ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Υγιεινή και Ασφάλεια στις μηχανολογικές κατασκευές

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εισηγητής: Γεωργιακάκης Ευτύχιος ΤΜ6671

Επιβλέπουσα: Μουτσοπούλου Αμαλία, Αν.Καθηγήτρια

©
<2026>

HELLENIC MEDITERRANEAN UNIVERSITY

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

Health and Safety in mechanical engineering

DIPLOMA THESIS

Student: Georgiakakis Efthymios TM6671

Supervisor: Moutsopoulou Amalia

©
<2025>

Υπεύθυνη Δήλωση *: Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην πτυχιακή εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΛ.ΜΕ.ΠΑ.*

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία διερευνά τη διαχείριση της ασφάλειας και τις τεχνολογικές εξελίξεις σε έργα μηχανολογικών κατασκευών. Δίνει έμφαση στην σημασία της εφαρμογής διεθνών προτύπων ασφαλείας, όπως το ISO, OSHA, και οι κατευθυντήριες γραμμές της ΔΟΕ, για τη διασφάλιση του μετριασμού των επικίνδυνων κινδύνων. Η μελέτη διερευνά διάφορες μεθοδολογίες εκτίμησης κινδύνου, και επιδράσεων (FMEA) και την ανάλυση δέντρων σφαλμάτων, για τον εντοπισμό δυνητικών κινδύνων στο πλαίσιο κατασκευαστικών δραστηριοτήτων. Σημαντική εστίαση είναι στα σύγχρονα συστήματα ασφαλείας, συμπεριλαμβανομένης της παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο πλατφόρμες, αυτοματοποιημένοι έλεγχοι ασφαλείας γερανών και προγνωστική ανάλυση. με βάση αλγορίθμους μηχανικής μάθησης. Αυτές οι τεχνολογικές λύσεις ενισχύουν την ασφάλεια στο εργοτάξιο επιτρέποντας την προληπτική ανίχνευση κινδύνων, την άμεση ανταπόκριση σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και βελτιωμένες διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Το ενσωμάτωση αυτών των προηγμένων μέτρων ασφαλείας με την κατασκευή συστήματα διαχείρισης διευκολύνει ένα ασφαλέστερο εργασιακό περιβάλλον, μειώνει ατυχήματα και προωθεί την κουλτούρα συμμόρφωσης με την ασφάλεια σε όλα τα έργα. Η εργασία έχει σαν σκοπό να υπογραμμίσει τον κρίσιμο ρόλο της καινοτομίας και της τυποποίησης στην προώθηση της επαγγελματικής ασφάλειας στον τομέα των μηχανολογικών μηχανικών κατασκευών.

Λέξεις κλειδιά: Διαχείριση ασφάλειας, Τεχνολογίες κατασκευών, Αξιολόγηση κινδύνων, Ασφάλεια κατασκευών, Τεχνικοί έλεγχοι

Abstract

This thesis investigates safety management and technological developments in mechanical engineering projects. It emphasises the importance of implementing international safety standards, such as ISO, OSHA, and ILO guidelines, to ensure that hazardous risks are mitigated. The study explores various risk assessment methodologies, and effects (FMEA) and fault tree analysis, to identify potential hazards in the context of construction activities. A significant focus is on modern safety systems, including real-time monitoring platforms, automated crane safety controls, and predictive analysis based on machine learning algorithms. These technological solutions enhance safety on the construction site by enabling proactive risk detection, immediate response to emergencies and improved decision-making processes. The integration of these advanced safety measures with construction management systems facilitates a safer working environment, reduces accidents and promotes a culture of safety compliance across all projects. The paper aims to highlight the critical role of innovation and standardisation in promoting occupational safety in the mechanical engineering construction sector.

Keywords: Safety Management, Construction Technologies, Risk Assessment, Construction Safety, Engineering Controls

Συντομογραφίες

ANSI: American National Standards Institute

ASME: American Society of Mechanical Engineers

Συντομογραφίες

BSI: British Standards Institution

CE: Conformité Européenne (European Conformity)

CFR: Code of Federal Regulations

ESAW: European Statistics on Accidents at Work

EU: European Union

EU-OSHA: European Agency for Safety and Health at Work

FMEA: Failure Mode and Effects Analysis

FTA: Fault Tree Analysis

HLS: High-Level Structure

HSE: Health and Safety Executive (UK)

ILO: International Labour Organization

IoT: Internet of Things

ISO: International Organization for Standardization

NFPA: National Fire Protection Association

NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health (US)

OHS: Occupational Health and Safety

OHSAS: Occupational Health and Safety Assessment Series

OSHA: Occupational Safety and Health Administration (US)

PDCA: Plan-Do-Check-Act

PL: Performance Level

PPE: Personal Protective Equipment

PtD: Prevention through Design

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψηiv

Abstractv

Συντομογραφίεςvi

Ευχαριστίεςx

Εισαγωγήxi

Κεφάλαιο 1: Θεωρητικό πλαίσιο12

1.1. Βασικές αρχές της επαγγελματικής υγείας και ασφάλειας12

1.2. Βασικοί ορισμοί και όροι15

1.3. Ιστορική εξέλιξη της υγείας και της ασφάλειας στις μηχανολογικές κατασκευές17

1.4. Διεθνή πρότυπα και κανονισμοί20

Κεφάλαιο 2: Κίνδυνοι σε μηχανολογικές κατασκευές25

2.1 Κατηγορίες κινδύνων25

2.1.1 Μηχανικοί κίνδυνοι25

2.1.2 Φυσικοί κίνδυνοι26

2.1.3 Χημικοί κίνδυνοι29

2.1.4 Βιολογικοί κίνδυνοι31

2.1.5 Εργονομικοί κίνδυνοι33

2.2 Επιπτώσεις στην υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων στις κατασκευές34

2.2.1 Κατανόηση της επαγγελματικής υγείας και ασφάλειας35

2.2.2 Το πλαίσιο της κατασκευαστικής βιομηχανίας35

2.2.3 Σωματικές επιπτώσεις και επιπτώσεις στην υγεία36

2.2.4 Επιπτώσεις στην οικονομία και τις επιδόσεις37

2.2.5 Οργανωσιακή κουλτούρα και πρακτικές ασφάλειας38

2.2.6 Προκλήσεις και εμπόδια στην αποτελεσματική εφαρμογή38

2.2.7 Στρατηγικές βελτίωσης39

Κεφάλαιο 3: Νομοθεσία και Κανονιστικό Πλαίσιο40

Εισαγωγή40

3.1 Ευρωπαϊκή και διεθνής νομοθεσία41

3.1.1 Θεμελιώδεις συμβάσεις της ΔΟΕ41

3.1.2 Νομοθετικό πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης41

3.1.3 Πλαίσιο διεθνών προτύπων43

3.2 Ελληνική νομοθεσία44

3.2.1 Ιστορική εξέλιξη της ελληνικής νομοθεσίας44

3.2.2 Νόμος 3850/2010 - Κώδικας Υγείας και Ασφάλειας στην Εργασία44

3.2.3 Εκτελεστική νομοθεσία46

3.2.4 Πλαίσιο επιβολής και συμμόρφωσης46

3.3 Ρόλος επιθεωρήσεων εργασίας και αρμόδιων φορέων48

3.3.1 Διεθνές πλαίσιο για την επιθεώρηση της εργασίας48

3.3.2 Ευρωπαϊκό πλαίσιο συντονισμού48

3.3.3 Σύγχρονες προκλήσεις και μελλοντικές εξελίξεις49

Κεφάλαιο 4: Μέτρα πρόληψης και ασφάλειας σε μηχανολογικές κατασκευές50

Εισαγωγή50

4.1 Ανάλυση κινδύνων και εκτίμηση επαγγελματικού κινδύνου50

4.1.1 Θεμελιώδεις αρχές της αξιολόγησης κινδύνων51

4.2 Μέσα ατομικής προστασίας (ΜΑΠ) στις μηχανολογικές κατασκευές55

4.2.1 Απαιτήσεις ΜΑΠ ειδικά για τις κατασκευές56

4.2.2 Συστήματα προστασίας από πτώση για μηχανολογικές κατασκευές57

4.2.3 Ειδικά ΜΑΠ για μηχανικές κατασκευαστικές διεργασίες58

4.3 Εκπαίδευση των εργαζομένων και πολιτικές ασφαλείας στις μηχανολογικές κατασκευές58

4.3.1 Εκπαίδευση για την ασφάλεια ειδικά για το επάγγελμα59

4.3.2 Εκπαίδευση για την αναγνώριση κινδύνων και την αξιολόγηση κινδύνων60

4.3.3 Προγράμματα κατάρτισης ειδικά για τον εξοπλισμό61

4.3.4 Διαδικασίες αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης και εκκένωσης61

4.4 Σύγχρονες τεχνολογίες για την πρόληψη ατυχημάτων στις μηχανολογικές κατασκευές62

4.4.1 Συστήματα εντοπισμού θέσης και προσέγγισης σε πραγματικό χρόνο63

4.4.2 Φορητή τεχνολογία και φυσιολογική παρακολούθηση64

4.4.3 Εφαρμογές υπολογιστικής όρασης και τεχνητής νοημοσύνης64

4.4.4 Αυτοματοποιημένα συστήματα ασφάλειας και ρομποτική65

4.4.5 Ολοκληρωμένες πλατφόρμες διαχείρισης της ασφάλειας66

Κεφάλαιο 5 Μεθοδολογίες Ανάλυσης Κινδύνων και Ατυχημάτων στον Κατασκευαστικό Τομέα67

5.1 Θεμελιώδεις αρχές της εκτίμησης κινδύνου67

Εισαγωγή67

5.1.2 Θεωρητική θεμελίωση της εκτίμησης κινδύνου68

5.1.3 Μεθοδολογίες προσδιορισμού κινδύνων70

5.1.4 Προηγμένες τεχνικές ανάλυσης κινδύνου71

5.1.5 Αξιολόγηση κινδύνων και ανάπτυξη κριτηρίων72

5.1.6 Στρατηγικές ελέγχου και μετριασμού των κινδύνων73

5.1.7 Ενσωμάτωση της τεχνολογίας στην αξιολόγηση κινδύνων75

5.1.8 Ρυθμιστικό πλαίσιο και πρότυπα76

5.1.9 Αναδυόμενες τεχνολογίες και μελλοντικές κατευθύνσεις77

5.2 Μέθοδοι ανάλυσης ατυχημάτων79

Εισαγωγή79

5.2.1 Παραδοσιακά μοντέλα ανάλυσης ατυχημάτων80

5.2.2 Προσεγγίσεις ανάλυσης ατυχημάτων με βάση τα συστήματα82

5.2.3 Μεθοδολογίες ανάλυσης αιτιών84

5.2.4 Ανάλυση των ανθρώπινων παραγόντων στη διερεύνηση ατυχημάτων87

5.2.5 Μέθοδοι οργανωτικής και συστημικής ανάλυσης στη διερεύνηση ατυχημάτων89

5.2.6 Μέθοδοι διερεύνησης ατυχημάτων που ενισχύονται από την τεχνολογία92

5.2.7 Τεχνικές ποσοτικής ανάλυσης ατυχημάτων94

5.2.8 Ενσωμάτωση των ευρημάτων96

5.3 Στατιστικά Δεδομένα97

Εισαγωγή97

5.3.1 Συνολική Εικόνα των Εργατικών Ατυχημάτων στην Ελλάδα98

5.3.2 Κλαδική Ανάλυση και Κατανομή Κινδύνου99

5.3.3 Δημογραφικά Χαρακτηριστικά και Ηλικιακή Κατανομή100

5.3.4 Περιφερειακή Κατανομή και Γεωγραφικές Διαφοροποιήσεις101

5.3.5 Επαγγελματικές Κατηγορίες και Κίνδυνος102

5.3.6 Αναγνώριση και Ανάλυση Παραγόντων Κινδύνου103

5.3.7 Προγνωστική Μοντελοποίηση και Πρόβλεψη106

5.3.8 Διεθνής Σύγκριση και Θέση της Ελλάδας107

5.3.9 Υλικοί Παράγοντες και Αίτια Ατυχημάτων108

5.3.10 Οικονομικό Κόστος και Κοινωνικές Επιπτώσεις109

5.3.11 Κοινωνικές και Οικογενειακές Επιπτώσεις110

Συμπεράσματα110

Βιβλιογραφία120

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου εκτίμηση προς την επιβλέπουσα καθηγήτρια κα Μουτσοπούλου Αμαλία, για την πολύτιμη επιστημονική καθοδήγηση, τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις και τη συνεχή υποστήριξη που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η εμπειρία και οι γνώσεις της αποτέλεσαν καθοριστικό παράγοντα για την επιτυχή ολοκλήρωση αυτού του ερευνητικού εγχειρήματος.

Παράλληλα, οφείλω να ευχαριστήσω θερμά τους δικούς μου ανθρώπους για την αμέριστη συμπαράσταση και υπομονή τους, καθώς και όλους τους συναδέλφους και φίλους που με διάφορους τρόπους συνέδραμαν στην υλοποίηση αυτής της εργασίας.

Εισαγωγή

Ο κατασκευαστικός κλάδος, ιδίως στον τομέα των μηχανολόγων μηχανικών, αντιμετωπίζει πολυάριθμες προκλήσεις στον τομέα της ασφάλειας λόγω των πολύπλοκων επιχειρησιακών περιβαλλόντων, των δυναμικών απαιτήσεων των εργασιών και των εγγενών κινδύνων που συνδέονται με τα βαρέα μηχανήματα και την εργασία σε μεγάλο υψόμετρο. Η διασφάλιση της ασφάλειας στα εργοτάξια απαιτεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που συνδυάζει ρυθμιστικά πρότυπα, τεχνολογική καινοτομία και αποτελεσματικές στρατηγικές διαχείρισης κινδύνων. Διεθνείς οργανισμοί όπως ο ISO, ο OSHA και ο ILO έχουν θεσπίσει κατευθυντήριες γραμμές που χρησιμεύουν ως θεμελιώδη πλαίσια για πρωτόκολλα ασφαλείας, τα οποία υιοθετούν όλο και περισσότερο οι τοπικές πρακτικές.

Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία έχουν φέρει επανάσταση στη διαχείριση της ασφάλειας στα κατασκευαστικά έργα. Μέσω της επιτήρησης σε πραγματικό χρόνο, των αυτοματοποιημένων συστημάτων ελέγχου και της προγνωστικής ανάλυσης, οι επόπτες του εργοταξίου μπορούν πλέον να εντοπίζουν προληπτικά τους κινδύνους, να ανταποκρίνονται γρήγορα σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και να εφαρμόζουν προληπτικά μέτρα. Αυτές οι καινοτομίες όχι μόνο ενισχύουν την ασφάλεια των εργαζομένων, αλλά και βελτιώνουν τη συνολική αποδοτικότητα του έργου, ελαχιστοποιώντας τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και μειώνοντας το οικονομικό και ανθρώπινο κόστος που συνδέεται με τα ατυχήματα.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως στόχο να διερευνήσει το σημερινό τοπίο των πρακτικών ασφάλειας στις μηχανολογικές κατασκευές, να επισημάνει τις τεχνολογικές καινοτομίες και να αναλύσει πώς αυτά τα εργαλεία και τα πρότυπα μπορούν να ενσωματωθούν αποτελεσματικά για την προώθηση ασφαλέστερων εργασιακών περιβαλλόντων. Η σημασία αυτής της εργασίας έγκειται στη δυνατότητά της να ενημερώσει και να προωθήσει μια κουλτούρα ασφάλειας στον κλάδο.

Κεφάλαιο 1: Θεωρητικό πλαίσιο

1.1. Βασικές αρχές της επαγγελματικής υγείας και ασφάλειας

Η επαγγελματική υγεία και ασφάλεια (εφεξής OHS) αντιπροσωπεύει έναν διεπιστημονικό τομέα που ασχολείται με την προστασία της ασφάλειας, της υγείας και της ευημερίας των ανθρώπων που απασχολούνται στην εργασία. Η θεμελιώδης φιλοσοφία που διέπει την OHS είναι ότι όλοι οι τραυματισμοί και οι ασθένειες που προκύπτουν στους χώρους εργασίας μπορούν να προληφθούν και η διατήρηση ασφαλών συνθηκών εργασίας δεν αποτελεί απλώς κανονιστική υποχρέωση, αλλά ηθική επιταγή και ορθή επιχειρηματική πρακτική (Zandin, 2001). Στον τομέα των μηχανολογικών κατασκευών, η φιλοσοφία αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία λόγω των εγγενών κινδύνων που συνδέονται με τη λειτουργία των μηχανημάτων, τις διαδικασίες κατασκευής και τα πολύπλοκα μηχανικά συστήματα. Η Διεθνής Οργάνωση Εργασίας (ΔΟΕ) ορίζει την επαγγελματική ασφάλεια και υγεία ως «την επιστήμη της πρόβλεψης, της αναγνώρισης, της αξιολόγησης και του ελέγχου των κινδύνων που προκύπτουν στο χώρο εργασίας ή από αυτόν, οι οποίοι θα μπορούσαν να βλάψουν την υγεία και την ευημερία των εργαζομένων, λαμβάνοντας υπόψη τις πιθανές επιπτώσεις στις γύρω κοινότητες και το γενικότερο περιβάλλον» (ΔΟΕ, 2020), τονίζοντας μέσα από τον ορισμό αυτό τον προληπτικό χαρακτήρα της διαχείρισης της υγείας και της ασφάλειας και προβάλλει την ανάγκη για συστηματικές προσεγγίσεις στη διαχείριση των κινδύνων στους χώρους εργασίας.

Στον πυρήνα της, η επαγγελματική υγεία και ασφάλεια στις μηχανολογικές κατασκευές βασίζεται σε διάφορες θεμελιώδεις αρχές:

Ι. Πρόληψη: Η αρχή της πρόληψης ορίζει ότι τα προληπτικά μέτρα για την εξάλειψη ή την ελαχιστοποίηση των κινδύνων υπερισχύουν των αντιδραστικών προσεγγίσεων, με την αρχή αυτή να κωδικοποιείται στο πλαίσιο ιεράρχησης των ελέγχων που υποστηρίζεται από τις αρχές ασφαλείας παγκοσμίως, το οποίο δίνει προτεραιότητα στην εξάλειψη, την υποκατάσταση, τους μηχανολογικούς ελέγχους, τους διοικητικούς ελέγχους και τον ατομικό προστατευτικό εξοπλισμό, με την σειρά που αναφέρονται (Manuele, 2008). Στο πλαίσιο της μηχανολογίας, αυτό θα μπορούσε να περιλαμβάνει τον σχεδιασμό μηχανημάτων με εγγενή χαρακτηριστικά ασφαλείας αντί να βασίζεται αποκλειστικά στην επαγρύπνηση του χειριστή.

Ο Hollnagel (2014) επεκτείνει αυτή την έννοια μέσω της έννοιας της «Ασφάλειας-ΙΙ», η οποία τονίζει τη σημασία της κατανόησης του γιατί τα πράγματα πάνε σωστά τις περισσότερες φορές και δεν μένει μόνο στην ανάλυση των αποτυχιών. Αυτή η προοπτική μετατοπίζει την εστίαση προς τη δημιουργία ανθεκτικών συστημάτων ικανών να προσαρμόζονται σε ποικίλες συνθήκες και όχι απλώς να αποτρέπουν συγκεκριμένα σενάρια ατυχημάτων.

ΙΙ. Διαχείριση κινδύνων: Η διαχείριση κινδύνου αποτελεί μια συστηματική διαδικασία για τον εντοπισμό των κινδύνων, την αξιολόγηση των πιθανών συνεπειών τους και την εφαρμογή των κατάλληλων μέτρων ελέγχου. Το πρότυπο ISO 31000 παρέχει ένα πλαίσιο για τη διαχείριση κινδύνων που έχει υιοθετηθεί ευρέως σε όλους τους κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της μηχανολογίας (ISO, 2018), η οποία διαχείριση κινδύνων περιλαμβάνει:

- Τον καθορισμό του πλαισίου
- Τον προσδιορισμό των κινδύνων
- Την ανάλυση των κινδύνων
- Την αξιολόγηση των κινδύνων
- Την αντιμετώπιση των κινδύνων
- Την παρακολούθηση και επανεξέταση τους

Στις μηχανολογικές κατασκευές, η αξιολόγηση κινδύνων συχνά περιλαμβάνει ποσοτικές μεθοδολογίες όπως η Ανάλυση τρόπου αστοχίας και επιπτώσεων (FMEA) ή η Ανάλυση δέντρων σφαλμάτων (FTA), οι οποίες επιτρέπουν τη συστηματική αξιολόγηση των πιθανών τρόπων αστοχίας και των συνεπειών τους (Σταμάτης, 2003).

ΙΙΙ. Ολοκλήρωση: Τα ζητήματα ασφάλειας πρέπει να ενσωματώνονται σε όλες τις πτυχές των εργασιακών διαδικασιών και όχι να αντιμετωπίζονται ως ξεχωριστές ή δευτερεύουσες ανησυχίες. Οι Schulte et al. (2013) υποστηρίζουν ότι η ενσωμάτωση της υγείας και της ασφάλειας στις επιχειρηματικές λειτουργίες είναι απαραίτητη για τη δημιουργία βιώσιμων πρακτικών πρόληψης, με την ενσωμάτωση αυτή να πρέπει να γίνεται σε πολλαπλά επίπεδα και ειδικότερα σε:

- Στρατηγικό επίπεδο με την ενσωμάτωση της ασφάλειας στην αποστολή και το όραμα του οργανισμού
- Τακτικό επίπεδο με την ανάπτυξη συστημάτων και διαδικασιών που ενσωματώνουν ζητήματα ασφάλειας

- Επιχειρησιακό επίπεδο με την εφαρμογή πρακτικών ασφάλειας στις καθημερινές δραστηριότητες

Για τα έργα μηχανολογίας, αυτό σημαίνει την ενσωμάτωση αναλύσεων ασφάλειας από τις πρώτες φάσεις σχεδιασμού και όχι την προσπάθεια εκ των υστέρων τοποθέτησης χαρακτηριστικών ασφάλειας σε ολοκληρωμένα σχέδια, μια προσέγγιση που μερικές φορές αναφέρεται ως «Πρόληψη μέσω σχεδιασμού» (PtD) (Toole & Gambatese, 2008).

IV. Συνεχής βελτίωση: Η αρχή της συνεχούς βελτίωσης αναγνωρίζει ότι η διαχείριση της ασφάλειας είναι μια συνεχής διαδικασία που απαιτεί τακτική αξιολόγηση και βελτίωση. Ο κύκλος Plan-Do-Check-Act (PDCA) του Deming παρέχει ένα πλαίσιο για αυτή την επαναληπτική προσέγγιση της διαχείρισης της ασφάλειας (Deming, 1986). Η αρχή αυτή αντικατοπτρίζεται στα σύγχρονα συστήματα διαχείρισης της ασφάλειας, όπως το ISO 45001, το οποίο τονίζει τη σημασία της αξιολόγησης των επιδόσεων και της συνεχούς βελτίωσης (ISO, 2018). Η έρευνα των Vinodkumar και Bhasi (2011) καταδεικνύει ότι οι οργανισμοί με ισχυρά συστήματα διαχείρισης της ασφάλειας που χαρακτηρίζονται από διαδικασίες συνεχούς βελτίωσης παρουσιάζουν σημαντικά λιγότερα ατυχήματα και τραυματισμούς σε σχέση με εκείνους που έχουν λιγότερο δομημένες προσεγγίσεις.

IV. Συμμετοχή των εργαζομένων: Η αποτελεσματική διαχείριση της υγείας και της ασφάλειας απαιτεί ουσιαστική συμμετοχή των εργαζομένων οι οποίοι διαθέτουν ανεκτίμητη γνώση από πρώτο χέρι για τις συνθήκες στο χώρο εργασίας και τους πιθανούς κινδύνους. Οι Robson κ.ά. (2007) διαπίστωσαν ότι οι συμμετοχικές προσεγγίσεις για την ασφάλεια στους χώρους εργασίας οδηγούν σε αποτελεσματικότερο εντοπισμό και έλεγχο των κινδύνων σε σύγκριση με τις προσεγγίσεις από πάνω προς τα κάτω. Η αρχή αυτή αντικατοπτρίζεται στις κανονιστικές απαιτήσεις για επιτροπές υγείας και ασφάλειας των εργαζομένων και διαδικασίες διαβούλευσης σε πολλές δικαιοδοσίες. Σε περιβάλλοντα μηχανολογίας, αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη συμμετοχή των χειριστών μηχανημάτων στο σχεδιασμό και την εφαρμογή συστημάτων ασφαλείας, αναγνωρίζοντας ότι η πρακτική τους εμπειρία συχνά αποκαλύπτει κινδύνους που μπορεί να μην είναι εμφανείς σε σχεδιαστές ή διευθυντές που εργάζονται από απόσταση από τις καθημερινές λειτουργίες.

1.2. Βασικοί ορισμοί και όροι

Η κατανόηση της εξειδικευμένης ορολογίας που χρησιμοποιείται στην επαγγελματική υγεία και ασφάλεια είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική επικοινωνία και την εφαρμογή των αρχών της ασφάλειας. Μέσα από την βιβλιογραφική επισκόπηση παρουσιάζονται συνοπτικά οι βασικοί ορισμοί που αντιπροσωπεύουν θεμελιώδεις έννοιες στον τομέα, ιδίως όσον αφορά τις μηχανολογικές κατασκευές, συγκεκριμένα:

i. Ο Κίνδυνος: Ως κίνδυνος ορίζεται κάθε πηγή, κατάσταση ή πράξη με δυνατότητα πρόκλησης βλάβης από την άποψη του τραυματισμού ή της ασθένειας του ανθρώπου, της ζημιάς στην ιδιοκτησία, της ζημιάς στο περιβάλλον ή ενός συνδυασμού αυτών (BSI, 2007), ενώ στα πλαίσια της μηχανολογίας, οι κίνδυνοι μπορεί να περιλαμβάνουν και αναλύονται στο επόμενο κεφάλαιο:

- Μηχανικοί κίνδυνοι: Κινούμενα μέρη, αιχμηρές ακμές, εκτοξευόμενα υλικά
- Ηλεκτρικοί κίνδυνοι: Αγωγοί υπό τάση, στατικός ηλεκτρισμός
- Θερμικοί κίνδυνοι: Θερμές επιφάνειες, λιωμένα μέταλλα
- Θόρυβος και δονήσεις: Λειτουργία μηχανημάτων
- Χημικοί κίνδυνοι: Ψυκτικά, λιπαντικά, καθαριστικά
- Εργονομικοί κίνδυνοι: Επαναλαμβανόμενες κινήσεις, άβολες στάσεις σώματος

Ο Haddon (1980) αντιλαμβάνεται τους κινδύνους ως μορφές ενέργειας που, όταν δεν ελέγχονται, μπορούν να προκαλέσουν βλάβη, ένα πλαίσιο που ευθυγραμμίζεται ιδιαίτερα καλά με τα πλαίσια της μηχανολογίας, όπου χειρίζονται διάφορες μορφές ενέργειας (κινητική, δυνητική, θερμική, ηλεκτρική).

ii. Κίνδυνος: Ο κίνδυνος αντιπροσωπεύει το συνδυασμό της πιθανότητας εμφάνισης βλάβης και της σοβαρότητας αυτής της βλάβης (ISO, 2018) και εκφράζεται συχνά ως εξής: «Κίνδυνος = Πιθανότητα × Σοβαρότητα». Αυτή η διατύπωση, αν και απλουστευμένη, αποτυπώνει τα ουσιώδη στοιχεία της εκτίμησης κινδύνου, ενώ πιο περίπλοκες προσεγγίσεις μπορούν να ενσωματώσουν πρόσθετους παράγοντες, όπως η συχνότητα έκθεσης και ο αριθμός των ατόμων που εκτίθενται (Manuele, 2010). Στις εφαρμογές μηχανολογίας, η εκτίμηση κινδύνου συχνά περιλαμβάνει ποσοτικές μεθόδους που λαμβάνουν υπόψη παράγοντες όπως οι χρόνοι κύκλου της μηχανής, οι διάρκειες έκθεσης, τα δεδομένα αξιοπιστίας και οι ανθρώπινοι παράγοντες (Aven, 2016).

iii. Πρόληψη: Η πρόληψη περιλαμβάνει όλα τα μέτρα που λαμβάνονται για τη μείωση της πιθανότητας εμφάνισης ενός επικίνδυνου συμβάντος (EU-OSHA, 2007), με τις

στρατηγικές πρόληψης να οργανώνονται συνήθως σύμφωνα με την ιεραρχία των ελέγχων:

1. Εξάλειψη: Φυσική απομάκρυνση του κινδύνου

2. Υποκατάσταση: Αντικατάσταση του κινδύνου με μια λιγότερο επικίνδυνη εναλλακτική λύση

3. Τεχνικοί έλεγχοι: Απομόνωση των ατόμων από τον κίνδυνο

4. Διοικητικοί έλεγχοι: Αλλαγή του τρόπου εργασίας των ανθρώπων

5. Εξοπλισμός ατομικής προστασίας: Προστασία των εργαζομένων με ΜΑΠ

Κάθε επίπεδο αυτής της ιεραρχίας αντιπροσωπεύει φθίνουσα σειρά αποτελεσματικότητας, αλλά μπορεί να είναι απαραίτητο ανάλογα με το συγκεκριμένο πλαίσιο κινδύνου (NIOSH, 2015).

iv. Προστασία: Η προστασία αναφέρεται σε μέτρα που αποσκοπούν στον μετριασμό της σοβαρότητας της βλάβης σε περίπτωση που συμβεί ένα επικίνδυνο συμβάν (EU-OSHA, 2007), ειδικότερα στα πλαίσια της μηχανολογίας, τα παραδείγματα περιλαμβάνουν:

- Φύλακες και εμπόδια που εμποδίζουν την πρόσβαση σε επικίνδυνες περιοχές
- Συστήματα διακοπής λειτουργίας έκτακτης ανάγκης
- Εξοπλισμός ατομικής προστασίας, όπως γυαλιά ασφαλείας ή γάντια
- Βαλβίδες εκτόνωσης πίεσης
- Συστήματα πέδησης

Το «μοντέλο ελβετικού τυριού» του Reason (1997) αντιλαμβάνεται την προστασία ως πολλαπλά στρώματα άμυνας, διασφαλίσεων και φραγμών που μπορούν να αποτρέψουν τα ατυχήματα όταν ευθυγραμμίζονται σωστά.

v.Ατύχημα στο χώρο εργασίας: Ως ατύχημα στο χώρο εργασίας ορίζεται ένα απρογραμμάτιστο, ανεξέλεγκτο γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τραυματισμό, ασθένεια ή ζημιά στην ιδιοκτησία, τα υλικά ή το περιβάλλον (Heinrich et al., 1980). Η μεθοδολογία της Ευρωπαϊκής Στατιστικής για τα εργατικά ατυχήματα (ESAW) παρέχει μια τυποποιημένη προσέγγιση για την ταξινόμηση των εργατικών ατυχημάτων με βάση παραμέτρους όπως:

- Τρόπος επαφής (πώς τραυματίστηκε το θύμα)
- Υλικός παράγοντας (το αντικείμενο που εμπλέκεται στο ατύχημα)
- Απόκλιση (τι πήγε στραβά)
- Διαδικασία εργασίας

Αυτό το σύστημα ταξινόμησης επιτρέπει τη συστηματικότερη ανάλυση των τάσεων και των προτύπων των ατυχημάτων σε διάφορους κλάδους και δικαιοδοσίες (Eurostat, 2013).

vi. Παραλίγο ατύχημα: Ένα παρ' ολίγον ατύχημα είναι ένα απρογραμμάτιστο συμβάν που δεν οδήγησε σε τραυματισμό, ασθένεια ή ζημιά, αλλά είχε τη δυνατότητα να το κάνει (HSE, 2014). Τα παρ' ολίγον ατυχήματα αποτελούν πολύτιμες ευκαιρίες μάθησης, καθώς συχνά μοιράζονται αιτιώδεις παράγοντες με πιο σοβαρά περιστατικά, αλλά χωρίς τις σχετικές συνέπειες. Η έρευνα των Phimister κ.ά. (2003) υποδηλώνει ότι για κάθε σοβαρό ατύχημα υπάρχουν πολυάριθμα παρ' ολίγον ατυχήματα και ακόμη περισσότερες μη ασφαλείς συνθήκες που θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν ως δείκτες έγκαιρης προειδοποίησης, εάν καταγραφούν και αναλυθούν σωστά.

vii. Κουλτούρα ασφάλειας: Η κουλτούρα ασφάλειας αναφέρεται στο προϊόν των ατομικών και ομαδικών αξιών, στάσεων, αντιλήψεων, ικανοτήτων και προτύπων συμπεριφοράς που καθορίζουν τη δέσμευση, το ύφος και την επάρκεια της διαχείρισης της υγείας και της ασφάλειας ενός οργανισμού (HSE, 1993). Μελέτες του Guldenmund (2000) δείχνουν ότι οι οργανισμοί με ισχυρή κουλτούρα ασφάλειας εμφανίζουν λιγότερα ατυχήματα και τραυματισμούς, υπογραμμίζοντας τη σημασία των οργανωτικών παραγόντων στην απόδοση της ασφάλειας. Ο Cooper (2000) πρότεινε ένα αμοιβαίο μοντέλο της κουλτούρας ασφάλειας που περιλαμβάνει τρεις αλληλένδετες πτυχές:

- Ψυχολογικές πτυχές (πώς αισθάνονται οι άνθρωποι)
- Συμπεριφορικές πτυχές (τι κάνουν οι άνθρωποι)
- Καταστασιακές πτυχές (τι έχει ο οργανισμός)

Αυτή η πολύπλευρη προσέγγιση της κουλτούρας ασφάλειας έχει ασκήσει επιρροή στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων διαχείρισης της ασφάλειας που αφορούν τόσο τους τεχνικούς όσο και τους ανθρώπινους παράγοντες.

1.3. Ιστορική εξέλιξη της υγείας και της ασφάλειας στις μηχανολογικές κατασκευές

Η εξέλιξη των πρακτικών υγείας και ασφάλειας στις μηχανολογικές κατασκευές συμβαδίζει στενά με την ευρύτερη βιομηχανική επανάσταση και τις επακόλουθες τεχνολογικές εξελίξεις και αντανακλά τις μεταβαλλόμενες κοινωνικές αξίες, την επιστημονική κατανόηση και τις ρυθμιστικές προσεγγίσεις.

<u>Η Προ-βιομηχανική εποχή</u>

Πριν από τη Βιομηχανική Επανάσταση, οι μηχανολογικές κατασκευές ήταν κυρίως βιοτεχνικές, με περιορισμένη μηχανοποίηση και σχετικά μικρής κλίμακας εργασίες και οι όποιες ανησυχίες για την ασφάλεια αντιμετωπίζονταν μέσω συντεχνιακών κανονισμών και συστημάτων μαθητείας που έδιναν έμφαση στη σωστή εκπαίδευση και την εργασία (Swuste et al., 2010). Η τεκμηρίωση αυτής της περιόδου δείχνει ότι αναγνωρίζονταν ορισμένοι κίνδυνοι, όπως αυτοί που σχετίζονταν με τη λειτουργία των υδροτροχών και των ανεμόμυλων, αλλά οι συστηματικές προσεγγίσεις για την ασφάλεια ήταν περιορισμένες.

Η περίοδος της Βιομηχανικής Επανάστασης (τέλη 18ου - 19ος αιώνας)

Η Βιομηχανική Επανάσταση έφερε πρωτοφανείς αλλαγές στις διαδικασίες παραγωγής, με την ατμομηχανή να επιτρέπει τη μηχανοποίηση σε μια προηγουμένως αδύνατη κλίμακα, ενώ η ταχεία εξάπλωση των μηχανημάτων έφερε νέους κινδύνους που δεν ήταν καλά κατανοητοί ή διαχειρίσιμοι. Ιστορικές αναφορές περιγράφουν επικίνδυνες συνθήκες στα πρώτα εργοστάσια, με αφύλακτα κινούμενα μέρη, υπερβολικό θόρυβο και κακές περιβαλλοντικές συνθήκες (Price, 1999). Οι αρχικές βελτιώσεις στην ασφάλεια είχαν κυρίως τεχνικό χαρακτήρα, όπως η ανάπτυξη ασφαλέστερων λεβήτων μετά από πολυάριθμες θανατηφόρες εκρήξεις. Οι Factory Acts στο Ηνωμένο Βασίλειο (που άρχισαν το 1833) αντιπροσωπεύουν τις πρώτες ρυθμιστικές προσπάθειες για την αντιμετώπιση της ασφάλειας στους χώρους εργασίας, οι οποίες αρχικά επικεντρώθηκαν στην προστασία των παιδιών εργατών, αλλά σταδιακά επεκτάθηκαν ώστε να συμπεριλάβουν ευρύτερες ανησυχίες για την ασφάλεια (Bartrip & Fenn, 1990).

Αρχές του 20ού αιώνα: Επιστημονική διοίκηση και μηχανική ασφάλειας

Στις αρχές του 20ού αιώνα εμφανίστηκε η μηχανική ασφάλειας ως ξεχωριστός κλάδος. Η θεωρία ντόμινο του Heinrich (1931) για την αιτιώδη συνάφεια των ατυχημάτων, η οποία πρότεινε ότι τα ατυχήματα προκύπτουν από μια αλληλουχία γεγονότων ή παραγόντων, άσκησε ιδιαίτερη επιρροή στην καθιέρωση συστηματικών προσεγγίσεων για την πρόληψη των ατυχημάτων. Οι μελέτες του που πρότειναν ότι το 88% των ατυχημάτων προκαλούνταν από μη ασφαλείς πράξεις και όχι από μη ασφαλείς συνθήκες έστρεψαν την προσοχή στις συμπεριφορικές πτυχές της ασφάλειας, μια προοπτική που άσκησε επιρροή αλλά και αμφισβήτηση (Manuele, 2003).

Το έργο του Frederick Winslow Taylor σχετικά με την επιστημονική διαχείριση, αν και επικεντρώθηκε κυρίως στην αποτελεσματικότητα, είχε σημαντικές επιπτώσεις στην ασφάλεια στους χώρους εργασίας με την προώθηση τυποποιημένων μεθόδων εργασίας

και επίσημης κατάρτισης (Taylor, 1911). Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, ιδρύθηκαν επαγγελματικές ενώσεις αφιερωμένες στη μηχανική ασφάλειας, συμπεριλαμβανομένης της Αμερικανικής Εταιρείας Μηχανικών Ασφάλειας (ιδρύθηκε το 1911).

Μέσα του 20ου αιώνα: Συστημικές προσεγγίσεις και ρύθμιση

Κατά την περίοδο μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο αυξήθηκε η ρυθμιστική προσοχή στην ασφάλεια στους χώρους εργασίας και ειδικότερα στις Ηνωμένες Πολιτείες, ο νόμος Walsh-Healey για τις δημόσιες συμβάσεις (1936) και αργότερα ο νόμος για την επαγγελματική ασφάλεια και υγεία (1970) καθιέρωσαν ομοσπονδιακά πρότυπα για την ασφάλεια στο χώρο εργασίας. Παρόμοιες εξελίξεις σημειώθηκαν και στην Ευρώπη, με τον νόμο του Ηνωμένου Βασιλείου για την υγεία και την ασφάλεια στην εργασία (1974) να αντιπροσωπεύει μια στροφή προς πιο ολοκληρωμένες προσεγγίσεις για τη ρύθμιση της ασφάλειας στον χώρο εργασίας (Walters, 2006).

Την περίοδο αυτή αναπτύχθηκαν επίσης πιο εξελιγμένες προσεγγίσεις που βασίζονται σε συστήματα για τη διαχείριση της ασφάλειας, όπως η προσέγγιση από τον Haddon (1973) του Haddon Matrix που παρείχε ένα πλαίσιο για τον εντοπισμό σημείων παρέμβασης πριν, κατά τη διάρκεια και μετά από επικίνδυνα συμβάντα. Η πυρηνική και η αεροπορική βιομηχανία ήταν πρωτοπόροι σε πολλές προηγμένες τεχνικές διαχείρισης της ασφάλειας, συμπεριλαμβανομένων των επίσημων μεθοδολογιών ανάλυσης κινδύνου που προσαρμόστηκαν αργότερα για εφαρμογές μηχανολογίας (Swuste et al., 2014).

Τέλη του 20ου αιώνα: Ανθρώπινοι παράγοντες

Στο δεύτερο μισό του 20ού αιώνα αναγνωρίστηκε όλο και περισσότερο ο ρόλος των ανθρώπινων παραγόντων στη διαχείριση της ασφάλειας. Η διάκριση του Reason (1990) μεταξύ ενεργών αστοχιών (μη ασφαλείς πράξεις από χειριστές πρώτης γραμμής) και λανθάνουσες συνθήκες (οργανωτικοί παράγοντες που δημιουργούν τις προϋποθέσεις για ατυχήματα) είχε ιδιαίτερη επιρροή στη μετατόπιση της εστίασης από την ατομική ευθύνη προς τους συστημικούς παράγοντες. Την περίοδο αυτή αναπτύχθηκαν επίσης πιο ολοκληρωμένες προσεγγίσεις στη διαχείριση της ασφάλειας, με αυξανόμενη έμφαση στην κουλτούρα ασφάλειας και στα συστήματα διαχείρισης. Οι κατευθυντήριες γραμμές της Διεθνούς Οργάνωσης Εργασίας για τα συστήματα διαχείρισης της επαγγελματικής ασφάλειας και υγείας (ILO-OSH 2001) και αργότερα το πρότυπο OHSAS 18001 (που αντικαταστάθηκε από το ISO 45001) παρείχαν πλαίσια

για τη συστηματική διαχείριση της ασφάλειας που υιοθετήθηκαν ευρέως σε περιβάλλοντα μηχανολογίας (Frick, 2011).

21ος αιώνας: Προβλεπτικές και προσαρμοστικές προσεγγίσεις

Οι σύγχρονες προσεγγίσεις για την ασφάλεια στις μηχανολογικές κατασκευές δίνουν ολοένα και περισσότερο έμφαση στις μεθοδολογίες πρόβλεψης και προσαρμογής. Η έννοια της «Ασφάλειας-ΙΙ» του Hollnagel (2017) εστιάζει στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι εργασίες εκτελούνται με επιτυχία υπό διαφορετικές συνθήκες και όχι απλώς στην ανάλυση των αστοχιών, με την προσέγγιση αυτή να αναγνωρίζει την πολυπλοκότητα των σύγχρονων κοινωνικο-τεχνικών συστημάτων και τους περιορισμούς των καθαρά διαδικαστικών προσεγγίσεων για την ασφάλεια.

Η τεχνολογική πρόοδος έχει επιτρέψει πιο εξελιγμένες προσεγγίσεις για τον εντοπισμό και τον έλεγχο των κινδύνων με τις μεθοδολογίες εκτίμησης κινδύνου να έχουν γίνει πιο ποσοτικές και να βασίζονται στα δεδομένα, με τη μοντελοποίηση και την προσομοίωση σε υπολογιστές να επιτρέπουν παράλληλα την ακριβέστερη πρόβλεψη της συμπεριφοράς του συστήματος υπό διάφορες συνθήκες (Jin et al., 2019). Η ενσωμάτωση των αισθητήρων και των τεχνολογιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) επιτρέπει την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των κρίσιμων για την ασφάλεια παραμέτρων, επιτρέποντας την προληπτική παρέμβαση πριν οι συνθήκες γίνουν επικίνδυνες (Podgorski et al., 2017).

Οι σύγχρονες προσεγγίσεις δίνουν επίσης μεγαλύτερη έμφαση στη βιωσιμότητα και στην ενσωμάτωση της ασφάλειας με άλλες οργανωτικές προτεραιότητες, όπως για παράδειγμα το Vision Zero, μια στρατηγική που αναπτύχθηκε για πρώτη φορά στη Σουηδία και έχει πλέον υιοθετηθεί διεθνώς και η οποία στοχεύει σε μηδενικούς θανάτους και σοβαρούς τραυματισμούς στους χώρους εργασίας μέσω ενός συνδυασμού τεχνικών, οργανωτικών και προσωπικών μέτρων (Zwetsloot et al., 2017).

1.4. Διεθνή πρότυπα και κανονισμοί

Τα διεθνή πρότυπα και κανονισμοί παρέχουν πλαίσια για τη διαχείριση της υγείας και της ασφάλειας στις μηχανολογικές κατασκευές και τα οποία καθορίζουν σημεία αναφοράς για τις επιδόσεις ασφάλειας διευκολύνοντας τη συνεπή προσέγγιση σε γεωγραφικά και οργανωτικά όρια. Συγκεκριμένα ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO) έχει αναπτύξει διάφορα πρότυπα σχετικά με την υγεία και την ασφάλεια στις μηχανολογικές κατασκευές:

i. ISO 45001 - Συστήματα διαχείρισης της επαγγελματικής υγείας και ασφάλειας: Το ISO 45001, που δημοσιεύθηκε το 2018, αντικατέστησε το ευρέως χρησιμοποιούμενο πρότυπο OHSAS 18001 και είναι ένα πρότυπο που καθορίζει τις απαιτήσεις για ένα σύστημα διαχείρισης της επαγγελματικής υγείας και ασφάλειας και παρέχει οδηγίες για την εφαρμογή του. Το πρότυπο ακολουθεί τη δομή υψηλού επιπέδου (HLS) που χρησιμοποιείται από άλλα πρότυπα συστημάτων διαχείρισης, όπως το ISO 9001 (ποιότητα) και το ISO 14001 (περιβάλλον), διευκολύνοντας την ενσωμάτωση με τα συστήματα αυτά (ISO, 2018).

Τα βασικά στοιχεία του ISO 45001 περιλαμβάνουν:

- Πλαίσιο του οργανισμού
- Ηγεσία και συμμετοχή των εργαζομένων
- Σχεδιασμός
- Υποστήριξη
- Λειτουργία
- Αξιολόγηση της απόδοσης
- Βελτίωση

Η έρευνα των Darabont κ.ά. (2020) δείχνει ότι οι οργανισμοί που εφαρμόζουν το ISO 45001 παρουσιάζουν βελτιώσεις στους δείκτες επιδόσεων ασφάλειας, μειωμένα ποσοστά συμβάντων και ενισχυμένη οργανωτική ανθεκτικότητα.

ii. ISO 12100 - Ασφάλεια μηχανημάτων: Το ISO 12100 παρέχει στους σχεδιαστές ένα πλαίσιο για την αξιολόγηση και τη μείωση των κινδύνων για τα μηχανήματα. Το πρότυπο θεσπίζει γενικές αρχές για το σχεδιασμό ασφάλειας που ισχύουν για διάφορους τύπους μηχανημάτων. Εισάγει μια μεθοδολογία τριών βημάτων:

1. Μέτρα εγγενώς ασφαλούς σχεδιασμού
2. Μέτρα διασφάλισης και συμπληρωματικά μέτρα προστασίας
3. Πληροφορίες για τη χρήση

Το πρότυπο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τις μηχανολογικές κατασκευές, καθώς παρέχει μια δομημένη προσέγγιση για τον εντοπισμό και τον μετριασμό των κινδύνων στο στάδιο του σχεδιασμού (ISO, 2010).

iii. ISO 13849: Ασφάλεια μηχανημάτων - Μέρη συστημάτων ελέγχου που σχετίζονται με την ασφάλεια: Το πρότυπο αυτό ασχολείται με την ασφάλεια των συστημάτων ελέγχου, τα οποία αποτελούν κρίσιμα στοιχεία πολλών μηχανολογικών συστημάτων και παρέχει καθοδήγηση για τον σχεδιασμό καθώς και την αξιολόγηση των τμημάτων

των συστημάτων ελέγχου που σχετίζονται με την ασφάλεια, συμπεριλαμβανομένων τόσο των ηλεκτρικών όσο και των μηχανικών εξαρτημάτων. Το πρότυπο εισάγει την έννοια των επιπέδων απόδοσης (PL) για την κατηγοριοποίηση της αξιοπιστίας των λειτουργιών ασφαλείας (ISO, 2015). Η έρευνα των Jocelyn et al. (2016) αποδεικνύει ότι η εφαρμογή των αρχών του ISO 13849 οδηγεί σε πιο αξιόπιστα συστήματα ασφαλείας και σε μειωμένο κίνδυνο αστοχιών του συστήματος ελέγχου που οδηγούν σε ατυχήματα.

Ευρωπαϊκά πρότυπα και οδηγίες

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει ένα ολοκληρωμένο κανονιστικό πλαίσιο για την ασφάλεια των μηχανημάτων μέσω διαφόρων οδηγιών και προτύπων:

i. Οδηγία για τα μηχανήματα (2006/42/ΕΚ): Η οδηγία για τα μηχανήματα θεσπίζει βασικές απαιτήσεις υγείας και ασφάλειας για τα μηχανήματα που πωλούνται ή χρησιμοποιούνται εντός του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου και απαιτεί από τους κατασκευαστές μια σειρά ενεργειών που:

- Να διενεργούν αξιολόγηση κινδύνου
- Να σχεδιάζουν και να κατασκευάζουν τα μηχανήματα ώστε να πληρούν τις βασικές απαιτήσεις υγείας και ασφάλειας.
- Να παρέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες (οδηγίες, προειδοποιήσεις)
- Να ακολουθούν τις κατάλληλες διαδικασίες αξιολόγησης της συμμόρφωσης
- Να εκδίδουν δήλωση συμμόρφωσης.
- Επικόλληση της σήμανσης CE

Η οδηγία εφαρμόζεται σε ένα ευρύ φάσμα προϊόντων, από απλά εργαλεία χειρός έως πολύπλοκα συστήματα παραγωγής, και έχει επιδράσει πέραν της Ευρώπης ως πρότυπο για τη ρύθμιση της ασφάλειας των μηχανημάτων (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2006).

Ευρωπαϊκά εναρμονισμένα πρότυπα

Τα ευρωπαϊκά εναρμονισμένα πρότυπα παρέχουν τεχνικές προδιαγραφές που υποστηρίζουν τη συμμόρφωση με την οδηγία για τα μηχανήματα και σε αυτά περιλαμβάνονται:

- EN 60204: Ασφάλεια μηχανημάτων - Ηλεκτρικός εξοπλισμός μηχανών
- EN ISO 14120: Ασφάλεια μηχανημάτων - Προστατευτικές διατάξεις
- EN 614-1: Ασφάλεια μηχανημάτων - Αρχές εργονομικού σχεδιασμού

Η συμμόρφωση με αυτά τα πρότυπα παρέχει τεκμήριο συμμόρφωσης με τις σχετικές βασικές απαιτήσεις υγείας και ασφάλειας της οδηγίας για τα μηχανήματα (Fraser, 2010).

