



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ
ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ»

Διπλωματική Εργασία

«Ανάπτυξη πλαισίου υποστήριξης απόφασης για την επιλογή
Μέσων Ατομικής Προστασίας: Παραδοσιακά και σύγχρονα
ΜΑΠ σε εργασίες μέσης Τάσης»

Σαλβάρη Πολύτιμη - Χρηστίνα

Επιβλέπων καθηγητής: Άγγελος Λιώλιος

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ 7

ABSTRACT 8

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ 9

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ 10

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ 10

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ 11

- 1.1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 11
- 1.2. ΚΙΝΗΤΡΑ ΚΑΙ ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ 12
- 1.3. ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ (ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ, ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΤΑ ΈΡΓΑ) 12
- 1.4. ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 13
- 1.5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 14

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ | ΜΑΠ & ΔΙΑΧΕΪΡΙΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ 15

- 2.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΕΣΩΝ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ 15
- 2.2. ΣΧΕΣΗ ΜΑΠ – ΙΕΡΑΡΧΙΑ ΕΛΕΓΧΩΝ ΚΙΝΔΥΝΟΥ (HIERARCHY OF CONTROLS) 17
- 2.3. ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΑ 19
- 2.4. ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΜΑΠ ΣΕ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ 21
 - 2.4.1. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΤΟΞΟ (ARC FLASH) 21
 - 2.4.2. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑ 22
 - 2.4.3. ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΕ ΎΨΟΣ 22
 - 2.4.4. ΘΟΡΥΒΟΣ 22
 - 2.4.5. ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΕ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ 23
 - 2.4.6. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ (EMF) 23

3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΜΑΠ ΚΑΙ ΑΝΑΔΥΟΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ 24

- 3.1. ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΕΦΑΛΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΠΟΥ 24
- 3.2. ARC-RATED ΕΝΔΥΜΑΣΙΑ (ATPV/ELIM) – ΝΕΕΣ ΓΕΝΙΕΣ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ 25
- 3.3. SMART HELMETS (HUD, ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ, IMPACT DETECTION) 27
- 3.4. ΦΟΡΕΤΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (WEARABLES): ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΑΕΡΙΩΝ, ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ 29
- 3.5. ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΠΤΩΣΗ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΕ ΎΨΟΣ 31
- 3.6. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΟΥ «ΩΡΙΜΑΖΟΥΝ» ΑΛΛΑ ΔΕΝ ΈΧΟΥΝ ΑΚΟΜΗ ΠΛΗΡΗ ΠΡΟΤΥΠΑ 32
- 3.7. ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΜΑΠ ΣΤΗ ΛΗΨΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ 34

4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΑΠ (ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ) 36

4.1.ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΑΠ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΕΡΓΑΣΙΑ (TASK-BASED SELECTION)	36
4.2.ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΑΠ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΚΙΝΔΥΝΟ (RISK-BASED SELECTION)	38
4.3.ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΑΠ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΈΚΘΕΣΗΣ (EXPOSURE-BASED SELECTION)	40
4.4.ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΑΠ ΜΕ ΒΑΣΗ ΠΡΟΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΑ ΌΡΙΑ (THRESHOLD-BASED SELECTION)	41
4.5.ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΑΠ	44
4.6.ΕΦΑΡΜΟΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΑΠ ΣΕ ΤΕΧΝΙΚΑ ΈΡΓΑ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ	46

5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ (DECISION TOOL FRAMEWORK) 48

5.1.ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ	48
5.2.ΟΡΙΣΜΟΣ INPUTS (TASK, ΤΑΣΗ, ΙΚ, dB, ΎψΟΣ, RPM, O ₂ Κ.ΛΠ.)	50
5.3.ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΝΟΝΩΝ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ (DECISION RULES)	54
5.4.ΑΠΟΔΟΣΗ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΩΝ/ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ	58
5.5.ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΜΑΠ ΣΤΟ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ	61
5.6.ΔΟΜΗ DECISION-TREE / ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ	63
5.7.ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΟΓΙΚΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΑΠ	69

6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ DECISION TOOL 71

6.1.ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ	71
6.2.ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ	72
6.3.ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ	74
6.4.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	76
6.4.1.ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ	80
6.5.ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΝΟΝΩΝ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ	81
6.6.ΔΙΕΠΑΦΗ ΧΡΗΣΤΗ	84
6.7.ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	86
6.8.ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ	91

7. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ 92

7.1.ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ ΚΥΨΈΛΗΣ ΜΤ	92
7.2.ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ ΜΈΣΗΣ ΤΑΣΗΣ	93
7.3.ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΕ ΙΣΤΟ ΕΝΑΈΡΙΑΣ ΓΡΑΜΜΉΣ ΜΈΣΗΣ ΤΑΣΗΣ	96
7.4.ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	97

8. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ 99

8.1.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	99
8.2.ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	100

8.3.ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ	101
---------------------------------------	-----

<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ</u>	<u>102</u>
--------------------------------	------------

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς όλους όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο στην υλοποίηση και ολοκλήρωσή της.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους τεχνικούς της εταιρείας ΔΕΛΤΑ ΤΑΦ ΙΚΕ στην Ρόδο που ουσιαστικά έδωσαν τα στοιχεία ώστε να μπορεί να υλοποιηθεί και να ελεγχθεί το εργαλείο υποστήριξης λήψης απόφασης και χωρίς την υπομονή τους δεν θα είχε ολοκληρωθεί.

Παράλληλα, θα ήθελα ακόμη να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη προς τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου για την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές για την εκπόνηση της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τους γονείς μου, τον σύζυγό μου και τον γιο μου γιατί οι ώρες που αφιέρωσα για την ολοκλήρωση του στόχου μου, ήταν ώρες που στέρησα από αυτούς.

Περίληψη

Η επιλογή των κατάλληλων Μέσων Ατομικής Προστασίας (ΜΑΠ) αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την ασφάλεια των εργαζομένων σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις Μέσης Τάσης. Οι εργασίες αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν ταυτόχρονα διαφορετικούς κινδύνους, όπως ηλεκτροπληξία, ηλεκτρικό τόξο, πτώση από ύψος, μηχανικούς κινδύνους, θόρυβο και δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες. Παρά την ύπαρξη σχετικής νομοθεσίας, προτύπων και τεχνικών οδηγιών, η επιλογή των ΜΑΠ συχνά βασίζεται σε γενικές κατευθύνσεις και στην εμπειρία και κρίση των τεχνικών στελεχών.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός εργαλείου υποστήριξης απόφασης για τη συστηματική και τεκμηριωμένη επιλογή ΜΑΠ σε εργασίες Μέσης Τάσης. Η μεθοδολογία βασίστηκε στη μελέτη της ισχύουσας νομοθεσίας, ευρωπαϊκών οδηγιών, διεθνών προτύπων, της σχετικής βιβλιογραφίας και της πρακτικής εμπειρίας από αντίστοιχες εργασίες. Με βάση τα παραπάνω αναπτύχθηκε ένα σύνολο κανόνων λήψης απόφασης που συνδέει τα χαρακτηριστικά και τους κινδύνους κάθε εργασίας με τα απαιτούμενα ΜΑΠ.

Δημιουργήθηκε ένα ψηφιακό εργαλείο το οποίο αξιολογεί τις παραμέτρους που εισάγει ο χρήστης και προτείνει τα κατάλληλα ΜΑΠ. Παράλληλα, εξετάζεται η συμπληρωματική αξιοποίηση σύγχρονων τεχνολογιών προστασίας, χωρίς αυτές να αντικαθιστούν τα συμβατικά ΜΑΠ.

Η λειτουργία του εργαλείου αξιολογήθηκε σε τέσσερα αντιπροσωπευτικά σενάρια: χειρισμό κυψέλης, συντήρηση μετασχηματιστή, εργασία σε ιστό εναέριας γραμμής Μέσης Τάσης και εργασία σε περιορισμένο χώρο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η προτεινόμενη σύνθεση ΜΑΠ διαφοροποιείται ανάλογα με τους κινδύνους και τις συνθήκες κάθε εργασίας. Συμπερασματικά, το εργαλείο μπορεί να υποστηρίξει μια περισσότερο συστηματική και τεκμηριωμένη διαδικασία επιλογής ΜΑΠ, χωρίς να αντικαθιστά την επαγγελματική κρίση του μηχανικού ή του τεχνικού ασφαλείας.

Λέξεις-Κλειδιά: Μέσα Ατομικής Προστασίας, Μέση Τάση, ηλεκτρικός κίνδυνος, ηλεκτρικό τόξο, υποστήριξη απόφασης

Abstract

The appropriate selection of Personal Protective Equipment (PPE) is an important factor in ensuring the safety of workers in Medium Voltage electrical installations. Such activities may involve several hazards simultaneously, including electric shock, electric arc, falls from height, mechanical hazards, noise, and adverse environmental conditions. Despite the existence of relevant legislation, standards, and technical guidelines, PPE selection is often based on general recommendations as well as the experience and professional judgement of technical personnel.

The aim of this thesis is to develop a decision-support framework for the systematic and documented selection of PPE for Medium Voltage work. The methodology was based on a review of applicable legislation, European directives, international standards, relevant literature, and practical experience from similar activities. Based on this analysis, a set of decision rules was developed to link the characteristics and hazards of each task with the required PPE.

The proposed framework was implemented as a functional digital tool that evaluates the parameters entered by the user and recommends the appropriate PPE. The complementary use of modern protective technologies is also considered, without replacing conventional PPE.

The tool was evaluated through four representative scenarios: operation of Medium Voltage switchgear, maintenance of a Medium Voltage transformer, work on a Medium Voltage overhead line pole and works in tight areas. The results showed that the recommended PPE configuration changes according to the hazards and specific conditions of each task. Overall, the proposed tool can support a more systematic and documented PPE selection process, while not replacing the professional judgement of the engineer or safety professional.

Keywords: Personal Protective Equipment, Medium Voltage, Electrical Hazard, Electric Arc, Decision Support

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 2.1 Βασικές κατηγορίες ΜΑΠ και εφαρμογή σε εργασίες Μέσης Τάσης - Προσαρμογή από IEC, NIOSH και Ευρωπαϊκή Νομοθεσία.	16
Πίνακας 2.2 Παραδείγματα εφαρμογής μέτρων ανά επίπεδο - Ίδια επεξεργασία βάσει των πηγών της βιβλιογραφικής ανασκόπησης.....	19
Πίνακας 2.3 Πίνακας προτύπων ΜΑΠ για εργασίες Μέσης Τάσης.....	20
Πίνακας 3.1 Εξέλιξη των μέσων προστασίας κεφαλής και προσώπου από τα παραδοσιακά στα σύγχρονα ΜΑΠ.....	25
Πίνακας 3.2 Δείκτες αξιολόγησης ενδυμάτων arc-rated.....	26
Πίνακας 3.3 Ενδεικτικές λειτουργίες έξυπνων κράνων (smart helmets) και πιθανή αξιοποίησή τους σε εργασίες Μέσης Τάσης.....	28
Πίνακας 3.4 Ενδεικτικές εφαρμογές τεχνολογιών wearable στην ασφάλεια εργασιών Μέσης Τάσης	30
Πίνακας 4.1 Ενδεικτική αντιστοίχιση εργασιών Μέσης Τάσης με τα απαιτούμενα Μέσα Ατομικής Προστασίας σύμφωνα με την προσέγγιση Task-Based Selection.....	37
Πίνακας 4.2 Παράδειγμα εφαρμογής Risk-Based Selection.....	39
Πίνακας 4.3 Ενδεικτική συσχέτιση επιπέδων έκθεσης και επιλογής Μέσων Ατομικής Προστασίας σύμφωνα με την προσέγγιση Exposure-Based Selection.....	41
Πίνακας 4.4 Παραδείγματα Threshold-Based Selection.....	43
Πίνακας 4.5 Συγκριτική αξιολόγηση των βασικών μεθόδων επιλογής Μέσων Ατομικής Προστασίας.....	45
Πίνακας 5.2 Πίνακας εισόδων επιλογής.....	54
Πίνακας 5.4.2 Ενδεικτική ιεράρχηση κριτηρίων επιλογής ΜΑΠ στο προτεινόμενο πλαίσιο υποστήριξης.....	60
Πίνακας 5.5 Ενδεικτικοί κανόνες ενεργοποίησης σύγχρονων ΜΑΠ.....	63
Πίνακας 5.6.1 Παράδειγμα επιλογής ΜΑΠ για εργασίες MT.....	66
Πίνακας 5.6.2 Ενεργοποίηση σύγχρονων ΜΑΠ.....	66
Πίνακας 6.2 Συγκριτική αξιολόγηση εναλλακτικών τεχνολογιών για την ανάπτυξη του εργαλείου υποστήριξης απόφασης.....	73
Πίνακας 6.3 Βασικά δομικά στοιχεία της εφαρμογής.....	76
Πίνακας 6.4.1 Δεδομένα εισόδου.....	81

Πίνακας 6.5.1 Ενδεικτικοί ηλεκτρικοί κανόνες επιλογής ΜΑΠ.....	82
Πίνακας 6.5.2 Ενδεικτικοί κανόνες προστασίας από πτώση.....	83
Πίνακας 6.5.3 Ενδεικτικοί κανόνες ατμόσφαιρας εργασίας.....	83
Πίνακας 6.5.4 Ενδεικτικοί περιβαλλοντικοί κανόνες και πρόσθετα μέτρα προστασίας.....	84
Πίνακας 7.4 Συγκριτική παρουσίαση των σεναρίων εφαρμογής και των προτεινόμενων ΜΑΠ..	98

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 2.1: Ιεραρχία ελέγχων Κινδύνων (Hierarchy of Controls) NIOSH2024.....	18
Σχήμα 5.1: Βασική λογική λειτουργίας του προτεινόμενου πλαισίου υποστήριξης απόφασης...	49
Σχήμα 5.3: Βασική δομή προτεινόμενου εργαλείου επιλογής ΜΑΠ.....	57
Σχήμα 5.6 Ενδεικτική λογική λειτουργίας του προτεινόμενου πλαισίου λήψης απόφασης για την επιλογή ΜΑΠ σε εργασίες Μέσης Τάσης.....	68
Σχήμα 6.3 Αρχιτεκτονική εφαρμογής.....	74

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 6.4.1 Αρχική οθόνη.....	76
Εικόνα 6.4.2 Δυναμική πεδία.....	77
Εικόνα 6.4.3 Αποτελέσματα.....	78
Εικόνα 6.4.4 Εξαγωγή pdf.....	79
Εικόνα 6.6 Συμπλήρωση στοιχείων και δυναμική εμφάνιση.....	85
Εικόνα 6.7.1.1 Εισαγωγή δεδομένων παραδείγματος 1	87
Εικόνα 6.7.1.2 Αποτελέσματα παραδείγματος 1	87
Εικόνα 6.7.2.1 Αποτελέσματα παραδείγματος 2	88
Εικόνα 6.7.3.1 Εισαγωγή δεδομένων παραδείγματος 3.....	89
Εικόνα 6.7.3.2 Αποτελέσματα παραδείγματος 3	90
Εικόνα 6.7.4.1 Pdf αποτελεσμάτων παραδείγματος 5.....	91

1.Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

1.1.Αντικείμενο και σκοπός της εργασίας

Η σωστή επιλογή Μέσων Ατομικής Προστασίας (ΜΑΠ) αποτελεί έναν από τους βασικούς παράγοντες για τη εξασφάλιση ασφάλειας και υγείας σε εργαζόμενους. Αυτό ισχύει σε όλα τα τεχνικά έργα, ανεξάρτητα από το μέγεθος τους ή την φύση τους. Ένα από αυτά, είναι οι εργασίες που σχετίζονται με Υποσταθμούς και εγκαταστάσεις Μέσης Τάσης, είτε αφορά την κατασκευή, είτε την λειτουργία, είτε την συντήρηση και την αποκατάσταση βλάβης. Δυστυχώς, παρά τη μεγάλη σημασία τους, η διαδικασία της επιλογής ΜΑΠ είναι πολύ διαφορετική μεταξύ οργανισμών και έργων. Η επιλογή κυρίως βασίζεται είτε σε γενικές κατευθυντήριες οδηγίες είτε στην εμπειρία και υποκειμενική κρίση τεχνικών. Παρά την ύπαρξη μεγάλου αριθμού προτύπων, κανονισμών και τεχνικών οδηγιών, δεν εντοπίζεται στη βιβλιογραφία ένα ολοκληρωμένο και πρακτικό πλαίσιο που να υποστηρίζει την λήψη απόφασης για την επιλογή ΜΑΠ ειδικά σε εργασίες Μέσης Τάσης.

Με αυτή την εργασία γίνεται μια προσπάθεια να διευκολυνθεί η επιλογή των κατάλληλων ΜΑΠ σε εργασίες Μέσης Τάσης. Μάλιστα, η επιλογή δεν περιορίζεται μόνο στα παραδοσιακά ΜΑΠ, αλλά συμπεριλαμβάνει και σύγχρονες τεχνολογικές λύσεις που έχουν αρχίσει να ενσωματώνονται στον χώρο της ασφάλειας εργασίας τα τελευταία χρόνια. Με αυτόν τον τρόπο επιχειρείται να συνδεθεί η θεωρία με τις ανάγκες που προκύπτουν στην καθημερινή πρακτική των έργων Μέσης Τάσης των τεχνικών που παίρνουν μέρος σε έργα Μέσης Τάσης.

Στο πλαίσιο την εργασίας αυτής γίνεται μια συστηματική αποτύπωση των μεθόδων επιλογής ΜΑΠ, μια συγκριτική αξιολόγηση των χαρακτηριστικών και της εφαρμοσιμότητάς τους, ενώ θα δημιουργηθεί ένα απλό εργαλείο υποστήριξης απόφασης το οποίο θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε καθημερινές εργασίες Υποσταθμών Μέσης Τάσης. Τέλος, γίνεται πιλοτική εφαρμογή του εργαλείου σε ενδεικτικά σενάρια εργασιών, με σκοπό την αξιολόγηση της χρηστικότητας αλλά και της πρακτικής του αξίας.

1.2.Κίνητρα και αναγκαιότητα του θέματος

Η ασφάλεια και υγεία στην εργασία αποτελεί θεμελιώδη παράγοντα για την επιτυχή υλοποίηση τεχνικών έργων. Ιδιαίτερα στις εργασίες Μέσης Τάσης, όπου οι κίνδυνοι είναι αυξημένοι και οι συνέπειες ενός ατυχήματος μπορεί να είναι ιδιαίτερα σοβαρές, η επιλογή των κατάλληλων Μέσων Ατομικής Προστασίας (ΜΑΠ) αποκτά καθοριστική σημασία.

Παρά την ύπαρξη διεθνών προτύπων, κανονισμών και τεχνικών οδηγιών, η διαδικασία επιλογής ΜΑΠ παραμένει σύνθετη. Απαιτεί τη συνεκτίμηση πολλών παραγόντων, όπως το είδος της εργασίας, το επίπεδο κινδύνου, οι περιβαλλοντικές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού. Στην πράξη, η επιλογή βασίζεται συχνά στην εμπειρία των εμπλεκόμενων ή σε καθιερωμένες πρακτικές, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε διαφοροποιήσεις μεταξύ παρόμοιων εργασιών (ISO, 2018; EU-OSHA, 2023).

Η τεχνολογική εξέλιξη έχει εισάγει νέα ΜΑΠ με βελτιωμένα χαρακτηριστικά τόσο ως προς την αποτελεσματικότητα όσο και ως προς την εργονομία τους. Η ενσωμάτωση των τεχνολογιών αυτών δημιουργεί νέες δυνατότητες αλλά και νέες προκλήσεις ως προς την αξιολόγηση και την επιλογή τους (NIOSH, 2024; OSHA, 2023).

Κίνητρο της παρούσας εργασίας αποτελεί η ανάγκη ανάπτυξης ενός εύχρηστου και πρακτικού τρόπου υποστήριξης της απόφασης, το οποίο θα συμβάλλει στη ορθότερη και ευκολότερη επιλογή ΜΑΠ για εργασίες Μέσης Τάσης.

Στόχος της εργασίας είναι να παρέχει ένα εργαλείο που μπορεί να αξιοποιηθεί από μηχανικούς, τεχνικούς ασφαλείας και στελέχη έργων ώστε να συνδέσουν τη θεωρητική γνώση, τις απαιτήσεις των προτύπων και τις πραγματικές ανάγκες στα τεχνικά έργα.

1.3.Πλαίσιο εφαρμογής (εργασίες Μέσης Τάσης, απαιτήσεις Υγείας και Ασφάλειας στα Έργα)

Οι εργασίες σε εγκαταστάσεις Μέσης Τάσης έχουν ένα ιδιαίτερο πεδίο εφαρμογής των κανόνων ασφαλείας και υγείας στην εργασία. Συνδυάζουν αυξημένους τόσο ηλεκτρικούς, όσο και μηχανικούς και πολλές φορές οργανωτικούς κινδύνους.

Αντίθετα με πολλές άλλες τεχνικές δραστηριότητες, στις εργασίες Μέσης Τάσης παρουσιάζονται ειδικοί κίνδυνοι, όπως η ηλεκτροπληξία, το ηλεκτρικό τόξο, οι βραχυκυκλωματικές καταπονήσεις, οι εργασίες σε περιορισμένους χώρους, οι εργασίες σε ύψος και τέλος η χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού. Στην πράξη, ακόμη και εργασίες που θεωρούνται ρουτίνας, όπως ένας χειρισμός σε κυψέλη ΜΤ ή μια επιθεώρηση οπτικού ελέγχου υποσταθμού, ενδέχεται να περιλαμβάνουν περισσότερους από έναν ταυτόχρονους κινδύνους.

Παράλληλα, η εξέλιξη των τεχνολογιών προστασίας έχει οδηγήσει στην κυκλοφορία στην αγορά νέων τύπων ΜΑΠ. Οι νέοι τύποι αυτοί προσφέρουν βελτιωμένα επίπεδα ασφάλειας, εργονομίας και λειτουργικότητας σε σχέση με τα παραδοσιακά μέσα προστασίας. Βέβαια, με αυτή την προσθήκη και την αύξηση της ποικιλίας μεταξύ των διαθέσιμων ΜΑΠ, η επιλογή τους εξακολουθεί να βασίζεται στην εμπειρία των εμπλεκομένων και όχι σε μια πιο αντικειμενική διαδικασία λήψης απόφασης.

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στις εργασίες λειτουργίας, συντήρησης και κατασκευής εγκαταστάσεων Μέσης Τάσης και εξετάζει τόσο τα παραδοσιακά όσο και τα σύγχρονα ΜΑΠ που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Στο πλαίσιο αυτό, διερευνώνται οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή των ΜΑΠ, αναπτύσσεται ένα εργαλείο υποστήριξης απόφασης, με στόχο να είναι αποτελεσματικότερη και πιο τεκμηριωμένη η επιλογή σε πραγματικές συνθήκες εργασίας.

1.4.Στόχοι και προσδοκώμενα αποτελέσματα

Ειδικότεροι στόχοι της εργασίας είναι η καταγραφή και ανάλυση των βασικών κινδύνων που συναντώνται σε εργασίες κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης εγκαταστάσεων Μέσης Τάσης. Στη συνέχεια παρουσιάζεται μετά από διερεύνηση το είδος των διαθέσιμων επιλογών ΜΑΠ και γίνεται μια αξιολόγηση των χαρακτηριστικών τους ως προς το επίπεδο προστασίας, την εργονομία και την πρακτική εφαρμογή τους.

