



**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗ
ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ (MBA)**

Διπλωματική Εργασία

**ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΕ
ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΤΣΙΑΡΑΠΑΣ

Επιβλέπων:
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΒΛΑΧΟΣ, Καθηγητής Α.Π.Θ.

Υποβλήθηκε ως απαιτούμενο για την απόκτηση του Διπλώματος
Μεταπτυχιακών Σπουδών στη Διοίκηση Επιχειρήσεων

Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2020

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΤΣΙΑΡΑΠΑΣ

Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός Α.Π.Θ.

Μεταπτυχιακός φοιτητής Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στη
Διοίκηση Επιχειρήσεων Πανεπιστημίου Μακεδονίας

ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΕ ΤΕΧΝΙΚΑ
ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ – *Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*

© 2020 - Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Περίληψη

Τα τεχνικά έργα υποδομής είναι αναγκαία τόσο για την εύρυθμη λειτουργία μιας κοινωνίας όσο και για την οικονομική της ανάπτυξη. Η υλοποίησή τους είναι μια διαδικασία πολύπλοκη με δυναμικό χαρακτήρα κατά τη διάρκεια της οποίας εμφανίζεται πλήθος παραγόντων που απειλούν τους αντικειμενικούς τους στόχους, δηλαδή την τήρηση του χρονοδιαγράμματος, του προϋπολογισμού και των προδιαγραφών ποιότητας και ενδέχεται να οδηγήσουν ακόμη και στην απώλεια ανθρώπινων ζωών. Αυτός είναι και ο λόγος που καθιστά επιτακτική τη κατάλληλη διαχείριση των τεχνικών έργων υποδομής. Μια από τις βασικές ενασχολήσεις της διαχείρισης τέτοιου είδους έργων είναι η διαχείριση των κινδύνων και ιδιαίτερα η ανάλυση αυτών, η οποία περιλαμβάνει την ποιοτική και την ποσοτική ανάλυση. Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η κατάρτιση ενός ολοκληρωμένου πλαισίου για την ανάλυση των κινδύνων σε τεχνικά έργα υποδομής. Για το σκοπό αυτόν πραγματοποιείται συστηματική βιβλιογραφική επισκόπηση κυρίως επιστημονικών άρθρων, η οποία στοχεύει αρχικά στην παρουσίαση της διαδικασίας που ακολουθείται για τη διαχείριση των κινδύνων σε τεχνικά έργα υποδομής καθώς και των κυριότερων κατηγοριών κινδύνων σε αυτά και στη συνέχεια στην κριτική παρουσίαση τόσο του περιεχομένου των όρων της ποιοτικής και ποσοτικής ανάλυσης των κινδύνων όσο και των συνηθεστέρων μεθόδων που εφαρμόζονται κατά τη διεξαγωγή τους.

Λέξεις-κλειδιά: τεχνικά έργα, έργα υποδομής, διαχείριση κινδύνου, ανάλυση κινδύνου, ποιοτική ανάλυση κινδύνου, ποσοτική ανάλυση κινδύνου

Title: “Qualitative and quantitative analysis of risk management in construction infrastructure projects”

Athanasios Tsiarapas

Thesis submitted for the Degree

“Master in Business Administration” (MBA)

University of Macedonia, Greece

Supervisor: Dr. Dimitrios Vlachos, Professor A.U.Th.

Abstract

Construction infrastructure projects are necessary both for the proper operation of a society and for its economic growth. Their implementation is a complex process with a dynamic character during which there is a number of factors that threaten their objectives namely the observance of the timetable, the budget and the standards of quality and may even lead to the loss of a human life. This is the reason why it is imperative to manage the construction infrastructure projects properly. One of the main occupations of the management of such projects is the management of their risks and in particular their analysis which includes qualitative and quantitative analysis. The present thesis seeks to establish an integrated framework for the analysis of risks in construction infrastructure projects. For this purpose a systematic literature review mainly of scientific papers is carried out which initially aims at presenting the process of risk management in construction infrastructure projects as well as the risk classification to them and then to the critical presentation of both the content of the terms of qualitative and quantitative risk analysis and the methods usually applied during their prosecution.

Key-words: construction projects, infrastructure projects, risk management, risk analysis, qualitative risk analysis, quantitative risk analysis

Πίνακας εικονογραφήσεων

Κατάλογος διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Δείκτης ποιότητας υποδομών χωρών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Πηγή: World Economic Forum, 2016, ίδια επεξεργασία).....σελ. 3	σελ. 3
Διάγραμμα 2: Κύκλος ζωής τεχνικών έργων υποδομής (Πηγή: Keshk et al., 2018, ίδια επεξεργασία).....σελ. 5	σελ. 5
Διάγραμμα 3: Διαδικασία αναζήτησης επιστημονικών άρθρων (Πηγή: ίδια επεξεργασία).....σελ. 10	σελ. 10
Διάγραμμα 4: Κατάταξη των πηγών που μελετήθηκαν κατά είδος (Πηγή: ίδια επεξεργασία).....σελ. 11	σελ. 11
Διάγραμμα 5: Ποσοστιαία κατάταξη των πηγών που μελετήθηκαν κατά είδος (Πηγή: ίδια επεξεργασία).....σελ. 11	σελ. 11
Διάγραμμα 6: Χρονολογική κατάταξη των επιστημονικών άρθρων που μελετήθηκαν ανά έτος (Πηγή: ίδια επεξεργασία).....σελ. 12	σελ. 12
Διάγραμμα 7: Χρονολογική κατάταξη των επιστημονικών άρθρων που μελετήθηκαν ανά πενταετία (Πηγή: ίδια επεξεργασία).....σελ. 12	σελ. 12
Διάγραμμα 8: Γεωγραφική προέλευση των επιστημονικών άρθρων που μελετήθηκαν (Πηγή: ίδια επεξεργασία).....σελ. 13	σελ. 13
Διάγραμμα 9: Σχέση μεταξύ κινδύνου, αβεβαιότητας και πληροφόρησης (Πηγή: Heerkens, 2002, ίδια επεξεργασία)σελ. 16	σελ. 16
Διάγραμμα 10: Οι τέσσερις παράμετροι του κινδύνου (Πηγή: ίδια επεξεργασία)σελ. 17	σελ. 17
Διάγραμμα 11: Η διαδικασία της διαχείρισης κινδύνου σε τεχνικά έργα (Πηγή: Jia et al., 2013, ίδια επεξεργασία).....σελ. 20	σελ. 20
Διάγραμμα 12: Τα κύρια βήματα της ποιοτικής ανάλυσης κινδύνων (Πηγή: Korombel and Tworek, 2011, ίδια επεξεργασία).....σελ. 31	σελ. 31
Διάγραμμα 13: Εφαρμογή μεθόδου Bow Tie σε τεχνικό έργο (Πηγή: Munier, 2014, ίδια επεξεργασία).....σελ. 39	σελ. 39
Διάγραμμα 14: Εφαρμογή διαγράμματος αιτίας-αποτελέσματος σε έργο οδοποιίας (Πηγή: Purwanggono and Margarete, 2017, ίδια επεξεργασία).....σελ. 43	σελ. 43
Διάγραμμα 15: Τα κύρια βήματα της ποσοτικής ανάλυσης κινδύνων (Πηγή: ίδια επεξεργασία).....σελ. 48	σελ. 48
Διάγραμμα 16: Εφαρμογή δέντρου αποφάσεων κατά την επιλογή υπερβολάβου (Πηγή: ίδια επεξεργασία).....σελ. 57	σελ. 57
Διάγραμμα 17: Προσδιορισμός των τιμών των μεταβλητών EC_j και ET_j (Πηγή: Sarkar and Dutta, 2011, ίδια επεξεργασία)..σελ. 59	σελ. 59

Διάγραμμα 18: Η λειτουργία ενός κόμβου σε Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο (Πηγή: Ha et al., 2018).....σελ. 63	σελ. 63
Διάγραμμα 19: Απλό δίκτυο Bayes (Πηγή: Li et al., 2016).....σελ. 64	σελ. 64
Διάγραμμα 20: Δικτυακή απεικόνιση του έργου της κατασκευής ενός σταθμού μητροπολιτικού σιδηροδρόμου (Πηγή: Sarkar and Dutta, 2011).....σελ. 70	σελ. 70
Διάγραμμα 21: Διάγραμμα αιτίας-αποτελέσματος για την ανάλυση των κινδύνων του υδροηλεκτρικού έργου (Πηγή: Rihar et al., 2019, ίδια επεξεργασία).....σελ. 75	σελ. 75

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Χαρακτηρισμός κινδύνου με βάση τον συντελεστή βαρύτητας (Πηγή: Sarkar and Dutta, 2011, ίδια επεξεργασία).....σελ. 33	σελ. 33
Πίνακας 2: Χαρακτηρισμός της επίδρασης ενός κινδύνου (Πηγή: Keshk et al., 2018, ίδια επεξεργασία).....σελ. 35	σελ. 35
Πίνακας 3: Πίνακας πιθανότητας επίδρασης (Πηγή: Keshk et al., 2018, PMI, 2013, ίδια επεξεργασία).....σελ. 35	σελ. 35
Πίνακας 4: Πίνακας βαθμολόγησης ειδικών (Πηγή: Keshk et al., 2018, ίδια επεξεργασία).....σελ. 37	σελ. 37
Πίνακας 5: Ιεράρχηση των κινδύνων μετά την βαθμολόγηση (Πηγή: Keshk et al., 2018, ίδια επεξεργασία).....σελ. 37	σελ. 37
Πίνακας 6: Βαθμολόγηση της πιθανότητας ύπαρξης της αποτυχίας (Πηγή: Toljaga-Nikolic et al., 2018, ίδια επεξεργασία).....σελ. 40	σελ. 40
Πίνακας 7: Βαθμολόγηση της σοβαρότητας ανάλογα με την επίπτωση στο έργο (Πηγή: Toljaga-Nikolic et al., 2018, ίδια επεξεργασία).....σελ. 40	σελ. 40
Πίνακας 8: Βαθμολόγηση της ικανότητας πρόβλεψης της αποτυχίας (Πηγή: Toljaga-Nikolic et al., 2018, ίδια επεξεργασία).....σελ. 41	σελ. 41
Πίνακας 9: Κλίμακα βαθμολόγησης των στοιχείων του κάθε επιπέδου της ΑΗΡ (Πηγή: Razi et al., 2019, ίδια επεξεργασία).....σελ. 60	σελ. 60
Πίνακας 10: Πληροφορίες για το έργο μητροπολιτικού σιδηροδρόμου (Πηγή: Sarkar and Dutta, 2011, ίδια επεξεργασία).....σελ. 69	σελ. 69
Πίνακας 11: Δραστηριότητες που απαιτούνται για την κατασκευή σταθμού μητροπολιτικού σιδηροδρόμου (Πηγή: Sarkar and Dutta, 2011, ίδια επεξεργασία).....σελ. 69	σελ. 69
Πίνακας 12: Αναγνώριση των κινδύνων του έργου κατασκευής σταθμού μητροπολιτικού σιδηροδρόμου (Πηγή: Sarkar and Dutta, 2011, ίδια επεξεργασία).....σελ. 70	σελ. 70

Πίνακας 13: Κίνδυνοι σχετικοί με τις δραστηριότητες του έργου κατασκευής σταθμού μητροπολιτικού σιδηροδρόμου (Πηγή: Sarkar and Dutta, 2011, ίδια επεξεργασία).....σελ. 71
Πίνακας 14: Εφαρμογή μεθόδου αξιολόγησης-επίδρασης για το έργο κατασκευής σταθμού μητροπολιτικού σιδηροδρόμου (Πηγή: Sarkar and Dutta, 2011, ίδια επεξεργασία).....σελ. 72
Πίνακας 15: Εφαρμογή της γενικευμένης μεθόδου της αναμενόμενης αξίας για το έργο κατασκευής σταθμού μητροπολιτικού σιδηροδρόμου (Πηγή: Sarkar and Dutta, 2011, ίδια επεξεργασία).....σελ. 72
Πίνακας 16: Στάδια υλοποίησης του υδροηλεκτρικού έργου (Πηγή: Rihar et al., 2019, ίδια επεξεργασία).....σελ. 74
Πίνακας 17: Εφαρμογή μεθόδου αξιολόγησης πιθανότητας-επίδρασης για το υδροηλεκτρικό έργο (Πηγή: Rihar et al., 2019, ίδια επεξεργασία).....σελ. 75
Πίνακας 18: Αναγνώριση των κινδύνων για το έργο κατασκευής πανεπιστημιακών εγκαταστάσεων (Πηγή: De Marco and Thaheem, 2014, ίδια επεξεργασία).....σελ. 77
Πίνακας 19: Εκτίμηση της πιθανότητας των κινδύνων του έργου κατασκευής πανεπιστημιακών εγκαταστάσεων (Πηγή: De Marco and Thaheem, 2014, ίδια επεξεργασία).....σελ. 77
Πίνακας 20: Εκτίμηση της επίδρασης των κινδύνων στο έργο κατασκευής πανεπιστημιακών εγκαταστάσεων (Πηγή: De Marco and Thaheem, 2014, ίδια επεξεργασία).....σελ. 77
Πίνακας 21: Εφαρμογή μεθόδου πίνακα αξιολόγηση πιθανότητας-επίδρασης για το έργο κατασκευής πανεπιστημιακών εγκαταστάσεων (Πηγή: De Marco and Thaheem, 2014, ίδια επεξεργασία).....σελ. 78

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των απαιτήσεων του προγράμματος σπουδών του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στη Διοίκηση Επιχειρήσεων (MBA) του Πανεπιστημίου Μακεδονίας για την κτήση του Διπλώματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στη Διοίκηση Επιχειρήσεων. Αποτελεί το αποτέλεσμα μιας πολύμηνης προσπάθειας και συγχρόνως την αποτύπωση της συνολικής γνώσης που απέκτησα κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών στο Πανεπιστήμιο Μακεδονίας.

Η επιλογή του θέματος πραγματοποιήθηκε μετά από μια πρώτη επαφή που είχα με τη διαχείριση κινδύνων σε έργα κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας του μαθήματος Οργάνωση και Διοίκηση Έργων που προσφέρεται ως μάθημα επιλογής από το μεταπτυχιακό πρόγραμμα. Το γεγονός ότι η διαχείριση κινδύνου και ιδιαίτερα η ανάλυσή της απαιτεί τόσο θεωρητικό γνωστικό υπόβαθρο όσο και κριτική ικανότητα καθώς και το ότι συνδυάζεται άριστα με τον τομέα των τεχνικών έργων υποδομής που αποτελεί ουσιαστικά και το αντικείμενο των προπτυχιακών μου σπουδών ως πολιτικός μηχανικός στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, αποτέλεσε το κίνητρο για περαιτέρω ενασχόληση με το θέμα. Αυτήν η ενασχόληση οδήγησε στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας, η οποία αποτελεί μια συστηματική βιβλιογραφική μελέτη σχετικά με την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση της διαχείρισης κινδύνου σε τεχνικά έργα υποδομής.

Ολοκληρώνοντας αυτήν την κοπιαστική και πολύμηνη προσπάθεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλεποντα της εργασίας κύριο Δημήτριο Βλάχο, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και διδάσκοντα του προγράμματος MBA του Πανεπιστημίου Μακεδονίας για όλη την υποστήριξη που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας καθώς και για τις χρήσιμες συμβουλές, παρατηρήσεις και υποδείξεις που συνέβαλαν καθοριστικά στη διαμόρφωση της εργασίας στην τελική της μορφή. Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς την κυρία Αικατερίνη Γκοτζαμάνη, Καθηγήτρια του Τμήματος Οργάνωσης και Διοίκησης Επιχειρήσεων του Πανεπιστημίου Μακεδονίας και τον κύριο Λουκά Τσιρώνη, Επίκουρο Καθηγητή του ίδιου τμήματος, οι οποίοι με τίμησαν συμμετέχοντας στην τριμελή εξεταστική επιτροπή της εργασίας.

Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2020

Αθανάσιος Τσιαράπας

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1^ο

Εισαγωγή

1.1 Τεχνικά έργα υποδομής.....	1
1.2 Διαχείριση τεχνικών έργων υποδομής.....	4
1.3 Σκοπός και στόχοι της εργασίας.....	6
1.4 Αιτιολόγηση του θέματος.....	7
1.5 Μεθοδολογική προσέγγιση.....	8
1.5.1 Συστηματική βιβλιογραφική επισκόπηση.....	8
1.5.2 Εφαρμογή συστηματικής βιβλιογραφικής επισκόπησης στη συγκεκριμένη εργασία.....	9
1.6 Δομή της εργασίας.....	13

Κεφάλαιο 2^ο

Εισαγωγή στη διαχείριση κινδύνων

2.1 Η έννοια του κινδύνου.....	15
2.2 Κίνδυνος και αβεβαιότητα.....	16
2.3 Δομή και μαθηματική διατύπωση του κινδύνου.....	17
2.4 Η διαχείριση των κινδύνων.....	18
2.5 Διαδικασία διαχείρισης κινδύνων.....	19
2.6 Κατηγορίες κινδύνων σε τεχνικά έργα υποδομής.....	23
2.6.1 Κατηγοριοποίηση των κινδύνων με κριτήριο τον χαρακτήρα τους.....	23
2.6.2 Κατηγοριοποίηση των κινδύνων με κριτήριο την προέλευσή τους.....	24
2.6.3 Κατηγοριοποίηση των κινδύνων με κριτήριο τη φάση του έργου όπου εμφανίζονται.....	25
2.6.4 Κατηγοριοποίηση των κινδύνων σε επίπεδα.....	27

Κεφάλαιο 3^ο

Ποιοτική ανάλυση των κινδύνων σε τεχνικά έργα υποδομής

3.1 Ορισμός	29
3.2 Στόχοι	30
3.3 Κύρια βήματα	31
3.4 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα	31
3.5 Μέθοδοι-τεχνικές	32
3.5.1 Αξιολόγηση πιθανότητας-επίδρασης.....	33
3.5.2 Πίνακας αξιολόγησης πιθανότητας-επίδρασης.....	34
3.5.3 Μέθοδος της βαθμολόγησης των κινδύνων από ειδικούς.....	36
3.5.4 Μέθοδος Bow Tie.....	37
3.5.5 Μέθοδος FMEA.....	39
3.5.6 Διάγραμμα αιτίας-αποτελέσματος.....	42
3.5.7 Μέθοδος QRAM.....	43

Κεφάλαιο 4^ο

Ποσοτική ανάλυση των κινδύνων σε τεχνικά έργα υποδομής

4.1 Ορισμός	46
4.2 Στόχοι	47
4.3 Κύρια βήματα	47
4.4 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα	48
4.5 Κριτήρια επιλογής μεθόδου	49
4.6 Μέθοδοι-τεχνικές	50
4.6.1 Ανάλυση ευαισθησίας.....	51
4.6.2 Προσομοίωση.....	52
4.6.3 Δέντρα αποφάσεων.....	55
4.6.4 Γενικευμένη μέθοδος της αναμενόμενης αξίας.....	57
4.6.5 Αναλυτική Ιεραρχική Προσέγγιση.....	59
4.6.6 Νευρωνικά Δίκτυα.....	61
4.6.7 Δίκτυα Bayes.....	63
4.6.8 Μέθοδος MERA.....	66

Κεφάλαιο 5^ο

Μελέτη περιπτώσεων

5.1 Έργο μητροπολιτικού σιδηροδρόμου	68
5.1.1 Περιγραφή του έργου.....	68
5.1.2 Ανάλυση των κινδύνων.....	70
5.2 Υδροηλεκτρικό έργο	73
5.2.1 Περιγραφή του έργου.....	73
5.2.2 Ανάλυση των κινδύνων.....	74
5.3 Έργο κατασκευής πανεπιστημιακών εγκαταστάσεων	76
5.3.1 Περιγραφή του έργου.....	76
5.3.2 Ανάλυση των κινδύνων.....	76

Κεφάλαιο 6^ο

Σύνοψη και συμπεράσματα

6.1 Σύνοψη.....	79
6.2 Συμπεράσματα.....	80

Βιβλιογραφικές αναφορές	83
--------------------------------------	----

Κεφάλαιο 1^ο

Εισαγωγή

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας επιχειρείται μια εισαγωγική προσέγγιση στο θέμα που αυτή πραγματεύεται. Παρουσιάζονται ορισμένα θεωρητικά στοιχεία που σχετίζονται με τα τεχνικά έργα υποδομής και τη διαχείριση αυτών, ενώ παράλληλα πραγματοποιείται αναφορά στο σκοπό και τους στόχους της εργασίας, στους λόγους που καθιστούν ενδιαφέρον το θέμα της εργασίας, τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και τη συνολική δομή της εργασίας.

1.1 Τεχνικά έργα υποδομής

Το θέμα που πραγματεύεται η ανά χείρας εργασία είναι η ποιοτική και ποσοτική ανάλυση της διαχείρισης κινδύνων σε τεχνικά έργα υποδομής. Επομένως, θεωρείται σκόπιμο να παρουσιαστεί σε αυτήν την πρώτη ενότητα του εισαγωγικού κεφαλαίου το περιεχόμενο του όρου «τεχνικά έργα υποδομής» και πιο συγκεκριμένα του όρου «έργα υποδομής» μιας και ο όρος «τεχνικά» είναι απλά προσδιοριστικός και παραπέμπει κυρίως στην κατασκευή αυτών.

Τα έργα υποδομής είναι μια αναγκαία προϋπόθεση για την ανάπτυξη κάθε χώρας, ενώ σύμφωνα με το Παγκόσμιο Οικονομικό Φόρουμ είναι ένα από τα 12 κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της ανταγωνιστικότητας μιας χώρας (Ershova and Posokhon, 2016). Σύμφωνα με τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών τα έργα υποδομής είναι ένα σύστημα αποτελούμενο από δημόσια έργα σε μια χώρα, το οποίο περιλαμβάνει τους δρόμους, τα δίκτυα κοινής ωφέλειας και τα δημόσια κτήρια (UN, 2000). Η Παγκόσμια Τράπεζα θεωρεί ότι τα έργα υποδομής είναι ένα βασικό πλαίσιο μέσω του οποίου προσφέρονται στους ανθρώπους βασικά αγαθά και υπηρεσίες όπως η ενέργεια, οι μεταφορές, το νερό, η συλλογή των αποβλήτων, η τεχνολογία πληροφόρησης και τηλεπικοινωνιών επηρεάζοντας κατ' αυτόν τον τρόπο άμεσα ή έμμεσα τη ζωή τους (PwC, 2018).

Από την προηγούμενη παράγραφο συμπεραίνεται ότι υπάρχουν διαφορετικοί ορισμοί για τα έργα υποδομής και εξαιτίας του γεγονότος αυτού επικρατεί η απόψη ότι είναι πιο εύκολο να αναγνωρίσει κάποιος τα έργα υποδομής παρά να παρουσιάσει έναν πλήρη και σαφή ορισμό για αυτά. Σε γενικές γραμμές, βέβαια, οι διαφορετικοί ορισμοί συγκλίνουν σε ορισμένα σημεία, οπότε θεωρείται ότι τα έργα υποδομής είναι

επενδύσεις που προσφέρουν βασικές υπηρεσίες στα νοικοκυριά και τις βιομηχανίες και αποτελούν καίριας σημασίας παράγοντα για την οικονομική δραστηριότητα και ανάπτυξη (Grimsey and Lewis, 2002).

Τα έργα υποδομής μπορούν να διαχωριστούν στις εξής κατηγορίες (Καλοφώλιας, 2005; Πρωτοπαππάς, 2015; Grimsey and Lewis, 2002):

- **Υποδομές μεταφορών**

Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται οι αυτοκινητόδρομοι, οι γέφυρες, οι σήραγγες, οι σιδηροδρομικές γραμμές, τα λιμάνια, τα αεροδρόμια, οι εμπορευματικοί σταθμοί και οι σταθμοί διαμετακομιστικού εμπορίου.

- **Υποδομές περιβάλλοντος**

Στις υποδομές περιβάλλοντος συγκαταλέγονται τα έργα τα οποία κατασκευάζονται με σκοπό την ύδρευση και αποχέτευση περιοχών, τη διαχείριση στερεών και υγρών αποβλήτων, τη βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων καθώς και την αντιπλημμυρική προστασία.

- **Υποδομές ενέργειας**

Οι ενεργειακές υποδομές περιλαμβάνουν έργα που ως στόχο τους έχουν την παραγωγή, την αποθήκευση και τη μεταφορά ενέργειας, όπως είναι τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια, οι μονάδες παραγωγής ενέργειας από λιγνίτη ή ακόμα και τα πιο πρόσφατα φωτοβολταϊκά και αιολικά πάρκα.

- **Υποδομές τηλεπικοινωνιών**

Στην κατηγορία των υποδομών τηλεπικοινωνιών εντάσσονται τα έργα εκείνα που κατασκευάζονται με σκοπό την επικοινωνία μεταξύ των ανθρώπων όπως είναι για παράδειγμα οι τηλεφωνικές γραμμές ή οι κεραιές κινητής τηλεφωνίας.

- **Υποδομές πρωτογενούς τομέα**

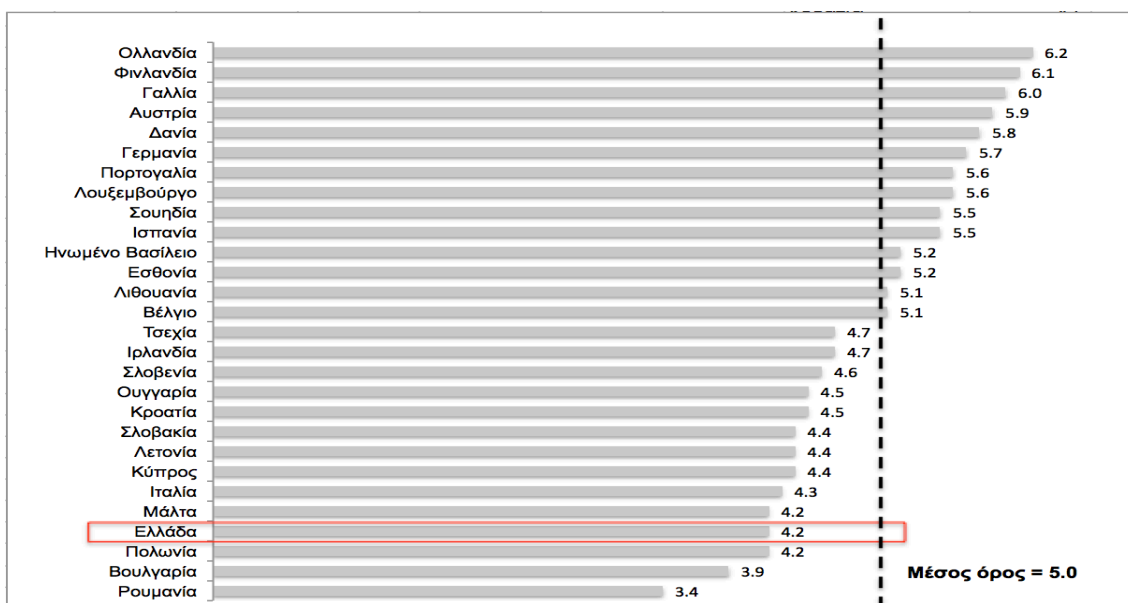
Οι υποδομές του πρωτογενούς τομέα περιλαμβάνουν έργα που υλοποιούνται προκειμένου να παρέχουν υπηρεσίες άρδευσης και αποστράγγισης, αποθήκευσης και μεταφοράς αγροτικών προϊόντων αλλά και έργα που κατασκευάζονται με σκοπό να αποτελέσουν υποδομές αλιείας όπως είναι τα αλιευτικά καταφύγια.

- **Κοινωνικές υποδομές**

Οι κοινωνικές υποδομές περιλαμβάνουν εκπαιδευτικά κτήρια (π.χ. δημόσια σχολεία και πανεπιστημιακά ιδρύματα), κτήρια υγειονομικής περίθαλψης (π.χ. νοσοκομεία, κέντρα υγείας), κτήρια κοινωνικής προστασίας (π.χ. δικαστήρια, φυλακές), υποδομές πολιτισμού (π.χ. μουσεία) καθώς και οικιστικές υποδομές (π.χ. εργατικές κατοικίες).

Τα έργα υποδομής εντάσσονται στην κατηγορία των παγίων επενδύσεων και ως εκ τούτου έχουν τα χαρακτηριστικά που διακρίνουν αυτήν την κατηγορία επενδύσεων. Πρώτα απ' όλα, τα έργα υποδομής έχουν μεγάλη διάρκεια, αφού απαιτείται αρκετό χρονικό διάστημα προκειμένου να κατασκευαστούν και αντίστοιχα μεγάλο διάστημα προκειμένου αυτά να ωριμάσουν. Έπειτα, είναι επενδύσεις στην πλειοψηφία τους μη ρευστοποιήσιμες, αν και αυτό φαίνεται να αλλάζει τα τελευταία χρόνια με την παραχώρηση υποδομών στον ιδιωτικό τομέα, αφού ακόμα και σε περίπτωση που υπάρξει η επιθυμία μεταβίβασης της κυριότητάς τους, οι πιθανοί αγοραστές είναι περιορισμένοι. Παράλληλα, θεωρούνται επενδύσεις η αποτίμηση των οποίων είναι ιδιαίτερα δύσκολη και συχνά απαιτείται πολύπλοκη διαδικασία προκειμένου να καθοριστεί η αξία τους (Grimsey and Lewis, 2002).

Σε ό,τι αφορά την κατάσταση των υποδομών στην Ελλάδα, από το διάγραμμα 1 φαίνεται ότι αυτή κατατάσσεται στην 25η θέση μεταξύ των χωρών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης ως προς την ποιότητα των υποδομών της. Στην Ελλάδα οι επενδύσεις σε έργα υποδομής επηρεάστηκαν από τη βαθιά οικονομική κρίση που έπληξε τη χώρα κυρίως από το 2011 και μετά και την συνεπαγόμενη περικοπή των δαπανών για δημόσιες επενδύσεις. Το γεγονός αυτό οδήγησε σε σημαντικές ελλείψεις στον συγκεκριμένο τομέα, οι οποίες αποτιμούνται περίπου σε 2 δισεκατομμύρια ευρώ κατ' έτος. Εξαιτίας των περιορισμένων κρατικών πόρων που διατίθενται για υποδομές, οι ελπίδες για την υλοποίηση νέων έργων υποδομής εναπόκεινται πλέον στον ιδιωτικό τομέα μέσω των συμπράξεων του με το δημόσιο, αν και μέχρι πρότινος η συμμετοχή ιδιωτών σε έργα υποδομής υπήρξε ιδιαίτερα περιορισμένη (PwC, 2018).



Διάγραμμα 1: Δείκτης ποιότητας υποδομών των χωρών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Πηγή: World Economic Forum, 2016; ίδια επεξεργασία)

1.2 Διαχείριση τεχνικών έργων υποδομής

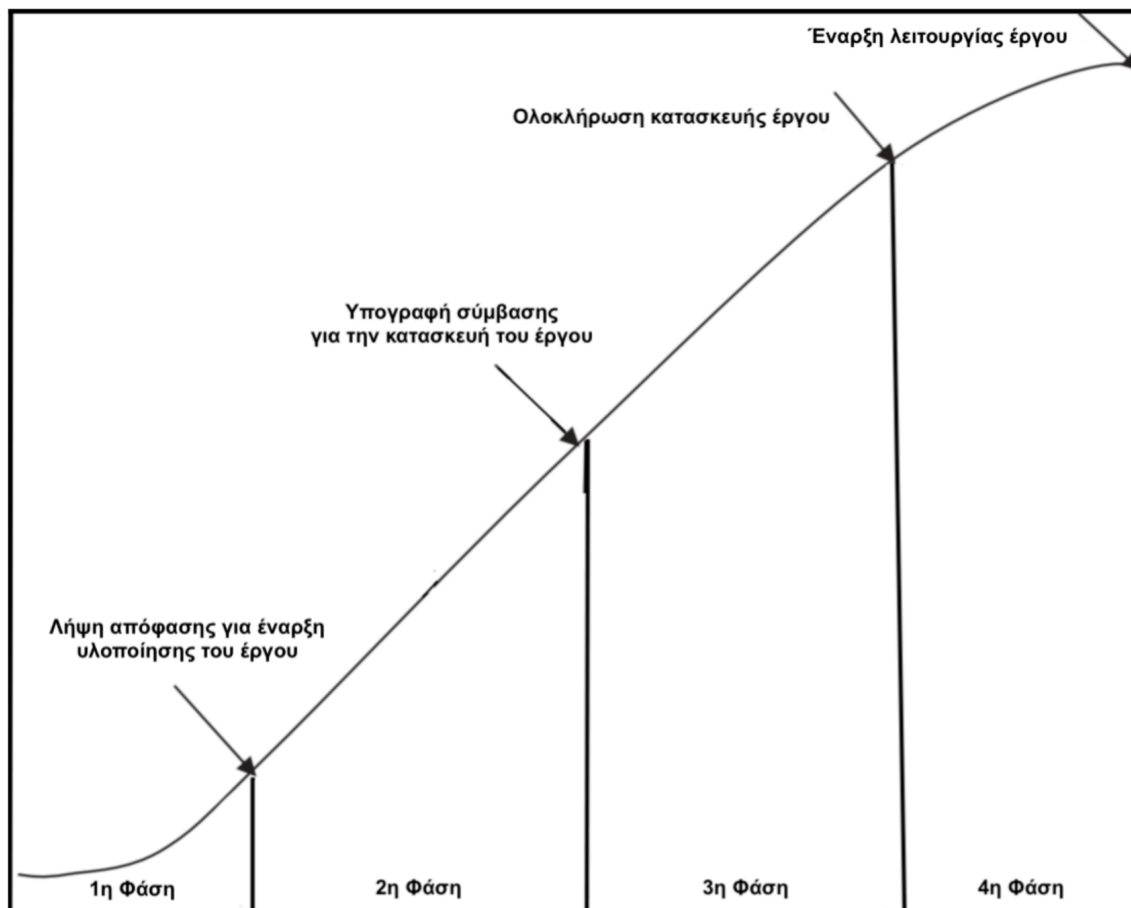
Όπως κάθε έργο έτσι και τα τεχνικά έργα υποδομής χρειάζονται μια ομάδα, η οποία θα εγγυηθεί την επιτυχία τους, δηλαδή μια ομάδα ανθρώπων με υψηλές ικανότητες και άρτια καταρτισμένη, η οποία θα δώσει την αρμόζουσα προσοχή στο κάθε έργο προκειμένου αυτό να ολοκληρωθεί επιτυχάνοντας τους αντικειμενικούς του στόχους δηλαδή την τήρηση του προϋπολογισμού και του χρονοδιαγράμματος και συγχρόνως την εξασφάλιση του επιθυμητού επιπέδου ποιότητας. Αυτή είναι η ομάδα διαχείρισης του έργου και η αρμοδιότητά της μπορεί να συνοψιστεί στο προφανές, δηλαδή στη διαχείριση του έργου. Αυτό που αναλαμβάνει να υλοποιήσει η ομάδα διαχείρισης του έργου δεν είναι εύκολο, αφού απαιτεί κατάλληλη οργάνωση, ομαδική εργασία, συνεννόηση και φυσικά γνώσεις και εμπειρία (Keshk et al., 2018).

Όπως έγινε κατανοητό, ο ρόλος της ομάδας διαχείρισης είναι καθοριστικός για την επιτυχία ή την αποτυχία του έργου και για τον λόγο αυτόν οι περιοχές εκείνες στις οποίες πρέπει αυτή να επικεντρωθεί έχουν τυποποιηθεί και είναι οι εξής (PMI, 2013):

- Ενοποίηση του έργου
- Διαχείριση του αντικειμένου εργασιών του έργου
- Διαχείριση του χρόνου του έργου
- Διαχείριση του κόστους του έργου
- Διαχείριση της ποιότητας του έργου
- Διαχείριση των ανθρώπινων πόρων του έργου
- Διαχείριση της επικοινωνίας του έργου
- Διαχείριση των κινδύνων του έργου
- Διαχείριση προμηθειών του έργου
- Διαχείριση συμμετεχόντων ή ενδιαφερόμενων μερών

Προκειμένου να αυξηθεί η πιθανότητα το τελικό αποτέλεσμα του έργου να ανταποκριθεί στις προδιαγραφές που αρχικά τέθηκαν, η συστηματική ενασχόληση της ομάδας διαχείρισης του έργου με τις παραπάνω περιοχές πρέπει να πραγματοποιείται καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός τεχνικού έργου υποδομής, ο οποίος παρουσιάζεται στο διάγραμμα 2. Διακρίνονται τέσσερις φάσεις για κάθε έργο. Η πρώτη φάση περιλαμβάνει τον προκαταρκτικό σχεδιασμό και ολοκληρώνεται με την απόφαση για υλοποίηση ή μη του έργου που μελετήθηκε. Η δεύτερη φάση περιλαμβάνει το λεπτομερή σχεδιασμό του έργου, την κατάρτιση του προϋπολογισμού και του χρονοδιαγράμματος εκτέλεσής του και ολοκληρώνεται με την υπογραφή της σύμβασης για την κατασκευή του έργου. Η τρίτη φάση περιλαμβάνει την κατασκευή του έργου και

προφανώς ολοκληρώνεται με το πέρας της κατασκευής του έργου. Η τέταρτη και τελευταία φάση περιλαμβάνει όλους τους απαραίτητους ελέγχους ασφαλείας για το έργο και ολοκληρώνεται με την έναρξη της λειτουργίας του (Keshk et al., 2018).



