

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Υβριδική Μεθοδολογία Ανάλυσης και Εκτίμησης Ρίσκου στην Ασφάλεια και Υγεία στην Εργασία με Συνδυασμό Στοχαστικών και Αιτιοκρατικών Προσεγγίσεων: Μελέτη Περίπτωσης σε Εργοστάσιο Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας Συνδυασμένου Κύκλου (CCPP) μέσω Risk Matrix–HAZOP.

Ηλιοπούλου Θέμις

A.M.: 163980

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2026

Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάστηκε από την

Ηλιοπούλου Θέμιδα
Α.Μ.: 163980

τον Σεπτέμβριο 2026

Εξεταστική Επιτροπή:

Μαρχαβίλας Παναγιώτης, Επιβλέπων Καθηγητής Α΄

Τσινόπουλος Στέφανος, Επιβλέπων Καθηγητής Β΄

Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Σχολή Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας

Διαχείριση Τεχνικών Έργων

Ον/μο: Ηλιοπούλου Θέμις

© 2025-2026 – Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος

- Το σύνολο της εργασίας αποτελεί πρωτότυπο έργο, παραχθέν από την Ηλιοπούλου Θέμιδα και δεν παραβιάζει δικαιώματα τρίτων καθ' οιονδήποτε τρόπο.
- Υλικό που περιέχεται στην εργασία, το οποίο δεν έχει παραχθεί από τον ίδιο, είναι ευδιάκριτο και αναφέρεται ρητώς εντός του κειμένου της εργασίας ως προϊόν εργασίας τρίτου, σημειώνοντας με παρομοίως σαφή τρόπο τα στοιχεία ταυτοποίησής του, ενώ παράλληλα βεβαιώνεται πως στην περίπτωση χρήσης αυτούσιων γραφικών αναπαραστάσεων, εικόνων, γραφημάτων κλπ., ο συγγραφέας έχει λάβει τη χωρίς περιορισμούς άδεια του κατόχου των πνευματικών δικαιωμάτων για τη συμπερίληψη και επακόλουθη δημοσίευση του υλικού αυτού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας δεν υποδηλώνει την αποδοχή των γνώμών του συγγραφέα. Κατά τη συγγραφή τηρήθηκαν οι αρχές της ακαδημαϊκής δεοντολογίας.

Πρόλογος-Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών Διαχείριση Τεχνικών Έργων της σχολής Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας του ΕΑΠ το ακαδημαϊκό έτος 2025-2026. Από τη θέση αυτή, επιθυμώ να ευχαριστήσω θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου, κ. Μαρχαβίλα Παναγιώτη, που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο, τη εκτίμηση ρίσκου στην εργασία και για την συνεχή βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε στην εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συναδέλφους μου, Πολιτικούς Μηχανικούς, Τεχνικούς Ασφαλείας και Συντονιστές Ασφάλειας & Υγείας, για τις πρόσθετες πληροφορίες σχετικές με την αξιολόγηση ρίσκου καθώς και για την παροχή ουσιαστικών πληροφοριών, οι οποίες συνέβαλαν καθοριστικά στη διαμόρφωση του ερωτηματολογίου της παρούσας έρευνας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω το σύνολο του προσωπικού του εργοταξίου, και ειδικότερα τους εργοδηγούς, τους χειριστές μηχανημάτων, τους τεχνίτες, τους βοηθούς και τους εργάτες, για τη συνεργασία, τη διαθεσιμότητα και τη σημαντική συνεισφορά τους στη συλλογή και τεκμηρίωση των δεδομένων, καθώς και για την ενεργή συμμετοχή τους στην ερευνητική διαδικασία, η οποία υπήρξε καθοριστική για την ολοκλήρωση της παρούσας έρευνας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους αγαπημένους μου φίλους και να αναφέρω ότι για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας συνέβαλαν θετικά με την συμπαράσταση τους όλον αυτόν τον καιρό.

Περίληψη

Η διασφάλιση ασφαλών συνθηκών εργασίας αποτελεί θεμελιώδη προϋπόθεση για την προστασία της υγείας και της ευημερίας των εργαζομένων, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα υψηλής επικινδυνότητας όπως τα εργοτάξια μεγάλων ενεργειακών έργων. Η πολυπλοκότητα των τεχνικών δραστηριοτήτων, η ταυτόχρονη εκτέλεση εργασιών από διαφορετικές ειδικότητες και η δυναμική μεταβολή των συνθηκών στο πεδίο καθιστούν αναγκαία την εφαρμογή αξιόπιστων μεθοδολογιών αναγνώρισης, εκτίμησης και ιεράρχησης κινδύνου.

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην ανάλυση και εκτίμηση επαγγελματικού κινδύνου σε εργοτάξιο Μονάδας Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας Συνδυασμένου Κύκλου (Combined Cycle Power Plant – CCPP), μέσω υβριδικής προσέγγισης, συνδυασμού ημι-ποσοτικών και αιτιοκρατικών μεθόδων. Στόχος είναι η συστηματική αναγνώριση και αξιολόγηση των κινδύνων που συνδέονται με κρίσιμες εργασίες κατασκευής, καθώς και η ανάπτυξη προτάσεων βελτίωσης με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιήθηκε μέσω δομημένου ερωτηματολογίου προς εργαζομένους διαφορετικών επαγγελματικών ομάδων και ιεραρχικών επιπέδων. Από το σύνολο 105 συμμετεχόντων, οι εργαζόμενοι κατηγοριοποιήθηκαν σε εργατικό προσωπικό, μηχανικούς, τεχνικούς ασφάλειας και λοιπό/βοηθητικό προσωπικό, επιτρέποντας τη συγκριτική αποτύπωση της αντίληψης κινδύνου ανά ομάδα.

Στη συνέχεια, τα δεδομένα αξιοποιήθηκαν για την ανάπτυξη πινάκων ρίσκου/επικινδυνότητας (Risk Matrices) στο περιβάλλον RStudio, μέσω της εκτίμησης πιθανότητας εμφάνισης (Likelihood) και σοβαρότητας συνεπειών (Severity). Παράλληλα, εφαρμόστηκε η μεθοδολογία HAZOP (Hazard and Operability Study) μέσω του λογισμικού PHAWorks RA Edition, με σκοπό τη συστηματική διερεύνηση αποκλίσεων, αιτιών, συνεπειών και υφιστάμενων μέτρων προστασίας (safeguards) για τις κρίσιμες εργασίες του εργοταξίου. Ο υβριδικός συνδυασμός Risk Matrix & HAZOP επέτρεψε τόσο την ιεράρχηση των κινδύνων όσο και την τεχνικά τεκμηριωμένη ανάλυση σεναρίων αστοχίας, ενισχύοντας τη στοχευμένη πρόληψη.

Συνολικά, η μελέτη συμβάλλει σε ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο εκτίμησης κινδύνου για εργοτάξια ενεργειακών έργων, υποστηρίζοντας την αποτροπή ατυχημάτων μέσω πρακτικών συστάσεων για την ενίσχυση των προληπτικών μέτρων, τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της εκπαίδευσης και την ενδυνάμωση της κουλτούρας ασφάλειας και υγείας στην εργασία.

Λέξεις-κλειδιά: Εκτίμηση κινδύνου, Εργοτάξιο, CCPP, Risk Matrix, HAZOP, PHAWorks RA Edition, Ασφάλεια και Υγεία στην Εργασία.



MASTER'S THESIS

Hybrid Methodology for Risk Analysis and Assessment in Occupational Safety and Health Combining Stochastic and Deterministic Approaches: A Case Study at a Combined Cycle Power Plant (CCPP) Construction Site Using Risk Matrix–HAZOP.

Iliopoulou Themis

Examination Committee:

Marhavalas Panagiotis, Supervisor Professor A

Tsinopoulos Stefanos, Supervisor Professor B

Abstract

Ensuring safe working conditions is a fundamental prerequisite for protecting workers' health and well-being, particularly in high-risk environments such as construction sites of large-scale energy projects. The complexity of technical activities, the simultaneous execution of tasks by multiple disciplines, and the continuously changing conditions in the field make it essential to apply reliable methodologies for hazard identification, risk assessment, and risk prioritization.

This Master's thesis focuses on the analysis and assessment of occupational risk at the construction site of a Combined Cycle Power Plant (CCPP), via a hybrid approach combining semi-quantitative and deterministic methods. The main objective of the study is the systematic identification and evaluation of hazards associated with critical construction and installation activities, as well as the development of improvement measures based on the assessment outcomes.

Primary data were collected through a structured questionnaire distributed to workers from different occupational groups and hierarchical levels. A total of 105 employees participated in the survey and were classified into four categories: labor personnel, engineers, safety technicians, and auxiliary/support staff, enabling a comparative depiction of risk perception across groups.

Subsequently, the collected data were used to develop risk matrices in RStudio, based on the estimation of accident likelihood and consequence severity. In parallel, the HAZOP (Hazard and Operability Study) methodology was applied using the PHAWorks RA Edition software to systematically examine deviations, causes, consequences, and existing safeguards for critical construction activities. The hybrid combined application of Risk Matrix and HAZOP enabled both risk ranking and a technically structured analysis of failure scenarios, strengthening the basis for targeted preventive actions.

Overall, the study contributes to a comprehensive risk assessment framework for construction sites in energy projects, supporting accident prevention through practical recommendations for enhancing preventive measures, improving training effectiveness, and strengthening occupational safety and health culture.

Keywords: Risk assessment, Construction site, CCPP, Risk matrix, HAZOP, PHAWorks RA Edition, Occupational safety and health.

Περιεχόμενα

<i>Πρόλογος-Ευχαριστίες</i>	<i>i</i>
<i>Περίληψη</i>	<i>iii</i>
<i>Abstract</i>	<i>vii</i>
<i>Περιεχόμενα</i>	<i>ix</i>
<i>Ενρετήριο Σχημάτων</i>	<i>xiii</i>
<i>Ενρετήριο Πινάκων</i>	<i>xv</i>
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΓΕΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ – ΣΗΜΑΣΙΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ & ΥΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΡΓΑΣΙΑ	1
1.2 ΑΝΑΓΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	1
1.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑ – ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΚΕΝΟ – ΠΡΩΤΟΤΥΠΙΑ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	2
1.4 ΣΥΝΤΟΜΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	3
1.5 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	5
1.6 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	6
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	8
2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ: HAZARD, RISK ΚΑΙ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΣ.....	8
2.2 ISO 31000: ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	9
2.2.1 <i>Αρχές (Principles)</i>	9
2.2.2 <i>Οργανωτικό πλαίσιο εφαρμογής (Framework)</i>	10
2.2.3 <i>Διαδικασία (Process) Scope – Context – Criteria</i>	10
2.3 ISO 45001: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ & ΥΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΡΓΑΣΙΑ	11
2.3.1 <i>Σκοπός και λειτουργία</i>	11
2.3.2 <i>Εφαρμογή σε ενεργειακά εργοτάξια (CCPP)</i>	11
2.3.3 <i>Σύνδεση ISO 45001 με Risk Matrix και HAZOP</i>	11
2.4 ΗΜΙ-ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΕΣΩ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ- ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑΣ (LIKELIHOOD–SEVERITY) ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ (RISK RANKING)	13
2.4.1 <i>Ορισμός επιπέδων πιθανότητας (Likelihood Levels)</i>	13

2.4.2	Ορισμός επιπέδων σοβαρότητας (Severity/Consequence Levels).....	14
2.4.3	Δείκτης κινδύνου (Risk Score) και κατάταξη σημαντικότητας κινδύνου (Risk Ranking) .	15
2.6	ΠΙΝΑΚΑΣ ΡΙΣΚΟΥ (RISK MATRIX): ΔΟΜΗ, ΧΡΗΣΗ ΣΤΟ ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ..	17
2.6.1	Εφαρμογή σε κρίσιμες εργοταξιακές εργασίες	17
2.6.2	Περιορισμοί και ανάγκη συμπληρωματικής αιτιοκρατικής ανάλυσης	18
2.7	HAZOP (HAZARD AND OPERABILITY STUDY) – ΑΙΤΙΟΚΡΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ ΚΑΙ	
	ΕΝΙΣΧΥΣΗ RISK ASSESSMENT	18
2.7.1	Βασική δομή και στάδια της HAZOP	18
2.7.2	Guidewords και παραγωγή deviations	21
2.7.3	Safeguards και Recommendations: από την καταγραφή στην πρόληψη	21
2.7.4	HAZOP: περιορισμοί και εξέλιξη προς αυτοματοποίηση.....	22
2.7.5	Προσαρμογή ανάλυσης HAZOP σε εργοτάξιο μονάδας CCPP.....	23
2.8	ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΑ ΓΙΑ ΥΓΕΙΑ & ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΕ ΕΡΓΟΤΑΞΙΑ (ΕΛΛΑΔΑ) .	24
2.9	ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΙΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ (EU-OSHA/OSHWIKI) ΓΙΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΕΣ	
	ΕΡΓΟΤΑΞΙΑΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΟΥ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ	26
2.9.1	Σκοπός κεφαλαίου και λογική αντιστοίχισης.....	26
2.9.2	Χωματουργικές εργασίες	26
2.9.3	Ανύψωση / Μεταφορά φορτίων.....	27
2.9.4	Χειρισμός μηχανημάτων / οχημάτων.....	28
2.9.5	Εργασία σε ύψος	28
2.9.6	Χημικές ουσίες / Εύφλεκτα υλικά	29
2.9.7	Θερμές εργασίες / Ηλεκτροσυγκολλήσεις.....	30
2.9.8	Χρήση εργοταξιακού εξοπλισμού.....	30
2.9.9	Ηλεκτρολογικές εργασίες.....	31
2.9.10	Συνοπτικός Πίνακας αντιστοίχισης των 8 εργασιών (EU-OSHA σημείο αναφοράς)	32
2.9.11	Συμπέρασμα και σύνδεση με τα επόμενα κεφάλαια	33
3.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	34
3.1	ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	34
3.1.1	Σκοπός του ερωτηματολογίου.....	34
3.1.2	Δομή του ερωτηματολογίου	34

3.1.3	Μεθοδολογία συλλογής δεδομένων	36
3.1.4	Κατηγοριοποίηση συμμετεχόντων	37
3.1.5	Επεξεργασία, καθαρισμός και κωδικοποίηση δεδομένων.....	37
3.1.6	Οπτική απεικόνιση του ερωτηματολογίου.....	38
3.2	ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ: RISK MATRIX (RSTUDIO) ΚΑΙ HAZOP (PHAWORKS)	38
3.2.1	Σκοπός και λογική συνδυασμού.....	38
3.2.2	Διαδικασία εφαρμογής Πίνακα Ρίσκου (Risk Matrix)	38
3.2.3	Υλοποίηση του Πίνακα Ρίσκου (Risk Matrix) σε RStudio	39
3.2.4	Υλοποίηση της HAZOP σε Phaworks RA Edition	39
3.2.5	Επιλογή εργασιών και ορισμός nodes.....	40
3.2.6	Guidewords και αναγνώριση αποκλίσεων.....	40
3.2.7	Καταγραφή αποτελεσμάτων σε HAZOP worksheet	42
4.	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	44
4.1	ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	44
4.2	ΔΕΙΓΜΑ ΚΑΙ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ.....	44
4.3	ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΕΣΩ ΤΟΥ 5×5 ΠΙΝΑΚΑ ΡΙΣΚΟΥ	46
4.4	ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΙΝΑΚΩΝ ΡΙΣΚΟΥ ΑΝΑ ΕΡΓΑΣΙΑ (ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ)	47
4.4.1	Πίνακες Ρίσκου – Χωματουργικές εργασίες	47
4.4.2	Πίνακες Ρίσκου – Ανύψωση / Μεταφορά φορτίων.....	48
4.4.3	Πίνακες Ρίσκου – Χειρισμός μηχανημάτων / οχημάτων.....	49
4.4.4	Πίνακες Ρίσκου – Εργασία σε ύψος	50
4.4.5	Πίνακες Ρίσκου – Χημικές ουσίες / Εύφλεκτα υλικά	51
4.4.6	Πίνακες Ρίσκου – Θερμές εργασίες / Ηλεκτροσυγκολήσεις.....	52
4.4.7	Πίνακες Ρίσκου – Χρήση εργοταξιακού εξοπλισμού.....	53
4.4.8	Πίνακες Ρίσκου – Ηλεκτρολογικές εργασίες.....	54
4.5	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ	55
4.6	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΑΝΑ ΕΡΓΑΣΙΑ.....	56
4.7	ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΚΡΙΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ BUBBLE CHARTS	62
4.8	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΕΣΩ HEAT MAPS	64

4.9	ΙΕΡΑΡΧΗΣΗ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΒΑΣΕΙ ΠΟΣΟΣΤΟΥ HIGH + CRITICAL	67
4.10	ΑΙΤΙΟΚΡΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ HAZOP	69
4.10.1	Σκοπός	69
4.10.2	Επιλογή εργασιών για HAZOP	70
4.10.2.1	Εργασία σε ύψος	70
4.10.2.2	Ανύψωση και μεταφορά φορτίων	70
4.10.2.3	Χημικές ουσίες / Εύφλεκτα υλικά	71
4.10.2.4	Ηλεκτρολογικές εργασίες	71
4.11	ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ	72
4.11.1.1	Heat Maps εμπειρίας ατυχημάτων	72
4.11.1.2	Heat Maps προτεινόμενων ενεργειών πρόληψης & ανάλυση συχνότητων	75
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	78
5.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	78
5.2	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	80
5.3	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	82
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		83
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ		91

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1 Αρχές- Πλαίσιο–Διαδικασία διαχείρισης κινδύνου.	9
Σχήμα 2 ISO 31000 “Risk management process”.	10
Σχήμα 3 Σύγκριση μείωσης τραυματισμών: Πρότυπο ISO 45001 έναντι Παλαιού Προτύπου OHSAS 18001. Πηγή: (Alshreef, 2025).	12
Σχήμα 4 Περιφερειακή υιοθέτηση του ISO 45001.	12
Σχήμα 5 Διαδικασία εφαρμογής HAZOP.	19
Σχήμα 6 Διαδικασία εφαρμογής HAZOP (Khan and Abbasi, 1997).	20
Σχήμα 7 HAZOP framework: μετάβαση από συμβατικές σε αυτοματοποιημένες διαδικασίες. Πηγή: (Elhosary & Moselhi, 2024).	22
Σχήμα 8 Ταξινόμηση τεχνικών reasoning στη μελέτη HAZOP.	23
Σχήμα 9 Κύκλος συνεχούς βελτίωσης PDCA στο ISO 45001:2018.	25
Σχήμα 10 Συνολικός Αριθμός Εργαζομένων που απάντησαν στο ερωτηματολόγιο.	45
Σχήμα 11 Ποσοστιαία Συμμετοχή Εργαζομένων που απάντησαν στο ερωτηματολόγιο.	45
Σχήμα 12 Risk Matrices Χωματουργικές Εργασίες ανά κατηγορία προσωπικού.	47
Σχήμα 13 Risk Matrices Ανύψωση/Μεταφορά Φορτίων ανά κατηγορία προσωπικού.	48
Σχήμα 14 Risk Matrices Χειρισμός μηχανημάτων/οχημάτων ανά κατηγορία προσωπικού.	49
Σχήμα 15 Risk Matrices Εργασία σε ύψος ανά κατηγορία προσωπικού.	50
Σχήμα 16 Risk Matrices Χημικές ουσίες / Εύφλεκτα υλικά ανά κατηγορία προσωπικού.	51
Σχήμα 17 Risk Matrices Θερμές εργασίες / Ηλεκτροσυγκολλήσεις ανά κατηγορία προσωπικού52	
Σχήμα 18 Risk Matrices Χρήση εργοταξιακού εξοπλισμού ανά κατηγορία προσωπικού.	53
Σχήμα 19 Risk Matrices Ηλεκτρολογικές εργασίες ανά κατηγορία προσωπικού.	54
Σχήμα 20 Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά κατηγορία προσωπικού.	55
Σχήμα 21 Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία & Εργατικό Προσωπικό (100% stacked).	57

Σχήμα 22 Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία & Λοιποί/ Βοηθητικό Προσωπικό (100% stacked).	59
Σχήμα 23 Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία & Μηχανικοί (100% stacked).	60
Σχήμα 24 Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία και Τεχνικοί Ασφαλείας (100% stacked).	61
Σχήμα 25 Bubble Chart-Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία στο Εργατικό Προσωπικό.	62
Σχήμα 26 Bubble Chart-Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία στο Βοηθητικό Προσωπικό.	63
Σχήμα 27 Bubble Chart-Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία στους Μηχανικούς.	63
Σχήμα 28 Bubble Chart-Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία στους Τεχνικούς Ασφαλείας. ...	64
Σχήμα 29 Heat Map-Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία στο Εργατικό Προσωπικό.	65
Σχήμα 30 Heat Map-Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία στο Βοηθητικό Προσωπικό.	65
Σχήμα 31 Heat Map-Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία στους Μηχανικούς.	66
Σχήμα 32 Heat Map-Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία στους Τεχνικούς Ασφαλείας.	66
Σχήμα 33 Bar List-Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία στο Εργατικό Προσωπικό.	67
Σχήμα 34 Bar List-Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία στο Βοηθητικό Προσωπικό.	68
Σχήμα 35 Bar List-Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία στους Μηχανικούς.	68
Σχήμα 36 Bar List-Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία στους Τεχνικούς Ασφαλείας.	69
Σχήμα 37 Heat Map Ατυχημάτων-Εργατικό Προσωπικό	74
Σχήμα 38 Heat Map Ατυχημάτων-Λοιποί / Βοηθητικό Προσωπικό	74
Σχήμα 39 Heat Map Ατυχημάτων-Μηχανικοί	75
Σχήμα 40 Heat Map Ατυχημάτων-Τεχνικοί Ασφαλείας	75
Σχήμα 41 Heat map ενεργειών πρόληψης.	76
Σχήμα 42 Πλήθος ενεργειών πρόληψης ανά Κατηγορία Προσωπικού (100% stacked).	76
Σχήμα 43 Ενέργειες Πρόληψης όλου του προσωπικού (100% stacked).	77

Ευρετήριο Πινάκων

<i>Πίνακας 1 Κλίμακα πιθανότητας εμφάνισης (Typical Likelihood Levels and Descriptions).....</i>	<i>14</i>
<i>Πίνακας 2 Κλίμακα σοβαρότητας συνεπειών (Typical Severity Levels and Descriptions).....</i>	<i>15</i>
<i>Πίνακας 3 Risk Matrix ($R = P \times S$) & Πίνακας λήψης αποφάσεων.....</i>	<i>16</i>
<i>Πίνακας 4 Κατηγορίες σημαντικότητας κινδύνου (Risk importance categories, $R = P \times S$).....</i>	<i>16</i>
<i>Πίνακας 5 Guidewords HAZOP και ερμηνεία τους. Πηγή: (Crawley & Tyler, 2015).</i>	<i>21</i>
<i>Πίνακας 6 Αντιστοίχιση εργοταξιακών εργασιών με EU-OSHA/OSHWiki κινδύνους και ενδεικτικά controls.</i>	<i>32</i>
<i>Πίνακας 7 Πίνακας λήψης αποφάσεων</i>	<i>46</i>
<i>Πίνακας 8 Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά κατηγορία προσωπικού.....</i>	<i>56</i>
<i>Πίνακας 9 Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία & Εργατικό Προσωπικό.</i>	<i>58</i>
<i>Πίνακας 10 Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία & Λοιποί/ Βοηθητικό Προσωπικό.</i>	<i>59</i>
<i>Πίνακας 11 Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία & Μηχανικοί.....</i>	<i>60</i>
<i>Πίνακας 12 Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία και Τεχνικοί Ασφαλείας.....</i>	<i>61</i>

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ – ΣΗΜΑΣΙΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ & ΥΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η διασφάλιση ασφαλών συνθηκών εργασίας αποτελεί βασική προϋπόθεση για την προστασία της υγείας και της ευημερίας των εργαζομένων, καθώς και για τη βιώσιμη υλοποίηση τεχνικών έργων υψηλής πολυπλοκότητας. Τα εργοτάξια μεγάλων ενεργειακών έργων χαρακτηρίζονται από αυξημένη επικινδυνότητα, λόγω της ταυτόχρονης εκτέλεσης πολλαπλών εργασιών από διαφορετικές ειδικότητες, της χρήσης βαρέος μηχανολογικού εξοπλισμού, της εργοταξιακής κυκλοφορίας οχημάτων, καθώς και της δυναμικής μεταβολής των εργασιακών συνθηκών σε καθημερινή βάση.

Η ανάγκη για συστηματική διαχείριση κινδύνων είναι ιδιαίτερα έντονη σε έργα που αφορούν εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς περιλαμβάνουν κρίσιμες δραστηριότητες, όπως ανυψώσεις φορτίων, εργασίες σε ύψος, ηλεκτρολογικές εργασίες, θερμές εργασίες και σύνθετες ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις. Σε αυτά τα περιβάλλοντα, η εκτίμηση επαγγελματικού κινδύνου δεν αποτελεί απλώς τυπική συμμόρφωση, αλλά μια αναγκαία τεχνική διαδικασία πρόληψης που συμβάλλει στη μείωση ατυχημάτων, στη βελτίωση της λειτουργικής απόδοσης και στην ενίσχυση της κουλτούρας ασφάλειας.

1.2 ΑΝΑΓΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Η εκτίμηση κινδύνου (risk assessment) στηρίζεται στη βασική διάκριση μεταξύ της έννοιας του “hazard” και του “risk”. Ο όρος hazard «κίνδυνος» περιγράφει μια επικίνδυνη κατάσταση ή ιδιότητα με δυνατότητα πρόκλησης βλάβης, ανθρώπινο τραυματισμό, ζημιές σε περιουσία, ζημιές στο περιβάλλον ή έναν συνδυασμό αυτών, ενώ ο όρος risk «ρίσκο»

αποτυπώνει την πιθανότητα εκδήλωσης ενός ανεπιθύμητου γεγονότος μέσα σε μια καθορισμένη χρονική περίοδο ή υπό συγκεκριμένες συνθήκες (Crawley & Tyler, 2015).

Στην πράξη, η αξιολόγηση επαγγελματικού κινδύνου απαιτεί εφαρμογή μεθόδων που μπορούν να αποτυπώσουν τόσο το επίπεδο επικινδυνότητας, όσο και τα τεχνικά σενάρια αστοχίας που οδηγούν σε ατυχήματα ή συμβάντα. Τα εργοτάξια παρουσιάζουν σημαντική πρόκληση ως προς την αξιολόγηση κινδύνου, καθώς οι εργασίες είναι πολυσύνθετες και μεταβαλλόμενες, ενώ συχνά συνυπάρχουν παράγοντες που σχετίζονται με τον εξοπλισμό, τον ανθρώπινο παράγοντα, την οργάνωση εργασίας, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και την ταυτόχρονη δραστηριοποίηση πολλών ομάδων.

Για τον λόγο αυτό, η τεχνική τεκμηρίωση και η αξιοποίηση μεθοδολογιών διεθνών προτύπων αποτελούν κρίσιμη παράμετρο για την εγκυρότητα της εκτίμησης κινδύνου και την αποτελεσματικότητα των προτεινόμενων μέτρων.

1.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑ – ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΚΕΝΟ – ΠΡΩΤΟΤΥΠΙΑ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η εκτίμηση επαγγελματικού ρίσκου στην Ασφάλεια και Υγεία στην Εργασία (ΑΥΕ) είναι κρίσιμη για την πρόληψη ατυχημάτων, ιδιαίτερα σε δυναμικά περιβάλλοντα όπως τα εργοτάξια ενεργειακών έργων, όπου οι κίνδυνοι μεταβάλλονται συνεχώς λόγω ανθρώπινου παράγοντα, εξοπλισμού, περιβάλλοντος και οργανωσιακών διεπαφών (ISO, 2018; Marhavilas, 2015). Στην πράξη, η ιεράρχηση γίνεται συχνά με ημι-ποσοτικά εργαλεία όπως οι Πίνακες Ρίσκου (Risk Matrices), οι οποίοι είναι εύχρηστοι αλλά έχουν γνωστούς περιορισμούς στη συνέπεια και στη διακριτική ικανότητα, ειδικά όταν η αβεβαιότητα είναι υψηλή (Cox, 2008). Αντίθετα, δομημένες αιτιοκρατικές τεχνικές όπως η HAZOP παρέχουν συστηματική διερεύνηση αποκλίσεων από την “πρόθεση” (intention), εντοπίζοντας αιτίες, συνέπειες και μέτρα πρόληψης.

Το ερευνητικό κενό που αναδεικνύεται αφορά τη συστηματική ενοποίηση της στοχαστικής/ημι-ποσοτικής λειτουργικής ιεράρχησης των κινδύνων με την αιτιοκρατική ανάλυση σεναρίων (με έμφαση σε μηχανισμούς, αιτίες και δικλείδες), ώστε να υποστηρίζονται τεκμηριωμένες αποφάσεις προτεραιοποίησης μέτρων στην ΑΥΕ.

Η πρωτοτυπία της παρούσας διπλωματικής έγκειται στην ανάπτυξη και εφαρμογή μίας υβριδικής μεθοδολογίας, μέσω Risk Matrix – HAZOP. Συγκεκριμένα, ο Risk Matrix

αξιοποιείται ως εργαλείο συνεπούς κατάταξης/ιεράρχησης των κινδύνων και προτεραιοποίησης παρεμβάσεων (πιθανότητα/συχνότητα $\times$ σοβαρότητα), ενώ στη συνέχεια η HAZOP εφαρμόζεται ως δομημένο εργαλείο παραγωγής και τεκμηρίωσης σεναρίων αποκλίσεων, αναδεικνύοντας αιτίες, συνέπειες και δικλείδες ασφαλείας, ώστε η ιεράρχηση να στηρίζεται σε τεχνικά τεκμηριωμένη αιτιοκρατική ανάλυση (IEC, 2016; Marhavalas, 2015).

Επιπλέον, η εργασία ενισχύει την τεκμηρίωση της υβριδικής αξιολόγησης μέσω πρωτογενούς συλλογής δεδομένων από ενεργό προσωπικό που συμμετέχει στη λειτουργία του εργοταξίου. Το ερωτηματολόγιο σχεδιάστηκε ώστε οι απαντήσεις να μπορούν να κωδικοποιηθούν και να αποκωδικοποιηθούν συστηματικά, επιτρέποντας συνεπή ομαδοποίηση μεταβλητών, επεξεργασία και αναπαραγωγιμότητα της ανάλυσης. Με τον τρόπο αυτό, τα αποτελέσματα της Risk Matrix βασίζονται και υποστηρίζονται από εμπειρικά δεδομένα πεδίου.

1.4 ΣΥΝΤΟΜΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Η επιστημονική βιβλιογραφία για την εκτίμηση ρίσκου στην Ασφάλεια και Υγεία στην Εργασία (ΑΥΕ) περιγράφει ένα ευρύ φάσμα μεθοδολογικών προσεγγίσεων, οι οποίες διακρίνονται σε ποιοτικές, ημι-ποσοτικές και ποσοτικές/στοχαστικές τεχνικές, ενώ παράλληλα έχουν αναπτυχθεί υβριδικά σχήματα που συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα διαφορετικών κατηγοριών μεθόδων (Marhavalas, 2015; Cui et al., 2012; Zheng & Liu, 2009; Soares & Teixeira, 2001). Οι σύγχρονες προσεγγίσεις στη διαχείριση κινδύνου ενσωματώνουν επίσης διαδικασίες αυτοματισμού, ασαφούς λογικής και πολυκριτηριακής λήψης αποφάσεων (MCDM), ενισχύοντας τη δυνατότητα αντιμετώπισης της αβεβαιότητας σε πολύπλοκα και δυναμικά εργασιακά περιβάλλοντα (Marhavalas et al., 2019; 2020a; 2021; Gul & Ak, 2018; Gul, 2019, 2020). Παράλληλα, τα διεθνή πρότυπα risk management και συστημάτων ΑΥΕ υπογραμμίζουν την ανάγκη για μια συστηματική διαδικασία που περιλαμβάνει αναγνώριση κινδύνων, αξιολόγηση, καθορισμό μέτρων ελέγχου και συνεχή αναθεώρηση και βελτίωση των διαδικασιών (ISO, 2018).

Στο πλαίσιο των ημι-ποσοτικών μεθόδων, οι Risk Matrices αποτελούν μία από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές ιεράρχησης κινδύνων, βασιζόμενες στον συνδυασμό πιθανότητας/συχνότητας και σοβαρότητας των συνεπειών. Παρότι η χρήση τους είναι διαδεδομένη λόγω της απλότητας και της πρακτικότητάς τους, στη βιβλιογραφία έχουν αναδειχθεί σημαντικοί περιορισμοί, όπως η υποκειμενικότητα στον καθορισμό των κλιμάκων και οι πιθανές ασυνέπειες στην κατάταξη διαφορετικών σεναρίων κινδύνου (Cox, 2008). Από την άλλη πλευρά, η HAZOP αποτελεί μια καθιερωμένη δομημένη τεχνική συστηματικής αναγνώρισης κινδύνων, η οποία βασίζεται στη χρήση λέξεων-οδηγών και στη διερεύνηση αποκλίσεων από την πρόθεση σχεδιασμού ή λειτουργίας, με στόχο τον προσδιορισμό σεναρίων, αιτιών, συνεπειών και υφιστάμενων μέτρων ελέγχου (IEC, 2016; Baybutt, 2015; Basheer et al., 2019). Ωστόσο, παρά την αποτελεσματικότητά της, έχουν επίσης επισημανθεί περιορισμοί που σχετίζονται με την πολυπλοκότητα εφαρμογής και την εξάρτηση από την εμπειρία των συμμετεχόντων.

Η ανάγκη για συνδυασμό της λειτουργικής ιεράρχησης κινδύνων με την αιτιοκρατική κατανόηση των μηχανισμών που τους προκαλούν έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη υβριδικών προσεγγίσεων, οι οποίες συνδυάζουν διαφορετικές μεθοδολογίες σε ενιαία πλαίσια ανάλυσης. Οι προσεγγίσεις αυτές είναι ιδιαίτερα χρήσιμες σε δυναμικά και μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα, όπως τα εργοτάξια, όπου οι συνθήκες εργασίας μεταβάλλονται συνεχώς και η αβεβαιότητα είναι αυξημένη (Marhavilas, 2015; Marhavilas et al., 2020b; 2022). Σε αυτό το πλαίσιο, η βιβλιογραφία δείχνει μια γενικότερη τάση προς πολυμεθοδολογικές προσεγγίσεις που ενσωματώνουν διαφορετικά εργαλεία ανάλυσης κινδύνου, προκειμένου να επιτευχθεί πιο ολοκληρωμένη και αξιόπιστη αξιολόγηση.

Επιπλέον, οι σύγχρονες μεθοδολογίες τείνουν να συνδυάζουν εργαλεία όπως FTA, FMEA, fuzzy λογική και MCDM τεχνικές, δημιουργώντας πιο ολοκληρωμένα συστήματα εκτίμησης κινδύνου που μπορούν να διαχειριστούν την αβεβαιότητα και την πολυπλοκότητα των πραγματικών συνθηκών εργασίας. Η ενσωμάτωση αυτών των προσεγγίσεων έχει οδηγήσει σε πιο σύνθετα και υβριδικά μοντέλα ανάλυσης, τα οποία υπερβαίνουν τους περιορισμούς των μεμονωμένων μεθόδων και επιτρέπουν πιο ολιστική αξιολόγηση της επικινδυνότητας. (Gul & Guneri, 2016; Guo & Kang, 2015; Fuentes-Bargues et al., 2017; Marhavilas et al., 2020c; Cui et al., 2012; Nemet et al., 2017)

Παρά τη σημαντική πρόοδο στη βιβλιογραφία, στην παρούσα ανασκόπηση δεν εντοπίζεται μια τυποποιημένη, ενιαία και ολοκληρωμένη “end-to-end” μεθοδολογική ροή για εργοταξιακές εργασίες σε CCPP, η οποία να συνδέει συστηματικά πρωτογενή δεδομένα πεδίου (ερωτηματολόγια), με ιεράρχηση κινδύνων μέσω Risk Matrix και στη συνέχεια με εφαρμογή της HAZOP για τη λεπτομερή διερεύνηση αποκλίσεων, αιτιών, συνεπειών και μέτρων ελέγχου. Η απουσία ενός τέτοιου ολοκληρωμένου πλαισίου αναδεικνύει ένα σαφές ερευνητικό κενό, στο οποίο εστιάζει η παρούσα εργασία.

1.5 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση και εκτίμηση επαγγελματικού κινδύνου σε εργοτάξιο μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδυασμένου κύκλου (CCPP), μέσω της εφαρμογής υβριδικής μεθοδολογίας, συνδυασμού ημι-ποσοτικών και δομημένων αιτιοκρατικών μεθόδων.

Οι κύριοι στόχοι της εργασίας συνοψίζονται ως εξής:

- Καταγραφή και κατηγοριοποίηση των επικινδύνων εργασιών που εκτελούνται στο εργοτάξιο.
- Συλλογή δεδομένων μέσω δομημένου ερωτηματολογίου και ομαδοποίηση των συμμετεχόντων σε επαγγελματικές κατηγορίες.
- Ανάπτυξη Πινάκων Ρίσκου (Risk Matrices) μέσω λογισμικού RStudio για την εκτίμηση επικινδυνότητας ανά εργασία, βάσει πιθανότητας εμφάνισης και σοβαρότητας συνεπειών.
- Εφαρμογή HAZOP μέσω λογισμικού PHAWorks RA Edition, με στόχο την αναλυτική διερεύνηση αποκλίσεων, αιτιών, συνεπειών και δικλίδων ασφαλείας.
- Διατύπωση τεχνικά τεκμηριωμένων προτάσεων πρόληψης και βελτίωσης, με έμφαση στην ενίσχυση της κουλτούρας ασφαλείας και στη στοχευμένη εφαρμογή μέτρων.

1.6 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία δομείται σε πέντε (5) κεφάλαια, τα οποία ακολουθούν μια συστηματική και διαδοχική προσέγγιση για την ανάλυση και εκτίμηση του επαγγελματικού κινδύνου σε εργοτάξιο μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδυασμένου κύκλου (CCPP).

Στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται το γενικό πλαίσιο της μελέτης, αναλύεται το ερευνητικό πρόβλημα, τεκμηριώνεται η πρωτοτυπία της εργασίας και διατυπώνονται ο σκοπός και οι στόχοι της έρευνας.

Το Κεφάλαιο 2 περιλαμβάνει το θεωρητικό υπόβαθρο της μελέτης, με έμφαση στις βασικές έννοιες της Ασφάλειας και Υγείας στην Εργασία, στα διεθνή πρότυπα διαχείρισης κινδύνου (ISO 31000, ISO 45001), συνοπτική αναφορά στη μεθοδολογία Job Hazard Analysis και εκτενής αναφορά στις μεθοδολογίες στην ημιποσοτική μέθοδο Risk Matrix και στη δομημένη αιτιοκρατική μέθοδο HAZOP με την προσαρμογή της σε εργοταξιακό περιβάλλον.

Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία της έρευνας, συμπεριλαμβανομένης της διαδικασίας συλλογής δεδομένων μέσω ερωτηματολογίου, της επεξεργασίας τους και της ανάπτυξης ποσοτικών πινάκων επικινδυνότητας, Risk Matrices με χρήση του λογισμικού RStudio, καθώς και της εφαρμογής της μεθόδου HAZOP μέσω του λογισμικού PHAWorks RA Edition.

Το Κεφάλαιο 4 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της ανάλυσης, τόσο σε επίπεδο ποσοτικής εκτίμησης κινδύνου μέσω Risk Matrix όσο και σε επίπεδο αιτιοκρατικής διερεύνησης αποκλίσεων και μέτρων πρόληψης μέσω HAZOP, με τη χρήση πινάκων και γραφικών απεικονίσεων.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 5 συνοψίζονται τα βασικά συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας και διατυπώνονται τεχνικά τεκμηριωμένες προτάσεις πρόληψης και βελτίωσης, με στόχο την ενίσχυση της ασφάλειας και της κουλτούρας πρόληψης σε εργοταξιακά περιβάλλοντα υψηλής επικινδυνότητας.

Η Βιβλιογραφία περιλαμβάνει τις επιστημονικές πηγές, τα διεθνή πρότυπα και τις κατευθυντήριες οδηγίες που αξιοποιήθηκαν για τη θεωρητική τεκμηρίωση και την ανάλυση της παρούσας εργασίας.