Παράλληλα, εξετάζονται οι συνήθειες σήμερα πρακτικές επιλογής ΜΑΠ και αναζητούνται τα πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί τους.

Κεντρικό αντικείμενο της εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός απλού εργαλείου υποστήριξης απόφασης (decision tool), το οποίο παρέχει μια τεκμηριωμένη επιλογή ΜΑΠ. Η επιλογή

βασίζεται στο είδος της εργασίας και τις παραμέτρους κινδύνου που τη συνοδεύουν. Το εργαλείο αυτό εφαρμόζεται πιλοτικά σε ενδεικτικά έργα Μέσης Τάσης, προκειμένου να αξιολογηθεί η λειτουργικότητα και η πρακτική του αξία.

Σκοπός είναι η δημιουργία μιας συστηματικής μεθοδολογίας επιλογής ΜΑΠ που υποστηρίζει τη διαχείριση κινδύνων στα τεχνικά έργα, βοηθά στην τεκμηρίωση των σχετικών αποφάσεων και ουσιαστικά θα συμβάλλει στη βελτίωση του επιπέδου ασφάλειας των εργαζομένων σε έργα Μέσης Τάσης.

1.5.Μεθοδολογία και δομή της εργασίας

Η εργασία βασίζεται κυρίως σε βιβλιογραφική έρευνα και συγκριτική ανάλυση των υφιστάμενων προσεγγίσεων επιλογής Μέσων Ατομικής Προστασίας (ΜΑΠ). Αρχικά πραγματοποιείται ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας, προτύπων και κανονισμών, και στη συνέχεια των τεχνολογικών εξελίξεων που αφορούν τόσο τα παραδοσιακά όσο και τα σύγχρονα ΜΑΠ που χρησιμοποιούνται σε εργασίες Μέσης Τάσης.

Στη συνέχεια καταγράφονται και αναλύονται οι βασικοί κίνδυνοι που συναντώνται κατά την εκτέλεση εργασιών κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης εγκαταστάσεων Μέσης Τάσης, καθώς και οι απαιτήσεις προστασίας που προκύπτουν από αυτούς. Με βάση τα αποτελέσματα της παραπάνω ανάλυσης, εξετάζονται οι διαθέσιμες μέθοδοι επιλογής ΜΑΠ και στη συνέχεια αξιολογείται η εφαρμοσιμότητά τους σε πραγματικές συνθήκες τεχνικών έργων.

Τέλος αναπτύσσεται ένα εργαλείο υποστήριξης απόφασης, το οποίο συνδυάζει τα δεδομένα του κάθε κινδύνου, τις απαιτήσεις που επιβάλλει η εφαρμογή των προτύπων και τα χαρακτηριστικά των διαθέσιμων ΜΑΠ, με στόχο την τεκμηριωμένη επιλογή τους. Το προτεινόμενο εργαλείο εφαρμόζεται πιλοτικά σε ενδεικτικά σενάρια εργασιών Μέσης Τάσης, ώστε να αξιολογηθεί η λειτουργικότητα και η πρακτική του χρησιμότητα.

Η εργασία οργανώνεται σε οκτώ κεφάλαια. Μετά την εισαγωγή ακολουθεί η βιβλιογραφική ανασκόπηση και η παρουσίαση των βασικών κινδύνων και των διαθέσιμων ΜΑΠ. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μέθοδοι επιλογής ΜΑΠ και ο προτεινόμενος τρόπος υποστήριξης της απόφασης. Ακολουθεί η εφαρμογή του εργαλείου σε επιλεγμένα σενάρια έργων και, τέλος,

παρουσιάζονται τα συμπεράσματα, οι περιορισμοί και προτάσεις για μελλοντική αξιοποίηση και εξέλιξη του εργαλείου.

2.Κεφάλαιο 2 – Θεωρητική Θεμελίωση | ΜΑΠ & Διαχείριση Κινδύνου

2.1.Ορισμός και κατηγορίες Μέσων Ατομικής Προστασίας

Τα Μέσα Ατομικής Προστασίας (ΜΑΠ) αποτελούν το τελευταίο επίπεδο προστασίας στο πλαίσιο της Ιεραρχίας Ελέγχων Κινδύνου και περιλαμβάνουν κάθε εξοπλισμό που προορίζεται να φορεθεί ή να χρησιμοποιηθεί από τον εργαζόμενο με σκοπό την προστασία του από έναν ή περισσότερους επαγγελματικούς κινδύνους (European Parliament & Council, 2016; NIOSH, 2024). Σύμφωνα με τον Κανονισμό (ΕΕ) 2016/425, ως ΜΑΠ νοούνται επίσης τα εξαρτήματα και τα συμπληρωματικά συστήματα που είναι απαραίτητα για την αποτελεσματική λειτουργία του εξοπλισμού προστασίας.

Είναι το τελευταίο επίπεδο άμυνας απέναντι στους επαγγελματικούς κινδύνους, σύμφωνα με την ιεραρχία των μέτρων πρόληψης και προστασίας. Η χρήση τους δεν υποκαθιστά τα συλλογικά μέτρα προστασίας ή την εξάλειψη των κινδύνων στην πηγή τους. Λειτουργούν συμπληρωματικά, όταν οι κίνδυνοι δεν μπορούν να εξαλειφθούν ή έστω να περιοριστούν επαρκώς με λήψη άλλων μέτρων.

Τα ΜΑΠ μπορούν να ομαδοποιηθούν σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το μέρος του σώματος που προστατεύουν ή τον κίνδυνο από τον οποίο παρέχουν προστασία. Οι κυριότερες κατηγορίες περιλαμβάνουν:

- Μέσα προστασίας κεφαλής (κράνη ασφαλείας, μονωτικά κράνη).
- Μέσα προστασίας οφθαλμών και προσώπου (γυαλιά ασφαλείας, προσωπίδες, ασπίδια ηλεκτρικού τόξου).
- Μέσα προστασίας ακοής (ωτοασπίδες, ωτοβύσματα).
- Μέσα προστασίας αναπνευστικού συστήματος (φίλτρα, μάσκες, αναπνευστικές συσκευές).

- Μέσα προστασίας χεριών και άνω άκρων (μονωτικά γάντια, μηχανικής προστασίας γάντια).
- Μέσα προστασίας ποδιών (υποδήματα ασφαλείας, διηλεκτρικά υποδήματα).
- Μέσα προστασίας σώματος (ενδύματα υψηλής ορατότητας, πυράντοχα ή arc-rated ενδύματα).
- Μέσα προστασίας από πτώση (ζώνες ασφαλείας, συστήματα συγκράτησης και ανακοπής πτώσης).

Στις εργασίες Μέσης Τάσης, ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζουν τα ΜΑΠ που προστατεύουν από ηλεκτρικούς κινδύνους. Τέτοιου είδους είναι τα μονωτικά γάντια, οι προσωπίδες ηλεκτρικού τόξου, τα ενδύματα προστασίας από θερμικές επιδράσεις ηλεκτρικού τόξου και τα μονωτικά υποδήματα. Η επιλογή τους πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τα ισχύοντα πρότυπα και μετά από αξιολόγηση των κινδύνων που σχετίζονται με την εκάστοτε εργασία.

Πίνακας 2.1

Κατηγορία ΜΑΠ	Ενδεικτικός Εξοπλισμός	Βασικό Πρότυπο	Ενδεικτική Εφαρμογή σε εργασίες ΜΤ
Προστασία κεφαλής	Κράνος ασφαλείας, μονωτικό κράνος	EN 397, EN 50365	Κατασκευή και συντήρηση Υποσταθμών
Προστασία οφθαλμών και προσώπου	Γυαλιά ασφαλείας, προσωπίδα arc flash	EN 166, IEC 61482	Χειρισμοί και δοκιμές σε πίνακες ΜΤ
Προστασία ακοής	Ωτοβύσματα, ωτοασπίδες	EN 352	Χώροι με αυξημένο θόρυβο (H/Z, βιομηχανικές εγκαταστάσεις)
Προστασία αναπνευστικού συστήματος	Μάσκες φίλτρων, αναπνευστικές συσκευές	EN 136, EN 149	Εργασίες σε περιορισμένους χώρους ή περιβάλλον με σκόνη
Προστασία χεριών	Μονωτικά γάντια, γάντια μηχανικής προστασίας	IEC 60903, EN 388	Χειρισμοί σε εξοπλισμό ΜΤ
Προστασία ποδιών	Υποδήματα ασφαλείας, διηλεκτρικά υποδήματα	EN ISO 20345	Κατασκευές, συντήρηση και επιθεωρήσεις

Προστασία σώματος	Ενδύματα υψηλής ορατότητας, arc-rated ενδύματα	EN ISO 20471, IEC 61482-2	Εργασίες κοντά σε ηλεκτρικό εξοπλισμό
Προστασία από πτώση	Ζώνες ασφαλείας, συστήματα συγκράτησης και ανακοπής πτώσης	EN 361, EN 363	Εργασίες σε ύψος και μεταλλικές κατασκευές
Φορητοί ανιχνευτές αερίων*	CO, H ₂ S, O ₂ detectors	EN 60079, κατασκευαστικές προδιαγραφές	Περιορισμένοι χώροι και φρεάτια
*Η συγκεκριμένη κατηγορία δεν αποτελεί τυπικά ΜΑΠ, ωστόσο χρησιμοποιείται ευρέως ως συμπληρωματικό μέσο προστασίας και προειδοποίησης σε εργασίες υψηλού κινδύνου.			

Βασικές κατηγορίες ΜΑΠ και εφαρμογή σε εργασίες Μέσης Τάσης - Προσαρμογή από IEC, NIOSH και Ευρωπαϊκή Νομοθεσία.

Η επιλογή των κατάλληλων ΜΑΠ εξαρτάται από τη φύση της εργασίας, τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος εργασίας, το μέγεθος του κινδύνου και τις απαιτήσεις των σχετικών προτύπων και κανονισμών. Γι αυτό και η σωστή επιλογή και χρήση τους, θεωρείται κρίσιμος παράγοντας διαχείρισης ασφάλειας και υγείας στην εργασία.

2.2.Σχέση ΜΑΠ – ιεραρχία ελέγχων κινδύνου (Hierarchy of Controls)

Η διαχείριση των επαγγελματικών κινδύνων βασίζεται στην αρχή ότι οι κίνδυνοι πρέπει να αντιμετωπίζονται κατά προτεραιότητα στην πηγή τους και όχι αποκλειστικά μέσω της προστασίας του εργαζομένου. Η προσέγγιση αυτή αποτυπώνεται στην Ιεραρχία Ελέγχων Κινδύνου (Hierarchy of Controls), η οποία χρησιμοποιείται ευρέως ως εργαλείο ιεράρχησης των μέτρων πρόληψης και προστασίας στους χώρους εργασίας (NIOSH, 2024).

Σύμφωνα με την παραπάνω ιεραρχία, τα μέτρα προστασίας κατατάσσονται σε πέντε επίπεδα, ανάλογα με την αποτελεσματικότητά τους. Στην κορυφή της ιεραρχίας βρίσκεται η εξάλειψη του κινδύνου (Elimination), δηλαδή η πλήρης απομάκρυνση της πηγής κινδύνου. Στη συνέχεια ακολουθεί η υποκατάσταση (Substitution), όπου ένας επικίνδυνος παράγοντας αντικαθίσταται από έναν άλλο που είναι λιγότερο επικίνδυνος. Στη συνέχεια βρίσκονται τα τεχνικά μέτρα προστασίας (Engineering Controls), όπως είναι για παράδειγμα οι περιφράξεις, οι διατάξεις ασφαλείας και τα συστήματα απομόνωσης. Το τέταρτο επίπεδο περιλαμβάνει τα διοικητικά

μέτρα (Administrative Controls), όπως οι διαδικασίες εκτέλεσης της εργασίας, η κατάλληλη και



Σχήμα 2.1: Ιεραρχία ελέγχων Κινδύνων (Hierarchy of Controls) NIOSH2024

συνεχής εκπαίδευση του προσωπικού και οι άδειες εργασίας.

Τα Μέσα Ατομικής Προστασίας (ΜΑΠ) αποτελούν το τελευταίο επίπεδο της ιεραρχίας. Παρότι είναι απολύτως απαραίτητα, θεωρούνται τα λιγότερο αποτελεσματικά σε σχέση με τα ανώτερα επίπεδα προστασίας, αφού η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται από την ορθή επιλογή, την ορθή χρήση, την τακτική συντήρηση και τέλος πολύ σημαντικό την συμμόρφωση του εργαζομένου. Όλα τα παραπάνω καθιστούν επισφαλή την αποτελεσματικότητά τους.

Στις εργασίες Μέσης Τάσης η εφαρμογή της ιεραρχίας ελέγχων κινδύνου είναι εξαιρετικά σημαντική. Για παράδειγμα, πριν από τη χρήση μονωτικών γαντιών ή των ενδυμάτων προστασίας από ηλεκτρικό τόξο, πρέπει απαραίτητα να έχουν ληφθεί μέτρα όπως η απομόνωση της εγκατάστασης από τάση, η γείωση όλων των μεταλλικών μερών, η εφαρμογή διαδικασιών lockout-tagout (LOTO), η χρήση κατάλληλων εμποδίων και η τήρηση ασφαλών

αποστάσεων εργασίας για τις περιπτώσεις εργασιών υπό τάση. Τα ΜΑΠ λοιπόν, λειτουργούν συμπληρωματικά στα παραπάνω μέτρα και αποτελούν το τελευταίο επίπεδο άμυνας έναντι των κινδύνων.

Πίνακας 2.2

Επίπεδο	Παράδειγμα σε εγκατάσταση ΜΤ
Εξάλειψη	Εργασία χωρίς τάση
Υποκατάσταση	Χρήση εξοπλισμού χαμηλότερου κινδύνου
Τεχνικά μέτρα	Κλειδώματα, γειώσεις, περιφράξεις
Διοικητικά μέτρα	LOTO, άδειες εργασίας, εκπαίδευση
ΜΑΠ	Arc-rated στολή, γάντια IEC 60903, προσωπίδα

Παραδείγματα εφαρμογής μέτρων ανά επίπεδο - Ίδια επεξεργασία βάσει των πηγών της βιβλιογραφικής ανασκόπησης

Η κατανόηση της θέσης των ΜΑΠ στην Ιεραρχία Ελέγχων Κινδύνου είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη ενός αποτελεσματικού εργαλείου υποστήριξης απόφασης. Η επιλογή τους πρέπει να βασίζεται στην προηγούμενη καταγραφή και αξιολόγηση των κινδύνων και των ήδη εφαρμοζόμενων μέτρων προστασίας. Σύγχρονες τάσεις στη νομοθεσία και στις πρακτικές ασφάλειας δίνουν ολοένα μεγαλύτερη έμφαση στην αξιολόγηση κινδύνου ως βάση για την επιλογή ΜΑΠ. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μετάβαση σε συστήματα χορήγησης ΜΑΠ που συνδυάζουν τις απαιτήσεις της θέσης εργασίας με τα αποτελέσματα της εκτίμησης επαγγελματικού κινδύνου (Kondrateva et al., 2024).

2.3.Ρυθμιστικό πλαίσιο και πρότυπα

Η επιλογή και η χρήση των Μέσων Ατομικής Προστασίας (ΜΑΠ) διέπεται από ένα εκτεταμένο πλαίσιο κανονιστικό και τυποποιητικό, το οποίο έχει σκοπό την προστασία της ασφάλειας και της υγείας των εργαζομένων. Το πλαίσιο αυτό περιλαμβάνει ευρωπαϊκούς κανονισμούς, εθνική νομοθεσία, διεθνή πρότυπα και τεχνικές προδιαγραφές που καθορίζουν τις απαιτήσεις σχεδιασμού, της κατασκευής, της πιστοποίησης και της χρήσης των ΜΑΠ.

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, βασικό νομοθετικό κείμενο για τα Μέσα Ατομικής Προστασίας αποτελεί ο Κανονισμός (ΕΕ) 2016/425, ο οποίος καθορίζει τις βασικές απαιτήσεις ασφάλειας και τις διαδικασίες αξιολόγησης της συμμόρφωσης των προϊόντων πριν από τη διάθεσή τους στην αγορά (European Parliament & Council, 2016).

Παράλληλα, η Οδηγία 89/391/ΕΟΚ και οι επιμέρους οδηγίες που αφορούν την ασφάλεια και υγεία στην εργασία θέτουν τις γενικές υποχρεώσεις των εργοδοτών σχετικά με την εκτίμηση κινδύνων και την παροχή κατάλληλων μέσων προστασίας στους εργαζομένους (Council of the European Communities, 1989).

Στην Ελλάδα, οι απαιτήσεις αυτές έχουν ενσωματωθεί στο εθνικό δίκαιο μέσω του Κώδικα Νόμων για την Υγεία και Ασφάλεια των Εργαζομένων (Ν. 3850/2010), ο οποίος καθορίζει τις υποχρεώσεις εργοδοτών και εργαζομένων σχετικά με την πρόληψη των επαγγελματικών κινδύνων και τη λήψη κατάλληλων μέτρων προστασίας (Ελληνική Δημοκρατία, 2010).

Για τις εργασίες Μέσης Τάσης, ιδιαίτερη σημασία έχουν συγκεκριμένα διεθνή πρότυπα που αφορούν τους ηλεκτρικούς κινδύνους. Ενδεικτικά, το πρότυπο IEC 60903 καθορίζει τις απαιτήσεις για τα μονωτικά γάντια ηλεκτρολόγων, ενώ το πρότυπο IEC 61482-2 αφορά τα ενδύματα προστασίας έναντι των θερμικών επιδράσεων ηλεκτρικού τόξου. Επιπλέον, πρότυπα όπως τα EN 397, EN 50365, EN 166, EN ISO 20345 και EN 361 καθορίζουν απαιτήσεις για κράνη, μέσα προστασίας οφθαλμών, υποδήματα ασφαλείας και εξοπλισμό προστασίας από πτώση.

Πίνακας 2.3

Πρότυπο / Κανονισμός	Αντικείμενο
Κανονισμός (ΕΕ) 2016/425	Μέσα Ατομικής Προστασίας
Ν. 3850/2010	Κώδικας Υγείας & Ασφάλειας Εργαζομένων
ISO 45001	Συστήματα διαχείρισης ΥΑΕ
IEC 60903	Μονωτικά γάντια ηλεκτρολόγων
IEC 61482-2	Προστασία από ηλεκτρικό τόξο

EN 61482-1-2	Προστατευτικός ρουχισμός έναντι θερμικών κινδύνων ηλεκτρικού τόξου
EN 50365	Ηλεκτρικά μονωτικά κράνη
EN 166	Προστασία οφθαλμών
EN ISO 20345	Υποδήματα ασφαλείας
EN 361	Ζώνες ασφαλείας πλήρους σώματος
EN 352	Προστασία ακοής

Πίνακας προτύπων ΜΑΠ για εργασίες Μέσης Τάσης

Η συμμόρφωση με το ισχύον νομοθετικό και κανονιστικό πλαίσιο αποτελεί βασική προϋπόθεση για την αποτελεσματική επιλογή ΜΑΠ και τη διασφάλιση της ασφάλειας των εργαζομένων. Για τον λόγο αυτό, τα πρότυπα και οι κανονιστικές απαιτήσεις αποτελούν βασική παράμετρο του πλαισίου υποστήριξης απόφασης που αναπτύσσεται στην παρούσα εργασία.

2.4.Ειδικές απαιτήσεις ΜΑΠ σε εργασίες Μέσης Τάσης

Οι εργασίες σε εγκαταστάσεις Μέσης Τάσης παρουσιάζουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά σε σχέση με άλλες τεχνικές εργασίες, καθώς συνδυάζουν σοβαρούς κινδύνους, οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν σοβαρούς τραυματισμούς ή και απώλεια ζωής. Για τον λόγο αυτό, η επιλογή των κατάλληλων Μέσων Ατομικής Προστασίας (ΜΑΠ) πρέπει να βασίζεται σε συστηματική αξιολόγηση των κινδύνων και τις απαιτήσεις των σχετικών προτύπων και κανονισμών. Η ιδιαιτερότητα των εργασιών στον κλάδο της ηλεκτρικής ενέργειας οφείλεται στην ταυτόχρονη παρουσία πολλαπλών κινδύνων, όπως η ηλεκτροπληξία, το ηλεκτρικό τόξο, οι μηχανικοί κίνδυνοι, οι ακραίες θερμοκρασίες και η έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη συνδυασμένη χρήση διαφορετικών κατηγοριών ΜΑΠ (Kondrateva et al., 2024).

2.4.1.Προστασία από ηλεκτρικό τόξο (Arc Flash)

Το ηλεκτρικό τόξο αποτελεί ιδιαίτερο κίνδυνο στις εγκαταστάσεις ηλεκτρολογικές με τάση λειτουργίας άνω των 1000V, καθώς μπορεί να προκαλέσει σοβαρά θερμικά εγκαύματα,

τραυματισμούς από πίεση και εκτίναξη μεταλλικών σωματιδίων. Για την προστασία των εργαζομένων απαιτούνται ειδικά ενδύματα προστασίας από ηλεκτρικό τόξο (arc-rated clothing), προσωπίδες και μέσα προστασίας κεφαλής που συμμορφώνονται με τα σχετικά πρότυπα, όπως το IEC 61482-2.

2.4.2.Προστασία από ηλεκτροπληξία

Η ηλεκτροπληξία αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους κινδύνους κατά την εργασία σε ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις, και ειδικά στις εγκαταστάσεις Μέσης Τάσης. Η προστασία των εργαζομένων επιτυγχάνεται κυρίως μέσω οργανωτικών και τεχνικών μέτρων, όπως οι διαδικασίες απομόνωσης και γείωσης, ωστόσο απαιτείται και η χρήση κατάλληλων ΜΑΠ, καθώς υπάρχουν περιπτώσεις δοκιμών, μετρήσεων ή ελέγχων κατά τις οποίες η παρουσία τάσης αποτελεί αναγκαία συνθήκη για την εκτέλεση της εργασίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι εργασίες ηλέκτρισης Υποσταθμών Μέσης Τάσης που η ύπαρξη τάσης είναι αναγκαία για την δοκιμή των διατάξεων προστασίας του Υποσταθμού. Στα βασικά μέσα προστασίας περιλαμβάνονται τα μονωτικά γάντια σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60903, τα μονωτικά κράνη και τα κατάλληλα υποδήματα ασφαλείας.

2.4.3.Εργασίες σε ύψος

Κατά την κατασκευή, συντήρηση και αποκατάστασης βλάβης ηλεκτρικών εγκαταστάσεων Υποσταθμών είναι συχνή η εκτέλεση εργασιών σε ύψος, όπως σε μεταλλικές κατασκευές, ιστούς, γέφυρες καλωδίων ή κτίρια Υποσταθμών. Στις περιπτώσεις αυτές απαιτείται η χρήση συστημάτων προστασίας από πτώση, όπως ζώνες ασφαλείας πλήρους σώματος, αποσβεστήρες ενέργειας και συστήματα συγκράτησης ή ανακοπής πτώσης, σύμφωνα με τα σχετικά πρότυπα.

2.4.4.Θόρυβος

Ο θόρυβος μπορεί να προκύψει από τη λειτουργία ηλεκτροπαραγωγών ζευγών, μετασχηματιστών, βιομηχανικού εξοπλισμού ή εργαλείων που χρησιμοποιούνται κατά την

εκτέλεση εργασιών. Όταν τα επίπεδα θορύβου υπερβαίνουν τα επιτρεπτά όρια, απαιτείται η χρήση μέσων προστασίας ακοής, όπως ωτοβύσματα ή ωτοασπίδες κατάλληλης απόσβεσης.

