραμα. Γίνεται μία παρουσίαση του Έργου, από την επιλογή του τρόπου ζεύξης έως την κατασκευή και λειτουργία της.

Αρχικά, αναλύονται οι πιθανοί τρόποι ζεύξης πορθμών και παρουσιάζονται παραδείγματα για τον κάθε έναν. Με κριτήρια την εξυπηρέτηση των κατοίκων της περιοχής και τις ιδιαιτερότητες της, καθώς και τον σεβασμό στο περιβάλλον, επιλέγεται ο τρόπος ζεύξης της Σαλαμίνας με το Πέραμα. Αυτός είναι η υποτυθμένα σιδηροδρομική σήραγγα και στη συνέχεια η σύνδεση της με το δίκτυο του Μετρό της Αθήνας. Πρόκειται για μία τεχνικά εφαρμόσιμη λύση, η οποία θα αναβαθμίσει το συγκοινωνιακό δίκτυο της Αττικής και θα επιφέρει βελτίωση του βιοτικού επιπέδου των κατοίκων.

Έπειτα, σχεδιάζεται η χάραξη της σήραγγας και της προαπαιτούμενης επέκτασης του Μετρό. Με στόχο την καλύτερη δυνατή λειτουργία και εξυπηρέτηση των κατοίκων της περιοχής, η σήραγγα, ξεκινώντας από την ακτή του Περάματος, θα διέλθει κάτω από τη νησίδα του Αγίου Γεωργίου (όπου θα διανοιγεί κατακόρυφο φρέαρ αερισμού) και θα φτάσει στην ακτή των Παλουκίων Σαλαμίνας. Επίσης, για λόγους ασφαλείας, επιλέγεται διδυμη σήραγγα με μικρές διατομές (ίδιες με αυτές του μετρό Θεσσαλονίκης), έναντι μίας σήραγγας με την τυπική διατομή του μετρό της Αθήνας.

Επόμενο βήμα είναι η ανάλυση της γεωλογίας τόσο στη θέση κατασκευής όσο και στην ευρύτερη περιοχή, και μέσω αυτής πραγματοποιείται η κατασκευή της γεωλογικής τομής κατά μήκος της χάραξης.

Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω, επιλέγεται η μέθοδος κατασκευής της σήραγγας, η οποία θα διανοιγεί με τη χρήση Μηχανής Ολομέτωπης Κοπής (TBM). Από τις υπάρχουσες μηχανές, λόγω των γεωλογικών συνθηκών που επικρατούν αλλά και της εμπειρίας των ντόπιων μηχανικών, επιλέγεται η Μηχανή Ολομέτωπης Κοπής με Ασπίδα Εξισορρόπησης της Πίεσης Εδάφους (EPB – TBM). Για την κατασκευή των σταθμών, κατόπιν αναλύσεως, επιλέγεται η εφαρμογή της μεθόδου ανοιχτού ορύγματος (cut & cover).

Στη συνέχεια, καταστρώνεται το χρονοδιάγραμμα κατασκευής του Έργου και υπολογίζεται το ύψος του προϋπολογισμού, σύμφωνα με την εμπειρία από αντίστοιχα έργα που έχουν υλοποιηθεί στη χώρα.

Τέλος, πραγματοποιείται η οικονομική αξιολόγηση του επενδυτικού σχεδίου με τη βοήθεια σχετικών κριτηρίων. Όπως προκύπτει, το Έργο κρίνεται συμφέρον για την ανάδοχο εταιρεία σύμφωνα με τα δεδομένα και τις παραδοχές που χρησιμοποιήθηκαν.

Η ανάλυση ευαισθησίας που γίνεται, καταδεικνύει την ευαισθησία της επένδυσης στη μεταβολή των εσόδων, του αρχικού κεφαλαίου της επένδυσης καθώς και του προεξοφλητικού επιτοκίου.

Επομένως, καθίσταται πλέον εύκολα αντιληπτό το γεγονός πως η κατασκευή της υποπυθμείας σήραγγας Μετρό, η οποία θα συνδέει τη νήσο Σαλαμίνα με την ακτή του Περάματος, είναι ταυτόχρονα επωφελής για τους κατοίκους της περιοχής, τεχνικά εφικτή αλλά και οικονομικά συμφέρουσα.

Οι κάτοικοι της περιοχής, όχι μόνο θα εξασφαλίσουν την ευκολότερη και ταχύτερη μετακίνηση τους, αλλά παράλληλα θα αποκτήσουν ένα καλύτερο βιοτικό επίπεδο, αφού η περιβαλλοντική ρύπανση και η κυκλοφοριακή συμφόρηση θα μειωθούν. Επίσης, η περιοχή θα γνωρίσει οικονομική ανάπτυξη, λόγω των θέσεων εργασίας που θα δημιουργηθούν κατά τη κατασκευή και τη λειτουργία του Έργου, τόσο άμεσα όσο και έμμεσα, ενώ ταυτόχρονα θα αποτελέσει έναν ελκυστικότερο τουριστικό προορισμό λόγω της ευκολίας μετακίνησης.

Ως προς την κατασκευή, πρόκειται για ένα έργο μικρό, που είναι δυνατόν να κατασκευαστεί, αφού η υπάρχουσα τεχνογνωσία και ο διαθέσιμος εξοπλισμός είναι επαρκείς. Μάλιστα, θα μπορούσε να αποτελέσει το έναυσμα για τη συστηματικότερη αξιοποίηση του υπογείου χώρου στην Ελλάδα.

Το γεγονός πως ως επένδυση κρίνεται συμφέρουσα είναι ιδιαίτερα σημαντικό, αφού μπορεί να αποτελέσει δέλεαρ, ώστε αρκετές επιχειρήσεις (δημόσιες ή ιδιωτικές) να ενδιαφερθούν για την υλοποίηση του έργου αυτού.

Άρα λοιπόν, η ζεύξη της Σαλαμίνας με το Πέραμα με υποπυθμεία σιδηροδρομική σήραγγα και τη σύνδεση της με το δίκτυο του Μετρό, πρόκειται για ένα έργο, η κατασκευή του οποίου θα άφηνε ευχαριστημένους όλους τους

ενδιαφερόμενους. Εμείς, ως συντάκτες της διπλωματικής εργασίας αυτής και με κύριο γνώμονα το κοινωνικό συμφέρον, προτείνουμε την υλοποίηση του σχεδίου αυτού,

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Fukuchi G (1986). "Considerations for Undersea of Underwater Tunnels", Tunnelling and Underground Technology, Vol.1, No. ¾, pp. 223-224, Great Britain
- Gravesen L, Rasmussen N (1993). "A Milestone in Tunnelling: Rotterdam's Maas Tunnel Celebrates its Fiftieth Anniversary", Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 8, No. 4, pp. 413-424, Great Britain
- Guglielmetti V, Piergiorgio G, Ashraf M, Shulin X (2008). "Mechanized tunneling in urban areas: design methodology and construction control", London: Taylor & Francis Group
- Gursoy A (1996). "Immersed Tube Tunnels", Tunnel Engineering Handbook, pp. 268-297
- Hoek E (2001). "Big Tunnels In Bad Rock", ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 127, No. 9, p. 726-740
- Knowles R (2006). "Transport shaping space: differential collapse in time-space", Journal of Transport Geography, vol.14, p.407-425
- Lovat R (2007). "TBM Design Considerations: Selection of Earth Pressure Balance or Slurry Pressure Balance Tunnel Boring Machines", Νέες εξελιγμένες μέθοδοι μηχανικής διάνοιξης σηράγγων, TEE, Αθήνα
- Maidl B, Schmid L, Ritz W, Herrenknecht M (2008). "Hardrock Tunnel Boring Machines", Berlin: Ernst & Sohn
- Maru Y, Maeda T (1986). "Construction of the Seikan Undersea Tunnel – I. General Scheme of Execution", Tunnelling and Underground Technology, Vol.1, No. ¾, pp. 357-371, Great Britain
- Matsuo S (1986). "An Overview of the Seikan Tunnel Project", Tunnelling and Underground Technology, Vol.1, No. ¾, pp.323-331, Great Britain
- Nilsen B, Palmstrom A (2001). "Stability and water leakage of hard rock subsea tunnels", Conf. of Modern Tunnelling Science and Technology, Adachi et al.(eds.), pp. 497-502, Kyoto, Japan
- Palmstorm A (1994). "The Challenge of Subsea Tunnelling", Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.9, No.2, p.145-150
- Tunnels and Tunneling International (2003). "The case for immersed tubes", pp.40-42

- Αλεξανδρής Α & συνεργάτες (2009). “Σχεδιασμός και Κατασκευή του Υπογείου Σταθμού METRO στο Αιγάλεω”, 16^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, 21-21/10/2009, Πάφος, Κύπρος
- Αντωνίου Β (2000). “Οι γεωπεριβαλλοντικές συνθήκες του Λεκανοπεδίου Αθηνών με χρήση Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων”, Διδακτορική Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
- Βώβου Θ (2014). “Επιτελεστικότητα των μηχανών ΕΡΒ κατά τη διάνοιξη σηράγγων – Η περίπτωση του Μετρό Θεσσαλονίκης”, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Σχολή Μηχ. Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Αθήνα
- Γεωργακόπουλος Δ, Λόη Κ (2012). “Αρχιτεκτονική και Πολεοδομική Προσέγγιση Γεφυρών (Η περίπτωση Ρίου – Αντιρρίου)”, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα
- Καββαδάς Μ (2005). “Σημειώσεις σχεδιασμού Υπογείων έργων”, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα
- Καλιαμπάκος Δ, Δαμίγος Δ (2009). “Σημειώσεις μαθήματος: Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Υπογείων Έργων”, ΕΜΠ, ΔΠΜΣ «Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων», Σχολές Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών και Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα
- Καραγιάννης Γ (2014). “Μετρό Αθηνών και Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις”, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα
- Κουκουτάς Σ (2002). “Μετρό της Αθήνας – Επέκταση της γραμμής 3: Η επιλογή του Μηχανήματος Ολομέτωπης Κοπής με Ασπίδα”, Ενημερωτικό δελτίο ΤΕΕ, Νο. 2202
- Κουκουτάς Σ (2013). Προσωπική επικοινωνία
- Κωνσταντινίδης Δ (2012). “Γεφυροποιία”, Αλεξάνδρειο ΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής
- Μαρβολάκος Η, Φουντούλης Ι, Θεοχάρης Δ (2001). “Νεοτεκτονική δομή και εξέλιξη της νήσου Σαλαμίνας”, Πρακτικά 9ου Συνεδρίου Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Δελτίο Ελλην Γεωλ. Ετ. τ. XXXIV/1, σελ. 165-173
- Νέο Ρυθμιστικό Σχέδιο Αθήνας – Αττικής και άλλες διατάξεις (2014). Εφημερίς της Κυβέρνησεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Τεύχος Πρώτο, Αθήνα, Ελλάδα