Στα Παραρτήματα παρατίθεται το υποστηρικτικό υλικό της έρευνας, όπως το πλήρες ερωτηματολόγιο και τα φύλλα εργασίας (worksheet & recommendations) της μεθοδολογίας HAZOP που εξήχθησαν από το λογισμικό PHAWorks RA Edition.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

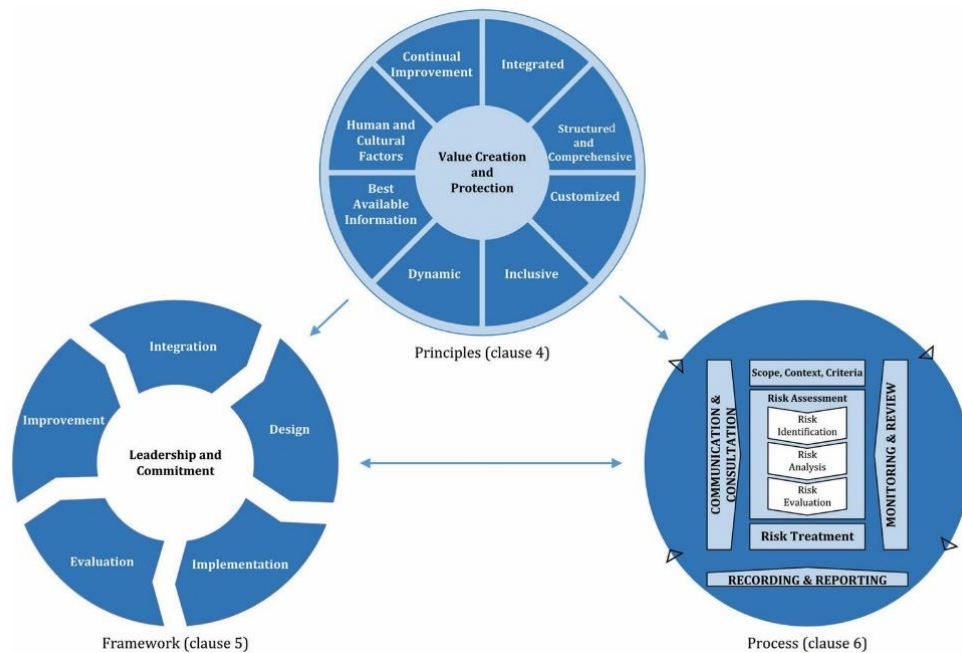
2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ: HAZARD, RISK ΚΑΙ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΣ

Η διαχείριση επαγγελματικού κινδύνου σε σύνθετα έργα απαιτεί κοινό λεξιλόγιο ώστε η εκτίμηση να είναι συγκρίσιμη και τεκμηριωμένη. Σύμφωνα με το ISO 31000:2018, ο κίνδυνος (risk) ορίζεται ως «η επίδραση της αβεβαιότητας στους στόχους» και μπορεί να οδηγεί σε θετικές ή αρνητικές αποκλίσεις από το αναμενόμενο αποτέλεσμα. Ο κίνδυνος περιγράφεται συνήθως ως συνδυασμός πηγών (sources), γεγονότων (events), συνεπειών (consequences) και πιθανότητας (likelihood), γεγονός που δείχνει ότι η εκτίμηση κινδύνου δεν είναι απλή “βαθμολόγηση”, αλλά δομημένη κατανόηση της έκθεσης και της επίδρασης (ISO, 2018).

Στο ίδιο πλαίσιο, η διαχείριση κινδύνου (risk management) ορίζεται ως «συντονισμένες δραστηριότητες για την κατεύθυνση και τον έλεγχο ενός οργανισμού σε σχέση με τον κίνδυνο» (ISO, 2018). Σε εργοτάξια μεγάλης κλίμακας, όπου συνυπάρχουν πολλαπλές ειδικότητες, εργολάβοι και ταυτόχρονες δραστηριότητες (Simultaneous Operations - SIMOPS), η οργανωσιακή διάσταση της διαχείρισης κινδύνου είναι κρίσιμη για τη συνέπεια εφαρμογής μέτρων.

Η συνέπεια (consequence) αφορά το αποτέλεσμα ενός γεγονότος που επηρεάζει στόχους (π.χ. τραυματισμός, υλική ζημιά, διακοπή εργασιών), ενώ η πιθανότητα (likelihood) αφορά το πόσο πιθανό/συχνό είναι να συμβεί ένα ανεπιθύμητο γεγονός και μπορεί να εκφράζεται ποιοτικά ή ποσοτικά (ISO, 2018). Η πρακτική σύνδεση πιθανότητας–συνέπειας συχνά αποτυπώνεται ως $Risk = Frequency \times Consequence$, ως βάση ημι-ποσοτικών εργαλείων προτεραιοποίησης (Macdonald, 2004).

Τέλος, ο “έλεγχος” (control) είναι κάθε μέτρο που διατηρεί ή τροποποιεί τον κίνδυνο (τεχνικά μέτρα, διαδικασίες, πρακτικές, ΜΑΠ) και μπορεί να δρα προληπτικά (μείωση πιθανότητας) ή/και περιοριστικά (μείωση συνεπειών) (ISO, 2018). Στα εργοτάξια ενεργειακών έργων, η αποτελεσματικότητα των ελέγχων είναι καθοριστική λόγω αυξημένης πολυπλοκότητας και αλληλεπιδράσεων ανθρώπου–εξοπλισμού–περιβάλλοντος.



Σχήμα 1 Αρχές- Πλαίσιο–Διαδικασία διαχείρισης κινδύνου.

Πηγή: (International Standard ISO31000, 2018)

2.2 ISO 31000: ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Το ISO 31000:2018 αποτελεί γενικό πλαίσιο για τη διαχείριση κινδύνου, με στόχο τη στήριξη της λήψης αποφάσεων και τη δημιουργία/προστασία αξίας μέσω συστηματικής προσέγγισης κινδύνων που επηρεάζουν τους στόχους του οργανισμού (ISO, 2018).

2.2.1 Αρχές (Principles)

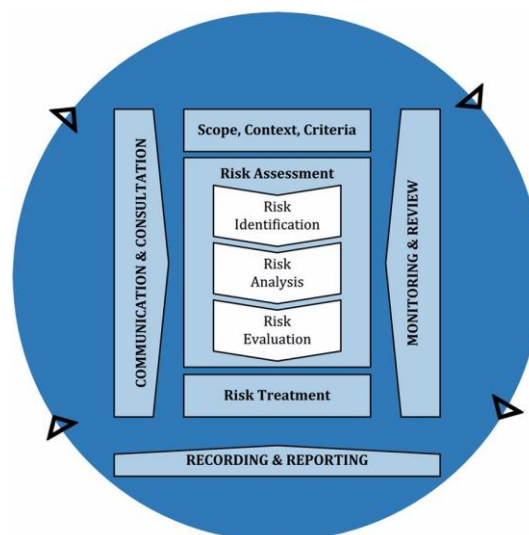
Οι αρχές του ISO 31000 (ενσωμάτωση, δομημένη προσέγγιση, προσαρμογή στο πλαίσιο, συμμετοχικότητα/επικοινωνία, συνεχής βελτίωση) είναι ιδιαίτερα κρίσιμες σε εργοταξιακά περιβάλλοντα, όπου οι αποφάσεις ασφάλειας πρέπει να είναι συνεπείς παρά τις δυναμικές αλλαγές. Η αναφορά στους ανθρώπινους/πολιτισμικούς παράγοντες είναι επίσης σημαντική, καθώς επηρεάζουν τη συμμόρφωση και την πρακτική εφαρμογή των μέτρων (ISO, 2018).

2.2.2 Οργανωτικό πλαίσιο εφαρμογής (Framework)

Το framework δίνει έμφαση σε leadership/commitment, ρόλους, πόρους και ενσωμάτωση στη λειτουργία. Σε πρακτικούς όρους, το framework είναι αυτό που μετατρέπει outputs όπως Risk Matrices ή HAZOP recommendations σε action plans, αντί να παραμένουν “καταγραφές”.

2.2.3 Διαδικασία (Process) Scope – Context – Criteria

Κρίσιμο σημείο του ISO 31000 είναι ο καθορισμός αντικειμένου/ορίων (scope), πλαισίου (context) και κριτηρίων (criteria) για την αξιολόγηση κινδύνου, γιατί αυτά καθορίζουν τι θεωρείται αποδεκτό/μη αποδεκτό και πώς συγκρίνονται εργασίες υψηλής σοβαρότητας (ISO, 2018). Η διαδικασία risk assessment περιλαμβάνει risk identification, risk analysis και risk evaluation και συνεχίζεται με risk treatment, monitoring/review και recording/reporting (ISO, 2018). Σε εργοτάξιο, η διαδικασία είναι επαναληπτική: παρ’ ολίγον ατύχημα “near misses”, αλλαγές μεθόδου ή νέα δεδομένα οδηγούν σε αναθεώρηση αξιολόγησης και controls.



Σχήμα 2 ISO 31000 “Risk management process”.

Πηγή: (International Standard ISO31000, 2018)

2.3 ISO 45001: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ & ΥΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΡΓΑΣΙΑ

Το ISO 45001 αποτελεί διεθνή αναφορά για την ανάπτυξη Συστήματος Διαχείρισης Υγείας & Ασφάλειας στην Εργασία (ΣΔΥΑΕ). Σε σχέση με το ISO 31000 (γενικό risk management), το ISO 45001 εξειδικεύεται στη διαχείριση επαγγελματικών κινδύνων και στη δημιουργία μηχανισμών πρόληψης μέσω PDCA (Plan–Do–Check–Act).

2.3.1 Σκοπός και λειτουργία

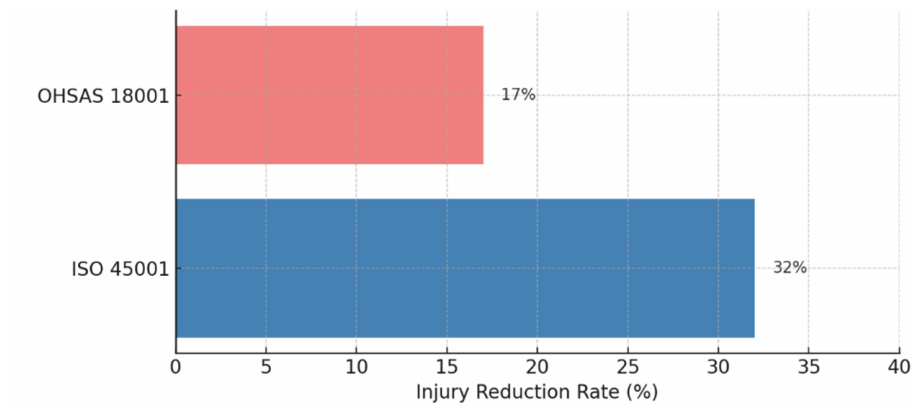
Η λογική PDCA ενσωματώνει την εκτίμηση κινδύνου στον σχεδιασμό και τον επιχειρησιακό έλεγχο (operational control), ενώ η αποτελεσματικότητα παρακολουθείται μέσω αξιολόγησης επίδοσης και ελέγχων/ανασκοπήσεων. Η εφαρμογή δομημένου ΣΔΥΑΕ συνδέεται με βελτίωση διαδικασιών και ενδείξεις μείωσης τραυματισμών/ενίσχυσης συμμόρφωσης (Alshreef, 2025).

2.3.2 Εφαρμογή σε ενεργειακά εργοτάξια (CCPP)

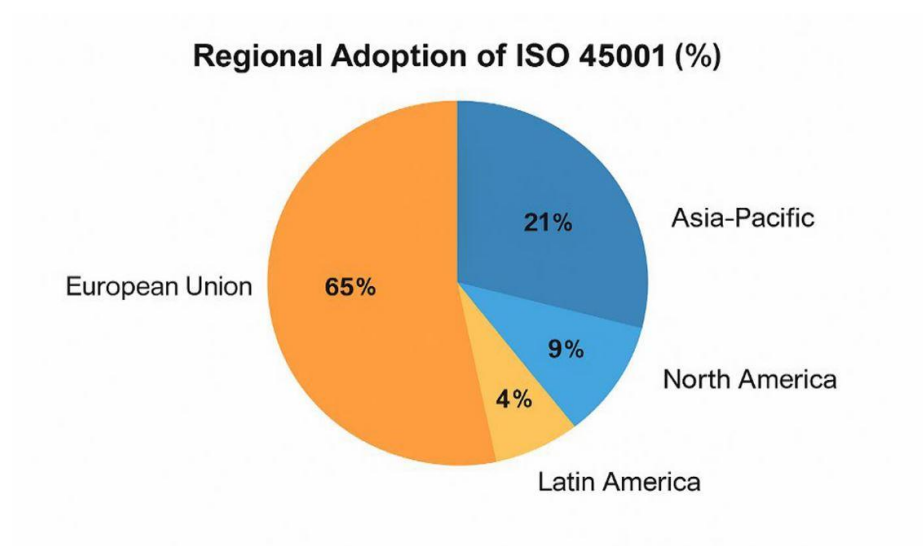
Σε έργα CCPP, η εφαρμογή ΣΔΥΑΕ είναι κρίσιμη λόγω πολλών εργολάβων, SIMOPS, εργασίες υψηλών συνεπειών (high consequence tasks) και ανάγκης ελέγχου συμμόρφωσης σε μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Εμπειρικά δεδομένα σε αντίστοιχες εγκαταστάσεις δείχνουν ότι παράγοντες όπως εκπαίδευση, χρήση ΜΑΠ και συμμόρφωση σε διαδικασίες επηρεάζουν ουσιαστικά την έκθεση σε κίνδυνο (Iqbal et al., 2020).

2.3.3 Σύνδεση ISO 45001 με Risk Matrix και HAZOP

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, το ISO 45001 λειτουργεί ως “οργανωτικό δοχείο” μέσα στο οποίο η Risk Matrix και η HAZOP παράγουν εφαρμόσιμες δράσεις: διαδικασίες ελέγχου εργασιών, εκπαίδευση / επαγγελματική επάρκεια, επιτήρηση, monitoring, διορθωτικές ενέργειες και συστηματική βελτίωση.



Σχήμα 3 Σύγκριση μείωσης τραυματισμών: Πρότυπο ISO 45001 έναντι Παλαιού Προτύπου OHSAS 18001. Πηγή: (Alshreef, 2025).



Σχήμα 4 Περιφερειακή υιοθέτηση του ISO 45001.
Πηγή: (Alshreef, 2025).

2.4 ΗΜΙ-ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΕΣΩ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ-ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑΣ (LIKELIHOOD-SEVERITY) ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ (RISK RANKING)

Η εκτίμηση επαγγελματικού κινδύνου σε εργοταξιακά περιβάλλοντα χαρακτηρίζεται από σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας. Η αποκλειστική χρήση πλήρως ποσοτικών μοντέλων δεν είναι πάντοτε εφικτή στην πράξη, λόγω περιορισμών σε διαθέσιμα δεδομένα, χρόνου και πόρων.

Η πρακτική σχέση $R = P \times S$, όπου P = πιθανότητα εμφάνισης (Probability/Likelihood) και S = σοβαρότητα συνεπειών (Severity), χρησιμοποιείται ευρέως για risk scoring και προτεραιοποίηση μέτρων, ιδιαίτερα όταν αξιολογούνται πολλές εργασίες (Marhavilas et al., 2010). Οι Kotek & Tabas (2012) αξιοποιούν την ίδια φιλοσοφία σε risk matrix σε συνδυασμό με “Improved HAZOP” για λειτουργική ιεράρχηση και στοχευμένες ενέργειες.

2.4.1 Ορισμός επιπέδων πιθανότητας (Likelihood Levels)

Η πιθανότητα εμφάνισης σχετίζεται με το πόσο συχνά ή πόσο πιθανό είναι να συμβεί ένα ανεπιθύμητο συμβάν. Σε εργοτάξια, η πιθανότητα μπορεί να επηρεάζεται από παράγοντες όπως η συχνότητα έκθεσης εργαζομένων, η πολυπλοκότητα της εργασίας, η κατάσταση του εξοπλισμού, ο βαθμός επίβλεψης και η συμμόρφωση στις διαδικασίες ασφάλειας. Για τη μείωση της υποκειμενικότητας και την εξασφάλιση συνέπειας μεταξύ αξιολογητών, οι ημι-ποσοτικές προσεγγίσεις υιοθετούν τυποποιημένες κλίμακες πιθανότητας με σαφείς περιγραφές (Marhavilas et al., 2010).

Οι Kotek και Tabas (2012) παρουσιάζουν ενδεικτική κλίμακα “probability of the occurrence (P)”, κατάλληλη για χρήση σε risk matrix αλλά και σε τροποποιημένες HAZOP εφαρμογές, όπου η πιθανότητα μετατρέπεται σε διακριτά επίπεδα για σκοπούς βαθμολόγησης.

Πίνακας 1 Κλίμακα πιθανότητας εμφάνισης (Typical Likelihood Levels and Descriptions).
Πηγή: (Kotek & Tabas, 2012).

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

2.4.2 Ορισμός επιπέδων σοβαρότητας (Severity/Consequence Levels)

Η σοβαρότητα (Severity/Consequence) αναφέρεται στο μέγεθος των συνεπειών σε περίπτωση εκδήλωσης ενός συμβάντος και μπορεί να περιλαμβάνει: τραυματισμούς ή απώλεια ζωής, υλικές ζημιές, διακοπή παραγωγής/εργασιών, οικονομικές απώλειες και επιπτώσεις στη συνολική πρόοδο του έργου. Σε εργοτάξια ενεργειακών εγκαταστάσεων όπως αυτά μιας μονάδας CCPP, πολλές δραστηριότητες χαρακτηρίζονται ως υψηλής συνέπειας (high consequence activities), γεγονός που καθιστά κρίσιμη τη σαφή αποτύπωση της σοβαρότητας σε διακριτά επίπεδα ώστε να αποφεύγεται υποεκτίμηση κινδύνων λόγω εμπειρικών ή υποκειμενικών παραμέτρων.

Σύμφωνα με τις γενικές αρχές των ημι-ποσοτικών μεθόδων risk assessment, οι κλίμακες σοβαρότητας πρέπει να είναι κατανοητές, επαναλήψιμες και να υποστηρίζουν συγκρίσιμες αξιολογήσεις μεταξύ διαφορετικών εργασιών και ομάδων (Marhavilas et al., 2010). Οι Kotek και Tabas (2012) προτείνουν κλίμακα severity “severity of consequences (S)”, η οποία μπορεί να προσαρμοστεί σε εργοταξιακό περιβάλλον ως βασικό εργαλείο risk classification.

Πίνακας 2 Κλίμακα σοβαρότητας συνεπειών (Typical Severity Levels and Descriptions).
Πηγή: (Kotek & Tabas, 2012).

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

2.4.3 Δείκτης κινδύνου (Risk Score) και κατάταξη σημαντικότητας κινδύνου (Risk Ranking)

Ο συνδυασμός των επιπέδων Likelihood/Probability και Severity οδηγεί στον υπολογισμό του δείκτη κινδύνου (Risk Score), ο οποίος χρησιμοποιείται για την κατάταξη των κινδύνων σε επίπεδα σημαντικότητας (Risk Ranking) και για την προτεραιοποίηση μέτρων ελέγχου. Η διαδικασία αυτή αποτελεί πρακτική εφαρμογή ημι-ποσοτικής εκτίμησης κινδύνου, με στόχο την άμεση αναγνώριση των εργασιών που απαιτούν αυξημένη προσοχή, επιπλέον επιτήρηση και συμπληρωματική ανάλυση. Ειδικότερα, βάσει του Πίνακα 3, το Risk Score ταξινομείται σε τέσσερις ζώνες αποδοχής, αποδεκτό, αποδεκτό με μέτρα ελέγχου, μη επιθυμητό και μη αποδεκτό (Marhavilas et al., 2010).

Πίνακας 3 Risk Matrix ($R = P \times S$) & Πίνακας λήψης αποφάσεων.

Πηγή: (Marhavilas et al., 2010).

Severity of consequences ratings (S)	Hazard probability ratings (P)					
	6	5	4	3	2	1
6	36	30	24	18	12	6
5	30	25	20	15	10	5
4	24	20	16	12	8	4
3	18	15	12	9	6	3
2	12	10	8	6	4	2
1	6	5	4	3	2	1

	Unacceptable	18-36
	Undesirable	10-16
	Acceptable with controls	5-9
	Acceptable	1-4

Σε αντιστοιχία, οι Kotek και Tabas (2012) προτείνουν τρεις κατηγορίες σημαντικότητας ρίσκου (Risk Importance), οι οποίες επιτρέπουν την αντιστοίχιση του δείκτη R σε επίπεδα δράσης, σημαντικό, λίγο σημαντικό, άνευ σημασίας.

Πίνακας 4 Κατηγορίες σημαντικότητας κινδύνου (Risk importance categories, $R = P \times S$).

Πηγή: (Kotek & Tabas, 2012).

Risk	$R = P \times S$
1 - 3	Non-significant
3 – 7	Low significant
8 - 25	Significant

Οι παραπάνω διαδικασίες διευκολύνουν την ιεράρχηση διορθωτικών και προληπτικών μέτρων.

2.6 ΠΙΝΑΚΑΣ ΡΙΣΚΟΥ (RISK MATRIX): ΔΟΜΗ, ΧΡΗΣΗ ΣΤΟ ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

Ο Πίνακας Ρίσκου (Risk Matrix) αποτελεί ένα πρακτικό εργαλείο ημι-ποσοτικής εκτίμησης κινδύνου, το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως στην ασφάλεια εργασίας για την οπτικοποίηση και την ιεράρχηση κινδύνων.

2.6.1 Εφαρμογή σε κρίσιμες εργοταξιακές εργασίες

Σε εργοτάξια ενεργειακών έργων, όπως μια μονάδα CCPP, ο Πίνακας Ρίσκου (Risk Matrix) εφαρμόζεται σε ένα ευρύ φάσμα εργασιών, όπως:

- Εργασίες σε ύψος (ικριώματα, στέγες, platform access)
- Αнуψώσεις βαρέων φορτίων (crane lifts)
- Hot works (κοπή-συγκόλληση)
- Εργασίες σε ηλεκτρικούς πίνακες και δοκιμές (commissioning)
- Εργασίες σε περιορισμένους χώρους
- Μετακινήσεις φορτίων και κυκλοφορία οχημάτων/μηχανημάτων

Η χρησιμότητα του Risk Matrix έγκειται στο ότι επιτρέπει ομοιόμορφη αξιολόγηση μεταξύ διαφορετικών εργασιών, ώστε να προκύψει κατάλογος κρίσιμες εργασίες “critical tasks” που απαιτούν ενισχυμένα μέτρα ελέγχου και αυξημένη επιτήρηση. Στην πράξη, μια τέτοια ιεράρχηση μπορεί να υποστηρίξει εφαρμογές όπως:

- permit-to-work,
- πρόσθετη επιτήρηση (spotters/safety watch),
- αυστηρότερα toolbox talks,
- εμπλουτισμένα checklists και επιθεωρήσεις πριν την εργασία.

Η επιλογή του Risk Matrix θεωρείται πρακτική και λειτουργική λύση, καθώς υποστηρίζει την αξιολόγηση μεγάλου αριθμού εργασιών σε περιορισμένο χρόνο, κάτι που είναι κρίσιμο στα εργοτάξια όπου οι δραστηριότητες μεταβάλλονται δυναμικά.

2.6.2 Περιορισμοί και ανάγκη συμπληρωματικής αιτιοκρατικής ανάλυσης

Ο Risk Matrix έχει εγγενείς περιορισμούς: διατακτικές (ordinal) κλίμακες, πιθανή ασάφεια ορίων, εξάρτηση από κρίση αξιολογητή, υποκειμενικότητα στην εκτίμηση Likelihood/Severity, αδυναμία πλήρους αποτύπωσης αιτιότητας/αλληλουχίας γεγονότων και σύνθετων ή αλληλεπιδρώντων κινδύνων. Αυτό έχει αναδειχθεί εκτενώς στη βιβλιογραφία (Cox, 2008; Marhavidas et al., 2011).

Συνεπώς, ο Risk Matrix χρησιμοποιείται εδώ ως εργαλείο προτεραιοποίησης και όχι ως μοναδική βάση απόφασης: για εργασίες υψηλού κινδύνου απαιτείται συμπληρωματική αιτιοκρατική διερεύνηση, όπως HAZOP, σύμφωνα με διεθνείς πρακτικές risk assessment techniques (ISO 31010, 2019; Kotek & Tabas, 2012).

2.7 HAZOP (HAZARD AND OPERABILITY STUDY) – ΑΙΤΙΟΚΡΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ RISK ASSESSMENT

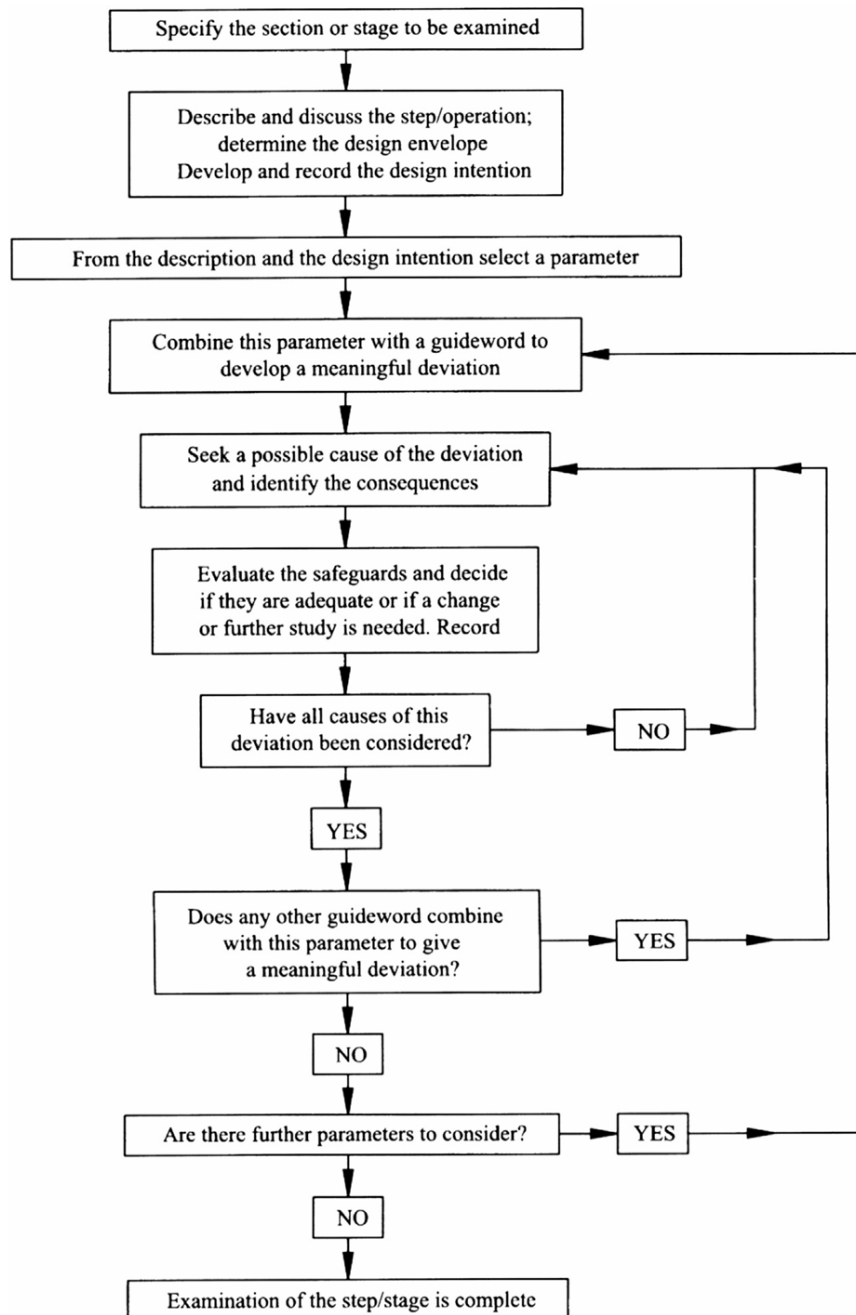
Η μέθοδος HAZOP (Hazard and Operability Study) αποτελεί συστηματική τεχνική αναγνώρισης κινδύνων, η οποία αναπτύχθηκε στη βιομηχανία διεργασιών και χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό αποκλίσεων από τη σχεδιαστική πρόθεση. Η HAZOP είναι αιτιοκρατική μέθοδος, καθώς εστιάζει στις σχέσεις αιτίας–αποτελέσματος, αναλύοντας κάθε απόκλιση ως προς τις αιτίες, τις συνέπειες και τα υφιστάμενα ή απαιτούμενα μέτρα προστασίας (Crawley & Tyler, 2015). Επιπλέον, αναγνωρίζεται ως δομημένη ομαδική διαδικασία, η οποία βασίζεται στη συστηματική διερεύνηση αποκλίσεων με χρήση guidewords, ώστε να εξεταστούν με πληρότητα οι μηχανισμοί εμφάνισης κινδύνου και τα μέτρα ελέγχου (Marhavidas et al., 2010).

2.7.1 Βασική δομή και στάδια της HAZOP

Η εφαρμογή HAZOP περιλαμβάνει τυπικά:

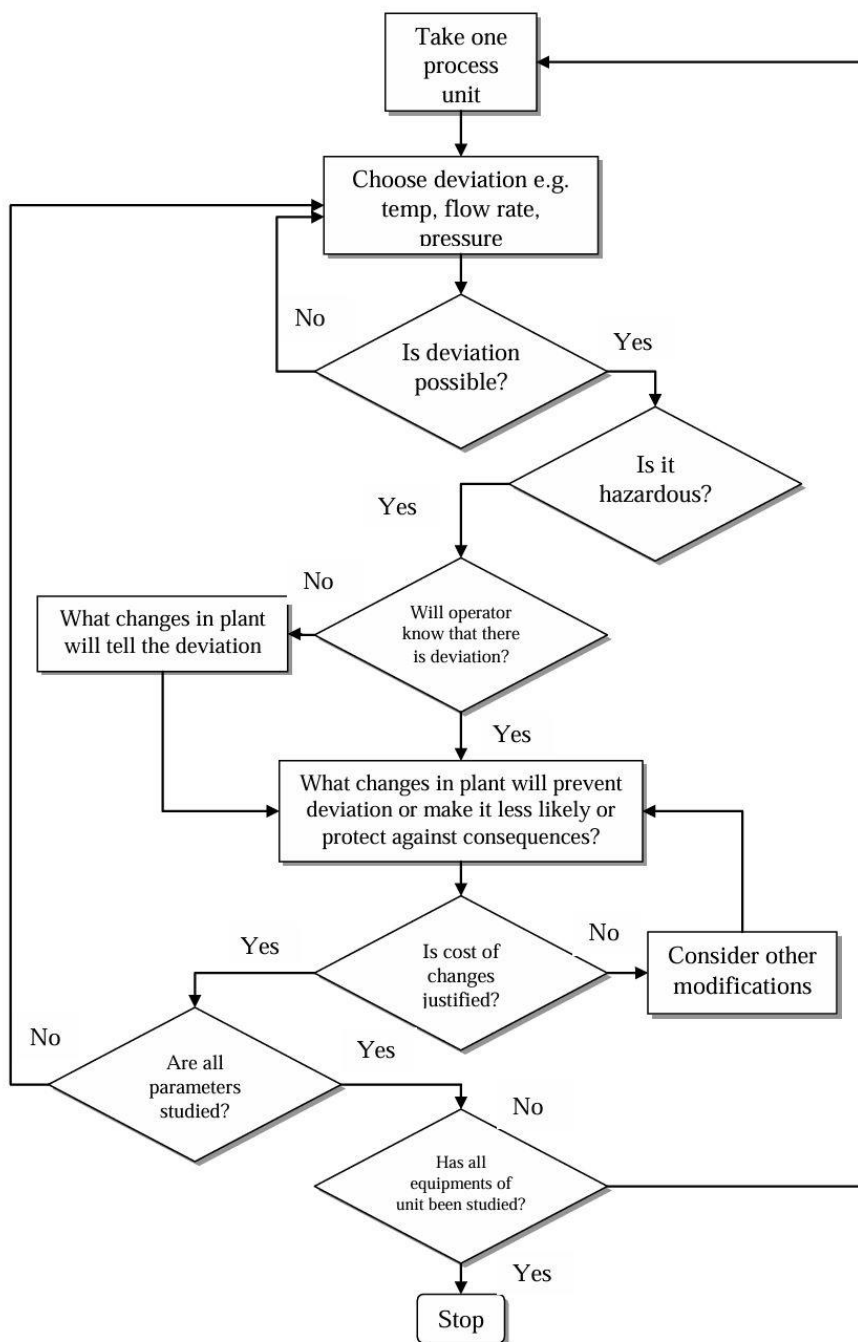
- καθορισμό σκοπού και ορίων εφαρμογής (scope),
- συλλογή πληροφοριών (διαγράμματα, διαδικασίες, περιγραφές εργασιών),

- διαχωρισμό του συστήματος σε επιμέρους τμήματα (nodes),
- επιλογή παραμέτρων (π.χ. ροή, πίεση, θερμοκρασία ή/και λειτουργικές παράμετροι εργασίας),
- χρήση guidewords για παραγωγή deviations,
- καταγραφή causes–consequences–safeguards,
- διατύπωση recommendations και follow-up actions.



Σχήμα 5 Διαδικασία εφαρμογής HAZOP.

Πηγή: (Crawley & Tyler, 2015).



Σχήμα 6 Διαδικασία εφαρμογής HAZOP (Khan and Abbasi, 1997).

Πηγή: (Marhavalas et al., 2010).

2.7.2 Guidewords και παραγωγή deviations

Κεντρικό στοιχείο της εφαρμογής HAZOP είναι η χρήση guidewords, τα οποία εφαρμόζονται σε τεχνικές ή λειτουργικές παραμέτρους ώστε να δημιουργούνται αποκλίσεις (deviations) προς διερεύνηση. Ενδεικτικά guidewords είναι: No/Not, More, Less, Reverse, Other than, κ.α. (Crawley & Tyler, 2015).

Πίνακας 5 Guidewords HAZOP και ερμηνεία τους. Πηγή: (Crawley & Tyler, 2015).

Table 4.1 Standard guidewords and their generic meanings	
Guideword	Meaning
No (not, none)	None of the design intent is achieved
More (more of, higher)	Quantitative increase in a parameter
Less (less of, lower)	Quantitative decrease in a parameter
As well as (more than)	An additional activity occurs
Part of	Only some of the design intention is achieved
Reverse	Logical opposite of the design intention occurs
Other than (other)	Complete substitution—another activity takes place OR an unusual activity occurs or uncommon condition exists
Other useful guidewords include:	
Where else	Applicable for flows, transfers, sources, and destinations
Before/after	The step (or some part of it) is effected out of sequence
Early/late	The timing is different from the intention
Faster/slower	The step is done/not done with the right timing
<i>Interpretations of the guidewords for computer-controlled systems (programmable electronic system, PES) are given in the IEC HAZOP Application Guide.⁷</i>	

Τα guidewords της ανάλυσης HAZOP δεν αποτελούν αυθαίρετες λεκτικές επιλογές, αλλά έχουν διαμορφωθεί ιστορικά μέσα από την ανάλυση σοβαρών βιομηχανικών ατυχημάτων και την ανάγκη συστηματικής διερεύνησης αποκλίσεων από τον προβλεπόμενο τρόπο λειτουργίας (Kletz, 1999; IEC 61882, 2016).

2.7.3 Safeguards και Recommendations: από την καταγραφή στην πρόληψη

Η ανάλυση HAZOP δεν περιορίζεται στον εντοπισμό αποκλίσεων (deviations). Ο πραγματικός της στόχος είναι η τεκμηρίωση των μέτρων πρόληψης και η παραγωγή πρακτικών συστάσεων (actionable recommendations).

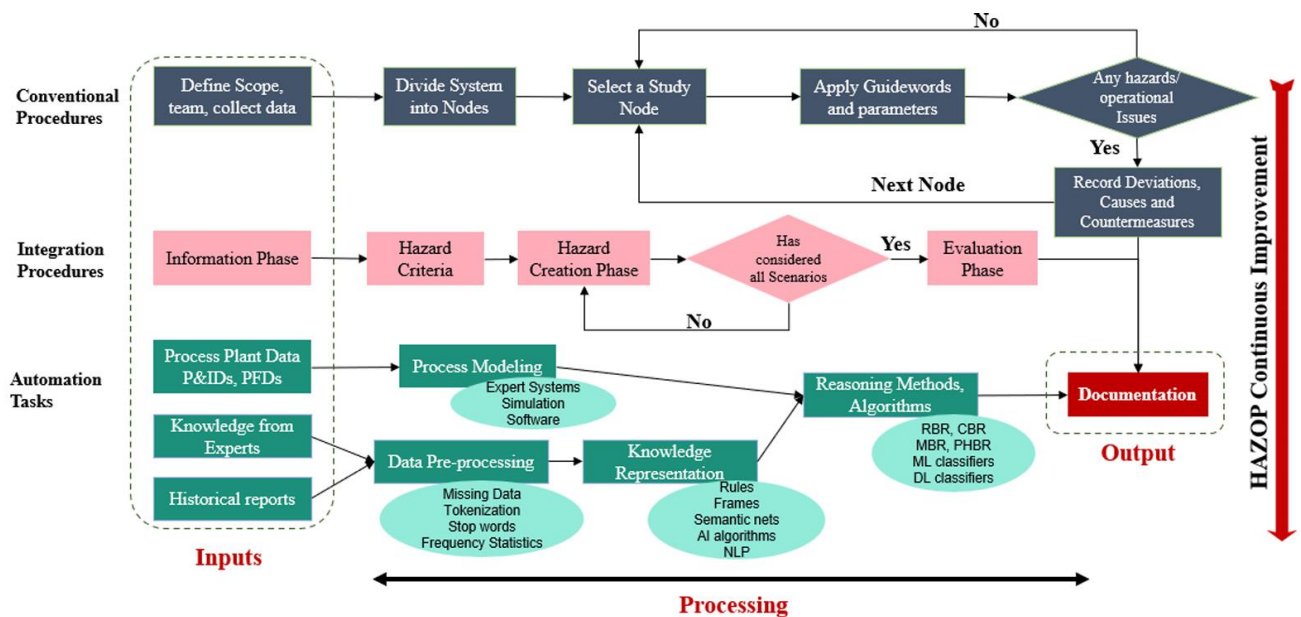
Για κάθε απόκλιση (deviation) καταγράφονται:

- πιθανές αιτίες (causes),
- πιθανές συνέπειες (consequences),
- υφιστάμενα τεχνικά ή οργανωτικά μέτρα προστασίας (safeguards),
- ανάγκη πρόσθετων μέτρων ή αλλαγών (recommendations).

Αυτή η δομή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε εργοτάξια, επειδή συνδέει άμεσα τον κίνδυνο με συγκεκριμένα μέτρα ελέγχου (π.χ. διαδικασίες, επιτήρηση, permit-to-work, barriers).

2.7.4 HAZOP: περιορισμοί και εξέλιξη προς αυτοματοποίηση

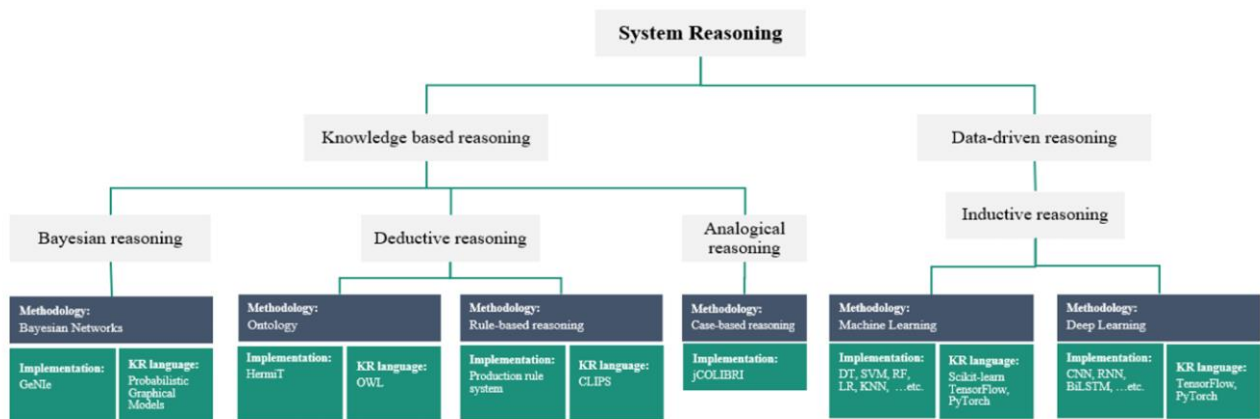
Παρά τη συστηματικότητά της, η κλασική εφαρμογή HAZOP θεωρείται χρονοβόρα και απαιτεί υψηλή εμπειρία της ομάδας. Η βιβλιογραφία αναδεικνύει τη μετάβαση σε προσεγγίσεις που υποστηρίζουν την ανάλυση HAZOP με αυτοματοποίηση, knowledge-based συστήματα και reasoning techniques, με στόχο τη μείωση χρόνου και την ενίσχυση συνέπειας αξιολόγησης (Elhosary & Moselhi, 2024).



