



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

## **Διπλωματική Εργασία**

**Διαχείριση Κινδύνου – Αβεβαιότητας σε Βιομηχανικά Έργα –  
Βιβλιογραφική Επισκόπηση**

**Σταμάτης Στεβής**

**71444287**

**Επιβλέπων καθηγητής: Αβραάμ Χατζόπουλος**

**Αθήνα, Μάρτιος 2024**





**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

## Διπλωματική Εργασία

### **Διαχείριση Κινδύνου - Αβεβαιότητας σε Βιομηχανικά Έργα - Βιβλιογραφική Επισκόπηση**

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής Συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η παρούσα διπλωματική εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την τριμελή εξεταστική επιτροπή, η οποία ορίστηκε από την Γ.Σ. του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, σύμφωνα με το νόμο και τον εγκεκριμένο Οδηγό Σπουδών του τμήματος.

Επιβλέπων: Σκλαβούνου Ελένη Ορσαλία - Λέκτορας Εφαρμογών

**Επιβλέπων:** Χατζόπουλος Αβραάμ  
Λέκτορας

#### **Επιτροπή Αξιολόγησης:**

.....  
Χατζόπουλος Αβραάμ  
Λέκτορας

.....  
Σκλαβούνου Ελένη Ορσαλία  
Λέκτορας Εφαρμογών

.....  
Δρόσος Χρήστος  
ΕΔΙΠ

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος Στεβής Σταμάτης του Σταύρου, με αριθμό μητρώου 71444287 φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



## Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	6
ABSTRACT.....	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	8
1.1 Ο κύκλος ζωής ενός έργου.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	12
2.1 Οι έννοιες του κινδύνου και της αβεβαιότητας .....	12
2.2 Διαχείριση κινδύνων και αβεβαιότητας σε έργα .....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....	18
3.1 Ποιοτική ανάλυση κινδύνου και αβεβαιότητας σε έργα .....	18
3.2 Brainstorming (Καταιγισμός Ιδεών).....	19
3.3 Delphi .....	24
3.4 SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) .....	29
3.5 HAZOP (Hazard and Operability Analysis) .....	33
3.6 FTA (Fault Tree Analysis) .....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....	44
4.1 Ποσοτική ανάλυση κινδύνου και αβεβαιότητας σε έργα .....	44
4.2 Monte Carlo .....	46
4.3 FMEA (Failure Mode Effect Analysis) .....	53
4.4 ETA (Event Tree Analysis) .....	65
4.4 BT (Bow-Tie Analysis).....	73
4.5 PERT (Program Evaluation and Review Technique) .....	80
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	85
Βιβλιογραφία .....	87

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι έννοιες του κινδύνου και της αβεβαιότητας συναντώνται καθημερινά σε πάρα πολλούς τομείς της ανθρώπινης ζωής με αποτέλεσμα ο άνθρωπος να έχει μάθει να τα διαχειρίζεται. Ένας τομέας στον οποίο αυτές οι δύο έννοιες παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο είναι εκείνος των έργων και πιο συγκεκριμένα, τα βιομηχανικά έργα. Η διαχείριση των κινδύνων και της αβεβαιότητας δεν λογίζονται πλέον ως ένα επιπρόσθετο στοιχείο της υλοποίησης των έργων αλλά είναι πλέον ένα αναπόσπαστο κομμάτι του σχεδιασμού τους. Υπάρχουν πολλοί τρόποι διαχείρισης κινδύνων και αβεβαιότητας οι οποίοι μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες οι οποίες είναι οι ποιοτικές μέθοδοι διαχείρισης κινδύνου και οι ποσοτικές μέθοδοι διαχείρισης κινδύνου. Ο στόχος της ποιοτικής ανάλυσης κινδύνου και αβεβαιότητας σε βιομηχανικά έργα είναι να αξιολογήσει και να κατανοήσει τους πιθανούς κινδύνους και τις αβεβαιότητες που μπορεί να παρουσιαστούν κατά τη διάρκεια του έργου. Από την άλλη πλευρά η ποσοτική ανάλυση είναι μια διαδικασία διαχείρισης κινδύνου που περιλαμβάνει την αξιολόγηση και εκτίμηση των κινδύνων με χρήση αριθμητικών τιμών και μαθηματικών όρων και τεχνικών. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την διαχείριση των κινδύνων είναι απλά εργαλεία στα χέρια των ειδικών που πρόκειται να διεξάγουν κάθε φορά μια μελέτη επομένως δεν υπάρχει απάντηση στην ερώτηση, πια τεχνική είναι καλύτερη από τις υπόλοιπες. Κάθε μια έχει την δική της χρησιμότητα και επομένως το πάνελ των ειδικών είναι υπεύθυνο να επιλέξει κάθε φορά πια τεχνική ταιριάζει καλύτερα στη περίπτωση που μελετάται. Δεν είναι λίγες οι φορές που γίνεται και χρήση συνδυασμού τεχνικών. Το μόνο σίγουρο είναι ότι οι τεχνικές διαχείρισης κινδύνου δεν πρόκειται να σταματήσουν να χρησιμοποιούνται σύντομα.

Λέξεις κλειδιά – Κίνδυνος, αβεβαιότητα, έργο, ποιοτική ανάλυση, ποσοτική ανάλυση

## ABSTRACT

The concepts of risk and uncertainty are encountered daily in many areas of human life, leading individuals to learn how to manage them effectively. One area where these two concepts play a significant role is that of projects, specifically industrial projects. The management of risks and uncertainties is no longer considered an addi-

tional element of project implementation but rather an integral part of their planning. There are many ways to manage risks and uncertainties, which can be divided into two major categories: qualitative risk management methods and quantitative risk management methods. The goal of qualitative risk and uncertainty analysis in industrial projects is to assess and understand the potential risks and uncertainties that may arise during the project. On the other hand, quantitative analysis is a risk management process that involves assessing and estimating risks using numerical values, mathematical terms, and techniques. The methods used for risk management are simply tools in the hands of specialists who conduct each study, so there is no definitive answer to which technique is better than the others. Each has its own utility, and therefore, it is the responsibility of the panel of experts to choose which technique best fits the case being studied each time. It is not uncommon for a combination of techniques to be used. The only certainty is that risk management techniques are not likely to cease being used anytime soon.

Key-words- Risk, uncertainty, project, qualitative analysis, quantitative analysis

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο κίνδυνος και η αβεβαιότητα είναι δύο έννοιες που όλοι μας συναντάμε καθημερινά στις περισσότερες, αν όχι σε όλες τις πτυχές της ζωής μας. Όπως και στη ζωή έτσι και στη βιομηχανία αυτοί οι δύο όροι συναντώνται πολύ συχνά, όχι μόνο γενικά αλλά και πιο ειδικά κατά τη διάρκεια σχεδίασης και υλοποίησης των έργων. Κάθε εταιρεία, όμιλος ή οργανισμός που καλείται να φέρει εις πέρας ένα έργο, έρχεται αργά ή γρήγορα αντιμέτωπη με κινδύνους και αβεβαιότητες που πρέπει να διαχειριστεί.

Η διαχείριση έργων έχει γίνει αναπόσπαστο κομμάτι της επιχειρηματικής διαδικασίας για πολλές εταιρείες τόσο σε στρατηγικό όσο και σε επιχειρηματικό επίπεδο. Όλα τα έργα είναι σε ένα βαθμό μοναδικά ωστόσο στα περισσότερα υπάρχουν κάποιες σημαντικές ομοιότητες, όπως ο περιορισμός ως προς το κόστος και το χρόνο (Perminova, et al., 2008). Η διαχείριση του κινδύνου είναι μια δραστηριότητα βασισμένη στη λογική, την γνώση, την εμπειρία αλλά ακόμη και το

ένστικτο. Ειδικότερα τα τελευταία χρόνια η διαχείριση κινδύνου έργων έχει εξελιχθεί σε μια αποτελεσματική πρακτική της διαχείρισης έργων καθώς μέχρι πρόσφατα θεωρούνταν απλά ένα πρόσθετο στοιχείο. Τα είδη των κινδύνων που μπορεί να προκύψουν κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός έργου είναι πολλά γι' αυτό έχουν αναπτυχθεί εργαλεία και τεχνικές με σκοπό είτε την εξάλειψη είτε τον μετριασμό τους (Cagliano, et al., 2015).

Η παρούσα εργασία είναι μια βιβλιογραφική επισκόπηση, η οποία εξετάζει τους τρόπους και τις τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί για την εξάλειψη, τον μετριασμό και τη διαχείριση κινδύνων που ενδέχεται να προκύψουν ή που προκύπτουν σε ένα έργο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### 1.1 Ο κύκλος ζωής ενός έργου

Ένα έργο ορίζεται ως μια ακολουθία εργασιών που πρέπει να ολοκληρωθούν για να επιτευχθεί ένα συγκεκριμένο αποτέλεσμα. Σύμφωνα με το Project Management Institute (PMI), ο όρος Έργο αναφέρεται σε κάθε ατομική ή συλλογική προσπάθεια με καθορισμένη αρχή και τέλος (Agung Wibowo, et al., 2018). Ο Κύκλος Ζωής ενός έργου ουσιαστικά σηματοδοτεί την αρχή και το τέλος του και είναι σημαντικός καθώς με έναν προσεκτικό σχεδιασμό πολλοί κίνδυνοι μπορούν να προβλεφθούν εξ αρχής.

Τα τεχνικά έργα μπορούν να διαχωριστούν σε μέρη τα οποία ονομάζονται φάσεις, οι οποίες χωρίζονται σε στάδια, τα οποία με τη σειρά τους αποτελούνται από βήματα. Ο Κύκλος Ζωής ενός έργου αποτελείται από 4 φάσεις οι οποίες χωρίζονται σε 8 στάδια. Σε κάθε στάδιο ακολουθούνται κάποια βήματα με σκοπό τον στρατηγικό σχεδιασμό του έργου πριν αρχίσει η διαδικασία υλοποίησης του (Bonnal, et al., 2002).

**Σύλληψη ιδέας:** Κατά τη φάση αυτή ή εταιρεία ή ο οργανισμός που αναλαμβάνει το έργο προσδιορίζει το προϊόν το οποίο πρόκειται να παραχθεί και τα αναμενόμενα οφέλη που θα προκύψουν από αυτό (Charman, et al., 2013). Υπάρχουν πολλές λεπτομέρειες οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψιν όπως τα άτομα της ομάδας που θα



αναλάβουν να υλοποιήσουν το έργο, τα επιμέρους αλλά και το συνολικό κόστος, η ποιότητα της κατασκευής αλλά και ο χρόνος που θα χρειαστεί για την ολοκλήρωση της διαδικασίας. Είναι σημαντικό να καταλαβαίνουν όλα τα μέλη που συμμετέχουν στο έργο της αρμοδιότητες και τις ευθύνες τους ώστε να προληφθούν κίνδυνοι που ενδεχομένως να προκύψουν σε μεταγενέστερα στάδια του έργου (Agung Wibowo, et al., 2018). Κατά το τέλος της φάσης αυτής γίνεται μια αξιολόγηση του μέχρι στιγμής σχεδίου. Μια θετική αξιολόγηση σημαίνει πως το έργο μπορεί να προχωρήσει στην επόμενη φάση, ενώ μια αρνητική θα έχει ως αποτέλεσμα το έργο να τερματιστεί. Υπάρχει βέβαια και το ενδιάμεσο στάδιο όπου σε αυτό είναι απαραίτητο να επαναληφθούν ορισμένα ή και όλα τα βήματα ώστε να έχουμε καλύτερο τελικό αποτέλεσμα (Charman, et al., 2013).

<i>Phases</i>	<i>Stages</i>	<i>Steps</i>
conceptualization	<b>conceive</b> the product	trigger event concept capture clarification of purpose concept elaboration concept evaluation
planning	<b>design</b> the product strategically	basic design development of performance criteria design development design evaluation
	<b>plan</b> the execution strategically	basic activity and resource-based plans development of targets and milestones plan development plan evaluation
	<b>allocate</b> resources tactically	basic design and activity-based plan detail development of resource allocation criteria allocation development allocation evaluation
execution	<b>execute</b> production	co-ordinate and control monitor progress modification of targets and milestones allocation modification control evaluation
termination	<b>deliver</b> the product	basic deliverable verification deliverable modification modification of performance criteria deliver evaluation
	<b>review</b> the process	basic review review development review evaluation
	<b>support</b> the product	basic maintenance and liability perception development of support criteria support perception development support evaluation

*Πίνακας 1.1 Κύκλος Ζωής Προϊόντος (Chapman, et al., 2013)*

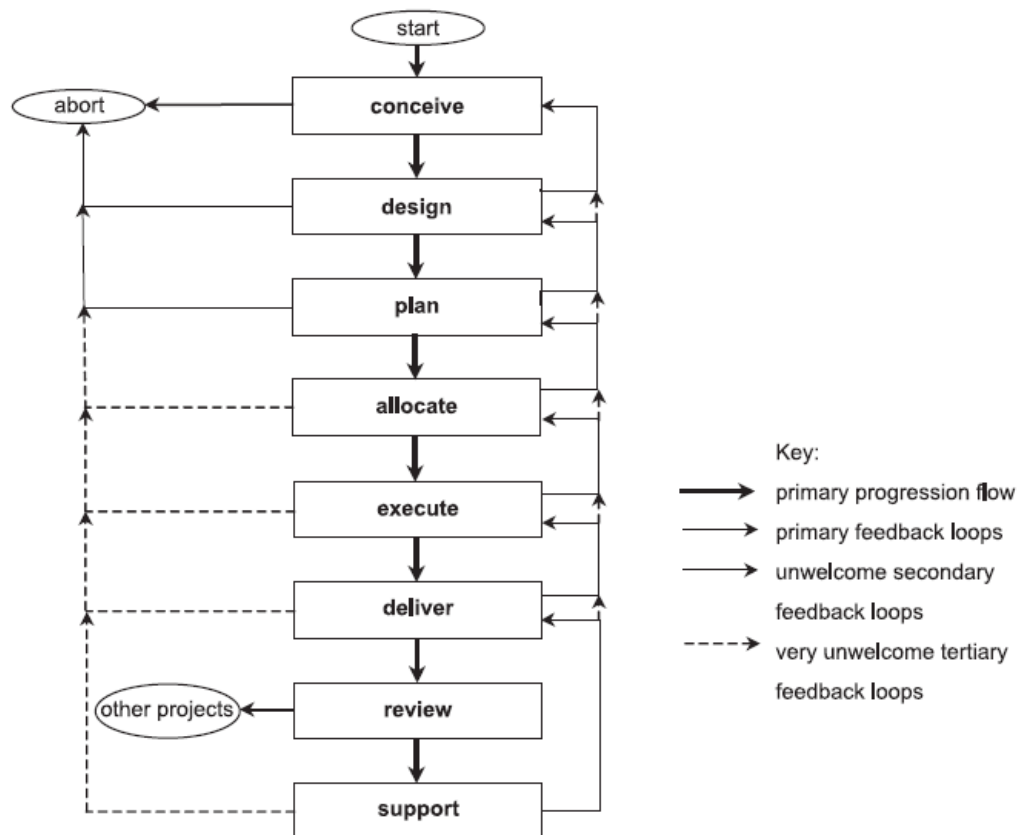
**Σχεδίαση:** Μια θετική συνολική αξιολόγηση της προηγούμενης φάσης σημαίνει ότι το έργο μπορεί να προχωρήσει στη δεύτερη φάση που είναι εκείνη της σχεδίασης του έργου. Το στάδιο αυτό είναι πολύ σημαντικό καθώς εδώ καθορίζονται παράγοντες όπως οι στόχοι του έργου, οι πόροι που θα δαπανηθούν αλλά και το πως θα καταναμηθούν (Chapman, et al., 2013). Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, υψηλόβαθμα στελέχη από διάφορες ομάδες που συνεισφέρουν στην υλοποίηση του

έργου καλούνται να συνεργαστούν μεταξύ τους ώστε αξιολογηθούν οι τρέχουσες διαδικασίες και να εντοπιστούν εμπόδια που μπορεί να βλάψουν την διαδικασία. Σημαντικό ρόλο παίζουν σε αυτό το σημείο οι δεξιότητες και οι γνώσεις των ατόμων που συμμετέχουν σε αυτή τη διαδικασία. Η έλλειψη εμπειρίας σε αυτό το σημείο μπορεί να οδηγήσει καθυστερήσεις του χρονοδιαγράμματος και διόγκωση του κόστους (Agung Wibowo, et al., 2018). Βασιζόμενοι στους στόχους απόδοσης που έχουν τεθεί η ομάδα πρέπει να πραγματοποιήσει μια εμπειριστατωμένη ανάλυση και να ανασχεδιάσει διαδικασίες που τυχαίνει να χρειάζονται βελτίωση (Hussein, et al., 2014).

**Εκτέλεση:** Η έναρξη αυτής της φάσης σημαίνει ότι η σχεδίαση του έργου έχει τελειώσει και πλέον ξεκινάει το πρακτικό κομμάτι της διαδικασίας. Η κύρια απειλή στη φάση αυτή είναι ότι οι διαδικασίες συντονισμού και ελέγχου μπορεί να αποδειχθούν ανεπαρκείς. Στο σημείο αυτό είναι που εμφανίζονται συνήθως αβεβαιότητες αλλά και ευκαιρίες που δεν είχαν εντοπιστεί νωρίτερα (Charman, et al., 2013). Τα στοιχεία που κάνουν αυτή τη φάση σημαντική είναι ότι από την πορεία της εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό η τελική ποιότητα της κατασκευής. Επομένως για την εξασφάλιση αυτού του στόχου είναι σημαντικό να προσλαμβάνονται εργαζόμενοι με τις απαραίτητες δεξιότητες για την σωστή παραγωγή του προϊόντος αλλά και επιτηρητές με την δυνατότητα να συντονίζουν τις διάφορες δραστηριότητες που πρέπει να εκτελεστούν. Με την πάροδο αυτής της φάσης τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι τα τελικά προϊόντα αλλά και έγγραφα που επιθεωρούνται από τη διοίκηση και έχουν να κάνουν με τον έλεγχο της ποιότητας, τον έλεγχο των οικονομικών του έργου, τον έλεγχο των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν, αποτελέσματα συναντήσεων καθώς και αποτελέσματα επιθεωρήσεων (Agung Wibowo, et al., 2018).

**Κατάληξη:** Η τελική φάση όλης της διαδικασίας είναι η φάση της κατάληξης. Ένας βασικός κίνδυνος που μπορεί να εμφανιστεί σε αυτό το στάδιο είναι το τελικό προϊόν να μην πληροί τελικά τα αναμενόμενα κριτήρια απόδοσης. Κάτι τέτοιο μπορεί να προκύψει εφόσον δεν έχουν αξιολογηθεί και αντιμετωπιστεί σωστά αβεβαιότητες που έχουν προκύψει σε προηγούμενες φάσεις (Charman, et al., 2013). Στο στάδιο αυτό συνήθως ο εργολάβος κάνει μια τελική δοκιμή του προϊόντος πριν αυτό παραδοθεί στους πελάτες. Αν όλα πάνε καλά τότε το τελικό προϊόν είναι έτοιμο για διανομή (Agung Wibowo, et al., 2018). Μετά την παράδοση του προϊόντος στον

πελάτη η κατασκευάστρια εταιρεία παρέχει εγγυήσεις και είναι υπεύθυνη για την υποστήριξη και τη συντήρησή του (Charman, et al., 2013).



Σχήμα 1.1 Σταδιακή εξέλιξη και δομή ανατροφοδότησης (Charman, et al., 2013)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2.1 Οι έννοιες του κινδύνου και της αβεβαιότητας

Παρόλο που ο κίνδυνος είναι ένα τόσο κοινό στοιχείο και συναντάται σε όλα τα έργα, στη βιβλιογραφία δεν υπάρχει ένας κοινός ορισμός για το τι είναι τελικά ο κίνδυνος. Σύμφωνα με την (Perminova, et al., 2008) «Ως κίνδυνος ορίζεται ένα αβέβαιο γεγονός που εάν συμβεί έχει θετικές ή αρνητικές επιπτώσεις σε τουλάχιστον έναν από τους στόχους του έργου όπως ο χρόνος, το κόστος ή η ποιότητα..» Επιπρόσθετα σύμφωνα με τον Dale Cooper (Charman, et al., 2013) ο κίνδυνος είναι η έκθεση στις συνέπειες της αβεβαιότητας. Επίσης ο Cooper συμφωνεί με την Perminova ότι στα πλαίσια ενός έργου, ο κίνδυνος αναφέρεται στην πιθανότητα να συμβεί ένα γεγονός το οποίο θα επηρεάσει έναν ή όλους τους στόχους του έργου όπως το κέρδος ή το προγραμματισμένο επιθυμητό αποτέλεσμα. Έτσι σύμφωνα με τον Cooper ο κίνδυνος έχει δύο στοιχεία:

- Την πιθανότητα να συμβεί κάτι
- Τις συνέπειες ή επιδράσεις αν συμβεί

Μια τρίτη προσέγγιση στο θέμα γίνεται από τον (Aven, 2010) ο οποίος καταλήγει από την πλευρά του ότι ο κίνδυνος έχει τους τρεις ακόλουθους ορισμούς:

- Ο κίνδυνος είναι μια μέτρηση της σοβαρότητας των ανεπιθύμητων επιπτώσεων.
- Ο κίνδυνος είναι ο συνδυασμός ενός γεγονότος και των συνεπειών του.
- Ο κίνδυνος ισούται με την τριάδα  $(s_i, p_i, c_i)$ , όπου  $s_i$  είναι το  $i$ -οστό σενάριο,  $p_i$  είναι η πιθανότητα αυτού του σεναρίου και  $c_i$ , είναι η συνέπεια του  $i$ -οστού σεναρίου, με  $i = 1, 2, \dots, N$ .

Το κοινό στους τρεις παραπάνω ορισμούς είναι ότι η έννοια του κινδύνου περιλαμβάνει γεγονότα (γεγονότα εκκίνησης, σενάρια), συνέπειες (αποτελέσματα) και πιθανότητες.

Όπως και με τον κίνδυνο έτσι και με την αβεβαιότητα παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο καθώς ούτε εκείνη φαίνεται να έχει έναν συγκεκριμένο ορισμό στην βιβλιογραφία. Σύμφωνα με τον (Migilinskas, et al., 2008) ως αβεβαιότητα μπορεί να οριστεί θεωρητικά η έλλειψη βεβαιότητας που περιλαμβάνει μεταβλητότητα ή/και ασάφεια. Η διαχείριση της αβεβαιότητας είναι ουσιαστικά η διαχείριση αντιληπτών απειλών, των ευκαιριών αλλά και των επιπτώσεων τους στο έργο (Migilinskas, et al., 2008). Ένας δεύτερος ορισμός της αβεβαιότητας σύμφωνα με την (Perminova, et al., 2008) αναφέρει το εξής: « Ως επί το πλείστο η αβεβαιότητα σε ένα έργο περιγράφεται ως η πιθανότητα ότι η αντικειμενική συνάρτηση δεν θα φτάσει την προγραμματισμένη τιμή που έχει τεθεί ως στόχος ή ως άγνωστη πιθανότητα να συμβεί κάποιο γεγονός.»

Εκτός από τα βιομηχανικά έργα, οι έννοιες του κινδύνου και της αβεβαιότητας συναντώνται σε διάφορους τομείς. Αναλόγως με τον τομέα με τον οποίο ασχολούμαστε η μετάφραση των εννοιών αυτών αλλάζει. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η αλλαγή της σημασίας των εννοιών αυτών ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής τους.

	Risk	Uncertainty
Economics	Risk refers to events subject to known or knowable probability distribution	Uncertainty is a situation for which it is not possible to specify numerical probabilities Uncertainty is a state in which individual actors find it impossible to attribute a reasonably definite probability to the expected outcome of their choice
Psychology Philosophy Org. theory	Risk is the fact that the decision is made under conditions of known probabilities	Uncertainty is a state of mind characterized by a conscious lack of knowledge about the outcomes of an event Doubt presupposes certainty Uncertainty emanates from a set of objective but largely unmeasured environmental characteristics
Dictionary	The possibility of something bad happening at some time in the future; the situation that could be dangerous or have a bad result	Uncertainty is the state of being uncertain; something you can not be sure about
Project management	Risk is an uncertain event or condition that, if it occurs, has a positive or negative effect on at least one project objective, such as time, cost, scope or quality	

*Πίνακας 2.1 Κίνδυνος και αβεβαιότητα όπως ορίζονται σε διάφορους κλάδους (Perminova, et al., 2008)*

## 2.2 Διαχείριση κινδύνων και αβεβαιότητας σε έργα

Όπως προαναφέρθηκε ο κίνδυνος είναι παρόν σε όλες τις πτυχές της ζωής του ανθρώπου και το ίδιο συμβαίνει και με τα έργα. Η άποψη ότι ένα έργο δεν περιλαμβάνει κίνδυνο είναι ουτοπική και σε κάθε περίπτωση ένα τέτοιο έργο δεν θα έπρεπε να ακολουθηθεί. Όλα τα έργα περιλαμβάνουν το στοιχείο του κινδύνου και η αναγνώρισή του μπορεί να επιφέρει τελικά θετικά αποτελέσματα (Perminova, et al., 2008). Γενικά τα απρόβλεπτα γεγονότα που μπορεί να συμβούν μπορεί να έχουν είτε θετικές είτε αρνητικές συνέπειες σε ένα έργο. Οι θετικές συνέπειες ονομάζονται ευκαιρίες ενώ οι αρνητικές προκαλούν απώλειες. Όσο πιο νωρίς αναγνωριστεί ένας κίνδυνος, τόσο περισσότερες ευκαιρίες έχει να μετατραπεί τελικά σε ευκαιρία η οποία θα έχει θετικά αποτελέσματα (Ahmed, et al., 2007). Οι οργανισμοί που κατανοούν καλύτερα τη φύση των κινδύνων μπορούν να τους διαχειριστούν αποτελεσματικότερα με αποτέλεσμα να καταφέρνουν να αποφεύγουν απρόβλεπτες καταστροφές, αλλά και να εξοικονομούν πόρους για άλλες επενδύσεις (Charman, et al., 2013). Για το λόγο αυτό λοιπόν ήδη από τη δεκαετία του 1950 έχουν υπάρξει διάφορες προσεγγίσεις για την διαχείριση κινδύνου σε ένα έργο (Perminova, et al., 2008). Η διαδικασία διαχείρισης του κινδύνου αναφέρεται στον εντοπισμό αδυναμιών και προβλημάτων στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη προϊόντων, έτσι ώστε να μπαίνει σε εφαρμογή ένα σχέδιο δράσης για την μείωση των κινδύνων ή για την μείωση των επιπτώσεών τους (Ahmed, et al., 2007). Υπάρχει

μεγάλη ποικιλία τεχνικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, αλλά το ποιες θα χρησιμοποιηθούν εξαρτάται από το πεδίο εφαρμογής του ίδιου του έργου. Μια από τις παλαιότερες απόψεις που κυριαρχεί μέχρι και σήμερα είναι εκείνη που τονίζει την σημασία του σχεδιασμού ως μια από τις κύριες διαδικασίες που με τη σειρά της θα υποστηρίξει άλλες διαδικασίες όπως ο εντοπισμός των κινδύνων, η ανάλυση, η παρακολούθηση και ο έλεγχος (Perminova, et al., 2008).

Οι τεχνικές διαχείρισης κινδύνων μπορούν να εφαρμοστούν σε διάφορες φάσεις του Κύκλου Ζωής ενός Έργου ανάλογα με τον σκοπό που εξυπηρετούν κάθε φορά. Επίσης άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή των τεχνικών είναι το μέγεθος, η πολυπλοκότητα και ο βαθμός καινοτομίας ενός έργου. Για παράδειγμα υπάρχουν τεχνικές που στοχεύουν στην ανάλυση πολλών σεναρίων ώστε να προβλεφθούν και αν αξιολογηθούν οι διάφοροι κίνδυνοι που ενδέχεται να προκύψουν. Από την άλλη υπάρχουν τεχνικές που στοχεύουν στην εύρεση των αιτιών και των συνεπειών των κινδύνων (Cagliano, et al., 2015).

Παρά την χρησιμότητα των τεχνικών διαχείρισης κινδύνου είναι σημαντικό, οι λήπτες των αποφάσεων να γνωρίζουν πως πρέπει να διαχειριστούν το κάθε σενάριο που μπορεί να προκύψει. Σε ορισμένες περιπτώσεις ενδεχομένως να μην λειτουργήσουν σωστά κάποιες τεχνικές που σε άλλες περιπτώσεις ενδέχεται να έλυναν το πρόβλημα. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι οι λήπτες αποφάσεων έρχονται αντιμέτωποι με δύο κύριους κινδύνους όταν καλούνται να κάνουν τη διαχείριση ενός έργου (Emblemsvåg, et al., 2006):

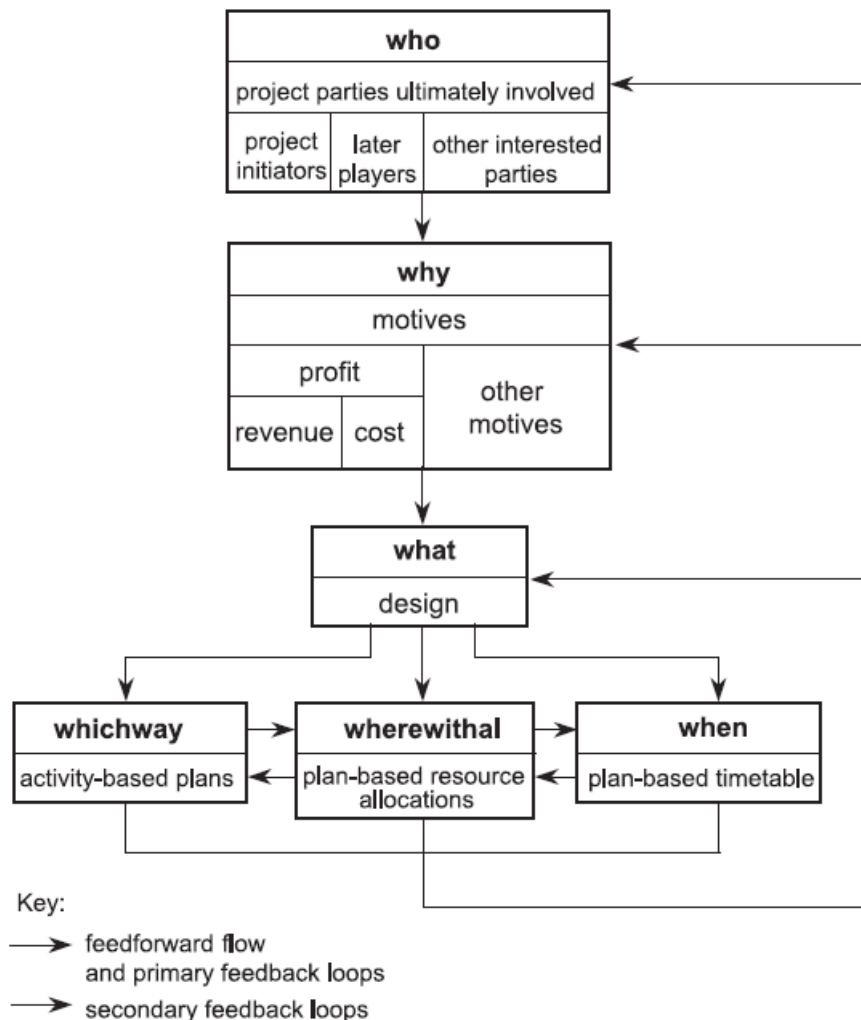
1. Τον κίνδυνο αγνόησης κινδύνων
2. Τον κίνδυνο να μην κάνουν σωστή διαχείριση κινδύνων

Ανεξάρτητα με το έργο το οποίο μελετάμε, υπάρχουν, έξι ερωτήσεις που πρέπει να απαντηθούν με σκοπό να επιλυθούν σημαντικά ζητήματα κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της διαδικασίας της διαχείρισης των κινδύνων του έργου. Οι ερωτήσεις αυτές είναι οι ακόλουθες:

- Ποιος ή ποιοι είναι οι εμπλεκόμενοι φορείς (φορείς);

- Τι επιθυμούν να επιτύχουν οι φορείς (κίνητρα);
- Τι είναι αυτό που ενδιαφέρει τους φορείς (σχεδιασμός);
- Πως πρόκειται να συμβεί αυτό (δραστηριότητες);
- Ποιοι και πόσοι πόροι απαιτούνται (πόροι);
- Μέχρι πότε πρέπει να έχει ολοκληρωθεί το έργο (χρονοδιάγραμμα);

Όπως βλέπουμε και στην παρακάτω εικόνα, η αβεβαιότητα μπορεί να εμφανιστεί από τα πολύ πρώιμα στάδια ενός έργου. Όσο νωρίτερα εμφανιστεί κατά τη διάρκεια του Κύκλου Ζωής του έργου τόσο μεγαλύτερη είναι.



