



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Τομέας Μελέτης Πλοίου & Θαλασσίων Μεταφορών

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ
ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΠΙΣΤΕΩΣ ΓΙΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗ
ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΤΑ ΠΛΟΙΑ

Όνομα Φοιτητή: Τόλιας Ιωάννης-Γεώργιος

Αριθμός Μητρώου: 08114036

Επιβλέπων Καθηγητής: Βεντικός Νικόλαος, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Περιεχόμενα

Κατάλογος πινάκων	4
Κατάλογος σχημάτων	4
Περίληψη	6
Abstract.....	7
Κεφάλαιο 1 Βιβλιογραφική επισκόπηση.....	10
Κεφάλαιο 2 Αποσαφήνιση των εννοιών	14
2.1. Αβεβαιότητα	14
2.2. Πιθανότητα	14
2.3. Συνέπειες.....	14
2.4. Ρίσκο	15
2.5. Εντοπισμός του ρίσκου	15
2.6. Ασφάλεια.....	15
Κεφάλαιο 3 Η Formal Safety Assessment.....	16
3.1. Προκατασκευαστικό στάδιο του FSA	17
3.2. Προσδιορισμός κινδύνων.....	18
3.3. Αξιολόγηση του κινδύνου	22
3.4. Επιλογές ελέγχου κινδύνου	24
3.5. Αξιολόγηση κόστους-οφέλους.....	25
3.6. Συστάσεις για τη λήψη αποφάσεων.....	30
Κεφάλαιο 4 Επιθεωρήσεις πλοίων.....	35
4.1. Το εναρμονισμένο πρότυπο ελέγχου	36
4.2. Η μεθοδολογία Risk Based Inspection (RBI).....	37
4.3. Είδη επιθεωρήσεων	40
Κεφάλαιο 5 Μέθοδοι αναγνώρισης και ανάλυσης ρίσκου.....	52
5.1. Ανάλυση με δέντρο σφαλμάτων.....	52
5.2. Ανάλυση με δέντρα συμβάντων	56
5.3. Η Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)	58
5.4. Η Hazard and Operability Studies (HAZOP)	62
5.5. Η What If Analysis τεχνική.....	63
Κεφάλαιο 6 Bayesian Networks	65
6.1. Τα γραφήματα	65
6.2. Bayesian Networks.....	66

6.3. Θεωρία γράφων.....	68
6.4. Dynamic Bayesian Network	71
6.5. Υπό συνθήκη ανεξαρτησία	73
Κεφάλαιο 7.....	80
Σύγκριση στατικού και δυναμικού μοντέλου.....	80
7.1. Κόπωση και διάβρωση	82
7.2. Χαρακτηριστικά του μοντέλου	84
7.3. Κατανομή Poisson	91
7.4. Μετατροπή του μοντέλου από στατικό σε δυναμικό	92
Συμπεράσματα.....	101
Βελτιώσεις	101
Παράρτημα Πινάκων.....	103
Αποτελέσματα δυναμικού μοντέλου	103
Βιβλιογραφικές αναφορές	112

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1 Frequency Index [MSC Circ. 1023]	21
Πίνακας 2 Severity Index [MSC Circ. 1023].....	21
Πίνακας 3 Risk Index [MSC Circ. 1023].....	22
Πίνακας 4 Επίπεδα κινδύνου HSE (1999).	32
Πίνακας 5 Annual Individual Risk (Skjong, 2002).....	33
Πίνακας 6 Παρουσίαση του εναρμονισμένου συστήματος επιθεωρήσεων και πιστοποιήσεων (Knapp and Franses, 2006).	42
Πίνακας 7 Κατηγορίες ανεπαρκειών (Randić et al., 2015).....	44
Πίνακας 8 Επίπεδα κινδύνου	60
Πίνακας 9 Επίπεδα βλαβών	61
Πίνακας 10 Πίνακας με τα κόστη για τα σενάρια του στατικού μοντέλου	94
Πίνακας 11 Πίνακας με τα κόστη δυναμικού μοντέλου για Inspection: no	96
Πίνακας 12 Πίνακας με τα κόστη του δυναμικού μοντέλου για Inspection: yes.....	97
Πίνακας 13 Πίνακας με τα κόστη του δυναμικού μοντέλου για Inspection: no & State of Equipment (before): Poor	99
Πίνακας 14 Πίνακας με τα κόστη του δυναμικού μοντέλου για Inspection: yes & Inspection quality: Low	100
Πίνακας 15 Πίνακας με τα κόστη του δυναμικού μοντέλου για Inspection: yes & state of equipment (before): poor	103
Πίνακας 16 Πίνακας με τα κόστη του δυναμικού μοντέλου για Inspection: no & state of equipment (before): good.....	104
Πίνακας 17 Πίνακας με τα κόστη του δυναμικού μοντέλου για Inspection: yes & state of equipment (before): good.....	105
Πίνακας 18 Πίνακας με τα κόστη του δυναμικού μοντέλου για Inspection: yes & inspection outcome (equipment): good.....	106
Πίνακας 19 Πίνακας με τα κόστη του δυναμικού μοντέλου για Inspection: yes & inspection outcome (equipment): poor.....	107
Πίνακας 20 Πίνακες δεσμευμένων πιθανοτήτων του στατικού μοντέλου.....	108

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1. Η απεικόνιση της FSA.....	17
Σχήμα 2 Tolerability of Risk Framework (HSE, 2001)	31
Σχήμα 3 Typical F-N Diagram.....	33
Σχήμα 4 F-N Diagram (crew) [Skjong and Eknes, 2001]	34
Σχήμα 5 Το συνεχές των RBI προσεγγίσεων.....	38
Σχήμα 6 Η διαδικασία επιθεώρησης με βάση την RBI.....	39
Σχήμα 7 Port State Control Safety and Environmental Protection Compliance targeting Matrix (United States Coast Guard, 2015).....	48
Σχήμα 8 Σύμβολα FTA analysis	53
Σχήμα 9 Λογικά σύμβολα FTA analysis.....	54

Σχήμα 10 Παράδειγμα FTA analysis	55
Σχήμα 11 Παράδειγμα ETA analysis στον τομέα της υγείας	56
Σχήμα 12 Παράδειγμα ETA analysis στον τομέα του προγραμματισμού	57
Σχήμα 13 Σύγκριση ETA και FTA analysis	58
Σχήμα 14 Τα βήματα της FMEA analysis.....	60
Σχήμα 15 Η δομή της HAZOP.....	63
Σχήμα 16 Μεταβλητές εξαρτώμενες από άλλη	66
Σχήμα 17 Bayesian δίκτυο.....	67
Σχήμα 18 Μονοπάτι, αλυσίδα και κύκλος	68
Σχήμα 19 Δάσος.....	69
Σχήμα 20 Δέντρο	69
Σχήμα 21 Στατικό δίκτυο.....	70
Σχήμα 22 Προηγούμενο δίκτυο και δίκτυο μετάβασης.....	71
Σχήμα 23 Dynamic Bayesian Network.....	72
Σχήμα 24 Αποκλίνουσα σύνδεση	75
Σχήμα 25 Σειριακή σύνδεση	77
Σχήμα 26 Συγκλίνουσα σύνδεση	78
Σχήμα 27 Το περιβάλλον του προγράμματος Genie.....	80
Σχήμα 28 Το διάγραμμα του στατικού μοντέλου	82
Σχήμα 29 Εκτέλεση κώδικα σε λειτουργικό σύστημα Xubuntu.....	93
Σχήμα 30 Αποτελέσματα μοντέλου για μια τιμή του λ.....	93

Περίληψη

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται την ανάλυση του ρίσκου στις θαλάσσιες μεταφορές. Με δεδομένο ότι το συγκεκριμένο είδος μεταφορών αποτελεί ένα μεγάλο κομμάτι των μεταφορών των εμπορευμάτων σε παγκόσμιο επίπεδο, είναι σημαντικό για τις εταιρίες αν είναι σε θέση να λάβουν τα απαραίτητα μέτρα για το μετριασμό του ρίσκου σε αποδεκτά επίπεδα, χωρίς όμως η όλη διαδικασία να ξεπερνά κάποια όρια, είτε χρονικά, είτε οικονομικά.

Η ποσοτική προσέγγιση της ανάλυσης του ρίσκου, βασίζεται σε μεγάλο βαθμό και στην Θεωρία Πιθανοτήτων. Στην παρούσα εργασία αφού παρουσιαστεί αρχικά το θέμα της ασφάλειας στη θάλασσα και στις συνέπειες των ατυχημάτων, τόσο για τις ανθρώπινες ζωές, το περιβάλλον, αλλά και τη βιωσιμότητα των εταιριών των πλοιοκτητών, θα παρουσιαστεί η δομή της Formal Safety Assessment, καθώς και τα εργαλεία που χρησιμοποιεί για την αξιολόγηση του ρίσκου, εστιάζοντας στα Bayesian Networks, ενώ στη συνέχεια θα γίνει ανάλυση ενός στατικού μοντέλου σε Bayesian Networks που αφορά τις επιθεωρήσεις των πλοίων και τις οικονομικές συνέπειες ενός ατυχήματος. Μετά την ανάλυση θα παρουσιαστούν τα δεδομένα που προέκυψαν από την χρήση κώδικα που κάνει το μοντέλο δυναμικό. Τέλος θα γίνει μια σύγκριση του στατικού μοντέλου με το δυναμικό και θα γίνει σχολιασμός αποτελεσμάτων.

Abstract

The present paper deals with risk analysis in maritime transport. Given that this type of transport is a major part of freight transport worldwide, it is important for companies to be able to take the necessary risk mitigation measures to acceptable levels, but without causing any problems, either in terms of time or in terms of financial resources.

The quantitative approach to risk analysis is largely based on the Probability Theory. In this paper, after presenting the issue of maritime safety and the consequences of accidents, both for human life, the environment and the viability of shipowners' companies, the structure of the Formal Safety Assessment, will be presented, as well as the tools it uses in order to assess risk, focusing on Bayesian Networks. Also, a static model in Bayesian Networks will be analyzed and it will be compared with an upgraded version of the model which is a dynamic one. The dynamic model was created as part of this paper by using programming. Both models are describing the importance of inspections in ships in terms of the financial impact of a possible accident.

Εισαγωγή

Η διαχείριση της ασφάλειας στη θάλασσα βασίζεται σε ένα σύνολο αποδεκτών κανόνων οι οποίοι συμφωνούνται μέσω του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (International Maritime Organization-IMO). Ο IMO υπάγεται στον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών ο οποίος ιδρύθηκε το 1948 και το αντικείμενο είναι όλες οι πτυχές της ασφάλειας στη θάλασσα καθώς και η προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος και έχει 168 Κράτη-Μέλη. Βασικό φόρουμ του IMO, που ασχολείται με τη ναυτιλία, είναι η SOLAS (International Convention on Safety of Life at Sea), δηλαδή η Διεθνής Σύμβαση για την Ασφάλεια της Ζωής στη Θάλασσα, και οι αποφάσεις σχετικά με τους κανονισμούς λαμβάνονται στην Επιτροπή Ναυτικής Ασφάλειας (Maritime Safety Committee-MSC), για όλα τα ζητήματα που αφορούν την ασφάλεια της Ναυτιλίας και στην Επιτροπή Προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (Marine Environment Protection Committee-MEPC) για θέματα που αφορούν την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Ο IMO δεν διαθέτει εκτελεστικά όργανα και η αρμοδιότητα αυτή, ανήκει στα Κράτη-Μέλη ή σε φορείς, όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση, που υιοθετούν ειδική νομοθεσία για θέματα σχετικά με τη την ασφάλεια στη θάλασσα και έχουν την ικανότητα και τη νομική εξουσία να επιβάλλουν ποινές προς συμμόρφωση.

Ένας από τους λόγους που οδήγησαν διεθνείς οργανισμούς να κινητοποιηθούν αναφορικά με τη θεσμοθέτηση κανόνων, ήταν μια σειρά από μεγάλα ατυχήματα, τα οποία πέρα από την αυτονόητη οικονομική ζημιά για τις εταιρείες των πλοιοκτητών, προκάλεσαν απώλεια ανθρώπινων ζώων, αλλά και μόλυνση του περιβάλλοντος, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που τα εμπλεκόμενα πλοία ήταν δεξαμενόπλοια.

Η παρούσα εργασία είναι δομημένη σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος, το οποίο είναι το θεωρητικό, αρχικά αποσαφηνίζονται οι διάφοροι όροι που διατρέχουν σχεδόν το σύνολο της εργασίας. Οι έννοιες αυτές είναι η αβεβαιότητα, η πιθανότητα, οι συνέπειες, το ρίσκο και ο εντοπισμός του, καθώς και το κυρίαρχο θέμα της ασφάλειας. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η δομή της Formal Safety Assessment (FSA), ενώ παρουσιάζονται αναλυτικά τα πέντε βήματα της, συγκεκριμένα ο προσδιορισμός και η αξιολόγηση του κινδύνου, οι επιλογές ελέγχου του κινδύνου, η αξιολόγηση

του κόστους και του οφέλους και τέλος το στάδιο που αφορά τις συστάσεις για τη λήψη αποφάσεων.

Το τέταρτο κεφάλαιο εστιάζει στις επιθεωρήσεις των πλοίων με έμφαση στη Risk Based Inspection, ενώ παρουσιάζονται και τα είδη των επιθεωρήσεων. Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται βασικές μέθοδοι αναγνώρισης και ανάλυσης του ρίσκου, όπως η ανάλυση με δέντρα σφαλμάτων και συμβάντων, η Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), η Hazard and Operability Studies (HAZOP) και η What If Analysis τεχνική. Το έκτο κεφάλαιο εστιάζει σε μια ακόμη ανάλογη τεχνική, αυτή των Bayesian Networks, στην οποία θα εστιάσει το δεύτερο μέρος της εργασίας.

Στο τελευταίο μέρος της εργασίας γίνεται μια εκτενής περιγραφή ενός στατικού μοντέλου που αναπτύχθηκε μέσω του προγράμματος Genie με στόχο την εκτίμηση του κόστους να λάβει χώρα κάποιο ατύχημα. Το μοντέλο αυτό βελτιώθηκε με την χρήση κώδικα και έγινε δυναμικό μοντέλο. Στην συνέχεια γίνεται σύγκριση των δύο μοντέλων και προκύπτουν διάφορα συμπεράσματα για το κατά πόσο αλλάζουν τα εκτιμώμενα κόστη.

Κεφάλαιο 1 Βιβλιογραφική επισκόπηση

Η διαχείριση κινδύνου είναι μια πολύ περιεκτική και απλή διαδικασία, η οποία συμπεριλαμβάνει την αξιολόγηση της επικινδυνότητας, την εκτίμηση κινδύνου και φυσικά τη διαχείριση του, με την έννοια ότι οι προτεινόμενες δράσεις μετριασμού του κινδύνου εφαρμόζονται πλήρως (Wang, 2001). Απλά και μόνο η αξιολόγηση και η εκτίμηση του κινδύνου δεν αρκεί στην περίπτωση που οι συστάσεις μετριασμού του δεν υλοποιούνται σωστά, οπότε σε μια τέτοια περίπτωση η όλη διαδικασία, όσο καλά και αν έχει σχεδιαστεί, δεν έχει τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα (Balkey et al., 1998).

Ο σχεδιασμός επιθεώρησης με βάση τον κίνδυνο (Risk Based Analysis-RBI) σε κάθε κατασκευή αποτελεί μια εφαρμογή της Bayesian ανάλυσης αποφάσεων, με σκοπό να εντοπίσει τη βέλτιστη στρατηγική επιθεώρησης για κάθε είδους κατασκευές (Balkey et al., 1998; Faber, 2002; Straub and Faber, 2005)

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία αναπτύχθηκε από την Αμερικανική Εταιρεία Μηχανολόγων Μηχανικών (ASME), το 1941, αλλά έγινε ιδιαίτερα κοινής χρήσης κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '90 (Dey, 2001; Tan et al., 2011). Αρχικά εφαρμόστηκε στις κατασκευές στην πυρηνική βιομηχανία κατά τη δεκαετία του 1970, αλλά έχει βρει εφαρμογή και σε άλλες βιομηχανίες, όπως είναι οι πετροχημικές κατά τη δεκαετίες του 1980 και του 1990, ενώ στη συνέχεια επεκτάθηκε στους σιδηροδρόμους, στην κατασκευή αεροσκαφών καθώς και στην ναυπήγηση πλοίων (Balkey et al., 1998; Khan et al., 2004; Serratella et al., 2007).

Ο σχεδιασμός της RBI στοχεύει στη βελτιστοποίηση της συχνότητας επιθεώρησης, προκειμένου να αποφευχθούν τυχόν μη αποδεκτοί κίνδυνοι τόσο στα δομικά, όσο και στα λειτουργικά ενός πλοίου. Συγκεκριμένα, η RBI μεθοδολογία του RBI στοχεύει να εντοπίσει τα στοιχεία που έχουν την υψηλότερη πιθανότητα αστοχίας και παράλληλα να οργανώσει ένα σχέδιο, με βάση το οποίο τα επίπεδα κινδύνου θα μειωθούν σε αποδεκτά επίπεδα με ένα αποδεκτό κόστος σε χρήμα και χρόνο (Balkey et al., 1998; Dey, 2001; Khan et al., 2004; Chang et al., 2005).

Με την RBI μεθοδολογία, οι επιθεωρήσεις των πλοίων, κάθε είδους καθίστανται πιο ουσιαστικές αφού είναι δυνατόν να διαχειριστούν αποτελεσματικότερα οι διάφοροι λειτουργικοί περιορισμοί που οδηγούν ένα πλοίο σε ακινησία για μεγάλο διάστημα, αφού φροντίζει για την κατάλληλη διανομή των πόρων, τόσο αναφορικά με τη διαχείριση του κινδύνου, όσο και αναφορικά με το απαιτούμενο κόστος της επιθεώρησης (Guedes-Soares & Ivanov, 1989; Hansen, 1995; Balkey et al., 1998; Conachey et al., 2008).

Όπως θα παρουσιαστεί αναλυτικά, σε επόμενο κεφάλαιο, η RBI ανάλυση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε διάφορα επίπεδα, δηλαδή ποιοτικά, ημι-ποσοτικά και ποσοτικά (Balkey et al., 1998). Η επιλογή της κατάλληλης προσέγγισης βασίζεται σε διάφορες μεταβλητές, όπως είναι ο στόχος της μελέτης, οι διαθέσιμοι πόροι και ο χρόνος, καθώς και η πολυπλοκότητα των εγκαταστάσεων και των διαδικασιών, αλλά και η φύση και η εγκυρότητα των διαθέσιμων δεδομένων (Bea et al., 1996; Vianello et al., 2016). Ο κίνδυνος εκτιμάται συνδυάζοντας την πιθανότητα αποτυχίας και την συνέπεια της αποτυχίας ως συνάρτηση του χρόνου (API 581, 2008).

Σε ένα πολύ περίπλοκο περιβάλλον, όπως η θάλασσα, η ακεραιότητα και ο ασφαλής σχεδιασμός, αλλά και η λειτουργία των συστημάτων ενός πλοίου, είναι σημαντικές αφού οι συνέπειες μιας πιθανής αστοχίας των συστημάτων ενός πλοίου μπορεί να προκαλέσει τραυματισμούς, η ακόμα και απώλεια ανθρώπινων ζωών, απώλεια του πλοίου, οικονομική ζημιά, αλλά και ρύπανση του περιβάλλοντος (Douglas, 1985; DNV, 1991; Ayyub et al., 2002).

Για αυτό το λόγο ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) σχεδίασε τον Διεθνή Κώδικα για τη Διαχείριση της Ασφάλειας (International Safety Management Code-ISM code) (2014) ως ένα εργαλείο αναγνώρισης και αξιολόγησης του ρίσκου για τα πλοία, τους ναυτικούς και το περιβάλλον. Σύμφωνα με το συγκεκριμένο κώδικα, οι ναυτιλιακές εταιρείες θα πρέπει είναι σε θέση να αναγνωρίσουν καταστάσεις έκτακτης ανάγκης λόγω της αστοχίας ενός συστήματος στα πλοία προετοιμάσει και να υλοποιήσει όλες τις απαραίτητες διαδικασίες για να αντιμετωπίσει αυτό το ανεπιθύμητο γεγονός, χωρίς όμως να καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο θα γίνει η εκτίμηση και η αντιμετώπιση τους.

Επιπλέον, η Επιτροπή Ναυτικής Ασφάλειας (Maritime Safety Committee-MSC) είχε εγκρίνει κατευθυντήριες γραμμές για την Formal Safety Assessment (FSA) (IMO/MSC., 2002; Hu, 2007). Η Formal Safety Assessment (FSA) θεωρείται ως το κύριο επιστημονικό εργαλείο για την ανάπτυξη της προληπτικής ασφάλειας (Rosqvist & Tuominen, 2003). Για την επίτευξη των ανωτέρω στόχων, οι κατευθυντήριες γραμμές του IMO σχετικά με την εφαρμογή της FSA συνιστούν την προσέγγιση πέντε σταδίων, η οποία αποτελείται από (Dasgupta, 1998; RINA, 2002; Hu, 2007; Kontovas & Psaraftis, 2009):

- Προσδιορισμό του κινδύνου
- Αξιολόγηση του κινδύνου
- Επιλογές ελέγχου κινδύνου
- Αξιολόγηση κόστους-οφέλους
- Συστάσεις για τη λήψη αποφάσεων

Η FSA αποτελεί μια δομημένη και συστηματική μεθοδολογία η οποία συμβάλλει στην μείωση του ρίσκου και στην ενίσχυση της ασφάλειας με εκτεταμένη χρήση στις θαλάσσιες μεταφορές (Wang & Foinikis, 2001). Πρόκειται για ένα σημαντικό εργαλείο που χρησιμοποιείται για την δημιουργία νέων ή αναθεώρηση υπάρχοντων κανονισμών (Wang & Foinikis, 2001; Lois et al., 2004). Το FSA είναι μια μέθοδος η οποία είναι σύμφωνη με την τωρινή διαδικασία λήψης αποφάσεων του IMO σχετικές με κανονισμούς.

Η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόζεται συχνά στην ναυτιλία, η οποία σύμφωνα με τη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Εμπόριο και την Ανάπτυξη (United Nations Conference on Trade and Development-UNCTAD), είναι το μέσο για τη μεταφορά εμπορευμάτων σε όλο τον πλανήτη. Με δεδομένο τον τεράστιο όγκο των εμπορευμάτων που διακινούνται παγκοσμίως μέσω της θαλάσσιας οδού, αλλά και τη γενικότερη σημασία της Ναυτιλίας, η μεγαλύτερη ανησυχία των πλοιοκτητών και των διαχειριστών είναι η ασφάλεια των πλοίων.

Παράλληλα, από την 1η Ιανουαρίου 2011, η Port State Control Committee (PSCC) του Paris Memorandum (Paris MoU) υιοθέτησε το νέο καθεστώς επιθεώρησης (New Inspection Regime -

NIR) με κύριο στόχο την επιλογή των πλοίων προς επιθεώρηση βάσει του πιθανού κινδύνου. Η NIR ουσιαστικά δρα προς όφελος των καλά διατηρημένων πλοίων αφού μειώνει τις άσκοπες επιθεωρήσεις, ενώ αντιθέτως τα πλοία υψηλού κινδύνου επιθεωρούνται συχνότερα και λεπτομερέστερα.

Οι Heij & Knapp (2012), προτείνουν μια σειρά από εκτιμήσεις του κινδύνου με βάση παράγοντες, όπως είναι ο τύπος του πλοίου, η φύση των εταιρειών και των διαχειριστών του πλοίου, και ιστορικά δεδομένα που αφορούν προηγούμενα ατυχήματα, αποτελέσματα προηγούμενων επιθεωρήσεων, κρατήσεις του πλοίου, κ.ά.. Επιπλέον, οι Ayyub & White (1990) αναφέρουν ότι επιθεωρήσεις που βασίζονται στην RBI μεθοδολογία δεν μειώνουν, με τον καλύτερο από άποψη διαχείρισης πόρων, την πιθανότητα ατυχημάτων, αλλά συντελούν και στο επιμήκυνση του χρόνου ζωής του πλοίου και των συστημάτων του.

Κεφάλαιο 2 Αποσαφήνιση των εννοιών

Στο έγγραφο MSC-MEPC.2/Circ.12 του IMO (2013) παρουσιάζονται μια σειρά από ορισμούς εννοιών οι οποίες είναι σχετικές με την ασφάλεια των πλοίων. Αυτές οι έννοιες, οι οποίες αναφέρονται σε πολλά σημεία της παρούσας εργασίας είναι οι παρακάτω:

2.1.Αβεβαιότητα

Η *αβεβαιότητα* μπορεί να θεωρηθεί ως η άγνοια στο γενικό πλαίσιο της ανθρώπινης γνώσης. Υπάρχουν δύο μορφές αβεβαιότητας που συναντάμε στις επιστήμες. Η πρώτη μορφή αφορά το κατά πόσο μια παράμετρος ή γενικά μια μετρούμενη ποσότητα ποικίλει με έναν τυχαίο τρόπο. Αυτή η μορφή συναντάται συχνά με τις έννοιες *ασάφεια* και μη γνωστική αβεβαιότητα. Η άλλη μορφή ονομάζεται *αβεβαιότητα πληρότητας* και σχετίζεται με το κατά πόσο ένα μοντέλο δέχεται όλες τις πιθανές επιδράσεις του περιβάλλοντος που επηρεάζουν το αντικείμενο που μελετάται. Με άλλα λόγια, σε περίπτωση που χρησιμοποιείται ένα μοντέλο πιθανοτήτων προκειμένου να περιγράψει η εμφάνιση ενός γεγονότος, υπάρχει αβεβαιότητα για το κατά πόσο αυτό το μοντέλο που επιλέχθηκε περιγράφει επαρκώς την πραγματοποίηση του γεγονότος αυτού.

2.2.Πιθανότητα

Ως *πιθανότητα* ορίζεται το κατά πόσο ένα γεγονός αναμένεται να συμβεί σε μια δεδομένη χρονική περίοδο. Η μαθηματική έννοια της πιθανότητας αφορά έναν πραγματικό αριθμό που περιγράφει σε κλίμακα από 0 έως 1 την εμφάνιση ενός τυχαίου γεγονότος. Σε περίπτωση που ένα γεγονός είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα συμβεί η πιθανότητα τείνει στο 1. Στην αντίθετη περίπτωση όταν είναι σχεδόν αδύνατο να συμβεί ένα ενδεχόμενο τότε η τιμή της πιθανότητας τείνει στο 0. Έτσι, μπορεί να οριστεί ως μια σχετική συχνότητα δηλαδή του λόγο πραγματοποίησεως ενός γεγονότος προς το πλήθος πιθανής εμφάνισης αυτού του γεγονότος.

2.3.Συνέπειες

Οι *συνέπειες* είναι το αποτέλεσμα της πραγματοποίησης ενός γεγονότος. Ένα γεγονός μπορεί να έχει περισσότερες από μία συνέπειες οι οποίες μπορεί να είναι ποσοτικές ή ποιοτικές.

2.4.Ρίσκο

Η έννοια του ρίσκου χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της αβεβαιότητας σχετικά με ένα γεγονός. Το ρίσκο μπορεί να οριστεί ως η δυνατότητα να υπάρξουν διαφόρων ειδών απώλειες λόγω της έκθεση σε ένα κίνδυνο. Οι συνέπειες, μαζί με τις επιπτώσεις τους και η πιθανότητα να πραγματοποιηθεί το γεγονός που προκαλεί αυτές τις συνέπειες, αποτελούν τις παραμέτρους από τις οποίες εξαρτάται το ρίσκο. Μια μαθηματική έκφραση του ρίσκου περιλαμβάνει αυτές τις δύο παραμέτρους και δίνεται από την ακόλουθη σχέση.

$$\text{Ρίσκο} = \text{Πιθανότητα(Γεγονός/Χρόνο)} * \text{επιπτώσεις (συνέπειες/χρόνο)}$$

2.5.Εντοπισμός του ρίσκου

Ο εντοπισμός του ρίσκου είναι η διαδικασία κατά την οποία εντοπίζονται οι κίνδυνοι καθώς και συνέπειες αυτών. Η αναγνώριση των κινδύνων γίνεται με τον προσδιορισμό των βλαβών που συμβαίνουν καθώς και τις αντίστοιχες πιθανότητας να συμβούν. Συγκεκριμένα, στα πλοία οι βλάβες ενδέχεται να αφορούν την καταστροφή της αντιδιαβρωτικής επίστρωσης, τις ρωγμές, τη βλάβη στο σύστημα καθοδικής προστασίας, τη βλάβη ηλεκτρολογικού εξοπλισμού ή του συστήματος πηδαλιουχίας κ.α.

2.6.Ασφάλεια

Η έννοια της ασφάλειας ορίζεται ως η κρίση του κατά πόσο το ρίσκο είναι αποδεκτό για ένα σύστημα. Πρόκειται για μια σχετική έννοια καθώς εξαρτάται από την οπτική γωνία που μελετάται. Οι άνθρωποι τείνουν να έχουν διαφορετική αντίληψη του κινδύνου και παράμετροι σε αυτή την διαφοροποίηση μπορεί να είναι ο τόπος κατοικίας, το επάγγελμα, οι ασχολίες και ο γενικότερος τρόπος ζωής ενός ατόμου.

Κεφάλαιο 3 Η Formal Safety Assessment

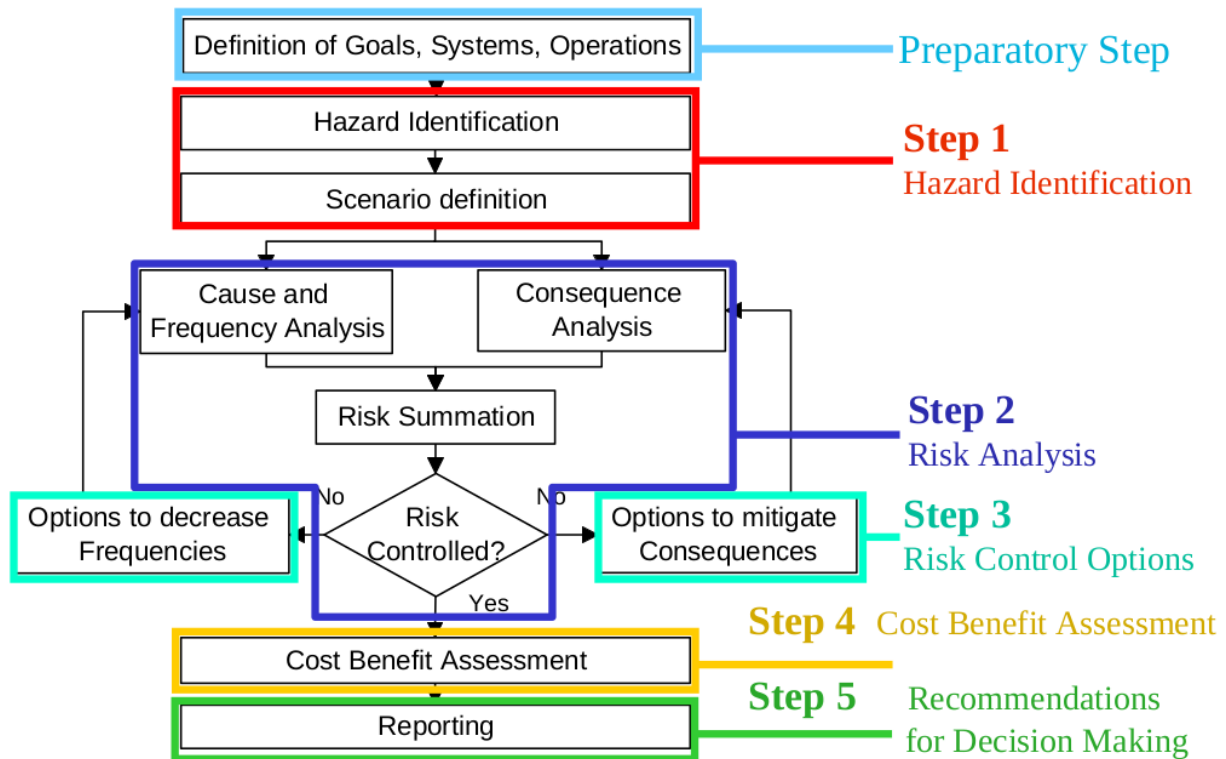
Υπάρχουν τέσσερις προκλήσεις για μια προσέγγιση της σύγχρονης ρύθμισης της ασφάλειας στη θάλασσα. Κάθε τέτοια προσέγγιση οφείλει να είναι (Kontovas & Psaraftis, 2009; IMO, 2013):

- Προληπτική, με την έννοια της πρόληψης των κινδύνων αντί της αντιμετώπισης των ατυχημάτων των οποίων τα αποτελέσματα τους έχουν πάντα σημαντικό κόστος, είτε σε ανθρώπινες ζωές είτε στην ιδιοκτησία, δηλαδή το ίδιο το πλοίο.
- Συστηματική, με την έννοια της χρήσης μιας επίσημης και δομημένης διαδικασίας.
- Διαφανής, με την έννοια ότι πρέπει να είναι σαφής και δικαιολογημένη αναφορικά με το επίπεδο ασφαλείας που επιτυγχάνεται.
- Οικονομικά αποδοτική, με την έννοια της εξεύρεσης της βέλτιστης ισορροπίας μεταξύ ασφάλειας (όσον αφορά τη μείωση του κινδύνου) και του κόστους για τα εμπλεκόμενα μέρη, αναφορικά με τις προτεινόμενες επιλογές ελέγχου κινδύνων.

Η ανάγκη για κανονισμούς λειτουργίας προληπτικής ασφάλειας έχει υποστηριχθεί εκτεταμένα. Η Formal Safety Assessment (FSA) θεωρείται ως το κύριο επιστημονικό εργαλείο για την ανάπτυξη της προληπτικής ασφάλειας. Για την επίτευξη των ανωτέρω στόχων, οι κατευθυντήριες γραμμές του IMO σχετικά με την εφαρμογή της FSA συνιστούν την προσέγγιση πέντε σταδίων, η οποία αποτελείται από (Kontovas & Psaraftis, 2009):

- Προσδιορισμό του κινδύνου
- Αξιολόγηση του κινδύνου
- Επιλογές ελέγχου κινδύνου
- Αξιολόγηση κόστους-οφέλους
- Συστάσεις για τη λήψη αποφάσεων

Μια απεικονιστική προσέγγιση αυτού του πλαισίου δίνεται στο σχήμα 1 το οποίο παρουσιάστηκε από την International Association of Classification Societies (IACS), κατά τη διάρκεια της 75ης συνόδου της Maritime Safety Committee (MSC) το 2002.



Σχήμα 1. Η απεικόνιση της FSA

Η FSA αποτελεί μια δομημένη και συστηματική μεθοδολογία η οποία συμβάλλει στην μείωση του ρίσκου και στην ενίσχυση της ασφάλειας με εκτεταμένη χρήση στις θαλάσσιες μεταφορές. Πρόκειται για ένα σημαντικό εργαλείο που χρησιμοποιείται για την δημιουργία νέων ή αναθεώρηση υπαρχόντων κανονισμών. Το FSA είναι μια μέθοδος η οποία είναι σύμφωνη με την τωρινή διαδικασία λήψης αποφάσεων του IMO σχετικές με κανονισμούς.

3.1. Προκατασκευαστικό στάδιο του FSA

Η διαδικασία FSA ξεκινάει με ένα προπαρασκευαστικό βήμα πριν από το πρώτο βήμα. Κάθε εφαρμογή FSA ξεκινά με αυτό το βήμα, το οποίο είναι ζωτικής σημασίας για την όλη διαδικασία. Ο σκοπός αυτού του βήματος είναι να οριστεί το πρόβλημα που πρόκειται να αξιολογηθεί μαζί με τους όποιους σχετικούς περιορισμούς (στόχους, συστήματα και δράσεις), με την έννοια της εξέτασης των ισχυόντων κανονισμών ή αυτών που πρόκειται να αναπτυχθούν. Κάτι τέτοιο είναι σημαντικό αφού θα καθορίσει το βάθος και την έκταση του κάθε μέτρου που θα εφαρμοστεί από (Kontovas & Psaraftis, 2009):

Στο προκατασκευαστικό στάδιο οι μελετητές οφείλουν να ορίσουν κάποια στοιχεία που θα αφορούν την έρευνά τους. Αρχικά πρέπει να υπάρχει ένας ξεκάθαρος στόχος που προσπαθούν να επιτύχουν. Πρέπει να συμφωνηθεί το αντικείμενο, οι συνθήκες και το σύστημα στις οποίες μελετάται το αντικείμενο αυτό. Επιπροσθέτως, είναι σημαντικό να καθοριστεί ο τύπος του ρίσκου που μελετάται (μείωση κινδύνου προς άτομα ή ιδιοκτησία ή περιβάλλον). Σε αυτό το βήμα είναι καθοριστικός ο ορισμός όλων των παραμέτρων, όπως είναι οι ελλείψεις λειτουργίες ενός πλοίου, οι εξωτερικές επιρροές ή ακόμα και η κατηγορία πλοίων που θα αφορά η κάθε σύσταση. Ασαφής προσδιορισμός αυτών των ενδέχεται να οδηγήσει σε ελλείψεις συστάσεις που μπορεί, μεταξύ άλλων, να οδηγήσουν σε αποκλεισμό από την αξιολόγηση σημαντικών κατηγοριών κινδύνου.