Διάγραμμα 2: Κύκλος ζωής τεχνικών έργων υποδομής
(Πηγή: Keshk et al, 2018; ίδια επεξεργασία)

Μία από τις κύριες ενασχολήσεις της ομάδας διαχείρισης ενός τεχνικού έργου υποδομής είναι η διαχείριση των συμμετεχόντων ή ενδιαφερόμενων μερών. Οι συμμετέχοντες είναι άτομα ή οργανισμοί που επηρεάζουν την ανάπτυξη του έργου ή επηρεάζονται από αυτό και για το λόγο αυτόν η σκιαγράφησή τους θεωρείται ζωτικής σημασίας για αυτό. Παραδοσιακά η κυβέρνηση της χώρας στην οποία υλοποιείται το έργο αποτελεί τον πρωτεύοντα συμμετέχοντα, αφού αυτή είναι αποκλειστικά υπεύθυνη για την εξασφάλιση της γης όπου θα κατασκευαστεί το έργο, για τις αδειοδοτήσεις και για την παροχή στο κοινωνικό σύνολο ενός έργου που πληροί τις αναγκαίες προδιαγραφές ποιότητας με λογικό κόστος. Οι υπόλοιποι συμμετέχοντες είναι είτε μεμονωμένα άτομα είτε ομάδες ατόμων που έχουν κάποιο όφελος ή προσδοκία από το έργο, όπως είναι οι διαχειριστές του, οι μελετητές, ο ανάδοχος, οι υπεργολάβοι, οι προμηθευτές, οι χρηματοδοτικοί οργανισμοί, οι χρήστες και η τοπική κοινωνία της περιοχής όπου αυτό αναπτύσσεται. Οι σχέσεις μεταξύ των συμμετεχόντων είναι

σχέσεις αλληλεξάρτησης, αφού ο ένας επηρεάζει τον άλλον και αντίστροφα. Αυτές οι αλληλεξαρτήσεις βέβαια ποικίλουν ανάλογα με την φάση στην οποία βρίσκεται το έργο. Αυτό που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι οι συμμετέχοντες έχουν συχνά αντικρουόμενα συμφέροντα και απαιτήσεις, η παράλληλη ικανοποίηση των οποίων είναι δύσκολη. Ωστόσο, πρέπει να καταβάλλεται κάθε δυνατή προσπάθεια προκειμένου αυτοί να ικανοποιηθούν αν όχι πλήρως, όσο περισσότερο γίνεται, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η ομαλή υλοποίηση και εν τέλει η επιτυχημένη ολοκλήρωση του έργου (Lim and Yang, 2014).

Τα αντικρουόμενα συμφέροντα των συμμετεχόντων ενδέχεται να αποτελέσουν απειλή για το έργο και μια πηγή αβεβαιότητας σχετικά με την ομαλή συνέχιση της ανάπτυξής του. Άλλωστε ο τομέας των μεγάλων τεχνικών έργων όπως είναι τα έργα υποδομής είναι εν γένει ένας τομέας με έντονο το στοιχείο της αβεβαιότητας. Συχνά πολλά έργα αποτυγχάνουν να επιτύχουν τους τρεις βασικούς τους στόχους, δηλαδή την τήρηση του χρονοδιαγράμματος, του προϋπολογισμού και των προδιαγραφών ποιότητας, εξαιτίας της ύπαρξης κινδύνων. Από την έναρξη της υλοποίησης ενός έργου υπάρχουν κίνδυνοι που συνδέονται με σημαντικά θέματα όπως η πιθανή απόρριψη της επενδυτικής πρότασης, οι οποίοι συνεχίζουν να υφίστανται κατά τη φάση της κατασκευής του, όπου παράγοντες όπως οι καιρικές συνθήκες, η φερεγγυότητα των υπερβολών και η τοποθεσία του διαδραματίζουν έναν καθοριστικό ρόλο για την εξέλιξή του (Mustafa, 1991). Για το λόγο αυτόν είναι αναγκαία η συστηματική ενασχόληση με τη διαχείριση των κινδύνων, προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι οι κίνδυνοι παρακολουθούνται, ελέγχονται συνεχώς και πραγματοποιούνται οι απαραίτητες ενέργειες για την έγκαιρη αντιμετώπιση αυτών χωρίς σημαντικές συνέπειες για το έργο (Williams, 1993).

1.3 Σκοπός και στόχοι της εργασίας

Ο σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η παρουσίαση ενός ολοκληρωμένου πλαισίου για την ανάλυση των κινδύνων σε ένα τεχνικό έργο υποδομής. Ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για την ανάλυση των κινδύνων σε ένα τεχνικό έργο υποδομής περιλαμβάνει στοιχεία όπως μια σύνοψη της διαδικασίας διαχείρισης κινδύνων, τις κυριότερες κατηγορίες κινδύνων σε τέτοιου είδους έργα και τις προσεγγίσεις που υπάρχουν σχετικά με την ανάλυση των κινδύνων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, προσδιορίζονται και οι στόχοι της εργασίας, οι οποίοι μπορούν να συνοψιστούν στα ακόλουθα σημεία:

- παρουσίαση της διαδικασίας που ακολουθείται για τη διαχείριση των κινδύνων σε ένα τεχνικό έργο υποδομής,
- παρουσίαση των κυριότερων πηγών κινδύνου για ένα τεχνικό έργο υποδομής,
- κατανόηση του περιεχομένου των όρων της ποιοτικής και ποσοτικής ανάλυσης των κινδύνων για ένα τεχνικό έργο υποδομής και
- παρουσίαση των μεθόδων που χρησιμοποιούνται τόσο για την ποιοτική όσο και για την ποσοτική ανάλυση αυτών των κινδύνων καθώς και των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων της κάθε μεθόδου.

1.4 Αιτιολόγηση του θέματος

Τα έργα υποδομής (αυτοκινητόδρομοι, λιμάνια, σιδηροδρομικές γραμμές, σταθμοί παραγωγής ενέργειας κ.ά.) διαδραματίζουν έναν καθοριστικό ρόλο τόσο για την εύρυθμη λειτουργία μιας χώρας όσο και για την ανάπτυξή της. Η κατασκευή των έργων αυτών είναι μια διαδικασία πολύπλοκη και δυναμική με έντονο το στοιχείο της αβεβαιότητας, κατά τη διάρκεια της οποίας εμφανίζονται κίνδυνοι που μπορούν να οδηγήσουν στην παραβίαση του χρονοδιαγράμματος και του προϋπολογισμού τους ή ακόμα και στην απώλεια ανθρώπινων ζωών.

Η οικονομική κρίση που προέκυψε από το 2008 και μετά διαμόρφωσε μια δύσκολη κατάσταση για τα έργα υποδομής στην Ελλάδα με πολλά από αυτά είτε να μην ολοκληρώνονται εξαιτίας διακοπής της χρηματοδότησης ή πτώχευσης του αναδόχου είτε να καθυστερούν είτε να επανασχεδιάζονται με περιορισμένο προϋπολογισμό. Σε κάθε περίπτωση οι συνέπειες για την ελληνική κοινωνία υπήρξαν βαρύτερες αφού αυτή στερήθηκε βασικές υποδομές, τις οποίες είχε αναφίβολα ανάγκη.

Παράλληλα, η πλειονότητα των ερευνητικών εργασιών που υπάρχουν στη βιβλιογραφία επικεντρώνονται γενικά στη διαχείριση των κινδύνων σε συγκεκριμένες περιπτώσεις έργων υποδομής χωρίς να προσδίδουν την απαιτούμενη βαρύτητα στην ανάλυση αυτών. Επομένως, η ενασχόληση με τη διαχείριση των κινδύνων σε ένα τεχνικό έργο υποδομής και ιδιαίτερα με το στάδιο της ανάλυσης αυτών που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό και τον τρόπο αντιμετώπισής τους, αποτελεί ένα ενδιαφέρον και χρήσιμο αντικείμενο μελέτης.

1.5 Μεθοδολογική προσέγγιση

Η μεθοδολογία που επιλέχθηκε είναι αυτή της συστηματικής βιβλιογραφικής επισκόπησης, οπότε κρίθηκε σκόπιμο να παρουσιαστεί αρχικά το γενικό πλαίσιο της συγκεκριμένης μεθόδου και στη συνέχεια η εφαρμογή της στην ανά χειράς εργασία.

1.5.1 Συστηματική βιβλιογραφική επισκόπηση

Μια εργασία που αποτελεί προϊόν μιας συστηματικής βιβλιογραφικής επισκόπησης είναι ουσιαστικά μια σύνοψη της διαθέσιμης βιβλιογραφίας σχετικά με κάποιο θέμα. Ο συντάκτης μιας συστηματικής βιβλιογραφικής έρευνας δεν περιορίζεται απλά και μόνο στην ανάγνωση υφιστάμενων ερευνών πάνω στο αντικείμενο που τον ενδιαφέρει αλλά επεκτείνεται στην κριτική ανάλυση αυτών προκειμένου να τις αξιολογήσει και εν τέλει να παράξει ένα αποτέλεσμα που θα συνεισφέρει στην υφιστάμενη γνώση για το θέμα που μελετάται (Landa et al., 2011).

Οι λόγοι που οδηγούν στην απόφαση για διεξαγωγή μιας συστηματικής βιβλιογραφικής έρευνας ενδέχεται να είναι η επιθυμία να συνοψιστούν οι επικρατούσες απόψεις σχετικά με ένα αντικείμενο μελέτης ή τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μιας μεθόδου ανάλυσης ή ακόμα και η ανεύρεση των ερευνητικών κενών που υπάρχουν σε ένα ερευνητικό αντικείμενο. Τα στάδια από τα οποία αποτελείται μια τέτοιου είδους έρευνα είναι τρία και περιλαμβάνουν τον σχεδιασμό της έρευνας, τη διεξαγωγή της και τη δημοσίευσή της (Busalim and Hussin, 2016).

Κατά το στάδιο του σχεδιασμού της έρευνας πρέπει να καθοριστούν οι παράμετροι εκείνες που θα χρησιμοποιηθούν προκειμένου να περιορίσουν την έρευνα. Αυτές περιλαμβάνουν τη γλώσσα των πηγών που θα χρησιμοποιηθούν, τη γεωγραφική περιοχή από την οποία θα αναζητηθούν πληροφορίες, την περίοδο έκδοσης των πηγών και φυσικά τον τύπο των πηγών που μπορούν να είναι επιστημονικά άρθρα, πρακτικά συνεδρείων, βιβλία κ.ά. (Ζαφειρίου, 2019).

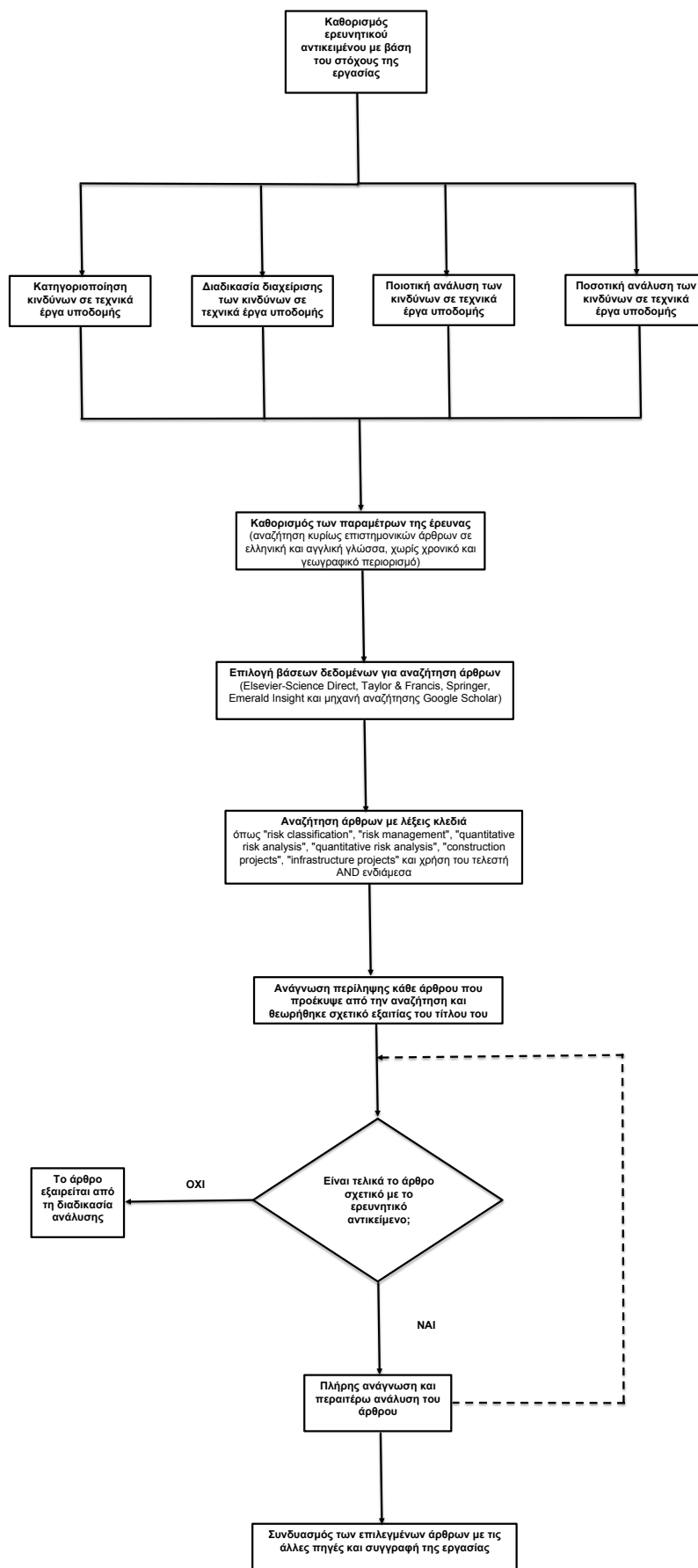
Κατά τη διεξαγωγή της έρευνας πραγματοποιείται αναζήτηση βιβλιογραφικών πηγών -κυρίως επιστημονικών άρθρων- κατά κύριο λόγο σε ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων αλλά και στο διαδίκτυο με λέξεις κλειδιά και χρήση των τελεστών AND, OR, NOT για διευκόλυνση της αναζήτησης. Η αναζήτηση συνεχίζεται και σε πηγές που αναφέρονται ως αναφορές στις βιβλιογραφικές πηγές που προέκυψαν από την αρχική αναζήτηση (Πατελάρου και Μπροκαλάκη, 2010).

1.5.2 Εφαρμογή συστηματικής βιβλιογραφικής επισκόπησης στη συγκεκριμένη εργασία

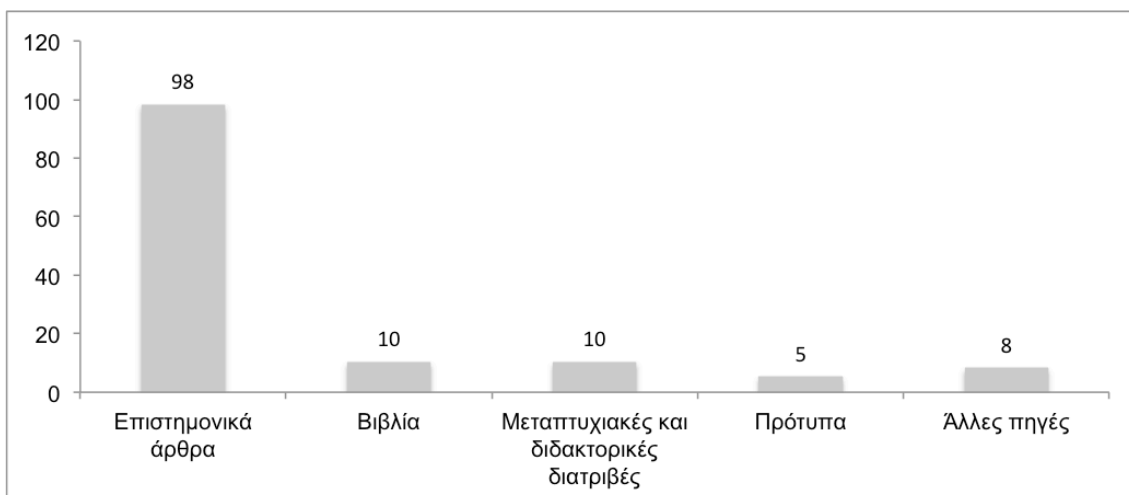
Όπως αναφέρθηκε στην αρχή της ενότητας της μεθοδολογικής προσέγγισης, η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της εργασίας είναι αυτή της συστηματικής βιβλιογραφικής επισκόπησης. Συνεπώς, ακολουθήθηκε μια διαδικασία όπως αυτή που εν συντομία περιγράφεται στην υποενότητα 1.5.1.

Ξεκινώντας με το σχεδιασμό της έρευνας πρέπει αρχικά να καθοριστούν οι παράμετροί της. Η γλώσσα συγγραφής των πηγών που θα αναζητηθούν είναι είτε η ελληνική είτε η αγγλική με τη δεύτερη να έχει προφανώς τις περισσότερες πιθανότητες ανεύρεσης αφού η ελληνική βιβλιογραφία σε αντικείμενα όπως η διαχείριση κινδύνων σε τεχνικά έργα υποδομής είναι περιορισμένη. Η γεωγραφική περιοχή από την οποία προέρχονται οι πηγές δεν πρόκειται να περιοριστεί προς διευκόλυνση της έρευνας και το ίδιο θα ισχύσει και για την χρονολογική περίοδο δημοσίευσής τους. Ο τύπος των πηγών που πρόκειται να αναζητηθούν περιλαμβάνει κυρίως επιστημονικά άρθρα αλλά και βιβλία, πρότυπα σχετικά με τη διαχείριση και ανάλυση κινδύνων σε τεχνικά έργα υποδομής, μεταπτυχιακές και διδακτορικές διατριβές που εκπονήθηκαν τόσο στην Ελλάδα (μέσω του αντίστοιχου ιστότοπου της βιβλιοθήκης του Πανεπιστημίου Μακεδονίας καθώς και άλλων ελληνικών πανεπιστημίων και του Εθνικού Αρχείου Διδακτορικών Διατριβών) όσο και στο εξωτερικό ή ακόμα και άλλες αξιόλογες πηγές που περιλαμβάνουν πανεπιστημιακές σημειώσεις, παρουσιάσεις σε συνέδρια ή εταιρικές εκδόσεις.

Ο κύριος όγκος της πληροφόρησης αναμένεται ότι θα προέλθει από τα επιστημονικά άρθρα και για τον λόγο αυτόν έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη διαδικασία της αναζήτησης αυτών, η οποία παρουσιάζεται αναλυτικά στο διάγραμμα 3. Από το διάγραμμα 4 όπου παρουσιάζεται η κατάταξη των πηγών που μελετήθηκαν κατά είδος προκύπτει ότι συνολικά μελετήθηκαν αναλυτικά 98 επιστημονικά άρθρα, Ο αριθμός αυτός θεωρείται ικανοποιητικός αλλά όχι ιδιαίτερα μεγάλος εάν συγκριθεί με αυτούς άλλων ερευνητικών εργασιών που χρησιμοποιούν ως μεθοδολογία τη συστηματική βιβλιογραφική επισκόπηση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την αναζήτηση των άρθρων τέθηκαν αυστηρά κριτήρια ως προς τη σχετικότητα των άρθρων με το αντικείμενο μελέτης, οπότε ένας μεγάλος αριθμός άρθρων που θεωρήθηκαν εν μέρει και όχι πλήρως σχετικά με αυτό απορρίφθηκε.

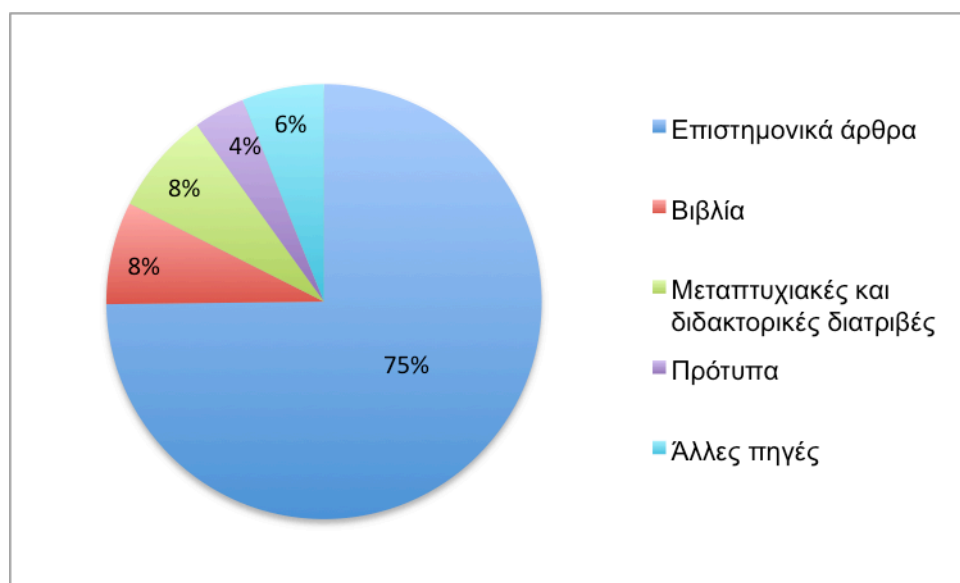


Διάγραμμα 3: Διαδικασία αναζήτησης επιστημονικών άρθρων (Πηγή: ίδια επεξεργασία)



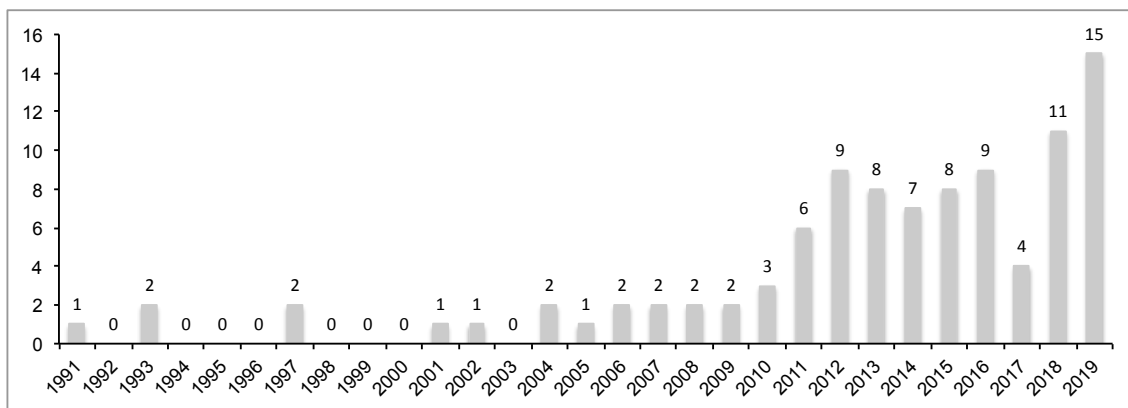
Διάγραμμα 4: Κατάταξη των πηγών που μελετήθηκαν κατά είδος (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

Σε ό,τι αφορά τις υπόλοιπες πηγές που μελετήθηκαν από τα διαγράμματα 4 και 5 φαίνεται ότι τόσο το πλήθος όσο και το ποσοστό τους ως προς το σύνολο των πηγών είναι ιδιαίτερα μικρά συγκρινόμενα με αυτά των επιστημονικών άρθρων που αντιστοιχούν στο 75% των πηγών που μελετήθηκαν συνολικά.



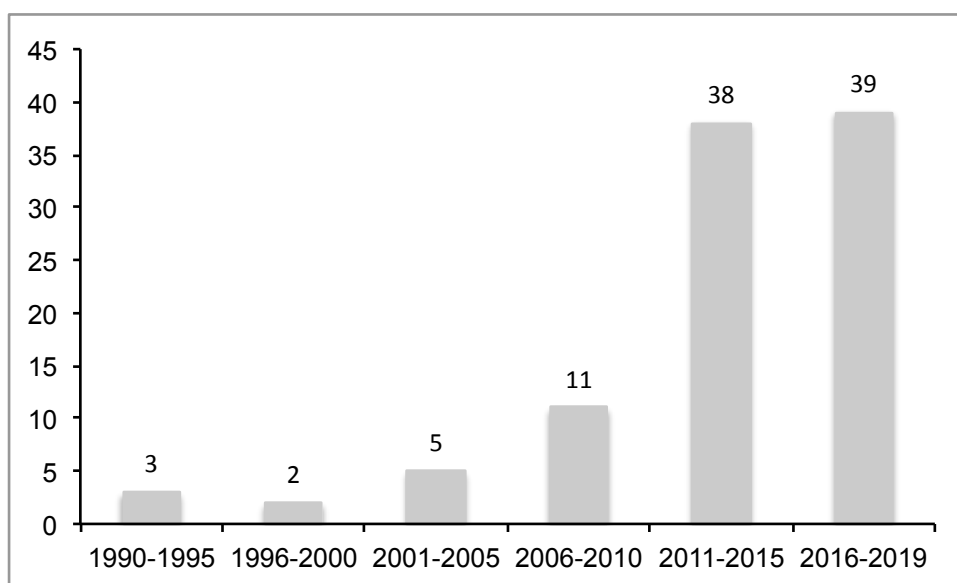
Διάγραμμα 5: Ποσοστιαία κατάταξη των πηγών που μελετήθηκαν κατά είδος (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

Προχωρώντας σε μια πιο διεξοδική στατιστική ανάλυση των στοιχείων των επιστημονικών άρθρων που τελικά προέκυψαν από τη διαδικασία αναζήτησης, προκύπτει ότι πάνω από τα μισά άρθρα δημοσιεύτηκαν κατά την τελευταία πενταετία ενώ πάνω από τα 2/3 αυτών δημοσιεύτηκαν μετά το 2011, όπως φαίνεται από τα διαγράμματα 6 και 7 αντίστοιχα.



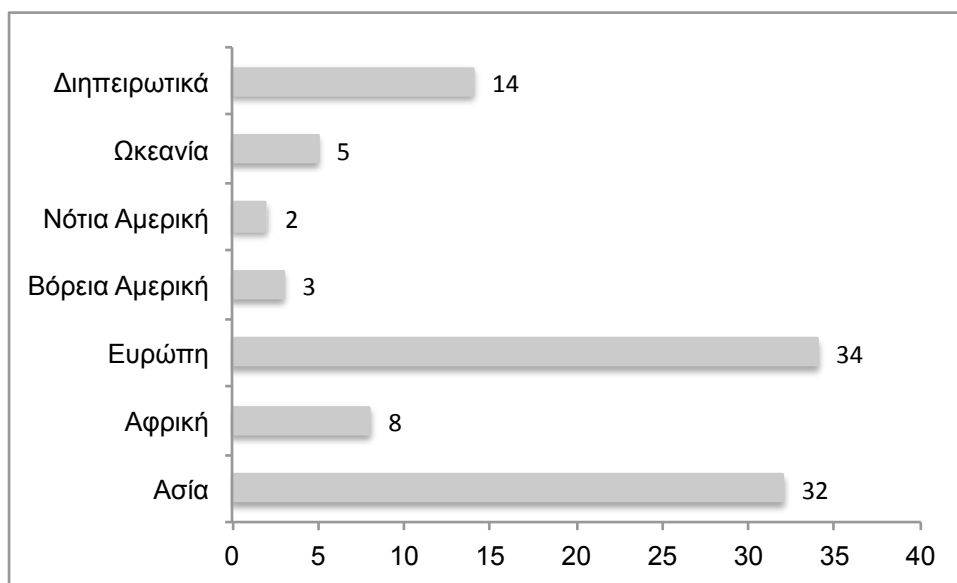
Διάγραμμα 6: Χρονολογική κατάταξη των επιστημονικών άρθρων που μελετήθηκαν ανά έτος (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

Παράλληλα παρατηρώντας κυρίως το διάγραμμα 7 είναι ξεκάθαρο ότι τα άρθρα που αναλύθηκαν περαιτέρω και έχουν ημερομηνία δημοσίευσής πριν το 2000 είναι λίγα, αφού ο αριθμός τους ανέρχεται σε 5 εν συνόλω 98 άρθρων, κάτι που αντιστοιχεί σε ποσοστό κάτω του 5%,



Διάγραμμα 7: Χρονολογική κατάταξη των επιστημονικών άρθρων που μελετήθηκαν ανά πενταετία (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

Η στατιστική επεξεργασία των στοιχείων των άρθρων που μελετήθηκαν διεξοδικά ολοκληρώνεται με το διάγραμμα 8, όπου παρουσιάζεται η γεωγραφική προέλευσή τους ανάλογα με την ήπειρο από την οποία προέρχονται οι συγγραφείς τους. Τα περισσότερα άρθρα προέρχονται από χώρες της Ευρώπης και της Ασίας, ενώ υπάρχει και ένας ικανοποιητικός αριθμός άρθρων που χαρακτηρίζονται ως «Διηπειρωτικά», κάτι που σημαίνει ότι οι συγγραφείς τους προέρχονται από τουλάχιστον δύο διαφορετικές ηπείρους.



Διάγραμμα 8: Γεωγραφική προέλευση των επιστημονικών άρθρων που μελετήθηκαν
(Πηγή: ίδια επεξεργασία)

1.6 Δομή της εργασίας

Η εργασία διαρθρώνεται σε έξι κεφάλαια συμπεριλαμβανομένου του τρέχοντος.

Στο τρέχον κεφάλαιο, όπως κατέστη ήδη κατανοητό παρουσιάζεται μια εισαγωγική προσέγγιση στο θέμα των τεχνικών έργων υποδομής και της διαχείρισής τους, ενώ συγχρόνως παρουσιάζεται ο σκοπός και οι στόχοι της εργασίας, η αιτιολόγηση του θέματος και η μεθοδολογική προσέγγιση που εφαρμόστηκε.

Στο δεύτερο κεφάλαιο επιχειρείται μια εισαγωγή στη διαχείριση κινδύνων, δίνοντας τον ορισμό, τη δομή και τη μαθηματική διατύπωση του κινδύνου, περιγράφοντας τόσο τη διαφορά μεταξύ κινδύνου και αβεβαιότητας όσο και τη διαδικασία διαχείρισης των κινδύνων σε ένα τεχνικό έργο υποδομής και παρουσιάζοντας τις διάφορες κατηγορίες κινδύνων που υφίστανται για ένα τέτοιου είδους έργο.

Το τρίτο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στην ποιοτική ανάλυση των κινδύνων σε τεχνικά έργα υποδομής. Σε αυτό δίνεται ο ορισμός της ποιοτικής ανάλυσης, περιγράφονται οι στόχοι της και τα κύρια βήματά της, παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά της ενώ πραγματοποιείται εκτενής αναφορά στις μεθόδους που εφαρμόζονται για την ποιοτική ανάλυση των κινδύνων σε τεχνικά έργα υποδομής.

Το τέταρτο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στην ποσοτική ανάλυση των κινδύνων σε τεχνικά έργα υποδομής. Η διάρθρωση του κεφαλαίου είναι αντίστοιχη με αυτή του

τρίτου κεφαλαίου που αφορά στην ποιοτική ανάλυση. Κατά συνέπεια περιλαμβάνει τον ορισμό της ποσοτικής ανάλυσης, τους στόχους και τα κύρια βήματά της, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά της, τις μεθόδους που εφαρμόζονται για την πραγματοποίησή της καθώς και τα κριτήρια για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται μελέτες περίπτωσης που έχουν προκύψει από τη συστηματική βιβλιογραφική επισκόπηση.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια σύνοψη των ευρημάτων της εργασίας και παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ενσχόληση με το αντικείμενο της ποιοτικής και ποσοτικής ανάλυσης των κινδύνων σε τεχνικά έργα υποδομής.

Κεφάλαιο 2^ο

Εισαγωγή στη διαχείριση κινδύνων

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται μια εισαγωγή στη γνωστική περιοχή της διαχείρισης των κινδύνων που παρουσιάζονται σε ένα τεχνικό έργο υποδομής αλλά και σε κάθε έργο. Για τον λόγο αυτόν παρουσιάζεται συνοπτικά όλο εκείνο το θεωρητικό υπόβαθρο, το οποίο θεωρείται αναγκαίο για την κατανόηση των διεργασιών που συντελούνται στη γνωστική περιοχή της διαχείρισης των κινδύνων.

2.1 Η έννοια του κινδύνου

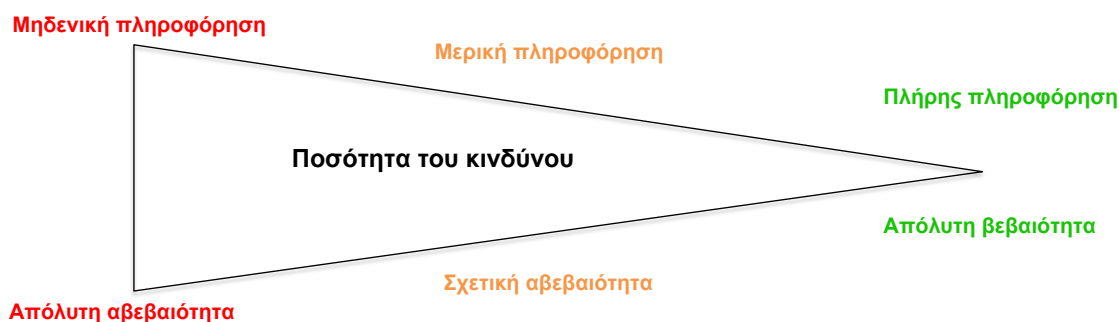
Η παρουσίαση ενός πλήρους και σαφούς ορισμού για την έννοια του κινδύνου θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική για την κατανόηση τόσο της έννοιας αυτής καθεαυτής όσο και του ευρύτερου προβλήματος που πρέπει να αντιμετωπιστεί με την εφαρμογή των επιταγών της γνωστικής περιοχής της διαχείρισης της επικινδυνότητας ενός έργου. Μολονότι στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν κατά καιρούς παρουσιαστεί διαφορετικοί ορισμοί για την έννοια του κινδύνου από διαφορετικούς συγγραφείς, εντούτοις δεν υπάρχει ένας ορισμός, ο οποίος να αποδίδει ολοκληρωτικά και με απόλυτη σαφήνεια το περιεχόμενο του όρου (Ξενίδης, 2016).

Γενικά, ο κίνδυνος συνήθως περιγράφεται ως μια απόκλιση που παρουσιάζει μια μεταβλητή από την αναμενόμενη τιμή της και για τους περισσότερους ανθρώπους είναι άμεσα συνδεδεμένος με την ζημία, κατά κύριο λόγο την οικονομική (Schieg, 2006). Ωστόσο, ο κίνδυνος σε ένα έργο μπορεί να οριστεί ως ένα αβέβαιο γεγονός ή κατάσταση, το οποίο, εφόσον συμβεί, είναι ικανό να επηρεάσει **θετικά ή αρνητικά** έναν ή και περισσότερους από τους στόχους που έχουν τεθεί για το έργο και αφορούν για παράδειγμα στο αντικείμενο, το χρονοδιάγραμμα, το κόστος ή την ποιότητα του έργου (PMI, 2013). Επομένως, ο κίνδυνος είναι ένα αβέβαιο γεγονός, κάτι που σημαίνει ότι μπορεί κάποιος να προσδιορίσει την πιθανότητα εμφάνισής του αλλά όχι να προεξοφλήσει την πραγματοποίησή του και παράλληλα μπορεί να έχει είτε θετικές – που αποτελούν ευκαιρίες- είτε αρνητικές – που αποτελούν απειλές- επιδράσεις στο έργο (Κουλίνας, 2016). Εναλλακτικά και εν συντομία, κάποιος θα μπορούσε να ισχυριστεί ότι ο κίνδυνος είναι ένα κενό γνώσης και πληροφόρησης για το έργο (Dehdasht et al., 2015).

Για τον κατασκευαστικό κλάδο και κατά συνέπεια για κάθε έργο υποδομής, κίνδυνος μπορεί να θεωρηθεί οποιοδήποτε απρόβλεπτο γεγονός αποτρέπει την ολοκλήρωσή του εντός χρονοδιαγράμματος και προϋπολογισμού (Ugwu et al., 2019).

