



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΠΜΣ «ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ»

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ
ΕΠΙΠΥΘΟΜΕΝΙΑΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΖΕΥΞΗ
ΣΑΛΑΜΙΝΑΣ – ΠΕΡΑΜΑΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Λουκά Η. Λιώρη

Επιβλέπων: Ανδρέας Μπενάρδος,
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΠΜΣ: «ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ»

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ
ΕΠΙΠΥΘΟΜΕΝΙΑΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΖΕΥΞΗ
ΣΑΛΑΜΙΝΑΣ – ΠΕΡΑΜΑΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Λουκά Η. Λιώρη

Επιβλέπων: Ανδρέας Μπενάρδος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 03/03/2017

Α. Μπενάρδος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜ.Π.

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

Δ. Δαμίγος, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2017

Copyright © Λουκάς Λιώρης, 2017

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.

Στον πατέρα και το θείο μου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του μαθήματος «Σχεδιασμός και Οικονομοτεχνική Αξιολόγηση Ειδικών Υπογείων Έργων» του 1ου εξαμήνου του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών (ΔΠΜΣ) «Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων» του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ).

Προτού ξεκινήσει η παρουσίαση της διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα κ. Ανδρέα Μπενάρδο, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών. Η καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, οι σημαντικές γνώσεις που μου μετέδωσε και το βιβλιογραφικό υλικό που μου παρείχε, βοήθησαν τα μέγιστα στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αθανάσιο Μαυρίκο, μέλος Ε.ΔΙ.Π. της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών, για τη βοήθειά για την χωρική και χρονική μεταφορά του κόστους υποβρύχιων σηράγγων και τον Λουκά – Μωυσή Μισθό, υποψήφιο διδάκτορα ΕΜΠ και ερευνητή της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών για την κατασκευή του γεωαναφερμένου χάρτη με τα πιθανά σενάρια χάραξης της σήραγγας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, για την αμέριστη κατανόηση και συμπαράσταση, τόσο κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, όσο και για όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Θέμα της παρούσας μεταπτυχιακής 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 ζεύξης έως τον τρόπο κατασκευής και λειτουργίας του και επιχειρείται μια αξιολόγηση του επενδυτικού αυτού σχεδίου.

Η εργασία αποτελείται από τέσσερα μέρη. Στο πρώτο μέρος παρουσιάζεται το πρόβλημα που προκύπτει από την ακτοπλοϊκή σύνδεση της Σαλαμίνας με την Αττική και προτείνεται η κατασκευή μόνιμης οδικής ζεύξης για την επίλυσή του, ενώ στη συνέχεια επισημαίνονται οι βασικότεροι παράγοντες που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την επιλογή της βέλτιστης λύσης.

Στο δεύτερο μέρος, δίνονται γενικές πληροφορίες για τις ζεύξεις πορθμών και αξιολογούνται οι πιθανοί τρόποι σύνδεσης της Σαλαμίνας με το Πέραμα, όπου επιλέγεται εν τέλει η υποτυθμένα οδική σήραγγα.

Στο τρίτο μέρος της εργασίας, γίνεται ο σχεδιασμός της σήραγγας, κατά τον οποίο επιλέγεται η χάραξη και η βέλτιστη διατομή της. Στη συνέχεια, αναλύονται οι μέθοδοι κατασκευής των επιτυθμένων σηράγγων οι οποίοι κι θα εφαρμοστούν για το υπό ανάλυση Έργο.

Στο τέταρτο και τελευταίο μέρος της εργασίας, καταστρώνεται το χρονοδιάγραμμα κατασκευής του Έργου και υπολογίζεται το ύψος του προϋπολογισμού. Ακόμη, επιχειρείται η οικονομική αξιολόγηση του επενδυτικού σχεδίου με τη χρήση σχετικών κριτηρίων (IRR & NPV), μία ανάλυση ευαισθησίας και τέλος μια πιθανολογική ανάλυση με προσομοίωση Monte Carlo. 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 master's 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 and after that, a financial analysis of the investment is attempted.

The thesis consists of four parts. In the first one, the problem caused by the ferry boat connection of the Salamis Island with Attica is presented and followed by the suggestion of the construction of a permanent road connection, as a solution of the problem mentioned. Afterwards, the main factors concerning the selection of the best solution are presented.

In the second part, general information regarding strait crossing is provided and the possible solutions for the Perama – Salamis Crossing are evaluated, before the immersed – tube tunnel final election.

In the third part of this master's thesis the design of the tunnel is analyzed, where the tunnel alignment and the most suitable cross – section are selected. Moreover, there is a detailed description of the immersed – tube tunnels construction methods which will be implemented to the project.

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

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ii
ABSTRACT	iii
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	viii
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	ix
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ.....	x
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΤΟ ΕΡΓΟ ΤΗΣ ΖΕΥΞΗΣ ΤΗΣ ΣΑΛΑΜΙΝΑΣ ΜΕ ΤΟ ΠΕΡΑΜΑ.....	1
1.1. Η ΝΗΣΟΣ ΣΑΛΑΜΙΝΑ	1
1.2. ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΟΝΙΜΗΣ ΟΔΙΚΗΣ ΖΕΥΞΗΣ	3
1.2.1. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ.....	3
1.2.2. ΣΥΝΔΕΣΗ ΠΕΡΑΜΑΤΟΣ ΣΑΛΑΜΙΝΑΣ.....	4
1.2.3. ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	11
2.1. ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΚΤΩΝ.....	11
2.2. ΒΑΘΟΣ ΠΥΘΟΜΕΝΑ	12
2.3. ΝΑΥΣΤΑΘΜΟΣ.....	13
2.4. ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΕΣ	13
2.5. ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ.....	13
2.6. ΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	16
2.6.1. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΣΑΛΑΜΙΝΑΣ – ΠΕΡΑΜΑΤΟΣ*	16
2.6.2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ.....	20
2.6.3. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΧΑΡΑΞΗΣ.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΖΕΥΞΗ ΠΟΡΘΜΩΝ	25
3.1. ΓΕΦΥΡΕΣ.....	27
3.2. ΣΗΡΑΓΓΕΣ	30
3.2.1. ΕΠΙΠΥΘΟΜΕΝΙΕΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ (Immersed Tube Tunnels).....	35
3.2.2. ΥΠΟΠΥΘΟΜΕΝΙΕΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ (Subsea Tunnels).....	36
3.2.3. ΠΛΩΤΕΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ (Submerged Floating Tunnels).....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΥΠΟΥ ΖΕΥΞΗΣ	43
4.1. ΓΕΦΥΡΑ	43
4.2. ΠΛΩΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑ.....	44
4.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΑΣΙΚΟΤΕΡΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΡΟΠΟΥ ΖΕΥΞΗΣ	46
4.3.1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	46

4.3.2. ΒΑΘΟΣ ΠΥΘΜΕΝΑ	47
4.3.3. ΑΠΟΣΤΑΣΗ	47
4.3.4. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	48
4.3.5. ΚΟΣΤΟΣ.....	49
4.3.6. ΛΟΙΠΑ	51
4.4. ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΛΥΣΗ.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ	55
5.1. ΟΔΕΥΣΗ.....	55
5.2. ΔΙΑΤΟΜΗ.....	61
5.2.1. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ.....	63
5.3. ΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΗΡΑΓΓΑΣ.....	64
5.3.1. ΕΣΟΧΕΣ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ	64
5.3.2. ΕΞΟΔΟΙ ΔΙΑΦΥΓΗΣ ΠΕΖΩΝ.....	65
5.4. ΤΑΦΡΟΣ	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΠΙΠΥΘΟΜΕΝΙΑΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ.....	67
6.1. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΑΚΑΣΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΠΙΠΥΘΟΜΕΝΙΑΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ	67
6.2. ΒΥΘΟΚΟΡΗΣΗ.....	68
6.3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΣΠΟΝΔΥΛΩΝ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ.....	70
6.3.1. ΣΗΜΕΙΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	70
6.3.2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΣΠΟΝΔΥΛΩΝ	71
6.3.3. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΣΠΟΝΔΥΛΩΝ ΣΤΗΝ ΤΑΦΡΟ.....	74
6.4. ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ	78
6.4.1. ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΑΜΜΟΥ.....	79
6.4.2. ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΑΠΟ ΧΑΛΙΚΙ	80
6.4.3. ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ	82
6.5. ΕΠΙΧΩΣΗ ΤΗΣ ΤΑΦΡΟΥ.....	83
6.6. ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ.....	84
6.7 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΖΕΥΞΗ ΤΗΣ ΣΑΛΑΜΙΝΑΣ	86
6.8. ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ	87
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	89
7.1. ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ.....	89
7.2. ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ	90
7.3. ΤΑΜΕΙΑΚΕΣ ΡΟΕΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	93
7.3.1 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ	97

7.3.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΝΕΚΡΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ	100
7.3.3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΤΙΤΙΜΟΥ ΔΙΟΔΙΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΤΗΣΙΩΝ ΕΣΟΔΩΝ	103
7.3.4. ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΑΜΕΙΑΚΩΝ ΡΟΩΝ	105
7.3.5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	110
7.4. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ	111
8. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	116
8.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ	116
8.2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ “ΜΟΝΤΕ CARLO”	120
8.2.1. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ 1	120
8.2.2. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ 2	123
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	127
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	131

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Χάρτης της νήσου Σαλαμίνας (www.salamina.gr)	1
Εικόνα 1.2: Αεροφωτογραφία των στενών Σαλαμίνας-Περάματος (www.airphotos.gr).....	3
Εικόνα 1.3: Κίνηση σε ελληνικό λιμάνι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (www.naxostimes.gr)	4
Εικόνα 1.4: Η βασική πρόταση για τη ζεύξη της Σαλαμίνας με το Πέραμα (salamina-press.blogspot.gr).....	6
Εικόνα 1.5: Η πρόταση για διπλή ζεύξη της Σαλαμίνας (salamina-pres.blogspot.gr)	6
Εικόνα 2.1: Απόσταση Περάματος-Αγίου Γεωργίου (maps.google.com)	11
Εικόνα 2.2: Τμήμα του τοπογραφικού χάρτη του Σοβιετικού Στρατού.....	12
Εικόνα 2.3: Τα αποτελέσματα του τοπικού δημοψηφίσματος στη Σαλαμίνα (salamina-press.blogspot.gr).....	15
Εικόνα 2.4: Τμήμα του γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ και υπόμνημα	21
Εικόνα 2.5: Γεωλογική τομή της περιοχής ενδιαφέροντος (τμήμα γεωλογικής τομής των Λιώρη και Παπαχαραλάμπους (2016))	23
Εικόνα 3.1: Φωτογραφία του πορθμού του Γιβραλτάρ από το διεθνές διαστημικό σταθμό (www.nasa.gov/content/strait-of-gibraltar)	25
Εικόνα 3.2: Τρόποι ζεύξης πορθμών (en.wikipedia.org).....	26
Εικόνα 3.3: Η Γέφυρα Golden Gate στο San Francisco (goldengatebrige.org)	27
Εικόνα 3.4: Η γέφυρα Chengyang (travel.nationalgeographic.com)	29
Εικόνα 3.5: Το Γεφύρι της Άρτας (mapio.net).....	29
Εικόνα 3.6: Εσωτερικό επιτυθμένης σήραγγας (bouygues-tp.com)	30
Εικόνα 3.7: Εσωτερικό Ευπαλίγειου Ορύγματος (mapio.net)	31
Εικόνα 3.8: Σύγκριση υποβρύχιων σήραγγων (tunneltalk.com).....	33
Εικόνα 3.9: Σχηματική απεικόνιση διατομής επιτυθμένης οδικής και σιδηροδρομικής σήραγγας (tunneltalk.com)	35
Εικόνα 3.10: Διαδικασία εγκατάστασης της επικαθήμενης σήραγγας στον πυθμένα (1.Διάνοξη υφαλούλακα 2. Βύθιση των caissons 3.Επανεπίκωση) (mtr-shatincetrallink.kh)	36
Εικόνα 3.11: Σχηματική απεικόνιση υποπυθμένης σήραγγας που διανοίγεται με TBM (hurrietdailynews.com)	37
Εικόνα 3.12: Η μέθοδος drill & blast σχηματικά (mtr-shatincentrallink.hk).....	38
Εικόνα 3.13: Σχηματική απεικόνιση πλωτής σήραγγας και των τρόπων έδρασής της (www.360doc.com)	40
Εικόνα 3.14: Άποψη πλωτής σήραγγας (www.citylab.com)	41
Εικόνα 4.1: Σχηματική απεικόνιση της γέφυρας Golden Gate	43
Εικόνα 4.2: Σχηματική απεικόνιση SFT (www.downtoearth.org).....	45
Εικόνα 5.1: Οι εναλλακτικές χαράξεις σε γεωαναφερμένο σύστημα	56
Εικόνα 5.2: Η προτεινόμενη χάραξη και η θέση κατασκευής της νηοδόχου	58
Εικόνα 5.3: Τομή κατά μήκος της χάραξης	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης. 0
Εικόνα 5.4: Προτεινόμενη διατομή επιτυθμένης σήραγγας (οι διαστάσεις σε cm).....	62
Εικόνα 5.5: Εναλλακτική διατομή της σήραγγας (οδική και σιδηροδρομική).....	63
Εικόνα 5.6: Τυπική διαμόρφωση μονόπλευρης εσοχής έκτακτης στάθμευσης (ΟΜΟΕ - Τεύχος Οδικών Σηράγγων, 2002)	64

Εικόνα 5.7: Η διατομή της τάφρου	65
Εικόνα 6.1: Κατασκευή σπονδύλων στην Havana της Κούβας (www.skyscrapercity.com) ...	67
Εικόνα 6.2: Τυπική διατομή τάφρου με επιτυθμένα σήραγγα κατασκευασμένη από σκυρόδεμα	69
Εικόνα 6.3: Λεκάνη κατασκευής στοιχείων επιτυθμένα σήραγγας (www.cityu.edu.hk)....	71
Εικόνα 6.4: Διαδικασία ψύξης του σκυροδέματος των σπονδύλων (Rasmussen, 1997)	72
Εικόνα 6.5: Κατασκευή σπονδύλων (www.cityu.edu.hk)	73
Εικόνα 6.6: Έλεγχος του βάρους των σποδύλων (Rasmussen, 1997)	74
Εικόνα 6.7: Εξέδρες βύθισης (Rasmussen, 1997)	75
Εικόνα 6.8: Εγκατάσταση σπονδύλου (Rasmussen, 1997)	76
Εικόνα 6.9:Λεπτομέρεια ασυμπίεστου λάστιχου για την ένωση των σπονδύλων (Grantz, 1997).....	77
Εικόνα 6.10: Απεικόνιση της ένωσης των σπονδύλων (Rasmussen, 1997)	78
Εικόνα 6.11: Η μέθοδος "sand jetting" (Lunniss and Baber, 2013).....	79
Εικόνα 6.12: Η μέθοδος "sand flow" (Lunniss and Baber, 2013)	80
Εικόνα 6.13: Η μέθοδος "scrading" (Lunniss and Baber, 2013)	81
Εικόνα 6.14: Σχηματική απεικόνιση του στρώματος από ένεμα καθώς και του πάχους αυτού (Lunniss and Baber, 2013)	82
Εικόνα 6.13: Τυπική επίχωση επιτυθμένα σήραγγας (Lunniss and Baber, 2013)	84
Εικόνα 6.14: Φωτογραφία από το εσωτερικό της επιτυθμένα σήραγγας Ακτίου - Πρεβέζης (greek-motorways.net).....	85

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Καποιες από τις σημαντικότερες υποβρύχιες σήραγγες.....	34
Πίνακας 4.1: Στοιχεία επιτυθμένων και υποτυθμένων σηράγγων ανά τον κόσμο και αναγωγή της αξίας τους στο έτος 2015 σε δολάρια ΗΠΑ ανά τρέχον μέτρο	50
Πίνακας 4.2: Συγκριτικός πίνακας βέλτιστης λύσης για κάθε κρίσιμο παράγοντα.....	53
Πίνακας 7.1: Κόστος του Έργου και των επιμέρους εργασιών	91
Πίνακας 7.2: Ελάχιστο αντίτιμο διοδίων.....	100
Πίνακας 7.3: Εισιτήρια για ferry boats (συμπεριλαμβανομένου Φ.Π.Α.)	103
Πίνακας 7.4: Προτεινόμενο αντίτιμο διοδίων ανά κατηγορία οχήματος.....	104
Πίνακας 8.1: Μεταβολές NPV	117
Πίνακας 8.2:Μεταβολές IRR.....	118

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 7.1: Πορεία ετήσιων και αθροιστικών εσόδων.....	105
Γράφημα 7.2: Εξέλιξη ταμειακών ροών και παρουσών αξιών κατά τη λειτουργία του Έργου	109
Γράφημα 8.1: Μεταβολές NPV ανάλογα με τις τιμές των βασικών μεταβλητών	118
Γράφημα 8.2: Τιμές του IRR ανάλογε με τις μεταβολές των βασικών μεταβλητών	119
Γράφημα 8.3: Αποτελέσματα Monte Carlo για NPV	121
Γράφημα 8.4: Ευαισθησία NPV	122
Γράφημα 8.5: Αποτελέσματα Monte Carlo Για IRR.....	123
Γράφημα 8.6: Αποτελέσματα Monte Carlo για NPV (1).....	124
Γράφημα 8.7: Ευαισθησία NPV.....	125
Γράφημα 8.8: Αποτελέσματα Monte Carlo για IRR (2)	126

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΤΟ ΕΡΓΟ ΤΗΣ ΖΕΥΞΗΣ ΤΗΣ ΣΑΛΑΜΙΝΑΣ ΜΕ ΤΟ ΠΕΡΑΜΑ

1.1. Η ΝΗΣΟΣ ΣΑΛΑΜΙΝΑ

Η Σαλαμίνα ή αλλιώς Κούλουρη, είναι το μεγαλύτερο νησί του Σαρωνικού Κόλπου και το πλησιέστερο στις ακτές της Αττικής με απόσταση περίπου 1200m από το Πέραμα και 500 m από τις ακτές της Μεγαρίδος όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.1, και ευρίσκεται έναντι του Κόλπου της Ελευσίνας, στο ΒΔ Σαρωνικό.



Εικόνα 1.1: Χάρτης της νήσου Σαλαμίνας (www.salamina.gr)

Πήρε το όνομά της προς τιμήν της Σαλαμίνας, μητέρας του πρώτου βασιλιά του νησιού, Κυχρέως. Κατά τους αρχαίους χρόνους, το νησί ονομαζόταν ακόμα Πιτυούσα, Κυχρεία και Σκιράς. Στα στενά του νησιού, έλαβε χώρα και η περίφημη Ναυμαχία της Σαλαμίνας το 480 π.Χ., στην οποία τα ελληνικά πλοία νίκησαν τον στόλο της Περσικής αυτοκρατορίας και έκαναν το νησί πασίγνωστο στο βάθος των αιώνων.

Το Νοέμβριο του 2010, μετά από συγχώνευση, σχηματίστηκε ο μοναδικός υφιστάμενος δήμος του νησιού, ο Δήμος Σαλαμίνας. Έχει έκταση 95 τετραγωνικά χιλιόμετρα, ενώ με βάση την απογραφή του 2011, διαθέτει 39.220 μόνιμους κατοίκους και έτσι αποτελεί το πλέον πυκνοκατοικημένο νησί της Ελλάδας.

Στις βορειοανατολικές ακτές του νησιού εδρεύει ο Ναύσταθμος Σαλαμίνας, η μεγαλύτερη ελληνική ναυτική βάση όπου 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 ή ωφελείται εμμέσως (Λιώρης και Παπαχαραλάμπους, 2015).



Εικόνα 1.2: Αεροφωτογραφία των στενών Σαλαμίνας-Περάματος (www.airphotos.gr)

Η Σαλαμίνα συνδέεται ακτοπλοϊκά με την Αττική με τις γραμμές Παλούκια-Πέραμα, Παλούκια – Πειραιάς και Παναγία Φανερωμένη – Νέα Πέραμος. Το λιμάνι των Παλουκίων, με βάση τα στοιχεία της Eurostat - και συγκεκριμένα τους πίνακες που αφορούν τον αριθμό επιβιβάσεων και αποβιβάσεων σε ευρωπαϊκά λιμάνια ανά έτος - βρίσκεται σταθερά στις πρώτες θέσεις μεταξύ των ευρωπαϊκών λιμανιών με τους περισσότερους επιβάτες ετησίως.

1.2. ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΟΝΙΜΗΣ ΟΔΙΚΗΣ ΖΕΥΞΗΣ

1.2.1. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Η σύνδεση της Σαλαμίνας με την Αττική γίνεται μόνο με οχηματαγωγά πλοία παρά την εγγύτητά των ακτών τους. Έτσι, το χάσμα μεταξύ τους διατηρείται και υπάρχει δυσκολία στις μετακινήσεις.

Η μετάβαση από τη μία ακτή στην άλλη γίνεται σε σχετικά μεγάλο χρόνο, ο οποίος υπολογίζεται σε περίπου 15 min, κάτι που είναι μεγάλη επιβάρυνση

ειδικά για όσους είναι υποχρεωμένοι να εκτελούν καθημερινά το συγκεκριμένο δρομολόγιο (κυρίως για εργασιακούς λόγους). Επίσης απαιτείται και κάποιος χρόνος αναμονής αφού δρομολόγια εκτελούνται κάθε 15 min, ενώ το βράδυ κάθε 30-60 min. Οι καθυστερήσεις είναι μεγαλύτερες και συχνότερες κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω του μεγάλου αριθμού οχημάτων που συγκεντρώνονται για να περάσουν απέναντι. Ακόμα, όπως συμβαίνει πάντα, τα ακτοπλοϊκά δρομολόγια εξαρτώνται από τις εκάστοτε καιρικές συνθήκες, αφού ιδίως κατά τη διάρκεια του χειμώνα, υπάρχει πιθανότητα διακοπής (έστω και για μικρό χρονικό διάστημα) της σύνδεσης του νησιού με την ηπειρωτική χώρα λόγω ιδιαίτερως δυσμενών συνθηκών.



Εικόνα 1.3: Κίνηση σε ελληνικό λιμάνι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (www.naxostimes.gr)

1.2.2. ΣΥΝΔΕΣΗ ΠΕΡΑΜΑΤΟΣ ΣΑΛΑΜΙΝΑΣ

Για τους παραπάνω λόγους, λοιπόν, **προτείνεται η κατασκευή μόνιμης οδικής ζεύξης της Σαλαμίνας με την Αττική και πιο συγκεκριμένα με το Πέραμα** η οποία μπορεί να είναι είτε σήραγγα είτε γέφυρα, όπως θα περιγραφεί και παρακάτω αναλυτικότερα. Μια ζεύξη, θα διευκόλυνε τις μετακινήσεις εκατομμυρίων ανθρώπων από και προς το νησί και θα βοηθούσε στην ανάπτυξη της περιοχής.

Οι πρώτες σκέψεις για ζεύξη της Σαλαμίνας με το Πέραμα, ξεκίνησαν τη δεκαετία του 1950. Τα χρόνια εκείνα λόγω του μικρού πληθυσμού του νησιού, το ενδιαφέρον για ένα τέτοιο έργο δεν ήταν αρκετά ζωηρό με αποτέλεσμα να μην υπάρξουν ιδιαίτερα σημαντικές προσπάθειες υλοποίησης της. Από τις αρχές του 1990, άρχισε να δίνεται μεγαλύτερη προσοχή στην ιδέα ζεύξης του νησιού, πραγματοποιήθηκαν κάποιες γεωλογικές έρευνες στην περιοχή και ξεκίνησε η κατάθεση προτάσεων για τη υλοποίηση του έργου.

Οι προτάσεις ζεύξης της Σαλαμίνας είναι ποικίλες. Η επικρατέστερη εξ αυτών είναι η οδική ζεύξη της Σαλαμίνας με την ακτή του Περάματος όπως φαίνεται στην εικόνα 1.4. Επίσης, έχει προταθεί η σύνδεση της Σαλαμίνας με το Πέραμα με ελαφρύ μετρό ή τραμ, ενώ επίσης και η διπλή οδική ζεύξη του νησιού στα σημεία Πέραμα – Παλούκια και Νέα Πέραμος – Παναγία Φανερωμένη (Εικόνα 1.5).

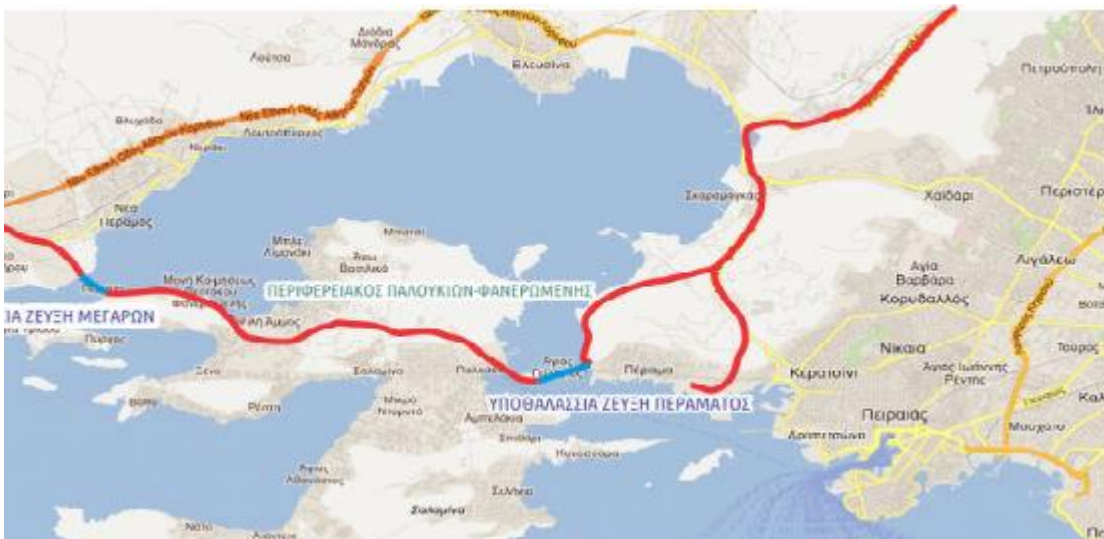
Σήμερα, εν έτει 2017, βρίσκεται σε εξέλιξη διαγωνισμός για την κατασκευή και λειτουργία του έργου οδικής ζεύξης της Σαλαμίνας με το Πέραμα. Συγκεκριμένα, έχει ολοκληρωθεί η Α' φάση που περιελάμβανε την εκδήλωση ενδιαφέροντος από εταιρίες, και εξελίσσεται η Β' φάση του διαγωνισμού, ο «ανταγωνιστικός διάλογος».

Συγκεκριμένα, στην «Προκήρυξη δημόσιου διεθνή διαγωνισμού με τη διαδικασία του Ανταγωνιστικού Διαλόγου με σκοπό την ανάθεση Σύμβασης Παραχώρησης για τη: Μελέτη, Κατασκευή, Χρηματοδότηση, Λειτουργία, Συντήρηση και Εκμετάλλευση του Έργου Μόνιμης Υποθαλάσσιας Οδικής Ζεύξης Νήσου Σαλαμίνας» που συνετάχθη το 2012 από το ΥΠΟΜΕΔΙ, περιγράφεται η «υπηρεσιακή λύση». Σύμφωνα με αυτή, η υποθαλάσσια οδική σήραγγα, θα συνδέει το Πέραμα με τη Σαλαμίνα ξεκινώντας από την περιοχή γύρο από το κολυμβητήριο Περάματος και καταλήγοντας στη νησίδα του Αγίου Γεωργίου, που συνδέεται με τα Παλούκια Σαλαμίνας μέσω τεχνητού επιχώματος.

Η παρούσα διπλωματική εργασία, θεωρεί την περιοχή που υποδεικνύεται από την παραπάνω «υπηρεσιακή λύση» ως την περιοχή στην οποία θα κατασκευαστεί η ζεύξη.



Εικόνα 1.4: Η βασική πρόταση για τη ζεύξη της Σαλαμίνας με το Πέραμα (salamina-press.blogspot.gr)



Εικόνα 1.5: Η πρόταση για διπλή ζεύξη της Σαλαμίνας (salamina-pres.blogspot.gr)

1.2.3. ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑ

Για την κατανόηση της σκοπιμότητας της μόνιμης ζεύξης, αξίζει να αναφερθεί ο πολύ μεγάλος αριθμός των μέχρι σήμερα διερχομένων, που ανέρχονται σε **άνω των 10 εκατομμυρίων** κατά μέσον όρο ετησίως με βάση τους πίνακες με τις ετήσιες επιβιβάσεις και αποβιβάσεις στα ευρωπαϊκά λιμάνια της Eurostat. **Ακόμα, τα οχήματα υπολογίζονται γύρω στα 4 εκατομμύρια εκ των οποίων το 10-15% είναι φορτηγά.**

Όπως είναι προφανές, ο χρόνος διέλευσης θα μειωνόταν κατά πολύ με την κατασκευή οδικής ζεύξης της Σαλαμίνας ενώ θα βελτιωνόταν και η ποιότητα της μετακίνησης. Συγκεκριμένα, αν θεωρηθεί πως η μόνιμη ζεύξη θα έχει μήκος μεταξύ 1,5 και 2 km, και η μέση ταχύτητα των οχημάτων θα είναι 60 χλμ/ώρα, ο μέσος χρόνος μετάβασης από την μία ακτή στην άλλη με θα ανέρχεται σε 1,5 – 2 min, πολύ μικρότερος δηλαδή από τα 15 min που χρειάζονται σήμερα.

Οι χρήστες της οδικής ζεύξης της Σαλαμίνας, σύμφωνα με τους Λιώρη και Παπαχαραλάμπους (2015), θα καρπώνονταν τα εξής οφέλη:

- Μείωση του χρόνου διέλευσης
- Βελτίωση της χρονικής αξιοπιστίας μετακινήσεων
- Βελτίωση της ποιότητας διέλευσης και περισσότερη άνεση
- Διασφάλιση των μετακινήσεων ανεξάρτητα από καιρικές συνθήκες
- Ενίσχυση ανταγωνιστικότητας των υφιστάμενων επιχειρήσεων και προϋποθέσεις ίδρυσης νέων στη νήσο Σαλαμίνα
- Προώθηση της κοινωνικο-οικονομικής και πολιτιστικής ανάπτυξης της περιοχής

Δημιουργούνται ακόμα προϋποθέσεις για την περαιτέρω οικιστική ανάπτυξη και την παραγωγική ανασυγκρότηση της ευρύτερης περιοχής Σαλαμίνας – Περάματος, που σε συνδυασμό με προσπάθειες τοπικών φορέων, μπορούν να καταστήσουν την περιοχή, εξέχοντα τουριστικό προορισμό.

Επίσης με την ολοκλήρωση του έργου ζεύξης Σαλαμίνας – Περάματος:

- Παύει η κυκλοφοριακή αναστάτωση και η επιβάρυνση της περιοχής, αφού θα πάψουν τα οχήματα να συνωστίζονται στα λιμάνια του περάματος και των Παλουκίων αλλά θα παροχετεύονται χωρίς καθυστερήσεις στους προορισμούς τους
- Μετατρέπονται οι περιοχές του Περάματος και των Παλουκίων σε σύγχρονα οικιστικά κέντρα
- Τα οχηματαγωγά πλοία συνεχίζουν να παρέχουν τις υπηρεσίες τους σε όσους χρήστες το επιθυμούν

Όπως αναφέρουν οι Λιώρης και Παπαχαραλάμπους (2015), τόσο κατά το στάδιο κατασκευής όσο και κατά το στάδιο λειτουργίας του, πρόκειται να δημιουργήσει μεγάλο αριθμό θέσεων εργασίας (άμεσα ή έμμεσα) που θα δώσουν διέξοδο και θα ανοίξουν νέους ορίζοντες για την απασχόληση του ανθρώπινου δυναμικού της περιοχής. Συγκεκριμένα:

- Προσλαμβάνεται εργατικό δυναμικό από την ευρύτερη περιοχή του έργου που θα εκπαιδευτεί κατάλληλα, ώστε να στελεχωσει 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.

Πέραν όμως των ευεργετικών επιδράσεων της ζεύξης στην περιοχή, υπάρχουν και κάποιες αρνητικές συνέπειες που πιθανώς προκύπτουν από αυτή.

Αν τελικά κατασκευαστεί μόνιμη οδική ζεύξη και αποτελέσει την πρώτη επιλογή των περισσότερων διερχόμενων, αυτομάτως θα μειωθεί δραστικά η κίνηση των ferry boats. Ως εκ τούτου, η απώλεια θέσεων εργασίας μεγάλου

αριθμού εργαζομένων στα οχηματαγωγά αυτά πλοία αλλά και στα πορθμεία της Σαλαμίνας και του Περάματος, είναι ιδιαίτερα πιθανή.

Επίσης, με την οδική σύνδεση της Σαλαμίνας με την Αττική, θα χαθεί ο νησιωτικός της χαρακτήρας αφού πλέον θα αποτελεί ουσιαστικά μια προέκταση της ηπειρωτικής Ελλάδας.

Στα επόμενα κεφάλαια θα περιγραφούν οι πιθανοί τρόποι ζεύξης πορθμών και θα γίνει προσπάθεια να αξιολογηθεί η εφικτότητα και η βιωσιμότητα ενός τέτοιου εγχειρήματος.

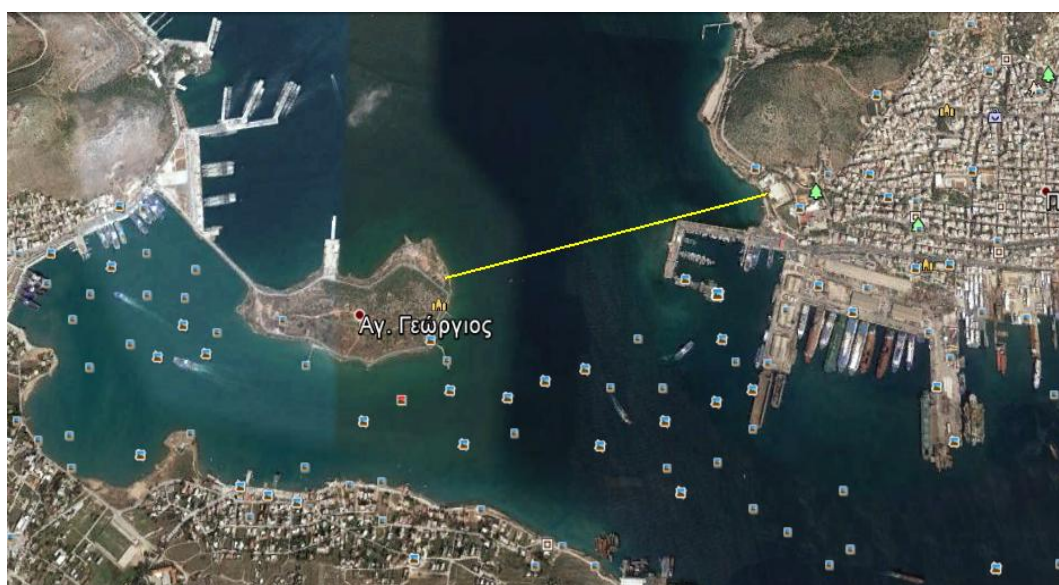
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν τα βασικά δεδομένα της περιοχής που μπορούν με τον έναν ή τον άλλον τρόπο να παίξουν σημαντικό ρόλο κατά τη διαδικασία επιλογής της βέλτιστης λύσης για τη ζεύξη της Σαλαμίνας με το Πέραμα.

2.1. ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΚΤΩΝ

Οι περιοχή του Περάματος από όπου μπορεί να εκκινήσει η κατασκευή της οποιας ζεύξης με τη Σαλαμίνα, είναι η ακτή που βρίσκεται έναντι των Παλουκίων Σαλαμίνας και εκτός του αστικού κέντρου του Περάματος, δηλαδή η περιοχή πέριξ του κολυμβητηρίου της πόλης όπως προβλέπεται και από την προαναφερθείσα «υπηρεσιακή λύση».

Από το μέρος εκείνο, η νησίδα του Αγίου Γεωργίου είναι το πλησιέστερο σημείο ξηράς από την πλευρά της Σαλαμίνας (ο Άγιος Γεώργιος συνδέεται με επίχωμα με τα Παλούκια). Η θαλάσσια απόσταση μεταξύ τους είναι περίπου 1,2 km όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.1.



Εικόνα 2.1: Απόσταση Περάματος-Αγίου Γεωργίου (maps.google.com)

2.2. ΒΑΘΟΣ ΠΥΘΜΕΝΑ

Για τον υπολογισμό του μεγίστου βάθους του πυθμένα στην θαλάσσια περιοχή μεταξύ της Νήσου Αγ. Γεωργίου και του κολυμβητηρίου Περάματος, έγινε χρήση του τοπογραφικού χάρτη του Σοβιετικού στρατού, τμήμα του οποίου παρουσιάζεται κάτωθι.



Εικόνα 2.2: Τμήμα του τοπογραφικού χάρτη του Σοβιετικού Στρατού

Από τον παραπάνω χάρτη, προκύπτει ότι το μέγιστο βάθος στη θαλάσσια περιοχή μεταξύ Αγίου Γεωργίου και Περάματος ανέρχεται σε 12m. Αναλυτικότερα, η διακύμανση του βάθους του πυθμένα, παρουσιάζεται στην γεωλογική τομή που ακολουθεί σε επόμενη ενότητα. Ακόμα τόσο η νήσος του Αγίου Γεωργίου όσο και η ακτή του Περάματος στην περιοχή πέριξ του κολυμβητηρίου, δεν έχουν μεγάλο ύψος (όχι πάνω από 10 m).

