



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Η/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΠΜΣ ΤΕΧΝΟ - ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΘΕΜΑ

«Μελέτη πιλοτικού τρόπου εκτίμησης επιπέδου επικινδυνότητας με συνεκτίμηση ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των κινδύνων και μέτρων ελέγχου αυτών»

ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΜΟΡΑΚΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. Δημήτριος Ασκούνης

Αθήνα, Ιανουάριος 2018



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΠΜΣ ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΘΕΜΑ

«Μελέτη πιλοτικού τρόπου εκτίμησης επιπέδου επικινδυνότητας με συνεκτίμηση ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των κινδύνων και μέτρων ελέγχου αυτών»

ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΜΟΡΑΚΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. Δημήτριος Ασκούνης

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή τον Ιανουάριο 2018.

.....
Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Ιωάννης Ψαράς
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Χρυσόστομος Δούκας
Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ

ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΜΟΡΑΚΗΣ

Αξιωματικός Έρευνας - Πληροφορικής Π.Α

Copyright © Θεόδωρος Μοράκης, 2018 Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η τρέχουσα πρακτική που αφορά την εκτίμηση επικινδυνότητας, εξετάζει τη σοβαρότητα και πιθανότητα εμφάνισης ενός γεγονότος ασφαλείας, χρησιμοποιώντας πίνακες στους οποίους οι ανωτέρω παράγοντες ταξινομούνται και διασταυρώνονται με σκοπό την εκτίμηση επιπέδου ρίσκου. Ανάλογα με την επάρκεια και την αξιοπιστία των δεδομένων, η πιθανότητα εκτιμάται με ποιοτικές και ποσοτικές μεθόδους, ενώ η σοβαρότητα μέσω της εμπειρίας από παρελθόντα γεγονότα.

Αυτή η τεχνική για την εκτίμηση του επιπέδου ρίσκου, έχει επικριθεί αρνητικά σε τομείς όπως η εγκυρότητά της λόγω των επιπτώσεων των γνωστικών προκαταλήψεων και της αιτιοκρατικής άποψης ότι οι πιθανές συνέπειες του ρίσκου οφείλονται σε διαφορετικά επίπεδα απελευθέρωσης ενέργειας και έκθεσης σε αυτό. Επιπλέον, λόγω της έλλειψης τυποποίησης στη σχεδίαση των πινάκων εκτίμησης του ρίσκου, δεν είναι εύκολο να επιτευχθεί συγκριτική αξιολόγηση μεταξύ συστημάτων και οργανισμών. Ωστόσο, μέχρι σήμερα δεν έχει προταθεί διαφορετική τεχνική.

Λαμβάνοντας υπόψη τους προαναφερθέντες περιορισμούς καθώς και το γεγονός ότι η κατηγοριοποίηση των κινδύνων και των αιτιών πρόκλησης αυτών αλλά και οι συνέπειές τους, εξαρτώνται από τον αναλυτή του συστήματος, η παρούσα μελέτη προτείνει την μέτρηση της ικανότητας αποφυγής κινδύνου (Safety Risk Avoidance Capability) σε ένα καθορισμένο σύστημα. Η μέτρηση αυτή, συνδυάζει ποιοτικές και ποσοτικές παραμέτρους που αναφέρονται στη βιβλιογραφία αλλά δεν έχουν ακόμη αξιοποιηθεί και αποτελείται από δύο μέρη. Την επιρροή των κινδύνων και τις εναπομένουσες επιπτώσεις τους, μετά την εφαρμογή αντιμέτρων. Κάθε ένα από τα μέρη υπολογισμού του δείκτη ικανότητας αποφυγής, υπολογίζεται μέσω συγκεκριμένων βημάτων και το αποτέλεσμα οδηγεί σε κανονικοποιημένη βαθμολογία που επιτρέπει τη σύγκριση καθώς και την αξιολόγηση ενός συστήματος με την πάροδο του χρόνου.

Λέξεις Κλειδιά: Εκτίμηση Επιπέδου Ρίσκου, Αντίμετρα Κινδύνων, Επιρροή Κινδύνων.

Abstract

Current practice regarding risk assessment contemplates the severity and likelihood of risks and employs the use of matrixes where the aforementioned factors are classified and cross-referenced in order to evaluate risk levels. Depending on the adequacy and reliability of data, likelihood is estimated with quantitative or qualitative methods, and severity is estimated according to experience from past events.

This standard technique for assessing risks has been negatively criticized in terms of validity due to effects of cognitive biases and a deterministic view of the possible consequences of risks due to different levels of energy release and risk exposure. Even more, because of the lack of standardization of risk matrices, a benchmarking across systems, organizations etc. is not feasible. However, to date, no alternative technique has been suggested.

Taking into account the aforesaid limitations, as well as the fact that the classification of hazards/causal factors, risk event(s) and consequences depends always on the analyst's this study proposes the Safety Risk Avoidance Capability (SAREAC) metric for a defined system. The metric combines quantitative and qualitative parameters referred in the literature but not yet exploited, and consists of two parts: the influence of hazards and the remaining effects of hazards after implementing or designing controls. Each of the SAREAC parts is calculated through specific steps and they result in a normalized score that allows comparisons between systems or assessments over time.

Keywords: SAREAC, risk assessment, safety barriers

Πρόλογος

Η διπλωματική εργασία που τεκμηριώνεται στο παρόν έγγραφο εισάγει έναν νέο τρόπο υπολογισμού του επιπέδου έκθεσης στο ρίσκο ασφαλείας, οριοθετημένων συστημάτων όπως οργανισμοί – εταιρείες ανεξαρτήτως αντικειμένου ενασχόλησης.

Ολοκληρώνοντας τη διπλωματική εργασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Δημήτριο Ασκούνη για την ιδιαίτερη εμπιστοσύνη του στο πρόσωπό μου, δίνοντάς μου την ευκαιρία για έρευνα σε νέα επιστημονικά αντικείμενα.

Συγχρόνως, ευχαριστώ ιδιαίτερα τον Δρ. Νεκτάριο Καρανίκα, αναπληρωτή Καθηγητή του Πανεπιστημίου Εφαρμοσμένων Επιστημών του Άμστερνταμ (Amsterdam University of Applied Sciences, Netherlands) του οποίου αποτελεί ιδέα η παρούσα εργασία και τον Δρ Σωτήρη Κουσσουρή για την αμέριστη συμπαράσταση και καθοδήγησή τους καθόλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μου.

Αθήνα, Ιανουάριος 2018

Θεόδωρος Μοράκης

Πίνακας Περιεχομένων

Πρόλογος	9
Ευρετήριο Εικόνων και Πινάκων	13
Ακρωνύμια – Συνοτμεύσεις	14
1. Εισαγωγή.....	15
1.1 Αντικείμενο και στόχοι της διπλωματικής εργασίας	15
1.2 Δομή της διπλωματικής εργασίας.....	16
2. Θεωρητικό Υπόβαθρο	19
2.1 Μελέτη Ρίσκου Ασφαλείας.....	19
2.2 Τεχνικές Εκτίμησης Επιπέδου Ρίσκου.....	21
2.2.1 Η Μέθοδος Πιθανότητας-Δριμύτητας.....	22
2.2.2 Η Μέθοδος «Aviation Safety Management Solutions - ARMS»	25
3. Ανάλυση Τρέχουσας Βιβλιογραφίας	29
3.1 Μελέτη Απόδοσης Μέτρων Ελέγχου Συστήματος	30
3.3.1 Λειτουργίες Μέτρων Ελέγχου	30
3.3.2 Τρόπος Δράσης Μέτρων Ελέγχου.....	33
3.3.3 Κριτήρια Απόδοσης Μέτρων Ελέγχου	35
3.2 Συμπέρασμα Μελέτης Λειτουργιών, Δράσης και Απόδοσης Αντιμέτρων	38
3.2.1 Μελέτη Λειτουργιών Αντιμέτρων.....	39
3.2.2 Μελέτη Δράσης Αντιμέτρων.....	40
3.3.3 Μελέτη Απόδοσης Αντιμέτρων	42
4. Μεθοδολογία υπολογισμού Δείκτη Ικανότητας Αποφυγής Γεγονότος Ασφαλείας – SAREAC (Safety Risk Event Avoidance Capability)	47

4.1	Ικανότητα Αποφυγής Risk Event.....	49
4.2	Χαρακτηριστικά Κινδύνων Συστήματος.....	50
4.2.1	Σχετική Παρουσία Κινδύνου (Relative Presence)	50
4.2.2	Σχετική Συμμετοχή του Κινδύνου σε Risk Events (Relative Contribution) 52	
4.3	Επιρροή των Κινδύνων στο Σύστημα Μελέτης.....	53
4.4	Περιορισμός Απόδοσης Κινδύνου με Αντίμετρα.....	55
4.4.1	Κατηγοριοποίηση Αντιμέτρων.....	55
4.4.2	Βαθμολόγηση Αντιμέτρων Κινδύνων	55
4.4.3	Τρόπος Εφαρμογής Αντιμέτρων	58
4.5	Τρόπος Λειτουργίας Δείκτη SREAC	63
5.	Μελέτη Περίπτωσης Δείκτη SAREAC	66
5.1	Ο Κίνδυνος στο Σύστημα	66
5.1.1	Αναγνώριση των Κινδύνων.....	66
5.1.2	Επιρροή των Κινδύνων (Hazard Influence - IH).....	67
5.2	Μέτρα Ελέγχου του Κινδύνου (Αντίμετρα).....	69
5.2.1	Υπολογισμός Αναμενόμενης Απόδοσης Αντιμέτρων	70
5.2.2	Υπολογισμός Αναμενόμενης Απόδοσης Αντιμέτρων	74
5.3	Υπολογισμός Δείκτη SREAC	76
6.	Σύνοψη – Συμπεράσματα Μελέτης.....	78
	Βιβλιογραφία	81

Ευρετήριο Εικόνων και Πινάκων

ΕΙΚΟΝΑ 2.2.1.1 RISK MATRIX	22
ΕΙΚΟΝΑ 2.2.1.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ RISK MATRIX.....	23
ΕΙΚΟΝΑ 2.2.2.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΘΟΔΟΥ ARMS (ARMS WORKING GROUP, 2007-2010)	26
ΕΙΚΟΝΑ 2.2.2.2 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ERC - SIRA (ARMS WORKING GROUP, 2007-2010)	27
ΕΙΚΟΝΑ 3.1.1 RISK MANAGEMENT CYCLE	29
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.1.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΜΕΤΡΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ	33
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.2.1 ΤΡΟΠΟΣ ΔΡΑΣΗΣ ΜΕΤΡΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	35
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.3.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΝΤΙΜΕΤΡΩΝ	38
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.1.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΑΝΤΙΜΕΤΡΩΝ.....	40
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.3.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΝΤΙΜΕΤΡΩΝ	44
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.3.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΑΡΕΛΘΟΝΤΙΚΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	46
ΕΙΚΟΝΑ 4.1.1 «BOW TIE MODEL» (CGE, 2017)	48
ΕΙΚΟΝΑ 4.1.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ SAREAC	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4.1.1 «ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΝΤΙΜΕΤΡΩΝ»	55
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4.2.2 ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ ΑΝΤΙΜΕΤΡΩΝ	57
ΕΙΚΟΝΑ 4.4.3.1.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΤΙΜΕΤΡΩΝ ΣΕ ΣΕΙΡΑ	59
ΣΧΕΣΗ 4.4.3.2.1 ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΝΤΙΜΕΤΡΩΝ ΣΕ ΠΑΡΑΛΛΗΛΙΑ	60
ΕΙΚΟΝΑ 4.4.3.2.2 ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΤΙΜΕΤΡΩΝ	61
ΕΙΚΟΝΑ 4.4.3.3.1 ΑΝΤΙΜΕΤΡΑ ΜΕ ΜΙΚΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....	61
ΣΧΕΣΗ 4.4.3.3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΙΚΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΝΤΙΜΕΤΡΩΝ	61
ΕΙΚΟΝΑ 4.5.1 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ SAREAC.....	65
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.2.2.1 ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΜΕ ΓΕΓΟΝΟΤΑ	68
ΕΙΚΟΝΑ 5.2.1.1 ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ ΑΝΤΙΜΕΤΡΩΝ 1ΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	72
ΕΙΚΟΝΑ 5.2.1.2 ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ ΑΝΤΙΜΕΤΡΩΝ 2ΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	72
ΕΙΚΟΝΑ 5.2.1.3 ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ ΑΝΤΙΜΕΤΡΩΝ 3ΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	73
ΕΙΚΟΝΑ 5.2.1.4 ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ ΑΝΤΙΜΕΤΡΩΝ 4ΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	74

Ακρωνύμια – Συντομεύσεις

<i>Όρος - Ακρωνύμια</i>	<i>Επεξήγηση</i>
ARMS	Aviation Risk Management Solutions
EHC	Effectiveness of Hazard Controls
ERC	Effectiveness Rate
ICAO	International Civil Aviation Organization
IH	Influence of Hazards
PHC	Past Performance
RCH	Relative Contribution of Hazards
REH	Remaining Effects of Hazards
RPH	Relative Presence of Hazards
SAREAC	Safety Risk Event Avoidance Capability
SMS	Safety Management Systems
SIRA	Safety Issue Risk Assessment
STR	Success Test Rate

1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο και στόχοι της διπλωματικής εργασίας

Κάθε οργανισμός, ανεξάρτητα με το είδος του, έρχεται αντιμέτωπος με ένα ευρύ φάσμα κινδύνων και γεγονότων ασφαλείας. Οποιαδήποτε και αν είναι η πηγή και η φύση των κινδύνων, εάν δεν ελεγχθούν έγκαιρα, θα οδηγήσουν σε αμελητέες ή και σοβαρές επιπτώσεις στον άνθρωπο, σε εξοπλισμό, στις υποδομές και στο περιβάλλον. Μέσω της διαδικασίας διαχείρισης του ρίσκου ασφαλείας (Safety Risk Management), οι οργανισμοί αποσκοπούν στην εξάλειψη και το μετριασμό των κινδύνων μειώνοντας έτσι την έκθεση των αγαθών τους και του προσωπικού τους σε πιθανά γεγονότα ασφαλείας (Safety Risk Events). Παράλληλα, δημιουργούν κατάλληλους μηχανισμούς ανάκαμψης, ούτως ώστε σε περίπτωση εκδήλωσης ενός γεγονότος ασφαλείας, να επανέρθουν στην κανονική τους λειτουργία το συντομότερο.

Η τυπική διαδικασία διαχείρισης ρίσκου, αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα: Την αναγνώριση των κινδύνων, την εκτίμηση επιπέδου ρίσκου, την προτεραιοποίηση και εφαρμογή των αντιμέτρων ελέγχου των κινδύνων (Safety Barriers), την παρακολούθηση των εναπομεινάντων ρίσκων με την παρακολούθηση δημιουργίας νέων και τέλος την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των προληπτικών μέτρων που λαμβάνονται. (ISO, 2009).

Συνεπώς, η πρόληψη εκδήλωσης ενός γεγονότος ασφαλείας, αποτελεί αντικείμενο ιδιαίτερης μελέτης από τους αναλυτές. Ως εκ τούτου, η εκτίμηση του επιπέδου επικινδυνότητας που αποτελεί και το δεύτερο βήμα του κύκλου διαχείρισης ρίσκου, αποτελεί ισχυρό κριτήριο στην λειτουργία της πρόληψης.

Η εκτίμηση του επιπέδου ρίσκου, διενεργείται ευρέως στη βιομηχανία, μέσω της χρήσης πινάκων εκτίμησης ρίσκου (Risk Matrices) οι οποίοι έχουν προκαθορισμένες από κάθε οργανισμό κλίμακες πιθανότητας και δριμύτητας εκδήλωσης. Η πιθανότητα εκδήλωσης εκτιμάται με ποιοτικές και ποσοτικές

μεθόδους, ενώ η δριμύτητα εκτιμάται από την εμπειρία από προηγούμενα αντίστοιχα γεγονότα ασφαλείας. Παρόλαυτα, η μέθοδος αυτή, έχει δεχθεί πολλαπλές κριτικές για την αντικειμενικότητα και την αποτελεσματικότητά της

Με δεδομένο τις παραπάνω αδυναμίες της υπάρχουσας τεχνικής εκτίμησης ρίσκου, η παρούσα μελέτη, εισαγάγει τον Δείκτη Ικανότητας Αποφυγής Γεγονότος Ασφαλείας (Safety Risk Event Avoidance Capability – SAREAC).

Ο δείκτης αυτός προκύπτει από τον συνυπολογισμό της επιρροής που έχουν οι κίνδυνοι στο σύστημα μελέτης και της αποτελεσματικότητας των αντιμέτρων που λαμβάνονται για να περιορίσουν την εκδήλωση των κινδύνων σε γεγονότα ασφαλείας.

Η χρήση του ανωτέρω εργαλείου, οδηγεί στην εκτίμηση του επιπέδου επικινδυνότητας με περισσότερο αντικειμενικό τρόπο λόγω της ελαχιστοποίησης των υποκειμενικών και ντετερμινιστικών εκτιμήσεων που χρησιμοποιούνται στον τρέχον τρόπο εκτίμησης.

Επιπρόσθετα, σε αντίθεση με τα «Risk Matrices», τα οποία είναι άμεσα εξαρτώμενα από τον εκάστοτε οργανισμό που τα χρησιμοποιεί, ο δείκτης ικανότητας αποφυγής θα μπορεί να εφαρμοστεί από οργανισμούς με διαφορετικά είδη εργασιακών κινδύνων σε οριοθετημένα συστήματα (δηλ. υφιστάμενο επίπεδο επικινδυνότητας) αλλά και στην περίπτωση λήψης απόφασης για την αντιμετώπιση νέων ή τροποποιημένων κινδύνων, εφαρμογής ή κατάργησης προληπτικών μέτρων κτλ.

1.2 Δομή της διπλωματικής εργασίας

Η δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει οργανωθεί σε 6 κεφάλαια, των οποίων τα διαλαμβανόμενα αναπτύσσονται ακολούθως:

Μετά τα εισαγωγικά στοιχεία που παρατίθενται στο 1ο Κεφάλαιο, στο Κεφάλαιο 2, γίνεται ανασκόπηση και παράθεση θεωρητικών εννοιών όπως το ρίσκο ασφαλείας και αναπτύσσονται οι έννοιες του κύκλου διαχείρισης ρίσκου (Risk

Management Cycle). Παράλληλα, παρουσιάζεται η τρέχουσα τεχνική εκτίμησης ρίσκου με τη χρήση πινάκων διασταύρωσης Πιθανότητας - Δριμύτητας καθώς και η μέθοδος «Aviation Safety Management Solutions - ARMS» η οποία συναντάται κυρίως σε οργανισμούς με αντικείμενο την αεροπλοΐα. Η μέθοδος αυτή, εισάγει την εκτίμηση αποτελεσματικότητας των εφαρμοζόμενων αντιμέτρων στο 2ο στάδιο της διαδικασίας διαχείρισης ρίσκου, αυτό της εκτίμησης ρίσκου.

Στο 3ο Κεφάλαιο, γίνεται μια συνολική παράθεση της βιβλιογραφίας, που αφορά τα μέτρα ελέγχου που εφαρμόζονται στο σύστημα με σκοπό τη μείωση του επιπέδου έκθεσης στο ρίσκο. Ειδικότερα, στο πρώτο μέρος του συγκεκριμένου κεφαλαίου αναπτύσσονται οι αναφορές που αφορούν τις λειτουργίες των αντιμέτρων, τον τρόπο δράσης τους και τέλος τα κριτήρια εκτίμησης της αποτελεσματικότητάς τους. Μετά τη παράθεση των βιβλιογραφικών αναφορών, προκύπτουν τα συμπεράσματα μελέτης των ανωτέρω που αναλύονται στο δεύτερο μέρος του κεφαλαίου 3.

Στη συνέχεια, στο 4^ο κεφάλαιο, γίνεται ανάπτυξη της μεθοδολογίας που ακολουθείται για τον υπολογισμό του δείκτη SAREAC και αναλύεται η έννοια της επιρροής των κινδύνων στο σύστημα, μέσω της Σχετικής Παρουσίας καθώς και της Σχετικής Συμμετοχής σε γεγονότα ασφαλείας. Παράλληλα, στο ίδιο κεφάλαιο, αναπτύσσονται και οι τρόποι περιορισμού της έκθεσης του συστήματος στα γεγονότα ασφαλείας μέσω της χρήσης αντιμέτρων καθώς και οι τεχνικές εκτίμησης της αποτελεσματικότητάς των αντιμέτρων, είτε έχουν γνωστή συμπεριφορά και αποτελεσματικότητα είτε όχι.

Στο 5^ο κεφάλαιο, επιδεικνύεται η εφαρμογή του δείκτη SAREAC σε μια δημοσιευμένη εκτίμηση επιπέδου ρίσκου, που αφορά εταιρεία οδικών μεταφορών και την οποία δημοσίευσε το Ινστιτούτο Υγείας και Ασφάλειας στην Εργασία του Ην Βασιλείου (Health and Safety Executive, 2013).

Στο 6^ο κεφάλαιο, αναπτύσσονται τα συμπεράσματα καθώς και ανατροφοδοτήσεις που λήφθηκαν κατά τη διάρκεια της παρουσίασης και της υποβολής άρθρου επί της παρούσας εργασίας στο Διεθνές Συνέδριο Βιομηχανικής

Ασφάλειας (International Cross-Industry Safety Conference – ICSC 2017) που διοργανώθηκε το Νοέμβριο του 2017 από το Πανεπιστήμιο Εφαρμοσμένων Επιστημών του Άμστερνταμ (Aviation Academy, Amsterdam University of Applied Sciences, Netherlands).

