



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΗΝ «ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ
ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ»**

**Διπλωματική Εργασία
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης
Στην Ασφάλεια Ψηφιακών Συστημάτων**

***«Αποτίμηση Επικινδυνότητας σε Κρίσιμες και Εξαρτώμενες
Επικοινωνιακές και Πληροφοριακές Υποδομές»***

Αργυροπούλου Σωτηρία – ΜΤΕ/1043 (sot.argyropoulou@gmail.com)

**Επιβλέπων Καθηγητής: Λαμπρινουδάκης Κωνσταντίνος
Εξωτερικός Συνεπιβλέπων Καθηγητής: Γκρίτζαλης Δημήτριος**

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2013

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 21^η Φεβρουαρίου 2013.

.....
Σ. Κάτσικας
Καθηγητής
Παν/μίου Πειραιώς

.....
Κ. Λαμπρινουδάκης
Επίκουρος Καθηγητής
Παν/μίου Πειραιώς

.....
Χ. Ξενάκης
Επίκουρος Καθηγητής
Παν/μίου Πειραιώς

.....
Σωτηρία Π. Αργυροπούλου
Πτυχιούχος Ασφάλειας Ψηφιακών Συστημάτων Πανεπιστημίου Πειραιώς

Copyright © Σωτηρία Π. Αργυροπούλου, 2013
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 Πανεπιστημίου Πειραιώς.

Περίληψη

Η αποτίμηση της επικινδυνότητας στις Κρίσιμες (Πληροφοριακές) Υποδομές είναι πολύπλοκη λόγω των δυναμικών (αλληλ)εξαρτήσεων που συναντώνται σε τέτοιου είδους Υποδομές. Η κατάσταση δυσχεραίνει όταν εκδηλωθεί μια αποτυχία σε ένα δίκτυο Κρίσιμων (Πληροφοριακών) Υποδομών, καθώς οι εξαρτήσεις όπως και η κρισιμότητα των Υποδομών συνήθως αλλάζουν. Σε τέτοιες περιπτώσεις, για να επιτευχθεί η αποτίμηση επικινδυνότητας, θα πρέπει να ακολουθηθούν προκαθορισμένα βήματα.

Παρόλο το έντονο ενδιαφέρον στο συγκεκριμένο πεδίο, η έρευνα έχει κυρίως επικεντρωθεί στις διαδοχικές αποτυχίες πρώτου βαθμού. Παρατηρείται δηλαδή έλλειψη στην ύπαρξη κάποιας συγκεκριμένης προσέγγισης αναφορικά με τη μελέτη των τριών βασικών αποτυχιών: τις διαδοχικές, κλιμακωτές και κοινής αιτίας σε εξαρτήσεις n -βαθμού.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία εξυπηρετεί τον παραπάνω σκοπό, χρησιμοποιώντας υπάρχοντες γράφους εξαρτήσεων σε επίπεδο Υποδομής. Βασικό στοιχείο αποτελεί το γεγονός ότι η αποτίμηση της επικινδυνότητας των αποτυχιών πραγματοποιείται σε επίπεδο Συνιστώσας για πληρέστερα και πιο λεπτομερή αποτελέσματα. Ο ρόλος της τεχνολογίας στην εξέλιξη των επιθέσεων και ευπαθειών των Κρίσιμων (Πληροφοριακών) Υποδομών λαμβάνεται επίσης υπόψη, ενώ παρουσιάζεται μια μελέτη περίπτωσης για την καλύτερη κατανόηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

Λέξεις Κλειδιά: Κρίσιμη Υποδομή, Κρίσιμη Πληροφοριακή Υποδομή, Αποτίμηση Επικινδυνότητας, Εξαρτήσεις, Διάδοση Αποτυχίας, Ανάλυση Γράφου

Abstract

Assessing risk in Critical (Information) Infrastructures is a complex issue due to the presence of dynamic (inter)dependencies existing between such Infrastructures. Once a failure occurs, the situation is worsened, since both the dependencies and the criticality of Infrastructures are modified. In such cases, in order for risk assessment to be performed, predefined steps should be followed.

Despite growing interest in this field, research has mainly focused on first-order cascading failures. In other words, there is a lack of a specified method regarding the risk assessment of the three key failure types; cascading, escalating and common cause in n-order dependencies.

The proposed methodology serves the above purpose, utilizing existing dependency graphs in Infrastructure level. The key element is that the risk assessment is performed in Component level aiming to provide more detailed results. The role of new technology in attacks' and vulnerabilities' progress of Critical (Information) Infrastructures is also taken into consideration, while a case study is presented for better understanding of the proposed methodology.

Keywords: Critical Infrastructure, Critical Information Infrastructure, Risk Assessment, Dependencies, Failure Propagation, Graph Analysis

Αφιερώνεται στην οικογένειά μου

και στο Ίδρυμα «Μποδοσάκη».

Θερμές Ευχαριστίες στη Δρα Θεοχαρίδου Μαριάνθη.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	4
Abstract.....	5
Ευρετήριο Εικόνων	10
Συνοτομογραφίες	12
Κεφάλαιο 1^ο : Εισαγωγή	13
1.1 Πρόβλημα.....	13
1.2 Μέθοδος Εκπόνησης Εργασίας	13
1.3 Διάρθρωση Εργασίας.....	14
Αναφορές.....	15
Κεφάλαιο 2^ο : Θεωρητικό Υπόβαθρο	16
2.1 Εισαγωγή.....	16
2.2 Βασικές Έννοιες στην Ασφάλεια Κρίσιμων Υποδομών	16
2.3 Εξαρτήσεις Κρίσιμων Υποδομών	19
2.3.1 Διαστάσεις Εξαρτήσεων σε Κρίσιμες υποδομές	20
2.3.1.1 Τύποι Εξαρτήσεων	21
2.3.1.2 Νιοστού-βαθμού Εξαρτήσεις και επιδράσεις	21
2.3.1.3 Τύποι Αποτυχιών	22
2.3.1.4 Χαρακτηριστικά Υποδομών	22
2.3.1.5 Περιβάλλον Υποδομής.....	23
2.3.1.6 Κατάσταση λειτουργίας.....	23
2.4 Αποτυχίες Κρίσιμων Υποδομών.....	24
2.4.1 Περιστατικά Αποτυχιών.....	24
2.5 Προστασία Κρίσιμων Υποδομών	26
2.5.1 Πολιτικές Προστασίας Κρίσιμων Υποδομών (CIP).....	26
2.5.2 Προστασία στον Κυβερνοχώρο στα πλαίσια των Κρίσιμων Υποδομών	31
2.6 Ανθεκτικότητα Κρίσιμων Υποδομών	32
2.6.1 Λόγοι Αναγκαιότητας στις Κρίσιμες Υποδομές.....	37
2.6.1.1 Ευπάθειες και Απειλές Κρίσιμων Υποδομών	37
2.6.1.2 Πλαίσια και Πολιτικές Ανθεκτικότητας	38
2.7 Συμπεράσματα.....	39
Αναφορές.....	40

Κεφάλαιο 3^ο : Αποτίμηση Επικινδυνότητας σε Κρίσιμες Υποδομές	43
3.1 Εισαγωγή.....	43
3.2 Υπάρχουσες Προσεγγίσεις	43
3.2.1 Ευρωπαϊκές Προσεγγίσεις.....	45
3.2.2 Αμερικανικές Προσεγγίσεις	50
3.2.3 Βασική Προσέγγιση Αποτίμησης Επικινδυνότητας	56
3.2.4 Προσεγγίσεις Προσανατολισμένες στον Τύπο της Υποδομής	60
3.2.4.1 Υποδομή Σιδηροδρομικών Μεταφορών (Railway Transportation).....	60
3.2.4.2 Υποδομή Υδρογόνου (Hydrogen).....	61
3.3 Συμπεράσματα.....	63
Αναφορές.....	63

Κεφάλαιο 4^ο : Αποτίμηση Επικινδυνότητας σε Κρίσιμες και Εξαρτώμενες Υποδομές ..	65
4.1 Εισαγωγή.....	65
4.2 Μελέτη Αλληλεξαρτήσεων	65
4.2.1 Μοντέλα αλληλεξαρτήσεων.....	65
4.2.2 Επίπεδο ανάλυσης.....	66
4.2.3 Οικονομική απώλεια	68
4.3 Βασική Προσέγγιση Αποτίμησης Επικινδυνότητας με βάση τις Εξαρτήσεις	71
4.3.1 Ανάλυση.....	72
4.3.2 Αδυναμίες.....	75
4.4 Διαδοχικές Επιδράσεις	75
4.3.3 Μελέτη Διαδοχικών Επιδράσεων	78
4.3.3.1 Δίκτυα Petri	78
4.3.3.2 Δυναμικά Μπαύεσιανά Δίκτυα	79
4.3.3.3 Ανάλυση Επικινδυνότητας και Ευπάθειας	85
4.3.4 Βασική Προσέγγιση Αποτίμησης Επικινδυνότητας με βάση τις Διαδοχικές Επιδράσεις	93
4.3.4.1 Αδυναμίες.....	97
4.4 Συμπεράσματα.....	97
Αναφορές.....	98

Κεφάλαιο 5^ο : Επικινδυνότητα Εξαρτώμενων Κρίσιμων Υποδομών: Μεθοδολογία Αποτίμησης Αποτυχιών	101
5.1 Εισαγωγή.....	101
5.2 Προτεινόμενη Μεθοδολογία	101

5.2.1	Βήμα 1 ^ο : Καθορισμός του Τύπου Εξάρτησης (Dependency Type).....	102
5.2.2	Βήμα 2 ^ο : Εύρεση του Τύπου Αποτυχίας (Failure Type)	103
5.2.3	Βήμα 3 ^ο : Προσομοίωση Αποτυχίας (Failure Simulation) σε Επίπεδο Συνιστώσας	104
5.2.4	Βήμα 4 ^ο : Αποτίμηση Επικινδυνότητας (Risk Assessment) του Σεναρίου Αποτυχίας	104
5.2.4.1	Στάδιο 4.1 - Προσδιορισμός της Επικινδυνότητας (Risk Identification)	105
5.2.4.2	Στάδιο 4.2 - Εκτίμηση της Επικινδυνότητας (Risk Estimation)	105
5.2.4.3	Στάδιο 4.3 - Αξιολόγηση της Επικινδυνότητας (Risk evaluation).....	114
5.4	Συμπεράσματα.....	120
	Αναφορές.....	120
Κεφάλαιο 6^ο: Μελέτη Περίπτωσης.....		122
6.1	Εισαγωγή.....	122
6.2	Γράφος Εξαρτήσεων Πρώτου Βαθμού	122
6.3	Βήμα 1 ^ο : Καθορισμός του Τύπου Εξάρτησης (Dependency Type).....	123
6.4	Βήμα 2 ^ο : Εύρεση του Τύπου Αποτυχίας (Failure Type)	124
6.5	Βήμα 3 ^ο : Προσομοίωση Αποτυχίας (Failure Simulation) σε Επίπεδο Συνιστώσας (Component Level)	125
6.6	Βήμα 4 ^ο : Αποτίμηση Επικινδυνότητας (Risk Assessment) του Σεναρίου Αποτυχίας	127
6.6.1	Στάδιο 4.1 - Προσδιορισμός της Επικινδυνότητας (Risk identification)	127
6.6.2	Στάδιο 4.2 - Εκτίμηση της Επικινδυνότητας (Risk estimation)	128
6.6.2.1	Έμφαση στην Υποδομή – Οργανισμό.....	129
6.6.2.2	Έμφαση στην Κοινωνία.....	148
6.7	Συμπεράσματα.....	168
	Αναφορές.....	168
Κεφάλαιο 7^ο: Συμπεράσματα και Μελλοντικές Κατευθύνσεις		169
7.1	Συνεισφορά Εργασίας.....	169
7.2	Περιορισμοί - Μελλοντικές Προεκτάσεις	170

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 2.1: Εξαρτήσεις Υποδομών	20
Εικόνα 2.2: Διαστάσεις Κρίσιμων Υποδομών.....	20
Εικόνα 2.3: 3ης - Τάξης Επιδράσεις σε Αλληλεξαρτώμενες Υποδομές από τη Διακοπή Ρεύματος στην Καλιφόρνια το 2001	25
Εικόνα 2.4: Διασυνοριακές (cross-border) Εξαρτήσεις	29
Εικόνα 2.5: Πλάνα για την προστασία των Κρίσιμων Υποδομών και Τομείς που καλύπτονται ανά Χώρα	30
Εικόνα 2.6: Σχέση CIP, CIIP και Cybersecurity	32
Εικόνα 2.7: Απεικόνιση Παραμέτρων Ανθεκτικότητας υπό Κανονικές Συνθήκες	33
Εικόνα 2.8: Απεικόνιση Παραμέτρων Ανθεκτικότητας υπό Συνθήκες Εμφάνισης μιας Αποτυχίας – Σταδιακή Μείωση Απόδοσης	33
Εικόνα 2.9: Απεικόνιση Παραμέτρων Ανθεκτικότητας υπό Συνθήκες Εμφάνισης μιας Αποτυχίας – Απότομη Μείωση Απόδοσης.....	34
Εικόνα 2.10: Σχέση ανθεκτικότητας με ευπάθεια και κρισιμότητα (risk components)	34
Εικόνα 2.11: Διαδικασία Διαχείρισης Κρίσιμων Καταστάσεων (Crisis Management)	36
Εικόνα 3.1: Κριτήρια για χαρακτηρισμό μιας υποδομής ως κρίσιμη	43
Εικόνα 3.2: Παράδειγμα Τεχνικής Βαθμολόγησης με Συντελεστές (Weighted Score Technique), Υπό εξέταση Υποδομή: Nuclear Power Plants.....	44
Εικόνα 3.3: Διάγραμμα Επικινδυνότητας (Risk Diagram).....	49
Εικόνα 3.4: Πίνακας Αποτίμησης Επικινδυνότητας για Πέντε Υποδομές.....	50
Εικόνα 3.5: Τομείς Κρίσιμων Υποδομών στο Πρόγραμμα NIPP και την Οδηγία 114/08.....	53
Εικόνα 3.6: Πλαίσιο Διαχείρισης Επικινδυνότητας (Risk Management) για CI/KR – NIPP..	54
Εικόνα 4.1: Προσέγγιση Ανάλυσης Κρισιμότητας Τριών Επιπέδων.....	72
Εικόνα 4.2: Συχνή Εκδήλωση Διαδοχικών Αποτυχιών στην Ολλανδία.....	76
Εικόνα 4.3: Σπάνια Εκδήλωση Διαδοχικών Αποτυχιών Υψηλού Βαθμού στην Ολλανδία.....	76
Εικόνα 4.4: Επίδραση ανά Τομέα στην Εκδήλωση Διαδοχικών	77
Εικόνα 4.5: Σύγκριση Αποτελεσμάτων Ολλανδίας και Υπολοίπων Χωρών (RoW)	77
Εικόνα 4.6: Αναπαράσταση Αλληλεξαρτήσεων μέσω Δικτύων Petri	79
Εικόνα 4.7: Ενδεικτική Μορφή Παράλληλων (P) και Σειριακών (S) υπο-μονάδων	80
Εικόνα 4.8: Ενδεικτικό Cascading Σενάριο με Βάση τους Κανόνες	82
Εικόνα 4.9: Αντίστοιχο Δυναμικό Μπαϋεσιανό Δίκτυο	83
Εικόνα 4.10: Μοντέλο Ασφάλειας των Κρίσιμων Υποδομών.....	84
Εικόνα 4.11: Μοντελοποίηση Αλληλεξαρτήσεων και Διαδοχικών Επιδράσεων μέσω Δυναμικών Μπαϋεσιανών Δικτύων	85
Εικόνα 4.12: Αναπαράσταση των Διαδοχικών Αποτυχιών, Ποιοτική Ανάλυση.....	86
Εικόνα 4.13: Αναπαράσταση των Τριπλετών Επικινδυνότητας.....	87
Εικόνα 4.14: Αναπαράσταση των Διαδοχικών Αποτυχιών.....	88
Εικόνα 4.15: Διάγραμμα Διαδοχικών Επιδράσεων μιας Διακοπής Παροχής Ενέργειας σε Κεντρικό Σταθμό του Όσλο.....	90
Εικόνα 4.16: Μοντέλο Αξιοπιστίας για την Υποδομή Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	91
Εικόνα 4.17: Δύο Αλληλεξαρτώμενα Συστήματα	92
Εικόνα 4.18: Πίνακας Επικινδυνότητας Αλληλεξάρτησης	94
Εικόνα 4.19: Γράφος Επικινδυνότητας Αλληλεξαρτήσεων	94
Εικόνα 4.20: Γράφος για μελέτη 2-τάξης αλληλεξαρτήσεων.....	95
Εικόνα 6.1: Γράφος Εξαρτήσεων.....	122
Εικόνα 6.2: Γράφος Αποτυχιών.....	127

Εικόνα 6.3: Γράφος Αποτυχιών – Μετά την Εκτίμηση Επικινδυνότητων	147
Εικόνα 6.4: Γράφος Αποτυχιών με έμφαση στην Κοινωνία – Μετά την Εκτίμηση Επικινδυνότητων	167

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2-1: Εθνικά Πλάνα Υποδομών Ζωτικής Σημασίας	30
Πίνακας 3-1: Ζωτικά Συμφέροντα και τα Αντίστοιχα Κριτήρια Αντικτύπου, με βάση την Ολλανδική Προσέγγιση	46
Πίνακας 3-2: Παράγοντες Αντικτύπου και Κριτήρια Συνεπειών	52
Πίνακας 3-3: Τελική μορφή αποτίμησης	52
Πίνακας 3-4: Παράγοντες Αντικτύπου (Impact Factors) για Προσδιορισμό των Κρίσιμων Υποδομών	58
Πίνακας 3-5: Συγκεντρωτικός Πίνακας Παραγόντων Αντικτύπου	59
Πίνακας 3-6: Index-based αποτίμηση επικινδυνότητας	62
Πίνακας 5-1: Επίπεδο Αποτυχίας	106
Πίνακας 5-2: Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας σε Επίπεδο Οργανισμού	107
Πίνακας 5-3: Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας σε Επίπεδο Κοινωνίας	108
Πίνακας 5-4: Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας	110
Πίνακας 5-5: Διάδοση της Πιθανότητας Αποτυχίας	114
Πίνακας 5-6: Πίνακας Επικινδυνότητας Αποτυχίας (Failure Risk Matrix)	114
Πίνακας 5-7: Πίνακας Κοινωνικής Επικινδυνότητας Αποτυχίας	114
Πίνακας 6-1: Εξαρτήσεις μεταξύ των Υποδομών του Γράφου	123
Πίνακας 6-2: Τύποι Αποτυχιών μεταξύ των Υποδομών του Γράφου	124
Πίνακας 6-3: Ανάλυση Επικινδυνότητας Αποτυχιών	127
Πίνακας 6-4: Πιθανότητα Έναρξης της Αλυσίδας Αποτυχιών	138
Πίνακας 6-5: Πιθανότητα Έναρξης της Αλυσίδας Αποτυχιών	139
Πίνακας 6-6: Επικινδυνότητα Αποτυχιών	146
Πίνακας 6-7: Ενδεικτικές Τιμές για τη Συνολική Επικινδυνότητα Αποτυχίας μιας Συνιστώσας	156
Πίνακας 6-8: Επικινδυνότητες Αποτυχιών	166
Πίνακας 7-1: Πλεονεκτήματα Προτεινόμενης Μεθοδολογίας	170

Συντομογραφίες

BCP	Business Continuity Plan
BEA	Bureau of Economic Analysis
CBA	Cost-Benefit Analysis
CERT/CSIRT	Computer Emergency Response Team/Computer Security Incident Response Team
CI	Critical Infrastructure
CIAO	Critical Infrastructure Assurance Office
CII	Critical Information Infrastructure
CIIP	Critical Information Infrastructure Protection
CI/KR	Critical Infrastructure and Key Resource
CIO	Critical Infrastructure Operator
CIP	Critical Infrastructure Protection
CIR	Critical Infrastructure Resilience
CIWIN	Critical Infrastructure Warning Information Network
CNI	Critical National Infrastructure
COSSI	Centre Opérationnel de la Sécurité des Systèmes d'Information
DBN	Dynamic Bayesian Network
DHS	Department of Homeland Security
DRP	Disaster Recovery Plan
ECI	European Critical Infrastructure
EIF	Environmental Impact Factor
EMP	Emergency Management Plan
FCC	Federal Communication Commission
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
FTA	Fault Tree Analysis
GDP	Gross Domestic Product
HITRAC	Homeland Infrastructure Threat and Risk Analysis Center
HSA	Homeland Security Act
HSPD-7	Homeland Security Presidential Directive 7
ICT	Information and Communication Technology
IIM	Inoperability Input-Output Model
I-O	Input-Output
IRGC	International Risk Governance Council
IRF	Inherent Risk Factor
MCA	Multi-Criteria Analysis
NCIAP	National Critical Infrastructure Assurance Program
MS	Member States
NISC	National Information Security Center
NRA	National Risk Assessment
NSS	National Security Strategy
NERC	North American Electric Reliability Corporation
PBX	Private Branch eXchange
PSEPC	Public Safety and Emergency Preparedness Canada
ROI	Return on Investment
RVA	Risk and Vulnerability Analysis
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SCFs	Societal Critical Functions
SGDN	Secrétariat Général de la Défense Nationale
SLA	Service Level Agreement
SSAs	Sector-Specific Agencies
SSPs	Sector-Specific Plans
UPS	Uninterruptible Power Supply
VA	Vulnerability Assessment
TIE	Τεχνολογία της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας

Κεφάλαιο 1^ο : Εισαγωγή

1.1 Πρόβλημα

Οι Κρίσιμες Υποδομές αποτελούν ένα ευρύ πεδίο έρευνας, καθώς οι επιπτώσεις από μια πιθανή αποτυχία (failure) μπορεί να είναι καταστροφικές. Επιπροσθέτως, οι εξαρτήσεις μεταξύ των Κρίσιμων Υποδομών εντείνουν τα προ-υπάρχοντα προβλήματα, δημιουργώντας τρεις βασικές μορφές αποτυχιών (cascading, escalating, common cause failures), οι οποίες συμβάλλουν δραστικά στην εξάπλωση ενός περιστατικού (incident) - αποτυχίας. Θα ήταν παράλειψη να μην αναφέρουμε και το ρόλο των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) στην εξάπλωση των παραπάνω αποτυχιών, εξαιτίας τόσο της ολοένα και αυξανόμενης εξάρτησης ενός μεγάλου εύρους Κρίσιμων Υποδομών από αυτήν, όσο και τις διαρκώς βελτιωμένες μορφές επιθέσεων μέσω αυτής (cyber attacks) οι οποίες παρατηρούνται τα τελευταία χρόνια. Στο κεφάλαιο 2^ο, γίνεται αναφορά σε όλα τα παραπάνω προβλήματα με ενδεικτικά παραδείγματα από τη σχετική βιβλιογραφία, προκειμένου να κατανοήσουμε τη σπουδαιότητα αυτού του ερευνητικού πεδίου, αλλά και την αναγκαιότητα εύρεσης αποτελεσματικών μεθόδων περιορισμού των δυσμενών συνεπειών του.

1.2 Μέθοδος Εκπόνησης Εργασίας

Η Αποτίμηση Επικινδυνότητας (Risk Assessment) επιλέχθηκε στα πλαίσια της παρούσας διατριβής, προκειμένου να συμβάλει στην επίλυση των προαναφερθέντων προβλημάτων στο πεδίο των Κρίσιμων Υποδομών, και ιδιαίτερα σε αυτό των εξαρτήσεων που αναπτύσσονται μεταξύ των περισσότερων Κρίσιμων Υποδομών στις μέρες μας, και κατ' επέκταση των διαφόρων αποτυχιών που προκαλούνται από αυτές.

Με τη βοήθεια της Αποτίμησης Επικινδυνότητας και στηριζόμενοι στη διεθνή σχετική βιβλιογραφία θα προσπαθήσουμε να αποτιμήσουμε την επικινδυνότητα που προκύπτει ανά τύπο αποτυχίας (failure type) και ανά σενάριο αποτυχίας (failure scenario) σε κάθε Κρίσιμη Υποδομή και πως η επικινδυνότητα αυτής αποτιμάται κατά τη διάδοσή της (risk propagation) σε εξαρτώμενες Κρίσιμες Υποδομές, κυρίως λόγω της ύπαρξης επιρροής των ΤΠΕ. Ο τύπος αποτυχίας κατά τη φάση της διάδοσης ενδέχεται να αλλάξει, ανάλογα το εκάστοτε σενάριο αποτυχίας που μελετάμε και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των υπό μελέτη Κρίσιμων και εξαρτώμενων Υποδομών.

Πιο συγκεκριμένα, τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την περάτωση της παρούσας εργασίας είναι:

- Μελέτη της υπάρχουσας σχετικής βιβλιογραφίας και εντοπισμός πιθανών αδυναμιών στην προσέγγιση του θέματος και
- Ανάπτυξη μεθοδολογίας, η οποία αποτελείται από τα εξής στάδια:
 - Καθορισμός του τύπου εξάρτησης των υπό εξέταση Κρίσιμων Υποδομών,
 - Εύρεση των πιθανών τύπων αποτυχιών που προκύπτουν από τις παραπάνω εξαρτήσεις,

- Μετατροπή Γράφου Υποδομών σε Επίπεδο Συνιστώσας (Component Level) και Προσομοίωση Αποτυχίας (Failure Simulation) και
- Αποτίμηση Επικινδυνότητας (Risk Assessment) του εκάστοτε Σεναρίου Αποτυχίας. Η αποτίμηση της επικινδυνότητας που αναπτύξαμε στηρίζεται σε σχετική προηγούμενη βιβλιογραφία [1,2,3,4,5,6] και στοχεύει στην εμβάθυνση στο πεδίο των αποτυχιών και τον τρόπο διάδοσης αυτών μέσα σε ένα δίκτυο Κρίσιμων και εξαρτώμενων Υποδομών.

Στόχο της παρούσας εργασίας αποτελεί η κατανόηση της επίδρασης των εξαρτώμενων Κρίσιμων Υποδομών στη διάδοση μιας αρχικής αποτυχίας και στην εξάπλωση των πιθανών δυσμενών επιπτώσεων αυτής. Με τον τρόπο αυτό, αποβλέπουμε στην καλύτερη διαχείριση της Επικινδυνότητας των Κρίσιμων Υποδομών (π.χ. λήψη κατάλληλων μέτρων προστασίας, αύξηση ανθεκτικότητας, βελτίωση του πλάνου συνέχισης λειτουργίας), λαμβάνοντας υπόψη τον τεχνολογικό παράγοντα και τις απειλές αυτού.

1.3 Διάρθρωση Εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελείται από έξι (6) κεφάλαια:

- *Κεφάλαιο 1^ο*: Περιγράφει την ερευνητική περιοχή που θα μελετήσουμε, τον σκοπό της εν λόγω εργασίας και τη συμβολή αυτής.
- *Κεφάλαιο 2^ο*: Αναφέρεται στις βασικές έννοιες που αφορούν την υπό εξέταση ερευνητική περιοχή.
- *Κεφάλαιο 3^ο*: Περιγράφει τις βασικές μεθοδολογίες Αποτίμησης Επικινδυνότητας που συναντώνται στη βιβλιογραφία και αφορούν τις Κρίσιμες Υποδομές.
- *Κεφάλαιο 4^ο*: Περιγράφει τις βασικές μεθοδολογίες Αποτίμησης Επικινδυνότητας που συναντώνται στη βιβλιογραφία και αφορούν τις Κρίσιμες και εξαρτώμενες Υποδομές, δίνοντας έμφαση στις διαδοχικές επιδράσεις (cascading effects) μιας αποτυχίας.
- *Κεφάλαιο 5^ο*: Περιγράφει την προτεινόμενη μεθοδολογία Αποτίμησης Επικινδυνότητας σε Κρίσιμες και εξαρτώμενες Υποδομές, η οποία λαμβάνει υπόψη και τους τρεις τύπους αποτυχιών (διαδοχικές, κλιμακωτές και κοινής αιτίας) που συναντώνται σε αυτές, ενώ παράλληλα δίνεται έμφαση στην επιρροή του τεχνολογικού παράγοντα στην πλειονότητα των σημερινών Κρίσιμων Υποδομών – Κρίσιμες Πληροφοριακές Υποδομές.
- *Κεφάλαιο 6^ο*: Αναπτύσσεται και αναλύεται μια ενδεικτική μελέτη περίπτωσης, προκειμένου να εντοπιστούν τα βασικά σημεία συνεισφοράς της προτεινόμενης μεθοδολογίας.
- *Κεφάλαιο 7^ο*: Υπογραμμίζει τα κύρια συμπεράσματα της εν λόγω εργασίας και προτείνει μελλοντικές επεκτάσεις αυτής.

Αναφορές

- [1] Theoharidou M., Kotzanikolaou P., Gritzalis D., “Risk-based criticality analysis”, in: Palmer C., Sheno S. (Eds.), in Proc. of the third IFIP international conference on critical infrastructure protection (CIP-2009), USA: Springer; March 2009.
- [2] Theoharidou M., Kotzanikolaou P., Gritzalis D., “A multi-layer criticality assessment methodology based on interdependencies”, *Computers & Security*, Vol. 29, No.6, pp.643-658, 2010.
- [3] Theoharidou M., Kotzanikolaou P., Gritzalis D., “Risk assessment methodology for interdependent critical infrastructures”, *International Journal of Risk Assessment and Management (Special Issue on Risk Analysis of Critical Infrastructures)*, Vol. 15, No. 2/3, pp. 128-148, 2011.
- [4] Theoharidou M., Kandias M., Gritzalis D., “Securing Transportation-Critical Infrastructures: Trends and Perspectives”, in Proc. of the 7th IEEE International Conference in Global Security, Safety and Sustainability (ICGS3-2011), R. Bashroush, et al. (Eds.), pp. 171-178, Springer (LNICST 0099), Greece, 2012.
- [5] Kotzanikolaou P., Theoharidou M., Gritzalis D., “Interdependencies between Critical Infrastructures: Analyzing the Risk of Cascading Effects”, in Proc. of the 6th International Conference on Critical Infrastructure Security (CRITIS-2011), Wolthusen S., et al (Eds.), pp. 107-118, Springer, Switzerland, September 2011.
- [6] Kotzanikolaou P., Theoharidou M., Gritzalis D., "Accessing n-order dependencies between critical infrastructures", *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 2012 (to appear).

Κεφάλαιο 2^ο : Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Εισαγωγή

Ο ρόλος των Κρίσιμων (Πληροφοριακών) Υποδομών είναι καθοριστικός, τόσο για την ίδια την Υποδομή, όσο και για την κοινωνία στο σύνολό της. Οι τομείς που μπορεί να επηρεάσει μια πιθανή αποτυχία αναμενόμενης λειτουργίας, είτε λόγω σφάλματος στο σύστημα, είτε λόγω φυσικής καταστροφής, ή ακόμη και από ηθελημένη παρέμβαση (επίθεση), ποικίλλουν και συνεπώς οι επιπτώσεις μπορούν να επηρεάσουν πολλές πτυχές μιας κοινωνίας. Το τελευταίο συμβαίνει κατά κύριο λόγο εξαιτίας της ύπαρξης αλληλεξαρτήσεων (interdependencies, interconnections), μεταξύ των διαφόρων Υποδομών και Τομέων (Sectors), το οποίο είναι συχνό φαινόμενο σε όλες τις αναπτυγμένες χώρες. Η εισαγωγή ειδικά της Πληροφοριακής και Επικοινωνιακής Τεχνολογίας (ΤΠΕ), έχει δημιουργήσει μεγαλύτερου βαθμού εξαρτήσεις μεταξύ των Τομέων.

Στο παρόν κεφάλαιο, αναλύονται έννοιες οι οποίες συναντώνται στη διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με τις Κρίσιμες και Αλληλεξαρτώμενες Υποδομές, την Προστασία και την Ανθεκτικότητα αυτών σε πιθανές αποτυχίες, αλλά και την Αποτίμηση Επικινδυνότητας, καθώς η τελευταία αποτελεί το δεύτερο βασικό συστατικό της εν λόγω εργασίας.

2.2 Βασικές Έννοιες στην Ασφάλεια Κρίσιμων Υποδομών

Οι παρακάτω ορισμοί χρησιμοποιούνται σε όλο το εύρος της παρούσας εργασίας, καθώς αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι στην Προστασία των Κρίσιμων (Πληροφοριακών) Υποδομών. Συνεπώς, θεωρήθηκε χρήσιμη η αναφορά τους, για λόγους συνοχής και κατανόησης.

- *Ευπάθεια (Vulnerability)*

Ένα ελάττωμα ή μια αδυναμία στις διαδικασίες ασφάλειας ενός συστήματος, όπως στο σχεδιασμό, την υλοποίηση, ή σε εσωτερικούς ελέγχους, που μπορεί κατά λάθος ή σκόπιμα να χρησιμοποιηθεί και να οδηγήσει σε ένα ρήγμα ασφάλειας (security breach), ή παραβίαση της πολιτικής ασφάλειας του συστήματος [1].

- *Απειλή (Threat)*

Το ενδεχόμενο μια πηγή απειλής (threat source), όπως αυτή ονομάζεται, να εκμεταλλευτεί κατά λάθος, ή σκόπιμα μια ευπάθεια [1].

- *Συνέπεια (Consequence)*

Το αποτέλεσμα μιας κατάστασης ή ενός γεγονότος, το οποίο εκφράζεται ποιοτικά, ή ποσοτικά και μπορεί να είναι μια απώλεια, ένας τραυματισμός, ένα οποιοδήποτε μειονέκτημα, ή ένα κέρδος. Οι επιδράσεις των συνεπειών μπορεί να αφορά τους ανθρώπους, την οικονομία, ή το περιβάλλον [2].

- *Αντίκτυπο (Impact)*

Αρνητική μεταβολή του επιπέδου των επιχειρησιακών στόχων που έχουν επιτευχθεί [3].

- *Κίνδυνος Ασφάλειας Πληροφοριών (Information Security Risk)*

Το ενδεχόμενο ότι μια δεδομένη απειλή θα εκμεταλλευτεί ευπάθειες ενός αγαθού ή συνόλου αγαθών, με αποτέλεσμα να προκαλέσει ζημιά στον οργανισμό. Συνήθως εκφράζεται ως συνδυασμός της πιθανότητας ενός συμβάντος και των συνεπειών αυτού [3].

- *Ετοιμότητα (Preparedness)*

Μέτρα για να ασφαλίσουμε ότι κοινότητες και οργανισμοί είναι ικανοί να αντιμετωπίσουν τις επιδράσεις των έκτακτων περιστατικών [2].

- *Υποδομή (Infrastructure)*

Σύμφωνα με το CIAO, το οποίο δημιουργήθηκε υπό την Οδηγία Προεδρικής Απόφασης 63 (22 Μαΐου 2008) [4], προκειμένου να βοηθήσει στο συντονισμό των πρωτοβουλιών της ομοσπονδιακής κυβέρνησης για την προστασία των Κρίσιμων υποδομών, ως Υποδομή ορίζεται:

Το πλαίσιο αλληλεξαρτώμενων δικτύων και συστημάτων, τα οποία αποτελούνται από αναγνωρίσιμες βιομηχανίες, ιδρύματα (συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπων και των διαδικασιών), και ικανότητες διανομής που παρέχουν μια αξιόπιστη ροή προϊόντων και υπηρεσιών, σημαντικών στην άμυνα και την οικονομική ασφάλεια των Ηνωμένων Πολιτειών, στην ομαλή λειτουργία των κυβερνήσεων σε όλα τα επίπεδα, αλλά και της κοινωνίας στο σύνολό της [5].

- *Κρίσιμη Υποδομή (CI ή CI/KR)*

Οι Κρίσιμες Υποδομές ή Υποδομές Ζωτικής Σημασίας όπως αλλιώς ονομάζονται, αποτελούν μεγάλης κλίμακας υποδομές, των οποίων η υποβάθμιση ή καταστροφή θα είχε σοβαρό αντίκτυπο στην υγεία, την ασφάλεια ή την ευημερία των πολιτών, ή στην αποτελεσματική λειτουργία των κυβερνήσεων και/ή της οικονομίας [6]. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων Υποδομών αποτελούν οι Τομείς των Τηλεπικοινωνιών, της Ηλεκτρικής Ενέργειας, του Φυσικού Αερίου και Πετρελαίου, του Τραπεζικού και Οικονομικού συστήματος, της Μεταφοράς, των συστημάτων Παροχής Νερού, των Κυβερνητικών Υπηρεσιών, των υπηρεσιών Άμεσης Ανάγκης, της Τροφής/Γεωργίας (παραγωγή, αποθήκευση, και διανομή), της Υγείας, της Εκπαίδευσης, αλλά και πολυάριθμων αγαθών (σίδηρο, ασάλι, αλουμίνιο) [5]. Σχετικά με τους Κρίσιμους Τομείς μια πιο πρόσφατη αναφορά γίνεται από το Τμήμα Εσωτερικής Ασφάλειας (DHS) των Ηνωμένων Πολιτειών [7], στο οποίο προσθέτει τον Μάρτιο του 2008 τον 18^ο Κρίσιμο Τομέα, στους ήδη 17 καθορισμένους της οδηγίας «Homeland Security Presidential Directive 7 (HSPD-7)». Πιο συγκεκριμένα, οι Κρίσιμοι Τομείς των Ηνωμένων Πολιτειών που ορίζει είναι οι παρακάτω:

1. Τροφίμων και Γεωργίας (Food and Agriculture)
2. Τραπεζικών και Οικονομικών (Banking and Finance)
3. Χημικών Ουσιών (Chemical)
4. Εμπορικών Υπηρεσιών (Commercial Facilities)
5. Επικοινωνιών (Communications)
6. Κρίσιμης Βιομηχανίας (Critical Manufacturing)
7. Φραγμάτων (Dams)

8. Αμυντικής Βιομηχανικής Βάσης (Defense Industrial Base)
9. Υπηρεσιών Άμεσης Ανάγκης (Emergency Services)
10. Ενέργειας (Energy)
11. Κυβερνητικών Εγκαταστάσεων (Government Facilities)
12. Υγειονομική Περίθαλψη και Δημόσια Υγεία (Healthcare and Public Health)
13. Πληροφορικής (Information Technology)
14. Εθνικών Μουσείων και Ειδώλων (National Monuments and Icons)
15. Πυρηνικών Αντιδραστήρων, Υλικά και Απόβλητα (Nuclear Reactors, Materials and Waste)
16. Ταχυδρομικών Υπηρεσιών και Ναυτιλίας (Postal and Shipping)
17. Συστήματα Μεταφορών (Transportation Systems)
18. Νερού (Water)

Να σημειώσουμε ότι οι Κρίσιμες Υποδομές διακρίνονται σε τέσσερα επίπεδα, το επιχειρηματικό/στρατηγικό (business/strategic), το οποίο περιλαμβάνει την κεντρική επιχειρησιακή διαδικασία, το οργανωτικό (organizational), το οποίο αφορά τη δομή, τις διαδικασίες και την ανθρώπινη συμπεριφορά, το κυβερνοχωρικό (cyber) το οποίο σχετίζεται με τα δεδομένα, τα επικοινωνιακά και πληροφοριακά συστήματα, συμπεριλαμβανομένου τα συστήματα διαχείρισης για το φυσικό επίπεδο (για παράδειγμα SCADA) και τέλος το φυσικό (physical) στο οποίο συναντάμε τις φυσικές συσκευές της εκάστοτε Υποδομής (για παράδειγμα στην Υποδομή ηλεκτρικής ενέργειας συναντάμε ενδεικτικά γεννήτριες, διακόπτες, καλώδια) [8].

- *Κρίσιμη Πληροφοριακή Υποδομή (CII)*

Αφορούν τις προαναφερθείσες Κρίσιμες υποδομές, οι οποίες κάνουν χρήση των πληροφοριακών και επικοινωνιακών τεχνολογιών (ΤΠΕ) και εξαρτώνται σημαντικά από αυτές. Να διευκρινίσουμε ότι οι Υποδομές αυτές είναι Κρίσιμες τόσο για τις ίδιες, όσο και για τη λειτουργία άλλων Κρίσιμων υποδομών. Λόγω του ότι στις μέρες μας η λειτουργία των Υποδομών βασίζεται στην αποθήκευση, επεξεργασία και διακίνηση πληροφοριών, είναι πρόκληση η προστασία τους σε περιπτώσεις αποτυχιών, επιθέσεων, ή άτυχημάτων, αλλά και η ελαχιστοποίηση του χρόνου ανάκαμψης (CIPR) [6].

- *Κρισιμότητα (Criticality)*

Αποτελεί το επίπεδο της συμβολής μιας Υποδομής στην κοινωνία, ώστε να διατηρηθεί το ελάχιστο επίπεδο του εθνικού και διεθνούς νόμου και της τάξης, της δημόσιας ασφάλειας, της οικονομίας, της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος, ή το επίπεδο του αντικτύπου που θα έχει στους πολίτες ή στην κυβέρνηση η έλλειψη ή η καταστροφή της Υποδομής [9]. Με άλλα λόγια πρόκειται για τη σοβαρότητα μιας συνέπειας τόσο για την ίδια την Υποδομή όσο και για την κοινωνία.

- *Κρισιμότητα vs Επικινδυνότητα (Risk)*

Ο βασικός συνδετικός τους κρίκος αποτελεί η έννοια του αντικτύπου (impact). Η έννοια της κρισιμότητας αποτελεί τόσο υποσύνολο όσο και υπερσύνολο της επικινδυνότητας. Ως υποσύνολο αντιμετωπίζεται, καθώς πολλά από τα κριτήρια ή παράγοντες αντικτύπου (criteria or impact factors) που χρησιμοποιούνται στην προστασία Κρίσιμων Υποδομών (CIPR ή CI/KR Protection), χρησιμοποιούνται και στις παραδοσιακές μεθόδους ανάλυσης επικινδυνότητας (risk analysis), οπότε στις τελευταίες υπολογίζεται εν μέρει και η κρισιμότητα. Από την άλλη πλευρά, υπερσύνολο αποτελεί διότι όταν σε μια Υποδομή εξετάζεται το μέγεθος κρισιμότητάς

της, λαμβάνονται υπόψη κάποιες επιπρόσθετοι παράγοντες ή κριτήρια αντικτύπου, σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους ανάλυσης επικινδυνότητας [9].

- *Ανάλυση Επικινδυνότητας (Risk Analysis)*

Η συστηματική χρήση πληροφοριών για την πραγματοποίηση των επιμέρους διαδικασιών του Προσδιορισμού επικινδυνότητας (Risk Identification) και της Εκτίμησης επικινδυνότητας (Risk Estimation) [10]. Ο προσδιορισμός επικινδυνότητας είναι μια διαδικασία όπου βρίσκει και καταγράφει τους κινδύνους και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτών, ενώ η Εκτίμηση επικινδυνότητας αναθέτει τιμές στην πιθανότητα και τις συνέπειες του κάθε κινδύνου.

- *Αποτίμηση Επικινδυνότητας (Risk Assessment)*

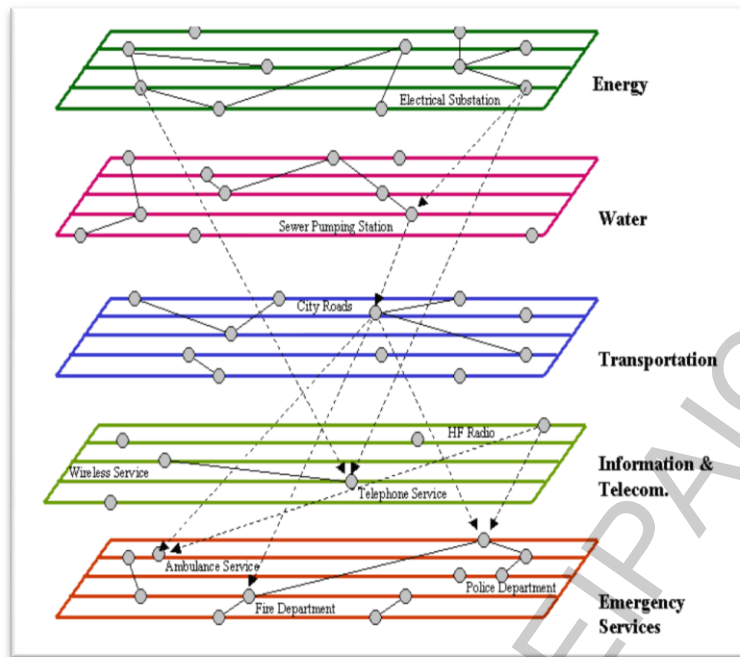
Η συνολική διαδικασία της Ανάλυσης Επικινδυνότητας (Risk Analysis) και της Αξιολόγησης Επικινδυνότητας (Risk Evaluation). Να σημειώσουμε ότι με τον όρο Risk Evaluation εννοούμε τη σύγκριση του εκτιμώμενου κινδύνου με βάση κάποια συγκεκριμένα κριτήρια επικινδυνότητας, προκειμένου να προσδιορίσουμε τη σημαντικότητα αυτού [10].

- *Εξαρτήσεις (Dependencies) - Αλληλεξαρτήσεις (Interdependencies)*

Με τον όρο εξάρτηση (dependency) μεταξύ δύο Υποδομών εννοούμε μια μονόδρομη σύνδεση μεταξύ αυτών, έτσι ώστε η κατάσταση της *i* Υποδομής να εξαρτάται από την αντίστοιχη της *j*. Για παράδειγμα, ένας τηλεπικοινωνιακός μεταγωγέας (switch), έστω ότι αποτελεί μια Συνιστώσα (Component) μιας τηλεπικοινωνιακής Υποδομής *i*, εξαρτάται από έναν διανομέα (distributor) μιας Υποδομής ηλεκτρικής ενέργειας, έστω *j*. Σε αυτήν την περίπτωση η *i* Υποδομή ονομάζεται «supporting» και η *j* «supporter» [5]. Αντίστοιχα, ο όρος αλληλεξάρτηση (interdependency), αφορά την αμφίδρομη σύνδεση μεταξύ ενός ζεύγους υποδομών. Έτσι, η Υποδομή *i* εξαρτάται από την *j*, μέσω κάποιων συνδέσεων, όπως και η *j*. Λόγο της σπουδαιότητας αυτού του όρου στα πλαίσια της παρούσας εργασίας αναλύεται εκτενώς στην ενότητα 2.3.

2.3 Εξαρτήσεις Κρίσιμων Υποδομών

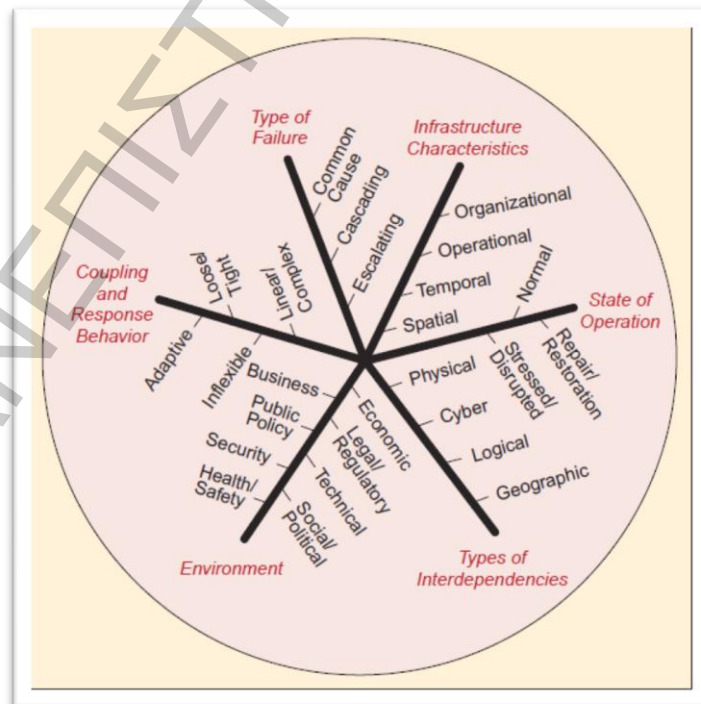
Παρατηρούνται δύο ειδών εξαρτήσεις, αυτές μεταξύ διαφορετικών επιπέδων της ίδιας Υποδομής (intra-dependency) και αυτές μεταξύ διαφορετικών Υποδομών (inter-dependency) [8]. Ωστόσο, συχνά συναντώμενο φαινόμενο αποτελούν και οι αλληλεξαρτήσεις μεταξύ διαφορετικών τομέων (sectors), όπου Τομέας είναι ένα σύνολο Υποδομών με κοινά χαρακτηριστικά, όπως είναι ο τομέας της ενέργειας. Σε αυτήν την περίπτωση, αναφερόμαστε με τον όρο δια-τομεακές αλληλεξαρτήσεις (cross-sector interdependencies). Η ύπαρξη αλληλεξαρτήσεων αυξάνει την πολυπλοκότητα σε ένα δίκτυο Υποδομών και απαιτείται μια συλλογική αντιμετώπιση του προβλήματος. Στην εικόνα που ακολουθεί, παρατηρούμε τις αλληλεξαρτήσεις που μπορούν να υπάρξουν σε διάφορες Κρίσιμες υποδομές, του ίδιου ή διαφορετικού τομέα [5].



Εικόνα 2.1: Εξαρτήσεις Υποδομών [11]

2.3.1 Διαστάσεις Εξαρτήσεων σε Κρίσιμες υποδομές

Οι Υποδομές με Κρίσιμη υπόσταση και αλληλεξαρτήσεις εισάγουν μια πολυδιάστατη αντιμετώπιση του αντικτύπου σε ένα ενδεχόμενο περιστατικό ασφάλειας, όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 2.2: Διαστάσεις Κρίσιμων Υποδομών [5]

2.3.1.1 Τύποι Εξαρτήσεων

Υπάρχουν διάφορες αποδεκτές κατηγορίες αλληλεξαρτήσεων στη βιβλιογραφία. Για παράδειγμα στην [5] η κατηγοριοποίηση γίνεται σε *φυσική (physical)*, *κυβερνοχωρική (cyber)*, *γεωγραφική (geographical)* και *λογική (logical)*. Συγκεκριμένα, η *φυσική* αλληλεξάρτηση υποδηλώνει ότι η κατάσταση της κάθε μιας Υποδομής (είσοδος) εξαρτάται από την υλική έξοδο της άλλης. Για παράδειγμα, ένα σιδηροδρομικό δίκτυο και ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα ανήκουν σε αυτή την κατηγορία καθώς η κάθε μια παρέχει αγαθά που η άλλη έχει ανάγκη για να λειτουργήσει σωστά. Η *κυβερνοχωρική* ενώνει δύο Υποδομές μέσω ηλεκτρονικών, πληροφοριακών συνδέσμων, ενώ το αγαθό που παράγεται ή υπόκειται σε επεξεργασία από την *j* και εν συνεχεία μεταφέρεται στην *i* είναι η πληροφορία. Η συγκεκριμένη αλληλεξάρτηση έχει προκύψει με τη ραγδαία εξάπλωση της τεχνολογίας και αποτελεί μια από τις πιο συχνά συναντώμενες. Η *γεωγραφική* με τη σειρά της προκύπτει σε περιπτώσεις κατά τις οποίες τα στοιχεία διαφόρων Υποδομών βρίσκονται σε στενή χωρική εγγύτητα, όπως όταν γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας και οπτικές ίνες βρίσκονται κάτω από μια γέφυρα. Μια φυσική καταστροφή της τελευταίας, θα οδηγήσει σε άμεσο αντίκτυπο τόσο στον τομέα ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και σε αυτόν της επικοινωνίας. Ωστόσο, σε αυτήν την κατηγορία, η αιτία μπορεί να είναι εκτός από φυσική καταστροφή, και ανθρώπινη παρέμβαση. Η *λογική* από την άλλη, δε σχετίζεται με καμία από τις παραπάνω κατηγορίες, καθώς αφορά περιπτώσεις όπου παράγοντες όπως πολιτικά, νομικά ή ρυθμιστικά καθεστώτα, ή γενικά ανθρώπινες αποφάσεις, οι οποίες αφορούν μια Υποδομή, επιφέρουν συνέπειες και σε άλλες. Για παράδειγμα, όταν λόγω της χαμηλής τιμής στα καύσιμα, αυξάνεται η κινητικότητα στους δρόμους, με κίνδυνο δημιουργίας κυκλοφοριακής συμφόρησης ή το γεγονός ότι οι Υποδομές συνδέονται μέσω των οικονομικών αγορών. Να αναφέρουμε ότι η άνθηση της τεχνολογίας σε συνδυασμό με την αυξημένη χρήση του αυτοματοποιημένου ελέγχου και την εξάρτηση για παράδειγμα από την ηλεκτρική ενέργεια για την αγορά και πώληση αγαθών και προϊόντων, έχει οδηγήσει στην ιδιαίτερα ενισχυμένη εμφάνιση των κυβερνοχωρικών και των λογικών αλληλεξαρτήσεων. [12]

Εν συνεχεία, στην [11] υιοθετείται μια παρόμοια κατηγοριοποίηση (*φυσική (physical)*, *πληροφοριακή (informational)*, *γεωχωρική (geospatial)*, *πολιτική /διαδικαστική (political / procedural)*), με τη διαφοροποίηση της πέμπτης αλληλεξάρτησης, αυτή της *κοινωνικής (societal)*. Η τελευταία αφορά τη δημόσια γνώμη, εμπιστοσύνη, φόβο, αλλά και θέματα κουλτούρας. Παραδείγματος χάριν, μετά την επίθεση της ενδεκάτης Σεπτεμβρίου, η δημόσια εμπιστοσύνη κλονίστηκε, με οικονομικές συνέπειες στον κλάδο της αεροπορικής γραμμής. Όμοια με την [5] και η [13] υιοθετεί τις ίδιες κατηγορίες με την προσθήκη και σε αυτή την περίπτωση της *κοινωνικής αλληλεξάρτησης*, όπου πιθανή αναταραχή στις ανθρώπινες δραστηριότητες επηρεάζουν τη λειτουργία διαφόρων υποδομών.

2.3.1.2 Νιστού-βαθμού Εξαρτήσεις και επιδράσεις

Ο βαθμός σύνδεσης (coupling order) μεταξύ διαφόρων Υποδομών υποδηλώνει κατά πόσο δύο Υποδομές είναι άμεσα ή έμμεσα συνδεδεμένες μεταξύ τους, μέσω μίας ή περισσοτέρων ενδιάμεσων υποδομών. Για παράδειγμα, αν η Υποδομή *i* είναι άμεσα συνδεδεμένη με την Υποδομή *j* και η τελευταία με την *k*, τότε η *k* είναι έμμεσα συνδεδεμένη με την *i*. Αυτές οι έμμεσες συνδέσεις αναφέρονται με τον όρο *ν-οστού-βαθμού εξαρτήσεις (nth-order dependencies)* και *ν-οστού-βαθμού επιδράσεις (nth-*

order effects), όπου το n είναι ο αριθμός των συνδέσεων. Επίσης, αξίζει να αναφέρουμε και την ύπαρξη του λεγόμενου *βρόγχου ανατροφοδότησης (feedback loop)*, ο οποίος παρατηρείται όταν στην προαναφερθείσα σύνδεση, η Υποδομή k καταλήγει στην i , μέσω κάποιας άλλης διαδρομής. Ανάλογα με το βαθμό σύνδεσης (χαλαρό (*loose*), ή σφιχτό (*tight*)) να σημειώσουμε ότι επηρεάζεται και η προσαρμοστικότητα (*adaptability*) ή όχι (*inflexibility*) της Υποδομής σε ένα πιθανό συμβάν [5].

2.3.1.3 Τύποι Αποτυχιών

Οι βρόγχοι ανατροφοδότησης (*feedback loops*) και η πολυπλοκότητα που εισάγεται στο δίκτυο των υποδομών, λόγω των αλληλεξαρτήσεων, αυξάνουν τον κίνδυνο αποτυχιών (*failures*) [5], ή αποδιοργάνωσης (*disruptions*) σε αυτές. Γι' αυτό στο σημείο αυτό αναφέρουμε τις σημαντικότερες κατηγορίες καταστροφών που συναντώνται εξαιτίας των παραπάνω. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι *διαδοχικές αποτυχίες (cascading failures)*, οι οποίες συμβαίνουν όταν η αποδιοργάνωση σε μια Υποδομή, προκαλεί την αποτυχία σε ένα στοιχείο μιας δεύτερης Υποδομής, η οποία ακολούθως θα οδηγήσει σε αποδιοργάνωση και στη δεύτερη Υποδομή. Αυτού του είδους οι αποτυχίες είναι επίσης εκδηλώσεις των νιοστού βαθμού επιδράσεων που αναφέραμε στην υποενότητα 2.3.1.2. Στη συνέχεια, η δεύτερη κατηγορία είναι αυτή των *κλιμακωτών αποτυχιών (escalating failures)*, οι οποίες συμβαίνουν όταν μια υπάρχουσα αποδιοργάνωση σε μια Υποδομή, επιδεινώνει μια ανεξάρτητη αποδιοργάνωση σε μια δεύτερη Υποδομή, μέσω για παράδειγμα της αύξησης του χρόνου ανάκαμψης. Τέλος, συναντάμε την τρίτη κατηγορία, η οποία ονομάζεται *κοινής αιτίας αποτυχία (common cause failure)*, παρατηρείται όταν δύο ή περισσότερες Υποδομές παρουσιάζουν αποδιοργάνωση την ίδια χρονική στιγμή, λόγω κάποιας κοινής αιτίας. Η αιτία αυτή είναι κοινή, είτε λόγω γεωγραφικής αλληλεξάρτησης, είτε διότι η πηγή της αποτυχίας είναι γενική (φυσική καταστροφή, ή τρομοκρατική ενέργεια).

2.3.1.4 Χαρακτηριστικά Υποδομών

Η *χωρική και η γεωγραφική κλίμακα (spatial /geographical)* είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό μιας Κρίσιμης Υποδομής, καθώς σε περίπτωση εκδήλωσης περιστατικού ασφάλειας σε ένα μοναδικό συμπίεστη φυσικού αερίου, η ανάλυση επικινδυνότητας θα περιοριστεί σε επίπεδο συστήματος και κάτω (*subsystem, unit, part*), σε αντίθεση με μια Υποδομή ηλεκτρικής ενέργειας εθνικού επιπέδου, όπου η ανάλυση θα λάβει χώρα σε εθνικό ή διεθνές επίπεδο, αλλά και Υποδομής ή αλληλεξαρτώμενης Υποδομής. Ένα δεύτερο χαρακτηριστικό αποτελεί η *χρονική (temporal) κλίμακα*, η οποία υποδηλώνει τη χρονική διάρκεια πραγματοποίησης μιας ενέργειας, όπως η λειτουργία ενός συστήματος ενέργειας (χιλιοστά του δευτερολέπτου) και η οποία συμβάλλει στην αξιολόγηση μιας αλληλεξάρτησης. Άμεσα συνδεδεμένες με την παραπάνω χρονική παράμετρο, είναι και οι χαλαρές ή όχι συνδέσεις που προαναφέραμε στην υποενότητα 2.3.1.2, καθώς σε μια χαλαρή αλληλεξάρτηση, οι επιπτώσεις της μιας Υποδομής δεν επηρεάζουν σε σύντομο χρονικό διάστημα την εξαρτώμενη Υποδομή. Εν συνεχεία, *λειτουργικοί παράγοντες*, όπως εφεδρικά (*backup*) και πλεονάζοντα (*redundant*) συστήματα, πολιτικές ασφάλειας, σχέδια εκτάκτου ανάγκης (*contingency plans*), εκπαίδευση και κατάρτιση, επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο μια Κρίσιμη Υποδομή θα αντιδράσει σε ένα συμβάν. Καταληκτικά, οι *οργανωσιακοί παράγοντες*, όπως για παράδειγμα η

κυβερνητική σε αντίθεση με την ιδιωτική ιδιοκτησία μιας Υποδομής επιδρούν με τον δικό τους τρόπο στις εξαρτήσεις μεταξύ των Υποδομών [5].

2.3.1.5 Περιβάλλον Υποδομής

Οι Υποδομές λειτουργούν σε ένα περιβάλλον το οποίο δεν επηρεάζεται μόνο από τις δικές του εισόδους, εξόδους, καταστάσεις, αλλά και από τα χαρακτηριστικά άλλων υποδομών. Άλλοι παράγοντες που συμβάλλουν στη διαμόρφωση του περιβάλλοντος, είναι *οικονομικοί και επιχειρησιακοί*, οι οποίοι επηρεάζονται σημαντικά από τις τεχνολογικές εξελίξεις, εισάγοντας επιπρόσθετες ευπάθειες (cyber interdependencies), καθώς επίσης από τις συγχωνεύσεις και τις απορρυθμίσεις επιχειρήσεων, οι οποίες μειώνουν τον πλεονασμό. Συνδυαστικά, συμβάλλουν στην αύξηση των αλληλεξαρτήσεων, αλλά και την δραματική ελάττωση εναλλακτικών πηγών εξυπηρέτησης σε περίπτωση αποτυχίας (failure). Επίσης, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η *ύπαρξη ή μη ρυθμιστικών και νομικών πλαισίων*, όπως η περίπτωση της FCC, η οποία λόγω της δικαιοδοσίας που κατείχε, δεν περιόρισε νομικά τους παρόχους υπηρεσιών διαδικτύου, με αποτέλεσμα τη μεγάλη αύξηση του τομέα πληροφορικής και τεχνολογίας στην Αμερική, δηλαδή της πληροφοριακής Υποδομής και του αριθμού των κυβερνοχωρικών αλληλεξαρτήσεων. Στην ίδια λογική βασίζονται και οι νομικές/ρυθμιστικές ενέργειες που σχεδιάζονται για την προστασία της *δημόσιας υγείας και ασφάλειας*, οι οποίες επηρεάζουν την παραμετροποίηση και λειτουργία των Υποδομών και κατ' επέκταση τις εξαρτήσεις αυτών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ρυθμιστική, περιβαλλοντική ενέργεια στην Καλιφόρνια, η οποία επέβαλλε αυστηρά πρότυπα εκπομπής ενέργειας, προκειμένου να ελαττώσει τη μόλυνση του περιβάλλοντος και τα αντίστοιχα προβλήματα υγείας. Αποτέλεσμα αυτής της ενέργειας, ήταν η επιρροή στη λειτουργία του συστήματος, τη δημιουργία νέας μονάδας παραγωγής, καθώς και στην εξάρτηση από SCADA και άλλα ηλεκτρονικά συστήματα. Καθοριστικός παράγοντας στη διαμόρφωση του περιβάλλοντος είναι και η *εξέλιξη της τεχνολογίας*, η οποία από τη μια πλευρά συμβάλλει στην αύξηση της αποδοτικότητας, της αξιοπιστίας και των προσφερόμενων υπηρεσιών μιας Υποδομής, ενώ από την άλλη πλευρά καθιστά αναγκαία την εύρεση νέων τεχνικών και πολιτικών ασφάλειας, έτσι ώστε να αντιμετωπιστούν οι επιπρόσθετες κυβερνοχωρικές εξαρτήσεις που προκύπτουν. Να αναφέρουμε τέλος την επιρροή και από *κοινωνικές και πολιτικές ενέργειες*, τόσο εθνικού, όσο και διεθνούς επιπέδου, όπως η ξένη ιδιοκτησία τμημάτων της Αμερικανικής τηλεπικοινωνιακής Υποδομής.

2.3.1.6 Κατάσταση λειτουργίας

Η κατάσταση λειτουργίας ενός συστήματος είναι συνάρτηση αλληλεξαρτώμενων παραγόντων, αλλά και των συνθηκών που επικρατούν. Ποικίλλει από άριστη, σε ολοκληρωτική καταστροφή και απώλεια υπηρεσίας για όλους τους χρήστες του εκάστοτε συστήματος. Υπό συγκεκριμένες περιπτώσεις, ενδέχεται να έχει υποστεί ζημία σε μια ή περισσότερες μονάδες (units), υποσυστήματα (subsystems), ή συστήματα (systems), αλλά να εξακολουθεί να παρέχει ανεκτού επιπέδου υπηρεσίες. Το τελευταίο φυσικά προϋποθέτει ότι το σύστημα δε βρίσκεται σε ώρα ή περίοδο αιχμής. Για να κατανοήσουμε λοιπόν καλύτερα τις εξαρτήσεις στις υποδομές, συνετό είναι για κάθε Υποδομή να προσδιορίζεται η Υποδομή (ή υποδομές) από την οποία (ή τις οποίες) εξαρτάται για την κανονική (normal) λειτουργία της, σε περιπτώσεις

αποτυχίας (stressed/disrupted), όπως επίσης για την αποκατάσταση και συνέχιση (repair/restoration) της λειτουργία της [5].

2.4 Αποτυχίες Κρίσιμων Υποδομών

Με την πάροδο του χρόνου όλο και περισσότερες Κρίσιμες Υποδομές εξαρτώνται από την Τεχνολογία της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας (ΤΠΕ), με αποτέλεσμα μια αποτυχία (failure, disruption, interruption, outage) στην τελευταία (initiating failure event), είτε λόγω ατυχήματος, είτε σκόπιμα, να διαδοθεί και σε άλλες υποδομές, υποβαθμίζοντας ή διαταράσσοντας τη λειτουργικότητα αυτών. Με την ίδια λογική, μια αποτυχία σε Κρίσιμη Υποδομή μπορεί επίσης να διαδοθεί στην ICT (cascading failure event) Υποδομή και έτσι να επηρεάσει τη λειτουργία των διαφόρων διασυνδεδεμένων συστημάτων. Πολλές από αυτές τις αποτυχίες ίσως οδηγήσουν σε σοβαρές διαταραχές (disturbances), με αποτέλεσμα να καθίσταται όλο και πιο επιτακτική η ανάγκη για μια ασφαλή και αξιόπιστη λειτουργία των διαφορετικών Κρίσιμων υποδομών.

Βασική προϋπόθεση για την ομαλή αυτή λειτουργία είναι η κατανόηση των αλληλεξαρτήσεων. Αξίζει να αναφερθεί ότι η τεχνικής φύσεως πολυπλοκότητα που συναντάται στις σημερινές Υποδομές δυσχεραίνει ακόμη περισσότερο την αναγνώριση αλληλεξαρτήσεων και ευπαθειών με αποτέλεσμα την εξάπλωση μιας αρχικά ασήμαντης αποτυχίας. Μελετώντας την προέλευση των αποτυχιών λόγω αλληλεξαρτήσεων (interdependence - related failures) και τον τρόπο με τον οποίο αυτές διαδίδονται, μπορούμε να κατανοήσουμε καλύτερα τις εξαρτήσεις και συνεπώς, λαμβάνοντας τις κατάλληλες αποφάσεις, να σχεδιάσουμε πιο αποδοτικά το σύστημά μας, από πλευράς κόστους, ασφάλειας και αξιοπιστίας.

2.4.1 Περιστατικά Αποτυχιών

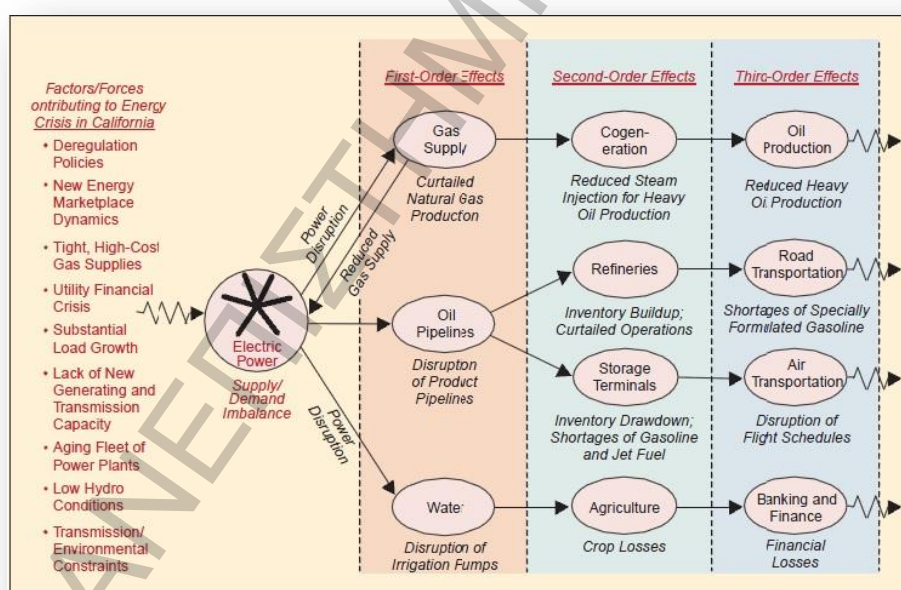
Υπάρχουν διάφοροι λόγοι αποτυχίας μιας Υποδομής [14], όπως για παράδειγμα φυσικές καταστροφές και τρομοκρατικές επιθέσεις, παρόλο που στις μέρες μας η τεχνολογία έχει βοηθήσει στη βελτίωση της ασφάλειας. Ένα αρχικά ασήμαντο γεγονός μπορεί να οδηγήσει σε μια ακολουθία καταστροφικών περιστατικών, όχι μόνο για την ίδια την Υποδομή και τις εξαρτώμενες από αυτήν, αλλά και για την κοινωνία στο σύνολό της. Η βλάβη στην Υποδομή νερού, ενδεχομένως σαν μεμονωμένο συμβάν, να μην προκαλεί έντονη ανησυχία, αλλά αν αναλογιστεί κανείς τις πιθανές επεκτάσεις αυτού, όπως σε περίπτωση πυρκαγιάς, κατανοεί την πολυδιάστατη όψη της επικινδυνότητας ενός αρχικά μη σημαντικού περιστατικού. Για παράδειγμα, στο Σαν Φρανσίσκο το 1906 και στο Κόμπε της Ιαπωνίας το 1995 ξέσπασε πυρκαγιά μετά από σεισμό. Στη βιβλιογραφία συναντάμε πλήθος περιπτώσεων αποτυχίας σε μια Υποδομή, με άμεση συνέπεια τη διάδοση αυτής σε ένα εύρος Κρίσιμων υποδομών.