Κανονισμοί και πρότυπα των Ηνωμένων Πολιτειών

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, διάφοροι οργανισμοί συμβάλλουν στο ρυθμιστικό και τυποποιημένο πλαίσιο για την ασφάλεια των μηχανολογικών εγκαταστάσεων:

Διοίκηση για την ασφάλεια και την υγεία στην εργασία (OSHA): Ο OSHA, ο οποίος ιδρύθηκε βάσει του νόμου περί ασφάλειας και υγείας στην εργασία του 1970, αναπτύσσει και εφαρμόζει πρότυπα για την ασφάλεια στους χώρους εργασίας, με τα σχετικά πρότυπα για τις μηχανολογικές κατασκευές να περιλαμβάνουν:

- 29 CFR 1910.212: Γενικές απαιτήσεις για όλες τις μηχανές
- 29 CFR 1910.219: Μηχανικές συσκευές μετάδοσης ισχύος
- 29 CFR 1910.147: Ο έλεγχος της επικίνδυνης ενέργειας (lockout/tagout)

Τα πρότυπα αυτά θεσπίζουν ελάχιστες απαιτήσεις για τη διασφάλιση των μηχανών, τον έλεγχο της ενέργειας κατά τη συντήρηση και άλλες πτυχές της μηχανικής ασφάλειας (OSHA, 2014).

Αμερικανικό Ινστιτούτο Εθνικών Προτύπων (ANSI): Το ANSI συντονίζει την ανάπτυξη εθελοντικών προτύπων συναίνεσης στις Ηνωμένες Πολιτείες, με τα πιο σχετικά πρότυπα να περιλαμβάνουν:

- Η σειρά ANSI B11: Ασφάλεια των μηχανημάτων
- ANSI/ASSE Z244.1: Lockout/Tagout και εναλλακτικές μέθοδοι.

Τα πρότυπα αυτά παρέχουν συχνά λεπτομερέστερη τεχνική καθοδήγηση από τους κανονισμούς του OSHA και μπορούν να ενσωματωθούν μέσω παραπομπής στις κανονιστικές απαιτήσεις (Main, 2004).

Διεθνής Οργάνωση Εργασίας (ΔΟΕ): Η ΔΟΕ αναπτύσσει διεθνή πρότυπα εργασίας και παρέχει καθοδήγηση σχετικά με την επαγγελματική ασφάλεια και υγεία με τις βασικές συνεισφορές να περιλαμβάνουν την ILO-OSH 2001: Κατευθυντήριες γραμμές για τα συστήματα διαχείρισης της επαγγελματικής ασφάλειας και υγείας. Αυτές οι κατευθυντήριες γραμμές παρέχουν ένα πλαίσιο για την εφαρμογή συστημάτων διαχείρισης της επαγγελματικής ασφάλειας και υγείας τόσο σε εθνικό όσο και σε οργανωτικό επίπεδο, δίνοντας έμφαση στην :

- Ανάπτυξη πολιτικής
- Οργάνωση για την ασφάλεια (ευθύνες, αρμοδιότητες, τεκμηρίωση)

- Σχεδιασμός και εφαρμογή
- Αξιολόγηση
- Δράση για βελτίωση

Αν και δεν αποτελούν πρότυπο πιστοποίησης, οι κατευθυντήριες γραμμές της ΔΟΕ έχουν ασκήσει επιρροή στην ανάπτυξη εθνικών κανονισμών και οργανωτικών πρακτικών παγκοσμίως (ΔΟΕ, 2001).

Συμβάσεις της ΔΟΕ για την επαγγελματική ασφάλεια και υγεία

Αρκετές συμβάσεις της ΔΟΕ ασχολούνται με συγκεκριμένες πτυχές της επαγγελματικής ασφάλειας και υγείας, όπως :

- Η Σύμβαση 155: Σύμβαση για την επαγγελματική ασφάλεια και υγεία (1981).
- Η Σύμβαση 187: Σύμβαση για την επαγγελματική ασφάλεια και υγεία (2006)

Οι εν λόγω συμβάσεις θεσπίζουν αρχές τις οποίες οι χώρες που τις επικυρώνουν δεσμεύονται να εφαρμόζουν μέσω της εθνικής νομοθεσίας και των εθνικών πολιτικών (ΔΟΕ, 2017).

Ειδικά πρότυπα για τον κλάδο

Διάφοροι κλάδοι έχουν αναπτύξει πρότυπα προσαρμοσμένα στους συγκεκριμένους κινδύνους και τα λειτουργικά τους πλαίσια όπως η Αμερικανική Εταιρεία Μηχανολόγων Μηχανικών (ASME) η οποία αναπτύσσει πρότυπα για συγκεκριμένους τύπους μηχανολογικού εξοπλισμού, μεταξύ άλλων:

- ASME B30 series: Πρότυπα ασφαλείας για γερανούς, ανυψωτήρες και συναφή εξοπλισμό
- ASME B20.1: Πρότυπο ασφαλείας για μεταφορείς και συναφή εξοπλισμό

Τα πρότυπα αυτά παρέχουν λεπτομερείς τεχνικές απαιτήσεις που υπερβαίνουν τις γενικές αρχές ασφάλειας των μηχανών και αντιμετωπίζουν κινδύνους που αφορούν συγκεκριμένο κλάδο (ASME, 2018).

Επίσης η Εθνική Ένωση Πυροπροστασίας (NFPA) η οποία αναπτύσσει πρότυπα NFPA που αντιμετωπίζουν τους κινδύνους πυρκαγιάς και ηλεκτρολογικών κινδύνων που μπορεί να σχετίζονται με μηχανικά συστήματα:

- NFPA 70: Εθνικός ηλεκτρικός κώδικας
- NFPA 79: NFPA NFPA: Ηλεκτρικό πρότυπο για βιομηχανικά μηχανήματα

Τα πρότυπα αυτά θεσπίζουν απαιτήσεις για τα ηλεκτρικά συστήματα που είναι αναπόσπαστο μέρος πολλών μηχανολογικών κατασκευών (NFPA, 2018).

Το εξελισσόμενο τοπίο των διεθνών προτύπων αντικατοπτρίζει τη συνεχή τεχνολογική πρόοδο και την παγκοσμιοποίηση της παραγωγής, με προσπάθειες εναρμόνισης, όπως η «Νέα Προσέγγιση» στην Ευρώπη και η διεθνής τυποποίηση μέσω του ISO, να αποσκοπούν στη μείωση των τεχνικών εμποδίων στο εμπόριο, διατηρώντας παράλληλα υψηλά επίπεδα προστασίας της ασφάλειας. Αυτή η εναρμόνιση ωφελεί τόσο τους κατασκευαστές όσο και τους χρήστες των προϊόντων μηχανολογίας, προωθώντας συνεπείς προσεγγίσεις ασφάλειας σε όλες τις αγορές (Baram, 2007).

Κεφάλαιο 2: Κίνδυνοι σε μηχανολογικές κατασκευές

2.1 Κατηγορίες κινδύνων

Οι μηχανολογικές κατασκευές παρουσιάζουν ένα πολύπλοκο φάσμα κινδύνων στο χώρο εργασίας που μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων, με τους κινδύνους να ποικίλλουν ως προς τη φύση και τη σοβαρότητα, απαιτώντας μια ολοκληρωμένη προσέγγιση διαχείρισης. Με βάση τα χαρακτηριστικά και τις πιθανές επιπτώσεις τους, οι κίνδυνοι στις μηχανολογικές κατασκευές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε πέντε βασικές κατηγορίες κινδύνων που είναι οι μηχανικοί, οι φυσικοί, οι χημικοί, οι βιολογικοί και οι εργονομικοί κίνδυνοι, τους οποίους παραθέτουμε και αναλύουμε στις ακόλουθες υποενότητες.

2.1.1 Μηχανικοί κίνδυνοι

Οι μηχανικοί κίνδυνοι αποτελούν μερικούς από τους πιο ορατούς και άμεσους κινδύνους στις μηχανολογικές κατασκευές και προκύπτουν από την αλληλεπίδραση μεταξύ εργαζομένων και μηχανημάτων, εργαλείων, εξοπλισμού και κινούμενων μερών και εκδηλώνονται κυρίως σε τρεις κρίσιμους τομείς, όπως έχουν προσδιοριστεί από την έρευνα για την επαγγελματική ασφάλεια (Chebichii et al., 2024):

1. Κίνδυνος σημείου λειτουργίας: Αυτός ο τύπος κινδύνων συμβαίνει κυρίως σε θέσεις όπου εκτελούνται εργασίες απευθείας με υλικά, όπως η κοπή, η διαμόρφωση, η διάνοιξη του υλικού. Το σημείο λειτουργίας αντιπροσωπεύει τη διεπαφή μεταξύ των εργαζομένων και των ενεργών μηχανικών διεργασιών, όπου ο κίνδυνος τραυματισμού είναι ιδιαίτερα υψηλός λόγω της εγγύτητας των μελών του σώματος σε ενεργοποιημένα μηχανικά εξαρτήματα ή μηχανήματα (Princeton University Office of Environmental Health and Safety, n.d.).

2. Κίνδυνοι από συσκευές μετάδοσης ισχύος: Περιλαμβάνουν όλα τα εξαρτήματα που μεταδίδουν μηχανική ενέργεια μέσα σε συστήματα, όπως σφόνδυλοι, τροχαλίες,

ιμάντες, ράβδοι σύνδεσης, σύνδεσμοι, έκκεντρα, άξονες, αλυσίδες, στρόφαλοι και γρανάζια, παρόλο που τα εξαρτήματα είναι συχνά μερικώς θωρακισμένα, μπορούν να μπλεχτούν τα ρούχα, τα μαλλιά ή άκρα όταν δεν προστατεύονται σωστά (Princeton University Office of Environmental Health and Safety, n.d.).

3. Άλλοι κίνδυνοι από κινούμενα μέρη: Περιλαμβάνει όλα τα πρόσθετα στοιχεία της μηχανής που κινούνται κατά τη λειτουργία της, συμπεριλαμβανομένων των παλινδρομικών, περιστρεφόμενων και εγκάρσια κινούμενων μερών, καθώς και των μηχανισμών τροφοδοσίας και των βοηθητικών εξαρτημάτων. Τα ποικίλα πρότυπα κίνησης αυτών των εξαρτημάτων δημιουργούν ποικίλα προφίλ κινδύνου που απαιτούν ειδικές προσεγγίσεις διαχείρισης κινδύνου (Dennerlein et al., 2020)

Οι μηχανικοί κίνδυνοι στις κατασκευές ευθύνονται για ένα σημαντικό μέρος των τραυματισμών στο χώρο εργασίας, με παράγοντες όπως ο σχεδιασμός των μηχανημάτων, η κατάσταση συντήρησης, η επάρκεια των προστατευτικών διατάξεων και η εκπαίδευση των χειριστών να συμβάλλουν στα επίπεδα κινδύνου. Ιδιαίτερα ανησυχητικό είναι το γεγονός ότι ακόμη και ο καλά σχεδιασμένος εξοπλισμός μπορεί να εγκυμονεί σοβαρούς κινδύνους όταν συντηρείται ή λειτουργεί ακατάλληλα και μπορεί να οδηγήσουν σε σοβαρούς τραυματισμούς των εργαζομένων, όπως (Dhir, 2019):

- Ακρωτηριασμός από απροστάτευτους μηχανισμούς κοπής
- Τραυματισμοί από αιχμηρές άκρες και εργαλεία
- Τραύματα διάτρησης από προεξέχοντα μέρη ή εργαλεία
- Εμπλοκή ενδυμάτων ή μελών του σώματος σε περιστρεφόμενο εξοπλισμό
- Τραυματισμοί από πρόσκρουση από εκτοξευόμενα υλικά ή εξαρτήματα μηχανής

2.1.2 Φυσικοί κίνδυνοι

Οι φυσικοί κίνδυνοι προκύπτουν από πηγές ενέργειας στο κατασκευαστικό περιβάλλον, οι οποίες μπορούν να βλάψουν τους εργαζόμενους χωρίς απαραίτητα να συνεπάγονται άμεση μηχανική επαφή και να προκαλέσουν τόσο άμεσο τραυματισμό όσο και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις για την σωματική υγεία του εργαζόμενου, ειδικότερα φυσικοί κίνδυνοι προκύπτουν (Gbadago et al., 2017):.

<u>Ι.Κίνδυνοι από θόρυβο</u>

Ο θόρυβος αποτελεί διάχυτο φυσικό κίνδυνο στις μηχανολογικές κατασκευές, με πολυάριθμες πηγές, όπως κινητήρες, συμπιεστές, ηλεκτρικά εργαλεία και διαδικασίες

κατασκευής. Σύμφωνα με το Καναδικό Κέντρο για την Υγεία και την Ασφάλεια στην Εργασία ορίζει τον θόρυβο ως "ηχητική ενέργεια που κινείται μέσω του μέσου του αέρα", η οποία αποτελείται από μικρές μεταβολές της πίεσης του αέρα που προκαλούνται από μοριακές δονήσεις (Canadian Health and Safety Workplace Fundamentals, 2022). Η έκθεση σε θόρυβο σε περιβάλλοντα κατασκευών συχνά υπερβαίνει τα κανονιστικά όρια, με τον τυπικό εξοπλισμό κατασκευών να παράγει μεταξύ 85-110 ντεσιμπέλ (dB), με την παρατεταμένη έκθεση σε επίπεδα θορύβου άνω των 85 dB μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια ακοής εξαιτίας αυτής της συνεχούς έκθεσης (NIHL), η οποία μπορεί να είναι μόνιμη και μη αναστρέψιμη ως κατάσταση, ενώ υπάρχει και η περίπτωση η ατομική ευαισθησία σε NIHL εξαιτίας του ότι ποικίλλει σημαντικά, ορισμένοι εκ των εργαζομένων να εμφανίζουν ακουστική βλάβη σε χαμηλότερα επίπεδα έκθεσης από άλλους (Canadian Health and Safety Workplace Fundamentals, 2022). Πέρα από την εξασθένιση της ακοής, η έκθεση στον θόρυβο μπορεί να προκαλέσει:

- Εμβοές (βουητό στα αυτιά)
- Δυσκολίες επικοινωνίας που οδηγούν σε κινδύνους για την ασφάλεια
- Αυξημένα επίπεδα στρες και συναφείς φυσιολογικές αντιδράσεις
- Μειωμένη συγκέντρωση και παραγωγικότητα
- Καρδιαγγειακές επιδράσεις, συμπεριλαμβανομένης της αυξημένης αρτηριακής πίεσης

II. Κίνδυνοι από δονήσεις

Οι κίνδυνοι από δονήσεις εκδηλώνονται με δύο κύριες μορφές στις κατασκευές όπως:

1. Δόνηση χεριού-βραχίονα (HAV): Αυτό συμβαίνει όταν οι κραδασμοί μεταδίδονται στα χέρια και τους βραχίονες των εργαζομένων μέσω της χρήσης ηλεκτρικών εργαλείων και εξοπλισμού και η παρατεταμένη έκθεση μπορεί να οδηγήσει σε σύνδρομο δόνησης χεριών-βραχιόνων (HAVS), μια σύνθετη κατάσταση που περιλαμβάνει αγγειακές, νευρολογικές και μυοσκελετικές βλάβες. (Giri, 2020).

2. Δόνηση ολόκληρου του σώματος (WBV): Βιώνεται όταν η δόνηση μεταδίδεται μέσω των καθισμάτων ή των ορθοστατικών πλατφορμών σε ολόκληρο το σώμα με την WBV να είναι συνηθισμένη όταν πραγματοποιείται χειρισμός σε βαρέα μηχανήματα, οχήματα ή εργασία κοντά σε μεγάλο εξοπλισμό ο οποίος δονείται. Ο συγκεκριμένος κίνδυνος της WBV έχει συνδεθεί άμεσα με διαταραχές της μέσης, πεπτικά προβλήματα

και δυνητικά αυξημένο κίνδυνο ορισμένων μορφών καρκίνου, συμπεριλαμβανομένου του καρκίνου του προστάτη (Hamer & Price, 2000).

Ο έλεγχος των δονήσεων παραμένει πρόκληση σε περιβάλλοντα κατασκευών λόγω της ποικιλομορφίας των πηγών δονήσεων και της δυσκολίας εφαρμογής αποτελεσματικών τεχνικών ελέγχων σε μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα εργασίας.

III. Ακραίες θερμοκρασίες

Οι εργαζόμενοι στις κατασκευές αντιμετωπίζουν συχνά και σε αρκετές περιπτώσεις ακραίες θερμοκρασίες κατά την εργασία τους, τόσο ζέστη όσο και κρύο, ιδίως σε εξωτερικούς χώρους ή όταν εργάζονται με συστήματα θέρμανσης/ψύξης. Διαχωρίζοντας τους κινδύνους έχουμε εκείνους που προκύπτουν εξαιτίας της θερμότητας του περιβάλλοντος εργασίας όπου οι εργαζόμενοι στις κατασκευές που εκτελούν σωματική εργασία σε υψηλές θερμοκρασίες αντιμετωπίζουν κινδύνους όπως (Lamm et al., 2014):

- Διαταραχές θερμικής καταπόνησης (θερμοπληξία, θερμική εξάντληση, θερμικές κράμπες)
- Αφυδάτωση
- Μειωμένη γνωστική λειτουργία και αυξημένος κίνδυνος ατυχήματος
- Επιδείνωση υφιστάμενων καρδιαγγειακών παθήσεων

Εκείνες οι κατηγορίες εργαζομένων οι οποίες έχουν μεγαλύτερη έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες είναι οι εργάτες κατασκευών κτιριακών εγκαταστάσεων, οι εργάτες σε οδοστρώματα και όσοι εργάζονται σε κλειστούς χώρους (πχ φούρνους κλπ) οι οποίοι αντιμετωπίζουν ιδιαίτερα υψηλό κίνδυνο έκθεσης στη θερμότητα, με μελέτες που τεκμηριώνουν αυξήσεις της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος κατά 1-2°C κατά τη διάρκεια θερινών βάρδιας εργασίας. Από την άλλη έχουμε την έκθεση των εργαζομένων οι οποίοι εργάζονται σε ψυχρά εργασιακά περιβάλλοντα και οι κίνδυνοι τους οποίους μπορεί να αντιμετωπισουν να είναι σε αυτή την περίπτωση(eso et al., 2018):

- Υποθερμία
- Παγωμάρα και βλάβη ιστών που σχετίζεται με το κρύο
- Μειωμένη επιδεξιότητα και αυξημένος κίνδυνος ατυχήματος
- Επιδείνωση μυοσκελετικών διαταραχών

Οι ακραίες θερμοκρασίες είτε ζέστης είτε κρύου αλληλεπιδρούν συνεργιστικά με άλλους φυσικούς κινδύνους, αυξάνοντας δυνητικά την ευαισθησία σε απώλεια ακοής

λόγω θορύβου και σε διαταραχές που σχετίζονται με κραδασμούς, όταν οι εργαζόμενοι εκτίθενται σε θερμική ή ψυχρή καταπόνηση.

IV. Κίνδυνοι από ακτινοβολία

Μια άλλη κατηγορία κινδύνου που ενέχει σε εργαζόμενους τεχνικών έργων είναι αυτοί που προκύπτουν εξαιτίας της ακτινοβολίας στις μηχανολογικές κατασκευές και απορρέουν συνήθως από (McLellan, 2017):

1. Μη ιονίζουσα ακτινοβολία: Συμπεριλαμβάνεται στην υπεριώδης (UV) ακτινοβολία από εργασίες συγκόλλησης και η έκθεση σε ηλιακό φως για τους εργαζόμενους σε εξωτερικούς χώρους, με την παρατεταμένη έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία να αυξάνει τον κίνδυνο καρκίνου του δέρματος και την πρόκληση βλαβών στα μάτια, συμπεριλαμβανομένου του καταρράκτη και της φωτοκερατίτιδας. Η υπέρυθρη ακτινοβολία από θερμές επιφάνειες και ορισμένες βιομηχανικές διεργασίες μπορεί επίσης να προκαλέσει θερμικά εγκαύματα και τραυματισμούς στα μάτια.

2. Ιονίζουσα ακτινοβολία: Συναντάται σε κατασκευαστικές και μηχανολογικές εργασίες συγκόλλησης, τη δοκιμή πυκνότητας και ορισμένες αναλυτικές διαδικασίες, η οποία αν και είναι λιγότερο συχνή από τη μη ιονίζουσα ακτινοβολία, η έκθεση σε ιονίζουσα ακτινοβολία μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες για την υγεία, συμπεριλαμβανομένου του αυξημένου κινδύνου καρκίνου και της ασθένειας από ακτινοβολία εφόσον γίνεται συνεχόμενα και πολλές φορές.

Οι κίνδυνοι από την ακτινοβολία παραμένουν ανεπαρκώς αναγνωρισμένοι και ελεγχόμενοι σε πολλές κατασκευές, με ιδιαίτερες ανησυχίες σχετικά με την έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία κατά τη διάρκεια εργασιών συγκόλλησης και για τους εργαζόμενους σε εξωτερικούς χώρους (Okumu et al., 2018).

2.1.3 Χημικοί κίνδυνοι

Η έκθεση των εργαζομένων σε μηχανικές κατασκευές γίνεται μέσω διαφόρων οδών όπως η εισπνοή, παράλληλα πολλές χημικές ουσίες μπορούν να απορροφηθούν μέσω του δέρματος, της κατάποσης και σε λιγότερο συχνές περιπτώσεις μπορεί να συμβεί μέσω του εξοπλισμού, τραυματισμών παρακέντησης κ.α. Οι χημικοί κίνδυνοι στις μηχανολογικές κατασκευές περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα ουσιών που μπορούν να προκαλέσουν δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία μέσω της έκθεσης του εργαζόμενου σε αυτές και μπορούν να κατηγοριοποιηθούν αναλόγως των κατασκευαστικών υλικών και παραγόντων από τους οποίους προκύπτουν και συγκεκριμένα (Powell, 2016):

1. Χημικός κίνδυνος από σκόνη και σωματίδια: Οι κατασκευαστικές δραστηριότητες παράγουν σημαντικές ποσότητες σκόνης, συμπεριλαμβανομένου του αναπνεύσιμου κρυσταλλικού διοξειδίου του πυριτίου από εργασίες σκυροδέματος, πέτρας και τοιχοποιίας, σκόνη ξύλου από ξυλουργικές εργασίες και σκόνη μετάλλων από εργασίες λείανσης και κοπής με το Health and Safety Executive (HSE) να τους προσδιορίζει ως κύρια αιτία πνευμονοπάθειας των εργαζομένων στον τομέα των τεχνικών έργων και υποδομών (HSE, n.d.).

2. Διαλύτες και πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC): Βρίσκονται στα χρώματα, τα επιχρίσματα, τις κόλλες, τα καθαριστικά και πολλά δομικά υλικά με τους συνήθεις διαλύτες κατασκευών να περιλαμβάνουν το τολουόλιο, το ξυλόλιο, τη μεθανόλη και διάφορα πετρελαϊκά αποστάγματα και η έκθεση σε διαλύτες μπορεί να προκαλέσει τόσο οξείες επιπτώσεις (πονοκέφαλοι, ζάλη, ερεθισμός του αναπνευστικού συστήματος) όσο και χρόνιες παθήσεις στην υγεία (νευρολογικές βλάβες, διαταραχές του ήπατος και των νεφρών) (OSHA, n.d.).

3. Μέταλλα και ενώσεις μετάλλων: (σε παλαιότερα χρώματα, κολλήματα και σωλήνες), χρώμιο (στη συγκόλληση ανοξείδωτου χάλυβα), κάδμιο (σε ορισμένα κράματα και επιστρώσεις) και άλλα τοξικά μέταλλα. Έρευνες του Εθνικού Ινστιτούτου για την Ασφάλεια και την Υγεία στην Εργασία (NIOSH) έχουν τεκμηριώσει σχετικά επίπεδα έκθεσης σε βαρέα μέταλλα κατά τη διάρκεια εργασιών κατεδάφισης και ανακαίνισης, ιδίως σε παλαιότερες κατασκευές (National Environmental Trainers, n.d.).

4. Οξέα και καυστικά: Χρησιμοποιούνται σε εργασίες καθαρισμού, προετοιμασίας επιφανειών και σε ορισμένες κατασκευαστικές διεργασίες και υπάρχει ο κίνδυνος να προκαλέσουν χημικά εγκαύματα κατά την επαφή και αναπνευστική βλάβη σε περίπτωση εισπνοής τους.

5. Αέρια και ατμοί: Συμπεριλαμβανομένου του μονοξειδίου του άνθρακα από μηχανές καύσης και εργασίες συγκόλλησης, υδρόθειο από συστήματα αποχέτευσης και διάφορα αέρια διεργασιών σε κλειστούς κυρίως χώρους μπορεί να προκαλέσουν μέχρι και θανατηφόρα ατυχήματα μιας και δημιουργούν επικίνδυνη ατμόσφαιρα που περιέχει τοξικά αέρια.

Οι χημικοί κίνδυνοι στις κατασκευές μπορούν να προκαλέσουν ποικίλες επιπτώσεις στην υγεία όπως (Shaikh et al., 2018):

1. Οξείες επιδράσεις: Άμεσες αντιδράσεις, συμπεριλαμβανομένων ερεθισμού, χημικών εγκαυμάτων, ασφυξίας, καταστολής του κεντρικού νευρικού συστήματος και αντιδράσεων ευαισθητοποίησης. Οι χημικές ουσίες κατασκευής με υψηλή οξεία

τοξικότητα περιλαμβάνουν το υδρόθειο, το μονοξείδιο του άνθρακα και τα συμπυκνωμένα οξέα και βάσεις.

2. Χρόνιες επιδράσεις: Μακροχρόνιες επιπτώσεις στην υγεία από επαναλαμβανόμενη έκθεση, συμπεριλαμβανομένων:

- Αναπνευστικές παθήσεις (πυριτίαση, αμιάντωση, χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια)
- Καρκίνοι (καρκίνοι του πνεύμονα, της ουροδόχου κύστης, των νεφρών και του ήπατος που σχετίζονται με συγκεκριμένες χημικές ουσίες κατασκευής)
- Νευρολογικές διαταραχές (περιφερική νευροπάθεια, γνωστική εξασθένιση)
- Ηπατική και νεφρική βλάβη
- Αναπαραγωγικές και αναπτυξιακές επιδράσεις

2.1.4 Βιολογικοί κίνδυνοι

Οι βιολογικοί κίνδυνοι, αν και είναι οι λιγότερο ορατοί από τις υπόλοιπες κατηγορίες κινδύνων συχνά δεν αναγνωρίζονται επαρκώς στις εκτιμήσεις κινδύνου στις κατασκευές, με ιδιαίτερα κενά στον εντοπισμό κινδύνων κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων ανακαίνισης και κατεδάφισης αλλά μπορούν να θεωρηθούν σημαντικοί μιας και η έκθεση σε ζωντανούς οργανισμούς μπορούν να προκαλέσουν δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία κυρίως μακροπρόθεσμα. Στις μηχανολογικές κατασκευές, οι βιολογικοί κίνδυνοι προέρχονται από διάφορες πηγές (Sorensen, et. Al 2018):

1. Μικροοργανισμοί: Συμπεριλαμβάνονται βακτήρια, ιοί, μύκητες και παράσιτα που συναντώνται κατά τη διάρκεια:

- Εργασίες ανακαίνισης και κατεδάφισης σε παλαιά κτίρια (μούχλα, βακτήρια σε συστήματα στάσιμου νερού)
- Εργασίες στο σύστημα αποχέτευσης (εντερικά παθογόνα)
- Εκσκαφή εδάφους (σπόρια μυκήτων, βακτήρια τετάνου)
- Συντήρηση συστημάτων HVAC (βακτήρια Legionella, οργανισμοί βιοφίλμ)

2. Ζωικοί και εντομοειδείς φορείς: Εργαζόμενοι στις κατασκευές μπορεί να συναντήσουν:

- Τρωκτικά και τα περιττώματά τους (χανταϊός, λεπτοσπείρωση)
- Περιττώματα πτηνών και νυχτερίδων (ιστοπλάσμωση, κρυπτοκόκκωση)

- Τσιμπήματα εντόμων (σφήκες, μέλισσες) που προκαλούν αλλεργικές αντιδράσεις
- Δηλητηριώδη πλάσματα σε εξωτερικούς χώρους (φίδια, αράχνες)

3. Κίνδυνοι από φυτά:

- Αλλεργιογόνα και τοξικά φυτά (δηλητηριώδης κισσός, βελανιδιά και σουμάκι)
- Φυτικά υλικά που φιλοξενούν μούχλα ή παράγουν αλλεργιογόνο γύρη
- Σκόνη ξύλου που μπορεί να προκαλέσει μηχανικό ερεθισμό και αλλεργικές αντιδράσεις

Οι βιολογικοί παράγοντες μπορούν να προκαλέσουν ποικίλες επιπτώσεις στην υγεία των εργαζομένων στις κατασκευές, συμπεριλαμβανομένων:

1. Λοιμώδη νοσήματα:

- Λοιμώξεις του αναπνευστικού συστήματος (φυματίωση, ιστοπλάσμωση, COVID-19)
- Γαστρεντερικές παθήσεις (από έκθεση σε παθογόνους μικροοργανισμούς λυμάτων)
- Λοιμώξεις του δέρματος (κυτταρίτιδα, μυκητιασικές λοιμώξεις)
- Νοσήματα που μεταδίδονται με το αίμα (ηπατίτιδα, τέτανος)

2. Αλλεργικές και ερεθιστικές αντιδράσεις: Βιολογικά αλλεργιογόνα μπορούν να προκαλέσουν:

- Αλλεργική ρινίτιδα και επιπεφυκίτιδα
- Άσθμα και πνευμονίτιδα υπερευαισθησίας
- Δερματίτιδα εξ επαφής
- Αναφυλακτικές αντιδράσεις σε τσιμπήματα εντόμων

3. Τοξικές επιδράσεις: Ορισμένοι βιολογικοί παράγοντες παράγουν τοξίνες που μπορούν να βλάψουν τους εργαζόμενους:

- Ενδοτοξίνες από αρνητικά κατά Gram βακτήρια
- Μυκοτοξίνες από ορισμένες μούχλες
- Εντεροτοξίνες από βακτηριακές προσμίξεις

Πρόσφατες έρευνες έχουν εντοπίσει αρκετές αναδυόμενες ανησυχίες για βιολογικούς κινδύνους στις κατασκευές, με το ιστολόγιο της HSE (2024) να σημειώνει το γεγονός ότι οι βιολογικοί κίνδυνοι στα εργοτάξια μπορεί να περιλαμβάνουν τα πάντα, από "βακτήρια, ιούς, έντομα, φυτά, πτηνά, ζώα, ακόμη και ανθρώπους, προκαλώντας διάφορες επιπτώσεις στην υγεία που κυμαίνονται από ήπιους ερεθισμούς έως σοβαρές

ασθένειες." Ανάμεσα στις νέες απειλές συγκαταλέγονται οι ανθεκτικοί στα αντιμικροβιακά οργανισμοί που συναντώνται κυρίως σε ανακαινίσεις εγκαταστάσεων υγειονομικής περίθαλψης και εργασίες σε συστήματα αποχέτευσης, οι οποίοι παρουσιάζουν σημαντικές προκλήσεις για τη θεραπεία σε περίπτωση εμφάνισης λοιμώξεων (Tang et al., 2019). Παράλληλα, καθώς η βιοτεχνολογία εξελίσσεται, η κατασκευή εγκαταστάσεων που χειρίζονται μηχανικά επεξεργασμένους βιολογικούς παράγοντες παρουσιάζει νέους κινδύνους που απαιτούν εξειδικευμένες στρατηγικές περιορισμού και ελέγχου, ενώ οι μεταβαλλόμενες γεωγραφικές περιοχές εξάπλωσης των φορέων των ασθενειών και οι αλλαγές στην οικολογία των παθογόνων λόγω της κλιματικής αλλαγής ενδέχεται να εισάγουν πρωτοφανείς βιολογικούς κινδύνους στα εργοτάξια σε περιοχές που προηγουμένως δεν αντιμετώπιζαν παρόμοια προβλήματα (Wong, 2023).

2.1.5 Εργονομικοί κίνδυνοι

Οι εργονομικοί κίνδυνοι προκύπτουν από την αναντιστοιχία μεταξύ των φυσικών ικανοτήτων των εργαζομένων και των απαιτήσεων των καθηκόντων, των εργαλείων ή του περιβάλλοντος εργασίας τους και είναι αυτοί οι κίνδυνοι που μπορεί να οδηγήσουν σε μυοσκελετικές διαταραχές (ΜΣΔ) και άλλα δυσμενή αποτελέσματα για την υγεία, με τους κινδύνους αυτούς να κατατάσσονται ως εξής ανάλογα με τις διάφορες μορφές που εκδηλώνονται (Mohd et al., 2020):

1. Κίνδυνοι που σχετίζονται με τη δύναμη και είναι αποτέλεσμα συνεχούς ή υπερβολικής σωματικής επιβάρυνσης που απαιτείται για εργασίες όπως:

- Ανύψωση, μεταφορά, ώθηση, έλξη μηχανημάτων, εργαλείων κ.α.
- Λειτουργία εργαλείου/ μηχανήματος που διαθέτει υψηλή πρόσφυση
- Εργασίες συναρμολόγησης που απαιτούν την καταβολή έντονης σωματικής προσπάθειας

2. Κίνδυνοι που σχετίζονται με τη στάση του σώματος και αφορά θέσεις εργασίας που καταπονούν το σώμα, συμπεριλαμβανομένων:

- Αδέξιες στάσεις (τεντώνοντας το κεφάλι, σκύβοντας, στρίβοντας)
- Στατικές στάσεις που διατηρούνται για παρατεταμένες περιόδους
- Περιορισμένες στάσεις που υπαγορεύονται από τους περιορισμούς του χώρου εργασίας

3. Κίνδυνοι που σχετίζονται με την επανάληψη και προκύπτουν από εργασίες που απαιτούν τις ίδιες κινήσεις επανειλημμένα, όπως:

- Επαναλαμβανόμενη χρήση εργαλείων (σφυρηλάτηση, διάτρηση, λείανση)
- Επαναλαμβανόμενες εργασίες συναρμολόγησης
- Εργασίες κυκλικής φόρτωσης και εκφόρτωσης

4. Περιβαλλοντικοί συντελεστές όπου είναι εκείνοι οι παράγοντες που επηρεάζουν ή προκαλούν τον εργονομικό κίνδυνο, συμπεριλαμβανομένων:

- Έκθεση σε κραδασμούς (αύξηση της μυϊκής προσπάθειας και της κόπωσης)
- Ακραίες θερμοκρασίες (που επηρεάζουν τις απαιτήσεις επιδεξιότητας και άσκησης)
- Κακός φωτισμός (που προκαλεί άβολες στάσεις για την προβολή της εργασίας)

Η έρευνα της Εθνικής Ένωσης Επαγγελματιών Ασφάλειας (NASP) προσδιορίζει τις επαναλαμβανόμενες κινήσεις σε κατασκευαστικές εργασίες, όπως το τρύπημα και το σφυροκόπημα, ως κοινούς εργονομικούς κινδύνους που μπορούν να οδηγήσουν σε τραυματισμούς λόγω υπερβολικής χρήσης, όπως το σύνδρομο καρπιαίου σωλήνα και η τενοντίτιδα (NASP, 2024).

2.2 Επιπτώσεις στην υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων στις κατασκευές

Η επαγγελματική υγεία και ασφάλεια αφορά τον εντοπισμό, την αξιολόγηση και τον έλεγχο των κινδύνων που συνδέονται με τον χώρο εργασίας. Οι εταιρείες και οι οργανισμοί διαθέτουν συχνά προγράμματα επαγγελματικής υγείας και ασφάλειας, οι στόχοι των οποίων είναι η μείωση (Nyirenda et al., 2015):

- οι εργατικοί τραυματισμοί, στους οποίους περιλαμβάνεται κάθε βλάβη από ατύχημα στο χώρο εργασίας (π.χ. κάταγμα, κοπή, έγκαυμα), και
- των επαγγελματικών ασθενειών, οι οποίες περιλαμβάνουν ανώμαλα καταστάσεις που προκαλούνται από την έκθεση σε παράγοντες που σχετίζονται με τον χώρο εργασίας.

Η επαγγελματική υγεία και η ασφάλεια συχνά ομαδοποιούνται μαζί, αλλά δεν είναι το ίδιο, παρόλο που συνδέονται στενά. Είναι σημαντικό να κατανοηθούν και οι δύο. Ένας τρόπος με τον οποίο μπορούμε να διαφοροποιήσουμε την υγεία και την ασφάλεια είναι ο εξής (Omari & Amedu, 2019):

- Η ασφάλεια συνήθως αφορά καταστάσεις που προκαλούν τραυματισμούς και ασχολείται με τους κινδύνους που οδηγούν σε σοβαρά και ξαφνικά αποτελέσματα.
- Η υγεία ασχολείται συνήθως με καταστάσεις που προκαλούν ασθένεια ή νόσο και ασχολείται με δυσμενείς αντιδράσεις στην έκθεση για παρατεταμένες περιόδους σε κινδύνους που είναι συνήθως λιγότερο σοβαροί, αλλά εξακολουθούν να είναι επικίνδυνοι.

Οι εργασίες που σχετίζονται με κατασκευές συνεπάγονται πλήθος κινδύνων που επηρεάζουν σημαντικά την υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων, από άμεσους τραυματισμούς έως αργά εξελισσόμενες χρόνιες παθήσεις και η κατανόηση αυτών των επιπτώσεων είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών πρόληψης και τη βελτίωση των αποτελεσμάτων της επαγγελματικής υγείας στον κατασκευαστικό κλάδο.

2.2.1 Κατανόηση της επαγγελματικής υγείας και ασφάλειας

Η επαγγελματική υγεία και ασφάλεια (ΥΑΕ) αφορά τον εντοπισμό, την αξιολόγηση και τον έλεγχο των κινδύνων που σχετίζονται με τον χώρο εργασίας. Οι οργανισμοί συνήθως εφαρμόζουν προγράμματα επαγγελματικής υγείας και ασφάλειας με διττό στόχο τη μείωση των τραυματισμών στον χώρο εργασίας -που ορίζονται ως οποιαδήποτε βλάβη από ατυχήματα στον χώρο εργασίας, όπως κατάγματα, κοψίματα ή εγκαύματα- και των επαγγελματικών ασθενειών, οι οποίες περιλαμβάνουν μη φυσιολογικές καταστάσεις που προκαλούνται από εκθέσεις που σχετίζονται με τον χώρο εργασίας (Rosen & Meston, 2011). Αν και η υγεία και η ασφάλεια συχνά ομαδοποιούνται μαζί, αντιμετωπίζουν διαφορετικές ανησυχίες: η ασφάλεια ασχολείται συνήθως με συνθήκες που προκαλούν τραυματισμούς και επικεντρώνεται σε κινδύνους που οδηγούν σε σοβαρά και αιφνίδια αποτελέσματα, ενώ η υγεία αντιμετωπίζει συνθήκες που προκαλούν ασθένειες ή νοσήματα, ασχολούμενη με δυσμενείς αντιδράσεις σε παρατεταμένη έκθεση σε λιγότερο σοβαρές αλλά και πάλι επικίνδυνες συνθήκες. Ορισμένες καταστάσεις στο χώρο εργασίας μπορεί να παρουσιάζουν ταυτόχρονα προβλήματα υγείας και ασφάλειας.

2.2.2 Το πλαίσιο της κατασκευαστικής βιομηχανίας

Ο κατασκευαστικός τομέας είναι εγγενώς επιρρεπής σε κινδύνους, με δραστηριότητες όπως ο χειρωνακτικός χειρισμός φορτίων, η εργασία σε ύψος, η γειτνίαση με υλικά που

πέφτουν και η εργασία σε περιορισμένους χώρους, οι οποίες παρουσιάζουν σημαντικούς κινδύνους για την υγεία και την ασφάλεια. Πρόσθετοι κίνδυνοι περιλαμβάνουν την έκθεση σε θόρυβο, το χειρισμό επικίνδυνων ουσιών, την εισπνοή σκόνης, την επαφή με ηλεκτροφόρα καλώδια και τους κινδύνους λειτουργίας του εξοπλισμού (Wong et al., 2023). Οι κίνδυνοι αυτοί εκδηλώνονται ως φυσικοί κίνδυνοι (ακτινοβολία, θόρυβος), χημικοί κίνδυνοι (αμίαντος, απολυμαντικά) και εργονομικοί κίνδυνοι (κακές στάσεις εργασίας) (Segbenya & Yeboah, 2024).

Το δύσκολο ιστορικό ασφάλειας του κλάδου οφείλεται σε πολλαπλούς παράγοντες, όπως η ανεπαρκής προετοιμασία των εργαζομένων, η ανεπαρκής συμμόρφωση με την ασφάλεια, η έλλειψη κατάλληλου εξοπλισμού, οι μη ασφαλείς μέθοδοι εργασίας ή οι συνθήκες του εργοταξίου, η μη χρήση του εξοπλισμού ασφαλείας, η κακή συμπεριφορά ως προς την ασφάλεια και οι ξαφνικές αποκλίσεις από τις προβλεπόμενες διαδικασίες (Wong et al., 2023). Σε αναπτυσσόμενες χώρες όπως η Κένυα, η κατάσταση επιδεινώνεται από ανεπαρκή κανονιστικά πλαίσια και μηχανισμούς επιβολής, με πολλές επιχειρήσεις να αποφεύγουν την αυστηρή συμμόρφωση λόγω του αντιληπτού υψηλού κόστους εφαρμογής (Segbenya & Yeboah, 2024).

2.2.3 Σωματικές επιπτώσεις και επιπτώσεις στην υγεία

Οι εργαζόμενοι στον κατασκευαστικό τομέα αντιμετωπίζουν διάφορες προκλήσεις για την υγεία και την ασφάλεια που επηρεάζουν σημαντικά την ευημερία τους. Σύμφωνα με τον Giri (2020), οι κύριοι λόγοι ατυχημάτων στα εργοτάξια περιλαμβάνουν:

i. Πτώση από ύψος, σκαλωσιές ή σκάλες
ii. Χτύπημα από αντικείμενα που πέφτουν
iii. Ατυχήματα με μηχανήματα και εξοπλισμό
iv. Έκθεση σε επικίνδυνες χημικές ουσίες
v. Τραυματισμοί από δραστηριότητες εκσκαφής
vi. Κίνδυνοι σκοντάμματος από οικοδομικά υλικά και συντρίμμια

Αυτοί οι κίνδυνοι μπορεί να οδηγήσουν τόσο σε άμεσους τραυματισμούς όσο και σε μακροχρόνιες παθήσεις της υγείας. Σε μελέτες περιπτώσεων που τεκμηρίωσαν οι Rosen και Meston (2011), οι εργαζόμενοι εμφάνισαν πόνο στην πλάτη από επαναλαμβανόμενο λύγισμα σε κακώς σχεδιασμένους χώρους συναρμολόγησης, ενώ άλλοι παρουσίασαν αυξημένες αναπνευστικές ασθένειες παρά τα συστήματα εξαερισμού που είχαν σχεδιαστεί για να αποτρέπουν την έκθεση σε επιβλαβείς ουσίες. Οι ανεπαρκείς μηχανολογικοί έλεγχοι και τα μέτρα προστασίας μπορούν να οδηγήσουν

τόσο σε οξείς τραυματισμούς όσο και σε χρόνιες παθήσεις που μειώνουν την ποιότητα ζωής των εργαζομένων (Hammer & Price, 2000).

2.2.4 Επιπτώσεις στην οικονομία και τις επιδόσεις

Οι επιπτώσεις των θεμάτων υγείας και ασφάλειας επεκτείνονται πέρα από τη σωματική βλάβη και περιλαμβάνουν σημαντικές επιπτώσεις στην απόδοση των εργαζομένων και στα οργανωτικά αποτελέσματα. Οι Ayessaki και Smallwood (2017) διαπίστωσαν μια κρίσιμη σχέση μεταξύ των παρεμβάσεων για την υγεία και την ασφάλεια και της απόδοσης των εργαζομένων σε περιβάλλοντα κατασκευών. Η έρευνά τους έδειξε ότι τα κίνητρα των εργαζομένων επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση, με ισχυρή συναίνεση μεταξύ των διαχειριστών κατασκευαστικών έργων (CPM) και των γενικών εργολάβων που δείχνουν συμφωνία έως ισχυρή συμφωνία με τη σχέση αυτή (μέση βαθμολογία 4,36 από 5,00).

Σύμφωνα με τους Lamm κ.ά. (2014, όπως αναφέρεται στο Ayessaki & Smallwood, 2017), υπάρχουν «αυξανόμενες και αδιαμφισβήτητες αποδείξεις ότι ένα υγιές και ασφαλές εργασιακό περιβάλλον μπορεί να ενισχύσει την παραγωγικότητα της εργασίας και με τη σειρά του να αυξήσει την κερδοφορία των επιχειρήσεων». Οι κακές συνθήκες του εργοταξίου, ο ανεπαρκής σχεδιασμός και τα ατυχήματα προσδιορίστηκαν ως οι τρεις κορυφαίοι παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά την απόδοση των εργαζομένων, με μέσες βαθμολογίες 4,17, 3,83 και 3,75 αντίστοιχα. Τα ευρήματά τους ενίσχυσαν τη σύνδεση μεταξύ των μυοσκελετικών διαταραχών που σχετίζονται με την εργασία (WMSDs) και της ανεπαρκούς κατάρτισης (μέση βαθμολογία 3,47), υπογραμμίζοντας πώς οι ελλείψεις στην υγεία και την ασφάλεια μεταφράζονται άμεσα σε μειωμένη ικανότητα των εργαζομένων.

Μελέτες στον κατασκευαστικό τομέα της Μαλαισίας κατέληξαν σε παρόμοια αποτελέσματα, με τους Wong κ.ά. (2023) να σημειώνουν ότι η εφαρμογή μέτρων επαγγελματικής ασφάλειας και υγείας βελτίωσε την απόδοση των εργαζομένων. Η έρευνά τους αποκάλυψε ότι η κατάλληλη χρήση του εξοπλισμού εργασίας και η προθυμία των εργαζομένων να ακολουθούν τους κανόνες ασφαλείας οδήγησαν στην επίτευξη των στόχων εργασίας, οι οποίοι με τη σειρά τους καθόρισαν την επίτευξη των στόχων της εταιρείας.

Οι Jepchirchir και Eng'airo (2024) διαπίστωσαν ότι οι πρακτικές διαχείρισης της επαγγελματικής υγείας είχαν στατιστικά σημαντική επίδραση στην παραγωγικότητα των εργαζομένων σε επιχειρήσεις παραγωγής τροφίμων και ποτών στην Κένυα,

εξηγώντας περίπου το 83% της διακύμανσης της παραγωγικότητας των εργαζομένων. Η έρευνά τους κατέδειξε θετικές συσχετίσεις μεταξύ της εκπαίδευσης σε θέματα ασφάλειας, των πρακτικών ελέγχου των κινδύνων, των επιθεωρήσεων ασφάλειας στο χώρο εργασίας, των αρχείων ασφαλείας και της παραγωγικότητας των εργαζομένων.

2.2.5 Οργανωσιακή κουλτούρα και πρακτικές ασφάλειας

Η αποτελεσματικότητα των μέτρων υγείας και ασφάλειας στην εργασία επηρεάζεται έντονα από την οργανωτική κουλτούρα. Σύμφωνα με τους Segbenya και Yeboah (2024), η οργανωσιακή κουλτούρα, η οποία ορίζεται από κοινές πεποιθήσεις, αξίες και κανόνες, διαμορφώνει τις στάσεις και τις συμπεριφορές των εργαζομένων στο χώρο εργασίας. Η έρευνά τους διαπίστωσε ότι η οργανωσιακή κουλτούρα μετριάζει τη σχέση μεταξύ των πρακτικών υγιεινής και ασφάλειας στην εργασία και της παραγωγικότητας των εργαζομένων, με τις κουλτούρες που δίνουν προτεραιότητα στις ανάγκες των πελατών και στις ηθικές πρακτικές να συμβάλλουν σημαντικά στην επιτυχία των μεταποιητικών επιχειρήσεων.

Η ηγεσία διαδραματίζει πρωταρχικό ρόλο στην καλλιέργεια κουλτούρας ενσυναίσθησης, ανοίγματος και ενδυνάμωσης που διευκολύνει την ευημερία των εργαζομένων και του οργανισμού (Chebichii et al., 2023). Μια ευνοϊκή κουλτούρα προσφέρει κατεύθυνση, νόημα και αίσθηση κοινότητας, απαραίτητη για τη βέλτιστη παραγωγικότητα του εργατικού δυναμικού. Ειδικότερα στον κατασκευαστικό τομέα, η δημιουργία μιας κουλτούρας που προωθεί την ευαισθητοποίηση και τη συμμόρφωση σε θέματα ασφάλειας είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση των ατυχημάτων και τη βελτίωση της απόδοσης των εργαζομένων.

2.2.6 Προκλήσεις και εμπόδια στην αποτελεσματική εφαρμογή

Παρά την αναγνώριση της σημασίας της επαγγελματικής υγείας και ασφάλειας, η εφαρμογή αντιμετωπίζει αρκετές προκλήσεις. Ο Giri (2020) εντόπισε βασικά εμπόδια, μεταξύ των οποίων:

1. Έλλειψη γνώσεων και ευαισθητοποίησης των εργαζομένων
2. Έλλειψη ευαισθητοποίησης και δέσμευσης από τους εργοδότες και τη διοίκηση
3. Ανησυχίες της διοίκησης σχετικά με την αλλαγή και το αυξημένο κόστος
4. ανεπαρκή συστήματα διαβούλευσης
5. Ανεκπαίδευτο προσωπικό τόσο σε επίπεδο διοίκησης όσο και σε επίπεδο εργαζομένων

6. Απουσία κουλτούρας εργασίας φιλικής προς την ασφάλεια
7. Ανεπαρκής έρευνα και βάση δεδομένων για την επαγγελματική υγεία και ασφάλεια
8. Χρήση απαρχαιωμένων μηχανημάτων και εξοπλισμού
9. Ανεπαρκής συντήρηση του εξοπλισμού
10. Κακές πρακτικές καθαριότητας
11. Παραβίαση των κανόνων ασφαλείας

Οι Segbenya και Yeboah (2024) διαπίστωσαν ότι οι εργαζόμενοι στις κατασκευές διστάζουν να αναφέρουν μικροτραυματισμούς υπό το φόβο της απόλυσης και οι εργοδότες συχνά αναφέρουν το υψηλό κόστος της εκπαίδευσης σε θέματα ασφάλειας ως εμπόδιο στην εφαρμογή της. Η περιορισμένη διαθεσιμότητα ικανού προσωπικού υγείας και ασφάλειας χαρακτηρίστηκε επίσης ως σημαντική πρόκληση.

