



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

***‘Κριτική προσέγγιση στην αξιολόγηση των Risk Control Options στο πλαίσιο της διαμόρφωσης των Μελετών Formal Safety Analysis: Μελέτη περίπτωσης για την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας σε πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων’***

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΙΟΡΔΑΝΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Επιβλέπων: Δρ. Νικόλαος Βεντίκος

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2023

## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας και την περάτωση των προπτυχιακών μου σπουδών επιθυμώ να ευχαριστήσω πρωτίστως το Ίδρυμα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και το τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών για το επίπεδο της διδασκαλείας, το βάθος του αντικείμενου και το επίπεδο του πτυχίου που αισίως φτάνει στα χέρια μου. Είναι επιβράβευση για κάθε μαθητευόμενο να βλέπει τους κόπους του να μετουσιώνονται σε ουσιαστικές και σφαιρικές γνώσεις στο αντικείμενό του.

Ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Νικόλαο Βεντίκο για την καθοδήγηση και την παρότρυνση να ερευνήσω το αντικείμενο της εργασίας μου σε βάθος, και τον κ. Κωνσταντίνο Λούζη, υποψήφιο διδάκτορα της σχολής, για την συνεχή του επικοινωνία και υποστήριξη καθ'όλο το χρονικό διάστημα της εκπόνησης της εργασίας.

Θερμά ευχαριστώ τον πατέρα μου, Αντώνιο Ιορδανίδη και την μητέρα μου, Μαρία Βελλή, για την δυνατότητα που μου έδωσαν όλα αυτά τα χρόνια της φοίτησης μου να εργαστώ απερίσπαστος και να αφοσιωθώ στην εξέλιξη μου τόσο σαν μελλοντικός επαγγελματίας όσο και σαν προσωπικότητα.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ την κοπέλα μου, Ξένια, που με στήριξε όλο αυτό το διάστημα.

Τέλος, ευχαριστώ τους κυρίους Αντώνη Χατζημανώλη, Δημήτριο Θεοδοσίου, Σταύρο Χατζηγηγόρη, Κωνσταντίνο Μητρόπουλο και Δημήτριο Αγρίμη για την τεχνική υποστήριξη που μου παρείχαν και την τεχνογνωσία που απλόχερα μοιράστηκαν μαζί μου για την σύνταξη του τεχνικού μέρους της εργασίας.

## Σύνοψη

Στόχος της εργασίας είναι η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας μελέτης της αποτελεσματικότητας των επιλογών περιορισμού του ρίσκου, σε ένα περιβάλλον που μεταβάλλεται δυναμικά κατά τη λειτουργία ενός πλοίου μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων σε περιοχές υψηλής θαλάσσιας κυκλοφορίας. Η μελέτη της διακινδύνευσης και η υποβοήθηση της λήψης αποφάσεων περιορισμού του μελετάται τόσο από την βιομηχανία της ναυτιλίας όσο και από τη βιβλιογραφία, με σκοπό την επίτευξη αποδεκτών επιπέδων ρίσκου. Η πολυπλοκότητα του εγχειρήματος γιγαντώνεται όταν το ρίσκο μελετάται για ολόκληρο το πλοίο σε δυναμικά πλαίσια, όπου οι κίνδυνοι συνεχώς αλλάζουν και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των επιμέρους συστημάτων, λειτουργιών και μηχανισμών του πλοίου αυξομειώνουν το ρίσκο διαρκώς. Ο χώρος της ναυτιλίας επιχειρεί να μελετήσει τις επιλογές περιορισμού της διακινδύνευσης κυρίως μέσω στατικών φορμών που συμπληρώνονται από το πλήρωμα. Παράλληλα, η βιβλιογραφία προτείνει μοντέλα μελέτης που κατά κύριο λόγο είτε αφορούν μία εκ των λειτουργιών του πλοίου, χωρίς να λαμβάνουν υπόψιν τις προαναφερθείσες αλληλεπιδράσεις, είτε συμπεριλαμβάνουν υπολογισμούς που σε ζωντανές συνθήκες όπου υπάρχει ανάγκη λήψης αποφάσεων δεν μπορούν να εφαρμοστούν πρακτικά.

Εντός της εργασίας αναπτύσσεται αρχικά μια συνδυαστική μεθοδολογία που επιχειρεί να συνενώσει τη λογική των δύο αυτών κόσμων, και να ποσοτικοποιήσει την αποτελεσματικότητα των μέτρων περιορισμού της διακινδύνευσης, μέσω του προγραμματιστικού εργαλείου που αναπτύχθηκε. Εντός του εργαλείου, δίνεται στους χρήστες η δυνατότητα να λαμβάνουν δεδομένα για την επικινδυνότητα μιας κατάστασης και την αποτελεσματικότητα των μέτρων που ο χώρος της ναυτιλίας αξιοποιεί για την επίλυσή της. Η υποκειμενικότητα με την οποία ο χρήστης αντιλαμβάνεται τον κίνδυνο ελαχιστοποιείται μέσω μιας διαδικασίας συσχέτισης των ποιοτικών του αξιολογήσεων με ποσοτικοποιημένους δείκτες. Το εργαλείο αυτό εμπλουτίζεται και η συσχέτιση αυτή γίνεται όλο και ακριβέστερη, δίνοντας μας τη δυνατότητα να αντιληφθούμε τόσο τις διαφορές στον τρόπο που αξιολογούν τα μέτρα αντιμετώπισης του κινδύνου οι κύριες ειδικότητες του χώρου, όσο και την πραγματική αποτελεσματικότητα ενός τέτοιου μέτρου, μέσω ποσοτικοποιημένων δεικτών. Τελικώς λαμβάνονται διαφορετικές συσχετίσεις των ποιοτικών αξιολογήσεων των χρηστών με το υπολογισθέν πραγματικό ρίσκο με γνώμονα την ειδικότητα του χρήστη και τις προηγούμενες αξιολογήσεις που έχουν δοθεί από τους αντίστοιχους ειδικούς.

## Synopsis

The goal of this thesis is the development of a methodology of studying the effectiveness of measures to reduce risk, in a dynamic environment during operation of a containership in congested waters. The study of risk and assistance in decision making is being studied both by the industry of shipping and the scientific community, with the clear goal of eliminating danger and optimizing the effectiveness of risk control measures. The complexity of this endeavour rises when risk is studied for the whole ship as a system of interactions between individual mechanisms and functions that fluctuate risk factors constantly. The shipping industry attempts to resolve this problem using static forms that are filled by the crew. Meanwhile, the bibliography proposes models that mostly either focus on one function of the ship, without taking the aforementioned interactions into account, or contain calculations and factors that cannot be practically applied in a live environment where danger is present.

Within this thesis a methodology is developed that combines the logic of both these fields, to quantify the effectiveness of risk control measures using a programming tool that was created. This tool provides the user with data regarding the dangers of a situation and the effectiveness of measures that the industry uses to resolve it. The effect of the subjectivity of the user's perception of danger is minimized thanks to a process of correlating qualitative assessments of effectiveness with quantitative indices. This correlation becomes more accurate the more assessments are given from users, giving us a clear picture of the way risk control options are assessed by the main fields of expertise within shipping, as well as the true effectiveness of such options through the tool's quantifiable outputs. Different correlations are extracted regarding the qualitative assessments of risk control measures and true quantifiable risk based on the expertise of the user and the assessments of similar experts.

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	2
Σύνοψη .....	3
Synopsis .....	4
Συνοτομογραφίες .....	8
1. Εισαγωγή .....	9
1.1. Στόχος της εργασίας.....	10
1.2. Βασικές έννοιες .....	12
2. Θεωρητικό Μέρος .....	15
2.1. Διαχείριση ρίσκου (Risk management) .....	15
2.2. Εκτίμηση του ρίσκου (Risk Assessment) .....	15
2.3. Η Διαδικασία Διαχείρισης του ρίσκου- Εφαρμογές στη Ναυτιλία .....	17
2.4. Άλλες τεχνικές αξιολόγησης του ρίσκου .....	20
2.5. Formal Safety Assessment.....	31
2.6. Βιβλιογραφική επισκόπηση .....	35
3. Επεξήγηση των λειτουργικών αναγκών του προβλήματος .....	39
3.1. Αναγνώριση των Κινδύνων .....	40
3.2. Ανάλυση Ρίσκου .....	40
3.3. Ποσοτικοποίηση της μείωσης του ρίσκου .....	41
4. Μεθοδολογία .....	42
4.1. Βάσεις δεδομένων.....	42
4.2. Κατηγορία κινδύνων: Πρόσδεση.....	43
4.3. Κατηγορία κινδύνων: Πλοήγηση.....	44
4.4. Κατηγορία κινδύνων: Αγκυροβόληση .....	45
4.5. Πηγές κινδύνου .....	45
4.6. Ανάλυση του Ρίσκου .....	51
4.7. Ποσοτικοποίηση του ρίσκου- η μέθοδος που αναπτύχθηκε.....	51
4.7.1 Συλλογή αποδεκτών μελετών μεταβολής του δείκτη ΔPLL .....	53
4.7.2 Κωδικοποίηση Γραμμικής Παλινδρόμησης.....	56
4.7.3 Κωδικοποίηση Πολυωνυμικής Παλινδρόμησης .....	59
4.7.4 Αποκλεισμός τιμών αξιολογήσεων από το μοντέλο .....	59
4.8. Ιεράρχηση εφαρμογής μέτρων περιορισμού ρίσκου .....	60
5. Αποτελέσματα της μεθόδου .....	62
5.1. Παρουσίαση των τιμών αξιολόγησης .....	62

5.2.	Εφαρμογή παλινδρομήσεων.....	67
5.2.1	Αξιολογήσεις Πλοιάρχων.....	67
5.2.2	Αξιολογήσεις Μηχανικών.....	67
5.2.3	Αξιολογήσεις τεχνικών διευθυντών.....	78
5.3.	Αποτελέσματα.....	82
6.	Σχεδιασμός της εφαρμογής.....	84
6.1.	Γλώσσα και περιβάλλον προγραμματισμού.....	84
6.2.	Calibration Stage.....	85
6.3.	Identification Stage.....	89
6.4.	Ταξινόμηση της σειράς εφαρμογής των RCO- implementation order.....	96
6.5.	Databases- Βάσεις Δεδομένων που χρησιμοποιούνται.....	98
7.	Συμπεράσματα.....	99
8.	Βιβλιογραφία.....	101
Σχήμα 1:	Διαδικασία διαχείρισης ρίσκου.....	17
Σχήμα 2:	Ποιοτική αξιολόγηση του ρίσκου.....	18
Σχήμα 3:	Ποιοτική αξιολόγηση ρίσκου/ απαραίτητες ενέργειες.....	18
Σχήμα 4:	Τρίγωνο ALARP [2].....	20
Σχήμα 5:	Σύμβολα δένδρων σφαλμάτων.....	23
Σχήμα 6:	Δένδρο σφαλμάτων.....	23
Σχήμα 7:	Γενική μορφή δένδρου συνεπειών.....	25
Σχήμα 8:	Ποσοτικοποιημένη μορφή δένδρου συνεπειών.....	25
Σχήμα 9:	Παράδειγμα χρήσης ETA για την μελέτη σύγκρουσης ενός αυτοκινήτου με ένα τρένο.....	26
Σχήμα 10:	Μέθοδος Cause- Consequence Analysis.....	27
Σχήμα 11:	Μελέτη μείωσης του πληθυσμού ψαριών με χρήση δικτύων Bayes.....	29
Σχήμα 12:	Διάγραμμα Ishikawa.....	30
Σχήμα 13:	Παράδειγμα διαγράμματος Bow- Tie [2].....	31
Σχήμα 14:	Παράδειγμα διαγράμματος Bow- Tie [2].....	31
Σχήμα 15:	Η μέθοδος FSA.....	33
Σχήμα 16:	Διαγράμματα συσχέτισης.....	58
Σχήμα 17:	Παράδειγμα πίνακα υπολογισμού του W. Προκύπτει $W=0.909$ [1].....	61
Σχήμα 18:	Γραμμική Παλινδρόμηση- Πλοίαρχος 1.....	68
Σχήμα 19:	Πολυωνυμική Παλινδρόμηση- Πλοίαρχος 1.....	69
Σχήμα 20:	Γραμμική Παλινδρόμηση- Πλοίαρχοι 1 και 2.....	70
Σχήμα 21:	Πολυωνυμική Παλινδρόμηση- Πλοίαρχοι 1 & 2.....	71
Σχήμα 22:	Γραμμική Παλινδρόμηση- Πλοίαρχοι 1, 2 & 3.....	72
Σχήμα 23:	Πολυωνυμική Παλινδρόμηση- Πλοίαρχοι 1,2 & 3.....	73
Σχήμα 24:	Γραμμική Παλινδρόμηση: Μηχανικός 1.....	74
Σχήμα 25:	Πολυωνυμική Παλινδρόμηση- Μηχανικός 1.....	74

Σχήμα 26: Γραμμική Παλινδρόμηση- Μηχανικοί 1 & 2 .....	75
Σχήμα 27: Πολυωνυμική Παλινδρόμηση- Μηχανικοί 1 & 2 .....	76
Σχήμα 28: Γραμμική Παλινδρόμηση- Μηχανικοί 1, 2 & 3 .....	77
Σχήμα 29: Πολυωνυμική Παλινδρόμηση- Μηχανικοί 1, 2 & 3 .....	77
Σχήμα 30: Γραμμική παλινδρόμηση- Τεχνικός Διευθυντής 1 .....	78
Σχήμα 31: Πολυωνυμική Παλινδρόμηση- Τεχνικός Διευθυντής 1.....	79
Σχήμα 32: Γραμμική Παλινδρόμηση- Τεχνικοί διευθυντές 1 και 2.....	80
Σχήμα 33: Πολυωνυμική Παλινδρόμηση- Τεχνικοί Διευθυντές 1 & 2 .....	80
Σχήμα 34: Γραμμική Παλινδρόμηση- Τεχνικοί Διευθυντές 1, 2 & 3 .....	81
Σχήμα 35: Γραμμική Παλινδρόμηση- Τεχνικοί Διευθυντές 1, 2 & 3 .....	82
Σχήμα 36: Registration στο πρόγραμμα.....	84
Σχήμα 37: Στάδιο Calibration .....	85
Σχήμα 38: Επιλογή κινδύνου εντός του Calibration Stage .....	85
Σχήμα 39: Αξιολογήσεις του χρήστη .....	86
Σχήμα 40: Database Αξιολογήσεων .....	87
Σχήμα 41: Παράθυρο Rate RCO .....	88
Σχήμα 42: Database Αξιολογήσεων .....	88
Σχήμα 43: Data Tab .....	89
Σχήμα 44: Identification Stage- Add/ Rate Hazard.....	90
Σχήμα 45: Παράδειγμα προσθήκης κινδύνου.....	90
Σχήμα 46: Database κινδύνων.....	91
Σχήμα 47: Database Sources .....	92
Σχήμα 48: View Sources .....	92
Σχήμα 49: Προσθήκη RCO .....	93
Σχήμα 50: Database RCO .....	93
Σχήμα 51: Επιλογή κινδύνου από την λίστα .....	94
Σχήμα 52: Αξιολόγηση του κινδύνου πριν την εφαρμογή RCOs.....	94
Σχήμα 53: Επιλογή ενός RCO .....	95
Σχήμα 54: Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του RCO .....	95
Σχήμα 55: Υπολογισμός τιμής ΔPLL.....	96
Σχήμα 56: Ranking .....	96
Σχήμα 57: Ranking Database .....	97

## Συντομογραφίες

### **SWL: Safe Working Load**

Η μέγιστη ασφαλής δύναμη λειτουργίας ενός μηχανισμού ανύψωσης.

### **HMSF: High Modulus Synthetic Fibre**

Κατηγορία σχοινιών πρόσδεσης

### **ECDIS: Electronic Chart Display and Information System**

Συνδυασμός ναυτικών βοηθημάτων, συσκευών και οργάνων σε μια κεντρική οθόνη για την παρακολούθηση της ναυσιπλοΐας του

### **ENC: Electronic Nautical Charts**

Ναυτικοί χάρτες σε ηλεκτρονική μορφή

### **UKC: Under Keel Clearance**

Η απόσταση του πυθμένα της θάλασσας από το Κοίλο του πλοίου

### **CATZOC: Categories of Zone Of Confidence**

Κατηγορίες βαθυμέτρησης όπως εμφανίζονται στο ECDIS

### **DGPS: Differential Global Positioning Systems**

Διαφορικό Σύστημα Παγκόσμιας Τοποθέτησης

### **ARPA: Automatic Radar Plotting Aid**

Σύστημα Αυτόματης Παρακολούθησης Στόχου

### **ECA: Emission Control Area**

Θαλάσιες περιοχές στις οποίες εφαρμόζονται αυστηρότεροι έλεγχοι για την ελαχιστοποίηση των εναέριων εκπομπών από πλοία

### **SECA: Sulphur Emission Control Area**

Θαλάσιες περιοχές στις οποίες εφαρμόζονται αυστηρότεροι έλεγχοι για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών θείου από πλοία

### **AIS: Automatic identification system**

Αυτόματο Σύστημα Αναγνώρισης



## 1. Εισαγωγή

Η εμπορική ναυτιλία θεωρείται ο πιο αποτελεσματικός τρόπος μεταφοράς εμπορευμάτων παγκοσμίως χάρη στην ικανότητα των πλοίων να μεταφέρουν μεγάλη ποσότητα φορτίου, χωρίς εμπόδια στην διάσχιση των συνόρων, με χαμηλά ποσοστά στις απώλειες φορτίου και σχετική ασφάλεια σε σχέση με άλλους τύπους μεταφοράς. Με τις ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις, τη βιομηχανοποίηση, την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και των αναγκών για ενέργεια, τρόφιμα και εμπορεύματα συνοδεύεται και η αύξηση του αριθμού των πλοίων, του μεγέθους και της ταχύτητας τους. Ταυτόχρονα όμως αυξάνονται και οι απαιτήσεις για ασφάλεια στην εμπορική ναυτιλία, τόσο για την προστασία των μεταφερόμενων φορτίων όσο και της ανθρώπινης ζωής.

Η ασφαλεία στη ναυσιπλοΐα συνιστά εκ φύσεως έναν τομέα με μεγάλο επιστημονικό αλλά και οικονομικό ενδιαφέρον, και η πρόληψη των ναυτικών ατυχημάτων έναν διαρκή στόχο των διεθνών κοινοτήτων. Μελετώντας το πλοίο σαν ένα σύστημα αλληλεπιδρώντων τεχνολογικών μηχανισμών, φυσικών φαινομένων και ανθρώπινων ενεργειών και αποφάσεων αντιλαμβάνεται κανείς πως τόσο το μέγεθος ενός ναυτικού ατυχήματος και οι επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει σε οικονομικό, περιβαλλοντολογικό και ανθρώπινο επίπεδο όσο και το πλήθος των παραγόντων που μπορούν να δημιουργήσουν τις ικανές συνθήκες για ένα τέτοιο ατύχημα επιβάλλουν τον εκσυγχρονισμό της μελέτης των κινδύνων που περιβάλλουν το πλοίο και τη ριζική αναδιαμόρφωση της κουλτούρας πρόληψης εντός της βιομηχανίας της ναυτιλίας για την αποφυγή ατυχημάτων και την επίτευξη του στόχου της εξάλειψης των ανθρώπινων απωλειών στη ναυτιλία.

Γενικότερα η ενασχόληση του ανθρώπου με την βιομηχανία ενέχει ρίσκα τα οποία οι διάφοροι τομείς καλούνται να διαχειριστούν. Σφάλματα και απρόβλεπτες συνέπειες που συνοδεύονται από τις λειτουργικές ανάγκες της βιομηχανίας οδηγούν συχνά σε απώλειες περιουσιακών στοιχείων, λειτουργικών πόρων και ανθρώπινων ζωών. Προκύπτει λοιπόν η ανάγκη ελέγχου των επικίνδυνων τεχνικών διαδικασιών. Ειδικότερα η ναυσιπλοΐα ενέχει ρίσκο που πηγάζουν από το επικίνδυνο εργασιακό περιβάλλον, και την πολυπλοκότητα της λειτουργίας του εμπορικού πλοίου.

Έτσι, πολλοί κώδικες και πρακτικές ασφαλείας έχουν δημιουργηθεί και επιβάλλονται από τις αρμόδιες ναυτιλιακές αρχές με σκοπό την ταυτοποίηση και την πρόληψη του ρίσκου στη ναυτιλία, ή την πρόταση μέτρων περιορισμού του. Παρά την διαρκή αυτή προσπάθεια της ελαχιστοποίησης του κινδύνου από τις διεθνείς κοινότητες, ναυτικά ατυχήματα συνεχίζουν να συμβαίνουν διαρκώς.

Η καταστροφή που συνέβη στην παράκτια πλατφόρμα του Piper Alpha στη Βόρεια Θάλασσα το 1988 οδήγησε στον θάνατο 167 μελών πληρώματος. Στη συνέχεια του δυστυχήματος, ο Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλίας (IMO) δημιούργησε μια νέα μέθοδο αξιολόγησης της ασφαλείας στην βιομηχανία της ναυτιλίας, που ονομάστηκε Formal Safety Assessment (FSA). Οι οδηγίες της FSA εγκρίθηκαν το 2002 για χρήση στην σύνταξη κανονών ασφαλείας και στη συνέχεια αντικαταστάθηκαν από την εγκύκλιο MSC-MEPC.2/Circ.12/Rev.2 [1] που είναι και οι οδηγίες που χρησιμοποιούνται ως και σήμερα. Η Formal Safety Assessment χρησιμοποιείται από τα μέλη του IMO για την αξιολόγηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας μέτρων περιορισμού της διακινδύνευσης για ολόκληρο το στόλο.

Ταυτοχρόνως, η αξιολόγηση της διακινδύνευσης κατά την ναυσιπλοΐα επιβάλλεται στις ναυτιλιακές εταιρείες από τις αρμόδιες αρχές ασφαλείας αλλά και τους ναυλωτές και συνήθως λαμβάνει χώρα μέσω στατικών φορμών αξιολόγησης του ρίσκου. Ωστόσο οι συνθήκες οι οποίες θέτουν το πλοίο σε κίνδυνο αλλάζουν σε κάθε ξεχωριστή περίπτωση, λόγω παραγόντων όπως οι καιρικές συνθήκες, η ευστάθεια του πλοίου, η ικανότητα του πληρώματος, η ταχύτητα του, η θαλάσσια κυκλοφορία, η πίεση χρόνου και το είδος των διαδικασιών που εκτελούνται. Ο κίνδυνος κατά την πλεύση ενός πλοίου είναι δυναμικός, και είναι δύσκολο να εκτιμηθεί στατικά μέσω διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα από μεμονωμένες μονάδες.

Παράλληλα, με τις χρησιμοποιούμενες μεθόδους μέθοδοι συχνά παραλείπεται η χρήση υπολογιστικών εργαλείων ποσοτικοποίησης του κινδύνου και της αποτελεσματικότητας των μέτρων περιορισμού του, λόγω της δυσκολίας ενός τέτοιου εγχειρήματος σε πραγματικό χρόνο. Οι αξιολογήσεις της διακινδύνευσης και η λήψη αποφάσεων σε περιπτώσεις κινδύνου σπανίως γίνεται με βάση την εταιρική γνώση ή τα επιστημονικά δεδομένα, και αντιθέτως γίνεται με γνώμονα την μεμονωμένη κρίση των συμμετεχόντων και της αντίληψης που οι ίδιοι έχουν για την εκάστοτε κατάσταση που απειλεί το πλοίο.

Βασικό πρόβλημα το οποίο η διπλωματική εργασία καλείται να επιλύσει είναι η ποσοτική εκτίμηση της αποτελεσματικότητας ενός μέτρου περιορισμού του ρίσκου σε πραγματικό χρόνο, σε συνθήκες ναυσιπλοΐας ενός πλοίου μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων σε περιοχές υψηλής θαλάσσιας κυκλοφορίας. Υποθέτοντας λοιπόν πως κατά τις συνθήκες αυτές ένας κίνδυνος αναγνωρίζεται ως υπαρκτός στο πλοίο και κατόπιν εξετάζεται η λήψη ενός μέτρου μείωσης της διακινδύνευσης, η μεθοδολογία που θα αναπτυχθεί θα πρέπει να παρέχει ποσοτικοποιημένα δεδομένα για την αποτελεσματικότητα του μέτρου αυτού.

## 1.1. Στόχος της εργασίας

Με γνώμονα την επιστημονική μεθοδολογία και λαμβάνοντας υπόψιν τις τεχνικές ανάλυσης της διακινδύνευσης που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία της ναυτιλίας αλλά και την επιστημονική βιβλιογραφία, αναπτύσσεται διαδραστικό προγραμματιστικό μοντέλο μελέτης της επίδρασης Risk Control Options με έμφαση σε ατυχήματα σχετικά με το Navigation, Mooring και Anchoring σε συνθήκες ναυσιπλοΐας σε περιοχές υψηλής θαλάσσιας κυκλοφορίας.

Στόχος είναι η δόμηση μιας μεθοδολογίας εύρεσης των αποτελεσματικότερων μέτρων περιορισμού της διακινδύνευσης ανά πάσα στιγμή κατά την λειτουργία ενός πλοίου μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων σε περιοχές υψηλής θαλάσσιας κυκλοφορίας. Αυτό επιτυγχάνεται με τη δημιουργία ενός εμπλουτιζόμενου εργαλείου που συνενώνει την εμπειρογνωμοσύνη των ειδικών, που αποτελεί και το κύριο εργαλείο μελέτης της διακινδύνευσης στην Ναυτιλία σήμερα, με επιστημονικά δεδομένα και μεθοδολογίες που προτείνουν τα διεθνή πρότυπα (πχ IEC 31010). Με τη χρήση αυτής δίνεται στον χρήστη η δυνατότητα να αντλήσει ποσοτικά δεδομένα για την μείωση του ρίσκου ακόμα και ζωντανά, εν μέσω της λειτουργίας του πλοίου.

Πρόκειται για ένα δυναμικό εργαλείο που θα συντελέσει στην καταγραφή των κινδύνων που αντιμετωπίζονται καθώς και των αιτιών τους, και θα προσδιορίζει ποσοτικά την επίδραση των μέτρων περιορισμού της διακινδύνευσης λαμβάνοντας υπόψη τόσο ποιοτικές αξιολογήσεις των χρηστών όσο και επιστημονικούς δείκτες, ιστορικά και στατιστικά δεδομένα και μεθόδους που προτείνει η διεθνής βιβλιογραφία.

Το εργαλείο αυτό αποβλέπει να χρησιμοποιηθεί σαν μια διαδραστική εφαρμογή δυναμικής λήψης αποφάσεων στηριζόμενη στην επιστημονική μελέτη του ρίσκου.

Η εργασία δομείται ως εξής:

- Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι υπάρχουσες μεθοδολογίες για τον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας των μέτρων περιορισμού της διακινδύνευσης, την αξιολόγηση του δυναμικού κινδύνου τόσο από την βιβλιογραφία όσο και από την βιομηχανία της ναυτιλίας. Για τις μεθόδους αυτές αναλύονται πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.
- Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται παρουσίαση του προβλήματος και των ειδικών λειτουργικών αναγκών που η μεθοδολογία που θα προταθεί θα πρέπει να καλύψει.
- Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται επεξήγηση της ακριβούς μεθόδου που αναπτύχθηκε και ο τρόπος με τον οποίο θα καλυφθούν τα κενά που διαπιστώθηκαν στα βήματα με τα οποία οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται σήμερα αξιολογούν τον κίνδυνο.
- Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από εφαρμογή της μεθόδου με την βοήθεια της τεχνογνωσίας ειδικών και πραγματοποιείται η ανάλυσή τους.
- Στο Κεφάλαιο 6 πραγματοποιείται αναλυτική παρουσίαση του προγραμματιστικού εργαλείου που αναπτύχθηκε προς εξυπηρέτηση της μεθοδολογίας που επιλέχθη.

## 1.2. Βασικές έννοιες

### Ρίσκο

Ο όρος 'ρίσκο' χρησιμοποιείται ευρέως στη γλώσσα, περιγράφοντας διαφορετικές έννοιες που σε τεχνικά και επιστημονικά πλαίσια ορίζονται σαφέστερα. Στην προσπάθεια της μελέτης της διακινδύνευσης, της αποσαφήνισης της διακινδύνευσης και της δόμησης μιας θεωρίας λήψης αποφάσεων, παρατηρείται η ύπαρξη μιας θεωρητικής εννοιολογικής διακλάδισης ανάμεσα στους διάφορους τομείς των επιστημών, επακόλουθο της πολυπλοκότητας που εμπεριέχει η ίδια η έννοια και της προσεγγιστικής διαδικασίας με την οποία ο κάθε κλάδος αποπειράται να καταλήξει σε ένα μαθηματικοποιημένο ιδανικό μοντέλο λήψης αποφάσεων πρόληψης.

Για την οικονομολογία, έγκριτος είναι ο διαχωρισμός της έννοιας του ρίσκου με αυτή της αβεβαιότητας. Κατά τον Frank Knight, το ρίσκο είναι παρόν σε κάθε περίπτωση στην οποία η ίδια δράση μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικά, μεταξύ τους μοναδικά αποτελέσματα γνωστής πιθανότητας εκδήλωσης. Εάν η πιθανότητα εκδήλωσής τους είναι άγνωστη, εισάγεται η έννοια της αβεβαιότητας του Knight, την οποία επιχειρούν να καταρρίψουν πιθανοθεωρητικές θεωρήσεις όπως η Μπαγεσιανή μέθοδος, προσδιορίζοντας την αβεβαιότητα και συγκαταλέγοντας τη στην συστηματική μελέτη της διακινδύνευσης.

Για την στατιστική επιστήμη, μέσω της θεωρίας των στατιστικών συναρτήσεων αποφάσεων (statistical decision function), το ρίσκο ορίζεται ως το άθροισμα του αναμενόμενου κόστους πειραματισμού και αυτού των λανθασμένων αποφάσεων, κατά τη χρήση μιας τέτοιας συνάρτησης.

Στον τομέα των ασφαλίσεων, η μελέτη της διακινδύνευσης παίρνει πρακτική μορφή μέσω των ασφαλιστήριων συμβολαίων, στην απλούστερη μορφή των οποίων, ένα νομικό πρόσωπο δικαιούται να αξιώσει ένα χρηματικό ποσό  $S$  από την ασφαλιστική εταιρεία, εάν συγκεκριμένα γεγονότα λάβουν χώρα. Για το δικαίωμα να αξιώσει το ποσό  $S$ , καταβάλλει στην εταιρεία ένα ασφάλιστρο  $P$ , το οποίο προσδιορίζεται ως το γινόμενο  $P=pS$ , όπου  $p$  η πιθανότητα εκδήλωσης γεγονότων που οδηγούν σε claims.

Παρόλο που δεν υπάρχει κάποιος κοινώς αποδεκτός ορισμός για την έννοια του ρίσκου, χρησιμοποιώντας αυτόν του ISO μπορεί να εξαχθεί ένας αρχικός εννοιολογικός προσδιορισμός του:

Ως ρίσκο ορίζεται ένας συνδυασμός της πιθανότητας, της συχνότητας εμφάνισης ενός καθορισμένου κινδύνου και της σπουδαιότητας των επακόλουθων συνεπειών της εμφάνισης αυτής. (ISO 8402:1995/BS 4776) [2]

Πιο συνοπτικά, ρίσκο είναι η επίδραση της αβεβαιότητας σε κάποιον στόχο (objective). (ISO 31000:2018E) [3]

Ομοίως, ο IMO ορίζει το ρίσκο ως 'τον συνδυασμό της συχνότητας και της σοβαρότητας των συνεπειών' ενός κινδύνου.

Εμφανώς, οι ορισμοί που προσφέρουν τα standards της βιομηχανίας δεν συγκαταλέγουν τη μαθηματική διάσταση που εμπεριέχεται στην έννοια της πιθανότητας, ωστόσο ανατρέχοντας στη βιβλιογραφία μπορεί αυτή να προσδιοριστεί περαιτέρω, με χρήση θεωριών που προτάθηκαν ανά καιρούς για την μαθηματοποίηση της αβεβαιότητας που είναι εγγενής στην προσπάθεια συγκεκριμενοποίησης των συνεπειών και της συχνότητας γεγονότων που δεν έχουν τελεστεί ακόμα.

Κατά τους Kaplan and Garrick (1981) [4], το ρίσκο ορίζεται ως η τριπλέτα των στοιχείων ( $s_i$ ,  $p_i$ ,  $c_i$ ), όπου:

- $S_i$  είναι το σενάριο  $i$
- $P_i$  η πιθανότητα πραγματοποίησης του σεναρίου
- $C_i$  η συνέπεια του σεναρίου

Ο ορισμός αυτός είναι σύμφωνος και αντίστοιχος με τους προαναφερθέντες. Ωστόσο, σύμφωνα με τους Zio και Aven (2013) [5], μια τέτοια απόπειρα συλλογής των ενδεχόμενων σεναρίων είναι ελλιπής. Μέσα στην έννοια της διακινδύνευσης θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται σενάρια που αντιπροσωπεύουν το σύνολο του γνωστικού υποβάθρου, που αφορά το υπό μελέτη ρίσκο. Προτείνεται λοιπόν ο εξής ορισμός για την έκφραση της έννοιας της διακινδύνευσης.

$R = (S, L, C, K)$

Όπου

- $K$  είναι το Knowledge base, το γνωστικό δηλαδή υπόβαθρο και το σύνολο των δεδομένων γνώσης περί του υπό μελέτη κινδύνου
- $S$  είναι το σενάριο που αντιπροσωπεύει τόσο επεξηγηματικές μεταβλητές ( $i$ ), οι οποίες λαμβάνουν διακριτές τιμές λόγω της στοχαστικής φύσης των φαινομένων που περιγράφουν, όσο και διαφορετικές θεωρήσεις ( $j$ ) που θα εφαρμοστούν και εξαρτώνται από το γνωστικό υπόβαθρο ( $K$ )
- $L$  (Likelihood) είναι το σύνολο των πιθανοτήτων εκδήλωσης του επιβλαβούς κινδύνου και
- $C$  (Consequences) το σύνολο των συνεπειών για ένα διακριτό σενάριο  $i$  ή για τις θεωρήσεις  $j$  που διέπουν τις μεταβλητές εξόδου.

Απαραίτητος λοιπόν για την κατανόηση της έννοιας του ρίσκου είναι ο προσδιορισμός της έννοιας του κινδύνου (hazard), ο οποίος θα μας απασχολήσει καθ'όλο το πέρασ της εργασίας.

Κίνδυνος (hazard) [2]

μια ουσία, κατάσταση ή πράξη που εγγενώς ενδέχεται να προκαλέσει οποιασδήποτε μορφής βλάβη, υλική ή μη.

Εγγενώς συνυφασμένες με την έννοια της διακινδύνευσης είναι οι δυνητικές απώλειες. Αυτές, εάν και σε μεγάλο βαθμό μπορούν να ποσοτικοποιηθούν, πολλάκις αποκτούν πολυπλοκότερο νόημα από την οικονομική απώλεια που ακολουθεί η εκδήλωση ενός κινδύνου. Παράδειγμα στη ναυτιλία αποτελεί η ζημιά στην φήμη μιας ναυτιλιακής εταιρείας της οποίας ένα πλοίο ευθύνεται για oil spill. Συνεπώς, όπως και η πιθανότητα εκδήλωσης ενός κινδύνου μπορεί να μην έχει γνωστή μαθηματική τιμή, αντίστοιχα και ένας κίνδυνος ενδέχεται να μην έχει βέβαιες απώλειες. Ωστόσο, για την δημιουργία ενός δυναμικού μοντέλου λήψης αποφάσεων πρόληψης είναι απαραίτητη η εκτίμηση τόσο της πιθανότητας όσο και του κινδύνου με ποσοτικές μετρήσεις, γεγονός που θα μας απασχολήσει επακολούθως.

## 2. Θεωρητικό Μέρος

### 2.1. Διαχείριση ρίσκου (Risk management)

*Μια σειρά οργανωμένων ενεργειών καθοδήγησης και προστασίας ενός οργανισμού από το ρίσκο. [2]*

*Η διαδικασία κατά την οποία αποφασίζεται η αποδοχή ή μη ενός αξιολογηθέντος ρίσκου, και η λήψη ενεργειών μείωσης των συνεπειών και της πιθανότητας εκδήλωσής του. [2]*

Στη ναυτιλία, η διαχείριση του ρίσκου συνιστά βασικό μέρος της καθημερινότητας των συμμετέχοντων οντοτήτων, και η ανάγκη της ύπαρξης ενός συστημικού, ποσοτικοποιημένου τρόπου αξιολόγησης και διαχείρισης του ρίσκου εντείνεται με την αναβάθμιση των προτύπων της βιομηχανίας και την απαίτηση των ναυλωτών για εκμοντερνισμό και επικαιροποίηση των συστημάτων ασφαλείας. Στην παράγραφο 1.2.2.2 του κώδικα ISM (Integrated Safety Management) για τις ναυτιλιακές εταιρείες, αναφέρεται:

*Στόχος για τη διατήρηση της ασφάλειας μιας εταιρείας είναι η καθιέρωση προστατευτικών μέτρων για την πρόληψη και την αντιμετώπιση όλων των ρισκων που έχουν εντοπιστεί.*

Η καθολικότητα αυτής της πρότασης είναι ενδεικτική της γενικότερης κατεύθυνσης της βιομηχανίας αλλά και ενός κώδικα που απαιτεί συστημική αναγνώριση και διαχείριση των ρίσκων σε όλους τους τομείς της λειτουργίας του πλοίου. Παρ'όλο που ο κώδικας δεν καθορίζει κάποια απαιτητέα μεθοδολογία για την διαχείριση του εκάστοτε ρίσκου, η ευθύνη έγκειται στην εκάστοτε εταιρεία να διαλέξει ανάμεσα σε πλήθος μεθόδων και τεχνικών διαχείρισης, κατάλληλες στη δομή, τις ανάγκες και τα assets της. Αυτές θα αναλυθούν ξεχωριστά στη συνέχεια.