Ενδεικτικά θα αναφέρουμε ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα, τα οποία αφορούν στον τύπο αποτυχίας «cascading»:

❖ 1^η Περίπτωση: Διακοπές Ηλεκτρικού Ρεύματος στην Καλιφόρνια, 2001

Λόγω των τότε συνθηκών όσον αφορά στο εμπόριο του ηλεκτρικού ρεύματος και τις ισχύουσες νομοθεσίες, αναπτύχθηκε οικονομική κρίση σε εταιρείες ηλεκτρικού ρεύματος, οι οποίες αδυνατούσαν να παράγουν επαρκώς ηλεκτρικό ρεύμα. Έτσι, οι κατά διαστήματα διακοπές ηλεκτρικού ρεύματος, μείωσαν την παραγωγή αερίου (1^{ης}

– τάξης επίδραση), η οποία επηρέασε άμεσα τις προμήθειες αερίου, και κατά συνέπεια τις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος που λειτουργούσαν με τη βοήθεια αερίου, το οποίο επιδείνωσε τα υπάρχοντα προβλήματα ενέργειας, δημιουργώντας ένα βρόγχο ανάδρασης (feedback loop). Επίσης, η ύπαρξη μονάδων συμπαραγωγής που λειτουργούν με τη βοήθεια αερίου, επηρεάζονται από τη μειωμένη ποσότητα αερίου, μειώνοντας εν συνεχεία την παραγωγή τους, δηλαδή τον ατμό, ο οποίος χρησιμοποιείται στην παραγωγή πετρελαίου (2^{ης} – τάξης επίδραση). Με τον τρόπο αυτό, επηρεάζεται και η παραγωγή πετρελαίου (3^{ης} – τάξης επίδραση). Οι διακοπές ηλεκτρικού ρεύματος επηρέασαν και τη μεταφορά βενζίνης και καυσίμων αεροστροβίλων ή αεροπορίας (jet fuel) μέσω αγωγών, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγαλύτερης ποσότητας τέτοιων προϊόντων στα διυλιστήρια σε σχέση με τη ζήτηση (build up inventories) και τη μείωση των λειτουργιών, αλλά και την προμήθεια από τους τερματικούς σταθμούς των προϊόντων, συμπεριλαμβανομένων αρκετών σημαντικών αεροδρομιών της Καλιφόρνιας (2^{ης} – τάξης επίδραση). Το τελευταίο επηρέασε έτσι και τις εναέριες μεταφορές, οι οποίες θα έπρεπε να υιοθετούν πλάνα εκτάκτου ανάγκης (contingency plans) (3^{ης} – τάξης επίδραση), ενώ η λειτουργία των διυλιστηρίων επηρέασε την Υποδομή οδικής μεταφοράς, λόγω της έλλειψης της ειδικής μορφής βενζίνης που χρησιμοποιούνταν στην Καλιφόρνια. Όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα, δεν έλειψαν και οι διακοπές στις αντλίες μεταφοράς νερού για άρδευση καλλιεργειών (1^{ης} – τάξη επίδραση), με άμεση επίπτωση τόσο στον αγροτικό (2^{ης} – τάξη επίδραση), όσο και στον οικονομικό τομέα (3^{ης} – τάξης επίδραση) [5]. Όλες οι προαναφερθείσες επιδράσεις αναπτύχθηκαν αλυσιδωτά και επηρέασαν ένα πλήθος τομέων (cross-sectoral).



Εικόνα 2.3: 3ης - Τάξης Επιδράσεις σε Αλληλεξαρτώμενες Υποδομές από τη Διακοπή Ρεύματος στην Καλιφόρνια το 2001[5]

- 2^η Περίπτωση: Διακοπή Ηλεκτρικού Ρεύματος το 2003
Θα αναφέρουμε τρία περιστατικά διακοπής ηλεκτρικού ρεύματος (blackout) [15], τα οποία επηρεάζουν ένα σύνολο πληθυσμού και περιοχών, ενώ ακολουθούν αλυσιδωτή μορφή εκδήλωσης. Στις 14 Αυγούστου 2003 στη Βόρεια Αμερική, το 11% του

εξυπηρετούμενου ηλεκτρικού φόρτου διακόπηκε, επηρεάζοντας 50 εκατομμύρια ανθρώπους σε 8 κράτη των Ηνωμένων Πολιτειών και σε 2 επαρχίες του Καναδά. Το πρόβλημα ξεκίνησε από τις Πολιτείες της Ιντιάνα και του Οχάιο, αλλά λόγω αποτυχιών σε λογισμικά προστασίας και ειδοποίησης σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, το πρόβλημα επεκτάθηκε και στις παραπάνω περιοχές. Στη συνέχεια, στις 23 Σεπτεμβρίου 2003 στη Νότια Σουηδία και την Ανατολική Δανία, 1,6 εκατομμύρια άνθρωποι στην πρώτη και 2,4 στη δεύτερη επηρεάστηκαν από το blackout. Το περιστατικό ξεκίνησε από τη Νότια Σουηδία, όταν παρουσιάστηκε πρόβλημα σε μια βαλβίδα ατμού μιας πυρηνικής μονάδας, όπου πέντε λεπτά αργότερα, τριακόσια χιλιόμετρα μακριά της μονάδας αυτής παρουσιάστηκε νέο σφάλμα. Η συνεχόμενη μη διαθεσιμότητα μονάδων, αύξανε το φόρτο κίνησης από το νότο προς το βορρά σε μια συγκεκριμένη εναπομένουσα ποσότητα μονάδων και το οποίο τελικά οδήγησε σε κατάρρευση. Πιθανή αιτία του συμβάντος είναι η μη διάθεση ενός αριθμού μονάδων λόγω συντήρησης. Τέλος, στις 28 Σεπτεμβρίου 2003 στην Ιταλία, συνέβη το πιο μεγάλο εθνικό blackout στην ιστορία της, το οποίο είχε ως κύρια αιτία την ανάφλεξη ενός δέντρου και τη διακοπή της επικοινωνίας (PBX) μεταξύ αυτής και της Ελβετίας. Η σύνδεση δεν εγκαταστάθηκε πάλι, επειδή οι αυτόματοι διακόπτες ελέγχου αρνήθηκαν να ξανακλείσουν τη γραμμή και έτσι δημιουργήθηκε υπερφόρτωση σε παράλληλο μονοπάτι. Οι διακοπές που ακολούθησαν επηρέασαν την επικοινωνία της μεταξύ Γαλλίας, Αυστρίας και Σλοβενίας, μέχρι το τελικό πλήρες blackout της.

- *3^η Περίπτωση: Τυφώνας στην Φλόριντα, το 2004*

Ο τυφώνας που έλαβε χώρα στην Φλόριντα το 2004 [16], αποτέλεσε την αφετηρία έρευνας για το Πανεπιστήμιο της Βιρτζίνια (Virginia Tech), ένα χρόνο μετά, και συγκεκριμένα εκ μέρους του American Lifeline Alliances. Στην Φλόριντα είχαν εκδηλωθεί τεσσάρων ειδών τυφώνες, οι οποίοι είχαν καταταχθεί στην κλίμακα δύο έως έξι των πιο ισχυρών στις ΗΠΑ. Στόχος ήταν να μελετηθούν, κατόπιν συλλογής στοιχείων και συνεντεύξεων με αρμόδιους και υπαλλήλους ζωτικών υποδομών, οι εξαρτήσεις και οι συνέπειες των τυφώνων σε αυτές. Οι Υποδομές αφορούσαν την ενέργεια, το νερό, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο, τις επικοινωνίες και τις μεταφορές. Οι επιπτώσεις του τυφώνα επηρέαζε διάφορους τομείς, οι οποίοι εξαιτίας των μεταξύ τους αλληλεξαρτήσεων, δημιουργούσαν διαδοχικές αποτυχίες (cascading failures). Επίσης, ανιχνεύθηκαν και *κλειστού βρόγχου αλληλεξαρτήσεις*, παραδείγματος χάριν από τον τομέα της ενέργειας εξαρτιόνταν η ασύρματη επικοινωνία των κατοίκων της συγκεκριμένης περιοχής, όπως και από την τελευταία η Υποδομή της ενέργειας, καθώς σε περίπτωση ανάγκης, δε θα υπήρχε δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ του προσωπικού για την αποκατάσταση της βλάβης.

2.5 Προστασία Κρίσιμων Υποδομών

Κάθε χώρα που επιθυμεί να προστατεύσει τις Κρίσιμες (Πληροφοριακές) Υποδομές της θα πρέπει να έχει αναπτύξει κατάλληλους μηχανισμούς άμυνας και προστασίας. Στη βιβλιογραφία υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις και πλάνα προστασίας τα κυριότερα από τα οποία θα αναφέρουμε στην παρούσα ενότητα.

2.5.1 Πολιτικές Προστασίας Κρίσιμων Υποδομών (CIP)

Θα ήταν παράλειψη να μην αναφερθούμε σε δύο σημαντικά Ευρωπαϊκά έγγραφα τα οποία στοχεύουν στην προστασία των Κρίσιμων υποδομών, το «Green Paper on A

European Programme for Critical Infrastructure Protection/2005 (EPCIP)» και το «Council Directive 114/2008 on the Identification and Designation of European Critical Infrastructures and the Assessment of the Need to Improve their Protection». Ο στόχος του EPCIP είναι η βελτίωση της προστασίας των Κρίσιμων Υποδομών στην Ευρώπη. Αυτό επιτυγχάνεται με την υλοποίηση της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας ως οδηγίες και συστάσεις από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Το νομοθετικό πλαίσιο του EPCIP αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία. [17]

- Μια διαδικασία για τον προσδιορισμό των Κρίσιμων Ευρωπαϊκών Υποδομών (ECI) και μιας κοινής προσέγγισης για την εκτίμηση της αναγκαιότητας βελτίωσης της ασφάλειάς τους, με την τελευταία να καθιερώνεται μέσω μιας Οδηγίας (Directive).
- Μέτρα για τη διευκόλυνση βελτιώσεων στο EPCIP, συμπεριλαμβανομένου ενός σχεδίου δράσης (action plan), ενός προειδοποιητικού συστήματος (CIWIN) στις Κρίσιμες Υποδομές από την επιτροπή της Προστασίας Κρίσιμων Υποδομών σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, διαδικασίες για ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με την Προστασία Κρίσιμων Υποδομών, προσδιορισμός και ανάλυση των αλληλεξαρτήσεων.
- Παροχή βοήθειας στα Κράτη Μέλη (MS) για βελτίωση της ασφάλειας σε μια Κρίσιμη εθνική Υποδομή (CNI) και σχέδια παρέμβασης (intervention plans).
- Συμπληρωματικές οικονομικές διαδικασίες, και συγκεκριμένα το πρόγραμμα «prevention, preparedness and consequence management of terrorism and other security risks» για τη χρονική περίοδο 2007-2013, το οποίο καθιστά διαθέσιμα νέα χρηματοδοτικά μέτρα για την Προστασία Κρίσιμων Υποδομών.

Σχετικά με την CIIP, το Ευρωπαϊκό έγγραφο «A strategy for a Secure Information Society – “Dialogue, partnership and empowerment» [18] του 2006, τονίζει την αναγκαιότητα ενίσχυσης της ασφάλειας στον τομέα της ΤΠΕ, καθώς η τελευταία επηρεάζει τη λειτουργία των Κρίσιμων Υποδομών. Πιο πρόσφατα, το Ευρωπαϊκό έγγραφο «Critical Information Infrastructure Protection ‘Achievements and next steps: towards global cyber-security» [19] του 2011, επισημαίνει τις κινήσεις που πρέπει να γίνουν για την ενίσχυση της συνεργασίας σε εθνικό και διεθνές επίπεδο, προκειμένου να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά οι αλληλεξαρτήσεις. Πιο συγκεκριμένα, για να επιτευχθεί ενημέρωση (awareness) και ετοιμότητα (preparedness) προτείνεται:

- *Ετοιμότητα και Πρόληψη (Prevention)*
Ανταλλαγή πληροφοριών μέσω του «European Forum for Member States (EFMS)» αλλά και συνεργασία μεταξύ των εθνικών ομάδων «CERTs». Επίσης, η εγκαθίδρυση του «European Public-Private Partnership for Resilience (EP3R)» για την ύπαρξη ενός ευρωπαϊκού πλαισίου διακυβέρνησης σε θέματα ανθεκτικότητας (resilience) των ΤΠΕ Υποδομών.
- *Ανίχνευση (Detection) και Αντιμετώπιση (Response)*
Η δημιουργία μέσω του «European Network and Information Security Agency (ENISA)» ενός «European Information Sharing and Alert System (EISAS) μέχρι το 2013, το έργο του οποίου θα ενισχύεται από τις ομάδες «CERTs», αλλά και τα «alert

sharing systems» του ιδιωτικού τομέα, με την προστασία των προσωπικών δεδομένων να αποτελεί έναν από τους βασικούς στόχους αυτού.

- *Μετριασμός των Επιπτώσεων (Mitigation) και Ανάκαμψη (Recovery)*

Ο σχεδιασμός αντιμετώπισης απρόβλεπτων περιστατικών (Contingency Plan) αλλά, ο συχνός έλεγχος των Σχεδίων Ανάκαμψης από Καταστροφή (Disaster Recovery Plans), της Αντιμετώπισης Περιστατικών Ασφάλειας (Security Incident Response), καθώς επίσης η διοργάνωση Παν-Ευρωπαϊκών ασκήσεων (Pan-European exercises) σε περιστατικά ασφάλειας.

- *Διεθνής Συνεργασία*

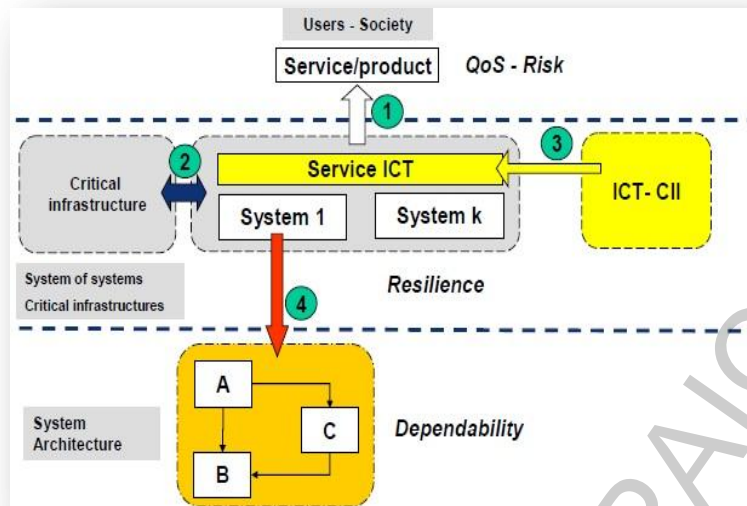
Να δοθεί έμφαση στην ανθεκτικότητα του Διαδικτύου μέσω ευρωπαϊκών αρχών και κατευθυντήριων γραμμών, προκειμένου να δημιουργηθεί ένα κοινώς αποδεκτό πλαίσιο, αλλά και να ελέγχεται μέσω παγκόσμιων ασκήσεων σε Διαδικτυακά περιστατικά.

- *Κριτήρια για τις Ευρωπαϊκές Κρίσιμες Υποδομές στον τομέα της ΤΠΕ*

Ο προσδιορισμός συγκεκριμένων κριτηρίων με βάση τα οποία θα γίνεται η κατηγοριοποίηση των Κρίσιμων Υποδομών στον τομέα της ΤΠΕ (CII).

Ωστόσο, η δημιουργία και υιοθέτηση μιας πολιτικής για την Προστασία των Κρίσιμων Υποδομών(CIP Policy) αντιμετωπίζει διάφορες προκλήσεις. Οι κυριότερες από αυτές είναι [20]:

- Το μεγαλύτερο μέρος των Κρίσιμων Υποδομών ανήκουν στον Ιδιωτικό Τομέα και θα πρέπει να εγκαθιδρυθεί μια στενή σχέση μεταξύ αυτού και του δημοσίου, προκειμένου να υπάρχει εποικοδομητική ανταλλαγή πληροφοριών (information sharing).
- Κυρίως στις Κρίσιμες Πληροφοριακές και Επικοινωνιακές Υποδομές (CIIs), δεν υπάρχουν φυσικά ή πολιτικά όρια και ο καθορισμός υπευθύνων για πολιτικές ασφάλειας και ελέγχους κακόβουλης δραστηριότητας δεν είναι πάντα διακριτός.
- Ο όλο και αυξανόμενος αριθμός εξαρτήσεων μεταξύ των Κρίσιμων Υποδομών, ο οποίος είναι δυναμικός. Όπως φαίνεται ακολούθως, μια πολιτική για την προστασία των Κρίσιμων Υποδομών θα πρέπει να λάβει υπόψη της όλες τις παρακάτω εξαρτήσεις.



Εικόνα 2.4: Διασυνοριακές (cross-border) Εξαρτήσεις [20]

Οι πολιτικές που έχουν αναπτυχθεί έχουν βοηθήσει στην κατανόηση των προβλημάτων που προκύπτουν και είναι «Τύπου 1», όπως απεικονίζεται παραπάνω. Για παράδειγμα, έχουν καταφέρει να προσδιορίσουν την πηγή αποτυχίας μιας Υποδομής, λόγω κάποιου λάθους σε Συνιστώσα αυτής. Ωστόσο, η διάδοση μιας αποτυχίας σε άλλες Κρίσιμες Υποδομές («Τύπος 2»), το αντίκτυπο που έχει μια αποτυχία, όταν αυτή εκδηλώνεται σε CII, σε άλλες Κρίσιμες Υποδομές («Τύπος 3») και η διάδοση μιας αποτυχίας ενός συστήματος στα υπόλοιπα συστατικά του («Τύπος 4») παραμένουν κρίσιμα ζητήματα.

- Η πολυπλοκότητα (complexity) των Κρίσιμων Υποδομών επιδεινώνει το πρόβλημα, διότι δεν είναι εύκολη η απομόνωση και απλούστευση ενός υποδικτύου προκειμένου να μελετηθεί. Έτσι, το μεγάλο εύρος των Κρίσιμων Υποδομών οδηγεί σε μη εύκολα προβλέψιμες αποτυχίες και διάδοση αυτών σε όλο το δίκτυο. Η έλλειψη παγκόσμιων νομικών πλαισίων και ο περιορισμός μόνο σε εθνικά πλάνα προστασίας των Κρίσιμων Υποδομών είναι ένα ακόμη εμπόδιο.
- Η προστασία των Κρίσιμων Υποδομών και ειδικά σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης εξαρτάται από τον ανθρώπινο παράγοντα και τις αποφάσεις που λαμβάνονται.
- Οι ευπάθειες των Κρίσιμων Υποδομών και η δυνατότητα εκμετάλλευσής τους από κακόβουλους, οι οποίοι κάνουν κυρίως χρήση του κυβερνοχώρου, λόγω της συνεχώς αυξανόμενης εξάρτησης των Κρίσιμων Υποδομών από την Τεχνολογία της Πληροφορίας και Επικοινωνίας (ΤΠΕ).

Στη συνέχεια, φαίνονται οι τομείς που καλύπτονται από τα αντίστοιχα πλάνα περί προστασίας των Κρίσιμων Υποδομών (CIP Plans) σε παγκόσμιο επίπεδο.

Sector	Australia	Canada	Netherlands	UK	US	EU
Energy (including nuclear)	x	x	x	x	x	x
ICT	x	x	x	x	x	x
Finance	x	x	x	x	x	x
Health care	x	x	x	x	x	x
Food	x	x	x	x	x	x
Water	x	x	x	x	x	x
Transport	x	x	x	x	x	x
Safety	Emergency services	x	x	Emergency services	Emergency services	x
Government		x	x	x	x	x
Chemicals		x	x		x	x
Defence industrial base	x	x	x		x	
Other sectors or activities	Public gatherings, national icons		Legal/ judicial		Dams, commercial facilities, national monuments	Space and research facilities

Εικόνα 2.5: Πλάνα για την προστασία των Κρίσιμων Υποδομών και Τομείς που καλύπτονται ανά Χώρα [21]

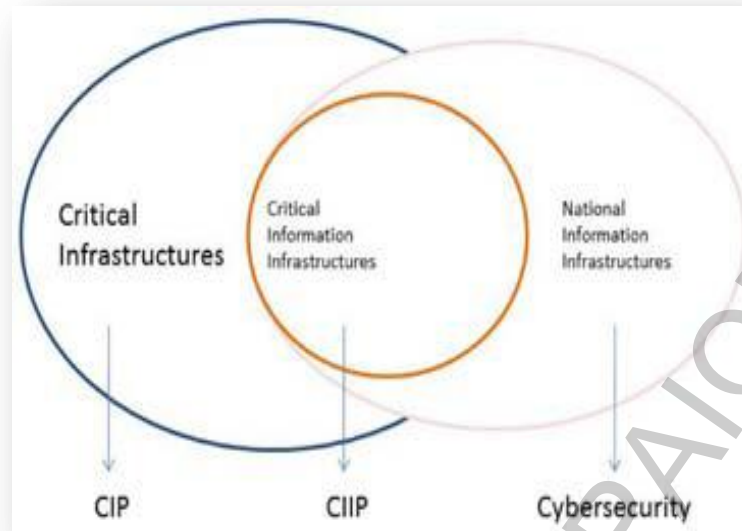
Όπως παρατηρούμε, ο τομέας της Τεχνολογίας (ΤΠΕ) έχει ληφθεί υπόψη από όλες τις παραπάνω χώρες, γεγονός που υποδεικνύει τη σημαντικότητα αυτού. Επιπρόσθετα, στη βιβλιογραφία αναφέρονται επίκαιρα διεθνή προγράμματα για την προστασία Κρίσιμων υποδομών, τα οποία παρουσιάζουν έντονη ανησυχία για θέματα ασφάλειας σε δίκτυα και γενικά για την τεχνολογία της πληροφορίας. Ο πίνακας που ακολουθεί, συνοψίζει τα προγράμματα αυτά και όπως φαίνεται οι περισσότερες χώρες υλοποιούν πολιτικές για την προστασία της ΤΠΕ σε δύο περιοχές, αυτή του Διαδικτύου και αυτή των Τηλεπικοινωνιών, σύμφωνα με τη μεθοδολογία CERT/CSIRT. [17]

Πίνακας 2-1: Εθνικά Πλάνα Υποδομών Ζωτικής Σημασίας [17]			
Χώρα	Πρόγραμμα	Σκοπός	Φορέας
Αργεντινή (2011)	Cyberprotection	Μεθοδολογία CERT/CSIRT (για Διαδίκτυο και Τηλεπικοινωνίες)	Oficina Nacional de Tecnologías de Información
Αυστραλία (2008, 1999)	1) National Strategy for CIP 2) Australian Standard AS/NZS 4360:1999	1) Η ικανότητα της Αυστραλίας να διεξάγει εθνική άμυνα και εσωτερική ασφάλεια 2) Υλοποίηση τεχνικών διαχείρισης επικινδυνότητας	1) National Infrastructure Information 2) Public Services Companies
Βραζιλία (2011)	Cyberprotection	Μεθοδολογία CERT/CSIRT (για Διαδίκτυο και Τηλεπικοινωνίες)	Ministry of Defence
Καναδάς (2009, 2011))	1) Strategy for the Protection of CNI 2) Canadian public safety agencies	1) Physical και Cyber Συνιστώσες σε δημόσιους και ιδιωτικούς τομείς 2) Ενοποίηση ομοσπονδιακών ορ- γανισμών (σχετικοί με εθνική ασφάλεια, διαχείριση Κρίσιμης κατάστασης, αποτροπή εγκλήματος) για αντιμετώπιση τρομοκρατίας,	1) NERC 2) Canadian Security Intelligence Service

		φυσικών καταστροφών, επιθέσεων στον κυβερνοχώρο	
Κίνα (2011)	Cyberprotection	Μεθοδολογία CERT/CSIRT (για Διαδίκτυο και Τηλεπικοινωνίες)	Computer emergency response team within China
Κολομβία (2011)	Cyberprotection	Μεθοδολογία CERT/CSIRT (για Διαδίκτυο και Τηλεπικοινωνίες)	Ministry of Defence
Γαλλία (2011)	1) White Paper on Defence and National Security 2) Cyberprotection	1) Προκλήσεις ασφάλειας της εθνικής Υποδομής εντός και εκτός της Γαλλίας 2) Μεθοδολογία CERT/CSIRT (για Διαδίκτυο και Τηλεπικοινωνίες)	1) SGDN 2) COSSI & PIRANET Plan
Γερμανία (2011)	Federal CERT - Bund	Μεθοδολογία CERT/CSIRT (για Διαδίκτυο και Τηλεπικοινωνίες)	Federal office for information security
Ολλανδία (2011)	National crisis centre	Υποστήριξη για αποτίμηση επικινδυνότητας και συμβουλή ασφάλειας, βέλτιστες πρακτικές και διεθνείς επαφές	Nationaal Adviescentrum Vitale Infrastructuur
Νότια Κορέα (2011)	Cyberprotection	Μεθοδολογία CERT/CSIRT (για Διαδίκτυο και Τηλεπικοινωνίες)	Korea Internet security center
Ισπανία (2010, 2011)	1) Spanish national IP plans 2) Cyberprotection	1) Συντονισμός ενεργειών από τον ιδιωτικό και δημόσιο τομέα, που μετέχουν στην CIP 2) Μεθοδολογία CERT/CSIRT (για Διαδίκτυο και Τηλεπικοινωνίες)	1) Protección de infraestructuras críticas 2) Centro Nacional de Criptología
Ηνωμένο Βασίλειο (2011)	Initiative for critical infrastructure sectors	Πολιτικές προστασίας των τομέων, πόρων και υπηρεσιών που είναι κρίσιμοι σε όλα τα επίπεδα της κοινωνίας	Centre for the protection of National Infrastructure

2.5.2 Προστασία στον Κυβερνοχώρο στα πλαίσια των Κρίσιμων Υποδομών

Οι Κρίσιμες Πληροφοριακές Υποδομές (ή Κρίσιμες Πληροφοριακές Υποδομές ή CIPs) είναι υποσύνολο των Κρίσιμων Υποδομών και απειλούνται τόσο από φυσικές όσο και από κυβερνοχώρικές κακόβουλες πηγές. Με τη σειρά τους οι Κρίσιμες Υποδομές, εξαιτίας της εξάρτησής τους από τις CIPs είναι ευπαθείς σε απειλές του κυβερνοχώρου. Για το λόγο αυτό, τόσο οι Κρίσιμες Υποδομές όσο και οι Κρίσιμες Πληροφοριακές Υποδομές συνδέονται με την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο (cybersecurity).



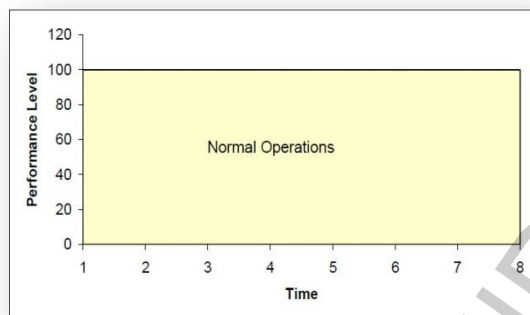
Εικόνα 2.6: Σχέση CIP, CIIP και Cybersecurity [22]

Συνεπώς, για να επιτευχθεί ασφάλεια στον κυβερνοχώρο θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τόσο οι Κρίσιμες Πληροφοριακές Υποδομές όσο και οι μη Κρίσιμες / Εθνικές Πληροφοριακές Υποδομές. Επίσης, βασικό ρόλο προς αυτήν την κατεύθυνση αποτελεί η υλοποίηση Αποτιμήσεων Επικινδυνότητας (risk assessments) [23], έτσι ώστε να προσδιοριστούν οι περιοχές με την υψηλότερη επικινδυνότητα και οι λύσεις να επικεντρωθούν σε επιλεγμένα αγαθά (assets) μιας Υποδομής. Η αναγκαιότητα προστασίας των Κρίσιμων Πληροφοριακών Υποδομών έχει επισημανθεί και από το έγγραφο «G8 Principles for Protecting Critical Information Infrastructures» [24] της «ομάδας των οχτώ (G8)» όπως ονομάζεται και η οποία έχει συσταθεί από το Μάιο του 2003 με στόχο την προστασία των Κρίσιμων Υποδομών γενικά αλλά και από κυβερνοχωρικές απειλές ιδιαίτερα.

2.6 Ανθεκτικότητα Κρίσιμων Υποδομών

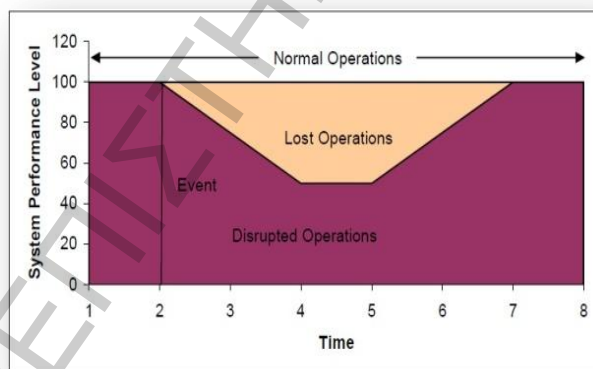
Η εξάρτηση των Κρίσιμων Υποδομών από τα επιτεύγματα της τεχνολογίας έχει καταστήσει τον παράγοντα της διαθεσιμότητας (availability) καθοριστικό για την ομαλή λειτουργία τους. Η μεταβλητή φύση όμως της τεχνολογίας, έχει επηρεάσει την αξιοπιστία (reliability) των Κρίσιμων Υποδομών. Έτσι, η δημιουργία ανθεκτικών (resilient) Κρίσιμων Υποδομών (CIR) αποτελεί μια πρόκληση. Η ανθεκτικότητα (resilience/fault tolerance) εστιάζει στην αποτροπή εμφάνισης Κρίσιμων αποτυχιών ή στην ελαχιστοποίηση του αντικτύπου τους αν εν τέλει εκδηλωθούν. Πρόκειται ουσιαστικά για την ικανότητα της Υποδομής να αντισταθεί στις επιπτώσεις μιας απειλής (εξωτερικής ή εσωτερικής) και να διατηρήσει τη βασική λειτουργικότητά της. [25] Η [26] ορίζει την ανθεκτικότητα ως την ικανότητα να απορροφήσεις (absorb), να ανακάμψεις (recover), ή να προσαρμοστείς (adapt) επιτυχώς σε αντιξοότητες ή σε αλλαγή συνθηκών. Παρόμοιες προσεγγίσεις αποτελούν οι [27] και [28]. Η [27] ορίζει την ανθεκτικότητα με όρους όπως «absorptive», μέσω «robustness» και «redundancy», «adaptive» δηλαδή ο βαθμός που το σύστημα είναι ικανό από μόνο του για ανάκαμψη (recovery), μέσω «substitutability», και «restorative», δηλαδή η ικανότητα του συστήματος να διορθωθεί γρήγορα, ενώ η [28]

χρησιμοποιεί έννοιες όπως η «robustness», «resourcefulness», δηλαδή η διαχείριση ενός περιστατικού κατά τη διάρκεια εξέλιξής του, «rapid recovery» και «adaptability», δηλαδή η ικανότητα να μαθαίνει από ένα νέο περιστατικό. Στη συνέχεια, σύμφωνα με την [29], η ανθεκτικότητα καθορίζεται από δύο παραμέτρους, αυτήν την απόδοση (performance) και αυτήν του χρόνου επαναφοράς σε κανονικές συνθήκες (time).



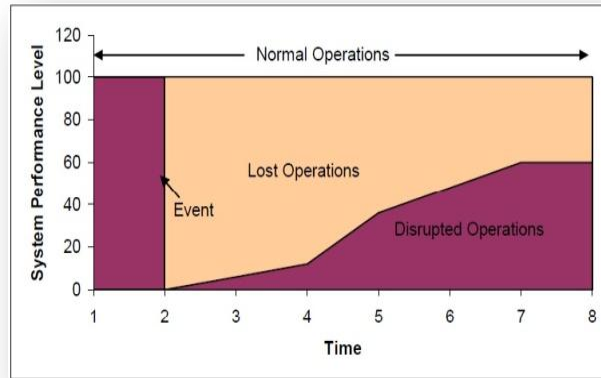
Εικόνα 2.7: Απεικόνιση Παραμέτρων Ανθεκτικότητας υπό Κανονικές Συνθήκες [29]

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.8, σε περίπτωση εκδήλωσης κάποιας αποτυχίας, η σταθερή απόδοση της Υποδομής (Εικόνας 2.7) επηρεάζεται, με αποτέλεσμα κατά τη χρονική περίοδο 2 έως 7 να σημειωθεί απώλεια στις παρεχόμενες υπηρεσίες αυτής. Ωστόσο, μετά το πέρας του συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος η απόδοση επανέρχεται στην προηγούμενη – κανονική της κατάσταση.



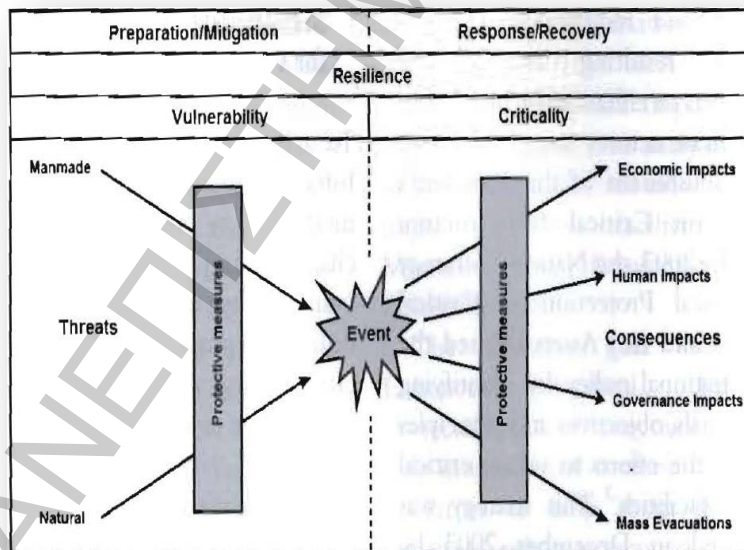
Εικόνα 2.8: Απεικόνιση Παραμέτρων Ανθεκτικότητας υπό Συνθήκες Εμφάνισης μιας Αποτυχίας – Σταδιακή Μείωση Απόδοσης [29]

Στην Εικόνα 2.9, απεικονίζεται η περίπτωση μιας λιγότερο ανθεκτικής Υποδομής, καθώς πρώτον η απώλεια της απόδοσης είναι μη σταδιακή και δεύτερον διότι η επαναφορά στην αρχική κατάστασή της δεν πραγματοποιείται. Αντιθέτως, μετά το πέρας του χρονικού διαστήματος 2 έως 7, η απόδοση σημειώνει μια σταθερή βελτίωση, η οποία όμως είναι πολύ διαφορετική από την αρχική της τιμή.



Εικόνα 2.9: Απεικόνιση Παραμέτρων Ανθεκτικότητας υπό Συνθήκες Εμφάνισης μιας Αποτυχίας – Απотоμη Μείωση Απόδοσης [29]

Ως ανθεκτικότητα μιας Υποδομής πολλές φορές ορίζεται η ύπαρξη ρωμαλεότητας (robustness) στα επιμέρους στοιχεία αυτής, δηλαδή περίσσεια (redundancy) [30], έτσι ώστε να αποτραπεί η διάδοση μιας αποτυχίας και οι σοβαρές επιπτώσεις αυτής. Με άλλα λόγια, αποτρέπεται η δημιουργία μοναδικού σημείου αποτυχίας (single point of failure). Μια άλλη προσέγγιση [31] για την ανθεκτικότητα την ορίζει σε σχέση με την ευπάθεια και την κρισιμότητα (criticality). Πιο συγκεκριμένα, όπως απεικονίζεται παρακάτω, συνδέεται η ανθεκτικότητα με την ευπάθεια, την απειλή και την κρισιμότητα για τη διαμόρφωση της επικινδυνότητας ενός τύπου απειλής.



Εικόνα 2.10: Σχέση ανθεκτικότητας με ευπάθεια και κρισιμότητα (risk components) [31]

Σε αυτήν την περίπτωση, η ανθεκτικότητα ορίζεται με βάση τρεις παραμέτρους, την ρωμαλεότητα (robustness), δηλαδή την ικανότητα μιας Υποδομής να αντισταθεί σε μια απειλή, την ανάκαμψη (recovery), δηλαδή την ικανότητα μιας Υποδομής να ανακάμψει μετά από μια Κρίσιμη κατάσταση (crisis situation) και την ύπαρξη πόρων (resourcefulness), τόσο για την αποφυγή μιας αποτυχίας, όσο και για τη γρήγορη

ανάκαμψη από αυτή. Η [32] προσθέτει και την έννοια της ταχύτητας (rapidity) με την οποία μια Υποδομή μπορεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά μια αποτυχία και τελικά να επιστρέψει στην αρχική της κατάσταση.

Πριν την εισαγωγή της ανθεκτικότητας, στη βιβλιογραφία συναντάμε διάφορες προσεγγίσεις για τη διαχείριση ανεπιθύμητων περιστατικών (προβλέψιμων και μη).

Οι βασικότερες από αυτές είναι:

- Θεωρίες Αξιοπιστίας (Reliability Theories)

Υπάρχουν δύο βασικές θεωρίες που σχετίζονται με την αξιοπιστία, αυτή των «Φυσιολογικών» Ατυχημάτων (NAT) των Perrow (1984) και Sagan (1993) και αυτή της Υψηλής Αξιοπιστίας (HRT) των La Porte and Consolini (1991), Roberts and Bea (2001), and Weick and Sutcliffe (2001). Όσον αφορά στην πρώτη, αντιμετωπίζει τις πιθανές αποτυχίες – ατυχήματα ως αναπόφευκτα, καθώς είναι απόρροια της αλληλεπιδραστικής (interactive) πολυπλοκότητας και των στενών συνδέσεων (couplings) που υπάρχουν μεταξύ των σύγχρονων συστημάτων, ενώ η δεύτερη διατυπώνει πως με την ύπαρξη κατάλληλων προληπτικών μέτρων είναι εφικτή η αποφυγή τους. [33]

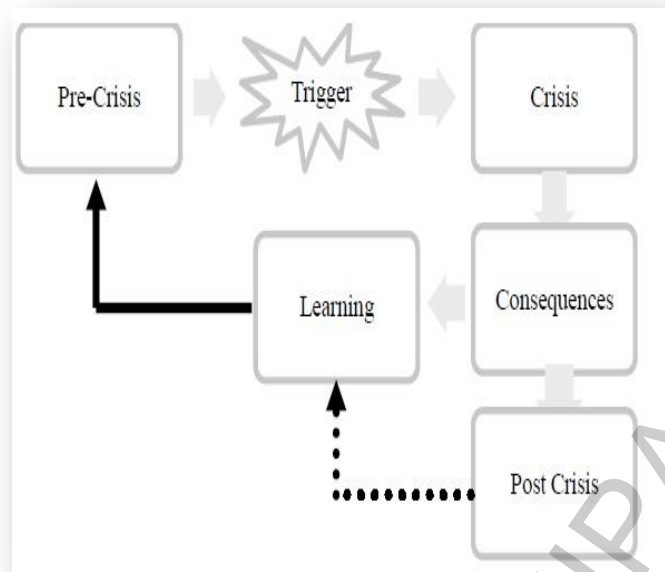
- Ετοιμότητα απέναντι στην Κρίση (Crisis Preparedness)

- *Σχέδιο Ανάκαμψης από Καταστροφή (Disaster Recovery Plan-DRP)*

Εστιάζει στις αποτυχίες που προκύπτουν από φυσικές καταστροφές και την εξάρτηση από Πληροφοριακά Συστήματα, αγνοώντας τις μη τεχνικής φύσεως ευπάθειες και σε άλλες εξωτερικές απειλές. Επίσης, αποτελεί ένα πλάνο το οποίο εφαρμόζεται εφόσον έχει πραγματοποιηθεί κάποια αποτυχία και συνεπώς δεν λαμβάνει υπόψη διάφορες διορθωτικές ενέργειες (corrective actions) που μπορούν να λάβουν χώρα προκειμένου να αποτραπεί μια ανεπιθύμητη αποτυχία – περιστατικό. [34]

- *Διαχείριση Κρίσιμων Καταστάσεων (Crisis Management)*

Δίνει έμφαση στον προσδιορισμό τρόπων αποφυγής εμφάνισης κρίσιμων καταστάσεων και κατ' επέκταση στην αποτελεσματικότερη διαχείριση όσων τελικά προκύψουν. Στόχος αυτής της προσέγγισης είναι η καλύτερη οργάνωση ενός οργανισμού – Υποδομής έτσι ώστε τυχόν αποτυχίες να μην κλιμακωθούν σε κρίσιμες καταστάσεις. Η λογική που ακολουθεί φαίνεται ακολούθως:



Εικόνα 2.11: Διαδικασία Διαχείρισης Κρίσιμων Καταστάσεων (Crisis Management) [34]

Πιο συγκεκριμένα, πριν την εμφάνιση της αποτυχίας και την κλιμάκωσή της σε Κρίσιμη υπάρχει η φάση «Pre-Crisis», η οποία φροντίζει για την αποτροπή οποιασδήποτε μορφής αποτυχίας μέσω για παράδειγμα Αποτιμήσεων Επικινδυνότητας. Ωστόσο, λόγω της αδυναμίας πρόβλεψης όλων των αποτυχιών μεριμνά και για την προετοιμασία διαχείρισης τυχόν Κρίσιμων καταστάσεων, μια διαδικασία που ονομάζεται «Σχεδιασμός Κρίσιμης Κατάστασης (Crisis Planning / Contingency Planning)». Με την εμφάνιση της Κρίσιμης κατάστασης, φάση «Crisis», ξεκινά η υλοποίηση των προσχεδιασμένων πλάνων για τον περιορισμό των συνεπειών και την ομαλή μετάβαση στην μετέπειτα φάση «Post-Crisis». Με την ολοκλήρωση και της τελευταίας φάσης, θα πρέπει να εντοπιστούν τα σημεία που χρήζουν βελτίωσης και να γίνουν οι κατάλληλες ενέργειες.

Παρόλα αυτά, η εν λόγω διαδικασία εξετάζει κυρίως συγκεκριμένες αποτυχίες, πραγματοποιώντας «Αποτίμηση Επικινδυνότητας βάση Προτεραιότητας (Priority-based Risk Assessment)», ενώ αδυνατεί να συμπεριλάβει και απρόβλεπτα περιστατικά. Εξαιτίας της παραπάνω αδυναμίας, η εισαγωγή της ανθεκτικότητας στις Υποδομές κρίθηκε αναγκαία. [34]

ο *Διαχείριση Επιχειρησιακής Συνέχειας (Business Continuity Management-BCM)*

Επιχειρεί τη εξισορρόπηση μεταξύ πρόβλεψης μη αναμενόμενων αποτυχιών και της ανθεκτικότητας. [34] Στόχος της Διαχείρισης Επιχειρησιακής Συνέχειας είναι η εξασφάλιση της διαθεσιμότητας όλων των σημαντικών επιχειρησιακών πόρων που απαιτούνται για την υποστήριξη Κρίσιμων διαδικασιών της επιχείρησης. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι αρχικά η Αποτίμηση Επικινδυνότητας (Risk Assessment), στη συνέχεια η Ανάλυση Επιχειρησιακού Αντικτύπου (Business Impact Analysis-BIA) και τέλος το Πλάνο Επιχειρησιακής Συνέχειας (Business Continuity Planning-BCP), το οποίο διαφέρει από το Σχέδιο Ανάκαμψης από Καταστροφή, καθώς το

τελευταίο εστιάζει σε τεχνολογικά θέματα και στην ουσία αποτελεί κομμάτι του Πλάνου Επιχειρησιακής Συνέχειας. [35] Επίσης, το Πλάνο Επιχειρησιακής Συνέχειας εστιάζει στη διαθεσιμότητα, ενώ το Σχέδιο Ανάκαμψης από Καταστροφή στη γρήγορη ανάκαμψη.

2.6.1 Λόγοι Αναγκαιότητας στις Κρίσιμες Υποδομές

Η ανάγκη δημιουργίας ανθεκτικών Κρίσιμων Υποδομών και ειδικά ICT Κρίσιμων Υποδομών έχει επισημανθεί πολλές φορές στη βιβλιογραφία. [36], [37] Οι περισσότερες Υποδομές που θεωρούνται Κρίσιμες χρησιμοποιούν τη σύγχρονη τεχνολογία, όπως για παράδειγμα το σύστημα SCADA και συνεπώς εκτός των φυσικών ευπαθειών γίνονται επιρρεπείς και σε κυβερνοχωρικές επιθέσεις. [38]

2.6.1.1 Ευπάθειες και Απειλές Κρίσιμων Υποδομών

Οι κυριότερες ευπάθειες και απειλές που συναντώνται στις Κρίσιμες Υποδομές αναλύονται ακολούθως:

- *Ευπάθειες Κρίσιμων Υποδομών:*
 - (Αλληλ)εξαρτήσεις
Στην περίπτωση των (Αλληλ)εξαρτώμενων Κρίσιμων Υποδομών η δυνατότητα πρόβλεψης όλων των αποτυχιών καθίσταται ακόμη πιο δύσκολη και έτσι υπάρχει επιτακτική ανάγκη για εύρεση μιας εναλλακτικής μεθόδου διαχείρισης ανεπιθύμητων περιστατικών σε τέτοιου είδους Υποδομές. Να σημειώσουμε ότι όταν ο βαθμός σύνδεσης είναι «σφιχτός», τότε οι αποτυχίες αυξάνονται. Με την κατασκευή πιο ανθεκτικών υποδομών, οι οποίες θα λαμβάνουν υπόψη την τυχόν ύπαρξη άμεσων αλληλεξαρτήσεων, θα επιτευχθεί μια πιο αποτελεσματική αντιμετώπιση των ποικίλων πιθανών αποτυχιών.
 - Περιπλοκότητα (Complexity)
Εκτός από τις εξαρτήσεις, επίσης η ύπαρξη πολυπλοκότητας σε μια Υποδομή αυξάνει τις ευπάθειες αυτής, αλλά και τις πιθανότητες εκδήλωσης ενός κρίσιμου περιστατικού (critical incident). Η σύγχρονη τεχνολογία και η εξάρτηση των Υποδομών από αυτή καθιστά τις τελευταίες ακόμη πιο ευάλωτες σε ηθελημένες ή μη επιθέσεις.
 - Έλλειψη Κεντρικού Σημείου Ελέγχου
Η πλειοψηφία των Κρίσιμων Υποδομών ανήκουν στον Ιδιωτικό τομέα, το οποίο δυσχεραίνει την ύπαρξη ενός κεντρικού σημείου επίβλεψης του συνόλου των Κρίσιμων Υποδομών σε εθνικό επίπεδο. [38]
- *Απειλές Κρίσιμων Υποδομών:*
 - Φυσικές Καταστροφές (Natural disasters)
Είναι σοβαρές επιπτώσεις διαφόρων φυσικών φαινομένων και επηρεάζουν αρνητικά τη λειτουργία, δομή και ακεραιότητα της εκάστοτε Υποδομής. [25]

- Ατυχήματα Τεχνολογικής Φύσεως (Technological accidents)
Πρόκειται για περιστατικά τα οποία έχουν αρνητικό αντίκτυπο σε ένα σύστημα (λειτουργία, δομή και ακεραιότητα) εξαιτίας εσωτερικών παραγόντων, όπως είναι λάθη και αποτυχίες. Οι παράγοντες αυτοί μειώνουν την αξιοπιστία της κάθε Υποδομής και προκαλούν μη ελεγχόμενη υποβάθμιση της παρεχόμενης υπηρεσίας. Ο ανθρώπινος παράγοντας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο σε αυτού του είδους την απειλή. [25]
- Κυβερνοχωρικές Απειλές (Cyber attacks)
Αφορά σε μια στοχευμένη ενέργεια ενάντια πληροφοριακών αγαθών μιας Κρίσιμης Υποδομής, με σκοπό την απόκτηση, τροποποίηση ή ολοκληρωτική καταστροφή δεδομένων ή / και πληροφοριακού συστήματος. Η ασφάλεια των συστημάτων, μέσω κρυπτογραφικών μηχανισμών και ασφαλών πρωτοκόλλων επικοινωνίας, προσθέτει ένα επίπεδο προστασίας σε τέτοιου είδους επιθέσεις. [25]
- Εγκληματικές Ενέργειες (Criminal Activities)
Αποτελεί μια παράνομη ενέργεια με στόχο την απόκτηση ή καταστροφή στοιχείων μιας Κρίσιμης Υποδομής. Η ενδυνάμωση της Φυσικής Ασφάλειας είναι ένα μέτρο για τον περιορισμό της. [25]
- Τρομοκρατικές Ενέργειες (Terrorist Attacks)
Αναπαριστά επίσης μια μη νόμιμη δραστηριότητα η οποία οδηγεί στην υποβάθμιση ή καταστροφή στοιχείων μιας Κρίσιμης Υποδομής. Η ενδυνάμωση της Φυσικής Ασφάλειας είναι ένα μέτρο για τον περιορισμό της. [25]

2.6.1.2 Πλαίσια και Πολιτικές Ανθεκτικότητας

Ο σπουδαίος ρόλος της εισαγωγής της ανθεκτικότητας στις Κρίσιμες Υποδομές έχει επισημανθεί σε ένα πλήθος πλαισίων, αναφορών και πολιτικών. Ενδεικτικά αξίζει να αναφέρουμε τα παρακάτω που αφορούν τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής [29]:

- National Security Strategy (Μάιος 2002)
Περιλαμβάνει τη λογική της ανθεκτικότητας αναφέροντας παραμέτρους όπως πλεονασμός και αποφυγή μοναδικού σημείου αποτυχίας.
- National Strategy for the Physical Protection of Critical Infrastructure and Key Resources (2002)
Αναφέρει την ρωμαλεότητα των Υποδομών και την ανθεκτικότητα, η οποία μπορεί να επιτευχθεί μέσω αποτελεσματικής προστασίας και σχεδιασμού αντιμετώπισης περιστατικών (response planning).
- Critical Infrastructure Task Force of the Homeland Security Council (Ιανουάριος 2006)
Τονίζει την ανεπάρκεια της προστασίας των Κρίσιμων Υποδομών, καθώς δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν όλες οι πιθανές ευπάθειες μιας Υποδομής. Έτσι, προτείνει την εισαγωγή της ανθεκτικότητας η οποία θα περιέχει την παράμετρο της προστασίας, ετοιμότητας και προσπάθειας για αποφυγή εκδήλωσης επιθέσεων, επισημαίνοντας ότι είναι πιο κερδοφόρο για μια επιχείρηση να επενδύει σε τρόπους μείωσης του χρόνου ανάκαμψης.

- National Infrastructure Advisory Council (Σεπτέμβριος 2009)
Θεωρεί πως η τρέχουσα πολιτική είναι ασφαλής για τον σκοπό που εξυπηρετεί, αλλά θα μπορούσε να βελτιωθεί εισάγοντας τις αρχές της ανθεκτικότητας. Επιπρόσθετα, προτείνει το «Department of Homeland Security» να επιχορηγεί προσπάθειες για την ανθεκτικότητα, να ενθαρρύνει τον κάθε τομέα στην θέσπιση στόχων ανθεκτικότητας και να βοηθήσει στην κατασκευή ανθεκτικών Υποδομών νέας γενιάς.
- National Infrastructure Protection Plan : Partnering to enhance protection and resilience (2009)
Κάνει αναφορά στην ανθεκτικότητα μιας Υποδομής και τη σημασία της σχεδόν τις διπλάσιες φορές σε σχέση με το αντίστοιχο έγγραφο του 2006.
- Homeland Security Studies and Analysis Institute (2009)
Έχει εκδώσει ένα πλήθος αναφορών με κύριο στόχο την ανάπτυξη ενός πλαισίου για την ενσωμάτωση της ανθεκτικότητας στις Κρίσιμες Υποδομές.
- Quadrennial Homeland Security Review (Φεβρουάριος 2010)
Προτείνει τη χρήση τόσο της προστασίας όσο και της ανθεκτικότητας συνδυαστικά.
- Presidential Decision Directive 8, National Preparedness (Μάρτιος 2011)
Προωθεί την ενδυνάμωση τόσο της προστασίας όσο και της ανθεκτικότητας, μέσω της συστηματικής προετοιμασίας για τις απειλές που θέτουν την πιο υψηλή επικινδυνότητα. Πιο συγκεκριμένα προτείνει την ανάπτυξη ενός «National Preparedness Goal» με πέντε κύριες αποστολές, την αποτροπή, την προστασία, τον μετριασμό των συνεπειών, την απόκριση, και την ανάκαμψη.

2.7 Συμπεράσματα

Το πεδίο των Κρίσιμων Υποδομών έχει πολλούς κινδύνους. Ένας βασικός παράγοντας αποτελεί η ύπαρξη εξαρτήσεων μεταξύ αυτών, οι οποίες γίνονται ακόμη πιο στενές με την εξέλιξη των ΤΠΕ. Το τελευταίο έχει οδηγήσει σε μια υποκατηγορία των Κρίσιμων Υποδομών, αυτή των Κρίσιμων Πληροφοριακών Υποδομών. Η υποκατηγορία αυτή εισάγει νέες απειλές και ευπάθειες τόσο για τις Κρίσιμες Πληροφοριακές Υποδομές, όσο και για τις Κρίσιμες Υποδομές που εξαρτώνται από τη σωστή λειτουργία αυτών. Οι απειλές που προκύπτουν είναι κυρίως κυβερνοχωρικές, γεγονός που καθιστά το ρόλο του «Cybersecurity» καθοριστικό για την προστασία των Κρίσιμων Υποδομών στο σύνολό τους.

Ο αριθμός των αποτυχιών που έχει παρατηρηθεί λόγω των αλληλεξαρτήσεων είναι μεγάλος, γεγονός που μαρτυρά τη μη επαρκή αντιμετώπιση αυτών. Η βασική προσέγγιση που ακολουθείται είναι αυτή της Προστασίας των Κρίσιμων (Πληροφοριακών) Υποδομών, δηλαδή της πρόληψης εμφάνισης περιστατικών ασφάλειας. Ωστόσο, η πρόληψη δεν είναι πάντοτε εφικτή για όλο το δυνατό πλήθος των απειλών. Έτσι, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη υιοθέτησης μηχανισμών ενίσχυσης της ανθεκτικότητας των Κρίσιμων (Πληροφοριακών) Υποδομών, καθώς έτσι δίνεται έμφαση στις συνέπειες μιας αποτυχίας και πως μπορούν αυτές να μετριαστούν, ένα σενάριο που μοιάζει πιο ρεαλιστικό και πιο αποδοτικό οικονομικά για μια Υποδομή. Αξίζει ωστόσο να αναφερθεί ότι ο συνδυασμός της προστασίας και της ανθεκτικότητας αποτελεί τον ιδανικό τρόπο αντιμετώπισης του δυναμικού περιβάλλοντος των σημερινών Κρίσιμων (Πληροφοριακών) Υποδομών.

Αναφορές

- [1] Elky S., “An Introduction to Information System Risk Management”, SANS Institute InfoSec Reading Room, May 31, 2006.
- [2] Emergency Management Australia, “Critical Infrastructure Emergency Risk Management and Assurance Handbook”, Mount Macedon, Australia, 2003.
- [3] International Standard ISO/IEC 27005, “Information technology - Security techniques - Information security risk management”, First edition 2008-06-15.
- [4] Moteff J. and Parfomak P., “Critical Infrastructure and Key Assets: Definition and Identification”, October 1, 2004.
- [5] Rinaldi S., Peerenboom J., Kelly T., “Identifying, Understanding and Analyzing Critical Infrastructure Interdependencies”, *IEEE Control Systems Magazine*, Vol. 21, No. 6, pp.11-25, 2001.
- [6] Bialas A., “Information security systems vs. critical information infrastructure protection systems – Similarities and differences”, in Proc. of the International Conference on the Dependability of Computer Systems, pp. 60–67, 2006.
- [7] Official website of the Department of Homeland Security, Critical Infrastructure, available at : <http://www.dhs.gov/critical-infrastructure>
- [8] Adar E. and Wuchner A., “Risk management for critical infrastructure protection challenges: Best practices and tools”, in Proc. of the First IEEE International Workshop on Critical Infrastructure Protection, 2005.
- [9] Theoharidou M., Kotzanikolaou P., Gritzalis D., “Risk-based criticality analysis”, in: Palmer C., Sheno S. (Eds.), in Proc. of the third IFIP international conference on critical infrastructure protection (CIP-2009), USA: Springer; March 2009.
- [10] International Standard ISO/IEC 27001, “Information technology - Security techniques - Information security management systems – Requirements”, First edition 2005-10-15.
- [11] Dudenhoeffler D. D., Permann M. R., Manic M., “CIMS: a framework for infrastructure interdependency modeling and analysis”, in the Proc. of the 38th conference on winter simulation, Winter simulation conference, Monterey, California, 2006, p. 478–85.
- [12] James P. Peerenboom, Ronald E. Fisher, "Analyzing Cross-Sector Interdependencies," in the Proc. of the 40th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS-2007), pp.112, January 2007.
- [13] De Porcellinis S., Oliva G., Panzieri S., Setola R., “A holistic – reductionistic approach for modeling interdependencies”, in the Proc. of the third IFIP international conference on critical infrastructure protection (CIP-2009), Palmer C., Sheno S. (Eds.), USA: Springer, March 2009.
- [14] Little R., "Controlling cascading failure: Understanding the vulnerabilities of interconnected infrastructures," *Journal of Urban Technology*, pp. 109-123, 2002.

- [15] Andersson G., Donalek P., Farmer R., Hatziargyriou N., Kamwa I., Kundur P., Martins N., Paserba J., Pourbeik P., Sanchez-Gasca J., Schulz R., Stankovic A., Taylor C. and Vittal V., “Causes of the 2003 major grid blackouts in North America and Europe and recommended means to improve system dynamic performance”, *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 20, No. 4, pp.1922-1928, 2005.
- [16] Bigger J.E., Willingham M.G., Krimgold F. and Mili, L, “Consequences of critical infrastructure interdependencies: lessons from the 2004 hurricane season in Florida”, *International Journal of Critical Infrastructures*, Vol. 5, No. 3, pp.199–219, 2009.
- [17] Jose M. Yusta, Gabriel J. Correa, Roberto Lacal-Arántegui, “Methodologies and applications for critical infrastructure protection: State-of-the-art”, *Energy Policy*, Volume 39, Issue 10, October 2011, Pages 6100-6119.
- [18] European Commission, “A strategy for a Secure Information Society – “Dialogue, partnership and empowerment”, COM(2006)251final, Brussels, Belgium, 2006.
- [19] European Commission, “Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on Critical Information Infrastructure Protection ‘Achievements and next steps: towards global cyber-security’”, COM(2011)163 final, Brussels, 2011.
- [20] Hammerli B., Renda A., “Protecting Critical Infrastructure in the EU”, CEPS Task Force Report, Centre for European Policy Studies, Brussels, 2010.
- [21] Organisation for Economic Co-operation and Development, “Protection of “Critical Infrastructure and the Role of Investment Policies Relating to National Security”, France, May 2008.
- [22] Center for Infrastructure Protection and Homeland Security, “Cybersecurity”, The CIP Report, Vol. 10, No. 10, pp. 21, April 2012.
- [23] Rhodes K. A., Willemsen J., “Technology Assessment - Cybersecurity for Critical Infrastructure Protection”, United States Government Accountability Office, Washington, May 28, 2004.
- [24] G8 Justice & Interior Ministers, “G8 Principles for Protecting Critical Information Infrastructures”, May 2003.
- [25] Lukas L., Hromada M., “Resilience as main part of protection of critical infrastructure”, *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, Vol. 5, No. 6, pp. 1135-1142, 2011.
- [26] Department of Homeland Security, “National Infrastructure Protection Plan: Partnering to enhance protection and resiliency”, Washington, 2009.
- [27] Kasthurirangan G., Srinivas P. “Sustainable and Resilient Critical Infrastructure Systems Simulation, Modeling, and Intelligent Engineering”, *Simulation, Modeling, and Intelligent Engineering*, Springer, 2010

- [28] National Infrastructure Advisory Council, “A Framework for Establishing Critical Infrastructure Resilience Goals”, Final Report and Recommendations by the Council, October 19, 2010.
- [29] Moteff J. D., “Critical Infrastructure Resilience: The Evolution of Policy and Programs and Issues for Congress”, CRS Report for Congress, pp. 20, August 23, 2012.
- [30] Little R.G., "Toward more robust infrastructure: observations on improving the resilience and reliability of critical systems," in the Proc. of the 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS-2003), IEEE Computer Society, pp. 58-66, January 2003.
- [31] Fisher R. E., Norman M., “Developing measurement indices to enhance protection and resilience of critical infrastructure and key resources”, *Journal of Business Continuity & Emergency Planning*, Vo. 4, No. 3, pp. 191-206, July 2010.
- [32] T.D. O’Rourke, “Critical Infrastructure, Interdependencies, and Resilience”, pp. 22-29, The BRIDGE National Academy of Engineering, Vol. 37, No. 1, Spring 2007.
- [33] Cookea D. L. and Rohledera T. R., “Learning from incidents: from normal accidents to high reliability”, *Journal of the System Dynamics Society, System Dynamics Review*, Vol. 22, No. 3, pp. 213–239, 2006.
- [34] Sinclair N., “Resilience in Critical Infrastructures: The case of the Queensland Electricity Industry”, Master Thesis, School of Management – Faculty Business, Queensland University of Technology, Australia, 2009.
- [35] Australian National Audit Office, “Business Continuity Management: Keeping the wheels in motion”, A guide to effective control, Better practice, January 2000.
- [36] Boin A. and McConnell A., “Preparing for Critical Infrastructure Breakdowns: The Limits of Crisis Management and the Need for Resilience”, *Journal of Contingencies and Crisis Management*, Vol. 15 No.1, pp. 50 – 59, March 2007.
- [37] European Commission, “Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on Critical Information Infrastructure Protection - Protecting Europe from large scale cyber-attacks and disruptions: enhancing preparedness, security and resilience”, COM(2009)149 final, Brussels, 2009.
- [38] SAKURAI K., Tai-hoon K., “Enhanced Resilience Approach on the Security Flimsiness of Critical Infrastructure”, *Journal of Security Engineering*, Vol. 5, No. 3, June 2008.

Κεφάλαιο 3^ο : Αποτίμηση Επικινδυνότητας σε Κρίσιμες Υποδομές

3.1 Εισαγωγή

Λαμβάνοντας υπόψη τους πολλαπλούς κινδύνους που ελλοχεύουν, υπάρχει έντονο ενδιαφέρον για τον προσδιορισμό των Κρίσιμων Υποδομών και την εύρεση νέων ή τη βελτίωση υπάρχοντων τεχνικών για την προστασία αυτών. Στην ενότητα αυτή, θα παραθέσουμε τις πιο πρόσφατες τεχνικές αποτίμησης της επικινδυνότητας μιας κρίσιμης υποδομής, οι οποίες στοχεύουν αρχικά στην εύρεση μιας Κρίσιμης Υποδομής και εν συνεχεία στην αποτίμηση του δυνητικού κινδύνου που αυτή καλείται να αντιμετωπίσει. Με άλλα λόγια, οι τεχνικές αυτές επιχειρούν την πρόληψη περιστατικών ασφάλειας (security incidents), τα οποία προκύπτουν ως απόρροια ευπαθειών της Υποδομής και εκμετάλλευσης αυτών από ακούσιους ή μη παράγοντες.

3.2 Υπάρχουσες Προσεγγίσεις

Αρχικά, αξίζει να αναφέρουμε μια πρόσφατη μέθοδο προσδιορισμού κρίσιμων υποδομών [1], η οποία κάνει χρήση των παρακάτω κριτηρίων και μιας τεχνικής βαθμολόγησης με συντελεστές (weighted score technique).

1. Infrastructure complexity (ICx)
2. Infrastructure coupling (ICp)
3. The use of redundancies (R)
4. The organizational learning process (OLP)
5. The need of simulations (S)
6. A strict organizational structure (SOS)
7. Mindfulness (M)
8. The need for experienced personnel (EP)
9. The need to anticipate the unexpected (AU)
10. The need to contain the unexpected (CU)
11. Attested imp. through official documents (AIOD)
12. Impact severity (IS)
13. Cross border effects (CBE)
14. Interdependences (I)

Εικόνα 3.1: Κριτήρια για χαρακτηρισμό μιας υποδομής ως κρίσιμη [1]

Πιο αναλυτικά, τα δύο πρώτα κριτήρια (ICx, ICp) βασίζονται στη λεγόμενη «Normal Accident Theory», σύμφωνα με την οποία η πραγματοποίηση ενός απρόβλεπτου ατυχήματος είναι αναπόφευκτο κομμάτι κάθε ασφαλούς, περίπλοκου (complex) συστήματος. Παράλληλα, χρησιμοποιεί και την «High Reliability Theory», η οποία προσεγγίζει το θέμα από μια πιο αισιόδοξη πλευρά, υποστηρίζοντας ότι με σωστό σχεδιασμό και διαχείριση τα ατυχήματα μπορούν να αποτραπούν. Η συγκεκριμένη θεωρία προτείνει δύο τρόπους για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, πρώτον να περιμένεις το μη αναμενόμενο (AU), μέσω στρατηγικών όπως βελτίωση διαδικασιών, αναφορά (reporting), ευθύνη (accountability), επίλυση μικρών προβλημάτων για αποφυγή μεγαλύτερων, και δεύτερον τον έλεγχο του μη αναμενόμενου (CU) προκειμένου ένας οργανισμός να είναι ανθεκτικός, μέσω εμπιστοσύνης και οικειότητας μεταξύ των

εργαζομένων, της κατοχής περισσότερων του ενός ρόλου από τον εκάστοτε εργαζόμενο και τη λήψη αποφάσεων λαμβάνοντας σοβαρά υπόψη τη γνώμη εξειδικευμένου προσωπικού. Άλλα κριτήρια είναι η ύπαρξη πλεονασμού (R), η οργανωτική διαδικασία μάθησης (OLP), η ανάγκη προσομοιώσεων (S), η αυστηρή οργανωτική δομή (SOS), η επιμέλεια (M), η ανάγκη έμπειρου προσωπικού και καλής εκπαίδευσης (EP), αλλά και η πιστοποιημένη σημασία της κρισιμότητας μιας υποδομής από επίσημα έγγραφα (AIOD). Τα τρία τελευταία κριτήρια είναι από το «Green Paper on A European Programme for Critical Infrastructure Protection/2005», και αφορούν τη σοβαρότητα των επιπτώσεων (IS) σε περίπτωση αποδιοργάνωσης (disruption), ή /και καταστροφής (damage), τις διασυννοριακές επιπτώσεις (CBE), αλλά και τις αλληλεξαρτήσεις με άλλους τομείς (I).

Criteria	Weight	Rate	Weighted score
1. (Icx)	0.10	3	0.30
2. (Icp)	0.10	3	0.30
3. (R)	0.05	3	0.15
4. (OLP)	0.04	3	0.12
5. (S)	0.05	3	0.15
6. (SOS)	0.03	3	0.09
7. (M)	0.04	3	0.12
8. (EP)	0.04	3	0.12
9. (AU)	0.04	3	0.12
10. (CU)	0.04	3	0.12
11. (AIOD)	0.02	3	0.06
12. (IS)	0.15	3	0.45
13. (CBE)	0.15	3	0.45
14. (I)	0.15	2 ^a	0.30
Total weighted score			2.85

Εικόνα 3.2: Παράδειγμα Τεχνικής Βαθμολόγησης με Συντελεστές (Weighted Score Technique), Υπό εξέταση Υποδομή: Nuclear Power Plants [1]

Όπως βλέπουμε και στην παραπάνω εικόνα το κάθε κριτήριο έχει διαφορετική σπουδαιότητα για την κατηγοριοποίηση μιας υποδομής ως κρίσιμης, η οποία απεικονίζεται στη δεύτερη στήλη με το συντελεστή σπουδαιότητας (Weight). Ο τελευταίος κυμαίνεται από 0 έως 1. Παρατηρούμε ότι μεγαλύτερη σπουδαιότητα έχουν τα κριτήρια της πολυπλοκότητας μιας υποδομής (ICx) και του βαθμού σύνδεσης μεταξύ των υποδομών (ICp), ενώ με λίγη μεγαλύτερη σπουδαιότητα συναντάμε τη σοβαρότητα των επιπτώσεων (IS), τις διασυννοριακές επιπτώσεις (CBE) και τις αλληλεξαρτήσεις με άλλους τομείς (I). Εν συνεχεία, η τρίτη στήλη (Rate) αφορά την εκάστοτε υπό εξέταση υποδομή και συγκεκριμένα με τιμές από 1 έως 3 καθορίζει κατά πόσο η συγκεκριμένη υποδομή ανταποκρίνεται στο κάθε κριτήριο. Στην τέταρτη και τελευταία στήλη υπάρχει η βαθμολόγηση με συντελεστή, η οποία προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της δεύτερης και τρίτης στήλης (Weight * Rate). Η τελική βαθμολόγηση της υποδομής (Total Weighted Score) είναι το άθροισμα όλων των τιμών της τέταρτης στήλης. Στην περίπτωση που η τελική αυτή τιμή είναι πάνω από δύο (2), όπως στο παράδειγμά μας, η υποδομή θα πρέπει να θεωρείται ως κρίσιμη.

3.2.1 Ευρωπαϊκές Προσεγγίσεις

Σύμφωνα με τις [2], [3], η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ορίζει ότι ένα εθνικό πρόγραμμα ασφάλειας περί προστασίας μιας Κρίσιμης Υποδομής θα πρέπει να περιλαμβάνει ορισμένα κριτήρια στις αποτιμήσεις επικινδυνότητας της υπό εξέταση Υποδομής. Όσον αφορά την ένταση – σπουδαιότητα (intensity) ενός περιστατικού, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η δημόσια επίδραση (πληττόμενος πληθυσμός, απώλεια ζωής, τραυματισμό, ασθένεια), η οικονομική επίδραση (GDP), η περιβαλλοντική επίδραση, οι αλληλεξαρτήσεις, η πολιτική επίδραση (εμπιστοσύνη στην κυβέρνηση) και η ψυχολογική επίδραση. Τα κριτήρια αυτά αξιολογούνται με βάση την έκταση (scope), δηλαδή τοπική, περιφερειακή, εθνική, διεθνής, αλλά και τη διάρκεια, τόσο κατά τη στιγμή εκδήλωσης του περιστατικού όσο και μετά τη λήξη αυτού. Η [4] δε διαφοροποιήθηκε όσον αφορά στα παραπάνω κριτήρια.