Σχήμα 2.1 Διαδικασία Καθορισμού του Έργου (Charpman, et al., 2013)



Το παραπάνω μοντέλο ονομάζεται μοντέλο των 6W και παίζει σημαντικό ρόλο στα αρχικά στάδια της διαδικασίας της διαχείρισης κινδύνων. Οι εμπνευστές είναι ουσιαστικά το σύνολο των ατόμων που εκκινούν όλη τη διαδικασία και αυτό που κάνουν είναι ότι καθορίζουν το βασικό σκοπό του έργου, αλλά επίσης μελετούν τα πιθανά οφέλη και τα κίνητρα. Οι λόγοι αυτοί τις περισσότερες φορές έχουν να κάνουν με το κέρδος που είναι μια συνάρτηση του κόστους και των εσόδων όπως φαίνεται και στην παρακάτω εξίσωση:

$$\text{Κέρδος} = \text{Κόστος} - \text{Έσοδα} \quad (2.1)$$

Εφόσον ένα έργο θεωρηθεί επικερδές τότε προχωράει στο επόμενο βήμα που είναι εκείνο του σχεδιασμού όπου από εκεί και έπειτα προχωράμε στην υλοποίηση του σχεδιασμού, την κατανομή των πόρων και τον καθορισμό ενός χρονοδιαγράμματος (Chapman, et al., 2013).

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την διαχείριση των κινδύνων σε ένα έργο χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες οι οποίες είναι:

1. Οι ποιοτικές τεχνικές
2. Οι ποσοτικές τεχνικές

Ο στόχος της ποιοτικής ανάλυσης κινδύνου και αβεβαιότητας σε βιομηχανικά έργα είναι να αξιολογήσει και να κατανοήσει τους πιθανούς κινδύνους και τις αβεβαιότητες που μπορεί να παρουσιαστούν κατά τη διάρκεια του έργου. Αυτή η ανάλυση βοηθά στην αναγνώριση πιθανών απειλών, στην εκτίμηση των επιπτώσεών τους και στον καθορισμό των πιθανών στρατηγικών για την αντιμετώπισή τους. Επιπλέον, η ποιοτική ανάλυση κινδύνου και αβεβαιότητας βοηθάει στην ανάπτυξη σχεδίων δράσης για τη μείωση των κινδύνων και στην ενίσχυση της ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας του έργου. Συνολικά, ο στόχος είναι η προετοιμασία και η αντίδραση σε πιθανές δυσκολίες και αβεβαιότητες που μπορεί να προκύψουν κατά την εκτέλεση του έργου, προκειμένου να διασφαλιστεί η ομαλή πρόοδος και η επιτυχής ολοκλήρωσή του.

Από την άλλη πλευρά η ποσοτική ανάλυση είναι μια διαδικασία διαχείρισης κινδύνου που περιλαμβάνει την αξιολόγηση και εκτίμηση των κινδύνων με χρήση αριθμητικών τιμών και μαθηματικών όρων και τεχνικών. Με τον τρόπο αυτό γίνεται

μια ποσοτική αξιολόγηση και ανάλυση των κινδύνων σε όρους πιθανοτήτων. Στη διάρκεια μιας τέτοιας ανάλυσης συλλέγονται δεδομένα και πληροφορίες για τον ποσοτικό προσδιορισμό της πιθανότητας και των συνεπειών των κινδύνων που έχουν εντοπιστεί. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να ανακτηθούν με διάφορους τρόπους όπως ιστορικά αρχεία, προσομοιώσεις και στατιστικές μεθόδους. Σκοπός μιας τέτοιας ανάλυσης είναι η παροχή μιας αντικειμενικής και ποσοτικής κατανόησης των κινδύνων επιτρέποντας πιο ακριβή αξιολόγηση των κινδύνων και λήψη σωστότερων αποφάσεων. Βασικοί στόχοι μιας ποσοτικής ανάλυσης κινδύνου είναι οι εξής:

- Ποσοτικοποίηση πιθανοτήτων κινδύνων που επιτυγχάνεται με προσομοίωση διάφορων σεναρίων που βασίζονται πάνω στα διαθέσιμα δεδομένα.
- Αξιολόγηση επιπτώσεων κινδύνου που βοηθά στο να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις των κινδύνων πάνω στους στόχους του έργου.
- Αξιολόγηση έκθεσης σε κίνδυνο που επιτρέπει την κατάταξη των κινδύνων με βάση την πιθανή σοβαρότητά τους.

Η ποσοτική ανάλυση κινδύνου παρέχει μια ακριβή και αριθμητική αξιολόγηση των κινδύνων. Επιτρέπει έτσι στις εταιρείες να ποσοτικοποιήσουν και να συγκρίνουν τους κινδύνους, να δώσουν προτεραιότητας στις προσπάθειες μείωσής τους και να αξιολογήσουν την αποτελεσματικότητα των στρατηγικών διαχείρισής τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3.1 Ποιοτική ανάλυση κινδύνου και αβεβαιότητας σε έργα

Η ποιοτική ανάλυση κινδύνου είναι μια διαδικασία αξιολόγησης και εκτίμησης κινδύνων βάσει των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους αντί για αριθμητικές τιμές. Σκοπός μιας τέτοιας ανάλυσης είναι ο εντοπισμός, η περιγραφή και η κατανόηση των κινδύνων. Κατά τη διάρκεια μιας τέτοιας ανάλυσης, οι κίνδυνοι κατηγοριοποιούνται βάσει των ποιοτικών τους χαρακτηριστικών, όπως η σοβαρότητα, η πολυπλοκότητα και η δυνατότητα ελέγχου. Αυτό που καταφέρνει μια ποιοτική ανάλυση κινδύνου είναι ότι βοηθάει τους διαχειριστές ενός έργου να αποκτήσουν μια καλύτερη εικόνα των κινδύνων που σχετίζονται με ένα έργο. Βασικοί στόχοι μιας ποιοτικής ανάλυσης κινδύνου είναι οι εξής:

- Αναγνώριση και περιγραφή κινδύνων που μπορεί να επηρεάσουν τους στόχους ενός έργου
- Αξιολόγηση πιθανότητας και επιπτώσεων των κινδύνων που μπορεί να επηρεάσουν την επιτυχία ενός έργου.
- Κατάταξη των κινδύνων με βάση τη σοβαρότητά τους ή τις συνέπειές τους

Συνολικά η ποιοτική ανάλυση παρέχει μια θεωρητική κατανόηση των κινδύνων και είναι η βάση για περαιτέρω δραστηριότητες με σκοπό την αντιμετώπιση τους.

Βέβαια η χρήση μιας ποιοτικής τεχνικής διαχείρισης κινδύνου σε ένα έργο δεν είναι πάντοτε ιδανική καθώς όπως έχει παρατηρηθεί στην βιβλιογραφία, είναι δυνατό να γίνει η ανάλυση από ανεξάρτητες μεταξύ τους ομάδες και να καταλήξουν σε εντελώς διαφορετικά συμπεράσματα. Μια τυπική διαδικασία ανάλυσης κινδύνου περιλαμβάνει τον εντοπισμό των κινδύνων, την αξιολόγηση των πιθανοτήτων και των επιπτώσεων τους, αλλά και την απόρριψη των κινδύνων μικρού μεγέθους με τους οποίους δεν αξίζει να ασχοληθεί κάποιος καθώς δεν επηρεάζουν ουσιαστικά την πορεία του έργου. Για να γίνουν τα παραπάνω με επιτυχία απαιτείται γνώση, εμπειρία, ακόμη και δημιουργικότητα. Έτσι μπορούμε να καταλάβουμε ότι η διαδικασία περιέχει υποκειμενικότητα και αυτός είναι και ο λόγος που μια ανάλυση κινδύνου μπορεί να καταλήξει σε διαφορετικά συμπεράσματα από τις υπόλοιπες (Emblemsvåg, et al., 2006).

Κατά τη διάρκεια των χρόνων έχουν αναπτυχθεί πολλές ποιοτικές τεχνικές διαχείρισης κινδύνου και η χρήση της καθεμίας εξαρτάται από το έργο το οποίο καλούμαστε να διαχειριστούμε (Rostami, 2016). Παρακάτω θα γίνει ανάπτυξη και ανάλυση των σημαντικότερων και πιο ευρέως χρησιμοποιούμενων σύμφωνα με τη βιβλιογραφία τεχνικών.

### 3.2 Brainstorming (Καταιγισμός Ιδεών)

Μια από τις κυριότερες ποιοτικές τεχνικές διαχείρισης κινδύνου η οποία έχει χρησιμοποιηθεί και σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με άλλες τεχνικές ονομάζεται Καταιγισμός Ιδεών ή αλλιώς Brainstorming (Rostami, 2016). Ο όρος brainstorm έχει τις ρίζες του στην Βόρεια Αμερική όπου αρχικά δεν χρησιμοποιούταν όπως στις μέρες μας αλλά σήμαινε την έκρηξη τρέλας κάποιου ατόμου. Αργότερα για πρώτη

φορά το λεξικό Longmans δίνει τον ορισμό της λέξης brainstorming ως εξής: «τεχνική επίλυσης προβλημάτων που περιλαμβάνει αυθόρμητη ανάπτυξη ιδεών από όλα τα μέλη της ομάδας.» Στην ετυμολογική προσέγγιση του όρου από το Oxford English Dictionary συναντάμε τους παρακάτω τρεις ορισμούς:

1. Μια σειρά από απότομα και σοβαρά φαινόμενα, λόγω κάποιος διαταραχής στον εγκέφαλο
2. Ευφυής ιδέα (αμερικάνικη έκφραση)
3. Μια συντονισμένη ‘επίθεση’ σε ένα πρόβλημα, συνήθως με συσσώρευση αριθμού από αυθόρμητες ιδέες που στην συνέχεια συζητιούνται (Furnham, 2000).

Στην βιβλιογραφία αναφέρεται ότι η τεχνική Brainstorming αν εκτελεστεί σωστά οδηγεί σε πολύ ευεργετικά αποτελέσματα για ένα έργο (Mohd-Nassir, et al., 2016). Η εφεύρεση της συγκεκριμένης τεχνικής αποδίδεται στον Alex Osborn, διευθυντή διαφημιστικής εταιρείας στην Maddison Avenue ο οποίος την δημιούργησε για διαφημιστική χρήση. Η γενική ιδέα πίσω από την χρήση αυτής της τεχνικής είναι ότι λειτουργώντας στα πλαίσια μιας ομάδας τα μέλη που συμμετέχουν σε αυτή θα αναγνωρίσουν περισσότερους κινδύνους από ότι αν εργάζονταν ατομικά (Hogganvik, et al., 2006). Ο λόγος για τον οποίο εφηύρε την συγκεκριμένη τεχνική κατά την δεκαετία του 1950 ήταν γιατί πίστευε ότι οι τυπικές διαδικασίες λήψης αποφάσεων της εποχής ανέστελλαν τη δημιουργικότητα αντί να την ενθαρρύνουν. Παρατήρησε ότι μέλη των ομάδων που αναλάμβαναν να βρουν και να αξιολογήσουν μια ιδέα αποθαρρύνονταν από το να μοιραστούν μια ασυνήθιστη ιδέα με τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας γνωρίζοντας ότι οι ιδέες τους θα αξιολογηθούν αμέσως. Η τεχνική Brainstorming θεωρήθηκε τότε ιδανική για εύρεση εναλλακτικών ιδεών σε προβλήματα (Furnham, 2000). Η τεχνική αυτή απαιτεί δημιουργικότητα και φαντασία (Charman, et al., 2013). Αρχικά χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία διαφημιστικών καμπανιών. Πλέον χρησιμοποιείται ευρέως για διάφορους λόγους όπως η εύρεση ιδεών για νέα προϊόντα αλλά και η διαχείριση κινδύνου σε ένα έργο (Furnham, 2000).

Η πρώτη χαρακτηριστική ιδιότητα της τεχνικής Brainstorming είναι η διαίρεση της συνεδρίας σε δύο φάσεις, όπου στην πρώτη φάση γίνεται η δημιουργία των ιδεών και στη δεύτερη η επιλογή των καλύτερων ιδεών από όσες έχουν προταθεί. Η δεύτερη

χαρακτηριστική ιδιότητα της τεχνικής είναι ο καθορισμός του προβλήματος αλλά και ο καθορισμός μιας αποδεκτής λύσης. Σε αυτό το στάδιο το πρώτο βήμα είναι μια συνάντηση με την εταιρεία ή το άτομο που αντιμετωπίζει το πρόβλημα ώστε έπειτα η ομάδα που καλείται να αντιμετωπίσει το πρόβλημα να κινηθεί κατάλληλα (Morano, et al., 2007).

Σχετικά με το μέγεθος της ομάδας, ο Osborn φαίνεται να προτείνει έναν αριθμό δώδεκα ατόμων με έναν αρχηγό, έναν υπαρχηγό και πέντε κανονικά μέλη οι οποίοι θα αποτελούν το βασικό τμήμα της ομάδας στους οποίους θα προστίθενται και άλλα πέντε δευτερεύοντα μέλη. Οι συμμετέχοντες πρέπει αρχικά να έχουν εκτενείς γνώσεις του αντικειμένου πάνω στο οποίο εργάζονται, αλλά συχνά εντός διαφορετικών πεδίων. Η πρόκληση είναι να κατανοήσουν και να συζητήσουν εκτενώς τη συνολική εικόνα των κινδύνων (Hogganvik, et al., 2006). Σύμφωνα με τον (Rostami, 2016) η τεχνική του Brainstorming που περιλαμβάνει έναν ηγέτη που συντονίζει τη διαδικασία είναι η πιο διαδεδομένη τεχνική εντοπισμού κινδύνων σε μεγάλους οργανισμούς (Rostami, 2016). Ο Chapman αναφέρει ότι το μέγεθος της ομάδας θα επηρεάζει την ποιότητα των ιδεών. Ο λόγος που επιλέχθηκε αυτός ο αριθμός συμμετεχόντων στην ομάδα είναι επειδή θεωρήθηκε ότι ένας μεγαλύτερος αριθμός θα είχε αρνητικές επιπτώσεις στην αρμονία της ομάδας (Morano, et al., 2007). Ο ρόλος των ατόμων αυτών είναι η δημιουργία ενός αριθμού ιδεών. Σε περιπτώσεις επίλυσης προβλημάτων αυτό συμβαίνει με την ελπίδα να βρεθεί μια ιδέα η οποία να επιλύει το ζήτημα που έχει προκύψει. Στο στάδιο αυτό καμία ιδέα δεν αξιολογείται, κάτι τέτοιο συμβαίνει σε μεταγενέστερη φάση.

Στα πλαίσια ενός έργου στο οποίο υπάρχει ανάγκη να γίνει διαχείριση των κινδύνων που ενδεχομένως να προκύψουν αυτή η διαδικασία μπορεί να φανεί πολύ βοηθητική καθώς τα μέλη της ομάδας καλούνται να αναγνωρίσουν τόσο τους κινδύνους όσο και τις ευκαιρίες που μπορεί να προκύψουν στο έργο. Υπάρχει όμως και περίπτωση να λειτουργήσει αρνητικά καθώς τα μέλη της ομάδας μπορεί να αναγνωρίσουν τόσους πολλούς δυνητικούς κινδύνους η ευκαιρίες, και αυτό να έχει σαν αποτέλεσμα η ομάδα να αισθανθεί υπερφορτωμένη (Chapman, et al., 2013; Emblemståg, et al., 2002). Επίσης όπως εξηγεί και ο Osborn, η τεχνική αυτή δεν είναι ικανή να λύσει πάντα τα προβλήματα και τους κινδύνους σε έναν έργο και θα ήταν πιο σωστό να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλες τεχνικές (Morano, et al., 2007). Επιπροσθέτως όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται

ευρέως από τους μεγάλους οργανισμούς. Στην περίπτωση όμως μικρομεσαίων ή μικρών οργανισμών και εταιρειών αυτή η τεχνική δεν είναι το ίδιο εύκολο να ακολουθηθεί καθώς προκύπτουν παράγοντες όπως τεχνολογικοί και οικονομικοί περιορισμοί (Rostami, 2016). Τέλος όπως αναφέρει ο Hogganvik μια συνεδρία Brainstorming μπορεί να καταλήξει να είναι εξουθενωτική για τα μέλη που συμμετέχουν πράγμα που μπορεί να επηρεάσει την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας (Hogganvik, et al., 2006).

Ένα παράδειγμα χρήσης της τεχνικής Brainstorming για τη διαχείριση κινδύνων σε έργα είναι η μελέτη που πραγματοποιήθηκε για τις κινητές πλατφόρμες που χρησιμοποιούνται στον τομέα της έρευνας και της παραγωγής πετρελαίου τα οποία είναι συνήθως έργα υψηλής πολυπλοκότητας και τεχνολογίας και έχουν μεγάλο κόστος. Στην έρευνα μελετήθηκαν πιο συγκεκριμένα τρεις περιπτώσεις κατασκευής τέτοιων πλατφορμών. Στους παρακάτω δύο πίνακες μπορούμε να διακρίνουμε μια περιληπτική μορφή εφαρμογής της τεχνικής Brainstorming για τον εντοπισμό των κινδύνων στις τρεις προαναφερθείσες πλατφόρμες περιγράφοντας τα έντεκα χαρακτηριστικά που παρατηρήθηκαν:

	Project A	Project B	Project C
Brainstorming Phases	Two phases: 1) Idea generation; 2) Best idea selection.	NA	Two phases: 1) Idea generation; 2) Best idea selection.
Problem definition and acceptable solution	No previous meeting; No warm-up to problem definition; Explanation of the risk definition and risk management concepts.	No previous meeting; No warm-up to problem definition; Explanation of the risk definition and risk management concepts.	No previous meeting; No warm-up to problem definition; Explanation of the risk definition and risk management concepts.
Group size	23 people; Only one group; A facilitator to the whole group.	30 people; People distribution in sub-groups of about 8 per group; One facilitator for each sub-group.	25 people; People distribution in sub-groups of about 8 per group; One facilitator for each sub-group.
Member Characteristics	Different perspectives; Varying personalities; Different hierarchy levels; Different project	Different perspectives; Different hierarchy levels;	Different perspectives; Different hierarchy levels;

*Πίνακας 3.1 Σύγκριση έργων που έκαναν χρήση της τεχνικής Brainstorming (Morano, et al., 2007)*

Όπως μπορούμε να δούμε η συνήθης διάρκεια μιας συνεδρίας Brainstorming χωρίζεται σε δύο φάσεις. Επίσης μπορούμε να παρατηρήσουμε την διαφορά στις συστάσεις των ομάδων που εκτέλεσαν την έρευνα καθώς και στις τρεις έρευνες τόσο ο αριθμός των μελών των ομάδων όσο και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά διαφέρουν ανά περίπτωση.

	Project A	Project B	Project C
	positions; Different positions in the owner-project manager contractor relationship.	Different positions in the owner-project manager contractor relationship.	Different positions in the owner-project manager contractor relationship.
Session Duration	Whole session: about 8 hours Identification phase: about 3 hours.	Whole session: about 8 hours Identification phase: about 3 hours.	Whole session: about 8 hours Identification phase: about 2 hours and 45 minutes.
Environment	Avoidance of the session domination by a leader; Physical location out of the job office; one room for the whole group; seat arranged in "U".	Physical location out of the job office; the other attributes could not be verified.	Physical location out of the job office; one room for the whole group; No session domination.
Infrastructure	Technology infrastructure	Technology infrastructure	Technology infrastructure
Support Material	Paper distribution	Paper distribution	Paper distribution
Ideas registration	In electronic worksheet.	In electronic worksheet.	In electronic worksheet.
Idea selection	During the risk qualification phase.	NA	During the risk qualification phase.
Effectiveness	No previous criteria; 108 risks identified; 66 risks filtered.	Previous criteria not identified; 173 risks identified.	No previous criteria; 141 risks identified.

*Πίνακας 3.2 Σύγκριση έργων που έκαναν χρήση της τεχνικής Brainstorming (Morano, et al., 2007)*

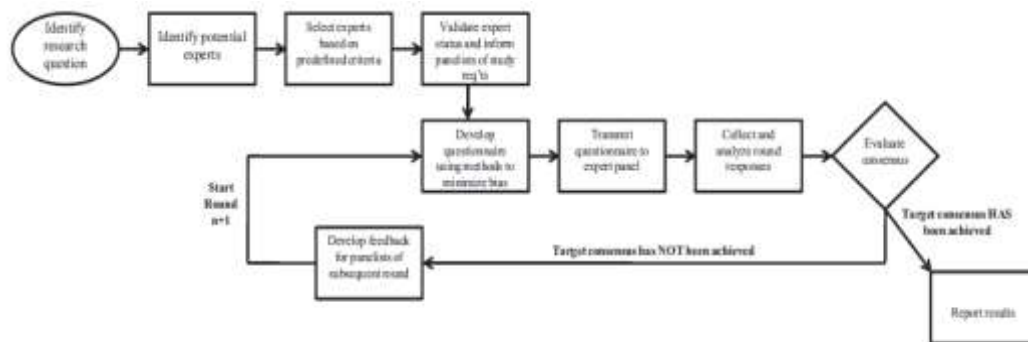
### 3.3 Delphi

Μια δεύτερη ευρέως χρησιμοποιούμενη ποιοτική τεχνική διαχείρισης κινδύνου ονομάζεται Delphi. Η τεχνική αυτή αναπτύχθηκε αρχικά από την Rand Corporation για την μελέτη της επίδρασης της τεχνολογίας στον πόλεμο. Η μελέτη με το όνομα Project Delphi πραγματοποιήθηκε για την αμερικάνικη αεροπορία στις αρχές της



δεκαετίας του 1950 με στόχο την απόκτηση μιας αξιόπιστης ομοφωνίας εμπειρογνομόνων από μια σειρά ερωτηματολογίων που περιείχαν ελεγχόμενη ανατροφοδότηση απόψεων. Η πρώτη ευρεία χρήση της έγινε από εταιρείες για σκοπούς έρευνας αγοράς και πρόβλεψης πωλήσεων (Chan, et al., 2001).

Η μέθοδος Delphi είναι μια δομημένη προσέγγιση επικοινωνίας και προσπάθειας ταύτισης απόψεων μεταξύ μιας ομάδας εμπειρογνομόνων με σκοπό την επίλυση ενός προβλήματος. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι ένα επαναληπτικό διαδικαστικό πλαίσιο όπου η συναίνεση επιτυγχάνεται μέσω γύρων ανατροφοδότησης μιας άποψης και κρίσης της από εμπειρογνώμονες (Ameyaw, et al., 2016). Οι συμμετέχοντες επιλέγονται με βάση κάποιες προκαθορισμένες κατευθυντήριες γραμμές και καλούνται να συμμετάσχουν σε ορισμένους γύρους ερευνών, συνήθως δύο ή και παραπάνω. Μετά το τέλος κάθε γύρου της έρευνας ένα άτομο το οποίο την επιβλέπει παρέχει ανώνυμα στους συμμετέχοντες το σύνολο των απόψεων και των σχολίων που παρατέθηκαν, ως θέμα συζήτησης για τον επόμενο γύρο της έρευνας. Σε κάθε γύρο οι συμμετέχοντες καλούνται να εξετάσουν τις απόψεις των άλλων ατόμων της ομάδας αλλά και να επανεξετάσουν την δική τους απάντηση. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η τυπική διαδικασία που ακολουθείται κατά τη διάρκεια μιας έρευνας με τη μέθοδο Delphi.



Σχήμα 3.1 Τυπική διαδικασία σε μια έρευνα Delphi (Hallowell, et al., 2010)

Ο σκοπός αυτής της διαδικασίας είναι να μειωθεί το εύρος των απαντήσεων και να επιτευχθεί ομοφωνία της ομάδας σχετικά με το ποια είναι τελικά η σωστή απάντηση. Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν επιτευχθεί ένα προκαθορισμένο κριτήριο το οποίο

μπορεί να είναι η πάροδος των γύρων της έρευνας ή η επίτευξη συναίνεσης (Hallowell, et al., 2010).

Το ενδιαφέρον με τη μέθοδο Delphi είναι ότι σε αντίθεση με άλλες τεχνικές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως ποιοτική αλλά και ως ποσοτική μέθοδος. Για παράδειγμα οι ερευνητές χρησιμοποιούν την Delphi ποσοτικά σε περιπτώσεις που απαιτείται η μέτρηση του κινδύνου ή η μέτρηση των παραγόντων που επηρεάζουν την ποιότητα της διαδικασίας. Από την άλλη πλευρά υπάρχουν και περιπτώσεις όπου η τεχνική χρησιμοποιείται ποιοτικά όπως για παράδειγμα κατά την συλλογή δεδομένων και την ανάλυση ανώνυμων απαντήσεων. Λόγω της φύσης της μεθόδου, είναι δυνατόν να εφαρμοστεί σε πολλούς τομείς μελέτης. Ωστόσο εξαιτίας των ελάχιστων απαιτήσεων για να συμπεριληφθεί κάποιος ως εμπειρογνώμονας σε ένα πάνελ, τον τύπο της ανατροφοδότησης των απαντήσεων, τον αριθμό των γύρων αλλά και την δομή των ερευνών, τα ευρήματα πολλές φορές ποικίλουν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η μελέτη να έχει κάποιες φορές κακή δομή και ενδέχεται να οδηγήσει σε προκατειλημμένα αποτελέσματα (Hallowell, et al., 2010).

Η χρήση της μεθόδου Delphi έχει παρατηρηθεί σε πολλούς κλάδους, ένας από τους οποίους είναι τα κατασκευαστικά έργα. Ένα κατασκευαστικό έργο είναι μοναδικό και το καθένα έχει διαφορετική διάρκεια και οικονομικούς περιορισμούς. Παρά τις διαφορές που έχουν τα έργα μεταξύ τους ένα κοινό στοιχείο που συναντάμε σε όλα είναι ο κίνδυνος και η ανάγκη για τη διαχείριση του. Η τεχνική Delphi είναι μια από τις μεθόδους που συναντάμε πολύ συχνά ως εργαλείο για την καταπολέμηση των κινδύνων και της αβεβαιότητας στα έργα αυτά. Παρόλα αυτά η χρήση της δεν ενδείκνυται σε κάθε περίπτωση, καθώς η τεχνική που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από το ίδιο το έργο. Παρακάτω μπορούμε να δούμε συνοπτικά τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα της χρήσης της συγκεκριμένης μεθόδου.

#### **Πλεονεκτήματα:**

- Δυνατότητα πρόβλεψης μεγάλου πλήθους κινδύνων

- Παροχή του απαραίτητου χρόνου στους συμμετέχοντες να σκεφτούν ανεξάρτητα και να αναλύσουν το πρόβλημα
- Δυνατότητα συμμετοχής μεγάλου όγκου ατόμων από διαφορετικά γεωγραφικά μέρη της γης
- Παρέχει ανωνυμία δίνοντας στους συμμετέχοντες την δυνατότητα να μοιραστούν απόψεις που δεν θεωρούνται δημοφιλής και να προτείνουν πιο ριζοσπαστικές ιδέες

### **Μειονεκτήματα:**

- Απαιτείται αρκετός χρόνος ώστε να εξαχθούν τα τελικά αποτελέσματα της μελέτης
- Δεν υπάρχει ομαδική σκέψη

Με βάση τα παραπάνω φτάνουμε στο συμπέρασμα ότι η τεχνική Delphi σε ένα πιο πολύπλοκο κατασκευαστικό έργο είναι ικανή να εντοπίσει τόσο τους τεχνικούς κινδύνους που μπορεί να φέρουν ανεπιθύμητες επιπτώσεις στο έργο αλλά μπορεί και να προβλέψει τις οικονομικές και πολιτικές συνέπειες των κινδύνων αυτών (Kiral, et al., 2014).

Ένα παράδειγμα χρήσης της μεθόδου Delphi σαν εργαλείο διαχείρισης κινδύνου έγινε στη διάρκεια ενός έργου για την κατασκευή οδικού δικτύου στην Σρι Λάνκα. Οι σκοποί της μελέτης που πραγματοποιήθηκε ήταν οι εξής :

- 1) Η αναγνώριση των κρίσιμων κινδύνων με σκοπό την καλύτερη διαχείριση και υλοποίηση του έργου
- 2) Η αντιμετώπιση των κινδύνων από τους εμπλεκόμενους στο έργο

Η μελέτη Delphi που πραγματοποιήθηκε βασίστηκε στις γνώμες 33 ειδικών από τη Σρι Λάνκα και χωρίστηκε σε τρεις γύρους. Στον παρακάτω πίνακα μπορούμε να δούμε το τεχνικό υπόβαθρο των ειδικών που συμμετείχαν στη μελέτη:

Designation	Number of Participants		
	Round one	Round two	Round three
Civil engineer	03	02	02
Design engineer	02	01	01
Manager contracts	02	02	02
Project accountant	04	03	03
Project director	02	02	01
Project manager	05	05	03
Quantity surveyor	02	02	02
Senior engineer	02	02	02
Senior manager, roads and bridges	01	01	01
Senior quantity surveyor	07	06	06
Site manager	03	03	03
Total responses	33	29	26

Πίνακας 3.3 Τεχνικοί κλάδοι και προσόντα των ειδικών που συμμετείχαν στο πάνελ της έρευνας (Perera, et al., 2014)

Με βάση τις γνώμες των ειδικών που έλαβαν μέρος στην έρευνα, αναγνωρίστηκαν 25 πιθανοί κίνδυνοι που θα μπορούσαν να επηρεάσουν το έργο. Μάλιστα οι ειδικοί προσδιόρισαν και τη φάση του έργου όπου ήταν πιθανότερο να εμφανιστεί ο κάθε κίνδυνος. Στον παρακάτω πίνακα μπορούμε να δούμε αναλυτικά την κατηγοριοποίηση των κινδύνων αυτών:

Risk factors	Conceptual stage	Design stage	Construction stage	Operation stage
1 Inclement weather	4%	11%	100%	54%
2 Labour skill	0%	7%	100%	11%
3 Poor productivity	7%	50%	100%	11%
4 Design change during the construction by client	0%	11%	100%	11%
5 Delays in mobilization	0%	7%	100%	14%
6 Contractor's cash-flow problems	0%	4%	100%	21%
7 Delays in payments by the client	0%	7%	100%	14%
8 Errors committed during field construction	0%	7%	100%	28%
9 Delays in material delivery	0%	4%	96%	11%
10 Labour shortage	4%	7%	96%	18%
11 Variations	4%	18%	96%	14%
12 Equipment-related risk	0%	7%	93%	18%
13 Unavailability of professional and experienced construction management team	21%	21%	93%	18%
14 Inflation	18%	21%	93%	7%
15 Delays in shifting utility lines by authorities	7%	28%	89%	21%
16 Lack of project funds	21%	71%	89%	18%
17 Traffic	14%	18%	89%	32%
18 Condition of water table	7%	32%	89%	21%
19 Price increased in imported machinery and equipment	7%	18%	89%	21%
20 Design errors made by the consultant	14%	89%	82%	43%
21 Deficiencies in tender document	7%	71%	78%	11%
22 Inadequate early planning	32%	61%	78%	28%
23 Delays in client decision-making process	36%	64%	78%	25%
24 Time taken to award the contract(increase in price levels)	7%	21%	64%	7%
25 Errors in estimated cost and construction period	43%	82%	21%	14%

Πίνακας 3.4 Προκαταρκτική λίστα των εντοπισμένων παραγόντων κινδύνου για κάθε φάση του κύκλου ζωής του έργου (Perera, et al., 2014)

Με βάση τα παραπάνω φαίνεται ότι ο σημαντικότερος κίνδυνος για το έργο είναι τα σχεδιαστικά λάθη καθώς εμφανίζεται σε τρεις από τις τέσσερις φάσεις του κύκλου ζωής του έργου. Σημαντικοί κίνδυνοι θεωρούνται επίσης οι καθυστερήσεις στη διαδικασία λήψης σημαντικών αποφάσεων για τη συνέχιση του έργου αλλά και οι λάθος εκτιμήσεις στο κόστος και στην περίοδο κατασκευής. Οι δύο τελευταίοι κίνδυνοι εμφανίζονται κυρίως

στα αρχικά στάδια του κύκλου ζωής του έργου. Τέλος στους σημαντικούς κινδύνους επίσης συγκαταλέγονται η έλλειψη χρηματοδότησης του έργου και τα λάθη που συμβαίνουν στο πεδίο κατασκευής (Perera, et al., 2014).