2.2 Κίνδυνος και αβεβαιότητα

Η έννοια του κινδύνου, όπως αυτή ορίστηκε προηγουμένως, συχνά συγχέεται με αυτή της αβεβαιότητας ακόμα και από ειδικούς που ασχολούνται συστηματικά με το συγκεκριμένο αντικείμενο. Πρόκειται για δύο έννοιες παρόμοιες αλλά σε καμία περίπτωση πλήρως ταυτόσημες, καθώς η αβεβαιότητα είναι αυτό που υπάρχει όταν όλοι οι πιθανοί κίνδυνοι έχουν αναγνωριστεί (Dehdasht et al., 2015). Με άλλα λόγια, η αβεβαιότητα μπορεί να οριστεί ως η κατάσταση εκείνη κατά την οποία υπάρχει απουσία πληροφοριών, γνώσεων ή ακόμα και κατανόησης σχετικά με το τελικό αποτέλεσμα που θα έχει μια απόφαση που έχει ληφθεί ή μια πράξη που έκανε κάποιος, ενώ ο κίνδυνος ως ένα μέτρο του μεγέθους της αβεβαιότητας που υπάρχει (Heerkens, 2002). Πιο συγκεκριμένα, στον κόσμο της διαχείρισης έργων ο κίνδυνος σχετίζεται άμεσα με τη δυνατότητα πρόβλεψης του τελικού αποτελέσματος μιας απόφασης ή μιας πράξης με βεβαιότητα (Heerkens, 2002). Επομένως, φαίνεται ότι υπάρχει μια στενή σχέση μεταξύ των εννοιών του κινδύνου, της αβεβαιότητας και της πληροφόρησης, η οποία μπορεί να περιγραφεί χωρίς πολλά λόγια μέσω του διαγράμματος 9.



Διάγραμμα 9: Σχέση μεταξύ κινδύνου, αβεβαιότητας και πληροφόρησης
(Πηγή: Heerkens, 2002; ίδια επεξεργασία)

Προκειμένου να καταστεί σαφής η διαφορά μεταξύ των δύο εννοιών αρκεί ένα απλό αλλά αντιπροσωπευτικό παράδειγμα (Ξύντας, 2010): έστω ότι κάποιος γνωρίζει ότι κέρδισε ένα ποσό από το λαχείο που αγόρασε πρόσφατα αλλά δεν γνωρίζει εάν κέρδισε όλο το χρηματικό ποσό που κληρώθηκε –οπότε πρόκειται για τζακ ποτ- ή κέρδισε μέρος του ποσού –οπότε πρόκειται να μοιραστεί τα χρήματα με έναν ή

περισσότερους τυχερούς-. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν υπάρχει κίνδυνος, υπάρχει όμως έντονο το στοιχείο της αβεβαιότητας.

2.3 Δομή και μαθηματική διατύπωση του κινδύνου

Κάθε κίνδυνος αποτελείται από τέσσερις παραμέτρους: μία κατ' ελάχιστον αιτία, ένα γεγονός, μία πιθανότητα και μία κατ' ελάχιστον συνέπεια (Βασιλειάδης, 2009):

Αιτία: οποιοσδήποτε κίνδυνος οφείλεται σε μια αιτία ή μια σειρά αιτιών που αποτελούν γεγονότα με έντονο το στοιχείο της βεβαιότητας (Μπίσμπα, 2015) και είναι ικανά να οδηγήσουν στην εμφάνιση του κινδύνου (Κουλίνας, 2016). Ορισμένες από αυτές τις πηγές κινδύνου είναι γνωστές εκ των προτέρων, οπότε μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά με την εφαρμογή κατάλληλων δικλείδων ασφαλείας (Βασιλειάδης, 2009).

Γεγονός: συνήθως πρόκειται για μια απρόσμενη αλλαγή, η οποία δεν είναι επιθυμητή (Βασιλειάδης, 2009).

Πιθανότητα: πρόκειται για την πιθανότητα εμφάνισης του γεγονότος και αποτελεί τον κατ' εξοχήν παράγοντα αβεβαιότητας του κινδύνου (Μπίσμπα, 2015).

Συνέπεια: κάθε κίνδυνος, εφόσον εμφανιστεί, επιδρά στους στόχους του έργου με μία ή περισσότερες συνέπειες (Κουλίνας, 2016).



Διάγραμμα 10: Οι τέσσερις παράμετροι του κινδύνου (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

Οι παράμετροι που αποτελούν τον κίνδυνο ουσιαστικά είναι και αυτές που διαμορφώνουν το μαθηματικό του μοντέλο. Προκειμένου να διατυπωθεί μαθηματικά ο κίνδυνος είναι αναγκαίο να είναι γνωστά τρία στοιχεία. Τα στοιχεία αυτά είναι (Odumabo et al., 2018):

- το πλήθος των πιθανών συνεπειών n ,

- τη σπουδαιότητα-μέγεθος της κάθε συνέπειας C και
- την πιθανότητα ύπαρξης της κάθε συνέπειας P .

Σύμφωνα με αυτά, το μαθηματικό μοντέλο του κινδύνου είναι το εξής (Μπίσμπα, 2015):

$$\text{Κινδυνος}(R) = \sum_{i=1}^n \text{Πιθανοτητα}(P_i) * \text{Συνεπεια}(C_i)$$

Άμεση συνέπεια της μαθηματικής διατύπωσης του κινδύνου είναι ότι όσο αυξάνεται η πιθανότητα ύπαρξης της κάθε συνέπειας ή η βαρύτητα της κάθε συνέπειας και αντίστοιχα όσο μειώνεται κάθε ένα από τα δύο στοιχεία, τόσο αυξάνεται και ο κίνδυνος (Βασιλειάδης, 2009).

Αυτό που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι αν και το γινόμενο του πολλαπλασιασμού της πιθανότητας με την συνέπεια (για την ακρίβεια το μέγεθος της συνέπειας) στην πραγματικότητα προσδιορίζει την έκθεση στον κίνδυνο και όχι τον ίδιο τον κίνδυνο, είναι σύνηθες στη διεθνή βιβλιογραφία οι δύο όροι να χρησιμοποιούνται εναλλακτικά έχοντας όμως την ίδια πρακτική σημασία (Moran, 2014).

2.4 Η διαχείριση των κινδύνων

Η διαχείριση των κινδύνων μπορεί να οριστεί ως μια προληπτική διαδικασία με σκοπό την μείωση της πιθανότητας ύπαρξης ανεπιθύμητων συνεπειών στο έργο στα διάφορα στάδια υλοποίησής του, από το σχεδιασμό έως τη λειτουργία (Serpell et al., 2015). Αρκετά συχνά οι κίνδυνοι που σχετίζονται με τα τεχνικά έργα είτε αγνοούνται είτε αντιμετωπίζονται με τρόπο παρορμητικό, προσθέτοντας ένα επιπλέον ποσό για απρόοπτα έξοδα στον προϋπολογισμό του έργου (Abujnah and Eaton, 2008). Μια τέτοια αντιμετώπιση των κινδύνων δεν είναι κατάλληλη για έργα σύνθετα και πολύπλοκα, όπως είναι τα τεχνικά έργα, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε καθυστερήσεις στην υλοποίηση του έργου, δικαστικές διαμάχες μεταξύ αναδόχου και κυρίου του έργου ακόμη και στην πτώχευση του αναδόχου (Abujnah and Eaton, 2008). Επομένως, η διαχείριση των κινδύνων είναι ιδιαίτερα σημαντική για τα τεχνικά έργα (Schieg, 2006) και ένα αναπόσπαστο τμήμα της διαδικασίας λήψης αποφάσεων από τους αναδόχους τους, αφού αυτή καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την επιτυχία ή την αποτυχία ενός έργου (Abujnah and Eaton, 2008).

Η χρησιμότητα της διαχείρισης των κινδύνων για ένα τεχνικό έργο μπορεί να συνοψιστεί στα ακόλουθα σημεία (CIRIA, 1996):

- αναγνώριση, αξιολόγηση και κατάταξη των κινδύνων,
- επικέντρωση στους πιο σημαντικούς κινδύνους για το έργο,
- λήψη εμπειριστατωμένων αποφάσεων για τις προβλεπόμενες αντιξοότητες,
- ελαχιστοποίηση των πιθανών συνεπειών των κινδύνων στο έργο,
- έλεγχος των παραγόντων αβεβαιότητας του έργου,
- αποσαφήνιση και τυποποίηση του ρόλου του αναδόχου και των ρόλων των υπολοίπων ενδιαφερομένων μερών στη διαδικασία της διαχείρισης των κινδύνων του έργου και
- προσδιορισμός των ευκαιριών που θα ενισχύσουν την αποδοτικότητα του έργου.

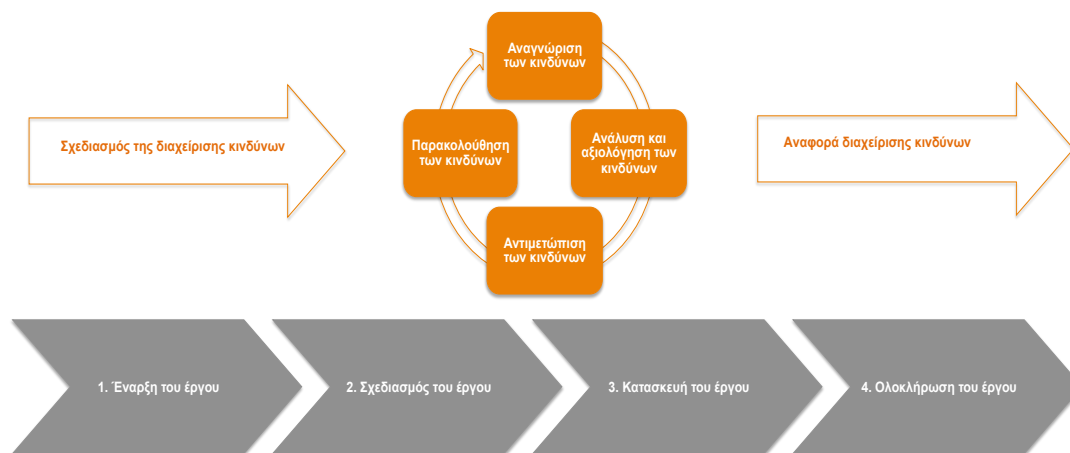
2.5 Διαδικασία διαχείρισης κινδύνων

Η διαδικασία της διαχείρισης κινδύνων έχει αποτελέσει το αντικείμενο μελέτης για πολλούς εθνικούς και διεθνείς οργανισμούς, οι οποίοι έχουν παρουσιάσει τα πρότυπά τους για αυτή. Οργανισμοί όπως το Ινστιτούτο Διαχείρισης Έργων (Project Management Institute – PMI), ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (International Organization for Standardization – ISO), το Ινστιτούτο Διαχείρισης Κινδύνων (Institute of Risk Management – IRM), το πρώην Κυβερνητικό Γραφείο Εμπορίου της Μεγάλης Βρετανίας (Office of Government Commerce – OGC) αλλά και το Υπουργείο Οικονομικών της Μεγάλης Βρετανίας (HM Treasury) έχουν παρουσιάσει τις προσεγγίσεις τους για τη διαδικασία της διαχείρισης κινδύνων, οι οποίες εμφανίζουν αρκετές ομοιότητες (Jia et al., 2013). Πιο συγκεκριμένα, η σύγκριση των διάφορων προτύπων που έχουν παρουσιαστεί έχει οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι μια τυπική διαδικασία διαχείρισης κινδύνων περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια (Jia et al., 2013):

- **Σχεδιασμός της διαχείρισης κινδύνων**

Ο σχεδιασμός της διαχείρισης των κινδύνων αφορά στον καθορισμό του τρόπου με τον οποίο θα διεξαχθούν οι δραστηριότητες που σχετίζονται τη διαχείριση των κινδύνων σε ένα έργο και οφείλει να είναι αντάξιος τόσο των ίδιων των κινδύνων όσο και της σημασίας του έργου για τον ανάδοχο του αλλά και το κοινωνικό σύνολο ευρύτερα (PMI, 2013). Το σχέδιο διαχείρισης κινδύνων που αποτελεί και το αποτέλεσμα αυτού του σταδίου, είναι καθοριστικό για την επικοινωνία με τα ενδιαφερόμενα μέρη του έργου και την εξασφάλιση της υποστήριξής τους και εν τέλει για την αποτελεσματική εφαρμογή της διαχείρισης κινδύνων στις διάφορες φάσεις του κύκλου ζωής του έργου (PMI, 2013). Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε αυτό το στάδιο είναι κυρίως οι γνώμες ειδικών, οι τακτικές συναντήσεις της ομάδας έργου, ενώ εναλλακτικά μπορούν να

χρησιμοποιηθούν και αναλυτικές τεχνικές όπως η ανάλυση του προφίλ κινδύνου του κάθε ενδιαφερόμενου μέρους του έργου (PMI, 2013).



Διάγραμμα 11: Η διαδικασία της διαχείρισης κινδύνου σε τεχνικά έργα
(Πηγή: Jia et al., 2013; ίδια επεξεργασία)

- **Αναγνώριση των κινδύνων**

Η αναγνώριση των κινδύνων είναι ένα στάδιο της διαδικασίας διαχείρισης κινδύνων που μπορεί να επηρεάσει τόσο την υλοποίηση όσο και την τελική επιτυχία του έργου (Crikonic and Vukomanovic, 2016). Μπορεί να πραγματοποιηθεί με τεχνικές όπως ο καταγισμός ιδεών, η μέθοδος των Δελφών, οι συνεντεύξεις, η ανάλυση SWOT, και η ανάλυση υποθέσεων με τις τρεις πρώτες να θεωρούνται πιο κοινές με ευρεία εφαρμογή και τις δύο τελευταίες να θεωρούνται πιο εξειδικευμένες – από τη μία πλευρά η ανάλυση SWOT μελετά ένα έργο ως προς τις πιθανές δυνάμεις, αδυναμίες, ευκαιρίες και απειλές και διαμορφώνει ένα ευρύτερο πεδίο για τις αβεβαιότητες του έργου που αφορούν τόσο τον ανάδοχο όσο και το έργο αυτό καθαυτό, και από την άλλη πλευρά η ανάλυση υποθέσεων ασχολείται με υποθετικά σενάρια για την υλοποίηση του έργου αξιολογώντας την εγκυρότητά τους- (Crikonic and Vukomanovic, 2016). Το αποτέλεσμα που προκύπτει από αυτό το στάδιο της διαδικασίας διαχείρισης των κινδύνων είναι ένας κατάλογος ή μητρώο κινδύνων (risk register) με τους κινδύνους που έχουν αναγνωρισθεί, ο οποίος εμπλουτίζεται καθώς η διαδικασία προχωράει σε επόμενα στάδια (PMI, 2013).

- **Ανάλυση και αξιολόγηση των κινδύνων**

Η ανάλυση και αξιολόγηση των κινδύνων που έχουν αναγνωριστεί στο προηγούμενο στάδιο είναι μια διαδικασία κατά την οποία αξιοποιούνται από τον ανάδοχο οι πληροφορίες που είναι διαθέσιμες για το έργο, προκειμένου να καθοριστεί τόσο η πιθανότητα εμφάνισης του κάθε κινδύνου όσο και η έκταση των επιπτώσεών του στο έργο (Ugwu et al., 2019). Σε ό,τι αφορά την ανάλυση των κινδύνων, στη βιβλιογραφία υπάρχουν δύο προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται και είναι η ποιοτική και η ποσοτική ανάλυση (Gupta and Thakkar, 2018). Κατά την ποιοτική ανάλυση ιεραρχούνται οι κίνδυνοι με κριτήρια την πιθανότητα εμφάνισής τους και τον αντίκτυπό τους στο έργο, ενώ κατά την ποσοτική ανάλυση επιχειρείται η ποσοτικοποίηση της επίδρασης των κινδύνων στους στόχους του έργου (Gupta and Thakkar, 2018).

- **Αντιμετώπιση των κινδύνων**

Ο τρόπος με τον οποίο αντιμετωπίζεται ο κάθε κίνδυνος καθορίζεται από το εάν αυτός επηρεάζει αρνητικά (απειλή) ή θετικά (ευκαιρία) κάποιους από τους στόχους του έργου. Με άλλα λόγια, είναι αναγκαίο να υπάρξει κατάλληλη αντιμετώπιση για τον κάθε κίνδυνο που έχει αναγνωριστεί και αφορά στο τεχνικό έργο και αυτή μπορεί να λάβει διάφορες μορφές, από την αποφυγή ή τη μεταφορά του όταν πρόκειται για απειλή έως την εκμετάλλευσή του όταν πρόκειται για ευκαιρία (Odimabo et al., 2018).

Αντιμετώπιση κινδύνων που χαρακτηρίζονται ως απειλές

Μετά την αναγνώριση, ανάλυση και αξιολόγηση των κινδύνων είναι αναγκαίο η ομάδα διαχείρισης του έργου να προβεί σε ενέργειες που θα αποτελέσουν το ανάχωμα απέναντι στους κινδύνους (Szymanski, 2017). Οι ενέργειες αυτές, οι οποίες ουσιαστικά αποτελούν την αντίδραση απέναντι στους κινδύνους που έχουν προσδιοριστεί σε προηγούμενο στάδιο, αποσκοπούν είτε στην ολοκληρωτική εξουδετέρωση αυτών είτε στη μείωση των επιπτώσεών τους στο έργο (Szymanski, 2017). Η αντίδραση απέναντι σε κάθε έναν από τους κινδύνους που έχουν αναγνωριστεί και θεωρούνται απειλές μπορεί να είναι μία από τις ακόλουθες (Szymanski, 2017):

- ✓ *Αποδοχή του κινδύνου*: τόσο ο κίνδυνος όσο και όλες οι πιθανές συνέπειές του για το έργο γίνονται αποδεκτές,
- ✓ *Μεταφορά του κινδύνου*: ο κίνδυνος και οι επιπτώσεις που τον συνοδεύουν «μεταφέρονται» σε μια άλλη οντότητα με νόμιμο τρόπο και κατά κύριο λόγο μέσω της ασφάλισης,

- ✓ *Μετριασμός του κινδύνου*: πρόκειται για ενέργειες που στοχεύουν στη μείωση της πιθανότητας εμφάνισης ενός γεγονότος που μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο για το έργο, όπως είναι για παράδειγμα η διατήρηση αποθεμάτων πρώτων υλών,
- ✓ *Αποφυγή του κινδύνου*: περιλαμβάνει είτε τη λήψη προληπτικών μέτρων που οδηγούν στην εξαφάνιση του κινδύνου για το έργο είτε την αφαίρεση-αγνόηση του κινδύνου από την διαδικασία διαχείρισης κινδύνων.

Αντιμετώπιση κινδύνων που χαρακτηρίζονται ως ευκαιρίες

Η αντίδραση σε κάθε έναν από τους κινδύνους που έχουν αναγνωριστεί και θεωρούνται ευκαιρίες μπορεί να έχει μία από τις εξής μορφές (Odimabo et al., 2018):

- ✓ *Εκμετάλλευση*: στην περίπτωση αυτή ο ανάδοχος του έργου συνειδητοποιεί την ύπαρξη της ευκαιρίας, η οποία για παράδειγμα μπορεί να σχτίζεται με την ολοκλήρωση του έργου έγκαιρα και την ανάληψη ενός νέου έργου,
- ✓ *Βελτίωση*: αυτή η προσέγγιση αφορά στην προσπάθεια του αναδόχου να αυξήσει την πιθανότητα να συμβεί τελικά ο κίνδυνος που αποτελεί ευκαιρία,
- ✓ *Απόρριψη*: ο ανάδοχος αποφασίζει συνειδητά να μην εκμεταλλευτεί την ευκαιρία και να μην προσπαθήσει να αυξήσει την πιθανότητα εμφάνισής της,
- ✓ *Διαμοιρασμός*: αυτός ο τρόπος αντιμετώπισης εφαρμόζεται όταν ο ανάδοχος δεν είναι σε θέση να συνειδητοποιήσει ο ίδιος την ύπαρξη της ευκαιρίας, εξαιτίας για παράδειγμα περιορισμένων τεχνικών δυνατοτήτων, οπότε και συνεργάζεται με έναν άλλον οργανισμό που είναι σε θέση να αντιληφθεί την ευκαιρία.

• **Παρακολούθηση και έλεγχος των κινδύνων**

Μετά την αναγνώριση, ανάλυση και αντιμετώπιση των κινδύνων του έργου πρέπει να πραγματοποιηθούν συγκεκριμένες ενέργειες που έχουν σχέση με την παρακολούθηση και τον έλεγχο της όλης διαδικασίας (Ugwu et al., 2019). Το στάδιο αυτό συνδέεται με δύο σημαντικές προκλήσεις: πρώτον την αποτελεσματική εφαρμογή του σχεδίου διαχείρισης των κινδύνων και δεύτερον τη δημιουργία των απαραίτητων εγγράφων που θα υποστηρίξουν τη διαδικασία (Ugwu et al., 2019).

- **Αναφορά διαχείρισης κινδύνων**

Η αναφορά διαχείρισης κινδύνων είναι το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας διαχείρισης κινδύνων σε ένα τεχνικό έργο και είναι ιδιαίτερα χρήσιμη, αφού συνοψίζει τη διαδικασία και μπορεί να βοηθήσει τον ανάδοχο του έργου να κατανοήσει ανάλογες καταστάσεις και να συμπεριλάβει τα μέτρα αντιμετώπισής τους στο εγχειρίδιο διαχείρισης κινδύνων του (Jia et al., 2013).

2.6 Κατηγορίες κινδύνων σε τεχνικά έργα υποδομής

Η αναγνώριση των κινδύνων αποτελεί το πρώτο και πιο σημαντικό βήμα κατά τη διαδικασία της διαχείρισης της επικινδυνότητας οποιουδήποτε έργου, καθώς, αφού ολοκληρωθεί υπάρχει μια πλήρης εικόνα για τους παράγοντες αβεβαιότητας του έργου (Zavadskas et al., 2010). Εξίσου σημαντική, συνεπώς, είναι και για τα τεχνικά έργα κυρίως εξαιτίας του χαρακτήρα τους, καθώς αυτά διακρίνονται για την έντονη πολυπλοκότητα και δυναμικότητά τους (Mhetre et al., 2016).

Στον τομέα των τεχνικών έργων, αλλά και της κατασκευαστικής βιομηχανίας ευρύτερα, οι πιο γνωστοί κίνδυνοι είναι αυτοί που σχετίζονται με ζητήματα όπως η υγεία και η ασφάλεια, ο χρονικός προγραμματισμός και για την ακρίβεια η τήρηση των προβλεπόμενων ημερομηνιών παράδοσης ενός τεχνικού έργου καθώς και χρηματοοικονομικά ζητήματα (Kasaroglu, 2018).

Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις σχετικά με την κατηγοριοποίηση των κινδύνων σε τεχνικά έργα. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας κρίθηκε σκόπιμο να παρουσιαστούν ενδεικτικά τέσσερις από αυτές τις προσεγγίσεις, οι οποίες θεωρήθηκαν αντιπροσωπευτικές του συνόλου των κατηγοριοποιήσεων που υπάρχουν. Αυτές είναι η κατηγοριοποίηση με κριτήριο τον χαρακτήρα των κινδύνων (Mhetre et al., 2016), η κατηγοριοποίηση με κριτήριο την προέλευση των κινδύνων (Tah et al., 1993), η κατηγοριοποίηση με κριτήριο την φάση υλοποίησης του έργου όπου εμφανίζεται κάθε κίνδυνος (Szymanski, 2017) και η κατηγοριοποίηση των κινδύνων σε επίπεδα (Bing et al., 2005).

2.6.1 Κατηγοριοποίηση των κινδύνων με κριτήριο τον χαρακτήρα τους

Οι κίνδυνοι που συνδέονται με την κατασκευή τεχνικών έργων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με κριτήριο τον χαρακτήρα τους ως εξής (Mhetre et al., 2016):

- **Τεχνικοί κίνδυνοι**

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται οι κίνδυνοι που σχετίζονται με τον ελλιπή σχεδιασμό του έργου, την ανεπαρκή διερεύνηση του χώρου κατασκευής, τις αλλαγές στο αντικείμενο του έργου και την περιορισμένη διαθεσιμότητα πόρων.

- **Κατασκευαστικοί κίνδυνοι**

Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει κινδύνους που αφορούν σε θέματα όπως η παραγωγικότητα του προσωπικού, οι πιθανές διενέξεις μεταξύ των εργαζομένων στο έργο, η διακοπή λειτουργίας του εξοπλισμού, οι πιθανές αλλαγές στον σχεδιασμό του έργου και οι πολύ υψηλές προδιαγραφές ποιότητας.

- **Φυσικοί κίνδυνοι**

Πρόκειται για κινδύνους όπως η πρόκληση ζημιών στην κατασκευή ή τον εξοπλισμό, οι κλοπές υλικών ή εξοπλισμού και οι τραυματισμοί εργαζομένων στο έργο.

- **Οργανωτικοί κίνδυνοι**

Οι οργανωτικοί κίνδυνοι προέρχονται από την έλλειψη εμπειρίας του αναδόχου και του εργατικού δυναμικού και την γενικότερη στάση των συμμετεχόντων στο έργο.

- **Χρηματοοικονομικοί κίνδυνοι**

Στους χρηματοοικονομικούς κινδύνους συμπεριλαμβάνονται η αύξηση της τιμής υλικών και πρώτων υλών, οι διακυμάνσεις στην ισοτιμία, οι καθυστερήσεις στις πληρωμές και η φορολογία

- **Κοινωνικο-πολιτικοί κίνδυνοι**

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι αλλαγές σε νόμους και κανονισμούς, οι απαιτήσεις που υπάρχουν για την χορήγηση εγκρίσεων και αδειών καθώς και οι δυσλειτουργίες που προκαλούνται εξαιτίας πολέμων και πολιτικών αναταραχών.

- **Περιβαλλοντικοί κίνδυνοι**

Οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι αφορούν σε φυσικές καταστροφές και στις συνέπειες των καιρικών συνθηκών στο έργο.

2.6.2 Κατηγοριοποίηση των κινδύνων με κριτήριο την προέλευσή τους

Οι κίνδυνοι που ενδέχεται να εμφανιστούν σε ένα τεχνικό έργο υποδομής μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με κριτήριο την προέλευσή τους σε δύο κατηγορίες, τους εξωτερικούς και τους εσωτερικούς κινδύνους (Tah et al., 1993):

- **Εξωτερικοί κίνδυνοι**

Οι εξωτερικοί κίνδυνοι είναι αυτοί που οφείλονται στον πληθωρισμό, τις διακυμάνσεις στις συναλλαγματικές ισοτιμίες, καθώς και σε ατυχήματα και φυσικές καταστροφές. Είναι εκτός του πεδίου ελέγχου του διαχειριστή ή της ομάδας διαχείρισης του έργου και για τον λόγο αυτόν είναι αναγκαία αφ' ενός η διαρκής αναζήτηση και η κατά το δυνατόν πρόβλεψη τέτοιων κινδύνων και αφ' ετέρου η διαμόρφωση ενός στρατηγικού σχεδίου αντιμετώπισής τους

- **Εσωτερικοί κίνδυνοι**

Οι εσωτερικοί κίνδυνοι περιλαμβάνουν το επίπεδο διαθεσιμότητας των αναγκαίων πόρων για το έργο, την εμπειρία του αναδόχου σε αντίστοιχα έργα, την τοποθεσία του έργου καθώς και τους όρους της σύμβασης ανάθεσής του. Σε αντίθεση με τους εξωτερικούς κινδύνους, αυτοί είναι σχετικά ελεγχόμενοι από τους διαχειριστές του έργου.

2.6.3 Κατηγοριοποίηση των κινδύνων με κριτήριο τη φάση του έργου όπου εμφανίζονται

Σε ένα τεχνικό έργο υποδομής διακρίνονται ορισμένες φάσεις υλοποίησης, κάθε μία από τις οποίες αποτελεί πηγή κινδύνων για το έργο. Ειδικότερα, διακρίνονται οι εξής φάσεις κατασκευής και οι αντίστοιχοι κίνδυνοι (Szymanski, 2017):

- **Προκαταρκτικός σχεδιασμός**

Η διεκδίκηση της κατασκευής ενός τεχνικού έργου απαιτεί προσοχή και σωστό σχεδιασμό, καθώς περιλαμβάνει κινδύνους που είναι σκόπιμο να ληφθούν σοβαρά υπ' όψιν από τους υποψηφίους αναδόχους. Οι κίνδυνοι αυτοί είναι:

- ✓ η ανεπαρκής πληροφόρηση για τον ανταγωνισμό,
- ✓ η ανεπαρκής πληροφόρηση για τις προτιμήσεις του κυρίου του έργου και επενδυτή,
- ✓ η περιορισμένη αυτοεκτίμηση,
- ✓ η υπερεκτίμηση του κόστους του έργου –η οποία ενδέχεται να καταστήσει το έργο οικονομικά ασύμφορο για τον επενδυτή και να οδηγήσει στην απόρριψη του υποψηφίου αναδόχου-.

- **Υποβολή προσφορών**

Η συμμετοχή στη διαδικασία της υποβολής προσφορών αποτελεί αναγκαία προϋπόθεση για την ανάληψη της κατασκευής του έργου και για τον λόγο αυτόν απαιτεί κατάλληλη προσέγγιση. Οι κίνδυνοι στο συγκεκριμένο στάδιο είναι οι εξής:

- ✓ η διαφθορά κατά τη διαδικασία υποβολής προσφορών,

- ✓ η ακύρωση της διαδικασίας υποβολής προσφορών,
- ✓ η υποβολή προσφοράς με μικρό περιθώριο κέρδους,
- ✓ οι αρπακτικές διαθέσεις των ανταγωνιστών,
- ✓ η αξιοπιστία του κυρίου του έργου.

- **Αναλυτικός σχεδιασμός**

Η διαδικασία του αναλυτικού σχεδιασμού του έργου είναι αυτή που καθορίζει την τελική μορφή που αυτό θα έχει και περιλαμβάνει τους ακόλουθους κινδύνους:

- ✓ η επιλογή ακατάλληλης ομάδας για τον σχεδιασμό,
- ✓ η υπερεκτίμηση του κόστους του έργου,
- ✓ η υποβάθμιση του επιθυμητού, αισθητικού αποτελέσματος του έργου και για αυτό απαιτείται η γνώση των προτιμήσεων του κυρίου του έργου,
- ✓ η επιλογή ακατάλληλης τεχνολογίας σε ό,τι αφορά τα υλικά και τις μεθόδους κατασκευής.

- **Κατασκευή**

Κατά τη φάση κατασκευής οι κίνδυνοι που υφίστανται είναι οι ακόλουθοι:

- ✓ οι διαμαρτυρίες από οικολογικές οργανώσεις και τους κατοίκους,
- ✓ η ανεπαρκής ή λανθασμένη εκτίμηση για την ποιότητα του εδάφους,
- ✓ ο κακός προγραμματισμός των εργασιών,
- ✓ οι δυσλειτουργίες του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στο έργο,
- ✓ η απουσία εργαζομένων λόγω ασθένειας ή απεργίας,
- ✓ η μη ικανοποιητική απόδοση των εργαζομένων,
- ✓ η μη ορθή διαχείριση των υλικών και του προσωπικού,
- ✓ η καθυστέρηση στην προμήθεια υλικών,
- ✓ η ποιότητα των υλικών,
- ✓ η τήρηση των προδιαγραφών του έργου,
- ✓ η επέκταση του φυσικού αντικειμένου του έργου.

- **Χρηματοδότηση**

Η χρηματοδότηση του έργου είναι εκείνη η φάση του έργου, η οποία περιλαμβάνει τον μεγαλύτερο κίνδυνο. Οι κίνδυνοι σε αυτή τη φάση είναι:

- ✓ η πολιτική αστάθεια στη χώρα όπου κατασκευάζεται το έργο,
- ✓ η οικονομική αστάθεια στη χώρα όπου κατασκευάζεται το έργο,
- ✓ ο πληθωρισμός,
- ✓ η διαμόρφωση ενός ακατάλληλου πλάνου για το κόστος του έργου,
- ✓ η φερεγγυότητα του κυρίου του έργου,

- ✓ η ανακρίβεια της σύμβασης που υπογράφηκε για το έργο, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε διεύρυνση των στόχων του έργου επιβαρύνοντας τον προϋπολογισμό του,
- ✓ η συμμόρφωση προς τους νόμους.

2.6.4 Κατηγοριοποίηση των κινδύνων σε επίπεδα

Μια νεωτεριστική προσέγγιση στην κατηγοριοποίηση των κινδύνων που εμφανίζονται σε τεχνικά έργα υποδομής είναι αυτή που διαχωρίζει τους κινδύνους σε τρία επίπεδα. Τα τρία αυτά επίπεδα είναι τα εξής (Bing et al., 2005):

- **Μακρο-επίπεδο**

Το μακρο-επίπεδο περιλαμβάνει κινδύνους που προέρχονται από εξωγενείς παράγοντες του έργου. Αυτό το επίπεδο επικεντρώνεται σε κινδύνους που αφορούν είτε στην χώρα όπου υλοποιείται το έργο είτε στην βιομηχανία των κατασκευών ή ακόμα και σε φυσικούς κινδύνους. Επομένως, εστιάζει σε κινδύνους που σχετίζονται με πολιτικά, νομικά, οικονομικά ή κοινωνικά θέματα καθώς και με τις καιρικές συνθήκες. Το κοινό χαρακτηριστικό αυτών των ζητημάτων είναι ότι η εμφάνισή τους είναι εκτός του πεδίου ελέγχου της ομάδας διαχείρισης του έργου, είναι δηλαδή εκτός των ορίων του συστήματος του έργου, αλλά έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο έργο και στους στόχους του.

- **Μεσο-επίπεδο**

Το μεσο-επίπεδο περιλαμβάνει κινδύνους που προέρχονται από ενδογενείς παράγοντες του έργου. Πρόκειται για γεγονότα που προκαλούν κινδύνους και έχουν επιπτώσεις στο έργο και είναι εντός του πεδίου ελέγχου της ομάδας διαχείρισης. Οι κίνδυνοι που εντάσσονται στο μεσο-επίπεδο είναι εντός των ορίων του συστήματος του έργου και σχετίζονται κυρίως με πρακτικά θέματα όπως η τοποθεσία του έργου, η διαδικασία σχεδιασμού και η διαδικασία κατασκευής.

- **Μικρο-επίπεδο**

Το μικρο-επίπεδο περιλαμβάνει κινδύνους που αφορούν στις σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών του έργου. Κατά κύριο λόγο το επίπεδο αυτό εντάσσει στο πλαίσιό του τις διαφορές που προκύπτουν ανάμεσα στον δημόσιο και τον ιδιωτικό τομέα που εμπλέκονται στην διαδικασία υλοποίησης του έργου από την πλευρά του κυρίου του έργου και του αναδόχου του αντίστοιχα. Οι κίνδυνοι αυτού του επιπέδου μπορούν δυνητικά να ενταχθούν και στο μεσο-επίπεδο αλλά στην πραγματικότητα διαφέρουν από τους κινδύνους του μεσο-επιπέδου αφού επικεντρώνονται περισσότερο στα

συμβαλλόμενα μέρη παρά στο ίδιο το έργο. Ο κύριος λόγος για τον οποίο δημιουργήθηκε και ένα τρίτο επίπεδο κινδύνων είναι ότι ο δημόσιος τομέας διακρίνεται για την κοινωνική υπευθυνότητα ενώ ο ιδιωτικός τομέας λειτουργεί με βάση την επιδίωξη του μεγίστου κέρδους, οπότε τα δύο μέρη έρχονται σε σύγκρουση.

Κεφάλαιο 3^ο

Ποιοτική ανάλυση των κινδύνων σε τεχνικά έργα υποδομής

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται να παρουσιαστεί συνολικά και ολοκληρωμένα η διαδικασία της ποιοτικής ανάλυσης των κινδύνων σε ένα τεχνικό έργο υποδομής, η οποία αποτελεί μία από τις δύο προσεγγίσεις που υπάρχουν στη βιβλιογραφία σχετικά με το στάδιο της ανάλυσης και αξιολόγησης που περιλαμβάνει η διαδικασία της διαχείρισης των κινδύνων. Πρόκειται να παρουσιαστεί το περιεχόμενο και οι στόχοι της ποιοτικής ανάλυσης των κινδύνων ενώ ιδιαίτερη αναφορά πραγματοποιείται και στις μεθόδους-τεχνικές που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια αυτής.

3.1 Ορισμός

Η ποιοτική ανάλυση των κινδύνων μπορεί να περιγραφεί ως μια διαδικασία κατά την οποία οι κίνδυνοι που έχουν αναγνωριστεί σε προηγούμενο στάδιο ιεραρχούνται με στόχο την μεταγενέστερη περαιτέρω ανάλυσή τους ή την ανάληψη δράσης για την αντιμετώπισή τους, μέσω της αξιολόγησης και του συνδυασμού της πιθανότητάς τους και των συνεπειών τους στο έργο (Adedokun et al., 2013).

Η ποιοτική ανάλυση των κινδύνων θεωρείται ως το πλέον χρήσιμο στάδιο της διαδικασίας διαχείρισης των κινδύνων σε ένα τεχνικό έργο υποδομής αλλά και γενικά σε οποιοδήποτε έργο, καθώς επιτρέπει την σύγκριση των κινδύνων που έχουν αναγνωριστεί και στη συνέχεια την ιεράρχησή τους. Η ιεράρχηση των κινδύνων δίνει τη δυνατότητα στον διαχειριστή του έργου να επικεντρωθεί στους πιο σημαντικούς κινδύνους, προκειμένου να μειώσει τον αντίκτυπό τους στους στόχους του έργου. Στο στάδιο αυτό απαιτείται η εκτίμηση τόσο της πιθανότητας ύπαρξης του κάθε κινδύνου όσο και των αναμενόμενων επιπτώσεών του στο έργο (Odimabo et al., 2018).