Η ολλανδική προσέγγιση [5] στη συνέχεια, τονίζει την αναγκαιότητα ύπαρξης μιας «process-oriented» ανάλυσης για τη σωστή αποτίμηση των υποδομών ζωτικής σημασίας στην Ολλανδία, λόγω των ποικίλων αλληλεξαρτήσεων που δημιουργεί κυρίως ο ΤΠΕ τομέας. Αναφέρει τους όρους «έμμεση ζωτικότητα (indirect vitality)», ως το βαθμό στον οποίο άλλα προϊόντα ή υπηρεσίες επηρεάζουν ένα προϊόν ή μια υπηρεσία, σχετικά με τη σημαντικότητά του στην κοινωνία, αλλά και «άμεση ζωτικότητα (direct vitality)», ως το βαθμό στον οποίο το ίδιο το προϊόν ή η υπηρεσία θεωρείται σημαντικό για τη συνέχιση της κανονικής ροής της κοινωνίας. Ουσιαστικά, η άμεση ζωτικότητα είναι μια πρώτης τάξης εξάρτηση (first-order dependency), ενώ η έμμεση ζωτικότητα είναι n-τάξης εξάρτηση (n-order dependency), η οποία προκαλεί τα λεγόμενα «cascading effects», λόγω της αλυσίδας εξάρτησης (dependency chain) που δημιουργείται. Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη προσέγγιση, χρησιμοποιώντας τον πίνακα εξάρτησης (dependency matrix), όλες οι επιδράσεις (effects) δεύτερης και υψηλότερης τάξης πολλαπλασιαζόμενες με τον αριθμό των εξαρτήσεων και προστιθέμενες στις πρώτης τάξης επιδράσεις, μπορεί να καθορίσουν τη συνολική επίδραση της απώλειας, ή διακοπής μιας υπηρεσίας στην κοινωνία. Επίσης, προκειμένου να αποτιμηθεί η άμεση ζωτικότητα πρώτης τάξης, όλα τα προϊόντα και υπηρεσίες τοποθετήθηκαν σε ένα σχήμα με άξονες την άμεση και την έμμεση ζωτικότητα, από το οποίο και προέκυψε ότι οι τομείς με την μεγαλύτερη ζωτικότητα στην κοινωνία είναι αυτοί των τηλεπικοινωνιών, της ενέργειας και των μεταφορών. Επίσης, εισάγει τους όρους «backward dependency» για τα προϊόντα ή τις υπηρεσίες που εξαρτώνται από άλλα προϊόντα ή υπηρεσίες και «forward dependency» για τα προϊόντα ή υπηρεσίες που επηρεάζουν άλλα προϊόντα ή υπηρεσίες. Για τα προϊόντα και τις υπηρεσίες με ζωτική σημασία εξετάζει επιπλέον, το χρόνο που μεσολαβεί από τη στιγμή που αυτά τεθούν εκτός λειτουργίας μέχρι να φτάσουν στο ελάχιστο επίπεδο ποιότητας (minimum quality level), δηλαδή τη στιγμή που το αντίκτυπο επηρεάζει περισσότερο την κοινωνία, καθώς και το χρόνο που απαιτείται για την ελάχιστη ή πλήρη ανάκαμψη αυτών. Με γνώμονα τα παραπάνω, χωρίζει τα προϊόντα και τις υπηρεσίες σε πέντε κατηγορίες, γρήγορη εμφάνιση αντικτύπου με αργή ανάκαμψη, όπως η ποιότητα του νερού, αργή εμφάνιση αντικτύπου με αργή ανάκαμψη, όπως η ναυτιλία, γρήγορη εμφάνιση αντικτύπου με γρήγορη ανάκαμψη, όπως οι τηλεπικοινωνίες, αργή εμφάνιση αντικτύπου με γρήγορη ανάκαμψη και πολύ γρήγορη εμφάνιση αντικτύπου με πολύ γρήγορη ανάκαμψη, όπως οι επικοινωνίες έκτακτης ανάγκης.

Μια μεταγενέστερη ολλανδική προσέγγιση [6], προτείνει μια στρατηγική εθνικής ασφάλειας (NSS), η οποία διακρίνεται σε δύο φάσεις, τη φάση ανάλυσης (analysis

phase) και τη φάση στρατηγικού σχεδιασμού (strategic planning phase). Η «εθνική αποτίμηση επικινδυνότητας (NRA)», η οποία έχει αναπτυχθεί με στόχο την αποτίμηση των κινδύνων σε εθνική κλίμακα, αποτελεί τμήμα της φάσης ανάλυσης και έπεται αυτής. Στη φάση ανάλυσης οι κίνδυνοι συγκεντρώνονται και αναλύονται, με τη μορφή ενός ή περισσότερων σεναρίων, για παράδειγμα την επίδραση (effect) ενός περιστατικού στη συνέχιση μιας κρίσιμης υποδομής, ή οι συνέπειες ενός περιστατικού, όσον αφορά στη φύση και την κλίμακα. Η σοβαρότητα των σεναρίων υπολογίζεται με βάση τη βαθμολογία που συγκεντρώνουν σε δέκα κριτήρια αντικτύπου (impact factors). Η επικινδυνότητα και σε αυτή την προσέγγιση ορίζεται ως ένας συνδυασμός αντικτύπου (impact), δηλαδή το σύνολο των συνεπειών (consequence) του περιστατικού – σεναρίου, και της πιθανότητας (likelihood), δηλαδή της εμφάνισης ενός περιστατικού – σεναρίου με τις συνέπειές του. Τα βήματα της μεθοδολογίας είναι:

- Έλεγχος της Πληρότητας της Περιγραφής του Σεναρίου
Το σενάριο θα πρέπει να περιέχει επαρκείς πληροφορίες για την αποτίμηση του αντικτύπου και της πιθανότητας.
- Αποτίμηση του Αντικτύπου του Σεναρίου (Impact Assessment)
Κάθε σενάριο αναλύεται και αποτιμάται σύμφωνα με τα κριτήρια αντικτύπου (impact criteria).
- Αποτίμηση της Πιθανότητας Εμφάνισης του Σεναρίου (Likelihood Assessment)
Κάθε σενάριο αναλύεται και αποτιμάται ανάλογα με την πιθανότητα εμφάνισης του.
- Εκτίμηση της Επικινδυνότητας (Risk Assessment) του σεναρίου και αναφορά των ευρημάτων
Οι αποτιμήσεις αντικτύπου και πιθανότητας όλων των σεναρίων συγκεντρώνονται σε ένα δυσδιάστατο Διάγραμμα Επικινδυνότητας (Risk Diagram). Με βάση το διάγραμμα μπορεί να γίνει μια κατηγοριοποίηση της σοβαρότητας του σεναρίου.

Πιο συγκεκριμένα, σε ό,τι αφορά την αποτίμηση αντικτύπου (impact assessment), τα κριτήρια αντικτύπου τα οποία έχουν επιλεγεί για την «εθνική αποτίμηση επικινδυνότητας» αντικατοπτρίζουν το σκοπό της στρατηγικής, δηλαδή την προστασία των ζωτικών συμφερόντων της Ολλανδίας. Κάθε ένα από τα παρακάτω πέντε ζωτικά συμφέροντα μετατρέπονται σε ένα έως το πολύ τρία κριτήρια αντικτύπου, σχηματίζοντας συνολικά δέκα κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά θεωρούνται από τη δεδομένη προσέγγιση αντιπροσωπευτικά για την αποτίμηση και κατάταξη όλων των πιθανών συμβάντων με βάση το αντίκτυπο αυτών.

Πίνακας 3-1: Ζωτικά Συμφέροντα και τα Αντίστοιχα Κριτήρια Αντικτύπου, με βάση την Ολλανδική Προσέγγιση [6]	
Εδαφική Ασφάλεια (Territorial Security)	<ul style="list-style-type: none"> • Παραβίαση της Ολλανδικής επικράτειας • Παραβίαση της διεθνούς θέσης της Ολλανδίας
Φυσική Ασφάλεια	<ul style="list-style-type: none"> • Θάνατοι • Σοβαροί τραυματισμοί και χρόνια νοσήματα • Φυσικές καταστροφές, έλλειψη νερού, φαγητού

Ασφάλεια της Οικονομίας (Economic Security)	<ul style="list-style-type: none"> • Κόστος
Ασφάλεια της Οικολογίας (Ecologic Security)	<ul style="list-style-type: none"> • Μακροχρόνια καταστροφή στο περιβάλλον τη φύση (χλωρίδα, πανίδα)
Κοινωνική και Πολιτική Σταθερότητα (Social and Political Stability)	<ul style="list-style-type: none"> • Διακοπή της καθημερινής ζωής • Παραβίαση του δημοκρατικού συστήματος • Κοινωνικό ψυχολογικό αντίκτυπο, όπως οργή και ανησυχία

Για κάθε ένα από τα παραπάνω κριτήρια, το αντίκτυπο καθίσταται μετρήσιμο, χωρίζοντας τα κριτήρια σε πέντε κατηγορίες. Συγκεκριμένα, στην κατηγορία Α (Περιορισμένες συνέπειες), την κατηγορία Β (Σημαντικές συνέπειες), την κατηγορία C (Σοβαρές συνέπειες), την κατηγορία D (Πολύ Σοβαρές συνέπειες) και την κατηγορία Ε (Καταστροφικές συνέπειες). Με την κατηγοριοποίηση επιτυγχάνεται η διαχείριση της αβεβαιότητας σχετικά με τα δεδομένα, για παράδειγμα ο αριθμός των θανάτων μεταξύ 100 – 1000 εμπίπτουν στην ίδια κατηγορία. Να διευκρινίσουμε ότι όλα τα κριτήρια αξιολογούνται με βάση την έκταση (range) και τη διάρκεια (duration) του περιστατικού. Συνεπώς για κάθε σενάριο προκύπτει μια βαθμολογία σε κάθε κριτήριο. Καθώς πρόκειται για μια ανάλυση πολλαπλών κριτηρίων (MCA), οι βαθμολογίες του εκάστοτε σεναρίου αθροίζονται, προκειμένου να επιτευχθεί μια ισορροπημένη μέσου όρου τελική αποτίμηση του βαθμού αντικτύπου του κάθε σεναρίου. Το τελευταίο γίνεται μέσω διαφόρων μεθόδων, όπως «Weighted Sum», «Medal Method» και «EvaMix». Είσοδος σε κάθε μέθοδο είναι οι βαθμοί του κάθε σεναρίου στα δέκα διαφορετικά κριτήρια, καθώς και η σημαντικότητα (weight) του εκάστοτε κριτηρίου. Ωστόσο, η σημαντικότητα των κριτηρίων γίνεται μέσω πέντε διαφορετικών προφίλ προτίμησης (preference profiles), καθώς η αξιολόγηση των κριτηρίων είναι υποκειμενική.

Αναφορικά με την αποτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης ενός περιστατικού, να αναφέρουμε αρχικά ότι οι πηγές πληροφόρησης είναι συνήθως βασισμένες σε ιστορικό, πιθανοτικά μοντέλα, σε δένδρα απόφασης (decision trees) και αναλύσεις δικτύου, αλλά και σε απόψεις ειδικών. Εν συνεχεία, η πιθανότητα χωρίζεται επίσης σε πέντε κατηγορίες, όπου κατηγορία Α (Εξαιρετικά Απίθανο), την κατηγορία Β (Απίθανο), την κατηγορία C (Δυνατό - Possible), την κατηγορία D (Πιθανό – Likely) και την κατηγορία Ε (Πολύ Πιθανό). Επίσης, στις κατηγορίες από Α έως D, η πιθανότητα χωρίζεται σε επιπλέον τρεις υποκατηγορίες, Χαμηλή (Low), Μεσαία (Medium) και Υψηλή (High). Η δημιουργία υποκατηγοριών είναι σημαντική για να καθορίζονται η προβλεπόμενη τιμή για την πιθανότητα του συμβάντος (V), το κατώτερο όριο για την πιθανότητα του συμβάντος (O) και το ανώτατο όριο για την πιθανότητα του συμβάντος (B). Η πιθανότητα ενός περιστατικού καθορίζεται πρώτον από το ερέθισμα (trigger), δηλαδή την αιτία του συμβάντος. Γι' αυτό γίνεται διαχωρισμός μεταξύ των σεναρίων κινδύνου (hazard scenarios), δηλαδή των περιστατικών λόγω μη κακόβουλων ή εσκεμμένων ενεργειών και των σεναρίων απειλής (threat scenarios), τα οποία προέρχονται από κακόβουλη πρόθεση. Πιο συγκεκριμένα:

Σενάρια Κινδύνου:

Σε αυτό το είδος σεναρίου, η πιθανότητα αποτελείται πρώτον από την πιθανότητα εμφάνισης του συγκεκριμένου σεναρίου, $P(G|O)$, όπου O είναι το ερέθισμα. Για παράδειγμα, αν το σενάριο είναι η εκδήλωση πυρκαγιάς σε μια καφετέρια της Ολλανδίας, τότε το ερέθισμα θα μπορούσε να είναι η απροσεξία των επισκεπτών σε εύφλεκτα υλικά. Δεύτερον, από την πιθανότητα το εν λόγω περιστατικό να καταλήξει στο συγκεκριμένο αντίκτυπο, $P(E|G)$, για παράδειγμα έναν αριθμό θανάτων. Όσον αφορά στις ποσότητες $f(G)$, $f(E)$ του παρακάτω τύπου, αποτελούν διορθωτικούς παράγοντες, για την αποτροπή και την καταστολή / προετοιμασία αντίστοιχα. Για παράδειγμα, την ύπαρξη μιας πιο αυστηρής πολιτικής, σχετικά με την προστασία των ευάλωτων σημείων μια υποδομής, τον αριθμό των επισκεπτών, ή των εξόδων κινδύνου.

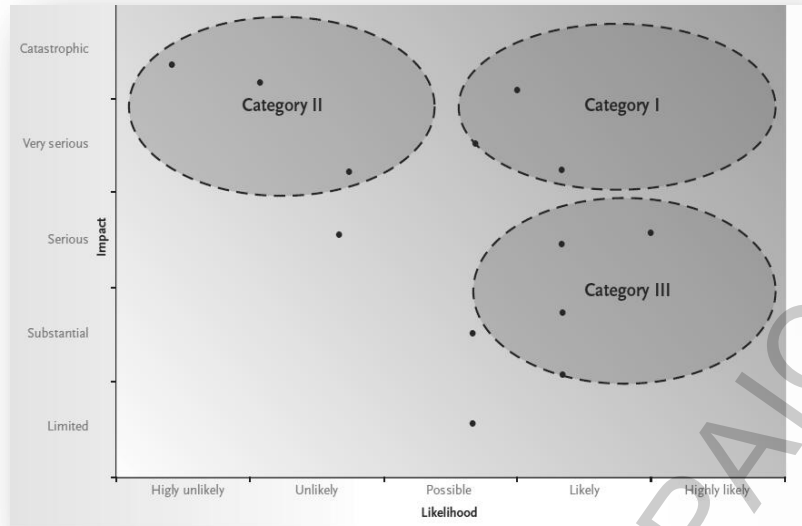
$$P(S) = P(G|O) \times P(E|G) \times f(G) \times f(E) \quad (3.1)$$

Σενάρια Απειλής:

Στην περίπτωση αυτή, για παράδειγμα η πιθανότητα μιας τρομοκρατικής ενέργειας, αποτελείται πρώτον από την πιθανότητα η συγκεκριμένη απειλή να οδηγήσει σε επίθεση (απειλή – threat). Το τελευταίο καθορίζεται από τον τύπο της απειλής και τις ικανότητες – προθέσεις των τρομοκρατικών ομάδων (ευπάθεια – vulnerability). Να διευκρινίσουμε ότι στον ακόλουθο τύπο η πιθανότητα του σεναρίου απειλής, $P(D)$, ισούται με την πιθανότητα εμφάνισης της απειλής, $P(D|O)$ και την πιθανότητα εκμετάλλευσης της ευπάθειας και επίτευξης του επιθυμητού αντικτύπου, $P(E|D)$. Η ποσότητα $f(D)$ είναι ο διορθωτικός παράγοντας, όσον αφορά στην ευπάθεια της υποδομής, η οποία οδήγησε και στην επιτυχία της απειλής – επίθεσης.

$$P(S) = F(P(D), f(D)) \quad (3.2)$$

Ως αποτέλεσμα, της συγκεκριμένης προσέγγισης για αποτίμηση της επικινδυνότητας είναι μια αναφορά ευρημάτων (findings report), η οποία περιλαμβάνει πρώτον μια σύνοψη της εισόδου (input) στην αποτίμηση, δηλαδή τις βαθμολογίες των σεναρίων αναφορικά με το αντίκτυπο και την πιθανότητα, δεύτερον ένα Διάγραμμα Επικινδυνότητας (Risk Diagram) με επεξήγηση, ενώ τρίτον μια κρίση σχετικά με την ευρωστία (robustness) των αποτελεσμάτων. Όσον αφορά στο Διάγραμμα Επικινδυνότητας, όπως προαναφέραμε στο βήμα 4 της μεθοδολογίας, απεικονίζει τα σενάρια με άξονες το αντίκτυπο και την πιθανότητα. Η απεικόνιση πραγματοποιείται με βάση τα αποτελέσματα της εν λόγω προσέγγισης. Συγκεκριμένα, τα σενάρια χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες (categories) σοβαρότητας, την κατηγορία I (Υψηλή Πιθανότητα και Υψηλό Αντίκτυπο), την κατηγορία II (Χαμηλή Πιθανότητα και Υψηλό Αντίκτυπο) και την κατηγορία III (Υψηλή Πιθανότητα και Σχετικά Χαμηλό Αντίκτυπο). Με τον τρόπο αυτό, μπορεί να δοθεί προτεραιότητα στην ανάλυση μιας συγκεκριμένης ομάδας σεναρίων - περιστατικών.



Εικόνα 3.3: Διάγραμμα Επικινδυνότητας (Risk Diagram) [6]

Στην [7] η έρευνα του Συμβουλίου Διακυβέρνησης Διεθνούς Κινδύνου (IRGC) στον τομέα των Κρίσιμων Υποδομών έδωσε έμφαση στους κινδύνους πέντε Υποδομών και στην αύξηση της αλληλεξάρτησης μεταξύ αυτών. Το Συμβούλιο είναι ένας ανεξάρτητος, μη κερδοσκοπικός οργανισμός με σκοπό να προβλέπει και να βελτιώνει την κατανόηση των παγκόσμιων κινδύνων, οι οποίοι επηρεάζουν την ανθρώπινη υγεία και ασφάλεια, το περιβάλλον, την οικονομία και την κοινωνία στο σύνολό της. Ωστόσο, οι κίνδυνοι και οι ευπάθειες των Κρίσιμων Υποδομών ήταν προτεραιότητα για το Συμβούλιο από τη στιγμή της ίδρυσής του.

Οι πέντε Υποδομές που εξετάζει είναι ο Τομέας της ηλεκτρικής ενέργειας, του εφοδιασμού φυσικού αερίου, ο ΤΠΕ (με την έννοια των παρεχόμενων υπηρεσιών στο διαδίκτυο, καθώς επίσης της παρακολούθησης και του ελέγχου άλλων Υποδομών), ο Τομέας αστικής υδροδότησης και επεξεργασίας λυμάτων και τέλος ο Τομέας σιδηροδρομικών μεταφορών. Για τις παραπάνω Υποδομές αποτίμησε τα χαρακτηριστικά τους, δηλαδή:

1. την πολυπλοκότητα,
2. την εξάρτηση άλλων Υποδομών από αυτές, την εξάρτηση των υπό εξέταση Υποδομών από άλλες Υποδομές, την εξάρτηση μεταξύ των Συστατικών της ίδιας της Υποδομής και την εξάρτηση από τον Τομέα ΤΠΕ,
3. την ευπάθεια, συμπεριλαμβανομένων του εξωτερικού αντικτύπου (φυσικοί κίνδυνοι, όπως ένα work-related construction mishap), τεχνικών και ανθρώπινων παραλείψεων (failures), κυβερνοχωρικών επιθέσεων και τρομοκρατίας,
4. και του περιβάλλοντος της αγοράς, το οποίο εμπεριέχει το βαθμό απελευθέρωσης, την επάρκεια ελέγχου και την ταχύτητα αλλαγής.

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, εκτίμησε και το βαθμό κρίσιμότητας της κάθε Υποδομής, από μια Δυτική κοινωνική πλευρά, χρησιμοποιώντας τους παράγοντες της έκτασης της γεωγραφικής περιοχής που επηρεάστηκε, του μεγέθους του αντικτύπου ή των απωλειών και τις επιδράσεις του χρόνου από μια πιθανή διακοπή ή υποβάθμιση της υπηρεσίας. Ο παράγοντας της έκτασης ωστόσο εξετάζει ενδεχόμενες διαδοχικές (cascading) διακρατικές επιδράσεις που μπορεί να

εμφανιστούν ως αποτέλεσμα των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της εκάστοτε Υποδομής.

Ο πίνακας αποτίμησης που προκύπτει, στοχεύει σε μια βασική καθοδήγηση όσον αφορά στο σημείο που θα πρέπει να δοθεί έμφαση, αλλά και στα μέτρα για την αντιμετώπιση τυχόν ευπαθειών. Να διευκρινίσουμε ότι το χρώμα κόκκινο υποδηλώνει υψηλή τιμή, το πράσινο χαμηλή και το κίτρινο μια ενδιάμεση.

			Electri- city	Gas	Rail- ways	ICT	Urban Water
Infrastructure characteristics	Complexity	Physical	Red	Green	Yellow	Red	Green
		Organisational	Red	Green	Yellow	Red	Green
		Speed of change	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Yellow
	Dependence (interconnectedness)	On other infrastructures	Yellow	Green	Red	Red	Yellow
		For other infrastructures	Red	Green	Red	Red	Yellow
		Intra-infrastructure	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Green
		ICT control	Yellow	Green	Red	Red	Yellow
	Vulnerability	External impact*	Red	Green	Yellow	Green	Yellow
		Technical/human failure	Red	Green	Red	Red	Green
		Cyber attacks	Yellow	Yellow	Red	Red	Yellow
		Terrorist target	Red	Yellow	Red	Red	Red
	Market environment	Degree of liberalisation	Red	Yellow	Yellow	Green	Yellow
		Inadequacy of control	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Green
		Speed of change	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Yellow
Criticality	Degree of criticality – factors	Scope**	Red	Yellow	Yellow	Red	Green
		Magnitude	Red	Green	Yellow	Yellow	Yellow
		Effects of time	Red	Green	Yellow	Yellow	Yellow
	Overall degree of criticality	Red	Green	Yellow	Yellow	Red	Green

Εικόνα 3.4: Πίνακας Αποτίμησης Επικινδυνότητας για Πέντε Υποδομές [7]

3.2.2 Αμερικανικές Προσεγγίσεις

Η Καναδική προσέγγιση [8] έχει αναπτυχθεί από τον κλάδο διαχείρισης έκτακτων αναγκών και εθνικής ασφάλειας της Δημόσιας Ασφάλειας και Ετοιμότητας Έκτακτων Αναγκών του Καναδά (PSEPC) και συγκεκριμένα μέσω του προγράμματος Διασφάλισης της Εθνικής Κρίσιμης Υποδομής (NCIAP). Στόχος του τελευταίου, ήταν να προσδιορίσει τα αγαθά και να καθορίσει την κρισιμότητα αυτών, σαν τμήμα μιας ενσωματωμένης διαδικασίας διαχείρισης επικινδυνότητας, έτσι ώστε να προστατευθούν τα κρίσιμα αγαθά και να διασφαλιστούν οι κρίσιμες υπηρεσίες. Το «Critical Infrastructure Priority Assessment Screening Model» που προτείνεται αντικατοπτρίζει την προσέγγιση διαχείρισης επικινδυνότητας πάνω στην οποία βασίζεται το NCIAP. Προκειμένου να προσδιορίσουν και να βαθμολογήσουν τα κρίσιμα αγαθά (critical assets) προτείνονται τα ακόλουθα βήματα:

- *Καταγραφή των Αγαθών*

Αρχικά προσδιορίστηκαν οι κρίσιμοι τομείς, δηλαδή αυτός της Ενέργειας, των Τηλεπικοινωνιών και της Πληροφορικής, της Οικονομίας, της Υγείας, των Βασικών αναγκών (φαγητού και νερού), των Μεταφορών, της Ασφάλειας, της Κυβέρνησης και της Βιομηχανίας. Στη συνέχεια, καταγράφηκαν οι υπο-Τομείς προκειμένου να εστιάσουν στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εκάστοτε υποδομής.

- *Καθορισμός Κρισιμότητας*

Προτείνεται η χρήση ποιοτικών μέτρων, όπως «Χαμηλή», «Μεσαία» και «Υψηλή». Επίσης, η αξιολόγηση μιας Υποδομής ως προς την κρισιμότητά της γίνεται μέσω παραγόντων αντικτύπου (impact factors) ή παραγόντων κρίσιμων αγαθών (critical asset factors) και κριτηρίων συνεπειών (consequence criteria).

- *Αποτίμηση του Αντικτύπου της Απώλειας ενός Αγαθού*

Γίνεται χρήση των λεγόμενων παραγόντων αντικτύπου, τα οποία αποτελούν κριτήρια που χρησιμοποιούνται έτσι ώστε να δοθεί προτεραιότητα σε κρίσιμα αγαθά και Υποδομές. Για την αποτίμηση του αντικτύπου προτείνονται οι ακόλουθοι παράγοντες. Οι τελευταίοι αναλύονται με βάση την έκταση (scope), το μέγεθος (magnitude) και χρονική διάρκεια.

Πιο αναλυτικά, ο πρώτος παράγοντας, «Concentration of people and assets» αναφέρεται στον αριθμό των θανάτων, των τραυματιών και των επιπτώσεων στο περιβάλλον, ενώ εστιάζει σε εταιρικό επίπεδο. Εν συνεχεία, είναι οι οικονομικές απώλειες, «Economic factor», λόγο φυσικών, πληροφοριακών και ανθρώπινων βλαβών, το οποίο εστιάζει επίσης σε εταιρικό επίπεδο. Ο τρίτος παράγοντας, «Critical infrastructure Sector (CIS)», εστιάζει σε επίπεδο τομέα και αναφέρεται στην επιρροή των απωλειών των αγαθών ή των υπηρεσιών σε έναν τομέα κρίσιμων υποδομών. Το αντίκτυπο της αλληλεξάρτησης εστιάζει σε διατομεακό επίπεδο και εξετάζει την επίδραση που έχει σε άλλες κρίσιμες υπηρεσίες ή τομείς η απώλεια ή υποβάθμιση μιας υπηρεσίας. Το εν λόγω κριτήριο παρέχει επίσης και αποτίμηση των πιθανών εξαρτήσεων που έχουν άλλες κρίσιμες υπηρεσίες με το συγκεκριμένο αγαθό. Στόχος είναι να ελεγχθεί κατά πόσο η απώλεια ενός αγαθού ή μιας υπηρεσίας μπορεί να επηρεάσει άλλες κρίσιμες υπηρεσίες εντός του ίδιου τομέα ή διαφορετικού και να οδηγήσει σε ένα cascading effect. Να αναφέρουμε ότι οι αλληλεξαρτήσεις σε αυτήν την περίπτωση είναι φυσικές, χωρικές και λογικές. Σχετικά με την παροχή υπηρεσιών, «Service delivery» σε διατομεακό επίπεδο, είναι ένας συνδυασμός διαθεσιμότητας, χρόνου και κόστους που προκύπτει πριν την ανάκτηση μιας υπηρεσίας ή ενός αγαθού μετά από απώλεια. Ως τελευταίος παράγοντας ορίζεται η δημόσια εμπιστοσύνη, «Public confidence», στην ικανότητα για παράδειγμα της κυβέρνησης να προστατεύσει τη δημόσια υγεία, την ασφάλεια της οικονομίας ή να διαβεβαιώσει την παροχή βασικών υπηρεσιών, ως αποτέλεσμα της απώλειας ενός αγαθού ή μιας υπηρεσίας.

- *Αποτίμηση των Συνεπειών της Απώλειας ενός Αγαθού*

Θέτονται ερωτήματα στην ομάδα αποτίμησης προκειμένου να αποκτηθούν επιπρόσθετες πληροφορίες για τις συνέπειες που σχετίζονται με τον εκάστοτε παράγοντα αντικτύπου. Ενδεικτικές ερωτήσεις μπορούν να βασιστούν στα υπάρχοντα σχέδια ασφάλειας και αποτιμήσεις, όπως για παράδειγμα η αποτίμηση ευπαθειών (VA), τα σχέδια επιχειρησιακής συνέχειας (BCPs), τα σχέδια ανάκαμψης από καταστροφή (DRPs) και τα σχέδια διαχείρισης έκτακτων αναγκών (EMPs).

- Χρήση ενός Συνόλου Κανόνων για τη Βαθμολόγηση των Αγαθών
Για τη δημιουργία του «Critical Infrastructure Priority Assessment Screening Model», προτείνονται οι κανόνες που φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα και οι οποίοι βασίζονται στα κριτήρια συνεπειών.

Πίνακας 3-2: Παράγοντες Αντικτύπου και Κριτήρια Συνεπειών [8]				
Βαθμολογία				
	15	5	3	2
Παράγοντες Αντικτύπου	Σοβαρό	Υψηλό	Μεσαίο	Χαμηλό
Συγκέντρωση Ανθρώπων και Αγαθών	> 10000 άνθρωποι	1000 – 10000 άνθρωποι	100 – 1000 άνθρωποι	< 100 άνθρωποι
Οικονομικό Αντίκτυπο (Απώλεια Κρίσιμων Πληροφοριών και Υλικού)	Αποκατάσταση > 1 δισεκατομμυρίου \$	Αποκατάσταση 100 εκ - 1 δισεκατομμύριο \$	Αποκατάσταση 10 – 100 εκ \$	Αποκατάσταση < 10 εκ \$
Τομέας Κρίσιμων Υποδομών	Διεθνή επιρροή	Εθνική	Επαρχιακή ή περιφερειακή	Τοπική
Αλληλεξάρτηση	Εξουθενωτική επιρροή σε άλλους τομείς	Σημαντική	Μέτρια	Μικρή
Μεταφορά Υπηρεσίας	Υψηλό διατομεακό κόστος και χρόνο ανάκαμψης > 1 έτος	Υψηλό κόστος και μεγάλο χρόνο ανάκαμψης (μήνες – έτος)	Μεσαίο κόστος και σημαντικό χρόνο ανάκαμψης (ημέρες – εβδομάδες)	Χαμηλό κόστος και σύντομο χρόνο ανάκαμψης (ώρες – ημέρες)
Δημόσια Εμπιστοσύνη	Αμφίβολη η ικανότητα ελέγχου υψηλού εθνικού κινδύνου	Χαμηλή ικανότητα ελέγχου υψηλού εθνικού κινδύνου	Μέτρια ικανότητα ελέγχου μέτριου κινδύνου	Υψηλή ικανότητα ελέγχου χαμηλού κινδύνου

Ο ακόλουθος πίνακας αναπαριστά το σύνολο των αγαθών ως προς αποτίμηση, το σύνολο των παραγόντων αντικτύπου και το συνολικό βαθμό του κάθε αγαθού σε αυτούς.

Πίνακας 3-3: Τελική μορφή αποτίμησης [8]							
Λίστα αγαθών	Παράγοντες Αντικτύπου						Συνολική Βαθμολογία
...	Συγκέντρωση Ανθρώπων και Αγαθών	Οικονομικό Αντίκτυπο	Τομέας Κρίσιμων Υποδομών	Αλληλεξάρτηση	Μεταφορά Υπηρεσίας	Δημόσια Εμπιστοσύνη	...

Επίσης, το 2009 οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής υιοθέτησαν το «Εθνικό Πλάνο Προστασίας Υποδομών» (National Infrastructure Protection Plan - NIPP) [9]. Το Νομοσχέδιο Εσωτερικής Ασφάλειας (HSA) του 2002 αναθέτει στο DHS την αρμοδιότητα για την προστασία των Κρίσιμων Υποδομών μέσω ενός εθνικού σχεδίου, αλλά και την πρόταση μέτρων για να επιτευχθεί αυτό, σε συντονισμό με

άλλες υπηρεσίες της Ομοσπονδιακής Κυβέρνησης και κατόπιν συνεργασίας με το Κράτος και τις τοπικές κυβερνητικές υπηρεσίες και αρχές, τον ιδιωτικό τομέα, και άλλους φορείς. Μέσω της Προεδρικής Οδηγίας Εσωτερικής Ασφάλειας 7 (HSPD-7) [10], δημιουργήθηκε το επιθυμητό εθνικό σχέδιο. Κατόπιν, ο Πρόεδρος ανέθεσε στον Υπουργό Εσωτερικής Ασφάλειας να κατευθύνει τις προσπάθειες για την προστασία των Κρίσιμων Υποδομών από τους εμπλεκόμενους που προαναφέραμε, ενώ στους SSAs την εφαρμογή του πλαισίου NIPP σε κάθε Τομέα, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τους κινδύνους του εκάστοτε, με αποτέλεσμα να υπάρχουν 18 SSPs.

Στο πλαίσιο του «Εθνικού Πλάνου Προστασίας Υποδομών» ο όρος προστασία περιλαμβάνει ενέργειες για την αποτροπή των απειλών, τον μετριασμό των ευπαθειών, ή την ελαχιστοποίηση των συνεπειών, αναφορικά με μια τρομοκρατική επίθεση ή άλλη ανθρωπογενή ή φυσική καταστροφή. Ενδεικτικά παραδείγματα τέτοιων ενεργειών είναι η βελτίωση των πρωτοκόλλων ασφάλειας, η εισαγωγή ανθεκτικότητας και πλεονασμού, η εγκατάσταση συστημάτων ασφάλειας και η υλοποίηση μέτρων για προστασία στον κυβερνοχώρο, εκπαίδευση και σχέδιο επιχειρησιακής συνέχειας.

Το πρόγραμμα του «Εθνικού Πλάνου Προστασίας Υποδομών» καλύπτει περισσότερους τομείς ως κρίσιμες υποδομές, σε σχέση με την Οδηγία 114/08, η οποία περιορίζεται στους τομείς της ενέργειας και της μεταφοράς, όπως βλέπουμε και στην παρακάτω εικόνα.

MACROSECTORS US NIPP	MACROSECTORS EU DIRECTIVE 114/08	
Agriculture and food	Energy	Electricity
Bank and finances		Oil
Communications		Natural gas
Military installations and defence	Transport	Roads and highways
Energy		Railroads
Technologies of information		Aviation
National monuments and icons		Inland waterways
Transportation systems		Shipping and ports
Drinking water treatment plants		

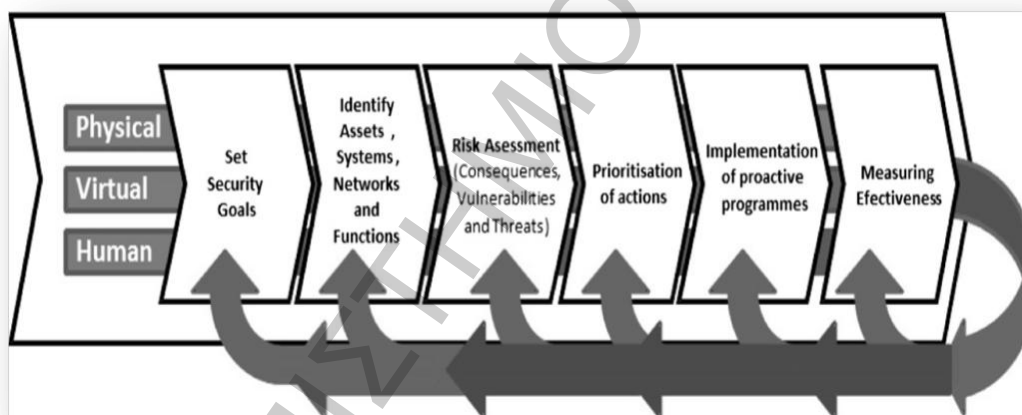
Εικόνα 3.5: Τομείς Κρίσιμων Υποδομών στο Πρόγραμμα NIPP και την Οδηγία 114/08 [1]

Το «Εθνικό Πλάνο Προστασίας Υποδομών» παρέχει ένα περιεκτικό και ενοποιημένο πλαίσιο για την προστασία κρίσιμης υποδομής και βασικών πόρων (CI/KR). Πιο συγκεκριμένα, ασχολείται με τις αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των τομέων, την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο (cybersecurity) και τη διεθνή φύση των απειλών σε μια κρίσιμη υποδομή. Όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα το πλαίσιο διαχείρισης επικινδυνότητας NIPP χωρίζεται σε έξι βήματα:

- *Βήμα 1: Καθορισμός των Στόχων Ασφάλειας*

Σε αυτό το σημείο λαμβάνονται υπ' όψιν κρίσιμα ζητήματα, όπως η απώλεια ανθρώπινης ζωής, το οικονομικό αντίκτυπο και το αντίκτυπο στην εθνική ασφάλεια.

- *Βήμα 2: Προσδιορισμός Αγαθών, Συστημάτων, Δικτύων και Λειτουργιών*
Είναι το πρώτο βήμα έτσι ώστε μια υποδομή να εξασφαλίσει την ανθεκτικότητά (resilience) της.
- *Βήμα 3: Αποτίμηση Επικινδυνότητας (Risk Assessment)*
Μέσω ποσοτικών, συστηματικών και αυστηρών διαδικασιών παράγονται ολοκληρωμένα αποτελέσματα.
- *Βήμα 4: Ιεράρχηση (Prioritization) Ενεργειών*
Το Τμήμα Εσωτερικής Ασφάλειας της Αμερικής (DHS) μέσω της ιεράρχησης, προσδιορίζει πότε η μείωση της επικινδυνότητας είναι πιο σημαντική και στη συνέχεια καθορίζει ποια μέτρα προστασίας θα πρέπει να παρθούν, καταλήγοντας σε μια πιο αποδοτική από πλευράς κόστους απόφαση.
- *Βήμα 5: Υλοποίηση Προγραμμάτων Προστασίας (protective – proactive)*
Υλοποίηση των μέτρων προστασίας που έχουν καθοριστεί στο προηγούμενο βήμα.
- *Βήμα 6: Μέτρηση Αποτελεσματικότητας*
Η αποτελεσματικότητα των προηγούμενων βημάτων αξιολογείται σε αυτό το στάδιο, μέσω κατάλληλων δεικτών.



Εικόνα 3.6: Πλαίσιο Διαχείρισης Επικινδυνότητας (Risk Management) για CI/KR – NIPP [1]

Να σημειώσουμε ότι προκειμένου να υπάρχει η δυνατότητα συνεχούς βελτίωσης, το πλαίσιο παρέχει και επιλογές ανάδρασης (feedback).

Η εκτίμηση επικινδυνότητας στο «Εθνικό Πλάνο Προστασίας Υποδομών» για κάθε σενάριο είναι μια συνάρτηση της συνέπειας, της ευπάθειας και της απειλής.

$$R = f(C, V, T) \quad (3.3)$$

Με άλλα λόγια, η επικινδυνότητα επηρεάζεται από τη φύση και το μέγεθος της απειλής, τις ευπάθειες σε αυτήν την απειλή και τις συνέπειες που μπορούν να προκύψουν μετά από την επιτυχία της απειλής. Τα κριτήρια που χρησιμοποιεί το «Εθνικό Πλάνο Προστασίας Υποδομών» για να αξιολογήσει τις συνέπειες, χωρίζονται σε τέσσερις (4) βασικές κατηγορίες, τη δημόσια υγεία και ασφάλεια, με επιδράς

εις στην ανθρώπινη ζωή και τη φυσική ευεξία (ασθένειες, τραυματισμοί), τις άμεσες (κόστος ανάκαμψης και αποκατάστασης των αγαθών) και έμμεσες (κόστος που απορρέει από τη διακοπή της υπηρεσίας ή του προϊόντος, μακροπρόθεσμα κόστη λόγω περιβαλλοντικής ζημιάς) οικονομικές απώλειες, τον ψυχολογικό παράγοντα, με ενδεχόμενη επιρροή στη δημόσια ηθική και εμπιστοσύνη, σε οικονομικούς και πολιτικούς θεσμούς, αλλά και τη διακυβέρνηση / αποστολή, δηλαδή την ικανότητα της κυβέρνησης ή της βιομηχανίας να διατηρήσει την τάξη, να μεταφέρει τις βασικές υπηρεσίες, να εξασφαλίσει τη δημόσια υγεία και ασφάλεια και να διεξάγει εθνικές εκστρατείες ασφάλειας.

Το «Εθνικό Πλάνο Προστασίας Υποδομών» χρησιμοποιεί ένα σύνολο βασικών κριτηρίων (core criteria), για τις αποτιμήσεις επικινδυνότητας, έτσι ώστε να προσδιορίσει τα χαρακτηριστικά και τις πληροφορίες που χρειάζονται για την παραγωγή αποτελεσμάτων, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σύγκριση επικινδυνότητας μεταξύ των Τομέων. Συγκεκριμένα, τα κριτήρια αυτά περιλαμβάνουν ορισμένες βασικές αρχές οι οποίες εφαρμόζονται σε όλα τα τμήματα μιας μεθοδολογίας επικινδυνότητας, αλλά και σε συγκεκριμένες οδηγίες σχετικά με τις πληροφορίες που θα πρέπει να λάβουν υπόψη για κάθε συστατικό της επικινδυνότητας (C, V, T). Όσον αφορά στις αρχές, το «Εθνικό Πλάνο Προστασίας Υποδομών» ορίζει ότι μια αποτίμηση επικινδυνότητας θα πρέπει να αναφέρει επαρκώς τις χρησιμοποιούμενες πληροφορίες και πως αυτές συνδυάζονται, να παράγει συγκρίσιμα και επαναλαμβανόμενα αποτελέσματα ακόμη και στην περίπτωση αποτιμήσεων διαφορετικών Κρίσιμων Υποδομών και από διαφορετικούς αναλυτές. Με άλλα λόγια, μια αποτίμηση θα πρέπει όσο το δυνατόν να μην επηρεάζεται από υποκειμενικές κρίσεις. Επίσης, θα πρέπει σύμφωνα με το «Εθνικό Πλάνο Προστασίας Υποδομών» να χρησιμοποιούνται ειδικοί στον τομέα της αποτίμησης επικινδυνότητας και τυχόν αβεβαιότητα σχετικά με τις εκτιμήσεις συνεπειών, ευπαθειών και απειλών θα πρέπει να αναφέρονται. Σημαντική θεωρείται και η αποτίμηση των τριών συστατικών του κινδύνου για το εκάστοτε σενάριο επικινδυνότητας. Στο τελευταίο, στηρίζονται και οι οδηγίες των βασικών κριτηρίων, τις οποίες για λόγους πληρότητας αναφέρουμε ακολούθως.

- *Οδηγίες για Αποτίμηση Συνεπειών (Consequence Assessment)*

Αρχικά θα πρέπει να καταγράφονται τα σενάρια που έχουν αποτιμηθεί, τα εργαλεία που έχουν χρησιμοποιηθεί και οποιαδήποτε σημαντική υπόθεση έχει γίνει. Στη συνέχεια, γίνεται αποτίμηση του αριθμού των τραυματιών, των θανάτων, των ασθενειών, όπου αυτό είναι εφικτό, επίσης της οικονομικής απώλειας, προσδιορίζοντας το είδος και τη διάρκεια αυτής, καθώς και οι υπόλοιποι δύο παράγοντες που έχουμε προαναφέρει. Μπορούν επιπρόσθετα να καταγραφούν τυχόν μέτρα προστασίας, αφότου το περιστατικό έχει λάβει χώρα.

- *Οδηγίες για την Αποτίμηση Ευπαθειών (Vulnerability Assessment)*

Να γίνει καταγραφή των ευπαθειών που σχετίζονται με φυσικούς, κυβερνοχωρικούς και ανθρώπινους παράγοντες (εσωτερικών και εξωτερικών απειλών), με κρίσιμες εξαρτήσεις και φυσική εγγύτητα με τους κινδύνους (hazards). Να περιγραφούν όλα τα υπάρχοντα μέτρα και πως αυτά μπορούν να μειώσουν την ευπάθεια του κάθε σεναρίου, αλλά και να εκτιμηθεί η πιθανότητα επιτυχίας του κάθε σεναρίου. Όσον αφορά στους φυσικούς κινδύνους (hazards), να γίνεται αποτίμηση της πιθανότητας πρόκλησης ζημιάς σε ένα αγαθό, σύστημα, ή δίκτυο, δεδομένου ότι ο κίνδυνος συμβαίνει στην περιοχή ενδιαφέροντος για το σενάριο κινδύνου.

- *Οδηγίες για την Αποτίμηση Απειλών (Threat Assessment) - HITRAC*

- *Εχθρική Απειλή*

Προτείνεται ο καθορισμός της ικανότητας ενός κακόβουλου να αναγνωρίσει το στόχο, αλλά και του βαθμού αποτροπής που εμπεριέχουν τα υπάρχοντα μέτρα ασφάλειας. Επίσης, να προσδιοριστούν οι μέθοδοι επίθεσης που ενδέχεται να πραγματοποιηθούν σε συνδυασμό με την ικανότητα ενός κακόβουλου να τις επιτύχει και το βαθμό σπουδαιότητας που έχει για τον τελευταίο να επιτεθεί στο στόχο. Σημαντικό θεωρείται να εκτιμηθεί η απειλή ως η πιθανότητα ο επιτιθέμενος να επιχειρήσει μια δεδομένη μέθοδο επίθεσης εναντίον του στόχου. Ωστόσο, αν η πιθανότητα απειλής δεν μπορεί να εκτιμηθεί, αναφέρεται η χρήση υποθετικών τιμών επικινδυνότητας (συνέπεια, ευπάθεια).

- *Φυσικές Καταστροφές και Κίνδυνοι Χωρίς Πρόθεση*

Προτείνεται η χρήση εργαλείων ανάλυσης (analytic tools) και ιστορικών δεδομένων για την εκτίμηση της πιθανότητας κάποιο περιστατικό να επηρεάσει τις Κρίσιμες Υποδομές.

3.2.3 Βασική Προσέγγιση Αποτίμησης Επικινδυνότητας

Μια προσέγγιση που υπάρχει στη βιβλιογραφία, σχετικά με την προστασία των Κρίσιμων Υποδομών και συγκεκριμένα αυτής της εκτίμησης της κρισιμότητας τους είναι η [11]. Η εν λόγω ανάλυση επικινδυνότητας, σε αντίθεση με την παραδοσιακή, δίνει έμφαση στο πιθανό αντίκτυπο σε μια κοινωνία ή έναν Τομέα (Sector), εξετάζει τις αλληλεξαρτήσεις, ενώ το αντίκτυπο είναι πολύ πιο υψηλό. Συγκεκριμένα, για να χαρακτηρίσει μια Υποδομή ως Κρίσιμη για την κοινωνία, ή τον Τομέα στον οποίο ανήκει, αποτιμά το επίπεδο αντικτύπου (impact level) που θα προκύψει από την παρουσία απειλών ασφάλειας. Οι παράγοντες αντικτύπου (impact factors) ή οι παράγοντες κρίσιμων αγαθών (critical asset factors), αποτελούν κριτήρια που χρησιμοποιούνται έτσι ώστε να δοθεί προτεραιότητα σε κρίσιμα αγαθά και υποδομές. Η μεθοδολογία για ανάλυση κρισιμότητας (criticality analysis) που προτείνεται αποτελείται από τα παρακάτω έξι βήματα:

- *Προσδιορισμός των Κρίσιμων Αγαθών*

Όμοια με την ανάλυση επικινδυνότητας (risk analysis) καταγράφονται τα αγαθά της υπό εξέταση Κρίσιμης Υποδομής.

- *Καθορισμός των Διασυνδέσεων (Interconnections) και Εξαρτήσεων*

Οι διασυνδέσεις χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, των εξαρτώμενων (dependent) Κρίσιμων Υποδομών, δηλαδή Υποδομών που εξαρτώνται από την υπό εξέταση Υποδομή και των απαιτούμενων (requisite), δηλαδή Υποδομών που απαιτούνται από την υπό εξέταση Υποδομή για τη λειτουργία της. Στην ανάλυση κρισιμότητας οι διασυνδεδεμένες Κρίσιμες Υποδομές, οι οποίες συνεπάγονται ένα γενικό κοινωνικό κίνδυνο, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ακόμη και στην περίπτωση που δεν επιφέρουν κάποιο κίνδυνο για την Υποδομή. Το τελευταίο επιβάλλεται καθώς οι διασυνδέσεις βοηθούν στην εκτίμηση των σφαιρικών απειλών και ευπαθειών εντός των διασυνδεδεμένων Κρίσιμων Υποδομών.

- *Εκτίμηση του Αντικτύπου Κρισιμότητας (Criticality Impact)*

Οι Παράγοντες Αντικτύπου (Impact Factors), τους οποίους θα αναφέρουμε στη συνέχεια, δίνουν έμφαση στο κοινωνικό παρά στο εσωτερικό αντίκτυπο και η εκτίμησή του γίνεται με βάση την έκταση, τη σοβαρότητα και το χρόνο.

- *Καθορισμός Απειλών*

Καθώς η ανάλυση κρισιμότητας βασίζεται στις διασυνδεδεμένες Κρίσιμες Υποδομές, θα πρέπει να δημιουργηθεί μια λίστα των εν δυνάμει απειλών. Ενδεικτικά να αναφέρουμε, την προσποίηση ενός αυθεντικοποιημένου χρήστη (masquerading attack), τη μη αυθεντικοποιημένη χρήση πόρων τη Υποδομής, την εισαγωγή ιομορφικού λογισμικού, την παρεμπόδιση (interception) ή παραποίηση (manipulation) επικοινωνιών, τις αποτυχίες επικοινωνίας, τις αποτυχίες τεχνικής φύσεως, τις διακοπές ρεύματος, τις αποτυχίες λογισμικού, τα λειτουργικά σφάλματα, τα σφάλματα συντήρησης, τα σφάλματα χρηστών, τη φωτιά, τις φυσικές καταστροφές, τις ελλείψεις προσωπικού, την εκ προθέσεως καταστροφή, την τρομοκρατία και την κατασκοπεία.

- *Εκτίμηση του Επιπέδου Απειλών και Ευπαθειών*

Οι πιθανές απειλές αφορούν τόσο το εσωτερικό της υπό εξέταση Κρίσιμης Υποδομής, αλλά και όλη την έκταση των διασυνδέσεων και εξαρτήσεων αυτής. Η πιθανότητα της απειλής μπορεί να βασιστεί στο ιστορικό προηγούμενων περιστατικών, στην υπάρχουσα βιβλιογραφία και σε συνεντεύξεις με ειδικούς. Οι απειλές που συναντώνται σε μια Κρίσιμη Υποδομή είναι ένα υπερσύνολο όσων συναντάμε σε μια παραδοσιακή ανάλυση επικινδυνότητας. Ομοίως, πρέπει να γίνει ο καθορισμός και των ευπαθειών της Υποδομής, ο οποίος δεν είναι εύκολος, καθώς οι ευπάθειες μπορεί να κληρονομηθούν και από άλλες Κρίσιμες Υποδομές.

- *Εκτίμηση των «Criticality Risk Factors»*

Όπως συμβαίνει και στην τυπική ανάλυση επικινδυνότητας, η επικινδυνότητα είναι συνάρτηση των απειλών, των ευπαθειών και του αντικτύπου κρισιμότητας. Πιο συγκεκριμένα:

$$\begin{aligned} \text{Επικινδυνότητα} &= (\text{Απειλή} \times \text{Ευπάθεια}) \times \text{Αντίκτυπο} \\ &= (\text{Πιθανότητα}) \times \text{Συνέπεια} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Ο πίνακας που ακολουθεί περιέχει τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη στην εν λόγω αποτίμηση επικινδυνότητας.

Πίνακας 3-4: Παράγοντες Αντικτύπου (Impact Factors) για Προσδιορισμό των Κρίσιμων Υποδομών [11]

Παράγοντες Αντικτύπου	Κριτήρια		
	Έκταση	Σπουδαιότητα	Χρόνος
	Πληγείς Πληθυσμός	Οικονομικό Αντίκτυπο	Χρόνος Ανάκαμψης
	Συγκέντρωση Πληθυσμού	Αλληλεξάρτηση	Διάρκεια
	Εμβέλεια	Δημόσια Εμπιστοσύνη	<ul style="list-style-type: none"> • Μέγιστο Αντίκτυπο (Impact Peak) • Μεταβολή Κρισιμότητας (Critical Time Frames)
		Διεθνείς Σχέσεις	
		Δημόσια Τάξη	
		Πολιτική και Λειτουργία της Δημόσιας Υπηρεσίας	
		Ασφάλεια	
		Άμυνα	

Πιο συγκεκριμένα, όπως βλέπουμε, τα κριτήρια χωρίζονται σε τρεις διακριτές κατηγορίες, την έκταση, τη σοβαρότητα και το χρόνο. Η πρώτη αποτελείται από τον Πληγέντα Πληθυσμό (Population Affected) λόγω ενός συμβάντος, την Πυκνότητα του Πληθυσμού (Population Concentration), άνθρωποι/km², και την Εμβέλεια (Range), έτσι ώστε να προσδιορίσει κατά πόσο ένα περιστατικό είναι τοπικό ή διεθνές παραδείγματος χάριν. Στη συνέχεια, η Σοβαρότητα/Σπουδαιότητα ενός περιστατικού εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Καταρχήν, εξαρτάται από την Οικονομική Επίπτωση (Economic Impact) ενός συμβάντος, όπως για παράδειγμα τις απώλειες στην ίδια την Υποδομή από την υποβάθμιση της υπηρεσίας, ή τις απώλειες σε αγαθά και πληροφορία, το κόστος ανάκαμψης (recovery cost), αλλά και την εκτιμώμενη απώλεια λόγω των διαδοχικών επιδράσεων (cascading effects). Για την εκτίμηση της οικονομικής απώλειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (GDP). Ο επόμενος παράγοντας, αυτός της Αλληλεξάρτησης (Interdependency) ο οποίος είναι βασικός όρος στην παρούσα εργασία, εκτιμά την πιθανότητα μιας διαδοχικής επίδρασης εντός ενός Τομέα και μεταξύ διαφόρων Τομέων. Η Δημόσια Εμπιστοσύνη (Public Confidence) στη συνέχεια εκτιμά την επίπτωση στη δημόσια εμπιστοσύνη ή στην ικανότητα της κυβέρνησης για παράδειγμα να προσφέρει δημόσιες υπηρεσίες και να διατηρεί την υγεία και την ασφάλεια. Οι επόμενοι πέντε παράγοντες που ακολουθούν χρησιμοποιούνται στην ανάλυση επικινδυνότητας και στην προστασία Κρίσιμων Υποδομών, είναι κατά βάση κοινωνικής φύσεως, έχουν σχετικά υψηλή εκτίμηση (7 έως 10 στην κλίμακα από 1 έως 10), ενώ γενικά δεν εφαρμόζονται στους εμπορικούς οργανισμούς. Ο πρώτος παράγοντας είναι οι Διεθνείς Σχέσεις (International Relations) και αντιπροσωπεύει την επίπτωση ενός περιστατικού στις διπλωματικές σχέσεις μιας χώρας, όπως για παράδειγμα η ακύρωση συμφωνιών εμπορίου. Ο δεύτερος παράγοντας αξιολογεί την επίπτωση στη Δημόσια Τάξη (Public Order), εξαιτίας για παράδειγμα της αποκάλυψης εμπιστευτικών πληροφοριών, ή της μη διαθεσιμότητας κρίσιμων δημόσιων υπηρεσιών (όπως ρεύματος, ή παροχής νερού). Ο τρίτος παράγοντας είναι αυτός της Δημόσιας Πολιτικής και Λειτουργίας (Policy and Operations of Public Service), η οποία εκτιμά την ικανότητα της κυβέρνησης να τις φέρει εις πέρας. Ο παράγοντας αυτός διαφοροποιείται από αυτόν της Δημόσιας Εμπιστοσύνης, καθώς ο πρώτος δε λαμβάνει υπόψη ψυχολογικές επιπτώσεις. Ο τέταρτος παράγοντας ακολούθως είναι η Δημόσια Ασφάλεια (Safety) και συμπεριλαμβάνει τραυματισμούς, χρόνιες ασθένειες, ακόμη και θανάτους. Ωστόσο, σε αντίθεση με τα κριτήρια έκτασης δε λαμβάνει υπόψη τον αριθμό των ατόμων που επηρεάζει. Ως πέμπτος και

τελευταίος παράγοντας είναι αυτός της Άμυνας (Defense), δηλαδή της ικανότητας της κυβέρνησης να προστατεύσει τον πληθυσμό από εχθρικές επιθέσεις, είτε λόγω αποκάλυψης ή τροποποίησης κρίσιμων πληροφοριών, είτε λόγω μη διαθεσιμότητας Κρίσιμων Υποδομών. Ο εν λόγω παράγοντας, λόγω της φύσης του έχει μεσαία έως υψηλή τιμή. Όσον αφορά στο κριτήριο του Χρόνου, όπως φαίνεται και από τον πίνακα, αποτελείται από τον Χρόνο Ανάκαμψης (Recovery Time), και τη Διάρκεια (Duration) του αντικτύπου. Το πρώτο, επηρεάζεται από τη διαθεσιμότητα κάποιου υποκατάστατου και το κόστος μέχρι την αποκατάσταση του αγαθού, ενώ το δεύτερο είναι διαφορετικό από το πρώτο, καθώς κάποιες υπηρεσίες μπορεί να αποκτούν και πάλι τη λειτουργικότητά τους, αλλά οι μακροχρόνιες επιπτώσεις από την προσωρινή μη διαθεσιμότητά τους να επηρεάζουν ακόμη την Κρίσιμη Υποδομή και το περιβάλλον της, για παράδειγμα οι οικονομικές απώλειες που προκλήθηκαν. Συνήθως η διάρκεια του αντικτύπου κυμαίνεται από κάποιες ώρες μέχρι και χρόνια. Καταληκτικά, προτείνονται και δύο παράγοντες που ανήκουν στην κατηγορία του χρόνου, αλλά εστιάζουν στη στιγμή που το κρίσιμο συμβάν λαμβάνει χώρα. Αυτοί είναι η στιγμή που το περιστατικό παράγει την πιο σοβαρή επίδρασή του (Impact Peak) και η περίοδος που αποδεικνύει μεταβολές στην κρισιμότητα (Critical Time Frames), κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας και μιας κρίσιμης κατάστασης. Οι δύο τελευταίοι παράγοντες πρέπει να εξετάζονται όταν ένα συμβάν ενδέχεται να έχει μεγαλύτερο αντίκτυπο, έτσι ώστε να εκτιμηθεί η συνολική κρισιμότητα μιας απειλής ή ενός περιστατικού. Αξίζει να σημειώσουμε ότι η συγκεκριμένη τεχνική προτείνει την προσέγγιση της χειρότερης περίπτωσης (worst-case), αντί της χρήσης της μέσης τιμής για τον υπολογισμό του αντικτύπου. Συγκεκριμένα, το αντίκτυπο υπολογίζεται για κάθε παράγοντα και αυτό με τη μεγαλύτερη τιμή λογίζεται ως το συνολικό.

Στο σημείο αυτό, παραθέτουμε έναν συγκεντρωτικό πίνακα [11], για την καλύτερη κατανόηση των παραγόντων αντικτύπου που χρησιμοποιήθηκαν από την κάθε προσέγγιση στην εν λόγω εκτίμηση επικινδυνότητας.

Πίνακας 3-5: Συγκεντρωτικός Πίνακας Παραγόντων Αντικτύπου [11]	
Κριτήρια Αντικτύπου	Προσέγγιση
Δημόσια Υγεία και Ασφάλεια	[2, 3, 6, 9]
Οικονομικό	[2, 3, 6, 8, 9]
Περιβαλλοντικό	[2, 3, 6]
Πολιτικό (Governance/Mission)	[2, 3, 6, 9]
Ψυχολογικό/Κοινωνικό	[2, 3, 6, 8, 9]
Αλληλεξάρτηση	[2, 3, 7, 5, 8]
Πολυπλοκότητα	[7]
Ευπάθεια	[7]
Περιβάλλον Αγοράς	[7]
Άνθρωποι και Αγαθά (Concentration of People and Assets)	[8]
Έκταση (Scope/Range)	[2, 3, 6, 8]
Μεταφορά Υπηρεσίας/Χρόνος ανάκαμψης	[2, 3, 5, 6, 8]
Εθνική/Εδαφική Ασφάλεια	[6, 9]

3.2.4 Προσεγγίσεις Προσανατολισμένες στον Τύπο της Υποδομής

Οι αναλύσεις επικινδυνότητας μπορεί να ποικίλλουν και όσον αφορά στην Υποδομή στην οποία εφαρμόζονται. Για το λόγο αυτό, αναφέρουμε στη συνέχεια, δύο προσεγγίσεις που συναντώνται σε δύο ιδιαίτερα Κρίσιμες Υποδομές, αυτή των μεταφορών και του υδρογόνου.

3.2.4.1 Υποδομή Σιδηροδρομικών Μεταφορών (Railway Transportation)

Στην [12] προτείνεται μια ποσοτική μέθοδος για αποτίμηση επικινδυνότητας, με έμφαση στις σιδηροδρομικές μεταφορές, οι οποίες εκθέτονται σε κινδύνους από βανδαλισμό έως τρομοκρατία. Συγκεκριμένα, επεκτείνει τον κλασικό τύπο της επικινδυνότητας (σχέση (3.4)), προκειμένου να αξιολογηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια το αντίκτυπο στους μηχανισμούς προστασίας. Οι τελευταίοι μπορούν να μετριάσουν την επικινδυνότητα, ως προστατευτικοί (protective) μειώνοντας την ευπάθεια, ως αποτρεπτικοί (deterrent) μειώνοντας την πιθανότητα εμφάνισης μιας απειλής και ως ορθολογικοί (rationalizing) μειώνοντας τη συνέπεια – καταστροφή. Στόχος είναι να υπάρχει ισορροπία μεταξύ της επένδυσης στις τεχνολογίες ασφάλειας και της επίτευξης μετριασμού του κινδύνου (risk mitigation), η λεγόμενη «cost - benefit analysis». Ο προτεινόμενος τύπος επικινδυνότητας (Κόστος του Επενδύμενου Κεφαλαίου) είναι ο ακόλουθος και μετριέται σε απώλεια χρημάτων (€) ανά χρόνο:

$$R_T = \sum_i R_i * \prod_j (1 - E_{P_j} * COV_{ji}) * (1 - E_{D_j} * COV_{ji}) * (1 - E_{R_j} * COV_{ji}) \quad (3.5)$$

Να διευκρινίσουμε ότι η ποσότητα R_T είναι ο συνολική μειωμένη επικινδυνότητα, η R_i είναι η αρχική επικινδυνότητα η οποία σχετίζεται με την απειλή i , η E_{P_j} είναι μια εκτίμηση της επίδρασης που έχει ο προστατευτικός μηχανισμός προστασίας j στην απειλή i , η E_{D_j} είναι μια εκτίμηση της επίδρασης που έχει ο αποτρεπτικός μηχανισμός προστασίας j στην απειλή i , η E_{R_j} είναι μια εκτίμηση της επίδρασης που έχει ο ορθολογικός μηχανισμός προστασίας j στην απειλή i και η COV_{ji} είναι ένα μέτρο της κάλυψης του μηχανισμού j , για παράδειγμα το ποσοστό κάλυψης της φυσικής περιοχής μιας τοποθεσίας. Στην περίπτωση των σιδηροδρομικών μεταφορών, η τοποθεσία μπορεί να είναι μια γέφυρα, ένα δωμάτιο ελέγχου, ένα γραφείο, κάθε ένα από τα οποία αποτελεί ένα κρίσιμο αγαθό, ή συνολικό (aggregate) αγαθό, ή οντότητα κινδύνου (risk entity), όπως αλλιώς αναφέρεται στη συγκεκριμένη βιβλιογραφία. Συνεπώς, όταν η παράμετρος της κάλυψης και μία από τις παραμέτρους αποτελεσματικότητας των μέτρων προστασίας αποκτήσουν τιμή ένα (1), η επικινδυνότητα εξαλείφεται.

Επίσης, προτείνεται και ο παρακάτω τύπος, έτσι ώστε να εκτιμηθεί το οικονομικό όφελος:

$$\begin{aligned} \text{Αναμενόμενο Όφελος} &= \text{Μείωση Επικινδυνότητας} - \text{Συνολική Επένδυση στην Ασφάλεια} \\ &= \left(R_T - \sum_i R_i \right) - \sum_i C_j \end{aligned} \quad (3.6)$$

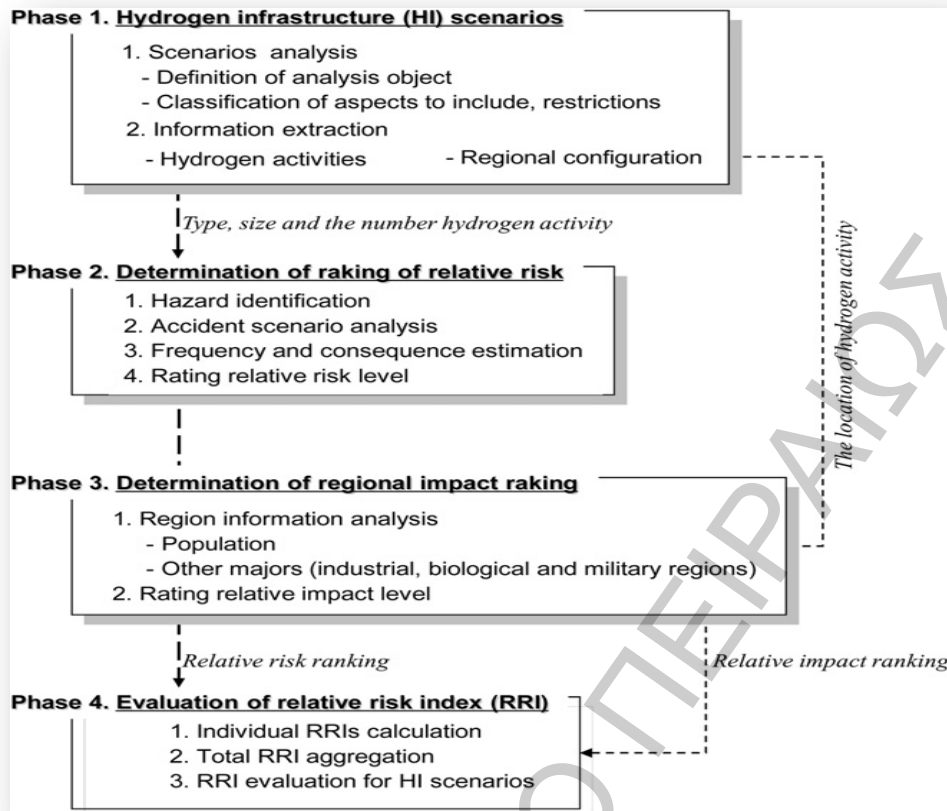
Να σημειώσουμε ότι το «Αναμενόμενο Όφελος» (*Expected Benefit*) μπορεί να είναι θετικό ή αρνητικό, και το C_j είναι το κόστος του μηχανισμού προστασίας j , λαμβάνοντας υπόψη, μεταξύ άλλων, το κόστος απόκτησης, εγκατάστασης, διαχείρισης και διατήρησης. Με τις σχέσεις 3.5 (*Κόστος του Επενδύμενου Κεφαλαίου*) και 3.6 (*Αναμενόμενο όφελος*) υπολογίζεται η απόδοση της επένδυσης (ROI), όπου γενικά ισχύει:

$$ROI = \frac{(\text{Κέρδος Επένδυσης} - \text{Κόστος Επένδυσης})}{\text{Κόστος Επένδυσης}} \quad (3.7)$$

Οι σχέσεις 3.5 και 3.6 υπολογίζονται για ένα πλήθος σεναρίων επιθέσεων και μηχανισμών προστασίας, ενώ η διαχείριση των δεδομένων και ο υπολογισμός αυτών γίνεται με το προτεινόμενο μοντέλο της εν λόγω προσέγγισης.

3.2.4.2 Υποδομή Υδρογόνου (Hydrogen)

Στην [13] κατανοώντας τη σπουδαιότητα της Υποδομής υδρογόνου στην ύπαρξη βιώσιμης οικονομίας, αλλά και τη γρήγορη εξέλιξη των τεχνολογιών που σχετίζονται με τις δραστηριότητες σε με τέτοια Υποδομή, όπως η παραγωγή, η αποθήκευση και η μεταφορά, πρότειναν τη λεγόμενη «Index-based Αποτίμηση Επικινδυνότητας» για να την αξιολογήσουν. Συγκεκριμένα, χρησιμοποίησαν μια ποσοτική ανάλυση επικινδυνότητας, την οποία ονόμασαν «Relative Risk Ranking Method», για να βαθμολογήσουν τον κίνδυνο στις τρεις (3) δραστηριότητες που προαναφέραμε, ενώ για την επίπτωση στην περιοχή όπου βρίσκεται εγκατεστημένη μια Υποδομή υδρογόνου, χρησιμοποίησαν τοπικά χαρακτηριστικά, όπως είναι η πυκνότητα του πληθυσμού. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, η αποτίμηση επικινδυνότητας αποτελείται από διάφορες φάσεις.



Πίνακας 3-6: Index-based αποτίμηση επικινδυνότητας [13]

Να αναφέρουμε ότι στη δεύτερη φάση, γίνεται αρχικά μια αποσύνθεση της Υποδομής, έτσι ώστε να είναι πιο εύκολη η μελέτη των διαδικασιών και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών κάθε προκύπτοντος υποσυστήματος. Εν συνεχεία, γίνεται προσδιορισμός των κινδύνων (hazards) μέσω της μεθόδου FMEA. Η μέθοδος αυτή, αναγνωρίζει τα προβλήματα, εκτιμά τη σπουδαιότητά τους και προσδιορίζει πιθανές λύσεις για τη μείωση αυτής. Για την εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης ενός κινδύνου, χρησιμοποιείται η FTA. Στο βήμα τέσσερα, όπως βλέπουμε γίνεται η αξιολόγηση της επικινδυνότητας, όπου όλοι οι κίνδυνοι που έχουν βρεθεί απεικονίζονται στον «Relative Risk Index Matrix», ενώ συνδυάζοντας την πιθανότητα και τη συνέπεια του κάθε κινδύνου προκύπτει η τιμή βαθμολόγησης (ranking value) του κινδύνου. Κατόπιν, στην τέταρτη φάση, υπολογίζεται η συνολική επικινδυνότητα της Υποδομής, η οποία καθορίζει όχι μόνο τα επίπεδα επικινδυνότητας των διαδικασιών, αλλά και τις περιοχές εμφάνισης αυτών. Για να επιτευχθεί αυτό, υπολογίζεται για κάθε μία διαδικασία (παραγωγή, αποθήκευση, μεταφορά) η επικινδυνότητά της (relative risk index), δηλαδή ο έμφυτος παράγοντας επικινδυνότητας (IRF) αυτής, ο οποίος είναι με βάση την τιμή βαθμολόγησης που έχει λάβει στον πίνακα και ο παράγοντας περιβαλλοντικού αντικτύπου (EIF), ο οποίος αποτελεί ένα συνδυασμό των ενδεχόμενων κινδύνων στους ανθρώπους, το περιβάλλον και την τιμή του υλικού.