- Παπαυγέρη Γ, Αρβανίτη Α (2012). “Βαθιές εκσκαφές σε Αστικό Χώρο: Η περίπτωση του σταθμού Μετρό ‘Αγ. Βαρβάρα’”, Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, ΔΠΜΣ «Σχεδιαμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων», Σχολές Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών και Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα
 - Προκήρυξη Ανταγωνιστικού Διαλόγου (2012). “Μελέτη, Κατασκευή, Χρηματοδότηση, Λειτουργία, Συντήρηση και Εκμετάλλευση του Έργου: «Μόνιμη Υποθαλάσσια Οδική Ζεύξη Νήσου Σαλαμίνας»”, Υπουργείο Υποδομών Μεταφορών και Δικτύων (ΥΠ.Υ.ΜΕ.ΔΙ.)
 - Σαμπατακάκης Ν (1991). “Τεχνικογεωλογική Έρευνα του Λεκανοπεδίου των Αθηνών”, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας – Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας και Γεωφυσικής, Πάτρα
 - Σοφιανός Α (2011). “Τεχνικές διάνοιξης σηράγγων”, Αθήνα: ΕΜΠ, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών
 - Σοφιανός Α. (2013). “Υποστήριξη υπογείων έργων”, Αθήνα, ΕΜΠ, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών
 - Τάταρης Α (1972). “Νεότερα Πορίσματα επί της Γεωλογίας της Νήσου Σαλαμίνας και της Περιοχής Αττικής”, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωλογίας
 - Τσιαμπάος Κ (2012). “Η Υποθαλάσσια Σήραγγα Σαλαμίνας – Περάματος: Γεωλογικές, γεωτεχνικές και σεισμοτεκτονικές έρευνες”, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Σχολή Μηχ. Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Αθήνα
 - Φραγκός Α (2009). “Σχεδιασμός Σηράγγων σε Θαλάσσιο Περιβάλλον, Μεταπτυχιακή εργασία”, ΕΜΠ, ΔΠΜΣ: «Ναυτική & Θαλάσσια Τεχνολογία και Επιστήμη, Αθήνα
-
- Ιστότοπος: www.eesy.gr
 - Ιστότοπος: www.gefyra.gr
 - Ιστότοπος: www.herrenknecht.com
 - Ιστότοπος: www.ita-aites.org
 - Ιστοτοπος: www.metro.net
 - Ιστότοπος: www.tunneltalk.com

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Αναλυτικές προδιαγραφές TBM

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ ΟΛΟΜΕΤΩΠΗΣ ΚΟΠΗΣ

Στοιχείο	Περιγραφή		Ελάχιστη απαιτούμενη προδιαγραφή
1	<u>ΓΕΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ</u>		
	Συνολικό μήκος εκσκαφής	m	περίπου 2800
	Ελάχιστη οριζόντια ακτίνα	m	260
	Ελάχιστη κατακόρυφη ακτίνα	m	±1250
	Μέγιστη κλίση σήραγγας	%	
2	<u>ΤΜΗΜΑΤΙΚΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ</u>		
	Αριθμός τεμαχίων	Ποσότητα	5+1 βασικό (καθολικός δακτύλιος)
	Εξωτερική διάμετρος στοιχείου	m	5,90
	Εσωτερική διάμετρος στοιχείου	m	5,30
	Πάχος στοιχείου	m	0,3
	Μήκος στοιχείου	m	1,5
	Βάρος βαρύτερου στοιχείου	kg	4500
3	<u>ΓΕΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ TBM</u>		
	Τύπος		EPBS (Ασπίδα Αντιστάθμισης Εδαφικής Πίεσης)
	Διάμετρος εκσκαφής	m	6,19
	Ονομαστική Υπερεκσκαφή στην Ασπίδα	mm	10
4	<u>ΚΟΠΤΙΚΗ ΚΕΦΑΛΗ</u>		
	Διάμετρος Διάνοιξης	mm	6190
	Αριθμός ακτινών	ποσότητα	4+4
	Κίνηση	τύπος	Υδραυλική κίνηση και επιλογή για VFD
	Ταχύτητα	rpm	0 έως 3,0 – αμφίδρομη
	Λόγος ανοίγματος	%	42%
	Πλάκες Φθοράς	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Περιγραφή Πλακών Φθοράς		50-60Rc Min 15mm (πλάκα με επένδυση καρβιδίου του χρωμίου &

			εξαρτήματα από καρβίδιο του βολφραμίου)
5	<u>ΔΙΣΚΟΙ ΚΟΠΗΣ</u>		
	Τύπος Δίσκου	Τύπος	17" 2 κοπτικά
	Διάμετρος Τυπικού Δίσκου	mm	17"
	Απόσταση Δίσκος/Κεφαλή	mm	175
5a	<u>ΚΟΠΤΙΚΟΙ ΟΔΟΝΤΕΣ (κοπτικά με ελάσματα)</u>		
	Κοπτικοί οδόντες	ποσότητα	80
	Τύπος κοπτικών	Τύπος	Βαρέως τύπου (Heavy Duty)
	Ανταλλαγή	ναι/όχι	NAI
	Φόρτωση από πίσω	ναι/όχι	NAI
	Δείκτες φθοράς	ποσότητα	6
5b	<u>ΑΠΟΞΕΣΤΕΣ – ΕΞΙΝΕΣ ΕΚΧΩΜΑΤΩΣΗΣ</u>		
	Αποξέστες (Κάδου σωρού εδάφους)	Ποσότητα	8 + 8
	Τύπος αποξεστών	Τύπος	Βαρέως τύπου (Heavy Duty)
5c	<u>ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΑ ΚΟΠΤΙΚΑ ΥΠΕΡΕΚΣΚΑΦΗΣ</u>		
	Κεντρικός κοπτήρας ρύγχους	ναι/όχι	NAI
	Φόρτωση από πίσω	ναι/όχι	NAI
	Δυνατότητα ανταλλαγής με δίσκο κοπής	ναι/όχι	NAI
6	<u>ΚΥΡΙΟ ΕΦΕΔΡΑΝΟ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ</u>		
	Τύπος		Κύλινδρος 3 Σειρών
	Κατασκευαστής	Όνομα	Krupp Rothe Erde/SKF
	Χρόνος ζωής b10	h	≥10000
	Λίπανση	Τύπος	Λάδι
7	<u>ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΡΘΡΩΣΗΣ</u>		
	Μέθοδος		Ενεργός
	Θέση		Μπροστά
	Γωνία άρθρωσης	°	2°
	Αριθμός Κυλίνδρων	Ποσότητα	10
8	<u>ΚΟΧΛΙΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΥΛΙΚΩΝ ΕΚΣΚΑΦΗΣ</u>		
	Αναστρέψιμος	ναι/όχι	NAI
9	<u>ΑΝΥΨΩΤΗΡΑΣ – ERECTOR</u>		
	Ταχύτητα	rpm	0-2
	Τύπος	Τύπος	Περιστροφικός Δακτύλιος Κινούμενου Φορείου
	Περιστροφή	Μοίρες	220 μοίρες (+/-)

	Κίνηση	Τύπος	Υδραυλική
		Ποσότητα	2
		Φρένα Ασφαλούς Λειτουργίας	ΝΑΙ (κάθε μονάδα)
		Διάρκεια ζωής (h)	10.000
	Υποστήριξη	Τύπος	Σφαιρική / Κυλινδρική
		Λίπανση	Αυτόματη (γράσο)
	Βαθμοί ελευθερίας	Ποσότητα	6
	Λήψη Στοιχείου	Τύπος	Κενό (vacuum)
10	<u>ΘΥΡΙΔΑ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ</u>		
	Θέση	Θέση	Πάνω Ζώνη Ασπίδας / πρόσθια ασπίδα
	Μέγεθος	Άτομο	4
11	<u>ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗΣ</u>		
	Τύπος	Προμηθευτής	VMT
	Προσανατολισμός Δακτυλίου	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Θεοδόλιχο Λέιζερ	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Καλώδιο Σήραγγας / Επιφάνειας	ναι/όχι	ΝΑΙ
12	<u>ΚΑΜΠΙΝΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΧΕΙΡΙΣΤΗ</u>		
	Μέγεθος	Άτομα	4
	Θέση	Ζώνη	Μπροστινό Φορείο
	Κλιματιζόμενη	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Μονάδες CCTV	Ποσότητα	4 κάμερες
	Οθόνες CCTV	Ποσότητα	Ελάχιστο 2 Διπλές Οθόνες
	Καταγραφικό δεδομένων	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Σύστημα Διαχείρισης Δεδομένων	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Οπτικές Οθόνες	Ρύθμιση προϊόντων εκσκαφής	Ανεξάρτητη
		Έγχυση ενέματος	Ανεξάρτητη
		Ιμάντας ζύγισης	Ανεξάρτητη
		Λειτουργία TBM	Ανεξάρτητη
13	<u>ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΑΕΡΙΩΝ</u>		
	Τύπος		DRAEGER
	Αισθητήρες		7
	Αέρια	Τύπος	CH ₄ , O ₂ , CO, CO ₂ , υδρογονάνθρακες
	Συναγερμοί	Τύπος	Ηχητικός / Οπτικός με Επίπεδα Συναγερμού και

			Ενεργοποίησης
14	ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΕΜΑΤΟΣ		
	Τύπος		Ανάμειξη δύο συστατικών
	Αντλία εισπίεσης	τύπος	6 + 6 κοχλιωτές αντλίες

Πίνακας 9: Προδιαγραφές μηχανήματος ολομέτωπης κοπής με ασπίδα εξισορρόπησης πίεσης πολφού:

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Αναλυτικοί Πίνακες Κεφαλαίου 7 :

<i>Έτος</i>	<i>Επιβάτες</i>
2020	10.000.000
2021	11.000.000
2022	12.100.000
2023	13.310.000
2024	14.641.000
2025	14.787.410
2026	14.935.284
2027	15.084.637
2028	15.235.483
2029	15.387.838
2030	15.541.717
2031	15.697.134
2032	15.854.105
2033	15.869.959
2034	15.885.829
2035	15.901.715
2036	15.917.617
2037	15.933.534
2038	15.949.468
2039	15.965.417
2040	15.981.383
2041	15.997.364
2042	16.013.361
2043	16.029.375
2044	16.045.404
2045	16.061.450
2046	16.077.511
2047	16.093.589
2048	16.109.682
2049	16.125.792

Πίνακας 10: Ετήσια αναμενόμενη προσέλευση επιβατών

Πίνακες για την ανάλυση ευαισθησίας της επένδυσης στη μεταβολή των εσόδων:

-20%	Επενδύσεις	Ετήσια έσοδα	Ετήσιο κόστος λειτουργίας	Ακαθάριστα κέρδη	Αποσβέσεις	Φορολογητέο εισόδημα	Φόροι	Ετήσιες ταμειακές ροές	Ταμειακή ροή
2016	39.500.000 €							-39.500.000 €	-39.500.000 €
2017	39.500.000 €							-39.500.000 €	-79.000.000 €
2018	39.500.000 €							-39.500.000 €	-118.500.000 €
2019	39.500.000 €							-39.500.000 €	-158.000.000 €
2020		12.000.000 €	2.000.000 €	10.000.000 €	6.320.000 €	3.680.000 €	956.800 €	9.043.200 €	-148.956.800 €
2021		13.200.000 €	2.000.000 €	11.200.000 €	6.320.000 €	4.880.000 €	1.268.800 €	9.931.200 €	-139.025.600 €
2022		14.520.000 €	2.000.000 €	12.520.000 €	6.320.000 €	6.200.000 €	1.612.000 €	10.908.000 €	-128.117.600 €
2023		15.972.000 €	2.000.000 €	13.972.000 €	6.320.000 €	7.652.000 €	1.989.520 €	11.982.480 €	-116.135.120 €
2024		17.569.200 €	2.000.000 €	15.569.200 €	6.320.000 €	9.249.200 €	2.404.792 €	13.164.408 €	-102.970.712 €
2025		17.744.892 €	2.000.000 €	15.744.892 €	6.320.000 €	9.424.892 €	2.450.472 €	13.294.420 €	-89.676.292 €
2026		17.922.341 €	2.000.000 €	15.922.341 €	6.320.000 €	9.602.341 €	2.496.609 €	13.425.732 €	-76.250.560 €
2027		18.101.564 €	2.000.000 €	16.101.564 €	6.320.000 €	9.781.564 €	2.543.207 €	13.558.358 €	-62.692.202 €
2028		18.282.580 €	2.000.000 €	16.282.580 €	6.320.000 €	9.962.580 €	2.590.271 €	13.692.309 €	-48.999.893 €
2029		18.465.406 €	2.000.000 €	16.465.406 €	6.320.000 €	10.145.406 €	2.637.806 €	13.827.600 €	-35.172.293 €
2030		18.650.060 €	2.000.000 €	16.650.060 €	6.320.000 €	10.330.060 €	2.685.816 €	13.964.244 €	-21.208.048 €
2031		18.836.560 €	2.000.000 €	16.836.560 €	6.320.000 €	10.516.560 €	2.734.306 €	14.102.255 €	-7.105.794 €
2032		19.024.926 €	2.000.000 €	17.024.926 €	6.320.000 €	10.704.926 €	2.783.281 €	14.241.645 €	7.135.852 €
2033		19.024.926 €	2.000.000 €	17.024.926 €	6.320.000 €	10.704.926 €	2.783.281 €	14.241.645 €	21.377.497 €
2034		19.024.926 €	2.000.000 €	17.024.926 €	6.320.000 €	10.704.926 €	2.783.281 €	14.241.645 €	35.619.142 €
2035		19.024.926 €	2.000.000 €	17.024.926 €	6.320.000 €	10.704.926 €	2.783.281 €	14.241.645 €	49.860.787 €
2036		19.024.926 €	2.000.000 €	17.024.926 €	6.320.000 €	10.704.926 €	2.783.281 €	14.241.645 €	64.102.433 €
2037		19.024.926 €	2.000.000 €	17.024.926 €	6.320.000 €	10.704.926 €	2.783.281 €	14.241.645 €	78.344.078 €
2038		19.024.926 €	2.000.000 €	17.024.926 €	6.320.000 €	10.704.926 €	2.783.281 €	14.241.645 €	92.585.723 €
2039		19.024.926 €	2.000.000 €	17.024.926 €	6.320.000 €	10.704.926 €	2.783.281 €	14.241.645 €	106.827.369 €
2040		19.024.926 €	2.000.000 €	17.024.926 €	6.320.000 €	10.704.926 €	2.783.281 €	14.241.645 €	121.069.014 €
2041		19.024.926 €	2.000.000 €	17.024.926 €	6.320.000 €	10.704.926 €	2.783.281 €	14.241.645 €	135.310.659 €
2042		19.024.926 €	2.000.000 €	17.024.926 €	6.320.000 €	10.704.926 €	2.783.281 €	14.241.645 €	149.552.304 €
2043		19.024.926 €	2.000.000 €	17.024.926 €	6.320.000 €	10.704.926 €	2.783.281 €	14.241.645 €	163.793.950 €
2044		19.024.926 €	2.000.000 €	17.024.926 €	6.320.000 €	10.704.926 €	2.783.281 €	14.241.645 €	178.035.595 €
2045		19.024.926 €	2.000.000 €	17.024.926 €		17.024.926 €	4.426.481 €	12.598.445 €	190.634.040 €
2046		19.024.926 €	2.000.000 €	17.024.926 €		17.024.926 €	4.426.481 €	12.598.445 €	203.232.485 €
2047		19.024.926 €	2.000.000 €	17.024.926 €		17.024.926 €	4.426.481 €	12.598.445 €	215.830.931 €
2048		19.024.926 €	2.000.000 €	17.024.926 €		17.024.926 €	4.426.481 €	12.598.445 €	228.429.376 €
2049		19.024.926 €	4.000.000 €	15.024.926 €		15.024.926 €	3.906.481 €	11.118.445 €	239.547.821 €

Πίνακας 11: Μείωση των εσόδων κατά 20%

-10%	Επενδύσεις	Ετήσια έσοδα	Ετήσιο κόστος λειτουργίας	Ακαθάριστα κέρδη	Αποσβέσεις	Φορολογητέο εισόδημα	Φόροι	Ετήσιες ταμειακές ροές	Ταμειακή ροή
2016	39.500.000 €							-39.500.000 €	-39.500.000 €
2017	39.500.000 €							-39.500.000 €	-79.000.000 €
2018	39.500.000 €							-39.500.000 €	-118.500.000 €
2019	39.500.000 €							-39.500.000 €	-158.000.000 €
2020		13.500.000 €	2.000.000 €	11.500.000 €	6.320.000 €	5.180.000 €	1.346.800 €	10.153.200 €	-147.846.800 €
2021		14.850.000 €	2.000.000 €	12.850.000 €	6.320.000 €	6.530.000 €	1.697.800 €	11.152.200 €	-136.694.600 €
2022		16.335.000 €	2.000.000 €	14.335.000 €	6.320.000 €	8.015.000 €	2.083.900 €	12.251.100 €	-124.443.500 €
2023		17.968.500 €	2.000.000 €	15.968.500 €	6.320.000 €	9.648.500 €	2.508.610 €	13.459.890 €	-110.983.610 €
2024		19.765.350 €	2.000.000 €	17.765.350 €	6.320.000 €	11.445.350 €	2.975.791 €	14.789.559 €	-96.194.051 €
2025		19.963.004 €	2.000.000 €	17.963.004 €	6.320.000 €	11.643.004 €	3.027.181 €	14.935.823 €	-81.258.228 €
2026		20.162.634 €	2.000.000 €	18.162.634 €	6.320.000 €	11.842.634 €	3.079.085 €	15.083.549 €	-66.174.680 €
2027		20.364.260 €	2.000.000 €	18.364.260 €	6.320.000 €	12.044.260 €	3.131.508 €	15.232.752 €	-50.941.927 €
2028		20.567.902 €	2.000.000 €	18.567.902 €	6.320.000 €	12.247.902 €	3.184.455 €	15.383.448 €	-35.558.479 €
2029		20.773.581 €	2.000.000 €	18.773.581 €	6.320.000 €	12.453.581 €	3.237.931 €	15.535.650 €	-20.022.829 €
2030		20.981.317 €	2.000.000 €	18.981.317 €	6.320.000 €	12.661.317 €	3.291.943 €	15.689.375 €	-4.333.454 €
2031		21.191.130 €	2.000.000 €	19.191.130 €	6.320.000 €	12.871.130 €	3.346.494 €	15.844.637 €	11.511.182 €
2032		21.403.042 €	2.000.000 €	19.403.042 €	6.320.000 €	13.083.042 €	3.401.591 €	16.001.451 €	27.512.633 €
2033		21.403.042 €	2.000.000 €	19.403.042 €	6.320.000 €	13.083.042 €	3.401.591 €	16.001.451 €	43.514.084 €
2034		21.403.042 €	2.000.000 €	19.403.042 €	6.320.000 €	13.083.042 €	3.401.591 €	16.001.451 €	59.515.535 €
2035		21.403.042 €	2.000.000 €	19.403.042 €	6.320.000 €	13.083.042 €	3.401.591 €	16.001.451 €	75.516.986 €
2036		21.403.042 €	2.000.000 €	19.403.042 €	6.320.000 €	13.083.042 €	3.401.591 €	16.001.451 €	91.518.437 €
2037		21.403.042 €	2.000.000 €	19.403.042 €	6.320.000 €	13.083.042 €	3.401.591 €	16.001.451 €	107.519.888 €
2038		21.403.042 €	2.000.000 €	19.403.042 €	6.320.000 €	13.083.042 €	3.401.591 €	16.001.451 €	123.521.339 €
2039		21.403.042 €	2.000.000 €	19.403.042 €	6.320.000 €	13.083.042 €	3.401.591 €	16.001.451 €	139.522.790 €
2040		21.403.042 €	2.000.000 €	19.403.042 €	6.320.000 €	13.083.042 €	3.401.591 €	16.001.451 €	155.524.241 €
2041		21.403.042 €	2.000.000 €	19.403.042 €	6.320.000 €	13.083.042 €	3.401.591 €	16.001.451 €	171.525.691 €
2042		21.403.042 €	2.000.000 €	19.403.042 €	6.320.000 €	13.083.042 €	3.401.591 €	16.001.451 €	187.527.142 €
2043		21.403.042 €	2.000.000 €	19.403.042 €	6.320.000 €	13.083.042 €	3.401.591 €	16.001.451 €	203.528.593 €
2044		21.403.042 €	2.000.000 €	19.403.042 €	6.320.000 €	13.083.042 €	3.401.591 €	16.001.451 €	219.530.044 €
2045		21.403.042 €	2.000.000 €	19.403.042 €		19.403.042 €	5.044.791 €	14.358.251 €	233.888.295 €
2046		21.403.042 €	2.000.000 €	19.403.042 €		19.403.042 €	5.044.791 €	14.358.251 €	248.246.546 €
2047		21.403.042 €	2.000.000 €	19.403.042 €		19.403.042 €	5.044.791 €	14.358.251 €	262.604.797 €
2048		21.403.042 €	2.000.000 €	19.403.042 €		19.403.042 €	5.044.791 €	14.358.251 €	276.963.048 €
2049		21.403.042 €	4.000.000 €	17.403.042 €		17.403.042 €	4.524.791 €	12.878.251 €	289.841.299 €