Σχήμα 7 HAZOP framework: μετάβαση από συμβατικές σε αυτοματοποιημένες διαδικασίες.

Πηγή: (Elhosary & Moselhi, 2024).

Επιπλέον, παρουσιάζεται συνολική εικόνα των τεχνικών reasoning (knowledge-based και data-driven) που έχουν αξιοποιηθεί σε εφαρμογές HAZOP, ενισχύοντας την τάση για πιο “έξυπνη” και μετρήσιμη ανάλυση κινδύνου (Elhosary & Moselhi, 2024).



Σχήμα 8 Ταξινόμηση τεχνικών reasoning στη μελέτη HAZOP.

Πηγή: (Elhosary & Moselhi, 2024).

2.7.5 Προσαρμογή ανάλυσης HAZOP σε εργοτάξιο μονάδας CCPP

Παρότι η HAZOP εφαρμόζεται κυρίως σε βιομηχανίες διεργασιών, η εφαρμογή της σε εργοτάξιο CCPP αποτελεί σημαντική καινοτομία της διπλωματικής, καθώς επιτρέπει:

- συστηματικό έλεγχο αποκλίσεων σε κρίσιμες εργασίες εγκατάστασης,
- αναγνώριση hazards που προκύπτουν από ανθρώπινο παράγοντα και SIMOPS,
- τεκμηρίωση μέτρων/δικλείδων ασφαλείας (safeguards) και πρακτικών προτεινόμενων μέτρων/συστάσεων (recommendations).

Η προσαρμογή αυτή έχει ιδιαίτερη αξία επειδή τα εργοτάξια είναι δυναμικά συστήματα, όπου η “λειτουργική πρόθεση” μεταφράζεται σε ασφαλή εκτέλεση εργασιών, ενώ οι αποκλίσεις από εγκεκριμένες διαδικασίες, σχέδια ανύψωσης, permits ή safe systems of work αποτελούν τα “deviations” που αυξάνουν τον κίνδυνο και πρέπει να εντοπίζονται και να ελέγχονται συστηματικά.

2.8 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΑ ΓΙΑ ΥΓΕΙΑ & ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΕ ΕΡΓΟΤΑΞΙΑ (ΕΛΛΑΔΑ)

Η ασφάλεια και υγεία στην εργασία σε εργοταξιακά περιβάλλοντα ρυθμίζεται από συνδυασμό εθνικών και ευρωπαϊκών απαιτήσεων, ενώ συμπληρωματικά υποστηρίζεται από διεθνή πρότυπα διαχείρισης. Η συμμόρφωση με το θεσμικό πλαίσιο αποτελεί τη βάση πάνω στην οποία μπορούν να εφαρμοστούν οργανωμένα εργαλεία αξιολόγησης ρίσκου και πρόληψης.

Στην Ελλάδα, βασικό νομοθετικό πλαίσιο αποτελεί ο Ν. 3850/2010, ο οποίος κωδικοποιεί τις γενικές απαιτήσεις Υγείας & Ασφάλειας στην Εργασία (ΥΑΕ), καθορίζει υποχρεώσεις εργοδότη και προβλέπει την ανάγκη συστηματικής πρόληψης και εκτίμησης κινδύνου. Επιπλέον, σε επίπεδο γενικών απαιτήσεων για χώρους εργασίας εφαρμόζονται κανονιστικές ρυθμίσεις όπως το Π.Δ. 17/1996, το οποίο ορίζει ελάχιστες προδιαγραφές προστασίας εργαζομένων.

Για τα προσωρινά ή κινητά εργοτάξια, ειδική και άμεσα σχετική νομοθεσία αποτελεί το ΦΕΚ 212/1998, το οποίο καθορίζει τις ελάχιστες απαιτήσεις ασφάλειας και υγείας στο εργοτάξιο. Η εφαρμογή του πλαισίου αυτού είναι ιδιαίτερα κρίσιμη σε έργα μεγάλης κλίμακας, όπως τα ενεργειακά εργοτάξια, λόγω της πολυπλοκότητας των δραστηριοτήτων, της συνύπαρξης εργολάβων/υπεργολάβων και της δυναμικής μεταβολής του εργασιακού περιβάλλοντος.

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η πολιτική ΥΑΕ βασίζεται στην Οδηγία 89/391/EEC, η οποία αποτελεί το γενικό πλαίσιο για την προστασία των εργαζομένων, καθώς και στην Οδηγία 92/57/EEC, η οποία αφορά ειδικά τα προσωρινά ή κινητά εργοτάξια. Η εναρμόνιση της εθνικής νομοθεσίας με τις αντίστοιχες ευρωπαϊκές απαιτήσεις εξασφαλίζει κοινές αρχές πρόληψης και ελάχιστα επίπεδα προστασίας.

Παράλληλα, η εφαρμογή διεθνών προτύπων ενισχύει την οργανωτική ωριμότητα της πρόληψης. Το ISO 45001:2018 παρέχει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για την ανάπτυξη συστήματος διαχείρισης ΥΑΕ, ενσωματώνοντας διαδικασίες ελέγχου, συμμετοχή εργαζομένων και μηχανισμούς συνεχούς βελτίωσης. Αντίστοιχα, το ISO 31000:2018 λειτουργεί ως γενικό πλαίσιο risk management και υποστηρίζει τη δομημένη αξιολόγηση κινδύνου μέσω ορισμού πλαισίου, κριτηρίων και μηχανισμών ανασκόπησης. Τα πρότυπα αυτά έχουν ήδη παρουσιαστεί αναλυτικά στα αντίστοιχα κεφάλαια της εργασίας (Κεφ. 2.2:

ISO 31000 και Κεφ. 2.3: ISO 45001), ώστε στο παρόν σημείο να αξιοποιούνται συμπυκνωτικά ως το βασικό θεσμικό/μεθοδολογικό υπόβαθρο που τεκμηριώνει τη συστηματική προσέγγιση της πρόληψης και της διαχείρισης κινδύνου.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής, το νομοθετικό πλαίσιο και τα διεθνή πρότυπα αξιοποιούνται ως αναφορά συμμόρφωσης και “baseline”, ενώ η εκτίμηση κινδύνου μέσω Risk Matrix (στοχαστική προσέγγιση) και η HAZOP ανάλυση (αιτιοκρατική προσέγγιση) εφαρμόζονται συνδυαστικά για τη συστηματική αναγνώριση, ιεράρχηση και τεκμηριωμένη αντιμετώπιση κινδύνων στο εργοτάξιο μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδυασμένου κύκλου (CCPP).

PDCA

ISO 45001 is based on the Plan, Do, Check, Act (PDCA)

Stage in the process	Clause
	1 Scope 2 Normative references 3 Terms and definitions
PLAN	4 Context of the Organisation 4.1 Understanding the organisation and its context 4.2 Understanding the needs and expectations of workers and other interested parties 4.3 Determining the scope of the OH&S management system 4.4 OH&S management system 5 Leadership and worker participation 5.1 Leadership and commitment 5.2 OH&S policy 5.3 Organisational roles, responsibilities and authorities 5.4 Consultation and participation of workers 6 Planning 6.1 Actions to address risks and opportunities 6.2 OH&S objectives and planning to achieve them
DO	7 Support 7.1 Resources 7.2 Competence 7.3 Awareness 7.4 Communication 7.5 Documented information 8 Operation 8.1 Operation planning and control 8.2 Emergency preparedness and response
CHECK	9 Performance evaluation 9.1 Monitoring, measurement, analysis and evaluation 9.2 Internal audit 9.3 Management review
ACT	10 Improvement 10.1 General 10.2 Incident, nonconformity and corrective action 10.3 Continual improvement

Σχήμα 9 Κύκλος συνεχούς βελτίωσης PDCA στο ISO 45001:2018.

Αναπαραγωγή από GSC (2024).

2.9 ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΙΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ (EU-OSHA/OSHWIKI) ΓΙΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΕΣ ΕΡΓΟΤΑΞΙΑΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΟΥ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ

2.9.1 Σκοπός κεφαλαίου και λογική αντιστοίχισης

Η παρούσα ενότητα εντάσσεται στο θεωρητικό πλαίσιο της εργασίας και αποσκοπεί στην τεκμηριωμένη περιγραφή των βασικών κινδύνων και ενδεικτικών μέτρων ελέγχου για τις εργοταξιακές εργασίες που εξετάζονται στο ερωτηματολόγιο της μελέτης περίπτωσης (εργοτάξιο CCPP). Ως ευρωπαϊκή βάση αναφοράς αξιοποιούνται κατευθυντήριες οδηγίες, θεματικές ενότητες και τεχνικά άρθρα της European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA) και της επιστημονικής πλατφόρμας OSHwiki, τα οποία παρέχουν οργανωμένη πληροφόρηση σχετικά με κινδύνους, προληπτικές στρατηγικές και πρακτικές ελέγχου στο εργασιακό περιβάλλον.

Η αντιστοίχιση EU-OSHA & εργοταξιακών εργασιών επιτρέπει:

- τη διαμόρφωση σημείου αναφοράς πριν την ανάλυση των αποτελεσμάτων,
- την τεκμηρίωση των κρίσιμων κινδύνων ανά εργασία,
- τη δομημένη σύνδεση των μέτρων ελέγχου κινδύνου με πρακτικές υγείας & ασφάλειας στην εργασία.

2.9.2 Χωματουργικές εργασίες

Οι χωματουργικές εργασίες περιλαμβάνουν δραστηριότητες διαμόρφωσης και προετοιμασίας του εργοταξιακού χώρου, εκσκαφές, επιχώσεις και εργασίες που επηρεάζουν τη γεωμετρία του πεδίου εργασίας. Στο πλαίσιο μεγάλων έργων, η συγκεκριμένη κατηγορία συνδέεται με αυξημένη δυναμικότητα κινδύνων λόγω ταυτόχρονης χρήσης βαρέος εξοπλισμού, μεταβολών μορφολογίας εδάφους και συνεχούς μετακίνησης ανθρώπων/οχημάτων.

Παρότι η EU-OSHA προσεγγίζει τις κατασκευές σε επίπεδο γενικού κινδύνου, αναδεικνύει ως κρίσιμο στοιχείο ότι το εργοτάξιο χαρακτηρίζεται από μεταβαλλόμενες συνθήκες και πολλαπλές επικαλυπτόμενες δραστηριότητες, γεγονός που ενισχύει την ανάγκη για συνεχή αξιολόγηση και προσαρμογή μέτρων.

- Κύριοι κίνδυνοι:

αστοχία πρανών/αστάθεια εδάφους και παγίδευση,
κίνδυνος πρόσκρουσης/παράσυρσης από μηχανήματα,
περιορισμένη ορατότητα και εργοταξιακή κυκλοφορία,
ανωμαλίες επιφανειών, ολισθήσεις και πτώσεις στο ίδιο επίπεδο.

- Ενδεικτικά μέτρα ελέγχου:

σαφής οριοθέτηση ζωνών εργασίας και ασφαλών διαδρομών,
traffic management plan και διαχωρισμός πεζών/οχημάτων,
επιτήρηση κρίσιμων σημείων (blind spots, reversing),
διαδικασίες εργοταξιακού συντονισμού και κανόνες SIMOPS.

2.9.3 Ανύψωση / Μεταφορά φορτίων

Οι εργασίες ανύψωσης/μεταφοράς φορτίων αποτελούν συχνό και υψηλού κινδύνου πεδίο δραστηριότητας σε εργοτάξια ενεργειακών έργων, λόγω χειρισμού βαρέων στοιχείων, χρήσης γερανών, παρελκομένων και αλληλεπίδρασης πολλαπλών συνεργείων.

Η OSHwiki επισημαίνει ότι τα lifting operations είναι εγγενείς στον κατασκευαστικό κλάδο και μπορούν να πραγματοποιούνται είτε χειρωνακτικά είτε μέσω ανυψωτικού εξοπλισμού, ενώ και οι δύο μορφές συνδέονται με αυξημένο κίνδυνο τραυματισμού και προβλημάτων υγείας.

- Κύριοι κίνδυνοι:

χτύπημα από αιωρούμενο ή μετακινούμενο φορτίο,
αστοχία παρελκομένων/δεσίματος φορτίου,
ανατροπή ή απώλεια σταθερότητας ανυψωτικού μέσου,
παγίδευση κατά τη σύνδεση/καθοδήγηση φορτίου.

- Ενδεικτικά μέτρα ελέγχου:

προετοιμασία lifting plan και έλεγχος κρίσιμων παραμέτρων ανύψωσης,
επιθεωρήσεις εξοπλισμού και παρελκομένων πριν τη χρήση,

οριοθέτηση ζωνών αποκλεισμού (exclusion zones),
καθοδήγηση μέσω banksman/signalman και σαφή πρωτόκολλα επικοινωνίας.

2.9.4 Χειρισμός μηχανημάτων / οχημάτων

Η λειτουργία εργοταξιακών μηχανημάτων και η κυκλοφορία οχημάτων αποτελούν βασικό παράγοντα ατυχημάτων σε εργοτάξια. Στα ενεργειακά έργα, ο κίνδυνος αυξάνεται λόγω περιορισμένων διαδρόμων, μεταβαλλόμενης διάταξης χώρου, μεγάλου όγκου μεταφορών και παράλληλης εργασίας πεζών και μηχανημάτων.

Η EU-OSHA περιγράφει ότι οι κατασκευές περιλαμβάνουν υψηλού κινδύνου δραστηριότητες (όπως μηχανήματα, ύψος, περιορισμένοι χώροι, ηλεκτρισμός), με ανάγκη για οργανωμένα μέτρα πρόληψης και συνεχή έλεγχο.

- Κύριοι κίνδυνοι:

παρασύρσεις πεζών (struck-by) από οχήματα,
ανατροπές/συγκρούσεις μηχανημάτων,
ανεπαρκής ορατότητα (blind spots) και οπισθοπορείες,
κίνδυνοι από μη προβλεπόμενη πρόσβαση σε ενεργές ζώνες εργασίας.

- Ενδεικτικά μέτρα ελέγχου:

καθορισμός διαδρομών, μονοδρομήσεις όπου είναι δυνατό και περιοχές στάθμευσης,
χρήση spotters σε reversing και κρίσιμα σημεία,
εφαρμογή σήμανσης/ορίων ταχύτητας,
διαδικασίες αποκλεισμού και έλεγχος πρόσβασης σε ζώνες κινδύνου.

2.9.5 Εργασία σε ύψος

Η εργασία σε ύψος αποτελεί έναν από τους πλέον κρίσιμους κινδύνους στις κατασκευές. Η EU-OSHA αναφέρει ότι η καλύτερη προσέγγιση είναι η αποφυγή εργασίας σε ύψος μέσω επιλογής εναλλακτικών μεθόδων όπου αυτό είναι εφικτό. Όταν η εργασία σε ύψος δεν μπορεί να αποφευχθεί, προτεραιοποιείται η πρόληψη πτώσεων μέσω τεχνικών μέτρων και κατάλληλου εξοπλισμού, ενώ σε επόμενο επίπεδο χρησιμοποιούνται κατάλληλα ΜΑΠ για μείωση της απόστασης και των συνεπειών της πτώσης.

- Κύριοι κίνδυνοι:

πτώση εργαζομένου από ικριώματα, πλατφόρμες, στέγες,
πτώση μέσω ανοιγμάτων/ασφαλισμένων ακμών,
πτώση αντικειμένων σε εργαζόμενους χαμηλότερων επιπέδων,
ακατάλληλη πρόσβαση ή ασταθή σημεία εργασίας.

- Ενδεικτικά μέτρα ελέγχου:

elimination (όπου είναι δυνατό),
συλλογική προστασία (κιγκλιδώματα, προστασία ακμών, δίχτυα),
επιθεώρηση και ορθολογική χρήση ικριωμάτων/πλατφορμών,
fall protection / fall arrest systems με συμπληρωματικές διαδικασίες διάσωσης

2.9.6 Χημικές ουσίες / Εύφλεκτα υλικά

Η EU-OSHA ορίζει τις επικίνδυνες ουσίες ως οποιαδήποτε υγρά, αέρια ή στερεά που δημιουργούν κίνδυνο για την υγεία ή/και την ασφάλεια των εργαζομένων και επισημαίνει ότι οι ουσίες αυτές συναντώνται σε σχεδόν όλους τους χώρους εργασίας. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, εκατομμύρια εργαζόμενοι έρχονται σε επαφή με χημικούς ή βιολογικούς παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στην υγεία.

Στα εργοτάξια ενεργειακών έργων, οι ουσίες αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν καύσιμα, λιπαντικά, διαλύτες, προϊόντα καθαρισμού, αέρια, βαφές, καθώς και υλικά που συνδέονται με διαδικασίες εγκατάστασης και συντήρησης.

- Κύριοι κίνδυνοι:

εισπνοή/δερματική απορρόφηση επικίνδυνων ουσιών,
οξεία ή χρόνια επίδραση στην υγεία (αναπνευστική/δερματική),
κίνδυνος πυρκαγιάς/έκρηξης από εύφλεκτα,
δευτερογενείς κίνδυνοι από ακατάλληλη αποθήκευση/ανάμειξη.

- Ενδεικτικά μέτρα ελέγχου:

χρήση δελτίων δεδομένων ασφαλείας (safety data sheets – SDS), σωστή σήμανση και οργανωμένη αποθήκευση,
αερισμός/τεχνικά μέτρα μείωσης έκθεσης,
έλεγχος πηγών ανάφλεξης και κατάλληλος εξοπλισμός πυρόσβεσης,
κατάλληλη επιλογή ΜΑΠ και εκπαίδευση εργαζομένων.

2.9.7 Θερμές εργασίες / Ηλεκτροσυγκολλήσεις

Οι θερμές εργασίες (hot works) και οι ηλεκτροσυγκολλήσεις αποτελούν συνδυασμένο κίνδυνο για ασφάλεια και υγεία. Η OSHwiki αναφέρει ότι οι συγκολλήσεις δημιουργούν καπνούς (fumes) που μπορεί να προκαλέσουν νόσους του αναπνευστικού και να περιέχουν καρκινογόνες ουσίες, ενώ παράλληλα εμπλέκουν θερμές επιφάνειες και υπεριώδη ακτινοβολία. Επισημαίνεται επίσης ότι πολλοί συγκολλητές εργάζονται σε περιορισμένους χώρους ή σε άβολες στάσεις, ενώ η εργασία στο πεδίο μπορεί να γίνεται χωρίς προστασία από βροχή, γεγονός που αυξάνει σημαντικά τον κίνδυνο ηλεκτροπληξίας.

- Κύριοι κίνδυνοι:

εισπνοή καπνών/σωματιδίων συγκόλλησης,
εγκαύματα, τραυματισμοί από θερμότητα και ακτινοβολία,
πυρκαγιά/ανάφλεξη σε περιβάλλον με εύφλεκτα,
εργασία σε περιορισμένους χώρους ή με περιορισμένη κίνηση,
ηλεκτροπληξία σε δυσμενείς συνθήκες (π.χ. υγρασία).

- Ενδεικτικά μέτρα ελέγχου:

hot work permit και fire watch,
έλεγχος εύφλεκτων υλικών και οριοθέτηση περιοχής,
τοπική απαγωγή/εξαερισμός (LEV) όπου είναι δυνατό,
κατάλληλα ΜΑΠ (προσωπίδες, γάντια, αναπνευστική προστασία),
διαδικασίες ασφαλούς εργασίας σε περιορισμένους χώρους.

2.9.8 Χρήση εργοταξιακού εξοπλισμού

Η χρήση εργοταξιακού εξοπλισμού (εργαλεία χειρός, φορητός εξοπλισμός, προσωρινές εγκαταστάσεις, βοηθητικός εξοπλισμός) σχετίζεται με κινδύνους από ακατάλληλη χρήση, μη επαρκή συντήρηση ή έλλειψη επιθεώρησης/ελέγχου ασφαλείας. Στο εργοτάξιο, η πιθανότητα ατυχήματος ενισχύεται από την ένταση εργασιών και την συνύπαρξη πολλών συνεργειών.

- Κύριοι κίνδυνοι:

κοπές/τραυματισμοί από κινούμενα μέρη,
ηλεκτρικοί κίνδυνοι (ιδίως σε φορητά εργαλεία),

παγίδευση, εκτίναξη υλικών ή θραύσεις,
μηχανικές καταπονήσεις από επαναληπτική χρήση.

- Ενδεικτικά μέτρα ελέγχου:

έλεγχος πριν τη χρήση και προληπτική συντήρηση,
χρήση προστατευτικών διατάξεων (guards),
κατάλληλη εκπαίδευση/competency,
εφαρμογή κανόνων χρήσης και επιτήρηση.

2.9.9 Ηλεκτρολογικές εργασίες

Οι ηλεκτρολογικές εργασίες σε εργοτάξια περιλαμβάνουν εργασίες προσωρινών παροχών, πίνακες, δοκιμές, συνδέσεις και δραστηριότητες commissioning. Η EU-OSHA αναδεικνύει ότι η κατασκευαστική εργασία συνδέεται με κινδύνους ηλεκτρισμού και την ανάγκη εφαρμογής οργανωμένων μέτρων πρόληψης, ιδίως λόγω των μεταβαλλόμενων συνθηκών εργοταξίου.

Σε έργα CCPP η συγκεκριμένη κατηγορία αποκτά ιδιαίτερη βαρύτητα, καθώς οι ηλεκτρολογικές εργασίες συνδέονται με υψηλές εντάσεις/τάσεις, δοκιμές λειτουργίας και απαιτήσεις αυστηρών διαδικασιών ασφαλούς εργασίας.

- Κύριοι κίνδυνοι:

ηλεκτροπληξία και εγκαύματα (ηλεκτρικό τόξο - arc flash),
ακούσια ενεργοποίηση κυκλωμάτων ή μη ελεγχόμενη παρέμβαση,
κίνδυνοι από προσωρινές εγκαταστάσεις και ακατάλληλη γείωση,
εργασία σε δυσμενείς συνθήκες (σκόνη, υγρασία, περιορισμένος χώρος).

- Ενδεικτικά μέτρα ελέγχου:

διαδικασίες απομόνωσης/ασφάλισης (όπου εφαρμόζεται),
έλεγχος εξουσιοδότησης προσωπικού και competency,
χρήση διατάξεων διαφορικού ρεύματος / ρελέ διαρροής (residual current devices- RCD), γειώσεων και επιθεωρήσεις προσωρινών παροχών,
σαφής σήμανση, αποκλεισμός περιοχών και έλεγχος πρόσβασης.

2.9.10 Συνοπτικός Πίνακας αντιστοίχισης των 8 εργασιών (EU-OSHA σημείο αναφοράς)

Ο Πίνακας 6 που ακολουθεί, συνοψίζει τις 8 εργασίες του ερωτηματολογίου, τις κύριες κατηγορίες κινδύνων και ενδεικτικά μέτρα ελέγχου, βάσει του ευρωπαϊκού πλαισίου αναφοράς EU-OSHA/OSHwiki.

Πίνακας 6 Αντιστοίχιση εργοταξιακών εργασιών με EU-OSHA/OSHwiki κινδύνους και ενδεικτικά controls.

<i>Εργασία (από Ερωτηματολόγιο)</i>	<i>EU-OSHA (OSHwiki αναφορά)</i>	<i>Βασικοί κίνδυνοι (Ενδεικτικά)</i>	<i>Ενδεικτικά μέτρα ελέγχου</i>
Χωματοургικές εργασίες	Construction risks (γενικό πλαίσιο)	αστάθεια εδάφους, struck-by, ολισθήσεις (slips), πτώσεις (falls)	οριοθέτηση, traffic plan, επιτήρηση
Ανύψωση/Μεταφορά φορτίων	Lifting operations & equipment	struck-by, αστοχία παρελκομένων	σχέδιο ανύψωσης (lifting plan), ζώνες αποκλεισμού (exclusion zones), καθοδηγητής (banksman)
Χειρισμός μηχανημάτων/οχημά των	Construction risks (γενικό πλαίσιο)	παρασύρσεις, συγκρούσεις (collisions), περιορισμένη ορατότητα (blind spots)	διαδρομές, καθοδηγητές (spotters), σήμανση
Εργασία σε ύψος	Working at height	πτώση, πτώση αντικειμένων	αποφυγή/εξάλειψη – πρόληψη/αποτροπή – ΜΑΠ (avoid–prevent–PPE), συλλογική προστασία
Χημικές ουσίες/Εύφλεκτα	Dangerous substances	έκθεση, fire/explosion	δελτίο δεδομένων ασφαλείας (safety data sheet SDS), αποθήκευση, αερισμός, ΜΑΠ
Θερμές εργασίες/Ηλεκτροσυγ κολήσεις	Welding fumes / Welding Health&Safety (H&S)	fumes, εγκαύματα, fire, electric shock	permits, επιτήρηση πυρκαγιάς (fire watch), τοπικός εξαερισμός/απαγωγή (LEV), ΜΑΠ
Χρήση εργοταξιακού εξοπλισμού	Construction risks (γενικό πλαίσιο)	μηχανικοί τραυματισμοί, ηλεκτρικοί κίνδυνοι	προστατευτικά καλύμματα (guards), επιθεωρήσεις, εκπαίδευση

Ηλεκτρολογικές εργασίες	Construction risks (γενικό πλαίσιο)	ηλεκτροπληξία, ηλεκτρικό τόξο (arc flash)	απομόνωση, διακόπτης διαφυγής ρεύματος (residual current device RCD), εξουσιοδότηση
----------------------------	--	--	--

2.9.11 Συμπέρασμα και σύνδεση με τα επόμενα κεφάλαια

Η ανάλυση των 8 εργοταξιακών εργασιών βάσει των ευρωπαϊκών κατευθυντήριων γραμμών της EU-OSHA/OSHwiki παρέχει ένα τεκμηριωμένο θεωρητικό υπόβαθρο αναφοράς για την αξιολόγηση κινδύνου στο εργοτάξιο CCPP. Οι κατηγορίες που περιλαμβάνονται στο ερωτηματολόγιο αντανακλούν βασικούς τομείς υψηλής επικινδυνότητας που αναγνωρίζονται ευρωπαϊκά, ενισχύοντας τη δομική εγκυρότητα της επιλογής τους.

Στα επόμενα κεφάλαια, η παρούσα αναφορά αξιοποιείται για:

- την ερμηνεία των απαντήσεων του ερωτηματολογίου,
- την ιεράρχηση κινδύνων μέσω Risk Matrix,
- τη στοχευμένη εφαρμογή HAZOP.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.1.1 Σκοπός του ερωτηματολογίου

Το ερωτηματολόγιο σχεδιάστηκε με στόχο τη συστηματική συλλογή ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων σχετικά με (α) την αντίληψη των εργαζομένων για τους κινδύνους, (β) την εφαρμογή μέτρων ασφάλειας και (γ) τις πραγματικές συνθήκες εργασίας στο εργοτάξιο του έργου CCPP. Η χρήση ενός δομημένου εργαλείου καταγραφής επιτρέπει την αποτύπωση κρίσιμων στοιχείων που δεν είναι δυνατό να αποτυπωθούν επαρκώς μόνο μέσω τεχνικών εργαλείων εκτίμησης ρίσκου (π.χ. Risk Matrix ή HAZOP), καθώς ενσωματώνει την εμπειρία και την “αντίληψη κινδύνου” των εμπλεκόμενων εργαζομένων.

Η ανάπτυξη του ερωτηματολογίου ενισχύει τη μεθοδολογική αξιοπιστία της μελέτης, διότι ενσωματώνει ανθρώπινους παράγοντες και συμπεριφορικούς κινδύνους (behavioral risks), επιτρέπει περιγραφική και συγκριτική στατιστική ανάλυση αντιλήψεων και πρακτικών ασφάλειας, υποστηρίζει την κατασκευή δεικτών πιθανότητας/κινδύνου για εργοταξιακές εργασίες και παρέχει δεδομένα που μπορούν να αξιοποιηθούν ως βάση συσχέτισης με τα αποτελέσματα τεχνικών αναλύσεων (π.χ. HAZOP).

3.1.2 Δομή του ερωτηματολογίου

Το ερωτηματολόγιο αποτελείται από έξι (6) διακριτά μέρη, τα οποία σχεδιάστηκαν ώστε να καλύπτουν κρίσιμες διαστάσεις της επαγγελματικής ασφάλειας σε εργοταξιακό περιβάλλον:

Μέρος Α – Γενικές πληροφορίες

Το πρώτο μέρος συλλέγει βασικά δημογραφικά και επαγγελματικά στοιχεία των συμμετεχόντων (π.χ. θέση/ρόλος στο εργοτάξιο, έτη εμπειρίας στον κατασκευαστικό

κλάδο). Τα δεδομένα αυτά αξιοποιούνται για τη διερεύνηση πιθανών διαφοροποιήσεων στην αντίληψη κινδύνου μεταξύ διαφορετικών ομάδων εργαζομένων.

Μέρος Β – Εντοπισμός κινδύνων

Το δεύτερο μέρος στοχεύει στην αποτύπωση των κρίσιμων επικίνδυνων δραστηριοτήτων και παραγόντων κινδύνου μέσω:

Επιλογής εργασιών υψηλής επικινδυνότητας, όπου οι συμμετέχοντες καλούνται να επιλέξουν τις πλέον επικίνδυνες εργοταξιακές εργασίες από τυποποιημένη λίστα (π.χ. εργασίες σε ύψος, ηλεκτρολογικές, θερμές εργασίες, χωματοουργικά κ.λπ.).

Ποσοτικής αξιολόγησης πιθανότητας ατυχήματος, μέσω πεντάβαθμης κλίμακας, η οποία επιτρέπει τη στατιστική επεξεργασία των απαντήσεων και την ανάπτυξη δεικτών Likelihood.

Αναγνώρισης επικίνδυνων συμπεριφορών (unsafe acts), όπως μη χρήση ΜΑΠ, μη συμμόρφωση σε διαδικασίες, ανεπαρκής επικοινωνία, κ.λπ.

Τα δεδομένα του Μέρους Β αποτελούν τον βασικό πυλώνα για την ιεράρχηση εργασιών και την τεκμηρίωση των σημαντικότερων παραγόντων κινδύνου.

Μέρος Γ – Μέτρα ασφάλειας και προστασίας

Το τρίτο μέρος εξετάζει τη συχνότητα χρήσης μέσων ατομικής προστασίας (ΜΑΠ), την αντιλαμβανόμενη αποτελεσματικότητα των εφαρμοζόμενων μέτρων πρόληψης (Likert 1–5), & τις ανάγκες για βελτίωση διαδικασιών και πρακτικών ασφάλειας.

Το συγκεκριμένο τμήμα συμβάλλει στην αποτύπωση της κουλτούρας ασφάλειας στο εργοτάξιο και στο επίπεδο εφαρμογής πρακτικών ΥΑΕ.

Μέρος Δ – Συχνότητα και σοβαρότητα ατυχημάτων

Το τέταρτο μέρος εστιάζει στην καταγραφή της εμπειρίας των εργαζομένων σε:

- συμβάντα μικροατυχημάτων,
- συχνότερες συνέπειες και σοβαρότητα συμβάντων.

Οι απαντήσεις του Μέρους Δ αξιοποιούνται για τη συσχέτιση με την ανάλυση κινδύνου και την εκτίμηση “πραγματικής” έκθεσης εργαζομένων σε κινδύνους.

Μέρος Ε – Περιβαλλοντικοί κίνδυνοι

Το πέμπτο μέρος αφορά εξωγενείς/περιβαλλοντικούς κινδύνους που επηρεάζουν την ασφάλεια εργασίας, όπως σκόνη, θόρυβος & κλιματικές συνθήκες.

Παράλληλα, αξιολογείται η αποτελεσματικότητα των μέτρων ελέγχου, παρέχοντας εικόνα για την επάρκεια διαχείρισης του περιβάλλοντος εργασίας.

Μέρος ΣΤ – Παρατηρήσεις και προτάσεις

Το τελευταίο μέρος δίνει τη δυνατότητα για ανοικτού τύπου απαντήσεις, ώστε οι συμμετέχοντες να καταθέσουν προτάσεις σχετικά με:

- βελτίωση εκπαίδευσης,
- οργάνωση εργοταξίου,
- ενίσχυση προσωπικής υπευθυνότητας,
- γενικές παρεμβάσεις πρόληψης.

Οι απαντήσεις του τμήματος αυτού αξιοποιούνται για ποιοτική ανάλυση και ερμηνεία των ευρημάτων.

3.1.3 Μεθοδολογία συλλογής δεδομένων

Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε μέσω ανώνυμης συμπλήρωσης του ερωτηματολογίου από εργαζόμενους του εργοταξίου του έργου CCPP. Το δείγμα περιλάμβανε προσωπικό διαφορετικών ρόλων και επιπέδων ευθύνης, όπως:

- τεχνίτες και εργατικό προσωπικό,
- χειριστές μηχανημάτων,
- επιβλέποντες,
- στελέχη HSE,
- μηχανικούς.

Η επιλογή ανώνυμης συμμετοχής κρίθηκε απαραίτητη, καθώς μειώνει την πιθανότητα υποεκτίμησης παραλείψεων ή μη ασφαλών πρακτικών λόγω φόβου επίπληξης ή διοικητικών επιπτώσεων.

Το ερωτηματολόγιο διανεμήθηκε σε έντυπη μορφή εντός εργοταξίου σε 140 εργαζομένους. Το ποσοστό ανταπόκρισης ήταν $105/140 = 75\%$, γεγονός που ενισχύει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων και την αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος.

3.1.4 Κατηγοριοποίηση συμμετεχόντων

Οι συμμετέχοντες ταξινομήθηκαν σε τέσσερις βασικές κατηγορίες επαγγελματικού ρόλου:

Εργατικό προσωπικό: 60 άτομα

Μηχανικοί: 34 άτομα

Τεχνικοί Ασφαλείας: 5 άτομα

Λοιποί / Βοηθητικοί: 6 άτομα

Η ταξινόμηση αυτή επιτρέπει τη μετέπειτα συγκριτική ανάλυση των απαντήσεων ανά ομάδα, με στόχο να εντοπιστούν πιθανές αποκλίσεις στην αντίληψη κινδύνου και στη συμμόρφωση με μέτρα προστασίας.

3.1.5 Επεξεργασία, καθαρισμός και κωδικοποίηση δεδομένων

Τα δεδομένα του ερωτηματολογίου καταχωρήθηκαν σε δομημένο αρχείο δεδομένων, όπου:

- κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε έναν συμμετέχοντα,
- κάθε στήλη αντιστοιχεί σε μία ερώτηση ή υπο-ερώτηση.

Η επεξεργασία πραγματοποιήθηκε με χρήση Microsoft Excel για:

- καθαρισμό δεδομένων (έλεγχος ελλείψεων, μορφοποίηση),
- υπολογισμό συχνοτήτων και ποσοστών,
- υπολογισμό μέσων όρων (όπου εφαρμόζεται).

Για τη στατιστική/ποσοτική ανάλυση εφαρμόστηκε κωδικοποίηση μεταβλητών ως:

- δυαδικές μεταβλητές (1 = επιλέχθηκε, 0 = όχι), για ερωτήσεις επιλογής,
- κλίμακες Likert 1–5, για ερωτήσεις αξιολόγησης πιθανότητας/αποτελεσματικότητας,

ενώ υπολογίστηκαν δείκτες όπως:

- κατανομές απαντήσεων ανά κατηγορία προσωπικού,

- συνολικοί δείκτες επικινδυνότητας ανά δραστηριότητα (risk index).

Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4, μέσω πινάκων και διαγραμμάτων.

3.1.6 Οπτική απεικόνιση του ερωτηματολογίου

Για λόγους αναγνωσιμότητας της διπλωματικής, το πλήρες ερωτηματολόγιο δεν εντάσσεται στο κύριο σώμα του κειμένου, αλλά παρατίθεται στο Παράρτημα. Στο κύριο κείμενο παρουσιάζονται συνοπτικά η δομή του και τα βασικά τμήματα που αξιοποιήθηκαν στη στατιστική και ποιοτική ανάλυση.

3.2 ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ: RISK MATRIX (RSTUDIO) ΚΑΙ HAZOP (PHAWORKS)

3.2.1 Σκοπός και λογική συνδυασμού

Η παρούσα εργασία εφαρμόζει υβριδική προσέγγιση:

- (i) Risk Matrix για αρχική ημι-ποσοτική ιεράρχηση κινδύνων και
- (ii) HAZOP για αιτιοκρατική εμβάθυνση σε κρίσιμες εργασίες/σενάρια.

Η προσέγγιση αυτή είναι συμβατή με τη λογική επιλογής κατάλληλων τεχνικών αξιολόγησης κινδύνου ανά σκοπό (screening vs causal analysis).

3.2.2 Διαδικασία εφαρμογής Πίνακα Ρίσκου (Risk Matrix)

Η διαδικασία περιλαμβάνει:

- Καθορισμό εργασιών προς αξιολόγηση, βάσει επιτόπιων παρατηρήσεων και των κατηγοριών εργασιών που περιλαμβάνονται στο ερωτηματολόγιο.
- Αναγνώριση κινδύνων ανά εργασία, με καταγραφή πιθανών σεναρίων ατυχημάτων και βασικών παραγόντων κινδύνου.

- Αποτίμηση πιθανότητας (Likelihood), είτε μέσω τυποποιημένης κλίμακας είτε βάσει της αντιλαμβανόμενης συχνότητας από τους εργαζομένους.
- Αποτίμηση σοβαρότητας (Severity), με βάση τις επιπτώσεις σε ανθρώπους, εξοπλισμό και έργο.
- Υπολογισμό δείκτη κινδύνου (Risk Score), μέσω του συνδυασμού Likelihood $\times$ Severity, και αντιστοίχισή του σε κατηγορία επικινδυνότητας (Vert Low, Low, Medium, High, Critical).

Η κατάταξη αυτή αποτέλεσε κρίσιμο βήμα της ανάλυσης, καθώς παρείχε μια ιεραρχημένη εικόνα των κινδύνων και λειτούργησε ως βάση για την επιλογή εργασιών προς περαιτέρω αιτιοκρατική διερεύνηση.

3.2.3 Υλοποίηση του Πίνακα Ρίσκου (Risk Matrix) σε RStudio

Η υλοποίηση του Risk Matrix πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού RStudio, το οποίο επιλέχθηκε λόγω της ευελιξίας του στη διαχείριση δεδομένων, της δυνατότητας τυποποιημένων υπολογισμών και της παραγωγής προηγμένων γραφικών απεικονίσεων. Μέσω του RStudio υπολογίστηκαν οι δείκτες κινδύνου για όλες τις εξεταζόμενες εργασίες και παρήχθησαν πίνακες κατάταξης (ranking tables).

Επιπλέον, δημιουργήθηκαν Heatmaps, Bubble Charts, τα οποία επιτρέπουν τη γραφική απεικόνιση της κατανομής των κινδύνων και διευκολύνουν την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

3.2.4 Υλοποίηση της HAZOP σε Phaworks RA Edition

Η μεθοδολογία της HAZOP εφαρμόστηκε με το λογισμικό Phaworks RA Edition ως δεύτερο στάδιο της ανάλυσης, με στόχο την αιτιοκρατική διερεύνηση των κινδύνων που αναδείχθηκαν μέσω της Risk Matrix.

Μέσω της HAZOP διερευνήθηκαν:

- πιθανές αποκλίσεις από τον προβλεπόμενο τρόπο εργασίας (deviations),
- οι αιτίες που τις προκαλούν (causes),
- οι συνέπειες που μπορεί να προκύψουν (consequences),

- η επάρκεια των υφιστάμενων μέτρων προστασίας και οι δυνατότητες βελτίωσης (safeguards / recommendations).

Η HAZOP χρησιμοποιήθηκε συμπληρωματικά και όχι ανταγωνιστικά προς τη Risk Matrix, λειτουργώντας ως εργαλείο ποιοτικής ενίσχυσης της συνολικής εκτίμησης κινδύνου.

3.2.5 Επιλογή εργασιών και ορισμός nodes

Επιλέχθηκαν οι εργασίες που κατατάχθηκαν στις υψηλότερες κατηγορίες επικινδυνότητας (High/Critical), ώστε η αιτιοκρατική ανάλυση να εστιάσει στο τμήμα του προφίλ κινδύνου με τη μεγαλύτερη προτεραιότητα.

Κάθε επιλεγμένη εργασία αντιμετωπίστηκε ως διακριτό node ανάλυσης και αποδομήθηκε σε βασικά λειτουργικά βήματα/φάσεις, ώστε να εφαρμοστούν τα guidewords και να εντοπιστούν συστηματικά αποκλίσεις, αιτίες και συνέπειες (IEC 61882, 2016).