Οι λόγοι που οδηγούν στην επιλογή του ποιοτικού τρόπου ανάλυσης των κινδύνων σε ένα έργο είναι οι εξής (Adedokun et al., 2013):

- η απαίτηση για έναν αρχικό προσδιορισμό των κινδύνων που απαιτούν περαιτέρω ανάλυση,
- η προσδοκία ότι αυτός ο τρόπος ανάλυσης θα προσφέρει επαρκή πληροφόρηση που αναμένεται να συντελέσει αποτελεσματικά στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και

- η ανεπάρκεια δεδομένων και πόρων δεν επιτρέπει την επιλογή του ποσοτικού τρόπου ανάλυσης των κινδύνων.

Αυτό το οποίο πρέπει να σημειωθεί είναι ότι η εκτίμηση τόσο της πιθανότητας όσο και των συνεπειών του κάθε κινδύνου πρέπει να πραγματοποιείται με τρόπο εμπειριστατωμένο και να βασίζεται σε αποδεκτές μεθόδους. Επίσης, η ποιοτική ανάλυση πρέπει να διενεργείται καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου και ο κατάλογος κινδύνων να εμπλουτίζεται και να ανανεώνεται συνεχώς, έτσι ώστε να περιλαμβάνει οποιαδήποτε αλλαγή στους κινδύνους που αφορούν σε αυτό (Devri, 2018).

3.2 Στόχοι

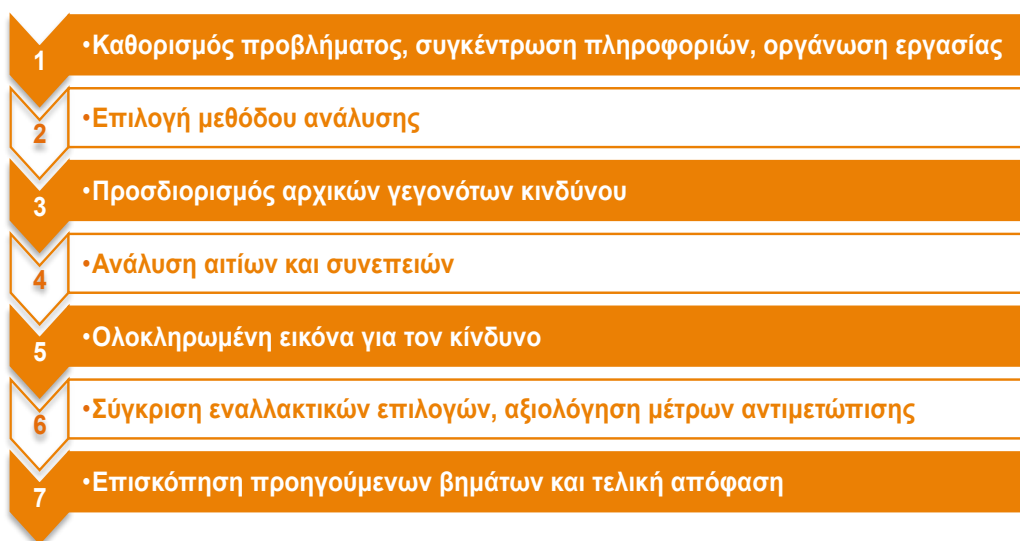
Η διαδικασία της ποιοτικής ανάλυσης βασίζεται κυρίως στην ορθή εκτίμηση της πιθανότητας ύπαρξης του κάθε κινδύνου και των επιπτώσεων που τον συνοδεύουν. Παράλληλα, συμβάλλει στον καθορισμό των κινδύνων εκείνων που πρέπει να αναλυθούν πιο διεξοδικά, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αλλά και εκείνων που πρέπει να εξαιρεθούν από την διαδικασία διαχείρισης κινδύνων λόγω χαμηλής πιθανότητας. Επομένως, είναι ένα στάδιο που έχει συγκεκριμένους στόχους, οι οποίοι μπορούν να συνοψιστούν στα ακόλουθα σημεία (Ogunbayo, 2014; Szymanski, 2017):

- η εκτίμηση της πιθανότητας του κάθε κινδύνου,
- η εκτίμηση των συνεπειών του κάθε κινδύνου στο έργο,
- ο καθορισμός των αιτίων του κάθε κινδύνου,
- η ιεράρχηση των κινδύνων,
- ο προσδιορισμός των κινδύνων που απαιτούν συνεχή παρακολούθηση και έλεγχο,
- ο προσδιορισμός των κινδύνων που αναμένεται να εξουδετερωθούν είτε εξαιτίας αλλαγών στον χαρακτήρα του έργου είτε λόγω ολοκληρωτικής ακύρωσης της υλοποίησης του έργου,
- ο προσδιορισμός των κινδύνων η ευθύνη των οποίων θα μεταφερθεί σε μια άλλη οντότητα που θα είναι σε θέση να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά τις συνέπειές τους και
- ο προσδιορισμός των κινδύνων που απαιτούν αντισταθμιστικά μέτρα στο πλαίσιο της υλοποίησης του έργου.

3.3 Κύρια βήματα

Τα κύρια βήματα της ποιοτικής ανάλυσης των κινδύνων σε τεχνικά έργα υποδομής μπορούν να συνοψιστούν ως εξής (Korombel and Tworek., 2011):

1. καθορισμός του προβλήματος, συγκέντρωση πληροφοριών και οργάνωση της εργασίας
2. επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ανάλυσης
3. προσδιορισμός των αρχικών γεγονότων του κινδύνου
4. ανάλυση των αιτιών και των συνεπειών του κινδύνου
5. διαμόρφωση ολοκληρωμένης εικόνας για τον κίνδυνο
6. σύγκριση εναλλακτικών επιλογών και αξιολόγηση των πιθανών μέτρων αντιμετώπισης
7. επισκόπηση των προηγούμενων βημάτων και λήψη τελικής απόφασης



Διάγραμμα 12: Τα κύρια βήματα της ποιοτικής ανάλυσης κινδύνων
(Πηγή: Korombel and Tworek, 2011; ίδια επεξεργασία)

3.4 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Είναι γεγονός ότι δεν υπάρχει ένας και μόνο τρόπος διεξαγωγής ανάλυσης κινδύνων σε ένα τεχνικό έργο, ο οποίος έχει καθολική εφαρμογή. Κάθε προσέγγιση που έχει προταθεί, παρουσιάζει τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα. Αυτό ισχύει και για την ποιοτική ανάλυση.

Όπως είναι γνωστό, η ποιοτική ανάλυση στηρίζεται στην υποκειμενική κρίση της ομάδας διαχείρισης του έργου, προκειμένου να αξιολογηθούν οι κίνδυνοι που

σχετίζονται με το έργο που μελετάται κάθε φορά. Η υποκειμενική αυτή κρίση είναι και το πιο σημαντικό μειονέκτημα της ποιοτικής ανάλυσης. Ακόμα και η περαιτέρω ανάπτυξη των ποιοτικών μεθόδων, θεωρείται ότι δεν είναι σε θέση να οδηγήσει στην εξάλειψη του στοιχείου της υποκειμενικότητας από αυτές (Boc et al., 2012).

Βέβαια η διεξαγωγή ποιοτικής ανάλυσης παρέχει σημαντικά οφέλη στην ομάδα διαχείρισης του έργου, τα οποία θα μπορούσαν δυνητικά να δικαιολογήσουν και την αποκλειστική εφαρμογή της χωρίς το επόμενο στάδιο της ποσοτικής ανάλυσης. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της ποιοτικής ανάλυσης μπορούν να συνοψιστούν στα εξής σημεία (Boc et al., 2012):

- διακρίνεται για την σχετική απλότητά της,
- η έλλειψη αριθμητικών δεδομένων μπορεί να αντικατασταθεί από τις εκτιμήσεις εξειδικευμένων νθρώπων,
- υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες η ποιοτική ανάλυση επιβάλλεται για νομικούς λόγους, οπότε θεωρείται αναπόφευκτη.

3.5 Μέθοδοι-τεχνικές

Στην πλειονότητα των περιπτώσεων τεχνικών έργων υποδομής και γενικότερα οποιασδήποτε μορφής έργου ένα σημαντικό στάδιο της διαδικασίας διαχείρισης κινδύνων και ειδικότερα της ανάλυσης αυτών, είναι αυτό κατά το οποίο η ομάδα διαχείρισης καλείται να επιλέξει την μέθοδο με την οποία πρόκειται να αναλύσει τους κινδύνους που έχει αναγνωρίσει (Korombel and Tworek., 2011). Οι μέθοδοι-τεχνικές ποιοτικής ανάλυσης των κινδύνων χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της πιθανότητας και του αντικτύπου του κάθε κινδύνου. Πρόκειται για σχετικά απλές μεθόδους, οι οποίες εφαρμόζονται όταν απαιτείται γρήγορη ανάλυση σε έργα μικρού και μεσαίου μεγέθους, καθώς και όταν υπάρχουν περιορισμένα αριθμητικά δεδομένα ή περιορισμένος χρόνος και χρηματικοί πόροι (Mhetre et al., 2016).

Επομένως, οι τεχνικές ποιοτικής ανάλυσης δεν βασίζονται σε αριθμητικά δεδομένα και συμβάλλουν στην ιεράρχηση των κινδύνων. Μπορούν να είναι έχουν τη μορφή είτε απλού καταλόγου είτε καταλόγου με βαθμολόγηση ή ακόμα και τη μορφή διαγράμματος (De Marco and Thaheem, 2014).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τεχνικές που κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται για την ποιοτική ανάλυση των κινδύνων σε τεχνικά έργα υποδομής.

3.5.1 Αξιολόγηση πιθανότητας-επίδρασης

Η αξιολόγηση της πιθανότητας και της επίδρασης είναι μια μέθοδος για την ποιοτική ανάλυση των κινδύνων, η οποία περιλαμβάνει την εκτίμηση της πιθανότητας (Risk Likelihood - RL) και της επίδρασης (Risk Impact – RI) του κάθε κινδύνου στο έργο που μελετάται. Από τη μια πλευρά η εκτίμηση της πιθανότητας του κάθε κινδύνου αφορά στον προσδιορισμό της πιθανότητας να υπάρξει ο κάθε κίνδυνος που έχει αναγνωριστεί και από την άλλη πλευρά η εκτίμηση της επίδρασης του κινδύνου αφορά στην διερεύνηση των επιπτώσεων που δυνητικά θα υπάρξουν, εάν παρουσιαστεί ο κίνδυνος, σε κάποιον από τους αντικειμενικούς στόχους του έργου, δηλαδή το χρονοδιάγραμμα, τον προϋπολογισμό ή την ποιότητα. Η εκτίμηση τόσο της πιθανότητας όσο και της επίδρασης του κάθε κινδύνου συνήθως πραγματοποιείται μέσω συναντήσεων, συνεντεύξεων ή ερωτηματολογίων που διανέμονται σε άτομα που σχετίζονται με το τεχνικό έργο που μελετάται (PMI, 2013).

Τόσο η πιθανότητα όσο και η επίδραση του κάθε κινδύνου εκτιμάται με βάση μια κλίμακα από το μηδέν έως το ένα. Για την πιθανότητα η τιμή μηδέν αντιστοιχεί σε έναν κίνδυνο που θεωρείται απίθανο ότι θα συμβεί και η τιμή ένα σε έναν κίνδυνο που θεωρείται βέβαιο ότι θα συμβεί. Σε ό,τι αφορά την επίδραση η τιμή μηδέν αντιστοιχεί σε κίνδυνο με μη σοβαρές επιπτώσεις στο έργο ενώ η τιμή ένα σε κίνδυνο με καταστροφικές συνέπειες για το έργο. Η αντιστοιχία των ενδιάμεσων τιμών τόσο για την πιθανότητα όσο και για την επίδραση είναι υποκειμενική (Nicholas and Steyn, 2008).

Αφού υπολογιστούν οι τιμές της πιθανότητας και της επίδρασης για κάθε κίνδυνο, αξιολογείται η βαρύτητα του κινδύνου, υπολογίζοντας το γινόμενο τους που καλείται και συντελεστής βαρύτητας (Risk Consequence – RC) ως εξής (Nicholas and Steyn, 2012):

$$RC = RL * RI$$

Ανάλογα με την τιμή του συντελεστή βαρύτητας σε κάθε κίνδυνο αποδίδεται ένας χαρακτηρισμός σύμφωνα με τον πίνακα 1.

Πίνακας 1: Χαρακτηρισμός κινδύνου με βάση τον συντελεστή βαρύτητας

Συντελεστής βαρύτητας (RC)	Χαρακτηρισμός κινδύνου
0.00-0.02	Πολύ χαμηλός
0.03-0.05	Χαμηλός
0.06-0.15	Μέτριος
0.16-0.20	Υψηλός
0.21-1.00	Πολύ υψηλός

(Πηγή: Sarkar and Dutta, 2011; ίδια επεξεργασία)

3.5.2 Πίνακας αξιολόγησης πιθανότητας-επίδρασης

Μία από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται κατά την ποιοτική ανάλυση των κινδύνων είναι αυτή που περιλαμβάνει πίνακες όπου συνδυάζεται η πιθανότητα ενός κινδύνου με την επίδρασή του στο έργο και ονομάζεται «Πίνακας πιθανότητας-επίδρασης» (Probability Impact Risk Rating Matrix). Η τεχνική αυτή μπορεί να θεωρηθεί και ως μια υποκατηγορία της μεθόδου αξιολόγησης πιθανότητας-επίδρασης που παρουσιάστηκε προηγουμένως. Προκειμένου να διαμορφωθεί ένας τέτοιος πίνακας χρειάζονται δύο στοιχεία, τα οποία είναι τα εξής (Keshk et al., 2018):

- **Πιθανότητα του κινδύνου**

Η πιθανότητα του κινδύνου P εκφράζεται με ποιοτικούς χαρακτηρισμούς όπως χαμηλή ή υψηλή καθώς και αριθμητικά λαμβάνοντας τιμές από 0.05 έως 1 με την αντιστοιχία να είναι:

- ✓ Πολύ χαμηλή -> P=0.1
- ✓ Χαμηλή -> P=0.3
- ✓ Μέτρια -> P=0.5
- ✓ Υψηλή -> P=0.7
- ✓ Πολύ υψηλή -> P=0.9

- **Επίδραση του κινδύνου**

Η επίδραση του κινδύνου I στο έργο εκφράζεται και αυτή τόσο με ποιοτικούς χαρακτηρισμούς όπως χαμηλή, μέτρια ή υψηλή όσο και αριθμητικά με την εξής αντιστοιχία:

- ✓ Πολύ χαμηλή -> I=0.05
- ✓ Χαμηλή -> I=0.10
- ✓ Μέτρια -> I=0.20
- ✓ Υψηλή -> I=0.40
- ✓ Πολύ υψηλή -> I=0.80

Στον πίνακα 2 που ακολουθεί παρουσιάζεται ένας οδηγός για τον ποιοτικό χαρακτηρισμό της επίδρασης ενός κινδύνου (ο οποίος θεωρείται απειλή για το έργο) ανάλογα με τον τρόπο που αυτός επηρεάζει κάποιον από τους βασικούς στόχους ενός έργου –κόστος, χρονοδιάγραμμα, αντικείμενο του έργου, ποιότητα-.

Πίνακας 2: Χαρακτηρισμός της επίδρασης ενός κινδύνου

Στόχοι του έργου	Αξιολόγηση της επίδρασης του κινδύνου				
	Πολύ χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή	Πολύ υψηλή
Κόστος	Μη σημαντική αύξηση του κόστους	Αύξηση του κόστους κάτω από 5%	Αύξηση του κόστους από 5% έως 10%	Αύξηση του κόστους από 10% έως 20%	Αύξηση του κόστους πάνω από 20%
Χρονοδιάγραμμα	Απλό σφάλμα στο χρονοδιάγραμμα	Σφάλμα στο χρονοδιάγραμμα κάτω από 5%	Σφάλμα στο χρονοδιάγραμμα από 5% έως 10%	Σφάλμα στο χρονοδιάγραμμα από 10% έως 20%	Σφάλμα στο χρονοδιάγραμμα πάνω από 20%
Αντικείμενο	Απλή αλλαγή στο αντικείμενο του έργου	Ελαφρά επίδραση σε κάποια διάσταση του αντικειμένου	Επίδραση σε βασική διάσταση του αντικειμένου	Μη αποδεκτή επίδραση από τον κύριο του έργου	Διακοπή εργασιών έργου
Ποιότητα	Χαμηλή ποιότητα	Χαμηλή ποιότητα σε κάποια διάσταση του αντικειμένου του έργου	Μη συμμόρφωση προς τις προδιαγραφές ποιότητας σε βασική διάσταση του αντικειμένου του έργου	Μη αποδεκτό επίπεδο ποιότητας από τον κύριο του έργου	Διακοπή εργασιών έργου

(Πηγή: Keshk et al., 2018; ίδια επεξεργασία)

Εφόσον έχουν προσδιοριστεί τα δύο στοιχεία που είναι αναγκαία για τη διαμόρφωση του πίνακα πιθανότητας-επίδρασης, υπολογίζεται ο συντελεστής κινδύνου (risk factor – RF) πολλαπλασιάζοντας την αριθμητική τιμή της πιθανότητας P με την αριθμητική τιμή της επίδρασης I (Wibowo et al., 2018), δηλαδή είναι:

$$RF = P * I$$

Ο πίνακας πιθανότητας επίδρασης παρουσιάζεται στον πίνακα 3.

Πίνακας 3: Πίνακας πιθανότητας επίδρασης

Πιθανότητα (P)	Συντελεστής κινδύνου (RF=P*I)									
	Απειλές					Ευκαιρίες				
0.9	0.05	0.09	0.18	0.36	0.72	0.72	0.36	0.18	0.09	0.05
0.7	0.04	0.07	0.14	0.28	0.56	0.56	0.28	0.14	0.07	0.04
0.5	0.03	0.05	0.10	0.20	0.40	0.40	0.20	0.10	0.05	0.03
0.3	0.02	0.03	0.06	0.12	0.24	0.24	0.12	0.06	0.03	0.02
0.1	0.01	0.01	0.02	0.04	0.08	0.08	0.04	0.02	0.01	0.01
	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80	0.80	0.40	0.20	0.10	0.05
	Επίδραση (I)					Επίδραση (I)				

(Πηγή: Keshk et al., 2018; PMI, 2013; ίδια επεξεργασία)

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τον ανάδοχο ή τον διαχειριστή του έργου να γνωρίζει την ερμηνεία των τριών διαφορετικών χρωμάτων που χρησιμοποιούνται στον πίνακα πιθανότητας επίδρασης (Keshk et al., 2018). Τα διαφορετικά χρώματα χρησιμοποιούνται προκειμένου να συμβολίσουν διαφορετικές περιοχές σημαντικότητας για τους κινδύνους του έργου και κάθε μία από αυτές συνδέεται με έναν συγκεκριμένο τρόπο αντιμετώπισης (Ξενίδης, 2016).

Πιο συγκεκριμένα, σε ό,τι αφορά τις απειλές το κόκκινο χρώμα σημαίνει ότι αυτές οι απειλές απαιτούν προληπτική δράση και επιθετικούς τρόπους αντιμετώπισης, το κίτρινο χρώμα συμβολίζει απειλές που ενδέχεται να επηρεάσουν κάποιον από τους

στόχους του έργου και απαιτούν παρεμβάσεις ενώ το πράσινο χρώμα δείχνει ότι αυτές οι απειλές δεν απαιτούν προληπτική δράση, καθώς δεν προβλέπεται να δημιουργήσουν προβλήματα στο έργο, ωστόσο συμπεριλαμβάνονται στον κατάλογο κινδύνων και διατηρείται για την αντιμετώπισή τους ένα χρηματικό απόθεμα (Odumabo et al., 2018; PMI, 2013).

Η αντιστοιχία των χρωμάτων είναι αντίστοιχη και για τις ευκαιρίες. Το κόκκινο χρώμα χρησιμοποιείται για να συμβολίσει ευκαιρίες που είναι εύκολο να εκμεταλλευτεί ο ανάδοχος ή ο διαχειριστής του έργου, προσφέρουν τα μέγιστα οφέλη στο έργο και πρέπει να τους δοθεί προτεραιότητα. Το πράσινο χρώμα δείχνει ότι αυτές οι ευκαιρίες πρέπει να είναι υπό παρακολούθηση και το κίτρινο χρώμα ότι πρόκειται για ευκαιρίες με ήπια επίδραση στο έργο (PMI, 2013).

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα αυτής της τεχνικής ποιοτικής ανάλυσης των κινδύνων είναι η απλότητά της, αφού επιτρέπει την πρακτική αξιολόγηση του κινδύνου χωρίς να απαιτεί ακριβή εκτίμηση της πιθανότητας ή της επίδρασης του κάθε κινδύνου (Odumabo et al., 2018).

Αξίζει να σημειωθεί ότι εξαιτίας της χρήσης των τριών χρωμάτων (κόκκινο, κίτρινο, πράσινο – red, amber/yellow, green) ο πίνακας πιθανότητας επίδρασης αναφέρεται στη βιβλιογραφία και ως αναφορά RAG -Red Amber Green report- (Odumabo et al., 2018).

3.5.3 Μέθοδος της βαθμολόγησης των κινδύνων από ειδικούς

Στη βιβλιογραφία εμφανίζεται μια μέθοδος ποιοτικής ανάλυσης των κινδύνων, η οποία δεν ονομάζεται αλλά περιγράφεται εν συντομία και θεωρείται σκόπιμο να παρουσιαστεί στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας. Το όνομα που έχει επιλεγεί για αυτή τη μέθοδο είναι “Μέθοδος της βαθμολόγησης των κινδύνων από ειδικούς”.

Αυτή η μέθοδος ιεραρχεί τους κινδύνους σύμφωνα με την βαθμολογία που αποδίδεται σε κάθε έναν από αυτούς από μια ομάδα ανθρώπων που θεωρούνται ειδικοί στο συγκεκριμένο είδος έργων. Κάθε ένας από αυτούς τους ειδικούς έχει στη διάθεσή του 100 βαθμούς, τους οποίους μπορεί να αποδώσει στους κινδύνους που έχουν αναγνωρισθεί σύμφωνα με το πόσο σημαντικοί είναι αυτοί για το έργο κατά την κρίση του (Keshk et al., 2018).

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η μέθοδος θεωρείται ένα έργο για το οποίο έχουν αναγνωρισθεί δέκα κίνδυνοι και για την ιεράρχησή τους έχει ζητηθεί η γνώμη πέντε ειδικών στο συγκεκριμένο είδος έργων (Keshk et al., 2018). Η βαθμολόγηση των ειδικών παρουσιάζεται στον πίνακα 4 ενώ στον πίνακα 5 παρουσιάζεται η ιεράρχηση των κινδύνων με βάση το πόσο σημαντικοί είναι αυτοί για το έργο, όπως αυτή προέκυψε από την διαδικασία της βαθμολόγησης.

Πίνακας 4: Πίνακας βαθμολόγησης ειδικών

Ειδικός	Κίνδυνοι										Συνολικοί βαθμοί ειδικού
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A	10	5	0	10	0	0	0	25	30	20	100
B	5	10	30	0	0	15	10	0	30	0	100
Γ	10	25	15	20	0	0	5	0	5	20	100
Δ	5	20	17	15	33	10	0	0	0	0	100
E	5	18	20	7	20	30	0	0	0	0	100
Συνολική βαθμολογία κινδύνου	35	78	82	52	53	55	15	25	65	40	500

(Πηγή: Keshk et al., 2018; ίδια επεξεργασία)

Πίνακας 5: Ιεράρχηση των κινδύνων μετά την βαθμολόγηση

Σειρά	Κίνδυνος	Βαθμολογία
1ος	Κίνδυνος 3	82
2ος	Κίνδυνος 2	78
3ος	Κίνδυνος 9	65
4ος	Κίνδυνος 6	55
5ος	Κίνδυνος 5	53
6ος	Κίνδυνος 4	52
7ος	Κίνδυνος 10	40
8ος	Κίνδυνος 1	35
9ος	Κίνδυνος 8	25
10ος	Κίνδυνος 7	15

(Πηγή: Keshk et al., 2018; ίδια επεξεργασία)

3.5.4 Μέθοδος Bow Tie

Η μέθοδος Bow Tie χρησιμοποιείται για την ποιοτική ανάλυση των κινδύνων σε ένα τεχνικό έργο και στόχος της είναι να απεικονίσει τις σχέσεις μεταξύ ενός ανεπιθύμητου γεγονότος, των αιτιών του, των συνεπειών του καθώς και των μέτρων για τον περιορισμό των συνεπειών αυτών. Πρόκειται για μια εξαιρετικά χρήσιμη μέθοδο με ευρεία εφαρμογή σε πολλούς τομείς εκτός αυτού των κατασκευών και των τεχνικών έργων, η οποία απαιτεί μια διεπιστημονική ομάδα διαχείρισης έργου, κάτι που ίσως αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για τη χρήση της (Rheinboldt, 2010).

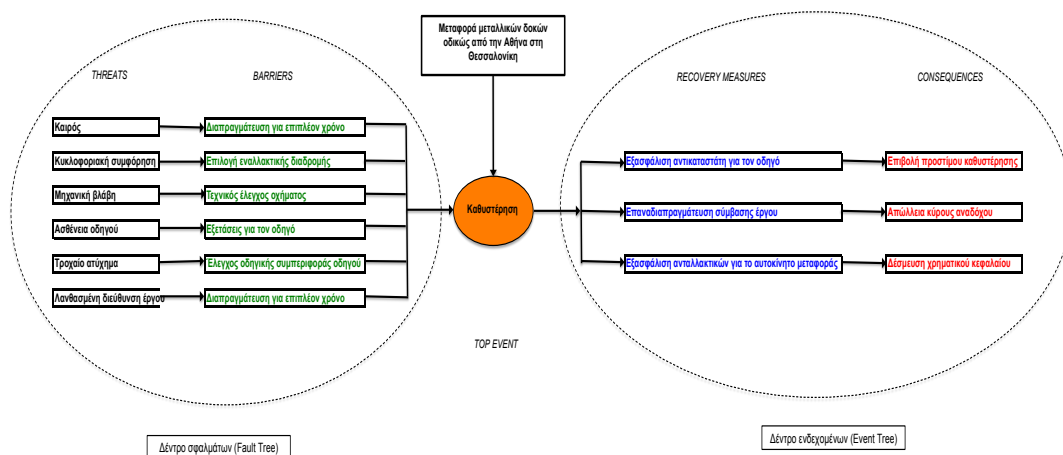
Η συγκεκριμένη μέθοδος αποτελεί ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο μέσα στο οποίο συνδέονται τα δέντρα σφαλμάτων (fault trees) με τα δέντρα ενδεχομένων (event trees), αφού εστιάζει τόσο στις αιτίες ενός γεγονότος όσο και στις συνέπειες που αυτό συνεπάγεται. Κατά συνέπεια ένα διάγραμμα Bow Tie περιλαμβάνει δύο μέρη, το αριστερό μέρος που είναι ένα δέντρο σφαλμάτων και περιγράφει τις αιτίες ενός γεγονότος και το δεξιό μέρος που είναι ένα δέντρο ενδεχομένων και περιγράφει την διαδικασία μέσω της οποίας από ένα γεγονός προκύπτουν συνέπειες για το έργο που μελετάται. Το σημαντικότερο πλεονέκτημά της μεθόδου αυτής είναι ότι ενσωματώνει μεγάλο όγκο πληροφοριών, οι οποίες παρουσιάζονται με ιδιαίτερα απλό τρόπο (Li et al., 2016; Mokhtari et al., 2011).

Η διαδικασία εφαρμογής της μεθόδου Bow Tie ή για την ακρίβεια η διαδικασία διαμόρφωσης του διαγράμματος Bow Tie μπορεί να συνοψιστεί στα ακόλουθα βήματα (Rheinboldt, 2010):

- i. αναγνώριση του κινδύνου και του γεγονότος (Top Event) που αποτελεί την αρχική του συνέπεια
- ii. αναγνώριση των απειλών (Threats) που αποτελούν τις πιθανές αιτίες που οδηγούν στην αρχική συνέπεια
- iii. αναγνώριση των φραγμών (Barriers) που υπάρχουν για κάθε απειλή
- iv. αναγνώριση των παραγόντων (Escalation Factors) που οδηγούν σε αποτυχία τους φραγμούς που αναγνωρίστηκαν προηγουμένως
- v. αναγνώριση των τρόπων ελέγχου των παραγόντων που οδηγούν σε αποτυχία (Escalation Factors Control)
- vi. προσδιορισμός των επιπτώσεων (Consequences) της αρχικής συνέπειας
- vii. προσδιορισμός μέτρων αντιμετώπισης (Recovery Measures)
- viii. προσδιορισμός των παραγόντων που οδηγούν σε αποτυχία τα μέτρα αντιμετώπισης καθώς και τρόπων ελέγχου για αυτούς
- ix. καθορισμός των κρίσιμων εργασιών ασφαλείας (critical safety tasks) -δηλαδή των εργασιών που είτε προλαμβάνουν είτε ελαχιστοποιούν την πιθανότητα αστοχίας όπως είναι για παράδειγμα η συντήρηση μηχανημάτων- για κάθε φραγμό, μέτρο αντιμετώπισης και τρόπο ελέγχου κάποιου παράγοντα αποτυχίας.

Στο διάγραμμα 13 παρουσιάζεται η εφαρμογή της μεθόδου Bow Tie σε ένα υποθετικό παράδειγμα που αφορά στην καθυστέρηση της άφιξης στο εργοτάξιο ενός φορτίου μεταλλικών δοκών, το οποίο μεταφέρεται από την Αθήνα στη Θεσσαλονίκη. Πρόκειται για έναν συνήθη κίνδυνο που εμφανίζεται σε τεχνικά έργα υποδομής και γενικά στην

κατασκευαστική βιομηχανία, αφού οι καθυστερήσεις στην προμήθεια υλικών είναι συνήθεις ιδιαίτερα όταν πρόκειται να διανυθούν μεγάλες αποστάσεις.



Διάγραμμα 13: Εφαρμογή μεθόδου Bow Tie σε τεχνικό έργο
(Πηγή: Munier, 2014; ίδια επεξεργασία)

3.5.5 Μέθοδος FMEA

Η μέθοδος FMEA (Failure Mode and Effect Analysis-Τρόποι Αστοχίας και Ανάλυση Αποτελεσμάτων) ή απλά ανάλυση αστοχίας είναι μια τεχνική, η οποία εφαρμόζεται κατά την ποιοτική ανάλυση των κινδύνων και υποστηρίζει τη διαδικασία λήψης των αποφάσεων καθ’ όλη τη διάρκεια της υλοποίησης ενός τεχνικού έργου υποδομής. Η μέθοδος αυτή είναι χρήσιμη στους διαχειριστές έργων αφού ξεκινά με την συνολική θεώρηση των γεγονότων που ενδέχεται να οδηγήσουν στην εκδήλωση ενός κινδύνου (failure modes) και συνεχίζεται με την πρόβλεψη των πιθανών αποτελεσμάτων-συνεπειών (Odimabo et al., 2018).

Η μέθοδος FMEA χαρακτηρίζεται από μια φιλοσοφία που επικεντρώνεται στην πρόληψη ανεπιθύμητων καταστάσεων παρά στην αντιμετώπισή τους αφού συμβούν. Η εφαρμογή μεθόδων όπως αυτή στη διαδικασία διαχείρισης κινδύνων ενός τεχνικού έργου μπορεί να συμβάλλει καθοριστικά στην επίτευξη των στόχων του έργου εξοικονομώντας χρόνο και χρηματικούς πόρους (Toljaga-Nikolic et al., 2018).

Για την εφαρμογή της μεθόδου είναι αναγκαία η εκτίμηση τριών στοιχείων, τα οποία είναι τα εξής (Bahrami et al., 2012):

- **Πιθανότητα ύπαρξης της αποτυχίας (O)**

Η πιθανότητα ύπαρξης της αποτυχίας εκφράζεται αριθμητικά με μια κλίμακα από το ένα έως το δέκα και δείχνει το πόσο συχνά κρίνεται ότι εμφανίζεται η

αποτυχία που αξιολογείται σε αντίστοιχα έργα. Η μείωση της πιθανότητας ύπαρξης της αστοχίας μπορεί να επιτευχθεί μόνο με εφαρμογή τακτικού ελέγχου και πραγματοποίησης κατάλληλων αλλαγών στη διαδικασία υλοποίησης του έργου. Στον πίνακα 6 παρουσιάζεται η αριθμητική έκφραση της πιθανότητας ύπαρξης της αστοχίας.

Πίνακας 6: Βαθμολόγηση της πιθανότητας ύπαρξης της αποτυχίας

Βαθμός	Συχνότητα εμφάνισης	Πιθανότητα ύπαρξης
10	>1/2	Υπερβολικά υψηλή
9	1/3	Πολύ υψηλή
8	1/8	Επαναλαμβανόμενες αποτυχίες
7	1/20	Υψηλή
6	1/80	Αρκετά υψηλή
5	1/400	Μέτρια
4	1/2000	Σχετικά χαμηλή
3	1/15000	Χαμηλή
2	1/150000	Αμελητέα
1	<1/1500000	Σχεδόν απίθανη

(Πηγή: Toljaga-Nikolic et al., 2018; ίδια επεξεργασία)

- **Σοβαρότητα της αποτυχίας (S)**

Η σοβαρότητα της αποτυχίας εκφράζεται μόνο μέσα από την επίπτωση που έχει αυτή στο έργο. Η μείωση της επίπτωσης στο έργο είναι εφικτή μόνο μέσα από αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο εκτελούνται οι δραστηριότητές του. Η σοβαρότητα της αποτυχίας εκφράζεται αριθμητικά με μια κλίμακα με τιμές από ένα έως δέκα, η οποία παρουσιάζεται στον πίνακα 7.

Πίνακας 7: Βαθμολόγηση της σοβαρότητας ανάλογα με την επίπτωση στο έργο

Βαθμός	Επίπτωση
10	Καθοριστικής σημασίας
9	Σημαντική
8	Πολυ έντονη
7	Μεγάλη
6	Αξιόλογη
5	Μέτρια
4	Χαμηλή
3	Μικρή
2	Πολύ μικρή
1	Καμία επίπτωση

(Πηγή: Toljaga-Nikolic et al., 2018; ίδια επεξεργασία)

- **Ικανότητα πρόβλεψης της αποτυχίας (D)**

Η ικανότητα πρόβλεψης της αποτυχίας εκφράζεται μέσω της πιθανότητας που υπάρχει να γίνει πρώιμα αντιληπτή η αποτυχία. Ο ανάδοχος ή η ομάδα διαχείρισης του έργου οφείλει να αξιολογήσει αυτό το στοιχείο όσο πιο γρήγορα μπορεί αλλά και να αναθεωρεί, εφόσον το κρίνει σκόπιμο, την αξιολόγησή της κατά την διάρκεια υλοποίησης του έργου. Το στοιχείο αυτό εκφράζεται αριθμητικά με μια κλίμακα από το ένα έως το δέκα, όπως φαίνεται στον πίνακα 8.