Πίνακας 12: Μείωση των εσόδων κατά 10%

0%	Επενδύσεις	Ετήσια έσοδα	Ετήσιο κόστος λειτουργίας	Ακαθάριστα κέρδη	Αποσβέσεις	Φορολογητέο εισόδημα	Φόροι	Ετήσιες ταμειακές ροές	Ταμειακή ροή
2016	39.500.000 €							-39.500.000 €	-39.500.000 €
2017	39.500.000 €							-39.500.000 €	-79.000.000 €
2018	39.500.000 €							-39.500.000 €	-118.500.000 €
2019	39.500.000 €							-39.500.000 €	-158.000.000 €
2020		15.000.000 €	2.000.000 €	13.000.000 €	6.320.000 €	6.680.000 €	1.736.800 €	11.263.200 €	-146.736.800 €
2021		16.500.000 €	2.000.000 €	14.500.000 €	6.320.000 €	8.180.000 €	2.126.800 €	12.373.200 €	-134.363.600 €
2022		18.150.000 €	2.000.000 €	16.150.000 €	6.320.000 €	9.830.000 €	2.555.800 €	13.594.200 €	-120.769.400 €
2023		19.965.000 €	2.000.000 €	17.965.000 €	6.320.000 €	11.645.000 €	3.027.700 €	14.937.300 €	-105.832.100 €
2024		21.961.500 €	2.000.000 €	19.961.500 €	6.320.000 €	13.641.500 €	3.546.790 €	16.414.710 €	-89.417.390 €
2025		22.181.115 €	2.000.000 €	20.181.115 €	6.320.000 €	13.861.115 €	3.603.890 €	16.577.225 €	-72.840.165 €
2026		22.402.926 €	2.000.000 €	20.402.926 €	6.320.000 €	14.082.926 €	3.661.561 €	16.741.365 €	-56.098.800 €
2027		22.626.955 €	2.000.000 €	20.626.955 €	6.320.000 €	14.306.955 €	3.719.808 €	16.907.147 €	-39.191.653 €
2028		22.853.225 €	2.000.000 €	20.853.225 €	6.320.000 €	14.533.225 €	3.778.638 €	17.074.586 €	-22.117.066 €
2029		23.081.757 €	2.000.000 €	21.081.757 €	6.320.000 €	14.761.757 €	3.838.057 €	17.243.700 €	-4.873.366 €
2030		23.312.575 €	2.000.000 €	21.312.575 €	6.320.000 €	14.992.575 €	3.898.069 €	17.414.505 €	12.541.140 €
2031		23.545.701 €	2.000.000 €	21.545.701 €	6.320.000 €	15.225.701 €	3.958.682 €	17.587.018 €	30.128.158 €
2032		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	47.889.415 €
2033		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	65.650.671 €
2034		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	83.411.928 €
2035		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	101.173.184 €
2036		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	118.934.441 €
2037		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	136.695.697 €
2038		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	154.456.954 €
2039		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	172.218.211 €
2040		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	189.979.467 €
2041		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	207.740.724 €
2042		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	225.501.980 €
2043		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	243.263.237 €
2044		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	261.024.494 €
2045		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	277.142.550 €
2046		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	293.260.607 €
2047		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	309.378.663 €
2048		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	325.496.720 €
2049		23.781.158 €	4.000.000 €	19.781.158 €		19.781.158 €	5.143.101 €	14.638.057 €	340.134.776 €

Πίνακας 13: Αμετάβλητα έσοδα

10%	Επενδύσεις	Ετήσια έσοδα	Ετήσιο κόστος λειτουργίας	Ακαθάριστα κέρδη	Αποσβέσεις	Φορολογητέο εισόδημα	Φόροι	Ετήσιες ταμειακές ροές	Ταμειακή ροή
2016	39.500.000 €							-39.500.000 €	-39.500.000 €
2017	39.500.000 €							-39.500.000 €	-79.000.000 €
2018	39.500.000 €							-39.500.000 €	-118.500.000 €
2019	39.500.000 €							-39.500.000 €	-158.000.000 €
2020		16.500.000 €	2.000.000 €	14.500.000 €	6.320.000 €	8.180.000 €	2.126.800 €	12.373.200 €	-145.626.800 €
2021		18.150.000 €	2.000.000 €	16.150.000 €	6.320.000 €	9.830.000 €	2.555.800 €	13.594.200 €	-132.032.600 €
2022		19.965.000 €	2.000.000 €	17.965.000 €	6.320.000 €	11.645.000 €	3.027.700 €	14.937.300 €	-117.095.300 €
2023		21.961.500 €	2.000.000 €	19.961.500 €	6.320.000 €	13.641.500 €	3.546.790 €	16.414.710 €	-100.680.590 €
2024		24.157.650 €	2.000.000 €	22.157.650 €	6.320.000 €	15.837.650 €	4.117.789 €	18.039.861 €	-82.640.729 €
2025		24.399.227 €	2.000.000 €	22.399.227 €	6.320.000 €	16.079.227 €	4.180.599 €	18.218.628 €	-64.422.101 €
2026		24.643.219 €	2.000.000 €	22.643.219 €	6.320.000 €	16.323.219 €	4.244.037 €	18.399.182 €	-46.022.920 €
2027		24.889.651 €	2.000.000 €	22.889.651 €	6.320.000 €	16.569.651 €	4.308.109 €	18.581.542 €	-27.441.378 €
2028		25.138.547 €	2.000.000 €	23.138.547 €	6.320.000 €	16.818.547 €	4.372.822 €	18.765.725 €	-8.675.653 €
2029		25.389.933 €	2.000.000 €	23.389.933 €	6.320.000 €	17.069.933 €	4.438.183 €	18.951.750 €	10.276.098 €
2030		25.643.832 €	2.000.000 €	23.643.832 €	6.320.000 €	17.323.832 €	4.504.196 €	19.139.636 €	29.415.734 €
2031		25.900.271 €	2.000.000 €	23.900.271 €	6.320.000 €	17.580.271 €	4.570.870 €	19.329.400 €	48.745.134 €
2032		26.159.273 €	2.000.000 €	24.159.273 €	6.320.000 €	17.839.273 €	4.638.211 €	19.521.062 €	68.266.196 €
2033		26.159.273 €	2.000.000 €	24.159.273 €	6.320.000 €	17.839.273 €	4.638.211 €	19.521.062 €	87.787.258 €
2034		26.159.273 €	2.000.000 €	24.159.273 €	6.320.000 €	17.839.273 €	4.638.211 €	19.521.062 €	107.308.321 €
2035		26.159.273 €	2.000.000 €	24.159.273 €	6.320.000 €	17.839.273 €	4.638.211 €	19.521.062 €	126.829.383 €
2036		26.159.273 €	2.000.000 €	24.159.273 €	6.320.000 €	17.839.273 €	4.638.211 €	19.521.062 €	146.350.445 €
2037		26.159.273 €	2.000.000 €	24.159.273 €	6.320.000 €	17.839.273 €	4.638.211 €	19.521.062 €	165.871.507 €
2038		26.159.273 €	2.000.000 €	24.159.273 €	6.320.000 €	17.839.273 €	4.638.211 €	19.521.062 €	185.392.569 €
2039		26.159.273 €	2.000.000 €	24.159.273 €	6.320.000 €	17.839.273 €	4.638.211 €	19.521.062 €	204.913.632 €
2040		26.159.273 €	2.000.000 €	24.159.273 €	6.320.000 €	17.839.273 €	4.638.211 €	19.521.062 €	224.434.694 €
2041		26.159.273 €	2.000.000 €	24.159.273 €	6.320.000 €	17.839.273 €	4.638.211 €	19.521.062 €	243.955.756 €
2042		26.159.273 €	2.000.000 €	24.159.273 €	6.320.000 €	17.839.273 €	4.638.211 €	19.521.062 €	263.476.818 €
2043		26.159.273 €	2.000.000 €	24.159.273 €	6.320.000 €	17.839.273 €	4.638.211 €	19.521.062 €	282.997.881 €
2044		26.159.273 €	2.000.000 €	24.159.273 €	6.320.000 €	17.839.273 €	4.638.211 €	19.521.062 €	302.518.943 €
2045		26.159.273 €	2.000.000 €	24.159.273 €		24.159.273 €	6.281.411 €	17.877.862 €	320.396.805 €
2046		26.159.273 €	2.000.000 €	24.159.273 €		24.159.273 €	6.281.411 €	17.877.862 €	338.274.667 €
2047		26.159.273 €	2.000.000 €	24.159.273 €		24.159.273 €	6.281.411 €	17.877.862 €	356.152.530 €
2048		26.159.273 €	2.000.000 €	24.159.273 €		24.159.273 €	6.281.411 €	17.877.862 €	374.030.392 €
2049		26.159.273 €	4.000.000 €	22.159.273 €		22.159.273 €	5.761.411 €	16.397.862 €	390.428.254 €

Πίνακας 14: Αύξηση εσόδων κατά 10%

20%	Επενδύσεις	Ετήσια έσοδα	Ετήσιο κόστος λειτουργίας	Ακαθάριστα κέρδη	Αποσβέσεις	Φορολογητέο εισόδημα	Φόροι	Ετήσιες ταμειακές ροές	Ταμειακή ροή
2016	39.500.000 €							-39.500.000 €	-39.500.000 €
2017	39.500.000 €							-39.500.000 €	-79.000.000 €
2018	39.500.000 €							-39.500.000 €	-118.500.000 €
2019	39.500.000 €							-39.500.000 €	-158.000.000 €
2020		18.000.000 €	2.000.000 €	16.000.000 €	6.320.000 €	9.680.000 €	2.516.800 €	13.483.200 €	-144.516.800 €
2021		19.800.000 €	2.000.000 €	17.800.000 €	6.320.000 €	11.480.000 €	2.984.800 €	14.815.200 €	-129.701.600 €
2022		21.780.000 €	2.000.000 €	19.780.000 €	6.320.000 €	13.460.000 €	3.499.600 €	16.280.400 €	-113.421.200 €
2023		23.958.000 €	2.000.000 €	21.958.000 €	6.320.000 €	15.638.000 €	4.065.880 €	17.892.120 €	-95.529.080 €
2024		26.353.800 €	2.000.000 €	24.353.800 €	6.320.000 €	18.033.800 €	4.688.788 €	19.665.012 €	-75.864.068 €
2025		26.617.338 €	2.000.000 €	24.617.338 €	6.320.000 €	18.297.338 €	4.757.308 €	19.860.030 €	-56.004.038 €
2026		26.883.511 €	2.000.000 €	24.883.511 €	6.320.000 €	18.563.511 €	4.826.513 €	20.056.998 €	-35.947.039 €
2027		27.152.346 €	2.000.000 €	25.152.346 €	6.320.000 €	18.832.346 €	4.896.410 €	20.255.936 €	-15.691.103 €
2028		27.423.870 €	2.000.000 €	25.423.870 €	6.320.000 €	19.103.870 €	4.967.006 €	20.456.864 €	4.765.761 €
2029		27.698.109 €	2.000.000 €	25.698.109 €	6.320.000 €	19.378.109 €	5.038.308 €	20.659.800 €	25.425.561 €
2030		27.975.090 €	2.000.000 €	25.975.090 €	6.320.000 €	19.655.090 €	5.110.323 €	20.864.766 €	46.290.328 €
2031		28.254.841 €	2.000.000 €	26.254.841 €	6.320.000 €	19.934.841 €	5.183.059 €	21.071.782 €	67.362.110 €
2032		28.537.389 €	2.000.000 €	26.537.389 €	6.320.000 €	20.217.389 €	5.256.521 €	21.280.868 €	88.642.978 €
2033		28.537.389 €	2.000.000 €	26.537.389 €	6.320.000 €	20.217.389 €	5.256.521 €	21.280.868 €	109.923.845 €
2034		28.537.389 €	2.000.000 €	26.537.389 €	6.320.000 €	20.217.389 €	5.256.521 €	21.280.868 €	131.204.713 €
2035		28.537.389 €	2.000.000 €	26.537.389 €	6.320.000 €	20.217.389 €	5.256.521 €	21.280.868 €	152.485.581 €
2036		28.537.389 €	2.000.000 €	26.537.389 €	6.320.000 €	20.217.389 €	5.256.521 €	21.280.868 €	173.766.449 €
2037		28.537.389 €	2.000.000 €	26.537.389 €	6.320.000 €	20.217.389 €	5.256.521 €	21.280.868 €	195.047.317 €
2038		28.537.389 €	2.000.000 €	26.537.389 €	6.320.000 €	20.217.389 €	5.256.521 €	21.280.868 €	216.328.185 €
2039		28.537.389 €	2.000.000 €	26.537.389 €	6.320.000 €	20.217.389 €	5.256.521 €	21.280.868 €	237.609.053 €
2040		28.537.389 €	2.000.000 €	26.537.389 €	6.320.000 €	20.217.389 €	5.256.521 €	21.280.868 €	258.889.921 €
2041		28.537.389 €	2.000.000 €	26.537.389 €	6.320.000 €	20.217.389 €	5.256.521 €	21.280.868 €	280.170.789 €
2042		28.537.389 €	2.000.000 €	26.537.389 €	6.320.000 €	20.217.389 €	5.256.521 €	21.280.868 €	301.451.656 €
2043		28.537.389 €	2.000.000 €	26.537.389 €	6.320.000 €	20.217.389 €	5.256.521 €	21.280.868 €	322.732.524 €
2044		28.537.389 €	2.000.000 €	26.537.389 €	6.320.000 €	20.217.389 €	5.256.521 €	21.280.868 €	344.013.392 €
2045		28.537.389 €	2.000.000 €	26.537.389 €		26.537.389 €	6.899.721 €	19.637.668 €	363.651.060 €
2046		28.537.389 €	2.000.000 €	26.537.389 €		26.537.389 €	6.899.721 €	19.637.668 €	383.288.728 €
2047		28.537.389 €	2.000.000 €	26.537.389 €		26.537.389 €	6.899.721 €	19.637.668 €	402.926.396 €
2048		28.537.389 €	2.000.000 €	26.537.389 €		26.537.389 €	6.899.721 €	19.637.668 €	422.564.064 €
2049		28.537.389 €	4.000.000 €	24.537.389 €		24.537.389 €	6.379.721 €	18.157.668 €	440.721.732 €