2.4.5.Εργασίες σε περιορισμένους χώρους

Σε ορισμένες περιπτώσεις οι εργασίες εκτελούνται σε φρεάτια καλωδίων, υπόγειους χώρους ή άλλες περιοχές με περιορισμένο αερισμό. Οι κίνδυνοι που σχετίζονται με την παρουσία επικίνδυνων αερίων ή την έλλειψη οξυγόνου. Αυτές οι συνθήκες καθιστούν απαραίτητη τη χρήση κατάλληλων μέσων προστασίας του αναπνευστικού συστήματος, καθώς και φορητών ανιχνευτών αερίων για τη συνεχή παρακολούθηση της ατμόσφαιρας.

Συμπερασματικά, οι εργασίες Μέσης Τάσης απαιτούν συνδυασμό διαφορετικών κατηγοριών ΜΑΠ, καθώς σχεδόν πάντα συνυπάρχουν περισσότεροι του ενός κίνδυνοι. Η επιλογή τους δεν μπορεί και δεν πρέπει να βασίζεται αποκλειστικά στην εμπειρία ή στις καθιερωμένες πρακτικές. Είναι αναγκαία η μια τεκμηριωμένη διαδικασία αξιολόγησης κινδύνου και λήψης αποφάσεων, η οποία αποτελεί και το αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

2.4.6.Ηλεκτρομαγνητικά πεδία (EMF)

Οι εργαζόμενοι σε εγκαταστάσεις Μέσης Τάσης ενδέχεται να εκτίθενται σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από ηλεκτρικό εξοπλισμό, αγωγούς και μετασχηματιστές. Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα επίπεδα έκθεσης βρίσκονται εντός των ορίων που καθορίζονται από τη σχετική νομοθεσία και τα διεθνή πρότυπα. Ωστόσο, σε ειδικές περιπτώσεις, όπως η εργασία σε μικρές αποστάσεις από εξοπλισμό υψηλής έντασης ρεύματος ή η παρουσία εργαζομένων με ενεργά ιατρικά εμφυτεύματα (π.χ. βηματοδότες), απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή.

Η διαχείριση του συγκεκριμένου κινδύνου βασίζεται κυρίως σε οργανωτικά και τεχνικά μέτρα, όπως ο έλεγχος πρόσβασης και η τήρηση ασφαλών αποστάσεων, ενώ τα ΜΑΠ έχουν περιορισμένη συμβολή στην προστασία από τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία (European Parliament & Council, 2013).

3. Κεφάλαιο 3 – Σύγχρονα ΜΑΠ και Αναδυόμενες Τεχνολογίες

3.1. Προηγμένα συστήματα προστασίας κεφαλής και προσώπου

Οι προσωπίδες και τα προστατευτικά hoods αποτελούν βασικά μέσα προστασίας των εργαζομένων από τις θερμικές επιδράσεις ηλεκτρικού τόξου, τα εκτοξευόμενα σωματίδια και τις μηχανικές καταπονήσεις που μπορεί να προκύψουν κατά την εργασία σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Τα τελευταία χρόνια, η εξέλιξη των υλικών και των τεχνολογιών ατομικής προστασίας έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων προστασίας κεφαλής και προσώπου, τα οποία συχνά αναφέρονται ως «έξυπνες προσωπίδες» ή «έξυπνα προστατευτικά hoods».

Οι σύγχρονες αυτές λύσεις βασίζονται κυρίως στη βελτίωση των υλικών κατασκευής, στην ενσωμάτωση λειτουργιών υποστήριξης του χρήστη και στη βελτίωση της εργονομίας χρήσης τους. Σε σύγκριση με τις παραδοσιακές προσωπίδες προστασίας από ηλεκτρικό τόξο, τα νεότερα συστήματα προσφέρουν μεγαλύτερο οπτικό πεδίο, μειωμένη παραμόρφωση της εικόνας, καλύτερη απόδοση έναντι της θάμβωσης και βελτιωμένη άνεση κατά τη χρήση (IEC, 2020; NFPA, 2024).

Παράλληλα, έχουν εμφανιστεί συστήματα που ενσωματώνουν πρόσθετες λειτουργίες, όπως είναι οι αισθητήρες περιβαλλοντικών συνθηκών, συστήματα ενδοεπικοινωνίας, ενσωματωμένος φωτισμός LED και δυνατότητες διασύνδεσης με φορητές συσκευές ή συστήματα παρακολούθησης θέσης. Αν και οι τεχνολογίες αυτές δεν έχουν ακόμη ευρεία εφαρμογή στις εργασίες Μέσης Τάσης, έχουν εφαρμογή σε εργασίες υψηλού κινδύνου, όπου η έγκαιρη πληροφόρηση και η βελτίωση της επίγνωσης του περιβάλλοντος μπορούν να έχουν καθοριστικό ρόλο στην αποφυγή ατυχημάτων (NIOSH, 2024; EU-OSHA, 2023).

Στις εργασίες ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, τα προστατευτικά hoods χρησιμοποιούνται συνήθως σε συνδυασμό με arc-rated ενδυμασία, ώστε να παρέχεται ολοκληρωμένη προστασία της κεφαλής, του προσώπου και του λαιμού έναντι των θερμικών επιδράσεων ηλεκτρικού τόξου. Η ανάγκη αυτή γίνεται ακόμη πιο σημαντική σε εργασίες υπό τάση ή σε περιπτώσεις όπου υπάρχει αυξημένη πιθανότητα δημιουργίας τόξου (Göcsei et al., 2022). Στην πράξη όμως η χρήση τους σε έργα Μέσης Τάσης στην Ελλάδα παραμένει περιορισμένη.

Πίνακας 3.1

Χαρακτηριστικό	Παραδοσιακή προσωπίδα	Σύγχρονο smart hood
Προστασία Arc Flash	Ναι	Ναι
LED φωτισμός	Όχι	Ναι
Επικοινωνία	Όχι	Ναι
Αισθητήρες	Όχι	Πιθανόν
Διασύνδεση με εφαρμογές	Όχι	Ναι

Εξέλιξη των μέσων προστασίας κεφαλής και προσώπου από τα παραδοσιακά στα σύγχρονα ΜΑΠ

Η συνεχής τεχνολογική εξέλιξη των προσωπίδων και των προστατευτικών hoods μελλοντικά θα συμβάλει σε ακόμη μεγαλύτερη ενσωμάτωση ψηφιακών λειτουργιών και συστημάτων υποστήριξης του χρήστη. Επίσης, η πρόοδος όσον αφορά την βελτίωση των υφασμάτων θα τα καθυστά ακόμα πιο εύκολα στην χρήση. Για τον λόγο αυτό, τα μέσα αυτά εξετάζονται στην παρούσα εργασία ως χαρακτηριστικό παράδειγμα της μετάβασης από τα παραδοσιακά προς τα σύγχρονα Μέσα Ατομικής Προστασίας.

3.2.Arc-rated ενδυμασία (ATPV/ELIM) – νέες γενιές υφασμάτων

Η προστασία από τις θερμικές επιδράσεις ηλεκτρικού τόξου (Arc Flash) αποτελεί μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις στις εργασίες Μέσης Τάσης. Εξαιτίας ηλεκτρικού τόξου μπορεί να αναπτυχθούν εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες σε ελάχιστο χρόνο. Αυτό προκαλεί σοβαρά εγκαύματα, τραυματισμούς από πίεση και εκτίναξη λιωμένων μεταλλικών σωματιδίων. Για αυτό το λόγο, τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί εξειδικευμένα ρούχα προστασίας, γνωστά ως arc-rated clothing, τα οποία έχουν σχεδιαστεί για να μειώνουν τη μεταφορά θερμικής ενέργειας στο σώμα του εργαζομένου.

Η απόδοση των ενδυμάτων αυτών αξιολογείται σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61482-2 και εκφράζεται μέσω δεικτών όπως το Arc Thermal Performance Value (ATPV) και το Energy Limit Value (ELIM).

Ο δείκτης ATPV εκφράζει το επίπεδο θερμικής ενέργειας (cal/cm^2) που μπορεί να δεχθεί το ύφασμα πριν υπάρξει πιθανότητα πρόκλησης εγκαύματος δευτέρου βαθμού στον χρήστη.

Ο δείκτης ELIM έχει παρουσιαστεί τα τελευταία χρόνια και θεωρείται πιο συντηρητικός, καθώς εκφράζει το ανώτατο επίπεδο ενέργειας κάτω από το οποίο δεν αναμένεται πρόκληση εγκαύματος.

Πίνακας 3.2

Χαρακτηριστικό	ATPV	ELIM
Τι εκφράζει	Ενέργεια με 50% πιθανότητα εγκαύματος 2ου βαθμού	Μέγιστη ενέργεια χωρίς αναμενόμενο έγκαυμα
Μονάδα	cal/cm^2	cal/cm^2
Προσέγγιση	Στατιστική πιθανότητα	Συντηρητική προσέγγιση
Σύγχρονη χρήση	Ευρέως διαδεδομένη	Προτείνεται από νεότερα πρότυπα

Δείκτες αξιολόγησης ενδυμάτων arc-rated

Οι πρώτες γενιές ενδυμάτων προστασίας από ηλεκτρικό τόξο βασίζονταν κυρίως σε βαριά, σκληρά και δύσκαμπτα υφάσματα, γεγονός που συχνά περιόριζε την άνεση και την αποδοχή τους από τους χρήστες. Ειδικά σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών ήταν σχεδόν αδύνατη η χρήση τους αφού ακόμα και μετά από λίγα λεπτά προκαλούσαν δυσφορία στον χρήστη. Οι σύγχρονες τεχνολογίες έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων υφασμάτων που συνδυάζουν υψηλή προστασία με βελτιωμένη εργονομία, μειωμένο βάρος και αυξημένη άνεση κατά τη χρήση.

Σήμερα χρησιμοποιούνται ευρέως υφάσματα εγγενούς αντοχής στη φλόγα (inherent flame resistant fabrics), όπως οι ίνες aramid (Nomex®, Kevlar®) και τα υφάσματα modacrylic, καθώς και πολυστρωματικές συνθέσεις που προσφέρουν αυξημένη προστασία έναντι θερμικών επιδράσεων χωρίς σημαντική επιβάρυνση του χρήστη.

Παράλληλα, εμφανίζονται νέα υλικά, με βελτιωμένες ιδιότητες διαχείρισης θερμότητας και υγρασίας, τα οποία συμβάλλουν στη μείωση της θερμικής καταπόνησης κατά την εργασία.

Η επιλογή της κατάλληλης arc-rated ενδυμασίας δεν πρέπει να βασίζεται μόνο στην ύπαρξη πιστοποίησης, αλλά και στην αντιστοίχιση του επιπέδου προστασίας με το αναμενόμενο θερμικό φορτίο από πιθανό ηλεκτρικό τόξο. Σε εργασίες ηλεκτρικών δικτύων ειδικά μέσης τάσης, η αξιολόγηση του κινδύνου ηλεκτρικού τόξου αποτελεί βασικό στοιχείο για την επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού προστασίας (Göcsei et al., 2022).

Για τον λόγο αυτό, η αξιολόγηση των χαρακτηριστικών της arc-rated ενδυμασίας αποτελεί σημαντική παράμετρο του εργαλείου υποστήριξης απόφασης που αναπτύσσεται στην παρούσα εργασία.

3.3.Smart helmets (HUD, αισθητήρες, impact detection)

Η ανάπτυξη των ψηφιακών τεχνολογιών και των φορητών συστημάτων παρακολούθησης έχει οδηγήσει στην εμφάνιση μιας νέας γενιάς Μέσων Ατομικής Προστασίας, γνωστών ως «έξυπνα κράνη» (smart helmets).

Τα συστήματα αυτά βασίζονται στα παραδοσιακά κράνη ασφαλείας, ενσωματώνοντας παράλληλα αισθητήρες, συστήματα επικοινωνίας και λειτουργίες παρακολούθησης που έχουν στόχο τη βελτίωση της ασφάλειας των εργαζομένων.

Ένα έξυπνο κράνος μπορεί να περιλαμβάνει αισθητήρες ανίχνευσης κρούσης (impact detection), οι οποίοι καταγράφουν έντονα χτυπήματα ή πτώσεις και μπορούν να ενεργοποιήσουν αυτόματες ειδοποιήσεις προς υπεύθυνους ασφαλείας ή κέντρα ελέγχου ή άλλους αποδέκτες που έχουν οριστεί. Η δυνατότητα αυτή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον ειδικά για απομονωμένες εργασίες, όπου η έγκαιρη ενημέρωση σε περίπτωση ατυχήματος μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη μείωση του χρόνου επέμβασης.

Παράλληλα, αρκετά συστήματα διαθέτουν αισθητήρες περιβάλλοντος για τη μέτρηση θερμοκρασίας, υγρασίας ή συγκεντρώσεων επικίνδυνων αερίων, καθώς και συστήματα γεωεντοπισμού (GPS) για την παρακολούθηση της θέσης των εργαζομένων σε μεγάλα εργοτάξια ή βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Επιπλέον, ορισμένα μοντέλα υποστηρίζουν ασύρματη

επικοινωνία μέσω Bluetooth ή άλλων τεχνολογιών, διευκολύνοντας την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των εργαζομένων και των ομάδων επίβλεψης.

Μία ακόμη τεχνολογική εξέλιξη αφορά την ενσωμάτωση συστημάτων προβολής πληροφοριών (Head-Up Display – HUD). Τα συστήματα αυτά μπορούν να προβάλλουν στον χρήστη βασικές πληροφορίες λειτουργίας, οδηγίες εργασίας, οδηγίες χρήσης ή ειδοποιήσεις ασφαλείας χωρίς να απαιτείται η χρήση φορητών συσκευών. Παρότι οι εφαρμογές αυτές βρίσκονται ακόμη σε σχετικά πρώιμο στάδιο υιοθέτησης, θα συμβάλουν στη βελτίωση της επίγνωσης του περιβάλλοντος εργασίας και στη μείωση του ανθρώπινου λάθους (EU-OSHA, 2023; NIOSH, 2024).

Πίνακας 3.3

Λειτουργία	Περιγραφή	Δυνητικό όφελος σε εργασίες MT
Impact Detection	Ανίχνευση κρούσης ή πτώσης	Άμεση ειδοποίηση σε περίπτωση ατυχήματος
GPS Tracking	Παρακολούθηση θέσης	Εντοπισμός προσωπικού σε μεγάλες εγκαταστάσεις
Environmental Sensors	Μέτρηση θερμοκρασίας, αερίων κ.λπ.	Έγκαιρη προειδοποίηση κινδύνου
Bluetooth Communication	Ασύρματη επικοινωνία	Βελτίωση συντονισμού συνεργείων
Head-Up Display (HUD)	Προβολή πληροφοριών στον χρήστη	Μείωση διακοπών εργασίας και λαθών

Ενδεικτικές λειτουργίες έξυπνων κράνων (smart helmets) και πιθανή αξιοποίησή τους σε εργασίες Μέσης Τάσης

Στις εργασίες Μέσης Τάσης, τα έξυπνα κράνη μπορούν να προσφέρουν πρόσθετα επίπεδα ασφάλειας, ιδιαίτερα σε δραστηριότητες συντήρησης, επιθεώρησης και αποκατάστασης βλαβών, όπου οι εργαζόμενοι ενδέχεται να εργάζονται μόνοι ή σε απομακρυσμένες εγκαταστάσεις. Ωστόσο, η χρήση τους δεν υποκαθιστά τα βασικά μέσα προστασίας ούτε τις καθιερωμένες διαδικασίες ασφάλειας, αλλά λειτουργεί συμπληρωματικά προς αυτά.

Παρά τα πλεονεκτήματα των smart helmets, η ευρεία υιοθέτησή τους παραμένει περιορισμένη λόγω κόστους, θεμάτων αξιοπιστίας, απαιτήσεων συντήρησης, ζητημάτων ιδιωτικότητας και περιορισμένης αποδοχής από τους χρήστες (Adebowale & Agumba, 2026).

3.4.Φορετές τεχνολογίες προστασίας (Wearables): Ανιχνευτές αερίων, παρακολούθηση θερμικής καταπόνησης και βιομετρικοί αισθητήρες

Τα wearables αποτελούν μία από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες κατηγορίες σύγχρονων Μέσων Ατομικής Προστασίας. Πρόκειται για φορητές συσκευές που ενσωματώνονται στον εξοπλισμό του εργαζομένου ή φοριούνται απευθείας στο σώμα και έχουν τη δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης παραμέτρων που σχετίζονται με την ασφάλεια και την υγεία του χρήστη. Οι “wearable safety technologies”, ενσωματώνουν αισθητήρες, δυνατότητες επικοινωνίας και επεξεργασίας δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν τη συνεχή παρακολούθηση του εργαζομένου και του περιβάλλοντος εργασίας, συμβάλλοντας στην έγκαιρη αναγνώριση κινδύνων και στην πρόληψη ατυχημάτων (Adebowale & Agumba, 2026).

Στις εφαρμογές βιομηχανικής ασφάλειας χρησιμοποιούνται ήδη φορητοί ανιχνευτές αερίων για την παρακολούθηση επικίνδυνων συγκεντρώσεων μονοξειδίου του άνθρακα (CO), υδρόθειου (H₂S), οξυγόνου (O₂) και άλλων αερίων σε περιορισμένους χώρους εργασίας. Παράλληλα, έχουν αναπτυχθεί συστήματα παρακολούθησης φυσιολογικών παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία σώματος, ο καρδιακός ρυθμός και οι δείκτες θερμικής καταπόνησης, με σκοπό την έγκαιρη αναγνώριση συνθηκών που ενδέχεται να οδηγήσουν σε εξάντληση ή θερμοπληξία. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της τάσης αυτής αποτελεί η ανάπτυξη «έξυπνων» Μέσων Ατομικής Προστασίας που ενσωματώνουν αισθητήρες περιβαλλοντικών και βιομετρικών παραμέτρων. Πρόσφατες ερευνητικές εργασίες παρουσιάζουν συστήματα Smart PPE τα οποία μπορούν να παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο παραμέτρους όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η παρουσία επικίνδυνων αερίων, η υπεριώδης ακτινοβολία και οι καρδιακοί παλμοί του εργαζομένου, παρέχοντας άμεσες ειδοποιήσεις σε περίπτωση επικίνδυνων συνθηκών (Al-Fazari et al., 2026).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τις εργασίες Μέσης Τάσης παρουσιάζουν οι φορητοί ανιχνευτές παρουσίας τάσης (wearable voltage detectors). Οι συσκευές αυτές προειδοποιούν τον εργαζόμενο μέσω οπτικών, ηχητικών ή δονητικών σημάτων όταν προσεγγίζει ενεργά ηλεκτρικά μέρη ή περιοχές με ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο. Αν και δεν υποκαθιστούν τις καθιερωμένες διαδικασίες ελέγχου απουσίας τάσης και απομόνωσης εγκαταστάσεων, μπορούν να λειτουργήσουν ως πρόσθετο επίπεδο προστασίας έναντι ακούσιας προσέγγισης σε επικίνδυνα σημεία.

Πίνακας 3.4

Κατηγορία wearable	Περιγραφή	Ενδεικτική εφαρμογή σε εργασίες MT
Gas Detectors	Ανίχνευση CO, H ₂ S, O ₂ και άλλων αερίων	Εργασίες σε φρεάτια καλωδίων, υπόγειους χώρους και περιορισμένους χώρους
Heat Stress Monitors	Παρακολούθηση θερμικής καταπόνησης	Εργασίες σε υπαίθριους υποσταθμούς κατά τους θερινούς μήνες
Heart Rate Monitors	Παρακολούθηση καρδιακού ρυθμού	Εργασίες αυξημένης καταπόνησης ή έκτακτων επεμβάσεων
Fall Detection Devices	Ανίχνευση πτώσης ή ακινησίας εργαζομένου	Εργασίες σε ύψος ή απομακρυσμένες εγκαταστάσεις
Wearable Voltage Detectors	Ανίχνευση παρουσίας ηλεκτρικού πεδίου ή τάσης	Πρόσθετη προειδοποίηση κατά την προσέγγιση ενεργών μερών εγκαταστάσεων MT
Connected Worker Devices	Διασύνδεση με κέντρο ελέγχου ή εφαρμογές ασφαλείας	Παρακολούθηση προσωπικού και βελτίωση συντονισμού συνεργείων

Ενδεικτικές εφαρμογές τεχνολογιών wearable στην ασφάλεια εργασιών Μέσης Τάσης

Τα wearables δεν αντικαθιστούν τα συμβατικά ΜΑΠ, αλλά λειτουργούν συμπληρωματικά, παρέχοντας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο και ενισχύοντας την επίγνωση του περιβάλλοντος εργασίας. Για τον λόγο αυτό θεωρούνται σημαντικό στοιχείο της μετάβασης προς τα σύγχρονα και ψηφιακά υποστηριζόμενα Μέσα Ατομικής Προστασίας (NIOSH, 2024; EU-OSHA, 2023).

3.5.Αυτοματοποιημένα συστήματα προστασίας από πτώση και εργασίες σε ύψος

Οι εργασίες σε ύψος εξακολουθούν να αποτελούν μία από τις βασικότερες αιτίες σοβαρών εργατικών ατυχημάτων τόσο στον κατασκευαστικό όσο και στον βιομηχανικό τομέα. Στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις και ειδικότερα στις εργασίες Μέσης Τάσης, η ανάγκη πρόσβασης σε υπερυψωμένο εξοπλισμό, μεταλλικές κατασκευές, καλωδιογέφυρες ή πυλώνες δημιουργεί συνθήκες αυξημένου κινδύνου, καθιστώντας απαραίτητη τη χρήση κατάλληλων συστημάτων προστασίας από πτώση (European Commission, 2009; OSHA, 2023).

Τα σύγχρονα συστήματα προστασίας βασίζονται σε εξοπλισμό που συμμορφώνεται με τα σχετικά ευρωπαϊκά πρότυπα και περιλαμβάνει ζώνες ασφαλείας πλήρους σώματος, συστήματα συγκράτησης, συστήματα ανακοπής πτώσης και διατάξεις απορρόφησης ενέργειας. Παράλληλα, η τεχνολογική εξέλιξη έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη πιο προηγμένων λύσεων, οι οποίες βελτιώνουν τόσο το επίπεδο προστασίας όσο και την ευχρηστία του εξοπλισμού.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι αυτοανασυρόμενοι ανακόπτες πτώσης (Self-Retracting Lifelines – SRL), οι οποίοι προσαρμόζουν αυτόματα το μήκος του ιμάντα και ενεργοποιούν μηχανισμό πέδησης όταν ανιχνεύσουν απότομη επιτάχυνση. Με τον τρόπο αυτό περιορίζεται σημαντικά η απόσταση πτώσης και μειώνεται ο κίνδυνος πρόσκρουσης του εργαζομένου σε παρακείμενα στοιχεία της εγκατάστασης.

Στις εργασίες ηλεκτρικών δικτύων, η προστασία από πτώση συχνά συνδυάζεται με προστασία έναντι ηλεκτρικού τόξου. Για τον λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί συστήματα ζωνών ασφαλείας και εξοπλισμού συγκράτησης που έχουν δοκιμαστεί και για έκθεση σε ηλεκτρικό τόξο, επιτρέποντας τη συνδυασμένη αντιμετώπιση πολλαπλών κινδύνων (Göcsei et al., 2022).