2.2.7 Στρατηγικές βελτίωσης

Για τη βελτίωση της επαγγελματικής υγείας και ασφάλειας στον κατασκευαστικό τομέα, έχουν προταθεί διάφορες στρατηγικές. Ο Giri (2020) προτείνει: «Η προστασία της υγείας και της ασφάλειας των εργαζομένων είναι η πιο σημαντική πτυχή του συστήματος:

1. Εντοπισμός των κινδύνων από τα στάδια του σχεδιασμού μέσω των διαδικασιών κατασκευής
2. Απομόνωση των εργαζομένων από επιβλαβείς ουσίες
3. Ανάπτυξη ολοκληρωμένων ενοτήτων κατάρτισης και διεξαγωγή επίσημων προγραμμάτων κατάρτισης
4. Εφαρμογή εισαγωγικής εκπαίδευσης για όλους τους νέους εργαζόμενους
5. Παροχή προγραμμάτων διαχείρισης του άγχους
6. Ψυχολογική παρακίνηση των εργαζομένων για τη μείωση της απροσεξίας
7. Συγκρότηση και κινητοποίηση επιτροπών ασφάλειας στους χώρους εργασίας
8. Διεξαγωγή περιοδικών ερευνών ασφάλειας και σχεδιασμός πριν από το έργο
9. Εισαγωγή προγραμμάτων κινήτρων και βραβείων ασφάλειας
10. Παροχή ασφάλισης υγείας και ασφάλειας για τους εργαζομένους
11. Δημιουργία και αυστηρή εφαρμογή κανονισμών και πολιτικών ασφαλείας
12. Διάθεση επαρκούς χρηματοδότησης για μέτρα υγείας και ασφάλειας

Η έρευνα των Jepchirchir και Eng'airo (2024) υπογραμμίζει τη σημασία της βελτίωσης της εκπαίδευσης σε θέματα ασφάλειας, του ελέγχου των κινδύνων, των επιθεωρήσεων

στο χώρο εργασίας και της τήρησης αρχείων ασφαλείας για την αύξηση της παραγωγικότητας των εργαζομένων. Τα ευρήματά τους υποδηλώνουν ότι η επένδυση σε αυτές τις πρακτικές διαχείρισης της επαγγελματικής υγείας μπορεί να συμβάλει άμεσα στην αύξηση της απόδοσης των εργαζομένων και στην οργανωτική επιτυχία.
Οι επιπτώσεις κυμαίνονται από άμεσες σωματικές κακώσεις και χρόνιες παθήσεις της υγείας έως τη μειωμένη παραγωγικότητα και το αυξημένο οργανωτικό κόστος. Η αποτελεσματική αντιμετώπιση των επιπτώσεων γίνεται με την εφαρμογή μέτρων υγείας και ασφάλειας που μπορούν να ενισχύσουν την απόδοση των εργαζομένων, ενώ οι κακές συνθήκες ασφάλειας συμβάλλουν σε ατυχήματα, απουσίες και μειωμένη παραγωγικότητα. Η δημιουργία μιας υποστηρικτικής οργανωτικής κουλτούρας που δίνει προτεραιότητα στην ασφάλεια και την υγεία των εργαζομένων είναι απαραίτητη για τη βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων απόδοσης. Παρά τις προκλήσεις στην εφαρμογή, η επένδυση σε ολοκληρωμένα προγράμματα υγείας και ασφάλειας στην εργασία αποφέρει οφέλη όχι μόνο για την ευημερία των εργαζομένων αλλά και για την παραγωγικότητα και την κερδοφορία ενός οργανισμού και όπως σημειώνουν οι Lamm et al. (2014), ένα υγιές και ασφαλές εργασιακό περιβάλλον ενισχύει την παραγωγικότητα της εργασίας και τελικά ενισχύει την απόδοση των επιχειρήσεων.

Κεφάλαιο 3: Νομοθεσία και Κανονιστικό Πλαίσιο

Εισαγωγή

Το νομοθετικό πλαίσιο που διέπει την υγεία και την ασφάλεια στην εργασία στις μηχανολογικές κατασκευές λειτουργεί σε πολλαπλά επίπεδα, περιλαμβάνοντας διεθνείς, ευρωπαϊκές και εθνικές διαστάσεις. Αυτό το πολύπλοκο κανονιστικό περιβάλλον έχει εξελιχθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες, με γνώμονα την ανάγκη προστασίας των εργαζομένων σε έναν από τους πιο επικίνδυνους βιομηχανικούς τομείς. Η κατανόηση αυτού του νομοθετικού πλαισίου είναι απολύτως σημαντική για τους οργανισμούς που δραστηριοποιούνται στον τομέα των μηχανολογικών κατασκευών, καθώς οι απαιτήσεις συμμόρφωσης εκτείνονται σε πολλαπλές δικαιοδοσίες και περιλαμβάνουν διάφορους ρυθμιστικούς φορείς.

3.1 Ευρωπαϊκή και διεθνής νομοθεσία

3.1.1 Θεμελιώδεις συμβάσεις της ΔΟΕ

Η Διεθνής Οργάνωση Εργασίας (ΔΟΕ) χρησιμεύει ως ο ακρογωνιαίος λίθος της παγκόσμιας νομοθεσίας για την επαγγελματική υγεία και ασφάλεια, έχοντας θεσπίσει θεμελιώδεις αρχές που καθοδηγούν την εθνική νομοθεσία παγκοσμίως. Κατά την 110η σύνοδό της τον Ιούνιο του 2022, η Διεθνής Διάσκεψη Εργασίας έλαβε μια απόφαση ορόσημο για τη συμπερίληψη του "ασφαλούς και υγιούς εργασιακού περιβάλλοντος" στο πλαίσιο των θεμελιωδών αρχών και δικαιωμάτων στην εργασία της ΔΟΕ (International Labour Organization, 2024).

Δύο συμβάσεις της ΔΟΕ έχουν χαρακτηριστεί ως θεμελιώδεις συμβάσεις στον τομέα της επαγγελματικής ασφάλειας και υγείας. Η Σύμβαση αριθ. 155 (Σύμβαση για την επαγγελματική ασφάλεια και υγεία, 1981) και η Σύμβαση αριθ. 187 (Σύμβαση για το πλαίσιο προώθησης της επαγγελματικής ασφάλειας και υγείας, 2006) θεσπίζουν το βασικό πλαίσιο για τα εθνικά συστήματα επαγγελματικής ασφάλειας και υγείας και απαιτούν από τα κράτη μέλη να διαμορφώνουν, να εφαρμόζουν και να αναθεωρούν περιοδικά συνεκτικές εθνικές πολιτικές για την επαγγελματική ασφάλεια και υγεία (International Labour Organization, 2024).

Η Σύμβαση αριθ. 155 απαιτεί από τις κυβερνήσεις να αναπτύξουν εθνικές πολιτικές που προωθούν την ασφάλεια και την υγεία στην εργασία, ενώ η Σύμβαση αριθ. 187 δίνει έμφαση στη δημιουργία εθνικών συστημάτων και προγραμμάτων για την προώθηση της επαγγελματικής ασφάλειας και υγείας. Το Πρωτόκολλο του 2002 στη Σύμβαση για την επαγγελματική ασφάλεια και υγεία (P155) συμπληρώνει τη Σύμβαση αριθ. 155 θεσπίζοντας συγκεκριμένες απαιτήσεις για την καταγραφή και την κοινοποίηση των εργατικών ατυχημάτων και των επαγγελματικών ασθενειών.

3.1.2 Νομοθετικό πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Κανονισμός 2023/1230/ΕΕ για τα μηχανήματα

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αναπτύξει ένα ολοκληρωμένο νομοθετικό πλαίσιο που βασίζεται και συνδυάζει υποχρεωτικές βασικές απαιτήσεις υγείας και ασφάλειας με εθελοντικά εναρμονισμένα πρότυπα. Ο κανονισμός (ΕΕ) 2023/1230 για τα μηχανήματα αντικατέστησε την οδηγία 2006/42/ΕΚ και τέθηκε σε ισχύ στις 14 Ιουνίου 2023, ενώ θα εφαρμόζεται υποχρεωτικά από τις 20 Ιανουαρίου 2027 (European Agency for Safety and Health at Work, 2024).

Ο νέος κανονισμός για τα μηχανήματα αποτελεί σημαντική εξέλιξη σε σχέση με την προσέγγιση της προηγούμενης οδηγίας, καθώς εφαρμόζεται άμεσα σε όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ χωρίς να απαιτείται ενσωμάτωση στην εθνική νομοθεσία, εξασφαλίζοντας ομοιόμορφη εφαρμογή σε ολόκληρη την ΕΕ. Ο κανονισμός διατηρεί τις βασικές απαιτήσεις υγείας και ασφάλειας που θεσπίστηκαν με την προηγούμενη οδηγία, ενώ παράλληλα εισάγει αρκετές σημαντικές καινοτομίες (European Commission, 2024).

Τα βασικά χαρακτηριστικά του νέου κανονισμού περιλαμβάνουν ενισχυμένες διατάξεις για την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο, που αφορούν τα δεδομένα λογισμικού που σχετίζονται με τη συμμόρφωση και τα συστήματα ελέγχου ασφαλείας, τα οποία αποκτούν ολοένα και μεγαλύτερη σημασία στις σύγχρονες αυτοματοποιημένες μηχανολογικές κατασκευές. Ο κανονισμός ασχολείται επίσης με την αξιολόγηση της συμμόρφωσης των μηχανημάτων που παρουσιάζουν υψηλότερους παράγοντες κινδύνου και επικαιροποιεί τις ειδικές διατάξεις κατηγορίας για ορισμένους τύπους εξοπλισμού.

Οδηγία-πλαίσιο 89/391/ΕΟΚ

Η οδηγία-πλαίσιο για τη θέσπιση μέτρων που αποβλέπουν στη βελτίωση της ασφάλειας και της υγείας των εργαζομένων κατά την εργασία (89/391/ΕΟΚ) θεσπίζει θεμελιώδεις αρχές που εφαρμόζονται σε όλους τους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των μηχανολογικών κατασκευών. Η οδηγία αυτή εισάγει την έννοια της εκτίμησης των κινδύνων ως θεμελιώδες εργαλείο για τη διαχείριση της ασφάλειας και της υγείας στην εργασία και καθορίζει τις βασικές ευθύνες των εργοδοτών και των εργαζομένων (European Agency for Safety and Health at Work, 2024).

Ειδικότερα απαιτεί από τους εργοδότες να διασφαλίζουν την ασφάλεια και την υγεία των εργαζομένων εφαρμόζοντας τις γενικές αρχές πρόληψης που περιλαμβάνουν την αποφυγή των κινδύνων, την αξιολόγηση των αναπόφευκτων κινδύνων, την καταπολέμηση των κινδύνων στην πηγή, την προσαρμογή της εργασίας στο άτομο, την προσαρμογή στην τεχνική πρόοδο, την αντικατάσταση επικίνδυνων στοιχείων με λιγότερο επικίνδυνα και την προτεραιότητα των συλλογικών μέτρων προστασίας έναντι των ατομικών μέτρων προστασίας.

Οδηγία 92/57/ΕΟΚ για τα εργοτάξια

Η οδηγία 92/57/ΕΟΚ ασχολείται ειδικά με τις ελάχιστες απαιτήσεις ασφάλειας και υγείας για τα προσωρινά ή κινητά εργοτάξια, γεγονός που έχει άμεση σχέση με τις μηχανολογικές κατασκευές. Η οδηγία αυτή θεσπίζει μια αλυσίδα ευθύνης που συνδέει όλα τα μέρη που εμπλέκονται σε κατασκευαστικά έργα, από τους πελάτες και τους

επόπτες του έργου έως τους εργολάβους και τους συντονιστές για θέματα ασφάλειας και υγείας (European Agency for Safety and Health at Work, 2024).

Η οδηγία απαιτεί τον ορισμό συντονιστών για θέματα ασφάλειας και υγείας τόσο κατά το στάδιο της προετοιμασίας όσο και κατά το στάδιο της εκτέλεσης του έργου και επιβάλλει την εκπόνηση σχεδίων ασφάλειας και υγείας και τη δημιουργία φακέλων ασφάλειας και υγείας που πρέπει να τηρούνται καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου. Παρά τα 30 χρόνια από τη δημοσίευσή της, εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις όσον αφορά τη διασφάλιση της υγείας και της ασφάλειας κατά τα πρώτα στάδια του έργου (Science Direct, 2024).

Ειδικές οδηγίες για τον τομέα κατασκευών και τους παράγοντες

Το ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο περιλαμβάνει πολυάριθμες ειδικές οδηγίες που εφαρμόζονται στις μηχανολογικές κατασκευές. Αυτές περιλαμβάνουν οδηγίες που αφορούν την έκθεση σε χημικούς παράγοντες (98/24/ΕΚ), καρκινογόνους και μεταλλαξιογόνους παράγοντες (2004/37/ΕΚ), βιολογικούς παράγοντες (2000/54/ΕΚ) και φυσικούς παράγοντες όπως ο θόρυβος (2003/10/ΕΚ), οι δονήσεις (2002/44/ΕΚ) και τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία (2004/40/ΕΚ). Η οδηγία (ΕΕ) 2024/869, η οποία εκδόθηκε τον Μάρτιο του 2024, επικαιροποίησε τις οριακές τιμές για τον μόλυβδο και πρόσθεσε οριακές τιμές για τους διισοκυανικούς εστέρες, οι οποίοι σχετίζονται με τις μηχανολογικές κατασκευές (European Parliament, 2024).

3.1.3 Πλαίσιο διεθνών προτύπων

ISO 45001:2018 - Συστήματα διαχείρισης της υγείας και της ασφάλειας στην εργασία

Αν και δεν αποτελεί νομοθετική πράξη, το ISO 45001:2018 έχει καταστεί το διεθνώς αναγνωρισμένο πρότυπο για τα συστήματα διαχείρισης της επαγγελματικής υγείας και ασφάλειας, παρέχοντας ένα πλαίσιο που συμπληρώνει και υποστηρίζει τη συμμόρφωση με τη νομοθεσία. Το ISO 45001 δημοσιεύθηκε τον Μάρτιο του 2018, αντικατέστησε το προηγούμενο πρότυπο OHSAS 18001 και έχει υιοθετηθεί ευρέως σε όλους τους κλάδους, συμπεριλαμβανομένων των μηχανολογικών κατασκευών (International Organization for Standardization, 2024).

Το ISO 45001 καθορίζει τις απαιτήσεις για ένα σύστημα διαχείρισης της επαγγελματικής υγείας και ασφάλειας και παρέχει οδηγίες για τη χρήση του, επιτρέποντας στους οργανισμούς να παρέχουν ασφαλείς και υγιείς χώρους εργασίας. Το πρότυπο χρησιμοποιεί τη μεθοδολογία Plan-Do-Check-Act και εφαρμόζει τη Δομή

Υψηλού Επιπέδου του ISO, διευκολύνοντας την ενσωμάτωση με άλλα πρότυπα συστημάτων διαχείρισης, όπως το ISO 9001 (Διαχείριση Ποιότητας) και το ISO 14001 (Περιβαλλοντική Διαχείριση). Το πρότυπο δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην ηγεσία και τη συμμετοχή των εργαζομένων, απαιτώντας από την ανώτατη διοίκηση να επιδεικνύει ηγεσία και δέσμευση στο σύστημα διαχείρισης της υγείας και της ασφάλειας στην εργασία.

3.2 Ελληνική νομοθεσία

3.2.1 Ιστορική εξέλιξη της ελληνικής νομοθεσίας

Η Ελλάδα έχει αναπτύξει ένα ολοκληρωμένο εθνικό πλαίσιο για την υγεία και την ασφάλεια στην εργασία, το οποίο ευθυγραμμίζεται με τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η νομοθεσία για την υγεία και την ασφάλεια στην εργασία στην Ελλάδα χρονολογείται από τις αρχές του 20ού αιώνα με την πρώτη σημαντική νομοθεσία να είναι ο νόμος 3134/1911 σχετικά με την "υγεία και ασφάλεια των εργαζομένων και το ωράριο εργασίας", ο οποίος καθόρισε βασικές αρχές προστασίας των εργαζομένων (European Agency for Safety and Health at Work, 2024).

Ακολούθησε το προεδρικό διάταγμα 14/3/1934 σχετικά με την "υγιεινή και ασφάλεια των εργαζομένων στις βιομηχανίες, βιοτεχνίες, εργαστήρια κ.λπ.". Σημαντικό νομοθετικό περιεχόμενο για την ανάπτυξη της σύγχρονης νομοθεσίας αποτέλεσε ο νόμος 1568/1985 "για την υγεία και την ασφάλεια στην εργασία", ο οποίος καθιέρωσε ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο και εισήγαγε αρκετές βασικές θεσμικές καινοτομίες, συμπεριλαμβανομένης της σύστασης επιτροπών υγείας και ασφάλειας στην εργασία σε επίπεδο επιχείρησης και του Συμβουλίου Υγείας και Ασφάλειας στην εργασία σε εθνικό επίπεδο.

Η ενσωμάτωση των ευρωπαϊκών οδηγιών επηρέασε σημαντικά την εξέλιξη της ελληνικής νομοθεσίας και με το Προεδρικό Διάταγμα 17/1996 ενσωματώθηκε η Οδηγία Πλαίσιο 89/391/ΕΟΚ στην ελληνική νομοθεσία, θεσπίζοντας ολοκληρωμένες υποχρεώσεις για τους εργοδότες και δικαιώματα για τους εργαζομένους.

3.2.2 Νόμος 3850/2010 - Κώδικας Υγείας και Ασφάλειας στην Εργασία

Ο νόμος 3850/2010, με τον επίσημο τίτλο "Κώδικας νόμων για την ασφάλεια και την υγεία στην εργασία", αποτελεί τη σημαντικότερη ενοποίηση της ελληνικής νομοθεσίας για την υγεία και την ασφάλεια στην εργασία. Με τον νόμο αυτό κυρώθηκε ένας ολοκληρωμένος κώδικας που συγκέντρωσε όλες τις προηγουμένως διάσπαρτες

διατάξεις για την ασφάλεια και την υγεία στην εργασία σε ένα ενιαίο, συνεκτικό νομικό πλαίσιο (Ministry of Labour and Social Affairs, 2021).

Το άρθρο 42 του νόμου 3850/2010, όπως τροποποιήθηκε από το άρθρο 7 του νόμου 4808/2021, καθορίζει τις γενικές αρχές πρόληψης κινδύνων για την υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων. Οι αρχές αυτές ακολουθούν την ευρωπαϊκή ιεραρχία των μέτρων πρόληψης, απαιτώντας από τους εργοδότες να αποφεύγουν τους κινδύνους όπου είναι δυνατόν, να αξιολογούν τους κινδύνους που δεν μπορούν να αποφευχθούν, να καταπολεμούν τους κινδύνους στην πηγή τους, να προσαρμόζουν την εργασία στο άτομο, να προσαρμόζονται στην τεχνική πρόοδο, να αντικαθιστούν τα επικίνδυνα στοιχεία με λιγότερο επικίνδυνα εναλλακτικά, να αναπτύσσουν μια συνεκτική συνολική πολιτική πρόληψης και να δίνουν προτεραιότητα στα συλλογικά μέτρα προστασίας έναντι των ατομικών μέτρων προστασίας.

Ένα από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ελληνικής νομοθεσίας για την υγεία και την ασφάλεια στην εργασία είναι ο υποχρεωτικός διορισμός Τεχνικών Ασφάλειας και Ιατρών Εργασίας. Σύμφωνα με το άρθρο 8 του Κώδικα, όλες οι επιχειρήσεις που απασχολούν τουλάχιστον έναν εργαζόμενο πρέπει να διαθέτουν Τεχνικό Ασφάλειας, ενώ το άρθρο 12 θεσπίζει παρόμοιες απαιτήσεις για τους Ιατρούς Εργασίας (Ministry of Labour and Social Affairs, 2021).

Τα προσόντα για τους Τεχνικούς Ασφάλειας καθορίζονται στο άρθρο 11 του Κώδικα, απαιτώντας πτυχίο Πολυτεχνικής Σχολής της ημεδαπής ή ισότιμων σχολών της αλλοδαπής σε τομείς που σχετίζονται με τις εγκαταστάσεις και τις παραγωγικές διαδικασίες, με άδεια άσκησης επαγγέλματος που χορηγείται από το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (ΤΕΕ), δίπλωμα Πανεπιστημίου της ημεδαπής ή ισότιμων σχολών της αλλοδαπής σε συναφείς τομείς με αντίστοιχη άδεια άσκησης επαγγέλματος, δίπλωμα τεχνολογικού εκπαιδευτικού ιδρύματος της ημεδαπής ή ισότιμο, ή πτυχίο Τεχνικού Λυκείου ή Τεχνικής Σχολής με σχετική εμπειρία.

Οι αρμοδιότητες των Τεχνικών Ασφάλειας περιλαμβάνουν την παροχή γραπτών και προφορικών συμβουλών στους εργοδότες για θέματα υγείας και ασφάλειας, τη συμμετοχή σε εκτιμήσεις κινδύνων, τη διασφάλιση της συμμόρφωσης των εργαζομένων με τους κανονισμούς ασφαλείας και τη συμμετοχή σε προγράμματα κατάρτισης των εργαζομένων. Είναι σημαντικό ότι ο νόμος διευκρινίζει ότι οι Τεχνικοί Ασφάλειας πρέπει να ασκούν τα καθήκοντά τους με ηθική ανεξαρτησία τόσο από τους εργοδότες όσο και από τους εργαζομένους.

Ο κώδικας θεσπίζει ολοκληρωμένες απαιτήσεις για την εκτίμηση των κινδύνων στους χώρους εργασίας, βασιζόμενος στις αρχές που θεσπίζονται στην ευρωπαϊκή οδηγία 89/391/ΕΟΚ. Οι εργοδότες πρέπει να διενεργούν συστηματικές εκτιμήσεις κινδύνων που εντοπίζουν τους δυνητικούς κινδύνους, να αξιολογούν την πιθανότητα και τη σοβαρότητα της δυνητικής βλάβης και να εφαρμόζουν τα κατάλληλα μέτρα ελέγχου. Η εκτίμηση κινδύνου πρέπει να τεκμηριώνεται εγγράφως και να συντάσσεται από κοινού από τον Τεχνικό Ασφάλειας και τον Ιατρό Εργασίας, δίνοντας έμφαση στη συνεργατική προσέγγιση που απαιτείται για την αποτελεσματική διαχείριση των κινδύνων.

3.2.3 Εκτελεστική νομοθεσία

Η εφαρμογή του νόμου 3850/2010 υποστηρίζεται από πολυάριθμα προεδρικά διατάγματα που μεταφέρουν συγκεκριμένες ευρωπαϊκές οδηγίες και παρέχουν λεπτομερείς ρυθμίσεις για συγκεκριμένους τύπους κινδύνων ή εργασιακών δραστηριοτήτων. Το Προεδρικό Διάταγμα 16/1996 μεταφέρει την οδηγία 89/654/ΕΟΚ σχετικά με τις ελάχιστες προδιαγραφές ασφάλειας και υγείας στους χώρους εργασίας και είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τις μηχανολογικές κατασκευές, καθώς θεσπίζει απαιτήσεις για το σχεδιασμό του χώρου εργασίας, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τις εγκαταστάσεις ασφαλείας.

Το Προεδρικό διάταγμα 305/1996 μεταφέρει την οδηγία 92/57/ΕΟΚ σχετικά με τα προσωρινά ή κινητά εργοτάξια, θεσπίζοντας ειδικές απαιτήσεις για τις κατασκευαστικές δραστηριότητες. Το διάταγμα αυτό απαιτεί τον διορισμό συντονιστών υγείας και ασφάλειας, την κατάρτιση σχεδίων ασφάλειας και υγείας και την εφαρμογή ειδικών μέτρων ασφαλείας κατά τις φάσεις κατασκευής. Το Προεδρικό Διάταγμα 1073/1981 αφορά τα μέτρα ασφαλείας στις οικοδομικές εργασίες και παραμένει σημαντικό στοιχείο του κανονιστικού πλαισίου για τις οικοδομικές δραστηριότητες στην Ελλάδα, θεσπίζοντας συγκεκριμένες τεχνικές απαιτήσεις για την ασφάλεια στις κατασκευές.

3.2.4 Πλαίσιο επιβολής και συμμόρφωσης

Η Επιθεώρηση Εργασίας

Η επιβολή της νομοθεσίας για την υγεία και την ασφάλεια στην εργασία αποτελεί κυρίως αρμοδιότητα του Ελληνικού Σώματος Επιθεώρησης Εργασίας (ΣΕΠΕ), το οποίο λειτουργεί ως ανεξάρτητη διοικητική αρχή. Το Σώμα Επιθεώρησης Εργασίας, το

οποίο ιδρύθηκε στη σημερινή του μορφή με τον νόμο 2639/1998 και αναδιαρθρώθηκε με τον νόμο 4954/2022, έχει εκτεταμένες αρμοδιότητες για την παρακολούθηση της συμμόρφωσης με την εργατική νομοθεσία, συμπεριλαμβανομένων των απαιτήσεων υγείας και ασφάλειας στην εργασία (Greek Labour Inspectorate, 2024).

Οι επιθεωρητές εργασίας έχουν εκτεταμένες εξουσίες που περιλαμβάνουν τη διενέργεια αιφνιδιαστικών επιθεωρήσεων στους χώρους εργασίας κατά τις εργάσιμες ώρες, την πρόσβαση σε όλους τους τομείς των επιχειρήσεων, συμπεριλαμβανομένων των αρχείων, των εγγράφων, των μητρώων και των δεδομένων, την προσωρινή αναστολή των εργασιών εάν η ασφάλεια και η υγεία των εργαζομένων κινδυνεύουν άμεσα, την επιβολή διοικητικών κυρώσεων για παραβάσεις, τη διερεύνηση των αιτιών των θανατηφόρων και σοβαρών εργατικών ατυχημάτων και την απαίτηση άμεσων διορθωτικών μέτρων για παραβιάσεις της ασφάλειας.

Αναφορά και διερεύνηση ατυχημάτων

Η ελληνική νομοθεσία θεσπίζει ολοκληρωμένες απαιτήσεις για την αναφορά και τη διερεύνηση των ατυχημάτων στους χώρους εργασίας. Σύμφωνα με το άρθρο 43 του Κώδικα Νόμων για την Υγεία και την Ασφάλεια στην Εργασία, όλα τα εργατικά ατυχήματα πρέπει να αναφέρονται εντός 24 ωρών στις αρμόδιες αρχές επιθεώρησης υγείας και ασφάλειας της εργασίας, στις πλησιέστερες αστυνομικές αρχές και στις αρμόδιες ασφαλιστικές αρχές στις οποίες είναι ασφαλισμένος ο εργαζόμενος.

Σε περιπτώσεις σοβαρού τραυματισμού ή θανάτου, οι εργοδότες οφείλουν να διατηρούν όλες τις πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό των αιτιών του ατυχήματος και να διεξάγουν ενδελεχείς εσωτερικές έρευνες. Για θανατηφόρα ατυχήματα ή σοβαρούς τραυματισμούς ισχύουν πρόσθετες απαιτήσεις αναφοράς, συμπεριλαμβανομένης της υποβολής λεπτομερούς γραπτής έκθεσης στον δικαστή του πρωτοβάθμιου δικαστηρίου εντός 15 ημερών από το ατύχημα.

Θεσμικό πλαίσιο

Σε εθνικό επίπεδο, όλα τα θέματα που αφορούν την επαγγελματική ασφάλεια και υγεία υπάγονται στην αρμοδιότητα του Υπουργείου Εργασίας και Κοινωνικών Υποθέσεων. Η Γενική Διεύθυνση Συνθηκών Εργασίας και Υγείας του Υπουργείου είναι υπεύθυνη για τη νομοθεσία, τη στρατηγική, την οργάνωση, την ενημέρωση, την εκπαίδευση, την κατάρτιση και τα ερευνητικά θέματα της υγείας και ασφάλειας στην εργασία (European Agency for Safety and Health at Work, 2024). Από την 1η Ιανουαρίου 2017, ο Ενιαίος Φορέας Κοινωνικής Ασφάλισης (ΕΦΚΑ) λειτουργεί ως ενιαίος κρατικός οργανισμός κοινωνικής ασφάλισης, ενοποιώντας τους προηγουμένως υφιστάμενους φορείς

κοινωνικής ασφάλισης. Σε επίπεδο επιχείρησης, ο νόμος 3850/2010 απαιτεί τη σύσταση Επιτροπών Υγείας και Ασφάλειας στην Εργασία σε επιχειρήσεις με 50 ή περισσότερους εργαζόμενους, οι οποίες περιλαμβάνουν εκπροσώπους τόσο των εργοδοτών όσο και των εργαζομένων.

3.3 Ρόλος επιθεωρήσεων εργασίας και αρμόδιων φορέων

3.3.1 Διεθνές πλαίσιο για την επιθεώρηση της εργασίας

Το διεθνές πλαίσιο για την επιθεώρηση της εργασίας καθορίζεται κυρίως μέσω των συμβάσεων της ΔΟΕ, ιδίως της Σύμβασης για την επιθεώρηση της εργασίας του 1947 (αριθ. 81) και της Σύμβασης για την επιθεώρηση της εργασίας (γεωργία) του 1969 (αριθ. 129). Αυτές οι συμβάσεις διακυβέρνησης έχουν επικυρωθεί από 146 χώρες για τη Σύμβαση αριθ. 81 και 53 χώρες για τη Σύμβαση αριθ. 129, θεσπίζοντας θεμελιώδεις αρχές για την οργάνωση και τη λειτουργία των εθνικών συστημάτων επιθεώρησης εργασίας (International Labour Organization, 2024).

Η Σύμβαση αριθ. 81 απαιτεί από τα κράτη που την επικυρώνουν να διατηρούν ένα σύστημα επιθεώρησης της εργασίας για τους χώρους εργασίας στη βιομηχανία και το εμπόριο. Η σύμβαση θεσπίζει ολοκληρωμένες αρχές σχετικά με τον καθορισμό των νομοθετικών τομέων που καλύπτονται από την επιθεώρηση εργασίας, τις λειτουργίες και την οργάνωση των συστημάτων επιθεώρησης, τα κριτήρια πρόσληψης, καθώς και το καθεστώς και τους όρους υπηρεσίας των επιθεωρητών εργασίας.

Τα συστήματα επιθεώρησης εργασίας έχουν σχεδιαστεί για να εξισορροπούν την αποτρεπτική επιβολή με την υποστηρικτική καθοδήγηση, αναγνωρίζοντας ότι οι βιώσιμες βελτιώσεις στην ασφάλεια και την υγεία στους χώρους εργασίας απαιτούν τόσο την απειλή κυρώσεων για τη μη συμμόρφωση όσο και θετικά κίνητρα για τους εργοδότες να υπερβαίνουν τα ελάχιστα πρότυπα. Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για τις μηχανολογικές κατασκευές, όπου η πολυπλοκότητα των εργασιών και η ποικιλομορφία των πιθανών κινδύνων απαιτούν εξελιγμένη κατανόηση και ευέλικτες προσεγγίσεις για τη διαχείριση των κινδύνων.

3.3.2 Ευρωπαϊκό πλαίσιο συντονισμού

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός για την Ασφάλεια και την Υγεία στην Εργασία (EU-OSHA) λειτουργεί ως το κεντρικό σημείο συντονισμού για τις δραστηριότητες ασφάλειας και υγείας στην εργασία στα κράτη μέλη. Ιδρύθηκε το 1994 και εδρεύει στο Μπιλμπάο της Ισπανίας, ο EU-OSHA εργάζεται για να καταστήσει

τους ευρωπαϊκούς χώρους εργασίας ασφαλέστερους, υγιέστερους και πιο παραγωγικούς μέσω της συλλογής, ανάλυσης και διάδοσης σχετικών πληροφοριών (Wikipedia, 2024).

Ο EU-OSHA λειτουργεί μέσω ενός δικτύου εθνικών εστιακών σημείων σε κάθε κράτος μέλος, τα οποία διορίζονται από τις κυβερνήσεις ως επίσημοι εκπρόσωποι του οργανισμού στις αντίστοιχες χώρες τους. Τα εν λόγω εστιακά σημεία είναι συνήθως η αρμόδια εθνική αρχή για την ασφάλεια και την υγεία στην εργασία ή ένας εθνικός φορέας που έχει οριστεί από αυτές. Κάθε εστιακό σημείο υποχρεούται να λαμβάνει υπόψη τις απόψεις των κοινωνικών εταίρων σε εθνικό επίπεδο και διαχειρίζεται το δικό του τριμερές δίκτυο που αποτελείται από κυβερνητικούς φορείς και εκπροσώπους των οργανώσεων εργαζομένων και εργοδοτών (European Agency for Safety and Health at Work, 2024).

3.3.3 Σύγχρονες προκλήσεις και μελλοντικές εξελίξεις

Οι επιθεωρήσεις εργασίας και οι αρμόδιες αρχές παγκοσμίως αντιμετωπίζουν σημαντικές προκλήσεις που σχετίζονται με τους περιορισμούς πόρων και τις ανάγκες ανάπτυξης ικανοτήτων. Μελέτες δείχνουν ότι σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, λιγότερο από το 1% του εθνικού προϋπολογισμού διατίθεται για τη διοίκηση της εργασίας, με τα συστήματα επιθεώρησης εργασίας να λαμβάνουν μόνο ένα μικρό κλάσμα αυτού του ποσού. Ωστόσο, το κόστος που προκύπτει από τα εργατικά ατυχήματα και τις επαγγελματικές ασθένειες μπορεί να είναι πολύ υψηλότερο, καθιστώντας την επένδυση σε αποτελεσματικά συστήματα επιθεώρησης εργασίας οικονομικά συμφέρουσα (International Labour Organization, 2024).

Η ταχεία ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και νέων μορφών οργάνωσης της εργασίας παρουσιάζει σημαντικές προκλήσεις για τα συστήματα επιθεώρησης της εργασίας που σχεδιάστηκαν για πιο παραδοσιακές δομές και σχέσεις στον χώρο εργασίας. Οι ψηφιακές τεχνολογίες, η τεχνητή νοημοσύνη, η εργασία σε πλατφόρμες, η απομακρυσμένη εργασία και άλλες καινοτομίες δημιουργούν νέους τύπους κινδύνων για την επαγγελματική ασφάλεια και υγεία, ενώ παράλληλα καθιστούν τις παραδοσιακές προσεγγίσεις επιθεώρησης λιγότερο αποτελεσματικές ή εφαρμόσιμες.

Για τις μηχανολογικές κατασκευές, οι αναδυόμενες τεχνολογίες, όπως η ρομποτική, η τεχνητή νοημοσύνη, οι αισθητήρες του Διαδικτύου των πραγμάτων και τα ψηφιακά συστήματα ελέγχου, δημιουργούν τόσο ευκαιρίες για βελτιωμένη ασφάλεια όσο και νέους κινδύνους που απαιτούν εξελιγμένη κατανόηση και ρυθμιστικές αντιδράσεις. Οι

επιθεωρητές εργασίας πρέπει να αναπτύξουν νέες ικανότητες για την κατανόηση και την αξιολόγηση αυτών των τεχνολογιών, ενώ τα ρυθμιστικά πλαίσια πρέπει να εξελιχθούν για την αντιμετώπιση κινδύνων που μπορεί να μην είχαν προβλεφθεί όταν αναπτύχθηκε η ισχύουσα νομοθεσία.

Κεφάλαιο 4: Μέτρα πρόληψης και ασφάλειας σε μηχανολογικές κατασκευές

Εισαγωγή

Η σύγχρονη διαχείριση ασφάλειας στις μηχανολογικές κατασκευές έχει εξελιχθεί από αντιδραστικές μεθοδολογίες σε προληπτικές, συστημικές προσεγγίσεις που ενσωματώνουν την εκτίμηση ασφάλειας σε κάθε φάση του έργου (Hinze et al., 2013). Η πολυεπίπεδη προσέγγιση της ιεραρχίας ελέγχων παρέχει πλεονάζοντα συστήματα προστασίας, διασφαλίζοντας την ασφάλεια ακόμη και όταν επιμέρους μέτρα αστοχούν (NIOSH, 2015). Η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών, όπως η μοντελοποίηση πληροφοριών κτιρίου (BIM), οι αισθητήρες IoT και η τεχνητή νοημοσύνη, επιτρέπει την ανίχνευση κινδύνων σε πραγματικό χρόνο (Zhou et al., 2012). Παράλληλα, η αποτελεσματική πρόληψη απαιτεί την αντιμετώπιση ανθρώπινων παραγόντων, συμπεριλαμβανομένης της εκπαίδευσης και της δημιουργίας κουλτούρας ασφάλειας (Guo et al., 2017).

4.1 Ανάλυση κινδύνων και εκτίμηση επαγγελματικού κινδύνου

Η εκτίμηση κινδύνων αποτελεί το θεμέλιο των συστημάτων διαχείρισης επαγγελματικής ασφάλειας και υγείας στις μηχανολογικές κατασκευές, προσφέροντας συστηματικό πλαίσιο για τον εντοπισμό κινδύνων, την αξιολόγηση κινδύνων και τον καθορισμό κατάλληλων μέτρων ελέγχου (Hallowell & Gambatese, 2010). Η πολυπλοκότητα των μηχανολογικών κατασκευών, με το ποικίλο φάσμα δραστηριοτήτων και εξοπλισμού, απαιτεί εξελιγμένες προσεγγίσεις που καταγράφουν τόσο μεμονωμένους όσο και συστημικούς κινδύνους (Albert et al., 2014).

Οι σύγχρονες μεθοδολογίες εκτίμησης κινδύνων αναγνωρίζουν τη δυναμική φύση των εργοταξίων, όπου οι κίνδυνοι μεταβάλλονται συνεχώς καθώς προχωρούν οι εργασίες και εισάγεται νέος εξοπλισμός (Pinto et al., 2011). Αυτός ο δυναμικός χαρακτήρας απαιτεί προσαρμοστικές προσεγγίσεις που ενημερώνονται συνεχώς κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου. Η ενσωμάτωση ποσοτικών και ποιοτικών μεθόδων

παρέχει εργαλεία που αντιμετωπίζουν τόσο τεχνικές απαιτήσεις όσο και ανθρώπινους παράγοντες (Tixier et al., 2016).

4.1.1 Θεμελιώδεις αρχές της αξιολόγησης κινδύνων

Συστηματικός εντοπισμός κινδύνων

Η αποτελεσματική αξιολόγηση κινδύνων απαιτεί ολοκληρωμένο εντοπισμό που εξετάζει συστηματικά όλες τις πτυχές του κατασκευαστικού έργου (Carter & Smith, 2006). Στις μηχανολογικές κατασκευές, ο εντοπισμός κινδύνων περιλαμβάνει το πλήρες φάσμα κατασκευαστικών δραστηριοτήτων, από την προετοιμασία εργοταξίου έως τη θέση σε λειτουργία.

Η συστηματική προσέγγιση περιλαμβάνει:

- Δομημένες επιθεωρήσεις εργοταξίων και διαδικασιών
- Εξέταση παρόμοιων έργων και ιστορικών δεδομένων
- Διαβούλευση με έμπειρους εργαζομένους και επαγγελματίες ασφαλείας
- Ανάλυση προδιαγραφών εξοπλισμού και δελτίων δεδομένων ασφαλείας υλικών

Φυσικοί κίνδυνοι περιλαμβάνουν πτώσεις από ύψος, χτυπήματα από κινούμενο εξοπλισμό, παγίδευση μεταξύ μηχανημάτων και ηλεκτρικούς κινδύνους (Dong et al., 2013). **Χημικοί κίνδυνοι** εμφανίζονται μέσω έκθεσης σε καπνούς συγκόλλησης, κόλλες, διαλύτες και σκόνη κατασκευών (Park et al., 2009). **Εργονομικοί κίνδυνοι** προκύπτουν από ανύψωση βαρέων αντικειμένων, ακατάλληλες στάσεις εργασίας και επαναλαμβανόμενες κινήσεις (Goldenhar & Schulte, 1994).

Μεθοδολογίες αξιολόγησης κινδύνων

Η αξιολόγηση κινδύνου χρησιμοποιεί τόσο ποιοτικές όσο και ποσοτικές μεθοδολογίες, ανάλογα με τη φύση των κινδύνων και τη διαθεσιμότητα δεδομένων (Faber, 2012).

Ποιοτικές μέθοδοι χρησιμοποιούν πίνακες κινδύνου που συνδυάζουν εκτιμήσεις πιθανότητας και συνεπειών μέσω περιγραφικών κλιμάκων. Τα πλέγματα 3×3, 4×4 και 5×5 είναι συνηθέστερα, με τα πλέγματα 5×5 να προσφέρουν λεπτομερέστερες δυνατότητες αξιολόγησης για πολύπλοκες κατασκευές (Fine & Kinney, 1971).

Ποσοτικές μέθοδοι χρησιμοποιούν αριθμητικά δεδομένα και στατιστική ανάλυση για ακριβέστερες εκτιμήσεις κινδύνου. Η προσομοίωση Monte Carlo αντιπροσωπεύει εξελιγμένη τεχνική που χρησιμοποιεί τυχαία δειγματοληψία για την προσομοίωση χιλιάδων σεναρίων, παρέχοντας κατανομές πιθανοτήτων αντί εκτιμήσεων ενός σημείου (Vose, 2008).

Ενσωμάτωση ανθρώπινων παραγόντων

Οι σύγχρονες μεθοδολογίες αναγνωρίζουν ότι οι ανθρώπινοι παράγοντες διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη δημιουργία και διαχείριση κινδύνων (Reason, 1990). Η ανάλυση ανθρώπινων παραγόντων εξετάζει:

- **Ατομικούς παράγοντες**: κατάρτιση, εμπειρία, φυσικές ικανότητες
- **Παράγοντες εργασίας**: φόρτος εργασίας, πίεση χρόνου, πολυπλοκότητα
- **Οργανωτικούς παράγοντες**: κουλτούρα ασφαλείας, συστήματα επικοινωνίας, κατανομή πόρων

Η κατανόηση των ανθρώπινων παραγόντων επιτρέπει αποτελεσματικότερο σχεδιασμό συστημάτων εργασίας και μέτρων ελέγχου που υποστηρίζουν βέλτιστη ανθρώπινη απόδοση (Dekker, 2006).

Διαδικασία και μεθοδολογία αξιολόγησης κινδύνων

Φάση σχεδιασμού και προετοιμασίας

Η αποτελεσματική αξιολόγηση κινδύνων ξεκινά με ολοκληρωμένο σχεδιασμό που καθορίζει το πεδίο εφαρμογής, τη μεθοδολογία και τις απαιτήσεις πόρων (IEC 31010, 2019). Η σύνθεση διεπιστημονικής ομάδας αξιολόγησης είναι ζωτικής σημασίας, περιλαμβάνοντας διαχειριστές έργων, επαγγελματίες ασφαλείας, έμπειρους εργαζομένους και μηχανικούς σχεδιασμού.

Ο προγραμματισμός πόρων λαμβάνει υπόψη τόσο το άμεσο κόστος διεξαγωγής όσο και το έμμεσο κόστος παύσης εργασιών, αξιολογώντας το σε σχέση με τα οφέλη αποτελεσματικής διαχείρισης κινδύνων (Hallowell & Gambatese, 2009).

Συλλογή και ανάλυση δεδομένων

Η συλλογή δεδομένων περιλαμβάνει συστηματική συγκέντρωση πληροφοριών από πολλαπλές πηγές:

- Σχέδια και προδιαγραφές έργου
- Πληροφορίες ασφαλείας εξοπλισμού και υλικών
- Κανονιστικές απαιτήσεις και πρότυπα κλάδου
- Ιστορικά δεδομένα συμβάντων από παρόμοια έργα
- Επιτόπιες επιθεωρήσεις και παρατηρήσεις

Η διαβούλευση με εργαζομένους αποτελεί ουσιαστικό στοιχείο, καθώς διαθέτουν λεπτομερή γνώση πρακτικών κινδύνων και αποτελεσματικών μέτρων ελέγχου (Pidgeon, 1991).

Χαρακτηρισμός και αξιολόγηση κινδύνου

Ο χαρακτηρισμός κινδύνων ενσωματώνει πληροφορίες από τον εντοπισμό και τη συλλογή δεδομένων για την ανάπτυξη ολοκληρωμένων περιγραφών που

περιλαμβάνουν πιθανές αιτίες, πιθανότητα εμφάνισης, πιθανές συνέπειες και σχέσεις με άλλους κινδύνους.

Η αξιολόγηση μεμονωμένων κινδύνων εκτιμά την πιθανότητα εμφάνισης λαμβάνοντας υπόψη τη συχνότητα έκθεσης, την αξιοπιστία υφιστάμενων μέτρων ελέγχου, τη μεταβλητότητα συνθηκών εργασίας και την πιθανότητα ανθρώπινου λάθους ή βλάβης εξοπλισμού (Aven, 2012).

Εφαρμογές σε περιβάλλοντα μηχανολογικών κατασκευών

Αξιολόγηση κινδύνων πριν από την κατασκευή

Η εκτίμηση κινδύνων πριν από την κατασκευή παρέχει τα θεμέλια για αποτελεσματική διαχείριση ασφάλειας, εντοπίζοντας πιθανούς κινδύνους και θεσπίζοντας μέτρα ελέγχου πριν την έναρξη εργασιών (Gambatese et al., 2008). Αυτή η προληπτική προσέγγιση επιτρέπει την ενσωμάτωση εκτιμήσεων ασφάλειας στον προγραμματισμό, σχεδιασμό και αποφάσεις προμηθειών.

Η αξιολόγηση περιλαμβάνει:

- **Αξιολόγηση φάσης σχεδιασμού**: εξέταση προτεινόμενων μεθόδων κατασκευής και επιλογών εξοπλισμού
- **Αξιολόγηση αλληλουχίας κατασκευής**: εντοπισμό πιθανών συγκρούσεων και σωρευτικών επιπτώσεων
- **Αξιολόγηση κατάστασης εργοταξίου**: εξέταση υφιστάμενων περιβαλλοντικών συνθηκών
- **Αξιολόγηση αλυσίδας εφοδιασμού**: εξέταση ζητημάτων ασφάλειας προμηθευτών

Δυναμική αξιολόγηση κινδύνων κατά τη διάρκεια της κατασκευής

Τα κατασκευαστικά έργα είναι δυναμικά συστήματα όπου οι συνθήκες μεταβάλλονται συνεχώς. Η δυναμική εκτίμηση κινδύνων παρέχει συστηματικές προσεγγίσεις για επικαιροποίηση εκτιμήσεων καθ' όλη τη διάρκεια της κατασκευής (Saurin et al., 2004). Περιλαμβάνει:

- **Εκτιμήσεις κινδύνου ανά εργασία**: λεπτομερή εξέταση επιμέρους δραστηριοτήτων
- **Εκτίμηση περιβαλλοντικού κινδύνου**: παρακολούθηση μεταβαλλόμενων συνθηκών
- **Αξιολόγηση κινδύνων διεπαφής**: εξέταση αλληλεπιδράσεων μεταξύ δραστηριοτήτων

- **Αξιολόγηση ετοιμότητας έκτακτης ανάγκης**: εξέταση επάρκειας σχεδίων αντιμετώπισης

Αξιολόγηση κινδύνων με βάση την τεχνολογία

Η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών επαναστατοποιεί τις προσεγγίσεις εκτίμησης κινδύνου, παρέχοντας νέες δυνατότητες συλλογής δεδομένων, ανάλυσης και παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο (Li et al., 2015).

Τεχνολογίες BIM επιτρέπουν τρισδιάστατη απεικόνιση έργων για λεπτομερή ανάλυση ασφάλειας κατά τις φάσεις σχεδιασμού και προγραμματισμού. **Μη επανδρωμένα αεροσκάφη** παρέχουν δυνατότητες εξ αποστάσεως επιθεώρησης και παρακολούθησης εργοταξίων. **Αισθητήρες IoT** επιτρέπουν παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο περιβαλλοντικών συνθηκών και δραστηριοτήτων εργαζομένων (Zhang et al., 2017).

Τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης παρέχουν δυνατότητες ανάλυσης μεγάλων συνόλων δεδομένων για εντοπισμό μοτίβων και προγνωστική αξιολόγηση κινδύνου (Luo et al., 2020).

Προκλήσεις και περιορισμοί

Ζητήματα ποιότητας και διαθεσιμότητας δεδομένων

Η αποτελεσματικότητα εκτίμησης κινδύνου εξαρτάται από την ποιότητα και διαθεσιμότητα σχετικών δεδομένων. Τα ιστορικά δεδομένα συμβάντων μπορεί να είναι περιορισμένα για καινοτόμες μεθόδους κατασκευής (Hale et al., 2010). Η ποιότητα δεδομένων επηρεάζεται από ασυνεπή συστήματα αναφοράς και πιθανές μεροληψίες στις αναφορές συμβάντων.

Διαχείριση πολυπλοκότητας και αβεβαιότητας

Οι μηχανολογικές κατασκευές περιλαμβάνουν πολύπλοκα συστήματα με πολλαπλά αλληλεπιδρώντα εξαρτήματα, καθιστώντας δύσκολη την πρόβλεψη όλων των πιθανών τρόπων αστοχίας (Perrow, 1999). Η αβεβαιότητα σχετικά με μελλοντικές συνθήκες επηρεάζει την ακρίβεια εκτιμήσεων και την καταλληλότητα μέτρων ελέγχου.

Ενσωμάτωση με συστήματα διαχείρισης έργων

Η αξιολόγηση κινδύνων είναι αποτελεσματικότερη όταν ενσωματώνεται πλήρως στα συστήματα διαχείρισης έργων. Οι περιορισμοί πόρων και οι επικοινωνιακές προκλήσεις μπορεί να περιορίσουν την αποτελεσματικότητα (Jannadi & Assaf, 1998).

Μελλοντικές κατευθύνσεις και καινοτομίες

Προηγμένες αναλυτικές μέθοδοι

Η ανάπτυξη εξελιγμένων αναλυτικών μεθόδων προσφέρει ευκαιρίες βελτίωσης της ακρίβειας εκτίμησης κινδύνου. Οι μέθοδοι Bayes επιτρέπουν ενσωμάτωση

προηγούμενης γνώσης με νέα δεδομένα για αξιόπιστες εκτιμήσεις που ενημερώνονται συνεχώς (Ale et al., 2009).

Οι τεχνικές δικτυακής ανάλυσης παρέχουν δυνατότητες κατανόησης πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ κινδύνων. Οι προσεγγίσεις μηχανικής μάθησης εντοπίζουν μοτίβα σε μεγάλα σύνολα δεδομένων για ακριβέστερη πρόβλεψη πιθανότητας συμβάντος (Sousa et al., 2014).

Παρακολούθηση κινδύνων σε πραγματικό χρόνο

Η ανάπτυξη δυνατοτήτων παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει συνεχή αξιολόγηση μεταβαλλόμενων συνθηκών και άμεση ανταπόκριση σε αναδυόμενες απειλές. Ολοκληρωμένα δίκτυα αισθητήρων παρέχουν συνεχή παρακολούθηση, ενώ προγνωστικές αναλυτικές δυνατότητες προβλέπουν αναδυόμενες συνθήκες κινδύνου (Teizer, 2015).

Συνεργατικές πλατφόρμες αξιολόγησης κινδύνων

Οι συνεργατικές πλατφόρμες που επιτρέπουν συμμετοχή πολλών ενδιαφερομένων βελτιώνουν την πληρότητα και αποδοχή αξιολογήσεων κινδύνων. Οι πλατφόρμες υπολογιστικού νέφους επιτρέπουν ανταλλαγή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο, ενώ οι τεχνολογίες εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας παρέχουν καθηλωτικές εμπειρίες αξιολόγησης (Wang et al., 2016).

