



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Δ.Π.Μ.Σ. «ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΙ
ΑΝΟΙΧΤΗΣ ΟΔΟΥ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Νικόλαου Χ. Παπαχαραλάμπους

Επιβλέπων: Ανδρέας Μπενάρδος

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2018



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Δ.Π.Μ.Σ. «ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΙ
ΑΝΟΙΧΤΗΣ ΟΔΟΥ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Νικόλαου Χ. Παπαχαραλάμπους

Επιβλέπων: Ανδρέας Μπενάρδος

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2018

Πρόλογος

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

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

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω το φίλο και συνάδελφο Λουκά Λιώρη, για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε, και τις χρήσιμες συμβουλές του, κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

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

Περίληψη

Θέμα της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι η οικονομοτεχνική αξιολόγηση έργων υποδομής. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται η παρουσίαση των στοιχείων που συνθέτουν τα κόστη και τα οφέλη τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων χαράξεων εθνικών αυτοκινητοδρόμων, και επιχειρείται η σύγκριση αυτών.

Η εργασία αποτελείται από τρία μέρη. Στο πρώτο μέρος παρουσιάζονται διάφορες μέθοδοι οικονομικής αξιολόγησης επενδύσεων, με ιδιαίτερη έμφαση να δίδεται σε αυτές που θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα εργασία.

Στο δεύτερο μέρος, γίνεται μια εκτενέστερη παρουσίαση του κόστους ζωής των οδικών έργων. Λόγω της φύσης των έργων αυτών, αναλύεται εκτός από το άμεσα οικονομικό κόστος, το έμμεσα οικονομικό ή μη οικονομικό κόστος τους. Στη συνέχεια, η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στο κόστος κατασκευής και συντήρησης των δύο πιθανών σεναρίων. Ακόμη, πραγματοποιείται η αντίστοιχη παρουσίαση και ανάλυση των ωφελειών που δύναται να προσφέρουν οι δύο πιθανές λύσεις, τόσο για τα οικονομικά οφέλη, όσο και για τα μη μετρήσιμα με οικονομικούς όρους οφέλη.

Στο τρίτο και τελευταίο μέρος της εργασίας, καταστρώνεται το πλαίσιο εντός του οποίου θα γίνει η ανάλυση, με την επιλογή των κατάλληλων τιμών και παραμέτρων, που καθορίζουν το κόστος ενός οδικού έργου. Ακόμη, επιχειρείται η οικονομική αξιολόγηση του επενδυτικού σχεδίου με τη χρήση σχετικών κριτηρίων (NPV) και με μεταβλητή ποσότητα αυτή του κυκλοφοριακού φόρτου. Έτσι, αναδεικνύεται το κατά περίπτωση όφελος της μίας λύσης έναντι της άλλης καθώς και η ευαισθησία συνολικά της επένδυσης στις μεταβολές του κυκλοφοριακού φόρτου μεταξύ των δύο σεναρίων. Ακόμα υπολογίζεται το σημείο ισορροπίας των δύο λύσεων ως προς την χιλιομετρική τους σχέση.

Abstract

The subject of this master's thesis is the technical and financial analysis of infrastructure projects. In particular, the data that compose the costs of both surface and underground mapping of national highways are presented and a comparison of them is made.

The thesis consists of three parts. The first part presents various methods of financial evaluation of investments, with particular emphasis on those that will be used.

In the second part, a more extensive presentation of infrastructure costs is made. Due to the nature of these projects, apart from direct financial costs, the non-financial costs of the project are analyzed. Subsequently, this paper focuses on the construction and maintenance cost of the two possible mapping solutions. Furthermore, a corresponding presentation and analysis of the benefits that the two possible solutions can provide, as well as the economic and the non-economic benefits are presented.

In the third and final part, a framework is developed where the analysis will be made by assessing the appropriate values and parameters that determine the costs and benefits of a road project. Also, the investment is evaluated by using relevant criteria (NPV) with a standard variation of the traffic load. These methods show the case-by-case profitability of the project and the sensitivity of the investment to traffic is proved. Yet, the balance point of the kilometric relationship between tunnel and open road is calculated.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	i
Περίληψη.....	iii
Abstract	v
Ευρετήριο εικόνων.....	ix
Ευρετήριο πινάκων	ix
Ευρετήριο διαγραμμάτων	x
1. Εισαγωγή	1
1.1 Σημασία χρήσης αυτοκινητοδρόμων	1
1.2 Οι σήραγγες στα οδικά έργα.....	4
1.3 Διαφορά κόστους σηράγγων – ανοιχτού δρόμου	5
1.4 Στόχος της εργασίας.....	8
2. Οικονομική ανάλυση των έργων	11
2.1 Ορισμοί και βασικοί δείκτες αξιολόγησης επενδύσεων	11
2.1.1 Βασικοί ορισμοί.....	12
2.1.2 Μελλοντική και παρούσα αξία ποσού	12
2.1.3 Επιτόκιο προεξόφλησης.....	14
2.1.4 Η σημασία του πληθωρισμού	14
2.1.5 Κριτήρια αξιολόγησης επενδυτικών σχεδίων	17
2.2 Κόστος.....	20
2.3 Όφελος.....	26
2.3.1 Ανάλυση Κόστους – Οφέλους (CBA).....	27
3. Κόστος Ζωής Έργου	31
3.1 Οικονομικό κόστος έργου	31
3.2 Μη Οικονομικό Κόστος Έργου	33
3.3 Κόστος Ανοιχτού Δρόμου	35
3.3.1 Κόστος κατασκευής ανοιχτού δρόμου	35
3.3.2 Κόστος συντήρησης – λειτουργίας ανοιχτού δρόμου	37
3.4 Κόστος σηράγγων.....	39
3.4.1.Κόστος κατασκευής σήραγγας	40
3.4.2 Κόστος συντήρησης – λειτουργίας σήραγγας.....	45
4. Όφελος έργου	53
4.1 Όφελος από την εξοικονόμηση του χρόνου μετακίνησης.....	54

4.2 Όφελος από τη μείωση του κόστους χρήσης οχημάτων.....	55
4.3 Όφελος από τη μείωση των ατυχημάτων.....	56
4.4 Λοιπά Οφέλη.....	58
5. Επιλογή τιμών και παραμέτρων.....	59
5.1 Διάρκεια έργου – Επιτόκιο προεξόφλησης.....	59
5.2 Κόστος κατασκευής ανοιχτού δρόμου.....	61
5.3 Κόστος κατασκευής σήραγγας.....	62
5.4 Κόστος λειτουργίας – συντήρησης ανοιχτού δρόμου (παρακαμπτήριου τμήματος).....	64
5.5 Κόστος λειτουργίας – συντήρησης σήραγγας.....	66
5.6 Φόρτος κυκλοφορίας.....	67
5.7 Σύνθεση και αύξηση της κυκλοφορίας.....	70
5.7.1 Σύνθεση κυκλοφοριακού φόρτου.....	71
5.7.2 Μεταβολή της κυκλοφορίας.....	74
5.8 Αριθμός χρηστών.....	76
5.9 Μέση ταχύτητα κίνησης.....	77
5.10 Κόστος διοδίων.....	78
5.11 Όφελος μείωσης του λειτουργικού κόστους οχημάτων.....	78
5.12 Όφελος μείωσης των ατυχημάτων.....	80
5.13 Όφελος εξοικονόμησης χρόνου χρηστών.....	82
5.14 Υπολειμματική Αξία Έργου.....	84
6. Αποτελέσματα σύγκρισης των σεναρίων.....	85
6.1 Δεδομένα ανάλυσης.....	86
6.2 Αποτελέσματα ανάλυσης.....	91
6.2.1 Σενάριο 1 – Ανοιχτός δρόμος.....	91
6.2.2 Σενάριο 2 – Σήραγγα.....	92
6.2.7 Συγκριτική ανάλυση κόστους - οφέλους.....	93
6.3 Σημείο ισορροπίας της χιλιομετρικής σχέσης.....	95
7. Συμπεράσματα.....	97
Βιβλιογραφία.....	99

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1: Έρευνες δείχνουν πως τα έξοδα που αφορούν τη λειτουργία ενός έργου μπορούν να ξεπεράσουν τα 2/3 του συνολικού κόστους του έργου	22
Εικόνα 2: Κατανομή Ε.Μ.Η.Κ. κατά μήκος της Εγνατίας Οδού (2015).....	68

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1 : Σχέση κόστους υπογείων έργων με ανοιχτό δρόμο (Godard, 1989).....	6
Πίνακας 2: Πίνακας εξέλιξης ετήσιων μεταβολών ΔΚΤ (ΕΛΣΤΑΤ, 2018)	16
Πίνακας 3: Αντιστοίχιση GSI με Κατασκευαστικό κόστος (Παρασκευοπούλου και Μπενάρδος, 2012)	44
Πίνακας 4: Συσχέτιση GSI με μέτρα προχώρησης και κυβικά εξορυγμένου υλικού Αντιστοίχιση GSI με Κατασκευαστικό κόστος (Παρασκευοπούλου και Μπενάρδος, 2013)	45
Πίνακας 5: Ετήσιο κόστος σήραγγας ανά έτος με βάση το μήκος της	67
Πίνακας 6: Ε.Μ.Η.Κ. ανά τμήματα της Εγνατίας Οδού (2009-2013)	69
Πίνακας 7: Σύνθεση κυκλοφορίας Εγνατίας οδού (2009-2013).....	73
Πίνακας 8: Τιμές κόστους ανά διανυθέν χιλιόμετρο	79
Πίνακας 9: Τιμές αξίας χρόνου που υιοθετήθηκαν σε προηγούμενες μελέτες της ΕΟΑΕ	83
Πίνακας 10: Τιμές αξίας χρόνου ανά σκοπό και διάρκεια μετακίνησης (Ελλάδα - 2002).....	83
Πίνακας 11: Στοιχεία οχημάτων & επιβατών	86
Πίνακας 12: Σταθερά δεδομένα ανάλυσης.....	87
Πίνακας 13: Συγκεντρωτικός πίνακας τιμών κόστους ανάλυσης.....	90
Πίνακας 14 : Κόστος (€/km) των δύο σεναρίων ανά κατηγορία για κάθε Ε.Μ.Η.Κ.	93
Πίνακας 15 : Συνολικό κόστος (€/km) κάθε σεναρίου για κάθε Ε.Μ.Η.Κ.	94
Πίνακας 16 : Λόγος σημείου ισορροπίας ανοιχτού δρόμου - σήραγγας για κάθε Ε.Μ.Η.Κ.	96

Ευρετήριο διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1 : Ποσοστιαία σχέση μήκους έργων και κόστους Εγνατίας Οδού (Λαμπρόπουλος, 2007)	7
Διάγραμμα 2 : Κατανομή κόστους Εγνατίας Οδού (Λαμπρόπουλος, 2005)	41
Διάγραμμα 3 : Κόστος ανοιχτού δρόμου(€/km) ανά Ε.Μ.Η.Κ.....	91
Διάγραμμα 4 : Κόστος σήραγγας (€/km) ανά Ε.Μ.Η.Κ.	92
Διάγραμμα 5 : Όφελος (€/km) ανοιχτού δρόμου έναντι σήραγγας ανά Ε.Μ.Η.Κ. (για 1 km κατασκευής)	95

1. Εισαγωγή

Οι μεταφορές διαχρονικά αποτελούν ένα αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινής ζωής του ανθρώπινου είδους. Για χιλιάδες χρόνια, ο άνθρωπος μετακινούνταν πεζός, έτσι ώστε να εξασφαλίσει την επιβίωση του. Σύντομα όμως, αναγκάστηκε να επιστρατεύσει την ανθρώπινη σκέψη και εργασία, λόγω των περιορισμών που έθεταν οι φυσικές του δυνάμεις στις ανάγκες της μετακίνησης ως προς την ταχύτητα, την απόσταση αλλά και στο επιπλέον βάρος που μπορούσε να κουβαλήσει.

Έτσι, οι ανάγκες αυτές, οδήγησαν στην εξεύρεση λύσεων για την ικανοποίηση αυτών. Ξεκινώντας από τη χρήση ζώων και απλών πλοιαρίων, οδηγήθηκε στην επιινόηση του τροχού και του πανιού, στη χρήση του ατμού και του ηλεκτρισμού, για να φτάσει μέχρι σήμερα, στην κατασκευή των γνωστών μας, σύγχρονων μεταφορικών μέσων.

Παράλληλα όμως με την εξέλιξη των μέσων μετακίνησης, χρειάστηκε και η ανάπτυξη των αντίστοιχων υποδομών, για την μεγιστοποίηση της απόδοσης αυτών. Αρχικά, ο άνθρωπος για τις μετακινήσεις του ακολουθούσε τη ροή των ποταμών ή άλλων φυσικών διαβάσεων. Οι ανάγκες του όμως επέβαλαν την αξιοποίηση της σκέψης και της εργασίας για την κατασκευή έργων υποδομής. (Λιώρης & Παπαχαραλάμπους, 2015)

1.1 Σημασία χρήσης αυτοκινητοδρόμων

Η σημασία των – οδικών κυρίως - έργων υποδομής αναδεικνύεται σήμερα τόσο από τη ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού καθώς και των συνεχώς αυξανόμενων αναγκών για αγαθά, μετακίνηση και επικοινωνία. Αυτά αποτελούν σημαντικό παράγοντα στον καθορισμό της ανάπτυξης και της ανταγωνιστικότητας μιας κοινωνίας καθώς και στο βιοτικό επίπεδο των μελών της, είτε πρόκειται για έργα εθνικής εμβέλειας, είτε για διεθνείς συμπράξεις.

Έχει αποδειχθεί ότι η αποκεντρωμένη ανάπτυξη συμβάλλει δυναμικά στην υλοποίηση της αναγκαίας αλλαγής της οργάνωσης των κοινωνιών, η οποία αποτελεί προϋπόθεση για την επιτυχή αντιμετώπιση της αυξανόμενης πολυπλοκότητας του διεθνούς ανταγωνισμού (Καλτσούνης, 2007).

Έπειτα από ευρήματα μελετών πως η έλλειψη των κατάλληλων υποδομών είχε επίδραση στην παγκόσμια οικονομική ύφεση τη δεκαετία του '80, και όπως αυτό περιγράφεται στη Λευκή Βίβλο της Ε.Ε. (1994), τόσο η Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και οι υπόλοιπες μεγάλες παγκόσμιες οικονομίες (Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, Κίνα, Ιαπωνία, κ.τ.λ.) έστρεψαν το ενδιαφέρον τους για επενδύσεις στην ανάπτυξη των οδικών δικτύων. Με αυτόν τον τρόπο, πραγματοποιήθηκε η δημιουργία διεθνών σχέσεων αλληλοτροφοδότησης, επιτρέποντας έτσι την περαιτέρω κοινωνικοοικονομική τους ανάπτυξη. Συγκεκριμένα, εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, έγινε συγκροτημένη προσπάθεια για τη δημιουργία διευρωπαϊκών οδικών δικτύων, τα οποία οδήγησαν και συνεχίζουν να συντελούν στην βελτίωση της οικονομίας αλλά και των συνθηκών διαβίωσης.

Έτσι, πραγματοποιήθηκε και η αντίστοιχη ανάπτυξη στον Ελλαδικό χώρο, καθώς τις τελευταίες δύο δεκαετίες η δημιουργία νέων οδικών δικτύων ακολούθησε ανοδική πορεία. Την περίοδο αυτή, σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν, ή βρίσκονται ακόμα σε φάση κατασκευής, μεγάλοι οδικοί άξονες, οι οποίοι ενώνουν και εξυπηρετούν το μεγαλύτερο μέρος της ελληνικής επικράτειας.

Ο βασικός οδικός άξονας της Ελλάδος που υλοποιείται είναι ο Αυτοκινητόδρομος Π.Α.Θ.Ε. (Πάτρα – Αθήνα – Θεσσαλονίκη – Εύζωνοι) μήκους 780 χιλιομέτρων, του οποίου η κατασκευή και λειτουργία εν μέρει έχει παραχωρηθεί σε τέσσερις ιδιωτικές εταιρείες: την Αυτοκινητόδρομο Αιγαίου, την Κεντρική Οδό, την Νέα Οδό και την Ολυμπία Οδό. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο Π.Α.Θ.Ε. περιλαμβάνει τμήμα της Ευρωπαϊκής Διαδρομής E75. Το δυτικό κομμάτι της χερσαίας Ελλάδας διασχίζεται από την Ιόνια Οδό (Αυτοκινητόδρομος 5, A5), η οποία έχει 196 χιλιόμετρα. Ξεκινάει από το Ρίο Αχαΐας, διέρχεται βόρεια -κοντά από το Μεσολόγγι, το Αγρίνιο, την Αμφιλοχία, την Άρτα- και καταλήγει στα Ιωάννινα, όπου συνδέεται με την Εγνατία Οδό. Αποτελεί τμήμα της Ευρωπαϊκής

Οδού 55 (E55), από το Αντίρριο μέχρι και τον Α/Κ Αμβρακίας (κόμβος με αυτοκινητόδρομο 52 ή Α52). Από εκεί έως τη σύνδεσή του με την Εγνατία οδό, στον κόμβο Πεδινής, αποτελεί την Ευρωπαϊκή οδό 951 (E951). Η Ιόνια Οδός αποτελεί έναν ολοκληρωμένο αυτοκινητόδρομο, που εγκαινιάστηκε τον Σεπτέμβριο του 2017. Ο Αυτοκινητόδρομος Κεντρικής Πελοποννήσου (όπως είναι γνωστός ο Αυτοκινητόδρομος 7, κωδικός Α7), είναι ένας ολοκληρωμένος αυτοκινητόδρομος στην Ελλάδα. Ξεκινάει από την Ολυμπία Οδό (πλησίον της Κορίνθου) και καταλήγει στην πόλη της Καλαμάτας. Οι πόλεις που συνδέει είναι η Κόρινθος, η Τρίπολη, η Μεγαλόπολη και η Καλαμάτα. Το 2016 ολοκληρώθηκε, πρώτα με την παράδοση της γέφυρας Τσάκωνας, όλο το τμήμα του οδικού άξονα και έπειτα της παράκαμψης της Καλαμάτας, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας παραδόθηκε τον Νοέμβριο του 2016. Τέλος, η Εγνατία Οδός (Αυτοκινητόδρομος 2, Α2) είναι ο μεγαλύτερος αυτοκινητόδρομος της Ελλάδας με μήκος 670 χιλιόμετρα. Διασχίζει ολόκληρη τη βόρεια Ελλάδα, από τα δυτικά στα ανατολικά: ξεκινάει από την Ηγουμενίτσα στην Ήπειρο, διέρχεται από πολλές σημαντικές πόλεις της Μακεδονίας, με κυριότερη την Θεσσαλονίκη, δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Ελλάδας, συνεχίζει ανατολικά στην Θράκη, περνώντας από την Αλεξανδρούπολη, και καταλήγει στα Ελληνοτουρκικά σύνορα στους Κήπους στον ποταμό Έβρο. Η Εγνατία είναι μέρος της Ευρωπαϊκής Οδού 90 και η κατασκευή της ολοκληρώθηκε ως προς το κυριότερο μέρος της τον Ιανουάριο του 2009, ενώ τον Μάιο του 2014 ολοκληρώθηκε και τυπικά στο σύνολο της.

Βέβαια, η ανάπτυξη των οδικών δικτύων δεν περιορίστηκε μόνο στις Εθνικές (Ευρωπαϊκές) οδούς, αλλά παρόμοιες λύσεις αξιοποιήθηκαν και για την κατασκευή υπεραστικών οδών, με σκοπό την εξυπηρέτηση ή και παράκαμψη των αστικών κέντρων. Μια τέτοια περίπτωση είναι αυτή της Αττικής Οδού, η οποία διασχίζει το λεκανοπέδιο Αττικής, εκτονώνοντας την κίνηση του κέντρου της Αθήνας, παρέχοντας ασφάλεια και συνθήκες μετακίνησης υψηλών προδιαγραφών.

1.2 Οι σήραγγες στα οδικά έργα

Η ανάπτυξη των οδικών δικτύων παγκοσμίως στις περισσότερες περιπτώσεις έρχονται να αντικαταστήσουν παλαιότερες και τεχνολογικά ξεπερασμένες οδικές υποδομές. Ο σχεδιασμός των νέων οδικών έργων είχαν και έχουν σαν πρωτεύοντα σκοπό να δημιουργήσουν μια συντομότερη και οικονομικότερη διαδρομή από την ήδη υπάρχουσα, παρέχοντας συγχρόνως τη μέγιστη ασφάλεια.

Στα νέα αυτά οδικά δίκτυα, αναπόσπαστο κομμάτι του σχεδιασμού τους είναι τα ειδικά τεχνικά έργα, όπως είναι οι γέφυρες, οι σήραγγες ή και συνδυασμούς αυτών, τα οποία επιλέγονται κατά περίπτωση ανάλογα με την μορφολογία της περιοχής που διασχίζουν και τις απαιτούμενες προδιαγραφές. Με τη βοήθεια των ειδικών αυτών έργων, είναι δυνατή η προσπέλαση εμποδίων κατά μήκος της διαδρομής (ορεινοί όγκοι, κοιλάδες, ποτάμια, λίμνες, θάλασσα κ.τ.λ.), όπου είναι τεχνικά εφικτό, με απώτερο σκοπό τη συντομότερη διαδρομή. Ένας ακόμα παράγοντας που μπορεί να επιβάλλει την κατασκευή των παραπάνω τεχνικών έργων, είναι και η επίτευξη των απαιτούμενων προδιαγραφών του αυτοκινητοδρόμου, όπως είναι συγκεκριμένες κλίσεις, συγκεκριμένες καμπυλότητες ή κατάλληλο μήκος ευθύγραμμων οδικών τμημάτων, καθώς και επίτευξη ελάχιστων μέσων ταχυτήτων κίνησης.

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

Η κατασκευή υπόγειων στοών έχει τις ρίζες της στα μεταλλεία της λίθινης εποχής, ενώ οι πρώτες δίοδοι διέλευσης πεζών κατασκευάστηκαν για την πρόσβαση σε χώρους λατρείας θεών στη Μάλτα και την Αίγυπτο μεταξύ 3000 και 1000 π.Χ. Η πρώτη σήραγγα κάτω από ποτάμι κατασκευάστηκε το 2000 π.Χ. κάτω από τον ποταμό Ευφράτη, και είχε μήκος 1 χλμ. Η κατασκευή στη Σάμο, τον 6ο

αιώνα π.Χ., του μήκους ~1400m Ευπαλίνειου ορύγματος για την παροχέτευση νερού στην πόλη της Σάμου (Πυθαγόρειο), αποτελεί την πρώτη διάνοιξη σήραγγας από δύο στόμια, με συνάντηση στο μέσον της διαδρομής (Σταματιάδης, 1884).

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

1.3 Διαφορά κόστους σηράγγων – ανοιχτού δρόμου

Παρόλο που η χρήση τεχνικών έργων, όπως οι σήραγγες και οι γέφυρες, είναι απαραίτητη για την επίτευξη των επιθυμητών προτύπων και προδιαγραφών, υπάρχουν αντίστοιχα οικονομικοί περιορισμοί στον σχεδιασμό και στην κατασκευή των οδικών δικτύων. Το κόστος αυτών των έργων είναι πολύ υψηλότερο από το κόστος κατασκευής ενός συμβατικού αυτοκινητόδρομου ανά χιλιόμετρο κατασκευής, με αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση του προϋπολογισμού του οδικού δικτύου, ανάλογα με το ποσοστό συμμετοχής αυτών. Τα οικονομικά μεγέθη είναι δύσκολο να συγκριθούν, τόσο στην περίπτωση κατασκευής γέφυρας, όσο και στην περίπτωση της σήραγγας. Και οι δύο περιπτώσεις, σε σύγκριση με τον συμβατικό ανοιχτό αυτοκινητόδρομο, έχουν πολύ υψηλότερο κόστος κατασκευής καθώς και κόστος συντήρησης (Godard et al., 1989).

Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση κατασκευής σήραγγας, η πρώτη διαφορά στην οικονομική απαίτηση προσδιορίζεται αρχικά στη φάση του σχεδιασμού. Η φύση του έργου απαιτεί συλλογή και ανάλυση δεδομένων για την

καλύτερη κατανόηση των συνθηκών που θα προκύψουν κατά τη διάνοιξη. Οι εργασίες απαιτούν τη χρήση εξειδικευμένων μηχανημάτων και περισσότερων ανθρώπινων πόρων, ενώ η κατηγορία των απρόβλεπτων αναγκών είναι επίσης πιο δαπανηρή. Τέλος, οι αυξημένες απαιτήσεις για την ομαλή λειτουργία της σήραγγας, όπως ο φωτισμός, ο σωστός αερισμός, το σύστημα πυρόσβεσης και τα συστήματα παρακολούθησης αυτής, επιβαρύνουν το κόστος συντήρησης υπερβαίνοντας αρκετές φορές το αντίστοιχο ποσό συντήρησης του ανοικτού αυτοκινητοδρόμου για αντίστοιχα μήκη.

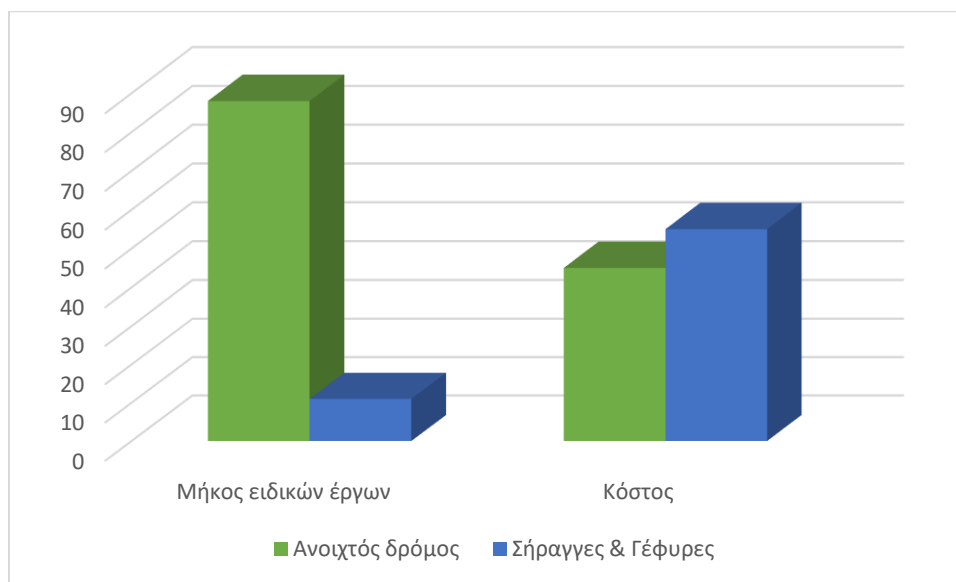
Σύμφωνα με συγκριτικές μελέτες, μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής των αυτοκινητοδρόμων στη Γαλλία, η οικονομική σχέση που δημιουργήθηκε από τη σύγκριση του ανοικτού δρόμου και της σήραγγας (Πίνακας 1) δείχνει ότι ανά χιλιόμετρο κατασκευής υπερβαίνει κατά 4,5 φορές το κόστος της ανοικτής οδού. Αυτή η σχέση αφορά παραδείγματα κατασκευής σήραγγας υπό ευνοϊκές συνθήκες, που επέτρεψαν την ομαλή λειτουργία των έργων σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό. Σε περιπτώσεις όπου οι αρχικές προβλέψεις είτε δεν είναι ευνοϊκές είτε δεν επαληθεύονται, αυτή η σχέση μπορεί να αλλάξει και το κόστος της σήραγγας να φτάσει έως και 6 φορές αυτό του αυτοκινητοδρόμου ανά χιλιόμετρο κατασκευής (Godard et al., 1989).

	Συνθήκες διάνοιξης	Σχετικό κόστος (λόγος ως προς τον δρόμο)
Cut & Cover	Ευνοϊκές	2 έως 3
	Αντίξοες	3 έως 6
Tunneling	Ευνοϊκές	3 έως 6
	Αντίξοες	6 έως 10

Πίνακας 1 : Σχέση κόστους υπογείων έργων με ανοιχτό δρόμο (Godard, 1989)

Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με την οικονομική σχέση που παρουσιάστηκε στατιστικά μετά την κατασκευή της Εγνατίας Οδού. Σε αυτό το

έργο, λόγω της ανακούφισης των περιοχών που διέσχισε, η κατασκευή της σήραγγας ήταν συνεχής. Δημιουργήθηκαν συνολικά 138 σήραγγες μήκους περίπου 100 km, εκ των οποίων η πλειοψηφία τους ενσωματώθηκε σε ένα μόνο κλάδο και αντιστοιχούσε σε 50 km αυτοκινητοδρόμου. Χαρακτηριστικό είναι ότι το κόστος του αυτοκινητόδρομου έφθασε τα 3,2€/km, ενώ το μέσο κόστος κατασκευής των σηράγγων ανήλθε στα 18€/km και μαζί με τα άλλα ειδικά τεχνικά έργα (π.χ. γέφυρες) της Εγνατίας Οδού σε 6,8€/km. (Διάγραμμα 1). Όπως φαίνεται από το Διάγραμμα 1, Αποτελώντας μόλις το 10% περίπου του μήκους του αυτοκινητόδρομου τα ειδικά τεχνικά έργα που απαιτήθηκαν για την ικανοποίηση των προδιαγραφών του αυτοκινητόδρομου απορρόφησαν περίπου τα μισά χρήματα που δαπανήθηκαν για την ολοκλήρωση του αυτοκινητοδρόμου (Λαμπρόπουλος, 2007).



Διάγραμμα 1 : Ποσοστιαία σχέση μήκους έργων και κόστους Εγνατίας Οδού (Λαμπρόπουλος, 2007)

Ένα άλλο δεδομένο δίνει η μελέτη των Πολύζου και Νάκα (2010) για την κατασκευή του Ε65 στην περιοχή της Θεσσαλίας. Το κόστος κατασκευής σήραγγας, λαμβάνοντας στατιστικά δεδομένα από την κατασκευή, ανέρχεται σε

27€/km. Αντίστοιχα, το κόστος κατασκευής ενός αυτοκινητοδρόμου εξαρτάται από τη μορφολογία της περιοχής και κυμαίνεται από 4 €/km έως 6€/km για πεδινές, ημιορεινές ή ορεινές εκτάσεις. Και σε αυτή την περίπτωση διαπιστώνεται ότι το κόστος κατασκευής σήραγγας υπερβαίνει κατά περίπου 6 φορές το κόστος του αυτοκινητόδρομου. Οι διαφορές που προέκυψαν από τη μελέτη για την Εγνατία Οδό οφείλονται κυρίως στη διαφορετική χρονική στιγμή κατά την οποία πραγματοποιήθηκαν οι μελέτες, αλλά και στο γεγονός ότι στην περίπτωση της Εγνατίας Οδού τα αποτελέσματα δεν συμπεριέλαβαν τον φόρο προστιθέμενης αξίας (Φ.Π.Α.).

1.4 Στόχος της εργασίας

Κατά τον σχεδιασμό ενός έργου μεγάλης κλίμακας, όπως ένας εθνικός αυτοκινητόδρομος, δύναται να τεθούν περιορισμοί τόσο από τη μορφολογία της περιοχής όσο και από την ανάγκη εξυπηρέτησης συγκεκριμένων περιοχών. Σε μια σε μια τέτοια περίπτωση, ο σχεδιασμός του έργου μπορεί να μην επιτρέπει εναλλακτικές προτάσεις χάραξης. Τότε, η κατασκευή ειδικών τεχνικών έργων, όπως είναι οι σήραγγες και οι γέφυρες, είναι απαραίτητη για την ολοκλήρωση του έργου και το κόστος τους δεν μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο διαπραγματεύσεως.

Σε πολλές περιπτώσεις, ωστόσο, οι σήραγγες αποτελούν την εναλλακτική λύση για την προσπέλαση εμποδίων κατά μήκος της χάραξης. Έναντι της σήραγγας, υπάρχει ο ανοικτός αυτοκινητόδρομος, η διαδρομή του οποίου αποφεύγει το εμπόδιο, δημιουργώντας όμως μια μεγαλύτερη σε μήκος διαδρομή. Στις περιπτώσεις αυτές, ο φορέας υλοποίησης του έργου πρέπει να αποφασίσει εάν η διάνοιξη μιας σήραγγας εξυπηρετεί το έργο οικονομοτεχνικά.

Με τη διευκρίνιση της διαφοράς κόστους για τις δύο προαναφερθείσες περιπτώσεις, γίνεται αντιληπτό πόσο κρίσιμο είναι, για τον επιτυχή σχεδιασμό και την ολοκλήρωση ενός αυτοκινητοδρόμου, η υιοθέτηση της καταλληλότερης κατά περίπτωση λύσης. Από τη μία πλευρά, η συνεχής πρόοδος της τεχνολογίας στον

τομέα των κατασκευών και, αφετέρου, η συνεχιζόμενη αύξηση του πληθυσμού που οδηγεί σε αυξημένες απαιτήσεις των χρηστών, αλλάζουν διαρκώς τα δεδομένα. Όλα αυτά πρέπει να ληφθούν υπόψη ώστε η σύγκριση των μεγεθών να είναι όσο το δυνατόν πιο ασφαλής και αξιόπιστη.