2. Θεωρητικό Υπόβαθρο

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται ανάλυση των εννοιών που αφορούν τη διαχείριση ρίσκου ασφαλείας και ειδικότερα τις διαδικασίες που επικεντρώνονται στην πρόληψη των κινδύνων. Ειδικότερα, αναλύεται η έννοια του κινδύνου και η διαδικασία αναγνώρισής του (Hazard Identification), που αποτελεί και το πρώτο βήμα στον κύκλο διαχείρισης ρίσκου (ISO, 2009) και στη συνέχεια αναλύεται η διαδικασία της εκτίμησης ρίσκου (Risk Assessment), με την παρουσίαση των τρεχουσών τεχνικών που εφαρμόζονται στους οργανισμούς.

2.1 Μελέτη Ρίσκου Ασφαλείας

Κάθε οργανισμός, έρχεται αντιμέτωπος με μια σειρά πολλαπλών ρίσκων ασφαλείας, ανάλογα με το αντικείμενο και το είδος λειτουργίας του. Ως ρίσκο ασφαλείας (Safety Risk) ορίζεται το αποτέλεσμα δριμύτητας που θα προκαλέσει μια επισφαλής κατάσταση ή ένας κίνδυνος σε συνδυασμό με την πιθανότητα αυτός να εμφανιστεί σε ένα οριοθετημένο σύστημα μελέτης (CCHOS, 2017). Μια άλλη παρόμοια εκδοχή για την ερμηνεία της έννοιας «ρίσκο» είναι η κατάσταση που εμπεριέχει την έκθεση στον κίνδυνο και η οποία εάν δεν περιοριστεί, μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητες συνέπειες όπως τραυματισμούς, ζημιά, καταστροφή υποδομών και εξοπλισμού (Oxford Dictionary, 2017).

Όπως γίνεται αντιληπτό, η διαχείριση του ρίσκου ασφαλείας, αποτελεί ζωτικής σημασίας και αδιάκοπτη διαδικασία για τον οποιοδήποτε οργανισμό και αποτελείται σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα (ISO, 2009) από τα ακόλουθα στάδια :

α. Η αναγνώριση των Κινδύνων (Hazard Identification)

Ως κίνδυνος νοείται μια κατάσταση, ένα αντικείμενο κτλ, που έχει τη δυνατότητα να οδηγήσει σε τραυματισμό στο προσωπικό, ζημιά σε εξοπλισμό και

εγκαταστάσεις και μείωση της ικανότητας εκτέλεσης μιας λειτουργίας (CCHOS, 2017). Η αναγνώριση των κινδύνων σε ένα οριοθετημένο σύστημα μελέτης, αποτελεί το πρώτο βήμα του κύκλου διαχείρισης ρίσκου (Risk Management Cycle), και διενεργείται σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Airport Safety Management Panel Activities and Outcomes, 2016) με κάποιους από τους ακόλουθους τρόπους: Με καταιγισμό ιδεών (brainstorming), με οδηγούς (checklists), με δείκτες απόδοσης ασφαλείας (safety performance indicators - SPI), με αναφορές περιστατικών ασφαλείας και επικινδύνων καταστάσεων (Hazard Incident Reports) και ελέγχους ασφαλείας (safety audits) καθώς και με μελέτες ασφάλειας (Safety Studies) καθώς και με αποτελέσματα διερευνήσεων ατυχημάτων (Safety Investigations)

β. Η εκτίμηση του επιπέδου ρίσκου (Risk Assessment)

Η εκτίμηση του επιπέδου ρίσκου στο σύστημα, αξιολογεί την πιθανότητα εξέλιξης ενός κινδύνου σε γεγονός ασφαλείας (risk event) και στη μελέτη των επιπτώσεων (δριμύτητας) εάν αυτό εκδηλωθεί. Ειδικότερα, σε ένα υποθετικό σενάριο όπου έχει αναγνωριστεί ως κίνδυνος το σπασμένο παράθυρο ενός δωματίου, η εκτίμηση του επιπέδου ρίσκου, μελετά την πιθανότητα να υπάρξει τραυματισμός από τον κίνδυνο αυτό (πτώση ατόμου στο κενό κτλ) και παράλληλα, εάν εκδηλωθεί το γεγονός αυτό, αν θα υπάρξει και ποιες θα είναι οι συνέπειες του τραυματισμού του.

γ. Η προτεραιοποίηση και η εφαρμογή των μέτρων ελέγχου (The prioritization and implementation of Risk Controls)

Σε αυτό το στάδιο ο οργανισμός αφού πρώτα προτεραιοποιήσει τα αντίμετρα που διαθέτει ή μπορεί να εφαρμόσει ανάλογα με τους υπάρχοντες κινδύνους του συστήματος, εφαρμόζει νέα ή τροποποιεί υφιστάμενα μέτρα μείωσης της έκθεσης στον κίνδυνο (αντίμετρα), με σκοπό τον έλεγχο και τη μείωση του επιπέδου ρίσκου σε αποδεκτά επίπεδα.

δ. Η παρακολούθηση του επιπέδου ρίσκου και η παρακολούθηση εμφάνισης νέων ρίσκων.

Με την παρακολούθηση του επιπέδου ρίσκου στο σύστημα, αξιολογείται έμμεσα η επίδραση των αντιμέτρων. Παράλληλα η εφαρμογή ενός αντιμέτρου είναι δυνατό να οδηγήσει στη δημιουργία νέων κινδύνων και συγχρόνως νέων ρίσκων. Για αυτό το λόγο, το σύστημα, παρακολουθείται συνεχώς για να ανιχνευθεί η οποιαδήποτε ανεπιθύμητη διαφοροποίηση στο επίπεδο ρίσκου.

ε. Η αξιολόγηση της απόδοσης των μέτρων ελέγχου

Τα μέτρα ελέγχου που εφαρμόζονται, θα πρέπει να παρακολουθούνται ως προς την αποτελεσματικότητά τους, με βάση την επίδραση που έχουν επί των κινδύνων που εφαρμόζονται. (Πχ σε περίπτωση που υπάρχει πυροσβεστήρας αλλά δεν είναι γνωστός ο τρόπος λειτουργίας του, τότε θα πρέπει να υπάρξει επιπλέον εκπαίδευση για τη χρήση του, ώστε να καταστεί αποτελεσματικό το αντίμετρο.)

Συμπερασματικά, προκύπτει ότι από τη διαδικασία διαχείρισης ρίσκου (Risk Management) η ρεαλιστική και αντικειμενική εκτίμηση του συνολικού επιπέδου ρίσκου (Risk Assessment) το οποίο μελετάται στο 2^ο στάδιο της διαδικασίας, παίζει καταλυτικό ρόλο στην αποτελεσματική αντιμετώπισή του. Ως εκ τούτου, στη συνέχεια ακολουθεί η ανάλυση του 2^{ου} σταδίου, καθώς και τις αδυναμίες που παρουσιάζουν οι τρέχουσες μέθοδοι υπολογισμού.

2.2 Τεχνικές Εκτίμησης Επιπέδου Ρίσκου

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.1, η σημασία της ρεαλιστικής και αντικειμενικής εκτίμησης του επιπέδου ρίσκου, αποτελεί καταλυτικό παράγοντα στην ορθή λειτουργία της διαχείρισής του στο σύστημα. Στις ακόλουθες υποπαραγράφους, ακολουθεί ανάλυση των τρεχουσών μεθόδων με τις οποίες διενεργείται η εκτίμηση του επιπέδου ρίσκου σε ένα σύστημα.

2.2.1 Η Μέθοδος Πιθανότητας-Δριμύτητας

Η πλέον διαδεδομένη μέθοδος εκτίμησης επιπέδου ρίσκου σε ένα σύστημα - οργανισμό, μελετά την **Πιθανότητα (Probability)** εμφάνισης και τη **Δριμύτητα (Severity)** που θα προκαλέσει εάν συμβεί, κάποιο γεγονός ασφαλείας (CGERisk, 2017). Η εκτίμηση αυτή, προκύπτει χρησιμοποιώντας πίνακες αντιστοίχισης Πιθανότητας-Δριμύτητας, οι οποίοι είναι γνωστοί έως Risk Matrices (Εικόνα 2.2.1.1).

Η εκτίμηση της πιθανότητας γίνεται ποσοτικά (στατιστικές κατανομές με βάση δεδομένα εκδήλωσης γεγονότων ρίσκου στο παρελθόν), ή ποιοτικά όταν δεν υπάρχουν αξιόπιστα ή επαρκή δεδομένα. Η δριμύτητα εκτιμάται με ποιοτικούς κυρίως υπολογισμούς που αφορούν πρότερη εμπειρία σε παρόμοια εκδήλωση ίδιων γεγονότων ασφαλείας. (CGERisk, 2017)

	PROBABILITY				
SEVERITY	A	B	C	D	E
5	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Red
4	Green	Yellow	Yellow	Orange	Orange
3	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange
2	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
1	Green	Green	Green	Green	Green

Εικόνα 2.2.1.1 Risk Matrix

Για να γίνει κατανοητός ο τρόπος υπολογισμού του επιπέδου ρίσκου με την παραπάνω τεχνική, ακολουθεί το ακόλουθο παράδειγμα το οποίο αναφέρεται στην εκτίμηση επιπέδου ρίσκου μιας ελληνικής παραθαλάσσιας πόλης (Εικόνα 2.2.1.2).

Η κλιμάκωση της πιθανότητας, γίνεται σε πέντε (5) κλίμακες από πολύ πιθανή πιθανότητα εμφάνισης μέχρι αμελητέα. Αντίστοιχα, η εκτίμηση της δριμύτητας γίνεται με τη χρήση τεσσάρων (4) κλιμάκων και τις επιπτώσεις που θα επιφέρει η κάθε μία ως ακολούθως:

- α. Καταστροφικό: Πολλαπλοί θάνατοι
- β. Κρίσιμο: Ένας θάνατος και πολλαπλοί τραυματισμοί
- γ. Οριακό: Ένας σοβαρός τραυματισμός και πολλοί ελαφροί τραυματισμοί

δ. Αμελητέο: Ένας ελαφρύς τραυματισμός

Συγχρόνως, η κλιμάκωση του επιπέδου ρίσκου αναπαριστάται με χρωματική διαφορά, όπου το πράσινο επίπεδο υποδηλώνει χαμηλό επίπεδο ρίσκου, το κίτρινο μέσο επίπεδο ρίσκου και αντίστοιχα το πορτοκαλί υψηλό και το κόκκινο χρώμα πολύ υψηλό επίπεδο.

	ΑΠΙΘΑΝΟ	ΣΠΑΝΙΟ	ΔΥΝΑΤΟ	ΠΙΘΑΝΟ	ΠΟΛΥ ΠΙΘΑΝΟ
ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟ	Τσουνάμι				
ΚΡΙΣΙΜΟ		Πτώση Α/Φ	Τροχαίο Ατύχημα		
ΟΡΙΑΚΟ				Πτώση από Ύψος	
ΑΜΕΛΗΤΕΟ					Σπασιμο Ποδιού

Εικόνα 2.2.1.2 Εφαρμογή Risk Matrix

Έτσι, το σπάσιμο του ποδιού ενός πολίτη, είναι από τη μια πλευρά πολύ πιθανό να συμβεί σε καθημερινή βάση, αλλά θεωρείται αμελητέας δριμύτητας καθώς πρόκειται για ελαφρύ τραυματισμό. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί, ότι το ανωτέρω γεγονός ασφαλείας, όπως είναι το σπάσιμο του ποδιού ενός πολίτη, θεωρείται αμελητέο από την πλευρά του Δήμου, διότι από την πλευρά του ίδιου του ατόμου και του περιβάλλοντός του θεωρείται μεγαλύτερης δριμύτητας. Ως εκ τούτου θεωρείται χαμηλού επιπέδου ρίσκο για την πόλη ως σύστημα μελέτης. Αντίστοιχα η πτώση από ύψος ενός ή περισσότερων πολιτών, είναι από τη μια πλευρά πιθανό να συμβεί και λόγω των καθημερινών δραστηριοτήτων της πόλης (Οικοδομικές Εργασίες κτλ) και συγχρόνως εάν συμβεί μπορεί να οδηγήσει και σε σοβαρό τραυματισμό. Για αυτό το λόγο και θεωρείται μέσου επιπέδου ρίσκο. Συνεχίζοντας ένα τροχαίο δυστύχημα είναι δυνατό να συμβεί αλλά πιθανώς θα προκαλέσει έναν ή περισσότερους θανάτους και αντίστοιχα τραυματισμούς. Ομοίως, η πτώση ενός Α/Φ είναι από τη μια πλευρά σπάνιο να συμβεί, αλλά από την άλλη πλευρά εάν συμβεί πιθανόν θα προκαλέσει τουλάχιστον ένα θάνατο και αρκετούς τραυματισμούς. Τέλος,

η εκδήλωση ενός τσουνάμι είναι απίθανο να συμβεί, αλλά σε περίπτωση που συμβεί θα προκαλέσει καταστροφικές συνέπειες στην πόλη, με πολλαπλούς θανάτους πολιτών.

Παρατηρούμε ότι στο παραπάνω παράδειγμα, η εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης του καθενός γεγονότος ασφαλείας (risk event), ειδικά σε χαμηλά επίπεδα πιθανότητας εμφάνισης (Απίθανο-Σπάνιο), μπορεί να διαφοροποιείται από πόλη σε πόλη. Αντίστοιχα η εκτίμηση της δριμύτητας, ξεφεύγει από τα όρια του ρεαλισμού και οδηγείται στην υποκειμενικότητα και την προσωπική εκτίμηση του ερευνητή, η οποία αρκετές φορές κινείται εντός της ντετερμινιστικής θεώρησης, ότι τα ίδια αίτια οδηγούν σε παρόμοια αποτελέσματα. Ως εκ τούτου, δεν μπορεί να θεωρείται αντικειμενική. Ειδικότερα, ένα τροχαίο ατύχημα μπορεί να προκαλέσει πολλαπλούς θανάτους και άρα καταστροφικές συνέπειες, με αποτέλεσμα να θεωρείται ρίσκο υψηλού επιπέδου και όχι μέσου.

Για τους ανωτέρω λόγους, η συγκεκριμένη μέθοδος εκτίμησης, έχει δεχθεί αρνητικές κριτικές ως προς το βαθμό αποτελεσματικότητάς της και τον ρεαλισμό της, κυρίως διότι τα αποτελέσματα εμπεριέχουν υποκειμενικούς παράγοντες εκτίμησης. Συγκεκριμένα μερικά από τα μειονεκτήματα της μεθόδου όπως αυτά προέκυψαν από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας είναι τα ακόλουθα:

Η απεικόνιση του επιπέδου ρίσκου γίνεται σε δισδιάστατη μορφή, πολλές από τις διασταυρώσεις Πιθανότητας – Δριμύτητας λόγω του πρότυπου γραφήματος της μεθόδου, είναι δύσκολο να τοποθετηθούν στο κατάλληλο κελί, με αποτέλεσμα την εξαγωγή λάθους συμπεράσματος, η παρατήρηση των επιπτώσεων ενός γεγονότος που απεικονίζεται μέσω των πινάκων, πιθανόν να είναι προβληματική καθώς η ίδια κατάσταση μπορεί να ξανασυμβεί με επιπτώσεις διαφορετικής δριμύτητας.

Ακολούθως, η χρήση των Πινάκων από τους αρμόδιους για την εκτίμηση ρίσκου, μπορεί να γίνει υπο διαφορετική οπτική από τον καθένα, δηλαδή άλλοι εκτιμητές να λάβουν υπόψη τους το χειρότερο σενάριο και άλλοι το καλύτερο και άρα να οδηγηθούμε σε μια εκτίμηση συνολικού ρίσκου εξαρτώμενη από το πώς ο κάθε εκτιμητής λαμβάνει υπόψη του το επίπεδο ρίσκου.

Άλλες κριτικές αναφέρουν ότι η χρήση των Πινάκων εκτίμησης, συμπεριλαμβάνει την εξάρτησή τους από το γνωστικό επίπεδο του εκτιμητή, η εκχώρηση του επιπέδου πιθανότητας και δριμύτητας δεν είναι σταθερή και τυποποιημένη στη βιομηχανία και μπορεί να διαφοροποιείται ώστε να συμβαδίζει με τις ανάγκες του κάθε οργανισμού, τα επίπεδα του Πίνακα που χρησιμοποιεί ο εκτιμητής για τον υπολογισμό, μπορούν να έχουν επίδραση στο συνολικό αποτέλεσμα και μπορεί να υπάρχουν συνεκτιμήσεις που δεν είναι εύκολα ορατές κατά την αρχική εκτίμηση (Duijm, 2015; Hubbard and Evans, 2010; Smith, Siefert and Drain, 2009; Karanikas and Kaspers, 2016).

Μια ακόμα κριτική, αναφέρει ότι τα πιο απλά μοντέλα, υπερέβησαν από τις απόψεις των εμπειρογνομώνων, ως εκ τούτου θα ήταν αρτιότερη η χρήση των μοντέλων σε συνδυασμό με την άποψη των εμπειρογνομώνων (Cooke and Goossens, 2004). Αλλά και σε αυτό το σημείο, η γνώμη των εμπειρογνομώνων εξαρτάται από το επίπεδο εμπειρίας και γνώσης των εκτιμητών (Jorgensen, 2007).

Συνεπώς, από τις παραπάνω κριτικές που προκύπτουν από τη βιβλιογραφικά ανασκόπηση, προκύπτει ότι η συγκεκριμένη μέθοδος στερείται σε μεγάλο βαθμό αξιοπιστίας και αποτελεσματικότητάς. Παράλληλα, οι ανωτέρω αδυναμίες της μεθόδου προκαλούν αδυναμία σύγκρισης της επικινδυνότητας μεταξύ διαφορετικών συστημάτων, οργανισμών, βιομηχανικών τομέων κτλ.

2.2.2 Η Μέθοδος «*Aviation Safety Management Solutions - ARMS*»

Μια μέθοδος εκτίμησης επιπέδου ρίσκου που εισαγάγει και τη μελέτη απόδοσης των λαμβανομένων μέτρων ελέγχου (αντιμέτρων) και το κατά πόσο αυτά αστόχησαν, με εφαρμογή κυρίως σε αεροπορικές εταιρείες, είναι η μέθοδος ARMS (Aviation Safety Management Solutions) (ARMS Working Group, 2007-2010). Η συγκεκριμένη μέθοδος, ορίζει μια συνολική διαδικασία για Επιχειρησιακή Εκτίμηση Ρίσκου (Operational Risk Assessment) και περιέχει τα παρακάτω βήματα:

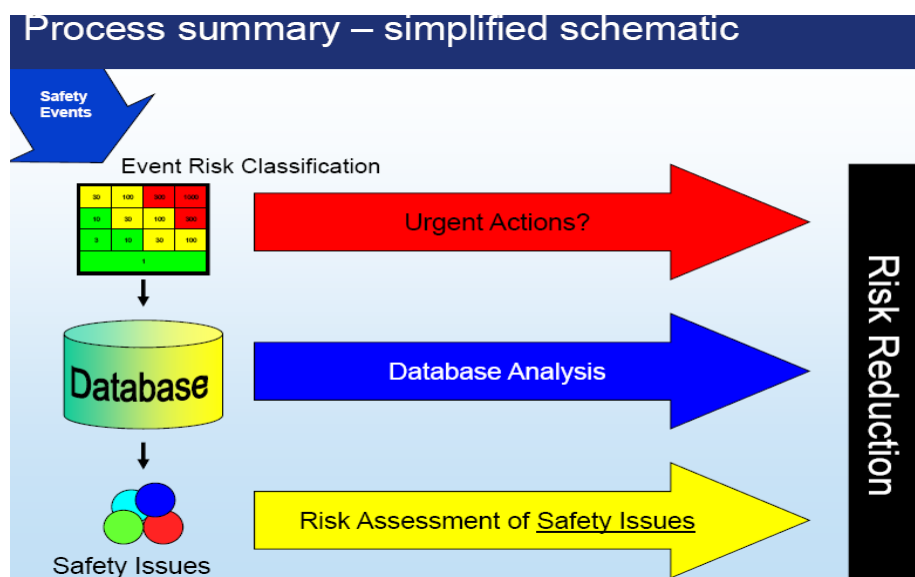
α. Η διαδικασία αρχίζει με την κατηγοριοποίηση των γεγονότων ρίσκου (Event Risk Classification - ERC), η οποία είναι η πρώτη ανασκόπηση από γεγονότα

που εκφράζουν την έννοια του επείγοντος και την ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση. Το βήμα αυτό, προσδίδει και μια επιπλέον βαρύτητα σε κάθε γεγονός, το οποίο είναι καίριο για την δημιουργία στατιστικών στοιχείων που εκφράζουν το βαθμό ρίσκου.

β. Το επόμενο βήμα περιλαμβάνει την ανάλυση των δεδομένων ώστε να απεικονιστεί το επίπεδο του υφιστάμενου ρίσκου.

γ. Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση των δεδομένων για να αναγνωριστούν τα ζητήματα ασφαλείας του συστήματος. Αυτά τα ζητήματα εκτιμούνται λεπτομερώς δια μέσου της μεθόδου «Safety Issue Risk Assessment – SIRA».