4.2 Μέσα ατομικής προστασίας (ΜΑΠ) στις μηχανολογικές κατασκευές

Ο εξοπλισμός ατομικής προστασίας σε περιβάλλοντα μηχανολογικών κατασκευών πρέπει να αντιμετωπίζει τους μοναδικούς κινδύνους που συνδέονται με την κατασκευή βαρέων μηχανημάτων, τις εργασίες συναρμολόγησης και την κατασκευή πολύπλοκων μηχανολογικών συστημάτων. Η επιλογή και η εφαρμογή των κατάλληλων μέσω ατομικής προστασίας (εφεξής αναφορά ως ΜΑΠ) απαιτεί την ολοκληρωμένη κατανόηση των ειδικών για τις κατασκευές κινδύνων, συμπεριλαμβανομένης της έκθεσης σε εργασίες κοπής, σε διαδικασίες συγκόλλησης, σε δραστηριότητες ανύψωσης βαρέων αντικειμένων και στην εγγύτητα σε μηχανήματα που λειτουργούν (Wank et al., 2024). Η αποτελεσματικότητα των συστημάτων ΜΑΠ στις μηχανολογικές κατασκευές εξαρτάται από τη σωστή αξιολόγηση των κινδύνων, τα κριτήρια επιλογής εξοπλισμού και την ενσωμάτωση στις διαδικασίες ροής εργασιών της κατασκευής.

4.2.1 Απαιτήσεις ΜΑΠ ειδικά για τις κατασκευές

Οι μηχανολογικές κατασκευές παρουσιάζουν ξεχωριστές προκλήσεις που απαιτούν εξειδικευμένο προστατευτικό εξοπλισμό πέρα από τα συνήθη βιομηχανικά ΜΑΠ. Τα συστήματα σκληρών καπέλων πρέπει να παρέχουν προστασία από την πτώση αντικειμένων από τις εργασίες γερανών, την τοποθέτηση δομικού χάλυβα και τις δραστηριότητες χειρισμού υλικών που είναι κοινές στα έργα μηχανολογικών κατασκευών. Οι σύγχρονοι σχεδιασμοί σκληρών καπέλων ενσωματώνουν υλικά απορρόφησης κρούσης και διαμορφώσεις εκτεταμένου χείλους που παρέχουν ενισχυμένη προστασία από πλευρικές κρούσεις από ταλαντευόμενα φορτία και την κίνηση του εξοπλισμού (Zahoor et al., 2019).

Η προστασία των ματιών και του προσώπου στις μηχανολογικές κατασκευές πρέπει να αντιμετωπίζει πολλαπλές πηγές κινδύνου, συμπεριλαμβανομένων των εργασιών συγκόλλησης, των δραστηριοτήτων κοπής με φλόγιστρο, των εργασιών λείανσης και της έκθεσης σε υδραυλικό υγρό υπό πίεση. Τα κράνη συγκόλλησης με φίλτρα αυτόματης συσκότισης επιτρέπουν τη συνεχή προστασία κατά τη διάρκεια ποικίλων διαδικασιών συγκόλλησης, διατηρώντας παράλληλα την ορατότητα για ακριβή τοποθέτηση στην εργασία (Hämäläinen et al, 2006). Τα γυαλιά ασφαλείας με πλευρική ασπίδα παρέχουν προστασία από τους σπινθήρες λείανσης και τα μεταλλικά σωματίδια που παράγονται κατά τις διαδικασίες κατασκευής, ενώ οι ασπίδες προσώπου προσφέρουν ολοκληρωμένη προστασία κατά τις βαριές εργασίες λείανσης και κοπής.

Οι απαιτήσεις αναπνευστικής προστασίας στις μηχανολογικές κατασκευές διαφέρουν σημαντικά με βάση τις συγκεκριμένες εργασίες και τα υλικά που εμπλέκονται. Οι εργασίες συγκόλλησης παράγουν αναθυμιάσεις μετάλλων που περιέχουν εξασθενές χρώμιο, μαγγάνιο και άλλες επικίνδυνες ενώσεις, οι οποίες απαιτούν κατάλληλα συστήματα αναπνευστικής προστασίας (Hadi et al., 2019). Οι εργασίες κοπής σε βαμμένες ή επικαλυμμένες επιφάνειες ενδέχεται να παράγουν σωματίδια που περιέχουν μόλυβδο και απαιτούν αναπνευστήρες καθαρισμού του αέρα με κινητήρα. Οι εργασίες σε κλειστούς χώρους κατά την εγκατάσταση μηχανικών συστημάτων απαιτούν αναπνευστικά συστήματα τροφοδοτούμενου αέρα με διατάξεις διαφυγής.

Η προστασία των χεριών και των βραχιόνων στις μηχανολογικές κατασκευές πρέπει να εξισορροπεί την αντίσταση στην κοπή, την προστασία από διάτρηση και τις απαιτήσεις επιδεξιότητας. Τα γάντια ανθεκτικά στα κοψίματα που έχουν βαθμολογηθεί για το επίπεδο ANSI/ISEA A4 ή υψηλότερο παρέχουν προστασία από αιχμηρές ακμές σε

κατασκευασμένα εξαρτήματα, διατηρώντας παράλληλα την επιδεξιότητα των δακτύλων για εργασίες συναρμολόγησης ακριβείας. Τα γάντια ανθεκτικά στα χημικά είναι απαραίτητα κατά το χειρισμό υγρών κοπής, υδραυλικών ελαίων και διαλυτών καθαρισμού που χρησιμοποιούνται συνήθως σε μηχανικές κατασκευαστικές διαδικασίες (McDonald et al., 2009).

4.2.2 Συστήματα προστασίας από πτώση για μηχανολογικές κατασκευές

Η προστασία από πτώση αποτελεί μία από τις πιο κρίσιμες εφαρμογές ΜΑΠ στις μηχανολογικές κατασκευές, όπου οι εργαζόμενοι συχνά εργάζονται σε ύψος κατά την εγκατάσταση εξοπλισμού, τη συναρμολόγηση δομικών στοιχείων και την κατασκευή πρόσβασης συντήρησης. Τα συστήματα ατομικής προστασίας από πτώση πρέπει να σχεδιάζονται ειδικά για τις μοναδικές διαμορφώσεις σημείων αγκύρωσης που συναντώνται σε έργα μηχανολογικών κατασκευών (Cameron & Hare, 2008). Τα κινητά σημεία αγκύρωσης και τα φορητά συστήματα davit επιτρέπουν την προστασία από πτώσεις σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν μόνιμα σημεία αγκύρωσης κατά τη διάρκεια των κατασκευαστικών φάσεων.

Οι ολόσωμες ιμάντες που έχουν σχεδιαστεί για μηχανολογικές κατασκευές ενσωματώνουν πρόσθετα σημεία πρόσδεσης για κορδόνια εργαλείων και συσκευές τοποθέτησης που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια εργασιών συναρμολόγησης ακριβείας. Οι ιμάντες απορρόφησης κραδασμών πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις αυξημένες αποστάσεις πτώσης που είναι συνηθισμένες σε περιβάλλοντα μηχανικών κατασκευών, διατηρώντας παράλληλα τις κατάλληλες δυνάμεις επιβράδυνσης (Zou & Zhang, 2009). Οι αυτοαναδιπλούμενοι κρίκοι ασφαλείας παρέχουν συνεχή προστασία κατά την κίνηση γύρω από μεγάλες μηχανικές συναρμολογήσεις, ενώ ελαχιστοποιούν τους κινδύνους ταξιδιού από το υπερβολικό μήκος του κορδονιού.

Τα συστήματα τοποθέτησης επιτρέπουν στους εργαζόμενους να διατηρούν τη λειτουργία χωρίς χέρια κατά τη διάρκεια δραστηριοτήτων συναρμολόγησης και εγκατάστασης. Οι ζώνες τοποθέτησης εργασίας και τα κορδόνια τοποθέτησης επιτρέπουν στους εργαζόμενους να ακουμπούν πίσω στο σύστημα ενώ εκτελούν εργασίες με δύο χέρια σε μηχανικά εξαρτήματα (Hardison et al., 2008). Τα συστήματα αυτά πρέπει να χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με συστήματα αναχαίτισης πτώσης για να παρέχουν ολοκληρωμένη προστασία από πτώσεις.

4.2.3 Ειδικά ΜΑΠ για μηχανικές κατασκευαστικές διεργασίες

Οι εργασίες συγκόλλησης στις μηχανολογικές κατασκευές απαιτούν ολοκληρωμένη προστασία από πολλαπλούς κινδύνους, συμπεριλαμβανομένης της ακτινοβολίας του τόξου, των καυτών μεταλλικών πιτσιλιών και των τοξικών αναθυμιάσεων. Τα σακάκια συγκόλλησης που κατασκευάζονται από ανθεκτικά στη φλόγα υλικά παρέχουν προστασία από τα πιτσιλίσματα και την ακτινοβολούμενη θερμότητα, ενώ επιτρέπουν επαρκή κινητικότητα για τοποθέτηση σε περιορισμένους χώρους (Καμπουρίδης, 2012). Οι κουβέρτες και οι οθόνες συγκόλλησης προστατεύουν τους παρακείμενους εργαζόμενους και τα υλικά από την ακτινοβολία τόξου και τα πιτσιλίσματα κατά τη διάρκεια εργασιών δομικής συγκόλλησης.

Οι βαριές εργασίες ανύψωσης που είναι συνηθισμένες στις μηχανολογικές κατασκευές απαιτούν εξειδικευμένα ΜΑΠ, συμπεριλαμβανομένων συστημάτων στήριξης της πλάτης και αντικραδασμικών γαντιών για τους χειριστές του εξοπλισμού. Οι συσκευές μαγνητικής ανύψωσης και τα συστήματα ανύψωσης υπό κενό μειώνουν τις απαιτήσεις χειροκίνητου χειρισμού, ενώ το εξειδικευμένο υλικό εξάρτησης εξασφαλίζει την ασφαλή ανύψωση των μηχανικών εξαρτημάτων (Κατσιγιάννη, 2019). Τα συστήματα παρακολούθησης φορτίου που ενσωματώνονται στις λειτουργίες του γερανού παρέχουν ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τα βάρη του φορτίου και το κέντρο βάρους για την αποφυγή συνθηκών υπερφόρτωσης.

Η είσοδος σε περιορισμένο χώρο κατά την εγκατάσταση μηχανικών συστημάτων απαιτεί ολοκληρωμένα συστήματα ΜΑΠ, συμπεριλαμβανομένων της αναπνευστικής προστασίας με παροχή αέρα, συστημάτων επικοινωνίας και εξοπλισμού ανάκτησης έκτακτης ανάγκης. Τα συστήματα βαρούλκου τρίποδα επιτρέπουν την επείγουσα εξαγωγή των εργαζομένων από περιορισμένους χώρους, διατηρώντας παράλληλα τις κατάλληλες δυνάμεις ανάσυρσης (Παντουβάκης, 2003). Ο εξοπλισμός παρακολούθησης αερίων πρέπει να ενσωματωθεί στα συστήματα ΜΑΠ για να παρέχει συνεχή παρακολούθηση της ατμόσφαιρας κατά τη διάρκεια εργασιών σε κλειστούς χώρους.

4.3 Εκπαίδευση των εργαζομένων και πολιτικές ασφαλείας στις μηχανολογικές κατασκευές

Τα ολοκληρωμένα προγράμματα κατάρτισης για τις μηχανολογικές κατασκευές πρέπει να αντιμετωπίζουν την πολύπλοκη αλληλεπίδραση μεταξύ των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων, της γνώσης των μηχανολογικών συστημάτων και των απαιτήσεων

ασφαλείας. Η αποτελεσματικότητα της κατάρτισης εξαρτάται από την ενσωμάτωση της θεωρητικής γνώσης με την πρακτική εφαρμογή που αφορά ειδικά τις διαδικασίες μηχανολογικών κατασκευών (Awwad et al., 2016). Η ανάπτυξη συστημάτων κατάρτισης με βάση τις ικανότητες απαιτεί λεπτομερή ανάλυση των ειδικών καθηκόντων εργασίας, των δεξιοτήτων αναγνώρισης κινδύνων και των ικανοτήτων αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης που είναι μοναδικές στα περιβάλλοντα μηχανολογικών κατασκευών.

4.3.1 Εκπαίδευση για την ασφάλεια ειδικά για το επάγγελμα

Οι μηχανολογικές κατασκευές περιλαμβάνουν πολλά εξειδικευμένα επαγγέλματα, καθένα από τα οποία απαιτεί συγκεκριμένα πρωτόκολλα εκπαίδευσης σε θέματα ασφάλειας. Η εκπαίδευση ασφαλείας στις συγκολλήσεις πρέπει να καλύπτει τις απαιτήσεις κατάλληλου εξαερισμού, τους ελέγχους έκθεσης σε καπνούς, τα μέτρα πρόληψης πυρκαγιάς και τους ειδικούς κινδύνους που σχετίζονται με τις διάφορες διαδικασίες συγκόλλησης που χρησιμοποιούνται στις μηχανολογικές κατασκευές. Η συγκόλληση δομικών κατασκευών απαιτεί πρόσθετη εκπαίδευση σχετικά με την εργασία σε ύψος, τις εκτιμήσεις για τη διαδρομή φορτίου και τον συντονισμό με τις εργασίες γερανών (Ζορμπά, 2016).

Η εκπαίδευση σε μυλωνάδες και εγκαταστάσεις μηχανημάτων επικεντρώνεται στις εργασίες εξάρτησης, στις διαδικασίες ευθυγράμμισης ακριβείας και στους μοναδικούς κινδύνους που σχετίζονται με την εγκατάσταση βαρέων μηχανημάτων. Τα προγράμματα κατάρτισης πρέπει να αφορούν την ορθή χρήση υδραυλικών γρύλων, come-along και εξοπλισμού ευθυγράμμισης, ενώ παράλληλα τονίζουν τη σημασία των διαδικασιών lockout/tagout κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων εγκατάστασης. Οι τεχνικές μέτρησης και ευθυγράμμισης ακριβείας απαιτούν εξειδικευμένη εκπαίδευση για να διασφαλιστεί τόσο η ποιότητα όσο και η ασφάλεια κατά τη διάρκεια των διαδικασιών εγκατάστασης (Καπελέρη, 2016).

Η εκπαίδευση στην τοποθέτηση σωληνώσεων και την εγκατάσταση μηχανολογικών συστημάτων αφορά διαδικασίες εισόδου σε περιορισμένους χώρους, πρωτόκολλα ασφαλείας για δοκιμές πίεσης και ορθή χρήση εξειδικευμένων εργαλείων και εξοπλισμού. Οι δοκιμές υδροστατικής πίεσης απαιτούν ολοκληρωμένη κατανόηση των συστημάτων ανακούφισης από την πίεση, των κατάλληλων διαδικασιών απομόνωσης και των πρωτοκόλλων αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης για αστοχίες του συστήματος πίεσης. Η εκπαίδευση πρέπει να δίνει έμφαση στην κρίσιμη σημασία της τήρησης των

προδιαγραφών του κατασκευαστή και των βιομηχανικών προτύπων για την κατασκευή και τη δοκιμή συστημάτων πίεσης (Καπελέρη, 2016).

4.3.2 Εκπαίδευση για την αναγνώριση κινδύνων και την αξιολόγηση κινδύνων

Η αποτελεσματική εκπαίδευση αναγνώρισης κινδύνων για τους εργαζόμενους στις μηχανολογικές κατασκευές πρέπει να αντιμετωπίζει τη δυναμική φύση των κατασκευαστικών περιβαλλόντων, όπου οι κίνδυνοι αλλάζουν σε όλες τις φάσεις του έργου. Τα προγράμματα κατάρτισης χρησιμοποιούν φωτορεαλιστικά σενάρια και προσομοιώσεις εικονικής πραγματικότητας για να παρέχουν έκθεση σε διάφορες συνθήκες κινδύνου χωρίς πραγματική έκθεση σε κίνδυνο (Παπαιωάννου, 2006). Οι εργαζόμενοι μαθαίνουν να εντοπίζουν πιθανές πηγές ενέργειας, να αξιολογούν τη δομική σταθερότητα και να αξιολογούν τις περιβαλλοντικές συνθήκες που ενδέχεται να επηρεάσουν την ασφαλή εκτέλεση εργασιών.

Η εκπαίδευση εκτίμησης κινδύνου επιτρέπει στους εργαζόμενους να αξιολογούν τις μεταβαλλόμενες συνθήκες και να λαμβάνουν τις κατάλληλες αποφάσεις ασφαλείας κατά τη διάρκεια των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων. Τα πλαίσια λήψης αποφάσεων βοηθούν τους εργαζόμενους να αξιολογούν τους κινδύνους που σχετίζονται με τις καιρικές συνθήκες, τις τροποποιήσεις του εξοπλισμού και τις προσωρινές κατασκευαστικές διαμορφώσεις (Wilson & Garcia, 2021). Η εκπαίδευση τονίζει τη σημασία της επικοινωνίας με την επίβλεψη όταν οι συνθήκες αλλάζουν ή όταν οι εργαζόμενοι εντοπίζουν πιθανούς κινδύνους που δεν αντιμετωπίζονται στις υπάρχουσες διαδικασίες.

Η εκπαίδευση για την αναφορά παρ' ολίγον ατυχημάτων και τη διερεύνηση περιστατικών δημιουργεί μια κουλτούρα συνεχούς βελτίωσης, όπου οι εργαζόμενοι συμμετέχουν ενεργά στις δραστηριότητες εντοπισμού κινδύνων και μείωσης των κινδύνων. Οι εργαζόμενοι μαθαίνουν να αναγνωρίζουν την αξία των συμβάντων παρ' ολίγον ατυχημάτων ως ευκαιρίες μάθησης και αναπτύσσουν δεξιότητες στην τεκμηρίωση και την επικοινωνία πιθανών κινδύνων (Foster & Green, 2022). Η εκπαίδευση αυτή τονίζει τον μη τιμωρητικό χαρακτήρα των συστημάτων αναφοράς ασφάλειας και τη σημασία της ανταλλαγής των διδαγμάτων που αντλούνται από τις ομάδες έργου.

4.3.3 Προγράμματα κατάρτισης ειδικά για τον εξοπλισμό

Η εκπαίδευση για τις εργασίες γερανών και εξαρτημάτων αφορά τις ειδικές απαιτήσεις για τα έργα μηχανολογικών κατασκευών, συμπεριλαμβανομένων των υπολογισμών φορτίου, των διαμορφώσεων εξαρτημάτων και των πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Τα προγράμματα κατάρτισης χρησιμοποιούν πραγματικό εξοπλισμό και ρεαλιστικές διαμορφώσεις φορτίου για να παρέχουν πρακτική εμπειρία με τις κατάλληλες τεχνικές εξάρτησης (Scott & Harrison, 2020). Η εκπαίδευση ατόμων σήμανσης εξασφαλίζει την αποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ των χειριστών γερανών και του προσωπικού εδάφους κατά τη διάρκεια κρίσιμων εργασιών ανύψωσης.

Η εκπαίδευση σε εξειδικευμένο εξοπλισμό αφορά τα μοναδικά εργαλεία και μηχανήματα που χρησιμοποιούνται στις μηχανολογικές κατασκευές, συμπεριλαμβανομένων των υδραυλικών δυναμόκλειδων, των συστημάτων ευθυγράμμισης με λέιζερ και του εξοπλισμού ανάλυσης κραδασμών. Τα προγράμματα κατάρτισης πρέπει να αντιμετωπίζουν τόσο τις επιχειρησιακές πτυχές όσο και τα ζητήματα ασφάλειας για τον εξειδικευμένο εξοπλισμό (Campbell & Turner, 2021). Δίνεται έμφαση στις διαδικασίες σωστής συντήρησης και βαθμονόμησης, ώστε να διασφαλίζεται η αξιοπιστία και η ακρίβεια του εξοπλισμού κατά τη διάρκεια των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων.

Η εκπαίδευση για την ασφάλεια του κινητού εξοπλισμού και των οχημάτων αφορά την αλληλεπίδραση μεταξύ του εξοπλισμού κατασκευών και του προσωπικού σε περιβάλλοντα μηχανικών κατασκευών. Η εκπαίδευση καλύπτει τις κατάλληλες διαδικασίες εντοπισμού, τις ζώνες αποκλεισμού γύρω από τον εξοπλισμό που λειτουργεί και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας για τον συντονισμό της κίνησης του εξοπλισμού με τις κατασκευαστικές δραστηριότητες (Bavafa, 2018). Δίνεται έμφαση στις λειτουργίες οπισθοπορείας και στην ευαισθητοποίηση του τυφλού σημείου λόγω των περιορισμένων χώρων εργασίας που είναι συνηθισμένοι στα έργα μηχανολογικών κατασκευών.

4.3.4 Διαδικασίες αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης και εκκένωσης

Η εκπαίδευση αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης για τις μηχανολογικές κατασκευές πρέπει να αντιμετωπίζει τις μοναδικές προκλήσεις που σχετίζονται με τα πολύπλοκα εργοτάξια και την παρουσία μερικώς ολοκληρωμένων μηχανολογικών συστημάτων. Οι διαδικασίες εκκένωσης πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους εργαζόμενους σε υψόμετρο, τις εργασίες σε περιορισμένους χώρους και το ενδεχόμενο πολλαπλών ταυτόχρονων

καταστάσεων έκτακτης ανάγκης (Ρήγας, 1991). Τα εκπαιδευτικά προγράμματα χρησιμοποιούν ασκήσεις σε τραπέζι και ασκήσεις πλήρους κλίμακας για την επικύρωση των διαδικασιών αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης και τον εντοπισμό τομέων προς βελτίωση.

Η εκπαίδευση για την ιατρική αντιμετώπιση έκτακτης ανάγκης αντιμετωπίζει τις ειδικές προκλήσεις της παροχής ιατρικής περίθαλψης έκτακτης ανάγκης σε περιβάλλοντα κατασκευών. Η εκπαίδευση πρώτων βοηθειών δίνει έμφαση στις διαδικασίες σταθεροποίησης και εκκένωσης που είναι κατάλληλες για εργοτάξια όπου η πρόσβαση μπορεί να είναι περιορισμένη λόγω των συνεχιζόμενων κατασκευαστικών δραστηριοτήτων (Ghosh et al., 2017). Τα συστήματα και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας διασφαλίζουν την ταχεία ειδοποίηση των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης και τον συντονισμό των δραστηριοτήτων αντιμετώπισης.

Οι διαδικασίες έκτακτης ανάγκης για πυρκαγιά αντιμετωπίζουν τους ειδικούς κινδύνους πυρκαγιάς που συνδέονται με τις μηχανολογικές κατασκευές, συμπεριλαμβανομένων των εργασιών συγκόλλησης, των δραστηριοτήτων κοπής με φλόγιστρο και της παρουσίας εύφλεκτων υλικών. Η εκπαίδευση για την πρόληψη πυρκαγιάς δίνει έμφαση στις κατάλληλες διαδικασίες θερμής εργασίας, στις ευθύνες των πυροφυλάκων και στην κατάλληλη χρήση των συστημάτων πυρόσβεσης (Mosly, 2015). Η εκπαίδευση αντιμετωπίζει τις μοναδικές προκλήσεις της κατάσβεσης πυρκαγιών σε περιβάλλοντα κατασκευών, όπου τα αποθέματα νερού μπορεί να είναι περιορισμένα και οι οδοί πρόσβασης μπορεί να εμποδίζονται.

4.4 Σύγχρονες τεχνολογίες για την πρόληψη ατυχημάτων στις μηχανολογικές κατασκευές

Η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών στα συστήματα ασφαλείας μηχανολογικών κατασκευών επιτρέπει τον προληπτικό εντοπισμό κινδύνων και τον μετριασμό των κινδύνων σε πραγματικό χρόνο μέσω εξελιγμένων συστημάτων παρακολούθησης και ελέγχου. Οι σύγχρονες τεχνολογίες ασφάλειας που είναι ειδικά προσαρμοσμένες για περιβάλλοντα μηχανολογικών κατασκευών αντιμετωπίζουν τις μοναδικές προκλήσεις των δυναμικών περιβαλλόντων εργασίας, των λειτουργιών βαρέως εξοπλισμού και των πολύπλοκων διαδικασιών συναρμολόγησης (Tayhen et al., 2019). Οι τεχνολογίες αυτές παρέχουν ενισχυμένη επίγνωση της κατάστασης, αυτοματοποιημένη ανίχνευση κινδύνων και προγνωστική ανάλυση ασφάλειας που βελτιώνουν σημαντικά τις επιδόσεις ασφάλειας στα έργα μηχανολογικών κατασκευών.

4.4.1 Συστήματα εντοπισμού θέσης και προσέγγισης σε πραγματικό χρόνο

Οι τεχνολογίες παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού θέσης (GPS) και συστήματος εντοπισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο (RTLS) παρέχουν συνεχή παρακολούθηση του προσωπικού και του εξοπλισμού σε περιβάλλοντα μηχανολογικών κατασκευών. Τα συστήματα αυτά δημιουργούν εικονικά όρια γύρω από επικίνδυνες περιοχές και παρέχουν αυτοματοποιημένες ειδοποιήσεις όταν οι εργαζόμενοι πλησιάζουν επικίνδυνες ζώνες, όπως ακτίνες περιστροφής γερανών, εξοπλισμό υπό τάση ή ασταθείς δομικές περιοχές (Arabsahi, 2021). Η ενσωμάτωση με κινητές συσκευές επιτρέπει την άμεση ειδοποίηση του προσωπικού ασφαλείας όταν σημειώνονται παραβιάσεις των ορίων, επιτρέποντας την ταχεία παρέμβαση πριν την ανάπτυξη περιστατικών.

Τα συστήματα εντοπισμού θέσης υπερ-ευρείας ζώνης (UWB) παρέχουν ακρίβεια κάτω του μέτρου στον εντοπισμό των θέσεων των εργαζομένων εντός των εργοταξίων, επιτρέποντας την ακριβή παρακολούθηση του προσωπικού σε σχέση με συγκεκριμένους κινδύνους. Τα συστήματα αυτά μπορούν να κάνουν διάκριση μεταξύ εξουσιοδοτημένου προσωπικού και επισκεπτών, διασφαλίζοντας ότι μόνο εκπαιδευμένοι εργαζόμενοι έχουν πρόσβαση σε περιορισμένες περιοχές κατά τη διάρκεια μηχανικών κατασκευαστικών εργασιών (Cheng et al., 2011). Η τεχνολογία ενσωματώνεται με συστήματα ελέγχου πρόσβασης για την αυτόματη χορήγηση ή άρνηση πρόσβασης με βάση τα προσόντα των εργαζομένων και τις τρέχουσες συνθήκες του εργοταξίου.

Τα συστήματα ανίχνευσης προσέγγισης που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για τον κατασκευαστικό εξοπλισμό χρησιμοποιούν τεχνολογίες ραντάρ και ραδιοσυχνοτήτων για τον εντοπισμό του προσωπικού στα τυφλά σημεία του εξοπλισμού και στις ζώνες λειτουργίας. Τα συστήματα αυτά παρέχουν τόσο ηχητικές όσο και οπτικές προειδοποιήσεις στους χειριστές του εξοπλισμού, ενώ ταυτόχρονα προειδοποιούν τους εργαζόμενους που βρίσκονται κοντά σε πιθανές συγκρούσεις (Teizer et al., 2010). Τα προηγμένα συστήματα μπορούν να επιβραδύνουν ή να σταματήσουν αυτόματα τη λειτουργία του εξοπλισμού όταν ανιχνεύεται προσωπικό σε επικίνδυνες ζώνες, παρέχοντας ένα πρόσθετο επίπεδο προστασίας πέρα από την ευαισθητοποίηση του χειριστή.

4.4.2 Φορητή τεχνολογία και φυσιολογική παρακολούθηση

Οι έξυπνες φορητές συσκευές που έχουν σχεδιαστεί για περιβάλλοντα κατασκευών παρακολουθούν τις φυσιολογικές παραμέτρους των εργαζομένων, συμπεριλαμβανομένων του καρδιακού ρυθμού, της θερμοκρασίας του σώματος και των επιπέδων δραστηριότητας, ώστε να εντοπίζουν συνθήκες που ενδέχεται να αυξήσουν τον κίνδυνο ατυχήματος. Η παρακολούθηση της θερμικής καταπόνησης είναι ιδιαίτερα σημαντική στις μηχανολογικές κατασκευές, όπου οι εργαζόμενοι μπορεί να εκτίθενται σε ακτινοβολούμενη θερμότητα από εργασίες συγκόλλησης και σε κλειστούς χώρους με περιορισμένο εξαερισμό (Sun et al., 2021). Τα συστήματα αυτά παρέχουν έγκαιρη προειδοποίηση για ασθένειες που σχετίζονται με τη θερμότητα, επιτρέποντας την παρέμβαση πριν οι εργαζόμενοι καταστούν ανίκανοι.

Τα συστήματα παρακολούθησης της κόπωσης χρησιμοποιούν επιταχυνσιομετρία και αλγορίθμους μηχανικής μάθησης για την ανίχνευση μοτίβων κίνησης και αλλαγών στη στάση του σώματος που υποδεικνύουν κόπωση ή εξασθένιση του εργαζομένου. Τα συστήματα αυτά μπορούν να εντοπίσουν μειωμένους χρόνους αντίδρασης και προβλήματα συντονισμού που μπορεί να αυξήσουν τον κίνδυνο ατυχήματος κατά τη διάρκεια εργασιών συναρμολόγησης ακριβείας (Lee et al., 2017). Η ενσωμάτωση με συστήματα προγραμματισμού επιτρέπει στους επόπτες να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με τις αναθέσεις εργασίας και τα χρονοδιαγράμματα διαλειμμάτων με βάση τα δεδομένα της κατάστασης των μεμονωμένων εργαζομένων.

Τα συστήματα ανίχνευσης πτώσης που ενσωματώνονται σε φορητές συσκευές παρέχουν άμεση ειδοποίηση όταν ένας εργαζόμενος υποστεί πτώση, επιτρέποντας την ταχεία αντιμετώπιση έκτακτης ανάγκης ακόμη και όταν ο εργαζόμενος δεν είναι σε θέση να καλέσει σε βοήθεια. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν εξελιγμένους αλγορίθμους για τη διαφοροποίηση μεταξύ των κανονικών εργασιακών δραστηριοτήτων και των πραγματικών συμβάντων πτώσης, ελαχιστοποιώντας τους ψευδείς συναγερμούς και εξασφαλίζοντας παράλληλα την αξιόπιστη ανίχνευση συνθηκών έκτακτης ανάγκης. Η ενσωμάτωση GPS παρέχει ακριβείς πληροφορίες θέσης στους ανταποκριτές έκτακτης ανάγκης, μειώνοντας τους χρόνους απόκρισης σε μεγάλα εργοτάξια (Smaoui et al., 2018).

4.4.3 Εφαρμογές υπολογιστικής όρασης και τεχνητής νοημοσύνης

Τα συστήματα υπολογιστικής όρασης που χρησιμοποιούν αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης παρακολουθούν τις κατασκευαστικές δραστηριότητες σε πραγματικό

χρόνο για τον εντοπισμό μη ασφαλών συνθηκών και συμπεριφορών πριν από την εκδήλωση περιστατικών. Τα συστήματα αυτά μπορούν να ανιχνεύσουν πότε οι εργαζόμενοι δεν φορούν τα απαιτούμενα ΜΑΠ, να εντοπίσουν μη ασφαλή τοποθέτηση κοντά σε εξοπλισμό λειτουργίας και να αναγνωρίσουν ακατάλληλες τεχνικές ανύψωσης κατά τη διάρκεια εργασιών διακίνησης υλικών (Hong et al., 2016). Οι δυνατότητες μηχανικής μάθησης επιτρέπουν σε αυτά τα συστήματα να προσαρμόζονται στις συγκεκριμένες συνθήκες του εργοταξίου και να μειώνουν τους ψευδείς συναγερμούς, διατηρώντας παράλληλα υψηλή ευαισθησία στους πραγματικούς κινδύνους για την ασφάλεια.

Τα αυτοματοποιημένα συστήματα αναγνώρισης κινδύνων αναλύουν τροφοδοσίες βίντεο από εργοτάξια για να εντοπίζουν δομικές αστάθειες, δυσλειτουργίες εξοπλισμού και περιβαλλοντικούς κινδύνους που μπορεί να μην είναι άμεσα εμφανείς στους εργαζόμενους. Τα συστήματα αυτά μπορούν να ανιχνεύουν λεπτές αλλαγές στην παραμόρφωση της δομής, να εντοπίζουν διαρροές υγρών από υδραυλικά συστήματα και να αναγνωρίζουν μη φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας του εξοπλισμού (Rogers et al., 2015). Η ενσωμάτωση με τα συστήματα διαχείρισης κατασκευών επιτρέπει την αυτόματη διακοπή εργασιών και τις διαδικασίες μετριασμού των κινδύνων όταν ανιχνεύονται κρίσιμες συνθήκες ασφαλείας.

Τα συστήματα προγνωστικής ανάλυσης αναλύουν ιστορικά δεδομένα ασφάλειας, καιρικές συνθήκες και κατασκευαστικές δραστηριότητες για να προβλέψουν περιόδους αυξημένου κινδύνου ατυχημάτων. Τα συστήματα αυτά παρέχουν συστάσεις για πρόσθετα μέτρα ασφαλείας, τροποποιημένες διαδικασίες εργασίας και ενισχυμένη επίβλεψη κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλού κινδύνου. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης βελτιώνουν συνεχώς την ακρίβεια της πρόβλεψης αναλύοντας τη σχέση μεταξύ διαφόρων παραγόντων κινδύνου και της πραγματικής εμφάνισης περιστατικών(Xuan et al., 2021).

4.4.4 Αυτοματοποιημένα συστήματα ασφάλειας και ρομποτική

Τα αυτοματοποιημένα συστήματα ασφαλείας γερανών ενσωματώνουν δείκτες ροπής φορτίου, συστήματα κατά της σύγκρουσης και τεχνολογίες υποστήριξης του χειριστή για την πρόληψη ατυχημάτων που σχετίζονται με γερανούς κατά τη διάρκεια μηχανικών κατασκευαστικών εργασιών. Αυτά τα συστήματα παρακολουθούν συνεχώς τα βάρη φορτίου, τις γωνίες βραχίονα και την εγγύτητα σε άλλες κατασκευές για να διασφαλίζουν ασφαλείς συνθήκες λειτουργίας (Mitropoulos et al., 2009). Τα

αυτοματοποιημένα συστήματα μπορούν να αποτρέψουν μη ασφαλείς εργασίες ανύψωσης περιορίζοντας τις κινήσεις του γερανού όταν οι παράμετροι λειτουργίας υπερβαίνουν τα ασφαλή όρια.

Ο τηλεχειριζόμενος και αυτόνομος εξοπλισμός μειώνει την έκθεση των εργαζομένων σε επικίνδυνες συνθήκες κατά τη διάρκεια μηχανικών κατασκευαστικών δραστηριοτήτων. Τα τηλεχειριζόμενα συστήματα συγκόλλησης επιτρέπουν στους χειριστές να εκτελούν εργασίες συγκόλλησης από ασφαλείς αποστάσεις, διατηρώντας παράλληλα τον ακριβή έλεγχο των παραμέτρων συγκόλληση. Τα αυτόνομα συστήματα χειρισμού υλικών μπορούν να μεταφέρουν βαριά εξαρτήματα και υλικά χωρίς να απαιτείται η δραστηριοποίηση των εργαζομένων σε επικίνδυνες περιοχές (Yigitcanlar et al., 2021). Τα ρομποτικά συστήματα επιθεώρησης παρέχουν λεπτομερή αξιολόγηση της ποιότητας των κατασκευών και των συνθηκών ασφαλείας χωρίς να απαιτείται η πρόσβαση των εργαζομένων σε επικίνδυνες περιοχές. Τα συστήματα αυτά μπορούν να εκτελούν επιθεωρήσεις συγκολλήσεων, δομικές αξιολογήσεις και έλεγχο διαστάσεων σε περιορισμένους χώρους και σε υψόμετρο όπου η πρόσβαση του ανθρώπου συνεπάγεται σημαντικό κίνδυνο (Thompson & Adams, 2022). Η ενσωμάτωση με συστήματα διαχείρισης κατασκευών επιτρέπει τον έλεγχο της ποιότητας και την επαλήθευση της ασφάλειας σε πραγματικό χρόνο καθ' όλη τη διάρκεια των κατασκευαστικών διαδικασιών.

4.4.5 Ολοκληρωμένες πλατφόρμες διαχείρισης της ασφάλειας

Οι ολοκληρωμένες πλατφόρμες διαχείρισης ασφάλειας ενσωματώνουν πολλαπλά τεχνολογικά συστήματα για την παροχή κεντρικής παρακολούθησης και ελέγχου των δραστηριοτήτων ασφάλειας στις κατασκευές. Αυτές οι πλατφόρμες συνδυάζουν δεδομένα θέσης σε πραγματικό χρόνο, παρακολούθηση του περιβάλλοντος, κατάσταση του εξοπλισμού και φυσιολογικά δεδομένα των εργαζομένων για να παρέχουν στους επόπτες πλήρη επίγνωση της κατάστασης (Choi et al., 2017). Τα συστήματα ταμπλό επιτρέπουν τον γρήγορο εντοπισμό των αναπτυσσόμενων ζητημάτων ασφάλειας και τον συντονισμό των κατάλληλων δραστηριοτήτων αντιμετώπισης.

Οι κινητές εφαρμογές διαχείρισης της ασφάλειας παρέχουν στους εργαζόμενους άμεση πρόσβαση σε διαδικασίες ασφαλείας, εργαλεία εντοπισμού κινδύνων και συστήματα επικοινωνίας έκτακτης ανάγκης. Αυτές οι εφαρμογές μπορούν να παρέχουν πληροφορίες ασφάλειας για συγκεκριμένη τοποθεσία, ειδοποιήσεις κινδύνου σε πραγματικό χρόνο και άμεση επικοινωνία με το προσωπικό ασφαλείας. Η ενσωμάτωση

με συστήματα κατάρτισης διασφαλίζει ότι οι εργαζόμενοι έχουν πρόσβαση σε σχετικές πληροφορίες και διαδικασίες ασφαλείας που αφορούν τις τρέχουσες εργασιακές τους δραστηριότητες (Lee et al., 2015).

Τα συστήματα προληπτικής συντήρησης που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για τον κατασκευαστικό εξοπλισμό ενσωματώνουν τα δεδομένα παρακολούθησης της κατάστασης με τα συστήματα διαχείρισης της ασφάλειας για την πρόληψη βλαβών του εξοπλισμού που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε περιστατικά ασφαλείας. Τα συστήματα αυτά παρακολουθούν την υδραυλική πίεση, τις θερμοκρασίες των ρουλεμάν και τα επίπεδα κραδασμών για να εντοπίζουν τα αναπτυσσόμενα προβλήματα προτού οδηγήσουν σε βλάβη του εξοπλισμού (Laminou et al., 2019). Ο αυτοματοποιημένος προγραμματισμός συντήρησης διασφαλίζει ότι ο εξοπλισμός παραμένει σε ασφαλή κατάσταση λειτουργίας καθ' όλη τη διάρκεια των κατασκευαστικών έργων. Οι πλατφόρμες ανάλυσης δεδομένων αναλύουν δεδομένα επιδόσεων ασφάλειας για τον εντοπισμό τάσεων, την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των παρεμβάσεων ασφάλειας και τη σύσταση βελτιώσεων στα προγράμματα ασφάλειας. Τα συστήματα αυτά μπορούν να εντοπίσουν συσχετίσεις μεταξύ διαφόρων παραγόντων και επιδόσεων ασφάλειας, επιτρέποντας τη λήψη αποφάσεων βάσει στοιχείων για την ανάπτυξη προγραμμάτων ασφάλειας. Η ενσωμάτωση με βιομηχανικές βάσεις δεδομένων επιτρέπει τη συγκριτική αξιολόγηση των επιδόσεων ασφάλειας σε σχέση με παρόμοια κατασκευαστικά έργα και τον εντοπισμό βέλτιστων πρακτικών.

Κεφάλαιο 5 Μεθοδολογίες Ανάλυσης Κινδύνων και Ατυχημάτων στον Κατασκευαστικό Τομέα

5.1 Θεμελιώδεις αρχές της εκτίμησης κινδύνου

Εισαγωγή

Η πολυπλοκότητα των έργων μηχανολογικών κατασκευών, τα οποία περιλαμβάνουν την ενσωμάτωση βαρέων μηχανημάτων, μηχανικών συστημάτων ακριβείας και εξελιγμένων διαδικασιών εγκατάστασης, καθιστά αναγκαία μια ολοκληρωμένη προσέγγιση αξιολόγησης κινδύνων που εκτείνεται πέρα από τα παραδοσιακά παραδείγματα ασφάλειας στις κατασκευές (Aven, 2016). Οι σύγχρονες μεθοδολογίες αξιολόγησης κινδύνων για τις μηχανολογικές κατασκευές πρέπει να αντιμετωπίζουν τις μοναδικές προκλήσεις που θέτουν τα δυναμικά περιβάλλοντα εργασίας, η

τεχνολογική πολυπλοκότητα και η διεπιστημονική φύση της εγκατάστασης και συντήρησης μηχανολογικών συστημάτων.

Η εξέλιξη των πρακτικών εκτίμησης κινδύνου στις μηχανολογικές κατασκευές έχει επηρεαστεί σημαντικά από τα μεγάλα βιομηχανικά ατυχήματα και την επακόλουθη ανάπτυξη κανονιστικών πλαισίων που έχουν σχεδιαστεί για την πρόληψη της επανάληψής τους, μετά από χαρακτηριστικά περιστατικά όπως η καταστροφή του Flixborough το 1974 και η τραγωδία με το αέριο Bhopal το 1984 αναδεικνύοντας την κρίσιμη σημασία της συστηματικής εκτίμησης κινδύνου στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις, οδηγώντας στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων προτύπων και μεθοδολογιών διαχείρισης κινδύνου ειδικά προσαρμοσμένων για εφαρμογές μηχανολογικών κατασκευών (Khan & Abbasi, 1999). Τα γεγονότα αυτά λειτούργησαν ως παράγοντες παρακίνησης στην ανάπτυξη ποσοτικών τεχνικών εκτίμησης κινδύνου που θα μπορούσαν να αντιμετωπίσουν επαρκώς τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ μηχανικών συστημάτων, ανθρώπινων παραγόντων και περιβαλλοντικών συνθηκών που χαρακτηρίζουν τα σύγχρονα έργα βιομηχανικών κατασκευών.

Η σύγχρονη αξιολόγηση κινδύνων στις μηχανολογικές κατασκευές λειτουργεί στο πλαίσιο διεθνώς αναγνωρισμένων προτύπων και μεθοδολογιών, συμπεριλαμβανομένων του ISO 31000:2018 για τις αρχές διαχείρισης κινδύνων, του ISO 45001:2018 για τα συστήματα διαχείρισης της επαγγελματικής υγείας και ασφάλειας, καθώς και των ειδικών για τον κλάδο κατευθυντήριων γραμμών που έχουν αναπτυχθεί από οργανισμούς όπως η Αμερικανική Εταιρεία Μηχανολόγων Μηχανικών (ASME) και το Ίδρυμα Μηχανολόγων Μηχανικών (IMechE). Τα πρότυπα αυτά παρέχουν μια δομημένη προσέγγιση για την αξιολόγηση κινδύνων που δίνει έμφαση στον συστηματικό εντοπισμό κινδύνων, την αξιολόγηση των συναφών κινδύνων και την εφαρμογή κατάλληλων μέτρων ελέγχου για τη μείωση των κινδύνων σε αποδεκτά επίπεδα (ISO, 2018a). Η ενσωμάτωση αυτών των προτύπων στις πρακτικές μηχανολογικών κατασκευών έχει οδηγήσει σε πιο ισχυρές και ολοκληρωμένες διαδικασίες αξιολόγησης κινδύνων που αντικατοπτρίζουν καλύτερα την πολυπλοκότητα και τη διεπιστημονική φύση των σύγχρονων κατασκευαστικών έργων.

5.1.2 Θεωρητική θεμελίωση της εκτίμησης κινδύνου

Η θεωρητική θεμελίωση της εκτίμησης κινδύνου στις μηχανολογικές κατασκευές βασίζεται σε διάφορες θεμελιώδεις αρχές που τη διακρίνουν από άλλες μορφές εντοπισμού και ελέγχου κινδύνων. Η διαδικασία εκτίμησης κινδύνου στις

μηχανολογικές κατασκευές ακολουθεί συνήθως μια συστηματική μεθοδολογία που αποτελείται από πέντε πρωταρχικές φάσεις: εντοπισμός κινδύνου, ανάλυση κινδύνου, αξιολόγηση κινδύνου, αντιμετώπιση κινδύνου και παρακολούθηση και επανεξέταση. Ο εντοπισμός κινδύνων περιλαμβάνει τη συστηματική εξέταση όλων των πτυχών του κατασκευαστικού έργου για τον εντοπισμό πιθανών πηγών βλάβης, συμπεριλαμβανομένων των μηχανικών κινδύνων από μηχανήματα και εξοπλισμό, των φυσικών κινδύνων από περιβαλλοντικές συνθήκες, των χημικών κινδύνων από υλικά και διαδικασίες και των εργονομικών κινδύνων από πρακτικές και διαδικασίες εργασίας (Rausand, 2011). Η φάση αυτή απαιτεί εκτεταμένες γνώσεις των αρχών της μηχανολογίας, των κατασκευαστικών διαδικασιών και των πιθανών αλληλεπιδράσεων μεταξύ διαφόρων συστημάτων και εξαρτημάτων.

Η ανάλυση κινδύνου, η δεύτερη φάση της διαδικασίας αξιολόγησης, περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της πιθανότητας και των συνεπειών της υλοποίησης των εντοπισμένων κινδύνων σε πραγματικά περιστατικά. Στις μηχανολογικές κατασκευές, η ανάλυση αυτή πρέπει να εξετάζει τόσο τις άμεσες συνέπειες της έκθεσης σε κινδύνους όσο και το ενδεχόμενο αλυσιδωτών αστοχιών που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε σοβαρότερα αποτελέσματα. Η ανάλυση χρησιμοποιεί συνήθως τόσο ποιοτικές όσο και ποσοτικές τεχνικές, με τις ποσοτικές μεθόδους να αποκτούν ολοένα και μεγαλύτερη σημασία για πολύπλοκα μηχανικά συστήματα όπου απαιτούνται ακριβείς εκτιμήσεις κινδύνου για σκοπούς λήψης αποφάσεων (Bedford & Cooke, 2001). Οι τεχνικές αυτές περιλαμβάνουν την ανάλυση δένδρων σφαλμάτων, την ανάλυση δένδρων συμβάντων και τις μεθόδους προσομοίωσης Monte Carlo που μπορούν να αποτυπώσουν τη στοχαστική φύση του κινδύνου σε πολύπλοκα μηχανικά συστήματα.

Η αξιολόγηση κινδύνων περιλαμβάνει τη σύγκριση των εκτιμώμενων κινδύνων με προκαθορισμένα κριτήρια για να καθοριστεί εάν οι κίνδυνοι είναι αποδεκτοί ή απαιτούν περαιτέρω αντιμετώπιση. Στις μηχανολογικές κατασκευές, τα κριτήρια αυτά βασίζονται συνήθως σε κανονιστικές απαιτήσεις, βιομηχανικά πρότυπα και οργανωτικά επίπεδα ανοχής κινδύνου. Η διαδικασία αξιολόγησης πρέπει να λαμβάνει υπόψη όχι μόνο το μέγεθος των μεμονωμένων κινδύνων, αλλά και τη σωρευτική επίδραση πολλαπλών κινδύνων και το ενδεχόμενο αστοχιών κοινής αιτίας που θα μπορούσαν να επηρεάσουν ταυτόχρονα πολλά συστήματα (Αποστολάκης, 2004). Αυτή η φάση αξιολόγησης είναι κρίσιμη για τον προσδιορισμό του κατάλληλου επιπέδου αντιμετώπισης των κινδύνων που απαιτούνται και για τον καθορισμό προτεραιοτήτων για τις προσπάθειες μείωσης των κινδύνων.

5.1.3 Μεθοδολογίες προσδιορισμού κινδύνων

Ο προσδιορισμός κινδύνων στις μηχανολογικές κατασκευές απαιτεί συστηματικές μεθοδολογίες ικανές να καταγράφουν ολοκληρωμένα το ποικίλο φάσμα των πιθανών κινδύνων που υπάρχουν σε πολύπλοκα μηχανολογικά συστήματα και περιβάλλοντα κατασκευών. Οι παραδοσιακές τεχνικές αναγνώρισης κινδύνων, όπως οι προσεγγίσεις που βασίζονται σε καταλόγους ελέγχου και οι επιθεωρήσεις με περίπατο, ενώ είναι πολύτιμες για τον εντοπισμό προφανών κινδύνων, συχνά δεν μπορούν να αποτυπώσουν τις λεπτές αλληλεπιδράσεις και τους τρόπους αστοχίας που χαρακτηρίζουν τα σύγχρονα μηχανολογικά συστήματα (Kletz, 2001). Οι προηγμένες μεθοδολογίες αναγνώρισης κινδύνων, συμπεριλαμβανομένων των Μελετών Επικινδυνότητας και Λειτουργικότητας (HAZOP), της Ανάλυσης Τρόπου Αστοχίας και Επιπτώσεων (FMEA) και της Ανάλυσης Τι-Εάν, παρέχουν πιο δομημένες προσεγγίσεις για τη συστηματική εξέταση πιθανών αποκλίσεων από τις κανονικές συνθήκες λειτουργίας και τις συνέπειές τους.

Οι μελέτες HAZOP, που αναπτύχθηκαν αρχικά για τις βιομηχανίες χημικών διεργασιών, έχουν προσαρμοστεί με επιτυχία για εφαρμογές μηχανολογικών κατασκευών, παρέχοντας μια συστηματική μέθοδο για τον εντοπισμό κινδύνων που σχετίζονται με αποκλίσεις από την πρόθεση σχεδιασμού σε μηχανολογικά συστήματα. Η μεθοδολογία HAZOP χρησιμοποιεί μια ομαδική προσέγγιση που εξετάζει συστηματικά κάθε στοιχείο ενός μηχανολογικού συστήματος χρησιμοποιώντας λέξεις-οδηγούς όπως "περισσότερο", "λιγότερο", "όχι" και "αντίστροφα" για τον εντοπισμό πιθανών αποκλίσεων και των συνεπειών τους (Crawley & Tyler, 2015). Αυτή η προσέγγιση είναι ιδιαίτερα πολύτιμη για πολύπλοκα μηχανικά συστήματα, όπου η αλληλεπίδραση μεταξύ των στοιχείων μπορεί να δημιουργήσει απροσδόκητα σενάρια κινδύνου που μπορεί να μην είναι εμφανή μέσω λιγότερο συστηματικών προσεγγίσεων.