Πίνακας 15: Αύξηση εσόδων κατά 20%

Πίνακες για την ανάλυση ευαισθησίας της επένδυσης στη μεταβολή του ύψους επένδυσης:

-20%	Επενδύσεις	Ετήσια έσοδα	Ετήσιο κόστος λειτουργίας	Ακαθάριστα κέρδη	Αποσβέσεις	Φορολογητέο εισόδημα	Φόροι	Ετήσιες ταμειακές ροές	Ταμειακή ροή
2016	31.600.000 €							-31.600.000 €	-31.600.000 €
2017	31.600.000 €							-31.600.000 €	-63.200.000 €
2018	31.600.000 €							-31.600.000 €	-94.800.000 €
2019	31.600.000 €							-31.600.000 €	-126.400.000 €
2020		15.000.000 €	2.000.000 €	13.000.000 €	6.320.000 €	6.680.000 €	1.736.800 €	11.263.200 €	-115.136.800 €
2021		16.500.000 €	2.000.000 €	14.500.000 €	6.320.000 €	8.180.000 €	2.126.800 €	12.373.200 €	-102.763.600 €
2022		18.150.000 €	2.000.000 €	16.150.000 €	6.320.000 €	9.830.000 €	2.555.800 €	13.594.200 €	-89.169.400 €
2023		19.965.000 €	2.000.000 €	17.965.000 €	6.320.000 €	11.645.000 €	3.027.700 €	14.937.300 €	-74.232.100 €
2024		21.961.500 €	2.000.000 €	19.961.500 €	6.320.000 €	13.641.500 €	3.546.790 €	16.414.710 €	-57.817.390 €
2025		22.181.115 €	2.000.000 €	20.181.115 €	6.320.000 €	13.861.115 €	3.603.890 €	16.577.225 €	-41.240.165 €
2026		22.402.926 €	2.000.000 €	20.402.926 €	6.320.000 €	14.082.926 €	3.661.561 €	16.741.365 €	-24.498.800 €
2027		22.626.955 €	2.000.000 €	20.626.955 €	6.320.000 €	14.306.955 €	3.719.808 €	16.907.147 €	-7.591.653 €
2028		22.853.225 €	2.000.000 €	20.853.225 €	6.320.000 €	14.533.225 €	3.778.638 €	17.074.586 €	9.482.934 €
2029		23.081.757 €	2.000.000 €	21.081.757 €	6.320.000 €	14.761.757 €	3.838.057 €	17.243.700 €	26.726.634 €
2030		23.312.575 €	2.000.000 €	21.312.575 €	6.320.000 €	14.992.575 €	3.898.069 €	17.414.505 €	44.141.140 €
2031		23.545.701 €	2.000.000 €	21.545.701 €	6.320.000 €	15.225.701 €	3.958.682 €	17.587.018 €	61.728.158 €
2032		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	79.489.415 €
2033		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	97.250.671 €
2034		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	115.011.928 €
2035		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	132.773.184 €
2036		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	150.534.441 €
2037		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	168.295.697 €
2038		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	186.056.954 €
2039		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	203.818.211 €
2040		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	221.579.467 €
2041		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	239.340.724 €
2042		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	257.101.980 €
2043		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	274.863.237 €
2044		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	292.624.494 €
2045		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	308.742.550 €
2046		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	324.860.607 €
2047		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	340.978.663 €
2048		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	357.096.720 €
2049		23.781.158 €	4.000.000 €	19.781.158 €		19.781.158 €	5.143.101 €	14.638.057 €	371.734.776 €

Πίνακας 16: Μείωση επένδυσης κατά 20%

-10%	Επενδύσεις	Ετήσια έσοδα	Ετήσιο κόστος λειτουργίας	Ακαθάριστα κέρδη	Αποσβέσεις	Φορολογητέο εισόδημα	Φόροι	Ετήσιες ταμειακές ροές	Ταμειακή ροή
2016	35.550.000 €							-35.550.000 €	-35.550.000 €
2017	35.550.000 €							-35.550.000 €	-71.100.000 €
2018	35.550.000 €							-35.550.000 €	-106.650.000 €
2019	35.550.000 €							-35.550.000 €	-142.200.000 €
2020		15.000.000 €	2.000.000 €	13.000.000 €	6.320.000 €	6.680.000 €	1.736.800 €	11.263.200 €	-130.936.800 €
2021		16.500.000 €	2.000.000 €	14.500.000 €	6.320.000 €	8.180.000 €	2.126.800 €	12.373.200 €	-118.563.600 €
2022		18.150.000 €	2.000.000 €	16.150.000 €	6.320.000 €	9.830.000 €	2.555.800 €	13.594.200 €	-104.969.400 €
2023		19.965.000 €	2.000.000 €	17.965.000 €	6.320.000 €	11.645.000 €	3.027.700 €	14.937.300 €	-90.032.100 €
2024		21.961.500 €	2.000.000 €	19.961.500 €	6.320.000 €	13.641.500 €	3.546.790 €	16.414.710 €	-73.617.390 €
2025		22.181.115 €	2.000.000 €	20.181.115 €	6.320.000 €	13.861.115 €	3.603.890 €	16.577.225 €	-57.040.165 €
2026		22.402.926 €	2.000.000 €	20.402.926 €	6.320.000 €	14.082.926 €	3.661.561 €	16.741.365 €	-40.298.800 €
2027		22.626.955 €	2.000.000 €	20.626.955 €	6.320.000 €	14.306.955 €	3.719.808 €	16.907.147 €	-23.391.653 €
2028		22.853.225 €	2.000.000 €	20.853.225 €	6.320.000 €	14.533.225 €	3.778.638 €	17.074.586 €	-6.317.066 €
2029		23.081.757 €	2.000.000 €	21.081.757 €	6.320.000 €	14.761.757 €	3.838.057 €	17.243.700 €	10.926.634 €
2030		23.312.575 €	2.000.000 €	21.312.575 €	6.320.000 €	14.992.575 €	3.898.069 €	17.414.505 €	28.341.140 €
2031		23.545.701 €	2.000.000 €	21.545.701 €	6.320.000 €	15.225.701 €	3.958.682 €	17.587.018 €	45.928.158 €
2032		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	63.689.415 €
2033		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	81.450.671 €
2034		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	99.211.928 €
2035		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	116.973.184 €
2036		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	134.734.441 €
2037		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	152.495.697 €
2038		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	170.256.954 €
2039		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	188.018.211 €
2040		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	205.779.467 €
2041		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	223.540.724 €
2042		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	241.301.980 €
2043		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	259.063.237 €
2044		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	276.824.494 €
2045		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	292.942.550 €
2046		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	309.060.607 €
2047		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	325.178.663 €
2048		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	341.296.720 €
2049		23.781.158 €	4.000.000 €	19.781.158 €		19.781.158 €	5.143.101 €	14.638.057 €	355.934.776 €

Πίνακας 17: Μείωση επένδυσης κατά 10%

0%	Επενδύσεις	Ετήσια έσοδα	Ετήσιο κόστος λειτουργίας	Ακαθάριστα κέρδη	Αποσβέσεις	Φορολογητέο εισόδημα	Φόροι	Ετήσιες ταμειακές ροές	Ταμειακή ροή
2016	39.500.000 €							-39.500.000 €	-39.500.000 €
2017	39.500.000 €							-39.500.000 €	-79.000.000 €
2018	39.500.000 €							-39.500.000 €	-118.500.000 €
2019	39.500.000 €							-39.500.000 €	-158.000.000 €
2020		15.000.000 €	2.000.000 €	13.000.000 €	6.320.000 €	6.680.000 €	1.736.800 €	11.263.200 €	-146.736.800 €
2021		16.500.000 €	2.000.000 €	14.500.000 €	6.320.000 €	8.180.000 €	2.126.800 €	12.373.200 €	-134.363.600 €
2022		18.150.000 €	2.000.000 €	16.150.000 €	6.320.000 €	9.830.000 €	2.555.800 €	13.594.200 €	-120.769.400 €
2023		19.965.000 €	2.000.000 €	17.965.000 €	6.320.000 €	11.645.000 €	3.027.700 €	14.937.300 €	-105.832.100 €
2024		21.961.500 €	2.000.000 €	19.961.500 €	6.320.000 €	13.641.500 €	3.546.790 €	16.414.710 €	-89.417.390 €
2025		22.181.115 €	2.000.000 €	20.181.115 €	6.320.000 €	13.861.115 €	3.603.890 €	16.577.225 €	-72.840.165 €
2026		22.402.926 €	2.000.000 €	20.402.926 €	6.320.000 €	14.082.926 €	3.661.561 €	16.741.365 €	-56.098.800 €
2027		22.626.955 €	2.000.000 €	20.626.955 €	6.320.000 €	14.306.955 €	3.719.808 €	16.907.147 €	-39.191.653 €
2028		22.853.225 €	2.000.000 €	20.853.225 €	6.320.000 €	14.533.225 €	3.778.638 €	17.074.586 €	-22.117.066 €
2029		23.081.757 €	2.000.000 €	21.081.757 €	6.320.000 €	14.761.757 €	3.838.057 €	17.243.700 €	-4.873.366 €
2030		23.312.575 €	2.000.000 €	21.312.575 €	6.320.000 €	14.992.575 €	3.898.069 €	17.414.505 €	12.541.140 €
2031		23.545.701 €	2.000.000 €	21.545.701 €	6.320.000 €	15.225.701 €	3.958.682 €	17.587.018 €	30.128.158 €
2032		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	47.889.415 €
2033		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	65.650.671 €
2034		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	83.411.928 €
2035		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	101.173.184 €
2036		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	118.934.441 €
2037		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	136.695.697 €
2038		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	154.456.954 €
2039		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	172.218.211 €
2040		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	189.979.467 €
2041		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	207.740.724 €
2042		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	225.501.980 €
2043		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	243.263.237 €
2044		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	261.024.494 €
2045		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	277.142.550 €
2046		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	293.260.607 €
2047		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	309.378.663 €
2048		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	325.496.720 €
2049		23.781.158 €	4.000.000 €	19.781.158 €		19.781.158 €	5.143.101 €	14.638.057 €	340.134.776 €