Η όλη παραπάνω διαδικασία, εξασφαλίζει ότι θα αναγνωριστούν όλες οι απαραίτητες ενέργειες ασφαλείας δημιουργώντας μια πηγή πληροφοριών όπου συνδέονται τα ρίσκα, με τις ενέργειες μείωσης τους. Έτσι παρακολουθείται συνεχώς η απόδοση του επιπέδου ρίσκου. Στην ακόλουθη εικόνα (2.2.2.1) απεικονίζεται η ανωτέρω διαδικασία:

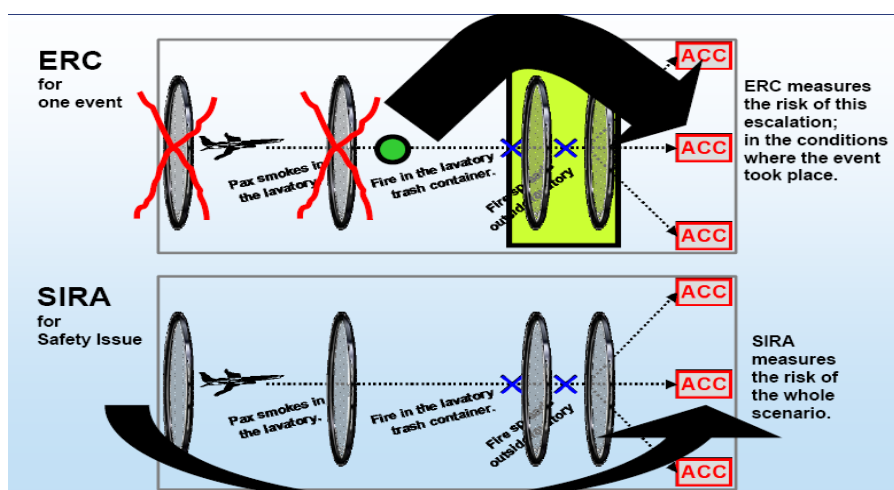


Εικόνα 2.2.2.1 Διαδικασία Μεθόδου ARMS (ARMS Working Group, 2007-2010)

Όπως παρατηρούμε, κατά τη διάρκεια του πρώτου βήματος, στην κατηγοριοποίηση των γεγονότων ρίσκου (ERC), η εκτίμηση του επιπέδου ρίσκου

διενεργείται μέσω των Πινάκων «Πιθανότητας-Δριμύτητας». Επιπρόσθετα, κατά την ανάλυση των δεδομένων για την αναγνώριση των ζητημάτων ασφαλείας (SIRA), μελετάται η απόδοση των λαμβανομένων μέτρων ελέγχου (αντιμέτρων) και το κατά πόσο αυτά αστόχησαν.

Η ειδοποιός διαφορά στην ανωτέρω διαδικασία, εντοπίζεται στο γεγονός ότι κατά την κατηγοριοποίηση των γεγονότων (ERC), μελετάται η αστοχία των αντιμέτρων που εφαρμόστηκαν και δεν απέδωσαν, ενώ κατά το τρίτο βήμα, μέσω της ανάλυσης των δεδομένων και την αναγνώριση των συστημάτων ασφαλείας, μελετάται η αναμενόμενη απόδοσή τους, θεωρώντας τα αντίμετρα πλήρως λειτουργικά. Στην εικόνα που ακολουθεί (2.2.2.2) αναπαριστάται η ανωτέρω διαφορά.



Εικόνα 2.2.2.2 Αναπαράσταση ERC - SIRA (ARMS Working Group, 2007-2010)

Συμπερασματικά, με τη χρήση μόνο της μεθόδου (ERC – Event Risk Event Classification) διενεργείται μια γρήγορη αρχική εκτίμηση των ρίσκων που οδηγούν σε γεγονότα ασφαλείας. Παράλληλα όλες οι συνθήκες που οδηγούν σε ένα γεγονός είναι γνωστές, αυξάνοντας έτσι την αντικειμενικότητα εκτίμησης της πιθανότητας εμφάνισης. Επιπλέον η μέθοδος αξιολογεί την πιθανότητα εμφάνισης ενός γεγονότος αξιολογώντας τα αντίμετρα που απέτρεψαν το γεγονός αυτό μόνο εκ του αποτελέσματος.

Κατά την εκπόνηση όμως και της μεθόδου «Safety Issue Risk Assessment – SIRA», που εισάγει η μέθοδος ARMS, ο αναλυτής θα πρέπει πρώτα να καθορίσει και να εμβαθύνει στα θέματα ασφαλείας πριν από την αξιολόγηση του επιπέδου ρίσκου . Με τον ανωτέρω τρόπο, ένα θέμα ασφαλείας είναι πολύ πιο εύκολο να αξιολογηθεί ποσοτικά. Για παράδειγμα, ένα ζήτημα Ασφάλειας στα αλεξήνεμα των Α/Φ ενός συγκεκριμένου τύπου Α/Φ είναι ευκολότερο να εξεταστεί από ένα που καλύπτει ολόκληρο το στόλο των αεροπορικών εταιρειών.

3. Ανάλυση Τρέχουσας Βιβλιογραφίας

Όπως αναφέρθηκε στην Παράγραφο 2.2.2, τόσο στον κύκλο διαχείρισης ρίσκου, όσο και στην τεχνική «ARMS», μελετάται και η απόδοση των λαμβανομένων μέτρων ελέγχου. Η χαρακτηριστική διαφορά όμως είναι ότι στην τεχνική «ARMS» ελέγχεται η απόδοση όλων των αντιμέτρων και όχι μόνο όσων αστόχησαν. Συγχρόνως, στον κύκλο διαχείρισης ρίσκου (Εικόνα 3.1.1), ο έλεγχος της απόδοσης των αντιμέτρων εξετάζεται στο τέταρτο στάδιο της διαδικασίας και όχι στο στάδιο της εκτίμησης επιπέδου ρίσκου στο βρίσκει εφαρμογή η τεχνική «ARMS». Ακολουθώντας των ανωτέρω, είναι φανερή, η βαρύτητα που ενέχει η εκτίμηση της απόδοσης των αντιμέτρων κάτι το οποίο αναλύεται στις ακόλουθες υποπαραγράφους του κεφαλαίου. Ειδικότερα, αναλύονται οι τρόποι εκτίμησης της αναμενόμενης απόδοσης των αντιμέτρων αλλά και των λειτουργιών τους, με βάση την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας.



Εικόνα 3.1.1 Risk Management Cycle

3.1 Μελέτη Απόδοσης Μέτρων Ελέγχου Συστήματος

3.3.1 Λειτουργίες Μέτρων Ελέγχου

Τα μέτρα ελέγχου που εφαρμόζονται για την μείωση του επιπέδου ρίσκου σε ένα σύστημα, μπορούν να χαρακτηριστούν από τις εξειδικευμένες λειτουργίες με τις οποίες δρουν. Ειδικότερα, σύμφωνα με τους (Brewer & List, 2007), οι βασικές λειτουργίες των αντιμέτρων είναι να λειτουργούν προληπτικά (preventive), ώστε να αποτρέψουν τις επιπτώσεις ενός γεγονότος εξασφαλίζοντας ότι οι επιπτώσεις δεν θα εμφανιστούν, να λειτουργούν διερευνητικά (detective), ώστε εάν αντιληφθούν την εξέλιξη ενός κινδύνου σε γεγονός ασφαλείας (risk event) να εκκινήσουν τις απαραίτητες διαδικασίες ελέγχου ή άμβλυνσης της κατάστασης, και τέλος να λειτουργούν αντιδραστικά (Reactive), δηλαδή εάν αντιληφθούν ότι έχει συμβεί κάποιο γεγονός ασφαλείας, να εκκινήσουν άμεσα τις απαιτούμενες ενέργειες για την αποκατάσταση της κατάστασης και την επαναφορά του συστήματος στην αρχική του κατάσταση.

Ο Andersen (2004), αναφέρει ότι η δράση των αντιμέτρων, μπορεί να είναι μόνιμα παθητική (Permanent Passive) και αφορά αντίμετρα που προφυλάσσουν μόνιμα από την εξέλιξη ενός κινδύνου σε γεγονός ασφαλείας (Αντιδιαβρωτική Μπογιά). Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται και τα αντίμετρα που δρουν δίχως κάποια εξωτερική παρακίνηση (Permanent Barrier). Έχοντας το χαρακτήρα του μόνιμου και ενεργητικού τρόπου λειτουργίας, δρουν τα αντίμετρα που από κατασκευής λειτουργούν μέσω παρακίνησης (Permanent Active). Μια άλλη κατηγοριοποίηση, αφορά τα αντίμετρα που δρουν παθητικά αλλά για προσωρινό διάστημα, όπως για παράδειγμα είναι η σήμανση προειδοποίησης τεχνικών έργων (Temporary Passive).

Ακολούθως, σύμφωνα με τον Bellamy (2007), ο τρόπος λειτουργίας της δράσης των αντιμέτρων, μπορεί να είναι ενεργητικός (Active Hardware) με την έννοια ότι θα χρειαστούν κάποιο έναυσμα για να γίνουν λειτουργικά, παθητικός (Passive Hardware) με την αντίθετη έννοια, ότι δεν χρειάζονται καμία παρέμβαση για να

δράσουν, μικτής δράσης (Mixed), όπου συνδυάζονται αντίμετρα με παθητικό τρόπο δράσης αλλά που θα χρειαστούν κάποια παρέμβαση για να αποδώσουν πλήρως και τέλος αντίμετρα που ακολουθούν καθαρά την ανθρώπινη συμπεριφορά με την έννοια ότι λειτουργούν κατόπιν εναύσματος από ανθρώπινες αισθήσεις (Pure Behavioural)

Μια ακόμα άποψη, διατυπώθηκε από τους De Dianous & Fievez (2006) και διακρίνει την δράση των αντιμέτρων σε Παθητικά Αντίμετρα (Passive), με χαρακτηριστικό την απουσία οποιασδήποτε παρέμβασης για την ενεργοποίησή τους, σε Ενεργητικά Αντίμετρα (Active), όπου πρέπει να ικανοποιηθούν συνθήκες για να ενεργοποιηθούν, σε Αντίμετρα που εναπόκεινται στον ανθρώπινο παράγοντα και στην εμπειρία του να τα κάνει αποδοτικά (Human Actions), και τέλος σε Αντίμετρα που ο τρόπος δράσης τους είναι συμβολικός, με την έννοια ότι θα χρειαστεί κάποια ερμηνεία για να αποδώσουν το σκοπό τους (Προειδοποιητικές Πινακίδες).

Σύμφωνα με τον Comcare (2017), οι λειτουργίες των αντιμέτρων είναι η εξουδετέρωση των κινδύνων (eliminate), η πρόληψη (prevent) ώστε να αποτρέψουν τις επιπτώσεις ενός γεγονότος με την εξουδετέρωση περιστατικών που θα οδηγήσουν σε γεγονότα ασφαλείας, η ελάττωση της δριμύτητας των πιθανών συνεπειών (reduce) και η άμβλυνση (mitigate) που θα περιορίσει τις επιπτώσεις ενός γεγονότος.

Ακολούθως σύμφωνα με τον ICAO (2013), οι λειτουργίες των αντιμέτρων είναι η αποφυγή (avoidance) των κινδύνων που θα οδηγήσουν σε γεγονός ασφαλείας, η ελάττωση (reduction), όπου μειώνεται ο αντίκτυπος της δριμύτητας του risk event, και τέλος ο περιορισμός έκθεσης στον κίνδυνο (segregation of exposure).

Ο Lees (2012), αναφέρει πως οι λειτουργίες των αντιμέτρων είναι η πρόληψη (prevention), η οποία αφορά την πρόληψη μετάπτωσης μιας κατάστασης από κανονική σε κατάσταση έλλειψης ελέγχου, ο έλεγχος (control) που αφορά τα αντίμετρα που προλαμβάνουν τη μετάπτωση σε μία κατάσταση απώλειας ελέγχου και η άμβλυνση (mitigate), που αφορά την αποτροπή των στόχων να εκλύσουν ενέργεια.

Ο Rausand (2013), αναφέρει ότι οι λειτουργίες των αντιμέτρων είναι τρεις και αλυσιδωτές. Ως εκ τούτου τα αντίμετρα θα πρέπει να προλαμβάνουν (prevent), να ελέγχουν (control) και να αμβλύνουν (mitigate) την επίπτωση των κινδύνων.

Συνεχίζοντας με τους Salvi & Debry (2006), οι λειτουργίες των αντιμέτρων, αφορούν την αποφυγή (Avoidance) η οποία θεωρείται η μείωση όλων των πιθανών αιτιών με την τροποποίηση της σχεδίασης, την πρόληψη (prevention), η οποία θεωρείται ως η μείωση εμφάνισης ενός γεγονότος και ο περιορισμός των συνεπειών του, τον έλεγχο (control), που αφορά τον συνεχή έλεγχο παρακάμψεων από τις κανονικές συνθήκες και τις έκτακτες καταστάσεις και τέλος την προστασία (protection), που αφορά την προστασία των συνεπειών ενός γεγονότος.

Όλα τα παραπάνω μπορούν να απεικονισθούν στον πίνακα 3.3.1.1 που ακολουθεί.

Αναλυτής	Τρόπος Δράσης
Brewer & List (2008)	Preventive Detective Reactive
Andersen et al (2004)	Permanent Passive Control Permanent Passive Barrier Temporary Passive Permanent Active
Bellamy et al (2007)	Passive Hardware Active Hardware Mixed Pure Behavior
De Dianous & Fievez (2006)	Passive Activated Human Actions Symbolic
Comcare (2017)	Eliminate Prevent Reduce Mitigate
ICAO (2013)	Avoidance Reduction Segregation of Exposure
Lees (2012)	Prevention Control Mitigation

Αναλυτής	Τρόπος Δράσης
Rausand (2013)	Prevention Control Mitigation
Salvi & Debray (2006)	Avoidance Prevention Control Protection

Πίνακας 3.3.1.1 Λειτουργίες Μέτρων Ελέγχου

3.3.2 Τρόπος Δράσης Μέτρων Ελέγχου

Μια ακόμη κατηγοριοποίηση των μέτρων ελέγχου, διακρίνει τον διαφορετικό τρόπο δράσης τους. Αναλυτικότερα, ο Hollnagel (2004) διέκρινε τον τρόπο δράσης των αντιμέτρων σε εκείνα που δρουν λόγω της υλικής-φυσικής τους υπόστασης (Material-Physical), όπως ένας φράκτης, μια πόρτα και οτιδήποτε άλλο είναι ικανό να αποτρέψει την εξέλιξη ενός κινδύνου σε γεγονός ασφαλείας (risk event). Στην συγκεκριμένη περίπτωση, ένας φράκτης ή μια πόρτα, λόγω της παρουσίας της, θα αποτρέψει την είσοδο σε έναν περιορισμένο χώρο. Έπειτα αναφέρει τα αντίμετρα που δρουν μέσω κάποιας λειτουργίας (Functional) όπως για παράδειγμα μπορεί να θεωρηθεί το σύστημα ελέγχου πτήσης ενός Α/Φ που το αποτρέπει από τον να περιέλθει εκτός φακέλου πτήσης, σε συμβολισμούς (Symbolic) όπως είναι μια προειδοποιητική πινακίδα κινδύνου που μέσω μηνύματος προειδοποίησης απαιτούν μια αποκωδικοποίηση από το χρήστη ώστε να είναι αποδοτικά και σε ιδεατά (Incongrual) όπου η δράση του αντιμέτρου έγκειται στη γνώση την εκπαίδευση τη γενικότερη στρατηγική άμβλυσης της απόδοσης των κινδύνων κτλ.

Για τον ICAO (2013) οι κατηγορίες λειτουργίας των αντιμέτρων, εντάσσονται στην κατηγορία Εκπαίδευσης, Τεχνικής Φύσης και αντιμέτρων που αφορούν περιορισμούς χρήσης και δράσης.

Σύμφωνα με τους Khang Zhang & CAO (2016.) τα αντίμετρα δρουν στο επίπεδο της ανθρώπινης προσωπικότητας (Personnel), με την έννοια της ανάγκης για ανθρώπινη γνώση και έλεγχο ώστε να αποδώσουν, στο επίπεδο του οργανισμού (Organizational) υπό την έννοια της εφαρμογής τους σε ένα ευρύτερο σύνολο και σε τεχνολογικά αντίμετρα (Technological) που χρησιμοποιούν την τεχνολογία για να

περιορίσουν την ανάπτυξη του κινδύνου και την άμβλυση των συνεπειών ενός risk event.

Για τον Neogy (2006) ο τρόπος δράσης της λειτουργίας των αντιμέτρων διακρίνεται σε Φυσική (Physical) με την έννοια ότι πρόκειται για αντίμετρα που θα αποτρέψουν την εκδήλωση ενός γεγονότος ασφαλείας υπό την έννοια της προστασίας και σε Διαχείρισης (Administrative) με την έννοια ότι πρόκειται για αντίμετρα που θα χρησιμοποιήσει η διοίκηση - διαχείριση ενός οργανισμού για να καλλιεργήσει ένα πνεύμα προστασίας και αποφυγής των ανεπιθύμητων γεγονότων μέσω πολλαπλών και ιδεατών πολλές φορές παραγόντων.

O Reason (1997) διέκρινε τις λειτουργίες των αντιμέτρων σε Σκληρές (Hard) οι οποίες απαιτούν τεχνική παρέμβαση και σε Μαλακές (Soft). Οι Wahlstrom & Gansell (2008), διέκριναν τις κατηγορίες σε Φυσικές (Physical), Τεχνολογικές (Technical) και Διαχειριστικές (Administrative)

Τέλος, η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που αφορά τις λειτουργίες των αντιμέτρων, αναφέρει σύμφωνα με τον Trobjevic (2008), την τεχνική λειτουργία των αντιμέτρων (Technical), που αφορά τα αντίμετρα που προλαβαίνουν την κλιμάκωση του επιπέδου ρίσκου, περιορίζοντας τις πιθανότητες εμφάνισής του αλλά και τις επιπτώσεις των γεγονότων που μπορεί να προκαλέσει, τα ανθρωπογενή και οργανωτικά αντίμετρα (Human and Organizational), που συμμετέχουν στον έλεγχο μιας δραστηριότητας με σκοπό την μείωση πιθανότητας ανάπτυξης γεγονότων ασφαλείας και περιορίζοντας τον αντίκτυπό τους και τα θεμελιώδη που αφορούν αντίμετρα διαχωρισμένα από την έναρξη της απειλής έως την εκτίμηση του ρίσκου.

Όλα τα παραπάνω μπορούν να απεικονισθούν στον πίνακα 3.3.2.1 που ακολουθεί.

Αναλυτής	Κατηγοριοποίηση
Hollnagel (2004)	Material or Physical Functional Symbolic Incorporeal

Αναλυτής	Κατηγοριοποίηση
ICAO (2013)	Technology Training Regulations
Kang, Zhang & Gao (2016)	Personnel Organizational Technological
Landucci et al (2016)	Passive Active
Neogy (1996)	Physical Administrative
Reason (1997)	Hard Soft
Wahlstrom & Gunseli (1998)	Physical Technical Administrative

Πίνακας 3.3.2.1 Τρόπος Δράσης Μέτρων Ελέγχου

3.3.3 Κριτήρια Απόδοσης Μέτρων Ελέγχου

Η εύρεση των κατάλληλων κριτηρίων εκτίμησης της απόδοσης των μέτρων ελέγχου του συστήματος, είτε αυτά έχουν ήδη πρότερη εφαρμογή είτε πρόκειται για νέα και μη δοκιμασμένα, αποτελεί ιδιαίτερο χαρακτηριστικό στη μελέτη της συμπεριφοράς τους. Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, αναφέρει τα ακόλουθα κριτήρια εκτίμησης της απόδοσης.

Σύμφωνα με τον Andersen (2014) τα κριτήρια απόδοσης είναι η αποτελεσματικότητα (effectiveness) δηλαδή η ικανότητα να διατηρεί μια ασφαλή λειτουργία κατά τη διάρκεια εφαρμογής του, ο χρόνος απόκρισης του αντίμετρου (response time) από τη χρονική στιγμή εφαρμογής τους έως την πλήρη εκπλήρωση του σκοπού για τον οποίο έχει τεθεί, και ο βαθμός εμπιστοσύνης (level of confidence) δηλαδή η πιθανότητα αστοχίας του αντίμετρου δεδομένης μιας αποτελεσματικότητας και ενός χρόνου απόκρισης.

Συνεχίζοντας, σύμφωνα με τον Hollnagel (2008) τα κριτήρια είναι η ικανότητα του αντιμέτρου να αποδώσει στον συντομότερο δυνατό χρόνο, με τις λιγότερες δυνατές πηγές (Efficiency), η ανάγκη εύρεσης μέσων δημιουργίας του αντίμετρου (σχεδιασμός, ανάπτυξη, συντήρηση) (Resource Needs), η αντοχή στην ευμεταβλητότητα του περιβάλλοντος (Robustness), η χρονική καθυστέρηση στην

εφαρμογή του αντίμετρου (Implementation delay), η διαθεσιμότητα (Availability) με την έννοια του κατά πόσο το αντίμετρο εκπληρώνει το σκοπό για τον οποίο επιλέχθηκε, η δυνατότητα εφαρμογής του (Applicable to tasks), η δυνατότητα αξιολόγησης του αντίμετρου (Evaluation) και το κατά πόσο αυτή είναι δυνατή και η εξάρτηση του από τον ανθρώπινο παράγοντα (Independence on Humans).

Σύμφωνα με τον ICAO (2013) τα κριτήρια είναι η επίσης η αποτελεσματικότητα (effectiveness), η σχέση τιμής πλεονεκτήματος (Cost-Benefit) δηλαδή κατά πόσο τα πλεονεκτήματα χρησιμοποίησής τους υπερκαλύπτουν το κόστος αγοράς, χρήσης και διατήρησής του, η πρακτικότητα (Practicality) με την έννοια της χρησιμοποίησής του σύμφωνα με την υπάρχουσα τεχνολογία και ικανότητες του προσωπικού, η αποδοχή του αντίμετρου από τους τελικούς χρήστες (Acceptability), η δυνατότητα επιβολής του αντιμέτρου (Enforceability), η αντοχή του αντίμετρου (Durability) με την πάροδο του χρόνου, οι εναπομείναντες κίνδυνοι που δεν μπορεί να αμβλύνει (Residual Safety Risks) και οι ανεπιθύμητες συνέπειες (Unintended Consequenses) που προκύπτουν από την εφαρμογή του.

Σύμφωνα με τον Neogy (1996) τα κριτήρια είναι η αποτελεσματικότητα (effectiveness) και η αξιοπιστία (Reliability) με την έννοια της ικανότητας του αντιμέτρου να αντισταθεί στο σφάλμα. Ακολούθως, οι Neubauer, Fleet & Ayres (2015) αναφέρουν την αποτελεσματικότητα (Effectiveness), τη σχέση τιμής πλεονεκτήματος (Cost-Benefit), και την πρακτικότητα (Practically) ως κριτήρια απόδοσης.