2.3. ΝΑΥΣΤΑΘΜΟΣ

Όπως ήδη αναφέρθηκε, στα Στενά μεταξύ της Σαλαμίνας και του Περάματος, εδρεύει ο Ναύσταθμος Σαλαμίνας, και μαζί του, εκεί ναυλοχεί το μεγαλύτερο μέρος του ελληνικού πολεμικού ναυτικού. Το γεγονός πως εκεί βρίσκεται το μεγαλύτερο ναυτικό οχυρό της Ελλάδας, προσδίδει μεγάλη στρατηγική σημασία στην περιοχή και θα πρέπει η ύπαρξη του Ναυστάθμου καθώς και οι τυχόν περιορισμοί που μπορεί αυτή να επιβάλλει, να ληφθούν υπόψη κατά την διερεύνηση της βέλτιστης λύσης για τη ζεύξη του νησιού.

2.4. ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΕΣ

Στην αρχή του κεφαλαίου έγινε αναφορά στην Ναυμαχία της Σαλαμίνας που έλαβε χώρα το 480π.Χ. στη θαλάσσια περιοχή μεταξύ του νησιού και των απέναντι ακτών της Αττικής. Εξ αυτού του λόγου υπάρχει έντονο αρχαιολογικό ενδιαφέρον στην περιοχή, καθώς είναι αρκετά πιθανή η ύπαρξη διαφόρων αρχαιοτήτων στον πυθμένα. Αξίζει αναφοράς η πιθανότητα να βρίσκεται θαμμένο εκεί μέχρι και κάποιο πολεμικό πλοίο που έλαβε μέρος στη ναυμαχία (χωρίς να έχει αίσιο τέλος).

Επομένως, το γεγονός αυτό, ίσως αποτελέσει έναν διόλου ασήμαντο παράγοντα για την επιλογή του πλέον κατάλληλου τρόπου ζεύξης της Σαλαμίνας με το Πέραμα

2.5. ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ

Πρέπει ακόμα να δοθεί σημασία στις αντιδράσεις μέρους των κατοίκων της Σαλαμίνας στην κατασκευή μόνιμης ζεύξης με το Πέραμα. Είναι ένας παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει σε πολύ μεγάλο βαθμό την πορεία του συγκεκριμένου έργου.

Μεγάλη μερίδα των κατοίκων, δηλώνουν την αντίθεσή τους με την κατασκευή μόνιμης οδικής ζεύξης που θα συνδέει τη Σαλαμίνα με το Πέραμα και μάλιστα έχουν ιδρύσει συλλόγους για την ανάδειξη του θέματος και την έκφραση της δικής τους αντίδρασης.

Βασικός τους προβληματισμός είναι ότι τελικός στόχος είναι η δημιουργία διπλής ζεύξης (Πέραμα – Παλούκια και Φανερωμένη – Ν. Πέραμος) με αποτέλεσμα το νησί να γίνει πέρασμα για πολλά αυτοκίνητα που θα θέλουν από τα δυτικά προάστια της Αττικής και τον Πειραιά να κατευθυνθούν προς την Εθνική Οδό Αθηνών – Κορίνθου, και όλα αυτά ενώ η Σαλαμίνα δεν διαθέτει την κατάλληλη υποδομή για την εξυπηρέτηση τόσο μεγάλου όγκου οχημάτων. Επίσης θεωρούν πως τα τόσα οχήματα, θα προκαλέσουν σοβαρή περιβαλλοντική επιβάρυνση στην ήδη επιβαρυσμένη περιοχή από την έντονη βιομηχανική δραστηριότητα της Αττικής.

Ένας ακόμη φόβος τους είναι η οικιστική ανάπτυξη που θα επέλθει από τη ζεύξη, αφού θεωρούν πως τα ήδη υπάρχοντα προβλήματα στην ύδρευση και τη διαχείριση απορριμμάτων καθώς και η έλλειψη σχολείων, δεν επιτρέπουν κάτι τέτοιο.

Τέλος, εκφράζονται ανησυχίες για το τι μέλλει γενέσθαι με τους εργαζομένους των ferry boats (που δεν είναι και λίγοι), αφού, όπως λένε, αυτές οι θέσεις εργασίας θα χαθούν αφού δεν θα υπάρχει πλέον ιδιαίτερη ανάγκη ακτοπλοϊκής σύνδεσης.

Οι έντονες αυτές αντιδράσεις των κατοίκων, οδήγησαν στην διεξαγωγή τοπικού δημοψηφίσματος στη Σαλαμίνα στις 20/03/2016 για το αν οι κάτοικοι επιθυμούν ή όχι την κατασκευή μόνιμης ζεύξης ή όχι. Σε αυτό, το «ΟΧΙ» υπερίσχυσε οριακά με 2.278 ψήφους έναντι 2.230 ψήφων του «ΝΑΙ» όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (2.2).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 20ης/3/2016						
	ΨΗΦΙΣΑΝΤΕΣ	ΝΑΙ	ΌΧΙ	ΛΕΥΚΑ	ΑΚΥΡΑ	
ΣΑΛΑΜΙΝΑ	3160	1359	1758	13	30	ΔΗΜΟΤΕΣ
	16	11	4	0	1	ΜΗ ΔΗΜΟΤΕΣ - ΚΑΤΟΙΚΟΙ
ΑΙΑΝΤΕΙΟ	553	399	145	0	9	ΔΗΜΟΤΕΣ
	24	17	6	0	1	ΜΗ ΔΗΜΟΤΕΣ - ΚΑΤΟΙΚΟΙ
ΣΕΛΗΝΙΑ	290	202	77	4	7	ΔΗΜΟΤΕΣ
	33	23	8	0	2	ΜΗ ΔΗΜΟΤΕΣ - ΚΑΤΟΙΚΟΙ
ΑΜΠΕΛΑΚΙΑ	581	278	298	3	2	ΔΗΜΟΤΕΣ
	12	6	6	0	0	ΜΗ ΔΗΜΟΤΕΣ - ΚΑΤΟΙΚΟΙ
ΔΗΜΟΤΕΣ ΣΥΝΟΛΙΚΑ	4584	2238	2278	20	48	
ΜΗ ΔΗΜΟΤΕΣ - ΚΑΤΟΙΚΟΙ ΣΥΝΟΛΙΚΑ	85	57	24	0	4	
Κατόπιν ελέγχου & διασταύρωσης τα τελικά ποσοστά είναι τα εξής: ΝΑΙ 48,79% ΌΧΙ 49,68% ΛΕΥΚΑ 0,45% ΑΚΥΡΑ 1,08%						

Εικόνα 2.3: Τα αποτελέσματα του τοπικού δημοψηφίσματος στη Σαλαμίνα (salamina-press.blogspot.gr)

Οφείλεται να τονιστεί πως στην παρούσα διπλωματική, αξιολογείται η τεχνική λύση που μπορεί να κατασκευαστεί για την πραγματοποίηση της ζεύξης και δεν λαμβάνεται θέση υπέρ ή κατά της κατασκευής.

2.6. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Ένας από τους πλέον σημαντικούς παράγοντες για την κατασκευή της ζεύξης αποτελεί η γεωλογία. Παρακάτω περιγράφονται βασικά στοιχεία της γεωλογικής δομής και της γεωμορφολογίας της περιοχής

2.6.1. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΣΑΛΑΜΙΝΑΣ – ΠΕΡΑΜΑΤΟΣ*

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της ευρύτερης περιοχής Σαλαμίνας – Περάματος, από γεωτεκτονικής άποψης εντάσσονται στη Ζώνη Ανατολικής Ελλάδος και συγκεκριμένα στην Υποπελαγονική Ζώνη (Τάταρης, 1972).

Στη Σαλαμίνα απαντούν τόσο αλπικοί όσο και μεταλπικοί σχηματισμοί. Στο νησί εμφανίζεται όλη η ακολουθία των πετρωμάτων της «Υποπελαγονικής» ενότητας. Ακόμα, σύμφωνα με τους Τάταρη και Σίδερη (1989), η ρηξιγενής ζώνη Αιαντείου – Κακής Βίγλας, διαχωρίζει το νησί σε δύο «επαρχίες»:

- Μία βορείως του ρήγματος όπου απαντούν νηριτικά ανθρακικά Ανώτατου Τριαδικού – Δογγερίου και Sh_1 διάπλαση με οφιολίθους, που καλύπτονται από σχηματισμούς της (άνω-)κρητιδικής επίκλυσης, με βαθύτερους ορίζοντες τουλάχιστον Αλβίου ηλικίας
- Μία νοτίως του ρήγματος, που συναντώνται κυρίως ελαφρά μεταμορφωμένοι ηφαιστειογενείς σχηματισμοί Περμίου – Μέσου Τριαδικού, κάτω από αποκολλημένα στη βάση τους υπολείμματα ανθρακικών της ανωτριαδικής πλατφόρμας.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΑΛΑΜΙΝΑΣ

Στη νήσο Σαλαμίνα, απαντούν αλπικοί και μεταλπικοί σχηματισμοί που ανήκουν στη ενότητα της Ανατολικής Ελλάδας και την «Υποπελαγονική»

(* Για τις υποενότητες που αφορούν τη γεωλογική δομή της Σαλαμίνας και του Περάματος, έγινε εκτεταμένη χρήση της διδακτορικής διατριβής της Β. Αντωνίου (2000), με τίτλο «Οι Γεωπεριβαλλοντικές Συνθήκες του Λεκανοπεδίου Αθηνών» και περιλαμβάνονται αυτούσια αποσπάσματα χωρίς βιβλιογραφική αναφορά)

όπου διακρίνονται οι υποενότητες: Βοιωτική, Μαλιακή και Μετακρητιδικό τεκτονικό κάλυμμα.

Στη Βοιωτική υποενότητα, απαντούν ανθρακικοί σχηματισμοί του Μέσου Ιουρασικού και συγκεκριμένα στρωματώδεις, υπολιθογραφικοί και συχνά κονδυλώδεις ασβεστόλιθοι, κατά θέσεις δολομιτωμένοι με κονδύλους ή διαστρώσεις πυριτόλιθων. Μέσα σε αυτούς, αναπτύσσεται σύστημα σχοστοκερατολίθων από ψαμμίτες, αργίλους, μάργες και οφιολιθικά σώματα.

Στη Μαλιακή από ενότητα, από κάτω προς τα πάνω απαντούν οι ακόλουθοι σχηματισμοί:

- Νεοπαλαιοζωικοί – Μεσοτριάδικοί ανθρακικοί σχηματισμοί. Είναι σύμπλεγμα στρωμάτων, με ηλικία Ανώτερου Λιθανθρακοφόρου – Μέσου Τριάδικου με μέγιστο πάχος 400 m, που αποτελείται από λεπτοστρωματώδεις ως παχυστρωματώδεις στιφρούς έως μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Κατά θέσεις, πρόκειται για δολομίτες με πάχος έως και 200 m, που εναλλάσσονται με τράπεζες στιφρού, βιτουμενιούχου ασβεστόλιθου και μεταξύ τους παρεμβάλλονται στρώματα και ενστρώσεις κερατολίθων, αργιλικών σχιστολίθων, ψαμμιτών, κροκαλοπαγών (τοπικά χαλαζιακών), φακοειδών ασβεστόλιθων και πιο σπάνια ηφαιστειακών τόφφων. Εγκλείει επίσης σώματα βασικών εκρηξιγενών πετρωμάτων, κυρίως κερατοφυρών όπου συχνά συνοδεύονται από τοφφίτες.
- Μεσοτριάδικοί – Μεσοϊουρασικοί ανθρακικοί σχηματισμοί. Πρόκειται για αδιαίρετα μεσο- έως παχυστρωματώδη ανθρακικά πετρώματα, ισχυρά κερματισμένα, έντονα καρστικά, τοπικά δολομιτωμένα, ωλιθικά και με ενστρώσεις και κονδύλους κερατολίθων καθώς και με λεπτά στρώματα αργιλικού σχιστόλιθου, ηλικίας Λιάσιου – Δογγέριου. Στα ανώτερα μέλη αναπτύσσονται μεσοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι συνήθως στιφροί, κονδυλώδους όψεως, καλά στρωμένοι και συχνά αμμωνιτοφόροι. 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 σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση (Τιθώνιο – Κατώτερο Κρητιδικό). Πρόκειται για ένα σύστημα ηλικίας Τιθώνιου – Κατώτερου Κρητιδικού, πάχους περίπου 50-200 m, από σχιστομαργαϊκά στρώματα με ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, ασβεστόλιθους, καμιά φορά μαργαϊκούς, κερατόλιθους και σερπεντινωμένους περιδοτίτες, με ασήμαντες εμφανίσεις χρωμιτών καθώς 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 150m περίπου και ηλικία Μαιστρίχτιο – Παλαιόκαινο. Κατά θέσεις, οι χαρακτήρες των μεταβατικών στρωμάτων προς τους υποκείμενους ασβεστόλιθους διαφέρουν, ενώ επίσης απαντώνται μέσα στο φλύσχη ολισθόλιθοι μεγάλων διαστάσεων από ποικίλα πετρώματα, όπως ασβεστόλιθοι, κερατόλιθοι και εκρηξιγενή.

Στη γεωλογική δομή της Αττικής, διακρίνεται για πρώτη φορά το Μετακρητιδικό Τεκτονικό κάλυμμα, στο οποίο απαντούν ανωκρητιδικοί ανθρακικοί σχηματισμοί και συγκεκριμένα λεπποστρωματώδεις ασβεστόλιθοι, τοπικά μαργαϊκοί, που εξελίσσονται σε παχυστρωματώδεις συμπαγείς και μεταπίπτουν προς τα άνω σε λεπποστρωματώδεις έως φυλλώδεις. Επίσης, κατά θέσεις παρατηρούνται κερατολιθικές ενστρώσεις. Ο σχηματισμός, έχει ηλικία Κενομάνιο – Σενώνιο, ενώ φτάνει μέχρι και τα 100 m πάχος. Στην επαφή με τους οφιολίθους, εμφανίζονται λατεριτικά σιδηρομεταλλεύματα.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΕΡΑΜΑΤΟΣ

Στο Πέραμα, απαντούν μεταλπικοί σχηματισμοί. Οι μεταλπικές λεκάνες της Αττικής, σχεδόν πάντα ανοικτές προς τη θάλασσα, αποτελούν μεταλπικά ρηξιγενή βυθίσματα. (Λιώρης και Παπαχαραλάμπους, 2015)

Η λεκάνη Μεγάρων – Αθήνας – Μεσογείων, αποτελείται από ένα σύνολο υπολεκανών, οι οποίες ορίζονται κύρια από ΒΑ και ΒΔ ρηξιγενείς δομές. Τα Γεράνεια, ο Κιθαιρώνας 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.

Στις δυτικές ακτές του Περάματος, κοντά στη θέση «Πηγαδάκι», δίπλα στην ακτή και κάτω από τον λόφο που υπάρχει εκεί (ύψους 67 m), παρατηρείται μικρή εμφάνιση σχιστοψαμμιτοκερατολιθικής διάπλασης μήκους περίπου 150 m, που περιλαμβάνει κερατολίθους ερυθρούς και πράσινους, σχιστολίθους ερυθρούς κ.α. σερπεντινωμένους περιδοτίτες και διαβασικά σπιλιτικά πετρώματα. Έχει μικρό πλάτος με διεύθυνση περίπου Β 20° Α, η οποία είναι και διεύθυνση ρήγματος το οποίο κλίνει ισχυρώς προς δυσμάς. Με αυτό το ρήγμα, ο προαναφερθείς σχηματισμός χωρίζεται από τους λευκούς δολομιτικούς ασβεστολίθους και δολομίτες της περιοχής, ανωτριάδικής ηλικίας. Ένα άλλο ρήγμα με διεύθυνση Β 70° Α, με έντονη κλίση προς βορρά, περιορίζει τη σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση προς νότο. Προς βορρά, η διάπλαση αυτή καλύπτεται από τους τεταρτογενείς σχηματισμούς της μικρής κοιλάδας στην παραλία όπου βρίσκεται το φυλάκιο. (Τάταρης, 1966)

Στις ακτές του Στενού του Ναυστάθμου, σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ και συγκεκριμένα το φύλλο Αθήναι – Πειραιεύς, συναντώνται ασβεστόλιθοι τεφροί, τεφρομέλανες, λευκοκίτρινοι βιομικρίτες, παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι στα ανώτερα μέλη και δολομίτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες που ανήκουν στο Μέσο-Ανώτερο Τριαδικό (πιθανή παρουσία Κατώτερου Τριαδικού). Πάνω από αυτούς, και συγκεκριμένα στην ακτή έναντι της νήσου Αγ. Γεωργίου, απαντούν μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και ψαμμίτες του Πλειόκαινου μεγίστου πάχους 80 m. Πρόκειται για εκπλυσιγενή ιζήματα θαλάσσιας ή παράκτιας φάσεως. Στη βάση τους

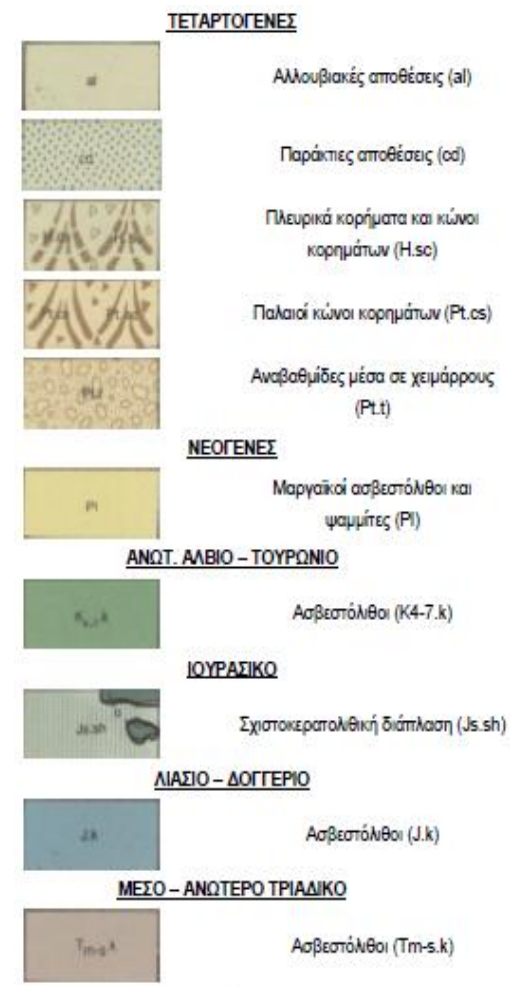
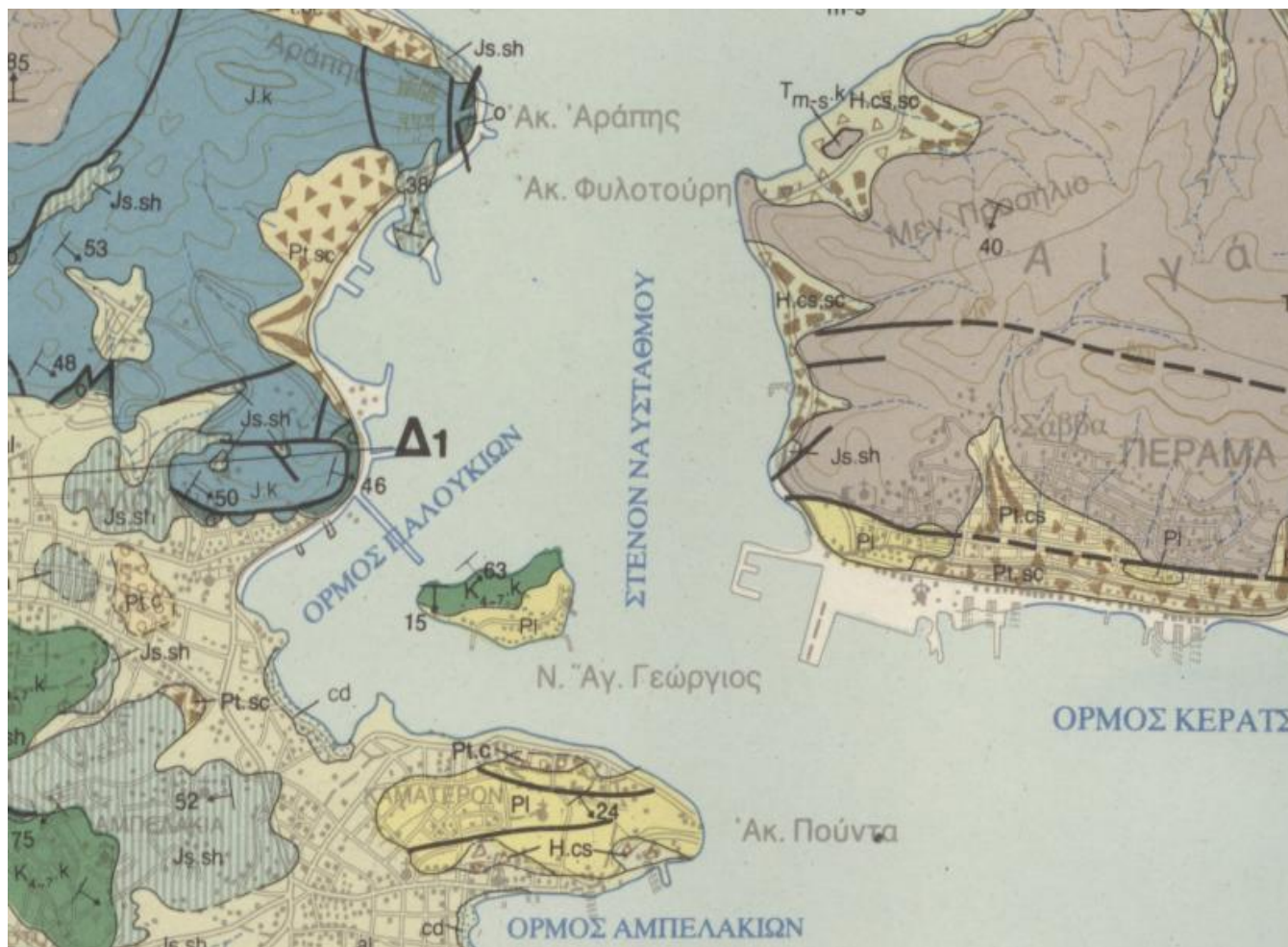
απαντούν κροκαλοπαγή (μέγεθος κροκάλων 5-20cm) με παρεμβολές ψαμμιτών και ψαμμούχων μαργών. Στα ανώτατα μέλη εναλλάσσονται με λιμναία και χερσαία ιζήματα, κυρίως κροκαλοπαγή, και η διάκρισή τους από τους υποκείμενους σχηματισμούς του Πλειστόκαινου είναι δύσκολη. Ακόμα, παρατηρούνται πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων, μη συνεκτικοί σχηματισμοί που έχουν προκύψει από αποσάθρωση των γύρω πετρωμάτων και έχουν ηλικία Ολόκαινο.

Τέλος στις ακτές του Περάματος που βρίσκονται στον όρμο του Κερασινίου, εμφανίζονται παλαιοί κώνοι κορημάτων που εξελίσσονται σε συνεκτικά κροκαλοπαγή και ανήκουν στο Ανώτερο Πλειστόκαινο.

2.6.2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ

Εστιάζοντας στην περιοχή κατασκευής της υποθαλάσσιας ζεύξης, χρησιμοποιήθηκε ο γεωλογικός χάρτης του Ι.Γ.Μ.Ε. και συγκεκριμένα το φύλλο Αθήναι – Πειραιεύς, τμήμα του οποίου, παρατίθεται παρακάτω μαζί με το κατάλληλο υπόμνημα.

Η περιοχή επελέχθη με βάση την προτεινόμενη από το Υπουργείο Υποδομών Μεταφορών και Δικτύων «Υπηρεσιακή Λύση» όπως διατυπώνεται στην «Προκήρυξη δημόσιου διεθνή διαγωνισμού με τη διαδικασία του Ανταγωνιστικού Διαλόγου με σκοπό την ανάθεση Σύμβασης Παραχώρησης για τη: Μελέτη, Κατασκευή, Χρηματοδότηση, Λειτουργία, Συντήρηση και Εκμετάλλευση του Έργου Μόνιμης Υποθαλάσσιας Οδικής Ζεύξης Νήσου Σαλαμίνας» που συνετάχθη το 2012. Σύμφωνα με αυτήν, η υποθαλάσσια οδική σήραγγα, θα συνδέει το Πέραμα με τη Σαλαμίνα ξεκινώντας από το κολυμβητήριο Περάματος και καταλήγοντας στη νήσο Αγίου Γεωργίου.

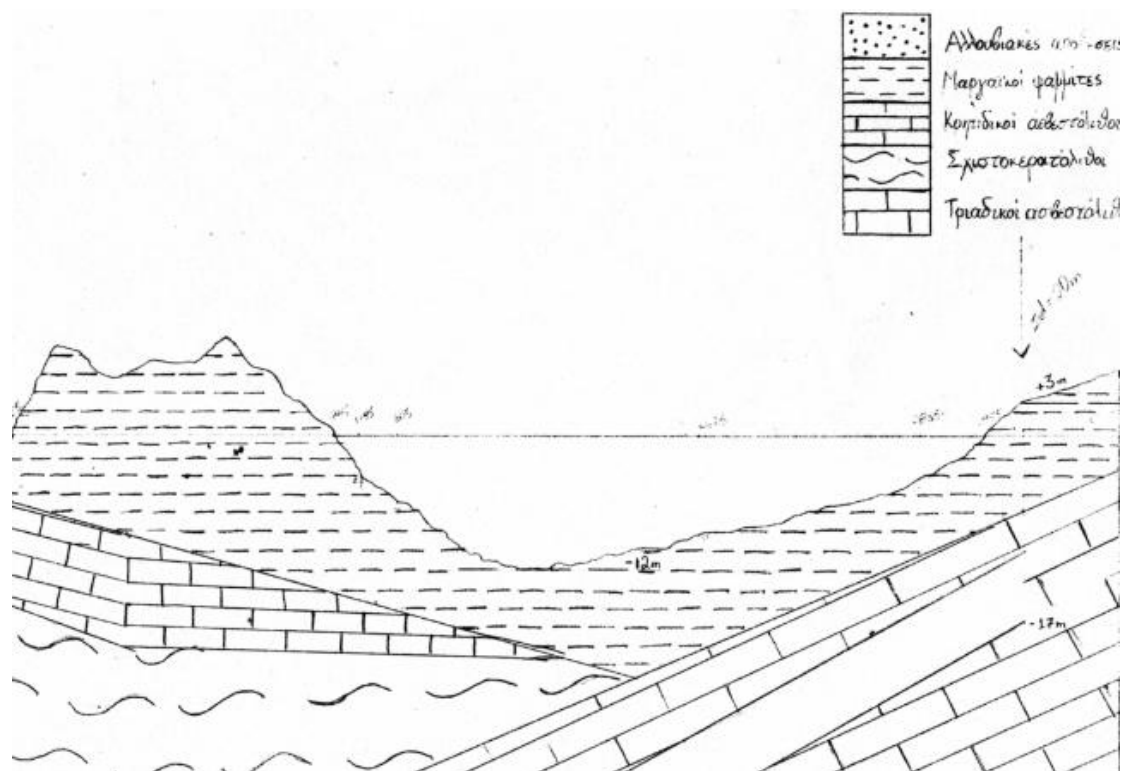


Εικόνα 2.4: Τμήμα του γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ και υπόμνημα

Στην υποθαλάσσια περιοχή μεταξύ Περάματος και Αγίου Γεωργίου όπου πρόκειται να κατασκευαστεί η μόνιμη οδική ζεύξη της Σαλαμίνας, με βάση το Φύλλο Αθήναι – Πειραιεύς του γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ, απαντώνται οι εξής σχηματισμοί από κάτω προς τα πάνω:

- Ασβεστόλιθοι (Tm-s.k) του Μέσου – Ανώτερου Τριαδικού , τεφροί, παχυστρωματώδεις ως άστρωτοι στα ανώτερα μέλη, πλακώδεις έως παχυπλακώδεις και στολιδωμένοι στη βάση τους, με μέσο πάχος 50 m περίπου.
- Σχιστοκερατολιθική διάπλαση (Js.sh) του Δογγέριου – Μάλμιου. Πρόκειται για αργιλικούς σχιστολίθους εναλλασσόμενους με ερυθρούς ραδιολαρίτες – με εμποτίσματα οξειδίων του μαγγανίου και με λεπτοπλακώδεις ερυθρωπούς ή τεφρούς ασβεστολίθους με κερατολίθους. Στους σχηματισμούς αυτούς επίκεινται ή παρεμβάλλονται υπερβασικά πετρώματα σερπεντινιωμένα με έντονο βαθμό εξαλλοίωσης που συχνά περιέχουν τεμάχια ασβεστολίθων του Ιουρασικού. Μέσο πάχος περίπου 25 m.
- Ασβεστόλιθοι (K₄₋₇.k) του Ανώτερου Άλβιου – Τουρώνιου, τεφροί πλακώδεις, κονδυλώδεις βιομικρίτες, βιοαρενίτες στα κατώτερα μέλη. Προς τα πάνω εξελίσσονται σε παχυστρωματώδεις ως άστρωτους. Στη νησίδα Αγ. Γεώργιος μέσα στους μικροκλαστικούς ασβεστολίθους παρατηρείται ένα λατυποπαγές με θραύσματα από οφιολίθους, κερατολίθους και κόκκους χαλαζία. Έχουν μέσο πάχος 5 m.
- Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και ψαμμίτες (PI) του Πλειόκαινου, αποτελούνται από επικλυσιογενή ιζήματα θαλάσσιας ή παράκτιας φάσεως. Στη βάση του απαντούν κροκαλοπαγή με παρεμβολές ψαμμιτών και ψαμμούχων μαργών. Στα ανώτατα μέλη εναλλάσσονται με λιμναία και χερσαία ιζήματα, κυρίως κροκαλοπαγή. Ο σχηματισμός έχει μέσο πάχος 10 m.
- Αλλουβιακές αποθέσεις (Al). Πρόκειται για σύγχρονες αποθέσεις χειμάρρων και αποτελούνται από αργίλους άμμους και χαλίκια έχοντας μέσο πάχος περίπου 3 m.

Με βάση τα παραπάνω, παρατίθεται η γεωλογική τομή της περιοχής της χάραξης.



Εικόνα 2.5: Γεωλογική τομή της περιοχής ενδιαφέροντος (τμήμα γεωλογικής τομής των Λιώρη και Παπαχαράλαμπος (2016))

2.6.3. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΧΑΡΑΞΗΣ

Όπως έχει ήδη περιγραφεί, η υποθαλάσσια σήραγγα, θα ξεκινήσει από το κολυμβητήριο περάματος και θα οδεύσει ως την νήσο του Αγ. Γεωργίου.

Στις ακτές του Περάματος, συναντάται χερσαίο τμήμα, κλίσεως 2,4%, το οποίο χαρακτηρίζεται από σταθερότητα και αποτελείται από νεογενείς κυρίως σχηματισμούς.

Έπειτα, βρίσκεται το θαλάσσιο τμήμα, το οποίο πρόκειται για μια ανοικτή λεκάνη με μέγιστο βάθος πυθμένα τα 12 m και κλίση 1,4% από την πλευρά του Περάματος και 3,3% από την πλευρά της νησίδος του Αγίου Γεωργίου.

Τέλος, συναντάται ο Άγιος Γεώργιος, ένα μικρό νησί που συνδέεται με τη Σαλαμίνα μέσω ενός τεχνητού επιχώματος. Το νησί χαρακτηρίζεται από σταθερότητα, κα αποτελείται επίσης από νεογενείς σχηματισμούς. Έχει μέγιστο ύψος 10 m, με κλίσεις εκατέρωθεν 5,2% (από την πλευρά του Περάματος) και 10,6% (από τη μεριά του Αγίου Γεωργίου.)

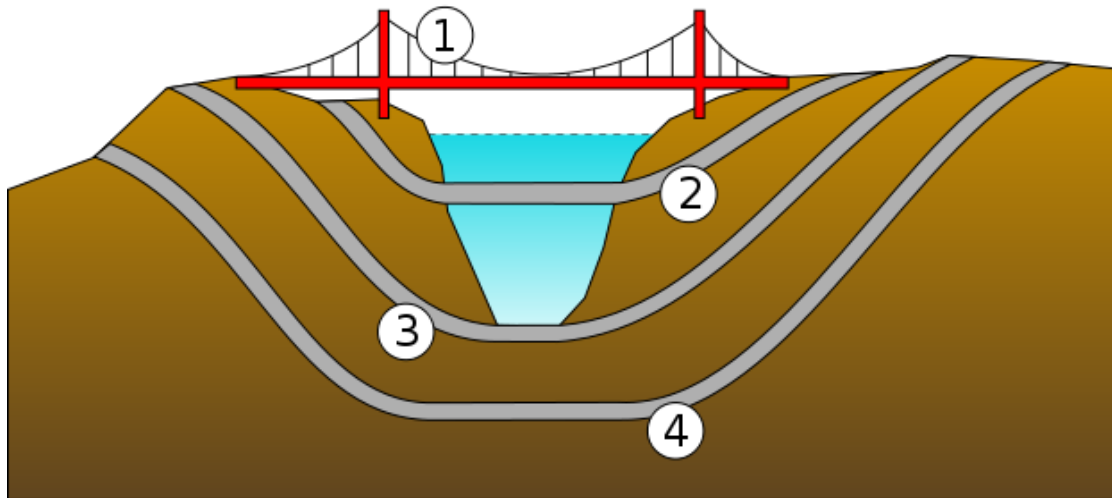
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΖΕΥΞΗ ΠΟΡΘΜΩΝ

Δυο σημεία ξηράς μεταξύ των οποίων μεσολαβεί στενή λωρίδα θάλασσας καλείται πορθμός. Για την εξυπηρέτηση των ανθρώπινων αναγκών για μετακίνηση και μεταφορά, αρχικά αναπτύχθηκε η ακτοπλοϊκή σύνδεση τους καθώς εκείνος είναι ο απλούστερος τρόπος. Όμως, λόγω του μεγάλου χρόνου που απαιτείται καθώς και της υψηλής εξάρτησης από τις καιρικές συνθήκες, άρχισαν να εφαρμόζονται και άλλες λύσεις για τη σύνδεση των πορθμών και συγκεκριμένα μόνιμες ζεύξεις.



Εικόνα 3.1: Φωτογραφία του πορθμού του Γιβραλτάρ από το διεθνές διαστημικό σταθμό
(www.nasa.gov/content/strait-of-gibraltar)

Όπως φαίνεται και την Εικόνα 3.2, για τη μόνιμη ζεύξη πορθμών, κατασκευάζονται γέφυρες (1) και σήραγγες (υποβρύχιες) που μπορεί να είναι: πλωτές (2), επιπυθμένες (3) ή υποπυθμένες (4). Η επιλογή του τρόπου ζεύξης, γίνεται με βάση τις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει η εκάστοτε περιοχή καθώς και τυχόν περιορισμούς (οικονομικούς, κοινωνικούς κ.α.)



Εικόνα 3.2: Τρόποι ζεύξης πορθμών (en.wikipedia.org)

Σε κάποιες περιπτώσεις έχουν κατασκευαστεί μεικτά έργα για τη ζεύξη πορθμών που περιλαμβάνουν γέφυρα και σήραγγα. Γνωστά τέτοια έργα είναι το Hampton Roads Bridge – Tunnel στις ΗΠΑ, το Tokyo Bay Aqua – Line στην Ιαπωνία και το Øresund Bridge για τη σύνδεση Δανίας – Σουηδίας.

Γνωστότεροι πορθμοί παγκοσμίως είναι ο Βερίγγειος, η Μάγχη, ο πορθμός του Γιβραλτάρ, του Κερτς, η Μάλακα, ο Βόσπορος και τα Δαρδανέλια. Ο πορθμός του Ευρίπου στην Εύβοια είναι ο πιο φημισμένος πορθμός της Ελλάδας.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγραφούν αναλυτικά οι τρόποι ζεύξης πορθμών, προκειμένου στη συνέχεια να αξιολογηθούν και να επιλεγεί ο καταλληλότερος για τη ζεύξη της Σαλαμίνας με το Πέραμα.

3.1. ΓΕΦΥΡΕΣ

Γέφυρα είναι κάθε τεχνικό έργο με οποιαδήποτε διάταξη ανοιγμάτων που φέρει μια οδό πάνω από οποιοδήποτε τύπου εμπόδιο με απόσταση άνω των 6 m. 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 (Κωνσταντινίδης, 2012).



Εικόνα 3.3: Η Γέφυρα Golden Gate στο San Francisco (goldengatebrige.org)

Τα διαθέσιμα υλικά κατασκευής σε κάθε εποχή έπαιξαν το βασικό ρόλο στην εξέλιξη της γεφυροποιίας. Αρχικά, κατασκευάστηκαν ξύλινες ή σχοινένιες γέφυρες από τον πρωτόγονο άνθρωπο. Όσο οι ανάγκες των πιο οργανωμένων κοινωνιών όμως αυξάνονταν, έγινε απαραίτητη η εξεύρεση νέων δομικών υλικών και μεθόδων κατασκευής. Ο λίθος χρησιμοποιήθηκε ευρέως από Κινέζους και Ρωμαίους αρχικά και αργότερα από Έλληνες και Τούρκους τεχνίτες. Έπειτα, η βιομηχανική επανάσταση, καθιέρωσε το χάλυβα ως βασικό δομικό υλικό στη γεφυροποιία. Πρώτη μεταλλική γέφυρα στην

Ευρώπη, είναι η Pond des Artes (ελληνιστί «Γέφυρα των Τεχνών») στο Παρίσι (Γρίσπος & Γεωργανής, 2009). Επίσης, γέφυρες από χυτοσίδηρο κατασκευάστηκαν κυρίως στην Μεγάλη Βρετανία, την Κίνα και τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Στον 20^ο αιώνα, ανακαλύφθηκε και χρησιμοποιήθηκε ευρέως για την κατασκευή γεφυρών, το σκυρόδεμα. 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 συντήρησης τους (Κωνσταντινίδης, 2012).