Πίνακας 18: Αμετάβλητη επένδυση

10% Επενδύσεις	Ετήσια έσοδα	Ετήσιο κόστος	Ακαθάριστα	Αποσβέσεις	Φορολογητέο	Φόροι	Ετήσιες ταμειακές	Ταμειακή ροή
2016	43.450.000 €						-43.450.000 €	-43.450.000 €
2017	43.450.000 €						-43.450.000 €	-86.900.000 €
2018	43.450.000 €						-43.450.000 €	-130.350.000 €
2019	43.450.000 €						-43.450.000 €	-173.800.000 €
2020	15.000.000 €	2.000.000 €	13.000.000 €	6.320.000 €	6.680.000 €	1.736.800 €	11.263.200 €	-162.536.800 €
2021	16.500.000 €	2.000.000 €	14.500.000 €	6.320.000 €	8.180.000 €	2.126.800 €	12.373.200 €	-150.163.600 €
2022	18.150.000 €	2.000.000 €	16.150.000 €	6.320.000 €	9.830.000 €	2.555.800 €	13.594.200 €	-136.569.400 €
2023	19.965.000 €	2.000.000 €	17.965.000 €	6.320.000 €	11.645.000 €	3.027.700 €	14.937.300 €	-121.632.100 €
2024	21.961.500 €	2.000.000 €	19.961.500 €	6.320.000 €	13.641.500 €	3.546.790 €	16.414.710 €	-105.217.390 €
2025	22.181.115 €	2.000.000 €	20.181.115 €	6.320.000 €	13.861.115 €	3.603.890 €	16.577.225 €	-88.640.165 €
2026	22.402.926 €	2.000.000 €	20.402.926 €	6.320.000 €	14.082.926 €	3.661.561 €	16.741.365 €	-71.898.800 €
2027	22.626.955 €	2.000.000 €	20.626.955 €	6.320.000 €	14.306.955 €	3.719.808 €	16.907.147 €	-54.991.653 €
2028	22.853.225 €	2.000.000 €	20.853.225 €	6.320.000 €	14.533.225 €	3.778.638 €	17.074.586 €	-37.917.066 €
2029	23.081.757 €	2.000.000 €	21.081.757 €	6.320.000 €	14.761.757 €	3.838.057 €	17.243.700 €	-20.673.366 €
2030	23.312.575 €	2.000.000 €	21.312.575 €	6.320.000 €	14.992.575 €	3.898.069 €	17.414.505 €	-3.258.860 €
2031	23.545.701 €	2.000.000 €	21.545.701 €	6.320.000 €	15.225.701 €	3.958.682 €	17.587.018 €	14.328.158 €
2032	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	32.089.415 €
2033	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	49.850.671 €
2034	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	67.611.928 €
2035	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	85.373.184 €
2036	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	103.134.441 €
2037	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	120.895.697 €
2038	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	138.656.954 €
2039	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	156.418.211 €
2040	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	174.179.467 €
2041	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	191.940.724 €
2042	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	209.701.980 €
2043	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	227.463.237 €
2044	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	245.224.494 €
2045	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	261.342.550 €
2046	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	277.460.607 €
2047	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	293.578.663 €
2048	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	309.696.720 €
2049	23.781.158 €	4.000.000 €	19.781.158 €		19.781.158 €	5.143.101 €	14.638.057 €	324.334.776 €

Πίνακας 19: Άυξηση επένδυσης κατά 10%

20%	Επενδύσεις	Ετήσια έσοδα	Ετήσιο κόστος	Ακαθάριστα	Αποσβέσεις	Φορολογητέο	Φόροι	Ετήσιες ταμειακές	Ταμειακή ροή
2016	47.400.000 €							-47.400.000 €	-47.400.000 €
2017	47.400.000 €							-47.400.000 €	-94.800.000 €
2018	47.400.000 €							-47.400.000 €	-142.200.000 €
2019	47.400.000 €							-47.400.000 €	-189.600.000 €
2020	15.000.000 €	2.000.000 €	13.000.000 €	6.320.000 €	6.680.000 €	1.736.800 €		11.263.200 €	-178.336.800 €
2021	16.500.000 €	2.000.000 €	14.500.000 €	6.320.000 €	8.180.000 €	2.126.800 €		12.373.200 €	-165.963.600 €
2022	18.150.000 €	2.000.000 €	16.150.000 €	6.320.000 €	9.830.000 €	2.555.800 €		13.594.200 €	-152.369.400 €
2023	19.965.000 €	2.000.000 €	17.965.000 €	6.320.000 €	11.645.000 €	3.027.700 €		14.937.300 €	-137.432.100 €
2024	21.961.500 €	2.000.000 €	19.961.500 €	6.320.000 €	13.641.500 €	3.546.790 €		16.414.710 €	-121.017.390 €
2025	22.181.115 €	2.000.000 €	20.181.115 €	6.320.000 €	13.861.115 €	3.603.890 €		16.577.225 €	-104.440.165 €
2026	22.402.926 €	2.000.000 €	20.402.926 €	6.320.000 €	14.082.926 €	3.661.561 €		16.741.365 €	-87.698.800 €
2027	22.626.955 €	2.000.000 €	20.626.955 €	6.320.000 €	14.306.955 €	3.719.808 €		16.907.147 €	-70.791.653 €
2028	22.853.225 €	2.000.000 €	20.853.225 €	6.320.000 €	14.533.225 €	3.778.638 €		17.074.586 €	-53.717.066 €
2029	23.081.757 €	2.000.000 €	21.081.757 €	6.320.000 €	14.761.757 €	3.838.057 €		17.243.700 €	-36.473.366 €
2030	23.312.575 €	2.000.000 €	21.312.575 €	6.320.000 €	14.992.575 €	3.898.069 €		17.414.505 €	-19.058.860 €
2031	23.545.701 €	2.000.000 €	21.545.701 €	6.320.000 €	15.225.701 €	3.958.682 €		17.587.018 €	-1.471.842 €
2032	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €		17.761.257 €	16.289.415 €
2033	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €		17.761.257 €	34.050.671 €
2034	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €		17.761.257 €	51.811.928 €
2035	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €		17.761.257 €	69.573.184 €
2036	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €		17.761.257 €	87.334.441 €
2037	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €		17.761.257 €	105.095.697 €
2038	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €		17.761.257 €	122.856.954 €
2039	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €		17.761.257 €	140.618.211 €
2040	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €		17.761.257 €	158.379.467 €
2041	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €		17.761.257 €	176.140.724 €
2042	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €		17.761.257 €	193.901.980 €
2043	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €		17.761.257 €	211.663.237 €
2044	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €		17.761.257 €	229.424.494 €
2045	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €		16.118.057 €	245.542.550 €
2046	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €		16.118.057 €	261.660.607 €
2047	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €		16.118.057 €	277.778.663 €
2048	23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €		16.118.057 €	293.896.720 €
2049	23.781.158 €	4.000.000 €	19.781.158 €		19.781.158 €	5.143.101 €		14.638.057 €	308.534.776 €

Πίνακας 20: Αύξηση επένδυσης κατά 20%

Πίνακες για την ανάλυση ευαισθησίας της επένδυσης στη μεταβολή του λειτουργικού κόστους:

-20%	Επενδύσεις	Ετήσια έσοδα	Ετήσιο κόστος λειτουργίας	Ακαθάριστα κέρδη	Αποσβέσεις	Φορολογητέο εισόδημα	Φόροι	Ετήσιες ταμειακές ροές	Ταμειακή ροή
2016	39.500.000 €							-39.500.000 €	-39.500.000 €
2017	39.500.000 €							-39.500.000 €	-79.000.000 €
2018	39.500.000 €							-39.500.000 €	-118.500.000 €
2019	39.500.000 €							-39.500.000 €	-158.000.000 €
2020		15.000.000 €	1.600.000 €	13.400.000 €	6.320.000 €	7.080.000 €	1.840.800 €	11.559.200 €	-146.440.800 €
2021		16.500.000 €	1.600.000 €	14.900.000 €	6.320.000 €	8.580.000 €	2.230.800 €	12.669.200 €	-133.771.600 €
2022		18.150.000 €	1.600.000 €	16.550.000 €	6.320.000 €	10.230.000 €	2.659.800 €	13.890.200 €	-119.881.400 €
2023		19.965.000 €	1.600.000 €	18.365.000 €	6.320.000 €	12.045.000 €	3.131.700 €	15.233.300 €	-104.648.100 €
2024		21.961.500 €	1.600.000 €	20.361.500 €	6.320.000 €	14.041.500 €	3.650.790 €	16.710.710 €	-87.937.390 €
2025		22.181.115 €	1.600.000 €	20.581.115 €	6.320.000 €	14.261.115 €	3.707.890 €	16.873.225 €	-71.064.165 €
2026		22.402.926 €	1.600.000 €	20.802.926 €	6.320.000 €	14.482.926 €	3.765.561 €	17.037.365 €	-54.026.800 €
2027		22.626.955 €	1.600.000 €	21.026.955 €	6.320.000 €	14.706.955 €	3.823.808 €	17.203.147 €	-36.823.653 €
2028		22.853.225 €	1.600.000 €	21.253.225 €	6.320.000 €	14.933.225 €	3.882.638 €	17.370.586 €	-19.453.066 €
2029		23.081.757 €	1.600.000 €	21.481.757 €	6.320.000 €	15.161.757 €	3.942.057 €	17.539.700 €	-1.913.366 €
2030		23.312.575 €	1.600.000 €	21.712.575 €	6.320.000 €	15.392.575 €	4.002.069 €	17.710.505 €	15.797.140 €
2031		23.545.701 €	1.600.000 €	21.945.701 €	6.320.000 €	15.625.701 €	4.062.682 €	17.883.018 €	33.680.158 €
2032		23.781.158 €	1.600.000 €	22.181.158 €	6.320.000 €	15.861.158 €	4.123.901 €	18.057.257 €	51.737.415 €
2033		23.781.158 €	1.600.000 €	22.181.158 €	6.320.000 €	15.861.158 €	4.123.901 €	18.057.257 €	69.794.671 €
2034		23.781.158 €	1.600.000 €	22.181.158 €	6.320.000 €	15.861.158 €	4.123.901 €	18.057.257 €	87.851.928 €
2035		23.781.158 €	1.600.000 €	22.181.158 €	6.320.000 €	15.861.158 €	4.123.901 €	18.057.257 €	105.909.184 €
2036		23.781.158 €	1.600.000 €	22.181.158 €	6.320.000 €	15.861.158 €	4.123.901 €	18.057.257 €	123.966.441 €
2037		23.781.158 €	1.600.000 €	22.181.158 €	6.320.000 €	15.861.158 €	4.123.901 €	18.057.257 €	142.023.697 €
2038		23.781.158 €	1.600.000 €	22.181.158 €	6.320.000 €	15.861.158 €	4.123.901 €	18.057.257 €	160.080.954 €
2039		23.781.158 €	1.600.000 €	22.181.158 €	6.320.000 €	15.861.158 €	4.123.901 €	18.057.257 €	178.138.211 €
2040		23.781.158 €	1.600.000 €	22.181.158 €	6.320.000 €	15.861.158 €	4.123.901 €	18.057.257 €	196.195.467 €
2041		23.781.158 €	1.600.000 €	22.181.158 €	6.320.000 €	15.861.158 €	4.123.901 €	18.057.257 €	214.252.724 €
2042		23.781.158 €	1.600.000 €	22.181.158 €	6.320.000 €	15.861.158 €	4.123.901 €	18.057.257 €	232.309.980 €
2043		23.781.158 €	1.600.000 €	22.181.158 €	6.320.000 €	15.861.158 €	4.123.901 €	18.057.257 €	250.367.237 €
2044		23.781.158 €	1.600.000 €	22.181.158 €	6.320.000 €	15.861.158 €	4.123.901 €	18.057.257 €	268.424.494 €
2045		23.781.158 €	1.600.000 €	22.181.158 €		22.181.158 €	5.767.101 €	16.414.057 €	284.838.550 €
2046		23.781.158 €	1.600.000 €	22.181.158 €		22.181.158 €	5.767.101 €	16.414.057 €	301.252.607 €
2047		23.781.158 €	1.600.000 €	22.181.158 €		22.181.158 €	5.767.101 €	16.414.057 €	317.666.663 €
2048		23.781.158 €	1.600.000 €	22.181.158 €		22.181.158 €	5.767.101 €	16.414.057 €	334.080.720 €
2049		23.781.158 €	3.600.000 €	20.181.158 €		20.181.158 €	5.247.101 €	14.934.057 €	349.014.776 €