Οι οικονομικές συγκρίσεις, που καθορίζονται από τα πιθανά σενάρια, είναι κρίσιμες για την καταλληλότερη επιλογή. Αφενός, υπάρχει η περίπου 6 φορές μεγαλύτερη οικονομική επιβάρυνση της σήραγγας σε σχέση με τον ανοιχτό δρόμο. Από την άλλη πλευρά, υπάρχει το συνολικό όφελος, το οποίο έγκειται είτε σε πόρους όπως το κόστος χρήσης του οχήματος (καύσιμο, συντήρηση, ανταλλακτικά), είτε σε χρόνο και ασφάλεια του χρήστη ελαχιστοποιώντας τη διαδρομή. Το δυσκολότερο μέρος σε μια σύγκριση όπως αυτή, είναι η ποσοτικοποίηση σε χρήμα μεγεθών, όπως ο χρόνος και η ασφάλεια του χρήστη, προκειμένου να καταστεί δυνατή η σύγκριση αυτή. Η πολυπλοκότητα της απόφασης επιδεινώνεται, επίσης, από το γεγονός ότι όλα τα στοιχεία αφορούν τους χρήστες των αυτοκινητοδρόμων, ένα μέγεθος που αλλάζει ανάλογα με τις διακυμάνσεις του πληθυσμού, την οικονομική κατάσταση μιας κοινωνίας και τις απαιτήσεις για ταξίδια και μεταφορές.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, αυτή η διπλωματική εργασία θα προσπαθήσει να συγκρίνει όλα τα δεδομένα που αφορούν τις δύο εναλλακτικές λύσεις, δηλαδή τον ανοιχτό αυτοκινητόδρομο που παρακάμπτει ένα εμπόδιο και την κατασκευή μιας σήραγγας για να ξεπεράσει το ίδιο εμπόδιο. Ο στόχος είναι να δημιουργηθεί μια άμεση σχέση σύγκρισης ανάλογα με την απόσταση διαδρομής κάθε έργου, έτσι ώστε να μπορεί να αποφασιστεί η επιλογή του ενός ή του άλλου. Η σύγκριση βασίζεται στο κόστος και τα οφέλη των δύο σεναρίων κατασκευής και θα παράγει ένα σημείο ισορροπίας για τις δύο λύσεις, όπου η εκτροπή από τη μία ή την άλλη πλευρά θα σημαίνει την επιλογή μιας ή της άλλης λύσης.

2. Οικονομική ανάλυση των έργων

Η παρούσα εργασία έχει θέσει ως στόχο της τη διερεύνηση ενός βέλτιστου σεναρίου στην αντιμετώπιση ενός φυσικού εμποδίου κατά την κατασκευή ενός αυτοκινητοδρόμου. Τα δύο εξεταζόμενα σενάρια (σήραγγα – παρακαμπτήριο τμήμα) πρέπει να αναχθούν σε μια κοινή βάση, ώστε η σύγκριση να είναι όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτική και τα αποτελέσματα πιο αξιόπιστα. Η κοινή βάση για αναλύσεις αυτού του είδους είναι συνήθως το χρήμα, και σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθούν οι βασικές έννοιες που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση καθώς και ο τρόπος και οι μέθοδοι που θα επιλεγούν για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της εργασίας.

2.1 Ορισμοί και βασικοί δείκτες αξιολόγησης επενδύσεων

Τα δύο σενάρια, που εξετάζονται στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, παρουσιάζουν διαφορετικό κόστος, όσον αφορά την κατασκευή και τη συντήρησή τους, καθώς και διαφορετικό κόστος κατά τη μετακίνηση των χρηστών. Αυτή η διαφορά στο κόστος χρήσης του οδικού έργου γίνεται αντιληπτή από τον χρήστη ως το όφελος ενός σεναρίου έναντι του άλλου. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε περίπτωσης αναλύονται και ποσοτικοποιούνται σε μια κοινή μονάδα μέτρησης (χρήμα), έτσι ώστε η σύγκριση να είναι εφικτή.

Η οικονομική ανάλυση που επιχειρήθηκε σε αυτή την εργασία αντιμετωπίζει οικονομικούς όρους και εργαλεία, η λειτουργία των οποίων πρέπει να περιγραφεί και να αποσαφηνιστεί. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικοί ορισμοί και έννοιες οικονομικής ανάλυσης.

2.1.1 Βασικοί ορισμοί

Κεφάλαιο: το οικονομικό αγαθό εκφρασμένο σε χρηματικές μονάδες, το οποίο έχει την ικανότητα να παράγει άλλα αγαθά.

Τόκος: η απόδοση (αύξηση) του κεφαλαίου για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Επιτόκιο: ο τόκος του κεφαλαίου για μια νομισματική μονάδα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Συνήθως εκφράζεται επί τοις εκατό(%) για περίοδο ενός έτους, π.χ. ετήσιο επιτόκιο 10% υποδηλώνει αύξηση κεφαλαίου 100 νομισματικών μονάδων κατά 10 νομισματικές μονάδες σε ένα έτος.

2.1.2 Μελλοντική και παρούσα αξία ποσού

Το χρήμα έχει δύο χαρακτηριστικές ιδιότητες:

(1) την ιδιότητα να παράγει χρήμα (υπό μορφή νομισματικών μονάδων ή άλλων υλικών αγαθών) και

2) την ιδιότητα να χάνει την αξία του.

Οι δύο αυτές ιδιότητες πέρα από το επιτόκιο είναι σε άμεση συνάρτηση με ένα ακόμη μέγεθος: το χρόνο. Έτσι, εάν επενδυθεί ένα Κεφάλαιο K το χρόνο 0 με επιτόκιο ϵ , η αξία που θα παράγει μετά από ένα έτος(δηλ. ο τόκος για το αντίστοιχο χρονικό διάστημα) θα είναι $K*\epsilon$, το δε Κεφάλαιο θα έχει ανέλθει σε $K+K*\epsilon$ ή $K*(1+\epsilon)$.

Εάν ο τόκος δεν εισπραχθεί αλλά ενσωματωθεί στο αρχικό Κεφάλαιο (κεφαλαιοποίηση του τόκου), τότε το δεύτερο έτος ο τόκος θα ανέλθει σε $(K+K*\epsilon)*\epsilon$ ή $K*\epsilon*(1+\epsilon)$. Η πρόσθεση του τόκου μιας χρονικής περιόδου στο κεφάλαιο και ο, από την αρχή, τοκισμός του καινούριου κεφαλαίου που πρόκυψε από την πρόσθεση αυτή (σύνθετος τόκος) καλείται και ανατοκισμός.

Το Κεφάλαιο θα έχει διαμορφωθεί ως ακολούθως:

$$K + K^* \varepsilon + K^* \varepsilon^* (1 + \varepsilon) = K^* [1 + \varepsilon + \varepsilon^* (1 + \varepsilon)] = K^* (1 + \varepsilon + \varepsilon + \varepsilon^2) = K^* (1 + \varepsilon)^2$$

Ακολουθώντας την πρακτική της κεφαλαιοποίησης του τόκου, η τελική(ή μελλοντική) αξία του αρχικού κεφαλαίου K μετά από n έτη με ετήσιο επιτόκιο ε είναι:

$$MA_K = K * (1 + \varepsilon)^n \quad (1)$$

Ο συντελεστής $(1 + \varepsilon)^n$ καλείται συντελεστής συσσώρευσης κεφαλαίου.

Από την εξίσωση (1) είναι προφανές ότι εάν πρόκειται να πληρωθεί ένα ποσό X μετά από n έτη, τότε η αξία του ποσού στη χρονική στιγμή 0 (γνωστή και ως Παρούσα Αξία) θα είναι:

$$PA_X = X * (1 + \varepsilon)^{-n} \quad (2)$$

Ο συντελεστής $(1 + \varepsilon)^{-n}$ καλείται συντελεστής προεξόφλησης και το επιτόκιο ε επιτόκιο προεξόφλησης.

Από τα παραπάνω είναι προφανές ότι ισχύει:

$$MA = PA * (1 + \varepsilon)^n \quad \text{και} \quad PA = MA * (1 + \varepsilon)^{-n}$$

Η εξίσωση (2) εκφράζει τη δεύτερη ιδιότητα του χρήματος, ήτοι την απώλεια της αξίας του εάν δεν επενδύεται. Εάν μια επιχείρηση διαθέτει κεφάλαιο K , το οποίο δεν το επενδύει σήμερα αλλά μετά από ένα έτος, τότε η αξία, σε σημερινά χρήματα, που θα έχει το κεφάλαιο αυτό μετά από ένα έτος και με δεδομένο επιτόκιο προεξόφλησης ε θα είναι:

$$PA_K = K * (1 + \varepsilon)^{-1} \quad (3)$$

Δηλαδή η απώλεια του κεφαλαίου σε σημερινά χρήματα θα είναι:

$$K - PA_K = K - [K * (1 + \varepsilon)^{-1}] = K * \varepsilon * (1 + \varepsilon)^{-1}$$

Η ποσότητα $K^* \varepsilon^* (1 + \varepsilon)^{-1}$ είναι προφανές, ότι εκφράζει την παρούσα αξία των τόκων, που θα απέφερε το κεφάλαιο K σε ένα έτος εάν είχε επενδυθεί με επιτόκιο ε τη χρονική στιγμή 0.

2.1.3 Επιτόκιο προεξόφλησης

Ο προσδιορισμός του επιτοκίου προεξόφλησης (δηλαδή της ελάχιστης αποδεκτής απόδοσης) εξαρτάται από το κόστος κεφαλαίου και από τον επιχειρηματικό κίνδυνο που ενέχει η συγκεκριμένη επένδυση. Έτσι, το απαιτούμενο επιτόκιο προεξόφλησης αντανακλά το κόστος μιας ασφαλούς επένδυσης προσαυξημένο κατά έναν αποδεκτό συντελεστή ασφάλειας, ο οποίος επηρεάζεται από ένα πλήθος παραγόντων. Συχνά, το απαιτούμενο επιτόκιο προεξόφλησης στηρίζεται σε υποκειμενική κρίση, με βάση την εμπειρία του επενδυτή. Έχουν όμως αναπτυχθεί και ποσοτικές μέθοδοι, οι οποίες βασίζονται στη θεωρία χαρτοφυλακίου.

2.1.4 Η σημασία του πληθωρισμού

Εάν η αξία ενός χρηματικού ποσού μετράτε με βάση την αγοραστική του δύναμη, τότε έχει παρατηρηθεί ότι με την πάροδο του χρόνου με το ίδιο ποσό μπορούν να αγοραστούν ολοένα και λιγότερα αγαθά. Δηλαδή το χρήμα χάνει την αξία του και αυτό συμβαίνει εξαιτίας του φαινομένου του πληθωρισμού.

Η πτώση της αξίας του χρήματος εκφράζει την αύξηση των τιμών των διαφόρων αγαθών. Επομένως, ο ρυθμός με τον οποίο το χρήμα χάνει την αξία του εξαιτίας του πληθωρισμού, δεν είναι σταθερός για όλα τα αγαθά (ή τις υπηρεσίες). Για το λόγο αυτό ένας τρόπος υπολογισμού ενός γενικού δείκτη για τον πληθωρισμό είναι ο υπολογισμός του με βάση τη μέση αναλογική αύξηση των τιμών στους διάφορους κλάδους της οικονομίας.

Από τα παραπάνω είναι προφανές ότι τα αγαθά και οι υπηρεσίες που προμηθεύεται μια επιχείρηση και τα προϊόντα που διαθέτει στην αγορά, μπορεί να μην αυξάνονται με τους ίδιους ρυθμούς. Επομένως, θα υπάρχει διαφορά μεταξύ

των κρίσιμων μεγεθών που συνθέτουν την ταμειακή ροή και κατ' επέκταση την απόδοση της επένδυσης.

Όταν οι διαφορές αυτές είναι σημαντικές τότε ο πληθωρισμός των τιμών δεν μπορεί να αγνοηθεί, καθώς εισάγεται αριθμητικό σφάλμα στα αποτελέσματα της αξιολόγησης και προσαυξάνεται το προς επένδυση κεφάλαιο όταν αυτό έχει υπολογιστεί με τις τιμές κατά τον χρόνο της αξιολόγησης. Σε αυτή την περίπτωση είναι χρήσιμο να πραγματοποιηθούν οι υπολογισμοί όχι με βάση τις σταθερές τιμές (constant values) αλλά με βάση τις τρέχουσες (current values). Πάντως, όταν ο πληθωρισμός κυμαίνεται σε επίπεδα χαμηλότερα του 4%, η χρήση σταθερών τιμών για την κατάστρωση του πίνακα ταμειακών ροών είναι επαρκής για την εκτίμηση της αποδοτικότητας του σχεδίου.

Προκειμένου να καταστρωθεί σωστά ο πίνακας των ετήσιων ταμειακών ροών θα πρέπει όλοι οι υπολογισμοί να πραγματοποιηθούν είτε (α) σε τρέχουσες τιμές δηλώνοντας σαφώς το δείκτη πληθωρισμού που θα χρησιμοποιηθεί, είτε (β) σε σταθερές τιμές. Αντίστοιχα, πρέπει να χρησιμοποιηθούν σταθερά ή τρέχοντα επιτόκια προεξόφλησης για να υπολογιστεί σωστά η αξία των ταμειακών ροών. Ένα σφάλμα που γίνεται συχνά είναι η χρήση πληθωρισμένου επιτοκίου προεξόφλησης σε ταμειακές ροές με σταθερές τιμές ή η σύγκριση της ΕΑΚ μιας επένδυσης που εκφράζεται σε σταθερές τιμές, με βαθμούς απόδοσης σε τρέχουσες αξίες (που περιλαμβάνουν δηλαδή και τον πληθωρισμό).

Στη συγκεκριμένη εργασία, για τη μεταφορά των επιλεγμένων τιμών ανάλυσης στη σημερινή τους αξία, χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω πίνακας Γενικού Δείκτη Τιμών Καταναλωτή (ΕΛΣΤΑΤ, 2018).



**Πίνακας 1. Εξέλιξη ετήσιων μεταβολών Γενικού Δείκτη
Τιμών Καταναλωτή**

(Έτος βάσης : 2009=100,0)			
Έτος	Σύγκριση μέσου ετήσιου δείκτη κάθε έτους, με τον αντίστοιχο δείκτη του προηγούμενου έτους		
	Μέσος ετήσιος δείκτης	Μεταβολή %	
2001	78,155	3,4	
2002	80,991	3,6	
2003	83,851	3,5	
2004	86,282	2,9	
2005	89,341	3,5	
2006	92,196	3,2	
2007	94,865	2,9	
2008	98,804	4,2	
2009	100,000	1,2	
2010	104,713	4,7	
2011	108,200	3,3	
2012	109,824	1,5	
2013	108,813	-0,9	
2014	107,385	-1,3	
2015	105,521	-1,7	
2016	104,649	-0,8	
2017	105,823	1,1	

Πίνακας 2: Πίνακας εξέλιξης ετήσιων μεταβολών ΔΚΤ (ΕΛΣΤΑΤ, 2018)

2.1.5 Κριτήρια αξιολόγησης επενδυτικών σχεδίων

Κριτήρια που χρησιμοποιούνται στις χρηματοοικονομικές αναλύσεις είναι:

- το κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας (Net Present Value – NPV)
- το κριτήριο του Εσωτερικού Δείκτη Απόδοσης επί του Κεφαλαίου (Internal Rate of Return – IRR) και
- ο χρόνος ανάκτησης κεφαλαίου (Payback Period)

❖ Η Καθαρά Παρούσα Αξία (NPV)

Η Καθαρά Παρούσα Αξία ορίζεται ως η παρούσα αξία των ετήσιων εισοδημάτων μείον τη παρούσα αξία των ετήσιων εξόδων, συμπεριλαμβανομένων των επενδύσεων.

Στην πράξη κι εφόσον έχει καταστρωθεί ο πίνακας των ταμειακών ροών, η ΚΠΑ υπολογίζεται ως η διαφορά των χρηματικών εισροών(καθαρών ταμειακών ροών μετά φόρων) μείον το κόστος των επενδύσεων, όπως δίνεται από τον ακόλουθο τύπο :

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

όπου: t = Χρονική περίοδος

N = Χρονική διάρκεια της επένδυσης

r = Προεξοφλητικό επιτόκιο

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

Εκφράζει την αξία που προκύπτει από την προεξόφληση στο παρόν όλων των ετήσιων καθαρών χρηματοροών που προβλέπονται σε ολόκληρο το χρονικό

ορίζοντα ζωής μίας επένδυσης. Η τεχνική της Καθαρής Παρούσας Αξίας μετατρέπει όλα τα κόστη (εκροές) και τα οφέλη (εισροές) της επένδυσης σε σημερινές αξίες, δηλαδή εκφράζει το καθαρό όφελος ή κόστος στη χρονική στιγμή που λαμβάνεται η απόφαση.

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

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

❖ Ο Εσωτερικός Δείκτης Απόδοσης (IRR)

Όταν το επιτόκιο προεξόφλησης για μια συγκεκριμένη χρηματορροή αυξάνει, η ΚΠΑ της χρηματορροής μειώνεται. Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR) του κεφαλαίου μπορεί να οριστεί ως το επιτόκιο προεξόφλησης που μηδενίζει τη χρηματορροή, δηλαδή εκείνο το επιτόκιο που εξισώνει την αρχική επένδυση με την αξία όλων των μελλοντικών ταμιακών ροών. Η διαφορά μεταξύ του επιτοκίου που δίνεται από το IRR και του επιτοκίου της προεξόφλησης έγκειται στο γεγονός ότι το πρώτο προσδιορίζεται από τα χαρακτηριστικά του πίνακα των ταμιακών ροών (για το λόγο αυτό καλείται και εσωτερική απόδοση) ενώ το επιτόκιο προεξόφλησης καθορίζεται εξωγενώς από τον επενδυτικό φορέα.

Ο τύπος που δίνει το IRR είναι ο ακόλουθος:

$$ΚΠΑ = 0 = \sum_{i=1}^v \frac{ΚΤΡ_{\tau}}{(1 + ΕΒΑ)^i} - E_0$$

όπου: ΚΤΡ_τ= η Καθαρή Ταμιακή Ροή το έτος τ

E₀= η αρχική επένδυση το χρόνο τ=0

v= η διάρκεια ζωής του επενδυτικού σχεδίου

EBA= το επιτόκιο προεξόφλησης που καθιστά την ΚΠΑ= 0

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

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

❖ Χρόνος ανάκτησης κεφαλαίου (Payback Period)

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

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

2.2 Κόστος

Η οικονομική ανάλυση που επιχειρείται σε αυτή την εργασία, παρουσιάζει δύο τομείς ενδιαφέροντος. Ο πρώτος τομέας καθορίζει με ακρίβεια το κόστος κάθε εναλλακτικής λύσης, ανάλογα με την εφαρμογή της. Το αρχικό μέρος της κοστολόγησης ενός έργου είναι η φάση σχεδιασμού. Σε αυτό το στάδιο, το κόστος υπολογίζεται για το σχεδιασμό του έργου, στην τοποθεσία στην οποία τελικά θα αναπτυχθεί και το ποσό των απαλλοτριώσεων και των αποζημιώσεων που πρέπει να καταβληθούν από τον κατασκευαστή. Στη συνέχεια, αναλύοντας τα δεδομένα, υπολογίζεται το κόστος κατασκευής του έργου. Σε αυτό το σημείο και χρησιμοποιώντας δεδομένα από παρόμοια έργα εκτιμάται ο χρόνος, οι πόροι και οι δυνατότητες που θα απαιτηθούν για την ολοκλήρωση του έργου, χωρίς να παραβλέπεται το γεγονός ότι μπορεί να προκύψουν απρόβλεπτες, μη προγραμματισμένες καταστάσεις κατά τη φάση κατασκευής. Τέλος, πολύ σημαντικό ρόλο για την κοστολόγηση ενός έργου κατέχει η αντίληψη ότι το έργο, μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής και καθ' όλη τη λειτουργία του, απαιτεί συντήρηση και αντικατάσταση των τμημάτων του ώστε να μεγιστοποιηθεί ο χρόνος εκμετάλλευσης.

Για τον συγκεκριμένο σκοπό χρησιμοποιούνται οι αναλύσεις κόστους συνολικής ζωής του έργου (Life Cycle Cost Analysis - L.C.C.A.) που παρουσιάζονται αναλυτικά.

❖ Αναλύσεις κόστους ζωής έργου – Life Cycle Cost Analysis (L.C.C.A.)

Η ταχεία εξέλιξη της τεχνολογίας, η οποία έχει επιδείξει εκθετική πρόοδο τα τελευταία 50 χρόνια, επέτρεψε την κατασκευή όλο και μεγαλύτερων και απαιτητικών τεχνικών έργων παγκοσμίως. Ωστόσο, όσο μεγαλύτερα και πιο σύνθετα τεχνικά έργα ολοκληρώνονται, τόσο περισσότερη αυτοθυσία είναι ο υπολογισμός του κόστους του έργου. Γνωρίζοντας ότι οι σημαντικότεροι παράγοντες για την υλοποίηση ενός έργου είναι οι απαιτούμενοι πόροι, θεωρείται ότι είναι σημαντικό να προσδιορίζεται το κόστος ενός έργου με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια. Σε αυτή την προσπάθεια είναι μεγάλη η προσφορά της

ανάλυσης κόστους του έργου κατά τη διάρκεια όλης του της ζωής (κατασκευή / λειτουργία) ή αλλιώς L.C.C.A. (Life Cycle Cost Analysis).

Η Ανάλυση Κόστους Ζωής Έργου (L.C.C.A.) είναι η συνολική εικόνα των πόρων που θα χρειαστούν για την παρούσα εργασία, τη δημιουργία και την εύρυθμη λειτουργία της κατασκευής μέχρι το τέλος της ζωής της. Περιλαμβάνει τις φάσεις μελέτης και σχεδιασμού του έργου, καθώς και τις απαραίτητες απαλλοτριώσεις και αποζημιώσεις που θα κριθούν απαραίτητες στον περιβάλλοντα χώρο. Αναλύει, επίσης, διεξοδικά το κόστος κατασκευής και τελικά υπολογίζει τα απαιτούμενα έξοδα για τη λειτουργία και την περιοδική συντήρηση της εγκατάστασης. Το τελευταίο τμήμα περιλαμβάνει μελλοντικές τροποποιήσεις που πρέπει να προγραμματιστούν για το έργο, καθώς και η αποκατάσταση του χώρου μετά το κλείσιμό του έργου.

Η L.C.C.A. όπως γίνεται αντιληπτό, περιλαμβάνει ένα τεράστιο ποσό δεδομένων που αναφέρεται σε μια πληθώρα μεταβλητών. Επειδή αυτές οι μεταβλητές έχουν συνήθως δυσμενείς επιπτώσεις στο κόστος του έργου και έχουν μια ανταγωνιστική σχέση, η διαχείριση δεν είναι πάντα μονοσήμαντη. Σκοπός της ανάλυσης κόστους είναι να δώσει μια σαφή εικόνα των επιδράσεων κάθε μεταβλητής στην κοστολόγηση του έργου και να βοηθήσει τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να βρουν την καλύτερη λύση για το έργο για όλη τη διάρκεια ζωής του και για την καλύτερη λειτουργία του. Έτσι, η L.C.C.A. γίνεται χρήσιμος σύμβουλος για το σχεδιασμό, τη μορφή και τη λειτουργία κάθε έργου με στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους του (Stanford University, 2005).

Χρησιμοποιώντας τέτοιες αναλύσεις, αποσαφηνίζεται η εικόνα του κόστους κάθε έργου. Είναι πολύ σημαντικό ότι η εικόνα πρέπει να αντιπροσωπεύει την πραγματικότητα. Πολύ συχνά στη συνείδηση υπάρχει πως η μερίδα του λέοντος από το κόστος ανήκει στην κατασκευή. Σε πολλές περιπτώσεις, ωστόσο, η εικόνα αυτή αναλύεται με αναλύσεις κόστους (L.C.C.A.), όπου οι τομείς συντήρησης και λειτουργίας παρουσιάζουν μεγάλες οικονομικές απαιτήσεις. Χωρίς μια αντιπροσωπευτική εικόνα των απαιτούμενων δαπανών, κάθε στρατηγική έργου είναι πολύ δύσκολο να επιτύχει τους στόχους της.



Εικόνα 1: Έρευνες δείχνουν πως τα έξοδα που αφορούν τη λειτουργία ενός έργου μπορούν να ξεπεράσουν τα 2/3 του συνολικού κόστους του έργου

Ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία, που μεγιστοποιούν τις δυνατότητες συγκεκριμένων αναλύσεων κόστους, είναι ο σωστός προσδιορισμός των χρονικών περιόδων στις οποίες αναφέρεται η ανάλυση. Τα δεδομένα που αφορούν το έργο καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του είναι σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και συνεπώς δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα. Για να καταστεί δυνατή αυτή η οικονομική σύγκριση, όλα τα κόστη πρέπει να έχουν ένα κοινό σημείο αναφοράς στο οποίο θα ανάγονται, ώστε η σύγκριση να είναι ακριβής. Συνήθως, ως σημείο εκκίνησης ορίζεται η χρονική στιγμή που ξεκινά η μελέτη του έργου, και σε αυτήν ανάγονται όλα τα κόστη του έργου με τη βοήθεια των αντίστοιχων επιτοκίων και της τιμής του πληθωρισμού.

Σε όλη αυτή την προσπάθεια ανάλυσης, τα διάφορα επιμέρους τμήματα που αφορούν το συγκεκριμένο έργο απαιτούν μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση συγκεκριμένων μεγεθών προς όφελός τους. Έτσι, οι υπεύθυνοι μελέτης και κατασκευής θα προσπαθήσουν να ελαχιστοποιήσουν το κόστος κατασκευής, οι υπάλληλοι ασφαλείας θα προσπαθήσουν να μεγιστοποιήσουν τους παράγοντες ασφαλείας, οι υπάλληλοι συντήρησης θα προσπαθήσουν να ελαχιστοποιήσουν τις εργασίες συντήρησης και οι χειριστές θα προσπαθήσουν να μεγιστοποιήσουν τις ώρες λειτουργίας του έργου. Αυτές είναι μερικές από τις αντιφατικές πλευρές ενός

έργου. Σύμφωνα με τον Barringer (2003), η L.C.C.A. χρησιμοποιώντας εναλλακτικά σενάρια, προσπαθεί να προσδιορίσει τα βέλτιστα μεγέθη σε κάθε τομέα έτσι ώστε το τελικό κόστος που θα υπολογιστεί αναγόμενο μέσα στο χρόνο να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο. Η επιτυχία αυτής της προσπάθειας εξαρτάται πάντα από τον σωστό συνδυασμό χρόνου, χρήματος και δεδομένων.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει πάντοτε να λαμβάνεται υπόψη, όσον αφορά τις αναλύσεις κόστους, ότι βασίζονται σε παραδοχές και προσεγγιστικούς υπολογισμούς, τόσο για το κόστος όσο και για τις περιόδους στις οποίες αναφέρονται. Επίσης, οι συνθήκες στις οποίες βασιζόμαστε για να τοποθετήσουμε το παρελθόν είναι οι πιο πιθανές αλλά όχι σίγουρες. Έτσι, σε οποιαδήποτε τέτοια ανάλυση, πρέπει να διεξάγεται μια ανάλυση κινδύνου παράλληλα, στην οποία υπολογίζεται η πιθανότητα όλων που έχουμε υποθέσει με τον τρόπο που καθορίσαμε και την πιθανότητα απόκλισης από αυτά. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος για την αναγνώριση κινδύνου είναι οι προσομοιώσεις του Monte Carlo. Με πολλές επαναλήψεις, ο αναλυτής, με τη βοήθεια εξελιγμένου λογισμικού, έχει μια σαφή εικόνα του πιο πιθανού μεγέθους κόστους και μπορεί να λάβει υπόψη Στις αποφάσεις του και την αβεβαιότητα που προκύπτει από τις παραδοχές της ανάλυσης.

Οι αναλύσεις κόστους, ανεξάρτητα από το αντικείμενο ενδιαφέροντος, παρουσιάζουν μια βασική δομή με κοινά χαρακτηριστικά και διαφορετικοί τύποι έργων αλλάζουν μόνο τις λεπτομέρειες των αναλύσεων. Τα βασικά βήματα (Chakravorti, 2009) που ακολουθούν οι L.C.C.A. παρουσιάζονται και αναλύονται ως εξής :

1. Καθορισμός χρονικών ορίων για το έργο

Η πρώτη κίνηση που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό και όλες οι μεταγενέστερες αναλύσεις σε αυτές τις περιπτώσεις είναι να καθοριστούν τα χρονικά πλαίσια που θα κινηθούν οι αναλυτές. Αρχικά, αποφασίζεται ο χρόνος που οι διαχειριστές του έργου θέτουν ως στόχο για να είναι λειτουργικό το έργο. Η απόφαση αυτή λαμβάνεται με τη βοήθεια κατάλληλων συμβούλων που έχουν εμπειρία σε αυτό το θέμα και ενδεχομένως στοιχείων από προϋπάρχοντα παρόμοια έργα. Αφού

καθοριστεί ο χρόνος για τον οποίο το έργο θα είναι λειτουργικό, καθορίζονται τα χρονικά διαστήματα κατά τα οποία το έργο θα υποβληθεί στις απαραίτητες εργασίες συντήρησης, καθώς και τυχόν εργασίες επέκτασης ή επισκευής, προκειμένου να παραταθεί η διάρκεια ζωής της εγκατάστασης. Οι αποφάσεις αυτές επηρεάζονται από τα χαρακτηριστικά των υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή, καθώς και από το φορτίο χρήσης που τελικά θα αναλάβει το συγκεκριμένο έργο. Είναι περισσότερο από προφανής η ανάγκη επανασχεδιασμού της στρατηγικής, εάν οι αποκλίσεις των υπολογισμών υπερβαίνουν ένα αποδεκτό όριο. Τέλος, όσον αφορά τον καθορισμό των χρονικών περιόδων, δεν πρέπει να συγχέεται ο χρόνος που το έργο μπορεί να είναι λειτουργικό (διάρκεια ζωής) με τον χρόνο που θα ήταν επωφελής η χρήση του (έως ότου αντικατασταθεί). Ο σκοπός είναι να ταιριάξουν αυτά τα δύο μεγέθη για να μεγιστοποιηθεί το όφελος από τη χρήση της εγκατάστασης.

2. Υπολογισμός αξίας-κόστους των στοιχείων του έργου

Σε αυτό το στάδιο της ανάλυσης, τα διάφορα μέρη του έργου καθορίζονται με σαφήνεια και ακρίβεια. Οι διαφορετικές φάσεις διακρίνονται και με τη βοήθεια του προηγούμενου βήματος, τοποθετούνται χρονικά σε σχέση με το χρόνο μηδέν, ο οποίος αναφέρεται στην αρχή του σχεδιασμού του έργου. Για κάθε φάση, πρέπει να επιλεγούν κατάλληλα δεδομένα και χρησιμοποιώντας γνώση και εμπειρία πραγματοποιηθούν οι κατάλληλες εκτιμήσεις για το εύρος του κόστους τους. Μια μεγάλη συμβολή σε αυτή την προσπάθεια μπορεί να έχουν δεδομένα από τύπους υφιστάμενων κατασκευών, χωρίς να παραβλέπονται οι διαφορές που μπορεί να προέκυψαν από το πέρασμα του χρόνου σε αυτά και πάντα να προσπαθούν να ταιριάξουν όσο το δυνατόν περισσότερο με την περίπτωση που πρόκειται να αναλυθεί.

3. Αναγωγή των εκτιμήσεων κόστους για άμεση σύγκριση (NPV)

Η χρονική διαφορά που υπάρχει σε όλα τα συστατικά μέρη του έργου που αναλύεται, χρειάζεται να εξομαλυνθεί με αναγωγές, έτσι ώστε όλα τα μεγέθη να είναι άμεσα συγκρίσιμα. Για το λόγο αυτό, τα κόστη που υπολογίστηκαν στο προηγούμενο στάδιο της ανάλυσης θα πρέπει να αναχθούν στο χρόνο μηδέν με

τη βοήθεια της Καθαρής Παρούσα Αξίας - Net Present Value (NPV). Για να γίνει αυτό, απαιτούνται οι έννοιες του πληθωρισμού και του συντελεστή προεξόφλησης. Ο δείκτης του πληθωρισμού είναι ο συντελεστής που δείχνει το ποσοστό της αξίας του χρήματος που υποτιμάται σε μια χρονική περίοδο (συνήθως ανά έτος). Ο συντελεστής προεξόφλησης δείχνει την απόδοση που πρέπει να έχει ένα χρηματικό ποσό με την πάροδο του χρόνου για να διατηρήσει την αξία του σταθερή και να μην υποτιμηθεί λόγω του πληθωρισμού. Χρησιμοποιώντας αυτά τα οικονομικά μεγέθη και γνωρίζοντας τον χρόνο στον οποίο αναφέρονται τα διάφορα κόστη του έργου, είμαστε σε θέση να αναγάγουμε όλα τα οικονομικά μεγέθη στην ίδια χρονική στιγμή και να τα συγκρίνουμε.