Γενικά οι γέφυρες διακρίνονται:

- Ανάλογα με τη χρήση ή τον τύπο του φορέα, σε «οδικές», «σιδηροδρομικές», «πεζών» και «πεζών και ποδηλάτων», υδατογέφυρες κ.λπ.
- Με κριτήριο το υλικό κατασκευής, σε «ξύλινες», «λίθινες» (αψιδωτές ή τοξωτές), «σχοινένιες», «μεταλλικές», «τσιμεντένιες» και «σύμμικτες».
- Βάσει του τρόπου έδρασής τους, (που είναι και το βασικότερο κριτήριο κατάταξης) σε «κινητές» και σε «σταθερές» ή αλλιώς «σταθερώς εδραζόμενες».
- Ανάλογα με τη στατική λειτουργία του φορέα, σε «κρεμαστές», «καλωδιωτές», «τοξωτές», «επιφανειακών φορέων», «μορφής δοκού» και «πλαισιωτές».

Πολλές γέφυρες παγκοσμίως δικαίως θεωρούνται αρχιτεκτονικά μνημεία και αποτελούν αντικείμενα θαυμασμού για την καλαισθησία και τη λειτουργικότητα τους. Γνωστά τέτοια κομψοτεχνήματα είναι η Golden Gate στο San Francisco (Εικόνα 3.3), η γέφυρα του Brooklyn στη Νέα Υόρκη, η γέφυρα του Millau στην ομώνυμη γαλλική πόλη, η γέφυρα Akashi-Kaiikyō (ή Pearl Bridge) στα στενά του Akashi στην Ιαπωνία, η γέφυρα του Καρόλου (Charles Bridge) στην Πράγα, η Stari Most στην πόλη Mostar της Βοσνίας, η γέφυρα Chengyang (ή γέφυρα του ανέμου και της βροχής) στην ομώνυμη πόλη της Κίνας κ.α.



Εικόνα 3.4: Η γέφυρα Chengyang (travel.nationalgeographic.com)

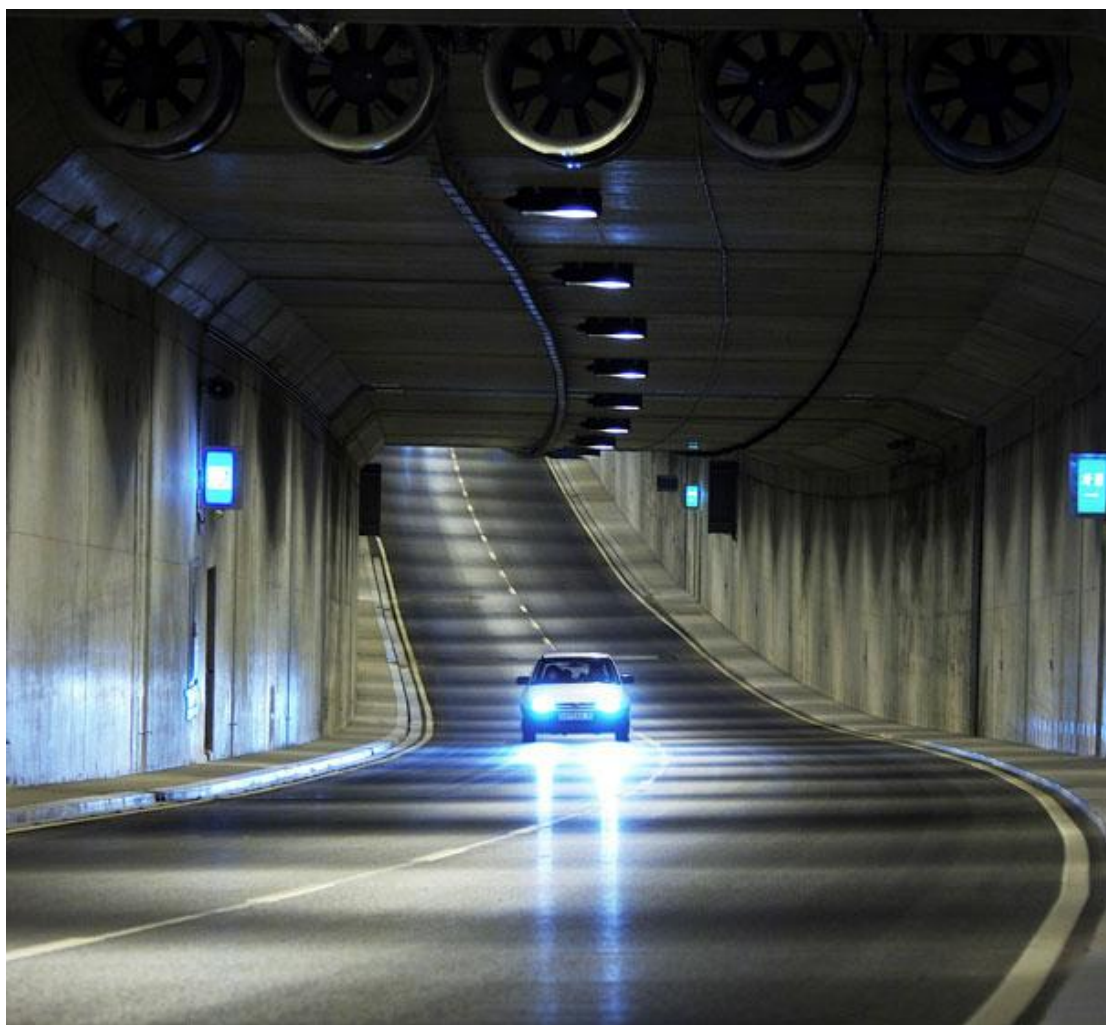
Στην Ελλάδα, το Γεφύρι της Άρτας είναι ιδιαίτερα γνωστό τόσο λόγω της ομορφιάς του όσο και από το δημοτικό τραγούδι κατά το οποίο «ολημερίς το χτίζανε, το βράδυ εγκρεμιζόταν». Επίσης, η γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου αποτελεί τη σημαντικότερη και πιο φημισμένη σύγχρονη γέφυρα της χώρας.



Εικόνα 3.5 Το Γεφύρι της Άρτας (mario.net)

3.2. ΣΗΡΑΓΓΕΣ

Σήραγγα είναι ένα επίμηκες, στενό, ουσιαστικά γραμμικό εκσκαμμένο υπόγειο άνοιγμα με μήκος που υπερβαίνει κατά πολύ το πλάτος ή το ύψος της (Wahlstrom, 1973). 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 (Σοφιανός, 2011).



Εικόνα 3.6: Εσωτερικό επιυποθμμένας σήραγγας (bouygues-tp.com)

Οι πρώτες προσπάθειες του ανθρώπου να αξιοποιήσει τον υπόγειο χώρο, χάνονται στο βάθος της αρχαιότητας. Βάσει αρχαιολογικών ευρημάτων όμως, αποδεικνύεται ότι ο άνθρωπος κατά τη λίθινη εποχή στην Ευρώπη,

κατασκεύασε υποτυπώδη φρέατα και σήραγγες προκειμένου να ανακτήσει πυρόλιθο για την κατασκευή αιχμηρών εργαλείων όπως μαχαίρια, τσεκούρια, βέλη και ξύστρες (Wahlstrom, 1973). Ακόμα, έχει διαπιστωθεί υπόγεια μεταλλευτική δραστηριότητα στην περιοχή του Καυκάσου περί το 3500 π.Χ. Οι πρώτες δίοδοι διέλευσης πεζών, κατασκευάστηκαν για την πρόσβαση σε χώρους λατρείας θεών στη Μάλτα και την Αίγυπτο μεταξύ 3000 και 1000 π.Χ. Κάτω από τον ποταμό Ευφράτη, το 2000π.Χ, κατασκευάστηκε η μήκους ενός km πρώτη υποποτάμια σήραγγα. Ένα από τα σημαντικότερα ορόσημα στην ιστορία της σηραγγοποιίας, είναι η κατασκευή του Ευπαλίνειου ορύγματος για την παροχέτευση νερού στην πόλη της Σάμου (Πυθαγόρειο) από το μηχανικό Ευπαλίνο τον 6^ο π.Χ. αιώνα, αφού ήταν η πρώτη σήραγγα που διανοίχθηκε από δύο στόμια με συνάντηση στο μέσον της διαδρομής.



Εικόνα 3.7: Εσωτερικό Ευπαλίνειου Ορύγματος (mapio.net)

Ο άνθρωπος της λίθινης εποχής χρησιμοποιούσε αρκετά πρωτόγονα υλικά για την εκσκαφή, όπως κοπτικά από πυρόλιθο, ξύλο ακόμα και κέρατα ή οστά ζώων. Η πρόοδος όμως της μεταλλουργίας, και η παραγωγή ισχυρότερων μετάλλων και κραμάτων, συνέβαλλε στην εξέλιξη των εκσκαπτικών

εργαλείων. Η επόμενη σημαντική ώθηση στην τέχνη της σηραγγοποιίας, ήταν η χρήση εκρηκτικών υλών για την εκσκαφή σκληρών βράχων που ξεκίνησε τον 17^ο μ.Χ. αιώνα. Στα μέσα του 19^{ου} αιώνα, σημειώθηκε ραγδαία εξέλιξη στα μηχανικά μέσα εκσκαφής, και έγιναν οι πρώτες προσπάθειες για την κατασκευή μεγάλων εκσκαπτικών μηχανών (τα σημερινά TBM). Από τα μέσα περίπου του 20^{ου} αιώνα, ξεκίνησε η συστηματική χρήση μηχανών ολομέτωπης κοπής (Tunnel Boring Machines, TBM).

Αυτή η πρόοδος της τεχνολογίας, έχει οδηγήσει σε νέες μεθόδους διάνοιξης σηράγγων. «Έτσι, δυνάμεθα να διακρίνουμε πλέον το σύνολο των σήμερα κατασκευαζόμενων σηράγγων σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τις υπόγειες και τις υποβρύχιες» (Σοφιανός, 2011). Όπως, γίνεται εύκολα αντιληπτό, οι πρώτες διανοίγονται στην ξηρά, ενώ οι δεύτερες διέρχονται κάτω από υδάτινους όγκους. Οι μεν υπόγειες, ανάλογα με τον τρόπο εκσκαφής τους, χωρίζονται σε διάτρησης, υπόγειας εκσκαφής και κοπής και επίχωσης. Οι δε υποβρύχιες, ανάλογα με τον τρόπο έδρασής τους, διακρίνονται σε επιπυθμένες, πλωτές και υποπυθμένες.

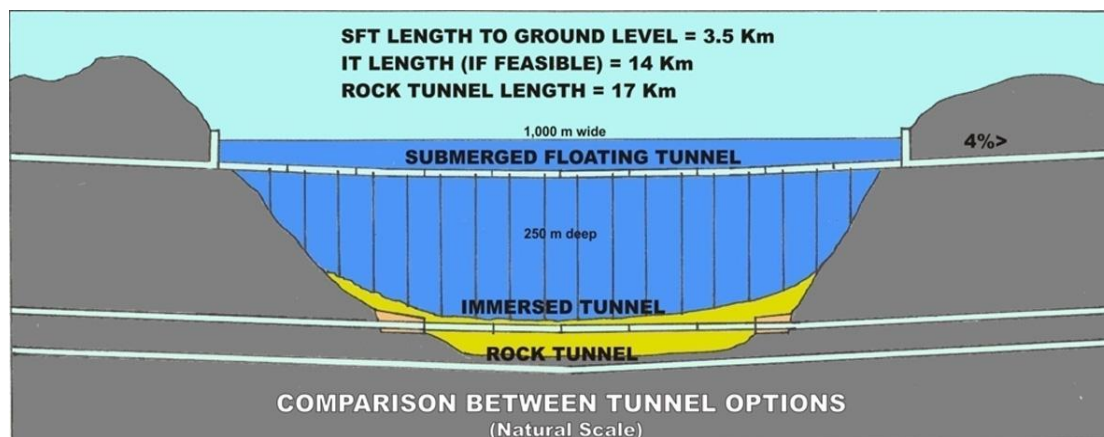
Υποβρύχιες σήραγγες ονομάζονται όλες οι σήραγγες εκείνες που διανοίγονται κάτω από την επιφάνεια μεγάλων θαλάσσιων όγκων (θάλασσες, λίμνες, ποτάμια). Σύμφωνα με τον Eisenstein (1994), οι μεγάλες υποβρύχιες σήραγγες στην εποχή μας, παίζουν ένα παρόμοιο ρόλο με αυτόν της διώρυγας του Σουέζ ή του Παναμά πριν από έναν αιώνα, αφού δεν αποτελούν μόνο μεγάλα επιτεύγματα της μηχανικής αλλά αλλάζουν τους μεταφορικούς, οικονομικούς κοινωνικούς και πολιτικούς χάρτες των περιοχών και, κάποιες φορές, ολόκληρου του κόσμου.

Οι υποβρύχιες σήραγγες, χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- **Τις υποπυθμένες**, οι οποίες διανοίγονται στο έδαφος κάτω από τον πυθμένα
- **Τις επιπυθμένες**, επικαθήμενες δηλαδή στον πυθμένα της θάλασσας
- **Τις πλωτές**, οι οποίες «επιπλέουν» στο νερό.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.8, όσο μικρότερο βάθος έχει η σήραγγα, τόσο μικρότερο θα είναι και το μήκος της, λόγω του περιορισμού μεγίστης

κλίσης. Έτσι, για τη ζεύξη ενός συγκεκριμένου πορθμού, οι πλωτές σήραγγες έχουν το μικρότερο και οι υποπυθμένες το μεγαλύτερο μήκος.



Εικόνα 3.8: Σύγκριση μήκους υποβρύχιων σήραγγων (tunneltalk.com)

Όπως εύκολα διαπιστώνουμε, οι πρώτες, οι οποίες μοιάζουν σε μεγάλο βαθμό με τις σήραγγες που διανοίγονται στην ξηρά, εξαρτώνται ιδιαίτερα από τη γεωλογική δομή της θέσης κατασκευής. Όσον αφορά τις πλωτές, ο σχεδιασμός τους καθορίζεται κατά κύριο λόγο από τη θαλάσσια υδραυλική. Τέλος, οι επιπυθμένες σήραγγες, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και η γεωλογική δομή του πυθμένα, όσο και η υδροδυναμική του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι ως τώρα έχουν κατασκευαστεί υποβρύχιες σήραγγες μόνο των δύο πρώτων κατηγοριών, ενώ η κατασκευή πλωτής σήραγγας είναι ακόμα υπό μελέτη.

Ακολουθεί πίνακας με κάποιες από τις σημαντικότερες υποβρύχιες σήραγγες παγκοσμίως:

Πίνακας 3.1: Κάποιες από τις σημαντικότερες υποβρύχιες σήραγγες

Υποβρύχιες σήραγγες	Χώρα	Τύπος	Χρήση	Μήκος	Βάθος	Έτος λειτ.
Thames tunnel	U.K.	Subsea	Railway	0,4km	23m	1843
Severn Tunnel	U.K.	Subsea	Railway	7km	~24m	1886
Maastunnel	Netherlands	Immersed-tube	Roadway	1,4km	20m	1942
Vardø Tunnel	Norway	Subsea	Roadway	2,9km	88m	1982
Seikan Tunnel	Japan	Subsea	Railway	53,9km	240m	1988
Sydney Harbour Tunnel	Australia	Immersed-tube	Roadway	2,8km	25m	1992
Channel Tunnel	U.K.-France	Subsea	Railway	50,5km	75m	1994
Tokyo Bay Aqua-Line	Japan	Subsea	Roadway	9,6km	45m	1997
Aktio-Preveza Tunnel	Greece	Immersed-tube	Roadway	1,6km	27m	2002
Busan-Geoje Fixed Link	S. Korea	Immersed-tube	Roadway	3,2km	48m	2010
Eurasian Tunnel	Turkey	Subsea	Roadway	5,4km	106m	2016

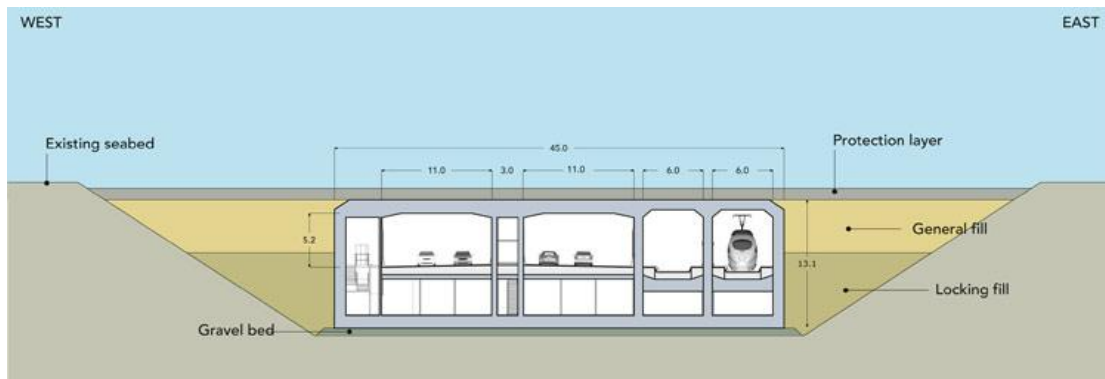
Η επιλογή του κατάλληλου τύπου σήραγγας, σύμφωνα με τον Gursoy (1995) εξαρτάται από:

- Το απαιτούμενο βάθος πλεύσης και τον κυκλοφοριακό όγκο της οδού
- Τις υποδομές που υπάρχουν στην ακτογραμμή
- Την τοπογραφία, τη γεωλογία και τις γεωτεχνικές παραμέτρους της περιοχής
- Τις κλίσεις και το μήκος
- Τις απαιτήσεις εξαερισμού και την κατανάλωση ενέργειας των εγκαταστάσεων της σήραγγας και των διερχόμενων οχημάτων
- Το κόστος και τον προγραμματισμό της κατασκευής με την κάθε εναλλακτική

Στη συνέχεια, θα περιγραφούν οι τρεις προαναφερθέντες τύποι υποβρύχιων σηράγγων και θα παρουσιαστούν χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτών.

3.2.1. ΕΠΙΠΥΘΜΕΝΙΕΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ (Immersed Tube Tunnels)

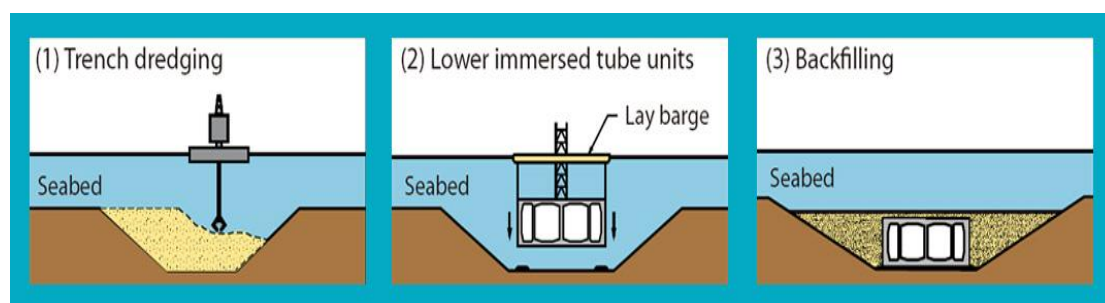
Οι επιπυθμένες (ή επικαθήμενες ή βυθιζόμενες) σήραγγες αποτελούνται από προκατασκευασμένα τμήματα (σπονδύλους ή caissons) από χάλυβα ή σκυρόδεμα τοποθετημένα σε τάφρους οι οποίες έχουν διανοιχθεί σε πυθμένες θαλασσών ή λιμνών. Σε κάθε όχθη στο τέλος των τάφρων, γίνονται εκσκαφές για την κατασκευή της 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. Η παραπάνω διαδικασία κατασκευή φαίνεται και σχηματικά στην Εικόνα 3.10. Επιπυθμένες σήραγγες χρησιμοποιούνται ευρέως για σύνδεση αυτοκινητοδρόμων και σιδηροδρόμων σε μικρά σχετικά βάθη, όπου οι τάφροι μπορούν να εκσκαφθούν με πλωτό εξοπλισμό. (Λιώρης, Παπαχαραλάμπους, 2015).



Εικόνα 3.9: Σχηματική απεικόνιση διατομής επιπυθμένης οδικής και σιδηροδρομικής σήραγγας (tunneltalk.com)

Οι επιπυθμένες σήραγγες, κατασκευάζονται είτε από σκυρόδεμα (κυρίως στην Ευρώπη και την Ιαπωνία), είτε από χάλυβα (κυρίως στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής). Μέχρι το 1997, από τις 106 υπάρχουσες (ή υπό κατασκευήν) επιπυθμένες σήραγγες, οι 70 είχαν κατασκευαστεί από

σκυρόδεμα, ενώ οι 36 από χάλυβα, δηλαδή η αναλογία είναι περίπου 2 προς 1. (Rasmussen, 1997)

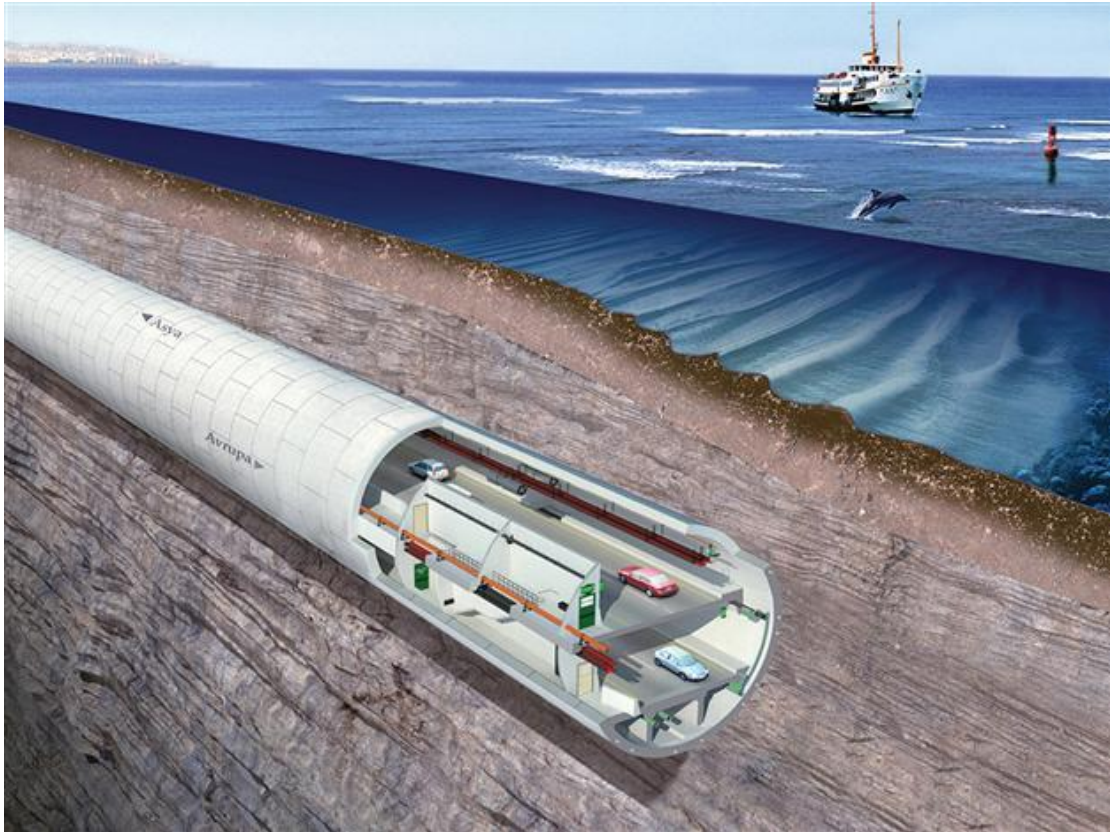


Εικόνα 3.10: Διαδικασία εγκατάστασης της επικαθήμενης σήραγγας στον πυθμένα (1.Διάνοιξη υφαλαύλακα 2. Βύθιση των caissons 3.Επανεπίχωση) (mtr-shatincetrallink.kh)

Η πρώτη επιπυθμμένα σήραγγα κατασκευάστηκε κάτω από το Shirley Gut στο λιμάνι της Βοστώνης στις Η.Π.Α. το 1896, ενώ η πρώτη συγκοινωνιακή, ήταν η “Michigan Central Railroad Tunnel” κάτω από τον ποταμό του Detroit το 1910 (Gursoy, 1995). Στην Ευρώπη, οι τεχνικές αυτές άρχισαν να έρθουν και συγκεκριμένα μέχρι το 1942 και την κατασκευή του Maas Tunnel στο Ρότερνταμ της Ολλανδίας (Munfah and Tarhan, 2015). Άλλες σημαντικές επιπυθμμένες σήραγγες είναι το Drodgen Tunnel, το οποίο συνδέει τη Δανία με τη Σουηδία, η σήραγγα του Μαρμαρά στην Τουρκία, η σήραγγα του λιμανιού του Σίδνεϋ κ.α.

3.2.2. ΥΠΟΠΥΘΜΕΝΙΕΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ (Subsea Tunnels)

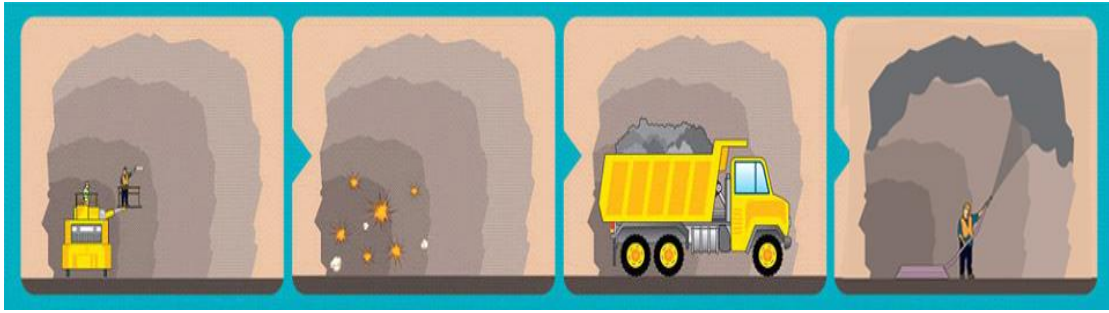
«Οι υποπυθμμένες σήραγγες, διέρχονται κάτω από τον πυθμένα θαλασσών ή λιμνών, όπου η γεωλογία είναι κρυμμένη από το νερό» (Palmström, 1994). Οι σήραγγες μπορούν να διανοιγούν με μέθοδο διάτρησης – ανατίναξης (drill and blast), με συμβατικά μηχανικά μέσα ή με μηχανές ολομέτωπης κοπής (TBM – Tunnel Boring Machine).



Εικόνα 3.11: Σχηματική απεικόνιση υποπυθμένης σήραγγας που διανοίγεται με TBM
(hurrietarydailynews.com)

Όπως αναφέρει και ο Palmström (1994), οι υποπυθμένες σήραγγες (subsea tunnels), επηρεάζονται περισσότερο από τις γεωλογικές αβεβαιότητες και τους κινδύνους από ότι άλλες σήραγγες λόγω των περιορισμένων γεωλογικών δεδομένων που υπάρχουν αλλά και την πολύ μικρή απόσταση από μεγάλες ποσότητες νερού.

Πρόκειται για έργο που γίνεται εξ' ολοκλήρου μέσα στο υπέδαφος, όπως και οι σήραγγες στην ξηρά, οπότε και ο σχεδιασμός της σήραγγας ακολουθεί σχεδόν την ίδια μεθοδολογία με αυτή των συμβατικών σηράγγων. Φυσικά υπάρχει ως επιπλέον στοιχείο η παρουσία της στήλης του θαλάσσιου νερού, η οποία προσθέτει ένα πρόσθετο φορτίο στην καταπόνηση της σήραγγας (Λιώρης και Παπαχαλαράμπος, 2015).



Εικόνα 3.12: Η μέθοδος διάτρησης - ανατίναξης σχηματικά (mtr-shatincentrallink.hk)

Οι ιδιαιτερότητές τους κατά Nilsen and Palmström (2001) είναι οι ακόλουθες:

- Το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής του έργου καλύπτεται από νερό. Ως εκ τούτου, πρέπει να εφαρμόζονται ειδικές τεχνικές έρευνας, ενώ παράλληλα, η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της έρευνας είναι περισσότερο αβέβαιη από ό, τι για τα περισσότερα άλλα projects.
- Οι θέσεις των φιόρδ και των στενών ορίζονται συχνά από μεγάλα ρήγματα ή ζώνες αδυναμίας στο βραχώδες υπόστρωμα. Επίσης, σε συνθήκες καλής ποιότητας βράχου, το βαθύτερο τμήμα του φιόρδ, και ως εκ τούτου το πιο κρίσιμο μέρος της σήραγγας συχνά συμπίπτει με ζώνες αδυναμίας ή ρήγματα, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν δύσκολες συνθήκες εκσκαφής.
- Η ποσότητα της πιθανής εισροής νερού είναι απροσδιόριστη, και όλη αυτή η διαρροή πρέπει να αντλείται εκτός σήραγγας λόγω της γεωμετρίας.
- Ο αλατούχος χαρακτήρας του εισερχόμενου νερού προκαλεί σημαντικά προβλήματα στον εξοπλισμό των σηράγγων καθώς και στα μέσα υποστήριξης.

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

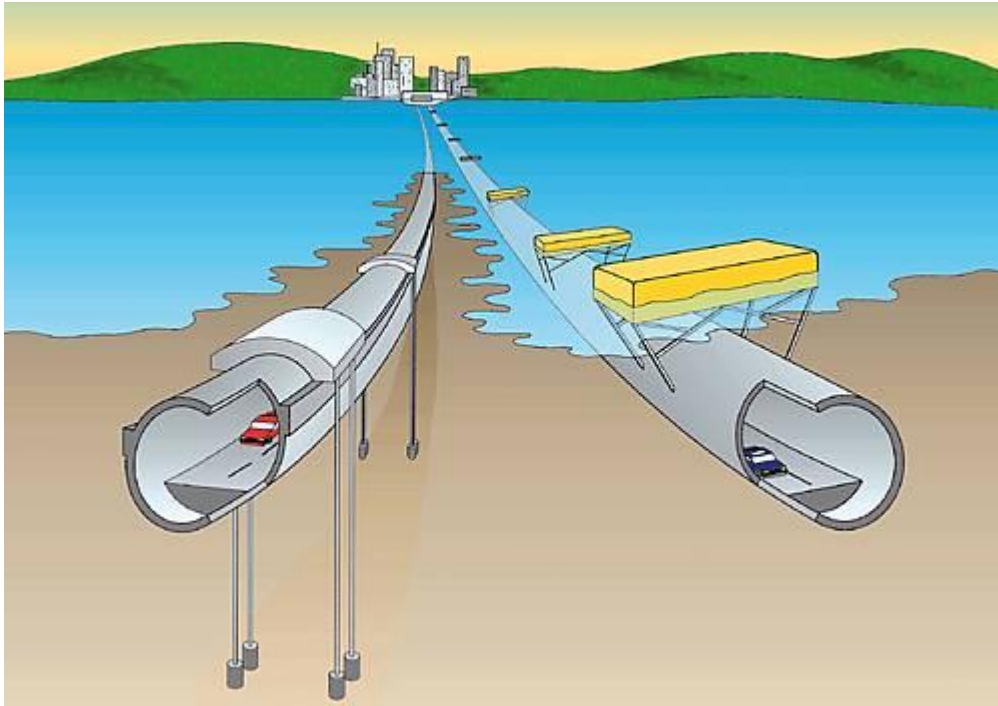
αυτόν τον τομέα δείχνει ότι το ρίσκο της εισροής μεγάλης ποσότητας νερού μειώνεται κατακόρυφα, όταν βελτιώνονται οι επικίνδυνες αυτές ζώνες με τη χρήση ενεμάτων (κυρίως τσιμεντενέσεων – pregrouting) πριν το μέτωπο της διάνοιξης φθάσει εκεί. Αφού γίνει η παραπάνω βελτίωση, η διάνοιξη μπορεί να συνεχιστεί ουσιαστικά μέσα από μια ασφαλή ζώνη (Λιώρης και Παπαχαραλάμπους, 2015).

Μεγάλος αριθμός υποπυθμένων σηράγγων έχει κατασκευαστεί στη Σκανδιναβία και ειδικότερα στη Νορβηγία. Λόγω της πολύ καλής μηχανικής συμπεριφοράς που παρουσιάζουν τα κρυσταλλικά και μεταμορφωμένα πετρώματα της περιοχής, οι σήραγγες αυτές έχουν διανοιγεί με τη μέθοδο διάτρησης και ανατίναξης. Στον υπόλοιπο κόσμο, οι υποπυθμένες σήραγγες διανοίγονται συνηθέστερα με τη χρήση μηχανών ολομέτωπης κοπής ή/και συμβατικών μηχανικών μέσων.

3.2.3. ΠΛΩΤΕΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ (Submerged Floating Tunnels)

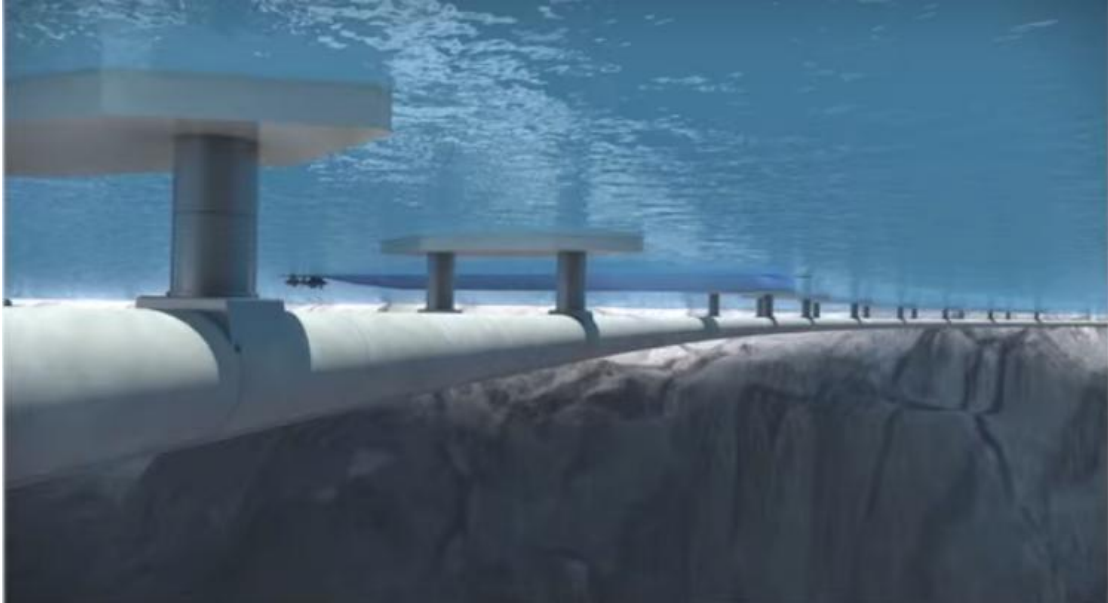
Οι πλωτές σήραγγες (Submerged Floating Tunnels – SFT), είναι υποβρύχιες προκατασκευασμένες σήραγγες, οι οποίες βρίσκονται σε ισορροπία μεταξύ του πυθμένα και της επιφάνειας του νερού και ανθίστανται στην άνωση μέσω ενός συστήματος πρόσδεσης. Λέγονται επίσης και γέφυρες του Αρχιμήδη.

Όπως οι επιπιθμένες, έτσι και οι πλωτές σήραγγες, αποτελούνται από ένα ή περισσότερα προκατασκευασμένα στοιχεία (σπονδύλους ή elements ή caissons), η κατασκευή των οποίων γίνεται στην ξηρά (συνήθως πλησίον της χάραξης). Ακόμα σφραγίζονται με προσωρινά διαφράγματα και επιπλέοντας οδηγούνται στην τελική τους θέση. Έπειτα, οι διαδικασίες για τις δύο σήραγγες διαφοροποιούνται. Για τις πλωτές, λοιπόν, δεν απαιτείται διάνοιξη τάφρου και επανεπίχωση όπως περιγράφηκε παραπάνω για τις πλωτές, αφού η τελική τους θέση βρίσκεται κάπου μεταξύ πυθμένα και επιφάνειας του νερού. Για την στήριξή της έχουν προταθεί δύο συστήματα: Ένα με αγκύρωση στον πυθμένα, και ένα με την χρήση πλωτήρων (pontoon) στην επιφάνεια του νερού (Ingerslev, 2010).



Εικόνα 3.13: Σχηματική απεικόνιση πλωτής σήραγγας και των τρόπων έδρασής της
(www.360doc.com)

Παρόλο που η ιδέα των πλωτών σηράγγων υπάρχει για πάνω από μισό αιώνα, πουθενά στον κόσμο δεν έχει ως τώρα κατασκευαστεί μια τέτοια σήραγγα, κυρίως υπό τον φόβο μεγάλων ατυχημάτων. Μια σοβαρή πρόταση SFT, έγινε το 1969 για τη ζεύξη των στενών της Μεσσίνα στην Ιταλία (Martine, 2010). Ακόμα, έχουν προταθεί και μελετηθεί πλωτές σήραγγες για το Hogsfjord στη Νορβηγία, για τη σύνδεση Ελβετίας και Ιταλίας κάτω από τη λίμνη Lugano, για διάφορες περιοχές στην Ιαπωνία (Funka, Uchiura & Osaka Bay crossing) (Ahrens, 1997) κ.α.