### 2.2 Εκτίμηση του ρίσκου (Risk Assessment)

Η διαδικασία εκτίμησης του ρίσκου συνιστάται κατά βάση από τις επιμέρους διαδικασίες της ταυτοποίησης (identification), της ανάλυσης (analysis) και της αξιολόγησης (evaluation) της διακινδύνευσης, οδηγώντας τελικά στην αντιμετώπιση του ρίσκου (risk treatment)

Σκοπός του Risk Identification είναι η εύρεση, η αναγνώριση και η περιγραφή των ρίσκων, με την χρήση διάφορων τεχνικών για την αναγνώριση αβεβαιοτήτων που μπορούν να αποδειχτούν ζημιογόνες, ασχέτως της δυνατότητας του οργανισμού να ελέγξει ή να περιορίσει τους σχετικούς κινδύνους.

Η διαδικασία της ανάλυσης συνιστά την περιγραφή της φύσης και των χαρακτηριστικών της διακινδύνευσης, αξιολογώντας τελικά και το επίπεδο της διακινδύνευσης. Αυτή συμπεριλαμβάνει την ακριβή καταγραφή των αβεβαιοτήτων, των πηγών ρίσκου, των συνεπειών, των πιθανοτήτων εκδήλωσης, των επακόλουθων γεγονότων και σεναρίων, των μέτρων πρόληψης και της αποτελεσματικότητάς τους. Οι τεχνικές αυτής της ανάλυσης μπορούν να είναι ποιοτικές, ποσοτικές ή συνδυαστικές, με σκοπό τον πληροφοριακό

εμπλουτισμό του οργανισμού για την αξιολόγηση των ρίσκων και την τελική απόφαση αναφορικά με την στρατηγική αντιμετώπισής τους.

Η αξιολόγηση ενός ρίσκου συνιστά τον βασικό πυλώνα για τη λήψη αποφάσεων πρόληψης, και εμπεριέχει σύγκριση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης με σκοπό τον καθορισμό των απαραίτητων control measures για το εκάστοτε ρίσκο.

Προκειμένου να αποφασιστεί εάν ένα ρίσκο είναι αποδεκτό χρησιμοποιούνται ορισμένα κριτήρια που αφορούν στη φύση και το μέγεθος του ρίσκου, αλλά και μετρήσεις απόδοσης (performance measures) που λαμβάνονται με τη συλλογή και καταγραφή πληροφοριών.

Ακολουθούν ορισμένοι παράγοντες που χρησιμοποιούνται προκειμένου να αποφασιστεί εάν ένα ρίσκο θα γίνει αποδεκτό.

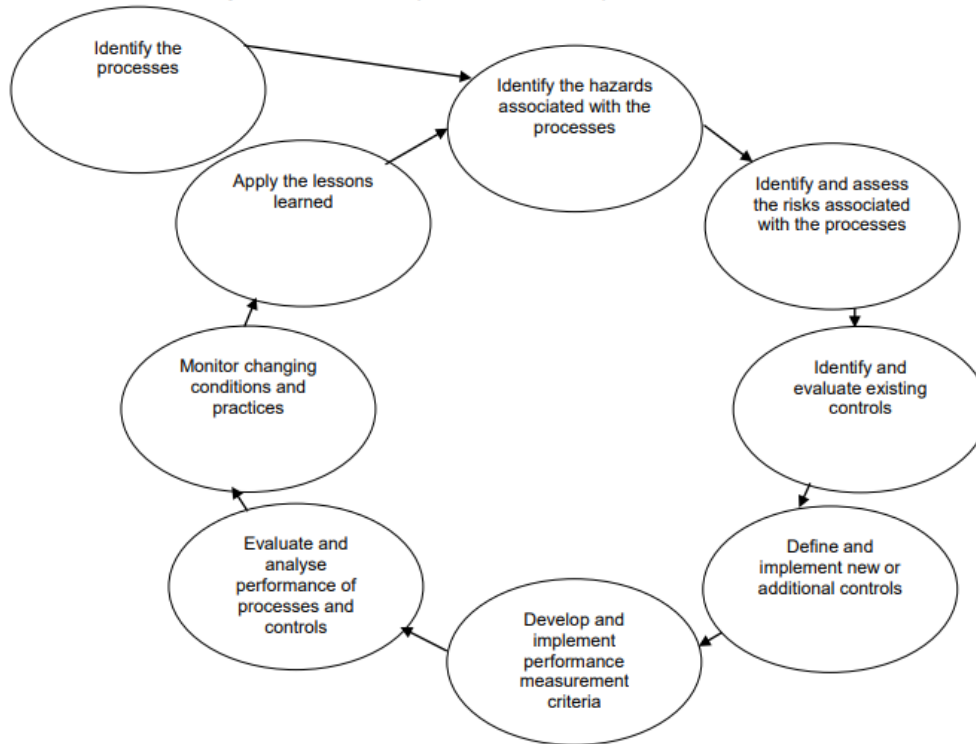
- Risk Bearing Capacity (RBC): Το Risk Bearing Capacity ενός οργανισμού συνήθως ορίζεται σαν το διαθέσιμο κεφάλαιο για την αναχαίτιση δυσμενών επιδράσεων από την εκδήλωση ενός κινδύνου. Είναι, αλλιώς, το μεγαλύτερο οικονομικό πληγματος μπορεί να απορροφηθεί από την εταιρεία χωρίς αυτή να οδηγηθεί σε οικονομική καταστροφή.
- ALARP/ SFAIRP: Βασική απαίτηση στα περισσότερα industries είναι η μείωση του κινδύνου τραυματισμού και απώλεια ζωής σε επίπεδα As Low As Reasonably Practicable, με λήψη μέτρων που μειώνουν το ρίσκο στο ελάχιστο εντός των δυνατοτήτων και του έλεγχου του οργανισμού.
- Globally At Least Equivalent (GALE): Ρίσκα με δυσμενείς συνέπειες από μια πηγή ρίσκου μπορούν να γίνονται αποδεκτά να αυξάνονται, όταν αποδεικνύεται η μείωση άλλων ρίσκων από άλλες πηγές σε συγκρίσιμο ή μεγαλύτερο βαθμό.
- Κριτήρια όπως το Return On Investment (ROI) και το cost/ benefit.

Η εκλογή των κατάλληλων μέτρων ελέγχου (control measures/ risk treatment options) είναι μια διαδικασία στην οποία αξιοποιούνται τα δεδομένα που συλλέχθηκαν μέσω της ανάλυσης και της αξιολόγησης της διακινδύνευσης με σκοπό την εξισορρόπηση των πιθανών ωφελών για την επίτευξη των στόχων του οργανισμού σε σύγκριση με το κόστος, τη δυσκολία και τα μειονεκτήματα της εφαρμογής τους. Επισημαίνεται πως η δικαιολόγηση ενός σχεδίου αντιμετώπισης δεν βασίζεται αποκλειστικά στο οικονομικό ισοζύγιο αλλά και στις υποχρεώσεις και τις δεσμεύσεις ενός οργανισμού. Ο σκοπός ενός τέτοιου σχεδίου είναι και η αποσαφήνιση των επιλεχθέντων μέτρων ελέγχου, ώστε αυτά να γίνουν κατανοητά σε όσους τα εκτελούν, και την διαδικασία της παρακολούθησης των μέτρων (monitoring) που θα ακολουθηθεί.



## 2.3 Η Διαδικασία Διαχείρισης του ρίσκου- Εφαρμογές στη Ναυτιλία

Μέσω του παρακάτω διαγράμματος (Σχήμα 1) περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθείται, σύμφωνα με την έκδοση IACS 2012 No 127 'A guide to Risk Assessment in Ship Operations' [2], για την διαχείριση ενός ρίσκου που έχει εντοπιστεί.



Σχήμα 1: Διαδικασία διαχείρισης ρίσκου

Προτείνονται λοιπόν τα εξής στάδια:

- Αναγνώριση των κινδύνων που σχετίζονται με την λειτουργία που επιτελείται (εν προκειμένω: Η ναυσιπλοΐα ενός πλοίου μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων σε περιοχές υψηλής θαλάσσιας κυκλοφορίας)
- Αναγνώριση και αξιολόγηση των ρίσκων που σχετίζονται με την λειτουργία
- Αναγνώριση και αξιολόγηση των υπαρχόντων μέτρων ελέγχου του ρίσκου
- Ορισμός και εφαρμογή νέων μέτρων ελέγχου
- Ανάπτυξη κριτηρίων μέτρησης της αποτελεσματικότητας των μέτρων
- Αξιολόγηση και ανάλυση της αποτελεσματικότητας τους
- Παρακολούθηση αλλαγών στις συνθήκες και τις πρακτικές που αφορούν την λειτουργία που επιτελείται
- Εφαρμογή των συμπερασμάτων και επανάληψη

Ο εντοπισμός των κινδύνων είναι το πρωταρχικό και σημαντικότερο βήμα καθώς οι διαδικασίες που έπονται εξαρτώνται από αυτόν. Θα πρέπει να είναι ακριβής και ολοκληρωμένος, βασισμένος στην εμπειρική παρατήρηση. Η δυσκολία στην διαδικασία HAZID (Hazard Identification), και ιδίως κατά την διαδικασία διαχείρισης ρίσκου στη

λειτουργία ενός τόσο περίπλοκου εγχειρήματος όσο η λειτουργία ενός πλοίου, έγκειται τόσο στην πολυπλοκότητα του πλοίου ως σύστημα (καθώς το πλήθος των απειλών είναι μεγάλο), όσο και στο γεγονός πως τα συμμετέχοντα μέλη είναι πολλά σε αριθμό, με διαφορετικό πολιτιστικό υπόβαθρο, εμπειρία, εκπαίδευση, καθώς και κουλτούρα ασφάλειας (safety culture), την οποία η βιομηχανία της ναυτιλίας προσπαθεί να εγκαθιδρύσει στις εταιρείες. Συνεπώς είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός συνεχώς επικαιροποιήσιμου συστήματος καταγραφής των κινδύνων κατά την λειτουργία ενός πλοίου, το οποίο θα είναι η βάση της διαχείρισης του ρίσκου και της ελαχιστοποίησης των συνεπειών.

Το ρίσκο που σχετίζεται με τον εκάστοτε κίνδυνο συνήθως αξιολογείται με βάση την πιθανότητα εκδήλωσης και τις ενδεχόμενες συνέπειες. Ο συνδυασμός της πιθανότητας (likelihood) και της συνέπειας (consequence) συχνά παρουσιάζεται με τον εξής διαγραμματικό τρόπο, που ονομάζεται και risk matrix (Σχήμα 2) :

RISK ESTIMATOR		Consequence		
		Slightly Harmful	Harmful	Extremely Harmful
Likelihood	Highly Unlikely	Trivial Risk	Tolerable Risk	Moderate Risk
	Unlikely	Tolerable Risk	Moderate Risk	Substantial Risk
	Likely	Moderate Risk	Substantial Risk	Intolerable Risk

Σχήμα 2: Ποιοτική αξιολόγηση του ρίσκου

Συχνή είναι η κατηγοριοποίηση των συνεπειών με βάση την επικινδυνότητα/ την βλάβη που δύνανται να προκαλέσουν, και της πιθανότητας με βάση αξιακές/ θεωρητικές κατηγορίες οι οποίες όμως μπορούν και να ποσοτικοποιηθούν. Έτσι το τελικό ρίσκο εκφράζεται ως το γινόμενο της πιθανότητας εκδήλωσης και της σοβαρότητας του κινδύνου, και αξιολογείται με εννοιολογικές κατηγοριοποιήσεις προκειμένου να προσδιοριστούν οι απαραίτητες ενέργειες αντιμετώπισής του.

Για την διευκρίνιση των επιπέδων ρίσκου συχνά δίνονται επεξηγήσεις όπως στο Σχήμα 3:

Trivial	No action is required.
Tolerable	No additional controls are required. Monitoring is required to ensure control is maintained.
Moderate	Efforts are required to reduce risk. Controls are to be implemented within a specified time.
Substantial	New work not to start until risk reduced. If work in progress, urgent action to be taken. Considerable resources may be required.
Intolerable	Work shall not be started or continued until the risk has been reduced. If reduction is not possible, the activity shall be prohibited.

Σχήμα 3: Ποιοτική αξιολόγηση ρίσκου/ απαραίτητες ενέργειες

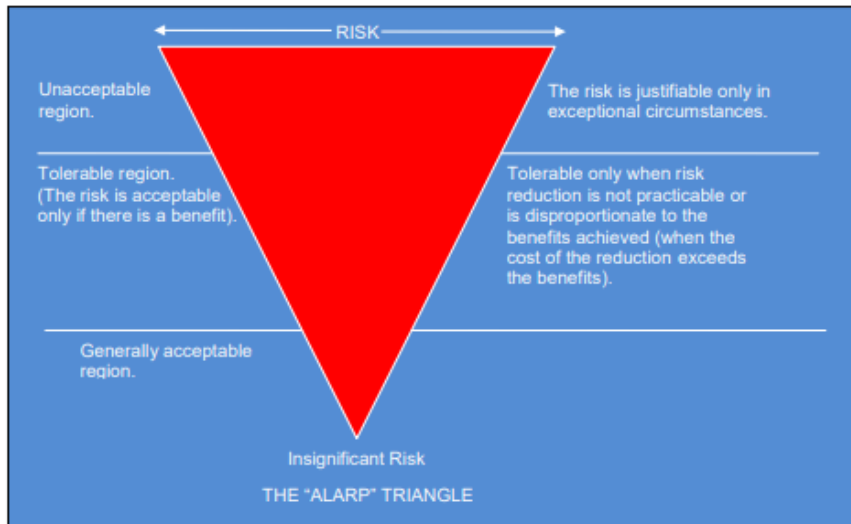
Οι παραπάνω πίνακες παρουσιάζονται στην μορφή που εμφανίζονται συχνότερα, ωστόσο μπορούν να εμπλουτιστούν ανάλογα με την ακρίβεια που απαιτείται για τον διαχωρισμό των κατηγοριών. Για λόγους ευκρίνειας ή διαθεσιμότητας στατιστικών δεδομένων, η πιθανότητα μπορεί να εκφραστεί με όρους όπως: 'μια φορά ανα ταξίδι', 'μια φορά ανά χρόνο για τον στόλο' και η σοβαρότητα ως, για παράδειγμα, 'σοβαρός τραυματισμός', 'θάνατος', 'σοβαρή περιβαλλοντική μόλυνση' κλπ. Αυτού του είδους η κατηγοριοποίηση ορίζεται ως συχνοτική πιθανότητα.

Η αποτελεσματικότητα ενός μέτρου μείωσης του ρίσκου μετράται εν προκειμένω ως η ικανότητά του να μεταβάλλει την κατηγορία στην οποία ο κίνδυνος εντάσσεται, κατά την θεώρηση του αξιολογητή.

Όπως είναι προφανές, η χρήση εννοιολογικών αξιολογήσεων για την κατηγοριοποίηση των ρίσκων είναι προβληματική σαν μέθοδος, καθώς δεν προσφέρει την απαραίτητη ακρίβεια ούτε κάποια επιστημονική κατευθυντήρια γραμμή για την προστασία από τον κίνδυνο, παρά μια αξιακή και θεωρητική πολιτική που ελλείπεται συνέπειας και εξαρτάται από τον άνθρωπο που διεξάγει το assessment. Σαφής είναι εν προκειμένω η έλλειψη ποσοτικών κριτηρίων για την καλύτερη αξιολόγηση των κινδύνων.

Ταυτόχρονα, προτεραιότητα για την λήψη μέτρων πρόληψης, ενδέχεται να είναι η αντιμετώπιση ενός λιγότερο σοβαρού κινδύνου που όμως προκύπτει συχνά, έναντι στην αντιμετώπιση ενός κομβικού κινδύνου που όμως δεν πρόκειται να προκύψει άμεσα. Αντίστοιχα, το ρίσκο, όταν ορίζεται ποιοτικά, θα πρέπει ακόμα να βρίσκεται σε επίπεδο as low as reasonably practicable (ALARP), ακόμα και όταν η εννοιολογική του αξιολόγηση το προσδιορίζει ως χαμηλό.

Η έννοια του ALARP συχνά παρουσιάζεται στο Σχήμα 4:



Σχήμα 4: Τρίγωνο ALARP [2]

Μέσω των υποδείξεων ενός τριγώνου ALARP μπορούν να οριοθετηθούν οι συνθήκες υπό τις οποίες ένας κίνδυνος μπορεί να θεωρηθεί αποδεκτός. Ως εκ τούτου, ένα μέτρο μείωσης του κινδύνου μπορεί να θεωρηθεί αποτελεσματικό ή μη ανάλογα με την ικανότητά του να περιορίσει το ρίσκο εντός της αποδεκτής περιοχής.

## 2.4 Άλλες τεχνικές αξιολόγησης του ρίσκου

Παρακάτω ακολουθούν ορισμένοι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη κατά την εκλογή μιας τεχνικής αξιολόγησης ενός ρίσκου. Στη συνέχεια θα περιγραφούν οι κυριότερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία, καθώς και τα κύρια χαρακτηριστικά, το εύρος χρήσης και τα εγγενή ελαττώματα και προτερήματά τους. Σκοπός είναι η τελική επιλογή των κατάλληλων μεθόδων αξιολόγησης των ρίσκων που αφορούν το θέμα της εργασίας.

Πολλές από τις τεχνικές που περιγράφονται στη συνέχεια αναπτύχθηκαν αρχικά για άλλες βιομηχανίες, και εμπλουτίστηκαν ώστε η χρήση τους να επεκταθεί και στη ναυτιλία. Ενώ μοιράζονται πολλές ομοιότητες, συχνά χρησιμοποιούν διαφορετικές ορολογίες, ενδεικτικό της πρωταρχικής χρήσης τους σε άλλους τομείς. Με τον καιρό, απέκτησαν γενικότερη χρήση, ώστε να αφορούν τόσο τεχνικές/ μηχανολογικές εφαρμογές όσο και οικονομικές ή εφαρμογές management, αποδεικνύοντας τη ζωντανή και συνεχώς εξελισσόμενη φύση της αντιμετώπισης του ρίσκου στους διάφορους τομείς της βιομηχανίας.

Κατά την επιλογή μιας τέτοιας τεχνικής πρέπει να λαμβάνονται υπόψη:

- Ο σκοπός του assessment
- Οι ανάγκες της εταιρείας/ του οργανισμού
- Απαιτήσεις που καθορίζονται από τον νόμο, τους κανονισμούς ή συμβόλαια με τρίτους
- Το περιβάλλον στο οποίο γίνεται το assessment
- Η σπουδαιότητα της τελικής απόφασης (και των συνεπειών ενδεχόμενης αποτυχίας)

- Ο χρόνος που διατίθεται για την λήψη της τελικής απόφασης
- Η επάρκεια των πληροφοριών που μπορούν να συλλεχθούν
- Η εξειδίκευση των συμμετεχόντων

Οι τεχνικές που ακολουθούν κατηγοριοποιούνται με βάση τα χαρακτηριστικά που περιγράφει ο Πίνακας 1:

**Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά τεχνικών Risk Assessment**

Χαρακτηριστικό	Περιγραφή	Λεπτομέρειες
Εφαρμογή	Το πώς η τεχνική χρησιμοποιείται σε ένα Risk Assessment	πχ Ταυτοποίηση/ Ανάλυση μέτρων/ Ανάλυση Αιτιών
Πεδίο Εφαρμογής	Μέτρηση του εύρους χρήσης της τεχνικής	1: αφορά μία διαδικασία ή ένα κομμάτι εξοπλισμού 2: Αφορά ένα παράρτημα της εταιρείας ή ένα project 3: Αφορά ολόκληρο τον οργανισμό
Χρονικός Ορίζοντας	Ο χρονικός ορίζοντας μέσα στον οποίο η τεχνική εξετάζει το ρίσκο	πχ μικρός/ μεσαίος/ μεγάλος
Επίπεδο Απόφασης	Εάν η τεχνική αφορά σε στρατηγικά, τακτικά ή λειτουργικά θέματα	1: στρατηγική 2: τακτική 3: λειτουργική
Αρχική πληροφόρηση	Το επίπεδο των αρχικών πληροφοριών που έχουν συλλεχθεί	πχ low/ medium/ high
Τεχνογνωσία	Το επίπεδο της τεχνογνωσίας που απαιτεί	πχ low/ medium/ high
Ποιοτική/ Ποσοτική	Εάν η μέθοδος έχει ποιοτικές ή ποσοτικές εξόδους	πχ ποιοτική, ποσοτική, ημι-ποσοτική
Επίπεδο προσπάθειας	Ο χρόνος και το κόστος που απαιτεί η τεχνική	πχ low/ medium/ high

Οι τεχνικές που θα αναλυθούν επιτελούν μία ή περισσότερες από τις εξής απαραίτητες διεργασίες για την μελέτη του ρίσκου:

- Συλλογή πληροφοριών/ τεχνογνωσίας και απόψεων
- Αναγνώριση/ Ταυτοποίηση του ρίσκου
- Προσδιορισμών των πηγών και αιτιών του ρίσκου
- Ανάλυση των μέτρων ελέγχου (control measures)
- Προσδιορισμό των συνεπειών και της πιθανότητας εκδήλωσης
- Ανάλυση της εξάρτησης και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των πηγών του ρίσκου

- Ποσοτικοποίηση του ρίσκου
- Ποιοτική αξιολόγηση της σπουδαιότητας του ρίσκου
- Επιλογή μεταξύ των πιθανών αποφάσεων
- Συλλογή εγγραφολογίων (records) και αναφορών (reports)

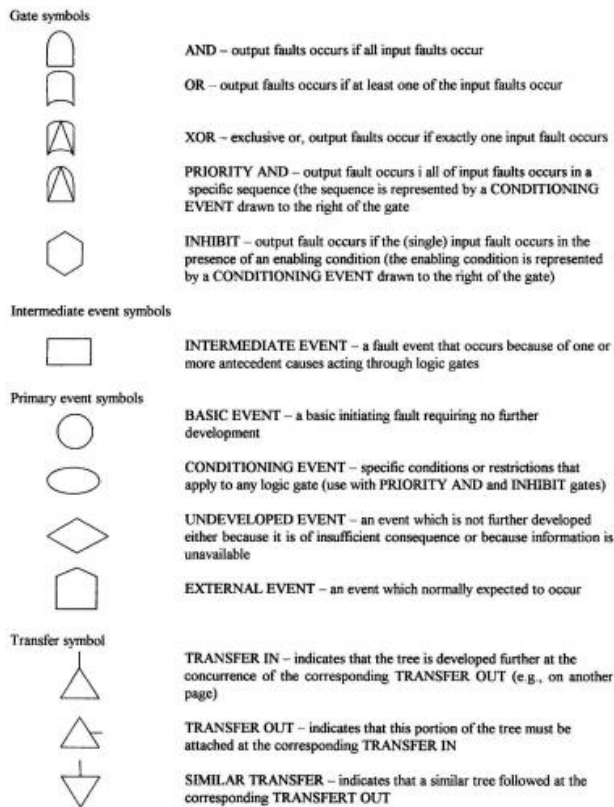
Αναλυτικότερα παρουσιάζονται οι εξής μέθοδοι, που αξιολογούνται ως οι πλέον εφαρμόσιμες στο πλαίσιο της μελέτης ρίσκου κατά τη λειτουργία ενός εμπορικού πλοίου.

#### 1) Fault Tree Analysis (FTA)

Πρόκειται για μια μέθοδο αναγνώρισης και ανάλυσης των παραγόντων που οδηγούν σε ένα συγκεκριμένο ανεπιθύμητο γεγονός (top event). Αρχικά αναγνωρίζονται οι άμεσες και αναγκαίες αιτίες για την εκδήλωση του top event (πχ software failures, ανθρώπινα λάθη). Η λογική σχέση μεταξύ των αιτιών αυτών παρουσιάζεται μέσω δύο ειδών πύλης: τις AND-gates και τις OR-gates. Κάθε αιτία αναλύεται βήμα-βήμα σχηματίζοντας ένα διάγραμμα δέντρου που αναπαριστά γραφικά μια Boolean εξίσωση. Η χρήση της τεχνικής αφορά λειτουργικά ρίσκα μικρού και μεσαίου χρονικού ορίζοντα. Χρησιμοποιείται για τον ποιοτικό προσδιορισμό των αιτιών που οδηγούν στο top event και απαιτεί διακριτό αριθμό επιλογών για την λήψη μιας απόφασης.

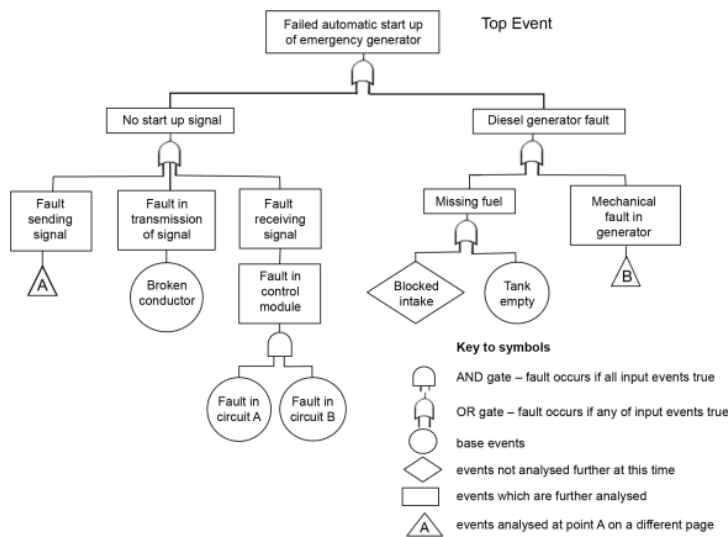
Απαραίτητη για τον σχεδιασμό ενός τέτοιου διαγράμματος είναι η σφαιρική κατανόηση του συστήματος και των αιτιών εκδήλωσης του γεγονότος. Για την ποσοτική ανάλυση ενός δένδρου σφαλμάτων απαιτούνται δεδομένα για τα failure rates (πιθανότητα ενός συστήματος ή εξοπλισμού να βρεθεί σε κατάσταση βλάβης/ αποτυχίας λειτουργίας), λογισμικών και κατανόηση της θεωρίας πιθανοτήτων.

Με τη σύνθεση δένδρων σφαλμάτων αποσκοπούμε στο να προσδιορίσουμε αλυσίδες γεγονότων τα οποία επιφέρουν πρωτογενή αστοχία του συστήματος. Ευρύτερα, για την κατασκευή δένδρων σφαλμάτων χρησιμοποιούμε τους παρακάτω βασικούς συμβολισμούς (Σχήμα 5):



Σχήμα 5: Σύμβολα δένδρων σφαλμάτων

Ακολουθεί παράδειγμα τέτοιου είδους διαγράμματος (Σχήμα 6):



Σχήμα 6: Δένδρο σφαλμάτων

Μέσω των fault trees λαμβάνουμε μια εικονική απεικόνιση του πώς ένα top event μπορεί να λάβει χώρα, και των αλληλεπιδράσεων των γεγονότων που μπορούν να οδηγήσουν σε εκδήλωση δύο ή παραπάνω base events. Σε περιπτώσεις που διατίθενται τα απαραίτητα

δεδομένα για ποσοτική ανάλυση, λαμβάνουμε την πιθανότητα του top event και τη σχετική σπουδαιότητα των base events

#### Πλεονεκτήματα της μεθόδου

- Πρόκειται για μια πειθαρχημένη, συστηματική μέθοδο η οποία είναι όμως επαρκώς ελαστική ώστε να επιτρέπει την ανάλυση πληθώρας παραγόντων, όπως οι ανθρώπινες αλληλεπιδράσεις και φυσικά φαινόμενα.
- Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την ανάλυση συστημάτων με πλήθος διεπαφών (interfaces) και αλληλεπιδράσεων (interactions)
- Είναι ευανάγνωστη και εύκολη στην κατανόηση της συμπεριφοράς ενός συστήματος.
- Δύναται να εντοπίσει πηγές ρίσκου που εξαλείφονται εύκολα, ακόμα και σε περίπλοκα συστήματα

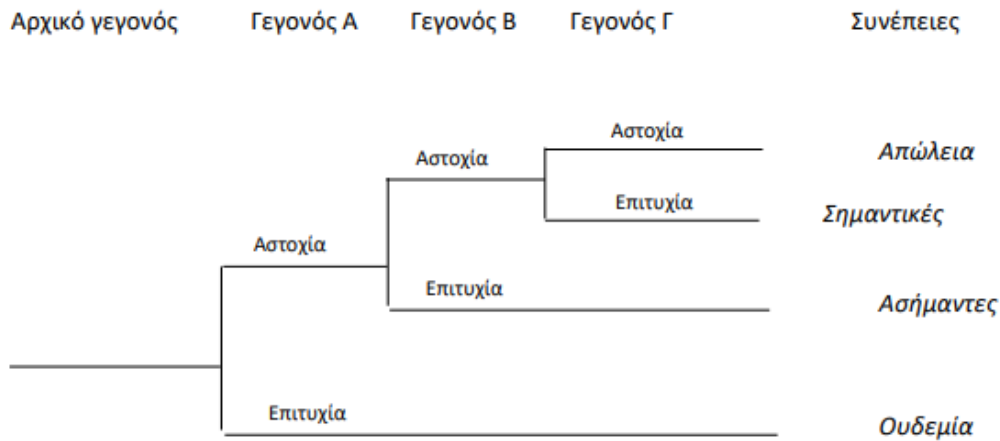
#### Μειονεκτήματα της μεθόδου

- Σε ορισμένες περιπτώσεις, δεν μπορεί να προσδιοριστεί εάν το σύνολο των 'μονοπατιών' (pathways) που οδηγούν στο top event έχει συμπεριληφθεί εντός του διαγράμματος
- Χρονικοί περιορισμοί δεν μπορούν να συμπεριληφθούν
- Τα διαγράμματα FTA αναλύουν ένα μόνο top event, και όχι δευτερεύουσες αποτυχίες που προκύπτουν.
- Τα διαγράμματα FTA αφορούν μόνο καταστάσεις διττής φύσης (success/ failure states)
- Για περίπλοκα συστήματα, ένα διάγραμμα δένδρου σφαλμάτων μπορεί να λάβει μη πρακτικά μεγέθη.

## 2) Event Tree Analysis (ETA)

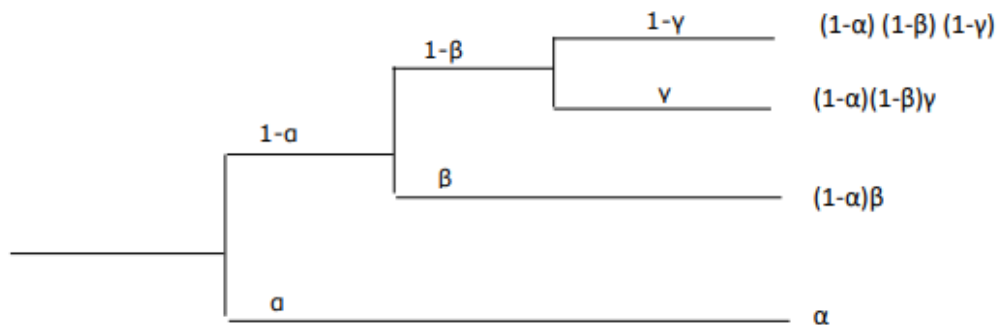
Παρόμοια με την μέθοδο FTA, η μέθοδος ETA είναι μια τεχνική στην οποία ξεχωριστές μεταξύ τους αλληλουχίες γεγονότων παρουσιάζονται διαγραμματικά με σκοπό να προσδιοριστούν οι συνέπειες ενός ατυχήματος με συνυπολογισμό των πιθανοτήτων τους. Το δένδρο συνεπειών ξεκινά με το γεγονός εκκίνησης και στη συνέχεια σχεδιάζεται μια γραμμή ελέγχου για την παρουσίαση μιας κατάστασης επιτυχίας ή αποτυχίας. Πιθανότητες που προκύπτουν από εμπειρική γνώση, στατιστικά ή βάσεις δεδομένων προσδίδονται σε κάθε τέτοια κατάσταση. Η απλουστευμένη γενική μορφή ενός δένδρου συνεπειών είναι η εξής (Σχήμα 7):





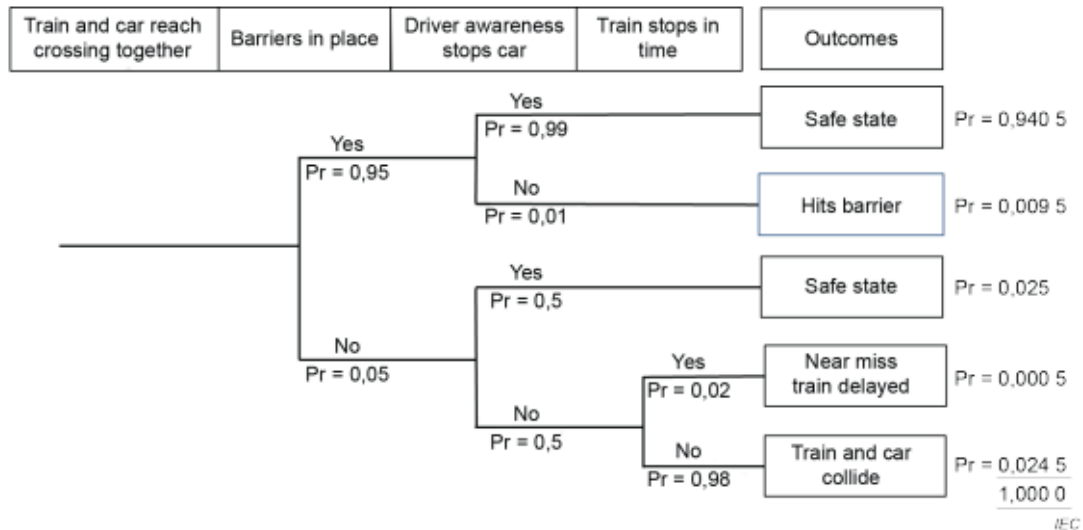
Σχήμα 7: Γενική μορφή δένδρου συνεπειών

Σε περίπτωση που διατίθενται δεδομένα για την πιθανότητα των καταστάσεων επιτυχίας/αποτυχίας, το δένδρο παίρνει μορφή (Σχήμα 8):



Σχήμα 8: Ποσοτικοποιημένη μορφή δένδρου συνεπειών

Η ποσοτικοποιημένη μορφή ενός ETA είναι χρησιμότερη, καθώς μπορεί να αξιοποιηθεί για την οριοθέτηση τιμών αποδοχής ενός control measure και την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ενός μέτρου ελέγχου του ρίσκου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 9.



Σχήμα 9: Παράδειγμα χρήσης ETA για την μελέτη σύγκρουσης ενός αυτοκινήτου με ένα τρένο

#### Πλεονεκτήματα της μεθόδου

- Αναλύονται τα πιθανά σενάρια που έπονται ενός γεγονότος εκκίνησης και παρουσιάζεται με ευκρινή διαγραμματικό τρόπο η επιρροή της επιτυχίας ή αποτυχίας των μέτρων ελέγχου.
- Προσδιορίζονται πιθανές αποτυχίες που οφείλονται σε αποτυχία ενός μοναδικού σημείου του συστήματος, και άρα εντοπίζεται η τρωτότητα του καθώς και η ενδεχόμενη χαμηλή απόδοση μέτρων ελέγχου του ρίσκου.
- Η μέθοδος λαμβάνει υπόψιν το domino effect μεταξύ γεγονότων, σε αντίθεση με τη μέθοδο FTA

#### Μειονεκτήματα της μεθόδου

- Για μια ολοκληρωμένη ανάλυση, απαραίτητη είναι η εύρεση όλων των πιθανών γεγονότων εκκίνησης, η έλλειψη των οποίων μπορεί να οδηγήσει και σε λανθασμένες ποσοτικές εκτιμήσεις.
- Τα διαγράμματα ETA αφορούν μόνο καταστάσεις διττής φύσης (success/ failure states), και δύσκολα εντάσσονται σε αυτά μερικώς λειτουργικά μέτρα ελέγχου.
- Για περίπλοκα συστήματα, ένα διάγραμμα ETA μπορεί είναι δύσκολο να δημιουργηθεί από την αρχή.

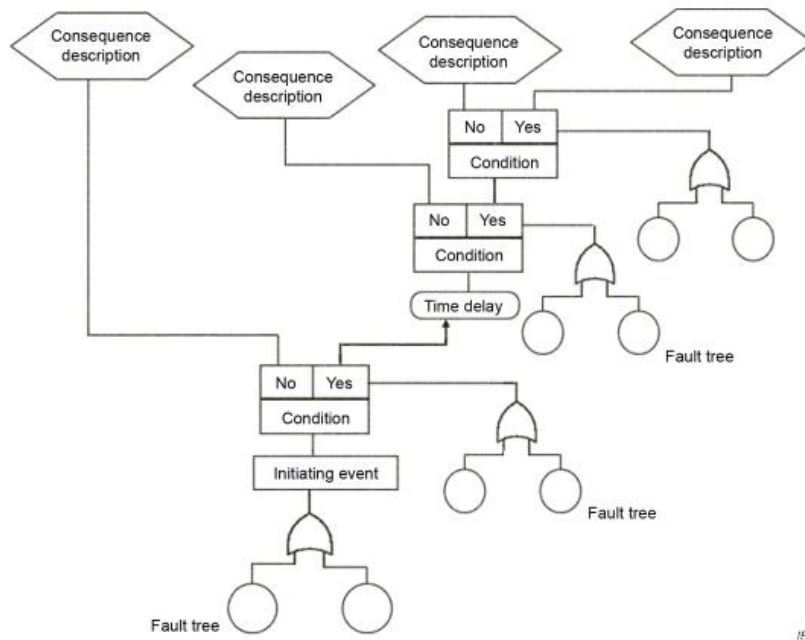
### 3) Cause-consequence analysis (CCA)

Σε ορισμένες περιπτώσεις, ένα γεγονός το οποίο μπορεί να αναλυθεί μέσω FTA προτείνεται να μελετάται με τη μέθοδο CCA. Αυτό συμβαίνει εάν:

- Είναι ευκολότερη η ανάπτυξη αλληλουχιών γεγονότων από τον προσδιορισμών σχέσεων αιτίου-αιτιατού

- Σε πολύπλοκα συστήματα, η ανάλυση του ρίσκου κατανέμεται τμηματικά σε πλήθος μελετητών. Στην πράξη, σε τέτοια συστήματα η σχεδίαση τέτοιων διαγραμμάτων δεν ξεκινά από το top event αλλά από πιθανά γεγονότα που σχετίζονται με λειτουργικές και τεχνικές αστοχίες που λαμβάνουν χώρα νωρίτερα. Σε ένα παράδειγμα όπως η απώλεια πληρώματος ενός πλοίου, είναι πιο πρακτικός ο σχεδιασμός διαγραμμάτων CCA με top event αιτίες όπως πχ συγκρούση με ύφαλο ή έλλειψη σωστικών μέσων από τον σχεδιασμό ενός μεγάλου FTA με top event να ορίζεται το loss of crew. Αυτά τα top events στη σειρά τους θα αξιοποιηθούν ως είσοδο ενός event tree προκειμένου να αναλυθούν οι λειτουργικές τους συνέπειες. Η μέθοδος αυτή μπορεί επίσης να συμπεριλάβει πιθανές χρονικές καθυστερήσεις στην ανάλυση των συνεπειών, κάτι που δεν γίνεται με τη χρήση event trees. Αναλύει τους διάφορους δρόμους στους οποίους μπορεί ένα σύστημα να οδηγηθεί μετά την πραγμάτωση ενός critical event, λαμβάνοντας υπόψιν την συμπεριφορά των ανασταλτικών υποσυστημάτων (πχ emergency response systems, alarms κλπ).