Τώρα πια εμφανίζονται επίσης συστήματα ανίχνευσης πτώσης (fall detection systems), τα οποία αξιοποιούν επιταχυνσιόμετρα και αισθητήρες κίνησης για την αυτόματη αναγνώριση περιστατικών πτώσης ή ακινησίας του εργαζομένου. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι τεχνολογίες αυτές συνδυάζονται με συστήματα γεωεντοπισμού και απομακρυσμένης ειδοποίησης, επιτρέποντας την ταχύτερη ενεργοποίηση διαδικασιών διάσωσης, ιδιαίτερα σε απομακρυσμένες εγκαταστάσεις ή σε περιπτώσεις όπου το προσωπικό εργάζεται μόνο του (NIOSH, 2024; EU-OSHA, 2023).

Παράλληλα, αναπτύσσονται ψηφιακές πλατφόρμες διαχείρισης εξοπλισμού προστασίας από πτώση, οι οποίες επιτρέπουν την παρακολούθηση της κατάστασης του εξοπλισμού, την καταγραφή επιθεωρήσεων και τη διαχείριση των απαιτούμενων ελέγχων και επαναπιστοποιήσεων.

Στις εργασίες Μέσης Τάσης τα συστήματα αυτά μπορούν να αξιοποιηθούν σε δραστηριότητες εγκατάστασης, επιθεώρησης και συντήρησης εξοπλισμού, όπου η εργασία σε ύψος αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της διαδικασίας. Παρότι δεν υποκαθιστούν τα συλλογικά μέτρα προστασίας και τον σωστό σχεδιασμό της εργασίας, ουσιαστικά οδηγούν στη μείωση της πιθανότητας σοβαρού τραυματισμού από πτώση (EU-OSHA, 2023).

3.6.Τεχνολογίες που «ωριμάζουν» αλλά δεν έχουν ακόμη πλήρη πρότυπα

Η ραγδαία ανάπτυξη νέων τεχνολογιών έχουν εισάγει στην αγορά ΜΑΠ που συνδυάζουν τα παραδοσιακά Μέσα Ατομικής Προστασίας με αισθητήρες, συστήματα επικοινωνίας και δυνατότητες επεξεργασίας δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Παρότι πολλές από τις τεχνολογίες αυτές χρησιμοποιούνται ήδη πιλοτικά σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, ενεργειακές υποδομές και μεγάλα τεχνικά έργα, δεν έχουν ακόμη ενσωματωθεί πλήρως σε ένα ενιαίο και ευρέως αποδεκτό πλαίσιο προτύπων και πιστοποίησης.

Σε αντίθεση με τα συμβατικά ΜΑΠ, τα οποία παρέχουν κυρίως παθητική προστασία, οι τεχνολογίες αυτές επιδιώκουν να υποστηρίξουν την πρόληψη ατυχημάτων μέσω της έγκαιρης προειδοποίησης και της συνεχούς παρακολούθησης του εργαζομένου και του εργασιακού περιβάλλοντος. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται έξυπνα κράνη με δυνατότητα ανίχνευσης πτώσης ή κρούσης, συστήματα γεωεντοπισμού προσωπικού, φορητοί ανιχνευτές τάσης, αισθητήρες παρακολούθησης βιομετρικών δεδομένων, συστήματα ελέγχου θερμικής καταπόνησης και εφαρμογές απομακρυσμένης παρακολούθησης προσωπικού (EU-OSHA, 2023; NIOSH, 2024).

Παράλληλα, αναπτύσσονται συστήματα που αξιοποιούν τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης με σκοπό την αναγνώριση συνθηκών που ενδέχεται να οδηγήσουν σε ατύχημα. Ενδεικτικά, μπορούν να εντοπίζουν ασυνήθιστες μεταβολές σε φυσιολογικές

παραμέτρους, παρατεταμένη ακινησία εργαζομένου, μη ασφαλή χρήση εξοπλισμού ή αποκλίσεις από προκαθορισμένες διαδικασίες εργασίας.

Για τις εργασίες Μέσης Τάσης, οι τεχνολογίες αυτές θα μπορούσαν να έχουν ευρεία εφαρμογή. Σε δραστηριότητες που εκτελούνται σε απομακρυσμένους υποσταθμούς, υπόγεια φρεάτια ή εγκαταστάσεις με περιορισμένη παρουσία προσωπικού, η έγκαιρη αναγνώριση ενός συμβάντος μπορεί να μειώσει σημαντικά τον χρόνο απόκρισης και να περιορίσει τις συνέπειες ενός ατυχήματος. Αντίστοιχα, οι φορητοί ανιχνευτές τάσης μπορούν να λειτουργήσουν ως πρόσθετο μέσο προειδοποίησης κατά την προσέγγιση ενεργών τμημάτων εγκαταστάσεων, χωρίς φυσικά να υποκαθιστούν τις καθιερωμένες διαδικασίες απομόνωσης και ελέγχου απουσίας τάσης.

Η διεθνής βιβλιογραφία καταγράφει μια σαφή μετάβαση από τα παραδοσιακά ΜΑΠ προς συστήματα που συνδυάζουν αισθητήρες, τεχνολογίες Internet of Things (IoT), τεχνητή νοημοσύνη και δυνατότητες παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο. Η τάση αυτή υποδηλώνει ότι τα ΜΑΠ εξελίσσονται σταδιακά από παθητικά μέσα προστασίας σε ενεργά συστήματα υποστήριξης της ασφάλειας του εργαζομένου (Adebowale & Agumba, 2026).

Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν, οι τεχνολογίες αυτές εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν προκλήσεις που σχετίζονται με την αξιοπιστία των αισθητήρων, την ακρίβεια των μετρήσεων, την ανθεκτικότητα σε δύσκολες εργοταξιακές συνθήκες, την κυβερνοασφάλεια και την προστασία προσωπικών δεδομένων. Επιπλέον, σε πολλές περιπτώσεις δεν υπάρχει ακόμη ολοκληρωμένο πλαίσιο αξιολόγησης της συνολικής απόδοσης ενός «έξυπνου» συστήματος προστασίας, γεγονός που δυσκολεύει τη συστηματική ένταξή του στις διαδικασίες διαχείρισης κινδύνου.

Για τον λόγο αυτό, οι τεχνολογίες αυτές δεν θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως υποκατάστατο των βασικών αρχών πρόληψης, των συλλογικών μέτρων προστασίας ή των συμβατικών ΜΑΠ. Αντίθετα, μπορούν να θεωρηθούν ως ένα πρόσθετο επίπεδο υποστήριξης της ασφάλειας, το οποίο αναμένεται να αποκτήσει ολοένα μεγαλύτερη σημασία καθώς ωριμάζουν οι σχετικές τεχνολογίες και αναπτύσσονται νέα πρότυπα και κανονισμοί.

Η αύξηση του αριθμού διαθέσιμων ΜΑΠ και η εμφάνιση νέων τεχνολογιών καθιστούν δυσκολότερη τη διαδικασία επιλογής του κατάλληλου εξοπλισμού. Για τον λόγο αυτό

παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον οι μέθοδοι επιλογής ΜΑΠ που έχουν αναπτυχθεί στη διεθνή βιβλιογραφία και οι οποίες εξετάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

3.7.Ενσωμάτωση σύγχρονων ΜΑΠ στη λήψη αποφάσεων

Η συνεχής εξέλιξη των Μέσων Ατομικής Προστασίας δημιουργεί νέες δυνατότητες αλλά και νέες προκλήσεις στη διαδικασία επιλογής τους. Ενώ στο παρελθόν η επιλογή των ΜΑΠ βασιζόταν κυρίως στη συμμόρφωση με κανονιστικές απαιτήσεις και στην εμπειρία των υπευθύνων ασφαλείας, σήμερα η διαθεσιμότητα σύγχρονων τεχνολογιών εισάγει πρόσθετες παραμέτρους που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη λήψη αποφάσεων.

Τα σύγχρονα ΜΑΠ δεν διαφοροποιούνται μόνο ως προς το επίπεδο προστασίας που παρέχουν, αλλά και ως προς χαρακτηριστικά όπως η εργονομία, η άνεση χρήσης, η δυνατότητα συλλογής δεδομένων, η διασύνδεση με άλλα συστήματα ασφάλειας, η αξιοπιστία των αισθητήρων και η υποστήριξη διαδικασιών παρακολούθησης των εργαζομένων. Ως αποτέλεσμα, η επιλογή τους μετατρέπεται από μια απλή διαδικασία συμμόρφωσης σε μια πολυκριτηριακή διαδικασία αξιολόγησης.

Στις εργασίες Μέσης Τάσης, η λήψη αποφάσεων σχετικά με τα ΜΑΠ επηρεάζεται από παράγοντες όπως το επίπεδο ηλεκτρικού κινδύνου, η πιθανότητα εμφάνισης ηλεκτρικού τόξου, η διάρκεια της εργασίας, οι περιβαλλοντικές συνθήκες, η εργασία σε απομακρυσμένες εγκαταστάσεις και η ανάγκη άμεσης επέμβασης σε περίπτωση συμβάντος. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την καταλληλότητα τόσο των παραδοσιακών όσο και των σύγχρονων ΜΑΠ.

Επιπλέον, η εισαγωγή τεχνολογιών όπως οι βιομετρικοί αισθητήρες, οι φορητοί ανιχνευτές αερίων, τα συστήματα ανίχνευσης πτώσης και τα έξυπνα κράνη δημιουργεί την ανάγκη αξιολόγησης νέων κριτηρίων επιλογής, όπως η αξιοπιστία λειτουργίας, οι απαιτήσεις συντήρησης, η διάρκεια μπαταρίας, η συμβατότητα με άλλα μέσα προστασίας και το συνολικό κόστος κύκλου ζωής του εξοπλισμού.

Για τον λόγο αυτό, η διαδικασία επιλογής ΜΑΠ δεν μπορεί πλέον να βασίζεται αποκλειστικά σε τεχνικές προδιαγραφές ή σε καθιερωμένες πρακτικές. Αντίθετα, απαιτείται μια συστηματική προσέγγιση που να λαμβάνει υπόψη τόσο τους κινδύνους της εργασίας όσο και τα χαρακτηριστικά των διαθέσιμων μέσων προστασίας. Η ανάπτυξη ενός πλαισίου υποστήριξης απόφασης μπορεί να συμβάλει στην αντικειμενικότερη αξιολόγηση των διαθέσιμων επιλογών και στην τεκμηριωμένη επιλογή του καταλληλότερου συνδυασμού ΜΑΠ.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, τα σύγχρονα ΜΑΠ δεν αντιμετωπίζονται ως αντικαταστάτες των παραδοσιακών μέσων προστασίας, αλλά ως πρόσθετες επιλογές που μπορούν να ενισχύσουν το επίπεδο ασφάλειας όταν οι συνθήκες εργασίας το απαιτούν. Η ενσωμάτωσή τους στο προτεινόμενο πλαίσιο υποστήριξης απόφασης αποτελεί σημαντική παράμετρο της μεθοδολογίας που θα παρουσιαστεί στα επόμενα κεφάλαια.

4.Κεφάλαιο 4 – Μέθοδοι Επιλογής ΜΑΠ (Βιβλιογραφική Ανασκόπηση)

4.1.Επιλογή ΜΑΠ με βάση την εργασία (Task-Based Selection)

Η προσέγγιση επιλογής Μέσων Ατομικής Προστασίας με βάση την εργασία “Task-Based Selection” αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους που εφαρμόζονται στη βιομηχανία, στις κατασκευές και στις ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις. Η προσέγγιση Task-Based Selection βασίζεται στην αντιστοίχιση προκαθορισμένων εργασιών με συγκεκριμένα ΜΑΠ. Η μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιείται ευρέως σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις και ηλεκτρικά συστήματα, καθώς επιτρέπει την τυποποίηση της διαδικασίας επιλογής και την ανάπτυξη σαφών οδηγιών εργασίας (Scarborough, 2024).

Στην πράξη, η μέθοδος βασίζεται στη δημιουργία λίστας εργασιών (task lists) ή πινάκων αντιστοίχισης εργασιών και απαιτούμενων ΜΑΠ. Για παράδειγμα: εργασίες χειρισμών σε κυψέλες Μέσης Τάσης μπορεί να απαιτούν χρήση μονωτικών γαντιών, προσωπίδας προστασίας από ηλεκτρικό τόξο, arc-rated ενδυμασία και υποδημάτων ασφαλείας, ενώ εργασίες σε ύψος ενδέχεται να απαιτούν επιπλέον χρήση συστημάτων προστασίας από πτώση.

Το κύριο πλεονέκτημα της προσέγγισης αυτής, είναι η απλότητα στην εφαρμογή της. Οι εργαζόμενοι και οι υπεύθυνοι ασφαλείας μπορούν να ανατρέχουν σε προκαθορισμένες οδηγίες χωρίς να απαιτείται εκ νέου ανάλυση των κινδύνων για κάθε εργασία που επαναλαμβάνεται. Η μέθοδος συμβάλλει επίσης στην τυποποίηση των διαδικασιών ασφάλειας και στη μείωση πιθανών αποκλίσεων όσον αφορά την χρήση ΜΑΠ μεταξύ διαφορετικών συνεργείων ή εγκαταστάσεων.

Ωστόσο, η προσέγγιση παρουσιάζει και σημαντικούς περιορισμούς. Η βασικότερη αδυναμία είναι ότι αντιμετωπίζει όλα τα είδη εκτέλεσης μια εργασίας με τον ίδιο τρόπο, ανεξάρτητα από τις πραγματικές συνθήκες υπό τις οποίες εκτελείται. Στην πράξη, δύο εργασίες με τον ίδιο τίτλο μπορεί να παρουσιάζουν εντελώς διαφορετικό επίπεδο κινδύνου. Αυτό συμβαίνει λόγω διαφοροποίησης των περιβαλλοντικών συνθηκών, του εξοπλισμού, της τάσης λειτουργίας, της πιθανής ενέργειας ηλεκτρικού τόξου, της παρουσίας πρόσθετων κινδύνων κ.α..

Στις εργασίες Μέσης Τάσης, η συγκεκριμένη αδυναμία έχει ιδιαίτερη σημασία. Για παράδειγμα, η εργασία «χειρισμός κυψέλης Μέσης Τάσης» μπορεί να πραγματοποιείται σε εγκαταστάσεις με διαφορετικά επίπεδα βραχυκυκλωματικής ισχύος, διαφορετικές αποστάσεις εργασίας ή διαφορετικά αποτελέσματα μελέτης arc flash. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, η χρήση ενός ενιαίου συνόλου ΜΑΠ για όλες τις περιπτώσεις να μπορεί να οδηγήσει είτε σε ανεπαρκή προστασία είτε σε υπερβολική επιβάρυνση του εργαζομένου.

Αξίζει να σημειωθεί ωστόσο πως παρά τους περιορισμούς της, η “Task-Based Selection” εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρέως, κυρίως λόγω της ευκολίας εφαρμογής της με διαδικασίες εργασίας, άδειες εργασίας και εταιρικές οδηγίες ασφαλείας. Για τον λόγο αυτό αποτελεί συχνά το σημείο εκκίνησης για πιο σύνθετες μεθόδους επιλογής ΜΑΠ, οι οποίες ενσωματώνουν πρόσθετες παραμέτρους κινδύνου και συνθήκες εργασίας.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, η “Task-Based Selection” εξετάζεται ως η απλούστερη μορφή λήψης αποφάσεων για την επιλογή ΜΑΠ και χρησιμοποιείται ως βάση σύγκρισης με πιο δυναμικές και προσαρμοστικές προσεγγίσεις που παρουσιάζονται στις επόμενες ενότητες.

Πίνακας 4.1

Εργασία	Τυπικά ΜΑΠ
Χειρισμός κυψέλης MT	Κράνος, γάντια IEC 60903, προσωπίδα arc flash, arc-rated ενδυμασία
Μέτρηση σε πίνακα MT	Κράνος, γάντια, προστασία οφθαλμών, arc-rated ενδυμασία
Συντήρηση Μ/Σ	Κράνος, υποδήματα ασφαλείας, γάντια μηχανικής προστασίας
Εργασία σε ύψος	Ζώνη ασφαλείας, κράνος, υποδήματα ασφαλείας
Εργασία σε φρεάτιο καλωδίων	Ανιχνευτής αερίων, αναπνευστική προστασία όπου απαιτείται

Ενδεικτική αντιστοίχιση εργασιών Μέσης Τάσης με τα απαιτούμενα Μέσα Ατομικής Προστασίας σύμφωνα με την προσέγγιση Task-Based Selection

4.2.Επιλογή ΜΑΠ με βάση τον κίνδυνο (Risk-Based Selection)

Η προσέγγιση επιλογής Μέσων Ατομικής Προστασίας με βάση τον κίνδυνο “Risk-Based Selection” βασίζεται στην αρχή ότι τα ΜΑΠ πρέπει να επιλέγονται ανάλογα με τους πραγματικούς κινδύνους που εμφανίζονται κατά την εκτέλεση μιας εργασίας και όχι αποκλειστικά με βάση το είδος της εργασίας. Η μέθοδος αυτή αποτελεί βασικό στοιχείο των σύγχρονων συστημάτων διαχείρισης ασφάλειας και υγείας στην εργασία και συνδέεται άμεσα με τη διαδικασία εκτίμησης επαγγελματικού κινδύνου.

Στο πλαίσιο της προσέγγισης αυτής, προηγείται η αναγνώριση των κινδύνων που σχετίζονται με την εργασία, η εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισής τους και η αξιολόγηση των πιθανών συνεπειών τους. Σύμφωνα με τον Scarborough (2024), η επιλογή μέτρων προστασίας θα πρέπει να βασίζεται στη συστηματική αξιολόγηση των κινδύνων κάθε επιμέρους εργασίας, λαμβάνοντας υπόψη τη συχνότητα έκθεσης, την πιθανότητα εμφάνισης συμβάντος και τη σοβαρότητα των πιθανών συνεπειών.

Σε αντίθεση με την Task-Based Selection, η οποία βασίζεται σε προκαθορισμένες λίστες εργασιών και αντίστοιχων ΜΑΠ, η Risk-Based Selection προσαρμόζεται στις πραγματικές συνθήκες κάθε περίπτωσης. Έτσι, δύο εργαζόμενοι που εκτελούν θεωρητικά την ίδια εργασία ενδέχεται να απαιτούν διαφορετικό επίπεδο προστασίας, εφόσον οι συνθήκες, ο εξοπλισμός ή το επίπεδο κινδύνου διαφέρουν.

Στις εργασίες Μέσης Τάσης, αυτή η προσέγγιση παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον εξαιτίας της μεγάλης διαφοροποίησης των κινδύνων που μπορεί να εμφανιστούν ακόμη και σε παρόμοιες εργασίες. Για παράδειγμα: ο χειρισμός δύο διαφορετικών κυψελών Μέσης Τάσης μπορεί να συνεπάγεται διαφορετικά επίπεδα κινδύνου ηλεκτρικού τόξου, διαφορετικές βραχυκυκλωματικές ισχείς ή διαφορετικές αποστάσεις εργασίας. Αντίστοιχα, οι περιβαλλοντικές συνθήκες, η εργασία σε περιορισμένο χώρο ή η παλαιότητα του εξοπλισμού μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την επιλογή των κατάλληλων ΜΑΠ.

Βασικό πλεονέκτημα της “Risk-Based Selection” είναι η δυνατότητα προσαρμογής των μέτρων προστασίας στις πραγματικές συνθήκες εργασίας. Με αυτό τον τρόπο είναι αποτελεσματικότερη η διαχείριση του κινδύνου και γίνεται αποφυγή τόσο της υποπροστασίας όσο και της

υπερπροστασίας των εργαζομένων. Παράλληλα, η προσέγγιση αυτή είναι πλήρως συμβατή και με τη φιλοσοφία της Ιεραρχίας Ελέγχων Κινδύνου και με τις απαιτήσεις των σύγχρονων προτύπων διαχείρισης ασφάλειας και υγείας.

Βέβαια η εφαρμογή της, απαιτεί μεγαλύτερο επίπεδο τεχνικής γνώσης και συστηματικής αξιολόγησης σε σχέση με τις πιο απλές μεθόδους επιλογής. Η ποιότητα των αποτελεσμάτων εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την ακρίβεια της εκτίμησης κινδύνου, από τη διαθεσιμότητα δεδομένων και την εμπειρία των ατόμων που συμμετέχουν στη διαδικασία αξιολόγησης.

Για τους λόγους αυτούς, η “Risk-Based Selection” θεωρείται σήμερα μία από τις πλέον ολοκληρωμένες και τεκμηριωμένες προσεγγίσεις επιλογής ΜΑΠ. Σύμφωνα με τη σύγχρονη βιβλιογραφία, οι προσεγγίσεις που βασίζονται αποκλειστικά στην πιθανότητα εμφάνισης ενός κινδύνου ή αποκλειστικά στη σοβαρότητα των συνεπειών του παρουσιάζουν περιορισμούς. Για τον λόγο αυτό προτείνεται η εφαρμογή μεθόδων βασισμένων στον κίνδυνο, οι οποίες συνεκτιμούν ταυτόχρονα την πιθανότητα και τη σοβαρότητα ενός συμβάντος (Pirbalouti et al., 2023). Η φιλοσοφία της αποτελεί βασικό στοιχείο του εργαλείου υποστήριξης απόφασης που αναπτύσσεται στην παρούσα εργασία, καθώς επιτρέπει τη σύνδεση των χαρακτηριστικών της εργασίας με το πραγματικό επίπεδο κινδύνου και τις απαιτήσεις προστασίας που προκύπτουν από αυτό.

Πίνακας 4.2

Κίνδυνος	Εκτίμηση κινδύνου	Προτεινόμενα ΜΑΠ
Ηλεκτροπληξία	Υψηλή	Μονωτικά γάντια IEC 60903, μονωτικό κράνος
Ηλεκτρικό τόξο	Υψηλή	Arc-rated ενδυμασία, προσωπίδα arc flash
Εργασία σε ύψος	Μέτρια	Ζώνη ασφαλείας πλήρους σώματος
Θόρυβος >85 dB(A)	Μέτρια	Ωτοασπίδες ή ωτοβύσματα
Περιορισμένος χώρος	Υψηλή	Ανιχνευτής αερίων, αναπνευστική προστασία όπου απαιτείται

Παράδειγμα εφαρμογής Risk-Based Selection

4.3.Επιλογή ΜΑΠ με βάση το επίπεδο έκθεσης (Exposure-Based Selection)

Η προσέγγιση επιλογής Μέσων Ατομικής Προστασίας με βάση το επίπεδο έκθεσης “Exposure-Based Selection” στηρίζεται στην αρχή ότι η καταλληλότητα των ΜΑΠ εξαρτάται από τον βαθμό έκθεσης του εργαζομένου σε έναν συγκεκριμένο κίνδυνο. Σε αντίθεση με τις προσεγγίσεις που βασίζονται αποκλειστικά στο είδος της εργασίας ή στη συνολική αξιολόγηση κινδύνου, η συγκεκριμένη μέθοδος εστιάζει κυρίως στην ένταση, τη διάρκεια και τη συχνότητα της έκθεσης.