Το συγκεκριμένο βήμα, παρότι περιγράφεται εύκολα, δεν είναι το ίδιο εύκολα υλοποιήσιμο. Οι μελέτες FSA με πολύ μεγάλο εύρος παρουσιάζουν πολλές δυσκολίες, ιδιαίτερα στο συντονισμό της όλης διαδικασίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι περισσότερες μελέτες FSA να χρειάζονται πολύ χρόνο προκειμένου να καταλήξουν σε αποτελέσματα. Επιπλέον, η πληθώρα των δεδομένων εισροής, οι λεπτομέρειες της και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται καθιστούν την αναθεώρηση μιας FSA μια δύσκολη περίπτωση. Για παράδειγμα, η μελέτη IC FSA για τα Bulk Carriers φορτηγών απαιτήσε 2½ έτη για να ολοκληρωθεί (Δεκέμβριος 1999 – Μάιος 2002) (Kontovas & Psaraftis, 2009).

3.2. Προσδιορισμός κινδύνων

Το πρώτο βήμα μιας FSA είναι επίσης γνωστό ως βήμα HAZID (for HAZard IDentification). Οι στόχοι του βήματος είναι πρώτον ο εντοπισμός όλων των πιθανών επικίνδυνων σεναρίων που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε σημαντικές συνέπειες, και δεύτερον η απόδοση σε αυτά προτεραιότητας με βάση το επίπεδο κινδύνου. Ο πρώτος στόχος μπορεί να ικανοποιηθεί με ένα συνδυασμό δημιουργικών και αναλυτικών ασκήσεων οι οποίες αποσκοπούν στον εντοπισμό όλων των σχετικών κινδύνων. Το δημιουργικό μέρος, κυρίως μιας διαδικασίας καταιγισμού ιδεών (brainstorming), είναι να διασφαλιστεί ότι η διαδικασία είναι προληπτική και δεν περιορίζεται μόνο στους κινδύνους που έχουν υλοποιηθεί στο παρελθόν, με την έννοια ότι οι μελετητές οφείλουν να εντοπίσουν πιθανούς μελλοντικούς κινδύνους (IMO, 2013).

Η εύρεση των κινδύνων που σχετίζονται με ένα σύστημα απαιτεί αναλυτικές και δημιουργικές τεχνικές. Η προσπάθεια αυτή μπορεί να γίνει αποτελεσματικά από άτομα που γνωρίζουν το αντικείμενο και να έχουν εμπειρία σε αυτό, ειδικά εάν ο ανθρώπινος παράγοντας έχει μεγάλη επίδραση σε αυτό, καθώς συχνά αποτελεί μια παράμετρος που δύσκολα μπορεί να προβλεφθεί. Επιπλέον, η χρήση στατιστικών δεδομένων και προηγούμενων αναλύσεων αποτελεί καταλυτικός παράγοντας καθώς η γνώση παλαιότερων αστοχιών και ατυχημάτων φανερώνει κινδύνους οι οποίοι πρέπει να περιορίζονται. Με αυτό τον τρόπο ο μελετητής έχει την δυνατότητα να προσδιορίσει τα αίτια του ατυχήματος και τις υπάρχουσες δικλείδες ασφαλείας.

Αναφορικά με τη χρήση των ιστορικών δεδομένων, η πλειοψηφία των FSA, λαμβάνουν υπόψη τους δεδομένα τα οποία είναι διαθέσιμα σε διάφορες βάσεις δεδομένων που αφορούν παρελθόντα ατυχήματα. Είναι κατανοητό ότι εάν υπάρχουν διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα, η ανάλυση μπορεί να προχωρήσει χωρίς να είναι απαραίτητη η διαμόρφωση σεναρίων. Ωστόσο, η συγκεκριμένη χρήση έχει πολλά μειονεκτήματα, με το πιο σημαντικό, το οποίο έχει αναγνωριστεί από τον IMO, να είναι ότι η φιλοσοφία της χρήσης ιστορικών δεδομένων δεν αποτελεί μια προληπτική διαδικασία και συνεπώς δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση νέων κινδύνων, αλλά δεν είναι σε θέση να αξιολογήσει τις επιπτώσεις των πρόσφατα εφαρμοζόμενων επιλογών ελέγχου κινδύνων (Risk Control Options-RCOs), αφού πρέπει να αναμένουν συμβάντα ατυχημάτων ώστε να υπάρχουν τα επαρκή δεδομένα (Kontovas & Psaraftis, 2009).

Ένα άλλο πρόβλημα χρήσης ιστορικών δεδομένων αφορά τον τρόπο δομής των συγκεκριμένων βάσεων δεδομένων ατυχημάτων καθώς και στις πληροφορίες που περιέχονται σε αυτές. Πολλές από αυτές τις βάσεις δεδομένων είναι πιο χρήσιμες για συνολική στατιστική ανάλυση των δεδομένων ατυχημάτων και λιγότερο χρήσιμες για την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς τα πραγματικά αίτια ενός ατυχήματος καθώς και την ακολουθία των γεγονότων που σχετίζονται με αυτό. Ιδιαίτερα το τελευταίο μπορεί να είναι μια εξαιρετικά πολύπλοκη διαδικασία, δεδομένου ότι μια έρευνας ατυχημάτων μπορεί να πάρει χρόνια για να ολοκληρωθεί.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι η χρήση δεδομένων από βάσεις οι οποίες έχουν ελλείψεις ή ακόμα και λανθασμένες πληροφορίες είναι πιθανό να ανατρέψει πλήρως τα βήματα της ανάλυσης που πρόκειται να ακολουθήσουν, ιδίως όσον αφορά τα μέτρα που αφορούν τα μέτρα

της μείωσης του κινδύνου (Devanney, 2008). Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις, ειδικά σε απλές μελέτες FSA, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ιστορικά δεδομένα, με προσοχή στις βάσεις δεδομένων ατυχημάτων που θα χρησιμοποιηθούν και ιδιαίτερα σε αυτά που αφορούν τη σωστή αναγνώριση των αιτιών ενός ατυχήματος. Ως μια εναλλακτική λύση, προτείνεται η πιθανολογική μοντελοποίηση των σφαλμάτων και η ανάπτυξη ακραίων σεναρίων. Η μοντελοποίηση προτείνεται ως μια εναλλακτική λύση στις κατευθυντήριες γραμμές του IMO για τις FSA, με μια ποικιλία τυπικών μεθόδων, όπως τα δέντρα σφάλματος, τα δέντρα συμβάντων, τα διαγράμματα επιρροής, την Ανάλυση Αξιοπιστίας Ανθρώπινου παράγοντα (Human Reliability Analysis-HRA), η Ανάλυση Ανθρώπινου Στοιχείου (Human Element Analyzing Process HEAP) και ενδεχομένως και άλλα (Kontovas & Psaraftis, 2009).

Πριν ολοκληρωθεί το βήμα είναι απαραίτητο να προκύψει μια κατάταξη με σειρά προτεραιότητας των κινδύνων που σχετίζονται με το αντικείμενο μελέτης δίχως να γίνεται σε αυτό στάδιο εκτενής μελέτη για αυτή την ταξινόμηση. Η ταξινόμηση των κινδύνων αποτελεί το δεύτερο στόχος του πρώτου βήματος με σκοπό να απορρίψει τα σενάρια που κρίνονται μικρής σημασίας. Η κατάταξη τους γίνεται συνήθως με χρήση των διαθέσιμων δεδομένων και τη μοντελοποίηση. Για το σκοπό αυτό, μια ομάδα εμπειρογνομόνων χρησιμοποιείται για την κατάταξη των κινδύνων που συνδέονται με ένα σενάριο ατυχημάτων, όπου κάθε εμπειρογνώμονας αναπτύσσει έναν κατάλογο που ξεκινάει από τους περισσότερους σημαντικούς κινδύνους.

Οι πίνακες κινδύνου (Risk Matrix), όπως περιγράφονται από τον IMO, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ταξινόμηση του κινδύνου κατά σειρά σημασίας. Ένας τέτοιος πίνακας διαιρεί τις διαστάσεις της συχνότητας και των συνεπειών σε κατηγορίες. Κάθε κίνδυνος κατατάσσεται σε μια κατηγορία συχνότητας και μια κατηγορία συνεπειών και ο πίνακας παρέχει στη συνέχεια μια μορφή αξιολόγησης ή κατάταξης του ρίσκου που συνδέεται με τον εν λόγω κίνδυνο (IMO, 2013). Συγκεκριμένα, ο IMO προτείνει ένα πίνακα κινδύνου με 7 γραμμές και 4 στήλες (διάσταση 7x4). Οι περισσότερες γραμμές αντικατοπτρίζουν τις μεγαλύτερες δυνατότητες διακύμανσης των συχνοτήτων σε σχέση με αυτές των συνεπειών. Για τη διευκόλυνση της κατάταξης και της επικύρωσης των δεικτών συνεπειών και της συχνότητας, αυτοί καθορίζονται σε λογαριθμική κλίμακα. Το λεγόμενο *risk index* (δείκτης κινδύνου) καθορίζεται με βάση τις παρακάτω ισοδύναμες εξισώσεις, όπου Log είναι ο λογάριθμος με το 10.

$$\text{Κίνδυνος} = \text{Πιθανότητα} \times \text{Συνέπειες}$$

$$\text{Log (Κίνδυνος)} = \text{Log(Πιθανότητα)} + \text{Log(Συνέπειες)}$$

Θεωρώντας τον Πίνακα 1 που περιγράφει τις συχνότητες και τον Πίνακα 2 που περιγράφει τις συνέπειες, τότε προκύπτει ο πίνακας κινδύνου (Πίνακας 3) με βάση τη σχέση:

$$\text{Risk Index} = \text{Frequency Index} + \text{Severity Index}$$

Πίνακας 1 Frequency Index [MSC Circ. 1023]

Frequency Index			
FI	FREQUENCY	DEFINITION	F (per ship year)
7	Frequent	Likely to occur once per month on one ship	10
5	Reasonably probable	Likely to occur once per year in a fleet of 10 ships, i.e. likely to occur a few times during the ship's life	0.1
3	Remote	Likely to occur once per year in a fleet of 1000 ships, i.e. likely to occur in the total life of several similar ships	10^{-3}
1	Extremely remote	Likely to occur once in the lifetime (20 years) of a world fleet of 5000 ships.	10^{-5}

Πίνακας 2 Severity Index [MSC Circ. 1023]

Severity Index				
SI	SEVERITY	EFFECTS ON HUMAN SAFETY	EFFECTS ON SHIP	S (Equivalent fatalities)
1	Minor	Single or minor injuries	Local equipment damage	0.01
2	Significant	Multiple or severe injuries	Non-severe ship damage	0.1
3	Severe	Single fatality or multiple severe injuries	Severe damage	1
4	Catastrophic	Multiple fatalities	Total loss	10

Πίνακας 3 Risk Index [MSC Circ. 1023]

Risk Index (RI)					
FI	FREQUENCY	SEVERITY (SI)			
		1	2	3	4
		Minor	Significant	Severe	Catastrophic
7	Frequent	8	9	10	11
6		7	8	9	10
5	Reasonably probable	6	7	8	9
4		5	6	7	8
3	Remote	4	5	6	7
2		3	4	5	6
1	Extremely remote	2	3	4	5

3.3. Αξιολόγηση του κινδύνου

Με την ολοκλήρωση του πρώτου βήματος όπου έχει προσδιοριστεί η γενική εικόνα του προβλήματος ξεκινά η προσπάθεια για περαιτέρω κατανόησή του. Πρόκειται για μια λεπτομερή έρευνα των αιτιών, των γεγονότων και των συνεπειών που αφορούν τα πιο σημαντικά σεναρία ατυχημάτων τα οποία βρέθηκαν στο πρώτο βήμα. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο σκοπός αυτού του βήματος είναι η διεξοδική διερεύνηση των αιτιών και συνεπειών των πιο σημαντικών σεναρίων, εκείνων δηλαδή που εντοπίστηκαν στο προηγούμενο βήμα, προκειμένου να επικεντρωθούν σε περιοχές υψηλού κινδύνου (IMO, 2013).

Υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους πραγματοποιείται αυτή η διαδικασία. Για κάθε ζήτημα που εξετάζεται ορισμένοι μέθοδοι είναι πιο αποδοτικοί ενώ άλλοι δίνουν μεγαλύτερη αβεβαιότητα για την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων. Μεγάλη επίδραση στην επιλογή αυτή έχει η ύπαρξη ή μη και ο τύπος των δεδομένων του προβλήματος. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν δεδομένα για την ανάλυση του ρίσκου πολλές φορές χρησιμοποιούνται τεχνικές όπως είναι η προσομοίωση με κάποιο μοντέλο και μαθηματικοί υπολογισμοί. Συνήθως υπάρχουν κάποια δεδομένα που αφορούν το εξεταζόμενο αντικείμενο που εκφράζουν είτε ποσότητα είτε ποιότητα. Ανάλογα με την φύση του αντικειμένου υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη σε κάποιον από αυτούς τους δύο τύπους δεδομένων (Kontovas & Psaraftis, 2009).

Η εκτίμηση του ρίσκου που σχετίζεται με τον κίνδυνο που εντοπίστηκε στο Βήμα 1 αρχίζει με την εκτίμηση της συχνότητας. Στις περισσότερες FSA μελέτες η συγκεκριμένη συχνότητα δίνεται ως εξής κλάσμα:

$$F = \frac{\text{Αριθμός ατυχημάτων}}{\text{Ηλικία του πλοίου}}$$

Επιπλέον, οι περισσότερες FSA που υποβλήθηκαν στον IMO ποσοτικοποιούν τις συνέπειες χρησιμοποιώντας την Πιθανή Απώλεια Ζωής (Potential Loss of Life (PLL)). Ο λόγος PLL ορίζεται ως:

$$PPL = \frac{\text{Αριθμός Θανάτων}}{\text{Ηλικία του πλοίου}}$$

Πρέπει να τονιστεί η ανάγκη της ουσιαστικής σύνδεσής αυτού του βήματος με το προηγούμενο. Η πιθανή πηγή όλων των προβλημάτων είναι το γεγονός ότι οι περισσότερες μελέτες αποφεύγουν τις πιθανοθεωρητικές μεθόδους, μολονότι είναι διαθέσιμο το σχετικό οπλοστάσιο, και χρησιμοποιούν τα ιστορικά δεδομένα ατυχημάτων και τις συχνότητες. Επιπλέον, οι συνέπειες μπορεί να ποικίλουν από την απώλεια πλοίων έως την απώλεια ανθρωπίνων ζώων και τις περιβαλλοντικές συνέπειες (Kontovas & Psaraftis, 2009).

Λαμβανομένων υπόψη των πιθανών παγίδων της ποσοτικοποίησης του κινδύνου όπως εφαρμόζεται επί του παρόντος (μέσω της προσέγγιση του δείκτη κινδύνου), είναι ωφέλιμο να επινοηθεί ένα βελτιωμένο ποσοτικό σχέδιο, ή να χρησιμοποιηθεί ένα ποιοτικό σχέδιο, το οποίο δεν θα χρησιμοποιεί αριθμούς, αλλά θα κατατάσσει τον κίνδυνο μόνο με ποιοτικά κριτήρια, με σκοπό τη μεγαλύτερη αξιοπιστία ή τουλάχιστον με την προοπτική να είναι λιγότερο επιρρεπείς στα προβλήματα των ποσοτικών προσεγγίσεων. Με απλά λόγια, μια ποιοτική προσέγγιση μπορεί να είναι καλύτερη από μια προβληματική ποσοτική προσέγγιση.

3.4. Επιλογές ελέγχου κινδύνου

Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές της FSA, ο σκοπός του Βήματος 3 είναι να προτείνει αποτελεσματικές και πρακτικές Επιλογές Ελέγχου Κινδύνων (Risk Control Options-RCOs) που θα περιλαμβάνουν τα ακόλουθα τέσσερα κύρια στάδια (Kontovas & Psaraftis, 2009).

- εστίαση στις περιοχές κινδύνου που χρειάζονται έλεγχο,
- εντοπισμός δυνητικών μέτρων ελέγχου κινδύνων (MEK) (Risk Control Measures-RCMs),
- αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των RCM για τη μείωση του κινδύνου με την επανεξέταση του Βήματος 2, και
- ομαδοποίηση των RCM σε πρακτικές ρυθμιστικές επιλογές.

Τα Μέτρα Ελέγχου Κινδύνου, μέσω συναντήσεων εμπειρογνομώνων, συνδυάζονται σε πιθανούς Επιλογές Ελέγχου Κινδύνου. Τα κριτήρια της ομαδοποίησης τους μπορεί να διαφέρουν. Μπορεί να οφείλονται απλά σε μια απόφαση των εμπειρογνομώνων ή μπορεί να οφείλονται στο γεγονός ότι τα RCM αποτρέπουν το σύστημα να υποστεί την ίδια βλάβη ή το ίδιο είδος ατυχήματος. Η ομαδοποίηση των RCMs είναι πολύ σημαντικά, αλλά πιο σημαντική είναι η ομαδοποίηση των RCOs.

Το αποτέλεσμα αυτού του βήματος της FSA είναι μια λίστα των RCO που θα αναλυθούν στο επόμενο βήμα αναφορικά με την αποτελεσματικότητα κόστους και οφέλους τους. Επισημαίνεται ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις, το στάδιο λήψης αποφάσεων της διαδικασίας FSA βασίζεται μόνο στην εφαρμογή ενός ενιαίου RCO. Έτσι, οι περισσότερες μελέτες FSA δεν συμπεριλαμβάνουν συνδυασμό RCO στις λίστες τους. Σε περιπτώσεις όπου δύο ή περισσότεροι στοιχειώδεις RCO εισάγονται ταυτόχρονα, ο υπολογισμός της μείωσης του ρίσκου, καθώς και της σχέσης κόστους-οφέλους δεν είναι απλή διαδικασία.

Επιπλέον, οι RCO που πρόκειται να αναλυθούν στο επόμενο βήμα, θα είναι αυτοί που είτε θα μειώσουν το κίνδυνο σε ένα ελάχιστο αποδεκτό επίπεδο ή θα παρέχουν υψηλό ποσοστό μείωσης. Έτσι, ένας πολύ σημαντικός σκοπός σε αυτό το βήμα, είναι να εκτιμηθεί η μείωση του ρίσκου που σχετίζεται με κάθε RCO. Σε κάθε περίπτωση, η μοντελοποίηση θα πρέπει να χρησιμοποιείται

όπου είναι δυνατόν, αφού οι αναλυτές κινδύνου δεν πρέπει να βασίζονται μόνο σε ιστορικά δεδομένα (IMO, 2013).

Είναι σαφές ότι αυτό το βήμα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη γνώμη των εμπειρογνομόνων. Η παροχή μιας αριθμητικής εκτίμησης για το ρίσκο, με βάση τα ιστορικά δεδομένα, δεν μπορεί να είναι προβλεπτική, με την ακριβή έννοια της λέξης, και σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να είναι αμφισβητήσιμη. Επίσης, η πρόβλεψη της μείωσης του κινδύνου μόνο με τη χρήση εμπειρογνωμοσύνης μπορεί να τεθεί υπό αμφισβήτηση, έστω και αν επιτευχθεί μέσω αξιόπιστων τεχνικών όπως η Delphi, όπως για παράδειγμα, η FSA για πετρελαιοφόρα αργού πετρελαίου (έγγραφο MEPC 58 / INF.2; IMO, 2008a).

Αναφορικά με την εξάρτηση των RCO, αξίζει να σημειωθεί ότι το IACS υπέβαλε το 2004 το έγγραφο MSC 78/19/1 (IMO, 2004), όπου σχολιαζόταν η αλληλεπίδραση των RCOs και προτεινόταν μια ελάχιστη ποιοτική αξιολόγηση αλληλοεπιδράσεων τους, ενώ το 2006, το ίδιο θέμα συζητήθηκε περαιτέρω στο MSC 81 (παράρτημα 1 του εγγράφου MSC 83 / INF.2, IMO, 2007). Οι αλληλεξαρτήσεις των RCO πρέπει να εξεταστούν πολύ προσεκτικά, και επιπλέον προτείνεται να συμπεριλαμβάνεται ένας εύλογος συνδυασμός των RCO με τη μορφή ενός «ενιαίου» RCO, αφού η ταυτόχρονη εισαγωγή περισσότερων του ενός RCO, μπορεί μερικές φορές να αποδειχθεί καλύτερη από τη χρήση ενός ενιαίου RCO όσον αφορά τη μείωση του κινδύνου καθώς και τη καλύτερη σχέση κόστους/αποτελεσματικότητας, όπως για παράδειγμα η υποβαλλόμενη FSA σε κρουαζιερόπλοια (έγγραφο MSC 85/17/1, IMO, 2008b), η οποία περιείχε ένα συνδυασμό RCO με τη μορφή μιας «ενιαίας» επιλογής.

3.5. Αξιολόγηση κόστους-οφέλους

Και αυτό το βήμα είναι ένα πολύ σημαντικό βήμα μιας μελέτης FSA, αφού όλες οι βασικές ποιοτικές εκτιμήσεις ολοκληρώνονται σε αυτό βήμα. Το Βήμα 4 όμως είναι και ένα ευάλωτο βήμα, υπό την έννοια ότι περιλαμβάνει πολλές υποθέσεις σε ένα μεγάλο αριθμό μεταβλητών και ως εκ τούτου υπάρχει κίνδυνος λανθασμένων συμπερασμάτων ή ακόμη και «χειραγώγησης» στην περίπτωση που αυτά δεν είναι πλήρως αιτιολογημένα (IMO, 2013).

Σκοπός του συγκεκριμένου βήματος είναι να προσδιορίσει, αλλά και να συγκρίνει τα οφέλη και το κόστος που συνδέονται με την εφαρμογή κάθε RCO που προσδιορίστηκε στο προηγούμενο βήμα. Πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια ποσοτική προσέγγιση για την εκτίμηση και τη σύγκριση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας κάθε επιλογής, όσον αφορά τη μείωση του κόστους ανά μονάδα κινδύνου (Kontovas & Psaraftis, 2009).

Ο όρος «χειραγώγηση» μπορεί να ακούγεται περίεργος ή ακόμα και προσβλητικός. Όμως, σε μια FSA μελέτη οι διάφορες υποθέσεις που γίνονται, με σκοπό την κατάληξη σε ένα εκ των προτέρων επιθυμητό αποτέλεσμα, αναφορικά με ό,τι ένα RCO μπορεί να συστήσει και τι όχι, θα πρέπει να αποφεύγονται. Αν και κατά κανόνα, η ακεραιότητα των αναλυτών FSA είναι άψογη, με τα δυνητικά τεράστια συμφέροντα που επηρεάζονται από το αποτέλεσμα μιας μελέτης FSA, οι περιπτώσεις χειραγώγησης δεν μπορούν να αποκλειστούν, ενώ επισημαίνεται ότι είναι επιζήμιες για την αξιοπιστία της.

Εύλογα τίθεται το ερώτημα, ποια είναι τα πιθανά «παραθυράκια χειραγώγησης» σε μια διαδικασία FSA, αλλά το κυριότερο τι μπορεί να γίνει ώστε αυτά να καταστούν ανενεργά και η όλη διαδικασία να καταστεί πιο διαφανής. Λόγω του μεγάλου αριθμού των μεταβλητών και των υποθέσεων σε πολλά από αυτά τα προβλήματα, ως δείγμα καλής πρακτικής, ο αναλυτής μιας FSA οφείλει να αναφέρει ρητά όλες τις παραδοχές για τη μοντελοποίηση των κινδύνων που έγιναν κατά την εκτίμηση κόστους-οφέλους και να αξιολογήσει την κατεύθυνση της μεροληψίας, είτε με τη μορφή υπερεκτίμησης, είτε με τη μορφή υποεκτίμησης, που προκύπτει για κάθε μία από αυτές τις παραδοχές (Kontovas & Psaraftis, 2009).

Γενικά, η συνιστώσα κόστους αποτελείται από το εφάπαξ (αρχικό) και το λειτουργικό κόστος ενός RCO, που συσσωρεύεται κατά τη διάρκεια ζωής του συστήματος. Η συνιστώσα της ωφέλειας είναι πολύ πιο περίπλοκη. Μπορεί να αφορά μια μείωση στον αριθμό των απωλειών ζωής ή κάποιο όφελος για το περιβάλλον, αλλά ακόμα και οικονομικό όφελος με την έννοια της πρόληψης για την ολοσχερή απώλεια ενός πλοίου. Το κόστος συνήθως εκφράζεται σε νομισματικές μονάδες και είναι καλό να χρησιμοποιείται ένας κοινός παρονομαστής, ώστε να αποδίδεται μια νομισματική αξία και στο όφελος.

Μετά τις εκτιμήσεις σχετικά με το κόστος και το όφελος, οι τιμές αυτές πρέπει να συνδυαστούν με τη μείωση του κινδύνου. Υπάρχουν διάφοροι δείκτες που εκφράζουν την αποτελεσματικότητα ενός RCO, αλλά περισσότερο χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές FSA το λεγόμενο κόστος αποτροπής απώλειας (Cost of Averting a Fatality-CAF) το οποίο εκφράζεται σε δύο μορφές: ακαθάριστο (Gross Cost of Averting a Fatality-GCAF) και καθαρό (Net Cost of Averting a Fatality-NCAF) (Kontovas & Psaraftis, 2009).

$$\text{Gross Cost of Averting a Fatality} \quad \text{GCAF} = \frac{\Delta C}{\Delta R}$$

$$\text{Net Cost of Averting a Fatality} \quad \text{NCAF} = \frac{\Delta C - \Delta B}{\Delta R}$$

όπου ΔC είναι το κόστος ανά πλοίο που προκύπτει από την εφαρμογή του RCO, ΔB είναι το οικονομικό όφελος ανά πλοίο που προκύπτει από την εφαρμογή του RCO και ΔR είναι η μείωση του κινδύνου ανά πλοίο, με την έννοια του αριθμού των θανατηφόρων περιπτώσεων που αποφεύγονται από την εφαρμογή του RCO.

Σε αυτό το στάδιο η μείωση του κινδύνου (ή ΔR) δεν υπολογίζεται ως το προϊόν της πιθανότητας και των συνεπειών, αλλά από την άποψη της μείωσης του αναμενόμενου αριθμού θνησιμότητας μετά την εφαρμογή του συγκεκριμένου RCO. Αυτό συνεπάγεται μια μάλλον στενή προοπτική, αφού εξετάζονται μόνο συνέπειες που συνεπάγονται θανάτους, τραυματισμούς και γενικά επιπτώσεις στην υγεία του προσωπικού, αλλά γίνεται προσπάθεια και για επέκταση αναφορικά με τις περιβαλλοντικές συνέπειες. Με το ΔR , όπως ορίζεται παραπάνω, θεωρείται ότι υπάρχει ένας υπάρχει αξιόπιστος τρόπος εκτίμησης του για ένα συγκεκριμένο RCO. Αυτό δεν θεωρείται ότι είναι εύκολο να εκτιμηθεί αφού ο αναμενόμενος αριθμός απωλειών ζωής σε ένα θαλάσσιο ατύχημα μπορεί να εξαρτάται από παράγοντες που είναι δύσκολο ή αδύνατο να ποσοτικοποιηθούν ή να διαμορφωθούν, όπως είναι για παράδειγμα η εκπαίδευση και η υγεία του πληρώματος, η θέση του πληρώματος στο πλοίο κατά τη στιγμή του ατυχήματος και άλλοι τυχαίοι παράγοντες, όπως είναι για παράδειγμα το ολισθηρό κατάστρωμα.

Ένα κυρίαρχο στις FSA μελέτες, είναι το κριτήριο \$ 3M, δηλαδή το κριτήριο των τριών εκατομμυρίων δολαρίων, όπως αναφέρεται στο έγγραφο MSC 78/19/2. Σύμφωνα με αυτό, προκειμένου ένα προτεινόμενο RCO να τεθεί σε εφαρμογή (που να καλύπτει τον απώλεια ζωής, τραυματισμών και κακής υγείας), πρέπει να δώσει μια τιμή CAF, NCAF και την GCAF, κάτω από 3 εκατομμύρια δολάρια. Εάν δεν συμβαίνει αυτό, τότε το RCO απορρίπτεται (Kontovas & Psaraftis, 2009).

Για παράδειγμα, αν για ένα συγκεκριμένο RCO, ο τύπος NCAF δίνει

$$\text{NCAF} = \frac{\Delta C - \Delta B}{\Delta R} < \$ 3M$$

οπότε πρέπει $\Delta C - \Delta B < \$ 3M \cdot \Delta R$ ή αλλιώς $\Delta C < \$ 3M \cdot \Delta R + \Delta B$

Σύμφωνα με το συγκεκριμένο κριτήριο προκειμένου να γίνει αποδεκτό το RCO, πρέπει να τα ΔC , ΔR και ΔB να συνδέονται με την τελευταία σχέση. Αντίστοιχα, ο τύπος GCAF δίνει

$$\text{GCAF} = \frac{\Delta C}{\Delta R} < \$ 3M$$

οπότε πρέπει να είναι τα ΔC και ΔR να συνδέονται με τη σχέση $\Delta C < \$ 3M \cdot \Delta R$.

Παρατηρώντας τον πρώτο τύπο, αν είναι $\Delta B > 0$, μια λογική παραδοχή, αν το συγκεκριμένο RCO είναι πιθανό να οδηγήσει σε κάποια οικονομικά οφέλη, τότε αν το RCO ικανοποιεί το κριτήριο GCAF, δηλαδή $\Delta C < \$ 3M \cdot \Delta R$, τότε θα ικανοποιείται πάντα και το κριτήριο NCAF, δηλαδή $\Delta C < \$ 3M \cdot \Delta R + \Delta B$. Υπό την έννοια αυτή, το κριτήριο GCAF καλύπτει και το κριτήριο NCAF, χωρίς απαραίτητα να συμβαίνει και το αντίστροφο.

Εύλογα τίθεται το ερώτημα τι συμβαίνει όταν αυτά τα κριτήρια ικανοποιούνται συγχρόνως για περισσότερα από ένα υποψήφια RCO. Αυτό είναι και το τελευταίο στάδιο αυτού του βήματος, δηλαδή η ταξινόμηση των RCOs χρησιμοποιώντας μια προοπτική κόστους-οφέλους με σκοπό τη διευκόλυνση της λήψης των αποφάσεων. Τις περισσότερες φορές, αυτό που χρησιμοποιείται είναι

το κριτήριο ότι όσο χαμηλότερο είναι το CAF ενός RCO, τόσο μεγαλύτερη προτεραιότητα πρέπει να δοθεί στην εφαρμογή του.

Όταν οι τιμές των GCAF και NCAF είναι θετικές, γίνονται εύκολα κατανοητά. Ωστόσο, όταν η αξία του NCAF γίνεται αρνητική, αυτό μπορεί να προκαλεί σύγχυση. Αν είναι, για παράδειγμα, $NCAF < 0$ τότε είναι:

$$NCAF = \frac{\Delta C - \Delta B}{\Delta R} < 0$$

άρα $\Delta C - \Delta B < 0$. Μια αρνητική τιμή του NCAF σημαίνει ότι τα οφέλη, σε νομισματικές μονάδες, είναι υψηλότερα από το σχετικό κόστος ενός RCO. Όπως προτείνεται στο έγγραφο MSC 76/5/12, κατά τη σύγκριση των RCO των οποίων οι τιμές των NCAF είναι αρνητικές, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η απόλυτη τιμή της διαφοράς $\Delta C - \Delta B$.

Για τη σύγκριση και την κατάταξη των RCO προτείνονται τα εξής (Kontovas & Psaraftis, 2009).

- Το GCAF θα πρέπει να έχει ιεραρχικά υψηλότερη προτεραιότητα από το NCAF.
- Σε περιπτώσεις που οι τιμές των NCAFs είναι αρνητικές πρέπει να υπολογίζεται το GCAF και εάν το GCAF έχει αποδεκτή αξία, τότε θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το NCAF.
- Η αλληλεπίδραση των RCOs απαιτεί τον εκ νέου υπολογισμό των CAF. Γενικά η πρόταση δύο ανεξάρτητων RCO δεν υποδηλώνει κατ'ανάγκη και την πρόταση για ταυτόχρονη εφαρμογή και των δύο.

Ένα άλλο μεγάλο κεφάλαιο στις FSA αφορά τα περιβαλλοντικά κριτήρια. Στη 55η σύνοδο του MEPC (Οκτώβριος 2006), ο IMO αποφάσισε να ενεργήσει επί του συγκεκριμένου θέματος. Ένα σημαντικό θέμα στο παράρτημα 3 του εγγράφου MEPC 55/18 ήταν ο ορισμός και η ανάλυση των κριτηρίων αξιολόγησης κινδύνου για διαρροές, εξαιτίας ατυχήματος, στο περιβάλλον, και ειδικά για τις διαρροές πετρελαίου. Η συζήτηση για το θέμα αυτό προκάλεσε σε σημαντικό βαθμό την έκθεση του ερευνητικού έργου SAFEDOR της E.E. (Skjong et al, 2005) στην οποία καθορίστηκε το κριτήριο του CATS (Cost to Avert one Tonne of Spilled oil), δηλαδή το κόστος για την

απομάκρυνση ενός τόνου χυμένου πετρελαίου, ως περιβαλλοντικό κριτήριο ισοδύναμο με το CAF. Σύμφωνα με το κριτήριο CATS, ένα RCO που στοχεύει στη μείωση περιβαλλοντικού κινδύνου θα πρέπει υιοθετείται εάν η τιμή του CATS, που ορίζεται ως ο λόγος του αναμενόμενου κόστους για την εφαρμογή αυτού του RCO διαιρούμενο με το αναμενόμενο κόστος απομάκρυνσής του πετρελαίου, είναι κάτω από ένα καθορισμένο όριο, διαφορετικά θα πρέπει να απορρίπτεται. Στην έκθεση SAFEDOR, μια τιμή του CATS περίπου στα \$60.000 ανά τόνο πετρελαίου που διέρρευσε, θεωρήθηκε μια βάση για μια σειρά μοντέλων.

Το ζήτημα που προκάλεσε τη συζήτηση στον IMO σχετικά με τα περιβαλλοντικά κριτήρια ήταν η συγκεκριμένη προτεινόμενη τιμή για το κριτήριο CATS, αφού δεν μπορεί να βρει παντού εφαρμογή. Ο Etkin (2000), αναφέρει μια πληθώρα περιπτώσεων όπου το μέσο κόστος καθαρισμού (\$/τόνο με τιμές δολαρίου στα επίπεδα του 1999), ήταν από 6,09 στη Μοζαμβίκη, 438,68 στην Ισπανία, 3.082,80 στο Ηνωμένο Βασίλειο, 25.614 (ΗΠΑ) μέχρι και την ακραία τιμή των 76.589 για την περιοχή της Μαλαισίας. Είναι χαρακτηριστικό ότι ο καθαρισμός της πετρελαιοκηλίδας του Exxon Valdez, των 37.000 τόνων αργού πετρελαίου, είχε κόστος καθαρισμού 107.000 \$/τόνο (τιμές του 2007), ενώ το κόστος καθαρισμού της πετρελαιοκηλίδας τους Braer, των 85.000 τόνων ήταν πολύ χαμηλότερο, στα επίπεδα των \$ 6/τόνο. Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η εφαρμογή μιας συγκεκριμένης τιμής ως βάση αναφοράς δεν είναι απαραίτητα εφαρμόσιμη, ενώ έχει αμφισβητηθεί έντονα από ναυτιλιακές που δραστηριοποιούνται στη μεταφορά πετρελαίου.

3.6. Συστάσεις για τη λήψη αποφάσεων

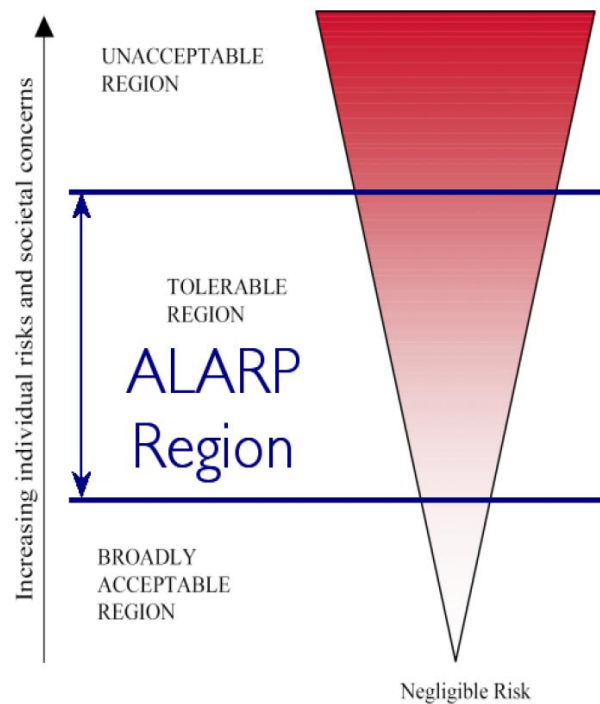
Το τελικό βήμα της FSA στοχεύει στη διατύπωση συστάσεων προς τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων για τη βελτίωση της ασφάλειας λαμβάνοντας υπόψη τα ευρήματα και των τεσσάρων προηγούμενων βημάτων. Τα προτεινόμενα RCO πρέπει να μειώνουν τον κίνδυνο σε ένα επιθυμητό σημείο και να είναι αποδοτικά.