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα χρήσης της μεθόδου CCA (Σχήμα 10):



Σχήμα 10: Μέθοδος Cause- Consequence Analysis

#### Πλεονεκτήματα της μεθόδου

Η μέθοδος αυτή συνδυάζει τα πλεονεκτήματα και την αναλυτική ικανότητα τόσο των fault όσο και των event trees, και είναι ικανή να παρουσιάσει ταυτόχρονα τις αιτίες και τις συνέπειες ενός γεγονότος ενδιαφέροντος, καθώς και τις χρονικές σχέσεις που διέπουν τα μέτρα ελέγχου.

#### Μειονεκτήματα της μεθόδου

Η μέθοδος CCA είναι εγγενώς πιο περίπλοκη από τις δύο συγγενείς της μεθόδους, και τείνει να εφαρμόζεται μόνο σε περιπτώσεις που η καταστροφικότητα ενός ανεπιθύμητου

γεγονότος είναι τόσο μεγάλη, που δικαιολογεί την κατανομή των ανάλογων πόρων στην μελέτη και τον σχεδιασμό τέτοιων διαγραμμάτων ανάλυσης.

#### 4) Bayesian analysis

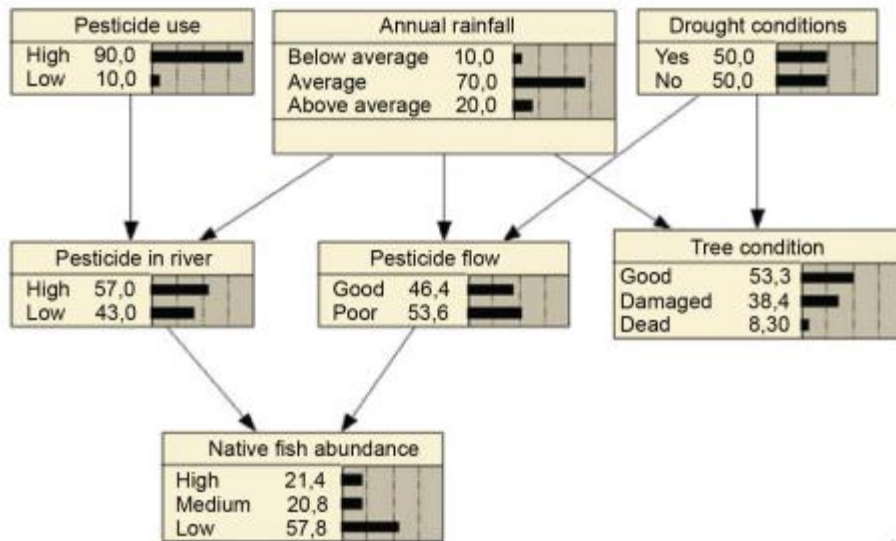
Συχνά κατά τη διαδικασία μελέτης ενός ρίσκου αντιμετωπίζονται προβλήματα στα οποία διατίθενται τόσο εμπειρικά, ιστορικά και επιστημονικά δεδομένα όσο και υποκειμενικές πληροφορίες και οπτικές. Η ανάλυση Bayes βασίζεται σε ένα θεώρημα που αποδίδεται στον Thomas Bayes, το οποίο σε απλουστευμένη μορφή προσδίδει μια πιθανοθεωρητική βάση στην αντιμετώπιση αβεβαιοτήτων.

Η μέθοδος αυτή αντιμετωπίζει την αβεβαιότητα σαν εγγενές χαρακτηριστικό του ρίσκου, και επιχειρεί να την ποσοτικοποιήσει συμπεριλαμβάνοντας όμως και την οπτική και εμπειρική κρίση του αναλυτή στο τελικό της συμπέρασμα.

Έστω ότι διαθέτουμε πλήθος δεδομένων  $D$  που εξυπηρετούν στην κατανόηση ενός ρίσκου. Θέλουμε να αξιοποιήσουμε τα δεδομένα αυτά για να αξιολογήσουμε τα πλεονεκτήματα ενός πλήθους  $N$  από ανταγωνιστικές και ξεχωριστές μεταξύ τους υποθέσεις, τις οποίες συμβολίζουμε με  $H_n$ . Τότε το θεώρημα του Bayes παίρνει την μαθηματικοποιημένη του μορφή στον εκτεταμένο του τύπο:

$$\Pr(H_j | D) = \Pr(H_j) \left[ \frac{\Pr(D | H_j)}{\sum \Pr(H_n) \Pr(D | H_n)} \right], \text{ όπου } j= 1,2,\dots,n$$

Στην πραγματικότητα, στο πλαίσιο της μελέτης ενός ρίσκου η μέθοδος ανάλυσης Bayes συχνότερα εμφανίζεται στην μορφή διαγραμμάτων (Bayesian Networks). Πρόκειται για γραφικά μοντέλα των οποίων οι κόμβοι αντιστοιχούν στις τυχαίες μεταβλητές του εκάστοτε προβλήματος. Οι κόμβοι αυτοί συνδέονται με βέλη τα οποία δείχνουν σχέσεις συσχέτισης. Η σχέση μεταξύ των μεταβλητών ποσοτικοποιείται με τις δεσμευμένες πιθανότητες  $P(X | pa(X))$ , όπου  $pa(x)$  οι κόμβοι που 'δείχνουν' σε έναν κόμβο  $X$ . Ακολουθεί παράδειγμα ενός τέτοιου δικτύου που αφορά την μοντελοποίηση της εξέλιξης μιας οικολογικής καταστροφής (Σχήμα 11):



Σχήμα 11: Μελέτη μείωσης του πληθυσμού ψαριών με χρήση δικτύων Bayes

Η μπαϋεσιανή οπτική είναι πιο κατάλληλη για τον υπολογισμό της πιθανότητας σπάνιων συμβάντων. Με εφαρμογή του τύπου του Bayes και μέσω διαδοχικών ανακυκλώσεων όπου, με αφετηρία κάποια διαισθητική τιμή μιας πιθανότητας υπολογίζουμε την τιμή της αξιοποιώντας αριθμό πραγματοποιήσεων του μελετώμενου συμβάντος (μπορεί να είναι και αριθμητικού χαρακτήρα πραγματοποιήσεις, με βάση μαθηματικό μοντέλο σε υπολογιστή). Ακολουθώντας χρησιμοποιούμε τη νέα τιμή ως αρχική και απ' την καταγραφή περαιτέρω πραγματοποιήσεων καταλήγουμε σε βελτιωμένη πρόβλεψη.

#### Πλεονεκτήματα της μεθόδου

- Ευκολία στη χρήση και ύπαρξη έτοιμων λογισμικών μελέτης
- Δυνατότητα οριοθέτησης στόχων ποσοτικής μείωσης του ρίσκου και γρήγορης ανάλυσης πιθανών σεναρίων επίτευξής τους
- Δυνατότητα συμπερίληψης υποκειμενικών δεδομένων

#### Μειονεκτήματα της μεθόδου

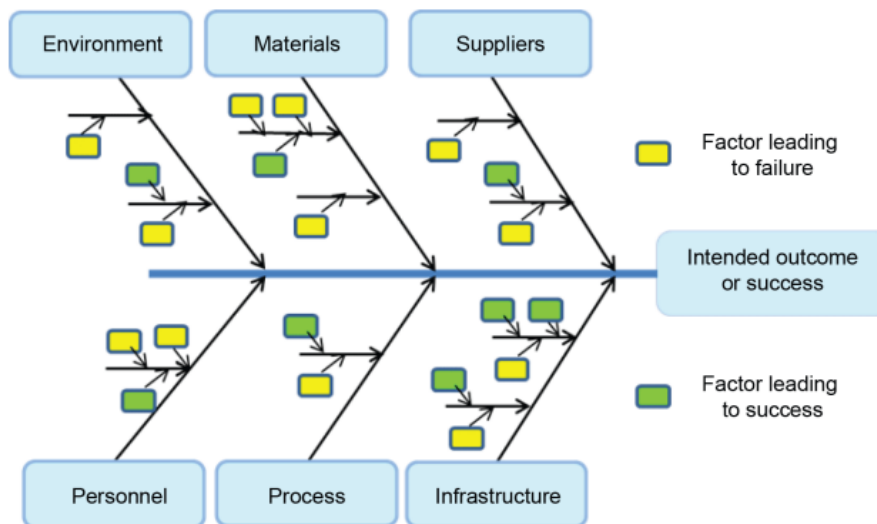
- Στατικότητα και δυσκολία στην ανανέωση των δικτύων με την συλλογή περαιτέρω πληροφοριών
- Δυσκολία ελέγχου των εξόδων, σε περιπτώσεις που οι εισοδοί έχουν περαστεί λάθος
- Ανάγκη ύπαρξης μεγάλων δειγματικών χώρων/ βάσεων δεδομένων που δύσκολα συλλέγονται σε πολλές βιομηχανίες

#### 5) Ανάλυση Ishikawa/ μέθοδος ψαροκόκκαλου

Πρόκειται για ένα γραφικό εργαλείο καταγραφής των πιθανών αιτιών ενός ορισμένου προβλήματος, και εξαγωγής συμπερασμάτων για τα πρωταρχικά αίτια της εκδήλωσής του (root cause analysis). Βοηθάει στον εντοπισμό, την ταξινόμηση και την απεικόνιση των πιθανών αιτιών, απεικονίζοντας γραφικά τη σχέση μεταξύ ενός δεδομένου αποτελέσματος με όλους τους παράγοντες που το επηρεάζουν. Αυτοί ενδέχεται να αφορούν:

- Τις μεθόδους λειτουργίας του συστήματος
- Εξοπλισμό
- Το εργατικό δυναμικό
- Μετρήσεις
- Το περιβάλλον λειτουργίας

Η μέθοδος αυτή έχει εκτεταμένη χρήση στην επιστήμη της διοίκησης των επιχειρήσεων και των συστημάτων ποιότητας, και παίρνει την μορφή του εξής διαγράμματος (Σχήμα 12):



Σχήμα 12: Διάγραμμα Ishikawa

Πλεονεκτήματα/ Μειονεκτήματα της μεθόδου

Πρόκειται για μια εύχρηστη μέθοδο καταγραφής των αιτιών που μπορούν να οδηγήσουν σε ένα τελικό γεγονός, και πρωταρχικής κατηγοριοποίησής τους. Ωστόσο, η κατηγοριοποίηση των αιτιακών παραγόντων σε γενικές ομάδες δεν λαμβάνει υπόψιν την πολυπλοκότητα των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των κατηγοριών.

6) Bow Tie Analysis

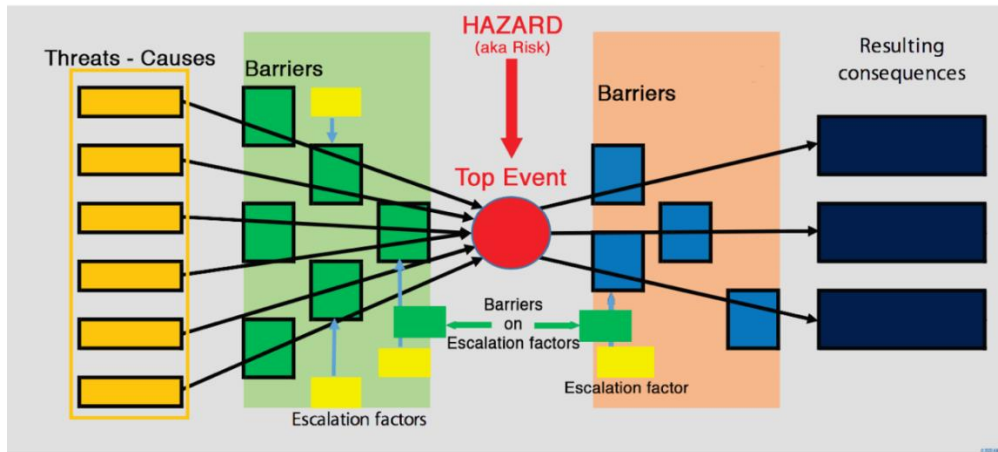
Η τεχνική αυτή αναπτύχθηκε την δεκαετία του '80 από την πετροχημική βιομηχανία για την διαχείριση ρίσκων υγείας και ασφαλείας [6] και πλέον χρησιμοποιείται ευρέως για την ανάλυση των σχέσεων συσχέτισης των μέτρων ελέγχου και των συστημάτων management [7]. Η διαδικασία εκπόνησης ενός Bow Tie είναι καταλυτική στην κατανόηση του ρίσκου και της διαχείρισης που πρέπει να ακολουθηθεί για την μείωσή του.

Η μέθοδος Bow Tie αναπαριστά γραφικά την διαδρομή μεταξύ των αιτιών ενός γεγονότων και των συνεπειών του, καθώς και των controls που μειώνουν την πιθανότητα εκδήλωσης και τις συνέπειες πραγμάτωσης. Πρόκειται για έναν συνδυασμό των Fault Trees και των Event Trees, και συνιστά μια σαφή διαφοροποίηση μεταξύ του proactive και του reactive Risk Management. Τα Bow Ties οπτικοποιούν το ανεπιθύμητο top event, αφού συμπεριλαμβάνουν τις συνέπειες ενός hazard, το ρίσκο που παρουσιάζει και τα μέτρα

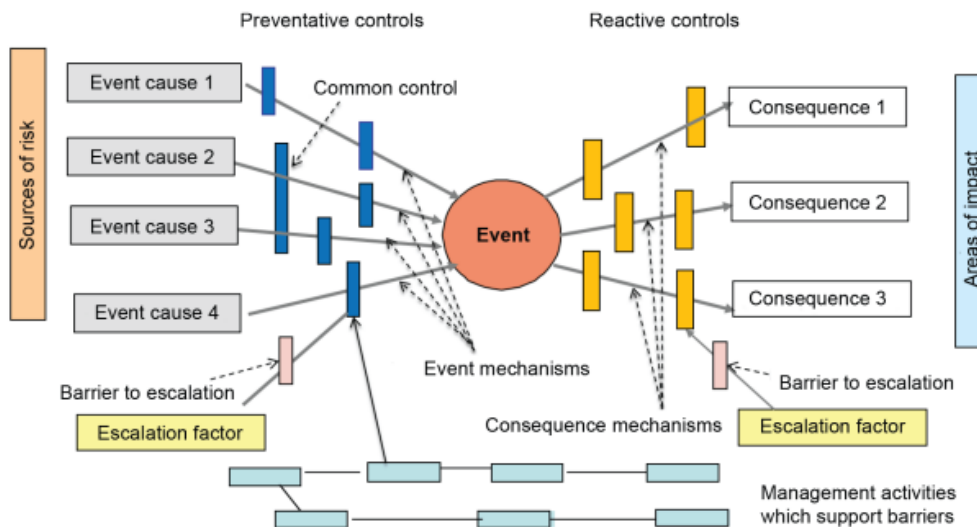
ελέγχου τα οποία θα πρέπει να τεθούν (barriers). Τα εμπόδια που μειώνουν την πιθανότητα εμφάνισης και αυτά που μειώνουν τις συνέπειες του γεγονότος διαφοροποιούνται στο διάγραμμα συνήθως μέσω του χρώματος με το οποίο αναπαριστώνται.

Ακολουθούν ορισμένα διαγράμματα Bow Tie (Εικόνες 13, 14):

### BOW TIE ANALYSIS DIAGRAM



Σχήμα 13: Παράδειγμα διαγράμματος Bow- Tie [2]



Σχήμα 14: Παράδειγμα διαγράμματος Bow- Tie [2]

Τα Bow-ties μπορούν να συμπεριλαμβάνουν πληροφορίες για την επάρκεια των μέτρων που έχουν τεθεί για την μείωση του ρίσκου σε As Low As Reasonably Practicable (ALARP).

## 2.5 Formal Safety Assessment

Η Επιτροπή Ναυτικής Ασφάλειας (Maritime Safety Committee, MSC) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (International Maritime Organization, IMO) ήδη από το 1997 ενέκρινε κατά την 68η Συνεδρίαση του την μέθοδο της FSA ως «μια δομημένη και συστηματική μεθοδολογία με στόχο την ενίσχυση της ναυτικής ασφάλειας

συμπεριλαμβανομένων της προστασίας της ανθρώπινης ζωής και υγείας, του θαλάσσιου περιβάλλοντος και της περιουσίας με τη χρήση ανάλυσης ρίσκου και ανάλυσης κόστους-οφέλους» (MSC/Circ.1023).

Η ανάγκη εκσυγχρόνισης των μεθοδολογιών αντιμετώπισης του ρίσκου με σκοπό την πρόληψη των ναυτικών ατυχημάτων οδήγησε τον IMO στην σύνταξη μιας μεθοδολογίας-εργαλείου αξιολόγησης και ανάλυσης των κινδύνων που απορρέουν από τις θαλάσσιες μεταφορές. Έτσι θεσπίζεται ένα διεθνές πρότυπο για τους εκάστοτε τύπους πλοίων, για την επίτευξη ασφαλέστερων θαλάσσιων ταξιδιών και την προστασία του περιβάλλοντος, των εργαζομένων στον χώρο καθώς και της ίδιας της ιδιοκτησίας. Αυτή η μέθοδος ονομάζεται Formal Safety Assessment (FSA)

Χρησιμοποιώντας δείκτες όπως η αναμενόμενη μείωση απώλειας ζωής και η αναμενόμενη ρύπανση σε σενάριο ατυχήματος, αλλά λαμβάνοντας υπόψη και την εμπειρική αξιολόγηση και την τεχνολογία των εμπειρογνομόνων του χώρου, η μεθοδολογία αυτή ποσοτικοποιεί το ρίσκο και προτείνει κριτήρια αξιολόγησης του αυστηρά επικεντρωμένα στον χώρο της ναυτιλίας. Προτείνει παράλληλα μια διαδικασία λήψης αποφάσεων, ένα decision making tool για την λήψη μέτρων περιορισμού του ρίσκου, στην οποία συμπεριλαμβάνονται και οικονομοτεχνικά κριτήρια που καθιστούν μια απόφαση ή αλλαγή συμφέρουσα ή μη.

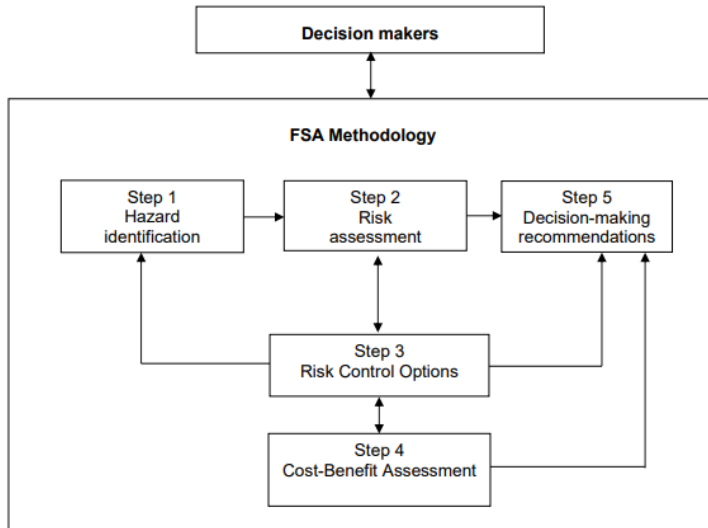
Πρόκειται λοιπόν για την πλέον επίσημη και διεθνώς εγκεκριμένη μέθοδο αξιολόγησης του ρίσκου και λήψης αποφάσεων για τον περιορισμό του, και χρησιμοποιεί επιστημονικά μεν αλλά και ρεαλιστικά κριτήρια, ώστε η μείωση του ρίσκου να λαμβάνει χώρα σε πλαίσια που δεν αποτρέπουν τους διαχειριστές ενός πλοίου από την επίτευξη κέρδους.

#### Ανάλυση της μεθοδολογίας

Η Formal Safety Assessment εμπεριέχει τρία βασικά βήματα όπως απεικονίζονται στην Σχήμα 15:

- 1) Αναγνώριση των κινδύνων (Hazard Identification)
- 2) Ανάλυση του ρίσκου (Risk Analysis)
- 3) Επιλογές αντιμετώπισης (Risk Control Options)
- 4) Αξιολόγηση κόστους- Οφέλους (Cost-Benefit Assessment)
- 5) Προτάσεις για τη λήψη αποφάσεων (Recommendations for Decision Making)





Σχήμα 15: Η μέθοδος FSA

Η διαδικασία ξεκινά με τους υπεύθυνους για τη λήψη αποφάσεων να αναγνωρίζουν ποιο πρόβλημα καλούνται να αντιμετωπίσουν καθώς και τις συνθήκες που ενδέχεται να περιορίζουν την διαδικασία αντιμετώπισης των κινδύνων. Σε αυτό το προπαρασκευαστικό στάδιο λαμβάνεται υπόψη τόσο η εμπειρογνωμοσύνη, όσο και τα επιστημονικά δεδομένα, οι κανονισμοί και το ανθρώπινο στοιχείο.

#### Hazard Identification- Formal Safety Assessment

Η αναγνώριση των κινδύνων συνιστά και την εξακρίβωση του προβλήματος και τον προσδιορισμό των παραγόντων που θα εξεταστούν για την αντιμετώπισή του. Αυτό το βήμα συναρτάται από:

- Τον τύπο και τα βασικά στοιχεία του πλοίου (Μήκος, Tonnage, ηλικία)
- Συστήματα και λειτουργίες του
- Τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα
- Εξωτερικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία του (πχ καιρικές συνθήκες, Vessel Traffic System)
- Την κατηγορία του ατυχήματος που μελετάται (πχ πρόσκρουση, πυρκαγιά, έκρηξη)
- Ρίσκα που συνδέονται με υψηλού κινδύνου ατυχήματα, όπως η απώλεια ζωής και η περιβαλλοντική ρύπανση

Για την αναγνώριση των κινδύνων χρησιμοποιούνται τόσο τεχνικές μέθοδοι ανάλυσης όσο και δημιουργικές τεχνικές, που εξασφαλίζουν την προληπτική αναγνώριση κινδύνων που δεν έχουν συμβεί απαραίτητα στο παρελθόν. Συνήθως χρησιμοποιούνται group reviews, με στόχο την αναγνώριση αιτιών και συνεπειών των ατυχημάτων και των σχετικών κινδύνων. Η FSA προτείνει στοχευμένα workshops από εμπειρογνώμονες, για το identification των κινδύνων.

Στη συνέχεια οι κίνδυνοι αυτοί κατατάσσονται με βάση την προτεραιότητα που επιτάσσει η συχνότητα ή η επικινδυνότητα της εμφάνισής τους, ώστε να κατηγοριοποιηθούν ως προς την

σημασία τους αλλά και να απορριφθούν όσοι κρίνονται ως ήσσονος επίπτωσης. Η κατάταξη των κινδύνων απαιτεί την κριτική αξιολόγηση των συμμετεχόντων στη διαδικασία με την χρήση των διαθέσιμων επιστημονικών και εμπειρικών δεδομένων. Ο συνδυασμός των συχνοτήτων- συνεπειών καθορίζεται με την χρήση Risk Matrix.

Η χρήση εμπειρικών αξιολογήσεων μέσω πινάκων Συχνότητας- Επιπτώσεων μπορούν να αποδειχτούν ένα πολύ καλό εργαλείο σε περιπτώσεις που η επιστημονική έρευνα κρίνεται ελλιπής. Μπορεί ταυτόχρονα να αποδειχτεί ακριβέστερο και πιο ρεαλιστικό εργαλείο εκτίμησης του ρίσκου αφού τα ιστορικά δεδομένα στερούνται εκ φύσεως χαρακτήρα πρόληψης. Είναι λοιπόν αναγκαία η χρήση των εμπειρικών αξιολογήσεων και ως εκ τούτου η χρήση του δείκτη ΔR σαν μέτρηση της εκτίμησης της μείωσης του ρίσκου κρίνεται έγκυρη.

#### Risk Analysis- Formal Safety Assessment

Οι πιθανότητες και επιπτώσεις των σημαντικότερων σεναρίων ατυχημάτων που αναγνωρίστηκαν στο προηγούμενο βήμα ερευνώνται στο στάδιο της ανάλυσης του ρίσκου. Σε περιπτώσεις σεναρίων χωρίς ιστορικό δεδομένων προτείνεται η χρήση πιθανολογικών προσεγγίσεων, και οι δύο παράγοντες αυτοί ορίζονται ως το ρίσκο κάθε σεναρίου. Το βήμα αυτό εστιάζει κυρίως σε περιπτώσεις υψηλού ρίσκου, ενώ προτείνονται μέθοδοι όπως τα Fault Trees και τα Event Trees.

#### Risk Control Options- Formal Safety Assessment

Η εύρεση των Risk Control Options γίνεται εστιάζοντας στους παράγοντες που μπορούν να ελεγχθούν, για την καταγραφή των μέτρων που μπορούν να μειώσουν το ρίσκο μέσω μείωσης είτε της συχνότητας είτε των επιπτώσεων εκδήλωσης. Με επαναξιολόγηση του δεύτερου βήματος, μέτρα που κρίνονται ως αποτελεσματικά κατηγοριοποιούνται ως Risk Control Options.

#### Cost- Benefit Assessment- Formal Safety Assessment

Το κόστος και τα οφέλη της εφαρμογής του κάθε Risk Control Option του προηγούμενου βήματος πρέπει να εκτιμηθούν. Στη συνέχεια αυτές οι επιλογές συγκρίνονται χρησιμοποιώντας δείκτες cost effectiveness, όπως το Cost of Averting a Fatality, το κόστος δηλαδή που απαιτεί η πρόληψη ενός θανάτου λόγω ατυχήματος.

#### Potential Loss of Life (PLL)

Πρόκειται για έναν δείκτη του οποίου ο ορισμός αλλάζει ανάλογα με τον τύπο του Formal Safety Assessment, και συχνά χρησιμοποιείται σαν μια μέτρηση των επιπτώσεων. Ο ορισμός του PLL σύμφωνα με τις περισσότερες FSA είναι:

$$PLL = \frac{\text{No of occupational fatalities}}{\text{Shipyears}}$$

Ωστόσο, η βιβλιογραφία παραθέτει ορισμένους ακόμα ορισμούς του δείκτη αυτού. Ένας είναι το μέσο ποσοστό θνησιμότητας ανά χρηματική μονάδα παραγωγής:

$$PLL = q \times EV \text{ όπου } q = \frac{\text{No of occupational fatalities}}{GNP}$$

Όπου EV (economic value) η οικονομική αξία και GNP το ακαθάριστο ετήσιο προϊόν.

Ένας ακόμη ορισμός, ίσως ο πιο ενδιαφέρων, συνδέει το PLL με τα F-N curves, ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο υπολογισμού του κοινωνικού ρίσκου και των κριτηρίων αποδοχής τους.

Το PLL ορίζεται ως εξής:

$$PLL = \sum_{N=1}^{Nu} N \times fn = F1 \times \left(1 + \sum_{N=1}^{Nu-1} \frac{1}{N+1}\right) = F1 * \sum_{N=1}^{Nu-1} \frac{1}{N}$$

Όπου:

- Nu είναι το ανώτερο όριο του πλήθους των απωλειών που μπορούν να συμβούν σε ένα ατύχημα
- fn είναι η συχνότητα ενός ατυχήματος που περιλαμβάνει απώλειες πλήθους N
- F1 η συχνότητα των ατυχημάτων που περιλαμβάνουν μια ή περισσότερες απώλειες

Η διαφορά μεταξύ του αρχικού ρίσκου και του ρίσκου έπειτα από την εφαρμογή μέτρων περιορισμού του ορίζεται ως ΔPLL, και χρησιμοποιείται εντός της FSA σαν μέτρο της αποτελεσματικότητας ενός Risk Control Option.

## 2.6 Βιβλιογραφική επισκόπηση

Ναυτικά ατυχήματα συμβαίνουν διαρκώς λόγω της δυναμικότητας και της πολυπλοκότητας παραμέτρων που μπορούν να αυξήσουν το ρίσκο δημιουργώντας διάφορους κινδύνους. Η ανάγκη εκσυγχρονισμού των στατικών μεθόδων αξιολόγησης του ρίσκου οδηγεί την επιστημονική κοινότητα στην προσπάθεια μαθηματοποίησης των απρόβλεπτων παραμέτρων και διαχείρισης της πολυπλοκότητας του πλοίου ως σύστημα παραγωγής κινδύνων, με σκοπό την υποστήριξη των διαδικασιών και την υπερνίκηση των περιορισμών των συμβατικών μεθόδων. Η απεικόνιση του ρίσκου γίνεται μέσω της συλλογής και της ενσωμάτωσης των πληροφοριών που αντλούνται από τη ζωή στη θάλασσα.

Οι Yeo, C., Bhandari, J., Abbassi, R., Garaniya, V., Chai, S., & Shomali, B. [8] χρησιμοποιώντας μια μεθοδολογία βασισμένη στα μπαγιεσιανά διαγράμματα μελέτησαν τους λόγους εκδήλωσης συγκρούσεων διαρροών και ατυχημάτων προσάραξης κατά την εκφόρτωση πλοίων μεταφοράς LNG σε πλατφόρμες εκφόρτωσης. Στην συνέχεια εξετάζουν την αποτελεσματικότητα ορισμένων μέτρων προστασίας σε σενάρια grounding και διαρροών μελετώντας στατιστικά των συχνότητων τέτοιων ατυχημάτων.

Οι Zhang, L., Wu, S., Zheng, W. & Fan, J [9] επιχείρησαν να μετατρέψουν το μοντέλο Bow Tie σε ένα δυναμικό μπαγιεσιανό δίκτυο μελετώντας διαδικασίες γεωτρήσεων ελεγχόμενης πίεσης στη θάλασσα. Η μελέτη της αποτελεσματικότητας γίνεται μέσω εκτίμησης της πιθανότητας αστοχίας των διαφόρων συστημάτων έπειτα από εγκατάσταση εμποδίων ασφαλείας χρησιμοποιώντας κατανομές πιθανοτήτων Weibul. Εν προκειμένω αξιολογήθηκαν μόνο περιορισμένου αριθμού Risk Control Options των οποίων η επιτυχία ή αστοχία μπορούσε να χαρτογραφηθεί σε ένα δίκτυο αλυσιδωτών γεγονότων.

Οι Yan, X. P., Wan, C. P., Zhang, D., & Yang, Z. L [10] μελέτησαν το δυναμικό ρίσκο για εμπορικά πλοία στον ποταμό Yangtze χρησιμοποιώντας υπολογισμούς κόστους-οφέλους σε συνδυασμό με μια τεχνική σειράς προτίμησης με την ομοιότητα ιδανικής λύσης (TOPSIS). Ο δείκτης κόστους-οφέλους χρησιμοποιήθηκε για την επιλογή του πιο οικονομικά αποδοτικού μέτρου περιορισμού του ρίσκου σε δυναμικό περιβάλλον και η τεχνική TOPSIS για την αξιολόγηση των δυναμικών ρίσκων. Οι δράσεις περιορισμού συσχετίστηκαν μέσω ερωτηματολογίου με αριθμούς σε ένα risk matrix με τους κινδύνους στο περιβάλλον που μελετήθηκε και η αποτελεσματικότητα αξιολογήθηκε με ποιοτικές αξιολογήσεις.

Το Technical Data Report [11] που δημοσίευσε ο Νορβηγικός Νηογνώμονας προτείνει ένα μοντέλο ποσοτικοποιημένης ανάλυσης του ρίσκου σχετικού με την ναυσιπλοΐα δεξαμενοπλοίων πετρελαίου σε ανοιχτή θάλασσα και το Kitimat Terminal. Προτείνονται ορισμένα μέτρα μείωσης του ρίσκου σύγκρουσης και grounding, και ο υπολογισμός της αποτελεσματικότητάς τους γίνεται μόνο ως προς την αναμενόμενη μείωση της συχνότητας τέτοιων ατυχημάτων, και ως προς τον αναμενόμενο χρόνο στον οποίο θα παρατηρούνταν οι αντίστοιχες απώλειες φορτίου μετά από την εφαρμογή των RCOs.

Οι Roelen, van Aalst, Karanikas, Kaspers, Piric & de Boer [12] ορίζουν την αποτελεσματικότητα ενός μέτρου σαν τον λόγο μεταξύ του αριθμού των φορών στις οποίες το μέτρο πέτυχε μια θετική έκβαση και του αριθμού των περιπτώσεων στις οποίες το μέτρο αυτό δοκιμάστηκε, στην προσπάθειά τους να ορίσουν δείκτες ασφαλείας βασισμένους στην αποτελεσματικότητα μέτρων μείωσης του ρίσκου στην Αεροπορία. Χρησιμοποιούν τους εξής τρεις δείκτες:

- $1 - \frac{\text{αριθμός των περιπτώσεων στις οποίες το RCO απέτυχε}}{\text{αριθμός των περιπτώσεων στις οποίες το RCO δοκιμάστηκε}}$
- $1 - \frac{\text{αριθμός των αποτυχημένων ελέγχων της ομαλής λειτουργίας ενός RCO}}{\text{αριθμός των συνολικών ελέγχων της ομαλής λειτουργίας του}}$
- $1 - \frac{\text{αριθμός των ανεπιθύμητων γεγονότων μετά την εφαρμογή του RCO ανά μονάδα χρόνου}}{\text{αριθμός των ανεπιθύμητων γεγονότων πριν την εφαρμογή του ανά μονάδα χρόνου}}$

Οι συγκεκριμένοι δείκτες βοηθούν στην ποσοτικοποίηση της αποτελεσματικότητας αφού παρέχουν μια σαφή μέτρηση της, ωστόσο αναγνωρίζεται εντός της μελέτης πως η πολυπλοκότητα ορισμένων συστημάτων δυσκολεύει αφενός την ανίχνευση των αποτυχιών ενός RCO, καθώς μπορεί ένα ανεπιθύμητο γεγονός να λάβει χώρα ακόμα και όταν ένα RCO πέτυχε τον σκοπό του ή λειτούργησε σωστά, και αφετέρου την ανίχνευση των περιπτώσεων στις οποίες ένα RCO πράγματι δοκιμάστηκε. Προβληματικός κρίνεται και ο τρίτος δείκτης, καθώς δεν εξασφαλίζει πως η μέτρηση που δίνει δεν επηρεάζεται από την τυχαιότητα ενός ανεπιθύμητου γεγονότος, και για την χρήση του απαιτείται μεγάλη δειγματοληψία.

Οι Chaal, Bahootoroody, Basnet, Banda & Goerlandt [13] σχηματίζουν ένα γενικό πλαίσιο μελέτης του ρίσκου σε εμπορικά πλοία και εντός αυτού προτείνουν την χρήση της μεθόδου System Theoretic Process Analysis (STPA) για την αναγνώριση των κινδύνων σε συνδυασμό με μπαγιεσιανά διαγράμματα για την μελέτη του ρίσκου. Το ρίσκο εξετάζεται πρώτα ποσοτικά, και στη συνέχεια ποσοτικά μέσω των πινάκων Conditional Probability Tables που σχετίζονται με τη μέθοδο Bayes. Η μελέτη της αποτελεσματικότητας των RCOs μέσω τεχνικών δεδομένων για σενάρια αποτυχίας του συστήματος που εξετάζεται, είτε μέσω αξιολογήσεων ειδικών. Εν προκειμένω, για το κάθε ρίσκο αναγνωρίζονται τόσο αιτιακά σενάρια όσο και πιθανά αποτελέσματα, στα οποία αποδίδονται κάποιες τιμές πιθανότητας. Ωστόσο συχνά αυτές εκλείπουν όταν μελετά κανείς ολόκληρο το πλοίο σαν σύστημα σε κατάσταση κινδύνου, και όχι ξεχωριστά τους μηχανισμούς του. Ακόμη, η χρήση αξιολογήσεων ειδικών κρίνεται προβληματική, όταν δεν επιχειρείται η απαλοιφή του υποκειμενικού στοιχείου των αξιολογήσεων.