4. Ανάλυση δεδομένων - σύγκριση στρατηγικής και επανασχεδιασμός

Η τελική φάση της ανάλυσης είναι η πιο κρίσιμη και η πιο σημαντική, καθώς οδηγεί στις τελικές αποφάσεις σχετικά με το έργο. Με τη συλλογή όλων των δεδομένων από τα παραπάνω βήματα έχουμε την τελική εικόνα του κόστους του έργου. Κατανοώντας την επίδραση κάθε μεταβλητής στο τελικό αποτέλεσμα, είμαστε σε θέση να επανεξετάσουμε το σχεδιασμό του έργου και να διαμορφώσουμε εναλλακτικές τακτικές που μπορούν να ελαχιστοποιήσουν το συνολικό κόστος. Συγκρίνοντας όλα τα εναλλακτικά σενάρια, φτάνουμε στη σύνθεση της στρατηγικής με το χαμηλότερο κόστος, στην οποία έχουν τη δυνατότητα να συνεισφέρουν περισσότερα από ένα σενάρια. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι η καλύτερη λύση μπορεί να μην είναι αυτή του ελάχιστου κόστους. Πριν από την τελική απόφαση, υπάρχουν σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την καθαρά κοστολογική προσέγγιση. Αυτοί οι παράγοντες είναι συνήθως το διαθέσιμο κεφάλαιο, ανάλογα με τον χρόνο που είναι διαθέσιμο, η κοινωνική και περιβαλλοντική πολιτική κάθε εμπλεκόμενου φορέα, καθώς και το επίπεδο αβεβαιότητας του κάθε σεναρίου και οδηγούν σε μια επιλογή που δεν θα είναι απαραίτητως η πιο οικονομική. Με τον τρόπο αυτό, είναι κατανοητό ότι η ανάλυση κόστους για τη ζωή ενός έργου δεν επιβάλλει βέλτιστη οικονομική λύση, αλλά παρουσιάζει όλες τις εναλλακτικές προτάσεις και είναι το εργαλείο με το οποίο οι

αποφάσεις αυτές λαμβάνονται, διατηρώντας έναν σαφή συμβουλευτικό χαρακτήρα και όχι τρόπο αποφασιστικής σημασίας.

2.3 Όφελος

Το δεύτερο μέρος της ανάλυσης στοχεύει στην διερεύνηση των ωφελειών του έργου και αφορά είτε τα κέρδη, που έχει αποκτήσει ο χρήστης από το νέο προϊόν, είτε τα συγκριτικά πλεονεκτήματα που προσφέρει σε σχέση με το υπάρχον προϊόν, το οποίο γίνεται λιγότερο ανταγωνιστικό από το νέο. Τα οφέλη που προκύπτουν σε μια τέτοια περίπτωση πρέπει να είναι σαφή και επαρκώς αντιληπτά από τον χρήστη. Μόνο όταν ο χρήστης κατανοεί σαφώς το κέρδος που αποκτάται από την επιλογή του, μπορεί να προτιμά το νέο προϊόν να αντικαταστήσει το υπάρχον. Η ιδέα αυτή βασίζεται επίσης στη λογική της επιβολής διοδίων χρήσης ενός δρόμου, και εάν δεν ισχύουν οι συνθήκες αυτές, δεν είναι δυνατή η οικονομική εκμετάλλευση του αυτοκινητοδρόμου.

Σύμφωνα με μελέτες στις ΗΠΑ, οι χρήστες είναι πρόθυμοι να πληρώσουν διόδια ή ναύλους μέχρι και το 60% του συνολικού αντιληπτού οφέλους ενός σύγχρονου έργου μεταφοράς (FHWA – Tolling & Pricing program, 2013). Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι, το παραπάνω όφελος του Έλληνα χρήστη, λόγω των μεγάλων αδυναμιών των οδικών και λοιπών συγκοινωνιακών υποδομών, είναι αρκετά υψηλό σε σύγκριση με τα οφέλη του χρήστη ενός παρόμοιου έργου άλλης χώρας με καλύτερες υπάρχουσες συγκοινωνιακές υποδομές.

Τα οφέλη που προκύπτουν από τις υποδομές των σύγχρονων οδικών δικτύων είναι πολύπλευρα και έχουν αντίκτυπο σε διάφορους τομείς. Σε ρόλο αποδέκτη βρίσκεται η κρίση και η αντίληψη του κάθε πιθανού χρήστη του έργου. Οι νέοι αυτοκινητόδρομοι προσφέρουν γενικά βραχύτερες διαδρομές, καλύτερες συνθήκες οδήγησης, μεγαλύτερες μέσες ταχύτητες και μεγαλύτερη ασφάλεια μέσω των μικρότερων δεικτών ατυχημάτων. Ο χρήστης επωφελείται από την εξοικονόμηση χρόνου, φτάνοντας γρήγορα στον προορισμό του. Επίσης, η

διαδρομή είναι ασφαλέστερη, πιο άνετη και χαλαρωτική, ενώ η μείωση της διαδρομής και η βελτίωση της ποιότητας του οδοστρώματος στο οποίο κινείται μειώνει το κόστος χρήσης και φθοράς του οχήματος.

Τα παραπάνω οφέλη ποσοτικοποιούνται με επιτυχία χρησιμοποιώντας την Ανάλυση Κόστους Οφέλους (Cost Benefit Analysis – CBA). Όλα τα οφέλη που παράγονται μετατρέπονται σε νομισματικές μονάδες και ποσοτικοποιούν το κέρδος του χρήστη από τη χρήση ενός σεναρίου έναντι του άλλου (π.χ. παλιό - νέο, σήραγγα-παρακαμπτήριο τμήμα). Συγκεκριμένα, η ανάλυση κόστους-οφέλους καλείται να απαντήσει στις ακόλουθες ερωτήσεις:

- Ποια κόστη και οφέλη πρέπει να συμπεριληφθούν
- Πώς να αξιολογηθούν τα κόστη και τα οφέλη
- Ποιο επιτόκιο προεξόφλησης θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί
- Ποιοι είναι οι σχετικοί περιορισμοί;

2.3.1 Ανάλυση Κόστους – Οφέλους (CBA)

Ο όρος “ανάλυση κόστους – οφέλους” αναφέρεται, γενικά, σε ένα ευρύ πεδίο μεθόδων εκτίμησης, που επιδιώκουν να αποδώσουν οικονομική διάσταση στο κόστος και στα οφέλη ενός σχεδίου ή μιας πολιτικής. Από τη μια πλευρά υπάρχουν οι μέθοδοι μερικής προσέγγισης (partial approach methods) όπως της οικονομικής εκτίμησης (financial appraisal), της ελαχιστοποίησης του κόστους (cost-minimization), του κόστους-αποτελεσματικότητας (cost-effectiveness), οι οποίες εξετάζουν μόνο ένα μέρος από το σύνολο των επιπτώσεων ενός έργου. Από την άλλη πλευρά, υπάρχει η ολοκληρωμένη προσέγγιση, στην οποία αναφέρεται κύρια ο όρος CBA. Λαμβάνει υπόψη όλες τις παραμέτρους του έργου (τεχνικές, περιβαλλοντικές, κοινωνικές) σε βραχύ-, μέσο- και μακροπρόθεσμο χρονικό εύρος. Τα γενικά στάδια της μεθοδολογίας αφορούν στον καθορισμό του σχεδίου, στην καταγραφή των παραμέτρων κόστους και οφέλους για όλες τις

παραμέτρους του έργου, στην προεξόφληση των ταμειακών ροών και στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Οι αναλύσεις κόστους-οφέλους έχουν σαν σκοπό, να βρουν την αποδοτικότερη σχέση μεταξύ των εξόδων που θα χρειαστεί να γίνουν για το έργο, και των ωφελειών που θα απορρέουν από αυτό. Ο τρόπος για να καταλήξουμε στην αποδοτικότερη σχέση, είναι συνηθέστερα η χρήση εναλλακτικών σεναρίων. Έτσι εξετάζονται διαφορετικές σκέψεις για τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τους τρόπους λειτουργίας και συντήρησης του έργου, και στη συνέχεια υπολογίζονται οι αντίστοιχες ωφέλειες που απορρέουν από την κάθε επιλογή. (Καλιαμπάκος και Δαμίγος, 2009).

Ως κύρια θέση της ανάλυσης κόστους-οφέλους ορίζεται ο λόγος: παρούσα αξία όλων των ωφελειών διά της παρούσας αξίας όλων των δαπανών. Το κριτήριο του λόγου οφέλους-κόστους (Benefit-Cost Ratio), γνωστό και ως λόγος παρούσας αξίας - ΛΠΑ (Present Value Ratio), υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\Lambda\text{ΠΑ} = \sum_{\tau=1}^v \frac{[TP_{\tau}(1 + \varepsilon)^{-\tau}]}{E_0}$$

όπου: τ = το έτος

v = η διάρκεια ζωής του σχεδίου σε έτη

TP_τ = η ταμειακή ροή κατά το αντίστοιχο έτος

ε = το επιτόκιο προεξόφλησης

Το συγκεκριμένο κριτήριο αξιοποιεί δηλαδή την παρούσα αξία των καθαρών ταμειακών ροών, κατά τη διάρκεια της ζωής του σχεδίου, προς το σύνολο της αρχικής επένδυσης. Κριτήριο αποδοχής ή απόρριψης αποτελεί η σχέση του λόγου με τη μονάδα. Πιο συγκεκριμένα:

- ΛΠΑ>1, η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα
- ΛΠΑ=1, η επένδυση θεωρείται οριακή, μπορεί να υλοποιηθεί όταν δεν υπάρχει καλύτερη εναλλακτική λύση

- $ΛΠΑ < 1$, η επένδυση απορρίπτεται.

Εάν το κεφάλαιο κίνησης καλύπτεται με ίδια κεφάλαια, τότε πρέπει να συνυπολογιστεί στο κόστος της επένδυσης.

Ο Συνολικός Βαθμός Απόδοσης-ΣΒΑ (Overall Rate of Return) συνδέεται με το ΛΠΑ με τη σχέση:

$$ΣΒΑ = 1 - ΛΠΑ$$

Το σχέδιο είναι αποδεκτό όταν ο ΣΒΑ είναι μεγαλύτερος της μονάδας.

Τόσο ο ΛΠΑ όσο και ο ΣΒΑ κατατάσσουν τα εναλλακτικά σχέδια με την ίδια σειρά, η οποία όμως μπορεί να διαφέρει από τη σειρά κατάταξης που δίνει η ΕΑΚ, εκτός και εάν η τελευταία υπολογίζεται για την ίδια αρχική επένδυση και την ίδια οικονομική ζωή.

Τελικώς προκρίνεται η λύση που έχει δώσει την αποδοτικότερη σχέση στους δείκτες που προαναφέρθηκαν, συνυπολογίζοντας πάντοτε δυο βασικούς παράγοντες, που η παράβλεψή τους μπορεί να καταστήσει το έργο από αντιοικονομικό, έως και μη πραγματοποιήσιμο. Ο πρώτος έχει να κάνει με την τελική κοστολόγηση του έργου. Αν η αποδοτικότερη λύση περιλαμβάνει χρήση πόρων, που δεν μπορούν να εξευρεθούν από την κατασκευαστική αρχή, τότε η λύση αν και αποδοτική είναι ανέφικτη. Ο δεύτερος παράγοντας έχει να κάνει με το στοιχείο του ρίσκου που εμπεριέχεται σε κάθε επενδυτική προσπάθεια. “Έτσι μπορεί η αναλογία κόστους-οφέλους να είναι η μέγιστη δυνατή σε ένα σενάριο, αλλά η ύπαρξη παραγόντων μεγάλου ρίσκου να αυξάνουν την πιθανότητα απόκλισης από το αρχικό πλάνο. Αυτό αποτελεί μεγάλο κίνδυνο για σύνθετα τεχνικά έργα, όπως είναι τα οδικά έργα και θα πρέπει πάντα να εξετάζεται με προσοχή και τα επίπεδα του κινδύνου να βρίσκονται σε ελεγχόμενα επίπεδα.

Δεν θα πρέπει να ξεχνάμε ότι στην πραγματικότητα τα έργα υποδομής είναι επενδυτικά έργα μεγάλης κλίμακας. Όπως και σε κάθε επενδυτική προσπάθεια έτσι και εδώ ο κύριος του έργου επιλέγει τη δέσμευση συγκεκριμένων πόρων σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή και αναμένει από τη χρήση τους σε συγκεκριμένο

χρονικό διάστημα ένα εύλογο κέρδος. Αδυναμία επίτευξης του προσδοκώμενου αποτελέσματος συνεπάγεται μείωση της παραγωγικότητας (αποδοτικότητας) και κατ' επέκταση της ανταγωνιστικότητας, με συνέπεια τις αρνητικές επιπτώσεις τόσο στη βιωσιμότητα της επένδυσης, όσο και γενικότερα στην ανάπτυξη. Επίσης, θα πρέπει να τονιστεί ότι οι διορθωτικές κινήσεις μετά την πραγματοποίηση της επένδυσης, δεν είναι πάντα εύκολο να συμβούν, και συνήθως συνεπάγονται σοβαρές οικονομικές επιβαρύνσεις. Αυτή είναι και ο βασικότερος λόγος που η ανάλυση κόστους-οφέλους καθίσταται απαραίτητο εργαλείο για το σωστό και επιτυχημένο σχεδιασμό των έργων (Proost.et. al., 2005).

3. Κόστος Ζωής Έργου

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά τα στοιχεία που αποτελούν και διαμορφώνουν το τελικό κόστος των δύο υπό εξέταση σεναρίων. Αναλύονται επίσης, με βάση τις αρχές των αναλύσεων κόστους-οφέλους, και όλοι οι παράγοντες εκείνοι που διαμορφώνουν τελικά το όφελος που έχει ο χρήστης, μεταξύ των δύο κατασκευαστικών σεναρίων που αναλύονται και αξιολογούνται.

Το κόστος κατασκευής ενός οδικού έργου είναι ένα στοιχείο του έργου, το οποίο, πέρα από μεγάλη πολυπλοκότητα, είναι ζωτικής σημασίας για την υλοποίηση και τη βιωσιμότητα του έργου. Προκειμένου να προσδιοριστεί με ακρίβεια του κόστους ενός συγκοινωνιακού έργου, είναι απαραίτητο να υπάρχει μια λεπτομερής πρόβλεψη του προϋπολογισμού. Για να γίνει αυτό, ωστόσο, πρέπει να υπάρξει μια οριστική μελέτη του έργου, από την οποία προκύπτουν τα διάφορα κόστη.

Επειδή τα οικονομικά μεγέθη που είναι κρίσιμα για ένα έργο δεν είναι μόνο η κατασκευή του, αλλά και η ομαλή λειτουργία του καθώς και η επιμελής συντήρηση του, είναι απαραίτητο, εκτός από τους λεπτομερείς προϋπολογισμούς, να προβλέπονται και τα δύο μεγέθη που ακολουθούν το έργο κατά τη λειτουργία του. Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος είναι οι αναλύσεις κόστους, οι οποίες σχετίζονται με ολόκληρη τη ζωή του έργου. Έτσι, και με γνώμονα όλη τη διάρκεια ζωής του έργου παρουσιάζονται με τη σειρά τους όλοι οι παράγοντες που σχετίζονται με τη διαμόρφωση του συνολικού κόστους του έργου.

3.1 Οικονομικό κόστος έργου

Τα δεδομένα που υπάρχουν στις κατασκευές, που γίνονται στην Ελλάδα, σχετικά με τους φορείς και τους υποψήφιους που αναλαμβάνουν την κατασκευή και εκμετάλλευση των έργων είναι συγκεχυμένα με τις ακόλουθες έννοιες που είναι

καλό να διευκρινιστούν (Καλτσούνης, 2001) και να αναγνωριστούν τα διαφορετικά χαρακτηριστικά τους .

- ❖ Το κόστος κατασκευής που προκύπτει από τον προϋπολογισμό της υπηρεσίας.
- ❖ Τα κατασκευαστικά έξοδα που προκύπτουν μετά την έκπτωση από τον εργολάβο.
- ❖ Το κόστος κατασκευής μετά τις προσαρμογές τιμών που συνήθως επιτυγχάνονται από τον εργολάβο.

Οι τεκμηριωμένες εκτιμήσεις για το κόστος του έργου αποτελούν βασικό στοιχείο των μελετών αυτοχρηματοδότησης. Για να έχουν τα αποτελέσματα της ανάλυσης κόστους – οφέλους αντιστοιχία με την πραγματικότητα απαιτούν μια κατάλληλα τεκμηριωμένη εκτίμηση του κόστους του έργου. Ο αρνητικός αντίκτυπος στην απόδοση της επένδυσης λόγω υπερεκτίμησης ή υποτιμήσεως του κόστους είναι συνήθως μη αναστρέψιμος, με αποτέλεσμα η επιβίωση της επιχείρησης να παρουσιάζει αυξημένη δυσκολία.

Γενικότερα, το κόστος κατασκευής ενός οδικού έργου συνίσταται στο διαχρονικό άθροισμα των ακόλουθων εξόδων:

- ❖ *Κόστος μελετών:* Αφορά το κόστος της διενέργειας μελετών. Συνήθως υπολογίζονται ως ποσοστό του κόστους κατασκευής.
- ❖ *Κόστος απαλλοτριώσεως:* Αφορά τις δαπάνες που απαιτούνται για τις απαραίτητες απαλλοτριώσεις (κτίρια, φυτείες). Οι απαλλοτριώσεις μέχρι σήμερα στη χώρα μας θεωρούνται ως ευθύνη του δημόσιου τομέα και συνεπώς οι απαιτούμενες δαπάνες καλύπτονται από δημόσιους πόρους.
- ❖ *Κόστος κατασκευής:* Περιλαμβάνει τις δαπάνες που σχετίζονται με την κατασκευή του έργου. Πιο συγκεκριμένα :
 1. Εκτιμώμενος προϋπολογισμός από την τεχνική μελέτη.
 2. Γενικά έξοδα εργοταξίου ως ποσοστό επί του εκτιμώμενου προϋπολογισμού.
 3. Απρόβλεπτες δαπάνες ως ποσοστό επί των παραπάνω δαπανών.

4. Φόρος Προστιθέμενης Αξίας (ΦΠΑ). Αναφέρεται ως ποσοστό του συνόλου των ανωτέρω δαπανών.
- ❖ *Κόστος συντήρησης και λειτουργίας του οδικού δικτύου:* Αφορά το κόστος συντήρησης (ετήσιο και περιοδικό) και την καλή λειτουργία του έργου. Χαρακτηριστικά τέτοιου κόστους σε ένα οδικό έργο είναι τα εξής:
1. Συντήρηση του οδοστρώματος (αντικατάσταση αντιολισθητικού τάπητα).
 2. Συντήρηση τεχνικών έργων.
 3. Συντήρηση ερεισμάτων, στηθαίων ασφαλείας, αποχέτευσης, φωτισμού.
 4. Λειτουργία (σήμανση, διαγράμμιση οδοστρωμάτων , σηματοδότηση, ηλεκτροφωτισμός και αστυνόμευση).
 5. Καθαρισμός από χιονοπτώσεις.
- ❖ *Κόστος κατασκευής και λειτουργίας διοδίων:* Ο σχεδιασμός των σταθμών διοδίων, δηλαδή η εκτίμηση του κόστους κατασκευής και λειτουργίας τους, εξαρτάται από το προβλεπόμενο φόρτο της οδικής κυκλοφορίας του έργου.

3.2 Μη Οικονομικό Κόστος Έργου

Εκτός από το οικονομικό κόστος, ένα έργο είναι αρκετά πιθανό, από την ύπαρξή του μόνο ή από την κατασκευή του έως και το πέρας αυτής, να έχει πολλές άλλες συνέπειες. Αυτές οι συνέπειες αφορούν ουσιαστικά τον άνθρωπο και το οικολογικό περιβάλλον του.

Για παράδειγμα, η αναστάτωση που προκαλείται από τη λειτουργία ενός εργοταξίου για την κατασκευή π.χ. ενός υπόγειου σιδηρόδρομου ή μιας οδικής αρτηρίας ή μιας γέφυρας (θόρυβος – σκόνη – συμφόρηση) είναι συνέπεια που δεν αποτιμάται στο σύνολό της σε οικονομική αποζημίωση και ως εκ τούτου δεν εκφράζεται σε χρηματικές μονάδες.

Η αισθητική υποβάθμιση μιας περιοχής από ένα έργο επίσης, δεν εκφράζεται σε χρηματικές μονάδες. Τα κοινωνικά προβλήματα, που μπορούν να

προκαλέσουν οι εκτεταμένες απαλλοτριώσεις των συγκοινωνιακών έργων, έχουν συχνά συνέπειες πέρα από το κόστος μετεγκατάστασης που καταβάλλεται και συνεπώς συμπεριλαμβάνονται στο κόστος κατασκευής. Και το μέρος του κόστους του έργου, το οποίο καλύπτει την μετεγκατάσταση (αποζημιώσεις – απαλλοτριώσεις), συνήθως δεν καλύπτει και σε καμία περίπτωση δεν αντανakλά πλήρως αυτά τα προβλήματα.

Έτσι, θα πρέπει να αναγνωριστεί ότι εκτός από το οικονομικό κόστος υπάρχει και κάποιο άλλο κόστος που συνδέεται με τις προαναφερόμενες επιπτώσεις και έχει ποιοτική διάσταση. Η αύξηση του μεγέθους των έργων που παρατηρούνται σήμερα ως συνέπεια της τεχνολογικής ανάπτυξης σημαίνει:

- Αύξηση του αντικτύπου των έργων στο οικολογικό περιβάλλον.
- Τεράστια έξοδα για την εκτέλεση των έργων.
- Περιπτώσεις έργων (και μάλιστα συγκοινωνιακών) που υποβάθμισαν περιοχές όπου έγιναν και είχαν απρόβλεπτες αρνητικές επιπτώσεις σε ορισμένες αναπτυξιακές παραμέτρους.

Ταυτόχρονα, υπάρχει μια αυξανόμενη ανθρώπινη προσπάθεια να αντιληφθούν και να τονώσουν τα στοιχεία που βελτιώνουν την ποιότητα ζωής. Έτσι, τα τελευταία χρόνια, η έρευνα προσπάθησε να δεισδύσει στην επίδραση της οδοποιίας και της λειτουργίας των έργων αυτών στο οικολογικό περιβάλλον και στην ποιότητα ζωής.

Ως εκ τούτου, μπορεί να ειπωθεί ότι το κόστος κατασκευής ή λειτουργίας ενός οδικού έργου είναι ένα πολυδιάστατο μέγεθος, το οποίο δεν μπορεί να εκτιμηθεί μόνο από οικονομικής άποψης. Έτσι, υιοθετείται η ακόλουθη γενική διάκριση :

- ❖ Η ανάλωση της προσπάθειας και της ύλης που αποτιμάται σε οικονομικά μεγέθη είναι το οικονομικό κόστος.
- ❖ Οι επιπτώσεις για τον άνθρωπο και το περιβάλλον είναι οι άλλες συνιστώσες του κόστους και ονομάζονται μη οικονομικό κόστος.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι το μη οικονομικό κόστος δεν αφορά πάντοτε τον ιδιοκτήτη του έργου. Αν, για παράδειγμα, ο ιδιοκτήτης είναι το κράτος, το πιο κοινό είναι να αφορά ένα μέρος των πολιτών του και όχι το σύνολο, ενώ αν ο ιδιοκτήτης είναι ιδιώτης (φυσικό ή νομικό πρόσωπο), το μη οικονομικό κόστος αναφέρεται σε άλλους (αλλά μερικές φορές στον ιδιοκτήτη) και με αυτή την έννοια αφορά το κράτος εκ νέου για το σύνολο ή το πιο κοινό υποσύνολο των πολιτών του (Μπιοναζούντας, 2001).

3.3 Κόστος Ανοιχτού Δρόμου

3.3.1 Κόστος κατασκευής ανοιχτού δρόμου

Το κόστος κατασκευής ενός έργου οδοποιίας περιλαμβάνει το κόστος της τεχνικής μελέτης, στο οποίο προστίθεται ποσοστό 5% για τα απρόβλεπτα έξοδα καθώς και τα έξοδα απαλλοτριώσεων και αποζημιώσεων. Με τον όρο τεχνική μελέτη εννοούνται όλα τα τεχνικά έργα που πρέπει να υλοποιηθούν σε αυτό το οδικό τμήμα.

❖ Μελέτη

Οι δαπάνες που βαρύνουν το έργο στο σύνολό του για την κατάρτιση των απαιτούμενων μελετών κυμαίνονται από 3% έως 5% του συνολικού κόστους του έργου. Επειδή πρόκειται για μείζον έργο και οι μελέτες θα πρέπει να πληρούν υψηλά πρότυπα, θεωρείται ότι το κόστος των μελετών θα ανέλθει στο 5% του κόστους κατασκευής. Το κόστος της τεχνικής μελέτης περιλαμβάνει όλους τους υπολογισμούς που απαιτούνται για τη φάση κατασκευής του οδικού έργου.

❖ Απαλλοτριώσεις – Αποζημιώσεις

Ένας σημαντικός παράγοντας, ο οποίος με τη σειρά του αυξάνει το κόστος κατασκευής του αυτοκινητοδρόμου, είναι αυτός του κόστους απαλλοτρίωσης. Το κόστος της απαλλοτρίωσης βαρύνει το κράτος και δεν επιβαρύνει τον παραχωρησιούχο.

❖ Φάση κατασκευής

Η φάση κατασκευής του οδικού έργου περιλαμβάνει όλες τις εργασίες που απαιτούνται για την λειτουργική παράδοση του έργου. Παρουσιάζονται κατά κατηγορία και έχουν ως εξής:

- Χωματοургικές εργασίες: περιλαμβάνουν εκσκαφές γαιών, εκσκαφές ορυγμάτων, μεταφορά προϊόντων εκσκαφής, κατασκευή επιχωμάτων, επένδυση πρανών με βλάστηση και πλήρωση νησίδων με φυτική γη.
- Τεχνικές εργασίες: περιλαμβάνουν έργα αποχέτευσης, αποστράγγισης, κατασκευής διασταυρώσεων, γεφυρών, ανισόπεδων κόμβων, κατασκευής τοίχων αντιστήριξης κλπ.
- Οδοστρώματα: περιλαμβάνει εργασίες οδόστρωσης και ασφαλικών.
- Οδική σήμανση και ασφάλεια: περιλαμβάνουν περιφράξεις, πλευρικά κιγκλιδώματα, δείκτες χιλιομέτρων, σημάνσεις οδού.

Οι εργασίες που απαιτούνται για την ολοκλήρωση ενός οδικού έργου ποικίλλουν τόσο στον αριθμό όσο και στην οικονομική τους προσέγγιση κατά μήκος του έργου. Αυτό οφείλεται κυρίως στις ιδιαίτερες απαιτήσεις που παρουσιάζει το έδαφος κατά μήκος έργου.

❖ Κόστος κατασκευής σταθμών διοδίων

Ο σχεδιασμός των σταθμών διοδίων θα πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να μπορεί να εξυπηρετείται ικανοποιητικά το υψηλότερο φορτίο κυκλοφορίας που μπορεί να χειριστεί το οδικό έργο. Σύμφωνα με το εθνικό ταμείο οδών, το ζητούμενο φορτίο είναι στατιστικά περίπου 12,5% του υπολογιζόμενου Ε.Μ.Η.Κ. (Τ.Ε.Ο.).

Άλλες βασικές παραδοχές σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του Εθνικού Ταμείου Οδοποιίας (Τ.Ε.Ο.) για το σχεδιασμό του σταθμού διοδίων είναι:

- Κάθε χειροκίνητη (μηχανική) λωρίδα διοδίων εξυπηρετεί περίπου 350 μικτά οχήματα ανά ώρα.
- Κάθε λωρίδα κυκλοφορίας αντιστοιχεί σε 4 χειροκίνητες ή μία ηλεκτρονική λωρίδα διοδίων.

- Η ανακαίνιση (ενημέρωση) των διοδίων βασίζεται στον πληθωρισμό.

3.3.2 Κόστος συντήρησης – λειτουργίας ανοιχτού δρόμου

❖ Συντήρηση του οδοστρώματος

Οι καταπονήσεις που δύναται να δέχεται το οδόστρωμα σε ένα οδικό έργο είναι κυρίως δύο ειδών. Αυτές που προέρχονται από το φορτίο των οχημάτων και τον καιρό και αυτές που προκαλούνται από την εναλλαγή των μετεωρολογικών συνθηκών. Οι καταπονήσεις από τα φορτία του οχήματος ταξινομούνται σε εκείνες που προκαλούνται από τα στατικά και από τα δυναμικά φορτία των τροχών των αυτοκινήτων, ενώ η φθορά των καιρικών συνθηκών οφείλεται κυρίως στη θερμοκρασία, το νερό, τον αέρα και το πέρασμα του χρόνου (Λοΐζος, 1996).

Από την ανάλυση της κυκλοφορίας, πριν από την κατασκευή του αυτοκινητοδρόμου, καθώς και από τη διαστασιολόγηση του πεζοδρομίου, είναι δυνατόν να προβλεφθούν οι ταχύτητες φθοράς του πεζοδρομίου και έτσι να προγραμματιστούν μελλοντικές εργασίες συντήρησης και ανακατασκευής, προκειμένου να αποκατασταθεί η κατάσταση του οδοστρώματος και η ανάκτηση των επιθυμητών προδιαγραφών.

Μια τάξη μεγέθους για την οικονομική απαίτηση αυτών των εργασιών δύναται να εκτιμηθεί από τον κρατικό προϋπολογισμό. Ο ετήσιος προϋπολογισμός για τη συντήρηση του οδικού δικτύου συνολικού μήκους 9.300 χλμ. είναι περίπου 75 εκατομμύρια ευρώ, χρηματοδοτούμενος από το Δημόσιο (περίπου 15%) και τα έσοδα του Τ.Ε.Ο.. Ως εκ τούτου, οι εργασίες συντήρησης οδοστρώματος φτάνουν στα 8,000€ ανά χιλιόμετρο κατασκευασμένου οδικού δικτύου (Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2010).

Ανάλογα με το πότε οι εργασίες αυτές εκδηλώνονται, οι παρεμβάσεις χωρίζονται σε τακτικές, έκτακτες και περιοδικές ανάγκες. Συνοπτικά, οι τακτικές εργασίες συντήρησης σε αυτοκινητόδρομους, οι οποίες ποικίλλουν σε συχνότητα, δηλαδή σε μια χρονική περίοδο, είναι:

- Τακτικές ανάγκες:
 - Καθαρισμός οδοστρώματος, στηθαίων, πινακίδων και αποψίλωση πρανών.
 - Συντήρηση διαγραμμίσεων, στηθαίων, πινακίδων κατακόρυφης σήμανσης, φωτιστικών σωμάτων, πράσινου, νησίδων και πρανών.
 - Αντικατάσταση λαμπτήρων σηματοδότησης και φωτισμού.
 - Επιθεώρηση τεχνικών έργων (γέφυρες, οχετών, σηράγγων).
 - Συντήρηση μηχανικού εξοπλισμού.
 - Απόφραξη φρεατίων και σωλήνων αποστράγγισης όμβριων υδάτων.
- Έκτακτες ανάγκες (αναμενόμενες εποχιακά ή απρόβλεπτες, που οφείλονται σε φυσικές καταστροφές, ατυχήματα κ.λ.π.) :
 - Άρση καταπτώσεων
 - Απομάκρυνση οχημάτων που έχουν ακινητοποιηθεί μετά από βλάβη ή ατύχημα.
 - Καθαρισμός και πλύσιμο οδοστρωμάτων από διάφορα αντικείμενα, λάδια μετά από οδικά ατυχήματα.
 - Αποχιονισμός και αντιμετώπιση παγετού στην επιφάνεια του δρόμου.
 - Άμεση αφαίρεση των στηθαίων που έχουν υποστεί βλάβη από ατύχημα και επανατοποθέτηση νέων.
- Περιοδικές εργασίες συντήρησης ή αντικατάστασης, στις οποίες ανήκουν οι εργασίες συντήρησης οδοστρώματος, γεφυρών, σηράγγων.

Οι περιοδικές εργασίες ξαναδίνουν στο περιουσιακό στοιχείο τις προβλεπόμενες προδιαγραφές και τα χαρακτηριστικά αντοχής έτσι ώστε:

- να είναι σε θέση να αντιμετωπίσει τις απαιτήσεις της κυκλοφορίας,
- να αποτρέπεται η πρόωρη πλήρη αντικατάσταση ή αναδιάρθρωση του περιουσιακού στοιχείου
- να παράσχει στο περιουσιακό στοιχείο τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά για να μπορεί να μεταφερθεί στο τέλος της παραχώρησης.

❖ Κόστος λειτουργίας και συντήρησης του σταθμού διοδίων

Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης ενός σταθμού διοδίων αποτελείται από:

- Κόστος του αναγκαίου προσωπικού για τη λειτουργία των σταθμών διοδίων.
- Λογαριασμοί, λαμβανόμενες υπηρεσίες κοινής ωφέλειας από τους σταθμούς διοδίων.
- Έξοδα διαχείρισης εσόδων.
- Συντήρηση των σταθμών διοδίων και του εξοπλισμού τους.