3.2.6 Guidewords και αναγνώριση αποκλίσεων

Στην παρούσα μελέτη, τα guidewords που εφαρμόστηκαν μέσω του λογισμικού PHAWorks RA Edition επιλέχθηκαν και προσαρμόστηκαν ώστε να αποτυπώνουν ρεαλιστικά εργοταξιακές συνθήκες και πρακτικές:

- No Flow (Απουσία λειτουργίας / μέτρου)

Χρησιμοποιείται για να περιγράψει περιπτώσεις όπου ένα κρίσιμο στοιχείο ασφάλειας ή διαδικασίας απουσιάζει πλήρως. Στο εργοταξιακό περιβάλλον αφορά, ενδεικτικά, την απουσία μέτρων προστασίας από πτώση, τη μη εφαρμογή permit-to-work, την έλλειψη απομόνωσης (Lockout/Tagout – LOTO) ή τη μη χρήση Μέσων Ατομικής Προστασίας (ΜΑΠ).

- More Flow (Υπερβολική ή ανεξέλεγκτη λειτουργία)

Αφορά καταστάσεις όπου μια λειτουργία εκτελείται σε μεγαλύτερη ένταση ή χωρίς επαρκή έλεγχο. Παραδείγματα περιλαμβάνουν υπερφόρτωση φορτίων, ανεξέλεγκτη κίνηση μηχανημάτων, ανεξέλεγκτη λειτουργία εργαλείων ή διαρροή χημικών ουσιών.

- Less Flow (Ανεπαρκής λειτουργία / υποστήριξη)

Χρησιμοποιείται για περιπτώσεις μειωμένης ή ανεπαρκούς λειτουργίας, όπως ασταθής πρόσβαση, ελλιπής στήριξη (π.χ. σκάλες), ανεπαρκής επιτήρηση ή περιορισμένη αποτελεσματικότητα υφιστάμενων μέτρων προστασίας.

- Reverse Flow (Αντίστροφη ή μη αναμενόμενη κίνηση)

Περιγράφει καταστάσεις όπου η κίνηση ή η ενέργεια εξελίσσεται προς μη αναμενόμενη κατεύθυνση. Στο εργοτάξιο αφορά, μεταξύ άλλων, αιωρούμενα φορτία που επιστρέφουν ή αιφνιδιαστικές κινήσεις οχημάτων και εξοπλισμού.

- Misdirected Flow (Λανθασμένη κατεύθυνση ή θέση)

Αναφέρεται σε ενέργειες ή κινήσεις που πραγματοποιούνται σε λανθασμένο χώρο ή με εσφαλμένο προσανατολισμό. Παραδείγματα αποτελούν η εκσκαφή σε λάθος σημείο λόγω απουσίας χαρτογράφησης δικτύων, η κίνηση μηχανημάτων σε μη καθορισμένες ζώνες ή η πτώση αντικειμένων σε χαμηλότερα επίπεδα.

- Higher Pressure (Αυξημένη καταπόνηση ή έκθεση)

Το guideword αυτό χρησιμοποιείται για να περιγράψει αυξημένες καταπονήσεις, είτε μηχανικές είτε περιβαλλοντικές. Ενδεικτικά περιλαμβάνει αστάθεια εδαφών, ανατροπή μηχανημάτων, παρατεταμένη έκθεση σε θόρυβο και δονήσεις ή αυξημένη φυσική καταπόνηση εργαζομένων.

- Lower Pressure (Μειωμένη προστασία ή ενεργειακή ακεραιότητα)

Αφορά καταστάσεις μειωμένης αντοχής ή προστασίας, όπως φθαρμένη μόνωση καλωδίων, ανεπαρκής ηλεκτρική προστασία ή υποβάθμιση της ασφάλειας λόγω κακής συντήρησης εξοπλισμού.

- Higher Temperature (Αυξημένη θερμική ενέργεια)

Χρησιμοποιείται κυρίως σε θερμές εργασίες και ηλεκτρολογικές δραστηριότητες, για την περιγραφή κινδύνων από σπινθήρες, υψηλές θερμοκρασίες, έκλαμψη ηλεκτρικού τόξου (arc flash) ή παρουσία πηγών ανάφλεξης κοντά σε εύφλεκτα υλικά.

- No Composition (Λανθασμένη σύσταση ή επικίνδυνη ατμόσφαιρα)

Αφορά αποκλίσεις που σχετίζονται με τη σύσταση υλικών ή του περιβάλλοντος εργασίας, όπως χρήση λανθασμένων χημικών, απουσία Δελτίων Δεδομένων Ασφαλείας (Safety Data Sheet – SDS), ακατάλληλη ανάμειξη ουσιών ή εργασία σε μολυσμένη ή ανεπαρκώς αεριζόμενη ατμόσφαιρα.

Η εφαρμογή των παραπάνω guidewords επέτρεψε τη δομημένη και συστηματική αναγνώριση αποκλίσεων σε όλες τις εξεταζόμενες εργασίες, διασφαλίζοντας τη συνοχή της HAZOP ανάλυσης και τη συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων μεταξύ διαφορετικών δραστηριοτήτων.

3.2.7 Καταγραφή αποτελεσμάτων σε HAZOP worksheet

Για κάθε εργασία (node) και για κάθε αναγνωρισμένη απόκλιση (deviation), τα αποτελέσματα της ανάλυσης HAZOP καταγράφηκαν σε δομημένα HAZOP worksheets, σύμφωνα με τη μεθοδολογία και τη λογική του λογισμικού PHAWorks RA Edition. Η χρήση προκαθορισμένων φύλλων εργασίας εξασφαλίζει τη συστηματικότητα, τη διαφάνεια και τη συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων μεταξύ διαφορετικών εργασιών και σεναρίων.

Κάθε HAZOP worksheet περιλαμβάνει τις ακόλουθες βασικές ενότητες:

- Deviation (Απόκλιση): περιγραφή της μη αναμενόμενης ή μη επιθυμητής κατάστασης, όπως αυτή προκύπτει από την εφαρμογή των guidewords.
- Cause (Αιτία): ανάλυση των παραγόντων που μπορούν να οδηγήσουν στην απόκλιση, συμπεριλαμβανομένων ανθρώπινων σφαλμάτων, αστοχιών εξοπλισμού, οργανωτικών ελλείψεων ή περιβαλλοντικών συνθηκών.
- Consequence (Συνέπεια): εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων της απόκλισης στην ασφάλεια του προσωπικού, στον εξοπλισμό και στη λειτουργία του εργοταξίου.
- Safeguards (Υφιστάμενα μέτρα προστασίας): καταγραφή των μέτρων που ήδη εφαρμόζονται και περιορίζουν την πιθανότητα ή/και τη σοβαρότητα των συνεπειών.
- Recommendations / Actions (Προτεινόμενα μέτρα): διατύπωση πρόσθετων τεχνικών, οργανωτικών ή διοικητικών μέτρων με στόχο τη βελτίωση του επιπέδου ασφάλειας και τη μείωση του υπολειπόμενου κινδύνου.

Η δομημένη αυτή προσέγγιση επέτρεψε τη λεπτομερή αιτιοκρατική διερεύνηση των επικίνδυνων εργασιών, ενώ παράλληλα διευκόλυνε τη σύνθεση συγκεντρωτικών

συμπερασμάτων και την εξαγωγή τεκμηριωμένων προτάσεων βελτίωσης, οι οποίες αξιοποιούνται στα επόμενα κεφάλαια της εργασίας.

4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της συνδυαστικής μεθοδολογίας εκτίμησης επαγγελματικού κινδύνου, η οποία περιλαμβάνει:

- στοχαστική εκτίμηση μέσω Risk Matrix 5×5 (Likelihood × Severity),
- συγκριτική ανάλυση κινδύνων ανά εργασία και κατηγορία προσωπικού,
- πολυδιάστατη οπτικοποίηση κινδύνου μέσω Bubble Charts και Heat Maps,
- και αιτιοκρατική ανάλυση μέσω της μεθοδολογίας HAZOP για τις κρίσιμες δραστηριότητες.

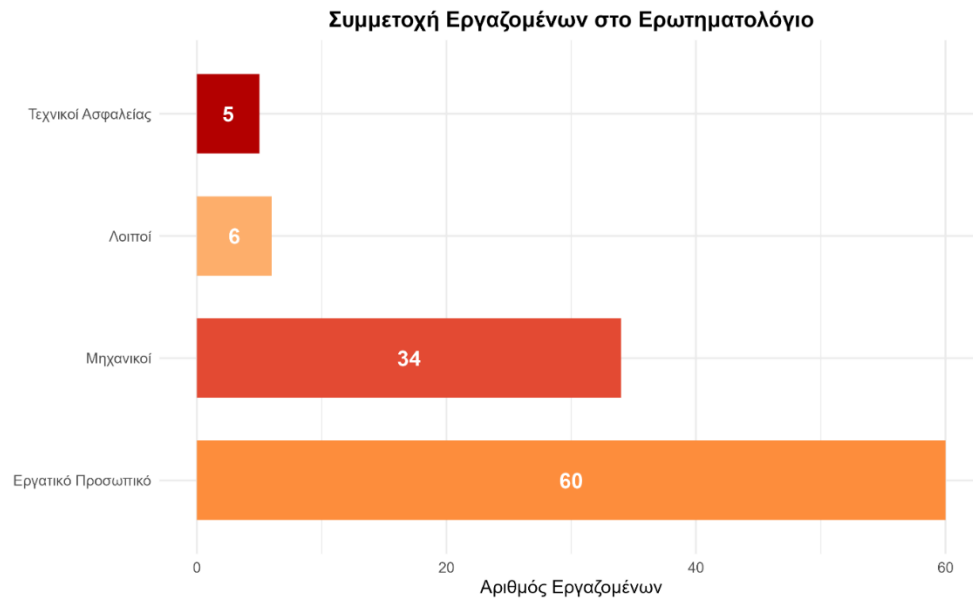
Στόχος της αξιολόγησης είναι:

- η αποτύπωση της συνολικής εικόνας κινδύνου στο εργοτάξιο CCPP,
- ο εντοπισμός των εργασιών με αυξημένα επίπεδα επικινδυνότητας,
- η τεκμηριωμένη επιλογή των δραστηριοτήτων που απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση και ενισχυμένα μέτρα πρόληψης.

4.2 ΔΕΙΓΜΑ ΚΑΙ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ

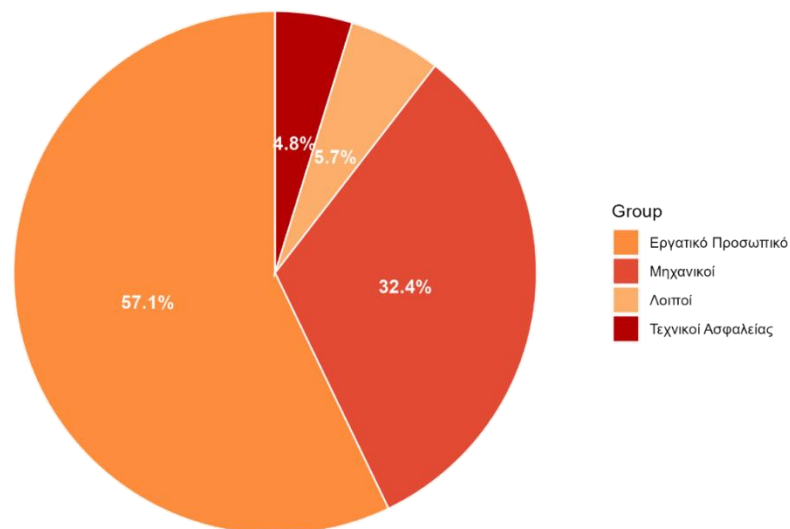
Το δείγμα περιλάμβανε συνολικά 105 συμμετέχοντες (ποσοστό ανταπόκρισης 75%). Η μεγαλύτερη συμμετοχή προήλθε από το Εργατικό Προσωπικό (n=60) και ακολούθησαν οι Μηχανικοί (n=34), ενώ μικρότερη συμμετοχή καταγράφηκε στους Τεχνικούς Ασφαλείας (n=5) και στους Λοιπούς/Βοηθητικούς (n=6).

Η κατανομή αυτή επιτρέπει αφενός ισχυρή αποτύπωση της αντίληψης κινδύνου των εργαζομένων που εκτίθενται καθημερινά στις εργασίες πεδίου και αφετέρου συγκριτική προσέγγιση με ομάδες που έχουν περισσότερο τεχνικό/κανονιστικό ρόλο (μηχανικοί, HSE).



Σχήμα 10 Συνολικός Αριθμός Εργαζομένων που απάντησαν στο ερωτηματολόγιο.

Ποσοστιαία Συμμετοχή Εργαζομένων στο Ερωτηματολόγιο



Σχήμα 11 Ποσοστιαία Συμμετοχή Εργαζομένων που απάντησαν στο ερωτηματολόγιο.

4.3 ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΕΣΩ ΤΟΥ 5×5 ΠΙΝΑΚΑ ΡΙΣΚΟΥ

Η εφαρμογή του 5×5 Risk Matrix επέτρεψε την αξιολόγηση κάθε εργασίας ως προς:

- τη σοβαρότητα των συνεπειών (Severity, κλίμακα 1–5),
- την πιθανότητα εμφάνισης (Likelihood, κλίμακα 1–5),
- τον συνολικό δείκτη κινδύνου (Risk Score = Severity × Likelihood).

Οι τιμές του Risk Score ομαδοποιήθηκαν σε πέντε ζώνες κινδύνου::

- Very Low (Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος) – Green Zone (Πράσινη Ζώνη)
- Low (Χαμηλός Κίνδυνος) – Yellow Zone (Κίτρινη Ζώνη)
- Medium (Μέτριος Κίνδυνος) – Orange Zone (Πορτοκαλί Ζώνη)
- High (Υψηλός Κίνδυνος) – Red Zone (Κόκκινη Ζώνη)
- Critical (Κρίσιμος Κίνδυνος) – Black Zone (Μαύρη Ζώνη)

Πίνακας 7 Πίνακας λήψης αποφάσεων

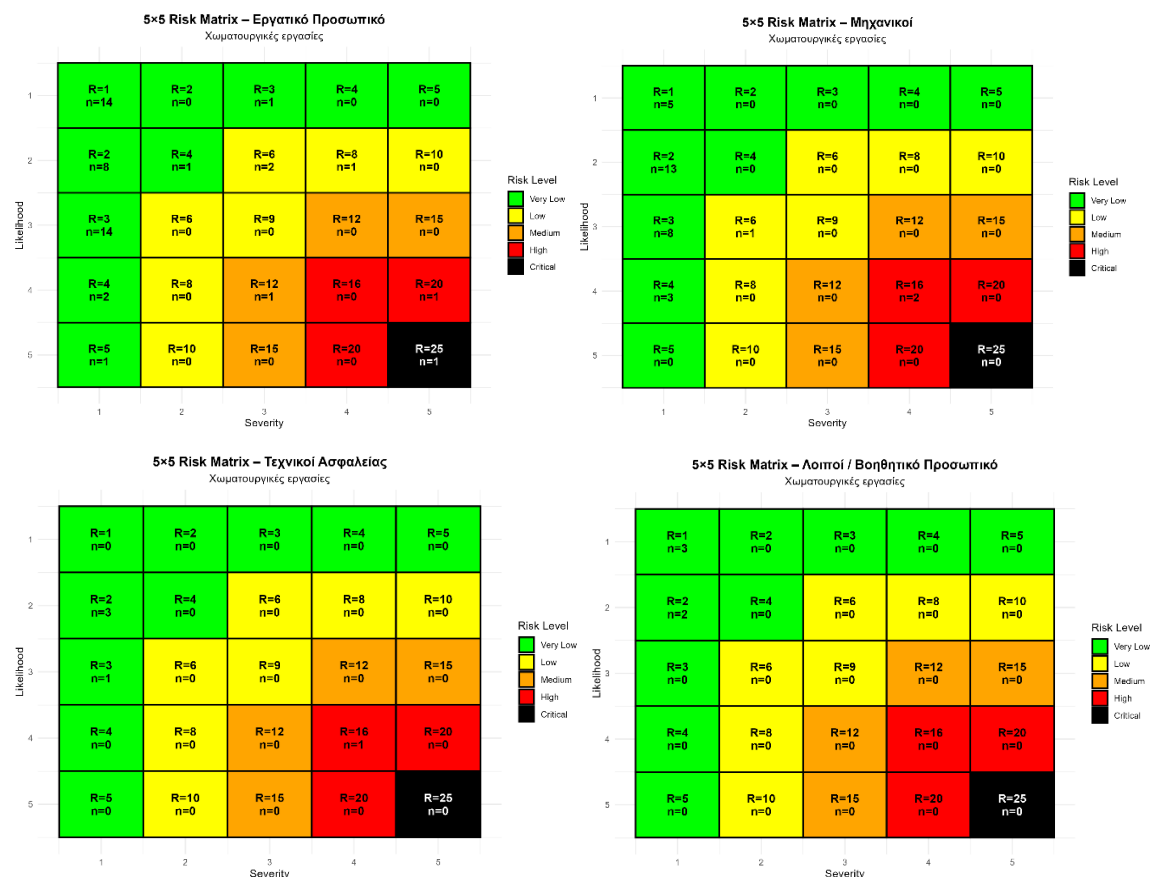
Very Low	Green Zone	1-5	Acceptable
Low	Yellow Zone	6-10	Acceptable with routine controls
Medium	Orange Zone	11-15	Acceptable with controls
High	Red Zone	16-20	Unacceptable unless reduced
Critical	Black Zone	21-25	Unacceptable

4.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΙΝΑΚΩΝ ΡΙΣΚΟΥ ΑΝΑ ΕΡΓΑΣΙΑ (ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ)

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται οι Risk Matrices 5×5 ανά επιμέρους εργασία, με συγκριτική ανάλυση μεταξύ των διαφορετικών κατηγοριών προσωπικού (Εργατικό Προσωπικό, Μηχανικοί, Τεχνικοί Ασφαλείας και Λοιποί/Βοηθητικό Προσωπικό).

Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την άμεση σύγκριση της αντίληψης κινδύνου για την ίδια εργασία, τον εντοπισμό διαφορών μεταξύ επιχειρησιακής και τεχνικής αξιολόγησης και την ανάδειξη εργασιών με αυξημένη πολυπλοκότητα ή υποεκτίμηση κινδύνου.

4.4.1 Πίνακες Ρίσκου – Χωματουργικές εργασίες



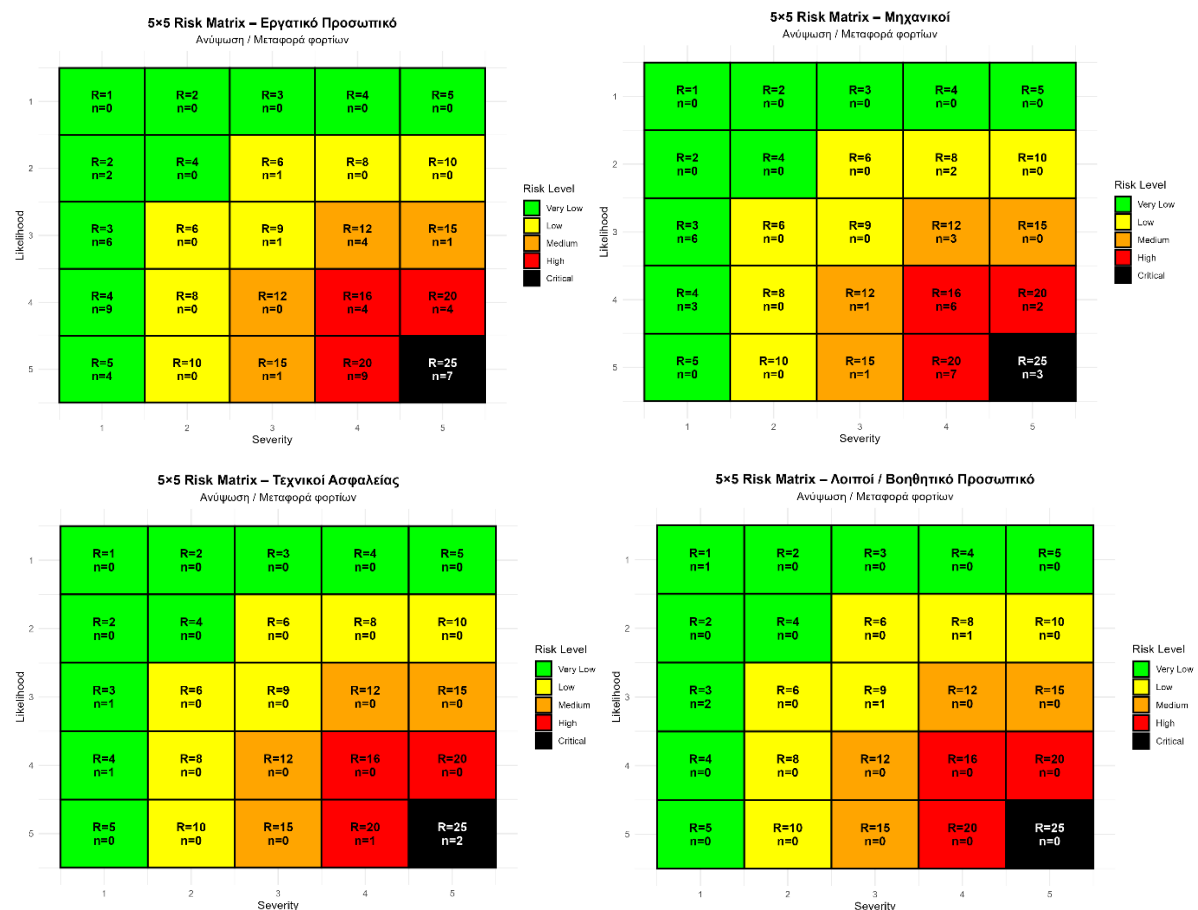
Σχήμα 12 Risk Matrices Χωματουργικές Εργασίες ανά κατηγορία προσωπικού.

Σχολιασμός

Οι χωματουργικές εργασίες εμφανίζουν γενικά χαμηλά έως μεσαία επίπεδα κινδύνου για το εργατικό προσωπικό, με την πλειονότητα των απαντήσεων να συγκεντρώνεται στις ζώνες Very Low και Low. Αυτό υποδηλώνει εξοικείωση με τη συγκεκριμένη δραστηριότητα και αντίληψη επαρκούς ελέγχου των κινδύνων. Αντίθετα, οι μηχανικοί και οι τεχνικοί ασφαλείας αποδίδουν αυξημένη σοβαρότητα σε συγκεκριμένα σενάρια, κυρίως λόγω πιθανών αστοχιών εξοπλισμού ή γεωτεχνικών παραμέτρων, γεγονός που μετατοπίζει μέρος των απαντήσεων σε Medium και High επίπεδα.

Η διαφοροποίηση αυτή αναδεικνύει την ανάγκη ενίσχυσης της ενημέρωσης και της επιτήρησης, ιδιαίτερα σε φάσεις εκσκαφής ή εργασιών πλησίον υπόγειων δικτύων.

4.4.2 Πίνακες Ρίσκου – Ανύψωση / Μεταφορά φορτίων



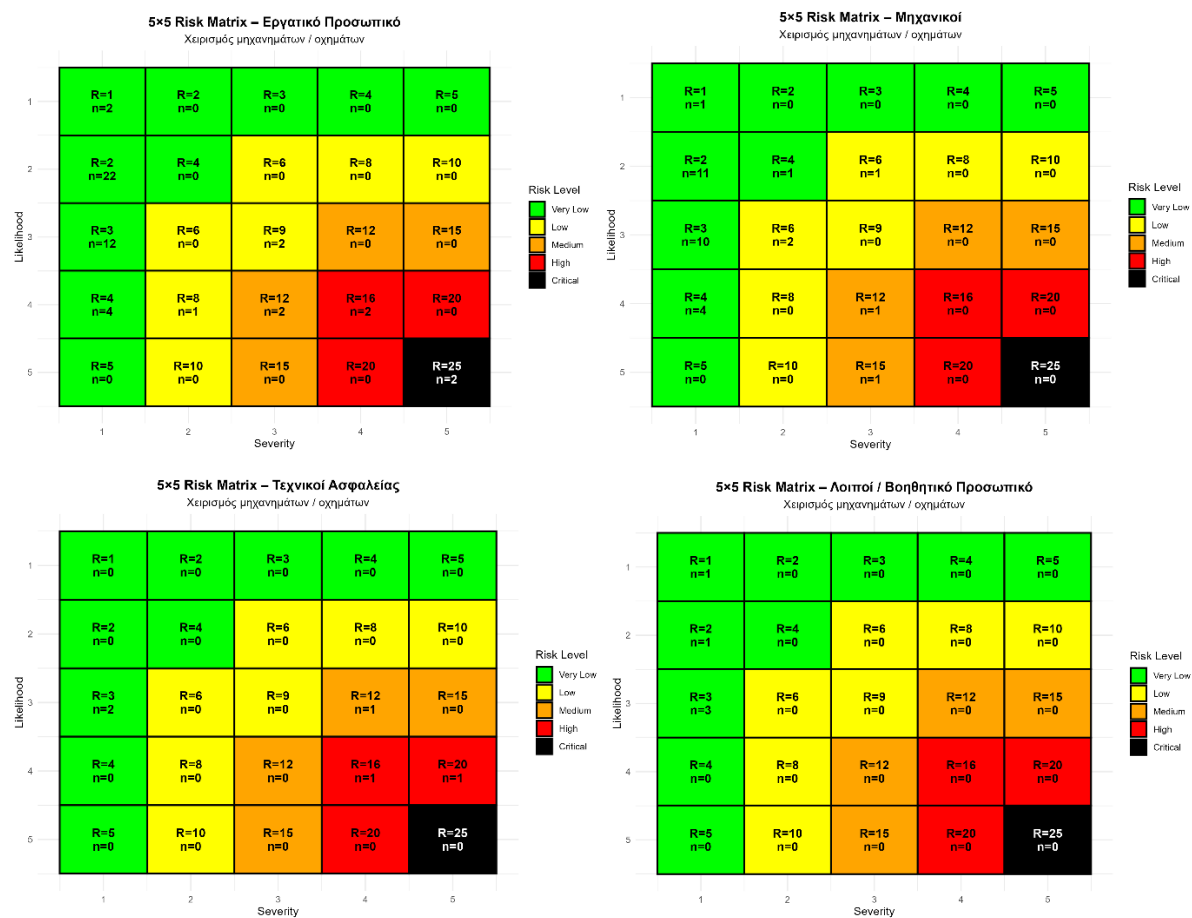
Σχήμα 13 Risk Matrices Ανύψωση/Μεταφορά Φορτίων ανά κατηγορία προσωπικού.

Σχολιασμός

Η ανύψωση και μεταφορά φορτίων εμφανίζει υψηλό επίπεδο επικινδυνότητας, κυρίως λόγω της συχνότητας εκτέλεσης και της εμπλοκής μηχανικών μέσων.

Οι μηχανικοί και οι τεχνικοί ασφαλείας αποδίδουν αυξημένη πιθανότητα ατυχήματος, ενώ το εργατικό προσωπικό τείνει να επικεντρώνεται περισσότερο στη σοβαρότητα των συνεπειών.

4.4.3 Πίνακες Ρίσκου – Χειρισμός μηχανημάτων / οχημάτων

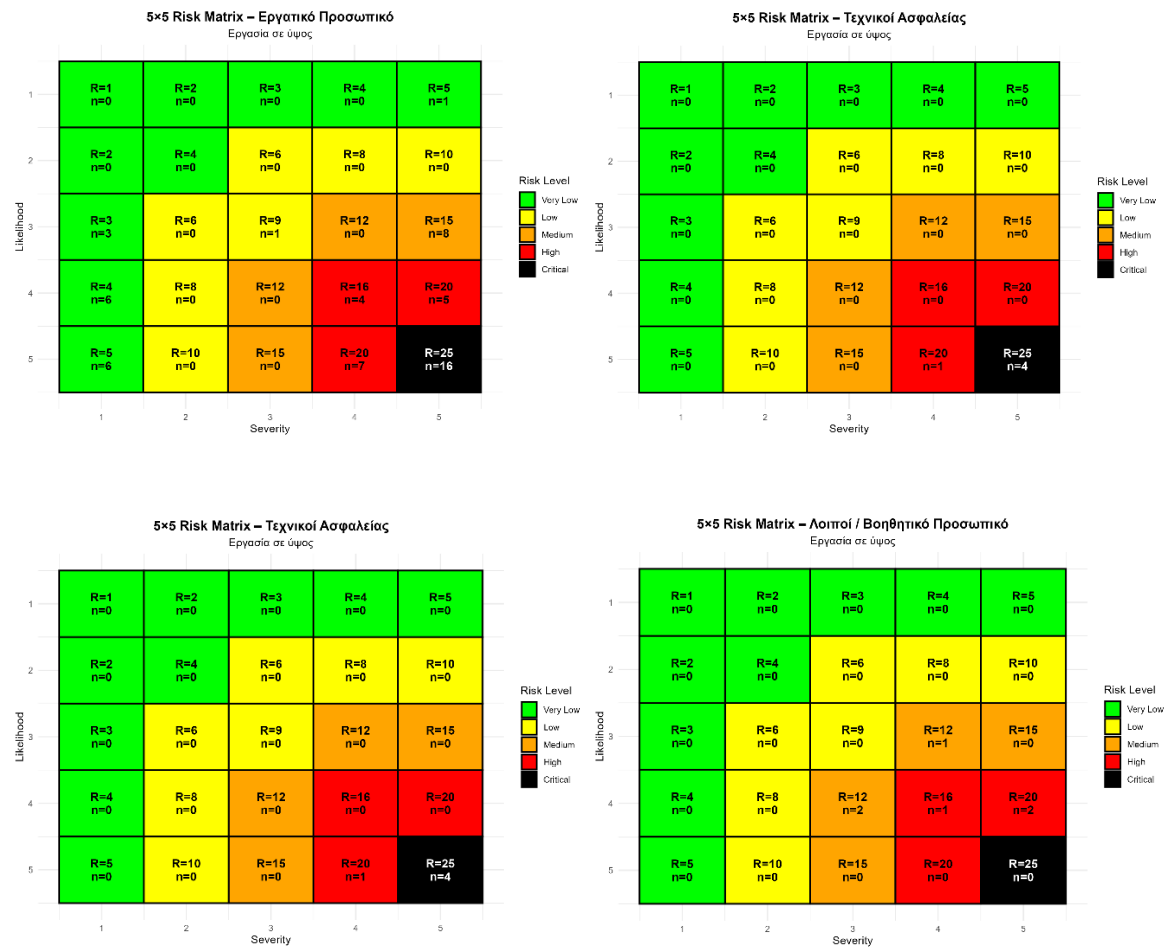


Σχήμα 14 Risk Matrices Χειρισμός μηχανημάτων/οχημάτων ανά κατηγορία προσωπικού.

Σχολιασμός

Ο χειρισμός μηχανημάτων και οχημάτων αξιολογείται γενικά ως χαμηλού έως μεσαίου κινδύνου, ωστόσο σε συγκεκριμένες περιπτώσεις παρατηρείται μετατόπιση σε High επίπεδα, ιδιαίτερα από τους τεχνικούς ασφαλείας.

4.4.4 Πίνακες Ρίσκου – Εργασία σε ύψος



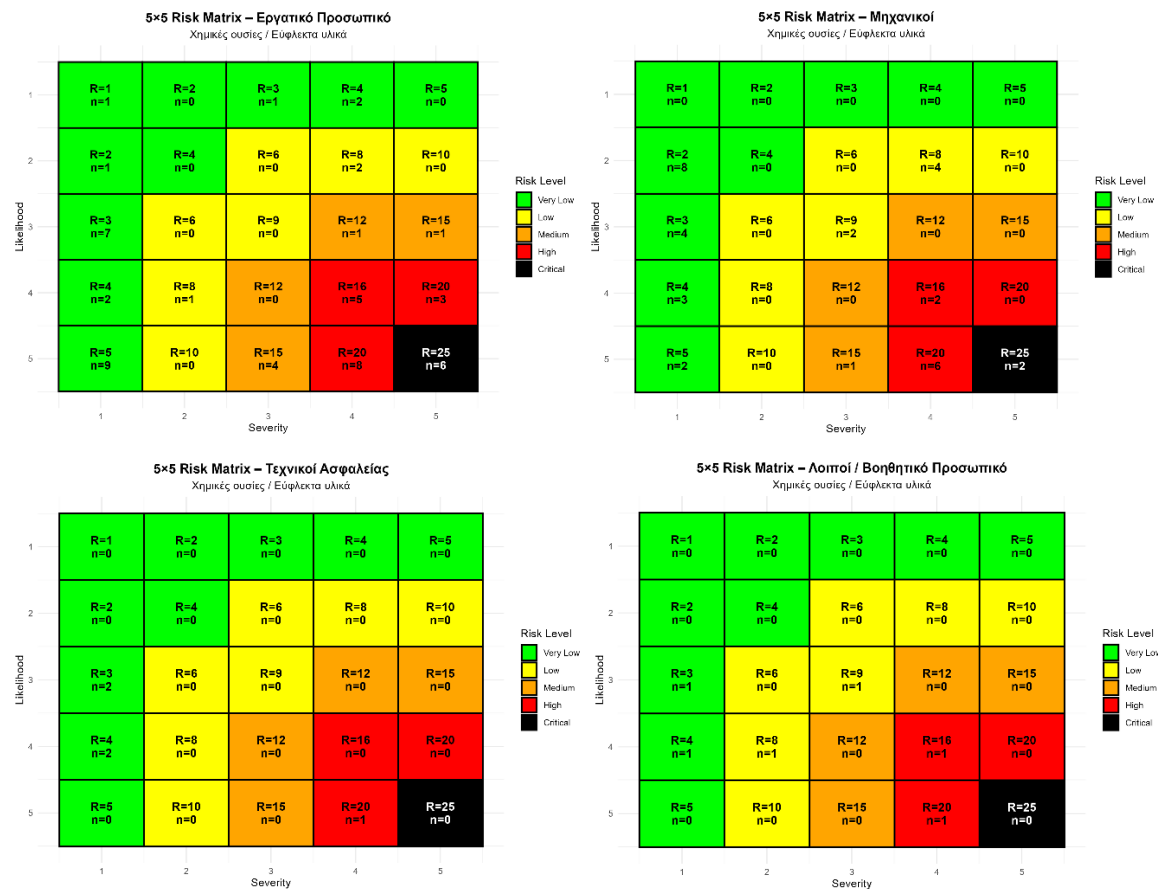
Σχήμα 15 Risk Matrices Εργασία σε ύψος ανά κατηγορία προσωπικού.

Σχολιασμός

Η εργασία σε ύψος αναδεικνύεται ως η πλέον κρίσιμη δραστηριότητα σε όλες τις κατηγορίες προσωπικού. Οι Risk Matrices παρουσιάζουν σημαντική συγκέντρωση απαντήσεων στις ζώνες High και Critical, με τους τεχνικούς ασφαλείας να καταγράφουν τη μέγιστη επικινδυνότητα.

Η σύγκλιση των αξιολογήσεων μεταξύ των ομάδων υποδηλώνει κοινή αναγνώριση της σοβαρότητας των συνεπειών πτώσης από ύψος και επιβεβαιώνει την ανάγκη για αυστηρό έλεγχο και επιβολή μέτρων πρόληψης.

4.4.5 Πίνακες Ρίσκου – Χημικές ουσίες / Εύφλεκτα υλικά



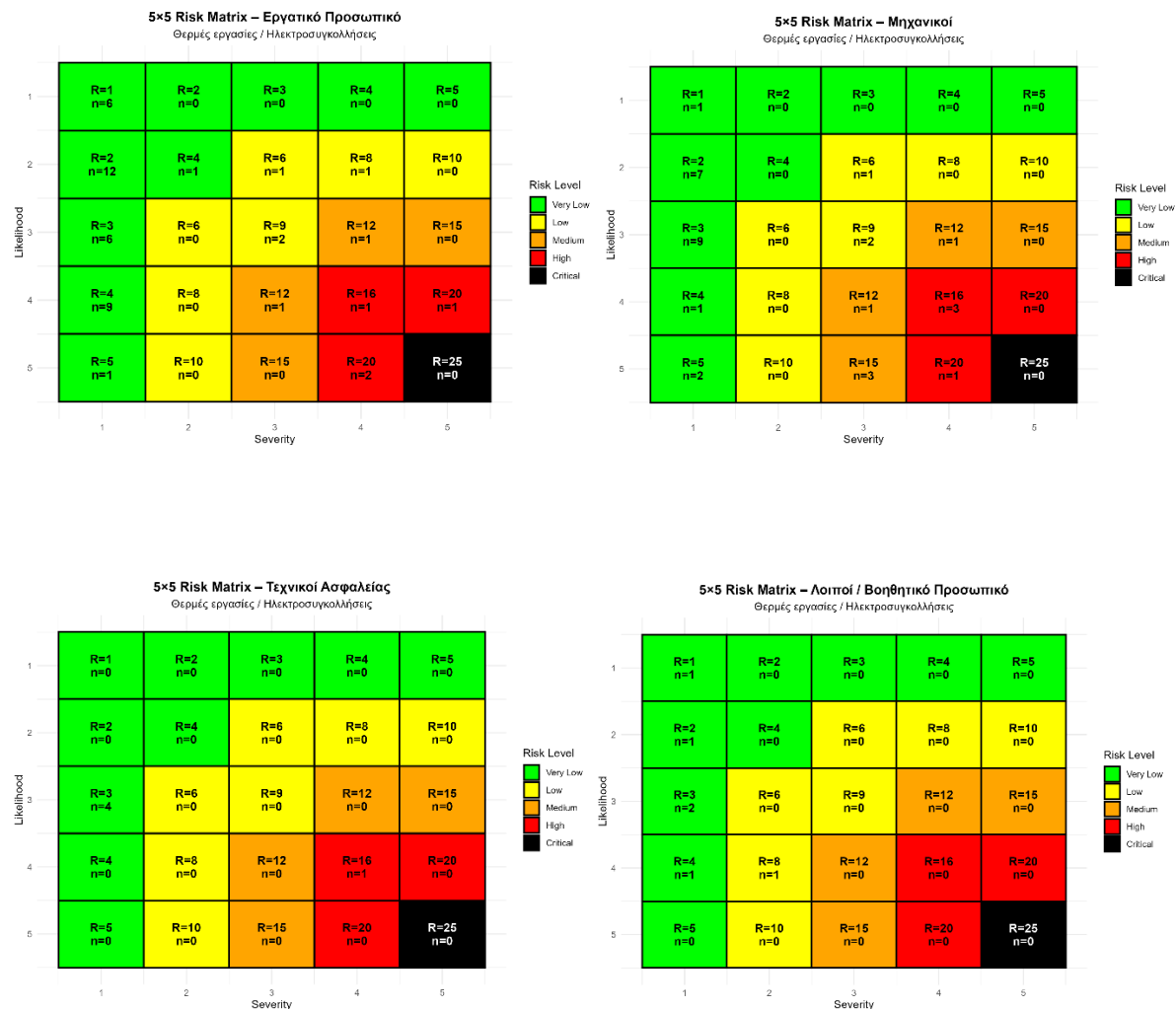
Σχήμα 16 Risk Matrices Χημικές ουσίες / Εύφλεκτα υλικά ανά κατηγορία προσωπικού.

Σχολιασμός

Οι εργασίες που αφορούν χημικές ουσίες και εύφλεκτα υλικά εμφανίζουν αυξημένη συγκέντρωση απαντήσεων σε High και Critical επίπεδα, ιδιαίτερα από τους τεχνικούς ασφαλείας και τους μηχανικούς. Το εργατικό προσωπικό, αν και αναγνωρίζει τη σοβαρότητα των συνεπειών, εμφανίζει μεγαλύτερη διασπορά στις πιθανότητες, γεγονός που οδηγεί σε ετερογενή κατανομή του κινδύνου.

Η έντονη διαφοροποίηση μεταξύ των ομάδων καταδεικνύει τη σημασία της αυστηρής εφαρμογής διαδικασιών HAZMAT (HAZardous MATerials) και της συστηματικής εκπαίδευσης.