Οι κατευθυντήριες γραμμές του IMO υποδηλώνουν ότι θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ατομικοί και οι κοινωνικοί τύποι (Individual and Societal Types) κινδύνου για τα μέλη του πληρώματος, τους επιβάτες αλλά και τους τρίτους. Ως ατομικός κίνδυνος μπορεί να θεωρηθεί ο κίνδυνος για ένα άτομο που είναι σε απομόνωση, ενώ ο κοινωνικός κίνδυνος ως ο κίνδυνος για

την κοινωνία με την έννοια ότι ένα ατύχημα ενδέχεται να αφορά περισσότερα από ένα άτομα. Για την ανάλυση αυτών των κινδύνων είναι χρήσιμη η αναφορά στα επίπεδα κινδύνου.

Σύμφωνα με το πλαίσιο του Health and Safety Executive's (HSE, Ηνωμένο Βασίλειο) για την ανοχή κινδύνου, υπάρχουν τρεις περιοχές κινδύνου (HSE, 2001). Η πρώτη περιοχή αναφέρεται ως Μη Αποδεκτός Κίνδυνος (Unacceptable Risk) και αναφέρεται στον κίνδυνο που προκύπτει από την υψηλή συχνότητα ατυχημάτων και τον υψηλό αριθμό θανάτων, και πρέπει είτε να απαγορεύεται, είτε να μειώνεται με οποιοδήποτε κόστος.

Μεταξύ αυτής της περιοχής και της περιοχής του Αποδεκτού Κινδύνου (Acceptable Risk), όπου δεν χρειάζεται να ληφθούν μέτρα, υπάρχει η περιοχή που αναφέρεται ως "As Low As Reasonable Practicable-ALARP". Ο κίνδυνος που ανήκει σε αυτήν την περιοχή θα πρέπει να μειωθεί έως ότου δεν είναι πλέον λογικό, δηλαδή οικονομικά εφικτό, να μειωθεί περαιτέρω. Η αποδοχή μιας δραστηριότητας της οποίας ο κίνδυνος εμπίπτει στην περιοχή ALARP εξαρτάται από το την ανάλυση κόστους-οφέλους. Αυτές οι περιοχές απεικονίζονται στο ακόλουθο σχήμα 2.



Σχήμα 2 Tolerability of Risk Framework (HSE, 2001)

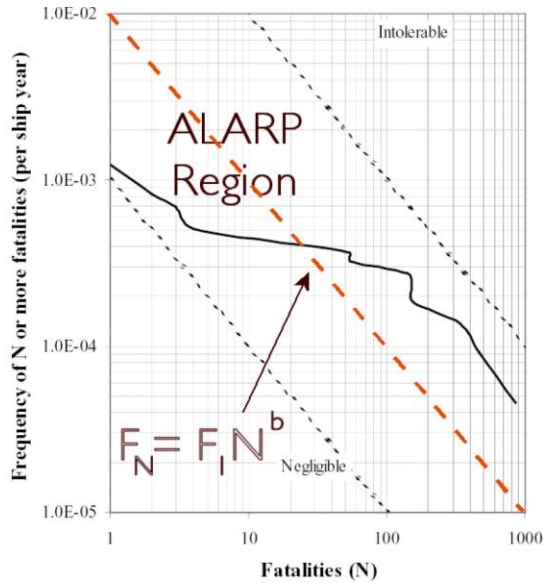
Δεν υπάρχει κάποιο καθολικό επίπεδο αποδεκτού ατομικού κινδύνου. Οι κατευθυντήριες γραμμές του IMO δεν παρέχουν ρητά κριτήρια αποδοχής αυτού του είδους κινδύνου. Επί του παρόντος, οι αποφάσεις βασίζονται σε αυτές που δημοσιεύονται από το HSE (1999). Ο IMO έχει υιοθετήσει τα κριτήρια του HSE που καθορίζουν τον μη αποδεκτό και τον αμελητέο κίνδυνο αναφορικά με τη απώλεια ζωής ενός ατόμου ως εξής (Πίνακας 4):

Πίνακας 4 Επίπεδα κινδύνου HSE (1999).

Maximum tolerable risk for crew members	10^{-3} annually
Maximum tolerable risk for passengers	10^{-4} annually
Maximum tolerable risk for public ashore	10^{-4} annually
Negligible risk	10^{-6} annually

Ο σκοπός των κριτηρίων αποδοχής κοινωνικού κινδύνου (Societal Types), είναι ο περιορισμός της επίδρασης από τις δραστηριότητες των πλοίων για ολόκληρη την κοινωνία, ή για τις τοπικές κοινότητες, όπως είναι για παράδειγμα οι πόλεις με λιμάνια. Συγκεκριμένα, τα κριτήρια αποδοχής κοινωνικού κινδύνου χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό των κινδύνων από καταστροφές που επηρεάζουν πολλά άτομα την ίδια στιγμή, δεδομένου ότι η κοινωνία είναι εξαιρετικά ανήσυχη για τέτοια γεγονότα. Συνήθως, ο κοινωνικός κίνδυνος (Societal Risk) θεωρείται ως ο κίνδυνος απώλειας ζωής και συνήθως εκφράζεται με ένα διάγραμμα F-N.

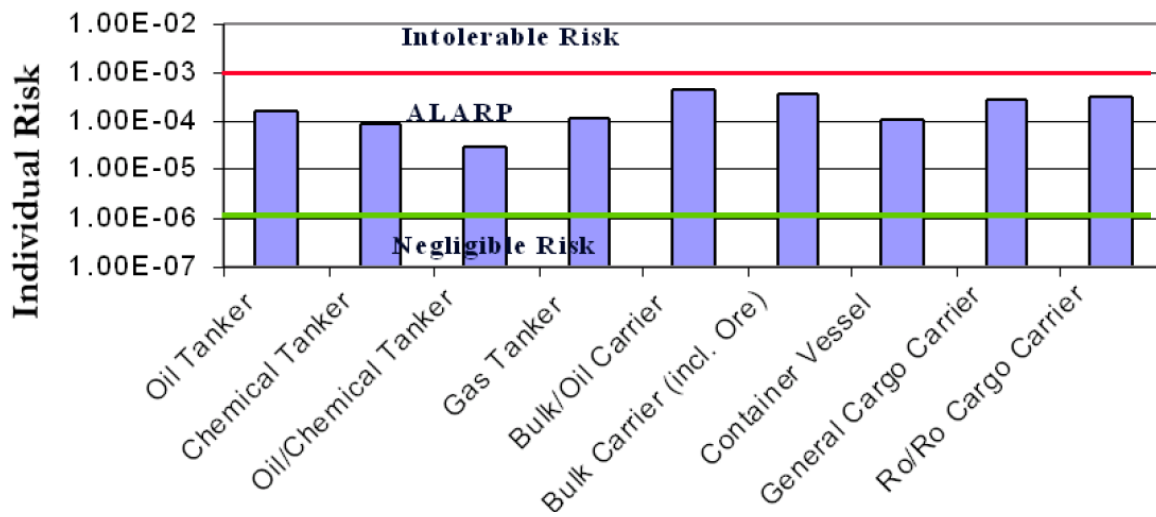
Το διάγραμμα F-N δείχνει τη σχέση μεταξύ της ετήσιας συχνότητας (F) των ατυχημάτων με (N) ή περισσότερες απώλειες ζωής. Ένα διάγραμμα F-N χρησιμοποιείται για τον ποσοτικό προσδιορισμό του κοινωνικού κινδύνου τόσο για μεγάλα, όσο και για μικρότερα ατυχήματα, αφού λαμβάνει υπόψη ότι η κοινωνία δείχνει μεγαλύτερη αποστροφή προς τον κίνδυνο όταν πρόκειται για ένα μεγάλο ατύχημα με πολλούς θανάτους, σε σχέση με τα πολλά μικρά ατυχήματα με λίγες απώλειες ζωής, ακόμα και αν το αποτέλεσμα σε ανθρώπινες ζωές είναι τελικά το ίδιο.

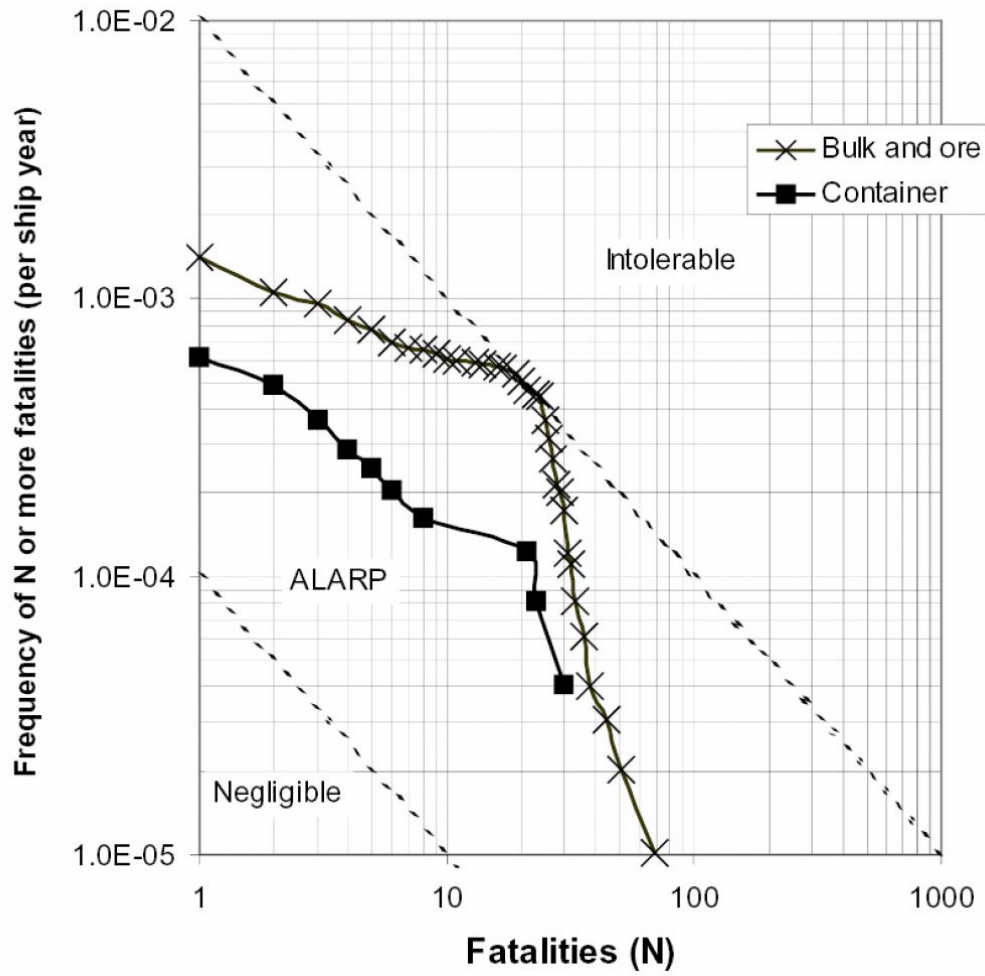


Σχήμα 3 Typical F-N Diagram

Όπως φαίνεται από τα επόμενα διαγράμματα (Πίνακας 5, Πίνακας 6), για τον ατομικό και τον κοινωνικό κίνδυνο, για όλους τους τύπους πλοίων, σε μελέτες FSA του 2001 και του 2002, και οι δύο βρίσκονται εντός της περιοχής ALARP. Ωστόσο, τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου (Bulk Carriers), και στις δύο περιπτώσεις ήταν πολύ κοντά στην περιοχή Μη Αποδεκτού Κινδύνου, το οποίο και εξηγεί το λόγο για την τεράστια προσοχή που δόθηκε στη συγκεκριμένη κατηγορία μεταφορών από την MSC, καθώς και τον μεγάλο αριθμό μελετών FSA σχετικά με το θέμα

Πίνακας 5 Annual Individual Risk (Skjong, 2002)





Σχήμα 4 F-N Diagram (crew) [Skjong and Eknes, 2001]

Κεφάλαιο 4 Επιθεωρήσεις πλοίων

Η ανάπτυξη της παγκόσμιας οικονομίας συνδέεται στενά με τη ναυτιλιακή βιομηχανία (Bijwaard and Knapp, 2009). Σύμφωνα με τη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Εμπόριο και την Ανάπτυξη (United Nations Conference on Trade and Development-UNCTAD), η μεταφορά εμπορευμάτων μέσω της ναυτιλίας σε παγκόσμιο επίπεδο κόσμο ανήλθε σε 8,75 δισεκατομμύρια τόνους εμπορευμάτων το 2011, νούμερο το οποίο αντιστοιχεί σε μια αύξηση 235% σε σύγκριση με το 1970.

Με δεδομένο τον τεράστιο όγκο των εμπορευμάτων που διακινούνται παγκοσμίως μέσω της θαλάσσιας οδού, αλλά και τη γενικότερη σημασία της Ναυτιλίας, η μεγαλύτερη ανησυχία των πλοιοκτητών και των διαχειριστών είναι η ασφάλεια των πλοίων. Οι ποινές σε περιπτώσεις που διαπιστώνεται ανεπάρκεια ασφάλειας η οποία οδηγεί, ή είναι πιθανό να οδηγήσει, σε απώλεια ζωής από την πλευρά του προσωπικού και σε ρύπανση του περιβάλλοντος, είναι συχνά εξοντωτικές. Αυτό οδηγεί όλες οι ναυτιλιακές εταιρείες σε μια διαρκή προσπάθεια συμμόρφωσης με τους διεθνείς κανόνες προκειμένου να αποφύγουν τις κυρώσεις. Εκτός όμως από τις νομικές κυρώσεις, οι ναυτιλιακές εταιρείες επενδύουν στην ασφάλεια και με σκοπό την προστασία της φήμης τους, αφού οι κοινωνίες είναι ευαισθητοποιημένες σε ατυχήματα, που περιλαμβάνουν απώλειες ζωής και μαζική ρύπανση.

Συχνά τα μεγάλα ατυχήματα οδηγούν σε αυστηροποίηση της κείμενης νομοθεσίας. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί το ατύχημα του Μαλτέζικου δεξαμενόπλοιου Erika νότια της ακτής της Βρετανίας. Το δεξαμενόπλοιο έσπασε στα δύο και μόλυβε 400 km ακτογραμμής με 5.000 έως 7.000 τόνους πετρελαίου (Hingson et al., 2008). Αυτό οδήγησε σε κινήσεις ενίσχυσης της ασφάλειας στη θάλασσα με τη δημιουργία ενός συστήματος αναγνώρισης και παρακολούθησης των πλοίων (οδηγία 2002/59 / ΕΕ), καθώς και την επίβλεψη της δραστηριότητας των εταιριών ταξινόμησης (Classification Societies) οι οποίες είναι μη κυβερνητικές οργανώσεις οι οποίες καθορίζουν τα τεχνικά πρότυπα ναυπήγησης ενός πλοίου και άλλων υπεράκτιων δομών, και γενικά εποπτεύουν ότι αφορά τις προδιαγραφές των πλοίων (οδηγία 2001/105 / ΕΕ). Επιπλέον, εντατικοποιήθηκε ο έλεγχος όλων των ξένων πλοίων που εισέρχονται στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Port State Control), αποσύρθηκαν τα πετρελαιοφόρα μονού κύτους (οδηγία 2002/417 / ΕΕ) και

δημιουργήθηκε ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός για την Ασφάλεια στη Θάλασσα (European Maritime Safety Agency) (Rogowska & Namieśnik, 2010).

4.1. Το εναρμονισμένο πρότυπο ελέγχου

Το 2000, ο IMO υιοθέτησε ένα εναρμονισμένο σύστημα ελέγχου και πιστοποίησης το οποίο περιλαμβάνει διεθνείς ναυτιλιακούς κανονισμούς. Στην πραγματικότητα, πολλές από τις εταιρίες ταξινόμησης είχαν ήδη υιοθετήσει μια μορφή εναρμονισμένου ελέγχου και πιστοποίησης. Το συγκεκριμένο σύστημα βασίζεται στη Διεθνή Σύμβαση για την Ασφάλεια της Ζωής στη Θάλασσα (SOLAS) του 1974 και στη Διεθνή Σύμβαση για τις Γραμμές Φορτίου (Load Lines-LL) του 1966, στο Διεθνή Κώδικα για την κατασκευή και εξοπλισμό των πλοίων που μεταφέρουν επικίνδυνες χύδην χημικές ουσίες (IBC Κώδικας) και στον Κώδικα για την κατασκευή και τον εξοπλισμό πλοίων που μεταφέρουν χύδην υγροποιημένα αέρια (Κώδικας IGC) (Rogowska & Namieśnik, 2010).

Οι ναυτιλιακές εταιρείες οφείλουν να αποδείξουν τη λειτουργικότητα των πλοίων τους και να ανταποκριθούν στις ποιοτικές απαιτήσεις των προαναφερόμενων συμβάσεων, μέσω ειδικών ελέγχων. Ωστόσο, αυτές οι υποχρεωτικές έρευνες, είναι πιθανόν να οδηγήσουν σε ακινητοποίηση του πλοίου για μακρά χρονική περίοδο.

Το εναρμονισμένο σύστημα σκοπεύει να συμβάλλει στη μείωση των ημερών αδράνειας των πλοίων. Πρώτα από όλα, αυτές οι επιθεωρήσεις θα πρέπει να απέχουν μεταξύ τους χρονικό ενός έτους μεταξύ τους. Αυτές οι επιθεωρήσεις διακρίνονται σε αρχικές (initial), ενδιάμεσες (intermediate), περιοδικές (periodical) και ανανέωση (renewal). Επιπλέον, η έρευνα ανανέωσης μπορεί να ολοκληρωθεί εντός τριών μηνών πριν από τη λήξη του υπάρχοντος πιστοποιητικού. Επιπλέον, για κάθε φορτηγό πλοίο, η μέγιστη διάρκεια ισχύος του πιστοποιητικού είναι τα πέντε έτη, ενώ για τα επιβατηγά πλοία το αντίστοιχο διάστημα είναι 12 μήνες. Στην περίπτωση που ένα πλοίο δεν έχει ολοκληρώσει το ταξίδι του, η ισχύς του πιστοποιητικού παρατείνεται έως τρεις μήνες για τα πλοία που εκτελούν μεγάλα ταξίδια και έως ένα μήνα για πλοία που πραγματοποιούν σύντομα ταξίδια.

4.2. Η μεθοδολογία Risk Based Inspection (RBI)

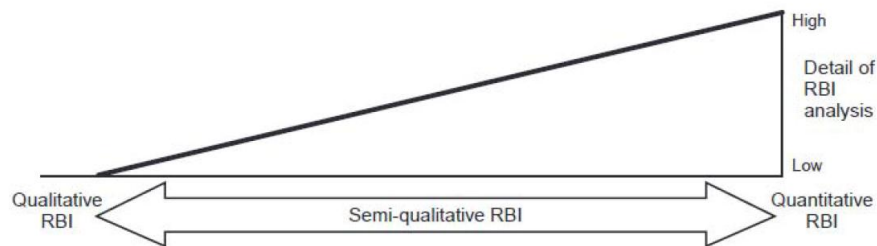
Η επιθεώρηση που είναι βασισμένη στο ρίσκο (Risk Based Inspection - RBI) όπως ορίζεται από το έγγραφο API 581, είναι μία πρωτοπόρα προσέγγιση των επιθεωρήσεων πλοίων, καθώς και για τον προγραμματισμό των απαραίτητων διαστημάτων ανάμεσα στις επιθεωρήσεις και συντηρήσεις με κύριο στόχο την ασφάλεια, αλλά και την αξιοπιστία των εγκαταστάσεων λειτουργίας και εξοπλισμού. Η RBI, όπως υποδηλώνει και ο τίτλος της, βασίζεται στο ρίσκο, όπως αυτό ορίστηκε στο πρώτο κεφάλαιο. Εστιάζει περισσότερο στον εξοπλισμό, καθώς και στους αντίστοιχους μηχανισμούς φθοράς που έχουν επιτύχει το μεγαλύτερο ρίσκο εντός της εγκατάστασης. Με δεδομένο ότι η RBI στοχεύει στη μείωση του ρίσκου, συνδέει όλους εκείνους τους παράγοντες που οδηγούν ένα στοιχείο του εξοπλισμού σε αστοχία ή βλάβη με εκείνες τις προσεγγίσεις των επιθεωρήσεων που θα καταφέρουν επιτυχώς να μειώσουν τα αντίστοιχα ρίσκα (API, 1999).

Το ρίσκο λειτουργίας καθορίζεται από το συνδυασμό της πιθανότητας πραγματοποίησης ενός ή περισσοτέρων γεγονότων, καθώς και των συνέπειών τους. Υπάρχουν βλάβες οι οποίες μπορεί να έχουν μεγάλη συχνότητα, αλλά οι συνέπειες τους δεν έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην ασφάλεια, το περιβάλλον ή το κεφάλαιο. Από την άλλη μπορεί κάποιες βλάβες να έχουν πολύ μεγαλύτερες επιπτώσεις, αλλά η πιθανότητα να συμβούν μπορεί να είναι τόσο μικρή ώστε το ρίσκο να μην απαιτεί άμεσης δράση. Όταν όμως ο συνδυασμός της πιθανότητας της ζημιάς και του ρίσκου είναι υψηλός σε επίπεδο που δεν θεωρείται αποδεκτός, είναι απαραίτητο να ληφθούν κάποια μέτρα μετριασμού ώστε να προβλεφθεί ή να αποτραπεί το γεγονός.

Ο τύπος της RBI που εφαρμόζεται κάθε φορά εξαρτάται από ένα σύνολο παραμέτρων όπως είναι το αντικείμενο της μελέτης και τα χρονικά πλαίσια της, ο αριθμός των εγκαταστάσεων και των στοιχείων του εξοπλισμού καθώς και η πολυπλοκότητα των εγκαταστάσεων, καθώς και των διαδικασιών, προφανώς οι διαθέσιμοι πόροι και τέλος το είδος και η ποιότητα των διαθέσιμων δεδομένων. Με βάση τα παραπάνω μια διαδικασία RBI ενδέχεται να είναι ποιοτική, ποσοτική, αλλά ακόμα και συνδυασμός και των δύο. Όποιο και αν είναι το είδος της προσέγγισης, παρουσιάζει συστηματικά το ρίσκο, εντοπίζει τους προσδιορίζει τους τομείς ενδιαφέροντος το και αναπτύσσει μια ιεραρχία προτεραιοτήτων με σκοπό την περεταίρω και πιο επισταμένη

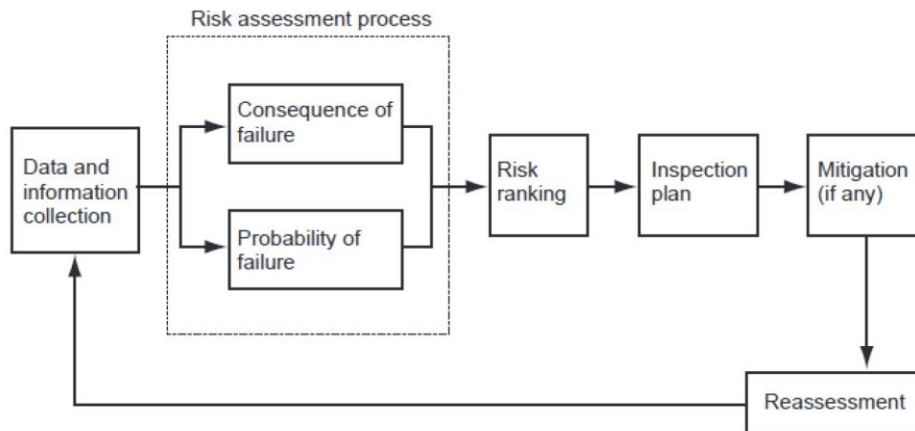
επιθεώρηση ή ανάλυση. Με βάση την παραπάνω ιεραρχία, με γνώμονα το ρίσκο, χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των πιθανοτήτων όχι μόνο μιας βλάβης, αλλά και ενδεχόμενων επιπτώσεων της (API, 1999).

Συνήθως μια RBI μελέτη δεν χρησιμοποιεί αποκλειστικά πτυχές από ποιοτικές, ποσοτικές ή ημι-ποσοτικές προσεγγίσεις, αλλά συνδυασμό τους, αφού δεν λειτουργούν ανταγωνιστικά, αλλά συμπληρωματικά. Για παράδειγμα, μία ποιοτική προσέγγιση είναι πιθανό να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό, εντός μιας εγκατάστασης μονάδων με μεγάλο ρίσκο. Παράλληλα, η μονάδα με το μικρότερο ρίσκο μπορεί να εξεταστεί με τη βοήθεια μιας ποιοτικής προσέγγιση, ενώ αυτή με το μεγαλύτερο με μια πιο ποσοτική προσέγγιση. Μια συνηθισμένη πρακτική είναι η χρήση ποιοτικής ανάλυσης για τις συνέπειες, συνδυάζοντας μια με ποσοτική ανάλυση βασισμένη στις πιθανότητες. Στο σχήμα 5 αποτυπώνεται ο συνδυασμός ποιοτικής, ποσοτικής και ημι-ποσοτικής προσέγγισης RBI.



Σχήμα 5 Το συνεχές των RBI προσεγγίσεων

Στο επόμενο σχήμα 6 αποτυπώνεται η διαδικασία RBI, όπου φαίνονται τα σημαντικά στοιχεία του σχεδιασμού μιας επιθεώρησης η οποία βασίζεται στην ανάλυση ρίσκου. Ανεξάρτητα από την προσέγγιση της RBI, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη όλα τα στοιχεία.



Σχήμα 6 Η διαδικασία επιθεώρησης με βάση την RBI

Εύλογα τίθεται το ερώτημα ποιοι είναι οι στόχοι και τα αντικείμενα μιας RBI διαδικασίας. Μία RBI διαδικασία οφείλει να βασίζεται σε αντικείμενα κριτήρια ενώ οι στόχοι της πρέπει να είναι σαφώς διατυπωμένοι και είναι πλήρως κατανοητοί από όσους εμπλέκονται, από τη διοίκηση μέχρι και το τελευταίο μέλος του προσωπικού. Αναφορικά με τα αντικείμενα της, το πρωταρχικό είναι συνήθως η πληρέστερη κατανόηση των ρίσκων κατά τη λειτουργία μιας εγκατάστασης ή κάποιου τμήματος της. Δευτερεύον αντικείμενο, αλλά εξίσου σημαντικό, είναι η πληρέστερη κατανόηση των συνεπειών που προκαλούνται από την επιθεώρηση, τη συντήρηση, καθώς και κάθε ενέργεια μετριασμού του ρίσκου (API, 1999).

Κατέχοντας τα παραπάνω, είναι δυνατός ο σχεδιασμός ενός προγράμματος επιθεώρησης το οποίο στοχεύει στη βέλτιστη χρήση της καθώς και στον κατάλληλο προγραμματισμό με βάση τους διαθέσιμους πόρους συντήρησης. Κατόπιν πρέπει να υλοποιηθεί ένας ακριβής προσδιορισμός των κριτηρίων του ρίσκου. Με βάση τον προσδιορισμό των ρίσκων είναι δυνατόν να εκτελεστούν οι απαραίτητες ενέργειες επιθεώρησης και μετριασμού του ρίσκου με απώτερο σκοπό τη μείωση τους σε αποδεκτά όρια.

Τέλος, τα αποτελέσματα της περιλαμβάνουν την αποφυγή διαφυγόντων κερδών εξαιτίας της απώλειας εξοπλισμού, αλλά και η αποφυγή εμπορικών απωλειών, ενώ η μείωση των εξόδων επιθεωρήσεως δεν αποτελεί βασικό αντικείμενο μιας RBI αξιολόγησης, αλλά αποτελεί μια παράπλευρη συνέπεια μιας διαδικασίας βελτιστοποίησης. Ένα βέλτιστο πρόγραμμα

επιθεωρήσεως, το οποίο εδράζεται στην πλήρη κατανόηση των ρίσκων, είναι δυνατόν να οδηγήσει σε μείωση του κόστους, αφού αποφεύγονται αναποτελεσματικές, αχρείαστες ή ακόμα και ακατάλληλες ενέργειες επιθεωρήσεως, ενώ οι επιθεωρήσεις εξοπλισμού οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως χαμηλού ρίσκου μπορούν να μειωθούν ή ακόμα και να εξαλειφθούν. Παράλληλα, κάποιες μη-επεμβατικές μέθοδοι επιθεώρησης, εν ώρα λειτουργίας, είναι δυνατόν να αντικαταστήσουν τις περισσότερο επεμβατικές μεθόδους οι οποίες απαιτούν την ακινητοποίηση του πλοίου. Τέλος, οι συχνές και λιγότερο αποτελεσματικές επιθεωρήσεις αντικαθίστανται από πιο αποτελεσματικές και αραιές επιθεωρήσεις. Ακόμα, η κατάλληλη διαχείριση του ρίσκου, οδηγεί στην ικανοποίηση τόσο των περιβαλλοντολογικών, όσο και των απαιτήσεων ασφαλείας. Τέλος, η κατάλληλη ταξινόμηση των εναλλακτικών ενεργειών μετριασμού του ρίσκου, αλλά και η εξαρχής αξιολόγηση του νέου εξοπλισμού, πριν την τοποθέτηση του, όπως και η διεξοδική ανάλυση των στρατηγικών σχετικά με το τέλος ζωής των εγκαταστάσεων, επιτυγχάνεται πιο αναλυτικά μέσω μιας αξιολόγησης RBI(API, 1999).

.

4.3. Είδη επιθεωρήσεων

Οι υποχρεωτικοί έλεγχοι στα πλοία ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο τους. Οι έρευνες αυτές πραγματοποιούνται από τις εταιρείες ταξινόμησης σύμφωνα με τις κανονιστικές απαιτήσεις. Οι διάφορες κατηγορίες των επιθεωρήσεων έχουν ταξινομηθεί από τον IMO και χωρίζονται σε δύο μεγάλες υποκατηγορίες, τις περιοδικές και τις μη περιοδικές επιθεωρήσεις (DNV, 2008; IACS, 2011).

Οι περιοδικές επιθεωρήσεις εκτελούνται σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και μπορούν να διαιρεθούν σε διακριτά τμήματα εντός συγκεκριμένων χρονικών διαστημάτων, αλλά είναι υποχρεωτικό να ολοκληρωθούν μέσα σε αυτά. Στις περιοδικές επιθεωρήσεις ανήκουν οι ετήσιες οι οποίες εκτελούνται σε ετήσια βάση στην επέτειο της πιστοποίησης κλάσης. Το χρονικό παράθυρο αυτής της έρευνας είναι μέχρι 3 μήνες και πρέπει να πραγματοποιηθεί εντός 6 μηνών. Στη συγκεκριμένη επιθεώρηση περιλαμβάνονται μια γενική εξέταση του κύτους, τους εξοπλισμού, καθώς και των μηχανημάτων και των συστημάτων προκειμένου να πιστοποιηθεί ότι το πλοίο συμμορφώνεται με τους Κανονισμού. Αξίζει να σημειωθεί, ότι για τα δεξαμενόπλοια

που μεταφέρουν χημικά και υγρά, η επιθεώρηση λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια μιας διαδικασίας φόρτωσης ή εκφόρτωσης (API, 1999).

Οι ενδιάμεσες επιθεωρήσεις πραγματοποιούνται μεταξύ των επιθεωρήσεων του δεύτερου και του τρίτου έτους και έχει χρονικό παράθυρο 9 μηνών. Η συγκεκριμένη επιθεώρηση περιλαμβάνει πιο λεπτομερή οπτική εξέταση του κύτους, του εξοπλισμού, των μηχανημάτων και των συστημάτων, σε σχέση με την ετήσια, προκειμένου να πιστοποιηθεί η συμμόρφωση των πλοίων με τους κανονισμούς.

Μια πλήρης έρευνα πραγματοποιείται στα 2,5, 5 έτη και 15 έτη. Πρέπει να πραγματοποιηθεί εντός 9 μηνών πριν και 6 μηνών μετά την ημερομηνία λήξης. Πρέπει να σημειωθεί ότι μια πλήρης έρευνα θα πρέπει να εκτελείται είτε ταυτόχρονα με την επιθεώρηση ανανέωσης ή πριν από τη λήξη της.

Η επιθεώρηση ανανέωσης γίνεται στην ημερομηνία λήξης του πιστοποιητικού ταξινόμησης και πρέπει να διεξάγεται στην πενταετία. Επομένως, πρέπει να αρχίσει μεταξύ του των ετήσιων επιθεωρήσεων του τέταρτου και του πέμπτου έτους χωρίς να υπερβαίνει τη τελευταία ετήσια επιθεώρηση. Υπάρχει ένα χρονικό παράθυρο τριών μηνών πριν από την ημερομηνία λήξης της ολοκλήρωσης της επιθεώρησης. Η συγκεκριμένη επιθεώρηση θεωρείται ως η πιο σημαντική διότι περιλαμβάνει μια λεπτομερή εξέταση, τις μετρήσεις και τον έλεγχο όλων των στοιχείων του πλοίου προκειμένου να επαληθεύει ότι αυτό πλοίο διατηρείται σε ικανοποιητική κατάσταση και ότι μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά. Κάθε απαιτούμενη επισκευή πρέπει να ολοκληρωθεί πριν από τη λήξη της επιθεώρησης ανανέωσης (1999).

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 6) παρουσιάζεται η χρονική συσχέτιση μεταξύ των διαφόρων ερευνών, όπου με (A) παριστάνεται η ετήσια, με (R) η έρευνα ανανέωσης και (I) η ενδιάμεση επιθεώρηση. Συγκεκριμένα, φαίνεται ότι το χρονικό διάστημα μεταξύ της ετήσιας και της περιοδικής επιθεώρησης είναι ένα έτος, ενώ οι ενδιάμεσες επιθεωρήσεις πραγματοποιούνται μεταξύ του δεύτερου και του τρίτου έτους της πιστοποίησης για φορτηγά πλοία. Είναι αξιοσημείωτο ότι κάθε 5 χρόνια είναι αναγκαία η διενέργεια επιθεώρησης ανανέωσης για αυτούς τους τύπους πλοίων. Αντίθετα, πρέπει να σημειωθεί ότι η εναρμονισμένη προσέγγιση είναι

εντονότερα αυστηρή για τα επιβατηγά πλοία. Λόγω της ευαισθησίας της λειτουργίας τους, δεδομένου ότι αντιπροσωπεύουν έναν τεράστιο αριθμό επιβατών καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους, θα πρέπει να επιθεωρούνται κάθε 12 μήνες (Knapp & Franses, 2006).

Πίνακας 6 Παρουσίαση του εναρμονισμένου συστήματος επιθεωρήσεων και πιστοποιήσεων (Knapp and Franses, 2006).

Years	1			2			3			4			5		
Months	9	12	15	21	24	27	33	36	39	45	48	51	57	60	
Certificates/Inspection areas															
Passenger Ship Safety Cert.	R			R			R			R			R		
CS Safety Equipment Cert.	A			A or I			I or A			A			R		
SC Safety Construction Cert.	A			A or I			I or A			A			R		
CF GAS (IGC/GC)	A			A or I			I or A			A			R		
CF Chemical (IBC/BCH)	A			A or I			I or A			A			R		
Load Line Certificate	A			A			A			A			R		
IOPP (MARPOL Annex I)	A			A or I			I or A			A			R		
IPP (MARPOL Annex II)	A			A or I			I or A			A			R		

Αναφορικά με τα διάφορα τμήματα του πλοίου, τα ύφαλα πρέπει να επιθεωρούνται δύο φορές καθ' όλη τη διάρκεια του πενταετούς πιστοποιητικού ταξινόμησης, χωρίς όμως να υπερβαίνει το την περίοδο των 36 μηνών. Κάθε μία από τις δύο αυτές έρευνες πρέπει να πραγματοποιηθεί πριν από την ημερομηνία λήξης και προβλέπεται κάποιο χρονικό παράθυρο. Αναφορικά με τον άξονα της προπέλας, η επιθεώρηση πραγματοποιείται κάθε πέντε χρόνια σύμφωνα με την πλήρη έρευνα. Γενικά, η κατάσταση του άξονα της προπέλας θα πρέπει να εξεταστεί ταυτόχρονα με την έρευνα των υφάλων στην ξηρή αποβάθρα. Όσον αφορά για τη σύνδεση της προπέλας, η επιθεώρηση της προγραμματίζεται κάθε 5 ή 15 χρόνια ταυτόχρονα με την πλήρη έρευνα. Στο πέμπτο έτος, η επιθεώρηση εστιάζει στοχεύει στις keyless συνδέσεις της προπέλας, ενώ οι επιθεωρήσεις στις συνδέσεις της προπέλας με φλάντζα προστίθενται σε αυτά τα 15 χρόνια. Τέλος, η επιθεώρηση

του λέβητα (boiler), χρονοδιάγραμμα των επιθεωρήσεων περιλαμβάνει δύο έρευνες κατά τη πενταετή διάρκεια του πιστοποιητικού ταξινόμησης, ενώ το διάστημα μεταξύ αυτών των δύο επιθεωρήσεων δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 36 μήνες. Πρέπει να σημειωθεί ότι μία επιθεώρηση λέβητα πρέπει να πραγματοποιείται ταυτόχρονα με την επιθεώρηση ανανέωσης.