Πίνακας 8: Βαθμολόγηση της ικανότητας πρόβλεψης της αποτυχίας

Βαθμός	Ικανότητα πρόβλεψης
10	Απόλυτα αβέβαιη
9	Πολύ αβέβαιη
8	Αβέβαιη
7	Πολύ χαμηλή
6	Χαμηλή
5	Μέτρια
4	Αρκετά υψηλή
3	Υψηλή
2	Πολύ υψηλή
1	Βέβαιη

(Πηγή: Toljaga-Nikolic et al., 2018; ίδια επεξεργασία)

Εφόσον εκτιμηθούν τα στοιχεία που προαναφέρθηκαν, υπολογίζεται ο Αριθμός Προτεραιότητας Κινδύνου (Risk Priority Number-RPN) για κάθε κίνδυνο πολλαπλασιάζοντας τα τρία στοιχεία μεταξύ τους, δηλαδή είναι (Bahrami et al., 2012):

$$RPN = O * D * S$$

Η τιμή του Αριθμού Προτεραιότητας Κινδύνου (RPN) κυμαίνεται μεταξύ του 1 και του 1000. Αυτός ο αριθμός αποτελεί τη βάση ιεράρχησης των κινδύνων και οι κίνδυνοι με μεγάλο RPN είναι αυτοί στους οποίους πρέπει να εστιάσει την προσοχή του ο ανάδοχος ή η ομάδα διαχείρισης του έργου. Ο RPN είναι στην πραγματικότητα ένα μέτρο διαχωρισμού των κινδύνων σε αποδεκτούς και μη αποδεκτούς, με αυτούς που έχουν μεγάλο RPN να θεωρούνται μη αποδεκτοί. Ένα σημαντικό μειονέκτημα, ωστόσο, αυτής της μεθόδου είναι ότι επιδιώκει να ιεραρχήσει τους κινδύνους με μοναδικό κριτήριο την τιμή του RPN χωρίς να λαμβάνει υπ' όψιν ξεχωριστά τον κάθε παράγοντα που συντελεί στη διαμόρφωση της τιμής του αριθμού αυτού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η μέθοδος να εστιάζει σε κινδύνους με υψηλή τιμή του RPN, ενώ είναι πιθανό κάποιος κίνδυνος να έχει χαμηλό RPN και συγχρόνως δύο από τα τρία στοιχεία που

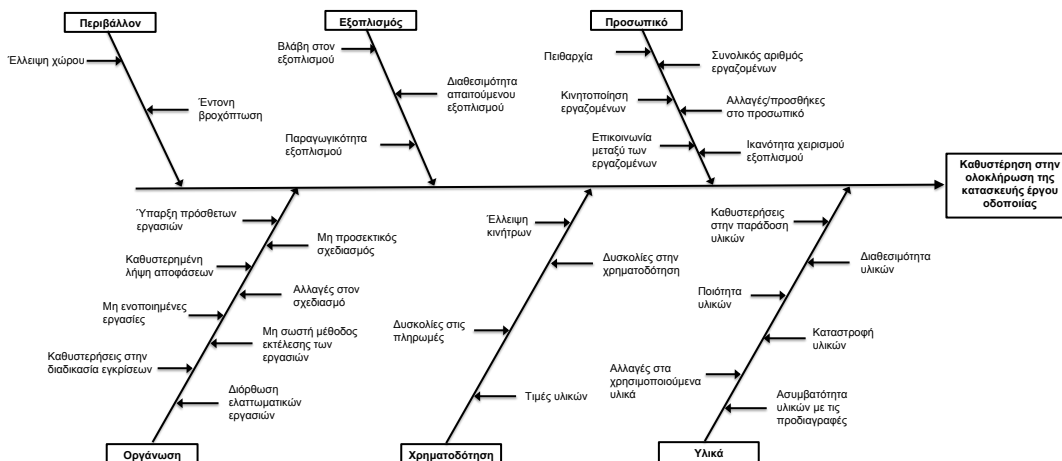
περιγράφηκαν παραπάνω να έχουν υψηλή βαθμολογία. Αυτήν η ιδιαιτερότητα της μεθόδου απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή τόσο κατά τη διαδικασία ιεράρχησης των κινδύνων όσο και κατά την κατανομή των πόρων για την αντιμετώπισή τους (Bahrami et al. 2012).

3.5.6 Διάγραμμα αιτίας-αποτελέσματος

Το διάγραμμα αιτίας-αποτελέσματος γνωστό και ως διάγραμμα Ishikawa ή διάγραμμα Fishbone (δηλαδή ψαροκόκκαλο γιατί η μορφή του προσομοιάζει τον σκελετό ενός ψαριού) είναι μία τεχνική για την ποιοτική ανάλυση των κινδύνων, η οποία χρησιμοποιείται προκειμένου να δείξει την σύνδεση μεταξύ μιας συνέπειας και των αιτιών που τη δημιουργούν. Όταν το συγκεκριμένο διάγραμμα χρησιμοποιείται για την ποιοτική ανάλυση ενός κινδύνου σε ένα τεχνικό έργο υποδομής, η διαδικασία διαμόρφωσής του ξεκινά με την αναγνώριση των αιτιών που μπορούν να προκαλέσουν έναν κίνδυνο και συνεχίζεται με την εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων αυτών στο έργο (Odumabo et al., 2018; Septiawan and Bektı, 2016).

Η δομή του διαγράμματος αιτίας-αποτελέσματος βοηθά την ομάδα διαχείρισης ενός έργου να αποκτήσει έναν συστηματικό τρόπο σκέψης γεγονός που οφείλει σημαντικά και συνολικά την διαδικασία διαχείρισης κινδύνων. Τα σημαντικότερα οφέλη που προκύπτουν από την χρήση των εν λόγω διαγραμμάτων σχετίζονται τόσο με την χρησιμότητά τους για τον καθορισμό των αιτιών ενός κινδύνου με δομημένο τρόπο όσο και με την διευκόλυνση που παρέχουν στην ομάδα διαχείρισης για τον προσδιορισμό των πτυχών του έργου που απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση (Septiawan and Bektı, 2016).

Στο διάγραμμα 14 παρουσιάζεται η εφαρμογή του διαγράμματος αιτίας-αποτελέσματος σε ένα έργο οδοποιίας, στο οποίο φαίνονται όλα τα πιθανά αίτια που μπορούν να οδηγήσουν στη συνέπεια που είναι η καθυστέρηση στην ολοκλήρωση της κατασκευής του έργου.



Διάγραμμα 14: Εφαρμογή διαγράμματος αιτίας-αποτελέσματος σε έργο οδοποιίας (Πηγή: Purwanggono and Margarete, 2017; ίδια επεξεργασία)

3.5.7 Μέθοδος QRAM

Η μέθοδος QRAM (Qualitative Risk Assessment Model) είναι μια μέθοδος για την ποιοτική ανάλυση των κινδύνων που σχετίζονται κυρίως με θέματα υγείας και ασφάλειας σε τεχνικά έργα και προτάθηκε από τους Pinto et al. (2010). Θεωρείται ως μια μέθοδος που είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο και απαιτεί βελτιώσεις. Ο κύριος στόχος της συγκεκριμένης μεθόδου είναι να παρουσιάσει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο αξιολόγησης των παραμέτρων των κινδύνων και παράλληλα ένα μέτρο για την ιεράρχηση των τελευταίων.

Η μέθοδος QRAM χρησιμοποιεί απλά δεδομένα που μπορούν να αποκτηθούν εύκολα από την ομάδα διαχείρισης ή ακόμα και να εκτιμηθούν από αυτή. Βασίζεται δε στη θεωρία των ασαφών συνόλων (fuzzy sets) που αποτελούν έναν τρόπο μοντελοποίησης της εγγενούς αοριστίας και ανακρίβειας που χαρακτηρίζουν τις προσωπικές εκτιμήσεις και συγχρόνως επιτρέπουν την ενσωμάτωση της ανθρώπινης δημιουργικότητας και διαίσθησης στη διαδικασία της ανάλυσης κινδύνων, συστατικών αναγκαίων για την επιτυχία της (Pinto et al., 2010).

Η βάση αξιολόγησης που χρησιμοποιεί η μέθοδος είναι η ακόλουθη εξίσωση:

$$RAC = O_I * \frac{F_D + F_A}{S_B}$$

όπου RAC το επίπεδο αξιολόγησης του κινδύνου, O_I οι αδυναμίες του αναδόχου που δεν σχετίζονται μόνο με έναν συγκεκριμένο κίνδυνο, F_D οι άμεσες παράμετροι που σχετίζονται με τον υπό ανάλυση κίνδυνο (για παράδειγμα όταν ο κίνδυνος που

εξετάζεται είναι η πτώση ενός εργαζομένου από κάποιο ύψος, τότε η άμεση παράμετρος μπορεί να είναι το ύψος της πτώσης), F_A οι πρόσθετες παράμετροι που επίσης σχετίζονται με τον υπό ανάλυση κίνδυνο (στο παράδειγμα της πτώσης ενός εργαζομένου από ύψος η πρόσθετη παράμετρος μπορεί να είναι η κλίση του επιπέδου εργασίας) και S_B είναι τα μέτρα ασφαλείας που εφαρμόζονται για την αποτροπή εκδήλωσης του κινδύνου που αναλύεται (Pinto et al., 2010).

Η παράμετρος O_I που εκφράζει τις αδυναμίες του αναδόχου είναι μια συνάρτηση της κουλτούρας του αναδόχου (S_C) σχετικά με ζητήματα ασφαλείας, της οργάνωσης της ασφάλειας στο εργοτάξιο (S_O), της οργάνωσης της εργασίας (W_O), της επίβλεψης (S), της ηγεσίας (L), , προσωπικών παραγόντων (P), και της επικοινωνίας (C). Η μαθηματική έκφραση για την παράμετρο O_I είναι:

$$O_I = \frac{S_C + S_O + W_O + S + L + P + C}{N}$$

όπου N ο αριθμός των υπο-παραμέτρων που συνθέτουν την O_I (Pinto et al., 2010).

Τόσο οι άμεσες όσο και οι πρόσθετες παράμετροι περιλαμβάνουν μια σειρά υπο-παραμέτρων που εξαρτώνται από την περίπτωση του έργου αλλά και του συγκεκριμένου κινδύνου που αναλύεται. Η μαθηματική έκφραση για τις παραμέτρους αυτές είναι:

$$F_D \text{ ή } F_A = \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_N}{N}$$

όπου $f_i, i = 1 \dots N$ οι υπο-παραμέτροι και N ο αριθμός των υπο-παραμέτρων που συνθέτουν την F_D ή την F_A (Pinto et al., 2010).

Η μαθηματική έκφραση για την παράμετρο S_B , η οποία, όπως προαναφέρθηκε, αποτυπώνει τα μέτρα ασφαλείας που εφαρμόζονται για την αποτροπή εκδήλωσης του κινδύνου είναι:

$$S_B = \frac{M + A + S + I}{N}$$

όπου M οι ουσιαστικοί φραγμοί που αποτρέπουν με φυσικό τρόπο την εκδήλωση του κινδύνου ή την διασπορά των συνεπειών του, A οι λειτουργικοί φραγμοί οι οποίοι καθυστερούν την ολοκλήρωση του κινδύνου, S οι συμβολικοί φραγμοί οι οποίοι απαιτούν ερμηνεία προκειμένου να γίνουν αντιληπτοί από την ομάδα διαχείρισης και

να επιτύχουν τον στόχο τους, I οι μη υλικοί φραγμοί που δεν έχουν φυσική παρουσία στο έργο και η επιτυχής εφαρμογή τους εξαρτάται από την τεχνογνωσία της ομάδας διαχείρισης του έργου και N ο αριθμός των υπο-παραμέτρων που συνθέτουν την S_B (Pinto et al., 2010).

Για την αξιολόγηση των παραμέτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω χρησιμοποιείται ένα ασαφές σύνολο με την συνάρτηση συμμετοχής (membership function) που παρουσιάζεται στη συνέχεια (Pinto et al., 2010):

$$\text{Αξιολογηση παραμετρων} = \left\{ \begin{array}{lll} \text{Αριστα} / 1 & \text{Πολυ καλα} / 0.8 & \text{Καλα} / 0.6 \\ \text{Ικανοποιητικα} / 0.4 & \text{Μετρια} / 0.2 & \text{Ανεπαρκως} / 0.1 \end{array} \right\}$$

Κεφάλαιο 4^ο

Ποσοτική ανάλυση των κινδύνων σε τεχνικά έργα υποδομής

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η έτερη προσέγγιση που υφίσταται στη διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με το στάδιο της ανάλυσης και αξιολόγησης της διαδικασίας διαχείρισης κινδύνων σε τεχνικά έργα υποδομής, αυτή της ποσοτικής ανάλυσης. Στις ενότητες που ακολουθούν, πρόκειται να παρουσιαστεί τόσο το περιεχόμενο όσο και οι στόχοι της ποσοτικής ανάλυσης των κινδύνων ενώ και εδώ ιδιαίτερη αναφορά πραγματοποιείται στις μεθόδους-τεχνικές που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια αυτής.

4.1 Ορισμός

Η ποσοτική ανάλυση των κινδύνων συνήθως ακολουθεί την ποιοτική ανάλυση, αφού είναι σχεδόν αδύνατο να διεξαχθεί χωρίς αυτή να έχει προηγηθεί, και επιδιώκει την αριθμητική ανάλυση της πιθανότητας ύπαρξης του κάθε κινδύνου και την ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων που αυτός έχει τόσο στους αντικειμενικούς στόχους του έργου όσο και στο ίδιο το έργο ως οντότητα (Devi, 2018; Ogunbayo, 2014). Πιο συγκεκριμένα, συμβάλλει καθοριστικά στον ακριβή προσδιορισμό της πιθανότητας να τηρηθούν οι προθεσμίες που έχουν τεθεί για το έργο και να υπάρξει ή όχι υπέρβαση του προϋπολογισμού και συγχρόνως διαμορφώνει σε μεγάλο βαθμό την στάση που θα τηρηθεί απέναντι σε κάθε κίνδυνο κατά τη διάρκεια της υλοποίησης του έργου (Szymanski, 2017).

Πρέπει να σημειωθεί ότι η ποσοτική ανάλυση θεωρείται ως το πιο δύσκολο στάδιο της διαδικασίας διαχείρισης κινδύνων σε κάθε έργο καθώς βασίζεται σε προηγμένες μεθόδους μαθηματικών και στατιστικής (Purnus and Bodea, 2013). Αυτός είναι και ο λόγος που η ποσοτική ανάλυση είναι χρονοβόρα και έχει μεγάλο χρηματικό κόστος, οπότε και χρησιμοποιείται στην πλειονότητα των τεχνικών έργων υποδομής μόνο για την αξιολόγηση κινδύνων που καταλαμβάνουν τις πρώτες θέσεις στην ιεράρχηση που έχει προκύψει από την ποιοτική ανάλυση (Ogunbayo, 2014; Srinivas, 2019).

4.2 Στόχοι

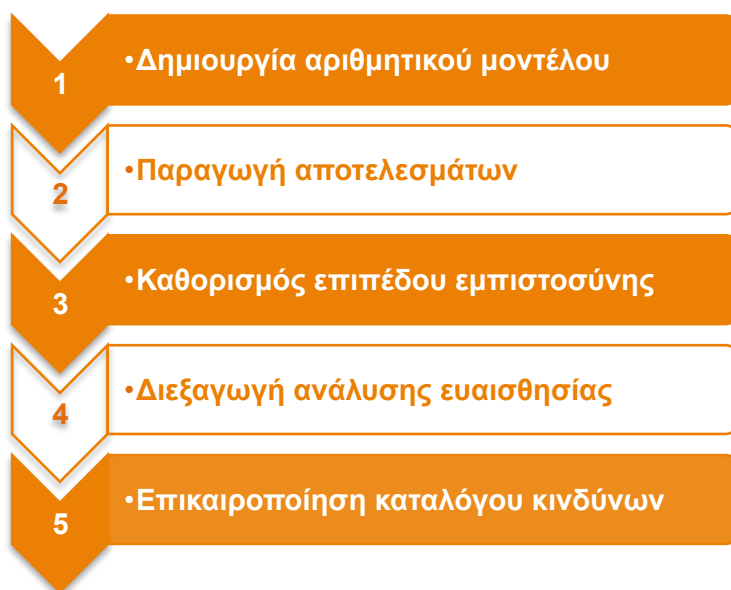
Ο κύριος στόχος της ποσοτικής ανάλυσης είναι ο προσδιορισμός του ποσού που πρέπει να συμπεριληφθεί στον προϋπολογισμό του έργου για την κάλυψη εκτάκτων αναγκών έτσι ώστε όταν εμφανιστούν οι κίνδυνοι που έχουν αναγνωριστεί να υπάρχουν οι αναγκαίοι χρηματικοί πόροι για την αποτελεσματική αντιμετώπισή τους (Srinivas, 2019). Ωστόσο, η προηγούμενη πρόταση ενδέχεται να θεωρηθεί ως μια γενίκευση ή ως εξαιρετικά απλουστευμένη, οπότε απαιτείται μια πιο αναλυτική παρουσίαση των στόχων της ποσοτικής ανάλυσης. Έτσι, οι στόχοι της ποσοτικής ανάλυσης των κινδύνων μπορούν να περιγραφούν αναλυτικά και ολοκληρωμένα ως εξής (Devi, 2018):

- υπολογισμός της πιθανότητας να επιτευχθεί ένας συγκεκριμένος στόχος του έργου,
- ποσοτικοποίηση των κινδύνων που σχετίζονται με το έργο και καθορισμός του μεγέθους τόσο του χρηματικού όσο και του χρονικού αποθέματος που πρέπει να διατηρηθεί για την αντιμετώπιση των κινδύνων,
- προσδιορισμός των κινδύνων που απαιτούν μεγαλύτερη προσοχή μέσω της ποσοτικοποίησης της επίδρασής τους στο έργο και
- καθορισμός ρεαλιστικών και επιτεύξιμων στόχων σχετικά με τον προϋπολογισμό, το χρονοδιάγραμμα και το αντικείμενο του έργου.

4.3 Κύρια βήματα

Τα κύρια βήματα της ποσοτικής ανάλυσης των κινδύνων είναι αυτά που παρουσιάζονται παρακάτω (Ogunbayo, 2014):

1. δημιουργία ενός αριθμητικού μοντέλου,
2. παραγωγή αποτελεσμάτων με συνδυασμό των στοιχείων που υπάρχουν για το έργο,
3. καθορισμός του επιθυμητού επιπέδου εμπιστοσύνης των αποτελεσμάτων της ποσοτικής ανάλυσης για το έργο που μελετάται,
4. διεξαγωγή ανάλυσης ευαισθησίας,
5. επικαιροποίηση του καταλόγου κινδύνων και της λίστας ιεράρχησης των κινδύνων του έργου ανάλογα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης που έχει προηγηθεί.



Διάγραμμα 15: Τα κύρια βήματα της ποσοτικής ανάλυσης κινδύνων
(Πηγή: ίδια επεξεργασία)

4.4 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Μολονότι η ποιοτική ανάλυση θεωρείται ως μια εύκολη προσέγγιση σε ό,τι αφορά την ανάλυση των κινδύνων σε ένα τεχνικό έργο υποδομής, εντούτοις η ποσοτική ανάλυση έχει αποδειχθεί ότι παρουσιάζει σαφή πλεονεκτήματα έναντι της πρώτης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η εμπειρία από μεγάλα τεχνικά έργα έχει δείξει ότι πολλά από αυτά παρουσίασαν σημαντικές αποκλίσεις τόσο ως προς τον προϋπολογισμό όσο και ως προς το χρονοδιάγραμμα όταν η ποσοτική ανάλυση απουσίαζε από την διαδικασία διαχείρισης των κινδύνων τους. Έτσι, τα οφέλη που παρέχει η ποιοτική ανάλυση στην ομάδα διαχείρισης του έργου, εφόσον υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες για αυτό, είναι τα ακόλουθα (Purnus and Bodea, 2013; Tan, 2003; Odimabo et al., 2018; Apostolakis, 2003):

- αποτελεί μια μορφή αντικειμενικής αξιολόγησης των κινδύνων αφού απουσιάζει το υποκειμενικό στοιχείο,
- μπορεί να τροποποιηθεί προκειμένου να προσαρμοστεί στις ιδιαίτερες ανάγκες του κάθε έργου,
- συμβάλλει καθοριστικά στον υπολογισμό της πιθανότητας να επιτευχθεί ένας από τους στόχους που έχουν τεθεί για το έργο, κάτι που αποτελεί άλλωστε και έναν από τους στόχους της,
- επιτρέπει τον καθορισμό βιώσιμων και ρεαλιστικών στόχων για το έργο,
- παρέχει τη δυνατότητα εξέτασης πολλών διαφορετικών σεναρίων, συντελώντας έτσι στην σε βάθος κατανόηση του κάθε κινδύνου,

- αυξάνει την πιθανότητα να εντοπιστούν σύνθετες αλληλεπιδράσεις μεταξύ γεγονότων,
- διευκολύνει την επικοινωνία μεταξύ της ομάδας διαχείρισης και των ενδιαφερομένων μερών του έργου, αφού είναι δύσκολο να αμφισβητηθούν τα αποτελέσματά της λόγω της αντικειμενικότητας που τη διακρίνει,
- είναι μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την ανάλυση των κινδύνων του τεχνικού έργου, η οποία μπορεί να συμβάλλει στην αναγνώριση της ανάγκης για ευρύτερη ανάλυση ενός κινδύνου από μία απόλυτα εξειδικευμένη σε αυτόν ομάδα και
- διευκολύνει συνολικά την διαδικασία διαχείρισης κινδύνων του έργου προσδιορίζοντας τους κινδύνους εκείνους που απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή έτσι ώστε να μην υπάρξει σπατάλη πόρων σε κινδύνους που δεν θεωρούνται ως ιδιαίτερα σημαντικοί για το έργο.

Παρά τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η εφαρμογή της ποσοτικής ανάλυσης κατά την διαδικασία διαχείρισης κινδύνων, υπάρχουν ορισμένα ζητήματα που δεν είναι σε θέση να διαχειριστεί πλήρως και με απόλυτη επιτυχία. Επομένως, εμφανίζει τα παρακάτω μειονεκτήματα (Ahmed et al., 2007; Apostolakis, 2003; Srinivas, 2019):

- απαιτεί τη συγκέντρωση ιστορικών δεδομένων από αντίστοιχα έργα έτσι ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί μαθηματική και στατιστική επεξεργασία, κάτι το οποίο είναι συνήθως δύσκολο καθώς είτε δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία είτε αυτά που υπάρχουν είναι περιορισμένα,
- απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις λογισμικών όπου πραγματοποιείται η μαθηματική και στατιστική επεξεργασία,
- το λογισμικό που χρησιμοποιείται ενδέχεται να μην είναι κατάλληλο και να οδηγήσει την ανάλυση σε αποτυχία,
- λόγω της απαίτησης για γνώση κατάλληλου λογισμικού είναι πολύ πιθανό να υπάρξει ανθρώπινο λάθος κατά την χρήση του και
- είναι περισσότερο κατάλληλη για έργα μεσαίου και μεγάλου μεγέθους αφού αυτά τα έργα είναι πιο σύνθετα από τα έργα μικρού μεγέθους.

4.5 Κριτήρια επιλογής μεθόδου

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου για την ποσοτική ανάλυση ενός κινδύνου που έχει αναγνωριστεί και αφορά σε ένα τεχνικό έργο υποδομής επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, ορισμένοι από τους οποίους έρχονται σε σύγκρουση μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό καθιστά την διαδικασία επιλογής μεθόδου ποσοτικής ανάλυσης του

κινδύνου ιδιαίτερα πολύπλοκη. Η ομάδα διαχείρισης του έργου οφείλει να λάβει υπ' όψιν δύο σημαντικά χαρακτηριστικά των τεχνικών έργων: πρώτον ότι η υλοποίηση τεχνικών έργων είναι αποτέλεσμα ομαδικής εργασίας, οπότε στην ανάλυση των κινδύνων πρέπει να συμμετέχουν εκπρόσωποι κάθε ομάδας που έχει ρόλο στο έργο και δεύτερον ότι στον πραγματικό κόσμο η υπερβολική πληροφόρηση μπορεί να μην είναι ιδιαίτερα χρήσιμη (Karimiazari et al., 2011).

Σε γενικές γραμμές κατά την επιλογή μεθόδου ποσοτικής ανάλυσης για κάποιον κίνδυνο πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν οι παράγοντες-κριτήρια που παρουσιάζονται στη συνέχεια (Karimiazari et al., 2011; Tworek, 2014a; Tworek, 2014b):

- το κόστος εφαρμογής της μεθόδου,
- η αντίληψη που έχει η ομάδα διαχείρισης ή ο ανάδοχος του έργου για τον κίνδυνο και οι συνθήκες υπό τις οποίες λαμβάνονται οι αποφάσεις,
- το είδος του κινδύνου και οι διαθέσιμες πληροφορίες για αυτόν,
- η ενσωμάτωση από την μέθοδο της εξειδικευμένης γνώσης των επαγγελματιών που εργάζονται για το έργο σχετικά με την τοποθεσία, τον σχεδιασμό του έργου, τις πολιτικές και οικονομικές συνθήκες,
- η ευελιξία της μεθόδου κυρίως ως προς την αλλαγή των συνθηκών στην αγορά, αφού αυτή μπορεί να οδηγήσει για παράδειγμα σε μεταβολή των τιμών των πρώτων υλών,
- η συμβολή της μεθόδου στον καθορισμό του ποσού που διατηρείται ως απόθεμα για την κάλυψη εκτάκτων αναγκών,
- η συμβολή της μεθόδου στην διευκόλυνση της αποτελεσματικής επικοινωνίας μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών του έργου και
- η ευκολία της μεθόδου ως προς την χρήση της και την κατανόησή της.

4.6 Μέθοδοι-τεχνικές

Οι μέθοδοι-τεχνικές ποσοτικής ανάλυσης των κινδύνων σε τεχνικά έργα υποδομής χρησιμοποιούνται για την αριθμητική έκφραση των κινδύνων. Από τη μια πλευρά η πιθανότητα να υπάρξει τελικά ο κάθε κίνδυνος ποσοτικοποιείται μέσα από τον προσδιορισμό της συχνότητας με την οποία εμφανίζονται αντίστοιχοι κίνδυνοι σε παρόμοια έργα μέσω της επεξεργασίας ιστορικών δεδομένων και από την άλλη πλευρά οι επιπτώσεις που επιφέρει ο κάθε κίνδυνος ποσοτικοποιούνται μέσω μιας προσπάθειας μετατροπής τους σε χρηματική αξία (De Marco and Thaheem, 2014).

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για την ποσοτική ανάλυση των κινδύνων σε τεχνικά έργα είναι η ανάλυση ευαισθησίας, η προσομοίωση και τα δέντρα αποφάσεων (Gurta and Thakkar, 2018). Ωστόσο, στη βιβλιογραφία εμφανίζονται αρκετές τεχνικές πέραν αυτών των τριών, οι οποίες παρουσιάζουν ερευνητικό ενδιαφέρον. Στη συνέχεια πρόκειται να παρουσιαστούν τόσο οι τεχνικές που κυρίως εφαρμόζονται όσο και άλλες που εντοπίστηκαν κατά τη διάρκεια της εκτενούς βιβλιογραφικής ανασκόπησης.

4.6.1 Ανάλυση ευαισθησίας

Η ανάλυση ευαισθησίας είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται προκειμένου να επιδείξει τον αντίκτυπο που μπορεί να έχει στο έργο μια αλλαγή σε κάποιο στοιχείο κινδύνου, ελέγχοντας την ευρωστία των επιλογών που έχουν πραγματοποιηθεί ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου έχουν τεθεί βαθμολογικές κλίμακες για τους κινδύνους. Η συγκεκριμένη τεχνική μπορεί να εντοπίσει το σημείο εκείνο στο οποίο ακόμα και η πιο μικρή αλλαγή σε μια παράμετρο είναι ικανή να επηρεάσει καθοριστικά την διαδικασία λήψης αποφάσεων για το έργο (Srinivas, 2019).

Η ανάλυση ευαισθησίας μπορεί να θεωρηθεί ως μια διαδικασία ανάλυσης υποθέσεων με σκοπό να καθοριστεί ο τρόπος με τον οποίο θα αντιμετωπιστεί η νέα κατάσταση που διαμορφώνεται για το έργο, καθώς οι συνθήκες υπό τις οποίες αυτό υλοποιείται αλλάζουν (Ahmed et al., 2007). Με άλλα λόγια είναι μια μέθοδος ποσοτικής ανάλυσης, η οποία χρησιμοποιείται προκειμένου να προσδιορίσει ποιος από τους κινδύνους που έχουν αναγνωριστεί έχει δυνητικά την μεγαλύτερη επίπτωση στο έργο ή εναλλακτικά για να δείξει πόσο «ευαίσθητο» είναι το έργο απέναντι στις πιθανές αλλαγές των παραμέτρων που το απαρτίζουν. Για τον σκοπό αυτόν κατά την διεξαγωγή της ανάλυσης ευαισθησίας τροποποιείται η εισερχόμενη τιμή μιας παραμέτρου και παρατηρείται ποιες είναι οι αλλαγές που προκύπτουν στα εξερχόμενα με τα οποία αυτή συνδέεται αλλά και στο τεχνικό έργο συνολικά (Thaheem et al., 2012).

Πρόκειται για μια μέθοδο ποσοτικής ανάλυσης που έχει πρακτική χρησιμότητα και εφαρμογή στα τεχνικά έργα υποδομής, αφού είναι ικανή να προσδιορίσει εκείνους τους παράγοντες κινδύνου για το έργο, οι οποίοι μπορούν να σχετίζονται για παράδειγμα με το κόστος ή τη διάρκεια υλοποίησής του και στη συνέχεια μέσω κατάλληλων υπολογισμών να οδηγήσει σε αποτελέσματα που δείχνουν τις αποκλίσεις που παρατηρούνται ανάμεσα στις υφιστάμενες τιμές και στις τιμές που είχαν αρχικά εκτιμηθεί (Tworek, 2014a).

Η εφαρμογή της ανάλυσης ευαισθησίας είναι μια διαδικασία που αποτελείται από τέσσερα στάδια (Tworek, 2014b):

1. η επιλογή μίας ή περισσότερων μεταβλητών που περιέχουν αβεβαιότητα και για τις οποίες θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση,
2. η διαμόρφωση ενός μοντέλου για την ανάλυση των αλλαγών στις τιμές των μεταβλητών που έχουν επιλεγεί,
3. ο καθορισμός ενός αποδεκτού επιπέδου διακύμανσης για την τιμή των μεταβλητών που έχουν επιλεγεί και
4. ο καθορισμός ενός αποδεκτού επιπέδου διακύμανσης για την τιμή της παραμέτρου του έργου που επηρεάζουν οι μεταβλητές που έχουν επιλεγεί.

Η μέθοδος της ανάλυσης ευαισθησίας θεωρείται κατάλληλη για τεχνικά έργα για τα οποία δεν υπάρχει εμπειρία από προηγούμενα αντίστοιχα έργα. Στα δυνατά σημεία της μεθόδου αυτής συγκαταλέγεται το γεγονός ότι τα αποτελέσματά της μπορούν να αξιοποιηθούν από άλλες μεθόδους ποσοτικής ανάλυσης των κινδύνων καθώς και το ότι παρουσιάζει σε ένα γράφημα όλη την πληροφορία που παρέχει μέσω των καμπυλών ευαισθησίας, κάτι που διευκολύνει την απευθείας σύγκριση μεταξύ κινδύνων που εξαρτώνται από διάφορες μεταβλητές. Ακόμη, οι καμπύλες ευαισθησίας παρέχουν χρήσιμη πληροφόρηση για τα οριακά σημεία, δηλαδή τα σημεία εκείνα στα οποία η απόφαση σχετικά με έναν κίνδυνο αλλάζει ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τον προσδιορισμό περιθωρίων ασφαλείας, δηλαδή αριθμητικών ορίων εντός των οποίων είναι δυνατό να κινείται η μεταβλητή που εξετάζεται χωρίς να υπάρξει συνέπεια στο έργο (Tworek, 2014a).

Ολοκληρώνοντας με την συγκεκριμένη μέθοδο κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι σε γενικές γραμμές πρόκειται για μια απλοποιητική μέθοδο, η οποία είναι συχνά ασυνεπής προς την πραγματικότητα αλλά και ότι θεωρείται ελλιπής εξαιτίας του γεγονότος ότι λαμβάνει υπ' όψιν μόνο τις αλλαγές στην τιμή των μεταβλητών που εξετάζει και όχι την πιθανότητα να συμβούν αυτές οι αλλαγές (Tworek, 2014a).

4.6.2 Προσομοίωση

Η προσομοίωση είναι μια μέθοδος για την ποσοτική ανάλυση των κινδύνων, η χρήση της οποίας αυξάνεται συνεχώς στον πραγματικό κόσμο. Τα δύο στοιχεία τα οποία συνθέτουν μια μέθοδο προσομοίωσης είναι πρώτον ένα μοντέλο για τον ποιοτικό και ποσοτικό καθορισμό των αποτελεσμάτων που αναμένονται από το έργο και μια επαναληπτική διαδικασία, η οποία δημιουργεί διαφορετικά σενάρια για το έργο που

εξετάζεται. Γενικά, οι μέθοδοι προσομοίωσης που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση κινδύνων σε τεχνικά έργα μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες, τις πιθανολογικές και τις ημι-πιθανολογικές μεθόδους (Purnus and Bodea, 2013).

Καθώς η προσομοίωση αποτελεί εν γένει μια διαδικασία που περιλαμβάνει πολλούς αριθμητικούς υπολογισμούς που συμβάλλουν στην ακριβή εκτίμηση των μεγεθών του κάθε κινδύνου, υπάρχουν στη διάθεση της ομάδας διαχείρισης ενός τεχνικού έργου κατάλληλα λογισμικά και εργαλεία που βασίζονται στην χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Τέτοια εργαλεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παράδειγμα για τον υπολογισμό της διακύμανσης που υπάρχει σε παραμέτρους ενός τεχνικού έργου υποδομής όπως το κόστος και ο χρόνος υλοποίησής του εξαιτίας της μεταβολής των οικονομικών, πολιτικών ή κοινωνικών συνθηκών (Tworek, 2014a).

Στη συνέχεια πρόκειται να παρουσιαστούν δύο προσεγγίσεις σχετικά με την προσομοίωση του κινδύνου σε τεχνικά έργα υποδομής, η μέθοδος Monte Carlo που είναι μια πιθανολογική μέθοδος και η προσέγγιση των τριών σεναρίων που είναι μια ημι-πιθανολογική μέθοδος.

Μέθοδος Monte Carlo

Η μέθοδος Monte Carlo ανήκει στις πιθανολογικές μεθόδους, αφού βασίζεται στην στατιστική και είναι μια τεχνική που διακρίνεται για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων της. Επίσης, συντελεί στην ανάλυση κινδύνων που σχετίζονται τόσο με το χρονοδιάγραμμα και τον προϋπολογισμό του έργου ως σύνολο όσο και με τον χρόνο και το κόστος εκτέλεσης μεμονωμένων εργασιών. Η εφαρμογή της μεθόδου ξεκινά με μια αθροιστική συνάρτηση κατανομής και μια γεννήτρια τυχαίων αριθμών, η οποία παράγει τεχνητές τιμές για προκαθορισμένες μεταβλητές –όπως είναι για παράδειγμα το κόστος ή η διάρκεια μιας εργασίας- ομοιόμορφα κατανεμημένες εντός ενός συγκεκριμένου εύρους. Στη συνέχεια η μέθοδος χρησιμοποιεί τα αποτελέσματα αυτά προκειμένου να εξάγει τιμές από μια κατανομή πιθανοτήτων, οι οποίες είναι σε θέση να περιγράψουν την συμπεριφορά των προκαθορισμένων μεταβλητών. Οι υπολογισμοί συνεχίζονται μέχρι να καταγραφούν αποτελέσματα για όλες τις παραμέτρους του έργου που αποτελούν πηγές κινδύνου. Αφού ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία υπολογίζεται ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων που έχουν καταγραφεί, ο οποίος αποτελεί και την πρόβλεψη για τον κίνδυνο που εξετάζεται (Purnus and Bodea, 2013; Srinivas, 2019; Tworek, 2014a).

Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου Monte Carlo συμπεριλαμβάνεται το γεγονός ότι είναι μια στοχαστική μέθοδος που εξετάζει πολλά διαφορετικά σενάρια, οπότε είναι κατάλληλη για την ανάλυση κινδύνων που επηρεάζονται από πολλές παραμέτρους. Παράλληλα, εξαιτίας της χρήσης κατανομών πιθανοτήτων αποφεύγονται οι αναλύσεις που βασίζονται σε μια μοναδική εκτίμηση, οπότε είναι μια τεχνική που προσφέρει μια αντιπροσωπευτική εκτίμηση του κινδύνου που αναλύεται. Επίσης, πρόκειται για μια σχετικά γρήγορη μέθοδο ποσοτικής ανάλυσης αφού η χρήση της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών επιταχύνει τους σύνθετους υπολογισμούς που αυτή απαιτεί (Merna and Al-Thani, 2008).

Ωστόσο, είναι μια τεχνική από την οποία δεν απουσιάζουν τα αδύναμα σημεία με πρωταρχικό το γεγονός ότι η έναρξη εφαρμογής της απαιτεί την υποκειμενική εκτίμηση παραμέτρων όπως η μορφή της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής. Η υποκειμενική αυτή επιλογή της στατιστικής κατανομής βασίζεται στην εμπειρία της ομάδας διαχείρισης του έργου από αντίστοιχα τεχνικά έργα που έχει αναλάβει στο παρελθόν, οπότε ενδέχεται να υπεισέλθουν στο νέο έργο σφάλματα που αυτή έχει διαπράξει στο παρελθόν. Επιπλέον, τα περισσότερα πακέτα λογισμικού που εκτελούν την προσομοίωση Monte Carlo δεν επιτρέπουν την εισαγωγή αλληλεξαρτήσεων μεταξύ των παραμέτρων που υπεισέρχονται στην ανάλυση κάτι που είναι σύνηθες φαινόμενο στα τεχνικά έργα υποδομής. Τέλος, η συγκεκριμένη μέθοδος είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και μη βολική στην εφαρμογή της όταν δεν υπάρχει διαθέσιμο το κατάλληλο λογισμικό ή όταν η ομάδα διαχείρισης του έργου δεν έχει τις κατάλληλες γνώσεις προκειμένου να την εφαρμόσει (Merna and Al-Thani, 2008).