Η FMEA παρέχει ένα άλλο ισχυρό εργαλείο για τον εντοπισμό κινδύνων στις μηχανολογικές κατασκευές, εστιάζοντας στους πιθανούς τρόπους αστοχίας των επιμέρους εξαρτημάτων και στις επιπτώσεις τους στην απόδοση και την ασφάλεια του συστήματος. Η διαδικασία FMEA εξετάζει συστηματικά κάθε στοιχείο ενός μηχανικού συστήματος για τον εντοπισμό πιθανών τρόπων αστοχίας, των αιτιών τους και των επιπτώσεών τους στη λειτουργία και την ασφάλεια του συστήματος (Σταμάτης, 2003). Αυτή η μεθοδολογία είναι ιδιαίτερα πολύτιμη κατά τη φάση του σχεδιασμού των

μηχανολογικών έργων, όπου οι τροποποιήσεις για τη μείωση της πιθανότητας ή των συνεπειών των αστοχιών των συστατικών στοιχείων μπορούν να εφαρμοστούν πιο αποδοτικά από ό,τι σε μεταγενέστερες φάσεις του έργου.

Οι τεχνικές ποσοτικής εκτίμησης κινδύνου έχουν αποκτήσει αυξανόμενη σημασία στις μηχανολογικές κατασκευές, καθώς τα έργα έχουν γίνει πιο πολύπλοκα και οι συνέπειες των αστοχιών πιο σοβαρές. Οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιούν μαθηματικά μοντέλα για την εκτίμηση της πιθανότητας και των συνεπειών διαφόρων σεναρίων αστοχίας, παρέχοντας μια πιο αντικειμενική βάση για τη λήψη αποφάσεων με βάση τον κίνδυνο. Οι μέθοδοι προσομοίωσης Monte Carlo είναι ιδιαίτερα πολύτιμες για τη μοντελοποίηση των πολύπλοκων πιθανοτικών σχέσεων μεταξύ πολλαπλών πηγών κινδύνου και των πιθανών συνεπειών τους, επιτρέποντας την ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας στις εκτιμήσεις κινδύνου και τον προσδιορισμό των κρίσιμων παραγόντων κινδύνου (Vose, 2000).

5.1.4 Προηγμένες τεχνικές ανάλυσης κινδύνου

Η ποσοτική ανάλυση των κινδύνων στις μηχανολογικές κατασκευές απαιτεί εξελιγμένες μεθοδολογίες ικανές να αποτυπώνουν επαρκώς τις πολύπλοκες σχέσεις μεταξύ των πηγών κινδύνου, των οδών έκθεσης και των πιθανών συνεπειών. Οι τεχνικές πιθανολογικής εκτίμησης κινδύνου (PRA) έχουν αναδειχθεί ως το βασικό πρότυπο για την ποσοτική ανάλυση κινδύνου σε πολύπλοκα μηχανικά συστήματα, παρέχοντας ένα πλαίσιο για τη συστηματική μοντελοποίηση της πιθανότητας και των συνεπειών διαφόρων σεναρίων αστοχίας (Kumamoto & Henley, 2000). Οι μεθοδολογίες PRA χρησιμοποιούν δέντρα συμβάντων και δέντρα σφαλμάτων για τη μοντελοποίηση των λογικών σχέσεων μεταξύ των συμβάντων έναρξης, των αντιδράσεων ασφαλείας του συστήματος και των τελικών συνεπειών, επιτρέποντας την ποσοτικοποίηση τόσο των μεμονωμένων όσο και των σωρευτικών κινδύνων.

Η ανάλυση δένδρων σφαλμάτων αποτελεί μία από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές για τη μοντελοποίηση των λογικών σχέσεων μεταξύ αστοχιών εξαρτημάτων και συνεπειών σε επίπεδο συστήματος στις μηχανολογικές κατασκευές. Τα δέντρα σφαλμάτων παρέχουν μια γραφική αναπαράσταση των λογικών συνδυασμών αστοχιών εξαρτημάτων που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ένα συγκεκριμένο ανεπιθύμητο συμβάν, επιτρέποντας την ποσοτική αξιολόγηση της αξιοπιστίας του συστήματος και τον προσδιορισμό των κρίσιμων οδών αστοχίας (Vesely et al., 1981). Η κατασκευή δέντρων σφαλμάτων για μηχανικά συστήματα απαιτεί λεπτομερή γνώση του

σχεδιασμού του συστήματος, των τρόπων αστοχίας και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του συστήματος.

Η ανάλυση δένδρων συμβάντων συμπληρώνει την ανάλυση δένδρων σφαλμάτων με τη μοντελοποίηση της ακολουθίας των συμβάντων που θα μπορούσαν να ακολουθήσουν ένα εναρκτήριο συμβάν, λαμβάνοντας υπόψη την απόδοση των συστημάτων ασφαλείας και τη δυνατότητα ανθρώπινης παρέμβασης. Τα δέντρα γεγονότων είναι ιδιαίτερα πολύτιμα για τη μοντελοποίηση των συνεπειών των γεγονότων έναρξης σε μηχανολογικές κατασκευές, όπου το τελικό αποτέλεσμα εξαρτάται από την απόδοση πολλαπλών συστημάτων ασφαλείας και την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης (McCormick, 1981). Ο συνδυασμός των αναλύσεων δένδρων σφαλμάτων και δένδρων συμβάντων παρέχει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για την ποσοτική εκτίμηση κινδύνου που μπορεί να αποτυπώσει τόσο την πιθανότητα των συμβάντων έναρξης όσο και το εύρος των πιθανών συνεπειών.

Τα δίκτυα Bayes έχουν αναδειχθεί ως ένα ισχυρό εργαλείο για την ανάλυση κινδύνου στις μηχανολογικές κατασκευές, παρέχοντας ένα ευέλικτο πλαίσιο για τη μοντελοποίηση πολύπλοκων εξαρτήσεων μεταξύ παραγόντων κινδύνου και την επικαιροποίηση των εκτιμήσεων κινδύνου με βάση νέα στοιχεία. Τα Μπεϋζιανά δίκτυα αναπαριστούν πιθανοτικές σχέσεις μεταξύ μεταβλητών χρησιμοποιώντας κατευθυνόμενους ακυκλικούς γράφους, επιτρέποντας τη μοντελοποίηση πολύπλοκων αιτιωδών σχέσεων και την ενσωμάτωση της κρίσης εμπειρογνωμόνων όταν τα εμπειρικά δεδομένα είναι περιορισμένα (Jensen & Nielsen, 2007). Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα πολύτιμη στις μηχανολογικές κατασκευές, όπου η μοναδικότητα πολλών έργων περιορίζει τη διαθεσιμότητα ιστορικών δεδομένων για την ανάλυση κινδύνων.

5.1.5 Αξιολόγηση κινδύνων και ανάπτυξη κριτηρίων

Η αξιολόγηση των κινδύνων στις μηχανολογικές κατασκευές απαιτεί τη θέσπιση κατάλληλων κριτηρίων κινδύνου που αντικατοπτρίζουν τις κανονιστικές απαιτήσεις, τα πρότυπα του κλάδου και την οργανωτική ανοχή σε κινδύνους. Τα κριτήρια κινδύνου συνήθως καθορίζουν αποδεκτά επίπεδα ατομικού και κοινωνικού κινδύνου, παρέχοντας σημεία αναφοράς με τα οποία μπορούν να συγκριθούν οι εκτιμώμενοι κίνδυνοι για να προσδιοριστεί η ανάγκη για πρόσθετα μέτρα μείωσης του κινδύνου. Η ανάπτυξη κριτηρίων κινδύνου για τις μηχανολογικές κατασκευές πρέπει να λαμβάνει

υπόψη τα ειδικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος κατασκευής, συμπεριλαμβανομένου του προσωρινού χαρακτήρα πολλών εκθέσεων σε κινδύνους και του δυναμικού τόσο άμεσων όσο και καθυστερημένων επιπτώσεων στην υγεία (Cox, 2008).

Ο καθορισμός κριτηρίων κινδύνου πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος των μηχανολογικών κατασκευών, συμπεριλαμβανομένου του προσωρινού χαρακτήρα πολλών εκθέσεων σε κινδύνους και των δυναμικών συνθηκών που μπορεί να έχουν τόσο άμεσες όσο και καθυστερημένες επιπτώσεις στην υγεία. Η διαδικασία απαιτεί προσεκτική εξέταση των προοπτικών πολλαπλών ενδιαφερομένων μερών, συμπεριλαμβανομένων των εργαζομένων, της διοίκησης, των ρυθμιστικών αρχών και του κοινού, καθένα από τα οποία μπορεί να έχει διαφορετικά επίπεδα ανοχής σε κινδύνους και προτεραιότητες (Fischhoff et al., 1981).

Οι αρχές ALARP (As Low As Reasonably Practicable) έχουν υιοθετηθεί ευρέως στη διαχείριση κινδύνων στις μηχανολογικές κατασκευές, παρέχοντας ένα πλαίσιο για τον προσδιορισμό του πότε οι κίνδυνοι έχουν μειωθεί σε αποδεκτά επίπεδα. Η προσέγγιση ALARP αναγνωρίζει ότι η πλήρης εξάλειψη του κινδύνου δεν είναι συχνά ούτε τεχνικά εφικτή ούτε οικονομικά δικαιολογημένη, απαιτώντας μια ισορροπημένη προσέγγιση που λαμβάνει υπόψη τόσο το μέγεθος του κινδύνου όσο και το κόστος και την πρακτικότητα των μέτρων μείωσης του κινδύνου (Melchers, 2001). Η αρχή αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική στις μηχανολογικές κατασκευές, όπου η πολυπλοκότητα και η δυναμική φύση των έργων απαιτούν συχνά προσεγγίσεις διαχείρισης κινδύνων που μπορούν να προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες και στους αναδυόμενους κινδύνους.

5.1.6 Στρατηγικές ελέγχου και μετριασμού των κινδύνων

Η εφαρμογή αποτελεσματικών μέτρων ελέγχου των κινδύνων στις μηχανολογικές κατασκευές ακολουθεί την καθιερωμένη ιεραρχία των ελέγχων, η οποία δίνει προτεραιότητα στην εξάλειψη και την υποκατάσταση έναντι των μέσων ατομικής προστασίας και των διοικητικών ελέγχων. Στο πλαίσιο των μηχανολογικών κατασκευών, η εξάλειψη περιλαμβάνει την πλήρη απομάκρυνση των κινδύνων μέσω τροποποιήσεων του σχεδιασμού ή εναλλακτικών μεθόδων κατασκευής, ενώ η υποκατάσταση περιλαμβάνει την αντικατάσταση επικίνδυνων υλικών, διαδικασιών ή εξοπλισμού με λιγότερο επικίνδυνες εναλλακτικές λύσεις (NIOSH, 2015). Αυτές οι

προσεγγίσεις είναι πιο αποτελεσματικές όταν εφαρμόζονται κατά τη φάση σχεδιασμού των έργων, όπου μπορούν να γίνουν θεμελιώδεις αλλαγές στο σχεδιασμό του συστήματος και στις μεθόδους κατασκευής χωρίς σημαντικές ποινές κόστους.

Οι μηχανολογικοί έλεγχοι αντιπροσωπεύουν το επόμενο επίπεδο στην ιεραρχία των ελέγχων και είναι ιδιαίτερα σημαντικοί στις μηχανολογικές κατασκευές, όπου η πολυπλοκότητα των μηχανολογικών συστημάτων συχνά αποκλείει την πλήρη εξάλειψη των κινδύνων. Οι μηχανολογικοί έλεγχοι περιλαμβάνουν τον σχεδιασμό και την εγκατάσταση συστημάτων ασφαλείας, προστατευτικών φραγμών, συστημάτων εξαερισμού και αυτοματοποιημένων συσκευών ασφαλείας που μπορούν να μειώσουν την πιθανότητα ή τις συνέπειες της έκθεσης σε κινδύνους χωρίς να βασίζονται στην ανθρώπινη συμπεριφορά (Goetsch, 2019). Η αποτελεσματικότητα των τεχνικών ελέγχων στις μηχανολογικές κατασκευές εξαρτάται από την ενσωμάτωσή τους στον συνολικό σχεδιασμό του συστήματος και την ικανότητά τους να λειτουργούν αξιόπιστα σε όλο το φάσμα των συνθηκών λειτουργίας που ενδέχεται να συναντηθούν κατά την κατασκευή και τη λειτουργία.

Οι διοικητικοί έλεγχοι και οι πρακτικές εργασίας διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στον έλεγχο των κινδύνων στις μηχανολογικές κατασκευές, ιδίως για τους κινδύνους που δεν μπορούν να ελεγχθούν επαρκώς μόνο με μηχανικά μέσα. Οι έλεγχοι αυτοί περιλαμβάνουν την ανάπτυξη και εφαρμογή διαδικασιών ασφαλούς εργασίας, προγραμμάτων κατάρτισης, συστημάτων αδειοδότησης και προγραμμάτων επιθεώρησης και συντήρησης που διασφαλίζουν τη συνεχή αποτελεσματικότητα άλλων μέτρων ελέγχου (Reese, 2018). Η αποτελεσματικότητα των διοικητικών ελέγχων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την οργανωτική δέσμευση για την ασφάλεια, την επάρκεια των προγραμμάτων κατάρτισης και τη συνεπή επιβολή των διαδικασιών ασφαλείας.

Ο ατομικός προστατευτικός εξοπλισμός (ΜΑΠ) χρησιμεύει ως η τελευταία γραμμή άμυνας στην ιεραρχία των ελέγχων και είναι απαραίτητος για την προστασία των εργαζομένων από υπολειπόμενους κινδύνους που δεν μπορούν να ελεγχθούν επαρκώς με άλλα μέσα. Στις μηχανολογικές κατασκευές, οι απαιτήσεις ΜΑΠ είναι συχνά πολύπλοκες και πρέπει να αντιμετωπίζουν ταυτόχρονα πολλούς τύπους κινδύνων, απαιτώντας προσεκτική επιλογή και ενσωμάτωση διαφορετικών προστατευτικών συσκευών (Coletta, 2006). Η αποτελεσματικότητα των ΜΑΠ εξαρτάται όχι μόνο από τη σωστή επιλογή του εξοπλισμού αλλά και από τη σωστή τοποθέτηση, τη συντήρηση και την εκπαίδευση στη χρήση του.

5.1.7 Ενσωμάτωση της τεχνολογίας στην αξιολόγηση κινδύνων

Η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών στις διαδικασίες εκτίμησης κινδύνου έχει φέρει επανάσταση στην πρακτική της διαχείρισης κινδύνου στις μηχανολογικές κατασκευές, παρέχοντας νέα εργαλεία και δυνατότητες για τον εντοπισμό κινδύνων, την ανάλυση κινδύνου και την παρακολούθηση του συστήματος ελέγχου. Οι ψηφιακές τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένης της μοντελοποίησης κτιριακών πληροφοριών (BIM), των αισθητήρων του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), της τεχνητής νοημοσύνης και των συστημάτων εικονικής πραγματικότητας, χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για τη βελτίωση της ακρίβειας, της πληρότητας και της αποτελεσματικότητας των διαδικασιών εκτίμησης κινδύνου (Teizer et al., 2017). Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν την παρακολούθηση των παραγόντων κινδύνου σε πραγματικό χρόνο, την προγνωστική ανάλυση πιθανών αστοχιών και τα καθηλωτικά περιβάλλοντα εκπαίδευσης που μπορούν να βελτιώσουν την κατανόηση των διαδικασιών ασφάλειας και τις δεξιότητες αναγνώρισης κινδύνων μεταξύ των εργαζομένων.

Η τεχνολογία BIM έχει αναδειχθεί ως ένα ιδιαίτερα ισχυρό εργαλείο για την αξιολόγηση κινδύνων στις μηχανολογικές κατασκευές, παρέχοντας μια τρισδιάστατη ψηφιακή αναπαράσταση του έργου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό πιθανών συγκρούσεων, προβλημάτων πρόσβασης και κινδύνων ασφαλείας πριν από την έναρξη της κατασκευής. Τα μοντέλα BIM μπορούν να ενσωματωθούν σε βάσεις δεδομένων αξιολόγησης κινδύνων για τον αυτόματο εντοπισμό πιθανών κινδύνων με βάση τους τύπους εξαρτημάτων, τις διαμορφώσεις και τις χωρικές σχέσεις, βελτιώνοντας σημαντικά την αποτελεσματικότητα και την πληρότητα των διαδικασιών εντοπισμού κινδύνων (Zhang et al., 2015). Η δυνατότητα απεικόνισης πολύπλοκων μηχανικών συστημάτων σε τρεις διαστάσεις διευκολύνει την επικοινωνία σχετικά με τους κινδύνους και τα μέτρα ελέγχου μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών του έργου και επιτρέπει ενημερώσεις όταν καθίστανται διαθέσιμες νέες πληροφορίες ή όταν αλλάζουν οι συνθήκες.

Οι αισθητήρες IoT και τα συστήματα παρακολούθησης επιτρέπουν την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των περιβαλλοντικών συνθηκών, της απόδοσης του εξοπλισμού και της συμπεριφοράς των εργαζομένων, παρέχοντας συνεχή ανατροφοδότηση σχετικά με τα επίπεδα κινδύνου και την αποτελεσματικότητα των μέτρων ελέγχου. Τα συστήματα αυτά μπορούν να ανιχνεύουν αυτόματα αποκλίσεις

από τις κανονικές συνθήκες λειτουργίας και να ενεργοποιούν ειδοποιήσεις ή αυτοματοποιημένες αντιδράσεις για την πρόληψη περιστατικών (Li et al., 2018). Η ενσωμάτωση των συστημάτων IoT με τις διαδικασίες αξιολόγησης κινδύνων επιτρέπει τη δυναμική διαχείριση κινδύνων που μπορεί να προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες του έργου και να παρέχει έγκαιρη προειδοποίηση για πιθανά προβλήματα.

Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης εφαρμόζονται ολοένα και περισσότερο στην αξιολόγηση κινδύνων στις μηχανολογικές κατασκευές, παρέχοντας δυνατότητες αναγνώρισης προτύπων, προγνωστικής ανάλυσης και αυτοματοποιημένης λήψης αποφάσεων που μπορούν να ενισχύσουν την αποτελεσματικότητα των παραδοσιακών μεθόδων αξιολόγησης κινδύνων. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να αναλύσουν μεγάλα σύνολα δεδομένων ιστορικών συμβάντων, παραλίγο ατυχημάτων και επιχειρησιακών δεδομένων για τον εντοπισμό μοτίβων και σχέσεων που μπορεί να μην είναι εμφανείς μέσω των παραδοσιακών αναλυτικών μεθόδων (Poh et al., 2018). Αυτές οι δυνατότητες είναι ιδιαίτερα πολύτιμες για τον εντοπισμό αναδυόμενων κινδύνων και την ανάπτυξη προγνωστικών μοντέλων που μπορούν να προβλέψουν την πιθανότητα μελλοντικών συμβάντων.

5.1.8 Ρυθμιστικό πλαίσιο και πρότυπα

Το κανονιστικό πλαίσιο που διέπει την αξιολόγηση κινδύνων στις μηχανολογικές κατασκευές είναι πολύπλοκο και πολυεπίπεδο, περιλαμβάνοντας διεθνή πρότυπα, εθνικούς κανονισμούς και κατευθυντήριες γραμμές για τον συγκεκριμένο κλάδο, οι οποίες καθορίζουν συλλογικά τις ελάχιστες απαιτήσεις για την αξιολόγηση και τη διαχείριση κινδύνων. Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO) έχει αναπτύξει διάφορα βασικά πρότυπα που αποτελούν τη βάση για τις πρακτικές εκτίμησης κινδύνου, όπως το ISO 31000:2018 για τις αρχές και τις κατευθυντήριες γραμμές διαχείρισης κινδύνου, το ISO 45001:2018 για τα συστήματα διαχείρισης της επαγγελματικής υγείας και ασφάλειας και το ISO 12100:2010 για την ασφάλεια των μηχανημάτων (ISO, 2018b). Τα πρότυπα αυτά παρέχουν ένα συνεκτικό πλαίσιο για την αξιολόγηση κινδύνων που μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορες δικαιοδοσίες και κλάδους της βιομηχανίας.

Σε εθνικό επίπεδο, ρυθμιστικοί οργανισμοί, όπως η Διοίκηση Ασφάλειας και Υγείας στην Εργασία (OSHA) στις Ηνωμένες Πολιτείες, η Εκτελεστική Αρχή Υγείας και Ασφάλειας (HSE) στο Ηνωμένο Βασίλειο και παρόμοιοι οργανισμοί σε άλλες χώρες,

έχουν θεσπίσει συγκεκριμένες απαιτήσεις για την εκτίμηση κινδύνων στις κατασκευές και τις μηχανολογικές εφαρμογές. Οι κανονισμοί αυτοί συνήθως επιβάλλουν τη διενέργεια εκτιμήσεων κινδύνου για συγκεκριμένους τύπους εργασιακών δραστηριοτήτων και καθορίζουν ελάχιστα πρότυπα για το περιεχόμενο και την τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων της εκτίμησης (OSHA, 2019). Η συμμόρφωση με αυτές τις κανονιστικές απαιτήσεις είναι υποχρεωτική και η μη διεξαγωγή επαρκών αξιολογήσεων κινδύνου μπορεί να έχει σημαντικές νομικές και οικονομικές συνέπειες. Οι ειδικές για τον κλάδο κατευθυντήριες γραμμές και πρότυπα παρέχουν πρόσθετες λεπτομέρειες σχετικά με τις απαιτήσεις εκτίμησης κινδύνου για συγκεκριμένους τύπους δραστηριοτήτων μηχανολογικών κατασκευών. Επαγγελματικοί οργανισμοί, όπως η Αμερικανική Εταιρεία Μηχανολόγων Μηχανικών (ASME), το Ίδρυμα Μηχανολόγων Μηχανικών (IMechE) και η Αμερικανική Ένωση Βιομηχανικής Υγιεινής (AIHA), έχουν αναπτύξει λεπτομερή έγγραφα καθοδήγησης που παρέχουν συγκεκριμένες μεθοδολογίες και κριτήρια για την εκτίμηση κινδύνου στους αντίστοιχους τομείς εμπειρογνωμοσύνης τους (ASME, 2019). Οι εν λόγω κατευθυντήριες γραμμές παρέχουν συχνά λεπτομερέστερες τεχνικές απαιτήσεις από τα γενικά κανονιστικά πρότυπα και αντιπροσωπεύουν τις βέλτιστες πρακτικές του κλάδου για την εκτίμηση κινδύνου. Η επιβολή των απαιτήσεων εκτίμησης κινδύνου διαφέρει σημαντικά στις διάφορες δικαιοδοσίες, με ορισμένες χώρες να διατηρούν ισχυρά προγράμματα επιθεώρησης και επιβολής, ενώ άλλες να βασίζονται κυρίως στην αυτορρύθμιση του κλάδου. Η αποτελεσματικότητα της κανονιστικής επιβολής έχει σημαντικό αντίκτυπο στην ποιότητα των πρακτικών εκτίμησης κινδύνου και στο συνολικό επίπεδο επιδόσεων ασφάλειας στις μηχανολογικές κατασκευές (Tompa et al., 2007).

5.1.9 Αναδυόμενες τεχνολογίες και μελλοντικές κατευθύνσεις

Η ταχεία εξέλιξη της τεχνολογίας στις μηχανολογικές κατασκευές, συμπεριλαμβανομένων των αυτοματισμών, των έξυπνων συστημάτων και των νέων υλικών, δημιουργεί νέους τύπους κινδύνων που δεν είχαν εντοπιστεί προηγουμένως. Τα σύγχρονα συστήματα διαχείρισης κτιρίων (BMS) και οι εφαρμογές του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) εισάγουν κινδύνους και πολυπλοκότητα στον κυβερνοχώρο που απαιτούν νέες προσεγγίσεις για την ασφάλεια. Η χρήση προηγμένων υλικών, όπως τα σύνθετα πολυμερή και τα νανοϋλικά, μπορεί να εισάγει νέους κινδύνους για την υγεία, οι οποίοι δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητοί. Επιπλέον, η αυξημένη εξάρτηση από τα

ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου δημιουργεί κινδύνους από δυσλειτουργίες του λογισμικού που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε απρόβλεπτη συμπεριφορά της μηχανής.

Η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης στις διαδικασίες εκτίμησης κινδύνων αποτελεί σημαντική πρόοδο στον τομέα, επιτρέποντας πιο εξελιγμένη ανάλυση πολύπλοκων προτύπων και σχέσεων κινδύνου. Οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να επεξεργαστούν τεράστιες ποσότητες δεδομένων από πολλαπλές πηγές, συμπεριλαμβανομένων ιστορικών αναφορών ατυχημάτων, αρχείων συντήρησης, βάσεων δεδομένων κατάρτισης και συστημάτων παρακολούθησης του περιβάλλοντος, για να αναπτύξουν ολοκληρωμένες εικόνες των παραγόντων που συμβάλλουν στα συμβάντα (Russell & Norvig, 2016). Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να εντοπίσουν λεπτά μοτίβα στα δεδομένα διερεύνησης που μπορούν να ενημερώσουν για αποτελεσματικότερες στρατηγικές πρόληψης και να βοηθήσουν στην ιεράρχηση των περιορισμένων πόρων ασφάλειας.

Οι τεχνολογίες εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας παρέχουν νέες ευκαιρίες για την εκπαίδευση και την επικύρωση της εκτίμησης κινδύνων, επιτρέποντας στους εργαζόμενους και τους επαγγελματίες της ασφάλειας να βιώσουν επικίνδυνα σενάρια σε ένα ασφαλές, ελεγχόμενο περιβάλλον. Οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία καθηλωτικών προσομοιώσεων κατασκευαστικών περιβαλλόντων που επιτρέπουν στους εργαζόμενους να εξασκούνται στην αναγνώριση κινδύνων και στις διαδικασίες αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης χωρίς να εκτίθενται σε πραγματικούς κινδύνους (Sacks et al., 2013). Η εικονική πραγματικότητα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την επικύρωση των αποτελεσμάτων της αξιολόγησης κινδύνων, επιτρέποντας στους ενδιαφερόμενους να βιώσουν εικονικά τα προτεινόμενα κατασκευαστικά σενάρια και να εντοπίσουν πιθανούς κινδύνους που μπορεί να έχουν παραβλεφθεί στις παραδοσιακές διαδικασίες αξιολόγησης.

5.2 Μέθοδοι ανάλυσης ατυχημάτων

Εισαγωγή

Η ανάλυση ατυχημάτων στις μηχανολογικές κατασκευές αποτελεί κρίσιμη συνιστώσα των συστημάτων διαχείρισης της ασφάλειας, παρέχοντας ουσιώδεις γνώσεις σχετικά με τις υποκείμενες αιτίες των περιστατικών στο χώρο εργασίας και χρησιμεύοντας ως βάση για την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών πρόληψης. Η πολυπλοκότητα των περιβαλλόντων μηχανολογικών κατασκευών, που χαρακτηρίζονται από την ενσωμάτωση εξελιγμένων μηχανημάτων, πολύπλοκων διαδικασιών εγκατάστασης και δυναμικών συνθηκών εργασίας, απαιτεί ολοκληρωμένες αναλυτικές προσεγγίσεις ικανές να εξετάζουν συστηματικά τόσο τα άμεσα όσο και τα βαθύτερα αίτια των ατυχημάτων (Heinrich et al., 1980). Οι σύγχρονες μεθοδολογίες ανάλυσης ατυχημάτων έχουν εξελιχθεί από τις απλές έρευνες αιτίου-αποτελέσματος σε εξελιγμένες προσεγγίσεις που βασίζονται στη θεωρία συστημάτων και αναγνωρίζουν τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ τεχνικών, ανθρώπινων και οργανωτικών παραγόντων που συμβάλλουν στην πρόκληση ατυχημάτων.

Η σύγχρονη ανάλυση ατυχημάτων στις μηχανολογικές κατασκευές λειτουργεί σε ένα πλαίσιο που αναγνωρίζει την πολυπαραγοντική φύση της αιτιότητας των ατυχημάτων και χρησιμοποιεί διάφορες αναλυτικές μεθοδολογίες για την εξέταση διαφορετικών πτυχών της εμφάνισης των ατυχημάτων. Οι μεθοδολογίες αυτές κυμαίνονται από τα παραδοσιακά διαδοχικά μοντέλα που εντοπίζουν την αιτιότητα των ατυχημάτων μέσω αλυσίδων γεγονότων έως τις σύγχρονες συστημικές προσεγγίσεις που εξετάζουν τα ατυχήματα ως αναδυόμενες ιδιότητες πολύπλοκων προσαρμοστικών συστημάτων (Leveson, 2011). Η επιλογή των κατάλληλων αναλυτικών μεθόδων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της πολυπλοκότητας του συμβάντος, της διαθεσιμότητας δεδομένων, του οργανωτικού πλαισίου και της προβλεπόμενης χρήσης των αποτελεσμάτων της ανάλυσης.

Η σημασία της συστηματικής ανάλυσης ατυχημάτων στις μηχανολογικές κατασκευές δεν μπορεί να υπερτιμηθεί, καθώς παρέχει την εμπειρική βάση για τη διαχείριση της ασφάλειας βάσει στοιχείων και τη συνεχή βελτίωση των επιδόσεων ασφάλειας. Η αποτελεσματική ανάλυση ατυχημάτων όχι μόνο εντοπίζει τις άμεσες αιτίες των συμβάντων, αλλά αποκαλύπτει επίσης τις υποκείμενες συστημικές αδυναμίες που θα μπορούσαν να συμβάλουν σε μελλοντικά ατυχήματα, επιτρέποντας στους οργανισμούς να εφαρμόζουν ολοκληρωμένες στρατηγικές πρόληψης που αντιμετωπίζουν τόσο τα

συμπτώματα όσο και τα βαθύτερα αίτια (Reason, 1997). Επιπλέον, η ανάλυση ατυχημάτων εξυπηρετεί σημαντικές λειτουργίες οργανωσιακής μάθησης, βοηθώντας στη σύλληψη και διάδοση της γνώσης για την ασφάλεια σε ολόκληρο τον οργανισμό και συμβάλλοντας στην ανάπτυξη θεσμικής μνήμης που μπορεί να αποτρέψει την επανάληψη παρόμοιων περιστατικών.

5.2.1 Παραδοσιακά μοντέλα ανάλυσης ατυχημάτων

Τα παραδοσιακά μοντέλα ανάλυσης ατυχημάτων στις μηχανολογικές κατασκευές έχουν ιστορικά στηριχθεί σε διαδοχικές, γραμμικές προσεγγίσεις που προσπαθούν να ανιχνεύσουν την αιτιώδη συνάφεια των ατυχημάτων μέσω αλυσίδων γεγονότων που οδηγούν από τα αρχικά αίτια στα τελικά αποτελέσματα. Η θεωρία του ντόμινο, η οποία προτάθηκε για πρώτη φορά από τον Heinrich το 1931 και στη συνέχεια βελτιώθηκε από διάφορους ερευνητές, αποτελεί μια από τις πρώτες συστηματικές προσεγγίσεις στην ανάλυση ατυχημάτων και εξακολουθεί να επηρεάζει τη σύγχρονη σκέψη για την ασφάλεια (Heinrich et al., 1980). Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, τα ατυχήματα προκύπτουν από ακολουθίες γεγονότων που μπορούν να αναπαρασταθούν ως ντόμινο που πέφτει, όπου η αφαίρεση οποιουδήποτε μεμονωμένου ντόμινο στην ακολουθία θα απέτρεπε την εκδήλωση του ατυχήματος. Αν και το μοντέλο αυτό παρέχει ένα χρήσιμο πλαίσιο για την κατανόηση απλών ακολουθιών ατυχημάτων, η γραμμική του φύση περιορίζει την εφαρμογή του σε πολύπλοκα περιβάλλοντα μηχανικών κατασκευών όπου πολλαπλοί αιτιολογικοί παράγοντες μπορεί να αλληλεπιδρούν με μη γραμμικούς τρόπους (Park & Kim, 2013).

Η μέθοδος ανάλυσης δέντρων σφαλμάτων, που αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1960 για αεροδιαστημικές εφαρμογές, παρέχει μια πιο εξελιγμένη προσέγγιση στην ανάλυση ατυχημάτων που μπορεί να καταγράψει πολλαπλές αιτιώδεις οδούς και τις λογικές τους σχέσεις. Τα δέντρα σφαλμάτων χρησιμοποιούν λογική Boolean για να μοντελοποιήσουν τους συνδυασμούς αστοχιών εξαρτημάτων και ανθρώπινων σφαλμάτων που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε συγκεκριμένα αποτελέσματα ατυχημάτων, παρέχοντας ένα συστηματικό πλαίσιο για τον εντοπισμό κρίσιμων τρόπων αστοχίας και την αξιολόγηση της σχετικής συμβολής τους στον συνολικό κίνδυνο του συστήματος (Vesely et al., 1981). Σε εφαρμογές μηχανολογικών κατασκευών, η ανάλυση δένδρων σφαλμάτων είναι ιδιαίτερα πολύτιμη για την ανάλυση ατυχημάτων που αφορούν σύνθετα μηχανικά συστήματα, όπου πολλαπλοί τρόποι αστοχίας μπορεί να συμβάλουν στην τελική έκβαση. Η ικανότητα της μεθόδου

να ποσοτικοποιεί την πιθανότητα διαφορετικών σεναρίων αστοχίας την καθιστά επίσης χρήσιμη για την ιεράρχηση των προσπαθειών πρόληψης και την κατανομή των περιορισμένων πόρων ασφάλειας (Li et al., 2012).

Η ανάλυση δένδρων συμβάντων συμπληρώνει την ανάλυση δένδρων σφαλμάτων με τη μοντελοποίηση της ακολουθίας των συμβάντων που ακολουθούν ένα εναρκτήριο συμβάν, λαμβάνοντας υπόψη την απόδοση των συστημάτων ασφαλείας και τη δυνατότητα ανθρώπινης παρέμβασης για την πρόληψη ή τον μετριασμό των συνεπειών του ατυχήματος. Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την ανάλυση ατυχημάτων σε μηχανολογικές κατασκευές, όπου το τελικό αποτέλεσμα εξαρτάται από την απόδοση πολλαπλών φραγμών ασφαλείας και την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης (McCormick, 1981). Τα δέντρα συμβάντων παρέχουν ένα συστηματικό πλαίσιο για την εξέταση της απόδοσης των συστημάτων ασφαλείας κατά τη διάρκεια ενός συμβάντος και τον εντοπισμό ευκαιριών για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητάς τους στην πρόληψη μελλοντικών ατυχημάτων (Kim et al., 2013).

Το μοντέλο ελβετικού τυριού, που αναπτύχθηκε από τον James Reason, παρέχει ένα άλλο επιδραστικό πλαίσιο για την κατανόηση της αιτιότητας των ατυχημάτων σε πολύπλοκα συστήματα. Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, τα ατυχήματα συμβαίνουν όταν τα κενά σε πολλαπλά αμυντικά στρώματα ευθυγραμμίζονται για να δημιουργήσουν ένα μονοπάτι για να φτάσουν οι κίνδυνοι στα πιθανά θύματα (Reason, 1997). Κάθε αμυντικό στρώμα αντιπροσωπεύει έναν διαφορετικό τύπο φραγμού ασφαλείας, συμπεριλαμβανομένων των τεχνικών συστημάτων ασφαλείας, των διοικητικών διαδικασιών και της ανθρώπινης επαγρύπνησης. Το μοντέλο τονίζει ότι τα ατυχήματα συνήθως προκύπτουν από την αποτυχία πολλαπλών αμυντικών στρωμάτων και όχι από αστοχίες ενός σημείου, υπογραμμίζοντας τη σημασία της διατήρησης ισχυρών στρατηγικών άμυνας σε βάθος. Στις μηχανολογικές κατασκευές, το μοντέλο του ελβετικού τυριού είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την ανάλυση ατυχημάτων που περιλαμβάνουν πολλαπλές αστοχίες συστημάτων ασφαλείας και για τον εντοπισμό ευκαιριών για την ενίσχυση των αμυντικών στρωμάτων (Hadikusumo et al., 2002).

Η ανάλυση bow-tie αντιπροσωπεύει μια υβριδική προσέγγιση που συνδυάζει στοιχεία της δενδροειδούς ανάλυσης σφαλμάτων και της δενδροειδούς ανάλυσης συμβάντων για να παρέχει μια ολοκληρωμένη εικόνα της αιτιότητας των ατυχημάτων και της διαχείρισης των συνεπειών. Το διάγραμμα bow-tie τοποθετεί το συμβάν του ατυχήματος στο κέντρο, με την ανάλυση δέντρου σφαλμάτων στα αριστερά να εξετάζει

τις διάφορες οδούς που θα μπορούσαν να οδηγήσουν στο ατύχημα και την ανάλυση δέντρου συμβάντων στα δεξιά να εξετάζει τις πιθανές συνέπειες και τα εμπόδια που θα μπορούσαν να τις αποτρέψουν ή να τις μετριάσουν. Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα πολύτιμη για εφαρμογές μηχανολογικών κατασκευών, επειδή παρέχει μια ολιστική άποψη τόσο της πρόληψης ατυχημάτων όσο και του μετριασμού των συνεπειών, βοηθώντας τους οργανισμούς να αναπτύξουν ολοκληρωμένες στρατηγικές διαχείρισης της ασφάλειας (de Ruijter & Guldenmund, 2016).

5.2.2 Προσεγγίσεις ανάλυσης ατυχημάτων με βάση τα συστήματα

Η αναγνώριση ότι τα παραδοσιακά γραμμικά μοντέλα είναι ανεπαρκή για την κατανόηση των ατυχημάτων σε πολύπλοκα κοινωνικο-τεχνικά συστήματα οδήγησε στην ανάπτυξη προσεγγίσεων ανάλυσης ατυχημάτων με βάση τα συστήματα, οι οποίες εξετάζουν τα ατυχήματα ως αναδυόμενες ιδιότητες της συμπεριφοράς του συστήματος και όχι ως απλές ακολουθίες αιτίου-αποτελέσματος. Οι προσεγγίσεις αυτές αναγνωρίζουν ότι τα σύγχρονα έργα μηχανολογικών κατασκευών λειτουργούν ως πολύπλοκα προσαρμοστικά συστήματα που χαρακτηρίζονται από δυναμικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ τεχνικών, ανθρώπινων και οργανωτικών στοιχείων, όπου μικρές αλλαγές σε ένα μέρος του συστήματος μπορεί να έχουν απροσδόκητες συνέπειες σε ένα άλλο μέρος (Dekker, 2011). Οι συστημικές προσεγγίσεις επικεντρώνονται στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο αυτές οι αλληλεπιδράσεις συμβάλλουν στην εμφάνιση ατυχημάτων και στον τρόπο με τον οποίο ο σχεδιασμός του συστήματος και οι πρακτικές διαχείρισης μπορούν να τροποποιηθούν ώστε να βελτιωθεί η συνολική απόδοση της ασφάλειας.

Το πλαίσιο Systems-Theoretic Accident Model and Processes (STAMP), που αναπτύχθηκε από τη Nancy Leveson, αντιπροσωπεύει μια από τις πιο ολοκληρωμένες προσεγγίσεις που βασίζονται σε συστήματα για την ανάλυση ατυχημάτων. Το STAMP θεωρεί ότι τα ατυχήματα οφείλονται σε ανεπαρκή έλεγχο των περιορισμών που σχετίζονται με την ασφάλεια και όχι σε αστοχίες εξαρτημάτων ή ανθρώπινα λάθη. Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, η ασφάλεια προκύπτει από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων του συστήματος και όχι ως εγγενής ιδιότητα των μεμονωμένων στοιχείων. Το πλαίσιο τονίζει τη σημασία των δομών ελέγχου και των βρόχων ανατροφοδότησης στη διατήρηση της ασφάλειας του συστήματος και παρέχει συστηματικές μεθόδους για την ανάλυση του τρόπου με τον οποίο αυτές οι δομές

ελέγχου μπορούν να καταρρεύσουν και να επιτρέψουν την εκδήλωση ατυχημάτων(Leveson, 2011).

Η μέθοδος Causal Analysis using Systems Theory (CAST) παρέχει μια δομημένη προσέγγιση για την εφαρμογή των αρχών STAMP στη διερεύνηση και ανάλυση ατυχημάτων. Η CAST εξετάζει τα ατυχήματα αναλύοντας τη δομή ελέγχου που υποτίθεται ότι θα απέτρεπε το ατύχημα και προσδιορίζοντας τον τρόπο με τον οποίο η δομή αυτή απέτυχε να διατηρήσει επαρκείς περιορισμούς ασφαλείας (Leveson, 2011). Η μέθοδος εξετάζει συστηματικά κάθε επίπεδο της ιεραρχίας ελέγχου, από τις ρυθμιστικές αρχές και την εταιρική διοίκηση έως τους μεμονωμένους φορείς εκμετάλλευσης, για να κατανοήσει πώς ο ανεπαρκής έλεγχος σε κάθε επίπεδο συνέβαλε στο ατύχημα. Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα πολύτιμη για εφαρμογές μηχανολογικών κατασκευών, επειδή μπορεί να καταγράψει τους πολύπλοκους οργανωτικούς και ρυθμιστικούς παράγοντες που συχνά συμβάλλουν σε μεγάλα ατυχήματα στον τομέα αυτό.

Η Μέθοδος Ανάλυσης Λειτουργικού Συντονισμού (FRAM) παρέχει μια άλλη συστημική προσέγγιση που εστιάζει στη μεταβλητότητα της καθημερινής απόδοσης και στο πώς αυτή η μεταβλητότητα μπορεί να συνδυαστεί για να παράγει απροσδόκητα αποτελέσματα. Η FRAM αναγνωρίζει ότι οι ίδιοι μηχανισμοί που επιτρέπουν στα συστήματα να λειτουργούν αποτελεσματικά υπό κανονικές συνθήκες μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε ατυχήματα όταν η μεταβλητότητα της απόδοσης συντονίζεται με απροσδόκητους τρόπους (Hollnagel, 2012). Η μέθοδος εξετάζει τα ατυχήματα μοντελοποιώντας τις λειτουργίες που ήταν ενεργές κατά τη διάρκεια του συμβάντος και αναλύοντας τον τρόπο με τον οποίο η μεταβλητότητα αυτών των λειτουργιών συνδυάστηκε για να παραγάγει το αποτέλεσμα του ατυχήματος. Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για τις μηχανολογικές κατασκευές, όπου η δυναμική και διαρκώς μεταβαλλόμενη φύση των εργασιακών περιβαλλόντων δημιουργεί συνθήκες όπου η μεταβλητότητα των επιδόσεων είναι αναπόφευκτη.

Η προσέγγιση AcciMap, που αναπτύχθηκε από τον Rasmussen και άλλους, παρέχει ένα ιεραρχικό πλαίσιο για την ανάλυση ατυχημάτων που εξετάζει τους αιτιώδεις παράγοντες σε πολλαπλά επίπεδα του κοινωνικοτεχνικού συστήματος, από την κυβερνητική πολιτική και τη ρυθμιστική εποπτεία έως τις ατομικές ενέργειες των χειριστών (Rasmussen, 1997). Οι AcciMaps αναπαριστούν την αιτιότητα των ατυχημάτων ως ένα δίκτυο παραγόντων που συμβάλλουν και κατανέμονται σε διάφορα επίπεδα της ιεραρχίας του συστήματος, βοηθώντας τους αναλυτές να κατανοήσουν πώς

οι αποφάσεις και οι ενέργειες σε υψηλότερα επίπεδα του συστήματος δημιουργούν συνθήκες που επιτρέπουν την εκδήλωση ατυχημάτων σε χαμηλότερα επίπεδα. Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα πολύτιμη για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οργανωτικοί και ρυθμιστικοί παράγοντες συμβάλλουν στα ατυχήματα στις μηχανολογικές κατασκευές και για τον εντοπισμό παρεμβάσεων σε επίπεδο συστήματος που θα μπορούσαν να αποτρέψουν παρόμοια ατυχήματα στο μέλλον (Ge et al., 2014).

Το σύστημα ανάλυσης και ταξινόμησης ανθρώπινων παραγόντων (HFACS) παρέχει ένα πλαίσιο ειδικά σχεδιασμένο για την ανάλυση της συμβολής των ανθρώπινων παραγόντων στα ατυχήματα, διατηρώντας παράλληλα τη συμβατότητα με τις παραδοσιακές προσεγγίσεις διερεύνησης ατυχημάτων. Το HFACS βασίζεται στο μοντέλο ελβετικού τυριού του Reason, αλλά παρέχει πιο λεπτομερείς ταξινομήσεις για την ταξινόμηση των διαφόρων τύπων ανθρώπινων σφαλμάτων και των οργανωτικών παραγόντων που συμβάλλουν σε αυτά. Το πλαίσιο εξετάζει τη συμβολή του ανθρώπινου παράγοντα σε τέσσερα ιεραρχικά επίπεδα: μη ασφαλείς πράξεις (σφάλματα και παραβιάσεις), προϋποθέσεις για μη ασφαλείς πράξεις (περιβαλλοντικοί παράγοντες, κατάσταση του χειριστή και παράγοντες του προσωπικού), μη ασφαλής εποπτεία (ανεπαρκής εποπτεία, προγραμματισμένες ακατάλληλες λειτουργίες, αποτυχία διόρθωσης προβλημάτων και παραβιάσεις της εποπτείας) και οργανωτικές επιδράσεις (διαχείριση πόρων, οργανωτικό κλίμα και οργανωτική διαδικασία). Αυτή η ιεραρχική προσέγγιση βοηθά τους ερευνητές να κατανοήσουν όχι μόνο τι ανθρώπινα σφάλματα συνέβησαν, αλλά και γιατί συνέβησαν και ποιες οργανωτικές αλλαγές θα μπορούσαν να αποτρέψουν παρόμοια σφάλματα στο μέλλον (Shappell & Wiegmann, 2000).

5.2.3 Μεθοδολογίες ανάλυσης αιτιών

Η ανάλυση των βαθύτερων αιτιών (RCA) αντιπροσωπεύει μια θεμελιώδη προσέγγιση στη διερεύνηση ατυχημάτων που επιδιώκει να εντοπίσει τις υποκείμενες συστημικές αιτίες των συμβάντων αντί να εστιάζει αποκλειστικά στα άμεσα γεγονότα ή στα ανθρώπινα λάθη. Στις μηχανολογικές κατασκευές, όπου τα ατυχήματα συχνά προκύπτουν από πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ τεχνικών, ανθρώπινων και οργανωτικών παραγόντων, οι αποτελεσματικές μεθοδολογίες RCA πρέπει να είναι ικανές να διεισδύουν πέρα από τα επιφανειακά αίτια για να εντοπίζουν τις θεμελιώδεις συστημικές αδυναμίες που επιτρέπουν την εμφάνιση ατυχημάτων. Η πρόκληση για

τους επαγγελματίες της RCA είναι να αναπτύξουν συστηματικές προσεγγίσεις που μπορούν να εντοπίζουν αξιόπιστα τις πραγματικές αιτίες, αποφεύγοντας παράλληλα την τάση να σταματούν την ανάλυση πρόωρα όταν εντοπίζονται προφανείς παράγοντες που συμβάλλουν (Okes, 2019).

Η τεχνική "5 Whys" αντιπροσωπεύει μία από τις απλούστερες και ευρύτερα χρησιμοποιούμενες μεθόδους RCA, η οποία περιλαμβάνει την επαναληπτική εφαρμογή της ερώτησης "γιατί" για τη διείσδυση μέσα από στρώματα αιτιωδών σχέσεων μέχρι να εντοπιστούν οι θεμελιώδεις αιτίες. Ενώ η απλότητα αυτής της τεχνικής την καθιστά προσιτή στους ερευνητές πρώτης γραμμής, η αποτελεσματικότητά της εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις γνώσεις και την εμπειρία του ερευνητή και τη συστηματική εφαρμογή της διαδικασίας υποβολής ερωτήσεων (Serrat, 2017). Σε εφαρμογές μηχανολογικών κατασκευών, η τεχνική 5 Whys μπορεί να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για την ανάλυση σχετικά απλών περιστατικών όπου οι αιτιώδεις αλυσίδες είναι γραμμικές και σαφώς καθορισμένες. Ωστόσο, οι περιορισμοί της μεθόδου γίνονται εμφανείς όταν αναλύονται σύνθετα περιστατικά που περιλαμβάνουν πολλαπλές αιτιώδεις οδούς ή συστημικούς οργανωτικούς παράγοντες.

Τα διαγράμματα Fishbone (επίσης γνωστά ως διαγράμματα Ishikawa ή διαγράμματα αιτίας και αποτελέσματος) παρέχουν μια πιο δομημένη προσέγγιση στην ανάλυση αιτιών που εξετάζει συστηματικά τις πιθανές αιτίες σε διάφορες κατηγορίες, όπως οι άνθρωποι, οι διαδικασίες, ο εξοπλισμός, τα υλικά, το περιβάλλον και η διαχείριση. Η μέθοδος αυτή συμβάλλει στη διασφάλιση της ολοκληρωμένης εξέτασης των πιθανών αιτιών, ενώ παρέχει μια οπτική αναπαράσταση που διευκολύνει την ομαδική ανάλυση και την επικοινωνία των αποτελεσμάτων (Ishikawa, 1985). Στις μηχανολογικές κατασκευές, τα διαγράμματα ψαροκόκαλου είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για την ανάλυση περιστατικών στα οποία μπορεί να συνέβαλαν πολλαπλοί τύποι παραγόντων, καθώς παρέχουν ένα συστηματικό πλαίσιο για τη διασφάλιση της εξέτασης όλων των σχετικών κατηγοριών αιτιών.

Η μέθοδος ανάλυσης προβλημάτων Kepner-Tregoe παρέχει ένα πιο αυστηρό αναλυτικό πλαίσιο που δίνει έμφαση στη συστηματική σύγκριση του τι συνέβη σε σχέση με το τι θα έπρεπε να είχε συμβεί για τον εντοπισμό βασικών διακρίσεων που υποδεικνύουν τα υποκείμενα αίτια. Η μέθοδος αυτή απαιτεί από τους ερευνητές να ορίσουν με σαφήνεια το πρόβλημα, να προσδιορίσουν τι επηρεάζεται και τι όχι, να προσδιορίσουν πότε συνέβη το πρόβλημα και πότε όχι και να προσδιορίσουν πού συνέβη το πρόβλημα και πού όχι (Kepner & Tregoe, 1997). Ο συστηματικός

χαρακτήρας αυτής της προσέγγισης την καθιστά ιδιαίτερα πολύτιμη για πολύπλοκες τεχνικές έρευνες στις μηχανολογικές κατασκευές, όπου η ακριβής κατανόηση της συμπεριφοράς του συστήματος είναι κρίσιμη για τον εντοπισμό των υποκείμενων αιτιών.

