



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ- ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ανάπτυξη μοντέλου πρόβλεψης κόστους εκσκαφής και
προσωρινής υποστήριξης σηράγγων**

ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΠΟΥΛΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Δαμίγος Δημήτριος, Επίκ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ- ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ανάπτυξη μοντέλου πρόβλεψης κόστους εκσκαφής και
προσωρινής υποστήριξης σηράγγων**

ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΠΟΥΛΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις:

Δαμίγος Δημήτριος, Επίκ. Καθηγητής Ε.Μ.Π. (Επιβλέπων).....

Μιχαλακόπουλος Θεόδωρος, Επίκ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.....

Μπενάρδος Ανδρέας, Λέκτορας Ε.Μ.Π.....

Αθήνα, Μάρτιος 2012

Copyright© Χρήστος Χριστοδουλόπουλος, 2012

Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η ανάπτυξη ενός μοντέλου εκτίμησης του κόστους εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης σηράγγων στον ελλαδικό χώρο. Η εγγενής αβεβαιότητα που εμφανίζεται στα γεωτεχνικά έργα, αναδεικνύει τη σημασία πρόβλεψης κόστους και καθιστά επιτακτική ανάγκη την αποτελεσματικότερη διαχείριση των κινδύνων, ώστε να αντιμετωπιστούν προβλήματα που σχετίζονται με τις υπερβάσεις του κόστους και των χρονοδιαγραμμάτων των έργων.

Ειδικότερα, αναλύοντας έργα κατασκευής σηράγγων, που ολοκληρώθηκαν ή ολοκληρώνονται, στην Ελλάδα την τελευταία 15ετία, συσχετίζονται κατασκευαστικοί και γεωτεχνικοί παράγοντες με το κόστος εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης και, ακολούθως, αναπτύσσεται το μοντέλο πρόβλεψης του κόστους με χρήση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης.

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα καταρχήν να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Δαμίγο Δημήτριο, Επίκ. Καθηγητή Ε.Μ.Π., που μου ανέθεσε το συγκεκριμένο θέμα, για τη συνεχή καθοδήγησή του, για τις πολύτιμες συμβουλές και παρατηρήσεις του, για το χρόνο του και, κυρίως, για την αμέριστη εμπιστοσύνη του.

Ευχαριστώ, επίσης, θερμά, τον κ. Αθανάσιο Τσαπικούνη, Επιβλέποντα Μηχανικό στο έργο Τράπεζας-Πλατάνου, Διεύθυνση Έργων Ι, ΕΡΓΟΣΕ, τόσο για τις τεχνικές υποδείξεις του, όσο και για την πολύτιμη συμπαράσταση που μου παρείχε.

Αντί epilόγου, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Γονείς μου, Αθανάσιο Χριστοδουλόπουλο και Κυριακή Χριστοδουλοπούλου-Βαμβακά, για τη στήριξη που μου παρείχαν τόσο πριν όσο και κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου στο Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2012

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αβεβαιότητα ως προς τις γεωλογικές συνθήκες, η επικινδυνότητα του περιβάλλοντος εργασίας και άλλοι απρόβλεπτοι συχνά, παράγοντες είναι οι βασικές παράμετροι που οδηγούν σε υπερβάσεις του εκτιμώμενου κόστους κατασκευής και του προγραμματιζόμενου χρονοδιαγράμματος των υπόγειων έργων. Είναι χαρακτηριστικό ότι, σε διεθνές επίπεδο, ο ασφαλιστικός κλάδος δέχθηκε από τον κλάδο της κατασκευής σηράγγων το 2001, απώλειες της τάξης του 500% έναντι των οφελών των συμβολαίων ασφάλισης. Σε αυτήν τη κατεύθυνση καταβάλλονται, τα τελευταία χρόνια, προσπάθειες για την αποτελεσματικότερη διαχείριση των κινδύνων αυτών. Σημαντικό ρόλο στην προσπάθεια αυτή διαδραματίζει και η εκτίμηση του κόστους του έργου, αξιοποιώντας τη σωρευμένη εμπειρία και γνώση σε συνδυασμό με μαθηματικά μοντέλα.

Η παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρεί να διερευνήσει το κόστος διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης οδικών/σιδηροδρομικών σηράγγων στον ελλαδικό χώρο. Για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από πρόσφατη ερευνητική εργασία που εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Μεταλλευτικής Τεχνολογίας και Περιβαλλοντικής Μεταλλευτικής και νέα στοιχεία που συλλέχθηκαν από τις σήραγγες Πλατάνου και Τράπεζας. Από την ανάλυση των δεδομένων προκύπτει ότι το κόστος διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης κυμαίνεται μεταξύ 32-114 €/m³ (χωρίς Ο.Ε. & Γ.Ε. και χωρίς ΦΠΑ) και 4.000 – 13.000 €/μ.μ. (χωρίς Ο.Ε. & Γ.Ε. και χωρίς ΦΠΑ), συναρτήσει της κατηγορίας της βραχώμαζας. Ωστόσο, το μεγάλο εύρος διακύμανσης και η υψηλή τυπική απόκλιση, ακόμη και μεταξύ σηράγγων που εντάσσονται στην ίδια κατηγορία από πλευράς βραχώμαζας, αναδεικνύουν ότι ο μεγάλος βαθμός αβεβαιότητας δεν σχετίζεται μόνο με τα χαρακτηριστικά του γεωλογικού περιβάλλοντος αλλά και με άλλους παράγοντες, ενδεχομένως και θεσμικής φύσεως.

Τα μοντέλα πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης επιβεβαιώνουν την αρχική υπόθεση εργασίας περί σημαντικότητας των χαρακτηριστικών του γεωλογικού μέσου και της γεωμετρίας της εκσκαφής και παρέχουν ένα βοήθημα στην προσπάθεια της καταρχήν εκτίμησης του εν λόγω κόστους. Όμως, θα απαιτηθούν επιπλέον προσπάθειες στο μέλλον για τη διαμόρφωση ενός αποτελεσματικότερου μοντέλου από πλευράς πρόβλεψης.

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία δομείται ως ακολούθως:

- Το Κεφάλαιο 1 πραγματεύεται την έννοια του Έργου και της Διαχείρισης Έργου, και τους Νόμους που διέπουν τη Διαχείριση Έργου. Επιπλέον, εισάγεται η έννοια του Κύκλου Ζωής του Έργου.
- Το Κεφάλαιο 2 περιέχει θεωρητικές πληροφορίες σχετικά με τη Διαχείριση Κινδύνου. Η προσέγγιση της αβεβαιότητας και του ρίσκου περιγράφονται μέσω της έννοιας της πιθανότητας. Εισάγεται η Διαχείριση Κινδύνου, η έννοια της Μεθόδου Παρατήρησης και περιγράφονται συνοπτικά τα Μοντέλα Αβεβαιότητας.
- Το Κεφάλαιο 3 εισάγει την έννοια του Κόστους και των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την εκτίμησή του στα τεχνικά έργα. Παρουσιάζεται, επίσης, η έννοια της Κοστολόγησης/Τιμολόγησης και γίνεται ειδικότερη αναφορά στο σύστημα Τιμολόγησης των Ελληνικών Δημόσιων Έργων. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα Μοντέλα Εκτίμησης Κόστους και το Κεφάλαιο ολοκληρώνεται με παρουσίαση της διακύμανσης του Κόστους σε διάφορα έργα, σε παγκόσμια κλίμακα.
- Το Κεφάλαιο 4 ασχολείται με την περιγραφή του έργου κατασκευής των σιδηροδρομικών σηράγγων Πλατάνου & Τράπεζας. Εκτός από την αναφορά οικονομικών στοιχείων, όπως ο Προϋπολογισμός του Έργου, παρουσιάζονται ακόμα η Στρωματογραφία, οι Τεχνικογεωλογικές συνθήκες των δύο Σηράγγων, η Ταξινόμηση της Βραχομάζας, οι Τυπικές Διατομές των δύο Σηράγγων, καθώς και τα μέτρα Διάνοιξης και Προσωρινής Υποστήριξης.
- Στο Κεφάλαιο 5 αναλύονται τα τεχνικά και οικονομικά δεδομένα των σηράγγων Πλατάνου & Τράπεζας, συνδυαστικά με τα δεδομένα άλλων πέντε σηράγγων. Η επεξεργασία τους συσχετίζει τους γεωτεχνικούς παράγοντες και τις γεωλογικές συνθήκες με το κόστος διάνοιξης & υποστήριξης σηράγγων (κόστος διάνοιξης ανά μέτρο μήκους, €/μ.μ., και ανά κυβικό μέτρο, €/m³) σε τιμές μονάδος 2011. Στη βάση των στοιχείων αυτών εκτιμάται και το βέλτιστο μοντέλο εκτίμησης του κόστους διάνοιξης & υποστήριξης.
- Το Κεφάλαιο 6 περιλαμβάνει τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την έρευνα. Τα αποτελέσματα της έρευνας αποτελούν προτάσεις προς μελλοντική αξιοποίηση και περαιτέρω μελλοντική ανάπτυξη.

ABSTRACT

The uncertainty due to geological conditions, the risk of the working environment and other unforeseen factors, are the key parameters related to cost overrun of the estimated construction cost and excess in the time schedule of underground projects. It is characteristic that, on an international scale, the insurances sector has suffered losses up to 500% against premiums earned in 2001. Towards this direction, efforts have been made during the last years for an effective management of these risks. The estimation of project costs plays a major role, utilizing the accumulated experience and knowledge combined with mathematical models.

This Thesis focuses on analyzing the cost of excavation and temporary support for road/railway tunnels in the Greek territory, using data from a recent research work conducted at the Laboratory of Mining and Environmental Technology and new data gathered from Platanos and Trapeza tunnels. Data analysis suggests that the cost for excavation and temporary support ranges from 32-114 €/m³ (excluding Overhead & Contractor's profit and VAT) to 4.000 – 13.000 €/m (excluding Overhead & Contractor's profit and VAT), depending on the classification of rock mass. However, the wide range of variation and the high standard deviation of cost estimates, even among tunnels of the same classification of rock mass, show that a great degree of uncertainty is related not only with geological conditions, but also with other factors, possibly of institutional nature.

Multiple linear regression models confirm the initial hypothesis on the significance of the geological characteristics and the geometry of the excavation and provide a useful tool in conducting preliminary cost estimates. However, additional efforts will be needed in the future to formulate an effective model in terms of accuracy.

The present Thesis is structured as follows:

- Chapter 1 discusses the concepts of Project and Project Management, as well as the rules that regulate Project Management. Furthermore, the concept of Life Cycle Cost (LCC) is introduced.
- Chapter 2 serves as a theoretical base on Risk Management. An approach of Uncertainty and Risk is given, through the concept of probability. Introduction of Risk Management, the concept of Observation method and Uncertainty Models are also discussed.

- Chapter 3 deals with the concept of Cost and the methods used to assess it on technical projects. The concept of Cost Estimating/Invoicing is presented, while there is a reference on the Greek Public Works billing system, followed by an approach of the Cost Estimation Models. The Chapter concludes with a presentation of the variability of cost in various projects on a global scale.
- Chapter 4 describes the construction project of Platanos and Trapeza tunnels. Not only is the financial status of the project reported, such as the project budget, but also the technical status of the project as well, covering aspects varying from stromatography to the geotechnical conditions, and from the classification of rock mass to measures of excavation and temporary support.
- Chapter 5 analyzes the acquired data from Platanos and Trapeza tunnels combined with data from other five tunnels in the Greek area. The analysis relates geotechnical factors and geological conditions with excavating and supporting tunneling cost (tunneling cost per meter, €/m, and per cubic meter, €/m³) in 2011 unit prices. On the basis of these data, the best model for estimating the cost of excavating and supporting tunnels is formulated.
- Chapter 6 discusses the conclusions drawn from research. Current results suggest further research and future development.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΡΓΟ – ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ	2
1.1	Η έννοια του Έργου και της Διαχείρισης Έργου	2
1.2	Οι Νόμοι της Διαχείρισης Έργου	4
1.3	Φάσεις του Έργου	5
1.4	Ο Κύκλος Ζωής του Έργου.....	7
1.4.1	Η αναγκαιότητα ανάλυσης του Κόστους του Κύκλου ζωής του έργου	7
1.4.2	Η χρήση του μοντέλου Κόστους του Κύκλου ζωής.....	10
1.4.3	Αβεβαιότητα των Μοντέλων Κόστους Κύκλου Ζωής.....	11
1.5	Η Διάρθρωση του Έργου	14
2.	ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ.....	22
2.1	Κίνδυνοι και αβεβαιότητα.....	24
2.2	Η Φύση της Αβεβαιότητας.....	25
2.3	Τεχνικές Διαχείρισης Κινδύνου	26
2.4	Διαχείριση Κινδύνου	32
2.5	Πλεονεκτήματα Διαχείρισης Κινδύνου.....	35
3.	ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΕΡΓΩΝ	37
3.1	Η Έννοια του Κόστους – Κοστολόγηση /Τιμολόγηση	37
3.2	Ταξινόμηση του Κόστους	38
3.3	Διαχείριση Κόστους του Έργου	43
3.4	Είδη Κόστους Κατασκευής.....	44
3.5	Παράγοντες που επηρεάζουν το Κόστος Κατασκευής	45
3.6	Κόστος κατά τις φάσεις του Έργου.....	46
3.7	Κόστος Κατασκευής Σηράγγων	47
3.8	Τιμολόγηση Δημόσιων Έργων.....	48
3.8.1	Ισχύον σύστημα προκοστολόγησης έργων	48
3.8.2	Τα Νέα Ενιαία Τιμολόγια (NET)	52
3.8.3	Στόχοι προκοστολόγησης έργων	54
3.9	Μοντέλα Εκτίμησης Κόστους.....	56
3.9.1	Μοντέλα ανάλυσης παλινδρόμησης.....	57
3.9.2	Μοντέλα συλλογιστικής βασισμένης σε περιπτώσεις.....	58
3.9.3	Νευρωνικά Δίκτυα	60
3.9.4	Σύγκριση των Μοντέλων Εκτίμησης Κόστους	62
3.10	Αναλύσεις Κόστους σε Παγκόσμια Κλίμακα	62
4.	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ-ΠΛΑΤΑΝΟΥ	70
4.1	Περιγραφή του έργου κατασκευής Σιδηροδρομικής Σήραγγας Πλατάνου -Τράπεζας....	70
4.2	Προϋπολογισμός Έργου.....	73

4.3	Σήραγγα Πλατάνου	75
4.3.1	Στρωματογραφία	77
4.3.2	Τεχνικογεωλογικές συνθήκες Σήραγγας Πλατάνου.....	79
4.3.3	Ταξινόμηση Βραχομάζας.....	83
4.3.4	Τυπικές Διατομές της Σήραγγας Πλατάνου	86
4.3.5	Διάνοιξη και προσωρινή υποστήριξη της Σήραγγας Πλατάνου	89
4.4	Σήραγγα Τράπεζας.....	93
4.4.1	Στρωματογραφία	97
4.4.2	Τεχνικογεωλογικές συνθήκες Σήραγγας Τράπεζας.....	97
4.4.3	Τυπικές Διατομές της Σήραγγας Τράπεζας.....	101
4.4.4	Διάνοιξη και προσωρινή υποστήριξη της Σήραγγας Τράπεζας	104
4.5	Συμβατικό Χρονοδιάγραμμα Εκτέλεσης των Εργασιών.....	106
5.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ.....	108
5.1	Μελέτη Κόστους Διάνοιξης και Προσωρινής Υποστήριξης	108
5.2	Συσχέτιση Κόστους Διάνοιξης και Γεωλογικών Συνθηκών	110
5.3	Ανάλυση Κόστους Διάνοιξης με Αναθεωρημένες Τιμές Μονάδος 2011	116
5.4	Σύγκριση και Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων	119
5.4.1	Συσχέτιση Μήκους Σήραγγας με Μέσο Κόστος Διάνοιξης.....	128
5.4.2	Συσχέτιση Κόστους ανά Κατηγορία Διάνοιξης και Προσωρινής Υποστήριξης....	129
5.4.3	Διαμόρφωση μοντέλου εκτίμησης Κόστους Διάνοιξης και Προσωρινής Υποστήριξης.....	138
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	140

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.	Ορισμοί Τυπικής Ανάλυσης Κινδύνου	23
Πίνακας 2.	Αναλυτικός Προϋπολογισμός Υπηρεσίας βάσει των NET	55
Πίνακας 3.	Συνοπτικός Προϋπολογισμού βάσει NET	56
Πίνακας 4.	Υπέρβαση κόστους ανά κύριο κατασκευαστικό έργο	63
Πίνακας 5.	Απόκλιση από το προβλεπόμενο κόστος ανά κατηγορία έργου	68
Πίνακας 6.	Απόκλιση από το καθορισμένο κόστος ανά γεωγραφική περιοχή.....	69
Πίνακας 7.	Προϋπολογισμός Σηράγγων Πλατάνου –Τράπεζας.....	74
Πίνακας 8.	Αποτελέσματα ταξινόμησης βραχομάζας σε τεχνικογεωλογικές ενότητες.	85
Πίνακας 9.	Αποτελέσματα ταξινόμησης βραχομάζας κατά GSI.....	85
Πίνακας 10.	Αγκύρια στις Τυπικές Διατομές Νεογενών.....	91
Πίνακας 11.	Αγκύρια στις Τυπικές Διατομές Τράπεζας	106
Πίνακας 12.	Κόστος διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ελληνικών σηράγγων (χωρίς ΦΠΑ).	109
Πίνακας 13.	Κατηγορίες διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης ως προς την ποιότητα βραχομάζας.	111
Πίνακας 14.	Καταγραφή σηράγγων κατηγορίας Α	112
Πίνακας 15.	Καταγραφή σηράγγων κατηγορίας Β.....	113
Πίνακας 16.	Καταγραφή σηράγγων κατηγορίας Γ.....	114
Πίνακας 17.	Καταγραφή σηράγγων κατηγορίας Δ.....	115
Πίνακας 18.	Καταγραφή σηράγγων κατηγορίας Ε.....	116
Πίνακας 19.	Αναθεωρημένο Κόστος Εκσκαφής & Προσωρινής Υποστήριξης σύμφωνα με τις τυπικές διατομές που εφαρμόστηκαν στη σήραγγα Πλατάνου.....	117
Πίνακας 20.	Αναθεωρημένο Κόστος Εκσκαφής & Προσωρινής Υποστήριξης σύμφωνα με τις τυπικές διατομές που εφαρμόστηκαν στη σήραγγα Τράπεζας	119
Πίνακας 21.	Συγκεντρωτική Ανάλυση κόστους ανά κυβικό μέτρο ($\text{€}/\text{m}^3$) διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ανά κατηγορία διάνοιξης στις 7 υπό μελέτη σήραγγες (οι τιμές περιλαμβάνουν Ο.Ε. & Γ.Ε. 18%).....	120
Πίνακας 22.	Συγκεντρωτική Ανάλυση κόστους ανά κυβικό μέτρο ($\text{€}/\text{m}^3$) διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ανά κατηγορία διάνοιξης στις 7 υπό μελέτη σήραγγες (οι τιμές δεν περιλαμβάνουν Ο.Ε. & Γ.Ε. 18%).....	122
Πίνακας 23.	Συγκεντρωτική Ανάλυση κόστους ανά μέτρο μήκους ($\text{€}/\mu.\mu.$) διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ανά κατηγορία διάνοιξης στις 7 υπό μελέτη σήραγγες (οι τιμές περιλαμβάνουν Ο.Ε. & Γ.Ε. 18%).....	124
Πίνακας 24.	Συγκεντρωτική Ανάλυση κόστους ανά μέτρο μήκους ($\text{€}/\mu.\mu.$) διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ανά κατηγορία διάνοιξης στις 7 υπό μελέτη σήραγγες (οι τιμές δεν περιλαμβάνουν Ο.Ε. & Γ.Ε. 18%).....	126
Πίνακας 25.	Μέσο Αναθεωρημένο κόστος διάνοιξης ανά κατηγορία ανά κυβικό μέτρο ($\text{€}/\text{m}^3$) και ανά μέτρο μήκους ($\text{€}/\mu.\mu.$)	128

Πίνακας 26. Κόστος ανά κυβικό μέτρο ($\text{€}/\text{m}^3$) ανά κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης στις 7 υπό μελέτη σήραγγες (οι τιμές περιλαμβάνουν Ο.Ε. & Γ.Ε. 18%).....	130
Πίνακας 27. Κόστος ανά μέτρο μήκους ($\text{€}/\mu.\mu.$) ανά κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης στις 7 υπό μελέτη σήραγγες (οι τιμές περιλαμβάνουν Ο.Ε. & Γ.Ε. 18%)	132
Πίνακας 28. Μέσο κόστος ανά κυβικό μέτρο ($\text{€}/\text{m}^3$) ανά κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης στις 7 υπό μελέτη σήραγγες (οι τιμές περιλαμβάνουν Ο.Ε. & Γ.Ε. 18%)	134
Πίνακας 29. Μέσο κόστος ανά κυβικό μέτρο ($\text{€}/\text{m}^3$) ανά κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης στις 7 υπό μελέτη σήραγγες (οι τιμές δεν περιλαμβάνουν Ο.Ε. & Γ.Ε. 18%).....	134
Πίνακας 30. Μέσο κόστος ανά μέτρο μήκους ($\text{€}/\mu.\mu.$) ανά κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης στις 7 υπό μελέτη σήραγγες (οι τιμές περιλαμβάνουν Ο.Ε. & Γ.Ε. 18%)	136
Πίνακας 31. Μέσο κόστος ανά μέτρο μήκους ($\text{€}/\mu.\mu.$) ανά κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης στις 7 υπό μελέτη σήραγγες (οι τιμές δεν περιλαμβάνουν Ο.Ε. & Γ.Ε. 18%).....	136
Πίνακας 32. Γραμμικά μοντέλα εκτίμησης κόστους χωρίς ΦΠΑ, Γ.Ε.&Ο.Ε.	138
Πίνακας 33. Ημιλογαριθμικά μοντέλα εκτίμησης κόστους χωρίς ΦΠΑ, Γ.Ε.&Ο.Ε.	138

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.	Βασικές διαδικασίες διαχείρισης έργου	3
Σχήμα 2.	Σχετική σπουδαιότητα στόχων	4
Σχήμα 3.	Σχέση μεταξύ κύκλου ζωής του έργου και κόστους	6
Σχήμα 4.	Σημαντικές δεξιότητες του διαχειριστή του έργου.....	7
Σχήμα 5.	Κύριες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των εμπλεκομένων στο έργο.....	7
Σχήμα 6.	Κύκλος ζωής του έργου.....	8
Σχήμα 7.	Ποσοστό του προϋπολογισμού που επηρεάζεται από τη λήψη απόφασης στις φάσεις του κύκλου ζωής ενός συστήματος	12
Σχήμα 8.	Σφάλματα εκτίμησης κόστους στο χρόνο	13
Σχήμα 9.	Σημαντικές δραστηριότητες στη φάση του εννοιολογικού σχεδιασμού	15
Σχήμα 10.	Σημαντικότερες δραστηριότητες στη φάση αναλυτικού σχεδιασμού.....	19
Σχήμα 11.	Σύγκριση αναμενόμενης και πραγματικής αντοχής πασσάλων	27
Σχήμα 12.	Σύγκριση αναμενόμενης και πραγματικής θεμελίωσης σε άμμο	28
Σχήμα 13.	Η Μέθοδος της Παρατήρησης και οι παράμετροι της: Αβεβαιότητα, κόστος, χρόνος... ..	30
Σχήμα 14.	Μοντελοποίηση προβλήματος	31
Σχήμα 15.	Σύγκριση κόστους δύο έργων ανά φάση κύκλου ζωής.....	41
Σχήμα 16.	Ταξινόμηση κόστους στην παραγωγή.....	42
Σχήμα 17.	Το LCC ως συνάρτηση του χρόνου	43
Σχήμα 18.	Διάγραμμα Κατανομής Κόστους σε Σήραγγες με Διάτρηση.....	48
Σχήμα 19.	Μοντέλο παλινδρόμησης (RA)	58
Σχήμα 20.	Μοντέλα συλλογιστικής βασισμένης σε περιπτώσεις – CBR.....	59
Σχήμα 21.	Νευρωνικό δίκτυο	60
Σχήμα 22.	Διάρκεια της φάσης υλοποίησης σε σχέση με τη κλιμάκωση του κόστους σε 111 κατασκευαστικά έργα υποδομής	65
Σχήμα 23.	Απόκλιση από το προβλεπόμενο κόστος σε 258 κατασκευαστικά έργα υποδομής.....	66
Σχήμα 24.	Απόκλιση από το προβλεπόμενο κόστος σε Α) σιδηροδρομικά έργα, Β) έργα σταθερής τροχιάς, Γ) έργα οδοποιίας	67
Σχήμα 25.	Ποσοστό Δαπάνης Εργασίας κατά τον Προϋπολογισμό της μελέτης.....	75
Σχήμα 26.	Μέσο κόστος ανά κατηγορία διάνοιξης-προσωρινής υποστήριξης - €/m ³ χωρίς ΦΠΑ, Γ.Ε.&Ο.Ε.	135
Σχήμα 27.	Κόστος διάνοιξης-προσωρινής υποστήριξης σχέση με το δείκτη GSI - €/m ³ χωρίς ΦΠΑ, Γ.Ε.&Ο.Ε.	135
Σχήμα 28.	Μέσο κόστος ανά κατηγορία διάνοιξης-προσωρινής υποστήριξης - €/μ.μ. χωρίς ΦΠΑ, Γ.Ε.&Ο.Ε.	137
Σχήμα 29.	Κόστος διάνοιξης-προσωρινής υποστήριξης σε σχέση με το δείκτη GSI- €/μ.μ. χωρίς ΦΠΑ, Γ.Ε.&Ο.Ε.	137

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.	Σήραγγα Πλατάνου-Τράπεζας	70
Εικόνα 2.	Εργοτάξιο Πλατάνου-Τράπεζας.....	73
Εικόνα 3.	Έξοδος κύριας σήραγγας Πλατάνου	73
Εικόνα 4.	Θέση Σήραγγας Πλατάνου.....	76
Εικόνα 5.	Σήραγγα Πλατάνου - Χρήση εκρηκτικών.....	76
Εικόνα 6.	Στρωματογραφική αλληλουχία της περιοχής Πλατάνου	78
Εικόνα 7.	Γεωλογική αποτύπωση Σήραγγας Πλάτανου.....	79
Εικόνα 8.	Γεωτεχνική Μηκοτομή Σήραγγας Πλατάνου	80
Εικόνα 9.	Τυπική διατομή της α' φάσης εκσκαφής με τη χρήση ενισχυμένων μέτρων αντιστήριξης.....	86
Εικόνα 10.	Τυπική Διατομή I Σήραγγας Πλατάνου	87
Εικόνα 11.	Τυπική Διατομή VII Σήραγγας Πλατάνου.....	87
Εικόνα 12.	Τυπική Διατομή VI Σήραγγας Πλατάνου	88
Εικόνα 13.	Τυπική διατομή της β' φάσης εκσκαφής χωρίς τη χρήση ενισχυμένων μέτρων αντιστήριξης.....	88
Εικόνα 14.	Θέση Σήραγγας Τράπεζας.....	94
Εικόνα 15.	Γεωτεχνική Μηκοτομή Σήραγγας Τράπεζας	96
Εικόνα 16.	Στρωματογραφική αλληλουχία της περιοχής Τράπεζας	97
Εικόνα 17.	Γεωλογική αποτύπωση Σήραγγας Τράπεζας	98
Εικόνα 18.	Τυπική Διατομή I Σήραγγας Τράπεζας.....	102
Εικόνα 19.	Τυπική Διατομή III Σήραγγας Τράπεζας	102
Εικόνα 20.	Τυπική Διατομή II Σήραγγας Τράπεζας.....	103
Εικόνα 21.	Τυπική διατομή της α' φάσης εκσκαφής με τη χρήση ενισχυμένων μέτρων αντιστήριξης.....	103

1. ΕΡΓΟ – ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ

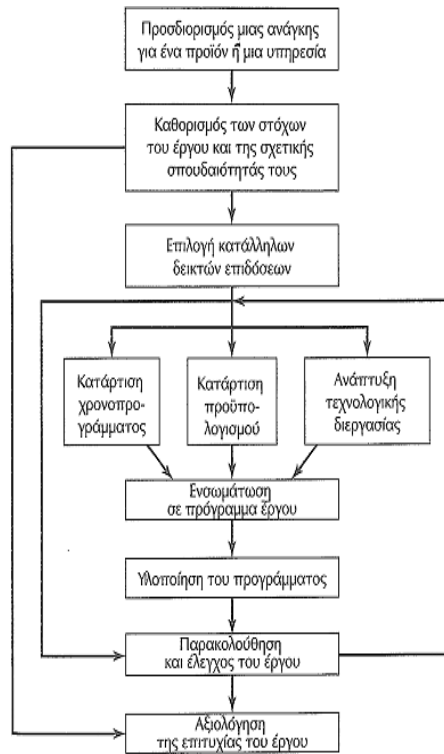
1.1 Η έννοια του Έργου και της Διαχείρισης Έργου

Το έργο ορίζεται με αρκετούς διαφορετικούς τρόπους. Για παράδειγμα, περιγράφεται ως «η συνολική διαδικασία που απαιτείται για την παραγωγή ενός νέου προϊόντος, μίας νέας μονάδας, ενός νέου συστήματος ή άλλων συγκεκριμένων αποτελεσμάτων» (Archibald, 2003) ή ως «μια στενά καθορισμένη δραστηριότητα, η οποία έχει σχεδιασθεί για πεπερασμένη διάρκεια για την επίτευξη ενός συγκεκριμένου στόχου» (General Electric Corporation, 1983).

Η Διαχείριση Έργου (Project Management) αφορά μια εφάπαξ προσπάθεια για την επίτευξη ενός επικεντρωμένου στόχου. Ωστόσο, η αποτίμηση της προόδου και των αποτελεσμάτων εξαρτάται από μια σειρά κρίσιμων παραγόντων. Ορισμένοι χαρακτηριστικοί παράγοντες είναι:

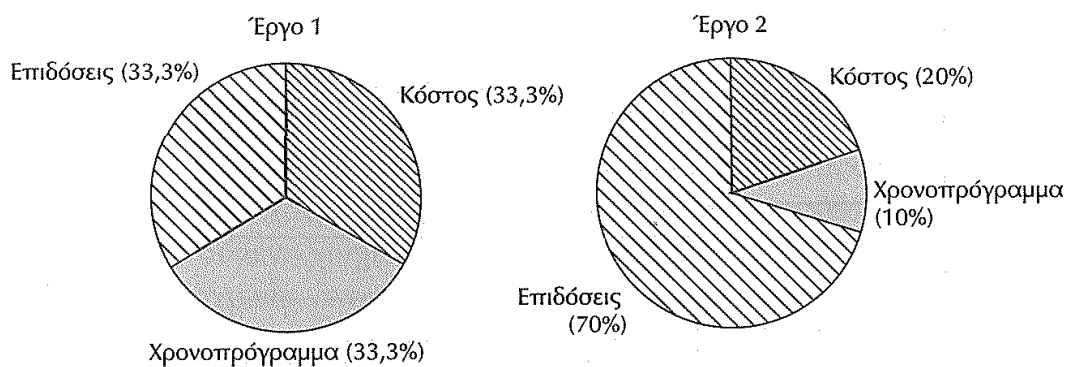
- η τεχνολογία (προδιαγραφές, επιδόσεις, ποιότητα)
- ο χρόνος (προθεσμίες, ορόσημα)
- το κόστος (συνολική επένδυση, απαιτούμενη χρηματοροή)
- το κέρδος
- η χρήση των πόρων
- η αποδοχή της αγοράς

Οι παράγοντες αυτοί και η σχετική σπουδαιότητά τους είναι σημαντικά ζητήματα στη Διαχείριση Έργου. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται συνοπτικά οι σχετικές διαδικασίες. Όπως φαίνεται, τα περισσότερα έργα ξεκινούν από μια ανάγκη. Τα περισσότερα έργα έχουν διάφορους στόχους που αφορούν πτυχές όπως οι τεχνικές και επιχειρησιακές απαιτήσεις, οι ημερομηνίες παράδοσης και το κόστος, και πρέπει να κατατάσσονται ανάλογα με τη σχετική σπουδαιότητα τους.



Σχήμα 1. Βασικές διαδικασίες διαχείρισης έργου (Shtub et al., 2005)

Βάσει της ταξινόμησης αυτής και του συνόλου δεικτών επιδόσεων για κάθε στόχο, αναπτύσσεται η τεχνολογική διεργασία (ή αρχικός σχεδιασμός) και καταρτίζονται το χρονοπρόγραμμα και ο προϋπολογισμός του έργου. Καθώς το σχέδιο υλοποιείται, τα επιτεύγματα παρακολουθούνται και καταγράφονται. Όταν το έργο ολοκληρωθεί, η επιτυχία του αξιολογείται βάσει των προκαθορισμένων στόχων και των δεικτών επιδόσεων. Στο Σχήμα 2 συγκρίνονται δύο έργα λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία αυτά. Στο έργο 1, έχει υιοθετηθεί μια προσέγγιση «σχεδιασμού βάσει κόστους». Στην περίπτωση αυτή, ο προϋπολογισμός είναι καθορισμένος και οι τεχνολογικοί στόχοι έχουν προσδιορισθεί με σαφήνεια. Το κόστος, οι επιδόσεις και ο χρονοπρογραμματισμός έχουν την ίδια βαρύτητα. Στο έργο 2, οι τεχνολογικοί στόχοι έχουν πρωταρχική σημασία και πρέπει να επιτευχθούν, ακόμη και αν αυτό σημαίνει ότι στην πορεία θα πρέπει να θιγούν ο χρονοπρογραμματισμός και ο προϋπολογισμός.



Σχήμα 2. Σχετική σπουδαιότητα στόχων (Shtub et al., 2005)

Η αυξανόμενη χρησιμοποίηση τεχνικών διαχείρισης έργου, ιδίως στην έρευνα και ανάπτυξη, οφείλεται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες υπό τις οποίες καλούνται να ανταγωνισθούν η μια την άλλη οι σύγχρονες επιχειρήσεις. Ο Pinto (2002) επισημαίνει ότι ορισμένοι από τους σημαντικότερους παράγοντες που προώθησαν τον προσανατολισμό προς το έργο τα τελευταία χρόνια ήταν οι εξής:

- Η συντόμευση του κύκλου ζωής των προϊόντων.
- Τα στενά περιθώρια για την διάθεση του προϊόντος στην αγορά.
- Η τεράστια συγκέντρωση των παγκόσμιων αγορών.
- Τα ολοένα και πιο πολύπλοκα και τεχνικά προβλήματα.
- Ο χαμηλός πληθωρισμός.

Ο αντίκτυπος αυτών και άλλων οικονομικών παραγόντων δημιούργησε τις συνθήκες υπό τις οποίες ευημερούν οι εταιρείες που εφαρμόζουν τη διαχείριση του έργου.

1.2 Οι Νόμοι της Διαχείρισης Έργου

Σύμφωνα με τους Shtub et al. (2005), οι σημαντικότεροι νόμοι διαχείρισης έργου συνοψίζονται ως ακολούθως:

1. Κανένα μεγάλο έργο δεν είναι ποτέ έτοιμο εγκαίρως, εντός των ορίων του προϋπολογισμού ή με το ίδιο προσωπικό με το οποίο ξεκίνησε.

2. Τα έργα προχωρούν γρήγορα μέχρι να φθάσουν στο 90% της ολοκλήρωσής τους και στη συνέχεια μένουν για πάντα ολοκληρωμένα κατά 90%.
3. Ένα πλεονέκτημα των ασαφών στόχων σε ένα έργο είναι ότι επιτρέπουν να αποφευχθεί η εκτίμηση των αντίστοιχων εξόδων.
4. Όταν τα πράγματα πάνε καλά, κάτι θα στραβώσει.
5. Όταν πράγματα δεν μπορούν να πάνε χειρότερα, θα πάνε χειρότερα
6. Όταν τα πράγματα φαίνεται να πηγαίνουν καλύτερα, κάτι έχει παραβλεφθεί.
7. Ένα το περιεχόμενο ενός έργου αλλάζει ελεύθερα, ο δείκτης των αλλαγών θα υπερβεί τον δείκτη της προόδου.
8. Κανένα σύστημα δεν είναι πλήρως απαλλαγμένο από σφάλματα. Οι προσπάθειες απαλλαγής από τα σφάλματα, αναπόφευκτα εισάγουν νέα σφάλματα που είναι ακόμη πιο δύσκολο να εντοπισθούν.
9. Ένα έργο με απρόσεκτο χρονοπρογραμματισμό, θα χρειασθεί τρεις φορές περισσότερο χρόνο από τον αναμενόμενο για να ολοκληρωθεί ένα έργο με προσεκτικό χρονοπρογραμματισμό θα χρειασθεί δύο φορές περισσότερο χρόνο από το αναμενόμενο.
10. Οι ομάδες του έργου απεχθάνονται την υποβολή εκθέσεων προόδου καθώς αυτές αντανακλούν την έλλειψη προόδου εκ μέρους τους.

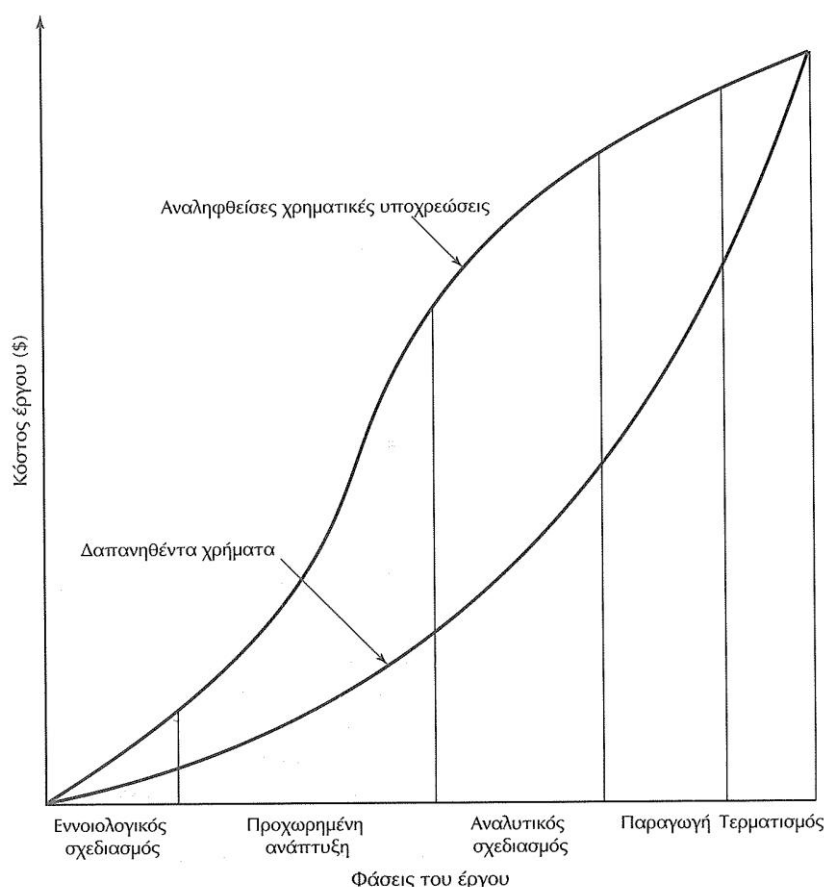
1.3 Φάσεις του Έργου

Το έργο έχει ένα κύκλο ζωής, ο οποίος μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το μέγεθος και την πολυπλοκότητα και ανάλογα με το στυλ της οργάνωσης. Καταρχάς, υπάρχει η φάση του εννοιολογικού σχεδιασμού, κατά την οποία η οργάνωση αντιλαμβάνεται ότι ίσως απαιτηθεί κάποιο έργο ή καλείται από έναν πελάτη να προτείνει ένα σχέδιο για την εκτέλεση ενός έργου (Σχήμα 3).

Στη συνέχεια, υπάρχει η φάση προχωρημένης ανάπτυξης ή φάση του προκαταρκτικού σχεδιασμού του συστήματος, κατά την οποία ο διαχειριστής του έργου (με τη βοήθεια προσωπικού εάν το έργο είναι πολύπλοκο) σχεδιάζει το έργο με επαρκείς λεπτομέρειες ώστε να είναι δυνατός ο αρχικός χρονοπρογραμματισμός και προϋπολογισμός.

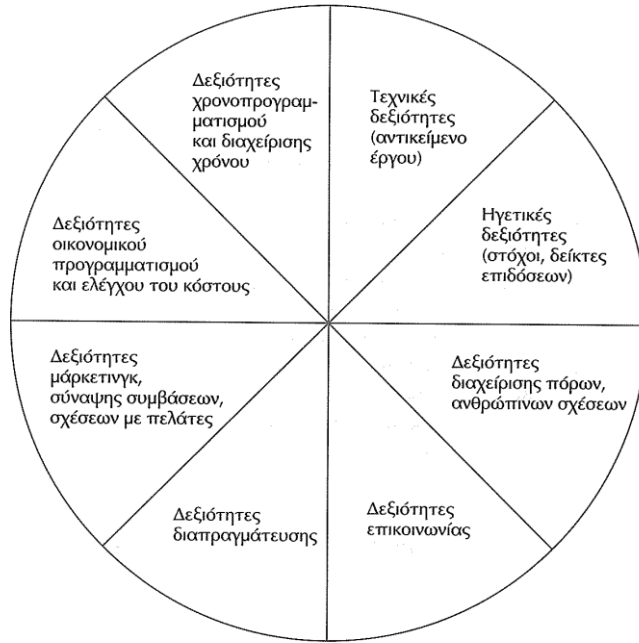
Εάν το σχέδιο εγκριθεί, θα περάσει στη φάση του αναλυτικού σχεδιασμού, στη φάση της παραγωγής και στη φάση του τερματισμού.

Στο Σχήμα 3, οι πέντε φάσεις του κύκλου ζωής ενός έργου αναπαριστώνται ως συνάρτηση του χρόνου. Το κόστος σε κάθε φάση εξαρτάται από τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, αλλά συνήθως το μεγαλύτερο μέρος του προϋπολογισμού δαπανάται κατά τη φάση της παραγωγής. Ωστόσο, το μεγαλύτερο μέρος των χρηματικών υποχρεώσεων αναλαμβάνεται κατά τη φάση της προχωρημένης ανάπτυξης και τη φάση του αναλυτικού σχεδιασμού, προτού πραγματοποιηθούν εργασίες.

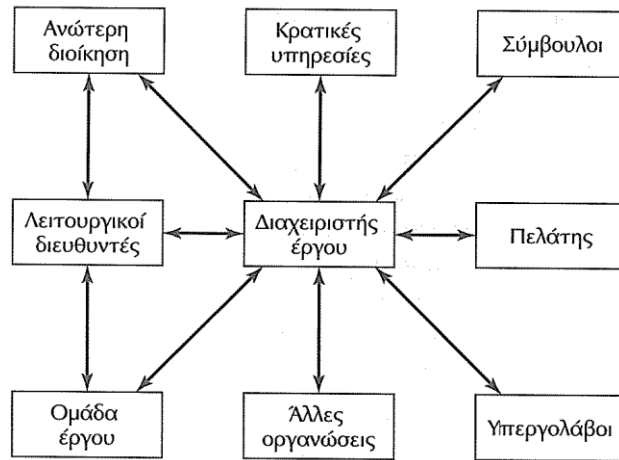


Σχήμα 3. Σχέση μεταξύ κύκλου ζωής του έργου και κόστους (Shtub et al., 2005)

Η διαχείριση διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη φάση του εννοιολογικού σχεδιασμού, στη φάση της προχωρημένης ανάπτυξης και στη φάση του αναλυτικού σχεδιασμού (Σχήμα 4). Η σημασία της διαχείρισης στον καθορισμό στόχων (Σχήμα 5), την επιλογή δεικτών επιδόσεων και τον σχεδιασμό του έργου είναι τεράστια.



Σχήμα 4. Σημαντικές δεξιότητες του διαχειριστή του έργου (Sthub et al., 2005)



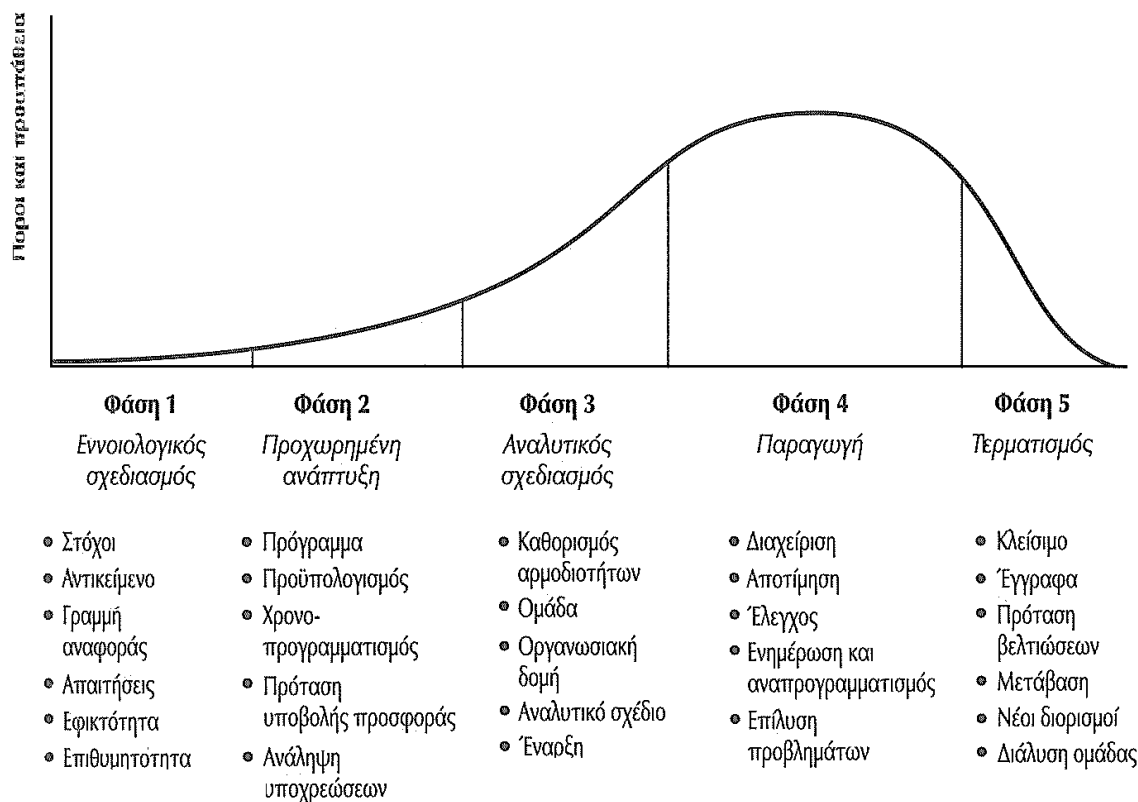
Σχήμα 5. Κύριες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των εμπλεκόμενων στο έργο (Sthub et al., 2005)

1.4 Ο Κύκλος Ζωής του Έργου

1.4.1 Η αναγκαιότητα ανάλυσης του Κόστους του Κύκλου ζωής του έργου

Το συνολικό κόστος της ιδιοκτησίας ενός προϊόντος, μιας κατασκευής ή ενός συστήματος κατά τη διάρκεια της ωφέλιμης ζωής του είναι το κόστος του κύκλου ζωής του (Life Circle Cost-LCC).

Λόγω του βαθμού διαφοράς των έργων μεταξύ τους όσον αφορά τα κύρια χαρακτηριστικά τους όπως η διάρκεια, το κόστος, ο τύπος της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας και οι πηγές αβεβαιότητας, είναι δύσκολο να γίνει γενίκευση των λειτουργικών και τεχνικών θεμάτων που αντιμετωπίζουν το καθένα. Ωστόσο, είναι δυνατόν να εξετασθούν ορισμένα θέματα στρατηγικής και τακτικής τα οποία αφορούν πολλούς τύπους έργων. Το πλαίσιο της εξέτασης είναι ο κύκλος ζωής του έργου, δηλαδή οι σημαντικότερες φάσεις από τις οποίες διέρχεται η πρόοδος ενός «τυπικού» έργου. Οι φάσεις αυτές παρατίθενται συνοπτικά στο Σχήμα 6 και αναπτύσσονται από τους Ciefanci και Reland (2002), οι οποίοι προσδιορίζουν τα μακροπρόθεσμα θέματα (θέματα στρατηγικής) και τα μεσοπρόθεσμα θέματα (θέματα τακτικής) που πρέπει να λάβει υπόψη η διαχείριση. Ακολουθεί η συνοπτική παρουσίαση τους.



Σχήμα 6. Κύκλος ζωής του έργου (Sthub et al., 2005)

1. Φάση εννοιολογικού σχεδιασμού (προκαταρκτικής μελέτης). Στη φάση αυτή, μια οργάνωση (πελάτης, ανάδοχος, υπεργολάβος) ξεκινά ένα έργο και αξιολογεί τις πιθανές εναλλακτικές λύσεις. Η επιλογή των έργων στη φάση του εννοιολογικού σχεδιασμού είναι απόφαση στρατηγικής, η οποία βασίζεται στους στόχους που έχει

θέσει η οργάνωση, στις ανάγκες, στα τρέχοντα έργα και σε μακροπρόθεσμες υποχρεώσεις και σκοπούς. Η επιλογή των έργων βασίζεται σε διάφορους στόχους και δείκτες επιδόσεων, συμπεριλαμβανομένων του αναμενόμενου κόστους, της κερδοφορίας, των κινδύνων και της δυνατότητας επακόλουθων αναθέσεων. Αφού επιλεγεί ένα έργο και εγκριθεί ο εννοιολογικός σχεδιασμός του, ξεκινούν οι εργασίες τη δεύτερης φάσης, όπου αποσαφηνίζονται οι λεπτομέρειες.

2. Φάση προχωρημένης ανάπτυξης. Στη φάση αυτή σχηματίζεται η οργανωσιακή δομή του έργου σταθμίζοντας τα τακτικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά κάθε πιθανής διευθέτησης φθάνουμε στο πλαίσιο εντός του οποίου εκτελείται το έργο.
3. Φάση αναλυτικού σχεδιασμού. Σε αυτή τη φάση του κύκλου ζωής το έργο καταρτίζονται πλήρη σχέδια τα οποία περιλαμβάνουν τα εξής στοιχεία:

- Σχεδιασμό προϊόντων και διεργασιών
- Τελικές απαιτήσεις επιδόσεων
- Αναλυτική κατάτμηση σε πακέτα εργασίας
- Πληροφορίες για τον χρονοπρογραμματισμό
- Πρότυπα σχέδια για τη διαχείριση του κόστους και των πόρων
- Αναλυτικά σχέδια έκτακτης ανάγκης για τις δραστηριότητες υψηλού κινδύνου
- Προϋπολογισμοί
- Προσδοκώμενες χρηματοροές

Θέματα στρατηγικής, όπως οι μακρόχρονες σχέσεις με τους πελάτες, καθώς και η εξυπηρέτηση και η ικανοποίηση των πελατών, επηρεάζουν σημαντικά τις στάσεις και τις αποφάσεις της ανώτερης διοίκησης. Επομένως, ο διαχειριστής έργου πρέπει να συνειδητοποιεί την αναγκαιότητα δημιουργίας και διατήρησης γραμμών επικοινωνίας μεταξύ όλων των μερών, κυρίως κατά τη φάση αυτή.

4.Φάση παραγωγής. Η τέταρτη φάση του κύκλου ζωής περιλαμβάνει την εκτέλεση σχεδίων και στα περισσότερα έργα επικρατεί των άλλων όσον αφορά την καταβαλλόμενη προσπάθεια και τη διάρκεια.