Προσέγγιση τριών σεναρίων

Η προσέγγιση των τριών σεναρίων είναι μια ημι-πιθανολογική μέθοδος κατά την οποία πραγματοποιούνται τρεις αρχικές εκτιμήσεις για τις παραμέτρους του έργου που περιέχουν αβεβαιότητα, όπως είναι η διάρκεια υλοποίησής του και οι οποίες χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των καμπυλών κατανομής πιθανοτήτων. Οι τρεις αυτές εκτιμήσεις είναι η αισιόδοξη που αντιστοιχεί σε μηδενική πιθανότητα, η πιο πιθανή που αντιστοιχεί σε μέγιστη πιθανότητα και η απαισιόδοξη που αντιστοιχεί σε πιθανότητα ίση με ένα. Γνωρίζοντας τις τρεις αυτές τιμές, είναι δυνατό να προσδιορίσει κάποιος το εύρος μέσα στο οποίο κινείται η παράμετρος που εξετάζεται. Αυτό το οποίο δεν είναι γνωστό είναι η μορφή της καμπύλης κατανομής της πιθανότητας, η οποία μπορεί να είναι κανονική ή τριγωνική ή κατανομή βήτα. Βέβαια, η μορφή της κατανομής δεν είναι ιδιαίτερα σημαντική, αυτό όμως που είναι σημαντικό είναι το ότι

έχοντας μια καμπύλη πιθανοτήτων μπορεί να εκτιμηθεί εάν η πιθανότητα ενός συγκεκριμένου γεγονότος θα είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη ως αποτέλεσμα της ύπαρξης ενός κινδύνου ή της εφαρμογής μέτρων αντιμετώπισης ενός κινδύνου που έχει αναγνωριστεί (Purnus and Bodea, 2013).

4.6.3 Δέντρα αποφάσεων

Τα δέντρα αποφάσεων αποτελούν μια αρκετά απλή στην εφαρμογή της μέθοδο, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία κατά την ποσοτική ανάλυση των κινδύνων σε ένα τεχνικό έργο υποδομής, καθώς διακρίνεται για την μεγάλη της σαφήνεια. Τα δέντρα αποφάσεων συνήθως χρησιμοποιούνται όταν υπάρχει μια αλληλουχία γεγονότων και αποτελεσμάτων που σχετίζονται μεταξύ τους και μπορούν να επηρεάσουν κυρίως το χρονοδιάγραμμα και τον προϋπολογισμό του έργου που εξετάζεται. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου εξετάζεται ένα πλήθος εναλλακτικών επιλογών για μια απόφαση που πρέπει να ληφθεί και αφορά στο έργο, λαμβάνοντας υπ' όψιν την πιθανότητα της κάθε εναλλακτικής καθώς και τη συνέπεια που αυτή έχει για το έργο σε όρους χρόνου και χρήματος (Srinivas, 2019; Tworek, 2014a).

Προκειμένου τα δέντρα αποφάσεων να συμβάλλουν στη λήψη μιας απόφασης για το έργο κάνουν χρήση είτε της Αναμενόμενης Νομισματικής Αξίας (Expected Monetary Value – EMV), όταν το κριτήριο της απόφασης είναι το κόστος είτε της Αναμενόμενης Αξίας (Expected Value – EV), όταν το κριτήριο της απόφασης είναι διαφορετικό από το κόστος της κάθε επιλογής. Από τη μια πλευρά και σε ό,τι αφορά την EMV, πρόκειται για μια στατιστική προσέγγιση, η οποία υπολογίζει το «μέσο» αποτέλεσμα που αναμένεται όταν υπάρχουν διαφορετικά σενάρια, τα οποία ενδέχεται να συμβούν ή να μην συμβούν. Η EMV λαμβάνει θετικές τιμές όταν εξετάζεται ένας κίνδυνος που αποτελεί ευκαιρία για το έργο και αρνητικές τιμές όταν εξετάζεται κίνδυνος που αποτελεί απειλή για το έργο. Για τον υπολογισμό της EMV πολλαπλασιάζεται η τιμή του αποτελέσματος για κάθε πιθανή εναλλακτική με την πιθανότητα να συμβεί τελικά αυτή η εναλλακτική και αθροίζονται τα γινόμενα (PMI, 2013). Από την άλλη πλευρά, η EV αποτελεί μια αντίστοιχη προσέγγιση με την EMV με τη διαφορά ότι δεν εξετάζει το κόστος. Προκύπτει και αυτή με αντίστοιχο τρόπο με την EMV δηλαδή πολλαπλασιάζοντας την τιμή του αποτελέσματος της κάθε εναλλακτικής με την πιθανότητα της εναλλακτικής λύσης και αθροίζονται τα γινόμενα (Srinivas, 2019).

Κάθε δέντρο απόφασης αποτελείται από τέσσερα συστατικά στοιχεία, τα οποία είναι τα εξής (Tworek, 2014a):

- **Κόμβοι απόφασης**

Οι κόμβοι απόφασης είναι σημεία όπου η ομάδα διαχείρισης έργου καλείται να αποφασίσει μεταξύ εναλλακτικών επιλογών για μια μελλοντική της ενέργεια. Κάθε εναλλακτική έχει τον δικό της κλάδο, ο οποίος οδηγεί σε συγκεκριμένα γεγονότα.

- **Κόμβοι αποτελέσματος**

Οι κόμβοι αποτελέσματος είναι σημεία όπου αναγνωρίζονται τα αποτελέσματα της κάθε εναλλακτικής.

- **Πιθανά αποτελέσματα**

Πρόκειται για τα αποτελέσματα με τα οποία συνδέεται η κάθε εναλλακτική.

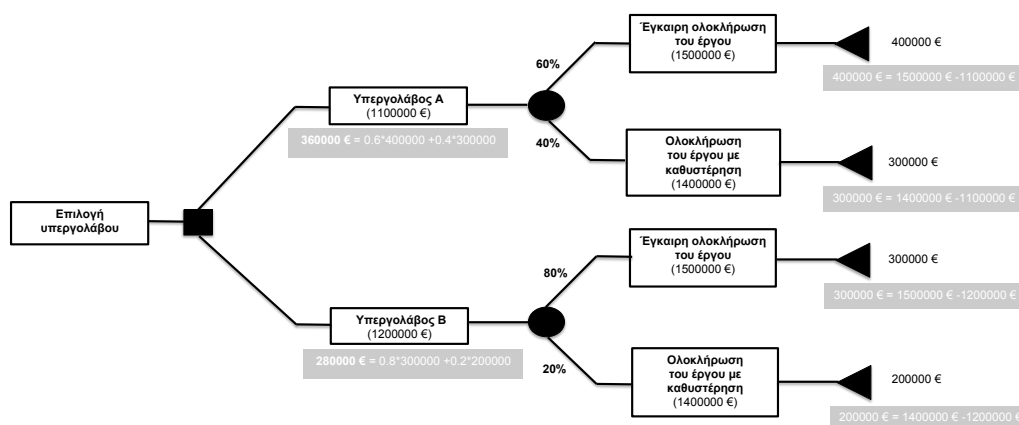
- **Πιθανότητα του κάθε αποτελέσματος**

Πρόκειται για την πιθανότητα να συμβεί ένα μελλοντικό γεγονός, το οποίο έχει συγκεκριμένο αποτέλεσμα για το έργο.

Όπως κάθε άλλη μέθοδος ανάλυσης κινδύνων έτσι και αυτή των δέντρων αποφάσεων έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Στα πλεονεκτήματα των δέντρων αποφάσεων περιλαμβάνεται το γεγονός ότι αυτά αναγκάζουν την ομάδα διαχείρισης του έργου να διαμορφώσει μια δομημένη μορφή για τον κίνδυνο που ενσωματώνεται στις αποφάσεις που αυτή πρόκειται να λάβει καθώς και το ότι αποτελούν μια μέθοδο που βοηθάει στον εντοπισμό εκείνων των λύσεων που έχουν την μέγιστη ωφέλεια για τον ανάδοχο του έργου. Στα μειονεκτήματα της μεθόδου συγκαταλέγεται το ότι σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δύσκολο αφ' ενός να παρουσιαστεί η απόφαση για το έργο υπό την μορφή δέντρου και αφ' ετέρου να εκτιμηθεί η πιθανότητα κάθε μελλοντικού γεγονότος. Παράλληλα, η απόφαση που επιλέγεται τελικά να ληφθεί ενδέχεται να μεταβληθεί εάν αλλάξει κάποιο από τα δεδομένα του δέντρου και αυτή η αλλαγή δεν μπορεί να αποτυπωθεί σε αυτό. Τέλος, συχνά οι αποφάσεις δεν βασίζονται σε απλές, γραμμικές προσγγίσεις όπως η EMV και η EV αλλά σε σύνθετες, μη γραμμικές συναρτήσεις χρησιμότητας, οι οποίες είναι δύσκολο να προσδιοριστούν και απαιτούν εξειδικευμένο λογισμικό (PMI, 2009).

Στο διάγραμμα 16 παρουσιάζεται ένα απλό δέντρο αποφάσεων το οποίο αναλύει τον κίνδυνο που υφίσταται κατά την επιλογή ενός υπεργολάβου για ένα τεχνικό έργο υποδομής. Μια τέτοια επιλογή είναι συνήθης στον χώρο των τεχνικών έργων υποδομής, αφού πολλοί ανάδοχοι επιλέγουν την εκχώρηση της κατασκευής ορισμένων έργων από αυτά που αναλαμβάνουν σε υπεργολάβους. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή θεωρείται ότι ένας ανάδοχος έχει αναλάβει να υλοποιήσει ένα έργο προϋπολογισμού 1500000 € και έχει αποφασίσει να το εκχωρήσει σε κάποιον υπεργολάβο. Ο ανάδοχος

έχει να επιλέξει ανάμεσα σε δύο υπεργολάβους τον Α και τον Β. Με τον υπεργολάβο Β έχει συνεργαστεί στο παρελθόν, οπότε αυτός θεωρείται πιο αξιόπιστος ως προς την έγκαιρη ολοκλήρωση του έργου. Ο υπεργολάβος Α έχει δώσει μια πιο συμφέρουσα προσφορά για το έργο, θεωρείται όμως αρκετά πιθανό να μην το ολοκληρώσει έγκαιρα. Σημειώνεται ότι σε περίπτωση καθυστερημένης ολοκλήρωσης του έργου υφίσταται ρήτρα για τον ανάδοχο, η οποία μειώνει το χρηματικό ποσό που αυτός θα εισπράξει τελικά στα 1400000 €. Στην περίπτωση αυτή το κριτήριο της απόφασης είναι το μέγιστο όφελος για τον ανάδοχο, οπότε επιλέγεται τελικά εκείνη η εναλλακτική που αποδίδει το μέγιστο κέρδος σύμφωνα με το κριτήριο της EMV, δηλαδή η εναλλακτική του υπεργολάβου Α.



Διάγραμμα 16: Εφαρμογή δέντρου αποφάσεων κατά την επιλογή υπεργολάβου (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

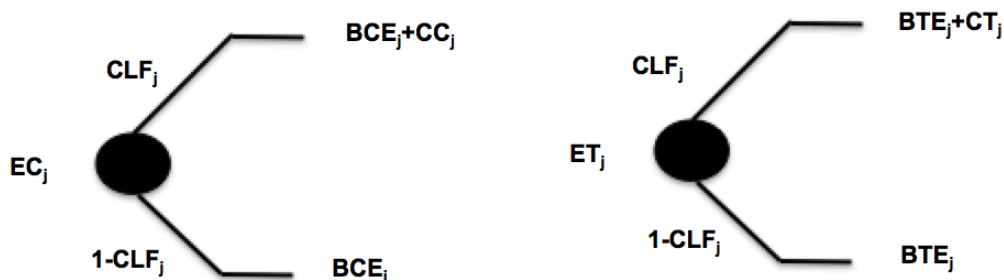
4.6.4 Γενικευμένη μέθοδος της αναμενόμενης αξίας

Η γενικευμένη μέθοδος της αναμενόμενης αξίας είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για την ποσοτική ανάλυση κινδύνων που σχετίζονται με το χρονοδιάγραμμα και τον προϋπολογισμό ενός τεχνικού έργου υποδομής. Η προσέγγισή αυτή που βασίζεται στην μέθοδο της αναμενόμενης αξίας (Expected Value Method), η οποία χρησιμοποιείται και σε συνδυασμό με τα δέντρα αποφάσεων που παρουσιάστηκαν παραπάνω, προτάθηκε από τους Sarkar and Dutta (2011).

Ο στόχος της μεθόδου αυτής είναι να προσδιορίσει μια αναμενόμενη τιμή για τη διάρκεια και το κόστος της κάθε δραστηριότητας του έργου που εξετάζεται. Για την παρουσίαση της μεθόδου θεωρείται ένα τεχνικό έργο, στην δικτυακή απεικόνιση του οποίου έχει προσδιοριστεί η κρίσιμη διαδρομή αποτελούμενη από n δραστηριότητες,

που ονομάζονται κρίσιμες και είναι αυτές που καθορίζουν την συνολική διάρκεια υλοποίησης του έργου. Επιπλέον, για το συγκεκριμένο έργο θεωρείται ότι έχουν αναγνωριστεί m πηγές κινδύνου. Οι μεταβλητές που πρέπει να οριστούν είναι οι εξής (Sarkar and Dutta, 2011):

- L_{ij} : η πιθανότητα (Likelihood) να υπάρξει ο κίνδυνος i για την κρίσιμη δραστηριότητα j . Η τιμή της πιθανότητας κυμαίνεται μεταξύ του μηδέν και του ένα.
- W_{ij} : ο συντελεστής βαρύτητας (Weightage) του κινδύνου i για την κρίσιμη δραστηριότητα j . Σημειώνεται ότι για κάθε δραστηριότητα ισχύει $\sum_{i=1}^m W_{ij} = 1, \forall j = 1 \dots n$.
- I_{ij} : η επίδραση (Impact) του κινδύνου i στην κρίσιμη δραστηριότητα j .
- CLF_j : ένας σύνθετος συντελεστής πιθανότητας (Composite Likelihood Factor) για την κρίσιμη δραστηριότητα j , ο οποίος προκύπτει ως $CLF_j = \sum_{i=1}^m L_{ij} * W_{ij}, \forall j = 1 \dots n$.
- CIF_j : ένας σύνθετος συντελεστής επίδρασης (Composite Impact Factor) για την κρίσιμη δραστηριότητα j , ο οποίος προκύπτει ως $CIF_j = \sum_{i=1}^m I_{ij} * W_{ij}, \forall j = 1 \dots n$.
- BTE_j : η αρχική εκτίμηση (Base Time Estimate) για τη διάρκεια της δραστηριότητας j .
- BCE_j : η αρχική εκτίμηση (Base Cost Estimate) για το κόστος της δραστηριότητας j .
- CC_j : το χρηματικό ποσό (Corrective Cost) που απαιτείται για τη «διόρθωση» της δραστηριότητας j εφόσον υπάρξει κάποιος απο τους κινδύνους.
- CT_j : το χρονικό διάστημα (Corrective Time) που απαιτείται για τη «διόρθωση» της δραστηριότητας j εφόσον υπάρξει κάποιος απο τους κινδύνους.
- RC_j : το αναμενόμενο χρηματικό κόστος (Risk Cost) που απαιτείται για την «διόρθωση» της δραστηριότητας j , το οποίο προκύπτει ως $RC_j = CC_j * CLF_j$.
- RT_j : το αναμενόμενο χρονικό διάστημα (Risk Time) που απαιτείται για την «διόρθωση» της δραστηριότητας j , το οποίο προκύπτει ως $RT_j = CT_j * CLF_j$.
- EC_j : το αναμενόμενο χρηματικό κόστος (Expected Cost) της δραστηριότητας j .
- ET_j : η αναμενόμενη διάρκεια (Expected Time) της δραστηριότητας j .



Διάγραμμα 17: Προσδιορισμός των τιμών των μεταβλητών EC_j και ET_j
(Πηγή: Sarkar and Dutta, 2011; ίδια επεξεργασία)

Οι δύο τελευταίες μεταβλητές είναι και αυτές στον υπολογισμό των οποίων αποσκοπεί ουσιαστικά η συγκεκριμένη μέθοδος. Οι μεταβλητές αυτές υπολογίζονται με βάση την έννοια της αναμενόμενης αξίας (Expected Value - EV), όπως αυτή διατυπώθηκε στην υποενοότητα που αφορά στα δέντρα αποφάσεων. Επομένως, ο υπολογισμός τους με βάση την EV και το διάγραμμα 17, πραγματοποιείται ως εξής (Nicholas and Steyn, 2012, Sarkar and Dutta, 2011):

$$EC_j = CLF_j * (BCE_j + CC_j) + (1 - CLF_j) * BCE_j = BCE_j + CC_j * CLF_j = BCE_j + RC_j$$

και

$$ET_j = CLF_j * (BTE_j + CT_j) + (1 - CLF_j) * BTE_j = BTE_j + CT_j * CLF_j = BTE_j + RT_j$$

Αυτό που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι θεωρείται ως καλή πρακτική να παρακολουθούνται όλες οι δραστηριότητες που απαρτίζουν το έργο που μελετάται και όχι μόνο οι κρίσιμες ή όσες είναι κοντά στις κρίσιμες. Γενικά, θεωρείται σκόπιμο μια διαδικασία ανάλογη με αυτήν που περιγράφηκε να ακολουθείται για κάθε δραστηριότητα που περιέχει το στοιχείο της αβεβαιότητας και ήδη από το στάδιο της ποιοτικής ανάλυσης έχει λάβει υψηλή βαθμολογία (Nicholas and Steyn, 2012).

4.6.5 Αναλυτική Ιεραρχική Προσέγγιση

Η Αναλυτική Ιεραρχική Προσέγγιση (Analytic Hierarchy Process – AHP) είναι μια ευέλικτη μέθοδος που χρησιμοποιείται για την πολυκριτηριακή ανάλυση προβλημάτων και βασίζεται στη διαμόρφωση μιας ιεραρχικής δομής πολλών επιπέδων. Αυτή η ιεραρχική δομή πρέπει να διαμορφωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε τα στοιχεία που συμπεριλαμβάνονται σε ένα επίπεδο να έχουν παρόμοια σπουδαιότητα για το πρόβλημα που αναλύεται και να συνδέονται με κάποιον τρόπο με ένα τουλάχιστον

στοιχείο του αμέσως ανωτέρου επιπέδου. Η AHP είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται σε πολλούς κλάδους συμπεριλαμβανομένου και αυτού των κατασκευών (Mustafa and Al-Bahar, 1991).

Τα βήματα που ακολουθεί η AHP για την ποσοτική ανάλυση των κινδύνων σε ένα τεχνικό έργο υποδομής είναι τα εξής (Sharma, 2013; Mustafa and Al-Bahar, 1991):

1. οι παράγοντες που μπορούν να προκελέσουν έναν κίνδυνο για το έργο που μελετάται αναγνωρίζονται και ταξινομούνται με βάση ένα αντικειμενικό κριτήριο,
2. οι παράγοντες που έχουν αναγνωριστεί κατατάσσονται σε μια ιεραρχική δομή που έχει επίπεδα, με το ανώτερο επίπεδο να αναπαριστά τον στόχο του προβλήματος που αναλύεται, δηλαδή την ανάλυση των κινδύνων σε ένα τεχνικό έργο υποδομής, το ενδιάμεσο επίπεδο να περιλαμβάνει τις κατηγορίες των κινδύνων και το κατώτερο επίπεδο να περιλαμβάνει τους παράγοντες κινδύνου,
3. τα στοιχεία του κάθε επιπέδου συγκρίνονται κατά ζεύγη και βαθμολογούνται με μια κλίμακα από το ένα έως το εννέα, η οποία παρουσιάζεται στον πίνακα 9, ανάλογα με την σπουδαιότητά τους για το έργο, οπότε διαμορφώνεται ένας πίνακας για το κάθε επίπεδο που περιλαμβάνει τις τιμές της βαθμολόγησης. Η σύγκριση μεταξύ των στοιχείων ενός επιπέδου πραγματοποιείται θέτοντας το εξής ερώτημα: πόσο σημαντικό είναι το στοιχείο 1 συγκρινόμενο με το στοιχείο 2 αναφορικά με ένα άλλο στοιχείο το οποίο ανήκει στο αμέσως επόμενο ανώτερο επίπεδο; Αν υποθεθεί ότι υπάρχουν n επίπεδα ιεράρχησης τότε για την συμπλήρωση του πίνακα απαιτούνται $n * (n - 1)/2$ τιμές, οι οποίες αντιστοιχούν στην περιοχή πάνω από την διαγώνιο του πίνακα. Οι τιμές των στοιχείων της διαγωνίου είναι ίσες με ένα ενώ τα στοιχεία κάτω από αυτήν λαμβάνουν τιμές που είναι αντίστροφες των τιμών των στοιχείων άνω της διαγωνίου.

Πίνακας 9: Κλίμακα βαθμολόγησης των στοιχείων του κάθε επιπέδου της AHP

Βαθμός	Περιγραφή
1	Ίδια σπουδαιότητα
3	Μέτρια σπουδαιότητα
5	Υψηλή σπουδαιότητα
7	Πολύ υψηλή σπουδαιότητα
9	Υπερβολική σπουδαιότητα
2,4,6,8	Ενδιάμεσες τιμές

(Πηγή: Razi et al., 2019; *ιδία επεξεργασία*)

4. μετά την διαμόρφωση των πινάκων βαθμολόγησης για κάθε επίπεδο ακολουθεί η φάση της απόδοσης σχετικών συντελεστών βαρύτητας σε κάθε στοιχείο. Οι

σχετικοί συντελεστές βαρύτητας των στοιχείων ενός επιπέδου αναφορικά με ένα στοιχείο του αμέσως ανώτερου επιπέδου είναι οι εγγραφές (συντεταγμένες) του κανονικοποιημένου ιδιοδιανύσματος που αντιστοιχεί στην μέγιστη ιδιοτιμή του πίνακα βαθμολόγησης του επιπέδου που αναλύεται,

5. εν συνεχεία, υπολογίζεται η βαρύτητα της κάθε δυνατής διαδρομής ξεκινώντας από το ανώτερο επίπεδο και προχωρώντας προς τα κάτω μέσω του πολλαπλασιασμού των συντελεστών βαρύτητας που συναντώνται κατά μήκος της εν λόγω διαδρομής,
6. τελικά προκύπτει το αποτέλεσμα της AHP που είναι ένα κανονικοποιημένο διάνυσμα (έχει διαιρεθεί με το μέτρο του) με τιμές τις βαρύτητες των εναλλακτικών διαδρομών.

Στα οφέλη που παρέχει η Αναλυτική Ιεραρχική Προσέγγιση ως μέθοδος ποσοτικής ανάλυσης κινδύνων συγκαταλέγεται το γεγονός ότι προσφέρει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για την μελέτη ενός προβλήματος που τίθεται προς επίλυση. Ο συστηματικός και οργανωμένος τρόπος παρουσίασης που προσφέρει την καθιστά μια πολύτιμη μέθοδο όχι μόνο για την ποσοτική ανάλυση των κινδύνων αλλά και συνολικά για την διαδικασία διαχείρισης των κινδύνων σε ένα τεχνικό έργο. Επιπλέον, προσφέρει έναν τρόπο ποσοτικοποίησης του κινδύνου σε ένα έργο που βασίζεται αποκλειστικά και μόνο στο ένστιγκτο της ομάδας διαχείρισης χωρίς να απαιτεί ιστορικά στοιχεία για περιπτώσεις αντίστοιχες με αυτή που εξετάζεται. Ωστόσο, παρά την δημοφιλία της η συγκεκριμένη μέθοδος έχει το μειονέκτημα ότι δεν είναι ικανή να επιλύσει το πρόβλημα που συνδέεται με την ασαφή βαθμολόγηση των κινδύνων εξαιτίας των περιορισμών που θέτει η κλίμακα που χρησιμοποιείται με διακριτές τιμές από το ένα έως το εννέα (Sharma, 2013; Razi et al., 2019).

4.6.6 Νευρωνικά Δίκτυα

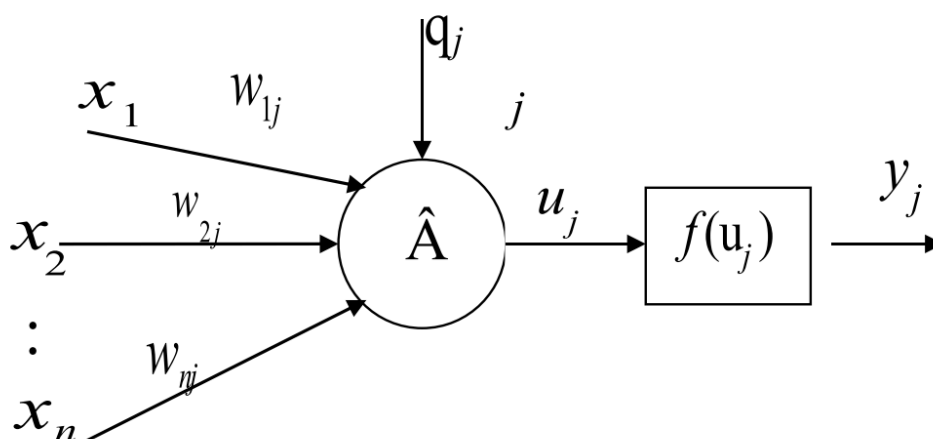
Τα Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Networks) αποτελούν μια μέθοδο για την ποσοτική ανάλυση των κινδύνων η χρήση της οποίας είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό με άλλες τεχνικές στην κατασκευαστική βιομηχανία ξεκίνησε κατά την δεκαετία του 1990 (Giannakos and Xenidis, 2018). Η εφαρμογή των νευρωνικών δικτύων στον χώρο των κατασκευών και κατά συνέπεια των τεχνικών έργων υποδομής πραγματοποιείται μέσω της χρήσης των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων (Artificial Neural Networks – ANN), τα οποία μπορούν να οριστούν ως μια τεχνολογική διαδικασία, η οποία προσομοιώνει τον τρόπο λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου και γενικότερα τη λειτουργία του ανθρώπινου νευρικού συστήματος. Αυτό σημαίνει ότι έχουν την δυνατότητα να

μαθαίνουν από τις εμπειρίες του παρελθόντος, να προσαρμόζουν την εμπειρία που έχουν αποκτήσει από το παρελθόν σε νέες καταστάσεις και να διαχωρίζουν την αναγκαία από την μη αναγκαία πληροφόρηση, όταν μια σειρά από δεδομένα εισέρχεται σε αυτά προς επεξεργασία (Adafin et al., 2013; Ha et al., 2018).

Ένα Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο αποτελείται από τους κόμβους, οι οποίοι αναπαριστούν τα κύρια χαρακτηριστικά ενός βιολογικού νεύρωνα και κάποιες γραμμές μεταφοράς κάθε μια από τις οποίες έχει έναν συντελεστή βαρύτητας. Οι κόμβοι του δικτύου κατατάσσονται σε επίπεδα και κάθε ένας από αυτούς συνδέεται με τους κόμβους του επόμενου επιπέδου. Ο αριθμός των επιπέδων σε ένα νευρωνικό δίκτυο είναι από δύο και πάνω. Ένα επίπεδο μπορεί να χαρακτηριστεί ως επίπεδο εισερχομένων (input layer), επίπεδο εξερχομένων (output layer) και κρυφό επίπεδο (hidden layer) ανάλογα με τον ρόλο που επιτελεί στο δίκτυο. Το τελευταίο είδος επιπέδου δηλαδή το κρυφό επίπεδο ενδέχεται να απουσιάζει από ένα νευρωνικό δίκτυο (Ha et al., 2018).

Ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί ένα Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο είναι ο εξής: κάθε κόμβος δέχεται και επεξεργάζεται δεδομένα και στη συνέχεια παράγει νέα πληροφόρηση την οποία προωθεί προς τους κόμβους του επόμενου επιπέδου. Πιο συγκεκριμένα, αν υποθεθεί ότι ένας κόμβος δέχεται δεδομένα ως εισερχόμενα από n γραμμές μεταφοράς, δηλαδή από n κόμβους του προηγούμενου επιπέδου, τα οποία είναι X_1, X_2, \dots, X_n και ότι οι συντελεστές βαρύτητας για κάθε γραμμή μεταφοράς είναι w_1, w_2, \dots, w_n , τότε ο κόμβος υπολογίζει το άθροισμα $u = w_1 * X_1 + w_2 * X_2 + \dots + w_n * X_n$. Το άθροισμα αυτό τροποποιείται περαιτέρω μέσω μιας συνάρτησης ενεργοποίησης $f(u)$, οπότε και παράγεται ένα νέο εξερχόμενο που συμβολίζεται ως y και το οποίο προωθείται στο επόμενο επίπεδο, όπου πραγματοποιείται μια παρόμοια διαδικασία με αυτή που περιγράφηκε.. Όταν ο κόμβος στον οποίο πραγματοποιείται η διαδικασία ανήκει στο επίπεδο εξερχομένων, τότε το αποτέλεσμα y του κόμβου είναι το τελικό αποτέλεσμα του νευρωνικού δικτύου (Ha et al., 2018).

Ο τρόπος λειτουργίας ενός κόμβου σε Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο παρουσιάζεται και γραφικά στο διάγραμμα 18.



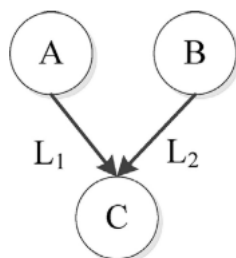
Διάγραμμα 18: Η λειτουργία ενός κόμβου σε Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο
(Πηγή: Ha et al., 2018)

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων συγκριτικά με άλλες μεθόδους ποσοτικής ανάλυσης των κινδύνων σε τεχνικά έργα υποδομής είναι η ικανότητά τους να επεξεργάζονται σύνθετα δεδομένα κάτι το οποίο τα καθιστά μια μέθοδο με εξαιρετική ακρίβεια στον υπολογισμό του τελικού κόστους ενός έργου. Αυτό συμβαίνει αφού στο επίπεδο των εισερχομένων λαμβάνονται υπ' όψιν όλοι εκείνοι οι παράγοντες οι οποίοι αποτελούν κινδύνους για το έργο και ενδέχεται να οδηγήσουν σε υπερβάσεις του προϋπολογισμού του (Baccarini, 2005; Ha et al., 2018).

4.6.7 Δίκτυα Bayes

Τα δίκτυα Bayes ή δίκτυα πεποίθησης αποτελούν μια γραφική μέθοδο, η οποία χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση των σχέσεων μεταξύ των αιτίων και των συνεπειών ενός γεγονότος. Πιο συγκεκριμένα θεωρούνται ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για την παρουσίαση τόσο μιας συλλογιστικής πορείας (αίτιο-αποτέλεσμα) στην οποία υφίσταται το στοιχείο της αβεβαιότητας όσο και της πιθανολογικής σχέσης μεταξύ μεταβλητών. Σε γενικές γραμμές παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες με την μέθοδο Bow Tie, η οποία παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και χρησιμοποιείται για την ποιοτική ανάλυση κινδύνων σε τεχνικά έργα υποδομής. Η πιο σημαντική διαφορά, όμως, μεταξύ των δύο μεθόδων είναι ότι τα δίκτυα Bayes αποτελούν μια συμπερασματική, πιθανολογική μέθοδο, η οποία είναι ικανή να υπερβεί τους περιορισμούς της στατικής μεθόδου Bow Tie, εξαιτίας του μηχανισμού επικαιροποίησης που αυτά ενσωματώνουν και παράλληλα μπορεί να εφαρμοστεί τόσο στην προς τα εμπρός όσο και στην προς τα πίσω πρόβλεψη. Για τον λόγο αυτόν

θεωρούνται κατάλληλα για την προσομοίωση του κινδύνου σε πολύπλοκα συστήματα όπως είναι τα τεχνικά έργα υποδομής (Li et al., 2016; Khodakarami and Abdi, 2014).



Διάγραμμα 19: Απλό δίκτυο Bayes (Πηγή: Li et al., 2016)

Στο διάγραμμα 19 παρουσιάζεται ένα απλό δίκτυο Bayes, το οποίο αποτελείται από τους κόμβους A, B, C και τα βέλη L₁ L₂. Οι κόμβοι A και B ονομάζονται «γονείς» του κόμβου C ενώ ο κόμβος C ονομάζεται «παιδί» των κόμβων A και B. Ένας κόμβος ενδέχεται να μην έχει «γονείς», οπότε αποκαλείται κόμβος-ρίζα. Οι «γονείς» συνδέονται με τα «παιδιά» μέσω των βελών L₁ και L₂ (Li et al., 2016).

Επομένως, ένα δίκτυο Bayes αποτελείται από τα εξής στοιχεία (Sousa and Einstein, 2012):

- ένα σύνολο τυχαίων μεταβλητών που αποτελούν τους κόμβους του δικτύου και κάθε μία από αυτές έχει έναν πεπερασμένο αριθμό αμοιβαία αποκλειόμενων καταστάσεων,
- ένα σύνολο κατευθυνόμενων συνδέσμων μεταξύ των κόμβων, οι οποίοι αντικατοπτρίζουν τις σχέσεις αιτίας αποτελέσματος που υπάρχουν στο δίκτυο και
- έναν πίνακα πιθανοτήτων της μορφής $P(A = a|B_1 = b_1, B_2 = b_2, \dots, B_n = b_n)$ για κάθε μεταβλητή A με γονείς B₁, B₂, ..., B_n –αυτό σημαίνει ότι οι μεταβλητές που αποτελούν τους κόμβους-ρίζες δεν έχουν πίνακα πιθανοτήτων-.

Όπως προαναφέρθηκε μια από τις βασικές λειτουργίες των δικτύων Bayes είναι η μοντελοποίηση των αιτιωδών σχέσεων που υπάρχουν μεταξύ μεταβλητών. Αυτή η μοντελοποίηση μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση του κανόνα του Bayes, ο οποίος είναι χρήσιμος όταν εξετάζονται δεσμευμένες πιθανότητες δηλαδή πιθανότητες υπό συνθήκη (Khodakarami and Abdi, 2014). Ο κανόνας του Bayes για δύο μεταβλητές που έχουν σχέση αιτίας (cause) και αποτελέσματος (effect) μπορεί να εκφραστεί ως εξής (Smith, 2006):

$$P(\text{cause} / \text{effect}) = \frac{P(\text{cause}) * P(\text{effect} / \text{cause})}{P(\text{effect})}$$

Στην σχέση που παρουσιάστηκε ο όρος $P(\text{effect}/\text{cause})$ συμβολίζει την πιθανότητα να υπάρξει μια δεδομένη συνέπεια για το έργο που εξετάζεται, όταν υπάρχει πληροφόρηση για την αιτία που μπορεί να οδηγήσει σε αυτή τη συνέπεια. Ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί ένα δίκτυο Bayes είναι ο εξής: αρχικά πραγματοποιείται μια εκτίμηση της πιθανότητας της αιτίας $P(\text{cause})$, η οποία εκφράζει την πεποίθηση της ομάδας διαχείρισης του έργου για την αιτία ενός γεγονότος πριν αυτή αποκτήσει οποιαδήποτε πληροφόρηση. Εάν υποθεθεί ότι κατά τη διάρκεια της υλοποίησης του έργου υπάρξουν στοιχεία για τις επιπτώσεις της αιτίας που αναλύεται, τότε είναι δυνατό να υπολογιστεί μια αναθεωρημένη τιμή για την πιθανότητα της αιτίας η $P(\text{cause}/\text{effect})$ εφαρμόζοντας τον κανόνα του Bayes, πολλαπλασιάζοντας δηλαδή την αρχική εκτίμηση για την αιτία $P(\text{cause})$ με την πιθανότητα $P(\text{effect}/\text{cause})$ και έπειτα διαιρώντας με την σταθερή πιθανότητα $P(\text{effect})$. Αυτή η αναθεωρημένη πεποίθηση για την πιθανότητα $P(\text{cause}/\text{effect})$ μπορεί να βοηθήσει στον υπολογισμό μιας επίσης αναθεωρημένης τιμής για την $P(\text{effect}/\text{cause})$ μέσω της εκ νέου εφαρμογής του κανόνα του Bayes (Khodakarami and Abdi, 2014). Αυτή η νέα αναθεωρημένη τιμή προκύπτει ως εξής:

$$P(\text{effect} / \text{cause}) = \frac{P(\text{effect}) * P(\text{cause} / \text{effect})}{P(\text{cause})}$$

Η χρήση των δικτύων Bayes για την ποσοτική ανάλυση κινδύνων είναι μια επιλογή που εν γένει παρουσιάζει πλεονεκτήματα. Κατ' αρχήν τα δίκτυα Bayes προσφέρουν ευελιξία ως προς την αποδοχή εισερχομένων που είναι συνήθως μεταβλητές με μια συγκεκριμένη τιμή και την παραγωγή εξερχομένων που είναι ως επί το πλείστον τιμές πιθανοτήτων. Παράλληλα, μπορούν να υπολογίζουν την πιθανότητα γεγονότων που μπορούν να οδηγήσουν σε κίνδυνο τόσο πριν όσο και μετά την απόκτηση πληροφόρησης σχετικά με αυτά και στη συνέχεια να επικαιροποιούν την πρόβλεψή τους -αφού αποκτηθεί η πληροφόρηση-. Ακόμη, όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία για το έργο που εξετάζεται τα δίκτυα Bayes μπορούν να αναπτυχθούν με την χρήση της γνώμης ειδικών, κάτι που ενισχύει την ευελιξία τους. Τέλος, επιτρέπουν την προσθήκη ή την αφαίρεση μεταβλητών χωρίς να επηρεαστεί συνολικά το δίκτυο ενώ το γεγονός ότι αποτελούν μια γραφική μέθοδο επιτρέπει την εύκολη αποσαφήνιση των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών που το απαρτίζουν (Luu et al., 2009)

Παρά τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν, τα δίκτυα Bayes είναι μια μέθοδος, η οποία δεν χρησιμοποιείται τόσο συχνά όσο άλλες μέθοδοι για την ποσοτική ανάλυση των κινδύνων σε τεχνικά έργα υποδομής εξαιτίας της πολυπλοκότητας των υπολογισμών που αυτή απαιτεί (Andric et al., 2019). Αυτό βέβαια είναι ένα πρόβλημα, το οποίο μπορεί να ξεπεραστεί μέσω της χρήσης κατάλληλων εργαλείων που είναι ικανά να κατασκευάσουν ένα τέτοιο δίκτυο και κυρίως να πραγματοποιήσουν τους πολύπλοκους υπολογισμούς που απαιτούνται με μεγάλη ταχύτητα (Khodakarami and Abdi, 2014).