Οι μη περιοδικές επιθεωρήσεις αναφέρονται σε απρογραμμάτιστες και απρόβλεπτες επιθεωρήσεις. Τέτοιες μπορεί να αφορούν (IACS, 2011):

- Την αναβάθμιση των εγγράφων ταξινόμησης. Για παράδειγμα, μπορεί να αφορούν την αλλαγή πλοιοκτήτη, το όνομα του πλοίου ή τη σημαία του.
- Την αντιμετώπιση οποιασδήποτε βλάβης ή υποψία βλάβης σε οποιοδήποτε στοιχείο ή σύστημα του πλοίου.
- Την αποκατάσταση οποιασδήποτε βλάβης που έχει επισημανθεί στο πλοίο.
- Την τροποποίηση ή την αναβολή της επιθεώρησης.
- Οποιαδήποτε μη αναμενόμενη επιθεώρηση κατά τη διάρκεια του Port State Control.

Σε κάθε απρόβλεπτο γεγονός που μπορεί να θέσει σε κίνδυνο το προσωπικό ή την περιβαλλοντική ασφάλεια λόγω δομικών βλαβών, πρέπει να πραγματοποιηθεί μια μη περιοδική έρευνα. Ο πλοιοκτήτης είναι υπεύθυνος για την έγκαιρη ενημέρωση του νηογνώμονα, χωρίς καθυστέρηση, ιδίως εάν η ζημιά μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τα πλοία της ίδιας κατηγορίας. Στη συνέχεια, μια έρευνα προγραμματίζεται από έναν επιθεωρητή, ο οποίος συντάσσει την έκθεση και υποδεικνύει τις βασικές εργασίες που πρέπει να γίνουν. Όταν η ναυτιλιακή εταιρεία ολοκληρώσει τις έκτακτες εργασίες, ο επιθεωρητής επανεξετάζει το πλοίο για να διαπιστώσει εάν πληροί τους κανονισμούς.

Ο έλεγχος Port State (PSC) αφορά την εξουσία του οποιουδήποτε λιμένα ή παράκτιας χώρας να διεξάγει έρευνες ασφαλείας και να υποχρεώνει τα πλοία που επισκέπτονται αυτούς τους λιμένες να εφαρμόζουν τις διεθνείς απαιτήσεις ναυτιλίας (Heij et al., 2011). Κάθε πλοίο που δεν πληροί τις προϋποθέσεις του παράκτιου ελέγχου ακινητοποιείται, μέχρι να ληφθούν επιπλέον μέτρα. Στη συνέχεια, οι αρχές επανεξετάζουν το πλοίο για να επιβεβαιώσουν αυτό πληροί τους κανόνες ώστε να του παρασχεθεί άδεια απόπλου. Σπάνια, ένα πλοίο, το οποίο έχει κρατηθεί αρκετές φορές, μπορεί να του απαγορευθεί να επανεισέλθει στα λιμάνια. Οι πλοιοκτήτες προσπαθούν να σέβονται

τους κανόνες, προκειμένου να αποφευχθεί οποιαδήποτε κράτηση που θα μπορούσε να προκαλέσει οικονομικές ζημιά. Αυτές οφείλονται στις καθυστερήσεις στα δρομολόγια και τις περαιτέρω επιθεωρήσεις που είναι υποχρεωτικές. Οι κύριες ελλείψεις που μπορεί να προκαλέσουν κράτηση του πλοίου σε ένα λιμένα παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.

Πίνακας 7 Κατηγορίες ανεπακειών (Randić et al., 2015)

<i>Number of Category</i>	<i>Category of deficiencies</i>
01	Certificates & Documentation
02	Structural condition of the hull
03	Water / Weather condition
04	Emergency systems
05	Radio communication appliances
06	Cargo operations including equipment
07	Fire safety
08	Different alarms
09	Working and living conditions
10	Safety of navigation appliances
11	Life saving appliances
12	Dangerous goods appliances
13	Propulsion and auxiliary machinery
14	Sea pollution prevention appliances
15	ISM Code - International Safety Management Code for the safe management and operation of ships and for pollution prevention
16	ISPS Code – The International Ship and Port Facility Security Code
17	Other
18	MLC Code – Regulations and Code of the Maritime Labour Convention

Το Μνημόνιο Συνεννόησης του Παρισιού (Paris Memorandum of Understanding-POU on Port State Control) είναι το επίσημο έγγραφο στο οποίο οι 27 συμμετέχουσες ναυτιλιακές αρχές συμφωνούν να εφαρμόσουν ένα εναρμονισμένο σύστημα ελέγχου στους λιμένες. Το

συγκεκριμένο μνημόνιο αποτελείται από το κύριο κείμενο και από 12 παραρτήματα στα οποία οι Αρχές, μεταξύ άλλων, συμφωνούν:

- τις δεσμεύσεις τους στις σχετικές διεθνείς συμβάσεις,
- τις διαδικασίες επιθεώρησης και τη διερεύνηση των επιχειρησιακών διαδικασιών,
- την ανταλλαγή πληροφοριών,
- τη δομή της οργάνωσης και τις διαδικασίες τροποποίησης

Συγκεκριμένα, οι συμμετέχουσες χώρες είναι το Βέλγιο, η Βουλγαρία, ο Καναδάς, η Κροατία, η Κύπρος, η Δανία, η Εσθονία, η Φινλανδία, η Γαλλία, η Γερμανία, η Ελλάδα, η Ισλανδία, η η Ιρλανδία, η Ιταλία, η Λετονία, η Λιθουανία, η Μάλτα, οι Κάτω Χώρες, η Νορβηγία, η Πολωνία, η Πορτογαλία, η Ισπανία, η Σουηδία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Το μνημόνιο του Παρισιού περιλαμβάνει τα ευρωπαϊκά παράκτια κράτη και τη λεκάνη του Βορείου Ατλαντικού από την Ευρώπη στη Βόρεια Αμερική.

Το μνημόνιο συμφωνίας του Παρισιού χωρίζει τα πλοία σε πλοία χαμηλού κινδύνου (Low Risk Ships-LRS), σε πλοία τυπικού κινδύνου (Standard Risk Ships) και σε πλοία υψηλού κινδύνου (High Risk Ships). Το μέγιστο διάστημα μετά την τελευταία επιθεώρηση καθορίζεται σύμφωνα με το προφίλ κινδύνου του πλοίου. Αυτό το διάστημα, για την κατηγορία HRS, είναι 5 έως 6 μήνες, για την κατηγορία SRS 10-12 μήνες και για την κατηγορία LRS 24-36 μήνες μετά την τελευταία επιθεώρηση. Τα κριτήρια της πρώτης και της δεύτερης απαγόρευσης κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη σημαία του πλοίου. Ένα σκάφος «μαύρης σημαίας» απαγορεύεται μετά από περισσότερες από 3 απαγορεύσεις σε διάστημα 36 μηνών. Ένα πλοίο με «γκρίζα σημαία» απαγορεύεται μετά από περισσότερες από 3 απαγορεύσεις σε περίοδο 24 μηνών. Κάθε κράτηση μετά τη δεύτερη απαγόρευση οδηγεί σε νέα απαγόρευση. Επιπλέον, τα πλοία με προφίλ HRS, καθώς και τα δεξαμενόπλοια χημικών, πετρελαίου και αερίων, τα δεξαμενόπλοια χύδην φορτία και τα επιβατηγά πλοία ηλικίας 12 ετών και άνω, εφαρμόζουν την απαίτηση κοινοποίησης ETA72 (72 ώρες πριν την άφιξη στο λιμένα).

Για την περιοχή Ασίας και Ειρηνικού, ισχύει το Tokyo MoU, (Μνημόνιο Συμφωνίας του Τόκιο), το οποίο ιδρύθηκε το 1993 και συμμετέχουν Αρχές 18 κρατών. Συγκεκριμένα, αυτά είναι η

Αυστραλία, ο Καναδάς, η Χιλή, η Κίνα, τα νησιά Φίτζι, το Χονγκ Κονγκ, η Ινδονησία, η Ιαπωνία, η Δημοκρατία της Κορέας, η Μαλαισία, η Νέα Ζηλανδία, η Παπούα Νέα Γουινέα, οι Φιλιππίνες, η Ρωσική Ομοσπονδία, η Σιγκαπούρη, η Ταϊλάνδη, το Βανουάτου και το Βιετνάμ. Τα χρονικά παράθυρα μετά την τελευταία επιθεώρηση καθορίζονται σύμφωνα με το προφίλ κινδύνου των πλοίων. Το διάστημα αυτό ορίζεται για LRS μεταξύ 9 και 18 μηνών, για SRS μεταξύ 5 και 8 μηνών και για HRS από 2 έως 4 μήνες.

Για την περιοχή της Λατινικής Αμερικής, το αντίστοιχο σύμφωνο είναι το Vina del Mar, το οποίο υπογράφηκε το 1996. Τα συμμετέχοντα μέλη είναι η Αργεντινή, η Βολιβία, η Βραζιλία, η Χιλή, η Κολομβία, η Κούβα, η Δομινικανή Δημοκρατία, το Εκουαδόρ, η Γουατεμάλα, η Ονδούρα, το Μεξικό, ο Παναμάς, το Περού, η Ουρουγουάη και η Βενεζουέλα. Για την περιφέρεια της Καραϊβικής ισχύει το Caribbean MoU, το οποίο συστάθηκε το 1997 και στο οποίο συμμετέχουν η Αντίγκουα και Μπαρμπούντα, η Αρούμπα, οι Μπαχάμες, τα Μπαρμπάντος, το Μπελίζ, οι Νήσοι Κέυμαν, η Κούβα, το Κουρακάο, η Γρενάδα, η Γουιάνα, η Τζαμάικα, οι Ολλανδικές Αντίλλες, το Σεντ Κιτς και Νέβις, το Σουρινάμ και το Τρινιντάντ Τομπάγκο.

Για τη λεκάνη της Μεσογείου, βρίσκεται σε ισχύ το Mediterranean MoU, το οποίο ιδρύθηκε το 1996, με τα μέλη του να είναι η Αλγερία, η Κύπρος, η Αίγυπτος, το Ισραήλ, η Ιορδανία, ο Λίβανος, η Μάλτα, το Μαρόκο, η Τυνησία και η Τουρκία. Για την περιφέρεια του Ινδικού Ωκεανού, υπάρχει το Indian Ocean MoU, που ιδρύθηκε το 1998 και περιλαμβάνει την Αυστραλία, το Μπαγκλαντές, το Τζιμπουτί, την Ερυθραία, τη Γαλλία (νησί La Reunion), την Ινδία, το Ιράν, την Κένυα, τις Μαλδίβες, τον Μαυρίκιο, τη Μοζαμβίκη, τις Σεϋχέλλες, τη Νότια Αφρική, τη Σρι Λάνκα, το Σουδάν, την Τανζανία και την Υεμένη. Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά το 2014 πραγματοποιήθηκαν συνολικά 6.059 επιθεωρήσεις από τις χώρες του συγκεκριμένου Συμφώνου.

Για την περιοχή της Μαύρης Θάλασσας, το Black Sea MoU, ιδρύθηκε το 2000 και περιλαμβάνει τη Γεωργία, τη Ρουμανία, τη Ρωσική Ομοσπονδία, την Τουρκία και την Ουκρανία. Συνολικά, το 2014, επιθεωρήθηκαν 5.080 πλοία και δεσμεύθηκαν 151 πλοία. Για την περιοχή της Δυτικής και Κεντρικής Αφρικής, ισχύει το Abuja MoU, το οποίο ιδρύθηκε το 1999, και σε αυτό συμμετέχουν η Αγκόλα, το Μπενίν, η Ακτή Ελεφαντοστού, η Γκαμπόν, η Γκάνα, η Νιγηρία, η Δημοκρατία του Κονγκό, η Δημοκρατία της Γουινέας, το Σάο Τομέ και Πρίνσιπε, η Σενεγάλη, η Σιέρρα Λεόνε, η

Νότια Αφρική, η Γκάμπια και το Τόνγκο. Για τα Αραβικά κράτη του Κόλπου, βρίσκεται σε ισχύ το MoU του Ριάντ, που είναι και το πιο πρόσφατο, αφού ιδρύθηκε το 2004. Σε αυτό συμμετέχουν το Βασίλειο του Μπαχρέιν, το Κουβέιτ, το Κατάρ, το Βασίλειο της Σαουδικής Αραβίας, το Σουλτανάτο του Ομάν και τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα.

Αναφορικά με τον Port State Control στις Ηνωμένες, παρά το γεγονός ότι η Ακτοφυλακή δεν συμμετέχει σε κάποιο MoU, λειτουργεί ως επόπτης σε ορισμένα MoU και ασκεί αποτελεσματικό έλεγχο σε συνεργασία με αυτά. Το 1994, η Ακτοφυλακή των Ηνωμένων Πολιτειών διενήργησε καινοτόμα προγράμματα διαχείρισης κινδύνων στην PSC για τον εντοπισμό των πλοίων, των πλοιοκτητών, των νηογνομόνων και των διοικήσεων των σημαίων, οι οποίες ενδεχομένως παραβίαζαν τον νόμο. Επιπλέον, το 2001, εφάρμοσε ένα νέο πρόγραμμα, γνωστό ως Qualship 21, το οποίο επικεντρώθηκε στην αναγνώριση πλοίων υψηλής ποιότητας. Το πρόγραμμα αυτό χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα και θεωρείται πολύ χρήσιμο εργαλείο για την ταυτοποίηση καλά οργανωμένων και συντηρημένων σκαφών.

Το Port State Control and Environmental Protection Compliance Targeting Matrix, είναι ένα σύστημα που εισήγαγε η Αμερικανική Ακτοφυλακή το οποίο επιτρέπει στην Ακτοφυλακή να καθορίζει ορθολογικά και συστηματικά τον πιθανό κίνδυνο των πλοίων που δεν ανήκουν στις Η.Π.Α. και καταπλέουν σε λιμένες των ΗΠΑ. Το σύστημα χρησιμοποιείται για να αποφασίσει ποια πλοία θα πρέπει ελλιμενιστούν σε οποιαδήποτε δεδομένη ημέρα σε οποιοδήποτε λιμάνι. Το συγκεκριμένο σύστημα αξιολόγησης των πλοίων αξιολόγησης έχει αυξήσει τον αριθμό των επιθεωρήσεων που ασκούνται από την Ακτοφυλακή, αφού έχει το δικαίωμα να επιθεωρήσει οποιοδήποτε σκάφος οποιαδήποτε στιγμή χωρίς προηγούμενη ειδοποίηση (Compliance Systems Inc., 2007). Στο σχήμα 7 φαίνονται τα κριτήρια βάσει των οποίων κάθε πλοίο βαθμολογείται στο συγκεκριμένο σύστημα.



Σχήμα 7 Port State Control Safety and Environmental Protection Compliance targeting Matrix (United States Coast Guard, 2015)

Είναι δεδομένο ότι δεν είναι δυνατή η επιθεώρηση όλων των ξένων πλοίων από τις λιμενικές αρχές ενός κράτους, λόγω και του χρόνου, αλλά και του γεγονότος δεν έχουν όλα τα πλοία ελλείψεις. Ως εκ τούτου, ο PSC ακολουθεί μια γενική προσέγγιση προκειμένου να δοθεί προτεραιότητα στην επιλογή των πλοίων. Οι κεντρικές βάσεις δεδομένων, όπως το SIRENAC και το APCIS, συλλέγουν τα βασικά δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων των αφίξεων λιμένων, των ωραρίων αποστολής και των εκθέσεων σχετικά με τη θέση του πλοίου. Έτσι, οι τοπικές λιμενικές αρχές είναι σε θέση να προσδιορίσουν ποια πλοία πρέπει να εκλεχθούν. Τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη για την προτεραιότητα σε επιθεωρήσεις αυτού του είδους είναι (Rosso, 2010):

- Αν οποιαδήποτε λιμενική έχει αναφέρει ελλείψεις σε κάποια πλοία.
- Αν κάποιο πλοίο, που μεταφέρει επικίνδυνα ή ρυπογόνα φορτία, δεν έχει υποβάλει τις απαραίτητες πληροφορίες στις λιμενικές αρχές.

- Αν κάποιο πλοίο έχει αναφερθεί από άλλη Αρχή.
- Πλοία που έχουν αναφερθεί από οποιονδήποτε μέλος του πληρώματος του πλοίου, λόγω ζητημάτων ασφάλειας, συνθηκών διαβίωσης και εργασίας επί του πλοίου ή περιβαλλοντικών ζητημάτων.
- Κάθε πλοίο το οποίο έχει τεθεί σε περιορισμό από την εταιρία ταξινόμησης του σε διάστημα έξι μηνών.
- Κάθε πλοίο που έχει κάνει επικίνδυνους ελιγμούς.
- Πλοία που έχουν αναφερθεί σε σύγκρουση κατά τον πλου τους προς το παράκτιο κράτος.

Οι διαδικασίες του PSC είναι συγκεκριμένες και πρέπει να εκτελούνται με ακρίβεια (IMO, 2011). Γενικά, σύμφωνα με τους κανονισμούς των εφαρμοζόμενων συμβάσεων, τα συμβαλλόμενα μέρη μπορούν να οργανώνουν την επιθεώρηση ξένων πλοίων στους λιμένες τους και αυτές οι έρευνες μπορούν να βασίζονται σε τρεις διαφορετικούς λόγους. Ο πρώτος λόγος αποτελεί πρωτοβουλία της ίδιας της αρχής. Δεύτερον, μια επιθεώρηση μπορεί να ζητηθεί από άλλη αρχή βάσει πληροφοριών σχετικά με την ακεραιότητα του πλοίου. Ο τρίτος λόγος οφείλεται σε πιθανές καταγγελίες ενός μέλους πληρώματος, ενός συλλόγου, ενός διεθνούς οργανισμού ή οποιουδήποτε άλλου ατόμου. Οι αρχές μπορούν να αναθέσουν την έρευνα σε αναγνωρισμένους οργανισμούς ή σε επιθεωρητές που διορίζονται για το σκοπό αυτό. Οι αρχές επιθεωρούν πολύ προσεκτικά τα πλοία, προκειμένου να αποφύγουν υπερβολικές κρατήσεις ή καθυστερήσεις, διότι σε αυτές τις περιπτώσεις οφείλουν να αποζημιώνουν τους πλοιοκτήτες για τυχόν απώλειες.

Αναφορικά με τον Flag State Control (FSC), η χρήση σημαίας από κάθε πλοίο που απομακρύνθηκε από τα χωρικά του ύδατα είναι απαραίτητη. Η σημαία, ως σύμβολο, δηλώνει την προέλευση του πλοίου και αποδεικνύει την πολιτική του πίστη. Κανονικά, τα πλοία χωρίς σημαία αναγνωρίζονται ως πειρατές από το διεθνές δίκαιο. Ωστόσο, η ανάγκη καταχώρησης πλοίων βάσει του διεθνούς δικαίου κωδικοποιήθηκε για πρώτη φορά από την Επιτροπή Υγείας και Ασφάλειας (Health and Safety Commission-HSC) μέσω του άρθρου 5 (Mansell, 2009) το οποίο αναφέρει ότι:

«Κάθε κράτος καθορίζει τους όρους χορήγησης της ιθαγένειάς του στα πλοία, την καταχώρηση πλοίων στην επικράτειά του και το δικαίωμα να φέρει τη σημαία του. Τα πλοία έχουν την εθνικότητα

του κράτους του οποίου τη σημαία έχουν το δικαίωμα να φέρουν. Πρέπει να υπάρχει ένας πραγματικός δεσμός μεταξύ του κράτους και του πλοίου. Ειδικότερα, το κράτος πρέπει να ασκεί αποτελεσματικά τη δικαιοδοσία και τον έλεγχο του σε διοικητικά, τεχνικά και κοινωνικά θέματα έναντι των πλοίων που φέρουν τη σημαία του.»

Το κάθε κράτος πρέπει να ασκεί δικαιοδοσία και ελέγχους σε πλοία που φέρουν τη σημαία του, τα οποία σχετίζονται με την επιβολή κανονισμών, επιθεωρήσεις και πιστοποιήσεις, σχετικά με θέματα ασφαλείας και πρόληψη της ρύπανσης. Κάθε κυβέρνηση είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία εξειδικευμένων ναυτικών εμπειρογνομόνων για την εφαρμογή των νόμων. Ωστόσο, έχει τη δυνατότητα να αναθέσει σε αναγνωρισμένο οργανισμό την εκτέλεση των ερευνών. Επιπλέον, το κάθε κράτος έχει την εξουσία να οργανώνει έρευνες για να επιβεβαιώσει ότι τα πλοία πληρούν τους κανόνες και τηρούν τους κανονισμούς του κράτους. Η φύση αυτών των ερευνών είναι παρόμοια με αυτή των ελέγχων PSC. Οι FSC επιδιώκουν να εξασφαλίσουν ότι τα πλοία που φέρουν τη σημαία τους διαθέτουν όλα τα απαραίτητα πιστοποιητικά και έγγραφα σχετικά με την ασφάλεια του προσωπικού και την πρόληψη της ρύπανσης.

Οι πλοιοκτήτες έχουν το νόμιμο δικαίωμα να καταχωρίσουν το πλοίο τους στο κράτος της επιθυμίας τους και μπορούν να αλλάξουν την καταχώρηση της σημαίας σε περίπτωση μεταβίβασης κυριότητας ή για οποιονδήποτε άλλο λόγο. Στη δεκαετία του 1990, οι ανησυχίες αυξήθηκαν επειδή πολλοί πλοιοκτήτες μετέφεραν εύκολα τις σημαίες τους προκειμένου να αποφύγουν τις απαγορεύσεις και τους ελέγχους (Mansell, 2009). Ως εκ τούτου, ο PSC θεωρείται ως η δεύτερη γραμμή άμυνας αναφορικά με τη αναγνώριση των πλοίων που δεν ανταποκρίνονται στα πρότυπα. Τα κράτη έχουν το δικαίωμα να διεξάγουν έρευνες σε ξένα πλοία και να τα ακινητοποιούν αν δεν τηρούν τις νομοθεσίες. Ο σχηματισμός του PSC είναι αποτέλεσμα της ύπαρξης «σημαίας ευκολίας». Με το συγκεκριμένο όρο περιγράφεται κάθε κράτος που έχει ευέλικτη νομοθεσία και ως εκ τούτου προσελκύει αλλοδαπούς πλοιοκτήτες. Τα πλοία ταξινομούνται στα εν λόγω κράτη για να ελαχιστοποιήσουν το κόστος και να αποφύγουν τους αυστηρότερους κανονισμούς της χώρας προέλευσης των πλοιοκτητών. Σε έναν ιδανικό κόσμο, κάθε κράτος θα όφειλε να είναι βαθύτατα ευαίσθητο, προσπαθώντας να εντοπίσει τις ελλείψεις των πλοίων που είναι υπό τη σημαία του, με σκοπό την προστασία του προσωπικού του πλοίου

και την αποφυγή της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Ωστόσο, η ύπαρξη των PSC είναι ζωτικής σημασίας λόγω των ατασθαλιών κάποιων κρατών.

Κεφάλαιο 5 Μέθοδοι αναγνώρισης και ανάλυσης ρίσκου

Σύμφωνα με το έγγραφο MSC-MEPC.2/Circ.12 του IMO (2013), τα εργαλεία που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την αναγνώριση και την ανάλυση του ρίσκου είναι τα παρακάτω:

5.1.Ανάλυση με δέντρο σφαλμάτων

Το δέντρο σφαλμάτων (Fault Tree) αποτελεί μια διαγραμματική απεικόνιση της συσχέτισης διαφόρων παραμέτρων που οδηγούν στην εκδήλωση μιας βλάβης. Επιπλέον, είναι ένα λογικό διάγραμμα που δείχνει την αιτιώδη συνάφεια μεταξύ των συμβάντων τα οποία μεμονωμένα ή σε συνδυασμό μεταξύ τους προκαλούν την εμφάνιση ενός συμβάντος που βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο και η ανάλυση του χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει την πιθανότητα ενός συμβάντος κορυφής, ο οποίος μπορεί να είναι ένας τύπος ατυχήματος ή μιας ακούσιας επικίνδυνης έκβασης.

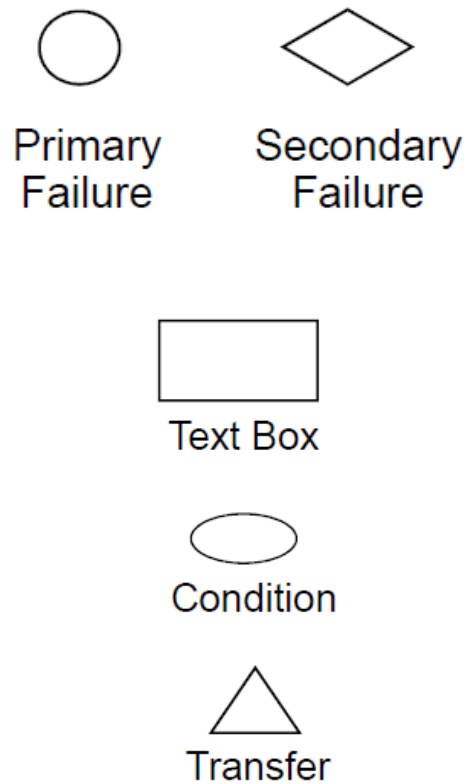
Το μοντέλο αυτό αποτελείται από διάφορα επίπεδα όπου η βλάβη βρίσκεται πάντα στην κορυφή ενώ τα αρχικά αίτια βρίσκονται στην βάση. Τα γεγονότα στο κάθε ενδιάμεσο επίπεδο μπορούν να λάβουν χώρα άμα συμβούν ένα ή περισσότερα γεγονότα στο αμέσως κατώτερο επίπεδο. Η ανάλυση με δέντρο σφαλμάτων (Fault Tree Analysis-FTA) μπορεί να δώσει τόσο ποιοτικές όσο και ποσοτικές πληροφορίες για το υπό μελέτη σύστημα. Συγκεκριμένα, οι ποιοτικές πληροφορίες ενδέχεται να περιλαμβάνουν διαδρομές αποτυχίας, αίτια και αδύναμες περιοχές του συστήματος, ενώ η ποσοτική ανάλυση ενός δένδρου σφαλμάτων παρέχει μια πιθανοθεωρητική εκτίμηση του συμβάντος κορυφής.

Με το σύμβολο του κύκλου, σε ένα FTA, παριστάνεται ένα βασικό συμβάν το οποίο δεν απαιτεί περαιτέρω ανάπτυξη. Αντιπροσωπεύει γεγονότα στο χαμηλότερο επίπεδο και έτσι υποδεικνύει τον τερματισμό της διακλάδωσης των δένδρων. Οι πληροφορίες αξιοπιστίας των συμβάντων θα πρέπει να είναι διαθέσιμες για ποσοτική ανάλυση σε ένα δέντρο σφαλμάτων.

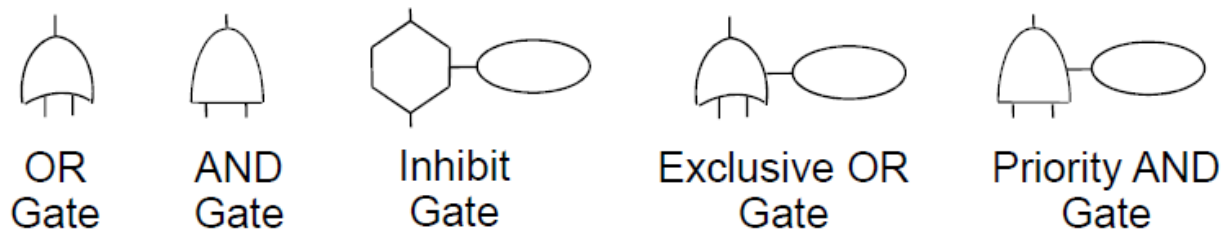
Με το σύμβολο του ορθογώνιου, παριστάνεται ένα ενδιάμεσο γεγονός που μπορεί να αναπτυχθεί περαιτέρω. Δηλώνει ένα γεγονός που προκύπτει από ένα συνδυασμό περισσότερων βασικών γεγονότων μέσω των λογικών πυλών.

Με το σύμβολο του ρόμβου παρουσιάζεται ένα υποβαθμισμένο (δευτερεύον) γεγονός που δεν αναπτύσσεται περαιτέρω είτε γιατί είναι ανεπαρκείς οι πληροφορίες για τις συνέπειες είτε επειδή απαιτούνται πληροφορίες για περαιτέρω ανάπτυξη, οι οποίες όμως δεν είναι διαθέσιμες.

Με το σύμβολο του τριγώνου υποδεικνύεται ότι το δέντρο αναπτύσσεται περαιτέρω αλλού, για παράδειγμα σε άλλη σελίδα.



Σχήμα 8 Σύμβολα FTA analysis



Σχήμα 9 Λογικά σύμβολα FTA analysis

Η συσχέτιση που έχουν τα γεγονότα μεταξύ τους προκύπτει από τον τρόπο που συνδέονται και τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται. Υπάρχουν διάφορα σύμβολα που περιγράφουν τον τύπο των γεγονότων αλλά η ουσία πίσω από ένα τέτοιο διάγραμμα είναι η σχέση μεταξύ των συμβόλων. Υπάρχουν τα σύμβολα-τελεστές που λειτουργούν ως λογικές πύλες, τα οποία παρουσιάζονται παραπάνω. Επομένως ανάλογα με τον τελεστή η πραγματοποίηση ενός γεγονότος μπορεί να απαιτεί την πραγματοποίηση όλων των γεγονότων από την προηγούμενη βαθμίδα (τελεστής AND) ή την πραγματοποίηση μερικών από αυτά (τελεστής OR). Οι λογικές πύλες καθορίζουν την πρόσθεση ή τον πολλαπλασιασμό των πιθανοτήτων, στην περίπτωση που υπάρχει ανεξαρτησία, προκειμένου να ληφθούν οι πιθανές τιμές για το συγκεκριμένο συμβάν.

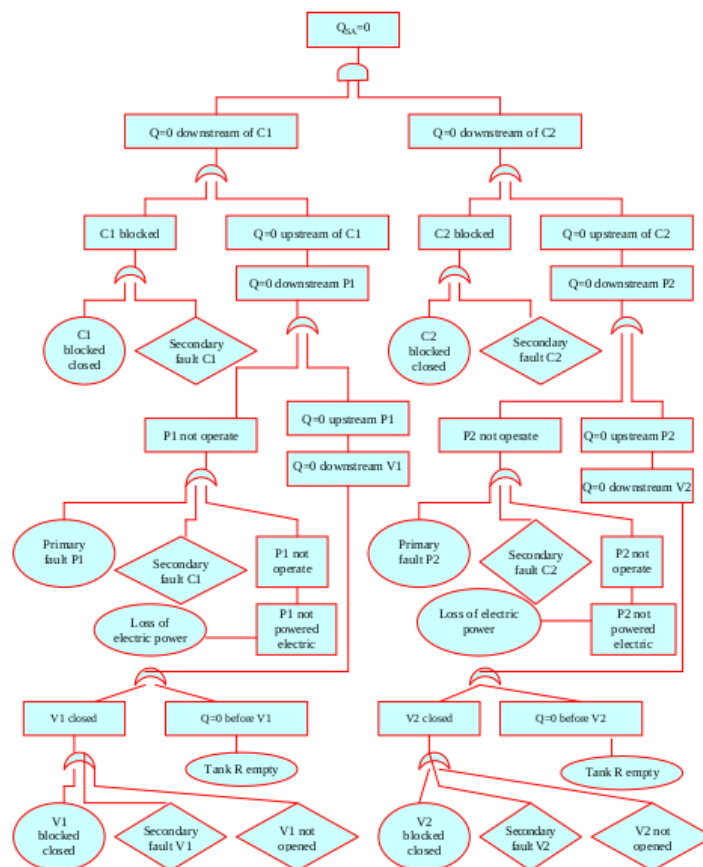
Κάποια από τα πλεονεκτήματα του είναι:

- Είναι ένα οπτικοποιημένο μοντέλο σχέσεων αιτίου-αποτελέσματος.
- Εύκολο στην κατανόηση του και στην εφαρμογή του.
- Παρουσιάζει τις σύνθετες σχέσεις του συστήματος με έναν κατανοητό τρόπο.
 - Ακολουθεί τις διαδρομές μεταξύ των ορίων του συστήματος.
 - Συνδυάζει αλληλεπιδράσεις υλικού, λογισμικού περιβάλλοντος και ανθρώπου.
 - Αναλύει διεπαφές υποσυστημάτων.
- Χρησιμοποιεί Boolean Algebra, Λογική και Πιθανότητες.
- Είναι αξιόπιστη και αποδεδειγμένη τεχνική.
- Υπάρχει διαθέσιμο εμπορικό λογισμικό.

- Μπορεί να έχει αξία παρά τις ελλείψεις πληροφορίες.

Κάποια από τα σημεία κριτικής εντοπίζονται στα παρακάτω:

- Είναι δύσκολο για έναν εξωτερικό παρατηρητή να γνωρίζει αν είναι ολοκληρωμένο.
- Η ορθότητα του δεν μπορεί να εξακριβωθεί.
- Δεν μπορεί να χειριστεί το χρονοδιάγραμμα
- Μπορεί να γίνουν πολύ μεγάλα, δύσκαμπτα και χρονοβόρα.
- Είναι πιθανόν, διάφοροι αναλυτές να παράγουν διαφορετικά FTA για το ίδιο σύστημα, κάτι το οποίο υποδεικνύει λάθος.



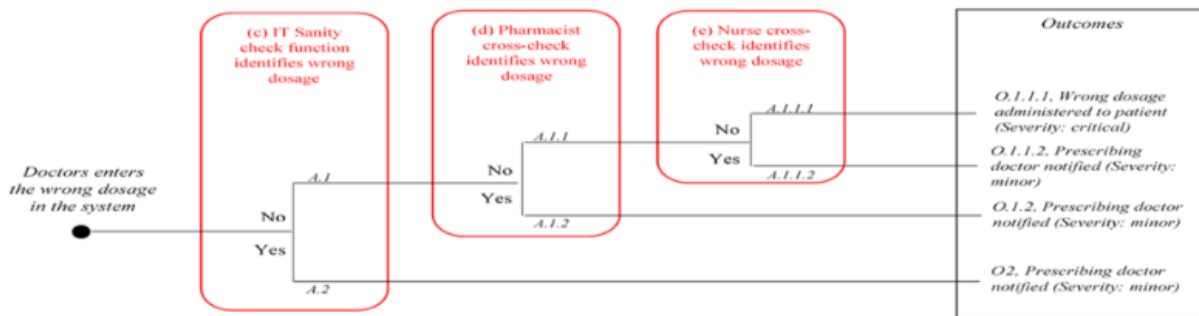
Σχήμα 10 Παράδειγμα FTA analysis

5.2.Ανάλυση με δέντρα συμβάντων

Τα δέντρα συμβάντων (event tree) αποτελούν μια ακόμη διαγραμματική απεικόνιση όπως τα δέντρα σφαλμάτων αλλά έχουν διαφορετική λογική. Το διάγραμμα αυτό περιγράφει τις επιδράσεις ενός ατυχήματος, μίας βλάβης ή γενικά ενός ανεπιθύμητου γεγονότος. Το διάγραμμα υποδεικνύει την πιθανότητα ή τη συχνότητα εμφάνισης του ατυχήματος που συνδέονται με τα μέτρα προστασίας που απαιτούνται προκειμένου να περιοριστεί το ατύχημα. Για κάθε μέθοδο ελέγχου του ρίσκου δημιουργείται ένας κλάδος στον οποίο, μέσω των πιθανοτήτων, εξετάζεται κατά πόσο επαρκεί αυτή η μέθοδος. Η ανάλυση με δέντρα συμβάντων (Event Tree Analysis-ETA) έχει ιδιαίτερη αξία στον προσδιορισμό της συνέπειας που έχει τη μεγάλη βαρύτητα.

Η πιθανότητα για κάθε αποτέλεσμα μπορεί να υπολογιστεί για το κάθε μονοπάτι που υπάρχει στο δέντρο. Στο παρακάτω παράδειγμα, η πιθανότητα για το ενδεχόμενο O.1.1.1 μπορεί να υπολογιστεί με την ακόλουθη σχέση.