Η βασική φιλοσοφία της μεθόδου είναι ότι το απαιτούμενο επίπεδο προστασίας πρέπει να αυξάνεται όσο αυξάνεται η πιθανή έκθεση του εργαζομένου σε έναν παράγοντα κινδύνου. Για τον λόγο αυτό, η προσέγγιση χρησιμοποιείται πολύ συχνά σε περιπτώσεις όπου η έκθεση μπορεί να ποσοτικοποιηθεί μέσω μετρήσεων ή υπολογισμών. Στον τομέα της ηλεκτρικής ασφάλειας, χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η επιλογή ενδυμάτων προστασίας από το ηλεκτρικό τόξο. Η απαιτούμενη προστασία καθορίζεται συνήθως από την υπολογιζόμενη θερμική ενέργεια που μπορεί να δεχθεί ο εργαζόμενος (incident energy), η οποία εκφράζεται σε cal/cm². Αντίστοιχα, σε περιβάλλοντα με αυξημένο θόρυβο, η επιλογή μέσων προστασίας ακοής βασίζεται στα επίπεδα ηχητικής πίεσης που μετρώνται ή υπολογίζονται για τη συγκεκριμένη εργασία.

Παρόμοια λογική εφαρμόζεται και σε άλλες κατηγορίες κινδύνων, όπως είναι η έκθεση σε επικίνδυνα αέρια, η θερμική καταπόνηση, οι δονήσεις και οι ατμοσφαιρικοί ρύποι. Στις περιπτώσεις αυτές, η επιλογή των κατάλληλων ΜΑΠ βασίζεται σε αντικειμενικά δεδομένα έκθεσης και όχι αποκλειστικά σε γενικές περιγραφές της εργασίας.

Βασικό πλεονέκτημα της “Exposure-Based Selection” είναι η δυνατότητα ακριβούς προσαρμογής του επιπέδου προστασίας στις πραγματικές συνθήκες εργασίας. Η πρακτική αυτή συμβάλλει στην αποφυγή της υποεκτίμησης των κινδύνων, αλλά και της υπερβολικής χρήσης εξοπλισμού που μπορεί να μειώνει την άνεση, την εργονομία ή την παραγωγικότητα των εργαζομένων.

Ωστόσο, η εφαρμογή της απαιτεί αξιόπιστα δεδομένα μέτρησης ή υπολογισμού της έκθεσης. Σε περιπτώσεις όπου τα δεδομένα αυτά δεν είναι διαθέσιμα, η προσέγγιση μπορεί να είναι δύσκολο να εφαρμοστεί ή μπορεί και να οδηγήσει σε αβεβαιότητα κατά τη διαδικασία λήψης

αποφάσεων. Επιπλέον, η μέθοδος εστιάζει κυρίως στην έκθεση σε συγκεκριμένους κινδύνους και ενδέχεται να μην λαμβάνει επαρκώς υπόψη συνδυασμούς πολλαπλών κινδύνων που εμφανίζονται ταυτόχρονα.

Στις εργασίες Μέσης Τάσης, η “Exposure-Based Selection” παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Ειδικά σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για την ενέργεια ηλεκτρικού τόξου, τα επίπεδα θορύβου, τη θερμική καταπόνηση και άλλους μετρήσιμους παράγοντες κινδύνου, είναι μια προσέγγιση με πολύ ασφαλή και γρήγορα αποτελέσματα. Για τον λόγο αυτό, αποτελεί χρήσιμο συμπλήρωμα των προσεγγίσεων που βασίζονται στην εργασία ή στην αξιολόγηση κινδύνου και μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της ακρίβειας της διαδικασίας επιλογής ΜΑΠ.

Πίνακας 4.3

Παράγοντας έκθεσης	Επίπεδο έκθεσης	Επιλογή ΜΑΠ
Incident Energy	4 cal/cm ²	Βασική arc-rated ενδυμασία
Incident Energy	12 cal/cm ²	Arc-rated ενδυμασία υψηλότερης προστασίας
Incident Energy	>25 cal/cm ²	Πολυστρωματική προστασία και arc hood
Θόρυβος	80–85 dB(A)	Εξέταση χρήσης προστασίας ακοής
Θόρυβος	>85 dB(A)	Υποχρεωτική προστασία ακοής
Θερμική καταπόνηση	Υψηλή	Ελαφρύτερη ενδυμασία, cooling wearables
H ₂ S ή CO	Άνω ορίων ασφαλείας	Αναπνευστική προστασία και συνεχή παρακολούθηση

Ενδεικτική συσχέτιση επιπέδων έκθεσης και επιλογής Μέσων Ατομικής Προστασίας σύμφωνα με την προσέγγιση Exposure-Based Selection.

4.4.Επιλογή ΜΑΠ με βάση προκαθορισμένα όρια (Threshold-Based Selection)

Η προσέγγιση “Threshold-Based Selection” έχει ως βάση τη χρήση προκαθορισμένων ορίων έκθεσης ή τεχνικών παραμέτρων για την επιλογή των κατάλληλων Μέσων Ατομικής

Προστασίας. Σύμφωνα με αυτή την πρακτική, η ανάγκη για συγκεκριμένα ΜΑΠ γεννάται όταν μία μετρούμενη ή υπολογιζόμενη παράμετρος υπερβεί ένα προκαθορισμένο όριο ασφαλείας.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε μεγάλη έκταση σε τομείς όπου υπάρχουν καθιερωμένα νομοθετικά, κανονιστικά ή τεχνικά όρια, τα οποία μπορούν να συνδεθούν άμεσα με απαιτήσεις προστασίας. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει τη λήψη και γρήγορων και αντικειμενικών αποφάσεων, καθώς η επιλογή των ΜΑΠ είναι αποτέλεσμα αξιολόγησης μετρήσιμων δεδομένων και όχι αποκλειστικά σε ποιοτικές ή υποκειμενικές εκτιμήσεις.

Στον τομέα της επαγγελματικής ασφάλειας, χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η προστασία της ακοής. Σε πάρα πολλές χώρες, τα επίπεδα θορύβου άνω των 80 dB(A) ενεργοποιούν την ανάγκη αξιολόγησης μέτρων προστασίας, ενώ σε επίπεδα άνω των 85 dB(A) απαιτείται η συστηματική χρήση μέσων προστασίας ακοής.

Αντίστοιχα, στην προστασία από χημικούς παράγοντες χρησιμοποιούνται όρια συγκέντρωσης ουσιών, τα οποία εκφράζονται συνήθως σε ppm (parts per million) ή mg/m³.

Στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, η λογική των ορίων εφαρμόζεται κυρίως στην αξιολόγηση του κινδύνου ηλεκτρικού τόξου. Η υπολογιζόμενη προσπίπτουσα ενέργεια (incident energy), η οποία εκφράζεται σε cal/cm², χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του απαιτούμενου επιπέδου προστασίας για την ενδυμασίαν και τα υπόλοιπα ΜΑΠ. Μεγαλύτερα επίπεδα θερμικής ενέργειας επιτάσσουν τη χρήση ενισχυμένων μέσων προστασίας, όπως πολυστρωματικές στολές ή προστατευτικές προσωπίδες.

Η παραπάνω προσέγγιση μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται δείκτες σχετικοί με τη λειτουργία του ηλεκτρικού εξοπλισμού, όπως είναι η βραχυκυκλωματική ισχύς, το μέγεθος του ρεύματος βραχυκύκλωσης ή αποτελέσματα εξειδικευμένων μελετών arc flash. Οι παράμετροι αυτές επιτρέπουν τον ακριβέστερο προσδιορισμό του κινδύνου και κατά συνέπεια του απαιτούμενου επιπέδου προστασίας για συγκεκριμένες εγκαταστάσεις και συνθήκες λειτουργίας.

Βασικό πλεονέκτημα της “Threshold-Based Selection” είναι η αντικειμενικότητα και η απλότητα στην εφαρμογή της. Η ύπαρξη σαφών ορίων μειώνει την αβεβαιότητα στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και διευκολύνει την τυποποίηση των απαιτήσεων ασφαλείας. Παράλληλα, η

προσέγγιση αυτή είναι εύκολο να ενσωματωθεί σε διαδικασίες εργασίας, σε έντυπα αξιολόγησης κινδύνου και σε ψηφιακά εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων.

Εκτός από τα παραπάνω, η μέθοδος παρουσιάζει και περιορισμούς. Τα προκαθορισμένα όρια δεν είναι πάντοτε ικανά να αποτυπώσουν την πολυπλοκότητα των πραγματικών συνθηκών εργασίας και ενδέχεται πολλές φορές να αγνοούν την αλληλεπίδραση πολλαπλών κινδύνων. Επιπλέον, η ύπαρξη ορίου μπορεί να δημιουργήσει μια λανθασμένη αίσθηση ασφάλειας, αφού δύο τιμές που βρίσκονται πολύ κοντά στο ίδιο όριο ενδέχεται να αντιμετωπίζονται διαφορετικά, παρότι η πραγματική διαφορά κινδύνου είναι πολύ μικρή.

Για τον λόγο αυτό, η “Threshold-Based Selection” θεωρείται αποτελεσματικό εργαλείο υποστήριξης της λήψης αποφάσεων για την επιλογή ΜΑΠ, αλλά συνήθως εφαρμόζεται σε συνδυασμό με πιο συνολικές προσεγγίσεις αξιολόγησης κινδύνου. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, τα όρια έκθεσης αποτελούν μία από τις βασικές παραμέτρους που θα ενσωματωθούν στο προτεινόμενο εργαλείο υποστήριξης απόφασης για την επιλογή ΜΑΠ σε εργασίες Μέσης Τάσης.

Πίνακας 4.4

Παράμετρος	Ενδεικτικό όριο	Ενδεικτική απαίτηση
Θόρυβος	>80 dB(A)	Εξέταση χρήσης προστασίας ακοής
Θόρυβος	>85 dB(A)	Υποχρεωτική προστασία ακοής
Incident Energy	>4 cal/cm ²	Arc-rated ενδυμασία
Incident Energy	>25 cal/cm ²	Arc hood και ενισχυμένη προστασία
CO	Άνω ορίου έκθεσης	Αναπνευστική προστασία / απομάκρυνση
H ₂ S	Άνω ορίου έκθεσης	Άμεση λήψη μέτρων προστασίας
O ₂	<19,5%	Διαδικασία περιορισμένου χώρου
Θερμική καταπόνηση (WBGT)	Άνω ορίων αναφοράς	Πρόσθετα μέτρα προστασίας και παρακολούθηση

Παραδείγματα Threshold-Based Selection

4.5.Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μεθόδων επιλογής ΜΑΠ

Οι μέθοδοι επιλογής Μέσων Ατομικής Προστασίας που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, προσεγγίζουν το ίδιο πρόβλημα αλλά από διαφορετική οπτική γωνία. Η κάθε μέθοδος παρουσιάζει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και ταυτόχρονα περιορισμούς. Αυτό, επηρεάζει την καταλληλότητά τους ανάλογα με το είδος της εργασίας και το επίπεδο πολυπλοκότητας των κινδύνων.

Η προσέγγιση “Task-Based Selection” είναι απλή και εύκολη στην εφαρμογή. Βασίζεται σε προκαθορισμένες σχέσεις μεταξύ των εκτελούμενων εργασιών και των απαιτούμενων ΜΑΠ, γεγονός που διευκολύνει την τυποποίηση των διαδικασιών ασφαλείας αλλά και την εκπαίδευση των εργαζομένων. Ουσιαστικά, είναι η πιο ασφαλής μέθοδος ώστε ο εργαζόμενος να καταλάβει πλήρως τόσο τον κανόνα όσο και την εφαρμογή του κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της εργασίας. Ωστόσο, η μέθοδος παρουσιάζει χαμηλή ευελιξία, αφού δεν λαμβάνει με επαρκή τρόπο υπόψη τις ιδιαίτερες συνθήκες για κάθε περίπτωση ή τις διαφοροποιήσεις σε κάθε επίπεδο κινδύνου.

Η “Risk-Based Selection” θεωρείται πιο ολοκληρωμένη ως προσέγγιση. Συνδέει την επιλογή των ΜΑΠ με τα αποτελέσματα της εκτίμησης κινδύνου. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει την προσαρμογή των μέτρων προστασίας στις πραγματικές συνθήκες κάθε εργασίας και συμβάλλει στην αποφυγή τόσο της ανεπαρκούς όσο και της υπερβολικής προστασίας, που είναι ταυτόχρονα το ίδιο επικίνδυνες. Από την άλλη πλευρά όμως, απαιτεί μεγαλύτερη τεχνική γνώση, αξιόπιστη διαδικασία αξιολόγησης κινδύνων και επαρκή πλήθος δεδομένων.

Η “Exposure-Based Selection” αναλύει το επίπεδο έκθεσης του εργαζομένου σε συγκεκριμένους κινδύνους. Ουσιαστικά αξιοποιεί μετρήσιμα δεδομένα, όπως είναι η προσπίπτουσα ενέργεια του ηλεκτρικού τόξου, τα επίπεδα θορύβου ή οι συγκεντρώσεις επικίνδυνων ουσιών. Η προσέγγιση αυτή προσφέρει εξαιρετικά υψηλό βαθμό προσαρμογής στις πραγματικές συνθήκες εργασίας. Βέβαια, προϋποθέτει τη διαθεσιμότητα αξιόπιστων μετρήσεων και υπολογισμών, οι οποίοι δεν είναι πάντοτε διαθέσιμοι ή εφικτοί.

Η “Threshold-Based Selection” βασίζεται στη χρήση προκαθορισμένων ορίων ασφαλείας. Παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα ως προς την αντικειμενικότητα αλλά και την ευκολία εφαρμογής. Η ύπαρξη σαφών ορίων διευκολύνει και τη λήψη αποφάσεων και την τυποποίηση

των απαιτήσεων ασφαλείας. Βέβαια από την άλλη, η μέθοδος ενδέχεται να απλοποιεί υπερβολικά πολύπλοκες καταστάσεις και να μην αποτυπώνει πλήρως τη δυναμική αλληλεπίδραση πολλαπλών κινδύνων στην ίδια εργασία.

Ως συμπέρασμα, καμία από τις παραπάνω προσεγγίσεις δεν μπορεί να θεωρηθεί από μόνη της επαρκής, για όλες τις περιπτώσεις. Η επιλογή των κατάλληλων ΜΑΠ σε σύνθετα τεχνικά έργα και ιδιαίτερα σε εργασίες Μέσης Τάσης απαιτεί συνδυασμό διαφορετικών μεθόδων και αξιοποίηση πολλαπλών πηγών πληροφόρησης. Σύγχρονες προσεγγίσεις επιλογής ΜΑΠ επιχειρούν να συνδυάσουν πολλαπλά κριτήρια αξιολόγησης μέσω πολυκριτηριακών μεθόδων λήψης απόφασης (Multi-Criteria Decision Making – MCDM). Οι μέθοδοι αυτές επιτρέπουν τη συνεκτίμηση διαφορετικών παραγόντων κινδύνου και τη συστηματική αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων, μειώνοντας την εξάρτηση από αποκλειστικά εμπειρικές εκτιμήσεις (Aksüt & Eren, 2024).

Για τον λόγο αυτό, η παρούσα εργασία προτείνει την ανάπτυξη ενός εργαλείου που συνδυάζει στοιχεία από τις παραπάνω προσεγγίσεις, με στόχο μια τεκμηριωμένη και προσαρμοσμένη σε πραγματικές συνθήκες επιλογή κατάλληλων ΜΑΠ.

Πίνακας 4.5

Μέθοδος	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Task-Based	Απλή εφαρμογή, εύκολη εκπαίδευση, τυποποίηση διαδικασιών	Δεν λαμβάνει υπόψη τις πραγματικές συνθήκες κινδύνου
Risk-Based	Προσαρμογή στον πραγματικό κίνδυνο, συμβατότητα με ISO 45001	Απαιτεί εκτίμηση κινδύνου και τεχνική γνώση
Exposure-Based	Βασίζεται σε μετρήσιμα δεδομένα, υψηλή ακρίβεια	Απαιτεί διαθέσιμες μετρήσεις ή υπολογισμούς
Threshold-Based	Αντικειμενική και γρήγορη λήψη αποφάσεων	Ενδέχεται να απλοποιεί σύνθετες καταστάσεις

Συγκριτική αξιολόγηση των βασικών μεθόδων επιλογής Μέσων Ατομικής Προστασίας

4.6.Εφαρμοσιμότητα των μεθόδων επιλογής ΜΑΠ σε τεχνικά έργα και εργασίες Μέσης Τάσης

Η επιλογή Μέσων Ατομικής Προστασίας αποτελεί κρίσιμο στοιχείο της διαχείρισης ασφάλειας στα τεχνικά έργα. Όμως στην πράξη η εφαρμογή των διαφόρων μεθόδων επιλογής ΜΑΠ εξαρτάται σημαντικά από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε έργου, όπως η πολυπλοκότητα των εργασιών, η διάρκεια εκτέλεσης, αν υπάρχει συμμετοχή διαφορετικών συνεργείων στο έργο και αν οι συνθήκες του έργου μεταβάλλονται με την πορεία τους.

Στα κατασκευαστικά έργα, η “Task-Based Selection” είναι διαδεδομένη και εφαρμόζεται με την χρήση οδηγιών εργασίας και σχέδια ασφαλείας. Προσφέρει ευκολία στην εφαρμογή και παρέχει σαφείς οι οδηγίες ασφαλείας. Βέβαια, η συνεχής μεταβολή σε συνθήκες του έργου συχνά απαιτεί είτε πρόσθετη είτε εκ νέου αξιολόγηση των κινδύνων, γεγονός που καθιστά αναγκαίο τον συνδυασμό της με πιο δυναμικές προσεγγίσεις.

Η “Risk-Based Selection” θεωρείται η πιο κατάλληλη για σύνθετα τεχνικά έργα. Επιτρέπει την προσαρμογή των απαιτούμενων ΜΑΠ στις πραγματικές συνθήκες και σε κάθε φάση του έργου. Αυτός ο τρόπος προσέγγισης είναι συμβατός με τις απαιτήσεις των σύγχρονων συστημάτων διαχείρισης ασφάλειας και υγείας στα τεχνικά έργα και μπορεί αποτελεσματικά να υποστηρίξει όλη τη διαδικασία λήψης αποφάσεων από τους υπευθύνους του έργου.

Οι μέθοδοι “Exposure-Based” και “Threshold-Based” συναντώνται πολύ περισσότερο σε έργα και εγκαταστάσεις όπου υπάρχουν διαθέσιμα μετρήσιμα δεδομένα έκθεσης ή είναι προκαθορισμένα τα τεχνικά όρια. Παραδείγματα χαρακτηριστικά αποτελούν οι μελέτες ηλεκτρικού τόξου, οι μετρήσεις θορύβου, οι εργασίες σε περιορισμένους χώρους και η αξιολόγηση της θερμικής καταπόνησης.

Οι εργασίες Μέσης Τάσης είναι χαρακτηριστικό παράδειγμα εκτέλεσης εργασίας σε περιβάλλοντα όπου καμία μεμονωμένη μέθοδος επιλογής ΜΑΠ δεν είναι επαρκής από μόνη της. Οι δραστηριότητες κατασκευής, οι συνθήκες λειτουργίας και συντήρησης ηλεκτρικών εγκαταστάσεων συνδυάζουν και ηλεκτρικούς και μηχανικούς και περιβαλλοντικούς και οργανωτικούς κινδύνους. Κίνδυνοι που παραμένουν δυναμικοί ανάλογα με το είδος της εργασίας και τις συνθήκες εκτέλεσης.

Γι' αυτό το λόγο, η επιλογή ΜΑΠ στις εργασίες Μέσης Τάσης υπάρχει επιτακτική ανάγκη για μια συνδυαστική προσέγγιση. Μια προσέγγιση που να λαμβάνει υπόψη ταυτόχρονα το είδος της εργασίας και το επίπεδο κινδύνου, τα διαθέσιμα δεδομένα έκθεσης και τα σχετικά τεχνικά όρια. Η ανάγκη αυτή αποτελεί και το βασικό κίνητρο για την ανάπτυξη ενός καθορισμένου πλαισίου υποστήριξης απόφασης, το οποίο παρουσιάζεται στα επόμενα κεφάλαια της παρούσας εργασίας.

5.Κεφάλαιο 5 – Ανάπτυξη Πλαισίου Λήψης Απόφασης (Decision Tool Framework)

5.1.Σχεδιαστική φιλοσοφία

Η επιλογή των κατάλληλων Μέσων Ατομικής Προστασίας (ΜΑΠ) στις εργασίες Μέσης Τάσης αποτελεί μία σύνθετη διαδικασία, καθώς επηρεάζεται από πλήθος τεχνικών, οργανωτικών και περιβαλλοντικών παραγόντων. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση που προηγήθηκε ανέδειξε ότι καμία από τις υφιστάμενες μεθόδους επιλογής ΜΑΠ δεν είναι σε θέση να καλύψει από μόνη της το σύνολο των απαιτήσεων που προκύπτουν στις σύγχρονες τεχνικές εγκαταστάσεις και στα τεχνικά έργα.

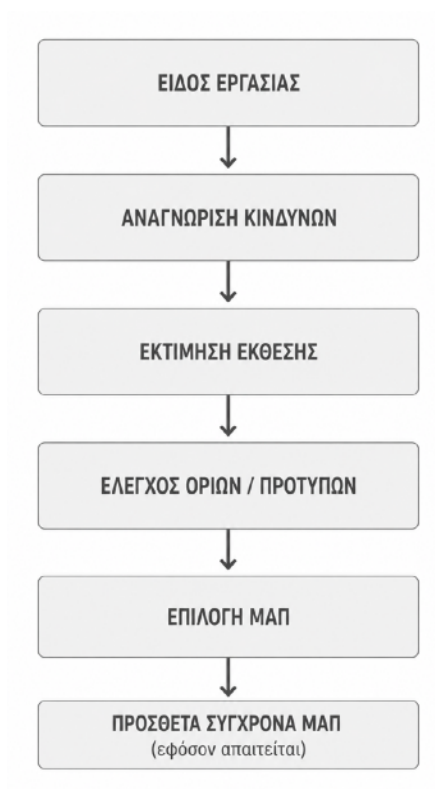
Οι μέθοδοι που βασίζονται αποκλειστικά στο είδος της εργασίας παρουσιάζουν ευκολία εφαρμογής, αλλά περιορισμένη προσαρμοστικότητα στις πραγματικές συνθήκες κινδύνου. Αντίστοιχα, οι προσεγγίσεις που βασίζονται αποκλειστικά στην αξιολόγηση κινδύνου ή στην έκθεση του εργαζομένου απαιτούν μεγαλύτερο όγκο δεδομένων και αυξημένο επίπεδο τεχνικής υποστήριξης, που πολλές φορές δεν είναι διαθέσιμα. Ως αποτέλεσμα, παρατηρείται συχνά είτε υποεκτίμηση είτε υπερεκτίμηση των απαιτήσεων προστασίας.

Με βάση τα παραπάνω, η παρούσα εργασία προτείνει την ανάπτυξη ενός υβριδικού εργαλείου υποστήριξης απόφασης, το οποίο συνδυάζει στοιχεία από διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις. Η ανάπτυξη του προτεινόμενου πλαισίου υποστήριξης απόφασης βασίζεται στη λογική της τμηματικής αξιολόγησης εργασιών και κινδύνων. Αντίστοιχες προσεγγίσεις έχουν χρησιμοποιηθεί σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, όπου οι εργασίες αναλύονται, αξιολογούνται ως προς τον κίνδυνο και στη συνέχεια συσχετίζονται με κατάλληλα μέτρα προστασίας (Scarborough, 2024). Η βασική φιλοσοφία είναι ότι η επιλογή των ΜΑΠ δεν πρέπει να βασίζεται σε ένα μόνο κριτήριο, αλλά να προκύπτει από τη συνδυαστική αξιολόγηση του είδους της εργασίας, των κινδύνων που αναγνωρίζονται, του επιπέδου έκθεσης και των τεχνικών ορίων που σχετίζονται με τη συγκεκριμένη δραστηριότητα. Η προσέγγιση αυτή είναι συμβατή με σύγχρονες μεθόδους λήψης αποφάσεων βασισμένες στον κίνδυνο (risk-based approaches),

σύμφωνα με τις οποίες η αξιολόγηση πρέπει να συνδυάζει τόσο την πιθανότητα εμφάνισης ενός συμβάντος όσο και τη σοβαρότητα των συνεπειών του. Η φιλοσοφία αυτή χρησιμοποιείται ευρέως σε συστήματα διαχείρισης ασφάλειας και στην ιεράρχηση κρίσιμων μέτρων προστασίας (Pirbalouti et al., 2023).