Η μελέτη Formal Safety Assessment που δημοσιεύτηκε στο MSC 75/5/2 [14] από την Ιαπωνία χρησιμοποιεί τον εξής υπολογισμό για την μέτρηση της αποτελεσματικότητας των μέτρων που εξετάζονται: Τα Risk Control Options χωρίζονται αρχικά από ειδικούς σε τρεις κατηγορίες: αποτελεσματικά, ενδεχομένως αποτελεσματικά και μη αποτελεσματικά. Στη συνέχεια ανάλογα με την κατηγορία στην οποία το καθένα αντιστοιχίστηκε του προσδίδεται η ανάλογη βαρύτητα, 100%, 50% και 0%. Υπολογίζεται ο εξής δείκτης:

$$r_{Risk\_Reduction} = \frac{N_{probable\_mitigated} + N_{possible\_mitigated} \times 0.5}{N_{total\_loss}}$$

Όπου:

- $r_{Risk\_Reduction}$ : ο δείκτης αποτελεσματικότητας του RCO
- $N_{probable\_mitigated}$ : ο αριθμός των ατυχημάτων που θα είχαν αποφευχθεί από το υπό εξέταση RCO
- $N_{possible\_mitigated}$ : ο αριθμός των ατυχημάτων που ίσως να είχαν αποφευχθεί από το υπό εξέταση RCO
- $N_{total\_loss}$ : ο αριθμός των ατυχημάτων που οδήγησαν σε πλήρη καταστροφή

Στη συνέχεια, το  $\Delta PLL$  έπεται από την εφαρμογή του RCO υπολογίζεται ως εξής:

$$\Delta PLL = -PLL_{total\_loss} \times r_{Risk\_Reduction}$$

Όπου  $PLL_{total\_loss}$  η απώλεια ζωής που προβλέπεται πριν την εφαρμογή του RCO.

Γίνεται αντιληπτό πως με την συγκεκριμένη μέθοδο, χρησιμοποιούνται αυθαίρετοι δείκτες βαρύτητας για τα RCO αφού οι ειδικοί που αξιοποιήθηκαν βασίστηκαν σε μια εννοιολογική κατηγοριοποίηση στην οποία αποδόθηκαν ποσοστά αποτελεσματικότητας που πιθανότατα απέχουν αρκετά από την πραγματικότητα. Παραδειγματος χάρη, ένα RCO που ενδεχομένως να είναι αποτελεσματικό για την πρόληψη ενός ανεπιθύμητου γεγονότος δεν είναι απαραίτητο πως θα λειτουργήσει 50% των περιπτώσεων στις οποίες θα δοκιμαστεί.



### 3. Επεξήγηση των λειτουργικών αναγκών του προβλήματος

Με δεδομένο πως εν προκειμένω καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε το πλοίο σαν ενιαίο σύστημα και όχι σαν μεμονωμένες λειτουργίες και άρα και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφορετικών λειτουργιών που επιτελούνται κατά την πλοήγηση ενός πλοίου εμπορευματοκιβωτίων σε υψηλή θαλάσσια κυκλοφορία, οι οποίοι επηρεάζουν τους παράγοντες ρίσκου, απαραίτητη είναι η πρόταση μιας μεθοδολογίας που εξετάζει τον κίνδυνο και τα μέσα αντιμετώπισής του καθολικά και όχι εστιάζοντας συγκεκριμένα σε μία περιοχή πλοήγησης, μια λειτουργία του πλοίου ή μια μεμονωμένη κατηγορία κινδύνου.

Επίσης, στην περίπτωση ανάπτυξης ενός τέτοιου αλγορίθμου όπως αυτού που περιγράφει ο τίτλος της εργασίας, θα πρέπει τα δεδομένα τα οποία εισάγονται να μπορούν να ανανεώνονται, επικαιροποιώντας τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας και επανυπολογίζοντας την επίδραση των Risk Control Options στο συνολικό ρίσκο για την προκειμένη περίπτωση, ανά πάσα στιγμή κατά τη λειτουργία του πλοίου. Έτσι θα επιτυγχάνεται η μελέτη ενός πλαισίου στο οποίο το πλοίο βρίσκεται υπό διακινδύνευση με τρόπο δυναμικό. Τέλος, στόχος στην ανάπτυξη της μεθοδολογίας ήταν ο συγκερασμός των επιστημονικών δεδομένων με τα δεδομένα που μπορεί να προσφέρει η τεχνογνωσία του χώρου της ναυτιλίας και των εμπειρογνώμων που συμμετέχουν τακτικά σε assessments. Αυτό θα γίνει με την ανάπτυξη ενός εργαλείου που θα αντλεί μεγάλο όγκο δεδομένων από το πλήθος χρηστών που θα αξιολογεί μέτρα ασφαλείας και πρόληψης και θα πραγματοποιεί ανάλυση των δεδομένων που προσφέρει η τεχνογνωσία του χώρου της ναυτιλίας.

Για την μελέτη της αποτελεσματικότητας μέτρων περιορισμού της διακινδύνευσης καθοριστικής σημασίας είναι η επιλογή μιας μεθοδολογίας που ποσοτικοποιεί την αποτελεσματικότητα των επιλογών μείωσης του κινδύνου, ώστε να δύναται η σύγκρισή τους και να διευκολύνεται η λήψη αποφάσεων, ιδίως σε ένα δυναμικό περιβάλλον, δηλαδή σε πραγματικό χρόνο κατά τη λειτουργία του πλοίου.

Δεδομένα η συλλογιστική διαδικασία που συνοδεύεται από την ανάγκη ανάπτυξης ενός αλγορίθμου όπως αυτού που επιτάσσει η εργασία καλείται να αντιμετωπίσει λοιπόν το βασικό πρόβλημα της ποσοτικοποίησης του ρίσκου σε περιπτώσεις που τα δεδομένα είναι ανακριβή ή εκλείπουν εντελώς σε ότι αφορά τόσο τις στατιστικές μελέτες αποτυχίας συστημάτων του πλοίου όσο και της αποτελεσματικότητας των μέτρων που θα ληφθούν, προκειμένου στην συνέχεια να γίνει κάποιος υπολογισμός της μείωσης της διακινδύνευσης.

Μελετώντας τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία συμπεραίνει κανείς πως η κοινή γραφειοκρατική πρακτική που κατά κύριο λόγο αποτελείται μόνο από μια ποιοτική αξιολόγηση ενός χρήστη ελλείπει δεδομένων ή επικοινωνίας με άλλους εμπειρογνώμονες και ελλείπει μιας κοινής βάσης δεδομένων/ συλλογής στοιχείων καθιστά αναγκαία την εύρεση μιας διαφορετικής μεθοδολογίας που θα προσφέρει την ίδια ευκολία στον χρήστη αλλά θα βασίζεται σε επιστημονικά δεδομένα και θα διαθέτει παράλληλα την δυνατότητα να εμπλουτίζεται με βάση τις αξιολογήσεις και τα δεδομένα που θα εισάγουν οι χρήστες, ώστε με μια μεγαλύτερη δειγματοληψία να λαμβάνονται συμπεράσματα για την πραγματική

επικινδυνότητα των καταστάσεων που θα μελετώνται και την ρεαλιστική μείωση της διακινδύνευσης που επιφέρουν τα μέτρα τα οποία θα λαμβάνονται.

Στην περίπτωση της Formal Safety Assessment, τα δεδομένα που εισάγονται είναι στατικά, βασισμένα στις ικανότητες, τις γνώσεις και τις αξιολογήσεις των συμμετεχόντων ενώ ο χρονικός ορίζοντας που απαιτείται για την λήψη μιας απόφασης με βάση τη μεθοδολογία που προτείνεται είναι απαγορευτικός για συνθήκες που επιβάλλουν πιεστικά χρονικά όρια. Ωστόσο μπορεί να αποτελέσει οδηγός για την ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας δυναμικής εκτίμησης της διακινδύνευσης, βασισμένης στα βήματα που προτείνει η στατική μεν, αναγνωρισμένη και αποτελεσματική δε μεθοδολογία.

Στόχος είναι η δημιουργία ενός εργαλείου λοιπόν που θα εξυπηρετεί τις ανάγκες ενός πλοίου για αξιολόγηση του ρίσκου και λήψη μέτρων αντιμετώπισης του βασισμένο σε ποσοτικοποιημένους υπολογισμούς/ outputs και με τη δυνατότητα ζωντανής υποστήριξης στον χρήστη, κατάλληλο για τις προαναφερθείσες συνθήκες.

### **3.1. Αναγνώριση των Κινδύνων**

Το εργαλείο θα πρέπει να διαθέτει μια αρχική (και εμπλουτίσιμη) βιβλιοθήκη από πιθανούς κινδύνους που μπορούν να παρεμποδίσουν την ασφαλή ναυσιπλοΐα του πλοίου. Αυτό αντιστοιχεί στο στάδιο του Hazard Identification, όπως αυτό αναλύεται στην FSA, με την διαφορά πως οι κίνδυνοι που εξετάζονται θα προϋπάρχουν και θα εμπλουτίζονται χτίζοντας μια βάση δεδομένων μέσω των χρηστών με στόχο την συγκέντρωση στοιχείων και πληροφοριών που η βιβλιογραφία αδυνατεί να μελετήσει και η βιομηχανία αδυνατεί να καταγράψει.

Οι κίνδυνοι αυτοί θα επιλέγονται ως υπαρκτοί ανά πάσα χρονική στιγμή στο πλοίο, και σε αυτούς θα αντιστοιχεί μια λίστα πιθανών πηγών (sources), οι οποίες και θα επιλέγονται ως πιο πιθανές κατά την κρίση του χρήστη. Έτσι θα εξετάζεται με άμεσο τρόπο η αιτιότητα της εμφάνισης του κινδύνου σε έναν εμπλουτιζόμενο κατάλογο επιλογών που θα συλλέγει δεδομένα και θα διευκολύνει την λήψη Control Measures.

### **3.2. Ανάλυση Ρίσκου**

Για την ανάλυση του ρίσκου στο οποίο βρίσκεται το πλοίο, θα πρέπει να επιλεγεί μια μέθοδος Risk Analysis η οποία θα μπορεί να συνταχθεί με σχετική χρονική και λειτουργική ευκολία, κατάλληλη για ένα δυναμικό περιβάλλον κινδύνου στο οποίο θα πρέπει να γίνει ταχεία λήψη αποφάσεων και να βασίζεται στην βιβλιοθήκη των κινδύνων που θα έχει δημιουργηθεί, με τρόπο ώστε οι διαφορετικές οπτικές με τις οποίες οι συμμετέχοντες αξιολογούν τον κίνδυνο να μπορούν να συλληθούν και να αξιοποιηθούν. Αυτή θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν εμπειρογνομικές αξιολογήσεις των Risk Control Options σε πραγματικό χρόνο και με τα δεδομένα της κάθε περίπτωσης κινδύνου, αλλά ταυτοχρόνως να τις συνδυάζει με ποσοτικές μετρήσεις.

Σε περιπτώσεις που περισσότεροι από ένας χρήστες πραγματοποιούν μια ανάλυση ρίσκου, θα πρέπει η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί να εξάγει μια ιεράρχηση των αποτελεσματικότερων μέτρων αντιμετώπισης, και σε περιπτώσεις που εξετάζεται η εφαρμογή πληθώρας μέτρων, να προτείνει μια χρονική ιεράρχηση μοντελοποιώντας τα inputs των χρηστών.



Τέλος, με δεδομένο το υποκειμενικό στοιχείο που συνοδεύει την εμπειρογνομική αξιολόγηση του κινδύνου, θα πρέπει το εργαλείο που θα αναπτυχθεί να διαθέτει την δυνατότητα να επικαιροποιείται με την εισαγωγή περισσότερων δεδομένων, αξιολογήσεων και αναλύσεων. Να αξιοποιούνται δηλαδή όλα τα δεδομένα που εισάγονται στο εργαλείο απαλείφοντας την υποκειμενικότητα των αξιολογήσεων χρησιμοποιώντας κάποια μέθοδο επικαιροποίησης όπως το machine learning.

### **3.3. Ποσοτικοποίηση της μείωσης του ρίσκου- Μέτρηση της αποτελεσματικότητας RCO**

Η επίδραση των RCOs σε ένα πλήρη κατάλογο κινδύνων (και όχι απομονωμένα σε κινδύνους όπως η πυρκαγιά ή το Loss of Positioning) είναι δύσκολο να μαθηματικοποιηθεί και αυτό είναι επί της ουσίας το βασικό ζήτημα της εργασίας. Βασικός στόχος είναι η εύρεση μιας μεθόδου που θα αποδίδει αριθμητικά δεδομένα για την μείωση της διακινδύνευσης με την εφαρμογή των Control Measures, ακόμα και για κινδύνους/ μέτρα αντιμετώπισης που δεν έχουν μελετηθεί στη βιβλιογραφία. Ταυτοχρόνως, θα πρέπει να πραγματοποιείται καταγραφή των κινδύνων που εξετάζονται και της αποτελεσματικότητας των μέτρων που λαμβάνονται.

## 4. Μεθοδολογία

Στο πλαίσιο της εργασίας, αναπτύσσεται προγραμματιστικό μοντέλο μελέτης της επίδρασης Risk Control Options σε συνθήκες υψηλής θαλάσσιας κυκλοφορίας για την ασφαλή ναυσιπλοΐα πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, με έμφαση σε ατυχήματα σχετικά με το Navigation, Mooring και Anchoring σε congested waters. Αυτό θα χρησιμοποιείται από το πλοίο, σαν ένα ζωντανό εργαλείο Risk Assessment, που λαμβάνει inputs και εμπειρικές αξιολογήσεις από τους συμμετέχοντες στο Assessment, αξιοποιώντας δεδομένα που θα δίνονται από τους χρήστες .

### 4.1. Βάσεις δεδομένων

Αρχικά κρίθηκε αναγκαίος ο σχηματισμός μιας αρχικής βιβλιοθήκης/ βάσης δεδομένων τόσο για τους κινδύνους που σχετίζονται με την ναυσιπλοΐα ενός containership σε συνθήκες υψηλής θαλάσσιας κυκλοφορίας, όσο και των πηγών που αντιστοιχούν στον εκάστοτε κίνδυνο. Αυτό πραγματοποιήθηκε με μια συνδυαστική μελέτη των βάσεων ατυχημάτων (Marine Accident Investigation Branch, GISIS, Lloyd's Fairplay) αλλά και με τη συμβολή των εμπειρογνομόνων που αναφέρθηκαν νωρίτερα, στις ευχαριστίες. Στόχος ήταν να δημιουργηθεί ένας πλήρης αρχικός κατάλογος που θα εμπεριέχει την πλειονότητα των κινδύνων που θα αντιμετωπίσει το πλοίο στις συνθήκες του τίτλου.

Η δημιουργία της λίστας πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια: Αρχικά συλλέχθηκαν από accident reports οι κίνδυνοι που οδήγησαν σε ναυτικά ατυχήματα σε παρόμοιες συνθήκες με αυτές της εργασίας, και στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε διαλογή των σχετικών με το θέμα της εργασίας Risk Assessment από το αρχείο των εταιρειών. Έτσι δεν συμπεριλήφθηκαν μόνο κίνδυνοι που έχουν ιστορικά οδηγήσει σε ατυχήματα, αλλά και κίνδυνοι που είναι υπαρκτοί στο πλοίο και αναγνωρίζονται από τα πληρώματα που στελεχώνουν το πλοίο και επιτελούν τις λειτουργίες του, οι οποίοι εν δυνάμει μπορούν να οδηγήσουν σε ατύχημα.

- Οι κίνδυνοι κατηγοριοποιήθηκαν ανάλογα με την φάση του ταξιδιού στην οποία βρισκόταν το πλοίο κατά την σύνταξη του Assessment ή κατά την εκδήλωση του συμβάντος που μελετήθηκε στο accident report στις εξής κατηγορίες.Κίνδυνοι που προκύπτουν κατά την πρόσδεση του πλοίου (Mooring)
- Κίνδυνοι που προκύπτουν κατά την αγκυροβόληση του πλοίου (Anchoring)
- Κίνδυνοι που προκύπτουν κατά την πλοήγηση του πλοίου (Navigation)

Τελικό αποτέλεσμα ήταν μια εκτενής λίστα κινδύνων και πηγών, η οποία εντός του λογισμικού μπορεί να εμπλουτιστεί σε περίπτωση που το πλοίο αντιμετωπίσει κάποιο hazard εκτός της λίστας.

Ακολουθεί ενδεικτική λίστα των κινδύνων που συγκεντρώθηκαν:

## 4.2. Κατηγορία κινδύνων: Πρόσδεση

Πίνακας 2: Κίνδυνοι κατά την πρόσδεση

Αδυναμία παρακολούθησης των συνθηκών αποθήκευσης των winch drums
Αδυναμία ειδοποίησης της γέφυρας όταν η τάση των σχοινιών πρόσδεσης αυξάνεται επικίνδυνα
Αποτυχία πρόσδεσης, το πλοίο κινείται μακριά από τον ντόκο λόγω υψηλών ανέμων
Αποτυχία πρόσδεσης, το πλοίο κινείται μακριά από τον ντόκο λόγω υψηλών ανέμων
Ακατάλληλο δέσιμο με τον ντόκο
Συνδυασμός mooring wires με συνθετικές γραμμές
Μη προστασία του 'ματιού' του mooring tail με κατάλληλο προστατευτικό
Ζημιά στο mooring tails damage λόγω τριβών
Προσωπικό μη εκπαιδευμένο στη χρήση wire mooring line stoppers
Προσωπικό κοντά στα σχοινιά πρόσδεσης κατά την εφαρμογή του stopper
Ανεξέλεγκτα καλώδια πρόσδεσης
Αδυναμία επικοινωνίας της γέφυρας με τον σταθμό πρόσδεσης
Πολλές στροφές γύρω από το warping drum/ capstan
Αδυναμία στην συμφωνία σε ένα σχέδιο πρόσδεσης
Μπλέξιμο του towline με την προπέλα
Η έλξη του Tug bollard pull είναι μεγαλύτερη από το SWL της σφήνας
Σχοινιά πρόσδεσης διαφορετικού υλικού και μήκους
Φθορά των σχοινιών HMSF λόγω αιχμηρότητας
Αδυναμία δοκιμής της επικοινωνίας με τον σταθμό πρόσδεσης

### 4.3. Κατηγορία κινδύνων: Πλοήγηση

Πίνακας 3: Κίνδυνοι κατά την πλοήγηση

Αδυναμία ταυτοποίησης των αναμενόμενων οροσήμων
Πλοήγηση σε περιοχές υψηλής θαλάσσιας κυκλοφορίας
Υπερβολικός φωτισμός της κουβέρτας- μείωση της βραδινής ορατότητας
Πέρασμα safety contour
Αδυναμία επαρκούς επάνδρωσης της γέφυρας/ του μηχανοστασίου
Αδυναμία εισαγωγής των χαρακτηριστικών ασφαλείας του ECDIS στο passage plan (anti-grounding, off-track and look-ahead)
Αδυναμία αξιολόγησης των περιορισμών των ηλεκτρονικών χαρτών και του ECDIS
Ηλεκτρολογική αποτυχία του ECDIS
Αδυναμία προσδιορισμού των παραγόντων που επηρεάζουν το UKC
Αδυναμία επικοινωνίας των μελών της ομάδας γέφυρας λόγω γλωσσικών διαφορών
Αδυναμία προσδιορισμού του παραθύρου παλίρροιας
Αδυναμία παρακολούθησης του πιλότου
Πλοήγηση σε περιοχές με CATZOC D και U
Πλοήγηση σε περιοχές με υψηλή κυκλοφορία γιοτ και ψαροκάικων
Αδυναμία παρατήρησης του squat affect
Αποτυχία του steering gear
Αποτυχία του (D)GPS
Αποτυχία του ARPA
Αποτυχία της Γυροσκοπικής πυξίδας
Αποτυχία του RADAR
Horn system failure
Αποτυχία του Echo sounder
Αποτυχία του Course recorder
Πλοήγηση σε περιοχές ECA/ SECA
Αποτυχία του τηλέγραφου μηχανής
Αποτυχία του καταγραφέα εντολών κύριας μηχανής
Αποτυχία του Fire Alarm
Αποτυχία συμπερίληψης στο passage plan των περιορισμών μανούβρας, της γωνίας στροφής, χρόνου τιμόνευσης και σημείων αλλαγής πορείας
Αποτυχία του λογισμικού του ECDIS

## 4.4. Κατηγορία κινδύνων: Αγκυροβόληση

Πίνακας 4: Κίνδυνοι κατά την αγκυροβόληση

Αποτυχία εξασφάλισης του χώρου αγκυροβόλησης στο αγκυροβόλιο
Αδυναμία επίτευξης ασφαλούς ταχύτητας κατά την προσέγγιση στο αγκυροβόλιο
Αδυναμία του πληρώματος να αναγνωρίσει τους περιορισμούς του εξοπλισμού αγκυροβόλησης
Αδυναμία ανανέωσης της κατάστασης του πλοίου στο AIS
Έλλειψη σχεδίων έκτακτης ανάγκης
Ανεπαρκές 'καλώδιο' άγκυρας
Σύρσιμο της άγκυρας
Αγκυροβόληση σε υψηλά βάθη
Αγκυροβόληση σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες
Αγκυροβόληση στον πάγο
Ακατάλληλο λυπαντικό για την αγκυροβόληση σε πάγο
Αγκυροβόληση κατά την διάρκεια έκτακτης ανάγκης
Απώλεια της άγκυρας
Προσκόλληση της άγκυρας
Αποτυχία της μηχανής του βαρούλκου
Έκρηξη του βαρούλκου
Πρόσκρουση της αλυσίδας της άγκυρας με το κέλυφος του πλοίου
Αδυναμία προσδιορισμού των ευθυνών του πληρώματος κατά την πρόσδεση
Ανέτοιμη κύρια μηχανή κατά την αγκυροβόληση
Ασταθής αλυσίδα
Ακατάλληλα Chain stoppers
Διάβρωση του εξοπλισμού

## 4.5. Πηγές κινδύνου

Κατόπιν πραγματοποιήθηκε η κατηγοριοποίηση των πηγών που αφορούν ατυχήματα ναυσιπλοΐας σε congested waters και η αντιστοίχηση τους στην λίστα των κινδύνων. Αυτό πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια των συντελούντων ειδικών με την βοήθεια των οποίων συντάχθηκε αρχικά μια λίστα αιτιών κινδύνου στα πλοία και στην συνέχεια επιλέχθηκαν όσες εξ αυτών των πηγών εφαρμόζονται στον εκάστοτε κίνδυνο. Αυτές παρουσιάζονται αναλυτικά σε ξεχωριστό παράρτημα.

Λόγω της έκτασης του έργου αυτού, της αντιστοίχισης δηλαδή του κάθε κινδύνου με όλες τις πιθανές πηγές του, παρουσιάζονται δειγματοληπτικά ορισμένα από τα δεδομένα που εισήχθησαν στην εφαρμογή.

**Πίνακας 5: Παραδείγματα πιθανών πηγών κινδύνου**

<p><b>ΠΛΟΗΓΗΣΗ</b></p>	<p>Πλοήγηση σε περιοχές υψηλής θαλάσσιας κυκλοφορίας</p>	<p>Αδυναμία ακολούθησης των διαδικασιών.  Ακατάλληλες δικλίδες ασφαλείας.  Αδυναμία ειδοποίησης  Πολυπλοκότητα  Κούραση  Ακατάλληλος χειρισμός  Ακατάλληλη προστασία  Ακατάλληλος έλεγχος  Ακατάλληλος εξοπλισμός  Απειρία  Ακατάλληλη εκπαίδευση  Ακατάλληλες οδηγίες  Αδυναμία αντίληψης συνθηκών  Συμπεριφορά  Ακατάλληλα standards.  Ακατάλληλες οδηγίες  Λανθασμένη ταυτοποίηση του κινδύνου  Ακατάλληλη αναγνώριση λειτουργικών αναγκών</p>
<p><b>ΠΛΟΗΓΗΣΗ</b></p>	<p>Πλοήγηση σε περιοχές με CATZOC D και U</p>	<p>Αδυναμία ακολούθησης των διαδικασιών.  Ακατάλληλες δικλίδες ασφαλείας.  Αδυναμία ειδοποίησης  Πολυπλοκότητα  Κούραση  Ακατάλληλος χειρισμός  Ακατάλληλη προστασία  Ακατάλληλος έλεγχος  Ακατάλληλος εξοπλισμός  Απειρία  Ακατάλληλη εκπαίδευση  Ακατάλληλες οδηγίες  Αδυναμία αντίληψης συνθηκών  Συμπεριφορά  Ακατάλληλα standards.  Ακατάλληλες οδηγίες  Λανθασμένη ταυτοποίηση του κινδύνου  Ακατάλληλη αναγνώριση λειτουργικών αναγκών</p>

<p><b>ΠΛΟΗΓΗΣΗ</b></p>	<p>Πλοήγηση σε περιοχές με υψηλή κυκλοφορία γιοστ και ψαροκάικων</p>	<p>Αδυναμία ακολούθησης των διαδικασιών.  Ακατάλληλες δικλείδες ασφαλείας.  Αδυναμία ειδοποίησης  Πολυπλοκότητα  Κούραση  Ακατάλληλος χειρισμός  Ακατάλληλη προστασία  Ακατάλληλος έλεγχος  Ακατάλληλος εξοπλισμός  Απειρία  Ακατάλληλη εκπαίδευση  Ακατάλληλες οδηγίες  Αδυναμία αντίληψης συνθηκών  Συμπεριφορά  Ακατάλληλα standards.  Ακατάλληλες οδηγίες  Λανθασμένη ταυτοποίηση του κινδύνου  Ακατάλληλη αναγνώριση λειτουργικών αναγκών  Αδυναμία ταυτοποίησης των πρακτικών της βιομηχανίας</p>
<p><b>ΠΛΟΗΓΗΣΗ</b></p>	<p>Αδυναμία επαρκούς επάνδρωσης της γέφυρας/ του μηχανοστασίου</p>	<p>Αδυναμία ακολούθησης των διαδικασιών.  Ακατάλληλες δικλείδες ασφαλείας.  Αδυναμία ειδοποίησης  Πολυπλοκότητα  Κούραση  Ακατάλληλος χειρισμός  Ακατάλληλη προστασία  Ακατάλληλος έλεγχος  Ακατάλληλος εξοπλισμός  Απειρία  Ακατάλληλη εκπαίδευση  Ακατάλληλες οδηγίες  Αδυναμία αντίληψης συνθηκών  Συμπεριφορά  Ακατάλληλα standards.  Ακατάλληλες οδηγίες  Λανθασμένη ταυτοποίηση του κινδύνου  Ακατάλληλη αναγνώριση λειτουργικών αναγκών  Αδυναμία ταυτοποίησης των πρακτικών της βιομηχανίας</p>
<p><b>ΠΛΟΗΓΗΣΗ</b></p>	<p>Αποτυχία συμπερίληψης στο passage plan των περιορισμών μανούβρας, της γωνίας στροφής, χρόνου τιμόνευσης και σημείων αλλαγής πορείας</p>	<p>Αδυναμία ακολούθησης των διαδικασιών.  Ακατάλληλες δικλείδες ασφαλείας.  Αδυναμία ειδοποίησης  Πολυπλοκότητα  Κούραση  Ακατάλληλος χειρισμός  Ακατάλληλη προστασία  Ακατάλληλος έλεγχος  Ακατάλληλος εξοπλισμός  Απειρία  Ακατάλληλη εκπαίδευση  Ακατάλληλες οδηγίες  Αδυναμία αντίληψης συνθηκών  Συμπεριφορά  Ακατάλληλα standards.</p>

		<p>Ακατάλληλες οδηγίες  Λανθασμένη ταυτοποίηση του κινδύνου  Ακατάλληλη αναγνώριση λειτουργικών αναγκών  Αδυναμία ταυτοποίησης των πρακτικών της βιομηχανίας</p>
<b>ΠΛΟΗΓΗΣΗ</b>	Αποτυχία του λογισμικού του ECDIS	<p>Αδυναμία ακολούθησης των διαδικασιών.  Ακατάλληλες δικλίδες ασφαλείας.  Αδυναμία ειδοποίησης  Ακατάλληλος χειρισμός  Ακατάλληλη τοποθέτηση  Πολυπλοκότητα  Κακή κατάσταση εξοπλισμού  Μη λειτουργικός εξοπλισμός  Ακατάλληλος χειρισμός  Ακατάλληλη προστασία  Ακατάλληλα συστήματα ειδοποίησης  Ακατάλληλος εξοπλισμός  Προβλήματα στις τηλεπικοινωνίες  Απειρία  Ακατάλληλη εκπαίδευση  Ακατάλληλες οδηγίες  Αδυναμία αντίληψης συνθηκών  Συμπεριφορά  Ακατάλληλα standards.  Ακατάλληλες οδηγίες  Λανθασμένη ταυτοποίηση του κινδύνου  Κακή μεταχείριση του εξοπλισμού  Ακατάλληλη αναγνώριση λειτουργικών αναγκών  Αδυναμία ταυτοποίησης των πρακτικών της βιομηχανίας  Ακατάλληλοι προμηθευτές</p>
<b>ΠΡΟΣΔΕΣΗ</b>	Συνδυασμός mooring wires με συνθετικές γραμμές	<p>Αδυναμία ακολούθησης των διαδικασιών.  Ακατάλληλες δικλίδες ασφαλείας.  Ακατάλληλος χειρισμός  Ακατάλληλη τοποθέτηση  Κακή κατάσταση εξοπλισμού  Μη λειτουργικός εξοπλισμός  Ακατάλληλος χειρισμός  Ακατάλληλη προστασία  Ακατάλληλος εξοπλισμός  Απειρία  Ακατάλληλη εκπαίδευση  Ακατάλληλες οδηγίες  Αδυναμία αντίληψης συνθηκών  Συμπεριφορά  Ακατάλληλα standards.  Ακατάλληλες οδηγίες  Λανθασμένη ταυτοποίηση του κινδύνου</p>



		<p>Κακή μεταχείριση του εξοπλισμού  Ακατάλληλος σχεδιασμός  Ακατάλληλη αναγνώριση λειτουργικών αναγκών  Αδυναμία ταυτοποίησης των πρακτικών της βιομηχανίας  Ακατάλληλοι προμηθευτές</p>
<b>ΠΡΟΣΔΕΣΗ</b>	<p>Προσωπικό κοντά στα σχοινιά πρόσδεσης κατά την εφαρμογή του stopper</p>	<p>Αδυναμία ακολούθησης των διαδικασιών.  Ακατάλληλες δικλίδες ασφαλείας.  Αδυναμία ειδοποίησης  Ακατάλληλος χειρισμός  Ακατάλληλη τοποθέτηση  Κακή κατάσταση εξοπλισμού  Μη λειτουργικός εξοπλισμός  Ακατάλληλος χειρισμός  Ακατάλληλη προστασία  Ακατάλληλα συστήματα ειδοποίησης  Απειρία  Ακατάλληλη εκπαίδευση  Ακατάλληλες οδηγίες  Αδυναμία αντίληψης συνθηκών  Ακατάλληλα standards.  Ακατάλληλες οδηγίες  Λανθασμένη ταυτοποίηση του κινδύνου  Ακατάλληλος σχεδιασμός  Ακατάλληλη αναγνώριση λειτουργικών αναγκών  Αδυναμία ταυτοποίησης των πρακτικών της βιομηχανίας</p>
<b>ΠΡΟΣΔΕΣΗ</b>	<p>Φθορά των σχοινιών HMSF λόγω αιχμηρότητας</p>	<p>Αδυναμία ακολούθησης των διαδικασιών.  Ακατάλληλες δικλίδες ασφαλείας.  Αδυναμία ειδοποίησης  Ακατάλληλος χειρισμός  Ακατάλληλη τοποθέτηση  Κακή κατάσταση εξοπλισμού  Μη λειτουργικός εξοπλισμός  Ακατάλληλος χειρισμός  Ακατάλληλη προστασία  Ακατάλληλα συστήματα ειδοποίησης  Ακατάλληλος εξοπλισμός  Δυσμενείς καιρικές συνθήκες  Απειρία  Ακατάλληλη εκπαίδευση  Ακατάλληλες οδηγίες  Αδυναμία αντίληψης συνθηκών  Συμπεριφορά  Ακατάλληλα standards.  Ακατάλληλες οδηγίες  Κακή μεταχείριση του εξοπλισμού  Ακατάλληλος σχεδιασμός</p>

		<p>Ακατάλληλη αναγνώριση λειτουργικών αναγκών  Αδυναμία ταυτοποίησης των πρακτικών της βιομηχανίας</p>
<b>ΠΡΟΣΔΕΣΗ</b>	<p>Αδυναμία δοκιμής της επικοινωνίας με τον σταθμό πρόσδεσης</p>	<p>Αδυναμία ακολούθησης των διαδικασιών.  Ακατάλληλες δικλείδες ασφαλείας.  Αδυναμία ειδοποίησης  Κακή κατάσταση εξοπλισμού  Μη λειτουργικός εξοπλισμός  Ακατάλληλος χειρισμός  Ακατάλληλη προστασία  Ακατάλληλα συστήματα ειδοποίησης  Ακατάλληλος εξοπλισμός  Δυσμενείς καιρικές συνθήκες  Απειρία  Ακατάλληλη εκπαίδευση  Ακατάλληλες οδηγίες  Αδυναμία αντίληψης συνθηκών  Συμπεριφορά  Ακατάλληλα standards.  Ακατάλληλες οδηγίες  Κακή μεταχείριση του εξοπλισμού  Ακατάλληλος σχεδιασμός  Ακατάλληλη αναγνώριση λειτουργικών αναγκών</p>
<b>ΑΓΚΥΡΟΒΟΛΗΣΗ</b>	<p>Ανέτοιμη κύρια μηχανή κατά την αγκυροβόληση</p>	<p>Αδυναμία ακολούθησης των διαδικασιών.  Ακατάλληλες δικλείδες ασφαλείας.  Αδυναμία ειδοποίησης  Ακατάλληλος χειρισμός  Κακή κατάσταση εξοπλισμού  Μη λειτουργικός εξοπλισμός  Ακατάλληλος χειρισμός  Ακατάλληλη προστασία  Ακατάλληλα συστήματα ειδοποίησης  Ακατάλληλος εξοπλισμός  Δυσμενείς καιρικές συνθήκες  Απειρία  Ακατάλληλη εκπαίδευση  Ακατάλληλες οδηγίες  Αδυναμία αντίληψης συνθηκών  Ακατάλληλα standards.  Ακατάλληλες οδηγίες  Κακή μεταχείριση του εξοπλισμού  Ακατάλληλος σχεδιασμός  Ακατάλληλη αναγνώριση λειτουργικών αναγκών  Αδυναμία ταυτοποίησης των πρακτικών της βιομηχανίας</p>

<p style="text-align: center;"><b>ΑΓΚΥΡΟΒΟΛΗΣΗ</b></p>	<p style="text-align: center;">Προσκόλληση της άγκυρας</p>	<p>Αδυναμία ακολούθησης των διαδικασιών.  Ακατάλληλες δικλείδες ασφαλείας.  Αδυναμία ειδοποίησης  Ακατάλληλος χειρισμός  Ακατάλληλη τοποθέτηση  Ακατάλληλη ταχύτητα  Κακή κατάσταση εξοπλισμού  Μη λειτουργικός εξοπλισμός  Ακατάλληλος χειρισμός  Ακατάλληλη προστασία  Ακατάλληλα συστήματα ειδοποίησης  Ακατάλληλος εξοπλισμός  Δυσμενείς καιρικές συνθήκες  Απειρία  Ακατάλληλη εκπαίδευση  Ακατάλληλες οδηγίες  Αδυναμία αντίληψης συνθηκών  Συμπεριφορά  Ακατάλληλα standards.  Ακατάλληλες οδηγίες  Λανθασμένη ταυτοποίηση του κινδύνου  Κακή μεταχείριση του εξοπλισμού  Ακατάλληλος σχεδιασμός  Ακατάλληλη αναγνώριση λειτουργικών αναγκών  Αδυναμία ταυτοποίησης των πρακτικών της βιομηχανίας  Ακατάλληλοι προμηθευτές</p>
--	--	---

#### 4.6. Ανάλυση του Ρίσκου

Ως κομμάτι του Risk Analysis, το εργαλείο διαθέτει κατάλληλο interface για να δίδεται input ενός Risk Matrix ανάλογο του προτεινόμενου (της FSA). Ο χρήστης επιλέγει την συχνότητα και την επικινδυνότητα του κινδύνου τον οποίο εξετάζει, αφού τον αναγνωρίσει, και στη συνέχεια προτείνει τα Risk Control Options που θα μελετηθούν, τα οποία θα δημιουργούν μια δυναμική βιβλιοθήκη που θα χιτίζεται εντός του προγράμματος. Έτσι αυτομάτως ο κάθε κίνδυνος θα συνδέεται με τα Control Options περιορισμού του, με σκοπό την καταγραφή των επιλογών αντιμετώπισης του εκάστοτε κινδύνου.

Στη συνέχεια ακολουθεί prioritization των RCOs, μέσω ranking input που θα μπορεί να γίνεται από πολλούς χρήστες. Θα πρέπει δηλαδή διαφορετικοί χρήστες να μπορούν να αξιολογήσουν την επικινδυνότητα της κατάστασης που εξετάζεται, την αποδοτικότητα των μέτρων αντιμετώπισης του κινδύνου, καθώς και την σειρά με την οποία προτείνουν αυτά να εφαρμοστούν δεδομένων των συνθηκών που επικρατούν στο πλοίο και της ευκολίας εφαρμογής ενός RCO στις συνθήκες αυτές.

#### 4.7. Ποσοτικοποίηση του ρίσκου- η μέθοδος που αναπτύχθηκε

Η χρήση του δείκτη ΔPLL (Μείωση του Potential Loss of Life) προτείνεται από το Formal Safety Assessment σαν μια μέτρηση της αποτελεσματικότητας των Risk Control Options. Πρόκειται για μια αριθμητική προσέγγιση της πιθανότητας η εφαρμογή ενός Control Measure να αποτρέψει την απώλεια μιας ζωής σε ένα ναυτικό ατύχημα. Σε ορισμένες, συγκεκριμένες

μελέτες και Formal Safety Assessments που ο IMO έχει εγκρίνει, γίνεται ο υπολογισμός του ΔPLL για την μείωση της διακινδύνευσης με την εφαρμογή Risk Control Options που αφορούν κυρίως την ασφάλεια πλοίων τύπου Containership από ατυχήματα πλοήγησης και πυρκαγιές, ωστόσο είναι ελάχιστες σε σχέση με το πλήθος των συνθηκών που μπορούν να θέτουν το πλοίο σε κίνδυνο, και επακολούθως των control options που είναι διαθέσιμα για εφαρμογή.