5.Φάση τερματισμού. Στη φάση αυτή, στόχος της διαχείρισης έργου είναι να παγιώσει τα διδάγματα και να μετουσιώσει τη γνώση αυτή σε συνεχείς βελτιώσεις της διαδικασίας. Τα

διδάγματα και οι εμπειρίες του παρόντος αποτελούν τη βάση για τη βελτίωση της πρακτικής. Μολονότι τα επιτυχημένα έργα μπορούν να μας παράσχουν πολύτιμες πληροφορίες, οι αποτυχίες μπορούν να μας διδάξουν ακόμη περισσότερα.

6.Φάση λειτουργίας. Η φάση της λειτουργίας βρίσκεται συχνά εκτός του πεδίου του έργου και επομένως μπορεί να εκτελεσθεί από άλλες οργανώσεις εκτός εκείνων που ενεπλάκησαν στις πρώτες φάσεις του κύκλου ζωής.

1.4.2 Η χρήση του μοντέλου Κόστους του Κύκλου ζωής

Η ενοποίηση της δομής CBS (Cost Break down Structure) με εκτιμήσεις κάθε στοιχείου παράγει το συνολικό μοντέλο LCC για το σύστημα. Το μοντέλο αυτό (κατανεμημένο στον χρόνο) αποτελεί τη βάση για διάφορα είδη αναλύσεων και αποφάσεων (Sthub et al., 2005):

- Αξιολογήσεις σχεδίου. Στις φάσεις σχεδιασμού ενός έργου, πρέπει να αξιολογηθούν τα εναλλακτικά σχέδια για το σύνολο του συστήματος ή τα συστατικά μέρη του. Το μοντέλο LCC σε συνδυασμό με έναν δείκτη αποτελεσματικότητας του συστήματος παράγει τη βάση για μια ανάλυση αποτελεσματικότητας κόστους στις διάφορες φάσεις του κύκλου ανάπτυξης.
- Αξιολόγηση αιτημάτων τεχνικών αλλαγών. Η διαδικασία έγκρισης ή απόρριψης των αιτημάτων τεχνικών αλλαγών βασίζεται σε εκτιμήσεις κόστους και αποτελεσματικότητας με και χωρίς την προτεινόμενη αλλαγή. Το μοντέλο LCC παρέχει τη βάση για την ανάλυση αυτή.
- Ανάλυση ευαισθησίας και εκτίμηση κινδύνων. Για την ανάπτυξη σχέσης εκτίμησης κόστους, χρησιμοποιούνται παράμετροι ως ανεξάρτητες μεταβλητές παράμετροι που επηρεάζουν το LCC του συστήματος. Πρέπει πάντοτε να διεξάγεται ανάλυση ευαισθησίας ώστε να εξακριβώνεται με ποιον τρόπο αλλάζει το LCC, καθώς κάθε παράμετρος μεταβάλλεται εντός του εφικτού εύρους της.
- Ανάλυση εφοδιαστικής υποστήριξης. Η αξιολόγηση των πολιτικών για τη συντήρηση, την κατάρτιση, τη δημιουργία αποθέματος εξαρτημάτων, τη διαχείριση του αποθέματος, την αποστολή και τη συσκευασία υποστηρίζεται από κατάλληλα μοντέλα LCC.
- Ανάλυση κατά Pareto ή ABC. Η ανάλυση αυτή χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των σημαντικότερων στοιχείων κόστους ενός έργου. Το πρώτο βήμα

είναι η ταξινόμηση κάθε στοιχείου σύμφωνα με το κόστος και στη συνέχεια η ένταξη των στοιχείων σε μια από τις ακόλουθες μικρότερες ομάδες. Όπου η στρατηγική συνίσταται στην προσεκτική παρακολούθηση των στοιχείων εκείνων που αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο ποσοστό του συνολικού LCC

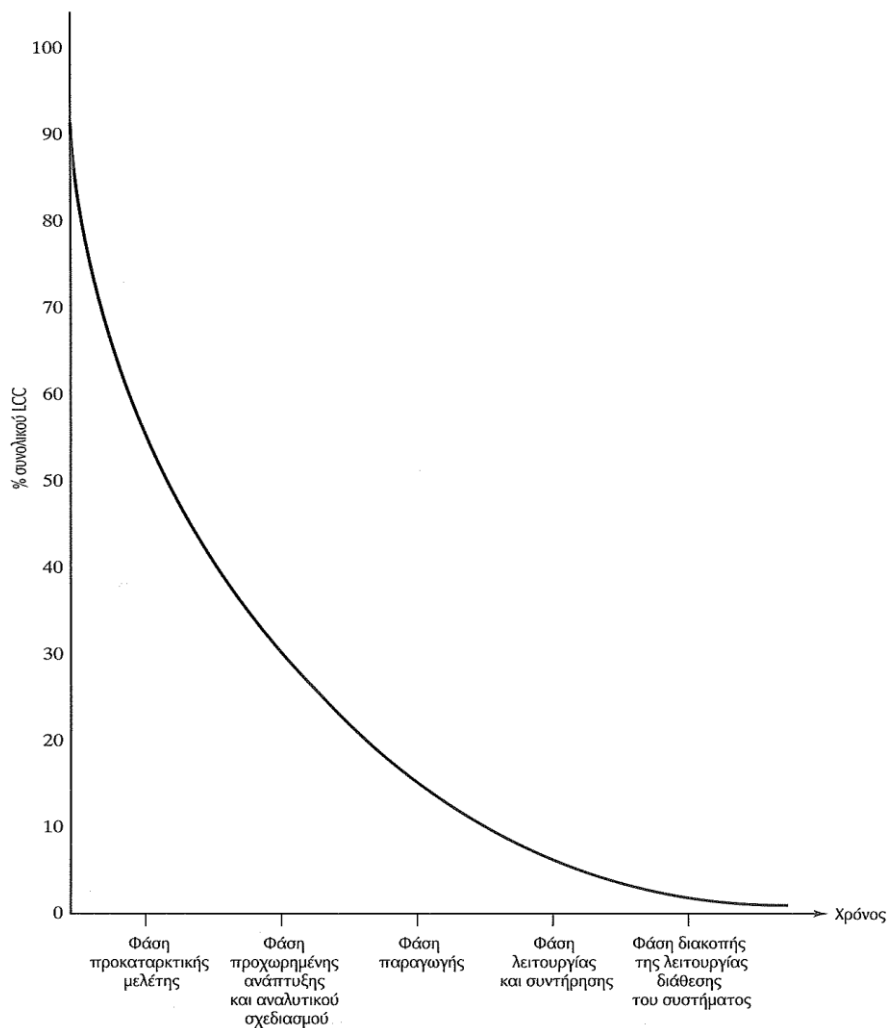
- Ανάλυση προϋπολογισμού και χρηματορροής. Στην προκειμένη περίπτωση, μέλημα είναι η παραμονή εντός των περιορισμών του προϋπολογισμού και της χρηματορροής και η εκτίμηση των μελλοντικών αναγκών σε επενδύσεις κεφαλαίου. Το μοντέλο LCC είναι ένα σημαντικό εργαλείο διαχείρισης έργου για τον στρατηγικό οικονομικό σχεδιασμό, την ανάλυση εφοδιαστικής υποστήριξης και τη λήψη αποφάσεων σχετικών με την τεχνολογία.

1.4.3 Αβεβαιότητα των Μοντέλων Κόστους Κύκλου Ζωής

Στη φάση της προκαταρκτικής μελέτης, όταν κατασκευάζονται συνήθως τα μοντέλα LCC, γνωρίζουμε λίγα για το έργο, τις δραστηριότητες που απαιτούνται για τον σχεδιασμό και την κατασκευή του, τους τρόπους λειτουργίας του και τις πολιτικές συντήρησης που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Ως εκ τούτου, τα μοντέλα LCC διέπονται από υψηλότατο βαθμό αβεβαιότητας στην αρχή ενός έργου. Η αβεβαιότητα αυτή μειώνεται καθώς προχωρά το έργο και είναι διαθέσιμες πρόσθετες πληροφορίες.

Επειδή οι αποφάσεις που λαμβάνονται στις αρχικές φάσεις του κύκλου ζωής ενός έργου είναι δυνατόν να επηρεάσουν το συνολικό κόστος περισσότερο από τις αποφάσεις που λαμβάνονται αργότερα, η ομάδα του έργου βρίσκεται αντιμέτωπη με μια κατάσταση στην οποία οι κρισιμότερες αποφάσεις λαμβάνονται όταν η αβεβαιότητα είναι η μεγαλύτερη. Αυτό δείχνουν τα Σχ. 7 και 8, όπου η πιθανή επίδραση αποφάσεων που αφορούν το κόστος και για αντίστοιχο επίπεδο αβεβαιότητας αναπαριστώνται ως συνάρτηση του χρόνου. Από τα διαγράμματα αυτά είναι εμφανής η σημασία ενός καλού μοντέλου LCC στις αρχικές φάσεις του κύκλου ζωής ενός συστήματος.

Δύο είναι οι κύριοι τύποι αβεβαιότητας που πρέπει να λαμβάνουν υπόψη οι κατασκευαστές μοντέλων LCC: (1) αβεβαιότητα όσον αφορά τις δραστηριότητες που παράγουν έξοδα κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του συστήματος και (2) αβεβαιότητα όσον αφορά το αναμενόμενο κόστος καθεμίας από τις δραστηριότητες αυτές. Ο πρώτος τύπος αβεβαιότητας υπάρχει συνήθως όταν αναπτύσσεται ένα νέο σύστημα και υπάρχουν λιγοστά διαθέσιμα σημεία ιστορικών δεδομένων.



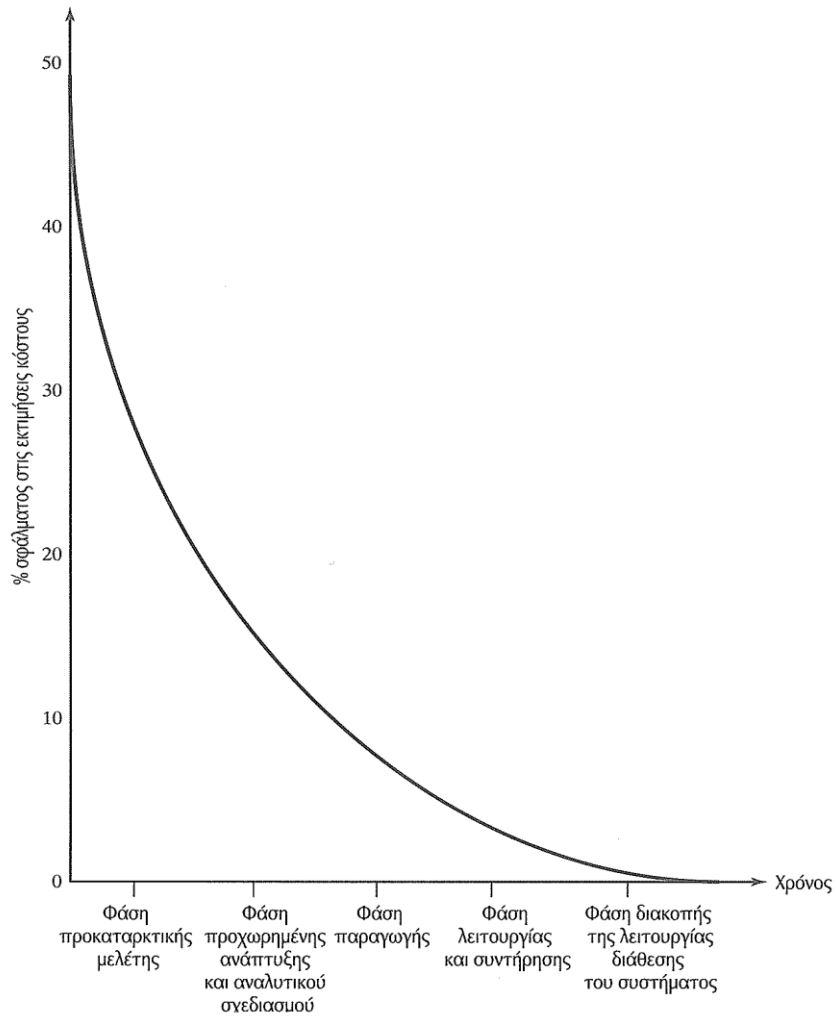
Σχήμα 7. Ποσοστό του προϋπολογισμού που επηρεάζεται από τη λήψη απόφασης στις φάσεις του κύκλου ζωής ενός συστήματος (Sthub et al., 2005)

Παρ' όλα αυτά, η ακρίβεια των μοντέλων LCC στα οποία υπάρχει αυτός ο τύπος αβεβαιότητας είναι σχετικά χαμηλή, πράγμα που σημαίνει ότι τα οφέλη του μπορεί να περιορίζονται κατά κάποιον τρόπο στην παροχή ενός πλαισίου για την απαρίθμηση όλων των πιθανών πηγών εξόδων και για την προώθηση συνεκτικών προσπαθειών συλλογής δεδομένων καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του συστήματος.

Το δεύτερο είδος αβεβαιότητας, η εκτίμηση του μεγέθους μιας συγκεκριμένης δραστηριότητας που συνεπάγεται κόστος, υπάρχει σε όλα τα μοντέλα LCC. Υπάρχουν πολλές πηγές για αυτό το είδος αβεβαιότητας, όπως ο μελλοντικός πληθωρισμός, η αναμενόμενη αποδοτικότητα και χρησιμοποίηση των πόρων και ο βαθμός αστοχίας των μερών του συστήματος. Καθένα από τα στοιχεία αυτά επηρεάζει την ακρίβεια των εκτιμήσεων του κόστους. Για καλύτερα αποτελέσματα, χρησιμοποιούνται συχνά

εξειδικευμένες τεχνικές προβλέψεων, οι οποίες τροφοδοτούνται από ευρύ φάσμα πηγών δεδομένων.

Για τέτοιου είδους έργα, είναι συχνά δυνατό να αυξήσουμε την ακρίβεια των εκτιμήσεων κόστους καταβάλλοντας μεγαλύτερες προσπάθειες στη συλλογή και την ανάλυση σχετικών δεδομένων.



Σχήμα 8. Σφάλματα εκτίμησης κόστους στο χρόνο (Sthub et al., 2005)

Η ακρίβεια των εκτιμήσεων κόστους μεταβάλλεται κατά την διάρκεια ζωής του συστήματος. Κατά τη φάση της προκαταρκτικής μελέτης, μια ανοχή από -30% έως +50% μπορεί να είναι αποδεκτή για ορισμένους παράγοντες. Στο τέλος της φάσης της προχωρημένης ανάπτυξης και του αναλυτικού σχεδιασμού, αναμένεται να είναι διαθέσιμες πιο αξιόπιστες εκτιμήσεις.

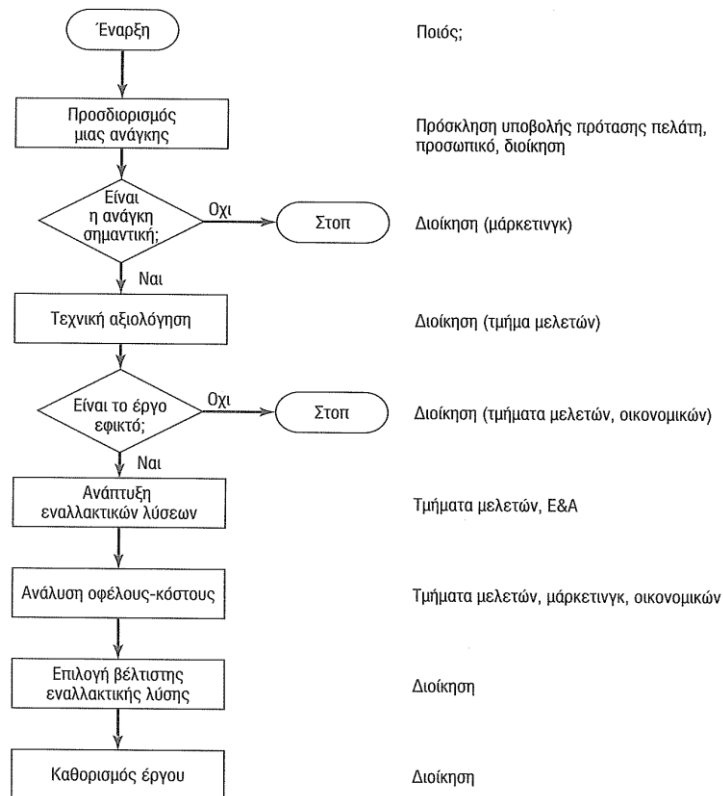
1.5 Η Διάρθρωση του Έργου

Ακολουθώς παρέχονται συνοπτικά τα βασικά στοιχεία ενός «τυπικού» έργου (Shub et al, 2005).

A. Δρομολόγηση, επιλογή και καθορισμός έργου

1. Προσδιορισμός των αναγκών (π.χ. μέσω ανάπτυξης λειτουργίας ποιότητας (QFD))
2. Ανάπτυξη (τεχνολογικών) εναλλακτικών λύσεων
3. Αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων
4. Επιλογή των πιο «ελπιδοφόρων» εναλλακτικών λύσεων
5. Εκτίμηση του κόστους κύκλου ζωής (LCC) των ελπιδοφόρων εναλλακτικών λύσεων
6. Αξιολόγηση κινδύνων
7. Ανάπτυξη βασικής διαμόρφωσης

Η διαδικασία αυτή ξεκινά με τον προσδιορισμό της ανάγκης για μια νέα υπηρεσία, ένα νέο προϊόν ή ένα νέο σύστημα (1). Το έναυσμα μπορεί να προέλθει από διάφορες πηγές, όπως ένας υπάρχων πελάτης, το προσωπικό μιας γραμμής ή την πρόσκληση μιας εξωτερικής οργάνωσης (2). Στη συνέχεια, ενδέχεται να δρομολογηθεί μελέτη μιας εναλλακτικής προσέγγισης (3). Ακολουθώς, καταβάλλονται προσπάθειες για την εκτίμηση του κόστους και των αποδόσεων που συνδέονται με τα καταλληλότερα υποψήφια έργα (4). Οι εκτιμήσεις κόστους για την ανάπτυξη, την παραγωγή (ή την αγορά), τη συντήρηση και τις εργασίες αποτελούν τη βάση ενός μοντέλου LCC, το οποίο παρέχει ένα πλαίσιο για την επιλογή της «βέλτιστης» εναλλακτικής λύσης (5). Λόγω της αβεβαιότητας, οι περισσότερες εκτιμήσεις είναι πιθανό να εμφανίζουν προβλήματα. Ενδέχεται να απαιτηθεί μια αξιολόγηση κινδύνων, εάν τα επίπεδα αβεβαιότητας είναι υψηλά (6). Από τη στιγμή που επιλέγεται μια εναλλακτική λύση, αναπτύσσονται οι λεπτομέρειες του σχεδιασμού κατά τη φάση της διατύπωσης και του καθορισμού του εννοιολογικού πλαισίου του έργου (7). Ο προκαταρκτικός σχεδιασμός τελειώνει με την ανάπτυξη βασικής διαμόρφωσης (Σχήμα 9).



Σχήμα 9. Σημαντικές δραστηριότητες στη φάση του εννοιολογικού σχεδιασμού (Shtub et al., 2005)

B. Οργάνωση του έργου

Στη φάση της προχωρημένης ανάπτυξης, συνηθίζεται να ορίζεται το περιεχόμενο των εργασιών, ως ένα σύνολο καθηκόντων, τα οποία ταξινομούνται ιεραρχικά σε ένα σχήμα με μορφή δένδρου, γνωστό ως WBS (Work Breakdown System). Με παρόμοια τρόπο αναπαρίσταται η σχέση μεταξύ συμμετεχουσών οργανώσεων, γνωστή ως δομή υποδιαίρεσης οργάνωσης (OBS). Στο τέλος της φάσης της προχωρημένης ανάπτυξης, καταρτίζονται μια αναλυτικότερη εκτίμηση κόστους και μια λεπτομερής πρόταση προϋπολογισμού/ οι οποίες υποβάλλονται για έγκριση στη διοίκηση. Σχηματικά, τα παραπάνω αποδίδονται ως εξής:

- Επιλογή των συμμετεχουσών οργανώσεων.
- Διάρθρωση του περιεχομένου των εργασιών του έργου σε μια WBS.
- Ανάπτυξη της οργανωσιακής δομής του έργου και των συναφών τμημάτων επικοινωνίας και υποβολής εκθέσεων .

- Ανάθεση των μερών της WBS στις συμμετέχουσες οργανώσεις.

Γ. Ανάλυση δραστηριοτήτων

Για την αξιολόγηση των αναγκών σε πόρους και την κατάρτιση λεπτομερούς χρονοπρογραμματισμού, είναι απαραίτητο να εκπονηθεί ένας αναλυτικός κατάλογος των δραστηριοτήτων που πρέπει να εκτελεστούν. Κάθε εργασία που προσδιορίζεται στη φάση του αρχικού σχεδιασμού μπορεί να αποτελείται από μία ή περισσότερες δραστηριότητες. Οι σχέσεις αυτές αναπαριστώνται γραφικά με τη μορφή ενός μοντέλου δικτύου. Συνοπτικά, τα παραπάνω αποδίδονται ως εξής:

- Ορισμός των βασικών εργασιών του έργου.
- Ανάπτυξη του καταλόγου των δραστηριοτήτων που απαιτούνται για την εκτέλεση των εργασιών του έργου.
- Ανάπτυξη σχέσεων προτεραιότητας μεταξύ των δραστηριοτήτων.
- Ανάπτυξη ενός δικτυωτού μοντέλου.
- Ανάπτυξη στοιχείων του δικτύου ανώτερου επιπέδου (ενοποιημένες δραστηριότητες, υποδίκτυα δραστηριοτήτων).
- Ανάπτυξη ορόσημων.
- Ενημέρωση του δικτύου και των στοιχείων του.

Δ. Χρονοπρογραμματισμός του έργου

Οι αναμενόμενες ημερομηνίες εκτέλεσης των δραστηριοτήτων είναι σημαντικές τόσο από οικονομική (απόκτηση των απαραίτητων κεφαλαίων) όσο και από επιχειρησιακή (απόκτηση των αναγκαίων πόρων) άποψη. Ο χρονοπρογραμματισμός των δραστηριοτήτων του έργου ξεκινά με τον καθορισμό ενός χρονοπρογράμματος που προσδιορίζει τις ώρες εργασίας ανά ημέρα, τις ημέρες εργασίας ανά μήνα, τις αργίες και ούτω καθεξής. Εκτιμάται η αναμενόμενη διάρκεια κάθε δραστηριότητας και καταρτίζεται ο χρονοπρογραμματισμός του έργου βάσει του χρονοπρογράμματος, των σχέσεων προτεραιότητας μεταξύ των δραστηριοτήτων και της αναμενόμενης διάρκειας κάθε δραστηριότητας. Ο χρονοπρογραμματισμός προσδιορίζει τις ημερομηνίες έναρξης και λήξης κάθε δραστηριότητας και το σχετικό χρονικό περιθώριο. Οι πληροφορίες αυτές

χρησιμοποιούνται για την κατάρτιση του προϋπολογισμού και τη διαχείριση των πόρων. Ο χρονοπρογραμματισμός αποτελεί τη βάση για την εξουσιοδότηση των εργασιών και σημείο αναφοράς σε σχέση με το οποίο συγκρίνεται η πραγματική πρόοδος του έργου. Ενημερώνεται καθ' όλο τον κύκλο ζωής του έργου ώστε να αντικατοπτρίζει την πραγματική πρόοδο. Σχηματικά, τα παραπάνω αποδίδονται ως εξής:

- Ανάπτυξη χρονοπρογράμματος.
- Εκτίμηση της διάρκειας των δραστηριοτήτων.
- Εκτίμηση των ημερομηνιών εκτέλεσης των δραστηριοτήτων .
- Παρακολούθηση της πραγματικής προόδου και των οροσήμων.
- Ενημέρωση του χρονοπρογραμματισμού.

Ε. Διαχείριση πόρων

Οι δραστηριότητες εκτελούνται σύμφωνα με τους διαθέσιμους πόρους. Επομένως, προτού αναληφθεί οποιαδήποτε συγκεκριμένη δράση, πρέπει να προσδιορίζονται οι απαιτήσεις. Βάσει των αποτελεσμάτων και ενόψει του χρονοπρογράμματος του έργου, εκτιμώνται ο συνολικές απαιτήσεις σε πόρους. Οι απαιτήσεις αυτές αποτελούν τη βάση της διαχείρισης των πόρων και του σχεδιασμού απόκτησης των πόρων. Συνοπτικά στη διαχείριση πόρων περιλαμβάνονται τα εξής:

- Καθορισμός των απαιτήσεων σε πόρους.
- Απόκτηση των πόρων.
- Διάθεση των πόρων στα έργα/ τις δραστηριότητες.
- Παρακολούθηση της χρήσης και του κόστους των πόρων.

ΣΤ. Διαχείριση τεχνολογίας

Οι κύριες εργασίες περιλαμβάνουν την αξιολόγηση των προτεινόμενων αλλαγών, την ένταξη των εγκεκριμένων αλλαγών στη διαμόρφωση αναφοράς και την ανάπτυξη ενός προγράμματος διαχείρισης ολικής ποιότητας. Το τελευταίο αφορά τις συνεχείς προσπάθειες για την πρόληψη ελαττωμάτων, τη βελτίωση της διαδικασίας και την εξασφάλιση ενός τελικού αποτελέσματος που ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές του

έργου και στις προσδοκίες του πελάτη. Συνοπτικά, η διαχείριση της τεχνολογία αφορά στα ακόλουθα:

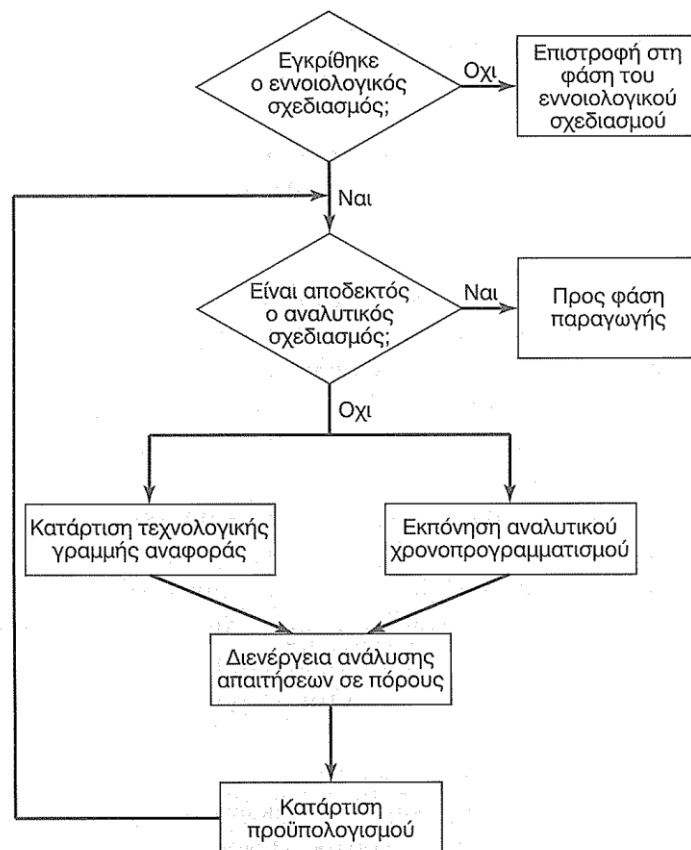
- Ανάπτυξη ενός σχεδίου διαχείρισης της διαμόρφωσης.
- Προσδιορισμός τεχνολογικών κινδύνων.
- Έλεγχος διαμόρφωσης.
- Διαχείριση και έλεγχος κινδύνων.
- Διοίκηση ολικής ποιότητας .

Z. Προϋπολογισμός του έργου

Τα χρήματα είναι ο συνηθέστερος πόρος που χρησιμοποιείται σε ένα έργο. Η κατάρτιση του προϋπολογισμού είναι μια σημαντική δραστηριότητα διαχείρισης, η οποία έχει ως αποτέλεσμα ένα σχέδιο καταναμημένο σε φάσεις, το οποίο συνοψίζει τις αναμενόμενες δαπάνες, τα αναμενόμενα έσοδα και τα ορόσημα. Σχηματικά, τα παραπάνω αποδίδονται ως εξής:

- Εκτίμηση άμεσου και έμμεσου κόστους.
- Ανάπτυξη πρόβλεψης χρηματορροών.
- Κατάρτιση προϋπολογισμού.
- Παρακολούθηση πραγματικού κόστους.

Ο προϋπολογισμός προκύπτει από την εκτίμηση του κόστους των δραστηριοτήτων και των πόρων. Αφού καταρτισθεί ένας αποδεκτός προϋπολογισμός, αυτός αποτελεί το βασικό χρηματοοικονομικό εργαλείο του έργου. Μπορούν να διευθετηθούν πιστωτικές διευκολύνσεις και δάνεια και μπορεί να εκτιμηθεί το κόστος της χρηματοδότησης του έργου. Καθώς προχωρούν οι εργασίες, συγκεντρώνονται πληροφορίες σχετικά με το πραγματικό κόστος, οι οποίες συγκρίνονται με τον προϋπολογισμό. Η σύγκριση αυτή αποτελεί τη βάση για τον έλεγχο του κόστους. Η αλληλουχία των δραστηριοτήτων κατά τη φάση του αναλυτικού σχεδιασμού συνοψίζεται στο Σχήμα 10.



Σχήμα 10. Σημαντικότερες δραστηριότητες στη φάση αναλυτικού σχεδιασμού (Shtub et al., 2005)

Η. Εκτέλεση και έλεγχος του έργου

Είναι σημαντικό να έχουμε κατά νου ότι η επιτυχής υλοποίηση του αρχικού χρονοπρογραμματισμού εξαρτάται από απρόσμενα ή τυχαία γεγονότα, τα οποία είναι δύσκολο (ή και αδύνατο) να προβλεφθούν.

Για τους πόρους που δεν τελούν υπό τον πλήρη έλεγχο της διαχείρισης, τα επίπεδα αβεβαιότητας ενδέχεται να είναι πολύ υψηλότερα. Πηγές αβεβαιότητας, όπως μια ύφεση στην οικονομία, μια εργασιακή αναταραχή, επιτεύγματα ή αποτυχίες στον τεχνολογικό τομέα και νέες περιβαλλοντικές ρυθμίσεις, μπορούν πάντοτε να προκαλέσουν ανησυχία. Οι αβεβαιότητες αυτές πρέπει να παρακολουθούνται καταγράφοντας τον αντίκτυπο τους στην πρόοδο του έργου.

Τα συστήματα ελέγχου του έργου σχεδιάζονται για τρεις σκοπούς: (1) τον εντοπισμό των τρεχουσών αποκλίσεων και την πρόβλεψη μελλοντικών αποκλίσεων μεταξύ της

πραγματικής προόδου και των σχεδίων του έργου, (2) τον εντοπισμό της προέλευσης των εν λόγω αποκλίσεων και (3) την υποστήριξη των αποφάσεων της διοίκησης που στοχεύουν στην επαναφορά του έργου στην επιθυμητή πορεία. Συνοπτικά το στάδιο αυτό αφορά:

- Ανάπτυξη συστημάτων συλλογής δεδομένων.
- Ανάπτυξη συστημάτων ανάλυσης δεδομένων.
- Εκτέλεση δραστηριοτήτων.
- Συλλογή και ανάλυση δεδομένων.
- Εντοπισμός αποκλίσεων στο κόστος, τη διαμόρφωση, τον χρονοπρογραμματισμό και την ποιότητα.
- Ανάπτυξη διορθωτικών σχεδίων.
- Υλοποίηση διορθωτικών σχεδίων.
- Πρόβλεψη του κόστους του έργου κατά την ολοκλήρωση.

Θ. Τερματισμός του έργου

Ένα έργο δεν τερματίζεται κατ' ανάγκη μόλις επιτευχθούν οι τεχνικοί στόχοι του. Η διοίκηση πρέπει πάντοτε να προσπαθεί να μαθαίνει από τις προηγούμενες εμπειρίες ώστε ο χειρισμός των μελλοντικών έργων να είναι καλύτερος. Πρέπει να διενεργείται διεξοδική ανάλυση του αρχικού σχεδίου, των τροποποιήσεων που πραγματοποιήθηκαν κατά καιρούς, της πραγματικής προόδου και της σχετικής επιτυχίας του έργου. Βασικός στόχος είναι να εντοπισθούν οι διαδικασίες και οι τεχνικές που δεν ήταν αποτελεσματικές και να προταθούν τρόποι για τη βελτίωση των εργασιών. Πρέπει επίσης να καταβάλλονται προσπάθειες για τον εντοπισμό των ελλিপών ή πλεονασματικών εργαλείων διαχείρισης: όταν είναι αναγκαίο, πρέπει να υιοθετούνται νέες τεχνικές για τη διαχείριση έργου και οι διαδικασίες και τα εργαλεία που θεωρούνται απαρχαιωμένα πρέπει να εγκαταλείπονται. Στο τελευταίο στάδιο πραγματοποιούνται:

- Αξιολόγηση της επιτυχούς έκβασης του έργου.
- Σύσταση για βελτιώσεις στις πρακτικές διαχείρισης έργου.

- Ανάλυση και αποθήκευση πληροφοριών σχετικά με το πραγματικό κόστος, την πραγματική διάρκεια, τις πραγματικές επιδόσεις και τη διαμόρφωση.

2. ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Συχνά οι μηχανικοί καλούνται να απαντήσουν σε ερωτήματα όπως «τι μπορεί να πάει λάθος και πόσο πιθανό είναι κάτι τέτοιο;», «ποιο είναι το φάσμα των πιθανών συνεπειών, πότε ενδέχεται να συμβούν και πώς μπορούν να αποτραπούν ή να μετριασθούν;», «πόσος κίνδυνος είναι ανεκτός ή αποδεκτός υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας και πώς μπορεί να μετρηθεί, να μειωθεί και να τεθεί υπό έλεγχο ο κίνδυνος;».

Η τυπική ανάλυση κινδύνων επιχειρεί να προσδιορίσει και, όποτε είναι δυνατόν, να ποσοτικοποιήσει τις απαντήσεις στις ερωτήσεις αυτές (Bell 1989, Kaplan & Garrick 1981). Στα νέα συστήματα, έχει γίνει αποδεκτός ως ένας τρόπος σύγκρισης των εγγενών κινδύνων στους εναλλακτικούς σχεδιασμούς, ο εντοπισμός του μέρους υψηλού κινδύνου ενός συστήματος και ο προσδιορισμός τεχνικών για το μετριασμό των κινδύνων

Οι αναλυτές ορίζουν τον κίνδυνο ως το συνδυασμό της πιθανότητας έλευσης ενός ανεπιθύμητου συμβάντος και του μεγέθους κάθε προβλέψιμης συνέπειας (π.χ. ζημία σε περιουσιακά στοιχεία, χρηματικές απώλειες, καθυστέρηση στην υλοποίηση). Οι εξεταζόμενες συνέπειες μπορεί να κυμαίνονται σε σοβαρότητα από ένα απλό εμπόδιο έως την καταστροφή. Ορισμένοι βασικοί ορισμοί δίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Ορισμοί Τυπικής Ανάλυσης Κινδύνου

Αστοχία	Ανικανότητα ενός συστήματος, υποσυστήματος ή εξαρτήματος να εκτελέσει την απαιτούμενη λειτουργία.
Διασφάλιση ποιότητας	Πιθανότητα ένα σύστημα, υποσύστημα ή εξάρτημα να εκτελέσει τη σκοπούμενη λειτουργία του όταν δοκιμασθεί.
Αξιοπιστία	Πιθανότητα ένα σύστημα, υποσύστημα ή εξάρτημα να εκτελέσει τη σκοπούμενη λειτουργία του για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ή υπό φυσιολογικές συνθήκες.
Κίνδυνος	Συνδυασμός της πιθανότητας επέλευσης ενός αφύσικου γεγονότος ή μιας αστοχίας και των συνεπειών που το γεγονός αυτό ή Διεργασία και διαδικασίες προσδιορισμού, χαρακτηρισμού, ποσοτικοποίησης και αξιολόγησης κινδύνων και της σημασίας τους.
Αξιολόγηση κινδύνων	Διεργασία και διαδικασίες προσδιορισμού, χαρακτηρισμού, ποσοτικοποίησης και αξιολόγησης κινδύνων και της σημασίας τους.
Διαχείριση κινδύνων	Οποιαδήποτε τεχνική χρησιμοποιείται είτε για την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας ενός ατυχήματος είτε για τον μετριασμό των συνεπειών του, για παράδειγμα, μέσω καλού τεχνικού σχεδιασμού, ορθών πρακτικών λειτουργίας ή προληπτικής συντήρησης.
Αβεβαιότητα	Δείκτης των ορίων των γνώσεων σε έναν τεχνικό τομέα, ο οποίος εκφράζεται ως κατανομή των πιθανοτήτων γύρω από μια σημειακή εκτίμηση. Τα τέσσερα κύρια στοιχεία της αβεβαιότητας είναι η στατιστική εμπιστοσύνη (δείκτης της ακρίβειας των δειγμάτων), η ανοχή (δείκτης της συνάφειας των διαθέσιμων πληροφοριών σε σχέση με το υπό εξέταση πρόβλημα), έλλειψη πληρότητας και ακρίβειας των δεδομένων εισαγωγής, και αμφιβολίες κατά τη διαμόρφωση του προβλήματος.

(Πηγή: Dougherty et al, 1998)

Το πρώτο βήμα στην ανάλυση κινδύνων είναι η καταγραφή των διαφόρων σταδίων της αποστολής ενός συστήματος και της ευαισθησίας (τεχνικής, ανθρώπινης ή οικονομικής) κάθε σταδίου απέναντι στον κίνδυνο. Ο χρόνος κατά τον οποίο συμβαίνει μια αστοχία μπορεί να μετριάσει τις συνέπειές της.

Στη συνέχεια, για κάθε στάδιο της αποστολής, πρέπει να κατασκευάζεται το διάγραμμα της λειτουργίας του συστήματος και πρέπει να καθορίζονται οι λογικές σχέσεις των συστατικών μερών και των υποσυστημάτων στο συγκεκριμένο στάδιο. Οι χρησιμότερες τεχνικές για τον σκοπό αυτό είναι η ανάλυση ενδεχομένων βλάβης και επιπτώσεων, η ανάλυση δένδρου συμβάντων και η ανάλυση δένδρου λαθών (Kumamoto & Henley, 2001). Και οι τρεις αλληλοσυμπληρώνονται και μαζί βοηθούν τους μηχανικούς να προσδιορίσουν τις πηγές κινδύνου ενός συστήματος και να διαπιστώσουν τις πιθανές συνέπειες.

Για τους μηχανικούς και τους διαχειριστές, κύριος σκοπός της ανάλυσης κινδύνων - καθορισμός των σταδίων της αποστολής, εξέταση των σχέσεων μεταξύ μερών των συστημάτων και ποσοτικοποίηση των πιθανοτήτων αστοχίας - είναι η ανάδειξη τυχόν αδυναμιών στον σχεδιασμό και ο προσδιορισμός των αδυναμιών εκείνων που συμβάλλουν σε μεγαλύτερο βαθμό σε καθυστερήσεις ή ζημιές. Η διαδικασία μπορεί επίσης να προτείνει τρόπους ελαχιστοποίησης ή μετριασμού των κινδύνων.

2.1 Κίνδυνοι και αβεβαιότητα

Στη διαχείριση έργου αναφερόμαστε συχνά στα πολύ υψηλά επίπεδα αβεβαιότητας ως πηγές κινδύνων (Shtub et al., 2005).

Κίνδυνος υπάρχει στα περισσότερα έργα, και ιδίως στα έργα E&A. Στις κύριες πηγές αβεβαιότητες περιλαμβάνονται οι τυχαίες διακυμάνσεις στις επιδόσεις των μερών και του υποσυστήματος, η έλλειψη ακρίβειας ή η ανεπάρκεια δεδομένων και η αδυναμία ικανοποιητικής πρόβλεψης λόγω απειρίας. Ειδικότερα, είναι δυνατόν να υπάρχει:

1. *Αβεβαιότητα ως προς τον χρονοπρογραμματισμό.* Οι αλλαγές στο περιβάλλον, οι οποίες είναι αδύνατον να προβλεφθούν με ακρίβεια στην αρχή ενός έργου, είναι πιθανό να έχουν κρίσιμο αντίκτυπο στη διάρκεια ορισμένων δραστηριοτήτων. Για παράδειγμα, οι επιδόσεις ενός υπεργολάβου ή ο χρόνος που απαιτείται για τη λήψη ενός μακροπρόθεσμου δανείου αναπόφευκτα θα επηρεάσουν τη διάρκεια διαφόρων υποεργασιών. Απαιτούνται μέθοδοι για την αντιμετώπιση των προβληματικών ή ασταθών χρονικών εκτιμήσεων. Η θεωρία των πιθανοτήτων και η προσομοίωση έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για τον σκοπό αυτό.
2. *Αβεβαιότητα ως προς το κόστος.* Οι περιορισμένες πληροφορίες σχετικά με τη διάρκεια των δραστηριοτήτων καθιστούν δυσχερή την πρόβλεψη της ποσότητας των πόρων που θα απαιτηθούν για την έγκαιρη ολοκλήρωσή τους. Αυτό μεταφράζεται άμεσα σε αβεβαιότητα ως προς το κόστος. Επιπλέον, η προσδοκώμενη ωριαία τιμή των πόρων και το κόστος των

υλικών που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση των εργασιών του έργου ενδέχεται να εμφανίζουν υψηλή διαφοροποίηση.

3. *Τεχνολογική αβεβαιότητα.* Αυτή η μορφή αβεβαιότητας εμφανίζεται συνήθως σε έργα E&A, στα οποία αναπτύσσονται ή χρησιμοποιούνται νέες (όχι πλήρως δοκιμασμένες και εγκεκριμένες) τεχνολογίες, μέθοδοι, εξοπλισμός και συστήματα. Η τεχνολογική αβεβαιότητα είναι δυνατόν να επηρεάσει τον χρονοπρογραμματισμό, το κόστος και την τελική επιτυχία του έργου. Η ενσωμάτωση γνωστών τεχνολογιών σε ένα σύστημα ή προϊόν μπορεί επίσης να προκαλέσει τεχνολογική αβεβαιότητα. Το ίδιο ισχύει για την ανάπτυξη λογισμικού και την ενσωμάτωσή του στο υλικό.

Υπάρχουν και άλλες πηγές αβεβαιότητας, λαμβάνοντας υπόψη την οργανωσιακή ή πολιτική φύση της αβεβαιότητας. Νέοι κανονισμοί μπορεί να επηρεάσουν την αγορά ενός έργου, ενώ η εναλλαγή του προσωπικού και οι αλλαγές των πολιτικών σε μια ή περισσότερες από τις συμμετέχουσες οργανώσεις μπορεί να επηρεάσει τη ροή της εργασίας.

2.2 Η Φύση της Αβεβαιότητας

Εμφανίζονται δύο πηγές αβεβαιότητας: η μία είναι εγγενής στη θεωρία των πιθανοτήτων και η άλλη προέρχεται από τον παράγοντα του ανθρώπινου σφάλματος. Καταρχάς, οι νόμοι της τύχης εμποδίζουν να προβλεφθεί το πότε και το πού μπορεί να εμφανισθεί μια αστοχία. Αυτό ισχύει ακόμη και όταν υπάρχουν αρκετές στατιστικές πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία ενός συστήματος για να διατυπωθεί μια αξιόπιστη εκτίμηση σχετικά με το πόσο πιθανό είναι να εμφανίσει βλάβη. Ας θεωρήσουμε την περίπτωση ενός τυχαίου γεγονότος, όπως τη ρίψη ενός ζαριού (Christian, 2004). Αν το ρίξουμε άπειρες φορές και καταγράψουμε τη συχνότητα που εμφανίζεται ο κάθε αριθμός, η πιθανότητα οποιουδήποτε από τους αριθμούς (1 ως 6) που εμφανίζεται είναι 1/6. Γνωρίζοντας αυτό για ένα γεγονός, την επόμενη φορά που θα ρίξουμε τα ζάρια, είμαστε αβέβαιοι ποιος από τους έξι αριθμούς θα έρθει αλλά αυτή τη φορά έχουμε ένα μέτρο της αβεβαιότητας. Αυτός ο τύπος αβεβαιότητας οφείλεται στην τυχαία φύση του γεγονότος, γνωστής και ως Διακριτή Τυχαία Αβεβαιότητα (Aleatory Uncertainty).

Από την άλλη πλευρά, όταν έχουμε ένα πλήρες σετ από ντόμινο κομμάτια και ανακατεύονται στο τραπέζι και κάθε παίκτης παίρνει τα κομμάτια του, η διάταξη των κομματιών είναι σταθερή αλλά οι αξίες τους είναι άγνωστες. Το κλειδί για τη νίκη

συνίσταται στην εύρεση των αξιών των κομματιών, μέσω παρατήρησης και επαγωγής, κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού. Σε αυτή την περίπτωση η αβεβαιότητα οφείλεται στην έλλειψη γνώσης. Όσα περισσότερα κομμάτια με τις αντίστοιχες αξίες μπορούμε να δούμε, τόσο μικρότερη η αβεβαιότητα σχετικά με την αξία των εναπομεινάντων κομματιών. Αυτό το είδος αβεβαιότητας είναι γνωστή ως Γνωσιολογική Αβεβαιότητα (Epistemic Uncertainty).

Είναι προφανές, ότι όσο περισσότερες πληροφορίες έχουμε, η Γνωσιολογική Αβεβαιότητα τείνει να μειώνεται, ενώ η Τυχαία Αβεβαιότητα όχι. Αυτό το στατιστικό επίπεδο εμπιστοσύνης εκφράζεται συνήθως ως τυπική απόκλιση από το μέσο όρο ή έναν συναφή δείκτη. Στο επίπεδο της ανθρώπινης διεπαφής, η πρόκληση έγκειται στο σχεδιασμό ενός συστήματος κατά τρόπο ώστε όχι μόνον να λειτουργεί όπως πρέπει αλλά και να αφήνει στον χρήστη του ελάχιστα περιθώρια για εσφαλμένες κρίσεις. Πρόσθετος κίνδυνος μπορεί να δημιουργηθεί εάν ένας σχεδιαστής δεν προβλέψει ποιες πληροφορίες θα πρέπει να κατανοήσει και να ερμηνεύσει ένας χειριστής υπό την καθημερινή πίεση της δουλειάς του, ιδίως όταν αρχίζει να εκδηλώνεται μια επείγουσα κατάσταση.

Η ανθρώπινη συμπεριφορά δεν είναι τόσο προβλέψιμη όσο αυτή ενός μηχανικού συστήματος. Σήμερα, υπάρχουν πολλές τεχνικές που επιτρέπουν να ποσοτικοποιηθεί με αρκετή αξιοπιστία η πιθανότητα απροσεξίας, σφάλματος ή παρερμηνείας. Παρ' όλα αυτά η παραμένουσα αβεβαιότητα όσον αφορά την πρόβλεψη της ατομικής συμπεριφοράς συμβάλλει στον εναπομένοντα κίνδυνο σε κάθε σύστημα και έργο.

2.3 Τεχνικές Διαχείρισης Κινδύνου

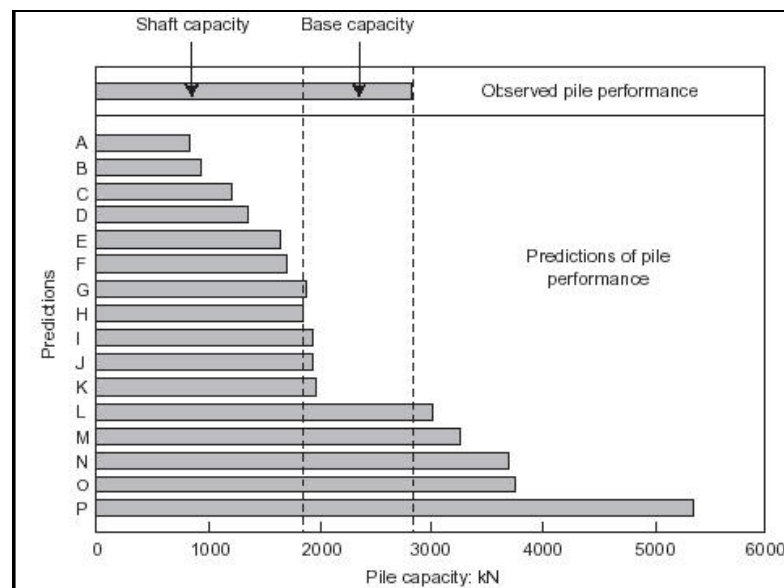
Οι Υπόγειες Κατασκευές παρουσιάζουν υψηλό βαθμό Αβεβαιότητας. Απρόβλεπτες καταστάσεις του εδάφους είναι η κύρια αιτία καθυστερήσεων και υπέρβασης του κόστους, παγκοσμίως, σε έργα κατασκευής σιράγγων (Woods, 2002). Το κενό μεταξύ των δεδομένων που έχουμε μέσω διάφορων Γεωτεχνικών φύλλων Χαρτογραφήσεων και των πραγματικών εδαφικών συνθηκών που απαντούν στα εργοτάξια, απαιτεί συγκεκριμένη διαχείριση & μείωση του κινδύνου. Στις γεωτεχνικές κατασκευές, είναι σύνηθες οι παράγοντες αβεβαιότητας να συνδέονται με (Auvinet, 2002):

- Χωρική απόκλιση (spatial variation) και ετερογένεια του εδάφους.
- Περιορισμένη έρευνα εδάφους/υπεδάφους.

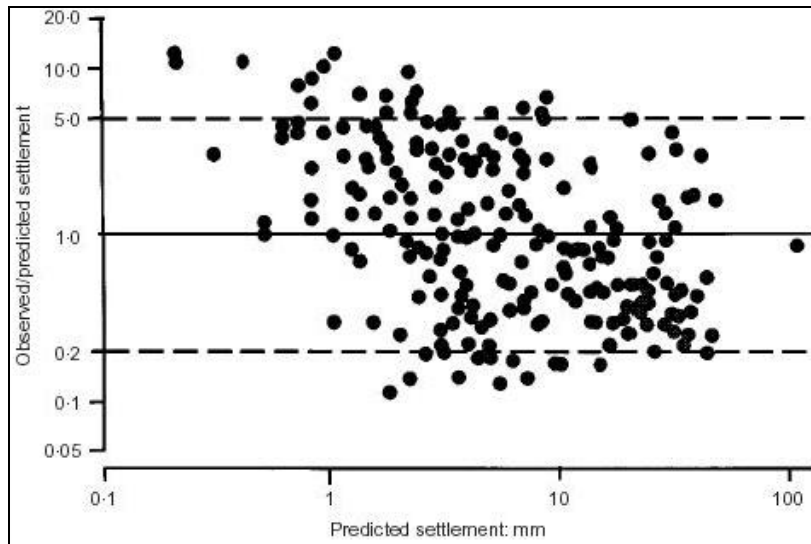
- Ασυμφωνία μεταξύ εργαστηριακών/εργοταξιακών μετρήσεων.
- Λάθη μετρήσεων (έλλειψη ακρίβειας οργάνων).
- Υποκειμενικοί υπολογισμοί.
- Περιβαλλοντικοί παράγοντες (υδρομετρική πίεση, διάβρωση).
- Ακρίβεια γεωτεχνικών μοντέλων.
- Ανθρώπινος παράγοντας.

Συχνά παρατηρούνται αισθητές διαφορές θεωρητικών προβλέψεων και πραγματικής συμπεριφοράς του υπεδάφους, εξαιτίας των πολλών παραμέτρων που εμπλέκονται.