❖ Κόστος αστυνόμευσης των οδικών έργων

Οι δαπάνες για το κόστος αστυνόμευσης επιβαρύνουν αποκλειστικά το Δημόσιο, επομένως δεν αποτελεί συστατικό μέρος που αφορά τον Παραχωρησιούχο και την κατασκευή του έργου, αλλά περιλαμβάνεται ως λειτουργικό κόστος που απαιτείται για την ομαλή λειτουργία του οδικού δικτύου.

Ως αστυνομικά έξοδα σε εθνική οδό και όχι μόνο εννοείται το σύνολο των δαπανών για :

- Την στελέχωση του οχήματος αστυνόμευσης.
- Το όχημα της αστυνομίας, όπως τα καύσιμα, τα έξοδα συντήρησης,
- Τον αριθμό των βαρδιών ανά ημέρα.
- Τη χρήση ανακριτικών ή γερανών σε περίπτωση ατυχήματος.

3.4 Κόστος σηράγγων

Όπως συμβαίνει στην περίπτωση του ανοικτού αυτοκινητόδρομου, όπως στην περίπτωση της σήραγγας, η ανάλυση ζωή του έργου (L.C.C.A.) απαιτεί το κόστος να καθορίζεται από τις απαιτήσεις της κατασκευής (διάνοιξη), αλλά και από το σύνολο των εργασιών που απαιτούνται για τη διασφάλιση των προδιαγραφών. Αυτές αφορούν το κόστος λειτουργίας και συντήρησης για την ασφαλή χρήση του έργου χωρίς να αλλάζουν οι τεχνικές προδιαγραφές του.

3.4.1.Κόστος κατασκευής σήραγγας

Το κόστος των σηράγγων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε οδικό έργο αποτελεί σημαντικό μέρος της βιωσιμότητας του έργου λόγω της αναγκαιότητας των σηράγγων αλλά και λόγω της οικονομικής διαφοράς που παρουσιάζουν με τα ανοικτά τμήματα του αυτοκινητοδρόμου. Με μια αρχική προσέγγιση, λαμβάνοντας υπόψη τα στατιστικά στοιχεία που προέκυψαν από την πρόσφατη ολοκλήρωση της Εγνατίας Οδού, βλέπουμε ότι ενώ οι σήραγγες αντιπροσωπεύουν μόνο το 6% της χιλιομετρικής απόστασης, το κόστος κατασκευής αντιπροσώπευε το 35% του συνολικού κόστους. Ένα αποτέλεσμα που αποδεικνύει την έλλειψη ισορροπίας μεταξύ κόστους και διανυόμενου km (μήκος του έργου).

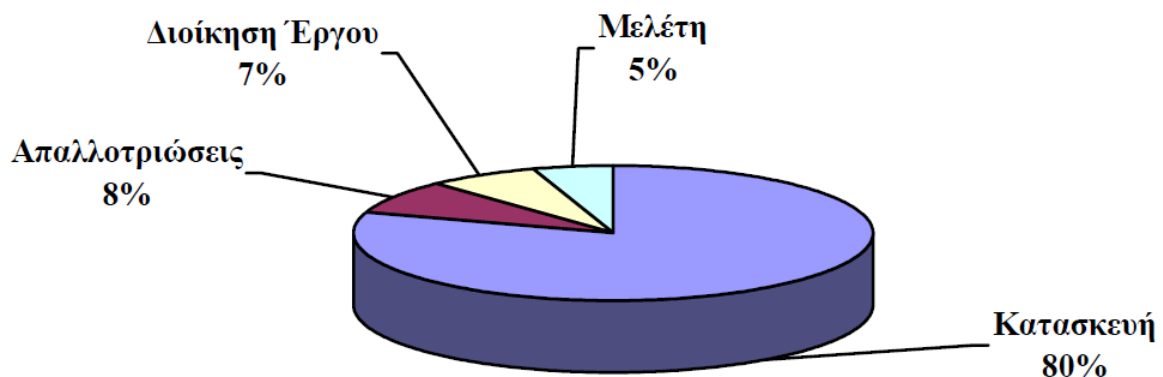
Λόγω της μεγάλης επίπτωσης στο συνολικό κόστος του έργου, απαιτείται μια ειδική μεθοδολογία για την παρακολούθηση του κόστους των σηράγγων, με επίκεντρο τα μεγάλα κέντρα κόστους.

Η δυσκολία, ωστόσο, στην περίπτωση της κατασκευής σήραγγας δεν είναι στο αποδεδειγμένα κατά πολύ υψηλότερο κόστος. Το πιο δύσκολο εγχείρημα σε μια τέτοια περίπτωση είναι ο προϋπολογισμός του κόστους ενός υπόγειου έργου. Ένας κυρίαρχος παράγοντας στο διαμόρφωση του κόστους διάτρησης της σήραγγας είναι οι γεωλογικές-γεωτεχνικές και οι γεωμηχανικές συνθήκες. Αυτοί οι παράγοντες πολύ συχνά δεν μπορούν να ανιχνευθούν με ακρίβεια, οπότε η διάνοιξη δεν γίνεται με την καταλληλότερη τεχνική λύση. Ωστόσο, ακόμα και όταν οι προβλέψεις από τις γεωτρήσεις και τις τεχνικές μελέτες που προηγούνται επαληθεύονται, οι συνθήκες που έχουν ανιχνευθεί μπορούν να αλλάξουν κατά μήκος της γραμμής χάραξης μεταβάλλοντας συνεχώς το περιβάλλον στο οποίο γίνεται η διάνοιξη.

Η πρόσφατη εμπειρία στην κατασκευή της Εγνατίας Οδού παρέχει στατιστικά στοιχεία τα οποία, λόγω του μεγάλου αριθμού των σηράγγων που διανοίχθηκαν μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά. Η Εγνατία Οδός περιλαμβάνει 138 σήραγγες συνολικού μήκους περίπου 100 χιλιομέτρων από έναν

μόνο τομέα, καλύπτοντας 50 km αυτοκινητόδρομου. Από τις σήραγγες, 64 είναι δίδυμες (2 x 64) και 10 είναι μονές. Η πλειοψηφία κατασκευάστηκε με διατρήσεις (96 km ενός κλάδου), ενώ μερικές ανασκάφηκαν και ανοικοδομήθηκαν (4 km μονού κλάδου).

Το κόστος διάνοιξης της σήραγγας (εκσκαφή και προσωρινή υποστήριξη) αντιπροσωπεύει κατά μέσο όρο το 62% του συνολικού κόστους. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις με πολύ δύσκολη γεωλογία μπορεί να φθάσει το 73% του συνολικού κόστους (π.χ. Σήραγγα Ανθοχωρίου). Το κόστος της τελικής επένδυσης, που αποτελείται από οπλισμένο σκυρόδεμα ποικίλου πάχους ανάλογα με την ποιότητα της βράχου, αντιστοιχεί κατά μέσο όρο στο 17% του συνολικού κόστους. Ιδιαίτερη σημασία έχει το κόστος εγκατάστασης των ηλεκτρομηχανολογικών και τηλεματικών συστημάτων για την ασφαλή και αποδοτική λειτουργία της σήραγγας, που είναι περίπου 14%. Τέλος, το κόστος κατασκευής των στομίων των σηράγγων είναι 3%, ενώ το κόστος των συνδετήριων στοών, των φρεάτων εξαερισμού, της οδοστρωσίας, των ασφαλτικών εργασιών και των κτηρίων ελέγχου στο 4% (Λαμπρόπουλος, 2005).



Διάγραμμα 2 : Κατανομή κόστους Εγνατίας Οδού (Λαμπρόπουλος, 2005)

Αντιμετώπιση γεωλογικών συνθηκών

Όσες αναλύσεις κόστους και να πραγματοποιηθούν, όσοι αναλυτικοί προϋπολογισμοί και αν καταρτιστούν, το μεγαλύτερο ρόλο για το τελικό κόστος της

σήραγγας θα τον έχουν οι γεωλογικές συνθήκες που αντιμετωπίζει η περιοχή μέσω της οποίας διέρχεται η σήραγγα. Δυστυχώς, η εξέλιξη της τεχνολογίας, μολονότι διαρκώς αναπτύσσεται στις μηχανές διάτρησης, δεν μας έχει δώσει ούτε ένα τόσο ισχυρό μηχάνημα ικανό να αντιμετωπίσει όλες τις πιθανές γεωλογικές μορφές ούτε μια μέθοδο πλήρους απεικόνισης των συνθηκών που επικρατούν στον άξονα όπου θα περάσει το έργο. Έτσι, το κόστος διάνοιξης μιας σήραγγας είναι μία από τις πιο δύσκολες προς εκτίμηση ενέργειες που αφορούν ένα οδικό έργο.

Σύμφωνα με την Αμερικάνικη Επιτροπή Τεχνολογίας Σηράγγων (USNC/TT, 2013), ο αριθμός των υπόγειων έργων που υπερβαίνουν τελικά τις αρχικές εκτιμήσεις κόστους υπερβαίνουν το 60%. Πολλές από αυτές τις περιπτώσεις δεν υπερβαίνουν απλώς τους αρχικούς προϋπολογισμούς, αλλά το κόστος τους αυξάνεται σχεδόν στο 50%, γεγονός που συχνά δημιουργεί ζητήματα βιωσιμότητας για ολόκληρο το έργο.

Η καλύτερη δυνατή εκτίμηση του κόστους της σήραγγας είναι μια σύνθεση πολλαπλών παραγόντων. Απαιτεί τη διαθεσιμότητα αξιόπιστων δεδομένων από τον τόπο όπου θα κατασκευαστεί, εξαρτάται από τον σωστό σχεδιασμό και την κατανομή των απαιτούμενων πόρων και επηρεάζεται από το γεγονός ότι κάθε έργο έχει μοναδικά χαρακτηριστικά τα οποία πρέπει να αξιολογούνται διαφορετικά κατά περίπτωση. Σε όλη αυτή τη διαδικασία, η εμπειρία και η κρίση του μηχανικού που διαχειρίζεται τον προγραμματισμό διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο. Προκειμένου να προβλεφθεί όσο το δυνατόν περισσότερο το κόστος κατασκευής, επικρατούν διάφορες μέθοδοι όπως η ανάλυση παλαιότερων έργων, τα νευρωνικά δίκτυα και η ανάλυση παλινδρόμησης που παρουσιάζονται παρακάτω (Παρασκευοπούλου και Μπενάρδος, 2012).

Μέθοδος Ανάλυσης Παλινδρόμησης: αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί στατιστικές τεχνικές για τη μοντελοποίηση και την ανάλυση εξαρτημένων μεταβλητών και στη συνέχεια με τη χρήση σταθερών μεταβλητών καθορίζει την τιμή τους, υπολογίζοντας τελικά το κόστος.

Ανάλυση παλαιότερων έργων: αυτή η μέθοδος βασίζεται στην εμπειρία που αποκτήθηκε από προηγούμενα έργα και στις πληροφορίες που συγκεντρώθηκαν

από αυτά. Το κρίσιμο στοιχείο αυτής της μεθόδου είναι να βρεθούν ακριβείς και σαφείς ομοιότητες μεταξύ της έργου και εκείνων που έχουν ήδη κατασκευαστεί έτσι ώστε η εμπειρία να είναι μεταβιβάσιμη.

Μέθοδος Τεχνικών Νευρωνικού Δικτύου: Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ένα μαθηματικό μοντέλο για τη μετατροπή πληροφοριών που προσομοιώνουν το πρόβλημα σε μια μορφή διαχειρίσιμης τεχνολογίας τεχνητής νοημοσύνης. Ωστόσο, αυτή η διαδικασία απαιτεί υψηλό βαθμό εξειδίκευσης με το λογισμικό που χρησιμοποιείται και απαιτεί δοκιμές ώστε να επιλέγεται το καταλληλότερο δίκτυο μέσω των σφαλμάτων που θα παρουσιαστούν. Παρ' όλα αυτά, τα μοντέλα ΤΝΔ χαρακτηρίζονται από καλές δυνατότητες γενίκευσης και μπορούν να οδηγήσουν σε αρκετά ακριβείς εκτιμήσεις του κόστους των οδικών σιηράγγων.

Εκτίμηση κόστους

Το πρόβλημα της σωστής και ακριβούς εκτίμησης του τελικού κόστους μιας σήραγγας έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης αρκετών μελετών μέχρι σήμερα. Αυτό συμβαίνει επειδή το φάσμα των διαφορών που μπορεί να προκύψουν είναι τόσο μεγάλο που μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τη βιωσιμότητα ολόκληρου του έργου. Για να γίνει αυτό, το γεωλογικό μοντέλο και οι γεωλογικές συνθήκες του έργου πρέπει να εναρμονιστούν καταλλήλως, ώστε να εκτιμηθεί καλύτερα το τελικό κόστος.

Η Επιτροπή Σιηράγγων στην Ελβετία (Swiss Tunneling Society, 2013) λαμβάνοντας στατιστικά στοιχεία από περίπου 1.200 οδικές σιηραγγες, συνολικού μήκους άνω των 1.600 km, δημιούργησε μια συσχέτιση μεταξύ ποιότητας εδάφους και τελικού κόστους. Έτσι, το κόστος κατασκευής και προσωρινής στήριξης ανήλθε σε 110 €/m³ εξορυχθέντος υλικού για περιοχές με σταθερούς βράχους μέχρι 1.077€/m³ εξορυχθέντος υλικού για περιοχές με χαλαρό έδαφος. Σε κάθε περίπτωση, ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι τα δεδομένα αναφέρονται σε ένα τελείως διαφορετικό εδαφικό υπόβαθρο από τα ελληνικά και οι αναγωγές είναι δύσκολες έως ανακριβείς.

Στην Ελλάδα, η μελέτη Λαμπρόπουλου (2005) για την Εγνατία Οδό, όπου χτίστηκαν 100 km σηράγγων, υπολογίστηκε ότι για κάθε διανοιγόμενο m, το κόστος ήταν μεταξύ 8.000€/m και 30.000€/m, ανάλογα με τις γεωμορφολογικές συνθήκες που παρουσιάστηκαν και αντιμετωπίστηκαν κατά περίπτωση.

Με αυτόν τον στόχο διεξήχθη έρευνα από τους Παρασκευοπούλου και Μπενάρδο, (2012), που προσπάθησαν να ερευνήσουν τις σχέσεις που δημιουργούνται μεταξύ του κόστους και της ποιότητας της βράχου. Σε αυτή τη μελέτη, η ποιότητα ελέγχεται κατά GSI αλλά και κατά RMR και ανάλογα με τη βαθμονόμηση που λαμβάνει, κατηγοριοποιείται σε πέντε διαφορετικές κατηγορίες (A-B-C-D-E) κατά φθίνουσα σειρά ποιότητας. Λαμβάνονται με τη μέθοδο των υπαρχόντων έργων (back analysis), στοιχεία από περατωμένα έργα στον ελλαδικό χώρο, και καταλήγουν σε δύο λογαριθμικές σχέσεις, η μια για την ποιότητα σε GSI και η δεύτερη για την ποιότητα σε RMR.

$$Cost \left(\frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right) = -55,91 * \ln(GSI) + 259,1$$

$$Cost \left(\frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right) = -63,41 * \ln(RMR) + 295,2$$

Ενδεικτικά για τις κατηγορίες που προέκυψαν από την παραπάνω μελέτη προκύπτει ο παρακάτω πίνακας :

Κατηγορία	GSI	Κατασκευαστικό Κόστος (€/m ³)
A	55-100	27
B	35-55	48
C	15-35	68
D	<15	104
E	Έδαφος	191

Πίνακας 3: Αντιστοίχιση GSI με Κατασκευαστικό κόστος (Παρασκευοπούλου και Μπενάρδος, 2012)

Συνεχίζοντας την έρευνα, με νέα δημοσίευση του 2013, εξετάζοντας στατιστικά αποτελέσματα από 25 σήραγγες που έγιναν στον ελλαδικό χώρο, κατάφεραν να προσεγγίσουν πιο ακριβείς τιμές ανά κατηγορία γεωλογικού υλικού. Έτσι προκύπτει ο παρακάτω πίνακας, ο οποίος συσχετίζει το κόστος κατασκευής με τα μέτρα προχώρησης της σήραγγας (€/m) ή τα κυβικά μέτρα εξορυγμένου υλικού (€/m³) (Παρασκευοπούλου και Μπενάρδος, 2013):

Κατηγορία	GSI	Κόστος ανά μέτρο προχώρησης (€/m)	Κόστος ανά κυβικό μέτρο εξ. υλικού (€/m ³)
A	55-100	4.665,10	30,20
B	35-55	6.779,30	58,00
C	15-35	12.917,50	96,30
D	<15	17.986,60	109,70
E	Έδαφος	19.267,30	138,30

*Πίνακας 4: Συσχέτιση GSI με μέτρα προχώρησης και κυβικά εξορυγμένου υλικού
Αντιστοίχιση GSI με Κατασκευαστικό κόστος (Παρασκευοπούλου και Μπενάρδος, 2013)*

Τα αποτελέσματα των παραπάνω ερευνών προσφέρουν μια αξιόπιστη προσέγγιση του τελικού κόστους που απαιτείται για τη διάνοιξη μίας σήραγγας, ανάλογα με τις γεωτεχνικές συνθήκες που επικρατούν και θα πρέπει να αντιμετωπιστούν κατά μήκος του άξονα αυτής.

3.4.2 Κόστος συντήρησης – λειτουργίας σήραγγας

Η συντήρηση των εγκαταστάσεων υποδομής είναι μια πολύ σημαντική ενέργεια στη ζωή και τη λειτουργία ενός έργου, καθώς αποτελεί τον μηχανισμό που ανανεώνει και εξασφαλίζει τις προδιαγραφές που είχαν αρχικά επιλεχθεί και απαιτηθεί, επεκτείνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής του έργου, στην οποία οι προδιαγραφές λειτουργίας του βρίσκονται σε μεγάλο βαθμό. Οι σήραγγες με τις

κατασκευαστικές ιδιαιτερότητες της μορφής τους, απαιτούν πολύ μεγαλύτερο φάσμα εργασιών από το υπόλοιπο οδικό δίκτυο, καθώς πρόκειται για κλειστό οδικό τμήμα και οι απαιτήσεις της ορθής λειτουργίας του είναι πολύ μεγαλύτερες (Εγνατία Οδός Α.Ε., 2004).

Ο διαχωρισμός των εργασιών συντήρησης σε σήραγγα πραγματοποιείται σε :

- Τακτική συντήρηση (περιοδική ανά τακτά χρονικά διαστήματα)
- Έκτακτη συντήρηση (διορθωτική για επισκευές - αποκατάσταση ζημιών και βλαβών)

Τακτική συντήρηση σήραγγας

Ένα στοιχείο που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το πρόγραμμα τακτικής συντήρησης κάθε σήραγγας είναι οι προδιαγραφές συντήρησης του εξοπλισμού που είναι εγκατεστημένος σε αυτό. Ένας δεύτερος σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την τακτική συντήρηση είναι η συχνότητα πλήσης των τοιχωμάτων της σήραγγας, μια διαδικασία που απαιτεί το κλείσιμο ολόκληρου κλάδου της σήραγγας και επηρεάζει διάφορους παράγοντες (φορτίο κυκλοφορίας, ποσοστό βαρέων οχημάτων κλπ.).

Το κατάλληλο πρόγραμμα συντήρησης θα πρέπει να επιλέγεται με βάση την ελάχιστη δυνατή όχληση και παρεμπόδιση της λειτουργίας της σήραγγας. Θα πρέπει, επίσης, να λαμβάνονται υπόψη όλες οι τοπικές συνθήκες (φόρτος, περίοδοι αιχμής, αργίες, εκδηλώσεις, καιρικές συνθήκες) που είτε αυξάνουν είτε μειώνουν τις απαιτήσεις των χρηστών. Ειδικά στην περίπτωση σηράγγων μονού κλάδου, το πρόγραμμα συντήρησης εξαρτάται επίσης από τη δυνατότητα εξεύρεσης εναλλακτικής διαδρομής για την εκτροπή της κυκλοφορίας.

Έκτακτη συντήρηση σήραγγας

Σε περίπτωση πλήρους αστοχίας (βλάβη, φθορά) του εξοπλισμού κατά τη λειτουργία αυτού, απαιτείται άμεσος έλεγχος και εκτίμηση της κατάστασης από το προσωπικό συντήρησης, το οποίο θα πρέπει πάντα να είναι διαθέσιμο.

Στο πλαίσιο της συντήρησης έκτακτης ανάγκης, υπάρχει συνήθως ένα σύστημα κατηγοριοποίησης των φθορών και των ζημιών που προκύπτουν καθώς και οι ενδεικτικοί χρόνοι απόκρισης και αποκατάστασης για κάθε κατηγορία, που πρέπει να τηρούνται από το προσωπικό συντήρησης. Έτσι, μπορούν να καθοριστούν θέματα όπως:

- πότε εισέρχεται ο συντηρητής
- ποιες είναι οι φθορές και οι βλάβες που απαιτούν άμεση αποκατάσταση
- ποιες από αυτές μπορούν να επισκευαστούν κατά την επόμενη βάρδια ή ποιες μπορούν κατά την επόμενη τακτική συντήρηση.

Για όλα τα παραπάνω, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι επιπτώσεις της μη λειτουργίας του εξοπλισμού, π.χ. ποιο ποσοστό των ανεμιστήρων εξαερισμού πρέπει να λειτουργεί, ώστε να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του αρχικού σχεδιασμού.

Σύστημα φωτισμού

Τα φωτιστικά σώματα που τοποθετούνται στη σήραγγα είναι αυτοτελή, τυποποιημένου τύπου με σώμα από αλουμίνιο ή ανοξείδωτο χάλυβα εξαιρετικής ανθεκτικότητας. Τα κελύφη είναι ειδικά προστατευμένα για εγκαταστάσεις σήραγγας με ειδική αντιδιαβρωτική επεξεργασία και συνδέονται με το σώμα του φωτιστικού με εξαρτήματα από ανοξείδωτο χάλυβα. Τα φωτιστικά παρέχουν ένα επίπεδο εισόδου σκόνης και νερού, IP65-IP66 και επιτρέπουν την πλύση τους με έναν εύκαμπτο σωλήνα πίεσης. Στις περισσότερες εθνικές οδικές σήραγγες, ο φωτισμός επιτυγχάνεται με φωτιστικά συμμετρικής κατανομής φωτεινής ροής και ο φωτισμός των ζωνών εισόδου με φωτιστικά ασύμμετρης κατανομής φωτεινής ροής αντίθετης δέσμης. Οι λαμπτήρες που απαντώνται στις σήραγγες της Εθνικής Οδού είναι νατρίου υψηλής πίεσης, υψηλής απόδοσης, ισχύος από 100-400Watt, με αναμενόμενη διάρκεια ζωής 18.000 ωρών λειτουργίας (Οδηγίες συντήρησης αυτοκινητοδρόμων-Εγνατία Οδός, 2004).

Η εγκατάσταση φωτισμού περιλαμβάνει:

- Φωτισμό ημέρας (τροφοδοτείται από το ηλεκτρικό δίκτυο-ΔΕΗ)
- Φωτισμό ασφαλείας (τροφοδοτείται από το Η/Ζ)

- Νυχτερινό φωτισμό (τροφοδοτείται από το UPS). Ο νυχτερινός φωτισμός επιτυγχάνεται με συμμετρικά φωτιστικά, ανεξάρτητα από τα φώτα ημέρας.
- Φωτισμό οδικής πρόσβασης σε κάθε πλευρά των εισόδων της σήραγγας.

Μπορεί επίσης να εγκατασταθεί ένα σύστημα ρύθμισης φωτεινότητας (dimming), για να επιτευχθούν τα απαιτούμενα επίπεδα φωτεινότητας. Η συντήρηση των φωτιστικών θα πρέπει να περιλαμβάνει τα ίδια φωτιστικά, το σύστημα ρύθμισης και τα άμεσα στηρίγματα τους. Η συντήρηση των φωτιστικών απαιτεί πλατφόρμα ανύψωσης και κλείσιμο του κλάδου της σήραγγας, όπου εκτελούνται οι εργασίες συντήρησης. Η πρόσβαση γίνεται από το μπροστινό γυάλινο κάλυμμα που συγκρατείται από δύο εύκαμπτους συνδέσμους. Το προστατευτικό γυαλί είναι άθραυστο πάχους τουλάχιστον 5 mm, για να αντέξει τις μηχανικές καταπονήσεις.

Στο πλαίσιο της συντήρησης του φωτισμού, διενεργούνται επιθεωρήσεις σε τακτά διαστήματα για τον προσδιορισμό του ποσοστού των λαμπτήρων που δεν λειτουργούν. Οι επιθεωρήσεις αυτές εξετάζουν εάν ο φωτισμός που απαιτείται στη σήραγγα, ικανοποιείται από τους λαμπτήρες που λειτουργούν. Αν δεν υπάρχει πρόβλημα, η αλλαγή πραγματοποιείται στην επόμενη προγραμματισμένη περίοδο συντήρησης, διαφορετικά προγραμματίζεται συντήρηση έκτακτης ανάγκης.

Τα χρονικά διαστήματα για την μαζική αντικατάσταση λαμπτήρων πρέπει να συσχετίζονται με τις πραγματικές ώρες λειτουργίας κάθε βαθμίδας φωτισμού. Διεθνώς, η πρακτική της προληπτικής μαζικής αντικατάστασης των λαμπτήρων μετά από 16.000-18.000h λειτουργίας είναι αποδεκτή. Χρόνος που αντιστοιχεί σε περίπου δύο χρόνια λειτουργίας της σήραγγας.

Η τακτική συντήρηση για τον έλεγχο φωτισμού και των ηλεκτρικών κυκλωμάτων γίνεται μαζί με τον αντίστοιχο ηλεκτρικό εξοπλισμό και το τυπικό διάστημα είναι συνήθως 12 μήνες.

Σύστημα εξαερισμού

Για το διαμήκη αερισμό των σηράγγων χρησιμοποιούνται αξονικοί ανεμιστήρες ώσης οι οποίοι εδράζονται στο θόλο της σήραγγας μέσω

αντικραδασμικών βάσεων και είναι εφοδιασμένοι με ακουστικούς σιγαστήρες στην είσοδο και την έξοδο τους. Η διάμετρος ποικίλει από 600-1500mm, η ταχύτητα περιστροφής από 3.000-750 rpm και η ισχύς του κινητήρα 5-60kW. Η πρόσβαση για τη συντήρηση γίνεται με ανυψωμένη πλατφόρμα και απαιτείται πλήρες κλείσιμο του κλάδου της σήραγγας. Οι ακριβείς απαιτήσεις συντήρησης των ανεμιστήρων καθορίζονται επακριβώς από τον εκάστοτε κατασκευαστή (Οδηγίες συντήρησης αυτοκινητοδρόμων-Εγνατία Οδός, 2004).

Ο καθαρισμός τμημάτων των μηχανημάτων (πτερύγια, σιγαστήρες κ.α.) αποφασίζεται μετά από οπτικό έλεγχο των εξαρτημάτων. Είναι απαραίτητη η επιθεώρηση τόσο των μηχανισμών που βρίσκονται σε λειτουργία όσο και των εξαρτημάτων εκείνων (έδρανα ανεμιστήρων, εφεδρικοί ανεμιστήρες) που δεν λειτουργούν. Ειδικά τα τελευταία θα πρέπει να λειτουργούν δοκιμαστικά ώστε να ελέγχεται η ετοιμότητά τους. Η γενική επιθεώρηση του συστήματος γίνεται ανά 5.000 ώρες λειτουργίας.

Η βασική κύρια συντήρηση του συστήματος ορίζεται από τους κατασκευαστές στα 5 έως 7 χρόνια λειτουργίας(συνήθως >60.000 h). Σε αυτή την διαδικασία οι ανεμιστήρες αποσυναρμολογούνται πλήρως, επαναβάφονται και αντικαθίστανται όλα τα εξαρτήματα που έχουν φθαρεί. Πέρα όμως από τη βασική συντήρηση ανά 6 μήνες γίνονται εργασίες που περιλαμβάνουν τη λίπανση των εξαρτημάτων του συστήματος καθώς και γενικό έλεγχο λειτουργικότητας.

Εγκαταστάσεις πυρασφάλειας και πυρόσβεσης

Οδεύσεις διαφυγής

Οι εγκάρσιες οδεύσεις διαφυγής που βρίσκονται για λόγους ασφαλείας των χρηστών της σήραγγας ανά 300-400m είναι εξοπλισμένες με πυράντοχες πόρτες, φωτεινές πινακίδες σήμανσης και περιστρεφόμενους φάρους. Κατά τη συντήρηση υπάρχουν κατάλληλες διαδικασίες για την προσωρινή απενεργοποίηση των συναγερμών κατά τη διάρκεια της συντήρησης. Όλα τα εκτεθειμένα τμήματα (πόρτες διαφυγής) δεν δύναται να καθαρίζονται μαζί με το εσωτερικό της σήραγγας λόγω της ευαισθησίας τους στην πίεση του νερού και των απορρυπαντικών υλικών

που χρησιμοποιούνται. Γι' αυτό ο καθαρισμός τους γίνεται με χειροκίνητα μέσα ενώ ειδικά για τις πινακίδες σήμανσης των οδών διαφυγής ο καθαρισμός πρέπει να γίνεται ανά 3 μήνες (Οδηγίες συντήρησης αυτοκινητοδρόμων-Εγνατία Οδός, 2004).

Η συντήρηση των εγκάρσιων οδεύσεων περιλαμβάνει την επιθεώρησή τους για ζημιές, διαβρώσεις ή άλλων ελαττωμάτων καθώς και την λίπανση όλων των στοιχείων τους (μεντεσέδες-πόμολα κ.α.). Όπου διαπιστωθεί ότι κάποιο εξάρτημα έχει φθαρεί ή καταστραφεί γίνεται αντικατάστασή του. Έλεγχος γίνεται επίσης και στα στεγανοποιητικά της σήμανσης οδού διαφυγής ενώ οι λαμπτήρες της σήμανσης αντικαθίστώνται ανά 12 μήνες. Τέλος πραγματοποιούνται και σχετικές δοκιμές για τη σωστή λειτουργία των οδεύσεων (ανοιγοκλείσιμο θυρών-φωτεινότητα λαμπτήρων κ.α.).

Φορητοί πυροσβεστήρες

Δύο φορητοί πυροσβεστήρες ξηράς κόνεως, 6kg και 9 ή 12kg αντίστοιχα βρίσκονται στα Ερμάρια Ανάγκης Σήραγγας (ΕΑΣ) ανά 50μ. στο δεξιό τοίχωμα της σήραγγας προς την κατεύθυνση κυκλοφορίας. Για την συντήρησή τους ο δεξιός κλάδος θα πρέπει να κλείνει για τη μεταφορά τους και κατά προτίμηση γίνεται σε ώρες χαμηλού φόρτου. Δεν απαιτείται ιδιαίτερος καθαρισμός μιας και βρίσκονται αποθηκευμένοι μονίμως μέσα σε ειδικά μεταλλικά κουτιά αλλά γίνεται έλεγχος για τυχόν διαβρώσεις. Ο έλεγχος τους εξαρτάται από το αν η σήραγγα ελέγχεται συνεχώς. Έτσι αν υπάρχει διαρκείς εποπτεία ο έλεγχος γίνεται ανά 3 μήνες ενώ αν δεν υπάρχει κέντρο ελέγχου ανά 1 μήνα. Η αναγόμωση γίνεται σύμφωνα με τον κατασκευαστή συνηθέστερα ανά 12 μήνες.

Μόνιμο δίκτυο πυρόσβεσης

Προβλέπεται για τις σήραγγες άνω των 500μ μήκους και περιλαμβάνει έναν κεντρικό αγωγό διαμέτρου 6 ιντσών υπό πίεση που διατρέχει όλο το μήκος κάθε κλάδου της σήραγγας. Εντός των ΕΑΣ ανά 50μ. υπάρχουν πυροσβεστικοί κρουνοί εφοδιασμένοι με βάνες χειρισμού και απομόνωσης της παροχής του νερού ενώ συνοδεύονται από τύμπανα αυτόματης εκτύλιξης με ικανότητα περιέλιξης 30μ.

Υπάρχει δεξαμενή και αντλίες που προσφέρουν στο δίκτυο πίεση 6 bar ενώ η συνολική χωρητικότητα ανέρχεται στα 150κ.μ. Το σύστημα είναι σχεδιασμένο να παρέχει 144κ.μ. νερό ανά h.