4.6.8 Μέθοδος MERA

Η μέθοδος MERA (Multiple Estimating using Risk Analysis) είναι μια τεχνική ποσοτικής ανάλυσης των κινδύνων σε τεχνικά έργα, η οποία χρησιμοποιείται προκειμένου να προσδιορίσει ένα εύρος εντός του οποίου κινείται το χρηματικό κόστος ενός κινδύνου αλλά και των κινδύνων που σχετίζονται με ένα έργο συνολικά (Srinivas, 2019). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται τόσο από το Υπουργείο Οικονομικών της Μεγάλης Βρετανίας όσο και από την κυβέρνηση του Χονγκ Κονγκ, η οποία έχει επιβάλλει την εφαρμογή της σε όλα τα δημόσια έργα που υλοποιεί με σκοπό την κοστολόγηση των κινδύνων (Adafin et al., 2013).

Το πρώτο βήμα για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής είναι να πραγματοποιηθεί μια πρώτη εκτίμηση για το κόστος του έργου που πρόκειται να υλοποιηθεί χωρίς να ληφθεί υπ' όψιν η αβεβαιότητα που υπάρχει. Στη συνέχεια οι κίνδυνοι που έχουν αναγνωρισθεί για το έργο κοστολογούνται και για κάθε κίνδυνο υπολογίζονται δύο μεγέθη, μια μέση εκτίμηση (Average Risk Allowance – ARA) για το ποσό που πρόκειται να απαιτηθεί για την αντιμετώπισή του και μια μέγιστη εκτίμηση (Maximum Risk Allowance – MRA) για το ίδιο ποσό (Baccarini, 2005).

Για την μέθοδο MERA υπάρχουν δύο ειδών κίνδυνοι (Baccarini, 2005; Mak and Wong, 1997):

- **Σταθεροί Κίνδυνοι (Fixed Risks)**

Οι σταθεροί κίνδυνοι είναι αυτοί που είτε θα συμβούν ολοκληρωτικά είτε όχι. Εάν τελικά δεν υπάρξει κίνδυνος δεν υπάρχει και κόστος για την αντιμετώπισή του. Ένα παράδειγμα ενός σταθερού κινδύνου είναι η κατασκευή ενός δρόμου για την πρόσβαση στο έργο, κάτι το οποίο ενδέχεται να χρειαστεί ή όχι. Στην περίπτωση αυτή η μέγιστη εκτίμηση (MRA) για το ποσό που απαιτείται για την αντιμετώπισή του κινδύνου είναι το κόστος του κινδύνου εφόσον αυτός υπάρξει,

δηλαδή στο παράδειγμα με τον δρόμο για την πρόσβαση στο έργο η μέγιστη εκτίμηση θα είναι ίση με το κόστος για την κατασκευή του δρόμου, ενώ η μέση εκτίμηση (ARA) προκύπτει μέσω της εφαρμογής της αναμενόμενης τιμής και είναι ίση με το γινόμενο της μέγιστης εκτίμησης επί την πιθανότητα να υπάρξει ο κίνδυνος.

- **Μεταβλητοί Κίνδυνοι (Variable Risks)**

Οι μεταβλητοί κίνδυνοι είναι αυτοί που είναι βέβαιο ότι θα υπάρξουν αλλά η ομάδα διαχείρισης του έργου δεν είναι σε θέση να γνωρίζει το μέγεθός τους κυρίως εξαιτίας τεχνικών λόγων. Ένα παράδειγμα είναι το βάθος θεμελίωσης μιας σειράς πασσάλων, αφού είναι βέβαιο ότι θα πρέπει να θεμελιωθούν δεν είναι όμως γνωστό εκ των προτέρων και με βεβαιότητα το βάθος της θεμελίωσής τους λόγω της μορφής του υπεδάφους όπου θεμελιώνονται. Στην περίπτωση αυτή η μέγιστη εκτίμηση (MRA) για το ποσό που απαιτείται για την αντιμετώπιση του κινδύνου εκτιμάται από την ομάδα διαχείρισης με βάση ιστορικά στοιχεία από προηγούμενα αντίστοιχα έργα και θεωρείται ότι υπάρχει πιθανότητα 10% να ξεπεραστεί, ενώ η μέση εκτίμηση (ARA) υπολογίζεται είτε με βάση την μέγιστη και ως ένα ποσοστό αυτής είτε ξεχωριστά και θεωρείται ότι υπάρχει πιθανότητα 50% να ξεπεραστεί.

Αφού εφαρμοστεί η διαδικασία που παρουσιάστηκε παραπάνω για κάθε κίνδυνο που έχει αναγνωριστεί για το έργο, υπολογίζεται το άθροισμα των μέσων εκτιμήσεων που έχουν πραγματοποιηθεί για τους κινδύνους, οπότε και προκύπτει το μέγεθος του χρηματικού ποσού που πρέπει να διατηρηθεί ως απόθεμα για την αντιμετώπιση των κινδύνων του έργου (Mak and Wong, 1997).

Η μέθοδος MERA εφαρμόζεται πολλές φορές κατά τη διάρκεια του αρχικού σχεδιασμού του έργου όσο και κατά τη διάρκεια της υλοποίησης του έργου. Το σημαντικότερο όφελος που προκύπτει από την εφαρμογή της μεθόδου είναι ότι συμβάλλει στον χρηματοοικονομικό έλεγχο των τεχνικών έργων υποδομής από την πλευρά του αναδόχου αλλά και από την πλευρά του κυρίου του έργου όταν αυτός αξιολογεί μια επενδυτική πρόταση. Παράλληλα μπορεί να θεωρηθεί ως ένας μηχανισμός για την διαχείριση του δημοσίου χρήματος, αφού τα περισσότερα τεχνικά έργα υποδομής υλοποιούνται με κρατικούς ή κοινοτικούς πόρους, αλλά και ως ένα μέσο αποφυγής των υπερσυντηρητικών και υπερβολικών εκτιμήσεων για το χρηματικό πόσό που πρέπει να διατηρείται ως απόθεμα για την αντιμετώπιση των κινδύνων σε ένα έργο (Mak and Wong, 1997).

Κεφάλαιο 5^ο

Μελέτη περιπτώσεων

Στο κεφάλαιο αυτό πρόκειται να παρουσιαστούν ορισμένες μελέτες περιπτώσεων που αφορούν στην ανάλυση των κινδύνων σε τεχνικά έργα υποδομής. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται να παρουσιαστούν τρεις μελέτες περιπτώσεων που έχουν αντληθεί από τη διεθνή βιβλιογραφία και σχετίζονται με την ανάλυση του κινδύνου σε ένα έργο μητροπολιτικού σιδηροδρόμου (μετρό), ένα υδροηλεκτρικό έργο και ένα έργο κατασκευής πανεπιστημιακών εγκαταστάσεων.

5.1 Έργο μητροπολιτικού σιδηροδρόμου

Η πρώτη μελέτη περίπτωσης που έχει επιλεγεί αφορά στην κατασκευή μιας υπόγειας σιδηροδρομικής γραμμής που αποτελεί τμήμα του μετρό (μητροπολιτικός σιδηρόδρομος) πόλης που είναι πρωτεύουσα χώρας της Νότιας Ασίας. Η συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης παρουσιάστηκε από τους Sarkar and Dutta (2011).

5.1.1 Περιγραφή του έργου

Το τμήμα του έργου που πρόκειται να μελετηθεί αποτελεί μέρος της πρώτης φάσης κατασκευής του μετρό της πόλης της Νότιας Ασίας. Η πρώτη φάση περιλαμβάνει την κατασκευή 59 σταθμών και υπόγειας σιδηροδρομικής γραμμής συνολικού μήκους 65 χιλιομέτρων. Ο προϋπολογισμός της πρώτης φάσης του έργου ανέρχεται περίπου σε 1.33 δισεκατομμύρια ευρώ ενώ η συνολική διάρκεια υλοποίησης του έργου εκτιμάται σε περίπου 10 χρόνια πέντε εκ των οποίων αφορούν στην κατασκευή του έργου και πέντε στις προκαταρκτικές μελέτες που απαιτούνται. Το τμήμα του έργου που μελετάται περιλαμβάνει δίδυμη, υπόγεια σιδηροδρομική γραμμή μήκους περίπου 6.6 χιλιομέτρων καθώς και έξι σταθμούς, έστω S_1, S_2, \dots, S_6 με τον σταθμό S_6 να αποτελεί σταθμό με “over run tunnel”, δηλαδή μια κατακόρυφη σήραγγα που επιτρέπει την μεταφορά ενός συρμού από το επίπεδο του φυσικού εδάφους στην υπόγεια γραμμή και αντίστροφα. Ο προϋπολογισμός του εν λόγω τμήματος εκτιμάται ότι θα ανέλθει σε περίπου 230 εκατομμύρια ευρώ. Στον πίνακα 10 παρουσιάζονται ορισμένες επιπλέον πληροφορίες για το έργο ενώ στον πίνακα 11 παρουσιάζονται οι δραστηριότητες η εκτέλεση των οποίων απαιτείται για την κατασκευή του κάθε σταθμού.

Πίνακας 10: Πληροφορίες για το έργο μητροπολιτικού σιδηροδρόμου

Μέγεθος	Τιμή
α) Σήραγγα (κατασκευή με Tunnel Boring Machine-TBM)	3811 m
β) Σήραγγα (κατασκευή με μέθοδο Cut and Cover)	937 m
γ) Σταθμοί	1821 m
Συνολικό μήκος γραμμής	6569 m
Μέσο βάθος σταθμών	15-20 m
Τυπικό πλάτος σταθμών	275-300 m
Τυπικό μήκος σταθμών	
Περίοδος σχεδιασμού	120 έτη για τις υπόγειες κατασκευές 50 έτη για τις υπερκατασκευές
Εργασίες-Υλικά	
α) Εκσκαφές εδαφών	1090000 m ³
β) Εκσκαφές βράχων	215000 m ³
γ) Σκυρόδεμα	300000 m ³
δ) Δομικός χάλυβας (οπλισμοί)	47500 MT
ε) Μεταλλικές αντιρρήδες	24500 MT

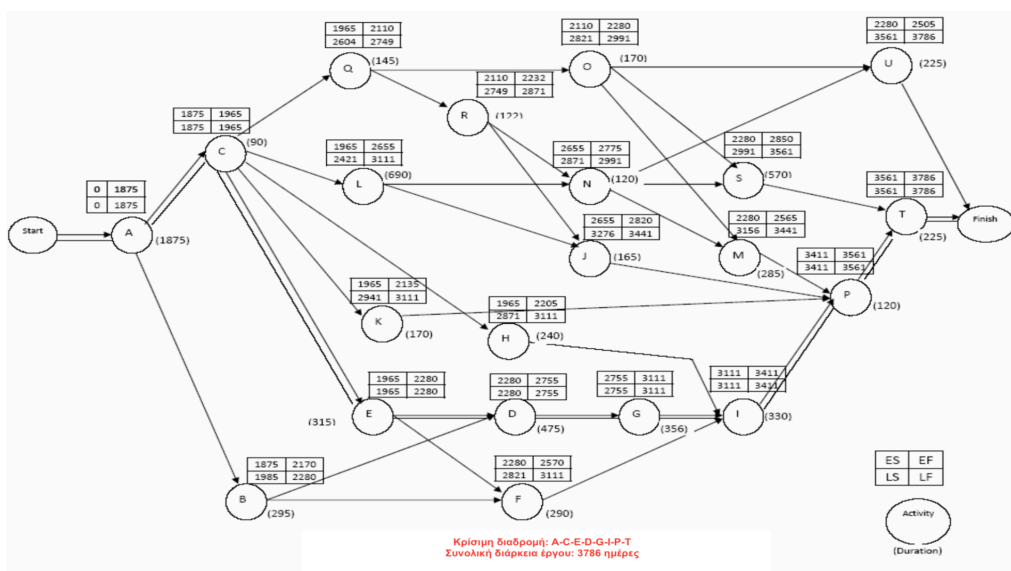
(Πηγή: Sarkar and Dutta, 2011; ίδια επεξεργασία)

Πίνακας 11: Δραστηριότητες που απαιτούνται για την κατασκευή σταθμού μητροπολιτικού σιδηροδρόμου

Δραστηριότητα	Περιγραφή	Προηγούμενες δραστηριότητες	Διάρκεια (ημέρες)
A	Προκαταρκτικές μελέτες	-	1875
B	Σχεδιασμός του έργου	A	295
C	Επιλογή τεχνολογίας κατασκευής	A	90
D	Εκτροπή κυκλοφορίας	B,E	475
E	Εκτροπή δικτύων κοινής ωφέλειας	C	315
F	Έρευνες πεδίου	B,E	290
G	Κατασκευή πασάλων αντιστήριξης	D	356
H	Σύνδεση πασάλων αντιστήριξης	C	240
I	Εκσκαφές	G,F,H	330
J	Διάτρηση βράχων	L,R	165
K	Στήσιμο εργοταξίου	C	170
L	Κατασκευή μεταλλικών αντιρρήδων	C	690
M	Εγκατάσταση αγκυρίων στους βράχους	N,O	285
N	Σταθεροποίηση βράχων	L,R	120
O	Αποστράγγιση υποστρώματος	Q	170
P	Στεγανοποίηση	I,K,J,M	120
Q	Κατασκευή διαφραγματικού τοίχου	C	145
R	Κατασκευή ανωδομής	Q	122
S	Διαμόρφωση σταθμών	N,O	570
T	Ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις	P,S	225
U	Εργασίες αποκατάστασης	N,O	225

(Πηγή: Sarkar and Dutta, 2011; ίδια επεξεργασία)

Στο διάγραμμα 20 παρουσιάζεται η δικτυακή απεικόνιση του έργου της κατασκευής ενός σταθμού μητροπολιτικού σιδηροδρόμου, έτσι όπως αυτή προκύπτει σύμφωνα με τις αλληλεξαρτήσεις των δραστηριοτήτων που φαίνονται στον πίνακα 11. Από την επίλυση του δικτύου προσδιορίζεται τόσο η συνολική διάρκεια του έργου που ανέρχεται σε 3786 ημέρες όσο και η κρίσιμη διαδρομή του έργου που είναι η A-C-E-D-G-I-P-T.



Διάγραμμα 20: Δικτυακή απεικόνιση του έργου της κατασκευής ενός σταθμού μητροπολιτικού σιδηροδρόμου (Πηγή: Sarkar and Dutta, 2011)

5.1.2 Ανάλυση των κινδύνων

Ποιοτική ανάλυση των κινδύνων

Η ποιοτική ανάλυση των κινδύνων σε ένα τεχνικό έργο υποδομής προϋποθέτει, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια την επιτυχή αναγνώριση των κινδύνων που υπάρχουν για αυτό. Στον πίνακα 12 παρουσιάζονται οι κίνδυνοι που έχουν αναγνωριστεί για το έργο που εξετάζεται.

Πίνακας 12: Αναγνώριση των κινδύνων του έργου κατασκευής σταθμού μητροπολιτικού σιδηροδρόμου

α/α	Περιγραφή κινδύνου
1	Καθυστέρηση στην έγκριση του επενδυτικού σχεδίου
2	Κίνδυνοι σχετικοί με τις απαλλοτριώσεις
3	Κίνδυνοι κατά τον σχεδιασμό
4	Κίνδυνοι σχετικοί με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται
5	Κίνδυνοι αδειοδοτήσεων
6	Κίνδυνοι που αφορούν στην κοινοπραξία
7	Χρηματοοικονομικοί κίνδυνοι
8	Πολιτικοί κίνδυνοι
9	Κίνδυνοι που σχετίζονται με το περιβάλλον
10	Γεωτεχνικοί κίνδυνοι
11	Κίνδυνος ατυχημάτων κατά την εκτέλεση του έργου
12	Ισχυρή βροχόπτωση
13	Φυσικές καταστροφές
14	Απεργίες εργαζομένων στο έργο
15	Κίνδυνοι σχετικοί με τον πληθωρισμό
16	Καθυστέρηση στις πληρωμές από τον κύριο του έργου
17	Καθυστέρηση στις πληρωμές προς τους υπεργολάβους

(Πηγή: Sarkar and Dutta, 2011; ίδια επεξεργασία)

Κάθε ένας από τους κινδύνους που παρουσιάστηκαν στον πίνακα 12 θεωρείται ότι μπορεί να δυνητικά να επηρεάσει οποιαδήποτε δραστηριότητα από αυτές του πίνακα 11. Για τον λόγο αυτόν σε κάθε έναν από τους κινδύνους του πίνακα 12 αποδίδεται, μετά από μια διαδικασία συνεντεύξεων με εκπροσώπους των ενδιαφερόμενων μερών του έργου, ένας συντελεστής βαρύτητας για κάθε δραστηριότητα που εκφράζει το πόσο σημαντικός είναι ο κίνδυνος αυτός για την συγκεκριμένη δραστηριότητα. Έτσι, προκύπτουν τόσο η πιθανότητα ύπαρξης κινδύνου όσο και η επίδραση του κινδύνου συνολικά σε κάθε δραστηριότητα. Επομένως, οι κίνδυνοι που πραγματικά αξιολογούνται ποιοτικά αλλά και ποσοτικά στη συνέχεια δεν είναι αυτοί του πίνακα 12 αλλά αυτοί του πίνακα 13 όπου ουσιαστικά κάθε δραστηριότητα αποτελεί και έναν κίνδυνο για το έργο.

Πίνακας 13: Κίνδυνοι σχετικοί με τις δραστηριότητες του έργου κατασκευής σταθμού μητροπολιτικού σιδηροδρόμου

α/α	Κωδικοποίηση του κινδύνου	Περιγραφή
1	R1	Κίνδυνοι σχετικοί με τις προκαταρκτικές μελέτες
2	R2	Κίνδυνοι σχετικοί με το σχεδιασμό του έργου
3	R3	Κίνδυνοι σχετικοί με την επιλογή τεχνολογίας κατασκευής
4	R4	Κίνδυνοι σχετικοί με την εκτροπή κυκλοφορίας
5	R5	Κίνδυνοι σχετικοί με την εκτροπή δικτύων κοινής ωφέλειας
6	R6	Κίνδυνοι σχετικοί με τις έρευνες πεδίου
7	R7	Κίνδυνοι σχετικοί με την κατασκευή πασάλων αντιστήριξης
8	R8	Κίνδυνοι σχετικοί με τη σύνδεση πασάλων αντιστήριξης
9	R9	Κίνδυνοι σχετικοί με τις εκσκαφές
10	R10	Κίνδυνοι σχετικοί με τη διάτρηση βράχων
11	R11	Κίνδυνοι σχετικοί με το στήσιμο εργοταξίου
12	R12	Κίνδυνοι σχετικοί με την κατασκευή μεταλλικών αντιρρήδων
13	R13	Κίνδυνοι σχετικοί με την εγκατάσταση αγκυρών στους βράχους
14	R14	Κίνδυνοι σχετικοί με τη σταθεροποίηση βράχων
15	R15	Κίνδυνοι σχετικοί με την αποστράγγιση υποστρώματος
16	R16	Κίνδυνοι σχετικοί με τη στεγανοποίηση
17	R17	Κίνδυνοι σχετικοί με την κατασκευή διαφραγματικού τοίχου
18	R18	Κίνδυνοι σχετικοί με την κατασκευή ανωδομής
19	R19	Κίνδυνοι σχετικοί με τη διαμόρφωση σταθμών
20	R20	Κίνδυνοι σχετικοί με τις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις
21	R21	Κίνδυνοι σχετικοί με τις εργασίες αποκατάστασης

(Πηγή: Sarkar and Dutta, 2011; ίδια επεξεργασία)

Για την ποιοτική ανάλυση των κινδύνων έχει επιλεγεί η μέθοδος της αξιολόγησης πιθανότητας-επίδρασης. Η εφαρμογή της μεθόδου στο συγκεκριμένο έργο φαίνεται στον πίνακα 14.

Πίνακας 14: Εφαρμογή μεθόδου αξιολόγησης-επίδρασης για το έργο κατασκευής σταθμού μητροπολιτικού σιδηροδρόμου

α/α	Κωδικοποίηση του κινδύνου	Πιθανότητα (RL)	Επίδραση (RI)	Συντελεστής βαρύτητας (RC)	Χαρακτηρισμός κινδύνου
1	R1	0.348	0.875	0.305	Πολύ υψηλός
2	R2	0.356	0.868	0.309	Πολύ υψηλός
3	R3	0.270	0.829	0.224	Πολύ υψηλός
4	R4	0.319	0.784	0.250	Πολύ υψηλός
5	R5	0.262	0.809	0.212	Πολύ υψηλός
6	R6	0.186	0.832	0.155	Μέτριος
7	R7	0.280	0.827	0.232	Πολύ υψηλός
8	R8	0.252	0.818	0.206	Υψηλός
9	R9	0.377	0.863	0.325	Πολύ υψηλός
10	R10	0.419	0.816	0.342	Πολύ υψηλός
11	R11	0.398	0.842	0.335	Πολύ υψηλός
12	R12	0.367	0.828	0.304	Πολύ υψηλός
13	R13	0.345	0.860	0.297	Πολύ υψηλός
14	R14	0.343	0.827	0.284	Πολύ υψηλός
15	R15	0.306	0.806	0.247	Πολύ υψηλός
16	R16	0.384	0.858	0.329	Πολύ υψηλός
17	R17	0.278	0.872	0.242	Πολύ υψηλός
18	R18	0.227	0.837	0.190	Υψηλός
19	R19	0.223	0.811	0.181	Υψηλός
20	R20	0.398	0.845	0.336	Πολύ υψηλός
21	R21	0.354	0.544	0.193	Υψηλός

(Πηγή: Sarkar and Dutta, 2011; ίδια επεξεργασία)

Ποσοτική ανάλυση των κινδύνων

Για την ποσοτική ανάλυση του κινδύνου έχει επιλεγεί η γενικευμένη μέθοδος της αναμενόμενης αξίας, προκειμένου να υπολογιστεί το αναμενόμενο χρηματικό κόστος του έργου και η αναμενόμενη διάρκεια αυτού, λαμβάνοντας υπ' όψιν και ουσιαστικά ποσοτικοποιώντας τον κίνδυνο. Οι τιμές BCE_j , BTE_j (διάρκεια), CC_j και CT_j για κάθε δραστηριότητα προέκυψαν μέσα από μια διαδικασία προσωπικών συνεντεύξεων με στελέχη διαφόρων ειδικοτήτων της εταιρείας-αναδόχου. Η εφαρμογή της γενικευμένης μεθόδου της αναμενόμενης αξίας για το έργο που μελετάται παρουσιάζεται στον πίνακα 15.

Πίνακας 15: Εφαρμογή της γενικευμένης μεθόδου της αναμενόμενης αξίας για το έργο κατασκευής σταθμού μητροπολιτικού σιδηροδρόμου

Δραστηριότητα	RL	BCE (εκατ. €)	CC (εκατ. €)	RC (εκατ. €)	BTE (ημέρες)	CT (ημέρες)	RT (ημέρες)	EC (εκατ. €)	ET (ημέρες)	Υπέρβαση BCE (%)	Υπέρβαση BTE (%)
A	0.348	3.038	0.759	0.264	1875	1130	393	3.302	2268	8.70	20.97
B	0.356	1.392	0.405	0.144	295	245	87	1.536	382	10.36	29.57
C	0.270	0.506	0.127	0.034	90	85	23	0.540	113	6.75	25.50
D	0.319	0.633	0.151	0.048	475	355	113	0.681	588	7.59	23.84
E	0.262	1.266	1.043	0.273	315	267	70	1.539	385	21.59	22.21
F	0.186	0.127	0.110	0.020	290	247	46	0.147	336	16.05	15.84
G	0.280	2.785	2.234	0.625	356	356	100	3.410	456	22.46	28.00
H	0.252	0.253	0.202	0.051	240	180	45	0.304	285	20.14	18.90
I	0.377	1.899	1.544	0.582	330	205	77	2.481	407	30.66	23.42
J	0.419	1.013	0.709	0.297	165	140	59	1.310	224	29.32	35.55
K	0.398	1.519	1.367	0.544	170	113	45	2.063	215	35.82	26.46
L	0.367	3.797	3.101	1.138	690	485	178	4.935	868	29.98	25.80
M	0.345	0.633	0.623	0.215	285	250	86	0.848	371	33.94	30.26
N	0.343	1.013	0.890	0.305	120	185	63	1.318	183	30.13	52.88
O	0.306	0.759	0.734	0.225	170	130	40	0.984	210	29.60	23.40
P	0.384	1.519	1.053	0.404	120	95	36	1.923	156	26.62	30.40
Q	0.278	0.759	0.749	0.208	145	115	32	0.967	177	27.45	22.05
R	0.227	1.013	0.977	0.222	122	88	20	1.235	142	21.90	16.37
S	0.223	10.127	7.551	1.684	570	415	93	11.811	663	16.63	16.24
T	0.398	3.797	2.756	1.097	225	180	72	4.894	297	28.89	31.84
U	0.354	3.165	2.396	0.848	225	163	58	4.013	283	26.80	25.65
Σύνολο		41.013	29.481	9.230	3786		885	50.243	4671	22.51	23.38

(κόκκινο χρώμα -> κρίσιμες δραστηριότητες)

(Πηγή: Sarkar and Dutta, 2011; ίδια επεξεργασία)

Από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν μέσω της διαδικασίας συνεντεύξεων προέκυψε ότι το κόστος κατασκευής ενός σταθμού ανέρχεται σε περίπου 41 εκατομμύρια ευρώ ενώ η διάρκεια κατασκευής του σταθμού εκτιμήθηκε σε 3786 ημέρες, όπως άλλωστε προέκυψε και από την επίλυση του αντίστοιχου δικτύου. Η εφαρμογή της γενικευμένης μεθόδου της αναμενόμενης αξίας έδειξε ότι το αναμενόμενο κόστος κατασκευής του σταθμού συνεκτιμώντας τους κινδύνους που ενδέχεται να εμφανιστούν πρόκειται να ανέλθει σε περίπου 50 εκατομμύρια ευρώ, εμφανίζοντας μια απόκλιση της τάξης του 22.5% από την αρχική εκτίμηση. Επίσης, από τα αποτελέσματα της εν λόγω μεθόδου προσδιορίστηκε και η αναμενόμενη διάρκεια κατασκευής του σταθμού, συνεκτιμώντας τους κινδύνους, η οποία ανέρχεται σε 4671 ημέρες, εμφανίζοντας απόκλιση της τάξης περίπου του 23% σχετικά με την αρχική εκτίμηση. Προκειμένου να καθοριστεί το εάν αυτά τα αποτελέσματα είναι αποδεκτά από τον ανάδοχο, πρέπει να ελεγχθούν τα αποδεκτά όρια εντός των οποίων πρέπει να κινείται τόσο η διάρκεια του έργου όσο και ο προϋπολογισμός του, τα οποία προσδιορίζονται από τον ίδιο τον ανάδοχο με βάση την προγενέστερη εμπειρία του. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν μπορεί κάποιος να ισχυριστεί ότι ο κίνδυνος για το συγκεκριμένο έργο ποσοτικοποιείται αφ' ενός χρηματικά σε περίπου 9 εκατομμύρια ευρώ και αφ' ετέρου χρονικά σε περίπου 885 ημέρες.

5.2 Υδροηλεκτρικό έργο

Η δεύτερη μελέτη περίπτωσης που έχει ανασυρθεί από τη διεθνή βιβλιογραφία αφορά σε μία υδροηλεκτρική μονάδα, η οποία βρίσκεται στη Σλοβενία και πιο συγκεκριμένα στην νότια περιοχή του ποταμού Σάβου και προσφέρει 161 GWh ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος. Η συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης παρουσιάστηκε από τους Rihar et al. (2019).

5.2.1 Περιγραφή του έργου

Το συγκεκριμένο έργο περιελάμβανε την κατασκευή φράγματος, την κατάλληλη διαμόρφωση του ταμιευτήρα, ο οποίος καταλαμβάνει έκταση 3.12 εκατομμυρίων τετραγωνικών μέτρων και έχει χωρητικότητα 19.3 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων νερού καθώς και την κατασκευή συνοδών έργων, όπως δρόμων για την πρόσβαση στη μονάδα, χώρων ψυχαγωγίας στην περιοχή γύρω από την τεχνητή λίμνη που διαμορφώθηκε και διαδρόμων ποδηλασίας. Ο συνολικός προϋπολογισμός του έργου ανήλθε σε 140 εκατομμύρια ευρώ. Τα ενδιαφερόμενα μέρη του έργου περιελάμβαναν τους διαχειριστές και τους μελετητές, τον ανάδοχο της κατασκευής του, την αναθέτουσα αρχή, την κυβέρνηση της Σλοβενίας, τους κατοίκους των γύρω περιοχών,

τους ιδιοκτήτες γης στην περιοχή κατασκευής καθώς και διάφορες περιβαλλοντικές οργανώσεις που ασκούν πιέσεις καθ'όλη τη διάρκεια υλοποίησης τέτοιου είδους έργων.

Η ομάδα διαχείρισης του έργου διαχώρισε το έργο σε έξι στάδια υλοποίησης, τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα 16. Κάθε ένα από τα στάδια του έργου αποτελείται από δραστηριότητες, το πλήθος των οποίων ανέρχεται σε 242 για το σύνολο του έργου. Η επίλυση του δικτύου του έργου έδειξε ότι η συνολική του διάρκεια είναι 1928 ημέρες με την έναρξη του να προγραμματίζεται για τις 01/03/2012 και την αποπεράτωση του για τις 10/06/2017. Η ολοκλήρωση του έργου εντός χρονοδιαγράμματος θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική αφού από αυτήν εξαρτάται η έναρξη της δοκιμαστικής λειτουργίας της εγκατάστασης και κατά συνέπεια η έναρξη της κανονικής λειτουργίας της.

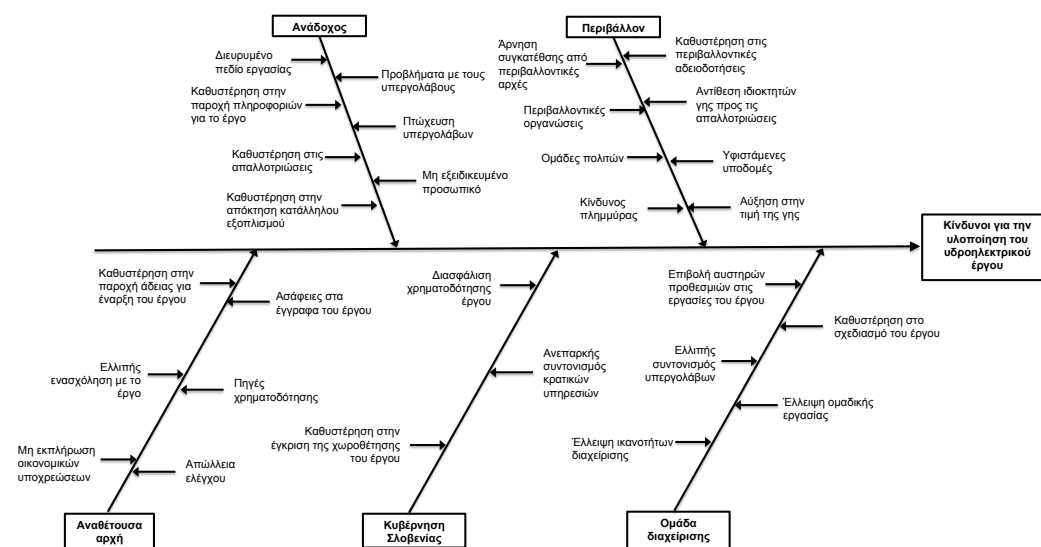
Πίνακας 16: Στάδια υλοποίησης του υδροηλεκτρικού έργου

Στάδιο έργου	Διάρκεια (ημέρες)	Έναρξη	Λήξη
Προετοιμασία	420	01/03/12	24/04/13
Σχεδιασμός	1037	20/05/12	22/03/15
Αδειοδοτήσεις	120	05/04/13	02/08/13
Υποβολή προσφορών για την κατασκευή	134	25/04/13	05/09/13
Κατασκευή φράγματος	742	19/08/14	29/08/16
Διαμόρφωση ταμιευτήρα	1748	28/08/14	10/06/17

(Πηγή: Rihar et al., 2019; ίδια επεξεργασία)

5.2.2 Ανάλυση των κινδύνων

Για το υδροηλεκτρικό έργο έχει επιλεγεί η διεξαγωγή μόνο ποιοτικής ανάλυσης που είναι άλλωστε και το πλέον σημαντικό στάδιο της διαδικασίας διαχείρισης κινδύνων σε ένα τεχνικό έργο υποδομής. Η μέθοδος που επιλέχθηκε είναι αυτή του διαγράμματος αιτίας-αποτελέσματος, το οποίο εδώ αναλύει όχι έναν κίνδυνο αλλά συλλογικά τις παραμέτρους εκείνες που μπορούν δυνητικά να αποτελέσουν κινδύνους για το έργο. Το διάγραμμα αιτίας-αποτελέσματος για το υδροηλεκτρικό έργο παρουσιάζεται στο διάγραμμα 21. Παρατηρείται ότι για το εν λόγω έργο οι κυριότερες πηγές κινδύνου είναι τα ενδιαφερόμενα μέρη του έργου –ακόμα και η ίδια η ομάδα διαχείρισής του αποτελεί πηγή κινδύνων- και το περιβάλλον, φυσικό και κοινωνικό, εντός του οποίου αυτό υλοποιείται.



Διάγραμμα 21: Διάγραμμα αιτίας-αποτελέσματος για την ανάλυση των κινδύνων του υδροηλεκτρικού έργου (Πηγή: Rihar et al., 2019; ίδια επεξεργασία)

Η ανάλυση των κινδύνων φυσικά δεν περιορίστηκε μόνο στην κατασκευή του διαγράμματος αιτίας-αποτελέσματος. Εφαρμόστηκε η μέθοδος αξιολόγησης πιθανότητας-επίδρασης, προκειμένου να εκτιμηθεί η βαρύτητα του κάθε κινδύνου που αναγνωρίστηκε για το υδροηλεκτρικό έργο. Τα αποτελέσματα της μεθόδου φαίνονται στον πίνακα 17, όπου παρουσιάζονται οι έξι πιο σημαντικοί κίνδυνοι για το έργο σύμφωνα με την μέθοδο αξιολόγησης πιθανότητας-επίδρασης. Αυτοί οι έξι κίνδυνοι είναι εκείνοι στους οποίους η ομάδα διαχείρισης του έργου πρέπει να δώσει την μέγιστη προσοχή προκειμένου να τους αντιμετωπίσει με επιτυχία.

Πίνακας 17: Εφαρμογή μεθόδου αξιολόγησης πιθανότητας-επίδρασης για το υδροηλεκτρικό έργο

α/α	Κωδικοποίηση του κινδύνου	Περιγραφή του κινδύνου	Πιθανότητα (RL)	Επίδραση (RI)	Συντελεστής βαρύτητας (RC)	Χαρακτηρισμός κινδύνου
1	R1	Καθυστερήση στην έγκριση της χωροθέτησης του έργου	0.90	1.00	0.90	Πολύ υψηλός
2	R2	Καταστροφή υφιστάμενων υποδομών (π.χ. δρόμων) στην περιοχή του έργου	0.80	0.90	0.72	Πολύ υψηλός
3	R3	Καθυστερήση στην ολοκλήρωση της μελέτης διαμόρφωσης του ταμιευτήρα	0.80	0.80	0.64	Πολύ υψηλός
4	R4	Αδυναμία εύρεσης αναδόχου για την κατασκευή του έργου λόγω ακαταλληλότητας των υποψηφίων	0.90	0.70	0.63	Πολύ υψηλός
5	R5	Αντίθεση των ιδιοκτητών γης στις απαλλοτριώσεις	0.70	0.60	0.42	Πολύ υψηλός
6	R6	Υπέρβαση του προϋπολογισμού της μελέτης διαμόρφωσης του ταμιευτήρα	0.70	0.50	0.35	Πολύ υψηλός

(Πηγή: Rihar et al., 2019; ίδια επεξεργασία)

5.3 Έργο κατασκευής πανεπιστημιακών εγκαταστάσεων

Η τρίτη μελέτη περίπτωσης που ανασύρθηκε από τη διεθνή βιβλιογραφία αφορά στην κατασκευή πανεπιστημιακών εγκαταστάσεων στο κέντρο της πόλης του Τορίνο στην Ιταλία. Η συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης παρουσιάστηκε από τους De Marco and Thaheem (2014).