Το προτεινόμενο εργαλείο σχεδιάζεται με στόχο να είναι απλό στην εφαρμογή, επαρκώς τεκμηριωμένο και προσαρμόσιμο σε διαφορετικά περιβάλλοντα εργασίας. Παράλληλα, επιδιώκεται η δυνατότητα ενσωμάτωσης τόσο παραδοσιακών όσο και σύγχρονων Μέσων Ατομικής Προστασίας, λαμβάνοντας υπόψη τις τεχνολογικές εξελίξεις που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Σχήμα 5.1



Βασική λογική λειτουργίας
του προτεινόμενου πλαισίου
υποστήριξης απόφασης.

Το εργαλείο επικεντρώνεται στις εργασίες Μέσης Τάσης, καθώς οι συγκεκριμένες δραστηριότητες χαρακτηρίζονται από υψηλή σοβαρότητα κινδύνων, μεγάλη ποικιλία σεναρίων εργασίας και αυξημένες απαιτήσεις τεχνικής τεκμηρίωσης. Για τον λόγο αυτό, το εργαλείο επιδιώκει να υποστηρίξει τη λήψη αποφάσεων τόσο κατά τη φάση σχεδιασμού των εργασιών όσο και κατά τη φάση εκτέλεσής τους.

Τέλος, πρέπει να τονιστεί πως η βασική αρχή της σχεδιαστικής φιλοσοφίας αποτελεί η υποστήριξη και όχι η υποκατάσταση της επαγγελματικής κρίσης των μηχανικών, των τεχνικών ασφαλείας και των υπευθύνων έργου. Το πλαίσιο επιλογής λειτουργεί ως εργαλείο οργάνωσης και τεκμηρίωσης της διαδικασίας επιλογής ΜΑΠ, παρέχοντας μια συστηματική προσέγγιση που μειώνει την πιθανότητα παραλείψεων και συμβάλλει στην ομοιόμορφη εφαρμογή των απαιτήσεων ασφάλειας.

5.2.Ορισμός Inputs (task, τάση, Ik, dB, ύψος, ppm, O₂ κ.λπ.)

Η αποτελεσματικότητα οποιουδήποτε πλαισίου υποστήριξης απόφασης εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την ποιότητα και την πληρότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται ως είσοδοι. Για τον λόγο αυτό, το προτεινόμενο πλαίσιο βασίζεται σε ένα σύνολο παραμέτρων που περιγράφουν τόσο τα χαρακτηριστικά της εργασίας όσο και το επίπεδο κινδύνου στο οποίο εκτίθεται ο εργαζόμενος.

Οι είσοδοι επιλέχθηκαν με κριτήριο την πρακτική εφαρμογή τους σε εργασίες Μέσης Τάσης και την ευκολία συλλογής τους από τον υπεύθυνο έργου, τον τεχνικό ασφαλείας ή τον υπεύθυνο εργασίας. Οι παράμετροι αυτές οργανώνονται σε έξι βασικές κατηγορίες.

5.2.1.Χαρακτηριστικά εργασίας

Η πρώτη κατηγορία αφορά το είδος της εργασίας που πρόκειται να εκτελεστεί. Η πληροφορία αυτή αποτελεί το αρχικό σημείο αναφοράς και επιτρέπει την προκαταρκτική αναγνώριση πιθανών κινδύνων.

Ενδεικτικές κατηγορίες εργασιών περιλαμβάνουν:

- Χειρισμούς κυψελών Μέσης Τάσης.

- Συντήρηση ηλεκτρικών πινάκων.
- Εργασίες σε μετασχηματιστές.
- Επιθεωρήσεις εγκαταστάσεων.
- Εργασίες σε φρεάτια καλωδίων.
- Εργασίες σε ύψος.
- Κατασκευαστικές εργασίες σε Υποσταθμούς.

5.2.2. Ηλεκτρικές παράμετροι

Η δεύτερη κατηγορία αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης που επηρεάζουν τον ηλεκτρικό κίνδυνο.

Οι βασικές παράμετροι περιλαμβάνουν:

- Ονομαστική τάση εγκατάστασης.
- Προβλεπόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_k).
- Εκτιμώμενη ή υπολογισμένη ενέργεια ηλεκτρικού τόξου (Incident Energy).
- Απόσταση εργασίας από ενεργά (υπό τάση) μέρη.
- Κατάσταση λειτουργίας της εγκατάστασης (υπό τάση ή εκτός τάσης).

Οι παράμετροι αυτές επηρεάζουν άμεσα την επιλογή μονωτικών μέσων και εξοπλισμού προστασίας από ηλεκτρικό τόξο.

5.2.3. Περιβαλλοντικές συνθήκες

Η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει τις συνθήκες του χώρου εργασίας.

Ενδεικτικές παράμετροι είναι:

- Θερμοκρασία περιβάλλοντος.

- Υγρασία.
- Επίπεδα θορύβου (dB(A)).
- Εργασία σε εξωτερικό ή εσωτερικό χώρο.
- Παρουσία σκόνης ή ρύπων.
- Επίπεδο φωτισμού.

Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να επηρεάσουν τόσο την επιλογή των ΜΑΠ όσο και την άνεση χρήσης τους.

5.2.4.Εργασία σε ύψος

Η τέταρτη κατηγορία αφορά τον κίνδυνο πτώσης.

Οι βασικές είσοδοι περιλαμβάνουν:

- Ύψος εργασίας.
- Ύπαρξη συλλογικών μέτρων προστασίας.
- Ανάγκη πρόσβασης μέσω σκάλας ή ανυψωτικού μέσου.
- Διάρκεια εργασίας σε ύψος.

Η κατηγορία αυτή ενεργοποιεί την αξιολόγηση της ανάγκης χρήσης συστημάτων προστασίας από πτώση.

5.2.5.Περιορισμένοι χώροι και ατμοσφαιρικοί κίνδυνοι

Σε εργασίες που εκτελούνται σε φρεάτια ή περιορισμένους χώρους απαιτείται αξιολόγηση πρόσθετων παραμέτρων.

Οι σημαντικότερες είναι:

- Συγκέντρωση οξυγόνου (O_2) - κατώτατο όριο συναγερμού (βλ. Σχ. πίνακα 4.4) είναι το 19,5% ενώ η φυσιολογική τιμή ατμόσφαιρας το 20,9%

- Συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα (CO) - σε συγκεντρώσεις εξωτερικού αέρα με χρόνο μέσου όρου 8 ώρες και 35 ppm για 1 ώρα.
- Συγκέντρωση υδρόθειου (H₂S) - συγκεντρώσεις άνω του ορίου των 0,00011 ppm όπου η μυρωδιά είναι ελαφρώς αισθητή.
- Ύπαρξη εύφλεκτων αερίων.
- Δυνατότητα φυσικού αερισμού.

Οι παράμετροι αυτές καθορίζουν την ανάγκη χρήσης ανιχνευτών αερίων και μέσων αναπνευστικής προστασίας.

5.2.6.Οργανωτικοί και λειτουργικοί παράγοντες

Η τελευταία κατηγορία αφορά στοιχεία που δεν σχετίζονται άμεσα με τον φυσικό κίνδυνο αλλά επηρεάζουν τη διαδικασία λήψης απόφασης.

Ενδεικτικά εξετάζονται:

- Μοναχική ή ομαδική εργασία.
- Εργασία ημέρας ή νύχτας.
- Διάρκεια εργασίας.
- Επίπεδο εμπειρίας προσωπικού.
- Ανάγκη χρήσης σύγχρονων ή έξυπνων ΜΑΠ.

Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να οδηγήσουν στην επιλογή πρόσθετων μέσων, όπως συστήματα ανίχνευσης πτώσης, συστήματα εντοπισμού προσωπικού ή αισθητήρες θερμικής καταπόνησης.

Συνολικά, οι παραπάνω παράμετροι αποτελούν τις βασικές εισόδους του προτεινόμενου πλαισίου λήψης απόφασης και χρησιμοποιούνται για τη συστηματική αξιολόγηση των απαιτήσεων προστασίας κάθε εργασίας Μέσης Τάσης:

Πίνακας 5.2

Κατηγορία	Είσοδος
Εργασία	Χειρισμός, συντήρηση, επιθεώρηση
Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά	Τάση, Ik, Incident Energy
Θόρυβος	dB(A)
Ύψος	m
Ατμοσφαιρικοί κίνδυνοι	O ₂ , CO, H ₂ S, LEL
Περιβάλλον	Θερμοκρασία, υγρασία
Οργάνωση	Μοναχική εργασία, νυχτερινή εργασία
Σύγχρονα ΜΑΠ	Wearables, smart helmets, detectors

Πίνακας εισόδων επιλογής

5.3.Μοντελοποίηση κανόνων λήψης απόφασης (Decision Rules)

Μετά τον καθορισμό των εισόδων του προτεινόμενου πλαισίου, απαιτείται η ανάπτυξη ενός μηχανισμού που να μετατρέπει τις διαθέσιμες πληροφορίες σε προτάσεις επιλογής Μέσων Ατομικής Προστασίας. Για τον σκοπό αυτό, το πλαίσιο βασίζεται σε ένα σύνολο λογικών κανόνων (decision rules), οι οποίοι συνδέουν συγκεκριμένες συνθήκες εργασίας με απαιτήσεις προστασίας.

Η λογική των κανόνων επιλέχθηκε λόγω της απλότητας, της διαφάνειας και της δυνατότητας εύκολης εφαρμογής της σε τεχνικά έργα. Κάθε κανόνας αποτελεί μία σχέση τύπου «Εάν – Τότε» (IF–THEN), μέσω της οποίας μία ή περισσότερες εισοδοί οδηγούν στην ενεργοποίηση συγκεκριμένων απαιτήσεων ΜΑΠ.

Η ανάπτυξη των κανόνων βασίζεται:

1. στις απαιτήσεις της νομοθεσίας και των προτύπων,
2. στα αποτελέσματα της εκτίμησης κινδύνου,

3. στις μεθόδους επιλογής ΜΑΠ που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 4,
4. στις ιδιαίτερες απαιτήσεις των εργασιών Μέσης Τάσης.

Οι κανόνες οργανώνονται σε θεματικές κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο του κινδύνου.

5.3.1.Κανόνες ηλεκτρικού κινδύνου

Οι κανόνες αυτοί αφορούν κινδύνους ηλεκτροπληξίας και ηλεκτρικού τόξου:

Κανόνας E1

IF εργασία εκτελείται σε εγκατάσταση Μέσης Τάσης

THEN απαιτείται κράνος ασφαλείας, υποδήματα ασφαλείας και προστασία οφθαλμών.

Κανόνας E2

IF υπάρχει πιθανότητα επαφής με ηλεκτρικά μέρη

THEN απαιτούνται μονωτικά γάντια κατάλληλης κατηγορίας σύμφωνα με το IEC 60903.

Κανόνας E3

IF Incident Energy > 4 cal/cm²

THEN απαιτείται arc-rated ενδυμασία.

5.3.2.Κανόνες εργασίας σε ύψος

Οι κανόνες αυτοί ενεργοποιούνται όταν υπάρχει κίνδυνος πτώσης:

Κανόνας Y1

IF ύψος εργασίας > 2 m

AND δεν υπάρχουν συλλογικά μέτρα προστασίας

THEN απαιτείται σύστημα προστασίας από πτώση.

Κανόνας Y2

IF εργασία εκτελείται σε ανυψωτικό μέσο

THEN απαιτείται ζώνη πλήρους σώματος.

5.3.3.Κανόνες ατμοσφαιρικών κινδύνων

Οι κανόνες αυτοί εφαρμόζονται σε περιορισμένους χώρους:

Κανόνας A1

IF $O_2 < 19,5\%$

THEN η εργασία δεν επιτρέπεται χωρίς εφαρμογή διαδικασίας περιορισμένου χώρου.

Κανόνας A2

IF ανιχνεύεται παρουσία CO ή H_2S άνω των επιτρεπτών ορίων

THEN απαιτείται εφαρμογή πρόσθετων μέτρων προστασίας και αξιολόγηση ανάγκης χρήσης αναπνευστικής προστασίας.

5.3.4.Κανόνες περιβαλλοντικών και οργανωτικών παραγόντων

Οι κανόνες αυτοί λαμβάνουν υπόψη συνθήκες που δεν σχετίζονται άμεσα με τον πρωτογενή κίνδυνο:

Κανόνας Π1

IF εργασία εκτελείται από μεμονωμένο εργαζόμενο

THEN εξετάζεται η χρήση συστήματος man-down alarm ή συστήματος εντοπισμού θέσης.

Κανόνας Π2

IF θερμική καταπόνηση είναι υψηλή

THEN εξετάζεται η χρήση συστημάτων παρακολούθησης θερμικού φορτίου.

5.3.5.Συνδυασμός κανόνων

Στην πράξη, οι περισσότερες εργασίες Μέσης Τάσης ενεργοποιούν περισσότερους από έναν κανόνες. Για τον λόγο αυτό, το προτεινόμενο πλαίσιο δεν βασίζεται σε μεμονωμένες αποφάσεις αλλά σε συνδυασμό κανόνων, οι οποίοι αξιολογούνται ταυτόχρονα.

Για παράδειγμα, μία εργασία σε υπαίθριο υποσταθμό Μέσης Τάσης, σε ύψος και κατά τη θερινή περίοδο, ενδέχεται να ενεργοποιήσει ταυτόχρονα κανόνες ηλεκτρικού κινδύνου, προστασίας από πτώση και θερμικής καταπόνησης. Το τελικό σύνολο ΜΑΠ προκύπτει από τη συνδυασμένη εφαρμογή όλων των σχετικών κανόνων.

Σχήμα 5.3



Βασική δομή προτεινόμενου
εργαλείου επιλογής ΜΑΠ

5.4.Απόδοση προτεραιοτήτων/κριτηρίων

Η εφαρμογή ενός πλαισίου υποστήριξης απόφασης για την επιλογή Μέσων Ατομικής Προστασίας προϋποθέτει όχι μόνο τον καθορισμό κανόνων, αλλά και τη δυνατότητα ιεράρχησης των διαθέσιμων επιλογών. Στην πράξη, διαφορετικά ΜΑΠ μπορεί να καλύπτουν τον ίδιο κίνδυνο με διαφορετικό βαθμό αποτελεσματικότητας, εργονομίας ή λειτουργικότητας. Για τον λόγο αυτό, απαιτείται η χρήση κριτηρίων αξιολόγησης που θα επιτρέπουν την τεκμηριωμένη επιλογή της καταλληλότερης λύσης.

Στο προτεινόμενο πλαίσιο, η επιλογή ΜΑΠ δεν βασίζεται αποκλειστικά στη συμμόρφωση με τις ελάχιστες απαιτήσεις προστασίας, αλλά λαμβάνει υπόψη και πρόσθετους παράγοντες που επηρεάζουν την πραγματική αποτελεσματικότητα του εξοπλισμού κατά την εκτέλεση της εργασίας.

5.4.1.Οργάνωση κριτηρίων αξιολόγησης

α) Επίπεδο προστασίας

Το επίπεδο προστασίας αποτελεί το σημαντικότερο κριτήριο επιλογής. Κάθε μέσο πρέπει να παρέχει επαρκή προστασία έναντι των κινδύνων που έχουν αναγνωριστεί κατά την εκτίμηση κινδύνου.

Παραδείγματα:

- Κατηγορία μονωτικών γαντιών.
- ATPV ή ELIM arc-rated ενδυμασίας.
- Βαθμός προστασίας αναπνευστικών μέσων.
- Αντοχή συστημάτων προστασίας από πτώση.

β) Συμβατότητα με την εργασία

Τα ΜΑΠ πρέπει να είναι κατάλληλα για το είδος της εργασίας και να μην παρεμποδίζουν την ασφαλή εκτέλεσή της.

Για παράδειγμα, μία ενδυμασία με πολύ υψηλή προστασία από ηλεκτρικό τόξο μπορεί να είναι ακατάλληλη για πολύωρη εργασία σε θερμό περιβάλλον λόγω αυξημένης θερμικής επιβάρυνσης.

γ) Εργονομία και άνεση χρήσης

Η εργονομία επηρεάζει άμεσα την πιθανότητα σωστής και συνεχούς χρήσης των ΜΑΠ. Εξοπλισμός που προκαλεί δυσφορία, περιορίζει την κινητικότητα ή αυξάνει την κόπωση ενδέχεται να οδηγήσει σε μειωμένη συμμόρφωση των εργαζομένων.

Η παράμετρος αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία σε εργασίες μεγάλης διάρκειας ή σε περιβάλλοντα με υψηλή θερμοκρασία.

δ) Αξιοπιστία και ωριμότητα τεχνολογίας

Για τα σύγχρονα και έξυπνα ΜΑΠ αξιολογείται επιπλέον η αξιοπιστία της τεχνολογίας.

Εξετάζονται παράγοντες όπως:

- Ακρίβεια αισθητήρων.
- Ανθεκτικότητα εξοπλισμού.
- Διαθεσιμότητα τεχνικής υποστήριξης.
- Διάρκεια λειτουργίας μπαταρίας.
- Βαθμός τεχνολογικής ωριμότητας.

ε) Κόστος κύκλου ζωής

Η αξιολόγηση δεν περιορίζεται στο αρχικό κόστος προμήθειας αλλά λαμβάνει υπόψη το συνολικό κόστος κύκλου ζωής.

Εξετάζονται:

- Κόστος αγοράς.
- Κόστος συντήρησης.
- Κόστος περιοδικών ελέγχων και πιστοποιήσεων.
- Διάρκεια ζωής εξοπλισμού.
- Κόστος αντικατάστασης.

5.4.2.Ιεράρχηση κριτηρίων

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας προτείνεται η ακόλουθη σειρά προτεραιότητας:

Πίνακας 5.4.2

Κριτήριο	Προτεραιότητα
Επίπεδο προστασίας	Πολύ υψηλή
Συμβατότητα με την εργασία	Υψηλή
Εργονομία και άνεση	Υψηλή
Αξιοπιστία τεχνολογίας	Μεσαία
Κόστος κύκλου ζωής	Μεσαία

Ενδεικτική ιεράρχηση κριτηρίων επιλογής ΜΑΠ στο προτεινόμενο πλαίσιο υποστήριξης απόφασης

Η συγκεκριμένη ιεράρχηση βασίζεται στην αρχή ότι η προστασία της ζωής και της υγείας των εργαζομένων υπερισχύει οποιασδήποτε οικονομικής ή λειτουργικής παραμέτρου.

Η προτεινόμενη ιεράρχηση μπορεί να προσαρμόζεται ανάλογα με τις απαιτήσεις κάθε οργανισμού ή έργου. Για παράδειγμα, σε κρίσιμες ενεργειακές υποδομές μπορεί να δοθεί

μεγαλύτερη βαρύτητα στην αξιοπιστία, ενώ σε μεγάλης διάρκειας εργασίες μπορεί να αυξηθεί η βαρύτητα της εργονομίας

Στο πλαίσιο λήψης απόφασης, τα κριτήρια αυτά χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων που πληρούν τις βασικές απαιτήσεις ασφαλείας. Με τον τρόπο αυτό, η τελική επιλογή δεν περιορίζεται στη συμμόρφωση με τα πρότυπα, αλλά λαμβάνει υπόψη και πρακτικούς παράγοντες που επηρεάζουν την πραγματική εφαρμογή των ΜΑΠ στις εργασίες Μέσης Τάσης.

5.5.Ενσωμάτωση σύγχρονων ΜΑΠ στο προτεινόμενο πλαίσιο λήψης απόφασης

Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών στον τομέα των Μέσων Ατομικής Προστασίας δημιουργεί την ανάγκη ενσωμάτωσής τους στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων που αφορούν την ασφάλεια των εργαζομένων. Τα σύγχρονα ΜΑΠ, όπως τα έξυπνα κράνη, οι φορετοί αισθητήρες, τα συστήματα ανίχνευσης πτώσης και οι συσκευές παρακολούθησης περιβαλλοντικών συνθηκών, δεν αντικαθιστούν τα παραδοσιακά μέσα προστασίας αλλά λειτουργούν συμπληρωματικά προς αυτά.

Για τον λόγο αυτό, στο προτεινόμενο πλαίσιο τα σύγχρονα ΜΑΠ δεν αντιμετωπίζονται ως υποχρεωτικά μέσα προστασίας αλλά ως πρόσθετες επιλογές που ενεργοποιούνται όταν συγκεκριμένες συνθήκες εργασίας το δικαιολογούν.

Η βασική λογική του πλαισίου ακολουθεί δύο διαδοχικά στάδια: Αρχικά προσδιορίζονται τα απαιτούμενα παραδοσιακά ΜΑΠ βάσει των κινδύνων και των τεχνικών χαρακτηριστικών της εργασίας και στη συνέχεια αξιολογείται η πιθανή προσθήκη σύγχρονων ή έξυπνων ΜΑΠ με σκοπό την ενίσχυση του επιπέδου προστασίας ή τη βελτίωση της παρακολούθησης των συνθηκών εργασίας.

Η ενεργοποίηση των σύγχρονων ΜΑΠ βασίζεται σε συγκεκριμένους κανόνες απόφασης που σχετίζονται με οργανωτικούς, περιβαλλοντικούς και λειτουργικούς παράγοντες. Παραδείγματα τέτοιων παραγόντων αποτελούν: η μοναχική εργασία, η εργασία σε απομακρυσμένες εγκαταστάσεις, οι εργασίες σε περιορισμένους χώρους, η αυξημένη θερμική καταπόνηση ή η ανάγκη συνεχούς παρακολούθησης κρίσιμων παραμέτρων του εργασιακού περιβάλλοντος.

Στις εργασίες Μέσης Τάσης, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι παρακάτω κατηγορίες σύγχρονων ΜΑΠ:

- Έξυπνα κράνη με δυνατότητα ανίχνευσης πτώσης ή κρούσης.
- Συστήματα εντοπισμού θέσης εργαζομένων.
- Φορητοί ανιχνευτές αερίων για περιορισμένους χώρους.
- Συστήματα man-down alarm για μοναχική εργασία.
- Wearables παρακολούθησης θερμικής καταπόνησης.
- Βιομετρικοί αισθητήρες παρακολούθησης φυσιολογικών παραμέτρων.
- Ψηφιακά συστήματα παρακολούθησης χρήσης ΜΑΠ.

Η επιλογή των παραπάνω τεχνολογιών πραγματοποιείται μόνο αφού εξασφαλιστεί η κάλυψη των βασικών απαιτήσεων προστασίας από τα συμβατικά ΜΑΠ. Με τον τρόπο αυτό διατηρείται η συμμόρφωση με τις ισχύουσες απαιτήσεις ασφάλειας και αποφεύγεται η λανθασμένη αντίληψη ότι οι σύγχρονες τεχνολογίες μπορούν να υποκαταστήσουν τα καθιερωμένα μέσα προστασίας.