Ο Sklet (2006) ανέφερε την λειτουργικότητα (Functionality) την αποτελεσματικότητα (Effectiveness), την αξιοπιστία (Reliability), τη διαθεσιμότητα (Availability), το χρόνο απόκρισης (response time), την αντοχή στο περιβάλλον (robustness) και την εξάρτηση από κάποια συνθήκη ή γεγονός (Triggering event or condition). Σύμφωνα με τον Taylor (1998), τα κριτήρια αξιολόγησης της απόδοσης είναι η επάρκεια (Adequacy) με την έννοια της λειτουργίας του αντιμέτρου σύμφωνα με τις αρχικές προδιαγραφές του, η αξιοπιστία και διαθεσιμότητα, η αντοχή στην

ευμεταβλητότητα του περιβάλλοντος (Robustness) και η εξειδίκευση (Specificity) με την έννοια της αποφυγής δημιουργίας νέων κινδύνων όταν το αντίμετρο εφαρμοστεί.

Τέλος σύμφωνα με τον Trobjevic (2008) είναι η αποτελεσματικότητα (Effectiveness), η περιπλοκότητα (Complexity) στη λειτουργία του αντιμέτρου, η ακεραιότητα (Probity) με την έννοια της ποιότητας και ανεξαρτησίας και ο βαθμός φθοράς (Decay Level) που στην ουσία απεικονίζει την αντοχή στην ευμεταβλητότητα του περιβάλλοντος.

Συνοπτικά τα ανωτέρω μπορούν να απεικονιστούν στον πίνακα 3.3.3.1 που ακολουθεί:

Αναλυτής	Κριτήρια
Andersen et al. (2004)	Effectiveness Response time Level of confidence
Hollnagel (2008)	Efficiency Resource needs Robustness Implementation delay Applicable to tasks Availability Evaluation Independence on humans
ICAO (2013)	Effectiveness Cost/Benefit Practically Acceptability Enforceability Durability Residual safety risks Unintended consequences
Neogy (1996)	Effectiveness Reliability
Neubauer, Fleet & Ayres (2015)	Effectiveness Cost/Benefit Practically
Sklet (2006)	Functionality/Effectiveness Reliability/Availability Response time Robustness

Αναλυτής	Κριτήρια
	Triggering event or condition
Taylor (1988)	Adequacy Availability/Reliability Robustness Specificity
Trobojevic (2008)	Effectiveness Complexity Probity Decay level

Πίνακας 3.3.3.1 Κριτήρια Απόδοσης Αντιμέτρων

3.2 Συμπέρασμα Μελέτης Λειτουργιών, Δράσης και Απόδοσης Αντιμέτρων

Στο παρόν υποκεφάλαιο παρουσιάζεται η εκτίμηση της απόδοσης (Performance of Controls) των εφαρμοζόμενων μέτρων ελέγχου σε ένα σύστημα, η οποία στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης στηρίζεται σε δύο (2) κύριους πυλώνες. Από τη μια πλευρά, εάν το αντίμετρο έχει ξαναχρησιμοποιηθεί ή δοκιμαστεί σε πειραματικές συνθήκες, ο ένας πυλώνας είναι η απόδοση στο παρελθόν (Past Performance), η οποία συνεκτιμάται από το βαθμό επιτυχίας του αντιμέτρου (Success Test Rate) και του βαθμού αποδοτικότητας του (Effectiveness Rate). Από την άλλη πλευρά, σε περίπτωση που το αντίμετρο είναι νέο και δεν υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με την παρελθοντική συμπεριφορά του, τότε η εκτίμηση της απόδοσης πηγάζει από την αναμενόμενη απόδοση του αντιμέτρου (Expected Performance) η οποία συνεκτιμάται μέσω τεσσάρων κριτηρίων λειτουργίας που διατυπώθηκαν από τον Hollnagel (1999) σύμφωνα με τον οποίο τα μέτρα ελέγχου μπορεί να είναι Υλικής – Φυσικής υπόστασης (Physical), Λειτουργίας (Functional), Συμβολισμού (Symbolic) και ιδεατά (Incorporeal). Στις επόμενες υποπαραγράφους, αναλύεται ο τρόπος κατηγοριοποίησης των αντιμέτρων σε αντιπαράβολή με την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που προηγήθηκε στο κεφάλαιο 3.1.

3.2.1 Μελέτη Λειτουργιών Αντιμέτρων.

Από τη μελέτη της υπάρχουσας βιβλιογραφίας όπως αυτή αναλύθηκε στην Παράγραφο 2.3.1, για την κατηγοριοποίηση των λειτουργιών των αντιμέτρων, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας οι λειτουργίες ομαδοποιούνται σε τρεις (3) κύριες κατηγορίες στις οποίες μπορούν να ενταχθούν όλες οι παραπάνω.

Η πρώτη κατηγορία αφορά αντίμετρα που δρουν με παθητικό τρόπο χωρίς να ανιχνεύουν τον κίνδυνο (Passive non Detective Controls), δηλαδή θα δράσουν από τη στιγμή που θα τοποθετηθούν - εφαρμοστούν χωρίς όμως να δώσουν κάποιο έναυσμα ενεργοποίησης στο σύστημα ελέγχου. Για παράδειγμα, η χρήση ενός φράκτη με σκοπό να αποτρέψει την είσοδο, είναι ένα παθητικό μέτρο μείωσης του ρίσκου εισόδου στο χώρο, καθώς δεν θα χρειαστεί επιπλέον κάποια ενέργεια για να λειτουργήσει.

Η δεύτερη κατηγορία αφορά, τα αντίμετρα που δρουν με παθητικό τρόπο, αλλά συγχρόνως χρησιμοποιούνται για να δώσουν το έναυσμα σε άλλα αντίμετρα ή στο ίδιο το σύστημα, σε περίπτωση που εντοπίσουν κάποια απόκλιση από την κανονική λειτουργία (Passive Detective Controls). Τέτοια αντίμετρα είναι οι ανιχνευτές καπνού, που από τη μια πλευρά δρουν παθητικά, δηλαδή η δράση τους ξεκινά από τη στιγμή της τοποθέτησης στο χώρο, αλλά συγχρόνως σκοπός τους είναι η έγερση του συστήματος πυρασφάλειας σε περίπτωση ικανοποίησης συγκεκριμένων συνθηκών (καπνός, αύξηση της θερμοκρασίας κτλ).

Ακολούθως, η τρίτη κατηγορία αφορά τα μέτρα ελέγχου που θα χρειαστούν κάποιου είδους ενέργεια για να ενεργοποιηθούν (Activated Measures). Ένα σύστημα ρίψης πυροσβεστικού υγρού για παράδειγμα, θα χρειαστεί κάποια εισερχόμενη ενέργεια από κάποιο άλλο σύστημα για να ενεργοποιηθεί (ανίχνευση καπνού, ένδειξη φωτιάς κτλ). Για αυτό το λόγο αυτά τα αντίμετρα τοποθετούνται πάντα μαζί με τα παθητικά αντίμετρα ανίχνευσης.

Ως εκ τούτου, οι λειτουργίες των αντιμέτρων που αφορούν πρόληψη (preventive measures) και αποφυγή (avoidance), μπορούν να ενταχθούν στην πρώτη κατηγορία των παθητικών μέτρων ελέγχου, ενώ αντίθετα, οι λειτουργίες που

αφορούν έλεγχο (control) και άμβλυση (mitigate) εντάσσονται στην τρίτη κατηγορία. Συγχρόνως, τα αντίμετρα ανίχνευσης (detective) εντάσσονται στην δεύτερη κατηγορία.

Η ένταξη των λειτουργιών των αντιμέτρων σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, απεικονίζεται στον Πίνακα 3.2.1.1 που ακολουθεί:

ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΑΝΤΙΜΕΤΡΑ ΧΩΡΙΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ (Passive non Detective)	ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΑΝΤΙΜΕΤΡΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ (Passive Detective)	ΑΝΤΙΜΕΤΡΑ ΑΠΟ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ (Activated)
Preventive Avoidance Passive Hardware Eliminate	Detective	Reactive Mitigate Active Hardware Reduction Reduce Protection Segregation of Exposure

Πίνακας 3.2.1.1 Κατηγοριοποίηση Λειτουργιών Αντιμέτρων

Η παραπάνω κατηγοριοποίηση, βρίσκει πλήρη εφαρμογή στον υπολογισμό της συνολικής απόδοσης των αντιμέτρων με βάση τον τρόπο που αυτά είναι τοποθετημένα στο σύστημα μελέτης. Έτσι, στη διαδικασία υπολογισμού της συνολικής απόδοσης αντιμέτρων, τα αντίμετρα που δρουν παθητικά χωρίς ανίχνευση, θεωρούνται ότι είναι τοποθετημένα παράλληλα με τα υπόλοιπα αντίμετρα, λόγω της ανεξαρτησίας τους αυτής. Αντίθετα, τα παθητικά αντίμετρα ανίχνευσης και τα αντίμετρα από ενεργοποίηση λαμβάνονται σε κάθε περίπτωση ως σειριακά τοποθετημένα. Ο αναλυτικός υπολογισμός της απόδοσης των αντιμέτρων με βάση τον τρόπο τοποθέτησής τους, αποτελεί αντικείμενο που αναλύεται εκτενώς στον επόμενο κεφάλαιο.

3.2.2 Μελέτη Δράσης Αντιμέτρων

Όσον αφορά τη μελέτη δράσης των αντιμέτρων βάση της οποίας προκύπτει η αναμενόμενη απόδοσή τους (Expected Performance), στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιήθηκε η κατηγοριοποίηση του Hollnagel (1999). Ως εκ τούτου, η ένταξη κάθε μιας από τις δράσεις των αντιμέτρων σε μια από τις τέσσερις κατηγορίες του Hollnagel, αναλύεται στις επόμενες παραγράφους και απεικονίζεται συνολικά στον πίνακα 3.2.2.1.

α. **Η πρώτη κατηγορία (Physical)**, αφορά τα αντίμετρα τα οποία αναχαιτίζουν την εξέλιξη ενός κινδύνου σε γεγονός ασφαλείας, λόγω φυσικής - υλικής τους υπόστασης και παρουσίας. Ειδικότερα πρόκειται για αντίμετρα όπως οι φράκτες – θύρες - κάγκελα κτλ.

β. **Η δεύτερη κατηγορία (Functional)**, αφορά αντίμετρα τα οποία παρεμποδίζουν την εξέλιξη ενός κινδύνου σε ένα risk event λόγω της ικανότητάς τους να διατηρούν το σύστημα μελέτης εντός συγκεκριμένων και αδιαπέραστων ορίων. Σε αυτή την κατηγορία εντάσσεται το σύστημα περιορισμού ταχύτητας στο αυτοκίνητο (Speed Limiter), ή το σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου της πτήσης ενός Α/Φ (Fly-by-Wire).

γ. **Η τρίτη κατηγορία (Symbolic)**, αφορά αντίμετρα των οποίων η δράση και απόδοση εξαρτάται από την αποκωδικοποίηση ενός προειδοποιητικού μηνύματος που θα κάνει ο χρήστης. Συγκεκριμένα, πρόκειται για αντίμετρα όπως οι προειδοποιητικές πινακίδες οι οποίες επικοινωνούν ένα μήνυμα το οποίο και χρειάζεται αποκωδικοποίηση από τον χρήστη. Ως εκ τούτου τα αντίμετρα αυτά δεν είναι το ίδιο αποδοτικά με τα αντίμετρα φυσικής υπόστασης ή λειτουργιών καθώς για να δράσουν θα χρειαστούν και την σύμπραξη του αποδέκτη του μηνύματος που επικοινωνούν. (πχ μια πινακίδα προειδοποίησης κινδύνου δεν θα είναι κατανοητή σε ένα ζώο, αντίθετα με έναν φράκτη που θα το αποτρέψει από την είσοδο του σε απαγορευμένο χώρο).

δ. Τέλος **η τέταρτη κατηγορία (Incorporeal)** των αντιμέτρων με βάση των τρόπο δράσης τους, αφορά άυλα αντίμετρα που έχουν να κάνουν με γνώσεις, κανόνες, τη μόρφωση του χρήστη κτλ. Ως εκ τούτου, τα αντίμετρα αυτά θα είναι λιγότερο αποδοτικά και από τα αντίμετρα συμβολισμών αφού θα απαιτούν μεγάλη συμμετοχή του χρήστη για να αποδώσουν.

Στην ανωτέρω κατηγοριοποίηση των αντιμέτρων, εμπεριέχεται και το είδος της εξάρτησης στη λειτουργία τους από εξωγενείς ως προς το σύστημα παράγοντες (Ανθρώπινη Παρέμβαση, Λογισμικό Η/Υ).

Ειδικότερα, τα αντίμετρα της πρώτης κατηγορίας (Physical) παρουσιάζουν τον υψηλότερο βαθμό ανεξαρτησίας διότι δεν έχουν την παραμικρή εξάρτηση από ανθρώπινο και τεχνολογικό παράγοντα. Περισσότερο εξαρτώμενα από εξωτερικούς παράγοντες (Λογισμικό Η/Υ) θεωρούνται τα αντίμετρα που δρουν μέσω της λειτουργίας τους (Functional). Είναι φανερό, ότι πιθανή δυσλειτουργία στο λογισμικό του Η/Υ που διαχειρίζεται την εφαρμογή ελέγχου πτήσης του Α/Φ, είναι ικανή να το θέσει εκτός ενεργείας, όπως αντίστοιχα ο μικροεπεξεργαστής ελέγχου της εφαρμογής περιορισμού ταχύτητας στο αυτοκίνητο.

Όσον αφορά την υποκατηγορία των συμβολικών αντιμέτρων (πινακίδες, κτλ.), τότε έχουμε άμεση εξάρτηση από τρίτους παράγοντες και ειδικότερα από τον ανθρώπινο παράγοντα, διότι θα λειτουργήσουν αποτρεπτικά μόνο εάν κατανοηθούν από τον χρήστη τους. Για παράδειγμα στη περίπτωση που πρόκειται για ένα μήνυμα προειδοποίησης κινδύνου, το αντίμετρο αυτό δεν θα έχει καθόλου αποτελεσματικότητα εάν αυτό δεν γίνει κατανοητό από το χρήστη (πχ να είναι γραμμένο σε γλώσσα μη κατανοητή). Για το λόγο αυτό παρατηρείται η χρήση διεθνών σημάνσεων κινδύνου χωρίς γραπτά μηνύματα αλλά με σχέδια. Και πάλι όμως αυτά τα σχέδια είναι φυσικό ότι δεν μπορούν να αποτρέψουν ένα μικρό παιδί, ή ένα ζώο από το να εισέλθει σε μια απαγορευμένη περιοχή.

Τέλος τα άυλα αντίμετρα (Γνώσεις-Μόρφωση-Κανόνες) έχουν πλήρη εξάρτηση από τον άνθρωπο και για το λόγο αυτό θεωρούνται τα πιο ασθενή συγκρινόμενα με τα ανωτέρω.

Η μελέτη εξάρτησης των αντιμέτρων από τρίτους παράγοντες, αποτελεί ισχυρό κριτήριο, στην εκτίμηση της απόδοσης ενός αντιμέτρου ανάλογα με τον τρόπο δράσης του. Η βαθμολόγηση των κατηγοριών, αναλύεται στο Κεφ.4 που αναλύεται η μεθοδολογία της εργασίας

3.3.3 Μελέτη Απόδοσης Αντιμέτρων

Όσον αφορά τη μελέτη των κριτηρίων απόδοσης των αντιμέτρων που αναλύθηκαν στην Παρ. 3.3.3 και ειδικότερα στον υπολογισμό της παρελθοντικής

τους απόδοσης (Past Performance), παρατηρούμε ότι δεν αφορούν αποκλειστικά τη λειτουργικότητα ή το χαρακτήρα τους, αλλά και το κατά πόσο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη απόφασης εφαρμογής ενός συγκεκριμένου αντιμέτρου αντί ενός άλλου, υπό την έννοια της τεχνοοικονομικής τους αξίας.

Ως εκ τούτου οι δύο κατηγορίες στις οποίες μπορούν να ομαδοποιηθούν τα κριτήρια απόδοσης, αφορά από τη μια πλευρά τη συμπεριφορά τους και από την άλλη πλευρά, την λήψης απόφασης εφαρμογής τους με τεχνοοικονομικά κριτήρια. Συνοπτικά, ο διαχωρισμός των κριτηρίων στις δύο (2) ομάδες απεικονίζεται στον παρακάτω

πίνακα

3.3.3.1:

Αναλυτής	Κριτήριο	Κριτήριο Συμπεριφοράς στο Σύστημα	Κριτήριο Λήψης Απόφασης Εφαρμογής του
Andersen et al. (2004)	Effectiveness Response time Level of confidence	X X X	
Hollnagel (2008)	Efficiency Resource needs Robustness Implementation delay Applicable to tasks Availability Evaluation Independence on humans	X	X X X X X X
ICAO (2013)	Effectiveness Cost/Benefit Practicality Acceptability Enforceability Durability Residual safety risks Unintended consequences	X X	X X X X X X
Neogy (1996)	Effectiveness Reliability	X X	
Neubauer, Fleet & Ayres (2015)	Effectiveness Cost/Benefit Practicality	X	X X
Sklet (2006)	Functionality/Effectiveness Reliability/Availability Response time Robustness Triggering event or condition	X X X X X	X
Taylor (1988)	Adequacy Availability/Reliability Robustness Specificity	X X	X X
Trobjevic (2008)	Effectiveness Complexity Probity Decay level	X X X	X

Πίνακας 3.3.3.1 Κατηγοριοποίηση Κριτηρίων Απόδοσης Αντιμέτρων

Ως εκ τούτου, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, η επιλογή των κριτηρίων για την απόδοση των αντιμέτρων, τα οποία θα συνεκτιμηθούν για τον υπολογισμό της Παρελθοντική Απόδοσής του (Past Performance), σχετίζονται με το κατά πόσο αυτό επιδρά και με ποιο τρόπο στο σύστημα και όχι με βάση το κατά πόσο αυτό είναι ωφέλιμα από οικονομοτεχνικής πλευράς.

Τα παραπάνω κριτήρια συμπεριφοράς σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο ομάδες που αφορούν:

α. Τον βαθμό επιτυχίας του αντιμέτρου στο παρελθόν (**Success Test Rate**) και περιλαμβάνει κριτήρια όπως: Ο χρόνος απόκρισης (Response Time), η λειτουργικότητά του (Functionality) και η ικανότητά του να ξεκινήσει τη διαδικασία άμβλυνσης μέσω ενεργοποίησης άλλου αντιμέτρου (Triggering Event or Condition).

β. Τον βαθμό αποτελεσματικότητάς τους (**Effectiveness Rate**) που περιλαμβάνει το επίπεδο εμπιστοσύνης τους (Level Of Confidence), την ανεξαρτησία τους από την ανθρώπινη παρέμβαση (Independence of Humans), την αντοχή στην ευμεταβλητότητα του περιβάλλοντος (Robustness), την ακεραιότητά του (Probity) και το επίπεδο αντοχής του στο χρόνο (Decay Level).

Η Ομαδοποίηση της ανωτέρω παραγράφου, απεικονίζεται στον Πίνακα 3.3.3.2 που ακολουθεί:

Κριτήριο	Βαθμός Επιτυχίας στο Παρελθόν (Success Test Rate)	Βαθμός Αποτελεσματικότητας στο Παρελθόν (Effectiveness Rate)
Response Time Level of Confidence	X	X
Availability Independance on humas		X X
Functionality / Triggering Event or Condition		X X X
Robustness		X

Κριτήριο	Βαθμός Επιτυχίας στο Παρελθόν (Success Test Rate)	Βαθμός Αποτελεσματικότητας στο Παρελθόν (Effectiveness Rate)
Probity		X
Decay Level		X

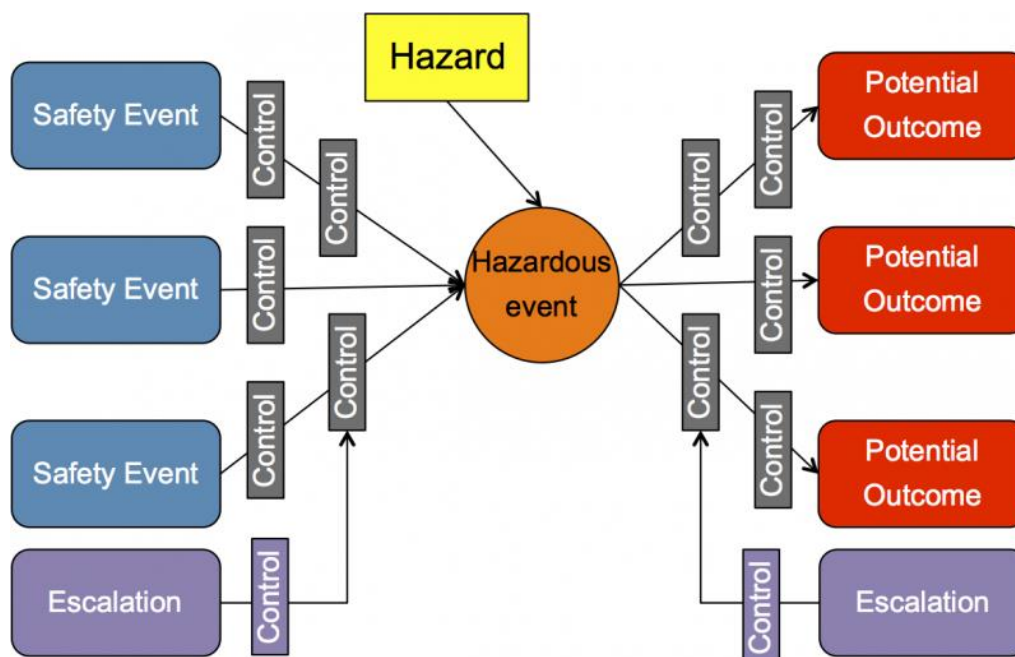
Πίνακας 3.3.3.2 Κριτήρια Παρελθοντικής Αποτελεσματικότητας

4. Μεθοδολογία υπολογισμού Δείκτη Ικανότητας Αποφυγής Γεγονότος Ασφαλείας – SAREAC (Safety Risk Event Avoidance Capability)

Η μέτρηση της ικανότητας αποφυγής ενός γεγονότος ασφαλείας σε οριοθετημένο σύστημα μελέτης, αποτελεί ένα θεμελιώδες έργο και αντικείμενο της διαδικασίας εκτίμησης ρίσκου (risk assessment). Παράλληλα, στις νεότερες τεχνικές εκτίμησης ρίσκου παρουσιάζεται μια τάση συνεκτίμησης και της απόδοσης των εφαρμοζόμενων αντιμέτρων (barriers), όπως με την τεχνική «ARMS» που αναλύθηκε στο κεφάλαιο 2.2. Παρόλαυτα, οι περισσότερες τεχνικές είναι σαφώς στραμμένες στην εκτίμηση της Πιθανότητας και Δριμύτητας. Οι κριτικές των μελετητών που αναπτύχθηκαν στο 2^ο κεφάλαιο, καθώς και η τάση για συνεκτίμηση και άλλων παραγόντων στον υπολογισμό του επιπέδου ρίσκου, οδήγησαν στον σχεδιασμό του «Δείκτη Ικανότητας Αποφυγής Γεγονότος Ασφαλείας» (SAREAC-Safety Risk Event Avoidance Capability).