### 3.4 SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats)

Η προέλευση του όρου SWOT ( Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) είναι άγνωστη. Μια θεωρία λέει πως η προέλευση του όρου αποδίδεται στον καθηγητή του Πανεπιστημίου του Stanford, Albert Humphrey ο οποίος διηύθυνε έρευνα την δεκαετία του 1960 και 1970 βασισμένη στις εταιρίες της λίστας Fortune 500 των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Από την άλλη πλευρά ο Haberberg (2000) δήλωσε ότι η έννοια SWOT χρησιμοποιήθηκε από ακαδημαϊκούς του Πανεπιστημίου του Harvard τη δεκαετία του 1960, ενώ ο Turner (2002) επέδωσε την έννοια στον Ingor Ansoff. Η ανάλυση SWOT περιεγράφηκε από τους Learned et al. (1969) και έχει αναπτυχθεί ως ένα βασικό εργαλείο για την αντιμετώπιση περίπλοκων καταστάσεων μειώνοντας την ποσότητα των πληροφοριών για την βελτίωση της λήψης αποφάσεων (Helms, et al., 2010)(helms2010).

Η ανάλυση SWOT χρησιμοποιείται για την ανάλυση των Δυνατοτήτων, Αδυναμιών, Ευκαιριών και Απειλών κατά την οργάνωση ενός έργου, που βοηθά στην αξιολόγηση και αποτελεσματικότητα του σχεδιασμού και της υλοποίησής του (Sabbaghi, et al., 2004). Οι τέσσερις βασικές παράμετροι της ανάλυσης SWOT περιγράφονται ως εξής:

- Δυνατότητες: Ένας πολύτιμος πόρος, ένα χαρακτηριστικό ή ένας παράγοντας που βελτιώνει την ανταγωνιστικότητα.
- Αδυναμίες: Ανασταλτικοί παράγοντες της ανταγωνιστικότητας, των πόρων ή των χαρακτηριστικών που είναι απαραίτητα για την επιτυχία.
- Ευκαιρίες: Ένας παράγοντας που βελτιώνει την απόδοση και μπορεί να υλοποιηθεί για να επιτευχθεί κάποιο όφελος.
- Απειλές: Ένα ανασταλτικό της απόδοσης που έχει την δυνατότητα να μειώσει τις αναμενόμενες επιδόσεις.

Μια τυπική ανάλυση SWOT συνήθως διατάσσεται σε πίνακα με τις τέσσερις βασικές παραμέτρους να χωρίζονται σε εσωτερικές (Δυνατότητες, Αδυναμίες) και εξωτερικές (Ευκαιρίες, Απειλές) (Leigh, 2010). Παρακάτω μπορούμε να δούμε πως είναι ένας τυπικός πίνακας μιας ανάλυσης SWOT. Στην αριστερή στήλη βλέπουμε τον διαχωρισμό των παραγόντων σε εσωτερικές και εξωτερικές και έπειτα βλέπουμε κάποιες βασικές ερωτήσεις και τις τυπικές τους απαντήσεις για κάθε μια από τις τέσσερις παραμέτρους της ανάλυσης.

		<b>Key Questions:</b>	<b>Typical answers</b>
<b>Internal</b>	<b>Strengths</b>	What are our advantages? What do we do well?, How are we doing competitively? What are our resources? Are there any internal assets (know-how, motivation, technology, finance, business links) which will help to meet demands and to fight off threats?	Well-trained man-power , well established knowledge base, good contact to target group, technology, etc.
	<b>Weaknesses</b>	What could be improved? What is done badly? What should be avoided? Are there any Internal deficits hindering the organization in meeting demands?	Lack of motivation, lack of transport facilities, problems in distribution of services or products, low reputation (the lack of a particular strength)
<b>External</b>	<b>Opportunities</b>	What are the good tasks? What are the interesting trends? What changes do we expect to see in the market over the next few years? Are there any external circumstances or trends that favors the demand for an organization's specific competence?	Changes in technology and market that favor your products or services, changes in government policy related to your industry, changes in social patterns, population profiles, lifestyle, etc., local, national, & international events increasing purchasing power.
	<b>Threats</b>	What is our competition doing? What are the obstacles? What future changes will affect our organization? Is changing technology threatening our position? Do we have management support? Sufficient resources? Are we using the right tools, software, and platform? Are there any external circumstances or trends which will unfavorably influence demand for an organization's competence?	Establishment of strong competitors, lack of cash at household level, governmental regulations that limit free distribution of our product.

*Πίνακας 3.5 Τυπικές ερωτήσεις και απαντήσεις μιας ανάλυσης SWOT (Sabbaghi, et al., 2004)*

Η ανάλυση SWOT έχει χρησιμοποιηθεί και χρησιμοποιείται μέχρι και τις μέρες μας από αμέτρητους επαγγελματίες και αποτελεί συχνά ένα δημοφιλές εργαλείο. Χρησιμοποιείται κυρίως για την αξιολόγηση εναλλακτικών και για τη λήψη των τελικών αποφάσεων. Στον επιχειρηματικό χώρο η ομαδοποίηση των εσωτερικών και εξωτερικών παραγόντων αποτελεί συχνά το σημείο εκκίνησης του στρατηγικού σχεδιασμού. Επίσης συχνά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με την ανάλυση Brainstorming. Συνήθως πρώτα λαμβάνονται υπόψη οι εσωτερικοί παράγοντες δηλαδή οι Δυνατότητες και οι Αδυναμίες στους οποίους μπορεί να περιλαμβάνονται οι

οικονομικοί πόροι, η αποδοτικότητα, οι φυσικοί πόροι και έπειτα λαμβάνονται υπόψη οι εξωτερικοί παράγοντες δηλαδή οι Ευκαιρίες και οι Απειλές στους οποίους περιλαμβάνονται οι πελάτες, οι κοινωνικές αλλαγές, η τεχνολογία καθώς και διάφορα οικονομικά και πολιτικά ζητήματα (Helms, et al., 2010). Ο γενικός στόχος αυτών των αναλύσεων είναι να παρέχουν μια αντικειμενική και αμερόληπτη εικόνα του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος του οργανισμού, αν και η επιτυχία αυτού εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα και την ακρίβεια της συλλογής και ανάλυσης των δεδομένων (Leigh, 2010). Συνολικά η ανάλυση SWOT παρέχει ένα πλαίσιο για την καλύτερη κατανόηση των εσωτερικών και εξωτερικών παραγόντων που επηρεάζουν το έργο (Sabbaghi, et al., 2004).

Σε ορισμένες περιπτώσεις οι οργανισμοί ενδέχεται να μην καταφέρουν να επιτύχουν τους στόχους οι οποίοι έχουν τεθεί εντός του καθορισμένου χρονικού πλαισίου και αυτό συμβαίνει διότι δεν ακολουθούν σωστά τις επιχειρηματικές στους στρατηγικές ή διότι οι ίδιες οι στρατηγικές είναι λανθασμένες. Πολλές φορές επίσης ευθύνεται και η λανθασμένη υλοποίηση της ανάλυσης SWOT. Αυτό σε συνδυασμό με την αποτυχία ερμηνείας των πληροφοριών που εξάγονται από την έρευνα μπορεί να οδηγήσει έναν οργανισμό να υλοποιήσει τα αποτελέσματα της ανάλυσης (Namugenyi, et al., 2019).

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης της ανάλυσης SWOT στον τομέα της βιομηχανίας έχει γίνει από τους ερευνητές Παπανικολάου και Ευαγγελινό για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των πρακτικών που χρησιμοποιούν οι μεταλλευτική βιομηχανία στην Ελλάδα. Πιο συγκεκριμένα και για την περίπτωση εξόρυξης άνθρακα βρέθηκε στο έδαφος, τα ποτάμια και τις λίμνες κοντά στα σημεία εξόρυξης σημαντική ποσότητα αλκαλίων. Για το λόγο αυτό τόσο η ελληνική κυβέρνηση επέβαλλε νόμους που θα ανάγκαζαν της εταιρίες εξόρυξης να υιοθετήσουν πιο φιλικές προς το περιβάλλον τακτικές εξόρυξης, αλλά και οι ίδιες οι εταιρίες άρχισαν να χρησιμοποιούν φιλικότερες προς το περιβάλλον τεχνικές από μόνες τους σε ορισμένες περιπτώσεις (Nikolaou, et al., 2010).

Στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε, αρχικά οι ερευνητές έθεσαν ορισμένα καίρια ερωτήματα όπως για παράδειγμα ποια είναι τα οφέλη για τις ίδιες τις εταιρίες αν ξεκινήσουν να χρησιμοποιούν τις νέες τεχνικές, αλλά και ποια θα είναι τα μειονεκτήματα. Επίσης άλλες δύο ερωτήσεις που τέθηκαν έχουν να κάνουν με τις



ευκαιρίες που εμφανίζονται για τις εταιρίες μετά από αυτή τους την κίνηση και τέλος αν υπάρχουν κίνδυνοι για τις εταιρίες σε περίπτωση που ακολουθήσουν φιλικότερες προς το περιβάλλον τεχνικές.

SWOT analysis		Policy recommendations
Internal	<p><i>Strengths</i> S.1: Costs reductionS.2: Productivity improvementS.2: Innovation development</p> <p><i>Weakness</i> W.1: Lack of fundsW.2: Bureaucratic requirementsW.3: Lack of management and staff involvement</p>	<p><i>State policies</i> PR1: The State should offer specific financial services to facilitate GMMIs to adopt environmental practicesPR2: The State should prepare essential guidelines to promote environmental practices within GMMIs <i>Association strategies</i> PR3: Seminars for managers and staffs of GMMIs</p>
External	<p><i>Opportunities</i> O.1: New markets, new consumers and competitive advantagesO.2: Enhanced financing opportunitiesO.3: ExportsO.4: Public awareness</p> <p><i>Threats</i> T.1: Additional fundsT.2: Severe future legal requirementsT.3: Lack of broad environmentally friendly clientele</p>	<p><i>State policies</i> PR4: The State should prepare rational environmental regulations for GMMIsPR5: The State should inform consumers of the environmental practices of GMMIs. <i>Association strategies</i> PR6: Awards for the most environmentally friendly company</p>

Πίνακας 3.6 Ανάλυση SWOT για την περίπτωση των εταιριών εξόρυξης μετάλλου στην Ελλάδα (Nikolaou, et al., 2010)

Ακόμη ένα παράδειγμα χρήσης της μεθόδου SWOT για τη διαχείριση κινδύνων έγινε σε ένα έργο αιολικής ενέργειας στη Λετονία. Το αντικείμενο της μελέτης ήταν ένα πάρκο αιολικής ενέργειας που θα λειτουργούσε ως μέρος του εθνικού συστήματος ενέργειας της χώρας. Κατά την υλοποίηση του έργου παρατηρήθηκαν τόσο κάποιον εσωτερικοί όσο και κάποιον εξωτερικοί κίνδυνοι. Ενδεικτικά παρακάτω εμφανίζεται ο πίνακας με της ευκαιρίες που βρέθηκαν ως αποτέλεσμα της έρευνας:

I. Potential internal strengths (number of units = 6)	6	Opportunities
1	2	3
1. Full competency in key issues	1	Acquisition of financial resources; Improvement of the environmental situation; Reduction of electrical energy import
2. Adequate financial resources	0	
3. The formed good impression about the company	0	
4. A recognised market leader	0	
5. Well-elaborated functional strategy	1	
6. Economy of the production scale	0	
7. Ability to avoid strong pressure from competitors	1	Receipt of an additional effect when placing orders for the execution of works on the cooperation of local enterprises; Establishment of a local production enterprise
8. Proprietary technology	1	Development of building structure production
9. Lower costs	1	Reduction of the cost of roads and technological platforms; Reduction of the volumes of investments in the production of foundations
10. The best advertising campaigns	0	
11. Experience in the development of new products	0	



*Πίνακας 3.7 Αποτελέσματα ανάλυσης SWOT σε αιολικό πάρκο στην Λετονία (Rolik, 2017)*

Η αξιολόγηση των ευκαιριών αυτών ήταν και η βάση για την αξιολόγηση των αναμενόμενων απειλών του έργου που ακολούθησε. Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας η κατασκευάστρια εταιρία αποφάσισε ότι τα σημεία κλειδιά που θα επηρέαζαν την πορεία του έργου ήταν τα εξής (Rolik, 2017):

- Η σωστή επιλογή του εξοπλισμού
- Η σωστή επιλογή του τύπου κατασκευής που θα είχε και τις σωστές καιρικές συνθήκες
- Η βέλτιστη ανάπτυξη των εγκαταστάσεων του αιολικού πάρκου
- Η αποδοτική λειτουργία του εξοπλισμού καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του

### 3.5 HAZOP (Hazard and Operability Analysis)

Η μελέτη HAZOP (Hazard and Operability Analysis) αναπτύχθηκε αρχικά στο Ηνωμένο Βασίλειο για χρήση στην βιομηχανία των χημικών κατά τη δεκαετία του 1960. Η Imperial Chemical Industries, Ltd. ευθύνεται για την ανάπτυξη αυτής της προσέγγισης για την ανάλυση των κινδύνων των διαδικασιών που συνδέονται με τις βασικές συνθήκες λειτουργίας του εργοστασίου τους (Angel de la O Herrera, et al., 2015). Ο στόχος της μεθόδου είναι να εντοπίσει τους κινδύνους και με τα προτεινόμενα μέτρα να ελαχιστοποιήσει ή και να εξαλείψει εντελώς τις πιθανές πηγές κινδύνου (Kotek, et al., 2012). Η χρήση και η ανάπτυξή της ενθαρρύνθηκαν από τον Σύνδεσμο Χημικών Βιομηχάνων (Chemical Industries Association-CIA) με την έκδοση του οδηγού CIA που εκδόθηκε το 1977 (Angel de la O Herrera, et al., 2015). Μετά από 30 και πλέον χρόνια χρήσης της μεθόδου HAZOP, έχει γίνει πλέον ευρέως αποδεκτή και έχει μάλιστα επεκταθεί και σε άλλους τομείς της βιομηχανίας

όπως η φαρμακευτική και η ηλεκτρολογία. Τα θετικά στοιχεία αυτής της μελέτης είναι η δυνατότητα αξιολόγησης του αντίκτυπου που έχουν οι κίνδυνοι στον οργανισμό ή στους υπαλλήλους. Η ποιοτική αξιολόγηση των κινδύνων είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που αφορά τον προσδιορισμό της σοβαρότητας και της πιθανότητας εμφάνισης του ανεπιθύμητου σεναρίου. Επίσης είναι σημαντική για την λήψη μιας απόφασης αλλά και για το ποιες ενέργειες θα πρέπει να γίνουν για την εξάλειψη ή τον περιορισμό των κινδύνων σε κάποιο αποδεκτό επίπεδο (Kotek, et al., 2012).

Η τεχνική HAZOP είναι μια δομημένη και συστηματική μεθοδολογία για τον εντοπισμό και την τεκμηρίωση κινδύνων (Fuentes-Bargues, et al., 2016). Για την εύρεση των ανεπιθύμητων γεγονότων χρησιμοποιείται ο εξής τύπος:

$$R = P \times S$$

Όπου R = ένα ανεπιθύμητο γεγονός, P= η πιθανότητα εμφάνισης και S= η σοβαρότητα των συνεπειών (Kotek, et al., 2012). Με βάση τον παραπάνω τύπο προκύπτουν οι πίνακες που ακολουθούν οι οποίοι περιγράφουν την πιθανότητα να συμβεί ένα ανεπιθύμητο γεγονός αλλά και τη σοβαρότητα των συνεπειών που θα έχει. Οι δύο αυτοί παράγοντες εξαρτώνται από τις τιμές του P και του S αντίστοιχα.

P	Probability of the occurrence	Meaning
1	< 0.0001	Very low
2	0.001 – 0.0001	Low
3	0.01 – 0.001	Middle
4	0.1 – 0.01	High
5	> 0.1	Very high

S	Loss	Harms
1	< 1000 EUR	No injury
2	1000 - 10 000 EUR	Minor injuries
3	10 000 - 100 000 EUR	Serious injuries
4	100 000 - 1 000 000 EUR	1 deadly injury
5	> 1 000 000 EUR	> 1 deadly injury

Πίνακας 3.8 Πιθανότητα εμφάνισης και σοβαρότητα των συνεπειών ενός ανεπιθύμητου γεγονότος (Kotek, et al., 2012)

Σύμφωνα με τους παραπάνω πίνακες καταλαβαίνουμε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα εμφάνισης ενός επικίνδυνου γεγονότος τόσο μεγαλύτερες και οι οικονομικές επιπτώσεις για την εταιρία. Έτσι με βάση τα παραπάνω προκύπτει ο τελικός πίνακας στον οποίο βλέπουμε πως αξιολογείται ένας κίνδυνος σύμφωνα με την τιμή του R:

Risk	R = P x S
1 - 3	Non-significant
3 - 7	Low significant
8 - 25	Significant

*Πίνακας 3.9 Σημασία του κινδύνου (Kotek, et al., 2012)*

Λόγω των παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε ότι σε μια μονάδα παραγωγής είναι σημαντικό να υπάρχουν μηχανισμοί που να επιτρέπουν τη συνέχιση της λειτουργίας σε κάθε περίπτωση (Kotek, et al., 2012).

Η ακολουθία μιας τυπικής μελέτης HAZOP περιλαμβάνει την συστηματική εξέταση των κινδύνων του έργου το οποίο εξετάζεται. Η μελέτη πραγματοποιείται από μια πολυδιάστατη ομάδα τεχνικών και μηχανικών με εκτεταμένες γνώσεις πάνω στο θέμα (Fuentes-Bargues, et al., 2016). Τα μέλη που απαρτίζουν την ομάδα εκτός από γνώσεις πρέπει να έχουν και επαρκή εμπειρία πάνω στο θέμα που εξετάζεται για να εξαχθούν όσο το δυνατόν καλύτερα αποτελέσματα. Η εκτέλεση της μεθόδου βασίζεται στη χρήση λέξεων κλειδιών όπως “καθόλου”, “περισσότερο”, “λιγότερο” που ο σκοπός τους είναι να βρουν αποκλίσεις (όπως μειωμένη ροή, αυξημένη θερμοκρασία κ.α.). Κατά την εκτέλεση της μελέτης εξετάζονται τα διαγράμματα των οργάνων, τα σχέδια οργάνωσης, τα διαγράμματα αιτιών και αποτελεσμάτων με σκοπό να βρεθούν ανωμαλίες και δυσμενείς συνέπειες για την κανονική λειτουργία του εργοστασίου και πιο συγκεκριμένα για τις μονάδες παραγωγής (Fuentes-Bargues, et al., 2016). Επίσης η διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί και σε συγκεκριμένο σημείο ενός συστήματος που χαρακτηρίζεται από κάποιες παραμέτρους (Dunjó, et al., 2010). Μερικά παραδείγματα χρήσης της μελέτης είναι τα παρακάτω (Single, et al., 2019):

- Σε οποιοδήποτε εργοστάσιο ως σύνολο
- Σε εγκαταστάσεις εργοστασίων, όπως για παράδειγμα στο σύστημα ψύξης μιας μονάδας
- Σε συγκεκριμένες λειτουργίες του εργοστασίου, όπως για παράδειγμα στο σύστημα θέρμανσης ενός αντιδραστήρα με τους σωλήνες και την αντλία του
- Σε συγκεκριμένα τμήματα ενός εργοστασίου, όπως για παράδειγμα ένας χημικός αντιδραστήρας
- Για αποφυγή επικίνδυνων καταστάσεων και γεγονότων, όπως πυρκαγιές, εκρήξεις ή διαρροές τοξικών αερίων

Έχοντας εντοπίσει τις ενδεχόμενες αποκλίσεις η ομάδα αναλύει τους λόγους για τους οποίους το σύστημα έχει βρεθεί σε αυτήν την κατάσταση και τις πιθανές συνέπειες αυτών των αποκλίσεων πάνω στο σύστημα (Dunjó, et al., 2010).

Στη βιομηχανία η μελέτη HAZOP μπορεί επίσης να επικεντρώνεται είτε στην αξιολόγηση της ασφάλειας (με τον εντοπισμό δυνητικών κινδύνων τόσο για τον εξοπλισμό όσο και για τους εργαζομένους), είτε στη λειτουργικότητα (με στόχο τη διατήρηση της ποιότητας του προϊόντος). Γενικά σε ένα βιομηχανικό έργο πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι εξής παράγοντες (Kotek, et al., 2012):

- 1) Πιθανότητα αποσύνθεσης των πρώτων υλών
- 2) Πιθανότητα αποτυχίας λόγω του ανθρώπινου παράγοντα
- 3) Πιθανότητα ανεπιθύμητων παράπλευρων αντιδράσεων
- 4) Πιθανότητα αποτυχίας υπηρεσιών

Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ότι δεν υπάρχει ένας συγκεκριμένος τρόπος που διενεργείται μια μελέτη HAZOP. Η μελέτη μπορεί να αλλάξει σύμφωνα με τις ανάγκες του εκάστοτε χρήστη και μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και ως συμπληρωματικό εργαλείο σε συνδυασμό με άλλες τεχνικές και μελέτες εντοπισμού και ανάλυσης κινδύνων. Η επιτυχία μιας μελέτης HAZOP εξαρτάται από τις πληροφορίες που χρησιμοποιούνται καθώς και από τις απαιτήσεις του οργανισμού.

Έτσι πριν την έναρξη της μελέτης, ο οργανισμός καλείται να καθορίσει το επίπεδο λεπτομέρειας για την εύρεση των κινδύνων, τον διαθέσιμο χρόνο για την πραγματοποίηση της μελέτης, τον αριθμό των συναντήσεων των μελών που απαρτίζουν την ομάδα μελέτης και του συνολικού απαιτούμενου χρόνου για τη μελέτη. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η ομάδα που εκτελεί την μελέτη αποτελείται από ένα πλήθος ανθρώπων, διαφόρων ιδιοτήτων και δεξιοτήτων. Μια τυπική ομάδα μελέτης HAZOP απαρτίζεται από τα εξής μέλη (Angel de la O Herrera, et al., 2015):

- Τον ηγέτη της μελέτης, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την διεξαγωγή της έρευνας, την οργάνωση και την ανάθεση των ευθυνών στα μέλη της ομάδας
- Ένα άτομο που είναι υπεύθυνο για την καταγραφή των δεδομένων και όλων των πληροφοριών που συζητούνται κατά τις συναντήσεις των μελών της ομάδας
- Τον σχεδιαστή της διαδικασίας, ο οποίος βοηθάει στον εντοπισμό των κινδύνων και των ενδεχόμενων αποκλίσεων στο σύστημα και αξιολογεί την επίδρασή τους στην παραγωγική διαδικασία
- Ένα άτομο με εμπειρία στον εντοπισμό και την αξιολόγηση του βαθμού σοβαρότητας των κινδύνων και των αποκλίσεων στο σύστημα
- Τους ειδικούς, τους μηχανικούς και το προσωπικό συντήρησης, οι οποίοι καλούνται μόνο σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, όταν απαιτείται η εμπειρία τους

Η χρήση αυτής της ποιοτικής μελέτης αξιολόγησης των κινδύνων και των αποκλίσεων επιτρέπει στον ηγέτη της έρευνας να επικεντρωθεί στα πιο σημαντικά προβλήματα ώστε να μπορέσει να προτείνει τις κατάλληλες τεχνικές ή τους τρόπους για την ελαχιστοποίηση ή και εξάλειψη των εντοπισμένων κινδύνων (Kotek, et al., 2012).

Η μελέτη HAZOP όπως και όλες οι άλλες τεχνικές ανάλυσης και διαχείρισης κινδύνου και αβεβαιότητας έχει τόσο κάποια πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα τα οποία η ομάδα που είναι υπεύθυνη να διεξάγει μελέτη για τους κινδύνους που

μπορεί να προκύψουν σε ένα βιομηχανικό έργο πρέπει να λάβει υπόψη. Παρακάτω λοιπόν βλέπουμε τα πλεονεκτήματα καθώς και τα μειονεκτήματα αυτής της τεχνικής:

#### **Πλεονεκτήματα:**

- Συστηματική εξέταση του εξοπλισμού της εταιρίας με σκοπό τον εντοπισμό κινδύνων
- Δυνατότητα αξιολόγησης των επιπτώσεων που έχει το ανθρώπινο λάθος στο έργο, όταν ο άνθρωπος παίζει σημαντικό ρόλο στην πορεία του έργου
- Εντοπισμός νέων επικίνδυνων καταστάσεων που μπορεί να προκύψουν μελλοντικά
- Αύξηση της αποδοτικότητας και εντοπισμός παραγόντων που μπορούν να οδηγήσουν σε διακοπές της λειτουργίας, απώλειες των πρώτων υλών αλλά και καταστροφές στον εξοπλισμό
- Καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας από όλα τα μέλη της ομάδας της μελέτης

#### **Μειονεκτήματα:**

- Απαιτείται αρκετός χρόνος για τη διεξαγωγή της μελέτης (ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται)
- Κατά την έναρξη της μελέτης πρέπει να υπάρχει καθορισμός των στόχων καθώς ο μη σαφής καθορισμός τους μπορεί να οδηγήσει σε πλήθος μελετών που δεν εξάγουν σαφή αποτελέσματα.
- Είναι απαραίτητο τα άτομα που συμμετέχουν στη μελέτη να έχουν αρκετή γνώση και δεξιότητες, διαφορετικά τα αποτελέσματα της μελέτης πιθανότατα θα είναι αποτυχημένα

Το 2016 πραγματοποιήθηκε μια ανασκόπηση πάνω σε δημοσιεύσεις που αφορούσαν τη μεθοδολογία HAZOP ως τεχνική για την πρόληψη των κινδύνων σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται ότι η μεθοδολογία HAZOP αναφέρεται σε 55 άρθρα τη δεκαετία 2005-2015:

2005	Papers	2011	Papers
Process Safety and Environmental Protection	4	Education for Chemical Engineers	1
2006		Process Safety and Environmental Protection	2
Computer Aided Chemical Engineering	1	Journal of Loss Prevention in the Process Industries	1
Journal of Loss Prevention in the Process Industries	1	Fuel Cells Bulletin	1
2007		2012	
Computer Aided Chemical Engineering	1	Computer Aided Chemical Engineering	4
Tsinghua Science & Technology	1	Procedia Engineering	4
Journal of Loss Prevention in the Process Industries	1	Journal of Loss Prevention in the Process Industries	2
2008		Process Safety and Environmental Protection	2
Computer Aided Chemical Engineering	2	Computers & Chemical Engineering	1
2009		Reliability Engineering & System Safety	1
Process Safety and Environmental Protection	1	2013	
Computer Aided Chemical Engineering	1	Computer Aided Chemical Engineering	1
Computers & Chemical Engineering	1	Process Safety and Environmental Protection	1
Journal of Loss Prevention in the Process Industries	1	International Journal of Hydrogen Energy	1
Systems Engineering - Theory & Practice	1	Journal of Loss Prevention in the Process Industries	2
2010		Fusion Engineering and Design	1
Computer Aided Chemical Engineering	1	2014	
Journal of Hazardous Materials	1	Reliability Engineering & System Safety	1
Computers & Chemical Engineering	1	Journal of Natural Gas Science and Engineering	1
Annals of Nuclear Energy	1	2015	
Process Safety and Environmental Protection	1	Procedia Earth and Planetary Science	1
Journal of Loss Prevention in the Process Industries	1	Journal of Loss Prevention in the Process Industries	4
		Engineering Applications of Artificial Intelligence	1

Πίνακας 3.10 Δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά για τη μεθοδολογία HAZOP ως αντικείμενο μελέτης από το 2005 έως το 2015 (de la O Herrera, et al., 2018)

Όπως μπορούμε να δούμε η τεχνική HAZOP χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς όπως είναι για παράδειγμα, οι επιστήμες της χημικής μηχανικής, της πληροφορικής, της ενέργειας και του περιβάλλοντος αλλά και της μηχανικής. Το εύρος των τομέων στους οποίους χρησιμοποιείται η τεχνική HAZOP δείχνει πραγματικά πόσο χρήσιμο εργαλείο είναι για την καταπολέμηση των κινδύνων καθώς ξεφεύγει από το βασικό της πεδίο το οποίο είναι ο εντοπισμός επικίνδυνων καταστάσεων σε βιομηχανικά εργοστάσια που προκαλούνται από αποκλίσεις στον εξοπλισμό. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας HAZOP δεν έχει αλλάξει σημαντικά κατά τα χρόνια καθώς οι περισσότερες εφαρμογές είχαν ως στόχο την αξιολόγηση κινδύνων σε συστήματα, ή την ανάλυση συστημάτων για τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων (de la O Herrera, et al., 2018).

### 3.6 FTA (Fault Tree Analysis)

Η τεχνική FTA χρησιμοποιείται ευρέως σε μελέτες που αξιολογούν την ασφάλεια και την αξιοπιστία πολύπλοκων συστημάτων. Ουσιαστικά πρόκειται για μια γραφική αναπαράσταση πιθανών συνδυασμών γεγονότων που ενδεχομένως να οδηγήσουν στη εμφάνιση ενός ανεπιθύμητου γεγονότος. Για την σχεδίαση του δέντρου των γεγονότων χρησιμοποιούνται λογικές πύλες της άλγεβρας του Boole οι οποίες

συνδέουν τα βασικά γεγονότα μεταξύ τους, δημιουργώντας έτσι τα προς εξέταση σενάρια τα οποία μπορεί να αποβούν μοιραία για το έργο. Η πρώτη φορά που έγινε χρήση της FTA ήταν κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960 από τα Bell Labs (Bakeli, et al., 2020). Δημιουργός της θεωρείται ο Watson ο οποίος την εισήγαγε για πρώτη φορά το 1961 με σκοπό την αξιολόγηση της ασφάλειας του συστήματος MLCA, ενός διακρατικού συστήματος εκτόξευσης πυραύλων των Ηνωμένων Πολιτειών. Σκοπός της χρήσης της FTA στην συγκεκριμένη περίπτωση ήταν η απεικόνιση όλων των γεγονότων ή συνθηκών που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ένα μη επιθυμητό αποτέλεσμα όπως για παράδειγμα κάποιο ανθρώπινο λάθος, αστοχίες υλικού ή λογισμικού, ή κάποιο περιβαλλοντικό γεγονός (Cheng, et al., 2013). Στη συνέχεια η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε και από μια σειρά αναλυτών της αεροπορικής εταιρίας Boeing, οι οποίοι βελτίωσαν τη μέθοδο ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με ποσοτικό τρόπο. Στις μέρες μας η μέθοδος χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλούς τομείς, συμπεριλαμβανομένων της μηχανικής, της πυρηνικής μηχανικής και της διαχείρισης ασφαλείας σε βιομηχανικά έργα (Hyun, et al., 2015).