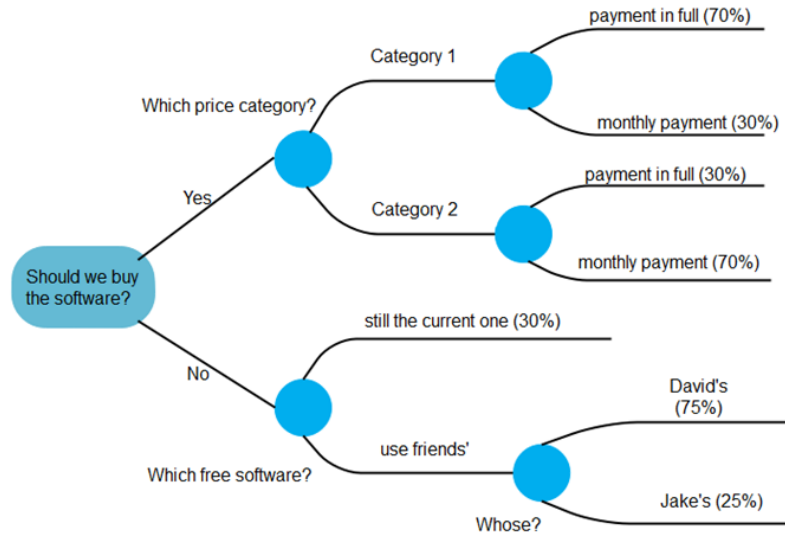
$$P(O.1.1.1) = P(A.1.1.1) \cdot P(A.1.1) \cdot P(A.1)$$



Σχήμα 11 Παράδειγμα ETA analysis στον τομέα της υγείας

Μια ανάλυση δένδρων γεγονότων αποτελεί μια επαγωγική διαδικασία που δείχνει όλα τα πιθανά αποτελέσματα που προκύπτουν από ένα τυχαίο γεγονός, το οποίο καλείται εκκίνηση, λαμβάνοντας υπόψη πρόσθετα γεγονότα και παράγοντες. Τα δέντρα γεγονότων χρησιμοποιούνται για να παρακολουθήσουν την πιθανή πορεία των γεγονότων καθώς το γεγονός μετακινείται μέσω από τα διάφορα συστήματα ασφαλείας. Η πιθανότητα επιτυχίας ή αποτυχίας κάθε παρέμβασης

ασφαλείας χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της συνολικής πιθανότητας κάθε τελικού αποτελέσματος.



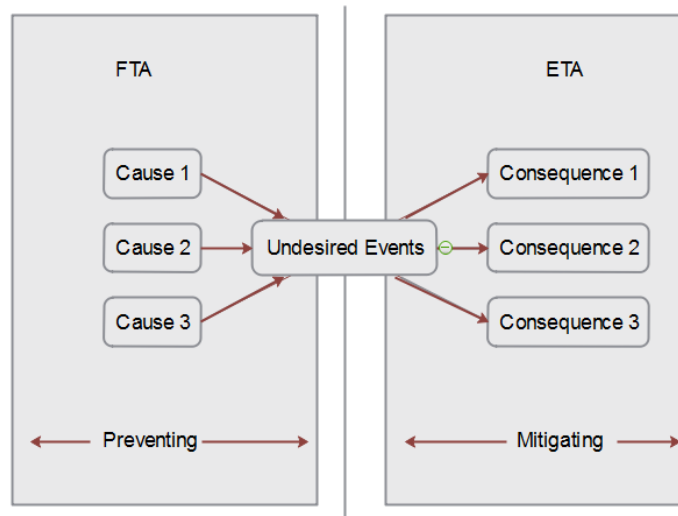
Σχήμα 12 Παράδειγμα. ETA analysis στον τομέα του προγραμματισμού

Και οι δύο τύποι δέντρων έχουν μεγάλη εφαρμογή σε διαφορετικά πεδία. Η FTA είναι ιδανική για τα περισσότερα θέματα που σχετίζονται με την επιστήμη, ιδίως την ασφάλεια και την αξιοπιστία ή την τεχνολογία λογισμικού, την αεροδιαστημική, την ενέργεια, τη χημική διεργασία, τη φαρμακευτική ανάλυση, το σχεδιασμό διαγνωστικών εγχειριδίων και το σχεδιασμό ισχύος για τα αεροσκάφη. Συγκεκριμένα αυτές τη FTA χρησιμοποιείται κυρίως για:

- Ανίχνευση τεχνικών σφαλμάτων.
- Κατανόηση του γενικού πλαισίου του συστήματος.
- Βελτιστοποίηση των υφιστάμενων πόρων.
- Προσδιορισμό μεθόδων για τη μείωση λειτουργικών βλαβών των συστημάτων.

Η ETA χρησιμοποιείται συνήθως για την ανάλυση των χρηματοπιστωτικών αγορών, ιδίως εκείνων που σχετίζονται με την τιμολόγηση των χρηματοπιστωτικών περιουσιακών στοιχείων και την ανάλυση κινδύνων. Ο αναγνώστης μπορεί εύκολα να εντοπίσει τις πιθανότητες μεταξύ διαφορετικών διαδρομών ενός οικονομικού μοντέλου που βασίζονται σε ένα διάγραμμα ETA.

Αν και τα δύο διαγράμματα φαίνονται παρόμοια σε πολλά σημεία, εξακολουθούν να υπάρχουν διαφορές αναφορικά με την αναλυτική τους μεθοδολογία. Και οι δύο τύποι περιλαμβάνουν τους προσδιορισμούς και ταξινομήσεις συμβάντων και παραγόντων, αλλά με διαφορετικό τρόπο εστίασης στα ανεπιθύμητα συμβάντα. Ο κύριος σκοπός της FTA είναι να αποτραπούν οι απώλειες, ενώ αντιθέτως, η ETA είναι ιδανική για την άμβλυση των κακών αποτελεσμάτων. Διαφορετικά θα μπορούσε να ειπωθεί ότι η FTA είναι προσανατολισμένη στην αιτία, ενώ ETA α είναι περισσότερο προσανατολισμένη στις συνέπειες.



Σχήμα 13 Σύγκριση ETA και FTA analysis

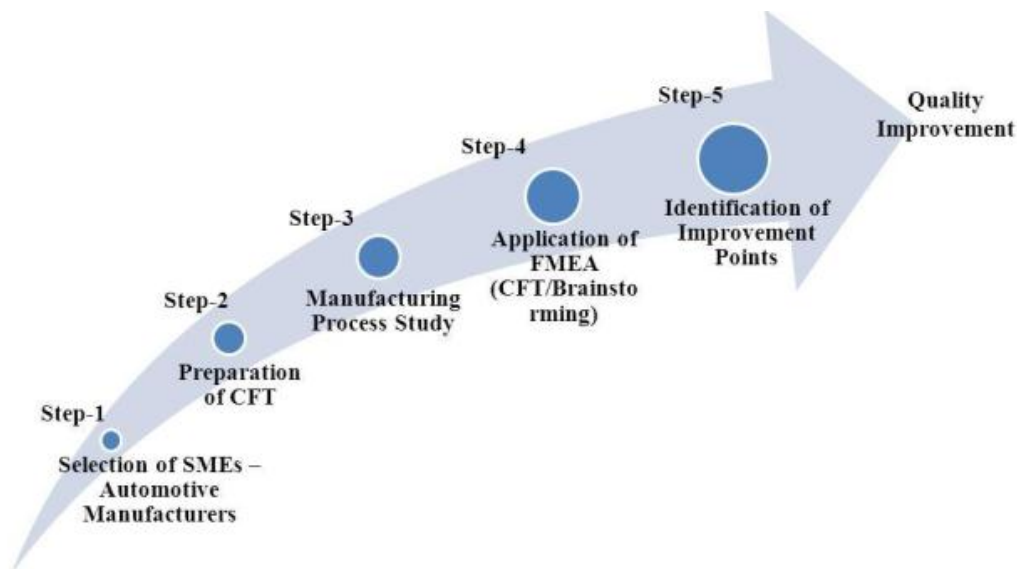
5.3.H Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Πρόκειται για μία τεχνική κατά την οποία το εξεταζόμενο σύστημα αναλύεται ως προς τις λειτουργίες, διαδικασίες και εξοπλισμό που σχετίζονται με αυτό. Μελετάται η επίδραση μιας βλάβης ενός εξαρτήματος ή η αποτυχία μιας διαδικασίας και κατά πόσο το κάθε ένα από αυτά επηρεάζει ολόκληρο το σύστημα. Με αυτό τον τρόπο καθίσταται δυνατή η εκτίμηση του κινδύνου και έτσι μπορούν να ληφθούν συστάσεις ασφαλείας. Αυτή η μέθοδος έχει εκτεταμένη χρήση σε μελέτες βλάβης εξαρτημάτων σε συστήματα μηχανών.

Ο πρωταρχικός στόχος ενός FMEA είναι η βελτίωση του σχεδιασμού. Υπάρχουν τρία είδη FMEA οι οποίοι έχουν συγκεκριμένους κύριους στόχους. Συγκεκριμένα, μια System FMEA στοχεύει στη βελτίωση του σχεδιασμού ενός συστήματος, μια Design FMEA στη βελτίωση του σχεδιασμού του υποσυστήματος ή του κατασκευαστικού στοιχείου και σε μια Process FMEA, ο στόχος είναι η βελτίωση του σχεδιασμού της διαδικασίας κατασκευής.

Κάποιοι δευτερεύοντες στόχοι για την υλοποίηση μιας FMEA, είναι:

- ο προσδιορισμός και η αποφυγή κινδύνων για την ασφάλεια,
- η ελαχιστοποίηση της απώλειας της απόδοσης,
- η βελτίωση των τα σχεδίων δοκιμών και επαλήθευσης (στην περίπτωση μιας System ή Design FMEA),
- η βελτίωση των σχεδίων ελέγχου μιας διαδικασίας (στην περίπτωση μιας Process FMEA),
- η εξέταση των αλλαγών στο σχεδιασμό ή τη διαδικασία κατασκευής ενός προϊόντος,
- ο προσδιορισμός σημαντικών χαρακτηριστικών ενός προϊόντος ή μιας διεργασίας,
- η ανάπτυξη σχεδίων προληπτικής συντήρησης για μηχανήματα και εξοπλισμό σε λειτουργία και
- η ανάπτυξη διαδικτυακών διαγνωστικών τεχνικών



Σχήμα 14 Τα βήματα της FMEA analysis

Η μέθοδος FMEA πραγματοποιείται μέσα σε 5 βήματα όπως φαίνεται στο σχήμα 14. Το πρώτο βήμα αφορά την εύρεση βλαβών του συστήματος καθώς και τις συνέπειές τους. Αφού προσδιοριστούν αυτά τα δεδομένα για όλα τα πιθανά σενάρια μπορεί να προχωρήσει ο μελετητής στο δεύτερο βήμα. Το δεύτερο βήμα αφορά την εκτίμηση σοβαρότητας μίας βλάβης ανάλογα με τις συνέπειες που προκύπτουν από την πραγματοποίησή της. Η εκτίμηση ποσοτικοποιείται με έναν αριθμό που ανάλογα με την τιμή του υποδηλώνεται το μέγεθος του αντίκτυπου που έχουν οι συνέπειες της βλάβης (Πίνακας 8).

Πίνακας 8 Επίπεδα κινδύνου

Rating	Meaning
1	No effect, no danger
2	Very minor – usually noticed only by discriminating or very observant users
3	Minor – only minor part of the system affected; noticed by average users
4-6	Moderate – most users are inconvenienced and/or annoyed
7-8	High – loss of primary function; users are dissatisfied
9-10	Very high – hazardous. Product becomes inoperative, customers angered. Failure constitutes a safety hazard and can cause injury or death.

Στο τρίτο βήμα γίνεται εκτίμηση της πιθανότητας πραγματοποίησης των βλαβών. Για κάθε βλάβη γίνεται προσδιορισμός της πιθανότητας εμφάνισης με έναν αριθμό σε κλίμακα 1-10. Το 1 αντιστοιχεί σε πολύ μικρή πιθανότητα ενώ το 10 δηλώνει υψηλή πιθανότητα να λάβει χώρα κάποια βλάβη. Στο τέταρτο βήμα γίνεται εκτίμηση των μεθόδων εύρεσης των βλαβών. Η κάθε μέθοδος αναλύεται ως προς την ικανότητά της να εντοπίζει την βλάβη με κλίμακα 1-10 όπου το 10 είναι υποδηλώνει τον μη εντοπισμό της βλάβης.

Πίνακας 9 Επίπεδα βλαβών

Rating	Meaning
1	No documented failures on similar products/processes
2-3	Low – relatively few failures
4-6	Moderate – some occasional failures
7-8	High – repeated failures
9-10	Very high – failure is almost certain
9-10	Very high – hazardous. Product becomes inoperative, customers angered. Failure constitutes a safety hazard and can cause injury or death.

Rating	Meaning
1	Fault is certain to be caught by testing
2	Fault almost certain to be caught by testing
3	High probability that tests will catch fault
4-6	Moderate probability that tests will catch fault
7-8	Low probability that tests will catch fault
9-10	Fault will be passed undetected to user/customer

Στο τελευταίο βήμα γίνεται εντοπισμός προβλημάτων ασφαλείας που χρήζουν αντιμετώπιση. Η διαδικασία αυτή γίνεται για κάθε βλάβη μέσω του Risk Priority Number με την σχέση

$$RPN = S \cdot O \cdot D$$

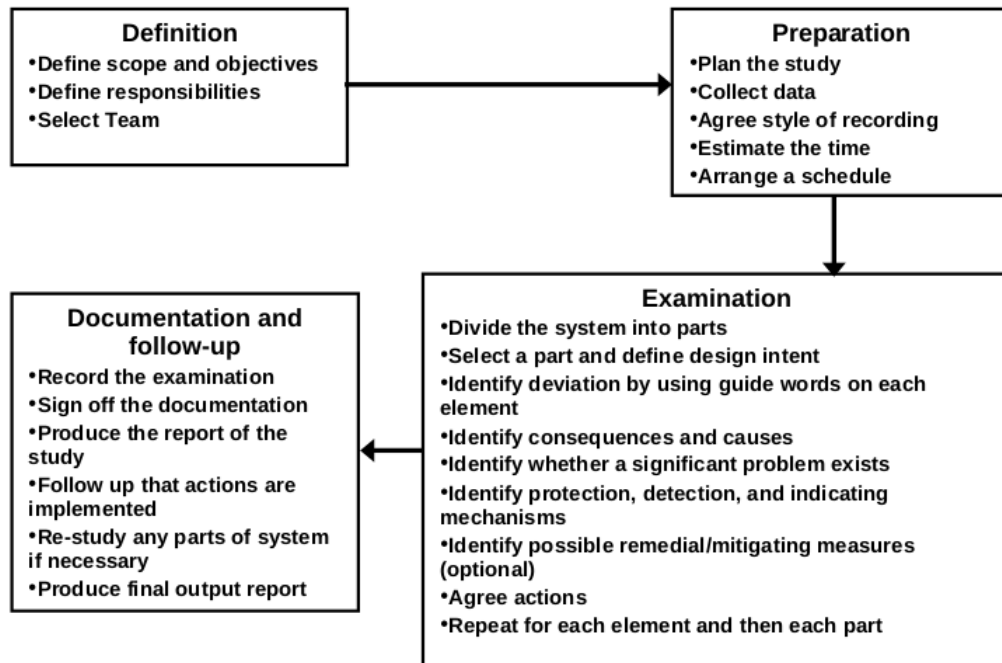
όπου S η σοβαρότητα από το βήμα 2, O η πιθανότητα από το βήμα 3 και D η δυνατότητα εύρεσης από το βήμα 4. Με βάση αυτόν τον αριθμό οι βλάβες ταξινομούνται με κριτήριο την ανάγκη για ενίσχυση της ασφάλειας. Επομένως, όσες βλάβες έχουν υψηλή τιμή σε αυτόν τον αριθμό σε σχέση με τις υπόλοιπες έχουν και μεγαλύτερες απαιτήσεις για ενίσχυση της ασφάλειας.

Ο RPN δεν αποτελεί μια τέλεια αναπαράσταση του κινδύνου που σχετίζεται με τη λειτουργία αποτυχίας και τη σχετική αιτία, αφού είναι υποκειμενικός, ενώ δε λαμβάνει συνεχείς τιμές. Τέλος, η υψηλή σοβαρότητα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ανεξάρτητα από την τιμή του RPN.

5.4.H Hazard and Operability Studies (HAZOP)

Πρόκειται για μία συστηματική και δομημένη τεχνική με την οποία γίνεται εντοπισμός των πιθανών κινδύνων και προβλημάτων κατά την λειτουργία ενός συστήματος. Η βασική αρχή της μεθοδολογίας είναι ότι τα γεγονότα στα οποία υπάρχει ρίσκο οφείλονται σε απόκλιση των σχεδίων ή της προγραμματισμένης λειτουργίας από την πραγματικότητα. Μεγάλη σημασία έχει η χρήση της φαντασίας από τα μέλη της ομάδας που εργάζονται για να αυξηθεί η ασφάλεια ώστε να προσδιοριστούν όλες οι δυνατές αποκλίσεις.

Η μεθοδολογία αποτελείται από τρία στάδια. Στο αρχικό στάδιο ορίζονται οι στόχοι, η οπτική και η ευθύνη της ομάδας. Το δεύτερο στάδιο αφορά την συλλογή δεδομένων και του δημιουργία ενός πλάνου πάνω στο οποίο θα βασιστεί η έρευνα. Στο τρίτο στάδιο γίνεται η ανάλυση και η εκτίμηση του ρίσκου. Για κάθε εξάρτημα η διαδικασία προσδιορίζονται όλες οι παρεκκλίσεις και το αντίκτυπο αν δημιουργηθεί ένα ατύχημα. Η ανάλυση προχωράει ένα βήμα παραπέρα από τον προσδιορισμό των αιτίων αλλά εξετάζει και τα μέτρα προστασίας. Το τελευταίο βήμα σχετίζεται με την εξέταση των αποτελεσμάτων της έρευνας και την δημιουργία συστάσεων για την ενίσχυση της ασφάλειας.



Σχήμα 15 Η δομή της HAZOP

5.5.H What If Analysis τεχνική

Η συγκεκριμένη τεχνική είναι η μια τεχνική ταυτοποίησης κινδύνου κατάλληλη για χρήση σε μια συνάντηση ταυτοποίησης κινδύνου. Οι τυπικοί συμμετέχοντες σε μια τέτοια συνάντηση μπορεί να είναι ένας διευκολυντής-ηγέτης, ένας καταγραφέας και μια ομάδα προσεκτικά επιλεγμένων έμπειρων ατόμων που καλύπτουν τα υπό εξέταση θέματα. Συνήθως απαιτείται μια ομάδα από 7 έως 10 άτομα.

Η ομάδα αρχικά εξετάζει λεπτομερώς το σύστημα, τη λειτουργία ή τη λειτουργία στο υπό θεώρηση πλαίσιο. Ετοιμάζονται σχέδια, τεχνικές περιγραφές κλπ., και οι εμπειρογνώμονες μπορεί να χρειαστεί να διευκρινίσουν ο ένας στον άλλο τις λεπτομέρειες του συστήματος, της λειτουργίας ή τις πιθανές αστοχίες της λειτουργίας. Η επόμενη φάση της συνάντησης είναι η ανταλλαγή ιδεών, όπου καθοριστικός είναι ο ρόλος του ηγέτη-διευκολυντή ο οποίος θέτει ερωτήσεις οι οποίες αρχίζουν με τη φράση “ What if?”. Οι ερωτήσεις αυτές καλύπτουν θέματα όπως είναι λειτουργικά σφάλματα, σφάλματα μέτρησης, δυσλειτουργία εξοπλισμού, συντήρηση, αποτυχία χρησιμότητας, απώλεια περιορισμού, λειτουργία έκτακτης ανάγκης και εξωτερικές

επιρροές. Όταν οι ιδέες εξαντλούνται, η εμπειρία από προηγούμενα ατυχήματα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της πληρότητας.

Οι κίνδυνοι που μελετώνται θεωρούνται διαδοχικοί και δομημένοι σε μια λογική ακολουθία, όπου επιτρέπεται η διασταύρωση των κινδύνων. Η έκθεση εντοπισμού κινδύνου συνήθως αναπτύσσεται και συμφωνείται κατά τη συνεδρίαση και η απόφαση ανακοινώνεται με τη λήξη της συνεδρίασης. Η συγκεκριμένη τεχνική απαιτεί οι συμμετέχοντες να είναι ανώτεροι υπάλληλοι με γνώση υψηλού επιπέδου στο πεδίο εμπειρίας τους, ενώ η συνάντηση συνήθως διαρκεί τρεις μέρες. Στην περίπτωση που η εργασία απαιτεί μακρές συναντήσεις, θα πρέπει να κατανεμηθεί σε μικρότερες υπο-αποστολές. Η SWIFT (Structured What If Technique) είναι ένα παράδειγμα μιας What If Analysis τεχνικής.

Κεφάλαιο 6 Bayesian Networks

6.1. Τα γραφήματα

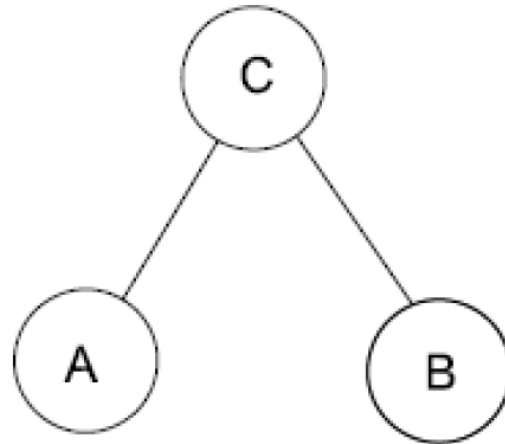
Ένα γραφικό μοντέλο, είναι ένα εργαλείο το οποίο χρησιμοποιείται προκειμένου να οπτικοποιηθεί ένα πρόβλημα ώστε κάποιος να εργαστεί κάτω υπό συνθήκες ανεξαρτησίες μεταξύ των μεταβλητών του. Δύο μεταβλητές, όταν δεν επηρεάζουν η μία την άλλη, καλούνται υπό συνθήκη ανεξάρτητες. Για παράδειγμα, αν η μεταβλητή A είναι υπό συνθήκη ανεξάρτητη μεταβλητή από τη μεταβλητή C , λαμβάνοντας υπόψη τη μεταβλητή B , τότε γράφουμε

$$P(A|B, C)=P(A|B)$$

Παράλληλα, με τη χρήση ενός γραφικού μοντέλου, είναι δυνατό να εντοπιστούν οι όποιες ενδιάμεσες μεταβλητές που χωρίζουν δυο υπό συνθήκη ανεξάρτητες μεταβλητές. Μέσω αυτών των ενδιάμεσων μεταβλητών, δύο υπό συνθήκη ανεξάρτητες μεταβλητές επηρεάζουν η μία την άλλη. Ένα γράφημα αποτελείται από ένα σύνολο κόμβων, που αναπαριστούν τις μεταβλητές και από ένα σύνολο ακμών, όπου κάθε ακμή ενώνει δύο κόμβους, με μία προαιρετικά ορισμένη κατεύθυνση. Όταν μια ακμή είναι κατευθυνόμενη ακμές, τότε αναφέρουμε ότι η ακμή πηγαίνει από τους «γονείς» στα «παιδιά». Στην περίπτωση εκείνη, που υπάρχει αιτιολογική σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών, η ακμή που τις συνδέει πρέπει να είναι κατευθυνόμενη και συγκεκριμένα από την αιτία στο αιτιατό. Εάν αντιθέτως υπάρχει απλά κάποια συσχέτιση μεταξύ δύο μεταβλητών, τότε η ακμή δεν έχει κάποια συγκεκριμένη κατεύθυνση (Cowell , 1999).

Αν υποθεθεί ότι οι μεταβλητές A και C είναι δυο υπό συνθήκη ανεξάρτητες μεταβλητές, και είναι και οι δύο απευθείας αλληλοσχετιζόμενες με μία άλλη μεταβλητή B , τότε ενώνονται με ακμή οι κόμβοι που συνδέονται απευθείας μεταξύ τους. Αυτές οι ακμές είναι μεταξύ των $A - B$ και μεταξύ των $B - C$. Παράλληλα, αν υποθεθεί ότι η σχέση μεταξύ των A και B , καθώς και μεταξύ των B και C δουλεύει εξίσου και προς τις δύο κατευθύνσεις, τότε οι ακμές στο γράφημα δεν έχουν κάποια συγκεκριμένη κατεύθυνση.

Παρακάτω, στο σχήμα 16, οι μεταβλητές A και B εξαρτώνται από την μεταβλητή C. Αφού δεν υπάρχει καμία ακμή μεταξύ των μεταβλητών A και B, τότε αυτές είναι υπό συνθήκη ανεξάρτητες, δοθέντος της C. Αυτό δεν σημαίνει ότι οι μεταβλητές τα A και B είναι εντελώς ανεξάρτητες. Απλά σημαίνει ότι η μεταβλητή C κωδικοποιεί πληροφορίες από την μεταβλητή A, που επιδρούν στη B και το αντίστροφο.

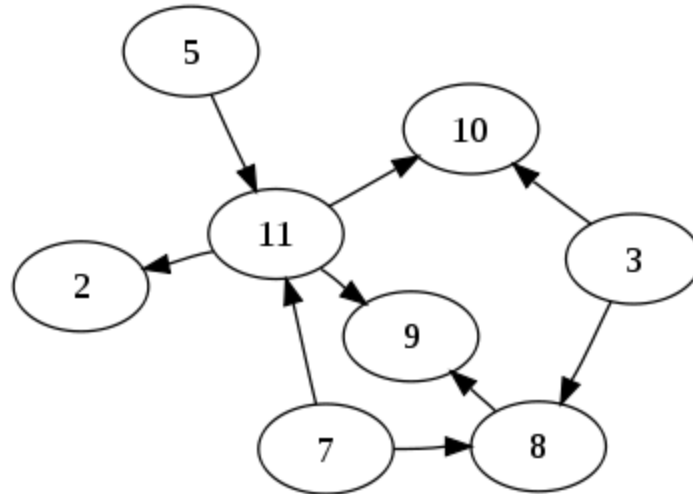


Σχήμα 16 Μεταβλητές εξαρτώμενες από άλλη

Γενικά, ένα γραφικό μοντέλο είναι δυνατό να αποτελείται από $K=1,2,\dots,k$ μεταβλητές, δηλαδή κόμβους, στο οποίο σημειώνεται ένα σύνολο εξαρτήσεων μεταξύ των μεταβλητών, μέσω των ακμών και από ένα σύνολο συναρτήσεων κατανομών πιθανοτήτων για κάθε μία μεταβλητή.

6.2. Bayesian Networks

Ο όρος Bayesian Networks (BNs) προτάθηκε από τον Pearl (1985), ενώ λίγα χρόνια αργότερα αναγνωρίζονταν ως ένα ώριμο πεδίο μελέτης (Pearl, 1988). Είναι επίσης γνωστά και ως Δίκτυα Πειπίθησης (Belief Networks), καθώς και ως πιθανοτικά μοντέλα κατευθυνόμενων ακυκλικών γράφων (Directed Acyclic Graph-DAGs) (Jordan, 1999). Οι κόμβοι του αναπαριστούν τυχαίες μεταβλητές, ενώ οι σύνδεσμοι αναπαριστούν εξαρτήσεις μεταξύ των μεταβλητών. Τα δίκτυα ή γράφοι που αποκλειστικά περιλαμβάνουν μη-κατευθυνόμενους συνδέσμους καλούνται δίκτυα Markov (Markov Networks- MNs)



Σχήμα 17 Bayesian δίκτυο

Για παράδειγμα, ένα Bayesian δίκτυο θα μπορούσε να αντιπροσωπεύει τις πιθανοτικές σχέσεις μεταξύ ασθενειών και συμπτωμάτων. Δεδομένων των συμπτωμάτων, το δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των πιθανοτήτων παρουσίας διαφόρων ασθενειών.

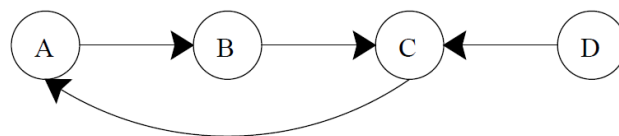
Ένα BN υποστηρίζει τους ακόλουθους δύο τύπους συμπερασμάτων:

- Συμπέρασμα πρόβλεψης (prediction) για έναν κόμβο X_i χρησιμοποιώντας τη γνώση των γονέων κόμβων του X_i ή/και άλλων κόμβων συνδεδεμένων με τους γονείς κόμβους του X_i . Με τον όρο γονέας κόμβος εννοείται κάθε κόμβος που καταλήγει στον κόμβο X_i . Για παράδειγμα στο παραπάνω σχήμα, οι γονείς κόμβοι του κόμβου X_{10} είναι οι κόμβοι X_{11} και X_3 . Αυτός ο συμπερασμός εναλλακτικά καλείται συλλογιστική από πάνω προς τα κάτω (top-down reasoning).
- Συμπερασμό διάγνωσης (diagnosis) για έναν κόμβο X_i χρησιμοποιώντας γνώση των παιδιών κόμβων του X_i ή/και άλλων κόμβων συνδεδεμένων με τα παιδιά κόμβους του X_i . Με τον όρο παιδί κόμβος εννοείται κάθε κόμβος στον οποίο καταλήγει μια σύνδεση που ξεκινάει από τον κόμβο X_i . Για παράδειγμα στο παραπάνω σχήμα, τα παιδιά κόμβοι του κόμβου X_7 είναι οι κόμβοι X_{11} και X_8 . Αυτός ο συμπερασμός εναλλακτικά καλείται συλλογιστική από κάτω προς τα πάνω (bottom-up reasoning).

6.3.Θεωρία γράφων

Ο Brualdi (1992) ορίζει ως γράφο, ένα σύνολο κόμβων, ή κορυφών και ένα σύνολο ακμών, που επίσης ονομάζονται και τόξα, όπου κάθε ακμή ενώνει δύο κόμβους. Για τη συγκεκριμένη διάταξη χρησιμοποιείται και ο όρος μη κατευθυνόμενος γράφος. Εάν οι δύο κορυφές κάθε ακμής είναι διατεταγμένες, τότε η ακμή είναι κατευθυνόμενη και ο γράφος ονομάζεται digraph (Directed GRAPH). Ο Brualdi (1992) αναφέρεται επίσης και σε «πολυγράφους», καθώς και «γενικούς κατευθυνόμενους γράφους», οι οποίοι επιτρέπουν την ύπαρξη πολλαπλών συνδέσεων μεταξύ οποιονδήποτε δυο κόμβων του, στους κατευθυνόμενους και μη κατευθυνόμενους γράφους, αντίστοιχα. Οι ακόλουθες ιδιότητες ενός γράφου περιγράφουν τις ακμές που εμφανίζονται μεταξύ των κόμβων σε έναν γράφο ή σε ένα κατευθυνόμενο γράφο.

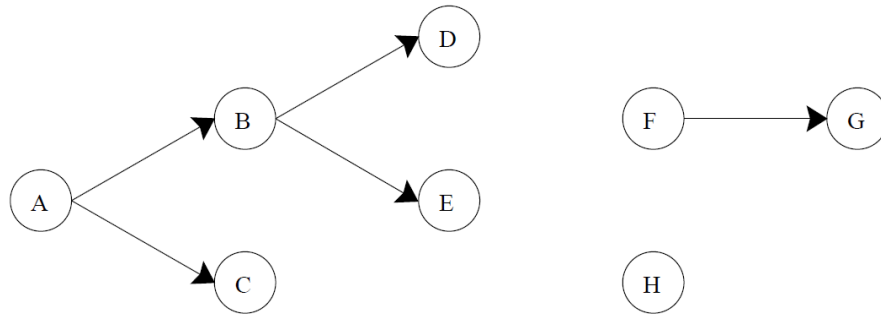
Μια αλυσίδα (chain) είναι μια σειρά από κόμβους όπου κάθε επόμενος συνδέεται με τον προηγούμενο με ένα βέλος, ανεξαρτήτου κατεύθυνσης. Το μονοπάτι (path) είναι μια αλυσίδα όπου όλα τα βέλη έχουν την ίδια κατεύθυνση. Ο κύκλος (circle) είναι ένα μονοπάτι το οποίο αρχίζει και τελειώνει στον ίδιο κόμβο. Ένα απλό μονοπάτι (simple path) είναι ένα μονοπάτι με μοναδικούς κόμβους, ενώ ένας απλός κύκλος (simple circle) είναι ένας κύκλος όπου όλοι οι κόμβοι του, εκτός από τον κόμβο αρχή τέλους είναι μοναδικοί. Τέλος ένα DAG είναι ένας κατευθυνόμενος γράφος χωρίς κύκλους.



Σχήμα 18 Μονοπάτι, αλυσίδα και κύκλος

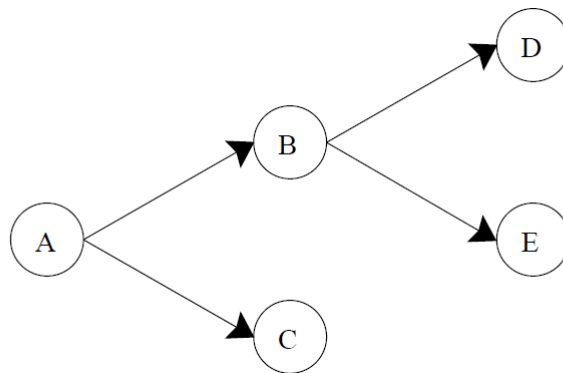
Στο παραπάνω σχήμα 18 η ακολουθία A-B-C-D είναι μια αλυσίδα, αλλά όχι ένα μονοπάτι, ενώ η ακολουθία A-B-C-A-B είναι ένα μονοπάτι μήκους 4. Η ακολουθία A-B-C είναι ένα απλό μονοπάτι μήκους 2, ενώ η ακολουθία A-B-C-A-B-C είναι ένας κύκλος μήκους 6. Τέλος, η ακολουθία A-B-C-A είναι ένας απλός κύκλος μήκους 3.

Ένα δάσος (forest) είναι ένα DAG όπου κάθε κόμβος έχει το πολύ ένα γονέα. Ένα δέντρο (tree) είναι ένα δάσος όπου μόνο ένας κόμβος, ο οποίος καλείται ρίζα (root), δεν έχει γονέα, ή αλλιώς κάθε κόμβος, εκτός της ρίζας, έχει ακριβώς ένα γονέα.



Σχήμα 19 Δάσος

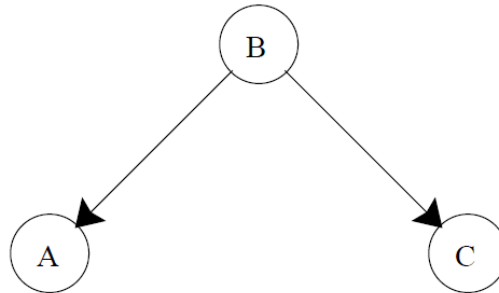
Στο σχήμα 19 το γράφημα που αποτελείται από τους κόμβους A, B, C, ..., H είναι ένα δάσος αφού οι κόμβοι A, F και H δεν έχουν γονέα, ενώ οι υπόλοιποι έχουν μόνο ένα γονέα. Το γράφημα δεν είναι δέντρο αφού υπάρχουν τρεις κόμβοι, και όχι ένας, χωρίς γονέα.



Σχήμα 20 Δέντρο

Το παραπάνω γράφημα (σχήμα 20) είναι ένα δέντρο, αλλά και ένα DAG όπου κάθε κόμβος έχει ακριβώς ένα γονέα, εκτός από τη ρίζα, τον κόμβο A, που δεν έχει κανένα.

Μια άλλη παράμετρος που παρουσιάζει ενδιαφέρον είναι η σχέση που τα BN έχουν με το χρόνο. Το παρακάτω δίκτυο χαρακτηρίζεται ως στατικό, αφού όλες οι μεταβλητές στο δίκτυο λήφθηκαν μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή (σχήμα 21).



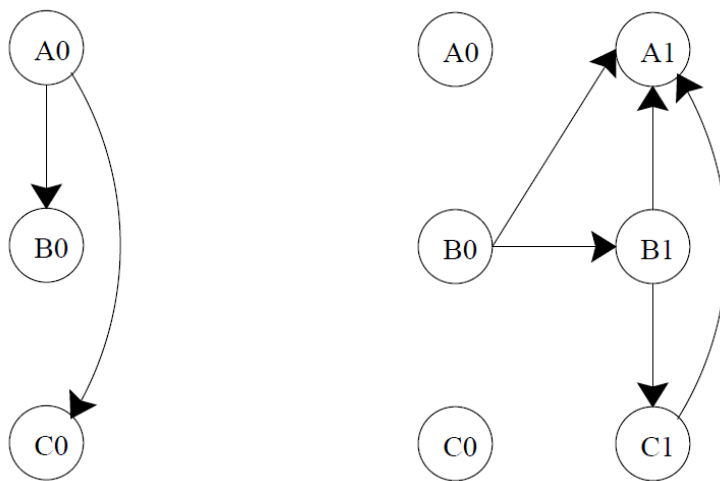
Σχήμα 21 Στατικό δίκτυο

Ως Moralized γράφος, περιγράφεται ο γράφος που κατασκευάζεται από έναν DAG με τον παρακάτω τρόπο. Σε έναν DAG, οι γονείς κάθε κόμβου παντρεύονται μεταξύ τους, το οποίο γίνεται με την προσθήκη μία μη κατευθυνόμενη ακμή μεταξύ των γονέων. Στη συνέχεια αφαιρούνται οι κατευθύνσεις από όλες τις αρχικές ακμές, καταλήγοντας σε ένα γράφο χωρίς κατεύθυνση.