Με τη χρήση του δείκτη, ο μελετητής του συστήματος, μπορεί έχοντας ως κριτήριο αντικειμενικότερους παράγοντες, να εκτιμήσει και να βελτιώσει το υφιστάμενο επίπεδο ασφαλείας του συστήματος. Η δημιουργία του SAREAC βασίζεται σε ποιοτικά και ποσοτικά κριτήρια, με την λιγότερη δυνατή εξάρτησή τους από το σύστημα μελέτης, ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί σε συστήματα διαφορετικού τομέα δραστηριοτήτων με λιγότερη υποκειμενικότητα και να χρησιμοποιηθεί συγχρόνως για την αξιολόγηση και σύγκριση συστημάτων καθώς και σύγκριση των αποτελεσμάτων με την πάροδο του χρόνου.

Η έννοια «Ικανότητα Αποφυγής», μπορεί να απεικονιστεί με την χρήση του μοντέλου «Bow Tie». Το μοντέλο αυτό, διαφοροποιεί τη διαχείριση ρίσκου πριν και μετά την εκδήλωση των γεγονότων ασφαλείας. Στο σχήμα 4.1.1 που ακολουθεί απεικονίζεται ο διαχωρισμός αυτός.



Εικόνα 4.1.1 «BOW TIE MODEL» (CGE, 2017)

Στο σχήμα, παρατηρούμε ότι σε κάθε γεγονός ασφάλειας «Safety Event» επιδρούν μέτρα ελέγχου «control» για να αποφευχθεί ένα επικίνδυνο γεγονός. Παράλληλα, μετά την εκδήλωση του γεγονότος, εφαρμόζονται αντίστοιχα μέτρα ελέγχου για τον περιορισμό της δριμύτητάς του. Το μοντέλο «Bow Tie», αντανακλά την τρέχουσα μέθοδο εκτίμησης ρίσκου (Πιθανότητας-Δριμύτητας), καθώς όλα τα προληπτικά μέτρα ελέγχου (proactive safety controls), αφορούν την μείωση της πιθανότητας εμφάνισης επικίνδυνου γεγονότος και αντίστοιχα τα μέτρα μετά την εκδήλωση του γεγονότος (Reactive controls) αφορούν τη μείωση της δριμύτητάς του γεγονότος.

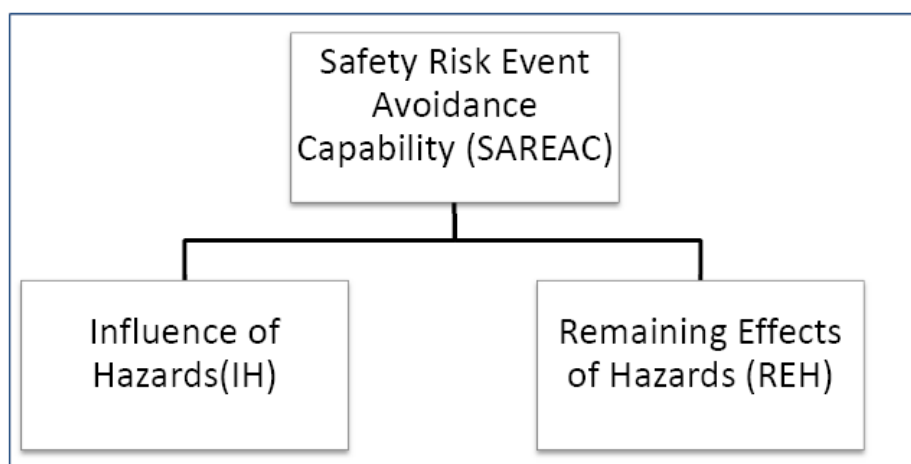
Η παρούσα εργασία, με τη μελέτη Δείκτη Ικανότητας Αποφυγής, εστιάζει στην πρόληψη, με απεξάρτηση από τη φιλοσοφία του αποτελέσματος λόγω της ποικιλομορφίας τους (Ένα αποτέλεσμα ενός κινδύνου, μπορεί να είναι κίνδυνος για ένα άλλο σύστημα κτλ.). Ως εκ τούτου, μελετάται η **αριστερή** πλευρά του μοντέλου «Bow Tie».

Συμπερασματικά, με τη συνεκτίμηση παραγόντων όπως: η αναμενόμενη απόδοση των μέτρων ελέγχου πριν την εκδήλωση ενός γεγονότος, η συμμετοχή του

κινδύνου σε διάφορα γεγονότα ασφαλείας αλλά και η συχνότητα εμφάνισης του κινδύνου στο σύστημα δίχως αυτός να έχει οδηγήσει απαραίτητα σε κάποιο γεγονός, μπορεί να εκτιμηθεί το επίπεδο έκθεσης του συστήματος μελέτης στον κίνδυνο και αντίστοιχα σε γεγονότα ασφαλείας.

4.1 Ικανότητα Αποφυγής Risk Event

Κάθε σύστημα μελέτης, χαρακτηρίζεται από μια συνολική έκθεση στον κίνδυνο. Αυτό το επίπεδο, προκύπτει συνεκτιμώντας τους κινδύνους που υπάρχουν το σύστημα και οι οποίοι έχουν αναγνωρισθεί κατά τη διαδικασία της αναγνώρισης των Κινδύνων (Hazard Identification). Κάθε ένας από αυτούς τους κινδύνους χαρακτηρίζεται από την επιρροή του (influence) στο σύστημα, η οποία αποτελεί το συνδυασμό του βαθμού Σχετικής Παρουσίας του στο σύστημα (Relative Presence) και του βαθμού Σχετικής Συμμετοχής του σε Risk Events (Relative Contribution) (Οι έννοιες αυτές, αναλύονται στην παράγραφο 4.2 που ακολουθεί). Εάν με τα εφαρμοζόμενα αντίμετρα γίνει δυνατός ο περιορισμός της ικανότητας - απόδοσης του κινδύνου να οδηγήσει σε ένα Γεγονός Ασφαλείας, τότε θα προκύψει ο Δείκτης Ικανότητας Αποφυγής (Σχήμα 4.1.1).



Εικόνα 4.1.1 Παράγοντες SAREAC

4.2 Χαρακτηριστικά Κινδύνων Συστήματος

Η επιρροή του κινδύνου (Influence), είναι ένα μοναδικό χαρακτηριστικό για τον κάθε κίνδυνο του συστήματος, το οποίο είναι μετρήσιμο. Η μέτρηση της αποτελεί συνισταμένη δύο κύριων χαρακτηριστικών του κινδύνου, της Σχετικής Παρουσίας του στο σύστημα (Relative Presence) και της Σχετικής Συμμετοχής του σε γεγονότα ασφαλείας (Relative Contribution). Οι έννοιες Σχετικής Παρουσίας και Σχετικής Συμμετοχής σε γεγονότα ασφαλείας, αναλύονται στις ακόλουθες υποπαραγράφους:

4.2.1 Σχετική Παρουσία Κινδύνου (Relative Presence)

Οι κίνδυνοι στο σύστημα, μετά τη διαδικασία αναγνώρισης τους (Hazard Identification), μπορούν να χαρακτηριστούν από το βαθμό εμφάνισής του στο οριοθετημένο σύστημα μελέτης σε σχέση με μια σχετική και κοινή μονάδα αναφοράς για όλους τους κινδύνους του συστήματος (Ωρες Πτήσεις, Διανυόμενα Χιλιόμετρα κτλ). Ως εκ τούτου, θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε ως ιδιότητα του κινδύνου την έννοια της «Σχετικής Παρουσίας – Relative Presence» σύμφωνα και με τον επίσημο ορισμό της: «Presence: The state or fact of existing, occurring, or being present. (<https://www.oxforddictionaries.com>)». Στο παράδειγμα που ακολουθεί αναλύεται η έννοια της παρουσίας του κινδύνου στο σύστημα.

Έχοντας ως αντικείμενο μελέτης ένα σύστημα «Οικείας (Σπίτι)», μετά τη διαδικασία αναγνώρισης των κινδύνων, διαπιστώσαμε ότι στα δωμάτια βρέθηκαν καλώδια ηλεκτρικού ρεύματος που δεν είχαν την απαραίτητη μόνωση και ως εκ τούτου βραχυκύκλωναν με αποτέλεσμα να είναι γενεσιουργοί παράγοντες γεγονότων ασφαλείας (πχ πυρκαγιά κτλ.). Στο σύνολο των δωματίων και για διάστημα 30 ημερών, που αποτελεί και τη σχετική μονάδα αναφοράς, ο κίνδυνος «βραχυκύκλωμα καλωδίου» εμφανίστηκε συνολικά δέκα (10) φορές. Φυσικά, περισσότερη ακρίβεια στον υπολογισμό μας, θα προσέδιδε και η μελέτη της χρονικής διάρκειας για την οποία ο κίνδυνος εμφανίστηκε, τον οποίο υπολογισμό όμως στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης δεν τον λαμβάνουμε υπόψη για λόγους απλούστευσης. Πέρα από αυτό τον κίνδυνο, στο ίδιο σύστημα αναγνωρίστηκαν και άλλοι τρεις (3) κίνδυνοι

όπου επίσης στο διάστημα 30 ημερών, είχαν επίσης παρουσία στο σύστημα χωρίς να οδηγήσουν ακόμη σε κάποιο «risk event». Η παρουσία των κινδύνων είναι η κάτωθι:

- α. Κίνδυνος 1 «Βραχυκυκλωμένο Καλώδιο» - Παρουσία = 10 φορές / 30 μέρες
- β. Κίνδυνος 2 «Πτώση Κουρτινόξυλου» - Παρουσία = 5 φορές / 30 μέρες
- γ. Κίνδυνος 3 «Ραγισμένο Τζάμι Παραθύρου» - Παρουσία = 1 φορά / 30 μέρες
- δ. Κίνδυνος 4 «Υπερθέρμανση Ηλεκτρικής Κουζίνας» - Παρουσία = 4 φορές / 30 μέρες

Έτσι σύμφωνα και με όσα αναλύθηκαν ανωτέρω, η Σχετική παρουσία του κινδύνου στο σύστημα, έχει άμεση εξάρτηση με τη συνολική συχνότητα εμφάνισης των κινδύνων ανεξάρτητα με το αν θα οδηγήσουν σε risk event. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η σχετική παρουσία του κάθε κινδύνου, θα προκύψει από τη σχέση (4.2.1.1) που ακολουθεί:

$$RPH_X = EH_X \div (EH_1 + EH_2 + \dots + EH_N)$$

Σχέση 4.2.1.1 Σχετική Παρουσία Κινδύνου

Όπου:

RPH= Relative Presence of Hazards (Σχετική Παρουσία Κινδύνου)

EH = Exposure of Hazard (Έκθεση Συστήματος στον Κίνδυνο)

Από την ανωτέρω σχέση και για το συγκεκριμένο παράδειγμα παρουσίας κινδύνων, οι κίνδυνοι 1-4 θα έχουν τη σχετική παρουσία που ακολουθεί:

- Σχετική Παρουσία Κινδύνου 1 (RPH_1) = $10 \div 20 = 0,50$

- Σχετική Παρουσία Κινδύνου 2 (RPH_2) = $5 \div 20 = 0,25$
- Σχετική Παρουσία Κινδύνου 3 (RPH_3) = $1 \div 20 = 0,05$
- Σχετική Παρουσία Κινδύνου 4 (RPH_4) = $4 \div 20 = 0,20$

Σε αυτό το σημείο, πρέπει να τονιστεί, ότι η εκτίμηση της Σχετικής Παρουσίας του κινδύνου, **εξαρτάται άμεσα από τη Μονάδα αναφοράς** που λαμβάνουμε υπόψιν. Έτσι, εάν για το ανωτέρω παράδειγμα, η μονάδα αναφοράς ήταν η μία (1) ώρα, αντιλαμβανόμαστε ότι θα προέκυπταν πολύ διαφορετικά αποτελέσματα στη συνολική εκτίμηση της σχετικής παρουσίας.

Συμπερασματικά λοιπόν, η ακρίβεια της μέτρησης της Σχετικής Παρουσίας, προκύπτει άμεσα μέσω της επιλογής της καταλληλότερης μονάδας αναφοράς.

4.2.2 Σχετική Συμμετοχή του Κινδύνου σε Risk Events (Relative Contribution)

Πέρα από την παρουσία του κινδύνου στο σύστημα, μια άλλη ιδιότητα του, είναι η συχνότητα συμμετοχής του σε γεγονότα ασφαλείας. Ειδικότερα, είναι φανερό ότι ένας κίνδυνος με ισχυρή παρουσία στο σύστημα, μπορεί να μην εμπλέκεται σε πολλά γεγονότα για το συγκεκριμένο σύστημα μελέτης και αντίθετα.

Για να γίνει κατανοητή η έννοια της «Συμμετοχής», εάν λάβουμε υπόψη μας το προηγούμενο παράδειγμα που αφορά ως αντικείμενο μελέτης την οικεία-σπίτι, ο Κίνδυνος «Βραχυκύκλωμα Καλωδίου Ηλ. Ρεύματος» συμμετέχει σε γεγονότα ασφαλείς όπως: ηλεκτροπληξία, πυρκαγιά σπιτιού, καταστροφή ηλεκτρικής συσκευής.

Αντίστοιχα, ο κάθε κίνδυνος που συμμετέχει σε Risk Events έχει μια σχετική βαρύτητα σε σχέση με τη συνολική συμμετοχή των κινδύνων σε Risk Events. Έτσι προκύπτει η ακόλουθη σχέση (4.2.2.1):

$$RCH_X = REH_X \div (REH_1 + REH_2 + \dots + REH_N)$$

Σχέση 4.2.2.1 Σχετική Συμμετοχή Κινδύνου

Όπου:

RCH= Relative Contribution of Hazards (Σχετική Συμμετοχή Κινδύνων σε Risk Events)

REH = Risk Event Hazard Contribution (Συμμετοχή Κινδύνων σε γεγονότα ασφαλείας)

Στο παράδειγμα που ακολουθεί υπολογίζεται η σχετική συμμετοχή του κινδύνου σε risk events. Έστω ότι για τον κίνδυνο (1) διαπιστώθηκε ότι συμμετέχει σε πέντε (5) γεγονότα. Συγχρόνως, οι κίνδυνοι (2), (3), (4), έχουν αντίστοιχη συμμετοχή 3, 5, 2. Τότε η Σχετική Συμμετοχή του κινδύνου (1) θα είναι 0,33 [το οποίο προκύπτει από την πράξη: $5 \div (5+3+2+5)$] και αντίστοιχα των υπολοίπων κινδύνων θα είναι:

- Σχετική Συμμετοχή Κινδύνου 2 (RCH_2) = $3 \div 15 = 0,2$
- Σχετική Συμμετοχή Κινδύνου 3 (RCH_3) = $5 \div 15 = 0,33$
- Σχετική Συμμετοχή Κινδύνου 4 (RCH_4) = $2 \div 15 = 0,14$

4.3 Επιρροή των Κινδύνων στο Σύστημα Μελέτης

Από τις υποπαραγράφους 4.2.1 και 4.2.2, εκτιμούμε ότι το συνολικό επίπεδο έκθεσης στον κίνδυνο ενός συστήματος μελέτης, εξαρτάται άμεσα από την παρουσία και συμμετοχής τους σε risk event του συστήματος μελέτης. Έτσι οι κίνδυνοι θα αποδώσουν τη μέγιστη τιμή τους, ως προς την ικανότητάς τους να οδηγήσουν σε Risk Events εφόσον δεν αμβλυνθούν. Όμως κάθε ένας από αυτούς έχει μια ιδιαίτερη βαρύτητα την **Επιρροή (Influence)**. Η Επιρροή προκύπτει ως συνδυασμός της «Σχετικής Παρουσίας» του κινδύνου στο σύστημα και της «Σχετικής Συμμετοχής» του σε πιθανά Risk Events. Για τον υπολογισμό της, λαμβάνοντας υπόψη ότι για το

σύστημα μελέτης, η επιρροή κάθε κινδύνου θα έχει ως βαθμό το ένα (1), τόσο η Σχετική Παρουσία, όσο και η Σχετική Συμμετοχή θα έχουν αντίστοιχα μια ανάλογη βαρύτητα η οποία μπορεί να διαφοροποιείται αναλόγως του συστήματος. Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης η Σχετική Παρουσία και Σχετική Συμμετοχή λόγω κανονικοποίησης και έλλειψης προηγούμενων μελετών που να αναφέρουν κάποιο διαφορετικό τρόπο υπολογισμού, λαμβάνουν τον ίδιο βαθμό βαρύτητας, που είναι ίση με 0.5. Ως εκ τούτου, λαμβάνοντας υπόψη το ανωτέρω παράδειγμα με τη μελέτη του συστήματος «Οικεία», οι κρισιμότητες των κινδύνων προκύπτουν από τη Σχέση 4.3.1 που ακολουθεί:

$$IH_x = (RPH_x \times 0.5) + (RCH_x \times 0.5)$$

Σχέση 4.3.1 Επιρροή των Κινδύνων

Όπου:

IH = Influence of Hazard (Επιρροή του Κινδύνου)

RPH = Relative Presence of Hazard (Σχετική Παρουσία του Κινδύνου)

RCH = Relative Contribution of Hazard (Σχετική Συμμετοχή του Κινδύνου)

Για το παράδειγμα της παραπάνω παραγράφου, η επιρροή των κινδύνων, υπολογίζεται ως κάτωθι:

$$IH_1 = (0.5 \times 0.5) + (0.33 \times 0.5) = 0,25 + 0,165 = 0,415.$$

Όμοια προκύπτει ότι :

- $IH_2 = 0,125 + 0,1 = 0,225.$
- $IH_3 = 0,025 + 0,165 = 0,195.$
- $IH_4 = 0,1 + 0,065 = 0,165.$

*Είναι φανερό, ότι με τις ανωτέρω παραδοχές βαρύτητας, η συνολική Επιρροή των Κινδύνων του συστήματος θα είναι ίση με τη μονάδα ($IH_1 + \dots + IH_4 = 1$)

4.4 Περιορισμός Απόδοσης Κινδύνου με Αντίμετρα

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.3, η συνολική επιρροή των κινδύνων ενός οριοθετημένου συστήματος, θα έχει τη μέγιστη τιμή της σε περίπτωση που δεν εφαρμόζονται μέτρα ελέγχου. Στην παρούσα μελέτη, για τη λειτουργία του Δείκτη Ικανότητας αποφυγής γεγονότος ασφαλείας, τα αντίμετρα έχουν ομαδοποιηθεί σύμφωνα με τα αντίστοιχα κριτήριά τους στην παράγραφο 3.2.

4.4.1 Κατηγοριοποίηση Αντιμέτρων

Κάθε αντίμετρο που εφαρμόζεται για να περιορίσει την ικανότητα του κινδύνου να οδηγήσει σε γεγονός ασφαλείας, χαρακτηρίζεται από μια απόδοση, είτε πρόκειται για αντίμετρο του οποίου γνωρίζουμε την απόδοσή, διότι έχει ξαναχρησιμοποιηθεί ή δοκιμαστεί, είτε πρόκειται για αντίμετρο το οποίο εφαρμόζεται για πρώτη φορά. Από την ανάλυση των ανωτέρω παραγράφων, ακολουθεί ο παρακάτω πίνακας 4.4.1.1, που διαχωρίζει τα κριτήρια **Συνολικής Αναμενόμενης Απόδοσης (Overall Expected Performance)** σε 2 κατηγορίες με τα αντίστοιχα κριτήρια:

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΚΡΙΤΗΡΙΑ
1. Απόδοση στο Παρελθόν (Past Performance) *Για αντίμετρα με γνωστή συμπεριφορά	<ul style="list-style-type: none">• Βαθμός Επιτυχίας (Success Test Rate)• Βαθμός Αποδοτικότητας (Effectiveness Rate)
2. Αναμενόμενη Απόδοση* (Expected Performance) *Για αντίμετρα με άγνωστη συμπεριφορά ή νέα	<ul style="list-style-type: none">• Υλικής Υπόστασης (Physical)• Λειτουργίας (Functional)• Συμβολισμού (Symbolic)• Άυλα (Incorporeal)

Πίνακας 4.4.1.1 «Κατηγορίες Κριτηρίων Απόδοσης Αντιμέτρων»

4.4.2 Βαθμολόγηση Αντιμέτρων Κινδύνων

Κάθε μια από τις κατηγορίες των αντιμέτρων, του προσδίδουν ένα χαρακτηριστικό αναμενόμενης απόδοσης. Ειδικότερα, όσον αφορά τη **Συμπεριφορά στο Παρελθόν (Past Performance)**, αυτή αποτελεί συνισταμένη του βαθμού επιτυχίας του αντιμέτρου στο παρελθόν (Success Test Rate) και του βαθμού αποτελεσματικότητας στο παρελθόν (Effectiveness Rate). Σε αυτή την περίπτωση,

που γνωρίζουμε τόσο τον βαθμό επιτυχίας του στο παρελθόν, όσο και τον βαθμό αποτελεσματικότητάς του, χρησιμοποιούμε τον μέσο όρο των δύο (2) τιμών. Σε αντίθετη περίπτωση, που είναι γνωστή μόνο μία από τις 2 παραμέτρους της απόδοσης στο παρελθόν, δηλαδή είτε μόνο ο βαθμός επιτυχίας, είτε μόνο η αποτελεσματικότητά του, η εκτίμηση της παρελθοντικής απόδοσης θα γίνεται με κριτήριο μόνο αυτόν τον παράγοντα (Σχέση 4.4.2.1).

$$PHC_x = [\text{Success Test Rate (STRC}_x) + \text{Effectiveness Rate (ERC}_x)] \div 2$$

Σχέση 4.4.2.1 Απόδοση Αντιμέτρου στο Παρελθόν

*Όπου:

PHC = Past Performance of Controls (Παρελθοντική Απόδοση Αντιμέτρων)

Έτσι, σε περίπτωση που κάποιο αντίμετρο έχει γνωστό βαθμό επιτυχίας της τάξης του 70%, δηλαδή γνωρίζουμε ότι απέδωσε με επιτυχία στις επτά (7) από τις δέκα (10) φορές που χρειάστηκε, και επίσης το ίδιο αντίμετρο παρουσιάσει μια αποτελεσματικότητα σύμφωνα με τα κριτήρια απόδοσης της τάξης του 60%, τότε η συνολική παρελθοντική απόδοση (past performance), με την εφαρμογή της σχέσης 3.4.2.1, θα είναι ο αλγεβρικός μέσος όρος των αποδόσεων και συγκεκριμένα εδώ 65%, άρα 0,65.