Η τεχνική FTA χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση των βασικών αιτιών που συμβάλλουν στην εμφάνιση ενός ανεπιθύμητου γεγονότος καθώς και για την εκτίμηση της πιθανότητας αλλά και της συνεισφοράς των διαφορετικών αιτιών που οδηγούν στο ανεπιθύμητο συμβάν. Στην FTA οι βασικές αιτίες που οδηγούν στο ανεπιθύμητο συμβάν ονομάζονται «βασικά συμβάντα» και το ανεπιθύμητο γεγονός ονομάζεται «ανώτατο συμβάν» (Ferdous, et al., 2011). Για την απεικόνιση και την ανάλυση των κινδύνων και των ανεπιθύμητων συμβάντων χρησιμοποιείται το Fault Tree το οποίο είναι μια γραφική απεικόνιση όπου δείχνει τον τρόπο που ένα συμβάν μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους αλλά και να προβλέψει την λογική ακολουθία των συμβάντων. Η τεχνική FTA είναι λοιπόν μια συστηματική μέθοδος για την ανάλυση των αιτιών ενός κινδύνου ή ενός ανεπιθύμητου γεγονότος, ακολουθώντας μια επαγωγική μέθοδο σύμφωνα με την οποία ένας συγκεκριμένος κίνδυνος αναγνωρίζεται και αναλύεται μόνο από ποιοτική σκοπιά. Ο κίνδυνος αυτός στην αρχή της ανάλυσης αποτελεί το ανώτατο συμβάν και μπορεί να εκτιμηθεί ποσοτικά μελετώντας την πιθανότητα εμφάνισης κάθε παράγοντα κινδύνου. Με την χρήση των λογικών πυλών της άλγεβρας του Boole για την συσχέτιση των κινδύνων, η τεχνική FTA μπορεί να εξάγει συμπεράσματα σχετικά με τα αίτια που οδήγησαν

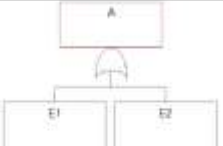
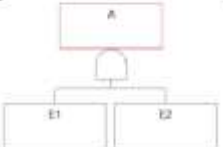


στο ανεπιθύμητο συμβάν όπως για παράδειγμα ο ελαττωματικός εξοπλισμός ή το ανθρώπινο λάθος (Hyun, et al., 2015).

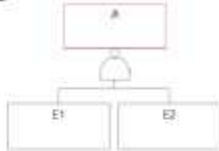
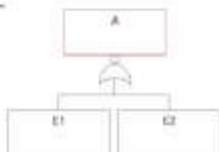

Κάθε Fault Tree σε μια ανάλυση FTA αποτελείται από συγκεκριμένα κομμάτια τα οποία αναλύονται παρακάτω:

- **Βασικά γεγονότα:** Είναι τα γεγονότα τα οποία περιγράφουν την κατάσταση ενός συστήματος και χαρακτηρίζονται από μια συνάρτηση πιθανοτήτων.
- **Λογικές Πύλες:** Είναι λογικοί τελεστές που συνδυάζουν τις εισόδους των κόμβων σε ένα Fault Tree. Οι λογικοί τελεστές που χρησιμοποιούνται είναι οι AND, OR, NAND, NOR.
- **Γεγονότα Μεταφοράς:** Είναι δείκτες προς ένα συγκεκριμένο κλαδί του Fault Tree που οδηγούν σε δευτερεύοντα FTs και εξυπηρετούν πολλούς σκοπούς όπως την οργάνωση γραφημάτων, επίδειξη κλαδιών που χρησιμοποιούνται πολλές φορές ή χρήση ενοτήτων από διαφορετική ανάλυση.

Στον παρακάτω πίνακα μπορούμε να δούμε τους λογικούς τελεστές που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ενός Fault Tree (Bakeli, et al., 2020):

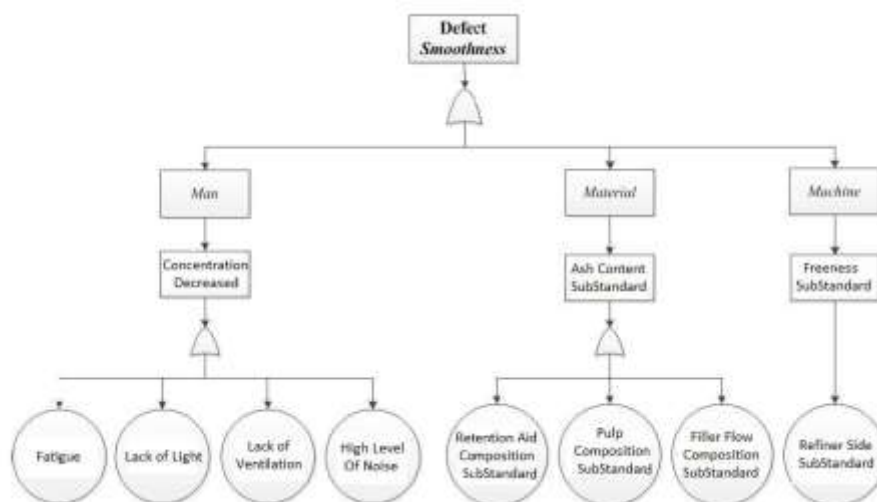
Logic operator	Definition	Representation	Probabilistic formula
<b>Or</b>	The output event appears if at least one of the input events appears.		$P(A) = P(E1) + P(E2)$ (1)
<b>And</b>	The output event appears if all input events appear.		$P(A) = P(E1) P(E2)$ (2)

Πίνακας 3.11 Οι λογικοί τελεστές OR και AND ενός Fault Tree (Bakeli, et al., 2020)

<b>Nand</b>	The logical state of the output is the opposite of the And logic		$P(A) = 1 - P(E1) P(E2) \quad (3)$
<b>Nor</b>	The output event appears if only one entry event appears		$P(A) = 1 - P(E1) - P(E2) \quad (4)$
<b>K/N</b>	The output event appears if at least k input events appear (k < n)		$P(A) = P(E1)P(E2) + P(E1)P(E3) + P(E2)P(E3) \quad (5)$

Πίνακας 3.12 Οι λογικοί τελεστές NAND, NOR και K/N ενός Fault Tree (Bakeli, et al., 2020)

Ένα παράδειγμα χρήσης της ανάλυσης FTA στη βιομηχανία αφορά την περίπτωση της ΙΚΡΡ μιας εταιρίας που δραστηριοποιείται στην παραγωγή προϊόντων από χαρτί. Σύμφωνα με έρευνα της εταιρίας από το Σεπτέμβριο του 2016 μέχρι και το Φεβρουάριο του 2017 η εταιρία αντιμετώπισε θέματα σχετικά με την ποιότητα του προϊόντος με την ονομασία “ Jumbo Rolls”. Κατά τη διάρκεια της έρευνας αποκαλύφθηκε ότι από το σύνολο της παραγωγής, το 27% ( 1.162 κομμάτια στα 4.346) ήταν ελαττωματικά. Τα ελαττωματικά προϊόντα παρουσίασαν μια πληθώρα αστοχιών όπως πάχος, αντοχή στην τάση, βάρος, αντοχή στο νερό, λείανση και άλλα. Βασισόμενη σε ανάλυση FTA η εταιρία εντόπισε την αιτία του προβλήματος των τριών πιο συχνά εμφανιζόμενων αστοχιών οι οποίες ήταν το πάχος, η αντοχή στην τάση και η λείανση. Βρέθηκαν επίσης οι παράγοντες που οδηγούσαν σε αυτού του είδους τις αστοχίες οι οποίες ήταν ο ανθρώπινος παράγοντας, βλάβες της μηχανής παραγωγής και το υλικό κατασκευής. Μετά το τέλος της έρευνας η εταιρία προχώρησε σε ενέργειες για την επίτευξη βελτιώσεων του προϊόντος της. Για τη βελτίωση του πάχους και της λείανσης η εταιρία προχώρησε σε πιο τακτική συντήρηση των μηχανημάτων και κυρίως σε μέρη που συμβάλουν στο πάχος του προϊόντος όπως τα μαχαίρια και ο κινητήρας, ενώ για την αντοχή στην τάση έγινε αλλαγή της σύνθεσης του πολτού του χαρτιού. Παρακάτω μπορούμε να δούμε την ανάλυση FTA της εταιρίας σχετικά με το πρόβλημα της λείανσης του προϊόντος:



Σχήμα 3.2 Ανάλυση Fault Tree για την ομαλότητα ενός προϊόντος (Hidayat, et al., 2018)

Αφού η ομάδα που εκτέλεσε την μελέτη βρήκε τον λόγο για τον οποίο υπήρξε πρόβλημα με λείανση του προϊόντος στην συνέχεια χρησιμοποιώντας την μέθοδο των 5 W's που αναφέρθηκε και παραπάνω κατέληξε στη λύση που έπρεπε να εφαρμοστεί με σκοπό τη λύση του προβλήματος. Όπως βλέπουμε και στον παρακάτω πίνακα η ομάδα των μελετητών κλήθηκε να απαντήσει στα εξής ερωτήματα:

- Ποιο είναι το σχέδιο για την επισκευή της βλάβης;
- Γιατί είναι απαραίτητη η επισκευή;
- Τι πρέπει να επισκευαστεί;
- Πότε πρέπει να γίνει η επισκευή;
- Ποιος πρέπει να αναλάβει την επισκευή;

Απαντώντας στα παραπάνω ερωτήματα η ομάδα κατέληξε ότι ο χειριστής της μηχανής θα πρέπει να ρυθμίζει τα Amperes της μηχανής σύμφωνα με τα πρότυπα που έχουν οριστεί για κάθε τύπο χαρτιού. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα η μηχανή να πραγματοποιεί ένα πιο τυποποιημένο και ελεγχόμενο κόψιμο (Hidayat, et al., 2018).

Types of Defect	Causative factor	What	Why	Where	When	Who	How
		What is the repair plan?	Why Need a Repair?	Where are the repairs done?	When is the repair done?	Who is the PIC in the repair?	How to make these improvements?
Defect of Smoothness	The refiner section is not up to standard	Setting the amperes on the refiner to match the ampere that has been set in accordance with the standard ampere	To minimize the defect of Smoothness Jumbo Roll products	Repairs are done on the refiner section in Stock Preparation	Repairs are done according to the time when the paper type production changes	Operator on the refiner section in Stock Preparation	The operator on the refiner section does the ampere setting on the refiner part

Πίνακας 3.13 Ανάλυση 5W + 1H για την επιδιόρθωση της ομαλότητας του προϊόντος (Hidayat, et al., 2018)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4.1 Ποσοτική ανάλυση κινδύνου και αβεβαιότητας σε έργα

Τα τελευταία 30 χρόνια γίνεται σε πολλούς τομείς της βιομηχανίας ποσοτική αξιολόγηση των κινδύνων και της αβεβαιότητας σε έργα και μεγάλα τεχνολογικά συστήματα. Αρχικά η κοινότητα ήταν επιφυλακτική για την χρησιμότητα αυτής της νέας τεχνολογίας. Το κλίμα όμως άλλαξε όταν οι νέοι απόφοιτοι μηχανικοί οι οποίοι ήταν πιο εξοικειωμένοι με τα νέα εργαλεία άρχισαν να διεξάγουν μελέτες χρησιμοποιώντας τις νέες τεχνικές. Σκοπός των ποσοτικών τεχνικών διαχείρισης κινδύνων είναι η εύρεση των τρόπων αποτυχίας ενός συστήματος οι οποίοι δεν είχαν προηγουμένως αναγνωριστεί. Η αξιολόγηση της ασφάλειας τυπικά ξεκινά με υποθετικές αποτυχίες και προχωρά στον προσδιορισμό των συνεπειών τους. Αν ένα γεγονός κρίνεται ότι οδηγεί σε μη αποδεκτές συνέπειες, λαμβάνονται μέτρα για να μειωθούν ή και να εξαλειφθούν πλήρως οι δυνητικές του συνέπειες. Το αποτέλεσμα είναι συνήθως ένα σύνολο απαιτήσεων για το σχεδιασμό και τη λειτουργία του συστήματος. Όταν ένα σύστημα πληροί αυτές τις απαιτήσεις κρίνεται ως αποδεκτό.

Οι ποσοτικές τεχνικές ουσιαστικά απαντούν σε τρεις βασικές ερωτήσεις:

- Τι μπορεί να πάει στραβά;
- Πόσο πιθανό είναι να συμβεί κάθε ανεπιθύμητο γεγονός;
- Ποιες είναι οι συνέπειες για το σύστημα;

Σύμφωνα με τα παραπάνω η προσέγγιση των ποσοτικών τεχνικών προχωρά ως εξής:

- 1) Ορίζεται ένα σύνολο από ανεπιθύμητες τελικές καταστάσεις ( συνέπειες)
- 2) Για κάθε τελική κατάσταση αναπτύσσεται ένα σύνολο διαταραχών της κανονικής λειτουργίας οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε δυσάρεστα αποτελέσματα.
- 3) Γίνεται χρήση δέντρων γεγονότων και βλαβών ή άλλα λογικά διαγράμματα για να αναγνωριστούν ακολουθίες γεγονότων ώστε να δημιουργηθούν σενάρια ατυχημάτων
- 4) Αξιολογούνται οι πιθανότητες αυτών των σεναρίων
- 5) Τα σενάρια κατατάσσονται σύμφωνα με την αναμενόμενη συχνότητα εμφάνισής τους.

Η χρήση ποσοτικών τεχνικών για τη διαχείριση των κινδύνων έρχεται με κάποια πλεονεκτήματα αλλά έχει και ορισμένα αδύναμα σημεία. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης των μεθόδων αυτών (Apostolakis, 2004).

#### **Πλεονεκτήματα:**

- 1) Λαμβάνονται υπόψη χιλιάδες σενάρια που περιλαμβάνουν πολλαπλές αποτυχίες
- 2) Αυξάνεται η πιθανότητα εντοπισμού πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων
- 3) Παρέχεται κατανόηση του προβλήματος εις βάθος
- 4) Γίνεται εστίαση στην ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες για την μείωση ανεπιθύμητων αποτελεσμάτων
- 5) Η διαχείριση των κινδύνων γίνεται ευκολότερη καθώς αναγνωρίζονται τα κύρια σενάρια ατυχημάτων ώστε οι πόροι να σπαταλούνται σωστότερα.

#### **Μειονεκτήματα:**

- 1) Ανθρώπινα λάθη που οδηγούν σε εσφαλμένες εκτιμήσεις για την σοβαρότητα κάποιων κινδύνων και λάθος ταξινόμηση τους
- 2) Αποτυχίες λογισμικού με αποτέλεσμα την δυσκολία στην κατανόηση των κινδύνων που ενδέχεται να εισαχθούν σε ένα σύστημα
- 3) Σχεδιαστικά λάθη

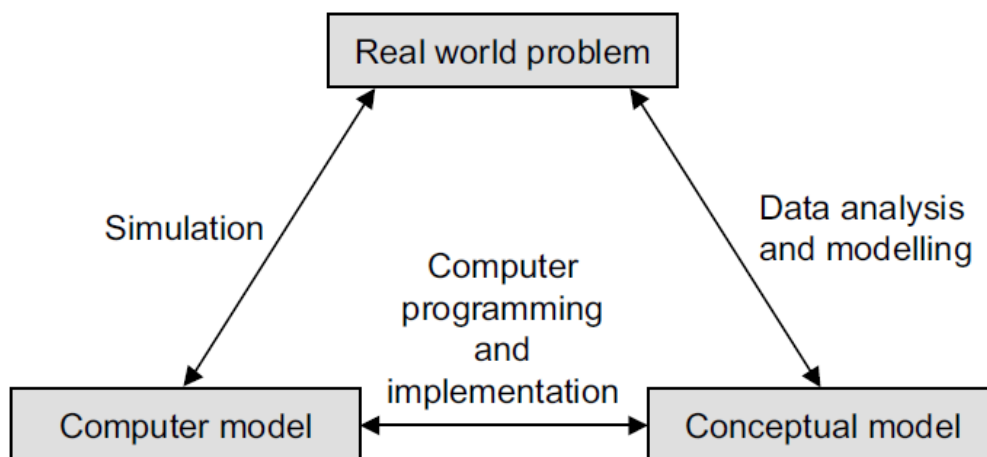
Παρακάτω παρουσιάζονται πέντε σημαντικές ποσοτικές τεχνικές για τη διαχείριση κινδύνων και αβεβαιότητας σε βιομηχανικά έργα.

## 4.2 Monte Carlo

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω η διαχείριση του κινδύνου θεωρείται πολύ σημαντικό κομμάτι στον τομέα της διαχείρισης έργων καθώς έχει αποδειχθεί ότι η αναγνώριση, η ανάλυση και η αξιολόγηση πιθανών κινδύνων συμβάλλουν στην επιτυχημένη ολοκλήρωση του έργου σε μεγάλο βαθμό.

Μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για αυτό το λόγο ονομάζεται προσομοίωση Monte Carlo (Kwak, et al., 2007). Η πρώτη φορά που η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε επίσημα ήταν κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου στην προσπάθεια των Αμερικάνων να αναπτύξουν πυρηνικά όπλα. Ο John von Neumann και ο Stanislaw Ulam πρότειναν τη χρήση αυτής της μεθόδου για να εξεταστούν οι ιδιότητες των νετρονίων κατά τη διάρκεια του ταξιδιού τους μέσω αντιδραστήρα. Οι δύο τους ονόμασαν την μέθοδο αυτή Monte Carlo προς τιμή του καζίνο Monte Carlo στο Μονακό. Οι Neumann και Ulam χρησιμοποίησαν την μέθοδο αυτή και σε άλλες έρευνες που έγιναν μετέπειτα πάνω στα πυρηνικά όπλα και μαζί με άλλους ερευνητές θεμελίωσαν τη μέθοδο και την καθιέρωσαν ως μέθοδο για την αντιμετώπιση κινδύνων (Harrison, 2009). Η μέθοδος Monte Carlo θεωρείται μια μορφή στοχαστικής προσομοίωσης. Χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο μπορούμε να βρούμε την πιθανότητα που έχει ένα γεγονός να συμβεί. Η διαδικασία είναι επαναληπτική και μπορεί να επαναληφθεί όσες φορές απαιτείται για να επιτευχθεί η επιθυμητή ακρίβεια στην πρόβλεψη (Akintoye, et al., 1997). Η μέθοδος αυτή θεωρείται ένα από τα δυνατά εργαλεία για την ανάλυση κινδύνων καθώς λαμβάνει υπόψη ταυτόχρονα τόσο τις απειλές όσο και τις ευκαιρίες που ενδεχομένως να προκύψουν σε ένα έργο. Παρόλο που σαν μέθοδος υπάρχει ήδη από τη δεκαετία του 1940, η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει ευνοήσει τη χρήση της καθώς πλέον υπάρχουν πολύ ισχυρότεροι

υπολογιστές (Rezaie, et al., 2007). Πιο συγκεκριμένα το 1979 η Society for Computer Simulation παρουσίασε για πρώτη φορά ένα πλαίσιο για υπολογιστικές προσομοιώσεις. Σύμφωνα με το πλαίσιο αυτό ένα πρόβλημα στον πραγματικό κόσμο αφού αναγνωριστεί στην συνέχεια μπορεί να μετατραπεί σε ένα εννοιολογικό μοντέλο. Το μοντέλο αυτό περιλαμβάνει εισόδους οι οποίες μπορούν να προβλεφθούν αν παρατηρηθούν οι εξόδοι. Το πλεονέκτημα που παρέχει αυτή η διαδικασία είναι η μεγαλύτερη κατανόηση του προβλήματος το οποίο εξετάζεται αλλά και το ότι ο χρήστης μπορεί να χειριστεί και να μεταβάλλει τόσο τις εισόδους όσο και τις εξόδους του συστήματος. Η διαδικασία που ακολουθούν οι υπολογιστικές προσομοιώσεις είναι ότι για οποιαδήποτε καθορισμένη είσοδο ή σειρά εισόδων ή παραμέτρων του μοντέλου, παρατηρείται ένα αποτέλεσμα ή πρόβλεψη κάποιου γεγονότος. Τα μοντέλα αυτά μπορεί να είναι είτε προδιαγεγραμμένα (ντετερμινιστικά) όπου όλες οι εισοδοι είναι σταθερές, είτε στοχαστικά όπου κάποιες ή όλες οι παράμετροι του μοντέλου περιέχουν τον παράγοντα της τύχης. Η χρήση τέτοιων μοντέλων έχει αποδείξει ότι μοντέλα που περιέχουν στοχαστικά στοιχεία τείνουν να αντικατοπτρίζουν φαινόμενα του πραγματικού κόσμου, ενώ εκείνα τα μοντέλα που δεν έχουν στοχαστικές ιδιότητες τείνουν να οδηγούν σε αποτελέσματα τα οποία δεν έχουν μεγάλη πιθανότητα να συμβούν στον πραγματικό κόσμο.



Σχήμα 4.1 Πλαίσιο υπολογιστικής προσομοίωσης (Bonate, 2001)

Τα μοντέλα και κατ' επέκταση και οι προσομοιώσεις διακρίνονται σε προσομοιώσεις διακριτών γεγονότων και σε προσομοιώσεις πραγματικού χρόνου. Οι προσομοιώσεις

διακριτών γεγονότων μοντελοποιούν ένα σύστημα στο οποίο οι μεταβλητές αλλάζουν αιφνίδια σε ορισμένα προδιαγεγραμμένα χρονικά σημεία. Από την άλλη οι προσομοιώσεις πραγματικού χρόνου μοντελοποιούν ένα σύστημα το οποίο αλλάζει σταδιακά κατά την πάροδο του χρόνου. Υπάρχουν βεβαίως και οι προσομοιώσεις που μπορεί να αποτελούν συνδυασμό των δύο παραπάνω κατηγοριών (Bonate, 2001).

Η μέθοδος προσομοίωσης Monte Carlo προσπαθεί να εξετάσει στοχαστικούς συνδυασμούς αβεβαιοτήτων που συμβαίνουν σε ένα έργο. Η ταχύτητα και η ισχύς του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την υλοποίηση της προσομοίωσης παίζουν σημαντικό ρόλο για την πορεία της έρευνας (Rezaie, et al., 2007). Για να μοντελοποιήσουμε ένα σύστημα χρειάζεται να ορίσουμε τις μεταβλητές και τις συναρτήσεις του. Επίσης είναι σημαντικό πριν δημιουργήσουμε το μοντέλο να λάβουμε υπόψη ορισμένα βασικά σημεία (Harrison, 2009):

- Ποια είναι τα επιθυμητά αποτελέσματα;
- Πως θα χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα;
- Πόσο ακριβή πρέπει να είναι τα αποτελέσματα;
- Πως ακριβώς μπορούμε/πρέπει να μοντελοποιήσουμε;
- Πως ακριβώς μπορούμε/πρέπει να καθορίσουμε τις εισόδους του συστήματος;

Η προσομοίωση Monte Carlo μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πληθώρα εφαρμογών εκτός από την ανάλυση και πρόβλεψη κινδύνων σε ένα έργο. Παρόλα αυτά υπάρχουν κάποια βήματα που είναι κοινά ανεξαρτήτου της εφαρμογής και του κλάδου τον οποίο εξετάζουμε τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

- Καθορισμός της συνάρτησης κατανομής για κάθε αβεβαιότητα, λαμβάνοντας υπόψη τα διαθέσιμα έγγραφα και τη γνώμη των ειδικών.
- Διαιρούμε την περιοχή μεταξύ της καμπύλης κατανομής και του οριζόντιου άξονα σε ίσα μέρη. Ο αριθμός των τετραγώνων που θα δημιουργηθούν πρέπει να είναι ίσος με τον αριθμό των φορών που εκτελείται η προσομοίωση.



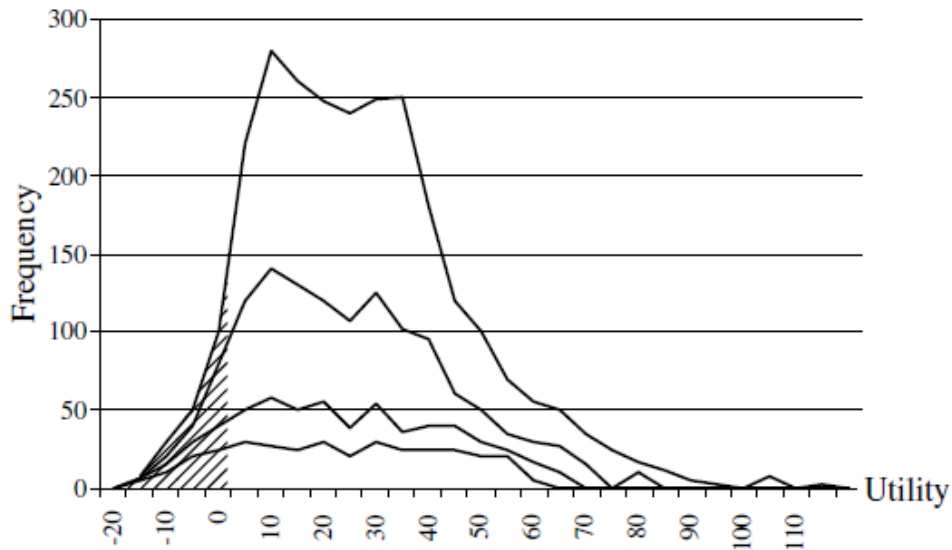


Figure 4.1 Προφίλ του κινδύνου (Rezaie, et al., 2007)

- Αναθέτουμε έναν τυχαίο αριθμό A για κάθε αβεβαιότητα στο εύρος [1-100]
- Για κάθε αβεβαιότητα ξεκινάμε από την αριστερή στήλη και μετράμε τα τετράγωνα ώσπου να καλυφθεί το A% των παραγόμενων τετραγώνων ( γκρι τετράγωνα στο παρακάτω σχήμα). Στη συνέχεια σχεδιάζουμε μια κάθετη γραμμή στη δεξιά πλευρά της τρέχουσας στήλης (στήλη που έχει σταματήσει η μέτρηση). Το σημείο τομής της γραμμής με τον οριζόντιο άξονα υποδεικνύει την τιμή της σχετικής αβεβαιότητας στην τρέχουσα εκτέλεση της προσομοίωσης. Το χαμηλότερο τετράγωνο σε αυτή τη στήλη επισημαίνεται με μαύρο χρώμα. Αυτό το κομμάτι θα τρέξουν σε όλες τις επαναλήψεις. Αν η μέτρηση σταματήσει σε στήλη όπου όλα τα τετράγωνα είναι επισημασμένα ο αριθμός A εξαλείφεται από το εύρος [1-100] και η τρέχουσα εκτέλεση αγνοείται.

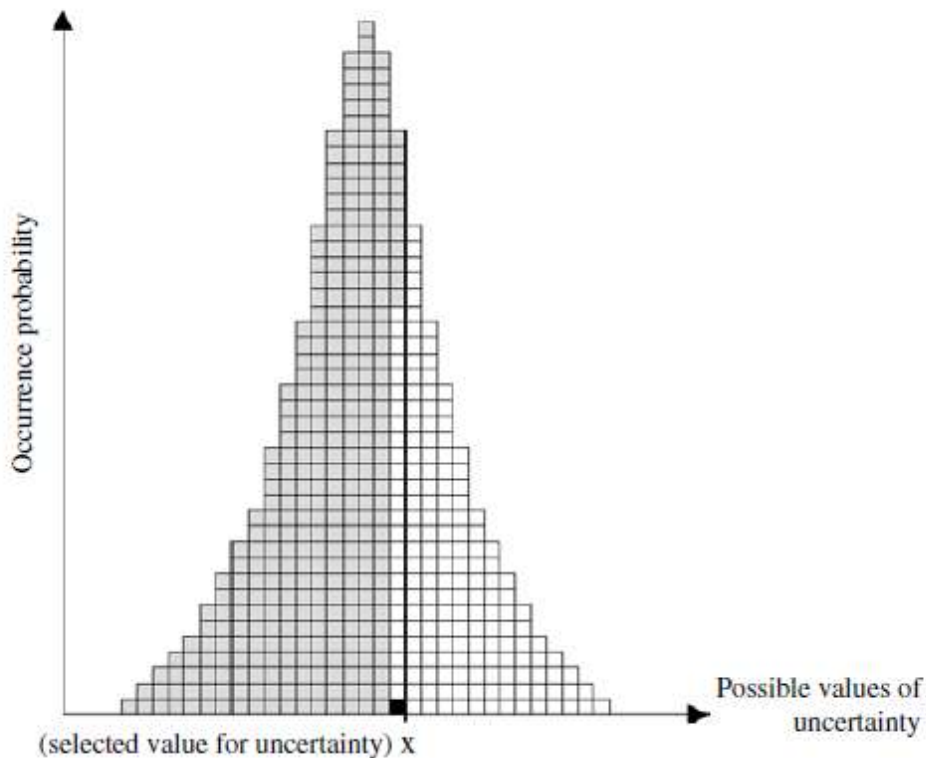


Figure 4.2 Ανάθεση τιμής σε αβεβαιότητες (Rezaie, et al., 2007)

- Καθορίζουμε το ποσό χρησιμότητας με βάση την τιμή των αβεβαιοτήτων που έχουν προκύψει στην τρέχουσα εκτέλεση.
- Αν υπάρχει έστω ένα μη επισημασμένο τετράγωνο πηγαίνουμε στο βήμα 2.
- Σχεδιάζουμε το διάγραμμα συχνότητας για τις αβεβαιότητες που εξετάζουμε (Rezaie, et al., 2007).

Μόλις οριστεί το εννοιολογικό μοντέλο το επόμενο βήμα είναι να μεταφραστεί σε κώδικα. Σε πρώτη φάση αυτό γίνεται με τη βοήθεια γενικών γλωσσών προγραμματισμού όπως η BASIC αλλά στο επόμενο στάδιο χρησιμοποιούνται υψηλότερου επιπέδου γλώσσες όπως το MATLAB και το GAUSS. Σημαντική λεπτομέρεια στο σημείο αυτό είναι να διενεργηθεί έλεγχος στον κώδικα για να εξασφαλιστεί ότι το πρόγραμμα θα εκτελεί την επιθυμητή διεργασία. Μόλις συμβούν όλα τα παραπάνω η προσομοίωση είναι έτοιμη να εκτελεστεί. Σε κάθε προσομοίωση Monte Carlo υπάρχουν τρεις παράγοντες που πρέπει να καθοριστούν πριν την εκτέλεσή της. Αρχικά πρέπει να καθοριστεί ο αριθμός των επαναλήψεων της

προσομοίωσης. Ο αριθμός αυτός ποικίλει ανάλογα με την εφαρμογή. Σε μια εφαρμογή που έχει ως στόχο να παρατηρηθεί η έξοδος ενός συστήματος, συνήθως χρειάζεται μικρός αριθμός επαναλήψεων. Σε άλλη περίπτωση όμως που η προσομοίωση εξετάζει την μεταβλητότητα ενός αποτελέσματος, τότε πρέπει να πραγματοποιηθούν αρκετές επαναλήψεις για να ελεγχθούν και τα σπάνια συμβάντα που ενδέχεται να εμφανιστούν.