4.4.6 Πίνακες Ρίσκου – Θερμές εργασίες / Ηλεκτροσυγκολλήσεις



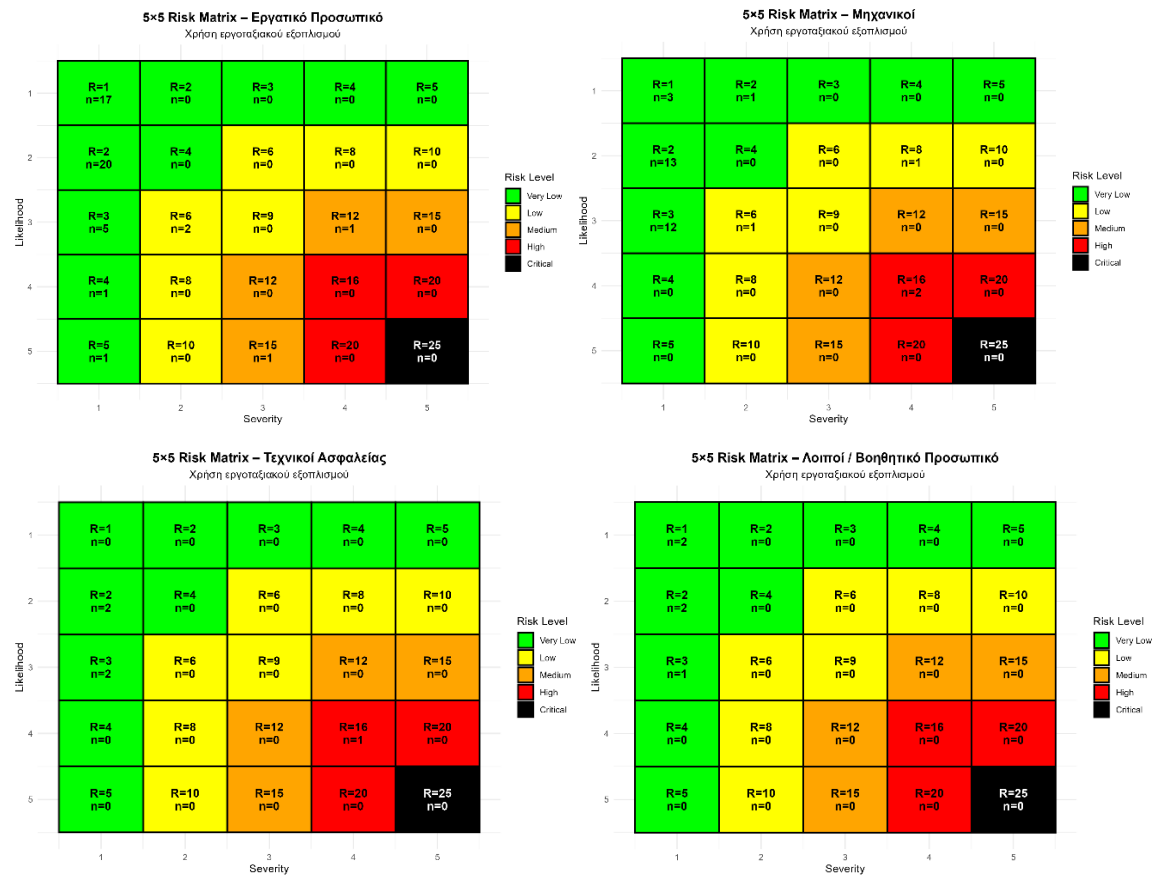
Σχήμα 17 Risk Matrices Θερμές εργασίες / Ηλεκτροσυγκολλήσεις ανά κατηγορία προσωπικού

Σχολιασμός

Οι θερμές εργασίες παρουσιάζουν μέτρια έως υψηλά επίπεδα κινδύνου, κυρίως λόγω του συνδυασμού υψηλής θερμοκρασίας και σπινθήρων.

Η αντίληψη κινδύνου διαφοροποιείται μεταξύ των ομάδων, με τους τεχνικούς ασφαλείας να εμφανίζουν πιο αυστηρή προσέγγιση.

4.4.7 Πίνακες Ρίσκου – Χρήση εργοταξιακού εξοπλισμού



Σχήμα 18 Risk Matrices Χρήση εργοταξιακού εξοπλισμού ανά κατηγορία προσωπικού.

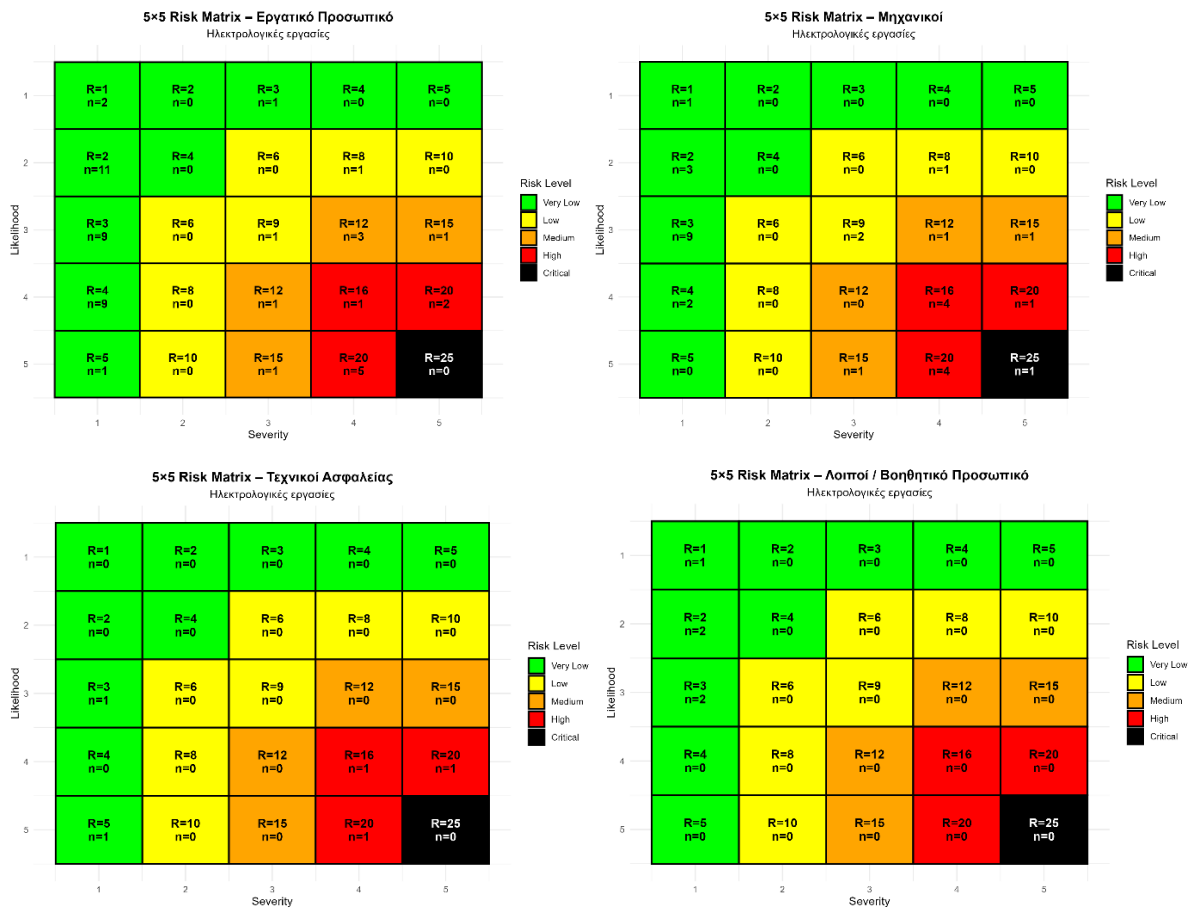
Σχολιασμός

Η χρήση εργοταξιακού εξοπλισμού αξιολογείται από το εργατικό προσωπικό κυρίως ως χαμηλού κινδύνου δραστηριότητα, γεγονός που πιθανώς συνδέεται με τη ρουτίνα και τη συχνή επανάληψη της εργασίας.

Ωστόσο, οι τεχνικοί ασφαλείας και οι μηχανικοί παρουσιάζουν υψηλότερη συγκέντρωση απαντήσεων σε Medium και High επίπεδα, αποδίδοντας ιδιαίτερη σημασία σε κινδύνους μηχανικής αστοχίας, ανεπαρκούς συντήρησης και ανθρώπινου λάθους.

Η απόκλιση αυτή υποδηλώνει πιθανή υποεκτίμηση κινδύνου από το εργατικό προσωπικό και ανάγκη ενίσχυσης των διαδικασιών ελέγχου και εκπαίδευσης.

4.4.8 Πίνακες Ρίσκου – Ηλεκτρολογικές εργασίες



Σχήμα 19 Risk Matrices Ηλεκτρολογικές εργασίες ανά κατηγορία προσωπικού.

Σχολιασμός

Οι ηλεκτρολογικές εργασίες χαρακτηρίζονται από υψηλή σοβαρότητα συνεπειών, γεγονός που οδηγεί σε υψηλά Risk Scores ακόμη και σε περιπτώσεις χαμηλότερης πιθανότητας.

Η διαφοροποίηση των απαντήσεων μεταξύ των κατηγοριών προσωπικού αναδεικνύει τη σημασία της εμπειρίας και της τεχνικής γνώσης στην αξιολόγηση του κινδύνου.

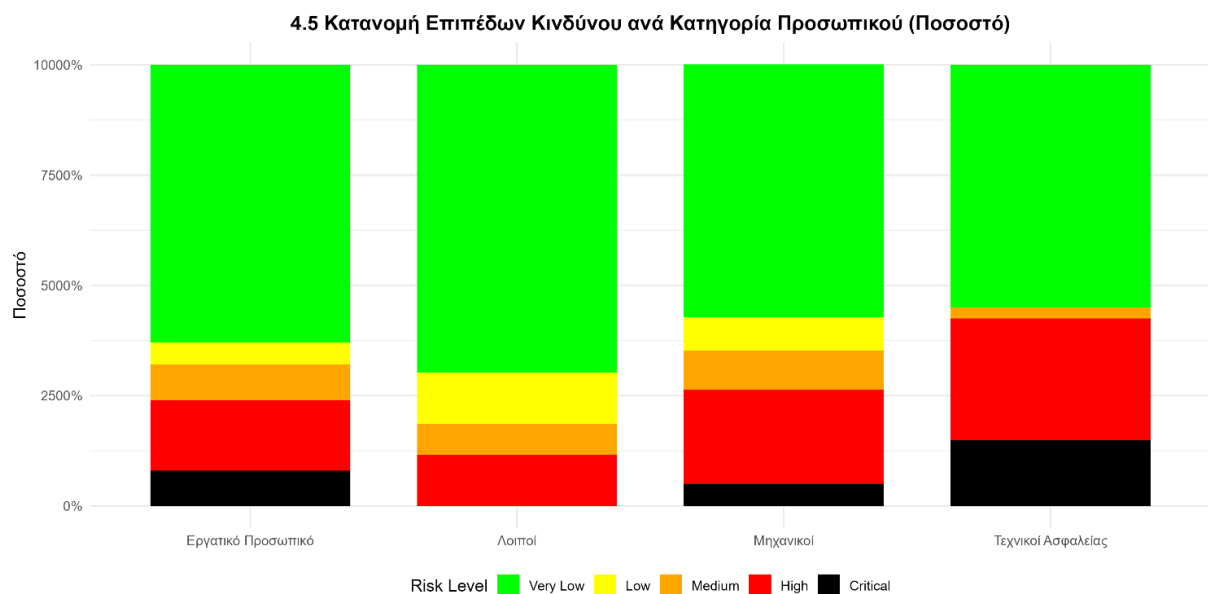
4.5 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ

Για την πληρέστερη κατανόηση του συνολικού προφίλ κινδύνου στο εργοτάξιο, εξετάστηκε η κατανομή των επιπέδων κινδύνου (Very Low έως Critical) ανά κατηγορία προσωπικού. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την αποτύπωση της γενικής τάσης αξιολόγησης κινδύνου σε κάθε ομάδα και τη σύγκριση μεταξύ τους.

Η ανάλυση δείχνει ότι το Εργατικό Προσωπικό συγκεντρώνει την πλειονότητα των αξιολογήσεων στις ζώνες Very Low και Low, γεγονός που συνδέεται με τη ρουτίνα και την εξοικείωση με τις καθημερινές εργασίες. Ωστόσο, παρατηρείται μη αμελητέο ποσοστό αξιολογήσεων στις ζώνες High και Critical, γεγονός που καταδεικνύει την ύπαρξη συγκεκριμένων εργασιών αυξημένης επικινδυνότητας.

Οι Μηχανικοί εμφανίζουν συγκριτικά υψηλότερο ποσοστό High κινδύνου, στοιχείο που αποδίδεται στην τεχνική τους προσέγγιση και στη συνεκτίμηση πιθανών αστοχιών εξοπλισμού ή διαδικασιών. Αντίστοιχα, οι Τεχνικοί Ασφαλείας παρουσιάζουν το υψηλότερο ποσοστό High και Critical κινδύνων, επιβεβαιώνοντας τη συντηρητικότερη και κανονιστικά αυστηρή αντίληψη κινδύνου.

Οι Λοιποί/Βοηθητικό Προσωπικό εμφανίζει γενικά χαμηλότερα επίπεδα κινδύνου, ωστόσο η παρουσία High αξιολογήσεων σε συγκεκριμένες εργασίες υπογραμμίζει ότι ακόμη και υποστηρικτικοί ρόλοι αντιλαμβάνονται τους κρίσιμους κινδύνους.



Σχήμα 20 Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά κατηγορία προσωπικού.

Πίνακας 8 Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά κατηγορία προσωπικού.

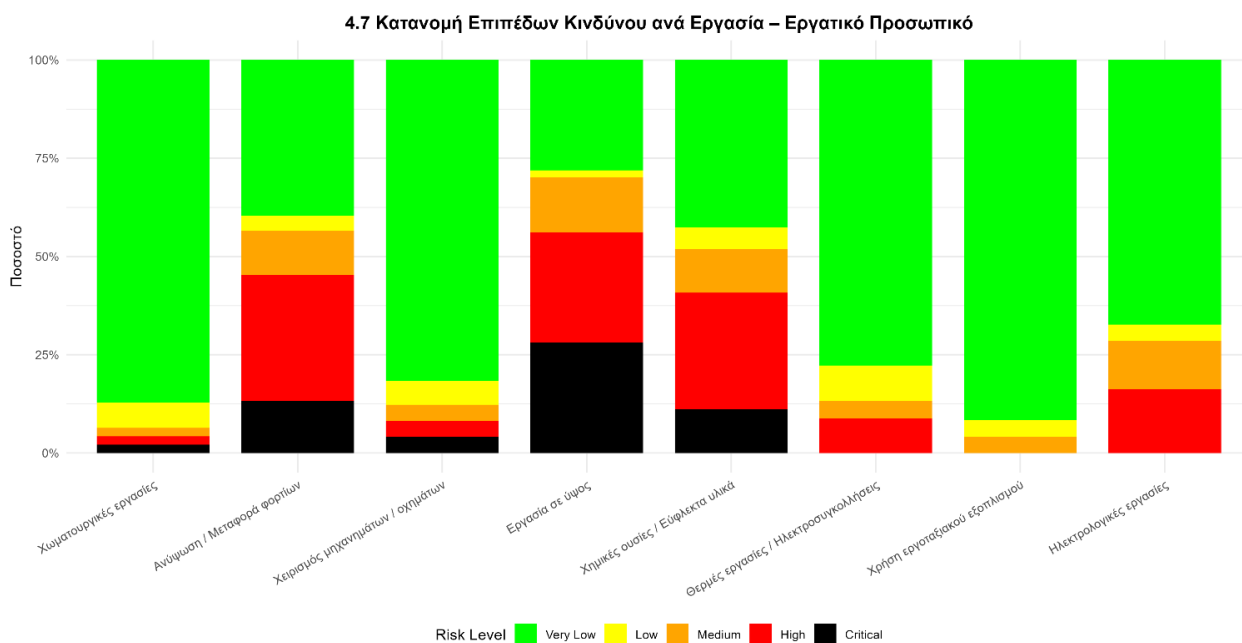
Group	RiskLevel	PCT (%)
Εργατικό Προσωπικό	Very Low	62.9
Εργατικό Προσωπικό	Low	5.00
Εργατικό Προσωπικό	Medium	8.20
Εργατικό Προσωπικό	High	15.9
Εργατικό Προσωπικό	Critical	8.00
Λοιποί/Βοηθητικό Προσωπικό	Very Low	69.8
Λοιποί/ Βοηθητικό Προσωπικό	Low	11.6
Λοιποί/ Βοηθητικό Προσωπικό	Medium	7.00
Λοιποί/ Βοηθητικό Προσωπικό	High	11.6
Λοιποί/ Βοηθητικό Προσωπικό	Critical	0.00
Μηχανικοί	Very Low	57.3
Μηχανικοί	Low	7.60
Μηχανικοί	Medium	8.80
Μηχανικοί	High	21.4
Μηχανικοί	Critical	5.00
Τεχνικοί Ασφαλείας	Very Low	55.0
Τεχνικοί Ασφαλείας	Low	0.00
Τεχνικοί Ασφαλείας	Medium	2.50
Τεχνικοί Ασφαλείας	High	27.5
Τεχνικοί Ασφαλείας	Critical	15.0

4.6 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΑΝΑ ΕΡΓΑΣΙΑ

Για την περαιτέρω διερεύνηση του προφίλ κινδύνου στο εργοτάξιο, εξετάστηκε η κατανομή των επιπέδων κινδύνου (Very Low έως Critical) ανά επιμέρους εργασία και κατηγορία προσωπικού. Η ανάλυση αυτή επιτρέπει τον εντοπισμό δραστηριοτήτων που παρουσιάζουν συστηματικά αυξημένη επικινδυνότητα, καθώς και την αξιολόγηση της σταθερότητας της εκτίμησης κινδύνου μεταξύ διαφορετικών επαγγελματικών ρόλων.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η εργασία σε ύψος εμφανίζει σταθερά αυξημένα ποσοστά High και Critical κινδύνου σε όλες τις κατηγορίες προσωπικού, γεγονός που υποδηλώνει καθολική αναγνώριση της σοβαρότητας των συνεπειών. Αντίστοιχα, η ανύψωση και μεταφορά φορτίων καταγράφει σημαντική συγκέντρωση υψηλών επιπέδων κινδύνου, κυρίως λόγω της συχνότητας εκτέλεσης και της χρήσης μηχανικών μέσων.

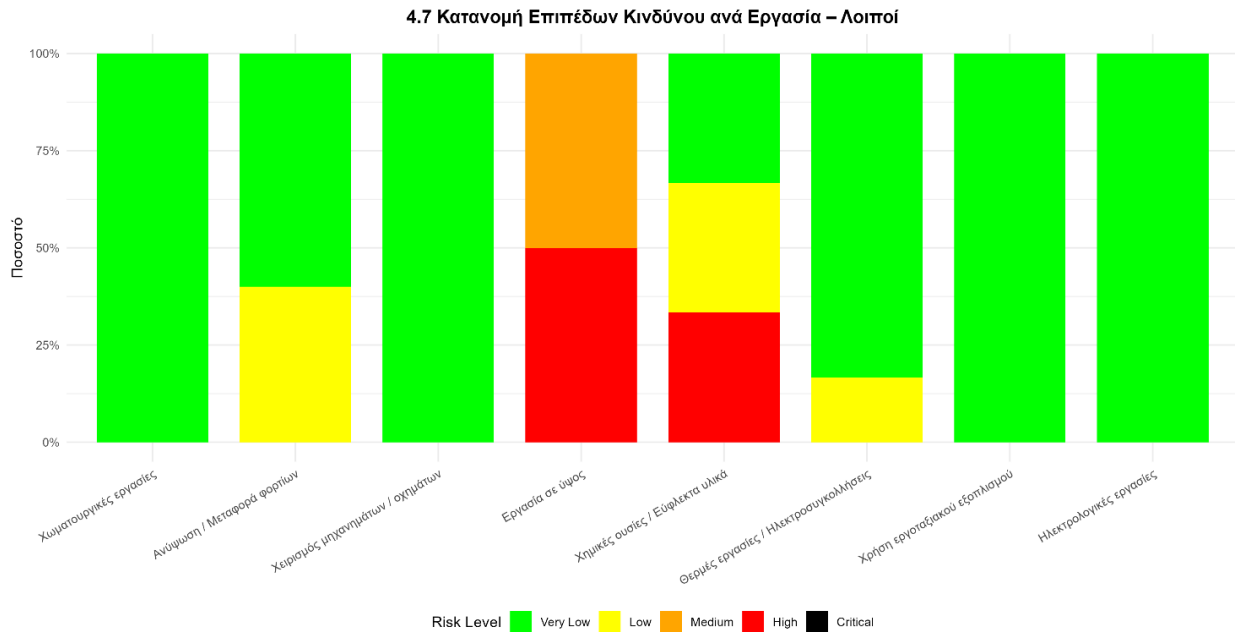
Οι εργασίες που αφορούν χημικές ουσίες και εύφλεκτα υλικά παρουσιάζουν μεγαλύτερη διακύμανση στην κατανομή των επιπέδων κινδύνου, γεγονός που υποδηλώνει διαφοροποιήσεις στην αντίληψη της πιθανότητας έκθεσης και της σοβαρότητας των συνεπειών. Αντίθετα, δραστηριότητες όπως οι χωματουργικές εργασίες και η χρήση εργοταξιακού εξοπλισμού αξιολογούνται κατά κύριο λόγο ως χαμηλού κινδύνου, ιδιαίτερα από το εργατικό προσωπικό, στοιχείο που μπορεί να συνδέεται με την εξοικείωση και τη ρουτίνα.



Σχήμα 21 Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία & Εργατικό Προσωπικό (100% stacked).

Πίνακας 9 Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία & Εργατικό Προσωπικό.

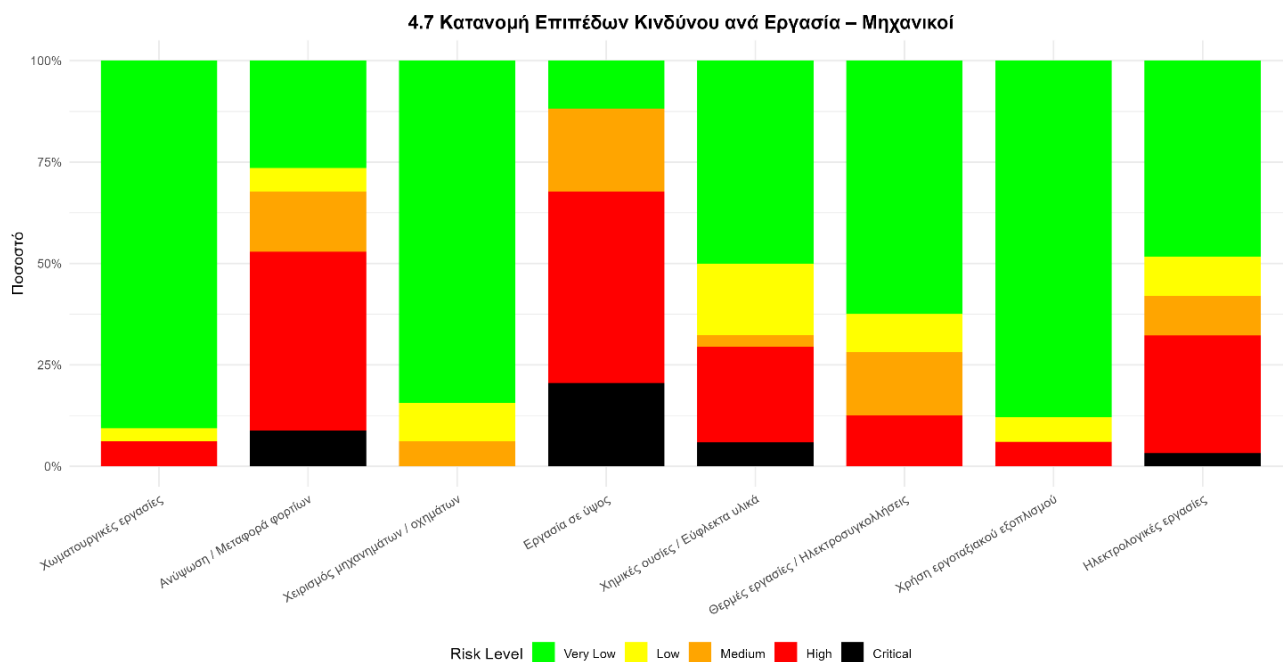
Group	Job	Very Low	Low	Medium	High	Critical
Εργατικό Προσωπικό	Χωματοургικές εργασίες	87.20	6.40	2.10	2.10	2.10
Εργατικό Προσωπικό	Ανύψωση / Μεταφορά φορτίων	39.60	3.80	11.30	32.10	13.20
Εργατικό Προσωπικό	Χειρισμός μηχανημάτων / οχημάτων	81.60	6.10	4.10	4.10	4.10
Εργατικό Προσωπικό	Εργασία σε ύψος	28.10	1.80	14.00	28.10	28.10
Εργατικό Προσωπικό	Χημικές ουσίες / Εύφλεκτα υλικά	42.60	5.60	11.10	29.60	11.10
Εργατικό Προσωπικό	Θερμές εργασίες / Ηλεκτροσυγκολλήσεις	77.80	8.90	4.40	8.90	0.00
Εργατικό Προσωπικό	Χρήση εργοταξιακού εξοπλισμού	91.70	4.20	4.20	0.00	0.00
Εργατικό Προσωπικό	Ηλεκτρολογικές εργασίες	67.30	4.10	12.20	16.30	0.00



Σχήμα 22 Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία & Λοιποί/ Βοηθητικό Προσωπικό (100% stacked).

Πίνακας 10 Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία & Λοιποί/ Βοηθητικό Προσωπικό.

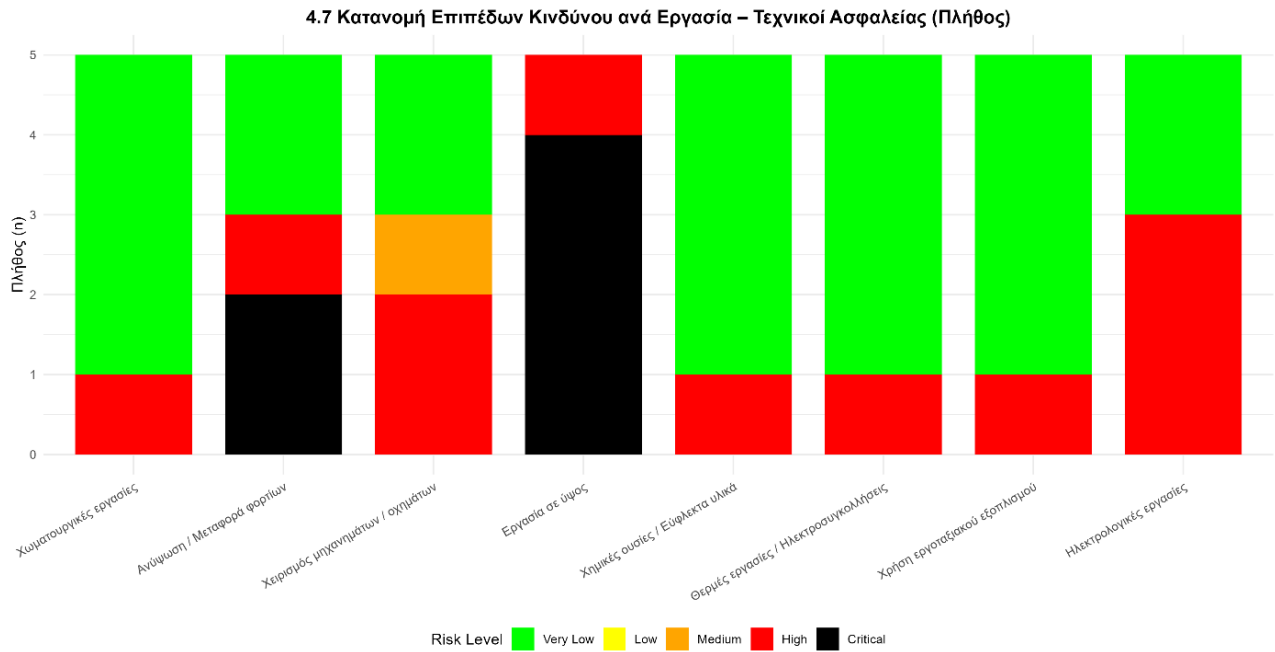
Group	Job	Very Low	Low	Medium	High	Critical
Λοιποί	Χωματουργικές εργασίες	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Λοιποί	Ανύψωση / Μεταφορά φορτίων	60.00	40.00	0.00	0.00	0.00
Λοιποί	Χειρισμός μηχανημάτων / οχημάτων	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Λοιποί	Εργασία σε ύψος	0.00	0.00	50.00	50.00	0.00
Λοιποί	Χημικές ουσίες / Εύφλεκτα υλικά	33.30	33.30	0.00	33.30	0.00
Λοιποί	Θερμές εργασίες / Ηλεκτροσυγκολλήσεις	83.30	16.70	0.00	0.00	0.00
Λοιποί	Χρήση εργοταξιακού εξοπλισμού	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Λοιποί	Ηλεκτρολογικές εργασίες	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Σχήμα 23 Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία & Μηχανικοί (100% stacked).

Πίνακας 11 Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία & Μηχανικοί.

Group	Job	Very Low	Low	Medium	High	Critical
Μηχανικοί	Χωματουργικές εργασίες	90.60	3.10	0.00	6.20	0.00
Μηχανικοί	Ανύψωση / Μεταφορά φορτίων	26.50	5.90	14.70	44.10	8.80
Μηχανικοί	Χειρισμός μηχανημάτων / οχημάτων	84.40	9.40	6.20	0.00	0.00
Μηχανικοί	Εργασία σε ύψος	11.80	0.00	20.60	47.10	20.60
Μηχανικοί	Χημικές ουσίες / Εύφλεκτα υλικά	50.00	17.60	2.90	23.50	5.90
Μηχανικοί	Θερμές εργασίες / Ηλεκτροσυγκολλήσεις	62.50	9.40	15.60	12.50	0.00
Μηχανικοί	Χρήση εργοταξιακού εξοπλισμού	87.90	6.10	0.00	6.10	0.00
Μηχανικοί	Ηλεκτρολογικές εργασίες	48.40	9.70	9.70	29.00	3.20



Σχήμα 24 Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία και Τεχνικοί Ασφαλείας (100% stacked).

Πίνακας 12 Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία και Τεχνικοί Ασφαλείας.

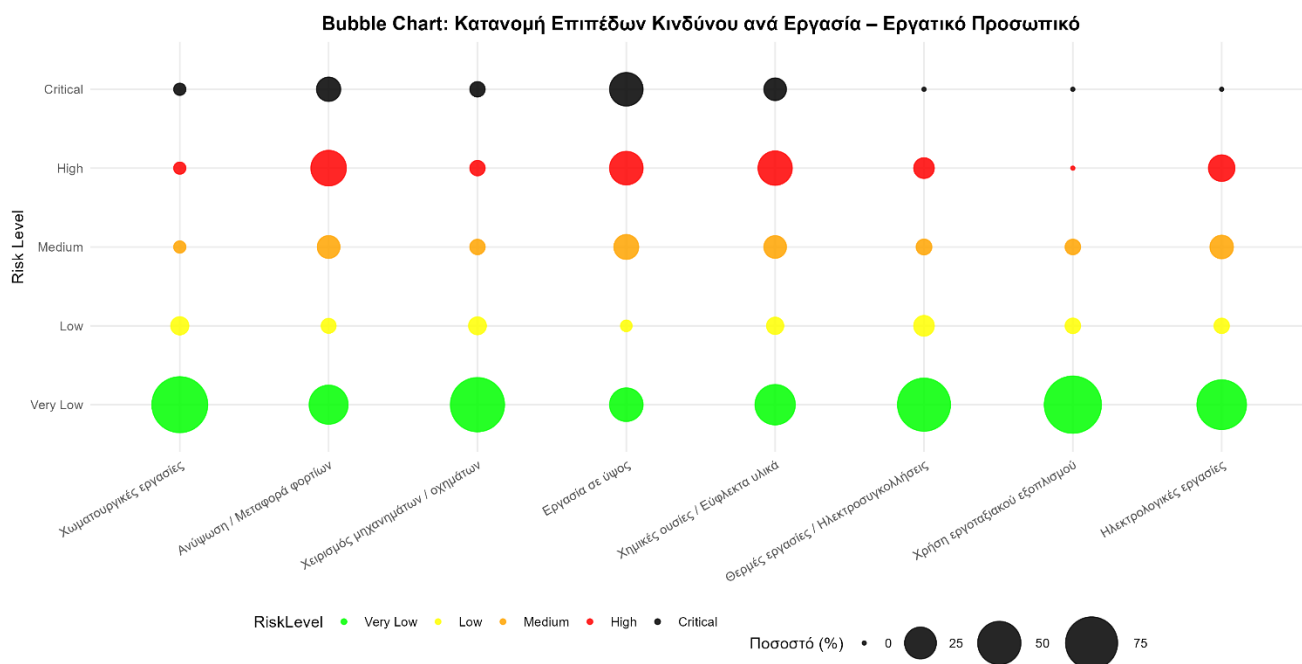
Group	Job	Very Low	Low	Medium	High	Critical
Τεχνικοί Ασφαλείας	Χωματουργικές εργασίες	80.00	0.00	0.00	20.00	0.00
Τεχνικοί Ασφαλείας	Ανύψωση / Μεταφορά φορτίων	40.00	0.00	0.00	20.00	40.00
Τεχνικοί Ασφαλείας	Χειρισμός μηχανημάτων / οχημάτων	40.00	0.00	20.00	40.00	0.00
Τεχνικοί Ασφαλείας	Εργασία σε ύψος	0.00	0.00	0.00	20.00	80.00
Τεχνικοί Ασφαλείας	Χημικές ουσίες / Ευφλεκτα υλικά	80.00	0.00	0.00	20.00	0.00
Τεχνικοί Ασφαλείας	Θερμές εργασίες / Ηλεκτροσυγκολλήσεις	80.00	0.00	0.00	20.00	0.00
Τεχνικοί Ασφαλείας	Χρήση εργοταξιακού εξοπλισμού	80.00	0.00	0.00	20.00	0.00
Τεχνικοί Ασφαλείας	Ηλεκτρολογικές εργασίες	40.00	0.00	0.00	60.00	0.00

4.7 ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΚΡΙΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ BUBBLE CHARTS

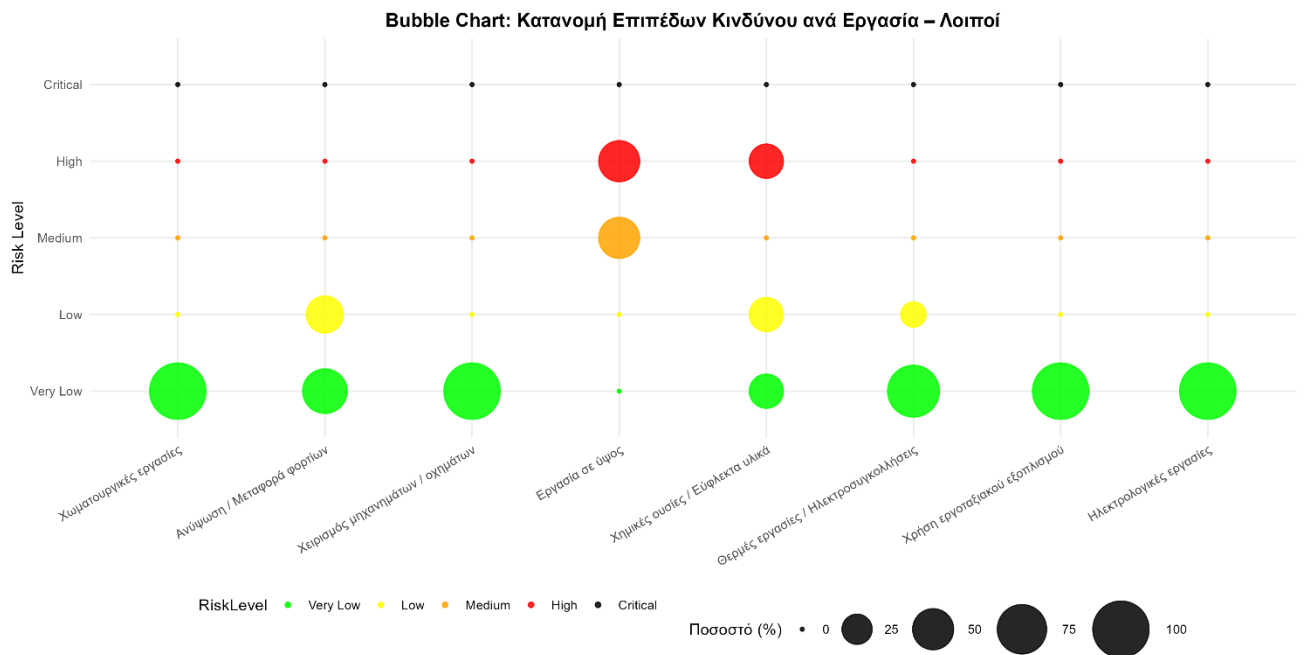
Για την πληρέστερη αποτύπωση της κρισιμότητας των εργασιών χρησιμοποιήθηκαν Bubble Charts, στα οποία το μέγεθος της φυσαλίδας αντιπροσωπεύει το ποσοστό αξιολογήσεων που κατατάσσονται στις ζώνες High και Critical. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την ταυτόχρονη σύγκριση μεταξύ εργασιών και κατηγοριών προσωπικού, αναδεικνύοντας δραστηριότητες που συγκεντρώνουν υψηλή επικινδυνότητα.

Η ανάλυση δείχνει ότι η εργασία σε ύψος αποτελεί τη δραστηριότητα με τη μεγαλύτερη κρισιμότητα σε όλες τις ομάδες, επιβεβαιώνοντας τα ευρήματα των προηγούμενων ενοτήτων. Επιπλέον, η ανύψωση/μεταφορά φορτίων και οι ηλεκτρολογικές εργασίες εμφανίζουν σημαντικά ποσοστά High και Critical, ιδίως για τους μηχανικούς και τους τεχνικούς ασφαλείας.

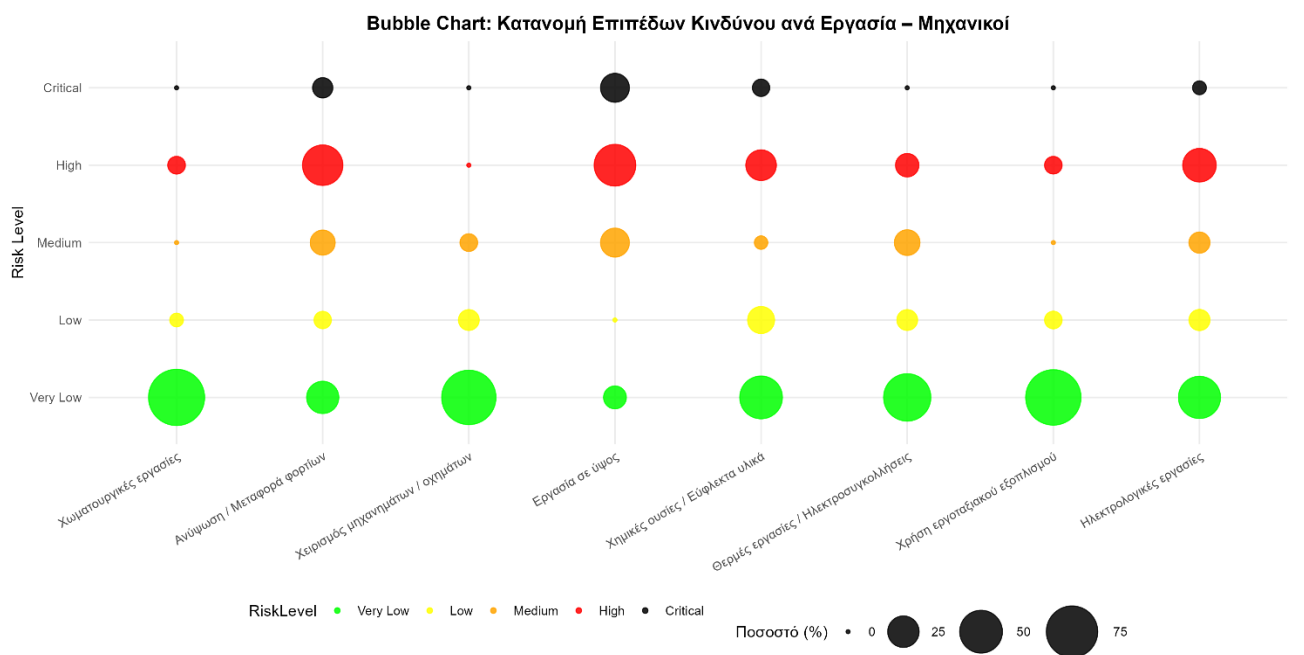
Η διαφοροποίηση στο μέγεθος των φυσαλίδων μεταξύ των κατηγοριών προσωπικού υποδηλώνει διαφορετικές προσεγγίσεις στην εκτίμηση του κινδύνου. Το εργατικό προσωπικό τείνει να αποδίδει χαμηλότερη κρισιμότητα σε ορισμένες δραστηριότητες, ενώ οι τεχνικοί ασφαλείας εμφανίζουν συστηματικά αυξημένη αξιολόγηση κινδύνου, αντανακλώντας τον προληπτικό τους ρόλο.