Τα Σχήματα 11 και 12, από τις μελέτες των Wheeler (1999) και Clayton et al. (1988), αποτελούν αντιπροσωπευτικά παραδείγματα. Και στα δύο σχήματα η διαφοροποίηση προκύπτει από τις διαφορετικές προσεγγίσεις πάνω στο πρόβλημα. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα αποτελέσματα συγκρίνονται με το πραγματικό αποτέλεσμα που έχει μετρηθεί επί τόπου.



Σχήμα 11. Σύγκριση αναμενόμενης και πραγματικής αντοχής πασσάλων (Wheeler, 1999)



Σχήμα 12. Σύγκριση αναμενόμενης και πραγματικής θεμελίωσης σε άμμο (Clayton et al., 1988)

I. Αριθμητική Προσέγγιση στην Αβεβαιότητα

Η χωρική ανομοιομορφία των μηχανικών χαρακτηριστικών του εδάφους είναι ένας από τους κύριους λόγους αβεβαιότητας (Vanmarcke, 1977). Η Γεωστατιστική ως επιστημονικός κλάδος παρέχει κατάλληλα μεθοδολογικά εργαλεία που μπορούν να περιγράψουν πιο ρεαλιστικά τη χωρική ανομοιομορφία του εδάφους, σε σχέση με μια γραμμική απεικόνιση του υπεδάφους (linear profiling), τεχνική κοινώς χρησιμοποιούμενη στη Γεωτεχνική. Η Γεωτεχνική βασίζεται σε επαρκή πραγματικά δεδομένα, ώστε να παρέχει ένα βαθμό βεβαιότητας (Deutsch, 2004). Ο βαθμός βεβαιότητας εξαρτάται από τα διαθέσιμα στοιχεία.

Τα πλεονεκτήματα της Γεωστατιστικής έχουν εφαρμοστεί κυρίως στις βιομηχανίες μεταλλευτικής και πετρελαίου. Η Γεωστατιστική έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε παράκτια κατασκευαστικά έργα όπως στο la Sonda de Campeche, στον κόλπο του Μεξικό και στη Βόρεια Θάλασσα (Lacasse & Nadim, 1996). Έχει χρησιμοποιηθεί σε αστικό περιβάλλον, για τον χαρακτηρισμό και προσομοίωση του υπεδάφους της κοιλάδας της πόλης του Μεξικό (Auvinet & Juarez, 2002), καθώς και για το χαρακτηρισμό του υπεδάφους, στο οποίο θα εδράζονται οι 90μετροι πυλώνες της γέφυρας Ρίο-Αντίρριο, στον Κορινθιακό Κόλπο (Auvinet & Medina, 1998).

Η ακρίβεια των γεωστατιστικών μοντέλων εξαρτάται από τα στοιχεία που εισάγονται και από τη διαδικασία επεξεργασίας. Ένα από τα δημοφιλέστερα πακέτα γεωστατικής είναι το GSLIB (Deutsch & Journel, 1998).

II. Μέθοδος της Παρατήρησης (Observational Method)

Ο Karl Terzaghi διατύπωσε τη γεωτεχνική αβεβαιότητα ως εξής (1948):

Για έργα όπως σήραγγες, θαλάμους, φράγματα, ένα τεράστιο ποσό προσπάθειας & εργασίας, πηγαίνει σε εξασφάλιση μόνο, κατά προσέγγιση τιμών για τις φυσικές σταθερές που εμφανίζονται στις εξισώσεις. Πολλές μεταβλητές, όπως ο βαθμός πίεσης του νερού που περιέχεται στο έδαφος, παραμένουν άγνωστες.

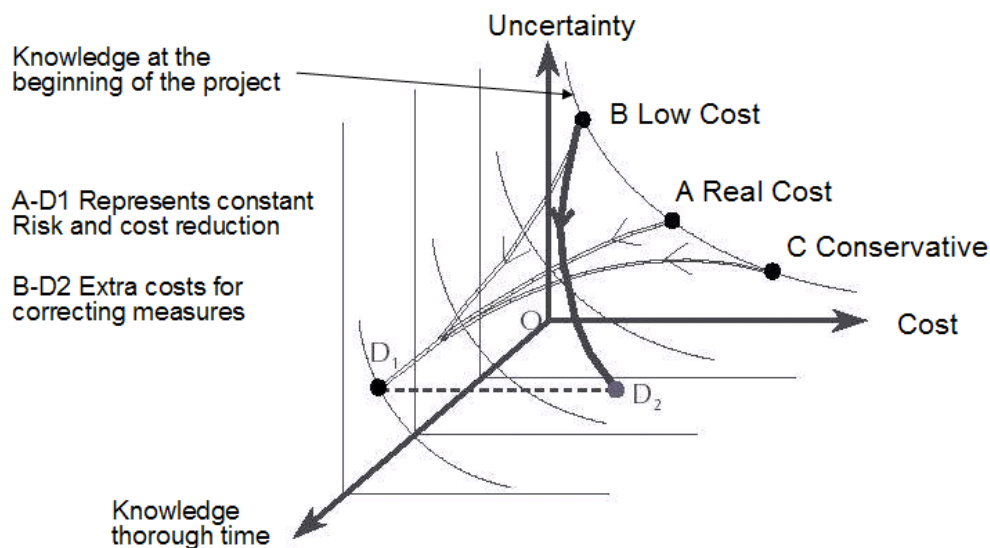
Έτσι, τα αποτελέσματα των υπολογισμών δεν είναι περισσότερο παρά υποθέσεις εργασίας, υποκείμενες σε επιβεβαίωση ή τροποποίηση κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Στο παρελθόν, δύο μόνο μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση των αναπόφευκτων αβεβαιοτήτων: είτε να υιοθετήσουν έναν υπερβολικό παράγοντα ασφάλειας ή να κάνουν υποθέσεις σύμφωνα με τη γενική πείρα. Η πρώτη μέθοδος είναι κοστοβόρα, η δεύτερη επικίνδυνη.

Η Εδαφομηχανική, όπως την αντιλαμβανόμαστε σήμερα, παρέχει μια τρίτη μέθοδο που θα μπορούσε να ονομαστεί “η πειραματική μέθοδος” (μετονομάστηκε αργότερα από τον Peck ως μέθοδος παρατήρησης).

Η διαδικασία έχει ως εξής: Βάσει του σχεδιασμού σε ότι πληροφορίες έχουν εξασφαλισθεί Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων, σταδιακά κλείνουν τα κενά στη γνώση και αν απαραίτητο, τροποποιείται το σχέδιο κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

Η Εδαφομηχανική μας παρέχει τις γνώσεις που απαιτούνται για την πρακτική εφαρμογή αυτής της “μαθαίνοντας – όσο – προχωρώ” μεθόδου.

Η θεωρία αυτή του Terzaghi, αναπτύχθηκε περαιτέρω από την έννοια του Casagrande περί ‘υπολογισμένου ρίσκου’ (calculated risk) (1964) και την «μέθοδο της παρατήρησης» του Peck (1968). Η μέθοδος θεωρεί ένα σχέδιο για το πιο πιθανό σενάριο, που μπορεί να δεχτεί αλλαγές εάν προκύψουν δυσμενείς συνθήκες, ώστε να παρέχει την πιο οικονομική λύση. Η επιτυχία της μεθόδου εξαρτάται από την επαναληπτική φύση της διαδικασίας (Σχήμα 13).



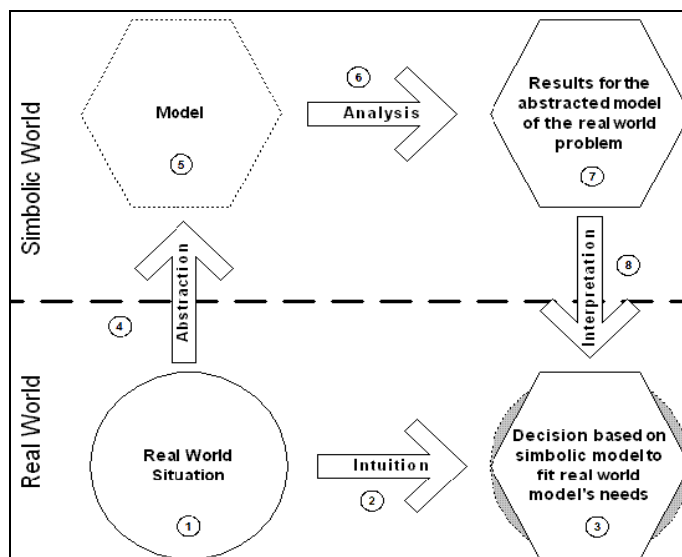
Σχήμα 13. Η Μέθοδος της Παρατήρησης και οι παράμετροι της: Αβεβαιότητα, κόστος, χρόνος (Powderham,1998)

Η ουσία της Μεθόδου Παρατήρησης βασίζεται στη συνεχή παρακολούθηση και προσαρμογή του σχεδιασμού κατά την κατασκευή, ώστε να παρέχει την πιο οικονομική λύση. Από το Σχήμα 10, η επιλογή C θα αρχίσει σε μια συντηρητική θέση, και μπορεί να τροποποιηθεί, μέσω εξοικονόμησης, χωρίς να διακυβεύεται η κατασκευή.

Για ένα έργο που αρχίζει στο B, η μέθοδος βοηθά να συνειδητοποιήσουμε πότε ένα σχέδιο πρέπει να τροποποιηθεί, προκειμένου να διορθωθούν ανεπιθύμητα αποτελέσματα. Η πρακτική αυτή είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για τη μέθοδο NATM. Όταν εφαρμόζεται ντετερμινιστικός σχεδιασμός, οι ανοχές και η προσαρμοστικότητα είναι περιορισμένες, μειώνοντας την εφαρμογή της Μεθόδου Παρατήρησης.

III. Μοντέλο Αβεβαιότητας

Αναθέτοντας τη λύση ενός προβλήματος σε μια ομάδα ανθρώπων, είναι πιθανό ότι ο καθένας τους θα έχει και διαφορετική προσέγγιση στη λύση. Όσο πιο περίπλοκο το πρόβλημα, τόσο περισσότερα μονοπάτια που οδηγούν σε μια πιθανή λύση. Ας εξετάσουμε το μοντέλο, προσαρμοσμένο από τους Moore & Weatherford (2001) στο Σχήμα 14.



Σχήμα 14. Μοντελοποίηση προβλήματος (Moore & Weatherford, 2001)

Στο Σχήμα 14, η κατάσταση στον πραγματικό κόσμο, εκπροσωπείται με τον κύκλο (1). Μετά από το σημείο εκκίνησης, ακολουθούνται δύο διαδρομές: Διαδρομή A, 1→2→3 και Διαδρομή B, 1→4→5→6→7→8→3.

Η Διαδρομή A περιλαμβάνει την πλειοψηφία των καθημερινών αποφάσεων, όπου η λύση είναι απλή και δεν χρειάζεται περαιτέρω ανάλυση, αυτό βασίζεται εντελώς στη διαίσθηση. Σε πιο περίπλοκες καταστάσεις ταιριάζει η Διαδρομή B. Μέσω της αφαίρεσης (4), ο εγκέφαλος δημιουργεί μια αναπαράσταση της πραγματικής κατάστασης, ένα μοντέλο (5). Μετά από ανάλυση του μοντέλου (6), παράγονται αποτελέσματα που εκφράζουν μια λύση του υποδείγματος (7). Μετά από ερμηνεία των αποτελεσμάτων, λαμβάνεται μια απόφαση και εφαρμόζεται στην πραγματική κατάσταση, ως λύση στην απόφαση (3). Το μοντέλο που απεικονίζεται με το εξάγωνο αντιπροσωπεύει την ανακριβή αναπαράσταση της πραγματικής κατάστασης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το μοντέλο δεν μπορεί παρά να προσφέρει μια εκτίμηση, εξαιτίας παραγόντων όπως: έλλειψη πληροφοριών, παρερμηνεία της κατάστασης, αντιφατικές ή ασαφείς πληροφορίες.

Τα μοντέλα αβεβαιότητας που παρουσιάζουν ανθρώπινη αλληλεπίδραση & περιορισμένες πληροφορίες, είναι δύσκολο να απεικονιστούν. Στην κατασκευή υπόγειων έργων, όπου γνωρίζουμε σχετικά λίγες μεταβλητές σε σχέση με το σύνολο, η εμπειρία και η κρίση της ομάδας έχουν τον πρώτο λόγο. Το Σχήμα 14 αναπαριστά την αφαιρετική διαδικασία του μοντέλου για λήψη αποφάσεων μιμούμενη την ίδια διαδικασία που ακολουθείται στη Διαχείριση Κινδύνου.

2.4 Διαχείριση Κινδύνου

Ο κίνδυνος είναι ανεπιθύμητο αλλά αναπόφευκτο μέρος κάθε έργου ή νέου εγχειρήματος. Όλα τα έργα εμφανίζουν κάποιον εγγενή κίνδυνο λόγω της αβεβαιότητας που συνοδεύει κάθε νέο εγχείρημα. Σε πολλούς κλάδους, όσο περισσότεροι είναι οι κίνδυνοι του έργου, τόσο μεγαλύτερη είναι η ανταμοιβή. Επομένως, ο κίνδυνος είναι μερικές φορές επωφελής, καθώς εμπεριέχει τη δυνατότητα αύξησης του κέρδους. Διαχείριση των κινδύνων (RISK MANAGEMENT) δεν σημαίνει αποφυγή των κινδύνων, αλλά είναι μια μέθοδος για τον έλεγχο των κινδύνων, ώστε, μακροπρόθεσμα, τα έργα να προσφέρουν καθαρά κέρδη στην οργάνωση, δηλαδή τα συνολικά κέρδη να υπερβαίνουν τουλάχιστον τις συνολικές ζημίες. Κατευθυντήρια αρχή είναι η αναζήτηση μιας ισορροπίας μεταξύ κινδύνων και ευκαιριών.

Η διαχείριση κινδύνων περιλαμβάνει τις ακόλουθες έξι διεργασίες:

- Σχεδιασμός διαχείρισης κινδύνων.
- Προσδιορισμός κινδύνων.
- Ποιοτική ανάλυση κινδύνων.
- Ποσοτική ανάλυση κινδύνων.
- Σχεδιασμός απόκρισης στους κινδύνους.
- Παρακολούθηση και έλεγχος κινδύνων.

Σκοπός των διεργασιών αυτών είναι να προσδιορισθούν και να αξιολογηθούν πιθανά γεγονότα τα οποία θα μπορούσαν να έχουν αρνητικό αντίκτυπο στο έργο. Αναπτύσσονται μέτρα έκτακτης ανάγκης για την αντιμετώπιση κάθε είδους διαταραχής που εντοπίζεται καθώς και κάθε αβεβαιότητας που μπορεί να επηρεάσει τον προγραμματισμό, την παρακολούθηση και τον έλεγχο του έργου.

Εάν επιχειρήσουμε να ταξινομήσουμε σε κατηγορίες τις στάσεις των ανθρώπων απέναντι στον κίνδυνο υπάρχουν αυτοί που αποστρέφονται τον κίνδυνο, αυτοί που δελεάζονται από τον κίνδυνο και αυτοί που αντιμετωπίζουν τον κίνδυνο με αδιαφορία. Υπό διαφορετικές συνθήκες και για διαφορετικές ανταμοιβές, το ίδιο πρόσωπο μπορεί να εμπίπτει σε οποιαδήποτε από τις τρεις αυτές κατηγορίες.

Οι κίνδυνοι μπορούν να επηρεάσουν το αντικείμενο, την ποιότητα, τον χρονοπρογραμματισμό, το κόστος και άλλους στόχους του έργου, όπως την ικανοποίηση

του πελάτη. Οι σημαντικότεροι κίνδυνοι πρέπει να αντιμετωπίζονται μέσω μιας ανάλυσης κατά Pareto για την εκτίμηση του μεγέθους τους.

Ο Vilfredo Pareto μελέτησε την κατανομή του πλούτου στο Μιλάνο τον 18ο αιώνα και διαπίστωσε ότι 20% των οικογενειών της πόλης κατείχαν περίπου 80% του πλούτου της. Τα πορίσματά του αποδείχθηκαν γενικότερης χρήσης από τον αρχικό σκοπό της μελέτης του. Σε πολλούς πληθυσμούς αποδεικνύεται ότι μικρό ποσοστό του πληθυσμού (λόγου χάρη, 15-25%) αντιπροσωπεύει σημαντικό ποσοστό του μετρούμενου παράγοντα (λόγου χάρη, 75-85%). Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως κανόνας Pareto. Χρησιμοποιώντας τον κανόνα αυτό, μπορεί κανείς να επικεντρώσει την προσοχή του στα σημαντικότερα στοιχεία ενός πληθυσμού. Έτσι, στη διαχείριση κινδύνων, εστιάζοντας στο 10-20% των κινδύνων με το μεγαλύτερο μέγεθος μπορεί κανείς να αντιμετωπίσει περίπου 80% του συνολικού αντίκτυπου των κινδύνων στο έργο.

Στην ανάλυση κατά Pareto, τα γεγονότα που είναι δυνατόν να έχουν τον σοβαρότερο αντίκτυπο στο έργο προσδιορίζονται πρώτα, για παράδειγμα, εξετάζοντας το ιστορικό παρόμοιων έργων. Στη συνέχεια, καταρτίζεται ένας κατάλογος ελέγχου κινδύνων με τη βοήθεια των μελών της ομάδας και εξωτερικών εμπειρογνομώνων. Έπειτα, εκτιμάται το μέγεθος κάθε στοιχείου ως προς τον αντίκτυπο και την πιθανότητα. Ο πολλαπλασιασμός των δύο αυτών παραμέτρων δίνει την αναμενόμενη ζημία για τον συγκεκριμένο κίνδυνο. Όταν δεν είναι άμεσα διαθέσιμες εκτιμήσεις πιθανότητας, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι όπως προσομοιώσεις και κρίσεις εμπειρογνομώνων.

Επικίνδυνο γεγονός είναι ένα διακριτό τυχαίο συμβάν, το οποίο δεν είναι δυνατόν να ενταχθεί ρητά στο πρόγραμμα του έργου. Τα επικίνδυνα γεγονότα καθορίζονται βάσει των πιθανών εμποδίων που δημιουργούν για (1) την επίτευξη των στόχων του έργου (τα χαρακτηριστικά του προϊόντος ή της υπηρεσίας), (2) την τήρηση του χρονοπρογράμματος και του προϋπολογισμού, και (3) την ικανοποίηση των απαιτήσεων σε πόρους. Το περιβάλλον στο οποίο εκτελείται το έργο συνιστά επίσης πιθανή πηγή κινδύνων. Οι ιστορικές πληροφορίες είναι ένα σημαντικό δεδομένο στη διαδικασία προσδιορισμού των κινδύνων. Στα έργα υψηλής τεχνολογίας, για παράδειγμα, τα κενά των γνώσεων αποτελούν συνηθισμένη πηγή κινδύνων. Οι προσπάθειες ανάπτυξης, χρήσης ή ενσωμάτωσης νέων τεχνολογιών ενέχουν κατ' ανάγκη αβεβαιότητα και, επομένως, κινδύνους. Στις εξωτερικές πηγές κινδύνων συγκαταλέγονται νέοι νόμοι, καθυστερήσεις στις μεταφορές, ελλείψεις πρώτων υλών και εργασιακές αναταραχές. Εσωτερικές δυσκολίες ή διαφωνίες ενδέχεται επίσης να παραγάγουν κινδύνους.

Η πιθανότητα επικίνδυνων γεγονότων και το μέγεθος και ο αντίκτυπος τους στην επιτυχία του έργου εκτιμώνται κατά τη διαδικασία ποσοτικοποίησης του κινδύνου. Σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι η ιεράρχηση των κινδύνων με σειρά πιθανότητας επέλευσης και βαθμού αντίκτυπου στο έργο. Ο υψηλός κίνδυνος είναι ένα γεγονός που είναι εξαιρετικά πιθανό και που ενδέχεται να προκαλέσει σημαντική ζημία.

Βάσει του μεγέθους του κινδύνου που συνδέεται με κάθε επικίνδυνο γεγονός, αναπτύσσεται μια συμπεριφορά προς τον κίνδυνο, συμπεριλαμβανομένων των εξής:

- Εξάλειψη κινδύνου - σε μερικά έργα είναι δυνατή η πλήρης εξάλειψη ορισμένων κινδύνων χρησιμοποιώντας, για παράδειγμα, μια διαφορετική τεχνολογία ή έναν διαφορετικό προμηθευτή.
- Μείωση των κινδύνων - εάν η εξάλειψη του κινδύνου είναι πολύ δαπανηρή ή αδύνατη, ενδέχεται να είναι δυνατή η μείωση της πιθανότητας ενός επικίνδυνου γεγονότος ή του αντίκτυπου του ή αμφοτέρων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο πλεονασμός στα έργα E&A, όταν δύο τεχνολογίες που αποκλείονται αμοιβαίως αναπτύσσονται παράλληλα για να μειωθεί ο κίνδυνος της αποτυχίας στην ανάπτυξη που μπορεί να βλάψει το έργο. Μολονότι θα χρησιμοποιηθεί μόνον μία από τις εναλλακτικές τεχνολογίες, η παράλληλη προσπάθεια μειώνει την πιθανότητα της αποτυχίας.
- Επιμερισμός των κινδύνων - σε ορισμένα έργα είναι δυνατός ο επιμερισμός των κινδύνων (και των οφελών) με ορισμένους ενδιαφερόμενους, όπως προμηθευτές, υπεργολάβους, εταίρους ή ακόμη και τον πελάτη. Η σύναψη συμβάσεων ασφάλισης είναι μια άλλη μορφή επιμερισμού των κινδύνων.
- Απορρόφηση των κινδύνων - εάν ληφθεί απόφαση απορρόφησης των κινδύνων, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν αντισταθμιστικά μέτρα υπό μορφή αποθεμάτων διαχείρισης ή πρόσθετου χρόνου στον χρονοπρογραμματισμό. Επιπλέον, ενδέχεται να ενδείκνυται η κατάρτιση σχεδίων έκτακτης ανάγκης για την αντιμετώπιση των συνεπειών τυχόν διαταραχών.

Καθώς πληροφορίες συλλέγονται καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός έργου, οι νέες πληροφορίες χρησιμοποιούνται για τη διαρκή ενημέρωση του προγράμματος διαχείρισης του έργου. Ο έλεγχος των αποκρίσεων στους κινδύνους συνεπάγεται την αναγκαιότητα μιας συνεχούς προσπάθειας για τον εντοπισμό νέων πηγών κινδύνου, την ενημέρωση των εκτιμήσεων σχετικά με τις πιθανότητες και τον αντίκτυπο των

επικίνδυνων γεγονότων και την ενεργοποίηση του προγράμματος διαχείρισης κινδύνων, όταν απαιτείται. Με τη συνεχή παρακολούθηση της προόδου και την ενημέρωση του προγράμματος διαχείρισης των κινδύνων, μπορεί να μειωθεί ο αντίκτυπος της αβεβαιότητας και να αυξηθεί η πιθανότητα επιτυχίας του έργου. Η επαγρύπνηση για τον εντοπισμό συμπτωμάτων κινδύνων είναι το πρώτο μέτρο για την αποτροπή των προβλημάτων προτού εμφανισθούν. Ένας τρόπος για την επίτευξη του στόχου αυτού είναι η κατάρτιση ενός καταλόγου με τους σημαντικότερους κινδύνους, οι οποίοι πρέπει να ελέγχονται περιοδικά. Επειδή οι κίνδυνοι αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου, ο κατάλογος πρέπει να ενημερώνεται συνεχώς και πρέπει να αντλούνται νέες εκτιμήσεις σχετικά με τον αντίκτυπο και την πιθανότητα επέλευσης τους.

2.5 Πλεονεκτήματα Διαχείρισης Κινδύνου

Η Διαχείριση Κινδύνου είναι μια δυναμική διαδικασία που υπερβαίνει συγκεκριμένο έργο και προσφέρει την ευκαιρία για ενίσχυση της γνώσης για μελλοντικά έργα. Η Διαχείριση Κινδύνου ωθεί την ομάδα του έργου, να σκεφτεί όλους τους πιθανούς κινδύνους, ακόμα και αυτούς που δεν σχετίζονται άμεσα με τεχνικά ζητήματα, καθώς οι κίνδυνοι αυτοί είναι συντελεστές υπέρβασης κόστους και χρονοδιαγράμματος έργων, όπως της σήραγγας της Μάγχης ή της Βοστώνης “Big-Dig” (Reilly & Brown, 2004).

Ακολουθώς παρατίθενται τα οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση της Διαχείρισης Κινδύνου:

- Επιτρέπει πιο ρεαλιστικά σχέδια, προγράμματα & προϋπολογισμούς.
- Αυξάνει τις πιθανότητες επιτυχίας ενός έργου.
- Βελτιώνει το ομαδικό πνεύμα.
- Βοηθά το προσωπικό να αναπτύξει δεξιότητες αξιολόγησης κινδύνου.
- Αποθαρρύνει τα σαθρά οικονομικά έργα.
- Εστιάζει την προσοχή του σχεδίου διαχείρισης στα πιο σημαντικά ζητήματα.
- Οικοδομεί τη γνώση για την καλύτερη διαχείριση μελλοντικών σχεδίων.
- Επιτρέπει την ανάληψη μεγαλύτερων κινδύνων καθώς και ευκαιριών που προκύπτουν από αυτές.
- Επιτρέπει την πιο αντικειμενική επιλογή των εναλλακτικών λύσεων.

- Προσφέρει ένα πειστικό εργαλείο marketing μέσω μια υπεύθυνης προσέγγισης προς τους πελάτες.

Η Διαχείριση Κινδύνου δεν εγγυάται ότι ένα έργο θα ολοκληρωθεί σε ένα συγκεκριμένο προϋπολογισμό & χρονικό πλαίσιο, καθώς η αβεβαιότητα είναι εγγενής στις υπόγειες κατασκευές. Η μείωση της αβεβαιότητας σημαίνει τήρηση ισορροπιών μεταξύ της καλύτερης γνώσης μέσω γεωτεχνικής έρευνας & του κόστους. Μια μελέτη που εκπονήθηκε από το National Research Council των ΗΠΑ, μεταξύ 89 υπόγειων έργων, έδειξε ότι το 85% του χρόνου, στον οποίο δεν λαμβάνονταν εργοταξιακές μετρήσεις για γεωτεχνική ταξινόμηση του εδάφους, παρατηρήθηκαν υπερβάσεις κόστους και χρονικές καθυστερήσεις (NRC, 1984).

3. ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΕΡΓΩΝ

3.1 Η Έννοια του Κόστους – Κοστολόγηση /Τιμολόγηση

«Ο σκοπός της εκτίμησης του κόστους κατασκευής είναι η παροχή πληροφοριών για την λήψη αποφάσεων στην κατασκευή, συμπεριλαμβανομένων των πεδίων των προμηθειών και την τιμολόγηση των κατασκευών, για τη θέσπιση του προβλεπόμενου ποσού των πληρωμών, και τον έλεγχο των πραγματικών ποσοτήτων» (Bari, 2008).

Στη διεθνή βιβλιογραφία κυρίως και λιγότερο στην ελληνική έχουν αναπτυχθεί πολλά μοντέλα - μέθοδοι εκτίμησης και παρακολούθησης του κόστους ενός τεχνικού έργου. Τα τελευταία χρόνια ωστόσο, για την προκοστολόγηση και την παρακολούθηση ενός έργου γίνεται ευρεία χρήση υπολογιστικών προγραμμάτων (πχ. για τον υπολογισμό των ΑΤΕΟ, ΑΤΥΕ). Ακολουθώς παρατίθενται ορισμένοι ορισμοί αναφορικά με τις έννοιες του κόστους και της κοστολόγησης:

- Κόστος είναι η διάθεση ή η επένδυση αγοραστικής δύναμης για την απόκτηση υλικών ή άυλων αγαθών και υπηρεσιών με σκοπό τη χρησιμοποίησή τους για την πραγματοποίηση εσόδων από πωλήσεις .
- Κόστος, είναι ένα αριθμητικό μέγεθος που αντιπροσωπεύει τα ποσά που επενδύθηκαν για την απόκτηση υλικών ή άυλων αγαθών και υπηρεσιών με σκοπό την χρησιμοποίηση για την πραγματοποίηση εσόδων από πωλήσεις ή για την κάλυψη κοινωνικών αναγκών (Παυλάτος, 2006).
- Κοστολόγηση είναι η διαδικασία με την οποία υπολογίζεται το κόστος παραγωγής ενός προϊόντος, δηλαδή κοστολόγηση είναι μια λογιστική κατάσταση στην οποία καταχωρούνται, κατατάσσονται κατ' είδος και απεικονίζονται οι δαπάνες που προσδιορίζουν το κόστος παραγωγής των προϊόντων/διαδικασιών (Μπενάρδος & Καλιαμπάκος, 2010).Κοστολόγηση είναι το σύνολο των συστηματικών εργασιών που αποβλέπουν στο να συγκεντρώσουν, να κατατάξουν, να καταγράψουν και να επιμερίσουν κατάλληλα τις δαπάνες, έτσι ώστε να προσδιοριστεί το κόστος των υπηρεσιών, των διαδικασιών, κτλ. μίας επιχείρησης (Χαραλαμπίδης, 2009).

Αντικείμενο της κοστολόγησης ανεξαρτήτως της φύσεως της επιχείρησης είναι (Χαραλαμπίδης, 2009):

- παρακολούθηση των σταδίων της παραγωγής και της διάθεσης των προϊόντων.
- καταλογισμό των άμεσων εξόδων κατά τμήμα και προϊόν.
- επιμερισμό των έμμεσων, εξόδων κατά τη θέση και προϊόν.
- υπολογισμό του κόστους των πρώτων υλών, των ημικατεργασμένων και των έτοιμων προϊόντων.
- υπολογισμό του κόστους των συμπαραγωγών προϊόντων.
- υπολογισμό του κόστους των υποπαραγωγών, ελαττωματικών και ακατάλληλων προϊόντων

Τα τέσσερα βασικά επιμέρους κόστη μιας εργασίας είναι:

- υλικά
- εργατικά
- μηχανήματα
- υπεργολάβοι

Ο σκοπός της κοστολόγησης, (Μπενάρδος et al., 2010), είναι η παροχή κάθε χρήσιμης πληροφορίας ώστε να αναγνωριστούν:

- ο έλεγχος της αποτελεσματικότητας της παραγωγικής διαδικασίας,
- η εξεύρεση του βαθμού της παραγωγικής δραστηριότητας στον οποίο η επιχείρηση επιτυγχάνει τον ευνοϊκότερο κόστος
- η άσκηση τιμολογιακής πολιτικής

3.2 Ταξινόμηση του Κόστους

Ένας τρόπος ταξινόμησης του κόστους είναι με βάση τις πέντε φάσεις του κύκλου ζωής (Sthub et al., 2005):

1.Κόστος της φάσης της προκαταρκτικής μελέτης.

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τα έξοδα που συνδέονται με τις πρώτες προσπάθειες του κύκλου ζωής. Σε αυτές περιλαμβάνονται οι μελέτες εφικτότητας, η ανάλυση και η επιλογή συνδιαμόρφωσης, το engineering συστημάτων, η αρχική ανάλυση εφοδιαστικής υποστήριξης και ο αρχικός σχεδιασμός.

Το κόστος της φάσης της προκαταρκτικής μελέτης αυξάνεται συνήθως ανάλογα με τον βαθμό καινοτομίας του έργου. Στα έργα που στοχεύουν στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, η φάση αυτή είναι συνήθως μακρά και δαπανηρή.

Όταν σταθμίζεται μια τροποποίηση ή βελτίωση ενός υπάρχοντος συστήματος, το επίπεδο αβεβαιότητας είναι μικρότερο και, ως εκ τούτου, το κόστος που συνδέεται με τη φάση της προκαταρκτικής μελέτης είναι επίσης χαμηλότερο. Αυτό συμβαίνει, λόγω χάρη, σε πολλά κατασκευαστικά έργα, στα οποία η χρήση νέων τεχνικών ή τεχνολογιών δεν είναι πρωτεύον ζήτημα.

2.Κόστος της φάσης της προχωρημένης ανάπτυξης και του αναλυτικού σχεδιασμού.

Στην περίπτωση αυτή παρουσιάζεται το κόστος του χρονοπρογραμματισμού και του αναλυτικού σχεδιασμού. Περιλαμβάνονται ο σχεδιασμός του προϊόντος και των διεργασιών η προετοιμασία των τελικών απαιτήσεων απόδοσης, η προετοιμασία της δομής υποδιαίρεσης εργασιών, του χρονοπρογραμματισμού, του προϋπολογισμού και των σχεδίων διαχείρισης των πόρων καθώς και ο καθορισμός των διαδικασιών και των εργαλείων διαχείρισης που θα χρησιμοποιηθούν καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου.

3.Κόστος της φάσης παραγωγής

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τα έξοδα που συνδέονται με την εκτέλεση του σχεδίου, συμπεριλαμβανομένων της κατασκευής νέων εγκαταστάσεων ή της αναδιαμόρφωσης υπάρχουσών εγκαταστάσεων για συναρμολόγηση, δοκιμές, παραγωγή και επιδιορθώσεις. Περιλαμβάνονται επίσης το πραγματικό κόστος του εξοπλισμού, της εργασίας και των υλικών που απαιτούνται για τις εργασίες, καθώς και τα έξοδα αναπαραγωγής των τεχνικών σχεδίων και τα έξοδα που συνδέονται με την τεκμηρίωση των διαδικασιών παραγωγής, συναρμολόγησης και δοκιμών.

Σε πολλά έργα και συστήματα, αυτή είναι η φάση με το υψηλότερο κόστος. Η ποιότητα των απαιτήσεων και των αποφάσεων σχεδιασμού που λήφθηκαν σε προγενέστερες φάσεις του έργου καθορίζουν το πραγματικό κόστος της παραγωγής. Συγκεντρώνοντας και αποθηκεύοντας το πραγματικό κόστος σε κατάλληλες βάσεις δεδομένων, η ανάλυση LCC μπορεί να βελτιωθεί για παρόμοια μελλοντικά έργα. Το μοντέλο LCC στη φάση αυτή γίνεται ολοένα και πιο ακριβές, καθιστώντας δυνατή τη λεπτομερή ανάλυση κόστους των εναλλακτικών εργασιών και πολιτικών συντήρησης.

4.Κόστος λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος.

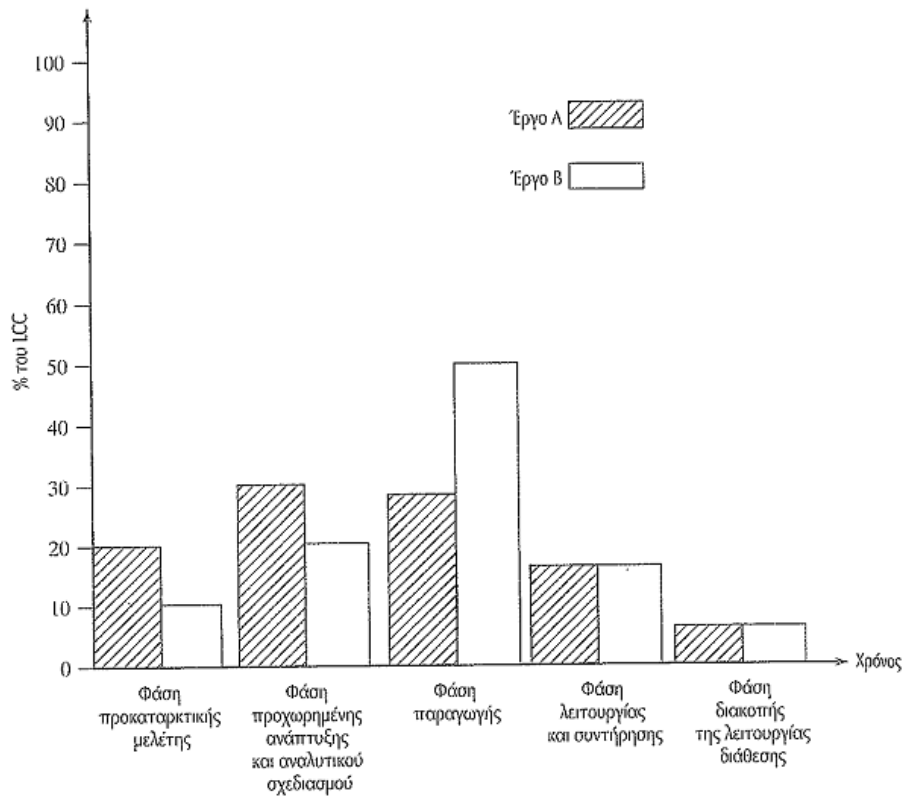
Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα έξοδα που συνδέονται με τις δραστηριότητες που εκτελούνται κατά τη λειτουργική ζωή του συστήματος. Σε αυτά περιλαμβάνονται τα έξοδα του προσωπικού που απαιτείται για τη λειτουργία και τη συντήρηση, καθώς και το κόστος της ενέργειας, των εξαρτημάτων, των εγκαταστάσεων, της μεταφοράς και της διαχείρισης αποθεμάτων. Τα έξοδα αλλαγών του σχεδιασμού και αναβάθμισης του συστήματος εμπίπτουν επίσης στην κατηγορία αυτή.

5.Κόστος της φάσης διακοπής της λειτουργίας/διάθεσης του συστήματος.

Όταν επέλθει το τέλος της ωφέλιμης ζωής ενός συστήματος, αυτό πρέπει να καταργηθεί. Τα μέρη και τα υποσυγκροτήματα πρέπει να απογραφούν, να πωληθούν ως παλιοσίδερα ή να διατεθούν. Σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι αναγκαία η αποσυναρμολόγηση του συστήματος και η διάθεση των μερών του με ασφαλή τρόπο. Η κατάργηση ή η διάθεση ενός συστήματος μπορεί να έχει αρνητικό κόστος (δηλαδή να παραγάγει έσοδα) όταν πωλείται στο τέλος της ωφέλιμης ζωής του ή μπορεί να έχει θετικό κόστος (συχνά υψηλό), όπως συμβαίνει στην περίπτωση ενός πυρηνικού αντιδραστήρα που πρέπει να αποσυναρμολογηθεί προσεκτικά και τα ραδιενεργά μέρη του να διατεθούν με ασφάλεια.

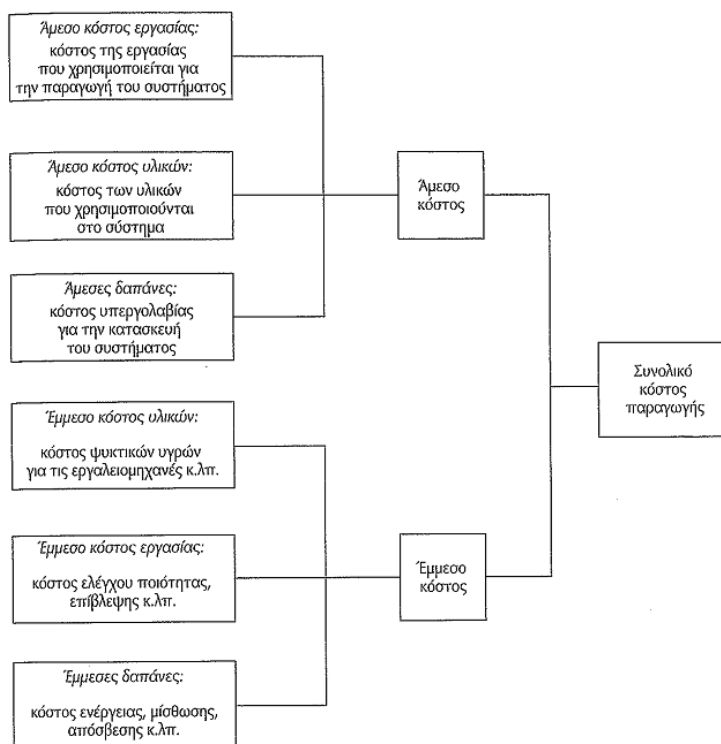
Η σχετική σημασία κάθε φάσης στο μοντέλο συνολικού LCC εξαρτάται από το συγκεκριμένο σύστημα. Στο Σχήμα 15 αναπαριστάται η σύγκριση δύο γενικών συστημάτων ανά φάση κύκλου ζωής. Γενικά, όταν εξετάζονται εναλλακτικά έργα, το σχετικό μέγεθος και η χρονική στιγμή των διαφόρων στοιχείων κόστους κατέχουν σημαντική θέση στην ανάλυση. Στο Σχήμα 15, το σύστημα Α απαιτεί σημαντικές προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης. Η φάση της προκαταρκτικής μελέτης και η φάση της προχωρημένης ανάπτυξης αντιπροσωπεύουν 50% του LCC. Στο σύστημα Β, οι δύο αυτές

φάσεις αντιπροσωπεύουν μόνον 30% του συνολικού κόστους. Έτσι, το σύστημα Β μπορεί να θεωρηθεί μάλλον έργο παραγωγής/υλοποίησης, ενώ το σύστημα Α αποτελεί περισσότερο έργο σχεδιασμού/ανάπτυξης.



Σχήμα 15. Σύγκριση κόστους δύο έργων ανά φάση κύκλου ζωής (Sthub et al., 2005)

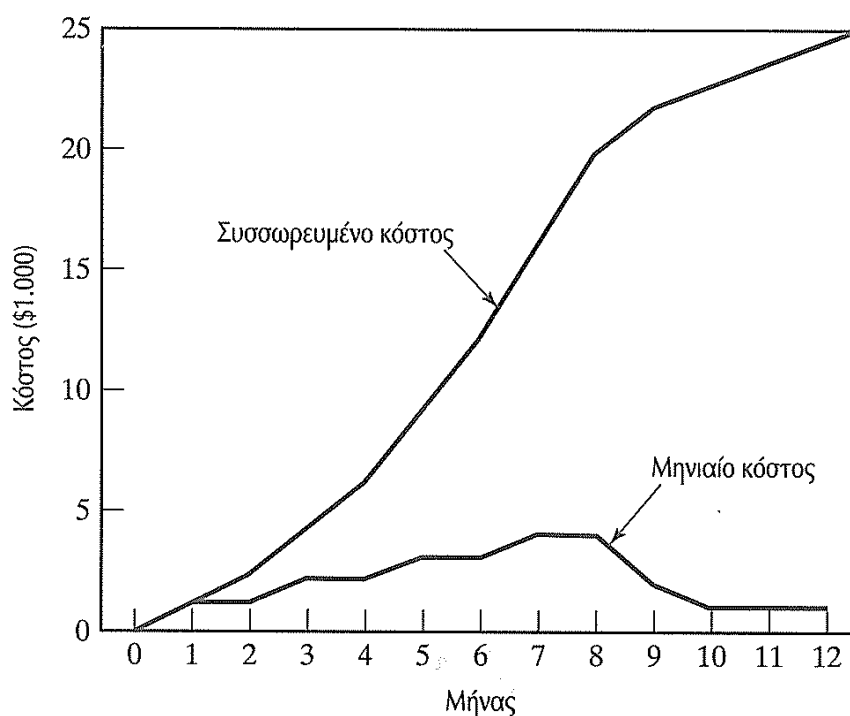
Ένα δεύτερο σχέδιο ταξινόμησης έχει την προέλευση του στην παραγωγή και βασίζεται στον τύπο κόστους, δηλαδή άμεση εργασία σε σχέση με έμμεση εργασία, υπεργολαβία, διάθεση γενικών εξόδων και υλικά (άμεσα και έμμεσα), όπως φαίνεται στο Σχήμα 16. Οι κατηγορίες αυτές είναι αντίστοιχες αυτών που βρίσκουμε παραδοσιακά στη λογιστική κόστους, επομένως τα δεδομένα θα είναι άμεσα διαθέσιμα για πολλές εφαρμογές.



Σχήμα 16. Ταξινόμηση κόστους στην παραγωγή (Sthub et al., 2005)

Ένας τρίτος τρόπος ταξινόμησης βασίζεται στη χρονική περίοδο κατά την οποία πραγματοποιείται κάθε στοιχείο κόστους. Για να είναι λειτουργικό το σχέδιο αυτό, είναι αναγκαίο να καθορισθεί μια ελάχιστη χρονική περίοδος, όπως ένας μήνας ή ένα τρίμηνο, στον κύκλο ζωής του συστήματος. Όλα τα έξοδα που πραγματοποιούνται σε αυτή την προκαθορισμένη χρονική περίοδο ομαδοποιούνται. Αυτό αναπαριστάται στο Σχήμα 17, όπου τα γραφήματα δείχνουν το ιστορικό του κόστους σε περίοδο 12 μηνών. Αυτός ο τύπος ταξινόμησης είναι σημαντικός όταν εξετάζονται περιορισμοί της χρηματορροής. Δύο έργα με το ίδιο συνολικό κόστος ενδέχεται να έχουν διαφορετική κατανομή κόστους στον χρόνο. Στην περίπτωση αυτή, λόγω παραγόντων που συνδέονται με τη χρηματορροή (η διαχρονική αξία του χρήματος), μπορεί να προτιμηθεί το έργο για το οποίο αναβάλλονται οι δαπάνες.

Ένα τέταρτο σχέδιο ταξινόμησης βασίζεται στη δομή υποδιαίρεσης εργασιών (WBS). Στην προσέγγιση αυτή, το κόστος κάθε στοιχείου εκτιμάται στο χαμηλότερο επίπεδο της WBS. Εάν απαιτείται περισσότερη ανάλυση, κάθε στοιχείο μπορεί να αποσυντεθεί περαιτέρω ανά φάση κύκλου ζωής (πρώτη ταξινόμηση), τύπο κόστους (δεύτερη ταξινόμηση) ή χρονική περίοδο (τρίτη ταξινόμηση).



Σχήμα 17. Το LCC ως συνάρτηση του χρόνου (Shtub et al., 2005)

Το κόστος της ανάπτυξης και της διατήρησης τέτοιων μοντέλων εξαρτάται από την επιθυμητή ανάλυση (αριθμός υποκατηγοριών σε κάθε σχέδιο ταξινόμησης) και την ακρίβεια των εκτιμήσεων κόστους, τη συχνότητα ενημέρωσης και τον αριθμό των σχεδίων ταξινόμησης που χρησιμοποιούνται. Οι κατασκευαστές μοντέλων LCC καταβάλλουν προσπάθειες ώστε να εξισορροπήσουν το κόστος ανάπτυξης με τις απαιτήσεις διατήρησης και συλλογής δεδομένων.

3.3 Διαχείριση Κόστους του Έργου

Η διαχείριση του κόστους του έργου περιλαμβάνει τις εξής τέσσερις διεργασίες (Shtub et al., 2005):

- Προγραμματισμός πόρων
- Εκτίμηση κόστους
- Προϋπολογισμός κόστους
- Έλεγχος κόστους

Σκοπός των διεργασιών αυτών είναι να παράσχουν μια εκτίμηση του απαιτούμενου κόστους (1) για την ολοκλήρωση του αντικείμενου του έργου, (2) για την κατάρτιση ενός προϋπολογισμού βασισμένου στη διαθεσιμότητα των πόρων, στις πολιτικές διαχείρισης και στη στρατηγική, και (3) για την εξασφάλιση της ολοκλήρωσης του έργου εντός των ορίων του εγκεκριμένου προϋπολογισμού

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι εκτίμησης του κόστους των δραστηριοτήτων, από τις αναλυτικές λογιστικές διαδικασίες έως τις τυχαίες προβλέψεις. Οι τυπικές λογιστικές διαδικασίες ενδέχεται να είναι κουραστικές και χρονοβόρες και πιθανόν να συνιστούν απώλεια χρόνου εάν το έργο δεν πραγματοποιηθεί. Επομένως, στην αρχή του κύκλου ζωής του έργου, είναι προτιμότερες οι χονδρικές εκτιμήσεις τάξης μεγέθους, παρότι δεν είναι πιθανόν να είναι ακριβείς.

Οι εκτιμήσεις σχετικά με την ποσότητα των πόρων που απαιτούνται για κάθε δραστηριότητα, καθώς και η κατάλληλη χρονική στιγμή για τη χρήση τους, βασίζονται στον κατάλογο των δραστηριοτήτων και στον χρονοπρογραμματισμό. Η κατανομή των πόρων πραγματοποιείται στο κατώτερο επίπεδο της VVBS - το επίπεδο του πακέτου εργασιών - και οι απαιτήσεις ανάγονται στο επίπεδο του έργου και στη συνέχεια στο οργανωσιακό επίπεδο. Η σύγκριση των απαιτήσεων σε πόρους και της διαθεσιμότητας των πόρων σε συνδυασμό με τις εταιρικές στρατηγικές και προτεραιότητες αποτελούν τη βάση για τις αποφάσεις κατανομής σε οργανωσιακό επίπεδο. Ο σχεδιασμός των πόρων έχει ως αποτέλεσμα ένα αναλυτικό πρόγραμμα που προσδιορίζει ποιοι πόροι απαιτούνται για κάθε πακέτο εργασίας. Εφαρμόζοντας τις τιμές κόστους των πόρων στο πρόγραμμα πόρων και προσθέτοντας τα γενικά έξοδα και τα έξοδα των εξωτερικών αναθέσεων, καταρτίζουμε την εκτίμηση κόστους ενός έργου. Έτσι διαμορφώνεται μια βάση για τον προϋπολογισμό. Όπως καθορίζεται από τον χρονοπρογραμματισμό, οι εκτιμήσεις κόστους αφορούν συγκεκριμένες χρονικές περιόδους ώστε να είναι δυνατή η ανάλυση των χρηματοροών. Επίσης είναι δυνατόν να διατεθούν πρόσθετα κονδύλια με τη μορφή, για παράδειγμα, ενός αποθέματος διαχείρισης για προστασία κατά της αβεβαιότητας. Ο προκύπτων προϋπολογισμός αποτελεί τη γραμμή αναφοράς για τον έλεγχο του κόστους του έργου.

3.4 Είδη Κόστους Κατασκευής

Τα βασικά είδη του κόστους των κατασκευών είναι:

1. Αρχικό κόστος κεφαλαίου:

- απόκτηση έκτασης
- προκαταρκτικές μελέτες
- στατικού και μηχανολογικού σχεδιασμού
- κατασκευή, συμπεριλαμβανομένων των υλικών, του εξοπλισμού και της εργασίας
- ασφάλισης και φόρων κατά την διάρκεια της κατασκευής

2. Κόστος λειτουργίας και συντήρησης:

- προσωπικό λειτουργίας
- εργατικά και υλικά για τη συντήρηση και επισκευές
- ασφάλισης και φόρων

3. Απρόβλεπτο κόστος κατά τη διάρκεια της κατασκευής:

- σχεδιαστικές αλλαγές κατά την κατασκευή του έργου
- αλλαγές στο πρόγραμμα του έργου
- γενικές διοικητικές αλλαγές

3.5 Παράγοντες που επηρεάζουν το Κόστος Κατασκευής

Το κόστος κατασκευής των τεχνικών έργων επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως:

- Η Διεύθυνση του εργοταξίου, η οργάνωση, ο προγραμματισμός και η εποπτεία των εργασιών.
- Οι ικανότητες του προσωπικού (συνεπεία, εξειδίκευση, αποδοτικότητα κλπ.).
- Τα είδη και οι ποιότητα των υλικών.
- Η κατάλληλη επιλογή μηχανικού εξοπλισμού.
- Οι τοπικές συνθήκες εργασίας, η περιοχή του έργου, η πρόσβαση σε αυτό, η διάταξη του εργοταξίου.
- Οι δυνατότητες χρηματοδότησης.