Ο δεύτερος παράγοντας ο οποίος συνδέεται στενά με τον πρώτο είναι ο πραγματικός χρόνος που απαιτεί ο υπολογιστής για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης. Σημαντικό ρόλο σε αυτό παίζει η μονάδα επεξεργασίας του υπολογιστή (CPU). Όσο περισσότερες είναι οι επαναλήψεις τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος εκτέλεσης της προσομοίωσης και τόσο μεγαλύτερες είναι οι απαιτήσεις για τον επεξεργαστή όσον αφορά την μνήμη και την ταχύτητα.

Ο τρίτος και τελευταίος παράγοντας που επηρεάζει μια προσομοίωση Monte Carlo είναι ο γεννήτορας τυχαίων αριθμών (RNG) ο οποίος έχει τη δυνατότητα παραγωγής μιας ακολουθίας ανεξάρτητων τυχαίων αριθμών οι οποίοι ακολουθούν μια δεδομένη κατανομή με πεπερασμένη διακύμανση. Αύτη ουσιαστικά είναι και η βασική αρχή κάθε προσομοίωσης Monte Carlo. Μέσα στον αλγόριθμο της προσομοίωσης υπάρχει πάντα ένα σημείο από το οποίο ξεκινάνε να δημιουργούνται οι τυχαίοι αριθμοί. Το σημείο αυτό ονομάζεται seed. Εκτός από τους τυχαίους αριθμούς όμως υπάρχουν και οι τυχαίες μεταβλητές οι οποίες προκύπτουν από μια ομοιόμορφη κατανομή η οποία στη συνέχεια μετασχηματίζεται στην απαιτούμενη κατανομή. Χαρακτηριστική μέθοδος για τη δημιουργία τυχαίων μεταβλητών είναι η μέθοδος Box-Muller. Η μέθοδος αυτή λέει ότι αν οι  $U_1, U_2$  είναι ομοιόμορφες τυχαίες μεταβλητές στο διάστημα (0,1) τότε οι μεταβλητές  $Z_1, Z_2$  όπου (Bonate, 2001):

$$Z_1 = \sqrt{-2} * \ln (U_1) \cos (2\pi U_2)$$

$$Z_2 = \sqrt{-2} * \ln (U_1) \sin (2\pi U_2)$$

είναι ανεξάρτητες μεταβλητές με μέσο το 0 και διακύμανση 1. Για να δημιουργηθούν δύο τυχαίες μεταβλητές με μέσο  $\mu$  και διακύμανση  $\sigma^2$  οι  $X_1, X_2$  μετασχηματίζονται ως εξής (Bonate, 2001) :

$$X_1 = \mu + Z_1\sigma$$

$$X_2 = \mu + Z_2\sigma$$

Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι η προσομοίωση Monte Carlo αποτελεί ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο σε εφαρμογές που χρειάζεται κανείς να κατανοήσει και να ποσοτικοποιήσει τις πιθανές επιπτώσεις μιας αβεβαιότητας σε ένα έργο. Εάν δεν ληφθεί υπόψη η αβεβαιότητα τόσο στο χρονοδιάγραμμα όσο και τον προϋπολογισμό του έργου, αυτό κινδυνεύει να βγει εκτός των επιθυμητών στόχων. Άλλο ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα της προσομοίωσης Monte Carlo είναι ότι σε αντίθεση με άλλες τεχνικές μπορεί να παρέχει αποτελέσματα για όλη τη διάρκεια ενός έργου και όχι μόνο για συγκεκριμένες χρονικές στιγμές όπως κάνουν άλλες μέθοδοι ανάλυσης κινδύνου. Αυτό δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να εξάγει καλύτερα και ασφαλέστερα συμπεράσματα για τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν ώστε το έργο να εκπληρώσει τους στόχους του (Kwak, et al., 2007).

Παρόλη τη χρησιμότητα και την ευελιξία που μας παρέχει η μέθοδος Monte Carlo υπάρχουν και ορισμένα ζητήματα που δεν μπορεί να επιλύσει. Παραδείγματος χάρι η προσομοίωση Monte Carlo δεν μπορεί να περιορίσει τους κινδύνους υπέρβασης. Ως κίνδυνος υπέρβασης ορίζεται η συχνότητα με την οποία μια μεταβλητή υπερβαίνει μια καθορισμένη τιμή. Ο λόγος για τον οποίο οι κίνδυνοι υπέρβασης αποτελούν σημαντική ανησυχία είναι εξαιτίας ενός επιπέδου το οποίο εάν ξεπεραστεί οι συνέπειες στο έργο θα είναι καταστροφικές επομένως τέτοιες συνέπειες δεν είναι ανεκτές. Επιπροσθέτως άλλο ένα μειονέκτημα της μεθόδου Monte Carlo είναι ότι δεν μπορεί να δώσει λύση σε ένα πρόβλημα εκτός αν γνωρίζουμε αρκετές πληροφορίες πράγμα που δεν είναι πάντοτε δυνατό (Ferson, 1996). Παρόλο που η προσομοίωση Monte Carlo καταγράφεται ως μια χρήσιμη μέθοδος για εφαρμογές διαχείρισης έργων, αυτή η μέθοδος καταλήγει να μην χρησιμοποιείται σε πραγματικές καταστάσεις εκτός αν αυτό απαιτείται από τις διαδικασίες διαχείρισης έργου του οργανισμού. Οι λόγοι για τους οποίους συνέβαινε αυτό είναι επειδή μέχρι πρόσφατα ήταν αρκετά δύσκολο να βρεθεί λογισμικό να εκτελέσει μια προσομοίωση Monte Carlo για έργα. Στο πρόβλημα αυτό έρχονταν να προστεθούν η τάση των διευθυντών έργων να μην νιώθουν άνετα με στατιστικές προσεγγίσεις καθώς και η ελλιπής κατανόηση της μεθόδου. Δεν λείπουν μάλιστα οι περιπτώσεις όπου η μέθοδος έχει χαρακτηριστεί από διευθυντές έργων ως βάρος παρά ως ωφέλεια σε εφαρμογές όπου χρησιμοποιούταν εκτενώς (Kwak, et al., 2007). Αυτό μάλιστα αποτελεί αρκετά κοινό πρόβλημα στη βιομηχανία και γίνεται συχνά αιτία ώστε να μην προτιμάται η μέθοδος

Monte Carlo. Δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις όπου τα δεδομένα που χρειάζεται η προσομοίωση δεν είναι αρκετά είτε είναι αδύνατον για την ομάδα που τρέχει την προσομοίωση να βρει τα δεδομένα που απαιτούνται λόγω ελλιπούς εμπειρίας ή ακόμη και εκπαίδευσης. Επιπροσθέτως υπάρχει σκεπτικισμός στη βιομηχανία για την αξία των αποτελεσμάτων που εξάγονται από μια προσομοίωση Monte Carlo αλλά αυτό ενδέχεται να είναι αποτέλεσμα της μη εξοικείωσης των μελετητών με την συγκεκριμένη τεχνική (Chick, et al., 2003). Τέλος ορισμένοι παράγοντες που προβληματίζουν τους ειδικούς σχετικά με τη χρήση της μεθόδου αυτής είναι ότι δεν αναλύει τα δεδομένα που παράγονται και για το λόγο αυτό χρειάζεται επιπλέον λογισμικό που θα κάνει αυτή τη διαδικασία, δεν βελτιστοποιεί λειτουργίες και δεν υπάρχει κάποιο έτοιμο μοντέλο για χρήση επομένως αν κάποιος επιθυμεί να χρησιμοποιήσει την μέθοδο αυτή θα πρέπει να δημιουργήσει το δικό του μοντέλο (Murtha, 1997).

#### 4.3 FMEA (Failure Mode Effect Analysis)

Η Failure Mode Effect Analysis (FMEA) αναπτύχθηκε αρχικά από την αεροπορική βιομηχανία κατά τη δεκαετία του 1960 ως μια μεθοδολογία σχεδιασμού και αποδείχθηκε αμέσως πόσο εύχρηστη και ισχυρή είναι σαν εργαλείο για την αξιολόγηση πιθανών αποτυχιών αλλά και για την πρόληψή τους. Η μέθοδος αυτή ουσιαστικά χρησιμοποιείται για τον καθορισμό, την αναγνώριση και την εξάλειψη γνωστών ή και πιθανών μελλοντικών αποτυχιών, σφαλμάτων και προβλημάτων. Τα προβλήματα αυτά μπορούν να εμφανιστούν σε διάφορους τομείς ενός έργου όπως είναι ο σχεδιασμός ενός προϊόντος ή η διαδικασία παραγωγής (Liu, et al., 2013).

Η μέθοδος FMEA είναι μια σημαντική τεχνική που χρησιμοποιείται όπως προαναφέρθηκε για τον εντοπισμό και την εξάλειψη των υπάρχόντων ή των πιθανών αποτυχιών με σκοπό την ενίσχυση της αξιοπιστίας και της ασφάλειας σύνθετων ή απλών συστημάτων. Βασικός σκοπός της μεθόδου FMEA είναι να παρέχει πληροφορίες για τη διαχείριση των κινδύνων και να βοηθήσει τον ερευνητή να λάβει τις σωστές αποφάσεις με σκοπό την αποτελεσματική αντιμετώπισή τους (Liu, et al., 2013). Υπάρχουν δύο περιπτώσεις κατά τις οποίες γίνεται χρήση της μεθόδου. Η πρώτη χρήση της η οποία ονομάζεται σχεδιαστική γίνεται κατά τη φάση του σχεδιασμού ενός έργου. Στην περίπτωση ελέγχεται ό,τι θα μπορούσε να πάει λάθος

κατά τη κατασκευή ενός προϊόντος όπως για παράδειγμα κάποιες κατασκευαστικές δυσλειτουργίες που προέρχονται ενδεχομένως από αστοχία κατά τον σχεδιασμό του. Σε αυτήν την περίπτωση πρέπει να εξεταστούν οι πιθανές αιτίες αποτυχίας του έργου και να ληφθούν μέτρα πριν ολοκληρωθούν τα σχέδια. Η δεύτερη χρήση η οποία ονομάζεται διαδικαστική επικεντρώνεται στα προβλήματα που μπορούν να οδηγήσουν σε αποτυχία το έργο τα οποία είναι αποτέλεσμα μη συμμόρφωσης με τις προδιαγραφές του σχεδιασμού. Και σε αυτήν την περίπτωση ισχύει ότι και στην πρώτη σχετικά με τους παράγοντες που πρέπει να εξεταστούν και τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν (Dale, et al., 1990).

Το πρώτο βήμα σε μια μελέτη βασισμένη στη μέθοδο FMEA είναι η ταυτοποίηση όλων των πιθανών αποτυχιών που ενδέχεται να εμφανιστούν στο σύστημα μέσω μιας συνεδρίας Brainstorming. Εδώ μάλιστα βλέπουμε την χρήση της μεθόδου Brainstorming η οποία αναλύθηκε και παραπάνω στο κεφάλαιο των ποιοτικών μεθόδων διαχείρισης κινδύνων. Έτσι γίνεται κατανοητό ότι σε πολλές περιπτώσεις γίνεται χρήση συνδυασμού μεθόδων. Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση αυτών των πιθανών αποτυχιών υπολογίζοντας αρχικά τον αριθμό RPN (Liu, et al., 2013). Η ανάλυση του κινδύνου ξεκινά από το επίπεδο του συστήματος συγκεντρώνοντας και αναλύοντας μια λίστα πιθανών τρόπων αποτυχίας και προσπαθεί να εξάγει ως αποτέλεσμα τις επιπτώσεις αυτών των αποτυχιών στο προς έλεγχο σύστημα (Abdelgawad, et al., 2012). Η μέθοδος FMEA καθορίζει την σοβαρότητα ενός κινδύνου μέσω ενός αριθμού που ονομάζεται Risk Priority Number (RPN). Ο αριθμός RPN λαμβάνεται ως το γινόμενο της εμφάνισης (O), της σοβαρότητας (S) και της ανίχνευσης (D) μιας αποτυχίας (Sakthivel, et al., 2018). Ο αριθμός αυτός κυμαίνεται από 1 έως 1000 (Abdelgawad, et al., 2012). Ως σοβαρότητα (S) χαρακτηρίζεται η επικινδυνότητα ενός συγκεκριμένου τρόπου αποτυχίας. Βαθμολογείται αριθμητικά από το 1 έως το 10 με το ένα να σημαίνει ότι ο κίνδυνος είναι ελάχιστης σημασίας χωρίς να προκαλεί ιδιαίτερα προβλήματα στο σύστημα ενώ το 10 αναφέρεται σε ένα εξαιρετικά επικίνδυνο φαινόμενο το οποίο πρόκειται να έχει αρνητικές επιπτώσεις στο σύστημα (Pattnaik, 2015). Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα κριτήρια αξιολόγησης των κινδύνων λαμβάνοντας υπόψη τον παράγοντα της σοβαρότητας (S) (Rivera Torres, et al., 2018):

Effect	Severity of effect severity	Ranking
Hazardous without warning	When a failure mode affects safe device operation without warning	10
Hazardous with warning	When a failure mode affects safe device operation with warning	9
Very high	Device inoperable: loss of primary function	8
High	Device operable: at a highly reduced level of performance	7
Moderate	Device operable: at a reduced level of performance	6
Low	Device operable: at a slightly reduced level of performance	5
very low	Device operable: defect noticed by most customers	4
Minor	Device operable: defect noticed by average customers	3
Very minor	Device operable: defect noticed by discriminating customers	2
None	Almost no effect	1

*Πίνακας 4.5 Κριτήρια αξιολόγησης σοβαρότητας (Rivera Torres, et al., 2018)*

Ως Πιθανότητα Εμφάνισης (O) ορίζεται η πιθανότητα που έχει μια αποτυχία να συμβεί κατά την παραγωγική διαδικασία ενός προϊόντος. Και σε αυτήν την περίπτωση η βαθμονόμηση είναι σε μια κλίμακα από το 1 όπου σημαίνει ότι ένα γεγονός είναι πολύ απίθανο να συμβεί, έως το 10 το οποίο σημαίνει ότι ένα γεγονός θα προκαλέσει σίγουρα αστοχία (Pattnaik, 2015). Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται τα κριτήρια αξιολόγησης και η πιθανότητα εμφάνισης των πιθανών αστοχιών (Rivera Torres, et al., 2018):

Probability of failure	Possible failure rates	Ranking
Very high: failure is almost inevitable	$\geq 1$ in 2	10
	1 in 3	9
High: repeated failures	1 in 8	8
	1 in 20	7
Moderate: occasional failures	1 in 80	6
	1 in 400	5
	1 in 2000	4
Low: relatively few failures	1 in 15,000	3
	1 in 150,000	2
Remote: failure is unlikely	1 in 1,500,000	1

*Πίνακας 4.2 Κριτήρια αξιολόγησης της πιθανότητας εμφάνισης (Rivera Torres, et al., 2018)*

Τέλος η Πιθανότητα της Ανίχνευσης (D) στον τύπο του RPN δείχνει το πόσο πιθανό είναι να ανιχνευθεί μια αστοχία κατά τον έλεγχο. Όπως και στις προηγούμενες δύο περιπτώσεις, έτσι και σε αυτήν η βαθμονόμηση κινείται σε μια κλίμακα από το 1 που σημαίνει ότι η αστοχία είναι πολύ πιθανό να ανιχνευθεί, έως το 10 το οποίο σημαίνει ότι η αστοχία δεν μπορεί να ανιχνευθεί με τους παρόντες ελέγχους (Pattnaik, 2015). Στον παρακάτω πίνακα μπορούμε να δούμε την αξιολόγηση και τα κριτήρια βαθμονόμησης της Πιθανότητας Ανίχνευσης (D) (Rivera Torres, et al., 2018):



Detection	Control	Ranking
Almost certain	Design controls will almost certainly detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	1
Very high	Very high chance the design control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	2
High	High chance the design controls will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	3
Moderately high	Moderately high chance the design controls will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	4
Moderate	Moderate chance the design controls will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	5
Low	Low chance the design controls will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	6
Very low	Very low chance the design controls will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	7
Remote	Remote chance the design controls will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	8
Very remote	Very remote chance the design controls will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	9
Absolute uncertainty	No control. Design control will not and/or cannot detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	10

*Πίνακας 4.6 Κριτήρια αξιολόγησης πιθανότητας ανίχνευσης του κινδύνου (Rivera Torres, et al., 2018)*

Ο σκοπός του υπολογισμού του αριθμού RPN είναι να δοθεί προτεραιότητα σε πιθανές αποτυχίες που είναι σοβαρότερες από άλλες. Έτσι κάθε κίνδυνος με υψηλότερο βαθμό RPN από έναν άλλο τοποθετείται υψηλότερα στη λίστα σοβαρότητας (Jahangoshai Rezaee, et al., 2018; Liu, et al., 2013). Ανάλογα με την τιμή του RPN κάθε κινδύνου γίνεται και η ανάλογη ταξινόμησή τους. Η ταξινόμηση αυτή βοηθά τους ερευνητές να λάβουν τα κατάλληλα μέτρα και να εξαλείψουν τους

πρώτα τους σοβαρότερους κινδύνους. Έπειτα από τις διορθωτικές κινήσεις οι αριθμοί RPN των κινδύνων πρέπει να υπολογίζονται ξανά για να διαπιστωθεί εάν είχαν αποτέλεσμα τα μέτρα που λήφθηκαν (Liu, et al., 2013).

Παρόλο που η μέθοδος FMEA έχει χρησιμοποιηθεί σε πληθώρα εφαρμογών σε διάφορους κλάδους πέρα της βιομηχανίας υπάρχουν και περιπτώσεις όπου ερευνητές έχουν δείξει να μην δείχνουν εμπιστοσύνη σε ορισμένες πτυχές της μεθόδου FMEA και πιο συγκεκριμένα στον αριθμό RPN (Sakthivel, et al., 2018). Ο βαθμός RPN δεν θεωρείται αξιόπιστος καθώς δεν έχει ισχυρή επιστημονική βάση. Έτσι τα αποτελέσματα σε αρκετές περιπτώσεις δεν θεωρούνται απλά άστοχα αλλά και παραπλανητικά (Jahangoshai Rezaee, et al., 2018). Οι λόγοι για τους οποίους ο αριθμός RPN αντιμετωπίζεται με σκεπτικισμό σε ορισμένες περιπτώσεις από κάποιους ερευνητές είναι συγκεκριμένοι και παρατίθενται παρακάτω (Sakthivel, et al., 2018):

- Οι τρεις παράγοντες κινδύνου S, O και D χειρίζονται έχοντας ως δεδομένο ότι έχουν όλοι ίση βαρύτητα πράγμα που ενδεχομένως να μην ισχύει σε κάθε περίπτωση
- Διάφορα σύνολα των παραγόντων S, O, D μπορεί να παράγουν ακριβώς την ίδια τιμή του RPN χωρίς όμως ο κίνδυνος που εξετάζεται κάθε φορά να έχει την ίδια σοβαρότητα, Για παράδειγμα τα σύνολα  $S = 2, O = 5, D = 6$  και  $S = 5, O = 3, D = 4$  παράγουν την ίδια τιμή  $RPN = 60$ .
- Είναι συχνά δύσκολα να εκτιμηθούν με ακρίβεια οι τιμές S, O και D.

Παρά τις αδυναμίες της μεθόδου όσον αφορά τον αριθμό RPN η FMEA έχει αποδειχθεί ως μια από τις πιο σημαντικές προληπτικές μεθόδους σε συστήματα, σε διαδικασίες και σε υπηρεσίες η οποία αποτρέπει τους κινδύνους πριν φτάσουν στον πελάτη (Liu, et al., 2013). Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά και ορισμένα οφέλη που προσφέρει η FMEA σαν μέθοδος διαχείρισης κινδύνων:

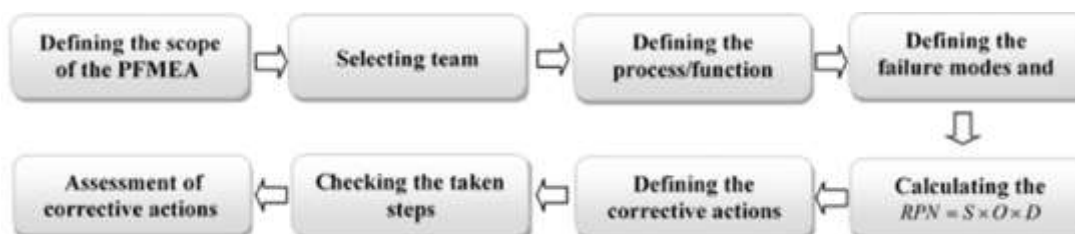
- Σχέδιο πρόληψης για τη διαχείριση των αστοχιών
- Μείωση του κόστους
- Αύξηση της παραγωγικότητας

- Μείωση βιομηχανικών αποβλήτων

Σαν τεχνική ανάλυσης κινδύνων η FMEA έχει χωριστεί σε τέσσερις γενικές κατηγορίες οι οποίες είναι οι εξής (Degu, et al., 2014):

- Software Failure Mode Effect Analysis (SFMEA)
- Design Failure Mode Effect Analysis (DFMEA)
- Process Failure Mode Effect Analysis (PFMEA)
- Machinery Failure Mode Effect Analysis (MFMEA)

Η κατηγορία **Process Failure Mode Effect Analysis (PFMEA)** χρησιμοποιείται κυρίως στον τομέα της παραγωγής προϊόντων και πιο συγκεκριμένα στα αρχικά στάδια της ζωής τους. Έτσι λοιπόν η τεχνική αυτή βοηθά στο να γίνεται αναγνώριση πιθανών παραγόντων αποτυχίας στις διαδικασίες παραγωγής ή κατά τη συναρμολόγηση των προϊόντων είτε αυτή γίνεται χειροκίνητα είτε αυτόματα. Σαν στόχο αυτή η κατηγορία έχει την μείωση ή και την εξάλειψη των ελαττωμάτων των προϊόντων από τα αρχικά στάδια παραγωγής τους. Σε αυτήν την κατηγορία σημαντικό ρόλο παίζουν τα μέλη της ομάδας η οποία διεξάγει την έρευνα. Κατά την διάρκεια της έρευνας γίνεται η κατάταξη των πιθανών αποτυχιών ενώ στη συνέχεια εφαρμόζονται διορθωτικές καθώς και προληπτικές κινήσεις για την απαλοιφή τους. Έτσι λοιπόν τα έγγραφα που δημιουργούνται ως αποτέλεσμα της PFMEA πρέπει να εξελίσσονται διαρκώς ώστε να αντανακλούν πάντα τις τελευταίες αλλαγές και ενέργειες στις διαδικασίες παραγωγής λαμβάνοντας υπόψη τις νέες τιμές των RPN. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε τα βήματα που ακολουθούνται σε μια τυπική μελέτη με τη χρήση της τεχνικής PFMEA (Jahangoshai Rezaee, et al., 2018).



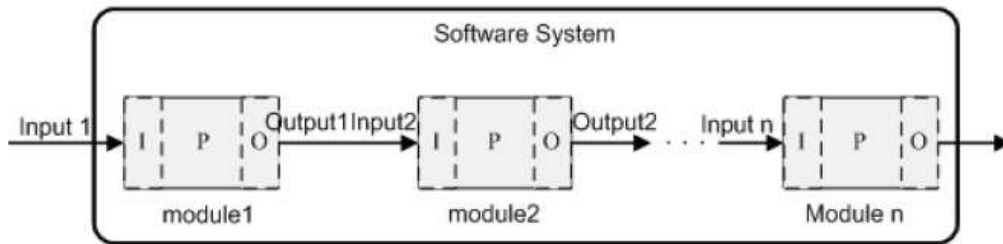
Σχήμα 4.2 Εκτελεστικά βήματα της μεθόδου PFMEA (Jahangoshai Rezaee, et al., 2018)

Με τη σειρά της η κατηγορία **Software Failure Mode Effect Analysis (SFMEA)** επιδιώκει να καθορίσει τις επιπτώσεις που θα έχει στο συνολικό σύστημα η αποτυχία οποιουδήποτε μεμονωμένου εξαρτήματος όταν αυτό το εξάρτημα αποτύχει με συγκεκριμένους τρόπους (Ozarin, 2009). Σε μια μελέτη SFMEA γίνεται εις βάθος εξέταση και ανάλυση των επιπτώσεων που έχουν οι τρόποι αποτυχίας σε ένα σύστημα, ενώ στην συνέχεια λαμβάνονται τα αντίστοιχα μέτρα τα οποία έχουν σκοπό την απόφαση των ελαττωμάτων του λογισμικού που έχει σαν αποτέλεσμα την βελτίωση της αξιοπιστίας του (Baiqiao Hunag, 2009). Στην SFMEA τα χαμηλότερου επιπέδου μεμονωμένα εξαρτήματα χαρακτηρίζονται από μεταβλητές ενώ τα υψηλότερου επιπέδου χαρακτηρίζονται από μια κλάση (Ozarin, 2009). Σε μια μελέτη SFMEA είναι απαραίτητο να συλλέγονται και να συνοψίζονται οι τρόποι αποτυχίας για διάφορα μοτίβα του λογισμικού έτσι ώστε να παρέχεται σωστότερη καθοδήγηση για την επίλυση των προβλημάτων. Η εμπειρία επίσης της ομάδας των μελετητών παίζει σημαντικό ρόλο σε αυτές τις περιπτώσεις (Baiqiao Hunag, 2009).

Ένα σύστημα είτε εκφράζει το σύνολο της διαδικασίας παραγωγής ενός προϊόντος είτε αφορά μια υπό λειτουργία του συστήματος μπορεί να χωριστεί σε τρία λογικά μέρη τα οποία είναι τα εξής:

- Input
- Process
- Output

Έτσι για συντομία ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να ονομαστεί IPO (Input, Process, Output). Στα συστήματα αυτά σαν Input λαμβάνονται όλες οι εξωτερικές εισοδοι, σαν Process λαμβάνονται όλες οι απαραίτητες διεργασίες που εκτελεί το σύστημα οι οποίες οδηγούν το τελικό Output. Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε επίσης να δούμε πως μοιάζει γραφικά ένα σύστημα IPO (Baiqiao Hunag, 2009).



Σχήμα 4.3 Δομή λογισμικού IPO (Βαϊqiao Hunag, 2009)

Τα συστήματα IPO μπορεί να διαφέρουν στην υλοποίηση ανά περίπτωση που εξετάζεται υπάρχουν όμως και κάποια τυπικά βήματα τα οποία μπορούν να ακολουθηθούν ανεξαρτήτου πεδίου εφαρμογής και περίπτωσης τα οποία φαίνονται παρακάτω (Βαϊqiao Hunag, 2009):

- 1) **Εξοικείωση με το λογισμικό και τη δομή του :** Πριν την ανάλυση η ομάδα μελέτης πρέπει να κατανοήσει τη λειτουργία του λογισμικού. Σε αυτό το βήμα καθορίζεται το εύρος της ανάλυσης. Η εξοικείωση με το λογισμικό είναι σημαντική ώστε να γίνει σωστότερα ο εντοπισμός των τρόπων αποτυχίας.
- 2) **Καθορισμός του κανόνα ανάλυσης :** Ο κανόνας της ανάλυσης αποτελεί ουσιαστικά τη βάση όλης της διαδικασίας της μελέτης για τον εντοπισμό και των περιορισμό των κινδύνων ενός έργου. Αυτό το οποίο κάνει είναι ότι θέτει τα πλαίσια της ανάλυσης καθώς και περιορισμούς με σκοπό να αποφευχθούν ανούσιες και χρονοβόρες ενέργειες που θα οδηγήσουν πιθανών σε λανθασμένα αποτελέσματα.
- 3) **Καθορισμός του εύρους της ανάλυσης:** Αφού ορίσουμε τα παραπάνω στο επόμενο βήμα γίνεται καθορισμός του εύρους της ανάλυσης συνδυάζοντας το λογισμικό με τις πραγματικές συνθήκες.
- 4) **Απεικόνιση του αντικειμένου της ανάλυσης σε μορφή IPO και εντοπισμών των τρόπων αποτυχίας:** Αφού εκτελεστούν τα προηγούμενα βήματα στη συνέχεια πρέπει να γίνει εντοπισμός των τρόπων αποτυχίας της διαδικασίας την οποία μελετάμε. Σε αυτή τη φάση της μελέτης μπορεί επίσης να γίνει αναδρομή σε παρόμοιες περιπτώσεις με την τωρινή περίπτωση ώστε να βρεθούν αποτυχίες

που έτυχαν σε παρόμοιες καταστάσεις χωρίς αυτό να σημαίνει απαραίτητα ότι οι αποτυχίες αυτές θα συμβούν και στη περίπτωση η οποία μελετάται.

- 5) **Εντοπισμός των αιτιών αποτυχίας, ανάλυση των επιδράσεών τους και εύρεση μέτρων για την αντιμετώπισή τους:** Στο τελικό στάδιο αφού εντοπιστούν όλοι οι πιθανοί τρόποι αποτυχίας, πρέπει να γίνει η ανάλυση για την επίδρασή τους στην περίπτωση που μελετάται. Τέλος προτείνονται λύσεις και μέτρα για την αντιμετώπισή τους.

Η επόμενη κατηγορία ανάλυσης κινδύνου στην ενότητα αυτή ονομάζεται **Design Failure Mode Effect Analysis (DFMEA)** η οποία είναι μια αναλυτική τεχνική η οποία χρησιμοποιείται κατά τη φάση του σχεδιασμού και της ανάπτυξης ενός προϊόντος. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται προληπτικά για τον εντοπισμό αστοχιών στη διαδικασία παραγωγής ενός προϊόντος στα πρώιμα στάδια όπως συμβαίνει και την κατηγορία Process Failure Mode Effect Analysis (PFMEA) που αναφέρθηκε παραπάνω. Στόχος της είναι να εντοπίσει αδυναμίες κυρίως στο σχεδιασμό ενός προϊόντος και σκοπό έχει την αύξηση της ανθεκτικότητας και της αξιοπιστίας του (Sellappan N, et al., 2015). Σε μια μελέτη DFMEA σαν αποτέλεσμα παράγεται ένα δυναμικό έγγραφο το οποίο περιλαμβάνει ποσοτικά δεδομένα και αλλάζει λαμβάνοντας κάθε φορά υπόψη αλλαγές στον σχεδιασμό, νέους τρόπους αποτυχίας ή άλλες αλλαγές που μπορεί να προκύψουν στην παραγωγική διαδικασία (Rivera Torres, et al., 2018).