5.3.1 Περιγραφή του έργου

Η έναρξη της κατασκευής του συγκεκριμένου έργου πραγματοποιήθηκε το 2006. Οι πανεπιστημιακές εγκαταστάσεις που αναπτύχθηκαν αφορούσαν στην κατασκευή 17000 τετραγωνικά μέτρα υπέργειας κατασκευής, η οποία σύμφωνα με τη μελέτη θα περιελάμβανε αίθουσες διαλέξεων, χώρους γραφείων, φοιτητική εστία, εμπορικά καταστήματα και υποστηρικτικούς χώρους, καθώς και 20000 τετραγωνικών μέτρων υπόγειων χώρων, οι οποίοι θα περιελάμβαναν χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων, γυμναστήριο και εσωτερική πισίνα. Ο συνολικός προϋπολογισμός του έργου ανήλθε περίπου στα 40 εκατομμύρια ευρώ εκ των οποίων περίπου 6 εκατομμύρια ευρώ προήλθαν από κρατική χρηματοδότηση και τα υπόλοιπα χρήματα από τον ιδιωτικό τομέα μέσω εφαρμογής της μεθόδου *Build-Operate-Transfer - BOT*. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή μια ιδιωτική εταιρεία ανέλαβε τον σχεδιασμό, την εξασφάλιση των αδειοδοτήσεων, την κατασκευή, τη χρηματοδότηση και τη συντήρηση των εγκαταστάσεων και ως αντίτιμο συμφωνήθηκε να λαμβάνει ένα ετήσιο μίσθωμα καθλως και και τα έσοδα από την εκμετάλλευση των χώρων στάθμευσης και των εμπορικών καταστημάτων.

5.3.2 Ανάλυση των κινδύνων

Όπως κατέστη κατανοητό από τα προηγούμενα κεφάλαια, η ανάλυση των κινδύνων προϋποθέτει την επιτυχημένη αναγνώριση αυτών. Για την περίπτωση που μελετάται έχουν αναγνωρισθεί 11 κίνδυνοι, οι οποίοι παρουσιάζονται στον πίνακα 18.

Για την ανάλυση των κινδύνων και σε αυτήν την περίπτωση επιλέχθηκε μόνο η ποιοτική προσέγγιση, προκειμένου να ανιχνευτούν οι κίνδυνοι εκείνοι που χρήζουν άμεσης αντιμετώπισης και επομένως πρέπει να τους δοθεί προτεραιότητα. Η μέθοδος που εφαρμόστηκε είναι αυτή του πίνακα αξιολόγησης πιθανότητας-επίδρασης. Στον πίνακα 19 φαίνεται η εκτίμηση της πιθανότητας και στον πίνακα 20 η εκτίμηση της επίδρασης του κάθε κινδύνου στους αντικειμενικούς στόχους του έργου. Η εκτίμηση των δύο παραμέτρων πραγματοποιήθηκε από την ομάδα διαχείρισης του έργου. Η

εφαρμογή της μεθόδου του πίνακα αξιολόγησης πιθανότητας επίδρασης φαίνεται στον πίνακα 21.

Πίνακας 18: Αναγνώριση των κινδύνων για το έργο κατασκευής πανεπιστημιακών εγκαταστάσεων

α/α	Κωδικοποίηση του κινδύνου	Περιγραφή
1	R1	Αλλαγές στο σχεδιασμό του έργου λόγω των συνηκών στην αγορά
2	R2	Απόρριψη του σχεδιασμού του έργου από τις αρμόδιες αρχές
3	R3	Αρχαιολογικές ανακαλύψεις
4	R4	Αύξηση στα επιτόκια δανεισμού
5	R5	Έλλειψη κεφαλαίων για την έναρξη υλοποίησης του έργου
6	R6	Παραίτηση επικεφαλής ομάδας διαχείρισης
7	R7	Περιορισμένη ρευστότητα
8	R8	Περιορισμένη κρατική χρηματοδότηση
9	R9	Αλλαγές στο νομικό πλαίσιο που διέπει τις συμβάσεις BOT
10	R10	Αδυναμία εύρεσης διαχειριστών για το γυμναστήριο, την πισίνα ή τα καταστήματα
11	R11	Διαφωνίες μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών

(Πηγή: De Marco and Thaheem, 2014; *ιδία επεξεργασία*)

Πίνακας 19: Εκτίμηση της πιθανότητας των κινδύνων του έργου κατασκευής πανεπιστημιακών εγκαταστάσεων

α/α	Κωδικοποίηση του κινδύνου	Πιθανότητα	
		Ποιοτικός χαρακτηρισμός	Αριθμητική τιμή
1	R1	Χαμηλή	0.30
2	R2	Πολύ χαμηλή	0.10
3	R3	Υψηλή	0.70
4	R4	Υψηλή	0.70
5	R5	Μέτρια	0.50
6	R6	Πολύ χαμηλή	0.10
7	R7	Μέτρια	0.50
8	R8	Υψηλή	0.70
9	R9	Μέτρια	0.50
10	R10	Χαμηλή	0.30
11	R11	Χαμηλή	0.30

(Πηγή: De Marco and Thaheem, 2014; *ιδία επεξεργασία*)

Πίνακας 20: Εκτίμηση της επίδρασης των κινδύνων στο έργο κατασκευής πανεπιστημιακών εγκαταστάσεων

α/α	Κωδικοποίηση του κινδύνου	Επίδραση	
		Ποιοτικός χαρακτηρισμός	Αριθμητική τιμή
1	R1	Πολύ υψηλή	0.05
2	R2	Υψηλή	0.40
3	R3	Χαμηλή	0.40
4	R4	Πολύ υψηλή	0.80
5	R5	Υψηλή	0.40
6	R6	Υψηλή	0.40
7	R7	Πολύ υψηλή	0.80
8	R8	Μέτρια	0.20
9	R9	Χαμηλή	0.10
10	R10	Υψηλή	0.40
11	R11	Πολύ υψηλή	0.80

(Πηγή: De Marco and Thaheem, 2014; *ιδία επεξεργασία*)

Πίνακας 21: Εφαρμογή μεθόδου πίνακα αξιολόγηση πιθανότητας-επίδρασης για το έργο κατασκευής πανεπιστημιακών εγκαταστάσεων

α/α	Κωδικοποίηση του κινδύνου	Πιθανότητα (P)	Επίδραση (I)	Συντελεστής κινδύνου (RF)	Περιοχή πίνακα
1	R1	0.30	0.05	0.02	Πράσινη
2	R2	0.10	0.40	0.04	Πράσινη
3	R3	0.70	0.40	0.28	Κόκκινη
4	R4	0.70	0.80	0.56	Κόκκινη
5	R5	0.50	0.40	0.20	Κόκκινη
6	R6	0.10	0.40	0.04	Πράσινη
7	R7	0.50	0.80	0.40	Κόκκινη
8	R8	0.70	0.20	0.14	Κίτρινη
9	R9	0.50	0.10	0.05	Κίτρινη
10	R10	0.30	0.40	0.12	Κίτρινη
11	R11	0.30	0.80	0.24	Κόκκινη

(Πηγή: De Marco and Thaheem, 2014; ίδια επεξεργασία)

Από τα αποτελέσματα του πίνακα 21 προκύπτει ότι οι κίνδυνοι, οι οποίοι απαιτούν προληπτική δράση είναι οι κίνδυνοι R_3, R_4, R_5, R_7 και R_{11} που αντιστοιχούν στην κόκκινη περιοχή του πίνακα (βλέπε και κεφάλαιο 3, ενότητα 3, υποενότητα 3.5.2). Οι κίνδυνοι R_8, R_9 και R_{10} αντιστοιχούν στην κίτρινη περιοχή του πίνακα, οπότε απαιτούν ορισμένες παρεμβάσεις προκειμένου να μην έχουν καταστροφικές συνέπειες για το έργο, ενώ οι κίνδυνοι R_1, R_2 και R_6 αντιστοιχούν στην πράσινη περιοχή του πίνακα, οπότε δεν προβλέπεται να δημιουργήσουν προβλήματα στην υλοποίηση του έργου.

Δεδομένου ότι το έργο ξεκίνησε να υλοποιείται το 2006 και ολοκληρώθηκε το 2012, υπάρχει διαμορφωμένη εικόνα σχετικά με την εγκυρότητα της ανάλυσης που προηγήθηκε. Πιο συγκεκριμένα, μέχρι τον Μάιο του 2012, παρουσιάστηκαν στο έργο μια σειρά από δυσκολίες, οι οποίες περιελάμβαναν την οικονομική κρίση του 2008, την κρίση των επιτοκίων δανεισμού κατά τα έτη 2010-2011, την άρνηση παροχής αδειοδότησης στο έργο για λόγους πυροπροστασίας που οδήγησε στην αλλαγή του σχεδιασμού του, αρχαιολογικές ανακαλύψεις κατά τις εκσκαφές, οικονομικές δυσκολίες της αναδόχου εταιρείας, αλλαγές στο νομοθετικό πλαίσιο των συμβάσεων BOT στην Ιταλία, την αδυναμία εύρεσης διαχειριστών για την πισίνα, το γυμναστήριο και τα εμπορικά καταστήματα αλλά και την παραίτηση του επικεφαλής της ομάδας διαχείρισης του έργου σε ένα κρίσιμο για αυτό σημείο.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η ανάλυση που παρουσιάστηκε παραπάνω μπορεί να θεωρηθεί επιτυχημένη, αφού προέβλεψε την εμφάνιση των περισσότερων κινδύνων για το έργο προσφέροντας στην ομάδα διαχείρισης τη δυνατότητα να είναι προετοιμασμένη κατάλληλα για την αντιμετώπισή τους.

Κεφάλαιο 6^ο

Σύνοψη και συμπεράσματα

Σε αυτό το έκτο και τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας συνοψίζονται τα ευρήματα της εκτενούς βιβλιογραφικής έρευνας που πραγματοποιήθηκε και στη συνέχεια παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτήν.

6.1 Σύνοψη

Τα τεχνικά έργα υποδομής είναι αναγκαία σε μια χώρα τόσο για την εξυπηρέτηση θεμελιωδών αναγκών των ανθρώπων της όσο και για την οικονομική της ανάπτυξη. Η διαδικασία της υλοποίησης τέτοιου είδους έργων είναι πολύπλοκη και δυναμική, οπότε απαιτείται κατάλληλος συντονισμός των πόρων που εμπλέκονται σε αυτήν. Αυτός ο συντονισμός αφορά στην αποτελεσματική διαχείριση παραμέτρων του έργου όπως είναι το χρονοδιάγραμμα, ο προϋπολογισμός, η ποιότητα, τα ενδιαφερόμενα μέρη, οι πόροι υλικοί και μη που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της κατασκευής του καθώς και η επικινδυνότητα του έργου.

Η διαχείριση της επικινδυνότητας ή πιο απλά η διαχείριση των κινδύνων του έργου είναι μια από τις περιοχές όπου τα άτομα που έχουν αναλάβει τη διαχείριση ενός έργου υποδομής πρέπει να δώσουν ιδιαίτερη προσοχή. Η έννοια του κινδύνου που δεν είναι ταυτόσημη με αυτή της αβεβαιότητας δεν έχει αποκλειστικά και μόνο αρνητική διάσταση για το έργο, αφού ενδέχεται ένας κίνδυνος να διαμορφώνει μια κατάσταση που τελικά να αποδειχθεί ωφέλιμη για αυτό. Κάθε κίνδυνος αποτελείται από τέσσερα βασικά στοιχεία τα οποία είναι μια αιτία, ένα γεγονός, μια πιθανότητα και οι συνέπειες που αυτός συνεπάγεται για το έργο, αφόσον υπάρξει. Οι κίνδυνοι που υφίστανται κατά την υλοποίηση ενός τεχνικού έργου υποδομής μπορούν να κατηγοριοποιηθούν είτε σε επίπεδα είτε με διάφορα κριτήρια συμπεριλαμβανομένων του χαρακτήρα τους, της προέλευσής τους και της φάσης του έργου όπου εμφανίζονται.

Η διαδικασία της διαχείρισης των κινδύνων έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνητών πολλοί εκ των οποίων προτείνουν διαφορετικές προσεγγίσεις. Οι περισσότεροι από αυτούς καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η διαδικασία διαχείρισης των κινδύνων σε ένα τεχνικό έργο υποδομής περιλαμβάνει έξι στάδια, τα οποία είναι 1) ο σχεδιασμός της διαδικασίας, 2) η αναγνώριση των κινδύνων, 3) η ανάλυση αυτών,

4) η αντιμετώπισή τους, 5) η παρακολούθηση και ο έλεγχος και 6) η αναφορά της όλης διαδικασίας.

Από τα στάδια της διαδικασίας διαχείρισης κινδύνων το πιο σημαντικό είναι αυτό της ανάλυσης, αφού αυτό καθορίζει τη στρατηγική που θα ακολουθηθεί για τον κάθε κίνδυνο που έχει αναγνωριστεί. Η ανάλυση των κινδύνων μπορεί να είναι είτε ποιοτική είτε ποσοτική με την πρώτη να θεωρείται ως η βασικότερη μορφή ανάλυσης κινδύνων. Εξάλλου η ποσοτική ανάλυση δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί αυτόνομα, αφού απαιτεί προηγουμένως τη διεξαγωγή ποιοτικής ανάλυσης.

Η ποιοτική ανάλυση των κινδύνων περιλαμβάνει την εκτίμηση της πιθανότητας και των επιπτώσεων ενός κινδύνου και επιδιώκει την ανίχνευση των αιτίων που ενδέχεται να οδηγήσουν στην εμφάνιση ενός κινδύνου. Για τη διεξαγωγή της ποιοτικής ανάλυσης έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι με τις κυριότερες εξ' αυτών να παρουσιάζονται στο τρίτο κεφάλαιο.

Η ποσοτική ανάλυση των κινδύνων συνήθως ακολουθεί την ποιοτική ανάλυση, καθώς, όπως προαναφέρθηκε, δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί αυτόνομα. Αποσκοπεί στην ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων που έχει ένας κίνδυνος στο έργο σε όρους χρόνου και χρήματος και συγχρόνως στην αριθμητική ανάλυση της πιθανότητας να υπάρξει τελικά ο κίνδυνος. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ποσοτική ανάλυση των κινδύνων και έχουν ευρεία πρακτική εφαρμογή παρουσιάζονται στην ομώνυμη ενότητα του τετάρτου κεφαλαίου. Οι μέθοδοι αυτές είναι σαφώς πιο πολύπλοκες από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την ποιοτική ανάλυση και απαιτούν αριθμητικά δεδομένα προκειμένου να λειτουργήσουν αποτελεσματικά.

Η πρακτική εφαρμογή τόσο της ποιοτικής όσο και της ποσοτικής ανάλυσης αναδεικνύεται μέσα από τις μελέτες περιπτώσεων που έχουν επιλεγεί μέσω της βιβλιογραφικής έρευνας και παρουσιάζονται στο πέμπτο κεφάλαιο.

6.2 Συμπεράσματα

Η εκτενής βιβλιογραφική έρευνα που πραγματοποιήθηκε με σκοπό την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας οδήγησε στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων. Τα συμπεράσματα αυτά αφορούν τόσο γενικά στη διαδικασία διαχείρισης των κινδύνων όσο και πιο ειδικά στο στάδιο της ανάλυσης.

Πρώτα απ' όλα διαπιστώθηκε ότι η ανάλυση των κινδύνων είναι το πλέον χρήσιμο στάδιο της διαδικασίας διαχείρισης των κινδύνων που εμφανίζονται κατά την υλοποίηση ενός έργου υποδομής, αφού αυτήν είναι η βάση πάνω στην οποία οικοδομείται επί της ουσίας ολόκληρη η διαδικασία και ιδιαίτερα το σχέδιο αντιμετώπισης των κινδύνων. Παράλληλα, προέκυψε το συμπέρασμα ότι ο κίνδυνος είναι μια έννοια με όχι κατ' ανάγκη αρνητική σημασία και για τον οποίο έχουν παρουσιαστεί πολλοί διαφορετικοί ορισμοί. Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι η αναγνώριση των κινδύνων κατά τη διαδικασία διαχείρισης αυτών μπορεί να βασιστεί σε διαφορετικές προσεγγίσεις, το περιεχόμενο των οποίων είναι σε γενικές γραμμές παρόμοιο καταλήγοντας σε ένα υψηλό βαθμό ταύτισης ως προς τα αποτελέσματά τους.

Σε ό,τι αφορά την ποιοτική ανάλυση, το πιο σημαντικό μέρος της ανάλυσης των κινδύνων, και ιδιαίτερα τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται κατά τη διεξαγωγή της, διαπιστώθηκε αφ' ενός ότι από πολλούς ερευνητές αυτές συγχέονται με τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται κατά το στάδιο της αναγνώρισης, αν και πρόκειται για δύο στάδια με εντελώς διαφορετικούς στόχους και αφ' ετέρου 'οτι στις περισσότερες από αυτές υπεισέρχεται ο υποκειμενικός παράγοντας, αφού βασίζονται σε υποκειμενικές εκτιμήσεις.

Σχετικά με την ποσοτική ανάλυση προέκυψε το συμπέρασμα ότι πρόκειται για ένα ιδιαίτερο και πολύπλοκο είδος ανάλυσης που απαιτεί ιστορικά στοιχεία για την εξαγωγή αποτελέσματος. Βέβαια, η συλλογή ιστορικών στοιχείων είναι ιδιαίτερα δύσκολη κυρίως όταν η ομάδα διαχείρισης δεν έχει ασχοληθεί στο παρελθόν αντίστοιχα έργα αλλά και εξαιτίας του γεγονότος ότι κάθε έργο είναι μοναδικό, οπότε δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα με βάση δεδομένα που σχετίζονται με άλλα έργα.

Κατά την αναζήτηση πληροφοριών στη διεθνή βιβλιογραφία εμφανίστηκε και ένα τρίτο είδος ανάλυσης, αυτό της ημι-ποσοτικής και των ημι-ποσοτικών μεθόδων που συνδυάζουν στοιχεία των ποιοτικών και των ποσοτικών μεθόδων. Ωστόσο, αυτή είναι μια άποψη που εκφράζεται μόνο από κάποιους ερευνητές και όχι από την πλειοψηφία, η οποία θεωρεί ότι η ανάλυση των κινδύνων διακρίνεται αποκλειστικά και μόνο σε ποιοτική και ποσοτική. Για τον σκοπό αυτόν, η ημι-ποσοτική ανάλυση δεν συμπεριλήφθηκε στη συγκεκριμένη βιβλιογραφική μελέτη.

Ολοκληρώνοντας, λοιπόν, πρέπει να επισημανθεί ότι οι μέθοδοι ποιοτικής και ποσοτικής ανάλυσης επιδέχονται σίγουρα βελτιώσεις, αν και θεωρείται ότι είναι σε

θέση να προσφέρουν αξιόλογα αποτελέσματα. Η μελλοντική έρευνα στο συγκεκριμένο αντικείμενο μπορεί να προσανατολιστεί προς αυτήν την κατεύθυνση αλλά και προς την κατάρτιση ενός ολοκληρωμένου οδηγού για την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση των κινδύνων σε τεχνικά έργα υποδομής, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η επιτυχημένη διαχείριση των κινδύνων σε τέτοιου είδους έργα, κάτι που θα είχε σίγουρα ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον αλλά και πρακτική χρησιμότητα.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Αγγλική Γλώσσα

Abujnah, M. and Eaton, D. (2006) 'Towards a Risk Management Framework for Libyan House-Building Projects', Paper presented at the 8th International Postgraduate Research Conference, The Research Institute for the Built and Human Environment, University of Salford, Salford, United Kingdom (26-27 June).

Adafin, J., Wilkinson, S. and Rotimi, J. (2013) 'Risk-contingency fund in the design stage elemental cost planning function: a theoretical exploration', Paper presented at the 38th Australasian Universities Building Education Association Conference, University of Auckland, Auckland, New Zealand (20-22 November).

Adedokun, O.A., Ogunsemi, D.R., Aje, I.O., Awodele, O.A. and Dairo D.O. (2013) 'Evaluation of qualitative risk analysis techniques in selected large construction companies in Nigeria', *Journal of Facilities Management*, vol. 11, no. 2, pp. 123-135.

Ahmed, A., Kayis, B. and Amornsawadwatana, S. (2007) 'A review of techniques for risk management in projects', *Benchmarking: An International Journal*, vol. 14, no.1, pp. 22-36.

Andric, J.M., Wang, J. and Zhong, R. (2019) 'Identifying the Critical Risks in Railway Projects Based on Fuzzy and Sensitivity Analysis: A Case Study on Belt and Road Projects', *Sustainability*, vol. 11, no. 5, pp. 1-18.

Apostolakis, G. (2003) 'How useful is Quantitative Risk Assessment?'. MIT Working Paper Series. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.

Baccarini, D. (2005) 'Estimating Project Cost Contingency-Beyond the 10% syndrome', Paper presented at the Australian Institute of Project Management National Conference, Australian Institute of Project Management, Victoria (9 November).

Bahrami, M., Bazzaz, D.H. and Sajjadi, S.M. (2012) 'Innovation and Improvements in Project Implementation and Management using FMEA technique', *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 41, pp. 418-425.

Bing, L., Akintoye, A., Edwards, P.J. and Hardcastle, C. (2005) 'The allocation of risk in PPP/PFI construction projects in the UK', *International Journal of Project Management*, vol. 23, no. 1, pp. 25-35.

Boc, K., Vaculik, J. and Vidrikova, D. (2012) 'Fuzzy approach to risk analysis and its advantages against the qualitative approach', Paper presented at the 12th International Conference "Reliability and Statistics in Transportation and Communication", Transport and Telecommunication Institute, Riga, Latvia (17-20 October).

Busalim, A.H. and Hussin, A.R.C. (2016) 'Understanding social commerce: A systematic literature review and directions for further research', *International Journal of Information Management*, vol. 36, no. 6, pp. 1075-1088.

Construction Industry Research and Information Association (CIRIA) (1996) *Control of risk: A guide to the Systematic Management of Risk from Construction*, Construction Industry Research and Information Association, London, Special Publication 125.

Crnkovic, D. and Vukomanovic, M. (2016) 'Comparison of trends in the risk management theory and practices within the construction industry', *Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek-e-GFOS*, no. 13, pp. 1-11.

De Marco, A. and Thaheem, M.J. (2014) 'Risk analysis in construction projects: a practical selection methodology', *American Journal of Applied Science*, vol. 11, no. 1, pp. 74-84.

Dehdasht, G., Zin, R.M. and Keyvanfar, A. (2015) 'Risk classification and barrier of implementing risk management in oil and gas construction companies', *Jurnal Teknologi*, vol. 77, no. 16, pp. 161-169.

Devi, V.R. (2018) 'A Study on Risk Analysis in Construction Project', *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 5, no. 5, pp. 4317-4321.

Ershova, I. and Posokhov, A. (2016) 'Comparative Analyze of Infrastructure in Developed Countries', *Procedia-Economics and Finance*, vol. 39, pp. 815-819

Giannakos, L. and Xenidis, Y. (2018) 'Risk assessment in construction projects with the use of neural networks', Paper presented at the 28th International European Safety and Reliability Conference, Trondheim, Norway (17-21 June).

Grimsey, D. and Lewis, M.K. (2002) 'Evaluating the risks of public private partnerships for infrastructure projects', *International Journal of Project Management*, vol. 20, no. 2, pp. 107-118.

Gupta, V.K. and Thakkar, J.J. (2018) 'A quantitative risk assessment methodology for construction project', *Sadhana-Academy Proceedings in Engineering Sciences*, vol. 43, no. 7, pp. 1-16.

Ha, L.H., Hung, L. and Trung, L.Q. (2018) 'A risk assessment framework for construction project using artificial neural network', *Journal of Science and technology in Civil Engineering*, vol. 12, no. 5, pp. 51-62.

Heerkens, G.R. (2002) *Project Management*, 1st edn. USA: McGraw-Hill

Jia, G., Ni, X., Chen, Z., Hong, B., Chen, Y., Yang, F. and Lin, C. (2013) 'Measuring the maturity of risk management in large-scale construction projects', *Automation in Construction*, vol. 34, pp. 56-66.

Karimiazari, A., Mousavi, N., Mousavi, S.F. and Hosseini, S. (2011) 'Risk assessment model selection in construction industry', *Expert Systems with Applications*, vol. 38, no. 8, pp. 9105-9111.

Kasapoglu, E. (2018) 'Risk Management in Construction', in A. Almusaed and A. Almsad (ed.) *Sustainable Buildings Interaction Between a Holistic Conceptual Act and Materials Properties*, pp. 48-72. Sweden: IntechOpen.

Keshk, A.M., Maarouf, I. and Annany, Y. (2018) 'Special studies in management of construction risks, risk concept, plan building, risk quantitative and qualitative analysis, risk response strategies', *Alexandria Engineering Journal*, vol. 57, no. 4, pp. 3179-3187.

Khodakarami, V. and Abdi, A. (2014) 'Project cost risk analysis: A Bayesian networks approach for modeling dependencies between cost items', *International Journal of Project management*, vol. 32, no. 7, pp. 1233-1245.

Korombel, A. and Tworek, P. (2009) 'Qualitative risk analysis as a stage of risk management in investment projects: advantages and disadvantages of selected methods-theoretical approach', *Journal of Interdisciplinary Research*, pp. 51-54.

Landa, A.H., Szabo, I., Le Brun, L., Owen, I., Fletcher, G. and Hill, M. (2011) 'An Evidence-Based Approach to Scoping Reviews', *The Electronic Journal Information Systems Evaluation*, vol. 14, no. 1, pp. 46-52.

Li, X., Chen, G. and Zhu, H. (2016) 'Quantitative risk analysis on leakage failure of submarine oil and gas pipelines using Bayesian network', *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 103, pp. 163-173.

Lim, S.K. and Yang, J. (2008) 'Understanding the Need of Project Stakeholders for Improving Sustainability Outcomes in Infrastructure Projects', Paper presented at the Performance and Knowledge Management Joint CIB Conference, Helsinki, Finland (3-4 June).

Luu, V.T., Kim, S.Y., Tuan, N.V and Ogunlana, S.O. (2009) 'Quantifying schedule risk in construction projects using Bayesian belief networks', *International Journal of project Management*, vol. 27, no. 1, pp. 39-50.

Mak, S. and Wong, L. (1997) 'Estimating using risk analysis for construction', Paper presented at the 13th Annual ARCOM Conference, Association of Researchers in Construction Management, King's College, Cambridge, United Kingdom (15-17 September).

Merna, T. And Al-Thani, F.F. (2008) *Corporate Risk Management*, 2nd edn. West Sussex, England: John Willey & Sons.

Mhetre, K., Konnur, B.A. and Landage A.B. (2016) 'Risk Management in Construction Industry', *International Journal of Engineering Research*, vol. 5, no. 1, pp. 153-155.

Mokhtari, K., Ren, J., Roberts, C. and Wang, J. (2011) 'Application of a generic bow-tie based risk analysis framework on risk management of sea ports and offshore terminals', *Journal of Hazardous Materials*, vol. 192, no. 2, pp. 465-475.

Moran, A. (2014) *Agile Risk Management*, 1st edn. Zurich, Switzerland: Springer.

Munier, N. (2014) *Risk Management for Engineering Projects: Procedures , Methods and Tools*, 1st edn. Valencia, Spain: Springer.

Mustafa, M.A. and Al-Bahar, J.F. (1991) 'Project Risk Assessment Using the Analytic Hierarchy Process', *IEEE Transactions of Engineering Management*, vol. 38, no. 1, pp. 46-52.

Nicholas, J.M. and Steyn, H. (2012) *Project Management for Engineering, Business and Technology*, 4th edn. Abingdon, Oxon, England: Routledge.

Odimabo, O.O., Oduoza, C.F. and Suresh, S. (2018) 'An Insight into the Process, Tools and Techniques for Construction Risk Management', in C.F. Oduoza (ed.) *Risk Management Treatise for Engineering Practitioners*, pp. 3-24. United Kingdom: IntechOpen.

Ogunbayo, O.M. (2014) 'Assessment of risk analysis processes in the Nigerian construction industry: contractors' and project managers' views', *International Journal of Advancements in Research and Technology*, vol. 3, no. 11, pp. 36-42.

Pinto, A., Nunes, I.L. and Ribeiro, R. (2010) 'Qualitative Model for Risk Assessment in Construction Industry: A Fuzzy Logic Approach', *Emerging Trends in Technological Innovation*, vol. 314, pp. 105-111.

Pricewaterhouse Coopers Business Solutions S.A. (PwC) (2018) *Infrastructure in Greece: Funding the future*. Athens, Greece: Pricewaterhouse Coopers Business Solutions S.A.

Project Management Institute (PMI) (2009) *Practice Standard for Project Risk Management*, 1st Edition, Project Management Institute, Pennsylvania, USA.

Project Management Institute (PMI) (2013) *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*, 5th Edition, Project Management Institute, Pennsylvania, USA.

Purnus, A. and Bodea, C.N. (2013) 'Considerations on Project Quantitative Risk Analysis', *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 74, pp. 144-153.

Purwanggono, B. and Margarete, A. (2017) 'Risk assessment of underpass infrastructure project based on ISO 31000 and ISO 21500 using fishbone diagram and RFMEA (project risk failure mode and effect analysis) method', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 277, no. 1, pp. 1-8.

Razi, P.Z., Ali, M.I. and Ramli, N.I. (2019) 'AHP-based analysis of the risk assessment delay case study of public road construction project: an empirical study', *Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 14, no. 2, pp.875-891.

Rihar, L., Zuzek, T., Berlec, T. and Kusar, J. (2019) 'Standard Risk Management Model for Infrastructure Projects', in N. Khatleli (ed.) *Risk Management in Construction Projects*, pp. 1-16. South Africa: IntechOpen.

Rheinboldt, P. (2013) 'Bow-tie Risk Analysis', Paper presented at the 31st Mining Convention of the Institute of Mining Engineers of Peru, Institute of Mining Engineers of Peru, Lima, Peru (13-20 September).

Sarkar, D. and Dutta, G. (2011) 'A Framework of project Risk Management for the Underground Corridor Construction of Metro Rail'. IIM Working Paper No 2011-02-05. Ahmedabad, India: Indian Institute of Management.

Schieg, M. (2006) 'Risk management in construction project management', *Journal of Business Economics and Management*, vol. 7, no. 2, pp. 77-83.

Septiawan, D.B. and Bektı, R. (2016) 'Analysis of project construction delay using fishbone diagram at PT Rekayasa Industri'. *Journal of Business Management*, vol. 5, no. 5, pp. 634-650.

Serpell, A., Ferrada, X., Rubio, L. and Arauzo, S. (2015) 'Evaluating risk management practices in construction organizations'. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 194, pp. 201-210.

Sharma, S.K. (2013) 'Risk Management in Construction Projects Using Combined Analytic Hierarchy Process and Risk Map Framework', *IUP Journal of Operations Management*, vol. 12, no. 4, pp. 1-19.

Smith, M. (2006) 'Dam Risk Analysis Using Bayesian Networks', Paper presented at the 2006 ECI Conference on Geohazards, Engineering Conferences International, Lillehammer, Norway (18-21 June).

Sousa, R.L. and Einstein, H.H. (2012) 'Risk analysis during tunnel construction using Bayesian Networks: Porto Metro case study', *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 27, no. 1, pp. 86-100.

Srinivas, K. (2019) 'Process of Risk Management', in A.G. Hessami (ed.) *Perspectives on Risk, Assessment and Management Paradigms*, pp. 1-16. United Kingdom: IntechOpen.

Szymanski, P. (2017) 'Risk management in construction projects', *Procedia-Engineering*, vol. 208, pp. 174-182.

Tah, J.H.M., Thorpe, A. and McCaffer R. (1993) 'Contractor project risk contingency allocation using linguistic approximation', *Computing Systems in Engineering*, vol. 4, no. 2-3, pp. 281-293.

Tan, D. (2002) 'Quantitative Risk Analysis Step-By-Step'. SANS Institute Working Paper 1.4b-Option 1. Maryland, USA: Escal Institute of Advanced Technologies.

Thaheem, M.J., De Marco, A. and Barlish K. (2012) 'A review of quantitative analysis techniques for construction project risk management', Paper presented at the 2012 Creative Construction Conference, Budapest, Hungary (30 June-3 July).

Toljaga-Nikolic, D., Todorovic, M. and Bjelica, D. (2018) 'Application of the FMEA technique in a project risk analysis', *European Project Management Journal*, vol. 8, no. 2, pp. 36-42.

Tworek, P. (2014a) 'Quantitative risk analysis in investment projects in construction (advantages and disadvantages of selected methods)'. Department of Investments and Real-Estate, Division of Investment Project Economics, Faculty of Finance and Insurance, Investments, Economics Unit, University of Economics in Katowice.

Tworek, P. (2014b) 'Sensitive Analysis and Break-Even Point Analysis as methods of risk quantification in companies' investment projects-survey research'. Department of Investments and Real-Estate, Division of Investment Project Economics, Faculty of Finance and Insurance, Investments, Economics Unit, University of Economics in Katowice

Ugwu M.C., Osunsanmi, T.O. and Aigbavboa C.O. (2019) 'Evaluation of Risk Management Practice in the Nigeria Construction Industry', Paper presented at the 2019 Modular and Offsite Construction Summit, Fairmont Banff Springs Hotel, Banff, AB, Canada (21-24 May).

Βιβλιογραφικές αναφορές

United Nations (UN) (2000) *Handbook on geographic information systems and digital mapping*, Studies in methods, Series F, No. 79, Department of Economic and Social Affairs Statistics Division, United Nations, New York, USA.

Wibowo, M.A., Hatmoko, J.U.D. and Nurdiana, A. (2018) 'Risk Management in Indonesia Construction Project: A Case Study of a Toll Road Project' in C.F. Oduoza (ed.) *Risk Management Treatise for Engineering Practitioners*, pp. 121-138. United Kingdom: IntechOpen.

Williams, T.M. (1993) 'Risk-management infrastructures', *International Journal of Project Management*, vol. 11, no. 1, pp. 5-10.

World Economic Forum (2016) *The Global Competitiveness Report: 2016-2017*, Insight Report, World Economic Forum, Geneva, Switzerland.

Zavadskas, E. K., Turskis, Z. and Tamosaitiene, J. (2010) 'Risk assessment of construction projects', *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 16, no. 1, pp. 33-46.

Ελληνική Γλώσσα

Βασιλειάδης, Β. (2009) *Διαχείριση κινδύνου*, σημειώσεις παραδόσεων, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας.

Ζαφειρίου, Γ. (2019) *Βιβλιογραφική επισκόπηση*, σημειώσεις παραδόσεων, Μεθοδολογία Έρευνας, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στη Διοίκηση Επιχειρήσεων, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας.

Καλοφώλιας, Α.Π. (2008) 'Το τεχνικό έργο: η φύση και τα είδη του, οι φάσεις και ο χρόνος του κύκλου του έργου, οι συντελεστές δημιουργίας του', Παρουσίαση σε ημερίδα με θέμα «Αντικείμενο, συνθήκες και προβλήματα της δραστηριοποίησης των Ελλήνων τεχνικών στο εξωτερικό», Υπουργείο Εξωτερικών-Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (13 Οκτωβρίου).

Κουλίνας, Γ. (2016) *Διαχείριση κινδύνων έργων*, σημειώσεις παραδόσεων, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.

Μπίσμπα, Α. (2015) 'Η διεργασία αναγνώρισης κινδύνων στην κατασκευή έγχυτων διαφραγματικών τοίχων με χρήση εναιωρήματος μπεντονίτη', Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Διοίκησης και Διαχείρισης Τεχνικών Έργων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Ξενίδης, Ι. (2016) *Ο σχεδιασμός του έργου: Οι διεργασίες στη γνωστική περιοχή της διαχείρισης της επικινδυνότητας του έργου*, σημειώσεις παραδόσεων, Διαχείριση Έργων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Ξύντας, Ι (2010) 'Διαχείριση κινδύνων έργων στην ελληνική κατασκευαστική βιομηχανία', Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στη Διοίκηση Επιχειρήσεων, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη.

Πατελάρου, Ε. και Μπροκαλάκη, Η. (2010) 'Μεθοδολογία της Συστηματικής Ανασκόπησης και Μετα-ανάλυσης', *Νοσηλευτική*, τόμος 49, τεύχος. 2, σελ. 122-130.

Πρωτοπαππάς, Α. (2015) *Βελτιστοποίηση τεχνικών συστημάτων*, 1η έκδοση, Αθήνα, Ελλάδα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.