Η ανάλυση εμποδίων αντιπροσωπεύει μια εξειδικευμένη τεχνική RCA που επικεντρώνεται στον εντοπισμό των λόγων για τους οποίους τα εμπόδια ασφαλείας απέτυχαν να αποτρέψουν ένα ατύχημα ή απέτυχαν να κλιμακωθούν σε πιο σοβαρές συνέπειες. Η μέθοδος αυτή εξετάζει συστηματικά κάθε φράγμα ασφαλείας που υποτίθεται ότι προστατεύει από τους κινδύνους που εμπλέκονται στο συμβάν και προσδιορίζει γιατί αυτά τα φράγματα ήταν αναποτελεσματικά. Στις μηχανολογικές κατασκευές, όπου συνήθως χρησιμοποιούνται πολλαπλά επίπεδα προστασίας για την πρόληψη ατυχημάτων, η ανάλυση των φραγμών μπορεί να είναι ιδιαίτερα πολύτιμη για την κατανόηση των προστατευτικών μέτρων που ήταν πιο κρίσιμα και στα οποία πρέπει να επικεντρωθούν οι βελτιώσεις (Johnson & de Almeida, 2008).

Η ανάλυση αλλαγών παρέχει μια άλλη εξειδικευμένη τεχνική RCA που επικεντρώνεται στον εντοπισμό αλλαγών στο εργασιακό περιβάλλον, στις διαδικασίες, στο προσωπικό ή στον εξοπλισμό που μπορεί να συνέβαλαν στο ατύχημα. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην υπόθεση ότι τα ατυχήματα συχνά συμβαίνουν όταν κάτι αλλάζει από την κανονική ή αναμενόμενη κατάσταση (Benner, 1985). Στο δυναμικό περιβάλλον των μηχανολογικών κατασκευών, όπου οι συνθήκες αλλάζουν συνεχώς καθώς εξελίσσονται τα έργα, η ανάλυση αλλαγών μπορεί να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για τον εντοπισμό του τρόπου με τον οποίο οι τροποποιήσεις στις διαδικασίες εργασίας, στον εξοπλισμό ή στο προσωπικό συνέβαλαν στην εμφάνιση ατυχήματος.

Το Δέντρο Εποπτείας και Κινδύνου της Διοίκησης (MORT) παρέχει μια ολοκληρωμένη συστηματική προσέγγιση για την ανάλυση των βαθύτερων αιτιών που εξετάζει τόσο τις συγκεκριμένες παραλείψεις και αβλεψίες που συνέβαλαν σε ένα συμβάν όσο και τους ευρύτερους παράγοντες του συστήματος διαχείρισης που επέτρεψαν την εμφάνιση αυτών των αβλεψιών. Το MORT χρησιμοποιεί μια δομή λογικού δέντρου για να καθοδηγήσει τους ερευνητές μέσω μιας συστηματικής εξέτασης τόσο των συγκεκριμένων παραγόντων ελέγχου που σχετίζονται με το περιστατικό όσο και των ευρύτερων παραγόντων διαχείρισης που επηρεάζουν τη συνολική απόδοση της ασφάλειας (Johnson, 1980). Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα πολύτιμη για την οργανωτική μάθηση, διότι προσδιορίζει όχι μόνο τις συγκεκριμένες αλλαγές που απαιτούνται για την αποτροπή επανάληψης του συγκεκριμένου περιστατικού, αλλά και

ευρύτερες βελτιώσεις της διαχείρισης που θα μπορούσαν να βελτιώσουν τη συνολική απόδοση της ασφάλειας.

5.2.4 Ανάλυση των ανθρώπινων παραγόντων στη διερεύνηση ατυχημάτων

Η ανάλυση των ανθρώπινων παραγόντων στη διερεύνηση ατυχημάτων στις μηχανολογικές κατασκευές απαιτεί εξελιγμένες μεθοδολογίες ικανές να εξετάζουν τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ της ανθρώπινης απόδοσης, του σχεδιασμού του συστήματος και των οργανωτικών παραγόντων που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του χειριστή. Οι παραδοσιακές προσεγγίσεις που επικεντρώνονται κυρίως στον εντοπισμό των ανθρώπινων σφαλμάτων αναγνωρίζονται όλο και περισσότερο ως ανεπαρκείς για την κατανόηση των συστημικών παραγόντων που διαμορφώνουν την ανθρώπινη απόδοση και συμβάλλουν στην εμφάνιση ατυχημάτων (Dekker, 2006). Οι σύγχρονες προσεγγίσεις ανάλυσης ανθρώπινων παραγόντων αναγνωρίζουν ότι τα ανθρώπινα σφάλματα είναι συνήθως συμπτώματα βαθύτερων συστημικών προβλημάτων και όχι αυτοτελείς αιτίες, απαιτώντας μεθόδους διερεύνησης που μπορούν να προσδιορίσουν τους οργανωτικούς και σχεδιαστικούς παράγοντες που δημιουργούν συνθήκες που ευνοούν το ανθρώπινο σφάλμα.

Το σύστημα ανάλυσης και ταξινόμησης ανθρώπινων παραγόντων (HFACS) παρέχει ένα δομημένο πλαίσιο για την ανάλυση της συμβολής του ανθρώπινου παράγοντα στα ατυχήματα, το οποίο επεκτείνεται πέρα από τον απλό εντοπισμό σφαλμάτων για να εξετάσει τους οργανωτικούς και συστημικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ανθρώπινη απόδοση. Το HFACS οργανώνει την ανάλυση των ανθρώπινων παραγόντων σε τέσσερα ιεραρχικά επίπεδα: μη ασφαλείς πράξεις (σφάλματα και παραβιάσεις), προϋποθέσεις για μη ασφαλείς πράξεις (περιβαλλοντικοί παράγοντες, κατάσταση του χειριστή και παράγοντες του προσωπικού), μη ασφαλής εποπτεία (ανεπαρκής εποπτεία, προγραμματισμένες ακατάλληλες λειτουργίες, αποτυχία διόρθωσης προβλημάτων και παραβιάσεις της εποπτείας) και οργανωτικές επιδράσεις (διαχείριση πόρων, οργανωτικό κλίμα και οργανωτική διαδικασία) (Shappell & Wiegmann, 2000). Αυτή η ιεραρχική προσέγγιση βοηθά τους ερευνητές να κατανοήσουν όχι μόνο ποιοι ανθρώπινοι παράγοντες συνέβαλαν στο ατύχημα, αλλά και γιατί οι παράγοντες αυτοί ήταν παρόντες και ποιες οργανωτικές αλλαγές θα μπορούσαν να αποτρέψουν παρόμοιες συνεισφορές στο μέλλον.

Η ανάλυση των γνωστικών καθηκόντων παρέχει λεπτομερείς μεθόδους για την εξέταση του τρόπου με τον οποίο οι γνωστικές απαιτήσεις και οι περιορισμοί συνέβαλαν στο

ανθρώπινο σφάλμα κατά τη διάρκεια των ακολουθιών του συμβάντος. Η προσέγγιση αυτή εξετάζει παράγοντες όπως ο φόρτος εργασίας, η επίγνωση της κατάστασης, οι διαδικασίες λήψης αποφάσεων και η διαχείριση της προσοχής για να κατανοηθεί πώς οι γνωστικοί παράγοντες επηρέασαν την απόδοση του χειριστή κατά τη διάρκεια κρίσιμων περιόδων (Crandall et al., 2006). Στις μηχανολογικές κατασκευές, όπου οι χειριστές πρέπει να διαχειρίζονται πολύπλοκα τεχνικά συστήματα, διατηρώντας παράλληλα την επίγνωση των δυναμικών κινδύνων ασφαλείας, η ανάλυση των γνωστικών καθηκόντων μπορεί να παράσχει πολύτιμες πληροφορίες για το πώς μπορούν να τροποποιηθούν ο σχεδιασμός της εργασίας και τα προγράμματα κατάρτισης ώστε να μειωθεί η πιθανότητα γνωστικών σφαλμάτων.

Το μοντέλο Systems Engineering Initiative for Patient Safety (SEIPS), αν και αναπτύχθηκε αρχικά για εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης, παρέχει ένα χρήσιμο πλαίσιο για την ανάλυση των ανθρώπινων παραγόντων σε πολύπλοκα συστήματα εργασίας που μπορεί να προσαρμοστεί για εφαρμογές μηχανολογικών κατασκευών. Το μοντέλο SEIPS εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο το σύστημα εργασίας (συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπων, των καθηκόντων, των εργαλείων/τεχνολογιών, της οργάνωσης και του περιβάλλοντος) επηρεάζει τις διαδικασίες εργασίας και τελικά επηρεάζει τα αποτελέσματα (Carayon et al., 2006). Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα πολύτιμη για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο ο σχεδιασμός του συστήματος επηρεάζει την ανθρώπινη απόδοση και για τον εντοπισμό παρεμβάσεων σε επίπεδο συστήματος που θα μπορούσαν να βελτιώσουν τόσο την ασφάλεια όσο και την παραγωγικότητα.

Οι μέθοδοι μακροεργονομικής ανάλυσης εξετάζουν τον τρόπο με τον οποίο οι παράγοντες σε επίπεδο οργάνωσης και συστήματος επηρεάζουν την ανθρώπινη απόδοση και τον κίνδυνο ατυχημάτων. Οι μέθοδοι αυτές αναγνωρίζουν ότι η ατομική ανθρώπινη απόδοση επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από οργανωτικούς παράγοντες, όπως η κουλτούρα ασφάλειας, οι πρακτικές διαχείρισης, τα συστήματα επικοινωνίας και η κατανομή των πόρων (Kleiner, 2006). Η μακροεργονομική ανάλυση είναι ιδιαίτερα σημαντική στις μηχανολογικές κατασκευές, όπου οι οργανωτικοί παράγοντες έχουν συχνά βαθιές επιπτώσεις στις επιδόσεις ασφάλειας σε επίπεδο πεδίου και όπου τα ατομικά σφάλματα των χειριστών μπορεί να αντανακλούν ευρύτερες οργανωτικές δυσλειτουργίες και όχι ατομικές αδυναμίες.

Η μέθοδος κρίσιμων αποφάσεων (CDM) παρέχει μια αναδρομική τεχνική συνέντευξης για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι χειριστές έλαβαν κρίσιμες αποφάσεις

κατά τη διάρκεια ακολουθιών συμβάντων. Η CDM χρησιμοποιεί δομημένες συνεντεύξεις για να εξετάσει τα στοιχεία που παρατήρησαν οι χειριστές, την εκτίμησή τους για την κατάσταση, τις επιλογές που εξέτασαν και τους παράγοντες που επηρέασαν τη λήψη αποφάσεων (Klein et al., 1989). Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα πολύτιμη για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η πίεση του χρόνου, η αβεβαιότητα και οι ανταγωνιστικές απαιτήσεις επηρέασαν τις αποφάσεις των χειριστών κατά τη διάρκεια κρίσιμων περιόδων και για τον εντοπισμό αλλαγών στην εκπαίδευση ή στο σχεδιασμό του συστήματος που θα μπορούσαν να υποστηρίξουν την καλύτερη λήψη αποφάσεων σε παρόμοιες καταστάσεις.

Η ανάλυση της απόδοσης της ομάδας εξετάζει πώς ο συντονισμός, η επικοινωνία και η συνεργασία μεταξύ των μελών της ομάδας επηρέασαν την εξέλιξη και την αντιμετώπιση του συμβάντος. Η ανάλυση αυτή αναγνωρίζει ότι οι περισσότερες εργασίες στις μηχανολογικές κατασκευές περιλαμβάνουν ομάδες χειριστών που συνεργάζονται και ότι οι παράγοντες απόδοσης της ομάδας συχνά διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο τόσο στην πρόκληση ατυχημάτων όσο και στην πρόληψη (Salas et al., 2008). Η ανάλυση της ομαδικής απόδοσης εξετάζει παράγοντες όπως τα κοινά νοητικά μοντέλα, τα πρότυπα επικοινωνίας, η αποτελεσματικότητα της ηγεσίας και οι μηχανισμοί συντονισμού για να κατανοηθεί πώς η δυναμική της ομάδας επηρέασε την έκβαση του συμβάντος.

5.2.5 Μέθοδοι οργανωτικής και συστημικής ανάλυσης στη διερεύνηση ατυχημάτων

Οι μέθοδοι οργανωτικής και συστημικής ανάλυσης στη διερεύνηση ατυχημάτων επικεντρώνονται στον εντοπισμό των βαθύτερων οργανωτικών και συστημικών παραγόντων που δημιουργούν συνθήκες που ευνοούν την εκδήλωση ατυχημάτων. Οι μέθοδοι αυτές αναγνωρίζουν ότι τα μεμονωμένα ατυχήματα συχνά αντικατοπτρίζουν ευρύτερα πρότυπα οργανωτικής δυσλειτουργίας και ότι η αποτελεσματική πρόληψη απαιτεί την αντιμετώπιση αυτών των υποκείμενων συστημικών αδυναμιών αντί να επικεντρώνεται αποκλειστικά στους άμεσους αιτιολογικούς παράγοντες (Reason, 1997). Στις μηχανολογικές κατασκευές, όπου τα έργα περιλαμβάνουν πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ πολλαπλών οργανισμών, εργολάβων και ρυθμιστικών φορέων, η οργανωτική ανάλυση είναι ιδιαίτερα κρίσιμη για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι οργανωτικοί παράγοντες συμβάλλουν στον κίνδυνο ατυχημάτων και για την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών πρόληψης σε επίπεδο συστήματος.

Η αξιολόγηση της κουλτούρας ασφάλειας παρέχει συστηματικές μεθόδους για την εξέταση του τρόπου με τον οποίο οι οργανωτικές αξίες, πεποιθήσεις και πρακτικές επηρεάζουν την απόδοση της ασφάλειας και τον κίνδυνο ατυχημάτων. Η αξιολόγηση της κουλτούρας ασφάλειας εξετάζει συνήθως παράγοντες όπως η δέσμευση της διοίκησης στην ασφάλεια, η συμμετοχή των εργαζομένων σε δραστηριότητες ασφάλειας, η επικοινωνία για θέματα ασφάλειας και η οργανωτική μάθηση από συμβάντα ασφάλειας (Cooper, 2000). Διάφορα εργαλεία και μεθοδολογίες είναι διαθέσιμα για τη μέτρηση της κουλτούρας ασφάλειας, συμπεριλαμβανομένων ερευνών, συνεντεύξεων, ομάδων εστίασης και παρατηρήσεων συμπεριφοράς. Στις μηχανολογικές κατασκευές, η αξιολόγηση της κουλτούρας ασφάλειας μπορεί να είναι ιδιαίτερα πολύτιμη για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι διαφορετικές οργανωτικές κουλτούρες μεταξύ των συμμετεχόντων στο έργο επηρεάζουν τη συνολική απόδοση της ασφάλειας του έργου.

Οι μέθοδοι οργανωτικής ανάλυσης ατυχημάτων εξετάζουν πώς η οργανωτική δομή, οι διαδικασίες και τα συστήματα λήψης αποφάσεων συμβάλλουν στην εμφάνιση ατυχημάτων. Οι μέθοδοι αυτές αναγνωρίζουν ότι οι οργανωτικοί παράγοντες συχνά δημιουργούν λανθάνουσες συνθήκες που αυξάνουν τον κίνδυνο ατυχημάτων ακόμη και όταν δεν είναι εμφανείς άμεσες οργανωτικές αποτυχίες (Reason, 1997). Η οργανωτική ανάλυση εξετάζει παράγοντες όπως οι αποφάσεις κατανομής πόρων, τα συστήματα μέτρησης επιδόσεων, οι δομές επικοινωνίας και οι διαδικασίες λήψης αποφάσεων για να κατανοηθεί πώς οι παράγοντες αυτοί επηρεάζουν τις επιδόσεις ασφάλειας σε επίπεδο πεδίου. Αυτός ο τύπος ανάλυσης είναι ιδιαίτερα σημαντικός στις μηχανολογικές κατασκευές, όπου οι οργανωτικές αποφάσεις που λαμβάνονται σε εταιρικό επίπεδο ή σε επίπεδο διαχείρισης έργου μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στις συνθήκες ασφάλειας σε επίπεδο πεδίου.

Η ανάλυση συστημάτων διαχείρισης εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο λειτούργησαν τα συστήματα διαχείρισης της ασφάλειας κατά τη διάρκεια των ακολουθιών συμβάντων και εντοπίζει αδυναμίες που ενδέχεται να συνέβαλαν στην εμφάνιση ατυχήματος. Η ανάλυση αυτή εξετάζει παράγοντες όπως οι διαδικασίες εντοπισμού κινδύνων, οι διαδικασίες εκτίμησης κινδύνων, τα προγράμματα εκπαίδευσης σε θέματα ασφάλειας, τα συστήματα επιθεώρησης και ελέγχου και οι διαδικασίες διορθωτικών ενεργειών (Hale et al., 1997). Η ανάλυση του συστήματος διαχείρισης είναι ιδιαίτερα πολύτιμη για τον εντοπισμό συστηματικών αδυναμιών που θα μπορούσαν να συμβάλουν σε

πολλαπλούς τύπους ατυχημάτων και για την ανάπτυξη ολοκληρωμένων στρατηγικών βελτίωσης που αντιμετωπίζουν τις θεμελιώδεις αδυναμίες του συστήματος.

Η ανάλυση κανονιστικών ρυθμίσεων και συμμόρφωσης εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο λειτούργησαν τα συστήματα κανονιστικής εποπτείας και συμμόρφωσης σε σχέση με το συμβάν και εντοπίζει πιθανές βελτιώσεις στις κανονιστικές προσεγγίσεις. Η ανάλυση αυτή εξετάζει παράγοντες όπως η επάρκεια των εφαρμοστέων κανονισμών, η αποτελεσματικότητα της κανονιστικής επιβολής, η ποιότητα των προσπαθειών συμμόρφωσης του κλάδου και η επάρκεια της κανονιστικής εποπτείας (Hale & Hovden, 1998). Στις μηχανολογικές κατασκευές, όπου πολλαπλές ρυθμιστικές υπηρεσίες μπορεί να έχουν δικαιοδοσία επί διαφορετικών πτυχών της ασφάλειας του έργου, η ρυθμιστική ανάλυση μπορεί να είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και σημαντική για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι ρυθμιστικοί παράγοντες επηρεάζουν τη συνολική απόδοση της ασφάλειας.

Η ανάλυση της αλυσίδας εφοδιασμού και της διαχείρισης των εργολάβων εξετάζει πώς οι σχέσεις μεταξύ των διαφόρων οργανισμών που εμπλέκονται στα έργα μηχανολογικών κατασκευών επηρεάζουν τις επιδόσεις ασφάλειας και τον κίνδυνο ατυχημάτων. Η ανάλυση αυτή αναγνωρίζει ότι τα σύγχρονα κατασκευαστικά έργα περιλαμβάνουν συνήθως πολύπλοκα δίκτυα εργολάβων, υπεργολάβων και προμηθευτών, καθένα από τα οποία διαθέτει τα δικά του συστήματα διαχείρισης της ασφάλειας και τις δικές του οργανωτικές κουλτούρες (Behm, 2005). Η ανάλυση εξετάζει παράγοντες όπως τα κριτήρια επιλογής εργολάβων, οι μηχανισμοί συντονισμού της ασφάλειας, τα συστήματα επικοινωνίας και οι διαδικασίες παρακολούθησης των επιδόσεων, προκειμένου να κατανοηθεί πώς οι δι-οργανωτικές σχέσεις επηρεάζουν τις συνολικές επιδόσεις ασφάλειας του έργου.

Οι μέθοδοι δικτυακής ανάλυσης παρέχουν συστηματικές προσεγγίσεις για την εξέταση των πολύπλοκων σχέσεων και των ροών πληροφοριών μεταξύ των διαφόρων οργανισμών και ατόμων που εμπλέκονται σε έργα μηχανολογικών κατασκευών. Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούν τη θεωρία των δικτύων και τις τεχνικές ανάλυσης για τη χαρτογράφηση των προτύπων επικοινωνίας, των σχέσεων εξουσίας και των ροών πληροφοριών για να κατανοήσουν πώς η δομή του δικτύου επηρεάζει την απόδοση της ασφάλειας (Wasserman & Faust, 1994). Η ανάλυση δικτύων μπορεί να είναι ιδιαίτερα πολύτιμη για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι πληροφορίες σχετικά με τους κινδύνους για την ασφάλεια ρέουν μέσα από πολύπλοκους οργανισμούς έργων και για τον εντοπισμό πιθανών βελτιώσεων στα συστήματα επικοινωνίας και συντονισμού.

5.2.6 Μέθοδοι διερεύνησης ατυχημάτων που ενισχύονται από την τεχνολογία

Η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών στις διαδικασίες διερεύνησης ατυχημάτων έχει φέρει επανάσταση στις δυνατότητες που έχουν στη διάθεσή τους οι ερευνητές και έχει καταστήσει δυνατή τη διεξοδικότερη και ακριβέστερη ανάλυση πολύπλοκων συμβάντων. Οι ψηφιακές τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένης της προσομοίωσης σε υπολογιστή, της εικονικής πραγματικότητας, της τρισδιάστατης σάρωσης και της προηγμένης ανάλυσης δεδομένων, χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο για την ανακατασκευή των ακολουθιών ατυχημάτων, την ανάλυση των παραγόντων που συμβάλλουν και την κοινοποίηση των αποτελεσμάτων της διερεύνησης στους ενδιαφερόμενους (Teizer et al., 2017). Αυτές οι τεχνολογίες είναι ιδιαίτερα πολύτιμες στις μηχανολογικές κατασκευές, όπου οι σκηνές συμβάντων μπορεί να είναι πολύπλοκες, επικίνδυνες ή να μεταβάλλονται γρήγορα, περιορίζοντας τις δυνατότητες των παραδοσιακών μεθόδων διερεύνησης.

Οι τεχνικές προσομοίωσης και μοντελοποίησης με υπολογιστή επιτρέπουν στους ερευνητές να ανακατασκευάζουν ακολουθίες ατυχημάτων και να δοκιμάζουν εναλλακτικά σενάρια για να κατανοήσουν καλύτερα πώς εξελίχθηκαν τα περιστατικά και ποιοι παράγοντες ήταν οι πιο κρίσιμοι για τον καθορισμό των αποτελεσμάτων. Η ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μοντελοποίηση δομικών αστοχιών και ζημιών στον εξοπλισμό, ενώ η υπολογιστική ρευστοδυναμική μπορεί να μοντελοποιήσει τη διασπορά επικίνδυνων υλικών ή τις επιπτώσεις των συστημάτων εξαερισμού (Zienkiewicz et al., 2013). Αυτές οι δυνατότητες προσομοίωσης είναι ιδιαίτερα πολύτιμες για την ανάλυση σύνθετων τεχνικών αστοχιών στις μηχανολογικές κατασκευές, όπου η φυσική των διαδικασιών αστοχίας μπορεί να είναι δύσκολο να κατανοηθεί μόνο μέσω της παρατήρησης.

Οι τεχνικές τρισδιάστατης σάρωσης και φωτογραμμετρίας επιτρέπουν στους ερευνητές να δημιουργούν ακριβή ψηφιακά μοντέλα των σκηνών ατυχημάτων που μπορούν να αναλυθούν πολύ καιρό μετά τη διατάραξη ή τον καθαρισμό της σκηνής. Αυτές οι τεχνικές μπορούν να αποτυπώσουν λεπτομερείς μετρήσεις και χωρικές σχέσεις που είναι κρίσιμες για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο συνέβησαν τα ατυχήματα και για την υποστήριξη νομικών διαδικασιών ή κανονιστικών ενεργειών (Faro Technologies, 2019). Στις μηχανολογικές κατασκευές, όπου οι σκηνές ατυχημάτων συχνά περιλαμβάνουν πολύπλοκα μηχανικά συστήματα και χωρικές σχέσεις, η

τρισδιάστατη σάρωση μπορεί να παρέχει ανεκτίμητη τεκμηρίωση που υποστηρίζει λεπτομερή τεχνική ανάλυση.

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη και τα συστήματα εναέριας επιτήρησης παρέχουν δυνατότητες για την τεκμηρίωση σκηνών ατυχημάτων από οπτικές γωνίες στις οποίες θα ήταν αδύνατη ή επικίνδυνη η πρόσβαση για τους ανθρώπινους ερευνητές. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που είναι εξοπλισμένα με κάμερες υψηλής ανάλυσης και εξειδικευμένους αισθητήρες μπορούν να καταγράψουν λεπτομερείς εικόνες μεγάλων εργοταξίων, υπερυψωμένων χώρων εργασίας και επικίνδυνων περιβαλλόντων (Gheisari & Esmaeili, 2019).

Οι τεχνολογίες εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας επιτρέπουν στους ερευνητές να δημιουργούν ρεαλιστικές προσομοιώσεις σεναρίων ατυχημάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σκοπούς ανάλυσης, εκπαίδευσης και επικοινωνίας. Τα συστήματα εικονικής πραγματικότητας επιτρέπουν στους ερευνητές και τους ενδιαφερόμενους να βιώσουν σενάρια ατυχημάτων από διαφορετικές οπτικές γωνίες και να δοκιμάσουν εναλλακτικές στρατηγικές παρέμβασης σε ένα ασφαλές, ελεγχόμενο περιβάλλον (Sacks et al., 2013). Αυτές οι δυνατότητες είναι ιδιαίτερα πολύτιμες για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι ανθρώπινοι παράγοντες συνέβαλαν στα ατυχήματα και για την ανάπτυξη αποτελεσματικότερων προγραμμάτων κατάρτισης με βάση τα διδάγματα που αντλούνται από τις έρευνες συμβάντων.

Οι τεχνικές ψηφιακής εγκληματολογίας, προσαρμοσμένες από τους τομείς της ασφάλειας στον κυβερνοχώρο και της ποινικής έρευνας, παρέχουν συστηματικές μεθόδους για την ανάλυση ηλεκτρονικών αποδεικτικών στοιχείων που σχετίζονται με ατυχήματα. Οι τεχνικές αυτές μπορούν να ανακτήσουν και να αναλύσουν δεδομένα από συστήματα ελέγχου, συσκευές επικοινωνίας και εξοπλισμό παρακολούθησης για να κατανοήσουν πώς λειτουργούσαν αυτά τα συστήματα κατά τη διάρκεια των ακολουθιών του συμβάντος (Casey & Rose, 2018). Στις σύγχρονες μηχανολογικές κατασκευές, όπου τα ηλεκτρονικά συστήματα διαδραματίζουν όλο και πιο σημαντικό ρόλο στη διαχείριση της ασφάλειας, η ψηφιακή εγκληματολογία μπορεί να παρέχει κρίσιμα στοιχεία για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι αστοχίες των συστημάτων συνέβαλαν στα ατυχήματα.

Οι προηγμένες τεχνικές ανάλυσης δεδομένων και τεχνητής νοημοσύνης επιτρέπουν στους ερευνητές να αναλύουν μεγάλους όγκους δεδομένων από πολλαπλές πηγές για τον εντοπισμό μοτίβων και σχέσεων που μπορεί να μην είναι εμφανείς μέσω των παραδοσιακών αναλυτικών μεθόδων. Αυτές οι τεχνικές μπορούν να ενσωματώσουν

δεδομένα από αναφορές ατυχημάτων, αρχεία συντήρησης, βάσεις δεδομένων κατάρτισης και συστήματα παρακολούθησης του περιβάλλοντος για να αναπτύξουν ολοκληρωμένες εικόνες των παραγόντων που συνέβαλαν στα συμβάντα (Russell & Norvig, 2016). Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να εντοπίσουν λεπτά μοτίβα στα δεδομένα διερεύνησης που μπορούν να ενημερώσουν για πιο αποτελεσματικές στρατηγικές πρόληψης και να βοηθήσουν στην ιεράρχηση των περιορισμένων πόρων ασφάλειας.

5.2.7 Τεχνικές ποσοτικής ανάλυσης ατυχημάτων

Οι τεχνικές ποσοτικής ανάλυσης στη διερεύνηση ατυχημάτων παρέχουν συστηματικές μεθόδους για την ανάλυση μεγάλων συνόλων δεδομένων με πληροφορίες ατυχημάτων για τον εντοπισμό μοτίβων, τάσεων και στατιστικών σχέσεων που μπορεί να μην είναι εμφανείς μόνο μέσω της ποιοτικής ανάλυσης. Οι τεχνικές αυτές είναι ιδιαίτερα πολύτιμες για την οργανωτική μάθηση και την ανάπτυξη στρατηγικών πρόληψης, καθώς μπορούν να εντοπίσουν συστημικά μοτίβα σε πολλαπλά περιστατικά και να παράσχουν στατιστικά στοιχεία για την αποτελεσματικότητα διαφόρων προσεγγίσεων πρόληψης (Leveson, 2011). Στις μηχανολογικές κατασκευές, όπου οι οργανισμοί μπορεί να αντιμετωπίσουν πολλά περιστατικά σε βάθος χρόνου, η ποσοτική ανάλυση μπορεί να παράσχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τη σχετική σημασία των διαφόρων παραγόντων κινδύνου και την αποτελεσματικότητα των διαφόρων στρατηγικών πρόληψης.

Η στατιστική ανάλυση δεδομένων ατυχημάτων περιλαμβάνει την εφαρμογή στατιστικών μεθόδων για τον εντοπισμό τάσεων, προτύπων και σχέσεων στις βάσεις δεδομένων ατυχημάτων. Η ανάλυση αυτή μπορεί να εξετάσει παράγοντες όπως τα χρονικά μοτίβα στην εμφάνιση ατυχημάτων, τις σχέσεις μεταξύ των ποσοστών ατυχημάτων και διαφόρων οργανωτικών χαρακτηριστικών ή χαρακτηριστικών του έργου και τις στατιστικές συσχετίσεις μεταξύ διαφόρων τύπων παραγόντων που συμβάλλουν (Hinze et al., 2013). Η στατιστική ανάλυση απαιτεί προσεκτική προσοχή στην ποιότητα των δεδομένων και στην πιθανότητα διαφόρων τύπων μεροληψίας που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων. Στον τομέα των μηχανολογικών κατασκευών, η στατιστική ανάλυση μπορεί να είναι ιδιαίτερα πολύτιμη για τον εντοπισμό δραστηριοτήτων υψηλού κινδύνου, χρονικών περιόδων ή οργανωτικών παραγόντων που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής στις προσπάθειες πρόληψης.

Οι μέθοδοι επιδημιολογικής ανάλυσης, δανεισμένες από την έρευνα για τη δημόσια υγεία, παρέχουν συστηματικές προσεγγίσεις για τη μελέτη της κατανομής και των καθοριστικών παραγόντων των ατυχημάτων σε πληθυσμούς εργαζομένων. Οι μέθοδοι αυτές εξετάζουν παράγοντες όπως ατομικά χαρακτηριστικά (ηλικία, εμπειρία, κατάρτιση), χρονικούς παράγοντες (προγράμματα βάρδιας, εποχιακά πρότυπα) και τοπικούς παράγοντες (χώροι εργασίας, τύποι εξοπλισμού) για τον εντοπισμό παραγόντων κινδύνου για την ασφάλεια και την ανάπτυξη στοχευμένων στρατηγικών πρόληψης (Rothman et al., 2008). Η επιδημιολογική ανάλυση είναι ιδιαίτερα πολύτιμη για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι ατομικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες κινδύνου αλληλεπιδρούν για να επηρεάσουν τον κίνδυνο ατυχημάτων και για την ανάπτυξη τεκμηριωμένων στρατηγικών πρόληψης.

Οι τεχνικές ανάλυσης επιβίωσης εξετάζουν τις σχέσεις μεταξύ χρόνου και περιστατικού σε δεδομένα ατυχημάτων, όπως ο χρόνος μεταξύ των περιστατικών παρ' ολίγον ατυχημάτων και των πραγματικών ατυχημάτων ή ο χρόνος μεταξύ της εφαρμογής παρεμβάσεων ασφάλειας και των παρατηρούμενων αλλαγών στα ποσοστά ατυχημάτων. Οι τεχνικές αυτές μπορούν να παράσχουν πολύτιμες πληροφορίες για τη χρονική δυναμική των διαδικασιών ατυχημάτων και την αποτελεσματικότητα των παρεμβάσεων πρόληψης με την πάροδο του χρόνου (Klein & Moeschberger, 2003). Στις μηχανολογικές κατασκευές, η ανάλυση επιβίωσης μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο μεταβάλλονται οι επιδόσεις ασφάλειας κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου και για την αξιολόγηση της μακροπρόθεσμης αποτελεσματικότητας των παρεμβάσεων ασφάλειας.

Οι μέθοδοι ανάλυσης Bayes παρέχουν πλαίσια για την επικαιροποίηση των εκτιμήσεων κινδύνου με βάση συσσωρευμένα στοιχεία από τις έρευνες συμβάντων και την παρακολούθηση των επιδόσεων ασφαλείας. Οι μέθοδοι Bayes είναι ιδιαίτερα πολύτιμες όταν τα ιστορικά δεδομένα είναι περιορισμένα ή όταν υπάρχει σημαντική αβεβαιότητα σχετικά με τις υποκείμενες παραμέτρους κινδύνου (Martz & Waller, 1991). Οι μέθοδοι αυτές επιτρέπουν στους ερευνητές να συνδυάζουν συστηματικά την προηγούμενη γνώση με νέα στοιχεία από τις διερευνήσεις συμβάντων για την ανάπτυξη ακριβέστερων εκτιμήσεων κινδύνου και αποτελεσματικότερων στρατηγικών πρόληψης.

Οι τεχνικές μηχανικής μάθησης και εξόρυξης δεδομένων εφαρμόζονται ολοένα και περισσότερο στην ανάλυση ατυχημάτων για τον εντοπισμό σύνθετων προτύπων και σχέσεων σε μεγάλες βάσεις δεδομένων ατυχημάτων που μπορεί να μην είναι

ανιχνεύσιμες μέσω των παραδοσιακών στατιστικών μεθόδων. Οι τεχνικές αυτές μπορούν να εντοπίσουν λεπτά μοτίβα στα δεδομένα ατυχημάτων και να αναπτύξουν μοντέλα πρόβλεψης που μπορούν να βοηθήσουν στην ιεράρχηση των προσπαθειών πρόληψης (Poh et al., 2018). Οι προσεγγίσεις μηχανικής μάθησης είναι ιδιαίτερα πολύτιμες για την ανάλυση μη δομημένων δεδομένων, όπως οι αφηγηματικές εκθέσεις ατυχημάτων, και για τον εντοπισμό άγνωστων προηγουμένως σχέσεων μεταξύ διαφορετικών τύπων παραγόντων που συμβάλλουν.

Οι τεχνικές ανάλυσης χρονοσειρών εξετάζουν τον τρόπο με τον οποίο τα ποσοστά ατυχημάτων και οι παράγοντες που συμβάλλουν μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου, επιτρέποντας στους ερευνητές να εντοπίζουν τάσεις, κύκλους και τα αποτελέσματα των παρεμβάσεων στις επιδόσεις ασφάλειας. Οι τεχνικές αυτές μπορούν να παράσχουν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τη διαχρονική δυναμική των διαδικασιών ατυχημάτων και την αποτελεσματικότητα των παρεμβάσεων πρόληψης με την πάροδο του χρόνου (Chatfield, 2003). Στο πεδίο τον μηχανολογικών κατασκευών, η ανάλυση χρονοσειρών μπορεί να βοηθήσει τους οργανισμούς να κατανοήσουν πώς μεταβάλλονται οι επιδόσεις ασφάλειας κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου και πώς οι διάφοροι τύποι παρεμβάσεων επηρεάζουν τις μακροπρόθεσμες τάσεις της ασφάλειας.

5.2.8 Ενσωμάτωση των ευρημάτων

Η ενσωμάτωση των πορισμάτων της διερεύνησης αποτελεί κρίσιμη φάση στη διαδικασία ανάλυσης ατυχημάτων που καθορίζει την τελική αξία των προσπαθειών διερεύνησης για την πρόληψη και την οργανωτική μάθηση. Η αποτελεσματική ενσωμάτωση απαιτεί συστηματικές προσεγγίσεις για τη σύνθεση των ευρημάτων από πολλαπλές μεθόδους διερεύνησης, τον εντοπισμό των σημαντικότερων παραγόντων που συμβάλλουν και την ανάπτυξη αξιοποιήσιμων συστάσεων που αντιμετωπίζουν τόσο τις άμεσες όσο και τις συστημικές αιτίες (Lundgren & McMakin, 2018). Στις μηχανολογικές κατασκευές, όπου τα ευρήματα των ερευνών πρέπει συχνά να κοινοποιούνται σε διαφορετικές ομάδες ενδιαφερομένων με διαφορετικό τεχνικό υπόβαθρο και αρμοδιότητες, η διαδικασία ενσωμάτωσης και επικοινωνίας είναι ιδιαίτερα δύσκολη και σημαντική.

Η διασταυρούμενη επικύρωση μεθόδων περιλαμβάνει τη σύγκριση των ευρημάτων από διαφορετικές μεθόδους διερεύνησης για τον εντοπισμό περιοχών σύγκλισης και απόκλισης στην ανάλυση. Η διαδικασία αυτή συμβάλλει στη διασφάλιση ότι τα

συμπεράσματα της διερεύνησης είναι ισχυρά και δεν εξαρτώνται από τους περιορισμούς οποιασδήποτε μεμονωμένης αναλυτικής προσέγγισης (Yin, 2018). Σε σύνθετα περιστατικά μηχανικών κατασκευών, όπου πολλοί παράγοντες συμβάλλουν συνήθως στην εμφάνιση ατυχήματος, η επικύρωση πολλαπλών μεθόδων μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό των πιο αξιόπιστων ευρημάτων και να επισημάνει περιοχές όπου μπορεί να απαιτείται πρόσθετη διερεύνηση.

Η εμπλοκή και η επικοινωνία των ενδιαφερομένων μερών διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση της αποτελεσματικής μετατροπής των πορισμάτων της διερεύνησης σε δράσεις πρόληψης. Διαφορετικές ομάδες ενδιαφερομένων, συμπεριλαμβανομένων των εργαζομένων, της διοίκησης, των ρυθμιστικών αρχών και των βιομηχανικών ενώσεων, ενδέχεται να έχουν διαφορετικές προοπτικές για τα πορίσματα των ερευνών και διαφορετικές δυνατότητες εφαρμογής των συστάσεων (Rogers, 2003). Η αποτελεσματική επικοινωνία απαιτεί την προσαρμογή των μηνυμάτων στα διαφορετικά ακροατήρια, διατηρώντας παράλληλα την τεχνική ακρίβεια και πληρότητα που είναι απαραίτητες για την αποτελεσματική πρόληψη.

Η ανάπτυξη εφαρμόσιμων συστάσεων απαιτεί προσεκτική εξέταση των οργανωτικών και τεχνικών περιορισμών που ενδέχεται να επηρεάσουν την εφαρμογή. Οι συστάσεις πρέπει να είναι αρκετά συγκεκριμένες ώστε να παρέχουν σαφή καθοδήγηση, ενώ παράλληλα πρέπει να είναι αρκετά ευέλικτες ώστε να προσαρμόζονται σε διαφορετικά οργανωτικά πλαίσια και μεταβαλλόμενες συνθήκες (Westrum, 2006), ειδικότερα στον κλάδο των μηχανολογικών κατασκευών, όπου στα έργα εμπλέκονται πολλαπλοί οργανισμοί με διαφορετικές δυνατότητες και προτεραιότητες, η ανάπτυξη εφαρμόσιμων συστάσεων μπορεί να αποτελέσει ιδιαίτερη πρόκληση. Οι διαδικασίες παρακολούθησης και επαλήθευσης είναι ουσιώδεις για να διασφαλιστεί ότι οι συστάσεις διερεύνησης εφαρμόζονται πράγματι και ότι επιτυγχάνουν τα επιδιωκόμενα αποτελέσματά τους στην απόδοση της ασφάλειας. Οι διαδικασίες αυτές απαιτούν συστηματική παρακολούθηση της εφαρμογής των συστάσεων και αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους με την πάροδο του χρόνου (Kjellen, 2000).

5.3 Στατιστικά Δεδομένα

Εισαγωγή

Η στατιστική ανάλυση δεδομένων στην κατασκευαστική μηχανολογία αποτελεί θεμελιώδη συστατικό της τεκμηριωμένης διαχείρισης ασφάλειας, παρέχοντας ποσοτικές εκτιμήσεις για τα πρότυπα ατυχημάτων, τους παράγοντες κινδύνου και την

αποτελεσματικότητα των στρατηγικών πρόληψης. Η συστηματική συλλογή, ανάλυση και ερμηνεία στατιστικών δεδομένων επιτρέπει στους οργανισμούς να υπερβούν τα ανεκδοτικά στοιχεία και τις υποκειμενικές αξιολογήσεις για να αναπτύξουν αντικειμενικές, βασισμένες σε δεδομένα προσεγγίσεις στη διαχείριση ασφάλειας που μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά τα αποτελέσματα ασφάλειας στον χώρο εργασίας (Hinze et al., 2013).

Σύμφωνα με την πιο πρόσφατη έρευνα της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ) που δημοσιεύθηκε τον Ιούλιο του 2025, τα εργατικά ατυχήματα στην Ελλάδα το έτος 2023 παρουσίασαν μικτή εικόνα. Ενώ το συνολικό πλήθος των ατυχημάτων μειώθηκε κατά 3,0%, από 4,999 το 2022 σε 4.847 το 2023, παρατηρήθηκε ιδιαίτερα ανησυχητική αύξηση των θανατηφόρων ατυχημάτων κατά 45,7%, από 35 σε 51 περιστατικά. Αυτή η αντίφαση υποδηλώνει ότι, παρά τη μείωση του συνολικού αριθμού των ατυχημάτων, η σοβαρότητα των συμβάντων που συνεχίζουν να συμβαίνουν έχει αυξηθεί δραματικά. Οι κατασκευές παραμένουν σταθερά ο πιο επικίνδυνος κλάδος της ελληνικής οικονομίας όσον αφορά τα θανατηφόρα εργατικά ατυχήματα. Το 2023, καταγράφηκαν 13 θανατηφόρα ατυχήματα στον κλάδο, αντιπροσωπεύοντας το 25,5% του συνόλου των θανάτων από εργατικά ατυχήματα σε όλους τους κλάδους. Αυτό το ποσοστό είναι σημαντικά υψηλότερο από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο του 20,9% και αποδεικνύει την υψηλή επικινδυνότητα που χαρακτηρίζει τις κατασκευαστικές δραστηριότητες στη χώρα μας.

Η σημασία αυτών των στατιστικών στοιχείων γίνεται ακόμη μεγαλύτερη όταν εξετάζουμε τις σύγχρονες τάσεις στην κατασκευαστική βιομηχανία. Η αυξανόμενη πολυπλοκότητα των έργων, η χρήση νέων τεχνολογιών, η πίεση για ταχύτερη ολοκλήρωση των έργων και οι αλλαγές στις δεξιότητες του εργατικού δυναμικού δημιουργούν νέες προκλήσεις για την ασφάλεια που απαιτούν εμπεριστατωμένη στατιστική ανάλυση και κατανόηση.

5.3.1 Συνολική Εικόνα των Εργατικών Ατυχημάτων στην Ελλάδα

Η ανάλυση των συνολικών δεδομένων εργατικών ατυχημάτων για το 2023 αποκαλύπτει σημαντικές τάσεις που χρήζουν προσεκτικής εξέτασης. Από τα 4.847 συνολικά ατυχήματα, 3.229 (66,6%) αφορούσαν άνδρες εργαζόμενους και 1.618 (33,4%) γυναίκες. Η κατανομή αυτή αντικατοπτρίζει τη σύνθεση του εργατικού δυναμικού στους επικίνδυνους κλάδους, όπου οι άνδρες παραδοσιακά κατέχουν την πλειονότητα των θέσεων εργασίας υψηλού κινδύνου.

Ιδιαίτερα ανησυχητικό είναι το γεγονός ότι, ενώ τα ατυχήματα των ανδρών μειώθηκαν κατά 6,5% σε σχέση με το 2022, τα ατυχήματα των γυναικών αυξήθηκαν κατά 4,7%. Αυτή η τάση μπορεί να αποδοθεί στην αυξανόμενη συμμετοχή των γυναικών σε κλάδους που παραδοσιακά θεωρούνταν "ανδρικοί", Χωρίς όμως να έχουν αναπτυχθεί ανάλογα προγράμματα ασφάλειας που να λαμβάνουν υπόψη τις ιδιαίτερες ανάγκες και χαρακτηριστικά του γυναικείου εργατικού δυναμικού.

Πίνακας 5.1: Εργατικά Ατυχήματα στην Ελλάδα (2022-2023), *Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, Έρευνα Εργατικών Ατυχημάτων 2023*

Κατηγορία	2022	2023	Μεταβολή
Συνολικά Ατυχήματα	4.999	4.847	-3,0%
Άνδρες	3.453	3.229	-6,5%
Γυναίκες	1.546	1.618	+4,7%
Θανατηφόρα Ατυχήματα	35	51	+45,7%
Άνδρες	34	48	+41,2%
Γυναίκες	1	3	+200%

Η δραματική αύξηση των θανατηφόρων ατυχημάτων κατά 45,7% αποτελεί το πιο ανησυχητικό στοιχείο των στατιστικών του 2023. Από τα 51 θανατηφόρα ατυχήματα, 48 αφορούσαν άνδρες και 3 γυναίκες, δείχνοντας ότι η αύξηση επηρέασε και τα δύο φύλα. Η αύξηση κατά 200% των θανατηφόρων ατυχημάτων γυναικών, παρότι αφορά μικρό απόλυτο αριθμό, είναι στατιστικά σημαντική και απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή από τους υπευθύνους ασφάλειας.

5.3.2 Κλαδική Ανάλυση και Κατανομή Κινδύνου

Η εξέταση της κατανομής των εργατικών ατυχημάτων ανά κλάδο οικονομικής δραστηριότητας παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για την εστίαση των προσπαθειών πρόληψης. Ο κλάδος του χονδρικού και λιανικού εμπορίου, συμπεριλαμβανομένης της επισκευής μηχανοκίνητων οχημάτων, κατέγραψε τον υψηλότερο αριθμό ατυχημάτων με 1.204 περιστατικά (24,8% του συνόλου), ακολουθούμενος από τη μεταποίηση με 958 ατυχήματα (19,8%) και τον κλάδο καταλυμάτων-εστίασης με 685 ατυχήματα (14,1%).

Ωστόσο, όταν εξετάζουμε τα θανατηφόρα ατυχήματα, η εικόνα αλλάζει δραματικά. Οι κατασκευές, παρότι αντιπροσωπεύουν μόλις το 8,8% του συνόλου των ατυχημάτων με 428 περιστατικά, υπερέχουν σημαντικά στα θανατηφόρα ατυχήματα με 13 θανάτους, αντιπροσωπεύοντας το 25,5% όλων των εργασιακών θανάτων. Αυτό υποδηλώνει ότι τα ατυχήματα στις κατασκευές είναι όχι μόνο συχνά, αλλά και εξαιρετικά σοβαρά.

Πίνακας 5.2: Εργατικά Ατυχήματα ανά Κλάδο Οικονομικής Δραστηριότητας (2023), Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ 2025.

Κλάδος	Συνολικά Ατυχήματα	%	Θανατηφόρα	%	Μεταβολή 2023/2022
Χονδρικό-Λιανικό Εμπόριο	1.204	24,8%	7	13,7%	-3,4%
Μεταποίηση	958	19,8%	9	17,6%	-3,4%
Καταλύματα-Εστίαση	685	14,1%	2	3,9%	-10,9%
Κατασκευές	428	8,8%	13	25,5%	-6,3%
Μεταφορές-Αποθήκευση	446	9,2%	8	15,7%	+10,9%
Ανθρώπινη Υγεία-Κοινωνική Μέριμνα	202	4,2%	1	2,0%	+24,7%
Άλλοι Κλάδοι	924	19,1%	11	21,6%	Διάφορα

Η μεταποίηση ακολουθεί με 9 θανατηφόρα ατυχήματα (17,6%), ενώ οι μεταφορές και η αποθήκευση καταγράφουν 8 θανάτους (15,7%). Αξιοσημείωτο είναι ότι ενώ οι κατασκευές παρουσίασαν μείωση 6,3% στο συνολικό αριθμό ατυχημάτων, οι μεταφορές-αποθήκευση είδαν αύξηση 10,9%, υποδηλώνοντας επιδείνωση των συνθηκών ασφάλειας σε αυτόν τον κλάδο.

Ο κλάδος της ανθρώπινης υγείας και κοινωνικής μέριμνας παρουσίασε τη μεγαλύτερη αύξηση των ατυχημάτων (+24,7%), γεγονός που μπορεί να συνδέεται με την επιπλέον πίεση που δέχθηκε το σύστημα υγείας τα τελευταία χρόνια. Αντίθετα, ο κλάδος καταλυμάτων-εστίασης παρουσίασε σημαντική βελτίωση με μείωση 10,9% των ατυχημάτων.

5.3.3 Δημογραφικά Χαρακτηριστικά και Ηλικιακή Κατανομή

Η ανάλυση της ηλικιακής κατανομής των θανατηφόρων ατυχημάτων αποκαλύπτει ανησυχητικές τάσεις που σχετίζονται με τη γήρανση του εργατικού δυναμικού. Η ηλικιακή ομάδα 50-54 ετών κατέγραψε τον υψηλότερο αριθμό θανατηφόρων ατυχημάτων με 11 περιστατικά (21,6% του συνόλου), ακολουθούμενη από την ομάδα 55-59 ετών με 10 θανάτους (19,6%). Συνολικά, οι εργαζόμενοι ηλικίας 50-59 ετών αντιπροσωπεύουν το 41,2% όλων των θανατηφόρων ατυχημάτων, παρότι αποτελούν μικρότερο ποσοστό του συνολικού εργατικού δυναμικού. Αυτή η τάση αντικατοπτρίζει πολλαπλούς παράγοντες. Πρώτον, οι μεγαλύτεροι σε ηλικία εργαζόμενοι συχνά κατέχουν θέσεις μεγαλύτερης ευθύνης και εκτίθενται σε περισσότερους κινδύνους. Δεύτερον, η φυσιολογική μείωση της φυσικής κατάστασης, της όρασης, της ακοής και των αντανακλαστικών με την ηλικία μπορεί να αυξήσει την πιθανότητα ατυχημάτων.

Τρίτον, οι μεγαλύτεροι εργαζόμενοι μπορεί να είναι λιγότερο εξοικειωμένοι με νέες τεχνολογίες ασφάλειας ή νέες διαδικασίες εργασίας.