Επιπλέον, το προτεινόμενο πλαίσιο λαμβάνει υπόψη τον βαθμό ωριμότητας των διαθέσιμων τεχνολογιών. Τεχνολογίες με ευρεία βιομηχανική εφαρμογή, όπως οι φορητοί ανιχνευτές αερίων και τα συστήματα ανίχνευσης πτώσης, μπορούν να προτείνονται άμεσα όπου αυτό απαιτείται. Αντίθετα, τεχνολογίες που βρίσκονται ακόμη σε φάση περιορισμένης εφαρμογής, όπως ορισμένα συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας ή προηγμένες πλατφόρμες βιομετρικής παρακολούθησης, αντιμετωπίζονται ως προαιρετικές επιλογές.

Με τον τρόπο αυτό, το πλαίσιο υποστήριξης απόφασης συνδυάζει την αξιοπιστία των παραδοσιακών προσεγγίσεων επιλογής ΜΑΠ με τις δυνατότητες που προσφέρουν οι νέες τεχνολογίες, επιτρέποντας σταδιακή ενσωμάτωση καινοτόμων λύσεων χωρίς να διακυβεύεται το απαιτούμενο επίπεδο ασφάλειας.

Πίνακας 5.5

Συνθήκη εργασίας	Σύγχρονο ΜΑΠ
------------------	--------------

Μοναχική εργασία	Man-down alarm
Απομακρυσμένος υποσταθμός	GPS / Location Tracking
Φρεάτιο καλωδίων	Multi-gas detector
Υψηλή θερμική καταπόνηση	Heat Stress Monitor
Εργασία σε ύψος	Smart Fall Detection
Μεγάλης διάρκειας συντήρηση	Βιομετρική παρακολούθηση κόπωσης
Νυχτερινή εργασία	Smart Helmet με φωτισμό και επικοινωνία

Ενδεικτικοί κανόνες ενεργοποίησης σύγχρονων ΜΑΠ

Η ενσωμάτωση των σύγχρονων ΜΑΠ δεν επηρεάζει τις ελάχιστες απαιτήσεις προστασίας που προκύπτουν από τα πρότυπα και τη νομοθεσία, αλλά λειτουργεί ως πρόσθετο επίπεδο διαχείρισης κινδύνου και υποστήριξης λήψης αποφάσεων

5.6.Δομή decision-tree / πίνακες απόφασης

Μετά τον καθορισμό των εισόδων, των κανόνων και των κριτηρίων αξιολόγησης, απαιτείται η ανάπτυξη μίας δομημένης διαδικασίας που θα οδηγεί στην τελική επιλογή των κατάλληλων Μέσων Ατομικής Προστασίας. Η ανάπτυξη δομημένων πλαισίων λήψης απόφασης για την επιλογή ΜΑΠ αποτελεί αντικείμενο πρόσφατης έρευνας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εφαρμογή πολυκριτηριακών μεθόδων (AHP και PROMETHEE) για την ιεράρχηση εναλλακτικών λύσεων προστασίας με βάση προκαθορισμένα κριτήρια αξιολόγησης (Aksüt & Eren, 2024).

Για τον σκοπό αυτό προτείνεται η χρήση δέντρου αποφάσεων (decision tree), το οποίο επιτρέπει τη σταδιακή αξιολόγηση των παραμέτρων της εργασίας και την παραγωγή προτάσεων ΜΑΠ με διαφανή και επαναλήψιμο τρόπο.

Δέντρα απόφασης

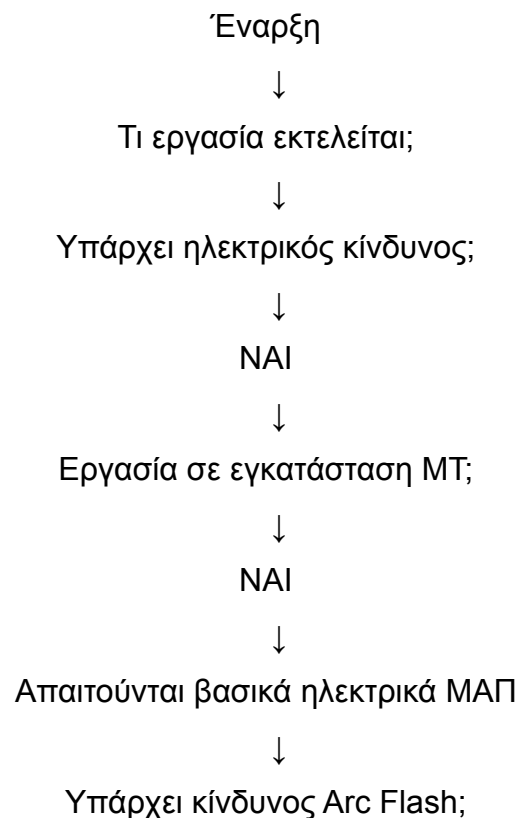
Η λογική του decision tree βασίζεται σε διαδοχικά βήματα ελέγχου, όπου κάθε απάντηση ενεργοποιεί συγκεκριμένους κανόνες και οδηγεί στην επόμενη φάση αξιολόγησης. Με τον τρόπο

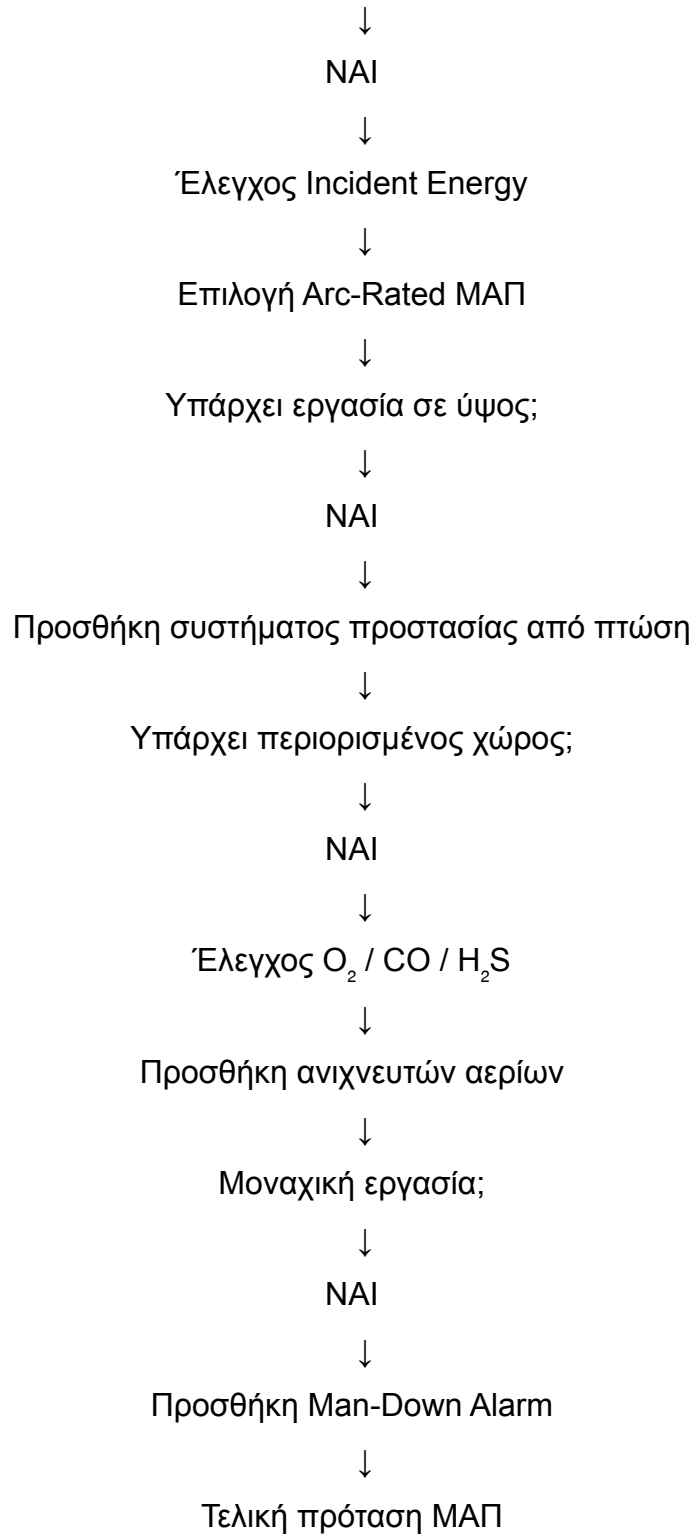
αυτό, η διαδικασία επιλογής γίνεται τυποποιημένη, μειώνοντας την πιθανότητα παραλείψεων ή υποκειμενικών αποκλίσεων.

Η προτεινόμενη διαδικασία αποτελείται από πέντε βασικά στάδια:

1. Καθορισμός του είδους της εργασίας.
2. Αναγνώριση των βασικών κινδύνων.
3. Αξιολόγηση έκθεσης και τεχνικών ορίων.
4. Επιλογή βασικών ΜΑΠ.
5. Αξιολόγηση ανάγκης χρήσης σύγχρονων ή πρόσθετων ΜΑΠ.

Η διαδικασία αυτή μπορεί να εφαρμοστεί τόσο χειροκίνητα μέσω πινάκων απόφασης όσο και μέσω απλού λογισμικού ή υπολογιστικού φύλλου.





Πίνακες απόφασης

Εκτός από το decision tree, το πλαίσιο μπορεί να υποστηρίζεται από πίνακες απόφασης οι οποίοι απλοποιούν τη διαδικασία επιλογής.

Πίνακας 5.6.1

Συνθήκη	Απόφαση
Εργασία σε εγκατάσταση MT	Βασικά ηλεκτρικά ΜΑΠ
Incident Energy > 4 cal/cm ²	Arc-rated ενδυμασία
Incident Energy > 25 cal/cm ²	Arc hood
Ύψος > 2 m	Σύστημα προστασίας από πτώση
O ₂ < 19,5%	Διαδικασία περιορισμένου χώρου
Θόρυβος > 85 dB(A)	Προστασία ακοής
Μοναχική εργασία	Man-down alarm

Παράδειγμα επιλογής ΜΑΠ για εργασίες MT

Πίνακας 5.6.2

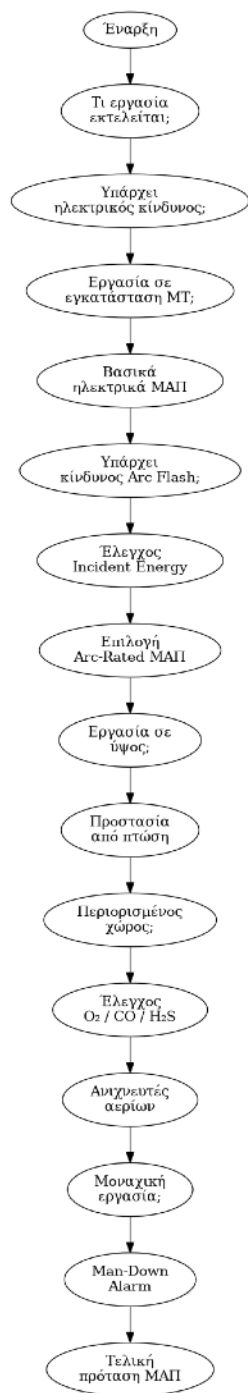
Παράγοντας	Πρόσθετο ΜΑΠ
Απομακρυσμένος υποσταθμός	GPS Tracking
Υψηλή θερμική καταπόνηση	Heat Stress Monitor
Εργασία σε φρεάτιο	Multi-Gas Detector
Νυχτερινή εργασία	Smart Helmet

Ενεργοποίηση σύγχρονων ΜΑΠ

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της προσέγγισης που παρέχει το εργαλείο που αναπτύσσεται είναι ότι συνδυάζει στοιχεία των μεθόδων Task-Based, Risk-Based και Threshold-Based Selection, ενώ ταυτόχρονα παρέχει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης σύγχρονων Μέσων Ατομικής Προστασίας όταν οι συνθήκες εργασίας το απαιτούν.

Η λειτουργία του προτεινόμενου πλαισίου βασίζεται σε διαδοχικά βήματα αξιολόγησης των χαρακτηριστικών της εργασίας και των σχετικών κινδύνων. Για κάθε εργασία εξετάζονται παράγοντες όπως η παρουσία ηλεκτρικού κινδύνου, ο κίνδυνος ηλεκτρικού τόξου, η εργασία σε ύψος, η εργασία σε περιορισμένους χώρους και οι ιδιαίτερες συνθήκες εκτέλεσης, ώστε να προκύπτει η τελική πρόταση ΜΑΠ.

Σχήμα 5.6



Ενδεικτική λογική
λειτουργίας του
προτεινόμενου πλαισίου
λήψης απόφασης για την
επιλογή MAIP σε εργασίες
Μέσης Τάσης

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.6, η διαδικασία ξεκινά από την αναγνώριση της εργασίας και εξελίσσεται μέσω διαδοχικών ελέγχων. Σε κάθε στάδιο προστίθενται τα απαιτούμενα μέσα προστασίας ή οι πρόσθετες τεχνολογίες υποστήριξης, μέχρι τη διαμόρφωση της τελικής πρότασης των ΜΑΠ. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει τη συστηματική και επαναλαμβανόμενη επιλογή εξοπλισμού προστασίας, προσαρμοσμένη στις απαιτήσεις κάθε εργασίας.

5.7. Τεκμηρίωση της λογικής επιλογής ΜΑΠ

Η αξιοπιστία ενός πλαισίου υποστήριξης απόφασης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη δυνατότητα τεκμηρίωσης των αποφάσεων που παράγει. Για τον λόγο αυτό, το προτεινόμενο εργαλείο δεν λειτουργεί ως «μαύρο κουτί», αλλά βασίζεται σε σαφείς και τεκμηριωμένες σχέσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών της εργασίας, των αναγνωρισμένων κινδύνων και των προτεινόμενων Μέσων Ατομικής Προστασίας.

Η λογική επιλογής των ΜΑΠ στηρίζεται στις θεμελιώδεις αρχές της διαχείρισης επαγγελματικού κινδύνου και ειδικότερα στην Ιεραρχία Ελέγχων Κινδύνου (Hierarchy of Controls). Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή, τα ΜΑΠ αποτελούν όπως ήδη έχει αναφερθεί, το τελευταίο επίπεδο προστασίας μετά την εφαρμογή τεχνικών, οργανωτικών και συλλογικών μέτρων. Συνεπώς, η επιλογή τους πραγματοποιείται αφού προηγηθεί η αναγνώριση και αξιολόγηση των κινδύνων που σχετίζονται με τη συγκεκριμένη εργασία.

Η διαδικασία επιλογής βασίζεται σε συνδυασμό στοιχείων από τις μεθόδους Task-Based, Risk-Based και Threshold-Based Selection που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Το είδος της εργασίας χρησιμοποιείται ως αρχικό σημείο αναφοράς για την αναγνώριση πιθανών κινδύνων, ενώ η τελική επιλογή προσαρμόζεται σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εκτίμησης κινδύνου, τα επίπεδα έκθεσης και τα ισχύοντα τεχνικά όρια.

Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στους ηλεκτρικούς κινδύνους που σχετίζονται με τις εργασίες Μέσης Τάσης. Η επιλογή μονωτικών μέσων προστασίας βασίζεται στις απαιτήσεις των σχετικών προτύπων και στην ονομαστική τάση της εγκατάστασης, ενώ η επιλογή εξοπλισμού προστασίας από ηλεκτρικό τόξο συνδέεται με την εκτιμώμενη θερμική ενέργεια και τις απαιτήσεις της αντίστοιχης μελέτης arc flash, όπου αυτή είναι διαθέσιμη.

Παράλληλα, το εργαλείο λαμβάνει υπόψη δευτερεύοντες κινδύνους που συχνά συνυπάρχουν στις εργασίες Μέσης Τάσης, όπως η εργασία σε ύψος, η παρουσία κινδύνων που έχουν σχέση με την ατμόσφαιρα σε περιορισμένους χώρους, η θερμική καταπόνηση και η μοναχική εργασία. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να οδηγήσουν στην προσθήκη πρόσθετων ΜΑΠ ή σύγχρονων τεχνολογιών υποστήριξης της ασφάλειας.

Η ενσωμάτωση σύγχρονων ΜΑΠ πραγματοποιείται με συντηρητική προσέγγιση. Οι σχετικές τεχνολογίες δεν υποκαθιστούν τα παραδοσιακά μέσα προστασίας που απαιτούνται από τα πρότυπα και τη νομοθεσία, αλλά λειτουργούν συμπληρωματικά, ενισχύοντας την παρακολούθηση του εργαζομένου και του εργασιακού περιβάλλοντος. Ως εκ τούτου, η επιλογή τους ενεργοποιείται μόνο όταν οι συνθήκες εργασίας δικαιολογούν την πρόσθετη λειτουργικότητα που προσφέρουν.

Η τεκμηρίωση των αποφάσεων αποτελεί βασικό πλεονέκτημα του προτεινόμενου πλαισίου, καθώς επιτρέπει στον χρήστη να κατανοήσει τη λογική πίσω από κάθε πρόταση ΜΑΠ και διευκολύνει την επαλήθευση ή την αναθεώρηση των επιλογών όταν μεταβάλλονται οι συνθήκες εργασίας. Με τον τρόπο αυτό, το πλαίσιο συμβάλλει όχι μόνο στην επιλογή εξοπλισμού προστασίας αλλά και στη συνολικότερη υποστήριξη της διαδικασίας διαχείρισης κινδύνων σε τεχνικά έργα και εγκαταστάσεις Μέσης Τάσης.

Πρότυπα & Νομοθεσία



Βιβλιογραφία



Εκτίμηση Κινδύνου



Decision Framework



Προτεινόμενα ΜΑΠ

6.Κεφάλαιο 6 – Υλοποίηση του Decision Tool

6.1.Σκοπός και απαιτήσεις του εργαλείου

Η επιλογή των κατάλληλων Μέσων Ατομικής Προστασίας (ΜΑΠ) στις εργασίες Μέσης Τάσης είναι μια διαδικασία που καθορίζεται από πολλούς παράγοντες. Το είδος της εργασίας, οι κίνδυνοι που αναγνωρίζονται, οι περιβαλλοντικές συνθήκες και οι απαιτήσεις των σχετικών προτύπων, είναι μόνο μερικοί παράγοντες που καθορίζουν κάθε φορά την επιλογή. Η ανάγκη να συνεκτιμηθούν πολλές διαφορετικές παραμέτρους καθιστά τη διαδικασία επιλογής πολύπλοκη και συχνά εξαρτάται άμεσα από την εμπειρία του μηχανικού, του τεχνικού ασφαλείας ή του τεχνικού που εκτελεί την εργασία.

Με βάση το πλαίσιο λήψης απόφασης που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, αναπτύχθηκε ένα πιλοτικό εργαλείο υποστήριξης απόφασης με σκοπό τη συστηματική και επαναλήψιμη επιλογή ΜΑΠ για εργασίες Μέσης Τάσης. Το εργαλείο δεν αποσκοπεί στην υποκατάσταση της εκτίμησης επαγγελματικού κινδύνου ή της τεχνικής κρίσης των αρμόδιων στελεχών, αλλά στη διευκόλυνση της διαδικασίας επιλογής μέσω της εφαρμογής προκαθορισμένων κανόνων και κριτηρίων.

Οι βασικές απαιτήσεις που τέθηκαν κατά τον σχεδιασμό του εργαλείου ήταν:

- η απλότητα χρήσης και η δυνατότητα αξιοποίησής του από μηχανικούς και τεχνικούς ασφαλείας,
- η δυνατότητα εισαγωγής βασικών χαρακτηριστικών της εργασίας και των σχετικών κινδύνων,
- η εφαρμογή κανόνων επιλογής βασισμένων σε πρότυπα και τεχνικές οδηγίες,
- η δυνατότητα ενσωμάτωσης τόσο παραδοσιακών όσο και σύγχρονων ΜΑΠ,
- η παραγωγή τεκμηριωμένης πρότασης ΜΑΠ με επαναλήψιμο τρόπο,
- η δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης και επικαιροποίησης των κανόνων επιλογής.

Για την πιλοτική υλοποίηση επιλέχθηκε η ανάπτυξη εφαρμογής σε περιβάλλον Python με χρήση της βιβλιοθήκης Streamlit, η οποία επιτρέπει τη δημιουργία απλών διαδραστικών εφαρμογών. Επίσης με αυτό τον τρόπο διευκολύνεται η μελλοντική επέκταση του εργαλείου.

6.2.Επιλογή τεχνολογίας ανάπτυξης

Για την πιλοτική υλοποίηση του προτεινόμενου εργαλείου υπήρχαν διαφορετικές εναλλακτικές λύσεις ανάπτυξης, με βασικό στόχο τη δημιουργία μιας εφαρμογής που θα είναι απλή στη χρήση, εύκολη στη συντήρηση και ικανή να υποστηρίξει μελλοντικές επεκτάσεις και προσθήκες.

Αρχικά εξετάστηκε η ανάπτυξη του εργαλείου σε περιβάλλον υπολογιστικών φύλλων (Microsoft Excel). Αυτή είναι μια πολύ διαδεδομένη λύση και είναι εξοικειωμένο περιβάλλον για πολλούς μηχανικούς, τεχνικούς ασφαλείας και ανθρώπους που εργάζονται και πλαισιώνουν τεχνικά έργα. Όμως, η ανάγκη υλοποίησης πολλών κανόνων για την λήψη απόφασης, καθώς και η επιθυμία για ανάπτυξη ενός πιο διαδραστικού και εύχρηστου εργαλείου, έκαναν αυτή τη λύση λιγότερο αποτελεσματική.

Τελικά, επιλέχθηκε η γλώσσα προγραμματισμού Python σε συνδυασμό με τη βιβλιοθήκη Streamlit. Η Python είναι από τις πλέον διαδεδομένες γλώσσες ανάπτυξης εφαρμογών και εργαλείων υποστήριξης απόφασης. Η βιβλιοθήκη Streamlit επιτρέπει τη εύκολη δημιουργία διαδραστικών εφαρμογών μέσω γραφικού περιβάλλοντος χωρίς να χρειάζεται να αναπτυχθούν πολύπλοκες εφαρμογές διαδικτύου.

Η επιλογή της Python δεν έγινε μόνο λόγω των δυνατοτήτων ανάπτυξης της εφαρμογής, αλλά και στη μεγάλη ποικιλία διαθέσιμων αξιόπιστων βιβλιοθηκών ανοικτού λογισμικού, οι οποίες υποστηρίζουν όλες τις βασικές λειτουργίες του εργαλείου. Συγκεκριμένα, η ανάπτυξη της διεπαφής χρήστη πραγματοποιήθηκε με τη βιβλιοθήκη Streamlit, η διαχείριση των δεδομένων εισόδου και της βάσης με τη βιβλιοθήκη Pandas, ενώ η δημιουργία της αναφοράς αξιολόγησης σε μορφή PDF υλοποιήθηκε με τη βιβλιοθήκη ReportLab.