Όσον αφορά την Αναμενόμενη Απόδοση του αντιμέτρου (**Expected Performance**), αυτή ανάλογα με τον τρόπο και το είδος δράσης παίρνει την μέγιστη τιμή της, που στο πλαίσιο της μελέτης θεωρείται το (0,8), εάν πρόκειται για αντίμετρο με υλική υπόσταση (πχ κτίρια, τείχος, φράκτες). Λιγότερο αποδοτικό, θεωρείται το αντίμετρο το οποίο θέτει περιορισμούς στο σύστημα μέσω κάποιας λειτουργίας, καθώς δεν αποτρέπει ένα risk event, όπως ένα φυσικό εμπόδιο αλλά δρά διατηρώντας το σύστημα εντός ορίων (πχ. Σύστημα Ελέγχου Πτήσης Α/Φ.). Έτσι το αντίμετρο που δρά με αυτό τον τρόπο βαθμολογείται με 0,6. Συνεχίζοντας, το αντίμετρο που αφορά κάποιον συμβολισμό και κάποια δράση ερμηνείας από το

χρήστη για να αποδώσει (Symbolic), λαμβάνεται στην παρούσα μελέτη, ως ασθενέστερο του Functional και βαθμολογείται με 0,4. Ως συμβολισμοί θεωρούνται προειδοποιητικά κείμενα, επιγραφές ήχοι, διαδικασίες εκτέλεση εργασιών, check-lists κτλ. Τέλος στην παρούσα μελέτη, εκτιμούνται ως ασθενέστερα τα κριτήρια που δεν έχουν φυσική υπόσταση ούτε απαιτούν κάποια αποκωδικοποίηση από το χρήστη, αλλά θεωρείται ότι κατευθύνουν τον τρόπο δράσης του χρήστη , όπως είναι οι γενικοί κανόνες, οι νόμοι, οι στρατηγικοί στόχοι κτλ. Αυτό το αντίμετρο βαθμολογείται με 0.2.

Η εκτίμηση της βαθμολόγησης των παραπάνω κριτηρίων, έγινε σύμφωνα με τη μελέτη της βιβλιογραφίας (Hollnagel, 2007). Ως εκ τούτου, λήφθηκε ως ισχυρότερης επιρροής, το κριτήριο της φυσικής - υλικής υπόστασης και ασθενέστερης επιρροής το κριτήριο της άυλης υπόστασης που εναπόκειται στη γνώση και εκπαίδευση του χρήστη. Λόγω έλλειψης προηγούμενων σχετικών μελετών σχετικά με τη βαθμολόγηση των κριτηρίων, η βαθμολόγηση των κριτηρίων έγινε με ίσες αριθμητικές αποστάσεις μεταξύ τους και με ισάριθμη απόσταση από τη μέγιστη βαθμολόγηση που είναι το ένα (1).

Από τις παραπάνω παραγράφους προκύπτει ο Πίνακας 4.4.2.2 που ακολουθεί:

ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ ΑΝΤΙΜΕΤΡΩΝ

ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ	ΒΑΘΜΟΣ
Απόδοση στο Παρελθόν (Past Performance)	<ul style="list-style-type: none"> • Βαθμός Επιτυχίας στο παρελθόν (Success Test Rate) • Βαθμός Αποτελεσματικότητας στο παρελθόν (Effectiveness Rate) 	Μέσος Όρος [Success Test Rate, Effectiveness Rate] *Η υπολογισμός μόνο του γνωστού κριτηρίου
Αναμενόμενη Απόδοση (Expected Performance)	<ul style="list-style-type: none"> • Υλικής Υπόστασης (Physical) • Λειτουργίας (Functional) • Συμβολισμού (Symbolic) • Άυλα (Incorporeal) 	<ul style="list-style-type: none"> • 0,8 • 0,6 • 0,4 • 0,2

Πίνακας 4.4.2.2 Βαθμολόγηση Αντιμέτρων

Συμπερασματικά, σε περίπτωση που μελετάμε την αναμενόμενη αποτελεσματικότητα του αντιμέτρου με γνωστή συμπεριφορά στο παρελθόν, τότε χρησιμοποιείται μόνο το κριτήριο της Παρελθοντικής Απόδοσης (Past Performance). Σε αντίθετη περίπτωση, εάν το αντίμετρο είναι νέο, χωρίς να έχουμε γνώση για την παρελθοντική του απόδοση, τότε βαθμολογείται μόνο με βάση την αναμενόμενη απόδοση που θα έχει λόγω της ιδιότητας του.

4.4.3 Τρόπος Εφαρμογής Αντιμέτρων

Η εφαρμογή των εφαρμοζόμενων αντιμέτρων στον κίνδυνο, μπορεί να είναι είτε σειριακή είτε σε παραλληλία. Αυτό γίνεται καλύτερα κατανοητό εάν λάβουμε υπόψη μας ότι σε πολλά συστήματα μελέτης, τα αντίμετρα που εφαρμόζονται, θα αποδώσουν κατόπιν εφαρμογής ενός άλλου αντιμέτρου, ή θα αποδώσουν ανεξάρτητα με το εάν έχει εφαρμοστεί κάποιο άλλο κάτι το οποίο έχει αναλυθεί στην ανασκόπηση της βιβλιογραφίας του Κεφαλαίου 3.1. Έτσι, ένα αντίμετρο με παθητικό ρόλο χωρίς ανίχνευση κινδύνου (Passive non Detective) εφαρμόζεται σε παραλληλία με τυχόν άλλα μέτρα, ενώ αντίθετα κάθε αντίμετρο που χρειάζεται έναυσμα για να αποδώσει (Activated) εφαρμόζεται σε σειρά με κάποιο παθητικό αντίμετρο ανίχνευσης κινδύνου (Passive Detective). Στις ακόλουθες παραγράφους ακολουθεί ανάλυση και μαθηματικός υπολογισμός της απόδοσης των αντιμέτρων για την κάθε μια από τις περιπτώσεις.

4.4.3.1 Αντίμετρα σε Σειρά

Στην περίπτωση που έχουμε εφαρμογή των αντιμέτρων σε σειρά, τότε το συνολικό ποσοστό μείωσης της «Απόδοσης» του κινδύνου προκύπτει από το γινόμενο της απόδοσης των επι μέρους αντιμέτρων που εφαρμόζονται (Σχέση 4.4.3.1.1)

$$EHC_x = PHC_1 \times PHC_2 \times \dots \times PHC_N$$

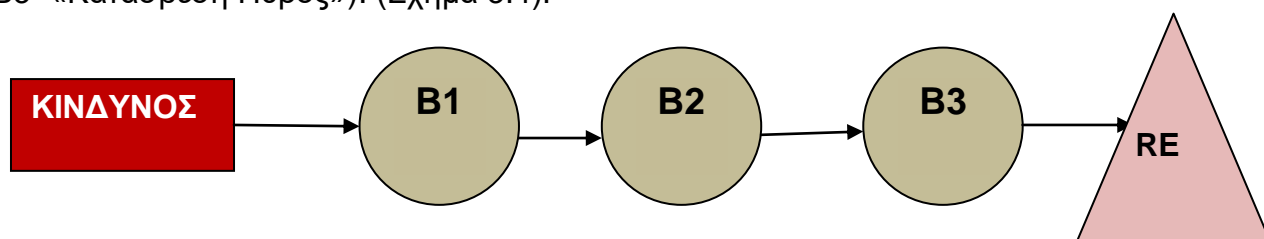
Σχέση 4.4.3.1.1 Απόδοση Αντιμέτρων σε Σειρά

Όπου:

EHC = Effectiveness of Hazard Controls (Αποτελεσματικότητα Αντιμέτρων)

PHC = Performance of Hazard Controls (Απόδοση Αντιμέτρων)

Για να γίνει καλύτερα κατανοητός ο παραπάνω τρόπος εφαρμογής των αντιμέτρων σε σειρά, ας λάβουμε υπόψη μας το Σύστημα «Γραφείο», όπου εφαρμόζουμε αρχικά τον Αντίμετρο (B1=«Ανιχνευτής Καπνού»), στη συνέχεια το αντίμετρο (B2=«Σειρήνα Προειδοποίησης Φωτιάς») και τέλος το αντίμετρο (B3=«Κατάσβεση Πυρός»). (Σχήμα 3.4):



Εικόνα 4.4.3.1.1 Εφαρμογή Αντιμέτρων σε Σειρά

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, εάν ο κίνδυνος «Φωτιά στο γραφείο» δράσει ανεξέλεγκτος θα οδηγήσει στο Risk Event «Καταστροφή του γραφείου από φωτιά». Έτσι με την εφαρμογή των αντιμέτρων καταστέλλεται αυτή η ικανότητά του.

Το κάθε ένα από τα παραπάνω αντίμετρα (Ανιχνευτής Καπνού, Σειρήνα, Κατάσβεση), στην περίπτωση που έχουν εφαρμοστεί ή δοκιμαστεί στο παρελθόν, θα έχουν κάποιο βαθμό παρελθοντικής απόδοσης (Past Performance) ή διαφορετικά, εάν δεν γνωρίζουμε την παρελθοντική του συμπεριφορά, ή είναι νέο αντίμετρο χωρίς δοκιμή, θα χαρακτηριστεί από κάποιο βαθμό απόδοσης με βάση το είδος του. Έτσι με την συνολική βαθμολογία απόδοσης του κάθε αντιμέτρου, μπορεί να υπολογιστεί το συνολικό επίπεδο μείωσης της απόδοσης-ικανότητας του κινδύνου να οδηγήσει σε Risk Event.

Για το συγκεκριμένο παράδειγμα, ο ανιχνευτής καπνού δρά ως το πρώτο αντίμετρο ενεργοποίησης των υπολοίπων αντιμέτρων που ακολουθούν. Έτσι, εάν το αντίμετρο B1 (Ανιχνευτής Καπνού) είχε αναμενόμενη αποτελεσματικότητα 0,5, το αντίμετρο B2 (Σειρήνα Προειδοποίησης Φωτιάς) είχε μια αναμενόμενη

αποτελεσματικότητα 0,6 και το αντίμετρο B3 (Κατάσβεση Πυρός) είχε μια αποτελεσματικότητα ίση με 0,4 τότε η συνολική τους αποτελεσματικότητα βάση της σχέσης 4.4.2.1.1 θα ήταν: $EHC = 0,6 \times 0,4 \times 0,5 = 0,12$

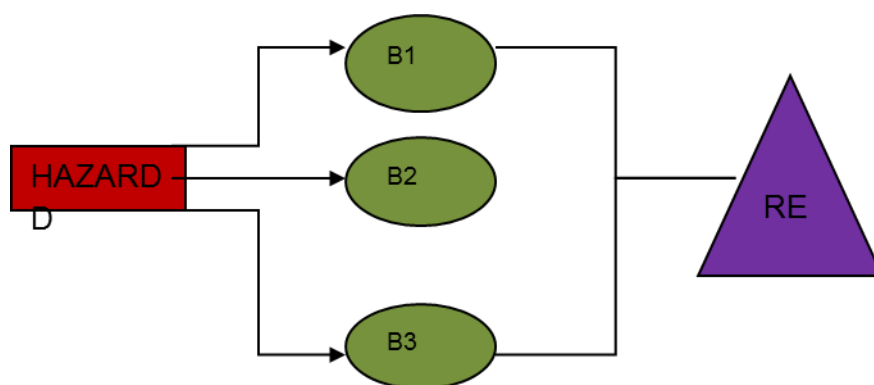
4.4.3.2 Αντίμετρα σε Παραλληλία

Τα αντίμετρα που δρουν παράλληλα, έχουν το μέγιστο βαθμό ανεξαρτησίας το ένα από το άλλο, καθώς η δράση τους είναι αυτόνομη και πολλές φορές παράλληλη. Έτσι με αυτή την παραδοχή, κάθε ένα αντίμετρο με τη αντίστοιχη απόδοσή του, θα συνδράμει στη μείωση ικανότητας του κινδύνου να οδηγήσει σε Risk Event, μειώνοντας την εναπομένουσα από την εφαρμογή των άλλων αντιμέτρων ικανότητα να οδηγήσουν σε Risk Event (Σχέση 4.4.3.2.1)

$$EHC_X = PHC_1 + \sum_{i=2}^n (PHC_i \prod_{j=1}^{i-1} (1 - PHC_j))$$

Σχέση 4.4.3.2.1 Απόδοση Αντιμέτρων σε Παραλληλία

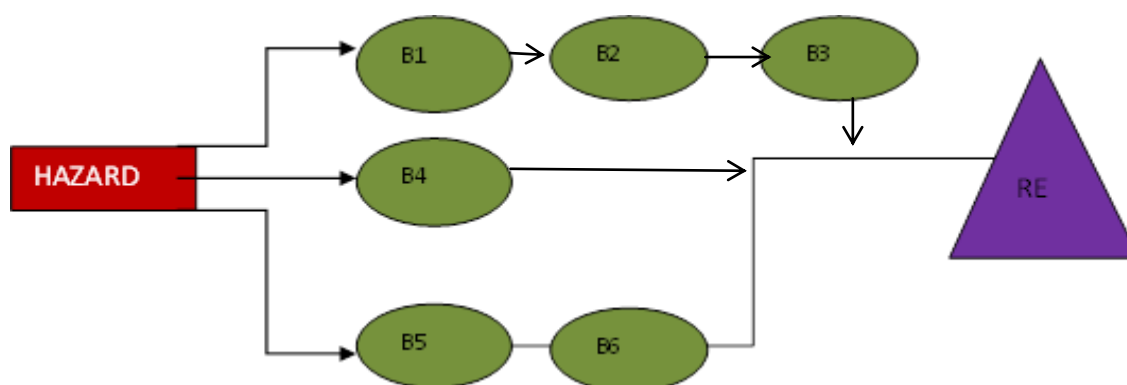
Σε αντίστοιχο παράδειγμα της Παραγράφου 4.4.3.1 με τον κίνδυνο «Φωτιά στο γραφείο» και ενδεχόμενο Risk Event «Καταστροφή του γραφείου από φωτιά», υπάρχουν τρία (3) αντίμετρα που δρουν παράλληλα: Το σύστημα ψεκασμού κατασβεστικού υγρού (Αντίμετρο B1), με εκτιμώμενη απόδοση ίση με 0,3, οι πυρίμαχοι τοίχοι (Αντίμετρο B2), με εκτιμώμενη απόδοση ίση με 0,4 και ο πυροσβεστήρας δωματίου (Αντίμετρο B3), με εκτιμώμενη απόδοση 0,6 (Σχήμα 4.4.3.2.2), τότε η συνολική άμβλυνση του κινδύνου θα προέκυπτε χρησιμοποιώντας τη σχέση 4.4.3.2.1 και θα προέκυπτε το εξής αποτέλεσμα: $EHC = 1 - [0,3 + (1 - 0,3) \times 0,4] + [1 - 0,3 - (1 - 0,3) \times 0,4] \times 0,6 = 0,17$



Εικόνα 4.4.3.2 Παράλληλη Εφαρμογή Αντιμέτρων

4.4.3.3 Μικτή Εφαρμογή Αντιμέτρων

Η εφαρμογή των αντιμέτρων σε ένα σύστημα, γίνεται τις περισσότερες φορές με μικτό τρόπο, δηλαδή εφαρμόζονται και σε σειρά και παράλληλα (Σχήμα 4.4.3.3.1).



Εικόνα 4.4.3.3.1 Αντίμετρα με Μικτή Εφαρμογή

Έτσι για τον μαθηματικό υπολογισμό της επίδρασής τους, ο αναλυτής του συστήματος υπολογίζει αρχικά την απόδοση των κατά σειρά αντιμέτρων και σε συνέχεια όσα είναι παράλληλα (Σχέση 4.4.3.3.2) εφαρμόζονται κατά περίπτωση οι παραπάνω σχέσεις που αφορούν την σειριακή και την παράλληλη εφαρμογή.

$$EHC_{PARRALEL(X)} = EHC_{SERIAL(1)} + \sum_{i=2}^n (EHC_{SERIAL}^i \prod_{j=1}^{i-1} (1 - EHC_{SERIAL}^j))$$

Σχέση 4.4.3.3.2 Υπολογισμός Απόδοσης Μικτής Εφαρμογής Αντιμέτρων

Για την εφαρμογή του ανωτέρω τύπου, ας υποθέσουμε ότι τα αντίμετρα **B1 - B2 - B3** αποτελούν το σύστημα πυροπροστασίας, και συγκεκριμένα το B1 είναι ο ανιχνευτής καπνού, το B2 το λογισμικό του υπολογιστή που λαμβάνοντας το σήμα από το B1 ότι υπάρχει καπνός, θα συνυπολογίσει τις υπόλοιπες παραμέτρους (θερμοκρασία χώρου, συγκέντρωση CO₂) για να κρίνει εάν πρόκειται για πυρκαγιά και τέλος το B3 είναι οι ψεκαστήρες οροφής, που αφού λάβουν το σήμα από το B2, θα ψεκάσουν το χώρο με ειδικό κατασβεστικό υγρό. Τα παραπάνω αντίμετρα, υπολογίστηκαν με βάση την παράγραφο 4.4.3.1 και τη σχέση 4.4.3.1.1 και αμβλύνουν τον κίνδυνο συνολικά κατά **0,65**.

Παράλληλα σε όλα αυτά όμως, το γραφείο έχει τείχους επικαλυμμένους με ειδική μπογιά πυροπροστασίας, που αποτελούν το **αντίμετρο B4**, το οποίο έχει μια αναμενόμενη απόδοση 0,60 και τέλος πέραν όλων των ανωτέρω, υπάρχει το **αντίμετρο B5** το οποίο ανιχνεύει τη φλόγα στο χώρο και ενεργοποιεί το **B6** το οποίο ηχεί τη σειρήνα πυρκαγιάς για να συνεγείρει το προσωπικό του κτιρίου. Τα αντίμετρα B5 και B6 σε σειρά, έχουν μια άμβλυνση του κινδύνου κατά 0,45 (Ομοίως χρησιμοποιώντας τη σχέση 4.4.3.1.1, άρα υπολείπεται ένα **0,55** του αρχικού κινδύνου ανεπηρέαστο.

Από την μαθηματική εκτίμηση της συνολικής άμβλυνσης των κινδύνων, προκύπτει ότι θα είναι:

- Άμβλυνση από Εφαρμογή (B1,B2,B3) = 0,65
- Άμβλυνση από Εφαρμογή (B4) = 0,6
- Άμβλυνση από Εφαρμογή (B5,B6) = 0,45

Και με τη χρήση της σχέσης 4.4.3.2.1, προκύπτει ότι: $EHC = 1 - [0,65 + (1 - 0,65) \times 0,6] + [1 - 0,65 - (1 - 0,65) \times 0,6] \times 0,45 = \mathbf{0,08}$

4.5 Τρόπος Λειτουργίας Δείκτη SREAC

Στις παραπάνω παραγράφους, αναλύθηκε ο τρόπος με τον οποίο κάθε ένας κίνδυνος μπορεί να οδηγήσει σε ένα Γεγονός Ασφαλείας (Risk Event). Συγχρόνως κάθε ένας κίνδυνος, χαρακτηρίζεται από μια ξεχωριστή βαρύτητα, την **«Επιρροή» του**, η οποία αποτελεί συνισταμένη της Σχετικής Παρουσίας του κινδύνου στο σύστημα, και της Σχετικής Συμμετοχής του σε Γεγονότα Ασφαλείας «Risk Events».

Έτσι, εάν με την εφαρμογή των αντιμέτρων, καταφέρναμε να μειώσουμε την ικανότητα του κινδύνου να οδηγήσει σε Risk Event στο σύστημα τότε θα μειωνόταν και το επίπεδο έκθεσης του συστήματος στον κίνδυνο.

Ως εκ τούτου τα βήματα, τα οποία πρέπει να ακολουθήσει ο αναλυτής του συστήματος για να σχηματίσει μια συνολική εικόνα της ικανότητας μείωσης του συνολικού επιπέδου ρίσκου στο σύστημα είναι τα ακόλουθα:

α. Υπολογισμός Επιρροής Κινδύνου

Ο υπολογισμός αυτός γίνεται, συνεκτιμώντας τα ποσοστά Σχετικής Παρουσία Κινδύνου (Όπως αναλύθηκε στην Παρ. 4.2.1) και τα ποσοστά Σχετικής Συμμετοχής Κινδύνου (Όπως αναλύθηκε στην Παρ. 4.2.2). Έτσι κάθε ένας κίνδυνος θα έχει την αντίστοιχη βαρύτητά του.