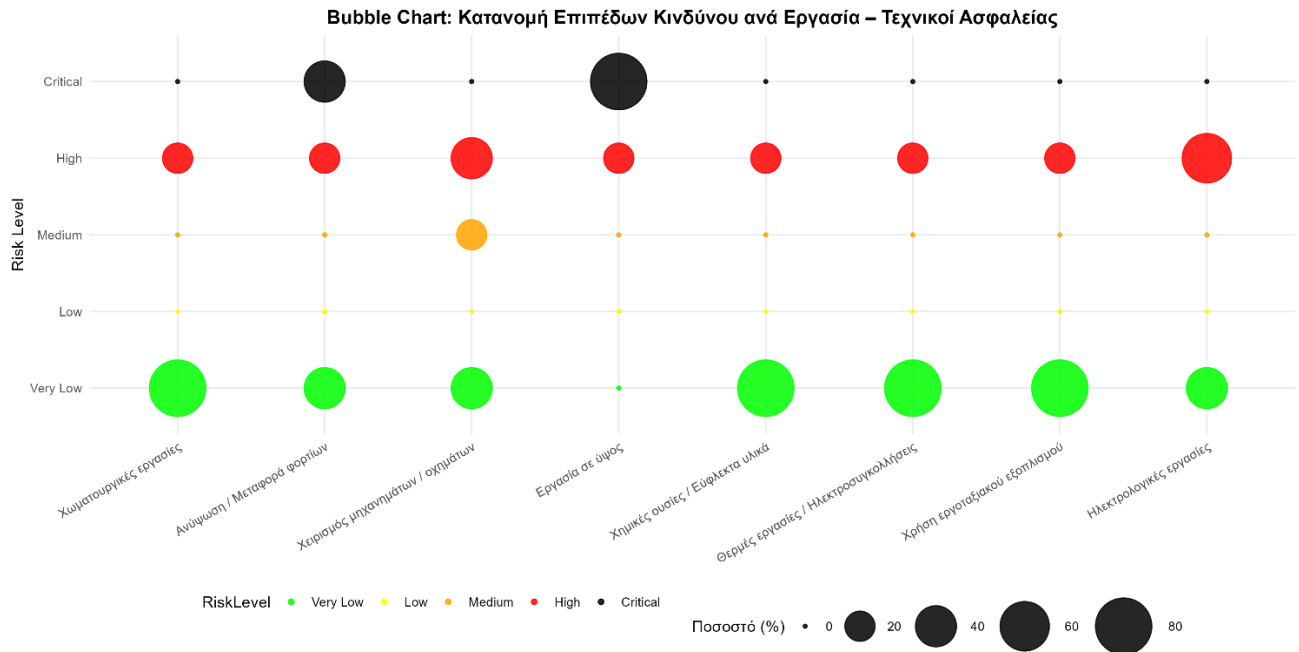
Σχήμα 25 Bubble Chart-Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία στο Εργατικό Προσωπικό.



Σχήμα 26 Bubble Chart-Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία στο Βοηθητικό Προσωπικό.



Σχήμα 27 Bubble Chart-Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία στους Μηχανικούς.



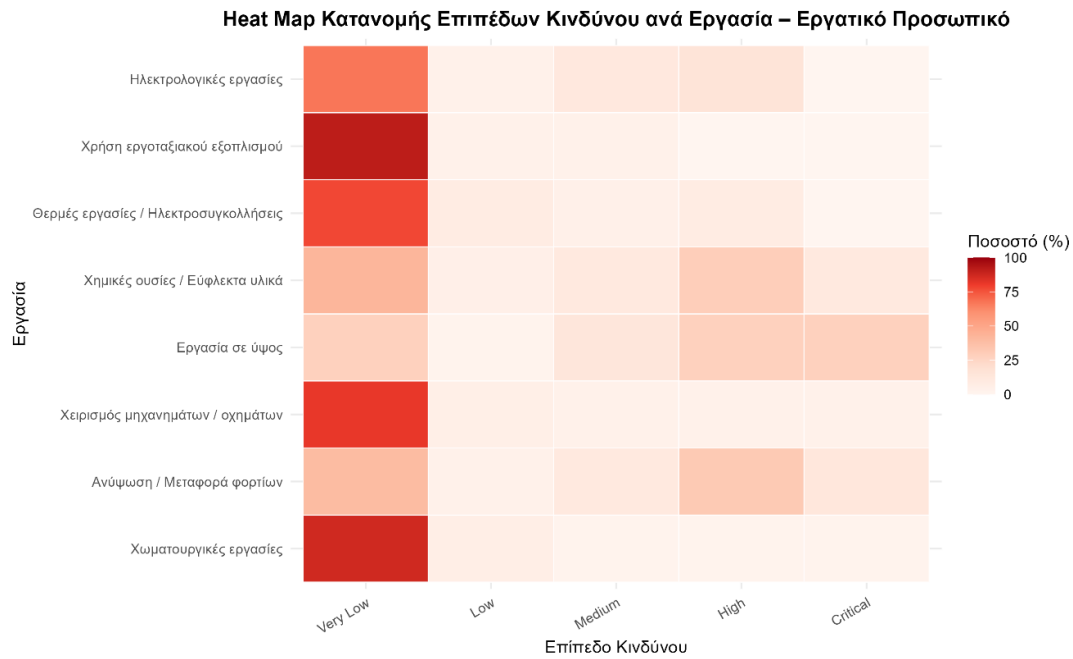
Σχήμα 28 Bubble Chart-Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία στους Τεχνικούς Ασφαλείας.

4.8 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΕΣΩ HEAT MAPS

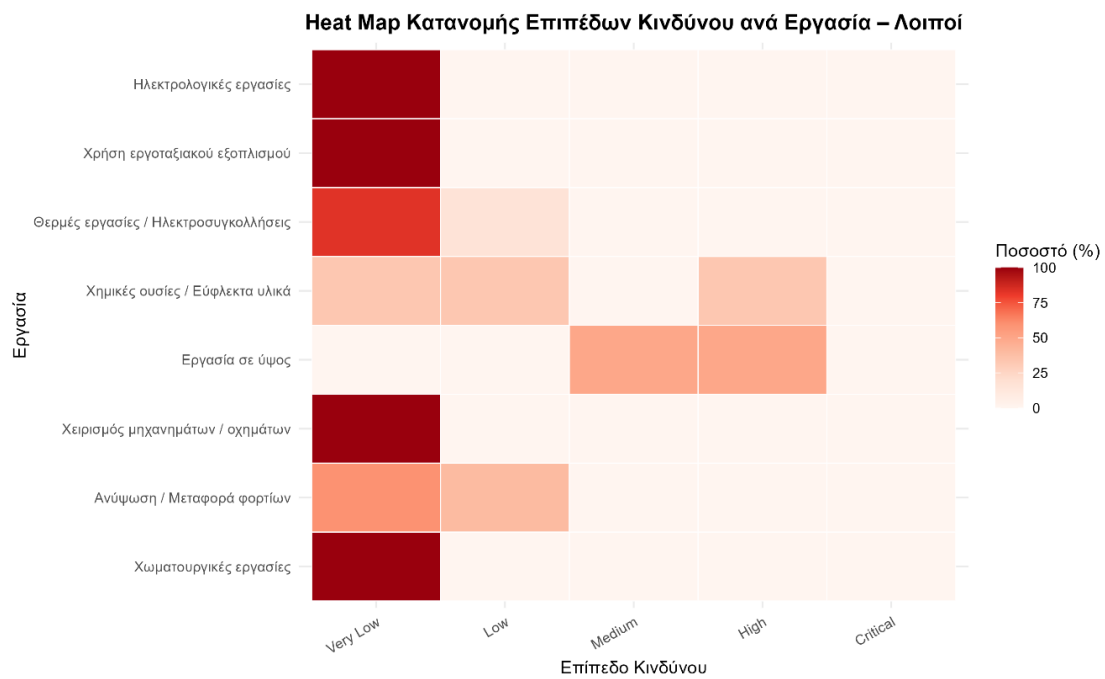
Συμπληρωματικά προς τα Bubble Charts, εφαρμόστηκε ανάλυση Heat Maps για την αποτύπωση της συγκέντρωσης και της σταθερότητας των επιπέδων κινδύνου ανά εργασία και κατηγορία προσωπικού. Η χρωματική κλιμάκωση επιτρέπει τον άμεσο εντοπισμό «θερμών ζωνών» κινδύνου, δηλαδή εργασιών που συγκεντρώνουν υψηλά επίπεδα επικινδυνότητας με συνέπεια.

Τα Heat Maps επιβεβαιώνουν ότι συγκεκριμένες δραστηριότητες, όπως η εργασία σε ύψος και η ανύψωση/μεταφορά φορτίων, εμφανίζουν όχι μόνο υψηλή κρισιμότητα αλλά και σταθερή συγκέντρωση αξιολογήσεων στις ζώνες High και Critical. Αντίθετα, εργασίες όπως οι χωματουργικές παρουσιάζουν υψηλή συγκέντρωση Very Low αξιολογήσεων, γεγονός που υποδηλώνει αντιλαμβανόμενο έλεγχο του κινδύνου.

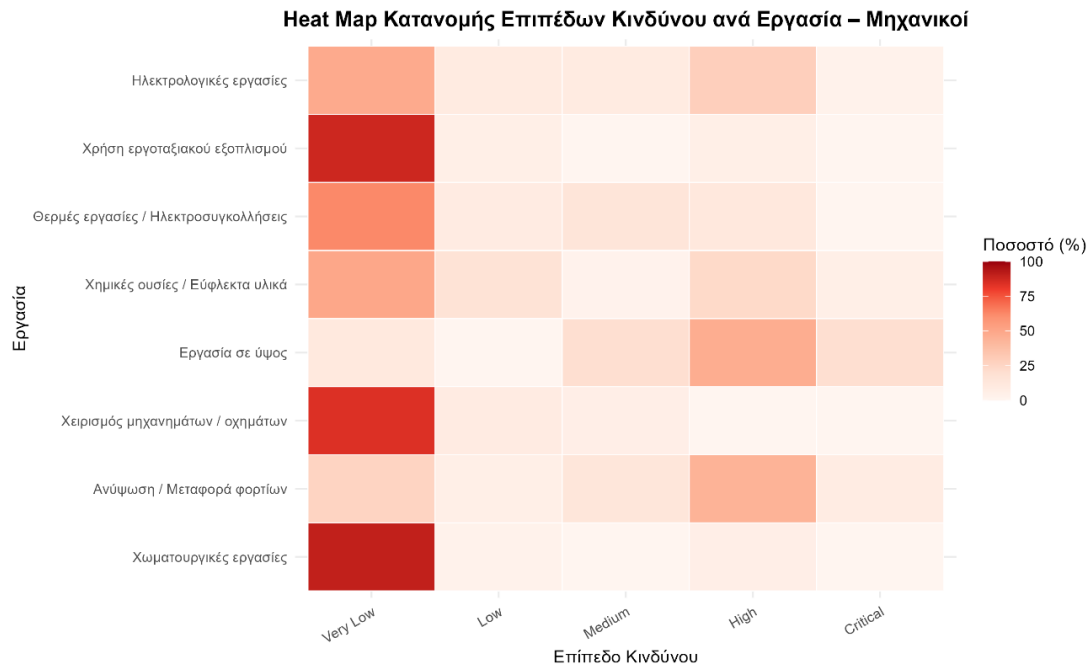
Η σύγκριση μεταξύ κατηγοριών προσωπικού αναδεικνύει σαφείς διαφοροποιήσεις στην κατανομή των επιπέδων κινδύνου, γεγονός που ενισχύει την ανάγκη για στοχευμένα μέτρα πρόληψης και εκπαίδευσης ανά επαγγελματικό ρόλο.



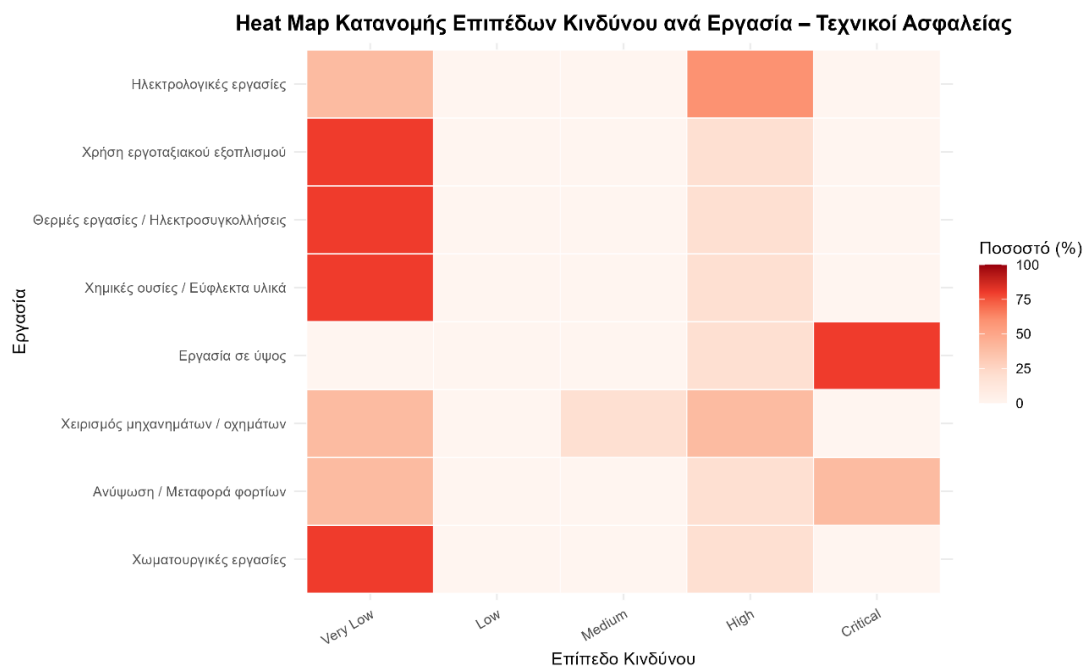
Σχήμα 29 Heat Map-Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία στο Εργατικό Προσωπικό.



Σχήμα 30 Heat Map-Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία στο Βοηθητικό Προσωπικό.



Σχήμα 31 Heat Map-Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία στους Μηχανικούς.

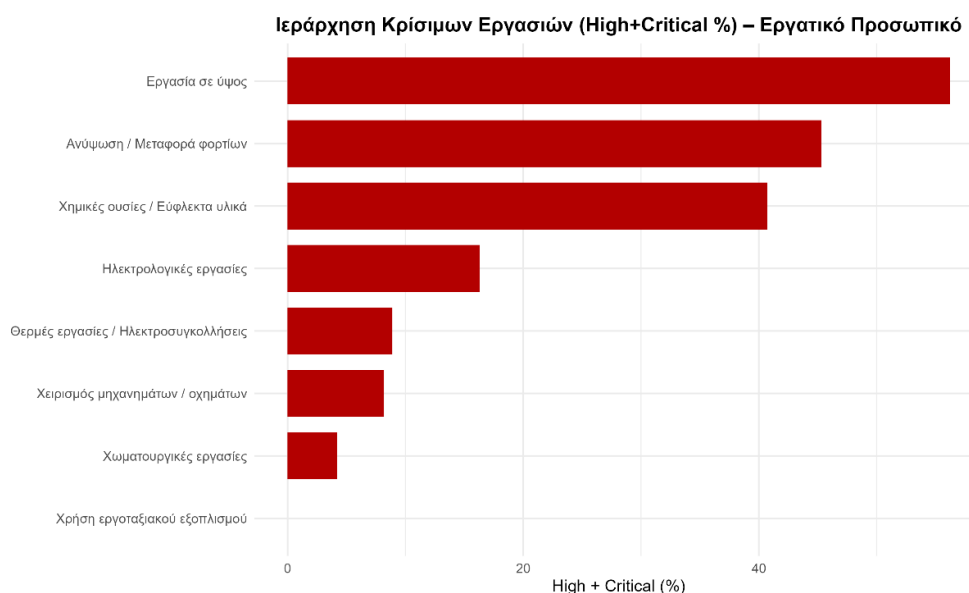


Σχήμα 32 Heat Map-Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία στους Τεχνικούς Ασφαλείας.

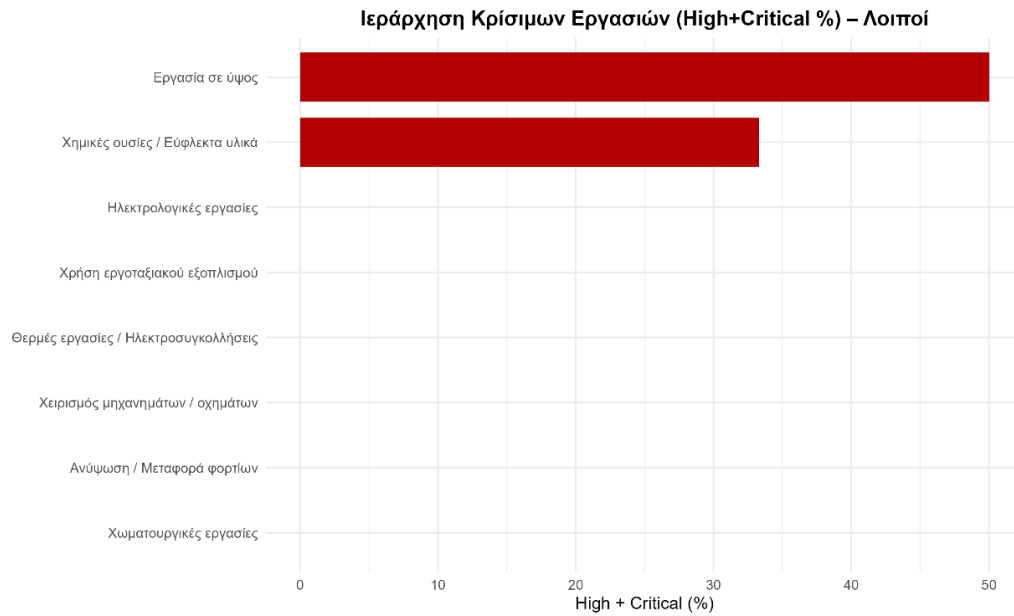
4.9 ΙΕΡΑΡΧΗΣΗ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΒΑΣΕΙ ΠΟΣΟΣΤΟΥ HIGH + CRITICAL

Στο τελικό στάδιο της αξιολόγησης πραγματοποιήθηκε ιεράρχηση των εργασιών με βάση το ποσοστό αξιολογήσεων που κατατάσσονται στις ζώνες High και Critical. Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιήθηκε ως μέτρο επιχειρησιακής προτεραιότητας, καθώς αποτυπώνει άμεσα τις δραστηριότητες που συγκεντρώνουν τη μεγαλύτερη επικινδυνότητα.

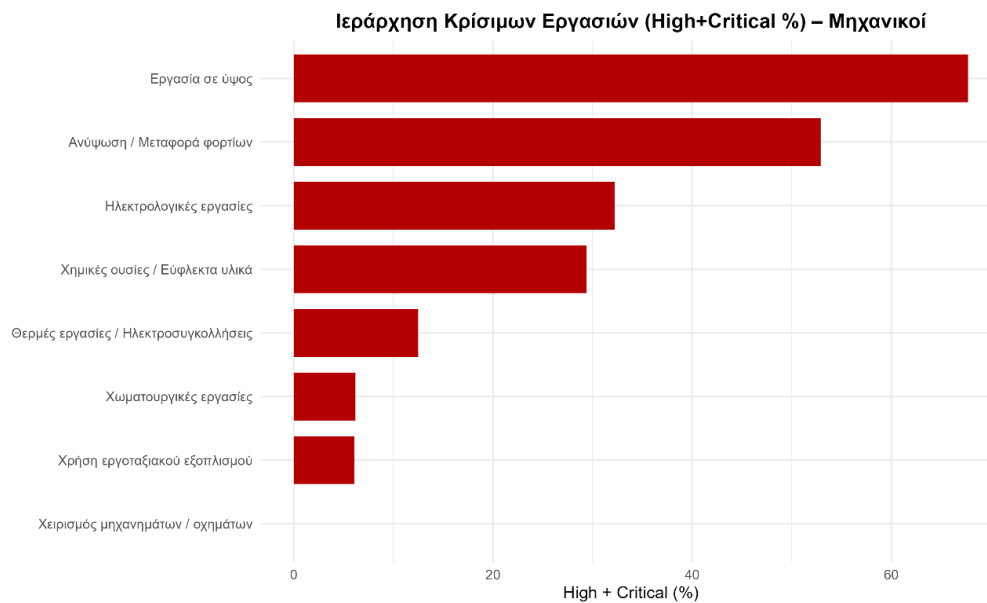
Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η εργασία σε ύψος καταγράφεται ως η πλέον κρίσιμη δραστηριότητα σε όλες τις κατηγορίες προσωπικού. Ακολουθούν η ανύψωση και μεταφορά φορτίων, οι χημικές ουσίες / εύφλεκτα υλικά, οι ηλεκτρολογικές εργασίες, οι θερμές εργασίες / ηλεκτροσυγκολήσεις, ο χειρισμός μηχανημάτων / οχημάτων, οι χωματουργικές εργασίες και η χρήση εργοταξιακού εξοπλισμού.



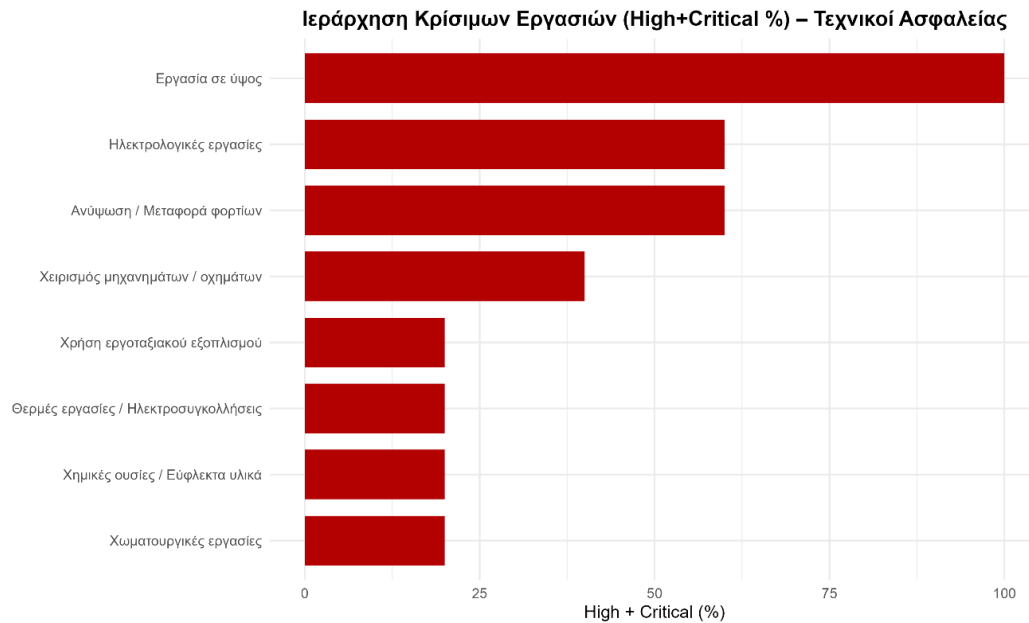
Σχήμα 33 Bar List-Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία στο Εργατικό Προσωπικό.



Σχήμα 34 Bar List-Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία στο Βοηθητικό Προσωπικό.



Σχήμα 35 Bar List-Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία στους Μηχανικούς.



Σχήμα 36 Bar List-Κατανομή επιπέδων κινδύνου ανά εργασία στους Τεχνικούς Ασφαλείας.

Η ιεράρχηση αυτή παρέχει τεκμηριωμένη βάση για την επιλογή των δραστηριοτήτων που απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση και ενισχυμένα μέτρα πρόληψης και αξιοποιείται ως κριτήριο για την εφαρμογή της μεθοδολογίας HAZOP στο επόμενο κεφάλαιο.

4.10 ΑΙΤΙΟΚΡΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ HAZOP

4.10.1 Σκοπός

Στο τελικό στάδιο εφαρμόστηκε HAZOP για αιτιοκρατική διερεύνηση των εργασιών που αναδείχθηκαν ως υψηλού κινδύνου (High/Critical) από τη Risk Matrix, με στόχο την τεκμηρίωση αποκλίσεων, αιτιών, συνεπειών και υφιστάμενων safeguards, καθώς και τη διατύπωση στοχευμένων προτάσεων βελτίωσης (όπως περιγράφεται στο Κεφ. 3).

4.10.2 Επιλογή εργασιών για HAZOP

Η επιλογή των εργασιών για την εφαρμογή της HAZOP βασίστηκε αρχικά στα αποτελέσματα της ποσοτικής αξιολόγησης κινδύνου μέσω Risk Matrices, τα οποία ανέδειξαν δραστηριότητες με αυξημένη συγκέντρωση αξιολογήσεων στις ζώνες High και Critical,

Με βάση την ιεράρχηση High και Critical, επιλέχθηκαν οι ακόλουθες εργασίες:

- (α) Εργασία σε ύψος,
- (β) Ανύψωση/μεταφορά φορτίων,
- (γ) Ηλεκτρολογικές εργασίες,
- (δ) Χημικές ουσίες/εύφλεκτα υλικά.

4.10.2.1 Εργασία σε ύψος

Η ανάλυση HAZOP ανέδειξε ως κυρίαρχες αποκλίσεις:

- **No Flow**, που σχετίζεται με απουσία ή πλημμελή εφαρμογή συστημάτων προστασίας από πτώση,
- **Less Flow**, λόγω ανεπαρκών μέσων πρόσβασης και μη πιστοποιημένων ικριωμάτων ή πλατφορμών,
- **Misdirected Flow**, που συνδέεται με πτώση εργαλείων ή αντικειμένων σε χαμηλότερα επίπεδα.
- **Reverse Flow**, λόγω καθυστερημένη διάσωση μετά από ενεργοποίηση του συστήματος αναχαίτισης πτώσης.

Οι συνέπειες περιλαμβάνουν πτώσεις από ύψος, σοβαρούς τραυματισμούς ή θανάτους και τραυματισμό τρίτων. Τα μέτρα επικεντρώνονται σε permit εργασίας σε ύψος, επιθεωρήσεις, χρήση harness και οριοθέτηση ζωνών αποκλεισμού.

4.10.2.2 Ανύψωση και μεταφορά φορτίων

Η ανάλυση HAZOP ανέδειξε ως κυρίαρχες αποκλίσεις:

- **More Flow**, λόγω υπερφόρτωσης και χρήσης φθαρμένου ή μη πιστοποιημένου εξοπλισμού ανύψωσης,

- **Reverse Flow**, που σχετίζεται με ανεξέλεγκτες κινήσεις ή αιφνίδια αλλαγή πορείας φορτίων,
- **Misdirected Flow**, εξαιτίας ανεπαρκούς οργάνωσης κυκλοφορίας και απουσίας καθορισμένων ζωνών εργασίας.
- **No Flow**, λόγω έλλειψης πειθαρχίας & ζώνης/περιοχής αποκλεισμού

Οι συνέπειες περιλαμβάνουν συνθλίψεις, σοβαρούς τραυματισμούς και θανατηφόρα ατυχήματα. Η ανάλυση τεκμηριώνει την ανάγκη για εγκεκριμένα σχέδια ανύψωσης (lift plans), πιστοποιημένους χειριστές ανύψωσης (riggers), αποκλειστικές ζώνες ανύψωσης και αυστηρή εφαρμογή σχεδίου διαχείρισης κυκλοφορίας (traffic management).

4.10.2.3 Χημικές ουσίες / Εύφλεκτα υλικά

Η ανάλυση HAZOP ανέδειξε ως κυρίαρχες αποκλίσεις:

- **No Composition**, λόγω ελλιπούς γνώσης του Δελτίου Δεδομένων Ασφαλείας (Safety Data Sheet – SDS), λανθασμένης ταυτοποίησης και μίξης χημικών,
- **More Flow**, που σχετίζεται με διαρροές από ακατάλληλη αποθήκευση ή φθαρμένα δοχεία,
- **Higher Temperature**, εξαιτίας έκθεσης εύφλεκτων υλικών σε πηγές θερμότητας ή σπινθήρες.
- **Less Flow**, εξαιτίας ανεπαρκούς εξαερισμού/συσσώρευσης ατμών.

Οι συνέπειες περιλαμβάνουν εγκαύματα, δηλητηριάσεις, πυρκαγιές ή εκρήξεις. Τα προτεινόμενα μέτρα περιλαμβάνουν ορθή αποθήκευση, σήμανση, εκπαίδευση HAZMAT (HAZardous MATerials), εξοπλισμός/kit αντιμετώπισης διαρροών (spill kits) και χρήση κατάλληλων Μέσων Ατομικής Προστασίας (Personal Protective Equipment – PPE).

4.10.2.4 Ηλεκτρολογικές εργασίες

Η ανάλυση HAZOP ανέδειξε ως κυρίαρχες αποκλίσεις:

- **No Flow**, λόγω απουσίας LOTO (Lock Out – Tag Out) και μη απομόνωσης κυκλωμάτων,
- **Higher Temperature**, πρόκειται για εργασία σε κύκλωμα υπό τάση, ανεπαρκής απομόνωση, ή ηλεκτρικό σφάλμα (π.χ. βραχυκύκλωμα) που οδηγεί σε απελευθέρωση μεγάλης θερμικής ενέργειας και σοβαρά εγκαύματα.
- **More Flow**, που σχετίζεται με υπερφόρτωση και προσωρινές συνδέσεις,

- **Misdirected Flow**, εξαιτίας λανθασμένης δρομολόγησης καλωδίων και κακής σήμανσης.

Οι συνέπειες περιλαμβάνουν ηλεκτροπληξία, ηλεκτρικό τόξο (arc flash) και πυρκαγιά. Τα μέτρα επικεντρώνονται σε εγκεκριμένες άδειες εργασίας - permits, απομόνωση, πιστοποιημένα ΜΠΑ για έκλαμψη ηλεκτρικού τόξου (arc-rated PPE) και συστηματικούς ελέγχους.

Τα αναλυτικά φύλλα εργασίας (Worksheets) της μεθοδολογίας HAZOP, καθώς και το σύνολο των προτεινόμενων μέτρων πρόληψης και ελέγχου που παρήχθησαν μέσω του λογισμικού PHAWorks RA Edition, παρατίθενται στο Παράρτημα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τα εν λόγω έγγραφα παρουσιάζονται στην αγγλική γλώσσα, καθώς αποτελούν απευθείας εξαγωγές του λογισμικού PHAWorks RA Edition και δεν υπέστησαν γλωσσική επεξεργασία, προκειμένου να διατηρηθεί η αυθεντικότητα, η δομή και η τεχνική ορολογία της ανάλυσης.

Η συμπερίληψή τους στο Παράρτημα διασφαλίζει τη διαφάνεια και την πληρότητα της μεθοδολογικής προσέγγισης, παρέχοντας τη δυνατότητα αναλυτικής ανασκόπησης των επιμέρους αποκλίσεων, αιτιών, συνεπειών και μέτρων που τεκμηριώνουν τα συμπεράσματα του παρόντος κεφαλαίου.

4.11 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ

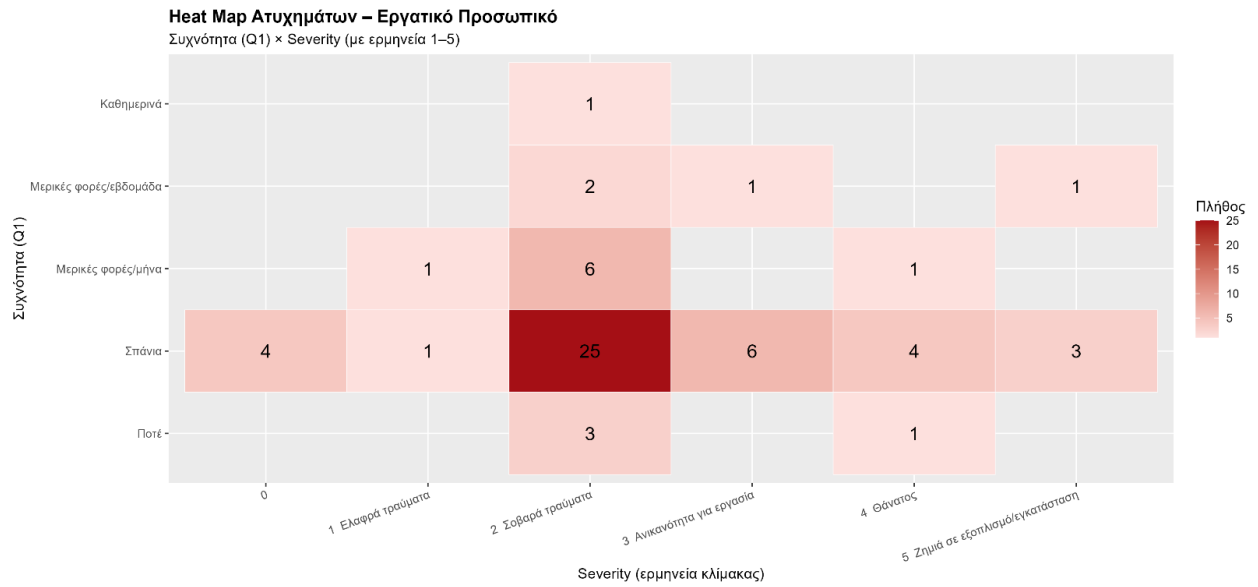
4.11.1.1 Heat Maps εμπειρίας ατυχημάτων

Συμπληρωματικά προς την εκτίμηση κινδύνου ανά εργασία, αναλύθηκαν τα δεδομένα του ερωτηματολογίου που αφορούν την εμπειρία ατυχημάτων και τη σοβαρότητα των συνεπειών. Για τον σκοπό αυτό αξιοποιήθηκαν Heat Maps που συνδυάζουν τη δηλωθείσα συχνότητα εμφάνισης ατυχημάτων με τη σοβαρότητα, παρέχοντας οπτική αποτύπωση της κατανομής των περιστατικών ανά κατηγορία προσωπικού.

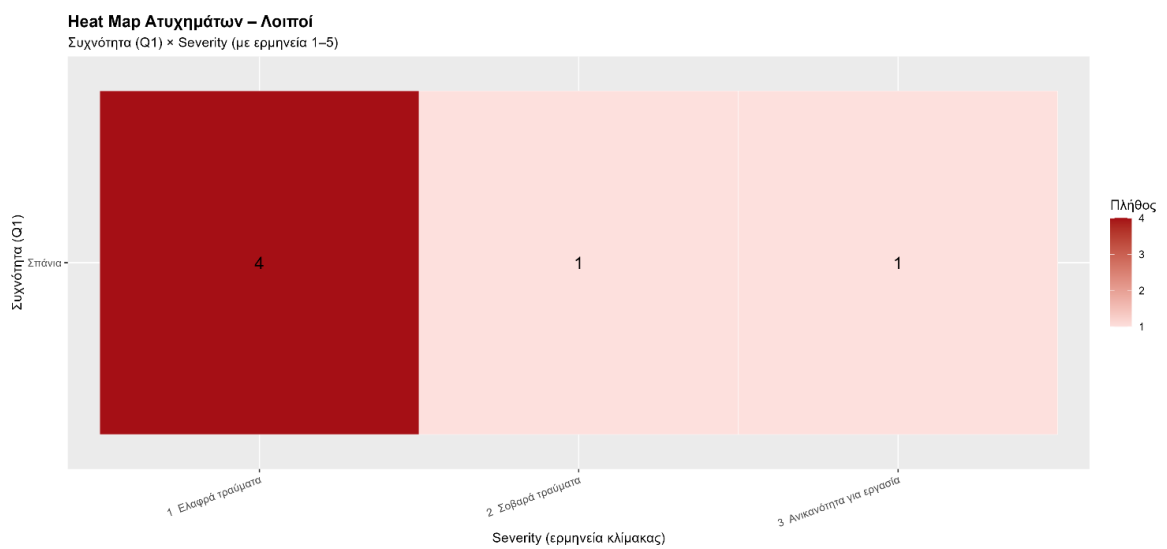
Η μεταβλητή Q1 αποτυπώνει τη χρονική επανάληψη των περιστατικών και κατηγοριοποιείται σε διακριτά επίπεδα από «Ποτέ» και «Σπάνια» έως «Μερικές φορές τον μήνα», «Μερικές φορές την εβδομάδα» και «Καθημερινά». Αντίστοιχα, η μεταβλητή Severity αποτυπώνεται σε πεντάβαθμη κλίμακα συνεπειών που περιλαμβάνει «Ζημιά σε εξοπλισμό/εγκατάσταση», «Ελαφρά τραύματα», «Σοβαρά τραύματα», «Ανικανότητα για εργασία», ενώ στο ανώτατο επίπεδο καταγράφονται περιστατικά που σχετίζονται με «Θάνατο». Ο συνδυασμός των δύο διαστάσεων επιτρέπει την ανάδειξη περιπτώσεων χαμηλής συχνότητας αλλά υψηλής σοβαρότητας, οι οποίες συχνά δεν αναδεικνύονται επαρκώς όταν εξετάζεται μόνο μία διάσταση.

Η ανάλυση ανά κατηγορία προσωπικού δείχνει ότι εμφανίζονται διαφοροποιήσεις στην κατανομή των περιστατικών. Το Εργατικό Προσωπικό παρουσιάζει μεγαλύτερη συγκέντρωση αναφορών ατυχημάτων, στοιχείο αναμενόμενο λόγω της άμεσης και καθημερινής έκθεσης στις εργοταξιακές δραστηριότητες. Οι Μηχανικοί εμφανίζουν μικρότερη συχνότητα αναφορών, ωστόσο με έμφαση σε περιστατικά αυξημένης σοβαρότητας, γεγονός που συνδέεται με την ανάληψη εργασιών επίβλεψης ή την εμπλοκή σε κρίσιμες φάσεις εργασιών. Οι Τεχνικοί Ασφαλείας παρουσιάζουν διαφορετικό προφίλ αναφορών, το οποίο αντανακλά τον ρόλο τους ως επαγγελματίες παρακολούθησης και αξιολόγησης της ασφάλειας. Τέλος, η κατηγορία Λοιποί/Βοηθητικό Προσωπικό εμφανίζει περιορισμένη καταγραφή περιστατικών, κάτι που πιθανόν συνδέεται με μικρότερη άμεση έκθεση σε δραστηριότητες υψηλής επικινδυνότητας.

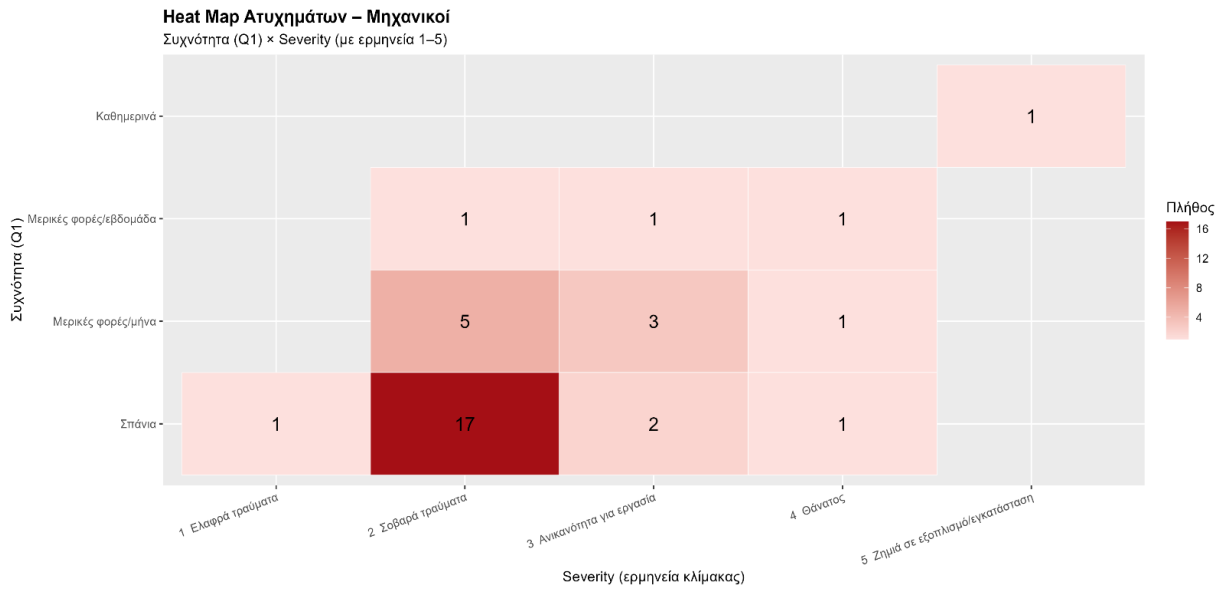
Συνολικά, τα Heat Maps εμπειρίας ατυχημάτων προσφέρουν μια συμπληρωματική εικόνα της «πραγματικής» έκθεσης και των συνεπειών, ενισχύοντας τα ευρήματα της Risk Matrix και υποστηρίζοντας την ανάγκη στοχευμένων παρεμβάσεων ανά ομάδα εργαζομένων.