Η τελευταία υποκατηγορία της μεθόδου FMEA ονομάζεται όπως αναφέρεται και παραπάνω **Machinery Failure Mode Effect Analysis (MFMEA)**. Η MFMEA είναι μια τεχνική που ως σκοπό έχει την αξιολόγηση του εξοπλισμού και των εργαλείων που χρησιμοποιούνται κατά τη φάση του σχεδιασμού με στόχο την ασφάλεια των χειριστών των μηχανημάτων αλλά και τη βελτίωση της ανθεκτικότητας και της αξιοπιστίας της μηχανής. Αυτό γίνεται με τη χρήση διορθωτικών μέτρων τα οποία βοηθούν στην πρόληψη και απαλοιφή των πιθανών αποτυχιών. Όπως ακριβώς γίνεται και στις προηγούμενες δύο υποκατηγορίες έτσι και εδώ, η MFMEA θα πρέπει να χρησιμοποιείται νωρίς στη διαδικασία του σχεδιασμού πριν ακόμα ξεκινήσει να γίνεται χρήση των μηχανισμών ούτως ώστε να υπάρχουν περιθώρια για αλλαγές και βελτιώσεις. Η κύρια αιτία αποτυχίας που μελετάει η μέθοδος MFMEA είναι η φθορά

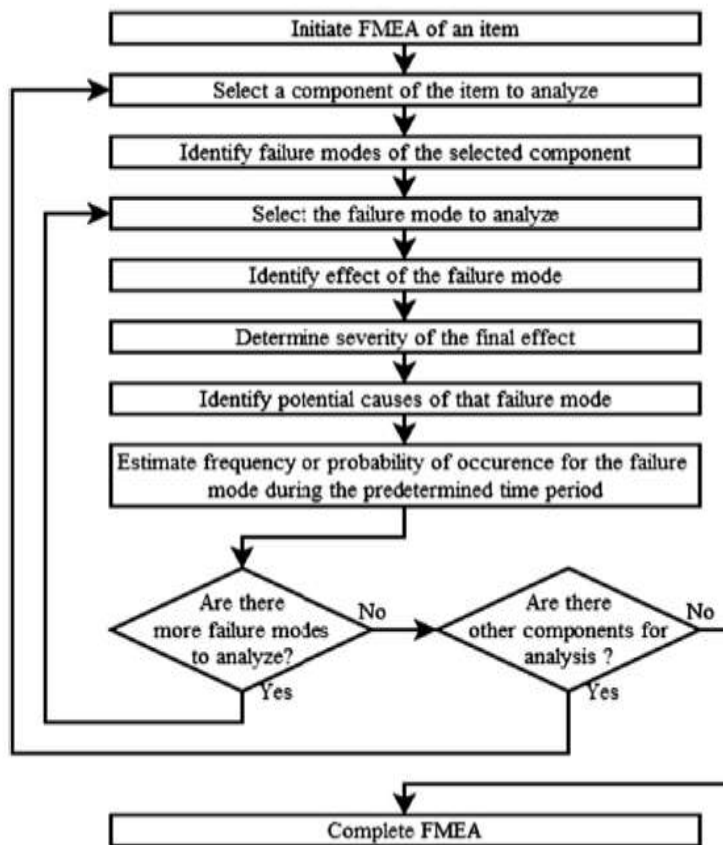
των μηχανημάτων που προκύπτει κατά τη χρήση τους. Τα κύρια οφέλη χρήσης της συγκεκριμένης υποκατηγορίας είναι τα παρακάτω (Degu, et al., 2014):

- Βελτίωση της ασφάλειας, της αξιοπιστίας και της ανθεκτικότητας του εξοπλισμού και των εργαλείων.
- Ενσωμάτωση αλλαγών στα πρώιμα στάδια του σχεδιασμού με σκοπό την ελαχιστοποίηση των δαπανών και των καθυστερήσεων που αφορούν τη χρήση των μηχανών.
- Μείωση των συνολικών δαπανών όλης της παραγωγικής διαδικασίας.

Ένα παράδειγμα χρήσης της μεθόδου FMEA σε βιομηχανικό περιβάλλον αφορά τον έλεγχο των βαλβίδων πετρελαίου μιας βιομηχανικής μονάδας, οι οποίες είναι από τα σημαντικότερα εξαρτήματα στη βιομηχανία του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Η χρήση της FMEA έγινε για τον εντοπισμό και την αξιολόγηση αστοχιών σχετικά με τον σχεδιασμό και τη λειτουργία αυτών των βαλβίδων. Οι μελετητές της συγκεκριμένης έρευνας επιχείρησαν να εξάγουν αποτελέσματα και να απαντήσουν τρία σημαντικά θέματα τα οποία είναι τα εξής:

- 1) Αναγνώριση και καταγραφή των πιθανών τρόπων αποτυχίας ώστε να αναγνωριστεί τι μπορεί να πάει στραβά
- 2) Καταγραφή των επιπτώσεων των αποτυχιών και αξιολόγηση των συνεπειών αυτών
- 3) Ανάλυση κάθε αποτυχίας ώστε να βρεθούν οι λόγοι για τους οποίους μπορεί να συμβεί κάθε μια.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται τα βήματα που ακολούθησε η ομάδα μελέτης για την υλοποίηση της έρευνας:



Σχήμα 4.4 Βήματα ανάλυσης FMEA (Sotoodeh, 2020)

Όπως βλέπουμε στο πρώτο βήμα το εξάρτημα το οποίο είναι το επίκεντρο της μελέτης είναι οι βαλβίδες που αναφέρθηκαν και παραπάνω. Αφού καθοριστεί το επίκεντρο της μελέτης στη συνέχεια γίνεται η αναγνώριση των τρόπων αποτυχίας στις συγκεκριμένες βαλβίδες. Στα επόμενα βήματα βλέπουμε ότι γίνεται η ανάλυση καθενός από τους τρόπους αποτυχίας που αναγνωρίστηκαν παραπάνω, εξηγούνται οι συνέπειες τους στο σύστημα και τελικά αξιολογούνται η σοβαρότητα καθώς και η συχνότητα και η πιθανότητα εμφάνισής τους. Η αξιολόγηση αυτών των τριών παραγόντων γίνεται με τον υπολογισμό του παράγοντα RPN.

Με την ολοκλήρωση της έρευνας τα αποτελέσματα που εξήχθησαν δείχνουν ότι το μεγαλύτερο κίνδυνο αστοχίας τον έχει το κάθισμα της διάταξης της βαλβίδας. Οι αιτίες που ενδέχεται να οδηγήσουν το συγκεκριμένο εξάρτημα σε αστοχία είναι η έλλειψη πλύσης του και αυτό μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την εισροή πετρελαίου στη διάταξη. Για να λυθεί το συγκεκριμένο πρόβλημα πρέπει να γίνει εγκατάσταση συστήματος πλύσης στη βαλβίδα το οποίο απαιτεί τη δημιουργία επιπλέον οπών στο σώμα της βαλβίδας πράγμα που μπορεί να αυξήσει τις πιθανότητες διαρροής από τη βαλβίδα. Ένας δεύτερος παράγοντας που μπορεί να οδηγήσει τις βαλβίδες σε



αστοχία είναι η υψηλές πιέσεις που δημιουργούνται κατά την ροή του πετρελαίου. Μια λύση που προτείνεται για την απαλοιφή αυτού του κινδύνου είναι η αύξηση του πάχους του σώματος των βαλβίδων. Ενδεικτικά παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας που περιλαμβάνει την πιθανότητα εμφάνισης κάθε αστοχίας σύμφωνα με τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από την ανάλυση FMEA (Sotoodeh, 2020):

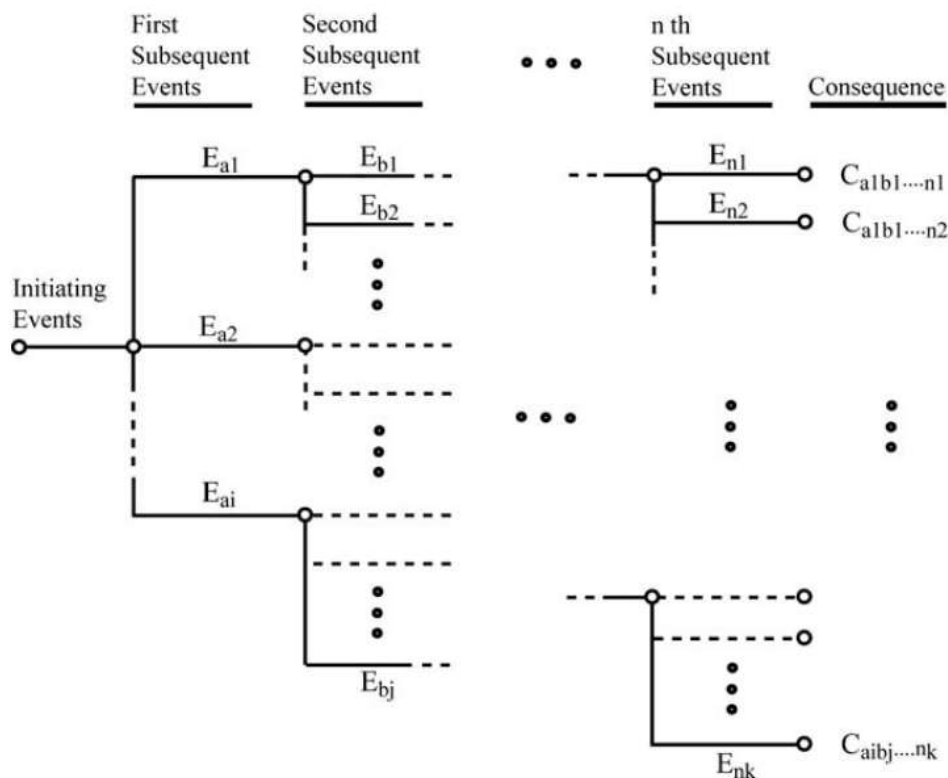
Rating	Occurrence probability	Minimum probability percentage (%)
10	Extremely high	50
9	Very high	33
8	Very high	10–15
7	High	5
6	Marginal	1
5	Marginal	0.25
4	Unlikely	0.05
3	Low	0.007
2	Very low	0.0007
1	Remote	0.000007

*Πίνακας 7 Πιθανότητα εμφάνισης του κινδύνου (Sotoodeh, 2020)*

#### 4.4 ETA (Event Tree Analysis)

Η επόμενη στη σειρά ποσοτική τεχνική για τη διαχείριση κινδύνων ονομάζεται Event Tree Analysis (ETA). Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των συνεπειών που θα προκύψουν σε ένα σύστημα όταν εκδηλωθεί κάποιος κίνδυνος. Η τεχνική αυτή ξεκίνησε να χρησιμοποιείται κατά τη δεκαετία του 1960 για την αξιολόγηση κινδύνων στην βιομηχανία των πυρηνικών, αλλά πλέον έχει ευρεία χρήση σε πολλούς τομείς και βιομηχανίες (Heravi, et al., 2015). Η ETA είναι μια επαγωγική μέθοδος που δημιουργεί ένα δέντρο εξαρτημένων συμβάντων ξεκινώντας με τα κύρια συμβάντα τα οποία είναι και τα εκκινητικά συμβάντα της έρευνας. Τα αποτελέσματα αυτού του εκκινητικού συμβάντος δείχνει πιθανές συμπεριφορές του συστήματος το οποίο μελετάται (Radil, et al., 2018 ). Επίσης μέσα από το διάγραμμα συμβάντων μπορεί κανείς να προβλέψει τη συχνότητα του κάθε αποτελέσματος καθώς και τις επιπτώσεις που θα φέρουν στο σύστημα. Η σχεδίαση του δέντρου των συμβάντων γίνεται από τα αριστερά ξεκινώντας με το αρχικό γεγονός το οποίο οδηγείται σε έναν κόμβο. Από τον κόμβο αυτό εξέρχονται βέλη προς τα δεξιά που υποδηλώνουν δυνητικά αποτελέσματα και τις πιθανότητες να συμβούν (Heravi, et

al., 2015). Συνήθως τα κρίσιμα συμβάντα έχουν δύο εξόδους, αυτό της επιτυχίας και εκείνο της αποτυχίας (Abdollahzadeh, et al., 2015). Από τα αποτελέσματα που έχουμε ήδη εξάγει φεύγουν νέα βέλη προς το επόμενο πιθανό συμβάν. Πέρα από την κλασσική μορφή αναπαράστασης των συμβάντων με τη μορφή κουτιών υπάρχει και η εναλλακτική της άλγεβρας του Boole (Ahmadi, et al., 2008). Στο παρακάτω διάγραμμα μπορούμε να διακρίνουμε την τυπική μορφή ενός δέντρου συμβάντων (Hong, et al., 2009):



Σχήμα 1.5 Τυπική δομή ενός Event Tree (Hong, et al., 2009)

Σύμφωνα λοιπόν με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι η ETA δίνει τη δυνατότητα να αναγνωριστούν οι πιθανότητες να συμβεί το κάθε σενάριο που μελετάται και την επίδραση που θα έχει το καθένα στο σύστημα. Στο δέντρο των συμβάντων κάθε απόφαση που λαμβάνεται από την ομάδα που υλοποιεί την μελέτη θεωρείται ως κλάδος του δέντρου (Heravi, et al., 2015). Τα δέντρα συμβάντων μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με το αντικείμενο της έρευνας παρόλα αυτά υπάρχουν ορισμένα βήματα στα οποία βασίζεται η δημιουργία κάθε δέντρου και τα οποία είναι τα εξής:

- **Καθορισμός του συστήματος:** Προσδιορισμός του αντικειμένου της μελέτης.
- **Αναγνώριση και περιγραφή του αρχικού συμβάντος :** Ανάλυση του κινδύνου για τον καθορισμό του αρχικού συμβάντος.
- **Αναγνώριση των κρίσιμων συμβάντων :** Αξιολόγηση του συστήματος για τον εντοπισμό κινδύνων και σεναρίων ατυχημάτων και αστοχιών που προκύπτουν από το σχεδιασμό του συστήματος.
- **Δημιουργία του δέντρου των συμβάντων :** Γραφική αναπαράσταση του δέντρου των συμβάντων σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από τα παραπάνω βήματα.
- **Καθορισμός της πιθανότητας εμφάνισης του αρχικού συμβάντος και καθώς επίσης και της πιθανότητας αποτυχίας και επιτυχίας κάθε κρίσιμου συμβάντος :** Μέσω του δέντρου των συμβάντων γίνεται υπολογισμός των πιθανοτήτων του αρχικού συμβάντος αλλά και των πιθανοτήτων των κρίσιμων συμβάντων. Με αυτό τον τρόπο οι μελετητές μπορούν να φτάσουν σε συμπεράσματα για το σύστημα.
- **Αξιολόγηση του κάθε σεναρίου και του αποτελέσματος που θα επιφέρει :** Αξιολόγηση του κινδύνου που προκύπτει από κάθε διαδρομή και καθορισμός του βαθμού αποδοχής του καθενός.
- **Συνιστάμενα μέτρα διόρθωσης :** Αν ο κίνδυνος μιας διαδρομής κριθεί ως μη αποδεκτός γίνονται αλλαγές στο σχεδιασμό που θα μειώσουν ή θα εξαλείψουν εντελώς τον συγκεκριμένο κίνδυνο.
- **Τεκμηρίωση της ETA :** Τεκμηρίωση όλης της διαδικασίας στο διάγραμμα δέντρου συμβάντων και ενημέρωση για νέες πληροφορίες όπως απαιτείται.

Σε αυτό το στάδιο της έρευνας ένα στοιχείο που περιορίζει τους μελετητές είναι ότι δεν υπάρχει πάντα πρόσβαση σε αρκετές πληροφορίες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα σε ορισμένες περιπτώσεις να μην μπορεί να εκτελεστεί σωστά η έρευνα ή ακόμα και να

οδηγήσει σε ένα βαθμό σε παραπλανητικά αποτελέσματα (Abdollahzadeh, et al., 2015; Radil, et al., 2018 ).

Όπως όλες οι τεχνικές για τη διαχείριση κινδύνου έτσι και η μέθοδος ETA έχει κάποια πλεονεκτήματα και κάποιες αδυναμίες. Για το λόγο αυτό τίθεται στην κρίση των ερευνητών να αποφασίσουν αν η ETA είναι το κατάλληλο εργαλείο για την έρευνα που θέλουν να διεξάγουν κάθε φορά. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της μεθόδου παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω (Xu, et al., 2004):

#### **Πλεονεκτήματα:**

- Δυνατότητα χρήσης της μεθόδου σε πολλά διαφορετικά συστήματα και για πολλούς και διαφορετικούς σκοπούς
- Απεικόνιση των αλυσιδωτών συμβάντων με βάση το αρχικό συμβάν εκκίνησης
- Δυνατότητα αξιολόγησης πολλών βλαβών που ενδεχομένως και να συνυπάρχουν καθώς και εξαρτώμενων γεγονότων
- Καθορισμός αποτελεσμάτων τόσο για τα σενάρια επιτυχίας όσο και για τα σενάρια αποτυχίας χωρίς να είναι απαραίτητο να γίνει πρόβλεψη για το τελικό συμβάν
- Εντοπισμός πιθανών απομονωμένων αστοχιών και βλαβών
- Αποτελεσματικότερος έλεγχος και διαχείριση του κινδύνου μέσω βελτιωμένων διαδικασιών και λειτουργιών ασφαλείας
- Εντοπισμός των αιτιών διασποράς βλαβών και αποτυχιών σε ένα σύστημα
- Διαχωρισμός μεγάλων και πολύπλοκων συστημάτων σε μικρότερα, πιο διαχειρίσιμα μέρη με σκοπό την καλύτερη και σωστότερη ανάλυσή του

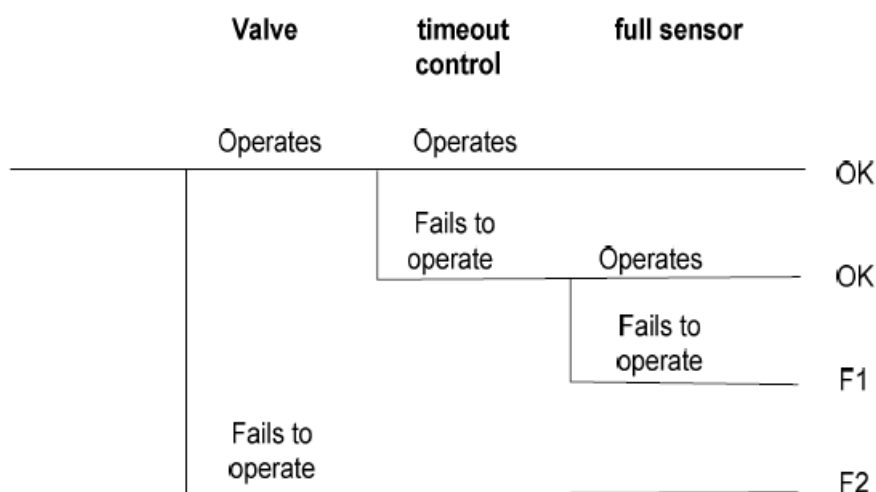
#### **Μειονεκτήματα:**

- Τα αρχικά συμβάντα εκκίνησης δεν προκύπτουν από την έρευνα αλλά πρέπει να προβλεφθούν από την ομάδα μελέτης

- Πιθανά σενάρια επιτυχίας ή αποτυχίας ενδέχεται να μην εντοπιστούν από την ομάδα μελέτης
- Υπάρχει ενδεχόμενο να μην προβλεφθούν αιτίες που επηρεάζουν το σύστημα αρνητικά με αποτέλεσμα να εξαχθούν από την έρευνα υπερβολικά αισιόδοξες εκτιμήσεις.
- Για να υλοποιηθεί σωστά η έρευνα θα πρέπει να έχουν πρακτική εμπειρία πάνω στο θέμα που μελετάνε αλλά και να έχουν συμμετάσχει σε προηγούμενες παρόμοιες έρευνες
- Η ETA συχνά μπορεί να μην είναι κατάλληλη για την αντιμετώπιση των αποτυχιών σε ένα σύστημα. Σε αρκετές περιπτώσεις χρειάζεται να συνδυαστεί με άλλες τεχνικές διαχείρισης κινδύνων για να φτάσει στα επιθυμητά αποτελέσματα. Πολύ συχνά συνδυάζεται με την μέθοδο FTA η οποία έχει αναλυθεί και παραπάνω.
- Παρόλο που ενδέχεται να εντοπιστούν πολλές αιτίες οι οποίες οδηγούν ένα σύστημα σε αποτυχία, τα επίπεδα απωλειών μπορεί να μην είναι πάντοτε διακριτά με αποτέλεσμα να χρειάζεται περαιτέρω μελέτη.

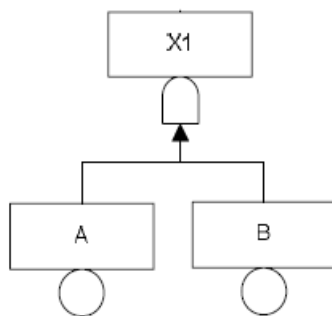
Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι σε πολλά σημεία της βιβλιογραφίας δεν είναι λίγες οι φορές που οι ερευνητές ταυτίζουν την μέθοδο ETA με την FTA η οποία έχει αναλυθεί παραπάνω. Η αλήθεια είναι ότι παρά τα κοινά τους στοιχεία πρόκειται για δύο διαφορετικές μεθόδους ανάλυσης και διαχείρισης κινδύνου οι οποίες σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά η μια στην άλλη. Οι διαφορές μεταξύ των δύο μεθόδων αναλύονται παρακάτω. Αρχικά η ETA είναι μια αναλυτική μέθοδος διαχείρισης κινδύνου που κινείται προς τα εμπρός. Αυτό σημαίνει ότι η ανάλυση ξεκινάει από ένα αρχικό συμβάν και περιλαμβάνει όλα τα πιθανά μονοπάτια που ενδέχεται να συμβούν από εκεί και πέρα. Ο σκοπός μιας μελέτης ETA είναι να προβλεφθεί η συχνότητα κάθε αποτελέσματος, θετικού ή αρνητικού. Από την άλλη η μέθοδος FTA ακολουθεί την αντίθετη πορεία. Η μελέτη ξεκινάει με τον καθορισμό του κορυφαίου συμβάντος (πάντα αφορά μια βλάβη του συστήματος) και ακολουθείται από τον εντοπισμό όλων των συμβάντων και των στοιχείων τα οποία οδήγησαν σε αυτό. Επιπροσθέτως γνωρίζουμε ότι η ETA χρησιμοποιεί τα δέντρα συμβάντων για να αναλύσει ένα πρόβλημα ενώ η FTA

χρησιμοποιεί λογικές πύλες της άλγεβρας του Boole. Στα παρακάτω διαγράμματα μπορούμε να διακρίνουμε τη διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων.



Σχήμα 4.6 Event Tree ενός συστήματος παροχής προπέλας (Xu, et al., 2004)

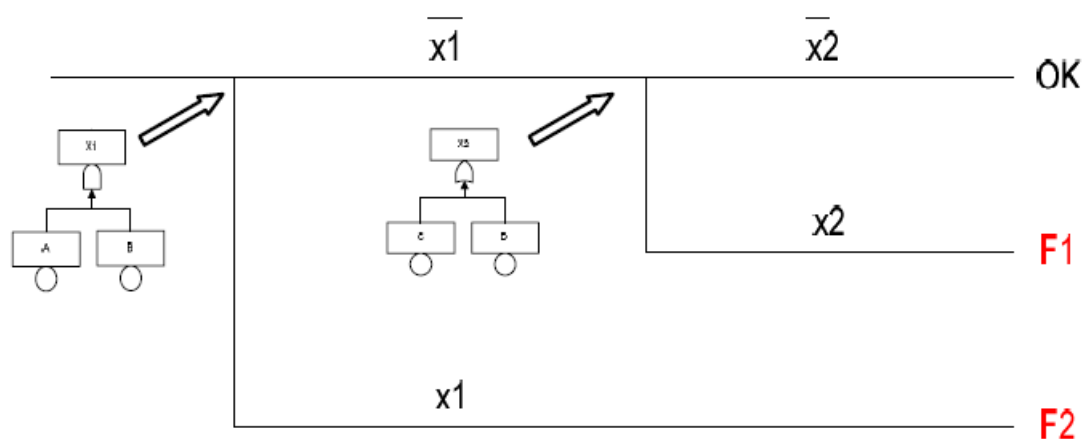
Στην παραπάνω εικόνα μπορούμε να διακρίνουμε το δέντρο συμβάντων που αφορά τη λειτουργία μιας βαλβίδας, ενώ παρακάτω μπορούμε να δούμε πως απεικονίζεται ένα τυπικό διάγραμμα μιας μελέτης FTA:



Σχήμα 4.7 Τυπική μορφή ενός Fault Tree (Xu, et al., 2004)

Παρά τις διαφορές τους βέβαια οι δύο μέθοδοι μοιράζονται και κοινά στοιχεία και για αυτό το λόγο πολλές φορές χρησιμοποιούνται και μαζί. Το πρώτο στοιχείο που μοιράζονται οι δύο μέθοδοι είναι το γεγονός ότι κάθε σύστημα που μπορεί να αναπαρασταθεί με τη μία μέθοδο μπορεί να αναπαρασταθεί και με την άλλη. Ένα δεύτερο σημείο σύνδεσης μεταξύ των δύο μεθόδων είναι ότι οι κλάδοι ενός δέντρου

συμβάντων σε μια μελέτη ETA μπορούν να οριστούν χρησιμοποιώντας δομές FT (Fault Tree). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα φαίνεται παρακάτω:

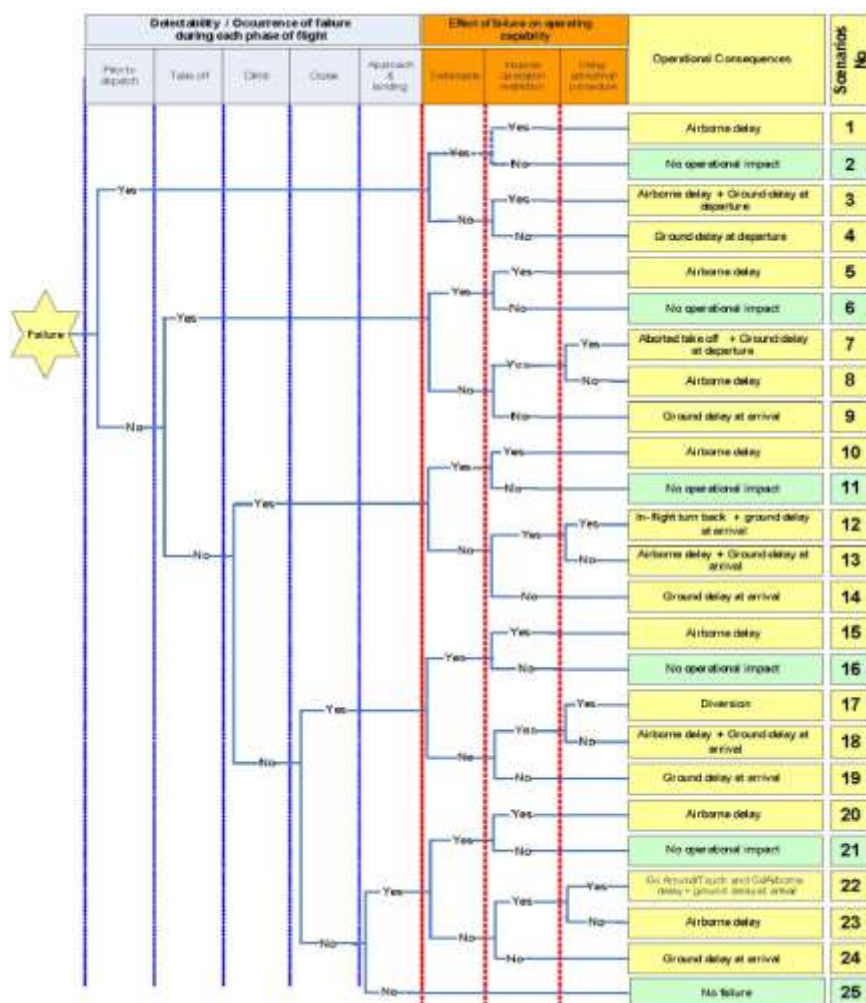


Σχήμα 4.8 Event Tree για ένα στατικό σύστημα χωρίς κοινά γεγονότα (Xu, et al., 2004)

Σε αυτό το σχεδιάγραμμα ET βλέπουμε ότι κάθε απόφαση που παίρνουν οι μελετητές για να προχωρήσουν από το ένα γεγονός στο επόμενο γίνεται με τη βοήθεια δομών FT (Xu, et al., 2004).

Η μέθοδος ETA χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια ευρέως σε πολλούς τομείς της βιομηχανίας, από την ανάλυση κινδύνων για την κατασκευή γεφυρών (Abdollahzadeh, et al., 2015) και τη μείωση των κινδύνων και των ατυχημάτων σε ναυπηγεία και πλοία (Raiyan, et al., 2017). Ένα ενδιαφέρον παράδειγμα χρήσης της μεθόδου είναι η περίπτωση μελέτης για τις επιπτώσεις που επιφέρουν πιθανές βλάβες σε αεροσκάφη που πραγματοποιήθηκε στο Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο της Σουηδίας. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε καθώς ένας από τους μεγαλύτερους προβληματισμούς για τους κατασκευαστές και τις αεροπορικές εταιρίες είναι να παρέχουν μια αξιόπιστη υπηρεσία. Στόχος επίσης είναι να βρεθούν και να αντιμετωπιστούν αιτίες οι οποίες οδηγούν στη μη διαθεσιμότητα τα αεροσκάφη. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι η σχεδίαση ενός αεροσκάφους με πολλή υψηλή αξιοπιστία. Ένας δεύτερος τρόπος είναι ο σχεδιασμός αεροσκαφών με εύκολη επισκευή. Μια τρίτη προσέγγιση είναι η κατασκευή συστημάτων που δίνουν τη δυνατότητα στα αεροσκάφη να λειτουργούν ακόμα και με βλάβες επαναφέροντας δηλαδή τις κρίσιμες λειτουργίες τους.