Εικόνα 3.14: Άποψη πλωτής σήραγγας (www.citylab.com)

Σήμερα, εν έτει 2016, η Νορβηγία επιχειρεί να κατασκευάσει την πρώτη πλωτή σήραγγα παγκοσμίως, προκειμένου να συνδεθούν οδικώς τα φιόρδ με την ηπειρωτική χώρα. Είναι ένα ιδιαίτερα φιλόδοξο εγχείρημα το κόστος του οποίου εκτιμάται πως θα ανέλθει σε 25 δισεκατομμύρια δολάρια Ηνωμένων Πολιτειών (\$ US).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΥΠΟΥ ΖΕΥΞΗΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα δεδομένα για την περιοχή Σαλαμίνας – Περάματος και βάσει αυτών θα γίνει η επιλογή του πλέον κατάλληλου τρόπου ζεύξης.

4.1. ΓΕΦΥΡΑ

Η πρώτη, συνήθως, επιλογή για τη ζεύξη ενός πορθμού είναι η γέφυρα. Πρόκειται για ένα μεγάλο έργο το οποίο λόγω του ότι είναι εμφανές αφού βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, προκαλεί δέος στους διερχόμενους πέρα από τη χρηστική του αξία. Ακόμα οι αβεβαιότητες που υπάρχουν σε ένα τέτοιο έργο είναι μικρότερες από ότι στις σήραγγες.



Εικόνα 4.1: Η γέφυρα Ρίου – Αντιρρίου ή «Χαρίλαος Τρικούπης» (www.gefyra.gr)

Όμως στην προκειμένη περίπτωση, υπάρχουν ιδιαίτερα σοβαρές αντιρρήσεις στην οδική ζεύξη της Σαλαμίνας με το Πέραμα με την κατασκευή γέφυρας.

Βασικός λόγος απόρριψης της συγκεκριμένης λύσης είναι η ύπαρξη του Ναυστάθμου Σαλαμίνας στα Στενά αυτά. Συγκεκριμένα εκεί ναυλοχεί ένα μεγάλο μέρος του ελληνικού πολεμικού στόλου και σε ενδεχόμενη πολεμική σύγκρουση, η κατάπτωση της γέφυρας θα οδηγούσε στον εγκλωβισμό του στόλου εντός των Στενών. Επίσης, ακόμα και εν καιρώ ειρήνης, θα περιοριζόταν η ευελιξία των κινήσεων των πολεμικών σκαφών. Για τους παραπάνω λόγους, η κατασκευή γέφυρας στη θέση αυτή, έχει απορριφθεί ήδη από το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας και δεν επιδέχεται περαιτέρω συζητήσεως.

Έτσι λοιπόν, οι εναλλακτικές λύσεις για τη ζεύξη της Σαλαμίνας με το Πέραμα είναι οι τρεις τύποι των υποβρύχιων σηράγγων, εφόσον η λύση της γέφυρας δεν αποτελεί πλέον επιλογή. Όπως έχει ήδη περιγραφεί, αυτοί είναι:

- Πλωτή σήραγγα
- Επιπυθμένα σήραγγα
- Υποπυθμένα σήραγγα

4.2. ΠΛΩΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑ

Ο βασικότερος λόγος για την απόρριψη της λύσης της πλωτής σήραγγας είναι το πολύ μικρό βάθος του πυθμένα της θαλάσσιας περιοχής μεταξύ Σαλαμίνας και Περάματος, που σε συνδυασμό με την ύπαρξη του Ναυστάθμου, δεν επιτρέπει την κατασκευή πλωτής γέφυρας στη συγκεκριμένη περιοχή, αφού το βάθος δε θα επαρκεί για την ομαλή διέλευση όλων των πολεμικών σκαφών.

Ένας ακόμα σημαντικός λόγος για την απόρριψη της λύσης αυτής, είναι το γεγονός πως η πλωτή σήραγγα βρίσκεται ακόμα σε στάδιο μελέτης και δεν έχει κατασκευαστεί ποτέ σε όλον τον κόσμο. Άρα λοιπόν λόγω παντελούς έλλειψης τεχνογνωσίας αλλά και εφόσον ο σκοπός της υπό συζήτησιν ζεύξης είναι η άμεση λύση των προβλημάτων που προκύπτουν από την υπάρχουσα ακτοπλοϊκή σύνδεση του νησιού και η βελτίωση των συνθηκών μετακίνησης και μεταφοράς από και προς τη Σαλαμίνα, και όχι τόσο η προαγωγή και

εξέλιξη της τέχνης της παγκόσμιας σήραγγοποιίας και η κατασκευή ενός μνημειώδους έργου, θα πρέπει και η λύση της πλωτής σήραγγας να απορριφθεί. Ακόμα το κόστος για τη μελέτη και κατασκευή μιας σήραγγας αυτού του τύπου, είναι πιθανό να είναι υπέρογκο και το έργο να καταστεί μη βιώσιμο.



Εικόνα 4.6: Σχηματική απεικόνιση SFT (www.downtoearth.org)

Έτσι λοιπόν, έχοντας απορρίψει δύο από τους δυνατούς τρόπους ζεύξης πορθμών, και συγκεκριμένα τη γέφυρα και την πλωτή σήραγγα, απομένουν μόνο δύο πιθανές λύσεις για τη ζεύξη της νήσου Σαλαμίνας με την απέναντι ακτή της Αττικής και συγκεκριμένα με το Πέραμα. Η επιπυθμένα και η υποπυθμένα σήραγγα.

4.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΑΣΙΚΟΤΕΡΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΡΟΠΟΥ ΖΕΥΞΗΣ

Για την επιλογή της βέλτιστης δυνατής λύσης για τη μόνιμη οδική ζεύξη της Σαλαμίνας με το Πέραμα, απαιτείται η περιγραφή και ανάλυση των βασικότερων παραγόντων οι οποίοι επιδρούν στο Έργο. Οι βασικότεροι παράγοντες είναι:

- Η γεωλογία της περιοχής
- Η απόσταση των σημείων που θα συνδεθούν
- Το βάθος του πυθμένα
- Το κόστος του Έργου
- Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις
- Λοιποί παράγοντες

Στη συνέχεια θα επιχειρηθεί μια συνοπτική παρουσίαση των δεδομένων που αφορούν τους συγκεκριμένους παράγοντες.

4.3.1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Στο κεφάλαιο 1 περιγράφηκε η γεωλογική δομή της περιοχής μεταξύ Σαλαμίνας και Περάματος που αποτελεί έναν βασικό παράγοντα για την επιλογή της βέλτιστης λύσης.

Με βάση, λοιπόν, τα παραπάνω, προκύπτει ότι οι ιζηματογενείς σχηματισμοί του πυθμένα, είναι εύκολο να εκσκαφθούν για την κατασκευή επιπυθμένης σήραγγας στη θέση αυτή.

Από την άλλη, η υποπυθμένα σήραγγα, θα αντιμετωπίσει περισσότερες δυσκολίες αφού υπάρχουν εναλλαγές των σχηματισμών σε μικρό σχετικά βάθος. Ακόμα, λόγω μέτριας περατότητας, αλλά και ενδεχόμενης διαταραχής των υπερκειμένων της διάτρησης σχηματισμών, υπάρχει κίνδυνος εισροής υδάτων και πρόκλησης σημαντικών προβλημάτων στο εν λόγω έργο.

4.3.2. ΒΑΘΟΣ ΠΥΘΜΕΝΑ

Το μέγιστο βάθος στην περιοχή χάραξης του Έργου (μεταξύ Περάματος και Αγ. Γεωργίου), όπως περιγράφηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, ανέρχεται σε 12m. Ακόμα τόσο η νήσος του Αγίου Γεωργίου όσο και η ακτή του Περάματος στην περιοχή πέριξ του κολυμβητηρίου, δεν έχουν μεγάλο ύψος (όχι πάνω από 10 m).

Για την κατασκευή επιπυθμένης σήραγγας, θα πρέπει να εκσκαφθεί μεγάλος όγκος εδάφους προκειμένου το βάθος του πυθμένα μετά την επίχωση της σήραγγας να μην είναι μικρότερο από ότι ήταν προηγουμένως δηλαδή 12 m), και αυτό ώστε να μην παρεμποδιστεί η ομαλή διέλευση των πολεμικών σκαφών του Ναυστάθμου.

Όσον αφορά την υποπυθμένα, αυτή θα πρέπει να κατασκευαστεί σε αρκετά μεγαλύτερο βάθος, εντός καλύτερων γεωλογικών σχηματισμών, ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος διαταραχής των υπερκείμενων σχηματισμών και εισροής μεγάλης ποσότητας ύδατος. Αν επιλεγεί αυτή η λύση, το ακριβές βάθος θα προσδιοριστεί λαμβάνοντας υπόψη τους υπάρχοντες γεωλογικούς σχηματισμούς καθώς και τους περιορισμούς που αφορούν τη μέγιστη επιτρεπόμενη κλίση για οδικές σήραγγες.

4.3.3. ΑΠΟΣΤΑΣΗ

Η ακτή του Περάματος που ενδείκνυται ως σημείο εκκίνησης της σήραγγας, απέχει από τη νησίδα του Αγίου Γεωργίου περίπου 1,2 km.

Όμως, εφόσον η υποπυθμένα σήραγγα θα κατασκευαστεί σε μεγαλύτερο βάθος από την επιπυθμένα και αφού υπάρχει ο περιορισμός μέγιστης κλίσης για οδικές σήραγγες, είναι εύκολα αντιληπτό ότι το συνολικό μήκος της σήραγγας (υποθαλάσσιο και υπόγειες προσβάσεις) θα είναι αρκετά μεγαλύτερο στην περίπτωση της υποπυθμένης σήραγγας. Είναι πολύ πιθανό μάλιστα, η σήραγγα που θα ξεκινά από την περιοχή του Περάματος, να μην είναι δυνατό να καταλήξει στη νησίδα του Αγίου Γεωργίου, αλλά να πρέπει να

φτάσει στον οικισμό των Παλουκίων Σαλαμίνας, ενδεχόμενο που απειλεί να αυξήσει κατά πολύ το συνολικό μήκος της σήραγγας και, συνεπώς, το κόστος κατασκευής.

4.3.4. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Για τον σαφή προσδιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων εκάστης εκ των δύο λύσεων, απαιτείται εκπόνηση Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ). Όμως για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας τέτοια μελέτη δεν διατίθεται ούτε είναι δυνατό να εκπονηθεί. Έτσι θα επιχειρηθεί μια επισήμανση των βασικότερων επιπτώσεων που μπορούν να προβλεφθούν για καθέναν από τους δύο τύπους σήραγγας που εξετάζονται.

Η κατασκευή μιας επιπυθμένης σήραγγας, απαιτεί την εκσκαφή μεγάλου όγκου πετρώματος όπως επισημάνθηκε και προηγουμένως. Όμως, επειδή στον πυθμένα ευρίσκονται οργανικά ιζήματα, απαιτείται ειδική επεξεργασία του εκσκαφθέντος υλικού πριν την απόθεσή του. Αυτό σημαίνει ότι το έργο θα χρειαστεί περισσότερο χρόνο και ότι θα υπάρξει μια οικονομική επιβάρυνση εξ αυτού του λόγου, ενώ ταυτόχρονα θα υπάρξει μια διαταραχή του πυθμένα στην περιοχή πέριξ της σήραγγας.

Η υποπυθμένα σήραγγα, μπορεί να διανοιγεί σε μεγαλύτερο βάθος όπου κυριαρχούν ασβεστόλιθοι και ψαμμίτες, οι οποίοι δεν θα χρειαστούν κάποια επεξεργασία πριν την απόθεσή τους. Άρα λόγω του μεγάλου σχετικά βάθους, η διατάραξη των πετρωμάτων από τη χρήση μηχανήματος ολομέτωπης κοπής (ΤΒΜ) αναμένεται να είναι αρκετά μικρή.

4.3.5. ΚΟΣΤΟΣ

Για τη σύγκριση του κόστους καθεμιάς εκ των δύο προκριθεϊσών λύσεων συνελέχθησαν δεδομένα από αντίστοιχα έργα που κατάσκευάστηκαν σε διάφορες περιοχές ανά τον κόσμο, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Τα κόστη κατασκευής κάθε έργου, ανήχθησαν σε δολάρια Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (U.S.Dollars, \$ US) και στο έτος 2015, προκειμένου να καταστούν συγκρίσιμα. Έπειτα, πραγματοποιήθηκε αναγωγή του συνολικού κόστους κάθε έργου σε κόστος ανά τρέχον μέτρο σήραγγας και υπολογίστηκε ο μέσος όρος τόσο για τις επιπυθμένες όσο και για τις υποπυθμένες σήραγγες. Ο υπολογισμός αυτός είναι προσεγγιστικός και στόχος είναι να υπάρξει μια τάξη μεγέθους για τη σύγκριση των δύο υπό εξέτασιν λύσεων, όσον αφορά το κόστος κατασκευής τους.

Πιο συγκεκριμένα, από τους πίνακες του Ο.Ο.Σ.Α.(www.oecd.org), που αφορούν τον Πληθωρισμό (Consumer Price Index – CPI) και την Δείκτης Ισοτιμίας Αγοραστικής Δύναμης Καταναλωτή (Purchasing Power Parity Index – PPPI), συνελέχθησαν τα δεδομένα για την εφαρμογή του ακόλουθου τύπου για την χωρική και χρονική μεταφορά:

$$Value_{y1,c1} = Value_{y0,c0} * \left(\frac{PPPI_{y0,c1}}{PPPI_{y0,c0}} \right) * \left(\frac{CPI_{y1,c1}}{CPI_{y0,c1}} \right)$$

Όπου:

Value: Η αξία του Έργου

PPPI: Ισοτιμία Αγοραστικής Δύναμης

CPI: Πληθωρισμός

y0, y1: έτος κατασκευής, έτος μεταφοράς (2015)

c0, c1: χώρα κατασκευής, χώρα μεταφοράς (Η.Π.Α.)

Έτσι, κατόπιν της συλλογής δεδομένων για διάφορες επιπυθμένες και υποπυθμένες σήραγγες ανά τον κόσμο, τη χρήση του παραπάνω τύπου για

τη χωρική και χρονική μεταφορά της αξίας κάθε έργου και την αναγωγή της αξίας ανά τρέχον μέτρο σήραγγας, συνετάχθη ο πίνακας που ακολουθεί.

Πίνακας 4.2: Στοιχεία επιτυθμένων και υποπυθμένων σηράγγων ανά τον κόσμο και αναγωγή της αξίας τους στο έτος 2015 σε δολάρια ΗΠΑ ανά τρέχον μέτρο

Tunnel	Country	Type	Usage	Length (km)	Year	Cost	Cost in million USD in 2015	Cost 2015 USD/m
Seikan	Japan	Subsea	Rail	53,83	1988	2,3bn\$	2.958	54.946
Channel tunnel	U.K.	Subsea	Rail	50,5	1994	4,65bn£	11.162	221.029
Bømlafjord Tunnel	Norway	Subsea	Road	7,82	2000	487mNOK	74	9.424
Western Scheldt Tunnel	Netherlands	Subsea	Road	6,6	2003	550m€	765	115.881
Nordoya tunnel	Faroe Isl.	Subsea	Road	6,2	2006	405mDKK	57	9.264
Eiksund	Norway	Subsea	Road	7,77	2008	846mNOK	104	13.434
Halsnøy Tunnel	Norway	Subsea	Road	4,12	2008	427mNOK	53	12.884
The Atlantic Ocean Tunnel	Norway	Subsea	Road	5,7	2009	110m\$	114	19.935
Eurasian Tunnel	Turkey	Subsea	road	5,4	2013	1,2bn\$	2.304	426.696
Ted Williams tunnel	U.S.A.	Immersed	Road	2,58	1995	1,3bn\$	2.022	783.567
Medway tunnel	U.K.	Immersed	Road	1,5	1995	104m€	188	125.553
Jach Lynch tunnel	Ireland	Immersed	Road	1,8	1999	133m€	207	115.047
Aktio Praveza	Greece	Immersed	Road	1,57	2002	58,9m€	117	74.567
Warnow tunnel	Germany	Immersed	Road	0,79	2003	225m€	323	409.118
Bjørsvika Tunnel	Norway	Immersed	Road	1,1	2010	280m\$	204	185.686
SecondTyne tunnel	U.K.	Immersed	Road	1,5	2011	139m£	207	138.299

Τα αποτελέσματα της παραπάνω προσέγγισης έδειξαν ότι κατά μέσο όρο (για τις σήραγγες που εξετάστηκαν) ανά τρέχον μέτρο, οι μεν επιτυθμένες κοστίζουν περί τα 150.000 \$US, ενώ οι υποπυθμένες περίπου 100.000 \$US. Έτσι λοιπόν οι υποπυθμένες σήραγγες φαντάζουν ως φθηνότερες λύσεις ανά μέτρο.

Όμως, το παραπάνω συμπέρασμα δεν μπορεί να είναι απόλυτα ακριβές, καθώς οι περισσότερες από τις υποπυθμένες σήραγγες που εξετάστηκαν έχουν κατασκευαστεί στην Σκανδιναβική χερσόνησο (και κυρίως στη Νορβηγία) η οποία αποτελείται κατά κύριο λόγο από γνεύσιους και γρανίτες. Τα πετρώματα αυτά, λόγω των εξαιρετικών μηχανικών τους ιδιοτήτων και της ευκολίας εξόρυξής τους (με συμβατικές μεθόδους), απαιτούν σαφώς

μικρότερο κόστος για την κατασκευή σηράγγων σε σχέση με τους γεωλογικούς σχηματισμούς που απαντούν σε πολλές άλλες περιοχές.

Αν εξαιρεθούν από τον μέσο όρο των υποπυθμένων, όσες σήραγγες διανοίχθηκαν στη Νορβηγία, προκύπτει πως κάθε τρέχον μέτρο κοστίζει 165.000 \$US. Άρα το κόστος επιπυθμένων και υποπυθμένων σηράγγων ανά μέτρο σήραγγας βάσει του (μικρού) δείγματος αυτού είναι περίπου ίσο.

Επιπλέον, ακόμα και αν θεωρηθεί πως οι επιπυθμένες είναι ακριβότερες από τις υποπυθμένες ανά τρέχον μέτρο, όπως έχει ήδη αναφερθεί, για τη ζεύξη ενός δεδομένου πορθμού η υποπυθμένα σήραγγα θα έχει μεγαλύτερο μήκος σε σχέση με μια επιπυθμένα λόγω μεγαλύτερου βάθους. Άρα, ακόμα και με την παραδοχή αυτή, για τη ζεύξη ενός συγκεκριμένου πορθμού, η κατασκευή σήραγγας που θα διανοιχθεί κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας είναι συνήθως ακριβότερη από την κατασκευή μιας επικαθήμενης στον πυθμένα σήραγγας λόγω μεγαλύτερου μήκους.

4.3.6. ΛΟΙΠΑ

Για κάθε αντίστοιχο έργο, πέραν των προαναφερθέντων, υπάρχουν και κάποιοι άλλοι παράγοντες καθοριστικής σημασίας, που δεν είναι εύκολο να κατηγοριοποιηθούν αφού διαφέρουν στην κάθε περίπτωση.

Αναφορικά με τη ζεύξη της Σαλαμίνας με το Πέραμα λοιπόν, ένας από τους περιορισμούς, είναι η απαίτηση του Ναυστάθμου για μη παρεμπόδιση της ελεύθερης και απρόσκοπτης διέλευσης των πολεμικών από τα Στενά. Αυτή, δεν εμποδίζεται με καμία από τις δύο προκριθείσες λύσεις άρα δεν θα παίξει κάποιον ρόλο στην τελική επιλογή.

Τυχόν κατασκευή επιπυθμένης σήραγγας, ενδέχεται να έχει καθυστερήσεις αφού στον πυθμένα, υπάρχουν υποψίες πως βρίσκονται μερικώς ή ολικώς θαμμένα λείψανα από αρχαία πλοία που βυθίστηκαν στη Ναυμαχία της Σαλαμίνας. Εκείνα, εάν τελικώς συναντηθούν, θα πρέπει να ανελκυστούν και να απομακρυνθούν από το χώρο, και επειδή κάτι τέτοιο απαιτεί ιδιαίτερη

προσοχή και ακρίβεια κινήσεων, το Έργο θα καθυστερήσει (άγνωστο το πόσο).

Από την άλλη πλευρά, για την κατασκευή υποπυθμείας σήραγγας στη συγκεκριμένη θέση, λόγω της φύσης των πετρωμάτων, απαιτείται η χρήση μηχανήματος ολομέτωπης κοπής (TBM) και δεν κρίνεται σκόπιμη η τεχνική drill & blast. Το πρόβλημα που ανακύπτει, έγκειται στη δυσκολία στροφής ή ανέλκυσης του TBM στην πλευρά της Σαλαμίνας. Για την ανέλκυση απαιτείται η κατασκευή κατακόρυφου φρέατος μεγάλων διαστάσεων με την τεχνική cut & cover, όμως δεν είναι εύκολο να βρεθεί ικανή ελεύθερη επιφάνεια στη νήσο του Αγίου Γεωργίου ή στο παραλιακό μέτωπο των Παλουκίων. Για την στροφή του TBM και την επιστροφή του στο Πέραμα είτε από την ήδη διανοιγμένη σήραγγα, είτε με την κατασκευή δίδυμης σήραγγας, πάλι απαιτείται μεγάλη υπόγεια εκσκαφή στην πλευρά της Σαλαμίνας και σε μικρό βάθος, που είναι πιθανό να προκαλέσει διαταραχή των υπερκειμένων πετρωμάτων και καθιζήσεις επιζήμιες για την επιφανειακή υποδομή.

4.4. ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΛΥΣΗ

Με βάση τα όσα αναλύθηκαν προηγουμένως προκύπτουν τα εξής

- Τα γεωλογικά δεδομένα της περιοχής, μάλλον ευνοούν την επιλογή της επιπυθμείας σήραγγας, λόγω των προβλημάτων που ενδέχεται να προκληθούν στη υποπυθμεία.
- Λόγω των υψηλών πιέσεων εξ' αιτίας του βάθους αλλά και της γεωλογικής αβεβαιότητας που είναι σίγουρα μεγαλύτερη από ότι στην επιφάνεια του πυθμένα, η υποπυθμεία σήραγγα υστερεί έναντι της επιπυθμείας.
- Η μικρή απόσταση των ακτών σε συνδυασμό με το σχετικά μεγάλο βάθος που απαιτείται για την κατασκευή υποπυθμείας σήραγγας, αποτελούν έναν αποτρεπτικό παράγοντα για την τελική επιλογή της

συγκεκριμένης λύσης, και επομένως η επιθυμητή σήραγγα αποτελεί καταλληλότερη λύση.

- Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατασκευή επιθυμητής σήραγγας μάλλον θα είναι περισσότερες λόγω διαταραχής του πυθμένα κατά την εκσκαφή της τάφρου.
- Οικονομικότερη επιλογή είναι η επικαθήμενη στον πυθμένα σήραγγα λόγω μικρότερου μήκους.
- Οι αρχαιότητες που πιθανώς βρίσκονται στον πυθμένα και ο μικρός σχετικά ελεύθερος χώρος στον Άγιο Γεώργιο και τα Παλούκια μπορεί να προκαλέσουν κάποια προβλήματα στην λύση της επιθυμητής και της επιθυμητής σήραγγας αντίστοιχα.

Με βάση αυτά, συνετάχθη ο ακόλουθος συγκριτικός πίνακας που απεικονίζει το πόσο ευνοϊκός ή μη είναι ο καθένας από τους προαναφερθέντες παράγοντες για τους δύο τύπους σήραγγας, όπου: “-” δηλώνει καθόλου, “+” δηλώνει λίγο, “++” δηλώνει μετρίως και “+++” δηλώνει πολύ.

Πίνακας 4.3: Συγκριτικός πίνακας βέλτιστης λύσης για κάθε κρίσιμο παράγοντα

Παράγοντας	Επιθυμητή	Υποθυμητή
Γεωλογία	+++	+
Βάθος	+++	++
Απόσταση	+++	++
Περιβάλλον	++	+++
Κόστος	++	++
Λοιπά	++	+

Όπως φαίνεται, η επιθυμητή σήραγγα μοιάζει ως η ελκυστικότερη λύση καθώς περισσότεροι παράγοντες ευνοούν της κατασκευή εκείνης έναντι της υποθυμητής. Φυσικά, μπορεί να κατασκευαστεί και σήραγγα που θα διανοιγεί κάτω από τον πυθμένα, όμως με βάση την παραπάνω σύγκριση

είναι πιθανό τα ζητήματα που θα χρειαστεί να αντιμετωπιστούν να είναι μεγαλύτερα. Ακόμα τέτοια έργα έχουν επιλεγεί και κατά το παρελθόν στην Ελλάδα, όπως το έργο του Ακτίου - Πρέβεζας, με ιδιαίτερη επιτυχία..

.

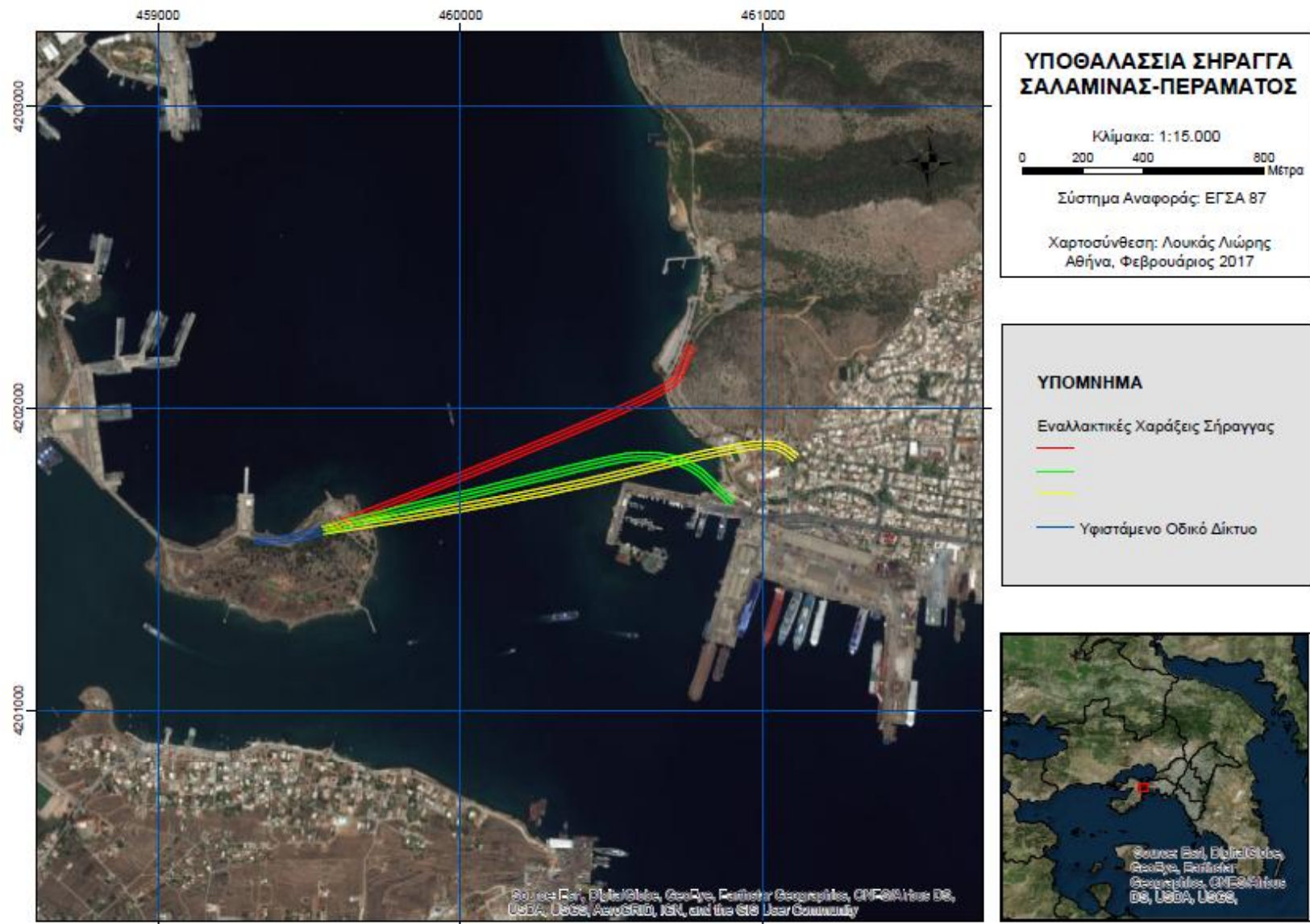
Άρα λοιπόν, κρίνεται ότι η καλύτερη δυνατή λύση για την μόνιμη οδική ζεύξη της Σαλαμίνας με το Πέραμα, είναι η κατασκευή **επιτυθμένηας σήραγγας**.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Όπως ήδη εξηγήθηκε και περιγράφηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, για την ζεύξη της Σαλαμίνας με την απέναντι ακτή της Αττικής και συγκεκριμένα το Πέραμα, θα κατασκευαστεί επιπυθμένα σήραγγα. Αυτή θα ξεκινά από την περιοχή γύρω από το κολυμβητήριο του Περάματος και θα φτάνει ως τη νήσο του Αγίου Γεωργίου, η οποία συνδέεται μέσω τεχνητού επιχώματος με τη Σαλαμίνα, βάσει τη «υπηρεσιακής λύσης» του υπουργείου. Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει ο σχεδιασμός της σήραγγας αυτής και θα προσδιοριστούν οι διαστάσεις της.

5.1. ΟΔΕΥΣΗ

Για τη χάραξη της σήραγγας, με τη χρήση του προγράμματος ArcGIS καταστρώθηκαν τρία δυνατά σενάρια τα οποία φαίνονται στην ακόλουθη εικόνα. Κοινό χαρακτηριστικό τους είναι το γεγονός πως ξεκινούν από την ευρύτερη περιοχή του Περάματος και καταλήγουν στη νησίδα του Αγίου Γεωργίου. Το μήκος των τριών αυτών σεναρίων δεν παρουσιάζει πολύ μεγάλες αποκλίσεις.

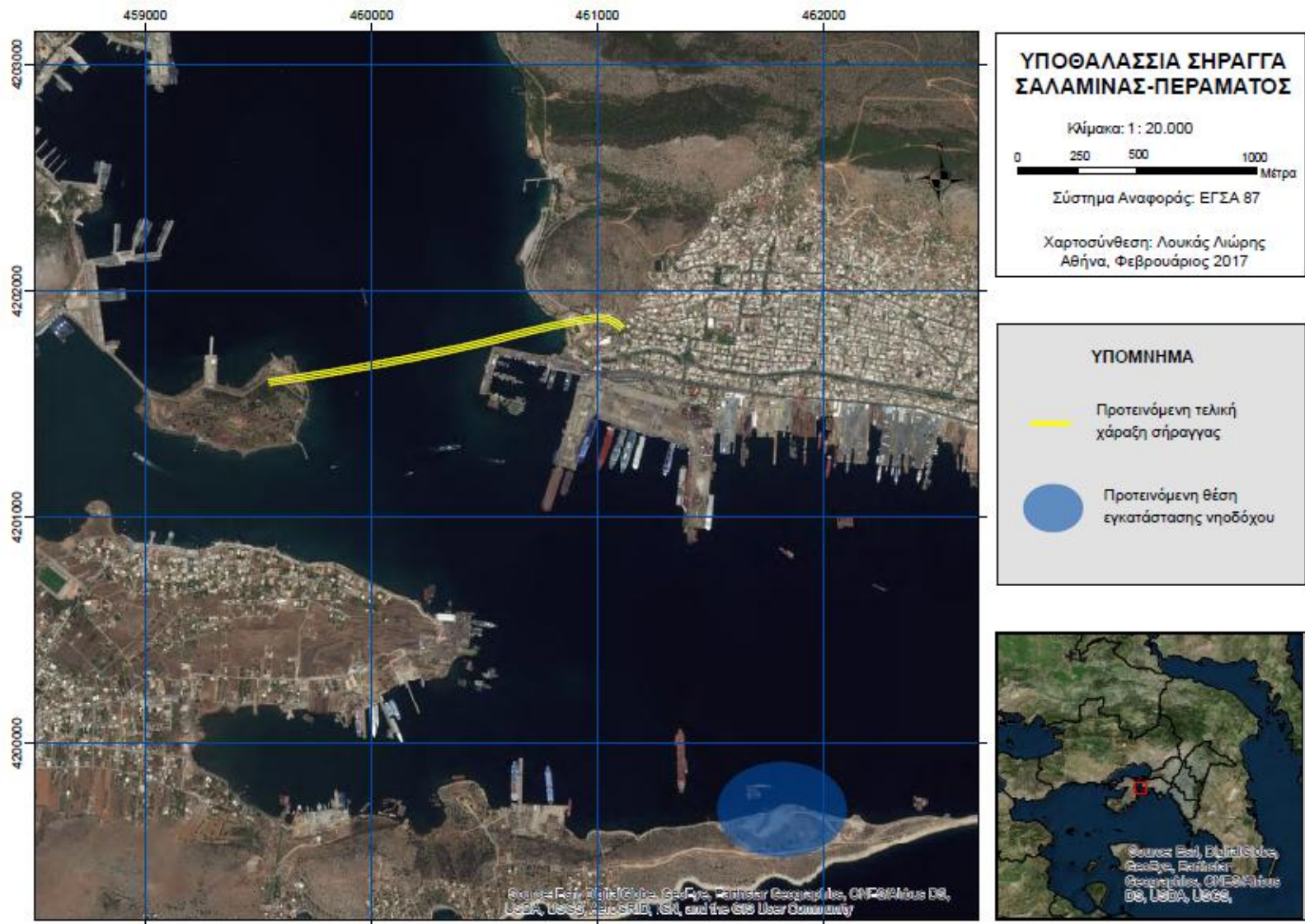


Εικόνα 5.7: Οι εναλλακτικές χαράξεις σε γεωαναφερμένο σύστημα

Τα Σενάρια 1 και 2 της εικόνας 5.1, παρουσιάζουν κάποιες δυσκολίες αφού στο μεν 1 η περιοχή εκκίνησης βρίσκεται εντός της κατοικημένης περιοχής και ενδεχομένως να δημιουργηθούν δυσκολίες κατά την περίοδο κατασκευής, ενώ για το σενάριο 2 θα απαιτηθεί ειδική άδεια από το Ναύσταθμο, αφού η είσοδος από την πλευρά του Περάματος βρίσκεται σε έκταση που ανήκει στο Ναύσταθμο Σαλαμίνας.

Ως εκ τούτου, το σενάριο 3 θεωρείται μάλλον το πλέον βολικό. Βέβαια, θα πρέπει να υπάρξει πρόβλεψη **για κατασκευή νέου κολυμβητηρίου** για το δήμο Περάματος σε άλλο σημείο, αφού το υπάρχον βρίσκεται πάνω στη χάραξη της σήραγγας και θα πρέπει να κατεδαφιστεί.

Έτσι, στη Εικόνα 5.2, παρουσιάζεται το προκριθέν σενάριο 3, ως η τελική χάραξη της σήραγγας, και δείχνεται στο χάρτη η θέση κατασκευής της νηοδόχου. Συγκεκριμένα, θα κατασκευαστεί στο ακρωτήριο της Κυνοσούρας από την πλευρά της Σαλαμίνας, σε σημείο παλαιού λατομείου αδρανών.