Ωστόσο, είναι δυνατή η εύρεση της συσχέτισης του ΔPLL που οι μελέτες αυτές υπολογίζουν με την ποιοτική αξιολόγηση των εμπειρογνώμων που λαμβάνεται μέσω Risk Matrix. Για τον σκοπό αυτό συγκεντρώθηκαν τα Formal Safety Assessments που έχουν γίνει κατά καιρούς δεκτά από τον IMO, τα οποία διαθέτουν δεδομένα μαθηματικοποίησης της μείωσης της διακινδύνευσης, τα οποία αντιστοιχίζονται εντός του προγράμματος που αναπτύχθηκε με αξιολογήσεις των χρηστών και έτσι το πρόγραμμα δύναται να αντιστοιχίσει το Potential Loss of Life με το Ρίσκο όπως αυτό αξιολογείται ποιοτικά από τους χρήστες του.

Αυτό γίνεται μέσω μιας δυναμικής διαδικασίας παλινδρόμησης, η οποία χρησιμοποιεί ποιοτικές αξιολογήσεις του Frequency και του Consequence για τους κινδύνους των οποίων το ΔPLL έχει μελετηθεί κατόπιν πλήθους αξιολογήσεων Risk Matrix ώστε να βρεθεί μια γραμμική συσχέτιση μιας τιμής ΔR, πριν και μετά την λήψη του υπο μελέτη μέτρου, με το ΔPLL. Το στάδιο αυτό ονομάστηκε 'calibration stage'.

Οι χρήστες-εμπειρογνώμονες καλούνται αρχικά να αξιολογήσουν μια σειρά μέτρων περιορισμού της διακινδύνευσης, δίνοντας με βάση την ειδικότητά τους μια αξιολόγηση της συχνότητας και της συχνότητας εμφάνισης και των συνεπειών πριν και μετά την λήψη των μέτρων αυτών. Οι αξιολογήσεις δίνουν στο εκάστοτε μέτρο που εξετάζονται μια τιμή ΔR με βάση την εξής φόρμουλα:

$$\Delta R = (F1) - (F2) + (S1) - (S2)$$

Όπου

- *F1 η συχνότητα όπως απεικονίζεται στο Frequency Index πριν την εφαρμογή RCO*
- *F2 η συχνότητα όπως απεικονίζεται στο Frequency Index μετά την εφαρμογή RCO*
- *S1 ο δείκτης επίπτωσης όπως απεικονίζεται στο Severity Index πριν την εφαρμογή RCO*
- *S2 ο δείκτης επίπτωσης όπως απεικονίζεται στο Severity Index μετά την εφαρμογή RCO*

Στη συνέχεια το πρόγραμμα εξάγει την ακριβέστερη δυνατή συνάρτηση που συνδέει την δεδομένη τιμή του ΔPLL με τις αξιολογήσεις που δίνουν οι χρήστες για την αποτελεσματικότητα του μέτρου μέσω παλινδρόμησης. Όσο περισσότεροι χρήστες αξιολογούν τα μέτρα αυτά, την αποτελεσματικότητα των οποίων εμείς έχουμε ποσοτικοποιήσει αντλώντας στοιχεία από εγκεκριμένα Formal Safety Assessments, τόσο πιο ακριβής γίνεται η συνάρτηση που συνδέει τον δείκτη των ποιοτικών εμπειρικών αξιολογήσεων ΔR με την τιμή του ΔPLL, το οποίο συνιστά μαθηματικοποιημένο δείκτη αποτελεσματικότητας των μέτρων. Η εφαρμογή συλλέγει δεδομένα και επικαιροποιείται, και με αυξανόμενο πλήθος χρηστών μπορεί να απεικονίσει την προβλεπόμενη στατιστική

αποτελεσματικότητα λαμβάνοντας υπόψιν όλες τις ποιοτικές αξιολογήσεις που του έχουν δοθεί και όχι μεμονομένα της μονάδας που πραγματοποιεί το assessment.

Έτσι, με πλήθος επαναλήψεων και λαμβάνοντας υπόψη την εμπειρογνωμοσύνη των χρηστών μπορεί οποιοδήποτε Risk Control Option εξετάζεται έπειτα από την αναγνώριση ενός κινδύνου που αξιολογείται ως υπαρκτός στο πλοίο την στιγμή του Assessment, να αντιστοιχιστεί με μια τιμή ΔPLL.

Ταυτοχρόνως, σκόπιμο κρίνεται εντός του εργαλείου οι χρήστες που παρέχουν αξιολογήσεις κατά το στάδιο του calibration να χωριστούν με βάση την ειδικότητα τους, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για τις διαφορές στις αξιολογήσεις της αποτελεσματικότητας των μέτρων ανάμεσα στις κύριες ειδικότητες που συχνά πραγματοποιούν risk assessments στον ναυτιλιακό χώρο.

Με βάση τις διαφορετικές συναρτήσεις που θα εξαχθούν για την κάθε ειδικότητα, οι αξιολογήσεις μελλοντικών χρηστών που θα μπαίνουν στην εφαρμογή εισάγοντας την ειδικότητά τους θα αντιστοιχίζονται στην σχέση ΔR-ΔPLL που θα αντιστοιχεί στον ρόλο τους. Μιας και θα έχει εξαχθεί μια ακριβέστερη αρχική σχέση μέσω του calibration stage για τις ειδικότητες αυτές, οι τιμές ΔPLL που θα λαμβάνουν οι χρήστες θα είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα, με αποτέλεσμα το υποκειμενικό στοιχείο να εξαλείφεται.

#### **4.7.1 Συλλογή αποδεκτών μελετών μεταβολής του δείκτη ΔPLL**

Κριτήριο επιλογής των μετρήσεων ΔPLL που θα χρησιμοποιηθούν εντός του προγράμματος είναι εάν αυτές οι μετρήσεις έγιναν αποδεκτές από την αρμόδια αρχή του Οργανισμού Ναυσιπλοΐας [15] [14] [16]. Αυτό εξασφαλίζει ακρίβεια στην εξαγωγή της συνάρτησης και συμβατότητα με τα διεθνή Standards. Στόχος ήταν η δημιουργία ενός ερωτηματολογίου που θα μοιραζόταν σε εμπειρογνώμονες, το οποίο θα αποτελούνταν από ικανοποιητικό αριθμό Risk Control Measures των οποίων το ΔPLL γνωρίζαμε. Το λογισμικό το οποίο δημιουργήθηκε παρέχει την δυνατότητα επικαιροποίησης των επιστημονικών στοιχείων των αποδεκτών μελετών στο μέλλον σε περίπτωση που η εμφάνιση νέων τεχνολογιών ή η απαίτηση για ακριβέστερες, πιο σύγχρονες μελέτες καθιστούν μια τέτοια διαδικασία αναγκαία.

Ως εκ τούτου σχηματίστηκε ο πίνακας 6:

Πίνακας 6: Μετρήσεις του ΔPLL στα πλαίσια Formal Safety Assessment [15] [14] [16]

HAZARD	RCO	ΔPLL (fatalities/ship year)
Πρόσκρουση/ γείωση λόγω κακού σχεδιασμού, ελέγχου, εξοπλισμού και χαρτών	1) Εγκατάσταση ECDIS,AIS και RADAR	3.75E-04
Αποτυχία του Radar	2) Εγκατάσταση δεύτερου Radar	8.69E-05
Εξάντληση λόγω βάρδιας	3) Υψηλότερες απαιτήσεις επάνδρωσης βάρδιας	2.30E-04
Κακή ορατότητα στη γέφυρα/ απόσπαση προσοχής	4) Αναδιαμόρφωση/ εργονομικός σχεδιασμός γέφυρας	1.82E-05
Αποτυχία των Radar	5) Εγκατάσταση τρίτου RADAR	8.69E-05
Πρόσκρουση/ γείωση σε ποτάμι, κανάλι ή ντόκο	6) Βελτίωση του σχεδιασμού και του χειρισμού της πλοήγησης σε περιοχές με περιορισμένη δυνατότητα ελιγμών από τον πιλότο και τον πλοίαρχο	2.50E-05
Πρόσκρουση/ γείωση σε ποτάμι, κανάλι ή ντόκο	7) Κάρτα πιλότου	1.09E-05
Περιορισμένη επίγνωση των συνθηκών και απόσπαση προσοχής του προσωπικού βάρδιας. Κακή επικοινωνία μεταξύ του πιλότου και των αξιωματικών βάρδιας.	8) Εγκατάσταση Voyage Data Recorder	3.30E-05
Βύθιση	9) Weather routing (δρομολόγηση με βάση τα καιρικά φαινόμενα)	7.74E-04
Απώλεια ευστάθειας λόγω μετακίνησης φορτίου/ διάτρηση τοιχωμάτων	10) Βελτίωση της τοποθέτησης του φορτίου	9.76E-04
Διάβρωση/ διαρροή του κελύφους	11) Αύξηση των απαιτήσεων παχυμέτρησης για σημεία με δύσκολη πρόσβαση	4.70E-04
Διάβρωση/ διαρροή του κελύφους	12) Βελτίωση των ελέγχων Port State Control	1.10E-03
Διάβρωση/ διαρροή του κελύφους	13) Εκπαίδευση των επιθεωρητών του Port State Control	1.10E-03

Απώλεια ευστάθειας όταν η ανταλλαγή έρματος λαμβάνει χώρα σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες	14) Μείωση της χωρητικότητας των Ballast Tanks	9.14E-05
Απώλεια στεγανότητας	15) Βελτίωση των επιθεωρήσεων	4.26E-04
Σύρσιμο της άγκυρας	16) Εκπαίδευση προσομοίωσης	3.01E-05
Εξάντληση	17) Αλλαγή βάρδιας ανά 4 ώρες	4.18E-05
Αδυναμία χρήσης του ECDIS	18) Εκπαίδευση αξιωματικών στον συγκεκριμένο τύπο ECDIS	2.72E-04
Σύρσιμο της άγκυρας μη αντιληπτό	19) Συνδυασμό του ECDIS με anchoring watch alarm	5.41E-05
Ακατάλληλες εργασίες συντήρησης πχ συγκόλληση παρουσία λαδιών	20) Προτεινόμενες λίστες για εργασίες συντήρησης	1.62E-04
Φωτιά σε καμπίνες	21) Ανιχνευτές καπνού στις καμπίνες	4.63E-05
Απενεργοποίηση του συναγερμού βάρδιας	22) Συνδυασμός συναγερμού βάρδιας με αυτόματο πιλότο	6.94E-05

Στη συνέχεια ακολούθησε η συγκέντρωση των ποιοτικών αξιολογήσεων των εμπειρογνομόνων και η κατηγοριοποίηση τους με βάση τον τίτλο τους εντός των εταιρειών.

Αυτό πραγματοποιήθηκε αρχικά μέσω ερωτηματολογίων στα οποία η επίδραση των Risk Control Options στην μείωση του συνολικού ρίσκου αξιολογείται ποιοτικά όπως ακριβώς και εντός της εφαρμογής, με σκοπό να ληφθούν ορισμένα αρχικά δεδομένα για την λειτουργία του προγράμματος. Τα αποτελέσματα και η ανάλυση των αξιολογήσεων των ειδικών παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4.

Έχοντας στο σημείο αυτό υπολογίσει από τις αξιολογήσεις που έχουν δώσει οι χρήστες το ΔR των RCO των οποίων γνωρίζουμε το ΔPLL, προχωρούμε σε παλινδρόμηση για την εύρεση της ζητούμενης συνάρτησης.

#### 4.7.2 Κωδικοποίηση Γραμμικής Παλινδρόμησης

Στη στατιστική, η γραμμική παλινδρόμηση είναι μια προσέγγιση για τη μοντελοποίηση της σχέσης μεταξύ μιας βαθμωτής εξαρτημένης μεταβλητής  $Y$  και μία ή περισσότερες επεξηγηματικές μεταβλητές (ή ανεξάρτητη μεταβλητή) συμβολίζεται  $X$ . Περίπτωση μιας επεξηγηματικής μεταβλητής ονομάζεται απλή γραμμική παλινδρόμηση. Για περισσότερες από μία επεξηγηματικές μεταβλητές, η διαδικασία ονομάζεται πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση.

Στην περίπτωση μας, ο άξονας  $X$  αναπαριστά τις αξιολογήσεις των χρηστών μέσω της μεταβλητής  $\Delta R$ , και ο άξονας  $Y$  τις πραγματικές τιμές  $\Delta PLL$  των RCOs. Το  $\Delta R$  λαμβάνει συνεχώς δεδομένα από τους χρήστες, με αποτέλεσμα η συνάρτηση που εξάγεται να αλλάζει. Η παλινδρόμηση η οποία ακολουθείται έχει την μορφή:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \epsilon_i$$

Όπου:

- $Y_i$  η τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής ( $\Delta PLL$ )
- $X_i$  η τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής ( $\Delta R$ )
- $\beta_0$  το σημείο τομής του άξονα της  $Y$  από τη γραμμή παλινδρόμησης (intercept)
- $\beta_1$  η κλίση της γραμμής παλινδρόμησης (slope)
- $\epsilon_i$  σφάλμα ή κατάλοιπο, δηλαδή η διαφορά μεταξύ της πραγματικής τιμής της  $Y$  και της τιμής της πρόβλεψης που προκύπτει από το υπόδειγμα

Είναι προφανές πως είναι αδύνατον η συνάρτηση που θα εξαχθεί να ικανοποιεί ταυτόχρονα τις τιμές  $\Delta R$  και  $\Delta PLL$  των μεμονομένων σημείων που έχουν εισαχθεί στο πρόγραμμα. Μέσω της γραμμικής παλινδρόμησης, το πρόγραμμα επιχειρεί να βρει την πιο ικανοποιητική εξίσωση, που ελαχιστοποιεί τα σφάλματα, την απόσταση δηλαδή της συνάρτησης από τα σημεία αυτά κατά τον άξονα  $Y$ .



## Συντελεστής συσχέτισης και διαγράμματα διασποράς

Η συσχέτιση μεταξύ δύο τυχαίων μεταβλητών είναι ένα μέτρο της γραμμικής ή πολυωνυμικής σχέσης που υπάρχει μεταξύ τους. Πρακτικά, αποτελεί μια ένδειξη για το αν οι δύο μεταβλητές κινούνται μαζί σε μια γραμμή. Η συσχέτιση μεταξύ των  $X$  και  $Y$  είναι η ίδια με τη συσχέτιση μεταξύ των  $Y$  και  $X$ .

Η ποσοτική μέτρηση της έντασης της γραμμικής σχέσης μεταξύ δύο μεταβλητών δύο δειγμάτων ονομάζεται συντελεστής συσχέτισης,  $r$  (correlation coefficient). Η εκτίμηση του συντελεστή συσχέτισης προκύπτει ως εξής:

$$r = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2} \sqrt{\sum(Y - \bar{Y})^2}}$$

Όπου:

- $r$  η εκτίμηση του συντελεστή συσχέτισης
- $X$  οι τιμές της ανεξάρτητης μεταβλητής
- $\bar{X}$  η μέση τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής
- $Y$  οι τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής
- $\bar{Y}$  η μέση τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής

Ο συντελεστής συσχέτισης είναι αριθμός, δεν εκφράζεται σε συγκεκριμένες μονάδες μέτρησης και είναι ανεξάρτητος των μονάδων μέτρησης των μεταβλητών  $X$  και  $Y$ .

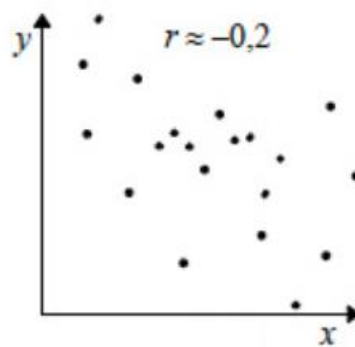
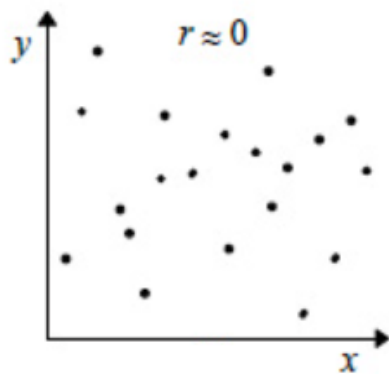
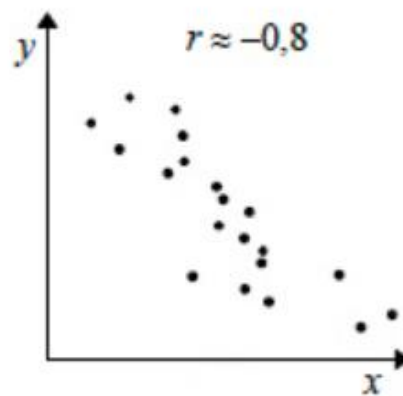
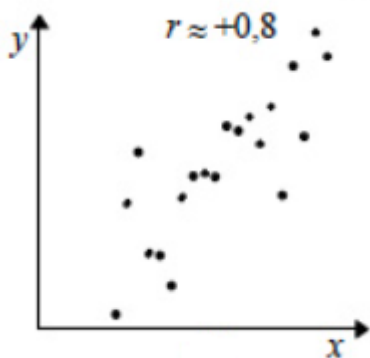
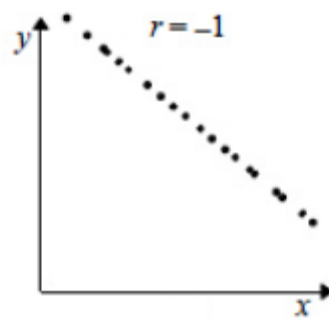
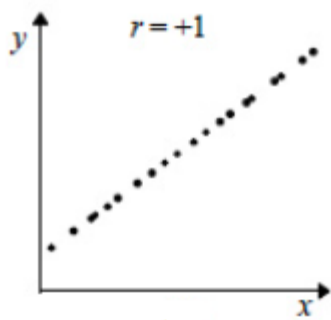
Επιπλέον ισχύει:

$$-1 \leq r \leq 1$$

Συγκεκριμένα όταν:

- $0 < r < 1$  , οι  $X, Y$  είναι θετικά συσχετισμένες
- $-1 < r < 0$  , οι  $X, Y$  είναι αρνητικά συσχετισμένες
- $r = +1$  , τότε έχουμε τέλεια θετική γραμμική συσχέτιση (όλα τα σημεία ανήκουν σε μια ευθεία με θετική κλίση)
- $r = -1$  , τότε έχουμε τέλεια αρνητική γραμμική συσχέτιση (όλα τα σημεία ανήκουν σε μια ευθεία με αρνητική κλίση)
- $r = 0$  , τότε δεν υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών

Τα παραπάνω αναπαριστώνται στα εξής διαγράμματα:



Σχήμα 16: Διαγράμματα συσχέτισης

*Συντελεστής Προσδιορισμού*

Το πιο ουσιαστικό ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί πριν χρησιμοποιηθεί μια εξίσωση παλινδρόμησης αφορά τη προβλεπτική ικανότητα της εξίσωσης και το ποσοστό των μεταβολών της εξαρτημένης μεταβλητής  $Y$  οφείλεται στις επιδράσεις της  $X$ .

Αυτό θα καθορίσει και πόσο μπορούμε να εμπιστευτούμε τα αποτελέσματα μιας πρόβλεψης με βάση την εξίσωση παλινδρόμησης. Το ποσοστό της συνολικής μεταβλητότητας της  $Y$  που εξηγείται από την εξίσωση παλινδρόμησης, το οποίο ονομάζεται συντελεστής προσδιορισμού, συμβολίζεται με  $R^2$  :

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{Y} - \hat{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2}$$

Ο τύπος αυτός είναι καθολικός, αλλά απλούστερα για γραμμικές παλινδρομήσεις λαμβάνουμε:

$$R^2 = r^2$$

Όπου  $r$  ο συντελεστής συσχέτισης που αναλύθηκε προηγουμένως.

### 4.7.3 Κωδικοποίηση Πολυωνυμικής Παλινδρόμησης

Αντίστοιχα με την γραμμική παλινδρόμηση, η πολυωνυμική παλινδρόμηση αποτελεί μια μέθοδο προσέγγισης της συσχέτισης δύο μεταβλητών με τη χρήση ενός πολυωνύμου. Η εκτίμηση των παραμέτρων γίνεται με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων όπως και για το γραμμικό μοντέλο παλινδρόμησης γιατί ενώ η πολυωνυμική συνάρτηση παλινδρόμησης είναι μη-γραμμική ως προς την ανεξάρτητη μεταβλητή  $x$ , είναι γραμμική ως προς τους συντελεστές του πολυωνύμου.

Στο μοντέλο που αναπτύχθηκε επιλέχθηκε η σύγκριση της συσχέτισης των  $\Delta R$  και  $\Delta PLL$  που εξήχθη μέσω γραμμικής και πολυωνυμικής παλινδρόμησης των εισαγόμενων δεδομένων.

### 4.7.4 Αποκλεισμός τιμών αξιολογήσεων από το μοντέλο

Κοινή πρακτική στα μοντέλα παλινδρόμησης είναι ο αποκλεισμός τιμών οι οποίες απέχουν από την αναπτυσσόμενη συνάρτηση σε βαθμό που το να συγκαταλεγούν έχει αρνητική επίπτωση στην ακρίβεια της προβλεπόμενης εξίσωσης. Στην περίπτωση του μοντέλου που αναπτύχθηκε πραγματοποιείται αποκλεισμός τέτοιων τιμών κατά το στάδιο των αρχικών αξιολογήσεων των ειδικών, κατά τον εξής τρόπο:

Η μέθοδος της πολυωνυμικής παλινδρόμησης χρησιμοποιεί ζεύγη συντεταγμένων που προέρχονται από δύο λίστες, των τετμημένων και των τεταγμένων. Πριν όμως η παλινδρόμηση ολοκληρωθεί, τιμές οι οποίες αποκλίνουν σημαντικά από τις υπόλοιπες και

ως εκ τούτου επηρεάζουν αρνητικά την ακρίβεια της παλινδρόμησης αποκλείονται. Οι τιμές αυτές ονομάζονται outliers. Ο τρόπος με τον οποίο η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα επεξηγείται στη συνέχεια.

Το πρόγραμμα παλινδρόμησης αποκλείει outliers υπολογίζοντας τα υπόλοιπα των διαφορών μεταξύ των προβλεπόμενων τεταγμένων και των πραγματικών τεταγμένων (residuals). Στη συνέχεια υπολογίζει το δεδομένο σφάλμα (standard error), που είναι μέτρο της διαφοροποίησης των διάφορων residuals. Όσα σημεία των οποίων τα residuals είναι μεγαλύτερα από ένα συγκεκριμένο γινόμενο των δεδομένων σφαλμάτων αποκλείονται από την παλινδρόμηση.

Συγκεκριμένα, το δεδομένο σφάλμα υπολογίζεται ως:

$$standard\ error = \sqrt{\frac{\sum(residuals)^2}{(\alphaριθμός\ σημείων - βαθμός\ της\ παλινδρόμησης - 1)}}$$

Όπου ο βαθμός της παλινδρόμησης είναι 2. Στη συνέχεια συγκρίνει κάθε residual με το γινόμενο του standard error με τον μέγιστο αριθμό outliers που οριοθετούμε (εν προκειμένω 2) και αποκλείει τα σημεία των οποίων το residual ξεπερνά το όριο αυτό.

Για την γραμμική παλινδρόμηση χρησιμοποιούνται τρεις παράμετροι: αυτές των τετμημένων (xValues), αυτές των τεταγμένων (yValues) και η παράμετρος outlierTolerance, η οποία αναπαριστά το επίπεδο ανοχής των outliers. Για κάθε ζεύγος σημείων δημιουργείται μια νέα λίστα σημείων με αύξουσες τετμημένες και υπολογίζει τα slope και intercept της γραμμικής παλινδρόμησης.

Στην συνέχεια υπολογίζει τα residuals κατά τον ίδιο τρόπο καθώς και το standard error και τον συντελεστή προσδιορισμού. Στη συνέχεια για κάθε σημείο ελέγχει εάν το residual ξεπερνά το γινόμενο του outlierTolerance με το standard error και εάν αυτό συμβαίνει, το σημείο αποκλείεται από την παλινδρόμηση.

#### 4.8. Ιεράρχηση εφαρμογής μέτρων περιορισμού ρίσκου

Η προτεινόμενη σειρά εφαρμογής των RCOs εντός της εφαρμογής πραγματοποιείται με βάση τη μέθοδο που παρουσιάζεται στο Appendix 9 του FSA με τίτλο 'DEGREE OF AGREEMENT BETWEEN EXPERTS CONCORDANCE MATRIX', ως εξής:

Υποθέτοντας πως ένα πλήθος εμπειρογνομόνων J έχουν οριστεί να βαθμονομήσουν έναν πλήθος I Control Options με βάση την σειρά με την οποία θα εφαρμοστούν, χρησιμοποιώντας τους φυσικούς αριθμούς (1, 2, 3, ... , I). Ο Εμπειρογνώμονας "j" αντιστοιχίζει με το rank xij στο option I. Ο δείκτης concordance coefficient "W" υπολογίζεται ως εξής [1]:

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^I \left[ \sum_{j=1}^J x_{ij} - \frac{1}{2} J(I+1) \right]^2}{J^2 (I^3 - I)}$$

Ο δείκτης παίρνει τιμές από 0 έως 1. W=0 υποδεικνύει πως υπάρχει πλήρης διαφωνία μεταξύ των ειδικών και W=1 πως όλοι οι ειδικοί χρησιμοποίησαν την ίδια σειρά implementation των Risk Control Options. Στο Σχήμα 17 παρουσιάζεται παράδειγμα υπολογισμού του συντελεστή.

Table 1: Group of experts with high degree of agreement										
Hazards \ Experts	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	3	4	2	5	6	8	10	7	9
2	2	3	1	5	4	6	7	8	9	10
3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	2	1	4	3	6	5	7	8	10	9
5	2	3	1	4	5	6	8	10	9	7
6	1	2	4	3	5	7	6	8	9	10
$\sum x_{ij}$	9	14	17	21	30	36	43	52	53	55

\* Numbers correspond to the initial list of hazards.

Σχήμα 17: Παράδειγμα πίνακα υπολογισμού του W. Προκύπτει W=0.909 [1]

## 5. Αποτελέσματα της μεθόδου

Για την δοκιμή της εφαρμογής και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων ζητήθηκε από 9 συμμετέχοντες ειδικούς η αξιολόγηση των 22 Risk Control Options που παρουσιάστηκαν στον πίνακα 6, εντός της εφαρμογής. Οι συμμετέχοντες επιλέχθηκαν με βάση την ιδιότητα τους, και χωρίστηκαν σε 3 κατηγορίες:

- Τρεις εν ενεργεία πλοίαρχοι πλοίων εμπορευματοκιβωτίων
- Τρεις εν ενεργεία πρώτοι μηχανικοί πλοίων εμπορευματοκιβωτίων
- Τρεις εν ενεργεία τεχνικοί διευθυντές εταιρειών διαχείρισης πλοίων εμπορευματοκιβωτίων

Συμπληρώθηκαν οι πίνακες αξιολόγησης της διακινδύνευσης χωρίς να γίνει μεταξύ τους αλληλεπίδραση και εξετάστηκε η μεταβολή της συνάρτησης παλινδρόμησης των αξιολογήσεών τους και η μεταβολή του συντελεστή συσχέτισης.

### 5.1. Παρουσίαση των τιμών αξιολόγησης

Για λόγους συντομίας εντός των πινάκων χρησιμοποιούνται οι εξής συμβολισμοί:

- RCO 1, 2, 3... ο αριθμός που δόθηκε στο κάθε Risk Control Option όπως φαίνεται στον πίνακα 6
- C1, C2, C3 ο εκάστοτε Πλοίαρχος που συμμετείχε
- E1, E2, E3 ο εκάστοτε πρώτος μηχανικός
- TD1, TD2, TD3 ο εκάστοτε τεχνικός διευθυντής

Οι αξιολογήσεις τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 7. Συμπεριλαμβάνεται και υπολογισμός του δείκτη:

$$\Delta R = (F1 - F2) + (S1 - S2)$$

Πίνακας 7: Αξιολογήσεις των εμπειρογνομόνων

RCO 1	C1	C2	C3	E1	E2	E3	TD1	TD2	TD3
F1	3	3	4	4	5	4	4	3	4
S1	7	6	6	8	8	7	6	7	6
F2	1	1	2	3	4	3	2	1	1
S2	6	4	4	6	7	6	5	6	5
ΔR	3	4	4	3	2	2	3	3	4

RCO 2	C1	C2	C3	E1	E2	E3	TD1	TD2	TD3
F1	3	5	4	4	4	3	4	3	3
S1	5	4	4	5	6	7	4	7	6
F2	2	4	3	3	3	2	3	2	2
S2	5	4	3	5	6	6	3	6	6
ΔR	1	1	2	1	1	2	2	2	1

RCO 3	C1	C2	C3	E1	E2	E3	TD1	TD2	TD3
F1	5	4	4	6	6	5	3	4	4
S1	2	3	3	3	3	3	4	5	3
F2	4	2	3	4	4	3	2	2	3
S2	1	2	2	2	2	2	4	4	3
ΔR	2	3	2	3	3	3	1	3	1

RCO 4	C1	C2	C3	E1	E2	E3	TD1	TD2	TD3
F1	6	7	7	6	5	6	5	4	6
S1	2	2	3	3	3	2	2	2	4
F2	5	6	5	5	4	5	4	3	5
S2	2	2	3	3	3	2	2	2	4
ΔR	1	1	2	1	1	1	1	1	1

RCO 5	C1	C2	C3	E1	E2	E3	TD1	TD2	TD3
F1	3	4	4	3	3	3	4	3	3
S1	5	4	4	5	6	7	4	7	6
F2	2	3	3	2	2	2	3	2	2
S2	5	4	3	5	6	6	3	6	6
ΔR	1	1	2	1	1	2	2	2	1

RCO 6	C1	C2	C3	E1	E2	E3	TD1	TD2	TD3
F1	3	2	3	3	3	3	2	2	3
S1	7	6	6	6	5	6	6	5	7
F2	2	2	2	2	2	2	1	1	2
S2	7	5	6	6	5	5	6	5	7
ΔR	1	1	1	1	1	2	1	1	1

RCO 7	C1	C2	C3	E1	E2	E3	TD1	TD2	TD3
F1	4	4	4	3	2	3	3	4	4
S1	7	6	7	6	5	6	6	6	7
F2	3	3	3	2	1	2	2	3	3
S2	7	6	6	6	5	6	6	6	7
ΔR	1	1	2	1	1	1	1	1	1

RCO 8	C1	C2	C3	E1	E2	E3	TD1	TD2	TD3
F1	6	5	4	5	4	4	5	6	6
S1	4	3	3	4	2	3	3	4	3
F2	5	4	3	4	3	3	4	5	5
S2	4	3	3	4	2	2	3	4	3
ΔR	1	1	1	1	1	2	1	1	1

RCO 9	C1	C2	C3	E1	E2	E3	TD1	TD2	TD3
F1	2	2	3	4	4	3	2	3	4
S1	5	6	7	6	7	6	6	7	6
F2	1	1	1	2	2	1	1	1	2
S2	2	3	3	4	5	3	4	6	4
$\Delta R$	4	4	6	4	4	5	3	3	4

RCO 10	C1	C2	C3	E1	E2	E3	TD1	TD2	TD3
F1	3	4	5	4	5	4	4	5	3
S1	5	6	5	5	6	5	6	5	6
F2	1	2	2	2	3	2	2	2	1
S2	3	4	2	3	3	3	4	3	3
$\Delta R$	4	4	6	4	5	4	4	5	5

RCO 11	C1	C2	C3	E1	E2	E3	TD1	TD2	TD3
F1	4	5	3	5	4	4	4	3	5
S1	4	5	5	5	4	5	4	5	3
F2	2	2	2	3	2	3	2	2	2
S2	3	4	4	3	3	3	3	2	2
$\Delta R$	3	4	2	4	3	3	3	4	4

RCO 12	C1	C2	C3	E1	E2	E3	TD1	TD2	TD3
F1	3	3	4	4	4	3	4	3	3
S1	6	5	6	7	6	7	6	5	5
F2	1	2	2	2	2	2	2	2	1
S2	3	2	2	4	4	4	2	2	2
$\Delta R$	5	4	6	5	4	4	6	4	5

RCO 13	C1	C2	C3	E1	E2	E3	TD1	TD2	TD3
F1	3	3	4	4	4	3	4	3	3
S1	6	5	6	7	6	7	6	5	5
F2	1	2	2	2	2	2	2	2	1
S2	3	2	2	4	4	4	2	2	2
$\Delta R$	5	4	6	5	4	4	6	4	5

RCO 14	C1	C2	C3	E1	E2	E3	TD1	TD2	TD3
F1	3	4	3	3	4	4	3	4	3
S1	3	3	3	3	3	3	2	3	4
F2	2	3	2	2	2	2	2	3	2
S2	3	3	3	3	3	3	2	3	3
$\Delta R$	1	1	1	1	2	2	1	1	2

RCO 15	C1	C2	C3	E1	E2	E3	TD1	TD2	TD3
F1	4	3	4	3	4	3	5	4	6
S1	6	7	6	6	5	7	4	3	3
F2	3	2	3	2	3	2	4	3	5
S2	6	6	6	5	5	6	4	3	3
$\Delta R$	1	2	1	2	1	2	1	1	1

RCO 16	C1	C2	C3	E1	E2	E3	TD1	TD2	TD3
F1	4	3	4	2	2	3	2	3	4
S1	4	4	2	3	4	4	5	4	2
F2	3	2	3	1	1	2	1	2	3
S2	4	4	2	3	4	4	4	3	2
$\Delta R$	1	1	1	1	1	1	2	2	1

RCO 17	C1	C2	C3	E1	E2	E3	TD1	TD2	TD3
F1	4	4	3	5	5	2	3	4	3
S1	3	4	4	3	4	3	3	5	6
F2	3	2	2	3	3	1	2	3	2
S2	1	4	2	3	2	3	2	5	6
$\Delta R$	3	2	3	2	4	1	2	1	1



RCO 18	C1	C2	C3	E1	E2	E3	TD1	TD2	TD3
F1	3	4	3	3	4	4	3	4	4
S1	5	5	5	5	4	5	5	5	5
F2	1	1	2	2	2	3	1	1	2
S2	5	4	4	3	4	3	3	4	3
$\Delta R$	2	4	2	3	2	3	4	4	4

RCO 19	C1	C2	C3	E1	E2	E3	TD1	TD2	TD3
F1	4	3	4	5	3	3	5	3	5
S1	5	4	4	4	3	4	4	3	3
F2	2	2	2	3	2	2	3	2	3
S2	4	4	4	2	2	4	4	2	3
$\Delta R$	3	1	2	4	2	1	2	2	2

RCO 20	C1	C2	C3	E1	E2	E3	TD1	TD2	TD3
F1	4	4	5	5	5	3	4	5	5
S1	3	4	3	4	4	4	3	4	4
F2	2	2	3	3	2	2	3	4	3
S2	2	2	2	2	4	2	2	3	1
$\Delta R$	3	4	3	4	3	3	2	2	5

RCO 21	C1	C2	C3	E1	E2	E3	TD1	TD2	TD3
F1	2	3	3	2	3	2	3	2	3
S1	6	6	6	6	6	6	5	6	6
F2	1	2	3	1	1	1	1	1	2
S2	5	6	4	4	5	5	4	3	5
$\Delta R$	2	1	2	3	3	2	3	4	2

RCO 22	C1	C2	C3	E1	E2	E3	TD1	TD2	TD3
F1	4	4	4	3	4	3	4	2	3
S1	3	3	4	5	3	4	3	4	5
F2	2	2	2	2	1	1	2	1	2
S2	3	3	3	3	2	3	2	2	3
$\Delta R$	2	2	3	3	4	3	3	3	3

Χρησιμοποιώντας τις τιμές που μας δόθηκαν λαμβάνουμε τις εξής αντιστοιχίσεις μεταξύ του παράγοντα  $\Delta R$  και του  $\Delta PLL$  (Πίνακας 8):

Πίνακας 8: Συλλογή σημείων

RCO No	ΔPLL (fatalities/shipyear)	C1	C2	C3	E1	E2	E3	TD1	TD2	TD3
1	0,000375	3	4	4	3	2	2	3	3	4
2	0,0000869	1	1	2	1	1	2	2	2	1
3	0,00023	2	3	2	3	3	3	1	3	1
4	0,0000182	1	1	2	1	1	1	1	1	1
5	0,0000869	1	1	2	1	1	2	2	2	1
6	0,000025	1	1	1	1	1	2	1	1	1
7	0,0000109	1	1	2	1	1	1	1	1	1
8	0,000033	1	1	1	1	1	2	1	1	1
9	0,000774	4	4	6	4	4	5	3	3	4
10	0,000976	4	4	6	4	5	4	4	5	5
11	0,00047	3	4	2	4	3	3	3	4	4
12	0,0011	5	4	6	5	4	4	6	4	5
13	0,0011	5	4	6	5	4	4	6	4	5
14	0,0000914	1	1	1	1	2	2	1	1	2
15	0,000426	1	2	1	2	1	2	1	1	1
16	0,0000301	1	1	1	1	1	1	2	2	1
17	0,0000418	3	2	3	2	4	1	2	1	1
18	0,000272	2	4	2	3	2	3	4	4	4
19	0,0000541	3	1	2	4	2	1	2	2	2
20	0,000162	3	4	3	4	3	3	2	2	5
21	0,0000463	2	1	2	3	3	2	3	4	2
22	0,0000694	2	2	3	3	4	3	3	3	3

## 5.2. Εφαρμογή παλινδρομήσεων

Στη συνέχεια μέσω της εφαρμογής πραγματοποιείται γραμμική και πολυωνυμική παλινδρόμηση για τις τρεις ιδιότητες των συμμετεχόντων ειδικών. Παρουσιάζεται ακολούθως η εξέλιξη των εξισώσεων παλινδρόμησης με την εισαγωγή των αξιολογήσεων του πρώτου πλοιάρχου, στη συνέχεια και του δεύτερου, και τέλος του τρίτου, και αντιστοίχως για τις υπόλοιπες ιδιότητες. Αυτό θα μας βοηθήσει να προσδιορίσουμε την μεταβολή της σχέσης των αξιολογήσεων με το ΔPLL όσο εισάγονται περισσότερα δεδομένα από τους χρήστες καθώς και τις τάσεις διαφοροποίησης των αποτελεσμάτων ανάλογα με την ιδιότητα των εμπειρογνομόνων.