Σε ένα δοθέν μονοπάτι (ή κύκλο), με τον όρο χορδή περιγράφεται μία ακμή η οποία δεν εμφανίζεται στο μονοπάτι που είναι μεταξύ δύο κόμβων. Με το όρο τριγωνικός περιγράφεται έναν γράφο χωρίς κατεύθυνση, όπου όμως κάθε κύκλος, με τουλάχιστον τέσσερις κόμβους, έχει και μία χορδή. Στην περίπτωση κύκλου με τρεις κόμβους δεν μπορεί να υπάρχει χορδή. Με τον όρο ολοκληρωμένο, περιγράφεται ένας γράφο χωρίς κατεύθυνση όπου κάθε κόμβος του είναι συνδεδεμένος με όλους τους άλλους κόμβους. Ως κλίκα, αναφέρεται ένα υποσύνολο κόμβων που είναι ολοκληρωμένο και δεν μπορεί να γίνει μεγαλύτερο. Τέλος, ως κοινό δέντρο, ονομάζεται ένας DAG ο οποίος έχει γίνει τριγωνικός και moralized και στην συνέχεια οι κλίκες αποτελούν τους κόμβους ενός δέντρου.

6.4. Dynamic Bayesian Network

Στην περίπτωση εκείνη που μας ενδιαφέρει πως μεταβάλλονται οι μεταβλητές σε σχέση με το χρόνο, τότε αναφερόμαστε σε ένα δυναμικό (Dynamic) Bayesian Network. Για ένα δυναμικό BN, πρέπει να θεωρήσουμε ένα προηγούμενο δίκτυο (prior network) και ένα δίκτυο μετάβασης (transition network). Ένα προηγούμενο μοντέλο έχει την παρακάτω μορφή (αριστερό γράφημα), ενώ ένα δίκτυο μετάβασης φαίνεται στο δεξιό σχήμα, όπου οι μεταβλητές A, B και C είναι σταθερές (σχήμα 22).



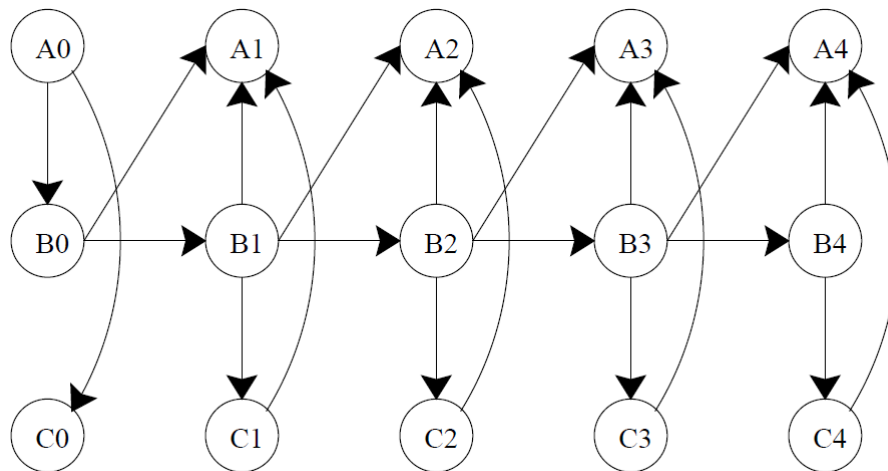
Σχήμα 22 Προηγούμενο δίκτυο και δίκτυο μετάβασης

Το αριστερό γράφημα, το προηγούμενο δίκτυο, αναπαριστά τις προηγούμενες πιθανότητες για όλες τις μεταβλητές του δικτύου τη χρονική στιγμή $t=0$. Στο δεξιό γράφημα, στο δίκτυο μετάβασης, για κάθε χρονική στιγμή $t=1,2,\dots,n$ παριστάνονται όλες οι πιθανότητες σε σχέση με άλλες μεταβλητές, πιθανόν από κάποια προηγούμενη χρονική ζώνη.

Σε ένα DBN, πρέπει να διευκρινιστούν το ένα αρχικό δίκτυο και ένα μεταβατικό δίκτυο. Στο παραπάνω σχήμα, αριστερά παρουσιάζεται το αρχικό δίκτυο και δεξιά το μεταβατικό δίκτυο. Στο αρχικό δίκτυο απεικονίζονται οι προγενέστερες κατανομές πιθανοτήτων όλων των μεταβλητών του δικτύου για την χρονική στιγμή $t=0$, δηλαδή για την αρχική χρονική φέτα. Το μεταβατικό δίκτυο απεικονίζει, για όλες τις χρονικές στιγμές $t=1,2,\dots,n$, ποιες είναι οι κατανομές των

πιθανοτήτων για κάθε μεταβλητή υπό συνθήκη άλλων μεταβλητών, ενδεχομένως από προηγούμενη φάση.

Σε ένα δυναμικό BN, το σύνολο των μεταβλητών και των οριζόμενων πιθανοτήτων είναι το ίδιο σε κάθε χρονική ζώνη, με εξαίρεση το προηγούμενο δίκτυο στην αρχική χρονική ζώνη, το οποίο έχει τις δικές του κατανομές πιθανότητας. Με δεδομένο το προηγούμενο δίκτυο και το δίκτυο μετάβασης, είναι δυνατόν να κατασκευαστεί ένα δυναμικό BN οπουδήποτε μήκους. Αρχικά παρέχονται τα ίδια σύνολα (ασύνδετων) μεταβλητών για κάθε χρονική ζώνη. Τη χρονική στιγμή $t=0$, οι συνδέσεις μεταξύ των κόμβων και των τοπικών συναρτήσεων πιθανότητας είναι οι ίδιες όπως και στο προηγούμενο δίκτυο. Στη συνέχεια για κάθε χρονική στιγμή $t=1,2,\dots, n$ οι συνδέσεις μεταξύ των χρονικών στιγμών $t-1$ και t , οι συνδέσεις εντός της χρονικής στιγμής t και των τοπικών συναρτήσεων πιθανότητας εντός της κάθε χρονικής στιγμής καθορίζονται από το δίκτυο μετάβασης. Στο σχήμα 2 αποτυπώνεται ένα δυναμικό BN, για πέντε χρονικές στιγμές, το οποίο δημιουργείται από το προηγούμενο δίκτυο και το δίκτυο μετάβασης που παρουσιάστηκαν παραπάνω.



Σχήμα 23 *Dynamic Bayesian Network*

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης των DBN, σε σχέση με τα απλά BN, σύμφωνα με τους Zweig & Russel (1997), είναι ότι πρώτον εκμεταλλευόμενοι τις υπό συνθήκη ανεξαρτησίες των BN είναι δυνατόν να βελτιστοποιηθεί η παραγοντοποίηση της κοινής συνάρτησης πιθανότητας με τελικό

αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού των μεταβλητών. Επίσης, «η γενικότητα των αλγορίθμων του συμπερασμού και της μάθησης μπορεί να επιτρέψει στους ερευνητές να εξερευνήσουν με ευκολία διαφορετικές τοπολογίες με ίδιο, μη τροποποιημένο πρόγραμμα BN», ενώ τέλος στα πλεονεκτήματα τους περιλαμβάνεται και το «δέσιμο» των μεταβλητών κατά μήκους όλων των χρονικών στιγμών, το οποίο είναι δυνατό να συντελέσει στο σχηματισμό ενός καλύτερου και πιο αποτελεσματικού μεταβατικού μοντέλου.

6.5.Υπό συνθήκη ανεξαρτησία

Ο συγκεκριμένος όρος αναφέρθηκε και στην αρχή του παρόντος κεφαλαίου. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν κάποια παραδείγματα προκειμένου να γίνει περισσότερο αντιληπτός ο συγκεκριμένος όρος. Η υπό συνθήκη ανεξαρτησία κατέχει ένα σημαντικό ρόλο στα πιθανοτικά γραφικά μοντέλα, αφού με βάση αυτή είναι δυνατή η απλοποίηση της δομής τους καθώς και των απαιτούμενων υπολογισμών για την επαγωγή συμπερασμάτων και τη μάθηση μεταβλητών ή/και δομής πάνω στο κάθε μοντέλο.

Αρχικά παρουσιάζονται κάποια βασικά στοιχεία από τη Θεωρία Πιθανοτήτων πάνω. Οι δύο βασικοί κανόνες των Πιθανοτήτων είναι:

- $P(x) = \sum P(X, Y)$ κανόνας αθροίσματος
- $P(X, Y) = P(Y|X) \cdot P(X)$ κανόνας αθροίσματος

όπου με $P(X, Y)$ συμβολίζεται η από κοινού πιθανότητα των X και Y και η ποσότητα $P(Y|X)$ είναι η υπό συνθήκη πιθανότητα (ή δεσμευμένη πιθανότητα) την οποία και την αναφέρουμε ως την πιθανότητα του Y δοθέντος X . Τέλος, η ποσότητα $P(X)$ καλείται περιθώρια πιθανότητα ή απλά η πιθανότητα του X .

Ο συνδυασμός των παραπάνω κανόνων δίνει το θεώρημα του Bayes πάνω στο οποίο θεμελιώνονται θεωρητικά τα BN. Το συγκεκριμένο θεώρημα αναφέρει:

$$P(Y|X) = \frac{P(X|Y) \cdot P(Y)}{P(X)}$$

Στη συνέχεια με εφαρμογή του κανόνα του αθροίσματος, ο παρονομαστής στον παραπάνω τύπο μπορεί να πάρει τη μορφή

$$P(x) = \sum P(X|Y) \cdot P(Y)$$

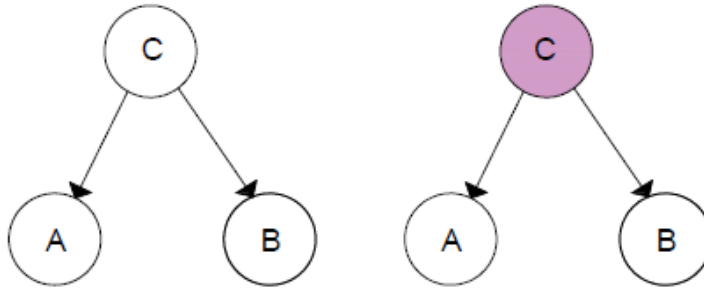
οπότε ο παρονομαστής λειτουργεί ως μια σταθερά «κανονικοποίησης» η οποία εξασφαλίζει ότι το άθροισμα της υπό συνθήκη πιθανότητας που βρίσκεται στο πρώτο μέλος του τύπου του Bayes, δηλαδή του $P(Y|X)$, πάνω σε όλες τις τιμές του Y ισούται με τη μονάδα.

Στην περίπτωση εκείνη που είναι γνωστή η από κοινού κατανομή πάνω σε ένα σύνολο μεταβλητών και εκφράζεται ως ένα γινόμενο υπό συνθήκη κατανομών, με απλά λόγια δηλαδή μα δίνεται η μαθηματική αναπαράσταση ενός κατευθυνόμενου μοντέλου, είναι δυνατός ο έλεγχος θα αν μια οποιαδήποτε υπό συνθήκη ανεξαρτησία ισχύει χρησιμοποιώντας επανειλημμένα τους κανόνες του αθροίσματος και του γινομένου της θεωρίας πιθανοτήτων. Θα πρέπει όμως να ληφθεί υπόψη ότι μία τέτοια προσέγγιση κοστίζει σε χρόνο (Χριστακοπούλου, 2013).

Το γενικό πλαίσιο, εντός του οποίου, είναι δυνατός ο εντοπισμός των ιδιοτήτων μιας υπό συνθήκη ανεξαρτησίας, απευθείας από το BN, ονομάζεται *d-separation*, όπου το γράμμα *d* σημαίνει *directed* (κατευθυνόμενη). Στη συνέχεια παρουσιάζεται η έννοια της *d-separation* και των υποπεριπτώσεων της, με τη χρήση κατάλληλων παραδειγμάτων.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται μια αποκλίνουσα σύνδεση) με την από κοινού κατανομή των μεταβλητών A , B και C να είναι ίση με

$$P(A, B, C) = P(A|C) \cdot P(B|C) \cdot P(C)$$



Σχήμα 24 Αποκλίνουσα σύνδεση

κατόπιν εφαρμογής του τύπου

$$P(X) = \prod_{i=1}^k P(X_i | PARENTS(X_i))$$

Ο παραπάνω τύπος δηλώνει ότι η κοινή πιθανότητα όλων των μεταβλητών, είναι το γινόμενο των πιθανοτήτων κάθε μίας μεταβλητής (X_i) όταν είναι γνωστές οι τιμές των πιθανοτήτων των γονέων της ($PARENTS(X_i)$). Ο παραπάνω τύπος δηλώνει και τη σημασία των κατευθυνόμενων ακμών, αφού παρέχουν τη δυνατότητα να εντοπιστούν οι άλλες μεταβλητές από τις οποίες εξαρτάται μια δοθείσα μεταβλητή. Οι ακμές στα BNs είναι δυνατόν να θεωρηθούν και ως αιτιολογικές συνδέσεις, όπου κάθε κόμβος-γονέας επιδρά στους κόμβους-παιδιά του. Ενώ αιτιότητας είναι απαραίτητη για τη κατασκευή του BN, αξίζει να σημειωθεί ότι από κοινού πιθανότητα, η οποία αντιπροσωπεύεται από ένα σύνολο ακμών, είναι δυνατόν να αντιπροσωπευθεί και από ένα διαφορετικό σύνολο ακμών. Για παράδειγμα, είναι

$$\begin{aligned} P(A, B, C) &= P(A|C) \cdot P(B|C) \cdot P(C) = \frac{P(C|A) \cdot P(A)}{P(C)} \cdot P(C) \cdot P(B|C) \\ &= P(C|A) \cdot P(A) \cdot P(B|C) \end{aligned}$$

Αν καμία από τις μεταβλητές δεν παρατηρείται, είναι δυνατόν να ελεγχθεί αν οι A, B είναι ανεξάρτητες αθροίζοντας και τα 2 μέλη της σχέσης $P(A, B, C) = P(A|C) \cdot P(B|C) \cdot P(C)$ ως προς C. Αφού δεν γράφεται ως γινόμενο της μορφής $P(A)P(B)$ συμπεραίνεται ότι δεν είναι ανεξάρτητες. Αν τεθεί υπό συνθήκη η μεταβλητή C, τότε ο γράφος αναπαρίσταται όπως στο παραπάνω σχήμα, με τον υπό παρατήρηση κόμβο σκιασμένο.

Από τον τύπο $P(A, B, C) = P(A|C) \cdot P(B|C) \cdot P(C)$, έχουμε

$$P(A, B | C) = \frac{P(A, B, C)}{P(C)} = P(A|C) \cdot P(B|C)$$

οπότε και λαμβάνουμε την ιδιότητα της υπό συνθήκης ανεξαρτησίας.

Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα παριστάνεται γραφικά με ένα μονοπάτι από τον κόμβο A στον κόμβο B μέσω του κόμβου C. Τότε, ο κόμβος C καλείται είναι ουρά με ουρά (tail-to-tail), αναφορικά με αυτό το μονοπάτι, διότι ο συγκεκριμένος είναι συνδεδεμένος με τις ουρές των δύο τόξων και ως αποτέλεσμα οι δύο κόμβοι εξαρτώνται μεταξύ τους. Εκτός από το παραπάνω συμπέρασμα, ο κόμβος C, δηλαδή ο υπό συνθήκη κόμβος, «μπλοκάρει» το μονοπάτι από το A στο B ως αποτέλεσμα οι μεταβλητές A και B είναι υπό συνθήκη ανεξάρτητες.

Αν θεωρήσουμε μια σειριακή σύνδεση, όπως ο γράφος του παρακάτω σχήματος, τότε η από κοινού κατανομή που αντιστοιχεί σε αυτό το γράφο μπορεί και πάλι να βρεθεί όπως παρακάτω

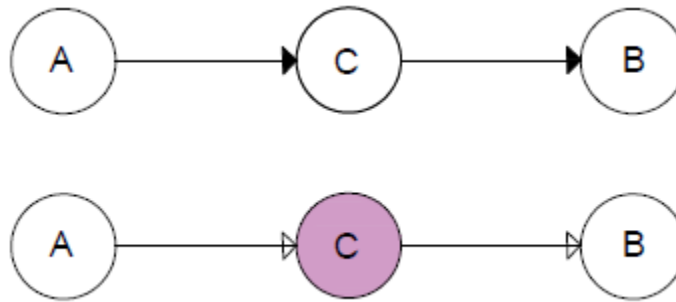
$$P(A, B, C) = P(A) \cdot P(C|A) \cdot P(B|C)$$

Αν υποθέσουμε ότι καμία μεταβλητή δεν παρατηρείται, τότε είναι δυνατόν να ελεγχθεί αν οι μεταβλητές A, B είναι ανεξάρτητες, αθροίζοντας και τα δύο μέλη της παραπάνω σχέσης ως προς την C, οπότε και προκύπτει ότι $P(A, B) = P(A) \cdot P(B|A)$ το οποίο γενικά δεν είναι δυνατόν να γραφεί ως γινόμενο των περιθωρίων κατανομών. Αν τώρα παρατηρηθεί η μεταβλητή C, παίρνουμε

$$P(A, B | C) = \frac{P(A, B, C)}{P(C)} = \frac{P(A) \cdot P(C|A) \cdot P(B|C)}{P(C)} = \frac{P(C) \cdot P(A|C) \cdot P(B|C)}{P(C)}$$

$$= P(A|C) \cdot P(B|C)$$

οπότε παρατηρείται η υπό συνθήκη ανεξαρτησία.



Σχήμα 25 Σειριακή σύνδεση

Ο κόμβος C θα λέμε ότι είναι *κεφάλι με ουρά (head-to-tail)* όσον αφορά αυτό το μονοπάτι (σχήμα 25). Η παρουσία ενός τέτοιου μονοπατιού κάνει τους δύο κόμβους να εξαρτώνται μεταξύ τους. Όμως, ο υπό συνθήκη κόμβος C «μπλοκάρει» το μονοπάτι από το A στο B και κάνει τις μεταβλητές A και B να είναι υπό συνθήκη ανεξάρτητες.

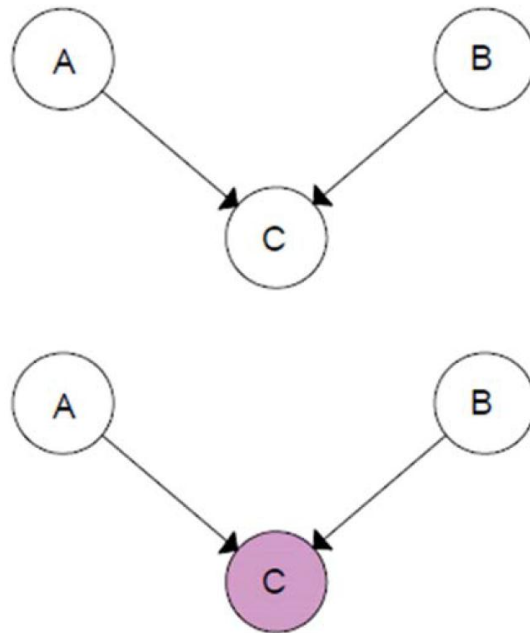
Στην περίπτωση που έχουμε συγκλίνουσα σύνδεση, όπως στο γράφο του σχήματος ο συγκεκριμένος γράφος δεν έχει την ίδια συμπεριφορά σε σχέση με τα δύο προηγούμενα παραδείγματα. Η από κοινού κατανομή που αντιστοιχεί σε αυτό το γράφο βρίσκεται να είναι ίση με

$$P(A, B, C) = P(A) \cdot P(B) \cdot P(C|A, B)$$

Αν υποθέσουμε ότι καμία μεταβλητή δεν παρατηρείται, εξετάζουμε αν οι μεταβλητές A, B είναι ανεξάρτητες. Αθροίζοντας και τα δύο μέλη της παραπάνω εξίσωσης ως προς την C βρίσκουμε ότι είναι $P(A, B) = P(A)P(B)$, οπότε αφού δεν υπάρχει κάποια μεταβλητή υπό συνθήκη έχουμε ανεξαρτησία. Αν τώρα παρατηρήσουμε τη μεταβλητή C, τότε έχουμε

$$P(A, B|C) = \frac{P(A, B, C)}{P(C)} = \frac{P(A) \cdot P(B) \cdot P(C|A, B)}{P(C)}$$

το οποίο δεν παραγοντοποιείται ως $P(A|C) \cdot P(B|C)$.



Σχήμα 26 Συγκλίνουσα σύνδεση

Γραφικά, ο κόμβος C είναι κεφάλι-κεφάλι (head-to-head) αναφορικά με το μονοπάτι μεταξύ των κόμβων A, B διότι συνδέει τα κεφάλια των δύο τόξων (σχήμα 26). Στην περίπτωση που ο κόμβος C δεν παρατηρείται, τότε «μπλοκάρει» το μονοπάτι και επομένως οι μεταβλητές A και B είναι ανεξάρτητες. Όταν όμως παρατηρείται το C, δηλαδή είναι υπό συνθήκη, τότε «ελευθερώνει» το μονοπάτι και επομένως οι δύο μεταβλητές είναι εξαρτημένες. Επίσης, ένα head-tohead μονοπάτι δεν θα είναι πια μπλοκαρισμένο αν είτε ο κόμβος είτε οποιοσδήποτε από τα παιδιά του, παρατηρείται.

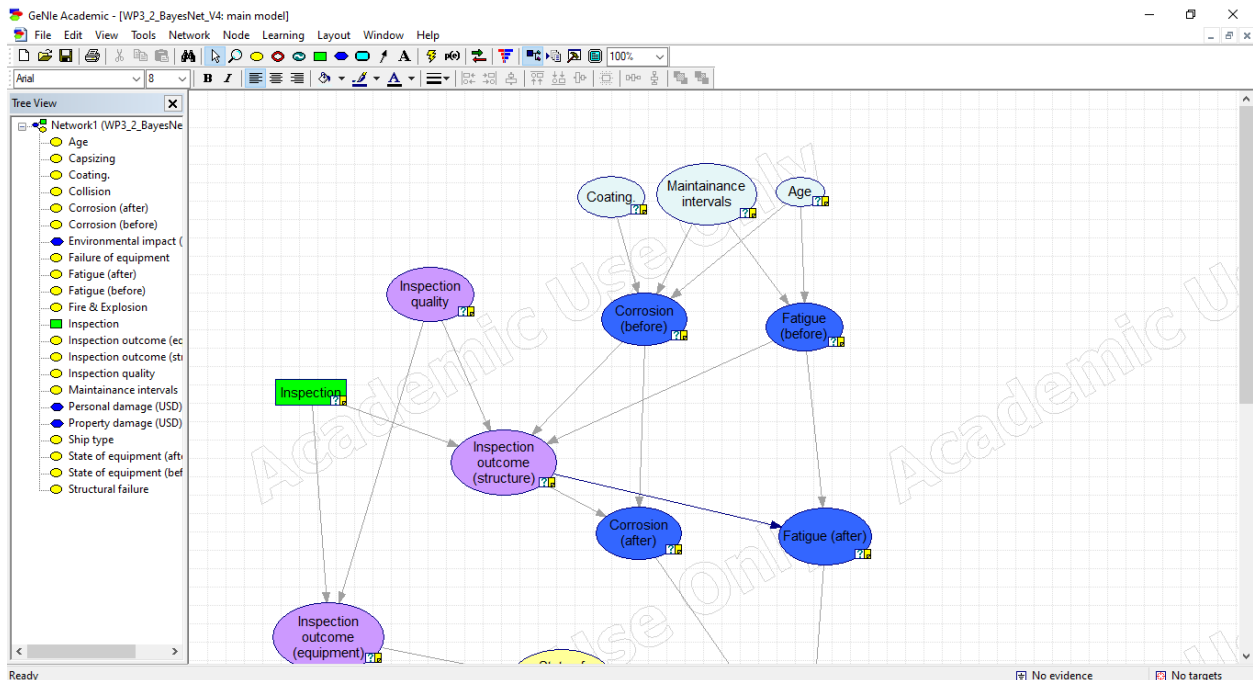
Συνολικά, συμπεραίνουμε ότι ένας tail-to-tail κόμβος ή ένας head-to-tail κόμβος αφήνει το μονοπάτι ελεύθερο, εκτός και αν παρατηρείται. Αντίθετα, ένας head-tohead κόμβος μπλοκάρει το

μονοπάτι αν δεν παρατηρείται, αλλά όταν ο κόμβος και ή ένα ή περισσότερα από τα παιδιά του παρατηρείται τότε το μονοπάτι μετατρέπεται σε ελεύθερο.

Κεφάλαιο 7

Σύγκριση στατικού και δυναμικού μοντέλου.

Το GeNie αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο με το οποίο επιτυγχάνεται η ανάπτυξη μοντέλων σε BN. Με το πρόγραμμα αυτό είναι δυνατή η επίλυση περίπλοκων μοντέλων και η εξαγωγή δεδομένων πάνω στο αντικείμενο που αφορά το μοντέλο. Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα στον χρήστη να εξετάζει τα αποτελέσματα που προκύπτουν για γνωστή τιμή των παραμέτρων του μοντέλου (evidence). Έτσι για διάφορες καταστάσεις το πρόγραμμα μπορεί να υποδείξει στον χρήστη κατά πόσο αλλάζουν αποτελέσματα δημιουργήθηκε από μια εταιρεία ανάπτυξης λογισμικού, την Bayesfusion. Πρόκειται για το γραφικό περιβάλλον μιας βιβλιοθήκης εντολών πάνω στα BN που ονομάζεται SMILE. Το SMILE αρχικά αναπτύχθηκε από την ίδια εταιρεία σε γλώσσα προγραμματισμού C++ αλλά πλέον είναι διαθέσιμη στις γλώσσες Python, Java, .Net και R.

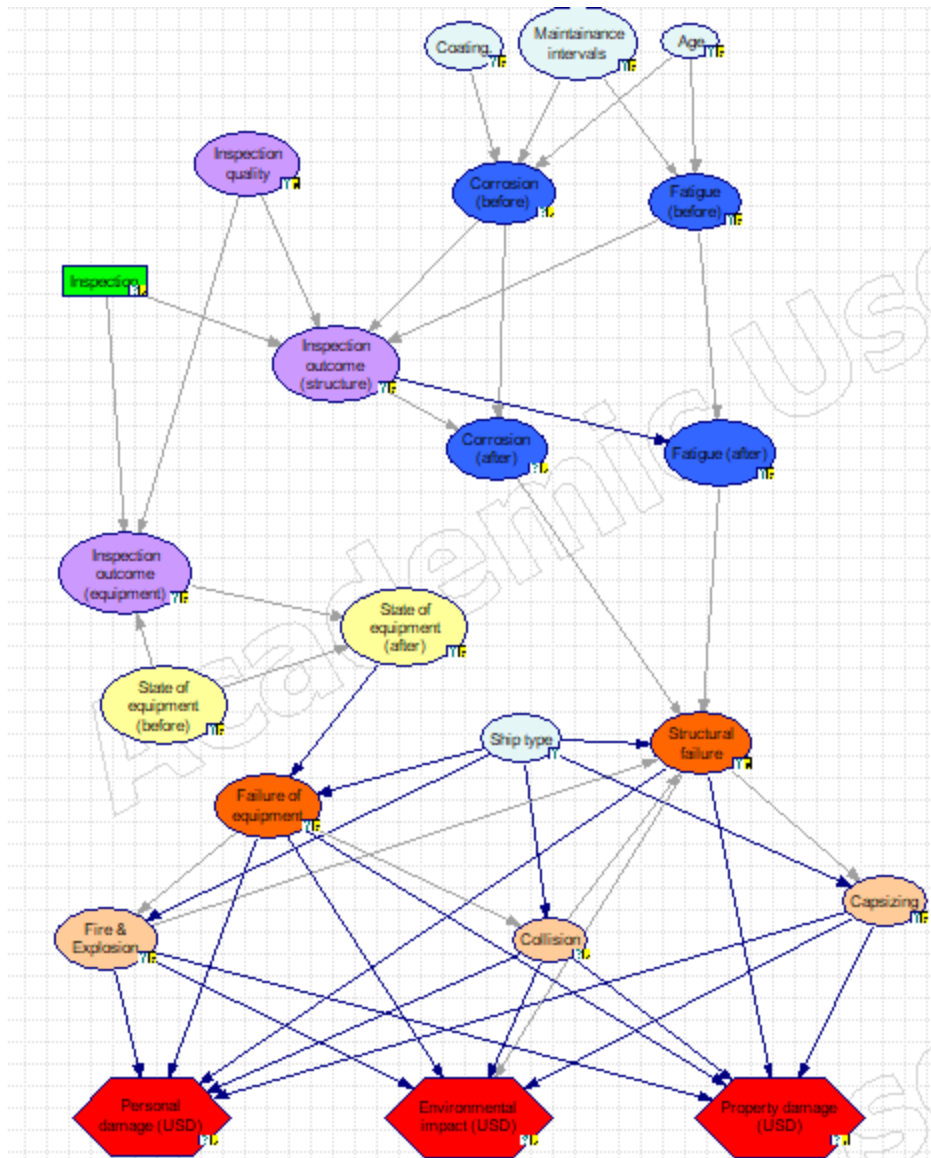


Σχήμα 27 Το περιβάλλον του προγράμματος GeNie

Το Genie άρα και το SMILE έχουν πολλές δυνατότητες για την ανάπτυξη πολύπλοκων μοντέλων. Ωστόσο για το Genie υπάρχουν περιορισμοί στην ανάπτυξη δυναμικών μοντέλων. Το πρόγραμμα αυτό προσφέρει ορισμένες χρήσιμες ιδιότητες για τα δυναμικά αλλά δεν υπάρχει η δυνατότητα χρήσης γνωστών ή τυχαίων κατανομών για τον υπολογισμό πιθανότητας εμφάνισης ενός γεγονότος. Για αυτό τον λόγο η παρούσα εργασία δημιουργήθηκε με στόχο να συνδυάσει τις δυνατότητες τόσο του Genie όσο και του SMILE προκειμένου να βελτιωθεί ένα υπάρχον μοντέλο.

Η συγκεκριμένη εργασία είχε ως στόχο την βελτίωση ενός στατικού μοντέλου αναπτυγμένου στο Genie με την χρήση της βιβλιοθήκης του SMILE. Πιο συγκεκριμένα, αναπτύχθηκε αλγόριθμος ο οποίος διάβαζε τα δεδομένα του στατικού μοντέλου από ένα αρχείο τύπου .xdsl. Στην συνέχεια αφού μέσω του αλγορίθμου γινόταν επιλογή των evidences, ο αλγόριθμος αντικαθιστούσε σε 2 κόμβους από μια κατανομή πιθανότητας και υπολόγιζε με αυτές ως δεδομένα την έξοδο του μοντέλου.

Το στατικό μοντέλο δίνει πληροφορίες για την αξία της επιθεώρησης ως προς τα εκτιμώμενα κόστη ως προς ανθρώπινη απώλεια, περιβαλλοντικές συνέπειες και την καταστροφή περιουσίας. Πιο συγκεκριμένα, στο μοντέλο υπάρχει κόμβος απόφασης για το αν θα πραγματοποιηθεί επιθεώρηση και με παραμέτρους τον τύπο του πλοίου, τα χαρακτηριστικά του, η κατάσταση της μεταλλικής κατασκευής του, ο βαθμός επιτυχίας της επιθεώρησης κ.α. το μοντέλο εκτιμά την πιθανότητα να πραγματοποιηθούν διάφοροι τύποι βλαβών στο πλοίο. Τέλος, το μοντέλο υπολογίζει τα εκτιμώμενα κόστη συναρτήσει της πιθανότητας εμφάνισης της κάθε βλάβης.



Σχήμα 28 Το διάγραμμα του στατικού μοντέλου

7.1.Κόπωση και διάβρωση

Σημαντικός παράγοντας που εμφανίζεται στο μοντέλο είναι η διάβρωση. Η διάβρωση είναι το αποτέλεσμα μιας χημικής αντίδρασης μεταξύ της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου με το περιβάλλον (θαλασσινό νερό, φορτίο, αναλώσιμα) που έρχεται σε επαφή (Condition assessment of aged ships and offshore structures, 2009). Υπάρχουν πολλοί τύποι διάβρωσης όπως η γενική, η γαλβανική, η μικροβιολογική κ.α. οι οποίες σε περίπτωση που δεν αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά μπορούν να οδηγήσουν ακόμα και σε βύθιση ενός πλοίου. Για αυτό τον λόγο

υπάρχουν διάφοροι μηχανισμοί που αποτρέπουν την εμφάνιση διάβρωσης. Αρχικά, υπάρχουν προστατευτικές επιστρώσεις και αστάρια τα οποία εμποδίζουν την επαφή του μετάλλου με το περιβάλλον. Ένας άλλος μηχανισμός προστασίας είναι η καθοδική προστασία καθώς με την χρήση ηλεκτρικού εμποδίζεται η διαδικασία της διάβρωσης. Τέλος, σημαντικό ρόλο έχουν οι επιθεωρήσεις. Τόσο η γάστρα του πλοίου όσο και οι εσωτερικές μεταλλικές επιφάνειες του πλοίου πρέπει να ελέγχονται με επιθεωρήσεις.

Η κόπωση είναι ένα φαινόμενο το οποίο έχει προκαλέσει ολέθριες συνέπειες στο παρελθόν σε ατυχήματα. Η αστοχία που εμφανίζεται στα μεταλλικά υλικά λόγω της επίδρασης δυναμικών καταπονήσεων ονομάζεται κόπωση. Πιο συγκεκριμένα, αν ένα εξάρτημα υφίσταται επαναλαμβανόμενες ή χρονικά μεταβαλλόμενες τάσεις η αντοχή του σταδιακά μειώνεται μέχρι να φτάσει στο σημείο να αστοχήσει για τιμή τάσης μπορεί και αρκετά χαμηλότερη από την τάση θραύσης του. Αυτό το χαρακτηριστικό του φαινομένου αυτού το καθιστά εξαιρετικά επικίνδυνο διότι δεν υπάρχει προειδοποίηση για το πότε θα αστοχήσει το υλικό καθώς ξαφνικά αστοχεί. Έχει παρατηρηθεί ότι η αστοχία λόγω κόπωσης σχετίζεται άμεσα με την ύπαρξη επιφανειακών ατελειών στα μέταλλα. Επομένως, η ύπαρξη οποιασδήποτε αρκετά μεγάλης ρωγμής ή ατέλειας διευρύνεται με τον πάροδο των κύκλων εναλλαγής της τάσης. Κάποια στιγμή γίνεται αρκετά μεγάλη με αποτέλεσμα την συγκέντρωση τάσεων και εξασθένηση της διατομής και έτσι προκαλείται η αστοχία. Παρόλα αυτά η αρχική ατέλεια που προκαλεί την αστοχία μπορεί να μην τοποθετείται στην επιφάνεια αλλά μέσα στην διατομή του υλικού.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να περιοριστούν οι αστοχίες λόγω κόπωσης. Οι επιθεωρήσεις αποτελούν σημαντικό κομμάτι πρόληψης καθώς ο εντοπισμός σημαντικών ατελειών μπορεί να εμποδίσει μια επικείμενη βλάβη. Ωστόσο, υπάρχουν διαγράμματα με τα οποία μπορεί να προσδιοριστεί η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση για ένα δοκίμιο συναρτήσει των κύκλων εναλλαγής τάσης. Έτσι μπορεί να προσδιοριστεί πότε ένα μέταλλο αναμένεται να αστοχήσει.

7.2.Χαρακτηριστικά του μοντέλου

Το στατικό μοντέλο που έπρεπε να τροποποιηθεί αποτελείται από 22 κόμβους. Υπάρχουν 1 κόμβος απόφασης, 18 παρατηρήσιμοι κόμβοι και τρεις οι οποίοι έχουν ως έξοδο τα εκτιμώμενα κόστη. Στην συνέχεια θα γίνει ανάλυση του κάθε κόμβου του μοντέλου.

Inspection: Είναι ο μοναδικός κόμβος απόφασης με δυνατές τιμές το ναι και το όχι. Σε περίπτωση που η τιμή του είναι το ναι, το μοντέλο εξετάζει την περίπτωση που έχουμε επιθεώρηση ενώ σε αντίθετη περίπτωση η τιμή του είναι το όχι.