- Οι καιρικές συνθήκες.
- Η διαθεσιμότητα προσωπικού, μηχανημάτων και υπεργολάβων.
- Ο πληθωρισμός, που επηρεάζει σοβαρότατα τις τιμές προσωπικού, υλικών και μηχανημάτων (ο καθορισμός του κόστους κάθε εργασίας μεταβάλλεται χρονικά, σε συνάρτηση με την προβλεπόμενη αύξηση του κόστους μονάδας όλων των μέσων(εργατικών, υλικών, μηχανημάτων) που θα χρησιμοποιηθούν στη διάρκεια της κατασκευής, ή μέσω αναθεώρησης των συντελεστών των τιμών των κονδυλίων της μελέτης).

Το κόστος κατασκευής ενός τεχνικού έργου, προκειμένου να δοθεί οικονομική προσφορά,, αναλύεται από τον κοστολόγο της εργολαβικής επιχείρησης, και περιλαμβάνει τα ακόλουθα (Καστρινάκης, 2002):

- άμεσο κόστος (προσωπικού, υλικών, μηχανικού εξοπλισμού, υπεργολαβιών).
- έμμεσο κόστος (έργου και εργοταξίου, εργολαβικής επιχείρησης).
- κέρδος αναδόχου.

3.6 Κόστος κατά τις φάσεις του Έργου

Το κόστος ενός έργου στη φάση του σχεδιασμού δίνεται σε επίπεδο:

- προγράμματος
- προμελέτης
- οριστικής μελέτης και
- μελέτης εφαρμογής.

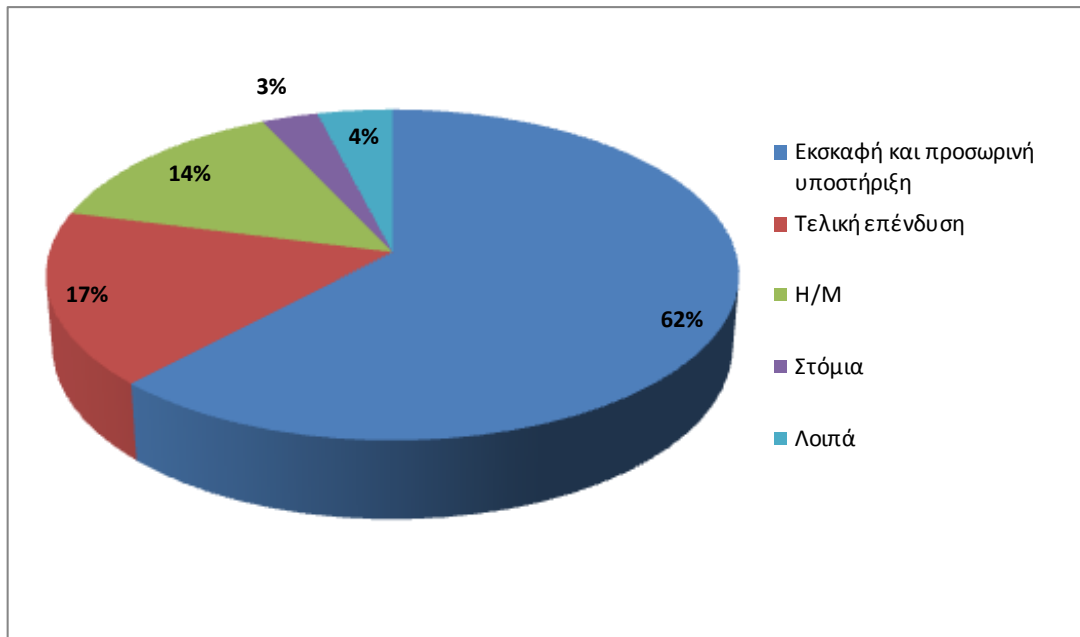
Το κόστος ενός έργου στη φάση της εκτέλεσης από τον ανάδοχο κατασκευαστή δίνεται σε επίπεδο:

- προσφοράς
- κοστολόγησης εφαρμογής
- κοστολόγησης νέων εργασιών
- απολογιστικού κόστους

3.7 Κόστος Κατασκευής Σηράγγων

Το κόστος σηράγγων και των λοιπών υπογείων έργων είναι γινόμενο πολλών παραμέτρων, όπως των τεχνικο-γεωλογικών συνθηκών, της ύπαρξης οδών πρόσβασης για τη μεταφορά των υλικών και των προϊόντων εκσκαφής, των περιβαλλοντικών περιορισμών και εξωγενών παραγόντων, κυρίως στα μεγάλα δημόσια έργα (Παρασκευοπούλου, 2011). Το κόστος των σηράγγων εξαρτάται από τη μορφολογία του εδάφους. Στα πεδινά τμήματα το κόστος είναι αρκετά χαμηλότερο από ότι στα ορεινά τμήματα. Το κόστος εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης μεταβάλλεται ανάλογα με την ποιότητα της βραχομάζας. Η διάνοιξη διακρίνεται συνήθως σε δύο φάσεις (α' και β') ανάλογα με τις διαστάσεις της προς όρυξη διατομής. Το κόστος είναι κυμαινόμενο ανάλογα με την κατηγορία της βραχομάζας, καθώς οι χαλαροί σχηματισμοί είναι συνήθως και πιο δαπανηροί αφού απαιτούνται περισσότερα μέτρα προσωρινής υποστήριξης τους (αγκύρια, πλαίσια, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα).

Όσον αφορά στο κόστος κατασκευής σηράγγων, αυτό διαμορφώνεται από τις γεωλογικές - γεωτεχνικές συνθήκες. Σύμφωνα με τους Λαμπρόπουλος κ.ά. (2005) το κόστος διάνοιξης (εκσκαφή και προσωρινή υποστήριξη) αποτελεί το 62% του συνολικού κόστους κατασκευής, το κόστος της τελική επένδυσης το 17%, το κόστος εγκατάστασης των ηλεκτρομηχανολογικών και τηλεματικών συστημάτων το 14%, το κόστος διαμόρφωσης των στομιών το 3% καθώς και τα λοιπά κόστη που περιλαμβάνουν κόστη κατασκευής συνδετήριων στοών, φρέατα εξαερισμού, ασφαλτικές εργασίες κλπ. αποτελούν το 4% του συνολικού κόστους (Σχήμα 18).



Σχήμα 18. Διάγραμμα Κατανομής Κόστους σε Σήραγγες με Διάτρηση (Λαμπρόπουλος κ.ά., 2005)

Γενικά, το κόστος διάνοιξης της σήραγγας (εκσκαφή και προσωρινή υποστήριξη) καλύπτει περίπου το 65% του συνολικού κόστους, ενώ σε πολύ κακής ποιότητα βραχομάζα μπορεί να φθάσει μέχρι και το 75% (Παρασκευοπούλου, 2011).

3.8 Τιμολόγηση Δημόσιων Έργων

3.8.1 Ισχύον σύστημα προκοστολόγησης έργων

Η προκοστολόγηση των Δημοσίων Έργων για την κατάρτιση των προϋπολογισμών δημοπράτησης βασίσθηκε στην χώρα μας, επί σειρά ετών, σε διάφορα συστήματα Αναλύσεων Τιμών με τυποποιημένες περιγραφές των επιμέρους εργασιών και σταθερούς συντελεστές απόδοσης / απασχόλησης / ενσωμάτωσης των πόρων ανά εργασία (μηχανικός εξοπλισμός / εργατοτεχνικό προσωπικό / υλικά).

Η μεθοδολογία της ανάλυσης των έργων σε επί μέρους κατασκευαστικές δραστηριότητες, αυτοτελώς προμετρούμενες, διεθνώς αποδίδεται με τον όρο WBS (Works Break-down System), αποτέλεσε και εξακολουθεί να αποτελεί τον συνήθη τρόπο δημοπράτησης των Δημοσίων, αλλά και αρκετών Ιδιωτικών Έργων.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος που έτυχε γενικής εφαρμογής επί 30 περίπου έτη, είναι τα ακόλουθα:

α. Οι Εγκεκριμένες Αναλύσεις Τιμών (και Περιγραφικά Τιμολόγια) του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. που εγκρίθηκαν μεταξύ των ετών 1975 και 1977 είχαν την ακόλουθη διάρθρωση:

- ΑΤΕΟ Ανάλυση Τιμών Έργων Οδοποιίας (ΟΔΟ)
- ΑΤΟΕ Ανάλυση Τιμών Οικοδομικών Εργασιών (ΟΙΚ)
- ΑΤΥΕ Ανάλυση Τιμών Υδραυλικών Έργων (ΥΔΡ)
- ΑΤΛΕ Ανάλυση Τιμών Λιμενικών Έργων (ΛΙΜ)
- ΑΤΕΠ Ανάλυση Τιμών Έργων Πρασίνου (ΠΡΣ)
- ΤΗΕ Ανάλυση Τιμών Ηλεκτρομηχανολογικών Εργασιών (ΗΛΜ)
- ΑΤΑΕ Ανάλυση Τιμών Αναδασωτικών Εργασιών (ΔΑΣ)

β. Πέραν αυτών, χρησιμοποιήθηκε ευρέως (και εξακολουθεί ακόμη να χρησιμοποιείται) η ‘ημιεπίσημη’ Ανάλυση Τιμών Ηλεκτρομηχανολογικών Εργασιών (ΑΤΗΛΜΕ), αλλά ουδέποτε θεσμοθετήθηκε. Αποτελείται από δύο εκτενή τεύχη, ένα για τις Μηχανολογικές και ένα για τις Ηλεκτρολογικές εργασίες.

γ. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης κατά καιρούς Αναλύσεις Τιμών Έργων Επισκευών από Σεισμούς.

δ. Επιπρόσθετα, αναλύσεις τιμών συνέτασσαν και οι Μελετητές, όταν στο αντικείμενο της σύμβασής τους περιλαμβανόταν η σύνταξη Τευχών Δημοπράτησης προς κάλυψη αντικειμένων εργασιών που δεν κάλυπταν οι θεσμοθετημένες Αναλύσεις Τιμών.

Προφανώς οι αναλύσεις αυτές διέφεραν από μελέτη σε μελέτη και από Υπηρεσία σε Υπηρεσία. Ενίοτε είχαν στόχο την αύξηση της αμοιβής των Μελετητών, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που με τις παλαιές διατάξεις η αμοιβή προέκυπτε με βάση τον προϋπολογισμό των έργων (εξαιρέση αποτελούσαν οι μελέτες οδοποιίας, των οποίων η αμοιβή υπολογιζόταν από παλιά, σύμφωνα με τις διατάξεις του ΠΔ 696/74, με βάση το φυσικό αντικείμενο).

ε. Οι προϋπολογισμοί των δημοπρατούμενων έργων πολύ συχνά δεν ήταν βασισμένοι αποκλειστικά στα άρθρα των εγκεκριμένων Αναλύσεων τιμών, ιδιαίτερα

μάλιστα στα μεγάλα έργα (Εγνατία Οδός, ΠΑΘΕ κλπ) και στα έργα των Ο.Κ.Ω. (ΕΥΔΑΠ κλπ).

Πολύ συχνά περιελάμβαναν σύνθετα άρθρα (π.χ. κατασκευή στρώσεων οδοστρωσίας με την μεταφορά των αδρανών υλικών επί τόπου του έργου από οποιαδήποτε απόσταση, πλήρης κατασκευή ενός τρέχοντος μέτρου αγωγού αποχέτευσης ακαθάρτων, εκσκαφή χανδάκων υποδοχής υπογείων δικτύων συμπεριλαμβανομένης της αντιστηρίξεως των παρειών και της επανεπίχωσης εκσκαφή σε πάσης φύσεως έδαφος με την φορτοεκφόρτωση και μεταφορά των προϊόντων εκσκαφών σε οποιαδήποτε απόσταση κ.ο.κ.).

Η μεθόδευση αυτή απλοποιούσε μεν τις διαδικασίες των επιμετρήσεων, αλλά καθιστούσε υποκειμενική την προκοστολόγηση και δεν επέτρεπε την άμεση σύγκριση των τιμών δημοπράτησης ομοειδών εργασιών.

στ. Σε άλλες περιπτώσεις, η κατ' άρθρο ανάλυση των εργασιών ήταν λεπτομερέστερη της αντίστοιχης των εγκεκριμένων αναλύσεων τιμών (π.χ. τα τιμολόγια της ΕΥΔΕ/ΠΑΘΕ περιελάμβαναν 15 άρθρα κατασκευών από σκυρόδεμα, έναντι των 8 άρθρων της ΑΤΕΟ).

ζ. Κατά κανόνα, τα περισσότερα έργα περιλαμβάνουν αρκετές εργασίες που δεν εμπεριέχονται στις θεσμοθετημένες Αναλύσεις Τιμών. Ενδεικτικά αναφέρονται εδώ μερικές από τις εργασίες αυτές:

- κατασκευή αντιολισθηρού τάπητα
- μεταλλικά στηθαία ασφαλείας
- γεωφάσματα στραγγιστηρίων
- γεωφάσματα διαχωρισμού
- πινακίδες σήμανσης
- δίκτυα από σωλήνες πολυαιθυλενίου
- δίκτυα από σωλήνες ελατού χυτοσιδήρου (ductile iron)
- ελαστομεταλλικά εφέδρανα γεφυρών

η. Τα άρθρα περί σκυροδεμάτων και σιδηροπλισμών, όλων ανεξαιρέτως των αναλύσεων τιμών, δεν ήταν προσαρμοσμένα στην ποιοτική κατηγοριοποίηση των ισχυόντων κανονισμών. Πολύ συχνά το άρθρο ΟΔΟ-2551 «Οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας Σ260 (B300) για την κατασκευή βάθρων, δοκών εδράσεως ή προσκεφαλαίων και προχύτων

πασσάλων» χρησιμοποιείται για το σύνολο των κατασκευών από σκυρόδεμα ποιότητας C20/25 (από τοίχους αντιστήριξης και οχετούς, μέχρι πασσάλους), αφού μόνο το άρθρο αυτό των Αναλύσεων αναφερόταν σε σκυρόδεμα παραπλήσιας αντοχής με το C20/25.

θ. Οι θεσμοθετημένες Αναλύσεις Τιμών χρονολογούνται από την δεκαετία του 1970. Η μόνη ουσιαστική επέμβαση που είχε γίνει έκτοτε είναι η αναμόρφωση της Ανάλυσης Τιμών Έργων Οδοποιίας κατά το 1994. Χαρακτηριστικό της Νέας ΑΤΕΟ ήταν ο αναλυτικός προσδιορισμός της ημερησίας δαπάνης μηχανημάτων έργων. Το θεματολόγιο της όμως παρέμεινε αμετάβλητο και ελλιπές.

Επεμβάσεις είχαν γίνει επίσης στην Ανάλυση Τιμών Υδραυλικών Έργων με την εισαγωγή διορθωτικών συντελεστών επί του χρόνου απασχόλησης εργατοτεχνικού προσωπικού και μηχανικού εξοπλισμού ανά κατηγορία εργασιών.

Είναι εμφανέστατες οι αδυναμίες και ελλείψεις του παλαιού τρόπου προκοστολόγησης και τιμολόγησης των εργασιών, στο οποίο θα πρέπει να αποδοθεί μέρος της ευθύνης για την στρέβλωση του ανταγωνισμού και την εμφάνιση του φαινομένου των αδικαιολογήτως υψηλών εκπτώσεων.

Τα θεσμικά μέτρα που δρομολογήθηκαν για την αντιμετώπιση του προβλήματος, κατ' αρχήν οι 'Αιτιολογήσεις Προσφορών και στην συνέχεια το σύστημα του 'μαθηματικού τύπου', δεν πέτυχαν κάτι ουσιαστικό.

Οι Αιτιολογήσεις Προσφορών, παρά το γεγονός ότι συνιστούν επιστημονικώς ορθή μεθοδολογία, λόγω έλλειψης εμπειρίας των στελεχών της Δημόσιας Διοίκησης που επρόκειτο να τις αξιολογήσουν αλλά και λόγω ελλείψεως επαρκούς πλαισίου οδηγιών και επισήμων κοστολογικών δεδομένων (αποδόσεων εξοπλισμού, προσωπικού κλπ), κατέληξαν να είναι μια χρονοβόρος, γραφειοκρατική και δαπανηρή διαδικασία, πηγή αντεγκλήσεων, διαφωνιών και, τελικώς, καθυστερήσεων στην ανάθεση των έργων.

Ο 'μαθηματικός τύπος', περιόρισε μεν το ύψος των εκπτώσεων, αλλά οδήγησε σε σειρά άλλων προβλημάτων και δυσλειτουργιών ('ομαδοποιήσεις' προσφορών, πρακτικές καθοδήγησης της εύλογης έκπτωσης σε συγκεκριμένο ποσοστό, στέρηση δυνατοτήτων ανάληψης έργων από κατασκευαστικές εταιρείες με καλή οργάνωση και χαμηλό κοστολόγιο κλπ.) και τελικά 'καταδικάστηκε' από την Ευρωπαϊκή Ένωση, ως σύστημα που αντιβαίνει προς τις αρχές της Ενιαίας Εσωτερικής Αγοράς.

Με τον Ν.3263/2004 καταργήθηκε το σύστημα του 'μαθηματικού τύπου' και επανήλθε το σύστημα ανάθεσης των έργων με βάση την χαμηλότερη οικονομική προσφορά (ανάθεση

στον φυσικό μειοδότη). Ο Ν. 3263/04, προέβλεπε μεταξύ άλλων την κατάρτιση Νέων Ενιαίων Τιμολογίων για την σύνταξη των προϋπολογισμών των δημοπρατούμενων έργων και την υποχρέωση κατάθεσης εγγυητικών επιστολών κλιμακούμενου ύψους από ένα ποσοστό εκπτώσεως και άνω (μέτρο για τον περιορισμό των μεγάλων εκπτώσεων).

3.8.2 Τα Νέα Ενιαία Τιμολόγια (NET)

Με την θεσμοθέτηση, κατά το 2004, των Νέων Ενιαίων Τιμολογίων (NET), οι παλαιές Αναλύσεις Τιμών (ΑΤΕΟ, ΑΤΥΕ, ΑΤΛΕ, ΑΤΟΕ, ΑΤΕΠ) σταμάτησαν να χρησιμοποιούνται ως ‘εργαλεία’ κατάρτισης των προϋπολογισμών των δημοπρατούμενων έργων (δηλ. προκοστολόγησης εκ μέρους του Κυρίου του Έργου).

Ήδη πριν από τα NET, λόγω του περιορισμένου θεματολογίου των Αναλύσεων Τιμών, οι περισσότερες Δημοπρατούσες Αρχές, εφαρμόζαν δικά τους τιμολόγια, προσαρμοσμένα, κατά την κρίση τους στις απαιτήσεις των έργων τους (π.χ. τιμολόγια των διαφόρων ΕΥΔΕ του ΥΠΕΧΩΔΕ, της ΕΥΔΑΠ, της ΔΕΗ, της Εγνατίας Οδού, της Αττικό Μετρό, της ΕΡΓΟΣΣΕ κλπ.).

Τα τιμολόγια αυτά, όπως είναι φυσικό, διέφεραν μεταξύ τους, τόσο ως προς το περιγραφικό μέρος των διαφόρων άρθρων, όσο και ως προς τις τιμές μονάδος (για την αυτή περίοδο αναφοράς). Κοινό χαρακτηριστικό τους ήταν τα σύνθετα άρθρα (λ.χ. εκσκαφή με την μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής σε οποιαδήποτε απόσταση).

Οι Αναλύσεις Τιμών είχαν προ πολλού παύσει να αποτελούν ‘συμβατικά στοιχεία’ των δημοπρατούμενων έργων (δεν περιλαμβάνονταν καν στα Συμβατικά Τεύχη των έργων). Στόχος των NET ήταν η κατά ενιαίο τρόπο κατάρτιση των προϋπολογισμών των έργων σε ολόκληρη την επικράτεια.

Οι τιμές των NET δεν βασίστηκαν σε κάποιο σύστημα αναλύσεων τιμών, αλλά προσδιορίστηκαν από Επιτροπή Διευθυντών Κατασκευαστικών Διευθύνσεων του ΥΠΕΧΩΔΕ, με βάση στοιχεία τιμώνπροσφοράς δημοπρατηθέντων έργων, έρευνα αγοράς και υπολογισμούς. Οι τιμές αυτές προσδιορίστηκαν κατ’ αρχήν το 2004 (κατά την αρχική έκδοση των NET) και στη συνέχεια επικαιροποιήθηκαν ορισμένες εξ αυτών κατά τις βελτιώσεις συμπληρώσεις των NET που έγιναν τον Αύγουστο του 2007 (όλων των κατηγοριών έργων), τον Μάιο του 2008 (ΟΔΟ) και τον Φεβρουάριο του 2009 (ΥΔΡ, ΔΙΜ).

Επισημαίνεται ότι οι τιμές των NET (με εξαίρεση τα έργα Οδοποιίας και από το 2009 και τα Υδραυλικά έργα) είναι ανεξάρτητες του μεγέθους των έργων. Επίσης είναι ανεξάρτητες της γεωγραφικής θέσεως του έργου και των τοπικών κλπ συνθηκών εκτέλεσης.

Τα NET έχουν ως εξής:

α. NET έργων οδοποιίας

Πρόκειται, όσον αφορά το περιγραφικό μέρος των άρθρων, για το τιμολόγιο που εφαρμόζαν επί σειρά ετών η ΕΥΔΕ/ΠΑΘΕ και η Εγνατία Οδός. Βασικό του χαρακτηριστικό είναι η κατηγοριοποίηση των κατασκευών από σκυρόδεμα κατά δομικό στοιχείο (θεμέλια, βάθρα, ανωδομές). Περιλαμβάνει άρθρα για εργασίες καθαίρεσεων/κατεδαφίσεων, γεωτεχνικές εργασίες, άρθρα εξοπλισμού οδών (οριζόντια και κατακόρυφη σήμανση, ασφάλεια οδού), καθώς και άρθρα οδοφωτισμού. Από πλευράς θεματολογίου αποτελεί υπερσύνολο της παλαιάς Αναλύσεως Τιμών Έργων Οδοποιίας (ΑΤΕΟ). Το NET Οδοποιίας, προβλέπει τέσσερες διαβαθμίσεις των τιμών μονάδας ανάλογα με το ύψος του προϋπολογισμού του έργου (προ ΓΕ&ΟΕ, απροβλέπτων, αναθεώρησης και ΦΠΑ):

- για έργα προϋπολογισμού άνω των 10,00 εκατ. €: εφαρμογή βασικής τιμής
- για έργα προϋπολογισμού από 5,00 έως 10,00 εκατ. €: 105% της βασικής τιμής
- για έργα προϋπολογισμού από 1,50 έως 5,00 εκατ. €: 110% της βασικής τιμής
- για έργα προϋπολογισμού έως 1.500.000 €: 126% της βασικής τιμής

β. NET υδραυλικών, λιμενικών και οικοδομικών έργων

Η κωδικοποίηση των άρθρων είναι της μορφής XX.XX.XX.XX (διαδοχικά διψήφια πεδία), ανεξάρτητη για κάθε NET. Στα NET ΥΔΡ και ΟΙΚ οι κατασκευές από σκυρόδεμα κατηγοριοποιούνται στις ενότητες: προμήθεια, μεταφορά, διάστρωση σκυροδέματος – κατασκευή καλουπιών - πρόσμικτα – εκτέλεση υπό ειδικές συνθήκες. Η δομή αυτή διαφέρει της αντίστοιχης του NET Οδοποιίας. Μεταξύ των διαφοροποιήσεων του έναντι της παλαιάς ΥΔΡ (ΑΤΥΕ) αναφέρονται:

- Καθορισμός επιμέτρησης εκσκαφών χανδάκων ανά βαθμίδα βάθους
- Τιμολόγηση χαλυβδοσωλήνων ανά kg βάρους χαλυβδοελάσματος (αντί ανά μ.μ.)

- Τιμολόγηση θυροφραγμάτων και συσκευών ελέγχου ροής διωρύγων ανά kg με κατάργηση των εκατοντάδων άρθρων για συσκευές τύπου Neygric των παλαιών αναλύσεων
- Ενσωμάτωση άρθρων για μεγάλη ποικιλία σωλήνων (PVC, PE, GRP, ductile iron, HDPE δομημένου τοιχώματος, ινοτσιμεντοσωλήνες, αργιλοπυριτικοί σωλήνες νέας γενιάς κλπ)
- Ενσωμάτωση ποικιλίας άρθρων εργασιών επισκευών δικτύων
- Ενσωμάτωση άρθρων για τις κατασκευές από χάλυβα
- Ενσωμάτωση άρθρων για τις εργασίες κατασκευής λιμνοδεξαμενών και ΧΥΤΑ
- Ενσωμάτωση ποικιλίας άρθρων για τα έργα φραγμάτων και σηράγγων
- Ενσωμάτωση άρθρων για όλες τις εργασίες κατασκευής σηράγγων υδραυλικών έργων (συμπεριλαμβανομένων Η/Μ εργασιών)

Το NET Υδραυλικών έργων, όπως διαμορφώθηκε κατά την τελευταία έκδοσή του (ΦΕΒ 2009) προβλέπει τρεις διαβαθμίσεις των τιμών μονάδας ανάλογα με το ύψος του προϋπολογισμού του έργου (προ ΓΕ&ΟΕ, απροβλέπτων, αναθεώρησης και ΦΠΑ):

- για έργα προϋπολογισμού άνω των 5,00 εκατ. €: εφαρμογή βασικής τιμής
- για έργα προϋπολογισμού από 1,50 έως 5,00 εκατ. €: 105% της βασικής τιμής
- για έργα προϋπολογισμού έως 1.500.000 € 108% της βασικής τιμής

3.8.3 Στόχοι προκοστολόγησης έργων

Ο όρος προκοστολόγηση (engineer's estimate, design estimate) αναφέρεται στο στάδιο πριν τη δημοπράτηση, ενώ όρος κοστολόγηση αναφέρεται στην παρακολούθηση και τελική αποτίμηση του κόστους της κατασκευής (construction estimate). Οι προκοστολογήσεις των έργων είναι απαραίτητες τόσο για τις Δημοπρατούσες Αρχές, όσο και για τους διαγωνιζομένους κατασκευαστές.

Τα NET παρέχουν την δυνατότητα ορθής εκτίμησης της μεταφορικής δαπάνης που αντιστοιχεί στα άρθρα που επισημαίνονται με αστερίσκο (σημαντική παράμετρος κόστους για τα έργα οδοποιίας). Παρέχουν επίσης την δυνατότητα επιλογής των ποιοτικών χαρακτηριστικών ορισμένων βασικών υλικών στα οικοδομικά έργα, όπως μάρμαρο,

και ξυλεία. Στα σχετικά άρθρα δίδονται ιδιαίτερες τιμές για το υλικό (ενδεικτική τιμή συνήθους ποιότητας) και την εργασία διαμόρφωσης/τοποθέτησης/εφαρμογής, που παραμένει σταθερή ανεξαρτήτως της ποιότητας του υλικού. Ως εκ τούτου ο Μελετητής έχει την δυνατότητα να επιλέξει το υλικό κατασκευής και, μετά από έρευνα αγοράς, να διαμορφώσει ανάλογα την τιμή μονάδος. Ο Αναλυτικός Προϋπολογισμός Υπηρεσίας βάσει των NET έχει την ακόλουθη μορφή (Πίνακας 2):

Πίνακας 2. Αναλυτικός Προϋπολογισμός Υπηρεσίας βάσει των NET

α/α Τιμολ.	Είδος εργασίας	μονάδα	Άρθρο αναθεώρησης	Ποσότητες	Τιμή μονάδος	Δαπάνη	
						Μερική	Ολική
A. ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΑ							
A-1	Εκσκαφή ακαταλλήλων εδαφών	m3	ΟΔΟ-1110	4.000	1,04	4.160,00	
A-2	Εκσκαφή σε έδαφος Γ-Η	m3	ΟΔΟ-1123Α	65.000	1,83	118.950,00	
A-3.1	Όρυξη σε έδαφος βραχώδες με χρήση εκρηκτικών	m3	ΟΔΟ-1133Α	25.000	2,75	68.750,00	
A-3.2	Όρυξη σε έδαφος βραχώδες με ελεγχόμενη ή καθόλου χρήση εκρηκτικών	m3	ΟΔΟ-1133Α	500	4,93	2.465,00	
Λ 4.1	Διάνοιξη τάφρου σε έδαφος γαιώδες - ημιβραχώδες	m3	ΟΔΟ-1212	100	2,27	227,00	
Λ 4.2	Διάνοιξη τάφρου σε έδαφος βραχώδες	m3	ΟΔΟ 1220	50	5,06	253,00	
Λ 4.4	Διάνοιξη τάφρου με τα χέρια σε έδαφος πάσης φύσεως	m3	ΟΙΚ-2113	20	11,90	238,00	
A-5.1	Καθαίρεση τμημάτων με φέροντα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα για ύψος έως και 4 0 m	m3	ΟΙΚ-2227	10	24,80	248,00	
A-9	Καθαίρεση ολόσωμων περιφράσεων	m	ΟΙΚ-2227	100	22,60	2.260,00	
A-10	Καθαίρεση περιφράσεων με σιματόπλεγμα	m	ΟΙΚ-6448	100	5,47	547,00	
A-12	Καθαίρεση οπλισμένων σκυροδεμάτων	m3	ΟΙΚ-2227	25	21,10	527,50	
A-15	Καθαρισμός οχετων ανοίγματος έως 3,00 m	m	ΟΔΟ-1320	50	9,82	491,00	
A-16	Άρση καταπτώσεων για κάθε είδους έδαφος	m3	ΟΔΟ-1420	500	0,99	495,00	
A.18.1	Δάνεια δάνεια υλικών κατηγορίας E1 έως E4	m3	ΟΔΟ-1510	500	3,36	1.680,00	
A-18.2	Δάνεια θραυστών επίλεκτων υλικών Κατηγορίας E4	m3	ΟΔΟ-1510	4.250	3,81	16.192,50	
A-20	Κατασκευή επιχωμάτων	m3	ΟΔΟ-1530	35.000	0,89	31.150,00	
A-24.1	Επένδυση πρανών με φυτική γη	m2	ΟΛΟ-1610	800	0,58	464,00	
A-25	Πλήρωση νησίδων με φυτική γη	m3	ΟΔΟ-1620	500	1,92	960,00	250.058,00

(Πηγή: Αναγνωστόπουλος, 2008)

Ο παραπάνω πίνακας είναι ενδεικτικός για μια κατηγορία/ομάδα εργασιών έργου Οδοποιίας συνολικής προϋπολογιζόμενης δαπάνης στην περιοχή 5,00 - 10,00 εκατ. €. Στην αριστερή στήλη αναγράφεται ο αριθμός τιμολογίου των NET, ενώ στην 4η στήλη το προβλεπόμενο κατ' άρθρο κονδύλιο των παλαιών Αναλύσεων Τιμών για τον υπολογισμό της αναθεώρησης.

Με βάση τον αναλυτικό προϋπολογισμό καταρτίζεται ο συνοπτικός, ο οποίος έχει την ακόλουθη μορφή (Πίνακας 3):

Πίνακας 3. Συνοπτικός Προϋπολογισμού βάσει NET

Ομάδα	Εργασίες	Δαπάνη ομάδας κατά τον Προϋπολογισμό Μελέτης (Ευρώ)
A	ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΑ	250.058,00
B	ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ	1.698.916,15
Γ	ΟΔΟΣΤΡΩΣΙΑ	213.200,00
Δ	ΑΣΦΑΛΤΙΚΑ	1.719.230,50
Ε	ΣΗΜΑΝΣΗ - ΑΣΦΑΛΕΙΑ	861.449,50
ΣΤ	ΗΛΕΚΤΡΟ-ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ	457.469,00
Αθροισμα δαπανών εργασιών κατά την μελέτη Σσ=		5.200.323,15
Γ.Ε & Ο.Ε. 18% X Σσ=		936.058,17
Συνολική Δαπάνη Έργου κατά την μελέτη ΣΣ=		6.136.381,32
Απρόβλεπτα 15% X ΣΣ=		1.104.548,64
Σύνολο Σ1		7.240.929,96
Ασφαλτος απολογιστικά		750.000,00
ΓΕ+ΟΕ 18% προμηθείας ασφάλτου		135.000,00
Αμοιβές Μελετών – Διαφόρων		40.000,00
Μητρώο Έργου		25.000,00
Απολογιστικές Εργασίες – Ο.Κ.Ω.		87.431,38
Αναθεώρηση		125.000,00
Σύνολο Δαπάνης του Έργου κατά την μελέτη (χωρίς ΦΠΑ) Σ2=		8.403.361,34
ΦΠΑ 19%		1.596.638,66
Σύνολο Δαπάνης του Έργου κατά την μελέτη (με ΦΠΑ) Σ3=		10.000.000,00

(Πηγή: Αναγνωστόπουλος, 2008)

3.9 Μοντέλα Εκτίμησης Κόστους

Η πρόγνωση του κόστους κατασκευής ενός έργου είναι καθοριστικός παράγοντας για την ασφαλή, από οικονομικής πλευράς, υλοποίησή του. Σε αυτή την κατεύθυνση συμβάλλει η χρήση των μοντέλων εκτίμησης κόστους, με τα οποία παραμετροποιείται το κόστος κατασκευής του έργου, αξιοποιώντας όσο το δυνατόν λιγότερα δεδομένα, εξαιτίας της έλλειψης πληροφοριών στη φάση προγραμματισμού. Τα μοντέλα εκτίμησης κόστους βασίζονται σε τρεις μεθόδους:

- Παραδοσιακά μοντέλα (traditional models)
- Μη παραδοσιακά μοντέλα (non-traditional models)
- Σύγχρονα μοντέλα (new wave models)

Τα παραδοσιακά μοντέλα εκτίμησης κόστους, η συχνότερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος στα ελληνικά κατασκευαστικά έργα με διάφορες παραλλαγές, έχουν ως κύριο χαρακτηριστικό τους την εκτίμηση του κόστους με μεθόδους προμετρήσεων. Επίσης, πάνω σε μεθόδους προμέτρησης βασίζεται και η νομοθετημένη προκοστολόγηση των δημοσίων τεχνικών έργων (Νέα Ενιαία Τιμολόγια). Τα προγράμματα λογισμικού που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα (πακέτο ERGA της εταιρείας 4M, MyMANAGER της QualisisSoftware, Costos της Nomitech), χρησιμοποιούν ως βάση τους μεθόδους προμετρήσεων.

Τα μη παραδοσιακά μοντέλα εκτίμησης κόστους συναντώνται στην βιβλιογραφική ανασκόπηση κυρίως με δυο βασικές μορφές:

- *Μοντέλα ανάλυσης παλινδρόμησης (Regression Analysis -RA)*
- *Μοντέλα συλλογιστικής βασισμένης σε περιπτώσεις (Case Based Reasoning-CBR)*

Στα σύγχρονα μοντέλα εντάσσονται τα μοντέλα εκτιμήσεως κόστους που χρησιμοποιούν μεθόδους συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης. Κυριότερος εκπρόσωπος της κατηγορίας αυτής είναι τα μοντέλα νευρωνικών δικτύων (Neural Networks).

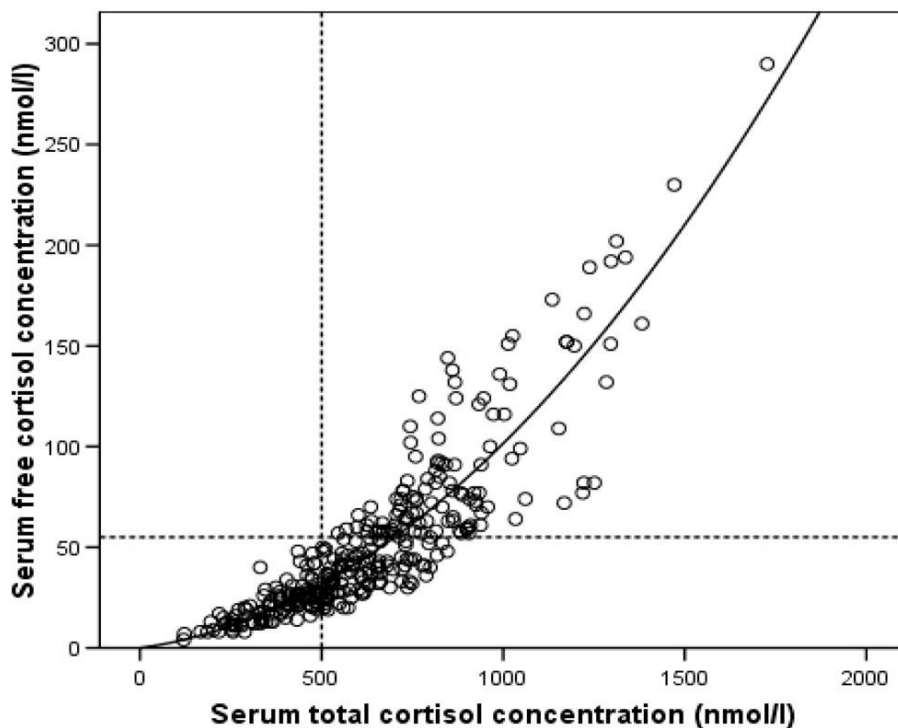
Η επιλογή των μοντέλων εκτίμησης, επηρεάζεται από παράγοντες όπως (Γίτσης 2011):

- Ο διαθέσιμος χρόνος και τις διαθέσιμες πληροφορίες,
- Η εμπειρία του εκτιμητή,
- Το ύψος και η μορφή των στοιχείων κόστους,
- Ο σκοπός των εκτιμήσεων και
- Οι γνώσεις του εκτιμητή και τεχνολογικές γνώσεις που πρέπει να χρησιμοποιηθούν

3.9.1 Μοντέλα ανάλυσης παλινδρόμησης

Η ανάλυση παλινδρόμησης (regression analysis) εξετάζει τη σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών με σκοπό την πρόβλεψη των τιμών της μιας, μέσω των τιμών της άλλης. Σε κάθε πρόβλημα παλινδρόμησης διακρίνουμε δύο είδη μεταβλητών: τις ανεξάρτητες ή ελεγχόμενες ή επεξηγηματικές (independent, predictor, casual, input, explanatory variables) και τις εξαρτημένες ή απόκρισης (dependent, response variables). Τα μοντέλα αυτά (Σχήμα 16), χρησιμοποιούν στατιστικές τεχνικές για να προσδιορίσουν

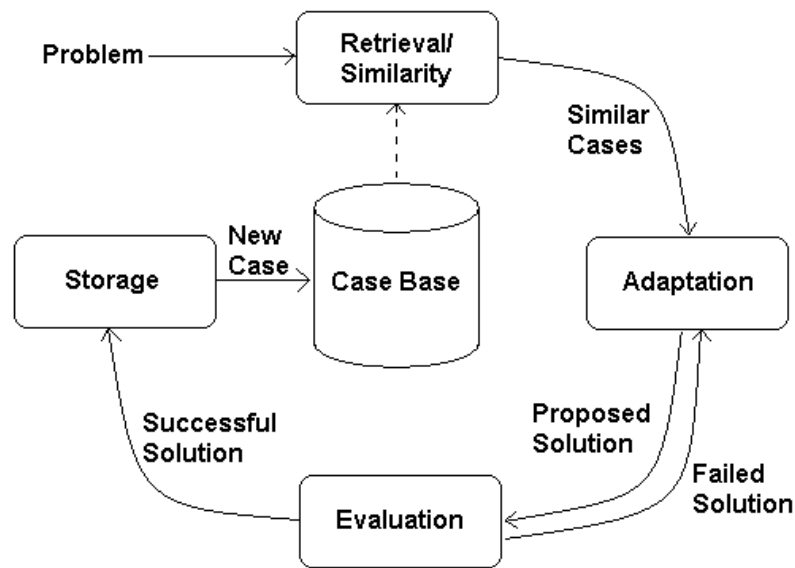
την τιμή μίας εξαρτημένης μεταβλητής, όπως για παράδειγμα το κόστος των τεχνικών έργων.



Σχήμα 19. Μοντέλο παλινδρόμησης (RA) (Bendel et al., 2008)

3.9.2 Μοντέλα συλλογιστικής βασισμένης σε περιπτώσεις

Η βασισμένη σε περιπτώσεις συλλογιστική (Case Based Reasoning - CBR) ερμηνεύεται ως η διαδικασία επίλυσης νέων προβλημάτων που εμπνέεται από τις λύσεις του παρελθόντος σε παρόμοια προβλήματα ή αλλιώς μια μεθοδολογία «μάθησης από την εμπειρία» (Σχήμα 17). Η γνώση σε ένα σύστημα CBR αποτελείται από τα παραδείγματα του παρελθόντος, ή περιπτώσεις, όπου αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων, γνωστή ως case base. Για τη προσέγγιση αυτή, είναι πολύ σημαντική η σωστή εκτίμηση της ομοιότητας μιας νέας περίπτωσης με μια παλαιότερη, και ως αποτέλεσμα η σωστή επιλογή συντελεστών βαρύτητας για κάθε εξεταζόμενο στοιχείο ομοιότητας



Σχήμα 20. Μοντέλα συλλογιστικής βασισμένης σε περιπτώσεις –CBR
 (Πηγή: <http://www.cs.indiana.edu/~sbogaert/CBR/intro/CBRIIntro.html>)

Για την εξαγωγή πληροφοριών, δημιουργείται ένα παράδειγμα στόχος και η βάση δεδομένων αρχίζει να αναζητά το πιο κοντινό παράδειγμα για το στόχο. Έχει υποστηριχθεί ότι η συλλογιστική με βάση τις περιπτώσεις δεν είναι μόνο μια ισχυρή μέθοδος για τη συλλογιστική του υπολογιστή, αλλά και μια διάχυτη επίλυση προβλημάτων στην καθημερινή συμπεριφορά του ανθρώπου. Για παράδειγμα, ένας μηχανικός αυτοκινήτων που επιδιορθώνει ένα κινητήρα αυτοκινήτου, ο οποίος παρουσιάζει συμπτώματα όμοια με ένα άλλο αυτοκίνητο, είναι παρόμοια περίπτωση Case Based Reasoning. Ο δικηγόρος που υποστηρίζει ένα συγκεκριμένο αποτέλεσμα σε δίκη με βάση νομικά προηγούμενα ή ένα δικαστή, ο οποίος δημιουργεί νομολογία, χρησιμοποιεί το σκεπτικό με βάση την περίπτωση (CBR). Η άποψη αυτή συνδέεται με τη θεωρία που αφορά το πρωτότυπο, το οποίο έχει διερευνηθεί πιο βαθιά στη γνωσιακή επιστήμη. Το σύστημα αναζητά τη βάση δεδομένων που έχουν αποθηκευτεί προηγούμενα επιλυμένα προβλήματα για να βρει το πλησιέστερο στο υπάρχον πρόβλημα και προτείνει ερωτήματα προς τον καλούντα. Καθώς όλο και περισσότερες πληροφορίες συμπληρώνονται σε κάθε βήμα, η βάση δεδομένων κάνει επανειλημμένα αναζήτηση για το στενότερο και πιο κοντά στο πρόβλημα έως ότου βρεθεί λύση. Με τον τρόπο αυτό, εκμεταλλευόμαστε τη συσσωρευμένη εμπειρία του παρελθόντος, σε νέα προβλήματα που εμφανίζονται, τα οποία μπορούν να αντιμετωπιστούν, σχεδόν από τον κάθε ένα εμάς, με λίγες απαιτήσεις και πολύ μικρή εμπειρία.

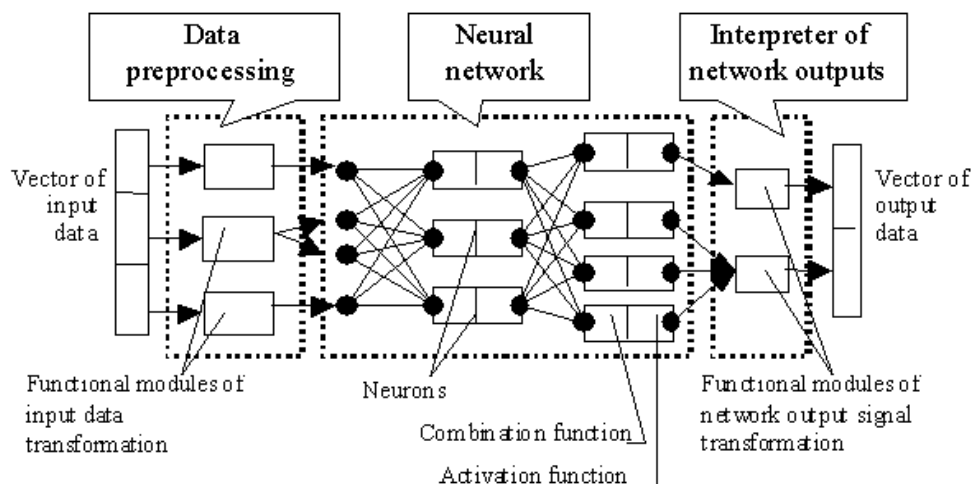
Το Case Base Reasoning , μπορεί να περιγραφεί συνήθως μέσω πέντε βημάτων:

1. Αντιπροσώπευση
2. Ανάκτηση
3. Επαναχρησιμοποίηση
4. Αναθεώρηση
5. Διατήρηση

3.9.3 Νευρωνικά Δίκτυα

Νευρωνικό δίκτυο καλείται ένα κύκλωμα διασυνδεδεμένων νευρώνων (Σχήμα 18). Πρόκειται για ένα αφηρημένο αλγοριθμικό κατασκεύασμα, το οποίο εμπίπτει στον τομέα της υπολογιστικής νοημοσύνης, προς επίλυση κάποιου υπολογιστικού προβλήματος, χρησιμοποιώντας την υπολογιστική προσομοίωση της λειτουργίας των βιολογικών νευρωνικών δικτύων.

Το νευρωνικό δίκτυο είναι ένα δίκτυο από απλούς υπολογιστικούς κόμβους (νευρώνες, νευρώνια), διασυνδεδεμένους μεταξύ τους. Είναι εμπνευσμένο από το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ), το οποίο προσπαθεί να προσομοιώσει.



Σχήμα 21. Νευρωνικό δίκτυο (Πηγή:<http://www.acadjournal.com/2001/v4/part5/p1/>)

Οι νευρώνες είναι τα δομικά στοιχεία του δικτύου. Κάθε τέτοιος κόμβος δέχεται ένα σύνολο αριθμητικών εισόδων από διαφορετικές πηγές (είτε από άλλους νευρώνες, είτε από το περιβάλλον), επιτελεί έναν υπολογισμό με βάση αυτές τις εισόδους και παράγει μία έξοδο. Η εν λόγω έξοδος είτε κατευθύνεται στο περιβάλλον, είτε τροφοδοτείται ως είσοδος σε άλλους νευρώνες του δικτύου. Υπάρχουν τρεις τύποι νευρώνων: οι νευρώνες εισόδου, οι νευρώνες εξόδου και οι υπολογιστικοί νευρώνες ή κρυμμένοι νευρώνες (Haykin, S.,1999). Οι νευρώνες εισόδου δεν επιτελούν κανέναν υπολογισμό, μεσολαβούν απλώς ανάμεσα στις περιβαλλοντικές εισόδους του δικτύου και στους υπολογιστικούς νευρώνες. Οι νευρώνες εξόδου διοχετεύουν στο περιβάλλον τις τελικές αριθμητικές εξόδους του δικτύου. Οι υπολογιστικοί νευρώνες πολλαπλασιάζουν κάθε είσοδό τους με το αντίστοιχο συναπτικό βάρος και υπολογίζουν το ολικό άθροισμα των γινομένων. Το άθροισμα αυτό τροφοδοτείται ως όρισμα στη συνάρτηση ενεργοποίησης, την οποία υλοποιεί εσωτερικά κάθε κόμβος. Η τιμή που λαμβάνει η συνάρτηση για το εν λόγω όρισμα είναι και η έξοδος του νευρώνα για τις τρέχουσες εισόδους και βάρη.

Το κύριο χαρακτηριστικό των νευρωνικών δικτύων είναι η εγγενής ικανότητα μάθησης. Ως μάθηση μπορεί να οριστεί η σταδιακή βελτίωση της ικανότητας του δικτύου να επιλύει κάποιο πρόβλημα (π.χ. η σταδιακή προσέγγιση μίας συνάρτησης). Η μάθηση επιτυγχάνεται μέσω της εκπαίδευσης, μίας επαναληπτικής διαδικασίας σταδιακής προσαρμογής των παραμέτρων του δικτύου (συνήθως των βαρών και της πόλωσής του) σε τιμές κατάλληλες ώστε να επιλύεται με επαρκή επιτυχία το προς εξέταση πρόβλημα. Αφού ένα δίκτυο εκπαιδευτεί, οι παράμετροί του συνήθως «παγώνουν» στις κατάλληλες τιμές και από εκεί κι έπειτα είναι σε λειτουργική κατάσταση. Το ζητούμενο είναι το λειτουργικό δίκτυο να χαρακτηρίζεται από μία ικανότητα γενίκευσης: αυτό σημαίνει πως δίνει ορθές εξόδους για εισόδους καινοφανείς και διαφορετικές από αυτές με τις οποίες εκπαιδεύτηκε.

Τα νευρωνικά δίκτυα εκπαιδεύονται με παραδείγματα. Ο χρήστης συγκεντρώνει αντιπροσωπευτικά δεδομένα και στη συνέχεια, καθώς τα τροφοδοτεί συστηματικά στο δίκτυο μέσω των κατάλληλων αλγορίθμων εκπαίδευσης, το δίκτυο «αντιλαμβάνεται» αυτομάτως τη δομή των δεδομένων και η «γνώση» αυτή εκφράζεται ως κατάλληλες επιλογές συναπτικών βαρών. Επομένως το τελικό αποτέλεσμα της εκπαίδευσης με ένα συγκεκριμένο σύνολο παραδειγμάτων είναι ο προσδιορισμός των κατάλληλων βαρών του δικτύου. Ο χρήστης χρειάζεται να έχει κάποιες ουσιαστικές γνώσεις σχετικά με τον τρόπο επιλογής και προετοιμασίας των δεδομένων, τον τρόπο εκλογής του κατάλληλου νευρωνικού δικτύου και στο πως θα ερμηνευτούν τα αποτελέσματα. Παρά ταύτα, το

επίπεδο των γνώσεων του χρήστη που απαιτούνται για μια επιτυχημένη εφαρμογή των νευρωνικών δικτύων, είναι πολύ χαμηλότερο συγκριτικά με κάποια περίπτωση που θα χρησιμοποιούνταν ορισμένες πιο παραδοσιακές, μη γραμμικές στατιστικές μέθοδοι.

3.9.4 Σύγκριση των Μοντέλων Εκτίμησης Κόστους

Τα μοντέλα νευρωνικών δικτύων παρέχουν ακριβέστερα αποτελέσματα στις εκτιμήσεις κόστους από τις παραδοσιακές και τις μη παραδοσιακές μεθόδους σύμφωνα με τους Kim et al. (2004). Ωστόσο αποτελούν μια ιδιαίτερα χρονοβόρα μέθοδο, γι' αυτό προτιμάται η μέθοδος CBR.

Τα μοντέλα της CBR παρέχουν πιο ακριβή αποτελέσματα από αυτά της ανάλυσης παλινδρόμησης (regression analysis), είναι πιο εύκολα στη χρήση και παρέχουν πιο σαφείς επεξηγήσεις στα αποτελέσματά τους, αποτελώντας μια ολοκληρωμένη πρόταση.

Τα μοντέλα ανάλυσης παλινδρόμησης (regression analysis), σε συγκριτική έρευνα των Kim et al. (2004), αξιολογούνται ως λιγότερο ακριβή από αυτά των νευρωνικών δικτύων και της συλλογιστικής βασισμένης σε περιπτώσεις. Η απλότητα τους, καθώς βασίζονται σε προμετρήσεις, και το γεγονός ότι δεν απαιτούν, όπως οι υπόλοιπες μέθοδοι, την ύπαρξη στοιχείων από προηγούμενες περιπτώσεις εξηγεί το πόσο δημοφιλή είναι ακόμα και σήμερα, παρά την ύπαρξη όλων των άλλων πιο σύγχρονων και ακριβέστερων μεθόδων (Fortune & Lees, 1996).