Όπως και για τους πυροσβεστήρες δεν απαιτούνται ιδιαίτερες ενέργειες καθαρισμού του συστήματος λόγω της αποθήκευσής του σε κουτιά. Όμως σε περίπτωση χρήσης οι μάνικες πρέπει να στεγνώνουν πλήρως πριν αποθηκευθούν ώστε να αποφεύγεται το σάπισμα τους. Επιθεώρηση του συστήματος γίνεται ανά 3 μήνες και ελέγχονται τυχόν διαρροές που αν διαπιστωθούν πρέπει να επισκευάζονται άμεσα. Δεν απαιτούνται ιδιαίτερες εργασίες συντήρησης ή αντικατάστασης εξαρτημάτων πέραν από τους τακτικούς ελέγχους και δοκιμές για τη σωστή λειτουργία του συστήματος προσέχοντας ιδιαίτερα αν επιτυγχάνονται οι ζητούμενες πιέσεις του συστήματος.

Συστήματα επικοινωνίας και διαχείρισης κυκλοφορίας.

Σε αυτό το σύστημα συμμετέχουν το τηλεφωνικό σύστημα έκτακτης ανάγκης , το σύστημα αναμετάδοσης ραδιοσυχνοτήτων, το κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης (CCTV), το σύστημα ανίχνευσης ύψους οχημάτων (OHVD), το σύστημα ανίχνευσης συνθηκών οδοστρώματος (RWIS), το σύστημα φωτεινής σηματοδότησης σήραγγας καθώς και το σύστημα επιτήρησης και διαχείρισης κυκλοφορίας (TMS).

Τα συστήματα που παρουσιάζονται έχουν να κάνουν με την ομαλή κυκλοφορία των οχημάτων εντός της σήραγγας αλλά και με την έγκαιρη ειδοποίηση σε οποιαδήποτε περίπτωση βλάβης ή ατυχήματος. Όλα τα συστήματα αφορούν σήραγγες μήκους μεγαλύτερου από 300μ. ενώ διαχωρίζονται σε αυτά που βρίσκονται εντός της σήραγγας και σε αυτά που βρίσκονται εκτός από αυτή(OHVD-RWIS). Τα συστήματα αυτά χρήζουν επιθεώρησης και βεβαίωσης σωστής λειτουργίας ανά χρονικά διαστήματα 3 μηνών ενώ δεν απαιτούν ιδιαίτερες εργασίες για τον καθαρισμό τους. Όμως πρέπει ειδικά για τα συστήματα τα οποία βρίσκονται εκτός σήραγγας , να γίνεται επιθεώρησή τους κάθε φορά που υπάρχουν ακραία καιρικά φαινόμενα ώστε να διαπιστωθεί αν η λειτουργία τους συνεχίζεται κανονικά. Οι εργασίες συντήρησης όλων των συστημάτων καθώς και οι

απαραίτητες αντικαταστάσεις γίνονται ανά 12 έως 24 μήνες (Οδηγίες συντήρησης αυτοκινητοδρόμων-Εγνατία Οδός, 2004).

Σύστημα εποπτείας και συλλογής δεδομένων

Τέλος, σε κάθε σήραγγα, εγκαθίσταται ένα σύστημα SCADA για την παρακολούθηση της κατάστασης λειτουργίας όλων των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, η οποία αποτελείται από:

- Κεντρικούς προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC) εγκατεστημένους στο χώρο ηλεκτρονικού εξοπλισμού της αίθουσας ελέγχου
- Περιφερειακά PLC εγκατεστημένα σε ειδικούς πίνακες αυτοματισμού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού εντός της σήραγγας
- Ηλεκτρονικούς υπολογιστές συνδεδεμένους μέσω τοπικού δικτύου εγκατεστημένους στην αίθουσα ελέγχου
- Τηλεπικοινωνιακό δίκτυο επικοινωνιών και μεταφοράς δεδομένων

Ακόμη στο σύστημα SCADA υπάγονται και μια σειρά από αισθητήρες που υπάρχουν στη σήραγγα για τον έλεγχο της λειτουργίας. Αυτοί οι αισθητήρες είναι για τη μέτρηση της ορατότητας, τη μέτρηση αέριων ρύπων CO, NOx για τη μέτρηση της ταχύτητας του αέρα και τη μέτρηση της εξωτερικής φωτεινότητας. Όλα τα συστήματα συνδέονται με καλωδιώσεις με τις μονάδες εισόδου/εξόδου των περιφερειακών PLC.

Το σύστημα κεντρικού ελέγχου και διαχείρισης SCADA καθώς και το σύνολο των αισθητήριων συστημάτων που αναφέρθηκαν παραπάνω υπόκεινται σε ελέγχους για να διαπιστωθεί η σωστή λειτουργία κάθε συστήματος κάθε 6 μήνες περίπου. Πέρα από το σύστημα κεντρικού ελέγχου όλα τα συστήματα συλλογής πληροφοριών (αισθητήρες) καθαρίζονται με συχνότητα ανά 3 μήνες ενώ γενική συντήρηση σε όλα τα συστήματα διενεργείται μια φορά το χρόνο στην οποία εξετάζονται οι απαραίτητες διορθώσεις ή αντικαταστάσεις που πρέπει να γίνουν.

4. Όφελος έργου

Τα οφέλη που προκύπτουν από την κατασκευή ενός νέου αυτοκινητοδρόμου είναι πολλαπλά και συχνά έχουν διαφορετικές μορφές αλλά και διαφορετικούς αποδέκτες. Έτσι, δύναται να αναφέρονται στη συντήρηση υλικών και μηχανημάτων, στην εξοικονόμηση χρόνου, αλλά και στην αποφυγή ατυχημάτων και τη διάσωση ζωών. Με τον τρόπο αυτό οι παραλήπτες διαφέρουν από τους άμεσους χρήστες του οδικού έργου και το περιβάλλον τους μέχρι συνολικά και το ίδιο το κοινωνικό σύνολο.

Όλα αυτά τα οφέλη, ωστόσο, έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό. Μπορούν να αναχθούν, άλλα πιο άμεσα και άλλα μέσω κατάλληλων παραδοχών, σε χρηματικές μονάδες και μπορούν να ποσοτικοποιηθούν το κέρδος που δημιουργείται από τη χρήση ενός νέου τεχνικού έργου.

Η επίτευξη αυτού του στόχου θα επιχειρηθεί με την ανάλυση αυτών των ωφελειών. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα οφέλη που θα παρουσιαστούν είναι ουσιαστικά η αποτίμηση της μετακίνησης και αφορούν και την περίπτωση του παρακαμπτήριου τμήματος καθώς και την περίπτωση της σήραγγας. Παρόλα αυτά, δίνουν διαφορετικά αποτελέσματα λόγω της διαφοράς μήκους μεταξύ των δύο λύσεων και των διαφόρων συντελεστών στις δύο περιπτώσεις (π.χ. δείκτες ατυχημάτων). Οι διαφορές αυτές καθορίζουν σε κάθε περίπτωση ποια λύση έχει το πλεονέκτημα έναντι της άλλης.

Όλες οι μέθοδοι αξιολόγησης των έργων μεταφορών καταλήγουν σε σύγκριση των δαπανών που απαιτούνται για την κατασκευή και τη λειτουργία του έργου και των οφελών από την υλοποίηση του σχεδίου. Οι δαπάνες του έργου (κόστος) είναι άμεσες, σε αντίθεση με τα οφέλη που είναι στις περισσότερες περιπτώσεις έμμεσα και προκύπτουν από την αποφυγή μεγαλύτερης επιβάρυνσης κατά την μετακίνηση. Τα οφέλη που προκύπτουν από την ολοκλήρωση ενός έργου μεταφοράς αποτελούνται κυρίως από:

- τη μείωση των χρόνων ταξιδιού

- τη μείωση του κόστους λειτουργίας
- τη μείωση των ατυχημάτων
- τη βελτίωση της άνεσης και της ποιότητας των υπηρεσιών
- την ανάπτυξη της χώρας και της περιοχής
- την ολοκλήρωση του εθνικού δικτύου και ασφάλεια του.

4.1 Όφελος από την εξοικονόμηση του χρόνου μετακίνησης

Η δημιουργία ή η αντικατάσταση ενός παλαιού τμήματος του δρόμου με έναν σύγχρονο αυτοκινητόδρομο συμβάλλει στη μείωση του χρόνου ταξιδιού από το ένα σημείο στο άλλο. Η μείωση του χρόνου ταξιδιού είναι οικονομικής αξίας τόσο για τον χρήστη του έργου όσο και για την εθνική οικονομία στο σύνολό της, δεδομένου ότι ο χρόνος αυτός που εξοικονομείται θα διατεθεί στη διαδικασία παραγωγής, αυξάνοντας έτσι τη συνολική παραγωγή της χώρας.

Φυσικά, η αξία του χρόνου για τους χρήστες είναι διαφορετική και εξαρτάται τόσο από την κατάσταση του κάθε ατόμου (επιχειρηματίας, δημόσιος υπάλληλος, εργαζόμενος, αγρότης, φοιτητής) όσο και από τον λόγο της μετακίνησης. Έτσι, οι μετακινήσεις εργασίας και παραγωγής έχουν μια "υψηλότερη" χρονική αξία από ότι οι μη παραγωγικοί σκοποί, όπως η αναψυχή και η ψυχαγωγία. Επίσης, η αξία της μείωσης του χρόνου ταξιδιού εξαρτάται ενίοτε και από τον τύπο και την ποσότητα των εμπορευμάτων που μεταφέρονται.

Ως γενικό συμπέρασμα μπορούμε να πούμε ότι η ποσοτικοποίηση σε νομισματικές μονάδες αξίας στην μείωση του χρόνου ταξιδιού εξαρτάται από πολλούς διαφορετικούς παράγοντες και αποτελεί για τα περισσότερα μεταφορικά έργα τη σημαντικότερη συνιστώσα ωφελειών.

4.2 Όφελος από τη μείωση του κόστους χρήσης οχημάτων

Το πιο άμεσο όφελος μιας υποδομής μεταφορών που μπορεί να προσδιοριστεί ποσοτικά είναι η μείωση του κόστους λειτουργίας. Η μείωση αυτή διαφέρει ανάλογα με τη ζήτηση: κανονική, εκτρεπόμενη, παράγωγη.

Μείωση κόστους λειτουργίας κανονικής ζήτησης: Η κανονική ζήτηση είναι αυτή που θα υπήρχε χωρίς τη δημιουργία της νέας υποδομής μεταφορών. Ωστόσο, προκειμένου να διερευνηθεί ο αντίκτυπος της τελευταίας, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη όχι τα λειτουργικά έξοδα μετά τη δημιουργία της νέας υποδομής μεταφορών, αλλά τα λειτουργικά έξοδα που θα προέκυπταν χωρίς τη δημιουργία της νέας υποδομής μεταφορών.

Μείωση κόστους λειτουργίας εκτρεπόμενης ζήτησης: Η εκτρεπόμενη ζήτηση είναι αυτή που εκτρέπεται από την παλιά υποδομή στη νέα. Η διαφορά κόστους που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη δεν πρέπει να αναφέρεται στον μέσο όρο αλλά στο οριακό κόστος.

Κόστος κόστους λειτουργίας παράγωγης ζήτησης: Παράγωγη ζήτηση είναι η ζήτηση που δημιουργείται από τη νέα υποδομή μεταφορών. Αυτό που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ποιο ποσοστό της παράγωγης ζήτησης οφείλεται στο μειωμένο λειτουργικό κόστος. Αυτό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ελαστικότητα της ζήτησης.

Σε κάθε περίπτωση, εννοείται ότι ο πρωταρχικός ρόλος στον προσδιορισμό του οφέλους από το κόστος χρήσης του οχήματος είναι ο αριθμός των οχημάτων και το φορτίο κυκλοφορίας που εξυπηρετεί το έργο.

Το λειτουργικό κόστος των οχημάτων εκφράζεται ως το κόστος ανά χιλιόμετρο και εξαρτάται από την ταχύτητα, τον τύπο του οχήματος και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας του οδοστρώματος. Το κόστος λειτουργίας του οχήματος ποικίλλει ανάλογα με τις διάφορες ταχύτητες. Γενικά, τα οχήματα τείνουν να είναι ακριβότερα σε χαμηλές ταχύτητες. Καθώς αυξάνεται η ταχύτητα και μέχρι ένα συγκεκριμένο όριο για το όχημα, το κόστος της κυκλοφορίας

τείνει να μειωθεί έως ότου υπερβεί το βέλτιστο σημείο, μετά το οποίο το κόστος ταξιδιού αυξάνεται ξανά. Φαίνεται ότι όσο μικρότερες και μεγαλύτερες είναι οι ταχύτητες των οχημάτων, τόσο μεγαλύτερο είναι το λειτουργικό τους κόστος, ενώ σε μεσαίες ταχύτητες το κόστος μειώνεται. Το χαρακτηριστικό αυτό ακολουθείται από οχήματα οποιοδήποτε μεγέθους και κατηγορίας (Μπάρκας, 1996).

4.3 Όφελος από τη μείωση των ατυχημάτων

Οι μεταφορές είναι μια δραστηριότητα που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Τα ατυχήματα που σχετίζονται με τη μεταφορά αφορούν όχι μόνο εκείνους που εμπλέκονται άμεσα στη διαδικασία μεταφοράς αλλά και σε τρίτους. Συνήθως το πρόβλημα των ατυχημάτων στις μεταφορές αναγνωρίζεται με τα σοβαρά και συχνά θανατηφόρα ατυχήματα, τα οποία συμβαίνουν καθημερινά στις οδικές μεταφορές.

Στατιστικές αναλύσεις έδειξαν ότι ο αριθμός των ατυχημάτων δεν είναι ανεξάρτητος από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δρόμου (Στάθης, 2006). Έτσι, το ποσοστό ατυχημάτων μειώνεται:

- Καθώς το πλάτος του οδοστρώματος και των ερεισμάτων αυξάνεται.
- Με το διαχωρισμό των αντιθέτων ρευμάτων κυκλοφορίας..
- Με την αύξηση της οριζόντιας καμπύλης (μεγαλύτερη από 200m).
- Με παρεμβολή κλωθοειδούς κατά τη μετάβαση από ευθυγραμμία σε κυκλικό τόξο για ακτίνες μικρότερες των 200m.
- Όσο μικρότερη είναι η κατά μήκος κλίση του τμήματος του δρόμου.
- Όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος ορατότητας.
- Όσο αυξάνει η ταχύτητα μελέτης μέχρι την τιμή των 80km/h

Για να καταστούν συγκρίσιμα τα μεγέθη των ατυχημάτων, υπάρχουν διάφοροι δείκτες ατυχημάτων που ανάγουν τον αριθμό ή τα αποτελέσματα των ατυχημάτων (νεκρό, τραυματισμένο, συνολικό κόστος) σε μέγεθος που εκφράζει το οδικό έργο στο οποίο σχετίζονται. Σε εθνικό ή διαπεριφερειακό επίπεδο,

συνήθως χρησιμοποιούνται τρεις δείκτες ατυχημάτων για ένα συγκεκριμένο έτος ή περίοδο:

- Ανά 10.000 κατοίκους,
- Ανά 10.000 οχήματα σε κυκλοφορία και
- Ανά 1 εκατομμύριο οχηματο-χιλιόμετρα για την εξεταζόμενη περίοδο.

Είναι προφανές ότι ο τελευταίος δείκτης είναι ακριβέστερος, καθώς περιλαμβάνει τον βαθμό χρήσης των οχημάτων και μπορεί, σε αντίθεση με τους άλλους δύο, να χρησιμοποιηθεί σε μικρο-κλίμακα (οδός, κόμβος).

Ο όρος κοινωνικοοικονομικό κόστος περιλαμβάνει το σύνολο των δαπανών που πλήττει την κοινωνία ως αποτέλεσμα οδικών ατυχημάτων και διακρίνεται σε:

- Οικονομικό κόστος για το μέρος που αποτιμάται χρηματικά
- Κοινωνικό κόστος για το μη αποτιμώμενο χρηματικά μέρος.

Ο κοινωνικός αντίκτυπος των οδικών ατυχημάτων στη χώρα "μεταφράζεται" σε άμεσο και έμμεσο οικονομικό κόστος.

❖ Ως άμεσα κόστη θεωρούνται:

- Αστυνομικά και δικαστικά έξοδα.
- Κόστος νοσηλείας.
- Πληρωμές συντάξεων.
- Υλικές ζημιές στα οχήματα.

❖ Ως έμμεσα κόστη θεωρούνται:

- Η απώλεια της αξίας της μελλοντικής παραγωγής του θανόντα ή τραυματία.
- Η απώλεια κεφαλαίου που επενδύεται στην εκπαίδευση και την κατάρτιση του θύματος.

Οι κοινωνικές συνέπειες των οδικών ατυχημάτων αφορούν επίσης σε:

- Θλίψη και πόνο από την απώλεια της ανθρώπινης ζωής.
- Δημογραφικές επιπτώσεις.

4.4 Λοιπά Οφέλη

Τα έργα οδοποιίας έχουν, ιδιαίτερη βαρύτητα στον αναπτυξιακό προγραμματισμό. Η Ευρωπαϊκή Ένωση κατανοώντας τη σημασία αυτή, προσπάθησε από την ίδρυσή της να δώσει στον τομέα των μεταφορών την κατάλληλη έμφαση.

Έτσι, σύμφωνα με την έως τώρα παρουσίαση, τα οφέλη ενός σύγχρονου οδικού έργου είναι πολλά και πολυδιάστατα.

Μερικά από τα τυπικά οφέλη πέραν αυτών που αναφέρονται στα προηγούμενα κεφάλαια είναι:

- Οφέλη από την προώθηση της ισόποσης ανάπτυξης,
- Οφέλη από την αύξηση του Ακαθάριστου Εθνικού Εισοδήματος,
- Οφέλη από εξωτερικές επιδράσεις,
- Οφέλη από μια πιο δίκαιη κατανομή (ανακατανομή) του εισοδήματος
- Οφέλη από τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας,
- Οφέλη από τη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης,
- Οφέλη από τον καλύτερο χειρισμό και τη διανομή των προϊόντων, λόγω του μειωμένου κόστους και του χρόνου μεταφοράς,
- Οφέλη από τη βελτίωση των κοινωνικών σχέσεων,
- Οφέλη από τη μείωση της ρύπανσης,
- Οφέλη από τη μείωση του θορύβου κ.λπ.

Τα περισσότερα από αυτά τα οφέλη, που λαμβάνονται κυρίως υπόψη στο πλαίσιο μιας κοινωνικοοικονομικής αξιολόγησης και όχι καθαρά οικονομικής, είναι οφέλη που είναι γενικά σχετικά με την κοινότητα και την εθνική οικονομία και όχι τόσο άμεσα προς τον χρήστη ή τον ιδιώτη επενδυτή του συγκεκριμένου έργου. Αυτά τα οφέλη δεν είναι εύκολο να ποσοτικοποιηθούν σε χρηματικές μονάδες, θεωρούνται ποιοτικά μεγέθη και ως εκ τούτου δεν θα συμμετάσχουν στους υπολογισμούς, που θα πραγματοποιηθούν στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας.

5. Επιλογή τιμών και παραμέτρων

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι πιθανές τιμές για κάθε μέγεθος και κάθε μεταβλητή που αφορούν την εργασία. Λαμβάνοντας υπόψη το εύρος που παρουσιάζει κάθε τιμή από τη μελέτη σε μελέτη, θα αποφασιστούν τελικά οι τιμές που θα χρησιμοποιηθούν για να συγκριθούν ποσοτικά τα δύο σενάρια (σήραγγα – ανοιχτός δρόμος). Το κεφάλαιο περιλαμβάνει όλες τις υποθέσεις και τις εκτιμήσεις που θα γίνουν για το σκοπό αυτής της συγκριτικής μελέτης με τις απαραίτητες διευκρινίσεις, όπου κρίνεται απαραίτητο.

5.1 Διάρκεια έργου – Επιτόκιο προεξόφλησης

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες στις συγκριτικές μελέτες, που σχετίζονται με τα οικονομικά στοιχεία, είναι ο χρονικός ορίζοντας στον οποίο επιλέγεται η σύγκριση. Συνήθως, τα μεγέθη σύγκρισης σε τέτοιες περιπτώσεις παρουσιάζουν διαφορετικές ταμειακές ροές εσόδων και εξόδων (στην προκειμένη περίπτωση κόστους-οφέλους), με αποτέλεσμα ο επιλεγμένος χρόνος να ωφελήσει μόνο τη μία από τις δύο περιπτώσεις. Επομένως, η επιλογή του χρόνου πρέπει να είναι ανεξάρτητη, καθοριζόμενη από την αρχή της εργασίας και τα κριτήρια που την απαιτούν, για την καλύτερη εξυπηρέτηση των σκοπών της έρευνας.

Οι μελέτες που έχουν συνταχθεί για παρόμοια αντικείμενα ενδιαφέροντος (οδικά έργα – σήραγγες) μπορούν να αντληθούν χρήσιμες πληροφορίες για την επιλογή του χρονικού ορίου που θα καθορίσει τη μελέτη. Σε μια έρευνα για τις συμπράξεις δημόσιου και ιδιωτικού τομέα που πραγματοποιήθηκε το 2007 (Καλτσούνης), αναφέρεται ότι η περίοδος εκμετάλλευσης δημοσίων έργων ορίζεται από 15 έως 20 έτη και ο χρόνος κατασκευής του έργου θεωρείται 3 έτη και η κατανομή των πόρων για αυτά τα 3 έτη είναι 10% για το πρώτο, 50% για το δεύτερο και 40% για το τρίτο και τελευταίο έτος κατασκευής. Σε μελέτες για υπόγειες δημόσιες συγκοινωνίες (μετρό-τρένα) στο Δουβλίνο της Ιρλανδίας (Ratigan-CBA, 2008) και το μετρό της Αθήνας (Κοτσαρέλη, 2011), ο χρόνος μελέτης ανέρχεται

στα 30 έτη. Ομοίως, μελέτες σχετικά με οδικά υπόγεια έργα στην Αμβέρσα του Βελγίου (Proost et al., 2005), καθώς και μια μελέτη σχετικά με το οδικό δίκτυο Πύργου-Τσακώνας (Στάθης, 2006) επιλέχθηκαν 20 χρόνια για την κατασκευή του έργου.

Γίνεται αντιληπτό, ότι για τα έργα οδοποιίας οι συνήθεις εκτιμήσεις σχετικά με το χρονοδιάγραμμα των μελετών κυμαίνεται από 15 έως 30 έτη. Προκειμένου να προσδιοριστεί ο απαιτούμενος χρόνος για τις ανάγκες της μελέτης, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παράγοντες που επηρεάζουν την αντικειμενικότητα και τα αποτελέσματα της εργασίας. Επομένως, το χρονοδιάγραμμα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο ώστε οι οικονομικές διαφορές των εναλλακτικών σεναρίων να έχουν το χρόνο να αποδώσουν τα χαρακτηριστικά τους (οφέλη). Από την άλλη πλευρά, εάν το χρονικό διάστημα είναι πιο εκτεταμένο από ό, τι πρέπει, οι οικονομικοί παράγοντες όπως ο πληθωρισμός, τα επιτόκια και η οικονομική κατάσταση (ανεργία, μισθοί, κατά κεφαλήν εισόδημα) που επηρεάζουν τις συνήθειες των χρηστών, αλλάζουν τα αποτελέσματα της μελέτης, αλλοιώνοντας έτσι τα συμπεράσματά της.

Για όλα τα παραπάνω, η βέλτιστη χρονική περίοδος για μελέτη ενός συγκοινωνιακού έργου γίνεται για 20 χρόνια και αυτό θα αποτελέσει τη βάση της εργασίας. Το κόστος κατασκευής κάθε σεναρίου κατανέμεται κατά 10% - 50% - 40% κατά τα πρώτα τρία χρόνια της μελέτης, θεωρώντας ότι αυτό θα είναι ο απαιτούμενος χρόνος κατασκευής και ότι ο φόρτος εργασίας θα είναι υψηλότερος στο δεύτερο και το τρίτο έτος. Η διαφορά αυτή οφείλεται κυρίως στις καθυστερήσεις που παρατηρούνται κατά τη φάση των απαλλοτριώσεων καθώς και στην οργάνωση του εργοταξίου για την έναρξη των εργασιών.

Να σημειωθεί ότι η διάρκεια ζωής ενός οδικού έργου, με τις σημερινές προδιαγραφές κατασκευής, ξεπερνά τα 80 χρόνια. Ωστόσο, το διάστημα αυτό, έρχεται σε σύγκρουση με τις εύθραυστες οικονομικές ισορροπίες που αναφέρθηκαν παραπάνω και εάν επιχειρηθεί μια μελέτη για ολόκληρη τη διάρκεια του έργου, θα πρέπει να διέπεται από κατάλληλες προβλέψεις για αλλαγές στο οικονομικό περιβάλλον τουλάχιστον κάθε 20 χρόνια στη μελέτη.

Σύμφωνα με το άρθρο 19 (Αναπροσαρμογή των ταμειακών ροών) του κατ' εξουσιοδότηση κανονισμού (ΕΕ) αριθ. 480/2014 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, για την περίοδο προγραμματισμού 2014-2020, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή συνιστά να θεωρηθεί ως πραγματική τιμή αναφοράς για το επιτόκιο προεξόφλησης ίση με 4%, σε αντιστοίχιση με το πραγματικό κόστος ευκαιρίας του κεφαλαίου μακροπρόθεσμα. Ωστόσο, οι τιμές που διαφέρουν από το 4%, δύναται να δικαιολογούνται βάσει των διεθνών μακροοικονομικών τάσεων και συνθηκών, των ειδικών μακροοικονομικών συνθηκών του εκάστοτε κράτους μέλους της Ευρωπαϊκής Ένωσης καθώς και της φύσης του επενδυτή ή / και του σχετικού τομέα όπου αυτός δραστηριοποιείται.

Δεδομένου αυτού και λαμβάνοντας υπόψη ότι στην παρούσα εργασία πρόκειται να πραγματοποιηθεί μία ανάλυση κόστους – οφέλους, το επιτόκιο προεξόφλησης επιλέγεται να είναι 5%.

5.2 Κόστος κατασκευής ανοιχτού δρόμου

Το συνολικό κόστος κατασκευής του οδοστρώματος ανοιχτού δρόμου είναι μια σύνθεση πολλών παραγόντων, που εμπλέκονται στον υπολογισμό του, και στις περισσότερες περιπτώσεις υπολογίζεται ανά χιλιόμετρο κατασκευασμένου τμήματος. Η εργασία αυτή θα υπολογίσει το κόστος κατασκευής αυτοκινητοδρόμου για μήκος 1km και η επακόλουθη ανάλυση θα πολλαπλασιαστεί ανάλογα με το μήκος που μελετήθηκε. Σημειώστε ότι η τελική τιμή θα περιλαμβάνει το φόρο προστιθέμενης αξίας (Φ.Π.Α.).

Για τον υπολογισμό αυτού του μεγέθους, προσμετρούνται οι απαραίτητες αποζημιώσεις, λόγω απαλλοτρίωσης της γης. Το μέσο εύρος ζώνης που πρόκειται να απαλλοτριωθεί για μεγάλα έργα οδοποιίας ορίζεται συνήθως στα 5m, το μέσο κόστος των απαλλοτριωμένων γαιών είναι 6.000€ και οι παραπάνω τιμές αναφέρονται σε ένα χιλιόμετρο από το μήκος της χάραξης, έτσι το αποτέλεσμα

είναι ανά χιλιόμετρο χάραξης. Ως εκ τούτου, ανά km χάραξης οι αποζημιώσεις των απαλλοτριώσεων ανέρχονται σε 300.000€.

Οι εργασίες που σχετίζονται με την κατασκευή του οδοστρώματος περιλαμβάνουν τις χωματουργικές εργασίες (διαμορφώσεις πρανών-εξυγιάνσεις κ.τ.λ.), τις εργασίες οδοστρωσίας και διαμόρφωσης (διαχωριστικά στηθαία), σήμανση και ασφάλιση του δρόμου καθώς και τελική διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου (π.χ. φυτικές γαίες). Το συνολικό κόστος για ένα χιλιόμετρο εκτιμάται σε 4.000.000€. Οι υπολογισμοί αναφέρονται στη μέση διατομή του δρόμου, χωρίς να υπολογίζεται εάν πρόκειται για όρυγμα ή επίχωμα και για πλάτος οδοστρώματος περίπου 20m.

Τα αποτελέσματα των θεωρήσεων συμφωνούν με τα αποτελέσματα ευρωπαϊκών μελετών σχετικά με το κόστος κατασκευής. Κατά μέσο όρο, η κατασκευή ελληνικών αυτοκινητοδρόμων παρουσιάζει κόστος 350.000€ για κάθε 1.000m² επιφάνειας οδοστρώματος. Με τις αναγωγές, για πλάτος μελέτης (15-20 m), με την αφαίρεση του Φ.Π.Α. καθώς και με τη σχετική αναγωγή αφαιρώντας την κατασκευή ειδικών τεχνικών έργων υποστήριξης της οδού (σήραγγες-γέφυρες) το κόστος ανά km αυτοκινητοδρόμου ανέρχεται από 4.000.000€ έως 4.500.000€. Επομένως καταλήγουμε σε συνολικό κόστος κατασκευής ανά km οδού 4.300.000€.

Με αναγωγή της παραπάνω τιμής σε σημερινή αξία προκύπτει ότι το μέσο κόστος κατασκευής ανοιχτού δρόμου είναι : 4.140.000,00€/km.

5.3 Κόστος κατασκευής σήραγγας

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε ανάλυση για τον υπολογισμό του κόστους κατασκευής μιας σήραγγας, αλλά και για τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που περιλαμβάνονται στους υπολογισμούς κατά περίπτωση και τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα. Μέσω αυτής της ανάλυσης διαπιστώθηκε πόσο οι γεωλογικές συνθήκες στο χώρο διάνοιξης επηρεάζουν το

τελικό κόστος κατασκευής της σήραγγας, αφού τα ποσά, ανάλογα με τις συνθήκες, μπορεί να έχουν από πέντε μέχρι και δέκα φορές διαφορά. Το θέμα είναι να επιλέξουμε την τιμή που θα αντιπροσωπεύει όσο το δυνατόν καλύτερα την κατάσταση στο χώρο διάνοιξης για όσο το δυνατόν αντικειμενικότερη εικόνα του τελικού κόστους.

Η μελέτη που παρουσιάστηκε με στοιχεία από την Εγνατία Οδό (Λαμπρόπουλος, 2005) παρουσιάζει μια σειρά τιμών για τις διάφορες γεωλογικές συνθήκες που συναντήθηκαν κατά τη διάνοιξη, ξεκινώντας από 8.000€ και φτάνοντας τα 30.000€ ανά m διανοιχθέντος τμήματος. Από την άλλη πλευρά, με μια μελέτη που δημοσιεύθηκε για την επίδραση των γεωλογικών συνθηκών, η Παρασκευοπούλου και ο Μπενάρδος (2012) κατέληξαν σε πέντε διαφορετικές κατηγορίες ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες στον χώρο διάνοιξης. Οι τιμές για τις καθιερωμένες κατηγορίες ξεκινούν από 27€/m³ εκσκαφής και φτάνουν τα 191€/m³ (μέση τιμή) για τη δυσμενέστερη κατηγορία. Λαμβάνοντας υπόψη τις συνηθέστερες διατομές σηράγγων που είναι πεταλοειδής, με περίπου 100-120m² εμβαδόν, οι τιμές που προκύπτουν από την έρευνα μετατρέπονται σε 2.700€/m έως και 19.100€/m αντίστοιχα. Με μια νέα έρευνα που βασίζεται στα στοιχεία 25 ελληνικών σηράγγων (2013), η Παρασκευοπούλου και ο Μπενάρδος προσφέρουν τιμές ανά m προχώρησης, οι οποίες κυμαίνονται από 4.665€/m έως και 19.267 €/m για τις δυσμενέστερες κατηγορίες εδαφικού υλικού.

Η δεύτερη αναφερθείσα έρευνα, στα δεδομένα που χρησιμοποίησε, πέρα από τις σήραγγες της Εγνατίας Οδού, έλαβε δεδομένα από τις σήραγγες του ΠΑΘΕ και από την Εθνική οδό Αθηνών-Πατρών (Ολυμπία). Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρουσιάζει μεγαλύτερη ποικιλία στα δεδομένα που διαχειρίζεται (διαφορετικά γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά), αλλά είναι και πιο σύγχρονη. Το χρονικό πλαίσιο στο οποίο αναφέρεται μια έρευνα είναι επίσης σημαντικό, καθώς η τεχνολογία διάνοιξης της σήραγγας μεταβάλλεται διαρκώς, επηρεάζοντας το τελικό κόστος κατασκευής. Μια θεώρηση που θα μπορούσε να γίνει για το κόστος θα ανερχόταν από 4.665€/m έως 19.267€/m, ενώ αναζητώντας μια μέση κατάσταση, η μέση τιμή θα ήταν 11.966€/m. Ωστόσο, οι κατηγορίες

εδάφους που επιλέγονται σε αυτή την έρευνα δεν παρουσιάζουν την ίδια πιθανότητα να συμβούν στην Ελλάδα, πετρώματα με χαρακτηριστικά ευνοϊκά για εκσκαφή και διάτρηση είναι σπάνια. Επομένως, δεν μπορούμε να οδηγηθούμε σε επιλογή μέσης αξίας και θα προτιμήσουμε μια τιμή κοντά στα ανώτατα όρια, η οποία θα περιλαμβάνει τη πιθανότητα δυσμενών συνθηκών, ένα φαινόμενο που αντιμετωπίζεται συχνά στην Ελλάδα.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι τιμές που υπολογίστηκαν προηγουμένως (4.665€/m έως 19.267€/m) μπορεί να αυξηθούν κάπως για μια σήραγγα των 120m², αλλά και σε περίπτωση υπερεκσκαφών, καθώς και τις ανώτατες τιμές που παρουσιάστηκαν από την Εγνατία Οδό, το μέσο κόστος κατασκευής μίας σήραγγας ανέρχεται σε 18.000€ ανά m προχώρησης.