Inspection quality: Ο συγκεκριμένος κόμβος χρησιμοποιείται για να δηλώσει την ποιότητα της επιθεώρησης με πιθανές τιμές χαμηλή και υψηλή. Σε περίπτωση που ένα πλοίο έχει καλό ιστορικό επιθεωρήσεων με την έννοια ότι γίνεται έλεγχος του αρκετά συχνά και διεξοδικά τότε είναι αρκετά πιθανό η επιθεώρηση που γίνεται στο πλοίο να είναι χαμηλής ποιότητας ενώ σε αντίθετη περίπτωση είναι υψηλής ποιότητας. Όπως γίνεται αντιληπτό αυτή η παράμετρος μπορεί να έχει αρκετή διακύμανση για τα διάφορα πλοία και χρησιμοποιήθηκε στο μοντέλο για να γίνει μια εκτίμηση του αποτελέσματος της επιθεώρησης. Ο κόμβος αυτός δεν εξαρτάται από άλλους.

Coating: Η μεταβλητή αυτή δηλώνει την κατάσταση των επιστρώσεων στο πλοίο. Παίρνει τις τιμές ναι και όχι με το ναι να δηλώνει ότι η προστατευτικές επιστρώσεις είναι σε καλή κατάσταση. Ο κόμβος αυτός δεν εξαρτάται από άλλους.

Maintenance intervals: Η μεταβλητή υποδηλώνει την ύπαρξη ή μη των διαδικασιών συντήρησης του πλοίου. Οι πιθανές τιμές είναι όχι σε περίπτωση που δεν έχουν γίνει, μετά από 5 χρόνια, μετά από 10 χρόνια ανάλογα με το πότε έχουν γίνει τέτοιες διαδικασίες. Ο κόμβος αυτός δεν εξαρτάται από άλλους.

Age: Η ηλικία του πλοίου αποτελεί μια σημαντική παράμετρος για την γενικότερη κατάσταση που βρίσκεται το πλοίο. Για το μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν 3 ενδεχόμενα για ηλικία από 0-10, για ηλικία από 10-20 και για ηλικία από 20-30. Ο κόμβος αυτός δεν εξαρτάται από άλλους.

Corrosion (before): Η μεταβλητή αυτή δηλώνει την κατάσταση διάβρωσης του πλοίου πριν την επιθεώρηση. Παίρνει 2 τιμές αυτή η μεταβλητή ναι και όχι. Το ναι υποδηλώνει ότι το πλοίο έχει αρκετά σοβαρά προβλήματα διάβρωσης ενώ την αντίθετη περίπτωση υποδηλώνει το όχι. Η μεταβλητή αυτή εξαρτάται από την ηλικία του πλοίου, το ιστορικό εργασιών συντήρησης και την κατάσταση των επιστρώσεων. Μέσα από έρευνα του World Maritime University (WMU) το 5% των αναφορών που πραγματοποιούν τα πλοία περιέχουν ζητήματα δομικής αντοχής που οφείλεται σε κόπωση ή διάβρωση. Επειδή θεωρήθηκε ότι η κόπωση και η διάβρωση συνέβαλαν το ίδιο θεωρούμε ότι η πιθανότητα να υπάρχει διάβρωση είναι 0.013.

Fatigue (before): Όμοια με την διάβρωση, η κόπωση έχει 2 τιμές ναι και όχι. Εξαρτάται από τους κόμβους maintenance intervals και age. Σε περίπτωση που η τιμή είναι ναι τότε υποδηλώνεται ότι υπάρχουν σοβαρά ζητήματα κόπωσης για το πλοίο. Η τιμή της πιθανότητας να υπάρχει κόπωση είναι και πάλι 0.013.

Inspection outcome (structure): Ο κόμβος αυτός σχετίζεται με το αποτέλεσμα της επιθεώρησης όσων αφορά την ακεραιότητα της μεταλλικής κατασκευής. Εξαρτάται ο κόμβος αυτός από τους inspection, inspection quality, corrosion (before) και fatigue (before). Υπάρχουν 4 καταστάσεις που μπορεί να έχει ο κόμβος, είναι οι corrosion yes fatigue yes, corrosion yes fatigue no, corrosion no fatigue yes και corrosion no fatigue no. Ουσιαστικά αυτές οι 4 καταστάσεις περιγράφουν όλα τα ενδεχόμενα για το αν θα εντοπιστούν κόπωση και διάβρωση. Σε περίπτωση που δεν έγινε επιθεώρηση τότε έχουμε βέβαιο ενδεχόμενο το corrosion no fatigue no. Στην περίπτωση που η ποιότητα επιθεώρησης είναι χαμηλή τότε θεωρούμε ότι με πιθανότητα 0.95 η εκτίμηση της επιθεώρησης θα είναι σωστή (δηλαδή με βάση ταυτίζεται με τις τιμές των corrosion (before) και fatigue (before)).

Corrosion (after): Ο κόμβος αυτός εξαρτάται από τους κόμβους corrosion (before) και inspection outcome (structure). Αυτός ο κόμβος περιγράφει τον εντοπισμό ή μη διάβρωσης μετά την πραγματοποίηση της επιθεώρησης. Για αυτό το λόγο η δυνατές τιμές του είναι ναι και όχι.

Fatigue (after): Παρόμοια με τον κόμβο corrosion (after) έχει και αυτός τις δυνατές τιμές ναι και όχι. Σε περίπτωση που εντοπιστεί κόπωση μετά την επιθεώρηση τότε η τιμή της μεταβλητής είναι το ναι. Ο κόμβος εξαρτάται από τους inspection outcome (structure) και fatigue (before).

State of equipment (before): Ο κόμβος αυτός αφορά την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο εξοπλισμός και τα μηχανήματα που βρίσκονται στο πλοίο πριν την πραγματοποίηση της επιθεώρησης. Υπάρχουν δύο τιμές, καλή και κακή κατάσταση. Ο κόμβος αυτός δεν εξαρτάται από άλλους. Με βάση την αναφορά του WMU propulsion and auxiliary machinery που αναφέρει ότι το 6% των αναφορών που πραγματοποιούν τα πλοία καταγράφουν βλάβες στα συστήματα πρόωσης και στις αντλίες. Για αυτό τον λόγο έγινε γενίκευση για όλο τον εξοπλισμό και η πιθανότητα να βρίσκεται σε κακή κατάσταση υπολογίζεται 0.037.

Inspection outcome (equipment): Ο κόμβος αυτός χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του αποτελέσματος της επιθεώρησης όσον αφορά την κατάσταση των μηχανημάτων. Οι δυνατές τιμές είναι τρεις διότι σε περίπτωση που γίνει επιθεώρηση η κατάσταση που είναι το πλοίο είναι είτε καλή είτε κακή. Ωστόσο για την περίπτωση που δεν γίνει κάποια επιθεώρηση τότε το μόνο δυνατό σενάριο είναι το κανένα αποτέλεσμα. Ο κόμβος αυτός εξαρτάται από τους inspection, inspection quality και State of equipment (before). Όπως και στον κόμβο inspection outcome (structure) θεωρούμε ότι η πιθανότητα να γίνει σωστή εκτίμηση της κατάστασης του εξοπλισμού είναι 95%.

State of equipment (after): Ο κόμβος αυτός εξαρτάται από τους κόμβους State of equipment (before) και inspection outcome (equipment). Ουσιαστικά περιγράφει την κατάσταση που βρίσκεται ο εξοπλισμός μετά την επιθεώρηση και τυχόν επισκευές έχουν πραγματοποιηθεί. Για αυτό οι δυνατές τιμές αφορούν την κατάσταση που μπορεί να είναι καλή ή κακή.

Ship type: Ο κόμβος αυτός δεν εξαρτάται από άλλους και αφορά τον τύπο του πλοίου. Έχουμε θεωρήσει δύο καταστάσεις για πλοία γενικού φορτίου και για άλλον τύπο. Λόγω ελλείψεως δεδομένων ο κόμβος αυτός για την ώρα είναι 50% σε κάθε περίπτωση.

Failure of equipment: Ο κόμβος αυτός περιγράφει την πιθανότητα να συμβεί βλάβη σε κάποια από τα μηχανήματα του πλοίου. Ο κόμβος αυτός εξαρτάται από τον τύπο του πλοίου αλλά και από την κατάσταση του εξοπλισμού μετά την επιθεώρηση που μπορεί να έλαβε χώρα. Οι δυνατές τιμές που μπορεί να έχει είναι steering rudder propulsion (αφορά βλάβες σε συστήματα πηδαλιουχίας και πρόωσης), electrical (αφορά βλάβες που σχετίζονται με το σύστημα της ηλεκτρικής εγκατάστασης του πλοίου) και το τελευταίο ενδεχόμενο είναι να μην υπάρξει βλάβη στον εξοπλισμό του πλοίου. Σύμφωνα με (IMO, 2010) η πιθανότητα να υπάρξει βλάβη στην πηδαλιουχία είναι 0.1%, η πιθανότητα να υπάρξει βλάβη στην εγκατάσταση πρόωσης είναι 0.96% και η πιθανότητα να υπάρξει βλάβη στην ηλεκτρική εγκατάσταση είναι 0.019%. Όσων αφορά τις πιθανότητες έγινε άλλη μια θεώρηση. Οι πιθανότητες που αναφέρθηκαν πάνω χρησιμοποιήθηκαν για καλή κατάσταση του εξοπλισμού από τον κόμβο State of equipment (after) ενώ στην περίπτωση που ήταν κακή η κατάσταση θεωρήθηκε πιθανότητα δεκαπλάσια σε σχέση με καλή κατάσταση. Μετά η πιθανότητα για το να μην συμβεί βλάβη στον εξοπλισμό προκύπτει με αφαίρεση και των δύο πιθανοτήτων.

Fire & explosion: Ο κόμβος αυτός χρησιμοποιείται για τον κίνδυνο πρόκλησης πυρκαγιάς ή έκρηξης ή και των δύο μαζί. Ο κόμβος εξαρτάται από τους failure of equipment και ship type. Οι δυνατές τιμές που μπορεί να έχει είναι μόνο φωτιά, μόνο έκρηξη, πυρκαγιά και έκρηξη, ούτε πυρκαγιά ούτε έκρηξη. Θεωρούμε τα γεγονότα φωτιά και έκρηξη. Σύμφωνα με (IMO, 2010) η πιθανότητα να συμβεί η ένωση αυτών δυο γεγονότων δηλαδή μόνο φωτιά ή μόνο έκρηξη ή και τα δύο είναι 0.27%. Επιπλέον, η ίδια πηγή έδινε ως δεδομένα τις ακόλουθες δεσμευμένες πιθανότητες:

- $\Pr(\text{Fire}|\text{Fire} \cup \text{Explosion}) = 0.87$
- $\Pr(\text{Explosion}|\text{Fire} \cup \text{Explosion}) = 0.07$
- $\Pr(\text{Fire} \cap \text{Explosion}|\text{Fire} \cup \text{Explosion}) = 0.06$

Οι αιτίες για τις οποίες προκαλούνται πυρκαγιές ή έκρηξης είναι διαρροή πετρελαίου ή λαδιών, έκρηξη στροφοθαλάμου, υπερθέρμανση, φθορά στην καλωδίωση και βλάβη στον πίνακα ελέγχου.

Collision: Αυτός ο κόμβος περιγράφει την πιθανότητα να πραγματοποιηθεί κάποια σύγκρουση του πλοίου. Υπάρχει εξάρτηση από τον κόμβο ship type και failure of equipment. Οι δυνατές τιμές που μπορεί να πάρει είναι ναι και όχι με το ναι σε περίπτωση που πραγματοποιηθεί σύγκρουση. Σύμφωνα με (IMO,2010) η παράγοντες που επηρεάζουν είναι αίτια σύγκρουσης είναι βλάβη άγκυρας, βλάβη κινητήρα - μηχανημάτων, ανθρώπινο λάθος, λάθος κατα την πρόσδεση σε λιμάνι και βλάβη συστήματος πηδαλιουχίας. Οι πιθανότητες πρόσκρουσης με δεδομένο ότι πραγματοποιήθηκε ένα από αυτά τα αίτια δίνονται από τις παρακάτω πιθανότητες.

- Anchor: $\Pr(\text{Collision}|\text{Anchor failure}) = 8.69e-4$
- Engine/machinery: $\Pr(\text{Collision}|\text{Engine/machinery failure}) = 5.80e-4$
- Human: $\Pr(\text{Collision}|\text{Human error}) = 1.74e-4$
- Mooring: $\Pr(\text{Collision}|\text{Mooring error}) = 8.69e-4$
- Steering: $\Pr(\text{Collision}|\text{Steering failure}) = 1.45e-4$

Θεωρούμε ότι τα αίτια βλάβη κινητήρα, μηχανημάτων και συστήματος πηδαλιουχίας έχουν χρησιμοποιηθεί ήδη στον κόμβο failure of equipment. Για αυτό θεωρούμε ότι η πιθανότητα σύγκρουσης με την προϋπόθεση ότι υπάρχει βλάβη στην ηλεκτρική εγκατάσταση του πλοίου ισούται με την πιθανότητα σύγκρουσης με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχει βλάβη στον εξοπλισμό του πλοίου (δηλαδή στον κόμβο failure of equipment η τιμή του να είναι όχι).

Structural failure: Ο κόμβος αυτός περιγράφει την πιθανότητα να συμβεί βλάβη στην μεταλλική κατασκευή του πλοίου. Η δυνατές τιμές που μπορεί να πάρει είναι ναι και όχι. Ο κόμβος εξαρτάται από τους κόμβους corrosion (after), fatigue (after), ship type, failure of equipment και collision. Για να υπολογιστούν οι πιθανότητες για τους διάφορους συνδυασμούς τιμών από τους πατρικούς κόμβους χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για τον αριθμό των πλοίων και αριθμό συμβάντων που συνέβησαν τις χρονολογίες 1999-2014. Από αναφορές του European Marine Casualty Information

Platform (EMCIP) βρέθηκε ότι ο μέσος όρος του αριθμού πλοίων ανά τον κόσμο είναι 17350 με 3 συμβάντα δομικής φθοράς του πλοίου εκ των οποίων τα δύο λόγω διάβρωσης αυτή την δεκαπενταετία.

Capsizing: Ο κόμβος αυτός περιγράφει την πιθανότητα να ανατραπεί το πλοίο. Οι δυνατές τιμές είναι ναι και όχι με το ναι σε περίπτωση ανατροπής. Ο κόμβος εξαρτάται από τους ship type και structural failure. Την δεκαπενταετία του 1999-2014 καταγράφηκε ένα συμβάν ανατροπής δίχως να διευκρινιστεί η αιτία. Έτσι θεωρήθηκε ότι εάν πραγματοποιηθεί δομική βλάβη του πλοίου κατά 50% θα γίνει ανατροπή.

Personal damage: Ο κόμβος αυτός περιγράφει την πιθανότητα να συμβεί βλάβη της υγείας ή απώλεια ανθρώπινων ζωών. Ο κόμβος υπολογίζει το εκτιμώμενο κόστος με βάση τις αποζημιώσεις για αυτά τα ατυχήματα. Οι κόμβοι που επηρεάζουν τον συγκεκριμένο είναι fire & explosion, collision, capsizing, structural failure και failure of equipment. Σύμφωνα με (IMO, 2010) για τις χρονιές 1997 και 2008 που ισοδυναμούν μαζί σε 43222 χρόνια*πλοία έλαβαν χώρα 354.2 απώλειες ζωών. Στον συγκεκριμένο αριθμό έγινε η παραδοχή ότι 1 τραυματισμό ατόμου ισοδυναμεί με 0,1 θανάτους. Αναλυτικά, 20,2 οφείλονται σε φωτιά και έκρηξη, 99,7 λόγω σύγκρουσης, 220 λόγω εισχώρησης υδάτων, 13,1 λόγω μηχανικής βλάβης και 12,2 λόγω ζημιάς της γάστρας. Στην προσπάθεια να προσδιοριστούν τα κόστη των αποζημιώσεων λήφθηκαν οι ακόλουθες παραδοχές.

- Οι οικονομικές συνέπειες λόγω μηχανικής βλάβης θεωρούμε ότι οφείλονται σε τιμές που ορίζουν κάποια βλάβη του κόμβου failure of equipment.
- Οι συνέπειες λόγω ζημιάς της γάστρας θεωρούμε ότι οφείλονται στην τιμή ναι του κόμβου structural failure.
- Οι συνέπειες λόγω εισχώρησης υδάτων θεωρούμε ότι οφείλονται στην τιμή ναι του κόμβου capsizing

Επιπλέον για τον συγκεκριμένο κόμβο χρησιμοποιήθηκε η παραδοχή ότι στατιστικά η πρόληψη απώλειας ζωής είναι 3 εκατομμύρια δολάρια σύμφωνα με την έρευνα (Skjong et al, 2007).

Property damage: Ουσιαστικά ο κόμβος υπολογίζει το εκτιμώμενο κόστος των αποζημιώσεων λόγω απώλειας περιουσίας. Οι κόμβοι που επηρεάζουν τον συγκεκριμένο είναι fire & explosion, collision, capsizing, structural failure και failure of equipment. Σύμφωνα με (IMO, 2010) τις χρονολογίες 1997 και 2008 έχοντας 43222 χρόνια * πλοία συνέβησαν 94 απώλειες πλοίων. Πιο συγκεκριμένα οι 11 οφείλονται φωτιάς και έκρηξης, 22 λόγω πρόσκρουσης, 59 λόγω αρχικού αιτίου την εισχώρηση υδάτων, 1 λόγω μηχανικής βλάβης και 1 λόγω ζημιά της γάστρας. Οι οικονομικές συνέπειες αποφασίστηκαν χρησιμοποιώντας τις ίδιες παραδοχές για το πώς ο κάθε πατρικός κόμβος επηρεάζει το κόστος όπως με τον κόμβο personal damage. Κατά μέσο όρο θεωρήθηκε ότι η απώλεια ενός πλοίου γενικού φορτίου ισοδυναμεί με μία οικονομική απώλεια της τάξης των 15000000 δολάρια κατά μέσο όρο.

Environmental impact: Ο κόμβος υπολογίζει το εκτιμώμενο κόστος των αποζημιώσεων λόγω καταστροφής του περιβάλλοντος. Γενικά τα κόστη αυτά είναι τάξεις λιγότερα από τους άλλους δύο κόμβους που αναλύσαμε. Οι κόμβοι που επηρεάζουν τον συγκεκριμένο είναι fire & explosion, collision, capsizing, structural failure και failure of equipment. Χρησιμοποιώντας πάλι την αναφορά του (IMO, 2010) για τις χρονιές 1997 και 2008 προκύπτουν 5 περιστατικά μόλυνσης. Λόγω φωτιάς και έκρηξης έχει συμβεί 1, λόγω πρόσκρουσης έχουν συμβεί 2, λόγω εισχώρησης υδάτων έχει συμβεί 1, λόγω μηχανικής βλάβης έχει συμβεί 1 και λόγω ζημιάς στην γάστρα δεν έχει συμβεί κανένα. Οι οικονομικές συνέπειες αποφασίστηκαν χρησιμοποιώντας τις ίδιες παραδοχές για το πώς ο κάθε πατρικός κόμβος επηρεάζει το κόστος όπως με τον κόμβο personal damage. Επιπλέον, στον συγκεκριμένο κόμβο λάβαμε κάποιες επιπλέον παραδοχές. Θεωρούμε ότι μόνο η εκροή πετρελαίου επιφέρει σημαντικές οικονομικές συνέπειες και θεωρούμε όλες τους άλλους τρόπους μόλυνσης αμελητέους ως προς τις συνέπειες. Σύμφωνα με (IMO, 2010) κατά μέσο όρο γίνεται εκροή 102 τόνων πετρελαίου ανά γεγονός. Για την εκτίμηση του κόστους συναρτήσεως του όγκου του πετρελαίου χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος τύπος (IMO, 2011).

Τελικά κατά μέσο όρο το κόστος της μόλυνσης ανά γεγονός είναι 1130000\$.

7.3.Κατανομή Poisson

Η κατανομή Poisson αποτελεί ένα χρήσιμο μαθηματικό εργαλείο του αντικειμένου των πιθανοτήτων εδώ και 200 χρόνια περίπου από την δημοσίευση του από τον Γάλλο επιστήμονα Simeon Denis Poisson το 1837. Η πρώτη της εφαρμογή έγινε από τον Ladislaus Bortkiewicz το 1898 στην προσπάθεια του διερευνήσει τον αριθμό των στρατιωτών που σκοτώθηκαν κατά λάθος από κλωτσιά αλόγου. Έκτοτε, έχει ευρεία χρήση σε όλες τις επιστήμες λόγω των ιδιοτήτων της που προσομοιάζουν πολλές φορές σε μεγάλο βαθμό την πραγματικότητα.

Θεωρούμε μια τυχαία διακριτή μεταβλητή X η οποία παριστάνει τον αριθμό των γεγονότων που συμβαίνουν σε ένα συγκεκριμένο χρονικό ή χωρικό διάστημα. Η μεταβλητή X μπορεί να πάρει τις τιμές μη αρνητικών ακεραίων δηλαδή $X=0, X=1, X=2, \dots, X=k$. Εάν η μεταβλητή X ακολουθεί την κατανομή Poisson τότε η συνάρτηση μάζας πιθανότητας δίνεται από την ακόλουθη σχέση

$$\Pr(X=k) = e^{-\lambda} * \frac{\lambda^k}{k!}$$

Όπου το k είναι ο αριθμός των συμβάντων και λ η παράμετρος της κατανομής Poisson. Επιπλέον αξίζει να σημειωθεί ότι η μέση τιμή (μαθηματική ελπίδα) ισούται με την σταθερά λ . Δηλαδή ισχύει $\mu = E(X) = \lambda$. Επιπλέον ισχύει για την διασπορά $\text{Var}(X) = \lambda$.

Μια σημαντική ιδιότητα της κατανομής Poisson είναι ότι η τιμή του λ εξαρτάται από το μέγεθος του χρονικού ή χωρικού διαστήματος στο οποίο αναφερόμαστε. Πιο συγκεκριμένα, το λ είναι ανάλογο του διαστήματος αυτού. Έτσι, αν μια μεταβλητή ακολουθεί την κατανομή Poisson σε μια περίοδο T_1 έχοντας $\lambda = \lambda_1$ τότε σε μια περίοδο T_2 αντιστοιχείται ένα λ_2 και ισχύει $\lambda_1/T_1 = \lambda_2/T_2$ δηλαδή ακολουθείται η κατανομή Poisson με διαφορετικό λ . Για παράδειγμα αν οι πωλήσεις μίας αντιπροσωπείας αυτοκινήτων ακολουθούν την κατανομή Poisson με μέσο όρο πωλήσεων σε ένα μήνα τα 5 αυτοκίνητα (άρα $\lambda_1 = 5$) τότε εξετάζοντας τις πωλήσεις σε ένα τρίμηνο αναμένουμε να πωληθούν 15 αυτοκίνητα ($\lambda_2 = 15$) ακολουθώντας έτσι μια άλλη κατανομή Poisson.

7.4.Μετατροπή του μοντέλου από στατικό σε δυναμικό

Το μοντέλο που λήφθηκε ήταν στατικό και ζητήθηκε να γίνει μετατροπή σε δυναμικό. Παρατηρώ ότι στους κόμβους age, maintenance intervals και coatings υπάρχουν λίγα δεδομένα για να προσδιοριστούν οι πιθανότητες τους με αποτέλεσμα να υπάρχουν μεγάλα περιθώρια βελτίωσης του μοντέλου. Για αυτό τον λόγο απαλείψαμε τους κόμβους αυτούς και στους κόμβους corrosion (before) και fatigue (before) χρησιμοποιήσαμε μια διαφορετική κατανομή Poisson στην καθεμία. Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε η κατανομή Poisson είναι λόγω της ιδιότητας της ότι το λ (η μέση τιμή δηλαδή) είναι ανάλογη της περιόδου που εξετάζουμε. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να συσχετίσουμε τον χρόνο μεταξύ δύο διαδοχικών επιθεωρήσεων με την πιθανότητα να υπάρξει διάβρωση (ή και κόπωση). Έτσι για τις διάφορες περιόδους άρα και λ μπορούμε να παρατηρήσουμε πως κυμαίνονται οι τιμές στα τρία εκτιμώμενα κόστη. Επιπλέον, σύμφωνα με την έρευνα (B.F. Lyon, 1996) χρησιμοποιήθηκε η κατανομή Poisson για την εκτίμηση της διάβρωσης συναρτήσει του χρόνου σε μεταλλικά δοχεία με απόβλητα καθώς θεωρείται ότι η διάβρωση εξαπλώνεται με σταθερό ρυθμό και έχει νόημα να χρησιμοποιηθεί αυτή η κατανομή. Επιπρόσθετα, με έρευνες των (John D. Sorensen, 2014) και (A. F. Siqueira, 2013) η πιθανότητα να υπάρξει αστοχία λόγω κόπωσης περιγράφεται με την κατανομή Poisson με το λ να σχετίζεται με τον αριθμό των αρχικών ρωγμών στο μέταλλο. Για τους από πάνω λόγους η κατανομή Poisson φαίνεται μια καλή επιλογή για μια πρώτη εκτίμηση.

Για την χρήση της κατανομής αυτής στο στατικό μοντέλο ήταν απαραίτητη η χρήση κώδικα. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα ο κώδικας χρησιμοποίησε την βιβλιοθήκη SMILE. Ο κώδικας γράφτηκε σε γλώσσα προγραμματισμού C++ για διάφορους λόγους. Αρχικά, η ανάπτυξη του κώδικα σε άλλη γλώσσα θα απαιτούσε wrappers δηλαδή προσαρμογές ώστε να λειτουργήσει. Επιπλέον, ο οδηγός για την βιβλιοθήκη ήταν πιο περιεκτικός για την γλώσσα αυτή. Έτσι, ως πρώτη κίνηση ήταν απαραίτητη η χρήση ενός προγράμματος που κάνει compile ένα αρχείο γραμμένο σε C++. Compile είναι η διαδικασία με την οποία οι εντολές της γλώσσας μετασχηματίζονται σε γλώσσα μηχανής που καταλαβαίνει ο υπολογιστής. Για την εκπόνηση της εργασίας ήταν αναγκαία η χρήση διαφορετικών υπολογιστών με διαφορετικά λειτουργικά συστήματα. Στον υπολογιστή με λειτουργικό σύστημα Windows 10 ήταν απαραίτητη η χρήση του προγράμματος Visual studio στο οποίο κατεβάσαμε την C++ του 2017 καθώς η βιβλιοθήκη του SMILE ήταν αδύνατο να

χρησιμοποιήσει την πιο πρόσφατη έκδοση της C++. Στην συνέχεια έγινε δημιουργία ενός νέου project στο οποίο προσδιορίσαμε τον φάκελο στον οποίο αποθηκεύσαμε τα αρχεία της βιβλιοθήκης SMILE, το αρχείο του κώδικα αλλά και το αρχείο .xdsl που περιέχει τις πληροφορίες του στατικού μοντέλου από το Genie. Πριν την εκτέλεση του προγράμματος γίνεται compile πατώντας στο κουμπί Local Windows Debugger. Με την εκτέλεση του προγράμματος υπολογίζονται τα εκτιμώμενα κόστη. Η διαδικασία εγκατάστασης ήταν αρκετά χρονοβόρα σε σχέση με τον δεύτερο υπολογιστή στον οποίο το λειτουργικό σύστημα ονομάζεται Xubuntu 16. Στο συγκεκριμένο λειτουργικό σύστημα αρκούσε η εγκατάσταση του προγράμματος g++. Μέσα στον φάκελο που βρίσκονται τα αρχεία του SMILE, ο κώδικας και το .xdsl αρχείο που περιέχει το στατικό μοντέλο ανοίγοντας το terminal μπορούμε να εκτελέσουμε τον κώδικα. Με την εντολή `g++ src/main.cpp -o bayes -L lib -I include -lsmile` κάνουμε compile το αρχείο και στην συνέχεια με την εντολή `./bayes bin/WP3_2_BayesNet_V4.xdsl` εκτελείται το πρόγραμμα (σχήματα 29 & 30). Αξίζει να σημειωθεί ότι ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιαδήποτε αρχείο στατικού μοντέλου από το Genie και να το κάνει έτσι δυναμικό μοντέλο.

```
tmg@tmg-W25xHNx:~/Documents/ptuxiakhs$ ./bayes bin/WP3_2_BayesNet_V4.xdsl
Inspection Decision: Yes
Evidence: High
λ1: [input box]
```

Σχήμα 29 Εκτέλεση κώδικα σε λειτουργικό σύστημα Xubuntu

```
tmg@tmg-W25xHNx:~/Documents/ptuxiakhs$ ./bayes bin/WP3_2_BayesNet_V4.xdsl
Inspection Decision: Yes
Evidence: High
λ1: 0.01
Personal_damage_USD_: 5132.14
Environmental_impact: 65.14
Property_damage: 7341.14
q: 0.99005
tmg@tmg-W25xHNx:~/Documents/ptuxiakhs$ [input box]
```

Σχήμα 30 Αποτελέσματα μοντέλου για μια τιμή του λ

Προκειμένου να γίνει επιλογή των κατάλληλων λ που θα εξετάσουμε με τον κώδικα πρέπει πρώτα να πάρουμε κάποιες ενδεικτικές τιμές από το στατικό μοντέλο. Είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε τα δύο ακραία σενάρια ώστε να έχουμε επαρκή μέτρα σύγκρισης για αυτό είναι χρήσιμο να θέσουμε ως δεδομένα (evidences) ξεχωριστά τις περιπτώσεις να υπάρχει σίγουρα κόπωση και διάβρωση αλλά και να μην υπάρχει σίγουρα κάποια από τα δύο δομικά προβλήματα. Επιπλέον για να γίνει κατανοητή η μεταβολή των τιμών που λάβαμε, είναι χρήσιμο να δούμε και τις περιπτώσεις που ένα από τα δύο προβλήματα είναι υπαρκτά. Τα αποτελέσματα που υπολογίζει το στατικό μοντέλο φαίνονται στον Πίνακας 10.

Πίνακας 10 Πίνακας με τα κόστη για τα σενάρια του στατικού μοντέλου

Inspection	Σενάρια	Personal Damage (\$)	Environmental Impact (\$)	Property Damage (\$)
YES	Κανένα Evidence	5333.447	68.377	7625.742
	Μόνο διάβρωση	5818.462	69.196	8271.223
	Μόνο κόπωση	5818.462	69.196	8271.223
	Διάβρωση και κόπωση	6143.212	69.744	8703.416
	Ούτε διάβρωση ούτε κόπωση	5320.643	68.356	7608.702
	Όχι διάβρωση	5327.059	68.366	7617.241
	Όχι διάβρωση, υπάρχει κόπωση	5814.186	69.189	8265.530
	Όχι κόπωση	5327.059	68.366	7617.241
	Όχι κόπωση, υπάρχει διάβρωση	5814.184	69.189	8265.530
NO	Κανένα Evidence	13520.741	195.355	19172.910
	Μόνο διάβρωση	45516.207	249.067	61757.145
	Μόνο κόπωση	45516.207	249.067	61757.145
	Διάβρωση και κόπωση	45516.207	249.067	61757.145
	Ούτε διάβρωση ούτε κόπωση	12672.352	193.931	18043.749
	Όχι διάβρωση	13099.322	194.648	18612.023
	Όχι διάβρωση, υπάρχει κόπωση	45516.207	249.067	61757.145
	Όχι κόπωση	13099.322	194.648	18612.023
	Όχι κόπωση, υπάρχει διάβρωση	45516.207	249.067	61757.145

Αναλύοντας τα δεδομένα από το στατικό μοντέλο είναι προφανές ότι ο κόμβος environmental impact έχει αμελητέα διακύμανση για τους διάφορους συνδυασμούς τιμών που εξετάσαμε. Ακόμα και σε περιπτώσεις που δεν πραγματοποιήθηκε επιθεώρηση η αύξηση του κόστους για ενδεχόμενο να υπάρχει διάβρωση και κόπωση σε σχέση με το να μην υπάρχει διάβρωση και κόπωση είναι της τάξης του 28.43%. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό ότι τα κόστη είναι μικρής τάξης μεγέθους κάνουν τις επιπτώσεις στο περιβάλλον αδιάφορες από οικονομικής άποψης. Ωστόσο, τα πράγματα διαφέρουν αρκετά για τους κόμβους personal damage και property damage. Πέρα από το γεγονός

ότι είναι 1 ή 2 τάξεις μεγέθους μεγαλύτερα από τις επιπτώσεις για το περιβάλλον οι τιμές διαφέρουν αισθητά. Σε περίπτωση που είτε διάβρωση είτε κόπωση υπάρχουν και δεν γίνει επιθεώρηση τα κόστη στον κάθε κόμβο υπερτριπλασιάζονται. Σε περίπτωση που γίνει επιθεώρηση αλλά υπάρχει είτε κόπωση είτε διάβρωση τα κόστη είναι 7 με 8 φορές μικρότερα σε σχέση που δεν γίνει επιθεώρηση. Γενικά σε περίπτωση που γίνει επιθεώρηση στο βέλτιστο σενάριο (δεδομένο ότι δεν υπάρχουν κόπωση και διάβρωση) με το χειρότερο σενάριο (δεδομένο ότι υπάρχουν κόπωση και διάβρωση) η αύξηση του κόστους για το κόμβο personal damage είναι της τάξης του 14.82% και για τον κόμβο property damage είναι της τάξης του 14.39%. Σε περίπτωση που είναι βέβαιο ότι δεν υπάρχει σε ούτε διάβρωση ούτε κόπωση γίνεται μια μείωση στα δύο κόστη μικρότερη του 10% ανεξάρτητα από το αν θα γίνει επιθεώρηση ή όχι.

Με την ανάλυση του στατικού μοντέλου έγινε αντιληπτή η ευρύτερη εικόνα για τις τιμές που έχουν τα κόστη. Το δυναμικό μοντέλο μπορεί να μας δείξει τον τρόπο και των ρυθμό που αλλάζουν για το πως αλλάζει η πιθανότητα. Η πιθανότητα αλλάζει με το λ και με την γνώση ότι το λ σχετίζεται με τον χρόνο ή την αρχική κατάσταση της μεταλλικής κατασκευής μπορούμε στην συνέχεια να αποφανθούμε για την συχνότητα που γίνονται οι επιθεωρήσεις ή τα κριτήρια ποιότητας για την δημιουργία της μεταλλικής κατασκευής. Έχουμε θέσει στο στατικό μοντέλο ότι η πιθανότητα διάβρωσης είναι η ίδια με την πιθανότητα κόπωσης πριν την επιθεώρηση. Παρόλο που ο κώδικας έχει σχεδιαστεί να δέχεται διαφορετικές κατανομές Poisson σε κάθε κόμβο θα συνεχίσουμε να τηρούμε αυτή την παραδοχή και στην μελέτη που θα πραγματοποιήσουμε χρησιμοποιώντας το ίδιο λ και σε διάβρωση και σε κόπωση. Παρατηρείται ότι το δυναμικό μοντέλο για $\lambda=0.013085$ ταυτίζεται με το στατικό μοντέλο καθώς στην περίπτωση εκείνη η πιθανότητα να υπάρξει κόπωση (το ίδιο ισχύει και για διάβρωση) είναι περίπου 0.013 που είναι η ίδια με αυτή του μοντέλου. Επομένως, σε πρώτη φάση θα εξετάσουμε τα λ από 0.001- 0.2 προκειμένου να εξετάσουμε μια περιοχή ευρύτερη για από το 1/10 του 0.013085 μέχρι το δεκαπλάσιο του αριθμού αυτού. Για κάθε λ που εξετάζουμε υπολογίζουμε την πιθανότητα να μην υπάρχει διάβρωση (ή όμοια κόπωση) που ισχύει για $k=0$. Προφανώς, αν η πιθανότητα αυτή είναι η q τότε η πιθανότητα να υπάρχει διάβρωση (ή όμοια κόπωση) είναι $p=1-q$. Τα δεδομένα σε περίπτωση που δεν γίνει επιθεώρηση φαίνονται στον Πίνακα 11.