Εικόνα 5.2: Η προτεινόμενη χάραξη και η θέση κατασκευής της νηοδόχου

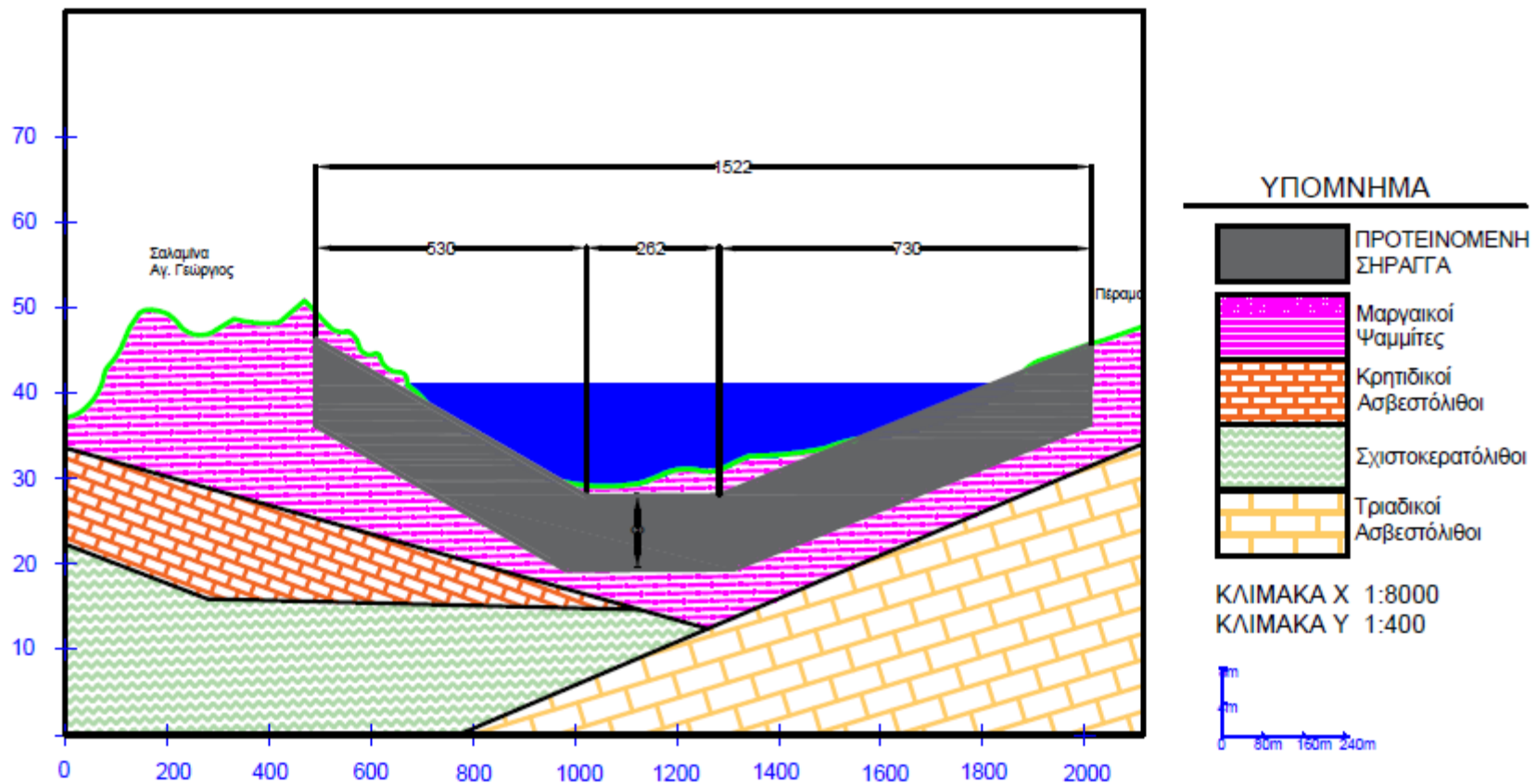
Πρέπει να σημειωθεί ότι το βάθος της τελικής επίχωσης της σήραγγας δεν μπορεί να είναι μικρότερο από το φυσικό βάθος των Στενών, δηλαδή τα 12 m, προκειμένου να μην υπάρξει κάποια δυσχέρεια στην κυκλοφορία των πολεμικών σκαφών του Ναυστάθμου. Ακόμα, είναι πιθανό να χρειαστεί μια εκβάθυνση κάποιων αβαθών περιοχών, ώστε να μην χρειαστεί να διακοπεί η δυνατότητα κυκλοφορίας των σκαφών κατά την διαδικασία μεταφοράς και τοποθέτησης των σπονδύλων.

Με βάση όλα τα παραπάνω κατασκευάστηκε η τομή κατά μήκος της χάραξης της σήραγγας (Εικόνα 5.3). Πέραν της ίδιας της σήραγγας, φαίνεται η γεωμορφολογία του πυθμένα καθώς και οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντούν στη θέση αυτή.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.3, η σήραγγα θα ξεκινά από το κολυμβητήριο Περάματος και για τα πρώτα 700 m θα έχει κλίση 2,49%, φθάνοντας σε βάθος 22 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Από εκεί και για 330m, θα συνεχίζει με μηδενική κλίση στο βάθος αυτό. Στο τελευταίο τμήμα, και για 491 m η σήραγγα θα έχει κλίση 3,56% μέχρι να φτάσει στην επιφάνεια. Ακόμα θα γίνει κοπή (cut) του επιφανειακού σχηματισμού σε αμφότερα τα στόμια της σήραγγας λόγω υψομέτρου (>+5m).

Το μέγιστο βάθος της σήραγγας θα φτάνει τα 22m από την επιφάνεια της θάλασσας και θα έχει συνολικό μήκος 1.522m (1,52 km). Από αυτά, τα 1190m περίπου θα αποτελούνται από προκατασκευασμένα στοιχεία τοποθετημένα στην τάφρο που θα διανοιχθεί στον πυθμένα, ενώ τα υπόλοιπα 330 m θα κατασκευαστούν με την τεχνική cut & cover.

ΤΟΜΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΧΑΡΑΞΗΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ



Εικόνα 5.8: Τομή κατά μήκος της χάραξης

5.2. ΔΙΑΤΟΜΗ

Για την επιλογή της βέλτιστης διατομής της σήραγγας, θα πρέπει αρχικά να ληφθεί υπόψη ο κυκλοφοριακός φόρτος που αναμένεται να έχει η σήραγγα.

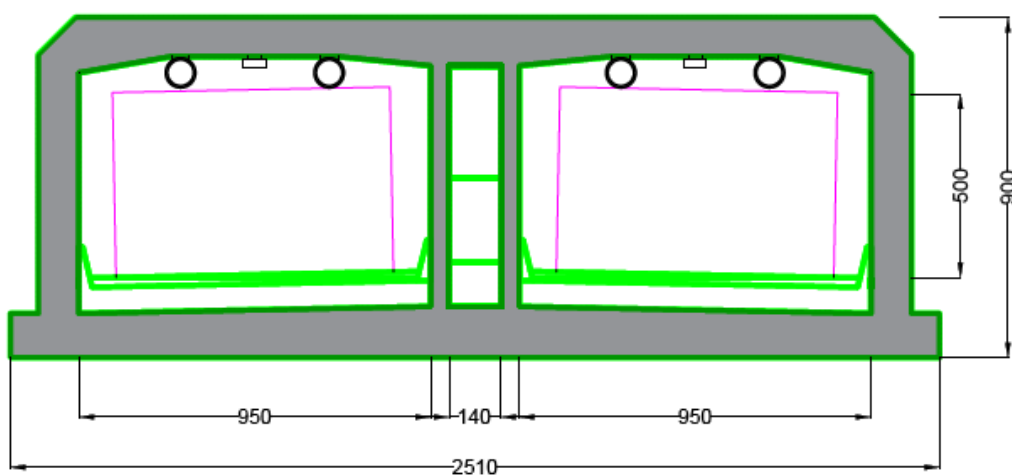
Τα τελευταία χρόνια, με βάση στοιχεία της Eurostat, διέρχονται από τα Στενά μέσω των ferry boats των γραμμών Πέραμα – Παλούκια και Πειραιάς – Παλούκια, υπολογίζεται ότι διέρχονται περί τα 11 εκατομμύρια επιβατών και 4 εκατομμύρια οχημάτων (μ.ο. των ετών 2009 ως και 2014). Εφόσον πρόκειται για ένα μεγάλο έργο, η επιδίωξη είναι να μπορούν όλοι να εξυπηρετηθούν από αυτό. Ακόμα επειδή η υπό μελέτη σήραγγα θα είναι οδική, αναμένεται στην πλήρη ανάπτυξη της ο αριθμός των τροχοφόρων να αυξηθεί. Έτσι μπορεί να θεωρηθεί ότι ένας αριθμός μεταξύ 5 και 6 εκατομμυρίων οχημάτων κατ' έτος, μπορεί να θεωρηθεί επαρκής ως μέγιστο όριο στην πλήρη ανάπτυξη της σήραγγας (επιλέγουμε το μέγιστο ώστε να μπορεί να καλυφθεί και αυτή η περίπτωση μιας και πρόκειται για αρκετά δαπανηρό έργο). Ακόμα, ένα πολύ μεγάλο μέρος των διερχομένων, περνά στη Σαλαμίνα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες για παραθερισμό, οπότε ο ημερήσιος κυκλοφοριακός φόρτος δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένος. Όμως λόγω έλλειψης στοιχείων, θα υπολογιστεί η Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία (ΕΜΗΚ) που είναι ουσιαστικά ο συνολικός φόρτος διαιρούμενος με τις ημέρες του έτους. Αρα λοιπόν:

$$EMHK = \frac{6.000.000}{365} = 16.438 \text{ οχήματα}$$

Για την κάλυψη της δεδομένης ΕΜΗΚ, μπορούν να επιλεγούν είτε μία, είτε 2 λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση. Η μία λωρίδα θα μπορούσε ενδεχομένως να είναι αρκετά λειτουργική κατά τους χειμερινούς μήνες, που η κυκλοφορία δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη, όμως είναι πολύ πιθανό ότι θα δημιουργούσε κυκλοφοριακά προβλήματα στις περιόδους όπου οι μετακινήσεις από και προς τη Σαλαμίνα είναι αυξημένες. Για το λόγο αυτόν, και επειδή πρόκειται για ένα νέο έργο που στόχο έχει την ανάπτυξη της περιοχής σε έναν ορίζοντα αρκετών χρόνων, στην παρούσα διπλωματική εργασία επιλέγεται η λύση των δύο λωρίδων ανά κατεύθυνση παρά την αύξηση του κόστους κατασκευής σε σχέση με την προηγούμενη λύση.

Ακόμα, με γνώμονα την ευρύτερη βελτίωση των συγκοινωνιών αλλά και την ανάπτυξη του νησιού της Σαλαμίνας σε βάθος χρόνου, θα ήταν ενδεχομένως χρήσιμο να γίνει πρόβλεψη για μελλοντική σιδηροδρομική σύνδεση του νησιού με την Αττική (με τρένο, τραμ ή μετρό). Για το λόγο αυτό θεωρείται σκόπιμο να εξεταστεί η κατασκευή και σιδηροδρομικού κλάδου στην επιπυθμένα σήραγγα για μελλοντική αξιοποίηση,

Με βάση όλα τα παραπάνω, η τελική διατομή της επιπυθμένας σήραγγας που επελέγη για τη σύνδεση της Σαλαμίνας με το Πέραμα, διαμορφώνεται ως ακολούθως:



Εικόνα 5.4: Προτεινόμενη διατομή επιπυθμένας σήραγγας (οι διαστάσεις σε cm)

Όπως διακρίνεται στο παραπάνω σχέδιο, το πλάτος των σπονδύλων θα φτάνει τα 25,1 m ενώ το ύψος τους τα 9,2 m. Ακόμα κάθε σπόνδυλος θα αποτελείται από 3 ξεχωριστές γαλαρίες: μία για κάθε ρεύμα κυκλοφορίας και άλλη μία βοηθητική σήραγγα (service gallery) ανάμεσά τους που θα αποτελεί έξοδο κινδύνου, θα παρέχει πρόσβαση για εργασίες συντήρησης και θα μπορεί να υποδεχτεί καλώδια που ενδεχομένως χρειαστεί να περάσουν προς τη Σαλαμίνα.

Οι οδικοί κλάδοι, θα έχουν πλάτος 9,5 m έκαστος και θα διαθέτουν από δύο λωρίδες (από 3,75 m) και πεζοδρόμια (1 m σε κάθε πλευρά). το συνολικό τους ύψος θα φτάνει τα 7 m, ενώ το ωφέλιμο θα ανέρχεται σε 5,5 m.

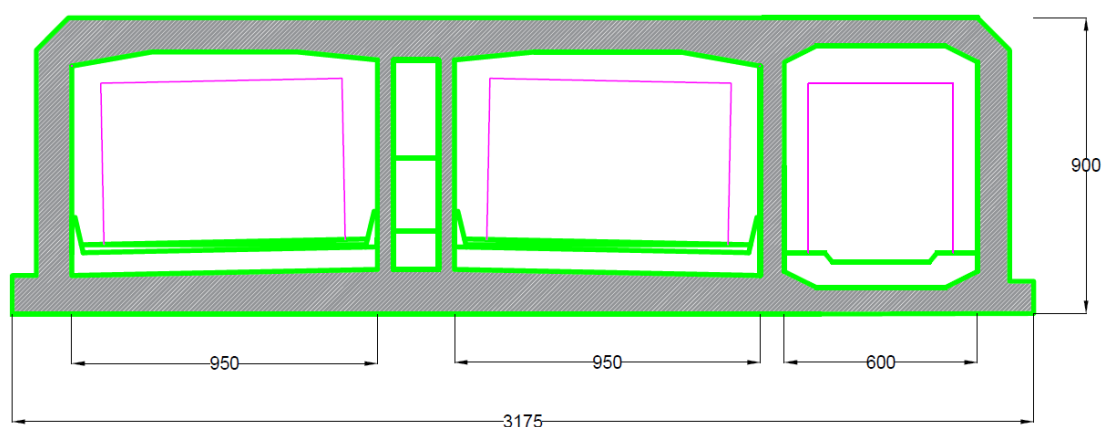
Το πλάτος του ενδιάμεσου κλάδου που θα διαμορφωθεί θα έχει πλάτος 1,4 m και το συνολικό του ύψος θα είναι 7 m.

Οι εξωτερικοί τοίχοι του κάθε σπονδύλου θα αποτελούνται από σκυρόδεμα πάχους 1m. Οι κλάδοι θα χωρίζονται η μία από την άλλη με τοίχους από σκυρόδεμα πάχους μισού μέτρου.

5.2.1. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ

Αξίζει να σημειωθεί πως θα μπορούσε να εξεταστεί και η λύση μιας σήραγγας στην οποία πέραν των οδικών γαλαριών που θα έχει, θα γίνει πρόβλεψη για μελλοντική διέλευση τραίνου. Εφόσον η σιδηροδρομική σύνδεση του νησιού δεν είναι γνωστό εάν και πότε θα γίνει, η λύση της μονής σιδηροδρομική γαλαρίας εντός των προκατασκευασμένων κιβωτίων, είναι η πλέον συντηρητική για το παρόν Έργο.

Ενδεικτικά, προτείνεται η ακόλουθη, διαστασιολογημένη διατομή με μονό σιδηροδρομικό κλάδο, που σχεδιάστηκε για την παρούσα διπλωματική εργασία:



Εικόνα 5.5: Εναλλακτική διατομή της σήραγγας (οδική και σιδηροδρομική)

Η διατομή με μονό σιδηροδρομικό κλάδο που αποτυπώνεται στην Εικόνα 5.5, δεν είναι η βασική πρόταση της συγκεκριμένης διπλωματικής, όμως κρίνεται

ως μια εναλλακτική που αξίζει να εξεταστεί πριν την κατασκευή του συγκεκριμένου έργου.

5.3. ΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

5.3.1. ΕΣΟΧΕΣ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ

Σύμφωνα με το τεύχος των Οδηγιών Μελετών Οδικών Έργων (στο εξής ΟΜΟΕ) του Υπουργείου Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων που αφορά τις οδικές σήραγγες, για σήραγγες που υπερβαίνουν τα 1050 m, απαιτείται η κατασκευή εσοχών στάθμευσης ανα 700 ως 1100 m περίπου.

Έτσι, στο μέσο της σήραγγας που θα κατασκευαστεί, απαιτείται η τοποθέτηση σπονδύλου μεγαλύτερου πλάτους που θα περιλαμβάνει δύο εσοχές (μία στον κάθε κλάδο). Σε αυτές τις εσοχές, πέρα από την ύπαρξη επιφανείας εκτάκτου ανάγκης, πρέπει να υπάρχει εγκατάσταση τηλεφώνου και πυροσβεστικού κρουνού.

Στην εικόνα που ακολουθεί, παριστάνεται η τυπική διατομή σήραγγας μονής κατεύθυνσης με εσοχή έκτακτης στάθμευσης.



Εικόνα 5.9: Τυπική διαμόρφωση μονόπλευρης εσοχής έκτακτης στάθμευσης (ΟΜΟΕ - Τεύχος Οδικών Σηράγγων, 2002)

5.3.2. ΕΞΟΔΟΙ ΔΙΑΦΥΓΗΣ ΠΕΖΩΝ

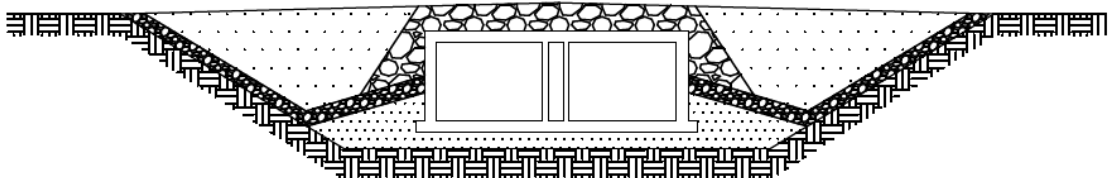
Σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ, σε σήραγγες, των οποίων το μήκος υπερβαίνει τα 700m, πρέπει να διατάσσονται εγκάρσιες έξοδοι διαφυγής περίπου ανά 350m. Σε σήραγγες διπλού κλάδου οι εγκάρσιες έξοδοι διαφυγής οδηγούν κατά κανόνα από την μία σήραγγα στην άλλη.

Έτσι, λοιπόν, στην επιθυμητή σήραγγα που θα συνδέει το Πέραμα με τη Σαλαμίνα, θα κατασκευαστούν ανά 350 m προσβάσεις από τον ένα κλάδο στον άλλον, που θα λειτουργούν ως έξοδοι έκτακτης ανάγκης για πεζούς.

5.4. ΤΑΦΡΟΣ

Για την εγκατάσταση των σπονδύλων στον πυθμένα της σήραγγας, απαιτείται η διάνοιξη τάφρου κατάλληλων διαστάσεων. Η διατομή της τάφρου θα έχει τραπεζοειδές σχήμα, και το πλάτος της θα πρέπει να είναι αρκετά μεγαλύτερο ώστε να τοποθετηθούν τα απαραίτητα υλικά επίχωσης όπως περιγράφησαν σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Στη συνέχεια, παρατίθεται η διατομή της τάφρου που θα κατασκευαστεί (Εικόνα 5.7). Η διαστασιολόγησή της έγινε μετά από εκτεταμένη βιβλιογραφική αναζήτηση στα πρότυπα αντίστοιχων που έχουν κατασκευαστεί ανά τον κόσμο.



Εικόνα 5.10: Η διατομή της τάφρου

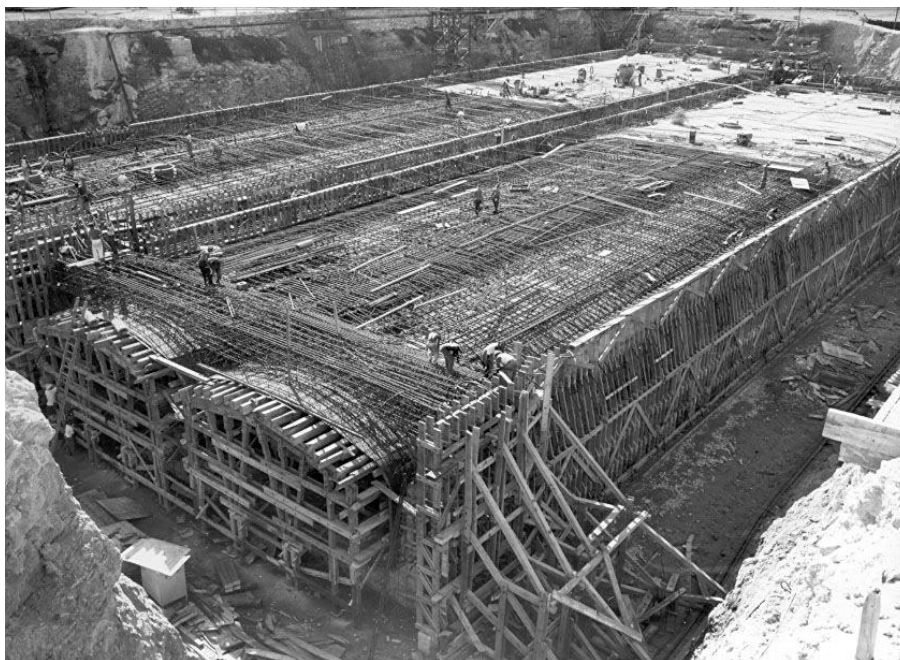
Η βάση της τάφρου έχει πλάτος 38 m ενώ η άνω πλευρά 78m. Επίσης, το ύψος της τάφρου ανέρχεται σε 12 m. Άρα λοιπόν έχει εμβαδό διατομής 816 m².

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΠΙΠΥΘΜΕΝΙΑΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Στο παρόν κεφάλαιο, θα αναλυθούν εκτενέστερα τα τεχνικά χαρακτηριστικά των επιπυθμένων σηράγγων και ο τρόπος κατασκευής των επί μέρους έργων.

6.1. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΑΚΑΣΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΠΙΠΥΘΜΕΝΙΑΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Όπως ήδη περιγράφηκε, για την κατασκευή μιας επιπυθμένης σήραγγας, αρχικά απαιτείται η εκσκαφή μιας τάφρου στον πυθμένα, ενόσω οι σπόνδυλοι της σήραγγας κατασκευάζονται στη νηοδόχο που μπορεί να είναι μια λεκάνη χύτευσης ή ένα ναυπηγείο ή σε μια πλατφόρμα πλοίων ή ακόμα σε μια εργοστασιακή μονάδα. Τα άκρα κάθε σπονδύλου, σφραγίζονται προσωρινά με τα κατάλληλα διαφράγματα.



Εικόνα 6.11: Κατασκευή σπονδύλων στην Havana της Κούβας (www.skyscrapercity.com)

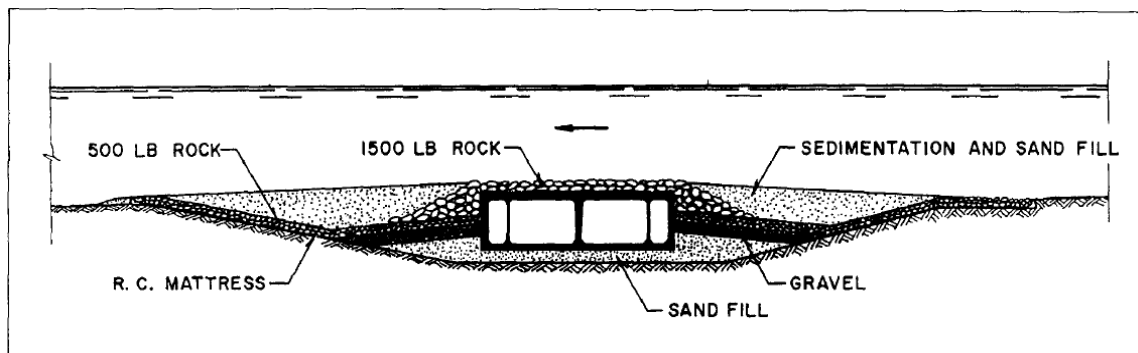
Έπειτα, τα στοιχεία της σήραγγας πλέουν με τη βοήθεια φορηγίδων ή γερανών στο κατάλληλο σημείο και καθελκούνται στον πυθμένα της διανοιγμένης τάφρου. Κάθε νέος σπόνδυλος εφάπτεται στον προηγούμενο, αφού πρώτα αφαιρεθεί το νερό που βρίσκεται μεταξύ τους. Η υδραυλική πίεση στο άκρο του νέου σπονδύλου πιέζει τα ελάσματα που βρίσκονται στη σύνδεση των δυο σπονδύλων και έτσι γίνεται η τελική συναρμογή τους. Τέλος, υλικό επίχωσης τοποθετείται πάνω και γύρω από τη σήραγγα, ενώ αν κριθεί απαραίτητο μπορεί να εφαρμοστούν επιπλέον μέτρα για την προστασία της.

6.2. ΒΥΘΟΚΟΡΗΣΗ

Η τάφρος της σήραγγας, είναι το βασικότερο στοιχείο βυθοκόρησης σε μια επιπυθμένα σήραγγα. Όμως σύμφωνα με τον Rasmussen (1997) οι εργασίες βυθοκόρησης, ανάλογα με τις συνθήκες, μπορεί να περιλαμβάνουν:

- Εκβάθυνση της λεκάνης χύτευσης
- Κατασκευή δοκιμαστικών ορυγμάτων για την αξιολόγηση των συνθηκών στην τάφρο της σήραγγας
- Διαπλάτυνση του υπάρχοντος καναλιού πλοήγησης για την προσωρινή πλοήγηση εκτός του χώρου εργασίας
- Εκβάθυνση της υφιστάμενης πλωτής οδού, ώστε να αντισταθμιστεί η μείωση του βάθους από τις μόνιμες εργασίες της σήραγγας
- Εκσκαφή πλησίον των εισόδων για την ένωση με το cut & cover τμήμα στην ξηρά
- Διάνοξη της τάφρου για την τοποθέτηση των σπονδύλων της σήραγγας
- Κατασκευή ενός καναλιού σύνδεσης της τάφρου της σήραγγας με τη νηοδόχο
- Εργασίες συντήρησης

Εντός της τάφρου, πέραν των προκατασκευασμένων σπονδύλων της σήραγγας, θα τοποθετηθούν επίσης η θεμελίωση με άμμο ή χαλίκι κάτω από τη σήραγγα και η προστατευτική επίχωση γύρω και πάνω από τη σήραγγα.



Εικόνα 6.12: Τυπική διατομή τάφρου με επιυθμένα σήραγγα κατασκευασμένη από σκυρόδεμα

Εκτός από περιπτώσεις όπου συναντάται πολύ μαλακό υπέδαφος το οποίο κρίνεται ακατάλληλο για την υποστήριξη της σήραγγας και πρέπει να απομακρυνθεί και να αντικατασταθεί από κατάλληλα υλικά, οι γενικές απαιτήσεις για την κατασκευή του πυθμένα της τάφρου είναι οι εξής:

- Μια καθαρή επίπεδη επιφάνεια, κατά το δυνατόν πλησιέστερα στο υψηλότερο αποδεκτό όριο, ώστε να αποφευχθούν οι οικονομικές επιπτώσεις μιας πιθανής υπερεκσκαφής
- Η ελάχιστη διαταραχή των υπολοίπων εκτεθειμένων ανώτερων εδαφικών στρωμάτων στον πυθμένα της τάφρου, προκειμένου να περιοριστούν οι αλλαγές στα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του υπεδάφους.

Η πιθανή διαταραχή και το «μαλάκωμα» των εκτεθειμένων στρωμάτων του εδάφους στον πυθμένα της τάφρου κατά τη διάρκεια της κύριας βυθοκόρησης και της περιόδου συντήρησης δεν επηρεάζουν τον όγκο της εκσκαφής και το σχετικό κόστος, αλλά μπορεί, και ιδιαίτερα σε συνεκτικό υπέδαφος, να έχουν σημαντική επιρροή στη γεωτεχνική συμπεριφορά αυτών των στρωμάτων εδάφους αργότερα και ως εκ τούτου συνολικά στην ποιότητα υποστήριξης της σήραγγας. Με τη σειρά του αυτό επηρεάζει το δομικό σχεδιασμό της σήραγγας και κατ' επέκταση τα οικονομικά μεγέθη.

Οι προαναφερθείσες τεχνικές απαιτήσεις πληρούνται με:

- Τη χρησιμοποίηση του κατάλληλου τύπου βυθοκόρου
- Τον επιμελή έλεγχο της θέσης του κοπτικού εργαλείου, λαμβάνοντας υπόψη ότι η βυθοκόρηση συνήθως πρέπει να εκτελείται σε παλιρροϊκά ύδατα και συχνά σε περιοχές με μεγάλα κύματα και άνοδο της στάθμης
- Τον προσεκτικό σχεδιασμό της διαδικασίας, ώστε να αποφευχθούν αστοχίες των πρανών
- Τον σωστό χρονισμό της διαδικασίας βυθοκόρησης ώστε να περιοριστεί ο χρόνος που ο πυθμένας της τάφρου παραμένει εκτεθειμένος αλλά και για να περιοριστεί η καθίζηση που προκαλείται από τη προχώρηση της βυθοκόρησης σε κοντινή απόσταση.

6.3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΣΠΟΝΔΥΛΩΝ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

6.3.1. ΣΗΜΕΙΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Οι σπόνδυλοι μιας επιπυθμένης σήραγγας κατασκευάζονται συνήθως σε λεκάνες χύτευσης ή ξηρές αποβάθρες που μπορεί να βρίσκονται κοντά (συνήθως) η μακριά από τη θέση της σήραγγας. Αυτό εξαρτάται από τους διαθέσιμους χώρους γύρω από τη θέση που πρόκειται να κατασκευαστεί η σήραγγα αλλά και τους χρονικούς περιορισμούς. Γενικά, η λεκάνη ή αποβάθρα θα πρέπει να διαθέτει:

- Χώρο για να φιλοξενήσει ταυτόχρονα όλα τα προκατασκευασμένα στοιχεία (βέλτιστη συνθήκη), για να υπάρχει πρόσβαση σε αυτά, αλλά και να μπορούν να εξέλθουν από εκεί.
- Αρκετό χώρο για την κατασκευή των caissons και τη χρήση του κατάλληλου εξοπλισμού
- (αν πρόκειται για λεκάνη) αρκετό βάθος ώστε να υπάρχει μια απόσταση τουλάχιστον 30cm μεταξύ του πυθμένα της λεκάνης και του κατώτερου σημείου του κάθε σπονδύλου κατά την έξοδό τους

- (αν πρόκειται για λεκάνη) ξηρές συνθήκες στο εσωτερικό, συνήθως με την κατασκευή υδατοστεγανών τοίχων και την ταπείνωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, όσο κατασκευάζονται οι σπόνδυλοι
- (αν πρόκειται για λεκάνη) αποστράγγιση του πυθμένα, ο οποίος, όταν η λεκάνη γεμίσει νερό, θα περιορίσει τη διαφορά πίεσης μεταξύ του νερού των πόρων κάτω από τους σπονδύλους και την πίεση γύρω από αυτούς



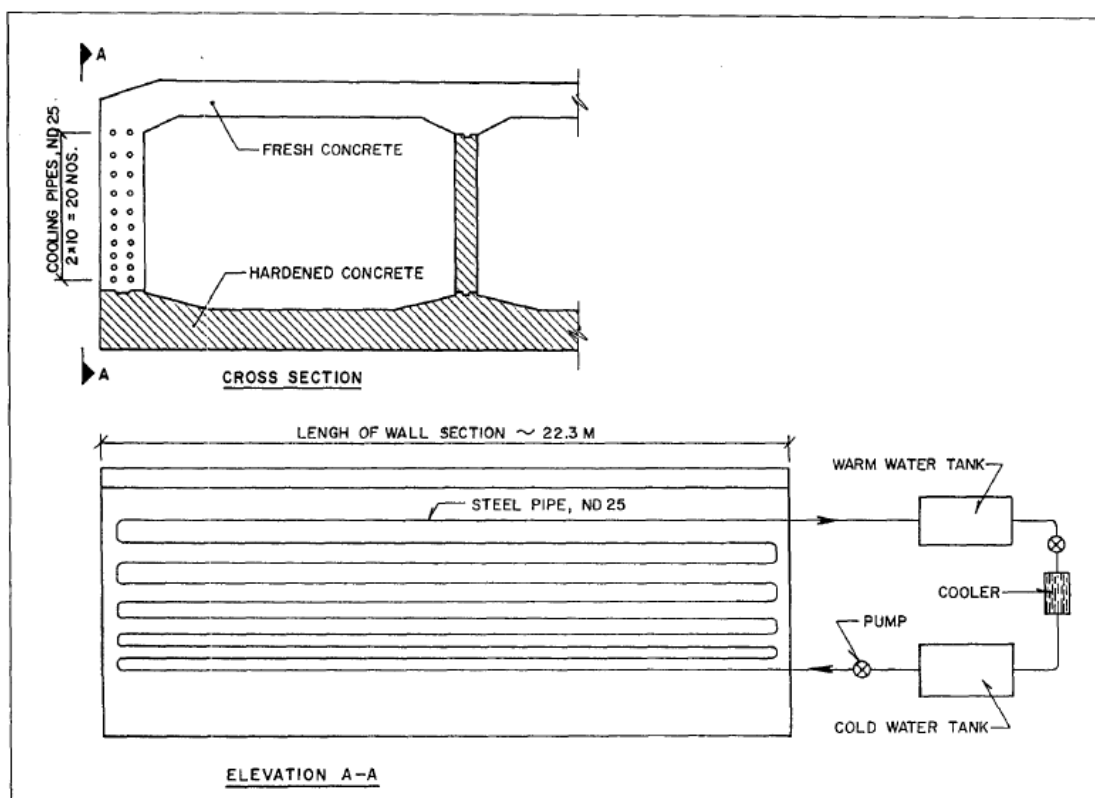
Εικόνα 6.13: Λεκάνη κατασκευής στοιχείων επιτυθμένης σήραγγας (www.cityu.edu.hk)

6.3.2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΣΠΟΝΔΥΛΩΝ

Οι όροι «χαλύβδινες σήραγγες» ή «σήραγγες από σκυρόδεμα» (steel or concrete tunnels) αφορούν στη μέθοδο κατασκευής. Αφού αυτή ολοκληρωθεί, δεν υπάρχει κάποια ουσιαστική διαφορά μεταξύ των δύο τύπων (ITA Working Group 11, 2016).

Γενικά στην Ευρώπη, κατά κύριο λόγο κατασκευάζονται επιτυθμένες σήραγγες, τα στοιχεία των οποίων κατασκευάζονται με σκυρόδεμα. Επειδή αποτελεί την συνηθέστερη πρακτική, λαμβάνεται η απόφαση κατασκευής των σπονδύλων με τον συγκεκριμένο τρόπο για την παρούσα διπλωματική.

Η προκατασκευή των στοιχείων της σήραγγας στην ξηρά και στο φως της ημέρας, έχει το πλεονέκτημα ότι η κατασκευή αυτή λαμβάνει χώρα κάτω από ευνοϊκές και καλά ελεγχόμενες συνθήκες. Εκτός από την παροχή της απαιτούμενης δομικής αντοχής αλλά και τον έλεγχο του βάρους των σπονδύλων, ο κύριος στόχος του σχεδιασμού και της κατασκευής μιας επιτυθμένης σήραγγας από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι η παραγωγή μιας υδατοστεγανής δομής. Για πολλά χρόνια αυτό επιλυόταν με την «περιτύλιξη» κάθε στοιχείου με υδατοστεγανή μεμβράνη από χάλυβα. Ωστόσο, πολλές φορές έχουν χρησιμοποιηθεί βιτουμενιούχες μεμβράνες (ασφαλτόπανα) στους εξωτερικούς τοίχους και την οροφή. Ακόμα σε κάποιες περιπτώσεις, έχει γίνει χρήση μεμβρανών βουτυλίου γύρω από όλη τη διατομή. Τα τελευταία χρόνια, αρκετές φορές δε χρησιμοποιούνται μεμβράνες αλλά μια διαμήκης προένταση στα στοιχεία της σήραγγας και ενδεδειγμένος έλεγχος της θερμοκρασίας του σκυροδέματος κατά τη διάρκεια της σκλήρυνσης.



Εικόνα 6.14: Διαδικασία ψύξης του σκυροδέματος των σπονδύλων (Rasmussen, 1997)

Για οδικές και σιδηροδρομικές σήραγγες που συνήθως αποτελούνται από πέντε έως οκτώ προκατασκευασμένα στοιχεία, πολλές φορές όλοι οι σπόνδυλοι κατασκευάζονται μονομιάς σε μια λεκάνη χύτευσης. Η κατασκευή τους είναι σχετικά απλή, ωστόσο χρειάζεται μεγάλη προσοχή ώστε να επιτευχθούν οι απαιτήσεις ανθεκτικότητας και να αποφευχθούν οι ρωγμές στο σκυρόδεμα. Ακόμα θα πρέπει να τεθεί ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα για τον έλεγχο της πυκνότητας και των διαστάσεων του σκυροδέματος, ώστε να μπορεί να ελέγχεται το συνολικό βάρος και η μετατόπιση των σπονδύλων της σήραγγας. (Rasmussen, 1997)

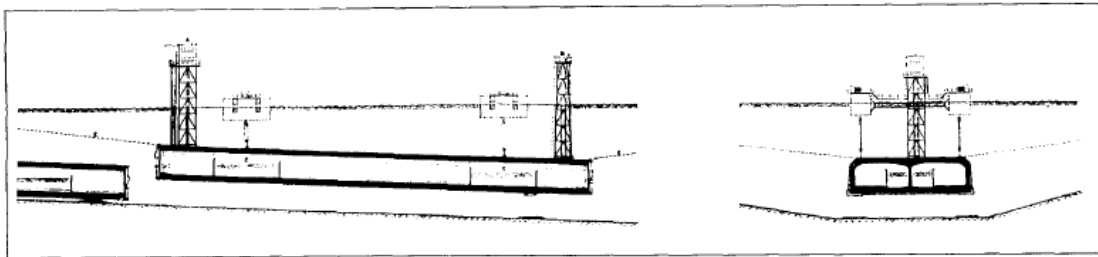
Η ακολουθία που συνήθως εφαρμόζεται κατά την κατασκευή των caissons είναι η εξής: **δάπεδο** → **τοίχοι** → **οροφή**. Το κάθε στοιχείο, χωρίζεται σε μικρότερα τμήματα τα οποία σκυροδετούνται εν σειρά, έως ότου παραχθεί ολόκληρος ο σπόνδυλος.



Εικόνα 6.15: Κατασκευή σπονδύλων (www.cityu.edu.hk)

6.3.3. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΣΠΟΝΔΥΛΩΝ ΣΤΗΝ ΤΑΦΡΟ

Ενώ, όπως περιγράφηκε παραπάνω, η κατασκευή των στοιχείων της σήραγγας αποτελεί μια σχετικά απλή διαδικασία, η μεταφορά των σπονδύλων, η βύθιση και η σύνδεσή τους, αποτελούν πιο πολύπλοκες εργασίες. Ακόμα δυσκολότερο είναι να κατασκευαστούν επιπυθμένες σήραγγες σε ορμητικά ποτάμια και σε ανοιχτές θάλασσες όπου οι φορτίσεις από τα κύματα είναι μεγάλες.