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται διαγραμματικά οι τιμές που εξήχθησαν και παρουσιάζονται στον πίνακα που προηγήθηκε (πίνακας 8) μαζί με την συνάρτηση που προσδιορίζεται μέσω της παλινδρόμησης.

### 5.2.1 Αξιολογήσεις Πλοιάρχων

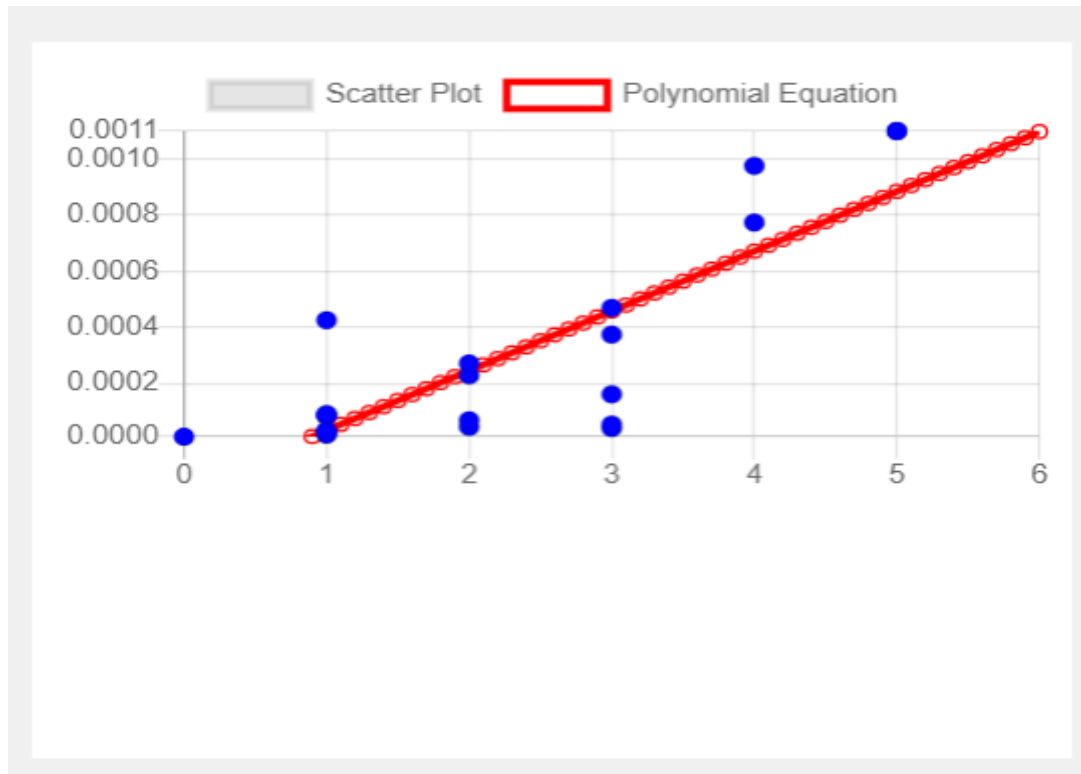
Με την χρήση των αξιολογήσεων του πρώτου ερωτηθέντος πλοιάρχου, λαμβάνουμε την εξής συνάρτηση γραμμικής παλινδρόμησης:

$$\Delta PLL = 0.000213 * \Delta R - 0.0001795$$

Ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει την τιμή:

$$R_{\text{squared}}=0.6779$$

Οι αξιολογήσεις του πρώτου ερωτηθέντος πλοίαρχου απεικονίζονται διαγραμματικά στην Σχήμα 18:



Σχήμα 18: Γραμμική Παλινδρόμηση- Πλοίαρχος 1

Το πρόγραμμα δεν εξαιρεί εν προκειμένω κάποια τιμή αξιολόγησης.

Όπως αναμένουμε, η σχέση που εξάγεται έχει αύξουσα κλίση, δηλαδή αύξηση της αποτελεσματικότητας ενός μέτρου κατά την γνώμη του ειδικού όντως αντιστοιχεί σε αύξηση του ΔPLL.

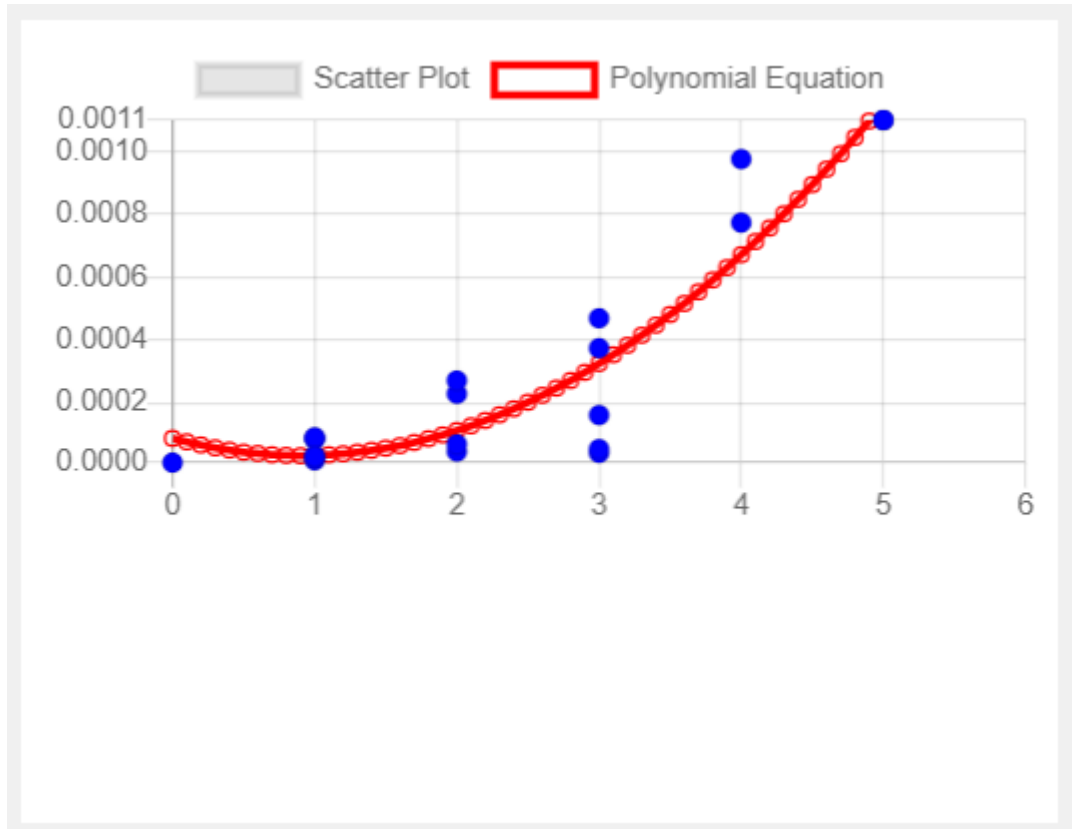
Το πρόγραμμα ταυτοχρόνως εξάγει την εξής συνάρτηση πολυωνυμικής παλινδρόμησης:

$$\Delta PLL = 0.0000883 - 0.000121 * \Delta R + 0.000067 * \Delta R ^ 2$$

Ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει την τιμή:

$$Rsquared=0.8657$$

Οι αξιολογήσεις του πρώτου ερωτηθέντος πλοίαρχου απεικονίζονται διαγραμματικά στο Σχήμα 19:



Σχήμα 19: Πολυωνυμική Παλινδρόμηση- Πλοίαρχος 1

Οι τιμές που το πρόγραμμα εξαιρεί είναι:

- $(\Delta R, \Delta PLL) = (1, 0.000426)$

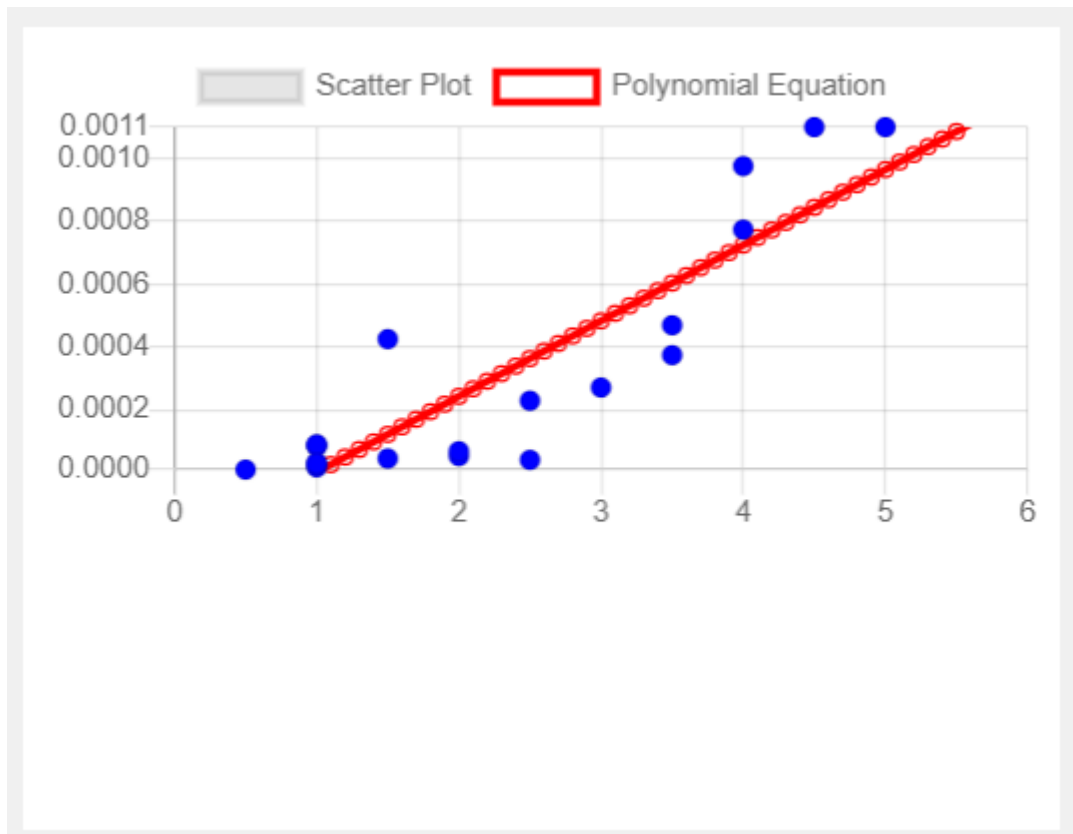
Προσθέτοντας τις τιμές και του δεύτερου ερωτηθέντος πλοίαρχου, λαμβάνουμε την συνάρτηση γραμμικής παλινδρόμησης:

$$\Delta PLL = 0.000188 * \Delta R - 0.000213$$

Ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει την τιμή:

$$R_{\text{squared}} = 0.7875$$

Οι αξιολογήσεις των πρώτων δύο ερωτηθέντων πλοίαρχων απεικονίζονται διαγραμματικά στο Σχήμα 20:



Σχήμα 20: Γραμμική Παλινδρόμηση- Πλοίαρχοι 1 και 2

Οι τιμές που το πρόγραμμα εξαιρεί είναι:

- $(\Delta R, \Delta PLL) = (4, 0.000162)$

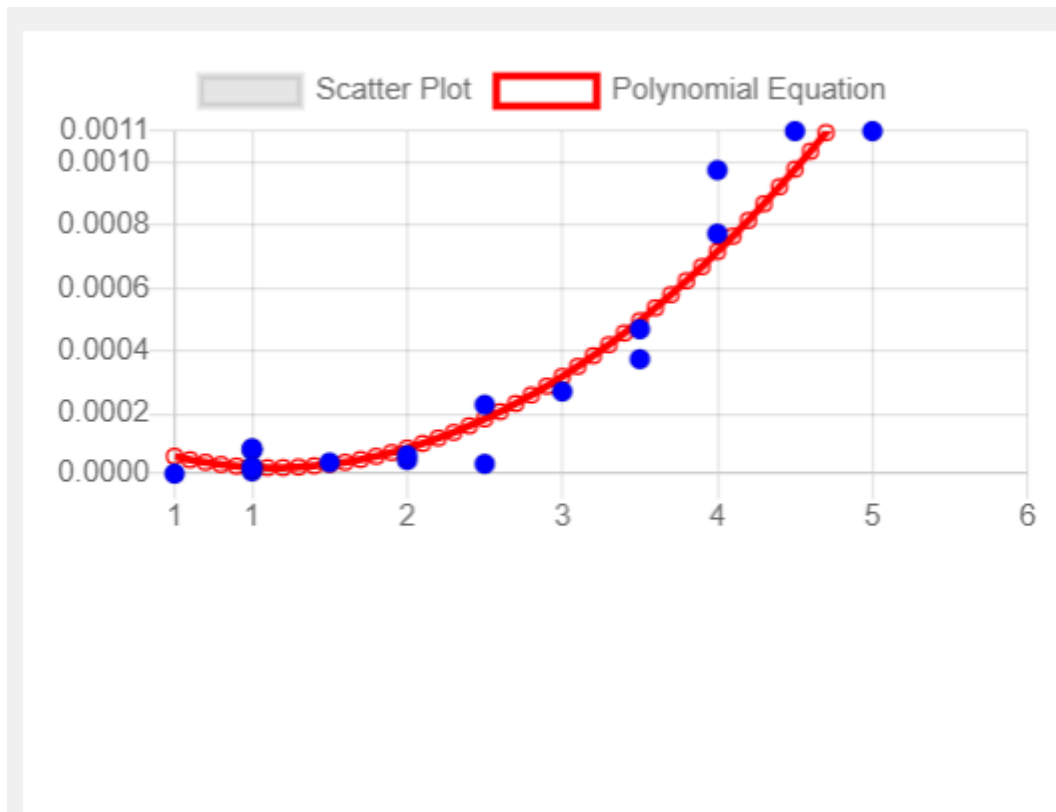
Το πρόγραμμα ταυτοχρόνως εξάγει την εξής συνάρτηση πολυωνυμικής παλινδρόμησης:

$$\Delta PLL = 0.0000879 - 0.000196 * \Delta R ^ 1 + 0.000112 * \Delta R ^ 2$$

Ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει την τιμή:

$$Rsquared = 0.9372$$

Οι αξιολογήσεις των πρώτων δύο ερωτηθέντων πλοίαρχων απεικονίζονται διαγραμματικά στο Σχήμα 21:



Σχήμα 21: Πολυωνυμική Παλινδρόμηση- Πλοίαρχοι 1 & 2

Οι τιμές που το πρόγραμμα εξαιρεί είναι:

- $(\Delta R, \Delta PLL) = (3, 0.000162)$
- $(\Delta R, \Delta PLL) = (1, 0.000426)$

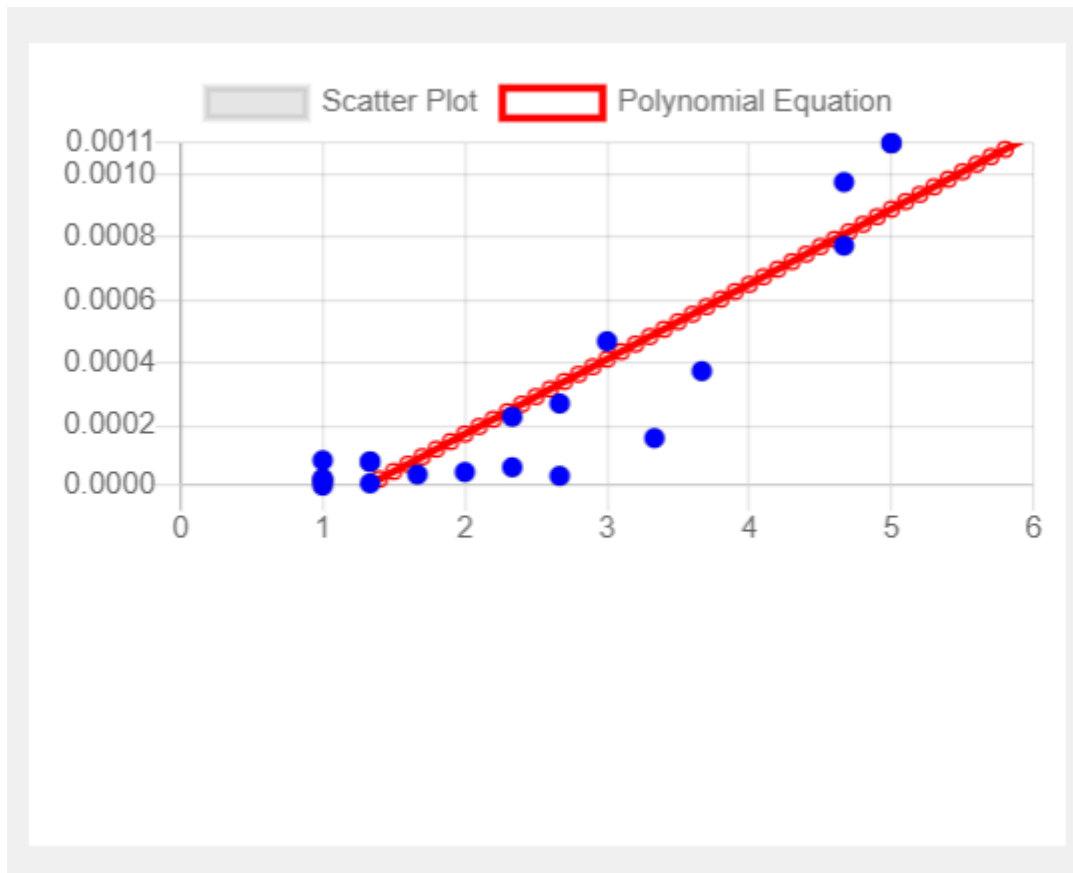
Προσθέτοντας στο πρόγραμμα τις τιμές των αξιολογήσεων του τρίτου πλοιάρχου, παίρνουμε:

$$\Delta PLL = 0.000238 * \Delta R - 0.000302$$

Ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει την τιμή:

$$R_{\text{squared}} = 0.8292$$

Οι αξιολογήσεις των τριών ερωτηθέντων πλοιάρχων απεικονίζονται διαγραμματικά στο Σχήμα 23:



Σχήμα 22: Γραμμική Παλινδρόμηση- Πλοιάρχιοι 1, 2 & 3

Οι τιμές που το πρόγραμμα εξαιρεί είναι:

- $(\Delta R, \Delta PLL) = (1, 0.000426)$

Το πρόγραμμα ταυτοχρόνως εξάγει την εξής συνάρτηση πολυωνυμικής παλινδρόμησης:

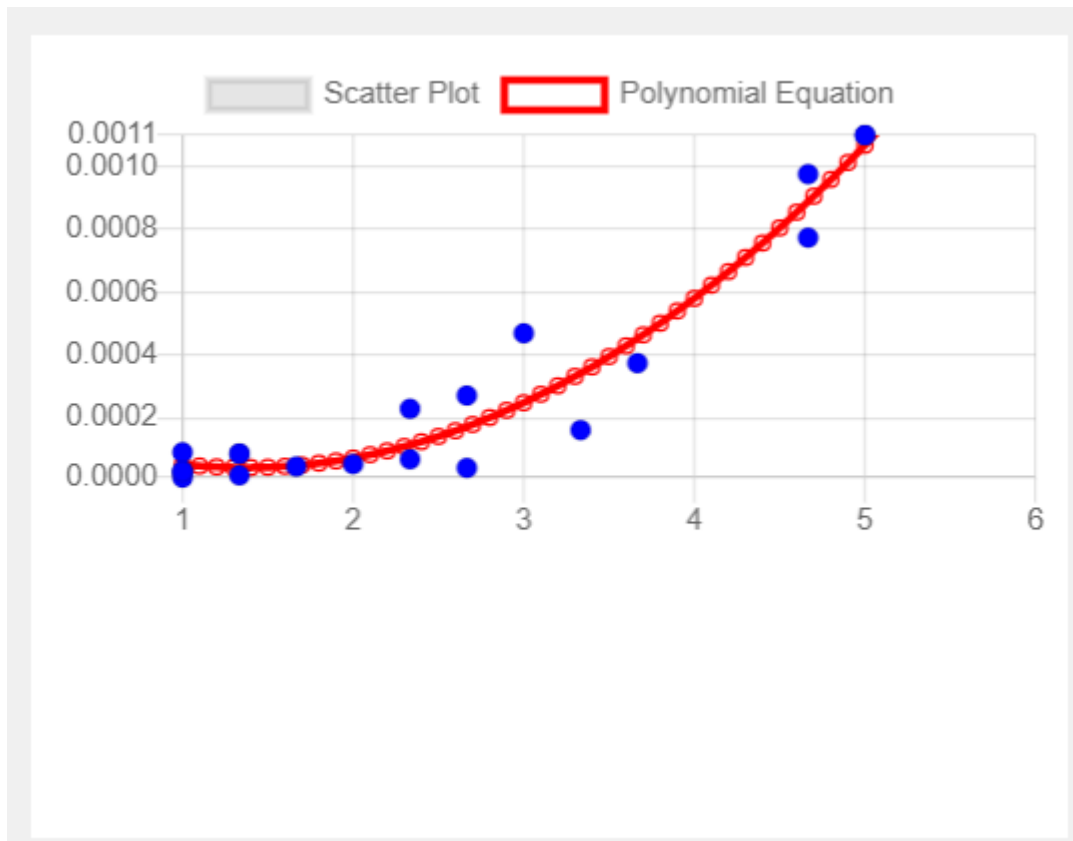
$$\Delta PLL = 0.000188 - 0.000213 * \Delta R + 0.000078 * \Delta R ^ 2$$

Ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει την τιμή:

$$Rsquared = 0.9416$$

Οι αξιολογήσεις των τριών ερωτηθέντων πλοιάρχων απεικονίζονται διαγραμματικά στο Σχήμα 23:





Σχήμα 23: Πολυωνυμική Παλινδρόμηση- Πλοίαρχοι 1,2 & 3

Οι τιμές που το πρόγραμμα εξαιρεί είναι:

- $(\Delta R, \Delta PLL) = (1, 0.000426)$

### 5.2.2 Αξιολογήσεις Μηχανικών

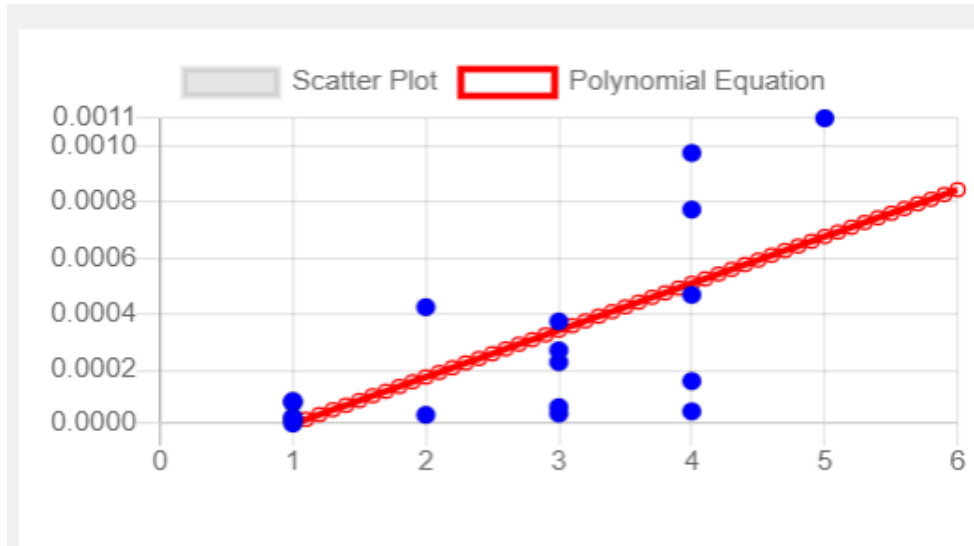
Για τον πρώτο μηχανικό που ερωτήθηκε λαμβάνουμε την συνάρτηση:

$$\Delta PLL = 0.000211 * \Delta R - 0.000234$$

με συντελεστή συχέτισης:

$$Rsquared = 0.4907$$

Οι αξιολογήσεις του πρώτου ερωτηθέντος μηχανικού απεικονίζονται διαγραμματικά στο Σχήμα 24:



Σχήμα 24: Γραμμική Παλινδρόμηση: Μηχανικός 1

Το πρόγραμμα δεν εξαιρεί εν προκειμένω κάποια τιμή.

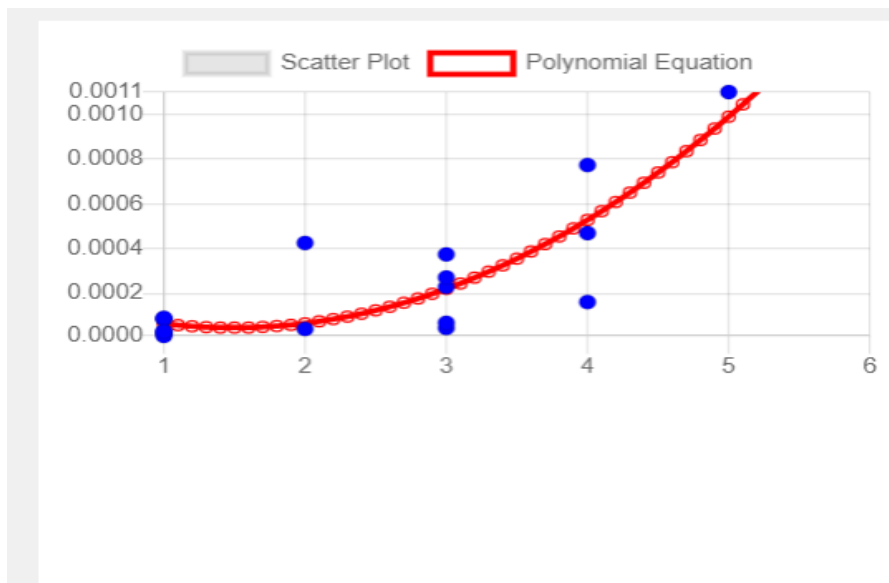
Το πρόγραμμα ταυτοχρόνως εξάγει την εξής συνάρτηση πολυωνυμικής παλινδρόμησης:

$$\Delta PLL = 0.000141 - 0.000182 * \Delta R ^ 1 + 0.000126 * \Delta R ^ 2$$

Ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει την τιμή:

$$R_{\text{squared}} = 0.7212$$

Οι αξιολογήσεις του πρώτου ερωτηθέντος μηχανικού απεικονίζονται διαγραμματικά στο Σχήμα 25:



Σχήμα 25: Πολυωνυμική Παλινδρόμηση- Μηχανικός 1

Το πρόγραμμα εξαιρεί εν προκειμένω την τιμή:

- $(\Delta R, \Delta PLL) = (4, 0.000774)$

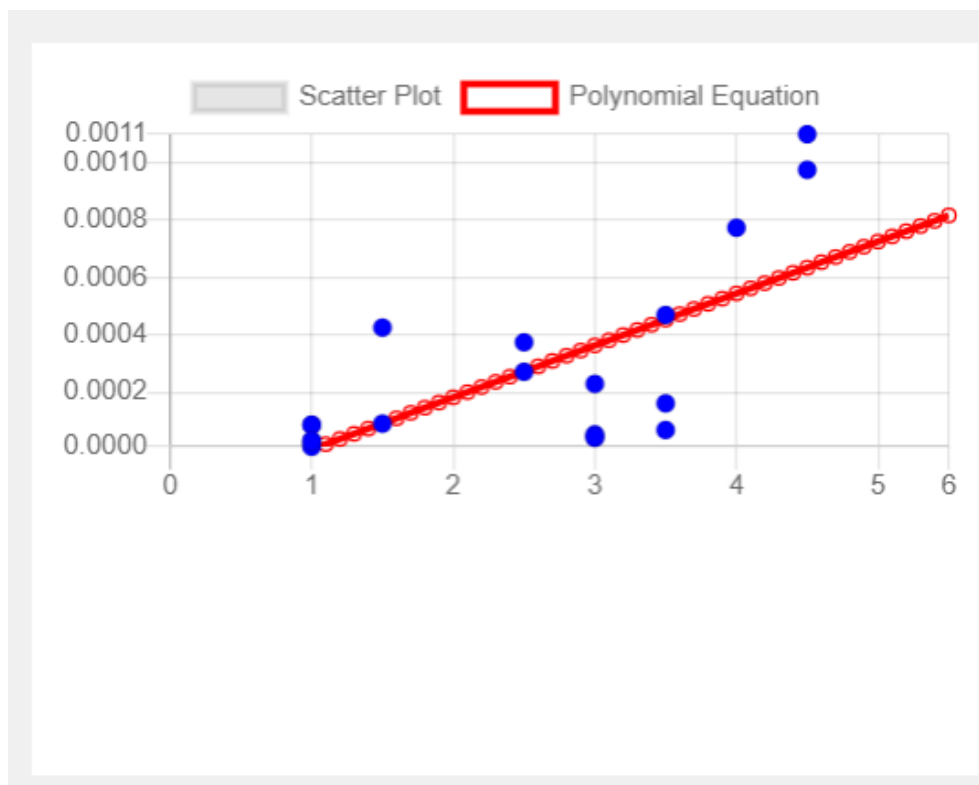
Προσθέτοντας τα αποτελέσματα από τον δεύτερο μηχανικό που ερωτήθηκε λαμβάνουμε την συνάρτηση:

$$\Delta PLL = 0.000224 * \Delta R - 0.000243$$

Με συντελεστή συσχέτισης:

$$R_{\text{squared}} = 0.4922$$

Οι αξιολογήσεις των πρώτων δύο ερωτηθέντων μηχανικών απεικονίζονται διαγραμματικά στο Σχήμα 26:



Σχήμα 26: Γραμμική Παλινδρόμηση- Μηχανικοί 1 & 2

Το πρόγραμμα δεν εξαιρεί εν προκειμένω κάποια τιμή.

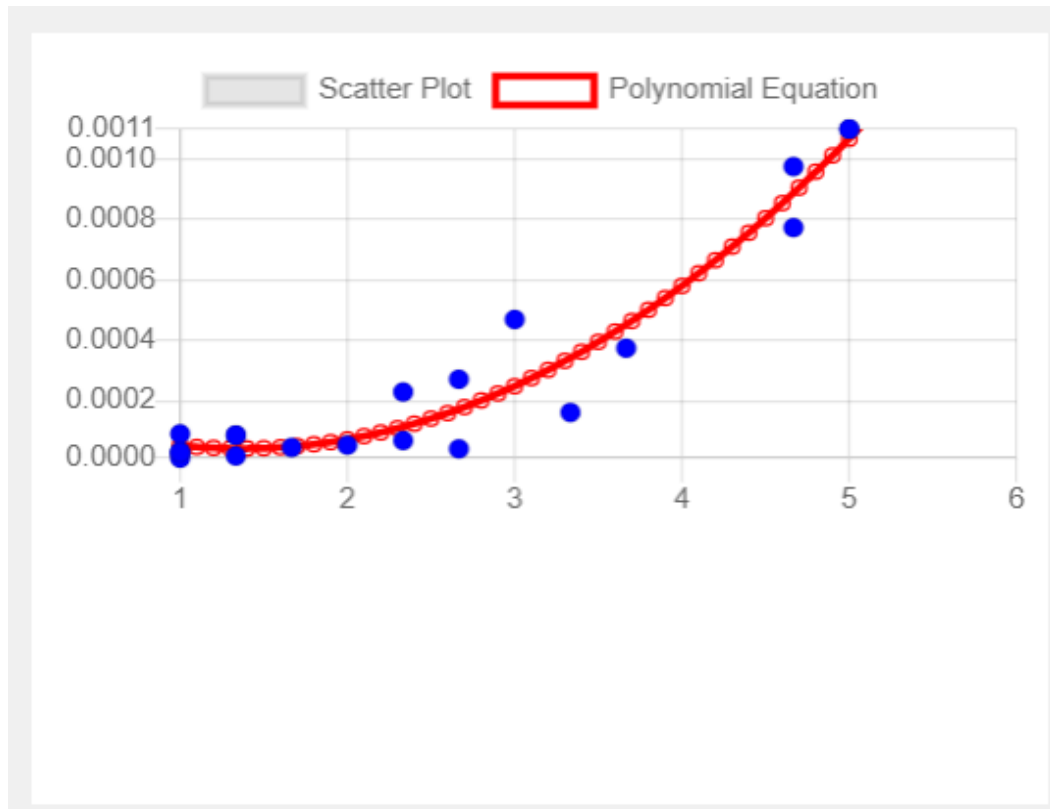
Το πρόγραμμα ταυτόχρονα εξάγει την εξής συνάρτηση πολυωνυμικής παλινδρόμησης:

$$\Delta PLL = 0.000361 - 0.000473 * \Delta R + 0.000134 * \Delta R ^ 2$$

Ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει την τιμή:

$$R_{\text{squared}}=0.8024$$

Οι αξιολογήσεις των δύο ερωτηθέντων μηχανικών απεικονίζονται διαγραμματικά στο Σχήμα 27:



Σχήμα 27: Πολυωνυμική Παλινδρόμηση- Μηχανικοί 1 & 2

Το πρόγραμμα εξαιρεί εν προκειμένω την τιμή:

- $(\Delta R, \Delta PLL) = (1, 0.0000869)$

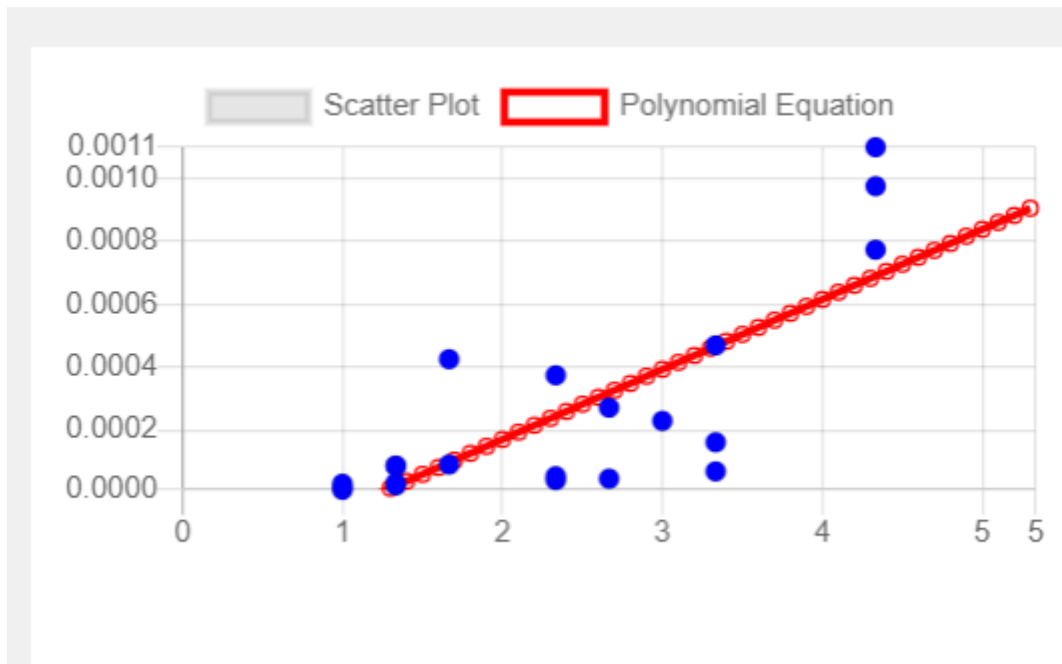
Προσθέτοντας τα αποτελέσματα από τον τρίτο μηχανικό που ερωτήθηκε λαμβάνουμε την συνάρτηση:

$$\Delta PLL = 0.000222 * \Delta R - 0.000273$$

Με συντελεστή συσχέτισης:

$$R_{\text{squared}}= 0.6038$$

Οι αξιολογήσεις των τριών ερωτηθέντων μηχανικών απεικονίζονται διαγραμματικά στο Σχήμα 28:



Σχήμα 28: Γραμμική Παλινδρόμηση- Μηχανικοί 1, 2 & 3

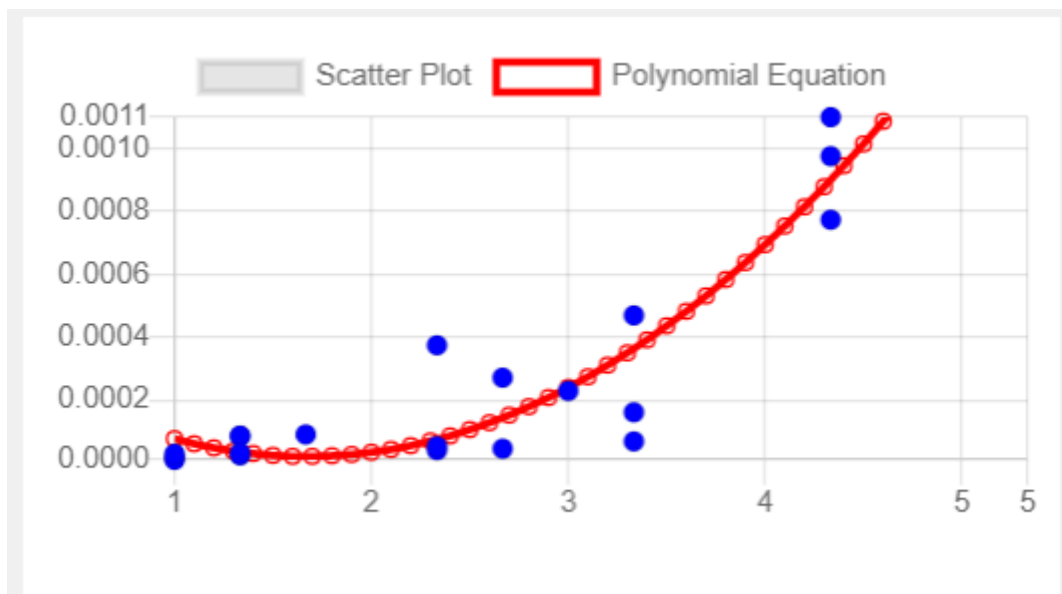
Το πρόγραμμα ταυτοχρόνως εξάγει την εξής συνάρτηση πολυωνυμικής παλινδρόμησης:

$$\Delta PLL = 0.000369 - 0.000415 * \Delta R + 0.000124 * \Delta R ^ 2$$

Ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει την τιμή:

$$Rsquared=0.8381$$

Οι αξιολογήσεις των τριών ερωτηθέντων μηχανικών απεικονίζονται διαγραμματικά στο Σχήμα 29:



Σχήμα 29: Πολυωνυμική Παλινδρόμηση- Μηχανικοί 1, 2 & 3

Το πρόγραμμα εξαιρεί εν προκειμένω την τιμή:

- $(\Delta R, \Delta PLL) = (2, 0.000375)$

### 5.2.3 Αξιολογήσεις τεχνικών διευθυντών

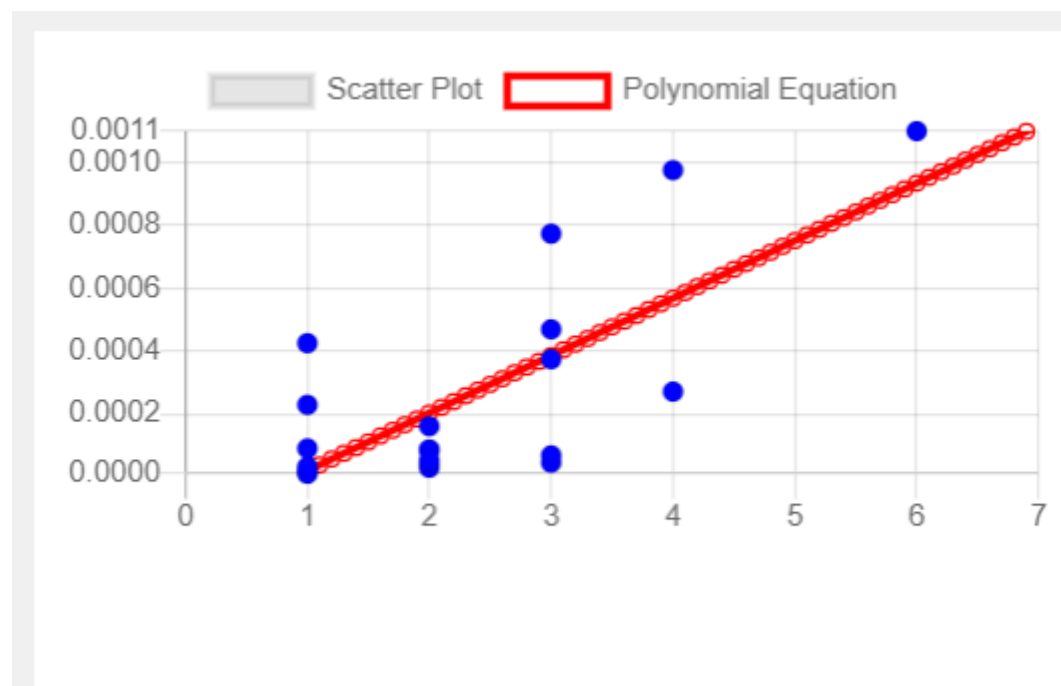
Επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για τους τεχνικούς διευθυντές. Οι αξιολογήσεις του πρώτου ερωτηθέντος μας δίνουν τη σχέση:

$$\Delta PLL = 0.000174 * \Delta R - 0.000163$$

Ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει την τιμή:

$$R_{\text{squared}} = 0.5270$$

Οι εν λόγω αξιολογήσεις παρουσιάζονται στο Σχήμα 30:



Σχήμα 30: Γραμμική παλινδρόμηση- Τεχνικός Διευθυντής 1

Το πρόγραμμα εξαιρεί εν προκειμένω την τιμή:

- $(\Delta R, \Delta PLL) = (2, 0.000418)$

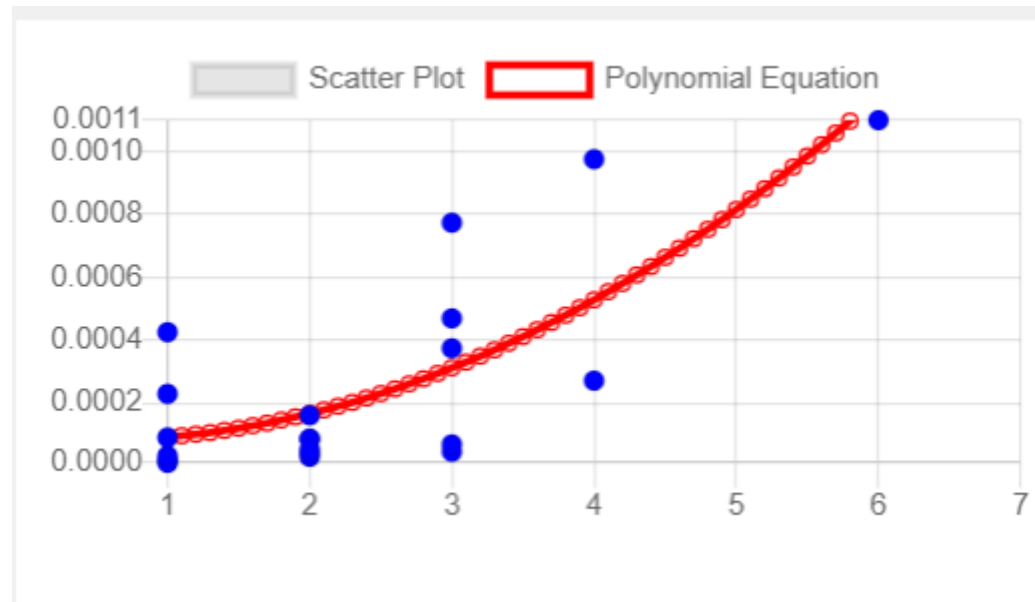
Το πρόγραμμα ταυτοχρόνως εξάγει την εξής συνάρτηση πολυωνυμικής παλινδρόμησης:

$$\Delta PLL = 0.000096 - 0.0000423 * \Delta R + 0.000462 * \Delta R ^ 2$$

Ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει την τιμή:

**Rsquared=0.5883**

Οι αξιολογήσεις του πρώτου ερωτηθέντος τεχνικού διευθυντή απεικονίζονται διαγραμματικά στο Σχήμα 31:



Σχήμα 31: Πολυωνυμική Παλινδρόμηση- Τεχνικός Διευθυντής 1

Το πρόγραμμα εξαιρεί εν προκειμένω την τιμή:

- $(\Delta R, \Delta PLL) = (2, 0.000418)$

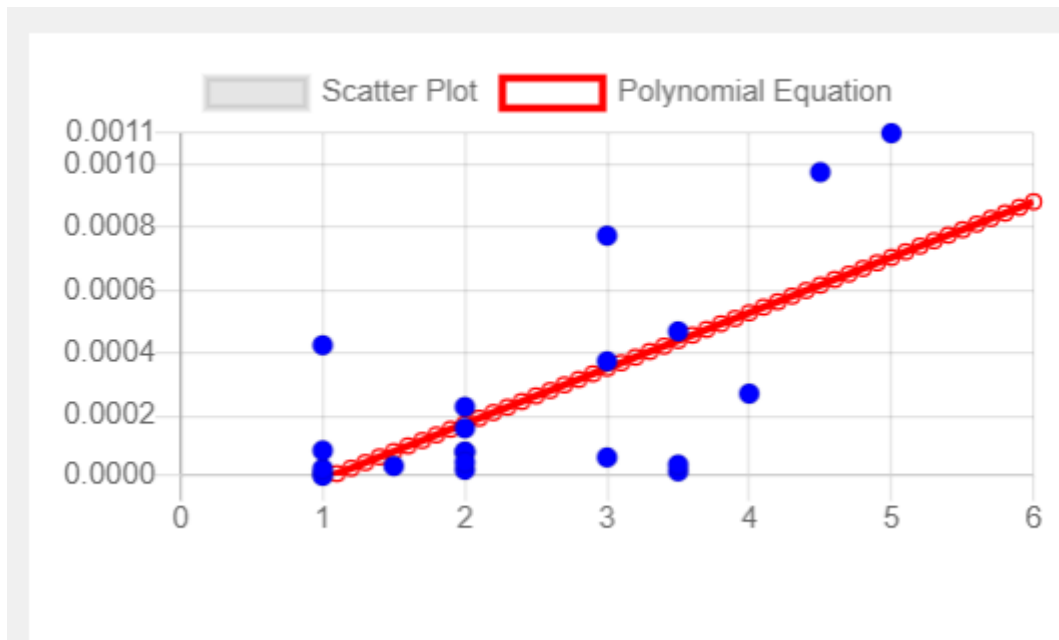
Προσθέτοντας τις αξιολογήσεις του δεύτερου τεχνικού διευθυντή παίρνουμε:

$$\Delta PLL = 0.000157 * \Delta R - 0.000177$$

Ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει την τιμή:

**Rsquared=0.4395**

Οι αξιολογήσεις των πρώτων δύο ερωτηθέντων τεχνικών διευθυντών απεικονίζονται διαγραμματικά στο Σχήμα 32:



Σχήμα 32: Γραμμική Παλινδρόμηση- Τεχνικοί διευθυντές 1 και 2

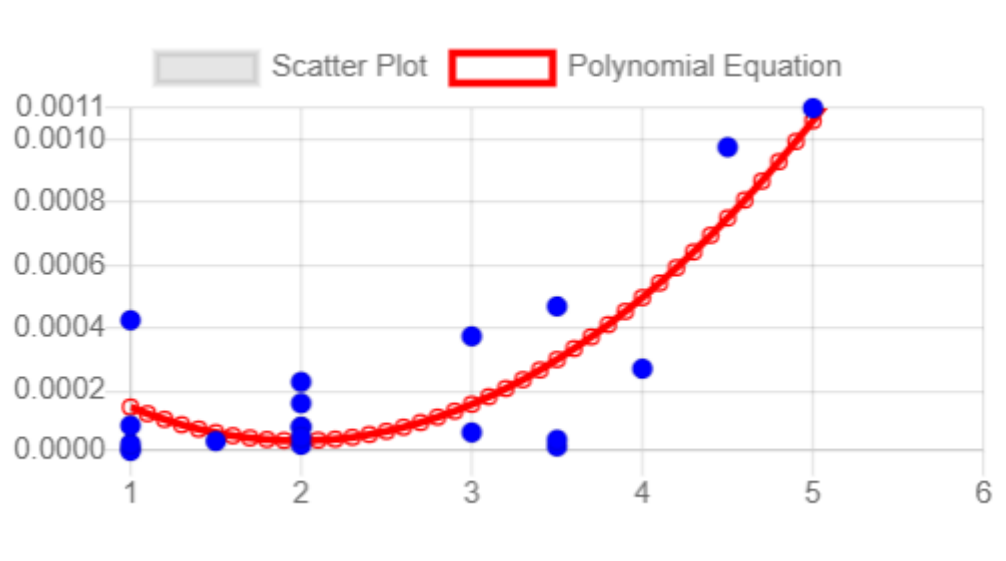
Το πρόγραμμα ταυτοχρόνως εξάγει την εξής συνάρτηση πολυωνυμικής παλινδρόμησης:

$$\Delta PLL = 0.000454 - 0.000376 * \Delta R + 0.000078 * \Delta R ^ 2$$

Ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει την τιμή:

$$Rsquared=0.7216$$

Οι αξιολογήσεις των πρώτων δύο ερωτηθέντων τεχνικών διευθυντών απεικονίζονται διαγραμματικά στο Σχήμα 33:



Σχήμα 33: Πολυωνυμική Παλινδρόμηση- Τεχνικοί Διευθυντές 1 & 2

Το πρόγραμμα εξαιρεί εν προκειμένω την τιμή:



- $(\Delta R, \Delta PLL) = (3, 0.000774)$

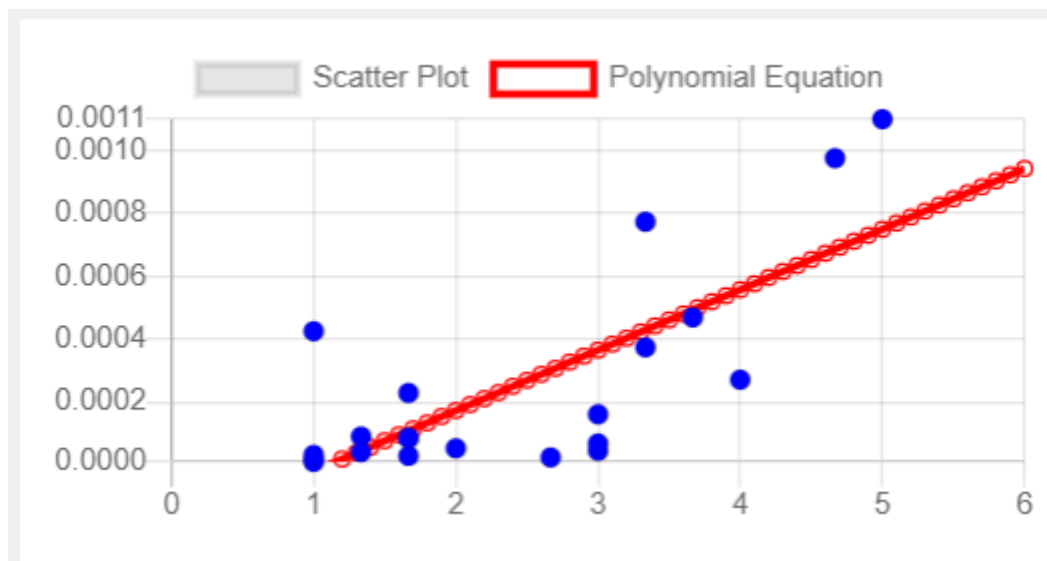
Με την χρήση των αξιολογήσεων του τρίτου τεχνικού διευθυντή έχουμε:

$$\Delta PLL = 0.000192 * \Delta R - 0.000210$$

Με συντελεστή συσχέτισης:

$$R_{\text{squared}} = 0.5472$$

Οι αξιολογήσεις των τριών ερωτηθέντων τεχνικών διευθυντών απεικονίζονται διαγραμματικά στο Σχήμα 34:



Σχήμα 34: Γραμμική Παλινδρόμηση- Τεχνικοί Διευθυντές 1, 2 & 3

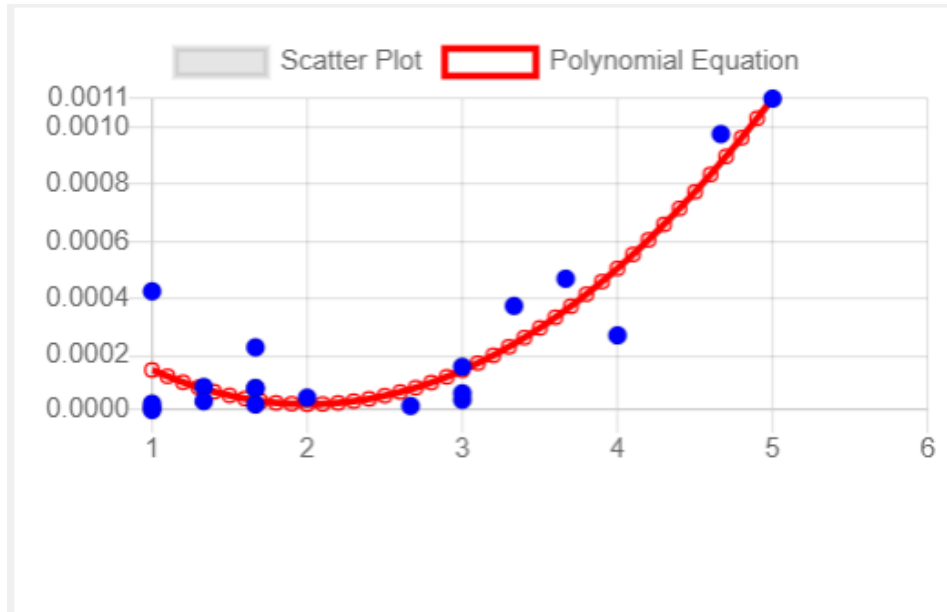
Το πρόγραμμα ταυτόχρονα εξάγει την εξής συνάρτηση πολυωνυμικής παλινδρόμησης:

$$\Delta PLL = 0.000510 - 0.000477 * \Delta R + 0.000119 * \Delta R ^ 2$$

Ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει την τιμή:

$$R_{\text{squared}} = 0.8462$$

Οι αξιολογήσεις των πρώτων δύο ερωτηθέντων τεχνικών διευθυντών απεικονίζονται διαγραμματικά στο Σχήμα 35:



Σχήμα 35: Γραμμική Παλινδρόμηση- Τεχνικοί Διευθυντές 1, 2 & 3

Το πρόγραμμα εξαιρεί εν προκειμένω την τιμή:

- $(\Delta R, \Delta PLL) = (3, 0.000774)$

### 5.3.Αποτελέσματα

Άρα λαμβάνουμε τον εξής πίνακα τελικών αποτελεσμάτων:

Πίνακας 9: Αποτελέσματα παλινδρόμησης

	Γραμμική Παλινδρόμηση	Συντελεστής συσχέτισης
Πλοίαρχοι	$\Delta PLL = 0.000238 * \Delta R - 0.000302$	0.8292
Μηχανικοί	$\Delta PLL = 0.000222 * \Delta R - 0.000273$	0.6038
Τεχν. Διευθυντές	$\Delta PLL = 0.000192 * \Delta R - 0.000210$	0.5472
	Πολυωνυμική Παλινδρόμηση	Συντελεστής συσχέτισης
Πλοίαρχοι	$\Delta PLL = 0.000188 - 0.000213 * \Delta R + 0.000078 * \Delta R^2$	0.9416
Μηχανικοί	$\Delta PLL = 0.000369 - 0.000415 * \Delta R + 0.000124 * \Delta R^2$	0.8381
Τεχν. Διευθυντές	$\Delta PLL = 0.000510 - 0.000477 * \Delta R + 0.000119 * \Delta R^2$	0.8462

Στον πίνακα 10 παρουσιάζονται οι τιμές των συντελεστών συσχέτισης όπως μεταβάλλονται με την εισαγωγή των δεδομένων του κάθε χρήστη για την κάθε μέθοδο παλινδρόμησης:

**Πίνακας 10: Συντελεστές συσχέτισης**

Συντελεστής συσχέτισης	Συντελεστής συσχέτισης - Γραμμική	Συντελεστής συσχέτισης - Πολυωνυμική
Πλοίαρχος 1	0.6779	0.8657
Πλοίαρχοι 1-2	0.7875	0.9372
Πλοίαρχοι 1-3	0.8292	0.9416
Μηχανικός 1	0.4907	0.7212
Μηχανικοί 1-2	0.4922	0.8024
Μηχανικοί 1-3	0.6038	0.8381
Τεχν. Διευθυντής 1	0.527	0.5883
Τεχν. Διευθυντές 1-2	0.4395	0.7216
Τεχν. Διευθυντές 1-3	0.5472	0.8462

Συμπεραίνουμε λοιπόν πως πράγματι λαμβάνουμε μια ικανοποιητική παλινδρόμηση εισάγοντας τα δεδομένα των αξιολογήσεων των χρηστών και αποκλείοντας κάποιες τιμές που δεν ικανοποιούν τα κριτήρια που θέσαμε.

Αντιλαμβανόμαστε ακόμα πως πράγματι η αύξηση των χρηστών οδηγεί σε αύξηση του συντελεστή συσχέτισης και άρα μπορούμε να υποθέσουμε πως με την αύξηση του πλήθους των χρηστών που θα εισάγουν δεδομένα θα λαμβάνουμε όλο και μεγαλύτερης ακρίβειας συσχέτιση των δύο δεικτών.

Είναι προφανές πως η πολυωνυμική παλινδρόμηση μας προσφέρει μεγαλύτερης ακρίβειας προσέγγιση της ζητούμενης συσχέτισης των μεγεθών ΔR-ΔPLL, και ως εκ τούτου κρίνεται ικανοποιητική για τον υπολογισμό της διακινδύνευσης που αποζητούμε.

## 6. Σχεδιασμός της εφαρμογής

### 6.1. Γλώσσα και περιβάλλον προγραμματισμού

Για την δημιουργία του εργαλείου χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού C# (C sharp) σε περιβάλλον WinForms.

Το Windows Forms ή WinForms είναι ένα δωρεάν open-source graphical class library (GUI) που αποτελεί μέρος του Microsoft .NET, .NET Framework ή Mono Framework, κατάλληλο για την συγγραφή κώδικα εφαρμογών για desktops, laptops και tablets.

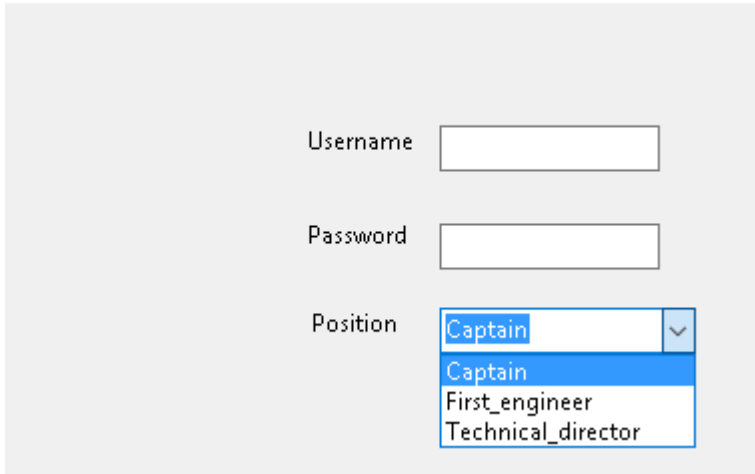
Το εξής περιβάλλον και η γλώσσα επιλέχθηκε με βάση την απλότητα που παρέχει στον σχεδιασμό εφαρμογών και γραφικών.

Σε ξεχωριστό παράρτημα θα παρατεθούν τα βασικότερα σημεία του κώδικα που δημιουργήθηκε μαζί με τον κατάλληλο σχολιασμό του προς επεξήγηση των βασικών λειτουργιών που λαμβάνουν χώρα εντός της εφαρμογής.

Πραγματοποιήθηκε αρχικά ένας σχεδιασμός του GUI (Graphical User Interface) που δημιουργήθηκε. Αρχικά, με σκοπό την λήψη δεδομένων για τις διαφορές στην ποιοτική αξιολόγηση της διακινδύνευσης ανάλογα με τον τομέα εξειδίκευσης των χρηστών, ο χρήστης εγγράφεται στο σύστημα δηλώνοντας τον βαθμό του: Πρώτος Μηχανικός, Πλοίαρχος ή Τεχνικός Διευθυντής. Εντός του προγράμματος οι αξιολογήσεις τους λαμβάνονται ξεχωριστά και ομαδοποιούνται, ώστε να μελετηθούν οι διαφορές στις αξιολογήσεις τους και να αντιστοιχιστούν αναλόγως με μεγαλύτερη ακρίβεια οι αξιολογήσεις τους με τον δείκτη ΔPLL.

Είναι άλλωστε δεδομένο πως διαφορετικά πρόσωπα, με διαφορετικές ειδικότητες, κουλτούρα, εμπειρία και background αξιολογούν με διαφορετικό τρόπο την επικινδυνότητα, τη συχνότητα και τις επιπτώσεις ενός κινδύνου που οδηγεί σε ατύχημα.

Αρχικά ο χρήστης εγγράφεται στο πρόγραμμα (Σχήμα 36).



Register

Username

Password

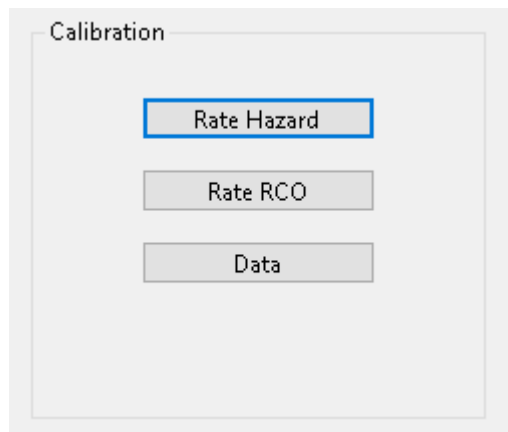
Position

- Captain
- First\_engineer
- Technical\_director

Σχήμα 36: Registration στο πρόγραμμα

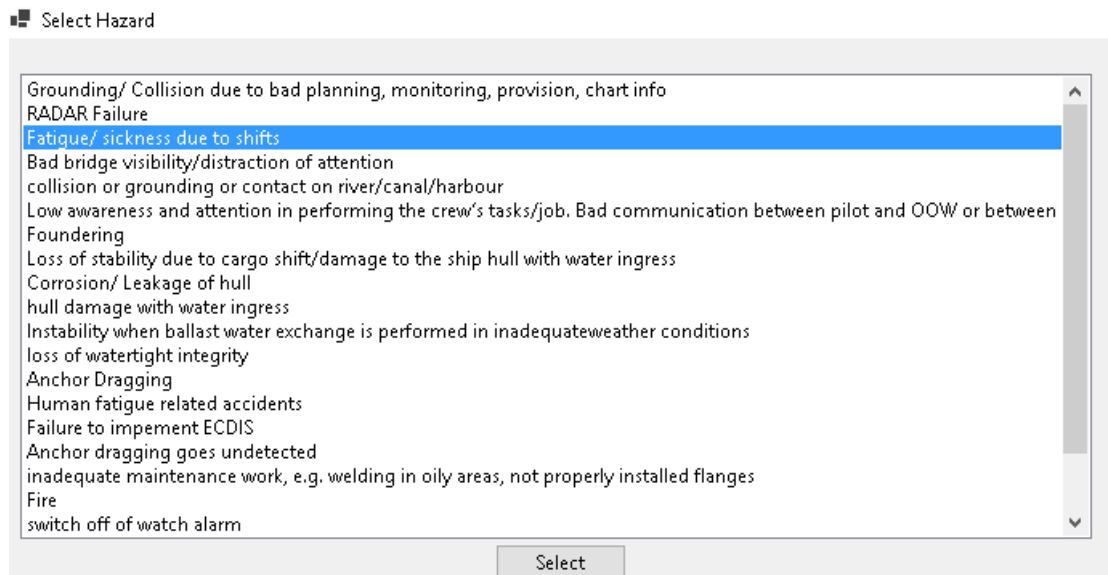
## 6.2. Calibration Stage

Έπειτα από το registration/ login, οι χρήστες καλούνται να συμμετάσχουν στο 'calibration process' δίνοντας τις αξιολογήσεις τους για τη συχνότητα και τις συνέπειες πριν και μετά την εφαρμογή ενός μέτρου περιορισμού της διακινδύνευσης (των οποίων το ΔPLL είναι γνωστό). Αυτό το στάδιο εμφανίζεται ως εξής (Σχήμα 37).



Σχήμα 37: Στάδιο Calibration

Έτσι πραγματοποιείται καταγραφή των αξιολογήσεών τους οι οποίες εντάσσονται και στο regression προσδίδοντας ακρίβεια στην συνάρτηση που αντιστοιχεί στον βαθμό με τον οποίο συνδέθηκαν στην εφαρμογή, όπως στο Σχήμα 38:



Σχήμα 38: Επιλογή κινδύνου εντός του Calibration Stage

Αυτοί είναι οι κίνδυνοι με RCOs των οποίων γνωρίζουμε το ΔPLL. Ο χρήστης επιλέγει έναν εκ των κινδύνων και πατάει 'Select', πράγμα που ανοίγει το παράθυρο στο οποίο δίνει αξιολογήσεις Frequency και Severity πριν το implementation των μέτρων περιορισμού του ρίσκου.

- Αν ένας χρήστης επιλέξει κάποιον κίνδυνο τον οποίο έχει ήδη αξιολογήσει, ειδοποιείται σχετικά από την εφαρμογή

Αν όχι, τότε του παρουσιάζεται το εξής παράθυρο (Σχήμα 39):

Σχήμα 39: Αξιολογήσεις του χρήστη

Ο χρήστης πρέπει να εισάγει αξιολογήσεις και στα δύο μεγέθη πριν πατήσει save, ειδάλλως ειδοποιείται με ένα μήνυμα σφάλματος.

Οι αξιολογήσεις αυτές λαμβάνουν τις εξής τιμές:

Frequency: Από 1 έως 7, με την εξής διαμόρφωση:

FREQUENCY INDEX		
FI	DEFINITION	F (Per Ship Year)
7	Likely to occur once per month/ship	10
5	Likely to occur once per year in a fleet of 10 ships/ few times during the ship's life	0.1
3	Likely to occur once per year in a fleet of 1000 ships/ likely to occur in the total life of several similar ships	$10^{(-3)}$
1	Likely to occur once in the lifetime of a world fleet of 5000 ships	$10^{(-5)}$

Severity: Από 1 έως 8, με την εξής διαμόρφωση:

SEVERITY INDEX
----------------

SI	EFFECTS ON HUMAN SAFETY	EFFECTS ON SHIP	S (Equivalent Fatalities)
2	Single/ Minor Injuries	Local equipment damage	0.01
4	Multiple/ Severe Injuries	Non-severe ship damage	0.1
6	Single fatality/ Multiple severe injuries	Severe damage	1
8	Multiple fatalities	Total loss	10

Έπειτα από την αξιολόγηση του κινδύνου, ο πίνακας HazardUserRatings ανανεώνεται (Σχήμα 40):

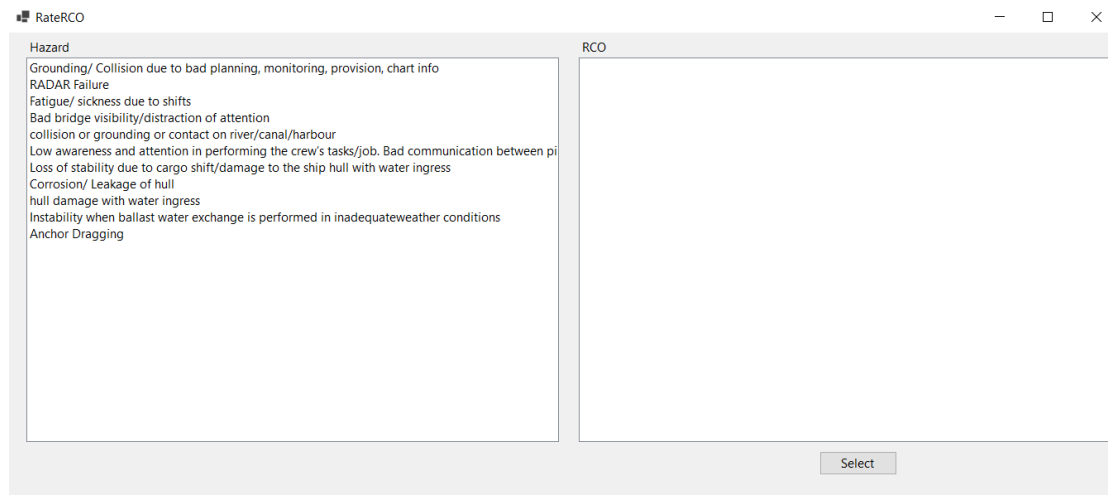
Table: hazardUserRatings

	Id	Frequency	Severity	HazardId	UserId
	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter
1	21	3	6	1	1
2	22	3	6	2	1
3	23	4	6	3	1
4	24	3	7	4	1
5	25	3	7	5	1
6	26	4	7	6	1
7	27	2	6	8	1
8	28	2	5	9	1
9	29	4	6	10	1
10	30	7	7	1	4
11	31	7	8	2	4
12	32	6	6	11	1
13	33	5	7	13	1

1 - 13 of 13

Σχήμα 40: Database Αξιολογήσεων

Στην συνέχεια αξιολογεί την επίδραση του RCO του οποίου το ΔPLL γνωρίζουμε από τη βιβλιογραφία, αρχικά επιλέγοντάς το και στη συνέχεια εισάγοντας τις αντίστοιχες τιμές έπειτα από εφαρμογή του, όπως στο Σχήμα 41.



**Σχήμα 41: Παράθυρο Rate RCO**

Παρόμοια με την διαδικασία αξιολόγησης Rate Hazard, η επιλογή ενός RCO γίνεται στο παράθυρο που φαίνεται στο Σχήμα 41. Αρχικά ο χρήστης επιλέγει τον κίνδυνο τον οποίον μελετά και σχετίζεται με το RCO (Hazards list box), και στη συνέχεια το RCO (RCOs list box). Πατώντας Select ανοίγει το παράθυρο αξιολόγησης. Στο hazards list box, η εφαρμογή παρουσιάζει μόνο τους κινδύνους που έχουν ήδη αξιολογηθεί από τον χρήστη.

Προφανώς, οι αξιολογήσεις Frequency και Consequence δεν μπορούν να αυξάνονται εντός του προγράμματος έπειτα από την εφαρμογή ενός RCO.

Όταν αυτή η διαδικασία ολοκληρωθεί, οι αξιολογήσεις καταγράφονται στον πίνακα RCOUserRatings και στο database (Σχήμα 42):

	Id	DeltaRisk	Frequency	RCOId	Severity	UserId
	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter
1	26	0.176091259055681	2	1	6	1
2	27	0.176091259055681	2	5	6	1
3	28	0.301029995663981	2	3	6	1
4	29	0.176091259055681	2	4	7	1
5	30	0.477121254719662	1	6	7	1
6	31	0.176091259055681	2	7	7	1
7	32	0.1249387366083	3	8	7	1
8	33	0.380211241711606	1	10	5	1
9	34	0.397940008672038	1	11	4	1
10	35	0.301029995663981	2	12	6	1
11	36	0.1249387366083	3	13	6	1
12	37	0.133893579261226	6	1	6	4
13	38	0.1249387366083	6	2	7	4
14	39	0.079181246047625	5	14	6	1

**Σχήμα 42: Database Αξιολογήσεων**

Στο αποθηκευμένο record καταγράφεται και το ΔR του RCO, το οποίο δίνεται από τον τύπο:

$$\Delta R = (F1) - (F2) + (S1) - (S2)$$



Πατώντας την επιλογή 'Data' βλέπουμε τις τιμές του ΔPLL που έχουμε χρησιμοποιήσει από τη βιβλιογραφία, το αντίστοιχο σημείο που δίνει στον άξονα X η αξιολόγηση των χρηστών, καθώς και την τιμή της συνάρτησης που δίνει το regression για τις τρεις κατηγορίες χρηστών, όπως φαίνεται στην Σχήμα 43:

Position: Captain      Function :  $Y = 0,0006650811890092965X + 0,00021615103290318128$

Current Data Points

RCO	deltaPLL	user average deltaRisk	Point
implementatio...	0,000975	0,176091259055	(0,17609125905...
Increased man...	0,00023	0,301029995663	(0,30102999566...
Optimized/revi...	0,0000192	0,176091259055	(0,17609125905...
implementatio...	0,0000869	0,176091259055	(0,17609125905...
Improve prepar...	0,000025	0,477121254719	(0,47712125471...
Information car...	0,0000109	0,176091259055	(0,17609125905...
Installation of V...	0,000033	0,1249387366083	(0,12493873660...
Improvement o...	0,000976	0,380211241711	(0,38021124171...
Coating require...	0,00047	0,397940008672	(0,39794000867...
Extended surve...	0,0011	0,301029995663	(0,30102999566...
PSC inspector t...	0,0011	0,1249387366083	(0,12493873660...
Reduced BWT (...)	0,0000914	0,079181246047	(0,07918124604...

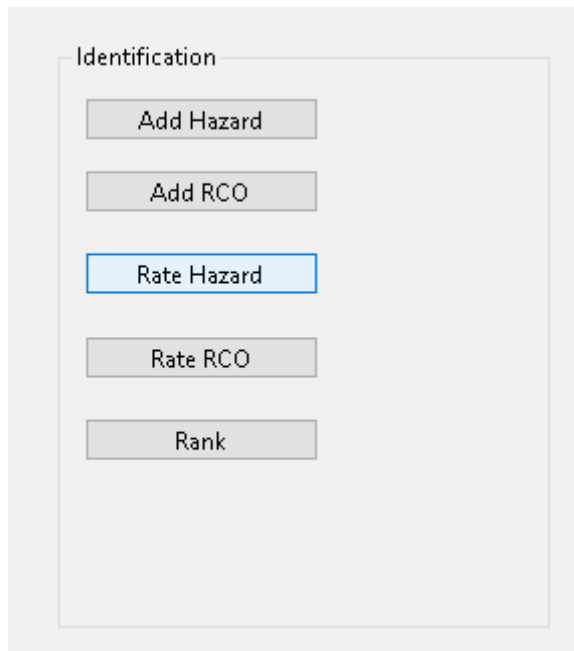
Σχήμα 43: Data Tab

### 6.3. Identification Stage

Έχοντας πλέον εξάγει την συνάρτηση που συνδέει τις αξιολογήσεις μέσω του ΔR με τον δείκτη ΔPLL (αν και αυτή αλλάζει και προσαρμόζεται με το πλήθος των χρηστών), το πρόγραμμα δίνει στον χρήστη την δυνατότητα να πραγματοποιήσει ένα Risk Assessment σε ζωντανό χρόνο το οποίο θα καταλήξει σε μια τιμή ΔPLL για τα Risk Control Options τα οποία θα εξεταστούν.