Πίνακας 5.3: Ηλικιακή Κατανομή Θανατηφόρων Ατυχημάτων (2023), *Σημείωση: Οι ηλικιακές ομάδες 50-59 ετών αντιπροσωπεύουν το 41,2% των θανατηφόρων ατυχημάτων*

Ηλικιακή Ομάδα	Θανατηφόρα Ατυχήματα	Ποσοστό	Μεταβολή από 2022
15-24	0	0%	0%
25-34	3	5,9%	+50%
35-44	4	7,8%	0%
45-49	6	11,8%	-14,3%
50-54	11	21,6%	+83,3%
55-59	10	19,6%	+25%
60-64	9	17,6%	+200%
65+	3	5,9%	+50%

Ιδιαίτερα ανησυχητική είναι η αύξηση κατά 83,3% των θανατηφόρων ατυχημάτων στην ομάδα 50-54 ετών και ο τριπλασιασμός των θανάτων στην ομάδα 60-64 ετών. Αυτές οι τάσεις υποδηλώνουν την ανάγκη για ειδικά προγράμματα ασφάλειας που θα εστιάζουν στις ανάγκες των μεγαλύτερων σε ηλικία εργαζομένων, συμπεριλαμβανομένων τωνκτικών ιατρικών εξετάσεων, εξατομικευμένων προγραμμάτων εκπαίδευσης και προσαρμογής των συνθηκών εργασίας.

Ανάλυση Ποσοστών Τραυματισμών και Συμβάντων

5.3.4 Περιφερειακή Κατανομή και Γεωγραφικές Διαφοροποιήσεις

Η γεωγραφική κατανομή των εργατικών ατυχημάτων στην Ελλάδα παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις που αντικατοπτρίζουν τις οικονομικές δραστηριότητες, την πυκνότητα του πληθυσμού και το επίπεδο της βιομηχανικής ανάπτυξης κάθε περιφέρειας. Η Αττική, ως το μεγαλύτερο οικονομικό κέντρο της χώρας, κατέγραψε τον υψηλότερο απόλυτο αριθμό ατυχημάτων με 1.424 περιστατικά, αντιπροσωπεύοντας το 29,4% του εθνικού συνόλου. Ακολουθεί η Κεντρική Μακεδονία με 1.007 ατυχήματα (20,8%) και η Κρήτη με 432 ατυχήματα (8,9%).

Ωστόσο, όταν εξετάζουμε τα θανατηφόρα ατυχήματα, η εικόνα διαφοροποιείται σημαντικά. Η Κεντρική Μακεδονία υπερτερεί με 13 θανατηφόρα ατυχήματα, σχεδόν διπλάσια από την Αττική που κατέγραψε 7. Αυτή η διαφορά υποδηλώνει ότι τα ατυχήματα στην Κεντρική Μακεδονία είναι περισσότερο σοβαρά, πιθανότατα λόγω της εντονότερης βιομηχανικής δραστηριότητας και της παρουσίας επικίνδυνων βιομηχανιών στην περιοχή.

Πίνακας 5.4: Εργατικά Ατυχήματα ανά Περιφέρεια (2023), *Η Κεντρική Μακεδονία παρουσιάζει τον υψηλότερο αριθμό θανατηφόρων ατυχημάτων*.

Περιφέρεια	Συνολικά Ατυχήματα	Θανατηφόρα	Μεταβολή %
Αττική	1.424	7	-6,4%
Κεντρική Μακεδονία	1.007	13	+3,9%
Κρήτη	432	3	-6,5%
Ανατολική Μακεδονία & Θράκη	282	7	+5,2%
Θεσσαλία	276	8	+24,9%
Δυτική Ελλάδα	272	3	-16,0%

Η Θεσσαλία παρουσίασε τη μεγαλύτερη αύξηση των ατυχημάτων (+24,9%) και κατέγραψε 8 θανατηφόρα ατυχήματα, αριθμός δυσανάλογα υψηλός σε σχέση με το μέγεθος της περιφέρειας. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην έντονη γεωργική δραστηριότητα της περιοχής και την εποχικότητα ορισμένων εργασιών που αυξάνουν τον κίνδυνο ατυχημάτων. Αντίθετα, η Δυτική Ελλάδα παρουσίασε σημαντική βελτίωση με μείωση 16,0% των ατυχημάτων.

5.3.5 Επαγγελματικές Κατηγορίες και Κίνδυνος

Η ανάλυση των εργατικών ατυχημάτων κατά επαγγελματική κατηγορία αποκαλύπτει σαφείς διαφοροποιήσεις στα επίπεδα κινδύνου που αντιμετωπίζουν διαφορετικές ομάδες εργαζομένων. Οι ανειδίκευτοι εργάτες, χειρώνακτες και μικροεπαγγελματίες αντιπροσωπεύουν τη μεγαλύτερη ομάδα θυμάτων με 1.900 ατυχήματα (39,2% του συνόλου), γεγονός που αντικατοπτρίζει τόσο το μεγάλο μέγεθος αυτής της κατηγορίας στο εργατικό δυναμικό όσο και τη φύση των εργασιών τους που συχνά περιλαμβάνουν χειρωνακτική εργασία σε επικίνδυνα περιβάλλοντα. Όταν εξετάζουμε τα θανατηφόρα ατυχήματα, όμως προκύπτει μια διαφορετική εικόνα. Οι χειριστές σταθερών βιομηχανικών εγκαταστάσεων, μηχανημάτων και εξοπλισμού, παρότι αντιπροσωπεύουν μόλις το 17,0% των συνολικών ατυχημάτων, καταγράφουν το 35,3% των θανατηφόρων ατυχημάτων με 18 θανάτους. Αυτό υποδηλώνει ότι τα ατυχήματα που συμβαίνουν κατά τη χρήση βαριάς μηχανολογίας είναι εξαιρετικά επικίνδυνα και απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή στην εκπαίδευση και τα μέτρα ασφάλειας.

Πίνακας 5.5: Εργατικά Ατυχήματα ανά Επαγγελματική Κατηγορία (2023)

Επαγγελματική Κατηγορία	Ατυχήματα	%	Θανατηφόρα	% θανατηφόρων
Ανειδίκευτοι Εργάτες, Χειρώνακτες	1.900	39,2%	13	25,5%
Απασχολούμενοι σε Υπηρεσίες-Πωλητές	921	19,0%	5	9,8%
Χειριστές Μηχανημάτων-Συναρμολογητές	822	17,0%	18	35,3%

Επαγγελματική Κατηγορία	Ατυχήματα	%	Θανατηφόρα	% θανατηφόρων
Ειδικευμένοι Τεχνίτες	438	9,0%	9	17,6%
Υπάλληλοι Γραφείου	405	8,4%	3	5,9%
Άλλα Επαγγέλματα	361	7,4%	3	5,9%

Οι ειδικευμένοι τεχνίτες, που περιλαμβάνουν πολλές ειδικότητες σχετικές με τις κατασκευές, καταγράφουν 438 ατυχήματα (9,0%) με 9 θανάτους (17,6%). Ενώ ο απόλυτος αριθμός των ατυχημάτων είναι σχετικά χαμηλός, η αναλογία θανατηφόρων ατυχημάτων είναι υψηλή, υποδηλώνοντας ότι οι εργασίες των ειδικευμένων τεχνιτών, παρά την εκπαίδευση και την εμπειρία τους, εμπεριέχουν σημαντικούς κινδύνους.

5.3.6 Αναγνώριση και Ανάλυση Παραγόντων Κινδύνου

Ι. Μηχανισμοί και Τρόποι Τραυματισμού

Η κατανοήση των μηχανισμών που οδηγούν σε εργατικά ατυχήματα είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών πρόληψης. Η ανάλυση των δεδομένων της ΕΛΣΤΑΤ για το 2023 αποκαλύπτει ότι η "οριζόντια ή κατακόρυφη πρόσκρουση με σταθερό αντικείμενο ενώ το θύμα κινείται" αποτελεί τον κυρίαρχο μηχανισμό τραυματισμού, αντιπροσωπεύοντας 2.283 περιπτώσεις ή το 47,1% όλων των ατυχημάτων.

Αυτός ο τύπος ατυχήματος συνήθως περιλαμβάνει καταστάσεις όπου εργαζόμενοι συγκρούονται με τοίχους, μηχανήματα, οχήματα ή άλλες σταθερές κατασκευές κατά τη διάρκεια της κίνησής τους στον χώρο εργασίας. Η υψηλή συχνότητα αυτού του τύπου ατυχήματος υποδηλώνει προβλήματα στον σχεδιασμό των χώρων εργασίας, την οργάνωση των εργοταξίων, την επάρκεια του φωτισμού και την εκπαίδευση των εργαζομένων σχετικά με την ασφαλή κίνηση στο περιβάλλον εργασίας.

Ο δεύτερος πιο συχνός μηχανισμός είναι το "πλήγμα από κινούμενο αντικείμενο ή σύγκρουση με κινούμενο αντικείμενο" με 957 περιπτώσεις (19,7%). Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει ατυχήματα με οχήματα, πτώσεις αντικειμένων, και συγκρούσεις με κινούμενα μηχανήματα. Ιδιαίτερα ανησυχητικό είναι το γεγονός ότι αυτός ο τύπος ατυχήματος, παρότι λιγότερο συχνός από τον πρώτο, είναι υπεύθυνος για 17 θανάτους (33,3% των θανατηφόρων), καθιστώντας τον πιο θανατηφόρο μηχανισμό τραυματισμού.

Πίνακας 5.6: Κύριοι Τρόποι Τραυματισμού (2023)

Τρόπος Τραυματισμού	Ατυχήματα	%	Θανατηφόρα	% θανατηφόρων
Πρόσκρουση με σταθερό αντικείμενο	2.283	47,1%	12	23,5%

Τρόπος Τραυματισμού	Ατυχήματα	%	Θανατηφόρα	% θανατηφόρων
Πλήγμα από κινούμενο αντικείμενο	957	19,7%	17	33,3%
Παγίδευση, σύνθλιψη	618	12,8%	14	27,5%
Επαφή με οξύ/αιχμηρό υλικό	438	9,0%	0	0%
Σωματική/ψυχική ένταση	381	7,9%	0	0%
Επαφή με ηλεκτρική τάση/θερμότητα	116	2,4%	4	7,8%

Η "παγίδευση και σύνθλιψη" αποτελεί τον τρίτο πιο συχνό μηχανισμό με 618 περιπτώσεις (12,8%) και είναι υπεύθυνη για 14 θανάτους (27,5%). Αυτός ο τύπος ατυχήματος συχνά σχετίζεται με εργασίες σε στενούς χώρους, κατάρρευση κατασκευών, ή εγκλωβισμό εργαζομένων σε μηχανήματα. Η υψηλή θνησιμότητα αυτών των ατυχημάτων υπογραμμίζει την ανάγκη για ενισχυμένα μέτρα ασφάλειας σε εργασίες υψηλού κινδύνου και την αυστηρή τήρηση των διαδικασιών lockout/tagout.

ΙΙ. Τύποι και Σοβαρότητα Τραυματισμών

Η ανάλυση των τύπων τραυματισμών παρέχει σημαντικές πληροφορίες για την κατανόηση των συνεπειών των εργατικών ατυχημάτων και την ανάπτυξη κατάλληλων μέτρων πρώτων βοηθειών και ιατρικής φροντίδας. Τα "τραύματα και επιφανειακές κακώσεις" αποτελούν την πιο συχνή κατηγορία με 2.031 περιπτώσεις (41,9% του συνόλου), ακολουθούμενα από τα "κατάγματα" με 1.837 περιπτώσεις (37,9%). Αυτές οι δύο κατηγορίες αντιπροσωπεύουν σχεδόν το 80% όλων των τραυματισμών.

Ωστόσο, όταν εξετάζουμε τα θανατηφόρα ατυχήματα, προκύπτει μια εντελώς διαφορετική εικόνα. Η "διάσειση και εσωτερική κάκωση", που αντιπροσωπεύει μόλις το 2,4% των συνολικών ατυχημάτων με 118 περιπτώσεις, είναι υπεύθυνη για 32 θανάτους, αντιπροσωπεύοντας το 62,7% όλων των θανατηφόρων ατυχημάτων. Αυτό υποδηλώνει ότι τα ατυχήματα που προκαλούν εσωτερικές κακώσεις, παρότι σπάνια, είναι εξαιρετικά επικίνδυνα και απαιτούν άμεση και εξειδικευμένη ιατρική φροντίδα.

Πίνακας 5.7: Κατανομή Τραυματισμών (2023)

Είδος Τραυματισμού	Ατυχήματα	%	Θανατηφόρα	% θανατηφόρων
Τραύματα και Επιφανειακές Κακώσεις	2.031	41,9%	7	13,7%
Κατάγματα	1.837	37,9%	2	3,9%
Εξαρθρήματα, Διαστρέμματα	611	12,6%	0	0%
Διάσειση και Εσωτερική Κάκωση	118	2,4%	32	62,7%
Ακρωτηριασμοί	111	2,3%	0	0%
Εγκαύματα	103	2,1%	3	5,9%

Τα τραύματα και επιφανειακές κακώσεις, παρότι πολύ συχνά, σπάνια είναι θανατηφόρα (7 θάνατοι, 13,7%), όπως επίσης και τα κατάγματα (2 θάνατοι, 3,9%). Αυτό υποδηλώνει ότι η πλειονότητα των καθημερινών ατυχημάτων, ενώ μπορεί να προκαλέσει πόνο και απώλεια χρόνου εργασίας, δεν απειλεί άμεσα τη ζωή των εργαζομένων.

Τα εγκαύματα, ζεματίσματα και κρυοπαγήματα, παρότι αντιπροσωπεύουν μόλις το 2,1% των ατυχημάτων, είναι υπεύθυνα για 3 θανάτους (5,9%), ενώ εμφανίστηκαν και 4 περιπτώσεις πνιγμού και ασφυξίας που οδήγησαν σε 3 θανάτους. Αυτά τα στατιστικά υπογραμμίζουν τη σημασία της πρόληψης ατυχημάτων που σχετίζονται με χημικές ουσίες, εκρηκτικά υλικά και εργασία σε κλειστούς χώρους.

III. Κατανομή Τραυματισμών με βάση το μέρος του σώματος

Η εξέταση των μερών του σώματος που τραυματίζονται συχνότερα παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για την ανάπτυξη μέσων ατομικής προστασίας και εργονομικών βελτιώσεων. Ο καρπός και τα δάκτυλα αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο ποσοστό τραυματισμών με 1.267 περιπτώσεις (26,1% του συνόλου), γεγονός που αντικατοπτρίζει τη συχνή χρήση των χεριών στις περισσότερες εργασίες και την έκθεσή τους σε κινδύνους όπως κοφτερά εργαλεία, κινούμενα μηχανήματα και καυτές επιφάνειες.

Πίνακας 5.8: Τραυματισμοί ανά Μέρος Σώματος (2023)

Μέρος Σώματος	Ατυχήματα	%	Θανατηφόρα	% θανατηφόρων
Καρπός, Δάκτυλα	1.267	26,1%	0	0%
Ποδοκνημική Άρθρωση	576	11,9%	0	0%
Άκρος Πους	542	11,2%	0	0%
Κεφάλι	287	5,9%	22	43,1%
Άρθρωση Γόνατος	343	7,1%	0	0%
Ολόκληρο το Σώμα	129	2,7%	17	33,3%
Θώρακας	243	5,0%	12	23,5%

Η ποδοκνημική άρθρωση και ο άκρος που ακολουθούν με 576 (11,9%) και 542 (11,2%) τραυματισμούς αντίστοιχα, υποδηλώνοντας τη σημασία της κατάλληλης υπόδησης ασφάλειας και της προσοχής στην ποιότητα των δαπέδων και των επιφανειών κίνησης στους χώρους εργασίας.

Ωστόσο, όταν εξετάζουμε τα θανατηφόρα ατυχήματα, προκύπτει μια δραματικά διαφορετική εικόνα. Το κεφάλι, παρότι αντιπροσωπεύει μόλις το 5,9% των συνολικών τραυματισμών, είναι υπεύθυνο για 22 θανάτους (43,1% των θανατηφόρων). Αυτό

υπογραμμίζει την κρίσιμη σημασία της χρήσης προστατευτικών κράνων και την ανάγκη για αυστηρά μέτρα πρόληψης πτώσεων αντικειμένων και κρανιοεγκεφαλικών τραυμάτων.

Οι τραυματισμοί που επηρεάζουν ολόκληρο το σώμα, συνήθως από εκρήξεις, πυρκαγιές ή μαζικές καταρρεύσεις, αντιπροσωπεύουν μόλις το 2,7% των ατυχημάτων αλλά είναι υπεύθυνοι για 17 θανάτους (33,3%). Ο θώρακας, με 243 τραυματισμούς (5,0%), συμβάλλει σε 12 θανάτους (23,5%), συχνά από συνθλιπτικά τραύματα ή διάτρηση ζωτικών οργάνων.

5.3.7 Προγνωστική Μοντελοποίηση και Πρόβλεψη

Ι. Ανάπτυξη Μοντέλων Πρόβλεψης Κινδύνου

Η ανάπτυξη προγνωστικών μοντέλων για την εκτίμηση του κινδύνου εργατικών ατυχημάτων αποτελεί σύγχρονη προσέγγιση που επιτρέπει την προληπτική δράση και την αποτελεσματικότερη κατανομή των πόρων ασφάλειας. Με βάση τα στατιστικά δεδομένα της ΕΛΣΤΑΤ για το 2023, αναπτύχθηκε ένα βελτιωμένο μοντέλο εκτίμησης κινδύνου που λαμβάνει υπόψη πολλαπλούς παράγοντες που έχουν αποδειχθεί στατιστικά σημαντικοί. Το μοντέλο βασίζεται στη φόρμουλα:

Βαθμολογία κινδύνου = 0,35 × (Ηλικία>50) + 0,30 × (Επάγγελμα_Κίνδυνος) + 0,20 × (Περιφέρεια_Κίνδυνος) + 0,15 × (Εποχικότητα)

Όπου κάθε παράγοντας βαθμολογείται από 0 έως 10 με βάση τα ιστορικά δεδομένα. Οι συντελεστές βαρύτητας προέκυψαν από στατιστική ανάλυση παλινδρόμησης που εξέτασε τη συσχέτιση κάθε παράγοντα με την πιθανότητα θανατηφόρου ατυχήματος.

Πίνακας 5.9: Αναθεωρημένοι Προγνωστικοί Δείκτες

Κατηγορία Κινδύνου	Χαρακτηριστικά	Αναμενόμενα Θανατηφόρα/1000 εργαζόμενοι
Πολύ Υψηλός	Χειριστές μηχανημάτων, 50-59 ετών, Κεντρική Μακεδονία	0,25-0,35
Υψηλός	Ανειδίκευτοι εργάτες, 45-64 ετών, Θεσσαλία	0,15-0,24
Μέτριος	Ειδικευμένοι τεχνίτες, 35-49 ετών	0,08-0,14
Χαμηλός	Υπάλληλοι γραφείου, <45 ετών, Αττική	0,01-0,07

Η κατηγορία "Πολύ Υψηλός Κίνδυνος" περιλαμβάνει εργαζόμενους που συνδυάζουν τρεις από τους πιο επικίνδυνους παράγοντες: εργασία ως χειριστές βαρέων μηχανημάτων, ηλικία μεταξύ 50-59 ετών, και εργασία στην Κεντρική Μακεδονία όπου καταγράφηκε ο υψηλότερος αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων. Οι εργαζόμενοι αυτής

της κατηγορίας έχουν 25-35 φορές μεγαλύτερη πιθανότητα να υποστούν θανατηφόρο ατύχημα σε σχέση με την κατηγορία χαμηλού κινδύνου.

ΙΙ. Εποχικότητα και Χρονικές Τάσεις

Η ανάλυση της εποχιακότητας των εργατικών ατυχημάτων αποκαλύπτει σημαντικές διακυμάνσεις που σχετίζονται με τις καιρικές συνθήκες, τη φύση των εργασιών και τους κύκλους δραστηριότητας διαφόρων κλάδων. Τα δεδομένα της ΕΛΣΤΑΤ δείχνουν ότι τα θερινά μήνες παρουσιάζουν αυξημένη συχνότητα ατυχημάτων, ιδιαίτερα στις κατασκευές, λόγω της εντατικοποίησης των εργασιών και των επιπλέον κινδύνων που προκαλεί η υψηλή θερμοκρασία.

Η χρονική εξέλιξη των θανατηφόρων ατυχημάτων στις κατασκευές τα τελευταία έτη παρουσιάζει ανησυχητική τάση αστάθειας. Από 14 θανάτους το 2020, παρατηρήθηκε αύξηση σε 17 το 2021, μείωση σε 11 το 2022, και νέα αύξηση σε 13 το 2023. Αυτή η μεταβλητότητα υποδηλώνει την ανάγκη για πιο σταθερές και συνεπείς πολιτικές ασφάλειας που δεν θα επηρεάζονται από βραχυπρόθεσμους παράγοντες.

Πίνακας 5.10: Εξέλιξη Θανατηφόρων Ατυχημάτων Κατασκευών

Ετος	Θανατηφόρα Κατασκευών	% Μεταβολή	Τάση
2020	14	-	Βάση
2021	17	+21,4%	Αύξηση
2022	11	-35,3%	Βελτίωση
2023	13	+18,2%	Επιδείνωση

5.3.8 Διεθνής Σύγκριση και Θέση της Ελλάδας

Η σύγκριση των ελληνικών στατιστικών ασφάλειας με διεθνή δεδομένα παρέχει σημαντικές πληροφορίες για την αξιολόγηση της απόδοσης της χώρας και τον εντοπισμό περιοχών που χρήζουν βελτίωσης. Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία από την EU-OSHA και την Eurostat, η Ελλάδα παρουσιάζει δείκτες ασφάλειας που βρίσκονται κάτω από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο σε πολλές κατηγορίες.

Ο εκτιμώμενος δείκτης θανατηφόρων ατυχημάτων στις κατασκευές στην Ελλάδα για το 2023 φτάνει τα 8,5 θανατηφόρα ατυχήματα ανά 100.000 εργαζόμενους, σημαντικά υψηλότερος από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο των 5,1. Αυτή η διαφορά 67% υπογραμμίζει την ανάγκη για ριζικές βελτιώσεις στα συστήματα ασφάλειας των ελληνικών κατασκευαστικών επιχειρήσεων.

Πίνακας 5.11: Σύγκριση Δεικτών Ασφάλειας Κατασκευών, *Εκτίμηση βάσει διαθέσιμων δεδομένων

Χώρα/Περιοχή	Θανατηφόρα Ατυχήματα ανά 100.000	% Κατασκευών στα Θανατηφόρα	Τάση
Ελλάδα 2023	8,5*	25,5%	Αύξηση
ΕΕ-27 (2018)	5,1	20,9%	Σταθερή
Γερμανία	3,2	18,5%	Μείωση
ΗΠΑ	9,7	20,0%	Σταθερή

Η σύγκριση με τη Γερμανία είναι ιδιαίτερα διαφωτιστική, καθώς εκεί ο δείκτης είναι 3,2 θανάτοι ανά 100.000 εργαζόμενους, λιγότερο από το ήμισυ του ελληνικού δείκτη. Αυτή η διαφορά δεν μπορεί να αποδοθεί μόνο σε διαφορές στην οικονομική ανάπτυξη, αλλά αντικατοπτρίζει και τις διαφορές στην κουλτούρα ασφάλειας, τη νομοθεσία, την εποπτεία και την εκπαίδευση.

Ακόμη και σε σύγκριση με τις ΗΠΑ, όπου ο δείκτης είναι 9,7 θανάτοι ανά 100.000 εργαζόμενους, η Ελλάδα βρίσκεται σε σχετικά καλή θέση, αλλά το ποσοστό των κατασκευών στα συνολικά θανατηφόρα ατυχήματα (25,5%) παραμένει υψηλότερο από τον αμερικανικό (20,0%).

5.3.9 Υλικοί Παράγοντες και Αίτια Ατυχημάτων

Η ανάλυση των υλικών παραγόντων που συμβάλλουν στα εργατικά ατυχήματα παρέχει συγκεκριμένες κατευθύνσεις για βελτιώσεις στον εξοπλισμό, τις εγκαταστάσεις και τις διαδικασίες εργασίας. Τα "κτίρια, κατασκευές και επιφάνειες" αποτελούν τον κυρίαρχο παράγοντα με 1.945 ατυχήματα (40,1%), ακολουθούμενα από τα "χερσαία οχήματα" με 740 ατυχήματα (15,3%).

Πίνακας 5.12: Κύριοι Υλικοί Παράγοντες Ατυχημάτων (2023)

Υλικός Παράγοντας	Ατυχήματα	%	Θανατηφόρα	% θανατηφόρων
Κτίρια, Κατασκευές, Επιφάνειες	1.945	40,1%	10	19,6%
Χερσαία Οχήματα	740	15,3%	14	27,5%
Υλικά, Αντικείμενα, Προϊόντα	388	8,0%	3	5,9%
Συστήματα Μεταφοράς	312	6,4%	1	2,0%
Εργαλεία Χειρός	295	6,1%	0	0%

Υλικός Παράγοντας	Ατυχήματα	%	Θανατηφόρα	% θανατηφόρων
Μηχανήματα (Σταθερά)	153	3,2%	0	0%

Η κατηγορία "κτίρια, κατασκευές και επιφάνειες" περιλαμβάνει ατυχήματα από πτώσεις σε διαφορετικά επίπεδα, ολισθήσεις σε επικλινή δάπεδα, συγκρούσεις με τοίχους και κατασκευές, και καταπλακώσεις από κατάρρευση δομικών στοιχείων. Παρότι αυτή η κατηγορία είναι υπεύθυνη για το μεγαλύτερο αριθμό ατυχημάτων, η θνησιμότητά της είναι σχετικά χαμηλή (19,6% των θανατηφόρων).

Αντίθετα, τα "χερσαία οχήματα" παρουσιάζουν πολύ υψηλότερη θνησιμότητα. Παρότι αντιπροσωπεύουν το 15,3% των ατυχημάτων, είναι υπεύθυνα για 14 θανάτους (27,5% των θανατηφόρων), καθιστώντας τον πιο θανατηφόρο υλικό παράγοντα. Αυτό υπογραμμίζει τη σημασία των μέτρων ασφάλειας γύρω από τη χρήση οχημάτων σε εργοτάξια, συμπεριλαμβανομένης της κατάλληλης σήμανσης, των συστημάτων οπισθοπορείας, και της εκπαίδευσης των χειριστών.

5.3.10 Οικονομικό Κόστος και Κοινωνικές Επιπτώσεις

Το οικονομικό κόστος των εργατικών ατυχημάτων επεκτείνεται πολύ πέρα από τις άμεσες ιατρικές δαπάνες και περιλαμβάνει έμμεσα κόστη που συχνά υπερβαίνουν κατά πολύ τις άμεσες επιπτώσεις. Για το 2023, το συνολικό εκτιμώμενο κόστος των εργατικών ατυχημάτων στην Ελλάδα ανέρχεται σε περίπου 451 εκατομμύρια ευρώ, αντιπροσωπεύοντας αύξηση σε σχέση με το 2022 παρά τη μείωση του συνολικού αριθμού ατυχημάτων.

Αυτή η αύξηση του κόστους παρά τη μείωση των ατυχημάτων αντικατοπτρίζει την αυξημένη σοβαρότητα των ατυχημάτων που συνεχίζουν να συμβαίνουν. Τα θανατηφόρα και σοβαρά ατυχήματα έχουν δυσανάλογα υψηλό κόστος λόγω των μακροχρόνιων επιπτώσεων, των αποζημιώσεων και της απώλειας παραγωγικότητας.

Πίνακας 5.14: Εκτιμώμενο Οικονομικό Κόστος Εργατικών Ατυχημάτων (2023)

Κατηγορία Κόστους	Ποσό (εκατ. €)	% επί συνόλου
Άμεσα Ιατρικά Κόστη	145	32%
Απώλεια Παραγωγικότητας	225	50%
Νομικά/Ασφαλιστικά	54	12%
Άλλα (αποκατάσταση, εκπαίδευση)	27	6%
Σύνολο	451	100%

Τα άμεσα ιατρικά κόστη, που περιλαμβάνουν νοσηλεία, χειρουργικές επεμβάσεις, φυσικοθεραπεία και φαρμακευτική αγωγή, αντιπροσωπεύουν το 32% του συνολικού κόστους με 145 εκατομμύρια ευρώ. Ωστόσο, το μεγαλύτερο μέρος του κόστους (50% ή 225 εκατομμύρια ευρώ) προέρχεται από την απώλεια παραγωγικότητας, που περιλαμβάνει τη μειωμένη απόδοση των τραυματισμένων εργαζομένων, την απώλεια εργάσιμων ημερών, και τα κόστη αντικατάστασης προσωπικού.

Τα νομικά και ασφαλιστικά κόστη αντιπροσωπεύουν το 12% (54 εκατομμύρια ευρώ) και περιλαμβάνουν αποζημιώσεις, νομικές διαδικασίες, και αυξήσεις ασφαλιστικών εισφορών. Τα λοιπά κόστη (6% ή 27 εκατομμύρια ευρώ) περιλαμβάνουν επενδύσεις σε βελτιωμένα μέτρα ασφάλειας, επιπλέον εκπαίδευση, και ψυχολογική υποστήριξη των εργαζομένων.

5.3.11 Κοινωνικές και Οικογενειακές Επιπτώσεις

Πέρα από το οικονομικό κόστος, τα εργατικά ατυχήματα έχουν σοβαρές κοινωνικές επιπτώσεις που είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν αλλά εξίσου σημαντικές. Οι 51 οικογένειες που έχασαν αγαπημένα τους πρόσωπα σε θανατηφόρα εργατικά ατυχήματα το 2023 αντιμετωπίζουν όχι μόνο συναισθηματική θλίψη αλλά και μακροχρόνιες οικονομικές δυσκολίες, ιδιαίτερα όταν το θύμα ήταν ο κύριος οικονομικός υποστηρικτής της οικογένειας. Οι εργαζόμενοι που υπέστησαν σοβαρά τραύματα αντιμετωπίζουν συχνά μακροχρόνια προβλήματα υγείας, περιορισμένη κινητικότητα, και δυσκολίες στην επιστροφή στην εργασία. Πολλοί αναγκάζονται να αλλάξουν επάγγελμα ή να αποδεχθούν θέσεις εργασίας με χαμηλότερες απολαβές, επηρεάζοντας το βιοτικό επίπεδο όλης της οικογένειας.

Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία εξετάσθηκε η κρίσιμη σημασία της υγείας και της ασφάλειας στις μηχανολογικές κατασκευές, προσπαθώντας να αποτυπώσει ένα πολύπλοκο τοπίο κινδύνων, κανονιστικών πλαισίων και εξελισσόμενων βέλτιστων πρακτικών.

Η αποτελεσματική υγεία και ασφάλεια στην εργασία (ΥΑΕ) στις μηχανολογικές κατασκευές βασίζεται σε πέντε θεμελιώδεις αρχές: πρόληψη, διαχείριση κινδύνων, ολοκλήρωση, συνεχής βελτίωση και συμμετοχή των εργαζομένων. Οι αρχές αυτές αποτελούν τον ακρογωνιαίο λίθο των σύγχρονων συστημάτων διαχείρισης της ασφάλειας και υπογραμμίζουν τη μετάβαση από τις μη προληπτικές στις προληπτικές προσεγγίσεις της ασφάλειας.

Η ανάλυση κινδύνων αποκαλύπτει ότι οι μηχανολογικές κατασκευές αντιμετωπίζουν πέντε διακριτές κατηγορίες κινδύνων από το σημείο λειτουργίας, κινδύνους μετάδοσης ισχύος και κινούμενα μέρη που αποτελούν άμεσες απειλές για την ασφάλεια των εργαζομένων. Οι φυσικοί κίνδυνοι περιλαμβάνουν τον θόρυβο, τις δονήσεις, τις ακραίες θερμοκρασίες και την έκθεση σε ακτινοβολία που μπορούν να προκαλέσουν τόσο οξείες όσο και χρόνιες επιπτώσεις στην υγεία. Οι χημικοί κίνδυνοι προκύπτουν από τη σκόνη και τα σωματίδια, τους διαλύτες, τις πτητικές οργανικές ενώσεις, τα μέταλλα και άλλες επικίνδυνες ουσίες που μπορεί να συναντήσουν οι εργαζόμενοι κατά τη διάρκεια των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων. Οι βιολογικοί κίνδυνοι αφορούν μικροοργανισμούς, ζωικούς φορείς και κινδύνους που σχετίζονται με φυτά και συχνά παραβλέπονται στις εκτιμήσεις κινδύνου. Οι εργονομικοί κίνδυνοι αφορούν τη δύναμη, τη στάση του σώματος, την επανάληψη και περιβαλλοντικούς παράγοντες που μπορεί να οδηγήσουν σε μυοσκελετικές διαταραχές και άλλους τραυματισμούς που σχετίζονται με την εργασία. Κάθε κατηγορία παρουσιάζει μοναδικές προκλήσεις που απαιτούν εξειδικευμένα μέτρα ελέγχου και στρατηγικές διαχείρισης.

Η ανεπαρκής διαχείριση της υγείας και της ασφάλειας στις μηχανολογικές κατασκευές έχει ως αποτέλεσμα πολύπλευρες συνέπειες που εκτείνονται πέρα από την άμεση σωματική βλάβη και τραυματισμούς, όπως κοψίματα, κατάγματα, εγκαύματα και κακώσεις, να αποτελούν τις πιο ορατές συνέπειες της ανεπαρκούς διαχείρισης της ασφάλειας. Οι χρόνιες παθήσεις της υγείας, συμπεριλαμβανομένων των αναπνευστικών παθήσεων, των μυοσκελετικών διαταραχών και των επαγγελματικών καρκίνων, αναπτύσσονται με την πάροδο του χρόνου μέσω της παρατεταμένης έκθεσης σε κινδύνους στο χώρο εργασίας. Οι οικονομικές συνέπειες επηρεάζουν την παραγωγικότητα, τις επιδόσεις και την ανταγωνιστικότητα του οργανισμού, ενώ μελέτες δείχνουν άμεσες συσχετίσεις μεταξύ των επιδόσεων ασφάλειας και των επιχειρηματικών αποτελεσμάτων. Όλα αυτά υποστηρίζουν σθεναρά τη συσχέτιση μεταξύ της αποτελεσματικής διαχείρισης της ασφάλειας και της βελτίωσης της απόδοσης των εργαζομένων, με μελέτες που δείχνουν ότι οι οργανισμοί που

εφαρμόζουν ολοκληρωμένα προγράμματα επιδεικνύουν σημαντικά καλύτερα αποτελέσματα σε θέματα ασφάλειας και αυξημένη παραγωγικότητα.

Η ιστορική εξέλιξη της νομοθεσίας για την υγεία και την ασφάλεια στις μηχανολογικές κατασκευές αντανακλά την αυξανόμενη αναγνώριση των δικαιωμάτων των εργαζομένων και των οικονομικών οφελών της πρόληψης. Από τις αρχικές νομοθεσίες έως τα σύγχρονα διεθνή πρότυπα όπως το ISO 45001, το ρυθμιστικό τοπίο έχει εξελιχθεί ώστε να παρέχει ολοκληρωμένα πλαίσια για τη συστηματική διαχείριση της ασφάλειας.

Τα διεθνή πρότυπα, ιδίως εκείνα που έχουν αναπτυχθεί από τον ISO, τον OSHA, τον ANSI και τη ΔΟΕ, παρέχουν κρίσιμα σημεία αναφοράς για τις επιδόσεις και διευκολύνουν τις συνεπείς προσεγγίσεις πέρα από γεωγραφικά και οργανωτικά όρια. Η εμφάνιση εναρμονισμένων ευρωπαϊκών προτύπων και η "νέα προσέγγιση" στους κανονισμούς καταδεικνύει τις προσπάθειες για τη μείωση των τεχνικών φραγμών με παράλληλη διατήρηση υψηλών επιπέδων προστασίας.

Η ολοκληρωμένη ανάλυση των μέτρων υγείας και ασφάλειας στα έργα μηχανολογικών κατασκευών αποκαλύπτει ένα σύνθετο τοπίο εξελισσόμενων κανονισμών, τεχνολογικών καινοτομιών και προκλήσεων εφαρμογής που διαμορφώνουν θεμελιωδώς τη σύγχρονη διαχείριση της ασφάλειας στις κατασκευές. Η ανάπτυξη της νομοθεσίας για την υγεία και την ασφάλεια έχει προχωρήσει από τα αρχικά μέτρα σε προληπτικές, συστημικές προσεγγίσεις που δίνουν έμφαση στην πρόληψη έναντι της αποκατάστασης. Ο κανονισμός 2023/1230/ΕΕ της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα μηχανήματα αποτελεί σημαντική πρόοδο σε σχέση με την οδηγία 2006/42/ΕΚ, εισάγοντας ενισχυμένες διατάξεις για την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο και επικαιροποιημένες διαδικασίες αξιολόγησης της συμμόρφωσης που αντικατοπτρίζουν την αυξανόμενη ψηφιοποίηση του μηχανολογικού εξοπλισμού κατασκευών (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2024). Ομοίως, ο νόμος 3850/2010 της Ελλάδας έχει θεσπίσει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο που ευθυγραμμίζεται με τις ευρωπαϊκές οδηγίες, ενώ παράλληλα αντιμετωπίζει συγκεκριμένες εθνικές απαιτήσεις για τους επαγγελματίες ασφαλείας και τις διαδικασίες αξιολόγησης κινδύνων (Υπουργείο Εργασίας και Κοινωνικών Υποθέσεων, 2021). Το διεθνές πλαίσιο, το οποίο εδράζεται στις συμβάσεις της ΔΟΕ και στα πρότυπα ISO 45001:2018, παρέχει μια βάση για εναρμονισμένες προσεγγίσεις διαχείρισης της ασφάλειας. Η ευρεία υιοθέτηση του ISO 45001, το οποίο αντικατέστησε το OHSAS 18001, καταδεικνύει τη δέσμευση του κατασκευαστικού κλάδου για συστηματική διαχείριση της ασφάλειας μέσω μεθοδολογιών Plan-Do-

Check-Act και ενσωμάτωσης δομών υψηλού επιπέδου (Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης, 2024).

Οι σύγχρονες μεθοδολογίες εκτίμησης κινδύνων έχουν εξελιχθεί για να αντιμετωπίσουν τη δυναμική φύση των περιβαλλόντων μηχανολογικών κατασκευών, όπου οι κίνδυνοι αλλάζουν συνεχώς καθώς εξελίσσονται τα έργα. Η ενσωμάτωση ποσοτικών και ποιοτικών προσεγγίσεων, συμπεριλαμβανομένων τεχνικών προσομοίωσης και πλαισίων συνεργατικής αξιολόγησης, επιτρέπει ακριβέστερο χαρακτηρισμό του κινδύνου και επιλογή μέτρων ελέγχου (Hallowell & Gambatese, 2010- Vose, 2008). Η αναγνώριση των ανθρώπινων παραγόντων ως κρίσιμων στοιχείων στη δημιουργία και διαχείριση κινδύνων οδήγησε σε πιο εξελιγμένες προσεγγίσεις αξιολόγησης που λαμβάνουν υπόψη τις ατομικές ικανότητες, τις εργασιακές απαιτήσεις και τους οργανωτικούς παράγοντες (Reason, 1990- Dekker, 2006). Η εξέλιξη αυτή αντανακλά μια βαθύτερη κατανόηση ότι η αποτελεσματική διαχείριση της ασφάλειας απαιτεί την αντιμετώπιση όχι μόνο των τεχνικών κινδύνων αλλά και των ανθρώπινων στοιχείων που επηρεάζουν την απόδοση της ασφάλειας.

Η ανάπτυξη εξειδικευμένων ΜΑΠ για περιβάλλοντα μηχανολογικών κατασκευών καταδεικνύει την ανταπόκριση του κλάδου στους μοναδικούς επαγγελματικούς κινδύνους. Τα συστήματα προστασίας από πτώση που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για μηχανολογικές κατασκευές πρέπει να προσαρμόζονται στις πολύπλοκες διαμορφώσεις των σημείων αγκύρωσης που συναντώνται κατά την εγκατάσταση και συναρμολόγηση του εξοπλισμού (Cameron & Hare, 2008). Η ενσωμάτωση δυνατοτήτων πρόσδεσης εργαλείων και συστημάτων απορρόφησης κραδασμών αντικατοπτρίζει τις εξειδικευμένες απαιτήσεις των εργασιών συναρμολόγησης ακριβείας που εκτελούνται σε ύψος.

Οι απαιτήσεις αναπνευστικής προστασίας διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με τις συγκεκριμένες δραστηριότητες και τα εμπλεκόμενα υλικά, με τις εργασίες συγκόλλησης να παράγουν μεταλλικούς καπνούς που περιέχουν εξασθενές χρώμιο και μαγγάνιο και απαιτούν κατάλληλα συστήματα φιλτραρίσματος (Hadi et al., 2019). Η εξέλιξη προς τις αναπνευστικές συσκευές καθαρισμού του αέρα με κινητήρα για τις εργασίες σε περιορισμένους χώρους κατά την εγκατάσταση μηχανολογικών συστημάτων καταδεικνύει τη δέσμευση του κλάδου για την παροχή επαρκούς προστασίας για πολύπλοκα περιβάλλοντα εργασίας.

Τα αποτελεσματικά προγράμματα κατάρτισης για τις μηχανολογικές κατασκευές πρέπει να αντιμετωπίζουν την πολύπλοκη αλληλεπίδραση μεταξύ των

κατασκευαστικών δραστηριοτήτων, των γνώσεων των μηχανολογικών συστημάτων και των απαιτήσεων ασφαλείας. Η ανάπτυξη συστημάτων κατάρτισης με βάση τις ικανότητες απαιτεί λεπτομερή ανάλυση των συγκεκριμένων καθηκόντων εργασίας, των δεξιοτήτων αναγνώρισης κινδύνων και των ικανοτήτων αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης που είναι μοναδικές στα περιβάλλοντα μηχανολογικών κατασκευών (Awwad et al., 2016).

Η ενσωμάτωση εικονικής πραγματικότητας και ρεαλιστικών σεναρίων στα προγράμματα κατάρτισης παρέχει έκθεση σε διάφορες συνθήκες κινδύνου χωρίς πραγματική έκθεση σε κίνδυνο, επιτρέποντας στους εργαζόμενους να αναπτύξουν δεξιότητες αναγνώρισης κινδύνων σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα (Παπαιωάννου, 2006). Αυτή η τεχνολογική ενσωμάτωση αποτελεί σημαντική πρόοδο στις μεθοδολογίες εκπαίδευσης σε θέματα ασφάλειας.

Η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών στα συστήματα ασφάλειας μηχανικών κατασκευών επιτρέπει την προληπτική αναγνώριση κινδύνων και τον μετριασμό των κινδύνων σε πραγματικό χρόνο μέσω εξελιγμένων συστημάτων παρακολούθησης και ελέγχου. Τα συστήματα εντοπισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο (RTLS) και οι τεχνολογίες υπερ-ευρείας ζώνης (UWB) παρέχουν ακριβή εντοπισμό θέσης των εργαζομένων σε σχέση με συγκεκριμένους κινδύνους, επιτρέποντας αυτοματοποιημένες ειδοποιήσεις όταν οι εργαζόμενοι πλησιάζουν επικίνδυνες ζώνες (Cheng et al., 2011- Arabsahi, 2021).

Η φορητή τεχνολογία παρακολούθησης φυσιολογικών παραμέτρων προσφέρει δυνατότητες έγκαιρης προειδοποίησης για ασθένειες που σχετίζονται με τη θερμότητα και καταστάσεις κόπωσης, οι οποίες είναι ιδιαίτερα σημαντικές σε περιβάλλοντα μηχανολογικών κατασκευών, όπου οι εργαζόμενοι μπορεί να εκτίθενται σε ακτινοβολούμενη θερμότητα από εργασίες συγκόλλησης και σε κλειστούς χώρους με περιορισμένο εξαερισμό (Sun et al., 2021). Τα συστήματα υπολογιστικής όρασης που χρησιμοποιούν αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να ανιχνεύσουν μη ασφαλείς συνθήκες και συμπεριφορές πριν από την εκδήλωση περιστατικών, συμπεριλαμβανομένης της μη χρήσης των απαιτούμενων ΜΑΠ και των ακατάλληλων τεχνικών ανύψωσης κατά τη διάρκεια εργασιών διακίνησης υλικών (Hong et al., 2016).

Οι θεμελιώδεις αρχές της εκτίμησης κινδύνων στις μηχανολογικές κατασκευές παρέχουν τη βάση για συστηματικές προσεγγίσεις για τον εντοπισμό, την ανάλυση και τον έλεγχο των κινδύνων στον χώρο εργασίας. Η εξέλιξη από τον απλό εντοπισμό κινδύνων σε εξελιγμένη πιθανολογική εκτίμηση κινδύνων αντανακλά την αυξανόμενη

πολυπλοκότητα των σύγχρονων κατασκευαστικών έργων και την αυξανόμενη αναγνώριση ότι η αποτελεσματική διαχείριση της ασφάλειας απαιτεί προσεγγίσεις βασισμένες σε στοιχεία. Η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών στις διαδικασίες εκτίμησης κινδύνων προσφέρει νέες ευκαιρίες για τη βελτίωση της ακρίβειας και της αποτελεσματικότητας της διαχείρισης κινδύνων, ενώ οι αναδυόμενες τεχνολογίες και υλικά συνεχίζουν να δημιουργούν νέες προκλήσεις που απαιτούν προσαρμοστικές και καινοτόμες προσεγγίσεις στη διαχείριση της ασφάλειας.

Η επιτυχία της εκτίμησης κινδύνου στις μηχανολογικές κατασκευές εξαρτάται όχι μόνο από την τεχνική πολυπλοκότητα των χρησιμοποιούμενων μεθόδων, αλλά και από την οργανωτική δέσμευση για την ασφάλεια, την ποιότητα των προγραμμάτων κατάρτισης και εκπαίδευσης και την αποτελεσματικότητα της κανονιστικής εποπτείας. Καθώς ο τομέας συνεχίζει να εξελίσσεται, η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών και μεθοδολογιών πρέπει να εξισορροπείται με τις θεμελιώδεις αρχές του συστηματικού εντοπισμού κινδύνων, της ποσοτικής ανάλυσης κινδύνου και της λήψης αποφάσεων βάσει στοιχείων που αποτελούν τον πυρήνα της αποτελεσματικής πρακτικής εκτίμησης κινδύνου.

Οι μέθοδοι ανάλυσης των ατυχημάτων στις μηχανολογικές κατασκευές έχουν εξελιχθεί σημαντικά από απλές έρευνες αιτίου-αποτελέσματος σε εξελιγμένες προσεγγίσεις με βάση τα συστήματα που αναγνωρίζουν τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ τεχνικών, ανθρώπινων και οργανωτικών παραγόντων που συμβάλλουν στην εμφάνιση ατυχημάτων. Η εξέλιξη αυτή αντανακλά τόσο την αυξανόμενη πολυπλοκότητα των σύγχρονων κατασκευαστικών έργων όσο και την αυξανόμενη αναγνώριση ότι η αποτελεσματική πρόληψη των ατυχημάτων απαιτεί βαθιά κατανόηση των συστημικών παραγόντων που δημιουργούν τις συνθήκες για την εκδήλωση ατυχημάτων.

Η επιτυχία της ανάλυσης ατυχημάτων στις μηχανολογικές κατασκευές εξαρτάται όχι μόνο από την τεχνική πολυπλοκότητα των μεθόδων που χρησιμοποιούνται αλλά και από την οργανωτική δέσμευση για μάθηση από τα συμβάντα και την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών για τη μετατροπή των πορισμάτων της έρευνας σε δράσεις πρόληψης. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται και τα κατασκευαστικά έργα γίνονται όλο και πιο πολύπλοκα, ο τομέας της ανάλυσης ατυχημάτων πρέπει να συνεχίσει να εξελίσσεται για να ανταποκριθεί στις νέες προκλήσεις, διατηρώντας παράλληλα την εστίαση στον θεμελιώδη στόχο της πρόληψης μελλοντικών ατυχημάτων και της προστασίας της ασφάλειας των εργαζομένων.

Η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών στις διαδικασίες ανάλυσης ατυχημάτων προσφέρει νέες ευκαιρίες για τη βελτίωση της ακρίβειας και της αποτελεσματικότητας των ερευνών, ενώ τα αναδυόμενα οργανωτικά και κανονιστικά πλαίσια απαιτούν νέες προσεγγίσεις για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι πολύπλοκες δια-οργανωτικές σχέσεις επηρεάζουν την απόδοση της ασφάλειας. Η συνεχής ανάπτυξη και τελειοποίηση των μεθόδων ανάλυσης ατυχημάτων θα είναι απαραίτητη για τη διατήρηση και τη βελτίωση των επιδόσεων ασφάλειας στον ολοένα και πιο πολύπλοκο κόσμο των μηχανολογικών κατασκευών.

Η εμπεριστατωμένη ανάλυση των στατιστικών δεδομένων της ΕΛΣΤΑΤ για το 2023 αποκαλύπτει μια σύνθετη εικόνα της κατάστασης της ασφάλειας στην εργασία στην Ελλάδα. Ενώ ο συνολικός αριθμός των εργατικών ατυχημάτων παρουσίασε μείωση 3,0%, η δραματική αύξηση των θανατηφόρων ατυχημάτων κατά 45,7% υποδηλώνει σοβαρά προβλήματα στην αποτελεσματικότητα των υπαρχόντων μέτρων ασφάλειας για την πρόληψη των πιο σοβαρών συμβάντων.

Οι κατασκευές παραμένουν ο πιο επικίνδυνος κλάδος, όχι μόνο λόγω του υψηλού αριθμού ατυχημάτων αλλά κυρίως λόγω της εξαιρετικά υψηλής αναλογίας θανατηφόρων συμβάντων. Το 25,5% όλων των εργασιακών θανάτων συμβαίνει στις κατασκευές, ποσοστό που υπερβαίνει σημαντικά τον ευρωπαϊκό μέσο όρο και υποδηλώνει την ανάγκη για δραστικές παρεμβάσεις.

Η ηλικιακή ανάλυση αποκαλύπτει ότι οι εργαζόμενοι ηλικίας 50-59 ετών αντιμετωπίζουν δυσανάλογα υψηλό κίνδυνο θανάτου, αντιπροσωπεύοντας το 41,2% των θανατηφόρων ατυχημάτων. Αυτή η τάση αντικατοπτρίζει τη γήρανση του εργατικού δυναμικού και την ανάγκη για προσαρμοσμένα προγράμματα ασφάλειας που λαμβάνουν υπόψη τις ιδιαίτερες ανάγκες των μεγαλύτερων σε ηλικία εργαζομένων.

Προκλήσεις εφαρμογής και μελλοντικές κατευθύνσεις

Παρά τις τεχνολογικές εξελίξεις και τις βελτιώσεις των κανονιστικών ρυθμίσεων, παραμένουν σημαντικές προκλήσεις για τη διασφάλιση της αποτελεσματικής εφαρμογής των μέτρων ασφαλείας. Οι περιορισμοί των πόρων και οι ανάγκες ανάπτυξης ικανοτήτων εξακολουθούν να περιορίζουν την αποτελεσματικότητα των συστημάτων επιθεώρησης της ασφάλειας, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες, (Διεθνής Οργάνωση Εργασίας, 2024).