Πίνακας 11 Πίνακας με τα κόστη δυναμικού μοντέλου για Inspection: no

Τιμές λ	Τιμή q	Personal Damage (\$)	Environmental Impact (\$)	Property Damage (\$)
0.001	0.99900	12737.97	194.04	18131.09
0.005	0.99501	12999.15	194.48	18478.71
0.01	0.99005	13322.70	195.02	18909.33
0.013085	0.98700	13520.73	195.36	19172.89
0.015	0.98511	13643.03	195.56	19335.67
0.02	0.98020	13960.18	196.09	19757.78
0.025	0.97531	14274.17	196.62	20175.68
0.03	0.97045	14585.03	197.14	20589.42
0.035	0.96561	14892.80	197.66	20999.04
0.04	0.96079	15197.51	198.17	21404.59
0.045	0.95600	15499.18	198.68	21806.11
0.05	0.95123	15797.86	199.18	22203.63
0.055	0.94649	16093.56	199.67	22597.19
0.06	0.94176	16386.32	200.17	22986.84
0.065	0.93707	16676.17	200.65	23372.61
0.07	0.93239	16963.13	201.13	23754.54
0.08	0.92312	17528.52	202.08	24507.05
0.09	0.91393	18082.71	203.01	25244.65
0.1	0.90484	18625.93	203.93	25967.64
0.11	0.89583	19158.40	204.82	26676.32
0.12	0.88692	19680.31	205.70	27370.97
0.13	0.87810	20191.9	206.55	28051.86
0.14	0.86936	20693.35	207.40	28719.27
0.15	0.86071	21184.88	208.22	29373.46
0.16	0.85214	21666.67	209.03	30014.71
0.17	0.84366	22138.93	209.82	30643.25
0.18	0.83527	22601.83	210.60	31259.34
0.19	0.82696	23055.56	211.36	31863.24
0.2	0.81873	23500.31	212.11	32455.18

Παρατηρούμε ότι για $\lambda=0.001$ που αντιστοιχεί στον μέσο όρο για περίοδο μικρότερο του 1/12 του τωρινού γίνεται μείωση του κόστους ανθρώπινων απωλειών της τάξης του 5.79%. Όμοια για εκτίμηση κόστους απώλειας περιουσίας είναι της τάξης του 5.43% ενώ για το κόστος των περιβαλλοντικών συνεπειών η μεταβολή είναι μικρότερη του 1%. Για $\lambda=0.03$ που αντιστοιχεί σε υπερδιπλάσια τιμή με το στατικό υπάρχει αύξηση για το εκτιμώμενο κόστος της τάξης του 7.88%. Για το κόστος απώλειας περιουσίας το ποσοστό αυτό είναι 7.39% ενώ για τις περιβαλλοντικές συνέπειες το ποσοστό είναι περίπου στο 1%. Για $\lambda=0.065$ που αντιστοιχεί για σχεδόν πέντε φορές μεγαλύτερο λ από αυτό του στατικού μοντέλου προκύπτει ότι το ποσοστό αύξησης είναι περίπου στο 22%-24%. Οι περιβαλλοντικές συνέπειες είναι σχεδόν το 2.7%. Τέλος για $\lambda=0.13$ που είναι

σχεδόν δεκαπλάσια τιμή του λ για το στατικό είναι αύξηση περίπου 49.34% για τις ανθρώπινες απώλειες, είναι 46.31% για απώλειες περιουσίας και 5.7% για τις περιβαλλοντικές συνέπειες.

Στην συνέχεια για τις ίδιες τιμές του λ θα εξετάσουμε την περίπτωση για την οποία γίνεται επιθεώρηση. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακας 12.

Πίνακας 12 Πίνακας με τα κόστη του δυναμικού μοντέλου για Inspection: yes

Τιμές λ	Τιμή q	Personal Damage (\$)	Environmental Impact (\$)	Property Damage (\$)
0.001	0.99900	5321.63	68.36	7610.01
0.005	0.99501	5325.56	68.36	7615.25
0.01	0.99005	5330.45	68.37	7621.75
0.013085	0.98700	5333.45	68.38	7625.74
0.015	0.98511	5335.30	68.38	7628.21
0.02	0.98020	5340.12	68.39	7634.63
0.025	0.97531	5344.91	68.40	7641.00
0.03	0.97045	5349.67	68.40	7647.34
0.035	0.96561	5354.40	68.41	7653.63
0.04	0.96079	5359.09	68.42	7659.87
0.045	0.95600	5363.76	68.43	7666.08
0.05	0.95123	5368.39	68.44	7672.25
0.055	0.94649	5373.00	68.44	7678.38
0.06	0.94176	5377.57	68.45	7684.46
0.065	0.93707	5382.11	68.46	7690.51
0.07	0.93239	5386.62	68.47	7696.51
0.08	0.92312	5395.56	68.48	7708.41
0.09	0.91393	5404.38	68.50	7720.14
0.1	0.90484	5413.09	68.51	7731.73
0.11	0.89583	5421.68	68.53	7743.16
0.12	0.88692	5430.16	68.54	7754.45
0.13	0.87810	5438.53	68.55	7765.59
0.14	0.86936	5446.79	68.57	7776.58
0.15	0.86071	5454.94	68.58	7787.44
0.16	0.85214	5462.99	68.60	7798.15
0.17	0.84366	5470.94	68.61	7808.72
0.18	0.83527	5478.78	68.62	7819.16
0.19	0.82696	5486.52	68.64	7829.46
0.2	0.81873	5494.17	68.65	7839.63

Παρατηρούμε ότι τα κόστη είναι αισθητά χαμηλότερα και είναι 2-4 φορές μικρότερα από τα αντίστοιχα σε περίπτωση που δεν γίνει επιθεώρηση. Επιπλέον, ποσοστιαία μεταβάλλονται σε μικρότερο βαθμό για τις διάφορες τιμές του λ . Για $\lambda=0.001$ η μεταβολές σε κάθε κόμβο είναι μικρότερες του 0.3% σε σχέση με το αρχικό στατικό μοντέλο. Για $\lambda=0.03$ η αύξηση δεν ξεπερνά το 0.4% σε κάθε κόμβο. Για $\lambda=0.065$ όλες οι αυξήσεις είναι μικρότερες του 1%. Τέλος για $\lambda=0.13$ η αυξήσεις είναι μικρότερες του 2%.

Μετά την ανάλυση δίχως να γίνει χρήση κάποιου evidence για τα διάφορα λ , θα γίνει η εξέταση χρησιμοποιώντας δεδομένα για τους διάφορους κόμβους. Αρχικά, θα εξετάσουμε τα κόστη που υπολογίζει το μοντέλο χρησιμοποιώντας evidences στο κόμβο state of equipment (before) για κάθε λ που εξετάσαμε ήδη. Έγινε έλεγχος τεσσάρων περιπτώσεων για τους διάφορους συνδυασμούς πραγματοποίησης ή μη επιθεώρησης αλλά και για καλή ή κακή κατάσταση του εξοπλισμού. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση που δεν γίνει επιθεώρηση και η κατάσταση του εξοπλισμού είναι κακή. Στον Πίνακα 13 τα κόστη είναι μεγάλα αλλά το ποσοστό αύξησης είναι αρκετό χαμηλό για αρκετές τιμές του λ σε σχέση με το στατικό μοντέλο.

Πίνακας 13 Πίνακας με τα κόστη του δυναμικού μοντέλου για Inspection: no & State of Equipment (before): Poor

Τιμές λ	Τιμή q	Personal Damage (\$)	Environmental Impact (\$)	Property Damage (\$)
0.001	0.99900	210091.64	3565.09	298256.20
0.005	0.99501	210339.91	3565.44	298587.35
0.01	0.99005	210647.47	3565.87	298997.57
0.013085	0.98700	210835.71	3566.14	299248.65
0.015	0.98511	210951.97	3566.30	299403.72
0.02	0.98020	211253.44	3566.72	299805.82
0.025	0.97531	211551.91	3567.14	300203.92
0.03	0.97045	211847.42	3567.55	300598.06
0.035	0.96561	212139.97	3567.96	300988.28
0.04	0.96079	212429.62	3568.37	301374.61
0.045	0.95600	212716.39	3568.77	301757.10
0.05	0.95123	213000.31	3569.17	302135.79
0.055	0.94649	213281.40	3569.56	302510.70
0.06	0.94176	213559.69	3569.95	302881.89
0.065	0.93707	213835.21	3570.34	303249.39
0.07	0.93239	214107.99	3570.72	303613.22
0.08	0.92312	214645.44	3571.48	304330.07
0.09	0.91393	215172.25	3572.21	305032.73
0.1	0.90484	215688.62	3572.94	305721.47
0.11	0.89583	216194.77	3573.65	306396.57
0.12	0.88692	216690.90	3574.34	307058.30
0.13	0.87810	217177.20	3575.02	307706.93
0.14	0.86936	217653.87	3575.69	308342.72
0.15	0.86071	218121.11	3576.35	308965.92
0.16	0.85214	218579.09	3576.99	309576.78
0.17	0.84366	219028.00	3577.62	310175.54
0.18	0.83527	219468.03	3578.23	310762.45
0.19	0.82696	219899.34	3578.84	311337.73
0.2	0.81873	220322.11	3579.43	311901.62

Στην συνέχεια, για κάθε λ που εξετάσαμε στα προηγούμενα σενάρια θα πάρουμε evidence στον κόμβο inspection quality σε περίπτωση προφανώς που γίνεται επιθεώρηση. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η περίπτωση που η ποιότητα της είναι χαμηλή καθώς παρατηρείται μικρή ποσοστιαία αύξηση του κάθε κόστους σε σχέση με το στατικό μοντέλο. Έτσι για τις διάφορες τιμές των λ και evidences προκύπτει ο Πίνακας 14 που αντιστοιχεί σε πραγματοποίηση επιθεώρησης και να βρέθηκε το πλοίο σε κακή κατάσταση.

Πίνακας 14 Πίνακας με τα κόστη του δυναμικού μοντέλου για Inspection: yes & Inspection quality: Low

Τιμές λ	Τιμή q	Personal Damage (\$)	Environmental Impact (\$)	Property Damage (\$)
0.001	0.99900	5511.12	71.58	7878.89
0.005	0.99501	5518.99	71.59	7889.36
0.01	0.99005	5528.76	71.61	7902.37
0.013085	0.98700	5534.76	71.62	7910.35
0.015	0.98511	5538.47	71.62	7915.29
0.02	0.98020	5548.11	71.64	7928.12
0.025	0.97531	5557.69	71.66	7940.87
0.03	0.97045	5567.21	71.67	7953.53
0.035	0.96561	5576.66	71.69	7966.11
0.04	0.96079	5586.05	71.71	7978.61
0.045	0.95600	5595.38	71.72	7991.03
0.05	0.95123	5604.65	71.74	8003.36
0.055	0.94649	5613.85	71.75	8015.61
0.06	0.94176	5623.00	71.77	8027.79
0.065	0.93707	5632.08	71.78	8039.88
0.07	0.93239	5641.11	71.80	8051.89
0.08	0.92312	5658.98	71.83	8075.68
0.09	0.91393	5676.63	71.86	8099.15
0.1	0.90484	5694.04	71.89	8122.32
0.11	0.89583	5711.22	71.92	8145.19
0.12	0.88692	5728.18	71.95	8167.76
0.13	0.87810	5744.92	71.97	8190.04
0.14	0.86936	5761.44	72.00	8212.03
0.15	0.86071	5777.75	72.03	8233.74
0.16	0.85214	5793.85	72.06	8255.16
0.17	0.84366	5809.74	72.08	8276.31
0.18	0.83527	5825.42	72.11	8297.18
0.19	0.82696	5840.91	72.14	8317.79
0.2	0.81873	5856.19	72.16	8338.13

Υπάρχουν επιπλέον πίνακες αποτελεσμάτων στο παράρτημα της εργασίας αυτής.

Συμπεράσματα

Τα κόστη που οφείλονται σε περιβαλλοντικές συνέπειες μπορούν να θεωρηθούν αμελητέα ακόμα και στα χειρότερα σενάρια που εξετάσαμε. Σε όλα τα σενάρια που λήφθηκαν υπόψη για μικρότερα λ από αυτά του στατικού μοντέλου παρατηρήθηκε μικρή ποσοστιαία μείωση του κόστους. Επομένως, εάν μετασχηματίσουμε τις χαμηλότερες τιμές του λ για πιο συχνές τιμές συχνές επιθεωρήσεις ή καλύτερη αρχική κατάσταση του ελάσματος τότε αναμένουμε μια μικρή ποσοστιαία μείωση της τιμής του κάθε κόστους ακόμα και για δέκα φορές μικρότερο λ σε σχέση με το στατικό μοντέλο. Ως προς τα αποτελέσματα για μεγαλύτερες τιμές του λ από αυτή στο στατικό μοντέλο, μεγάλη ποσοστιαία αύξηση παρατηρείται στις περιπτώσεις που δεν πραγματοποιείται επιθεώρηση. Το γεγονός αυτό δείχνει πόσο σημαντικό είναι να λαμβάνουν χώρα συχνά επιθεωρήσεις και να μην γίνεται παράληψή τους καθώς σε αντίθετο σενάριο υπάρχει παράλληλα μεγάλη ποσοστιαία αύξηση του κόστους. Σε περίπτωση που είναι ήδη γνωστό ότι το πλοίο έχει πρόβλημα με τον εξοπλισμό του τότε τα κόστη αυξάνονται κατά πολύ ειδικά στην περίπτωση που δεν γίνεται επιθεώρηση. Ωστόσο δεν υπάρχει μεγάλη μεταβολή για τις διάφορες τιμές που μπορεί να έχει το λ . Σε περίπτωση που γίνεται επιθεώρηση αλλά είναι χαμηλής ποιότητας τότε τα κόστη μένουν σε λογικά επίπεδα για όλες τις τιμές του λ που εξετάσαμε και δίχως να έχει σημαντική ποσοστιαία μεταβολή.

Βελτιώσεις

Το μοντέλο έχει ακόμα αρκετά περιθώρια βελτίωσης. Αρχικά, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τυχαίες κατανομές με τις οποίες θα περιγράφεται η πυκνότητα της πιθανότητας για αρκετούς κόμβους του μοντέλου και ανάλογα με αυτές τις συναρτήσεις να υπολογίζεται το αποτέλεσμα του μοντέλου. Επιπλέον, υπάρχει ανάγκη να βελτιωθεί το μοντέλο ώστε να είναι ρεαλιστικό για διάφορους τύπους πλοίων. Για αυτό τον λόγο αυτός και ορισμένοι άλλοι κόμβοι απαιτούν διαφορετικές πληροφορίες ώστε να βγαίνουν ρεαλιστικά τα αποτελέσματα. Για παράδειγμα τα κόστη που αφορούν το περιβάλλον πρέπει να είναι διαφορετικά για τυχαίο πλοίο σε σχέση με ένα tanker. Επιπρόσθετα, πολύ σημαντικό είναι ο προσδιορισμός όλων των παραγόντων ενός προβλήματος. Για παράδειγμα, στον κόμβο collision έχουμε θεωρήσει ότι η πιθανότητα πρόσκρουσης εξαρτάται μόνο από τον τύπο πλοίου και την πιθανότητα βλάβης του εξοπλισμού

αγνοώντας παραμέτρους όπως το ανθρώπινο λάθος ή τον καιρό. Τέλος, το μοντέλο θα είχε παραπάνω αξία το μοντέλο για τους πλοιοκτήτες εάν συνυπολογιστούν το κόστος της επιθεώρησης καθώς και τα κέρδη που χάνει μια ναυτιλιακή εταιρία για τον χρόνο που απαιτείται να γίνει επιθεώρηση.

Παράρτημα Πινάκων

Αποτελέσματα δυναμικού μοντέλου

Πίνακας 15 Πίνακας με τα κόστη του δυναμικού μοντέλου για *Inspection: yes & state of equipment (before): poor*

Τιμές λ	Τιμή q	Personal Damage (\$)	Environmental Impact (\$)	Property Damage (\$)
0.001	0.99900	10255.55	152.63	14613.24
0.005	0.99501	10259.47	152.64	14618.46
0.01	0.99005	10264.35	152.65	14624.95
0.013085	0.98700	10267.34	152.65	14628.93
0.015	0.98511	10269.19	152.66	14631.40
0.02	0.98020	10274.00	152.67	14637.80
0.025	0.97531	10278.78	152.67	14644.16
0.03	0.97045	10283.52	152.68	14650.48
0.035	0.96561	10288.24	152.69	14656.75
0.04	0.96079	10292.92	152.70	14662.98
0.045	0.95600	10297.58	152.70	14669.18
0.05	0.95123	10302.20	152.71	14675.33
0.055	0.94649	10306.79	152.72	14681.44
0.06	0.94176	10311.35	152.73	14687.51
0.065	0.93707	10315.88	152.74	14693.54
0.07	0.93239	10320.38	152.74	14699.54
0.08	0.92312	10329.30	152.76	14711.40
0.09	0.91393	10338.10	152.77	14723.11
0.1	0.90484	10346.78	152.79	14734.67
0.11	0.89583	10355.35	152.80	14746.08
0.12	0.88692	10363.81	152.82	14757.34
0.13	0.87810	10372.16	152.83	14768.45
0.14	0.86936	10380.40	152.84	14779.42
0.15	0.86071	10388.54	152.86	14790.24
0.16	0.85214	10396.56	152.87	14800.93
0.17	0.84366	10404.49	152.88	14811.48
0.18	0.83527	10412.31	152.90	14821.89
0.19	0.82696	10420.04	152.91	14832.17
0.2	0.81873	10427.66	152.92	14842.32

Πίνακας 16 Πίνακας με τα κόστη του δυναμικού μοντέλου για *Inspection: no & state of equipment (before): good*

Τιμές λ	Τιμή q	Personal Damage (\$)	Environmental Impact (\$)	Property Damage (\$)
0.001	0.99900	5197.88	65.25	7428.63
0.005	0.99501	5459.56	65.69	7776.88
0.01	0.99005	5783.72	66.24	8208.29
0.013085	0.98700	5982.11	66.57	8472.32
0.015	0.98511	6104.65	66.78	8635.40
0.02	0.98020	6422.39	67.31	9058.27
0.025	0.97531	6736.98	67.85	9476.92
0.03	0.97045	7048.43	68.37	9891.42
0.035	0.96561	7356.78	68.89	10301.78
0.04	0.96079	7662.06	69.41	10708.07
0.045	0.95600	7964.31	69.92	11110.31
0.05	0.95123	8263.54	70.42	11508.54
0.055	0.94649	8559.81	70.92	11902.82
0.06	0.94176	8853.12	71.42	12293.18
0.065	0.93707	9143.51	71.91	12679.65
0.07	0.93239	9431.02	72.40	13062.27
0.08	0.92312	9997.48	73.35	13816.13
0.09	0.91393	10552.71	74.29	14555.07
0.1	0.90484	11096.96	75.21	15279.37
0.11	0.89583	11630.43	76.11	15989.34
0.12	0.88692	12153.33	76.99	16685.24
0.13	0.87810	12665.88	77.86	17367.36
0.14	0.86936	13168.29	78.71	18035.98
0.15	0.86071	13660.74	79.54	18691.36
0.16	0.85214	14143.44	80.35	19333.76
0.17	0.84366	14616.58	81.15	19963.44
0.18	0.83527	15080.36	81.94	20580.65
0.19	0.82696	15534.95	82.70	21185.64
0.2	0.81873	15980.54	83.46	21778.65

Πίνακας 17 Πίνακας με τα κόστη του δυναμικού μοντέλου για *Inspection: yes & state of equipment (before): good*

Τιμές λ	Τιμή q	Personal Damage (\$)	Environmental Impact (\$)	Property Damage (\$)
0.001	0.99900	5133.12	65.14	7342.45
0.005	0.99501	5137.06	65.14	7347.68
0.01	0.99005	5141.94	65.15	7354.19
0.013085	0.98700	5144.94	65.16	7358.18
0.015	0.98511	5146.80	65.16	7360.65
0.02	0.98020	5151.62	65.17	7367.07
0.025	0.97531	5156.41	65.18	7373.44
0.03	0.97045	5161.17	65.18	7379.77
0.035	0.96561	5165.90	65.19	7386.06
0.04	0.96079	5170.59	65.20	7392.31
0.045	0.95600	5175.26	65.21	7398.52
0.05	0.95123	5179.89	65.22	7404.69
0.055	0.94649	5184.50	65.22	7410.82
0.06	0.94176	5189.07	65.23	7416.90
0.065	0.93707	5193.61	65.24	7422.95
0.07	0.93239	5198.12	65.25	7428.96
0.08	0.92312	5207.06	65.26	7440.85
0.09	0.91393	5215.88	65.28	7452.59
0.1	0.90484	5224.59	65.29	7464.18
0.11	0.89583	5233.18	65.31	7475.61
0.12	0.88692	5241.66	65.32	7486.90
0.13	0.87810	5250.03	65.33	7498.04
0.14	0.86936	5258.30	65.35	7509.03
0.15	0.86071	5266.45	65.36	7519.89
0.16	0.85214	5274.50	65.38	7530.60
0.17	0.84366	5282.45	65.39	7541.17
0.18	0.83527	5290.29	65.40	7551.61
0.19	0.82696	5298.03	65.42	7561.92
0.2	0.81873	5305.68	65.43	7572.09

Πίνακας 18 Πίνακας με τα κόστη του δυναμικού μοντέλου για *Inspection: yes & inspection outcome (equipment): good*

Τιμές λ	Τιμή q	Personal Damage (\$)	Environmental Impact (\$)	Property Damage (\$)
0.001	0.99900	5333.63	68.56	7627.05
0.005	0.99501	5337.46	68.57	7632.15
0.01	0.99005	5342.23	68.58	7638.50
0.013085	0.98700	5345.16	68.58	7642.39
0.015	0.98511	5346.96	68.59	7644.80
0.02	0.98020	5351.67	68.59	7651.06
0.025	0.97531	5356.34	68.60	7657.27
0.03	0.97045	5360.98	68.61	7663.45
0.035	0.96561	5365.59	68.62	7669.58
0.04	0.96079	5370.17	68.62	7675.68
0.045	0.95600	5374.72	68.63	7681.73
0.05	0.95123	5379.24	68.64	7687.75
0.055	0.94649	5383.73	68.65	7693.72
0.06	0.94176	5388.19	68.65	7699.66
0.065	0.93707	5392.62	68.66	7705.56
0.07	0.93239	5397.02	68.67	7711.41
0.08	0.92312	5405.74	68.68	7723.02
0.09	0.91393	5414.34	68.70	7734.46
0.1	0.90484	5422.83	68.71	7745.76
0.11	0.89583	5431.21	68.73	7756.92
0.12	0.88692	5439.48	68.74	7767.92
0.13	0.87810	5447.65	68.76	7778.79
0.14	0.86936	5455.70	68.77	7789.51
0.15	0.86071	5463.66	68.78	7800.10
0.16	0.85214	5471.51	68.80	7810.55
0.17	0.84366	5479.26	68.81	7820.86
0.18	0.83527	5486.91	68.82	7831.04
0.19	0.82696	5494.46	68.83	7841.09
0.2	0.81873	5501.91	68.85	7851.01

Πίνακας 19 Πίνακας με τα κόστη του δυναμικού μοντέλου για *Inspection: yes & inspection outcome (equipment): poor*

Τιμές λ	Τιμή q	Personal Damage (\$)	Environmental Impact (\$)	Property Damage (\$)
0.001	0.99900	5133.51	65.14	7342.96
0.005	0.99501	5138.96	65.15	7350.21
0.01	0.99005	5145.73	65.16	7359.23
0.013085	0.98700	5149.89	65.17	7364.76
0.015	0.98511	5152.46	65.17	7368.18
0.02	0.98020	5159.15	65.18	7377.08
0.025	0.97531	5165.79	65.19	7385.92
0.03	0.97045	5172.38	65.20	7394.70
0.035	0.96561	5178.94	65.21	7403.42
0.04	0.96079	5185.45	65.23	7412.08
0.045	0.95600	5191.91	65.24	7420.69
0.05	0.95123	5198.34	65.25	7429.24
0.055	0.94649	5204.72	65.26	7437.73
0.06	0.94176	5211.06	65.27	7446.17
0.065	0.93707	5217.36	65.28	7454.55
0.07	0.93239	5223.61	65.29	7462.88
0.08	0.92312	5236.00	65.31	7479.37
0.09	0.91393	5248.23	65.33	7495.64
0.1	0.90484	5260.30	65.35	7511.70
0.11	0.89583	5272.21	65.37	7527.55
0.12	0.88692	5283.97	65.39	7543.20
0.13	0.87810	5295.57	65.41	7558.64
0.14	0.86936	5307.03	65.43	7573.88
0.15	0.86071	5318.33	65.45	7588.93
0.16	0.85214	5329.49	65.47	7603.78
0.17	0.84366	5340.50	65.49	7618.44
0.18	0.83527	5351.38	65.51	7632.91
0.19	0.82696	5362.11	65.52	7647.20
0.2	0.81873	5372.71	65.54	7661.30

Corrosion after:

Corrosion (before)	Yes Good				No			
Insp. outcome (struct.)	Corr./ Fat.	Corr./ No	No Corr./ Fat.	No Corr./ No Fat.	Corr./ Fat.	Corr./ No Fat.	No Corr./ Fat.	No Corr./ No Fat.
Yes	0	0	1	1	0	0	0	0
No	1	1	0	0	1	1	1	1

Fatigue after:

Fatigue (before)	Yes Good				No			
Insp. outcome (struct.)	Corr./ Fat.	Corr./ No Fat.	No Corr./ Fat.	No Corr./ No Fat.	Corr./ Fat.	Corr./ No	No Corr./ Fat.	No Corr./ No Fat.
Yes	0	1	0	1	0	0	0	0
No	1	0	1	0	1	1	1	1

State of Equipment (before):

Poor	0.0368
Good	0.9632

Inspection outcome (equipment):

Inspection	Yes				No			
Inspection quality	Low		High		Low		High	
State of Equip. (before)	Poor	Good	Poor	Good	Poor	Good	Poor	Good
Poor	0.95	0.05	1	0	0	0	0	0
Good	0.05	0.95	0	1	1	1	1	1

State of equipment (after):

State of Equip. (before)	Poor		Good	
<u>Inspection outcome (equipment)</u>	Poor	Good	Poor	Good
Poor	0	1	0	0
Good	1	0	1	1

Damage and Failure of Equipment:

Ship type	General cargo ship	
State of equipment (after)	Poor	Good
Steering, Rudder, Propulsion	0.9715	0.009715
Electrical	0.0174	0.000174
No	0.0111	0.990111

Fire & Explosion:

Ship type	General cargo ship		
State of equipment (after)	Steering, Rudder, Propulsion	Electrical	No
Fire	0.1124	0.5494	0.0010
Explosion	0.0090	0.0442	8.4e-5
Fire & Explosion	0.0078	0.0379	7.2e-5
No	0.8708	0.3684	0.9988

Collision:

Ship type	General cargo ship		
Damage and Failure of Equipment	Steering, Rudder, Propulsion	Electrical	No
Yes	0.0684	0.0019	0.0019
No	0.9316	0.9981	0.9981

Capsizing:

Ship type	General cargo ship	
Structural failure	Yes	No
Yes	0.15	1.9e-6
No	0.85	0.9999981

Structural failure:

Ship Type	General cargo ship															
Collision	Yes															
Fire & Explosion	Fire				Explosion				Fire & Explosion				No			
Corrosion(after)	Yes		No		Yes		No		Yes		No		Yes		No	
Fatigue(after)	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No
Yes	0.004	0.004	0.0015	0.0015	0.004	0.004	0.0015	0.0015	0.004	0.004	0.0015	0.0015	0.004	0.004	0.0015	0.0015
No	0.996	0.996	0.9985	0.9985	0.996	0.996	0.9985	0.9985	0.996	0.996	0.9985	0.9985	0.996	0.996	0.9985	0.9985
Ship Type	General cargo ship															
Collision	Yes															
Fire & Explosion	Fire				Explosion				Fire & Explosion				No			
Corrosion(after)	Yes		No		Yes		No		Yes		No		Yes		No	
Fatigue(after)	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No
Yes	0.004	0.004	0.0017	0.0017	0.004	0.004	0.0017	0.0017	0.004	0.004	0.0017	0.0017	0.004	0.004	0.0197	0
No	0.996	0.996	0.9985	0.9985	0.996	0.996	0.9985	0.9985	0.996	0.996	0.9985	0.9985	0.996	0.996	0.9803	1

Βιβλιογραφικές αναφορές

- API (1999). *Recommended Practice for Risk-Based Inspection*. API Publication RP 580: Americal Petroleum Institute.
- API (2008). *Risk-Based Inspection Technology*. API Publication RP 581: Americal Petroleum Institute. Second ed.
- Ayyub, B., Akpan, U., Rushton, P., Koko, T., Ross, J. & Lua, J. (2002). *Risk informed inspection of marine vessels*. SSC-421, Ship Structures Committee, Washington DC.
- Ayyub, B.M. & White, G.J. (1990). Life Expectancy of Marine Structures. *Marine Structures*, Vol. 3, pp. 301-317.
- B.F. Lyon, J.A. Holmes, S.T. Kosiewicz, K.A. Wilbert, C.C. (1996) Travis, Estimation of corrosion on carbon steel TRU waste drums using the poisson distribution, *Journal of Hazardous Materials*,
- Balkey, K.R., Simonen, F.A., Gold, J., Ayyub, B.M., Abramson, L., Vic Chapman, O.J., Gore, B.F., Harris, D.O., Mauney, D., McNeill, A., Phillips, J.H., Siu, N., Smith, H., Smith, L., Tomes, C.A. & Vo, T.V. (1998). *Risk-Based Inspection - Development of Guidelines*. Volume 2- Part 2 Light Water Reactor Nuclear Power Plant Components,” CRTD, Vol. 20-4, The American Society of Mechanical Engineers.
- Bea, R. G., Schulte-Strathaus, R. & Dry, M. (1996). *Ship Quality Information Systems*. Proceedings of Safe and Efficient Ships - New Approaches for Design, Operation and Maintenance, The Institute of Marine Engineers, London.
- Bijwaard, G. E. & Knapp, S. (2009). Analysis of ship life cycles—The impact of economic cycles and ship inspections. *Marine Policy*, 33, pp. 350-369.
- Brualdi, R.A. (1992). *Introductory Combinatorics*. New York: Elsevier Science Publishing Co
- Chang, M.-K., Chang, R.-R., Shu, C.-M. & Lin, K.-N. (2005). Application of risk based inspection in refinery and processing piping. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 18, pp. 397-402.

- Conachey, R., Serratella, C. M. & Wang, G. (2008). Risk-based strategies for the next generation of maintenance and inspection programs. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 7, pp. 151-173
- Cowell, R. (1999), Introduction to inference from Bayesian networks. In Jordan (ed) *Learning in Graphical Models. Adaptive Computational and Machine Learning*. Cambridge: The MIT Press
- Dasgupta, J. (1998). Application Of Formal Safety Assessment To Rule Making Process. INMARCO b) Those which come from ambiguity of knowledge.
- Dey, P.M. (2001). A risk-based model for inspection and maintenance of crosscountry petroleum pipeline. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 40(4), pp. 24–31.
- Devaney, J. W. (2008). Uses and Abuses of Ship Casualty Data. *Center for Tankship Excellence*, July. Available at www.c4tx.org.
- DNV (1991). *Inspection, Monitoring, Maintenance/Repair*. Report of Committee V.2, 11th International Ship & Offshore Structures Congress, China, 1991.
- Douglas, J. (1985). Measuring and Managing Environmental Risk. *EPRI Journal*, July/August, pp. 7-13.
- Etkin, D.S. (2000). Worldwide Analysis of Marine Oil Spill Cleanup Cost Factors. *Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*
- Faber, M.H. (2002). *Risk Based Inspection – The Framework*. ESRA Workshop on Risk Based Inspection Planning, Zurich, Structural Engineering International, Vol 12, No 3, Zurich, 2002.
- Guedes-Soares, C. & Ivanov, L. D. (1989). Time-Dependent Reliability of the Primary Ship Structures. *Reliability Engineering and System Safety*, No. 26, pp. 59-71
- Hansen, K. A. (1995). *Evaluating Technology for Marine Inspectors*. U.S. Coast Guard Research and Development Center.
- Heij, C., Bijwaard, G. E. & Knapp, S. (2011). Ship inspection strategies: Effects on maritime safety and environmental protection. Transportation Research Part D: *Transport and Environment*, 16, pp. 42-48.

- Heij, C. & Knapp, S. (2012). Evaluation of safety and environmental risk at individual ship and company level. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17, pp. 228-236
- HSE (2001). *Reducing Risk, Protecting People: HSE's decision-making process*. Health & Safety Commission, UK.
- HSE (1999). *Reducing Risks, Protecting People*. Discussion document, Health & Safety Commission, UK.
- Hu, S., Fang, Q., Xia, H. & Xi, Y. (2007). Formal safety assessment based on relative risks model in ship navigation. *Reliability Engineering and System Safety* 92(3): pp. 369-377.
- IMO (2013). *Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO Rule-Making Process*. MSC-MEPC.2/Circ.12 8 July 2013. London: IMO.
- IMO (2007). *Formal Safety Assessment-Consolidated text of the Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process*. MSC 83/INF.2 14 May 2007. London: IMO.
- IMO (2008). *Formal Safety Assessment Fsa – Crude Oil Tankers*. MEPC 58/INF.2 4 July 2008. London: IMO.
- IMO/MSC. (2002). *Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO Rule-Making Process*. MSC/Circ.1023 T5/1.01 MEPC/Circ.392. London: MSC.
- IMO (2008). *Formal Safety Assessment- Cruise ships*. MSC 85/17/1 21 July 2008. London: IMO.
- IMO (2010). *2010 Guidelines for survey and certification of anti-fouling systems on ships*. MEPC.195(61) 1 October 2010. London: IMO.
- Jordan, M.I (1999). *Learning in Graphical Models. Adaptive Computative and Machine Learning*. Cambridge: The MIT Press
- Khan, F. I., & Haddara, M. R. (2004). Risk-based maintenance of ethylene oxide production facilities. *Journal of Hazardous Materials*, A108, pp. 147–159
- Knapp, S. & Franses, P. H. (2006). *Analysis of the Maritime Inspection Regimes-Are ships over-inspected? : Econometric Institute Research Papers*

- Kontovas, C. & Psaraftis, H. (2009). Formal Safety Assessment: A Critical Review. *Marine technology*. 46. pp. 45-59.
- Letkowski, J. (2012). Applications of the Poisson probability Applications of the Poisson probability distribution.
- Lois, P., Wang, J., Wall, A. & Ruxton, T. (2004) Formal safety assessment of cruise ships. *Tourism Management*, Vol.25, pp. 93-109.
- Mandate, Committee & Boon, Bart & Brennan, Feargal & Garbatov, Yordan & Ji, C & Parunov, Joško & Rahman, Thohedur & Rizzo, Cesare Mario & Rouhan, Antoine & Shin, C & Yamamoto, N. (2009). CONDITION ASSESSMENT OF AGED SHIPS AND OFFSHORE STRUCTURES.
- Mansell, J. N. (2009). *Flag State Responsibility: Historical development and contemporary issues*, Springer Science & Business Media.
- Márquez-Domínguez, Sergio & Sørensen, John. (2014). Correction to Fatigue reliability and calibration of fatigue design factors for offshore wind turbines[Energies, 5, (2012) 1816-1834]. *Energies*. 7. 2146-2147. 10.3390/en7042146.
- Pearl, J. (1988). *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference*. San Francisco: Morgan Kauffmann Publishers.
- Randić, M., Matika, D. & Možnik, D. (2015). SWOT Analysis of Deficiencies On Ship Components identified by Port State Control Inspections with the aim to Improve the Safety Of Maritime Navigation. *Brodogradnja*, 66, pp61-72
- RINA (2002). *Formal Safety Assessment*. Royal Institution of Naval Architects, London, UK.
- Rogowska, J. & Namieśnik, J. (2010). Environmental Implications of Oil Spills from Shipping Accidents. In: Whitacre, M. D. (ed.) *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* Volume 206. New York, NY: Springer New York
- Rosqvist, T. & Tuominen, R. (2003). Qualification of Formal Safety Assessment: an exploratory study. *Safety Science* 42 (2004) pp. 99-120, Pergamon Press
- Rosso, P. D. (2010). Port State Control.

- Serratella, C. M., Wang, G. & Conachey, R.(2007). Risk-based strategies for the next generation of maintenance and inspection programs. *International Symposium on Maritime, Safety, Security and Environmental Protection (SSE)*, Athens, Greece, 2007. Citeseer, pp. 20-21
- Siqueira, Adriano. (2013). On the Determination of a Scatter Factor for Fatigue Lives Based on the Lead Crack Concept.
- Skjong, R., Vanem, E. & Endresen, Ø. (2005). *Risk Evaluation Criteria*. SAFEDOR-D-4.5.2-2005-10-21-DNV; 21 October 2005 (report available at www.safedor.org).
- Skjong R. & Eknes M.L. (2001). *Economic Activity and Societal Risk Acceptance*. ESREL 2001, 16-20 September, 2001, Turin, Italy.
- Straub, D. & Faber, M. H. (2005). Risk based inspection planning for structural systems. *Structural Safety*, 27, pp. 335-355.
- Tan, Z., Li, J., Wu, Z., Zheng, J. & He, W. (2011). An evaluation of maintenance strategy using risk based inspection. *Safety Science*, 49, 852-860.
- Vanem, Erik & Russ, S. & Skjong, Rolf & Olufsen, Odd. (2007). Collision damage stability of passenger ships: Holistic and risk-based approach. *International Shipbuilding Progress*. 54. 323-337.
- Vianello, C., Milazzo, M. F., Guerrini, L., Mura, A. & Maschio, G. (2016). A risk-based tool to support the inspection management in chemical plants. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 41, pp. 154-168.
- Wang, J. (2001). The current status and future aspects in formal ship safety assessment. *Safety Science*, 38, 1, pp. 19-30.
- Wang, J. & Foinikis, P. (2001). Formal safety assessment of containerships. *Marine Policy*, vol. 25, issue 2, pp. 143-157.
- Zweig, G., & Russell, S. (1997). *Compositional modeling with DPNs* (Computer Science Division (EECS), Trans.). Berkley, CA.: University of California at Berkeley.
- Χριστακοπούλου, Κ. (2013). *Μηχανική Μάθηση: Bayesian Δίκτυα και Εφαρμογές*. Πανεπιστήμιο Πατρών.