β. Υπολογισμός Απόδοσης των Εφαρμοζόμενων Αντιμέτρων και Εναπομένουσας Επίδρασης των Κινδύνων

Κάθε ένα από τα εφαρμοζόμενα αντίμετρα στον κίνδυνο, μπορεί να βαθμολογηθεί σύμφωνα με την παράγραφο 4.4.2. Στα κριτήρια αναμενόμενης απόδοσης, στην περίπτωση που το αντίμετρο δεν έχει εφαρμοστεί, δεν έχει δοκιμαστεί, ή δεν είναι γνωστή η παρελθοντική του απόδοση, θα βαθμολογείται μόνο ως προς την αναμενόμενη απόδοσή του σύμφωνα με τα κριτήρια του Hollnagel (Παρ. 4.4).

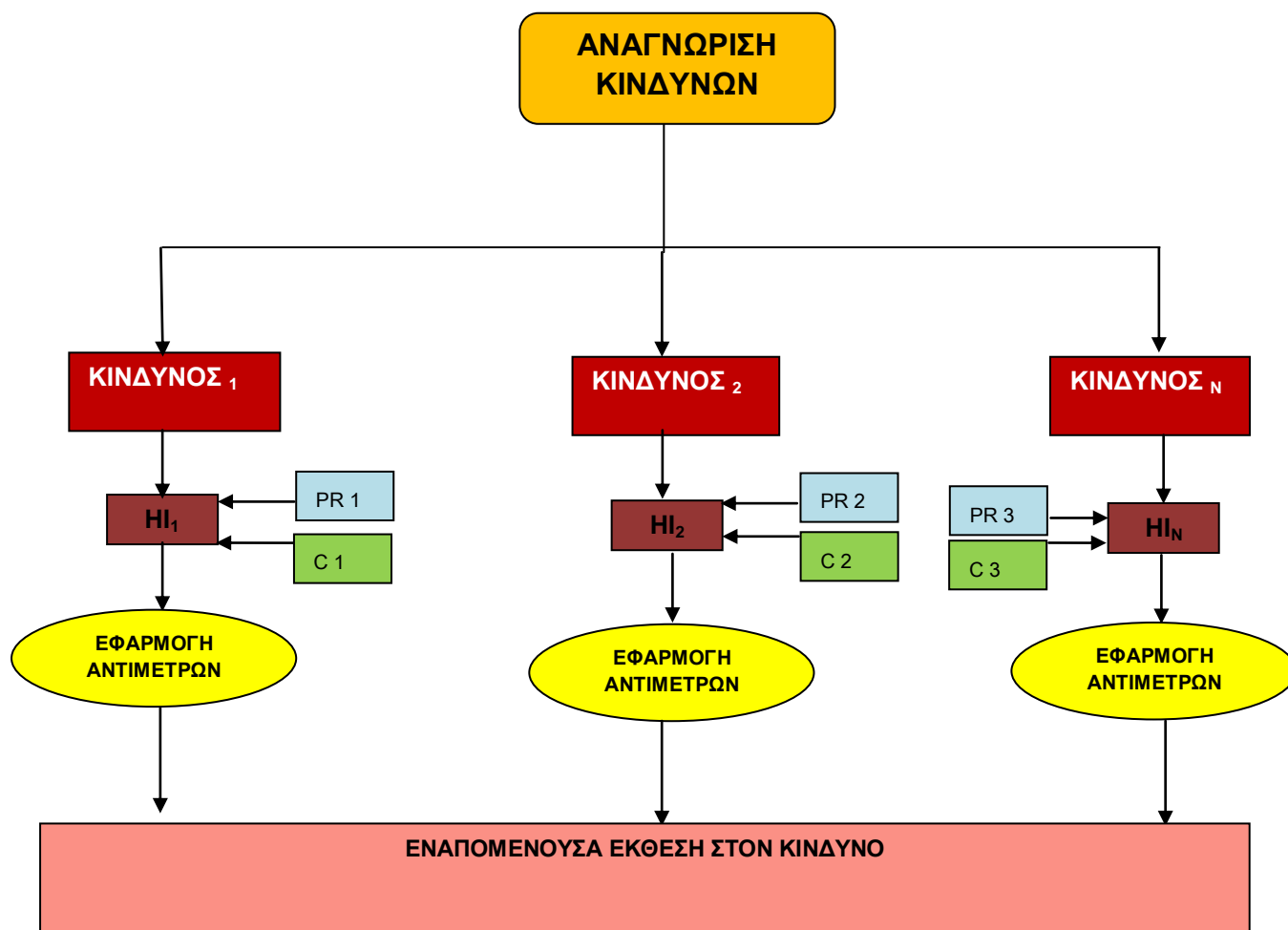
γ. Τρόπος Εφαρμογής Αντιμέτρων

Σύμφωνα με την παράγραφο 4.4.3 τα αντίμετρα, μπορούν να εφαρμοστούν στον κίνδυνο είτε σε σειρά, είτε σε παραλληλία είτε με μικτό τρόπο

εφαρμογής. Ως εκ τούτου η γνώση του τρόπου εφαρμογής τους, επηρεάζει το συνολικό επίπεδο απόδοσης τους επί του κινδύνου.

δ. Υπολογισμός SAREAC

Κατόπιν των ανωτέρω βημάτων, καταλήγουμε στο συνολικό επίπεδο έκθεσης του συστήματος μελέτης στον κίνδυνο. Με τον ανωτέρω τρόπο, ο αναλυτής μπορεί με δοκιμή αντιμέτρων διαφορετικής απόδοσης, να απεικονίζει σε πραγματικό χρόνο το ποσοστό-ικανότητα αποφυγής των Risk Events. Στο ακόλουθο σχήμα 4.5.1 ακολουθεί η Σχηματική Απεικόνιση του τρόπου δράσης του Δείκτη SAREAC.



Εικόνα 4.5.1 Σχηματική Απεικόνιση SAREAC

ΙΗ=INFLUENCE (ΕΠΙΡΡΟΗ)
PR=PRESENCE (ΣΧΕΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΚΙΝΔΥΝΩΝ)
C=CONTRIBUTION (ΣΧΕΤΙΚΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ)

5. Μελέτη Περίπτωσης Δείκτη SAREAC

Για να γίνει εφαρμογή της χρήσης του δείκτη SAREAC, στο πλαίσιο της εργασίας αναλύεται η μελέτη περίπτωσης εκτίμησης επιπέδου ρίσκου μιας εταιρείας μεταφορών (Road Haulage Company), την οποία δημοσίευσε το Ινστιτούτο Υγείας και Ασφάλειας στην Εργασία του Ην. Βασιλείου (Health and Safety Executive, 2013).

5.1 Ο Κίνδυνος στο Σύστημα

5.1.1 Αναγνώριση των Κινδύνων

Η μελέτη για την εκτίμηση του ρίσκου στο σύστημα, ξεκινά με την αναγνώριση των κινδύνων της οποίας οι μέθοδοι αναλύθηκαν στην Παράγραφο 2.1. Έτσι, για την περίπτωση της εταιρείας οδικών μεταφορών που εξετάζουμε, μερικοί από τους κινδύνους που αναγνωρίστηκαν και είναι οι κάτωθι τέσσερις (4):

1. **ΚΙΝΔΥΝΟΣ 1:** Οι κινήσεις των οχημάτων στο προαύλιο της εταιρείας
2. **ΚΙΝΔΥΝΟΣ 2:** Πάγος στο δάπεδο
3. **ΚΙΝΔΥΝΟΣ 3:** Η πυρκαγιά
4. **ΚΙΝΔΥΝΟΣ 4:** Η κόπωση των οδηγών

Τα ενδεχόμενα γεγονότα ασφαλείας (Risk Events), στα οποία μπορούν να οδηγήσουν οι κίνδυνοι του Συστήματος είναι τα ακόλουθα:

1. **ΓΕΓΟΝΟΣ 1:** Τραυματισμός ή Θάνατος προσωπικού Εταιρείας
2. **ΓΕΓΟΝΟΣ 2:** Υλικές Ζημιές ή Καταστροφή εξοπλισμού Εταιρείας
3. **ΓΕΓΟΝΟΣ 3:** Τροχαίο Ατύχημα με όχημα της Εταιρείας
4. **ΓΕΓΟΝΟΣ 4:** Ζημιά ή Καταστροφή Εμπορεύματος

5.1.2 Επιρροή των Κινδύνων (Hazard Influence - IH)

5.1.2.1 Σχετική Παρουσία των Κινδύνων (RPH – Relative Presence)

Μετά τη διαδικασία αναγνώρισης των κινδύνων, ακολουθεί ο υπολογισμός της **Επιρροής** τους. Έτσι, αρχικά υπολογίζουμε την **Σχετική Παρουσία** του Κινδύνου στο σύστημα (Δηλαδή το κατά πόσο το σύστημα είναι εκτεθειμένο στον κίνδυνο) με βάση μια κοινή μονάδα αναφοράς, που για το συγκεκριμένο παράδειγμα είναι η χρονική διάρκεια των 30 ημερών. (Στο συγκεκριμένο σημείο, πρέπει να επισημανθεί, ότι μπορεί να συνυπολογιστεί ως παράγοντας και η χρονική έκθεση του συστήματος στον κίνδυνο ώστε να προκύψουν ακόμα πιο λεπτομερή αποτελέσματα. Στη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης λαμβάνεται υπόψη μόνο η συχνότητα εμφάνισης του κινδύνου για λόγους απλούστευσης του υπολογισμού). Έτσι προέκυψαν τα ακόλουθα στοιχεία:

1. **ΚΙΝΔΥΝΟΣ 1:** Οι κινήσεις των οχημάτων στο προαύλιο της εταιρείας – Καθημερινή Παρουσία του Κινδύνου άρα 30 φορές / 30 ημέρες
2. **ΚΙΝΔΥΝΟΣ 2:** Πάγος στο δάπεδο – Μόνο σε περιπτώσεις ειδικών καιρικών συνθηκών, που για την τοποθεσία που εδρεύει η εταιρεία είναι 20 φορές / 30 ημέρες
3. **ΚΙΝΔΥΝΟΣ 3:** Η πυρκαγιά – Βάση των καταγεγραμμένων περιστατικών στο ημερολόγιο της εταιρείας, εμφανίζεται 1 φορά / 30 ημέρες
4. **ΚΙΝΔΥΝΟΣ 4:** Η κόπωση των οδηγών – Βάση αναφορών από τους οδηγούς εμφανίζεται 10 φορές / 30 ημέρες.

Από τα παραπάνω, υπολογίζουμε τη Σχετική Παρουσία (Relative Presence), βάση της σχέσης 4.2.1.1 του κεφαλαίου 4.2:

$$RPH_X = EH_X \div (EH_1 + EH_2 + \dots + EH_N)$$

Συνεπώς, εδώ η σχετική παρουσία των κινδύνων θα είναι:

1. **ΚΙΝΔΥΝΟΣ 1:** Οι κινήσεις των οχημάτων στο προαύλιο της εταιρείας $RPH_1 = 30 / 61 = 0,49$
2. **ΚΙΝΔΥΝΟΣ 2:** Πάγος στο δάπεδο $RPH_2 = 20/61 = 0,33$
3. **ΚΙΝΔΥΝΟΣ 3:** Η πυρκαγιά $RPH_3 = 1 / 61 = 0,02$
4. **ΚΙΝΔΥΝΟΣ 4:** Η κόπωση των οδηγών $RPH_4 = 10/61 = 0,16$

5.1.2.2 Σχετική Συμμετοχή των Κινδύνων (RPC – Relative Contribution)

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τη Σχετική Συμμετοχή των κινδύνων, σε ενδεχόμενα Risk Events σύμφωνα με την ανάλυση της Παραγράφου 4.2.2. Στα παραπάνω Risk Events, συμμετέχουν οι κίνδυνοι που προαναφέρθηκαν και συγκεκριμένα:

- **ΚΙΝΔΥΝΟΣ 1:** Οι κινήσεις των οχημάτων στο προαύλιο της εταιρείας - Συμμετοχή σε όλα τα γεγονότα.
- **ΚΙΝΔΥΝΟΣ 2:** Πάγος στο δάπεδο - Συμμετοχή στα γεγονότα ένα (1) και τρία (3).
- **ΚΙΝΔΥΝΟΣ 3:** Η πυρκαγιά - Συμμετοχή στο 1^ο, 3^ο και 4^ο γεγονός.
- **ΚΙΝΔΥΝΟΣ 4:** Η κόπωση των οδηγών - Συμμετοχή στο 1^ο, 2^ο και 3^ο γεγονός.

Στον ακόλουθο Πίνακα (4.1.2.2.1) απεικονίζεται η Συμμετοχή των Κινδύνων στα αντίστοιχα Γεγονότα:

Risk Events Κίνδυνοι	Τραυματισμός ή Θάνατος προσωπικού Εταιρείας	Υλικές Ζημιές ή Καταστροφή εξοπλισμού Εταιρείας	Τροχαίο Ατύχημα με όχημα της Εταιρείας	Ζημιά ή Καταστροφή Εμπορεύματος
Οι κινήσεις των οχημάτων στο προαύλιο της εταιρείας	X	X	X	X
Πάγος στο δάπεδο	X		X	
Η πυρκαγιά	X		X	X
Η κόπωση των οδηγών	X	X	X	

Πίνακας 4.1.2.2.1 Αντιστοιχία Κινδύνων με Γεγονότα

Από τα παραπάνω, υπολογίζουμε τη σχετική συμμετοχή των κινδύνων (Relative Contribution), βάση της σχέσης 4.2.2.1 του κεφαλαίου 4.2:

$$RCH_x = REH_x \div (REH_1 + REH_2 + \dots + REH_N)$$

Συνεπώς, εδώ η σχετική παρουσία των κινδύνων θα είναι:

ΚΙΝΔΥΝΟΣ 1: Οι κινήσεις των οχημάτων στο προαύλιο της εταιρείας $RCH_1 = 4/12 = 0,33$

ΚΙΝΔΥΝΟΣ 2: Πάγος στο δάπεδο $RCH_2 = 2/12 = 0,17$

ΚΙΝΔΥΝΟΣ 3: Η πυρκαγιά $RCH_3 = 3/12 = 0,25$

ΚΙΝΔΥΝΟΣ 4: Η κόπωση των οδηγών $RCH_4 = 3/12 = 0,25$

Έχοντας υπολογίσει τη Σχετική Παρουσία (RPH) και την Σχετική Συμμετοχή (RCH) όλων των κινδύνων, μπορεί πλέον να υπολογιστεί η Επιρροή τους, χρησιμοποιώντας τη σχέση 4.3.1 [$IH_x = (RPH_x \times 0.5) + (RCH_x \times 0.5)$].

Ως εκ τούτου, για κάθε έναν από τους κινδύνους υπολογίζεται η επιρροή τους:

- $IH_1 = (RPH_1 \times 0.5) + (RCH_1 \times 0.5) = (0.49 \times 0.5) + (0.33 \times 0.5) = 0.41$
- $IH_2 = (RPH_2 \times 0.5) + (RCH_2 \times 0.5) = (0.33 \times 0.5) + (0.17 \times 0.5) = 0.25$
- $IH_3 = (RPH_3 \times 0.5) + (RCH_3 \times 0.5) = (0.02 \times 0.5) + (0.25 \times 0.5) = 0.14$
- $IH_4 = (RPH_4 \times 0.5) + (RCH_4 \times 0.5) = (0.16 \times 0.5) + (0.25 \times 0.5) = 0.20$

Άρα

- **ΕΠΙΡΡΟΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ 1 = 0,41**
- **ΕΠΙΡΡΟΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ 2 = 0,25**
- **ΕΠΙΡΡΟΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ 2 = 0,14**
- **ΕΠΙΡΡΟΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ 2 = 0,20**

5.2 Μέτρα Ελέγχου του Κινδύνου (Αντίμετρα)

Για την εκτίμηση της Ικανότητας Αποφυγής ενός γεγονότος ασφαλείας (risk event), το μοναδικό κριτήριο είναι ο υπολογισμός της αναμενόμενης απόδοσης των μέτρων ελέγχου (Barriers) που εφαρμόζονται. Η ανθρώπινη συμμετοχή στην

άμβλυνση της απόδοσης των κινδύνων δεν συνυπολογίζεται διότι ο άνθρωπος θεωρείται πως δεν συμμετέχει στην μεταβολή απόδοσης των αντιμέτρων (πχ. δεν παραβιάζει τα αντίμετρα αλλά τα εφαρμόζει). Στη συγκεκριμένη μελέτης περίπτωσης, τα αντίμετρα ανά κίνδυνο που εφαρμόζονται είναι τα κάτωθι:

ΚΙΝΔΥΝΟΣ 1: Οι κινήσεις των οχημάτων στο προαύλιο της εταιρείας

- B1.1 (Φωτισμός Περιοχής Κυκλοφορίας Οχημάτων)
- B1.2 (Σήμανση Κυκλοφορίας Πεζών)
- B1.3 (Ηχητική Προειδοποίηση Οπισθοπορείας Οχημάτων)

ΚΙΝΔΥΝΟΣ 2: Πάγος στο δάπεδο

- B2.1 (Χρήση αντιολισθητικών υποδημάτων από το προσωπικό)

ΚΙΝΔΥΝΟΣ 3: Η πυρκαγιά

- B3.1 (Σύστημα Πυρανίχνευσης)
- B3.2 (Σύστημα Ψεκασμού Κατασβεστικού Υγρού)

ΚΙΝΔΥΝΟΣ 4: Η κόπωση των οδηγών

- B4.1 (Εναλλασσόμενες Βάρδιες Οδηγών)
- B4.2 (Οδηγίες στο προσωπικό από τη Διοίκηση για διαλείμματα)
- B4.3 (Χρήση Ταχογράφων στα οχήματα)

5.2.1 Υπολογισμός Αναμενόμενης Απόδοσης Αντιμέτρων

Σύμφωνα με όσα αναλύθηκαν στην παράγραφο 3.4.2, το κάθε αντίμετρο έχει μια αναμενόμενη αποτελεσματικότητα (Overall Expected Effectiveness), ανεξάρτητα με το εάν έχει ξαναχρησιμοποιηθεί στο παρελθόν στην ίδια ή σε άλλη εταιρεία. Αυτό προκύπτει και από τη μεθοδολογία που αναλύθηκε στην Παράγραφο 4, κατά την

οποία, η παρελθοντική απόδοση των αντιμέτρων αποτελεί συνισταμένη πολλαπλών παραγόντων και άρα πολλαπλών πηγών εκτίμησης οι οποίες δεν οριοθετούνται αποκλειστικά εντός των ορίων του οργανισμού μελέτης. Έτσι, στη συνέχεια ακολουθεί ο υπολογισμός της αναμενόμενης αποτελεσματικότητας για κάθε αντίμετρο που εφαρμόζεται σε κίνδυνο του συστήματος μελέτης:

ΚΙΝΔΥΝΟΣ 1: Οι κινήσεις των οχημάτων στο προαύλιο της εταιρείας

- B1.1 (Φωτισμός Περιοχής Κυκλοφορίας Οχημάτων)

Ο φωτισμός της περιοχής κυκλοφορίας των οχημάτων, δεν είχε εφαρμοστεί στην εταιρεία ως αντίμετρο στο παρελθόν, ούτε γνωρίζουμε την παρελθοντική του συμπεριφορά ως αντίμετρο, ως εκ τούτου βαθμολογείται μόνο σύμφωνα με την αναμενόμενη απόδοσή του (expected performance). Έτσι, πρόκειται για αντίμετρο που δρά ως συμβολισμός (Symbolic) καθώς ο φωτισμός επιτρέπει στους χρήστες να αποκτήσουν καλύτερη κατάσταση του περιβάλλοντος χώρου. Η εκτιμώμενη αποτελεσματικότητά του θα είναι **0,4**.

- B1.2 (Σήμανση Κυκλοφορίας Πεζών)

Η σήμανση της κυκλοφορίας των πεζών, έχει προηγούμενη εφαρμογή ως αντίμετρο στο παρελθόν ως εκ τούτου βαθμολογείται με βάση την παρελθοντική του απόδοση (past performance). Βαθμός επιτυχίας του στο παρελθόν είναι 0.7 (Yuan, Emura. and Farnham, 2015) και ο βαθμός αποδοτικότητάς του βαθμολογείται με 0.5 σύμφωνα και με την κριτική που έχει λάβει το αντίμετρο στη βιβλιογραφία (Foster, 2017). Έτσι, εφαρμόζοντας τη σχέση 4.4.2 προκύπτει ότι:

$$PHC_x = [Success\ Test\ Rate\ (STRC_x) + Effectiveness\ Rate\ (ERC_x)] \div 2$$

$$\text{Άρα } PHC_{B1.2} = (0.7 + 0.5) / 2 = \mathbf{0.6}.$$

- B1.3 (Ηχητική Προειδοποίηση Οπισθοπορείας Οχημάτων)

Η ηχητική προειδοποίησης οπισθοπορείας είναι αντίμετρο χωρίς προηγούμενη γνωστά αποτελέσματα εφαρμογής στο παρελθόν ως εκ τούτου βαθμολογείται και με βάση την αναμενόμενη απόδοσή του (expected performance). Και καθώς πρόκειται για Συμβολισμό (Symbolic), βαθμολογείται με **0,4**.

Τα παραπάνω απεικονίζονται και στην ακόλουθη εικόνα 5.2.1.1.