Στη διάρκεια της έρευνας αναλύθηκε η συντήρηση που πρέπει να γίνεται στα αεροσκάφη αλλά και οι τύποι των βλαβών και οι συνέπειές τους δίνοντας έμφαση στο αποτέλεσμα που έχουν αυτές οι αποτυχίες στη λειτουργία του σκάφους. Στο παρακάτω διάγραμμα ETA οι ερευνητές της μελέτης απεικονίζουν τα πιθανά σενάρια βλαβών που ενδέχεται να συμβούν σε μια πτήση. Στο διάγραμμα αυτό η πτήση έχει χωριστεί σε κατηγορίες όπως για παράδειγμα απογείωση και προσγείωση και για κάθε κατηγορία έχουν αξιολογηθεί σενάρια βλαβών και τι επιπτώσεις έχουν αυτά στο αεροσκάφος οι οποίες φαίνονται στο δεξί μέρος του αεροσκάφους. Για παράδειγμα αν μια βλάβη προκύψει κατά την απογείωση του αεροσκάφους και η βλάβη αυτή επιφέρει τον περιορισμό κάποιας λειτουργίας, θα έχει σαν αποτέλεσμα την καθυστέρηση της άφιξης του αεροπλάνου στο επόμενο αεροδρόμιο. Όλα τα σενάρια που μπορεί να προκύψουν σε μια πτήση περιγράφονται στην παρακάτω εικόνα (Ahmadi, et al., 2008)(Ahmadi):





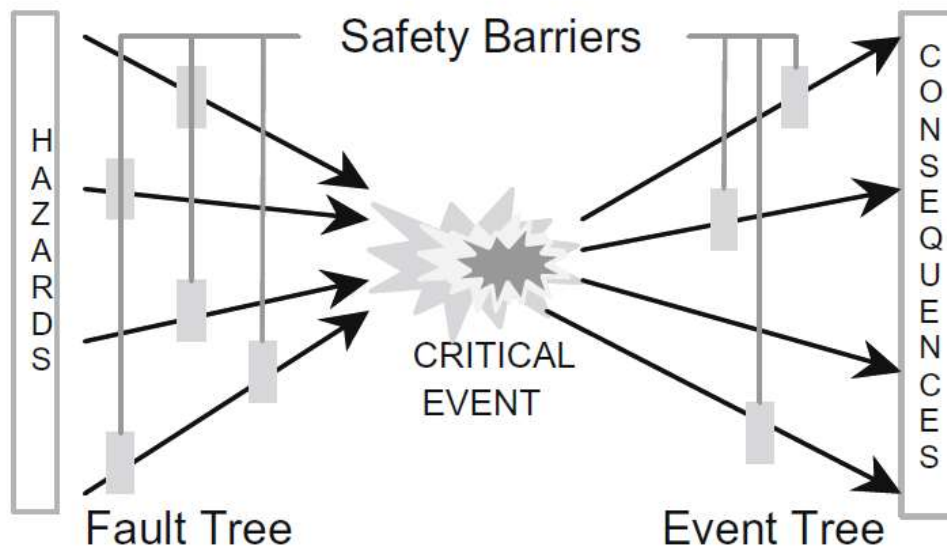
*Σχήμα 4.9 Προτεινόμενο δέντρο συμβάντων για την αξιολόγηση των πιθανών σεναρίων επιπτώσεων λειτουργίας που προκαλούνται από βλάβη συστήματος αεροσκάφους (Ahmadi, et al., 2008)*

#### 4.4 BT (Bow-Tie Analysis)

Η ανάλυση Bow-Tie είναι μια μέθοδος διαχείρισης κινδύνου που έχει διττό χαρακτήρα καθώς χρησιμοποιείται τόσο ως ποιοτική όσο και ως ποσοτική μέθοδος ανάλυσης και διαχείρισης κινδύνων. Στην παρούσα περίπτωση θα εστιάσουμε στην ποσοτική φύση της συγκεκριμένης τεχνικής. Η χρήση της μεθόδου Bow-Tie συναντάται σε διάφορους κλάδους ως μέθοδος αξιολόγησης κινδύνου. Αρχικά ήταν γνωστή με το όνομα "Διάγραμμα Πεταλούδας" και πιστεύεται ότι προήλθε από μια άλλη τεχνική διαχείρισης κινδύνου που ονομάζεται Cause-Consequence Diagram (CCA) κατά τη δεκαετία του 1970 (Zhang, et al., 2018). Δεν υπάρχει αναφορά για την ακριβή προέλευση της μεθόδου αλλά για πρώτη φορά αναφέρθηκε το 1979 στη διάρκεια μιας διάλεξης για την ανάλυση κινδύνου που παρουσίασε η Imperial Chemical Industry στο Πανεπιστήμιο του Κουίνσλαντ στην Αυστραλία (Alizadeh, et al., 2015; Aust, et al., 2019). Όπως αναφέρεται στην βιβλιογραφία η πρώτη μεγάλη εταιρία που χρησιμοποίησε την μέθοδο Bow-Tie στις επιχειρηματικές της πρακτικές ήταν η Royal Dutch/Shell Group στην οποία μάλιστα αποδίδεται και η ανάπτυξη της τεχνικής που χρησιμοποιείται ευρέως πλέον στις μέρες μας (Book, 2012).

Η συγκεκριμένη τεχνική άρχισε να γίνεται δημοφιλής καθώς προσφέρει καλή επισκόπηση των διάφορων σεναρίων αστοχιών και ατυχημάτων που μελετώνται σε κάθε περίπτωση. Το στοιχείο που έκανε τη μέθοδο Bow-Tie να χρησιμοποιείται ευρέως είναι ότι μπορεί να προσεγγίσει ένα πρόβλημα με σκοπό την λήψη μέτρων είτε προληπτικά είτε αφού έχει εμφανιστεί κάποιο πρόβλημα σε ένα σύστημα. Σε ένα διάγραμμα Bow-Tie απεικονίζονται όλες οι αιτίες και οι συνέπειες μιας βλάβης. Επίσης τα διαγράμματα αυτά είναι εξαιρετικά χρήσιμα στο να αναπαριστούν σενάρια που οδηγούν σε ατύχημα με σκοπό να βρεθούν τα κατάλληλα συστήματα ασφαλείας τα οποία θα αποτρέψουν αυτά τα σενάρια από το να συμβούν σε πραγματικές συνθήκες. Πρόκειται ουσιαστικά για μια πιθανοτική τεχνική, η οποία όμως έχει

αναπτυχθεί σε διάφορες εκδοχές ανάλογα με το σύστημα που πρόκειται να αναλυθεί. Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε την τυπική μορφή ενός διαγράμματος Bow-Tie (Jacinto, et al., 2010):

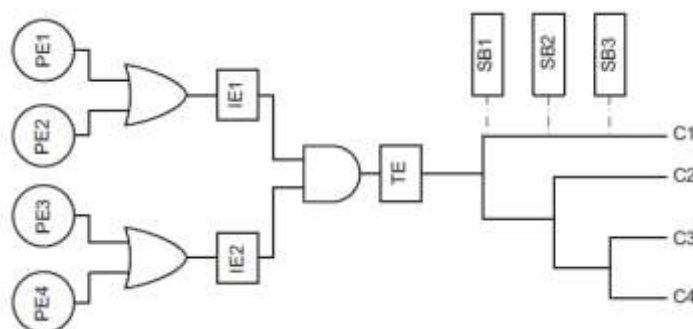


Σχήμα 4.10 Απλοποιημένη αναπαράσταση Bow-Tie (Jacinto, et al., 2010)

Όπως βλέπουμε και από την παρακάτω εικόνα η μέθοδος Bow-Tie κάνει χρήση και άλλων μεθόδων που έχουμε ήδη αναλύσει όπως η FTA και η ETA (Khakzad, et al., 2012). Στην παραδοσιακή του μορφή ένα διάγραμμα Bow-Tie περιλαμβάνει στο αριστερό μέρος μια λίστα πιθανών κινδύνων που οδηγούν μέσω διάφορων μονοπατιών σε ένα συγκεκριμένο κρίσιμο συμβάν, το οποίο βρίσκεται στο κέντρο του διαγράμματος. Στο δεξί μέρος του διαγράμματος απεικονίζονται οι συνέπειες που θα επιφέρει αυτό το συμβάν. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε και από την εικόνα το αριστερό μέρος του διαγράμματος αναπαρίσταται από δομές Fault Tree τις οποίες δανείζεται από την μέθοδο FTA. Κάθε κλάδος του FT προσδιορίζει τα πιθανά αίτια που ενδέχεται να οδηγήσουν στον κρίσιμο συμβάν. Από την άλλη, η δεξιά πλευρά του διαγράμματος αναπαρίσταται από δομές Event Tree τις οποίες δανείζεται από την μέθοδο ETA, με τις οποίες προσδιορίζει τις δυνητικές συνέπειες που θα έχει στο σύστημα το κρίσιμο συμβάν. Ανάμεσα στους κινδύνους και το κρίσιμο συμβάν, αλλά και ανάμεσα στο κρίσιμο συμβάν και τις συνέπειες λαμβάνονται υπόψη και ορισμένα μέτρα ασφαλείας που υπάρχουν στο σύστημα. Ο λόγος ύπαρξής τους στο διάγραμμα είναι γιατί έτσι μπορεί να γίνει αξιολόγησή τους σε περίπτωση ανάγκης. Ένα μέτρο ασφαλείας σε ένα σύστημα είναι ο χρόνος αντίδρασης σε περίπτωση βλάβης. Επίσης

μέσω του διαγράμματος μπορεί να γίνει εντοπισμός μέτρων που είτε λείπουν εντελώς από το σύστημα είτε είναι σχεδιασμένα λάθος (Jacinto, et al., 2010).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ένα διάγραμμα Bow-Tie αναπαριστά πλήρως ένα σενάριο κινδύνου ποιοτικά αλλά και ποσοτικά. Από ποιοτικής άποψης το διάγραμμα Bow-Tie απεικονίζει τη λογική σχέση μεταξύ των στοιχείων που περιλαμβάνονται σε ένα υποθετικό σενάριο ατυχήματος. Αυτό βοηθά την ομάδα μελέτης να βρει τον πιθανό συνδυασμό των γεγονότων που θα οδηγήσουν στο κύριο συμβάν αλλά και ποια μέτρα ασφαλείας θα αποτύγχαναν να το αποτρέψουν από το να συμβεί. Μόλις δομηθεί στο σύνολο του το διάγραμμα Bow-Tie, μπορεί να γίνει η ποσοτική του ανάλυση. Αυτό γίνεται με την απόδοση πιθανοτήτων στα κύρια γεγονότα του FT στην αριστερή πλευρά του διαγράμματος αλλά και στα μέτρα ασφαλείας του ET στην δεξιά πλευρά. Σε ένα FT η πιθανότητα εμφάνισης του κορυφαίου συμβάντος μπορεί να υπολογιστεί ως η ένωση των ελαχίστων συνόλων. Ως ελάχιστο σύνολο ορίζεται η τομή του ελάχιστου αριθμού κύριων γεγονότων, η εμφάνιση των οποίων είναι απαραίτητη για να προκληθεί το κύριο συμβάν. Στη συνέχεια το ET του μοντέλου ξεκινά από το κύριο συμβάν που παρέχεται από το FT και προχωρά προς κάθε κλάδο για να υπολογίσει την πιθανότητα εμφάνισης κάθε αποτελέσματος σύμφωνα με την επιτυχία ή την αποτυχία των μέτρων ασφαλείας που συνδέονται με κάθε κλάδο. Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε ένα παράδειγμα ενός διαγράμματος Bow-Tie στο οποίο θέλουμε να υπολογίσουμε την πιθανότητα εμφάνισης του συμβάντος C2:



Σχήμα 4.11 Γενική αναπαράσταση Bow-Tie (Khakzad, et al., 2012)

Ο τύπος για τον υπολογισμό της πιθανότητας εμφάνισης του γεγονότος C2 είναι ο εξής :

$$P_R(C_2) = P_R(TE) P_R(SB_1) P_R(\overline{SB_2})$$

Όπου  $P_R(TE)$  είναι η πιθανότητα του τελικού γεγονότος και οι  $P_R(SB_1), P_R(\overline{SB_2})$  αναφέρονται στις πιθανότητες αποτυχίας και μη αποτυχίας των μέτρων ασφαλείας  $SB_1$  και  $SB_2$  αντίστοιχα (Khakzad, et al., 2012).

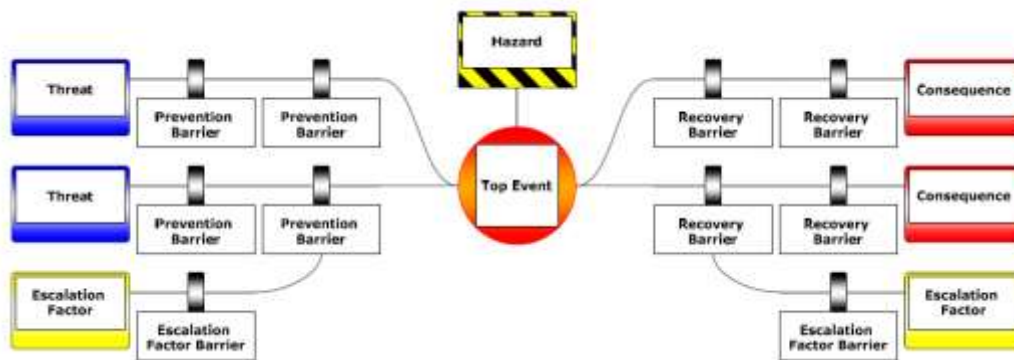
Μια ανάλυση Bow-Tie είναι ουσιαστικά με επαναληπτική διαδικασία για τον συστηματικό εντοπισμό των κινδύνων και των επιπτώσεών τους. Η ανάπτυξη ενός διαγράμματος bow-Tie πρέπει να πραγματοποιούνται με δομημένο τρόπο ούτως ώστε να ληφθούν ποιοτικές πληροφορίες για τους ενδεχόμενους κινδύνους που ίσως επιφέρουν βλάβες στο σύστημα (Book, 2012). Τα βήματα που ακολουθεί μια τυπική ανάλυση Bow-Tie για να υλοποιηθεί είναι τα εξής (Alizadeh, et al., 2015; Aust, et al., 2019):

- 1) **Αναγνώριση του κινδύνου** : Ένας κίνδυνος στο διάγραμμα Bow-tie αποτελείται από δύο στοιχεία, τον κίνδυνο και το γεγονός ή τα γεγονότα που θα επιφέρει. Ο κίνδυνος θεωρείται ανεπιθύμητος καθώς μπορεί να επιφέρει βλάβες σε ένα σύστημα αλλά να επιφέρει και άλλα ανεπιθύμητα αποτελέσματα όπως καταστροφή προϊόντων, μόλυνση του περιβάλλοντος και μείωση ρυθμού παραγωγής. Το γεγονός ως στοιχείο σε ένα διάγραμμα Bow-Tie τοποθετείται στο τέλος ενός Fault Tree και στην αρχή ενός Event Tree.
- 2) **Αξιολόγηση των απειλών** : Οι απειλές βρίσκονται στο αριστερό άκρο του διαγράμματος. Ως απειλή ορίζεται κάτι που μπορεί να επιφέρει τον κίνδυνο ο οποίος έχει αναγνωριστεί στο προηγούμενο βήμα
- 3) **Αξιολόγηση των συνεπειών** : Οι συνέπειες τοποθετούνται στο δεξί άκρο του διαγράμματος και αποτελούν γεγονότα που συμβαίνουν μετά την εμφάνιση του κύριου συμβάντος ως αποτελέσματα αυτού.
- 4) **Έλεγχος** : Ο έλεγχος είναι τα προστατευτικά μέτρα που λαμβάνονται για την αποτροπή των απειλών από το να απελευθερώσουν έναν κίνδυνο. Τα μέτρα αυτά είτε αποτρέπουν εντελώς έναν κίνδυνο από το να συμβεί είτε τον μειώνουν σε ένα επίπεδο στο οποίο θεωρείται αποδεκτός και διαχειρίσιμος. Το επίπεδο αυτό ονομάζεται ALARP (As Low As Reasonably Practicable).
- 5) **Ανάκαμψη** : Οι έλεγχοι ανάκαμψης βρίσκονται μεταξύ του κινδύνου και των συνεπειών σε ένα διάγραμμα Bow-Tie. Πρόκειται για τεχνικά, οργανωτικά και

λειτουργικά μέτρα για τον περιορισμό των συνεπειών που προκύπτουν από ένα ανεπιθύμητο γεγονός.

- 6) **Αναγνώριση απειλών προς τα μέτρα ελέγχου :** Οι απειλές προς τα μέτρα ελέγχου είναι συνθήκες που οδηγούν σε αυξημένο κίνδυνο με το προσπερνούν ή με το να ακυρώνουν τα μέτρα ελέγχου.

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε το παράδειγμα ενός διαγράμματος Bow-Tie το οποίο περιλαμβάνει μέτρα πρόληψης και αποκατάστασης (Aust, et al., 2019):



Σχήμα 4.12 Σχηματικό διάγραμμα Bow-Tie με στοιχεία πρόληψης και ανάκαμψης (Aust, et al., 2019)

Κάθε μέθοδος για την ανάλυση και διαχείριση κινδύνου και αβεβαιότητας έχει κάποια θετικά και κάποια αρνητικά στοιχεία. Οι μελετητές που διεξάγουν μια έρευνα πρέπει να κρίνουν κάθε φορά ποια μέθοδος ταιριάζει κάθε φορά καλύτερα στο αντικείμενο της μελέτης. Έτσι λοιπόν και η ανάλυση Bow-Tie έχει κάποια θετικά και κάποια αρνητικά χαρακτηριστικά τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω (Voicu, et al., 2018) (Leveson, 2019):

#### **Πλεονεκτήματα:**

- Είναι μια τεχνική που επιτρέπει τον εντοπισμό όλων των ανεπιθύμητων συμβάντων κινδύνου και παρέχει τη δυνατότητα κατανόησης των σχέσεων μεταξύ αυτών των συμβάντων
- Τα διαγράμματα που αφορούν ακόμη και πιο πολύπλοκα συστήματα είναι ευανάγνωστα

- Βοηθά στον εντοπισμό αδυναμιών και κενών ασφαλείας σε ένα σύστημα με αποτέλεσμα την συνεχή μείωση των κινδύνων

### **Μειονεκτήματα:**

- Το κεντρικό συμβάν βασίζεται στην υποκειμενική υπόθεση της ομάδας μελέτης.
- Για πολύπλοκα συστήματα η χρήση διαγραμμάτων bow-tie δεν είναι πρακτική καθώς συγκεντρώνουν μεγάλη ποσότητα πληροφορίας σε μικρό χώρο, πράγμα που σε ορισμένες περιπτώσεις οδηγεί τους ερευνητές σε απλοποίηση των διαγραμμάτων.
- Σε αρκετές περιπτώσεις τα διαγράμματα Bow-Tie δεν μπορούν να συμπεριλάβουν πλήθος γεγονότων ώστε να αναλυθούν ταυτόχρονα επομένως απαιτείται πλήθος διαγραμμάτων για την ανάλυσή τους.

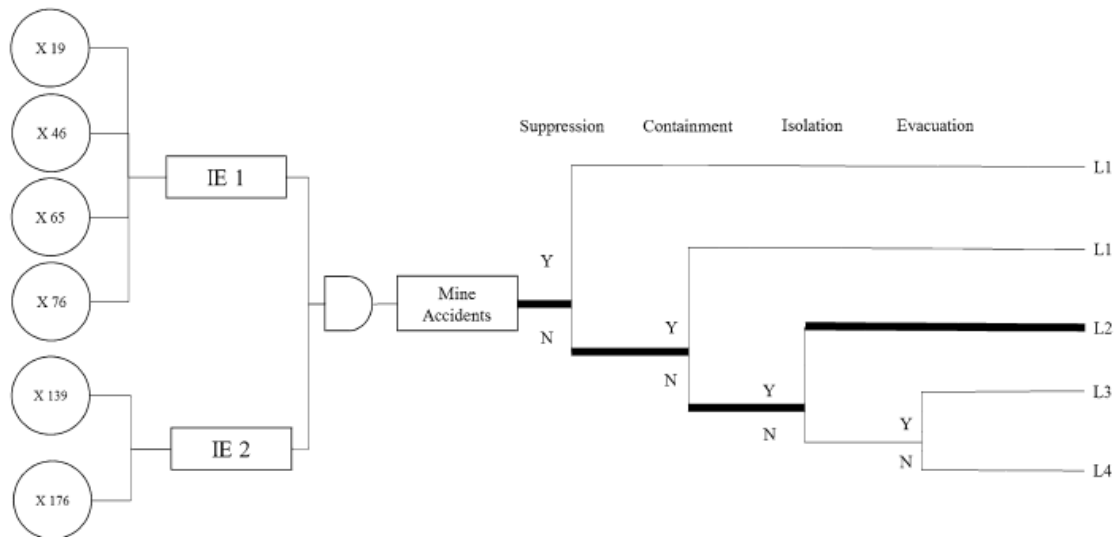
Η χρήση της μεθόδου Bow-Tie είναι πλέον αρκετά διαδεδομένη και χρησιμοποιείται σε πληθώρα περιπτώσεων σε αρκετούς τομείς της βιομηχανίας. Ένα παράδειγμα χρήσης της μεθόδου ήταν για τον περιορισμό των ατυχημάτων σε ορυχεία τόσο σε ανεπτυγμένες όσο και σε αναπτυσσόμενες χώρες τα οποία έχουν σαν απολογισμό ακόμη και θανατηφόρα περιστατικά. Στην συγκεκριμένη έρευνα σκοπός ήταν η εξέταση της σχέσης μεταξύ των κινδύνων ατυχημάτων κατά τις εξορύξεις, των μέτρων ασφαλείας και των δυνητικών συνεπειών. Αρχικά η έρευνα επικεντρώνεται στην κατηγοριοποίηση των κινδύνων με τους οποίους μπορεί να έρθει κανείς σε κάποιο τόπο εξορύξης. Στην παρακάτω εικόνα γίνεται καταγραφή όλων των κινδύνων μαζί με την επεξήγηση του καθενός :

Number	Accident	Explain
1	Electrical	Accidents in which electric current is most directly responsible for the resulting accident
2	Entrapment	In accidents involving no injuries or non-fatal injuries which are not serious, entrapment of mine workers takes precedence over roof falls, explosives accidents, inundations, etc.
3	Exploding vessels under pressure	These are accidents caused by explosion of air hoses, air tanks, hydraulic lines, hydraulic hoses and other accidents precipitated by exploding vessels
4	Explosives and breaking agents	Accidents involving the detonation of manufactured explosives, Airdox or Cardox, that can cause flying debris, concussive forces or fumes
5	Falling, rolling, or sliding rock or material of any kind	Injuries caused directly by falling material require great care in classification
6	Fall of face, rib, side or highwall	Accidents in this classification include falls of material (from in-place) while barring down or placing props; also pressure bumps and bursts
7	Fall of roof or back	Underground accidents which include falls while barring down or placing props; also pressure bumps and bursts
8	Fire	In underground mines, an unplanned fire not extinguished within 10 min of discovery; in surface mines and surface areas of underground mines, an unplanned fire not extinguished within 30 min of discovery
9	Handling material	The material may be in bags or boxes, or loose sand, coal, rock, timber, etc.
10	Hand tools	Accidents related to non-powered tools when being used as hand tools. Do not include electric tools or air-powered tools
11	Hoisting	Damage to hoisting equipment in a shaft or slope which endangers an individual or interferes with use of the equipment for more than 30 min
12	Ignition or explosion of gas or dust	Accidents resulting as a consequence of the ignition or explosion of gas or dust. Included are exploding gasoline vapors, space heaters or furnaces
13	Impoundment	An unstable condition at an impoundment, refuse pile or culm bank which requires emergency action in order to prevent failure, or which causes individuals to evacuate an area
14	Inundation	An unplanned inundation of a mine by a liquid or gas
15	Machinery	Accidents that result from the action or motion of machinery or from failure of component parts
16	Non-powered haulage	Accidents related to motion of non-powered haulage equipment
17	Powered haulage	Haulage includes motors and rail cars, conveyors, belt feeders, longwall conveyors, bucket elevators, vertical manlifts, self-loading scrapers or pans, shuttle cars, haulage trucks, front-end loaders, load-haul-dumps, forklifts, cherry pickers, mobile cranes if traveling with a load
18	Slip or fall of person	Includes slips or falls from an elevated position or at the same level while getting on or off machinery or haulage equipment that is not moving
19	Stepping or kneeling on object	Accidents are classified in this category only where the object stepped or kneeled on contributed most directly to the accident
20	Striking or bumping	This classification is restricted to those accidents in which an individual, while moving about, strikes or bumps an object but is not handling material, using hand tools or operating equipment
21	Other	Accidents not elsewhere classified. This is a last resort category

*Πίνακας 8 Κατηγοριοποίηση των ατυχημάτων σε ορυχεία (Zhang, et al., 2018)*

Με τη βοήθεια των εργαλείων που δανείζεται η μέθοδος Bow-tie από άλλες μεθόδους διαχείρισης κινδύνων οι ερευνητές έφτασαν σε σημείο να έχουν αρκετά δεδομένα ώστε να είναι έτοιμοι να σχεδιάσουν το διάγραμμα Bow-tie της έρευνας το οποίο είναι το παρακάτω:





Σχήμα 4.13 Αναπαράσταση Bow-Tie ενός ατύχηματος (Zhang, et al., 2018)

Το παραπάνω διάγραμμα επικεντρώνεται σε συγκεκριμένο ατύχημα το οποίο έγινε σε ορυχείο της περιοχής Changxing στην Κίνα. Στην παρούσα περίπτωση φαίνεται ότι έξι συμβάντα συνέβαλλαν στο ατύχημα από τα οποία τέσσερα συνδέονται με το ενδιαμέσο γεγονός IE1 ενώ τα άλλα δύο συνδέονται με το γεγονός IE2. Στη συνέχεια του διαγράμματος φαίνεται η χρήση μέτρων ασφαλείας όπου θα μπορούσαν να αντιμετωπίσουν το συγκεκριμένο ατύχημα. Με τη βοήθεια της «Έρευνας Ατυχημάτων» του Υπουργείου Εργασίας της Κίνας γίνεται επαλήθευση των μέτρων αυτών, φτάνοντας έπειτα στο συμπέρασμα ότι τέσσερα από τα επαληθευμένα μέτρα θα μπορούσαν να έχουν αποτρέψει το συγκεκριμένο ατύχημα (Zhang, et al., 2018).

#### 4.5 PERT (Program Evaluation and Review Technique)

Η επόμενη τεχνική ονομάζεται Program Evaluation and Review Technique (PERT) και πρωτοεμφανίστηκε τη δεκαετία του 1950. Η τεχνική PERT ήταν ένα πρόγραμμα του Γραφείου Ειδικών Έργων του Ναυτικού των ΗΠΑ και ο σκοπός της δημιουργίας του ήταν η διαχείριση των πυραυλικών συστημάτων Polaris τα οποία χρησιμοποιούνταν την εποχή εκείνη από τα αμερικάνικα πυρηνικά υποβρύχια (Aziz, 2014; Liu, 2013). Υπεύθυνος εκείνου του προγράμματος ήταν ο Αντιναύαρχος William F. Raborn, ο οποίος θέλησε να εξετάσει αν υπήρχε εκείνη την εποχή κάποια τεχνική για τη διαχείριση τεχνολογικά πολύπλοκων προγραμμάτων. Η έρευνά του



δεν είχε τα επιθυμητά αποτελέσματα και έτσι μέσα σε λίγες βδομάδες εκείνος και το επιτελείο του ανέπτυξαν την τεχνική PERT (Galway, 2004).

Η τεχνική PERT χρησιμοποιείται για την διαχείριση και τον προγραμματισμό μεγάλων έργων. Ανάμεσα στα ισχυρότερα στοιχεία του συγκαταλέγεται η διαχείριση των πιθανοτήτων. Η τεχνική PERT κάνει χρήση της στατιστικής προκειμένου να καθορίσει μια πιθανοτική κατανομή η οποία ορίζει τις ημερομηνίες ολοκλήρωσης διάφορων ορόσημων για το εκάστοτε έργο οι οποίες έχουν οριστεί από τα αρμόδια τμήματα (Aziz, 2014). Η τεχνική αυτή βασίζεται στην υπόθεση ότι η διάρκεια κάθε δραστηριότητας είναι μια τυχαία μεταβλητή που συμπεριφέρεται σύμφωνα με μια γνωστή πιθανοτική κατανομή. Η διάρκεια της κάθε δραστηριότητας σύμφωνα με την PERT υπολογίζεται με την χρήση του παρακάτω τύπου:

$$t_e = \frac{t_0 + 4t_m + t_p}{6}$$

Όπου  $t_e$  συμβολίζει τον αναμενόμενο χρόνο,  $t_0$  είναι η αισιόδοξη πρόβλεψη για τον χρόνο που θα διαρκέσει το έργο,  $t_m$  είναι η πρόβλεψη για την πραγματική διάρκεια του έργου, ενώ το  $t_p$  συμβολίζει την απαισιόδοξη πρόβλεψη για τη διάρκεια του έργου. Επίσης η τυπική απόκλιση υπολογίζεται με τη χρήση του παρακάτω τύπου (Liu, 2013):

$$s_1 = \frac{t_p - t_0}{6}$$

Ο λόγος για τον οποίο σχεδιάστηκε η τεχνική PERT ήταν για να παρέχει (Aziz, 2014):

- 1) Πληροφορίες για την διαχείριση υπαρχόντων και επερχόμενων προβλημάτων τα οποία επηρεάζουν την ολοκλήρωση ενός έργου.
- 2) Μια συνεχή αναφορά της πορείας του έργου, την επίτευξη καθορισμένων στόχων, ημερομηνιών ολοκλήρωσης οροσίων και της πιθανότητας επίτευξής τους.
- 3) Διαχωρισμός των πιο κρίσιμων και των λιγότερο κρίσιμων εργασιών εντός κάθε έργου.

Η βάση της τεχνικής PERT είναι ένα διάγραμμα το οποίο εμπεριέχει όλες τις αναμενόμενες εργασίες ενός έργου, οργανωμένες σε ένα δίκτυο στο οποίο είναι εμφανής η εξάρτηση μεταξύ των εργασιών. Στις πρώιμες εκδοχές της PERT οι ειδικοί έπρεπε να εξάγουν τρεις εκτιμήσεις για την πορεία του έργου, μια απαισιόδοξη, μια αισιόδοξη αλλά και την πιο πιθανή (Galway, 2004). Η αισιόδοξη εκτίμηση υποθέτει ότι όλα θα πάνε σύμφωνα με το σχέδιο χωρίς να παρουσιαστούν δυσκολίες, καθυστερήσεις και προβλήματα και είναι η λιγότερο πιθανή εκδοχή από τις τρεις. Η απαισιόδοξη εκτίμηση υποθέτει ότι τίποτα δεν θα πάει σύμφωνα με το σχέδιο και πως θα εμφανιστούν οι μεγαλύτερες δυσκολίες και προβλήματα. Τέλος η πιο πιθανή εκτίμηση εκτιμά τον χρόνο που θα χρειαζόταν μια διαδικασία και κατά συνέπεια όλο το έργο αν εκτελούνταν επαναληπτικά. Με την βοήθεια αυτών των τριών εκτιμήσεων μπορεί έπειτα να υπολογιστεί η αναμενόμενη διάρκεια καθώς και η τυπική απόκλιση για την ολοκλήρωση μιας διαδικασίας. Ο τύπος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του εκτιμώμενου χρόνου είναι:

$$I = \frac{1 * a + 4 * m + 1 * b}{6}$$

Ενώ η τυπική απόκλιση υπολογίζεται ως εξής:

$$s = \frac{(b - a)}{6}$$

Όπου  $a$  η αισιόδοξη εκτίμηση,  $b$  η απαισιόδοξη και  $m$  η πιο πιθανή (Aziz, 2014).

Με αυτές τις εκτιμήσεις σαν βάση ήταν έπειτα δυνατό να υπολογιστεί μια πιθανοτική κατανομή για τον χρόνο ολοκλήρωσης του έργου (Galway, 2004).