3.3 Συμπεράσματα

Η σημαντικότητα ύπαρξης μιας μεθόδου αποτίμησης επικινδυνότητας στις Κρίσιμες Υποδομές, φαίνεται από το μεγάλο εύρος των προσπαθειών που έχουν καταβληθεί σε παγκόσμιο επίπεδο. Με τη βοήθεια μια τέτοιας μεθόδου είναι δυνατόν να αποτιμηθούν οι πιθανοί κίνδυνοι και να παρθούν πιο σωστές αποφάσεις από τη Διοίκηση της εκάστοτε Υποδομής, με αποτέλεσμα την επίτευξη μιας σχετικής ισορροπίας μεταξύ κόστους για την επίτευξη προστασίας στις Κρίσιμες Υποδομές και αντίστοιχου κέρδους.

Ωστόσο, στο παρόν κεφάλαιο παρατηρούμε ότι υπάρχει ελάχιστη, έμμεση αναφορά σε παραμέτρους αποτίμησης της ανθεκτικότητας μιας Κρίσιμης Υποδομής, γεγονός που καθιστά απαραίτητη τη δημιουργία μιας μεθοδολογίας η οποία θα λαμβάνει υπόψη της τόσο την αναγκαιότητα περί προστασίας μιας Κρίσιμης Υποδομής, όσο και την ανθεκτικότητα αυτής. Στο κεφάλαιο 5 γίνεται μια προσπάθεια προς αυτήν την κατεύθυνση.

Αναφορές

- [1] Popescu C.-A., Simion C.P., “A method for defining critical infrastructures”, 8th World Energy System Conference, (WESC-2010), Vol. 42, No. 1, pp. 32-34, June 2012.
- [2] European Commission, “Communication from the Commission of 12 December 2006 on a European Programme for Critical Infrastructure Protection”, COM (2006)786 Final, Brussels, Belgium, 2006.
- [3] European Commission, “Proposal for a Directive of the Council on the Identification and Designation of European Critical Infrastructure and the Assessment of the Need to Improve Their Protection”, COM(2006)787 Final, Brussels, Belgium, 2006.
- [4] European Commission, “On the identification and designation of European critical infrastructures and the assessment of the need to improve their protection. Official Journal of the European Communities”, Brussels (Belgium), Directive 114.
- [5] Luijff E., Burger H., Klaver M., “Critical infrastructure protection in the Netherlands: A quick-scan”, in the Proc. of the EICAR Conference, 2003.
- [6] Ministry of the Interior and Kingdom Relations, “National Risk Assessment Method Guide 2008”, The Hague, The Netherlands, 2008.
- [7] Kroger W., “Critical infrastructures at risk: A need for a new conceptual approach and extended analytical tools”, *Reliability Engineering and System Safety*, pp. 1781–1787, Vol. 93, No. 12, 2008.
- [8] Public Safety and Emergency Preparedness Canada, “Selection Criteria to Identify and Rank Critical Infrastructure Assets”, Ottawa, Canada, 2004.
- [9] U.S. Department of Homeland Security, “National Infrastructure Protection Plan

2009”, Washington, DC, 2009.

- [10] Moteff J. and Parfomak P., “Critical Infrastructure and Key Assets: Definition and Identification”, October 1, 2004.
- [11] Theoharidou M., Kotzanikolaou P., Gritzalis D., “Risk-based criticality analysis”, in: Palmer C., Sheno S. (Eds.), in Proc. of the third IFIP international conference on critical infrastructure protection (CIP-2009), USA: Springer; March 2009.
- [12] Flammini F., Gaglione A., Mazzocca N., Pragliola C., “Quantitative Security Risk Assessment and Management for Railway Transportation Infrastructures”, in Critical Information Infrastructure Security, Series: Lecture Notes in Computer, Science, Setola R., Geretshuber S. (Eds.), Vol. 5508, pp. 180-189, Springer Berlin / Heidelberg, 2009.
- [13] Kim J., Lee Y., Moon I., “An index-based risk assessment model for hydrogen Infrastructure”, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 36, No. 11, pp. 6387-6398, 2011.

Κεφάλαιο 4^ο : Αποτίμηση Επικινδυνότητας σε Κρίσιμες και Εξαρτώμενες Υποδομές

4.1 Εισαγωγή

Οι Υποδομές είναι ένα σύνολο συνδεδεμένων και εξαρτώμενων συστημάτων, στα οποία η σύγχρονη κοινωνία εξαρτάται για τις καθημερινές, βασικές της ανάγκες. Ωστόσο, η ύπαρξη εξαρτήσεων εντός μιας Υποδομής, μεταξύ διαφορετικών Υποδομών – εντός ενός Τομέα, αλλά και μεταξύ Υποδομών οι οποίες εντάσσονται σε διαφορετικούς Τομείς, εισάγει έναν επιπλέον βαθμό περιπλοκότητας στην αποτίμηση των πιθανών επικινδυνότητων που καλείται να αντιμετωπίσει η κάθε μία από αυτές. Η πολυπλοκότητα αυτή έγκειται στο γεγονός ότι είναι δύσκολο να προσδιορίσει κανείς εκ των προτέρων όλους τους δυνατούς τρόπους με τους οποίους μια Υποδομή μπορεί να αντιμετωπίσει μια αποτυχία – καταστροφή και εν συνεχεία να επηρεάσει τις εξαρτώμενες από αυτήν Υποδομές. Για το λόγο αυτό, στη βιβλιογραφία υπάρχει μια πληθώρα μεθοδολογιών αποτίμησης επικινδυνότητας οι οποίες στοχεύουν στη μελέτη του πολυσύνθετου αυτού προβλήματος, προκειμένου να προσδιορίσουν τουλάχιστον τις σημαντικές επικινδυνότητες μιας Υποδομής εξαιτίας της ύπαρξης εξαρτήσεων και αλληλεξαρτήσεων και να προτείνουν ενδεικτικούς τρόπους μετριασμού των πιθανών συνεπειών, τόσο για την ίδια την Υποδομή, όσο και για τις εξαρτώμενες.

4.2 Μελέτη Αλληλεξαρτήσεων

Οι εκτιμήσεις επικινδυνότητας που αναλύσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο και αφορούσαν τις Κρίσιμες Υποδομές, εκτιμούσαν τον κίνδυνο ως μια συνάρτηση τριών παραμέτρων, της απειλής, της ευπάθειας και του αντικτύπου, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στο αντίκτυπο που θα έχει η αποτυχία ή η διακοπή μιας Κρίσιμης Υποδομής στο κοινωνικό σύνολο (*societal impact*). Σε αυτήν την ενότητα ωστόσο, θα αναφέρουμε τις προσεγγίσεις που υπάρχουν στη βιβλιογραφία σχετικά με τις αλληλεξαρτήσεις των Κρίσιμων Υποδομών και κατά πόσο αυτές μπορούν να επηρεάσουν την επικινδυνότητα και συγκεκριμένα το αντίκτυπο της ίδιας της Υποδομής, του Τομέα στον οποίο αυτή ανήκει, αλλά και ενός συνόλου άλλων Τομέων άμεσα ή έμμεσα συνδεδεμένων με την εν λόγω Υποδομή [1].

4.2.1 Μοντέλα αλληλεξαρτήσεων

Εκτός από τις μεθόδους οι οποίες είναι προσανατολισμένες στη μοντελοποίηση και στον προσδιορισμό των αλληλεξαρτήσεων ενός συγκεκριμένου Τομέα, όπως είναι αυτός της ηλεκτρικής ενέργειας και των Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνίας υπάρχουν και πιο γενικές, με εφαρμογή σε μια ποικιλία Υποδομών. Τα γενικά μοντέλα αλληλεξαρτήσεων [2] ανήκουν σε μια από τις ακόλουθες κατηγορίες. Πρώτη κατηγορία είναι τα εργαλεία συνολικής προσφοράς και ζήτησης (*aggregate supply and demand tools*), τα οποία εκτιμούν τη συνολική ζήτηση για υπηρεσίες της Υποδομής σε μια περιοχή και την ικανότητα προσφοράς αυτών των υπηρεσιών. Συγκεκριμένα, το μοντέλο ακολουθεί αναλύσεις τύπου «what-if», έτσι ώστε να καθορίσει τις

συνέπειες και τις διαδοχικές επιδράσεις μιας απώλειας από την πλευρά της προσφοράς και της ζήτησης. Με άλλα λόγια, πόσο θα επηρεαστεί μια υποδομή και πόσο θα επηρεάσει με τη σειρά της άλλες υποδομές, αν δεν μπορεί να ικανοποιήσει τις ανάγκες της. Δεύτερη είναι οι *δυναμικές προσομοιώσεις (dynamic simulations)*, οι οποίες εξετάζουν τις λειτουργίες των υποδομών, τις επιδράσεις των αποδιοργανώσεων (*disruptions*) και τις σχετικές συνέπειες, ενώ οι αλληλεξαρτήσεις αντιμετωπίζονται ως ροές αγαθών και υπηρεσιών μεταξύ διαφορετικών υποδομών. Στην τρίτη κατηγορία είναι τα μοντέλα βασισμένα σε *αντιπροσώπους (agent-based)*, οι οποίοι λόγω του ότι μπορούν να μοντελοποιήσουν τα φυσικά συστατικά των υποδομών, επιτρέπουν την ανάλυση των λειτουργικών χαρακτηριστικών και των φυσικών καταστάσεων των υποδομών. Μέσω μικροοικονομικής ανάλυσης, δίνει τη δυνατότητα εξέτασης του βαθμού επιρροής των αποδιοργανώσεων μιας υποδομής στις επιχειρήσεις και την ικανότητα αυτών να ανταπεξέρχονται κατά τη διάρκεια και μετά το πέρας των εν λόγω αποδιοργανώσεων. Όσον αφορά στη *φυσική διάσταση* των υποδομών χρησιμοποιούνται μοντέλα (*physics-based*), τα οποία μέσω τεχνικών μηχανικής μελετούν μια κρίσιμη υποδομή σε επίπεδο Συνιστώσας (Component) και συνεπώς αποκτούν αναλυτικές πληροφορίες για αυτή. Για παράδειγμα, οι αναλύσεις σταθερότητας και ροής του ρεύματος μπορούν να γίνουν στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Τα μοντέλα *κινητικότητας του πληθυσμού (population mobility)* αναπαριστούν τους ανθρώπους ως οντότητες, οι οποίες κινούνται σε μια αστική περιοχή, και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών ως αποτέλεσμα της παραγωγής και της κατανάλωσης αγαθών και υπηρεσιών από διάφορες υποδομές. Τα μοντέλα αυτά προσφέρουν υψηλή ανάλυση και πιστότητα των αστικών αλληλεξαρτήσεων, οι οποίες μελετώνται για παράδειγμα στα πλαίσια της επιδημιολογίας, των μεταφορών και των ασύρματων επικοινωνιών. Η τελευταία κατηγορία που αναφέρεται στη βιβλιογραφία αφορά το μοντέλο *Leontief Input-Output*, το οποίο εξετάζει από οικονομικής πλευράς την εξάπλωση της επικινδυνότητας μεταξύ αλληλεξαρτημένων υποδομών (υποενότητα 4.2.3).

4.2.2 Επίπεδο ανάλυσης

Γενικά μια Υποδομή μπορεί να εξετασθεί, όσον αφορά στις αλληλεξαρτήσεις που αυτή περιέχει, σε επίπεδο Συνιστώσας (Component level), Υποδομής (Infrastructure level) και Τομέα (Sector level). Σε επίπεδο Συνιστώσας οι πληροφορίες που εξάγονται είναι πιο λεπτομερείς, καθώς απεικονίζει αναλυτικά μια Υποδομή, ενώ σε επίπεδο Τομέα η Υποδομή εξετάζεται από μια πιο σφαιρική οπτική γωνία. Ωστόσο, σε επίπεδο Συνιστώσας είναι πιο δύσκολη η ακριβή αποτίμηση της επικινδυνότητας.

- *Επίπεδο Συνιστώσας*

Στην [3] δίνεται έμφαση, όπως και γενικά στην προστασία Κρίσιμων Υποδομών, στην παροχή επαρκούς επιπέδου υπηρεσιών, ιδιαίτερα αν αυτές υποβαθμίζονται. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τόσο των συστατικών, όσο και των χρηστών της Υποδομής, μοντελοποιούνται με τη μορφή ενός κατευθυνόμενου πολυγράφου και κατ' επέκταση με τη χρήση μιας συνάρτησης απόκρισης (*response function*). Παράλληλα, μέσω ιστογραμμάτων δείχνει την επίδραση τόσο των μονόδρομων (*one-way*) ή γραμμικών (*linear*) όσο και των αμφίδρομων (*two-way*) ή κυκλικών (*cyclical*) αλληλεξαρτήσεων μεταξύ διαφορετικών υποδομών, μετά από μια ηθελημένη ή ακούσια μη λειτουργικότητα ενός αριθμού κόμβων. Όπως είναι αναμενόμενο, οι αμφίδρομες αλληλεπιδράσεις, επηρεάζουν και τις δύο υποδομές, σε μεγαλύτερο ποσοστό από τις

μονόδρομες. Επίσης, αποδεικνύει ότι η ύπαρξη «buffered resources», καθυστερούν την επιρροή των αλληλεξαρτήσεων, καθώς μια υποδομή δεν εξαρτάται αποκλειστικά από την εισερχόμενη κίνηση, με αποτέλεσμα την καθυστέρηση εμφάνισης των διαδοχικών επιδράσεων (cascading effects), στις οποίες θα αναφερθούμε στο επόμενο κεφάλαιο.

Στην [4] αναλύεται η ευπάθεια των αλληλεξαρτώμενων υποδομών, όπου ευπάθεια νοείται η μείωση της αποδοτικότητας μετά από μια επίθεση. Ορίζει δύο τύπους ευπάθειας, τη *διαρθρωτική (structural)* και τη *λειτουργική (functional)*, ενώ η μελέτη γίνεται στα πλαίσια του ηλεκτρικού δικτύου και των αγωγών φυσικού αερίου. Όσον αφορά στη διαρθρωτική ευπάθεια, απαιτείται η γνώση της τοπολογίας της υποδομής, ενώ για να εκτιμηθεί η διαρθρωτική αποδοτικότητα χρησιμοποιείται η έννοια του μικρότερου μονοπατιού (shortest path length), το οποίο όσο πιο μικρό είναι, τόσο πιο μεγάλη είναι η αποδοτικότητα, λόγω της καλής δόμησης του δικτύου. Η λειτουργική ευπάθεια στο ηλεκτρικό δίκτυο αποτιμάται με τη μείωση της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας μετά την εκδήλωση μιας επίθεσης, ενώ στους αγωγούς φυσικού αερίου με το ποσοστό των εναπομεινάντων κόμβων, οι οποίοι λαμβάνουν τόση ποσότητα φυσικού αερίου, όση χρειάζονται για την κάλυψη των αναγκών τους. Η διαφορά των δύο ευπαθειών έγκειται στο γεγονός ότι η διαρθρωτική βοηθάει στο σχεδιασμό και τη βελτίωση των αλληλεξαρτώμενων Υποδομών μακροπρόθεσμα, ενώ η λειτουργική βραχυπρόθεσμα. Το πιο σημαντικό κομμάτι στη συγκεκριμένη ανάλυση ευπάθειας, είναι η μοντελοποίηση των αλληλεξαρτήσεων. Για το σκοπό αυτό, ορίζεται η παράμετρος *αλληλεξαρτώμενη επίδραση (interdependent effect)*, η οποία προκύπτει από τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Αλληλεξαρτώμενη Επίδραση} = \frac{|\text{Αλληλεξαρτώμενη αποδοτικότητα} - \text{Ανεξάρτητη αποδοτικότητα}|}{\max(\text{Ανεξάρτητη αποδοτικότητα})} \quad (4.1)$$

και αφορά τόσο τη διαρθρωτική, όσο και τη λειτουργική ευπάθεια. Για να υπολογιστεί η αλληλεξαρτώμενη αποδοτικότητα κάθε Υποδομής, ένα ποσοστό των κόμβων αφαιρείται και από τις δύο υπό εξέταση αλληλεξαρτώμενες Υποδομές. Επίσης, εισάγει την έννοια της *δύναμης της αλληλεξάρτησης (interdependence strength)*, δηλαδή των παραμέτρων ένωσης (coupling) και του αριθμού των συνδέσεων (links) μεταξύ δύο υποδομών.

- *Επίπεδο Υποδομής*

Η [5] μοντελοποιεί τις εξαρτήσεις με βάση τη συστημική προσέγγιση, δηλαδή ως είσοδοι σε μια διαδικασία (process), ή αλλιώς ως συναρτήσεις απόκρισης (response functions), όπου διαδικασία είναι μια Κρίσιμη Υποδομή. Για να επιτύχει την παραπάνω μοντελοποίηση λαμβάνει υπόψη διάφορους παράγοντες. Αρχικά, είναι οι παράγοντες *ποιότητας*, οι οποίοι ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο της υποδομής. Για παράδειγμα, σε μια Υποδομή ΤΠΕ λαμβάνεται υπόψη η αξιοπιστία και η ταχύτητα μεταφοράς των πληροφοριών, ενώ σε μια Υποδομή ηλεκτρικής ενέργειας, η συχνότητα και η τάση. Έτσι, μελετάει την κάθε Υποδομή με ξεχωριστά κριτήρια, αντί απόλυτων, όπως η ολοκληρωτική ή μη διαθεσιμότητα. Όπως προαναφέραμε, μια εξάρτηση είναι ένα είδος συναρτήσεως απόκρισης, συνεπώς το αποτέλεσμα της συνάρτησης αυτής εξαρτάται από την είσοδο. Με άλλα λόγια η έξοδος, δηλαδή αυτό που παράγει μια εξαρτώμενη υποδομή, επηρεάζεται από την υποδομή από την οποία

εξαρτάται. Επίσης, η έξοδος επηρεάζεται και από τον παράγοντα του χρόνου. Σε αυτήν την κατηγορία, ανήκει η επίδραση που θα έχει η ταχύτητα μιας μερικής διακοπής μιας εξάρτησης στην έξοδο μιας Κρίσιμης Υποδομής, όπως για παράδειγμα η επίδραση που θα έχει η απότομη αύξηση της βενζίνης στο απόθεμα αυτής. Παράλληλα, μια εξάρτηση επηρεάζεται και από την κατάσταση λειτουργίας μιας Κρίσιμης Υποδομής, η οποία μπορεί να είναι κανονική, υπό πίεση, κρίσιμη και ανακτώμενη. Περιβαλλοντικοί παράγοντες, όπως η εποχή, όπου το χειμώνα απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα αερίου για θέρμανση, συμβάλλουν και αυτοί στη διαμόρφωση των υπαρχουσών αλληλεξαρτήσεων, ή ακόμη και στη δημιουργία νέων. Τα παραπάνω αναπαριστώνται από την παρακάτω σχέση:

$$\overline{O_{1...j}} = f_{s,e}(\overline{I_{1...i}}, t) \quad (4.2)$$

Να διευκρινίσουμε ότι μπορούμε να έχουμε περισσότερες τις μιας εξόδους, οι οποίες θα προσδιορίζονται από τις εισόδους και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτών, καθώς και το χρόνο, ενώ θα επηρεάζονται από την κατάσταση (s) της Κρίσιμης Υποδομής που αφορούν και το περιβάλλον στο οποίο ανήκουν (e).

- *Επίπεδο Τομέα*

Η [6] αποτελεί μια μελέτη περίπτωσης για τις αλληλεξαρτήσεις μεταξύ Τομέων στην Ιαπωνία. Η αναγκαιότητα ανάλυσης των αλληλεξαρτήσεων προέκυψε από τα αποτελέσματα μιας μελέτης που πραγματοποίησε η Τεχνική Επιτροπή Κρίσιμης Υποδομής του NISC στην Ιαπωνία το 2007 στις δέκα Κρίσιμες Υποδομές της χώρας. Η μελέτη αυτή επιβεβαίωσε τη διάδοση των δυσμενών επιδράσεων μιας δυσλειτουργίας σε IT υπηρεσίες ενός Κρίσιμου Τομέα σε έναν ή περισσότερους, η οποία επηρέαζε και υπηρεσίες που δεν είχαν άμεση συγγένεια με IT. Το πλαίσιο που προτάθηκε για τη μοντελοποίηση των αλληλεξαρτήσεων, συνδυάζει το μοντέλο μη λειτουργικότητας εισροών-εκροών (ΠΜ) του Leontief (υποενότητα 4.2.3), όσον αφορά στις οικονομικές αλληλεξαρτήσεις, και τα Μπαϋεσιανά Δίκτυα (*Bayesian Networks*) για τις λειτουργικές. Το ΠΜ υπολογίζει την οικονομική απώλεια λόγω μη διαθεσιμότητας σε διαφορετικούς Κρίσιμους Τομείς, η οποία βασίζεται στις αλληλεξαρτήσεις αυτών. Ένα Μπαϋεσιανό Δίκτυο από την άλλη μεριά, είναι ένα πιθανοτικό μοντέλο, αρκετά αποτελεσματικό και εύκολα διατηρήσιμο για λίγους κόμβους. Με τον τρόπο αυτό, αφού αποκτηθούν οι πληροφορίες για τις λειτουργικές εξαρτήσεις και κατασκευαστούν τα δίκτυα για κάθε υπό εξέταση Τομέα, το αποτέλεσμα εισάγεται στο ΠΜ. Επιπρόσθετα, επισημαίνεται ότι οι τιμές της μη λειτουργικότητας αποδεικνύουν τις ευπάθειες ενός Τομέα και συνεπώς μπορεί να υπολογιστεί εκτός από την οικονομική απώλεια, η επιρροή στον πληθυσμό και σε κρίσιμους πόρους εθνικής εμβέλειας.

4.2.3 Οικονομική απώλεια

Το μοντέλο εισροών – εκροών του Wassily Leontief (I-O) βραβεύτηκε με Nobel το 1973 και περιέγραφε αριθμητικά την οικονομική δομή της Αμερικής. Είναι ένα από τα πιο γνωστά μοντέλα στον τομέα των αλληλεξαρτήσεων, καθώς δίνει τη δυνατότητα κατανόησης και αξιολόγησης της διασυνδεσιμότητας μεταξύ διαφόρων Τομέων της οικονομίας, αλλά και πρόβλεψης της επίδρασης μιας αλλαγής ενός

Τομέα στους υπολοίπους [7]. Συγκεκριμένα, η οικονομία αντιμετωπίζεται ως ένα σύστημα, το οποίο αποτελείται από ένα σύνολο n αλληλεπιδρώντων συστημάτων ή βιομηχανιών, όπου κάθε «βιομηχανία» παράγει ένα αγαθό (commodity). Η τελευταία, έχει ανάγκη, μεταξύ άλλων, από εργατικό δυναμικό και αγαθά από τις άλλες βιομηχανίες. Έτσι, κάθε βιομηχανία θα πρέπει να παράγει αρκετά αγαθά για να ικανοποιεί τις ανάγκες τόσο των βιομηχανιών του ίδιου Τομέα, όσο και διαφορετικών [8]. Η μαθηματική διατύπωση του βασικού μοντέλου I-O είναι η παρακάτω [7]:

$$\mathbf{x} = \mathbf{Ax} + \mathbf{c} \Leftrightarrow \{x_i = \sum_j a_{ij} x_j + c_i\}, \forall i \quad (4.3)$$

Να διευκρινίσουμε ότι:

x_i = η συνολική έξοδος παραγωγής της βιομηχανίας i ,
 a_{ij} (technical coefficient) = η είσοδος της βιομηχανίας i στην j , σε σχέση με τις απαιτήσεις παραγωγής της βιομηχανίας j ,
 x_j = η συνολική έξοδος παραγωγής της βιομηχανίας j ,
 c_i = τμήμα της συνολικής εξόδου παραγωγής της βιομηχανίας i που καταναλώνεται από τους τελικούς χρήστες.

Με άλλα λόγια, η έξοδος κάθε Τομέα είναι ένας συνδυασμός της κατανάλωσης αυτού από άλλους Τομείς (intermediate consumption) και από τους τελικούς χρήστες (final consumption).

Το πιο βασικό πλεονέκτημα του I-O μοντέλου είναι το γεγονός ότι μπορεί να χρησιμοποιήσει δεδομένα τα οποία έχουν συλλεχθεί, για παράδειγμα από το Γραφείο Οικονομικής Ανάλυσης (BEA) των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής, και να παράγει τον πίνακα A που θα αναφέρουμε παρακάτω, με αποτέλεσμα την αξιολόγηση των οικονομικών αλληλεξαρτήσεων [9]. Με βάση το I-O μοντέλο, δημιουργήθηκε στη συνέχεια το λεγόμενο μοντέλο μη λειτουργικότητας εισροών - εκροών (IIM), προκειμένου να μελετήσει τη διάδοση (cascading effects) αυτής στα αλληλεξαρτώμενα (interconnected, interdependent) συστήματα και την οικονομική επίπτωση που αυτή επιφέρει [7]. Έχει εφαρμοστεί σε μελέτες ποικίλων πηγών κινδύνου σε αλληλοσυνδεδεμένα συστήματα, όπως στην ασφάλεια στον κυβερνοχώρο, στα ανθρωπογενή ατυχήματα και στις φυσικές καταστροφές [10]. Η έννοια της μη λειτουργικότητας (inoperability) χρησιμοποιήθηκε ως μετρική για το μοντέλο και σχετίζεται με τη μη ικανότητα του υπό εξέταση συστήματος να πραγματοποιήσει τις προκαθορισμένες λειτουργίες του, δηλαδή να φτάσει στο ιδανικό επίπεδο παραγωγής στην έξοδο. Μπορεί να προκληθεί τόσο από εσωτερικές αποτυχίες, όσο και από εξωτερικές διαταραχές, οι οποίες επηρεάζουν αρνητικά την αναμενόμενη έξοδο του συστήματος [7]. Το IIM διατυπώνεται με τον ακόλουθο τύπο [9,10,11]:

$$\mathbf{q} = \mathbf{A}^* \mathbf{q} + \mathbf{c}^* \quad (4.4)$$

Όπου ισχύει:

q = διάνυσμα μη λειτουργικότητας, τα στοιχεία του οποίου ποσοτικοποιούν την αναλογία της μη πραγματοποιηθείσας (unrealized) παραγωγής (ιδανική - μειωμένη), ανά ιδανική παραγωγή.

A = πίνακας αλληλεξαρτήσεων με βάση τη ζήτηση (demand-based interdependency matrix), ο οποίος υποδεικνύει το βαθμό αλληλεξάρτησης των Τομέων. Αποτελεί τον πίνακα των Leontief technical coefficients (a_{ij}). Συγκεκριμένα, οι στήλες j (influence gain) αφορούν τους Τομείς οι οποίοι επηρεάζουν τη λειτουργικότητα των εξαρτώμενων Τομέων στις αντίστοιχες γραμμές i (dependency index), όπου αποθηκεύεται και η επίπτωση που προκαλούν. Τα αποτελέσματα του πίνακα αυτού βοηθούν τους αναλυτές ασφάλειας να δώσουν έμφαση στις Υποδομές και τους Τομείς με τη μεγαλύτερη επιρροή.

c = διάνυσμα διαταραχής στη ζήτηση (demand perturbation), του οποίου τα στοιχεία είναι η διαφορά της αναμενόμενης ζήτησης και της μειωμένης, ενώ είναι αποτέλεσμα εξωτερικής αποτυχίας.

Να σημειώσουμε ότι υπάρχουν διάφορες επεκτάσεις του ΠΜ, προκειμένου να αντιμετωπίσουν τις κατά μέσο όρο εκτιμήσεις, στις οποίες αυτό καταλήγει, όσον αφορά στο χρόνο (Dynamic ΠΜ) και τη γεωγραφική περιοχή (Multi-Regional ΠΜ) [12]. Επίσης, στην [13] προτείνεται μια μεθοδολογία για την αξιολόγηση των ΠΜ παραμέτρων, με βάση τεχνικά και λειτουργικά δεδομένα και όχι μόνο στατιστικά οικονομικού περιεχομένου, τα οποία βασίζονται στη λογική ότι ένας Τομέας επηρεάζει τον άλλο, λόγω της οικονομικής ανταλλαγής τους. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για να αξιολογήσουν τις ΠΜ παραμέτρους, βασίζονται στις άμεσες συνέπειες της διακοπής λειτουργίας μιας Υποδομής στη λειτουργικότητα άλλων Υποδομών και αποκτώνται από ειδικούς σε κάθε Υποδομή (infrastructure operators). Επειδή το αντίκτυπο εξαρτάται από τη διάρκεια της μη διαθεσιμότητας, χρησιμοποιείται το Dynamic ΠΜ, καθώς το τελευταίο παράγει έναν πίνακα μη λειτουργικότητας (A), ο οποίος δεν είναι σταθερός στο χρόνο. Η προσέγγιση αυτή, εστιάζει στη στιγμή εκδήλωσης του περιστατικού, εξετάζοντας συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Το ξεχωριστό σε αυτή τη μεθοδολογία είναι η χρήση fuzzy αριθμών, δηλαδή αριθμών που έχουν ένα εύρος τιμών, αντί μιας συγκεκριμένης, προκειμένου να αποτυπώσουν τις υποκειμενικές πληροφορίες των ειδικών και να ποσοτικοποιήσουν τις απαντήσεις. Σε κάθε ειδικό ζητείται να διατυπώσει την εκτίμησή του αναφορικά με το αντίκτυπο που θεωρεί ότι θα έχει μια ενδεχόμενη διακοπή παροχής υπηρεσιών από μια Υποδομή j στη δική τους i , σύμφωνα με ένα ερωτηματολόγιο, σε συνδυασμό με το κατά πόσο πιστεύει ότι η εκτίμησή του είναι σίγουρη ή όχι (βαθμός εμπιστοσύνης). Επιπρόσθετα, οι ειδικοί καλούνται να καθορίσουν τη χρονική διάρκεια του περιστατικού, από 1-48 ώρες. Τέλος, σε κάθε ειδικό ανατίθεται μια τιμή αξιοπιστίας για να εκτιμηθεί η ικανότητά του να αποτιμήσει σωστά τις συνέπειες ενός συμβάντος, σύμφωνα με τις γνώσεις και την εμπειρία του.

Για παράδειγμα, η εκτίμηση του αντίκτυπου της διακοπής υπηρεσιών της Υποδομής j στην Υποδομή i , δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$a(i, j) = [l m u h] \quad (4.5)$$

Όπου:

l: το κάτω όριο του βαθμού εμπιστοσύνης,
m: η εκτίμηση επιρροής,
u: το πάνω όριο του βαθμού εμπιστοσύνης και
h: η τιμή αξιοπιστίας του ειδικού.

Οι παραπάνω πληροφορίες τίθενται υπό επεξεργασία και συγχωνεύονται με τη χρήση μαθηματικών τύπων για να διεξαχθούν αναλύσεις επιρροής και αντικτύπου σύμφωνα με το κλασσικό πλαίσιο ΠΜ. Να επισημάνουμε ότι η συγκεκριμένη προσέγγιση με κατάλληλους τύπους λαμβάνει υπόψη και τις διαδοχικές επιδράσεις.

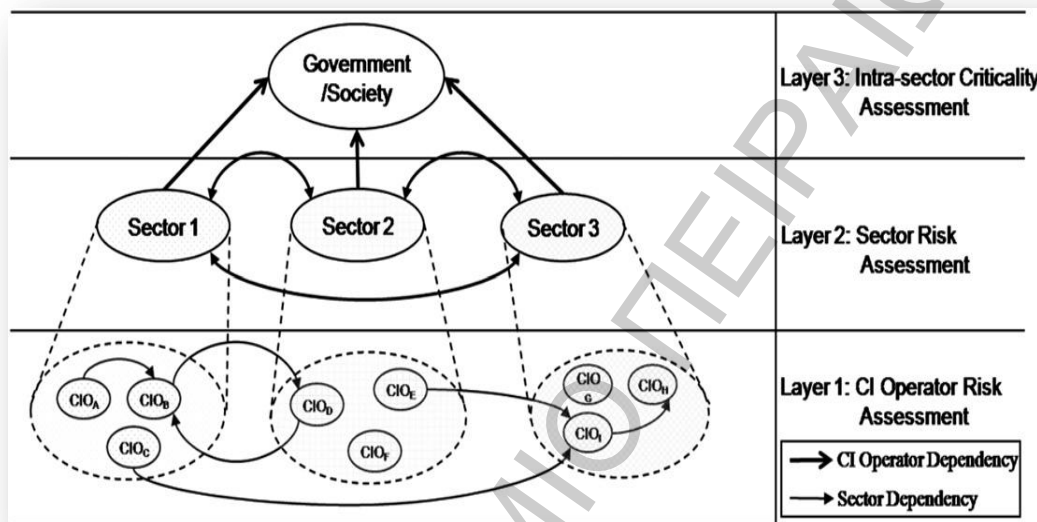
Στην [14] το μοντέλο ΠΜ χρησιμοποιείται ως κομμάτι της στρατηγικής ετοιμότητας (strategic preparedness), για τον υπολογισμό των οικονομικών αλληλεξαρτήσεων που αναπτύσσονται μεταξύ των Τομέων, όταν αυτοί ανταλλάσσουν αγαθά και υπηρεσίες, και των οικονομικών επιπτώσεων. Η έννοια της ετοιμότητας είναι πολύ σημαντική στην Αμερική, καθώς οι κίνδυνοι για καταστροφές και τρομοκρατικές ενέργειες έχουν αυξηθεί την τελευταία δεκαετία και περιλαμβάνει ενέργειες για τη μείωση των καταστροφικών συνεπειών (χρόνος ανάκαμψης και κόστος), αλλά και της πιθανότητας εμφάνισής τους σε ένα αποδεκτό επίπεδο. Προτείνει τρεις στόχους για την επίτευξη ετοιμότητας, αυτόν της μείωσης του κόστους ετοιμότητας, του κόστους ανάκαμψης και της μη αποτελεσματικότητας της ανάκαμψης (χρόνος σε ημέρες, ή συνολική οικονομική απώλεια κατά τη διάρκεια της ανάκαμψης). Ουσιαστικά, προσπαθεί να επιλύσει το πρόβλημα που αντιμετωπίζει η Αμερική, η οποία χρειάζεται μια αποκεντροποιημένη (decentralized) διαχείριση επικινδυνότητας, καθώς το 85% των Κρίσιμων Υποδομών της ελέγχεται από τον ιδιωτικό τομέα. Ωστόσο, λόγω των ποικίλων αλληλεξαρτήσεων, ο κίνδυνος ενός Τομέα μπορεί να οφείλεται και σε εξωτερικούς παράγοντες και έτσι μια τέτοια προσέγγιση είναι δύσκολο να υλοποιηθεί στην πράξη. Για το λόγο αυτό, εφαρμόζει διάφορες τεχνικές αποσύνθεσης (decomposition), όπως την «Price-directed (non feasible)» και την «Resource-directed (feasible)», του πολύπλοκου αλληλεξαρτώμενου προβλήματος ετοιμότητας.

4.3 Βασική Προσέγγιση Αποτίμησης Επικινδυνότητας με βάση τις Εξαρτήσεις

Σε αυτήν την ενότητα θα αναλύσουμε την κύρια μεθοδολογία αποτίμησης κρισιμότητας [15], [16], στην οποία θα βασιστούμε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Αποτελείται από δύο εκδόσεις, τις οποίες θα αναφέρουμε κατά χρονολογική σειρά και ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε μιας.

4.3.1 Ανάλυση

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία προτείνει τρία (3) επίπεδα αλληλεξαρτήσεων, το κάθε ένα από τα οποία έχει διαφορετικές απαιτήσεις ασφάλειας, ενώ η έξοδος του κάθε επιπέδου αποτελεί είσοδο για το επόμενο. Συγκεκριμένα, η μεθοδολογία εξετάζει την επικινδυνότητα και την κρισιμότητα σε *Επίπεδο Οργανισμού* (Operator), *Τομέα* (Sector) και *Κοινωνίας* (Intra-Sector/National). Στα πλαίσια της εν λόγω προσέγγισης, ο οργανισμός (δημόσιου ή ιδιωτικού τομέα) μιας Κρίσιμης Υποδομής θα αναφέρεται με τον όρο CIO.



Εικόνα 4.1: Προσέγγιση Ανάλυσης Κρισιμότητας Τριών Επιπέδων [15]

Πιο συγκεκριμένα, η αποτίμηση επικινδυνότητας σε Επίπεδο Οργανισμού υποθέτει ότι έχει ολοκληρωθεί η τυπική αποτίμηση επικινδυνότητας, ενώ εστιάζει στην προστασία μόνο εντός των πλαισίων του οργανισμού. Έτσι, οι μόνες αλληλεξαρτήσεις που λαμβάνει υπόψη, είναι τα πιθανά αντίκτυπα που ο υπό εξέταση οργανισμός μπορεί να αντιμετωπίσει ως αποτέλεσμα μη διαθεσιμότητας ενός συστήματος ή μιας υπηρεσίας που παρέχεται σε αυτόν από έναν άλλο οργανισμό (external party) και τα πιθανά νομικά αντίκτυπα που ο οργανισμός θα αντιμετωπίσει αν δεν μπορέσει να προσφέρει τις προσυμφωνημένες υπηρεσίες - ύπαρξη SLA - σε έναν οργανισμό. Και στις δύο περιπτώσεις αλληλεξαρτήσεων, οι οργανισμοί μπορεί να ανήκουν στον ίδιο ή σε διαφορετικό Τομέα. Σε επίπεδο Τομέα, η αποτίμηση επικινδυνότητας συνήθως πραγματοποιείται από κάποιον ρυθμιστή (regulator) ή συντονιστή (coordinator) με εμβέλεια όλους τους οργανισμούς που ανήκουν στον υπό εξέταση Τομέα, ενώ μελετώνται οι αλληλεξαρτήσεις με άλλους Τομείς. Επίσης, σε αυτό το επίπεδο εισάγεται η έννοια του κοινωνικού αντικτύπου (societal impact). Με άλλα λόγια, μελετώνται και οι συνέπειες εκτός του Τομέα, δηλαδή στην κοινωνία. Η αποτίμηση σε Εθνικό/Ενδοτομεακό επίπεδο, πραγματοποιείται για παράδειγμα από την κυβέρνηση και στόχος είναι η προστασία όλων των Κρίσιμων Υποδομών, όλων των Τομέων σε ένα αποδεκτό επίπεδο για την κοινωνία και ο προσδιορισμός των Τομέων με τη μεγαλύτερη κρισιμότητα. Στο επίπεδο αυτό, μπορούν επίσης να

μελετηθούν καλύτερα οι αλληλεξαρτήσεις που υπάρχουν και συνεπώς να βρεθούν τυχόν διαδοχικές επιδράσεις (απειλές και αντίκτυπα).

Η μοντελοποίηση των αλληλεξαρτήσεων μεταξύ των CIOs σε επίπεδο Οργανισμού γίνεται μέσω δένδρων εξάρτησης (dependency trees), ενώ τα κοινωνικά αντίκτυπα σε επίπεδο Τομέα μέσω δένδρων εξάρτησης κοινωνικού αντικτύπου (social impact dependency tree). Τόσο η [15] όσο και η [16], η οποία αποτελεί μια μεταγενέστερη έκδοση της πρώτης, ακολουθούν την παρακάτω διαδικασία:

- *Επίπεδο CIO*

Αρχικά, προσδιορίζονται όλοι οι αναγκαίοι (requisite) CIOs, δηλαδή οι οργανισμοί από τους οποίους εξαρτάται ο υπό εξέταση οργανισμός. Για κάθε εξάρτηση, προσδιορίζεται περαιτέρω ο τύπος αυτής, η πηγή του αντικτύπου της εξάρτησης, δηλαδή το αντίκτυπο που υπέστη ο αναγκαίος CIO, εξαιτίας ενός περιστατικού ασφάλειας, το εισερχόμενο αντίκτυπο, δηλαδή το αντίκτυπο που υπέστη ο υπό εξέταση CIO εξαιτίας της πηγής αντικτύπου στον αναγκαίο CIO, ο τύπος, η κλίμακα και η πιθανότητα εμφάνισης του εισερχόμενου αντικτύπου. Με βάση έναν πίνακα επικινδυνότητας με στοιχεία την πιθανότητα και το αντίκτυπο, υπολογίζεται ο εισερχόμενος επικινδυνότητα εξάρτησης $r_{i,j}$ για τον υπό εξέταση CIO. Ωστόσο, σε περίπτωση ύπαρξης περισσότερων της μιας αλληλεξάρτησης μεταξύ δύο CIOs, η *ολική εισερχόμενη επικινδυνότητα εξάρτησης* από τον i στον j υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$DR_{i,j} = \max \{r_{i,j}\}, \forall (i,j) \quad (4.6)$$

- *Επίπεδο Τομέα*

Σαν πρώτο βήμα καθορίζονται οι εξαρτώμενοι (dependent) CIOs, δηλαδή οι οργανισμοί οι οποίοι εξαρτώνται από τον υπό εξέταση CIO. Για κάθε τέτοια εξάρτηση, μελετώνται τα ίδια με το επίπεδο CIO, με τη διαφορά ότι η πηγή του αντικτύπου της εξάρτησης είναι το αντίκτυπο που υπέστη ο υπό εξέταση CIO, ενώ το εξερχόμενο κοινωνικό αντίκτυπο είναι αυτό που υπέστη ο εξαρτώμενος CIO εξαιτίας του υπό εξέταση οργανισμού. Ομοίως με το επίπεδο CIO, στη συνέχεια υπολογίζεται ο εξερχόμενος κίνδυνος εξάρτησης $sr_{i,j}$, ενώ στην περίπτωση περισσότερων της μιας αλληλεξαρτήσεων η *ολική εξερχόμενη επικινδυνότητα εξάρτησης* από τον i στον j διατυπώνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$SR_{i,j} = \max \{sr_{i,j}\}, \forall (i,j) \quad (4.7)$$

Παρόλα αυτά, ένας οργανισμός ενέχει κίνδυνο όχι μόνο λόγω των αλληλεξαρτήσεών του με άλλους CIOs, αλλά και λόγω της δικής του λειτουργίας και ονομάζεται *ενυπάρχουσα κοινωνική επικινδυνότητα (inherent societal risk)*. Αυτό σημαίνει ότι ο CIO_i παρέχει στην κοινωνία προϊόντα ή υπηρεσίες ζωτικής σημασίας και περιγράφεται ως:

$$SR_i = \frac{1}{r_{\max}} \max\{sr_i\} \quad (4.8)$$

Έπειτα, ο αρμόδιος συντονιστής (Sector Coordinator) θα υπολογίσει τη *συνολική εισερχόμενη επικινδυνότητα εξάρτησης* (IDR_i) και τη *συνολική εξερχόμενη επικινδυνότητα εξάρτησης* για κάθε CIO (ODR_j) για να βρει ποιος εξαρτάται πιο πολύ από άλλους και ποιος επηρεάζει πιο πολύ άλλους CIOs αντίστοιχα. Οι παρακάτω τύποι δείχνουν τη μέση τιμή αυτών των επικινδυνοτήτων, όπου n είναι ο αριθμός των CIOs που μελετώνται, ενώ r_{\max} είναι η μέγιστη τιμή της επικινδυνότητας:

$$IDR_i = \frac{1}{(n-1) r_{\max}} \sum_{\forall i \neq j}^n DR_{i,j} \quad (4.9)$$

και

$$ODR_j = \frac{1}{(n-1) r_{\max}} \sum_{\forall i \neq j}^n DR_{i,j} \quad (4.10)$$

Ομοίως για την κοινωνική επικινδυνότητα, υπολογίζει τη *συνολική εισερχόμενη* (ISR_i), *εξερχόμενη* (OSR_j) και *ενυπάρχουσα επικινδυνότητα* (4.8) για κάθε CIO:

$$ISR_i = \frac{1}{(n-1) r_{\max}} \sum_{\forall i \neq j}^n SR_{i,j} \quad (4.11)$$

και

$$OSR_j = \frac{1}{(n-1) r_{\max}} \sum_{\forall i \neq j}^n SR_{i,j} \quad (4.12)$$

- *Εθνικό ή Ενδοτομεακό Επίπεδο*

Αρχικά καθορίζει ποιος CIO είναι πιο κρίσιμος από τους υπολοίπους. Πιο κρίσιμος CIO θεωρείται, είτε εκείνος από τον οποίο εξαρτώνται άλλοι για τη λειτουργία τους (υψηλό ODR_j), είτε όταν έχει υψηλή κοινωνική επικινδυνότητα, λόγω αλληλεξαρτήσεων (OSR_j), ή λειτουργίας του ίδιου (SR_i). Στη συνέχεια, υπολογίζει τον πιο κρίσιμο Τομέα, ο οποίος θα είναι αυτός με τη μεγαλύτερη *κοινωνική επικινδυνότητα των μελών του* (SR_{S_i}) και τη μεγαλύτερη *εξερχόμενη κοινωνική*

επικινδυνότητα (OSR_{S_j}) λόγω των αλληλεξαρτήσεων. Να επισημάνουμε ότι m είναι ο αριθμός των Τομέων και SR_{S_i, S_j} είναι η *συνολική κοινωνική επικινδυνότητα εξάρτησης* από τον Τομέα S_i , στον Τομέα S_j , ενώ παραθέτουμε και την *εισερχόμενη κοινωνική επικινδυνότητα* (ISR_{S_i}).

$$ISR_{S_i} = \frac{1}{(m-1) r_{\max}} \sum_{\forall S_i \neq S_j}^n SR_{S_i, S_j} \quad (4.13)$$

$$OSR_{S_j} = \frac{1}{(m-1) r_{\max}} \sum_{\forall S_i \neq S_j}^n SR_{S_i, S_j} \quad (4.14)$$

και

$$SR_{S_i} = \frac{1}{n_i} \sum_{\forall j \in S_i} SR_j \quad (4.15)$$

4.3.2 Αδυναμίες

Κύρια αδυναμία της παραπάνω προσέγγισης είναι ο προσδιορισμός και υπολογισμός μόνο των πρώτου βαθμού (first-order) αλληλεξαρτήσεων, χωρίς να λαμβάνει υπόψη πιθανές διαδοχικές (cascading), ή αλυσιδωτές (chain), ή ντόμινο (domino) επιπτώσεις. Ωστόσο, η σταδιακή επιρροή πολλαπλών Υποδομών και κατ' επέκταση Τομέων, αποτελεί ένα μείζων πρόβλημα στην περιοχή της προστασίας Κρίσιμων Υποδομών. Επιπλέον, μελετά τις εξαρτήσεις έως το επίπεδο της κοινωνίας μιας χώρας και όχι σε διεθνές.

4.4. Διαδοχικές Επιδράσεις

Είναι γεγονός ότι η Προστασία Κρίσιμων Υποδομών (CIP), έχει γίνει ακόμη πιο δύσκολη με την εισαγωγή αλληλεξαρτήσεων μεταξύ των Υποδομών και των Τομέων, με αποτέλεσμα η αποτυχία σε μια μεμονωμένη Υποδομή να επηρεάζει τη λειτουργία ενός εξαρτώμενου συνόλου Υποδομών εντός του ίδιου Τομέα ή διαφορετικού, ακόμη και στα πλαίσια μιας ολόκληρης χώρας, ή διαφορετικής. Έτσι, το κοινωνικό αντίκτυπο (societal impact), δεν αποτελεί πλέον το μοναδικό κριτήριο δυσκολίας αναφορικά με την προστασία τέτοιου είδους Υποδομών Ζωτικής Σημασίας, αλλά και η ύπαρξη διαδοχικών επιδράσεων.

Έρευνα που πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με δημόσιες αναφορές για περιστατικά σε διάφορες Κρίσιμες Υποδομές σε όλον τον κόσμο [17], κατέληξε σε ορισμένα χρήσιμα αποτελέσματα σχετικά με τις διαδοχικές επιδράσεις. Αρχικά η έρευνα επικεντρώνεται στην Ολλανδία, για την οποία βρέθηκαν 830 αναφορές περιστατικών για τη χρονική περίοδο 1 Ιανουαρίου 2004 έως 15 Αυγούστου 2010, και εν συνεχεία συγκρίνει τα αποτελέσματα με αυτά άλλων 135 χωρών (4239 αναφορές περιστατικών). Αρχικά, συμπεραίνει ότι σύμφωνα με τις αναφορές για την Ολλανδία, οι διαδοχικές αποτυχίες

συμβαίνουν πολύ πιο συχνά (στήλη «cascade resulting») από ό,τι αναφέρεται στη βιβλιογραφία και ότι δεν αποτελούν περιστατικά με υψηλό αντίκτυπο αλλά χαμηλή πιθανότητα, όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.

	Cascade initiating %	Cascade resulting %	Independent %	Total %	Sample size N
Education & research	0	100	0	100	1
Energy	28	6	64	101	192
Financial services	3	28	70	100	39
Food	0	60	40	100	5
Government	2	44	54	100	43
Health	5	42	53	100	19
Industry	20	60	20	100	10
Internet	13	49	39	101	107
Telecommunications	25	34	43	102	167
Transport	3	23	75	101	190
Water	7	18	77	102	57
Total	14.8	26.6	59.4	100.8	830

Εικόνα 4.2: Συχνή Εκδήλωση Διαδοχικών Αποτυχιών στην Ολλανδία [17]

Παρόλα αυτά τονίζεται ότι οι διαδοχικές αποτυχίες μεγαλύτερου βαθμού είναι μάλλον σπάνιες καθώς, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, από το σύνολο των 221 περιστατικών που προέκυψαν από διαδοχική επίδραση (στήλη «cascade resulting») μόνο τα 7 περιστατικά οδήγησαν σε περαιτέρω αποτυχία σε άλλον Τομέα. Το τελευταίο είναι φανερό από τη διαφορά που υπάρχει μεταξύ του συνολικού αριθμού του δείγματος (830) με το συνολικό αριθμό των περιστατικών που καταγράφηκαν, δηλαδή «cascade initiating», «cascade resulting», και «independent» (837).

	Cascade initiating	Cascade resulting	Independent	Total	Sample size
Education & research	0	1	0	1	1
Energy	53	12	128	193	192
Financial services	1	11	27	39	39
Food	0	3	2	5	5
Government	1	19	23	43	43
Health	1	8	10	19	19
Industry	2	6	2	10	10
Internet	14	52	42	108	107
Telecommunications	42	56	72	170	167
Transport	5	43	143	191	190
Water	4	10	44	58	57
Total	123	221	493	837	830

Εικόνα 4.3: Σπάνια Εκδήλωση Διαδοχικών Αποτυχιών Υψηλού Βαθμού στην Ολλανδία [17]

Επίσης, αναφέρεται ότι η πλειοψηφία των διαδοχικών αποτυχιών προέρχονται κυρίως από τον Τομέα της Ενέργειας και των Τηλεπικοινωνιών, όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί.

Affected sector	Initiating sector									TOTAL %	
	Energy %	Financial Services %	Government %	Health %	Industry %	Internet %	Telecom %	Transport %	Water %		
Education & research										100	100
Energy	100						0				100
Financial services	27	9				9	55				100
Food	67				33						100
Government	26		5	5		11	47	5			100
Health	50			25			13		13		100
Industry	83								17		100
Internet	15					25	60				100
Telecommunications	48						52				100
Transport	67				2		14	14		2	100
Water	80								20		100
TOTAL	46.6	0.5	0.5	1.4	0.9	7.2	37.1	3.2	2.7		100

Εικόνα 4.4: Επίδραση ανά Τομέα στην Εκδήλωση Διαδοχικών [17]

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της Ολλανδίας με αυτά άλλων χωρών (στήλη «RoW») φαίνεται στη συνέχεια. Όπως βλέπουμε, το 27 % των αποτυχιών είναι αποτέλεσμα περιστατικών σε υπηρεσίες Κρίσιμων Υποδομών και είναι αποτέλεσμα διαδοχικών επιδράσεων. Ο Τομέας της Ενέργειας, των Τηλεπικοινωνιών και του Διαδικτύου είναι οι επικρατέστεροι Τομείς για την έναρξη μιας αποτυχίας (cascade-initiating sectors). Ωστόσο, οι μεγαλύτερου βαθμού αποτυχίες είναι σπάνιες και έχουν μεγαλύτερο ποσοστό στον Τομέα της Υποδομής Παροχής Νερού και των Τηλεπικοινωνιών.

	Initiating		Resulting		Independent		Total		Sample size	
	NL %	RoW %	NL %	RoW %	NL %	RoW %	NL %	RoW %	NL N	RoW N
Education & research	0	0	100	80	0	20	100	100	1	20
Energy	28	21	6	9	67	72	101	102	192	2056
Financial services	3	2	28	35	69	64	100	100	39	121
Food	0	13	60	35	40	52	100	100	5	31
Government	2	0	44	50	53	50	100	100	43	56
Health	5	5	42	48	53	47	100	100	19	58
ICT	-	0	-	0	-	100	100	100	0	3
Industry	20	14	60	64	20	25	100	103	10	107
Internet	13	6	49	52	39	43	101	102	107	311
Postal	-	25	-	0	-	75	-	100	0	4
Telecommunications	25	26	34	41	43	36	102	103	167	611
Transport	3	5	23	35	75	60	101	100	190	602
Water	7	8	18	49	77	44	102	102	57	259
Total	15	16	27	27	59	59	101	102	830	4239

Εικόνα 4.5: Σύγκριση Αποτελεσμάτων Ολλανδίας και Υπολοίπων Χωρών (RoW) [17]

4.3.3 Μελέτη Διαδοχικών Επιδράσεων

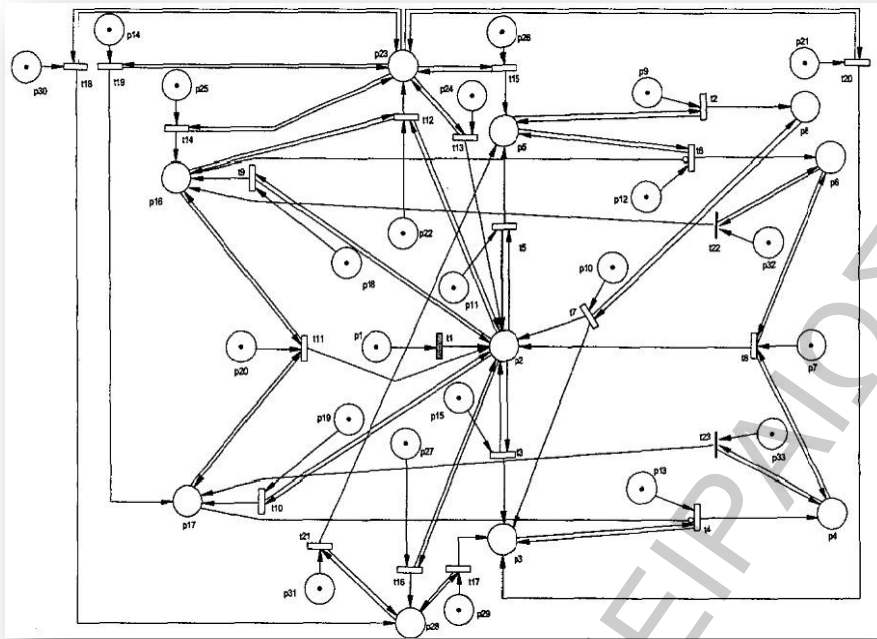
Ο προσδιορισμός των αλληλεξαρτήσεων δεν είναι μια εύκολη διαδικασία, ιδιαίτερα όταν αυτές σχετίζονται με τη συμπεριφορά μιας κοινωνίας σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης (social dependencies). Χαρακτηριστική περίπτωση είναι η [18] όπου μια αποδιοργάνωση στον τομέα των μεταφορών διαδόθηκε και σε αυτόν της ασύρματης επικοινωνίας, λόγω του ανθρώπινου παράγοντα. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζει την επίπτωση της άμεσης εκκένωσης μιας περιοχής, η οποία έχει υποστεί ατμοσφαιρική μόλυνση, στην αύξηση τόσο της κίνησης στους δρόμους, όσο και του φόρτου επικοινωνίας στο ασύρματο δίκτυο.

Σε αυτήν την ενότητα, θα αναφέρουμε προσεγγίσεις από τη βιβλιογραφία, σχετικά με τους πιθανούς τρόπους μελέτης των διαδοχικών αποτυχιών, επιδιώκοντας την όσο το δυνατόν καλύτερη διαχείρισή τους και κατ' επέκταση αποτροπή των επικίνδυνων και συχνά απρόβλεπτων επιπτώσεών τους.

4.3.3.1 Δίκτυα Petri

Ένα Δίκτυο Petri, ή Place/Transition Net ή P/T Net, αποτελείται από δύο είδη κόμβων, τους κύκλους οι οποίοι ονομάζονται θέσεις (places) και τις ράβδους οι οποίες ονομάζονται μεταβάσεις (transitions). Οι κόμβοι αυτοί συνδέονται μεταξύ τους με τόξα (arcs), με αποτέλεσμα ανάλογα με την κατεύθυνση του τόξου να καθορίζεται η είσοδος και η έξοδος αυτού. Ένα Δίκτυο Petri έχει και δυναμικά χαρακτηριστικά τα οποία προκύπτουν κατά την εκτέλεσή του. Ένα δυναμικό χαρακτηριστικό του είναι η ύπαρξη σημείων-ενδείξεων (tokens), τα οποία ελέγχουν την εκτέλεση του Δικτύου, δηλαδή καθορίζουν την κατάστασή του (marking), έχουν το σύμβολο της τελείας και βρίσκονται εντός των κόμβων-θέσεων. Ένα Δίκτυο Petri με tokens ονομάζεται «marked». Τα tokens κινούνται μέσα στο Δίκτυο όταν οι μεταβάσεις γίνουν «fire», εφόσον πρώτα είναι «ενεργοποιημένες (enabled)», δηλαδή εφόσον όλες οι θέσεις-είσοδοι της μετάβασης έχουν ένα token. Η ολοκλήρωση της μετάβασης (firing) πραγματοποιείται όταν όλα τα tokens των θέσεων-εισόδων έχουν μεταφερθεί στις θέσεις-εξόδους της εν λόγω μετάβασης. Η κατάσταση του Δικτύου αλλάζει με την ολοκλήρωση (firing) κάθε μετάβασης [19].

Τα Δίκτυα Petri έχουν χρησιμοποιηθεί και στην αναπαράσταση των αλληλεξαρτήσεων στις Κρίσιμες Υποδομές, όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.

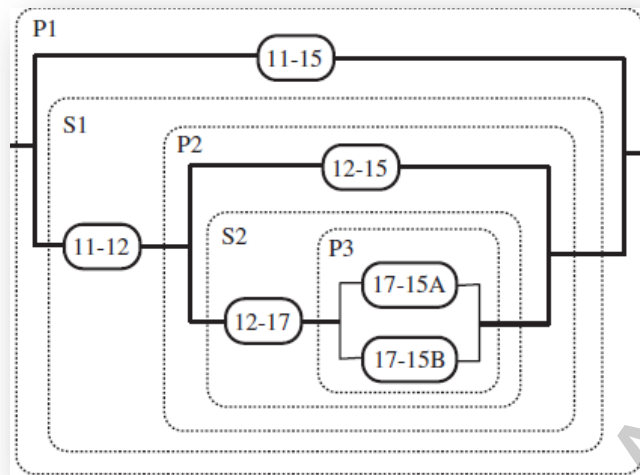


Εικόνα 4.6: Αναπαράσταση Αλληλεξαρτήσεων μέσω Δικτύων Petri [20]

Μια προσέγγιση που αξίζει να αναφερθεί είναι η [20], η οποία προτείνει τη χρήση των tokens για την απεικόνιση του δικτύου των Υποδομών πριν και μετά την εκδήλωση ενός περιστατικού αποτυχίας, ενώ τα τόξα για τις εξαρτήσεις μεταξύ των Υποδομών. Επίσης, εισάγει την έννοια των «mirror places», έτσι ώστε να μη χάνεται η πληροφορία για την κατάσταση του Δικτύου σε περίπτωση που κάποιος κόμβος-θέση τεθεί μη διαθέσιμος, ενώ θα διαγραφούν από το Δίκτυο μετά την ολοκλήρωση της αντίστοιχης μετάβασης, δηλαδή όταν πλέον η κατάσταση του Δικτύου θα έχει αλλάξει.

4.3.3.2 Δυναμικά Μπαϋεσιανά Δίκτυα

Στην [21], προτείνεται η μοντελοποίηση των διαδοχικών επιδράσεων με τη βοήθεια των Δυναμικών Μπαϋεσιανών Δικτύων (ΔΜΔ), τα οποία παράγονται μέσω κανόνων, όσον αφορά στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, και συγκεκριμένα μέσω σειριακών και παράλληλων υπο-μονάδων (modules). Είναι γνωστό, ότι ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιεί γραμμές (lines) για να μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τις γεννήτριες στους καταναλωτές, ενώ οι γραμμές μπορούν να δομηθούν σε σειριακές ή παράλληλες υπο-μονάδες. Τα στοιχεία που συνθέτουν μια υπο-μονάδα μπορεί να είναι ενιαίες ηλεκτρικές γραμμές ή εσωτερικές υπο-μονάδες. Σε μια ενδεχόμενη αποτυχία ενός στοιχείου σε μια σειριακή υπο-μονάδα, επηρεάζεται η μεταφορά της ενέργειας σε όλη την υπο-μονάδα, ενώ σε μια παράλληλη, υπάρχουν αρκετά παράλληλα μονοπάτια για τη μεταφορά αυτής.



Εικόνα 4.7: Ενδεικτική Μορφή Παράλληλων (P) και Σειριακών (S) υπο-μονάδων [21]

Οι αλληλεξαρτήσεις που εμφανίζονται στις υπο-μονάδες, μελετώνται με τη μορφή καταστάσεων. Έτσι, κάθε στοιχείο, γραμμή ή υπο-μονάδα, μπορεί να είναι σε μια από τις εξής καταστάσεις: κανονική, υπερφορτωμένη ή εκτός λειτουργίας. Η κανονική είναι η αρχική κατάσταση όλων των στοιχείων, η υπερφορτωμένη κατάσταση ενός στοιχείου e προκύπτει όταν κάποιο άλλο στοιχείο e' , το οποίο ασκεί κάποιας μορφής επιρροή στο e , λόγω της μορφής του δικτύου, τίθεται εκτός λειτουργίας. Η κατάσταση πλέον του e μπορεί να μεταδοθεί και σε άλλα στοιχεία. Ένα στοιχείο μπορεί να τεθεί εκτός λειτουργίας είτε όντας στην κανονική, είτε στην υπερφορτωμένη κατάσταση. Επίσης, στην περίπτωση που το στοιχείο είναι μια γραμμή, από εκτός λειτουργίας μπορεί να τεθεί σε κατάσταση επιδιόρθωσης. Ορίζονται τριών ειδών εξαρτήσεις μεταξύ των στοιχείων της κάθε υπο-μονάδας, d_1 , d_2 και d_3 . Η πρώτη μορφή εξάρτησης (d_1) είναι ίδια τόσο στις σειριακές όσο και στις παράλληλες υπο-μονάδες και αφορά στη μετάδοση είτε της υπερφορτωμένης είτε της κανονικής κατάστασης από το στοιχείο e_i στο e_{i+1} . Η δεύτερη (d_2), στην περίπτωση της σειριακής υπο-μονάδας, εξετάζει την κατάσταση εκτός λειτουργίας, η οποία αν συμβεί σε ένα στοιχείο e_i , τότε το στοιχείο e_{i+1} θα αποκτήσει κανονική κατάσταση, όπου λόγω της d_1 θα μεταφερθεί και στα υπόλοιπα στοιχεία, e_{i+1}, \dots, e_n . Επίσης, η d_2 εξετάζει και την κατάσταση επιδιόρθωσης (repair), η οποία αν συμβεί στο στοιχείο e_i δεν έχει καμία επιρροή στα υπόλοιπα στοιχεία. Όσον αφορά στην παράλληλη υπο-μονάδα, αν τουλάχιστον ένα στοιχείο e_i, \dots, e_n τεθεί εκτός λειτουργίας, τότε όλα επηρεάζονται και μπαίνουν στην κατάσταση υπερφόρτωσης. Η τρίτη (d_3) αφορά στις υπο-μονάδες (M) και πως η κατάσταση αυτών επηρεάζεται από την κατάσταση των στοιχείων τους.

Δηλαδή, η κατάσταση της M όταν αυτή είναι σειριακή έχει ως εξής:

- κανονική όταν όλα τα στοιχεία της, e_i, \dots, e_n , είναι στην κανονική
- εκτός λειτουργίας όταν τουλάχιστον ένα από τα στοιχεία της, e_i, \dots, e_n , είναι εκτός λειτουργίας και
- υπερφορτωμένη σε κάθε άλλη περίπτωση.

Η d_3 στην περίπτωση της παράλληλης υπο-μονάδας ορίζει ότι η κατάσταση της M είναι:

- εκτός λειτουργίας όταν όλα τα στοιχεία της είναι e_i, \dots, e_n , είναι εκτός λειτουργίας
- υπερφορτωμένη όταν τουλάχιστον ένα από τα στοιχεία της e_i, \dots, e_n , είναι σε υπερφορτωμένη και
- κανονική σε κάθε άλλη περίπτωση.

Μετά τις παραπάνω εξαρτήσεις, οι καταστάσεις ορίζονται πιο αναλυτικά ως εξής:

- *Υπερφορτωμένη Κατάσταση*

Αν το στοιχείο είναι μια γραμμή και βρίσκεται σε κανονική κατάσταση, τότε επιστρέφει σε υπερφορτωμένη. Αν όμως το στοιχείο είναι μια M (υπο-μονάδα), τότε διαδίδει την κατάσταση υπερφόρτωσης στα στοιχεία του. Αν το πρώτο στοιχείο της μονάδας, έστω f_1 , είναι σε κανονική κατάσταση, τότε μετατρέπεται σε υπερφορτωμένη και λόγω της εξάρτησης d_1 θα μεταφέρει την κατάσταση υπερφόρτωσης και στα υπόλοιπα στοιχεία της M , έστω f_2, \dots, f_n .

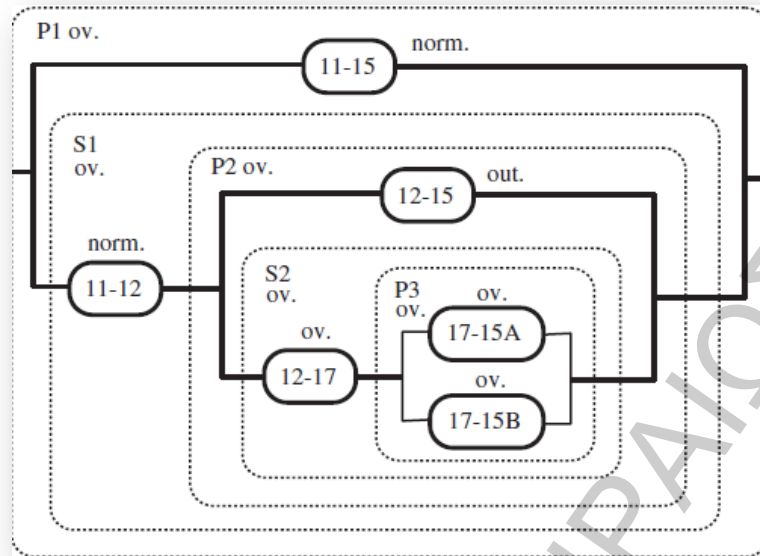
- *Κανονική Κατάσταση*

Αν το στοιχείο είναι μια γραμμή και βρίσκεται σε υπερφορτωμένη κατάσταση, τότε επιστρέφει σε κανονική. Αν όμως το στοιχείο είναι μια M (υπο-μονάδα), τότε διαδίδει την κανονική κατάσταση στα στοιχεία του. Αν το πρώτο στοιχείο της μονάδας, έστω f_1 , είναι σε κατάσταση υπερφόρτωσης, τότε μετατρέπεται σε κανονική και λόγω της εξάρτησης d_1 θα μεταφέρει την κανονική κατάσταση και στα υπόλοιπα στοιχεία της M , έστω f_2, \dots, f_n .

- *Εκτός Λειτουργίας*

Τόσο η κανονική όσο και η υπερφορτωμένη κατάσταση ισχύει ότι μπορεί να οδηγηθεί σε κατάσταση εκτός λειτουργίας. Στη συνέχεια, η γραμμή μεταφέρεται σε κατάσταση επιδιόρθωσης (repair), μέσω της οποίας επιστρέφει στην κανονική. Λόγω επίσης, των d_1, d_2 μπορεί να καταλήξει σε κατάσταση υπερφόρτωσης.