Εικόνα 6.16: Έλεγχος του βάρους των σποδύλων (Rasmussen, 1997)

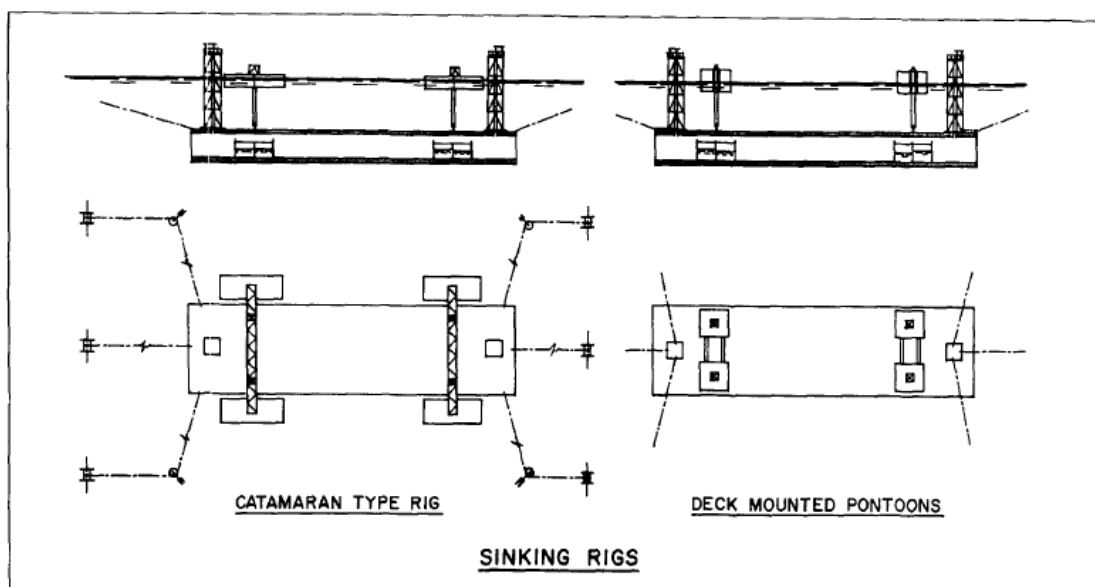
Για τη μεταφορά των στοιχείων από την (πλημμυρισμένη πλέον) λεκάνη ή αποβάθρα στην τάφρο, εφαρμόζεται συνήθως συμβατική ρυμούλκηση. Εάν ο χώρος δεν είναι αρκετός για τη λειτουργία των ρυμουλκών, τότε χρησιμοποιούνται γερανοί οι οποίοι αφήνουν το σπόνδυλο σε σημείο που μπορεί να παραληφθεί από τις φορτηγίδες.

Αφού μεταφερθεί στο κατάλληλο σημείο πάνω από τη διανοιγμένη τάφρο, ο σπόνδυλος είναι έτοιμος για βύθιση. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τον ακόλουθο εξοπλισμό:

- Εξέδρες βύθισης
- Πύργους ευθυγράμμισης και έρευνας και φρέατα πρόσβασης σε κάθε άκρο του σπονδύλου
- Συστήματα πρόσδεσης (συμπεριλαμβάνονται και άγκυρες)
- Συστήματα ερματισμού
- Προσωρινά συστήματα υποστήριξης των στοιχείων της σήραγγας και του πυθμένα της τάφρου.

Η συχνότερα χρησιμοποιούμενη εξέδρα είναι η catamaran – type, όμως απαιτεί βαριά δικτυώματα ή ακτίνες ώστε να μεταφέρουν το φορτίο από τον εξοπλισμό βύθισης στις προβλήτες ή τις φορηγίδες. Εάν ο σπόνδυλοι δε μπορούν να επιπλεύσουν, το πλάτος της πύλης της αποβάθρας καθορίζεται με βάση το πλάτος της εξέδρας.

Για τη χρησιμοποίηση των deck – mounted πλωτήρων, το στοιχείο της σήραγγας θα πρέπει να μπορεί να επιπλέει. Αυτή η λύση προορίζεται κυρίως για παλιρροιακά ύδατα, όπου οι πλωτήρες μπορούν να επιπλέουν πάνω από το κατάστρωμα σε υψηλή παλίρροια. Στην περίπτωση αυτή, το πλάτος της πύλης της αποβάθρας αρκεί να επιτρέπει την έξοδο του σπονδύλου.



Εικόνα 6.17: Εξέδρες βύθισης (Rasmussen, 1997)

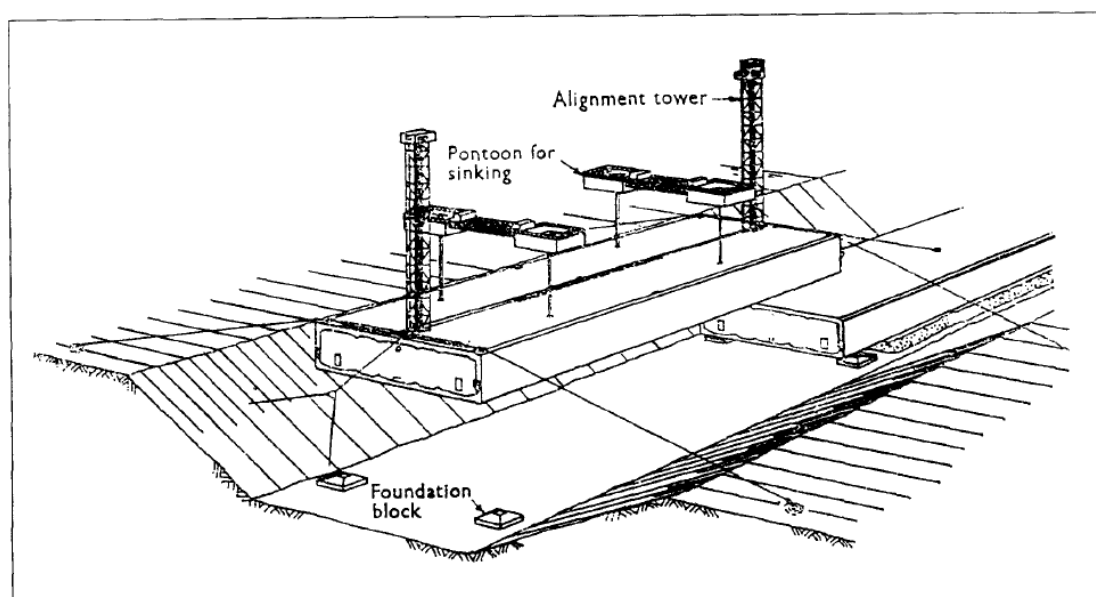
Η βύθιση του σπονδύλου πραγματοποιείται μετά την πρόσδεση και τον ερματισμό του ώστε να προσδοθούν τα απαιτούμενα φορτία στον εξοπλισμό βύθισης.

Εάν το στοιχείο της σήραγγας θα πρέπει να τοποθετηθεί σε ένα υπόστρωμα από διαμορφωμένο χαλίκι, αυτό (το υπόστρωμα) θα πρέπει να έχει προετοιμαστεί εκ των προτέρων. Αφού βυθιστεί, θα πρέπει να πλησιάσει όσο γίνεται τον προηγουμένως τοποθετημένο σπόνδυλο ώστε να μπορέσουν να

ενωθούν στη συνέχεια. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται οδηγοί για την εξασφάλιση της σωστής τοποθέτησης των σπονδύλων.

Εάν η σήραγγα θεμελιωθεί πάνω σε στρώμα εκτοξευμένης άμμου, το κάθε στοιχείο θα τοποθετηθεί προσωρινά σε προσωρινά μπλοκ θεμελίωσης (temporary foundation blocks), πλησίον του προηγουμένως τοποθετηθέντος σπονδύλου. Αυτά τα μπλοκ θεμελίωσης, τοποθετούνται εκ των προτέρων σε διαμορφωμένα υποστρώματα από χαλίκια.

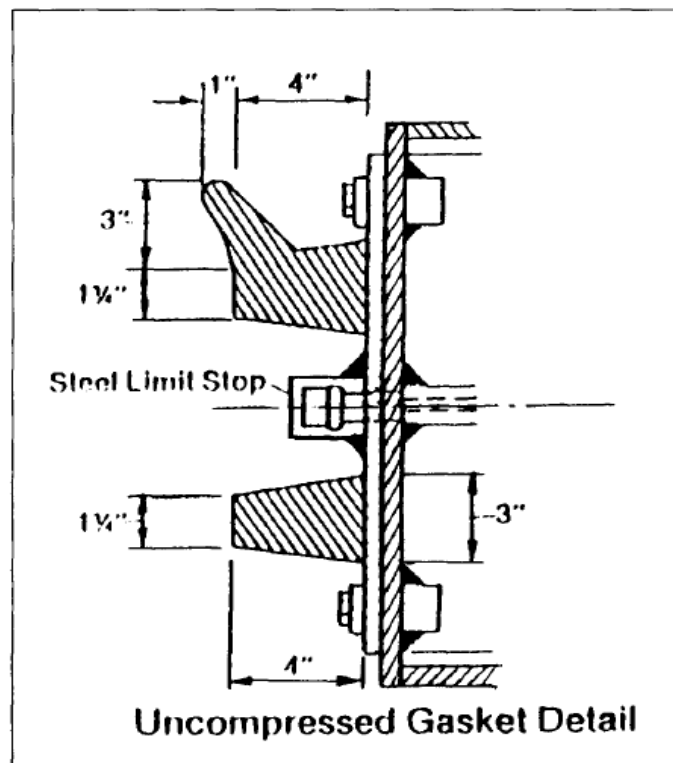
Τέσσερα προσωρινά μπλοκ θεμελίωσης και τα αντίστοιχα χαλύβδινα έμβολα, που ενεργοποιούνται από υδραυλικούς κυλίνδρους από το εσωτερικό του σπονδύλου είναι η συνήθης λύση. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται συχνά τρία μπλοκ και ακόμα, το μπροστινό ζεύγος, συχνά αντικαθίσταται από ένα ή δύο βραχίονες που έχουν τοποθετηθεί στον προηγουμένως εγκατεστημένο σπόνδυλο.



Εικόνα 6.18: Εγκατάσταση σπονδύλου (Rasmussen, 1997)

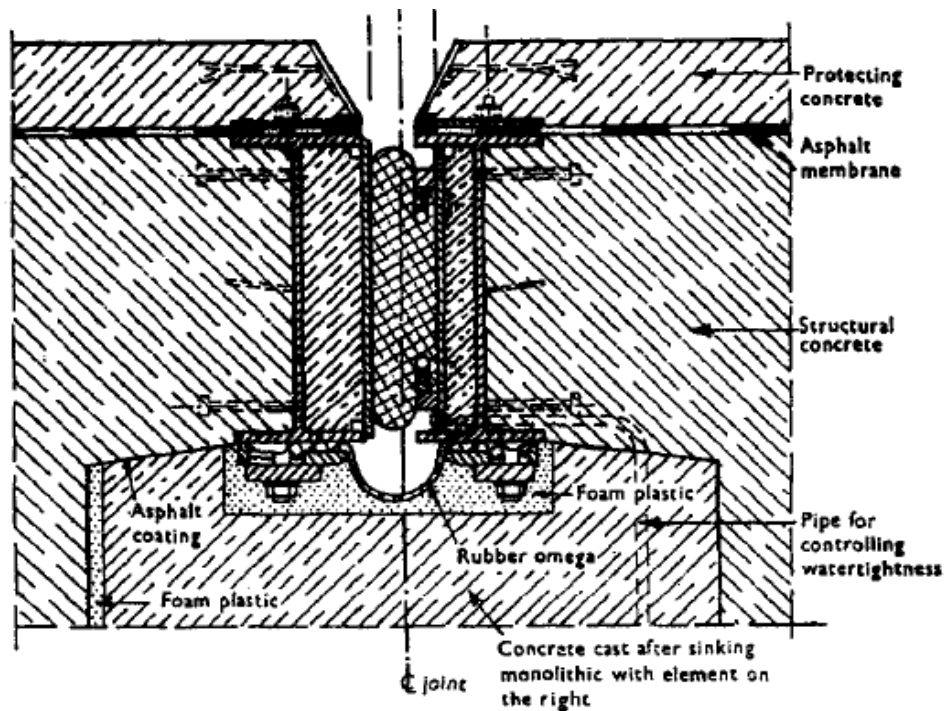
Μετά την τοποθέτηση του σπονδύλου, ακολουθεί η ένωσή του με τον προηγούμενο. Η ένωση με τη χρήση ελαστικού παρεμβύσματος (rubber gasket), πραγματοποιείται στις εξής δύο φάσεις:

- Αρχικά, φέρνοντας το ελαστικό παρέμβυσμα -που βρίσκεται τοποθετημένο στο άκρο κάθε στοιχείου της σήραγγας- με τη χαλύβδινη απόληξη του προηγούμενου σπονδύλου
- Στη συνέχεια αποστραγγίζοντας το θάλαμο που σχηματίζεται κατά τη ένωση και ενεργοποιώντας έτσι την πλήρη υδροστατική πίεση στο σημείο της ένωσης των caissons



Εικόνα 6.19:Λεπτομέρεια ασυμπίεστου λάστιχου για την ένωση των σπονδύλων (Grantz, 1997)

Έπειτα, γίνεται η επιθεώρηση του θαλάμου και του εσωτερικού του σπονδύλου, αφού ανοίξουν οι θύρες των διαφραγμάτων στο σημείο της ένωσης.



Εικόνα 6.20: Απεικόνιση της ένωσης των σπονδύλων (Rasmussen, 1997)

6.4. ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

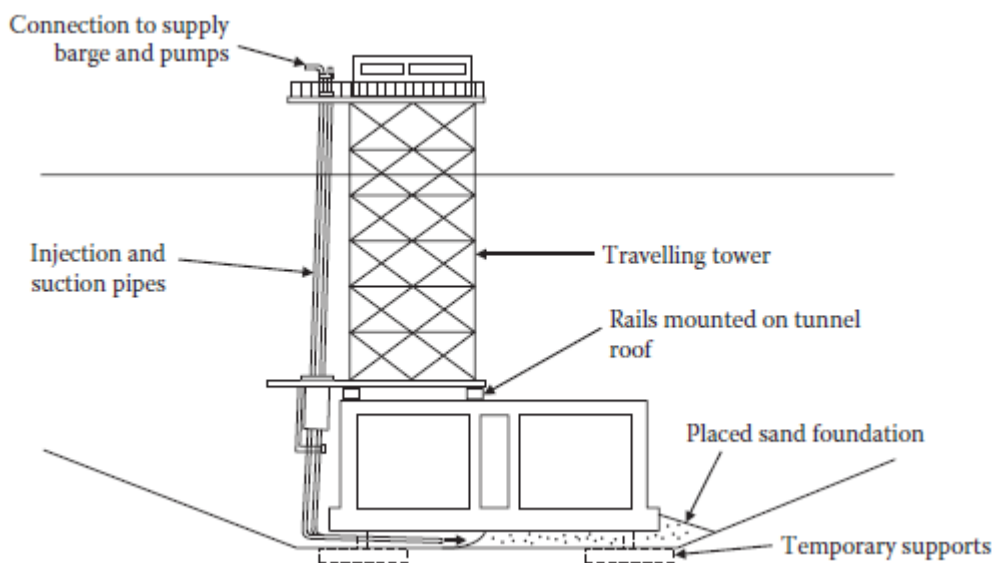
Όπως περιγράφουν οι Lunniss and Baber (2013), οι ανωμαλίες που δημιουργούνται στον πυθμένα της τάφρου μετά τη βυθοκόρηση, υπαγορεύουν την τοποθέτηση ενός λεπτού υποστρώματος μεταξύ της κάτω πλευράς του σπονδύλου και τον πυθμένα της τάφρου, ώστε να μην υπάρξουν προβλήματα στην ευθυγράμμιση των σπονδύλων. Για την κατασκευή του υποστρώματος αυτού, υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις, που είναι οι εξής:

- Η τοποθέτηση των στοιχείων της σήραγγας σε μπλοκ προσωρινής υποστήριξης εντός της τάφρου, στη συνέχεια η πλήρωση του κενού μεταξύ της περιφέρειας του σπονδύλου και των τοιχωμάτων της τάφρου και τέλος η απομάκρυνση της προς υποστήριξης
- Η τοποθέτηση ενός υποστρώματος μικρής ανοχής στη βάση της τάφρου, πάνω στην οποία θα μπορούν να εδραστούν οι σπόνδυλοι

6.4.1. ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΑΜΜΟΥ

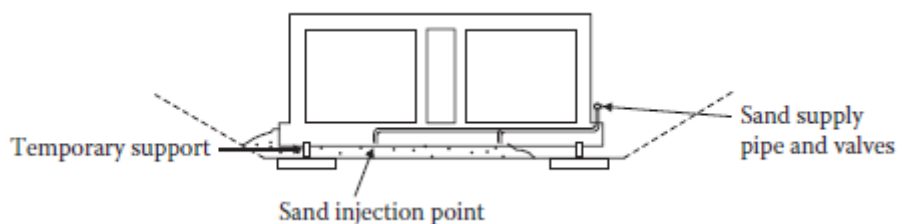
Υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι κατασκευής υποστρωμάτων άμμου: η μέθοδος “sand jetting” και η μέθοδος “sand flow”. Αμφότερες οι μέθοδοι, έχουν ως στόχο την πλήρωση του κενού μεταξύ του πυθμένα της τάφρου και της κάτω πλευράς του σπονδύλου και περιλαμβάνουν προσωρινή υποστήριξη. Η μέθοδος sand jetting, έχει εφαρμοστεί επιτυχώς στην κατασκευή επιπυθμένων σηράγγων στην Ευρώπη και την Ασία, όμως εφαρμόζεται όλο και λιγότερο αφού ο έλεγχος που παρέχει η μέθοδος sand flow είναι μεγαλύτερος.

Η μέθοδος sand jetting, εφαρμόζεται από τις πλευρές του σπονδύλου με τη χρήση εξοπλισμού που μετακινείται κατά μήκος των παρειών της σήραγγας.



Εικόνα 6.11: Η μέθοδος "sand jetting" (Lunniss and Baber, 2013)

Η μέθοδος “sand flow”, εφαρμόζεται με την εισπίεση ενός μείγματος νερού και άμμου μέσω αντλιών σε κάποια σημεία εκροής στην κάτω πλευρά του σπονδύλου.



Εικόνα 6.12: Η μέθοδος "sand flow" (Lunniss and Baber, 2013)

Τα στρώματα θεμελίωσης από άμμο, παρέχουν το πλεονέκτημα ότι δεν χρειάζεται κάποια ειδική διαμόρφωση του πυθμένα κατά την εκσκαφή, δεν υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης του υπεδάφους ή του υδάτινου περιβάλλοντος για το λόγο ότι δε χρησιμοποιούνται χημικά πρόσθετα, ενώ επίσης η άμμος είναι αρκετά φθινό υλικό. Προτιμώνται ακόμα σε περιοχές που ο πυθμένας είναι καλυμμένος από ιζήματα, ώστε να μην υπάρξει κίνδυνος μόλυνσης.

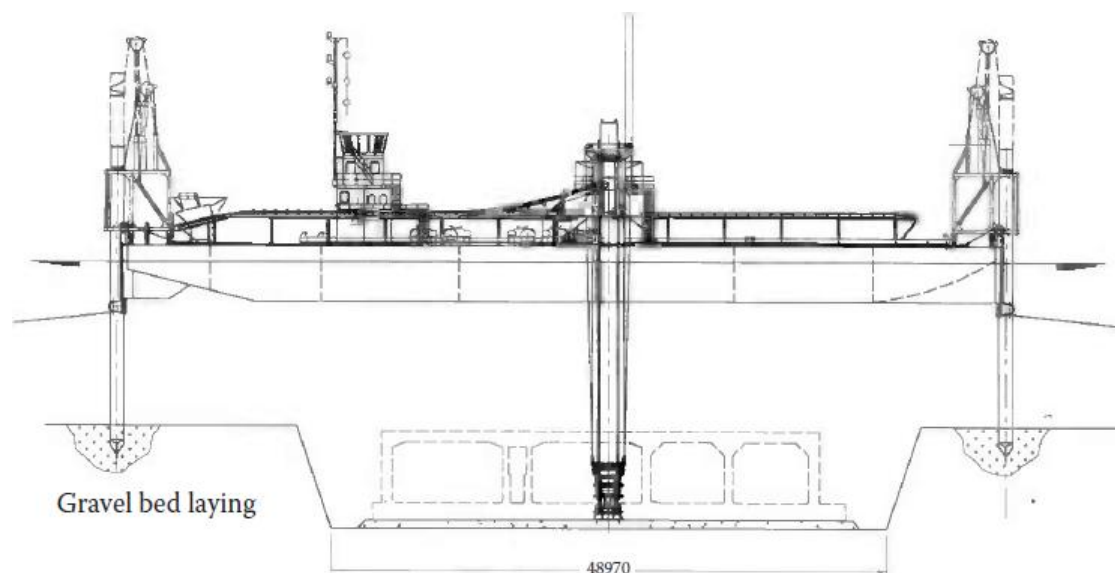
6.4.2. ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΑΠΟ ΧΑΛΙΚΙ

Τα υποστρώματα από χαλίκι (gravel bed foundations) διαθέτουν διαφορετικά χαρακτηριστικά από εκείνα που κατασκευάζονται με άμμο. Τα υποστρώματα αυτά τοποθετούνται πριν την εγκατάσταση των σπονδύλων και έτσι είναι δυνατό να καθαριστούν, να επιδιορθωθούν και να διαμορφωθούν κατάλληλα ώστε να μην υπάρξει κάποια διαταραχή ή μόλυνση κατά την εναπόθεση των στοιχείων της σήραγγας. Για παράδειγμα, στη σήραγγα Øresund στη Νορβηγία, επελέγη αυτός ο τύπος υποστρώματος, υπό το φόβο της συσσώρευσης φυκιών στον πυθμένα της τάφρου, αφού ο απαιτούμενος χρόνος για την κατασκευή υποστρώματος άμμου μπορεί να είναι κρίσιμος.

Για την κατασκευή υποστρωμάτων από χαλίκι, έχουν αναπτυχθεί δύο βασικές μέθοδοι:

Η μέθοδος των διαμορφωμένων επίπεδων πλαισίων (screeding frames), όπου ένα χαλύβδινο πλαίσιο εκτείνεται σε όλο το πλάτος της θεμελίωσης της σήραγγας και υποστηρίζει μία δοκό που μετακινείται κατά την κατεύθυνση της σήραγγας ώστε να διαμορφώσει ένα στρώμα χαλικιών ομοιόμορφου πάχους, λειτουργώντας αντίστοιχα με μια μπουλντόζα στην ξηρά.

Η μέθοδος Scradling, η οποία αναπτύχθηκε για πρώτη φορά στη σήραγγα του Øresund. Σε αυτή, χρησιμοποιείται μια πλωτή κατασκευή που καλύπτει το πλάτος της τάφρου, συγκρατείται στη θέση της αγκυρώνοντας ελαφρά εκατέρωθεν της τάφρου, έχοντας όμως τη δυνατότητα μετακίνησης τόσο κατακόρυφα όσο και κατά μήκος της τάφρου. Ένας καθοδικός σωλήνας ο οποίος μετακινείται από το ένα άκρο του πλωτήρα στο άλλο καλύπτοντας έτσι όλο το πλάτος της τάφρου, μεταφέρει χαλίκι στον πυθμένα. Ταυτόχρονα, στο κάτω άκρο του σωλήνα, είναι προσαρμοσμένο ένα “screeding shoe”, το οποίο «στρώνει» το χαλίκι, διαμορφώνοντας έτσι μια ομαλή επιφάνεια. Έτσι η απόθεση του χαλικιού και η διαμόρφωση μιας σχεδόν λείας επιφάνειας γίνεται ταυτόχρονα.



Εικόνα 6.13: Η μέθοδος "scradling" (Lunniss and Baber, 2013)

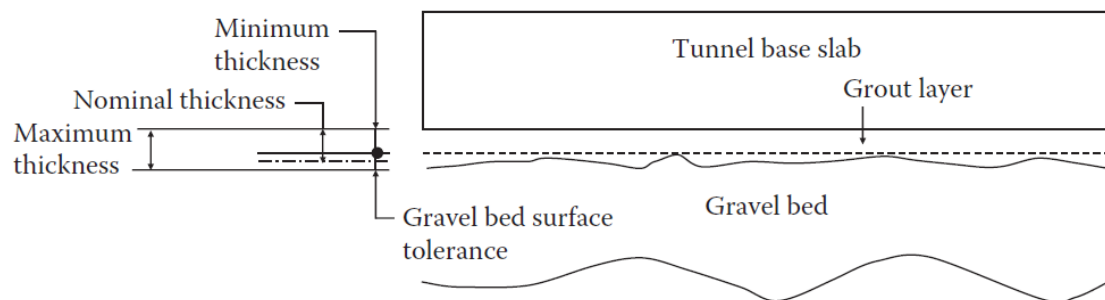
Υποστρώματα από χαλίκι, κατασκευάζονται συχνά σε σειсмоγενείς περιοχές για την αποφυγή φαινομένων ρευστοποίησης της άμμου. Ακόμα, προτιμώνται για τη θεμελίωση επιπυθμένιων σηράγγων σε μεγάλα βάθη και μακριά από την ακτή.

6.4.3. ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

Σε περιπτώσεις όπου είναι δύσκολο να εφαρμοστούν οι συμβατικές μέθοδοι θεμελίωσης με την κατασκευή υποστρωμάτων από άμμο ή χαλίκια, χρησιμοποιούνται εναλλακτικές ή πρόσθετες μέθοδοι.

Μία από αυτές είναι η χρήση **ενεματωμένων υποστρωμάτων** και εφαρμόζεται κυρίως σε περιοχές με έντονη σεισμικότητα, όπου απαιτείται μια πιο σταθερή θεμελίωση ή σε πολύ μεγάλα βάθη. Αυτό κατασκευάζεται εισπιέζοντας τσιμεντένεμα στο κενό μεταξύ της κατασκευής και των χαλικιών του υποστρώματος, μειώνοντας έτσι την ανοχή του. Αυτή η λύση, έχει χρησιμοποιηθεί στη σήραγγα Ακτίου – Πρεβέζης, στη σήραγγα του Βοσπόρου στην Κωνσταντινούπολη αλλά και σε άλλα έργα στην Ιαπωνία.

Η λύση αυτή είναι συνήθως ακριβότερη αφού πέραν της διαμόρφωσης του υποστρώματος από χαλίκι, χρειάζεται το επιπλέον κόστος για την προμήθεια των πρώτων υλών αλλά και του απαραίτητου εξοπλισμού ενεμάτωσης. Το πάχος της στρώσης του τσιμεντένεματος είναι συνήθως της τάξης των 100 - 150 mm και καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά ροής του ενέματος αλλά και την επιφάνεια του υποστρώματος.



Εικόνα 6.14: Σχηματική απεικόνιση του στρώματος από ένεμα καθώς και του πάχους αυτού (Lunniss and Baber, 2013)

Ακόμα, μια άλλη μέθοδος, είναι η **θεμελίωση με την κατασκευή πασσάλων** όπου απαιτείται μεγαλύτερος έλεγχος της κατασκευής. Η λύση αυτή εφαρμόζεται συχνά στις ζώνες μετάβασης, ώστε να ομαλοποιήσουν τις

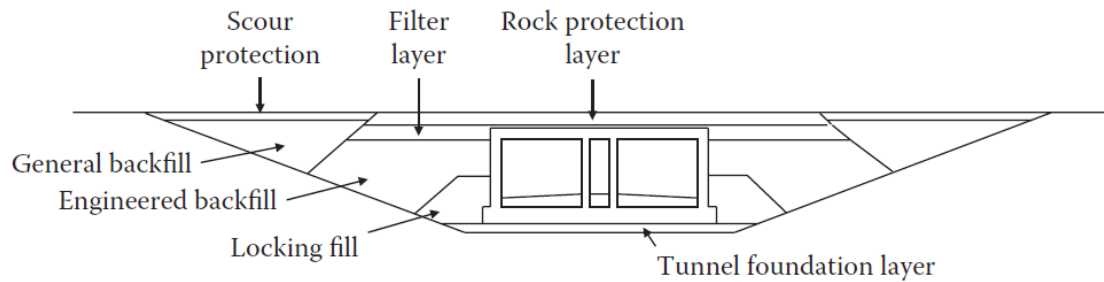
ενώσεις της επιπυθμένης σήραγγας με τα έργα πρόσβασης. Οι πάσσαλοι μπορούν είτε να συνδέονται απευθείας με την κάτω πλευρά της σήραγγας ή να «επιπλέουν», δηλαδή η φορτίσεις από τη σήραγγα να μεταφέρονται στους πασσάλους μέσω του όποιου ενδιάμεσου υλικού (έδαφος, υλικό επίχωσης, γεωύφασμα).

Ακόμα πολλές φορές μπορεί να χρειάζεται να γίνει **βελτίωση του εδάφους**. Ειδικά σε ποτάμια ή εκβολές ποταμών, πολύ συχνά κάτω από τον πυθμένα απαντούν στρώματα ιλύος και αργίλου, που μπορεί να οδηγήσουν σε μεγάλες διαφορικές καθιζήσεις κατά μήκος της σήραγγας. Ακόμα σεισμικές δονήσεις ενδέχεται να προκαλέσουν σημαντικά προβλήματα, όπως επίσης οι περιοχές που βρίσκονται κοντά στις ακτές είναι πιθανό να χρειάζονται κάποια βελτίωση. Η βελτίωση των εδαφών γίνεται με τις ακόλουθες τεχνικές:

- Granular replacement
- Stone columns
- Sand compaction piles (SCPs)
- Soil mixing

6.5. ΕΠΙΧΩΣΗ ΤΗΣ ΤΑΦΡΟΥ

Στις εργασίες που απαιτούνται για την επανεπίχωση του ορύγματος, περιλαμβάνονται: η τοποθέτηση προστατευτικών μεμβρανών και στρωμάτων γύρω από τους σπονδύλους, η επίχωση της σήραγγας και τέλος η τοποθέτηση της «πέτρινης πανοπλίας» (armour rock).



Εικόνα 6.15: Τυπική επίχωση επιτυθμένης σήραγγας (Lunniss and Baber, 2013)

Αυτή η τελευταία εργασία, η τοποθέτηση δηλαδή μιας πρόσθετης προστασίας από βράχους, έχει ως στόχο:

- Την προστασία της μόνιμης θεμελίωσης της σήραγγας από την τριβή
- Την παροχή οριζόντιας υποστήριξης στη σήραγγα
- Την προστασία του υπόγειου υδροφόρου από πιθανή μόλυνση
- Την προστασία της επίχωσης από τριβές
- Την προστασία της κατασκευής από πτώσεις βαρέων αντικειμένων (π.χ. άγκυρες πλοίων)

6.6. ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Μετά την τελική εγκατάσταση των σπονδύλων της σήραγγας, ξεκινούν οι συμπληρωματικές εργασίες στο εσωτερικό. Αυτές περιλαμβάνουν εργασίες πολιτικού μηχανικού και ηλεκτρομηχανολογικές εργασίες.

Τα έργα πολιτικού μηχανικού περιλαμβάνουν:

- Απομάκρυνση της προσωρινής υποστήριξης
- Απομάκρυνση των υδατοστεγανών διαφραγμάτων στα άκρα κάθε σπονδύλου
- Αντικατάσταση του νερού με σκυρόδεμα για τον ερματισμό της σήραγγας
- Ολοκλήρωση των εργασιών στεγάνωσης στις ενώσεις των σπονδύλων

- Τελική διαμόρφωση των τοιχωμάτων της σήραγγας (βαφή, εγκατάσταση πλακιδίων ή πάνελ) και της οροφής για πυροπροστασία και/ή ηχομόνωση
- Διαμόρφωση του οδοστρώματος ή εγκατάσταση των σιδηροτροχιών

Τα **ηλεκτρομηχανολογικά (Η/Μ) έργα** περιλαμβάνουν:

- Απομάκρυνση των προσωρινών εγκαταστάσεων παροχής ρεύματος και φωτισμού
- Εγκατάσταση μόνιμου συστήματος φωτισμού και αερισμού
- Διαμόρφωση συστήματος αποχέτευσης
- Εγκατάσταση συστήματος πυρασφάλειας
- Εγκατάσταση συστήματος ελέγχου της κυκλοφορίας



Εικόνα 6.16: Φωτογραφία από το εσωτερικό της επιτυθμένης σήραγγας Ακτίου - Πρεβέζης
(greek-motorways.net)

Οι εργασίες αυτές γίνονται σχεδόν εξ' ολοκλήρου μετά την τελική εγκατάσταση των σπονδύλων αφού δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν χωρίς την απομάκρυνση των διαφραγμάτων των στοιχείων της σήραγγας.

6.7 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΖΕΥΞΗ ΤΗΣ ΣΑΛΑΜΙΝΑΣ

Συγκεκριμένα για το υπό μελέτη Έργο, θα χρειαστούν:

- Για το υπιθαλάσσιο τμήμα της σήραγγας, 9 προκατασκευασμένοι σπόνδυλοι από σκυρόδεμα μήκους 132m ο καθένας (συνολικό μήκος 1190) με διατομή 25.1m x 9m
- Για τις προσβάσεις στο υποθαλάσσιο τμήμα θα κατασκευαστούν σήραγγες με την μέθοδο cut & cover στην ακτή του Περάματος και στον Άγιο Γεώργιο με συνολικό μήκος 530 m
- Βυθοκόρηση του πυθμένα για την κατασκευή της τάφρου υποδοχής των σπονδύλων. Λόγω παρουσίας ψαμμιτών ενδέχεται να χρησιμοποιηθεί υδραυλική σφύρα για την εκσκαφή του πετρώματος και δράγα για την απομάκρυνσή του. Η τάφρος θα έχει εμβαδό διατομής 816 m² και μήκος 1190 m.
- Μεταφορά και εγκατάσταση των σπονδύλων της σήραγγας εντός της τάφρου
- Επίχωση της τάφρου μετά την τοποθέτηση των στοιχείων της σήραγγας.
- Κατασκευή της νηοδόχου στο ακρωτήριο Κυνοσούρας όπως υποδείχθηκε στο κεφάλαιο 5.
- Εργασίες οδοποιίας για το σύνολο της σήραγγας (χερσαίο και υποθαλάσσιο τμήμα)
- Τοποθέτηση ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού που θα περιλαμβάνει φωτισμό, αερισμό σηματοδότηση και τοποθέτηση διοδίων.

6.8. ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ

Οι ως άνω περιγραφείσες εργασίες, θα πρέπει να εκτελεσθούν και να ολοκληρωθούν εντός σαφούς χρονικού πλαισίου. Το χρονοδιάγραμμα του Έργου, παίζει σημαντικό ρόλο και στην οικονομικότητα του Έργου και τυχόν παρέκκλιση από αυτό ενδέχεται να επιφέρει ιδιαίτερα αρνητικά αποτελέσματα.

Με τη χρήση ελληνικής και ξένης βιβλιογραφίας αλλά και με τις εμπειρίες μηχανικών του χώρου, καταρτίστηκε το παρακάτω χρονοδιάγραμμα Gantt για την κατασκευή της επιπυθμένης σήραγγας Σαλαμίνας – Περάματος.

Στο χρονοδιάγραμμα αυτό περιλαμβάνονται οι βασικές εργασίες κατασκευής της επιπυθμένης σήραγγας Σαλαμίνας – Περάματος. Σε επόμενο στάδιο προγραμματισμού και οργάνωσης του Έργου, θα απαιτηθεί αναλυτικότερο χρονοδιάγραμμα (που θα περιλαμβάνει όλες τις εργασίες) για την καλύτερη εποπτεία της προόδου κατά τη φάση κατασκευής.

Όπως φαίνεται από το ακόλουθο διάγραμμα Gantt, η κατασκευή του Έργου αναμένεται να διαρκέσει 4 έτη. Αν λοιπόν θεωρηθεί η 1^η Ιανουαρίου του 2018 ως η στιγμή εκκίνησης των εργασιών, βάσει του παραπάνω διαγράμματος, τον Ιανουάριο του 2022 ξεκινά η περίοδος λειτουργίας του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό, θα επιχειρηθεί μια εκτίμηση των οικονομικών μεγεθών του Έργου. Για να γίνει αυτό, θα πρέπει πρώτα να προσδιοριστούν οι τιμές για τις βασικές εργασίες που απαιτούνται, ο προϋπολογισμός του, τα ετήσια κόστη συντήρησης και λειτουργίας, και στη συνέχεια να κατασκευαστεί ο πίνακας ταμειακών ροών από όπου (μετά από ανάλυση νεκρού σημείου) θα προκύψουν τα έσοδα. Έπειτα με τη χρήση των βασικών κριτηρίων (NPV, IRR, Payback Period), θα γίνει η αξιολόγηση της συγκεκριμένης επένδυσης.

Πρέπει να σημειωθεί πως στις τιμές του κεφαλαίου δεν περιλαμβάνεται Φ.Π.Α.

7.1. ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Στην ενότητα αυτή, επιχειρείται ο προσδιορισμός των ποσοτήτων των βασικών υλικών που θα χρησιμοποιηθούν στις κύριες εργασίες για τη ζεύξη Σαλαμίνας – Περάματος.