Πίνακας 21: Μείωση λειτουργικού κόστους κατά 20%

-10%	Επενδύσεις	Ετήσια έσοδα	Ετήσιο κόστος λειτουργίας	Ακαθάριστα κέρδη	Αποσβέσεις	Φορολογητέο εισόδημα	Φόροι	Ετήσιες ταμειακές ροές	Ταμειακή ροή
2016	39.500.000 €							-39.500.000 €	-39.500.000 €
2017	39.500.000 €							-39.500.000 €	-79.000.000 €
2018	39.500.000 €							-39.500.000 €	-118.500.000 €
2019	39.500.000 €							-39.500.000 €	-158.000.000 €
2020		15.000.000 €	1.800.000 €	13.200.000 €	6.320.000 €	6.880.000 €	1.788.800 €	11.411.200 €	-146.588.800 €
2021		16.500.000 €	1.800.000 €	14.700.000 €	6.320.000 €	8.380.000 €	2.178.800 €	12.521.200 €	-134.067.600 €
2022		18.150.000 €	1.800.000 €	16.350.000 €	6.320.000 €	10.030.000 €	2.607.800 €	13.742.200 €	-120.325.400 €
2023		19.965.000 €	1.800.000 €	18.165.000 €	6.320.000 €	11.845.000 €	3.079.700 €	15.085.300 €	-105.240.100 €
2024		21.961.500 €	1.800.000 €	20.161.500 €	6.320.000 €	13.841.500 €	3.598.790 €	16.562.710 €	-88.677.390 €
2025		22.181.115 €	1.800.000 €	20.381.115 €	6.320.000 €	14.061.115 €	3.655.890 €	16.725.225 €	-71.952.165 €
2026		22.402.926 €	1.800.000 €	20.602.926 €	6.320.000 €	14.282.926 €	3.713.561 €	16.889.365 €	-55.062.800 €
2027		22.626.955 €	1.800.000 €	20.826.955 €	6.320.000 €	14.506.955 €	3.771.808 €	17.055.147 €	-38.007.653 €
2028		22.853.225 €	1.800.000 €	21.053.225 €	6.320.000 €	14.733.225 €	3.830.638 €	17.222.586 €	-20.785.066 €
2029		23.081.757 €	1.800.000 €	21.281.757 €	6.320.000 €	14.961.757 €	3.890.057 €	17.391.700 €	-3.393.366 €
2030		23.312.575 €	1.800.000 €	21.512.575 €	6.320.000 €	15.192.575 €	3.950.069 €	17.562.505 €	14.169.140 €
2031		23.545.701 €	1.800.000 €	21.745.701 €	6.320.000 €	15.425.701 €	4.010.682 €	17.735.018 €	31.904.158 €
2032		23.781.158 €	1.800.000 €	21.981.158 €	6.320.000 €	15.661.158 €	4.071.901 €	17.909.257 €	49.813.415 €
2033		23.781.158 €	1.800.000 €	21.981.158 €	6.320.000 €	15.661.158 €	4.071.901 €	17.909.257 €	67.722.671 €
2034		23.781.158 €	1.800.000 €	21.981.158 €	6.320.000 €	15.661.158 €	4.071.901 €	17.909.257 €	85.631.928 €
2035		23.781.158 €	1.800.000 €	21.981.158 €	6.320.000 €	15.661.158 €	4.071.901 €	17.909.257 €	103.541.184 €
2036		23.781.158 €	1.800.000 €	21.981.158 €	6.320.000 €	15.661.158 €	4.071.901 €	17.909.257 €	121.450.441 €
2037		23.781.158 €	1.800.000 €	21.981.158 €	6.320.000 €	15.661.158 €	4.071.901 €	17.909.257 €	139.359.697 €
2038		23.781.158 €	1.800.000 €	21.981.158 €	6.320.000 €	15.661.158 €	4.071.901 €	17.909.257 €	157.268.954 €
2039		23.781.158 €	1.800.000 €	21.981.158 €	6.320.000 €	15.661.158 €	4.071.901 €	17.909.257 €	175.178.211 €
2040		23.781.158 €	1.800.000 €	21.981.158 €	6.320.000 €	15.661.158 €	4.071.901 €	17.909.257 €	193.087.467 €
2041		23.781.158 €	1.800.000 €	21.981.158 €	6.320.000 €	15.661.158 €	4.071.901 €	17.909.257 €	210.996.724 €
2042		23.781.158 €	1.800.000 €	21.981.158 €	6.320.000 €	15.661.158 €	4.071.901 €	17.909.257 €	228.905.980 €
2043		23.781.158 €	1.800.000 €	21.981.158 €	6.320.000 €	15.661.158 €	4.071.901 €	17.909.257 €	246.815.237 €
2044		23.781.158 €	1.800.000 €	21.981.158 €	6.320.000 €	15.661.158 €	4.071.901 €	17.909.257 €	264.724.494 €
2045		23.781.158 €	1.800.000 €	21.981.158 €		21.981.158 €	5.715.101 €	16.266.057 €	280.990.550 €
2046		23.781.158 €	1.800.000 €	21.981.158 €		21.981.158 €	5.715.101 €	16.266.057 €	297.256.607 €
2047		23.781.158 €	1.800.000 €	21.981.158 €		21.981.158 €	5.715.101 €	16.266.057 €	313.522.663 €
2048		23.781.158 €	1.800.000 €	21.981.158 €		21.981.158 €	5.715.101 €	16.266.057 €	329.788.720 €
2049		23.781.158 €	3.800.000 €	19.981.158 €		19.981.158 €	5.195.101 €	14.786.057 €	344.574.776 €

Πίνακας 22: Μείωση λειτουργικού κόστους κατά 10%

0%	Επενδύσεις	Ετήσια έσοδα	Ετήσιο κόστος λειτουργίας	Ακαθάριστα κέρδη	Αποσβέσεις	Φορολογητέο εισόδημα	Φόροι	Ετήσιες ταμειακές ροές	Ταμειακή ροή
2016	39.500.000 €							-39.500.000 €	-39.500.000 €
2017	39.500.000 €							-39.500.000 €	-79.000.000 €
2018	39.500.000 €							-39.500.000 €	-118.500.000 €
2019	39.500.000 €							-39.500.000 €	-158.000.000 €
2020		15.000.000 €	2.000.000 €	13.000.000 €	6.320.000 €	6.680.000 €	1.736.800 €	11.263.200 €	-146.736.800 €
2021		16.500.000 €	2.000.000 €	14.500.000 €	6.320.000 €	8.180.000 €	2.126.800 €	12.373.200 €	-134.363.600 €
2022		18.150.000 €	2.000.000 €	16.150.000 €	6.320.000 €	9.830.000 €	2.555.800 €	13.594.200 €	-120.769.400 €
2023		19.965.000 €	2.000.000 €	17.965.000 €	6.320.000 €	11.645.000 €	3.027.700 €	14.937.300 €	-105.832.100 €
2024		21.961.500 €	2.000.000 €	19.961.500 €	6.320.000 €	13.641.500 €	3.546.790 €	16.414.710 €	-89.417.390 €
2025		22.181.115 €	2.000.000 €	20.181.115 €	6.320.000 €	13.861.115 €	3.603.890 €	16.577.225 €	-72.840.165 €
2026		22.402.926 €	2.000.000 €	20.402.926 €	6.320.000 €	14.082.926 €	3.661.561 €	16.741.365 €	-56.098.800 €
2027		22.626.955 €	2.000.000 €	20.626.955 €	6.320.000 €	14.306.955 €	3.719.808 €	16.907.147 €	-39.191.653 €
2028		22.853.225 €	2.000.000 €	20.853.225 €	6.320.000 €	14.533.225 €	3.778.638 €	17.074.586 €	-22.117.066 €
2029		23.081.757 €	2.000.000 €	21.081.757 €	6.320.000 €	14.761.757 €	3.838.057 €	17.243.700 €	-4.873.366 €
2030		23.312.575 €	2.000.000 €	21.312.575 €	6.320.000 €	14.992.575 €	3.898.069 €	17.414.505 €	12.541.140 €
2031		23.545.701 €	2.000.000 €	21.545.701 €	6.320.000 €	15.225.701 €	3.958.682 €	17.587.018 €	30.128.158 €
2032		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	47.889.415 €
2033		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	65.650.671 €
2034		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	83.411.928 €
2035		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	101.173.184 €
2036		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	118.934.441 €
2037		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	136.695.697 €
2038		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	154.456.954 €
2039		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	172.218.211 €
2040		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	189.979.467 €
2041		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	207.740.724 €
2042		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	225.501.980 €
2043		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	243.263.237 €
2044		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €	6.320.000 €	15.461.158 €	4.019.901 €	17.761.257 €	261.024.494 €
2045		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	277.142.550 €
2046		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	293.260.607 €
2047		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	309.378.663 €
2048		23.781.158 €	2.000.000 €	21.781.158 €		21.781.158 €	5.663.101 €	16.118.057 €	325.496.720 €
2049		23.781.158 €	4.000.000 €	19.781.158 €		19.781.158 €	5.143.101 €	14.638.057 €	340.134.776 €