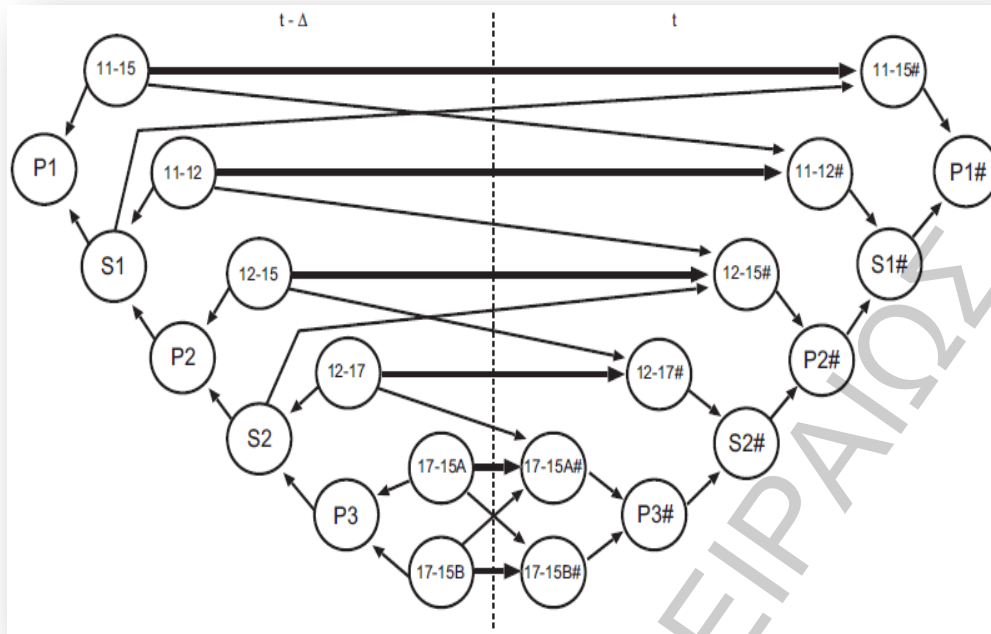
Για παράδειγμα, θα μελετήσουμε ένα σενάριο διαδοχικών επιδράσεων, με βάση τους κανόνες που προαναφέραμε. Έστω ότι στο σχήμα της εικόνας 5.6 συμβαίνει διακοπή λειτουργίας της γραμμής (12-15). Όπως βλέπουμε στο σχήμα, η παράλληλη υπο-μονάδα $P2$ αποτελείται από τη γραμμή (12-15) και τη σειριακή υπο-μονάδα $S2$. Σύμφωνα με την d_2 , όταν σε μια παράλληλη υπο-μονάδα υπάρχει τουλάχιστον ένα στοιχείο εκτός λειτουργίας, τότε όλα τα υπόλοιπα τίθενται σε κατάσταση υπερφόρτωσης και συνεπώς η κατάσταση αυτή μεταφέρεται και εδώ, δηλαδή στην $S2$. Επειδή η $S2$ είναι υπο-μονάδα, η κατάστασή της θα μεταφερθεί και στην πρώτη γραμμή της, δηλαδή την (12-17). Στη συνέχεια, λόγω της d_1 , η κατάσταση υπερφόρτωσης μεταφέρεται και στο επόμενο στοιχείο της (12-17), δηλαδή την παράλληλη υπο-μονάδα $P3$. Λόγω των d_1 και d_2 , όπως και παραπάνω, οι γραμμές (12-15A) και (17-15B) γίνονται υπερφορτωμένες, ενώ τα υπόλοιπα στοιχεία παραμένουν στην κανονική – αρχική κατάστασή τους. Τέλος, λόγω της d_3 οι υπο-μονάδες $S1$ και $P1$ γίνονται υπερφορτωμένες, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.7.



Εικόνα 4.8: Ενδεικτικό Cascading Σενάριο με Βάση τους Κανόνες [21]

Αναφορικά με τα Μπαϋεσιανά Δίκτυα, αναπαριστώνται με τη βοήθεια κατευθυνόμενων ακυκλικών γράφων, των οποίων οι κόμβοι αντιστοιχούν σε διακριτές τυχαίες μεταβλητές, οι οποίες έχουν υπό συνθήκη εξάρτηση από τους γονικούς κόμβους. Η δυναμική εκδοχή των Μπαϋεσιανών Δικτύων, περιλαμβάνει την έννοια της μη μεταβλητότητας στο χρόνο και έτσι οι εξαρτήσεις είναι ίδιες σε κάθε χρονική στιγμή. Προκειμένου να μοντελοποιήσουν την χρονική εξέλιξη του συστήματος, λαμβάνουν υπόψη δύο χρονικές στιγμές, την t (ulterior level) και την $t-\Delta$ (anterior level). Αν θεωρήσουμε ότι έχουμε ένα σύνολο από μεταβλητές κατάστασης $X_1 \dots X_n$ εξαρτώμενες από το χρόνο, ένα ΔΜΔ αποτελείται από τις καταστάσεις αυτές στις παραπάνω χρονικές στιγμές, ενώ βέλη αναπαριστούν το μοντέλο μετάβασης. Έτσι η X_i^t είναι ένα στιγμιότυπο της μεταβλητής X τη χρονική στιγμή t . Τα τόξα που συνδέουν τους κόμβους – καταστάσεις διαφορετικών χρονικών στιγμών ονομάζονται «Inter - slice dependency model», ενώ τα αντίστοιχα για κόμβους ίδιων χρονικών στιγμών «Intra - slice dependency model».

Για τη μετατροπή των προαναφερθέντων σειριακών και παράλληλων υπο-μονάδων σε ΔΜΔ, λαμβάνεται υπόψη ότι κάθε στοιχείο (γραμμή ή υπο-μονάδα) αναπαριστάται από μια μεταβλητή κατάστασης, έστω e_1 , το στιγμιότυπο της οποίας τη χρονική στιγμή t αναπαριστάται με το σύμβολο της δίεσης, $e_{1\#}$.

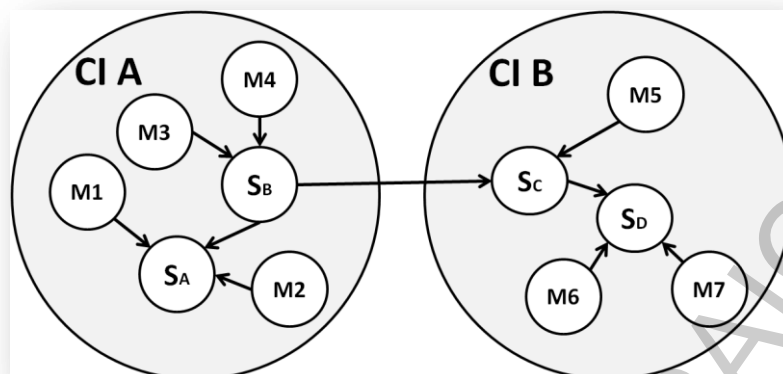


Εικόνα 4.9: Αντίστοιχο Δυναμικό Μπαϋεσιανό Δίκτυο [21]

Μια άλλη προσέγγιση η οποία κάνει χρήση των Μπαϋεσιανών Δικτύων είναι η [22]. Πιο συγκεκριμένα, η χρήση τους προτείνεται στα πλαίσια της μοντελοποίησης των Κρίσιμων Υποδομών και αποτελεί την πρώτη προσπάθεια εισαγωγής τους στην αποτίμηση της επικινδυνότητας στις Κρίσιμες Υποδομές με αλληλεξαρτήσεις. Το μοντέλο ασφάλειας των Κρίσιμων Υποδομών, στο οποίο στηρίζονται τα Μπαϋεσιανά Δίκτυα, αποτελείται από τις Υπηρεσίες των Κρίσιμων Υποδομών (CI Services) και τις Αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των Υπηρεσιών αυτών. Μια Υπηρεσία Κρίσιμης Υποδομής παρέχεται από μια Κρίσιμη Υποδομή είτε στον πελάτη είτε σε άλλες Υπηρεσίες Κρίσιμων Υποδομών ως εξάρτηση. Το μοντέλο αυτό αποτιμά την επικινδυνότητα Υπηρεσίας των Κρίσιμων Υποδομών, λαμβάνοντας υπόψη την Εμπιστευτικότητα, Ακεραιότητα και Διαθεσιμότητα, μετά την εκδήλωση ενός περιστατικού, το οποίο επιτυγχάνεται μέσω μετρήσεων του συστήματος, οι οποίες καθορίζουν την κατάσταση της Υπηρεσίας παρατηρώντας την επικινδυνότητα Υπηρεσίας των εξαρτώμενων Κρίσιμων Υποδομών. Η αποτίμηση που προκύπτει κοινοποιείται στις εξαρτημένες Υπηρεσίες Κρίσιμων Υποδομών, οι οποίες με τη σειρά τους θα χρησιμοποιήσουν την πληροφορία αυτή για να ανανεώσουν τη δική τους αποτίμηση επικινδυνότητας. Η αποτίμηση της επικινδυνότητας γίνεται σε κλίμακα 0 – 5, με το 0 να αντιπροσωπεύει την έλλειψη επικινδυνότητας και το 5 τη μέγιστη τιμή αυτής.

Πιο αναλυτικά, το μοντέλο ασφάλειας έχει τη μορφή της Εικόνας 4.10. Οι κόμβοι SA και SD αναπαριστούν Κρίσιμες Υπηρεσίες, ενώ οι κόμβοι $M1$ και $M7$ αναπαριστούν μετρήσεις του συστήματος. Οι ακμές αποτελούν τις εξαρτήσεις μεταξύ των Υπηρεσιών, για παράδειγμα η διαθεσιμότητα της Υπηρεσίας SA εξαρτάται από αυτήν της Υπηρεσίας SB , ή μεταξύ μιας Υπηρεσίας και μιας μέτρησης συστήματος, ενδεικτικά η διαθεσιμότητα της Υπηρεσίας SA εξαρτάται από την κατάσταση της $M1$. Να σημειώσουμε ότι οι εξαρτώμενες Υπηρεσίες μπορούν να ανήκουν και σε

διαφορετικές Κρίσιμες Υποδομές (CI A, CI B), καθώς η Υπηρεσία S_B της CI A καθορίζει επίσης τη διαθεσιμότητα της Υπηρεσίας S_C in CI B.

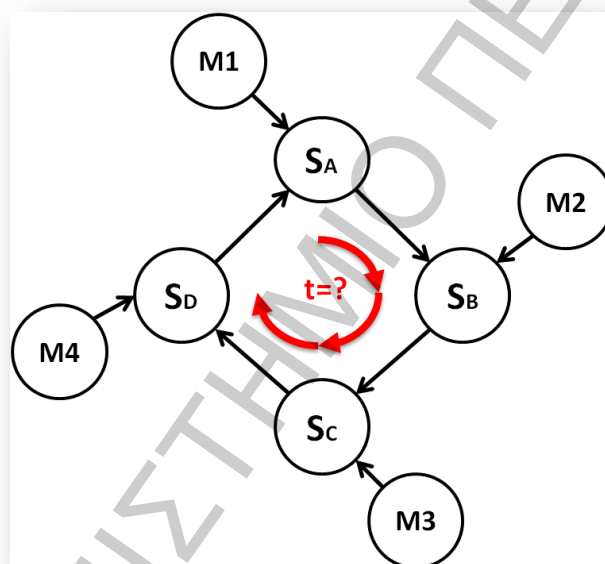


Εικόνα 4.10: Μοντέλο Ασφάλειας των Κρίσιμων Υποδομών [22]

Η συνεισφορά λοιπόν των Μπαϋεσιανών Δικτύων έγκειται στο γεγονός ότι παρέχουν έναν τρόπο αποτίμησης επικινδυνότητας μέσω μετρήσεων του συστήματος (risk monitoring) και την επικινδυνότητα Υπηρεσίας των Κρίσιμων εξαρτώμενων Υποδομών, ενώ η χρήση των Δυναμικών Μπαϋεσιανών Δικτύων προσφέρει δύο επιπλέον χαρακτηριστικά, αυτό της πρόβλεψης της επικινδυνότητας που εισάγει ένα περιστατικό μακροπρόθεσμα και αυτό της διαχείρισης των αλληλεξαρτήσεων. Πιο αναλυτικά, τα Μπαϋεσιανά Δίκτυα, μοντελοποιούν την πιθανότητα ενός γεγονότος, δεδομένης της κατάστασης των γεγονότων από τα οποία το αρχικό εξαρτάται. Πρόκειται για κατευθυνόμενους ακυκλικούς γράφους, όπου οι κόμβοι αναπαριστούν τα γεγονότα και οι ακμές τις σχέσεις/εξαρτήσεις μεταξύ των γεγονότων αυτών. Βασικό στοιχείο ενός Μπαϋεσιανού Δικτύου είναι ότι οι κόμβοι του εξαρτώνται μόνο από τους κόμβους – γονείς τους και όχι από τους προγόνους των τελευταίων (conditional independence). Επίσης, κάθε κόμβος έχει έναν πίνακα υπο-συνθήκη πιθανοτήτων (Conditional Probability Table), ο οποίος περιέχει τις πιθανότητες ο κόμβος να είναι σε μια συγκεκριμένη κατάσταση, δεδομένης της κατάστασης των κόμβων – γονέων τους. Ωστόσο, η συνολική τιμή της πιθανότητας του κάθε κόμβου θα πρέπει να είναι ίση με ένα, για κάθε δυνατό συνδυασμό των καταστάσεων των κόμβων – γονέων του.

Η χρήση της δυναμικότητας στα Μπαϋεσιανά Δίκτυα επιτυγχάνεται αναπαριστώντας κάθε χρονικό πλαίσιο (t) με ένα ξεχωριστό Μπαϋεσιανό Δίκτυο και ενώνοντάς τα ανάλογα με τη ροή του χρόνου. Με τη χρήση των Δυναμικών Μπαϋεσιανών Δικτύων επιτυγχάνεται όπως προαναφέραμε η μοντελοποίηση των αλληλεξαρτήσεων, καθώς τα Μπαϋεσιανά Δίκτυα δεν μπορούν να μοντελοποιήσουν κατευθυνόμενους κύκλους. Το τελευταίο συμβαίνει διότι ένας κατευθυνόμενος γράφος δεν ικανοποιεί την αρχή της «conditional independence» που προαναφέραμε, με αποτέλεσμα οι κόμβοι που ανήκουν στον κύκλο να εξαρτώνται τόσο από τους κόμβους – γονείς τους, όσο και από άλλους κόμβους – προγόνους τους. Με άλλα λόγια, δεν είναι διακριτό κατά πόσο οι επιδράσεις ενός περιστατικού προέρχονται από μια Υπηρεσία Κρίσιμης Υποδομής ή αποτελούν επιδράσεις για παράδειγμα δευτέρου βαθμού μέσω ενός κλειστού βρόγχου (loop-back).

Για την ύπαρξη αλληλεξαρτήσεων θα πρέπει ένα περιστατικό σε μια Υπηρεσία Κρίσιμης Υποδομής να επηρεάσει την ίδια Υπηρεσία μέσω εξαρτώμενων Υπηρεσιών. Ενδεικτικά μια αλληλεξάρτηση απεικονίζεται παρακάτω, $SA \rightarrow SB \rightarrow SC \rightarrow SD \rightarrow SA$, με τη μορφή ενός κατευθυνόμενου κύκλου. Να επισημάνουμε ότι οι κόμβοι $M1, M2, M3, M4$ είναι οι μετρητές του συστήματος, οι οποίοι αλλάζουν την κατάσταση των κόμβων – Υπηρεσιών. Με τη χρήση των Δυναμικών Μπαύσειανών Δικτύων εκτιμάται ο χρόνος (t) που απαιτείται για ένα περιστατικό να επιστρέψει σε μια Υπηρεσία Κρίσιμης Υποδομής μέσω εξαρτώμενων Υπηρεσιών. Ο πίνακας υπο-συνθήκη πιθανοτήτων στο πρώτο χρονικό πλαίσιο αναπαριστά τις πιθανότητες για την επικινδυνότητα μιας Υπηρεσίας Κρίσιμης Υποδομής δεδομένου ενός περιστατικού χωρίς επίδραση κλειστού βρόγχου, στο δεύτερο χρονικό πλαίσιο θα αναπαριστά τις πιθανότητες της επικινδυνότητας δεδομένου ότι οι επιδράσεις του αρχικού περιστατικού επιστρέφουν κατά τη διάρκεια αυτού του χρονικού πλαισίου. Εν συνεχεία, ο πίνακας υπο-συνθήκη πιθανοτήτων στο τρίτο, τέταρτο και n -οστό χρονικό πλαίσιο αναπαριστά τις πιθανότητες της επικινδυνότητας μετά το δεύτερο, τρίτο και $(n-1)$ βρόγχο, αντίστοιχα.



Εικόνα 4.11: Μοντελοποίηση Αλληλεξαρτήσεων και Διαδοχικών Επιδράσεων μέσω Δυναμικών Μπαύσειανών Δικτύων [22]

Να υπογραμμίσουμε ότι οι επιδράσεις μιας αλληλεπίδρασης είναι πιο ισχυρές στους χαμηλότερου βαθμού κλειστούς βρόγχους, καθώς το αποτέλεσμα ενός περιστατικού θα είναι πιο αισθητό την πρώτη φορά που θα επιστρέψει στην αρχική Υπηρεσία.

4.3.3.3 Ανάλυση Επικινδυνότητας και Ευπάθειας

Η [23], αποτιμά τις αλληλεξαρτήσεις των Κρίσιμων Υποδομών σαν κομμάτι της διατομεακής ανάλυσης επικινδυνότητας και ευπάθειας (RVA). Η μελέτη περιλαμβάνει τον Τομέα της ενέργειας, της παροχής νερού, των μεταφορών και των ΤΠΕ. Ωστόσο, εστιάζει στο βήμα δύο της RVA και συγκεκριμένα στη λεπτομερή ανάλυση των ήδη (από το πρώτο βήμα) προσδιορισμένων επικίνδυνων περιστατικών,

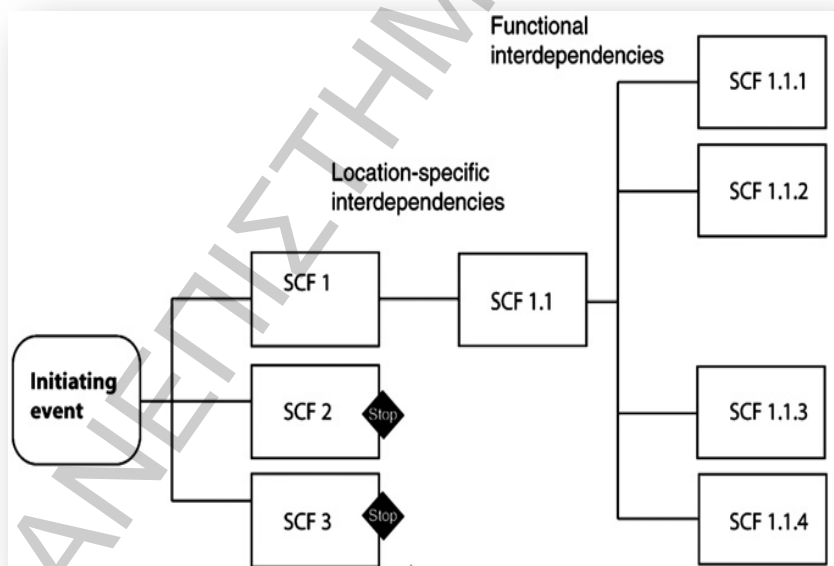
έτσι ώστε να βρεθούν οι αλληλεξαρτήσεις. Τα υπο-βήματα που ακολουθούνται είναι τα εξής:

- *Περιγραφή του Αρχικού Συμβάντος*

Συγκεκριμένα, εξετάζονται η φυσική τοποθεσία, περιβαλλοντικές συνθήκες και περιορισμοί, χωρικές και χρονικές κλίμακες, τεχνικά και οργανωσιακά συστήματα, λειτουργικοί παράγοντες και φυσικά αντικείμενα που επηρεάζονται. Σημαντικό στοιχείο αποτελούν οι Κοινωνικές Λειτουργίες Ζωτικής Σημασίας (SCFs), δηλαδή οι λειτουργίες ή οι καταστάσεις των Κρίσιμων Υποδομών, οι οποίες αλλάζουν σε σχέση με πριν την εμφάνιση του αρχικού συμβάντος, κατά τη διάρκεια αυτού και μετά το πέρας του. Επίσης, μελετώνται κατά πόσο οι αιτίες του αρχικού συμβάντος, σχετίζονται με τις συνέπειες που ακολούθησαν.

- *Προσδιορισμός Αλληλεπιδράσεων, μέσω Ποιοτικής Ανάλυσης*

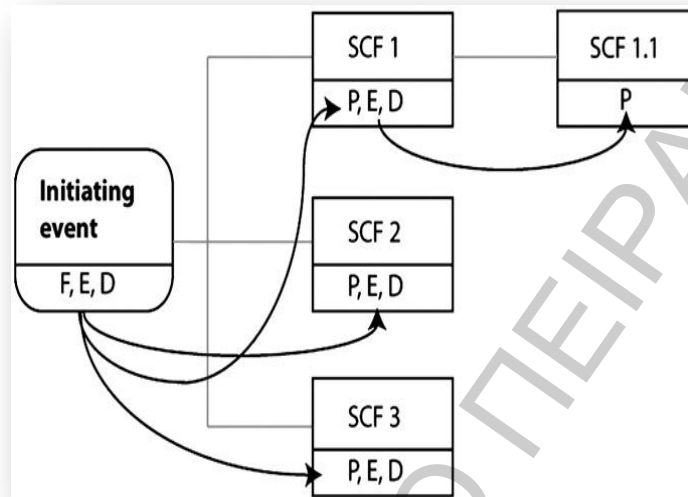
Η ύπαρξη αλληλεπιδράσεων μεταξύ Υποδομών επηρεάζει έντονα τη σοβαρότητα του αρχικού συμβάντος και σε αυτό το υπο-βήμα λαμβάνονται υπόψη οι αλληλεξαρτήσεις λόγω τοποθεσίας (physical/location – specific) και λόγω λειτουργίας (functional). Επιπρόσθετα, δημιουργείται το διάγραμμα διαδοχικών επιδράσεων (cascade diagram), όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα, προκειμένου να αναπαρασταθούν τα διαδοχικά γεγονότα, με αφετηρία το αρχικό συμβάν. Έχει δένδροειδή μορφή και τα διαδοχικά γεγονότα αφορούν τις SCFs που επηρεάζουν. Λόγω των αλληλεξαρτήσεων, το διάγραμμα συνεχώς επεκτείνεται και συμπεριλαμβάνει και τις δύο ειδών αλληλεξαρτήσεις που προαναφέραμε. Στην περίπτωση που κάποια SCF δεν επηρεάζει κάποια άλλη, υπάρχει το σύμβολο «stop».



Εικόνα 4. 12: Αναπαράσταση των Διαδοχικών Αποτυχιών, Ποιοτική Ανάλυση [23]

Το διάγραμμα δίνει τη δυνατότητα ανάλυσης των συνεπειών και της επικινδυνότητας τόσο σε ποιοτικό, όσο και σε ποσοτικό επίπεδο. Ωστόσο, σε αυτό το υπο-βήμα, πραγματοποιείται μόνο ποιοτική ανάλυση των επικινδυνοτήτων που υπάρχουν και πως μπορούν αυτές να μειωθούν.

- *Πραγματοποίηση Ημι-ποσοτικής Αποτίμησης της Επικινδυνότητας του Σεναρίου*
Υπολογίζεται η τριπλέτα επικινδυνότητας <F,D,E>, για το αρχικό συμβάν, δηλαδή <Συχνότητα εμφάνισης του αρχικού συμβάντος, Διάρκεια επίπτωσης (π.χ. μη διαθεσιμότητα) σε μια SCF, Έκταση επίπτωσης (π.χ. αριθμός ατόμων που επηρεάστηκαν από τη μη διαθεσιμότητα της SCF)> και η τριπλέτα επικινδυνότητας <P,E,D> για κάθε επακόλουθο συμβάν, όπου P είναι η πιθανότητα εμφάνισης του γεγονότος.



Εικόνα 4.13: Αναπαράσταση των Τριπλετών Επικινδυνότητας [23]

Η επικινδυνότητα (R) ορίζεται από τον τύπο:

$$R = fC, \quad \text{όπου } C: \text{ οι συνέπειες} \quad (4.16)$$

Για τον υπολογισμό των συνεπειών κάθε επακόλουθου συμβάντος πρέπει όπως είπαμε να υπολογιστεί η τριπλέτα <P,E,D> και άρα για κάθε κόμβο-φύλλο, έστω j, του παραπάνω δένδρου ισχύει:

$$C_j = 10^{P_j - 4.5} \times 10^{E_j} \times 6^{D_j - 1.5} \quad (4.17)$$

Η σχέση (4.17) υπολογίζεται για κάθε κόμβο του δένδρου (κλαδιά – branches) μέχρι να φτάσουμε στον κόμβο του αρχικού συμβάντος (ρίζα – root). Έτσι, για το αρχικό συμβάν, έστω i, λαμβάνονται υπόψη και οι συνέπειες των κόμβων-κλαδιών και ισχύει:

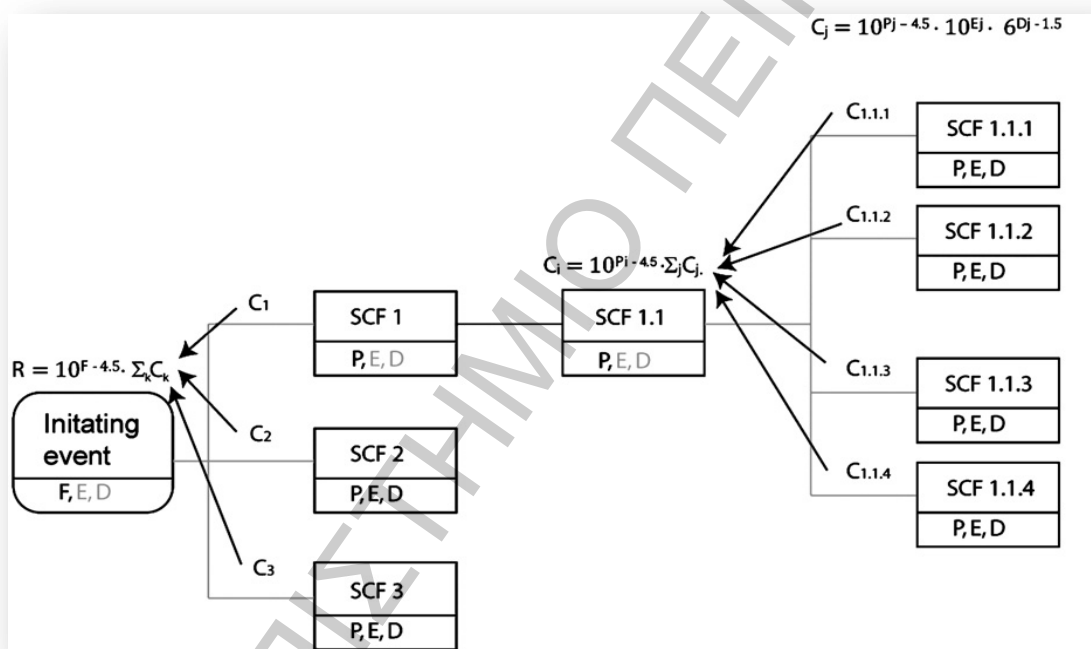
$$C_i = 10^{P_i - 4.5} \times \sum_j C_j \quad (4.18)$$

Συνεπώς η συνολική επικινδυνότητα του σεναρίου (4.16) που έχει διαμορφώσει την παραπάνω δενδροειδή μορφή είναι:

$$\xRightarrow{(4.18)} R = 10^{F-4.5} \times \sum_k C_k = fC \quad (4.19)$$

όπου k: ο αριθμός των αλληλεξαρτήσεων.

- *Προαιρετική Πραγματοποίηση Λεπτομερούς Ποσοτικής Ανάλυσης Επικινδυνότητας*
Στο προηγούμενο βήμα, ο υπολογισμός των F,P,E,D γινόταν με βάση πέντε προκαθορισμένες κατηγορίες εύρους τιμών, ενώ στην προκειμένη περίπτωση προτείνεται η χρήση αυθαίρετων τιμών για τον υπολογισμό τους. Οι τύποι που χρησιμοποιούνται είναι οι ίδιοι με αυτούς του προηγούμενου βήματος.



Εικόνα 4.14: Αναπαράσταση των Διαδοχικών Αποτυχιών [23]

- *Εκτίμηση της Επικινδυνότητας και των Μέτρων για τη Μείωση των Αλληλεξαρτήσεων*

Το Cascade Diagram μπορεί να χρησιμοποιηθεί, προκειμένου να μελετηθεί η επικινδυνότητα που απομένει όταν εισαχθεί για παράδειγμα στο σύστημα η έννοια του πλεονασμού (redundancy).

- *Προαιρετική Πραγματοποίηση Ανάλυσης Κόστους-Ωφέλους (CBA)*

Εισάγει ενδεικτικά την παρακάτω σχέση, ως μέτρο σύγκρισης του αντικτύπου που θα έχει η απώλεια μιας κρίσιμης υπηρεσίας στην οικονομία. Αν η απώλεια της κρίσιμης υπηρεσίας επηρεάζει τις συνολικές ανθρωποώρες, έστω $x = ed$, όπου e είναι η έκταση και d η διάρκεια, και έχει αντίκτυπο στην οικονομία, έστω y (σε εκατομμύρια), τότε ισχύει:

$$\ln y = 0.58 \ln x - 3.1 \quad (4.20)$$

Μια παρόμοια προσέγγιση ακολουθείται και από την [24], η οποία επικεντρώνεται στην Υποδομή της ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ πραγματοποιεί διατομεακή (cross-sector) ανάλυση επικινδυνότητας, η οποία περιλαμβάνει ανάλυση ενδεχομένων (contingency analysis), δηλαδή πρόβλεψη των επιδράσεων μιας αποτυχίας και λήψη μέτρων για την αύξηση της ανθεκτικότητας, ανάλυση αξιοπιστίας (reliability analysis), αλλά και χρήση ενός διαγράμματος διαδοχικών επιδράσεων (cascade diagram) προκειμένου να μελετηθούν οι αλληλεπιδράσεις. Τα βήματα που προτείνονται για την ανάλυση επικινδυνότητας είναι τα ακόλουθα:

- *Σχεδιασμός της Ανάλυσης*

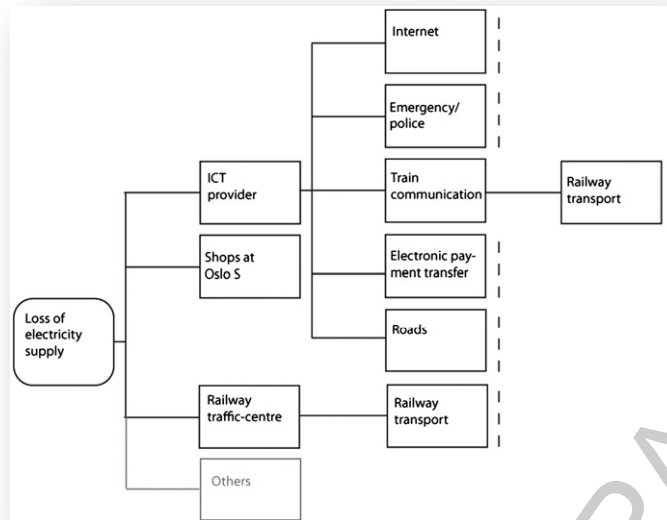
Είναι σημαντικό βήμα έτσι ώστε η ανάλυση επικινδυνότητας να ικανοποιεί τους στόχους που έχουν τεθεί για παράδειγμα από μια χώρα, τους ιδιοκτήτες μιας Κρίσιμης Υποδομής, ή χρήστες αυτής. Η έκταση της ανάλυσης καθορίζεται επίσης σε αυτό το βήμα, αν παραδείγματος χάριν θα περιλαμβάνει ένα σύνολο υποδομών, ένα υποσύνολο ή μια συγκεκριμένη συνιστώσα. Επιπροσθέτως, προσδιορίζεται το είδος των συνεπειών που θα συμπεριληφθούν στη μελέτη και το κατά πόσο αυτή θα λαμβάνει υπόψη κακόβουλες ενέργειες.

- *Περιγραφή Αρχικού Συμβάντος*

Χρησιμοποιείται και εδώ η έννοια των Κοινωνικών Λειτουργιών Ζωτικής Σημασίας, ενώ θα πρέπει να μελετάται αν αυτές επηρεάστηκαν από το αρχικό συμβάν, ή αποτέλεσαν την πηγή για την εκδήλωση του αρχικού περιστατικού.

- *Προσδιορισμός Αλληλεξαρτήσεων*

Ομοίως, μελετώνται οι τοπικές (φυσικές) και λειτουργικές αλληλεξαρτήσεις και η απεικόνισή τους γίνεται με τη χρήση του διαγράμματος διαδοχικών επιδράσεων. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, το διάγραμμα ξεκινάει με το αρχικό συμβάν, συνεχίζει με τις Κοινωνικές Λειτουργίες Ζωτικής Σημασίας που σχετίζονται με την τοποθεσία και ακολούθως με αυτές που προκύπτουν από τις λειτουργικές αλληλεξαρτήσεις. Οι διακεκομμένες γραμμές ονομάζονται κόμβοι-φύλλα και δεν χρήζουν περισσότερης μελέτης.



Εικόνα 4.15: Διάγραμμα Διαδοχικών Επιδράσεων μιας Διακοπής Παροχής Ενέργειας σε Κεντρικό Σταθμό του Όσλο [24]

- *Πραγματοποίηση Ανάλυσης Επικινδυνότητας*

Χρησιμοποιείται η προσέγγιση της απαρίθμησης ενδεχομένων (contingency enumeration approach), προκειμένου να περιγράφεται το αρχικό συμβάν, το οποίο θα αφορά μια συγκεκριμένη Κρίσιμη Υποδομή, προτού αυτό μελετηθεί σε σχέση με τις αλληλεξαρτήσεις σε άλλες Υποδομές. Ως ενδεχόμενο – απρόοπτο αναφέρεται ένα περιστατικό το οποίο αποτελείται από διακοπές λειτουργίας μιας ή περισσότερων συνιστωσών εξαιτίας αποτυχιών, οι οποίες μπορεί να έχουν τεχνική, ανθρώπινη ή φυσική αιτία. Στην εκδήλωση ενός αρχικού συμβάντος συνήθως συμβάλλουν διάφορα απρόοπτα περιστατικά. Η προσέγγιση της απαρίθμησης ενδεχομένων αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα:

- Επιλογή και Αποτίμηση των Ενδεχομένων

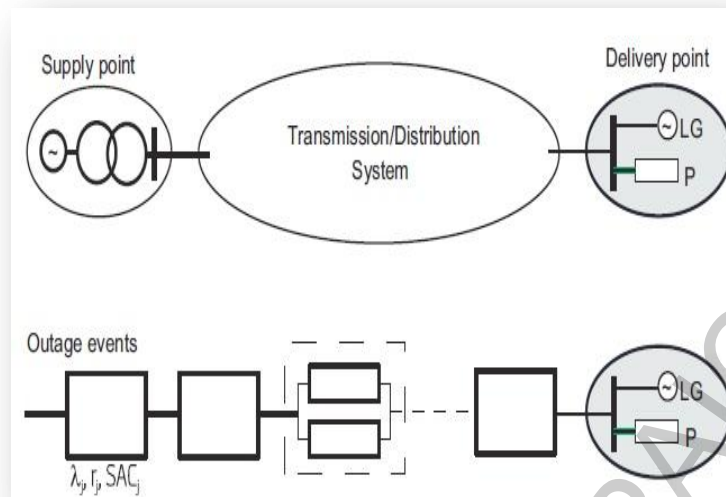
Αποσκοπεί στη μείωση του αριθμού των ενδεχομένων προς ανάλυση με βάση κάποιο κριτήριο.

- Ανάλυση Συνεπειών των Ενδεχομένων

Προσδιορίζονται τα σημεία παράδοσης (delivery points) τα οποία θα υποστούν διακοπές παροχής ενέργειας. Εν συνεχεία η ανάλυση των συνεπειών βασίζεται στην προσομοίωση των ενδεχομένων μέσω των μοντέλων «physical power flow». Ως αποτέλεσμα αυτού του υπό-βήματος, είναι ο προσδιορισμός των κρίσιμων ενδεχομένων, τα οποία διαμορφώνουν το λεγόμενο «minimal cut set».

- Αποτίμηση Αξιοπιστίας και Συγκέντρωση των Δεικτών Αξιοπιστίας (Reliability Indices)

Για την αποτίμηση της αξιοπιστίας δημιουργήθηκε το παρακάτω μοντέλο αξιοπιστίας.



Εικόνα 4. 16: Μοντέλο Αξιοπιστίας για την Υποδομή Ηλεκτρικής Ενέργειας [24]

Το «minimal cut set» μπορεί να αναπαριστά την αποτυχία μιας συνιστώσας, ή πολλαπλά εξαρτώμενα ή ανεξάρτητα περιστατικά. Κάθε «minimal cut set» έχει τις ακόλουθες παραμέτρους:

1. Ποσοστό Αποτυχίας (Failure Rate, λ_j),
2. Διάρκεια Διακοπής (Outage Time, r_j),
3. Διαθέσιμη Χωρητικότητα (Available Capacity, SAC_j) για παροχή του απαιτούμενου φορτίου στο σημείο παράδοσης μετά την εκδήλωση του ενδεχομένου j .

Η συνθήκη για την διακοπή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας φαίνεται ακολούθως:

$$P > SAC + LG \quad (4.21)$$

Δηλαδή, διακοπή πραγματοποιείται όταν η διαθεσιμότητα της χωρητικότητας ενέργειας, μετά την εκδήλωση του ενδεχομένου, δεν είναι εφικτό να ικανοποιήσει το απαιτούμενο φορτίο. Να σημειώσουμε ότι το σύμβολο «LG» αφορά στην τοπική γεννήτρια στο σημείο παράδοσης.

Οι βασικοί δείκτες αξιοπιστίας για το σημείο παράδοσης είναι ο αναμενόμενος αριθμός των διακοπών παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και η διάρκεια αυτών, ενώ οι συνέπειες είναι το μέγεθος του φορτίου που αποσυνδέθηκε και η ενέργεια που δεν παράχθηκε. Η παράμετρος της διάρκειας και του μεγέθους του φορτίου που αποσυνδέθηκε περιγράφουν τη σοβαρότητα στην περίπτωση διακοπών παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στο σημείο παράδοσης. Παράλληλα, ως δείκτες επικινδυνότητας θεωρούνται ο αναμενόμενος αριθμός διακοπών και το μέγεθος της ενέργειας που δεν παράχθηκε.

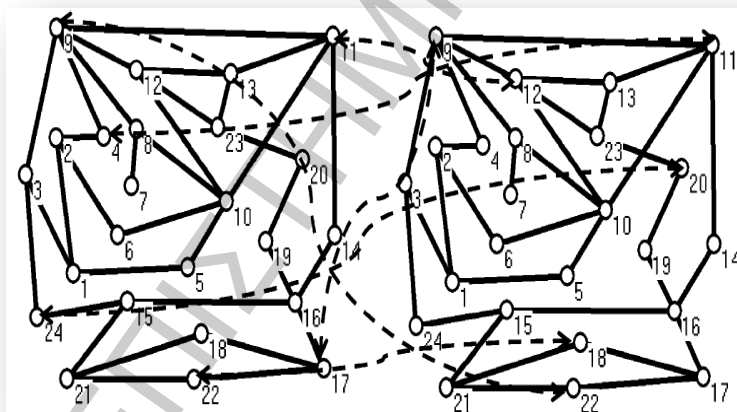
- *Εκτίμηση Επικινδυνότητας*

Στο συγκεκριμένο στάδιο αποτιμάται η πιθανότητα ενός σεναρίου αποτυχίας να εκδηλωθεί υπό όμοιες συνθήκες σε άλλες τοποθεσίες, κατά πόσο η επικινδυνότητα έχει υψηλότερη ή χαμηλότερη τιμή σε σχέση με όμοια σεναρία και συστήματα και κατά πόσο απαιτείται επιπρόσθετη ανάλυση. Μέτρα για την μείωση της επικινδυνότητας μπορούν να προταθούν σε αυτό το βήμα, με βάση το διάγραμμα διαδοχικών επιδράσεων αλλά και την αποτελεσματικότητά τους στην επικινδυνότητα που εντοπίστηκε.

4.3.3.4 Προσομοιώσεις Monte Carlo

Η [25] εντοπίζει ότι η ύπαρξη αλληλεξαρτήσεων πηγάζει από λειτουργικές και λογικές σχέσεις μεταξύ των συνιστωσών διαφορετικών και κατανομημένων συστημάτων. Για το λόγο αυτό, αναπαριστά σε επίπεδο συνιστώσας ενός συστήματος τις Κρίσιμες Υποδομές, ενώ στοχεύει οι τελευταίες να παρέχουν υπηρεσίες οι οποίες θα λειτουργούν υπό συνθήκες ασφαλείς για την αποφυγή διάδοσης τυχόν αποτυχιών.

Μια ενδεικτική μορφή δύο αλληλεξαρτώμενων συστημάτων φαίνεται παρακάτω, όπου το κάθε σύστημα αποτελείται από είκοσι τέσσερις κόμβους – συνιστώσες, τριάντα τέσσερις συνδέσεις μεταξύ των συνιστωσών του ίδιου συστήματος (κανονικές γραμμές) και έξι αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των αλληλεξαρτώμενων συστημάτων (διακεκομμένες γραμμές).



Εικόνα 4.17: Δύο Αλληλεξαρτώμενα Συστήματα [25]

Για τη δημιουργία των παραπάνω δικτύων και την εισαγωγή δυναμικότητας στις αλληλεξαρτήσεις κάθε φορά που θα εκτελείται ο αντίστοιχος αλγόριθμος, χρησιμοποιείται η μέθοδος Monte Carlo. Η συνθήκη που ορίζεται για την αποτυχία μιας συνιστώσας, έστω j , η οποία ανήκει στο σύστημα, έστω i , είναι ότι το άθροισμα του φορτίου για την λειτουργία της (L_{ji}) και της διατάραξης (disturbance) που προκαλείται σε κάθε συνιστώσα j των δύο αλληλεξαρτώμενων συστημάτων (D_{ji}) πρέπει να είναι μεγαλύτερο της τιμής φορτίου που έχει καθοριστεί για την εκδήλωση αποτυχίας (L_{fail}^i). Μετά την εκδήλωση της αποτυχίας, η υπερφόρτωση διαδίδεται πρώτα τοπικά, στους πρώτους γείτονες της αποτυχημένης συνιστώσας εντός του ίδιου

συστήματος, και εν συνεχεία στις αλληλεξαρτώμενες συνιστώσες του άλλου συστήματος (I).

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων είναι τα εξής:

- Αρχικά, επισημαίνεται η σπουδαιότητα μελέτης παραμέτρων, όπως ο αριθμός των αποτυχημένων συνιστωσών σε ένα σύστημα λόγω μιας διαδοχικής αποτυχίας (S_i), αλλά και η μέγιστη επιτρεπτή τιμή του φορτίου λειτουργίας (loading level/operating level) μιας συνιστώσας του συστήματος, έστω i (L_{cr}^i), πάνω από την οποία ξεκινάει η διάδοση μιας αποτυχίας, έτσι ώστε να καθορίζεται η τρωτότητα του εκάστοτε συστήματος σε διαδοχικές επιδράσεις και να προσδιορίζονται καλύτερα τα ασφαλή όρια αυτού. Η διαφορά του L_{cr}^i και του L_{fail}^i έγκειται στο γεγονός ότι μετά την εμφάνιση μιας αποτυχίας, η διαδοχή αυτής θα αρχίσει με την αύξηση του φορτίου πάνω από ένα επιτρεπτό όριο. Άρα το πρώτο καθορίζει το κάτω όριο για την έναρξη μιας διαδοχικής αποτυχίας, ενώ το πρώτο το κάτω όριο για την έναρξη μιας αποτυχίας.
- Στη συνέχεια, βρέθηκε ότι όσο μεγαλώνει το φορτίο λειτουργίας ενός αποτυχημένου κόμβου, το οποίο έστω ότι ανήκει στο πρώτο σύστημα, τόσο μικραίνει η τιμή φορτίου λειτουργίας της εξαρτώμενης συνιστώσας πάνω από την οποία θα ξεκινήσει η διαδοχή της αποτυχίας, L_{cr}^i .
- Επισημαίνεται επίσης, ότι με δεδομένο τον αριθμό των αλληλεξαρτήσεων (M) και την τιμή του φορτίου που μεταφέρεται μέσω των συνδέσεων αλληλεξάρτησης (I), μπορεί να καθοριστεί η μέγιστη τιμή του αποδεκτού φορτίου, L_{cr}^i .
- Καταληκτικά, τονίζεται ότι στην περίπτωση που έχει καθοριστεί η τιμή του φορτίου λειτουργίας και ο αριθμός των αποτυχημένων συνιστωσών σε ένα σύστημα λόγω μιας διαδοχικής αποτυχίας (S_i), μπορεί παράλληλα να προσδιοριστεί και ο αριθμός των μέγιστων δυνατών αλληλεξαρτήσεων (M) που μπορούν να υπάρξουν για την αποφυγή διαδοχής αποτυχιών.

4.3.4 Βασική Προσέγγιση Αποτίμησης Επικινδυνότητας με βάση τις Διαδοχικές Επιδράσεις

Η ύπαρξη Πίνακα Επικινδυνότητας εξαρτήσεων (Dependency Risk Table), είχε ήδη προταθεί στις [26], [27], καθώς περιλαμβάνει τις εξαρτήσεις κάθε Υποδομής, ενώ για κάθε εξάρτηση αναφέρει το αντίκτυπο της πηγής (SImp), δηλαδή την επίδραση που έχει ένα συμβάν στην πηγή της εξάρτησης (απαιτούμενη υποδομή – requisite), το εισερχόμενο αντίκτυπο (PImp), δηλαδή την επίδραση που θα έχει το παραπάνω συμβάν της πηγής στην εξαρτώμενη (dependent) Υποδομή, καθώς επίσης την έκταση και την πιθανότητα του αντικτύπου της πηγής, προκειμένου να υπολογιστεί και η εξερχόμενη επικινδυνότητα από την A (πηγή) στην F (εξαρτώμενη από την A υποδομή), ($R_{A,F}$). Η τελευταία, ορίζεται από τον τύπο:

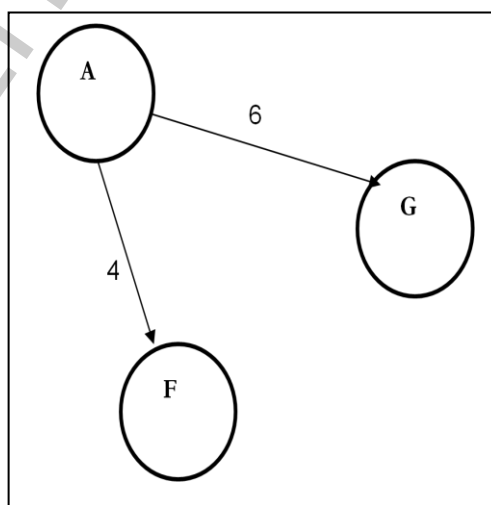
$$R_{A,F} = I_{A,F} \times L_{A,F} \quad (4.22)$$

Στον ακόλουθο πίνακα, οι τιμές των συνδυασμών (Χαμηλή (X), Υψηλή (Y)) και (Χαμηλή (X), Χαμηλή (X)) έχουν προκύψει από ανάλογο πίνακα στις [26], [27].

Εξαρτώμενες CIs	Τύπος εξάρτησης (CI_A)	Περιγραφή (Χρημ/κός Τομέας)	Αντίκτυπο Πηγής (SImp)	Εισερχόμενο Αντίκτυπο (PImp)	Τύπος ΠImp	Έκταση ($I_{j,i}$)	Πιθανότητα ($L_{j,i}$)	Επικινδυνότητα
CI_F	C	Παρέχει Υπηρεσίες Πληρωμής	Μη διαθεσιμότητα	Μη διαθεσιμότητα	Εμπιστοσύνη Κοινού	X	X	4
CI_G	C	Παρέχει Υπηρεσίες Πληρωμής	Μη διαθεσιμότητα	Μη διαθεσιμότητα	Εμπιστοσύνη Κοινού	Y	X	6

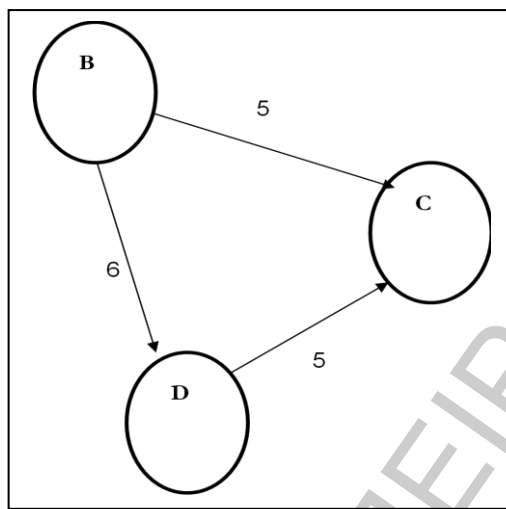
Εικόνα 4.18: Πίνακας Επικινδυνότητας Αλληλεξάρτησης [28]

Σε αυτήν την προσέγγιση οι εξαρτήσεις αναπαριστώνται με τη βοήθεια γράφων, όπου ο κάθε κύκλος αφορά μια υποδομή, ενώ η εξερχόμενη επικινδυνότητα ($R_{A,F}$) από την υποδομή A (CI_A) στην F (CI_F), δηλώνεται με τη μορφή $A \rightarrow F$. Αντίστοιχα η ύπαρξη αμφίδρομης εξάρτησης (αλληλεξάρτησης), δηλαδή ύπαρξη εξερχόμενης επικινδυνότητας από την υποδομή A στην F και από την F στην A, έχει τη μορφή $A \leftrightarrow F$. Επίσης, στο γράφο υπάρχουν και βάρη σε κάθε εξάρτηση, τα οποία υποδεικνύουν την τιμή της εξερχόμενης επικινδυνότητας από την υποδομή A στην G και από την A στην F, ή αλλιώς την εισερχόμενη επικινδυνότητα για την Υποδομή G και την Υποδομή F από την A. Πιο συγκεκριμένα, τα εν λόγω βάρη αναφέρονται στην πιθανότητα μια διακοπή λειτουργίας (μη διαθεσιμότητα) στην Υποδομή A να διαδοθεί και να επηρεάσει τις Υποδομές G και F αντίστοιχα, καθώς επίσης και στο κοινωνικό αντίκτυπο (societal impact) που θα επιφέρει, ενώ έχει εύρος μεταξύ των τιμών 0 και 9. Ο Γράφος Επικινδυνότητας Αλληλεξαρτήσεων (Dependency Risk Graph) που δημιουργείται αναπαριστά όλα τα παραπάνω.



Εικόνα 4.19: Γράφος Επικινδυνότητας Αλληλεξαρτήσεων [28]

Βασική συνεισφορά της προσέγγισης αυτής, αποτελεί ο υπολογισμός των αλληλεξαρτήσεων 2^{ης}-τάξης (2nd-order), προκειμένου να υπολογιστούν τα λεγόμενα cascading effects. Ο γράφος που θα μελετήσουμε είναι ο ακόλουθος:



Εικόνα 4.20: Γράφος για μελέτη 2-τάξης αλληλεξαρτήσεων [28]

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

1) Προσδιορισμός των Εξαρτήσεων Πρώτης Τάξης για την Υποδομή CI_i

Προσδιορίζονται οι εισερχόμενες επικινδυνότητες εξάρτησης για την υποδομή CI_i , εδώ η C. Όπως έχουμε προαναφέρει η εισερχόμενη επικινδυνότητα δίνεται από τη σχέση (4.22) και συγκεκριμένα στην περίπτωσή μας, για την αντίστοιχη από την D στη C ($D \rightarrow C$) ισχύει:

$$R_{D,C} = I_{D,C} \times L_{D,C} \quad (4.23)$$

2) Προσδιορισμός των Εξαρτήσεων 2^{ης}-τάξης για την Υποδομή CI_i

Σε αυτό το βήμα, για κάθε εισερχόμενη επικινδυνότητα που έχει υπολογιστεί προηγουμένως, αναφορικά με την Υποδομή CI_i , εξετάζεται η Υποδομή πηγής (source), στην περίπτωσή μας η D, προκειμένου να προσδιοριστούν οι πιθανές εισερχόμενες εξαρτήσεις αυτής, εδώ η $B \rightarrow D$. Αν το εισερχόμενο αντίκτυπο της εξάρτησης $B \rightarrow D$ είναι ίδιο με το αντίκτυπο πηγής της $D \rightarrow C$, τότε η εξάρτηση αυτή σημειώνεται. Η ίδια διαδικασία του βήματος αυτού, συνεχίζεται έως ότου μελετηθούν όλες οι πιθανές 2^{ης}-τάξης εξαρτήσεις της Υποδομής CI_i . Επίσης, στο παραπάνω σχήμα τυχαίνει η Υποδομή B να αποτελεί και εξάρτηση πρώτου βαθμού για την C.

3) Εκτίμηση των Επικινδυνότητων 2^{ης}-τάξης Εξαρτήσεων

Εφόσον έχει προσδιοριστεί η εξάρτηση δευτέρου βαθμού $B \rightarrow D \rightarrow C$, υπολογίζεται η αντίστοιχη επικινδυνότητα $R_{B,D,C}$. Για την επικινδυνότητα αυτή ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις:

$$\begin{aligned}
 R_{B,D,C} &= R_{D,C} \times L_{B,D,C} \stackrel{(4.23)}{\implies} (I_{D,C} \times L_{D,C}) \times L_{B,D,C} \\
 &= I_{D,C} \times (L_{D,C} \times L_{B,D,C})
 \end{aligned}
 \tag{4.24}$$

Όσον αφορά στην πιθανότητα $L_{B,D,C}$, ονομάζεται υπό συνθήκη πιθανότητα (conditional probability). Με άλλα λόγια, η πιθανότητα $L_{D,C}$ πραγματοποιείται δεδομένου ότι έχει πραγματοποιηθεί η πιθανότητα $L_{B,D}$, ενώ υπολογίζεται ως εξής:

$$L_{B,D,C} = P(L_{D,C}/L_{B,D}) = \frac{L_{D,C} \cap L_{B,D}}{L_{B,D}} \tag{4.25}$$

Ωστόσο, ο υπολογισμός της δεσμευμένης πιθανότητας υπολογίστηκε στη συνέχεια μέσω δεσμευμένου βαθμού βεβαιότητας (conditional degree of belief) [29], προκειμένου να επεκταθεί για τη μελέτη ν-τάξης εξαρτήσεων, και συγκεκριμένα με τη βοήθεια του παρακάτω τύπου.

$$L_{Y_0, \dots, Y_n} = \prod_{i=0}^{n-1} L_{Y_i, Y_{i+1}} \tag{4.26}$$

Η επικινδυνότητα εμφάνισης μιας αλληλουχίας διαδοχικών περιστατικών, με έμφαση στην επικινδυνότητα που απορρέει από την τελευταία Υποδομή της αλυσίδας, υπολογίζεται με βάση τη σχέση 4.26 και είναι η εξής:

$$R_{Y_0, \dots, Y_n} = \prod_{i=0}^{n-1} L_{Y_i, Y_{i+1}} \times I_{Y_{n-1}, Y_n} \tag{4.27}$$

Εν συνεχεία, προτείνεται η χρήση του ακόλουθου τύπου για τον υπολογισμό της συνολικής (cumulative) επικινδυνότητας έτσι ώστε να εντοπίζεται η επικινδυνότητα που απορρέει από την εκάστοτε υπό εξέταση αλυσίδα εξαρτήσεων.

$$DR_{Y_0, \dots, Y_n} = \sum_{i=1}^n R_{Y_0, \dots, Y_i} = \sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1}^i L_{Y_{j-1}, Y_j} \right) \times I_{Y_{i-1}, Y_i} \tag{4.28}$$

4) Συνέχιση με την Εξέταση Άλλης Υποδομής

Τα βήματα 1 έως 3 επαναλαμβάνονται για κάθε Υποδομή που επιθυμούμε να εξετάσουμε.

5) Βαθμολόγηση των Διαδοχικών Επικινδυνότητων

Βαθμολογούνται όλες οι διαδοχικές επικινδυνότητες (cascading risks) που έχουν υπολογιστεί στα προηγούμενα βήματα και επιλέγονται τα πιο κρίσιμα μονοπάτια, με κριτήριο ένα κατώφλι (threshold), το οποίο ορίζεται από ειδικούς ασφάλειας.

6) Μετριασμός των Διαδοχικών Επικινδυνότητων

Δεδομένου ότι η μελέτη ν-τάξης αλληλεξαρτήσεων βοηθά στον προσδιορισμό των πιο Κρίσιμων Υποδομών και κατ' επέκταση των πιο Κρίσιμων Τομέων, η εξέταση του κρίσιμου μονοπατιού (critical path) που δημιουργείται μεταξύ των αλληλεξαρτήσεων, μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση των διαδοχικών επικινδυνότητων. Σημαντική θεωρείται η μελέτη των παραπάνω και για τη διαχείριση του κόστους σχετικά με τη δημιουργία αποδοτικών μέτρων, καθώς αυτά εφαρμόζονται σε συγκεκριμένες Υποδομές. Ενδεικτικά μέτρα είναι:

- Η μείωση της πιθανότητας εμφάνισης περιστατικών τα οποία οδηγούν στο αντίκτυπο πηγής στην Υποδομή-πηγή μιας αλυσιδωτής (chain) εξάρτησης.
- Η μείωση της πιθανότητας εμφάνισης περιστατικών τα οποία οδηγούν στο αντίκτυπο πηγής οποιουδήποτε ενδιάμεσου κόμβου στην εν λόγω αλυσίδα.
- Η μείωση του αντικτύπου των εξαρτήσεων, μέσω εναλλακτικών μονοπατιών.
- Η αύξηση της ανθεκτικότητας (resilience) των κρίσιμων μονοπατιών σε μια αλυσιδωτή εξάρτηση, έτσι ώστε να μειωθεί το αντίκτυπο σε κάθε κόμβο-Υποδομή.

4.3.4.1 Αδυναμίες

Η μέθοδος αποτίμησης που παρουσιάστηκε έχει τη δυνατότητα υπολογισμού της επικινδυνότητας μιας διαδοχικής αποτυχίας έως ν-βαθμού, δίνοντας έμφαση στις διαδοχικές επιδράσεις, ενώ στη βιβλιογραφία δεν συναντάται τρόπος αποτίμησης και των υπολοίπων δύο τύπων αποτυχιών, αυτόν της κοινής αιτίας και της κλιμακωτής αποτυχίας. Επίσης, δεν πραγματοποιείται ανάλυση γράφου για την εύρεση του πιο κρίσιμου μονοπατιού, τυχόν αλληλεξαρτήσεων (κυκλικών εξαρτήσεων), ή την πρόταση εναλλακτικών μονοπατιών, τα οποία θα μειώνουν την επικινδυνότητα μιας Κρίσιμης Υποδομής.

4.4 Συμπεράσματα

Οι αποτυχίες στις Κρίσιμες Υποδομές μπορεί να επιφέρουν καταστροφικές συνέπειες στον πληθυσμό, την οικονομική ευημερία και την εθνική ασφάλεια, οι οποίες πολύ συχνά οφείλονται στην ύπαρξη (αλληλ)εξαρτήσεων μεταξύ των Υποδομών αυτών. Συνεπώς, εκτός από τις υπόλοιπες παραμέτρους που έχουμε αναφέρει στο κεφάλαιο 3, θα πρέπει εξίσου να μελετώνται και να προσδιορίζονται οι εξαρτήσεις. Η εξέταση

των τελευταίων, βοηθάει σημαντικά στη μείωση της πιθανότητας εμφάνισης αποτυχιών και στην αντιμετώπιση των συνεπειών που προκύπτουν, γι' αυτό και στη βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετές προσεγγίσεις αποτίμησης επικινδυνότητας, οι οποίες λαμβάνουν υπόψη τις εξαρτήσεις γενικά αλλά και τις εξαρτήσεις στον Τομέα της ΤΠΕ (CIIP) ειδικότερα. Όσες μεθοδολογίες αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο αυτό, εστίαζαν ακριβώς στον εν λόγω παράγοντα, εξετάζοντάς τον από διαφορετική οπτική γωνία. Η βασική προσέγγιση που σχολιάστηκε, αποτελεί τον κορμό για τη μελέτη των εξαρτήσεων και με βάση αυτόν μελετώνται στη συνέχεια οι αποτυχίες της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

Οι τρόποι μελέτης μιας διαδοχικής αποτυχίας ποικίλλουν. Ωστόσο, δεν είναι όλοι οι τρόποι τόσο αποτελεσματικοί, καθώς δεν εμβαθύνουν στο ίδιο επίπεδο. Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας που παρουσιάστηκαν προκύπτει ότι οι διαδοχικές αποτυχίες δεν αποτελούν ένα περιστατικό χαμηλής πιθανότητας και ότι οι διαδοχικές αποτυχίες υψηλού βαθμού είναι αρκετά σπάνιες. Επιπρόσθετα, οι Τομείς στους οποίους συχνά συναντώνται οι διαδοχικές επιδράσεις είναι καθορισμένοι και περιλαμβάνουν αυτόν της Ενέργειας, του Διαδικτύου, και των Τηλεπικοινωνιών. Συνεπώς, επισημαίνεται ότι το εύρος των διαδοχικών αποτυχιών μπορεί να προσδιοριστεί με μεγαλύτερη ευκολία αν κανείς λάβει υπόψη του τα παραπάνω ευρήματα και δώσει έμφαση στην ενίσχυση της αξιοπιστίας – ανθεκτικότητας των Κρίσιμων Υποδομών, παρά στους τρόπους αντιμετώπισης των διαδοχικών αποτυχιών σε όλο το πλήθος των εξαρτώμενων Κρίσιμων Υποδομών.

Αναφορές

- [1] Theoharidou M., Kandias M., Gritzalis D., “Secure Port Information Systems: A state-of-the-art review”, in Proc. of the 7th IEEE International Conference in Global Security, Safety and Sustainability (ICGS3-2011), R. Bashroush, et al. (Eds.), Springer, Greece, August 2011.
- [2] Rinaldi, S., “Modeling and simulating critical infrastructures and their interdependencies”, in Proc. of the 37th Hawaii International Conference on System Sciences, Vol. 2., USA, IEEE, 2004.
- [3] Svedsen, N., Wolthunsen, S., “Connectivity models of interdependency in mixed-type critical infrastructure networks”, *Information Security Technical Report*, Vol. 1, pp.44-55, 2007.
- [4] Min O., Liu H., Zi-Jun M., Ming-Hui Y., Fei Q., “A methodological approach to analyze vulnerability of interdependent infrastructures”, *Simulation Modeling Practice and Theory*, Vol. 17, pp.817-828, 2009.
- [5] Nieuwenhuijs A., Luijff E., Klaver M., “Modeling dependencies in critical infrastructures”, in Critical Infrastructure Protection, IFIP series, Vol. 253, pp. 205-214, Goetz E., Sheno S. (Eds), Springer, 2008.
- [6] Aung Z. and Watanabe K., “A framework for modeling Interdependencies in Japan's Critical Infrastructures”, in 3rd IFIP International Conference on Critical Infrastructure Protection (CIP-2009), pp.243-257, Palmer C., Sheno S. (Eds.) Springer, USA 2009.

- [7] Santos J. R., “Inoperability Input-Output Modeling of Disruptions to Interdependent Economic Systems”, Vol. 9, No. 1, pp. 20-34, 2006.
- [8] Haimes Y. Y, Risk Modeling Assessment and Management, Wiley & Sons, Inc, New Jersey, 2009 (3rd edition).
- [9] Orsi M. J. and Santos J. R., “Probabilistic Modeling of Workforce-based Disruptions and Input-Output Analysis of Interdependent Ripple Effects”, *Economic Systems Research*, Vol. 22, No. 1, pp. 3-18, 2010.
- [10] Santos J. R., Barke K. and Zelinke Iv P. J., “Sequential Decisionmaking in Interdependent Sectors with Multiobjective Inoperability Decision Trees”, *Application to Biofuel Subsidy Analysis, Economic Systems Research*, Vol. 20, No. 1, pp. 29-56, 2008.
- [11] Santos J. R., “Inoperability input-output modeling of disruptions to interdependent economic systems”, *Systems Engineering*, Vol. 9, No. 1, pp. 20-34, January 2006.
- [12] Haimes Y., Santos J., Crowther K., Henry M., Lian C, Yan Z., “Risk Analysis in Interdependent Infrastructures”, *Critical Infrastructure Protection*, Vol. 253, pp.297-310, 2007.
- [13] Setola R., Porcellinis S., Sforna M., “Critical infrastructure dependency assessment using the input–output inoperability model”, *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, Vol. 2, No. 4, pp. 170-178, December 2009.
- [14] Crowther K., “Decentralized risk management for strategic preparedness of critical infrastructure through decomposition of the inoperability input-output model”, *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, Vol. 1, pp.53-67, 2008.
- [15] Theoharidou M., Kotzanikolaou P., Gritzalis D., “A multi-layer criticality assessment methodology based on interdependencies”, *Computers & Security*, Vol. 29, No.6, pp.643-658, 2010.
- [16] Theoharidou M., Kotzanikolaou P., Gritzalis D, “Risk assessment methodology for interdependent critical infrastructures”, *International Journal of Risk Assessment and Management* (Special Issue on Risk Analysis of Critical Infrastructures), Vol. 15, No. 2/3, pp. 128-148, 2011.
- [17] Van Eeten M., Nieuwenhuijs A., Luijff E., Klaver M., Cruz E., “The state and the Threat of Cascading Failure across Critical Infrastructures: The Implications of Empirical Evidence from Media Incident Reports”, *International Journal of Public Administration*, Blackwell Publishing Ltd , Vol. 89, No. 2, pp. 381 – 400, 2011.
- [18] Barrett C., Beckman R., Channakeshava K., Huang F., Kumar V., Marathe A., Marathe M., Pei G., “Cascading failures in multiple infrastructures: From transportation to communication network”, in the 5th International Conference on Critical Infrastructure (CRIS), pp.1-8, 2010.
- [19] Peterson J. L., “Petri Nets”, *ACM Computing Surveys (CSUR)*, Vol. 9, No. 3, pp. 223-252, September 1977.
- [20] Gursesli O., Desrochers A. A., “Modeling infrastructure interdependencies using Petri nets”, in Proc. of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 2, pp. 1506-1512, 2003.

- [21] Codetta-Raiteri D., Bobbio A., Montani S., Portinale L., “A dynamic Bayesian network based framework to evaluate cascading effects in a power grid”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* (Special Section: Dependable System Modelling and Analysis), Vol. 25, No. 4, pp. 683-697, June 2012.
- [22] Schaberreiter T., Bouvry P., Roning J., Khadraoui D., “A Bayesian Network Based Critical Infrastructure Risk Model”, in *EVOLVE - A Bridge between Probability, Set Oriented Numerics, and Evolutionary Computation II*, O. Schutze et al. (Eds.), AISC 175, pp. 207–218, 2013.
- [23] Utne I.B., Hokstad P., Vatn J., “A method for risk modeling of interdependencies in critical infrastructures”, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 96, No. 6, ESREL 2009 Special Issue, pp. 671-678, 2011.
- [24] Kjølle G.H., Utne I.B., Gjerde O., “Risk analysis of critical infrastructures emphasizing electricity supply and interdependencies”, *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 105, pp. 80-89, September 2012.
- [25] Zio E., Sansavini G., “Modeling Interdependent Network Systems for Identifying Cascade-Safe Operating Margins”, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 60, No. 1, pp. 94-101, March 2011.
- [26] Theoharidou M., Kotzanikolaou P., Gritzalis D., “A multi-layer criticality assessment methodology based on interdependencies”, *Computers & Security*, Vol. 29, No. 6, pp. 643-658, 2010.
- [27] Theoharidou M., Kotzanikolaou P., Gritzalis D., “Risk assessment methodology for interdependent critical infrastructures”, *International Journal of Risk Assessment and Management* (Special Issue on Risk Analysis of Critical Infrastructures), Vol. 15, No. 2/3, pp. 128-148, 2011.
- [28] Kotzanikolaou P., Theoharidou M., Gritzalis D., “Interdependencies between Critical Infrastructures: Analyzing the Risk of Cascading Effects”, in *Proc. of the 6th International Conference on Critical Infrastructure Security (CRITIS-2011)*, Wolthusen S., et al (Eds.), pp. 107-118, Springer, Switzerland, September 2011.
- [29] Kotzanikolaou P., Theoharidou M., Gritzalis D., "Assessing n-order dependencies between critical infrastructures", *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 2012 (to appear).

Κεφάλαιο 5^ο : Επικινδυνότητα Εξαρτώμενων Κρίσιμων Υποδομών: Μεθοδολογία Αποτίμησης Αποτυχιών

5.1 Εισαγωγή

Με τη βοήθεια της παρούσας μεθοδολογίας θα προσπαθήσουμε να αποτιμήσουμε την επικινδυνότητα αποτυχίας σε εξαρτώμενες Κρίσιμες (Πληροφοριακές) Υποδομές, τόσο για την ίδια την Κρίσιμη Υποδομή – Οργανισμό (Failure Risk), όσο και για την Κοινωνία (Societal Failure Risk), λαμβάνοντας υπόψη διάφορες περιπτώσεις γράφων αποτυχίας (failure graphs). Επίσης, θα δώσουμε έμφαση στον ρόλο της τεχνολογίας και τις επιπρόσθετες ευπάθειες που η συγκεκριμένη εισάγει, καθώς όλες οι Κρίσιμες Υποδομές εξαρτώνται σε μεγάλο ή μικρότερο βαθμό από αυτήν. Επειδή μέσω της μεθοδολογίας επιχειρείται ο προσδιορισμός του τύπου αποτυχίας σε κάθε σενάριο αποτυχίας και ανά Κρίσιμη Υποδομή, θεωρούμε ότι θα έχουμε πιο ακριβή αποτελέσματα αν μελετήσουμε τις αποτυχίες σε επίπεδο Συνιστώσας (Component level).

Το κεφάλαιο δομείται ως εξής: Στην ενότητα 5.2 θα αναφέρουμε τα βήματα της προτεινόμενης μεθοδολογίας, η οποία βασίζεται στη λογική των [1,2,3,4,5], στην ενότητα 5.3 θα υπολογίσουμε την επικινδυνότητα αποτυχίας σε διάφορα σενάρια αποτυχιών με τη βοήθεια των αντίστοιχων γράφων αποτυχίας, ενώ στην ενότητα 5.4 θα επισημάνουμε τα κύρια σημεία της προτεινόμενης μεθοδολογίας και τον σκοπό που αυτή υπηρετεί.