Συγκεκριμένα, θα χρειαστούν:

- Για το υποθαλάσσιο τμήμα, ο συνολικός όγκος της σήραγγας υπολογίζεται ότι θα ανέλθει σε 259.325 m³. Για την κατασκευή των σπονδύλων απαιτούνται 84.785 m³ (μήκος 1190 m με διατομή 25.1m x 9m). Ακόμα, απαιτείται η τοποθέτηση χαλύβδινου οπλισμού 15.261.300 kg (περίπου 180 kg χάλυβα ανά m³ σκυροδέματος)
- Η τάφρος που θα διανοιγεί, θα έχει εμβαδό διατομής 816 m² και μήκος 1190 m. Άρα λοιπόν ο συνολικός όγκος της τάφρου (άρα και ο όγκος του υλικού που θα εξορυχθεί) ανέρχεται σε 971.040 m³
- Ο προς επίχωση χώρος, υπολογίζεται με την αφαίρεση του όγκου της σήραγγας από τον συνολικό όγκο της τάφρου, δηλαδή 711.715 m³. Ο αντίστοιχος όγκος των υλικών επίχωσης θα είναι κατά τι μικρότερος αν ληφθεί υπόψη ο συντελεστής επιπλήσματος
- Όσον αφορά τη νηοδόχο, θα πρέπει να χωρούν ταυτόχρονα 5 σπόνδυλοι της σήραγγας, ο εξοπλισμός που χρειάζεται για την

κατασκευή τους καθώς και να υπάρχει χώρος διέλευσης των εργαζομένων και των οχημάτων. Με μία έκταση 50 στρεμμάτων (50.000m^2) θα μπορούν να εξυπηρετηθούν όλα τα ανωτέρω. Το βάθος της νηοδόχου θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο των 10 m από την επιφάνεια της θάλασσας, ώστε να μπορούν οι σπόνδυλοι να πλεύσουν για τη μεταφορά τους στη θέση εγκατάστασης. Άρα ο προς εκσκαφήν όγκος υπολογίζεται περίπου σε 750.000 m^3

- Για τα cut & cover τμήματα στην ξηρά, θα εκσκαφθούν 200.340m^3 υλικού με την παραδοχή (χάριν συντομίας) ότι το προς όρυξη τμήμα θα έχει πλάτος τα 27 m και μέσο βάθος τα 12 m από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ το συνολικό μήκος θα φθάνει τα 530 m
- Για την επανεπίχωση του cut & cover τμήματος καθώς και των στομιών της σήραγγας απαιτείται 87.768 m^3 υλικού προκειμένου η επιφάνεια του εδάφους να φθάσει στο πρότερο ύψος της.
- Κατασκευή και στεγάνωση των cut & cover τμημάτων και των στομιών της σήραγγας συνολικού μήκους 530 m και διατομής $25,1 \times 9\text{ m}^2$. Η στεγάνωση θα γίνει με την κατασκευή ενός συστήματος ταπείνωσης του υδροφόρου ορίζοντα αποτελούμενου από επιφανειακά φρέατα. Επίσης απαιτείται η χρήση υποβρύχιων αντλιών.
- Εκτέλεση των απαιτούμενων εργασιών οδοποιίας για το σύνολο της σήραγγας. Θα χρειαστούν:
 - 13.440 m^2 σκυροδέματος για την πλήρωση του κενού
 - 22.610 m^2 ασφαλικής ισοπεδωτικής στρώσης
 - 22.610 m^2 ασφαλικής στρώσης κυκλοφορίας της οδού

7.2. ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ

Στην ενότητα 7.1, προσδιορίστηκαν οι ποσότητες που απαιτούνται για την εκτέλεση των βασικών εργασιών για την εκτέλεση του Έργου. Στον ακόλουθο πίνακα γίνεται μια κοστολόγηση βασικών εργασιών για την κατασκευή της επιπυθμένης οδικής σήραγγας Σαλαμίνας – Περάματος. Για την εκτίμηση του κόστους του έργου, χρησιμοποιήθηκαν τα Αναλυτικά Τιμολόγια Έργων όπως

καθορίστηκαν από το ΦΕΚ 363B/19-2-2013 αλλά και εμπειρίες εξειδικευμένων σε υπόγεια έργα μηχανικών που κατετέθησαν για την συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ακόμα, όσον αφορά τα κατ' αποκοπήν τιμήματα των εργασιών στο κάτω μέρος του πίνακα, υπολογίστηκαν ως εξής:

- Η/Μ εξοπλισμός: 25% του προϋπολογισμού του Έργου
- Απρόβλεπτες δαπάνες: 9% του προϋπολογισμού
- Έρευνες υπεδάφους: 2% του κόστους
- Αποκατάσταση περιβάλλοντος: 3% του συνολικού κόστους
- Γενικά έξοδα και όφελος εργολάβου: 18%

Πίνακας 7.4: Κόστος του Έργου και των επιμέρους εργασιών

ΕΡΓΑΣΙΑ	ΜΟΝΑΔΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΑΣ	ΚΟΣΤΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ
Υποθαλάσσιο τμήμα				
Εκσκαφή πυθμένα εδάφους κατηγορίας Β-Γ	m ³	971.040	6	5.826.240
Ύφαλες επιχώσεις με προϊόντα δανειοθαλάμων	m ³	711.715	3	2.135.145
Προκατασκευασμένα στοιχεία υφάλων κατασκευών από σπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37	m ³	84.785	180	15.261.300
Χαλύβδινοι σπλισμοί κατηγορίας B500C (S500s)	Kg	15.261.300	0,95	14.498.235
Σκυρόδεμα πλήρωσης κατηγορίας C16/20	m ³	13.440	90	1.209.600
Ασφαλτική ισοπεδωτική στρώση πάχους 0,05 m	m ²	22.610	5,7	128.877
Ασφαλτική στρώση κυκλοφορίας αστικής οδού (m2)	m ²	22.610	7,7	174.097
Νηοδόχος				
Γενικές εκσκαφές σε έδαφος γαιώδες - ημιβραχώδες	m ³	750.000	1	750.000
Αντιμετώπιση υδάτων	μήνας	20	40000	800.000

Επιστρώσεις δαπέδων με άοπλο ή οπλισμένο σκυρόδεμα, κατηγορίας C16/20	m ³	10.000	90	900.000
Cut & cover τμήμα				0
Γενικές εκσκαφές σε έδαφος γαιώδες - ημιβραχώδες	m ³	200.340	0,6	120.204
Επανεπίχωση σήραγγας CUT & COVER και στομιών σηράγγων	m ³	87.768	0,7	61.438
Κατασκευή σηράγγων με εκσκαφή και επανεπίχωση (cut & cover) με χρήση σκυροδέματος C25/30	m ³	42.673	124	5.291.514
Ασφαλτική ισοπεδωτική στρώση πάχους 0,05 m	m ²	10.070	5,7	57.399
Ασφαλτική στρώση κυκλοφορίας αστικής οδού	m ²	10.070	7,7	77.539
Αποκατάσταση περιβάλλοντος				3.000.000
Παθητική πυροπροστασία	m ²	62.402	40	2.496.080
Η/Μ εξοπλισμός				25.000.000
Απρόβλεπτες δαπάνες				9.000.000
Γενικά έξοδα και εργολαβικό όφελος				15.621.780
ΣΥΝΟΛΟ				102.409.448

Οι δαπάνες για τις εργασίες που αναφέρονται στον παραπάνω πίνακα, περιλαμβάνουν τις δαπάνες για την προμήθεια των πρώτων υλών, τη μεταφορά, την τυχόν συναρμολόγηση καθώς και τις αμοιβές των εργαζομένων που θα απασχοληθούν για την εκτέλεσή τους. Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με το τι περιλαμβάνεται στις τιμές, μπορούν να αναζητηθούν στα «Περιγραφικά Τιμολόγια Έργων» του 2013 που εκδόθηκαν από το ΥΠΥΜΕΔΙ.

Ακόμα στις παραπάνω τιμές, περιλαμβάνονται ανοιγμένες και οι δαπάνες για έρευνες και μελέτες.

Βάσει, λοιπόν των ανωτέρω, το συνολικό κόστος του Έργου αναμένεται να ανέλθει σε 102 εκατομμύρια ευρώ.

7.3. ΤΑΜΕΙΑΚΕΣ ΡΟΕΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Για την παρουσίαση των αναμενομένων οικονομικών δεδομένων του Έργου, θα πρέπει να καταρτιστεί ένας πίνακας ταμειακών ροών. Σε αυτόν θα απεικονίζονται στοιχεία που αφορούν στον κύκλο εργασιών, τις ταμειακές ροές, τις ετήσιες ροές και τις πάγιες δαπάνες από την έναρξη των εργασιών ως και το πέρας 25 χρόνων λειτουργίας του Έργου.

Για τη συμπλήρωση του πίνακα ταμειακών ροών, απαιτείται να γίνουν κάποιες λογικές παραδοχές σχετικά με τα εξής:

- **Ύψος επένδυσης:** το κεφάλαιο που απαιτείται για την ολοκλήρωση του Έργου
- **Ετήσια έσοδα:** τα χρήματα που θα λαμβάνονται ως αντίτιμο των διοδίων
- **Ετήσιες δαπάνες:** (σταθερά και αναλογικά λειτουργικά έξοδα, τόκοι, χρεολύσια, φόρος εισοδήματος, επιπρόσθετες εκταμιεύσεις κεφαλαίου, π.χ. για ανανέωση εξοπλισμού): τα έξοδα που θα πρέπει να γίνονται κάθε χρόνο για την λειτουργία και συντήρηση του Έργου
- **Αποσβέσεις:** 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.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι όσον αφορά τις αποσβέσεις, επιλέγεται το κόστος επένδυσης, να **αποσβένεται ισόποσα στα 15 πρώτα έτη** λειτουργίας του Έργου.

Με δεδομένα, λοιπόν, τα παραπάνω, στον πίνακα ταμειακών ροών υπολογίζονται:

- **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 29%).
- **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
- **Παρούσα αξία:** Η αξία μιας μελλοντικής ταμειακής ροής σε όρους σημερινών τιμών. Υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\text{Παρούσα Αξία} = \frac{\text{Ετήσια ταμειακή ροή}_t}{(1 + r)^t}$$

Όπου t: έτος και r: επιτόκιο προεξόφλησης

- **Αθροιστική παρούσα αξία:** το άθροισμα των παρούσων αξιών όλων των ετών ζωής της επένδυσης.

Αφού ολοκληρωθεί ο πίνακας ταμειακών ροών, για την χρηματοοικονομική αξιολόγηση της συγκεκριμένης επένδυσης, θα χρησιμοποιηθούν τα βασικά κριτήρια, δηλαδή η Καθαρά Παρούσα Αξία (NPV), ο Εσωτερικός Συντελεστή Απόδοσης (IRR) και ο Χρόνος Ανάκτησης Κεφαλαίων (Payback Period), η σημασία των οποίων θα αναλυθεί στη συνέχεια

ΚΑΘΑΡΑ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ (Net Present Value – NPV)

Καθαρά Παρούσα Αξία είναι η διαφορά μεταξύ της εμπορικής αξίας μιας επένδυσης και του κόστους της. Με άλλα λόγια, είναι ένας δείκτης που μετρά

το πόση αξία προστίθεται σήμερα από την πραγματοποίηση μιας επένδυσης (Ross, Westerfield and Jordan, 2010).

Η Καθαρά Παρούσα Αξία είναι πρακτικά η διαφορά της παρούσας αξίας των μελλοντικών χρηματοοοών (εισροές – εκροές) από το κόστος που απαιτείται για την επένδυση (Πετράκης, 2007).

Για τον υπολογισμό του NPV χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος:

$$ΚΠΑ = \sum_{t=1}^N \frac{\text{ταμειακές εισροές}}{(1 - r)^t} - \text{αρχική επένδυση}$$

όπου:

ΚΠΑ = Καθαρά Παρούσα Αξία του σχεδίου

N = Χρονική διάρκεια επένδυσης

t = Χρονική περίοδος

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, Δαμίγος, 2009).

Με βάση τα προαναφερθέντα, λοιπόν, το NPV εκφράζει την αξία η οποία προκύπτει από την προεξόφληση στο παρόν του συνόλου των ετήσιων καθαρών ταμειακών ροών που προβλέπονται στο χρονικό ορίζοντα ζωής μιας επένδυσης. Ουσιαστικά δηλαδή, μετατρέποντας τα κόστη και τα οφέλη μιας επένδυσης σε σημερινές αξίες, εκφράζει το καθαρό όφελος (ή κόστος) τη στιγμή που λαμβάνεται η απόφαση.

Όπως αναφέρουν και οι Καλιαμπάκος και Δαμίγος (2009), σε περιπτώσεις όπου εξετάζεται ένα εναλλακτικό σχέδιο ανεξάρτητα από εναλλακτικές

επιλογές, οι όροι αποδοχής ή απόρριψής του σε σχέση με την Καθαρά Παρούσα Αξία διαμορφώνονται ως εξής:

- Αν ΚΠΑ>0, η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα
- Αν ΚΠΑ=0, το οικονομικό αποτέλεσμα της επένδυσης είναι οριακό

Αν ΚΠΑ<0, η επένδυση απορρίπτεται

ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (Internal Rate of Return – IRR)

Όταν το επιτόκιο προεξόφλησης για μια συγκεκριμένη χρηματοροή αυξάνει, η Καθαρά Παρούσα Αξία της χρηματοοής μειώνεται. Ο Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (IRR) του κεφαλαίου μπορεί να οριστεί ως το επιτόκιο προεξόφλησης το οποίο μηδενίζει τη χρηματοοή, δηλαδή το επιτόκιο εκείνο 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. (Καλιαμπάκος και Δαμίγος, 2009)

Ο Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης, προκύπτει από τον τύπο υπολογισμού του NPV. Θέτοντας την καθαρά παρούσα αξία ίση με το μηδέν, υπολογίζεται ο παράγων r που σε αυτή την περίπτωση ισούται με το IRR (Πετράκης, 2007)

Ακολουθεί ο τρόπος υπολογισμού:

$$NPV = 0 = \left[\sum_{t=1}^n \frac{\text{ταμιακές εισροές}_t}{(1 + IRR)^t} \right] - \text{αρχική επένδυση}$$

Όπου:

n : η διάρκεια ζωής του επενδυτικού σχεδίου

Οι όροι αποδοχή ή απόρριψης ενός επενδυτικού σχεδίου με βάση το κριτήριο του Εσωτερικού Συντελεστή Απόδοσης είναι οι εξής:

- Αν $IRR >$ επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα
- Αν $IRR =$ επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση θεωρείται οριακή και είναι στην κρίση του επενδυτή αν θα προχωρήσει
- Αν $IRR <$ επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση απορρίπτεται

ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ (Payback Period)

Ως περίοδος αποπληρωμής ορίζεται ο αριθμός των ετών που χρειάζονται μέχρι οι συνολικές χρηματοροές να ισούνται με το επενδυθέν κεφάλαιο. Σύμφωνα με το κριτήριο αυτό, ένα επενδυτικό σχέδιο μπορεί να γίνει αποδεκτό εάν η περίοδος αποπληρωμής είναι μικρότερη από ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. (Brealey, Myers and Allen, 2011)

Σε σύγκριση με το NPV, το κριτήριο του payback period, έχει κάποιες σοβαρές αδυναμίες. Ο υπολογισμός της περιόδου γίνεται μόνο με την πρόσθεση των ταμειακών ροών και, αφού δεν λαμβάνεται υπόψη η προεξόφληση, αγνοείται η χρονική αξία του χρήματος. Ακόμα, δεν υπάρχει αντικειμενικός τρόπος επιλογής του προκαθορισμένου χρονικού διαστήματος, εντός του οποίου θα ικανοποιείται το κριτήριο, ενώ επίσης δεν λαμβάνονται υπόψη οι ταμειακές ροές μετά το διάστημα αυτό. Από την άλλη, λόγω της απλότητάς του, αρκετές εταιρείες το χρησιμοποιούν για ήσσονος σημασίας επενδυτικές αποφάσεις. Τέλος, είναι χρήσιμο σε περιπτώσεις που δεν μπορούν να προβλεφθούν με ασφάλεια οι μακροπρόθεσμες χρηματοροές μιας επένδυσης. (Ross, Westerfield and Jordan, 2010).

7.3.1 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Για την κατάστρωση του πίνακα ταμειακών ροών απαιτείται να γίνουν κάποιες παραδοχές, οι οποίες είναι οι ακόλουθες.

ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ

Για τη συγκεκριμένη ανάλυση, επιλέγεται χρονικό διάστημα 25 ετών από την έναρξη λειτουργίας του συγκεκριμένου έργου.

ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Οι βασικές εργασίες για τη λειτουργία και τη συντήρηση της σήραγγας είναι οι εξής:

- Διοίκηση και διαχείριση περιουσιακών στοιχείων
- Συντήρηση ρουτίνας της σήραγγας και του οδοστρώματος
- Συντήρηση ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού
- Μη τακτική συντήρηση
- Λειτουργία διοδίων
- Λειτουργία σήραγγας (προμήθεια ρεύματος και καθαρισμός)

Εν έτει 2016, η σύμβαση «Προμήθεια Υπηρεσιών Λειτουργίας και Συντήρησης της Υποθαλάσσιας Σήραγγας Ακτίου – Πρέβεζας» υπεγράφη έναντι περίπου 3.500.000 ευρώ για 5 έτη. Η σήραγγα αυτή έχει παρόμοιο μήκος με την προταθείσα, όμως έχει αρκετά μικρότερο πλάτος και κυκλοφοριακό φόρτο. Επομένως μπορεί να θεωρηθεί πως το κόστος για τη συντήρηση και τη λειτουργία θα είναι μεγαλύτερο.

Με βάση τα όσα προαναφέρθηκαν και λαμβανομένων υπόψη στοιχείων για το κόστος λειτουργίας και συντήρησης αντίστοιχων έργων ανά τον κόσμο, υπολογίζεται ότι οι ετήσιες δαπάνες για τη λειτουργία και συντήρηση της υποθαλάσσιας σήραγγας Περάματος – Σαλαμίνας, θα ανέρχονται σε 1.500.000 περίπου, δηλαδή στο 8% των ετήσιων εσόδων.

ΑΠΟΣΒΕΣΕΙΣ

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι όσον αφορά τις αποσβέσεις, επιλέγεται το κόστος επένδυσης, να **αποσβένεται ισόποσα στα 15 πρώτα έτη** λειτουργίας του Έργου.

ΦΟΡΟΛΟΓΙΑ

Όσον αφορά τη φορολογία, επιλέγεται ο υφιστάμενος φορολογικός συντελεστής (29%). Αυτό σημαίνει πως η ανάδοχος εταιρεία θα πρέπει να καταβάλλει ετησίως το 29% του φορολογητέου εισοδήματος, δηλαδή του ποσού που προκύπτει μετά από αφαίρεση των αποσβέσεων από τα ακαθάριστα κέρδη.

ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΑ ΕΣΟΔΑ ΚΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Μετά την κατασκευή του Έργου, θα αρχίσει η περίοδος λειτουργίας του, κατά την οποία η σήραγγα θα δοθεί στην κυκλοφορία για την εξυπηρέτηση του κοινού. Αυτό βάσει του χρονοδιαγράμματος αναμένεται μετά από τέσσερα χρόνια.

Στη φάση λειτουργίας θα αρχίσουν να εισρέουν τα πρώτα έσοδα, τα οποία θα προέρχονται αποκλειστικά από το αντίτιμο των διοδίων που θα πρέπει να καταβάλλουν όσοι επιθυμούν να χρησιμοποιήσουν τη σήραγγα για τη μετάβασή τους από το Πέραμα στη Σαλαμίνα ή αντιστρόφως.

ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Τα τελευταία χρόνια, διέρχονται από τα Στενά περί τα 4 εκατομμύρια οχήματα μέσω της ακτοπλοϊκής σύνδεσης, όπως έχει ήδη αναφερθεί. Λόγω των πλεονεκτημάτων που θα προσφέρει η οδική ζεύξη (εκτενής αναφορά τους έγινε σε προηγούμενα κεφάλαια), εκτιμάται πως ένα ποσοστό της τάξης του 75% θα επιλέξει τη σήραγγα ως τρόπο μετάβασης από και προς τη Σαλαμίνα αντί των ferry boats. Άρα από τα 4 εκατομμύρια, τα 3 εκατομμύρια αναμένεται να χρησιμοποιήσουν τη σήραγγα κατά τον πρώτο χρόνο λειτουργίας της.

Αυτή η παραδοχή θα αποτελέσει τη βάση της συγκεκριμένης ανάλυσης, και θα θεωρηθεί αρχικά ότι δεν πρόκειται να υπάρξει αύξηση του αριθμού των διερχομένων οχημάτων λόγω της ανάπτυξης του Έργου.

Εξ' αυτών, το 80% των οχημάτων αναμένεται να είναι Ι.Χ., το 5% δίκυκλα και το 15% φορτηγά αυτοκίνητα (Δ.Χ.) με βάση τη συνήθη κατανομή της κυκλοφορίας.

7.3.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΝΕΚΡΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ

Αρχικά, πρέπει να γίνει ανάλυση νεκρού σημείου (break even analysis) για τον προσδιορισμό της ελάχιστης τιμής διοδίων που μπορεί να τοποθετηθεί. Δηλαδή, θα πρέπει να υπολογιστεί το ελάχιστο μέσο αντίτιμο των διοδίων για το οποίο η επένδυση δεν καταγράφει απώλειες. Η μέση αυτή τιμή ορίζεται ως το πηλίκο των συνολικών εσόδων ανά έτος προς τον αριθμό όλων των διερχόμενων οχημάτων (Ι.Χ., δίκυκλων και Δ.Χ.). Έτσι, καταστρώθηκε ο πίνακας ταμειακών ροών με μεταβλητή το μέσο αντίτιμο διοδίων, ώστε η Καθαρά Παρούσα Αξία που θα προκύπτει να είναι μηδέν.

Η τιμή αυτή, βάσει υπολογισμών ανέρχεται σε 4,2 ευρώ. Όμως θα πρέπει να υπάρχει μια διαφοροποίηση στο αντίτιμο που θα καλείται να πληρώσει ο κάθε οδηγός ανάλογα με τον τύπο του οχήματος στο οποίο επιβαίνει. Έτσι λοιπόν, οι τιμές των διοδίων για τις οποίες το Έργο αποδίδει ακριβώς την αξία του (χωρίς κέρδος ή απώλειες) είναι:

Πίνακας 7.5: Ελάχιστο αντίτιμο διοδίων

Τύπος οχήματος	Αντίτιμο διοδίων (€)
Δίκυκλα	1,5
Ι.Χ.	3,8
Δ.Χ.	7,2

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό, πως με όποια αύξηση του αντιτίμου, η επένδυση αρχίζει να αποφέρει κέρδη.

ΠΤΡ BREAK EVEN

7.3.3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΤΙΤΙΜΟΥ ΔΙΟΔΙΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΤΗΣΙΩΝ ΕΣΟΔΩΝ

Θα πρέπει να προσδιοριστεί το μέσο εισιτήριο για οχήματα στα υπάρχοντα ferry boat. Κατόπιν επικοινωνίας με υπευθύνους των κοινοπραξιών που έχουν αναλάβει την ακτοπλοϊκή σύνδεση Περάματος – Παλουκίων, συγκεντρώθηκαν οι τιμές ανά κατηγορία οχήματος. Επειδή όμως οι κοινοπραξίες αυτές διαχωρίζουν τα οχήματα σε πολλές υποκατηγορίες, παρακάτω υπολογίζονται οι μέσες τιμές (συμπεριλαμβανομένων και των οδηγών) ώστε να ταιριάξουν στις 3 κατηγορίες που έχουν επιλεγεί (δίκυκλα, Ι.Χ. και Δ.Χ.):

Πίνακας 7.6: Εισιτήρια για ferry boats (συμπεριλαμβανομένου Φ.Π.Α.)

Τύπος οχήματος	Αντίτιμο διοδίων (€)
Δίκυκλα	1,5
Ι.Χ.	5,7
Δ.Χ.	13,5

Η μέση τιμή του εισιτηρίου για τα ferry boats εν έτει 2017, λοιπόν είναι 6,7 ευρώ (για όχημα και οδηγό, αν υπάρχουν και άλλοι επιβάτες αυξάνεται κατά 1 ευρώ ανά επιπλέον επιβάτη).

Κατόπιν όλων αυτών, μπορεί να υποστηριχθεί ότι η μέση τιμή των διοδίων μπορεί να είναι μεταξύ 4,2 και 6,7 ευρώ. Το συγκεκριμένο κατώτατο όριο επιλέγεται με σκοπό η επένδυση να καταστεί συμφέρουσα, ενώ το ανώτερο ώστε να αποτελεί μια οικονομικά ανταγωνιστική επιλογή έναντι των ferry boats.

Έτσι λοιπόν, ως μέσο αντίτιμο διοδίων για τη διέλευση από τη σήραγγα επελέγη η τιμή των 6,1 ευρώ. Η απόφαση αυτή ελήφθη με στόχο να είναι κατά το δυνατόν συμφέρουσα η επένδυση, και ταυτόχρονα να παραμένει οικονομικά ελκυστική απέναντι στους ενδιαφερομένους. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές που προτείνονται ανάλογα με τον τύπο του οχήματος.

Πίνακας 7.7: Προτεινόμενο αντίτιμο διοδίων ανά κατηγορία οχήματος

Τύπος οχήματος	Αντίτιμο διοδίων (€)
Δίκυκλα	1,5
Ι.Χ.	5,3
Δ.Χ.	12

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα, οι τιμές για τη διέλευση είναι μειωμένες σε σχέση με αυτές των ferry boats.

Επίσης πρέπει να επισημανθεί πως για τους μόνιμους κατοίκους του νησιού θα πρέπει να εκδοθεί μια ειδική κάρτα για τη μείωση του αντιτίμου ώστε να μην επιβαρύνονται οικονομικά λόγω της συχνής χρήσης της σήραγγας. Κάτι τέτοιο όμως, λόγω απουσίας δεδομένων, δε θα εξεταστεί στην παρούσα διπλωματική.

ΕΣΟΔΑ

Με βάση τα όσα αναλύθηκαν στις παραπάνω υποενότητες, υπολογίστηκαν τα ετήσια έσοδα που αναμένονται για την επένδυση, τά οποία προκύπτουν από το γινόμενο του αριθμού επιβατών με το αντίστοιχο αντιτιμο διοδίων και θεωρήθηκε πως τα έσοδα θα παραμείνουν σταθερά για τα 25 έτη λειτουργίας που αναλύονται. Τα ετήσια έσοδα θα ανέχονται σε 18.345.000 €.

Η τιμή αυτή προκύπτει ως εξής:

- Δίκυκλα: $Εσοδα_{δικ} = Οχήματα * 5\% * 1,5€ = 225.000€$
- Ι.Χ.: $Εσοδα_{ΙΧ} = Οχήματα * 80\% * 5,3€ = 12.720.000€$
- Δ.Χ.: $Εσοδα_{ΔΧ} = Οχήματα * 15\% * 12€ = 5.400.000€$

Τα συνολικά έσοδα είναι προφανώς το άθροισμα των επιμέρους εσόδων από κάθε κατηγορία οχήματος.

Η πορεία των εσόδων, αναμένεται να είναι σταθερή, κάτι που φαίνεται πιο παραστατικά στο ακόλουθο γράφημα:



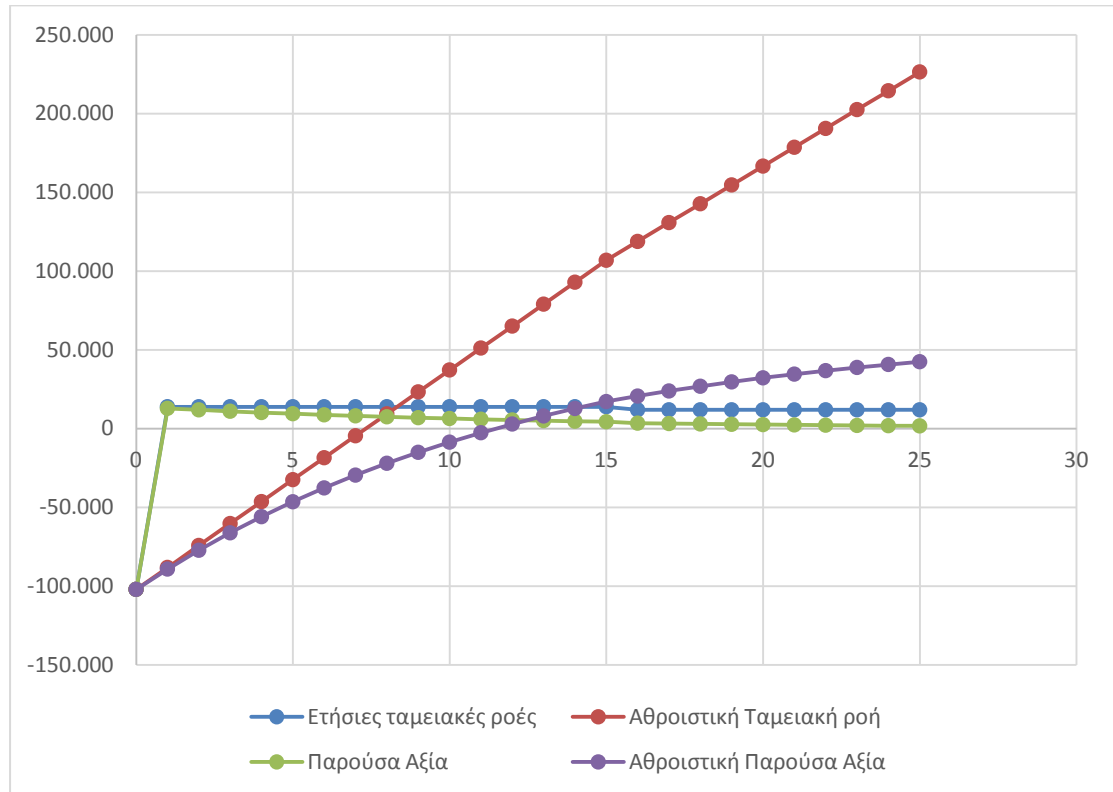
Γράφημα 7.1: Πορεία ετήσιων και αθροιστικών εσόδων

7.3.4. ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΑΜΕΙΑΚΩΝ ΡΟΩΝ

Με βάση τα παραπάνω, συνετάχθη ο πίνακας ταμειακών ροών του βασικού επενδυτικού σχεδίου (Πίνακας).

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΑΜ. ΡΟΩΝ

Στο ακόλουθο γράφημα, παριστάνεται η εξέλιξη των ετήσιων ταμειακών ροών, αθροιστικών ταμειακών ροών, παρούσας αξίας και αθροιστικής παρούσας αξίας κατά τα πρώτα 25 έτη λειτουργίας του Έργου.



Γράφημα 7.2: Εξέλιξη ταμειακών ροών και παρουσών αξιών κατά τη λειτουργία του Έργου

7.3.5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

ΚΑΘΑΡΑ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ

Για τη συγκεκριμένη επένδυση και με βάση τις ταμειακές ροές όπως εκτιμήθηκαν σε προηγούμενη ενότητα καθώς και με επιτόκιο προεξόφλησης 8%, η Καθαρά Παρούσα Αξία σε 25 χρόνια λειτουργίας υπολογίζεται πως θα ανέρχεται σε 42.481.000.

Άρα, εφόσον η τιμή της NPV είναι θετική και διόλου ευκαταφρόνητη σε σχέση με το αρχικό κεφάλαιο, με βάση το συγκεκριμένο κριτήριο, η επένδυση κρίνεται συμφέρουσα.

ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Σε αυτό το επενδυτικό σχέδιο, και σύμφωνα με τις ταμειακές ροές που έχουν υπολογιστεί, ο Εσωτερικός Βαθμός Επένδυσης μετά τα 25 έτη λειτουργίας, θα φτάνει το 13%.

Έτσι, βάσει των παραπάνω όρων αποδοχής ή απόρριψης, εφόσον το IRR είναι μεγαλύτερο του επιτοκίου προεξόφλησης (8%), η δεδομένη επένδυση κρίνεται ως συμφέρουσα.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ (Payback Period)

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, όπως φαίνεται και στον πίνακα ταμειακών ροών, η αποπληρωμή συντελείται κατά το όγδοο έτος λειτουργίας του Έργου.

Με δεδομένο το μεγάλο ύψος του αρχικού κεφαλαίου, τα οκτώ έτη ως περίοδος αποπληρωμής, καθιστούν την επένδυση αποδεκτή.

7.4. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ

Πολλές φορές, μεγάλα έργα, πέραν του οφέλους που θα δώσουν στον επενδυτή, έχουν ευεργετικές συνέπειες τόσο για την κοινωνία όσο και για το κράτος. Έτσι, σε τέτοιες περιπτώσεις, αποτελεί σύνηθες φαινόμενο η κάλυψη ενός μέρους του κόστους από την πλευρά του Δημοσίου. Με τον τρόπο αυτόν, το κράτος δίνει στον επενδυτή, ένα μέρος των ωφελειών που θα αποκομίσει από την υλοποίηση της συγκεκριμένης επένδυσης και κάνει την επένδυση πιο δελεαστική.

Έτσι λοιπόν, λαμβανομένων υπ' όψιν των σημαντικών ωφελειών που θα προσδώσει το Έργο στο κράτος και την κοινωνία και οι οποίες περιγράφηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, θα ήταν ιδιαίτερως εύλογη η υπόθεση να συμμετάσχει και το Δημόσιο με κάποιο ποσοστό στο κόστος κατασκευής του συγκεκριμένου έργου.

Στην ενότητα αυτή θα εξεταστούν οι επιπτώσεις στα οικονομικά μεγέθη του Έργου, εάν το κράτος αποφάσιζε να καλύψει το 25% του κόστους για την κατασκευή.

Με αυτό, λοιπόν, το δεδομένο, συνετάχθη ο ακόλουθος πίνακας ταμειακών ροών στον οποίον οι επενδύσεις κατά το χρόνο κατασκευής είναι απομειωμένες κατά 25%.

ΠΤΡ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟ

Με τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα, και με προεξοφλητικό επιτόκιο 8%, θα υπολογιστούν οι τιμές των τριών κριτηρίων για την αξιολόγηση της επένδυσης.

Έτσι λοιπόν, προκύπτουν τα εξής:

- NPV = 64.075.000€
- IRR = 17%
- Payback Period = 6 χρόνια

Εύκολα επομένως η επένδυση μπορεί προφανώς να χαρακτηριστεί ως αποδεκτή και ιδιαίτερος συμφέρουσα. Ακόμα, οι παραπάνω δείκτες παρουσιάζουν αρκετά καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με εκείνα του βασικού σεναρίου.

8. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

8.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Η ανάλυση των οικονομικών δεδομένων του Έργου που πραγματοποιήθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, βασίζεται κυρίως σε εκτιμήσεις και παραδοχές που στηρίζονται στις οικονομικές, κοινωνικές και πολιτικές συνθήκες που επικρατούν κατά την περίοδο συγγραφής της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας. Εφόσον όμως πρόκειται για μελλοντικές προβλέψεις, υπάρχει σημαντικός βαθμός αβεβαιότητας. Για το λόγο αυτό θα προσδιοριστούν οι κρίσιμες για το τελικό οικονομικό αποτέλεσμα μεταβλητές με την ανάλυση ευαισθησίας που ακολουθεί στο κεφάλαιο αυτό.

Οι Saltelli et al. (2008), ορίζουν την ανάλυση ευαισθησίας ως τη μελέτη επιμερισμού της αβεβαιότητας της εξόδου ενός μοντέλου, στην αβεβαιότητα των διαφόρων δεδομένων εισόδου. Σκοπός της είναι ο προσδιορισμός των κρισιμότερων μεταβλητών για την απόδοση μιας επένδυσης και συνήθως εστιάζει στις οριακές τιμές των μεταβλητών εκείνων.

Για την πραγματοποίηση μιας ανάλυσης ευαισθησίας, πρώτα υπολογίζεται η απόδοση της επένδυσης με βάση τις εκτιμήσεις του συντάκτη. Έπειτα, η τιμή μίας εκ των μεταβλητών που συμβάλλουν στη διαμόρφωση των αποτελεσμάτων μεταβάλλεται κατά διάφορα ποσοστά και υπολογίζεται η μεταβολή του τελικού αποτελέσματος. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τις υπόλοιπες βασικές μεταβλητές και έτσι διαπιστώνονται οι πλέον κρίσιμες για την απόδοση της επένδυσης.

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα πραγματοποιηθεί με την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου, μια ανάλυση ευαισθησίας για την υποθαλάσσια οδική ζεύξη Σαλαμίνας – Περάματος με επιπυθμένα σήραγγα. Συγκεκριμένα, θα εξεταστεί η μεταβολή των τιμών των βασικών κριτηρίων για την αξιολόγηση της επένδυσης (NPV και IRR) αν αλλάξουν οι τιμές των βασικών μεταβλητών (αρχικό κεφάλαιο, ετήσιες διελεύσεις, επιτόκιο προεξόφλησης).

Για την ανάλυση ευαισθησίας, χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας ταμειακών ροών που συμπληρώθηκε προηγουμένως και σε αυτόν μεταβλήθηκαν κατά -10 % και +10% οι τιμές των:

- Επενδύσεων
- Ετήσιων διελεύσεων
- Επιτοκίου προεξόφλησης

Με τις αλλαγές που σημειώθηκαν στον πίνακα ταμειακών ροών για κάθε μεταβολή καθεμιάς από τις παραπάνω μεταβλητές, υπολογίστηκε η Καθαρά Παρούσα Αξία και ο Εσωτερικός βαθμός απόδοσης.