Πίνακας 23: Αμετάβλητο λειτουργικό κόστος

10%	Επενδύσεις	Ετήσια έσοδα	Ετήσιο κόστος λειτουργίας	Ακαθάριστα κέρδη	Αποσβέσεις	Φορολογητέο εισόδημα	Φόροι	Ετήσιες ταμειακές ροές	Ταμειακή ροή
2016	39.500.000 €							-39.500.000 €	-39.500.000 €
2017	39.500.000 €							-39.500.000 €	-79.000.000 €
2018	39.500.000 €							-39.500.000 €	-118.500.000 €
2019	39.500.000 €							-39.500.000 €	-158.000.000 €
2020		15.000.000 €	2.200.000 €	12.800.000 €	6.320.000 €	6.480.000 €	1.684.800 €	11.115.200 €	-146.884.800 €
2021		16.500.000 €	2.200.000 €	14.300.000 €	6.320.000 €	7.980.000 €	2.074.800 €	12.225.200 €	-134.659.600 €
2022		18.150.000 €	2.200.000 €	15.950.000 €	6.320.000 €	9.630.000 €	2.503.800 €	13.446.200 €	-121.213.400 €
2023		19.965.000 €	2.200.000 €	17.765.000 €	6.320.000 €	11.445.000 €	2.975.700 €	14.789.300 €	-106.424.100 €
2024		21.961.500 €	2.200.000 €	19.761.500 €	6.320.000 €	13.441.500 €	3.494.790 €	16.266.710 €	-90.157.390 €
2025		22.181.115 €	2.200.000 €	19.981.115 €	6.320.000 €	13.661.115 €	3.551.890 €	16.429.225 €	-73.728.165 €
2026		22.402.926 €	2.200.000 €	20.202.926 €	6.320.000 €	13.882.926 €	3.609.561 €	16.593.365 €	-57.134.800 €
2027		22.626.955 €	2.200.000 €	20.426.955 €	6.320.000 €	14.106.955 €	3.667.808 €	16.759.147 €	-40.375.653 €
2028		22.853.225 €	2.200.000 €	20.653.225 €	6.320.000 €	14.333.225 €	3.726.638 €	16.926.586 €	-23.449.066 €
2029		23.081.757 €	2.200.000 €	20.881.757 €	6.320.000 €	14.561.757 €	3.786.057 €	17.095.700 €	-6.353.366 €
2030		23.312.575 €	2.200.000 €	21.112.575 €	6.320.000 €	14.792.575 €	3.846.069 €	17.266.505 €	10.913.140 €
2031		23.545.701 €	2.200.000 €	21.345.701 €	6.320.000 €	15.025.701 €	3.906.682 €	17.439.018 €	28.352.158 €
2032		23.781.158 €	2.200.000 €	21.581.158 €	6.320.000 €	15.261.158 €	3.967.901 €	17.613.257 €	45.965.415 €
2033		23.781.158 €	2.200.000 €	21.581.158 €	6.320.000 €	15.261.158 €	3.967.901 €	17.613.257 €	63.578.671 €
2034		23.781.158 €	2.200.000 €	21.581.158 €	6.320.000 €	15.261.158 €	3.967.901 €	17.613.257 €	81.191.928 €
2035		23.781.158 €	2.200.000 €	21.581.158 €	6.320.000 €	15.261.158 €	3.967.901 €	17.613.257 €	98.805.184 €
2036		23.781.158 €	2.200.000 €	21.581.158 €	6.320.000 €	15.261.158 €	3.967.901 €	17.613.257 €	116.418.441 €
2037		23.781.158 €	2.200.000 €	21.581.158 €	6.320.000 €	15.261.158 €	3.967.901 €	17.613.257 €	134.031.697 €
2038		23.781.158 €	2.200.000 €	21.581.158 €	6.320.000 €	15.261.158 €	3.967.901 €	17.613.257 €	151.644.954 €
2039		23.781.158 €	2.200.000 €	21.581.158 €	6.320.000 €	15.261.158 €	3.967.901 €	17.613.257 €	169.258.211 €
2040		23.781.158 €	2.200.000 €	21.581.158 €	6.320.000 €	15.261.158 €	3.967.901 €	17.613.257 €	186.871.467 €
2041		23.781.158 €	2.200.000 €	21.581.158 €	6.320.000 €	15.261.158 €	3.967.901 €	17.613.257 €	204.484.724 €
2042		23.781.158 €	2.200.000 €	21.581.158 €	6.320.000 €	15.261.158 €	3.967.901 €	17.613.257 €	222.097.980 €
2043		23.781.158 €	2.200.000 €	21.581.158 €	6.320.000 €	15.261.158 €	3.967.901 €	17.613.257 €	239.711.237 €
2044		23.781.158 €	2.200.000 €	21.581.158 €	6.320.000 €	15.261.158 €	3.967.901 €	17.613.257 €	257.324.494 €
2045		23.781.158 €	2.200.000 €	21.581.158 €		21.581.158 €	5.611.101 €	15.970.057 €	273.294.550 €
2046		23.781.158 €	2.200.000 €	21.581.158 €		21.581.158 €	5.611.101 €	15.970.057 €	289.264.607 €
2047		23.781.158 €	2.200.000 €	21.581.158 €		21.581.158 €	5.611.101 €	15.970.057 €	305.234.663 €
2048		23.781.158 €	2.200.000 €	21.581.158 €		21.581.158 €	5.611.101 €	15.970.057 €	321.204.720 €
2049		23.781.158 €	4.200.000 €	19.581.158 €		19.581.158 €	5.091.101 €	14.490.057 €	335.694.776 €

Πίνακας 24: Αύξηση λειτουργικού κόστους κατά 10%

20%	Επενδύσεις	Ετήσια έσοδα	Ετήσιο κόστος λειτουργίας	Ακαθάριστα κέρδη	Αποσβέσεις	Φορολογητέο εισόδημα	Φόροι	Ετήσιες ταμειακές ροές	Ταμειακή ροή
2016	39.500.000 €							-39.500.000 €	-39.500.000 €
2017	39.500.000 €							-39.500.000 €	-79.000.000 €
2018	39.500.000 €							-39.500.000 €	-118.500.000 €
2019	39.500.000 €							-39.500.000 €	-158.000.000 €
2020		15.000.000 €	2.400.000 €	12.600.000 €	6.320.000 €	6.280.000 €	1.632.800 €	10.967.200 €	-147.032.800 €
2021		16.500.000 €	2.400.000 €	14.100.000 €	6.320.000 €	7.780.000 €	2.022.800 €	12.077.200 €	-134.955.600 €
2022		18.150.000 €	2.400.000 €	15.750.000 €	6.320.000 €	9.430.000 €	2.451.800 €	13.298.200 €	-121.657.400 €
2023		19.965.000 €	2.400.000 €	17.565.000 €	6.320.000 €	11.245.000 €	2.923.700 €	14.641.300 €	-107.016.100 €
2024		21.961.500 €	2.400.000 €	19.561.500 €	6.320.000 €	13.241.500 €	3.442.790 €	16.118.710 €	-90.897.390 €
2025		22.181.115 €	2.400.000 €	19.781.115 €	6.320.000 €	13.461.115 €	3.499.890 €	16.281.225 €	-74.616.165 €
2026		22.402.926 €	2.400.000 €	20.002.926 €	6.320.000 €	13.682.926 €	3.557.561 €	16.445.365 €	-58.170.800 €
2027		22.626.955 €	2.400.000 €	20.226.955 €	6.320.000 €	13.906.955 €	3.615.808 €	16.611.147 €	-41.559.653 €
2028		22.853.225 €	2.400.000 €	20.453.225 €	6.320.000 €	14.133.225 €	3.674.638 €	16.778.586 €	-24.781.066 €
2029		23.081.757 €	2.400.000 €	20.681.757 €	6.320.000 €	14.361.757 €	3.734.057 €	16.947.700 €	-7.833.366 €
2030		23.312.575 €	2.400.000 €	20.912.575 €	6.320.000 €	14.592.575 €	3.794.069 €	17.118.505 €	9.285.140 €
2031		23.545.701 €	2.400.000 €	21.145.701 €	6.320.000 €	14.825.701 €	3.854.682 €	17.291.018 €	26.576.158 €
2032		23.781.158 €	2.400.000 €	21.381.158 €	6.320.000 €	15.061.158 €	3.915.901 €	17.465.257 €	44.041.415 €
2033		23.781.158 €	2.400.000 €	21.381.158 €	6.320.000 €	15.061.158 €	3.915.901 €	17.465.257 €	61.506.671 €
2034		23.781.158 €	2.400.000 €	21.381.158 €	6.320.000 €	15.061.158 €	3.915.901 €	17.465.257 €	78.971.928 €
2035		23.781.158 €	2.400.000 €	21.381.158 €	6.320.000 €	15.061.158 €	3.915.901 €	17.465.257 €	96.437.184 €
2036		23.781.158 €	2.400.000 €	21.381.158 €	6.320.000 €	15.061.158 €	3.915.901 €	17.465.257 €	113.902.441 €
2037		23.781.158 €	2.400.000 €	21.381.158 €	6.320.000 €	15.061.158 €	3.915.901 €	17.465.257 €	131.367.697 €
2038		23.781.158 €	2.400.000 €	21.381.158 €	6.320.000 €	15.061.158 €	3.915.901 €	17.465.257 €	148.832.954 €
2039		23.781.158 €	2.400.000 €	21.381.158 €	6.320.000 €	15.061.158 €	3.915.901 €	17.465.257 €	166.298.211 €
2040		23.781.158 €	2.400.000 €	21.381.158 €	6.320.000 €	15.061.158 €	3.915.901 €	17.465.257 €	183.763.467 €
2041		23.781.158 €	2.400.000 €	21.381.158 €	6.320.000 €	15.061.158 €	3.915.901 €	17.465.257 €	201.228.724 €
2042		23.781.158 €	2.400.000 €	21.381.158 €	6.320.000 €	15.061.158 €	3.915.901 €	17.465.257 €	218.693.980 €
2043		23.781.158 €	2.400.000 €	21.381.158 €	6.320.000 €	15.061.158 €	3.915.901 €	17.465.257 €	236.159.237 €
2044		23.781.158 €	2.400.000 €	21.381.158 €	6.320.000 €	15.061.158 €	3.915.901 €	17.465.257 €	253.624.494 €
2045		23.781.158 €	2.400.000 €	21.381.158 €		21.381.158 €	5.559.101 €	15.822.057 €	269.446.550 €
2046		23.781.158 €	2.400.000 €	21.381.158 €		21.381.158 €	5.559.101 €	15.822.057 €	285.268.607 €
2047		23.781.158 €	2.400.000 €	21.381.158 €		21.381.158 €	5.559.101 €	15.822.057 €	301.090.663 €
2048		23.781.158 €	2.400.000 €	21.381.158 €		21.381.158 €	5.559.101 €	15.822.057 €	316.912.720 €
2049		23.781.158 €	4.200.000 €	19.581.158 €		19.581.158 €	5.091.101 €	14.490.057 €	331.402.776 €

Πίνακας 25: Αύξηση λειτουργικού κόστους κατά 20%

Προεξοφλητικό Επιτόκιο	NPV
0%	340.134.776 €
4%	97.649.933 €
8%	967.202 €
12%	-40.481.148 €
16%	-58.840.767 €
20%	-66.693.439 €

Πίνακας 26: Μεταβολή ΚΠΑ ανάλογα με το προεξοφλητικό επιτόκιο