3.10 Αναλύσεις Κόστους σε Παγκόσμια Κλίμακα

Όπως έχει αποδείξει η διεθνής εμπειρία, οι λανθασμένες εκτιμήσεις ως προς το κόστος κατασκευής ή την οικονομική αποδοτικότητα των έργων δεν αποτελούν ασύνηθες φαινόμενο. Για παράδειγμα, οι Flyvbjerg et al. (2003) αναφέρουν ότι «...*Η σήραγγα της Μάγχης, η οποία άνοιξε το 1994 με κόστος κατασκευής ύψους £ 4,7 δισ., είναι μια περίπτωση όπου προκλήθηκαν αρκετές οριακές πτωχεύσεις από υπερβάσεις του κόστους κατασκευής κατά 80%, με τις δαπάνες χρηματοδότησης να φτάνουν 140% υψηλότερα των προβλέψεων και τα έσοδα να είναι λιγότερα από τα αναμενόμενα ...*». Επίσης, το νέο διεθνές αεροδρόμιο του Ντένβερ, αξίας US \$ 5 δισ. «... *ήταν κοντά σε υπέρβαση του κόστους κατά 200% και η επιβατική κίνηση κατά το έτος έναρξης της λειτουργίας του, ήταν μόνο η μισή από την αναμενόμενη ...*».

Ωστόσο, τόσο στην ελληνική, όσο και στη διεθνή βιβλιογραφία, οι συγκριτικές μελέτες των πραγματικών και των εκτιμώμενων δαπανών στην ανάπτυξη των υποδομών μεταφοράς είναι ελάχιστες. Όπου υπάρχουν τέτοιες μελέτες, είναι συνήθως ανά περίπτωση και καλύπτουν ένα δείγμα των έργων πολύ μικρό για να επιτρέψει συστηματική στατιστική ανάλυση (Flyvbjerg et al., 2003, Bruzelius et al., 1998, Fouracreet et al., 1990, Hall, 1980, Nijkamp & Ubbels, 1999, Pickrell, 1990 & 1995, Walmsley & Pickett, 1992). Είναι σαφές λοιπόν ότι υπάρχει η ανάγκη αναλυτικής εξέτασης των παραμέτρων της δαπάνης κατασκευής σε παγκόσμιο επίπεδο, μιας και σε αυτά κυρίαρχο ρόλο διαδραματίζει η παράμετρος της αβεβαιότητας (Παρασκευοπούλου, 2011).

Οι Flyvbjerg et al. (2003) ασχολήθηκαν με την καταγραφή και στατιστική ανάλυση στοιχείων του κόστους κατασκευής 258 έργων (Πίνακας 4) ανά τον κόσμο, μεγέθους \$90 δισ. (σε τιμές 1995), και έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα:

Πίνακας 4. Υπέρβαση κόστους ανά κύριο κατασκευαστικό έργο

Έργο	Υπέρβαση κόστους (%)
Boston's artery/tunnel	196
Humber Bridge, UK	175
Boston-Washington-New York rail, USA	130
Great Belt rail tunnel, Denmark	110
A6 Motorway Chapel-en-le-Frith/Whaley Bypass, UK	100
Shinkansen Joetsu rail line, Japan	100
Washington Metro, USA	85
Channel tunnel, UK, France	80
Karlsruhe-Bretten light rail, Germany	80
Oresund access links, Denmark	70
Mexico City metro line	60
Paris-Auber-Nanterre rail line	60
Tyne and Wear metro, UK	55
Great Belt link, Denmark	54
Oresund coast-to-coast link	26

(Πηγή: Flyvbjerg et al., 2003)

Η κλιμάκωση του κόστους είναι παγκόσμιο φαινόμενο, όπως διαπιστώνεται σε 258 έργα που πραγματοποιήθηκαν σε 20 χώρες και 5 ηπείρους. Παρατηρείται πιο έντονα σε αναπτυσσόμενες χώρες, παρά σε χώρες της Δυτικής Ευρώπης και Αμερικής ($n= 58$,

στοιχεία για σιδηροδρομικά έργα μόνο). Η κλιμάκωση του φαινομένου δεν έχει μειωθεί τα τελευταία 70 χρόνια, καθώς φαίνεται να μην μαθαίνουμε από το παρελθόν. Επιπλέον, με βάση τα αποτελέσματα της παραπάνω μελέτης προκύπτει ότι:

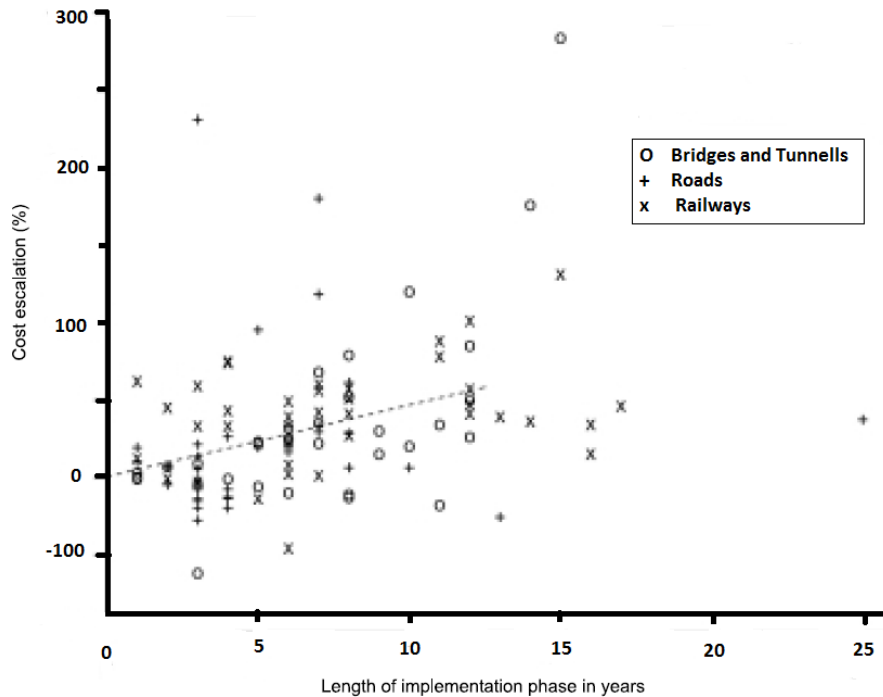
- Το 90% των έργων αρχικά υποκοστολογείται, ακολουθούμενο από κλιμακούμενη αύξηση του κόστους ($n=258$).
- Για όλα τα είδη κατασκευαστικών έργων, το πραγματικό κόστος κυμαίνεται κατά μέση τιμή 28% υψηλότερα από το αρχικώς εκτιμώμενο κόστος ($s.d.= 39$).
- Για τα σιδηροδρομικά έργα η μέση κλιμάκωση είναι της τάξης του 45% ($n = 58, s.d.= 38$).
- Για έργα σταθερής σύνδεσης, όπως γέφυρες και σήραγγες, η μέση κλιμάκωση του κόστους ανέρχεται στο 34% ($n= 33, s.d.= 62$).
- Για έργα οδοποιίας, η μέση κλιμάκωση του κόστους ανέρχεται στο 20% ($n = 167, s.d.= 30$).

Για την επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε κανονική ανάλυση της διακύμανσης και γραμμική παλινδρόμηση.

Όπου γίνεται λόγος περί σημασίας περαιτέρω, χρησιμοποιούνται οι παρακάτω όροι: πολύ μεγάλης σημασίας ($p<0.001$), μεγάλης σημασίας ($0.001\leq p<0.01$), σημαντικό ($0.01\leq p<0.05$), σχεδόν σημαντικό ($0.05\leq p<0.1$) και ασήμαντο ($0.1\leq p$).

Πληροφορίες σχετικά με τη διάρκεια της φάσης υλοποίησης είναι διαθέσιμες για 111 από τα 258 έργα: σιδηροδρομικά, σταθερής τροχιάς (γέφυρες και σήραγγες) και έργα οδοποιίας, για τα οποία υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία σχετικά με την ανάπτυξη του κόστους (38/58 σιδηροδρομικά, 33/33 σταθερής τροχιάς, 40/167 οδικά έργα). Το Σχήμα 22 δείχνει την εξάρτηση της κλιμάκωσης του κόστους κατά τη διάρκεια της φάσης υλοποίησης. Φαίνεται ότι υπάρχει στατιστική σχέση μεταξύ της διάρκειας της φάσης υλοποίησης και της κλιμάκωσης του κόστους, καθώς μεγαλύτερη φάση υλοποίησης τείνει να οδηγήσει σε μεγαλύτερη κλιμάκωση του κόστους.

Για τα 101 έργα, με φάσεις υλοποίησης λιγότερο από το 13 χρόνια, υπάρχει μια πολύ σημαντική εξάρτηση της κλιμάκωσης του κόστους ως προς το μήκος της φάσης της υλοποίησης ($p < 0,001$, t-test). Μεγαλύτερες φάσεις υλοποίησης τείνουν να οδηγήσουν σε μεγαλύτερο ποσοστό κλιμάκωσης του κόστους.



Σχήμα 22. Διάρκεια της φάσης υλοποίησης σε σχέση με τη κλιμάκωση του κόστους σε 111 κατασκευαστικά έργα υποδομής, (Flyvbjerg et al., 2003)

Η επίδραση της διάρκειας της φάσης υλοποίησης και της κλιμάκωσης του κόστους δεν είναι στατιστικά διαφορετική για τις σιδηροδρομικά, έργα σταθερής ζεύξης (γέφυρες και σήραγγες) και έργα οδοποιίας, αντίστοιχα ($p = 0,159$). Τρεις γραμμές παλινδρόμησης θα μπορούσαν να είχαν δοθεί, μια για κάθε τύπο έργου. Ωστόσο, η μηδενική υπόθεση μιας κοινής γραμμής παλινδρόμησης είναι σύμφωνη με τα δεδομένα και δίνει ένα απλούστερο μοντέλο. Η p είναι χαμηλή, αλλά όχι κοντά στο 0,05. Η γραμμή παλινδρόμησης για την κλιμάκωση του κόστους σε συνάρτηση με τη διάρκεια της εφαρμογής φάση φαίνεται στο Σχήμα 22 και δίνεται από τον τύπο:

$$\Delta C = 0.4 + 4.64 * T,$$

όπου ΔC η κλιμάκωση του κόστους (%), σε σταθερές τιμές) και T η διάρκεια (χρόνια) της φάσης υλοποίησης.

Τα στατιστικά στοιχεία είναι ως εξής:

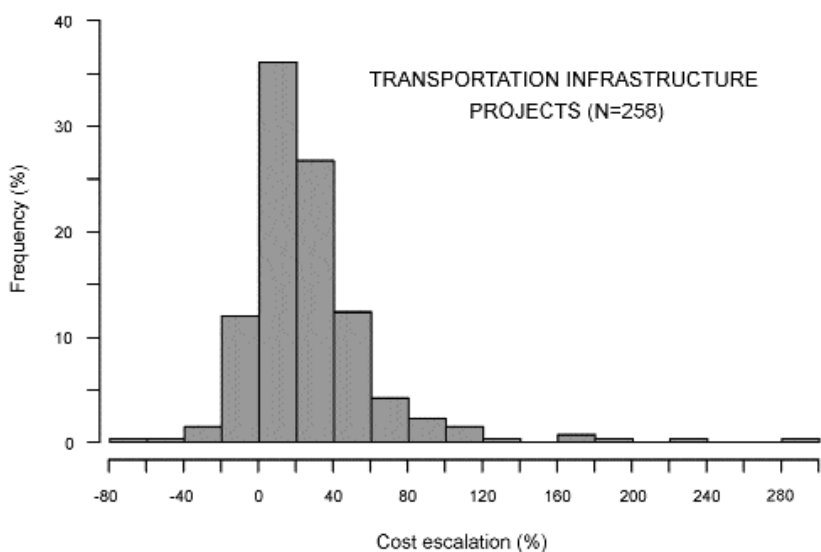
- Τεταγμένη επί την αρχή: μέση τιμή = 0,448, s.d. = 8,258, $t = 0,054$, $p = 0,957$,
- Κλίση: μέση τιμή = 4,636, s.d. = 1,279, $t = 3,626$, $p = 0,00048$,
- $R^2 = 0,1172$

Το 95% του διαστήματος εμπιστοσύνης για την κλίση είναι 2,10 με 7,17. Το διάστημα εμπιστοσύνης δίνει την αβεβαιότητα της ανάλυσης. Το μηδέν δεν περιλαμβάνεται στο διάστημα.

Λαμβάνοντας υπόψη τα διαθέσιμα στοιχεία, φαίνεται ότι για κάθε χρόνο που περνά από την απόφαση για την κατασκευή ενός έργου μέχρι το πέρας της κατασκευής και την έναρξη της λειτουργίας του, θα πρέπει να αναμένουμε το έργο να επιβαρύνεται κατά μέσο όρο με αύξηση του κόστους κατά 4,64%. Έτσι, για ένα έργο αξίας US \$1 δις., η καθυστέρηση ανά έτος θα κόστιζε κατά μέσο όρο US\$ 46 εκατομμύρια.

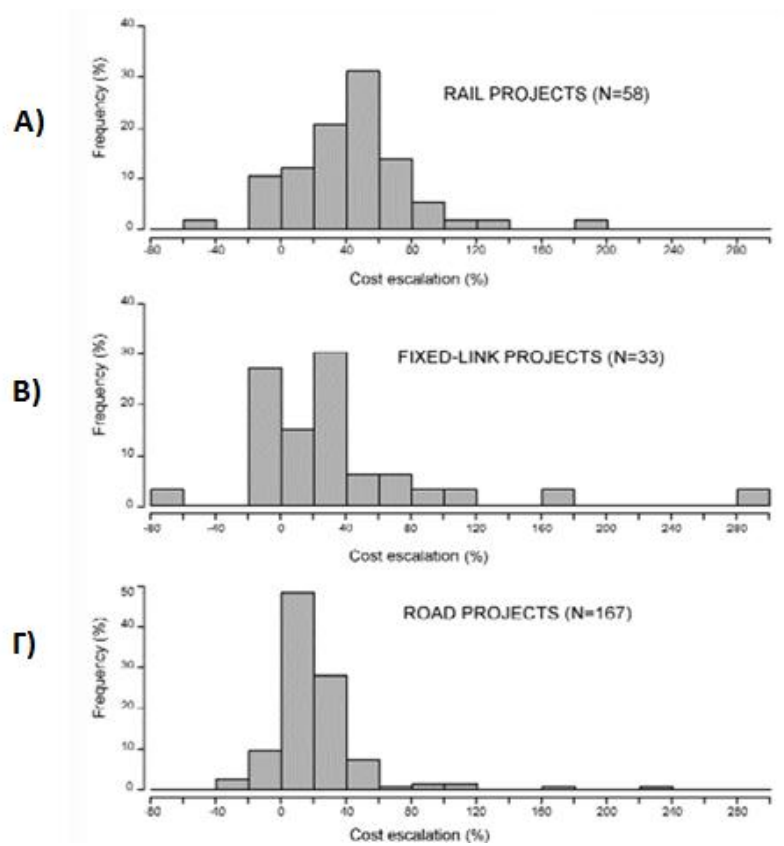
Για ένα έργο του μεγέθους της σήραγγας της Μάγλης, το αναμενόμενο μέσο κόστος της καθυστέρησης είναι περίπου US \$350 εκατομμύρια / έτος, ή 1 εκατομμύριο US\$ / ημέρα.

Στο Σχήμα 23 παρουσιάζεται το ιστόγραμμα με τις αποκλίσεις από το αρχικά προβλεπόμενο κόστος στα 258 κατασκευαστικά έργα υποδομής που μελετήθηκαν. Στην υποθετική περίπτωση που τα λάθη κατά την αρχική εκτίμηση του κόστους ήταν μικρά, το ιστόγραμμα θα ήταν περιορισμένο γύρω από το μηδέν. Στην περίπτωση που οι ανακρίβειες στην υπερκοστολόγηση ήταν ίδιου μεγέθους και συχνότητας με τις αντίστοιχες ανακρίβειες στην υποκοστολόγηση, το ιστόγραμμα θα ήταν συμμετρικά κατανομημένο γύρω από το μηδέν. Ωστόσο, καμία από αυτές τις δύο περιπτώσεις δεν συμβαίνουν. Συμπεραίνεται ότι το σφάλμα της υποκοστολόγησης είναι συνηθέστερο και πιο κοινό από αυτό της υπερκοστολόγησης, με αποτέλεσμα τη συχνή εμφάνιση της κλιμακούμενης αύξησης του κόστους κατά την κατασκευή έργων.



Σχήμα 23. Απόκλιση από το προβλεπόμενο κόστος σε 258 κατασκευαστικά έργα υποδομής (Flyvbjerg et al., 2003)

Η μέση διαφορά μεταξύ προβλεπόμενου και πραγματικού κόστους για τα σιδηροδρομικά έργα είναι αισθητά μεγαλύτερη από αυτή για έργα οδοποιίας, με τα έργα σταθερής τροχιάς να βρίσκονται στη μέση. Η μέση απόκλιση για τα σιδηροδρομικά έργα είναι διπλάσια αυτής των έργων οδοποιίας, με αποτέλεσμα και οι αυξήσεις στο κόστος να είναι διπλάσιες, αντίστοιχα. Το Σχήμα 24 παρουσιάζει ιστογράμματα με τις αποκλίσεις στο προβλεπόμενο κόστος για καθεμία από τις κατηγορίες: Α) σιδηροδρομικά έργα (high-speed, Αστικά, intercity), Β) έργα σταθερής τροχιάς (γέφυρες και σήραγγες) και Γ) έργα οδοποιίας (δρόμους εθνικούς και ταχείας κυκλοφορίας).



Σχήμα 24. Απόκλιση από το προβλεπόμενο κόστος σε Α) σιδηροδρομικά έργα, Β) έργα σταθερής τροχιάς, Γ) έργα οδοποιίας (Flyvbjerg et al., 2003)

Ο Πίνακας 5 παρουσιάζει την απόκλιση από το προβλεπόμενο κόστος ανά κατηγορία έργου. Παρατηρούνται διαφοροποιήσεις στην τυπική απόκλιση (s.d.) καθώς και υψηλός βαθμός σημαντικότητας p. Τα σιδηροδρομικά έργα παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ προβλεπόμενου και πραγματικού κόστους, με μια μέση τιμή να κυμαίνεται στο

44,7%, ακολουθούν τα έργα σταθερής τροχιάς , κυμαινόμενα στο 33,8% και τα έργα οδοποιίας στο 29,9%.

Πίνακας 5. Απόκλιση από το προβλεπόμενο κόστος ανά κατηγορία έργου

Κατηγορία Έργου	Πλήθος Περιπτώσεων (N)	Μέση Υπέρβαση Κόστους (%)	Τυπική Απόκλιση	Επίπεδο σημαντικότητας (p)
Σιδηροδρομικά έργα	58	44,7	38,4	<0,001
Έργα σταθερής τροχιάς	33	33,8	62,4	<0,004
Έργα οδοποιίας	167	20,4	29,9	<0,001
Σύνολο	258	27,6	38,7	<0,001

(Πηγή: Flyvbjerg et al., 2003)

Εκτός από το είδος του έργου, η έρευνα εξέτασε κατά πόσο η υποκοστολόγηση επηρεάζεται και από τη γεωγραφική τοποθεσία του έργου, συλλέγοντας στοιχεία από έργα σε Ευρώπη, Ηνωμένες Πολιτείες και λοιπές χώρες (10 αναπτυσσόμενες χώρες).

Ο Πίνακας 6 παρουσιάζει τις διαφορές μεταξύ προβλεπόμενου και πραγματικού κόστους στις τρεις αυτές γεωγραφικές περιοχές ανά τύπο έργου. Για όλα τα έργα φαίνεται υψηλός βαθμός σημαντικότητας ($p < 0,001$), συμπεραίνοντας ότι η γεωγραφική θέση παίζει ρόλο.

Πίνακας 6. Απόκλιση από το καθορισμένο κόστος ανά γεωγραφική περιοχή

Κατηγορία Έργου	Ευρώπη			Βόρεια Αμερική			Λοιπές Χώρες		
	Πλήθος Περιπτώσεων (N)	Μέση Υπέρβαση Κόστους (%)	Τυπική Απόκλιση	Πλήθος Περιπτώσεων (N)	Μέση Υπέρβαση Κόστους (%)	Τυπική Απόκλιση	Πλήθος Περιπτώσεων (N)	Μέση Υπέρβαση Κόστους (%)	Τυπική Απόκλιση
Σιδηροδρομικά έργα	23	34.2	25.1	19	40.8	36.8	16	64.6	49.5
Έργα σταθερής τροχιάς	15	43.4	52.0	18	25.7	70.5	0	-	-
Έργα οδοποιίας	143	22.4	24.9	24	8.4	49.4	0	-	-
Σύνολο	181	25.7	28.7	61	23.6	54.2	19	64.6	49.5

(Πηγή: Flyvbjerg et al., 2003)

- Του τεχνικού εισόδου σήραγγας από τη Χ.Θ. 67+881,11 έως τη Χ.Θ. 67+894,35, που θα κατασκευασθεί με την μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης (Cut & Cover), συνολικού μήκους 13,24m.
- Της Σήραγγας από Χ.Θ. 67+894,35 έως τη Χ.Θ. 70+154,25, που θα κατασκευασθεί με συμβατικούς μεθόδους, συνολικού μήκους 2259,90m.
- Του τεχνικού εξόδου σήραγγας από τη Χ.Θ. 70+154,25 έως τη Χ.Θ. 70+174,01, που θα κατασκευασθεί με την μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης (Cut & Cover), συνολικού μήκους 19,76m .
- Της Σήραγγας Διαφυγής OX1, που ο άξονάς της διασταυρώνεται με τον άξονα της σιδηροδρομικής σήραγγας στην Χ.Θ. 68+640,99, συνολικού μήκους 384,72m, που θα κατασκευασθεί με συμβατικούς μεθόδους, καθώς και του τεχνικού εξόδου της, συνολικού μήκους 15,72m, που θα κατασκευασθεί με την μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης (Cut & Cover).
- Της Σήραγγας διαφυγής OX2, που ο άξονάς της διασταυρώνεται με τον άξονα της σιδηροδρομικής σήραγγας στην Χ.Θ. 69+430,97, συνολικού μήκους 270,25m, που θα κατασκευασθεί με συμβατικούς μεθόδους, καθώς και του τεχνικού εξόδου της, συνολικού μήκους 18,25m, που θα κατασκευασθεί με την μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης (Cut & Cover).
- Του συστήματος αποστράγγισης αποχέτευσης της σήραγγας.
- Της Υποδομής της σιδηροδρομικής γραμμής εντός της σήραγγας.
- Των Προσωρινών έργων πλησίον τεχνικών εισόδου – εξόδου σήραγγων όπως τα έργα διαμόρφωσης της περιοχής του στομίου εισόδου, που περιλαμβάνουν την κατασκευή των πασσαλοτοίχων για την αντιστήριξη του κεκλιμένου ανάγλυφου, καθώς και η διαμόρφωση των χώρων συγκέντρωσης.
- Δύο πεζοδρομίων ελάχιστου πλάτους 1,20m, εκατέρωθεν, των σιδηροτροχιών. Τα πεζοδρόμια αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως οδοί διαφυγής και κατά την διάρκεια κίνησης των σιδηροδρομικών συρμών εντός της σήραγγας, λόγω του ότι, το απολύτως ελεύθερο πλάτος τους ίσο με 0,80m παραμένει ελεύθερο και ασφαλές.
- Εσοχών - καταφυγίων ασφαλείας προσωπικού, κατά μήκος της κύριας σήραγγας Πλατάνου, και στις δύο πλευρές της, που θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους εργαζομένους στην σήραγγα κατά την διάρκεια λειτουργίας της. Η

απόσταση μεταξύ των καταφυγίων θα είναι 48m, σε πεσσοειδή διάταξη, στις δύο πλευρές της σήραγγας.

B. Κατασκευή σήραγγας Τράπεζας από τη Χ.Θ. 70+355,67 έως τη Χ.Θ. 73+103,79

Η σήραγγα που θα κατασκευαστεί θα έχει συνολικό μήκος 2.748,12m και συμπεριλαμβάνει την κατασκευή:

- Του τεχνικού εισόδου σήραγγας από τη Χ.Θ. 70+355,67 έως τη Χ.Θ. 70+373,19, που θα κατασκευασθεί με την μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης (Cut & Cover), συνολικού μήκους 17,52m.
- Της Σήραγγας από Χ.Θ. 70+373,19 έως τη Χ.Θ. 73+086,80, που θα κατασκευασθεί με συμβατικούς μεθόδους, συνολικού μήκους 2.713,61m.
- Του τεχνικού εξόδου σήραγγας από τη Χ.Θ. 73+086,80 έως τη Χ.Θ. 73+103,79, που θα κατασκευασθεί με την μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης (Cut & Cover), συνολικού μήκους 16,99m.
- Της Σήραγγας Διαφυγής ΣΔ1, που ο άξονάς της διασταυρώνεται με τον άξονα της σιδηροδρομικής σήραγγας στην Χ.Θ. 71+270,96, συνολικού μήκους 201,50m, που θα κατασκευασθεί με συμβατικούς μεθόδους, καθώς και του τεχνικού εξόδου της, συνολικού μήκους 5,58m, που θα κατασκευασθεί με την μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης (Cut & Cover).
- Της Σήραγγας διαφυγής ΣΔ2, που ο άξονάς της διασταυρώνεται με τον άξονα της σιδηροδρομικής σήραγγας στην Χ.Θ. 72+190,97, συνολικού μήκους 196,76m, που θα κατασκευασθεί με συμβατικούς μεθόδους, καθώς και του τεχνικού εξόδου της, συνολικού μήκους 5,51m, που θα κατασκευασθεί με την μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης (Cut & Cover).
- Του συστήματος αποστράγγισης αποχέτευσης της σήραγγας.
- Της Υποδομής της σιδηροδρομικής γραμμής εντός της σήραγγας.
- Των Προσωρινών έργων πλησίον τεχνικών εισόδου – εξόδου σήραγγων όπως τα έργα διαμόρφωσης της περιοχής του στομίου εισόδου, που περιλαμβάνουν την κατασκευή των πασσαλοτοιχίων για την αντιστήριξη του κεκλιμένου ανάγλυφου, καθώς και η διαμόρφωση των χώρων συγκέντρωσης.



Εικόνα 2. Εργοτάξιο Πλατάνου-Τράπεζας (Πηγή:ΕΡΓΟΣΕ)



Εικόνα 3. Έξοδος κύριας σήραγγας Πλατάνου (Πηγή:ΕΡΓΟΣΕ)

4.2 Προϋπολογισμός Έργου

Στον Πίνακα 7 αναλύεται σε επιμέρους δαπάνες το σύνολο του κόστους της σήραγγας Πλατάνου-Τράπεζας, όπως αυτό διαμορφώθηκε κατά την υποβολή της οικονομικής προσφοράς από τον Ανάδοχο του Έργου. Ο προϋπολογισμός έγινε βάσει των

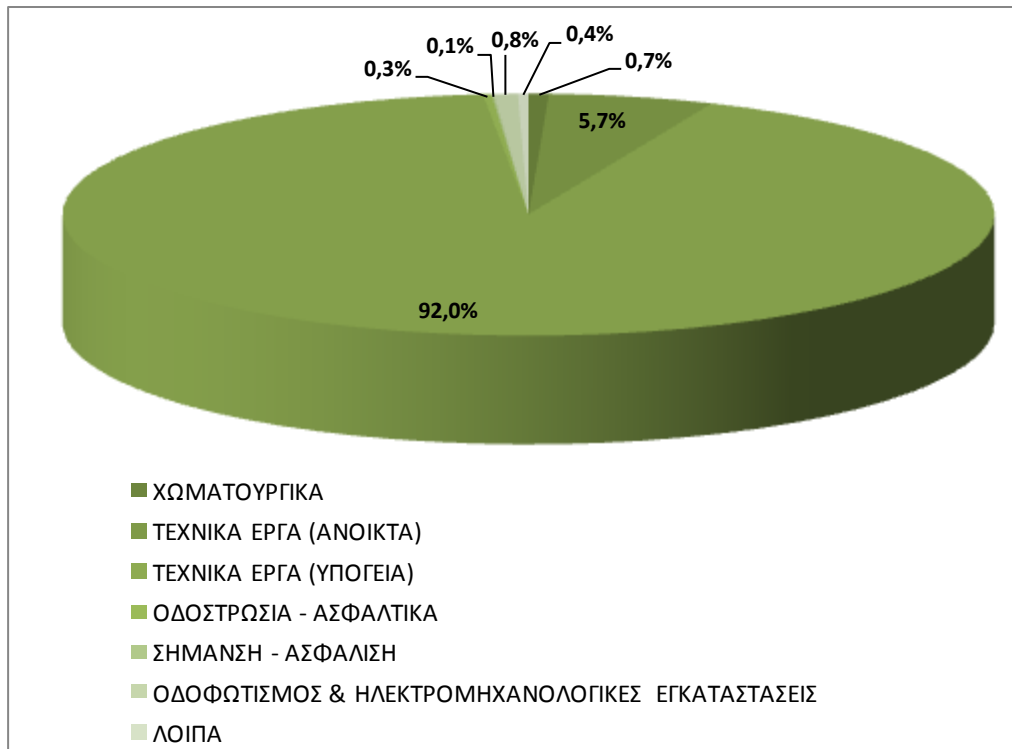
αναθεωρημένων τιμών μονάδας το τρίτο τρίμηνο του 2006, τα γενικά έξοδα (Γ.Ε.) και το εργολαβικό όφελος (Ε.Ο.) καθορίζεται στο 18% της συνολικής δαπάνης του έργου. Τα απρόβλεπτα καθορίζονται στο 9% του συνόλου των δαπανών, ενώ το έργο επιβαρύνθηκε με ΦΠΑ 18%.

Πίνακας 7. Προϋπολογισμός Σηράγγων Πλατάνου –Τράπεζας

Εργασίες κατασκευής υπογείων τμημάτων σηράγγων	Δαπάνη εργασίας κατά τον Προϋπολογισμό Μελέτης (Ευρώ)	% Συν. Δαπάνης
ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΑ	543.952	0,700
ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ (ΑΝΟΙΚΤΑ)	4.458.466	5,745
ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ (ΥΠΟΓΕΙΑ)	71.382.713	91,982
ΟΔΟΣΤΡΩΣΙΑ - ΑΣΦΑΛΤΙΚΑ	229.242	0,295
ΣΗΜΑΝΣΗ - ΑΣΦΑΛΙΣΗ	62.685	0,080
ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΣ & ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ	639.935	0,824
ΛΟΙΠΑ	287.475	0,370
<i>Επιμέρους Σύνολο</i>	77.604.470	100
Άθροισμα δαπανών εργασιών κατά τη μελέτη (Σσ)	77.604.470	
Γ.Ε & Ο.Ε. 18% X Σσ=	13.968.804	
<i>Επιμέρους Σύνολο</i>	91.573.275	
Συνολική Δαπάνη Έργου κατά τη μελέτη (ΣΣ)		
Απρόβλεπτα 9% X ΣΣ=	8.241.594	
Σύνολο Σ1	99.814.869	
Απολογιστικές εργασίες	685.130	
Σύνολο Δαπάνης του Έργου κατά τη μελέτη (χωρίς ΦΠΑ) Σ2=		
	100.500.000	
ΔΑΠΑΝΗ ΦΠΑ 18%	18.090.000	
Συνολική Δαπάνη Έργου με ΦΠΑ	118.590.000	

(Πηγή:ΕΡΓΟΣΕ)

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 25 που ακολουθεί, το μεγαλύτερο ποσοστό του κόστους προϋπολογισμού αφορά στα υπόγεια τεχνικά έργα.

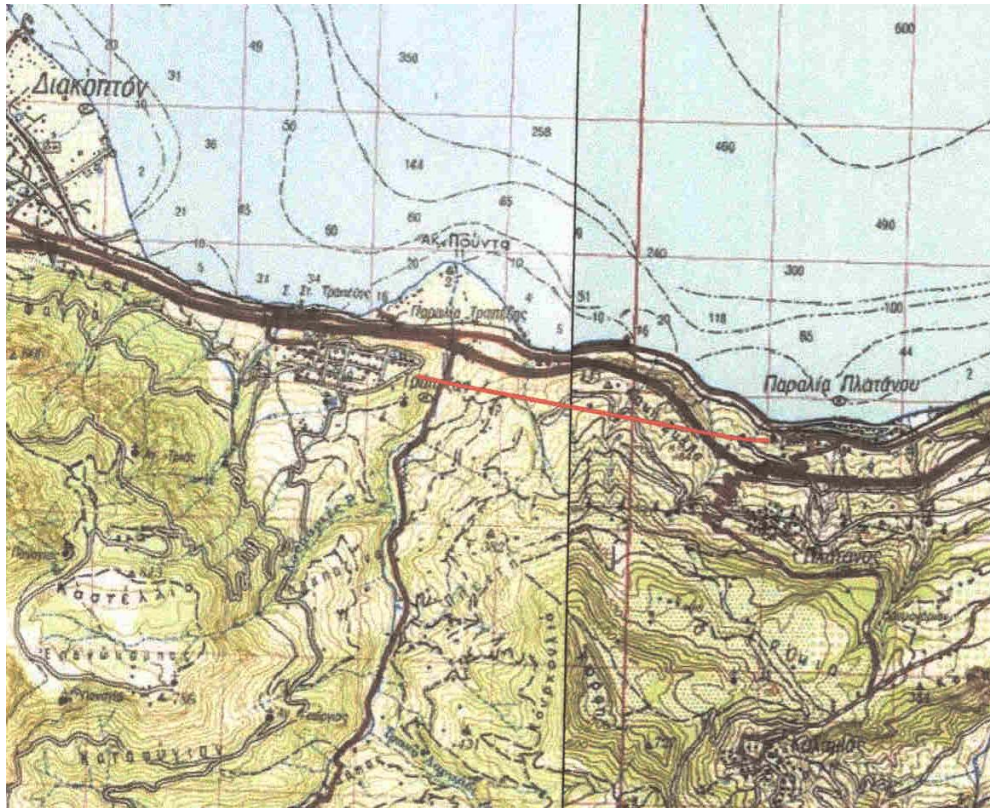


Σχήμα 25. Ποσοστό Δαπάνης Εργασίας κατά τον Προϋπολογισμό της μελέτης

4.3 Σήραγγα Πλατάνου

Η σιδηροδρομική σήραγγα Πλατάνου θα κατασκευασθεί στην περιοχή μεταξύ των οικισμών Πλατάνου και Τράπεζας και θα αποτελέσει τμήμα της Νέας Σιδηροδρομικής Γραμμής Υψηλών Ταχυτήτων κανονικού εύρους μεταξύ Κορίνθου – Πάτρας. Η σήραγγα ξεκινά από τον οικισμό του Πλατάνου, διέρχεται κάτω από την Νέα Εθνική Οδό Κορίνθου - Πατρών και καταλήγει στη περιοχή της Τράπεζας, πλησίον της Οδού με κατεύθυνση τα Καλάβρυτα και τη γέφυρα του ποταμού Λαδοπόταμου, η οποία συνδέει το τέλος της σήραγγας Πλατάνου με την αρχή της σήραγγας Τράπεζας.

Η σήραγγα Πλατάνου θα κατασκευαστεί από τη Χ.Θ. 67+881,11 έως τη Χ.Θ. 70+174,01. Το τμήμα, που πρόκειται να κατασκευασθεί με υπόγεια διάνοιξη οριοθετείται από τις χιλιομετρικές θέσεις 67+894,35 και 70+154,25 (2259,90 m). Τα τμήματα της σήραγγας πριν και μετά από αυτές τις χιλιομετρικές θέσεις θα κατασκευασθούν με την μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης (Cut and Cover) και συγκεκριμένα, το τεχνικό εισόδου της σήραγγας από Χ.Θ. 67+881,11 έως 67+894,35 (13,24 m) και το τεχνικό εξόδου της σήραγγας από Χ.Θ. 70+154,25 έως 70+174,01 (19,76 m).



Εικόνα 4. Θέση Σήραγγας Πλατάνου (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)



Εικόνα 5. Σήραγγα Πλατάνου - Χρήση εκρηκτικών (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)

Στην είσοδο της σήραγγας Πλατάνου θα γίνει διαμόρφωση των πρανών και για την αντιστήριξη τους προβλέπεται η κατασκευή του προσωρινού έργου που θα αποτελείται από πασσαλότοιχους.

Για λόγους ασφάλειας σε περίπτωση ατυχημάτων, προβλέπεται η κατασκευή δύο σηράγγων διαφυγής OX1 και OX2, ο άξονάς των οποίων διασταυρώνει τον άξονα της σιδηροδρομικής σήραγγας στις Χ.Θ. 68+640,99 και 69+430,97 αντίστοιχα.

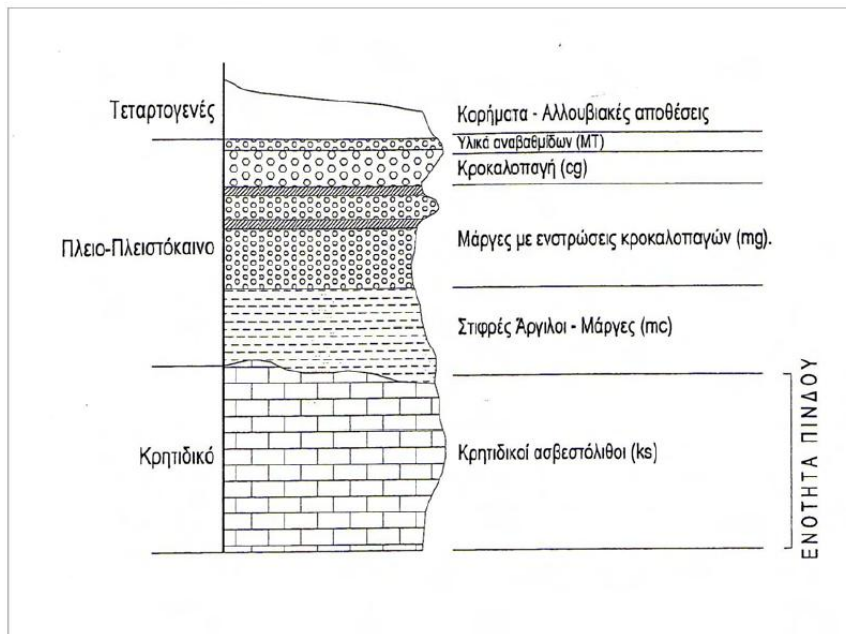
Η σήραγγα διαφυγής OX1 έχει συνολικό μήκος 384,72 m. Το τμήμα από την έξοδο της OX1 έως τη Χ.Θ. 0+369.0 (15.72 m) κατασκευάζεται με τη μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης (Cut and Cover) και το υπόλοιπο με υπόγεια διάνοιξη.

Η σήραγγα διαφυγής OX2 έχει συνολικό μήκος 270.25 μέτρα. Το τμήμα από την έξοδο της σήραγγας έως τη Χ.Θ. 0+252.0 (18.25 m) κατασκευάζεται με τη μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης (Cut and Cover) και το υπόλοιπο με υπόγεια διάνοιξη.

Στα στόμια και των δύο σηράγγων διαφυγής διαμορφώνονται ειδικοί χώροι συγκέντρωσης.

4.3.1 Στρωματογραφία

Το γεωλογικό υπόβαθρο για την κλίμακα του έργου και στο οποίο θα διανοιχθεί το μεγαλύτερο τμήμα της σήραγγας αποτελούν κυρίως οι Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι (ks) της ενότητας της Πίνδου και κατά δεύτερο λόγο, τα μεταλλικά ιζήματα του Πλειοπλειστοκαίνου που έχουν αποτεθεί ασύμφωνα στο Αλπικό υπόβαθρο. Ασύμφωνα στους αλπικούς και στους Πλειο- Πλειστοκαινικούς σχηματισμούς τοποθετούνται οι πρόσφατοι τεταρτογενείς σχηματισμοί. Στην Εικόνα 6 δίνεται η στρωματογραφική αλληλουχία των γεωλογικών σχηματισμών της ευρύτερης περιοχής μελέτης.



Εικόνα 6. Στρωματογραφική αλληλουχία της περιοχής Πλατάνου (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντούν είναι οι εξής :

A. Αλπικοί σχηματισμοί

Κατατάσσονται οι κρητιδικό ασβεστόλιθοι (ks), οι οποίοι συναντώνται επιφανειακά στα τεχνικά της Ν.Ε.Ο. στο τμήμα από Χ.Θ. 68+260 έως 69+500 (Χιλιόμετρηση Σιδηροδρομικής Γραμμής) και εκτείνονται μέχρι την παράλια ζώνη. Αναμένεται να συναντηθούν στο μεγαλύτερο τμήμα της σήραγγας.

- Κρητιδικό ασβεστόλιθοι (ks). Πρόκειται για πελαγικούς γενικά λεπτοστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις ασβεστόλιθους μέσα στους οποίους συναντώνται μικρές ενστρώσεις και κόνδυλοι κερατολίθων καθώς και ενδιαστρώσεις αργιλικών σχιστόλιθων. Έχουν πάχος στρώσης έως 30 cm. ενώ το χρώμα τους ποικίλει από γκριζόλευκο έως ερυθρωπό.

B. Μεταλλικά ιζήματα

B.1. Πλειοπλειστόκαινο

Τα πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα καλύπτουν ευρεία έκταση σε όλη την Βόρεια Πελοπόννησο και χαρακτηρίζονται από την διαμόρφωση διαφορετικών λιθολογικών φάσεων με τις λεπτόκοκκες να υπερτερούν στα κατώτερα τμήματα και τις αδρόκοκκες στα ανώτερα.

- Στιφρές άργιλοι – μάργες (mc).
- Μάργες με ενστρώσεις κροκαλοπαγών (mg).
- Υλικά θαλάσσιων αναβαθμίδων (MT).

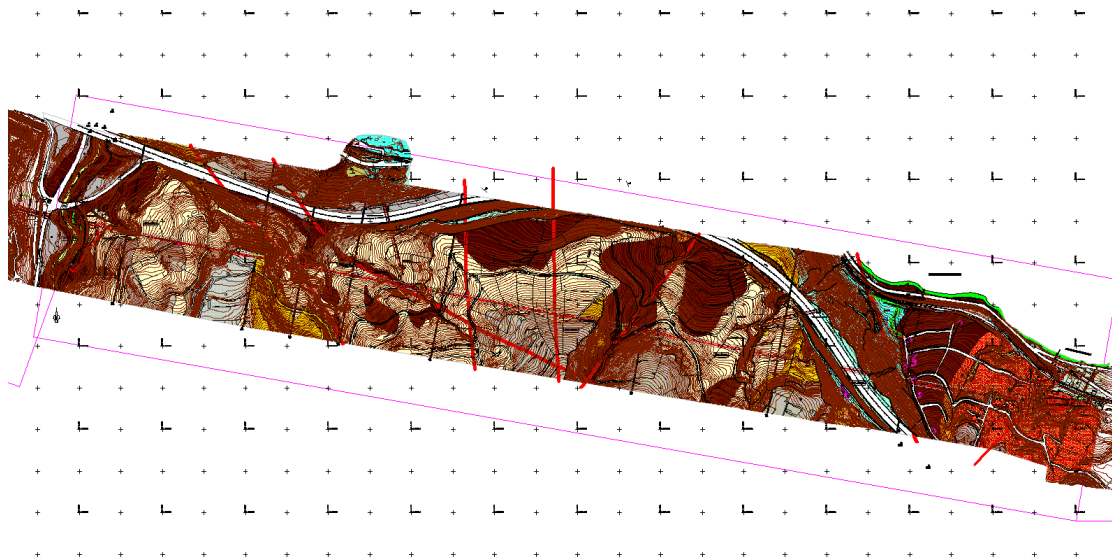
B.2. Τεταρτογενές

Οι πρόσφατες τεταρτογενείς αποθέσεις αποτελούν εδαφικά υλικά, τα οποία επικάθονται ασύμφωνα στις πλειοπλειστοκαινικές αποθέσεις και καλύπτουν σημαντική έκταση επιφανειακά. Αυτά ανάλογα με τις συνθήκες δημιουργίας τους μπορούν διακριθούν σε:

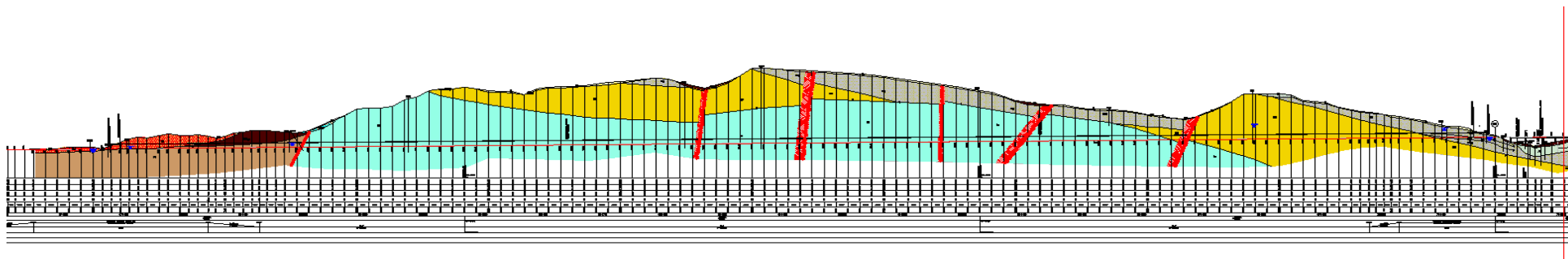
- Προϊόντα κατολισθήσεων.
- Κορηματικά υλικά.
- Αλλουβιακές αποθέσεις.
- Πλειστοκαινικός σχηματισμός (PT).

4.3.2 Τεχνικογεωλογικές συνθήκες Σήραγγας Πλατάνου

Σε αυτό το κεφάλαιο δίνεται η τεχνικο-γεωλογική περιγραφή των σχηματισμών κατά μήκος της σήραγγας Πλατάνου καθώς και των συνθηκών διάνοιξης και αντιστήριξης. Η γεωλογική αποτύπωση δίνεται στην Εικ. 7, ενώ η γεωλογική μηκοτομή στην Εικόνα 8.



Εικόνα 7. Γεωλογική αποτύπωση Σήραγγας Πλάτανου (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- ΜΑΡΓΑ
- ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ
- ΜΑΡΓΕΣ ΜΕ ΕΝΣΤΡΩΣΕΙΣ ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΩΝ
- ΑΡΓΙΛΙΚΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ
- ΥΛΙΚΑ ΠΑΛΑΙΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ
- ΑΡΓΙΛΙΚΑ ΚΟΡΗΜΑΤΑ ΧΑΛΙΚΩΔΟΥΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΜΕ ΑΡΓΙΛΙΚΟ ΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

Εικόνα 8. Γεωτεχνική Μηκτομή Σήραγγας Πλατάνου (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)

A. Μέτωπο εισόδου

Το μέτωπο εισόδου της σήραγγας Πλάτανου διαμορφώνεται σε υλικά παλαιών κατολισθήσεων αργιλομαργαϊκής σύστασης με τοπικά κροκάλες, λίθους και ογκόλιθους (LM). Παρουσιάζουν έντονη ανομοιομορφία και κυμαινόμενη συνεκτικότητα. Το μέγιστο πάχος τους είναι 16m.

Για τη διαμόρφωση του μετώπου απαιτήθηκε η χρήση δοκών προπορείας βαρέως τύπου και άμεση εφαρμογή ισχυρών μέτρων προσωρινής υποστήριξης.

Σχετικά με τα υπόγεια νερά σύμφωνα με τα στοιχεία των γεωτρήσεων αναμενόταν η διαμόρφωση ελεύθερου υδροφόρου ορίζοντα μικρής έως ασήμαντης δυναμικότητας δυο μετρά περίπου πάνω από την στάθμη της ερυθράς. Οι συνθήκες αυτές σχεδόν επιβεβαιώθηκαν κατά την διάνοιξη.

B. Διαδρομή της σήραγγας

Από την Χ.Θ. 67+894 μέχρι 68+200

Το τμήμα αυτό διανοίγεται καταρχήν στα υλικά παλαιών κατολισθήσεων (LM) μέχρι την Χ.Θ. 68+000 και στη συνέχεια διανοίγεται στον Πλειστοκαινικό σχηματισμό (PT) και στα υπερκείμενα αργιλικά κορήματα (SM). Γενικά σε όλο το τμήμα επικρατούν σχηματισμοί με πολύ πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά. Τέλος στην Χ.Θ. 68+200 έχουμε την παρουσία ρηξιγενούς ζώνης η οποία φέρνει σε επαφή τους μεταλλικούς σχηματισμούς με τους ασβεστόλιθους (Ks).

Αναméνονταν ιδιαίτερα τεχνικογεωλογικά προβλήματα κατά την διάνοιξη της σήραγγας λόγω της έντονης ανομοιομορφίας και της σχετικά χαλαρής δομής των γεωλογικών σχηματισμών που συναντήθηκαν. Απαιτήθηκε η χρήση δοκών προπορείας βαρέως τύπου ,μικρό βήμα προχώρησης και άμεση τοποθέτηση ισχυρών μέτρων προσωρινής αντιστήριξης. Στην θέση της ρηξιγενούς ζώνης επειδή τα εδαφικά υλικά είναι έντονα διαταραγμένα χρησιμοποιήθηκαν αυξημένα μέτρα αντιστήριξης.

Σχετικά με τα υπόγεια νερά σύμφωνα με τα στοιχεία των γεωτρήσεων αναμένεται η διαμόρφωση ελεύθερου υδροφόρου ορίζοντα μικρής έως ασήμαντης δυναμικότητας τέσσερα μετρά περίπου πάνω από την στάθμη της ερυθράς.

Από την Χ.Θ. 68+200 μέχρι 69+630

Το τμήμα αυτό διανοίγεται σε κρητιδικούς ασβεστόλιθους (Ks). Στις Χ.Θ. 68+200, 68+860, 69+040, 69+260 και 69+400 έχουμε την παρουσία ρηξιγενών ζωνών.

Κατά την διάνοιξη του υπόγειου έργου και τη διαμόρφωση των μετώπων εκσκαφής παρουσιάστηκαν κατά θέσεις καταπτώσεις σφηνών μικρού όγκου. Στις ζώνες έντονου κατακερματισμού του πετρώματος όπου η βραχομάζα είναι διαταραγμένη με αργιλοχαλικώδη υλικά έως και μυλωνιτωμένη, έγινε άμεση εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος και των υπόλοιπων μέτρων προσωρινής αντιστήριξης.

Σχετικά με τα υπόγεια νερά σύμφωνα με τα στοιχεία των γεωτρήσεων είχαμε την διαμόρφωση υδροφόρου ορίζοντα κάτω από την στάθμη της ερυθράς.

Από την Χ.Θ. 69+630 μέχρι 70+070

Το τμήμα αυτό διανοίγεται σε στιφρές αργίλους (mc) και στην Χ.Θ. 69+670 έχουμε την παρουσία ρηξιγενούς ζώνης.

Κατά την διάνοιξη του υπόγειου έργου και τη διαμόρφωση των μετώπων εκσκαφής έγινε κατά θέσεις η χρήση αγκυρίων προπορείας και κυρίως στις θέσεις όπου οι χαλαρές ζώνες συναντώνται στην οροφή της σήραγγας. Στις περιοχές αυτές είχαμε περιορισμένης έκτασης υπερεκσκαφές και είχαμε την άμεση εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος και των υπόλοιπων μέτρων προσωρινής αντιστήριξης. Ενισχυμένα μέτρα αντιστήριξης χρησιμοποιήθηκαν στο τμήμα από Χ.Θ. 69+630 μέχρι 69+650 όπου συναντάται η διεπιφάνεια μεταξύ των υπερκείμενων στιφρών αργίλων και των ασβεστόλιθων. Επίσης αυξημένα μέτρα αντιστήριξης χρησιμοποιήθηκαν στην Χ.Θ. 69+670 λόγω της παρουσίας ρηξιγενούς ζώνης όπου τα υλικά ήταν έντονα διαταραγμένα.