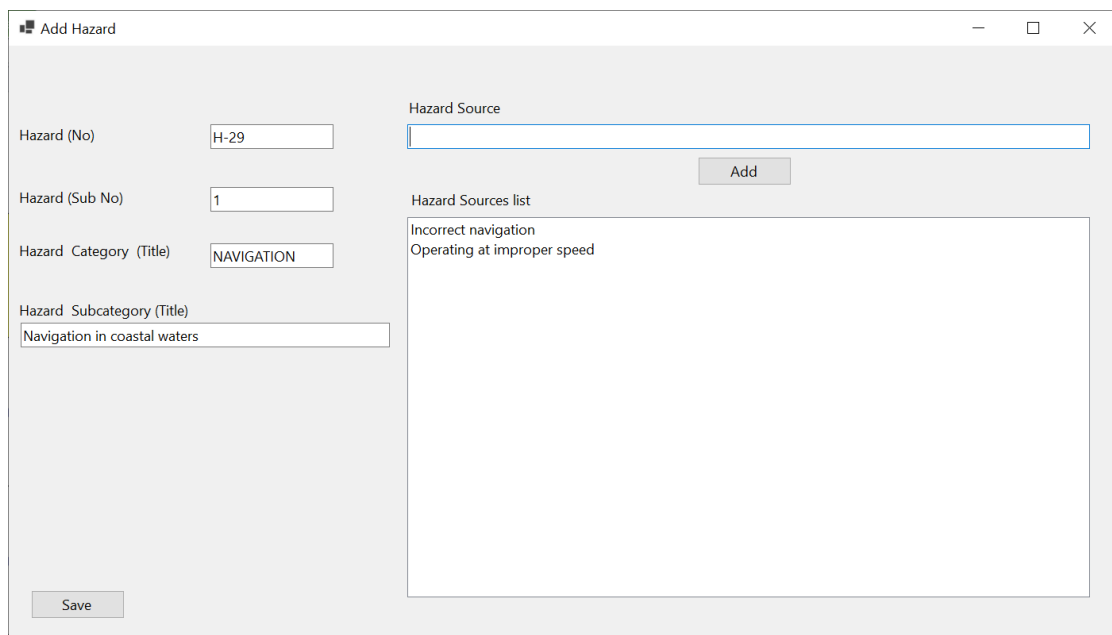
Αρχικά ο χρήστης καλείται να αναγνωρίσει τον κίνδυνο τον οποίον θέλει να μελετήσει (Σχήμα 44). Επιλέγοντας 'Rate Hazard' εμφανίζονται οι κίνδυνοι που αποτελούν την αρχική βιβλιοθήκη κινδύνων που έχει δομηθεί, εκ των οποίων επιλέγει έναν.

Ο κάθε κίνδυνος συνοδεύεται από ορισμένα πιθανά sources από την αρχική λίστα, και ο χρήστης δύναται να επιλέξει ένα ή να προσθέσει κάποιο άλλο, το οποίο στο μέλλον θα εμφανίζεται σαν επιλογή για τους άλλους χρήστες. Το ίδιο ακριβώς ισχύει και για κινδύνους που δεν βρίσκονται αρχικά στην λίστα. Έτσι οι βάσεις δεδομένων εντός της εφαρμογής εμπλουτίζονται, και με την εμπειρογνωμοσύνη και την εξειδίκευση των χρηστών θα καταλήξει σαν μια πλήρης καταγραφή κινδύνων και πηγών/ αιτιών. Κατόπιν ο χρήστης δίνει μια αξιολόγηση Risk Matrix για το Initial Risk υπό τις συνθήκες που μελετάμε.



Σχήμα 44: Identification Stage- Add/ Rate Hazard

Ακολουθεί ένα παράδειγμα του παραθύρου Add Hazard πριν ο χρήστης πατήσει save για να προσθέσει κάποιο καινούριο κίνδυνο (Σχήμα 45):



Σχήμα 45: Παράδειγμα προσθήκης κινδύνου

Ο χρήστης μπορεί να προσθέσει στο χωρίο κειμένου ένα Source και πατώντας Add να το προσθέσει στη λίστα. Αυτό μπορεί να επαναληφθεί για να προστεθούν περισσότερα sources για τον ίδιο κίνδυνο. Οι νέοι κίνδυνοι καταγράφονται στον πίνακα UnknownHazards, όπως στο σχήμα 46:

Table: UnknowHazards					
	Id	HazardNo	HazardSubNo	HazardCatagory	HazardSubCatagory
	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter
589	592	H-31	122	ANCHORING	Failure to ensure that the latest ...
590	593	H-31	123	ANCHORING	Design of anchoring equipment not ...
591	594	H-31	124	ANCHORING	Anchor fluke(s) bent
592	595	H-31	125	ANCHORING	Anchor flukes not firmly attach the ...
593	596	H-31	126	ANCHORING	Anchoring equipment not designed to...
594	597	H-31	127	ANCHORING	Failure to lubricate the moving parts ...
595	598	H-31	128	ANCHORING	Corrosion on the break drum / disk ...
596	599	H-31	129	ANCHORING	Failure to rinse anchors and anchor ...
597	600	H-31	130	ANCHORING	Damage to bitter end and securing pi...
598	601	H-31	131	ANCHORING	Failure to comply with recommended ...
599	602	H-31	132	ANCHORING	Failure to set an anchor alarm on ...
600	603	H-31	133	ANCHORING	Failure to follow company's procedur...
601	604	H-31	134	ANCHORING	Competency training for anchoring ...
602	605	H-31	135	ANCHORING	Low level of alertness during periods ...
603	606	H-31	136	ANCHORING	Failure to perform live anchoring audits
604	607	H-31	137	ANCHORING	Failure to manage commercial pressure
605	608	H-31	138	ANCHORING	Bridge team distraction during critical...

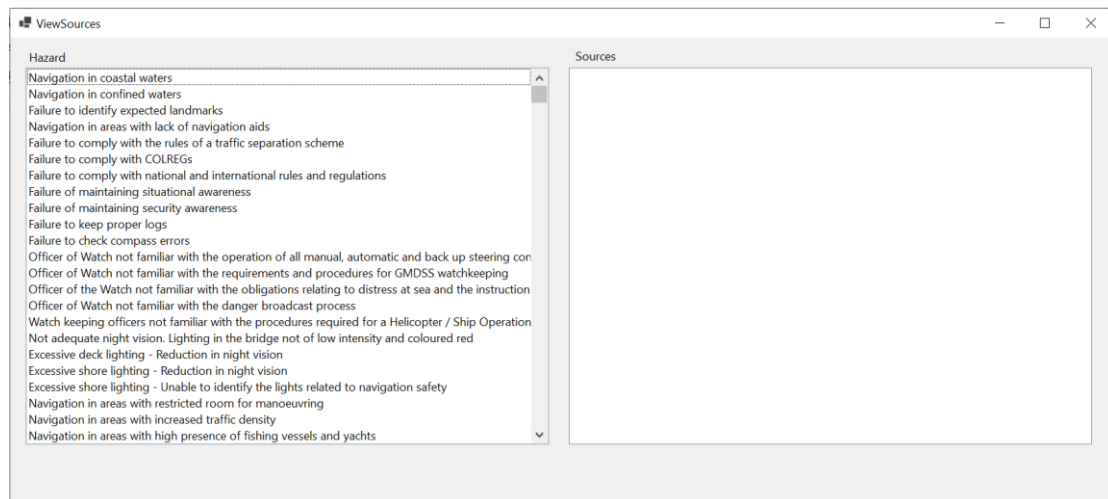
Σχήμα 46: Database κινδύνων

Οι καινούριες πηγές κινδύνου καταγράφονται στον πίνακα HazardSources ως εξής (Σχήμα 47):

	Id	Description	UnknownHazardId
	Filter	Filter	Filter
1	12	Incorrect navigation	4
2	13	Operating at improper speed	4
3	14	Substandard act by pilot	4
4	15	Inadequate guard / barrier	4
5	16	Inadequate orientation	4
6	17	Inadequate practice	4
7	18	Inadequate information handling	4
8	19	Failure to follow procedures	5
9	20	Incorrect navigation	5
10	21	Operating at improper speed	5
11	22	Substandard act by pilot	5
12	23	Inadequate guard / barrier	5
13	24	Inadequate orientation	5
14	25	Inadequate practice	5
15	26	Inadequate information handling	5
16	27	Failure to follow procedures	6

Σχήμα 47: Database Sources

Οι πηγές ενός κινδύνου που αξιολογείται επιλέγονται πατώντας το 'View Sources' ως εξής (Σχήμα 48):



Σχήμα 48: View Sources

Εδώ αναγράφονται όλοι οι κίνδυνοι που έχουν συλλεχθεί στο database. Επιλέγοντας έναν η εφαρμογή παρουσιάζει στο listbox τα σχετικά sources

Ο χρήστης στη συνέχεια επιλέγει ή προσθέτει το Risk Control Option. Τα Risk Control Options συνδέονται με τη βάση δεδομένων των κινδύνων και, όταν προστίθενται νέα, αυτά θα εμφανίζονται επίσης σαν επιλογές στο μέλλον. Ο τίτλος τους δίνεται στο παράθυρο του Σχήματος 49, και στη συνέχεια περνάει στην βάση δεδομένων, όπως στο Σχήμα 50:

Add RCO

Select Hazard

Failure to check compass errors

RCO Description

RCO-xyz

Save

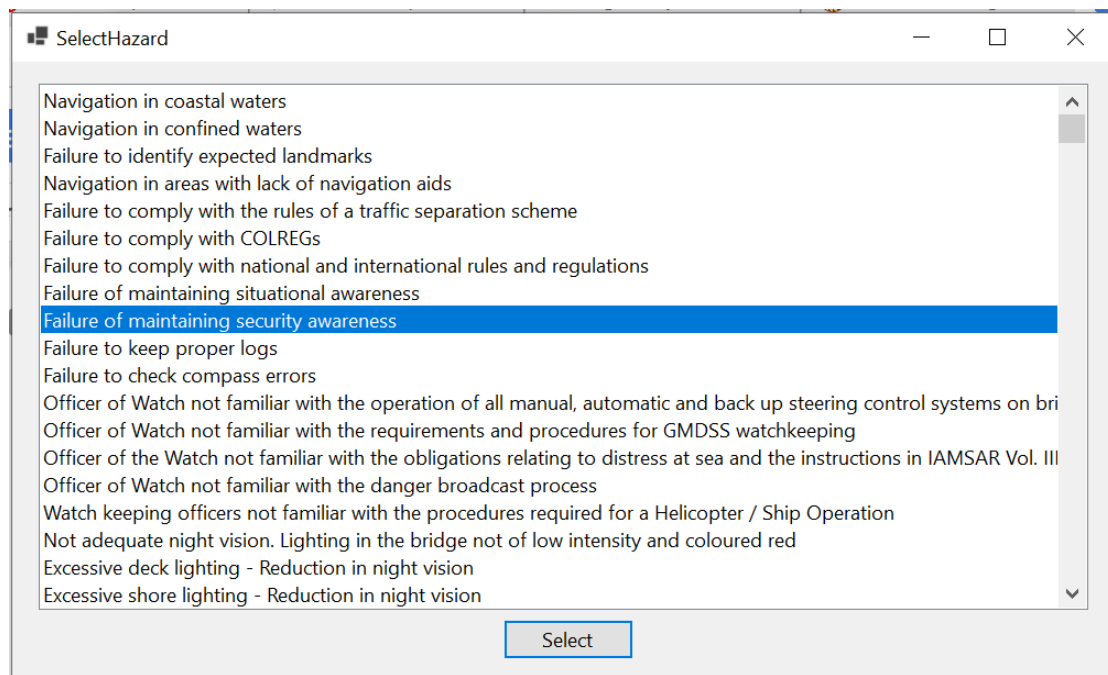
Σχήμα 49: Προσθήκη RCO

Table UnknownRCOs

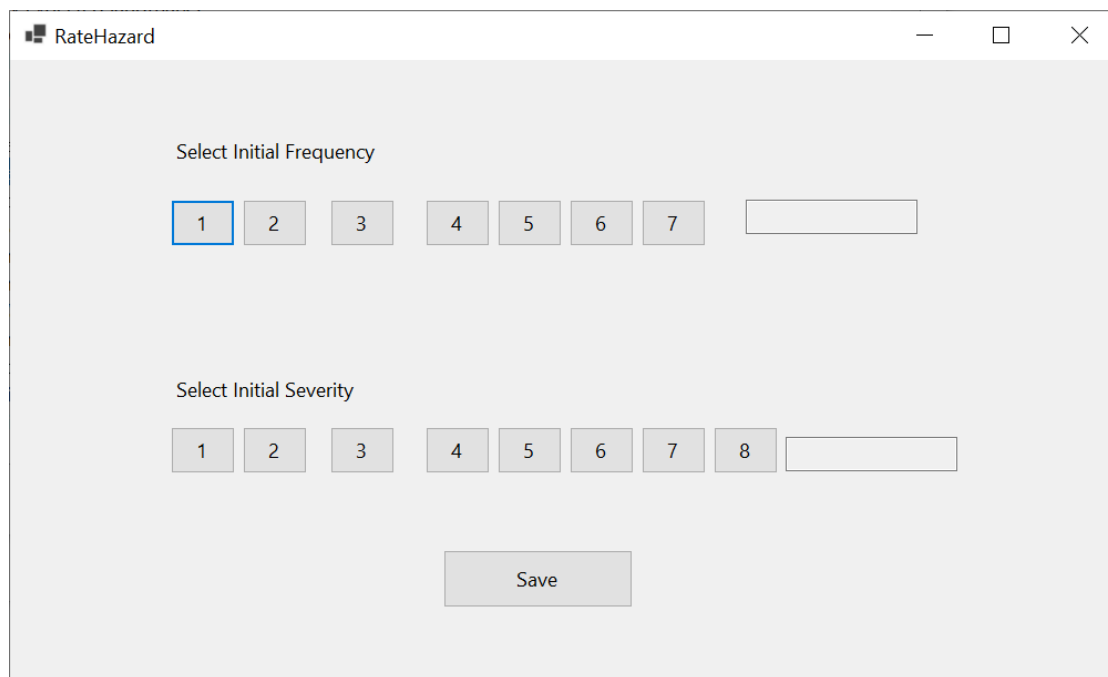
	Id	Description	UnknownHazardId
	Filter	Filter	Filter
1	5	rco1	4
2	6	rco2	5
3	7	rco3	6
4	8	rco4	7
5	9	RCO23	8

Σχήμα 50: Database RCO

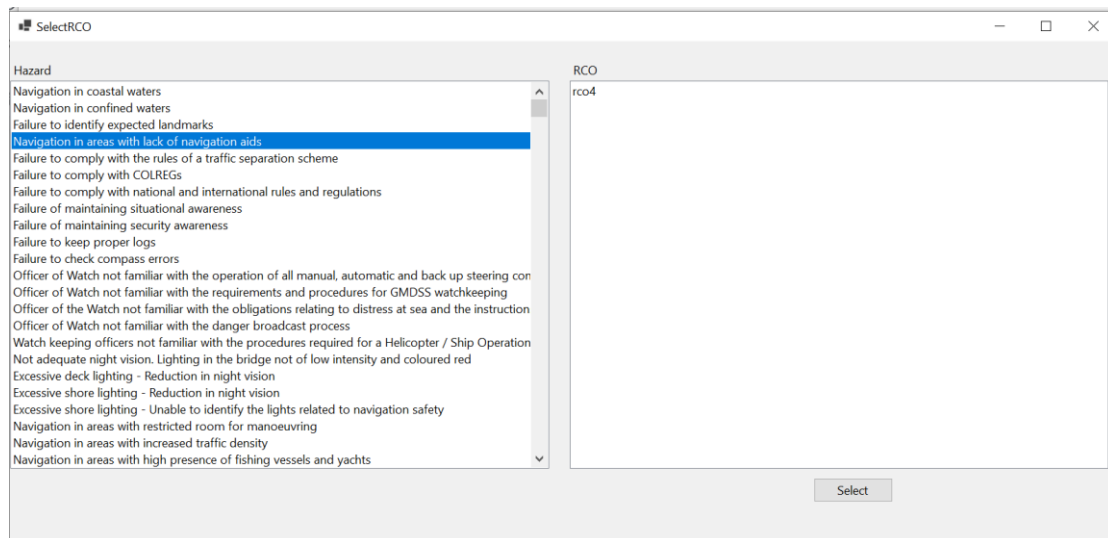
Έπειτα από την εφαρμογή τους, αξιολογεί την μείωση στο συνολικό ρίσκο. Η εφαρμογή λαμβάνει τιμές ΔR και τις αντιστοιχίζει με την συνάρτηση που αφορά τον βαθμό του χρήστη. Έτσι εξάγεται ένα ΔPLL το οποίο είναι βασισμένο στο regression.



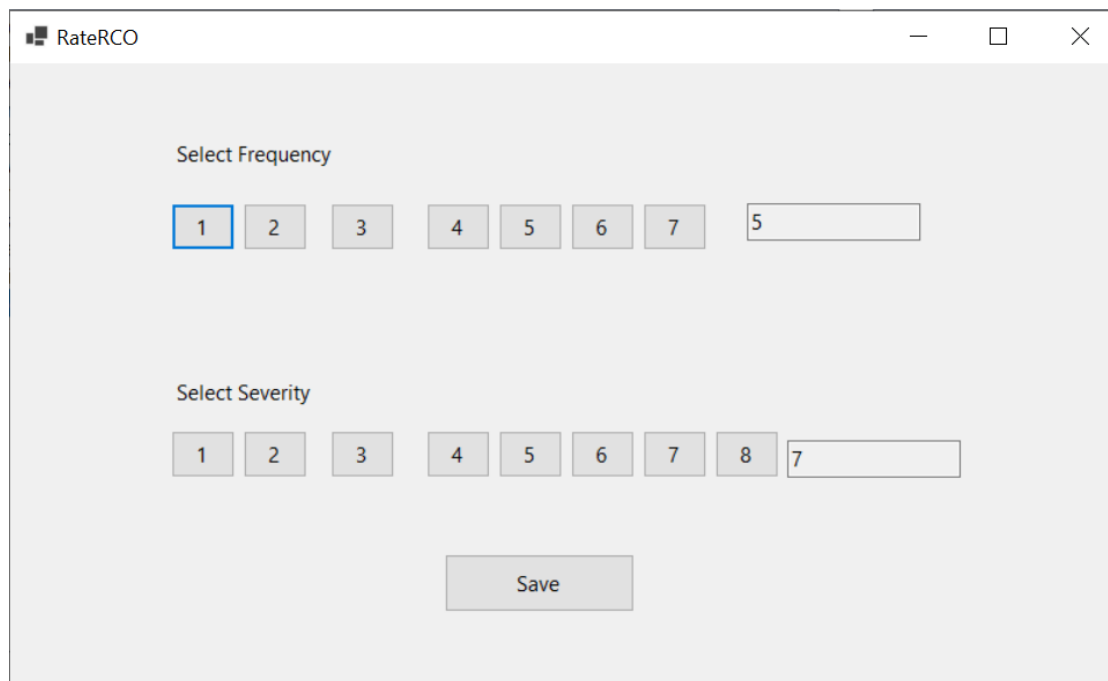
Σχήμα 51: Επιλογή κινδύνου από την λίστα



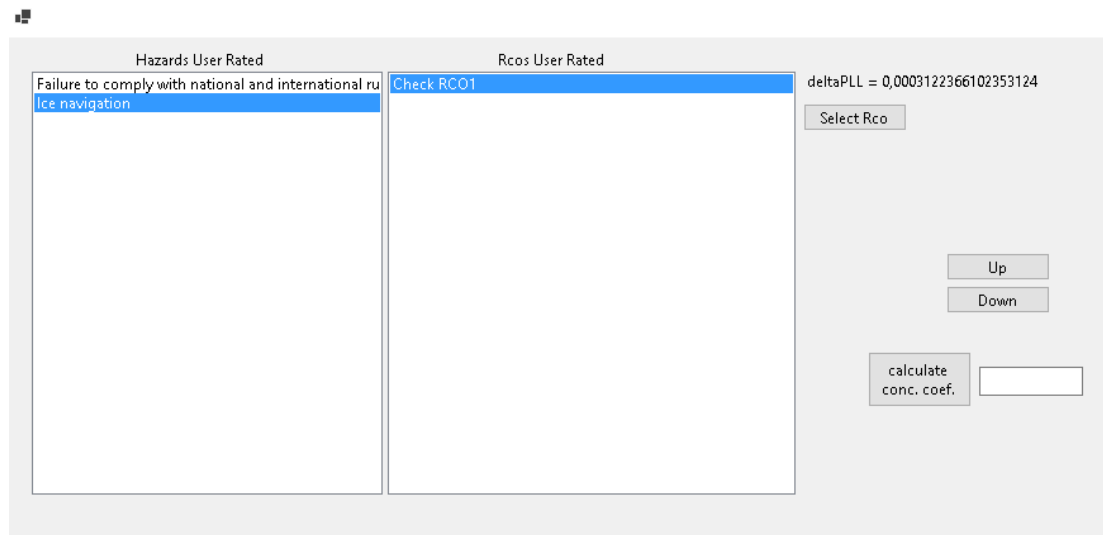
Σχήμα 52: Αξιολόγηση του κινδύνου πριν την εφαρμογή RCOs



Σχήμα 53: Επιλογή ενός RCO



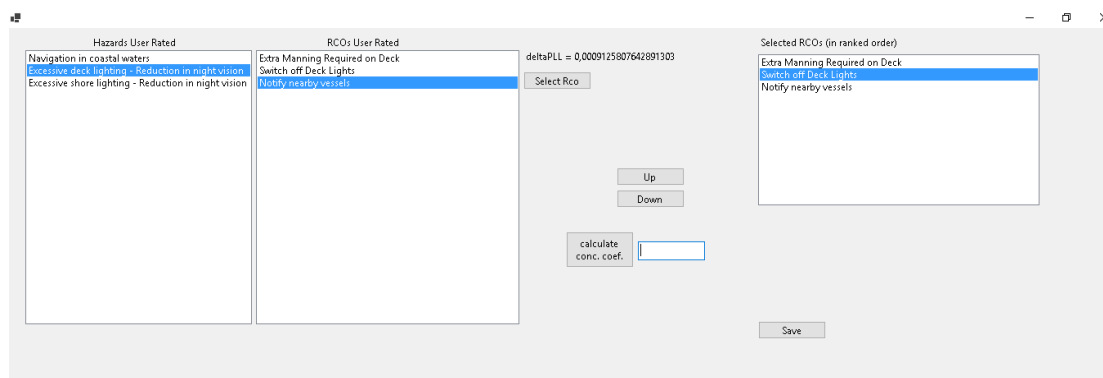
Σχήμα 54: Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του RCO



Σχήμα 55: Υπολογισμός τιμής ΔPLL

## 6.4. Ταξινόμηση της σειράς εφαρμογής των RCO- implementation order

Το listbox Hazards user Rated περιέχει όλους τους κινδύνους που έχει αξιολογήσει ο χρήστης που έχει κάνει log-in. Το listbox RCOs User Rated περιέχει όλα τα RCOs τα οποία έχουν εξετασθεί και αξιολογηθεί από τον συγκεκριμένο χρήστη. Για παράδειγμα στο σενάριο που ακολουθεί (Σχήμα 56):



Σχήμα 56: Ranking

Ο χρήστης έχει αξιολογήσει τρεις κινδύνους. Για τον κίνδυνο 'Excessive deck lighting-Reduction in Night Vision' έχει προτείνει τρεις επιλογές για τον περιορισμό της διακινδύνευσης εκ των οποίων επιλέγει και τις τρεις πατώντας 'Select RCO' προς εφαρμογή.

Μέσω των κομβίων 'Up', 'Down' κατατάσσει τα RCO ως προς την κατάταξη με την οποία προτείνει να εφαρμοστούν. Εδώ το πρόγραμμα εξετάζει τα εξής σενάρια:

Σενάριο 1: Δεν έχει επιλεχθεί κάποιο RCO- δεν υπολογίζεται κάποιος concordance coefficient

Σενάριο 2: Έχει επιλεχθεί μόνο ένα RCO- δεν υπολογίζεται κάποιος concordance coefficient



Σενάριο 3: Έχουν επιλεγθεί 2 ή περισσότερα RCOs, άρα το πρόγραμμα ελέγχει εάν υπάρχει οποιοσδήποτε άλλος χρήστης (με τον ίδιο βαθμό πχ Πλοίαρχος) που έχει επιλέξει προηγουμένως τον ίδιο συνδυασμό RCO. Αν ναι, υπολογίζεται ο concordance coefficient με την εξής φόρμουλα:

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^I \left[ \sum_{j=1}^J x_{ij} - \frac{1}{2} J(I+1) \right]^2}{J^2 (I^3 - I)}$$

όπου:

J= αριθμός των χρηστών

I= αριθμός των RCO

Όταν ο χρήστης πατήσει 'Save' η ταξινόμηση και το concordance coefficient αποθηκεύονται στο database ως εξής (Σχήμα 57):

Table: UnknownRCOUserRankings

	Id	Rank	UnknownRCOId	UserId
	Filter	Filter	Filter	Filter
1	14	1	5	1
2	15	2	6	1
3	16	3	7	1

Σχήμα 57: Ranking Database

Για παράδειγμα , εάν ένας χρήστης συμπεριλάβει 3 RCO στην ταξινόμηση του προστίθενται 3 records στην πάνω εικόνα. Το RCO με ID 5 έχει ranking 1, το RCO με ID 6 έχει ranking 2 και το RCO με ID 7 έχει ranking 3. Το UserId είναι 1 και στα τρία αφού πρόκειται για τον ίδιο χρήστη.

## 6.5.Databases- Βάσεις Δεδομένων που χρησιμοποιούνται

Για τις ανάγκες της εφαρμογής δημιουργήθηκαν οι εξής βάσεις δεδομένων σε μορφή πινάκων των οποίων οι συμβολισμοί παρατίθενται προς διευκόλυνση της επεξήγησης του κώδικα που θα ακολουθήσει:

- Users: Βάση δεδομένων στην οποία αναγράφεται το Username, το Password, το position (Captain, 1<sup>st</sup> Engineer, Technical Director) καθώς και ο αριθμός που δίνει στον κάθε χρήστη το πρόγραμμα (UserID)
- Hazards: Το σύνολο των κινδύνων με γνωστό ΔPLL
- UnkownHazards: Το σύνολο των κινδύνων που εμπεριέχονται στην εφαρμογή προς αξιολόγηση. Στον αρχικό κατάλογο προστίθενται και οι πρωτότυποι κίνδυνοι που εισάγουν οι χρήστες. Σε κάθε hazard δίνεται ένα ID.
- Hazard Sources: Οι πηγές των κινδύνων οι οποίες συνδέονται κάθε φορά με το ID του αντίστοιχου κινδύνου.
- RCOs: Ο τίτλος και το ΔPLL των RCO με γνωστό ΔPLL
- RCOUserRatings: Οι αξιολογήσεις F, S, το ΔR, για το εκάστοτε RCO από την λίστα 'RCOs' για τον εκάστοτε χρήστη.
- UnkownHazardUserRatings: Η αντίστοιχη βιβλιοθήκη για τους κινδύνους της λίστας UnkownHazards.
- HazardUserRatings: Η αντίστοιχη βιβλιοθήκη για τους κινδύνους της λίστας Hazards.
- Unkown RCOs: Τα RCOs που εισάγουν οι χρήστες που αντιστοιχούν στα Hazards της λίστας UnkownHazards.
- UnkownRCOUserRatings: Οι αξιολογήσεις F, S, το ΔR, για το εκάστοτε RCO από την λίστα 'Unkown RCOs' για τον εκάστοτε χρήστη.
- UnkownRCOUserRankings: Καταγραφή του ranking που πραγματοποιούν οι χρήστες κατά την επιλογή άνω του ενός RCO.
- UnkownHazardUserSelectedSources: Οι πηγές που έκανε ο χρήστης select για τον εκάστοτε κίνδυνο

## 7. Συμπεράσματα

Η ασφάλεια στη ναυσιπλοΐα αποτελεί βασικό στόχο της βιομηχανίας της ναυτιλίας και η μελέτη των κινδύνων που περιβάλλουν το πλοίο εκσυγχρονίζεται διαρκώς με σκοπό την αποφυγή των ατυχημάτων και την διασφάλιση της ζωής των ναυτικών αλλά και των φορτίων και του περιβάλλοντος. Η εργασία αυτή αποβλέπει να συνδράμει στον εκσυγχρονισμό των μεθόδων μελέτης του ρίσκου που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία.

Εντός της διπλωματικής εργασίας αναλύθηκαν οι τεχνικές μελέτης της διακινδύνευσης όπως εφαρμόζονται ευρύτερα στην βιομηχανία αλλά και στον χώρο της ναυτιλίας, αλλά και τα διεθνή πρότυπα ανάλυσης της διακινδύνευσης και λήψης αποφάσεων. Ανάμεσα σε αυτά, ιδίως η μέθοδος Formal Safety Assessment λειτούργησε ως βασικός οδηγός για την μεθοδολογία με την οποία προσεγγίστηκε το πρόβλημα της ανάπτυξης του αλγορίθμου του τίτλου.

Αρχικό ζητούμενο ήταν η διερεύνηση των κινδύνων που απειλούν το containership σε συνθήκες υψηλής θαλάσσιας κυκλοφορίας. Δημιουργήθηκε μια εκτενής λίστα κινδύνων, με βάση μελέτες ατυχημάτων ναυσιπλοΐας δημοσιευμένες σε βάσεις στατιστικών ατυχημάτων όπως το Marine Accident Investigation Branch και το Lloyd's Fairplay αλλά και τη βοήθεια εμπειρογνομόνων που παρείχαν πρόσβαση στα data των εταιρειών τους. Στη συνέχεια, κάθε κίνδυνος συνδέθηκε με τις πιθανές του πηγές, με σκοπό τη δημιουργία της βάσης δεδομένων την οποία θα αξιοποιούσε η εφαρμογή.

Κύριος στόχος ήταν η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας μελέτης της επιδραστικότητας των μέτρων περιορισμού του κινδύνου, μέσω ενός προγραμματιστικού μοντέλου που θα αξιοποιούσε την εμπειρική αξιολόγηση του κινδύνου και των μέτρων αυτών σε συνδυασμό με στατιστικούς δείκτες που ποσοτικοποιούν τον κίνδυνο που διατρέχει το πλοίο και προσφέρουν σαφή προσδιορισμό του. Κατέστη ωστόσο σαφές πως εκλείπουν στατιστικά δεδομένα για την μέτρηση της αποτελεσματικότητας των μέτρων πρόληψης όλων αυτών των κινδύνων που καταγράφηκαν και ως εκ τούτου αναγκαία ήταν η ανάπτυξη μιας μεθόδου ποσοτικοποίησης της διακινδύνευσης για κινδύνους τους οποίους η βιβλιογραφία δεν καλύπτει επαρκώς.

Αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία ενός εργαλείου που αρχικά συγκεντρώνει τις ποιοτικές αξιολογήσεις των χρηστών του για την αποτελεσματικότητα όσων μέτρων πρόληψης ορίζονται σαφώς από την βιβλιογραφία, η εξαγωγή μιας συνάρτησης που συσχετίζει τους στατιστικούς δείκτες με τις αξιολογήσεις αυτές, και η χρησιμοποίηση της για τον υπολογισμό της διακινδύνευσης και τον προσδιορισμό των πηγών κινδύνου που περιβάλλουν το πλοίο ακόμη και σε ζωντανές συνθήκες λειτουργίας.

Μέσω μιας αρχικής συγκέντρωσης αξιολογήσεων από ειδικούς πραγματοποιήθηκε ένας υπολογισμός των συναρτήσεων συσχέτισης των ποιοτικών αξιολογήσεων με τον δείκτη ΔPLL, που χρησιμοποιήθηκε σαν μέτρο υπολογισμού της αποτελεσματικότητας των risk control options. Μέσω παλινδρόμησης που πραγματοποιήθηκε εντός του εργαλείου εξήχθησαν συναρτήσεις συσχέτισης για τους ερωτηθέντες πρώτους μηχανικούς, πλοιάρχους και τεχνικούς διευθυντές. Αυτές με την εισαγωγή περισσότερων αξιολογήσεων

επικαιροποιούνται ώστε να δοθεί ακριβέστερη συσχέτιση των μεγεθών. Από τις πρώτες μετρήσεις καθέστη σαφές πως μεταξύ των διαφορετικών ειδικοτήτων υπάρχει διαφορετική αντιμετώπιση των μέτρων περιορισμού του ρίσκου, αλλά και ομοιότητες, καθώς η αποτελεσματικότητα μέτρων που αφορούν την κουλτούρα ασφάλειας και πρόληψης του κινδύνου αξιολογήθηκε σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα από την πραγματική της τιμή.

Ως εκ τούτου, βασική πρόταση για την βελτίωση της μεθοδολογίας θα ήταν η εξαγωγή περισσότερων συναρτήσεων για διαφορετικές κατηγορίες risk control options και όχι απλώς για την κάθε ειδικότητα. Για να πραγματοποιηθεί ωστόσο κάτι τέτοιο κρίνεται αναγκαία η χρήση περισσότερων αρχικών μετρήσεων του ΔPLL από Formal Safety Assessments στα οποία δεν υπάρχει πρόσβαση, με τα σημερινά δεδομένα. Ενδεχομένως παρόμοιες παλινδρομήσεις να μπορούν να γίνουν λαμβάνοντας υπόψιν παράγοντες όπως η ταχύτητα, η κατάσταση φόρτωσης, οι καιρικές συνθήκες, η εμπειρία του πληρώματος προκειμένου οι συναρτήσεις που η εφαρμογή θα εξάγει να είναι πιο ακριβείς. Για να συμβεί ωστόσο κάτι τέτοιο, απαραίτητη θα ήταν η πληρέστερη καταγραφή των συνθηκών μέσα από τις οποίες λαμβάνονται οι αρχικές μετρήσεις. Έτσι θα μπορούσε να ξεπεραστεί επιπλέον το εμπόδιο που βάζουν οι διακριτές τιμές ενός risk matrix στην εξαγωγή ποσοτικών αποτελεσμάτων μέσω παλινδρόμησης, καθώς με τη χρήση τέτοιων δεικτών δεν θα λαμβάναμε την ίδια αναντιστοιχία μεταξύ αξιολογήσεων με κοινή τεταγμένη. Ωστόσο, η προσπάθεια πρότασης μιας μεθοδολογίας που θα στηρίζεται στον συγκερασμό των μεθόδων της βιομηχανίας και της επιστημονικής κοινότητας εντός της εργασίας κρίνεται επιτυχημένη και αποβλέπει σε μια αναθεώρηση των τρόπων με τον οποίο προσεγγίζεται το πρόβλημα της μέτρησης της αποτελεσματικότητας των risk control options.

## 8. Βιβλιογραφία

- [1] International Maritime Organisation, “REVISED GUIDELINES FOR FORMAL SAFETY ASSESSMENT (FSA) FOR USE IN THE IMO RULE-MAKING PROCESS,” 2018.
- [2] IACS Rec. 2012, “A Guide to Risk Assessment in Ship Operations,” 2012.
- [3] ISO, “Risk management-Guidelines INTERNATIONAL STANDARD ISO 31000,” 2018.
- [4] S. Kaplan and B. J. Garrick, “On The Quantitative Definition of Risk,” *Risk Analysis*, vol. 1, no. 1, pp. 11–27, 1981, doi: 10.1111/j.1539-6924.1981.tb01350.x.
- [5] T. Aven and E. Zio, “Foundational Issues in Risk Assessment and Risk Management,” *Risk Analysis*, vol. 34, no. 7, pp. 1164–1172, 2014, doi: 10.1111/risa.12132.
- [6] S. Hurst and Steve R. Lewis, “Lessons Learned from Real World Application of the Bow-tie Method,” 2005.
- [7] V. De Dianous and C. Fiévez, “ARAMIS project: A more explicit demonstration of risk control through the use of bow-tie diagrams and the evaluation of safety barrier performance,” *J Hazard Mater*, vol. 130, no. 3 SPEC. ISS., pp. 220–233, Mar. 2006, doi: 10.1016/j.jhazmat.2005.07.010.
- [8] C. T. Yeo, J. Bhandari, R. Abbassi, V. Garaniya, S. Chai, and B. Shomali, “Dynamic risk analysis of offloading process in floating liquefied natural gas (FLNG) platform using Bayesian Network,” *J Loss Prev Process Ind*, vol. 41, pp. 259–269, May 2016, doi: 10.1016/j.jlp.2016.04.002.
- [9] L. Zhang, S. Wu, W. Zheng, and J. Fan, “A dynamic and quantitative risk assessment method with uncertainties for offshore managed pressure drilling phases,” *Saf Sci*, vol. 104, pp. 39–54, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.ssci.2017.12.033.
- [10] X. P. Yan, C. P. Wan, D. Zhang, and Z. L. Yang, “Safety management of waterway congestions under dynamic risk conditions—A case study of the Yangtze River,” *Applied Soft Computing Journal*, vol. 59, pp. 115–128, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.asoc.2017.05.053.
- [11] Audun Brandsæter and Peter Hoffmann, “MARINE SHIPPING QUANTITATIVE RISK ANALYSIS ENBRIDGE NORTHERN GATEWAY PROJECT,” 2010.
- [12] A. Roelen, R. van Aalst, N. Karanikas, S. Kaspers, S. Piric, and R. J. de Boer, “Effectiveness of risk controls as indicator of safety performance,” *AUP Advances*, vol. 1, no. 1, pp. 175–189, May 2018, doi: 10.5117/adv2018.1.012.roel.
- [13] M. Chaal, A. Bahootoroody, S. Basnet, O. A. Valdez Banda, and F. Goerlandt, “Towards system-theoretic risk assessment for future ships: A framework for selecting Risk Control Options,” *Ocean Engineering*, vol. 259, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.oceaneng.2022.111797.

- [14] IMO MARITIME SAFETY COMMITTEE, "MSC 75/5/2 Report on FSA Study on Bulk Carrier Safety," 2002.
- [15] International Association of Classification Societies (IACS), "GENERAL CARGO SHIP SAFETY IACS FSA study-Steps 3 and 4 (Risk control options and Cost benefit assessment)," 2010.
- [16] International Maritime Organisation, "ANNEX DETAILS ON FORMAL SAFETY ASSESSMENT OF CONTAINER VESSELS," 2007.