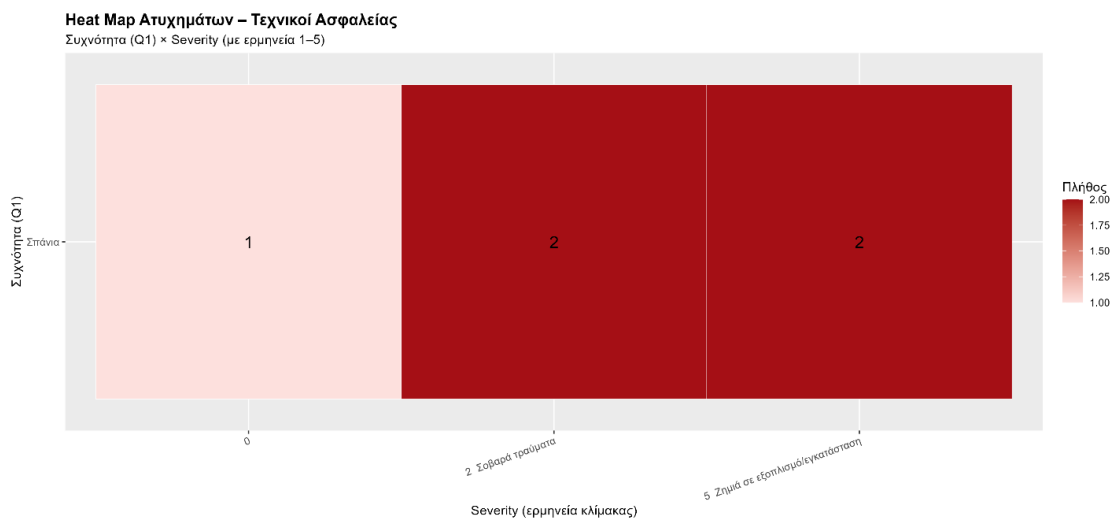
Σχήμα 37 Heat Map Ατυχημάτων-Εργατικό Προσωπικό



Σχήμα 38 Heat Map Ατυχημάτων-Λοιποί / Βοηθητικό Προσωπικό



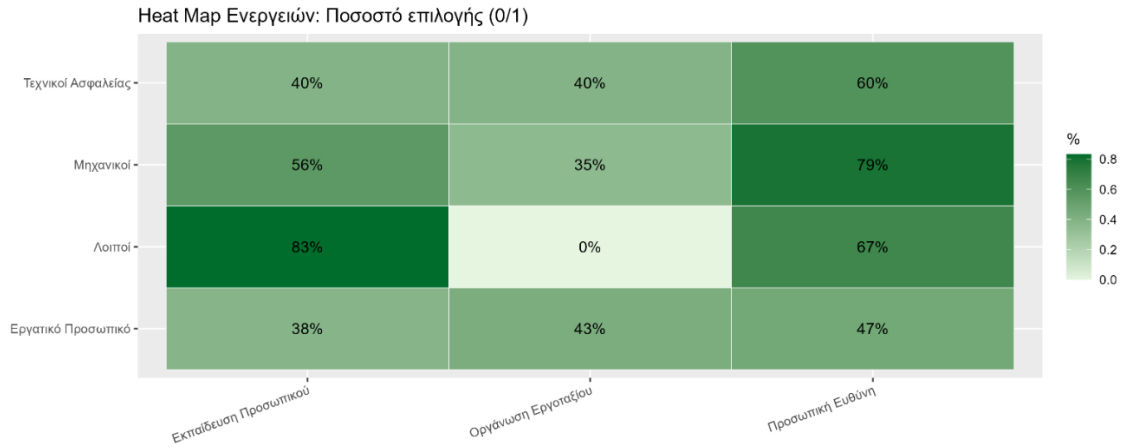
Σχήμα 39 Heat Map Ατυχημάτων-Μηχανικοί



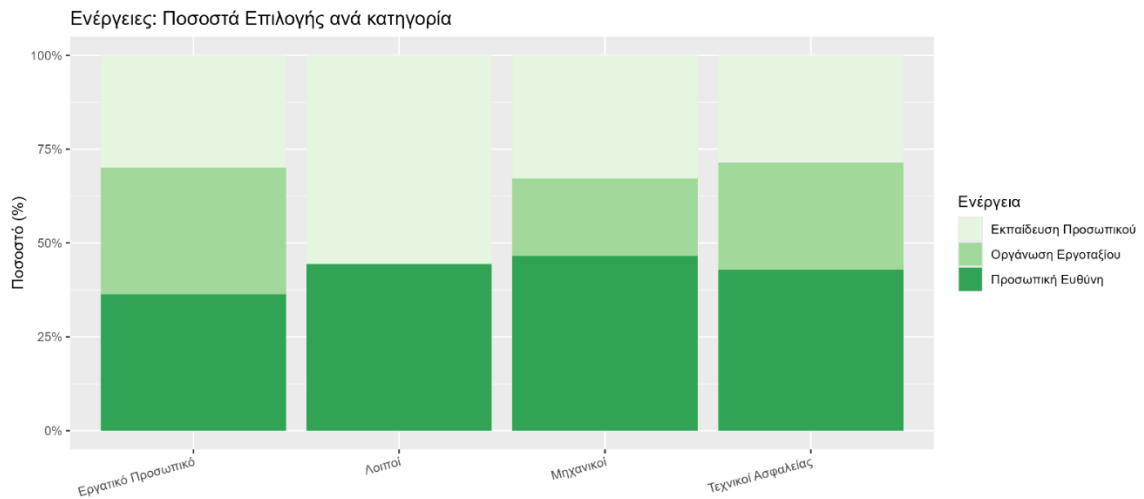
Σχήμα 40 Heat Map Ατυχημάτων-Τεχνικοί Ασφαλείας

4.11.1.2 Heat Maps προτεινόμενων ενεργειών πρόληψης & ανάλυση συχνοτήτων

Πέραν της καταγραφής των περιστατικών, αναλύθηκαν οι προτεινόμενες ενέργειες πρόληψης που δήλωσαν οι συμμετέχοντες. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με χρήση heat maps (ποσοστά επιλογής ανά κατηγορία προσωπικού) και διαγραμμάτων συχνοτήτων, ώστε να αποτυπωθούν τόσο οι σχετικές προτιμήσεις όσο και η συνολική βαρύτητα των μέτρων.



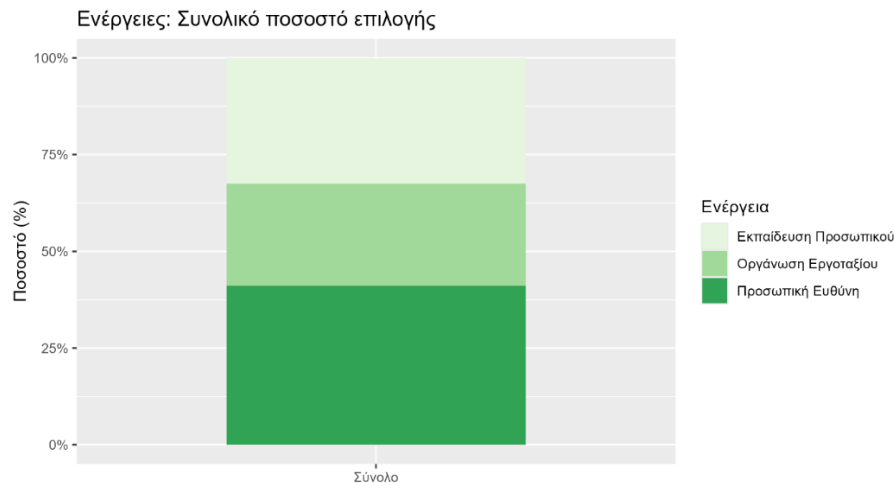
Σχήμα 41 Heat map ενεργειών πρόληψης.



Σχήμα 42 Πλήθος ενεργειών πρόληψης ανά Κατηγορία Προσωπικού (100% stacked).

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι σε όλες τις κατηγορίες προσωπικού εμφανίζεται ισχυρή προτίμηση σε παρεμβάσεις που σχετίζονται με:

- Εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση προσωπικού &
- Προσωπική υπευθυνότητα/συμμόρφωση.



Σχήμα 43 Ενέργειες Πρόληψης όλου του προσωπικού (100% stacked).

Αντίθετα, παρεμβάσεις που σχετίζονται με την οργάνωση εργοταξίου εμφανίζονται συγκριτικά χαμηλότερα σε συχνότητα επιλογής. Το εύρημα αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς υποδηλώνει ότι η αντίληψη των εργαζομένων τείνει να αποδίδει μεγαλύτερο βάρος σε ατομικούς παράγοντες πρόληψης, ενώ οι συστημικές/οργανωτικές παρεμβάσεις δεν αναδεικνύονται στον ίδιο βαθμό, παρότι αποτελούν κρίσιμη συνιστώσα για τη μείωση του συνολικού κινδύνου σε εργοταξιακά περιβάλλοντα.

Πέραν των προκαθορισμένων επιλογών του ερωτηματολογίου («Εκπαίδευση Προσωπικού», «Οργάνωση Εργοταξίου» και «Προσωπική Ευθύνη»), υπήρχε και ανοικτό πεδίο «Άλλο», στο οποίο οι συμμετέχοντες μπορούσαν να καταγράψουν πρόσθετους παράγοντες που, κατά την κρίση τους, συμβάλλουν στη βελτίωση της ασφάλειας στο εργοτάξιο.

Η ποιοτική επεξεργασία των ανοικτών απαντήσεων ανέδειξε τη σημασία οργανωτικών και ανθρωποκεντρικών παραγόντων, καθώς επαναλαμβάνονται θεματικές όπως η κόπωση, το ωράριο εργασίας, το εργασιακό κλίμα (πίεση και άγχος), η παιδεία και η ενσυναίσθηση, καθώς και η ευρύτερη κουλτούρα ασφάλειας. Οι παράγοντες αυτοί συνδέονται άμεσα με την οργανωτική λειτουργία του εργοταξίου και την καθημερινή πρακτική εκτέλεσης των εργασιών.

Τα ευρήματα αυτά επιβεβαιώνουν ότι η αποτελεσματική διαχείριση του επαγγελματικού κινδύνου δεν μπορεί να περιορίζεται αποκλειστικά σε τεχνικά ή ατομοκεντρικά μέτρα, αλλά απαιτεί ολιστική προσέγγιση, η οποία θα συνδυάζει τεχνικές παρεμβάσεις, οργανωτικά μέτρα και ενίσχυση της κουλτούρας ασφάλειας.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εκτίμησης επαγγελματικού κινδύνου καθώς και οι προτάσεις για τη βελτίωση της ασφάλειας στο εξεταζόμενο εργοτάξιο μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδυασμένου κύκλου (CCPP).

5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως στόχο την εκτίμηση του επαγγελματικού κινδύνου σε εργοτάξιο μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδυασμένου κύκλου (CCPP), μέσω υβριδικής προσέγγισης, ποσοτικών δεδομένων (ερωτηματολόγιο), ημι-ποσοτικής κατάταξης (5×5 Risk Matrix) και αιτιοκρατικής διερεύνησης (HAZOP) για τις εργασίες υψηλής κρισιμότητας. Η προσέγγιση αυτή επιδιώκει να μετατρέψει την “εικόνα κινδύνου” από απλή κατάταξη σε λειτουργικό εργαλείο λήψης αποφάσεων για στοχευμένη πρόληψη, σύμφωνα με τις αρχές συστηματικής διαχείρισης κινδύνου (ISO 31000, 2018) και την καθοδήγηση επιλογής/συνδυασμού τεχνικών risk assessment (ISO 31010, 2019).

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι ο κίνδυνος στο εργοτάξιο δεν κατανέμεται ομοιόμορφα, αλλά διαφοροποιείται ουσιαστικά ανά εργασία και ανά κατηγορία προσωπικού (βλ. αντίστοιχα Σχήματα/Πίνακες του Κεφαλαίου 4). Ως προς τις εργασίες, η εργασία σε ύψος αναδείχθηκε σταθερά ως η πλέον κρίσιμη δραστηριότητα, συγκεντρώνοντας αυξημένα ποσοστά αξιολογήσεων στις ζώνες High και Critical. Ακολουθούν, με διαφοροποιήσεις ανά ομάδα εργαζομένων, η ανύψωση/μεταφορά φορτίων, οι ηλεκτρολογικές εργασίες και οι εργασίες που αφορούν χημικές ουσίες/εύφλεκτα υλικά. Η συνολική εικόνα επιβεβαιώνει ότι εργασίες με υψηλή σοβαρότητα συνεπειών παραμένουν κρίσιμες ακόμη και όταν η εκτιμώμενη πιθανότητα δεν είναι η μέγιστη, στοιχείο που καθιστά απαραίτητη την προτεραιοποίηση μέτρων ελέγχου με βάση τη δυνητική έκβαση συμβάντων.

Η ανάλυση ανά κατηγορία προσωπικού έδειξε συστηματικές διαφοροποιήσεις στην αντίληψη κινδύνου. Το εργατικό προσωπικό τείνει να αξιολογεί ορισμένες δραστηριότητες ως χαμηλότερου κινδύνου, κάτι που μπορεί να συνδέεται με ρουτίνα/εξοικείωση και ενδεχόμενη “κανονικοποίηση” του κινδύνου σε επαναλαμβανόμενες εργασίες. Αντίθετα, οι μηχανικοί και ιδιαίτερα οι τεχνικοί ασφαλείας καταγράφουν πιο συντηρητικές/αυστηρές αξιολογήσεις, ενσωματώνοντας περισσότερο τεχνικές παραμέτρους αστοχίας, απαιτήσεις διαδικασιών και κανονιστικές προβλέψεις. Το εύρημα αυτό είναι κρίσιμο διότι υποδεικνύει ότι η πρόληψη δεν απαιτεί μόνο τεχνικά μέτρα αλλά και στοχευμένη επικοινωνία/εκπαίδευση ανά ρόλο, στο πνεύμα των συστημάτων ΥΑΕ που δίνουν έμφαση σε συμμετοχή, ρόλους και επιχειρησιακό έλεγχο (ISO 45001, 2018).

Οι οπτικοποιήσεις (Risk Matrices ανά εργασία, Bubble Charts και Heat Maps) λειτούργησαν συμπληρωματικά: οι Risk Matrices αποτύπωσαν τη θέση του κινδύνου σε όρους Likelihood–Severity, ενώ τα Bubble Charts και τα Heat Maps διευκόλυναν τη σύγκριση κρισιμότητας και τη σταθερότητα/συγκέντρωση των υψηλών επιπέδων κινδύνου ανά εργασία και ομάδα. Συνεπώς, η χρήση πολλαπλών απεικονίσεων δεν αποτελεί πλεονασμό, αλλά πρακτικό τρόπο ανάδειξης διαφορετικών όψεων του ίδιου φαινομένου (ιεράρχηση, σύγκριση, συνέπεια αξιολόγησης).

Επιπλέον, η ανάλυση των απαντήσεων για εμπειρία ατυχημάτων και προτεινόμενες ενέργειες πρόληψης ενίσχυσε την ερμηνεία των ποσοτικών αποτελεσμάτων. Οι συμμετέχοντες τείνουν να δίνουν μεγαλύτερο βάρος σε παρεμβάσεις που σχετίζονται με εκπαίδευση και ατομική συμμόρφωση, ενώ οι οργανωτικές παρεμβάσεις εμφανίζονται λιγότερο συχνά. Σε συνδυασμό με τα ανοικτά σχόλια (π.χ. κόπωση, πίεση χρόνου, εργασιακό άγχος, κουλτούρα), το εύρημα αυτό υποδηλώνει ότι η αποτελεσματική πρόληψη απαιτεί ισορροπία μεταξύ ατομικών και συστημικών/οργανωτικών μέτρων, ώστε να μειώνεται ο κίνδυνος στη “ρίζα” του και όχι μόνο στη συμπεριφορά.

Τέλος, η αιτιοκρατική διερεύνηση μέσω HAZOP εφαρμόστηκε στις εργασίες υψηλού κινδύνου, με σκοπό τη μετάβαση από τη γενική κατάταξη (risk level) σε συγκεκριμένες αποκλίσεις–αιτίες–συνέπειες–μέτρα προστασίας και σε εφαρμόσιμες προτάσεις (IEC 61882, 2016). Η HAZOP προσέθεσε αξία κυρίως στο ότι ανέδειξε πρακτικά σενάρια αστοχίας και κρίσιμες ελλείψεις σε “safe systems of work” (π.χ. permit-to-work, LOTO, ζώνες αποκλεισμού, έλεγχοι πριν την εργασία), επιβεβαιώνοντας ότι ο ανθρώπινος και οργανωτικός παράγοντας επηρεάζει καθοριστικά την έκθεση σε κίνδυνο.

5.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Με βάση τα παραπάνω συμπεράσματα, προτείνονται οι ακόλουθες στοχευμένες παρεμβάσεις, ιεραρχημένες από “δομικές/οργανωτικές” προς “εκπαιδευτικές/συμπεριφορικές”, ώστε να ευθυγραμμίζονται με τη λογική προτεραιοποίησης ελέγχων και την επιχειρησιακή εφαρμοσιμότητα σε εργοτάξιο.

(1) Εστίαση πόρων στις εργασίες υψηλής κρισιμότητας.

Να θεσμοθετηθεί πρακτικό “κριτήριο προτεραιότητας” (π.χ. ποσοστό High και Critical) ώστε οι διαθέσιμοι πόροι επίβλεψης, επιθεωρήσεων, toolbox talks και ελέγχων να κατευθύνονται πρώτα σε: εργασία σε ύψος, ανυψώσεις/μεταφορές φορτίων, ηλεκτρολογικές εργασίες, χημικά/εύφλεκτα (βλ. αποτελέσματα Κεφ. 4).

(2) Τυποποίηση και αυστηρή εφαρμογή Permit-to-Work σε κρίσιμες εργασίες.

Να ενισχυθεί το PtW με σαφή κριτήρια ενεργοποίησης, checklists και ελάχιστες προϋποθέσεις εκκίνησης εργασίας για: εργασία σε ύψος, hot works, lifting operations και ηλεκτρολογικές εργασίες. Η προσέγγιση μειώνει τις αποκλίσεις από τη “σχεδιασμένη” ασφαλή εκτέλεση και βελτιώνει την ιχνηλασιμότητα των ελέγχων (OSHA, 2023).

(3) Ενίσχυση LOTO και ελέγχων ηλεκτρικής ασφάλειας.

Για ηλεκτρολογικές εργασίες/commissioning να υιοθετηθεί αυστηρή διαδικασία απομόνωσης–επαλήθευσης–σήμανσης (LOTO), με σαφείς ρόλους, εξουσιοδοτήσεις και επιβεβαίωση απουσίας ενέργειας όπου εφαρμόζεται. Παράλληλα, να ενισχυθούν οι έλεγχοι προσωρινών παροχών, γειώσεων και προστασιών.

(4) Πρόληψη πτώσεων: από συλλογική προστασία σε ατομική προστασία.

Στην εργασία σε ύψος να δίνεται προτεραιότητα σε μέτρα συλλογικής προστασίας (κιγκλιδώματα/προστασία ακμών/δίκτυα) και, όπου απαιτείται, σε ατομικά συστήματα συγκράτησης/αναχαίτισης πτώσης με εκπαίδευση, επιθεώρηση εξοπλισμού και σχέδιο διάσωσης.

(5) Lifting operations: καθολική εφαρμογή lift plan και ζωνών αποκλεισμού.

Για ανυψώσεις/μεταφορές να εφαρμόζεται τυποποιημένο lift plan, έλεγχος παρελκομένων/πιστοποιήσεων, ορισμός banksman/signalman, και ξεκάθαρη οριοθέτηση exclusion zones. Η ενίσχυση αυτών των ελέγχων στοχεύει στη μείωση “struck-by” σεναρίων.

(6) Χημικά/εύφλεκτα: διαχείριση Safety Data Sheet (SDS), αποθήκευση και ετοιμότητα διαρροών.

Να θεσπιστούν απλές αλλά υποχρεωτικές πρακτικές: πρόσβαση σε SDS, σήμανση και διαχωρισμός και ξεχωριστή αποθήκευση (segregation), έλεγχος πηγών ανάφλεξης, διαθέσιμα spill kits και εκπαίδευση πρώτης απόκρισης σε μικροδιαρροές/έκθεση. Οι πρακτικές αυτές μειώνουν τόσο την πιθανότητα όσο και τη σοβαρότητα συμβάντων.

(7) Επίβλεψη “στο πεδίο” και στοχευμένη εκπαίδευση ανά ρόλο.

Να ενισχυθεί η επιτόπια επίβλεψη ειδικά στις κρίσιμες φάσεις (SIMOPS, αλλαγές μεθόδου εργασίας, αλλαγές ομάδων). Παράλληλα, η εκπαίδευση να προσαρμόζεται ανά ομάδα: διαφορετικές ανάγκες έχουν οι τεχνίτες/χειριστές και διαφορετικές οι μηχανικοί/επιβλέποντες/HSE. Η προσέγγιση αυτή συνδέεται άμεσα με τη λειτουργία ενός ΣΔΥΑΕ και την αποτελεσματική εφαρμογή ελέγχων (ISO 45001, 2018).

(8) Στοχευμένη χρήση HAZOP ως “δεύτερο επίπεδο” μόνο για υψηλού κινδύνου εργασίες.

Η HAZOP να χρησιμοποιείται επιχειρησιακά ως εργαλείο εμβάθυνσης για τις εργασίες που προκύπτουν ως υψηλού κινδύνου από το risk ranking, ώστε να παραμένει εφαρμόσιμη, να μην γίνεται υπερβολικά χρονοβόρα και να οδηγεί σε συγκεκριμένα action items (IEC 61882, 2016; ISO 31010, 2019).

Η υλοποίηση των παραπάνω προτάσεων δύναται να συμβάλει ουσιαστικά στη μείωση των εργατικών ατυχημάτων και στη δημιουργία ενός ασφαλέστερου και πιο ελεγχόμενου εργοταξιακού περιβάλλοντος.

5.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Η παρούσα ερευνητική εργασία μπορεί να αποτελέσει τη βάση για περαιτέρω ανάπτυξη και διεύρυνση του πλαισίου εκτίμησης επαγγελματικού κινδύνου σε εργοταξιακά περιβάλλοντα ενεργειακών έργων. Σε μελλοντικό στάδιο, η έρευνα θα μπορούσε να επεκταθεί σε μεγαλύτερο αριθμό εργοταξίων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδυασμένου κύκλου (CCPP), ώστε να είναι δυνατή η συγκριτική ανάλυση μεταξύ διαφορετικών κατασκευαστικών φάσεων, εργολάβων και οργανωτικών δομών. Με τον τρόπο αυτό θα ενισχυθεί η γενικευσιμότητα των αποτελεσμάτων και θα αναδειχθούν πιθανές διαφοροποιήσεις που σχετίζονται με τη διαχείριση ασφάλειας σε διαφορετικά επιχειρησιακά περιβάλλοντα.

Παράλληλα, σημαντική προοπτική εξέλιξης αποτελεί η εμπλουτισμένη χρήση υβριδικών μεθόδων έρευνας, μέσω της ενσωμάτωσης ημιδομημένων συνεντεύξεων, ομάδων εστίασης ή επιτόπιων παρατηρήσεων, με στόχο την εις βάθος κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν την αντίληψη κινδύνου και τη συμπεριφορά των εργαζομένων. Η προσέγγιση αυτή θα μπορούσε να συμπληρώσει τα αποτελέσματα των ερωτηματολογίων, αποκαλύπτοντας οργανωτικές και συμπεριφορικές πτυχές που δεν αποτυπώνονται επαρκώς μέσω ποσοτικών μεθόδων.

Επιπλέον, μελλοντική βελτίωση θα μπορούσε να αποτελέσει η ψηφιοποίηση της διαδικασίας συλλογής δεδομένων μέσω ηλεκτρονικών ερωτηματολογίων και εξειδικευμένων πλατφορμών διαχείρισης δεδομένων ασφάλειας. Η αξιοποίηση ψηφιακών εργαλείων θα μπορούσε να ενισχύσει την αμεσότητα της συλλογής, να βελτιώσει την ανωνυμία των συμμετεχόντων και να επιτρέψει την ταχύτερη επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Τέλος, προοπτική μελλοντικής έρευνας αποτελεί η ανάπτυξη πιο δυναμικών μοντέλων εκτίμησης κινδύνου, τα οποία θα συνδυάζουν στατικά εργαλεία (όπως Risk Matrix και HAZOP) με δεδομένα πραγματικού χρόνου από το εργοτάξιο, όπως δείκτες ασφάλειας, συμβάντα, ή ψηφιακά συστήματα παρακολούθησης. Η ενσωμάτωση τέτοιων προσεγγίσεων θα μπορούσε να οδηγήσει σε πιο προγνωστική (predictive) διαχείριση του επαγγελματικού κινδύνου, ενισχύοντας τη μετάβαση από την αντιδραστική στην προληπτική και προγνωστική ασφάλεια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνικές Πηγές

Θεσμικό Πλαίσιο – Πρότυπα – Οδηγοί

Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης. (2008). ΕΛΟΤ 1801:2008 – Σύστημα διαχείρισης της υγείας και της ασφάλειας στην εργασία: Απαιτήσεις. Αθήνα: ΕΛΟΤ.

Προεδρικό Διάταγμα 305/1996. (1996). Ελάχιστες προδιαγραφές ασφάλειας και υγείας που πρέπει να εφαρμόζονται στα προσωρινά ή κινητά εργοτάξια (ΦΕΚ 212/Α/17.09.1996). Αθήνα: Εθνικό Τυπογραφείο.

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. (2015). Οδηγός ασφάλειας και υγείας στα εργοτάξια. Αθήνα: ΤΕΕ.

Ακαδημαϊκές Εργασίες

Μπρέστας, Ζ. (2024). Υγεία & ασφάλεια στο χώρο εργασίας, με έμφαση στην υπόγεια μεταλλευτική δραστηριότητα [Διπλωματική εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο].

Ρίζου, Π. Χ. (2017). Ανάλυση-εκτίμηση επικινδυνότητας στον κατασκευαστικό τομέα: Χρήση στατιστικών βάσεων ατυχημάτων και ποσοτικών τεχνικών εκτίμησης της επικινδυνότητας [Διπλωματική εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο].

Φέκος, Δ. Θ. (2018). Ανάλυση και εκτίμηση της επικινδυνότητας/διακινδύνευσης στην ασφάλεια εργασίας με συνδυασμό πιθανοκρατικών και αιτιοκρατικών μεθόδων: Εφαρμογή στα εργοτάξια τεχνικών έργων [Διπλωματική εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο].

Ξένες Πηγές

Διεθνή Πρότυπα & Οργανισμοί

International Labour Organization. (2020). Hazard identification and risk assessment manual. Geneva: ILO.

International Organization for Standardization. (2018). ISO 31000:2018 – Risk management: Guidelines. ISO.

International Organization for Standardization. (2018). ISO 45001:2018 – Occupational health and safety management systems: Requirements with guidance for use. ISO.

Alshreef, B. (2025). The ISO 45001: A systematic review of global adoption trends, outcomes, and barriers (2018–2023). International Journal of Innovative Research and Scientific Studies, 8(5), 1127–1136. <https://doi.org/10.53894/ijirss.v8i5.8970>

International Organization for Standardization. (2019). ISO 31010: Risk management — Risk assessment techniques. ISO.

International Electrotechnical Commission. (2016). IEC 61882: Hazard and operability studies (HAZOP studies) — Application guide. IEC.

European Council. (1989). Council Directive 89/391/EEC on the introduction of measures to encourage improvements in the safety and health of workers at work. Publications Office of the European Union.

European Council. (1992). Council Directive 92/57/EEC on minimum safety and health requirements at temporary or mobile construction sites. Publications Office of the European Union.

European Agency for Safety and Health at Work. (2011). Safety culture: A review. EU-OSHA.

National Institute for Occupational Safety and Health. (2024). Hierarchy of controls. Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/niosh/hierarchy-of-controls/about/index.html>

Occupational Safety and Health Administration. (2023). Identifying hazard control options: The hierarchy of controls (Worksheet 1). U.S. Department of Labor. https://www.osha.gov/sites/default/files/Hierarchy_of_Controls_02.01.23_form_508_2.pdf

Μέθοδοι Ανάλυσης Κινδύνων – HAZOP

Baybutt, P. (2015). Hazop and qualitative risk assessment. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 33, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2014.11.006>

Basheer, H., et al. (2019). Limitations and improvements of HAZOP methodology in industrial risk assessment. *Process Safety and Environmental Protection*.

Crawley, F., Tyler, B., & Hurst, J. (2015). *HAZOP: Guide to best practice* (3rd ed.). Institution of Chemical Engineers (IChemE).

Cox, L. A., Jr. (2008). What's wrong with risk matrices? *Risk Analysis*, 28(2), 497–512. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01030.x>

Gul, M. (2019). Fuzzy logic-based occupational risk assessment approaches. *Safety Science*. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.01.XXX>

Gul, M. (2020). Advanced fuzzy risk assessment techniques in occupational safety. *Journal of Safety Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2020.XXX>

Gul, M., & Ak, M. F. (2018). Fuzzy-based multi-criteria decision making in risk assessment. *Applied Soft Computing*. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.XXX>

Gul, M., & Guneri, A. F. (2016). A fuzzy DRiMA model for occupational risk assessment. *Expert Systems with Applications*. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.XXX>

Guo, S., & Kang, R. (2015). Dynamic fault tree analysis and its integration with HAZOP. *Reliability Engineering & System Safety*. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2015.XXX>

Elhosary, E., & Moselhi, O. (2024). Automation for HAZOP study: A state-of-the-art review and future research directions. *Journal of Information Technology in Construction*, 29, 750–777.

Fuentes-Bargues, J. L., González-Gaya, C., González-Cruz, M. C., & Cabrelles-Ramos, V. (2017). Risk analysis of hazardous waste storage facilities using HAZOP and FTA. *Journal of Hazardous Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.05.XXX>

Haugen, S., & Rausand, M. (2011). Hazard and operability analysis (HAZOP). In *Risk assessment: Theory, methods, and applications* (pp. 9–26). Wiley.

Haugen, S., & Rausand, M. (n.d.). Risk assessment: 9. HAZOP (Version 0.1) [Lecture slides]. RAMS Group, Department of Production and Quality Engineering, NTNU.

Kletz, T. (1999). HAZOP and HAZAN: Identifying and assessing process industry hazards. *Institution of Chemical Engineers*.

Kotek, L., & Tabas, M. (2012). HAZOP study with qualitative risk analysis for prioritization of corrective and preventive actions. *Procedia Engineering*, 42, 808–815. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.473>

Kumi, L., Jeong, J., & Jeong, J. (2024). Systematic review of quantitative risk quantification methods in construction accidents. *Buildings*, 14, 3306. <https://doi.org/10.3390/buildings14103306>

Macdonald, D. (2004). *Practical hazops, trips and alarms*. Newnes.

Marhavidas, P. K. (2015). *Occupational risk assessment methodologies and applications*. Safety Science.

Marhavidas, P. K., et al. (2019). Hybrid approaches for occupational risk assessment. *Safety Science*. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.XXX>

Marhavidas, P. K., et al. (2020a). HAZOP and fuzzy AHP integration for risk assessment. *Journal of Safety Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2020.XXX>

Marhavidas, P. K., et al. (2020b). Hybrid risk assessment frameworks for construction environments. *Safety Science*. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.XXX>

Marhavidas, P. K., et al. (2020c). Integrated AHP–PRAT–FTA methodology for risk assessment. *Reliability Engineering & System Safety*. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.XXX>

Marhavidas, P. K., et al. (2021). Extended HAZOP methodologies in occupational safety. *Process Safety and Environmental Protection*. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.XXX>

Marhavidas, P. K., et al. (2022). Safety color map (SaCoM) approaches for risk visualization. *Safety Science*. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.XXX>

Nolan, D. P. (1994). *Application of HAZOP and what-if safety reviews to the petroleum, petrochemical and chemical industries*. Noyes Publications.

Rausand, M. (2011). *Risk assessment: Theory, methods, and applications*. John Wiley & Sons.

Ασφάλεια Εργαζομένων & Job Safety Analysis (JSA)

Kotek, L., & Tabas, J. (2012). Evaluation of risk using the risk matrix. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 25(1), 86–92. <https://doi.org/10.1016/j.jlpi.2011.09.003>

Marhavidas, P. K., Koulouriotis, D., & Gemeni, V. (2011). Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000–2009. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24(5), 477–523. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2011.03.004>

Occupational Safety and Health Administration. (2002). *Job hazard analysis*. U.S. Department of Labor.

Occupational Safety and Health Administration. (2018). *Job hazard and safety analysis training manual (SH-29629-SH6)*. U.S. Department of Labor.

Port of San Diego Ship Repair Association. (2016). *Hazard assessment and job safety analysis training manual*. Port of San Diego.

Zhong, Y., Li, H., & Chen, L. (2021). Construction project risk prediction model based on EW-FAHP and one dimensional convolution neural network. *PLOS ONE*, 16(2), e0246539. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246539>

Κουλτούρα Ασφάλειας & Ανθρώπινος Παράγοντας

Health and Safety Executive. (2001). *Reducing risks, protecting people: HSE's decision-making process*. HSE Books.

Jafari Nodoushan, R., Hajihosseini, A. R., Ahmadzadeh, R., & Anoosheh, V. S. (2022). Evaluation of safety culture and the effect of lean safety approach on the improvement of safety culture: Case study of Sarv combined cycle power plant. *Journal of Environmental Health and Sustainable Development*, 7(3), 1744–1754.

Laal, F., Fallah Madvari, R., & Halvani, G. (2019). The impact of safety programs on accident indicators in a combined cycle power plant. *Health in Emergencies & Disasters Quarterly*, 5(1), 45–52.

Iqbal, M., Aziz, M. A., Istiaque, A. T. M. S., & Akhter, S. (2020). Assessment of safety culture in three selected thermal power plants situated in Sylhet, Bangladesh. In *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management* (pp. 2780–2791). IEOM Society International.

Αξιολόγηση Κινδύνων σε Ενεργειακά Έργα & CCGT

Al Saffar, I. Q., & Ezzat, A. W. (2020). Qualitative risk assessment of combined cycle power plant using hazards identification technique. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 43(2), 284–293. ISSN: 1024-1752

Clay, M. (2017). Hazard identification – Can power engineers learn from the process industries? *Loss Prevention Bulletin*, 253, 23–25.

Cui, X., et al. (2012). Hybrid risk assessment models in industrial systems. *Safety Science*.

El-Hosary, M., & Moselhi, O. (2024). Automated HAZOP-based risk assessment for construction projects using digital workflows. *Safety Science*, 170, 106354. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106354>

Jozi, S. A., & Pouriyeh, A. A. (2011). Health-safety and environmental risk assessment of power plants using multi criteria decision making method. *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*, 17(4), 437–449. <https://doi.org/10.2298/CICEQ110120029J>

Iqbal, M., Aziz, M. A., Istiaque, A. T. M. S., & Akhter, S. (2020). Assessment of safety culture in three selected thermal power plants situated in Sylhet, Bangladesh. In *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management* (pp. 2780–2791). IEOM Society International.

Marhavidas, P. K., Filippidis, M., Koulinas, G. K., & Koulouriotis, D. E. (2020). A HAZOP with MCDM based risk-assessment approach. *Sustainability*, 12(3), 993.

Marhavidas, P. K., Filippidis, M., Koulinas, G. K., & Koulouriotis, D. E. (2019). Risk analysis and assessment in the worksites using the fuzzy-analytical hierarchy process and a quantitative technique: A case study for the Greek construction sector. *Safety Science*, 112, 96–104. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.10.017>

Marhavidas, P. K. (2015). Risk assessment techniques in the worksites of occupational health-safety systems with emphasis on industries and constructions (Doctoral dissertation, Democritus University of Thrace, Faculty of Engineering, Department of Production & Management Engineering).

Nemet, A., et al. (2017). Engineering risk analysis and decision-making approaches. *Safety Science*.

Soares, A. B., & Teixeira, A. P. (2001). Risk analysis methodologies in industrial environments. *Safety Science*.

Yao, H., She, J., & Zhou, Y. (2024). Risk assessment of construction safety accidents based on association rule mining and Bayesian network. *Journal of Intelligent Construction*, 2, 9180015.

Zheng, Y., & Liu, X. (2009). Risk assessment models in industrial safety. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Ερωτηματολόγιο Αξιολόγησης Κινδύνων - CCPP Εργοτάξιο

Ερωτηματολόγιο Αξιολόγησης Κινδύνων – CCPP Εργοτάξιο

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Διαχείριση Τεχνικών Έργων (ΔΧΤ)

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Ηλιοπούλου Θέμις ΑΜ 163980

Θέμα: Ανάλυση και Εκτίμηση Ρίσκου στην Ασφάλεια Εργασίας με συνδυασμό
Στοχαστικών και Αιτιοκρατικών Μεθόδων.

Μέρος Α: Γενικές Πληροφορίες

1. Θέση / Ρόλος στο εργοτάξιο: _____

2. Έτη εμπειρίας στον τομέα: _____

Μέρος Β: Εντοπισμός Κινδύνων

1. Ποιες εργασίες θεωρείτε πιο επικίνδυνες; (1 = καθόλου, 2 = ελάχιστα, 3 = μέτρια, 4 = αρκετά, 5 = εξαιρετικά)

☐ Χωματουργικές εργασίες

☐ Ανύψωση / Μεταφορά φορτίων

☐ Χειρισμός μηχανημάτων / οχημάτων

☐ Εργασία σε ύψος

☐ Χημικές ουσίες / Εύφλεκτα υλικά

☐ Θερμές εργασίες / Ηλεκτροσυγκολήσεις

☐ Χρήση εργοταξιακού εξοπλισμού

☐ Ηλεκτρολογικές εργασίες

☐ Άλλο: _____

2. Για κάθε επικίνδυνη εργασία, αξιολογήστε τη πιθανότητα ατυχήματος (1 = πολύ μικρή, 2 = μικρή, 3 = μέτρια, 4 = υψηλή, 5 = πολύ υψηλή):

Εργασία	1	2	3	4	5
Χωματοургικές εργασίες	☐	☐	☐	☐	☐
Ανύψωση / Μεταφορά φορτίων	☐	☐	☐	☐	☐
Χειρισμός μηχανημάτων / οχημάτων	☐	☐	☐	☐	☐
Εργασία σε ύψος	☐	☐	☐	☐	☐
Χημικές ουσίες / Εύφλεκτα υλικά	☐	☐	☐	☐	☐
Θερμές εργασίες / Ηλεκτροσυγκολλήσεις	☐	☐	☐	☐	☐
Χρήση εργοταξιακού εξοπλισμού	☐	☐	☐	☐	☐
Ηλεκτρολογικές εργασίες	☐	☐	☐	☐	☐
Άλλο:	☐	☐	☐	☐	☐

3. Έχετε παρατηρήσει παραλείψεις ή επικίνδυνες συνήθειες στο προσωπικό;

Επιλογή

Αν Ναι, ποιο είδος;

☐ Ναι

☐ Όχι

☐ Μη χρήση ΜΑΠ ☐ Αδιαφορία στους κανονισμούς
☐ Κακός συντονισμός εργασιών ☐ Ανεπαρκής επικοινωνία/αφέλεια

Μέρος Γ: Μέτρα Ασφαλείας & Προστασίας

1. Όλα τα απαιτούμενα Μέσα Ατομικής Προστασίας (ΜΑΠ) χρησιμοποιούνται σωστά;

Ποτέ	Σπάνια	Μερικές φορές	Συχνά	Πάντα
☐	☐	☐	☐	☐

2. Πόσο αποτελεσματικά θεωρείτε ότι είναι τα μέτρα πρόληψης ατυχημάτων; (1 = καθόλου, 2 = ελάχιστα, 3 = μέτρια, 4 = αρκετά, 5 = εξαιρετικά)

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

3. Ποιες βελτιώσεις θεωρείτε αναγκαίες στα μέτρα ασφαλείας;

Επιλογή

- ☐ Περισσότερη εκπαίδευση προσωπικού
- ☐ Βελτίωση σήμανσης & φραγμών
- ☐ Τακτικός έλεγχος εξοπλισμού
- ☐ Αυστηρότερη χρήση ΜΑΠ
- ☐ Άλλο: _____

Μέρος Δ: Συχνότητα & Σοβαρότητα Ατυχημάτων / Παραλείψεων

1. Πόσο συχνά συμβαίνουν μικροατυχήματα ή «σχεδόν ατυχήματα» στο εργοτάξιο;

Καθημερινά	Μερικές φορές/εβδομάδα	Μερικές φορές/μήνα	Σπάνια	Ποτέ
☐	☐	☐	☐	☐

2. Ποιες ήταν οι πιο σοβαρές συνέπειες ατυχημάτων που έχετε παρατηρήσει;

Ελαφρά τραύματα	Σοβαρά τραύματα	Ανικανότητα για εργασία	Θάνατος	Ζημιά σε εξοπλισμό/εγκατάσταση
☐	☐	☐	☐	☐

Μέρος Ε: Περιβαλλοντικοί Κίνδυνοι

1. Υπάρχουν περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ασφάλεια;

Ναι	Όχι	Αν Ναι, Τύπος παράγοντα:			
☐	☐	☐ Σκόνη	☐ Θόρυβος	☐ Κλίμα	☐ Άλλο: _____

2. Πόσο αποτελεσματικά είναι τα μέτρα ελέγχου σκόνης και θορύβου; (1 = καθόλου, 2 = ελάχιστα, 3 = μέτρια, 4 = αρκετά, 5 = πλήρως)

	1	2	3	4	5
Σκόνη	☐	☐	☐	☐	☐
Θόρυβος	☐	☐	☐	☐	☐

Μέρος ΣΤ: Παρατηρήσεις & Προτάσεις

1. Τι άλλο θεωρείτε σημαντικό για τη βελτίωση της ασφάλειας στο εργοτάξιο;

Επιλογή

- ☐ Περισσότερη εκπαίδευση προσωπικού
 - ☐ Καλύτερη οργάνωση εργοταξίου
 - ☐ Εντονότερη προσωπική ευθύνη
 - ☐ Άλλο: _____
-

Ευχαριστώ για το χρόνο σας!