Σχετικά με τα υπόγεια νερά σύμφωνα με τα στοιχεία των γεωτρήσεων δεν είχαμε τη διαμόρφωση ενιαίου υδροφόρου ορίζοντα. Ωστόσο χρειάστηκε ιδιαίτερη προσοχή για την περίπτωση διαμόρφωσης εγκλωβισμένων ή επικρεμαμένων υδροφόρων.

Από την Χ.Θ. 70+070 μέχρι 70+154

Το τμήμα αυτό διανοίγεται σε μάργες με ενστρώσεις κροκαλοπαγών (mg). Στο πρώτο μέρος του τμήματος η επικρατούσα σύσταση των μαργών με ενστρώσεις κροκαλοπαγών είναι αργιλική (mg.c) και για το υπόλοιπο είναι χαλικώδης (mg.g).

Κατά την διάνοιξη του υπόγειου έργου και τη διαμόρφωση των μετώπων εκσκαφής είχαμε κατά θέσεις τη χρήση δοκών προπορείας και κυρίως στις θέσεις όπου τα αδρόκοκκα υπερτερούν και συναντώνται στην οροφή της σήραγγας. Στις περιοχές αυτές είχαμε περιορισμένης έκτασης υπερεκσκαφές και έγινε άμεση εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος και των υπόλοιπων μέτρων προσωρινής αντιστήριξης.

Σχετικά με τα υπόγεια νερά σύμφωνα με τα στοιχεία των γεωτρήσεων δεν είχαμε τη διαμόρφωση ενιαίου υδροφόρου ορίζοντα. Ωστόσο χρειάστηκε ιδιαίτερη προσοχή για την περίπτωση διαμόρφωσης εγκλωβισμένων ή επικρεμαμένων υδροφόρων.

Γ. Μέτωπο εξόδου

Το μέτωπο εξόδου της σήραγγας Πλάτανου διαμορφώνεται σε μάργες με ενστρώσεις κροκαλοπαγών (mg) τα οποία καλύπτονται από ελουβιακό μανδύα (EL) μεγίστου πάχους 4m.

Για τη διαμόρφωση του μετώπου είχαμε τη χρήση δοκών προπορείας βαρέως τύπου και άμεση εφαρμογή ισχυρών μέτρων προσωρινής υποστήριξης.

Σχετικά με τα υπόγεια νερά σύμφωνα με τα στοιχεία των γεωτρήσεων δεν είχαμε τη διαμόρφωση ενιαίου υδροφόρου ορίζοντα και διαμορφώνεται εποχιακά κάτω από την στάθμη της ερυθράς στην διεπιφάνεια αδρομερών και αργιλικών υλικών.

4.3.3 Ταξινόμηση Βραχομάζας

Για τις ταξινομήσεις βραχομάζας ακολουθήθηκε η μεθοδολογία GSI. Η ταξινόμηση βραχομάζας που προσδιορίζει τον Γεωλογικό Δείκτη Αντοχής (GSI) γίνεται σύμφωνα με τους Hoek, et al. (1995) και όπως τροποποιήθηκε μεταγενέστερα (Hoek et al., 1997, Hoek,& Marinos, 2000), όπου συμπληρώθηκε ειδικά για την περίπτωση ετερογενών σχηματισμών όπως ο φλύσχης. Τελευταία αναθεώρηση έγινε από τους Hoek et al. (2002). Κατά το σύστημα GSI υπάρχουν τέσσερις (4) ταξινομήσεις βραχομάζας για διαφορετικές εκτιμώμενες κατηγορίες βραχομάζας, που αναμένεται να συναντηθούν στο σχηματισμό των ασβεστόλιθων (ks) και οι οποίες αφορούν σε διαφορετικό βαθμό κατακερματισμού και μηχανικής καταπόνησης της βραχομάζας.

Η μελέτη κατέταξε τους σχηματισμούς της περιοχής στις παρακάτω τεχνικογεωλογικές ενότητες:

ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ ΥΓΙΗΣ

Λεπτοστρωματώδης έως μεσοστρωματώδης βραχομάζα, η οποία διατέμενεται από τέσσερα ή περισσότερα συστήματα ασυνεχειών με σχετικά καλή εμπλοκή και παρουσιάζει ελαφρό κερματισμό. Οι ασυνέχειες είναι τραχείες έως πολύ τραχείες, ελαφρά αποσαθρωμένες με μικρό άνοιγμα, χωρίς ή με μικρού πάχους υλικό πλήρωσης. (Ενδεικτική τιμή RQD : >45%)

Κατάσταση βραχομάζας : VERY BLOCKY / GOOD

ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ ΚΑΤΑΚΕΡΜΑΤΙΣΜΕΝΟΣ

Λεπτοστρωματώδης έως μεσοστρωματώδης βραχομάζα, τοπικά λατυποπαγής, πτυχωμένη και ελαφρά ρωγματωμένη. Διατέμενεται από πολλά συστήματα ασυνεχειών με μέτρια εμπλοκή και παρουσιάζει μέτριο κερματισμό. Οι ασυνέχειες είναι τραχείες έως ελαφρά τραχείες, ελαφρά έως μέτρια αποσαθρωμένες. Πιθανή παρουσία μικρών ριξηγενών ζωνών με αργιλοχαλικώδες ασύνδετο υλικό και πιθανή παρουσία καρστικών μορφών, μικρών διαστάσεων, κενών ή πληρωμένων με αργιλικό υλικό σε τμήμα του μετώπου της σήραγγας. (Ενδεικτική τιμή RQD : 25 – 50%)

Κατάσταση βραχομάζα : BLOCKY – DISTURBED / GOOD

ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ ΕΝΤΟΝΑ ΚΑΤΑΚΕΡΜΑΤΙΣΜΕΝΟΣ

Διαταραγμένη έντονα κατακερματισμένη βραχομάζα σε πολλά γωνιώδη τεμάχια βράχου με πτωχή εμπλοκή, παρουσία χαλαρού και εύθρυπτου μωλωνιτικού υλικού ή ασύνδετου αργιλοχάλικου σε σημαντικές ρηξιγενείς ζώνες και πιθανή παρουσία καρστικών μορφών μέτριων διαστάσεων πληρωμένων με αργιλικό υλικό. Οι ασυνέχειες είναι κυρίως ομαλές, μέτρια έως πολύ αποσαθρωμένες. (Ενδεικτική τιμή RQD : 0 – 30%)

Κατάσταση βραχομάζα : DISINTEGRATED / FAIR – POOR

ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ ΠΛΗΡΩΣ ΑΠΟΔΟΜΗΜΕΝΟΣ

Πλήρως αποδομημένη βραχομάζα σε ασβεστολιθικά τεμάχια βράχου μέσα σε μωλωνιτικό ή αργιλικό υλικό. Μικρός έως ελάχιστος χρόνος αυτουποστήριξης της βραχομάζας. (Ενδεικτική τιμή RQD : 0 – 5%)

Κατάσταση βραχομάζα : DISINTEGRATED / POOR

Στον Πίνακα 8 που ακολουθεί, δίνονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της ταξινόμησης βραχομάζας ως προς τις τεχνικογεωλογικές ενότητες.

Πίνακας 8. Αποτελέσματα ταξινόμησης βραχομάζας σε τεχνικογεωλογικές ενότητες.

α/α	Λιθολογία	GSI	σ_c (MPa)	m_1
TE-1	Κρητιδικοί Ασβεστόλιθοι (ks)- υγιείς	50-60	30-50	10
TE-2	Κρητιδικοί Ασβεστόλιθοι (ks)- κεεματισμένοι	38-48	30	10
TE-3	Κρητιδικοί Ασβεστόλιθοι (ks)- έντονα κατακερατισμένοι	25-35	30	10
TE-4	Κρητιδικοί Ασβεστόλιθοι (ks)- πλήρως αποδομημένοι	18-23	30	10

(Πηγή :ΕΡΓΟΣΕ)

Η βαθμονόμηση της βραχομάζας έγινε με βάση τις επί τόπου παρατηρήσεις υπαίθρου, την εξέταση των ασβεστολιθικών πυρήνων των γεωτρήσεων και αφού λήφθηκαν υπόψη τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών που εκτελέστηκαν. Η ταξινόμηση βάσει του δείκτη GSI αναμένεται να κυμανθεί σύμφωνα με τον ακόλουθο Πίνακα 9.

Πίνακας 9. Αποτελέσματα ταξινόμησης βραχομάζας κατά GSI.

Κατηγορίες διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης	Γεωλογικός δείκτης GSI	Συνήθη μέτρα υποστήριξης
I	GSI=55-100	Οπλισμένο ή άοπλο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, αγκύρια.
II	GSI=35-55	Οπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, αγκύρια.
III	GSI=15-35	Οπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, αγκύρια, μεταλλικά πλαίσια.
IV	GSI<15	Οπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε οροφή - τοιχώματα και μέτωπο, αγκύρια, μεταλλικά πλαίσια, ράβδοι προπορείας.

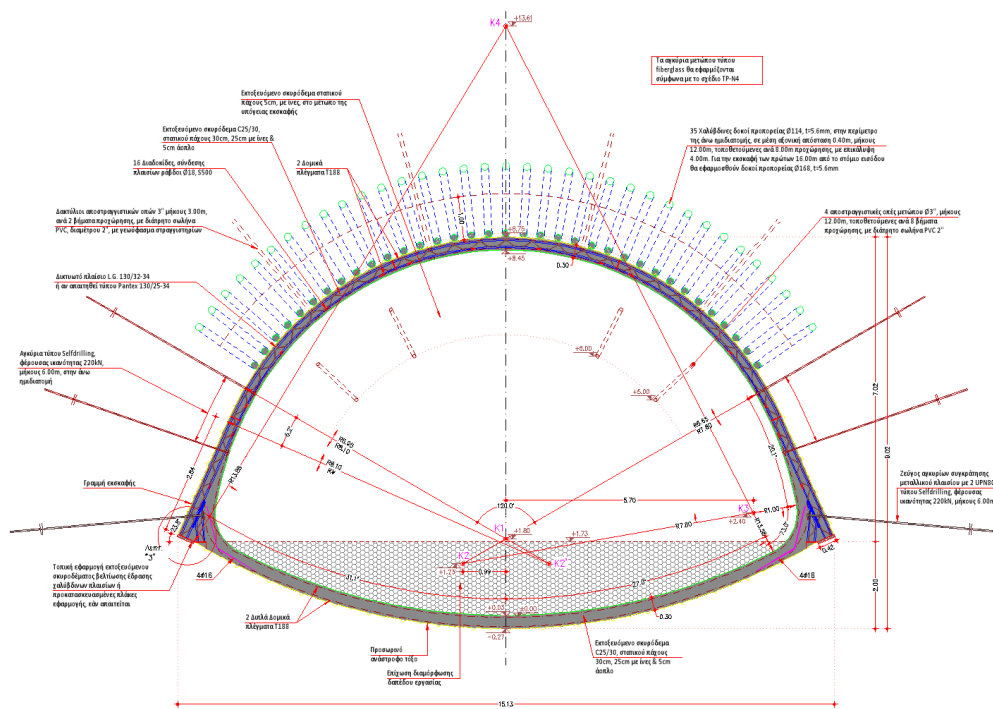
(Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)

4.3.4 Τυπικές Διατομές της Σήραγγας Πλατάνου

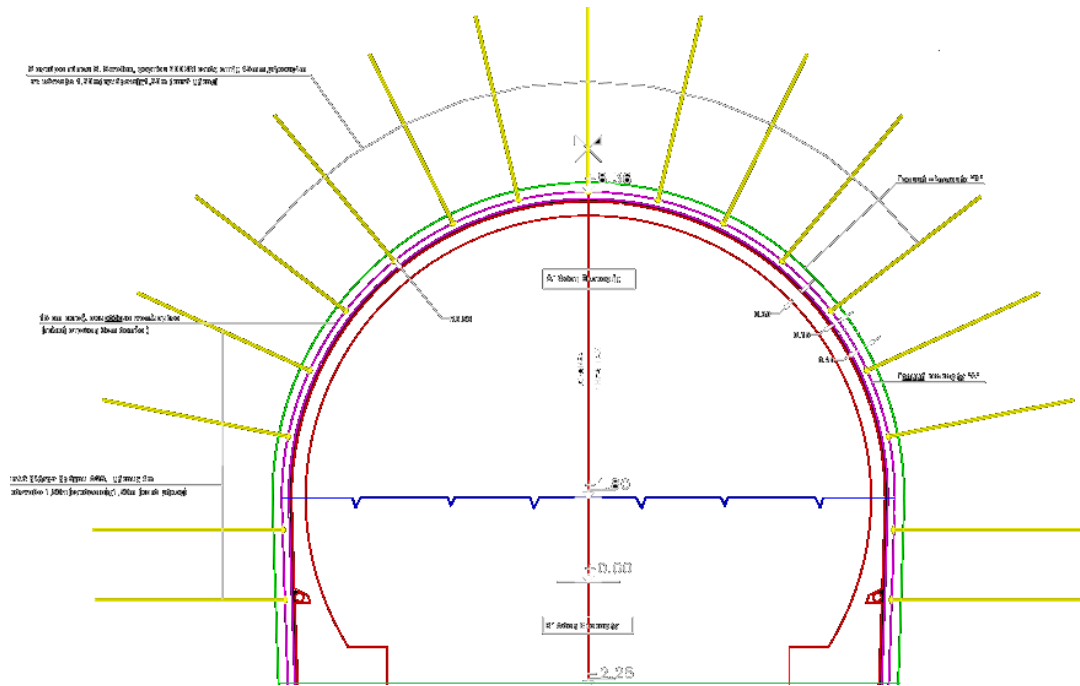
Η σιδηροδρομική σήραγγα του Πλατάνου θα είναι διατομής «διπλής τροχιάς» με αξονική απόσταση μεταξύ των δύο σιδηροδρομικών γραμμών 4,20 m. Για το σχεδιασμό της Τυπικής Διατομής ελήφθη υπόψη το περιτύπωμα ελεύθερης διατομής με ηλεκτροκίνηση και κατασκευαστικό ύψος αλυσοειδούς 0,90m.

Ο ωφέλιμος χώρος οριοθετείται από ένα τόξο ακτίνας $R=6,05m$ όπου το κέντρο του βρίσκεται σε ύψος $h=1,80 m$ από τη στάθμη της σιδηροτροχιάς και διαγράφει γωνία $224,68^\circ$. Ο χώρος αυτός περιλαμβάνει πρόσθετο χώρο 25 cm για μελλοντική χρήση της Υπηρεσίας. Συνολικά, ο ωφέλιμος χώρος έχει εμβαδόν $E=95 m^2$.

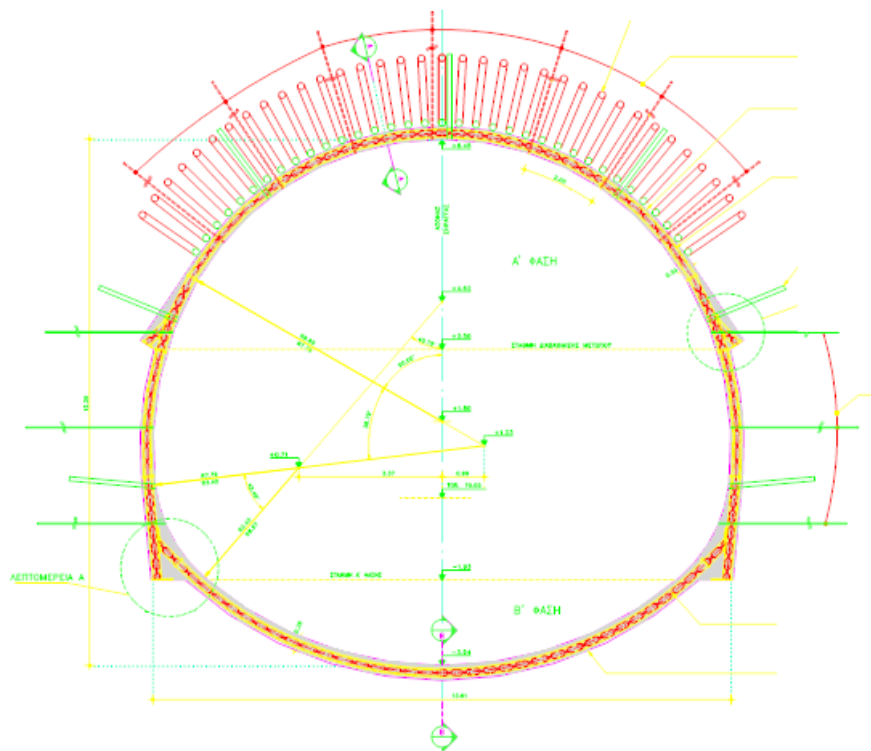
Η εκσκαφή των σήραγγας έγινε σύμφωνα με τη μέθοδο NATM σε δυο φάσεις εκσκαφής στις Εικόνες 9 ως 13, φαίνονται οι δυο φάσεις εκσκαφής και τα μέτρα αντιστήριξης.



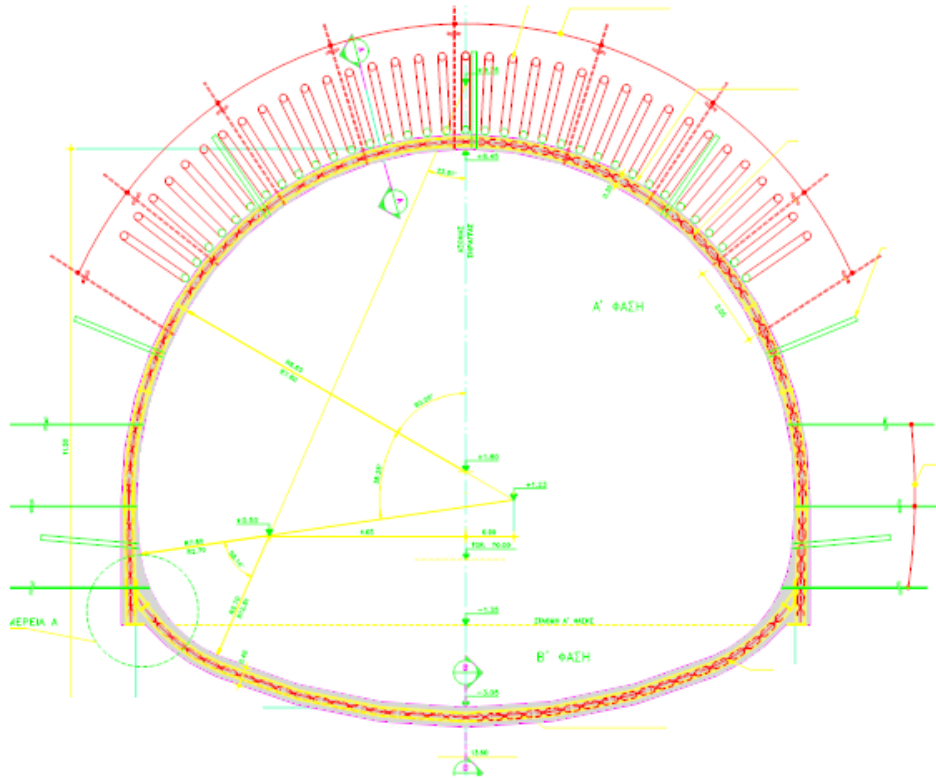
Εικόνα 9. Τυπική διατομή της α' φάσης εκσκαφής με τη χρήση ενισχυμένων μέτρων αντιστήριξης (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)



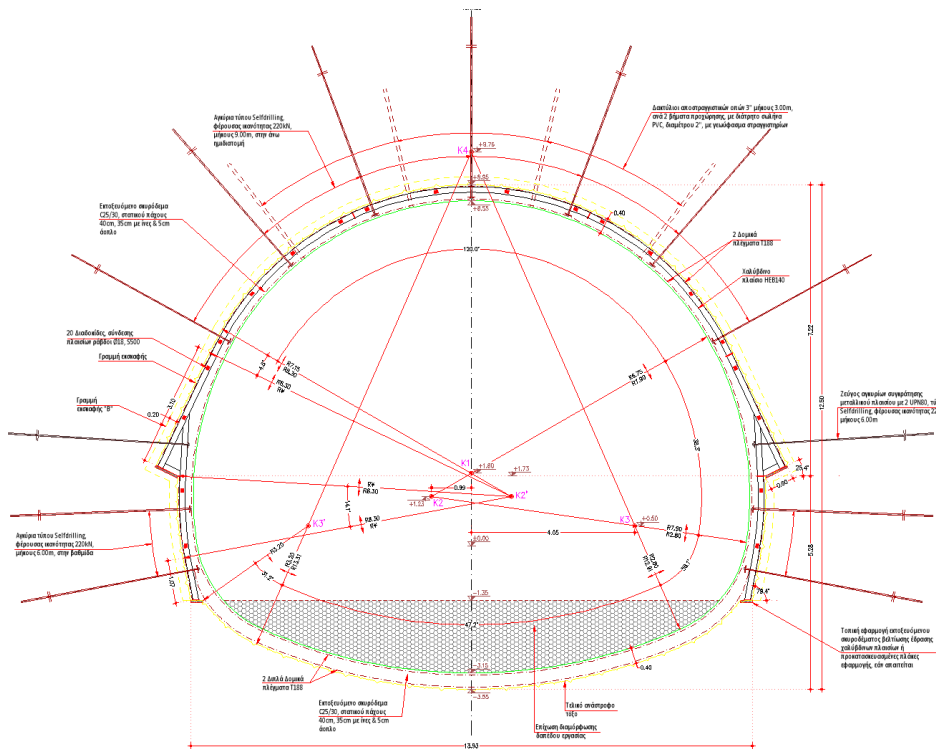
Εικόνα 10. Τυπική Διατομή Ι Σήραγγας Πλατάνου (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)



Εικόνα 11. Τυπική Διατομή VII Σήραγγας Πλατάνου (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)



Εικόνα 12. Τυπική Διατομή VI Σήραγγας Πλατάνου (Πηγή:ΕΡΓΟΣΕ)



Εικόνα 13. Τυπική διατομή της β' φάσης εκσκαφής χωρίς τη χρήση ενισχυμένων μέτρων αντιστήριξης (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)

Η εφαρμοζόμενη Τυπική Διατομή είναι επαρκής για να καλύψει τόσο τις απαιτήσεις αερισμού, όσο και την αεροδυναμική λειτουργία της σήραγγας για την ταχύτητα μελέτης $V=160 \text{ km/h}$.

Η μόνιμη επένδυση της σήραγγας κατασκευάζεται από έγχυτο οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37.

Λαμβάνοντας υπόψη, τα χαρακτηριστικά της βραχόμαζας, προβλέπονται:

- Τρεις τύποι Τυπικών Διατομών (VI, VII, VIII) μόνιμης επένδυσης κλειστού πυθμένα (ανάστροφο τόξο) για τη περιοχή της σήραγγας, όπου η διάνοιξη πραγματοποιείται σε νεογενείς σχηματισμούς. Το πάχος της μόνιμης επένδυσης κυμαίνεται από 40 έως 50 cm.
- Τέσσερις τύποι Τυπικών Διατομών (I, II, III, IV) μόνιμης επένδυσης ανοικτού πυθμένα για τη περιοχή όπου η διάνοιξη πραγματοποιείται σε ασβεστολιθικούς σχηματισμούς και στην περιοχή μετάβασης από ασβεστόλιθους σχηματισμούς σε νεογενή. Το πάχος της μόνιμης επένδυσης σε αυτά τα τμήματα κυμαίνεται από 30 έως 40 cm.

4.3.5 Διάνοιξη και προσωρινή υποστήριξη της Σήραγγας Πλατάνου

Η διάνοιξη της σιδηροδρομικής σήραγγας Πλατάνου θα πραγματοποιηθεί σε δυο κύριους σχηματισμούς:

- σε λεπτοστρωματώδεις ασβεστολιθικούς σχηματισμούς
- σε νεογενείς σχηματισμούς (στις ευρύτερες περιοχές των στομίων εισόδου και εξόδου της σήραγγας).

Οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί συναντώνται από τη X.Θ 68+200 έως τη X.Θ. 69+630 της κύριας σήραγγας, δηλαδή σε μήκος 1430m περίπου.

Τα υπερκείμενα της κύριας σήραγγας και των σηράγγων διαφυγής δεν θα ξεπερνούν τα 140m και τα 100m περίπου αντίστοιχα.

Στην κατασκευή της σήραγγας Πλατάνου θα εφαρμοστούν:

- Τρεις τύποι διατομών (VI, VII, VIII) για τη διάνοιξη σε νεογενείς σχηματισμούς

- Τέσσερις τύποι διατομών (I, II, III, IV) για τη διάνοιξη σε ασβεστόλιθο βάσει της κατηγοριοποίησης της ασβεστολιθικής βραχώμαζας.

A. Εκσκαφή και προσωρινή υποστήριξη σιδηροδρομικής σήραγγας σε περιοχή νεογενών

Για τη διάνοιξη της σήραγγας του Πλατάνου, στη περιοχή των νεογενών σχηματισμών εφαρμόζονται τρεις Τυπικές Διατομές (ΤΔ) αντιστήριξης. Πρόκειται για τις τυπικές διατομές ΤΔ VI, ΤΔ VII, και ΤΔ VIII, με μέσο όγκο εκσκαφής ανά μέτρο μήκους 165 m³ περίπου. Και οι τρεις Τυπικές Διατομές προβλέπουν το κλείσιμο του πυθμένα κατά τη φάση διάνοιξης.

Στάδια κατασκευής της α' φάσης διατομής σε περιοχή νεογενών

- Τοποθέτηση δοκών προπορείας
- Τοποθέτηση αποστραγγιστικών οπών στο μέτωπο εκσκαφής
- Τοποθέτηση αποστραγγιστικών οπών στην περίμετρο
- Πλήρης εκσκαφή της διατομής χωρίς την εφαρμογή του ανάστροφου τόξου. Βήμα προχωρήσεις 1m.
- Μηχανική απόσπαση επισφαλών όγκων
- Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5cm με ίνες στο μέτωπο και 5cm με ίνες στον θολό και τις παρειές, με ένα δομικό πλέγμα T188
- Προσεκτική προετοιμασία της περιοχής κάτω από τα elephant feet.
- Εγκατάσταση μεταλλικού δικτυωτού πλαισίου (L.G) και διαδοκίδων σύνδεσης
- Εφαρμογή 2ης και 3ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος (20cm) με ίνες και τοπικός εγκιβωτισμός του πλαισίου
- Τοποθέτηση αγκυρίων παρειών και αγκυρίων συγκράτησης, καθώς και τοποθέτηση θυσιαζόμενων αγκυρίων μετώπου εάν προβλέπεται
- Τοποθέτηση 4ης στρώσης άοπλου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5cm με ένα δομικό πλέγμα T188

- Εκσκαφή του ανάστροφου τόξου κάθε δυο βήματα εκσκαφής. Τοποθέτηση του πρώτου δομικού πλέγματος με την χρήση αποστατών. Εφαρμογή της πρώτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 25cm με ίνες. Τοποθέτηση δεύτερου διπλού δομικού πλέγματος. Εφαρμογή της δεύτερης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5cm χωρίς ίνες.

Για την προσωρινή αντιστήριξη της σήραγγας προβλέπεται η κατασκευή ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος κατηγορίας C25/30, η τοποθέτηση χαλύβδινων ή δικτυωτών πλαισίων, η τοποθέτηση πλέγματος καθώς και χαλύβδινων αγκυρίων διατομής.

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατασκευάζεται σε στρώσεις και θα είναι ινοπλισμένο, με αναλογία μεταλλικών ινών 40 kg/m^3 , εκτός από την τελευταία στρώση “εξομάλυνσης”, που θα κατασκευασθεί άοπλη, προκειμένου να τοποθετηθεί στεγανωτική μεμβράνη.

Τα αγκύρια διατομής (Πίνακας 10) δεν αποτελούν στοιχείο των τυπικών διατομών, αλλά εφαρμόζονται συστηματικά στις παρειές του κελύφους μόνο στις περιπτώσεις διάνοιξης με δοκούς προπορείας, ενώ στη στέψη της σήραγγας προτείνεται η εφαρμογή τους σε ειδικές περιπτώσεις που καθορίζονται στο σχέδιο μέτρων άμεσης υποστήριξης.

Πίνακας 10. Αγκύρια στις Τυπικές Διατομές Νεογενών

ΚΕΛΥΦΟΣ – ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ	ΠΑΡΕΙΕΣ			ΣΤΕΨΗ		
	ΜΗΚΟΣ ΑΓΚΥΡΙΟΥ [m]	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΜΗΚΟΤΟΜΙΚΑ [m]	ΜΗΚΟΣ ΑΓΚΥΡΙΟΥ [m]	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΓΚΥΡΙΩΝ [m]	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΜΗΚΟΤΟΜΙΚΑ [m]
VI	6	3/ΠΑΡΕΙΑ	1,5	6,0	2,0	1,5
VII	6.0	3/ΠΑΡΕΙΑ	1,5	6,0	2,0	1,5
VIII	9	4/ΠΑΡΕΙΑ	1,0	9,0	1,5	1,0

(Πηγή:ΕΡΓΟΣΕ)

Τα τμήματα της σήραγγας στα οποία εφαρμόζεται ο συγκεκριμένος τύπος των Τυπικών Διατομών καθορίζονται από τα υπερκείμενα και τις συνθήκες διάνοιξης και συγκεκριμένα:

- η ΤΔ VI εφαρμόζεται στην περιοχή των στομιών της σήραγγας Πλατάνου και για υπερκείμενα μικρότερα από 25 m,
- η ΤΔ VII εφαρμόζεται σε περιοχές με υπερκείμενα από 25-40 m και

- η ΤΔ VIII σε περιοχές με υπερκείμενο άνω των 40m από τον άξονα της σήραγγας.

B. Εκσκαφή και προσωρινή υποστήριξη σιδηροδρομικής σήραγγας σε περιοχή ασβεστολιθικών σχηματισμών

Για τη διάνοιξη της σήραγγας στη περιοχή εμφάνισης των ασβεστολιθικών σχηματισμών θα εφαρμοστούν στην κατασκευή τέσσερις τύποι Τυπικών Διατομών εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης, όπως ΤΔ I, ΤΔ II, ΤΔ III και ΤΔ IV. Στις τυπικές διατομές ΤΔ I & II, η διάνοιξη της σήραγγας θα γίνει με χρήση εκρηκτικών, σε δυο φάσεις εκσκαφής: Α' (άνω) Φάση και Β' (κάτω) Φάση.

Στάδια κατασκευής της α' φάσης στη διατομή σε περιοχή ασβεστολιθικών σχηματισμών

- Τοποθέτηση αποστραγγιστικών οπών στο μέτωπο εκσκαφής
- Τοποθέτηση αποστραγγιστικών οπών στην περίμετρο
- Πλήρης εκσκαφή της διατομής χωρίς την εφαρμογή του ανάστροφου τόξου. Βήμα προχωρήσεις 1.25m
- Μηχανική απόσπαση επισφαλών όγκων
- Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5cm με ίνες στο μέτωπο και 5cm με ίνες στον θολό και τις παρειές, με ένα δομικό πλέγμα T188
- Προσεκτική προετοιμασία της περιοχής κάτω από τα elephant feet.
- Εγκατάσταση χαλύβδινου πλαισίου HEB 140 και διαδοκίδων σύνδεσης
- Εφαρμογής 2ης και 3ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος (30cm) με ίνες
- Τοποθέτηση αγκυρίων παρειών και αγκυρίων συγκράτησης, καθώς και τοποθέτηση θυσιαζόμενων αγκυρίων μετώπου εάν προβλέπεται
- Εκσκαφή του ανάστροφου τόξου κάθε δυο βήματα εκσκαφής. Τοποθέτηση του πρώτου δομικού πλέγματος με την χρήση αποστατών. Εφαρμογή της πρώτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 25cm με ίνες. Τοποθέτηση δεύτερου διπλού δομικού πλέγματος. Εφαρμογή της δεύτερης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5cm χωρίς ίνες.

- Τοποθέτηση 4ης στρώσης άοπλου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5cm με ένα δομικό πλέγμα T188

Τα βασικά μέτρα υποστήριξης, που χρησιμοποιούνται είναι το ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατηγορίας C25/30, τα αγκύρια τύπου Super Swellex και πλήρους πάκτωσης στη στέψη και τα τοιχώματα αντίστοιχα, ενώ στη διατομή ΤΔ II, προβλέπεται επιπλέον, η τοποθέτηση των δικτυωτών πλαισίων ελαφρού τύπου (Lattice Girder).

Στις τυπικές διατομές ΤΔ III & IV η διάνοιξη της σήραγγας γίνεται κυρίως με μηχανικά μέσα, και συγκεκριμένα στην ΤΔ III η διάνοιξη γίνεται σε δυο φάσεις, ενώ στη διατομή ΤΔ IV με διαβάθμιση του μετώπου της Α' φάσης, σε φάσεις στέψης και βαθμίδας, και την εκσκαφή της Β' Φάσης σε μεγάλη απόσταση από το μέτωπο. Τα μέτρα υποστήριξης που προβλέπονται και στις δυο διατομές, είναι το ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατηγορίας C25/30, ενισχυμένο με τα μεταλλικά πλαίσια τύπου HEB, τα αγκύρια Super Swellex και πλήρους πάκτωσης στη στέψη και τα τοιχώματα της σήραγγας, καθώς και τους ράβδους προαγκύρωσης, στη περιοχή της στέψης όταν αυτό απαιτείται.

Στη περίπτωση αστάθειας της οπής σε χαλαρούς σχηματισμούς, προτείνεται εναλλακτικά η εφαρμογή αυτοδιατριούμενων αγκυρίων. Στη περίπτωση καταγραφής συγκλίσεων και εμφάνισης ιδιαίτερα χαλαρού υλικού πλήρωσης στο πυθμένα, προβλέπεται το κλείσιμο της διατομής με ανάστροφο τόξο μικρής καμπυλότητας.

4.4 Σήραγγα Τράπεζας

Η σιδηροδρομική σήραγγα Τράπεζας βρίσκεται στην περιοχή του οικισμού Τράπεζας μεταξύ του ποταμού Λαδοποτάμου και του Διακοπτού και αποτελεί τμήμα της Νέας Σιδηροδρομικής Γραμμής Κανονικού Εύρους μεταξύ Κορίνθου – Πάτρας. Στην Εικ. 14, φαίνεται η θέση της σήραγγας, η οποία περνάει κάτω από τον οικισμό Τράπεζα και στην έξοδό της (πλευρά Διακοπτού) περνάει κάτω από την Νέα Εθνική Οδό (NEO).

Η σήραγγα θα κατασκευαστεί από τη Χ.Θ. 70+355.67 έως τη Χ.Θ. 73+103.79. Το τμήμα που πρόκειται να κατασκευασθεί με υπόγεια διάνοιξη οριοθετείται από τις Χ.Θ. 70+373.19 και 73+086.80 (2713.61m). Τα τμήματα του έργου αμέσως πριν και μετά αυτές τις χιλιομετρικές θέσεις πρόκειται να κατασκευασθούν με την μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης (Cut and Cover) δηλαδή από Χ.Θ. 70+355.67 έως 70+373.19 (17.52m) και από Χ.Θ. 73+086.80 έως 73+103.79 (16.99m).

Για λόγους ασφάλειας σε περίπτωση ατυχημάτων, προβλέπεται η κατασκευή δύο σηράγγων διαφυγής (ΣΔ1 και ΣΔ2), που ο άξονάς τους διασταυρώνει τον άξονα της σιδηροδρομικής σήραγγας στις Χ.Θ. 71+270.96 και 72+190.97 αντίστοιχα.

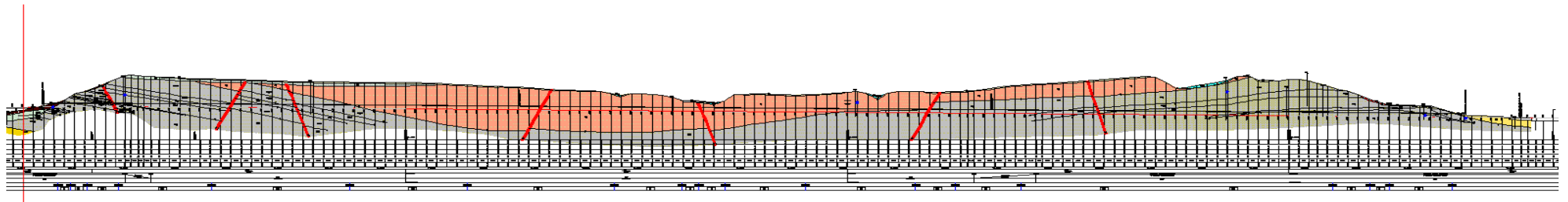


Εικόνα 14. Θέση Σήραγγας Τράπεζας (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)




Η Νέα Σιδηροδρομική Γραμμή Υψηλών Ταχυτήτων κανονικού εύρους μεταξύ Κορίνθου – Πάτρας θα κατασκευασθεί σύμφωνα με τις παρακάτω προδιαγραφές, οι οποίες έχουν ληφθεί υπ' όψιν κατά τον σχεδιασμό της σήραγγας Τράπεζας:

- Διπλή γραμμή κανονικού εύρους.
- Μέγιστη κατά μήκος κλίση στην σήραγγα 1%.
- Περιτύπωμα ελεύθερης διατομής με ηλεκτροκίνηση και κατασκευαστικό ύψος αλυσοειδούς 0,90 m.
- Αξονική απόσταση μεταξύ των δύο γραμμών: 4,20 m.
- Η κίνηση της σήραγγας θα είναι μεικτή (επιβατικοί και εμπορευματικοί συρμοί).
- Η ταχύτητα σχεδιασμού σήραγγας είναι 160 km/h.

Μηκοτομικά, η σήραγγα βρίσκεται σε ενιαία καθοδική χάραξη με κλίση 1% από είσοδο της προς την έξοδο, εκτός από το μικρό τμήμα, στην είσοδο της σήραγγας, όπου η χάραξη ακολουθεί ανοδική πορεία με κλίση 1% (Εικόνα 15).



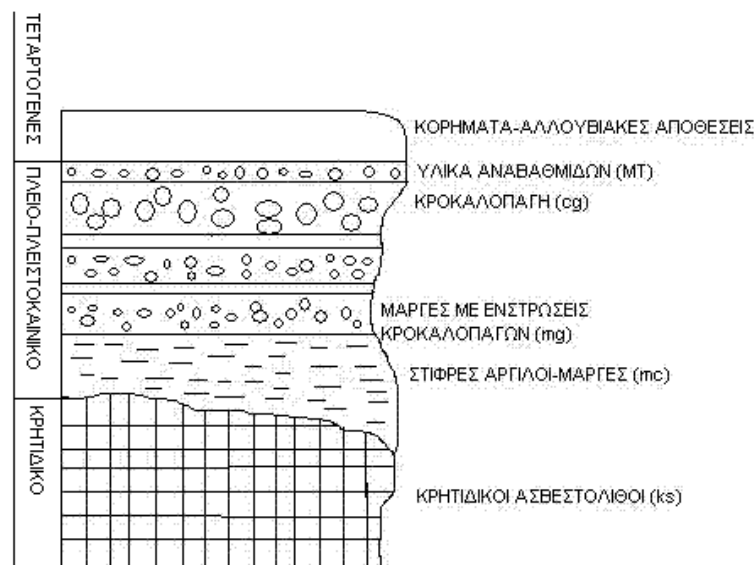
ΥΠΟΜΝΗΜΑ

-  ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΗ ΜΕ ΕΝΣΤΡΩΣΕΙΣ ΜΑΡΓΩΝ
-  ΜΑΡΓΕΣ ΜΕ ΕΝΣΤΡΩΣΕΙΣ ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΩΝ
-  ΑΡΓΙΛΙΚΑ ΚΟΡΗΜΑΤΑ

Εικόνα 15. Γεωτεχνική Μηκотоμή Σήραγγας Τράπεζας (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)

4.4.1 Στρωματογραφία

Το μεγαλύτερο μέρος της σήραγγας διανοίγεται στα μεταλλικά ιζήματα του Πλειοπλειστοκαίνου. Ασύμφωνα σε αυτά τοποθετούνται οι πρόσφατοι Ολοκαινικοί σχηματισμοί. Στην Εικόνα 16 δίνεται η στρωματογραφική αλληλουχία των γεωλογικών σχηματισμών της ευρύτερης περιοχής Τράπεζας. Οι ασβεστόλιθοι, οι οποίοι αποτελούν το αλπικό υπόβαθρο δεν απαντώνται στην στενή περιοχή του έργου.



Εικόνα 16. Στρωματογραφική αλληλουχία της περιοχής Τράπεζας (Πηγή: ΕΡΓΟΣΣΕ)

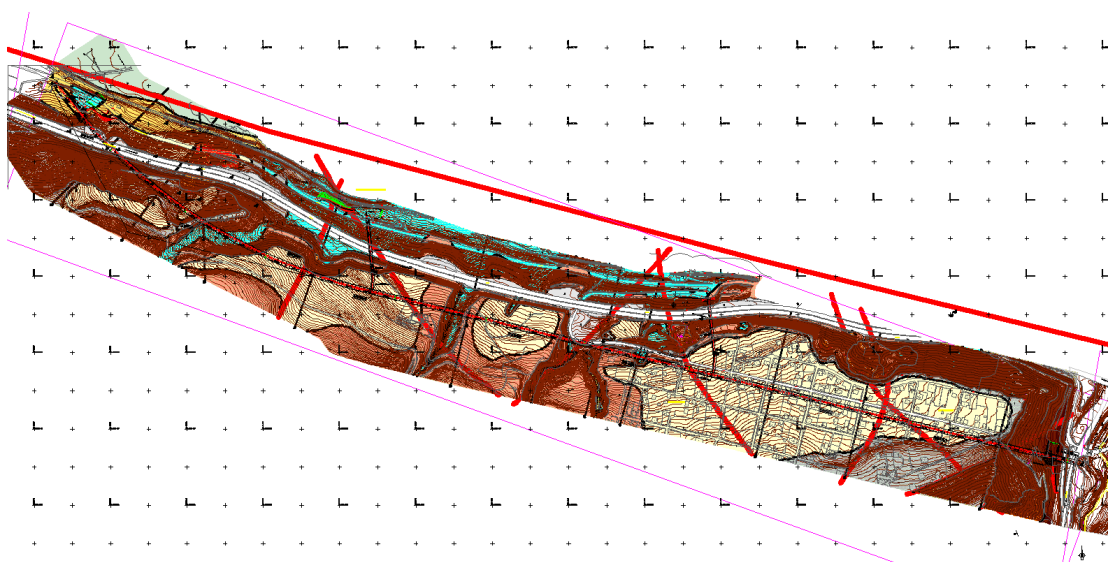
4.4.2 Τεχνικογεωλογικές συνθήκες Σήραγγας Τράπεζας

Η ευρύτερη περιοχή στην οποία κατασκευάζεται η σιδηροδρομική σήραγγα Τράπεζας, σύμφωνα με τις διενεργηθείσες γεωτρήσεις, δομείται από νεώτερους σχηματισμούς του Πλειοπλειστοκαίνου και του Τεταρτογενούς οι οποίοι υπέρκεινται ασβεστόλιθων της ενότητας της Πίνδου.

Τα πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα αποτελούνται (από τα ανώτερα προς τα κατώτερα στρώματα) από κροκαλοπαγή με ενστρώσεις μαργών και μάργες με ενστρώσεις κροκαλοπαγών.

Η υδροφορία εντοπίζεται στον σχηματισμό των κροκαλοπαγών, αφού αυτός υπέρκειται των λεπτομερών, πρακτικά αδιαπέραστων πλειοπλειστοκαινικών ιζημάτων.

Το ύψωμα της Τράπεζας δομείται από ασθενώς συγκολλημένα κροκαλοπαγή με ενστρώσεις μαργών και μάργες με ενστρώσεις κροκαλοπαγών κατά θέσεις. Τα στρώματα είναι γενικά υπο-οριζόντια. Η σύνθεση τού σχηματισμού ποικίλει σημαντικά με επικράτηση κατά περιοχές των λεπτομερών ή των αδρομερών υλικών. Το σημαντικότερο στοιχείο είναι η πολύ μικρή συχνότητα αδρόκοκκων, μη συνεκτικών υλικών με ψαθυρή συμπεριφορά (π.χ. άμμο-ιλυωδών ενστρώσεων ή φακών). Σαφή όρια μεταξύ των παραπάνω εδαφικών σχηματισμών δεν είναι δυνατόν να καθορισθούν. Η μετάβαση από τον ένα σχηματισμό στον άλλο γίνεται βαθμιαία, σύμφωνα με την ακόλουθη γεωλογική αποτύπωση (Εικόνα 17).



Εικόνα 17. Γεωλογική αποτύπωση Σήραγγας Τράπεζας (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)

A. Μέτωπο εισόδου

Το μέτωπο εισόδου της σήραγγας Τράπεζας διαμορφώνεται σε αργιλικά κορήματα, αργιλοχαλικώδους σύστασης (SMgc), των μάργων με ενστρώσεις κροκαλοπαγών (mg) οι οποίες στη θέση αυτή χαρακτηρίζονται από συχνές εναλλαγές αργιλικών και χαλικωδών στρώσεων.

Για τη διαμόρφωση του μετώπου χρειάστηκε η χρήση δοκών προπορείας και άμεση εφαρμογή ισχυρών μέτρων προσωρινής υποστήριξης

Σχετικά με τα υπόγεια νερά, σύμφωνα με τα στοιχεία γεωτρήσεων διαμορφώνεται εποχιακά ένας υδροφόρος ορίζοντας με στάθμη σχεδόν στο επίπεδο εκσκαφής.

B. Διαδρομή Σήραγγας

Από την Χ.Θ. 70+375 μέχρι 70+950

Το τμήμα αυτό διανοίγεται κυρίως σε μάργες με ενστρώσεις κροκαλοπαγών (mg) με εναλλαγές αργιλικών και χαλικωδών στρώσεων. Στα τμήματα μεταξύ των Χ.Θ. 70+450 - 70+490, 70+630 - 70+710 και 70+810 - 70+870 επικράτησε η χαλικώδης φάση (mg.g). Επίσης στις περιοχές Χ.Θ. 70+480, 70+710 και 70+870 υπήρξε παρουσία ρηξιγενών ζωνών.

Κατά τη διάνοιξη του υπόγειου έργου και τη διαμόρφωση των μετώπων εκσκαφής, υπήρξαν προβλήματα ευστάθειας στα τμήματα, όπου υπερτερούν τα αδρόκοκκα υλικά και ιδιαίτερα όταν αυτά συναντώνται στην οροφή της σήραγγας. Κατά θέσεις ήταν υποχρεωτική η χρήση αγκυρίων προπορείας. Επίσης σ' αυτές τις περιπτώσεις υπήρξαν υπερεκσκαφές περιορισμένης έκτασης. Γι' αυτό το λόγο έγινε άμεση εφαρμογή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος και των υπόλοιπων μέτρων προσωρινής αντιστήριξης. Στις θέσεις όπου υπήρξαν ρηξιγενείς ζώνες και όπου τα υλικά ήταν διαταραγμένα είχαμε τη χρήση αυξημένων μέτρων προσωρινής αντιστήριξης.

Σχετικά με τα υπόγεια νερά σύμφωνα με τα στοιχεία των γεωτρήσεων δεν είχαμε τη διαμόρφωση ενιαίου υδροφόρου ορίζοντα. Ωστόσο χρειάστηκε ιδιαίτερη προσοχή για την περίπτωση διαμόρφωσης εγκλωβισμένων ή επικρεμαμένων υδροφόρων.

Από Χ.Θ. 70+950 έως Χ.Θ. 72+070

Στο τμήμα αυτό κατά το μεγαλύτερο μέρος του διανοίγεται σε κροκαλοπαγή (cg). Προς το τέλος του τμήματος από Χ.Θ. 71+890 έως 72+070 εμφανίζονται εκ νέου οι υποκείμενες μάργες με ενστρώσεις κροκαλοπαγών (mg). Στις Χ.Θ. 71+300, 71+630 και 72+070 καταγράφηκε παρουσία ρηξιγενών ζωνών.

Κατά τη διάνοιξη του υπόγειου έργου και τη διαμόρφωση των μετώπων εκσκαφής μέχρι την Χ.Θ. 71+549, υπήρξαν περιορισμένα προβλήματα ευστάθειας σε αμμώδεις ενστρώσεις, όταν αυτές συναντήθηκαν στην οροφή της σήραγγας. Σ' αυτή την περίπτωση υπήρξαν πολύ περιορισμένες υπερεκσκαφές με την μορφή μικροκαταπτώσεων και έτσι απαιτήθηκε η χρήση αγκυρίων προπορείας. Απαραίτητη θεωρήθηκε η άμεση εφαρμογή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος και των υπόλοιπων μέτρων προσωρινής αντιστήριξης. Στο αρχικό τμήμα περί την Χ.Θ. 70+950 καθώς επίσης και στο τελευταίο τμήμα από Χ.Θ. 71+870 έως Χ.Θ. 72+070, όπου η επαφή κροκαλοπαγών και μαργών με ενστρώσεις κροκαλοπαγών δεν ήταν επακριβώς καθορισμένη, υπήρξαν εντονότερα τεχνικογεωλογικά

προβλήματα, λόγω της συνάντησης στην οροφή της σήραγγας των συνεκτικών κροκαλοπαγών και της αναμενόμενης κυκλοφορίας νερού στην διεπιφάνεια με τον υποκείμενο μαργαϊκό σχηματισμό, η οποία έχει συνδράμει στην απομείωση των μηχανικών χαρακτηριστικών των σχηματισμών. Σχετικά με τις ρηξιγενείς ζώνες ισχύουν όσα αναφέρθηκαν για το προηγούμενο τμήμα.

Σχετικά με τα υπόγεια νερά, στο τμήμα μέχρι την Χ.Θ. 71+549 δεν συναντήθηκε ο υδροφόρος ορίζοντας των κροκαλοπαγών. Ο οποίος διαμορφώνεται κάτω από την στάθμη της ερυθράς ενώ μικρή ήταν η πιθανότητα ανόδου της στάθμης μέχρι το επίπεδο της ερυθράς μετά από έντονες βροχοπτώσεις κάτι που τελικά δεν διαπιστώθηκε. Στο τμήμα από Χ.Θ. 71+870 έως 72+070 υπήρχαν αντίστοιχα προβλήματα κυρίως με επικρεμαμένους υδροφόρους ορίζοντες, όπως περιγράφηκε στο πρώτο τμήμα της σήραγγας. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτήθηκε στα τμήματα περί τις Χ.Θ. 71+470 και κυρίως περί τις Χ.Θ. 71+650 (με χαμηλά υπερκείμενα της τάξης των 10 m) και Χ.Θ. 71+970 όπου επιφανειακά διέρχονται σημαντικά ρέματα. Ήταν αναμενόμενες κατά τους χειμερινούς μήνες διηθήσεις λόγω της δράσης των ρεμάτων αυτών γι' αυτό απαιτήθηκαν ισχυρά μέτρα προσωρινής υποστύλωσης.