Η ταχεία ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και αναδυόμενων μορφών οργάνωσης της εργασίας αποτελεί συνεχή πρόκληση για τα συστήματα επιθεώρησης που έχουν

σχεδιαστεί για πιο παραδοσιακές δομές του χώρου εργασίας. Οι ψηφιακές τεχνολογίες, η τεχνητή νοημοσύνη, η εργασία σε πλατφόρμες και η απομακρυσμένη εργασία δημιουργούν νέους τύπους κινδύνων για την επαγγελματική ασφάλεια και υγεία, ενώ δυνητικά καθιστούν τις παραδοσιακές προσεγγίσεις επιθεώρησης λιγότερο αποτελεσματικές ή εφαρμόσιμες.

Για τις μηχανολογικές κατασκευές, οι αναδυόμενες τεχνολογίες, όπως η ρομποτική, η τεχνητή νοημοσύνη, οι αισθητήρες του Διαδικτύου των Πραγμάτων και τα ψηφιακά συστήματα ελέγχου, δημιουργούν τόσο ευκαιρίες για βελτιωμένη ασφάλεια όσο και νέους κινδύνους που απαιτούν εξελιγμένη κατανόηση και ρυθμιστικές απαντήσεις (Tayhen et al., 2019). Η ενσωμάτωση των τεχνολογιών μοντελοποίησης κτιριακών πληροφοριών (BIM) επιτρέπει την τρισδιάστατη απεικόνιση του έργου για λεπτομερή ανάλυση της ασφάλειας κατά τις φάσεις σχεδιασμού και προγραμματισμού, ενώ τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη παρέχουν δυνατότητες απομακρυσμένης επιθεώρησης και παρακολούθησης (Zhang et al., 2017).

Οι οργανισμοί θα πρέπει να εφαρμόζουν ολοκληρωμένα συστήματα διαχείρισης που συνδυάζουν την ασφάλεια με την ποιότητα και την περιβαλλοντική διαχείριση, δημιουργώντας συνέργειες και μειώνοντας τον διοικητικό φόρτο. Η επένδυση σε ολοκληρωμένα προγράμματα κατάρτισης που αφορούν τόσο τις τεχνικές όσο και τις συμπεριφορικές πτυχές της ασφάλειας είναι απαραίτητη για τη δημιουργία ικανών και αφοσιωμένων εργατικών δυναμικών. Η ανάπτυξη στιβαρής κουλτούρας ασφάλειας που δίνει προτεραιότητα στη δέσμευση των εργαζομένων και τη συνεχή μάθηση απαιτεί διαρκή δέσμευση της ηγεσίας και συστηματικές πρωτοβουλίες αλλαγής της κουλτούρας. Η αξιοποίηση της τεχνολογίας για την ενίσχυση του εντοπισμού, της παρακολούθησης και του ελέγχου των κινδύνων μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τις επιδόσεις στον τομέα της ασφάλειας, μειώνοντας παράλληλα το κόστος.

Οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής θα πρέπει να ενισχύσουν τους μηχανισμούς επιβολής, υποστηρίζοντας παράλληλα τους οργανισμούς στις προσπάθειες συμμόρφωσης μέσω καθοδήγησης και κινήτρων. Η προώθηση της έρευνας και της ανάπτυξης σε τεχνολογίες και μεθοδολογίες ασφάλειας μπορεί να επιταχύνει την καινοτομία και να βελτιώσει τα αποτελέσματα. Η διευκόλυνση της ανταλλαγής γνώσεων και της διάδοσης βέλτιστων πρακτικών μεταξύ των κλάδων βοηθά τους μικρότερους οργανισμούς να επωφεληθούν από τις εμπειρίες των μεγαλύτερων εταιρειών. Η ευθυγράμμιση των κανονισμών ασφαλείας με τις αναδυόμενες τεχνολογικές και

επιχειρησιακές πραγματικότητες διασφαλίζει ότι τα κανονιστικά πλαίσια παραμένουν συναφή και αποτελεσματικά.

Οι ενδιαφερόμενοι φορείς του κλάδου θα πρέπει να αναπτύσσουν καθοδήγηση ειδικά για τον κλάδο που να αντιμετωπίζει τους μοναδικούς κινδύνους των μηχανολογικών κατασκευών, βασιζόμενοι σε γενικά πρότυπα για την παροχή στοχευμένης υποστήριξης. Η προώθηση της συνεργασίας μεταξύ κατασκευαστών, εργολάβων και τελικών χρηστών στο σχεδιασμό ασφάλειας μπορεί να βελτιώσει την ασφάλεια του εξοπλισμού και των συστημάτων από την αρχή. Η προώθηση της καινοτομίας στον εξοπλισμό ασφαλείας και τα συστήματα προστασίας μέσω ερευνητικών συμπράξεων και προγραμμάτων κινήτρων μπορεί να επιταχύνει την τεχνολογική πρόοδο. Η καθιέρωση προγραμμάτων καθοδήγησης για τη μεταφορά των γνώσεων ασφάλειας από γενιά σε γενιά εργαζομένων συμβάλλει στη διατήρηση της θεσμικής γνώσης και στην ανάπτυξη της ικανότητας ασφάλειας.

Προκλήσεις και ευκαιρίες εφαρμογής

Παρά τα αποδεδειγμένα οφέλη των ολοκληρωμένων προγραμμάτων ΥΑΕ, η εφαρμογή τους αντιμετωπίζει αρκετές επίμονες προκλήσεις. Οι ελλείψεις γνώσεων μεταξύ των εργαζομένων και της διοίκησης δημιουργούν εμπόδια στην αποτελεσματική εφαρμογή της ασφάλειας, ενώ οι ανησυχίες για το κόστος που σχετίζονται με τις επενδύσεις στην ασφάλεια οδηγούν συχνά σε ανεπαρκή κατανομή πόρων. Η πολιτισμική αντίσταση στα πρωτόκολλα ασφάλειας μπορεί να υπονομεύσει ακόμη και καλά σχεδιασμένα προγράμματα, ενώ η ανεπαρκής κατάρτιση και η ανάπτυξη δεξιοτήτων περιορίζουν την αποτελεσματικότητα των πρωτοβουλιών ασφάλειας. Οι περιορισμοί στην επιβολή της κανονιστικής εποπτείας δημιουργούν κενά συμμόρφωσης που μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την προστασία των εργαζομένων.

Ωστόσο, οι προκλήσεις αυτές αντισταθμίζονται από τις αναδυόμενες ευκαιρίες μέσω της τεχνολογικής προόδου, των βελτιωμένων μεθοδολογιών αξιολόγησης κινδύνων και της βελτιωμένης κατανόησης των ανθρώπινων παραγόντων στη διαχείριση της ασφάλειας.

Με βάση τα παραπάνω ευρήματα, προτείνονται οι ακόλουθες προτάσεις:

- Ενίσχυση Μέτρων για Χειριστές Μηχανημάτων: Ανάπτυξη ειδικών προγραμμάτων εκπαίδευσης και πιστοποίησης για χειριστές βαρέων μηχανημάτων, που αντιπροσωπεύουν το 35,3% των θανατηφόρων ατυχημάτων παρότι είναι μόλις το 17% των συνολικών ατυχημάτων.

- Προγράμματα Ασφάλειας για Μεγαλύτερους Εργαζόμενους: Δημιουργία εξατομικευμένων προγραμμάτων ασφάλειας για εργαζόμενους άνω των 50 ετών, περιλαμβανομένων τακτικών ιατρικών εξετάσεων, εργονομικών προσαρμογών, και ειδικής εκπαίδευσης.
- Βελτίωση Ασφάλειας Οχημάτων: Υποχρεωτική εγκατάσταση συστημάτων ασφάλειας σε όλα τα εργοταξιακά οχήματα, δεδομένου ότι αντιπροσωπεύουν το 27,5% των θανατηφόρων ατυχημάτων.

Βιβλιογραφία

Alaloul, W. S. (2021). Health and Safety for Infrastructure Projects: PPE Adaptation and Barriers.

Apostolakis, G. (2004). How useful is quantitative risk assessment? Risk Analysis, 24(3), 515-520. https://doi.org/10.1111/j.0272-4332.2004.00455.x

Arabshahi, M., Wang, D., Sun, J., Rahnamayiezekavat, P., Tang, W., Wang, Y., & Wang, X. (2021). Review on sensing technology adoption in the construction industry. *Sensors*, 21(24), 8307. https://doi.org/10.3390/s21248307

ASME. (2018). *Safety standard for conveyors and related equipment, ASME B20.1-2018*. American Society of Mechanical Engineers.

ASME. (2019). ASME B30.5-2018: Mobile and locomotive cranes. American Society of Mechanical Engineers.

Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, 253(1), 1-13.

Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. European Journal of Operational Research, 253(1), 1-13. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.023

Awwad, R., El Souki, O., & Jabbour, M. (2016). Construction safety practices and challenges in a Middle Eastern developing country. *Safety Science*, 83, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.10.016

Ayessaki, W. Y., & Smallwood, J. J. (2017). Influencing workers' performance through health and safety interventions. Procedia Engineering, 182, 42-49.

Barake, J. M. (2017). An Evaluation of the Influence of Health and Safety Measures in The Workplace on Employee Performance: A Case of National Hospital Insurance Fund-Kisii.

Baram, M. (2007). Liability and its influence on designing for product and process safety. *Safety Science*, 45(1-2), 11-30.

Bartrip, P. W. J., & Fenn, P. T. (1990). The evolution of regulatory style in the nineteenth century British factory inspectorate. *Journal of Law and Society*, 17(2), 233-250.

Bavafa, A., Mahdiyar, A., & Marsono, A. K. (2018). Identifying and assessing the critical factors for effective implementation of safety programs in construction projects. *Safety Science*, 106, 47-56. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.02.025

Bedford, T., & Cooke, R. (2001). Probabilistic risk analysis: Foundations and methods. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511813597

Behm, M. (2005). Linking construction fatalities to the design for construction safety concept. Safety Science, 43(8), 589-611. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2005.04.002

Benner, L. (1985). Rating accident models and investigation methodologies. Journal of Safety Research, 16(3), 105-126. https://doi.org/10.1016/0022-4375(85)90038-6.

Brutus, I. A., & Chiyem, O. (2015). Assessment of Materials Management and Profitability of an Organization. Journal of Policy and Development Studies, 9(3).

BSI. (2007). *OHSAS 18001:2007 Occupational health and safety management systems - Requirements*. BSI.

Cameron, I., & Hare, B. (2008). Planning tools for integrating health and safety in construction. *Construction Management and Economics*, 26(9), 899-909. https://doi.org/10.1080/01446190802175660

Canadian Centre for Occupational Health and Safety. (2024). *Hazard and Risk - Risk Assessment*. Διαθέσιμη στο https://www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/hazard/risk_assessment.html

Canadian Centre for Occupational Health and Safety. (2024). *Hazard and Risk - Risk Assessment*. Διαθέσιμη στο https://www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/hazard/risk_assessment.html

Carayon, P., Hundt, A. S., Karsh, B. T., Gurses, A. P., Alvarado, C. J., Smith, M., & Brennan, P. F. (2006). Work system design for patient safety: The SEIPS model. Quality and Safety in Health Care, 15(suppl_1), i50-i58. https://doi.org/10.1136/qshc.2005.015842

Casey, E., & Rose, C. (2018). *Handbook of Digital Forensics and Investigation.* Academic Press.

Centers for Disease Control and Prevention. (2024). *About Construction*. Διαθέσιμη στο https://www.cdc.gov/niosh/construction/about/index.html

Centers for Disease Control and Prevention. (2024). *About Construction*. Διαθέσιμη στο https://www.cdc.gov/niosh/construction/about/index.html

Centers for Disease Control and Prevention. (2024). *About Personal Protective Equipment*. Διαθέσιμη στο https://www.cdc.gov/niosh/ppe/about/index.html

Centers for Disease Control and Prevention. (2024). *NIOSH Directory of Personal Protective Equipment*. Διαθέσιμη στο https://www.cdc.gov/niosh/ppe/default.html

Centers for Disease Control and Prevention. (2024). *Occupational Risk Assessment*. Διαθέσιμη στο https://www.cdc.gov/niosh/occupational-risk-assessment/about/index.html
Centers for Disease Control and Prevention. (2024). *Occupational Risk Assessment*. Διαθέσιμη στο https://www.cdc.gov/niosh/occupational-risk-assessment/about/index.html
Centers for Disease Control and Prevention. (2024). *Personal Protective Equipment Fit in the Construction Sector*. Διαθέσιμη στο https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2023/03/06/ppe-fit-construction/

Centers for Disease Control and Prevention. (2024). *Respirator Types and Use*. Διαθέσιμη στο https://www.cdc.gov/niosh/ppe/respirators/index.html

Chatfield, C. (2003). The analysis of time series: An introduction. CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781420036114

Chebichii, B. D., Namusonge, G. S., & Makokha, E. N. (2023). Moderating effect of organization culture on the relationship between supplier development and organizational performance in food and beverage manufacturing companies in Kenya. Journal of Agriculture, Science and Technology, 22(3), 100-115.

Chen, Y., McCabe, B., & Hyatt, D. (2017). Impact of individual resilience and safety climate on safety performance and psychological stress of construction workers: A case study of the Ontario construction industry. Journal of Safety Research, 61, 167-176.

Cheng, T., Venugopal, M., Teizer, J., & Vela, P. A. (2011). Performance evaluation of ultra wideband technology for construction resource location tracking in harsh environments. *Automation in Construction*, 20(8), 1173-1184. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.06.001

Chepleting, F., & Musau, E. (2019). Influence of supply chain risk mitigation on performance of Kenya beverage industry: A case of Almasi Beverages Limited, Eldoret. The Strategic Journal of Business & Change Management, 6(2), 2533-2539.

Choi, B., Hwang, S., & Lee, S. (2017). What drives construction workers' acceptance of wearable technologies in the workplace?: Indoor localization and wearable health devices for occupational safety and health. *Automation in Construction*, 84, 31-41. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.005

Coletta, A. (2006). The integrated approach to occupational health and safety management. In Handbook of occupational safety and health (pp. 23-45). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781420006841

Cooper, M. D. (2000). Towards a model of safety culture. *Safety Science*, 36(2), 111-136.

Cooper, M. D. (2000). Towards a model of safety culture. Safety Science, 36(2), 111-136. https://doi.org/10.1016/S0925-7535(00)00035-7

Cox, T. (2008). What's wrong with risk matrices? Risk Analysis, 28(2), 497-512. https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01030.x

Crandall, B., Klein, G., & Hoffman, R. R. (2006). Working minds: A practitioner's guide to cognitive task analysis. MIT Press. https://doi.org/10.7551/mitpress/7304.001.0001

Crawley, F., & Tyler, B. (2015). HAZOP: Guide to best practice. Institution of Chemical Engineers. https://hsseworld.com/wp-content/uploads/2021/01/HAZOP-GUIDE-TO-BEST-PRACTICE-IChemE-THIRD-EDITION.pdf

Darabont, D. C., Antonov, A. E., & Bejinariu, C. (2020). Key elements on implementing an occupational health and safety management system using ISO 45001 standard. *MATEC Web of Conferences*, 305, 00051.

de Ruijter, A., & Guldenmund, F. (2016). The bowtie method: A review. Safety Science, 88, 211-218. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.03.001

Dekker, S. (2011). Drift into Failure: From Hunting Broken Components to Understanding Complex Systems. 10.1201/9781315257396.

Dekker, S.. (2015). The field guide to understanding "human error" (third edition). The Field Guide to Understanding Human Error. 31.

Deming, W. E. (1986). *Out of the crisis*. MIT Press.

Dennerlein, J. T., Burke, L., Sabbath, E. L., Williams, J. A., Peters, S. E., Wallace, L., & Sorensen, G. (2020). An integrative Total Worker Health framework for keeping workers safe and healthy during the COVID-19 pandemic. Human Factors, 62(5), 689-696.

Dhir, S. (2019). The changing nature of work, leadership, and organizational culture in future ready organizations.

Ediale Young, B., Dimeji Seidu, R., Nganga, D., Robinson, H., John Ebohon, O., & Beatty Kilpatrick, B. (2018). Driving Health and Safety in Construction through Procurement Strategy.

Ekpanyaskul, C., & Padungtod, C. (2021). Occupational Health Problems and Lifestyle Changes Among Novice Working-From-Home Workers Amid the COVID-19 Pandemic. Safety and Health at Work, 12(3), 384-389.

EU-OSHA. (2007). *Expert forecast on emerging physical risks related to occupational safety and health*. European Agency for Safety and Health at Work.

EU-OSHA. (2023). *Occupational safety and health in Europe: state and trends 2023*. European Agency for Safety and Health at Work.

European Agency for Safety and Health at Work. (2024). *Regulation 2023/1230/EU - machinery*. Διαθέσιμη στο https://osha.europa.eu/en/legislation/directive/regulation-20231230eu-machinery

European Commission. (2006). *Directive 2006/42/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 on machinery*.

European Commission. (2024). *Regulation (EU) 2023/1230 of the European Parliament and of the Council of 14 June 2023 on machinery*. Official Journal of the European Union.

European Parliament. (2024). *Directive (EU) 2024/869 of the European Parliament and of the Council*. Official Journal of the European Union.

Eurostat. (2013). *European statistics on accidents at work (ESAW): Summary methodology*. Publications Office of the European Union.

Eurostat. (2019). *European Statistics on Accidents at Work (ESAW)*. European Commission.

Faro Technologies. (2019). *3D Documentation and Analysis for Accident Reconstruction.* Technical White Paper.

Federal Register. (2024). *Personal Protective Equipment in Construction*. Διαθέσιμη στο https://www.federalregister.gov/documents/2024/12/12/2024-29220/personal-protective-equipment-in-construction

Fischhoff, B., Slovic, P., Lichtenstein, S., Read, S., & Combs, B. (1981). *How safe is safe enough? A psychometric study of attitudes towards technological risks and benefits.* Policy Sciences, 9(2), 127-152.

Fraser, I. (2010). *Guide to application of the Machinery Directive 2006/42/EC*. European Commission.

Frick, K. (2011). Worker influence on voluntary OHS management systems – A review of its ends and means. *Safety Science*, 49(7), 974-987.

Gbadago, P., Amedome, S. N., & Honyenuga, B. Q. (2017). The impact of occupational health and safety measures on employee performance at the South Tongu District Hospital. Global Journal of Medical Research, 17(5), 13-19.

Ge, L. and Kuester, F., (2014). Integrative simulation environment for conceptual structural analysis, J. Comput. Civ. Eng. 29, B4014004 (2014).

Gheisari, M., & Esmaeili, B. (2019). Applications and requirements of unmanned aerial systems (UASs) for construction safety. Safety Science, 118, 230-240. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.05.015

Ghosh, S., Young-Corbett, D., Choi, T. N. Y., Chan, D. W. M., Chan, A. P. C., Udo, U. E., ... & Edwards, D. J. (2017). Improvement of health and safety in construction sites in Sri Lanka. *Safety Science*, 49, 101-115. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.10.017

Giri, O. P. (2020). Factors Causing Health and Safety Hazards at Construction Sites. Technical Journal, 2(1), 68-74.

Goetsch, D. L. (2001). Occupational Safety and Health for Technologists, Engineers, and Managers. Prentice Hall.

Goetsch, D. L. (2019). Occupational safety and health for technologists, engineers, and managers (8th ed.). Pearson. https://doi.org/10.1201/9780429027284

Goetsch, D.L. (2001). Occupational Safety and Health for Technologists, Engineers, and Managers (4th ed.). Prentice Hall, Englewood Cliffs, N

Goh, Y. M., & Chua, D. (2013). Neural network analysis of construction safety management systems: A case study in Singapore. *Construction Management and Economics*, 31(5), 460-470.

Gov.UK. (2024). *Assessing safety risks in high-rise residential buildings: a detailed guide*. Διαθέσιμη στο https://www.gov.uk/government/publications/building-safety-guides-for-accountable-persons/assessing-safety-risks-in-high-rise-residential-buildings-a-detailed-guide

Gov.UK. (2024). *Assessing safety risks in high-rise residential buildings: a detailed guide*. Διαθέσιμη στο https://www.gov.uk/government/publications/building-safety-guides-for-accountable-persons/assessing-safety-risks-in-high-rise-residential-buildings-a-detailed-guide

Greek Labour Inspectorate. (2024). *Obligations of Employers*. Διαθέσιμη στο https://www.hli.gov.gr/en/occupational-safety-and-health-summary/obligations-of-employers/

Guldenmund, F. W. (2000). The nature of safety culture: A review of theory and research. *Safety Science*, 34(1-3), 215-257.

Haddon, W. (1973). Energy damage and the ten countermeasure strategies. *Journal of Trauma*, 13(4), 321-331.

Haddon, W. (1980). Advances in the epidemiology of injuries as a basis for public policy. *Public Health Reports*, 95(5), 411-421.

Hadi, A. H., & Erzaij, K. R. (2019). Determination a reasonable concession period for (PPP) projects. *Civil Engineering Journal*, 5(6), 1235-1248. https://doi.org/10.28991/cej-2019-03091328

Hadikusumo, B. and Rowlinson, S., Integration of virtually real construction model and design-for-safety-process database, Autom. Constr. 11, 501 (2002).

Hale, A. R., & Hovden, J. (1998). Management and Culture: The Third Age of Safety. A Review of Approaches to Organizational Aspects of Safety, Health and Environment. In A. R. Hale, & J. Hovden (Eds.), Occupational Injury: Risk, Prevention and Intervention (pp. 129-165). Boca Raton, FL: CRC Press.

Hale, A., Heming, B., Carthey, J., & Kirwan, B. (1997). Modelling of safety management systems. Safety Science, 26(2), 121-140. https://doi.org/10.1016/S0925-7535(97)00034-9

Hämäläinen, P., Takala, J., & Saarela, K. L. (2006). Global estimates of occupational accidents. *Safety Science*, 44(2), 137-156. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2005.08.017

Hammer, W. and Price, D. (2000). Occupational Safety Management and Engineering (5th ed.). Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Hammer, W., & Price, D. (2000). Occupational Safety Management and Engineering. Prentice Hall.

Handoko, F., Wijayaningtyas, M., Kusuma, I. H. A., Hidayat, S., Ismail, A., & Abdullah, Z. (2020). The occupational health and safety effect on road construction worker performance. Civil Engineering and Architecture, 8(5).

Hardison, D., Behm, M., Hallowell, M. R., & Fonooni, H. (2014). Identifying construction supervisor competencies for effective site safety. *Safety Science*, 65, 45-53. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.12.013

Health and Safety Executive. (2024). *Construction general*. Διαθέσιμη στο https://www.hse.gov.uk/construction/faq-ppe.htm

Health and Safety Executive. (2024). *Managing construction health risks: Assess*. Διαθέσιμη στο https://www.hse.gov.uk/construction/healthrisks/managing-essentials/assess-the-risks.htm

Health and Safety Executive. (2024). *Managing construction health risks: Assess*. Διαθέσιμη στο https://www.hse.gov.uk/construction/healthrisks/managing-essentials/assess-the-risks.htm

Health and Safety Executive. (2024). *Personal protective equipment (PPE) at work*. Διαθέσιμη στο https://www.hse.gov.uk/ppe/

Health and Safety Executive. (2024). *Risk assessment: Steps needed to manage risk*. Διαθέσιμη στο https://www.hse.gov.uk/simple-health-safety/risk/steps-needed-to-manage-risk.htm

Health and Safety Executive. (2024). *Risk assessment: Steps needed to manage risk*. Διαθέσιμη στο https://www.hse.gov.uk/simple-health-safety/risk/steps-needed-to-manage-risk.htm

Heinrich, H. W. (1931). *Industrial accident prevention: A scientific approach*. McGraw-Hill.

Heinrich, H. W., Petersen, D., & Roos, N. (1980). *Industrial accident prevention* (5th ed.). McGraw-Hill.

Heinrich, H.W., Peterson, D. and Roos, N. (1980) Industrial Accident Prevention. 5th Edition, McGraw Hill, New York.

Hinze, J., Thurman, S., & Wehle, A. (2013). Leading indicators of construction safety performance. Safety Science, 51(1), 23-28. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.05.016

Hollingsworth, J. (2020). Construction safety practices for covid-19. American Society of Safety Professionals.

Hollnagel, E. (2012). FRAM: The functional resonance analysis method. Ashgate Publishing. https://doi.org/10.1201/9781315255071

Hollnagel, E. (2014). *Safety-I and Safety-II: The past and future of safety management*. Ashgate Publishing.

Hollnagel, E. (2017). Safety-II in practice: Developing the resilience potentials. Routledge.

Hong, Y., Sepasgozar, S., Ahmadian, A., & Akbarnezhad, A. (2016). Factors influencing BIM adoption in small and medium sized construction organizations. *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, 33, 1-8.

HSE. (1993). *ACSNI human factors study group: Third report - Organising for safety*. HSE Books.

HSE. (2014). *Investigating accidents and incidents: A workbook for employers, unions, safety representatives and safety professionals, HSG245*. HSE Books.

Husain, N. R. N., Muda, W. M. W., Jamil, N. I. N., Hanafi, N. N. N., & Rahman, R. A. (2016). Effect of food safety training on food handlers' knowledge and practices: A randomized controlled trial. British Food Journal, 118(4), 795-808.

ILO. (2001). *Guidelines on occupational safety and health management systems, ILO-OSH 2001*. International Labour Office.

ILO. (2017). *Safety and health at the heart of the future of work: Building on 100 years of experience*. International Labour Office.

ILO. (2020). *World Statistic Report*. International Labour Organization.

International Labour Organization. (2024). *Safety and health at work*. Διαθέσιμη στο https://www.ilo.org/topics-and-sectors/safety-and-health-work

International Labour Organization. (2024). *The Fundamental conventions on occupational safety and health*. Geneva: ILO Publications.

International Organization for Standardization. (2024). *ISO 45001:2018 - Occupational health and safety management systems*. Διαθέσιμη στο https://www.iso.org/standard/63787.html

Ishikawa, K. (1985). What is total quality control? The Japanese way. Prentice-Hall. https://doi.org/10.1108/eb054703

ISO. (2010). *ISO 12100:2010 Safety of machinery - General principles for design - Risk assessment and risk reduction*. International Organization for Standardization.

ISO. (2015). *ISO 13849-1:2015 Safety of machinery - Safety-related parts of control systems*. International Organization for Standardization.

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

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

ISO. (2018a). ISO 31000:2018 Risk management — Guidelines. International Organization for Standardization. https://www.iso.org/standard/65694.html

ISO. (2018b). ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization. https://www.iso.org/standard/63787.html

Jensen, F. V., & Nielsen, T. D. (2007). Bayesian networks and decision graphs. Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-68282-2

Jepchirchir, F., & Eng'airo, P. (2024). Effects of Occupational Health Management Practices on Employee Productivity Among Food and Beverage Manufacturing Firms in Uasin Gishu County, Kenya. Journal of Human Resource & Leadership, 8(2), 18-38.

Jin, R., Zou, P. X., Piroozfar, P., Wood, H., Yang, Y., Yan, L., & Han, Y. (2019). A science mapping approach based review of construction safety research. *Safety Science*, 113, 285-297.

Jocelyn, S., Baudoin, J., Chinniah, Y., & Charpentier, P. (2016). Feasibility study and uncertainties in the validation of an existing safety-related control system according to ISO 13849-1:2006. *Reliability Engineering & System Safety*, 155, 179-191.

Johnson, C., & de Almeida, I. M. (2008). An investigation into the loss of the Brazilian space programme's launch vehicle VLS-1 V03. Safety Science, 46(1), 38-53. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2006.05.007

Johnson, W.G. (1980) MORT Safety Assurance Systems. Marcel Dekker, New York.

Kaplan, S., & Garrick, B. J. (1981). On the quantitative definition of risk. Risk Analysis, 1(1), 11-27. https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1981.tb01350.x

Kepner, C. H., & Tregoe, B. B. (1997). The new rational manager. Princeton Research Press. https://doi.org/10.1108/eb054439

Khan, F. I., & Abbasi, S. A. (1999). Major accidents in process industries and an analysis of causes and consequences. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 12(5), 361-378. https://doi.org/10.1016/S0950-4230(98)00062-X

Kjellen, U. (2000). *Prevention of Accidents Through Experience Feedback.* Taylor & Francis.

Klein, G. A., Calderwood, R., & MacGregor, D. (1989). Critical decision method for eliciting knowledge. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 19(3), 462-472. https://doi.org/10.1109/21.31053

Klein, J. P., & Moeschberger, M. L. (2003). Survival analysis: Techniques for censored and truncated data. Springer. https://doi.org/10.1007/b97377

Kleiner, B. M. (2006). Macroergonomics: Analysis and design of work systems. CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781420020397

Kletz, T. (2018). *Hazop and Hazan: Identifying and assessing process industry hazards*. CRC Press. https://doi.org/10.1201/9780203752227

Kumamoto, H., & Henley, E. J. (2000). Probabilistic risk assessment and management for engineers and scientists. IEEE Press. https://doi.org/10.1109/9780470544198

Laminou, L. M., Liu, Z., & Chen, X. (2019). Extreme events design and mitigation methods: A review. *Civil Engineering Journal*, 5(7), 1424-1439. https://doi.org/10.28991/cej-2019-03091342

Lamm, F., Rasmussen, E., & Anderson, D. (2014). Employment relations in the shadow of recession: Findings from the 2011 New Zealand workplace employment relations survey. Journal of Industrial Relations, 56(2), 245-275.

Lee, S., Yu, J., & Jeong, D. (2015). BIM acceptance model in construction organizations. *Journal of Management in Engineering*, 31(3), 04014048. https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000252

Lee, W., Lin, K.-Y., Seto, E., & Migliaccio, G. C. (2017). Wearable sensors for monitoring on-duty and off-duty worker physiological status and activities in construction. *Automation in Construction*, 83, 341-353. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.06.012

Leso, V., Fontana, L., & Iavicoli, I. (2018). The occupational health and safety dimension of Industry 4.0. La Medicina del lavoro, 109(5), 327-338.

Leveson, N. (2011). Engineering a safer world: Systems thinking applied to safety. MIT Press. https://doi.org/10.7551/mitpress/8179.001.0001

Li, H., Chan, G., and Skitmore, M., (2012). Visualizing safety assessment by integrating the use of game technology, Autom. Constr. 22, 498

Li, H., Lu, M., Hsu, S. C., Gray, M., & Huang, T. (2015). Proactive behavior-based safety management for construction safety improvement. Safety Science, 75, 107-117. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.01.013

Li, X., Yi, W., Chi, H. L., Wang, X., & Chan, A. P. (2018). *A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety.* Automation in Construction, 86, 150-162.

Lundgren, R. E., & McMakin, A. H. (2013). *Risk communication: A handbook for communicating environmental, safety, and health risks* (4th ed.). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781118645734

M.J. Kim, X. Wang, P. Love, H. Li, S.-C. Kang. (2013). Virtual reality for the built environment: a critical review of recent advances, J. Inf. Technol. Constr. 18 (2)

Main, B. W. (2004). *Risk assessment: Challenges and opportunities*. Design Safety Engineering.

Manuele, F. A. (2003). *On the practice of safety* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Manuele, F. A. (2008). Advanced safety management: Focusing on Z10 and serious injury prevention. John Wiley & Sons.

Manuele, F. A. (2010). Acceptable risk. *Professional Safety*, 55(5), 30-38.

Martinetti, A., Chatzimichailidou, M. M., Maida, L., & van Dongen, L. (2019). Safety I–II, resilience and antifragility engineering: a debate explained through an accident occurring on a mobile elevating work platform. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 25(1), 66-75.

Martz, H. F., & Waller, R. A. (1991). *Bayesian Reliability Analysis.* Krieger Publishing Company.

Martz, H. F., & Waller, R. A. (1991). Bayesian reliability analysis. John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/9781118150481

McCormick, N. J. (1981). Reliability and risk analysis: Methods and nuclear power applications. Academic Press.

McDonald, M. A., Lipscomb, H. J., Bondy, J., & Glazner, J. (2009). "Safety is everyone's job:" The key to safety on a large university construction site. *Journal of Safety Research*, 40(1), 53-61. https://doi.org/10.1016/j.jsr.2008.12.005

McLellan, R. K. (2017). Work, health, and worker well-being: roles and opportunities for employers. Health affairs, 36(2), 206-213.

Melchers, R. E. (2001). *On the ALARP approach to risk management.* Reliability Engineering & System Safety, 71(2), 201-208.

Ministry of Labour and Social Affairs. (2021). *Frequent questions and Answers for Health and Safety at Work*. Athens: Ministry of Labour and Social Affairs.

Misron, N. F., Khoiry, M. A., & Hamzah, N. (2018). A Framework of Efficient Material Storage Management on Congested Construction Site. E3S Web of Conferences, 65.

Mitropoulos, P., Cupido, G., & Namboodiri, M. (2009). Cognitive approach to construction safety: Task demand-capability model. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(9), 881-889. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000060

Mohd, N. I., Tajul Ariffin, H. L., Abdul Hamid, M. H., Kidam, K., Ismail, M., Binti Ali, K. N., & Mustaffa, N. E. (2020). Occupational Safety and Health Construction Industry Management (OSHCIM): Current practice in Malaysia. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 849(1), 012012.

Mosly, I. (2015). Safety performance in the construction industry of Saudi Arabia. *International Journal of Construction Engineering and Management*, 4(6), 238-247. https://doi.org/10.5923/j.ijcem.20150406.03

Nasirzadeh, F., & Nojedehi, P. (2013). Dynamic modeling of labor productivity in construction projects. International Journal of Project Management, 31(6), 903-911.

NFPA. (2018). *NFPA 79: Electrical standard for industrial machinery*. National Fire Protection Association.

NIOSH. (2015). Hierarchy of controls. National Institute for Occupational Safety and Health. https://doi.org/10.26616/NIOSHPUB2015106

NIOSH. (2015). *Hierarchy of controls*. The National Institute for Occupational Safety and Health.

Nyirenda, V., Chinniah, Y., & Agard, B. (2015). Identifying key factors for an occupational health and safety risk estimation tool in small and medium-size enterprises. IFAC-PapersOnLine, 48(3), 541-546.

Occupational Safety and Health Administration. (2024). *Personal Protective Equipment - Construction*. Διαθέσιμη στο https://www.osha.gov/personal-protective-equipment/construction

Occupational Safety and Health Administration. (2024). *Personal Protective Equipment - Overview*. Διαθέσιμη στο https://www.osha.gov/personal-protective-equipment

Occupational Safety and Health Administration. (2024). *Personal Protective Equipment (PPE) Assessment*. Διαθέσιμη στο https://www.osha.gov/training/library/personal-protective-equipment/assessment

Occupational Safety and Health Administration. (2024). *Safety Management - Hazard Identification and Assessment*. Διαθέσιμη στο https://www.osha.gov/safety-management/hazard-identification

Occupational Safety and Health Administration. (2024). *Safety Management - Hazard Identification and Assessment*. Διαθέσιμη στο https://www.osha.gov/safety-management/hazard-identification

Okes, D. (2019). Root cause analysis: The core of problem solving and corrective action. ASQ Quality Press.

Okumu, M. O. J., Charles, T. Y., & Patrick, O. B. (2018). The Effect of Occupational Health and Safety Inspection on Employee Performance in Sugar Companies in Kakamega County, Kenya.

Omari, R., & Amedu, A. (2019). Employment potential of the food and beverage sector in Ghana. FARA Research Report, 5(14), 46.

OSHA. (2014). *OSHA 3067: Concepts and techniques of machine safeguarding*. U.S. Department of Labor.

OSHA. (2019). Construction industry standards (29 CFR 1926). Occupational Safety and Health Administration. https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1926

Park, C.-S. and Kim, H.-J., A. (2013). framework for construction safety management and visualization system, Autom. Constr. 33, 95 .

Peñaloza, G. A., Wasilkiewicz, K., Saurin, T. A., Herrera, I. A., & Formoso, C. T. (2020). Safety-I and safety-II: opportunities for an integrated approach in the construction industry. Proceedings of the 8th REA Symposium on Resilience Engineering.

Perrow, C. (1984). Normal accidents: Living with high-risk technologies. Basic Books. https://doi.org/10.1515/9781400828494

Phimister, J. R., Bier, V. M., & Kunreuther, H. C. (2003). Accident precursor analysis and management: Reducing technological risk through diligence. National Academies Press.

PMC. (2024). *Risk assessment industry driven approach in occupational health and safety*. Διαθέσιμη στο https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11183286/

PMC. (2024). *Risk assessment industry driven approach in occupational health and safety*. Διαθέσιμη στο https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11183286/

Podgorski, D., Majchrzycka, K., Dabrowska, A., Gralewicz, G., & Okrasa, M. (2017). Towards a conceptual framework of OSH risk management in smart working environments based on smart PPE, ambient intelligence and the Internet of Things technologies. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 23(1), 1-20.

Poh, C. Q., Ubeynarayana, C. U., & Goh, Y. M. (2018). Safety leading indicators for construction sites: A machine learning approach. Automation in Construction, 93, 375-386. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.022

Powell, R. I., & Copping, A. G. (2016). Measuring fatigue-related impairment in the workplace. Journal of Engineering, Design and Technology, 14(3), 507-525.

Price, B. (1999). One best way? *Journal of Historical Sociology*, 12(2), 128-179.

Rai, R., El-Zaemey, S., Dorji, N., & Fritschi, L. (2020). Occupational exposures to hazardous chemicals and agents among healthcare workers in Bhutan. American Journal of Industrial Medicine, 63(12), 1109-1115.

Rasmussen, J. (1997). Risk management in a dynamic society: A modelling problem. Safety Science, 27(2-3), 183-213. https://doi.org/10.1016/S0925-7535(97)00052-0

Rausand, M. (2011). Risk assessment: Theory, methods, and applications. John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/9781118281116

Reason, J. (1990). *Human error*. Cambridge University Press.

Reason, J. (1997). *Managing the risks of organizational accidents*. Ashgate.

Reason, J. (1997). Managing the risks of organizational accidents. Ashgate Publishing. https://doi.org/10.1016/S0925-7535(97)00052-0

Reese, C. D. (2008). *Occupational health and safety management: A practical approach* (2nd ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/b12822

Robson, L. S., Clarke, J. A., Cullen, K., Bielecky, A., Severin, C., Bigelow, P. L., Irvin, E., Culyer, A., & Mahood, Q. (2007). The effectiveness of occupational health and safety management system interventions: A systematic review. *Safety Science*, 45(3), 329-353.

Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations* (5th ed.). Free Press.

Rogers, J., Chong, H. Y., & Preece, C. (2015). Adoption of building information modelling technology (BIM): Perspectives from Malaysian engineering consulting services firms. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 22(4), 424-445. https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2014-0067

Rosen, M. A., & Meston, C. M. (2011). Engineering Safety: Health and Risks. CRC Press.

Rosen, M.A. & Meston, D.A.G. (2011). Health and Safety and Engineering Design. University of Ontario Institute of Technology.

Rosen, P. H., & Wischniewski, S. (2019). Scoping review on job control and occupational health in the manufacturing context. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 102, 2285-2296.

Rothman, K. J., Greenland, S., & Lash, T. L. (2008). *Modern Epidemiology* (3rd ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

Rothman, K.J., Greenland, S. and Lash, T. (2008) Modern epidemiology. Third Edition. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 303-327.

Russell, S., & Norvig, P. (2016). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (3rd ed.). Pearson Education Limited.

Russell, S.J. and Norvig, P. (2016) Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson Education Limited, Malaysia.

Sacks, R., Perlman, A., & Barak, R. (2013). Construction safety training using immersive virtual reality. Construction Management and Economics, 31(9), 1005-1017. https://doi.org/10.1080/01446193.2013.828844

SafetyCulture. (2024). *Construction Risk Assessment Templates*. Διαθέσιμη στο https://safetyculture.com/checklists/construction-risk-assessment/

SafetyCulture. (2024). *Construction Risk Assessment Templates*. Διαθέσιμη στο https://safetyculture.com/checklists/construction-risk-assessment/

SafetyCulture. (2024). *Qualitative & Quantitative Risk Analysis*. Διαθέσιμη στο https://safetyculture.com/topics/qualitative-and-quantitative-risk-analysis/

SafetyCulture. (2024). *Qualitative & Quantitative Risk Analysis*. Διαθέσιμη στο https://safetyculture.com/topics/qualitative-and-quantitative-risk-analysis/

SafetyCulture. (2024). *What is a 5x5 Risk Matrix & How to Use it?* Διαθέσιμη στο https://safetyculture.com/topics/risk-assessment/5x5-risk-matrix/

SafetyCulture. (2024). *What is a 5x5 Risk Matrix & How to Use it?* Διαθέσιμη στο https://safetyculture.com/topics/risk-assessment/5x5-risk-matrix/

Salas, E., Rosen, M. A., & DiazGranados, D. (2010). Expertise-based intuition and decision making in organizations. Journal of Management, 36(4), 941-973. https://doi.org/10.1177/0149206309350084

Schulte, P. A., Mckernan, L. T., Heidel, D. S., Okun, A. H., Dotson, G. S., Lentz, T. J., Geraci, C. L., Heckel, P. E., & Branche, C. M. (2013). Occupational safety and health, green chemistry, and sustainability: A review of areas of convergence. *Environmental Health*, 12(1), 31.

Science Direct. (2024). *A systematic review of quantitative risk analysis in construction of mega projects*. Διαθέσιμη στο https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447920300381

Science Direct. (2024). *A systematic review of quantitative risk analysis in construction of mega projects*. Διαθέσιμη στο https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447920300381

Science Direct. (2024). *Construction site safety management practices in European Union*. Construction Engineering and Management Journal, 45(2), 123-145.

Science Direct. (2024). *Developing a Risk Assessment Model for construction safety*. Διαθέσιμη στο https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263786309001082
Science Direct. (2024). *Developing a Risk Assessment Model for construction safety*. Διαθέσιμη στο https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263786309001082
Science Direct. (2024). *Occupational risk assessment in construction industry – Overview and reflection*. Διαθέσιμη στο https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925753511000051
Science Direct. (2024). *Occupational risk assessment in construction industry – Overview and reflection*. Διαθέσιμη στο https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925753511000051
Science Direct. (2024). *Review of Qualitative Approaches for the Construction Industry: Designing a Risk Management Toolbox*. Διαθέσιμη στο https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2093791111220031#

Science Direct. (2024). *Review of Qualitative Approaches for the Construction Industry: Designing a Risk Management Toolbox*. Διαθέσιμη στο https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2093791111220031

Segbenya, M., & Yeboah, E. (2024). Effect of Occupational Health and Safety on Employee Performance in the Ghanaian Construction Sector. Environmental Health Insights, 16, 1-11.

Serrat, O. (2017). The five whys technique. In Knowledge solutions (pp. 307-310). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0983-9_32

Shaikh, M. A., Weiguo, S., Shahid, M. U., Ayaz, H., & Ali, M. (2018). An assessment of hazards and occupational health & safety practices for workers in the textile industry: a case study. Journal of Academic Research in Business and Social Sciences, 8(12), 333-347.

Shappell, S., & Wiegmann, D. (2000). The human factors analysis and classification system—HFACS. Federal Aviation Administration. https://doi.org/10.1037/e420312004-001

Smaoui, N., Kim, K., Gnawali, O., Lee, Y.-J., & Suh, W. (2018). Respirable dust monitoring in construction sites and visualization in building information modeling using real-time sensor data. *Sensor Materials*, 30(8), 1775-1790.

Sorensen, G., Sparer, E., Williams, J. A., Gundersen, D., Boden, L. I., Dennerlein, J. T., & Wagner, G. R. (2018). Measuring best practices for workplace safety, health and wellbeing: The Workplace Integrated Safety and Health Assessment. Journal of occupational and environmental medicine, 60(5), 430-441.

Spillane, J. P., Oyedele, L. O., von Meding, J., Konanahalli, A., Jaiyeoba, B. E., & Tijani, I. K. (2011). Challenges of UK/Irish contractors regarding material management and logistics in confined site construction. International Journal of Construction Supply Chain Management, 1(1).

Stamatis, D. H. (2003). *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*. ASQ Quality Press.

Stamatis, D.H. (2003) Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution. ASQ Quality Press.

Sultan, M., Albarkani, S., & Shafii, H. (2021). Construction Safety and Performance in Malaysian Construction Industry: A Review. Journal of Technology Management And Business, 8(2), 79-93.

Sun, J., Lin, S., Zhang, G., Sun, Y., Zhang, J., Chen, C., Morsy, A. M., & Wang, X. (2021). The effect of graphite and slag on electrical and mechanical properties of electrically conductive cementitious composites. *Construction and Building Materials*, 281, 122606. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122606

Swuste, P., Gulijk, C. V., & Zwaard, W. (2010). Safety metaphors and theories: A review of the occupational safety literature of the US, UK and The Netherlands, till the first part of the 20th century. *Safety Science*, 48(8), 1000-1018.

Swuste, P., Gulijk, C. V., Zwaard, W., & Oostendorp, Y. (2014). Occupational safety theories, models and metaphors in the three decades since World War II, in the United States, Britain and the Netherlands: A literature review. *Safety Science*, 62, 16-27.

Tang, N., Hu, H., Xu, F., & Zhu, F. (2019). Personalized safety instruction system for construction sites based on internet technology. Safety Science, 116, 161-169.

Taylor, F. W. (1911). *The principles of scientific management*. Harper & Brothers.

Teizer, J., Allread, B. S., Fullerton, C. E., & Hinze, J. (2010). Autonomous pro-active real-time construction worker and equipment operator proximity safety alert system. *Automation in Construction*, 19(5), 630-640. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.02.009

Teizer, J., Cheng, T., & Fang, Y. (2017). *Location tracking and data visualization technology to advance construction ironworkers' education and training in safety and productivity.* Automation in Construction, 35, 53-68.

Teizer, J., Lao, D., & Sofer, M. (2007). Rapid automated monitoring of construction site activities using ultra-wide band. *Proceedings of the 24th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. https://doi.org/10.22260/ISARC2007/0008

Teizer, J., Lao, D., & Sofer, M. (2007). Rapid automated monitoring of construction site activities using ultra-wideband. *Proceedings of the 24th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, 23-28.

Tompa, E., Trevithick, S., & McLeod, C. (2007). A systematic review of the prevention incentives of insurance and regulatory mechanisms for occupational health and safety. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, 33(2), 85-95. https://doi.org/10.5271/sjweh.1111

Toole, T. M., & Gambatese, J. (2008). The trajectories of Prevention through Design in construction. *Journal of Safety Research*, 39(2), 225-230.

Umugwaneza, C., Nkechi, I. E., & Mugabe, J. B. (2019). Effect of Workplace Safety and Health Practices on Employee Commitment and Performance in Steel Manufacturing Companies in Rwanda.

Vesely, W. E., Goldberg, F. F., Roberts, N. H., & Haasl, D. F. (1981). Fault tree handbook. Nuclear Regulatory Commission. https://www.nrc.gov/docs/ml1007/ml100780465.pdf

Vinodkumar, M. N., & Bhasi, M. (2011). A study on the impact of management system certification on safety management. *Safety Science*, 49(3), 498-507.

Vose, D. (2000). Risk analysis: A quantitative guide. John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/0470842563

Walters, D. (2006). One step forward, two steps back: Worker representation and health and safety in the United Kingdom. *International Journal of Health Services*, 36(1), 87-111.

Wang, M., Chen, J., & Ma, J. (2024). Monitoring and evaluating construction workers' status and behaviour with wearable sensing technologies. *Automation in Construction*, 165, 105555. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105555

Wasserman, S., & Faust, K. (1994). Social network analysis: Methods and applications. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511815478

Westrum, R. (2006). *A typology of resilience situations.* In *Resilience Engineering* (pp. 55-65). Ashgate.

Wikipedia. (2024). *European Agency for Safety and Health at Work*. Διαθέσιμη στο https://en.wikipedia.org/wiki/European_Agency_for_Safety_and_Health_at_Work

Wong, Q., Sapuan, N. M., & Khan, M. W. A. (2023). The Impact of Safety and Health Issues on the Construction Workforce Productivity in Malaysia. Journal of Governance and Integrity, 6(1), 504-514.

Xuan, D., & Rongye, S. (2021). A survey on autonomous vehicle control in the era of mixed-autonomy: From physics-based to AI-guided driving policy learning. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 125, 103008. https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103008

Yigitcanlar, T., Desouza, K. C., Butler, L., & Roozkhosh, F. (2020). Contributions and risks of artificial intelligence (AI) in building smarter cities: Insights from a systematic review of the literature. *Energies*, 13(6), 1473. https://doi.org/10.3390/en13061473

Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods* (6th ed.). SAGE Publications.

Zahoor, H., & Chan, A. (2019). The strategies to enhance safety performance in the construction industry of Pakistan. In *Construction Health and Safety in Developing Countries* (pp. 103-122). Routledge. https://doi.org/10.1201/9780429455377-6

Zandin, K. B. (2001). *Maynard's industrial engineering handbook* (5th ed.). McGraw-Hill.

Zhang, S., Teizer, J., Lee, J. K., Eastman, C. M., & Venugopal, M. (2013). Building information modeling (BIM) and safety: Automatic safety checking of construction models and schedules. Automation in Construction, 29, 183-195. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.05.006

Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L., & Zhu, J. Z. (2013). The finite element method: Its basis and fundamentals. Butterworth-Heinemann. https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-633-0.00001-0

Zou, P. X. W., & Zhang, G. (2009). Comparative study on the perception of construction safety risks in China and Australia. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(7), 620-627. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000019

Zwetsloot, G. I. J. M., Kines, P., Wybo, J. L., Ruotsala, R., Drupsteen, L., & Bezemer, R. A. (2017). Zero Accident Vision based strategies in organisations: Innovative perspectives. *Safety Science*, 91, 260-268.

Ελληνικές Αναφορές

ΕΛΣΤΑΤ. (2025). *Έρευνα Εργατικών Ατυχημάτων 2023 - Προσωρινά στοιχεία*. Ελληνική Στατιστική Αρχή, Πειραιάς.

Ζορμπά, Ε. (2016). *Φυσικοί, βιολογικοί και μηχανικοί παράγοντες που προκαλούν δερματικές επαγγελματικές ασθένειες στην Ελλάδα, αναλόγως της φύσεως και θέσεως εργασίας* [Διδακτορική διατριβή, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης].

Καμπουρίδης, Γ. (2012). *Διαχείριση τεχνικών έργων* [Παρουσίαση διδασκαλίας].

Καπελέρη, Ε. (2016). *Εκπαίδευση προσωπικού στον βιομηχανικό κλάδο και η επίπτωση αυτής στα εργατικά ατυχήματα* [Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πειραιώς].

Κατσιγιάννη, Ξ. (2018). *Σχεδιασμός, χωρική ανάπτυξη και αντίληψη κινδύνου: Η περίπτωση της Σαντορίνης* [Μεταπτυχιακή εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο].

Μουτσοπούλου, Α. (2007). *Συστηματική διαχείριση υγιείνης και ασφάλειας εργασίας στα τεχνικά έργα*. Τζιόλα.

Παντουβάκης, Π. (2003). Θεωρία και πράξη στη διαχείριση έργου (Project Management). *Τεχνικά Χρονικά*, 23(1-2), 15-28.

Παπαιωάννου, Κ. (2006). *Ασφάλεια και υγεία στις κατασκευές - Εκτιμητική*. Εργαστήριο Οικοδομικής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.