5.2 Προτεινόμενη Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία αποτίμησης αποτυχιών που προτείνεται βασίζεται σε γράφους εξαρτήσεων πρώτης τάξης [3] και στη λογική των [1,2,3,4,5], ενώ σκοπεύει στην αποτίμηση της επικινδυνότητας αποτυχίας, σε επίπεδο Συνιστώσας, η οποία προκύπτει μετά την εκδήλωση μιας αποτυχίας. Η τελευταία, ενδέχεται να επηρεάσει μια σειρά (αλληλ)εξαρτώμενων Κρίσιμων Υποδομών, με αποτέλεσμα την περαιτέρω διάδοση της αποτυχίας. Οι αποτυχίες που μελετώνται είναι οι κλιμακωτές (escalating), διαδοχικές (cascading) και κοινής αιτίας (common cause), για τις οποίες εντοπίζονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους και ο τρόπος συμβολής τους στη διαμόρφωση της επικινδυνότητας αποτυχίας, τόσο της ίδιας της Υποδομής, όσο και της Κοινωνίας, δηλαδή ενός συνόλου Κρίσιμων Υποδομών.

Τα βήματα που ακολουθεί η προτεινόμενη μεθοδολογία είναι τα εξής:

- Βήμα 1^ο: Καθορισμός του Τύπου Εξάρτησης (Dependency Type)
- Βήμα 2^ο: Εύρεση του Τύπου Αποτυχίας (Failure Type)

- Βήμα 3^ο: Προσομοίωση Αποτυχίας (Failure Simulation) σε Επίπεδο Συνιστώσας και
- Βήμα 4^ο: Αποτίμηση Επικινδυνότητας (Risk Assessment) του Σεναρίου Αποτυχίας.

Το κάθε βήμα και τα υπο-στάδια αυτού αναλύονται στο παρόν κεφάλαιο.

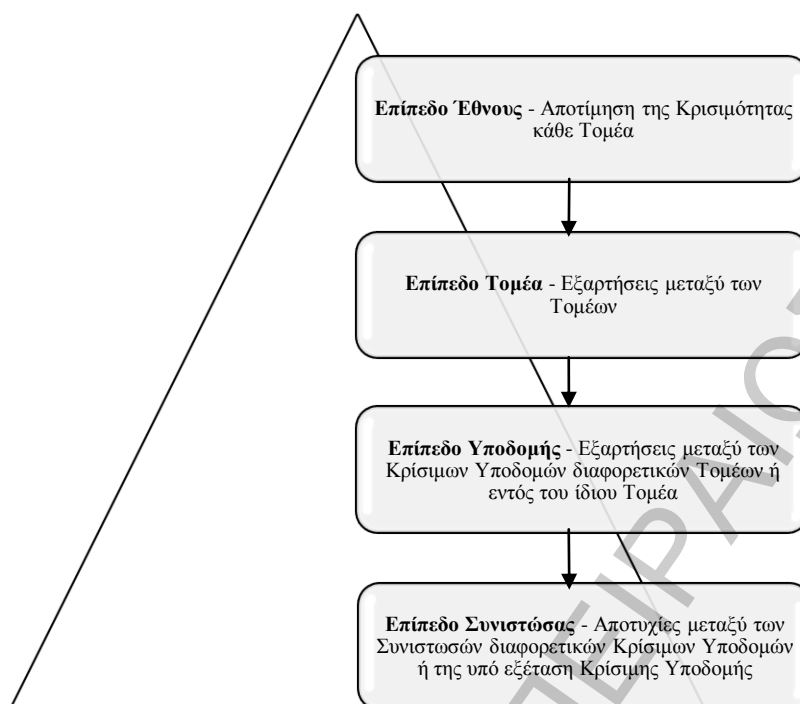
5.2.1 Βήμα 1^ο: Καθορισμός του Τύπου Εξάρτησης (Dependency Type)

Ο τύπος εξάρτησης προκύπτει με βάση το σενάριο εξαρτήσεων μεταξύ των Κρίσιμων Υποδομών που μελετάται, ενώ ενδέχεται να είναι διαφορετικός για κάθε Υποδομή. Ο προσδιορισμός του τύπου εξάρτησης, συνεπάγεται τη δημιουργία του αντίστοιχου *Γράφου Εξάρτησης (Dependency Graph)*, ο οποίος αναπαριστά τις εξαρτήσεις μεταξύ των Υποδομών - Οργανισμών. Να υπενθυμίσουμε ότι οι τύποι εξάρτησης που μπορούν να μελετηθούν είναι οι παρακάτω [6,7]:

- Φυσική Εξάρτηση
- Κυβερνοχωρική Εξάρτηση
- Γεωγραφική Εξάρτηση
- Λογική Εξάρτηση
- Κοινωνική Εξάρτηση

Σε αυτό το βήμα, υποθέτουμε ότι οι Κρίσιμες Υποδομές, τις εξαρτήσεις των οποίων θέλουμε να μελετήσουμε, αναπαριστώνται σε επίπεδο Υποδομής, καθώς είναι πιο εύκολη η αναπαράσταση σε υψηλό επίπεδο όταν είμαστε ακόμη σε αρχικό στάδιο. Συνεπώς, η μεθοδολογία που θα προτείνουμε ακολουθεί μια “Top – Down” προσέγγιση, καθώς όπως προαναφέραμε, στη συνέχεια θα μελετήσουμε τις αποτυχίες στο αμέσως επόμενο επίπεδο, αυτό της Συνιστώσας (Component level).

Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, η απεικόνιση των εξαρτήσεων σε Επίπεδο Συνιστώσας παραλείπεται, καθώς στόχος της συγκεκριμένης μεθοδολογίας αποτελεί η μελέτη των αποτυχιών που πηγάζουν από εξαρτήσεις (dependence related failures) και η πληροφορία που εξαγάγουμε σε επίπεδο Υποδομής είναι επαρκής για την ικανοποίηση του στόχου αυτού. Ωστόσο, προτείνεται η καταγραφή των εξαρτήσεων μεταξύ των Συνιστωσών από κάθε Κρίσιμη Υποδομή, έτσι ώστε η τελευταία να μπορεί να διαχειρίζεται καλύτερα θέματα ασφάλειας και επιχειρησιακής συνέχειας.



Εικόνα 5.1: Βήματα για την Απεικόνιση Αποτυχιών σε Επίπεδο Συνιστώσας

5.2.2 Βήμα 2^ο: Εύρεση του Τύπου Αποτυχίας (Failure Type)

Όπως έχουμε προαναφέρει, υπάρχουν τρεις τύποι αποτυχιών στις Κρίσιμες Υποδομές, οι διαδοχικές, οι κλιμακωτές και οι κοινής αιτίας. Ο προσδιορισμός του τύπου αποτυχίας γίνεται με βάση τον τύπο εξάρτησης μεταξύ των Υποδομών και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε αποτυχίας. Με άλλα λόγια, πραγματοποιείται μια ανάλυση γράφου (graph analysis) προκειμένου να προσδιοριστεί ο τύπος αποτυχίας που υπάρχει σε κάθε εξάρτηση.

Σε συνδυασμό με τους ορισμούς των αποτυχιών, τους οποίους έχουμε αναφέρει στο Κεφάλαιο 2, στη συνέχεια αναφέρουμε για κάθε τύπο αποτυχίας τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτού, έτσι ώστε να μπορέσουμε να αναγνωρίσουμε την εκάστοτε αποτυχία σε ένα Γράφο Εξάρτησης.

- *Διαδοχική Αποτυχία (Cascading Failure)*
Συμβαίνει σε γραμμικές (linear) εξαρτήσεις, δηλαδή όταν η έξοδος ενός κόμβου αποτελεί είσοδο για έναν άλλο [8].
- *Κλιμακωτή Αποτυχία (Escalating Failure)*
Συμβαίνει σε μη γραμμικές (non-linear) εξαρτήσεις, δηλαδή όταν υπάρχουν κυκλικές εξαρτήσεις (cyclic dependencies) και βρόγχοι ανατροφοδότησης (feedback loops) [9].
- *Κοινής Αιτίας Αποτυχία (Common cause Failure)*
Συμβαίνει σε γεωγραφικά κοντινούς κόμβους (geographic proximity/co-location), ή εξαιτίας ενός μεγάλης κλίμακας φαινομένου (φυσικού, ή ανθρωπογενούς), ενώ

αποτελεί μόνο πηγή εκδήλωσης μιας αποτυχίας (failure initiating) [9], δηλαδή σημείο εκκίνησης μιας αποτυχίας για την περαιτέρω διάδοσή της στο Δίκτυο Κρίσιμων Υποδομών.

Να σημειώσουμε ότι οι τύποι αποτυχίας δεν είναι ανεξάρτητοι, για παράδειγμα μια αποτυχία κοινής αιτίας μπορεί να προκαλέσει μια διαδοχική αποτυχία [10]. Συνεπώς, με τη βοήθεια του *Τύπου Εξάρτησης* αν είναι γεωγραφική (Geographic), καταλαβαίνουμε ότι θα προκύψει κοινής αιτίας αποτυχία και με τη βοήθεια του *Γράφου Εξάρτησης* αν υπάρχουν γραμμικές εξαρτήσεις, καταλαβαίνουμε ότι θα προκύψει διαδοχική αποτυχία, ενώ αν υπάρχουν μη γραμμικές εξαρτήσεις, καταλαβαίνουμε ότι θα προκύψει κλιμακωτή αποτυχία.

5.2.3 Βήμα 3^ο: Προσομοίωση Αποτυχίας (Failure Simulation) σε Επίπεδο Συνιστώσας

Σε αυτό το βήμα, θα δημιουργήσουμε για κάθε σενάριο αποτυχίας (failure scenario) τον αντίστοιχο *Γράφο Αποτυχίας σε επίπεδο Συνιστώσας* (Component Failure Graph), όσον αφορά στις συνιστώσες της εκάστοτε Υποδομής. Με άλλα λόγια, το εκάστοτε σενάριο αποτυχίας θα προσομοιώνεται με τη βοήθεια του *Γράφου Αποτυχίας*, ο οποίος θα αναπαριστά τον τύπο αποτυχίας με τον οποίο διαδίδεται το εν λόγω σενάριο στις υπόλοιπες εξαρτώμενες Συνιστώσες.

Αξίζει να σημειώσουμε ότι το κάθε σενάριο αποτυχίας διαμορφώνει ένα διαφορετικό *Γράφο Αποτυχίας*, ο οποίος ενδέχεται να είναι υποσύνολο του *Γράφου Εξάρτησης*, καθώς το κάθε σενάριο αποτυχίας μπορεί να μην επηρεάσει το ίδιο ή όλο το σύνολο των εξαρτώμενων, υπό εξέταση Υποδομών. Ταυτόχρονα, εμφανίζει υψηλότερο επίπεδο λεπτομέρειας, καθώς αναπαριστά το σενάριο σε πιο χαμηλό επίπεδο. Προκύπτει λοιπόν ένας εξειδικευμένος και δυναμικός *γράφος αποτυχιών* ανά σενάριο αποτυχίας, με διαφορετικές τιμές επικινδυνότητας αποτυχίας και συνεπώς μεταβλητή Κρισιμότητα Υποδομών – Τομέων. [11]

Να επισημάνουμε επίσης ότι μια αποτυχία επιφέρει με κάποια πιθανότητα εμφάνισης, αντίκτυπο στην ίδια την Υποδομή και στις εξαρτώμενες Υποδομές, ενώ μελετάται σε επίπεδο Συνιστώσας με τη βοήθεια του *Γράφου Αποτυχιών*. Παράλληλα, μια αποτυχία μπορεί να επιφέρει επιπλέον αντίκτυπο στην Κοινωνία με διαφορετική πιθανότητα εμφάνισης λόγω της μη διαθεσιμότητας μίας ή περισσότερων Υποδομών. Η άμεση και έμμεση επικινδυνότητα η οποία αφορά την Κοινωνία μελετάται σε Επίπεδο Συνιστώσας, με έναν τροποποιημένο *γράφο*: τον *Κοινωνικό Γράφο Αποτυχιών*.

5.2.4 Βήμα 4^ο: Αποτίμηση Επικινδυνότητας (Risk Assessment) του Σεναρίου Αποτυχίας

Το βήμα αυτό στοχεύει στον προσδιορισμό της κρισιμότητας του εκάστοτε σεναρίου αποτυχίας όσον αφορά στη συνέχεια λειτουργίας των υπό εξέταση Συνιστωσών. Έτσι, είναι εφικτή η εύρεση του μονοπατιού (routing path) με τη μεγαλύτερη επικινδυνότητα, δηλαδή το μονοπάτι το οποίο επηρεάζει πιο σημαντικά τη συνολική λειτουργικότητα και αποδοτικότητα του Δικτύου Συνιστωσών. Εναλλακτικά, τα

σενάρια αποτυχίας μπορούν να εξεταστούν όχι για το σύνολο των συνιστωσών, αλλά ως προς συγκεκριμένες συνιστώσες για τις οποίες επιθυμούμε αδιάκοπη λειτουργία. Η μεθοδολογία που θα ακολουθήσουμε είναι σύμφωνη με το πρότυπο ISO 27005:2008 [12], ενώ ακολουθεί την προσέγγιση μιας ημι-ποσοτικής (semi-quantitative) [13] ανάλυσης επικινδυνότητας με τα παρακάτω στάδια:

5.2.4.1 Στάδιο 4.1 - Προσδιορισμός της Επικινδυνότητας (Risk Identification)

Αρχικά μελετάμε τρεις βασικές παραμέτρους, αυτή της απειλής (threat), της ευπάθειας (vulnerability) και του αντίκτυπου (impact), λαμβάνοντας υπόψη το εκάστοτε επιθυμητό σενάριο αποτυχίας. Δηλαδή, προσπαθούμε να εντοπίσουμε ποια ήταν η ευπάθεια της Συνιστώσας που επέτρεψε στη συγκεκριμένη απειλή να επιτύχει τον εν λόγω αντίκτυπο. Με τον προσδιορισμό των τριών παραπάνω παραμέτρων, μπορούμε να κατανοήσουμε καλύτερα την αποτυχία, καθώς βλέπουμε όλο το ιστορικό αυτής, από την πηγή (failure source) μέχρι το αποτέλεσμα αυτής (failure impact).

5.2.4.2 Στάδιο 4.2 - Εκτίμηση της Επικινδυνότητας (Risk Estimation)

Σε αυτό το στάδιο, συναντάμε δύο υπο-στάδια, αυτό της *Αποτίμησης του Αντίκτυπου (Impact Assessment)* της αποτυχίας και αυτό της *Αποτίμησης της Πιθανότητας (Likelihood Assessment)* εμφάνισης της Αποτυχίας για κάθε Συνιστώσα του Γράφου Αποτυχίας που μελετάμε. Για την επικινδυνότητα θα χρησιμοποιήσουμε τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{Επικινδυνότητα Αποτυχίας (Failure Risk)} = \text{Πιθανότητα Αποτυχίας (Failure Likelihood)} \times \text{Συνολικό Αντίκτυπο Αποτυχίας (Overall Failure Impact)} \quad (5.1)$$

Και τα δύο υπο-στάδια μελετώνται με βάση τις αποτυχίες που λαμβάνουν χώρα και επηρεάζουν:

- i) τον ίδιο τον Οργανισμό – Κρίσιμη Υποδομή (*Γράφος Αποτυχίας - Failure Graph*) και
- ii) την Κοινωνία άμεσα ή έμμεσα μέσω της επιρροής άλλων Κρίσιμων Υποδομών (*Κοινωνικός Γράφος Αποτυχίας - Societal Failure Graph*).

Να σημειώσουμε ότι και στους δύο τύπους γράφων, το Γράφο Αποτυχίας σε επίπεδο Κρίσιμης Υποδομής και τον Κοινωνικό Γράφο Αποτυχίας, η αναπαράσταση της εξάρτησης θα γίνεται με τη βοήθεια κόμβων και βελών, ακολουθώντας τη λογική της υπάρχουσας βιβλιογραφίας. Ωστόσο, η τιμή που αναγράφεται σε κάθε βέλος αντιπροσωπεύει την επικινδυνότητα αποτυχίας λόγω της συγκεκριμένης εξάρτησης μεταξύ δύο υποδομών. Ο παραγόμενος γράφος χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση και των τριών τύπων αποτυχιών που έχουν προαναφερθεί.

A. Υπο-στάδιο 4.2.1: Αποτίμηση του Αντικτύπου (Impact Assessment)

Πραγματοποιείται αρχικά αποτίμηση του αντικτύπου της αποτυχίας για κάθε κόμβο – πηγή της αποτυχίας (failure source) και εν συνεχεία για κάθε κόμβο του Δικτύου Συνιστώσων, ανάλογα με τον τύπο αποτυχίας. Το τελευταίο εισάγει την έννοια της Διάδοσης του Αντικτύπου (Impact Propagation).

- Για κάθε κόμβο (Συνιστώσα) – πηγή της αποτυχίας

Θα πρέπει να υπολογίσουμε το επίπεδο της αποτυχίας για την ίδια τη Συνιστώσα και τον αντίκτυπο που είχε στην ίδια την Υποδομή – Οργανισμό (Ενυπάρχων Αντίκτυπος Αποτυχίας – Inherent Failure Impact), ή / και στην Κοινωνία (Ενυπάρχων Κοινωνικός Αντίκτυπος Αποτυχίας – Inherent Societal Failure Impact).

Πιο αναλυτικά, ο αντίκτυπος κάθε τύπου αποτυχίας θα υπολογίζεται με τον παρακάτω ενδεικτικό τρόπο:

1) Επίπεδο Αποτυχίας (Failure Level)

Πίνακας 5-1: Επίπεδο Αποτυχίας					
Κλίμακα Αποτυχίας					
Παράγοντες Αποτυχίας	Ακραία	Κρίσιμη	Σημαντική	Μέτρια	Ασήμαντη
Χρόνος Ανάκαμψης	Χρόνια	Μήνες	Ημέρες	Ώρες	
				2-24	1-2
Μείωση Απόδοσης	> - 90 %	- 50 έως - 90%	-10 έως -50 %	-5 έως - 10 %	< -5 %

Να σημειώσουμε επίσης ότι για κάθε αποτυχία επιλέγουμε την τιμή του πιο σημαντικού παράγοντα (worst-case principle). Η συγκεκριμένη αρχή επιλέγεται για λόγους ετοιμότητας σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης (emergency preparedness) [14]. Παράλληλα, μας επιτρέπει να ανάγουμε το αποτέλεσμα στο ίδιο εύρος τιμών με τους επιμέρους παράγοντες. [13] Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η χρήση του χειριστού σεναρίου (σε αντιδιαστολή με τη χρήση μέσων τιμών), παράγει μέγιστες αποτιμήσεις επικινδυνότητας, συνεπώς μεταφράζεται σε πιο ακριβά μέτρα προστασίας.

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, θεωρήσαμε ότι Ασήμαντο (Minor) αντίκτυπο θα έχουμε μόνο στην περίπτωση που η αποτυχία διαρκέσει το πολύ δύο ώρες. Η παραδοχή αυτή προέκυψε λόγω της Κρισιμότητας των υπό εξέταση Συνιστώσων.

Όσο πιο μεγάλο είναι το Επίπεδο Αποτυχίας, τόσο πιο μικρή είναι η Ανθεκτικότητα (Resilience Maturity Level) της εκάστοτε Συνιστώσας. Συνεπώς τα μεγέθη της αποτυχίας και της ανθεκτικότητας είναι αντιστρόφως ανάλογα. Αυτό συμβαίνει καθώς η ανθεκτικότητα μιας Συνιστώσας και κατ' επέκταση μιας Υποδομής εξαρτάται από το χρόνο ανάκαμψης αυτής όσο και από τη μείωση της απόδοσης [15]. Να διευκρινίσουμε ότι όταν μειωθεί η απόδοση μιας Συνιστώσας, μειώνεται ουσιαστικά η χωρητικότητα αυτής και συνεπώς η ανθεκτικότητά της [16]. Για παράδειγμα, αν οι Συνιστώσες Β και C υποστούν κάποιας μορφής αποτυχία και η Συνιστώσα Α εξαρτάται από αυτές, τότε η απόδοση της τελευταίας θα μειωθεί. Συνεπώς, ο αριθμός τόσο των υπηρεσιών που εξαρτώνται από τη Συνιστώσα Α όσο

και των άλλων εξαρτώμενων από την Α Συνιστώσών που μπορούν να εξυπηρετηθούν μειώνεται. Με άλλα λόγια, η Συνιστώσα Α δε θεωρείται αρκετά ανθεκτική για την αντιμετώπιση της εν λόγω αποτυχίας.

Ωστόσο, κατανοώντας την επικινδυνότητα των αποτυχιών και τον αντίκτυπο αυτών, και λαμβάνοντας υπόψη τις εξαρτήσεις μεταξύ των Υποδομών, μπορούμε να αυξήσουμε τη συνολική ανθεκτικότητα της εκάστοτε Συνιστώσας. Προτείνεται η χρήση *Κατωφλίου Ανθεκτικότητας/Ανεκτού Επιπέδου Αποτυχίας (Resilience Threshold/Tolerable Failure Level)*, βάση του οποίου θα προσδιορίζεται το *Εγγυημένο Επίπεδο Εξυπηρέτησης (Guaranteed Service Level)*. Η εύρεση ενός τέτοιου κατωφλίου έχει επισημανθεί και στην [16]. Να σημειώσουμε ότι το κατώφλι αυτό θα καθορίζεται σύμφωνα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εκάστοτε Συνιστώσας και θα λαμβάνει υπόψη τις παραμέτρους της απόδοσης και του χρόνου ανάκαμψης.

Στη συνέχεια, υπολογίζουμε τον αντίκτυπο στον ίδιο τον Οργανισμό με βάση τους *Οργανωσιακούς Παράγοντες/Κριτήρια Αντικτύπου (Organization's Impact Factors/Criteria)* και τον αντίκτυπο στην Κοινωνία (Societal Impact) με βάση τους *Κοινωνικούς Παράγοντες/Κριτήρια Αντικτύπου (Societal Impact Factors/Criteria)*.

2) Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)

Να σημειώσουμε ότι και για το επίπεδο αντικτύπου επιλέγουμε τον πιο σημαντικό αντίκτυπο (worst case principle) για τους λόγους που προαναφέραμε παραπάνω.

• Για τον Οργανισμό

Για ορισμένους παράγοντες του ακόλουθου πίνακα συμβουλευτήκαμε τόσο την πρόσφατη μεθοδολογία για αποτίμηση επικινδυνοτήτων του Εθνικού Ινστιτούτου Προτύπων και Τεχνολογίας (NIST) [13] όσο και το πρότυπο ISO 27005.

Πίνακας 5-2: Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας σε Επίπεδο Οργανισμού					
Κλίμακα Αντικτύπου Αποτυχίας					
Παράγοντες Αντικτύπου Αποτυχίας	Καταστροφικό	Σοβαρό	Αισθητό	Περιορισμένο	Αμελητέο
Αρνητική Επίδραση στη Φήμη	Κάλυψη μέσω ενημέρωσης διεθνώς και δραματική αλλαγή στην εμπιστοσύνη των ενδιαφερόμενων	Κάλυψη μέσω ενημέρωσης σε εθνικό επίπεδο και σημαντική αλλαγή στην εμπιστοσύνη των ενδιαφερόμενων	Κάλυψη μέσω ενημέρωσης σε τοπικό επίπεδο και μέτρια αλλαγή στην εμπιστοσύνη των ενδιαφερόμενων	Παράπονα σε τοπικό επίπεδο με ελάχιστη αλλαγή στην εμπιστοσύνη των ενδιαφερόμενων	Παράπονα από λίγους ανθρώπους με καμία αλλαγή στην εμπιστοσύνη των ενδιαφερόμενων
Οικονομική Απώλεια λόγω Διακοπής της Παρεχόμενης Υπηρεσίας (έως ότου η Υπηρεσία Αποκατασταθεί)	> \$100 εκατομμύρια	\$ 10 - \$100 εκατομμύρια	\$1 - \$10 εκατομμύρια	\$500 χιλιάδες - \$1 εκατομμύριο	<\$500 χιλιάδες

Οικονομική Απώλεια λόγω Εξόδων Αποκατάστασης	> \$100 εκατομμύρια	\$ 10 - \$100 εκατομμύρια	\$1 - \$10 εκατομμύρια	\$500 χιλιάδες - \$1 εκατομμύριο	<\$500 χιλιάδες
Παραβίαση Προσωπικών Δεδομένων (Personally Identifiable Information – PPI) – Παραβίαση Ιδιωτικότητας	Η παραβίαση επηρεάζει > 10,000 ανθρώπους και πάρα πολύ ευαίσθητα προσωπικά δεδομένα	Η παραβίαση επηρεάζει 1,000-10,000 ανθρώπους και πολύ ευαίσθητα προσωπικά δεδομένα	Η παραβίαση επηρεάζει 100-1,000 ανθρώπους και ευαίσθητα προσωπικά δεδομένα μετρίου κλίμακας	Η παραβίαση επηρεάζει 50-100 ανθρώπους και ευαίσθητα προσωπικά δεδομένα χαμηλής κλίμακας	Η παραβίαση επηρεάζει <50 ανθρώπους και ευαίσθητα προσωπικά δεδομένα πολύ χαμηλής κλίμακας
Διακοπή Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων	Διακοπή Δραστηριοτήτων που αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι για την επιχειρησιακή συνέχεια	Διακοπή Δραστηριοτήτων που είναι ιδιαίτερα σημαντικές για την επιχειρησιακή συνέχεια	Διακοπή Δραστηριοτήτων που είναι σημαντικές για την επιχειρησιακή συνέχεια	Διακοπή Δραστηριοτήτων που είναι επιθυμητές για την επιχειρησιακή συνέχεια	Διακοπή Δραστηριοτήτων που είναι απλά προαιρετικές για την επιχειρησιακή συνέχεια
Διακινδύνευση της Ασφάλειας του Προσωπικού	Πολυάριθμες απώλειες ζωής	Σοβαροί τραυματισμοί, Χρόνιες παθήσεις, πιθανές απώλειες ζωής	Σημαντικοί τραυματισμοί, χρόνιες παθήσεις	Περιορισμένοι τραυματισμοί, πιθανές χρόνιες παθήσεις	Ασήμαντοι τραυματισμοί

- **Για την Κοινωνία**

Πίνακας 5-3: Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας σε Επίπεδο Κοινωνίας

Κλίμακα Αντικτύπου Αποτυχίας					
Παράγοντες Αντικτύπου Αποτυχίας	Καταστροφικό	Σοβαρό	Αισθητό	Περιορισμένο	Αμελητέο
Πληγείς Πληθυσμός	>10,000	1,000 -10,000	500 - 1,000	50-500	<50
Πληθυσμιακή Πυκνότητα (άνθρωποι/km ²)	> 750	500 – 750	250 – 500	100-250	<100
Εμβέλεια	Παγκόσμια	Διεθνή	Εθνική	Περιφερειακή	Τοπική
Οικονομική Απώλεια	> \$100 εκατομμύρια	\$ 10 - \$100 εκατομμύρια	\$1 - \$10 εκατομμύρια	\$500 χιλιάδες - \$1 εκατομμύριο	<\$500 χιλιάδες
Δημόσια Εμπιστοσύνη	Πολύ υψηλό βαθμό επικινδυνότητας και αμφίβολη σε παγκόσμιο επίπεδο η ικανότητα ελέγχου	Υψηλό βαθμό επικινδυνότητας και αμφίβολη σε διεθνές επίπεδο η ικανότητα ελέγχου	Μέτριο βαθμό επικινδυνότητας και ικανότητας ελέγχου	Χαμηλό βαθμό επικινδυνότητας και ικανότητας ελέγχου	Πολύ χαμηλό βαθμό επικινδυνότητας και ικανότητας ελέγχου
Διεθνείς Σχέσεις	Ανεπανόρθωτη βλάβη στις διεθνείς σχέσεις	Σοβαρή βλάβη στις διεθνείς σχέσεις	Αύξηση διεθνούς έντασης	Σημαντική βλάβη στις διπλωματικές σχέσεις	Δυσμενής επιρροή στις διπλωματικές σχέσεις
Παραβίαση Δημόσιας Τάξης	Σοβαρές διαταραχές στην εσωτερική σταθερότητα	Άμεση απειλή στην εσωτερική σταθερότητα	Ευρείες απεργιακές κινητοποιήσεις	Διαδηλώσεις	Διαμαρτυρία σε τοπικό επίπεδο
Πολιτική και Λειτουργία Δημόσιων Υπηρεσιών	Ολική διατάραξη των εθνικών υπηρεσιών	Διακοπή ή ουσιαστική διατάραξη των εθνικών υπηρεσιών	Σημαντική παρεμπόδιση της ανάπτυξης ή λειτουργίας των κυβερνητικών πολιτικών	Παρεμπόδιση της ανάπτυξης ή λειτουργίας των κυβερνητικών πολιτικών	Υπονόμευση της διαχείρισης ή της λειτουργίας ενός δημόσιου οργανισμού

Διακινδύνευση της Ανθρώπινης Ασφάλειας	Πολυάριθμες απώλειες ζωής	Σοβαροί τραυματισμοί, Χρόνιες παθήσεις, πιθανές απώλειες ζωής	Σημαντικοί τραυματισμοί, χρόνιες παθήσεις	Περιορισμένοι τραυματισμοί, πιθανές χρόνιες παθήσεις	Ασήμαντοι τραυματισμοί
Διακινδύνευση της Περιβαλλοντικής Ασφάλειας	Εκτεταμένη περιβαλλοντική καταστροφή	Σοβαρή απώλεια χλωρίδας και πανίδας	Σημαντική απώλεια χλωρίδας και πανίδας	Περιορισμένη απώλεια χλωρίδας και πανίδας	Ασήμαντη απώλεια χλωρίδας και πανίδας
Άμυνα	Σοβαρή ζημιά στην ασφάλεια των συμμαχικών δυνάμεων	Σοβαρή ζημιά στην εθνική ασφάλεια	Σημαντική ζημιά στην εθνική ασφάλεια	Περιορισμένη ζημιά στην εθνική ασφάλεια	Ασήμαντη ζημιά στην εθνική ασφάλεια
Διάρκεια	Χρόνια	Μήνες	Ημέρες	Ωρες	Λεπτά

Οι δύο παραπάνω πίνακες περιγράφουν κλίμακες με συγκρίσιμες τιμές αντικτύπου σε επίπεδο Υποδομής ή Κοινωνίας αντίστοιχα, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των διαφορετικών τύπων αντικτύπων.

Να επισημάνουμε ότι η διαχείριση αποτυχιών (failure handling), στη γενική περίπτωση, γίνεται με βάση τα παρακάτω:

- Οι ασήμαντες αποτυχίες (Minor failures) επιφέρουν αμελητέο αντίκτυπο (Negligible impact).
- Οι μέτριες αποτυχίες (Moderate failures) επιφέρουν περιορισμένο αντίκτυπο (Limited impact).
- Οι σημαντικές αποτυχίες (Major failures) επιφέρουν αισθητό αντίκτυπο (Elevated impact).
- Οι κρίσιμες αποτυχίες (Critical failures) επιφέρουν σοβαρό αντίκτυπο (Severe impact).
- Οι ακραίες αποτυχίες (Extreme failures) επιφέρουν καταστροφικό αντίκτυπο (Catastrophic impact).

Ωστόσο, μπορεί να υπάρξουν περιπτώσεις κατά τις οποίες μια αποτυχία να θεωρηθεί ως ασήμαντη αλλά ο αντίκτυπος που επιφέρει να κατατάσσεται ως σοβαρός (severe) ή ακόμη χειρότερα ως καταστροφικός (catastrophic). Αυτός είναι ο λόγος που για την τελική αποτίμηση του αντικτύπου μιας Υποδομής, είτε στην ίδια, είτε στην Υποδομή που επηρεάζει, θα λαμβάνουμε υπόψη τόσο το επίπεδο της αποτυχίας όσο και τον αντίκτυπο που αυτή επιφέρει. (Πίνακας 6-4: Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας)

Να αναφέρουμε ότι σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης χρησιμοποιούνται σχέδια ανάκαμψης από καταστροφή (business continuity plans) και σχέδια διαχείρισης κρίσης (crisis management plans), ανάλογα με τη σοβαρότητα του περιστατικού [17]. Σύμφωνα με την [18], η διαχείριση ενός περιστατικού απαιτεί πλάνα διαχείρισης κρίσης όταν η αποτυχία που επιφέρει είναι πολύ σοβαρή και με ευρείες συνέπειες. Συνεπώς, ορίζουμε ως κατάσταση κρίσης τις αποτυχίες που επιφέρουν συνολικό αντίκτυπο πολύ υψηλό (VH) και η οποία είναι υποσύνολο των καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Επιπροσθέτως, επειδή όπως προαναφέραμε οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης εμπεριέχουν και πλάνα ανάκαμψης από καταστροφή και τα πλάνα

αυτά χρησιμεύουν σε περιπτώσεις που ο αντίκτυπος είναι τουλάχιστον στη μεσαία (M) κλίμακα, θεωρούμε ότι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης θα έχουμε όταν ο αντίκτυπος ανήκει στην κλίμακα M-VH, όπως φαίνεται και στον πίνακα 6-4.

Στη συνέχεια, με βάση τον παρακάτω πίνακα αντιστοίχισης Επιπέδου Αποτυχίας με Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας, υπολογίζεται ο τελικός αντίκτυπος, ο οποίος θα ανήκει σε μια από τις παρακάτω τέσσερις κατηγορίες:

1. *Ενυπάρχων Αντίκτυπος Αποτυχίας (Inherent Failure Impact)*, είναι η άμεση επίδραση σε μία Συνιστώσα μίας αποτυχίας όταν αυτή ξεκινάει στην εν λόγω Συνιστώσα.
2. *Αντίκτυπος Αποτυχίας (Failure Impact)* σε άλλη εξαρτώμενη Συνιστώσα, είναι η έμμεση επίδραση μιας αποτυχίας σε κάποια εξαρτώμενη Συνιστώσα (όταν μία αποτυχία επηρεάζει και άλλες Συνιστώσες).
3. *Κοινωνικός Ενυπάρχων Αντίκτυπος Αποτυχίας (Societal Inherent Failure Impact)*, είναι η άμεση επίδραση μιας αποτυχίας στην Κοινωνία, όταν αυτή ξεκινάει από την υπό εξέταση Συνιστώσα.
4. *Κοινωνικός Αντίκτυπος Αποτυχίας (Societal Failure Impact)* σε άλλη εξαρτώμενη Συνιστώσα, ή Δίκτυο εξαρτώμενων Συνιστωσών, είναι η έμμεση επίδραση που αυτή επιφέρει στην Κοινωνία.

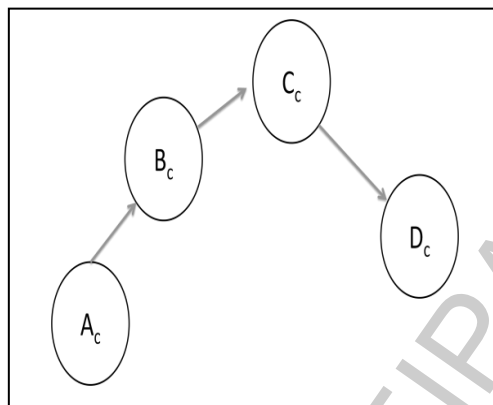
Πίνακας 5-4: Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας					
Επίπεδο Αποτυχίας					
Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας	Ασήμαντη	Μέτρια	Σημαντική	Κρίσιμη	Ακραία
Αμελητέο	VL	L	L	M	M
Περιορισμένο	L	L	M	M	H
Αισθητό	L	M	M	H	H
Σοβαρό	M	M	H	H	VH
Καταστροφικό	M	H	H	VH	VH

- Για κάθε επόμενο κόμβο (Συνιστώσα) – Διάδοση Αντικτύπου

Για τη μελέτη της διάδοσης του αντικτύπου (impact propagation) μέσα στο Γράφο Αποτυχίας, θα πρέπει να επαναληφθούν τα στάδια και υπο-στάδια του 4^{ου} βήματος (Risk Assessment), λαμβάνοντας υπόψη τον τύπο της αποτυχίας που έχουμε υπολογίσει στο 2^ο βήμα. Σε αυτό το σημείο, υπολογίζουμε ουσιαστικά τον *Αντίκτυπο Αποτυχίας (Failure Impact)* και τον *Κοινωνικό Αντίκτυπο Αποτυχίας (Societal Failure Impact)*.

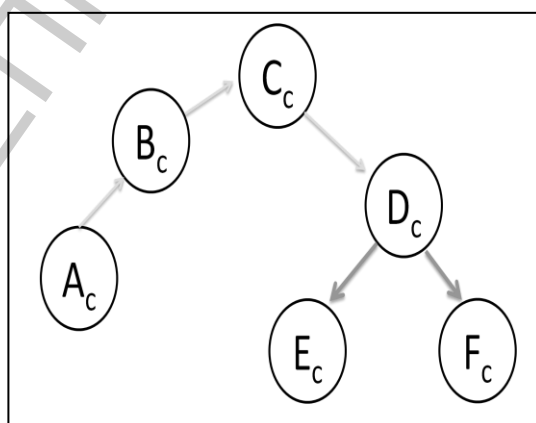
Πιο συγκεκριμένα, για κάθε τύπο αποτυχίας, όσον αφορά στον αντίκτυπο, θα έχουμε:

❖ Περίπτωση Διαδοχικής Αποτυχίας



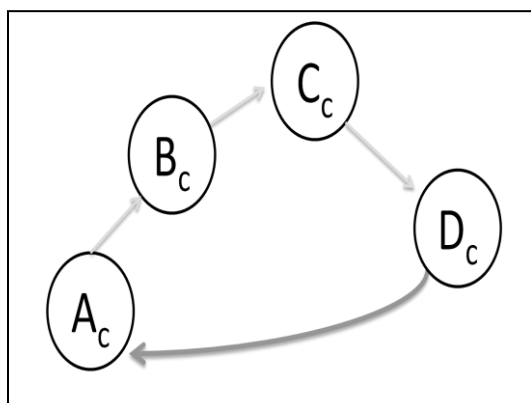
Έστω ότι ο αντίκτυπος της αποτυχίας της Συνιστώσας C_c στην D_c , σε αυτήν την περίπτωση αναπαριστά τον *Κοινωνικό Αντίκτυπο Αποτυχίας*. Για να τον αποτιμήσουμε, θα κοιτάξουμε αρχικά τον πίνακα με τους Κοινωνικούς Παράγοντες/Κριτήρια Αντικτύπου και ας υποθέσουμε ότι προκύπτει *Κοινωνικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «Σοβαρός». Στη συνέχεια κοιτάξουμε τον πίνακα για το Επίπεδο Αποτυχίας και έστω ότι είναι «Ασήμαντη». Σύμφωνα με τον πίνακα (6-4), ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* για την αποτυχία $C_c \rightarrow D_c$ είναι «Μ». Υποθέτουμε ότι η τιμή αυτή προέκυψε έχοντας λάβει υπόψη τα αποτελέσματα των αποτυχιών $A_c \rightarrow B_c$ και $B_c \rightarrow C_c$.

❖ Περίπτωση Αποτυχίας Κοινής Αιτίας



Για τον αντίκτυπο της αποτυχίας κοινής αιτίας ισχύει η ίδια λογική με αυτή της διαδοχικής. Στο παραπάνω σχήμα, υποθέτουμε ότι οι Κρίσιμες Συνιστώσες E_c και F_c αποτυγχάνουν λόγω μιας αποτυχίας στη Συνιστώσα D_c .

❖ Περίπτωση Κλιμακωτής Αποτυχίας



Αρχικά, έστω ότι ο Κοινωνικός Αντίκτυπος Αποτυχίας της Συνιστώσας A ήταν = «L». Στη συνέχεια, ο Κοινωνικός Αντίκτυπος Αποτυχίας της εξάρτησης $C_c \rightarrow D_c$, λόγω διαδοχής αποτυχίας, έστω ότι είναι = «M». Έτσι, ο Κοινωνικός Αντίκτυπος Αποτυχίας της εξάρτησης $D_c \rightarrow A_c$, λόγω κλιμακωτής αποτυχίας (δημιουργία κλειστού βρόγχου), θα είναι = «H».

Επεξήγηση: Θεωρώντας ότι λόγω ορισμού της κλιμακωτής αποτυχίας θα υπάρχει αύξηση στο Επίπεδο Αποτυχίας (χρόνος ανάκαμψης, απόδοση) και ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας είναι = «M», τότε από τον πίνακα προκύπτει ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας λόγω κλιμακωτής αποτυχίας θα είναι (τουλάχιστον) «H».

Στην περίπτωση της κλιμακωτής αποτυχίας, θα επηρεαστεί στη συνέχεια και ο αντίκτυπος των διαδοχικών αποτυχιών $A_c \rightarrow B_c$ και $C_c \rightarrow D_c$, καθώς πλέον ο *Ενυπάρχων Αντίκτυπος* της πηγής A έχει αυξηθεί. Οπότε, για παράδειγμα ο αντίκτυπος της διαδοχικής αποτυχίας $C_c \rightarrow D_c$ περιμένουμε ότι θα έχει πλέον τιμή μεγαλύτερη της προηγούμενης του («M»), δηλαδή «H» ή «VH». Επιπροσθέτως, επειδή έχει αυξηθεί ο *Ενυπάρχων Αντίκτυπος* της πηγής A_c , θα αυξηθεί και ο αντίκτυπος οποιαδήποτε εξαρτώμενης Συνιστώσας από την πηγή αυτή.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η παραπάνω παραδοχή ενισχύεται και από τη θεωρία για τους βαθμούς σύνδεσης (coupling order). Πιο συγκεκριμένα, μόνο όταν έχουμε κλιμακωτή αποτυχία, δημιουργούνται αλληλεξαρτήσεις. Σε αυτήν την περίπτωση, ο βαθμός σύνδεσης είναι ισχυρός (tight), με αποτέλεσμα να μην υπάρχει η δυνατότητα ευελιξίας και συνεπώς ο αντίκτυπος να αυξάνεται. Συνεπώς, για τη διαδοχική αποτυχία ισχύει η ίδια λογική με τα δύο προηγούμενα, με τη διαφορά ότι ο αντίκτυπος αυξάνεται.

B. Υπο-στάδιο 4.2.2: Αποτίμηση της Πιθανότητας εκδήλωσης (Likelihood Assessment) της αποτυχίας

- Για κάθε κόμβο (Συνιστώσα) – πηγή της αποτυχίας

Η πιθανότητα θα υπολογίζεται με βάση προηγούμενα στατιστικά (frequency of occurrence) και την ύπαρξη ευπαθειών. Για παράδειγμα, σε περίπτωση εσκεμμένης αποτυχίας θα εξετάζονται οι ευπάθειες του συστήματος και τα κίνητρα των

επιτιθέμενων, ενώ για μια μη ηθελημένη αποτυχία θα εξετάζονται παράγοντες όπως η γεωγραφική εγγύτητα σε χημικά εργοστάσια, ή η πιθανότητα ακραίων καιρικών φαινομένων, αλλά και παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τα ανθρώπινα λάθη και τη λειτουργία του εξοπλισμού. Επίσης, θα εξετάζονται οι υπάρχοντες έλεγχοι (control environment) και η αποτελεσματικότητα αυτών για τη μείωση των ευπαθειών.

- Για κάθε επόμενο κόμβο (Συνιστώσα) – Διάδοση Πιθανότητας

Για τη μελέτη της διάδοσης της πιθανότητας (likelihood propagation) μέσα στον *Γράφο Αποτυχίας*, θα πρέπει να εξετάσουμε κάθε τύπο αποτυχίας.

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά στην πιθανότητα, έχουμε:

- Αποτυχίες Κοινής Αιτίας: Η πιθανότητα εμφάνισης είναι η ίδια, καθώς συμβαίνει ταυτόχρονα σε όσες Συνιστώσες επηρεάζει. Να επισημάνουμε ότι επειδή οι αποτυχίες κοινής αιτίας είναι κυρίως “initiating events” [9] (π.χ. φυσικές καταστροφές), δε συναντώνται συχνά στις αποτυχίες λόγω εξαρτήσεων άνω της πρώτης τάξης. Ωστόσο, ενδέχεται να υπάρχουν περιπτώσεις, όπως αυτή που θα παρουσιαστεί στη μελέτη περίπτωσης του επόμενου κεφαλαίου, όπου οι αποτυχίες κοινής αιτίας είναι άνω της πρώτης τάξης. Στην τελευταία περίπτωση, ο τρόπος εύρεσης της πιθανότητας εκδήλωσης της αποτυχίας είναι όμοιος με αυτόν για τις διαδοχικές και κλιμακωτές αποτυχίες που παρουσιάζεται στη συνέχεια.
- Διαδοχικές και Κλιμακωτές Αποτυχίες: Σύμφωνα με την [5], η πιθανότητα διαδοχής ενός συμβάντος, έστω μη διαθεσιμότητας, δίνεται από τον τύπο (5.2):

$$L_{Y_0, \dots, Y_n} = \prod_{i=0}^{n-1} L_{Y_i, Y_{i+1}} \quad (5.2)$$

και

$$n \geq 1 \quad (5.3)$$

Για την αποτίμηση του τύπου 5.2 με ποιοτικά μεγέθη, προτείνεται η χρήση του πίνακα που ακολουθεί, ο οποίος βασίζεται στο γεγονός ότι η πιθανότητα διαδοχής μιας αποτυχίας είναι αντιστρόφως ανάλογη με την τάξη εξάρτησης (order). Η παραδοχή αυτή ενισχύεται και από την έρευνα [19] η οποία υποστηρίζει ότι οι αποτυχίες υψηλού βαθμού είναι σπάνιες. Συνεπώς, όσο αυξάνεται η τάξη εξάρτησης μιας αλυσίδας, τόσο η πιθανότητα εμφάνισης της εκάστοτε αποτυχίας μειώνεται.

Πίνακας 5-5: Διάδοση της Πιθανότητας Αποτυχίας	Τάξη Εξάρτησης				
	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$	$n \geq 5$
Πιθανότητα Αποτυχίας	VL	VL	VL	VL	VL
	L	VL	VL	VL	VL
	M	L	VL	VL	VL
	H	M	L	VL	VL
	VH	H	M	L	VL

C. Υπο-στάδιο 4.2.3: Υπολογισμός της Επικινδυνότητας (Risk Calculation)

Ένας τρόπος υπολογισμού σε αυτήν την περίπτωση της επικινδυνότητας είναι η χρήση Πίνακα Επικινδυνότητας (*Risk Matrix*) για την αντιστοιχία αντικτύπου και πιθανότητας [2]. Η κλίμακα επικινδυνότητας που ορίζεται είναι 1 έως 9 για την υπό εξέταση Συνιστώσα – Οργανισμό και 2 έως 9 για την Κοινωνία. Η κλίμακα αυτή η οποία έχει προταθεί στην [2] και υιοθετείται στην παρούσα μεθοδολογία, δίνει έμφαση στην Κοινωνία, καθώς βασικός στόχος της αποτίμησης επικινδυνότητας αποτυχίας στις Κρίσιμες Υποδομές και τις Συνιστώσες αυτών είναι η μελέτη του κοινωνικού παράγοντα.

Πίνακας 5-6: Πίνακας Επικινδυνότητας Αποτυχίας (Failure Risk Matrix)					
Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας	Πιθανότητα Αποτυχίας				
	VL	L	M	H	VH
VL	1	2	3	4	5
L	2	3	4	5	6
M	3	4	5	6	7
H	4	5	6	7	8
VH	5	6	7	8	9

Πίνακας 5-7: Πίνακας Κοινωνικής Επικινδυνότητας Αποτυχίας (Societal Failure Risk Matrix)					
Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας	Πιθανότητα Αποτυχίας				
	VL	L	M	H	VH
VL	2	3	4	5	6
L	3	4	5	6	7
M	4	5	6	7	8
H	5	6	7	8	9
VH	6	7	8	9	9

5.2.4.3 Στάδιο 4.3 - Αξιολόγηση της Επικινδυνότητας (Risk evaluation)

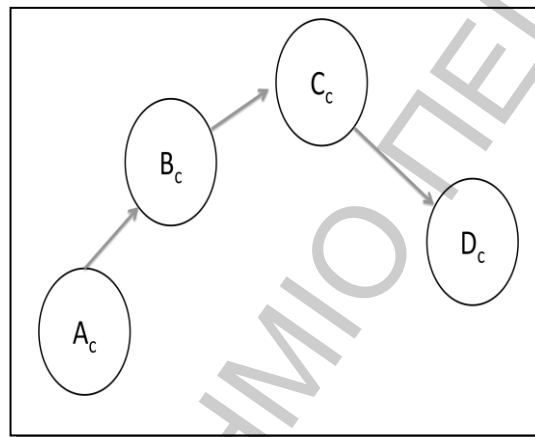
Σε αυτό το στάδιο, πραγματοποιείται μια αξιολόγηση των ευρημάτων – επικινδυνοτήτων. Το αποδεκτό επίπεδο επικινδυνότητας λόγω κάποιας αποτυχίας (Acceptable Failure Risk Level) προκύπτει από την επικινδυνότητα του σταδίου 4.2 και την αναγκαιότητα άμεσης αντιμετώπισης αυτής (πολύ υψηλή προτεραιότητα) ή όχι (πολύ χαμηλή προτεραιότητα). Η λογική είναι ότι όσο θα αυξάνεται το επίπεδο επικινδυνότητας αποτυχίας και το επίπεδο προτεραιότητας, τόσο θα μειώνεται το αποδεκτό επίπεδο της επικινδυνότητας αποτυχίας.

Να σημειώσουμε ότι τα κριτήρια για τον προσδιορισμό του επιπέδου προτεραιότητας (Priority Level Criteria) καθορίζονται με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εκάστοτε Συνιστώσας, ενώ η αξιολόγηση των επικινδυνοτήτων βοηθάει στη λήψη ορθών αποφάσεων με βάση τη σπουδαιότητα αυτών για την εκάστοτε Συνιστώσα.

5.3 Περιπτώσεις Γράφων Αποτυχίας

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιάσουμε διάφορους εν δυνάμει γράφους αποτυχιών και τον τρόπο υπολογισμού των επικινδυνοτήτων αποτυχίας τους.

- ❖ 1^ο Σενάριο Αποτυχίας: *Επικινδυνότητα του κόμβου D λόγω του αποτυχίας του κόμβου D*



Σε αυτήν την περίπτωση, θα υπολογίσουμε την επικινδυνότητα της κρίσιμης Συνιστώσας D_c λόγω της εξάρτησης 3^{ης} τάξης, όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα.

Ο γενικός τύπος που θα εφαρμόσουμε στο συγκεκριμένο σενάριο είναι ο ακόλουθος, όπου $\text{Failure Likelihood}_{Y_{C_0}, \dots, Y_{C_n}}$ είναι η πιθανότητα εμφάνισης αυτής της αλυσίδας εξαρτήσεων και $I_{Y_{C_{n-1}}, Y_{C_n}}$ ο αντίκτυπος στην τελευταία εξάρτηση της αλυσίδας.

$$\text{Failure Risk}_{Y_{C_0}, \dots, Y_{C_n}} = \text{Failure Likelihood}_{Y_{C_0}, \dots, Y_{C_n}} \times \text{Overall Impact Failure}_{Y_{C_{n-1}}, Y_{C_n}}$$

Ο τύπος (5.3) για το παρόν σενάριο διαμορφώνεται ως εξής:

$$\text{Failure Risk}_{A_c, B_c, C_c, D_c} = \text{Failure Likelihood}_{A_c, B_c, C_c, D_c} \times \text{Overall Impact Failure}_{C_c, D_c}$$

- Σύμφωνα με τον πίνακα (5.4) βρίσκουμε το Overall Impact Failure_{C_c,D_c} σε κλίμακα VL-VH, ενώ η τελική τιμή εξαρτάται από το εκάστοτε σενάριο αποτυχίας που μελετάται.
 - Σύμφωνα με τον πίνακα (5.5) βρίσκουμε τη διάδοση Failure Likelihood_{A_c,B_c,C_c,D_c} σε κλίμακα VL-VH, ενώ η τελική τιμή εξαρτάται από το εκάστοτε σενάριο αποτυχίας που μελετάται.
 - Σύμφωνα με τον πίνακα (5-6) βρίσκουμε την τελική τιμή της επικινδυνότητας η οποία επηρεάζει την ίδια την Υποδομή – Οργανισμό.
- ❖ 2^ο Σενάριο Αποτυχίας: *Επικινδυνότητα του κόμβου D λόγω του αποτυχίας της εκάστοτε εξάρτησης (Συνολική Επικινδυνότητα Αποτυχίας Μονοπατιού – Επίπεδο Κοινωνίας)*

Επειδή θεωρούμε ότι στη διαμόρφωση της τελικής επικινδυνότητας αποτυχίας μιας αλυσίδας εξαρτήσεων – μονοπατιού η κάθε εξάρτηση συμβάλλει διαφορετικά, θα χρησιμοποιήσουμε τη λογική του σταθμισμένου αθροίσματος (weighted sum) προκειμένου να υπολογίσουμε τη συνολική επικινδυνότητα που παράγεται από μια αλυσίδα εξαρτήσεων n-τάξης, όπως φαίνεται ακολούθως:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Weighted Societal Failure Risk}_{Y_{C_0}, \dots, Y_{C_n}} \\ = \sum_{i=1}^n a_i \times \text{Societal Failure Risk}_{Y_{C_0}, \dots, Y_{C_i}} \end{array} \right\} \quad (5.4)$$

και $\sum_{i=1}^n a_i = 1 \quad (5.5)$

Οι σχέσεις 5.4 και 5.5 θα χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη αποτυχιών σε επίπεδο Κοινωνίας και συγκεκριμένα μας ενδιαφέρει να εξετάσουμε αν η αποτυχία μιας Συνιστώσας έχει προκύψει από την αποτυχία Συνιστώσων άλλων Υποδομών. Πιο συγκεκριμένα, η *Κοινωνική Επικινδυνότητα Αποτυχίας (Societal Failure Risk)* για κάθε Συνιστώσα υπολογίζεται όμοια με την Επικινδυνότητα Αποτυχίας (Failure Risk), αλλά η συνολική επικινδυνότητα στην Κοινωνία (άμεσα ή έμμεσα) ορίζεται ως το σταθμισμένο άθροισμα των Κοινωνικών Επικινδυνοτήτων Αποτυχίας όλου του υπό εξέταση μονοπατιού αποτυχιών. Στο σημείο αυτό, γίνεται η εξής παραδοχή: δίνεται ισοβαρή σημασία στην Κοινωνική Επικινδυνότητα Αποτυχίας των Συνιστώσων άλλων Υποδομών και λιγότερη στις Συνιστώσες της υπό εξέτασης Υποδομής (τελευταίο κόμβος της αλυσίδας αποτυχιών που εξετάζεται). Η παραδοχή αυτή ενισχύεται από το γεγονός ότι σε μια αλυσίδα αποτυχιών ο τελευταίος κόμβος – Κρίσιμη Υποδομή που αποτυγχάνει επηρεάζει την Κοινωνία μόνο άμεσα, ενώ όλοι οι προηγούμενοι κόμβοι – Κρίσιμες Υποδομές επηρεάζουν την Κοινωνία τόσο άμεσα όσο και έμμεσα μέσω της μετάδοσης της αποτυχίας (failure propagation) και σε άλλες Κρίσιμες Υποδομές.

Στην εν λόγω μεθοδολογία, θεωρούμε ότι σε περίπτωση που η συνολική επικινδυνότητα προκύψει δεκαδικός αριθμός, τότε γίνεται στρογγυλοποίηση προς τον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό και ότι το άθροισμα των βαρών ισούται με τη μονάδα (5.5). Η στάθμιση των βαρών δεν είναι προφανής διαδικασία και εισάγει έναν βαθμό υποκειμενικότητας, καθώς η επιλογή των βαρών επαφίεται στους υπεύθυνους λήψης απόφασης (decision makers). Για τον περιορισμό αυτής, θα μπορούσε να συγκριθεί και με άλλες μετρικές, όπως μέσος όρος (avg), τυπική απόκλιση (stdev), διάμεσος (mean) ή μέγιστη τιμή (max).

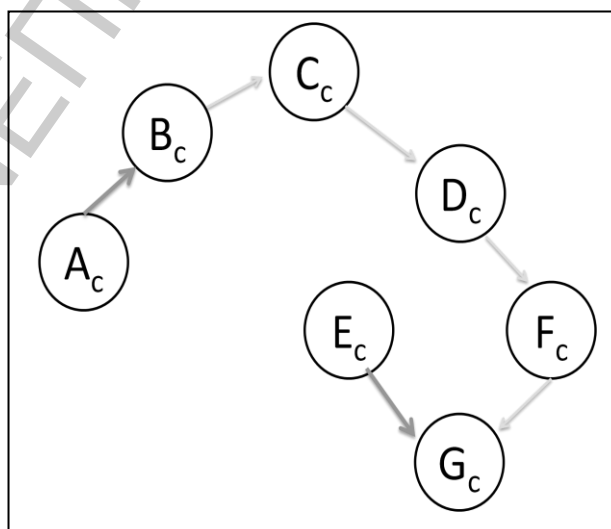
Στον παρόν σενάριο, τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα εξής:

- Υποθέτουμε ότι έχουμε υπολογίσει τις ενδιάμεσες επικινδυνότητες, δηλαδή την επικινδυνότητα για κάθε εξάρτηση που υπάρχει στην αλυσίδα, σύμφωνα με τη σχέση (5.3).
- Παρατηρούμε ότι ο γράφος προς μελέτη είναι αυτός του σεναρίου 1, ο οποίος απεικονίζει μια αλυσίδα αποτυχιών 3^{ης} τάξης. Άρα σύμφωνα με τη σχέση (5.4) θα έχουμε:

$$\text{Weighted Societal Failure Risk}_{A_C, B_C, C_C, D_C} = a_1 \times \text{Societal Failure Risk}_{A_C, B_C} + a_2 \times \text{Societal Failure Risk}_{A_C, B_C, C_C} + a_3 \times \text{Societal Failure Risk}_{A_C, B_C, C_C, D_C}$$

❖ 3^ο Σενάριο Αποτυχίας: Υπαρξη δύο αλυσίδων αποτυχιών (chain failures) οι οποίες επηρεάζουν ένα συγκεκριμένο κόμβο - Συνιστώσα

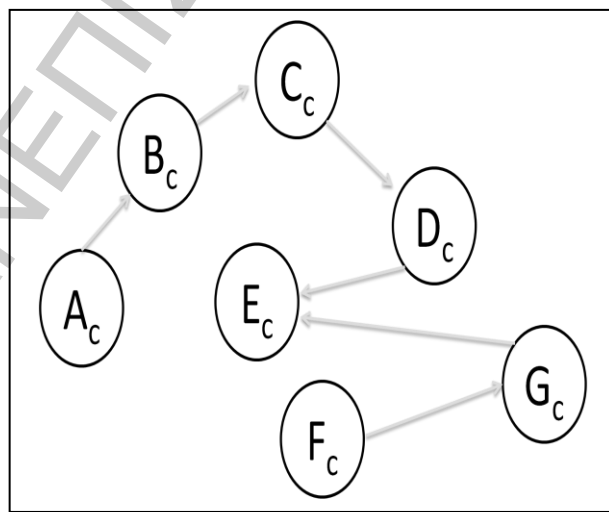
➤ Περίπτωση 3.A : Κοινής Αιτίας και Διαδοχικές Αποτυχίες



- Οι αποτυχίες στις συνιστώσες A_c και E_c είναι κοινής αιτίας, συνεπώς λόγω θεωρίας, θα έχουν την ίδια πιθανότητα εμφάνισης και θα εκδηλωθούν σχεδόν την ίδια χρονική στιγμή. Συνεπώς ισχύει η ακόλουθη σχέση:

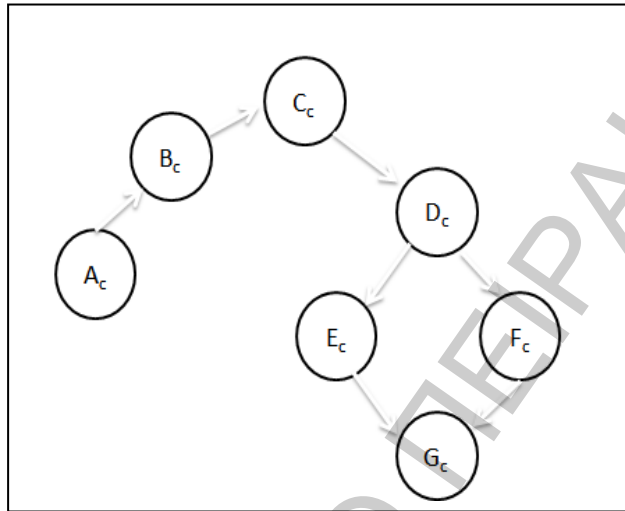
$$\text{Failure Likelihood}_{A_c} = \text{Failure Likelihood}_{E_c} \quad (5.6)$$

- Στη συνέχεια λόγω διαδοχικής αποτυχίας η επικινδυνότητα της αλυσίδας αποτυχιών των Συνιστωσών $A_c \rightarrow B_c \rightarrow C_c \rightarrow D_c \rightarrow F_c \rightarrow G_c$ είναι όμοια με τη σχέση (5.3), αν μελετάμε γράφο αποτυχιών σε επίπεδο Υποδομής – Οργανισμού και όμοια με τις σχέσεις (5.4) και (5.5) αν μελετάμε γράφο αποτυχιών σε επίπεδο Κοινωνίας.
 - Στην περίπτωση που οι επικινδυνότητες των δύο μονοπατιών ($A_c \rightarrow B_c \rightarrow C_c \rightarrow D_c \rightarrow F_c \rightarrow G_c$ και $E_c \rightarrow G_c$) έχουν τον ίδιο τύπο αντικτύπου (impact type), για παράδειγμα οικονομικές απώλειες, τότε για την Συνιστώσα G_c η συνολική επικινδυνότητά της θα είναι η μέγιστη τιμή (max) των δύο μονοπατιών. Να σημειώσουμε ότι σε αυτήν την περίπτωση επιλέγουμε το μεγαλύτερο αντίκτυπο (worst case principle) για τους λόγους που έχουμε προαναφέρει. Αντίθετα, αν ο τύπος αντικτύπου από τα δύο μονοπάτια είναι διαφορετικός, για παράδειγμα φήμη και οικονομικές απώλειες, θα επιλέγεται ο μέσος όρος (average) των δύο μονοπατιών, καθώς το πλήθος των αντικτύπων δε θα μπορεί να συσχετιστεί με κάποιον τρόπο. Να διευκρινίσουμε ότι αν η τελική τιμή της επικινδυνότητας αποτυχίας προκύψει δεκαδικός αριθμός, τότε θα γίνεται στρογγυλοποίηση προς τον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό, προκειμένου το αποτέλεσμα να είναι εντός της κλίμακας επικινδυνότητας που έχει οριστεί στην υποενότητα 4.2.3.
- Περίπτωση 3.B: Διαδοχικές Αποτυχίες



Ακολουθείται η ίδια λογική με αυτή της περίπτωσης 3.B, με τη μόνη διαφορά ότι εδώ πρόκειται για δύο μονοπάτια αποτυχιών αποκλειστικά λόγω διαδοχικών αποτυχιών.

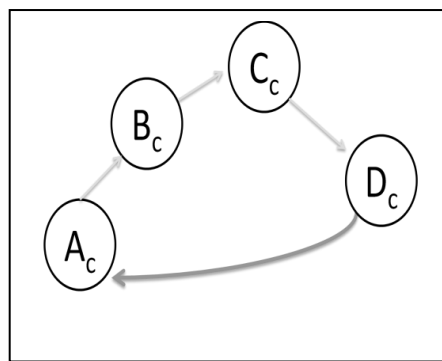
➤ Περίπτωση 3.Γ: Διακλάδωση



Σε αυτήν την περίπτωση, το μονοπάτι $A_c \rightarrow B_c \rightarrow C_c \rightarrow D_c$ είναι κοινό και για τα δύο μονοπάτια αποτυχιών ($A_c \rightarrow B_c \rightarrow C_c \rightarrow D_c \rightarrow E_c \rightarrow G_c$ και $A_c \rightarrow B_c \rightarrow C_c \rightarrow D_c \rightarrow F_c \rightarrow G_c$), συνεπώς μπορούμε να το λαμβάνουμε υπόψη μια φορά στον υπολογισμό της επικινδυνότητας για λόγους ευκολίας.

Άρα, υπολογίζουμε την επικινδυνότητα των δύο μονοπατιών σύμφωνα με τη σχέση (5.3), αν μελετάμε γράφο αποτυχιών σε επίπεδο Υποδομής – Οργανισμού και όμοια με τις σχέσεις (5.4) και (5.5) αν μελετάμε γράφο αποτυχιών σε επίπεδο Κοινωνίας, ενώ στη συνέχεια ανάλογα με τον τύπο του αντικτύπου αυτών υπολογίζουμε το μέσο όρο ή τη μέγιστη τιμή τους, όπως και στις περιπτώσεις 3.A και 3.B.

❖ 4^ο Σενάριο Αποτυχίας : Κλιμακωτή Αποτυχία



Η επικινδυνότητα σε αυτήν την περίπτωση αποτυχίας προκύπτει με βάση με τη σχέση (5.3), αν μελετάμε γράφο αποτυχιών σε επίπεδο Υποδομής – Οργανισμού και όμοια με τις σχέσεις (5.4) και (5.5) αν μελετάμε γράφο αποτυχιών σε επίπεδο Κοινωνίας, καθώς και την παραδοχή που έγινε στη σελίδα 113 για την αύξηση του αντικτύπου.

5.4 Συμπεράσματα

Οι αποτυχίες στις Κρίσιμες Υποδομές λόγω ύπαρξης εξαρτήσεων (dependency related failures) επηρεάζουν τόσο την ίδια την Υποδομή – Οργανισμό και τις επιμέρους Συνιστώσες της, όσο και την Κοινωνία στο σύνολό της. Η Κοινωνία μάλιστα ενδέχεται να επηρεαστεί άμεσα από την εκάστοτε Κρίσιμη Υποδομή – Συνιστώσα που αποτυγχάνει, αλλά και έμμεσα από την αποτυχία άλλων Κρίσιμων εξαρτώμενων Υποδομών - Συνιστωσών. Οι εμφανιζόμενες αποτυχίες στις Κρίσιμες Υποδομές, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία είναι οι κλιμακωτές, οι διαδοχικές και οι κοινής αιτίας, με την κάθε μία από αυτές να έχει τα δικά της ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Με βάση την κατηγοριοποίησή αυτή, προτείναμε μια μεθοδολογία αποτίμησης της επικινδυνότητας αποτυχίας η οποία προκύπτει από την εμφάνιση της κάθε μίας από τις προαναφερθείσες κατηγορίες αποτυχίας και μέσω ανάλυσης γράφου επιχειρήθηκε η μελέτη τόσο στα πλαίσια μιας Κρίσιμης Υποδομής όσο και μιας Κοινωνίας. Με τη βοήθεια της προτεινόμενης αυτής μεθοδολογίας, αποσκοπούμε στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας των Κρίσιμων εξαρτώμενων Υποδομών στο σύνολό τους, έτσι ώστε σε περιπτώσεις αποτυχίας, οι επιπτώσεις να είναι όσο το δυνατόν λιγότερο δυσμενείς για την Κοινωνία. Η μελέτη περίπτωσης που παρουσιάζεται στα πλαίσια του επόμενου κεφαλαίου συμβάλλει στην περαιτέρω κατανόηση της μεθοδολογίας και στην αναγκαιότητα συνύπαρξης των εννοιών της προστασίας και της ανθεκτικότητας στις σημερινές Κρίσιμες Υποδομές.

Αναφορές

- [1] Theoharidou M., Kotzanikolaou P., Gritzalis D., “Risk-based criticality analysis”, in: Palmer C., Sheno S. (Eds.), in Proc. of the third IFIP international conference on critical infrastructure protection (CIP-2009), USA: Springer; March 2009.
- [2] Theoharidou M., Kotzanikolaou P., Gritzalis D., “A multi-layer criticality assessment methodology based on interdependencies”, Computers & Security, Vol. 29, No.6, pp.643-658, 2010.
- [3] Theoharidou M., Kotzanikolaou P., Gritzalis D., “Risk assessment methodology for interdependent critical infrastructures”, *International Journal of Risk Assessment and Management* (Special Issue on Risk Analysis of Critical Infrastructures), Vol. 15, No. 2/3, pp. 128-148, 2011.
- [4] Kotzanikolaou P., Theoharidou M., Gritzalis D., “Interdependencies between Critical Infrastructures: Analyzing the Risk of Cascading Effects”, in Proc. of the 6th International Conference on Critical Infrastructure Security (CRITIS-2011), Wolthusen S., et al (Eds.), pp. 107-118, Springer, Switzerland, September 2011.

- [5] Kotzanikolaou P., Theoharidou M., Gritzalis D., "Accessing n-order dependencies between critical infrastructures", *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 2012 (to appear).
- [6] Rinaldi, S., Peerenboom, J., Kelly, T. (2001) Identifying, Understanding and Analyzing Critical Infrastructure Interdependencies. *IEEE Control Systems Magazine*, Vol. 21, No. 6, pp.11–25.
- [7] De Porcellinis, S., Oliva, G., Panzieri, S. and Setola, R. (2009) A Holistic-Reductionistic Approach for Modeling Interdependencies. In: Palmer C., Sheno S. (Eds.) 3rd IFIP Int. Conf. on Critical Infrastructure Protection (CIP-2009), pp.215–227, Springer, USA.
- [8] Marchetti n., "Telecommunications in Disaster Areas", River Publishers, Denmark, 2010.
- [9] Kröger W., Zio E., "Vulnerable Systems", Springer, London, 2011.
- [10] Laprie J.C., Kanoun K., Kaâniche M., "Modelling Interdependencies Between the Electricity and Information Infrastructures", in *Computer Safety, Reliability, and Security*, Saglietti F. et al (Eds.), Vol. 4680, pp. 54-67, 2007.
- [11] Schintler L.A, Gorman S., Kulkarni R., and Stough R., "Moving from Protection to Resiliency: A Path to Securing Critical Infrastructure". In: Murray A.T., Grubestic T. H. (Eds.), *Critical Infrastructure - Reliability and Vulnerability (Series: Advances in Spatial Science)*, pp. 291-307, 2007.
- [12] International Standard ISO/IEC 27005, "Information technology - Security techniques - Information security risk management", First edition 2008-06-15.
- [13] National Institute of Standards and Technology, "Guide for Conducting Risk Assessments", Special Publication 800-30, pp. 95, September 2012.
- [14] Kjølle G.H., Utne I.B., Gjerde O., "Risk analysis of critical infrastructures emphasizing electricity supply and interdependencies", *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 105, pp. 80-89, September 2012.
- [15] Moteff J. D., "Critical Infrastructure Resilience: The Evolution of Policy and Programs and Issues for Congress", CRS Report for Congress, pp. 20, August 23, 2012.
- [16] Lukas L., Hromada M., "Resilience as main part of protection of critical infrastructure", *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, Vol. 5, No. 6, pp. 1135-1142, 2011.
- [17] Boin A. and McConnell A., "Preparing for Critical Infrastructure Breakdowns: The Limits of Crisis Management and the Need for Resilience", *Journal of Contingencies and Crisis Management*, Vol. 15 No.1, pp. 50 – 59, March 2007.
- [18] Theron P, Bologna S., "Critical Information Infrastructure Protection and Resilience in the ICT Sector", IGI Global, pp. 1-318, February 2013 (to appear).
- [19] Van Eeten M., Nieuwenhuijs A., Luijff E., Klaver M., Cruz E., "The state and the Threat of Cascading Failure across Critical Infrastructures: The Implications of Empirical Evidence from Media Incident Reports", *International Journal of Public Administration*, Blackwell Publishing Ltd , Vol. 89, No. 2, pp. 381 – 400, 2011.