Από την Χ.Θ. 72+070 μέχρι 73 + 085

Το τμήμα αυτό διανοίχθηκε κυρίως σε μάργες με ενστρώσεις κροκαλοπαγών (mg) με εναλλαγές αργιλικών και χαλικωδών στρώσεων. Με βάση την αξιολόγηση των στοιχείων των υφιστάμενων ερευνητικών γεωτρήσεων και όπου αυτό ήταν δυνατό, έγινε λιθολογική διαφοροποίηση των επί μέρους φάσεων. Στα τμήματα μεταξύ των Χ.Θ. 72+330 - 72+450, 72+650 - 72+710, 73+025 - 73+065 επικράτησε η χαλικώδης φάση (mg.g). Επίσης περί την Χ.Θ. 72+400 υπήρξε παρουσία ρηξιγενούς ζώνης.

Κατά τη διάνοιξη του υπόγειου έργου και τη διαμόρφωση των μετώπων εκσκαφής, υπήρξαν προβλήματα ευστάθειας στα τμήματα, όπου υπερτερούν τα αδρόκοκκα υλικά και ιδιαίτερα όταν αυτά συναντώνται στην οροφή της σήραγγας. Κατά θέσεις ήταν υποχρεωτική η χρήση αγκυρίων προπορείας. Επίσης σ' αυτές τις περιπτώσεις υπήρξαν υπερεκσκαφές περιορισμένης έκτασης. Γι' αυτό το λόγο έγινε άμεση εφαρμογή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος και των υπόλοιπων μέτρων προσωρινής αντιστήριξης. Στις θέσεις όπου υπήρξαν ρηξιγενείς ζώνες και όπου τα υλικά ήταν διαταραγμένα είχαμε την χρήση αυξημένων μέτρων προσωρινής αντιστήριξης.

Σχετικά με τα υπόγεια νερά, γενικά υπήρξαν σχετικά υψηλότερες υδροφορίες σε εγκλωβισμένους υδροφόρους ορίζοντες, λόγω της μεγαλύτερης σχετικά συμμετοχής της αδρομερούς φάσης στο τμήμα αυτό.

Γ. Μέτωπο εξόδου

Το μέτωπο εξόδου της σήραγγας Τράπεζας διαμορφώθηκε κυρίως σε μάργες με ενστρώσεις κροκαλοπαγών (mg) οι οποίες στη θέση αυτή χαρακτηρίζονται από συχνές εναλλαγές αργιλικών χαλικωδών στρώσεων. Στο ανώτερο τμήμα συναντώνται μικρού πάχους κορηματικά υλικά, χαλικώδους σύστασης (CSgc). Για τη διαμόρφωση του μετώπου απαιτήθηκε η χρήση δοκών και άμεση εφαρμογή των μέτρων προσωρινής υποστήριξης.

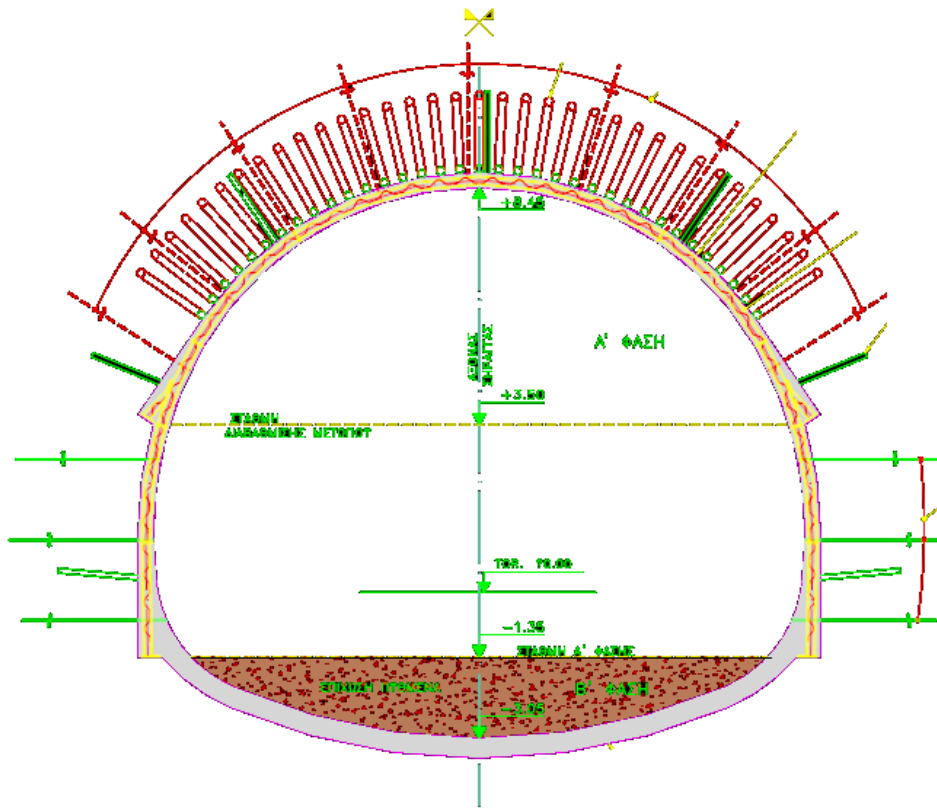
Σχετικά με τα υπόγεια νερά σύμφωνα με τα στοιχεία των γεωτρήσεων διαμορφώθηκε ενιαίος υδροφόρος ορίζοντας στους κώνους κορημάτων και στις αλλουβιακές αποθέσεις σε βάθος 8-10 m από την επιφάνεια του εδάφους, μικρής εκτιμώμενης δυναμικότητας.

4.4.3 Τοπικές Διατομές της Σήραγγας Τράπεζας

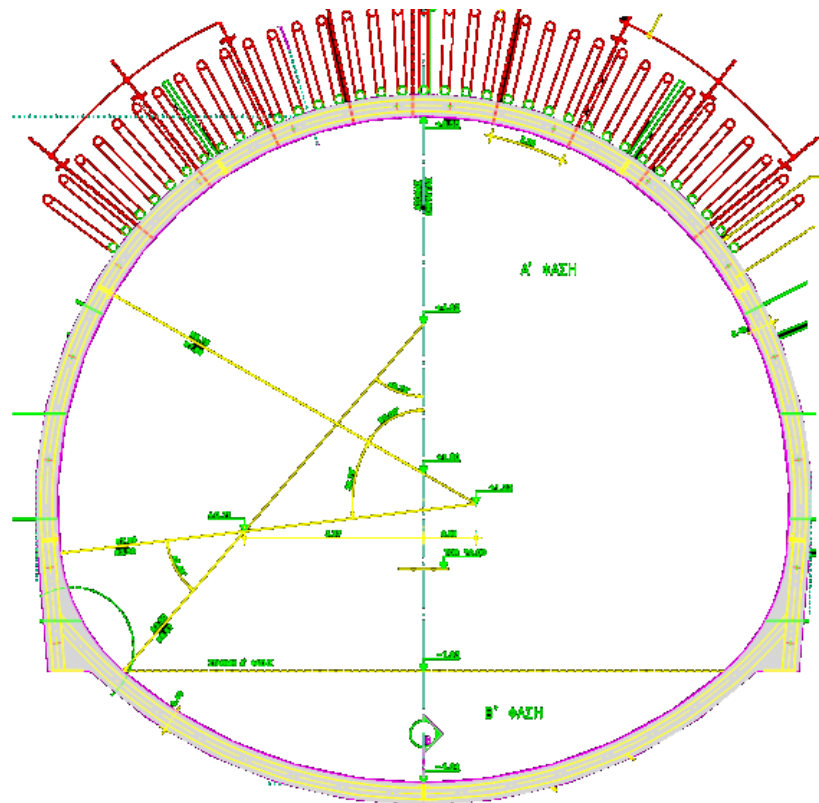
Η σιδηροδρομική σήραγγα Τράπεζας είναι «διπλής τροχιάς» με αξονική απόσταση των δύο γραμμών 4,20 m. Ο ωφέλιμος χώρος οριοθετείται από ένα τόξο ακτίνας $R=6,05\text{m}$ όπου το κέντρο του βρίσκεται σε ύψος $h=1,80\text{ m}$ από τη στάθμη της σιδηροτροχιάς και διαγράφει γωνία $224,68^\circ$. Ο χώρος αυτός περιλαμβάνει πρόσθετο χώρο 25 cm για μελλοντική χρήση. Συνοπτικά, ο ωφέλιμος χώρος καταλαμβάνει εμβαδόν περίπου $E= 95\text{ m}^2$ περίπου.

Η διατομή αυτή είναι επαρκής για να καλύψει τόσο τις απαιτήσεις αερισμού, όσο και την αεροδυναμική λειτουργία της σήραγγας για την ταχύτητα μελέτης $V=160\text{ km/h}$.

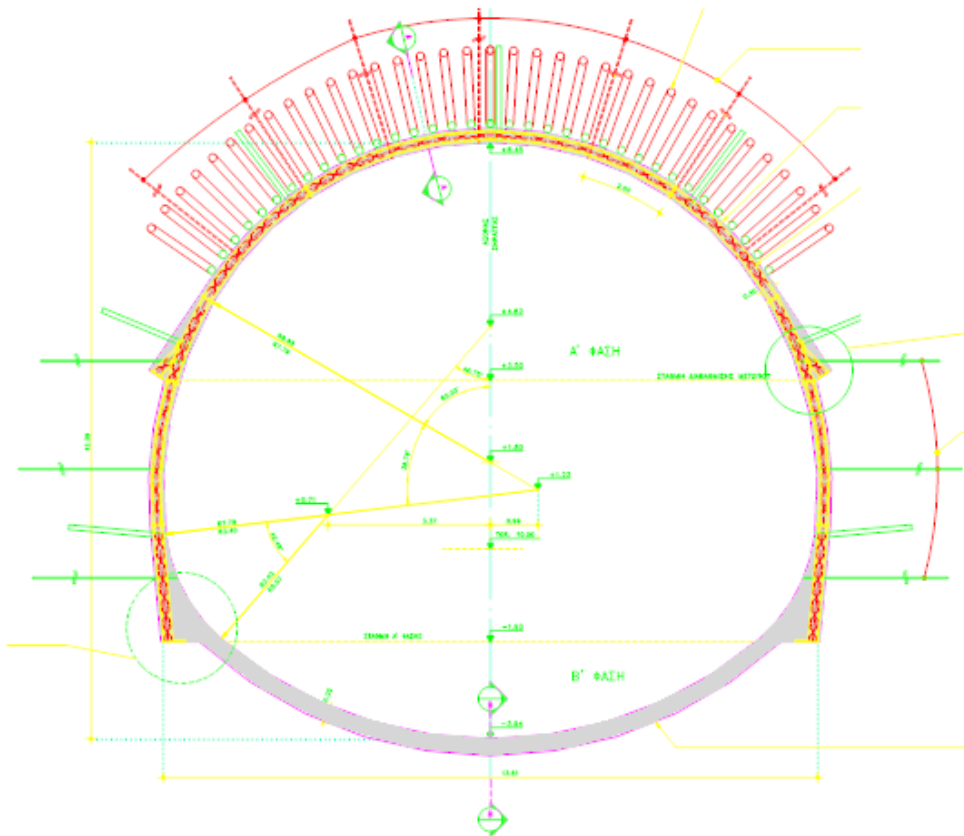
Η εκσκαφή της σήραγγας έγινε σύμφωνα με τη μέθοδο NATM σε δυο φάσεις εκσκαφής στις Εικόνες 18 έως 21, δίνονται διατομές εκσκαφής και τα μέτρα αντιστήριξης.



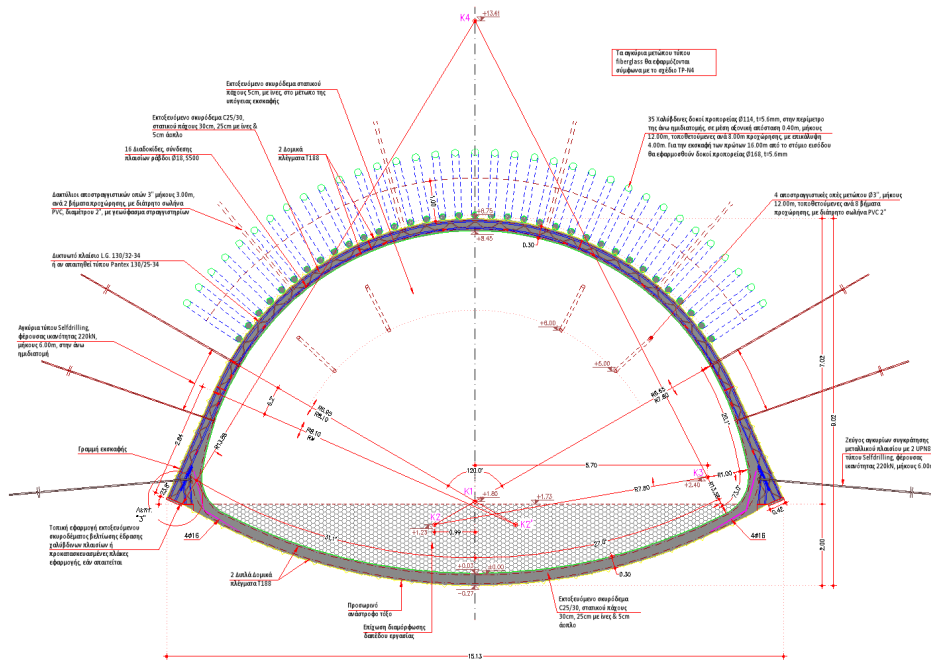
Εικόνα 18. Τυπική Διατομή Ι Σήραγγας Τράπεζας (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)



Εικόνα 19. Τυπική Διατομή ΙΙΙ Σήραγγας Τράπεζας (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)



Εικόνα 20. Τυπική Διατομή Π Σήραγγας Τράπεζας (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)



Εικόνα 21. Τυπική διατομή της α' φάσης εκσκαφής με τη χρήση ενισχυμένων μέτρων αντιστήριξης (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)

Η μόνιμη επένδυση της σήραγγας Τράπεζας θα κατασκευαστεί από έγχυτο οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37, το πάχος του οποίου κυμαίνεται ανάλογα τη διατομή μόνιμης επένδυσης από 40 έως 50cm.

Εκατέρωθεν, των σιδηροτροχιών, προβλέπονται δύο πεζοδρόμια ελάχιστου πλάτους 1.20m, εκ των οποίων τα 0.90m είναι απολύτως ελεύθερα και ασφαλή να χρησιμοποιηθούν ως οδοί διαφυγής ακόμη και κατά την κίνηση των συρμών.

Κάτω, από το έρμα κατασκευάζεται στρώση υποστρώματος. Η άνω επιφάνεια του υποστρώματος διαμορφώνεται με κλίση 4% προς τα εσωτερικά στραγγιστήρια για να διευκολύνει την παροχέτευση των εσωτερικών υγρών.

4.4.4 Διάνοιξη και προσωρινή υποστήριξη της Σήραγγας Τράπεζας

Κατά τη διάνοιξη της σήραγγας της Τράπεζας θα εφαρμοστούν τέσσερις Τυπικές Διατομές αντιστήριξης. Πρόκειται για τις Τυπικές Διατομές I, II, III και IV, με μέσο όγκο εκσκαφής ανά μέτρο μήκους 165 m³ περίπου. Και οι τέσσερις Τυπικές Διατομές προβλέπουν το κλείσιμο του πυθμένα κατά τη φάση διάνοιξης. Παρακάτω αναφέρονται τα στάδια κατασκευής της διατομής κατά την εκσκαφή της α' φάσης.

Στάδια κατασκευής της α' φάσης των διατομών

- Τοποθέτηση δοκών προπορείας
- Τοποθέτηση αποστραγγιστικών οπών στο μέτωπο εκσκαφής
- Τοποθέτηση αποστραγγιστικών οπών στην περίμετρο
- Πλήρης εκσκαφή της διατομής χωρίς την εφαρμογή του ανάστροφου τόξου. Βήμα προχωρήσεις 1m.
- Μηχανική απόσπαση επισφαλών όγκων
- Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5cm με ίνες στο μέτωπο και 5cm με ίνες στον θολό και τις παρειές, με ένα δομικό πλέγμα T188
- Προσεκτική προετοιμασία της περιοχής κάτω από τα elephant feet.
- Εγκατάσταση μεταλλικού δικτυωτού πλαισίου (L.G) και διαδοκίδων σύνδεσης
- Εφαρμογή 2ης και 3ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος (20cm) με ίνες και τοπικός εγκιβωτισμός του πλαισίου

- Τοποθέτηση αγκυρίων παρειών και αγκυρίων συγκράτησης, καθώς και τοποθέτηση θυσιαζόμενων αγκυρίων μετώπου εάν προβλέπεται
- Τοποθέτηση 4ης στρώσης άοπλου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5cm με ένα δομικό πλέγμα T188
- Εκσκαφή του ανάστροφου τόξου κάθε δυο βήματα εκσκαφής. Τοποθέτηση του πρώτου δομικού πλέγματος με την χρήση αποστατών. Εφαρμογή της πρώτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 25cm με ίνες. Τοποθέτηση δεύτερου διπλού δομικού πλέγματος. Εφαρμογή της δεύτερης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5cm χωρίς ίνες.

Στα στόμια της σιδηροδρομικής σήραγγας και των σηράγγων διαφυγής προβλέπεται η κατασκευή τοίχων αντιστήριξης και πρανών προκειμένου να διαμορφωθούν οι χώροι προσπέλασης και οι χώροι συγκέντρωσης.

Η αντιστήριξη (προσωρινή ή μόνιμη) πραγματοποιείται με πασσαλότοιχους διαμέτρου 1.0–1.5m, προεντεταμένα αγκύρια, αγκύρια πλήρους πάκτωσης, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και τοίχους αντιστήριξης βαρύτητας.

Σε περιπτώσεις φαινομένων αστάθειας του μετώπου, ή της στέψης, ή και των δύο συγχρόνως, προβλέπεται η ενίσχυση των ανωτέρω Τυπικών Διατομών με την εφαρμογή δοκών προπορείας (ΔΠ) και με την διαβάθμιση ή όχι του μετώπου (ΔΜ).

Για την προσωρινή αντιστήριξη, οι Τυπικές Διατομές αποτελούνται από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατηγορίας C25/30, χαλύβδινα ή δικτυωτά πλαίσια, πλέγμα και χαλύβδινα αγκύρια διατομής. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα τοποθετείται σε στρώσεις και είναι ινοπλισμένο με μεταλλικές ίνες σε αναλογία 40 kg/m^3 , εκτός από την τελευταία στρώση που είναι άοπλη, λόγω τοποθέτησης της μεμβράνης στεγάνωσης.

Τα αγκύρια διατομής (Πίνακας 11) δεν αποτελούν στοιχείο των Τυπικών Διατομών, εφαρμόζονται συστηματικά στις παρειές του κελύφους μόνο στις περιπτώσεις διάνοιξης με δοκούς προπορείας, ενώ στη στέψη της σήραγγας προτείνεται η εφαρμογή τους σε ειδικές περιπτώσεις που καθορίζονται στο σχέδιο μέτρων άμεσης υποστήριξης.

Πίνακας 11. Αγκύρια στις Τυπικές Διατομές Τράπεζας

ΚΕΛΥΦΟΣ – ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ	ΠΑΡΕΙΕΣ			ΣΤΕΨΗ		
	ΜΗΚΟΣ [m]	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΜΗΚΟΤΟΜΙΚΑ [m]	ΜΗΚΟΣ [m]	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΓΚΥΡΙΩΝ [m]	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΜΗΚΟΤΟΜΙΚΑ [m]
I	6	3/ΠΑΡΕΙΑ	1,5	6,0	2,0	1,5
II	6	3/ΠΑΡΕΙΑ	1,5	6,0	2,0	1,5
III	9	4/ΠΑΡΕΙΑ	1,5	9,0	2,0	1,5
VI	9	4/ΠΑΡΕΙΑ	1,0	9,0	1,5	1,0

(Πηγή:ΕΡΓΟΣΕ)

4.5 Συμβατικό Χρονοδιάγραμμα Εκτέλεσης των Εργασιών

Οι εργασίες για την κατασκευή των Σιδηροδρομικών Σηράγγων Πλατάνου και Τράπεζας καθώς και της Σιδηροδρομικής Γέφυρας Λαδοποτάμου στο σύνολό τους, θα πρέπει να ολοκληρωθούν σε χρονικό διάστημα των τριάντα έξι (36) ημερολογιακών μηνών από την υπογραφή της Σύμβασης.

Α. Σήραγγα Πλατάνου

Για τη υπόγεια διάνοιξη της Σιδηροδρομικής Σήραγγας Πλατάνου θα απαιτηθεί εργασία από τέσσερα (4) μέτωπα διάνοιξης. Δηλαδή, δύο (2) μέτωπα από την είσοδο και την έξοδο της Σιδηροδρομικής Σήραγγας και ένα (1) μέτωπο από κάθε μια Σήραγγα Διαφυγής.

Προκειμένου να γίνει έναρξη εργασιών υπόγειας διάνοιξης σηράγγων (Σιδηροδρομικής και Διαφυγής) ο Ανάδοχος του Έργου υποχρεούται να έχει ολοκληρώσει την διαμόρφωση των στομιών εντός των εκατόν πέντε (105) ημερολογιακών ημερών από την υπογραφή της Σύμβασης.

Στην περίπτωση προσβολής της κύριας σήραγγας και από τα τέσσερα (4) μέτωπα διάνοιξης, ο χρόνος περάτωσης των εργασιών της σήραγγας υπολογίζεται σε περίπου τριάντα (30) ημερολογιακούς μήνες.

B. Σήραγγα Τράπεζας

Για τη υπόγεια διάνοιξη της Σιδηροδρομικής Σήραγγας Τράπεζας θα απαιτηθεί εργασία από τέσσερα (4) μέτωπα διάνοιξης. Δηλαδή, δύο (2) μέτωπα από την είσοδο και την έξοδο της Σιδηροδρομικής Σήραγγας και ένα (1) μέτωπο από κάθε μια Σήραγγα Διαφυγής.

Προκειμένου να γίνει έναρξη εργασιών υπόγειας διάνοιξης σηράγγων (Σιδηροδρομικής και Διαφυγής) ο Ανάδοχος του Έργου υποχρεούται να έχει ολοκληρώσει την διαμόρφωση των στομιών εντός των εκατόν πέντε (105) ημερολογιακών ημερών από την υπογραφή της Σύμβασης.

Στην περίπτωση προσβολής της κύριας σήραγγας και από τα τέσσερα (4) μέτωπα διάνοιξης, ο χρόνος περάτωσης των εργασιών της σήραγγας υπολογίζεται σε περίπου τριάντα πέντε (35) ημερολογιακούς μήνες.

5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται ανάλυση και σύγκριση του κόστους κατασκευής των σηράγγων Πλατάνου και Τράπεζας, με ιδιαίτερη έμφαση στην συσχέτιση του κόστους διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ως προς τις κατηγορίες βραχομάζας που συναντώνται κατά την κατασκευή των σηράγγων. Η ανάλυση στηρίζεται στην προσέγγιση πρόσφατης εργασίας που εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Μεταλλευτικής Τεχνολογίας και Περιβαλλοντικής Μεταλλευτικής (Παρασκευοπούλου, 2011). Η παρούσα εργασία συμβάλλει με την προσθήκη νέων δεδομένων και την προσπάθεια διαμόρφωσης νέου μοντέλου εκτίμησης του κόστους διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης στη βάση διαφόρων παραμέτρων.

5.1 Μελέτη Κόστους Διάνοιξης και Προσωρινής Υποστήριξης

Το κόστος κατασκευής και προσωρινής υποστήριξης μια σήραγγας αποτελεί περίπου το 55-65% του συνόλου κατασκευής της (Λαμπρόπουλος et al., 2005). Ο Πίνακας 12 παρουσιάζει το εύρος του κόστους κατασκευής και προσωρινής υποστήριξης 23 ελληνικών σηράγγων (Παρασκευοπούλου, 2011 με προσθήκη στοιχείων και επεξεργασία από το συγγραφέα).

Πίνακας 12. Κόστος διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ελληνικών σηράγγων (χωρίς ΦΠΑ)

a/a	Ονομασία Σήραγγας	Κόστος εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης (€/μ.μ.)
1	Σήραγγα Ραψομμάτη	3.901,25
2	Σήραγγα Αγίου Ηλία	15.484,20
3	Σήραγγα Δωδώνης	4.819,57
4	Σήραγγα Κάστρου	3.680,95
5	Σήραγγα Βασιλικού	4.743,11
6	Σήραγγα Σ1Ν Εγνατίας Οδού	6.065,05
7	Σήραγγα Δρίσκου	6.764,36
8	Σήραγγα Καλαμών	4.305,87
9	Σήραγγα ΣΙ Εγνατίας Οδού	8.957,53
10	Σήραγγα Σ2 Εγνατίας Οδού	16.180,42
11	Σήραγγα Σ2.1. Εγνατίας Οδού	17.778,55
12	Σήραγγα Σ4 Εγνατίας Οδού	25.358,35
13	Σήραγγα Σ5 Εγνατίας Οδού	6.483,24
14	Σήραγγα Παλιού	2.512,05
15	Σήραγγα Τυμφρηστού	20.488,15
16	Σήραγγα ΠΑΘΕ Κ1-Κ4	8.191,38
17	Σήραγγα ΠΑΘΕ Κ1-Κ4 (Εργολαβία Σαραντόπουλου)	8.900,44
18	Σήραγγα ΠΑΘΕ (Σήραγγες αρχαιολογικού χώρου και Γηροκομείου)	6.770,19
19	Σήραγγα Αγίας Κυριακής	8.557,42
20	Σήραγγα Κακιάς Σκάλας	17.123,30
21	Σήραγγα Κνημίδας	7.209,75
22	Σήραγγα Πλατάνου	11.039,45
23	Σήραγγα Τράπεζας	9.280,15
Εύρος Διακύμανσης Κόστους		2.512,05-25.358,35
Μέσος Όρος		9.765,0
Διάμεσος		8.191,4
Τυπική Απόκλιση		6.067,8

(Πηγή: Παρασκευοπούλου, 2011 με προσθήκη νέων στοιχείων και επεξεργασία του συγγραφέα)

Το εύρος είναι μεγάλο και οφείλεται στο γεγονός ότι το κόστος διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης εξαρτάται από τις γεωλογικές συνθήκες, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής και τη διατομή της σήραγγας.

5.2 Συσχέτιση Κόστους Διάνοιξης και Γεωλογικών Συνθηκών

Η βραχομάζα που συναντάται κατά την φάση της μελέτης ενός έργου ομαδοποιείται σε τεχνικογεωλογικές κατηγορίες (τυπικές διατομές διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης). Η κατάταξη των κατηγοριών της βραχομάζας προκύπτει από το συνδυασμό των παρακάτω παραγόντων:

- Του Γεωλογικού Δείκτη Αντοχής (GSI) που χαρακτηρίζει πτωχής ποιότητας βραχομάζες και παρέχει συγκριτικά ικανοποιητικότερη ταξινόμηση των κατηγοριών τους για $RMR < 40$. Υπενθυμίζεται η σχέση που συνδέει τους δείκτες: $GSI = RMR_{89} - 5$.
- Την αποφυγή πολύπλοκου τρόπου κατηγοριοποίησης, προς εύκολη χρήση και διάκριση.
- Την επιλογή μιας κατηγορίας διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης για τους εδαφικούς σχηματισμούς, παρά τις διαφοροποιήσεις στη συμπεριφορά τους (κατολισθαίνοντα ή διογκούμενα εδάφη) (Παρασκευοπούλου, 2011).

Στον Πίνακα 13 παρουσιάζονται οι κατηγορίες εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης ως προς τα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 13. Κατηγορίες διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης ως προς την ποιότητα βραχομάζας.

Κατηγορίες διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης	GSI	Ποιότητα Βραχομάζας (RMR κατά Beniaowski)	Συνήθη μέτρα υποστήριξης
A	GSI=55-100	Καλή έως πολύ Καλή RMR=60-100	Οπλισμένο ή άοπλο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, αγκύρια.
B	GSI=35-55	Μέτρια RMR=40-60	Οπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, αγκύρια.
Γ	GSI=15-35	Πτωχή RMR=20-40	Οπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, αγκύρια, μεταλλικά πλαίσια.
Δ	GSI<15	Πολύ Πτωχή RMR<20	Οπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε οροφή - τοιχώματα και μέτωπο, αγκύρια, μεταλλικά πλαίσια, ράβδοι προπορείας.
E	Εδαφικός σχηματισμός*	Εδαφικός σχηματισμός*	Οπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε οροφή - τοιχώματα και μέτωπο, αγκύρια, μεταλλικά πλαίσια, ράβδοι προπορείας, προσωρινά ανεστραμμένο δάπεδο, κλειστή διατομή, αγκύρια μετώπου.

Η κατηγορία E χαρακτηρίζεται ως εδαφικού τύπου, δεν εφαρμόζονται σε αυτή την κατηγορία τα κριτήρια ταξινόμησης βραχομάζας (GSI & RMR) γιατί δεν αντιπροσωπεύει βραχόμαζα. Στη κατηγορία αυτή ο προσδιορισμός των μηχανικών χαρακτηριστικών των σχηματισμών εκτιμάται με εργαστηριακές μεθόδους και χρήση κριτηρίων Εδαφομηχανικής.

(Πηγή: Παρασκευοπούλου, 2011 με προσθήκη νέων στοιχείων και επεξεργασία του συγγραφέα)

Στους Πίνακες 14 έως 18, οι 23 σήραγγες ομαδοποιούνται ως προς τις 5 κατηγορίες εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης και ως προς τα χαρακτηριστικά της βραχομάζας τους.

Πίνακας 14. Καταγραφή σηράγγων κατηγορίας Α

Κατηγορίες διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης-Α Ποιότητα Βραχομάζας- Καλή έως πολύ Καλή- Εκτιμώμενο εύρος τιμών GSI= 55-100 & RMR=60-100				
Όνομασία Σήραγγας	Γεωλογία	Μήκος Σήραγγας (m)	Διατομή άμεσης υποστήριξης	Κόστος εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης (€/μ.μ.) χωρίς ΦΠΑ
Σήραγγα Δωδώνης	Ασβεστόλιθος Φλύσχος Ιονίου	6.624	Κατηγορία Β1	2.783,03
Σήραγγα Κνημίδας	Δολομίτες Δολομιτωμένοι Ασβεστόλιθοι	5.000	Κατηγορία ΙΙ	4.292,84
Σήραγγα Σ1Ν Εγνατίας Οδού	Ιωολιθικός Φλύσχος	750	Κατηγορία ΙΙ	4.504,20
Σήραγγα Καλαμών	Ψαμμιτικός Φλύσχος	1.638	Κατηγορία ΙΙ	3.037,92
Σήραγγα Παλιού	Γνευσιογρανίτες	500	Κατηγορία Α	2.512,05
Σήραγγα Πλατάνου	Κριτηδικοί Ασβεστόλιθοι Υγιείς	572	Κατηγορία Ι	3.372
Εύρος Διακύμανσης				2.512,1 - 4.504,2
Μέσος Όρος				3.417,0
Τυπική απόκλιση				814,3

(Πηγή: Παρασκευοπούλου, 2011 με προσθήκη νέων στοιχείων και επεξεργασία του συγγραφέα)

Πίνακας 15. Καταγραφή σηράγγων κατηγορίας Β

Κατηγορίες διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης-Β Ποιότητα Βραχομάζας- Μέτρια-Εκτιμώμενο εύρος τιμών GSI= 35-55 & RMR=40-60				
Όνομασία Σήραγγας	Γεωλογία	Μήκος Σήραγγας (m)	Διατομή άμεσης υποστήριξης	Κόστος εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης (€/μ.μ.) χωρίς ΦΠΑ
Σήραγγα Ραψομμάτη	Πινδικοί Ασβεστόλιθοι	1.405,5	Κατηγορία IIα	4.070,12
Σήραγγα Δωδώνης	Ασβεστόλιθος Φλύσχης Ιονίου	6.624	Κατηγορία B2	2.555,34
Σήραγγα Κνημίδας	Δολομίτες Δολομιτωμένοι Ασβεστόλιθοι μέτρια κερματισμένοι με τεμνόμενα συστήματα ασυνεχειών και κανονικά ρήγματα	5.000	Κατηγορία III _A	5665,12
			Κατηγορία III _B	5.917,70
			Κατηγορία III _Γ	6.196,18
Σήραγγα Αγίας Κυριακής	Κερατόλιθοι με ή χωρίς ίλυολιθικές ενστρώσεις	1.030	Κατηγορία II	8.882,26
Σήραγγα Σ1Ν Εγνατίας Οδού	Ϊλυολιθικός φλύσχης	750	Κατηγορία III	4.569,11
Σήραγγα Δρίσκου	Ϊλυολιθικός φλύσχης Ιονίου ζώνης	9.188	Κατηγορία ΠΙ	4.124,82
				4.177,38
Σήραγγα Καλαμών	Ψαμμιτικός Φλύσχης	1.638	Κατηγορία Β	3.412,81
Σήραγγα ΣΙ Εγνατίας Οδού	Φυλλίτες Γνευσιοσχιστόλιθοι	848	Κατηγορία Β1	3.990,61
			Κατηγορία Β2	4.370,65
Σήραγγα Σ5 Εγνατίας Οδού	Φυλλίτες Γνευσιοσχιστόλιθοι Μάρμαρα	399	Κατηγορία ΒΙ	4.011,02
Σήραγγα Πλατάνου	Κρητιδικοί Ασβεστόλιθοι κερματισμένοι	7571	Κατηγορία II	6.359,15
Εύρος Διακύμανσης				2.555,3-8.882,3
Μέσος Όρος				4.878,7
Τυπική απόκλιση				1.588,7

(Πηγή: Παρασκευοπούλου, 2011 με προσθήκη νέων στοιχείων και επεξεργασία του συγγραφέα)

Πίνακας 16. Καταγραφή σηράγγων κατηγορίας Γ

Κατηγορίες διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης-Γ- Ποιότητα Βραχομάζας- Πτώχή-Εκτιμώμενο εύρος τιμών GSI= 15-35 & RMR=20-40				
Όνομασία Σήραγγας	Γεωλογία	Μήκος Σήραγγας (m)	Διατομή άμεσης υποστήριξης	Κόστος εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης (€/μ.μ.) χωρίς ΦΠΑ
Σήραγγα Ραφομμάτη	Πινδικοί Ασβεστόλιθοι	1.405,50	Κατηγορία II _β	4.440,36
			Κατηγορία II _γ	4.734,57
Σήραγγα Κνημίδας	Δολομίτες Δολομιτιωμένοι Ασβεστόλιθοι μέτρια κερματισμένοι με πυκνό σύστημα ασυνεχειών και τεμνόμενη δέσμη ρηγματων	5.000	Κατηγορία IV _Α	7.107,14
			Κατηγορία IV _Β	7.392,70
			Κατηγορία IV _Γ	8.204,54
Σήραγγα Αγίας Κυριακής	Κερατόλιθοι με ή χωρίς ιλυολιθικές ενστρώσεις, κατακερματισμένοι Κερατόλιθοι με ιλυολιθικές ενστρώσεις	1.030	Κατηγορία III	8.923,09
			Κατηγορία IV	7.865,92
Σήραγγα Δαδώνης	Ασβεστόλιθος Φλύσχης Ιονίου	6.624	Κατηγορία C	2.972,82
Σήραγγα Κάστρου	Μάρμαρα	402,7	Σε όλο το μήκος	5.588,92
Σήραγγα Σ1N Εγνατίας Οδού	Ιλυολιθικός φλύσχης	750	Κατηγορία IV	5.199,84
Σήραγγα Δρίσκου	Ιλυολιθικός φλύσχης Ιονίου ζώνης	9.188	Κατηγορία IV	6.721,29
			IV1	6.823,24
			IV _v ,IV _v (C)	7.800,56
Σήραγγα Καλαμών	Ψαμμιτικός Φλύσχης	1.638	Κατηγορία C	4.912,38
			Κατηγορία C _p	5.377,76
Σήραγγα ΣI Εγνατίας Οδού	Φυλλίτες Γνευσιοσχιστόλιθοι	848	Κατηγορία C	5.484,90
Σήραγγα Σ5 Εγνατίας Οδού	Φυλλίτες Γνευσιοσχιστόλιθοι Μάρμαρα	399	Κατηγορία C	7.604,92
Σήραγγα Κακιάς Σκάλας	Μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι	843,53	Κατηγορία ΔΑ(ΛΕΑ) 3 _Α	12.879,34
			Κατηγορία ΔΑ(ΛΕΑ) 3 _Β	19.304,05
Σήραγγα Πλατάνου	Κρητιδικοί Ασβεστόλιθοι έντονα κατακερματισμένοι	85	Κατηγορία III	10.438,33
Εύρος Διακύμανσης				2.972,8 - 19.304,1
Μέσος Όρος				7.488,8
Τυπική Απόκλιση				3.573,3

(Πηγή: Παρασκευοπούλου, 2011 με προσθήκη νέων στοιχείων και επεξεργασία του συγγραφέα)

Πίνακας 17. Καταγραφή σηράγγων κατηγορίας Δ

Κατηγορίες διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης-Δ- Ποιότητα Βραχομάζας- Πολύ Πτωχή-Εκτιμώμενο εύρος τιμών GSI= < 15 & RMR=< 20				
Όνομασία Σήραγγας	Γεωλογία	Μήκος Σήραγγας (m)	Διατομή άμεσης υποστήριξης	Κόστος εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης (€/μ.μ.) χωρίς ΦΠΑ
Σήραγγα Ραφομαμάτη	Πινδικοί Ασβεστόλιθοι	1.405,50	Κατηγορία IIIα	5.492,52
Σήραγγα Κνημίδας	Δολομίτες Δολομιτωμένοι Ασβεστόλιθοι κατακερματισμένοι	5.000	Κατηγορία V	12.906,84
Σήραγγα Βασιλικού	Λεπτοστρωματώδεις ασβεστολιθικοί σχηματισμοί	447	Κατηγορία Δ2	4.994,81
			Κατηγορία Δ3	6.378,19
Σήραγγα Σ1Ν Εγνατίας Οδού	Ιλυολιθικός φλύσχης	750	Κατηγορία V	10.117,10
Σήραγγα Δρίσκου	Ιλυολιθικός φλύσχης Ιονίου ζώνης	9.188	Κατηγορία V	8.864,50
			Κατηγορία V _a	10.655,20
			Κατηγορία V _a (S)	10.795,88
Σήραγγα ΣΙ Εγνατίας Οδού	Φυλλίτες Γνευσιοσχιστόλιθοι	848	Κατηγορία S	12.401,35
			Κατηγορία S _p	12.698,46
			Κατηγορία S2 S _p 2	4.240,90
Σήραγγα Σ2 Εγνατίας Οδού	Φυλλίτες Γνευσιοσχιστόλιθοι	265	Κατηγορία S	12.401,35
			Κατηγορία S _p	12.698,46
			Κατηγορία S2 S _p 2	4.240,90
Σήραγγα Σ2.1 Εγνατίας Οδού	Φυλλίτες Γνευσιοσχιστόλιθοι	465	Κατηγορία S _p	12.698,46
			Κατηγορία S2/S _p 2	4.240,94
Σήραγγα Σ4 Εγνατίας Οδού	Φυλλίτες Γνευσιοσχιστόλιθοι	465	Διατομή Σ4/3 σε όλο το μήκος	25.358,36
Σήραγγα Σ5 Εγνατίας Οδού	Φυλλίτες Γνευσιοσχιστόλιθοι Μάρμαρα	399	Κατηγορία S _p	15.607,84
Σήραγγα Τυμφρηστού	Φλύσχης με αργιλικό σχιστόλιθο Ψαμίτες, Ιλυόλιθοι	1.385	Αγκύρια, εκτοξ. σκυρόδεμα, πλέγμα, πλαίσια, Κλειστή διατομή	20.488,15
Σήραγγα Αγίου Ηλίας	Εβαπορίτες	644	Κατηγορία εβαποριτών	16.009,65
Σήραγγα Κακιάς Σκάλας	Μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι	843,53	Κατηγορία ΔΑ(ΛΕΑ) 4 _A	28.820,62
Σήραγγα Πλατάνου	Κρητιδικοί Ασβεστόλιθοι πλήρως αποδομημένοι	85	Κατηγορία IV	9.137,70
Εύρος Διακύμανσης				4.240,9 -28.820,6
Μέσος Όρος				11.784,9
Τυπική Απόκλιση				6.521,9

(Πηγή: Παρασκευοπούλου, 2011 με προσθήκη νέων στοιχείων και επεξεργασία του συγγραφέα)

Πίνακας 18. Καταγραφή σηράγγων κατηγορίας Ε

Κατηγορίες διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης Ε Ημίβραχος ή σχηματισμός εδαφικού τύπου				
Παράμετροι Εδαφομηχανικής				
Ονομασία Σήραγγας	Γεωλογία	Μήκος Σήραγγας (m)	Διατομή άμεσης υποστήριξης	Κόστος εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης (€/μ.μ.) χωρίς ΦΠΑ
Σήραγγα Άγιου Ηλία	Αργιλική θεμελιώδης μάζα με βραχώδη τεμάχια εβαποριτικής σύστασης	644	Κατηγορία Δ1	18.365,75
			Κατηγορία Δ1	20.477,57
	Μάργες		Κατηγορία Δ6	19.252,41
Σήραγγα Πλατάνου	Αργιλικός σχιστόλιθος, εμφάνιση χάλικα, παρουσία ρηξιγενούς ζώνης	852	V	9.127,38
			VI με βήμα διάνοιξης 1,25m	11.186,97
			VI με βήμα διάνοιξης 1 m	14.319,10
			VII	7.773,05
			VIII	10.171,60
Σήραγγα Τράπεζας	Στιφρές Μάργες, κροκαλοπαγή χαλαρά συνδεδεμένα με ψαμμιτικό υλικό	2713	I	4.029,94
			II	6.883,55
			III	9.691,85
			IV	10.158,72
Εύρος Διακύμανσης				4,029.9 -20.477,6
Μέσος Όρος				11.786,5
Τυπική Απόκλιση				5.208,0

(Πηγή: Παρασκευοπούλου, 2011 με προσθήκη νέων στοιχείων και επεξεργασία του συγγραφέα)

5.3 Ανάλυση Κόστους Διάνοιξης με Αναθεωρημένες Τιμές Μονάδος 2011

Τα κόστη που προσδιορίστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο αναθεωρήθηκαν σε σημερινές τιμές. Οι αρχικές τιμές μονάδος του Προϋπολογισμού του έργου, υπολογισμένες βάσει των Ενιαίων Τιμολογίων κατά τη περίοδο που πραγματοποιήθηκε η Μελέτη, αναθεωρήθηκαν βάσει συντελεστών για το Γ τρίμηνο του 2011, (Ιούλιος 2011) επιβαρύνοντας τα προϋπολογισθέντα κόστη με τις Πληθωριστικές μεταβολές που σημειώθηκαν.

Το αναθεωρημένο Κόστος είναι το γινόμενο της τιμή μονάδος επί την ποσότητα εργασίας επί το συντελεστή αναθεώρησης, όπως παρουσιάζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Αναθεωρημένο Κόστος} = \text{Τιμή μονάδος} * \text{Ποσότητα Εργασίας} * \text{Συντελεστής Αναθεώρησης}$$

Με τη διαδικασία αυτή, επιτυγχάνεται η δημιουργία ενός κοινού σημείου αναφοράς για όλες τις υπό μελέτη σήραγγες ανεξαρτήτως χρόνου κατασκευής τους. Γίνεται κοστολόγηση των σηράγγων με σημερινές τιμές, δηλαδή το κόστος κατασκευής των σηράγγων αν οι εργασίες άρχιζαν σήμερα, το οποίο συμβάλλει στην εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων (Παρασκευοπούλου, 2011).

Ακολούθως παρατίθενται οι Πίνακες 19 και 20 για τις σήραγγες Πλατάνου και Τράπεζας, που παρουσιάζουν το αναθεωρημένο κόστος ανά μέτρο μήκους σήραγγας για κάθε τυπική διατομή.

Πίνακας 19. Αναθεωρημένο Κόστος Εκσκαφής & Προσωρινής Υποστήριξης σύμφωνα με τις τυπικές διατομές που εφαρμόστηκαν στη σήραγγα Πλατάνου

Κόστος Εκσκαφής & Προσωρινής Υποστήριξης σήραγγας Πλατάνου					
Τυπικές Διατομές	Ποσότητα	Μονάδα Μέτρησης	Τιμή Μονάδος (€)	Συντελεστής Αναθεωρησης	Δαπάνη(€)
Διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ενός μ.μ. Τυπικής Διατομής I	585	m	2.843	1,200749	4.048,96
Διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ενός μ.μ. Τυπικής Διατομής II	765	m	3.249	1,220749	7.762,93
Διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ενός μ.μ. Τυπικής Διατομής III	40	m	4.940	1,23191	12.859,09
Διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ενός μ.μ. Τυπικής Διατομής IV	40	m	6.306	1,23191	11.256,82

Τυπικές Διατομές	Ποσότητα	Μονάδα Μέτρησης	Τιμή Μονάδος (€)	Συντελεστής Αναθεωρησης	Δαπάνη(€)
Διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ενός μ.μ. Τυπικής Διατομής VI με βήμα διάνοιξης 1,25 m	160	m	9.836	1,193102	13.347,19
Διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ενός μ.μ. Τυπικής Διατομής VI με βήμα διάνοιξης 1 m	96	m	11.250	1,214724	17.393,76
Διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ενός μ.μ. Τυπικής Διατομής VII	247	m	6.614	1,202935	9.350,47
Διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ενός μ.μ. Τυπικής Διατομής VIII	300	m	8.620	1,206483	12.271,86
Συνολικό κόστος διάνοιξης κα προσωρινής υποστήριξης σήραγγας Πλατάνου					19.367.124,35
<i>προστίθεται Ο.Ε. & Γ.Ε.(18%)</i>					3.486.082,38
Συνολικό κόστος ανά μ.μ μετά Ο.Ε. & Γ.Ε.					22.853.206,73
<i>προστίθεται Φ.Π.Α.(23%)</i>					5.256.237,55
Συνολικό Κόστος διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης σήραγγας Πλατάνου μετά Φ.Π.Α.					28.109.444,28

Πίνακας 20. Αναθεωρημένο Κόστος Εκσκαφής & Προσωρινής Υποστήριξης σύμφωνα με τις τυπικές διατομές που εφαρμόστηκαν στη σήραγγα Τράπεζας

Κόστος Εκσκαφής & Προσωρινής Υποστήριξης σήραγγας Τράπεζας					
Τυπικές Διατομές	Ποσότητα	Μονάδα Μέτρησης	Τιμή Μονάδος (€)	Συντελεστής Αναθεωρησης	Δαπάνη(€)
Διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ενός μ.μ. Τυπικής Διατομής I	92	m	8.538	1,216852	451.152,88
Διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ενός μ.μ. Τυπικής Διατομής II	356	m	6.372	1,202146	15.623.381,94
Διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ενός μ.μ. Τυπικής Διατομής III	1.337	m	8.195	1,205694	9.670.243,17
Διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ενός μ.μ. Τυπικής Διατομής IV	789	m	8.620	1,206483	2.945.913,54
Συνολικό κόστος διάνοιξης κα προσωρινής υποστήριξης σήραγγας Τράπεζας					28.690.691,53
<i>προστίθεται Ο.Ε. & Γ.Ε.(18%)</i>					5.164.324,47
Συνολικό κόστος ανά μ.μ μετά Ο.Ε. & Γ.Ε.					33.855.016,00
<i>προστίθεται Φ.Π.Α.(23%)</i>					7.786.653,68
Συνολικό Κόστος διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης σήραγγας Τράπεζας μετά Φ.Π.Α.					41.641.669,68

5.4 Σύγκριση και Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Στους παρακάτω Πίνακες παρατίθενται συγκεντρωτικά τα δεδομένα που εξετάστηκαν κατά την ανάλυση. Συγκεκριμένα συσχετίζονται οι κατηγορίες διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης με το κόστος ανά κυβικό μέτρο ($\text{€}/\text{m}^3$) καθώς επίσης και με το κόστος ανά μέτρο μήκους ($\text{€}/\mu.\mu.$). Διακρίνονται οι περιπτώσεις ανάλυσης των άνω δεδομένων κόστους προ Ο.Ε. & Γ.Ε. (Πίνακας 22 και Πίνακας 24), καθώς και μετά Ο.Ε. & Γ.Ε. (Πίνακας 21 και Πίνακας 23), ώστε να αποτιμηθεί η καθαρή αξία κάθε έργου.