Η προαναφερθείσα αξία που έχει υπολογιστεί, αφορά το κόστος διάνοιξης της σήραγγας. Η κατασκευή των στομιών της σήραγγας αντιστοιχεί σε μια επιβάρυνση της τάξεως του 5% έως 10% του έργου. Επίσης, για να είναι κατάλληλη η χρήση της σήραγγας, πρέπει να γίνουν όλες οι ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις, τα συστήματα ασφαλείας καθώς και το κέντρο ελέγχου που θα είναι υπεύθυνο για τη σωστή λειτουργία του έργου. Εκτός από όλες τις λειτουργικές εγκαταστάσεις, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι εργασίες οδοστρωσίας του έργου. Από μελέτες, εκτιμάται ότι το κόστος πέραν της διάνοιξης αυξάνεται κατά 30% έως 40%.

Με αναγωγή της παραπάνω τιμής σε σημερινή αξία προκύπτει ότι το μέσο κόστος κατασκευής σήραγγας ανά km είναι : 24.000.000,00 €/km.

5.4 Κόστος λειτουργίας – συντήρησης ανοιχτού δρόμου (παρακαμπτήριου τμήματος)

Εκτός από το κόστος κατασκευής, όπως προκύπτει από την ανάλυση του κόστους ζωής του έργου (L.C.C.A.), σημαντικό στοιχείο για την οικονομική εικόνα του έργου είναι το κόστος της ομαλής λειτουργίας και συντήρησης του δρόμου. Οι

εργασίες που απαιτούνται, είτε σε ετήσια βάση είτε περιοδικά σε τακτά χρονικά διαστήματα (10 ή 15 έτη), επιβάλλονται από τις προδιαγραφές που πρέπει να πληρούνται στο οδικό δίκτυο.

Έτσι, κάθε χρόνο λειτουργίας του έργου, εκτελούνται εργασίες που σχετίζονται με τον καθαρισμό του οδοστρώματος, την επιδιόρθωση ή την αντικατάσταση όπου χρειάζεται στη σήμανση, την απόφραξη οχετών όμβριων υδάτων, καθώς και την ανανέωση – αντικατάσταση των σημάτων και του φωτισμού όπου υπάρχει. Οι ετήσιες αυτές εργασίες ανέρχονται σε 8,000 €/km, Ενώ, ειδικά για τα τμήματα του ΠΑΘΕ ανήλθαν σε 7.600 €/km. Έτσι για την εργασία μας θα δεχτούμε ένα κόστος συντήρησης 8.000€ ετησίως ανά km δρόμου. Λάβετε υπόψη ότι αυτή η εκτίμηση περιλαμβάνει, επίσης, πρόβλεψη επισκευών έκτακτης ανάγκης μικρής κλίμακας λόγω καιρικών συνθηκών.

Με αναγωγή της παραπάνω τιμής σε σημερινή αξία προκύπτει ότι το μέσο κόστος συντήρησης και λειτουργίας ανοιχτού δρόμου ανά km είναι : 7.700,00€/km per year.

Εκτός από τις ετήσιες επισκευές, η τήρηση των προδιαγραφών οδικής κυκλοφορίας απαιτεί, σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα που καθορίζονται με ακρίβεια από τον σχεδιασμό του οδικού έργου, να πραγματοποιείται είτε επισκευή είτε αποκατάσταση του οδοστρώματος για την ομαλή μετακίνηση των οχημάτων στις επιλεγμένες ταχύτητες .

Το κόστος των εργασιών περιοδικής συντήρησης του οδοστρώματος υπολογίστηκε ότι είναι:

- 33.000€/km για μονωτικές στρώσεις (Slurry seal or surface dressing).
- 62.000€/km για πάχος στρώσης ασφάλτου 40 mm.

Για τη διεξαγωγή της συγκεκριμένης εργασίας, θεωρείται ότι αυτές οι επισκευές θα πραγματοποιηθούν ανά δεκαετία και θα έχουν συνολικό κόστος 95.000,00€/km αυτοκινητόδρομου.

5.5 Κόστος λειτουργίας – συντήρησης σήραγγας

Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης μιας οδικής σήραγγας αποτελείται από διάφορα στοιχεία, τα οποία επιφέρουν την ομαλή και ασφαλή διέλευση των οχημάτων από αυτή. Τα ειδικά χαρακτηριστικά της σήραγγας (κλειστός χώρος) δημιουργούν επίσης τις αυξημένες ανάγκες στον συγκεκριμένο τομέα. Από τη μία πλευρά, υπάρχει η απαίτηση για επαρκή φωτισμό του χώρου και, αφετέρου, για επαρκή αερισμό. Πέραν όμως αυτών των σημαντικών αναγκών, υπάρχει επίσης η ιδιαιτερότητα της κατάλληλης επιτήρησης και διαχείρισης της κυκλοφορίας εντός της σήραγγας, καθώς και ο έγκυρος και έγκαιρος έλεγχός της, καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας της. Οι παραπάνω ενέργειες καλύπτονται κυρίως από την αίθουσα ελέγχου της σήραγγας, η οποία αναλαμβάνει τη συνεχή επιτήρηση και λαμβάνει κατάλληλα μέτρα όταν απαιτείται (π.χ. ατύχημα).

Μια μελέτη που διεξήχθη το 2006 για την Ολυμπία Οδός (Στάθης, 2006) παρέχει τις τιμές που παρουσιάζονται για εργασίες συντήρησης για την αντικατάσταση του φωτισμού, την αντικατάσταση του συστήματος αερισμού και την ανανέωση του υλικού και των συστημάτων της αίθουσας ελέγχου (κάμερες – συστήματα ειδοποίησης). Οι τιμές αυτές ανέρχονται σε 740.000€/km. Από αυτές τις τιμές με τις σχετικές αναγωγές της τρέχουσας οικονομίας (2018), παρέχεται η τελική τιμή που θα χρησιμοποιηθεί σε αυτή τη εργασία, η οποία υπολογίζεται σε 820.00,00€/km. Να ληφθεί υπόψη ότι οι προαναφερθείσες επισκευές και συντηρήσεις εκτελούνται κάθε 15 χρόνια λειτουργίας της σήραγγας.

Εκτός από τις περιοδικές εργασίες, πραγματοποιούνται τακτικοί έλεγχοι και έργα που έχουν ετήσια βάση και εξασφαλίζουν την ομαλή λειτουργία της σήραγγας. Ο κατωτέρω πίνακας παρουσιάζει το ετήσιο κόστος ανά έτος, με γνώμονα το μήκος της σήραγγας.

Μήκος Σήραγγας	Κόστος / Έτος / Σήραγγα
< 300 m	11.738,81€
> 300 m & <2000 m	26.412,33€
> 2000 m	55.759,35€

Πίνακας 5: Ετήσιο κόστος σήραγγας ανά έτος με βάση το μήκος της

Από τα στοιχεία αυτά προκύπτει ότι το ετήσιο κόστος συντήρησης και σωστής λειτουργίας της σήραγγας θα ανέλθει σε περίπου 24.000,00€/km per year, δεδομένου ότι η σήραγγα μας θα έχει μήκος 1000m, με σκοπό να καταστεί συγκρίσιμη με τα αντίστοιχα μήκη των τμημάτων παράκαμψης του αυτοκινητοδρόμου.

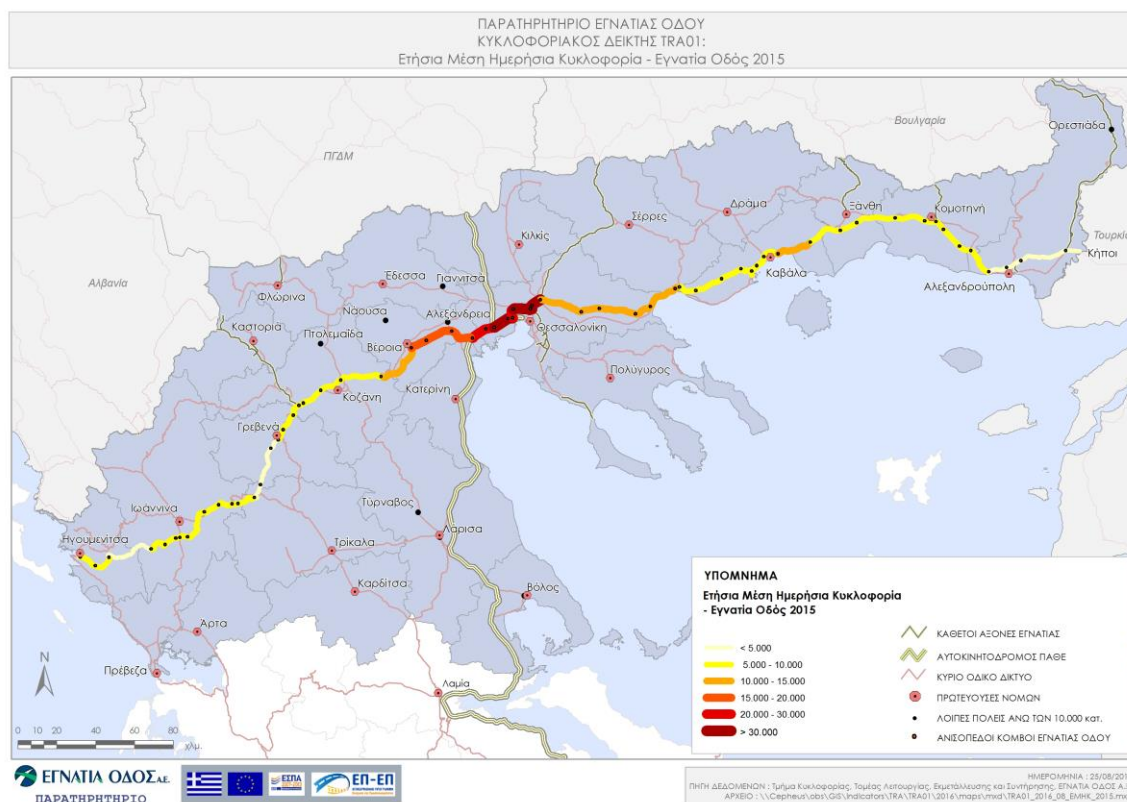
5.6 Φόρτος κυκλοφορίας

Ίσως ο σημαντικότερος παράγοντας στα αποτελέσματα μιας συγκριτικής μελέτης για τα οδικά δίκτυα είναι το φορτίο κυκλοφορίας των οχημάτων στον τμήμα που εξετάζεται. Τα οφέλη των εναλλακτικών σεναρίων μελέτης σχετίζονται κυρίως με τον κάθε χρήστη, καθώς και με το κάθε όχημα που χρησιμοποιεί το έργο χωριστά. Επομένως, η σωστή διαστασιολόγηση του φορτίου κυκλοφορίας για μια τέτοια μελέτη είναι πιθανό να είναι ο σημαντικότερος και πιο ευαίσθητος παράγοντας της μελέτης. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η θεώρηση πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ακριβέστερη, να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα και αν είναι εφικτό, να προσφέρει διαφορετικές οπτικές του ζητήματος.

Για το συγκεκριμένο ζήτημα ερευνήθηκαν τα χαρακτηριστικά των ελληνικών οδικών δικτύων, έτσι ώστε τα δεδομένα που λαμβάνονται να αντιπροσωπεύουν όσο το δυνατόν καλύτερα το χώρο που αφορά τη μελέτη (Ελλάδα) καθώς και τις συνήθειες των χρηστών με τα δικά τους ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Η εικόνα του κυκλοφοριακού φόρτου, που παρουσιάζει ένα οδικό έργο, δίνεται από τις μετρήσεις που λαμβάνονται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, και τελικά υπολογίζεται

η μέση ημερήσια κυκλοφορία για το οδικό τμήμα. Ο όρος αυτός ονομάζεται Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία (Ε.Μ.Η.Κ.) και είναι χαρακτηριστικός για κάθε οδικό έργο αλλά και για κάθε μεμονωμένο τμήμα αυτού.

Η Εγνατία Οδός Α.Ε. παρουσιάζει στατιστικά στοιχεία (2009-2013) που καλύπτουν ολόκληρο το μήκος του αυτοκινητοδρόμου, το οποίο λόγω του μεγάλου μήκους του παρουσιάζει αρκετές διαφοροποιήσεις από τμήμα σε τμήμα, ανάλογα με τους πληθυσμούς και τις ανάγκες που εξυπηρετεί (Πίνακας 6).



Εικόνα 2: Κατανομή Ε.Μ.Η.Κ. κατά μήκος της Εγνατίας Οδού (2015)

Έτσι, για τμήματα σε περιοχές με μικρό πληθυσμό και λίγες μετακινήσεις (π.χ. Γρεβενά), η Ε.Μ.Η.Κ. παρουσιάζεται από 5.100 έως 6.600 οχήματα, ενώ για τα τμήματα κοντά στην Θεσσαλονίκη η Ε.Μ.Η.Κ. ανέρχεται σε 20.000 και μπορεί να φτάσει μέχρι και 48.000 οχήματα. Φυσικά, ο μέσος όρος των συνολικών μετρήσεων του αυτοκινητόδρομου είναι σαφώς χαμηλότερος και κυμαίνεται από 5.000 έως 30.000 οχήματα ημερησίως.

ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ ΣΕ ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ ΕΤΗΣΙΑ ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ (Ε.Μ.Η.Κ.) ΕΤΩΝ 2009 - 2013					
Τμήμα Εγνατίας Οδού	2009	2010	2011	2012	2013
Α/Κ ΒΑΣΙΛΙΚΟΥ - Α/Κ ΝΕΟΧΩΡΙΟΥ	6.800	7.000	6.700	#	4.800
Α/Κ ΝΕΟΧΩΡΙΟΥ-Α/Κ ΣΕΛΛΩΝ/ΤΥΡΙΑΣ	#	#	#	5.000	4.800
Α/Κ ΣΕΛΛΩΝ/ΤΥΡΙΑΣ - Α/Κ ΔΩΔΩΝΗΣ	7.000	7.000	6.800	#	5.200
Α/Κ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ - Α/Κ ΠΑΜΒΩΤΙΔΑΣ	7.300	8.400	7.800	#	6.900
Α/Κ ΑΡΑΧΘΟΥ-Α/Κ ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΥ	#	8.300	#	#	#
Α/Κ ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΥ - Α/Κ ΜΕΤΣΟΒΟΥ	8.100	#	#	#	#
Α/Κ ΜΕΤΣΟΒΟΥ-Α/Κ ΑΝΗΛΙΟΥ	#	8.300	#	5.400	5.550
Α/Κ ΑΝΗΛΙΟΥ - Α/Κ ΠΑΝΑΓΙΑΣ	#	8.300	#	5.400	5.550
Α/Κ ΔΥΤ. ΓΡΕΒΕΝΩΝ - Α/Κ ΑΝΑΤ. ΓΡΕΒΕΝΩΝ	5.400	6.600	5.900	5.200	5.100
Α/Κ ΑΝΑΤΟΛ. ΓΡΕΒΕΝΩΝ - Α/Κ ΤΑΞΙΑΡΧΗ	8.400	8.900	8.000	7.000	6.800
Α/Κ ΤΑΞΙΑΡΧΗ - Α/Κ ΔΥΤ. ΣΙΑΤΙΣΤΑΣ (ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ)	8.400	8.900	8.000	7.000	6.800
Α/Κ ΚΑΛΑΜΙΑΣ-Α/Κ ΚΟΖΑΝΗΣ	#	10.800	9.400	#	#
Α/Κ ΚΟΖΑΝΗΣ - Α/Κ ΠΟΛΥΜΥΛΟΥ	13.900	13.800	11.400	9.600	9.250
Α/Κ ΠΟΛΥΜΥΛΟΥ - Α/Κ ΒΕΡΟΙΑΣ	15.000	14.600	12.000	10.400	10.100
Α/Κ ΚΟΥΛΟΥΡΑΣ - Α/Κ ΝΗΣΕΛΙΟΥ	20.600	21.600	#	#	#
Α/Κ ΚΑΛΟΧΩΡΙΟΥ(Κ1) - Α/Κ ΙΩΝΙΑΣ-ΔΙΑΒΑΤΩΝ (Κ2)	27.600	#	#	#	#
Α/Κ ΙΩΝΙΑΣ-ΔΙΑΒΑΤΩΝ (Κ2) - Α/Κ ΕΥΚΑΡΠΙΑΣ (Κ4)	48.000	#	#	#	#
Α/Κ ΛΑΓΚΑΔΑ/ΣΕΡΡΩΝ - Α/Κ ΠΡΟΦΗΤΗ	16.800	#	#	11.250	10.050
Α/Κ ΠΡΟΦΗΤΗ - Α/Κ ΒΑΓΙΟΧΩΡΙΟΥ	16.900	16.700	15.500	#	#
Α/Κ ΡΕΝΤΙΝΙΑΣ - Α/Κ ΑΣΠΡΟΒΑΛΤΑΣ	16.000	14.500	13.600	11.000	9.850
Α/Κ ΑΣΠΡΟΒΑΛΤΑΣ - Α/Κ ΚΕΡΔΥΛΙΩΝ	14.600	13.800	12.600	10.800	10.050
Α/Κ ΜΟΥΣΘΕΝΗΣ - Α/Κ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥΠΟΛΗΣ	#	#	#	#	6.200
Α/Κ ΑΓ.ΣΥΛΛΑ - Α/Κ ΑΣΠ. ΧΩΜΑΤΩΝ	13.700	11.900	10.900	#	#
Α/Κ ΒΑΦΑΙΚΩΝ - Α/Κ ΙΑΣΜΟΥ	#	#	#	5.300	4.800
Α/Κ ΙΑΣΜΟΥ - ΔΥΤΙΚΟΣ Α/Κ ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ	9.800	9.200	8.000	5.700	5.350
ΔΥΤ. Α/Κ ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ - ΑΝΑΤ. Α/Κ ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ	7.600	6.900	6.200	5.400	#
Α/Κ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗΣ - Α/Κ ΒΙ.ΠΕ ΑΛΕΞ/ΠΟΛΗΣ	6.000	5.300	5.000	4.500	4.000
Α/Κ ΒΙ.ΠΕ ΑΛΕΞ/ΠΟΛΗΣ - Α/Κ ΑΡΔΑΝΙΟΥ	6.100	5.200	5.000	4.400	#
# Δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία					

Πίνακας 6: Ε.Μ.Η.Κ. ανά τμήματα της Εγνατίας Οδού (2009-2013)

Τέλος, στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας του Στάθη (2006) και μετά από έρευνα που διεξήχθη, παρουσιάστηκαν στατιστικά στοιχεία για το τμήμα Τσακώνα-Καλαμάτα όπου η Ε.Μ.Η.Κ. είναι σε 12.144 οχήματα για το τμήμα

Πύργος-Τσάκωνα, στα 13.496 οχήματα και για το τμήμα Πάτρα-Κόρινθος κυμαίνεται από 15.000 έως 16.500 οχήματα.

Με τη βοήθεια όλων αυτών των δεδομένων, σχετικά με τις μεγαλύτερες οδικές αρτηρίες της χώρας, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι μία αντιπροσωπευτική Ε.Μ.Η.Κ. για τον ελλαδικό χώρο για ένα οδικό έργο είναι από 10.000 έως 20.000 οχήματα την ημέρα. Ωστόσο, προκειμένου να επιτευχθεί ένα φάσμα ερευνών, εξετάζονται περισσότερα από ένα σενάρια και διενεργούνται αναλύσεις για περισσότερα από μια Ε.Μ.Η.Κ. Ως εκ τούτου, για τους σκοπούς αυτής της εργασίας, θα ληφθούν Ε.Μ.Η.Κ.:

- i. 5 000 οχημάτων
- ii. 10.000 οχημάτων
- iii. 15.000 οχημάτων
- iv. 20.000 οχημάτων
- v. 25.000 οχημάτων
- vi. 30.000 οχημάτων

οι οποίες θα υπόκεινται στις διακυμάνσεις της κυκλοφορίας όπως αυτές θα καθοριστούν για τα έτη που έχουν επιλεγεί.

5.7 Σύνοψη και αύξηση της κυκλοφορίας

Δύο βασικοί παράγοντες παρουσιάζονται στην παρούσα παράγραφο, οι οποίοι, μολονότι ο ρόλος τους είναι δευτερεύων και συμπεριλαμβάνεται τον παράγοντα του κυκλοφοριακού φόρτου, η παράλειψή τους μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα της εργασίας και να οδηγήσει σε αμφιλεγόμενα συμπεράσματα. Η πρώτη είναι η σύνοψη της κυκλοφορίας των αυτοκινητοδρόμων και η δεύτερη είναι οι μεταβολές και οι διακυμάνσεις που προκαλούνται στο φορτίο αυτό, με την πάροδο του χρόνου και πάντα μέσα στα χρονικά πλαίσια που έχουμε θέσει για την έρευνα.

5.7.1 Σύνθεση κυκλοφοριακού φόρτου

Η σύνθεση του κυκλοφοριακού φόρτου σε έναν αυτοκινητόδρομο αντανακλά κατηγοριοποιημένα οχήματα που χρησιμοποιούν το έργο. Έτσι κάθε οδικό έργο παρουσιάζει μια ποσοστιαία κατανομή των οχημάτων που διέρχονται από αυτό. Οι πιο συνηθισμένες κατηγορίες οχημάτων είναι:

- ιδιωτικά οχήματα (Ι.Χ.)
- μοτοσυκλέτες
- λεωφορεία
- βαρέα φορτηγά οχήματα (φορτηγά-νταλίκες).

Η ποσόστωση που παρουσιάζουν εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι σημαντικότεροι από τους οποίους είναι:

- οι περιοχές που εξυπηρετούν και οι δραστηριότητες που τις χαρακτηρίζουν (κοινωνικο-οικονομικά χαρακτηριστικά)
- οι κοινωνικές, πολιτικές και οικονομικές συνθήκες (συνολικά σε μία χώρα)
- οι δείκτες τουρισμού (επισκεψιμότητα)

Η ποσόστωση των οχημάτων που διασχίζουν το οδικό έργο εξυπηρετεί δύο κύριους σκοπούς. Πρώτον, γνωρίζοντας τον τύπο και τον αριθμό των οχημάτων, μπορούμε να εντοπίσουμε τα οικονομικά μεγέθη που σχετίζονται με τα οφέλη που προσφέρει το οδικό έργο. Και δεύτερον, μας δίνεται η ευκαιρία, γνωρίζοντας τον τύπο των οχημάτων, να υπολογίσουμε πιο εύκολα και με μεγαλύτερη ακρίβεια στον αριθμό των χρηστών που επιβαίνουν στα διερχόμενα οχήματα.

Από τις μελέτες που έχουν συνταχθεί και αφορούν τα μεγάλα οδικά δίκτυα στη χώρα μας, μπορούμε να δούμε μια εικόνα της ποσόστωσης των οχημάτων που κινούνται πάνω τους. Το 2013 το ποσοστό των βαρέων οχημάτων στα τμήματα της Εγνατίας Οδού (για τα οποία υπάρχουν στοιχεία κατηγοριοποίησης των διερχόμενων οχημάτων) κυμάνθηκε μεταξύ 12% και 24%. Τα μεγαλύτερα ποσοστά των βαρέων οχημάτων παρουσιάζονται στα τμήματα του

αυτοκινητόδρομου μεταξύ των (α) Α/Κ Μετσόβου-Α/Κ Ανήλιου-Α/Κ Παναγιάς, στην Ήπειρο, με ποσοστό 24%, (β) Α/Κ Δυτ.-Α/Κ Ανατ. Γρεβενών (Παράκαμψη Γρεβενών) στη Δυτική Μακεδονία με 22%. Ακολουθούν με ποσοστά άνω του 15%, και μέχρι 18%, τα τμήματα μεταξύ των Α/Κ Βασιλικού-Α/Κ Σελλών και Α/Κ Ιωαννίνων-Α/Κ Παμβώτιδας στην Περιφέρεια Ηπείρου, καθώς και τα τμήματα μεταξύ Α/Κ Κοζάνης και Α/Κ Βέροιας.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε συγκεκριμένα τμήματα της Εγνατίας Οδού, οι εκτιμήσεις του ποσοστού των βαρέων οχημάτων στον συνολικό κυκλοφοριακό φόρτο, μεταξύ των ετών 2009 και 2013 καταδεικνύουν αύξηση του στα τμήματα του αυτοκινητόδρομου μεταξύ Κοζάνης και Βέροιας, και αναδεικνύουν τον κρίσιμο ρόλο του στην λειτουργική διασύνδεση μεταξύ Δυτικής και Κεντρικής Μακεδονίας. Την ίδια περίοδο, αύξηση του ποσοστού των βαρέων οχημάτων καταγράφεται στα τμήματα μεταξύ των Α/Κ που εξυπηρετούν δύο περιφερειακές πόλεις: τα Γρεβενά στη Δυτική Μακεδονία και την Αλεξανδρούπολη στην Ανατολική Μακεδονία & Θράκη. Η αύξηση αυτή στο ποσοστό των βαρέων δε σημαίνει βέβαια και αύξηση του απόλυτου αριθμού τους αλλά φανερώνει ότι το ύψος της μείωσης στην κυκλοφορία τους ήταν μικρότερο από το αντίστοιχο των επιβατικών οχημάτων, γεγονός που είναι λογικό καθώς οι μετακινήσεις φορτηγών, δηλαδή οι εμπορευματικές μεταφορές είναι περισσότερο «ανελαστικές» σε σχέση με τις μετακινήσεις επιβατικών οχημάτων, των οποίων κάποιο ποσοστό γίνεται για λόγους λιγότερο απαραίτητους (πχ για αναψυχή). Σε μια έρευνα που αφορούσε το τμήμα Πύργος-Καλαμάτα, οι κατηγορίες που δημιουργήθηκαν ήταν περισσότερες και έγινε διαχωρισμός των Ι.Χ. οχημάτων και των μοτοσυκλετών όπως και των λεωφορείων με τα φορτηγά.. Τα ποσοστά που υπολογίζονται είναι: ΙΧ. επιβατικά αυτοκίνητα 87,25%, μοτοσυκλέτες 1,69%, φορτηγά 9,19% και λεωφορεία 1,87%.

ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟ ΠΟΣΟΣΤΑ ΒΑΡΕΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ 2009-2013					
Τμήμα Εγνατίας Οδού	2009	2010	2011	2012	2013
Α/Κ ΗΓΟΥΜΕΝΙΤΣΑΣ - Α/Κ ΒΑΣΙΛΙΚΟΥ	#	#	#	#	#
Α/Κ ΒΑΣΙΛΙΚΟΥ - Α/Κ ΝΕΟΧΩΡΙΟΥ	18%	15%	16%	#	16%
Α/Κ ΝΕΟΧΩΡΙΟΥ-Α/Κ ΣΕΛΛΩΝ-ΤΥΡΙΑΣ	#	#	#	15%	16%
Α/Κ ΣΕΛΛΩΝ-ΤΥΡΙΑΣ - Α/Κ ΔΩΔΩΝΗΣ	14%	15%	15%	#	#
Α/Κ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ - Α/Κ ΠΑΜΒΩΤΙΔΑΣ	17%	21%	19%	#	18%
Α/Κ ΜΕΤΣΟΒΟΥ-Α/Κ ΑΝΗΛΙΟΥ	#	#	#	24%	24%
Α/Κ ΑΝΗΛΙΟΥ - Α/Κ ΠΑΝΑΓΙΑΣ	#	#	#	24%	24%
Α/Κ ΔΥΤ. ΓΡΕΒΕΝΩΝ - Α/Κ ΑΝΑΤ. ΓΡΕΒΕΝΩΝ	19%	25%	21%	22%	22%
Α/Κ ΑΝΑΤΟΛ. ΓΡΕΒΕΝΩΝ - Α/Κ ΤΑΞΙΑΡΧΗ	18%	22%	19%	21%	#
Α/Κ ΤΑΞΙΑΡΧΗ - Α/Κ ΔΥΤ. ΣΙΑΤΙΣΤΑΣ (ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ)	18%	22%	19%	21%	#
Α/Κ ΚΑΛΑΜΙΑΣ-Α/Κ ΚΟΖΑΝΗΣ	#	20%	18%	#	#
Α/Κ ΚΟΖΑΝΗΣ - Α/Κ ΠΟΛΥΜΥΛΟΥ	14%	26%	18%	17%	17%
Α/Κ ΠΟΛΥΜΥΛΟΥ - Α/Κ ΒΕΡΟΙΑΣ	14%	19%	16%	16%	17%
Α/Κ ΒΕΡΟΙΑΣ-Α/Κ ΚΟΥΛΟΥΡΑΣ	#	#	#	#	#
Α/Κ ΚΟΥΛΟΥΡΑΣ - Α/Κ ΝΗΣΕΛΙΟΥ	12%	18%	#	#	#
Α/Κ ΝΗΣΕΛΙΟΥ-Α/Κ ΚΛΕΙΔΙΟΥ	#	#	#	#	#
Α/Κ ΙΩΝΙΑΣ-ΔΙΑΒΑΤΩΝ (Κ2) - Α/Κ ΕΥΚΑΡΠΙΑΣ (Κ4)	#	#	#	#	#
Α/Κ ΕΥΚΑΡΠΙΑΣ (Κ4) - Α/Κ ΛΑΓΚΑΔΑ/ΣΕΡΡΩΝ	#	#	#	#	#
Α/Κ ΛΑΓΚΑΔΑ/ΣΕΡΡΩΝ - Α/Κ ΠΡΟΦΗΤΗ	14%	#	#	12%	12%
Α/Κ ΠΡΟΦΗΤΗ - Α/Κ ΒΑΓΙΟΧΩΡΙΟΥ	14%	14%	16%	#	#
Α/Κ ΡΕΝΤΙΝΑΣ - Α/Κ ΑΣΠΡΟΒΑΛΤΑΣ	13%	14%	14%	15%	12%
Α/Κ ΑΣΠΡΟΒΑΛΤΑΣ - Α/Κ ΣΤΡΥΜΟΝΑ (ΚΕΡΔΥΛΙΩΝ)	15%	15%	17%	16%	#
Α/Κ ΜΟΥΣΘΕΝΗΣ - Α/Κ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥΠΟΛΗΣ	#	#	#	#	13%
Α/Κ ΑΓ.ΣΥΛΛΑ - Α/Κ ΑΣΠ. ΧΩΜΑΤΩΝ (ΛΕΥΚΗΣ ΑΜΜΟΥ)	16%	18%	18%	#	#
Α/Κ ΒΑΦΑΙΚΩΝ - Α/Κ ΙΑΣΜΟΥ	#	#	#	15%	14%
Α/Κ ΙΑΣΜΟΥ - ΔΥΤΙΚΟΣ Α/Κ ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ	14%	15%	17%	13%	12%
ΔΥΤ. Α/Κ ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ - ΑΝΑΤ. Α/Κ ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ	18%	17%	18%	19%	#
Α/Κ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗΣ - Α/Κ ΒΙ.ΠΕ ΑΛΕΞ/ΠΟΛΗΣ	14%	16%	20%	17%	16%
Α/Κ ΒΙ.ΠΕ ΑΛΕΞ/ΠΟΛΗΣ - Α/Κ ΑΡΔΑΝΙΟΥ	14%	16%	20%	22%	#
# Δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία					

Πίνακας 7: Σύθεση κυκλοφορίας Εγνατίας οδού (2009-2013)

Στην παρούσα εργασία κρίθηκε σκόπιμο να επιτευχθεί ποσόστωση οχημάτων που διασχίζουν το οδικό έργο κατά 85% για τα ελαφρά οχήματα και κατά

15% για τα βαρέα επαγγελματικά οχήματα. Το ποσοστό των ελαφρών οχημάτων δεν θα αναλυθεί περαιτέρω, διότι το ποσοστό των μοτοσυκλετών, όπως φαίνεται από τις μελέτες, είναι αρκετά μικρό (<2%) και δεν επηρεάζει τις εκτιμήσεις για τον αριθμό των χρηστών ή το συνολικό κόστος και τα οφέλη των διερχόμενων οχημάτων. Ομοίως, για τα βαρέα οχήματα, δεν θα υπάρχει διαχωρισμός των δαπανών και των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν κατά τη μετακίνησή τους, αλλά θα διατηρήσουμε το ποσοστό των λεωφορείων (2-3%), το οποίο θα χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του αριθμού των χρηστών καθημερινά, καθώς πρόκειται για ένα μέσο δημόσιας συγκοινωνίας, το οποίο φέρει κατά μέσο όρο πάνω από 25 άτομα σε κάθε διαδρομή.