Κεφάλαιο 6^ο: Μελέτη Περίπτωσης

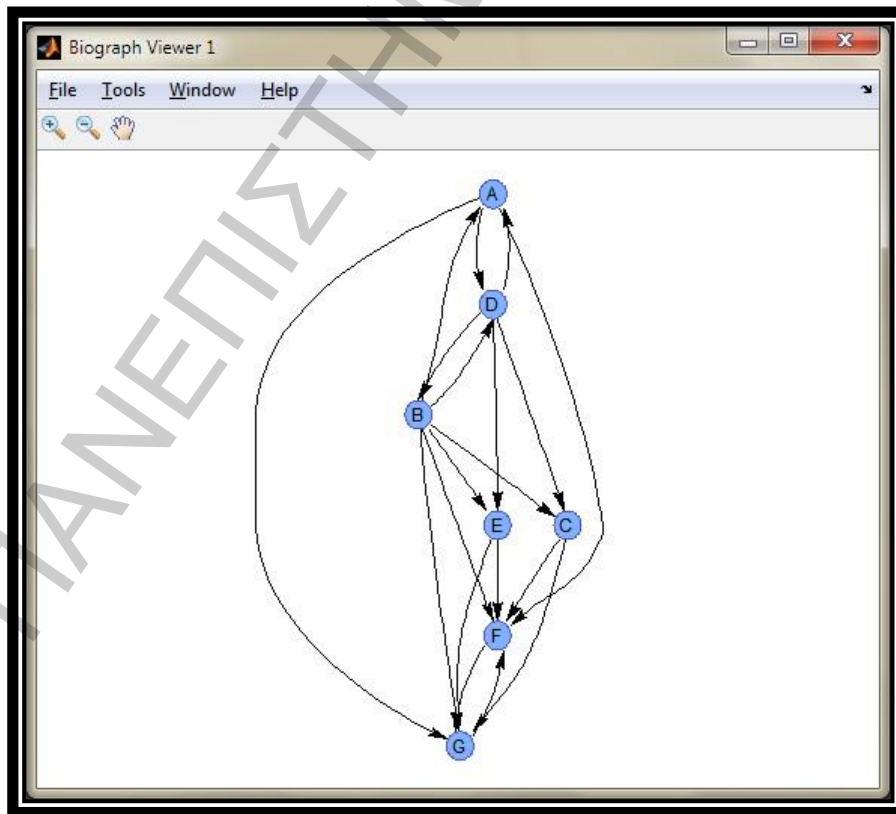
6.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο, θα παρουσιάσουμε αναλυτικά τα βήματα της προτεινόμενης μεθοδολογίας με τη βοήθεια μιας ενδεικτικής μελέτης περίπτωσης (case study), προκειμένου να αποσαφηνιστεί η πρακτική σημασία της μεθοδολογίας και τα βασικά σημεία συνεισφοράς της στο πεδίο των Κρίσιμων (Πληροφοριακών) Υποδομών και συγκεκριμένα στις περιπτώσεις εκδήλωσης αποτυχιών εξαιτίας της νέας τεχνολογίας, καθώς επίσης της ποικιλίας απειλών και ευπαθειών που η τελευταία εισάγει.

Πιο συγκεκριμένα, στην ενότητα 6.2 παρουσιάζεται το σενάριο εξαρτήσεων πρώτου βαθμού, με βάση το οποίο θα αναπτυχθεί στη συνέχεια το ενδεικτικό σενάριο αποτυχιών και ο υπολογισμός της επικινδυνότητας αποτυχίας κάθε μονοπατιού. Τα βήματα της μεθοδολογίας και η αντίστοιχη υλοποίηση του σεναρίου αναλύεται στις ενότητες 6.3, 6.4, 6.5, και 6.6, ενώ στην ενότητα 6.7 επισημαίνουμε τα κύρια συμπεράσματα που προέκυψαν από την εν λόγω μελέτη περίπτωσης, τόσο για τον ίδιο τον Οργανισμό - Κρίσιμη Υποδομή, όσο και για την Κοινωνία - σύνολο Κρίσιμων Υποδομών.

6.2 Γράφος Εξαρτήσεων Πρώτου Βαθμού

Ο παρακάτω γράφος εξαρτήσεων αποτελεί την είσοδο της προτεινόμενης μεθοδολογίας και έχει προταθεί στην [1].



Εικόνα 6.1: Γράφος Εξαρτήσεων

Έστω, ότι πρέπει να εξετάσουμε τέσσερις διαφορετικούς Τομείς, αυτών του Χρηματοπιστωτικού (Finance), της Ενέργειας (Energy), της Τεχνολογίας Πληροφοριών και Επικοινωνιών (ICT), καθώς και του Δημοσίου (Government). Κάθε Κρίσιμη Υποδομή που απεικονίζεται στο γράφο ανήκει σε έναν από τους προαναφερθέντες Τομείς. Συγκεκριμένα, έχουμε τις παρακάτω επτά (7) Κρίσιμες Υποδομές:

1. *A*: Τράπεζα (Χρηματοπιστωτικός Τομέας),
2. *B*: Πάροχος Ηλεκτρικής Ενέργειας (Τομέας Ενέργειας). Στην περίπτωση αυτή, θεωρούμε ότι η Υποδομή Ενέργειας είναι ιδιαίτερα Κρίσιμη, καθώς παράγει και μεταφέρει ενέργεια για μεγαλύτερο από το 90% του εθνικού εμπορίου,
3. *C*: Πάροχος Υπηρεσιών Δικτύου (Τομέας Τεχνολογίας Πληροφοριών και Επικοινωνιών),
4. *D*: Πάροχος Υπηρεσιών Επικοινωνίας, σταθερό, κινητό, διαδίκτυο (Τομέας Τεχνολογίας Πληροφοριών και Επικοινωνιών),
5. *E*: Υποδομή “Φιλοξενίας (Hosting)” που προσφέρει Υπηρεσίες Κέντρων Δεδομένων (Data Centre) (Τομέας Τεχνολογίας Πληροφοριών και Επικοινωνιών),
6. *F*: Ίδρυμα Ασφαλίσεων, παρέχει ηλεκτρονικές υπηρεσίες και συναλλαγές για τους πολίτες (Τομέας Δημοσίου) και
7. *G*: Υποδομή ICT που προσφέρει φορολογικές υπηρεσίες στους πολίτες (Τομέας Δημοσίου).

6.3 Βήμα 1^ο: Καθορισμός του Τύπου Εξάρτησης (Dependency Type)

Θα κατηγοριοποιήσουμε την κάθε εξάρτηση μεταξύ των Υποδομών του γράφου, στις κατηγορίες εξαρτήσεων που έχουμε αναφέρει στη μεθοδολογία. Ο συμβολισμός των εξαρτήσεων στους πίνακες που ακολουθούν έχουν ως εξής: Φυσική Εξάρτηση (Physical – P), Κυβερνοχωρική Εξάρτηση (Cyber – C) και Γεωγραφική Εξάρτηση (Geographical – G).

Πίνακας 6-1: Εξαρτήσεις μεταξύ των Υποδομών του Γράφου		
<i>Χρηματοπιστωτικός Τομέας – Τράπεζα (Υποδομή A)</i>		
Εξαρτώμενη Υποδομή	Τύπος Εξάρτησης	Αιτία
D	C	Υπηρεσίες Πληρωμής
F		
G		
<i>Τομέας Ενέργειας - Πάροχος Ηλεκτρικής Ενέργειας (Υποδομή B)</i>		
A	P	Παροχή Ενέργειας
C		
D		
E		
F		
G		

Τομέας Τεχνολογίας Πληροφοριών και Επικοινωνιών - Πάροχος Υπηρεσιών Δικτύου (Υποδομή C)		
F	C	Υπηρεσίες Δικτύου
G		
Τομέας Τεχνολογίας Πληροφοριών και Επικοινωνιών - Πάροχος Υπηρεσιών Επικοινωνίας (Υποδομή D)		
A	C	Υπηρεσίες VPN
B	P	Σύνδεση Δικτύου
C		
E		
Τομέας Τεχνολογίας Πληροφοριών και Επικοινωνιών - Υποδομή "Φιλοξενίας" με Υπηρεσίες Data Center (Υποδομή E)		
F	G	Βρίσκεται στις εγκαταστάσεις της Υποδομής E (co-location)
G		
Τομέας Δημοσίου - Ίδρυμα Ασφαλίσεων (Υποδομή F)		
G	C	Λαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τις ασφάλειες
Τομέας Δημοσίου - Υποδομή Φορολογικών Υπηρεσιών (Υποδομή G)		
Καμία Εξαρτώμενη Υποδομή		

6.4 Βήμα 2^ο: Εύρεση του Τύπου Αποτυχίας (Failure Type)

Για κάθε μία από τις Υποδομές του γράφου, θα προσδιορίσουμε με βάση τον τύπο της εξάρτησης και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτής, τον αναμενόμενο τύπο αποτυχίας που θα προκύψει σε περίπτωση εκδήλωσης μιας απειλής.

Πίνακας 6-2: Τύποι Αποτυχιών μεταξύ των Υποδομών του Γράφου	
Χρηματοπιστωτικός Τομέας – Τράπεζα (Υποδομή A)	
Εξαρτώμενη Υποδομή	Τύπος Αποτυχίας
D	Διαδοχική
F	
G	
Τομέας Ενέργειας - Πάροχος Ηλεκτρικής Ενέργειας (Υποδομή B)	
A	Διαδοχική
C	
D	
E	
F	
G	
G	
Τομέας Τεχνολογίας Πληροφοριών και Επικοινωνιών - Πάροχος Υπηρεσιών Δικτύου (Υποδομή C)	
F	Διαδοχική
G	
Τομέας Τεχνολογίας Πληροφοριών και Επικοινωνιών - Πάροχος Υπηρεσιών Επικοινωνίας (Υποδομή D)	
A	Κλιμακωτή
B	Διαδοχική
C	
E	

Τομέας Τεχνολογίας Πληροφοριών και Επικοινωνιών - Υποδομή “Φιλοξενίας” με Υπηρεσίες Data Center (Υποδομή E)	
F	Κοινής Αιτίας
G	Κοινής Αιτίας
Τομέας Δημοσίου - Ίδρυμα Ασφαλίσεων (Υποδομή F)	
G	Διαδοχική
Τομέας Δημοσίου - Υποδομή Φορολογικών Υπηρεσιών (Υποδομή G)	
Καμία Εξαρτώμενη Υποδομή – Καμία Αποτυχία	

6.5 Βήμα 3^ο: Προσομοίωση Αποτυχίας (Failure Simulation) σε Επίπεδο Συνιστώσας (Component Level)

Έστω ότι γίνεται μια κυβερνοεπίθεση στο σύστημα ελέγχου (Supervisory Control and Data Acquisition) της Υποδομής Ενέργειας Β. Η επίθεση αυτή θα μπορούσε να επιτευχθεί μέσω του «Stuxnet» ιού, ή των απογόνων αυτού όπως Flame, Duqu και Shamoon, ο οποίος ανακαλύφθηκε το 2010 και είχε ως στόχο το σύστημα ελέγχου της Siemens [2]. Υποθέτουμε ότι ο επιτιθέμενος καταφέρνει να ρυθμίσει τον προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή (B_{C_1}) (Programmable Logic Controller - PLC) του συγκεκριμένου συστήματος ελέγχου έτσι ώστε να μειωθεί σταδιακά η απόδοση της γεννήτριας (B_{C_3}) (διαδοχική αποτυχία πρώτου βαθμού) και να μην μπορεί να ικανοποιήσει το απαιτούμενο φορτίο. Επίσης, καταφέρνει να κάνει μη ανιχνεύσιμη οποιαδήποτε αλλαγή στην απόδοση της γεννήτριας και έτσι οι αρμόδιοι χειριστές (operators) της διεπαφής να μην αντιληφθούν την επίθεση. Η γεννήτρια αυτή θεωρούμε ότι αποτελεί μία από τις πιο κρίσιμες Συνιστώσες της εν λόγω Υποδομής. Εφεδρικές γεννήτριες, ακριβώς λόγω της κρισιμότητας αυτής, υπάρχουν αλλά δεν ενεργοποιούνται εξαιτίας της μη ειδοποίησης αυτών από το σύστημα ελέγχου.

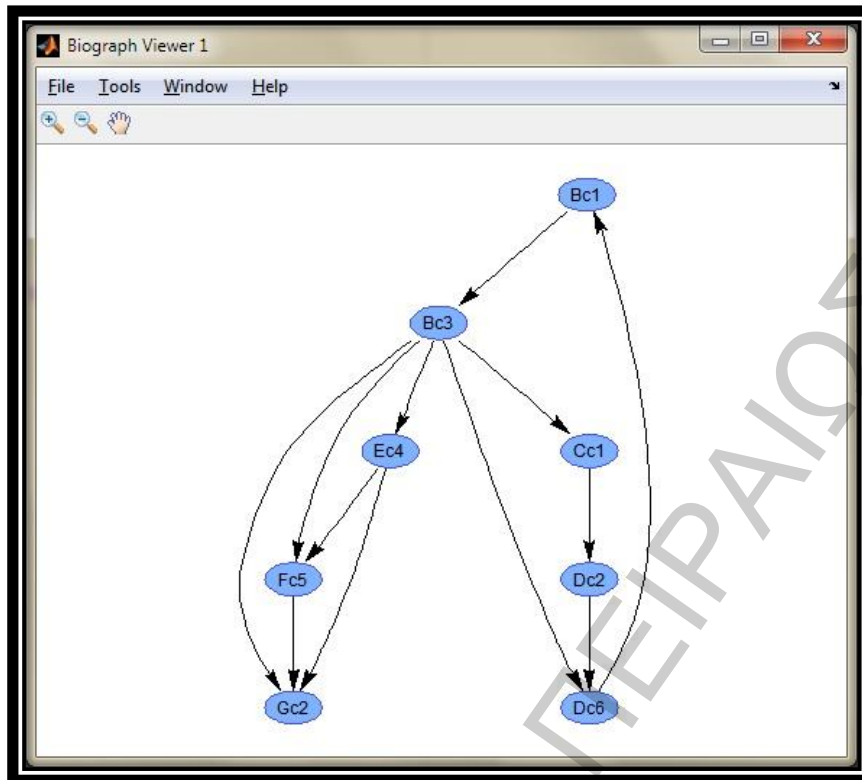
Όπως παρατηρούμε και στο γράφο της εικόνας 6.2, η Υποδομή Ενέργειας επηρεάζει όλες τις υπόλοιπες υπό εξέταση Υποδομές. Συνεπώς, η παραπάνω αποτυχία έχει ως αποτέλεσμα μια αλληλουχία αποτυχιών. Πιο συγκεκριμένα:

- 1^η αποτυχία: Ένας σταθμός βάσης (D_{C_6}) του Παρόχου Επικοινωνιών ο οποίος εξυπηρετείται από τη συγκεκριμένη γεννήτρια τίθεται εκτός λειτουργίας και το σύστημα αδιάλειπτης παροχής ισχύος (UPS) του σταθμού λόγω τεχνικής βλάβης τελικά δεν ενεργοποιείται. (διαδοχική αποτυχία 2^ο βαθμού)
- 2^η αποτυχία: Ένας δρομολογητής (C_{C_1}) της Υποδομής Δικτύου τίθεται εκτός λειτουργίας και εν συνεχεία επηρεάζει τη σύνδεση (link) αυτού με το σύστημα παρακολούθησης (monitoring system) (D_{C_2}) του Παρόχου Επικοινωνιών. (διαδοχική αποτυχία 2^ο βαθμού)
- 3^η αποτυχία: Το σύστημα παρακολούθησης τίθεται εκτός λειτουργίας, θεωρώντας ότι ο Πάροχος Επικοινωνιών είναι νέα εταιρεία και λόγω κόστους δεν είχε θέσει ακόμη σε λειτουργία κάποια μορφή εφεδρικής συσκευής. (διαδοχική αποτυχία 3^ο βαθμού)
- 4^η αποτυχία: Η αποτυχία του συστήματος παρακολούθησης δυσχεραίνει ακόμη περισσότερο την 1^η αποτυχία, καθώς ο Πάροχος Επικοινωνιών δε θα έχει κάποιον

τρόπο να ενημερωθεί και καθυστερεί η επισκευή του σταθμού βάσης (*διαδοχική αποτυχία 4^ο βαθμού*).

- 5^η αποτυχία: Το PLC (B_{C_1}) για όσο χρονικό διάστημα ο σταθμός βάσης (D_{C_6}) θα είναι εκτός λειτουργίας δε θα έχει τη δυνατότητα ενδο-επικοινωνίας με τα υπόλοιπα μέρη του συστήματος ελέγχου και πρωτίστως με τον SCADA Control Server, έτσι ώστε να μεταδοθούν σωστές και έγκαιρες πληροφορίες για την κατάσταση των διαφόρων Συνιστώσών της Υποδομής και στην περίπτωσή μας για τη γεννήτρια (B_{C_3}). Συνεπώς, ο χρόνος ανάκαμψης της γεννήτριας αυξάνεται, επηρεάζοντας όλες τις εξαρτώμενες από αυτήν Συνιστώσες. (*κλιμακωτή αποτυχία 5^ο βαθμού*)
- 6^η αποτυχία: Ένας δρομολογητής (E_{C_4}) της Υποδομής Hosting τίθεται εκτός λειτουργίας, καθώς η εφεδρική γεννήτρια και το UPS δεν ενεργοποιήθηκαν. (*διαδοχική αποτυχία 2^ο βαθμού*)
- 7^η αποτυχία: Ο δρομολογητής (E_{C_4}), λόγω γεωγραφικής εγγύτητας, επηρεάζει τη διασύνδεση των εξυπηρετητών της Υποδομής Ασφαλίσεων (F_{C_5}) και της Υποδομής Φορολογικών Υπηρεσιών (G_{C_2}). (*κοινής αιτίας αποτυχία 3^ο βαθμού*)
- 8^η αποτυχία: Ως αποτέλεσμα της 7^{ης} αποτυχίας, ο εξυπηρετητής (G_{C_2}) της Υποδομής Φορολογικών Υπηρεσιών δεν μπορεί να αντλήσει τις απαιτούμενες πληροφορίες από τον εξυπηρετητή της Υποδομής Ασφαλίσεων (F_{C_5}), για παράδειγμα αναφορικά με τις ασφαλιστικές εισφορές (*διαδοχική αποτυχία 4^ο βαθμού*).
- 9^η αποτυχία: Οι εξυπηρετητές (G_{C_2}) και (F_{C_5}) τίθενται επίσης χωρίς λειτουργία λόγω της διακοπής παροχής ρεύματος από τη γεννήτρια (B_{C_3}) και την αποτυχία λειτουργίας τόσο της εφεδρικής γεννήτριας όσο και του UPS (*κοινής αιτίας αποτυχία 2^ο βαθμού*). Έτσι, η μη δυνατότητα επικοινωνίας του εξυπηρετητή (G_{C_2}) με τον (F_{C_5}) ενισχύεται και από αυτήν την αποτυχία.
- 10^η αποτυχία (μη επιτυχής): Ένας εξυπηρετητής εφαρμογών της Τράπεζας (A_{C_2}), ο οποίος προσφέρει online υπηρεσίες πληρωμής για τις Υποδομές των Ασφαλίσεων (F), των Φορολογικών Υπηρεσιών (G) και των Επικοινωνιών (D), τίθεται εκτός λειτουργίας (*διαδοχική αποτυχία 2^ο βαθμού*). Ωστόσο, οι εφεδρικές παροχές ενέργειας και το «hot disaster recovery site» ενεργοποιούνται επιτυχώς, με αποτέλεσμα η Υποδομή της Τράπεζας να αντιμετωπίσει την αποτυχία αποτελεσματικά, διατηρώντας τη διαθεσιμότητα της υπηρεσίας.

Ο γράφος αποτυχιών που προκύπτει από το παραπάνω σενάριο απεικονίζεται ακολούθως. Να σημειώσουμε ότι κατά τη διάδοση των αποτυχιών ενδέχεται να αποτυγχάνουν και άλλες Συνιστώσες, οι οποίες είτε δεν επηρεάζουν τις υπό εξέταση Υποδομές και Συνιστώσες αυτών, είτε δεν επηρεάζουν καμία λειτουργία, όπως η 10^η αποτυχία. Έτσι, σκοπίμως δεν απεικονίζονται για λόγους απλοποίησης του γράφου, αλλά και απεικόνισης μόνο των αποτυχιών που μας ενδιαφέρουν.



Εικόνα 6.2: Γράφος Αποτυχιών

6.6 Βήμα 4^ο: Αποτίμηση Επικινδυνότητας (Risk Assessment) του Σεναρίου Αποτυχίας

6.6.1 Στάδιο 4.1 - Προσδιορισμός της Επικινδυνότητας (Risk identification)

Πίνακας 6-3: Ανάλυση Επικινδυνότητας Αποτυχιών			
Αποτυχία	Ευπάθεια	Απειλή	Αντίκτυπος
B_{C_1}	Υποδομή Ενέργειας μη επαρκώς προετοιμασμένη για τέτοιου είδους απειλή	Κυβερνοεπίθεση	Επιτυχής διαχείριση βασικής συνιστώσας (PLC) του SCADA συστήματος
$B_{C_1} \rightarrow B_{C_3}$	Υποδομή Ενέργειας μη επαρκώς προετοιμασμένη για τέτοιου είδους απειλή	Διακοπή λειτουργίας βασικής συνιστώσας (PLC) του SCADA συστήματος	Επιτυχής διαχείριση της βασικής γεννήτριας της Υποδομής
$B_{C_3} \rightarrow D_{C_6}$	Υποδομή Επικοινωνιών χωρίς σωστούς εφεδρικούς μηχανισμούς παροχής ενέργειας	Διακοπή λειτουργίας βασικής γεννήτριας της Υποδομής Ενέργειας	Διακοπή λειτουργίας σταθμού βάσης
$B_{C_3} \rightarrow C_{C_1}$	Υποδομή Δικτύου χωρίς εφεδρικούς μηχανισμούς παροχής ενέργειας	Διακοπή λειτουργίας βασικής γεννήτριας της Υποδομής Ενέργειας	Διακοπή λειτουργίας δρομολογητή
$C_{C_1} \rightarrow D_{C_2}$	Υποδομή Επικοινωνιών χωρίς εφεδρικούς μηχανισμούς παροχής υπηρεσιών δικτύου	Διακοπή λειτουργίας δρομολογητή	Διακοπή λειτουργίας συστήματος παρακολούθησης του Παρόχου Επικοινωνιών
$D_{C_2} \rightarrow D_{C_6}$	Υποδομή Επικοινωνιών χωρίς εφεδρικούς μηχανισμούς παροχής υπηρεσιών παρακολούθησης του δικτύου της (core και access)	Διακοπή λειτουργίας συστήματος παρακολούθησης του Παρόχου Επικοινωνιών	Καθυστέρηση ενημέρωσης και διαχείρισης της αποτυχίας του σταθμού βάσης
$D_{C_6} \rightarrow B_{C_1}$	Υποδομή ενέργειας χωρίς εφεδρικούς μηχανισμούς	Διακοπή λειτουργίας σταθμού βάσης και	Καθυστέρηση ενημέρωσης και διαχείρισης της αποτυχίας του

	παροχής υπηρεσιών επικοινωνίας	καθυστέρηση στην επίλυση του προβλήματος	συνδέσμου επικοινωνίας μεταξύ PLC και σταθμού βάσης. Η ενδο-επικοινωνία του συστήματος SCADA «γάνεται».
$B_{C_3} \rightarrow E_{C_4}$	Υποδομή «Φιλοξενίας» χωρίς σωστούς εφεδρικούς μηχανισμούς παροχής ενέργειας	Διακοπή λειτουργίας βασικής γεννήτριας της Υποδομής Ενέργειας	Διακοπή λειτουργίας δρομολογητή της Υποδομής «Φιλοξενίας»
$E_{C_4} \rightarrow F_{C_5}$	Υποδομή «Φιλοξενίας» χωρίς εφεδρικούς μηχανισμούς παροχής υπηρεσιών δικτύου	Διακοπή λειτουργίας δρομολογητή της Υποδομής «Φιλοξενίας»	Διακοπή λειτουργίας του εξυπηρετητή της Υποδομής Ασφαλίσεων
$E_{C_4} \rightarrow G_{C_2}$	Υποδομή «Φιλοξενίας» χωρίς εφεδρικούς μηχανισμούς παροχής υπηρεσιών δικτύου	Διακοπή λειτουργίας δρομολογητή της Υποδομής «Φιλοξενίας»	Διακοπή λειτουργίας του εξυπηρετητή της Υποδομής Φορολογικών Υπηρεσιών
$B_{C_3} \rightarrow F_{C_5}$	Υποδομή «Φιλοξενίας» χωρίς σωστούς εφεδρικούς μηχανισμούς παροχής ενέργειας	Διακοπή λειτουργίας βασικής γεννήτριας της Υποδομής Ενέργειας	Διακοπή λειτουργίας του εξυπηρετητή της Υποδομής Ασφαλίσεων
$B_{C_3} \rightarrow G_{C_2}$	Υποδομή «Φιλοξενίας» χωρίς σωστούς εφεδρικούς μηχανισμούς παροχής ενέργειας	Διακοπή λειτουργίας βασικής γεννήτριας της Υποδομής Ενέργειας	Διακοπή λειτουργίας του εξυπηρετητή της Υποδομής Φορολογικών Υπηρεσιών
$F_{C_5} \rightarrow G_{C_2}$	Υποδομή Φορολογικών Υπηρεσιών με εξάρτηση από ίδιες Συνιστώσες με την Υποδομή Ασφαλίσεων και τη μη ύπαρξη κάποιου «hot disaster recovery site» για την Υποδομή Ασφαλίσεων	Διακοπή λειτουργίας του εξυπηρετητή της Υποδομής Ασφαλίσεων	Διακοπή λειτουργίας του εξυπηρετητή της Υποδομής Φορολογικών Υπηρεσιών

6.6.2 Στάδιο 4.2 - Εκτίμηση της Επικινδυνότητας (Risk estimation)

A. Υπο-στάδιο 4.2.1): Αποτίμηση του Αντικτύπου (Impact Assessment)

- Για κάθε κόμβο (Συνιστώσα) – πηγή της αποτυχίας

❖ Αποτυχία B_{C_1}

1) Επίπεδο Αποτυχίας (Failure Level)

Το 2010 η συγκεκριμένη κυβερνοεπίθεση έγινε αντιληπτή τουλάχιστον ένα χρόνο μετά. Στα πλαίσια της παρούσας περίπτωσης, θεωρήσαμε ότι δύο χρόνια μετά, τόσο οι Υποδομές όσο και οι Ειδικοί στο χώρο της Ασφάλειας είναι πιο προετοιμασμένοι για τέτοιου είδους επιθέσεις. Ωστόσο, εξακολουθούν να μην μπορούν να τις αντιμετωπίσουν άμεσα, γι' αυτό αποτιμήσαμε ότι ο χρόνος ανάκαμψης = «Σημαντικός» και ο παράγοντας της απόδοσης = «Ακραίος», καθώς θεωρούμε ότι η γεννήτρια τέθηκε σταδιακά εκτός λειτουργίας. Λόγω της αρχής της χειρίστης περίπτωσης, επιλέγουμε ότι η αποτυχία ορίζεται ως «Ακραία».

2) Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)

6.6.2.1 Έμφαση στην Υποδομή – Οργανισμό

- Αρνητική Επίδραση στη Φήμη = «Σοβαρό», καθώς η Υποδομή Ενέργειας δεν ήταν επαρκώς προετοιμασμένη για την αντιμετώπιση μιας τέτοιας επίθεσης.
- Οικονομική Απώλεια λόγω Διακοπής της Παρεχόμενης Υπηρεσίας (έως ότου η Υπηρεσία Αποκατασταθεί) = «Σοβαρό», καθώς το PLC ανίχνευε έγκαιρα αποτυχίες και συνεπώς μείωνε το κόστος αποκατάστασης βασικών συνιστωσών της Υποδομής.
- Οικονομική Απώλεια λόγω Εξόδων Αποκατάστασης = «Αισθητό», καθώς θα πρέπει να υλοποιηθούν μηχανισμοί ασφάλειας και να προσληφθούν ειδικοί στο χώρο της ασφάλειας, προκειμένου η κυβερνοεπίθεση να εντοπιστεί και να αντιμετωπιστεί.
- Διακοπή Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων = «Σημαντικό», καθώς το PLC θεωρείται κρίσιμο για την Υποδομή – Οργανισμό.

Λαμβάνοντας την αρχή της χειρίστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Υποδομή – Οργανισμό ορίζεται ως «Σοβαρός».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4, ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «VH».

- Για κάθε επόμενο κόμβο (Συνιστώσα) – Διάδοση Αντικτύπου

❖ Αποτυχία $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3}$:

1) Επίπεδο Αποτυχίας (Failure Level)

Η αποτυχία ορίζεται ως «Ακραία», λόγω της προηγούμενης παραδοχής που έγινε για τη Συνιστώσα B_{C_1} και την άμεση σύνδεση των δύο αυτών Συνιστωσών.

2) Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)

- Αρνητική Επίδραση στη Φήμη = «Σοβαρό», καθώς η Υποδομή Ενέργειας δεν ήταν επαρκώς προετοιμασμένη για την αντιμετώπιση μιας τέτοιας επίθεσης.
- Οικονομική Απώλεια λόγω Διακοπής της Παρεχόμενης Υπηρεσίας (έως ότου η Υπηρεσία Αποκατασταθεί) = «Σοβαρό», καθώς η Υποδομή Ενέργειας δεν ικανοποίησε τις Συμφωνίες Επιπέδου Εξυπηρέτησης (SLAs) τις οποίες είχε υπογράψει με τους πελάτες της – εξαρτώμενες Κρίσιμες Υποδομές.
- Οικονομική Απώλεια λόγω Εξόδων Αποκατάστασης = «Μη Εφαρμόσιμο», καθώς η γεννήτρια δεν υπέστη βλάβη, αλλά ρυθμιζόμενη διακοπή λειτουργίας από τους επιτιθέμενους.

- Διακοπή Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων = «Σοβαρό», καθώς η γεννήτρια θεωρείται κρίσιμη για την Υποδομή – Οργανισμό.

Λαμβάνοντας την αρχή της χείριστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Υποδομή – Οργανισμό ορίζεται ως «Σοβαρός».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4, ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «VH».

❖ Αποτυχία $B_{C_3} \rightarrow D_{C_6}$:

1) *Επίπεδο Αποτυχίας (Failure Level)*

Ο σταθμός βάσης τίθεται εκτός λειτουργίας, συνεπώς ο παράγοντας της απόδοσης είναι = «Ακραίος» και ο χρόνος ανάκαμψης = «Ασήμαντος». Λόγω της αρχής της χείριστης περίπτωσης, επιλέγουμε ότι το επίπεδο αποτυχίας ορίζεται ως «Ακραίο».

2) *Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)*

- Αρνητική Επίδραση στη Φήμη = «Περιορισμένο», καθώς ο σταθμός βάσης διαθέτει εφεδρική παροχή ενέργειας αλλά λόγω τεχνικής βλάβης δεν ενεργοποιήθηκε.
- Οικονομική Απώλεια λόγω Διακοπής της Παρεχόμενης Υπηρεσίας (έως ότου η Υπηρεσία Αποκατασταθεί) = «Περιορισμένο», καθώς ο σταθμός βάσης δεν αποτελεί ιδιαίτερα σημαντική πηγή εσόδων για την Υποδομή.
- Οικονομική Απώλεια λόγω Εξόδων Αποκατάστασης = «Αμελητέο», καθώς απαιτείται μόνο αντικατάσταση της εφεδρικής τροφοδοσίας.
- Διακοπή Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων = «Περιορισμένο», καθώς ο σταθμός βάσης δε θεωρείται ιδιαίτερα κρίσιμος για την Υποδομή - Οργανισμό.

Λαμβάνοντας την αρχή της χείριστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Υποδομή – Οργανισμό ορίζεται ως «Περιορισμένος».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4, ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «H».

❖ Αποτυχία $B_{C_3} \rightarrow C_{C_1}$:

1) *Επίπεδο Αποτυχίας (Failure Level)*

Ο δρομολογητής τίθεται εκτός λειτουργίας, συνεπώς ο παράγοντας της απόδοσης είναι = «Ακραίος» και ο χρόνος ανάκαμψης = «Ασήμαντος», καθώς ο Πάροχος Δικτύου διαθέτει σύστημα παρακολούθησης από το οποίο μπορεί να ενημερωθεί και να δράσει άμεσα. Λόγω της αρχής της χείριστης περίπτωσης, επιλέγουμε ότι η αποτυχία ορίζεται ως «Ακραία».

2) Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)

- Αρνητική Επίδραση στη Φήμη = «Αισθητό», καθώς ο Πάροχος Δικτύου δε διέθετε κάποια εφεδρική πηγή τροφοδοσίας ή εφεδρικό δρομολογητή.
- Οικονομική Απώλεια λόγω Διακοπής της Παρεχόμενης Υπηρεσίας (έως ότου η Υπηρεσία Αποκατασταθεί) = «Περιορισμένο», καθώς δεν αποτελεί ιδιαίτερα σημαντική πηγή εσόδων για την Υποδομή.
- Οικονομική Απώλεια λόγω Εξόδων Αποκατάστασης = «Αμελητέο», καθώς απαιτείται μόνο εφεδρική παροχή τροφοδοσίας.
- Διακοπή Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων = «Αμελητέο», καθώς δεν αποτελεί κρίσιμη Συνιστώσα για την Υποδομή – Οργανισμό.

Λαμβάνοντας την αρχή της χειρίστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Υποδομή – Οργανισμό ορίζεται ως «Αισθητός».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4, ο Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας = «H».

❖ Αποτυχία $C_{C_1} \rightarrow D_{C_2}$:

1) Επίπεδο Αποτυχίας (Failure Level)

Το σύστημα παρακολούθησης του Παρόχου Επικοινωνιών τίθεται εκτός λειτουργίας, συνεπώς ο παράγοντας της απόδοσης είναι = «Ακραίος» και ο χρόνος ανάκαμψης = «Ασήμαντος», καθώς με την ενεργοποίηση του δρομολογητή από τον Πάροχο Δικτύου, θα ενεργοποιηθεί αυτόματα και το σύστημα παρακολούθησης. Λόγω της αρχής της χειρίστης περίπτωσης, επιλέγουμε ότι η αποτυχία ορίζεται ως «Ακραία».

2) Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)

- Αρνητική Επίδραση στη Φήμη = «Αισθητό», καθώς ο Πάροχος Επικοινωνιών δε διέθετε κάποια εφεδρική πηγή τροφοδοσίας ή εφεδρικό σύστημα παρακολούθησης ή εφεδρικό δρομολογητή.
- Οικονομική Απώλεια λόγω Διακοπής της Παρεχόμενης Υπηρεσίας (έως ότου η Υπηρεσία Αποκατασταθεί) = «Αισθητό», καθώς θεωρούμε ότι αποτελεί κρίσιμη συνιστώσα και συνεπώς σημαντική πηγή εσόδων για την Υποδομή – Οργανισμό.
- Οικονομική Απώλεια λόγω Εξόδων Αποκατάστασης = «Περιορισμένο», καθώς απαιτείται μόνο εφεδρικός εξοπλισμός παροχής υπηρεσιών δικτύου.
- Διακοπή Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων = «Αισθητό», καθώς χωρίς το σύστημα παρακολούθησης ο Πάροχος Επικοινωνιών δεν μπορεί να διαχειριστεί το δίκτυο κορμού και το δίκτυο πρόσβασης που διαθέτει. Ωστόσο, οι υπηρεσίες που προσφέρει μπορούν να συνεχίσουν τη λειτουργία τους κανονικά, έως ότου φυσικά προκύψει κάποια αποτυχία, η οποία λόγω της έλλειψης επαρκούς παρακολούθησης δε θα αντιμετωπιστεί έγκαιρα.

Λαμβάνοντας την αρχή της χειρίστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Υποδομή – Οργανισμό ορίζεται ως «Αισθητός».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4, ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «H».

❖ Αποτυχία $D_{C_2} \rightarrow D_{C_6}$:

1) *Επίπεδο Αποτυχίας (Failure Level)*

Ο σταθμός βάσης δεν επιβλέπεται μέσω του συστήματος παρακολούθησης και συνεπώς αυξάνεται ο χρόνος ανάκαμψης αυτού. Άρα, ο παράγοντας της απόδοσης παραμένει = «Ακραίος» και ο χρόνος ανάκαμψης = «Μέτριος», καθώς ο σταθμός βάσης βρίσκεται σε μη εύκολα προσβάσιμο σημείο και προϋποθέτει την ενεργοποίηση του συστήματος παρακολούθησης, η οποία θα καθυστερήσει για λίγη ώρα. Λόγω της αρχής της χειρίστης περίπτωσης, επιλέγουμε ότι η αποτυχία ορίζεται ως «Ακραία».

2) *Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)*

- Αρνητική Επίδραση στη Φήμη = «Αισθητό», καθώς ο Πάροχος Επικοινωνιών δε διαθέτει κάποιο εφεδρικό σύστημα παρακολούθησης.
- Οικονομική Απώλεια λόγω Διακοπής της Παρεχόμενης Υπηρεσίας (έως ότου η Υπηρεσία Αποκατασταθεί) = «Περιορισμένο», καθώς ο σταθμός βάσης δεν αποτελεί σημαντική πηγή εσόδων για την Υποδομή.
- Οικονομική Απώλεια λόγω Εξόδων Αποκατάστασης = «Αισθητό», καθώς θα πρέπει να υλοποιηθεί εφεδρικό σύστημα παρακολούθησης, ή κάποιο «hot disaster recovery site».
- Διακοπή Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων = «Περιορισμένο», καθώς ο σταθμός βάσης δε θεωρείται κρίσιμος για τον Οργανισμό - Υποδομή.

Λαμβάνοντας την αρχή της χειρίστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Υποδομή – Οργανισμό ορίζεται ως «Αισθητός».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4, ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «H».

❖ Αποτυχία $D_{C_6} \rightarrow B_{C_1}$:

1) *Επίπεδο Αποτυχίας (Failure Level)*

Η σύνδεση (link) μεταξύ του σταθμού βάσης και του PLC τίθεται εκτός λειτουργίας, συνεπώς ο παράγοντας της απόδοσης είναι = «Ακραίος» και ο χρόνος ανάκαμψης = «Μέτριος», καθώς αν αποκατασταθεί ο σταθμός βάσης, θα αποκατασταθεί και η σύνδεση. Λόγω της αρχής της χειρίστης περίπτωσης, επιλέγουμε ότι η αποτυχία ορίζεται ως «Ακραία».

2) Επίπεδο Αντίκτυπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)

- Αρνητική Επίδραση στη Φήμη = «Αισθητό», καθώς το σύστημα ελέγχου – PLC δεν είχε κάποια εναλλακτική πηγή επικοινωνίας.
- Οικονομική Απώλεια λόγω Διακοπής της Παρεχόμενης Υπηρεσίας (έως ότου η Υπηρεσία Αποκατασταθεί) = «Σοβαρό», καθώς αποτελούσε σημαντική πηγή εσόδων λόγω της έγκαιρης ανίχνευσης δυσλειτουργιών που προσέφερε.
- Οικονομική Απώλεια λόγω Εξόδων Αποκατάστασης = «Περιορισμένο», καθώς απαιτείται παροχή υπηρεσιών επικοινωνίας από εφεδρικό σταθμό βάσης.
- Διακοπή Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων = «Σοβαρό», καθώς η επικοινωνία μεταξύ των Συνιστωσών του συστήματος ελέγχου (SCADA) θεωρείται βασική προϋπόθεση για την ορθή λειτουργία αυτού και την επίβλεψη των Συνιστωσών της Υποδομής – Οργανισμού, ενώ επίσης αποτελεί κρίσιμη Συνιστώσα για την Υποδομή – Οργανισμό.

Λαμβάνοντας την αρχή της χειρίστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Υποδομή – Οργανισμό ορίζεται ως «Σοβαρός».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4, ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «VH». Η τιμή αυτή επιβεβαιώνει τη θεώρηση που έγινε για τις κλιμακωτές αποτυχίες στη σελίδα 113, καθώς παρατηρείται αύξηση στον αντίκτυπο σε σχέση με τον αντίκτυπο της Συνιστώσας D_{C_6} .

Επίσης, όπως έχει προαναφερθεί στη σελίδα 113, σε δεύτερο γύρο του προτεινόμενου αλγορίθμου – μεθοδολογίας, ο αντίκτυπος όλων ή μερικών εξαρτήσεων που απορρέουν από την εξάρτηση αυτή αναμένεται ότι θα αυξηθεί λόγω της κλιμακωτής αποτυχίας και συγκεκριμένα λόγω της αύξησης του ενυπάρχοντος αντίκτυπου της Συνιστώσας B_{C_1} .

❖ Αποτυχία $B_{C_3} \rightarrow E_{C_4}$:

1) Επίπεδο Αποτυχίας (Failure Level)

Ο δρομολογητής τίθεται εκτός λειτουργίας, με αποτέλεσμα ο παράγοντας της απόδοσης να είναι = «Ακραίος» και ο χρόνος ανάκαμψης = «Ασήμαντος», καθώς θεωρούμε ότι θα βρεθεί κάποια εφεδρική πηγή τροφοδοσίας για την κάλυψη των αναγκών της Συνιστώσας. Εξάλλου, όπως έχουμε προαναφέρει η Υποδομή Ενέργειας θα αργήσει πολύ να αποκαταστήσει την αποτυχία και συνεπώς θεωρούμε ότι κάθε επηρεαζόμενη Συνιστώσα θα βρει εναλλακτικούς τρόπους κάλυψης των αναγκών της. Λόγω της αρχής της χειρίστης περίπτωσης, επιλέγουμε ότι η αποτυχία ορίζεται ως «Ακραία».

2) Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)

- Αρνητική Επίδραση στη Φήμη = «Σοβαρό», καθώς η Υποδομή «Φιλοξενίας» δεν ήταν επαρκώς εξοπλισμένη για μια συχνά συναντώμενη αποτυχία, όπως αυτή της διακοπής ρεύματος.
- Οικονομική Απώλεια λόγω Διακοπής της Παρεχόμενης Υπηρεσίας (έως ότου η Υπηρεσία Αποκατασταθεί) = «Αισθητό», καθώς ο δρομολογητής αποτελεί σημαντική πηγή εσόδων για την Υποδομή.
- Οικονομική Απώλεια λόγω Εξόδων Αποκατάστασης = «Αμελητέο», καθώς απαιτείται μόνο εφεδρική παροχή τροφοδοσίας που θα λειτουργεί σωστά.
- Διακοπή Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων = «Αισθητό», καθώς ο δρομολογητής επηρεάζει Συνιστώσες άλλων Υποδομών, οι οποίες λόγω της φύσης της Υποδομής εμποδίζουν την αδιάκοπη λειτουργία των επιχειρησιακών δραστηριοτήτων αυτής.

Λαμβάνοντας την αρχή της χειρίστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Υποδομή – Οργανισμό ορίζεται ως «Σοβαρό».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4, ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «VH».

❖ Αποτυχία $E_{C_4} \rightarrow F_{C_5}$:

1) Επίπεδο Αποτυχίας (Failure Level)

Ο εξυπηρετητής της Υποδομής Ασφαλίσεων βρίσκεται στις εγκαταστάσεις της Υποδομής «Φιλοξενίας» E και μετά την αποτυχία του δρομολογητή της τελευταίας, τίθεται και αυτός εκτός λειτουργίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ο παράγοντας της απόδοσης να είναι = «Ακραίος» και ο χρόνος ανάκαμψης = «Μέτριος», καθώς θεωρούμε ότι θα πρέπει πρώτα να βρεθεί ένας εφεδρικός εξοπλισμός δρομολογητή. Λόγω της αρχής της χειρίστης περίπτωσης, επιλέγουμε ότι η αποτυχία ορίζεται ως «Ακραία».

2) Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)

- Αρνητική Επίδραση στη Φήμη = «Αισθητό», καθώς η Υποδομή Ασφαλίσεων δεν είχε πραγματοποιήσει τους κατάλληλους ελέγχους προκειμένου να εξακριβώσει την καταλληλότητα της Υποδομής «Φιλοξενίας».
- Οικονομική Απώλεια λόγω Διακοπής της Παρεχόμενης Υπηρεσίας (έως ότου η Υπηρεσία Αποκατασταθεί) = «Αισθητό», καθώς δε θα πραγματοποιούνται πληρωμές ασφαλίσεων για όσο χρονικό διάστημα η υπηρεσία είναι μη διαθέσιμη.
- Οικονομική Απώλεια λόγω Εξόδων Αποκατάστασης = «Μη Εφαρμόσιμο», καθώς η Υποδομή «Φιλοξενίας» οφείλει να επωμιστεί τα έξοδα για εφεδρικό εξοπλισμό δρομολογητή.

- Διακοπή Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων = «Αισθητό», καθώς ο εξυπηρετητής αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι για τη λειτουργία της υπηρεσίας. Ωστόσο, θεωρούμε ότι οι ασφαλίσεις μπορούν να πληρωθούν και με τον παραδοσιακό τρόπο, εκτός από αυτόν μέσω του διαδικτύου.

Λαμβάνοντας την αρχή της χείριστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Υποδομή – Οργανισμό ορίζεται ως «Αισθητός».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4, ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «H».

❖ Αποτυχία $E_{C_4} \rightarrow G_{C_2}$:

1) Επίπεδο Αποτυχίας (Failure Level)

Ο εξυπηρετητής της Υποδομής Φορολογικών Υπηρεσιών βρίσκεται στις εγκαταστάσεις της Υποδομής «Φιλοξενίας» E και μετά την αποτυχία του δρομολογητή της τελευταίας τίθεται και αυτός εκτός λειτουργίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο παράγοντας της απόδοσης να είναι = «Ακραίος» και ο χρόνος ανάκαμψης = «Μέτριος», καθώς θεωρούμε ότι θα πρέπει πρώτα να βρεθεί ένας εφεδρικός εξοπλισμός δρομολογητή. Λόγω της αρχής της χείριστης περίπτωσης, επιλέγουμε ότι η αποτυχία ορίζεται ως «Ακραία».

2) Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)

- Αρνητική Επίδραση στη Φήμη = «Αισθητό», καθώς η Υποδομή Φορολογικών Υπηρεσιών δεν είχε πραγματοποιήσει τους κατάλληλους ελέγχους προκειμένου να εξακριβώσει την καταλληλότητα της Υποδομής «Φιλοξενίας».
- Οικονομική Απώλεια λόγω Διακοπής της Παρεχόμενης Υπηρεσίας (έως ότου η Υπηρεσία Αποκατασταθεί) = «Αισθητό», καθώς δε θα πραγματοποιούνται πληρωμές φόρων για όσο χρονικό διάστημα η υπηρεσία είναι μη διαθέσιμη.
- Οικονομική Απώλεια λόγω Εξόδων Αποκατάστασης = «Μη Εφαρμόσιμο», καθώς η Υποδομή «Φιλοξενίας» οφείλει να επωμιστεί τα έξοδα για εφεδρικό εξοπλισμό δρομολογητή.
- Διακοπή Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων = «Αισθητό», καθώς ο εξυπηρετητής αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι για τη λειτουργία της υπηρεσίας. Ωστόσο, θεωρούμε ότι οι φόροι μπορούν να πληρωθούν και με τον παραδοσιακό τρόπο, εκτός από αυτόν μέσω του διαδικτύου.

Λαμβάνοντας την αρχή της χείριστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Υποδομή – Οργανισμό ορίζεται ως «Αισθητός».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4, ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «H».

❖ Αποτυχία $B_{C_3} \rightarrow F_{C_5}$:

1) Επίπεδο Αποτυχίας (Failure Level)

Ο εξυπηρετητής της Υποδομής Ασφαλίσεων τίθεται εκτός λειτουργίας, με αποτέλεσμα ο παράγοντας της απόδοσης να είναι = «Ακραίος» και ο χρόνος ανάκαμψης = «Ασήμαντος», καθώς θεωρούμε ότι θα βρεθεί κάποια εφεδρική πηγή τροφοδοσίας για την κάλυψη των αναγκών της Συνιστώσας. Λόγω της αρχής της χείριστης περίπτωσης, επιλέγουμε ότι η αποτυχία ορίζεται ως «Ακραία».

2) Επίπεδο Αντίκτυπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)

- Αρνητική Επίδραση στη Φήμη = «Σοβαρό», καθώς η Υποδομή Ασφαλίσεων δεν εξέτασε επαρκώς τις προδιαγραφές της Υποδομής «Φιλοξενίας».
- Οικονομική Απώλεια λόγω Διακοπής της Παρεχόμενης Υπηρεσίας (έως ότου η Υπηρεσία Αποκατασταθεί) = «Αισθητό», καθώς δε θα πραγματοποιούνται πληρωμές ασφαλίσεων μέσω διαδικτύου για όσο χρονικό διάστημα η υπηρεσία είναι μη διαθέσιμη.
- Οικονομική Απώλεια λόγω Εξόδων Αποκατάστασης = «Μη Εφαρμόσιμο», καθώς η Υποδομή «Φιλοξενίας» οφείλει να επωμιστεί τα έξοδα για εφεδρική παροχή τροφοδοσίας.
- Διακοπή Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων = «Αισθητό», καθώς ο εξυπηρετητής αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι για τη λειτουργία της υπηρεσίας. Ωστόσο, θεωρούμε ότι οι ασφαλίσεις μπορούν να πληρωθούν και με τον παραδοσιακό τρόπο, εκτός από αυτόν μέσω του διαδικτύου.

Λαμβάνοντας την αρχή της χείριστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Υποδομή – Οργανισμό ορίζεται ως «Αισθητός».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4, ο Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας = «H».

❖ Αποτυχία $B_{C_3} \rightarrow G_{C_2}$:

1) Επίπεδο Αποτυχίας (Failure Level)

Ο εξυπηρετητής της Υποδομής Φορολογικών Υπηρεσιών τίθεται εκτός λειτουργίας, με αποτέλεσμα ο παράγοντας της απόδοσης να είναι = «Ακραίος» και ο χρόνος ανάκαμψης = «Αμελητέος», καθώς θεωρούμε ότι θα βρεθεί κάποια εφεδρική πηγή τροφοδοσίας για την κάλυψη των αναγκών της Συνιστώσας. Λόγω της αρχής της χείριστης περίπτωσης, επιλέγουμε ότι η αποτυχία ορίζεται ως «Ακραία».

2) Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)

- Αρνητική Επίδραση στη Φήμη = «Σοβαρό», καθώς η Υποδομή Φορολογικών Υπηρεσιών δεν εξέτασε επαρκώς τις προδιαγραφές της Υποδομής «Φιλοξενίας».
- Οικονομική Απώλεια λόγω Διακοπής της Παρεχόμενης Υπηρεσίας (έως ότου η Υπηρεσία Αποκατασταθεί) = «Αισθητό», καθώς δε θα πραγματοποιούνται πληρωμές φόρων μέσω διαδικτύου για όσο χρονικό διάστημα η υπηρεσία είναι μη διαθέσιμη.
- Οικονομική Απώλεια λόγω Εξόδων Αποκατάστασης = «Μη Εφαρμόσιμο», καθώς η Υποδομή «Φιλοξενίας» οφείλει να επωμιστεί τα έξοδα για εφεδρική παροχή τροφοδοσίας.
- Διακοπή Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων = «Αισθητό», καθώς ο εξυπηρετητής αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι για τη λειτουργία της υπηρεσίας. Ωστόσο, θεωρούμε ότι οι φόροι μπορούν να πληρωθούν και με τον παραδοσιακό τρόπο, εκτός από αυτόν μέσω του διαδικτύου.

Λαμβάνοντας την αρχή της χειρίστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Υποδομή – Οργανισμό ορίζεται ως «Αισθητός».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4, ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «H».

❖ Αποτυχία $F_{C_5} \rightarrow G_{C_2}$:

1) Επίπεδο Αποτυχίας (Failure Level)

Ο εξυπηρετητής της Υποδομής Φορολογικών Υπηρεσιών τίθεται εκτός λειτουργίας εξαιτίας τριών παραγόντων, αυτών της διακοπής ρεύματος, της διακοπής υπηρεσιών επικοινωνίας μέσω του δρομολογητή και της διακοπής λειτουργίας του εξυπηρετητή της Υποδομής Ασφαλίσεων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο παράγοντας της απόδοσης να είναι = «Ακραίος» και ο χρόνος ανάκαμψης = «Μέτριος», καθώς θεωρούμε ότι θα πρέπει πρώτα να βρεθεί ένας εφεδρικός εξοπλισμός δρομολογητή ή κάποια εφεδρική παροχή τροφοδοσίας. Λόγω της αρχής της χειρίστης περίπτωσης, επιλέγουμε ότι η αποτυχία ορίζεται ως «Ακραία».

2) Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)

- Αρνητική Επίδραση στη Φήμη = «Αισθητό», καθώς η Υποδομή Φορολογικών Υπηρεσιών δεν είχε πραγματοποιήσει τους κατάλληλους ελέγχους προκειμένου να εξακριβώσει την καταλληλότητα της Υποδομής «Φιλοξενίας» και την εξάρτηση από τις ίδιες Συνιστώσες με την Υποδομή Ασφαλίσεων.
- Οικονομική Απώλεια λόγω Διακοπής της Παρεχόμενης Υπηρεσίας (έως ότου η Υπηρεσία Αποκατασταθεί) = «Αισθητό», καθώς δε θα πραγματοποιούνται πληρωμές φόρων μέσω διαδικτύου για όσο χρονικό διάστημα η υπηρεσία είναι μη διαθέσιμη.

- Οικονομική Απώλεια λόγω Εξόδων Αποκατάστασης = «Μη Εφαρμόσιμο», καθώς η Υποδομή «Φιλοξενίας» οφείλει να επωμιστεί τα έξοδα για εφεδρική παροχή τροφοδοσίας ή / και εφεδρικό εξοπλισμό δρομολογητή.
- Διακοπή Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων = «Αισθητό», καθώς ο εξυπηρετητής αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι για τη λειτουργία της υπηρεσίας. Ωστόσο, θεωρούμε ότι οι φόροι μπορούν να πληρωθούν και με τον παραδοσιακό τρόπο, εκτός από αυτόν μέσω του διαδικτύου.

Λαμβάνοντας την αρχή της χειρίστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Υποδομή – Οργανισμό ορίζεται ως «Αισθητός».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4, ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «H».

B. Υπο-στάδιο 4.2.2): Αποτίμηση της Πιθανότητας εκδήλωσης (Likelihood Assessment) της αποτυχίας

- Για κάθε κόμβο (Συνιστώσα) – πηγή της αποτυχίας

❖ Αποτυχία B_{C_1}

Η αποτυχία που συνέβη στην Υποδομή Ενέργειας – πηγή της αλυσίδας αποτυχιών, θεωρούμε ότι είναι κακόβουλη. Συνεπώς, οι παράγοντες που διαμορφώνουν το επίπεδο της πιθανότητας εκδήλωσης της εν λόγω αποτυχίας είναι οι ακόλουθοι:

Πίνακας 6-4: Πιθανότητα Έναρξης της Αλυσίδας Αποτυχιών		
Παράγοντες	Σχόλια	Πιθανότητα
Προηγούμενα Στατιστικά Στοιχεία	Τέτοιου είδους κυβερνοεπιθέσεις έχουν συμβεί στο παρελθόν, αλλά η επιτυχία αυτών προϋποθέτει αυξημένες γνώσεις.	H
Ύπαρξη Ευπαθειών	Μη επαρκείς μηχανισμούς προστασίας	VH
Κίνητρα Επιτιθέμενων	Κατασκοπεία	H
Υπάρχοντες Έλεγχοι (controls)	Μη επαρκείς μηχανισμούς προστασίας	VH
Αποτελεσματικότητα Ελέγχων	Μη επαρκείς μηχανισμούς προστασίας	VH
		Μέγιστη Τιμή: VH

- Για κάθε επόμενο κόμβο (Συνιστώσα) – Διάδοση Πιθανότητας

Σύμφωνα με τον πίνακα 6-5 και τον πίνακα 6-11 προκύπτει ο παρακάτω πίνακας με τις πιθανότητες της κάθε εξάρτησης. Να σημειώσουμε ότι η αποτυχία που συνέβη στην B_{C_1} είχε ως στόχο την Συνιστώσα B_{C_3} και συνεπώς θεωρούμε ότι η πιθανότητα εκδήλωσης της αποτυχίας $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3}$ είναι εξίσου πολύ υψηλή (VH).

Πίνακας 6-5: Πιθανότητα Έναρξης της Αλυσίδας Αποτυχιών		
Εξάρτηση	Τάξη Εξάρτησης	Πιθανότητα
$B_{C_1} \rightarrow B_{C_3}$	1	VH
$B_{C_3} \rightarrow D_{C_6}$	2	H
$B_{C_3} \rightarrow C_{C_1}$	2	H
$C_{C_1} \rightarrow D_{C_2}$	3	M
$D_{C_2} \rightarrow D_{C_6}$	4	L
$D_{C_6} \rightarrow B_{C_1}$	3	M
$D_{C_6} \rightarrow B_{C_1}$	5	VL
$B_{C_3} \rightarrow E_{C_4}$	2	H
$E_{C_4} \rightarrow F_{C_5}$	3	M
$E_{C_4} \rightarrow G_{C_2}$	3	M
$B_{C_3} \rightarrow F_{C_5}$	2	H
$B_{C_3} \rightarrow G_{C_2}$	2	H
$F_{C_5} \rightarrow G_{C_2}$	3	M
$F_{C_5} \rightarrow G_{C_2}$	4	L

Παρατηρούμε στον παραπάνω πίνακα ότι οι αποτυχίες $D_{C_6} \rightarrow B_{C_1}$ και $F_{C_5} \rightarrow G_{C_2}$ είναι δύο τάξεων, καθώς μέσα στο γράφο καταλήγουν στις ίδιες Συνιστώσες, αλλά από διαφορετικό μονοπάτι. Λόγω της αρχής της χειρίστης περίπτωσης που έχουμε υιοθετήσει σε πολλά σημεία της παρούσας μεθοδολογίας, θα λάβουμε υπόψη τη μέγιστη τιμή πιθανότητας που έχει η κάθε αποτυχία. Άρα η αποτυχία $D_{C_6} \rightarrow B_{C_1}$ έχει πιθανότητα εκδήλωσης = $\max(M, VL) = M$, ενώ η αποτυχία $F_{C_5} \rightarrow G_{C_2} = \max(M, L) = M$.

C. Υπο-στάδιο 4.2.3): Υπολογισμός της Επικινδυνότητας (Risk Calculation)

❖ Αποτυχία B_{C_1}

Σύμφωνα με τη σχέση 5.1 έχουμε:

$$\text{Failure Risk}_{B_{C_1}} = \text{Failure Likelihood}_{B_{C_1}} \times I_{B_{C_1}}$$

- Από τον πίνακα 5-11 παρατηρούμε ότι η πιθανότητα εκδήλωσης της αποτυχίας $B_{C_1} = \langle \mathbf{VH} \rangle$.
- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας $B_{C_1} = \langle \mathbf{VH} \rangle$.
- Από τον πίνακα 5-6 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **9**.

Άρα Failure Risk $_{B_{C_1}} = 9$

❖ Αποτυχία $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3}$

Σύμφωνα με τη σχέση 5.3 έχουμε:

$$\text{Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}} = \text{Failure Likelihood}_{B_{C_1}, B_{C_3}} \times I_{B_{C_1}, B_{C_3}}$$

- Από τον πίνακα 5-12 παρατηρούμε ότι η πιθανότητα εκδήλωσης της αποτυχίας $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} = \langle \mathbf{VH} \rangle$.
- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} = \langle \mathbf{VH} \rangle$.
- Από τον πίνακα 5-6 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **9**.

Άρα Failure Risk $_{B_{C_1}, B_{C_3}} = 9$

❖ Αποτυχία $B_{C_3} \rightarrow D_{C_6}$

Σύμφωνα με τη σχέση 5.3 έχουμε:

$$\text{Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, D_{C_6}} = \text{Failure Likelihood}_{B_{C_1}, B_{C_3}, D_{C_6}} \times I_{B_{C_3}, D_{C_6}}$$

- Από τον πίνακα 5-12 παρατηρούμε ότι η πιθανότητα εκδήλωσης της αποτυχίας $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow D_{C_6} = \langle \mathbf{H} \rangle$.
- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας $B_{C_3} \rightarrow D_{C_6} = \langle \mathbf{H} \rangle$.

- Από τον πίνακα 5-6 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **7**.

Άρα **Failure Risk**_{B_{C₁},B_{C₃},D_{C₆}} = 7

❖ Αποτυχία $B_{C_3} \rightarrow C_{C_1}$

Σύμφωνα με τη σχέση 5.3 έχουμε:

$$\mathbf{Failure Risk}_{B_{C_1},B_{C_3},C_{C_1}} = \mathbf{Failure Likelihood}_{B_{C_1},B_{C_3},C_{C_1}} \times I_{B_{C_3},C_{C_1}}$$

- Από τον πίνακα 5-12 παρατηρούμε ότι η πιθανότητα εκδήλωσης της αποτυχίας $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow C_{C_1} = \langle \mathbf{H} \rangle$.
- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας $B_{C_3} \rightarrow C_{C_1} = \langle \mathbf{H} \rangle$.
- Από τον πίνακα 5-6 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **7**.

Άρα **Failure Risk**_{B_{C₁},B_{C₃},C_{C₁}} = 7

❖ Αποτυχία $C_{C_1} \rightarrow D_{C_2}$

Σύμφωνα με τη σχέση 5.3 έχουμε:

$$\mathbf{Failure Risk}_{B_{C_1},B_{C_3},C_{C_1},D_{C_2}} = \mathbf{Failure Likelihood}_{B_{C_1},B_{C_3},C_{C_1},D_{C_2}} \times I_{C_{C_1},D_{C_2}}$$

- Από τον πίνακα 5-12 παρατηρούμε ότι η πιθανότητα εκδήλωσης της αποτυχίας $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow C_{C_1} \rightarrow D_{C_2} = \langle \mathbf{M} \rangle$.
- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας $C_{C_1} \rightarrow D_{C_2} = \langle \mathbf{H} \rangle$.
- Από τον πίνακα 5-6 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **6**.

Άρα **Failure Risk**_{B_{C1},B_{C3},C_{C1},D_{C2}} = 6

❖ Αποτυχία $D_{C_2} \rightarrow D_{C_6}$

Σύμφωνα με τη σχέση 5.3 έχουμε:

$$\text{Failure Risk}_{B_{C_1},B_{C_3},C_{C_1},D_{C_2},D_{C_6}} = \text{Failure Likelihood}_{B_{C_1},B_{C_3},C_{C_1},D_{C_2},D_{C_6}} \times I_{D_{C_2},D_{C_6}}$$

- Από τον πίνακα 5-12 παρατηρούμε ότι η πιθανότητα εκδήλωσης της αποτυχίας $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow C_{C_1} \rightarrow D_{C_2} \rightarrow D_{C_6} = \langle \mathbf{L} \rangle$.
- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας $D_{C_2} \rightarrow D_{C_6} = \langle \mathbf{H} \rangle$.
- Από τον πίνακα 5-6 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή 5.

Άρα **Failure Risk**_{B_{C1},B_{C3},C_{C1},D_{C2},D_{C6}} = 5

Παρατηρούμε από την εικόνα 5.3 ότι στη Συνιστώσα D_{C_6} καταλήγουν δύο μονοπάτια αποτυχιών, το $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow C_{C_1} \rightarrow D_{C_2} \rightarrow D_{C_6}$ και το $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow D_{C_6}$ με επικινδυνότητες αποτυχίας 5 και 7 αντίστοιχα. Οι τύποι των αντικτύπων που προκαλούνται στη Συνιστώσα D_{C_6} είναι ίδιοι, όπως έχουμε αναφέρει στο Υπο-στάδιο 4.2.1, συνεπώς θα λάβουμε υπόψη τη μέγιστη τιμή των επικινδυνοτήτων, δηλαδή την τιμή 7.

Άρα **Failure Risk**_{D_{C6}} = 7

❖ Αποτυχία $D_{C_6} \rightarrow B_{C_1}$

Σύμφωνα με τη σχέση 5.3 έχουμε:

$$\text{Failure Risk}_{B_{C_1},B_{C_3},C_{C_1},D_{C_2},D_{C_6},B_{C_1}} = \text{Failure Likelihood}_{B_{C_1},B_{C_3},C_{C_1},D_{C_2},D_{C_6},B_{C_1}} \times I_{D_{C_6},B_{C_1}}$$

- Η κλιμακωτή αποτυχία στη Συνιστώσα B_{C_1} αποτελεί ταυτόχρονα αποτυχία 3^{ου} και 5^{ου} βαθμού. Ωστόσο, όπως έχουμε αναφέρει στον πίνακα 5-12, λαμβάνουμε υπόψη μας τη μέγιστη τιμή πιθανότητας, δηλαδή την $\langle \mathbf{M} \rangle$.

- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας $D_{C_6} \rightarrow B_{C_1} = \langle \mathbf{VH} \rangle$.
- Από τον πίνακα 5-6 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **7**.

Άρα **Failure Risk** _{$B_{C_1}, B_{C_3}, C_{C_1}, D_{C_2}, D_{C_6}, B_{C_1}$} \equiv **Failure Risk** _{$B_{C_1}, B_{C_3}, D_{C_6}, B_{C_1}$} = 7

❖ Αποτυχία $B_{C_3} \rightarrow E_{C_4}$

Σύμφωνα με τη σχέση 5.3 έχουμε:

$$\mathbf{Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}} = \mathbf{Failure Likelihood}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}} \times I_{B_{C_3}, E_{C_4}}$$

- Από τον πίνακα 5-12 παρατηρούμε ότι η πιθανότητα εκδήλωσης της αποτυχίας $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow E_{C_4} = \langle \mathbf{H} \rangle$.
- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας $B_{C_3} \rightarrow E_{C_4} = \langle \mathbf{VH} \rangle$.
- Από τον πίνακα 5-6 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **8**.

Άρα **Failure Risk** _{$B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}$} = 8

❖ Αποτυχία $E_{C_4} \rightarrow F_{C_5}$

Σύμφωνα με τη σχέση 5.3 έχουμε:

$$\mathbf{Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, F_{C_5}} = \mathbf{Failure Likelihood}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, F_{C_5}} \times I_{E_{C_4}, F_{C_5}}$$

- Από τον πίνακα 5-12 παρατηρούμε ότι η πιθανότητα εκδήλωσης της αποτυχίας $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow E_{C_4} \rightarrow F_{C_5} = \langle \mathbf{M} \rangle$.
- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας $E_{C_4} \rightarrow F_{C_5} = \langle \mathbf{H} \rangle$.

- Από τον πίνακα 5-6 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **6**.

Άρα **Failure Risk** _{$B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, F_{C_5}$} = 6

❖ Αποτυχία $E_{C_4} \rightarrow G_{C_2}$

Σύμφωνα με τη σχέση 5.3 έχουμε:

$$\text{Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, G_{C_2}} = \text{Failure Likelihood}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, G_{C_2}} \times I_{E_{C_4}, G_{C_2}}$$

- Από τον πίνακα 5-12 παρατηρούμε ότι η πιθανότητα εκδήλωσης της αποτυχίας $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow E_{C_4} \rightarrow G_{C_2} = \langle \mathbf{M} \rangle$. Παρατηρούμε ότι οι πιθανότητες εκδήλωσης των αποτυχιών $E_{C_4} \rightarrow G_{C_2}$ και $E_{C_4} \rightarrow F_{C_5}$ είναι ίδιες, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνεται και από τη θεωρία, καθώς πρόκειται για κοινής αιτίας αποτυχίες.
- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας $E_{C_4} \rightarrow G_{C_2} = \langle \mathbf{H} \rangle$.
- Από τον πίνακα 5-6 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **6**.

Άρα **Failure Risk** _{$B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, G_{C_2}$} = 6

❖ Αποτυχία $B_{C_3} \rightarrow F_{C_5}$

Σύμφωνα με τη σχέση 5.3 έχουμε:

$$\text{Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, F_{C_5}} = \text{Failure Likelihood}_{B_{C_1}, B_{C_3}, F_{C_5}} \times I_{B_{C_3}, F_{C_5}}$$

- Από τον πίνακα 5-12 παρατηρούμε ότι η πιθανότητα εκδήλωσης της αποτυχίας $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow F_{C_5} = \langle \mathbf{H} \rangle$.
- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας $B_{C_3} \rightarrow F_{C_5} = \langle \mathbf{H} \rangle$.

- Από τον πίνακα 5-6 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **7**.

Άρα **Failure Risk**_{B_{C1},B_{C3},F_{C5}} = 7

❖ Αποτυχία B_{C3} → G_{C2}

Σύμφωνα με τη σχέση 5.3 έχουμε:

$$\text{Failure Risk}_{B_{C1},B_{C3},G_{C2}} = \text{Failure Likelihood}_{B_{C1},B_{C3},G_{C2}} \times I_{B_{C3},G_{C2}}$$

- Από τον πίνακα 5-12 παρατηρούμε ότι η πιθανότητα εκδήλωσης της αποτυχίας B_{C1} → B_{C3} → G_{C2} = «**H**».
- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας B_{C3} → G_{C2} = «**H**».
- Από τον πίνακα 5-6 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **7**.