Πίνακας 21. Συγκεντρωτική Ανάλυση κόστους ανά κυβικό μέτρο ($\text{€}/\text{m}^3$) διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ανά κατηγορία διάνοιξης στις 7 υπό μελέτη σήραγγες (οι τιμές περιλαμβάνουν Ο.Ε. & Γ.Ε. 18%)

a/a	Ονομασία Σήραγγας	Μήκος Σήραγγας (m)	Τυπικές διατομές	Κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης	GSI	RMR ₈₉	Μήκος εφαρμογής	Κόστος ($\text{€}/\text{m}^3$) χωρίς ΦΠΑ	Αναθεωρημένο Κόστος ($\text{€}/\text{m}^3$) χωρίς ΦΠΑ	Αναθεωρημένο Κόστος ($\text{€}/\text{m}^3$) με ΦΠΑ (23%)
1	Σήραγγα Ραφομμάτη	1.405,50	IIα	B	35	40	570	34,04	60,48	72,26
			IIβ	Γ	25	30	300	35,40	61,14	73,06
			IIγ	Γ	20	25	300	35,92	63,22	75,54
			IIIα	Δ	15	20	34	45,13	82,41	98,47
2	Σήραγγα Αγίου Ηλία	644	Εβαπορίτες	Δ	10	15	153	102,30	112,81	134,80
			Δ1	E	0	5	140	122,45	146,91	175,55
			Δ5	E	0	5	153	132,54	224,19	267,88
			Δ6	E	0	5		124,61	203,30	242,92
3	Σήραγγα Αγίας Κυριακής	1.030	II	B	55	60	61	72,21	90,90	11,81
			III	Γ	50	55	741	72,55	93,46	114,96
			IV	Γ	35	45	237	63,95	82,98	102,06
4	Σήραγγα Κακιάς Σκάλας	846,53	ΔΑ(ΛΕΑ)3 ^α	Γ	30	35	8,470	53,65	66,37	79,31
			ΔΑ(ΛΕΑ)3 ^β	Γ	25	30	475,60	80,21	98,95	118,24
			ΔΑ(ΛΕΑ)4 ^α	Δ	15	20	150,58	115,60	135,06	161,39
5	Σήραγγα Κνημίδας	5.000	II	A	65	70	676	21,46	27,02	33,23
			III _A	B	45	50	309,64	28,33	36,49	44,89
			III _B	B	40	45	1606,45	29,59	38,12	46,89
			III _Γ	B	35	40	1715,91	30,98	32,91	49,09
			IV _A	Γ	30	35	401,80	35,54	46,11	56,71
			IV _B	Γ	25	30	65,36	36,96	47,96	58,99
			IV _Γ	Γ	20	25	511,95	41,02	53,23	65,47
			V	Δ	15	20	72	64,53	83,74	103

6	Σήραγγα Πλατάνου	2.259	I	A	55	60	586	41,88	50,29	61,86
			II	B	43	48	757	78,99	96,42	118,60
			III	Γ	28	33	85	129,66	159,72	196,46
			IV	Δ	19	24	85	113,50	139,82	171,98
			V	E	0	-	40	113,37	137,43	169,03
			VI με βήμα διάνοιξης 1,25m	E	0	-	83			
			VI με βήμα διάνοιξης 1 m	E	0	-	166	138,95	165,79	203,92
			VII	E	0	-	249	177,86	216,05	265,74
			VIII	E	0	-	274	96,55	116,14	142,86
7	Σήραγγα Τράπεζας	2.713	I	E	0	-	542	126,34	152,43	187,49
			II	E	0	-	1085	50,06	60,91	74,92
			III	E	0	-	813	13,04	102,78	126,43
			IV	E	0	-	271	18,36	145,14	178,53
						19,25	152,24	187,25		

(Πηγή: Παρασκευοπούλου, 2011 με προσθήκη νέων στοιχείων και επεξεργασία του συγγραφέα)

Πίνακας 22. Συγκεντρωτική Ανάλυση κόστους ανά κυβικό μέτρο ($\text{€}/\text{m}^3$) διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ανά κατηγορία διάνοιξης στις 7 υπό μελέτη σήραγγες (οι τιμές δεν περιλαμβάνουν Ο.Ε. & Γ.Ε. 18%)

a/a	Ονομασία Σήραγγας	Μήκος Σήραγγας (m)	Τυπικές διατομές	Κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης	GSI	RMR ₈₉	Μήκος εφαρμογής	Κόστος ($\text{€}/\text{m}^3$) χωρίς ΦΠΑ	Αναθεωρημένο Κόστος ($\text{€}/\text{m}^3$) χωρίς ΦΠΑ
1	Σήραγγα Ραφομμάτη	1.405,50	IIα	B	35	40	570	28,85	51,25
			IIβ	Γ	25	30	300	30	51,81
			IIγ	Γ	20	25	300	30,44	53,58
			IIIα	Δ	15	20	34	38,25	69,84
2	Σήραγγα Αγίου Ηλία	644	Εβαπορίτες	Δ	10	15	153	86,69	100,9
			Δ1	E	0	5	140	103,77	124,50
			Δ5	E	0	5	153	112,32	189,99
			Δ6	E	0	5		105,60	175,29
3	Σήραγγα Αγίας Κυριακής	1.030	II	B	55	60	61	61,19	77,03
			III	Γ	50	55	741	61,48	79,20
			IV	Γ	35	45	237	54,19	70,32
4	Σήραγγα Κακιάς Σκάλας	846,53	ΔΑ(ΛΕΑ)3 ^α	Γ	30	35	8,470	45,47	56,25
			ΔΑ(ΛΕΑ)3 ^β	Γ	25	30	475,60	67,97	83,86
			ΔΑ(ΛΕΑ)4 ^α	Δ	15	20	150,58	97,97	114,46
5	Σήραγγα Κνημίδας	5.000	II	A	65	70	676	18,19	22,90
			III _A	B	45	50	309,64	24,01	30,92
			III _B	B	40	45	1606,45	25,08	32,31
			III _Γ	B	35	40	1715,91	26,25	33,82
			IV _A	Γ	30	35	401,80	30,12	39,08
			IV _B	Γ	25	30	65,36	31,32	40,64
			IV _Γ	Γ	20	25	511,95	34,76	45,11
			V	Δ	15	20	72	54,69	70,97

6	Σήραγγα Πλατάνου	2.259	I	A	55	60	586	35,50	42,62
			II	B	43	48	757	66,94	81,72
			III	Γ	28	33	85	109,88	135,36
			IV	Δ	19	24	85	96,19	118,49
			V	E	0	-	40	96,08	116,46
			VI με βήμα διάνοιξης 1,25m	E	0	-	83	117,76	140,50
			VI με βήμα διάνοιξης 1 m	E	0	-	166	150,73	183,09
			VII	E	0	-	249	81,82	98,43
VIII	E	0	-	274	107,07	129,18			
7	Σήραγγα Τράπεζας	2.713	I	E	0	-	542	42,42	51,62
			II	E	0	-	1085	72,46	87,11
			III	E	0	-	813	102,02	123,00
			IV	E	0	-	271	106,93	129,01

(Πηγή: Παρασκευοπούλου, 2011 με προσθήκη νέων στοιχείων και επεξεργασία του συγγραφέα)

Πίνακας 23. Συγκεντρωτική Ανάλυση κόστους ανά μέτρο μήκους (€/μ.μ.) διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ανά κατηγορία διάνοιξης στις 7 υπό μελέτη σήραγγες (οι τιμές περιλαμβάνουν Ο.Ε. & Γ.Ε. 18%)

a/a	Ονομασία Σήραγγας	Μήκος Σήραγγας (m)	Τυπικές διατομές	Κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης	GSI	RMR ₈₉	Μήκος εφαρμογής	Κόστος (€/μ.μ.) χωρίς ΦΠΑ	Αναθεωρημένο Κόστος (€/μ.μ.) χωρίς ΦΠΑ	Αναθεωρημένο Κόστος (€/μ.μ.) με ΦΠΑ (23%)
1	Σήραγγα Ραγομμάτη	1.405,50	IIα	B	35	40	570	3.389,51	6025,25	7200
			IIβ	Γ	25	30	300	3667,84	6391,95	7637,84
			IIγ	Γ	20	25	300	3942,84	6945,81	8299,66
			IIIα	Δ	15	20	34	5586,79	8352,29	10273,32
2	Σήραγγα Αγίου Ηλία	644	Εβαπορίτες	Δ	10	15	153	13102,26	14448,58	17264,83
			Δ1	E	0	5	140	15030,48	18033,79	21548,87
			Δ5	E	0	5	153	17578,79	28346,08	33871,16
			Δ6	E	0	5		15753,16	25705,09	30715,40
3	Σήραγγα Αγίας Κυριακής	1.030	II	B	55	60	61	8862,26	11191,65	13765,73
			III	Γ	50	55	741	8923,09	11510,79	14158,27
			IV	Γ	35	45	237	7865,92	10225,69	12577,60
4	Σήραγγα Κακιάς Σκάλας	846,53	ΔΑ(ΛΕΑ)3 ^α	Γ	30	35	8,470	10723,85	13265,90	15851,63
			ΔΑ(ΛΕΑ)3 ^β	Γ	25	30	475,60	16304,10	20112,96	24033,28
			ΔΑ(ΛΕΑ)4 ^α	Δ	15	20	150,58	24341,74	28439,05	33982,25
5	Σήραγγα Κνημίδας	5.000	II	A	65	70	676	4292,84	5403,74	6646,60
			III _A	B	45	50	309,64	5665,12	7298,68	8977,38
			III _B	B	40	45	1606,45	5917,70	7624,01	9377,53
			III _Γ	B	35	40	1715,91	6196,18	7982,75	9818,83
			IV _A	Γ	30	35	401,80	7107,14	9221,87	11342,90
			IV _B	Γ	25	30	65,36	7392,70	9592,40	11798,65
			IV _Γ	Γ	20	25	511,95	8204,54	10645,81	13094,35
			V	Δ	15	20	72	12906,84	16747,28	20599,79

6	Σήραγγα Πλατάνου	2.259	I	A	55	60	586	3979,00	4777,78	5876,67
			II	B	43	48	757	7503,80	9160,26	11267,11
			III	Γ	28	33	85	12317,24	15173,73	18663,68
			IV	Δ	19	24	85	10782,48	13283,05	16338,15
			V	E	0	-	40	10770,30	13055,44	16058,19
			VI με βήμα διάνοιξης 1,25m	E	0	-	83	13200,62	15749,69	19372,12
			VI με βήμα διάνοιξης 1 m	E	0	-	166	16896,54	20524,63	25245,30
			VII	E	0	-	249	9172,20	11033,56	13571,28
			VIII	E	0	-	274	12002,49	14480,80	17811,38
7	Σήραγγα Τράπεζας	2.713	I	E	0	-	542	4755,32	5786,53	7117,43
			II	E	0	-	1085	8122,59	9764,54	12010,39
			III	E	0	-	813	11436,38	13788,77	16960,19
			IV	E	0	-	271	11987,29	14462,47	17788,84

(Πηγή: Παρασκευοπούλου, 2011 με προσθήκη νέων στοιχείων και επεξεργασία του συγγραφέα)

Πίνακας 24. Συγκεντρωτική Ανάλυση κόστους ανά μέτρο μήκους (€/μ.μ.) διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ανά κατηγορία διάνοιξης στις 7 υπό μελέτη σήραγγες (οι τιμές δεν περιλαμβάνουν Ο.Ε. & Γ.Ε. 18%)

a/a	Ονομασία Σήραγγας	Μήκος Σήραγγας (m)	Τυπικές διατομές	Κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης	GSI	RMR ₈₉	Μήκος εφαρμογής	Κόστος (€/μ.μ.) χωρίς ΦΠΑ	Αναθεωρημένο Κόστος (€/μ.μ.) χωρίς ΦΠΑ
1	Σήραγγα Ραγομμάτη	1.405,50	IIα	B	35	40	570	2872,47	5106,14
			IIβ	Γ	25	30	300	3108,34	5416,91
			IIγ	Γ	20	25	300	3341,39	5886,28
			IIIα	Δ	15	20	34	4734,57	7078,21
2	Σήραγγα Άγιου Ηλία	644	Εβαπορίτες	Δ	10	15	153	11103,61	12244,56
			Δ1	E	0	5	140	12737,69	15282,87
			Δ5	E	0	5	153	14897,28	24022,10
			Δ6	E	0	5		13350,14	21783,97
3	Σήραγγα Αγίας Κυριακής	1.030	II	B	55	60	61	7510,39	9484,45
			III	Γ	50	55	741	7561,94	9754,90
			IV	Γ	35	45	237	6666,03	8665,84
4	Σήραγγα Κακιάς Σκάλας	846,53	ΔΑ(ΛΕΑ)3 ^α	Γ	30	35	8,470	9088,01	11242,29
			ΔΑ(ΛΕΑ)3β	Γ	25	30	475,60	13817,03	17044,88
			ΔΑ(ΛΕΑ)4 ^α	Δ	15	20	150,58	20628,59	24100,89
5	Σήραγγα Κνημίδας	5.000	II	A	65	70	676	3638	4292,84
			III _A	B	45	50	309,64	4800,95	5665,18
			III _B	B	40	45	1606,45	5010,76	5917,70
			III _Γ	B	35	40	1715,91	5251	6196,18
			IV _A	Γ	30	35	401,80	6023	8408,36
			IV _B	Γ	25	30	65,36	6265	8129,15
			IV _Γ	Γ	20	25	511,95	6953	9021,64
			V	Δ	15	20	72	10938	14192,50

6	Σήραγγα Πλατάνου	2.259	I	A	55	60	586	3372,03	4048,96
			II	B	43	48	757	6359,15	7762,93
			III	Γ	28	33	85	10438,33	12859,09
			IV	Δ	19	24	85	9137,70	11256,82
			V	E	0	-	40	9127,38	11063,93
			VI με βήμα διάνοιξης 1,25m	E	0	-	83	11186,97	13347,19
			VI με βήμα διάνοιξης 1 m	E	0	-	166	14319,10	17393,76
			VII	E	0	-	249	7773,05	9350,47
VIII	E	0	-	274	10171,60	12271,86			
7	Σήραγγα Τράπεζας	2.713	I	E	0	-	542	4029,94	4903,84
			II	E	0	-	1085	6883,55	8275,04
			III	E	0	-	813	9691,85	11685,40
			IV	E	0	-	271	10158,72	12256,33

(Πηγή: Παρασκευοπούλου, 2011 με προσθήκη νέων στοιχείων και επεξεργασία του συγγραφέα)

Εξάγεται το συμπέρασμα από τους παραπάνω Πίνακες 21 ως 24, ότι τόσο το κόστος ανά μέτρο μήκους (€/μ.μ.) διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης όσο και το κόστος ανά κυβικό μέτρο (€/m³) διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης αυξάνονται όσο φθίνει η ποιότητα της βραχομάζας.

5.4.1 Συσχέτιση Μήκους Σήραγγας με Μέσο Κόστος Διάνοιξης

Στον Πίνακα 25 συσχετίζονται τα χαρακτηριστικά κάθε σήραγγας με το μέσο αναθεωρημένο κόστος ανά μέτρο μήκους (€/μ.μ.) καθώς και με το μέσο αναθεωρημένο κόστος ανά κυβικό μέτρο (€/m³) διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης

Πίνακας 25. Μέσο Αναθεωρημένο κόστος διάνοιξης ανά κατηγορία ανά κυβικό μέτρο (€/m³) και ανά μέτρο μήκους (€/μ.μ.)

Όνομασία Σήραγγας	Μήκος Σήραγγας (m)	Διατομή Εκσκαφής (m ³)	Μέσο Κόστος (€/μ.μ.) χωρίς Ο.Ε. & Γ.Ε., ΦΠΑ	Μέσο Κόστος (€/μ.μ.) χωρίς ΦΠΑ	Αναθεωρημένο Μέσο Κόστος (€/m ³) χωρίς Ο.Ε. & Γ.Ε., ΦΠΑ	Αναθεωρημένο Μέσο Κόστος (€/m ³) χωρίς ΦΠΑ
Σήραγγα Ραψομμάτη	1.405,50	100	4208,84	4966,43	42,09	49,66
Σήραγγα Αγίου Ηλίας	644	120	11972,63	14127,70	99,77	117,73
Σήραγγα Αγίας Κυριακής	1.030	123	7419,82	8755,39	60,32	71,18
Σήραγγα Κακιάς Σκάλας	846,53	205	18281,20	21571,82	89,18	105,23
Σήραγγα Κνημίδας	5.000	200	4802,96	5667,49	24,01	28,34
Σήραγγα Πλατάνου	2259	95	9,052.35	11,039.45	95.29	116.20
Σήραγγα Τράπεζας	2713	95	7,609.72	9,280.15	80.10	97.69

(Πηγή: Παρασκευοπούλου, 2011 με προσθήκη νέων στοιχείων και επεξεργασία του συγγραφέα)

5.4.2 Συσχέτιση Κόστους ανά Κατηγορία Διάνοιξης και Προσωρινής Υποστήριξης

Στον Πίνακα 26 παρουσιάζεται το κόστος ανά κυβικό μέτρο ($\text{€}/\text{m}^3$) ανά κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης και στον Πίνακα 27 το κόστος ανά μέτρο μήκους ($\text{€}/\mu.\mu.$) ανά κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης

Πίνακας 26. Κόστος ανά κυβικό μέτρο (€/m³) ανά κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης στις 7 υπό μελέτη σήραγγες (οι τιμές περιλαμβάνουν Ο.Ε. & Γ.Ε. 18%)

Κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης	Όνομασία Σήραγγας	Τυπική διατομή	Μήκος εφαρμογής τυπικής διατομής	Κόστος (€/m ³) χωρίς ΦΠΑ	Κόστος (€/m ³) με ΦΠΑ (23%)	Αναθεωρημένο Κόστος (€/m ³) χωρίς ΦΠΑ	Αναθεωρημένο Κόστος (€/m ³) με ΦΠΑ (23%)
Α (GSI=55-100)	Σήραγγα Κνημίδας	II	676	21,46	25,33	27,02	33,23
	Σήραγγα Πλατάνου	I	586	41,88	49,42	50,29	61,86
Μέσο Κόστος (€/m³) Κατηγορίας Α				31,67	37,37	38,64	47,54
Β (GSI=35-55)	Σήραγγα Ραβομμάτη	IIα	570	34,04	48,23	60,48	72,26
	Σήραγγα Αγίας Κυριακής	II	61	72,21	85,21	90,90	11,81
		III _A	309,64	28,33	33,42	36,49	44,89
		III _B	1606,45	29,59	34,91	38,12	46,89
		III _Γ	1715,91	30,98	36,56	32,91	49,09
	Σήραγγα Πλατάνου	II	757	78,99	93,21	96,42	118,60
Μέσο Κόστος (€/m³) Κατηγορίας Β				45,91	52,89	55,97	50,88
Γ (GSI=15-35)	Σήραγγα Ραβομμάτη	IIβ	300	35,40	50,16	61,14	73,06
		IIγ	300	35,92	50,89	63,22	75,54
	Σήραγγα Αγίας Κυριακής	III	741	72,55	85,60	93,46	114,96
		IV	237	63,95	75,46	82,98	102,06
	Σήραγγα Κακιάς Σκάλας	ΔΑ(ΛΕΑ)3α	8,470	53,65	76,04	66,37	79,31
		ΔΑ(ΛΕΑ)3β	475,60	80,21	112,07	98,95	118,24
	Σήραγγα Κνημίδας	IV _A	401,80	35,54	41,93	46,11	56,71
		IV _B	65,36	36,96	43,62	47,96	58,99
		IV _Γ	511,95	41,02	48,41	53,23	65,47
	Σήραγγα Πλατάνου	III	85	129,66	152,99	159,72	196,46
Μέσο Κόστος (€/m³) Κατηγορίας Γ				58,48	73,71	77,31	94

Δ (GSI=<15)	Σήραγγα Ραψομμάτη	IIIα	34	45,13	63,95	82,41	98,47
	Σήραγγα Άγιου Ηλία	Εβαπορίτες	153	102,30	147,50	112,81	134,80
	Σήραγγα Κακιός Σκάλας	ΔΑ(ΛΕΑ)4Α	150,58	115,60	161,51	135,06	161,39
	Σήραγγα Κνημίδας	V	72	64,53	76,15	83,74	103
	Σήραγγα Πλατάνου	IV	85	113.50	133.93	139.82	171.98
Μέσο Κόστος (€/m³) Κατηγορίας Δ				88,21	116,61	110,72	133,92
Ε (GSI<15,Εδαφικός σχηματισμός)	Σήραγγα Άγιου Ηλία	Δ1	140	122,45	176,55	146,91	175,55
		Δ5		132,54	191,11	224,19	267,88
		Δ6	153	124,61	179,67	203,30	242,92
	Σήραγγα Πλατάνου	V	40	113.37	133.78	137.43	169.03
		VI με βήμα διάνοιξης 1,25m	83	138.95	163.97	165.79	203.92
		VI με βήμα διάνοιξης 1 m	166	177.86	209.87	216.05	265.74
		VII	249	96.55	113.93	116.14	142.86
		VIII	274	126.34	149.08	152.43	187.49
		Σήραγγα Τράπεζας	I	542	50.06	59.07	60.91
	II		1085	13.04	15.39	102.78	126.43
	III		813	18.36	21.67	145.14	178.53
	IV		271	19.25	22.71	152.24	187.25
	Μέσο Κόστος (€/m³) Κατηγορίας Ε				83,75	133,78	138,76

(Πηγή: Παρασκευοπούλου, 2011 με προσθήκη νέων στοιχείων και επεξεργασία του συγγραφέα)

Πίνακας 27. Κόστος ανά μέτρο μήκους (€/μ.μ.) ανά κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης στις 7 υπό μελέτη σήραγγες (οι τιμές περιλαμβάνουν Ο.Ε. & Γ.Ε. 18%)

Κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης	Ονομασία Σήραγγας	Τυπική διατομή	Μήκος εφαρμογής τυπικής διατομής	Κόστος (€/μ.μ.) χωρίς ΦΠΑ	Αναθεωρημένο Κόστος (€/μ.μ.) χωρίς ΦΠΑ	Αναθεωρημένο Κόστος (€/μ.μ.) με ΦΠΑ (23%)
Α (GSI=55-100)	Σήραγγα Κνημίδας	II	676	4292,84	5403,74	6646,60
	Σήραγγα Πλατάνου	I	586	3,979.00	4,777.78	5,876.67
Μέσο Κόστος (€/μ.μ.) Κατηγορίας Α				4.135,92	5090,76	6261,64
Β (GSI=35-55)	Σήραγγα Ραγομμάτη	IIα	570	3.389,51	6025,25	7200
	Σήραγγα Αγίας Κυριακής	II	61	8862,26	11191,65	13765,73
	Σήραγγα Κνημίδας	III _A	309,64	5665,12	7298,68	8977,38
		III _B	1606,45	5917,70	7624,01	9377,53
		III _Γ	1715,91	6196,18	7982,75	9818,83
Σήραγγα Πλατάνου	II	757	7,503.80	9,160.26	11,267.11	
Μέσο Κόστος (€/μ.μ.) Κατηγορίας Β				7503,80	9160,26	9233,56
Γ (GSI=15-35)	Σήραγγα Ραγομμάτη	IIβ	300	3667,84	6391,95	7637,84
		IIγ	300	3942,84	6945,81	8299,66
	Σήραγγα Αγίας Κυριακής	III	741	8923,09	11510,79	14158,27
		IV	237	7865,92	10225,69	12577,60
	Σήραγγα Κακιάς Σκάλας	ΔΑ(ΛΕΑ)3α	8,470	10723,85	13265,90	15851,63
		ΔΑ(ΛΕΑ)3β	475,60	16304,10	20112,96	24033,28
	Σήραγγα Κνημίδας	IV _A	401,80	7107,14	9221,87	11342,90
		IV _B	65,36	7392,70	9592,40	11798,65
		IV _Γ	511,95	8204,54	10645,81	13094,35
Σήραγγα Πλατάνου	III	85	12,317.24	15,173.73	18,663.68	
Μέσο Κόστος (€/μ.μ.) Κατηγορίας Γ				12317,24	15173,73	18663,68

Δ (GSI=<15)	Σήραγγα Ραγομμάτη	IIIα	34	5586,79	8352,29	10273,32	
	Σήραγγα Άγιου Ηλίας	Εβαπορίτες	153	13102,26	14448,58	17264,83	
	Σήραγγα Κακιάς Σκάλας	ΔΑ(ΛΕΑ)4Α	150,58	24341,74	28439,05	33982,25	
	Σήραγγα Κνημίδας	V	72	12906,84	16747,28	20599,79	
	Σήραγγα Πλατάνου	IV	85	10,782.48	13,283.05	16,338.15	
Μέσο Κόστος (€/μ.μ.) Κατηγορίας Δ				13344	16254	19691,67	
Ε (GSI<15,Εδαφικός σχηματισμός)	Σήραγγα Άγιου Ηλίας	Δ1	140	15030,48	18033,79	21548,87	
		Δ5	153	17578,79	28346,08	33871,16	
		Δ6		15753,16	25705,09	30715,40	
	Σήραγγα Πλατάνου	V	40	10,770.30	13,055.44	16,058.19	
		VI με βήμα διάνοιξης 1,25m	83	13,200.62	15,749.69	19,372.12	
		VI με βήμα διάνοιξης 1 m	166	16,896.54	20,524.63	25,245.30	
		VII	249	9,172.20	11,033.56	13,571.28	
		VIII	274	12,002.49	14,480.80	17,811.38	
		Σήραγγα Τράπεζας	I	542	4,755.32	5,786.53	7,117.43
			II	1085	8,122.59	9,764.54	12,010.39
	III		813	11,436.38	13,788.77	16,960.19	
	IV		271	11,987.29	14,462.47	17,788.84	
	Μέσο Κόστος (€/μ.μ.) Κατηγορίας Ε				10927,08	13192,86	16215,01

(Πηγή: Παρασκευοπούλου, 2011 με προσθήκη νέων στοιχείων και επεξεργασία του συγγραφέα)

Στη συνέχεια στους Πίνακες 28 και 29 παρουσιάζεται το μέσο κόστος ανά κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης (€/m³), μετά και προ Ο.Ε & Γ.Ε. και στο Σχήμα 26 παρουσιάζεται το αντίστοιχο μέσο αναθεωρημένο κόστος χωρίς Ο.Ε & Γ.Ε. και ΦΠΑ. Επίσης, στο Σχήμα 27 παρατίθεται η σχέση μεταξύ του μέσου αναθεωρημένου κόστους διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης (€/m³), χωρίς Ο.Ε & Γ.Ε. και ΦΠΑ, με το δείκτη GSI.

Πίνακας 28. Μέσο κόστος ανά κυβικό μέτρο (€/m³) ανά κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης στις 7 υπό μελέτη σήραγγες (οι τιμές περιλαμβάνουν Ο.Ε. & Γ.Ε. 18%)

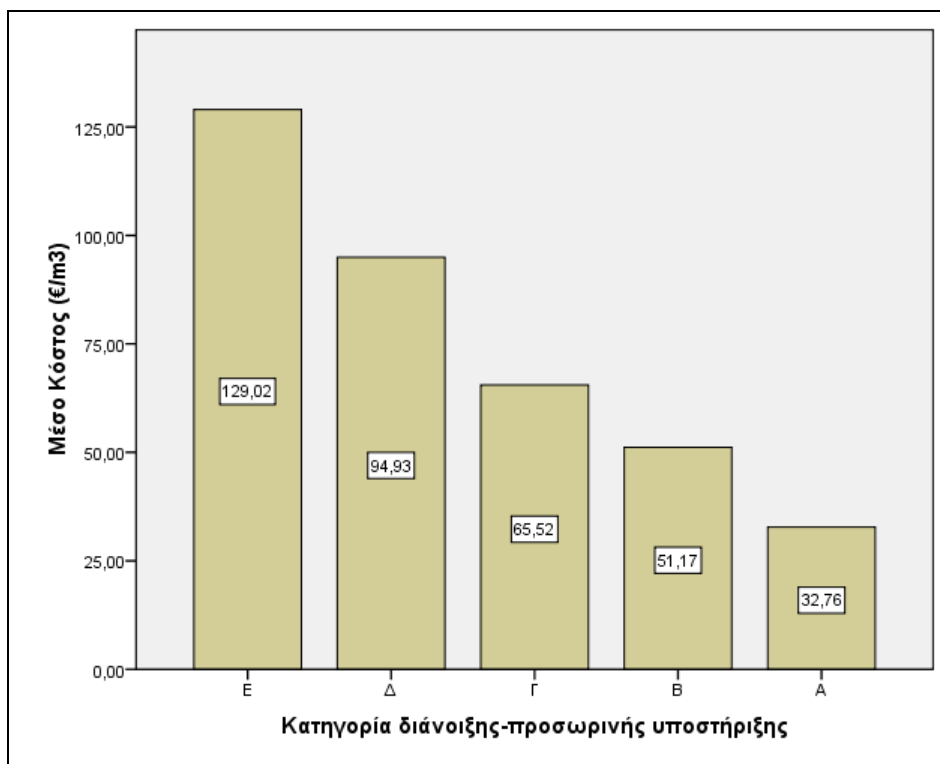
Μέσο Κόστος (€/m ³) ανά κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης	Κόστος (€/m ³) χωρίς ΦΠΑ	Αναθεωρημένο Κόστος (€/m ³) χωρίς ΦΠΑ
Κατηγορία Α	32	39
Κατηγορία Β	46	56
Κατηγορία Γ	59	77
Κατηγορία Δ	88	111
Κατηγορία Ε	84	139

(Πηγή: Παρασκευοπούλου, 2011 με προσθήκη νέων στοιχείων και επεξεργασία του συγγραφέα)

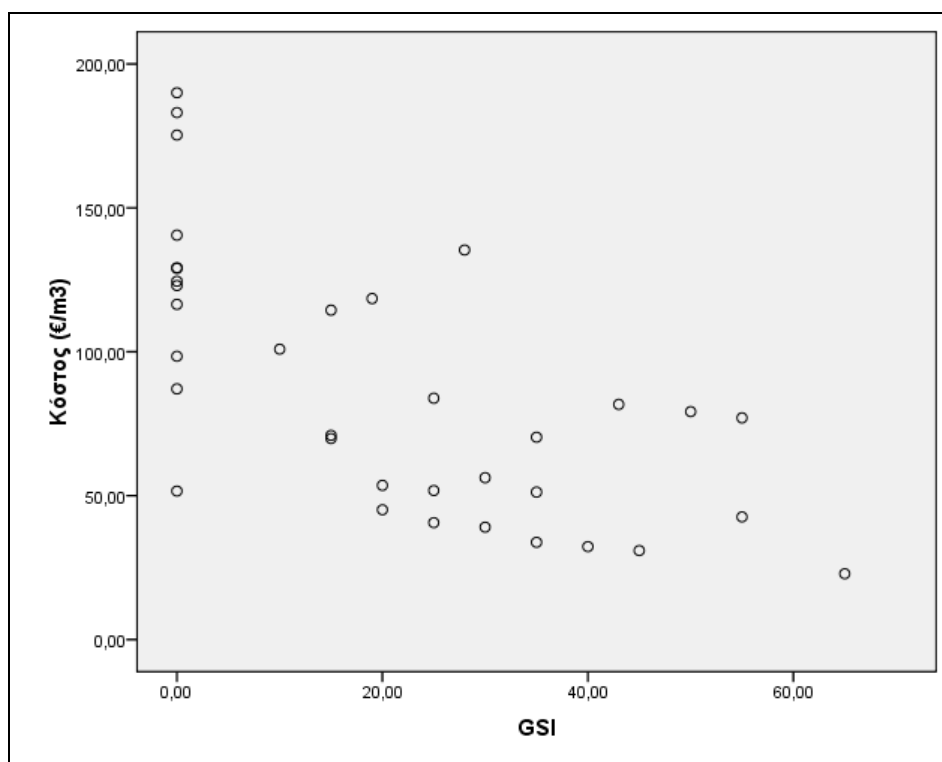
Πίνακας 29. Μέσο κόστος ανά κυβικό μέτρο (€/m³) ανά κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης στις 7 υπό μελέτη σήραγγες (οι τιμές δεν περιλαμβάνουν Ο.Ε. & Γ.Ε. 18%)

Μέσο Κόστος (€/m ³) ανά κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης	Κόστος (€/m ³) χωρίς ΦΠΑ	Αναθεωρημένο Κόστος (€/m ³) χωρίς ΦΠΑ
Κατηγορία Α	26	32
Κατηγορία Β	38	46
Κατηγορία Γ	48	63
Κατηγορία Δ	72	91
Κατηγορία Ε	69	114

(Πηγή: Παρασκευοπούλου, 2011 με προσθήκη νέων στοιχείων και επεξεργασία του συγγραφέα)



Σχήμα 26. Μέσο κόστος ανά κατηγορία διάνοιξης-προσωρινής υποστήριξης - €/m³ χωρίς ΦΠΑ, Γ.Ε.&Ο.Ε.



Σχήμα 27. Κόστος διάνοιξης-προσωρινής υποστήριξης σχέση με το δείκτη GSI - €/m³ χωρίς ΦΠΑ, Γ.Ε.&Ο.Ε.

Στους Πίνακες 30 και 31 παρουσιάζεται το μέσο κόστος ανά κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ανά μέτρο μήκους (€/μ.μ.), μετά και προ Ο.Ε & Γ.Ε. και στο Σχήμα 28 παρουσιάζεται το αντίστοιχο μέσο αναθεωρημένο κόστος χωρίς Ο.Ε & Γ.Ε. και ΦΠΑ. Επιπλέον, στο Σχήμα 29 παρατίθεται η σχέση μεταξύ του μέσου αναθεωρημένου κόστους διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης (€/μ.μ.), χωρίς Ο.Ε & Γ.Ε. και ΦΠΑ, με το δείκτη GSI.

Πίνακας 30. Μέσο κόστος ανά μέτρο μήκους (€/μ.μ.) ανά κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης στις 7 υπό μελέτη σήραγγες (οι τιμές περιλαμβάνουν Ο.Ε. & Γ.Ε. 18%)

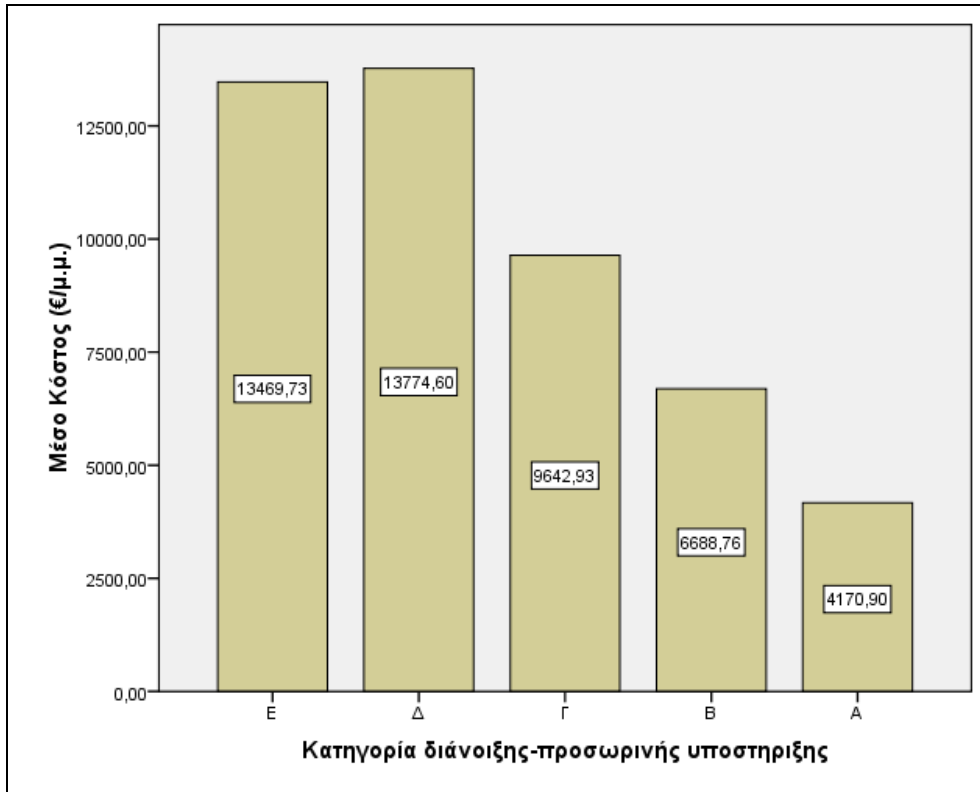
Μέσο Κόστος (€/m³) ανά κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης	Κόστος (€/μ.μ.) χωρίς ΦΠΑ	Αναθεωρημένο Κόστος (€/μ.μ.) χωρίς ΦΠΑ
Κατηγορία Α	4.136	5.091
Κατηγορία Β	7.504	9.160
Κατηγορία Γ	12.317	15.174
Κατηγορία Δ	13.344	16.254
Κατηγορία Ε	10.927	13.193

(Πηγή: Παρασκευοπούλου, 2011 με προσθήκη νέων στοιχείων και επεξεργασία του συγγραφέα)

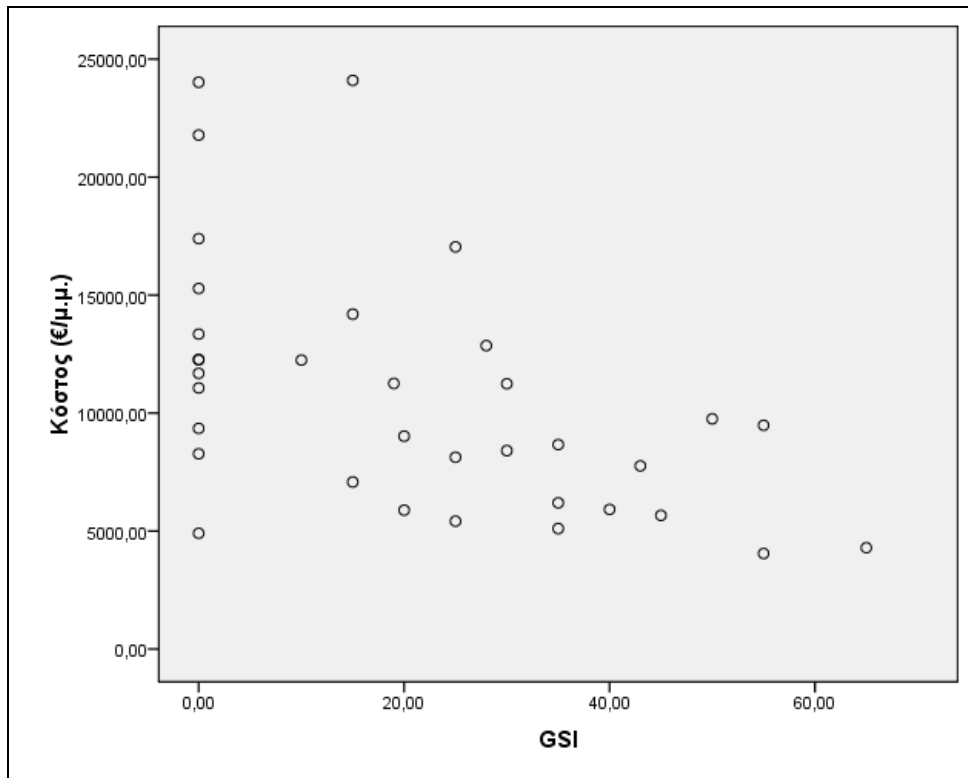
Πίνακας 31. Μέσο κόστος ανά μέτρο μήκους (€/μ.μ.) ανά κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης στις 7 υπό μελέτη σήραγγες (οι τιμές δεν περιλαμβάνουν Ο.Ε. & Γ.Ε. 18%)

Μέσο Κόστος (€/m³) ανά κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης	Κόστος (€/μ.μ.) χωρίς ΦΠΑ	Αναθεωρημένο Κόστος (€/μ.μ.) χωρίς ΦΠΑ
Κατηγορία Α	3.391	4.175
Κατηγορία Β	6.153	7.511
Κατηγορία Γ	10.100	12.443
Κατηγορία Δ	10.942	13.328
Κατηγορία Ε	8.690	10.818

(Πηγή: Παρασκευοπούλου, 2011 με προσθήκη νέων στοιχείων και επεξεργασία του συγγραφέα)



Σχήμα 28. Μέσο κόστος ανά κατηγορία διάνοιξης-προσωρινής υποστήριξης - €/μ.μ. χωρίς ΦΠΑ, Γ.Ε.&Ο.Ε.



Σχήμα 29. Κόστος διάνοιξης-προσωρινής υποστήριξης σε σχέση με το δείκτη GSI- €/μ.μ. χωρίς ΦΠΑ, Γ.Ε.&Ο.Ε.

5.4.3 Διαμόρφωση μοντέλου εκτίμησης Κόστους Διάνοιξης και Προσωρινής Υποστήριξης

Προκειμένου να διερευνηθεί η συνδυαστική επίδραση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των σηράγγων και των χαρακτηριστικών της βραχώμαζας στο κόστος προσωρινής υποστήριξης και διάνοιξης σηράγγων, εξετάστηκαν γραμμικά και ημι-λογαριθμικά μοντέλα με εξαρτημένες μεταβλητές το κόστος ανά μ.μ. και ανά m^3 και ανεξάρτητες μεταβλητές την κατηγορία διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης, το δείκτη GSI και τη διατομή της σήραγγας. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στους ακόλουθους Πίνακες 32 και 33.

Πίνακας 32. Γραμμικά μοντέλα εκτίμησης κόστους χωρίς ΦΠΑ, Γ.Ε.&Ο.Ε.

Παράμετρος	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4
Σταθερά a	12757,795***	10115,215***	170,916***	150,505***
Κατηγορία διάνοιξης	-2940,724***	--	-22,718***	--
GSI	--	-171,245***	--	-,266***
Διατομή	38,688**	31,336*	-,208*	-1,319**
R ²	38,6%	29,9%	56,1%	48,9%
Αριθμός παρατηρήσεων	35	35	35	
Εξαρτημένη μεταβλητή	Κόστος/μ.μ.	Κόστος/μ.μ.	Κόστος/ m^3	Κόστος/ m^3

***: $p < 0,01$, **: $p < 0,05$, *: $p < 0,10$

Πίνακας 33. Ημιλογαριθμικά μοντέλα εκτίμησης κόστους χωρίς ΦΠΑ, Γ.Ε.&Ο.Ε.

Παράμετρος	Μοντέλο 5	Μοντέλο 6	Μοντέλο 7	Μοντέλο 8
Σταθερά a	9,423***	9,165***	5,464***	5,212***
Κατηγορία διάνοιξης	-,288***	--	-,280***	--
GSI	--	-,016***	--	-,016***
Διατομή	,003**	,003*	-,003**	-,004***
R ²	46,5%	34,8%	64,3%	56,5%
Αριθμός παρατηρήσεων	35	35	35	35
Εξαρτημένη μεταβλητή	ln(Κόστος/μ.μ.)	ln(Κόστος/μ.μ.)	ln(Κόστος/ m^3)	ln(Κόστος/ m^3)

***: $p < 0,01$, **: $p < 0,05$, *: $p < 0,10$

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα, από στατιστικής πλευράς η εκτίμηση του κόστους διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης είναι πιο ακριβής με βάση το κόστος ανά m^3 , σε όλα τα μοντέλα. Επίσης, τα ημιλογαριθμικά μοντέλα εμφανίζουν καλύτερο συντελεστή προσαρμογής, συγκρινόμενα με τα αντίστοιχα γραμμικά. Το βέλτιστο μοντέλο

εκτίμησης, με βάση τη στατιστική ερμηνεία, είναι το μοντέλο 8, το οποίο περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\ln \text{costcm} = 5,212 - 0,016\text{GSI} - 0,004\text{Sec} \text{ ή}$$

$$\text{costcm} = e^{5,512 - 0,016\text{GSI} - 0,004\text{Sec}} \text{ ή}$$

$$\text{costcm} = e^{5,512} e^{-0,016\text{GSI}} e^{-0,004\text{Sec}}$$

όπου: costcm = το κόστος διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ανά m^3

$\ln \text{costcm}$ = ο φυσικός λογάριθμος του κόστους διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ανά m^3

GSI = η τιμή του δείκτη GSI

Sec = η διατομή της σήραγγας

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μέχρι σήμερα εμπειρία, σε διεθνές επίπεδο, αποδεικνύει ότι τα υπόγεια τεχνικά έργα βρίσκονται αντιμέτωπα με μια σειρά γεωλογικών και άλλων κινδύνων. Η αβεβαιότητα ως προς τις γεωλογικές συνθήκες, η επικινδυνότητα του περιβάλλοντος εργασίας και άλλοι, απρόβλεπτοι συχνά, παράγοντες είναι οι βασικές παράμετροι που οδηγούν σε υπερβάσεις του εκτιμώμενου κόστους κατασκευής και του προγραμματιζόμενου χρονοδιαγράμματος. Σε αυτήν τη κατεύθυνση καταβάλλονται, τα τελευταία χρόνια, προσπάθειες για την αποτελεσματικότερη διαχείριση των κινδύνων αυτών. Σημαντικό ρόλο στην προσπάθεια αυτή διαδραματίζει και η εκτίμηση του κόστους του έργου, αξιοποιώντας τη σωρευμένη εμπειρία και γνώση σε συνδυασμό με μαθηματικά μοντέλα.

Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρεί να διερευνήσει το κόστος διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης σηράγγων στον ελλαδικό χώρο. Για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από πρόσφατη ερευνητική εργασία που εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Μεταλλευτικής Τεχνολογίας και Περιβαλλοντικής Μεταλλευτικής και νέα στοιχεία που συλλέχθηκαν από τις σήραγγες Πλατάνου και Γράπεζας.

Από την ανάλυση των δεδομένων προκύπτει ότι το κόστος διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης κυμαίνεται μεταξύ 32-114 €/m³ (χωρίς Ο.Ε. & Γ.Ε. και χωρίς ΦΠΑ) και 4.000 – 13.000 €/μ.μ. (χωρίς Ο.Ε. & Γ.Ε. και χωρίς ΦΠΑ), συναρτήσει της κατηγορίας της βραχόμαζας. Ωστόσο, το μεγάλο εύρος διακύμανσης και η υψηλή τυπική απόκλιση, ακόμη και μεταξύ σηράγγων που εντάσσονται στην ίδια κατηγορία από πλευράς βραχόμαζας, αναδεικνύουν ότι ο μεγάλος βαθμός αβεβαιότητας δεν σχετίζεται μόνο με τα χαρακτηριστικά του γεωλογικού περιβάλλοντος αλλά και με άλλους παράγοντες, ενδεχομένως και θεσμικής φύσεως.

Η διερεύνηση των στοιχείων με μοντέλα πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης επιβεβαιώνει την αρχική υπόθεση εργασίας περί σημαντικότητας των χαρακτηριστικών του γεωλογικού μέσου και της γεωμετρίας της εκσκαφής. Η ερμηνευτική ικανότητα του μοντέλου με τις δύο αυτές παραμέτρους ανέρχεται στο 60% περίπου. Αυτό οφείλεται, πέραν των παραγόντων που αναφέρθηκαν, και στο σχετικά μικρό αριθμό παρατηρήσεων

(35 συνολικά) που κατέστη εφικτό να χρησιμοποιηθούν. Συνεπώς, μελλοντικές ερευνητικές εργασίες με μεγαλύτερο πλήθος στοιχείων και επιπλέον παραμέτρους ενδέχεται να βελτιώσουν τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας.

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας παρέχουν στους ενδιαφερόμενους ένα μοντέλο εκτίμησης του κόστους διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης των σηράγγων στον ελληνικό χώρο. Το μοντέλο αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί ως βοήθημα στην προσπάθεια της καταρχήν εκτίμησης του εν λόγω κόστους, το οποίο αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή αβεβαιότητας και, ταυτόχρονα, το μεγαλύτερο τμήμα του συνολικού κόστους κατασκευής των έργων σηράγγων. Ωστόσο, θα απαιτηθούν επιπλέον προσπάθειες στο μέλλον για τη διαμόρφωση ενός αποτελεσματικότερου μοντέλου από πλευράς πρόβλεψης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

A. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Archibald , R. D., (2003) “Managing High Technology Programs and Projects”, Third Edition, John Wiley & Sons, New York.

Auvinet, G., (2002) “Sixteenth Nabor Carrillo Lecture” Delivered at the 21st National Meeting of the Mexican Society for Soil Mechanics in Querétaro, Mexico. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.

Auvinet G. and Medina, Z., (1998) “Geostatistical analysis of the soil data on the site of the Rion-Antirion Bridge”. Final report from the Institute of Engineering, National University Autonomous of Mexico to Geodynamique et Structure, France.

Auvinet, G. and Juarez, M., (2002) “Characterization and Simulation of Mexico Valley Subsoil, International conference IASTE 2002, Modeling and Simulation, Marina del Rey California, USA.

Bari, N.A.A., (2008). “Exploring the types of construction cost modeling for IBS projects in Malaysia”, Malaysia.

Bell ,T.E. , (1989) “Special Report on Designing and Operating A Minimum-Risk System” , Vol. 26,IEEE Spectrum.

Cassagrande, A. (1965) “Role of the “Calculated Risk” in earthwork and foundation engineering”. The Terzaghy Lecture. Journal of Soil Mechanics and Foundations Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Vol. 91, No. SM4.

Christian, J. T., (2004) “Geotechnical Engineering Reliability: How Well Do We Know What We are Doing?”. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 130, No. 10 985-1003 ASCE .

Clayton C. R. I., Simons, N. E. and Instone S. J., (1988) “Research on dynamic penetration testing in sands”. Proceedings of the 1st International Conference on Penetration Testing, ISOPT 1, Florida.

Deutsch, C.V., and Journel, A.G., (1998). GSLIB Geostatistical software library. Oxford University Press, Oxford, N.Y.

Dougherty, E.M. and J.R. Fragola, (1988) “Human Reliability Analysis”, John Wiley and Sons, New York.

Flyvbjerg B., (2003) “Megaprojects and Risks: An Anatomy of Ambition”, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.

Flyvbjerg B., Mette Skamris Holm, and Søren Buhl, (2003) "What Causes Cost Overrun in Transport Infrastructure Projects?", Department of Development and Planning, Aalborg University, Aalborg, Denmark.

Flyvbjerg B., Mette Skamris Holm, and Søren Buhl, (2002) "Underestimating Costs in Public Works Projects: Error or Lie" Journal of the American Planning Association, Vol. 68, No. 3.

General Electric Corporation, (1983) "Guidelines for Use of Program/Project Management in Major Appliance Business Group", in D.J. Cleland and W.R. King (Editors), System Analysis and Project Management, McGraw Hill, New York.

Haykin, S., (1999) "Neural Networks: A Comprehensive Foundation", Prentice Hall, ISOPT 1, Florida.

Kaplan, S. and B.J. Garrick, (1981) "On the Quantitative Definition of Risk", Risk Analysis, Vol.1, No.1, pp.1-23.

Kim, Yoon, An, Cho, Kang, (2004) "Neural network model incorporating a genetic algorithm in estimating construction cost, Building and Environment 39".

Klien, S., (2004) "Risk costs as real project costs". Tunnels and Tunnelling North America.

Kumamoto, H. and E.J. Henley, (2001) "Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists", Second Edition, Wiley and Sons, New York.

Lacasse, S. and Nadim, F., (1996) "Uncertainties in characterizing soil properties" Uncertainty in the Geologic Environment, GSP No. 58, ASCE, pp.49-75.

Lane, D., (2003) "Risk management a practical view" Tunnels & Tunnelling International, December, pp.41-43.

Moore J. H., and Weatherford I. R., (2001) "Decision Modeling" Prentice Hall.

NRC, (1984) "Geotechnical Site Investigation for underground projects" US National Committee on tunneling Technology, Vol1. National Research Council, National Academy Press, Washington.

Peck R.B., (1969) "Advantages and limitations of the observational method in applied soil mechanics". Geotechnique, 19, No. 2, 171-187. ICE, UK.

Pinto, J.K., (2002) "Project Management 2002". Research Technology Management, Vol.45, No2, pp.22-37.

Pinto, J.K., and S.P. Slevin, (1987) "Critical Factors in Successful Project Implementations", IEEE Transactions On Engineering Management, Vol. EM-34, No1, pp 22-27.

- Powderham, A. M., (1998) "The Observational Method Application through Progressive modification". Civil Engineering Practice.
- Reilly, J. and Brown, J., (2004) "Management and Control of Cost and Risk for Tunneling an Infrastructure Projects" Tunneling and Underground Space Technology.
- Shtub A., Bard J.F., Globerson S.,(2005) "Project Management, Processes, Methodologies, and Economics" Pearson Education.
- Terzaghi K. and Peck R. B., (1948) "Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley, New York.
- Vanmarcke, E. H., (1977) "Reliability of earth slopes" J. Geotechnical engineering ASCE 103(11), 1227-1246.
- Wassmer, L. Treceno, O. and Andreossi, E , (2001) "Tunnel Boring Machine (TBM) applications in soft ground conditions". IMIA WGP18, Sydney.
- Wheeler, P. (1999). "Scattering predictions—Imperial College predictions- competition shows pile design remains a big uncertainty." New Civil Engineer, Dec., No 34.
- Woods, E. (2002) "Insuring an Industry". Tunnels & Tunnelling International.

B. Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αναγνωστόπουλος, Π., (2009) “Προκοστολόγηση Έργων - Αυξομειώσεις Ποσοτήτων”, Αθήνα.
- Γίτσης, Α., (2001) “Μέθοδοι και προβλήματα Προκοστολόγησης και παρακολούθησης του πραγματικού Κόστους Τεχνικών Έργων στα Ελληνικά Τεχνικά Έργα”, Ε.Μ.Π.
- Καστρινάκης, Α., (2002) “Διεύθυνση Κατασκευαστικών Τεχνικών Έργων” .
- Μπενάρδος, Α., Καλιαμπάκος, Δ., (2010) “Σημειώσεις μαθήματος Μηχανικών Μεταλλείων –Μεταλλουργών: Υπόγεια Έργα”, Ε.Μ.Π.
- Παρασκευοπούλου, Χ., (2011) “Ανάλυση Κόστους Εκσκαφής και Προσωρινής Υποστήριξης ελληνικών Οδικών Σηράγγων”, Μεταπτυχιακή Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Παυλάτος, Ο., (2006) “Λογιστική του Κόστους-Κοστολόγηση Αναλυτική Λογιστική”, Σχολή Διοίκησης και Οικονομίας Επιχειρήσεων, Τ.Ε.Ι. Χαλκίδας.
- Χαραλαμπίδης, Ι., (2009) “Χρηματοοικονομική Λειτουργία-Αρχές Κοστολόγησης”, Σημειώσεις μαθήματος: Οικονομικές, Εμπορικές και Παραγωγικές Λειτουργίες Επιχείρησης, Τμήμα Μηχανικών και Πληροφοριακών Συστημάτων, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.