ΚΙΝΔΥΝΟΙ		ΑΝΤΙΜΕΤΡΑ		ΒΑΘΜΟΣ
ΚΙΝΔΥΝΟΣ 1	ΟΙ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΠΡΟΑΥΛΙΟ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ	B1.1	Φωτισμός Περιοχής Κυκλοφορίας Οχημάτων	0,40
		B1.2	Σήμανση Κυκλοφορίας Πεζών	0,60
		B1.3	Ηχητική Προειδοποίηση Οπισθοπορείας Οχημάτων	0,40

Εικόνα 5.2.1.1 Βαθμολόγηση Αντιμέτρων 1ου Κινδύνου

- B2.1 (Χρήση αντιολισθητικών υποδημάτων από το προσωπικό)

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, ο βαθμός επιτυχίας του αντιμέτρου είναι 0,8 (Health and Safety Executive, 2010) και ο βαθμός απόδοσής του είναι 0.6 (Health And Safety at Work, 2007). Οι παραπάνω επι μέρους βαθμολογίες, με την εφαρμογή της σχέσης 4.4.2 καταλήγουν σε **PHC_{B2.1}=0.7**. (Εικόνα 5.2.1.2)

ΚΙΝΔΥΝΟΙ		ΑΝΤΙΜΕΤΡΑ		ΒΑΘΜΟΣ
ΚΙΝΔΥΝΟΣ 2	Ο ΠΑΓΟΣ ΣΤΟ ΔΑΠΕΔΟ	B2.1	Χρήση αντιολισθητικών υποδημάτων από το προσωπικό	0,70

Εικόνα 5.2.1.2 Βαθμολόγηση Αντιμέτρων 2ου Κινδύνου

ΚΙΝΔΥΝΟΣ 3: Η πυρκαγιά

- B3.1 (Σύστημα Πυρανίχνευσης)

Το σύστημα Πυρανίχνευσης, είναι αντίμετρο με προηγούμενη εφαρμογή στο παρελθόν ως εκ τούτου βαθμολογείται και με βάση την παρελθοντική του απόδοση (past performance). Ο βαθμός Επιτυχίας του στο παρελθόν είναι 1 και ο βαθμός

αποτελεσματικότητάς του είναι 0,8 (Milke, 2014). Αντίστοιχα, με την εφαρμογή της σχέσης 4.4.2 προκύπτει ότι $PHC_{B3.1}=0.9$

- B3.2 (Σύστημα Ρίψης Κατασβεστικού Υγρού)

Το σύστημα Ρίψης Κατασβεστικού Υγρού, είναι αντίμετρο με προηγούμενη εφαρμογή στο παρελθόν ως εκ τούτου βαθμολογείται και με βάση την παρελθοντική του απόδοση (past performance). Το αντίμετρο, παρουσίασε έναν βαθμό επιτυχίας στο παρελθόν ίσο με 0.7 και έναν βαθμό αποτελεσματικότητας ίσο με 0,8 (Milke, 2014). Από τα ανωτέρω προκύπτει ότι $PHC_{B3.2}=0.75$ (Εικόνα 5.2.1.3)

ΚΙΝΔΥΝΟΙ		ΑΝΤΙΜΕΤΡΑ		ΒΑΘΜΟΣ
ΚΙΝΔΥΝΟΣ 3	Η ΠΥΡΚΑΓΙΑ	B3.1	Σύστημα Πυρανίχνευσης	0,90
		B3.2	Σύστημα Ψεκασμού Κατασβεστικού Υγρού	0,75

Εικόνα 5.2.1.3 Βαθμολόγηση Αντιμέτρων 3ου Κινδύνου

ΚΙΝΔΥΝΟΣ 4: Η κόπωση των οδηγών

- B4.1 (Εναλλασσόμενες Βάρδιες Οδηγών)

Η εργασία με εναλλασσόμενες βάρδιες στο προσωπικό, δεν είχε εφαρμοστεί στην εταιρεία ως αντίμετρο στο παρελθόν, ούτε γνωρίζουμε την παρελθοντική του συμπεριφορά ως αντίμετρο, ως εκ τούτου βαθμολογείται μόνο σύμφωνα με την αναμενόμενη απόδοσή του (expected performance). Έτσι, πρόκειται για αντίμετρο που δρά ως λειτουργία (Functional) και η εκτιμώμενη αποτελεσματικότητά του θα είναι συνολικά: $PHC_{B4.1}=0,6$

- B4.2 (Οδηγίες στο προσωπικό από τη Διοίκηση για διαλείμματα)

Η παροχή οδηγιών και συμβουλών στο προσωπικό από τη Διοίκηση για το χρόνο απαιτούμενης ανάπαυσης, δεν είχε εφαρμοστεί στην εταιρεία ως αντίμετρο στο παρελθόν, ούτε γνωρίζουμε την παρελθοντική του συμπεριφορά ως αντίμετρο, ως εκ τούτου βαθμολογείται μόνο σύμφωνα με την αναμενόμενη απόδοσή του

(expected performance). Έτσι, πρόκειται για άυλο αντίμετρο γνώσης (Incorporeal), λαμβάνοντας υπόψη ότι η εργασία του προσωπικού με διαλείμματα, δεν περιγράφεται στον προγραμματισμό εργασίας και οι κατευθύνσεις της Διοίκησης της εταιρείας, εντάσσονται στο πλαίσιο συμβουλών. Η εκτιμώμενη αποτελεσματικότητά του θα είναι συνολικά: $PHC_{B4.2}=0,2$

- B4.3 (Χρήση Ταχογράφων στα οχήματα)

Η χρήση ταχογράφων στα οχήματα που πέραν της ταχύτητας, καταγράφουν και τη συνολική διάρκεια οδήγησης για τον κάθε οδηγό, είναι αντίμετρο με προηγούμενη εφαρμογή στο παρελθόν ως εκ τούτου βαθμολογείται με βάση την παρελθοντική του απόδοση (past performance). Ο βαθμός επιτυχίας του στο παρελθόν είναι ίσος με 0.9 καθώς αυτά τα συστήματα σπάνια δυσλειτουργούν σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Federal Motor Carrier Safety Administration, 2017) και συγχρόνως, ο βαθμός αποτελεσματικότητάς τους είναι ίσος με ένα (1) καθώς οι οδηγοί της εταιρείας, ακολουθούν χωρίς εξαίρεση τους κανόνες ώστε να αποφύγουν ποινικές ευθύνες (Federal Motor Carrier Safety Administration, 2017). Από τα ανωτέρω, και με τη χρήση της σχέσης 4.4.2 προκύπτει ότι $PHC_{B4.3}=0.95$ (Εικόνα 5.2.1.4)

ΚΙΝΔΥΝΟΙ		ΑΝΤΙΜΕΤΡΑ		ΒΑΘΜΟΣ
ΚΙΝΔΥΝΟΣ 4	Η ΚΟΠΣΗ ΤΩΝ ΟΔΗΓΩΝ	B4.1	Εναλλασσόμενες Βάρδιες Οδηγών	0,60
		B4.2	Οδηγίες στο προσωπικό από τη Διοίκηση για διαλείμματα	0,20
		B4.3	Χρήση Ταχογράφων στα οχήματα	0,95

Εικόνα 5.2.1.4 Βαθμολόγηση Αντιμέτρων 4ου Κινδύνου

5.2.2 Υπολογισμός Αναμενόμενης Απόδοσης Αντιμέτρων

Όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 4.4.3, πέραν του υπολογισμού αναμενόμενης συνολικής αποτελεσματικότητας, μελετάται και ο τρόπος εφαρμογής των αντιμέτρων (σε σειρά, παράλληλα, ή με μικτή εφαρμογή). Ως εκ τούτου, για τη συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης προκύπτει η ακόλουθη τοποθέτηση των αντιμέτρων:

- **Κίνδυνος 1. Οι κινήσεις των οχημάτων στο προαύλιο της εταιρείας**

Παράλληλη εφαρμογή των αντιμέτρων:

- B1.1 (Φωτισμός Περιοχής Κυκλοφορίας Οχημάτων) **(0,4)**
- B1.2 (Σήμανση Κυκλοφορίας Πεζών) **(0,6)**
- B1.3 (Ηχητική Προειδοποίηση Οπισθοπορείας Οχημάτων) **(0,6)**

Εφαρμόζοντας τη σχέση 4.4.3.2.1 , προκύπτει ότι η απόδοση των εφαρμοζόμενων αντιμέτρων B1.1,B1.2,B1.3 είναι:

$$EHC = [0,4+(1-0,4) \times 0,6]+[1-0,4-(1-0,4) \times 0,6] \times 0,6 = 0,9$$

Και αντίστοιχα, η εναπεμένουσα έκθεση στον κίνδυνο, θα είναι:

$$REH_{H1}=1-EHC_{H1} = 0,1$$

- **Κίνδυνος 2. Πάγος στο δάπεδο**

Εφαρμογή του μοναδικού αντιμέτρου:

- B2.1 (Χρήση αντιολισθητικών υποδημάτων από το προσωπικό) **(0,8)**

Η εναπομένουσα έκθεση στον κίνδυνο θα είναι:

$$REH_{H2} = 1-EHC_{H2} = 0,3$$

- **Κίνδυνος 3. Η πυρκαγιά**

Εφαρμογή των αντιμέτρων κατά σειρά:

- B3.1 (Σύστημα Πυρανίχνευσης) **(0,9)**
- B3.2 (Σύστημα Ψεκασμού Κατασβεστικού Υγρού) **(0,75)**

Η συνολική απόδοση των αντιμέτρων και η εναπομένουσα έκθεση στον κίνδυνο με την εφαρμογή της σχέσης 4.4.3.1.1 θα είναι:

$$EHC_{H3} = (PHC1 \times PHC2) = 0,67$$

$$REH_{H3} = 1 - EHC_{H3} = 0,33$$

- **Κίνδυνος 4 Η κόπωση των οδηγών**

Παράλληλη εφαρμογή των αντιμέτρων:

- B1 (Εναλλασσόμενες Βάρδιες Οδηγών) **(0,6)**
- B2 (Οδηγίες στο προσωπικό από τη Διοίκηση για διαλείμματα) **(0,2)**
- B3 (Χρήση Ταχογράφων στα οχήματα) **(0,95)**

Εφόσον πρόκειται για παράλληλη εφαρμογή αντιμέτρων, εφαρμόζουμε τη σχέση 4.4.3.2.1 και προκύπτει:

$$EHC_{H4} = [0,6 + (1 - 0,6) \times 0,2] + [1 - 0,6 - (1 - 0,6) \times 0,2] \times 0,95 = 0,98$$

$$RE_{H4} = 1 - EHC_{H4} = 0,02$$

5.3 Υπολογισμός Δείκτη SREAC

Όπως αναλύθηκε και στην παράγραφο 4.5, ο κάθε κίνδυνος στο σύστημα μελέτης συμμετέχει με βάση την κρισιμότητά του στη διαμόρφωση του συνολικού επιπέδου έκθεσης του συστήματος σε ενδεχόμενο γεγονός ασφαλείας. Ως εκ τούτου, συνυπολογίζοντας, το ποσοστό συμμετοχής για κάθε κίνδυνο (Έχοντας ως κριτήριο βαρύτητας την Επιρροή), αλλά και το κατά πόσο εκτιμάται ότι θα αμβλυθεί ο κίνδυνος λόγω της εφαρμογής των μέτρων ελέγχου, μπορούμε να εκτιμήσουμε την ικανότητα αποφυγής ενός ενδεχόμενου Risk Event. Για το ανωτέρω παράδειγμα-μελέτη εφαρμογής, με βάση τους υπολογισμούς της Παρ. 5.1.1 για την επιρροή, και της Παρ. 5.2 για τον υπολογισμό άμβλυσης του κινδύνου λόγω της εφαρμογής των αντιμέτρων, εφαρμόζουμε την κάτωθι σχέση:

$$SAREAC = 1 - [(IH_1 \times RE_{H1}) + (IH_2 \times RE_{H2})] + (IH_3 \times RE_{H3}) + (IH_4 \times RE_{H4})$$

Όπου η αριθμητική τιμή του Δείκτη SAREAC προκύπτει ως το άθροισμα των γινομένων της επιρροής του κάθε κινδύνου με την εναπομένουσα ικανότητά του να οδηγήσει σε Risk Event, αφαιρούμενο από τη μονάδα.

Και για το συγκεκριμένο παράδειγμα, αντικαθιστούμε τις ήδη υπολογισμένες τιμές και προκύπτει:

$$SAREAC = 1 - [(0,41 \times 0,1) + (0,25 \times 0,3) + (0,14 \times 0,33) + (0,20 \times 0,02)]$$

$$\mathbf{SAREAC = 0.833 \text{ or } 83.3\%}$$

Το οποίο αποτέλεσμα, δείχνει πως το σύστημα μελέτης είναι ικανό κατά 83,5% να αποφύγει γεγονότα ασφαλείας (Risk Events)

6. Σύνοψη – Συμπεράσματα Μελέτης

Στο παρόν κεφάλαιο αναπτύσσονται τα συμπεράσματα από τη μελέτη καθώς και οι ανατροφοδοτήσεις που λήφθηκαν κατά τη διάρκεια της παρουσίασης και υποβολής άρθρου επί της παρούσας εργασίας στο Διεθνές Συνέδριο Βιομηχανικής Ασφάλειας (International Cross-Industry Safety Conference – ICSC 2017) που διοργανώθηκε το Νοέμβριο του 2017 από το Πανεπιστήμιο Εφαρμοσμένων Επιστημών του Άμστερνταμ (Aviation Academy, Amsterdam University of Applied Sciences, Netherlands).

Ο Δείκτης SAREAC είναι μια μέτρηση που επικεντρώνεται στην προληπτική διαχείριση ρίσκου και βασίζεται από τη μια πλευρά στο γεγονός ότι οι κίνδυνοι ενός συστήματος έχουν μια ιδιαίτερη βαρύτητα, την επιρροή τους και από την άλλη πλευρά βασίζεται στην απόδοση των αντιμέτρων που εφαρμόζονται στο σύστημα για να τους αμβλύνουν. Ο συνδυασμός των δύο αυτών παραγόντων και η εκτίμησή τους μέσω απλών βημάτων οδηγεί στον υπολογισμό του Δείκτη SAREAC ο οποίος αντανακλά το επίπεδο το οποίο είναι ικανό το σύστημα να αποφύγει πιθανά γεγονότα ασφαλείας.

Σημειώνεται επίσης ότι, ο υπολογισμός του δείκτη εναπόκειται και είναι σε μεγάλο βαθμό εξαρτώμενος από την ποιότητα ανάλυσης του συστήματος μελέτης. Μια εκτενής και πλήρης μελέτη η οποία θα αποδώσει μια πλήρη λίστα των κινδύνων του συστήματος και των γεγονότων ασφαλείας που δύναται να λάβουν χώρα, θα οδηγήσει σε μια αντικειμενική και ορθή εκτίμηση στον αναλυτή για την ικανότητα του συστήματος να τα αποφύγει.

Συγχρόνως, εισάγει μια πρακτικότερη μέθοδο εκτίμησης της έκθεσης του συστήματος στον κίνδυνο αλλά με δεδομένο ότι πρόκειται για μια νέα τεχνική, η ανάγκη δοκιμής και εφαρμογής του σε πραγματικό ρεαλιστικό περιβάλλον κρίνεται επιτακτική και αποτελεί αντικείμενο μελλοντικής μελέτης.

Παράλληλα, η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας κατά το παρελθόν, χρειάζεται εκτενή μελέτη για τον αναλυτή του συστήματος καθώς χωρίς την εκτίμηση

των παραπάνω στοιχείων, θα οδηγηθεί σε διαφορετικά συμπεράσματα αλλάζοντας εντελώς τη φιλοσοφία και δομή εφαρμογής των μέτρων ελέγχου.

Οι παραδοχές που λαμβάνονται στην εργασία είναι οι ακόλουθες: Η ίση στάθμιση της Σχετικής Παρουσίας των κινδύνων (RPH) και της Σχετικής Συμμετοχής τους (RCH) ώστε να υπολογιστεί η επιρροή του κάθε κινδύνου(IH) μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο μελλοντικής μελέτης όπως αντίστοιχα και η βαθμολόγηση που εφαρμόστηκε στην αναμενόμενη αποτελεσματικότητα των αντιμέτρων (Expected Effectiveness).

Παρόλαυτα οποιαδήποτε μελλοντική αλλαγή προκύψει πρέπει να ακολουθήσει τη λογική που έχει προσαρμοστεί στον δείκτη SAREAC : Η Επιρροή (IH) όλων των κινδύνων πρέπει να είναι ίση με τη μονάδα (ή αντίστοιχα το 100%) και η αναμενόμενη αποτελεσματικότητα των αντιμέτρων πρέπει να λαμβάνει τιμές μεταξύ 0,0 και 1,0 (Αντίστοιχα από 0 – 100 %). Επιπλέον, διευκρινίζεται ότι οι υπολογισμοί (τιμές, διαιρέσεις κ.λπ.) εισήχθησαν για να επιτρέψουν την ομαλοποίηση των βαθμολογιών, έτσι ώστε να διευκολυνθούν οι συγκρίσεις μεταξύ συστημάτων.

Επιπρόσθετα, ο δείκτης SAREAC δεν λαμβάνει άμεσα υπόψη τα αποτελέσματα της ανθρώπινης απόδοσης αφού αυτά θεωρούνται συνισταμένη της αποτελεσματικότητας των αντιμέτρων. Παρόλο που σύμφωνα με την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας οι τρέχουσες τεχνικές εκτίμησης επιπέδου ρίσκου στερούνται αντικειμενικότητας και αξιοπιστίας, ο δείκτης SAREAC αυξάνει την αντικειμενικότητα και επιτρέπει αξιόπιστες συγκρίσεις και συγκριτική αξιολόγηση μεταξύ διαφορετικών συστημάτων.

Ο δείκτης που μελετάται στην παρούσα εργασία, λαμβάνει μεταβλητές σε ένα δομημένο και απλό τρόπο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη φάση σχεδιασμού των συστημάτων και την επιλογή των κατάλληλων αντιμέτρων. Η εφαρμογή του δείκτη στην πράξη, θα ενισχύσει τα οφέλη του μέσα από την ανατροφοδότηση χρήσης του από αναλυτές ασφάλειας της βιομηχανίας.

Η μελλοντική έρευνα πάνω στον δείκτη, μπορεί να επικεντρωθεί διασφάλιση περισσότερης ακρίβειας, δομής, περιεχομένου. Επιπλέον τα αποτελέσματα εφαρμογής του δείκτη, θα συγκριθούν με αποτελέσματα άλλων τεχνικών εκτίμησης ρίσκου για να επιβεβαιωθεί ο ισχυρισμός της αντικειμενικότητας του.

Τέλος, για να γίνει περισσότερο ελκυστική και εύκολη η χρήση του SAREAC, σε πολύπλοκα και διαφορετικά συστήματα, το εργαλείο μέτρησης του δείκτη, θα σχεδιαστεί και υλοποιηθεί μέσω εφαρμογής λογισμικού. Παράλληλα η ανωτέρω μέθοδος μπορεί να ενσωματωθεί στις τρέχουσες τεχνικές εκτίμησης ρίσκου (Όπως είναι το «Bow Tie Model») και να συμπεριληφθεί σε τρέχουσες τεχνικές όπως η τεχνική «STPA - Systems Theoretic Process Analysis» (MIT PSAS, 2018)

Βιβλιογραφία

Κατά τη συγγραφή του παρόντος τόμου και του συστήματος της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε η βιβλιογραφία και οι αναφορές που ακολουθούν :

- [1] Alizada S. S & Moshashaei, P. (2015). The Bowtie method in safety management system: A literature review. Scientific Journal of Review (2015) ,9(2322-2433), 134-135.
- [2] CGE Risk Management Solutions (2017). The bowtie method. Retrieved 18 November, 2017, from https://www.cgerisk.com/knowledgebase/The_bowtie_method
- [3] Risk matrices. Retrieved October 20, 2017, from https://www.cgerisk.com/knowledgebase/Risk_matrices
- [4] Duijm, J. (2015). Recommendations on the use and design of risk matrices. Journal of Occupational Accidents; 76, 21-31.
- [5] Federal Motor Carrier Safety Administration (FMCSA). (2017). Electronic logging devices. Retrieved 27 October 2017, from <https://www.fmcsa.dot.gov/hours-service/elds/electroniclogging-devices>
- [6] Foster, B. (2017). Are highway warning signs effective?. [Weblog]. Retrieved 13 November 2017, from <http://blog.thecompliancecenter.com/highway-warning-signs-effective/> Health and Safety at Work. (2007). Slip Resistant Footwear. Retrieved 11 November 2017, from <https://www.healthandsafetyatwork.com/content/slip-resistant-footwear>
- [7] Health and Safety Executive. (2010). A study of the effect of modifying the European Standard mechanical slip resistance test for footwear. Retrieved 11 November 2017, from <http://www.hse.gov.uk/research/rrhtm/rr801.htm>
- [8] Health and Safety Executive. (2013). Example risk assessments. Retrieved 11 November 2017, from <http://www.hse.gov.uk/risk/casestudies/>
- [9] Hollnagel, E. (1999). Accidents and Barriers. Graduate School of Human-Machine Interaction, University of Linköping, 1999, Sweden.

[10] Hubbard, D & Evans, D. (2010). Problems with scoring methods and ordinal scales in risk assessment. IBM Journal of Research and Development, 54(3), 2:1 - 2:10.

[11] International Organization for Standardization. (2009). ISO 31000:2009. Retrieved 11 November 2017, from <https://www.iso.org/obp/ui/> Journal of Building Physics

[12] Karanikas, N & Kaspers, S. (2016). Do Experts Agree When Assessing Risks? An Empirical Study. Proceedings of the 50th ESReDA Seminar, 18-19 May 2016, Seville, Spain.

[13] Milke, A. (2014). Fire protection Engineering. (4th Quarter ed.). USA: Society of Fire Protection Engineers.

[14] MIT Partnership for a Systems Approach to Safety (PSAS). (n.d.). Retrieved September 20, 2017, from <http://psas.scripts.mit.edu/home/>

[15] Yuan, J & Emura, K & Farnham, K (2015). A method to measure to-reflectance and durability of retro-reflective materials for building outer walls. Journal of Building Physics, 38(6), 500 – 516.