Άρα **Failure Risk**_{B_{C1},B_{C3},G_{C2}} = 7

❖ Αποτυχία F_{C5} → G_{C2}

Σύμφωνα με τη σχέση 5.3 έχουμε:

$$\text{Failure Risk}_{B_{C1},B_{C3},E_{C4},F_{C5},G_{C2}} = \text{Failure Likelihood}_{B_{C1},B_{C3},E_{C4},F_{C5},G_{C2}} \times I_{F_{C5},G_{C2}}$$

- Η διαδοχική αποτυχία στη Συνιστώσα G_{C2} αποτελεί ταυτόχρονα αποτυχία 3^{ου} και 4^{ου} βαθμού. Ωστόσο, όπως έχουμε αναφέρει στον πίνακα 5-12, λαμβάνουμε υπόψη μας τη μέγιστη τιμή πιθανότητας, δηλαδή την «**M**».
- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας F_{C5} → G_{C2} = «**H**».
- Από τον πίνακα 5-6 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **6**.

Άρα **Failure Risk**_{B_{C1},B_{C3},E_{C4},F_{C5},G_{C2}} ≡ **Failure Risk**_{B_{C1},B_{C3},F_{C5},G_{C2}} = 6

Παρατηρούμε από την εικόνα 5.3 ότι στη Συνιστώσα G_{C_2} καταλήγουν τέσσερα μονοπάτια αποτυχιών, το $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow E_{C_4} \rightarrow G_{C_2}$, $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow G_{C_2}$, $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow E_{C_4} \rightarrow F_{C_5} \rightarrow G_{C_2}$, και το $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow F_{C_5} \rightarrow G_{C_2}$ με επικινδυνότητες αποτυχίας 6, 7, 6 και 6 αντίστοιχα. Οι τύποι των αντικτύπων που προκαλούνται στη Συνιστώσα G_{C_2} δεν είναι ίδιοι, όπως έχουμε αναφέρει στο Υπο-στάδιο 4.2.1, συνεπώς θα λάβουμε υπόψη το μέσο όρο των επικινδυνοτήτων, δηλαδή την τιμή $6.25 \cong 6$.

Άρα **Failure Risk** $_{G_{C_2}} = 6$

Ομοίως, παρατηρούμε ότι στη Συνιστώσα F_{C_5} καταλήγουν δύο μονοπάτια αποτυχιών, το $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow E_{C_4} \rightarrow F_{C_5}$ και το $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow F_{C_5}$ με επικινδυνότητες αποτυχίας 6 και 7 αντίστοιχα. Οι τύποι των αντικτύπων που προκαλούνται στη Συνιστώσα F_{C_5} είναι ίδιοι, όπως έχουμε αναφέρει στο Υπο-στάδιο 4.2.1, συνεπώς θα λάβουμε υπόψη τη μέγιστη τιμή των επικινδυνοτήτων, δηλαδή την τιμή 7.

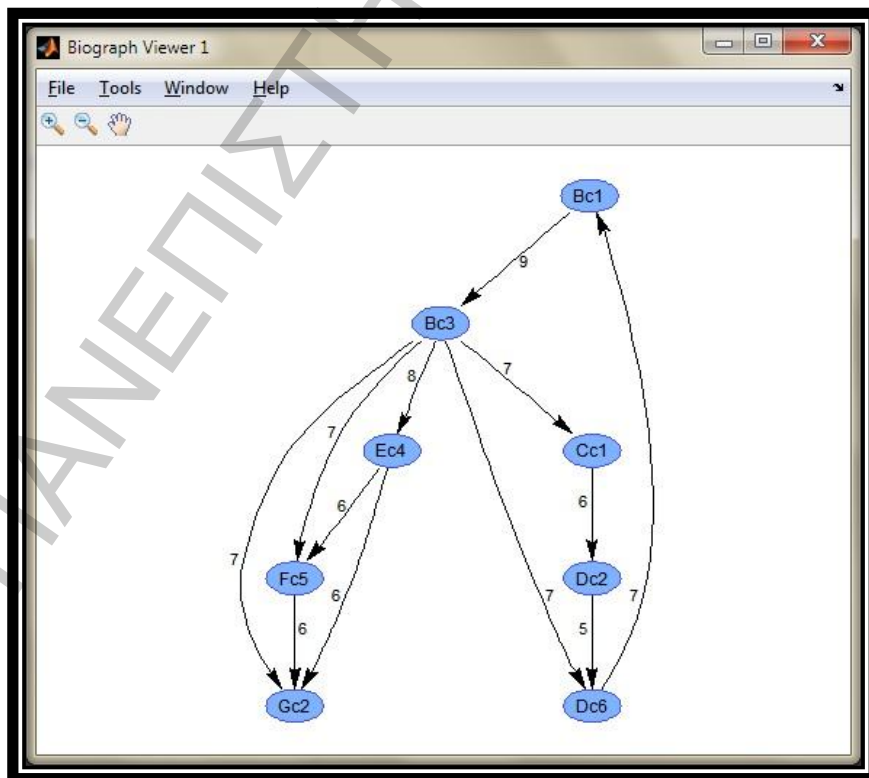
Άρα **Failure Risk** $_{F_{C_5}} = 7$

Τα αποτελέσματα του Σταδίου 4.2 συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 6-6: Επικινδυνότητα Αποτυχιών				
Αποτυχία	Τύπος Αντικτύπου	Αντίκτυπος	Πιθανότητα	Επικινδυνότητα
B_{C_1}	Αρνητική Επίδραση στη Φήμη Οικονομική Απώλεια λόγω Διακοπής της Παρεχόμενης Υπηρεσίας Διακοπή Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων	VH	VH	9
$B_{C_1} \rightarrow B_{C_3}$	Αρνητική Επίδραση στη Φήμη Οικονομική Απώλεια λόγω Διακοπής της Παρεχόμενης Υπηρεσίας Διακοπή Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων	VH	VH	9
$B_{C_3} \rightarrow D_{C_6}$	Αρνητική Επίδραση στη Φήμη Οικονομική Απώλεια λόγω Διακοπής της Παρεχόμενης Υπηρεσίας Διακοπή Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων	H	H	7
$B_{C_3} \rightarrow C_{C_1}$	Αρνητική Επίδραση στη Φήμη	H	H	7
$C_{C_1} \rightarrow D_{C_2}$	Αρνητική Επίδραση στη Φήμη Οικονομική Απώλεια λόγω Διακοπής της Παρεχόμενης Υπηρεσίας Διακοπή Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων	H	M	6
$D_{C_2} \rightarrow D_{C_6}$	Αρνητική Επίδραση στη Φήμη Οικονομική Απώλεια λόγω Εξόδων Αποκατάστασης Διακοπή Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων	H	L	5
$D_{C_6} \rightarrow B_{C_1}$	Οικονομική Απώλεια λόγω Διακοπής της Παρεχόμενης	VH	M	7

	Υπηρεσίας Διακοπή Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων			
$B_{C_3} \rightarrow E_{C_4}$	Αρνητική Επίδραση στη Φήμη	VH	H	8
$E_{C_4} \rightarrow F_{C_5}$	Αρνητική Επίδραση στη Φήμη Οικονομική Απώλεια λόγω Διακοπής της Παρεχόμενης Υπηρεσίας Διακοπή Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων	H	M	6
$E_{C_4} \rightarrow G_{C_2}$	Αρνητική Επίδραση στη Φήμη Οικονομική Απώλεια λόγω Διακοπής της Παρεχόμενης Υπηρεσίας Διακοπή Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων	H	M	6
$B_{C_3} \rightarrow F_{C_5}$	Αρνητική Επίδραση στη Φήμη	H	H	7
$B_{C_3} \rightarrow G_{C_2}$	Αρνητική Επίδραση στη Φήμη	H	H	7
$F_{C_5} \rightarrow G_{C_2}$	Αρνητική Επίδραση στη Φήμη Οικονομική Απώλεια λόγω Διακοπής της Παρεχόμενης Υπηρεσίας Διακοπή Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων	H	M	6

Με την ολοκλήρωση του σταδίου 4.2, προκύπτει ο παρακάτω γράφος αποτυχιών, στον οποίο απεικονίζονται οι επικινδυνότητες των διαφόρων αποτυχιών (Weighted Failure Graph).



Εικόνα 6.3: Γράφος Αποτυχιών – Μετά την Εκτίμηση Επικινδυνότητας

Με τη βοήθεια του παραπάνω γράφου, μπορούμε να βρούμε για κάθε Κρίσιμη Υποδομή – Οργανισμό τη Συνιστώσα μιας άλλης Υποδομής που την επηρεάζει περισσότερο και για την οποία θα πρέπει να λάβει τα κατάλληλα μέτρα προστασίας (mitigating controls). Για παράδειγμα, η Συνιστώσα G_{C_2} επηρεάζεται περισσότερο από την αποτυχία της Συνιστώσας B_{C_3} .

Να σημειώσουμε ότι η εύρεση της πιο κρίσιμης Συνιστώσας για τη Συνιστώσα της υπό εξέταση Υποδομής εξαρτάται από το κατώφλι επικινδυνότητας (risk threshold) που θα έχει ορίσει η εκάστοτε Υποδομή για τη συγκεκριμένη Συνιστώσα της. Το κατώφλι αυτό είναι ουσιαστικά το αποδεκτό επίπεδο επικινδυνότητας που έχει αποφασίσει η κάθε Υποδομή ότι μπορεί να «απορροφήσει» από την αποτυχία της συγκεκριμένης Συνιστώσας της, όπως έχουμε αναφέρει και στο Στάδιο 4.3 της μεθοδολογίας.

6.6.2.2 Έμφαση στην Κοινωνία

Επειδή οι Κρίσιμες Υποδομές έχουν αντίκτυπο στην Κοινωνία, θεωρήσαμε σκόπιμο να αποτιμήσουμε τις επικινδυνότητες στο ίδιο σενάριο αποτυχιών αλλά από την οπτική γωνία της Κοινωνίας. Να διευκρινίσουμε ότι οι πιθανότητες εμφάνισης των αποτυχιών παραμένουν ίδιες με αυτές της πρώτης περίπτωσης, ενώ για την αποτίμηση του αντικτύπου στην Κοινωνία θα χρησιμοποιήσουμε τους αντίστοιχους παράγοντες αντικτύπου που έχουμε προτείνει στη μεθοδολογία. Έτσι, στην περίπτωση αυτή θα επαναληφθεί μόνο το Στάδιο 4.2) Εκτίμηση της Επικινδυνότητας (Risk estimation) και συγκεκριμένα τα Υπο-στάδιο 4.2.1) Αποτίμηση του Αντικτύπου (Impact Assessment) - Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας (Failure Impact Level) και το Υπο-στάδιο 4.2.3) Υπολογισμός της Επικινδυνότητας (Risk Calculation).

6.6.2.2.1 Στάδιο 4.2) Εκτίμηση της Επικινδυνότητας (Risk estimation)

B. Υπο-στάδιο 4.2.1): Αποτίμηση του Αντικτύπου (Impact Assessment)

- Για κάθε κόμβο (Συνιστώσα) – πηγή της αποτυχίας

Σημείωση: Θεωρώ ότι η περιοχή που εξετάζω είναι μια πόλη 90.000 κατοίκων.

❖ Αποτυχία B_{C_1}

1) Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)

- Εμβέλεια = «Μη Εφαρμόσιμο», καθώς αποτελεί Συνιστώσα που επηρεάζει μόνο την ίδια την Υποδομή Ενέργειας.
- Δημόσια Εμπιστοσύνη = «Σοβαρό», καθώς η Υποδομή Ενέργειας δε διαθέτει τους απαραίτητους μηχανισμούς προστασίας για την αντιμετώπιση της

κυβερνοεπίθεσης. Συνεπώς, η εμπιστοσύνη των ενδιαφερόμενων επηρεάστηκε σοβαρά.

- Άμυνα = «Αισθητό», καθώς η κυβερνοεπίθεση δεν αντιμετωπίστηκε άμεσα και ο επιτιθέμενος μπόρεσε να προκαλέσει μια αλληλουχία αποτυχιών σε Συνιστώσες διαφορετικών Υποδομών.

Λαμβάνοντας την αρχή της χειρίστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Κοινωνία ορίζεται ως «Σοβαρός».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4 και το επίπεδο αποτυχίας που έχει υπολογιστεί από την περίπτωση της Υποδομής - Οργανισμού, δηλαδή «Ακραίο», ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «VH».

- Για κάθε επόμενο κόμβο (Συνιστώσα) – Διάδοση Αντικτύπου

❖ *Αποτυχία* $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3}$

1) *Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)*

- Εμβέλεια = «Περιορισμένο», καθώς θεωρούμε ότι έχει επηρεάσει μια πόλη.
- Οικονομική Απώλεια = «Αισθητό», καθώς θεωρούμε ότι έχει επηρεάσει πολλά νοικοκυριά και οργανισμούς της πόλης, από τη στιγμή που η διάρκεια της διακοπής έχει υπολογιστεί ότι θα είναι κάποιες ημέρες.
- Δημόσια Εμπιστοσύνη = «Σοβαρή», καθώς η Υποδομή Ενέργειας δε διαθέτει τους απαραίτητους μηχανισμούς προστασίας και η διακοπή θα διαρκέσει κάποιες ημέρες. Συνεπώς, η εμπιστοσύνη των ενδιαφερόμενων επηρεάστηκε σοβαρά.
- Άμυνα = «Αισθητό», καθώς η κυβερνοεπίθεση δεν αντιμετωπίστηκε άμεσα και ο επιτιθέμενος μπόρεσε να προκαλέσει μια αλληλουχία αποτυχιών σε Συνιστώσες διαφορετικών Υποδομών.
- Διάρκεια = «Σοβαρό», καθώς θεωρούμε ότι η Κοινωνία θα είχε σημαντικές οικονομικές απώλειες λόγω της διακοπής, όπως φθορές σε τρόφιμα – εμπόρευμα.

Λαμβάνοντας την αρχή της χειρίστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Κοινωνία ορίζεται ως «Σοβαρός».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4 και το επίπεδο αποτυχίας που έχει υπολογιστεί από την περίπτωση της Υποδομής - Οργανισμού, δηλαδή «Ακραίο», ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «VH».

❖ Αποτυχία $B_{C_3} \rightarrow D_{C_6}$

1) Επίπεδο Αντίκτυπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)

- Εμβέλεια = «Αμελητέο», καθώς θεωρούμε ότι έχει επηρεάσει μια συγκεκριμένη περιοχή.
- Οικονομική Απώλεια = «Αμελητέο», καθώς επηρεάζει λίγους συνδρομητές και για μικρή χρονική διάρκεια.
- Δημόσια Εμπιστοσύνη = «Περιορισμένο», καθώς επηρεάζει λίγους συνδρομητές και για μικρή χρονική διάρκεια. Ωστόσο, δεν είναι «Αμελητέο», διότι ο Πάροχος Επικοινωνιών δεν είχε τους σωστούς εφεδρικούς μηχανισμούς.

Λαμβάνοντας την αρχή της χειρίστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Κοινωνία ορίζεται ως «Περιορισμένος».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4 και το επίπεδο αποτυχίας που έχει υπολογιστεί από την περίπτωση της Υποδομής - Οργανισμού, δηλαδή «Ακραίο», ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «H».

❖ Αποτυχία $B_{C_3} \rightarrow C_{C_1}$

1) Επίπεδο Αντίκτυπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)

- Εμβέλεια = «Αμελητέο», καθώς θεωρούμε ότι έχει επηρεάσει μια συγκεκριμένη περιοχή.
- Οικονομική Απώλεια = «Αμελητέο», καθώς επηρεάζει λίγους συνδρομητές και για μικρή χρονική διάρκεια.
- Δημόσια Εμπιστοσύνη = «Περιορισμένο», καθώς επηρεάζει λίγους συνδρομητές και για μικρή χρονική διάρκεια. Ωστόσο, δεν είναι «Αμελητέο», διότι η Υποδομή δεν είχε τους σωστούς εφεδρικούς μηχανισμούς.

Λαμβάνοντας την αρχή της χειρίστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Κοινωνία ορίζεται ως «Περιορισμένος».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4 και το επίπεδο αποτυχίας που έχει υπολογιστεί από την περίπτωση της Υποδομής - Οργανισμού, δηλαδή «Ακραίο», ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «H».

❖ Αποτυχία $C_{C_1} \rightarrow D_{C_2}$

1) Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας (*Failure Impact Level*)

- Εμβέλεια = «Περιορισμένο», καθώς θεωρούμε ότι έχει επηρεάσει μια πόλη.
- Οικονομική Απώλεια = «Αισθητό», καθώς δεν αντιμετωπίστηκαν έγκαιρα αποτυχίες Συνιστωσών άλλων Υποδομών.
- Δημόσια Εμπιστοσύνη = «Σοβαρό», καθώς δε διέθετε τους κατάλληλους μηχανισμούς προστασίας σε σχέση με την κρισιμότητά του.

Λαμβάνοντας την αρχή της χειρίστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Κοινωνία ορίζεται ως «Σοβαρός».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4 και το επίπεδο αποτυχίας που έχει υπολογιστεί από την περίπτωση της Υποδομής - Οργανισμού, δηλαδή «Ακραίο», ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «VH».

❖ Αποτυχία $D_{C_2} \rightarrow D_{C_6}$

1) Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας (*Failure Impact Level*)

- Εμβέλεια = «Αμελητέο», καθώς θεωρούμε ότι έχει επηρεάσει μια συγκεκριμένη περιοχή.
- Οικονομική Απώλεια = «Αμελητέο», καθώς επηρεάζει λίγους συνδρομητές και για μικρή χρονική διάρκεια.
- Δημόσια Εμπιστοσύνη = «Αισθητό», καθώς παρόλο που ο Πάροχος Επικοινωνιών επηρεάζει λίγους συνδρομητές και για μικρή χρονική διάρκεια, δε διέθετε κάποιο εφεδρικό σύστημα παρακολούθησης.

Λαμβάνοντας την αρχή της χειρίστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Κοινωνία ορίζεται ως «Αισθητός».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4 και το επίπεδο αποτυχίας που έχει υπολογιστεί από την περίπτωση της Υποδομής - Οργανισμού, δηλαδή «Ακραίο», ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «H».

❖ Αποτυχία $D_{C_6} \rightarrow B_{C_1}$

1) Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)

- Εμβέλεια = «Περιορισμένο», καθώς θεωρούμε ότι έχει επηρεάσει τη συγκεκριμένη υπό εξέταση πόλη.
- Δημόσια Εμπιστοσύνη = «Σοβαρό», καθώς η Υποδομή Ενέργειας δε διαθέτει τους απαραίτητους μηχανισμούς προστασίας για ένα πολύ κρίσιμο σύστημά της, όπως το SCADA.
- Διακινδύνευση της Ανθρώπινης Ασφάλειας = «Περιορισμένο», λόγω εκδήλωσης αποτυχιών και μη έγκαιρης ενημέρωσης.
- Διακινδύνευση της Περιβαλλοντικής Ασφάλειας = «Περιορισμένο», λόγω εκδήλωσης αποτυχιών και μη έγκαιρης ενημέρωσης.

Λαμβάνοντας την αρχή της χειρίστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Κοινωνία ορίζεται ως «Σοβαρός».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4 και το επίπεδο αποτυχίας που έχει υπολογιστεί από την περίπτωση της Υποδομής - Οργανισμού, δηλαδή «Ακραίο», ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «VH». Η τιμή αυτή επιβεβαιώνει τη θεώρηση που έγινε στη σελίδα 113 για τις κλιμακωτές αποτυχίες, καθώς παρατηρείται αύξηση στον αντίκτυπο σε σχέση με το αντίκτυπο της Συνιστώσας D_{C_6} .

Επίσης, όπως έχει προαναφερθεί στη σελίδα 113, σε δεύτερο γύρο του προτεινόμενου αλγορίθμου – μεθοδολογίας, ο αντίκτυπος όλων ή μερικών εξαρτήσεων που απορρέουν από την εξάρτηση αυτή αναμένεται ότι θα αυξηθεί λόγω της κλιμακωτής αποτυχίας και συγκεκριμένα λόγω της αύξησης του ενυπάρχοντος αντικτύπου της Συνιστώσας B_{C_1} .

❖ Αποτυχία $B_{C_3} \rightarrow E_{C_4}$

1) Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)

- Εμβέλεια = «Περιορισμένο», καθώς θεωρούμε ότι έχει επηρεάσει τη συγκεκριμένη υπό εξέταση πόλη.
- Οικονομική Απώλεια = «Αμελητέο», καθώς επηρεάζει λίγες υπηρεσίες και για μικρή χρονική διάρκεια.
- Δημόσια Εμπιστοσύνη = «Αισθητό», καθώς παρόλο που η Υποδομή «Φιλοξενίας» επηρεάζει λίγες υπηρεσίες και για μικρή χρονική διάρκεια, δε διαθέτει το κατάλληλο εφεδρικό σύστημα τροφοδοσίας.

Λαμβάνοντας την αρχή της χειρίστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Κοινωνία ορίζεται ως «Αισθητός».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4 και το επίπεδο αποτυχίας που έχει υπολογιστεί από την περίπτωση της Υποδομής - Οργανισμού, δηλαδή «Ακραίο», ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «H».

❖ Αποτυχία $E_{C_4} \rightarrow F_{C_5}$

1) *Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)*

- Εμβέλεια = «Περιορισμένο», καθώς θεωρούμε ότι έχει επηρεάσει μια πόλη.
- Οικονομική Απώλεια = «Περιορισμένο», καθώς οι ασφαλισμένοι πολίτες δεν μπορούν να επωφεληθούν από τη διαδικτυακή υπηρεσία του ασφαλιστικού ιδρύματος για πραγματοποίηση εξετάσεων με χαμηλό ή και καθόλου κόστος μέσω παραπεμπτικού ιατρού το οποίο κατατίθεται διαδικτυακά. Ωστόσο, λόγω του ότι η υπηρεσία δε θα καθυστερήσει να επαναλειτουργήσει, θεωρούμε ότι δε θα υπάρχει μεγάλο κοινωνικό κόστος.
- Δημόσια Εμπιστοσύνη = «Αισθητή», καθώς η Υποδομή Ασφαλίσεων δεν είχε πραγματοποιήσει τους κατάλληλους ελέγχους προκειμένου να εξακριβώσει την καταλληλότητα της Υποδομής «Φιλοξενίας».

Λαμβάνοντας την αρχή της χειρίστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Κοινωνία ορίζεται ως «Αισθητός».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4 και το επίπεδο αποτυχίας που έχει υπολογιστεί από την περίπτωση της Υποδομής - Οργανισμού, δηλαδή «Ακραίο», ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «H».

❖ Αποτυχία $E_{C_4} \rightarrow G_{C_2}$

1) *Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)*

- Εμβέλεια = «Περιορισμένο», καθώς θεωρούμε ότι έχει επηρεάσει μια πόλη.
- Οικονομική Απώλεια = «Αμελητέο», καθώς οι ασφαλισμένοι πολίτες μπορούν να ενημερωθούν και να πραγματοποιήσουν οποιαδήποτε συναλλαγή από το τοπικό κατάστημα της συγκεκριμένης Υποδομής.
- Δημόσια Εμπιστοσύνη = «Αισθητό», καθώς η Υποδομή Ασφαλίσεων δεν είχε πραγματοποιήσει τους κατάλληλους ελέγχους προκειμένου να εξακριβώσει την καταλληλότητα της Υποδομής «Φιλοξενίας».

Λαμβάνοντας την αρχή της χειρίστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Κοινωνία ορίζεται ως «Αισθητός».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4 και το επίπεδο αποτυχίας που έχει υπολογιστεί από την περίπτωση της Υποδομής - Οργανισμού, δηλαδή «Ακραίο», ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «H».

❖ *Αποτυχία* $B_{C_3} \rightarrow F_{C_5}$

1) *Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)*

- Εμβέλεια = «Περιορισμένο», καθώς θεωρούμε ότι έχει επηρεάσει μια πόλη.
- Οικονομική Απώλεια = «Περιορισμένο», καθώς οι ασφαλισμένοι πολίτες δεν μπορούν να επωφεληθούν από την διαδικτυακή υπηρεσία του ασφαλιστικού ιδρύματος για πραγματοποίηση εξετάσεων με χαμηλό ή και καθόλου κόστος μέσω παραπεμπτικού ιατρού το οποίο κατατίθεται διαδικτυακά. Ωστόσο, λόγω του ότι η υπηρεσία δε θα καθυστερήσει να επαναλειτουργήσει, θεωρούμε ότι δε θα υπάρξει μεγάλο κοινωνικό κόστος.
- Δημόσια Εμπιστοσύνη = «Αισθητό», καθώς η Υποδομή Ασφαλίσεων δεν είχε πραγματοποιήσει τους κατάλληλους ελέγχους προκειμένου να εξακριβώσει την καταλληλότητα της Υποδομής «Φιλοξενίας».

Λαμβάνοντας την αρχή της χειρίστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Κοινωνία ορίζεται ως «Αισθητός».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4 και το επίπεδο αποτυχίας που έχει υπολογιστεί από την περίπτωση της Υποδομής - Οργανισμού, δηλαδή «Ακραίο», ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «H».

❖ *Αποτυχία* $B_{C_3} \rightarrow G_{C_2}$

1) *Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)*

- Εμβέλεια = «Περιορισμένο», καθώς θεωρούμε ότι έχει επηρεάσει μια πόλη.
- Οικονομική Απώλεια = «Αμελητέο», καθώς οι ασφαλισμένοι πολίτες μπορούν να ενημερωθούν και να πραγματοποιήσουν οποιαδήποτε συναλλαγή από το τοπικό κατάστημα της συγκεκριμένης Υποδομής.
- Δημόσια Εμπιστοσύνη = «Αισθητό», καθώς η Υποδομή Ασφαλίσεων δεν είχε πραγματοποιήσει τους κατάλληλους ελέγχους προκειμένου να εξακριβώσει την καταλληλότητα της Υποδομής «Φιλοξενίας».

Λαμβάνοντας την αρχή της χειρίστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Κοινωνία ορίζεται ως «Αισθητός».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4 και το επίπεδο αποτυχίας που έχει υπολογιστεί από την περίπτωση της Υποδομής - Οργανισμού, δηλαδή «Ακραίο», ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «H».

❖ Αποτυχία $F_{C_5} \rightarrow G_{C_2}$

1) *Επίπεδο Αντικτύπου Αποτυχίας (Failure Impact Level)*

- Εμβέλεια = «Περιορισμένο», καθώς θεωρούμε ότι έχει επηρεάσει μια πόλη.
- Οικονομική Απώλεια = «Αμελητέο», καθώς οι ασφαλισμένοι πολίτες μπορούν να ενημερωθούν και να πραγματοποιήσουν οποιαδήποτε συναλλαγή από το τοπικό κατάστημα της συγκεκριμένης Υποδομής.
- Δημόσια Εμπιστοσύνη = «Αισθητό», καθώς η Υποδομή Ασφαλίσεων δεν είχε πραγματοποιήσει τους κατάλληλους ελέγχους προκειμένου να εξακριβώσει την καταλληλότητα της Υποδομής «Φιλοξενίας».

Λαμβάνοντας την αρχή της χειρίστης περίπτωσης, ο αντίκτυπος για την Κοινωνία ορίζεται ως «Αισθητός».

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.4 και το επίπεδο αποτυχίας που έχει υπολογιστεί από την περίπτωση της Υποδομής - Οργανισμού, δηλαδή «Ακραίο», ο *Συνολικός Αντίκτυπος Αποτυχίας* = «H».

C. Υπο-στάδιο 4.2.3): Υπολογισμός της Επικινδυνότητας (Risk Calculation)

❖ Αποτυχία B_{C_1}

Σύμφωνα με τη σχέση 5.1 για την Κοινωνία έχουμε:

$$\text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}} = \text{Failure Likelihood}_{B_{C_1}} \times \text{Societal } I_{B_{C_1}}$$

- Από τον πίνακα 5-11 παρατηρούμε ότι η πιθανότητα εκδήλωσης της αποτυχίας B_{C_1} = «VH».
- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας B_{C_1} = «VH».
- Από τον πίνακα 5-6 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **9**.

Άρα Societal Failure Risk B_{C_1} = 9

❖ Αποτυχία $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3}$

Σύμφωνα με τη σχέση 5.3 έχουμε:

$$\text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}} = \text{Failure Likelihood}_{B_{C_1}, B_{C_3}} \times \text{Societal I}_{B_{C_1}, B_{C_3}}$$

- Από τον πίνακα 5-12 παρατηρούμε ότι η πιθανότητα εκδήλωσης της αποτυχίας $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} = \langle \text{VH} \rangle$.
- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} = \langle \text{VH} \rangle$.
- Από τον πίνακα 5-7 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **9**.

Άρα Societal Failure Risk_{B_{C₁}, B_{C₃} = 9}

Ωστόσο, επειδή σε επίπεδο Κοινωνίας μας ενδιαφέρει η επικινδυνότητα αποτυχίας και στις υπόλοιπες Συνιστώσες των Κρίσιμων Υποδομών της εκάστοτε αλυσίδας αποτυχιών και όχι μόνο της Υποδομής – Οργανισμού που μελετάμε θα χρησιμοποιήσουμε τη σχέση 5.4 για τη συνολική – σταθμισμένη επικινδυνότητα.

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης περίπτωσης θα χρησιμοποιούμε τις παρακάτω ενδεικτικές τιμές για τα βάρη, οι οποίες ικανοποιούν τη σχέση 5.5.

Πίνακας 6-7: Ενδεικτικές Τιμές για τη Συνολική Επικινδυνότητα Αποτυχίας μιας Συνιστώσας					
Βάρος Επικινδυνότητας Αποτυχίας					
Τάξη Εξάρτησης	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
1	1	N/A	N/A	N/A	N/A
2	0.7	0.3	N/A	N/A	N/A
3	0.4	0.4	0.2	N/A	N/A
4	0.3	0.3	0.3	0.1	N/A
5	0.225	0.225	0.225	0.225	0.1

Εφόσον η αλυσίδα αποτυχιών που μελετάμε είναι πρώτης τάξης, σύμφωνα με τον πίνακα 5-14, η συνολική επικινδυνότητα είναι:

Weighted Societal Failure Risk_{B_{C₁}, B_{C₃} = 9}

❖ Αποτυχία $B_{C_3} \rightarrow D_{C_6}$

Σύμφωνα με τη σχέση 5.3 έχουμε:

$$\text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, D_{C_6}} = \text{Failure Likelihood}_{B_{C_1}, B_{C_3}, D_{C_6}} \times \text{Societal I}_{B_{C_3}, D_{C_6}}$$

- Από τον πίνακα 5-12 παρατηρούμε ότι η πιθανότητα εκδήλωσης της αποτυχίας $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow D_{C_6} = \langle \mathbf{H} \rangle$.
- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας $B_{C_3} \rightarrow D_{C_6} = \langle \mathbf{H} \rangle$.
- Από τον πίνακα 5-7 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **8**.

Άρα **Societal Failure Risk** $_{B_{C_1}, B_{C_3}, D_{C_6}} = 8$

Για την αλυσίδα αποτυχιών $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow D_{C_6}$ η συνολική επικινδυνότητα είναι:

$$\begin{aligned} \text{Weighted Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, D_{C_6}} \\ = a_1 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}} + a_2 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, D_{C_6}} \end{aligned}$$

Εφόσον η αλυσίδα αποτυχιών που μελετάμε είναι δεύτερης τάξης, σύμφωνα με τον πίνακα 5-14, η συνολική επικινδυνότητα είναι:

Weighted Societal Failure Risk $_{B_{C_1}, B_{C_3}, D_{C_6}} = 8,7 \cong 9$

❖ Αποτυχία $B_{C_3} \rightarrow C_{C_1}$

Σύμφωνα με τη σχέση 5.3 έχουμε:

$$\text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, C_{C_1}} = \text{Failure Likelihood}_{B_{C_1}, B_{C_3}, C_{C_1}} \times \text{Societal I}_{B_{C_3}, C_{C_1}}$$

- Από τον πίνακα 5-12 παρατηρούμε ότι η πιθανότητα εκδήλωσης της αποτυχίας $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow C_{C_1} = \langle \mathbf{H} \rangle$.
- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας $B_{C_3} \rightarrow C_{C_1} = \langle \mathbf{H} \rangle$.

- Από τον πίνακα 5-7 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **8**.

Άρα **Societal Failure Risk**_{B_{C₁},B_{C₃},C_{C₁}} = 8

Συνεπώς, για την αλυσίδα αποτυχιών $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow C_{C_1}$ η συνολική επικινδυνότητα είναι:

$$\text{Weighted Societal Failure Risk}_{B_{C_1},B_{C_3},C_{C_1}} = a_1 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1},B_{C_3}} + a_2 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1},B_{C_3},C_{C_1}}$$

Εφόσον η αλυσίδα αποτυχιών που μελετάμε είναι δεύτερης τάξης, σύμφωνα με τον πίνακα 5-14, η συνολική επικινδυνότητα είναι:

$$\text{Weighted Societal Failure Risk}_{B_{C_1},B_{C_3},C_{C_1}} = 8,7 \cong 9$$

❖ Αποτυχία $C_{C_1} \rightarrow D_{C_2}$

Σύμφωνα με τη σχέση 5.3 έχουμε:

$$\text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1},B_{C_3},C_{C_1},D_{C_2}} = \text{Failure Likelihood}_{B_{C_1},B_{C_3},C_{C_1},D_{C_2}} \times \text{Societal } I_{C_{C_1},D_{C_2}}$$

- Από τον πίνακα 5-12 παρατηρούμε ότι η πιθανότητα εκδήλωσης της αποτυχίας $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow C_{C_1} \rightarrow D_{C_2} = \langle \mathbf{M} \rangle$.
- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας $C_{C_1} \rightarrow D_{C_2} = \langle \mathbf{VH} \rangle$.
- Από τον πίνακα 5-7 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **8**.

Άρα **Societal Failure Risk**_{B_{C₁},B_{C₃},C_{C₁},D_{C₂}} = 8

Συνεπώς, για την αλυσίδα αποτυχιών $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow C_{C_1} \rightarrow D_{C_2}$ η συνολική επικινδυνότητα είναι:

$$\text{Weighted Societal Failure Risk}_{B_{C_1},B_{C_3},C_{C_1},D_{C_2}} = a_1 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1},B_{C_3}} + a_2 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1},B_{C_3},C_{C_1}} + a_3 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1},B_{C_3},C_{C_1},D_{C_2}}$$

Εφόσον η αλυσίδα αποτυχιών που μελετάμε είναι τρίτης τάξης, σύμφωνα με τον πίνακα 5-14, η συνολική επικινδυνότητα είναι:

$$\text{Weighted Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, C_{C_1}, D_{C_2}} = 8.4 \cong 8$$

❖ Αποτυχία $D_{C_2} \rightarrow D_{C_6}$

Σύμφωνα με τη σχέση 5.3 έχουμε:

$$\begin{aligned} \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, C_{C_1}, D_{C_2}, D_{C_6}} \\ = \text{Failure Likelihood}_{B_{C_1}, B_{C_3}, C_{C_1}, D_{C_2}, D_{C_6}} \times \text{Societal I}_{D_{C_2}, D_{C_6}} \end{aligned}$$

- Από τον πίνακα 5-12 παρατηρούμε ότι η πιθανότητα εκδήλωσης της αποτυχίας $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow C_{C_1} \rightarrow D_{C_2} \rightarrow D_{C_6} = \langle \mathbf{L} \rangle$.
- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας $D_{C_2} \rightarrow D_{C_6} = \langle \mathbf{H} \rangle$.
- Από τον πίνακα 5-7 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **6**.

$$\text{Άρα Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, C_{C_1}, D_{C_2}, D_{C_6}} = 6$$

Συνεπώς, για την αλυσίδα αποτυχιών $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow C_{C_1} \rightarrow D_{C_2} \rightarrow D_{C_6}$ η συνολική επικινδυνότητα είναι:

$$\begin{aligned} \text{Weighted Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, C_{C_1}, D_{C_2}, D_{C_6}} = a_1 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}} + a_2 \times \\ \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, C_{C_1}} + a_3 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, C_{C_1}, D_{C_2}} + \\ + a_4 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, C_{C_1}, D_{C_2}, D_{C_6}} \end{aligned}$$

Εφόσον η αλυσίδα αποτυχιών που μελετάμε είναι τέταρτης τάξης, σύμφωνα με τον πίνακα 5-14, η συνολική επικινδυνότητα είναι:

$$\text{Weighted Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, C_{C_1}, D_{C_2}, D_{C_6}} = 8.1 \cong 8$$

Παρατηρούμε από την εικόνα 5.3 ότι στη Συνιστώσα D_{C_6} καταλήγουν δύο μονοπάτια αποτυχιών, το $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow C_{C_1} \rightarrow D_{C_2} \rightarrow D_{C_6}$ και το $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow D_{C_6}$ με επικινδυνότητες αποτυχίας 8 και 9 αντίστοιχα. Οι τύποι των αντικτύπων που προκαλούνται στη Συνιστώσα D_{C_6} είναι ίδιοι, όπως έχουμε αναφέρει στο Υπο-στάδιο 4.2.1, συνεπώς θα λάβουμε υπόψη τη μέγιστη τιμή των επικινδυνοτήτων, δηλαδή την τιμή 9.

Άρα **Societal Failure Risk**_{D_{C₆}} = 9

❖ Αποτυχία $D_{C_6} \rightarrow B_{C_1}$

Σύμφωνα με τη σχέση 5.3 έχουμε:

$$\text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, C_{C_1}, D_{C_2}, D_{C_6}, B_{C_1}} = \text{Failure Likelihood}_{B_{C_1}, B_{C_3}, C_{C_1}, D_{C_2}, D_{C_6}, B_{C_1}} \times \text{Societal I}_{D_{C_6}, B_{C_1}}$$

- Η κλιμακωτή αποτυχία στη Συνιστώσα B_{C_1} αποτελεί ταυτόχρονα αποτυχία 3^{ου} και 5^{ου} βαθμού. Ωστόσο, όπως έχουμε αναφέρει στον πίνακα 5-12, λαμβάνουμε υπόψη μας τη μέγιστη τιμή πιθανότητας, δηλαδή την «**M**».
- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας $D_{C_6} \rightarrow B_{C_1}$ = «**VH**».
- Από τον πίνακα 5-7 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **8**.

Άρα **Societal Failure Risk**_{B_{C₁}, B_{C₃}, C_{C₁}, D_{C₂}, D_{C₆}, B_{C₁}} ≡ **Societal Failure Risk**_{B_{C₁}, B_{C₃}, D_{C₆}, B_{C₁}} = 8

Συνεπώς, για την αλυσίδα αποτυχιών $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow C_{C_1} \rightarrow D_{C_2} \rightarrow D_{C_6} \rightarrow B_{C_1}$ η συνολική επικινδυνότητα είναι:

$$\text{Weighted Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, C_{C_1}, D_{C_2}, D_{C_6}, B_{C_1}} = a_1 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}} + a_2 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, C_{C_1}} + a_3 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, C_{C_1}, D_{C_2}} + a_4 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, C_{C_1}, D_{C_2}, D_{C_6}} + a_5 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, C_{C_1}, D_{C_2}, D_{C_6}, B_{C_1}}$$

Εφόσον η αλυσίδα αποτυχιών που μελετάμε είναι πέμπτης τάξης, σύμφωνα με τον πίνακα 5-14, η συνολική επικινδυνότητα είναι:

Weighted Societal Failure Risk_{B_{C₁}, B_{C₃}, C_{C₁}, D_{C₂}, D_{C₆}, B_{C₁}} = 7,775 ≅ **8**

Επίσης, για την αλυσίδα αποτυχιών $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow D_{C_6} \rightarrow B_{C_1}$ η συνολική επικινδυνότητα είναι:

$$\text{Weighted Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, D_{C_6}, B_{C_1}} = a_1 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}} + a_2 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, D_{C_6}}$$

Εφόσον η αλυσίδα αποτυχιών που μελετάμε είναι τρίτης τάξης, σύμφωνα με τον πίνακα 5-14, η συνολική επικινδυνότητα είναι:

$$\text{Weighted Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, C_{C_1}, D_{C_2}, D_{C_6}, B_{C_1}} = 8,4 \cong 8$$

Όπως παρατηρούμε, η κλιμακωτή αποτυχία στη Συνιστώσα B_{C_1} μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω δύο εναλλακτικών μονοπατιών. Μπορούμε να λάβουμε υπόψη μας τη μέγιστη τιμή των δύο, δηλαδή την τιμή 8.

❖ Αποτυχία $B_{C_3} \rightarrow E_{C_4}$

Σύμφωνα με τη σχέση 5.3 έχουμε:

$$\begin{aligned} \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}} \\ = \text{Failure Likelihood}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}} \times \text{Societal I}_{B_{C_3}, E_{C_4}} \end{aligned}$$

- Από τον πίνακα 5-12 παρατηρούμε ότι η πιθανότητα εκδήλωσης της αποτυχίας $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow E_{C_4} = \langle \mathbf{H} \rangle$.
- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας $B_{C_3} \rightarrow E_{C_4} = \langle \mathbf{H} \rangle$.
- Από τον πίνακα 5-7 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **8**.

Άρα $\text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}} = 8$

Συνεπώς, για την αλυσίδα αποτυχιών $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow E_{C_4}$ η συνολική επικινδυνότητα είναι:

$$\begin{aligned} \text{Weighted Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}} \\ = a_1 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}} + a_2 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_3}, E_{C_4}} \end{aligned}$$

Εφόσον η αλυσίδα αποτυχιών που μελετάμε είναι δεύτερης τάξης, σύμφωνα με τον πίνακα 5-14, η συνολική επικινδυνότητα είναι:

$$\text{Weighted Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}} = 8,7 \cong 9$$

❖ Αποτυχία $E_{C_4} \rightarrow F_{C_5}$

Σύμφωνα με τη σχέση 5.3 έχουμε:

$$\text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, F_{C_5}} = \text{Failure Likelihood}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, F_{C_5}} \times \text{Societal Failure Risk}_{E_{C_4}, F_{C_5}}$$

- Από τον πίνακα 5-12 παρατηρούμε ότι η πιθανότητα εκδήλωσης της αποτυχίας $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow E_{C_4} \rightarrow F_{C_5} = \langle \mathbf{M} \rangle$.
- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας $E_{C_4} \rightarrow F_{C_5} = \langle \mathbf{H} \rangle$.
- Από τον πίνακα 5-7 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **7**.

Άρα $\text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, F_{C_5}} = 7$

Συνεπώς, για την αλυσίδα αποτυχιών $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow E_{C_4} \rightarrow F_{C_5}$ η συνολική επικινδυνότητα είναι:

$$\begin{aligned} \text{Weighted Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, F_{C_5}} &= a_1 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}} + a_2 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}} + \\ &+ a_3 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, F_{C_5}} \end{aligned}$$

Εφόσον η αλυσίδα αποτυχιών που μελετάμε είναι τρίτης τάξης, σύμφωνα με τον πίνακα 5-14, η συνολική επικινδυνότητα είναι:

Weighted Societal Failure Risk $_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, F_{C_5}} = 8.2 \cong 8$

❖ Αποτυχία $E_{C_4} \rightarrow G_{C_2}$

Σύμφωνα με τη σχέση 5.3 έχουμε:

$$\text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, G_{C_2}} = \text{Failure Likelihood}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, G_{C_2}} \times \text{Societal I}_{E_{C_4}, G_{C_2}}$$

- Από τον πίνακα 5-12 παρατηρούμε ότι η πιθανότητα εκδήλωσης της αποτυχίας $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow E_{C_4} \rightarrow G_{C_2} = \langle \mathbf{M} \rangle$. Παρατηρούμε ότι οι

πιθανότητες εκδήλωσης των αποτυχιών $E_{C_4} \rightarrow G_{C_2}$ και $E_{C_4} \rightarrow F_{C_5}$ είναι ίδιες, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνεται και από τη θεωρία, καθώς πρόκειται για κοινής αιτίας αποτυχίες.

- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας $E_{C_4} \rightarrow G_{C_2} = \langle \mathbf{H} \rangle$.
- Από τον πίνακα 5-7 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **7**.

Άρα **Societal Failure Risk** $_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, G_{C_2}} = 7$

Συνεπώς, για την αλυσίδα αποτυχιών $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow E_{C_4} \rightarrow G_{C_2}$ η συνολική επικινδυνότητα είναι:

$$\begin{aligned} \text{Weighted Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, G_{C_2}} \\ = a_1 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}} + a_2 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}} + \\ + a_3 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, G_{C_2}} \end{aligned}$$

Εφόσον η αλυσίδα αποτυχιών που μελετάμε είναι τρίτης τάξης, σύμφωνα με τον πίνακα 5-14, η συνολική επικινδυνότητα είναι:

Weighted Societal Failure Risk $_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, G_{C_2}} = 8.2 \cong 8$

❖ Αποτυχία $B_{C_3} \rightarrow F_{C_5}$

Σύμφωνα με τη σχέση 5.3 έχουμε:

$$\begin{aligned} \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, F_{C_5}} \\ = \text{Failure Likelihood}_{B_{C_1}, B_{C_3}, F_{C_5}} \times \text{Societal I}_{B_{C_3}, F_{C_5}} \end{aligned}$$

- Από τον πίνακα 5-12 παρατηρούμε ότι η πιθανότητα εκδήλωσης της αποτυχίας $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow F_{C_5} = \langle \mathbf{H} \rangle$.
- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας $B_{C_3} \rightarrow F_{C_5} = \langle \mathbf{H} \rangle$.
- Από τον πίνακα 5-7 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **8**.

Άρα **Societal Failure Risk** $_{B_{C_1}, B_{C_3}, F_{C_5}} = 8$

Συνεπώς, για την αλυσίδα αποτυχιών $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow F_{C_5}$ η συνολική επικινδυνότητα είναι:

$$\text{Weighted Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, F_{C_5}} = a_1 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}} + a_2 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, F_{C_5}}$$

Εφόσον η αλυσίδα αποτυχιών που μελετάμε είναι δεύτερης τάξης, σύμφωνα με τον πίνακα 5-14, η συνολική επικινδυνότητα είναι:

$$\text{Weighted Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, F_{C_5}} = 8,7 \cong 9$$

❖ Αποτυχία $B_{C_3} \rightarrow G_{C_2}$

Σύμφωνα με τη σχέση 5.3 έχουμε:

$$\text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, G_{C_2}} = \text{Failure Likelihood}_{B_{C_1}, B_{C_3}, G_{C_2}} \times \text{Societal I}_{B_{C_3}, G_{C_2}}$$

- Από τον πίνακα 5-12 παρατηρούμε ότι η πιθανότητα εκδήλωσης της αποτυχίας $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow G_{C_2} = \langle \mathbf{H} \rangle$.
- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας $B_{C_3} \rightarrow G_{C_2} = \langle \mathbf{H} \rangle$.
- Από τον πίνακα 5-6 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **8**.

Άρα $\text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, G_{C_2}} = 8$

Συνεπώς, για την αλυσίδα αποτυχιών $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow G_{C_2}$ η συνολική επικινδυνότητα είναι:

$$\text{Weighted Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, G_{C_2}} = a_1 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}} + a_2 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, G_{C_2}}$$

Εφόσον η αλυσίδα αποτυχιών που μελετάμε είναι δεύτερης τάξης, σύμφωνα με τον πίνακα 5-14, η συνολική επικινδυνότητα είναι:

$$\text{Weighted Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, G_{C_2}} = 8,7 \cong 9$$

❖ Αποτυχία $F_{C_5} \rightarrow G_{C_2}$

Σύμφωνα με τη σχέση 5.3 έχουμε:

$$\text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, F_{C_5}, G_{C_2}} = \text{Failure Likelihood}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, F_{C_5}, G_{C_2}} \times \text{Societal I}_{F_{C_5}, G_{C_2}}$$

- Η διαδοχική αποτυχία στη Συνιστώσα G_{C_2} αποτελεί ταυτόχρονα αποτυχία 3^{ου} και 4^{ου} βαθμού. Ωστόσο, όπως έχουμε αναφέρει στον πίνακα 5-12, λαμβάνουμε υπόψη μας τη μέγιστη τιμή πιθανότητας, δηλαδή την «**M**».
- Από το Υπο-στάδιο 4.2.1) παρατηρούμε ότι ο Συνολικός Αντίκτυπος της Αποτυχίας $F_{C_5} \rightarrow G_{C_2} = \langle \mathbf{H} \rangle$.
- Από τον πίνακα 5-7 παρατηρούμε ότι για τις παραπάνω τιμές Πιθανότητας και Αντικτύπου η Επικινδυνότητα λαμβάνει την τιμή **7**.

$$\text{Άρα Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, F_{C_5}, G_{C_2}} \equiv \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, F_{C_5}, G_{C_2}} = 7$$

Συνεπώς, για την αλυσίδα αποτυχιών $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow E_{C_4} \rightarrow F_{C_5} \rightarrow G_{C_2}$ η συνολική επικινδυνότητα είναι:

$$\text{Weighted Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, F_{C_5}, G_{C_2}} = a_1 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}} + a_2 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}} + a_3 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, F_{C_5}} + a_4 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, F_{C_5}, G_{C_2}}$$

Εφόσον η αλυσίδα αποτυχιών που μελετάμε είναι τέταρτης τάξης, σύμφωνα με τον πίνακα 5-14, η συνολική επικινδυνότητα είναι:

$$\text{Weighted Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, E_{C_4}, F_{C_5}, G_{C_2}} = 7,9 \cong 8$$

Επίσης, για την αλυσίδα αποτυχιών $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow F_{C_5} \rightarrow G_{C_2}$ η συνολική επικινδυνότητα είναι:

$$\text{Weighted Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, F_{C_5}, G_{C_2}} = a_1 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}} + a_2 \times \text{Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, F_{C_5}} + a_3 \times \text{Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, F_{C_5}, G_{C_2}}$$

Εφόσον η αλυσίδα αποτυχιών που μελετάμε είναι τρίτης τάξης, σύμφωνα με τον πίνακα 5-14, η συνολική επικινδυνότητα είναι:

$$\text{Weighted Societal Failure Risk}_{B_{C_1}, B_{C_3}, F_{C_5}, G_{C_2}} = 8, 2 \cong 8$$

Όπως παρατηρούμε, η αποτυχία στη Συνιστώσα G_{C_2} λόγω της αποτυχίας της Συνιστώσας F_{C_5} μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω δύο εναλλακτικών μονοπατιών. Σε αυτήν την περίπτωση τα δύο μονοπάτια έχουν την ίδια τιμή. Άρα η τελική τιμή είναι η 8.

Παρατηρούμε από την εικόνα 5.3 ότι στη Συνιστώσα G_{C_2} καταλήγουν τέσσερα μονοπάτια αποτυχιών, το $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow E_{C_4} \rightarrow G_{C_2}$, $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow E_{C_4} \rightarrow F_{C_5} \rightarrow G_{C_2}$, το $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow G_{C_2}$ και το $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow F_{C_5} \rightarrow G_{C_2}$ με επικινδυνότητες αποτυχίας 8, 8, 9 και 8 αντίστοιχα. Οι τύποι των αντικτύπων που προκαλούνται στη Συνιστώσα D_{C_6} είναι ίδιοι, όπως έχουμε αναφέρει στο Υπο-στάδιο 4.2.1, συνεπώς θα λάβουμε υπόψη τη μέγιστη τιμή των επικινδυνοτήτων, δηλαδή την τιμή 9.

$$\text{Άρα Societal Failure Risk}_{G_{C_2}} = 9$$

Ομοίως, παρατηρούμε ότι στη Συνιστώσα F_{C_5} καταλήγουν δύο μονοπάτια αποτυχιών, το $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow E_{C_4} \rightarrow F_{C_5}$ και το $B_{C_1} \rightarrow B_{C_3} \rightarrow F_{C_5}$ με επικινδυνότητες αποτυχίας 8 και 9 αντίστοιχα. Οι τύποι των αντικτύπων που προκαλούνται στη Συνιστώσα F_{C_5} είναι ίδιοι, όπως έχουμε αναφέρει στο Υπο-στάδιο 4.2.1, συνεπώς θα λάβουμε υπόψη τη μέγιστη τιμή των επικινδυνοτήτων, δηλαδή την τιμή 9.

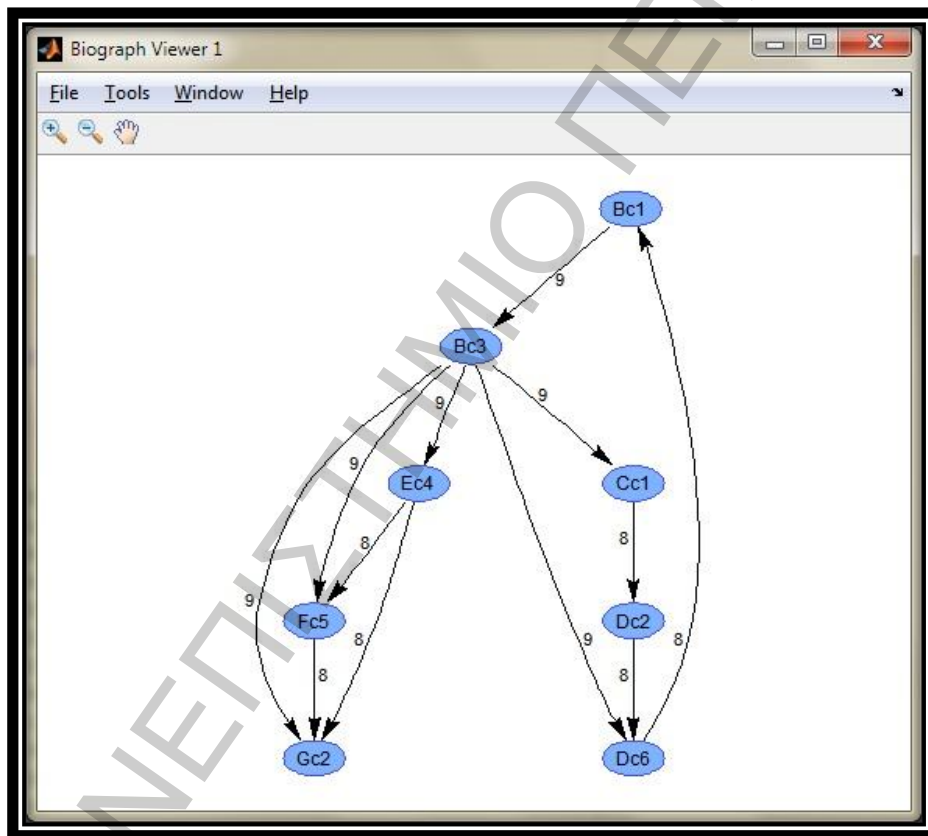
$$\text{Άρα Societal Failure Risk}_{F_{C_5}} = 9$$

Τα αποτελέσματα του Σταδίου 4.2 συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 6-8: Επικινδυνότητες Αποτυχιών				
Αποτυχία	Τύπος Αντικτύπου	Αντίκτυπος	Πιθανότητα	Επικινδυνότητα
B_{C_1}	Δημόσια εμπιστοσύνη	VH	VH	9
$B_{C_1} \rightarrow B_{C_3}$	Δημόσια εμπιστοσύνη Διάρκεια	VH	VH	9
$B_{C_3} \rightarrow D_{C_6}$	Δημόσια εμπιστοσύνη	H	H	9
$B_{C_3} \rightarrow C_{C_1}$	Δημόσια εμπιστοσύνη	H	H	9
$C_{C_1} \rightarrow D_{C_2}$	Δημόσια εμπιστοσύνη	VH	M	8
$D_{C_2} \rightarrow D_{C_6}$	Δημόσια εμπιστοσύνη	H	L	8
$D_{C_6} \rightarrow B_{C_1}$	Δημόσια εμπιστοσύνη	VH	M	8
$B_{C_3} \rightarrow E_{C_4}$	Δημόσια εμπιστοσύνη	H	H	9

$E_{C_4} \rightarrow F_{C_5}$	Δημόσια εμπιστοσύνη	H	M	8
$E_{C_4} \rightarrow G_{C_2}$	Δημόσια εμπιστοσύνη	H	M	8
$B_{C_3} \rightarrow F_{C_5}$	Δημόσια εμπιστοσύνη	H	H	9
$B_{C_3} \rightarrow G_{C_2}$	Δημόσια εμπιστοσύνη	H	H	9
$F_{C_5} \rightarrow G_{C_2}$	Δημόσια εμπιστοσύνη	H	M	8

Με την ολοκλήρωση του σταδίου 4.2, προκύπτει ο παρακάτω γράφος αποτυχιών, στον οποίο απεικονίζονται οι επικινδυνότητες των διαφόρων αποτυχιών σε επίπεδο Κοινωνίας (Weighted Societal Failure Graph).



Εικόνα 6.4: Γράφος Αποτυχιών με έμφαση στην Κοινωνία – Μετά την Εκτίμηση Επικινδυνότητων

Με τη βοήθεια του παραπάνω γράφου, μπορούμε να βρούμε ποιες Υποδομές επηρεάστηκαν και πόσο μέχρι να αποτύχει τελικά η υπό εξέταση Κρίσιμη Υποδομή. Δίνεται δηλαδή έμφαση στις υπόλοιπες Κρίσιμες Υποδομές μιας αλυσίδας αποτυχιών και λιγότερο στην υπό εξέταση Κρίσιμη Υποδομή, η οποία είναι ο τελευταίος κόμβος στην αλυσίδα αποτυχιών που μελετάμε κάθε φορά και επηρεάζει μόνο άμεσα την Κοινωνία, ενώ οι προηγούμενες Κρίσιμες Υποδομές επηρεάζουν και έμμεσα την Κοινωνία μέσω της αποτυχίας και άλλων Κρίσιμων Υποδομών. Με τον τρόπο αυτό,

εισάγουμε στη μελέτη μας τον κοινωνικό παράγοντα, ο οποίος είναι μείζουσα σημασίας στις Κρίσιμες Υποδομές.

Συνεπώς, μπορούμε να βρούμε ποιά μέτρα χρειάζονται για την αντιμετώπιση μιας αποτυχίας σε ένα εύρος Κρίσιμων Υποδομών. Σε αυτήν την περίπτωση, το κατώφλι ανεκτής επικινδυνότητας αποτυχίας για κάθε Συνιστώσα - Κρίσιμη Υποδομή θα πρέπει να αποφασιστεί σε Κυβερνητικό ή Ρυθμιστικό επίπεδο και ανάλογα να διανεμηθεί ο προϋπολογισμός.

6.7 Συμπεράσματα

Με τη βοήθεια της ενδεικτικής μελέτης περίπτωσης, συμπεράναμε ότι η επίδραση της κάθε κατηγορίας αποτυχίας διαφοροποιείται ανάλογα με το σενάριο αποτυχίας που μελετάται και το πλαίσιο στο οποίο τοποθετείται, Κρίσιμης Υποδομής ή Κοινωνίας. Στην παρούσα μελέτη περίπτωσης, προέκυψε ότι η επίδραση των διαφόρων αποτυχιών στην Κοινωνία ήταν πιο σοβαρή από την αντίστοιχη στα πλαίσια μιας Κρίσιμης Υποδομής, γεγονός που ενισχύεται και λόγω ορισμού των Κρίσιμων Υποδομών, στον οποίο αναφέρεται ότι η αποτυχία ή η προσωρινή αποδιοργάνωσή τους επηρεάζει αισθητά την Κοινωνία. Αν και βασικό σημείο αναφοράς λοιπόν για κάθε Κρίσιμη Υποδομή και τις Συνιστώσες αυτών αποτελεί η επίδραση που επιφέρει στην Κοινωνία, κρίθηκε σκόπιμη η μελέτη των αποτυχιών και η διάδοση αυτών και στα πλαίσια των ίδιων των Κρίσιμων Υποδομών, καθώς με τον τρόπο αυτό μπορεί να ενισχυθεί ακόμη περισσότερο η ανθεκτικότητα της κάθε Κρίσιμης Υποδομής, με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της επιτυχημένης εμφάνισης αποτυχιών και την επιρροή της Κοινωνίας άμεσα και έμμεσα. Έτσι, επιτυγχάνεται ένας βασικός στόχος που τίθεται για κάθε Κρίσιμη Υποδομή, αυτός της Προστασίας και της Ανθεκτικότητας (Critical Infrastructure Resilience and Protection).

Αναφορές

- [1] Theoharidou M., Kotzanikolaou P., Gritzalis D, “Risk assessment methodology for interdependent critical infrastructures”, *International Journal of Risk Assessment and Management* (Special Issue on Risk Analysis of Critical Infrastructures), Vol. 15, No. 2/3, pp. 128-148, 2011.
- [2] Falliere N., Murchu L. O. and Chien E., “W32.Stuxnet Dossier”, Symantec Security Response, version 1.4, February 2011.

Κεφάλαιο 7^ο: Συμπεράσματα και Μελλοντικές Κατευθύνσεις

7.1 Συνεισφορά Εργασίας

Στη διεθνή βιβλιογραφία το ευρύ φάσμα των Κρίσιμων Υποδομών μελετάται είτε συνολικά, είτε εστιάζοντας σε κάποιον συγκεκριμένο τομέα Κρίσιμων Υποδομών. Ωστόσο, παρατηρείται ελλιπής αναφορά των Κρίσιμων Πληροφοριακών Υποδομών και κατ' επέκταση του τρόπου μελέτης και αποτίμησης αυτών. Σε μια εποχή μάλιστα που ο τεχνολογικός παράγοντας κατέχει κυρίαρχη θέση, με τις απειλές και τις επιθέσεις ασφάλειας να αυξάνονται με γεωμετρικό ρυθμό, η αναγκαιότητα ύπαρξης μιας μεθοδολογίας αποτίμησης της επικινδυνότητας πιθανών περιστατικών ασφαλείας – αποτυχιών κρίνεται ακόμη πιο επιτακτική. Προς αυτήν την κατεύθυνση προσανατολίζεται η προτεινόμενη μεθοδολογία, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από την ενδεικτική μελέτη περίπτωσης που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Βασικό στοιχείο της παρούσας μεθοδολογίας αποτελεί η συμμόρφωση αυτής με το αναγνωρισμένο πρότυπο ασφάλειας ISO 27005 περί διαχείρισης επικινδυνότητας (risk management). Πιο συγκεκριμένα, όλα τα βήματα της μεθοδολογίας ακολουθούν το θεωρητικό υπόβαθρο και τις βέλτιστες πρακτικές ασφαλείας του προτύπου.

Παράλληλα, η παρούσα διπλωματική εργασία, μέσω της προτεινόμενης μεθοδολογίας, προχωρεί στην πρόταση παραμέτρων αποτίμησης της ανθεκτικότητας μιας Κρίσιμης Υποδομής, όπως είναι ο χρόνος ανάκαμψής της από μια αποτυχία και η μείωση της απόδοσής της. Η αποτίμηση σε όρους ανθεκτικότητας, έχει ως άωτερο στόχο τη λήψη προληπτικών μέτρων, με στόχο να αυξηθεί η ανθεκτικότητα, και κατά συνέπεια να μειωθεί η εναπομένουσα επικινδυνότητα.

Στόχο επίσης αποτελεί η επέκταση των μέχρι τώρα προσπαθειών για την αποτίμηση της επικινδυνότητας αποτυχίας σε Κρίσιμες και εξαρτώμενες Υποδομές, μελετώντας και τους τρεις βασικούς τύπους αποτυχιών, δηλαδή τις διαδοχικές, τις κλιμακωτές και τις κοινής αιτίας αποτυχίες. Με τον τρόπο αυτόν, επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του κάθε τύπου αποτυχίας και συνεπώς του τρόπου μελέτης και αποτίμησης αυτού. Επιπροσθέτως, μελετώνται και οι τρεις τύποι αποτυχιών έως ν-βαθμού, μέσω ημι-ποσοτικής ανάλυσης επικινδυνότητας.

Παρόλο που η μεθοδολογία βασίζεται σε προηγούμενη έρευνα και σε γράφους εξαρτήσεων πρώτης τάξης που έχουν προκύψει από αυτή, σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε οι υπάρχοντες γράφοι εξαρτήσεων να μετατρέπονται εύκολα σε αντίστοιχους γράφους αποτυχιών σε ένα επίπεδο πιο χαμηλά, αυτό της Συνιστώσας (Component Level). Στο επίπεδο αυτό, οι αποτυχίες μελετώνται με μεγαλύτερη ακρίβεια και οι τιμές της επικινδυνότητας είναι πιο ρεαλιστικές, καθώς αποτιμώνται αποτυχίες συγκεκριμένων Συνιστωσών μιας Κρίσιμης Υποδομής. Η ανάλυση γράφου αποτυχίας που πραγματοποιείται είναι βασισμένη σε σενάρια αποτυχιών και συνεπώς κάθε φορά οδηγεί σε διαφορετική κρισιμότητα για την εκάστοτε Υποδομή και κατ' επέκταση για την Κοινωνία. Η κρισιμότητα αυτή προκύπτει μελετώντας έναν ενιαίο γράφο αποτυχιών τόσο για την Κοινωνία, όσο και για την Υποδομή, ενώ καταλήγει στη δημιουργία δύο γράφων, έναν σε επίπεδο Κοινωνίας και έναν σε επίπεδο Υποδομής. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται η σύγκριση μεταξύ των δύο επιπέδων

και η καλύτερη λήψη αποφάσεων αναφορικά με τις αποτυχίες που ενδέχεται να προκαλέσουν μεγαλύτερο αντίκτυπο στην Κοινωνία, είτε άμεσα λόγω της αποτυχίας έστω της Κρίσιμης Υποδομής Α, είτε έμμεσα λόγω της αποτυχίας ενός Συνόλου Κρίσιμων Υποδομών εξαιτίας της αποτυχίας που εκδηλώθηκε στην Υποδομή Α.

Να επισημάνουμε ότι προτείνονται κατάλληλοι παράγοντες αποτίμησης του αντικτύπου και στα δύο προαναφερθέντα επίπεδα, με αποτέλεσμα οι αποτυχίες να μελετώνται, να αποτιμώνται και να μετριάζονται από την εκάστοτε Κρίσιμη Υποδομή, αλλά και από το ίδιο το Κράτος, ενώ με τη βοήθεια τόσο της απεικόνισης, όσο και του εργαλείου Matlab, κυρίως για μεγαλύτερους γράφους αποτυχιών, μπορεί να υπολογιστεί το πιο κρίσιμο και το λιγότερο αντίστοιχα κρίσιμο μονοπάτι.

Όσα προαναφέραμε συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 7-1: Πλεονεκτήματα Προτεινόμενης Μεθοδολογίας	
Υπάρχουσες Μεθοδολογίες	Προτεινόμενη Μεθοδολογία
Έμφαση στην Προστασία των Κρίσιμων Υποδομών	Έμφαση τόσο στην Προστασία όσο και στην Ανθεκτικότητα των Κρίσιμων Υποδομών
Μελέτη του Συνόλου των Κρίσιμων Υποδομών	Έμφαση στις Κρίσιμες Πληροφοριακές Υποδομές και την Επιρροή της Νέας Τεχνολογίας
Λίγη Αναφορά σε Ανάλυση Γράφου Αποτυχιών	Εκτενής Αναφορά σε Ανάλυση Γράφων Αποτυχιών και Μονοπατιών
Μελέτη Διαδοχικών Αποτυχιών	Μελέτη Διαδοχικών, Κλιμακωτών και Κοινής Αιτίας Αποτυχιών
Μελέτη Διαδοχικών Αποτυχιών n-βαθμού	Μελέτη Διαδοχικών, Κλιμακωτών και Κοινής Αιτίας Αποτυχιών n-βαθμού
Μελέτη μέχρι το Επίπεδο Υποδομής	Μελέτη μέχρι το Επίπεδο Συνιστώσας
Δημιουργία Διαφορετικού Γράφου για την Απεικόνιση της Επιρροής στην Κοινωνία	Δημιουργία ενός Ενιαίου Γράφου για τη Μελέτη της Επιρροής τόσο στην Κρίσιμη Υποδομή, όσο και στην Κοινωνία

Η προτεινόμενη μεθοδολογία απευθύνεται σε ειδικούς ασφάλειας και αποτίμησης κινδύνων στις Κρίσιμες Υποδομές.

7.2 Περιορισμοί - Μελλοντικές Προεκτάσεις

Για το σχεδιασμό και την υλοποίηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας κάναμε διάφορες παραδοχές, χωρίς βλάβη της γενικότητας, οι οποίες εισάγουν ένα βαθμό υποκειμενικότητας. Βασική παραδοχή αποτέλεσε ο υπολογισμός της επικινδυνότητας αποτυχίας σε επίπεδο Κοινωνίας, ο οποίος πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του σταθμισμένου αθροίσματος και την επιλογή ενδεικτικών βαρών. Ωστόσο, ο προτεινόμενος γενικός τύπος υπολογισμού της επικινδυνότητας δεν περιορίζει την επιλογή οποιουδήποτε συνδυασμού βαρών από τους ειδικούς ασφάλειας. Επιπλέον, οι σχέσεις που προτάθηκαν για τον υπολογισμό της επικινδυνότητας αποτυχίας, ανά κατηγορία αποτυχίας, εισάγουν ένα βαθμό πολυπλοκότητας, καθώς θα πρέπει για κάθε αποτυχία που εκδηλώνεται λόγω εξαρτήσεων να υπολογιστεί ο αντίστοιχος βαθμός επικινδυνότητας.

Ενδεικτικές προτάσεις για μελλοντική έρευνα αποτελούν η αυτοματοποίηση του υπολογισμού των επικινδυνότητων αποτυχίας, ανά κατηγορία αποτυχίας, λαμβάνοντας υπόψη διάφορα σενάρια αποτυχίας στον υπό εξέταση γράφο εξαρτήσεων. Θα μπορούσαν επιπροσθέτως να χρησιμοποιηθούν αλγόριθμοι ανάλυσης γράφων προκειμένου να εντοπίζεται, όχι μόνο το πιο κρίσιμο μονοπάτι, αλλά και εναλλακτικά μονοπάτια, τα οποία θα μετριάζουν την επικινδυνότητα όλου του μονοπατιού, αλλά και της κάθε Συνιστώσας ξεχωριστά.