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω η τεχνική PERT λογίζεται ως ένα χρήσιμο εργαλείο για την διαχείριση κινδύνων σε βιομηχανικά έργα. Από την άλλη πλευρά όμως η τεχνική αυτή έχει δεχτεί και κριτική από πολλές ερευνητικές μελέτες λόγω σημαντικών περιορισμών της. Ένας κρίσιμος περιορισμός είναι το γεγονός ότι η τεχνική αγνοεί την επίδραση κρίσιμων μονοπατιών του διαγράμματος στην συνολική πιθανότητα ολοκλήρωσης του έργου και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα πολλές φορές η έρευνα να οδηγείται σε ψευδώς αισιόδοξα αποτελέσματα και λανθασμένες εκτιμήσεις για την διάρκεια του έργου (Wenyíng, et al., 2011). Για να ξεπεράσει τους περιορισμούς η τεχνική PERT συχνά χρησιμοποιείται συνδυαστικά με άλλα εργαλεία

και τεχνικές διαχείρισης κινδύνων και αβεβαιότητας όπως είναι η προσομοίωση Monte Carlo η οποία έχει αναλυθεί και παραπάνω αλλά και ο αλγόριθμος CPM (Critical Part Method) (Jun, et al., 2011; van Dorp, 2020). Πιο συγκεκριμένα ο αλγόριθμος CPM βοηθά στον υπολογισμό της αβεβαιότητας του χρόνου ολοκλήρωσης του έργου (van Dorp, 2020). Πέρα όμως από την κριτική η μέθοδος PERT δεν παύει να είναι ένα πολύτιμο εργαλείο στην διαχείριση των κινδύνων και της αβεβαιότητας σε ένα έργο καθώς παρέχει μια σφαιρική και αναλυτική εικόνα όλων των εργασιών και των δραστηριοτήτων ενός έργου αλλά και των αλληλεξαρτήσεων μεταξύ τους, καταδεικνύει τον χρόνο που χρειάζεται κάθε δραστηριότητα να ολοκληρωθεί, ενώ μπορεί και να βοηθήσει στο να γίνει διαχωρισμός των κρίσιμων εργασιών από τις υπόλοιπες ώστε η εκάστοτε εταιρία να επικεντρωθεί σε αυτές. Τέλος με την χρήση της PERT είναι δυνατόν να απεικονιστούν οι επιπτώσεις συγκεκριμένων διοικητικών αποφάσεων στην έκβαση του έργου ενώ δίνει επίσης την δυνατότητα της πρόβλεψης μελλοντικών προβλημάτων με μεγάλη ακρίβεια σε αντίθεση με αντίστοιχες ποσοτικές τεχνικές (Aziz, 2014).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης της τεχνικής PERT είναι ο προγραμματισμός ενός κατασκευαστικού έργου από ερευνητές οι οποίοι μάλιστα χρησιμοποίησαν ως εργαλεία το CPM αλλά και την προσομοίωση Monte Carlo. Οι στόχοι των ερευνητών ήταν οι εξής:

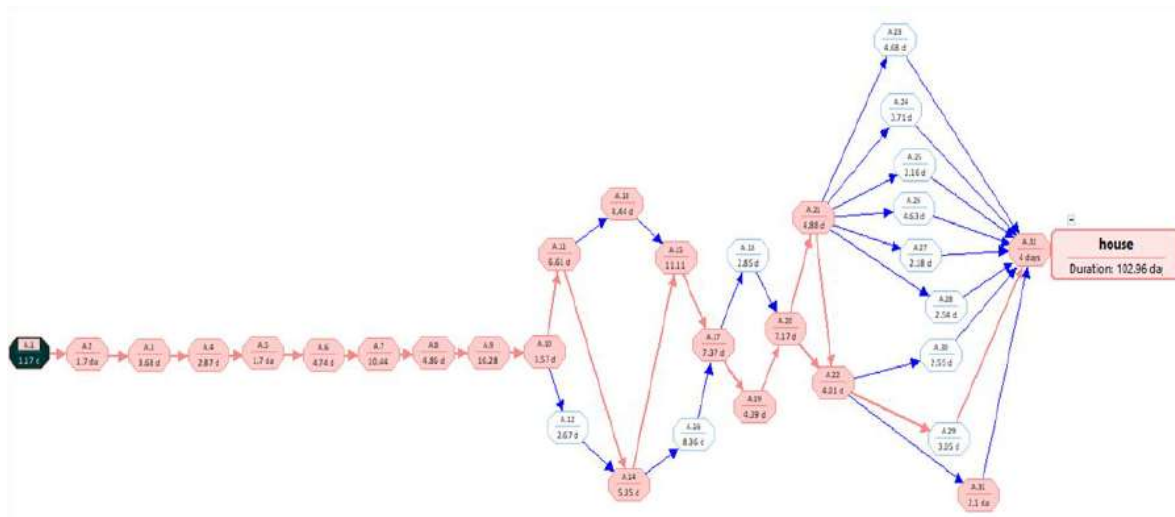
- Ο καθορισμός της διάρκειας του έργου με την χρήση του CPM
- Συλλογή των δεδομένων και καθορισμός της διάρκειας του έργου με τη χρήση της μεθόδου PERT
- Ανάλυση των αποτελεσμάτων με τη βοήθεια της προσομοίωσης Monte Carlo

Αρχικά οι ερευνητές του έργου σύμφωνα με τα σχέδια των κατοικιών που είχαν στα χέρια τους ξεχώρισαν όλες τις εργασίες που έπρεπε να γίνουν και τις διέταξαν με τη βοήθεια του CPM όπως φαίνονται και στον παρακάτω πίνακα:

WBS Code	Task Name	Duration day	WBS Predecessors
A.1	Site Preparation	1	
A.2	Excavation	1	A.1
A.3	Concrete Foundation with curing	3	A.2
A.4	Solid Block Foundation with curing	3	A.3
A.5	Foundation Filling	1	A.4
A.6	Ground Floor Hollow Block Wall with curing	3	A.5
A.7	Ground Floor Slab with curing	12	A.6
A.8	First Floor Hollow Block Wall with curing	4	A.7
A.9	First Floor Slab with curing	12	A.8
A.10	Pent House Wall Hollow Block with curing	2	A.9
A.11	Pent House Slab with curing	9	A.10
A.12	Fencing block work	2	A.10[SS]
A.13	Rough Electrical Work (Cables layout)	3	A.11
A.14	Rough Mechanical Work (Plumbing - Pipes layout-ductwork)	3	A.11, A.12
A.15	Wall Ceramic Tile	12	A.14, A.13
A.16	Granit Façade Work	10	A.14
A.17	Flooring Tiles (Ground floor, first floor, and stair)	8	A.15, A.16
A.18	External and Garage Flooring Tile	2	A.17
A.19	Cement Plastering	5	A.17
A.20	Gypsum Plastering	3	A.19, A.18
A.21	Secondary Ceiling Work	5	A.20
A.22	Painting	2	A.21, A.20
A.23	Door (PVC)	2	A.21
A.24	Door (Wood)	2	A.21
A.25	Door (Steel)	1	A.21
A.26	Window (PVC)	2	A.21
A.27	Aluminum handrail for stair	1	A.21
A.28	Gate (2.8m*1.5m) steel	1	A.21
A.29	Finish electrical and Lighting Fixtures	4	A.22
A.30	Set Plumbing fixtures and trim	2	A.22
A.31	W.C and Bath Fittings	1	A.22
A.32	Kitchen furniture fixing	3	A.31, A.29, A.30, A.27, A.26, A.25, A.24, A.23, A.28

Πίνακας 4.6 Πίνακας έργου (Wali, et al., 2019)

Για την εκτίμηση της διάρκειας κάθε δραστηριότητας οι ερευνητές δημιούργησαν μια φόρμα η οποία αποτελείτο από όλες τις εργασίες που έπρεπε να γίνουν για την κατασκευή κάθε σπιτιού χωρίζοντας την σε τρεις στήλες μια για την αισιόδοξη εκτίμηση, μια για την απαισιόδοξη και μια για την πιο πιθανή. Έπειτα οι ερευνητές προχώρησαν σε συνεντεύξεις με έμπειρους μηχανικούς για να καταφέρουν να εκτιμήσουν τη συνολική διάρκεια του έργου. Μετά την συλλογή των απαραίτητων δεδομένων έγινε χρήση της μεθόδου PERT με σκοπό την ανάλυση του συνόλου του έργου. Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να διακρίνουμε την τελική εκτίμηση για την διάρκεια του έργου με τη χρήση της μεθόδου PERT:



Σχήμα 4.14 Διάγραμμα δικτύου CPM για κατοικία (Wali, et al., 2019)

Σύμφωνα και με την παραπάνω εικόνα φαίνεται ότι η αισιόδοξη εκτίμηση που θεωρούσε ότι το έργο μπορεί να πραγματοποιηθεί σε 98 μέρες δεν γίνεται να συμβεί, ενώ πιο κοντά πέφτει η πιο πιθανή εκτίμηση που θεωρεί ότι το έργο μπορεί να εκτελεστεί σε 115 μέρες (Wali, et al., 2019).

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο κίνδυνος και η αβεβαιότητα είναι δύο παράγοντες οι οποίοι είναι παρόντες σε πολλές αν όχι σε όλες τις πτυχές της ζωής και κατά συνέπεια επηρεάζουν και την πορεία των έργων. Η αποτελεσματική ή μη αντιμετώπιση τους κρίνει και το τελικό αποτέλεσμα ενός έργου. Η διαχείριση και ο προγραμματισμός ενός έργου έχει γίνει αναπόσπαστο κομμάτι όλων των εταιριών που αναλαμβάνουν να εκτελέσουν ένα έργο. Σκοπός είναι να υλοποιηθεί το εκάστοτε έργο έχοντας τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα (Perminova, 2011). Η διαχείριση του κινδύνου περιλαμβάνει της λήψη αποφάσεων για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας η οποία έχει αναφερθεί ως ένα θεμελιώδες πρόβλημα για τα βιομηχανικά έργα (Adams, et al., 1999; Perminova, 2011). Όσο νωρίτερα αναγνωριστεί ένας κίνδυνος τόσο το καλύτερο καθώς έχει περισσότερες πιθανότητες να αντιμετωπιστεί σωστά και αποτελεσματικά αλλά ακόμα και να έχει θετικές αντί για αρνητικές συνέπειες στο έργο (Ahmed, et al., 2007). Καθώς υπάρχει πληθώρα τεχνικών και μεθόδων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διαχείριση των κινδύνων και της αβεβαιότητας, η επιλογή

των κατάλληλων γίνεται με βάση το πεδίο εφαρμογές αλλά και με βάση τις ανάγκες του κάθε έργου (Cagliano, et al., 2015).

Παρά το μεγάλο πλήθος τους οι τεχνικές διαχείρισης κινδύνου και αβεβαιότητας μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, δηλαδή τις ποιοτικές τεχνικές και τις ποσοτικές τεχνικές. Ο σκοπός της ποιοτικής ανάλυσης κινδύνου και αβεβαιότητας είναι να βρει και να αξιολογήσει τους ενδεχόμενους κινδύνους οι οποίοι ενδέχεται να παρουσιαστούν σε ένα έργο. Σαν μέτρα δράσης έπειτα η κάθε εταιρία μπορεί να αναπτύξει τα απαραίτητα σχέδια δράσης για την μείωση ή ακόμα και την εξάλειψη των κινδύνων αυτών ενώ ταυτόχρονα γίνεται και ενίσχυση της ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας του έργου. Από την άλλη πλευρά η ποσοτική ανάλυση είναι μια διαδικασία διαχείρισης που χρησιμοποιεί αριθμητικές τιμές και μαθηματικούς όρους για την αξιολόγηση και την εκτίμηση των κινδύνων. Κατά τη διάρκεια μιας τέτοιας μελέτης συλλέγονται δεδομένα και πληροφορίες για τον ποσοτικό προσδιορισμό της πιθανότητας εμφάνισης ενός κινδύνου αλλά των συνεπειών του. Οι αναλύσεις αυτές βασίζονται σε στατιστικές μεθόδους και προσομοιώσεις για την αξιολόγηση των κινδύνων με όρους πιθανοτήτων. Αυτές οι μελέτες δίνουν την δυνατότητα στις εταιρίες να λαμβάνουν σωστότερες και πιο ακριβείς αποφάσεις σχετικά με την πορεία του έργου.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκαν συνολικά δέκα τεχνικές διαχείρισης κινδύνων και αβεβαιότητας που παρουσιάζονται σε βιομηχανικά έργα. Από την βιβλιογραφία φαίνεται ξεκάθαρα ότι δεν υπάρχει μια τεχνική είτε ποιοτική είτε ποσοτική που να είναι ξεκάθαρα ανώτερη από τις υπόλοιπες. Αυτό που είναι σαφές είναι ότι σε κάθε περίπτωση ενδέχεται να υπάρχουν κάποιες τεχνικές οι οποίες να φαίνεται σωστότερο να χρησιμοποιηθούν καθώς εξάγουν καλύτερα αποτελέσματα από άλλες. Η επιλογή αυτών των τεχνικών είναι ευθύνη της ομάδας μελέτης που διεξάγει κάθε φορά την έρευνα. Επίσης δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις στις οποίες έγινε χρήση συνδυασμού τεχνικών είτε ποιοτικών, είτε ποσοτικών είτε ακόμα και ποιοτικών με ποσοτικών. Επομένως είναι σαφές ότι δεν υπάρχει κάποιος σωστός συνδυασμός τεχνικών αλλά ούτε και κάποιος συνδυασμός που να είναι ισχυρότερος από τους άλλους. Κάθε τεχνική είναι ένα εργαλείο στα χέρια των ατόμων που θα διεξάγουν μια μελέτη και τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν είναι επίσης αποτέλεσμα της εμπειρίας της ομάδας έρευνας.

## Βιβλιογραφία

**Abdelgawad, Mohamed και Fayek, Aminah Robinson. 2012.** Comprehensive Hybrid Framework for Risk Analysis in the Construction Industry Using Combined Failure Mode and Effect Analysis, Fault Trees, Event Trees, and Fuzzy Logic. s.l. : American Society of Civil Engineers (ASCE), 2012, Τόμ. 138, σσ. 642-651.

**Abdollahzadeh, Gholamreza και Rastgoo, Sima. 2015.** *Risk assessment in bridge construction projects using fault tree and event tree analysis methods based on fuzzy logic.* s.l. : American Society of Mechanical Engineers (ASME), 2015. 23329025.

**Adams, John. και Adam Smith Institute. 1999.** *Risky business : the management of risk and uncertainty.* s.l. : Adam Smith Institute, 1999. 1902737067.

**Agung Wibowo, Mochamad, Uda, Subrata Aditama K.A. και Zhabrinna. 2018.** *Reducing carbon emission in construction base on project life cycle (PLC).* Surakarta, Indonesia : EDP Sciences, 2018. 2261236X.

**Ahmadi, Alireza και Soderholm, Peter. 2008.** *Assessment of Operational Consequences of Aircraft Failures: Using Event Tree Analysis.* Big Sky, MT, USA : IEEE, 2008.

**Ahmed, Ammar, Kayis, Berman και Amornsawadwatana, Sataporn. 2007.** A review of techniques for risk management in projects. *Benchmarking: An International Journal* . 2007, Τόμ. 14, 1, σσ. 22-36.

**Akintoye, Akintola S και Macleod, Malcolm J. 1997.** Risk analysis and management in construction. 1997. Τόμ. 15, 1, σσ. 31-38.

**Alizadeh, S S και Moshashaei, P. 2015.** The Bowtie method in safety management system: A literature review. *Scientific Journal of Review.* 2015, Τόμ. 4, 9, σσ. 133-138.

**Ameyaw, Effah Ernest, και συν. 2016.** Application of Delphi method in construction engineering and management research: A quantitative perspective. *Journal of Civil Engineering and Management*. 11 2016, Τόμ. 22, 8, σσ. 991-1000.

**Angel de la O Herrera, Miguel, και συν. 2015.** A structural approach to the HAZOP - Hazard and operability technique in the biopharmaceutical industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 5 2015, Τόμ. 35, Num.2, σσ. 1-11.

**Apostolakis, George E. 2004.** How Useful Is Quantitative Risk Assessment? *Risk Analysis*. s.l. : Society for Risk Analysis , 2004, Τόμ. 24.

**Ashish, S., Gerald, Leo A. και Shanmuga Prakash, R. 2016.** *Comparison of Traditional HAZOP and WHIPP*. s.l. : Trans Tech Publications, Ltd., 2016. σσ. 52-58.

**Aust, Jonas and Pons, Dirk. 2019.** *Bowtie methodology for risk analysis of visual borescope inspection during aircraft engine maintenance*. s.l. : MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2019. 22264310.

**Aven, Terje. 2010.** On how to define, understand and describe risk. *Reliability Engineering and System Safety*. 6 2010, Τόμ. 95, 6, σσ. 623-631.

**Aziz, Remon Fayek. 2014.** *RPERT: Repetitive-projects evaluation and review technique*. s.l. : Elsevier B.V., 2014. σσ. 81-93. 11100168.

**Baiqiao Hunag, Hong Zhang, Minyan Lu. 2009.** *8th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety*. Chengdu, China : IEEE, 2009.

**Bakeli, Tarik και Hafidi, Adil Alaoui. 2020.** *A Fault Tree Analysis (FTA) Based Approach for Construction Projects Safety Risk Management*. Detroit, Michigan, USA : s.n., 2020.

**Bonate, Peter L. 2001.** A Brief Introduction to Monte Carlo Simulation. 2001, Τόμ. 40, 1, σσ. 15-22.

**Bonnal, Pierre και Lacoste, Germain. 2002.** *The Life Cycle of Technical Projects*. 2002. σσ. 12-19.



**Book, Gareth. 2012.** *SPE 154549 Lessons Learned from Real World Application of the Bow-tie Method.* Abu Dhabi, UAE : Risktec Solutions Ltd., 2012. σσ. 2-4.

**Cagliano, Anna Corinna, Grimaldi, Sabrina και Rafele, Carlo. 2015.** Choosing project risk management techniques. A theoretical framework. *Journal of Risk Research.* 2 2015, Τόμ. 18, 2, σσ. 232-248.

**Chan, A. P.C., και συν. 2001.** Application of Delphi method in selection of procurement systems for construction projects. *Construction Management and Economics.* 2001, Τόμ. 19, 7, σσ. 699-718.

**Chapman, Chris και Ward, Stephen. 2013.** *Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights, 2nd Edition.* s.l. : John Wiley & Sons Ltd, 2013.

**Cheng, Chen Yang, και συν. 2013.** Application of fault tree analysis to assess inventory risk: A practical case from aerospace manufacturing. *International Journal of Production Research.* s.l. : Taylor & Francis Group, 2013, Τόμ. 51, σσ. 6499-6514.

**Chick, S, και συν. 2003.** *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference.* Toronto, ON, Canada : s.n., 2003.

**Dale, B. G. και Shaw, P. 1990.** Failure mode and effects analysis in the U.K. motor industry: A state-of-the-art study. [συγγρ. βιβλίου] P. Shaw B. G. Dale. *Quality and Reliability Engineering International* . s.l. : John Wiley & Sons, Ltd., 1990, Τόμ. 6, σσ. 179-188.

**de la O Herrera, Miguel Angel, και συν. 2018.** *Risk Analysis: A generalized Hazop methodology state-of-the-art, applications, and perspective in the process industry.* Rio de Janeiro : Vigilancia Sanitaria em Debate: Sociedade, Ciencia y Tecnologia, 2018. σ. 106.

**Degu, Yonas Mitiku και Srinivasa Moorthy, R. 2014.** Implementation of Machinery Failure Mode and Effect Analysis in Amhara Pipe Factory P.L.C., Bahir Dar, Ethiopia. [συγγρ. βιβλίου] R. Srinivasa Moorthy Yonas Mitiku Degu. *American Journal of Engineering Research (AJER).* Bahir Dar, Ethiopia : s.n., 2014, Τόμ. 03, σσ. 57-63.

**Dunjó, Jordi, και συν. 2010.** Hazard and operability (HAZOP) analysis. A literature review. *Journal of Hazardous Materials*. s.l. : Elsevier B.V., 2010, Τόμ. 173, σσ. 19-32.

**Emblemsvåg, Jan και Endre Kjølstad, Lars. 2002.** *Strategic risk analysis – a field version*. Norway : MCB UP Ltd, 2002. σσ. 842-852. Τόμ. 40. 00251747.

**Emblemsvåg, Jan και Kjølstad, Lars Endre. 2006.** *Qualitative risk analysis: Some problems and remedies*. Norway : Emerald Group Publishing Limited, 2006. σσ. 395-408. Τόμ. 44. 00251747.

**Ferdous, Refaul, και συν. 2011.** *Fault and Event Tree Analyses for Process Systems Risk Analysis: Uncertainty Handling Formulations*. s.l. : Society for Risk Analysis , 2011. σσ. 86-107. Τόμ. 31. 02724332.

**Ferson, Scott. 1996.** What Monte Carlo methods cannot do. *Human and Ecological Risk*. s.l. : CRC Press LLC, 1996, Τόμ. 2, σσ. 990-1007.

**Fuentes-Bargues, José Luis, και συν. 2016.** *Risk assessment of a compound feed process based on HAZOP analysis and linguistic terms*. s.l. : Elsevier Ltd, 2016. σσ. 44-52. Τόμ. 44. 09504230.

**Furnham, Adrian. 2000.** *The Brainstorming Myth*. London : s.n., 2000. σσ. 21-28. Τόμ. 11. 14678616.

**Galway, Lionel. 2004.** *Quantitative Risk Analysis for Project Management: A Critical Review*. s.l. : Rand Corporation, 2004.

**Hallowell, Matthew R και Gambatese, John A. 2010.** Qualitative Research: Application of the Delphi Method to CEM Research. *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol.136, 2010, 1.

**Harrison, Robert L. 2009.** Introduction to Monte Carlo simulation. 2009. Τόμ. 1204, σσ. 17-21. 9780735407411.

**Helms, Marilyn M. και Nixon, Judy. 2010.** Exploring SWOT analysis – where are we now?: A review of academic research from the last decade. *Journal of Strategy and Management*. s.l. : Emerald Group Publishing Ltd., 2010, Τόμ. 3, σσ. 215-251.

**Heravi, Gholamreza, Asce, M και Charkhakan, Mohammad Hadi. 2015.** Predicting Change by Evaluating the Change Implementation Process in Construction Projects Using Event Tree Analysis. *Journal of Management in Engineering*. 2015, Τόμ. 31, 5.

**Hidayat, Atep Afia, et al. 2018.** *The Implementation of FTA (Fault Tree Analysis) and FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) Methods to Improve the Quality of Jumbo Roll Products*. s.l. : Institute of Physics Publishing, 2018. Vol. 453. 1757899X.

**Hogganvik, Ida και Stølen, Ketil. 2006.** *LNCS 4199 - A Graphical Approach to Risk Identification, Motivated by Empirical Investigations*. Berlin : s.n., 2006. σσ. 574-588.

**Hong, Eun Soo, και συν. 2009.** Quantitative risk evaluation based on event tree analysis technique: Application to the design of shield TBM. [συγγρ. βιβλίου] In-Mo Lee, Hee-Soon Shin, Seok-Woo Nam, Jung-Sik Kong Eun-Soo Hong. *Tunnelling and Underground Space Technology*. s.l. : Elsevier Ltd, 2009, Τόμ. 24, σσ. 269-277.

**Hussein, Bassam, Chouman, Mehdi και Dayekh, Ayman. 2014.** A Project Life Cycle (PLC) Based Approach for Effective Business Process Reengineering (BPR). *Industrial Engineering Letters, Vol.4, No.6*. 2014.

**Hyun, Ki Chang, και συν. 2015.** *Risk analysis using fault-tree analysis (FTA) and analytic hierarchy process (AHP) applicable to shield TBM tunnels*. s.l. : Elsevier Ltd, 2015. σσ. 121-129. Τόμ. 49. 08867798.

**Jacinto, Celeste και Silva, Cristina. 2010.** A semi-quantitative assessment of occupational risks using bow-tie representation. *Safety Science*. 10 2010, Τόμ. 48, 8, σσ. 973-979.

**Jahangoshai Rezaee, Mustafa, και συν. 2018.** Risk analysis of sequential processes in food industry integrating multi-stage fuzzy cognitive map and process failure mode and effects analysis. [συγγρ. βιβλίου] Samuel Yousefi, Mahsa Valipour, Mohammad Mehdi Dehdar Mustafa Jahangoshai. *Computers & Industrial Engineering*. s.l. : Elsevier Ltd, 2018, Τόμ. 123, σσ. 325-337.

**Jun, Dho Heon και El-Rayes, Khaled. 2011.** Fast and Accurate Risk Evaluation for Scheduling Large-Scale Construction Projects. [συγγρ. βιβλίου] and Khaled El-Rayes Dho Heon Jun. *Journal of Computing in Civil Engineering*. s.l. : American Society of Civil Engineers (ASCE), 2011, Τόμ. 25, σσ. 407-417.

**Khakzad, Nima, Khan, Faisal και Amyotte, Paul. 2012.** Dynamic risk analysis using bow-tie approach. *Reliability Engineering & System Safety*. 8 2012, Τόμ. 104, σσ. 36-44.

**Kıral, I A, Kural, Z και Çomu, S. 2014.** *Risk Identification in Construction Projects: Using the Delphi Method*. Instabul, Turkey : s.n., 2014. σσ. 21-25.

**Kotek, L. and Tabas, M. 2012.** *HAZOP study with qualitative risk analysis for prioritization of corrective and preventive actions*. s.l. : Elsevier Ltd, 2012. pp. 808-815. Vol. 42. 18777058.

**Kwak, Young Hoon και Ingall, Lisa. 2007.** Exploring Monte Carlo Simulation Applications for Project Management. s.l. : Springer Science and Business Media LLC, 2 2007. Τόμ. 9, 1, σσ. 44-57. 1460-3799.

**Leigh, Doug. 2010.** *SWOT Analysis*. s.l. : John Wiley and Sons, 2010. σσ. 115-140. Τόμ. 2. 9780470525432.

**Leveson, Nancy G. 2019.** *Shortcomings of the Bow Tie and Other Safety Tools Based on Linear Causality I*. 2019.

**Liu, Hu Chen, Liu, Long και Liu, Nan. 2013.** Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. [συγγρ. βιβλίου] H.-C. Liu. *Expert Systems with Applications*. s.l. : Elsevier, 2013, Τόμ. 40, σσ. 828-838.

**Liu, Mei. 2013.** Program evaluation and review technique (PERT) in construction risk analysis. *Applied Mechanics and Materials*. Jinan, China : Trans Tech Publications, 2013, Τόμ. 357-360, σσ. 2334-2337.

**Migilinskas, Darius και Ustinovičius, Leonas. 2008.** *METHODOLOGY OF RISK AND UNCERTAINTY MANAGEMENT IN CONSTRUCTION'S TECHNOLOGICAL AND ECONOMICAL PROBLEMS*. Vilnius, Lithuania : s.n., 2008.

**Mohd-Nassir, Mohd-Daniel, Mohd-Sanusi, Zuraidah και Ghani, Erlane K. 2016.** International Journal of Economics and Financial Issues Effect of Brainstorming and Expertise on Fraud Risk Assessment. *International Journal of Economics and Financial*. 2016, Τόμ. 6, S4, σσ. 62-67.

**Morano, Cassia Andrea Ruotolo, Martins, CLaudia Garrido and Ferrerira. 2007.** APPLICATION OF BRAINSTORMING TECHNIQUE IN E&P PROJECTS MORANO, CÁSSIA ANDRÉA RUOTOLO ; MARTINS, CLAUDIA GARRIDO ; FERREIRA, MIGUEL LUIZ RIBEIRO. Alexandroupolis, Greece. : s.n., 2007.

**Murtha, J A. 1997.** DISTINGUISHED AUTHOR SERIES Monte Carlo Simulation: Its Status and Future. s.l. : Society of Petroleum Engineers, 1997. SPE 37932.

**Namugenyi, Christine, Nimmagadda, Shastri L. και Reiners, Torsten. 2019.** Design of a SWOT analysis model and its evaluation in diverse digital business ecosystem contexts. *Procedia Computer Science*. 2019, Τόμ. 159, σσ. 1145-1154.

**Nikolaou, I. E. και Evangelinos, K. I. 2010.** A SWOT analysis of environmental management practices in Greek Mining and Mineral Industry. *Resources Policy*. 9 2010, Τόμ. 35, 3, σσ. 226-234.

**Ozarin, Nathaniel W. 2009.** *Applying Software Failure Modes and Effects Analysis to Interfaces*. New York, USA : The Omnicon Group Inc., 2009.

**Pattnaik, Sidhartha. 2015.** DESIGN FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS (DFMEA) OF AN ALL-TERRAIN VEHICLE. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 2015, Τόμ. Volume: 04 , Issue: 06, σσ. 2321-7308.

**Perera, B. A.K.S., et al. 2014.** Enhancing the effectiveness of risk management practices in Sri Lankan road construction projects: A Delphi approach. *International Journal of Construction Management*. 2014, Vol. 14, 1, pp. 1-14.

**Perminova, Olga. 2011.** *Managing Uncertainty in Projects*. 2011.

**Perminova, Olga, Gustafsson, Magnus και Wikström, Kim. 2008.** Defining uncertainty in projects - a new perspective. *International Journal of Project Management*. 1 2008, Τόμ. 26, 1, σσ. 73-79.

**Perminova, Olga. 2011.** *Managing uncertainty in projects.* s.l. : Åbo Akad. Förl, 2011. 9789517655682.

**Radil, Lukáš, και συν. 2018 .** *19th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE) : proceedings.* Pilsen, Czech Republic : IEEE, 2018 . 9781538646120.

**Raiyan, Asif, Das, Subir και Islam, M. Rafiqul. 2017.** *Event tree analysis of marine accidents in Bangladesh.* s.l. : Elsevier Ltd, 2017. σσ. 276-283. 18777058.

**Rezaie, K., et al. 2007.** Using extended Monte Carlo simulation method for the improvement of risk management: Consideration of relationships between uncertainties. *Applied Mathematics and Computation.* s.l. : Elsevier Inc., 2007, Vol. 190, pp. 1492-1501.

**Rivera Torres, Pedro J., Serrano Mercado, Eileen I. and Anido Rifón, Luis. 2018.** Probabilistic Boolean network modeling and model checking as an approach for DFMEA for manufacturing systems. *Journal of Intelligent Manufacturing.* 8 2018, Vol. 29, 6, pp. 1393-1413.

**Rolik, Yurii. 2017.** Risk Management in Implementing Wind Energy Project. Riga, Latvia : Elsevier Ltd, 2017. Τόμ. 178, σσ. 278-288. 18777058.

**Rostami, Ali. 2016.** *Tools and Techniques in Risk Identification: A Research within SMEs in the UK Construction Industry.* s.l. : Horizon Research Publishing Co., Ltd., 2016. σσ. 203-210. Τόμ. 4. 2331-950X.

**Sabbaghi, Asghar και Vaidyanathan, Ganesh. 2004.** SWOT Analysis and Theory of Constraint in Information Technology Projects. *Information Systems Education Journal.* 2004, Τόμ. 2, 23.

**Sakthivel, G, Saravanakumar, D και Muthuramalingam, T. 2018.** Application of failure mode and effect analysis in manufacturing industry – an integrated approach with FAHP-fuzzy TOPSIS and FAHP-fuzzy VIKOR. [συγγρ. βιβλίου] G. Sakthivel. *International Journal of Productivity and Quality Management.* s.l. : Inderscience Enterprises Ltd., 2018, Τόμ. 24, σσ. 398-423.

**Sellappan N, Nagarajan D και Palanikumar K. 2015.** Evaluation of Risk Priority Number (RPN) in Design Failure Modes and Effects Analysis (DFMEA) using Factor Analysis. *International Journal of Applied Engineering Research*. 14, 2015, Τόμ. 10, σσ. 34194-34198.

**Single, Johannes I., Schmidt, Jürgen και Denecke, Jens. 2019.** State of research on the automation of HAZOP studies. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. s.l. : Elsevier Ltd, 2019, Τόμ. 62.

**Sotoodeh, Karan. 2020.** Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) of Pipeline Ball Valves in the Offshore Industry. *Journal of Failure Analysis and Prevention* . 8 2020, Τόμ. 20, 4, σσ. 1175-1183.

**van Dorp, Johan René. 2020.** A dependent project evaluation and review technique: A Bayesian network approach. [συγγρ. βιβλίου] Johan René van Dorp. *European Journal of Operational Research*. Washington DC, 20052, USA : Elsevier B.V., 2020, Τόμ. 280, σσ. 689-706.

**Voicu, I., και συν. 2018.** *Risk management with Bowtie diagrams*. s.l. : Institute of Physics Publishing, 2018. 1757899X.

**Wali, Khalil Ismail and Othman, Shamal Ali. 2019.** *Schedule Risk Analysis Using Monte Carlo Simulation for Residential Projects*. s.l. : Zanco, 2019. p. 31. 2412-3986.

**Wenyng, Li και Xiaojun, Liu. 2011.** Progress Risk Assessment for Spliced Network of Engineering Project Based on Improved PERT. [συγγρ. βιβλίου] Liu Xiaojun Li Wenyng. *Systems Engineering Procedia*. Xi'an 710055, China : Elsevier BV, 2011, Τόμ. 1, σσ. 271-278.

**Xu, Hong and Dugan, Joanne Bechta. 2004.** *Combining Dynamic Fault Trees and Event Trees for Probabilistic Risk Assessment*. Charlottesville, USA : IEEE, 2004.

**Zhang, Cong, et al. 2018.** *Hazard-Based Design of the Bow-Tie Method to Prevent and Mitigate Mine Accidents*. s.l. : Springer New York LLC, 2018. pp. 29-40. 15477029.