5.7.2 Μεταβολή της κυκλοφορίας

Για το χρονικό διάστημα που αναφέρεται η εργασία (20 χρόνια), το κυκλοφοριακό φορτίο που αρχικά υιοθετήθηκε δεν παραμένει αμετάβλητο. Οι αλλαγές που δύναται να γίνουν δεν είναι αμελητέες και δεν μπορούν να αγνοηθούν, χωρίς συνέπειες για τα πορίσματα της έρευνας. Έτσι, ανάλογα με τις οικονομικές, πολιτικές και κοινωνικές συνθήκες που επικρατούν σε μια περιοχή, η μεταβολή που θα ληφθεί υπόψη θα αποφασίζεται σε ετήσια βάση στο φορτίο κυκλοφορίας. Αυτή η μεταβολή θα είναι είτε αυξητική είτε μειωτική, και θα αλλάζει συνεχώς το φόρτο της μελέτης. Προκειμένου να εξυπηρετηθούν καλύτερα οι υπολογισμοί, η μεταβολή που επιλέγεται αρχικά παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης. Πρέπει να σημειωθεί ότι η μεταβολή στο φορτίο της κυκλοφορίας λαμβάνει επίσης υπόψη την αλλαγή που επιφέρει η κατασκευή του ίδιου του δρόμου, καθώς διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο στις μεταβολές που συντελούνται.

Η Εγνατία Οδός Α.Ε. ανά τακτά χρονικά διαστήματα δημοσιεύει στατιστικά στοιχεία για τη λειτουργία του αυτοκινητοδρόμου. Στις πιο πρόσφατες εκδόσεις της παρουσιάζονται επίσης οι στατιστικές διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται στην κυκλοφορία του έργου. Το συγκεκριμένο συγκοινωνιακό οδικό έργο παρουσιάζει

μια εντυπωσιακή αύξηση της κυκλοφορίας τα τελευταία χρόνια, η οποία οφείλεται κυρίως στις νέες δυνατότητες και επιλογές που προσφέρονται στους χρήστες, μετά την ολοκλήρωσή του. Τα ποσοστά ξεκινούν ανά τμήματα από 15%-20% ενώ σε κάποια τμήματα αγγίζει τα εντυπωσιακά νούμερα του 90% έως και 100%. Βέβαια τα συγκεκριμένα ποσοστά δεν θα διατηρηθούν πιθανότατα σε αυτά τα επίπεδα και δικαιολογούνται αυτή τη στιγμή από τα ελάχιστα χρόνια λειτουργίας του έργου.

Μια έρευνα που διεξήχθη σε μια γεωγραφικά διαφορετική περιοχή, για το τμήμα Πάτρα-Καλαμάτα (Δοξιάδης-Στάθης, 2006), έδειξε ετήσια αύξηση του οδικού φορτίου από 3,5% σε 4%. Αυτή η έρευνα δίνει ένα πολύ χρήσιμο στοιχείο στην επιλογή αυτού του ποσοστού. Οι διακυμάνσεις ενός οδικού δικτύου εξαρτώνται, όπως είδαμε, κυρίως από τους κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες που αφορούν την ανάπτυξη ενός τόπου. Για αυτόν τον ρυθμό αύξησης, ελήφθη υπόψη ότι τα ποσοστά ανεργίας στην περιοχή κυμαίνονταν από 8% έως 10%. Πρόκειται για ένα σημαντικό στοιχείο, το οποίο μπορεί να βοηθήσει ώστε οι εκτιμήσεις που κάνουμε να περιλαμβάνουν τις κατάλληλες αναγωγές.

Με βάση τα στοιχεία που συλλέχθηκαν για την Ελλάδα, πραγματοποιείται επιλογή της μεταβολής του φόρτου κυκλοφορίας. Η ανάπτυξη των οδικών έργων στην Ελλάδα, λόγω της έλλειψης που παρουσιάζουν οι συγκοινωνιακές υποδομές της χώρας, προσφέρουν πάντα νέες δυνατότητες και είναι συνήθως αποδεκτές από τους χρήστες. Έτσι μπορούμε να θεωρηθεί χωρίς μεγάλο περιθώριο λάθους, ότι ένα οδικό έργο στην Ελλάδα θα παρουσιάζει αύξηση των χρηστών του για μεγάλο χρονικό διάστημα. Από την άλλη πλευρά, η οικονομική κατάσταση σήμερα παρουσιάζει αρκετά μεγάλες μεταβολές σε σχέση με το 2006, καθώς τα ποσοστά ανεργίας υπερδιπλασιάστηκαν (27% το 2018). Επομένως, ως καταλληλότερη επιλογή, λαμβάνεται υπόψη μια μικρή αύξηση του ετήσιου φόρτου μεταξύ 1% και 2%. Η επιλεγείσα αύξηση θα θεωρείται συνεπής κατά τη διάρκεια της μελέτης και θα είναι κοινή για κάθε τύπο οχήματος χωρίς αλλοιώνει τα ποσοστά της σύνθεσης της κυκλοφορίας.

5.8 Αριθμός χρηστών

Σημαντικό μέρος των οφελών, που προκύπτουν από τη χρήση της σύγχρονης οδικής υποδομής, σχετίζονται με τους ίδιους τους χρήστες του δικτύου. Ο χρόνος που εξοικονομείται από τη χρήση ενός νέου δρόμου για τους οδηγούς οφείλεται επίσης στη συντομότερη διαδρομή καθώς και στις υψηλότερες μέσες ταχύτητες που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της μετακίνησης. Πέρα από τα άμεσα οφέλη υπάρχουν έμμεσα κέρδη, τα οποία αποδεικνύονται πολλές φορές πιο σημαντικά. Τα νέα οδικά δίκτυα παρουσιάζουν πολύ χαμηλότερα ποσοστά ατυχημάτων, με αποτέλεσμα ο χρήστης να εκτίθεται σε ένα πολύ μικρότερο κίνδυνο τραυματισμών και θανάτων. Ως εκ τούτου, ο αριθμός των χρηστών έχει συμβάλει σημαντικά στον προσδιορισμό των συνολικών οφελών της χρήσης και πρέπει να προσεγγιστεί με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια.

Ορισμένες παραδοχές θα χρειαστούν για τον υπολογισμό του αριθμού των χρηστών, κυρίως για τον αριθμό των επιβατών σε κάθε όχημα. Για φορτηγά και μοτοσυκλέτες θεωρείται ότι ο αριθμός των επιβατών είναι ένας (1) επιβάτης ανά όχημα. Η ποσόστωσή τους είναι μικρή και δεν επηρεάζει σημαντικά το τελικό αποτέλεσμα. Τα επιβατικά αυτοκίνητα μπορούν να εξυπηρετήσουν από 1 έως 5 άτομα σε κάθε διαδρομή. Λαμβάνοντας υπόψη ότι πολλά ταξίδια που οφείλονται σε επιχειρηματικές υποχρεώσεις γίνονται μόνο από ένα άτομο, θεωρείται ότι επαρκεί ένας συντελεστής 1,5 έως 2,5, με καταλληλότερη τιμή δύο (2). Τέλος, για τα υπεραστικά λεωφορεία γνωρίζουμε ότι έχουν μέγιστη χωρητικότητα μέχρι 50 άτομα. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ταξιδεύουν κατά μέσο όρο με 50% και 70% πληρότητα, που μεταφράζεται σε 25 έως 35 άτομα ανά όχημα, δύναται να θεωρηθεί, για κάθε λεωφορείο, την τιμή των 30 ατόμων ανά όχημα.

Οι τιμές που έχουν επιλεγεί για τα οχήματα που ταξιδεύουν στο δρόμο, δίνουν τελικά τον συνολικό αριθμό χρηστών του έργου. Έτσι, μπορεί να υπολογιστεί ο αριθμός των χρηστών για το αρχικό σημείο της έρευνας και επειδή η σύνθεση της κυκλοφορίας δεν μεταβάλλεται από την αλλαγή στο φορτίο

κυκλοφορίας, ο αριθμός αυτός θα μεταβάλλεται όπως απαιτείται από την ετήσια μεταβολή στο φορτίο κυκλοφορίας.

Επομένως:

$$\begin{aligned} & (\text{Αριθ.δικύκλων} \cdot 1) + (\text{Αριθ.φορτηγών} \cdot 1) + (\text{Αριθ.Ι.Χ.} \cdot 2) + (\text{Αριθ.λεωφορείων} \cdot 30) = \\ & = (2\% \cdot 1) + (13\% \cdot 1) + (83\% \cdot 2) + (2\% \cdot 30) = 2,41 \text{ άτομα/όχημα} \end{aligned}$$

Και αυτός θα είναι ο παράγοντας, όπου πολλαπλασιασμένος με τον αντίστοιχο αριθμό των οχημάτων, θα δώσει το συνολικό αριθμό χρηστών του δρόμου σε κάθε έτος μελέτης.

5.9 Μέση ταχύτητα κίνησης

Η μέση ταχύτητα είναι το μέγεθος που δείχνει το ρυθμό με τον οποίο κινούνται συνολικά τα οχήματα στον αυτοκινητόδρομο, κατά μέσο όρο. Αυτό το μέγεθος χρησιμεύει για να μελετήσει τις ώρες που χρειάζεται ένα όχημα για να διανύσει μια συγκεκριμένη απόσταση. Αλλά εκτός από το χρόνο που μεταφράζεται σε όφελος, η ταχύτητα της κίνησης εμπλέκεται επίσης σε έναν άλλο υπολογισμό. Συμμετέχει στη φθορά κάθε οχήματος και στον τρόπο με τον οποίο αυτή μετατρέπεται σε μονάδες χρήματος. Τα οχήματα παρουσιάζουν ελάχιστη φθορά για συγκεκριμένες ταχύτητες οδήγησης και για μεγαλύτερες και μικρότερες ταχύτητες παρουσιάζουν μεγαλύτερη φθορά, η οποία δύναται να υπολογιστεί από κατάλληλες σχέσεις.

Οι αυτοκινητόδρομοι και όλα τα νέα οδικά έργα υποδομής, χαρακτηρίζονται από πρότυπα, που πρέπει να πληρούνται, προκειμένου να επιτευχθούν οι βέλτιστες ταχύτητες των οχημάτων. Από τις μελέτες σχετικά με την κατασκευή των έργων οδοποιίας και τις προδιαγραφές που περιέχουν (Αττικές διαδρομές Α.Ε.), η ταχύτητα κίνησης με την οποία μπορούν να κινούνται με ασφάλεια τα οχήματα κυμαίνεται από 110km/h έως 120km/h. Στις αναλύσεις που θα πραγματοποιηθούν στην παρούσα εργασία, η μέση ταχύτητα των ελαφρών οχημάτων (ιδιωτικά

αυτοκίνητα και δίκυκλα) ανέρχεται στα 100 km/h και για τα βαρέα οχήματα (φορτηγά και λεωφορεία) στα 80 km/h.

5.10 Κόστος διοδίων

Κατά την ανάλυση του κόστους κατασκευής ενός οδικού έργου, ένα σημαντικό μέρος του προϋπολογισμού του έργου καταλαμβάνεται από την κατασκευή και τη λειτουργία-συντήρηση των σταθμών διοδίων. Σε αυτή την περίπτωση, ωστόσο, η συγκριτική μελέτη που πρέπει να γίνει μεταξύ της σήραγγας και της κατασκευής ενός τμήματος παράκαμψης, το τμήμα μελέτης είναι αρκετά μικρό ώστε να συμπεριληφθεί και στα δύο σενάρια στο ίδιο τμήμα του αυτοκινητοδρόμου. Κατά συνέπεια, και τα δύο σενάρια θα εξυπηρετηθούν από τον ίδιο σταθμό διοδίων, καθιστώντας περιττό τον υπολογισμό του κόστους του σταθμού, διότι και στις δύο περιπτώσεις θα είναι κοινό και δεν θα παρουσιάζει καμία οικονομική διαφορά. Συνεπώς, το στοιχείο αυτό παραλείπεται από αυτή την εργασία.

5.11 Όφελος μείωσης του λειτουργικού κόστους οχημάτων

Κάθε όχημα, εκτός από το καύσιμο που χρησιμοποιεί για να κινείται, υπόκειται σε φθορά στα εξαρτήματά του λόγω της χρήσης του, δεδομένου ότι τα εξαρτήματα είναι αναλώσιμα και απαιτούν αντικατάσταση έπειτα από μία χρονική περίοδο. Η ζημία που προκαλείται σε κάθε όχημα δεν είναι σταθερό μέγεθος και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η συμπεριφορά οδήγησης του χρήστη, ο τύπος του δρόμου που ταξιδεύει, η ταχύτητα με την οποία ταξιδεύει (το μέγεθος του οποίου αναφέρεται στο ρυθμό λειτουργίας του) και το βάρος που μεταφέρει. Πρέπει να σημειωθεί ότι η προσπάθεια εκτίμησης του κόστους χρήσης στις παρούσες εργασίες είναι μια στατιστική διαδικασία και σχετίζεται με το μακροπρόθεσμο κόστος συντήρησης κάθε οχήματος.

Η παρούσα εργασία, όπως αναφέρεται στην προηγούμενη παράγραφο, θα λαμβάνει ως ημερήσιο φορτίο χιλιάδες οχήματα διαφορετικών ειδών στις επιλεγμένες τιμές. Δεν είναι εφικτό να ληφθούν υπόψη όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος χρήσης των οχημάτων. Για το λόγο αυτό, ο παράγοντας συμπεριφοράς οδηγού θα αποκλειστεί και οι ιδιαιτερότητες του οδοστρώματος θα αγνοηθούν, δεδομένου ότι σε ένα νέο οδικό έργο οι συνθήκες αυτές θα είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στις ιδανικές.

Οι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι εκείνοι του μεγέθους και του τύπου του οχήματος, καθώς και της μέσης ταχύτητας με την οποία κινούνται (περιλαμβάνει επίσης μέρος της συμπεριφοράς οδήγησης). Ο Πίνακας 8 (Στάθης, 2006) δείχνει τις τιμές κόστους ανά διανυθέν χιλιόμετρο σε σχέση με τη μέση ταχύτητα του οχήματος και τον τύπο του οχήματος. Τα δίκυκλα οχήματα έχουν υπολογιστεί μαζί με τα ελαφρά, καθώς το ποσοστό τους είναι μικρό (2%) και δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα.

Μέση ταχύτητα (km/h)	Μέσος όρος ελαφρών οχημάτων (€/km)	Μέσος όρος λεωφορείων (€/km)	Μέσος όρος φορτηγών (€/km)
32	0,261	0,948	0,770
40	0,224	0,796	0,666
48	0,203	0,705	0,603
56	0,186	0,653	0,578
64	0,176	0,613	0,559
72	0,169	0,584	0,551
80	0,164	0,583	0,565
88	0,159	0,584	0,587
96	0,159	0,602	0,624
104	0,164	-	-
112	0,173	-	-

Πίνακας 8: Τιμές κόστους ανά διανυθέν χιλιόμετρο

Από τα παραπάνω δεδομένα και δεδομένου ότι τα ελαφρά οχήματα θα κινούνται με ταχύτητες που κατά μέσο όρο θα φτάνουν τα 100 km/h και τα βαρέα οχήματα στα 80 km/h, προκύπτουν οι τιμές που λαμβάνονται στη μελέτη για το κόστος χρήσης των οχημάτων.

Το λειτουργικό κόστος του οχήματος δεν περιλαμβάνει τα έξοδα του οχήματος, όπως τέλη κυκλοφορίας και ασφάλιση. Κάθε χρόνο, οι χρεώσεις αυτού του τύπου κοστίζουν περίπου 600-700€, ενώ ένα τυπικό όχημα εκτελεί μια μέση χρήση μεταξύ 10.000km και 15.000km ετησίως. Για το λόγο αυτό, στους υπολογισμούς της εργασίας τα παραπάνω στοιχεία θα παρουσιάσουν μια μικρή αύξηση ύψους 0,05€ ανά km.

Για τα ελαφρά οχήματα, θα είναι 0,20€ ανά km, ενώ για τα βαρέα οχήματα θα είναι 0,61€ ανά διανυόμενο km βαρέων οχημάτων.

5.12 Όφελος μείωσης των ατυχημάτων

Τα ατυχήματα που συμβαίνουν σε ένα οδικό δίκτυο ενδέχεται να έχουν ως αποτέλεσμα την καταστροφή μέρους ή του συνόλου του οχήματος, τραυματισμού ενός επιβαίνοντος ή πεζού και της απώλειας της ζωής ενός επιβαίνοντος ή πεζού. Για την ανάλυση που έχει γίνει, είναι σημαντικό να μετατρέψουμε οποιαδήποτε συνέπεια σε νομισματική αποζημίωση. Η ζημιά του οχήματος είναι σε κάθε περίπτωση πιο άμεση και εύκολα μετατρέψιμη, ενώ στην περίπτωση τραυματισμών και θανάτων πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες, που εμπλέκονται στην τελική αποζημίωση.

Ανάλογα με το επίπεδο εξυπηρέτησης, αναμένεται στατιστικά αριθμός ατυχημάτων ανά εκατομμύριο οχηματοχιλιόμετρα (δηλαδή ένα εκατομμύριο διανυόμενα χιλιόμετρα από οχήματα).

Ο αναμενόμενος αριθμός τροχαίων ατυχημάτων προκύπτει από τη σχέση:

$$(T.A.) = (\Delta.A.) * ((E.M.H.K.) * 365 * (L/10^6))$$

όπου:

- T.A.: Αναμενόμενος αριθμός τροχαίων ατυχημάτων ανά τμήμα για κάθε έτος.
- Δ.Α.: Δείκτης ατυχημάτων.
- E.M.H.K.: Μέσος ημερήσιος κυκλοφοριακός φόρτος που έχει υπολογιστεί
- 365: Μέρες του έτους.
- L: Το μήκος του τμήματος της οδού.

Το ποσοστό ατυχημάτων για την Ελλάδα σε ανοικτή εθνική οδό είναι περίπου 0,65 ατυχ/10⁶ οχηματοχιλιόμετρα. Ο δείκτης προέρχεται από στατιστικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στην Εγνατία Οδό και τμήματα της Ολυμπίας Οδού στην Πελοπόννησο. Για τις σήραγγες δεν υπάρχουν ξεχωριστά δεδομένα ατυχημάτων στην Ελλάδα. Ωστόσο, δεν μπορούν να αντιμετωπίζονται με τους ίδιους δείκτες ατυχημάτων. Σύμφωνα με στατιστική μελέτη που διεξήχθη με στοιχεία για παγκόσμιες σήραγγες (Παπαδήμα,, 2012), το παγκόσμιο ποσοστό ατυχημάτων είναι 0,66 ατυχ./10⁶ οχηματοχιλιόμετρα, αλλά ο δείκτης αλλάζει για την ευρωπαϊκή περιοχή όπου ο μέσος όρος είναι 0,39 ατυχ./10⁶ οχηματοχιλιόμετρα. Στην Ελλάδα τα ατυχήματα παρουσιάζουν συχνότητα 10% έως 20% υψηλότερη από ό, τι στην Ευρώπη (Eurostat, 2010), επομένως στην παρούσα εργασία λαμβάνεται η τιμή 0,45 ατυχ./10⁶ οχηματοχιλιόμετρα.

Επίσης, για μια μελέτη που διεξήχθη στην Ολυμπία Οδό και περιλάμβανε την ανάλυση του αριθμού των ατυχημάτων με τον αριθμό των θανάτων, των τραυματισμών και των υλικών ζημιών, έχουμε ως απόδειξη ότι σε κάθε ατύχημα που συμβαίνει, υπολογίζουμε στατιστικά 0,18 νεκρούς, 1,6 τραυματίες και 1,8 οχήματα (Στάθης, 2006). Αυτοί οι δείκτες, με τους δείκτες ατυχημάτων και το

κόστος κάθε περίπτωσης, θα μας δώσουν το τελικό κόστος ενός ατυχήματος σε κάθε σενάριο.

Το κόστος για οποιοδήποτε περιστατικό που μπορεί να συμβεί σε ένα ατύχημα υπολογίστηκε στην αιτιολογική έκθεση του ελληνικού κράτους το 2007 και αφορούσε τον σχεδιασμό της Ιόνιας Οδού. Το κόστος θανάτου είναι 736.155€ ευρώ, κόστος βαριά τραυματισμένου στα 86.184€ ευρώ, κόστος ελαφρά τραυματισμένου στα 6.650€ ευρώ και κόστος υλικών ζημιών στα 12.635€ ευρώ. Για τις περιπτώσεις των τραυματιών, επειδή δεν διαχωρίζονται σε ποσοστά θα ληφθεί η μέση τιμή από το κόστος των περιπτώσεών τους στα 46.417€ ευρώ

Επομένως, για κάθε ατύχημα, υπολογίζουμε το κόστος σύμφωνα με τις πιθανότητες που παρουσιάσαμε προηγουμένως. Έτσι, σε οποιοδήποτε ατύχημα συμβαίνει, το κόστος προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$\text{Κόστος} = 0,18 * 736.155 + 1,6 * 46.417 + 1,8 * 12.635 = 229.518 \text{ €/ανά ατύχημα.}$$

Με αναγωγή της παραπάνω τιμής στη σημερινή της αξίας προκύπτει ότι κάθε ατύχημα κοστίζει κατά μέσο όρο 256.030,00 €.

5.13 Όφελος εξοικονόμησης χρόνου χρηστών

Στην προηγούμενη παράγραφο αναλύθηκε ο τρόπος με τον οποίον μπορεί να προσδιοριστεί η αξία χρόνου. Σε πρακτικό επίπεδο, παρατίθενται παρακάτω τιμές που κατά καιρούς χρησιμοποιήθηκαν σε αναλύσεις κόστους-οφέλους τμημάτων της Εγνατίας οδού (Πίνακας 9) :

Όνομα Μελέτη	Έτος εκπόνησης	Ελαφρά οχήματα δρχ/h/όχημα (€/h/όχημα)	Λεωφορεία δρχ/h/όχημα (€/h/όχημα)	Σταθμισμένη αξία χρόνου δρχ/h/όχημα (€/h/όχημα)
Οικονομοτεχνική μελέτη σκοπιμότητας του τμήματος «Παναγιά-Κουλούρα	2000	2.465 7,234	11.200 32,86	2.910 8,54
Οικονομοτεχνική μελέτη σκοπιμότητας του τμήματος «Ηγουμενίτσα-Παναγιά»	2001	2.537 7,44	11536 33,85	2977 8,79
Οικονομοτεχνική μελέτη σκοπιμότητας του τμήματος «Δερβένι-Κήποι-Ορμένιο»	2001	2.535 7,44	11535 33,85	2977 8,79
Οικονομοτεχνική μελέτη σκοπιμότητας του τμήματος «Θεσσαλονίκη-Σέρρες-Προμαχώνας»	2004	8,55	38,90	10,10
Οικονομοτεχνική μελέτη σκοπιμότητας του τμήματος «Σιάτιστα-Ιεροπηγή-Κρυσταλλοπηγή»	2005	10,55	48,00	20,00
Οικονομοτεχνική μελέτη σκοπιμότητας του τμήματος «Παναγιά-Γρεβενά»	2005	8,95	39,50	10,50

Πίνακας 9: Τιμές αξίας χρόνου που υιοθετήθηκαν σε προηγούμενες μελέτες της ΕΟΑΕ

Ο Πίνακας 10 παρουσιάζει τις τιμές που προέκυψαν από τις έρευνες Δηλωμένων Προτιμήσεων (ΔΠ) του Κυκλοφοριακού Συμβούλου του ΥΠΕΧΩΔΕ σε τιμές 2002.

Σκοπός Μετακίνησης	Διάρκεια Μετακίνησης	Μέγεθος Δείγματος	Ποσοστό επί του συνόλου του δείγματος (%)	Αξία Χρόνου (€ ανά ώρα) Τιμές 2002	Αξία Χρόνου (€ ανά ώρα) Τιμές 2006 *
Εργασία	1 ώρα ή λιγότερο	3416	9,1%	6,29	7,16
Εργασία	Πάνω από 1 ώρα	799	2,1%	10,31	11,73
Στα πλαίσια της εργασίας	1 ώρα ή λιγότερο	4654	12,3%	7,51	8,55
Στα πλαίσια της εργασίας	Πάνω από 1 ώρα	3280	8,7%	10,55	12,0
Στα πλαίσια της εργασίας	Πάνω από 2 ώρες	5089	13,5%	12,48	14,20
Τουρισμός/ Αναψυχή	Κάτω από 2 ώρες	5276	14,0%	8,58	9,76
Τουρισμός/ Αναψυχή	Πάνω από 2 ώρες	6910	18,3%	11,63	13,23
Άλλος	1 ώρα ή λιγότερο	3076	8,2%	6,87	7,82
Άλλος	Πάνω από 1 ώρα	5228	13,9%	12,00	13,65

Πίνακας 10: Τιμές αξίας χρόνου ανά σκοπό και διάρκεια μετακίνησης (Ελλάδα - 2002)

Εκτιμώντας καταρχήν ότι η κατανομή των μετακινήσεων παραμένει ως έχει και αθροίζοντας τις παραπάνω κατηγορίες, δύναται να υπολογιστεί ένας σταθμισμένος μέσος όρος του οφέλους χρόνου για τους μετακινούμενους με ΙΧ ίσος με 11,20€/h ανά επιβάτη.

Αντίστοιχα, από την έρευνα στις Ελληνικές Μεταφορικές Εταιρείες, που πραγματοποίησε ο Κυκλοφοριακός σύμβουλος του ΥΠΕΧΩΔΕ (2002), προέκυψε ότι το 70% περίπου των μεταφορικών εταιρειών έχουν μικρούς στόλους και αναθέτουν τις μεταφορές εμπορευμάτων σε ιδιοκτήτες φορτηγών οχημάτων που αποφασίζουν με δικά τους κριτήρια για τη διαδρομή που θα ακολουθήσουν. Στις υπόλοιπες μεγάλες μεταφορικές εταιρείες τα κριτήρια επιλογής διαδρομής είναι το λειτουργικό κόστος του οχήματος στο οποίο συμπεριλαμβάνεται και το κόστος διοδίων τελών και ο χρόνος μετακίνησης.

Με βάση τις αναλύσεις της μελέτης αυτής προέκυψαν οι ακόλουθες τιμές για την αξία χρόνου σε τιμές 2002 :

- Μικρή εταιρεία ή ιδιοκτήτες φορτηγών: 15€/h
- Μεσαία ή μεγάλη μεταφορική εταιρεία: 25€/h

Για το 2006 οι τιμές αυτές αντιστοιχούν περίπου σε 17,1€/h και 28,5€/h αντίστοιχα. Λαμβάνοντας το μέσο όρο αυτών των 2 τιμών και ανάγοντας σε τιμές 2018 λαμβάνεται τιμή για την αξία του εξοικονομούμενου χρόνου οδηγών βαρέων ίση με 25,60€/h ανά επιβάτη

5.14 Υπολειμματική Αξία Έργου

Η αξιολόγηση που γίνεται στη παρούσα εργασία καλύπτει μια χρονική περίοδο 20 ετών. Είναι προφανές ότι στο τέλος της συγκεκριμένης περιόδου, το έργο μπορεί να έχει ακόμα μια αξία, η οποία ονομάζεται υπολειμματική. Είναι κάτι μάλλον φυσικό καθώς τέτοια έργα ουσιαστικά έχουν μια διάρκεια ζωής , η οποία αγγίζει τα 100 έτη. Για λόγους απλότητας όμως, γίνεται η παραδοχή ότι δεν υφίσταται κάποια υπολειμματική αξία.

6. Αποτελέσματα σύγκρισης των σεναρίων

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αριθμητικοί υπολογισμοί και οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν με τα δεδομένα, που συγκεντρώθηκαν από όλη την έρευνα. Οι αναλύσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν με την χρήση του υπολογιστικού προγράμματος Excel της σουίτας Microsoft Office™, που μας δίνει και τα τελικά αποτελέσματα. Μέσω του ίδιου προγράμματος, και από την επεξεργασία των δεδομένων, δημιουργήθηκαν και τα αντίστοιχα διαγράμματα που παρουσιάζονται στη συνέχεια του κεφαλαίου.

Οι ενέργειες που περιγράφονται παρακάτω αφορούν και τους έξι κυκλοφοριακούς φόρτους που εξετάζει η παρούσα εργασία (5.000-10.000-15.000-20.000-25.000-30.000) και πραγματοποιήθηκαν από κοινού για όλες τις αναλύσεις. Για την κάθε περίπτωση επιφανειακού δρόμου ή σήραγγας, θα υπολογιστούν το κόστος κατασκευής, λειτουργίας και χρήσης κάθε εναλλακτικής ενώ παράλληλα θα γίνει και η συγκριτική αποτίμηση του οφέλους που προκύπτει. Αυτό προσδιορίζεται από τη διαφορά του κόστους χρήσης των δύο εναλλακτικών, όπως π.χ. η διαφορά στο χρόνο μετακίνησης ή η διαφορά στο κόστος ατυχημάτων που θα υπάρξει μεταξύ των δύο λύσεων. Αυτό, σε συνάρτηση με το κόστος κατασκευής και λειτουργίας που παρουσιάζουν τα δύο σεναρία (κοινό και για τις έξι αναλύσεις ΕΜΗΚ) θα καθορίσει και την τελική χιλιομετρική σχέση ισορροπίας μεταξύ των δύο εναλλακτικών (εύρεση “νεκρού σημείου”).

Εδώ θα πρέπει να επισημανθεί το εξής σημαντικό στοιχείο. Το όφελος του ενός σεναρίου έναντι στο άλλο περιλαμβάνει ένα κομμάτι από το κόστος κατασκευής του έργου και ένα από τις μετακινήσεις των οχημάτων. Όμως το όφελος από όπου κι αν προέρχεται καταλήγει στο χρήστη του οδικού έργου, είτε σαν μειωμένη απαίτηση κομίστρου από τη διαχειρίστρια αρχή του έργου, είτε σαν μειωμένο κόστος μετακίνησης.

6.1 Δεδομένα ανάλυσης

Στον πίνακα 11 παρουσιάζονται στοιχεία, που αφορούν τα οχήματα που μετακινούνται στα δύο σενάρια. Καταγράφεται η ποσόστωση με την οποία συμμετέχουν στην κυκλοφορία, καθώς και η μέση ωριαία ταχύτητα με την οποία κινούνται. Το κόστος χρήσης αναφέρεται στη λειτουργία των οχημάτων (καύσιμα-ανταλλακτικά-service), και η τιμή βαρέων οχημάτων έχει προκύψει σαν μέση τιμή, λαμβάνοντας υπόψη την ποσόστωση των φορτηγών (13% του συνολικού φόρτου) και των λεωφορείων (2% του συνολικού φόρτου). Τέλος στο κόστος χρόνου, παρουσιάζεται η αξία του χρόνου για κάθε επιβάτη, ελαφρών και βαρέων οχημάτων.

	Ελαφρά οχήματα	Βαρέα οχήματα
Ποσόστωση οχημάτων	85%	15%
Ταχύτητα κίνησης (km/h)	100	80
Κόστος χρήσης οχ. (€/km)	0,20	0,61
Κόστος χρόνου (€/h)	11,20	25,60

Πίνακας 11: Στοιχεία οχημάτων & επιβατών

Στον πίνακα 12 που ακολουθεί, παρουσιάζεται αρχικά το επιτόκιο προεξόφλησης που λαμβάνεται για τον υπολογισμό της καθαρής παρούσας αξίας (ΚΠΑ). Ο συντελεστής αυτός είναι ιδιαίτερα σημαντικός για την οικονομική ανάλυση και παρουσιάζει μεγάλη επίδραση στο τελικό αποτέλεσμα. Ακολουθούν τα στατιστικά δεδομένα για τους επιβαίνοντες κάθε οχήματος και της ετήσια αύξησης στον κυκλοφοριακό φόρτο. Ακόμη, παρουσιάζονται οι συντελεστές συχνότητας ατυχήματος για τα δύο σενάρια εκφρασμένη σε εκατομμύρια οχηματοχιλιόμετρα, δηλαδή για κάθε 1.000.000 διανυμένα km οχήματος

συμβαίνουν ατυχήματα ίσα με τον αριθμό του συντελεστή. Τέλος, φαίνεται η μεταβλητή της χιλιομετρική σχέση των δύο εξεταζόμενων σεναρίων.

Άτομα / όχημα	2,41
Αύξηση φόρτου	1%
Συντελεστής ατυχημάτων ανοιχτού δρόμου (ανά 10⁶ οχηματοχιλιόμετρα)	0,63
Συντελεστής ατυχημάτων σήραγγας (ανά 10⁶ οχηματοχιλιόμετρα)	0,43

Πίνακας 12: Σταθερά δεδομένα ανάλυσης

Οι υπολογισμοί που ακολουθούν, χωρίζονται σε κατηγορίες αναλόγως με το αντικείμενο του υπολογισμού. Οι πίνακες αυτοί παρατίθενται αναλυτικά στο παράρτημα της εργασίας.