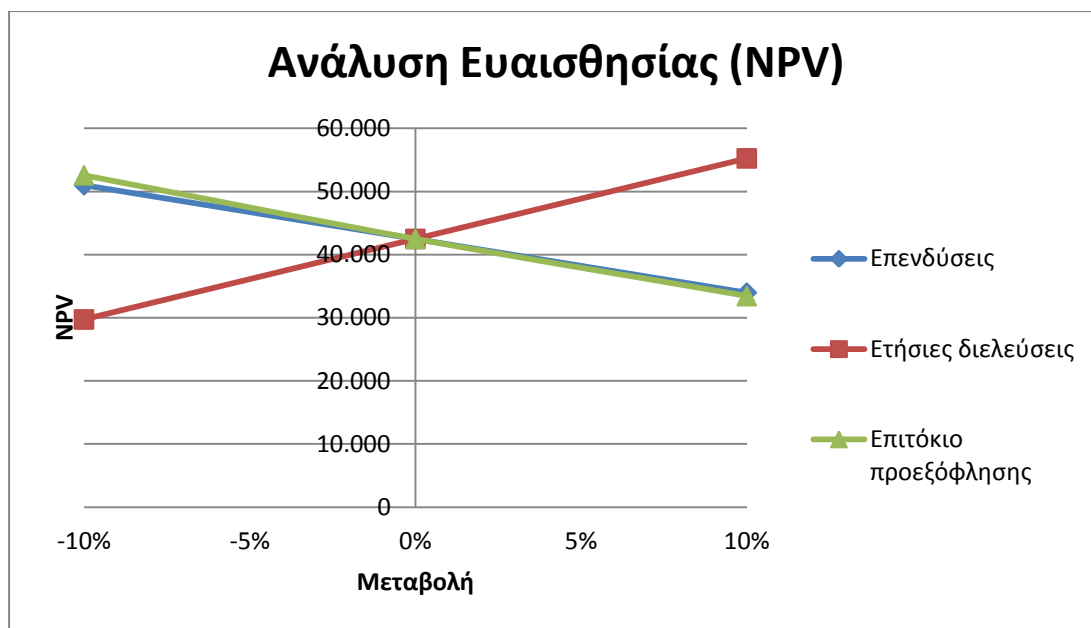
Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση ευαισθησίας περιγράφονται στη συνέχεια..

Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται οι μεταβολές της Καθαράς Παρούσας αξίας ανάλογα με τις αλλαγές στην τιμή κάθε μεταβλητής.

Πίνακας 8.8: Μεταβολές NPV

Μεταβλητή	-10%	0%	10%
Επενδύσεις	50.993	42.481	33.969
Ετήσιες διελεύσεις	29.721	42.481	55.241
Επιτόκιο προεξόφλησης	52.564	42.481	33.428

Πιο παραστατικά, οι μεταβολές που υφίσταται το NPV της συγκεκριμένης επένδυσης ανάλογα με τις αλλαγές στις τιμές των βασικότερων μεταβλητών, απεικονίζονται στον ακόλουθο πίνακα



Γράφημα 8.3: Μεταβολές NPV ανάλογα με τις τιμές των βασικών μεταβλητών

Με βάση το γράφημα αυτό, μπορεί να διαπιστωθεί πως η συγκεκριμένη επένδυση, έχει μεγάλη ευαισθησία στις αλλαγές και των τριών αυτών κύριων μεταβλητών. Πιο συγκεκριμένα, μεγαλύτερη ευαισθησία παρουσιάζει στη μεταβολή των συνολικών Ετήσιων Διελεύσεων, η καμπύλη των οποίων έχει τη μεγαλύτερη κλίση στο διάγραμμα.

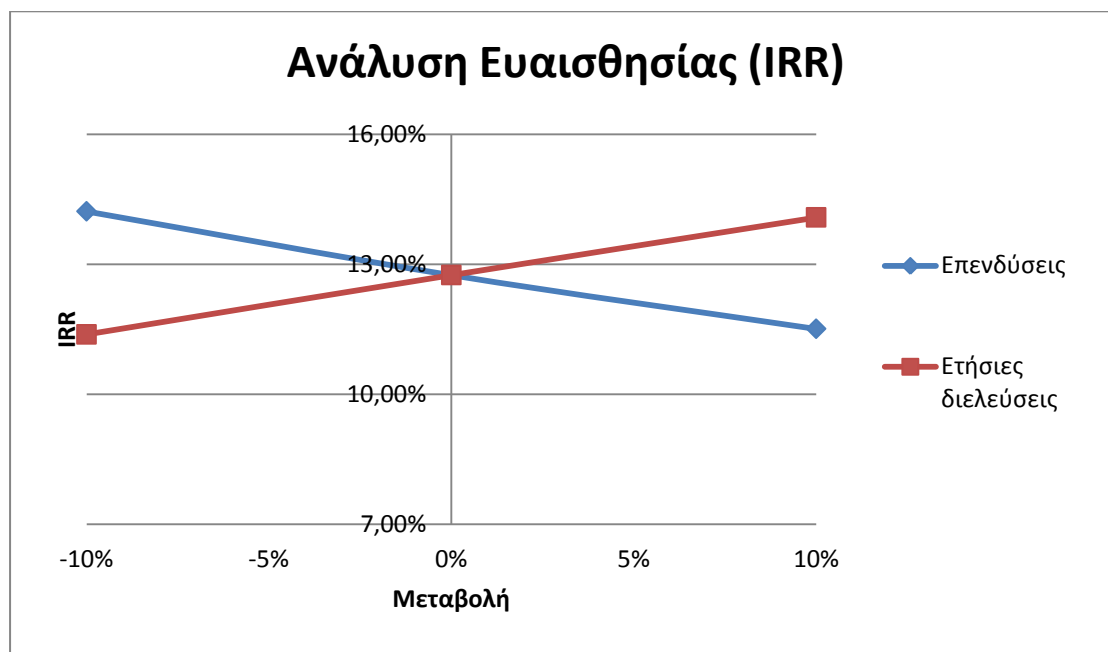
Για τον προσδιορισμό της μεταβολής του IRR, χρησιμοποιήθηκαν οι μεταβλητές «Επενδύσεις» και «Ετήσιες διελεύσεις» και όχι το προεξοφλητικό επιτόκιο, αφού δεν επηρεάζει τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης μιας επένδυσης.

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι μεταβολές του IRR ανάλογα με τις αλλαγές στις τιμές των βασικών μεταβλητών.

Πίνακας 8.9: Μεταβολές IRR

Μεταβλητή	-10%	0%	10%
Επενδύσεις	14,22%	12,75%	11,51%
Ετήσιες διελεύσεις	11,38%	12,75%	14,08%

Οι μεταβολές του εσωτερικού βαθμού απόδοσης της επένδυσης που επισημάνθηκαν στον προηγούμενο πίνακα, παρουσιάζονται και γραφικά στο γράφημα του ακολουθεί.



Γράφημα 8.4: Τιμές του IRR ανάλογα με τις μεταβολές των βασικών μεταβλητών

Από το παραπάνω διάγραμμα, φαίνεται πως οι μεταβολές του IRR ανάλογα με τις τιμές των Επενδύσεων και των Ετήσιων διελεύσεων είναι περίπου οι ίδιες, άρα αποτελούν σχεδόν εξίσου κρίσιμες μεταβλητές για την επιτυχία της επένδυσης.

8.2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ “MONTE CARLO”

Η πιθανολογική ανάλυση, προσφέρει πληροφορίες σχετικά με την πιθανότητα που αντιστοιχεί σε μια τιμή της απόδοσης της επένδυσης. Όπως αναφέρουν οι Καλιαμπάκος και Δαμίγος (2009), «σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, οι βασικές μεταβλητές δεν λαμβάνουν συγκεκριμένες τιμές αλλά τιμές από μια περιοχή, σε κάθε σημείο της οποίας αντιστοιχεί μια πιθανότητα. Έτσι, οι μεταβλητές λαμβάνονται με τη μορφή κατανομής πιθανότητας και η απόδοση υπολογίζεται για διάφορες ομάδες τιμών των μεταβλητών (οι οποίες παράγονται με τη βοήθεια των τυχαίων αριθμών) και παρέχεται επίσης με μορφή κατανομής πιθανότητας».

Μια μέθοδος πιθανολογικής ανάλυσης είναι και η προσομοίωση Monte Carlo. Συγκεκριμένα, η μέθοδος αυτή είναι ένα μοντέλο προσομοίωσης που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της απόδοσης επενδυτικών σχεδίων συμπεριλαμβανομένου του παράγοντα της αβεβαιότητας. Οι κατανομές των μεταβλητών εξαρτώνται από εξωγενείς μεταβλητές από τις οποίες καθορίζονται και οι ταμειακές ροές. Μέσω ενός λογισμικού, πραγματοποιείται δειγματοληψία ώστε να προκύψουν οι πιθανές κατανομές των κριτηρίων αξιολόγησης της χρηματοοικονομικής απόδοσης του σχεδίου. (Μαστρομιχαλάκης, 2015)

Για την εκτέλεση της προσομοίωσης Monte Carlo στην παρούσα διπλωματική εργασία, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Crystal Ball. Εκτελέστηκαν δύο προσομοιώσεις, μία με σταθερό επιτόκιο προεξόφλησης (8%) και μία δεύτερη όπου το επιτόκιο προεξόφλησης μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 8% και 12%.

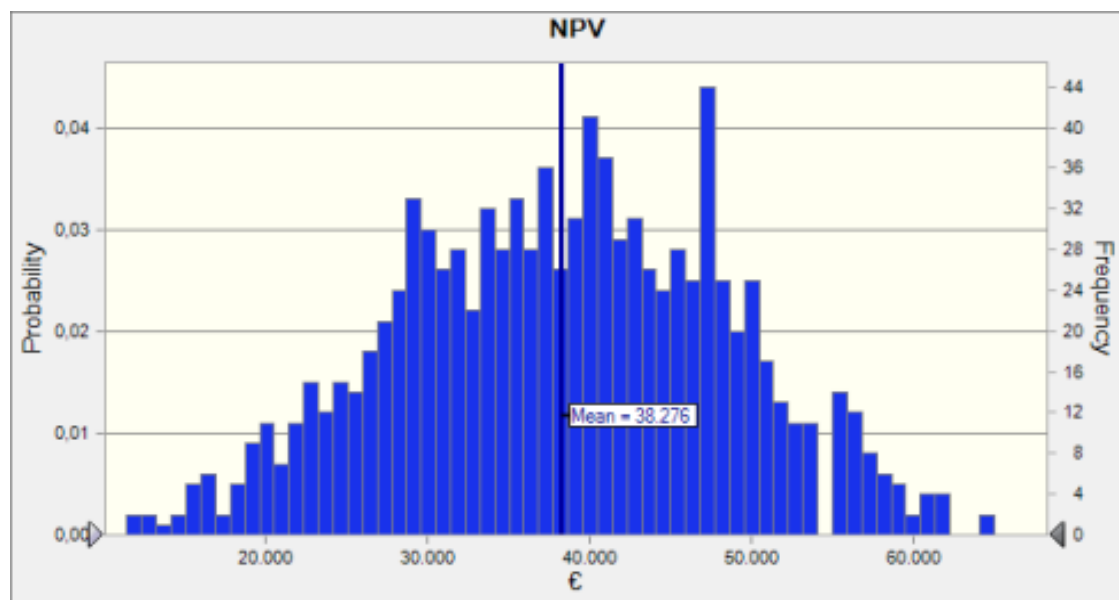
8.2.1. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ 1

Στην πρώτη προσομοίωση Monte Carlo, έγιναν οι εξής υποθέσεις:

- **Αριθμός διελεύσεων:**
 - Ελάχιστος: 65% των διερχόμενων οχημάτων με ferry boats σήμερα, δηλαδή 2.600.000 οχήματα

- Πιθανότερος: 75 % των οχημάτων των ferry boats, ήτοι 3.000.000
- Μέγιστος 85% των οχημάτων των ferry boats, ήτοι 3.400.000
- **Ύψος επενδύσεων**
 - Ελάχιστο: -10% της αρχικής εκτίμησης, δηλαδή 91.800.000
 - Πιθανότερο: 102.000.000
 - Μέγιστο: +10% της αρχικής εκτίμησης, δηλαδή 112.200.000
- **Μέσο κόστος διοδίων**
 - Ελάχιστο: 5,00 €
 - Πιθανότερο: 6,10 €
 - Μέγιστο: 6,60 €

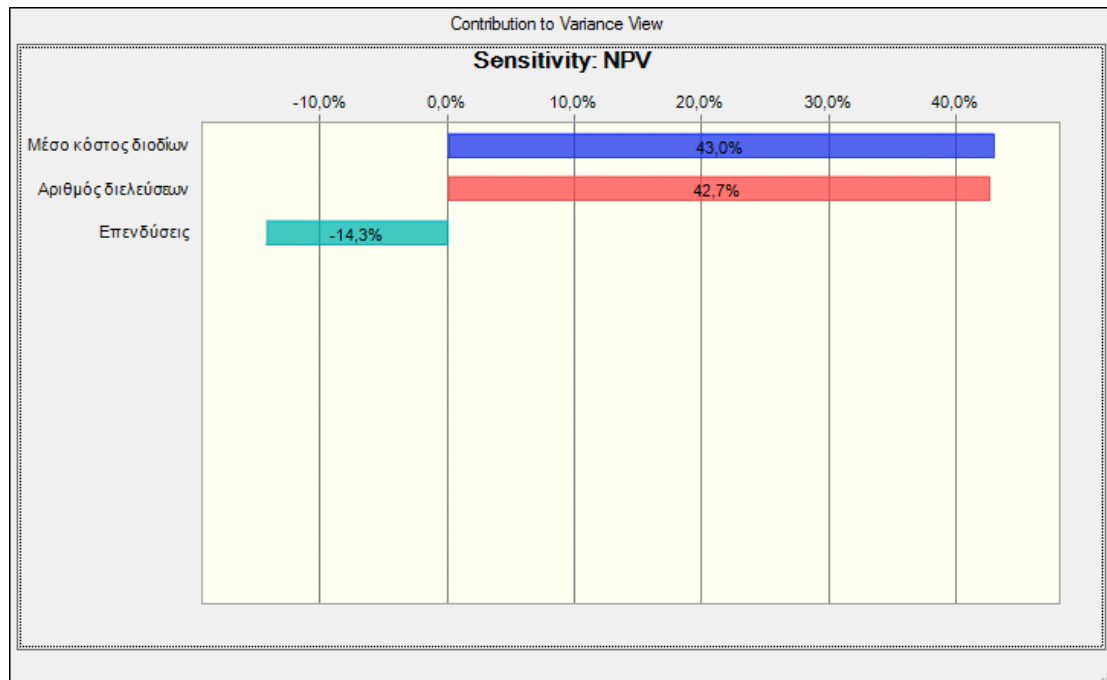
Με τις υποθέσεις αυτές και τον πίνακα ταμειακών ροών που έχει συνταχθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, έγινε η προσομοίωση Monte Carlo. Τα αποτελέσματα που έδωσε όσον αφορά το NPV του επενδυτικού σχεδίου, αποτυπώνονται στο ακόλουθο γράφημα:



Γράφημα 8.5: Αποτελέσματα Monte Carlo για NPV

Όπως φαίνεται στο παραπάνω γράφημα, το NPV κυμαίνεται μεταξύ 11,5 και 70 εκατομμυρίων ευρώ, και η μέση τιμή της είναι τα 38,3 εκατομμύρια. Η μέση τιμή που προκύπτει, βρίσκεται αρκετά κοντά στην τιμή που είχε προκύψει από τον πίνακα ταμειακών ροών του βασικού σεναρίου αυτής της εργασίας.

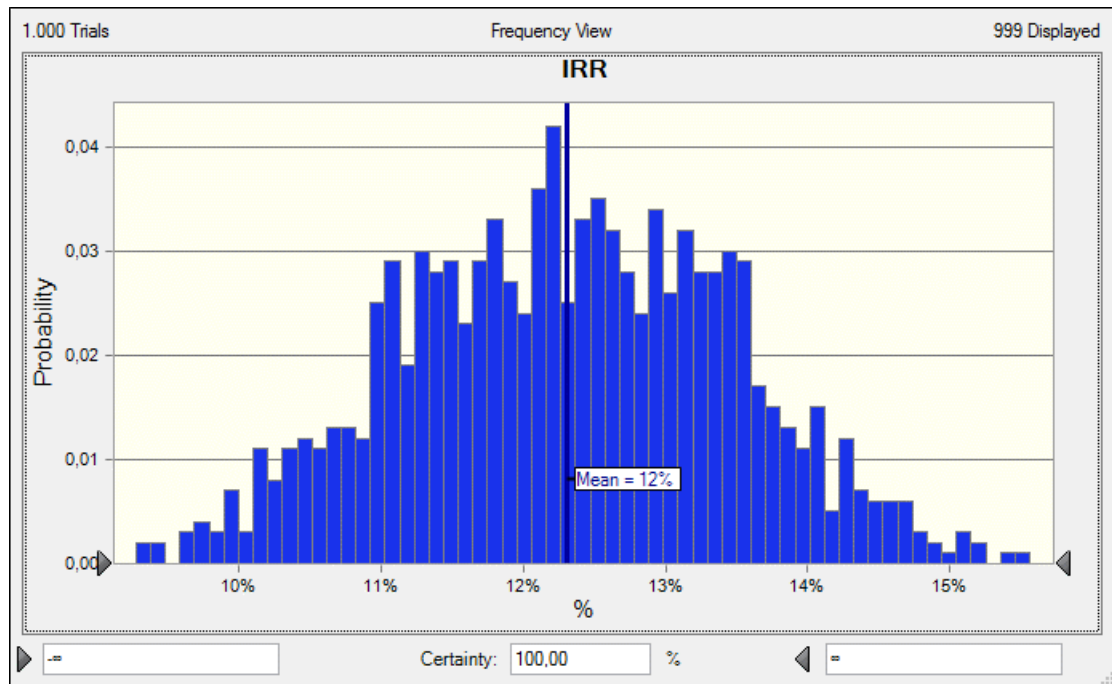
Στο ακόλουθο γράφημα, φαίνεται η ευαισθησία της Καθαρής Παρούσας Αξίας στις μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν.



Γράφημα 8.6: Ευαισθησία NPV

Από το παραπάνω διάγραμμα, διακρίνεται πως το μέσο κόστος των διοδίων και ο αριθμός των διελεύσεων είναι οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν το NPV.

Τα αποτελέσματα που αφορούν τον Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης της επένδυσης παρουσιάζονται στο παρακάτω γράφημα.



Γράφημα 8.7: Αποτελέσματα Monte Carlo Για IRR

Φαίνεται πως το IRR κυμαίνεται μεταξύ 9% και 16%, με μέση τιμή να είναι το 12% με βάση την προσομοίωση Monte Carlo. Και στο IRR, η μέση τιμή είναι πολύ κοντά στην τιμή που είχε προκύψει από τον πίνακα ταμειακών ροών του βασικού σεναρίου.

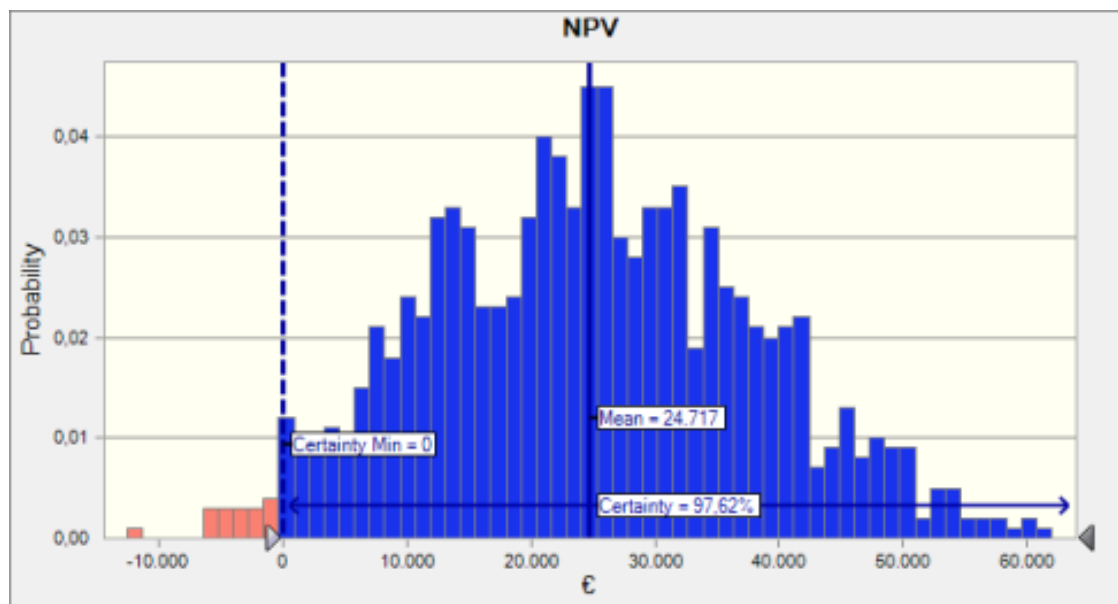
8.2.2. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ 2

Στην δεύτερη προσομοίωση Monte Carlo για την παρούσα διπλωματική εργασία, έγιναν οι εξής υποθέσεις:

- **Αριθμός διελεύσεων:**
 - Ελάχιστος: 65% των διερχόμενων οχημάτων με ferry boats σήμερα, δηλαδή 2.600.000 οχήματα
 - Πιθανότερος: 75 % των οχημάτων των ferry boats, ήτοι 3.000.000
 - Μέγιστος 85% των οχημάτων των ferry boats, ήτοι 3.400.000
- **Ύψος επενδύσεων**

- Ελάχιστο: -10% της αρχικής εκτίμησης, δηλαδή 91.800.000
 - Πιθανότερο: 102.000.000
 - Μέγιστο: +10% της αρχικής εκτίμησης, δηλαδή 112.200.000
- **Μέσο κόστος διοδίων**
 - Ελάχιστο: 5,00 €
 - Πιθανότερο: 6,10 €
 - Μέγιστο: 6,60 €
 - **Επιτόκιο προεξόφλησης**
 - Ελάχιστο: 8%
 - Πιθανότερο: 8%
 - Μέγιστο: 12%

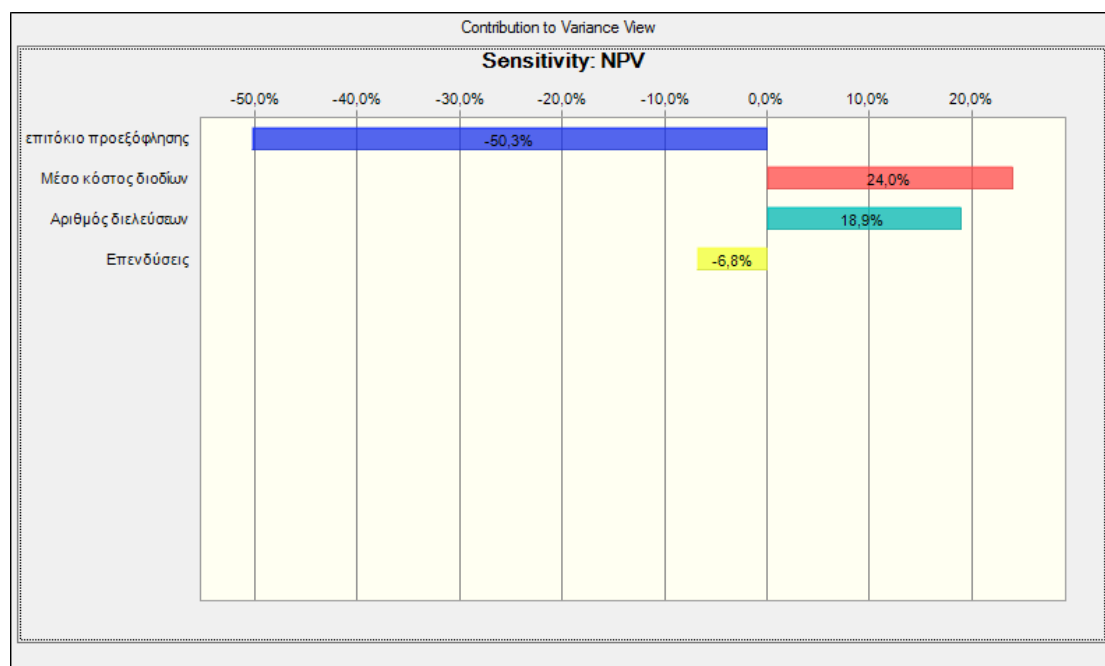
Με τις υποθέσεις αυτές και τον πίνακα ταμειακών ροών που έχει συνταχθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, έγινε και η δεύτερη προσομοίωση Monte Carlo. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν όσον αφορά το NPV του επενδυτικού σχεδίου, αποτυπώνονται στο ακόλουθο γράφημα



Γράφημα 8.8: Αποτελέσματα Monte Carlo για NPV (1)

Σε αυτή την προσομοίωση Monte Carlo, το NPV όπως φαίνεται και στο παραπάνω γράφημα, παίρνει και αρνητικές τιμές, δηλαδή υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες η επένδυση καθίσταται ασύμφορη. Συγκεκριμένα, οι τιμές του NPV κυμαίνονται από -18.700.000 ευρώ έως 66.500.000 ευρώ. Η μέση τιμή είναι 24.700.000 €, δηλαδή αρκετά μικρότερη από την τιμή που είχε υπολογιστεί για το NPV από τον πίνακα ταμειακών ροών του κεφαλαίου 7.

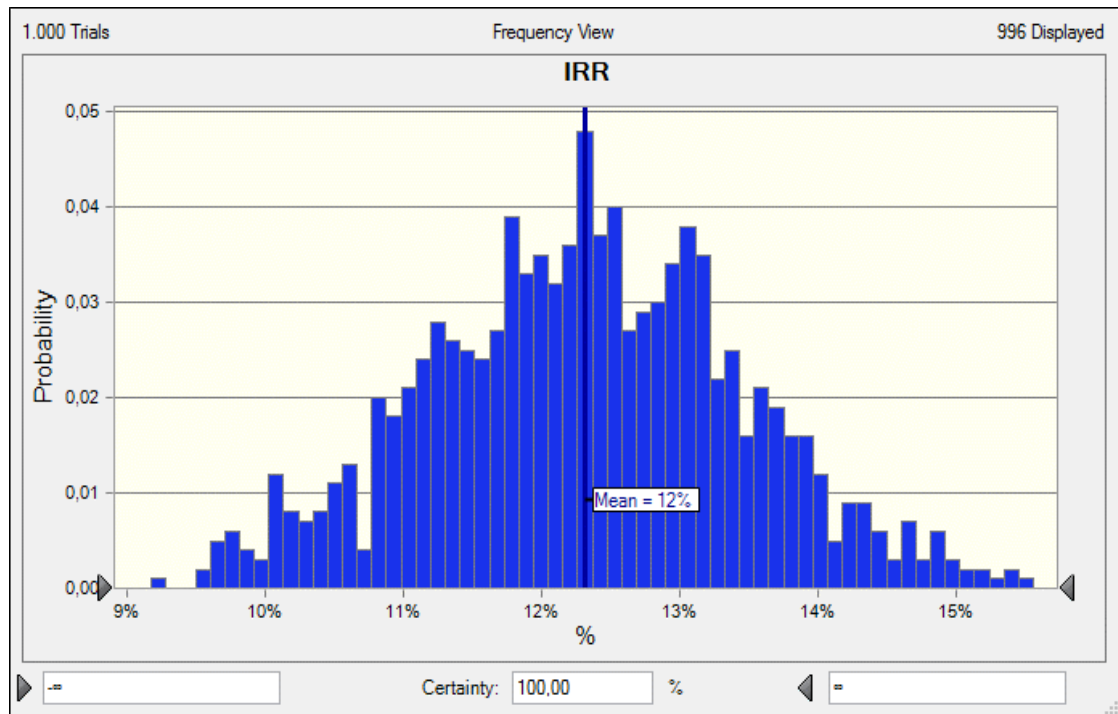
Ακολουθεί το διάγραμμα, που δείχνει σε τι ποσοστό καθόρισε η κάθε μεταβλητή τα αποτελέσματα για το NPV.



Γράφημα 8.9: Ευαισθησία NPV

Από το παραπάνω γράφημα, φανερώνεται πως για τη συγκεκριμένη προσομοίωση Monte Carlo, ο καθοριστικότερος παράγοντας διαμόρφωσης της Καθαρής Παρούσας Αξίας είναι το Επιτόκιο Προεξόφλησης.

Ακολουθώντας, παριστάνονται τα αποτελέσματα της Monte Carlo που σχετίζονται με το IRR:



Γράφημα 8.10: Αποτελέσματα Monte Carlo για IRR (2)

Όπως διακρίνεται, το IRR παίρνει τιμές μεταξύ 8 και 16% για τη προσομοίωση αυτήν ενώ η μέση τιμή του είναι 12%. Σε σχέση με την πρώτη προσομοίωση δεν υπάρχουν μεγάλες διαφοροποιήσεις στο IRR, καθώς δεν επηρεάζεται ουσιαστικά από το επιτόκιο προεξόφλησης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρείται ο προκαταρκτικός σχεδιασμός για την επίλυση των προβλημάτων που απορρέουν από την ακτοπλοϊκή σύνδεση της νήσου Σαλαμίνας με την Αττική με την κατασκευή μόνιμης οδικής ζεύξης από την ακτή του Περάματος στη νησίδα του Αγίου Γεωργίου η οποία συνδέεται με τεχνητό επίχωμα με τη Σαλαμίνα.

Αρχικά, παρουσιάζονται τα προβλήματα της ακτοπλοϊκής σύνδεσης και καταδεικνύεται η σκοπιμότητα κατασκευής μόνιμης οδικής ζεύξης. Στη συνέχεια, επισημαίνονται οι βασικοί παράγοντες που θα επηρεάσουν την επιλογή της ζεύξης όπως η γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν, η απόσταση μεταξύ των ακτών και οι ειδικοί περιορισμοί της περιοχής.

Στη συνέχεια περιγράφονται οι τρόποι ζεύξης πορθμών και με βάση τις ιδιαιτερότητες της περιοχής και τη φύση της κάθε πιθανής λύσης, επιλέγεται ο βέλτιστος τρόπος ζεύξης της Σαλαμίνας με το Πέραμα. Η λύση που προκρίνεται είναι η επιπυθμένα σήραγγα κυρίως λόγω της γεωλογίας, της απόστασης των ακτών και του σχετικά μικρού βάθους του πυθμένα.

Έπειτα, γίνεται ο σχεδιασμός της σήραγγας και επιλέγεται η βέλτιστη χάραξη και διατομή της με βάση όλα τα προαναφερθέντα. Το συνολικό της μήκος θα ανέρχεται σε 1,5 χιλιόμετρο περίπου ενώ το υποθαλάσσιο τμήμα της θα έχει μήκος περί τα 1,2 χιλιόμετρα. Λόγω του φόρτου, επιλέγονται 2 λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση ώστε να είναι λειτουργική και σε περιόδους αιχμής. Ακόμα, αναλύεται ο τρόπος κατασκευής της επιπυθμένας σήραγγας, με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία.

Μετά την το τεχνικό μέρος, πραγματοποιείται μια οικονομική ανάλυση του συγκεκριμένου επενδυτικού σχεδίου, ώστε να διαπιστωθεί η οικονομική της βιωσιμότητα. Αφού προσδιοριστούν το κόστος κατασκευής και οι ετήσιες δαπάνες για την λειτουργία και συντήρηση της σήραγγας και προσδιοριστούν τα αναμενόμενα έσοδα που θα προκύψουν από την είσπραξη του αντιτίμου των διοδίων, καταστρώνεται ο πίνακας ταμειακών ροών. Έπειτα, αξιολογείται η επένδυση με τη χρήση των κατάλληλων κριτηρίων (NPV και IRR), από

όπου προκύπτουν άκρως ενθαρρυντικά αποτελέσματα σχετικά με την απόδοση της επένδυσης.

Κλείνοντας, πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας για τον προσδιορισμό των σημαντικότερων μεταβλητών για την απόδοση του επενδυτικού σχεδίου, που όπως φαίνεται η πλέον κρίσιμη είναι ο συνολικός αριθμός διελεύσεων ανά έτος, και μία πιθανολογική ανάλυση με προσομοίωση Monte Carlo, από όπου εξάγεται η πιθανότητα πραγματοποίησης κάθε σεναρίου απόδοσης της επένδυσης.

Με βάση όλα τα παραπάνω, γίνεται αντιληπτό ότι η κατασκευή της επιπυθμένης οδικής σήραγγας που θα συνδέει τη νήσο Σαλαμίνα με την ακτή του Περάματος, είναι ταυτόχρονα επωφελής για τους κατοίκους της περιοχής και τους διερχομένους, 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 κυκλοφοριακή συμφόρηση θα μειωθεί. 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 της σήραγγας, πρόκειται για ένα σημαντικό έργο που είναι δυνατόν να κατασκευαστεί αφού η υπάρχουσα τεχνογνωσία καθώς και ο διαθέσιμος εξοπλισμός εντός της χώρας είναι επαρκείς. Επίσης, μπορεί μαζί με την επιπυθμένα σήραγγα Ακτίου – Πρέβεζας να αποτελέσουν παραδείγματα για τη συστηματικότερη υποθαλάσσια σύνδεση πορθμών (και ειδικότερα νησιών) 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.

Έτσι, φαίνεται πως οι συνθήκες είναι αρκετά ευνοϊκές για την υλοποίηση του συγκεκριμένου έργου, το οποίο κατά τη λειτουργία του θα βοηθήσει στην ανάπτυξη της Σαλαμίνας αλλά και στην αποσυμφόρηση του Περάματος, θα

διευκολύνει τους διερχόμενους και βέβαια θα ωφελήσει το κράτος τόσο άμεσα (φορολογία), όσο και έμμεσα(ανάπτυξη της περιοχής, μείωση ανεργίας, αύξηση των εσόδων από αύξηση της αγοράς κ.α.)

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, λοιπόν, προτείνει την υλοποίηση του σχεδίου κατασκευής επιτυθμένης οδικής σήραγγας για τη ζεύξη της Σαλαμίνας με το Πέραμα.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Ahrens D (1997). “Submerged Floating Tunnels – A concept whose time has arrived”, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.12, No.2, pp 317 – 336, Great Britain
- Brealey R., Myers S. and Allen F. (2011). “Principles of Corporate Finance”, New York : Mc Graw – Hill / Irwin
- Eisenstein Z.D. (1994). “Large Undersea Tunnels and the Progress of Tunnelling Technology”, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.9, No. 3, pp 283 – 292, Great Britain
- Gursoy A. (1995). “Immersed Steel Tube Tunnels: An American Experience”, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.10, No. 4, pp439 – 453, Great Britain
- ITA Working Group 11 for Immersed and Floating Tunnels (2016). “An Owners Guide to Immerse Tunnels”,
- Ingerslev C. (2010). “Immersed and floating tunnels”, Procedia engineering 4: 51 – 59
- Lunniss R. and Baber J. (2013), “Immersed Tunnels”, Boca Raton: CRC Press
- N. Munfah and Y. Tarhan (2015) “The Design and Construction of Steel Immersed Tube Tunnels: An American Technology”, Immersed tunnel techniques, The Institution of Civil Engineers
- 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
- OECD (2017), Purchasing power parities (PPP) (indicator). doi: 10.1787/1290ee5a-en (Accessed on 08 February 2017)
- OECD (2017), Inflation (CPI) (indicator). doi: 10.1787/eee82e6e-en (Accessed on 08 February 2017)
- Palmstrom A (1994). “The Challenge of Subsea Tunnelling”, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.9, No.2, p.145-150

- Rasmussen N. (1997). “Concrete Immersed Tunnels – Forty Years of Experience”, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.12, No.1, pp 33 – 46, Great Britain
- Ross S., Westerfield R. and Jordan B. (2010). “Fundamentals of Corporate Finance” (9th edition), New York: Mc Graw – Hill / Irwin
- Saltelli A., Rato M., Andres T., Campolongo F., Cariboni J., Gatelli D., Saisana M. and Tarantola S. (2008). “Global Sensitivity Analysis. The Primer”, Chichester : John Wiley & Sons Ltd
- Wahlstrom E. (1973) “Tunneling in Rock”, Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αντωνίου Β (2000), “Οι Γεωπεριβαλλοντικές Συνθήκες του Λεκανοπεδίου Αθηνών με Χρήση Πληροφοριακών Συστημάτων”, Διδακτορική Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών – Γενικό Τμήμα
- Καλιαμπάκος Δ. και Δαμίγος Δ. (2009), “Σημειώσεις Μαθήματος: Τεχνο – Οικονομική Αξιολόγηση Υπογείων Έργων”, Αθήνα: ΕΜΠ, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών
- Κωνσταντινίδης Δ (2012). “Γεφυροποιία”, Αλεξάνδρειο ΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής
- Μαστρομιχαλάκης Ν. (2015), “Αξιολόγηση Επενδύσεων με τη Μέθοδο Monte Carlo”, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Αθήνα
- Λιώρης Λ., Παπαχαραλάμπους Ν. (2016), «Υποθαλάσσια ζεύξη Σαλαμίνας – Περάματος», Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Σχολή Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Αθήνα
- Πετράκης Π. (2007), «Αξιολόγηση Επενδύσεων», Αθήνα : Ζαχαρόπουλος και Πετράκης
- 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.)

- Σοφιανός Α (2011). “Τεχνικές διάνοιξης σηράγγων”, Αθήνα: ΕΜΠ, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών
- Τάταρης Α. (1966). “Νεώτεροι Έρευναι επί της Δομής της Νήσου Σαλαμίνας και της Απέναντι Περιοχής του Περάματος (Αττική)”, Πρόδρομος ανακοίνωση. Δ.Ε.Γ.Ε. VII/1, 35 – 51
- Τάταρης Α (1972). “Νεότερα Πορίσματα επί της Γεωλογίας της Νήσου Σαλαμίνας και της Περιοχής Αττικής”, Δελτίο Ελληνικής Γεωλογική Εταιρείας, σελ. 482 – 509
- Τάταρης Α. και Σίδερης Χ. (1989). “Γεωλογική Δομή του Νοτ. Αιγάλεω και Συσχετισμός Προς την Απέναντι Περιοχή της Σαλαμίνας”, Δ.Ε.Γ.Ε., XXIII/1, 303 - 320
- Τσιαμπάος Κ (2012). “Η Υποθαλάσσια Σήραγγα Σαλαμίνας – Περάματος: Γεωλογικές, γεωτεχνικές και σεισμοτεκτονικές έρευνες”, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Σχολή Μηχ. Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Αθήνα