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Αποδελτίωση & Κωδικοποίηση Ερωτηματολογίου

Αποδελτίωση & Κωδικοποίηση Ερωτηματολογίου

Το παρόν παράρτημα περιγράφει αναλυτικά τη διαδικασία μετατροπής (αποδελτίωσης) των απαντήσεων του ερωτηματολογίου σε δομημένο σύνολο δεδομένων (excel), καθώς και το σύστημα κωδικοποίησης/αποκωδικοποίησης που εφαρμόστηκε για τη στατιστική επεξεργασία και την ανάπτυξη των πινάκων εκτίμησης κινδύνου (Risk Matrices) στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

A1. Πρωτογενή δεδομένα και ταυτοποίηση ερωτηματολογίων

Τα ερωτηματολόγια συλλέχθηκαν σε έντυπη μορφή. Σε κάθε έντυπο αποδόθηκε μοναδικός αύξων αριθμός από 1 έως 105, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε ως μοναδικό αναγνωριστικό (ID) σε όλα τα αρχεία δεδομένων, εξασφαλίζοντας πλήρη ιχνηλασιμότητα από το πρωτογενές έντυπο έως την ηλεκτρονική καταχώριση και τις τελικές αναλύσεις.

Η δειγματοληψία περιλαμβάνει συνολικά $N=105$ συμμετέχοντες, οι οποίοι ταξινομήθηκαν σε 4 κατηγορίες προσωπικού:

(α) Εργατικό Προσωπικό,

(β) Λοιποί/Βοηθητικό

Προσωπικό, (γ) Μηχανικοί,

(δ) Τεχνικοί ασφάλειας.

A2. Δομή αρχείων και οργάνωση δεδομένων

Η καταχώριση πραγματοποιήθηκε σε αρχείο excel, στο οποίο συγκεντρώθηκαν όλα τα δεδομένα του ερωτηματολογίου, με την ονομασία Questionnaire_Input_Template. Κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε έναν συμμετέχοντα (ID από 1 έως 105) και κάθε στήλη αντιστοιχεί σε μία μεταβλητή (ερώτηση ή υπο-ερώτηση).

Questionnaire_Input_Template

Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν επιμέρους φάκελοι με αρχεία excel ανά κατηγορία προσωπικού, με σκοπό τη διευκόλυνση της συγκριτικής ανάλυσης μεταξύ των ομάδων.

Name

- ΕΡΓΑΤΙΚΟ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ
- ΛΟΙΠΟΙ_ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ
- ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ
- ΤΕΧΝΙΚΟΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Κανόνας μοναδικότητας: δεν επιτρέπονται διπλοεγγραφές ID.

Στην παρούσα εργασία ισχύουν τα παρακάτω:

Εργατικό Προσωπικό:

ID:1,2,3,4,6,7,8,9,13,14,15,16,17,18,19,20,23,27,28,29,30,31,33,34,35,36,37,38,39,40,43,48,49,50,51,57,59,60,61,62,63,75,76,85,89,90,91,93,94,95,96,97,98,99,100,101,102,103,104,105.

Λοιποί/Βοηθητικό Προσωπικό:

ID: 5,10,12,32,42,53.

Μηχανικοί:

ID:21,22,24,25,26,41,44,45,46,47,52,54,55,56,58,64,65,66,67,72,73,74,77,78,79,80,81,82,83,84,86,87,88,92.

Τεχνικοί Ασφαλείας:

ID:11,68,69,70,71.

Σε περίπτωση επανελέγχου/διόρθωσης, ενημερωνόταν η ίδια γραμμή.

A3. Ανάλυση των επιμέρους excel

Στην παρούσα ενότητα αναλύεται ενδεικτικά η διαδικασία αποδελτίωσης για την 4η κατηγορία προσωπικού: τους Τεχνικούς Ασφαλείας.

Από το συνολικό excel λοιπόν, λήφθηκαν μόνο τα ID που αφορούσαν τους Τεχνικούς Ασφαλείας. Έτσι δημιουργήθηκε ένα αρχείο Question Τεχνικοί Ασφαλείας με όλη την πληροφορία του ερωτηματολογίου μόνο για τη συγκεκριμένη κατηγορία προσωπικού.

-  Question Τεχνικοί Ασφαλείας
-  Question Τεχνικοί Ασφαλείας_1
-  Question Τεχνικοί Ασφαλείας_2

Στη συνέχεια, το σύνολο των δεδομένων διαχωρίστηκε σε δύο επιμέρους αρχεία excel Question Τεχνικοί Ασφαλείας _1 & Question Τεχνικοί Ασφαλείας _2.

Το αρχείο Question Τεχνικοί Ασφαλείας _1 περιλαμβάνει, σε διαφορετικά φύλλα εργασίας, την πληροφορία που αντιστοιχεί στα επιμέρους τμήματα του ερωτηματολογίου:

-ΕΡΓΑΣΙΕΣ

-ΠΑΡΑΛΕΙΨΕΙΣ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

-ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ

-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ

-ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ

[illegible]

Το αρχείο Question Τεχνικοί Ασφαλείας _2 περιλαμβάνει μόνο το 1^ο μέρος του ερωτηματολογίου, ΕΡΓΑΣΙΕΣ, το οποίο αποτελεί και τη βάση για την ανάπτυξη των απαιτούμενων πινάκων εκτίμησης κινδύνου (Risk Matrices). Συγκεκριμένα τοποθετούνται σε διαφορετικά φύλλα οι οκτώ επικίνδυνες εργασίες (χωματουργικές εργασίες, ανύψωση/μεταφορά φορτίων, χειρισμός μηχανημάτων/οχημάτων, εργασίες σε ύψος, χημικές ουσίες/ εύφλεκτα υλικά, θερμές εργασίες, εξοπλισμός εργοταξίου & ηλεκτρολογικές εργασίες) που έχουν χρησιμοποιηθεί στα δεδομένα του ερωτηματολογίου και για κάθε μία από αυτές κρατάμε την πιθανότητα εμφάνισης (Probability) και την επικινδυνότητα (Severity) βάσει των απαντήσεων που δόθηκαν.

ID	Probability	Severity																	ΧΩΜΑΤΑ	ΑΝΥΨΩΣΗ	ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ	ΥΨΟΣ	ΧΗΜΙΚΕΣ_ΕΥΦΛΕΚΤΑ	ΘΕΡΜΕΣ	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΕΣ
11	4	4																								
68	2	1																								
69	3	1																								
70	2	1																								
71	2	1																								

Για τις υπόλοιπες τρεις κατηγορίες προσωπικού εφαρμόστηκε το ίδιο σχήμα κωδικοποίησης & αποκωδικοποίησης της πληροφορίας.

A4. Χρήση πληροφορίας excel στο R Studio

Για τη χρήση των παραπάνω δεδομένων στο λογισμικό R Studio & την δημιουργία των διαγραμμάτων/πινάκων Risk Matrices, απαιτείται ξεχωριστό excel για κάθε εργασία. Επομένως δημιουργήθηκαν οκτώ φάκελοι με διαφορετικά excel για κάθε εργασία.

-  1. ΧΩΜΑΤΑ
-  2. ΑΝΥΨΩΣΗ
-  3. ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ
-  4. ΥΨΟΣ
-  5. ΧΗΜΙΚΕΣ-ΕΥΦΛΕΚΤΑ
-  6. ΘΕΡΜΕΣ
-  7. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ
-  8. ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΕΣ

-  Question Τεχνικοί Ασφαλείας_3.1
-  Question Τεχνικοί Ασφαλείας_3.2
-  Question Τεχνικοί Ασφαλείας_3.3
-  Question Τεχνικοί Ασφαλείας_3.4
-  Question Τεχνικοί Ασφαλείας_3.5
-  Question Τεχνικοί Ασφαλείας_3.6
-  Question Τεχνικοί Ασφαλείας_3.7
-  Question Τεχνικοί Ασφαλείας_3.8

Παρακάτω παρουσιάζεται ενδεικτικά το αρχείο Question Τεχνικοί Ασφαλείας _3.1 για τις χωματουργικές εργασίες και το αρχείο Question Τεχνικοί Ασφαλείας _3.2 για τις εργασίες ανύψωσης/ μεταφοράς φορτίων. Για κάθε ID λαμβάνουμε την πιθανότητα εμφάνισης (Likelihood) και την επικινδυνότητα (Severity) βάσει των απαντήσεων που δόθηκαν.

ID	Likelihood	Severity
11	4	4
68	2	1
69	3	1
70	2	1
71	2	1
> <u>ΧΩΜΑΤΑ</u>		

Question Τεχνικοί Ασφαλείας _3.1

ID	Likelihood	Severity
11	5	4
68	4	1
69	5	5
70	5	5
71	3	1
> <u>ΑΝΥΨΩΣΗ</u>		

Question Τεχνικοί Ασφαλείας _3.2

A5. Κανόνες κωδικοποίησης και αναγνωσιμότητας αποτελεσμάτων

A5.1 Ερωτήσεις αξιολόγησης πιθανότητας/επικινδυνότητας (Likert 1–5).

Για τις ερωτήσεις αξιολόγησης πιθανότητας/επικινδυνότητας χρησιμοποιήθηκε κλίμακα Likert 5 βαθμίδων. Η κωδικοποίηση εφαρμόστηκε ως ακέραιες τιμές: 1=καθόλου/πολύ μικρή, 2=λίγο/μικρή, 3=μέτρια, 4=πολύ/υψηλή, 5=εξαιρετικά/πολύ υψηλή.

A5.2 Ερωτήσεις επιλογής (Checkbox).

Για ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής εφαρμόστηκε δυαδική κωδικοποίηση ανά επιλογή: 1=επιλέχθηκε, 0=δεν επιλέχθηκε. Με τον τρόπο αυτό κάθε επιλογή μετατρέπεται σε ξεχωριστή μεταβλητή (dummy variable), επιτρέποντας υπολογισμό συχνοτήτων και συσχετίσεων.

A5.3 Πεδία ελεύθερου κειμένου (“Άλλο”).

Όπου υπήρχε επιλογή «Άλλο», διατηρήθηκε το πεδίο κειμένου για την περιγραφή της απάντησης. Οι απαντήσεις κειμένου ομαδοποιήθηκαν θεματικά όπου ήταν εφικτό (π.χ. επαναλαμβανόμενα μοτίβα).

A5.4 Ελλιπείς απαντήσεις / Missing values.

Οι κενές απαντήσεις καταγράφηκαν ως μη διαθέσιμες τιμές (missing values) και, όπου απαιτούνταν για υπολογιστικούς λόγους, κωδικοποιήθηκαν ως 0=δεν επιλέχθηκε.

A.5.5 Ερωτήσεις αξιολόγησης ατυχημάτων (Scale 1–5).

Για τις ερωτήσεις αξιολόγησης ατυχημάτων, η κωδικοποίηση που εφαρμόστηκε είναι: 1= Ζημιά εξοπλισμού, 2=Ελαφρά Τραύματα, 3=Σοβαρά Τραύματα, 4=Ανικανότητα Εργασίας, 5= Θάνατος.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Σύντομο Εγχειρίδιο Χρήσης του Λογισμικού PHAWorks RA Edition

(HAZOP – Deviation-Based)

Σύντομο Εγχειρίδιο Χρήσης του Λογισμικού

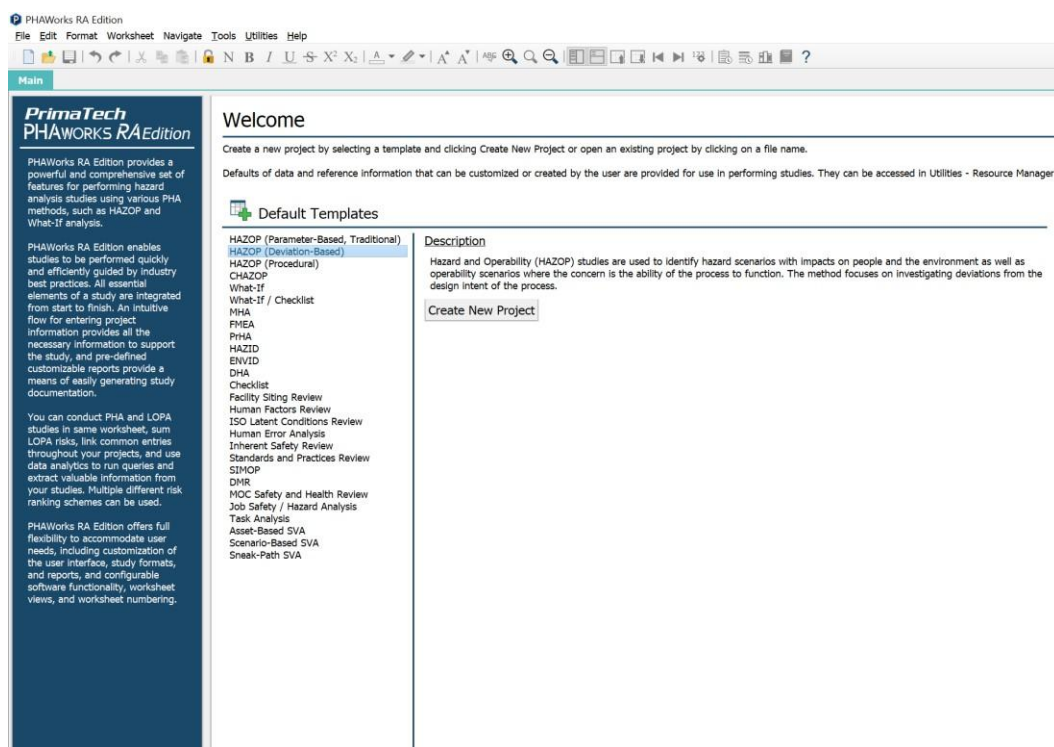
PHAWorks RA Edition

(HAZOP – Deviation-Based)

Το παρόν σύντομο εγχειρίδιο περιγράφει αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν στο λογισμικό PHAWorks RA Edition για τη δημιουργία και εκτέλεση μελέτης HAZOP (Deviation-Based) και την παραγωγή των αναφορών (Worksheets/Recommendations) που αξιοποιήθηκαν στη παρούσα διπλωματική εργασία.

1. Προαπαιτούμενα και ρυθμίσεις

- Εγκατάσταση/Άδεια: PHAWorks RA Edition (έκδοση σύμφωνα με τη διαθέσιμη άδεια χρήσης).
- Ενότητα μελέτης: HAZOP (Deviation-Based), Type of Study: Baseline.
- Προτεινόμενη πρακτική: αποθήκευση ανά τακτά διαστήματα και τήρηση versioning αρχείων (*.phaw).



2. Δημιουργία νέας μελέτης (New Study)

Βήμα 1: File → New Study.

Βήμα 2: Στο πεδίο Method επιλέγεται: HAZOP (Deviation-Based).

Βήμα 3: Στο πεδίο Type of Study επιλέγεται: Baseline.

Βήμα 4: Ορίζεται Project Name (π.χ. “Questionnaire”).

Βήμα 5: Save As... και αποθήκευση του αρχείου

The screenshot displays the HAZOP software interface. The top menu bar includes File, Edit, Format, Worksheet, Navigate, Tools, Utilities, and Help. Below the menu is a toolbar with various icons. The main window is divided into a left sidebar and a central workspace. The sidebar contains a tree view with categories like Infopedia, Project Management, Project Information, Project Notes, Process History, Process Chemistry, Process Information, Process Notes, Charter, Revalidation, Protocols, Documents, Team, Risk Ranking, Risk Graph, HAZOP Data, Quick Entry, LOPA Data, and Global Safeguards. The central workspace is titled 'General' and contains a form for entering project information. The form includes fields for Method (HAZOP (Deviation-Based)), Project Name (Questionnaire), Type of Study (Baseline), Study Dates, Company, Location, Facility, Plant, Process, Process Unit, Responsible Party, Title, Mode(s), Chemicals, Description, and Comments. A Notes section is also present at the bottom of the form.

μελέτης.

3. Ορισμός Nodes (Critical Work Activities)

Τα Nodes αντιστοιχούν σε κατηγορίες εργασιών υψηλού κινδύνου, οι οποίες προέκυψαν από τη συνδυαστική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του ερωτηματολογίου και των πινάκων εκτίμησης κινδύνου (Questionnaire + Risk Matrix).

Δημιουργία Node: Nodes → Add Node (ή δεξί κλικ στη λίστα nodes → Add).
Συμπληρώνονται Name / Description.

Στη συγκεκριμένη μελέτη ορίστηκαν 4 Nodes:

- Node 1: Lifting & Load Handling / Material Transport
- Node 2: Working at Height
- Node 3: Chemicals & Flammable Materials Handling
- Node 4: Electrical Works

The screenshot displays a software interface for managing nodes. The top menu bar includes File, Edit, Format, Worksheet, Navigate, Tools, Utilities, and Help. Below the menu is a toolbar with various icons. The main window is divided into several tabs: Main, Project, Sessions, Nodes (selected), Safeguards, Worksheet, Reviews, Recommendations, Dashboards, Metrics, Analytics, Bow Ties, and Reports. The 'Nodes' tab is active, showing a list of nodes on the left and a detailed view of 'Node 1' on the right.

Nodes List:

#	Node
1	• Lifting & Load Handling / Material Transport
2	• Working at Height
3	• Chemicals & Flammable Materials Handling
4	• Electrical Works

Node 1 Characteristics:

Enter information for each node.

Cat: Type: Construction Activity

Description: Intention: Lift and transport loads safely without dropped load or crush injury.

Comments: Notes:

Link(s):

Node Metrics:

View metrics for the node.

Scenarios: 4 Deviations: 4

Severities: no entries

Risks: no entries

4. Συμπλήρωση Worksheet ανά Node

Για κάθε Node συμπληρώνονται συστηματικά τα παρακάτω πεδία/στήλες, ώστε να τεκμηριώνονται σενάρια απόκλισης και να παράγονται στοχευμένες συστάσεις πρόληψης/μετριάσμού:

4.1 Intention: ποια είναι η «κανονική» λειτουργία/συνθήκη της εργασίας (π.χ. lift and transport loads safely → ασφαλής ανύψωση φορτίου).

4.2 Deviations (guidewords + parameters): αποκλίσεις από την κανονική λειτουργία
π.χ. more flow (uncontrolled movement of load) → μη ελεγχόμενη μεταφορά
φορτίου/ misdirected flow (wrong route) → λάθος διαδρομή/ μεταφορά.

4.3 Causes: άμεσες και ριζικές αιτίες (ανθρώπινο λάθος, ανεπαρκής επιθεώρηση,
αστοχία εξοπλισμού).

4.4 Events/Consequences: τι μπορεί να συμβεί και με ποια έκβαση (τραυματισμός,
υλική ζημιά, διακοπή εργασιών).

4.5 Existing Safeguards: υφιστάμενα μέτρα (διαδικασίες, permit to work,
επιθεωρήσεις, σήμανση, ΜΑΠ).

4.6 Recommendations: πρόσθετα μέτρα (τεχνικά/οργανωτικά/εκπαίδευση) που
μειώνουν τη Likelihood και/ή τη Severity.

*Παράδειγμα (Node 1): **Deviations**= υπερφόρτωση (overloading) ή λανθασμένη
πρόσδεση φορτίου (wrong rigging) → **Causes**= λανθασμένη επιλογή ιμάντων/έλλειψη
πιστοποιημένου χειριστή ανυψωτικών εξαρτημάτων (rigger) →
Consequences=αστοχία ανάρτησης και θανάσιμος τραυματισμός → **Safeguards**=
σχέδιο ανύψωσης (lift plan), ημερολόγιο επιθεώρησης (inspection log) →
Recommendations= απαγορευμένη ζώνη (exclusion zone), ενημερωτικές συναντήσεις
ασφάλειας (toolbox talks), πιστοποιημένος επόπτης ανυψωτικών εργασιών (certified
lifting supervisor).*

4.7. Risk Ranking (S–L–R) και τεκμηρίωση υποθέσεων

Για κάθε εγγραφή/σενάριο καταγράφονται δείκτες Severity (S) και Likelihood (L),
καθώς και ο Risk Level/Ranking (R) σύμφωνα με την ενσωματωμένη risk matrix του
λογισμικού ή την επιλεγμένη κλίμακα. Στη διπλωματική δεν χρησιμοποιήθηκε η
λογική “Risk After All Safeguards”, δηλαδή η εκτίμηση μετά την εφαρμογή των
υφιστάμενων safeguards.

File Edit Format Worksheet Navigate Tools Utilities Help

Main Project Sessions Nodes Safeguards **Worksheet** Reviews Recommendations Dashboards Metrics Analytics Bow Ties Reports Scenario Groups Tracking Bypass Analysis

Views: 1 2 3
Name: Worksheet View 1

▼ Column Sets
☐ Attributes (A)
☐ Big Data (B)
☐ LOPA (L)
☐ Show LOPA Scenarios Only

Navigation Lists Columns

▼ Nodes
 • 1. Lifting & Load Handling / Material Transport
 • 2. Working at Height
 • 3. Chemicals & Flammable Materials Handling
 • 4. Electrical Works

▼ Deviations
 Deviations
 No Flow
 More Flow
 Less Flow
 Chemical Reaction
 Runaway Reaction
 Reverse Flow
 Misdirected Flow
 No / Less Flow
 Higher Temperature
 Lower Temperature
 Higher Pressure

▼ Node
 1. Lifting & Load Handling / Material Transport
 Intention: Lift and transport loads safely without dropped load or crush injury.
 Drawings: [click to choose drawings](#)

Deviations	Causes	Events	Consequences	Safeguards	Risk After All Safeguards			Recommendations
					S	L	R	
More Flow (uncontrolled movement of load)	1. Overloading, wrong rigging, worn slings, poor hook engagement	1.1. Sling failure or load slips	1.1.1. Fatal crush injury; asset damage	1.1.1.1. ☐ Operator certification; visual checks				1.1.1.1. ☐ Lift plan; formal rigging inspection log; certified rigger; discard damaged lifting gear
Reverse Flow (unexpected movement / swing back)	2. No tag lines, wind, poor communication with operator	2.1. Load swings and traps worker	2.1.1. Serious injury, fractures, fatality possible	2.1.1.1. ☐ PPE, basic communication				2.1.1.1. ☐ Exclusion zone; tag lines; banksman; radio/hand signals
Misdirected Flow (wrong route / poor traffic control)	3. No traffic plan, mixed pedestrian/vehicle area, speeding	3.1. Forklift/truck collision or strike	3.1.1. Injury/fatality, damage	3.1.1.1. ☐ Supervisor presence				3.1.1.1. ☐ Traffic management plan; route marking; speed limits; pedestrian barriers
No Flow (no control of suspended load / no exclusion discipline)	4. Workers enter exclusion zone, no spotter, time pressure, human factors	4.1. Worker under suspended load	4.1.1. Fatal crush injury	4.1.1.1. ☐ Site rules, supervision				4.1.1.1. ☐ Strict enforcement: 'no one under suspended load'; barriers/tape; signage; lift supervisor sign-off

5. Σύνδεση με δεδομένα ερωτηματολογίου και Risk Matrices

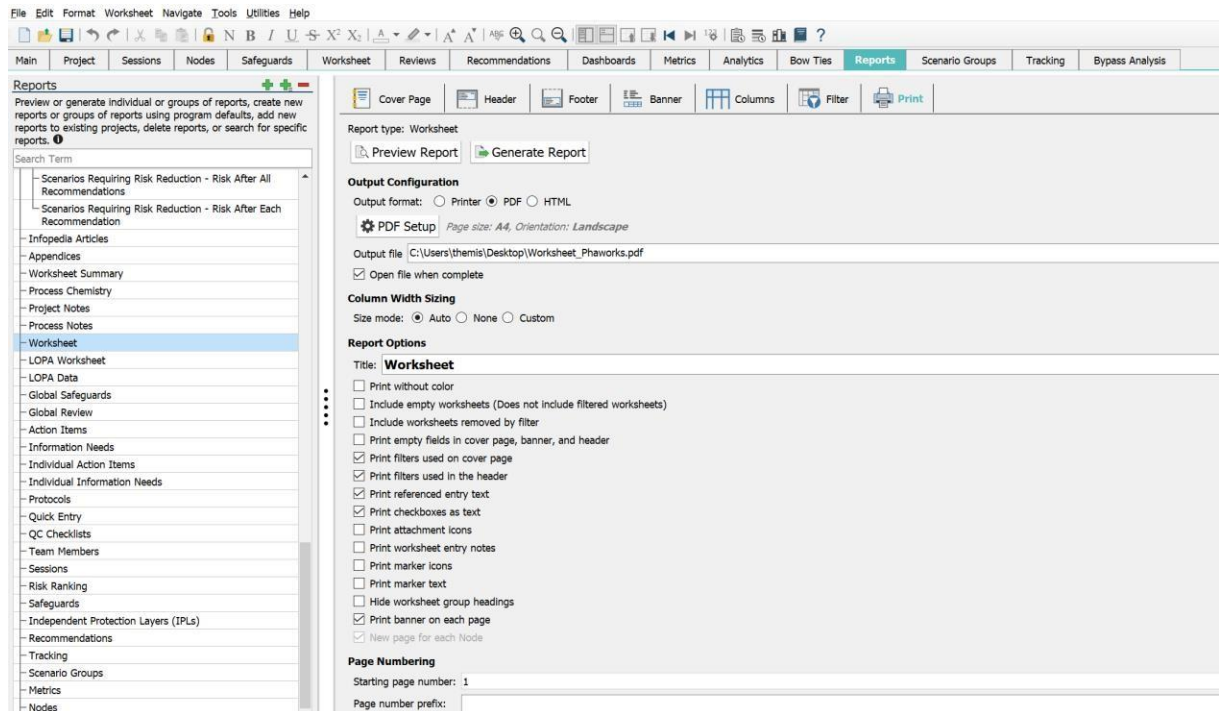
Τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου (επικινδυνότητα/πιθανότητα ανά κατηγορία εργασιών) χρησιμοποιήθηκαν ως τεκμηρίωση για (α) την επιλογή των κρίσιμων Nodes και (β) την ιεράρχηση εστίασης σε συγκεκριμένα σενάρια. Παράλληλα, τα Risk Matrices που αναπτύχθηκαν στο RStudio παρείχαν ποσοτικοποιημένη απεικόνιση του κινδύνου, η οποία αξιοποιήθηκε συμπληρωματικά κατά την τεκμηρίωση της ανάλυσης HAZOP.

6. Παραγωγή αναφορών (Reports/Export)

Βήμα 1: Reports → Worksheet & Recommendations Report.

Βήμα 2: Επιλογή πεδίων/μορφοποίησης (π.χ. ανά Node, ταξινόμηση κατά Risk Level).

Βήμα 3: Generate Report σε PDF και αποθήκευση (π.χ. Worksheet_Critical works.pdf).



7. Troubleshooting

- Αν δεν εμφανίζονται οι στήλες Risk: έλεγχος ρυθμίσεων της risk matrix/μεθόδου στο study setup.
- Αν το PDF export “κόβει” πίνακες: δοκιμή αλλαγής paper size ή εξαγωγή ανά Node.
- Αν χαθούν αλλαγές: ενεργοποίηση συχνής αποθήκευσης και διατήρηση backup αντιγράφων.
- Πληροφορίες εισαγόμενες στα Αγγλικά: Επειδή το λογισμικό PHAWorks RA Edition είναι πλήρως στα Αγγλικά, όλα τα δεδομένα που καταχωρούνται (Nodes, Deviations, Causes, Consequences, Safeguards, Recommendations) εισάγονται στα Αγγλικά για συμβατότητα και σωστή εμφάνιση στις αναφορές.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

HAZOP Analysis Worksheet

&

HAZOP Recommendations Report

(PHAWorks RA Edition Software)

Worksheet

Method Name: HAZOP (Deviation-Based)
Project Name: Themis Questionnaire
Type of Study: Baseline

Worksheet

Node: 1. Lifting & Load Handling / Material Transport

Intention: Lift and transport loads safely without dropped load or crush injury.

Deviations	Causes	Events	Consequences	Safeguards	Risk After All Safeguards			Recommendations
					S	L	R	
More Flow (<i>uncontrolled movement of load</i>)	1. Overloading, wrong rigging, worn slings, poor hook engagement	1.1. Sling failure or load slips	1.1.1. Fatal crush injury; asset damage	1.1.1.1. Operator certification; visual checks				1.1.1.1. Lift plan; formal rigging inspection log; certified rigger; discard damaged lifting gear
Reverse Flow (<i>unexpected movement / swing back</i>)	2. No tag lines, wind, poor communication with operator	2.1. Load swings and traps worker	2.1.1. Serious injury, fractures, fatality possible	2.1.1.1. PPE, basic communication				2.1.1.1. Exclusion zone; tag lines; banksman; radio/hand signals
Misdirected Flow (<i>wrong route / poor traffic control</i>)	3. No traffic plan, mixed pedestrian/vehicle area, speeding	3.1. Forklift/truck collision or strike	3.1.1. Injury/fatality, damage	3.1.1.1. Supervisor presence				3.1.1.1. Traffic management plan; route marking; speed limits; pedestrian barriers
No Flow (<i>no control of suspended load / no exclusion discipline</i>)	4. Workers enter exclusion zone, no spotter, time pressure, human factors	4.1. Worker under suspended load	4.1.1. Fatal crush injury	4.1.1.1. Site rules, supervision				4.1.1.1. Strict enforcement: 'no one under suspended load'; barriers/tape; signage; lift supervisor sign-off

Worksheet

Node: 2. Working at Height

Intention: Work at height safely preventing falls/falling objects.

Deviations	Causes	Events	Consequences	Safeguards	Risk After All Safeguards			Recommendations
					S	L	R	
No Flow (<i>no fall protection</i>)	1. No guardrails, no harness, unsafe scaffold erection	1.1. Worker falls	1.1.1. Fatality / serious injury	1.1.1.1. Hard hat/Full-body safety harness				1.1.1.1. Certified scaffold; inspection tags; guardrails/toeboards; harness + anchor points; work-at-height permit
Less Flow (<i>unstable access / insufficient support</i>)	2. Wrong ladder angle, damaged ladder, overreaching	2.1. Ladder slip/fall	2.1.1. Injury fractures, head injury	2.1.1.1. Basic PPE				2.1.1.1. Ladder inspection; 3-point contact; correct angle; secure ladder; prefer platform/scaffold
Misdirected Flow (<i>objects drop to lower level</i>)	3. Unsecured tools, no toe boards, poor housekeeping	3.1. Object falls onto person below	3.1.1. Serious head injury, fatality possible	3.1.1.1. PPE, Helmets				3.1.1.1. Tool lanyards; toe boards; debris nets; exclusion zone below
Reverse Flow (<i>delayed rescue / no emergency response readiness</i>)	4. No rescue plan, no trained rescuer, no kit (self-rescue/rope)	4.1. Fall arrest happens but worker suspended	4.1.1. Suspension trauma / worse outcome	4.1.1.1. Full body harness, shock-absorbing lanyard/SRL, attached to certified anchorage point				4.1.1.1. Work-at-height rescue plan; drill; rescue kit available; trained rescuer per shift

Worksheet

Node: 3. Chemicals & Flammable Materials Handling

Intention: Handle/store chemicals safely preventing exposure, spill, fire.

Deviations	Causes	Events	Consequences	Safeguards	Risk After All Safeguards			Recommendations
					S	L	R	
No Composition (<i>wrong chemical / no SDS awareness</i>)	1. No labeling, poor training, incorrect mixing	1.1. Worker contacts chemical / inhales vapors	1.1.1. Burns, respiratory injury	1.1.1.1. General PPE				1.1.1.1. SDS access; chemical labeling; task-specific PPE (gloves/goggles/respirator); training
Higher Temperature (<i>ignition source present</i>)	2. Flammable stored near ignition; poor segregation	2.1. Fire starts in storage area	2.1.1. Burns, property damage, shutdown	2.1.1.1. Extinguisher				2.1.1.1. Flammable cabinet; separation rules; no-ignition zone; ventilation; inspections
More Flow (<i>uncontrolled release</i>)	3. Leaking container, poor handling, no bunding	3.1. Spill on ground	3.1.1. Slips, exposure, environmental damage	3.1.1.1. Basic clean-up				3.1.1.1. Bunding/secondary containment; spill kit; proper storage; emergency procedure
Less Flow (<i>insufficient ventilation / build-up of vapors</i>)	4. Confined space, poor ventilation, wrong storage location	4.1. Vapor accumulation	4.1.1. Dizziness/asphyxia or ignition risk increase	4.1.1.1. Basic ventilation				4.1.1.1. Local exhaust / forced ventilation; gas monitoring when required; storage limits

Worksheet

Node: 4. Electrical Works

Intention: Perform electrical work safely preventing shock/arc flash/fire.

Deviations	Causes	Events	Consequences	Safeguards	Risk After All Safeguards			Recommendations
					S	L	R	
No Flow (<i>no isolation / no lockout</i>)	1. No LOTO, wrong circuit, poor planning, human factors	1.1. Contact with live parts	1.1.1. Electrocution, burns	1.1.1.1. Qualified electrician, Isolation, LOTO				1.1.1.1. Electrical permit-to-work; LOTO; test-before-touch; restrict access
Higher Temperature (<i>high energy release</i>)	2. Working live, poor PPE, fault conditions	2.1. Arc flash event	2.1.1. Severe burns, fatality possible	2.1.1.1. Basic PPE				2.1.1.1. De-energize first; arc-rated PPE where required; barriers/signage; training
More Flow (<i>overload/short circuit</i>)	3. Overloaded circuits, damaged cables, poor connections	3.1. Short circuit → fire	3.1.1. Fire, property damage	3.1.1.1. Basic breakers				3.1.1.1. Correct circuit sizing; RCD/ELCB; routine inspection; cable protection ramps
Misdirected Flow (<i>wrong circuit identification / backfeed / re-energization</i>)	4. Poor labeling, wrong drawings, parallel feeds, no verification	4.1. Circuit thought "dead" is energized	4.1.1. Shock, arc, near miss, fatality possible	4.1.1.1. Electrical Permit-to-Work, Isolation, LOTO				4.1.1.1. Circuit identification procedure; labeling update; verification

Recommendations

Method Name: HAZOP (Deviation-Based)

Project Name: Themis Questionnaire

Type of Study: Baseline

Filters: Recommendations Does not start with ":" (ignore case)
Recommendations Does not start with "*" (ignore case)

Recommendations

Filters: Recommendations Does not start with ":" (ignore case); Recommendations Does not start with "*" (ignore case)

Total number of recommendations used in the worksheet: 16

Recommendations Data		Worksheet Data				
#	Recommendations	Node	Deviations	Causes	Events	Consequences
1	Lift plan; formal rigging inspection log; certified rigger; discard damaged lifting gear	1. Lifting & Load Handling / Material Transport	More Flow (<i>uncontrolled movement of load</i>)	1. Overloading, wrong rigging, worn slings, poor hook engagement	1.1. Sling failure or load slips	1.1.1. Fatal crush injury; asset damage
2	Exclusion zone; tag lines; banksman; radio/hand signals	1. Lifting & Load Handling / Material Transport	Reverse Flow (<i>unexpected movement / swing back</i>)	2. No tag lines, wind, poor communication with operator	2.1. Load swings and traps worker	2.1.1. Serious injury, fractures, fatality possible
3	Traffic management plan; route marking; speed limits; pedestrian barriers	1. Lifting & Load Handling / Material Transport	Misdirected Flow (<i>wrong route / poor traffic control</i>)	3. No traffic plan, mixed pedestrian/vehicle area, speeding	3.1. Forklift/truck collision or strike	3.1.1. Injury/fatality, damage
4	Strict enforcement: 'no one under suspended load'; barriers/tape; signage; lift supervisor sign-off	1. Lifting & Load Handling / Material Transport	No Flow (<i>no control of suspended load / no exclusion discipline</i>)	4. Workers enter exclusion zone, no spotter, time pressure, human factors	4.1. Worker under suspended load	4.1.1. Fatal crush injury
5	Certified scaffold; inspection tags; guardrails/toeboards; harness + anchor points; work-at-height permit	2. Working at Height	No Flow (<i>no fall protection</i>)	1. No guardrails, no harness, unsafe scaffold erection	1.1. Worker falls	1.1.1. Fatality / serious injury
6	Ladder inspection; 3-point contact; correct angle; secure ladder; prefer platform/scaffold	2. Working at Height	Less Flow (<i>unstable access / insufficient support</i>)	2. Wrong ladder angle, damaged ladder, overreaching	2.1. Ladder slip/fall	2.1.1. Injury fractures, head injury
7	Tool lanyards; toe boards; debris nets; exclusion zone below	2. Working at Height	Misdirected Flow (<i>objects drop to lower level</i>)	3. Unsecured tools, no toe boards, poor housekeeping	3.1. Object falls onto person below	3.1.1. Serious head injury, fatality possible
8	Work-at-height rescue plan; drill; rescue kit available; trained rescuer per shift	2. Working at Height	Reverse Flow (<i>delayed rescue / no emergency response readiness</i>)	4. No rescue plan, no trained rescuer, no kit (self-rescue/rope)	4.1. Fall arrest happens but worker suspended	4.1.1. Suspension trauma / worse outcome
9	SDS access; chemical labeling; task-specific PPE (gloves/goggles/respirator); training	3. Chemicals & Flammable Materials Handling	No Composition (<i>wrong chemical / no SDS awareness</i>)	1. No labeling, poor training, incorrect mixing	1.1. Worker contacts chemical / inhales vapors	1.1.1. Burns, respiratory injury
10	Flammable cabinet; separation rules; no-ignition zone; ventilation; inspections	3. Chemicals & Flammable Materials Handling	Higher Temperature (<i>ignition source present</i>)	2. Flammable stored near ignition; poor segregation	2.1. Fire starts in storage area	2.1.1. Burns, property damage, shutdown
11	Bunding/secondary containment; spill kit; proper storage; emergency	3. Chemicals & Flammable Materials Handling	More Flow (<i>uncontrolled release</i>)	3. Leaking container, poor handling, no bunding	3.1. Spill on ground	3.1.1. Slips, exposure, environmental damage

Recommendations

Filters: Recommendations Does not start with ":" (ignore case); Recommendations Does not start with "*" (ignore case)

Recommendations Data		Worksheet Data				
#	Recommendations	Node	Deviations	Causes	Events	Consequences
	procedure					
12	Local exhaust / forced ventilation; gas monitoring when required; storage limits	3. Chemicals & Flammable Materials Handling	Less Flow (<i>insufficient ventilation / build-up of vapors</i>)	4. Confined space, poor ventilation, wrong storage location	4.1. Vapor accumulation	4.1.1. Dizziness/asphyxia or ignition risk increase
13	Electrical permit-to-work; LOTO; test-before-touch; restrict access	4. Electrical Works	No Flow (<i>no isolation / no lockout</i>)	1. No LOTO, wrong circuit, poor planning, human factors	1.1. Contact with live parts	1.1.1. Electrocution, burns
14	De-energize first; arc-rated PPE where required; barriers/signage; training	4. Electrical Works	Higher Temperature (<i>high energy release</i>)	2. Working live, poor PPE, fault conditions	2.1. Arc flash event	2.1.1. Severe burns, fatality possible
15	Correct circuit sizing; RCD/ELCB; routine inspection; cable protection ramps	4. Electrical Works	More Flow (<i>overload/ short circuit</i>)	3. Overloaded circuits, damaged cables, poor connections	3.1. Short circuit → fire	3.1.1. Fire, property damage
16	Circuit identification procedure; labeling update; verification	4. Electrical Works	Misdirected Flow (<i>wrong circuit identification / backfeed / re-energization</i>)	4. Poor labeling, wrong drawings, parallel feeds, no verification	4.1. Circuit thought "dead" is energized	4.1.1. Shock, arc, near miss, fatality possible