❖ **Κόστος κατασκευής & συντήρησης**

Η πρώτη κατηγορία υπολογισμών αντιπροσωπεύει το συνολικό κόστος των δύο σεναρίων. Πρώτο παρουσιάζεται το σενάριο του ανοιχτού δρόμου για το οποίο υπολογίζεται το κόστος κατασκευής και το κόστος συντήρησης και λειτουργίας του. Το κόστος κατασκευής υπολογίζεται ως γινόμενο του κατασκευαστικού κόστους ανά km (4.140.000,00€), ενώ για την συντήρηση λαμβάνεται ετήσιο ποσό 7.700,00€/km και μετά από 10 χρόνια λειτουργίας περιοδική συντήρηση 95.000,00€/km.

Αμέσως μετά ακολουθεί ο υπολογισμός του κόστους κατασκευής και συντήρησης της σήραγγας. Το κόστος συντήρησης είναι 24.000,00€/km για κάθε έτος λειτουργίας και 820.000,00€/km για περιοδική συντήρηση μετά από 15 χρόνια λειτουργίας.

Για την περίπτωση του δρόμου όπως και γι' αυτή της σήραγγας, το κόστος κατασκευής μοιράζεται στα τρία πρώτα χρόνια (έτη 0, 1 και 2) που υλοποιείται η κατασκευή. Τα ποσοστά είναι κοινά και στις δύο περιπτώσεις και για τον πρώτο χρόνο αντιστοιχεί 10% του συνολικού ποσού, για το δεύτερο 50% και για τον τρίτο το υπολειπόμενο 40%.

Οι υπολογισμοί που αφορούν τα κόστη κατασκευής και συντήρησης των δύο σεναρίων, είναι ανεξάρτητοι από τον κυκλοφοριακό φόρτο που αλλάζει κατά την ανάλυση, με αποτέλεσμα η εικόνα τους να παραμένει αναλλοίωτη και στα έξι εξεταζόμενες περιπτώσεις.

❖ Κόστος χρήσης αυτοκινητοδρόμου

Το πρώτο στοιχείο που υπολογίζεται από τα δεδομένα που απαρτίζουν το κόστος μετακίνησης, είναι αυτό της αξίας του χρόνου του χρήστη. Ο υπολογισμός του προκύπτει από το γινόμενο των οχημάτων, των ημερών του έτους (365), το συντελεστή επιβαινόντων ανά όχημα και την αξία μιας χαμένης ώρας για τον καθένα, διαιρεμένη με την ταχύτητα κίνησης των οχημάτων. Γίνεται ξεχωριστός υπολογισμός για τα βαρέα και τα ελαφρά οχήματα, ενώ η διαδικασία επαναλαμβάνεται για το σενάριο της σήραγγας σε ξεχωριστό πίνακα όπου συγκεντρώνονται τα στοιχεία του δεύτερου σεναρίου.

Το δεύτερο τμήμα των υπολογισμών αφορά το κόστος, που προκύπτει από τη χρήση κάθε μετακινούμενου οχήματος. Ο υπολογισμός πραγματοποιείται ξεχωριστά για βαρέα και ελαφρά οχήματα, και η τιμή προκύπτει από το γινόμενο οχημάτων, ημερών και τον συντελεστή κόστους χρήσης από τον Πίνακα 11 δια της απόστασης που διανύεται.

Τελευταίο στοιχείο του κόστους μετακίνησης είναι το κόστος των ατυχημάτων, που στατιστικά συμβαίνουν κατά τις μετακινήσεις. Για τον υπολογισμό αυτής της τιμής, έχει προσεγγιστεί από το προηγούμενο κεφάλαιο το μέσο κόστος ενός οδικού ατυχήματος. Το ποσό αυτό πολλαπλασιάζεται με το πλήθος των οχημάτων, τις μέρες του έτους, και τον συντελεστή ατυχημάτων που χαρακτηρίζει το κάθε σενάριο (Πίνακας 12), διαιρούμενα με την απόσταση που

διανύεται. Τέλος γίνεται αναγωγή με την τιμή του 1.000.000 ώστε να προκύψει ο υπολογισμός ανά 10^6 οχηματοχιλιόμετρα.

❖ Ανάλυση-υπολογισμός “νεκρού σημείου”

Αφού έχουν υπολογιστεί όλα τα μεγέθη που αφορούν τη μελέτη, αθροίζονται όλες οι παρούσες αξίες (Κ.Π.Α.) των επιμέρους στοιχείων. Δημιουργούνται έτσι τα αθροίσματα των δύο σεναρίων. Το πρώτο περιλαμβάνει το κόστος κατασκευής και συντήρησης του ανοιχτού δρόμου καθώς και τα στοιχεία κόστους μετακίνησης για το αντίστοιχο κομμάτι (αξία χρόνου-κόστος χρήσης-αξία ατυχήματος). Το δεύτερο περιλαμβάνει όλα τα παραπάνω στοιχεία που αφορούν το σενάριο διάνοιξης σήραγγας.

Η εύρεση του νεκρού σημείου μεταξύ των δύο εναλλακτικών λύσεων, δηλαδή στο σημείο ισοδυναμίας τους, γίνεται όταν εισάγεται η μεταβλητή της Χιλιομετρικής Σχέσης (ΧΣ), στην οποία μηδενίζεται η διαφορά στο κόστος των δύο εναλλακτικών.

Κλείνοντας, στον Πίνακα 13 παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι παράμετροι με τις τιμές που επιλέχθηκαν για την ανάλυση κόστους των δύο σεναρίων :

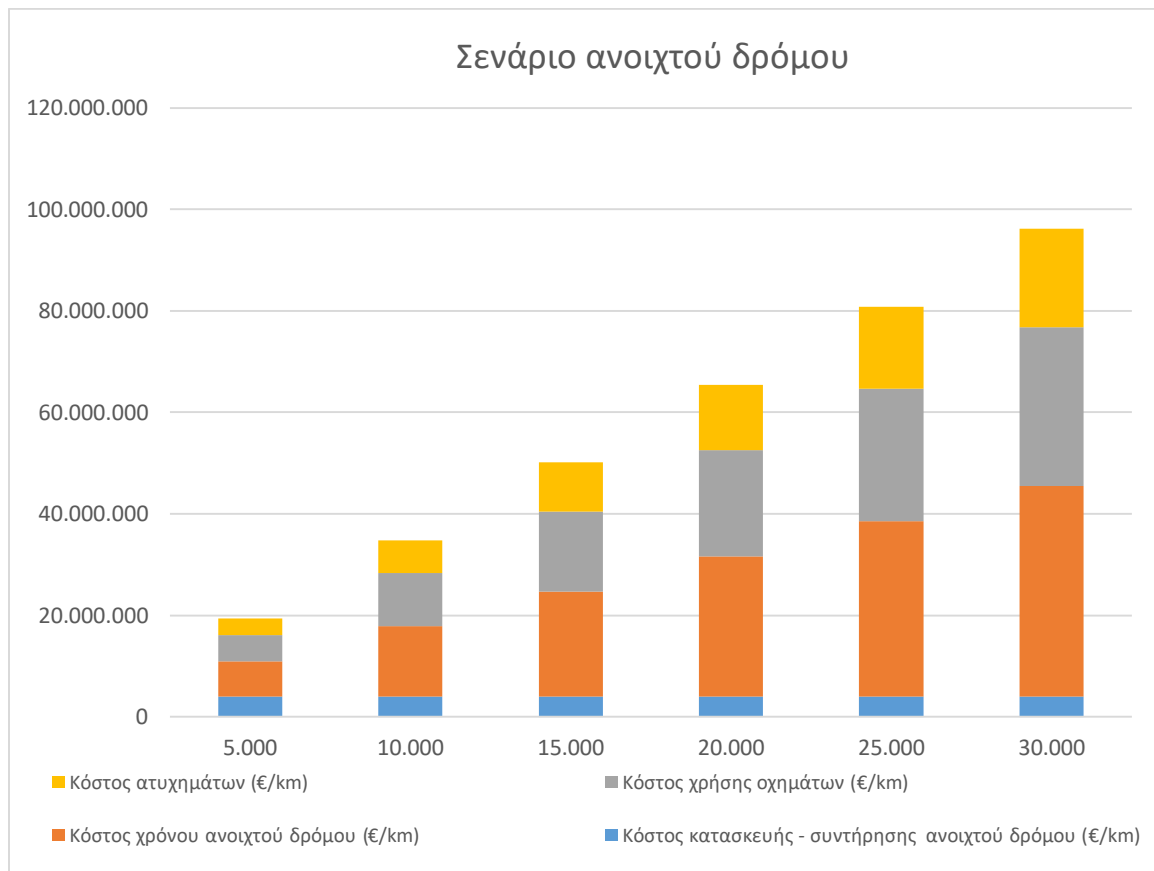
Παράμετροι	Τιμές
Διάρκεια έργου	20 έτη
Διάρκεια κατασκευής	3 έτη (10% - 50% - 40%)
Επιτόκιο προεξόφλησης	5%
Κόστος κατασκευής ανοιχτού δρόμου	4.140.000,00 €/km
Κόστος κατασκευής σήραγγας	24.000.000,00 €/km
Κόστος συντήρησης ανοιχτού δρόμου (ετήσιο)	7.700,00 €/km
Κόστος συντήρησης ανοιχτού δρόμου (περιοδικό – ανά 10 χρόνια)	95.000,00 €/km
Κόστος συντήρησης σήραγγας	24.000,00 €/km
Κόστος συντήρησης σήραγγας (περιοδικό – ανά 15 χρόνια)	820.000,00 €/km

Πίνακας 13: Συγκεντρωτικός πίνακας τιμών κόστους ανάλυσης

6.2 Αποτελέσματα ανάλυσης

6.2.1 Σενάριο 1 – Ανοιχτός δρόμος

Στο διάγραμμα 3 παρουσιάζονται οι παράμετροι που συνθέτουν το συνολικό κόστος του σεναρίου παρακαμπτήριου τμήματος. Οι υπολογισμοί έχουν πραγματοποιηθεί για έργο μήκους 1km.

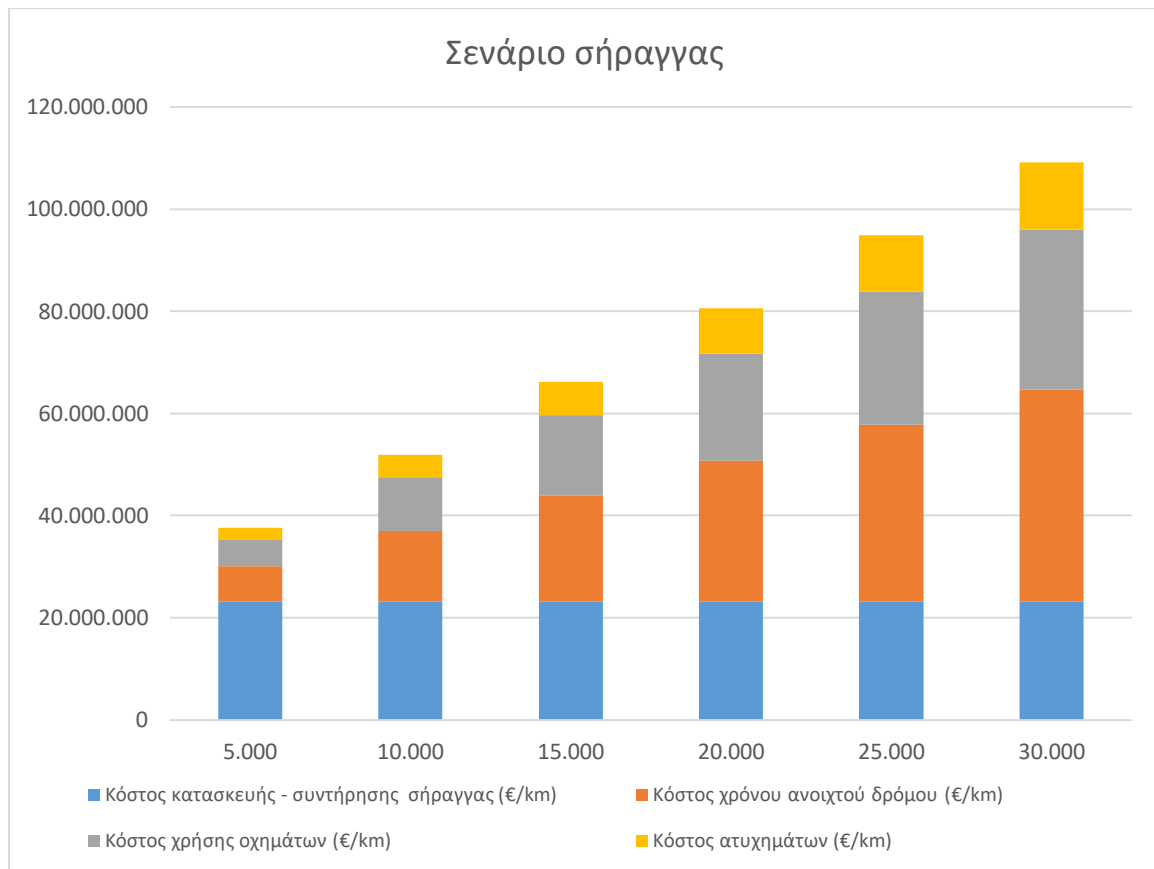


Διάγραμμα 3 : Κόστος ανοιχτού δρόμου(€/km) ανά E.M.H.K.

Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα, στο σενάριο του ανοιχτού δρόμου, το κόστος χρήσης αυτού καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μερίδιο του συνολικού κόστους.

6.2.2 Σενάριο 2 – Σήραγγα

Στο διάγραμμα 4 παρουσιάζονται οι παράμετροι που συνθέτουν το συνολικό κόστος του σεναρίου διάνοιξης σήραγγας. Οι υπολογισμοί έχουν πραγματοποιηθεί για έργο μήκους 1km.



Διάγραμμα 4 : Κόστος σήραγγας (€/km) ανά Ε.Μ.Η.Κ.

Από το παραπάνω διάγραμμα, γίνεται αντιληπτό, πως το σενάριο της σήραγγας κρατάει το μεγαλύτερο μερίδιο κόστους στον τομέα κατασκευής και συντήρησης έως και για κυκλοφοριακό φόρτο 15.000 οχημάτων. Στη συνέχεια, με την αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου, το μεγαλύτερο μέρος του κόστους καλύπτεται από τα κόστη χρήσης της σήραγγας.

6.2.7 Συγκριτική ανάλυση κόστους - οφέλους

Το προεξοφλημένο κόστος κατασκευής και συντήρησης των δύο σεναρίων που αναλύονται δεν επηρεάζεται από τον κυκλοφοριακό φόρτο αλλά παραμένει ίδιο.

Όσον αφορά το όφελος που προκύπτει από την παραπάνω ανάλυση, αντλείται ουσιαστικά από τη διαφορά του κόστους μετακίνησης που δύναται να έχουν τα δύο σενάρια σε βάθος 20 ετών. Αυτό μεταβάλλεται ανάλογα με την εκάστοτε αναμενόμενη Ε.Μ.Η.Κ.. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται το σύνολο του κόστους κάθε κατηγορίας για το κάθε σενάριο :

ΕΜΗΚ	Ανοιχτός δρόμος		Σήραγγα	
	NPV Κόστους Κατασκευής & λειτουργίας (€/km)	NPV Κόστους Χρήσης (€/km)	NPV Κόστους Κατασκευής & λειτουργίας (€/km)	NPV Κόστους Χρήσης (€/km)
5.000	4.016.589	15.358.352	23.216.339	14.334.223
10.000	4.016.589	30.716.704	23.216.339	28.668.446
15.000	4.016.589	46.075.057	23.216.339	43.002.670
20.000	4.016.589	61.433.409	23.216.339	57.336.893
25.000	4.016.589	76.791.761	23.216.339	71.671.117
30.000	4.016.589	92.150.114	23.216.339	86.005.340

Πίνακας 14 : Κόστος (€/km) των δύο σεναρίων ανά κατηγορία για κάθε Ε.Μ.Η.Κ.

Παρατηρείται ότι το κόστος κατασκευής και λειτουργίας των δύο σεναρίων παραμένει σταθερό ανεξάρτητα με την εκάστοτε Ε.Μ.Η.Κ. σε αντίθεση με το κόστος χρήσης, το οποίο είναι άμεσα εξαρτώμενο από αυτήν.

Ακόμη, φαίνεται ότι σε οποιοδήποτε εξεταζόμενο κυκλοφοριακό φόρτο οχημάτων, το κόστος χρήσης του ανοιχτού δρόμου είναι συνεχώς μεγαλύτερο από το κόστος χρήσης της σήραγγας. Αυτό συμβαίνει διότι το κόστος των ατυχημάτων είναι πάντα μικρότερο στη σήραγγα, ενώ το κόστος χρήσης και μετακίνησης είναι ίδιο καθώς πρόκειται για έργα ίδιου μήκους.

Έτσι, αν δεν ληφθεί υπόψη το κόστος κατασκευής και συντήρησης του έργου, παρά μόνο το κόστος χρήσης αυτού, το σενάριο της σήραγγας θα είναι φανερά πιο συμφέρον από αυτό του ανοιχτού δρόμου. Γεγονός του οποίου διακρίνεται για όλους τους εξεταζόμενους κυκλοφοριακούς φόρτους, ακόμα και για ίδιο μήκος κατασκευής των δύο αυτών σεναρίων.

Καθώς όμως συνήθως στην πλειοψηφία των σηράγγων που έχουν κατασκευαστεί μέχρι σήμερα, το μήκος τους είναι σαφώς μικρότερο από την αντίστοιχη επιφανειακή χάραξη που θα μπορούσε να κατασκευαστεί, προκύπτουν ενδιαφέροντα οφέλη τα οποία τελικά μειώνουν την συνολική σχέση κόστους μεταξύ του υπόγειου και επιφανειακού έργου υποδομής..

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 14) παρουσιάζεται η Κ.Π.Α. του συνολικού κόστους που θα επιφέρει το κάθε σενάριο ξεχωριστά, καθ' όλη τη διάρκεια μελέτης της παρούσας εργασίας.

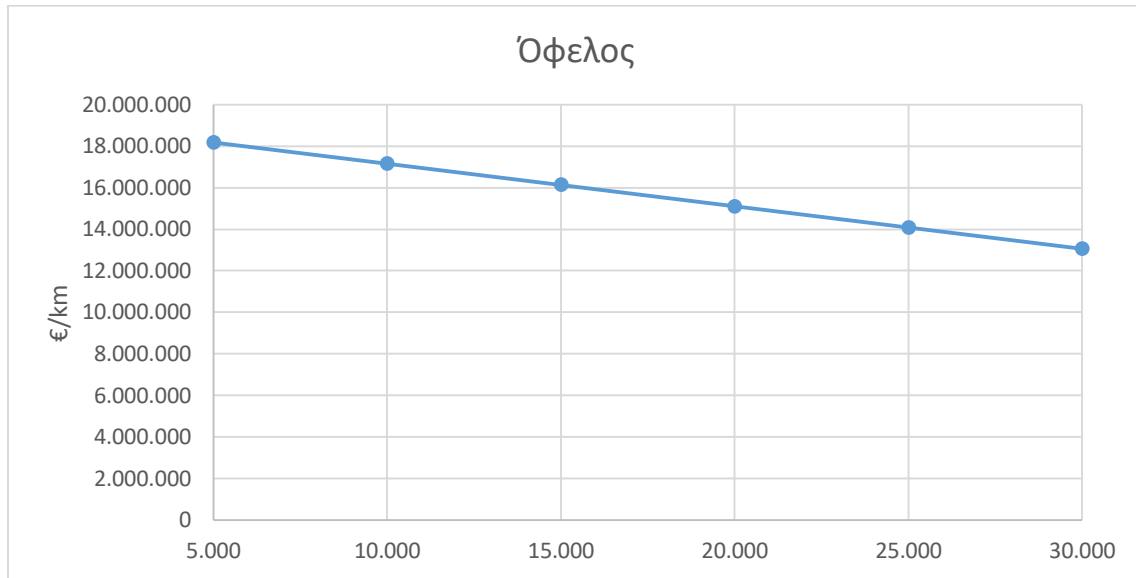
	Ανοιχτός δρόμος	Σήραγγα
ΕΜΗΚ	NPV για όλα τα Κόστη (€/km)	NPV για όλα τα Κόστη (€/km)
5.000	19.374.941	37.550.563
10.000	34.733.294	51.884.786
15.000	50.091.646	66.219.010
20.000	65.449.998	80.553.233
25.000	80.808.351	94.887.456
30.000	96.166.703	109.221.680

Πίνακας 15 : Συνολικό κόστος (€/km) κάθε σενάριο για κάθε Ε.Μ.Η.Κ.

Οι διαφορές του συνολικού κόστους για όλη τη διάρκεια του έργου, που παρουσιάζουν τα δύο σενάρια, είναι στην ουσία το οικονομικό όφελος του ενός έναντι του άλλου.

Στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 15), παρατίθεται το όφελος σε €/km, ανάλογα με την εκάστοτε Ε.Μ.Η.Κ. σε βάθος 20 ετών. Οι τιμές αναφέρονται στη διαφορά συνολικού κόστους των δύο σεναρίων. Στην πράξη σύγκρισης έχει τεθεί

ως αφαιρετέος το κόστος τους πρώτου σεναρίου και ως αφαιρέτης το κόστος του δεύτερου (σήραγγα).



Διάγραμμα 5 : Όφελος (€/km) ανοιχτού δρόμου έναντι σήραγγας ανά E.M.H.K. (για 1 km κατασκευής)

Όπως διακρίνεται εύκολα από το παραπάνω διάγραμμα, το όφελος που έχει ο ανοιχτός δρόμος μειώνεται καθώς αυξάνεται ο κυκλοφοριακός φόρτος..

6.3 Σημείο ισορροπίας της χιλιομετρικής σχέσης

Για τους κυκλοφοριακούς φόρτους που μελετήθηκαν, ο υπολογισμός που ολοκληρώθηκε πρώτα ήταν αυτός του κόστους (κατασκευής-συντήρησης) των δύο σεναρίων. Στη συνέχεια υπολογίστηκε το κόστος χρήσης στα δύο σεναρία και με τη σύγκριση των δύο σεναρίων προέκυψε το σημείο ισορροπίας για την εκάστοτε E.M.H.K.

Έτσι προκύπτει ο παρακάτω πίνακας αποτελεσμάτων :

Κυκλοφοριακός φόρτος μελέτης	Χιλιομετρική σχέση σεναρίων
5.000	1,94
10.000	1,49
15.000	1,32
20.000	1,23
25.000	1,17
30.000	1,14

Πίνακας 16 : Λόγος σημείου ισορροπίας ανοιχτού δρόμου - σήραγγας για κάθε Ε.Μ.Η.Κ.

Η χιλιομετρική σχέση που μηδενίζει τη διαφορά κόστους των δύο σεναρίων, παρουσιάζει το σημείο πέρα από το οποίο το ένα ή το άλλο σενάριο παρουσιάζει μικρότερο συνολικό κόστος.

Εδώ θα πρέπει να επισημανθεί το εξής σημαντικό στοιχείο. Το όφελος του ενός σεναρίου έναντι στο άλλο περιλαμβάνει ένα κομμάτι από το κόστος κατασκευής του έργου και ένα από τη χρήση του αυτοκινητόδρομου. Όμως το όφελος από όπου κι αν προέρχεται καταλήγει στο χρήστη του οδικού έργου, είτε σαν μειωμένη απαίτηση κομίστρου από τον κατασκευαστή του έργου, είτε σαν μειωμένο κόστος μετακίνησης.

Για το φόρτο των 5.000 οχημάτων αν το σενάριο του ανοιχτού δρόμου είναι μικρότερο σε μήκος από 1,94 φορές του μήκους της σήραγγας τότε παρουσιάζει μεγαλύτερο όφελος το πρώτο σενάριο. Αντίστοιχα, για φόρτο 10.000 οχημάτων το σημείο ισορροπίας βρίσκεται στις 1,49 φορές, για τα 15.000 οχήματα στις 1,32 φορές, για τα 20.000 οχήματα στις 1,23 φορές, για τα 25.000 οχήματα στις 1,17 φορές και για τα 30.000 οχήματα στις 1,14 φορές.. Είναι ευδιάκριτο το γεγονός πως, η αύξηση των οχημάτων ευνοεί το σενάριο της σήραγγας αφού η διαδρομή που δημιουργείται είναι πάντα μικρότερη σε μήκος και κυρίως από αυτόν τον παράγοντα προέρχονται και τα οφέλη κατά τη μετακίνηση (μικρότερο κόστος).

7. Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρείται η οικονομοτεχνική αξιολόγηση κόστους κατασκευής και χρήσης ενός νέου έργου υποδομής στον Ελλαδικό χώρο. Πραγματοποιείται η σύγκριση κόστους μεταξύ μίας επιφανειακής και της αντίστοιχης υπόγειας χάραξης ενός αυτοκινητόδρομου.

Αρχικά παρατηρείται ότι ο βαθμός επιτυχίας ενός οδικού έργου εξαρτάται σημαντικά από τις αποφάσεις που θα ληφθούν κατά το σχεδιασμό του και πως αυτές θα εξυπηρετούν το έργο. Πολύ σημαντικό ρόλο σε όλη τη διαδικασία έχει η ορθή επιλογή της χάραξης, καθώς και η οικονομική ανάλυση των διαθέσιμων επιλογών.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί μία αξιόπιστη ανάλυση, είναι απαραίτητα τα κατάλληλα μοντέλα ανάλυσης και τα κατάλληλα οικονομικά εργαλεία. Το κόστος κατασκευής του έργου θα πρέπει να διέπεται από τις αρχές της ανάλυσης καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του (L.C.C.A.), ενώ οι συγκρίσεις που υπογραμμίζουν τα πλεονεκτήματα και τις αδυναμίες κάθε σεναρίου θα πρέπει να βασίζονται σε αναλύσεις κόστους-οφέλους (C.B.A.).

Έπειτα, η εργασία επικεντρώνεται στην ανάλυση κόστους, όπου παρουσιάζονται το κόστος των σεναρίων που εξετάζονται για την προσπέλαση φυσικού εμποδίου (σήραγγα – ανοιχτή οδός), το οποίο κατανέμεται ως εξής:

- A. Κόστος κατασκευής, συντήρησης και λειτουργίας
- B. Κόστος χρήσης του αυτοκινητόδρομου που περιλαμβάνει την αξία χρόνου, το κόστος χρήσης οχήματος και την αποτίμηση ατυχήματος

Στην πρώτη περίπτωση, το κόστος παραμένει σταθερό για όλη τη διάρκεια της ανάλυσης, ενώ στην δεύτερη περίπτωση το κόστος εξαρτάται από τον όγκο της κυκλοφορίας και τον αριθμό των χρηστών.

Καθώς κάθε περίπτωση κατασκευής ενός νέου έργου υποδομής είναι διαφορετική από οποιαδήποτε προηγούμενη αντίστοιχη κατασκευή, και αφού δεν

δύναται να υπάρχει ένα κοινό σημείο αναφοράς, η προσέγγιση των στοιχείων κόστους και οφέλους πραγματοποιείται όσο το δυνατόν προσεγγιστικά γίνεται, έχοντας ως βάση δεδομένων διάφορες αντίστοιχες κατασκευές ανά την επικράτεια.

Πραγματοποιώντας την ανάλυση, είναι ξεκάθαρο ότι τα δύο σενάρια παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές στην ποσόστωση του συνολικού κόστους τους. Στο σενάριο της ανοιχτής οδού, το κόστος κατασκευής κυμαίνεται στο 1/4 του συνόλου για τα διάφορα φορτία, αφήνοντας το υπόλοιπο μερίδιο στο κόστος χρήσης του αυτοκινητόδρομου. Σε αντίθεση με το σενάριο της σήραγγας, το κόστος κατασκευής αντιπροσωπεύει μεγαλύτερο μέρος του συνόλου, μειώνοντας σημαντικά την επίδραση του κόστους χρήσης..

Τέλος, πραγματοποιείται η σύγκριση των δύο πιθανών σεναρίων, μεταβάλλοντας το ετήσιο φορτίο κυκλοφορίας καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του έργου και τη χιλιομετρική σχέση των δύο σεναρίων. Παρατηρείται ότι το σενάριο σήραγγας, σε σύγκριση με το αντίστοιχο τμήμα του ανοικτού δρόμου, είναι πιο ανταγωνιστικό ως προς το συνολικό κόστος όσο το φορτίο κυκλοφορίας στον αυτοκινητόδρομο αυξάνεται.

Ακόμα, από την ανάλυση νεκρού σημείου, παρατηρείται ότι και για την μικρότερη τιμή της Ε.Μ.Η.Κ (5.000 οχήματα), η σήραγγα αποτελεί την πλέον συμφέρουσα επιλογή για την προσπέλαση φυσικού εμποδίου, όσο το μήκος της δεν υπερβαίνει το μισό του μήκους του αντίστοιχου ανοικτού δρόμου. Έτσι, με μια ιδιαίτερα συντηρητική προσέγγιση, μπορεί να εξαχθεί ως γενικό συμπέρασμα ότι εντός του ελλαδικού χώρου, η σύγκριση μεταξύ σήραγγας και ανοικτής οδού, βγάζει νικήτρια την πρώτη όσο ο λόγος μήκος ανοικτής οδού / μήκος σήραγγας είναι μεγαλύτερος ή ίσος του 2.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Εγνατία Οδός Α.Ε., (2014) “TRA01 – Κυκλοφορικός φόρτος Παρατηρητήριο
- Εγνατία Οδός Α.Ε. (2010) “Κυκλοφοριακή Ανάλυση Λειτουργίας και Μελέτη Σκοπιμότητας Εξωτερικής Περιφερειακής οδού Θεσσαλονίκης από το Α/Κ Γηροκομείου έως Α/Κ Σχολαρίου”
- Εγνατία Οδός Α.Ε., (2014) “TRA02 – Σύνθεση κυκλοφορίας, Παρατηρητήριο
- Εγνατία Οδός Α.Ε., (2014) “TRA07 – Διανυθέντα οχηματοχιλιόμετρα, Παρατηρητήριο
- Καλιαμπάκος Δ., Δαμίγος Δ., (2009) “Τεχνο-οικονομική αξιολόγηση υπόγειων έργων”, Αθήνα, ΕΜΠ, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών
- Καλτσούνης Α., (2007) “Συμπράξεις δημόσιου και ιδιωτικού τομέα στην κατασκευή οδικών έργων
- Κοτσαρέλη Μ., (2011) “Κοινωνική ανάλυση κόστους οφέλους της επέκτασης γραμμής 3 του Μετρό (Αιγάλεω - Χαϊδάρη)”
- Λαμπρόπουλος Σ. & Συνεργάτες, (2005) “Διαχείριση Κόστους και Χρόνου Κατασκευής Μεγάλων Τεχνικών Έργων στην Εγνατία Οδό”.
- Λιώρης Λ., Παπαχαραλάμπους Ν. (2015), “Υποθαλάσσια ζεύξη Σαλαμίνας – Περάματος”, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Σχολή Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Αθήνα
- Μαστρομιχαλάκης Ν. (2015), “Αξιολόγηση Επενδύσεων με τη Μέθοδο Monte Carlo”, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Αθήνα
- Μποναζούντας Μ – Καλλιδρομίτου Δ., (2001) “Οικονομικά στοιχεία ανάλυσης έργων – ΕΜΠ.”
- Παπαδήμα Μ., (2012) “Ανάλυση ατυχημάτων σε υπόγεια δίκτυα μεταφοράς” σελ. 60 – 61.

- Πετρόπουλος Κ. (2014), “Τεχνική και οικονομική αξιολόγηση έργων υποδομής : σύγκριση μεταξύ υπόγειας και επιφανειακής χάραξης”, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ
- Σοφιανός Α (2011). “Τεχνικές διάνοιξης σηράγγων”, Αθήνα: ΕΜΠ, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών
- Σοφιανός Α. (2013). “Υποστήριξη υπογείων έργων”, Αθήνα, ΕΜΠ, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών
- Στάθης Χ., (2006) “Μελέτη αυτοχρηματοδότησης οδικού τμήματος « ΠΥΡΓΟΣ- ΚΑΛΑΜΑΤΑ»”, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Barringer & Associates, Inc (2003), “A life cycle cost summary”, ICOMS, USA
- Chakravorti Nirjhar, (2009) “Life cycle cost analysis” – Presentation.
- Godard, J.P., Hugonnard, J.C., (1989) “Appraisal of underground urban public transportation projects”. pp. 37 – 38.
- European Commission (2014), “Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects”
- European Union, (2008), “Guide to Cost Benefit Analysis of Investment Projects”
- Eurostat, (2013) “Regional yearbook 2013”
- Federal High Way Administration.-US, (2013) “Tolling and Pricing Program”
- International Tunnel Association (ITA-AITES), (2013) “Why go underground” pp. 3 – 8.
- Paraskevoπούλου C. – Benardos A., (2012) “Construction Cost Estimation for Greek Road Tunnels in Relation to the Geotechnical Conditions”.
- Paraskevoπούλου C. – Benardos A., (2013) “Assessing and benchmarking the construction cost of tunnels”. pp. 501 – 503

- Paraskevopoulou C. – Benardos A., (2013) “Assessing the construction cost of Greek transportation tunnel projects”. pp. 501 – 503.
- Proost et. al., (2005) “A cost-benefit analysis of tunnel investment and tolling alternatives in Antwerp”.
- White Book of Transportation in Europe, (1994)