Πίνακας 6.2

Τεχνολογία	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
------------	---------------	---------------

Excel	Εύκολη χρήση, ευρεία διάδοση	Περιορισμένη επεκτασιμότητα
Excel VBA	Αυτοματοποίηση	Θέματα συμβατότητας και συντήρησης
Python + Streamlit	Επεκτασιμότητα, διαδραστικότητα, φορητότητα	Απαιτεί βασικές γνώσεις προγραμματισμού

Συγκριτική αξιολόγηση εναλλακτικών τεχνολογιών για την ανάπτυξη του εργαλείου υποστήριξης απόφασης

Η συγκεκριμένη επιλογή παρουσιάζει ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα:

- απλή ανάπτυξη και συντήρηση του κώδικα,
- δυνατότητα εύκολης προσθήκης νέων κανόνων και κριτηρίων επιλογής,
- διαδραστική εισαγωγή δεδομένων από τον χρήστη,
- άμεση παρουσίαση των προτεινόμενων ΜΑΠ,
- δυνατότητα μελλοντικής διασύνδεσης με βάσεις δεδομένων ή συστήματα διαχείρισης ασφάλειας,
- ανεξαρτησία από συγκεκριμένο λειτουργικό σύστημα.

Επιπλέον, η χρήση της Python επιτρέπει τη μελλοντική ενσωμάτωση πιο σύνθετων μεθόδων υποστήριξης απόφασης, όπως τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης, επεκτείνοντας περαιτέρω τις δυνατότητες του εργαλείου.

Με βάση τα παραπάνω, η ανάπτυξη του πιλοτικού εργαλείου πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον Python με χρήση της βιβλιοθήκης Streamlit, η οποία εξυπηρετεί καλύτερα τους στόχους της παρούσας εργασίας.

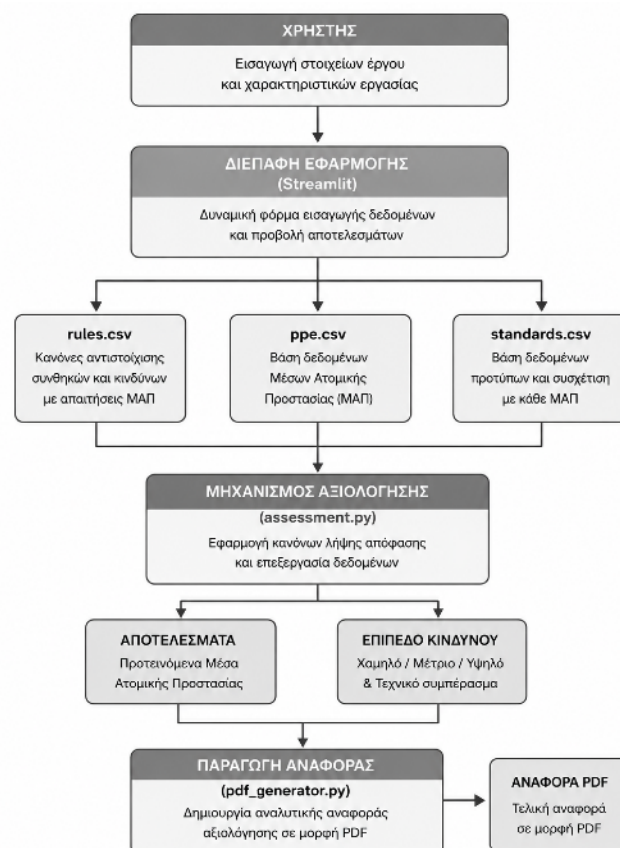
Για την ανάπτυξη και εκτέλεση της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε η Python (έκδοση 3.14), σε συνδυασμό με τις βιβλιοθήκες Streamlit 1.58.0, Pandas 3.0.3 και ReportLab 5.0.0, οι οποίες καλύπτουν αντίστοιχα τις ανάγκες της ανάπτυξης της διεπαφής χρήστη, της επεξεργασίας των

δεδομένων και της δημιουργίας της αναφοράς αξιολόγησης σε μορφή PDF. Οι βιβλιοθήκες αυτές εγκαθίστανται μέσω του αρχείου requirements.txt, το οποίο περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες εξαρτήσεις της εφαρμογής και βρίσκεται εντός του φακέλου εγκατάστασης.

6.3.Αρχιτεκτονική του εργαλείου

Η λειτουργία του εργαλείου βασίζεται σε μια απλή αρχιτεκτονική επεξεργασίας δεδομένων. Τα χαρακτηριστικά της εργασίας εισάγονται από τον χρήστη, αξιολογούνται μέσω ενός συνόλου προκαθορισμένων κανόνων και οδηγούν στην παραγωγή προτεινόμενων Μέσων Ατομικής Προστασίας.

Σχήμα 6.3



Αρχιτεκτονική εφαρμογής

Η διεπαφή με τον χρήστη υλοποιήθηκε με χρήση της βιβλιοθήκης Streamlit. Μέσω αυτής της βιβλιοθήκης, εισάγονται τα στοιχεία του έργου και της αξιολόγησης, καθώς και οι τεχνικές παράμετροι και οι παράγοντες κινδύνου που χαρακτηρίζουν την κάθε εργασία Μέσης Τάσης. Η εφαρμογή προσαρμόζει δυναμικά τα πεδία εισαγωγής που απαιτούν συμπλήρωση κάθε φορά ανάλογα με το είδος της εργασίας, εξαλείφοντας τις άσχετες επιλογές ώστε να διευκολύνεται η διαδικασία συμπλήρωσης.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για τη λήψη απόφασης, αποθηκεύονται σε εξωτερικά αρχεία μορφής CSV. Συγκεκριμένα, το αρχείο rules.csv περιλαμβάνει τους κανόνες αντιστοίχισης μεταξύ των συνθηκών εργασίας και απαιτούμενων μέτρων προστασίας. Στη συνέχεια το pre.csv περιλαμβάνει τα διαθέσιμα Μέσα Ατομικής Προστασίας και τα χαρακτηριστικά τους, ενώ το standards.csv περιλαμβάνει τα σχετικά πρότυπα και τη σύνδεσή τους με κάθε κατηγορία ΜΑΠ. Με τον τρόπο αυτό, η επικαιροποίηση όλων των δεδομένων, μπορεί να πραγματοποιείται χωρίς να απαιτείται η τροποποίηση του πηγαίου κώδικα.

Η λογική αξιολόγησης εκτελείται από μια ανεξάρτητη μονάδα λογισμικού (assessment.py), η οποία επεξεργάζεται τις εισόδους από τον χρήστη, εφαρμόζει τους κανόνες απόφασης που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 5 και εξάγει το προτεινόμενο σύνολο Μέσων Ατομικής Προστασίας, το επίπεδο κινδύνου και το τεχνικό συμπέρασμα της αξιολόγησης.

Τέλος, η εφαρμογή δημιουργεί αυτόματα αναφορά αξιολόγησης σε μορφή PDF μέσω μια ξεχωριστής μονάδας κώδικα (pdf_generator.py). Η αναφορά περιλαμβάνει τα στοιχεία του έργου, τα χαρακτηριστικά της εργασίας, το επίπεδο κινδύνου, τα προτεινόμενα Μέσα Ατομικής Προστασίας, τα σχετικά πρότυπα και το τεχνικό συμπέρασμα, παρέχοντας μια πλήρως τεκμηριωμένη καταγραφή της διαδικασίας επιλογής. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ευκολία και να διανεμηθεί προς χρήση, ανεξάρτητα από την ικανότητα των χρηστών να χρησιμοποιήσουν την πλατφόρμα.

Πίνακας 6.3

Στοιχείο	Ρόλος
Python	Γλώσσα ανάπτυξης
Streamlit	Διεπαφή χρήστη

Pandas	Διαχείριση και επεξεργασία δεδομένων
CSV	Αποθήκευση κανόνων, ΜΑΠ και προτύπων
ReportLab	Δημιουργία αναφοράς PDF

Βασικά δομικά στοιχεία της εφαρμογής

6.4.Περιγραφή λειτουργίας της εφαρμογής

Η εφαρμογή αναπτύχθηκε με στόχο να καθοδηγεί τον χρήστη μέσω μιας τυποποιημένης διαδικασίας επιλογής Μέσων Ατομικής Προστασίας για εργασίες σε εγκαταστάσεις Μέσης Τάσης.

Η λειτουργία της βασίζεται στη διαδοχική συλλογή πληροφοριών που αφορούν το έργο, την εργασία που θα εκτελεστεί και τους σχετικούς κινδύνους, στην αξιολόγηση των δεδομένων μέσω προκαθορισμένων κανόνων λήψης απόφασης και στην παραγωγή τεκμηριωμένης πρότασης ΜΑΠ η οποία συνοδεύεται και από μια αναφορά αξιολόγησης.

Εικόνα 6.4.1

Deploy



PPE Advisor MV

Σύστημα Υποστήριξης Απόφασης για την Επιλογή Μέσων Ατομικής Προστασίας σε Εργασίες Μέσης Τάσης

Πρωτότυπη εφαρμογή που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο Διπλωματικής Εργασίας του ΠΜΣ «Διαχείριση Τεχνικών Έργων» του Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου.

Στοιχεία Έργου

Έργο / Εγκατάσταση

Ημερομηνία αξιολόγησης

2026/07/05

Συντάκτης αξιολόγησης

Θέση εργασίας / χώρος

Κατά την εκκίνηση της εφαρμογής εμφανίζεται η κεντρική οθόνη, όπου ο χρήστης συμπληρώνει αρχικά τα βασικά στοιχεία της αξιολόγησης, όπως το όνομα του έργου ή της εγκατάστασης, τον χώρο εκτέλεσης της εργασίας, το όνομα του αξιολογητή και την ημερομηνία πραγματοποίησης της αξιολόγησης. Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιούνται για την τεκμηρίωση της διαδικασίας αλλά και για τη δημιουργία της τελικής αναφοράς σε μορφή PDF.

Στη συνέχεια ο χρήστης επιλέγει το είδος της εργασίας που πρόκειται να εκτελεστεί. Η εφαρμογή υποστηρίζει διαφορετικά σενάρια εργασιών Μέσης Τάσης, όπως χειρισμούς κυψελών, συντήρηση μετασχηματιστών, εργασίες σε εναέριες γραμμές και εργασίες σε περιορισμένους χώρους. Ανάλογα με την εργασία, η διεπαφή τροποποιεί τις επιλογές δυναμικά, ενεργοποιώντας μόνο τα πεδία που είναι σχετικά με τη συγκεκριμένη εργασία αποκρύπτοντας πληροφορίες που δεν απαιτούνται. Έτσι, μειώνεται η πιθανότητα λανθασμένης εισαγωγής δεδομένων αλλά παράλληλα διευκολύνεται ο χρήστης στη συμπλήρωση της φόρμας.

Εικόνα 6.4.2

Δεδομένα Εργασίας

Είδος εργασίας

Χειρισμός κυψέλης MT

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Ονομαστική τάση εγκατάστασης

15 kV

Συγκέντρωση O₂ (%)

20.90

Παράγοντες κινδύνου

☒ Ηλεκτρικός κίνδυνος

☐ Κίνδυνος ηλεκτρικού τόξου (Arc Flash)

☐ Εργασία σε ύψος

☒ Περιορισμένος χώρος

☐ Αυξημένη θερμική καταπόνηση

Δεδομένα Εργασίας

Είδος εργασίας

Χειρισμός κυψέλης MT

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Ονομαστική τάση εγκατάστασης

15 kV

Εκτιμώμενη ενέργεια συμβάντος Arc Flash (cal/cm²)

8.00

Ύψος εργασίας (m)

2.00

Παράγοντες κινδύνου

☒ Ηλεκτρικός κίνδυνος

☒ Κίνδυνος ηλεκτρικού τόξου (Arc Flash)

☒ Εργασία σε ύψος

☐ Περιορισμένος χώρος

☐ Αυξημένη θερμική καταπόνηση

Δυναμικά πεδία

Στο επόμενο στάδιο καταχωρούνται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εργασίας και οι επιμέρους παράγοντες κινδύνου. Ανάλογα με το είδος της εργασίας, ο χρήστης μπορεί να εισαγάγει την ονομαστική τάση της εγκατάστασης, την εκτιμώμενη ενέργεια ηλεκτρικού τόξου (Incident Energy), το ύψος εργασίας, τη συγκέντρωση οξυγόνου, καθώς και την ύπαρξη κινδύνου παρουσίας επικίνδυνων αερίων ή αυξημένης θερμικής καταπόνησης. Παράλληλα, ορισμένοι παράγοντες κινδύνου ενεργοποιούνται αυτόματα από την εφαρμογή όταν αποτελούν βασικό γνώρισμα της επιλεγμένης εργασίας, περιορίζοντας περαιτέρω την πιθανότητα εσφαλμένης αξιολόγησης.

Εικόνα 6.4.3

Εκτέλεση αξιολόγησης ΜΑΠ

Αποτελέσματα Αξιολόγησης

Επίπεδο κινδύνου: Μεσαίο

Προτεινόμενα ΜΑΠ ανά Κατηγορία

Προστασία κεφαλής ✓ Κράνος ηλεκτρολόγου Υποχρεωτικό	Ενεργοποιήθηκε λόγω ύπαρξης ηλεκτρικού κινδύνου.
Προστασία χεριών ✓ Μονωτικά γάντια ηλεκτρολόγων Υποχρεωτικό	Ενεργοποιήθηκε λόγω ανάγκης προστασίας από ηλεκτροπληξία.
Προστασία ποδιών ✓ Υποδήματα ασφαλείας κατάλληλα για ηλεκτρικές εργασίες Υποχρεωτικό	Ενεργοποιήθηκε λόγω εργασίας σε ηλεκτρική εγκατάσταση.
Ανίχνευση ατμόσφαιρας ✓ Φορητός ανιχνευτής αερίων Υποχρεωτικό	Ενεργοποιήθηκε λόγω εργασίας σε περιορισμένο χώρο.

Αποτελέσματα

Μετά την ολοκλήρωση της εισαγωγής των δεδομένων, η εφαρμογή εκτελεί τη διαδικασία αξιολόγησης. Τα δεδομένα μεταφέρονται στη μονάδα λήψης απόφασης (assessment.py), όπου εφαρμόζονται οι κανόνες αντιστοίχισης που έχουν αποθηκευθεί στα αρχεία δεδομένων της

Εικόνα 6.4.4

PPE Advisor MV
Decision Support Report for Personal Protective Equipment Selection in Medium Voltage Works
Version 1.0

Έργο / Εγκατάσταση	Δοκιμαστικό έργο
Θέση εργασίας	Υποσταθμός Μέσης Τάσης
Συντάκτης αξιολόγησης	Σαλβάρη Πωλίνα
Ημερομηνία αξιολόγησης	2028-09-14

Στοιχεία Εργασίας

Είδος εργασίας	Χειρισμός κυψέλης MT
Ονομαστική τάση	20 kV
Επίπεδο κινδύνου	Μεσαίο

Προτεινόμενα Μέσα Ατομικής Προστασίας

Κατηγορία	ΜΑΠ	Πρότυπο	Χαρακτηρισμός
Προστασία κεφαλής	Κράνος ηλεκτρολόγου	EN 50365	Υποχρεωτικό
Προστασία χεριών	Μονωτικά γάντια ηλεκτρολόγων	IEC 60903	Υποχρεωτικό
Προστασία ποδιών	Υποδήματα ασφαλείας κατάλληλα για ηλεκτρικές εργασίες	EN ISO 20345	Υποχρεωτικό
Προστασία σώματος	Arc-rated ενδυμασία	IEC 61482-2	Υποχρεωτικό
Προστασία προσώπου	Προστασία προσώπου έναντι ηλεκτρικού τόξου	EN 166	Υποχρεωτικό

Εφαρμοζόμενα Πρότυπα

Πρότυπο	Αντικείμενο
EN 50365	Ηλεκτρικά μονωτικά κράνη για χρήση σε εγκαταστάσεις χαμηλής τάσης
IEC 60903	Μονωτικά γάντια ηλεκτρολόγων
EN ISO 20345	Υποδήματα ασφαλείας
IEC 61482-2	Ενδύματα προστασίας έναντι θερμικών επιδράσεων ηλεκτρικού τόξου
EN 166	Προστασία οφθαλμών και προσώπου

Τεχνικό Συμπέρασμα

Η αξιολόγηση αφορά την εργασία «Χειρισμός κυψέλης MT» σε εγκατάσταση Μέσης Τάσης με ονομαστική τάση 20 kV. Το συνολικό επίπεδο κινδύνου εκτιμάται ως μεσαίο, καθώς εντοπίζονται παράγοντες που απαιτούν πρόσθετη προσταγή και κατάλληλη επίλογη ΜΑΠ. Με βάση τους κανόνες αξιολόγησης που εφαρμόστηκαν, προτείνονται τα ακόλουθα Μέσα Ατομικής Προστασίας: Κράνος ηλεκτρολόγου, Μονωτικά γάντια ηλεκτρολόγων, Υποδήματα ασφαλείας κατάλληλα για ηλεκτρικές εργασίες, Arc-rated ενδυμασία, Προστασία προσώπου έναντι ηλεκτρικού τόξου. Η τελική επιλογή πρέπει να επιβεβαιώνεται από τον υπεύθυνο μηχανικό ή τον Τεχνικό Ασφαλείας, λαμβάνοντας υπόψη τις πραγματικές συνθήκες του έργου.

Περιορισμός Χρήσης

Η παρούσα αναφορά αποτελεί αποτέλεσμα πρωτότυπου συστήματος υποστήριξης απόφασης και δεν υποκαθιστά την τεχνική κρίση του αρμόδιου μηχανικού ή του Τεχνικού Ασφαλείας. Η τελική επιλογή ΜΑΠ πρέπει να επιβεβαιώνεται με βάση τις πραγματικές συνθήκες εργασίας.

Συντάκτης αξιολόγησης	Υπογραφή
Σαλβάρη Πωλίνα	

PPE Advisor MV | Prototype Version 1.0 | MSc Thesis

Εξαγωγή pdf

εφαρμογής. Στη συνέχεια εξάγεται το επίπεδο κινδύνου της εργασίας, το προτεινόμενο σύνολο Μέσων Ατομικής Προστασίας, η αιτιολόγηση επιλογής κάθε ΜΑΠ, καθώς και τα σχετικά πρότυπα που υποστηρίζουν την προτεινόμενη επιλογή.

Τέλος, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εξάγει αυτόματα αναφορά αξιολόγησης σε μορφή PDF. Αυτή η αναφορά περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία της αξιολόγησης, το επίπεδο κινδύνου, τα προτεινόμενα Μέσα Ατομικής Προστασίας, τα σχετικά πρότυπα και το τεχνικό συμπέρασμα, αποτελώντας έντυπο τεκμήριο της διαδικασίας επιλογής. Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει την εύκολη αρχειοθέτηση της αξιολόγησης, την εκτύπωσή της ή τη διαβίβασή της σε υπεύθυνους έργου και τεχνικούς ασφαλείας.

6.4.1. Δομή των δεδομένων εισόδου

Η λειτουργία του προτεινόμενου εργαλείου βασίζεται στην εισαγωγή ενός συνόλου παραμέτρων. Ουσιαστικά εισάγονται τα δεδομένα που περιγράφουν τα βασικά χαρακτηριστικά της εργασίας αλλά και τους σχετικούς κινδύνους. Οι παράμετροι αυτές χρησιμοποιούνται από τον μηχανισμό λήψης απόφασης ως δεδομένα στους αντίστοιχους κανόνες επιλογής ΜΑΠ.

Κατά τον σχεδιασμό του εργαλείου επιλέχθηκαν παράμετροι οι οποίες χρησιμοποιούνται συχνά κατά την εκτίμηση επαγγελματικού κινδύνου σε εργασίες Μέσης Τάσης και επηρεάζουν άμεσα την επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού προστασίας.

Οι κύριες κατηγορίες δεδομένων εισόδου περιλαμβάνουν:

- χαρακτηριστικά της εργασίας,
- ηλεκτρικούς κινδύνους,
- κινδύνους πτώσης,
- κινδύνους ατμόσφαιρας εργασίας,
- περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Για κάθε εργασία, ο χρήστης καλείται να εισαγάγει τις αντίστοιχες τιμές ή να επιλέξει τις κατάλληλες επιλογές μέσω της διεπαφής του εργαλείου. Οι πληροφορίες αυτές αποτελούν τα δεδομένα των κανόνων λήψης απόφασης που παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα.

Πίνακας 6.4.1

Κατηγορία εισόδου	Παράμετροι
Στοιχεία έργου	Έργο, θέση εργασίας, αξιολογητής, ημερομηνία
Χαρακτηριστικά εργασίας	Είδος εργασίας, ονομαστική τάση
Ηλεκτρικοί κίνδυνοι	Arc Flash, Incident Energy

Κίνδυνοι πτώσης	Εργασία σε ύψος, ύψος εργασίας
Ατμόσφαιρα εργασίας	Περιορισμένος χώρος, O ₂ , επικίνδυνα αέρια
Περιβαλλοντικοί παράγοντες	Θερμική καταπόνηση

Δεδομένα εισόδου

6.5.Υλοποίηση των κανόνων λήψης απόφασης

Η λειτουργία του εργαλείου βασίζεται στην εφαρμογή ενός συνόλου κανόνων λήψης απόφασης, οι οποίοι καθορίστηκαν με βάση τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, τα ισχύοντα πρότυπα και τις απαιτήσεις ασφάλειας που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

Οι κανόνες αυτοί συνδέουν αναγνωρισμένους κινδύνους και συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της κάθε εργασίας και με τις αντίστοιχες κατηγορίες Μέσων Ατομικής Προστασίας. Για κάθε εργασία, το εργαλείο αξιολογεί διαδοχικά τα δεδομένα που δέχεται ως εισόδους από τον χρήστη και βάση τους κατάλληλων κανόνων κάθε φορά εξάγεται η τελική πρόταση για την λίστα των κατάλληλων ΜΑΠ.

Η λογική που ακολουθείται, ουσιαστικά είναι βασισμένη στη θεώρηση ότι κάθε αναγνωρισμένος κίνδυνος είτε προσθέτει είτε τροποποιεί τις απαιτήσεις προστασίας. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η ταυτόχρονη αντιμετώπιση πολλαπλών κινδύνων κάθε φορά, όπως ο ηλεκτρικός κίνδυνος, το ηλεκτρικό τόξο, η εργασία σε ύψος ή οι δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες.

Για λόγους απλότητας και ευκολίας συντήρησης του εργαλείου, οι κανόνες οργανώθηκαν σε επιμέρους κατηγορίες. Οι κατηγορίες αυτές, χωρίζουν τους κανόνες ανάλογα με το είδος του κινδύνου που αξιολογείται κάθε φορά. Οι βασικές κατηγορίες περιλαμβάνουν: ηλεκτρικούς κανόνες, κανόνες προστασίας από πτώση, κανόνες ατμόσφαιρας εργασίας και τέλος περιβαλλοντικούς κανόνες.

Ορισμένοι κανόνες ενεργοποιούνται μόνο όταν ικανοποιούνται συγκεκριμένα αριθμητικά όρια. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εκτιμώμενη ενέργεια ηλεκτρικού τόξου (Incident

Energy), όπου για τιμές άνω των 25 cal/cm² απαιτείται πρόσθετη προστασία κεφαλής και προσώπου (Arc Hood), σύμφωνα με τα κριτήρια που έχουν ενσωματωθεί στη βάση γνώσης της εφαρμογής.

Οι κανόνες αυτοί δεν έχουν ενσωματωθεί απευθείας στον πηγαίο κώδικα της εφαρμογής. Αποθηκεύονται σε εξωτερικά αρχεία δεδομένων μορφής CSV, τα οποία αποτελούν τη βάση γνώσης του συστήματος. Η επιλογή αυτή πραγματοποιήθηκε ώστε να επιτευχθεί διαχωρισμός μεταξύ των δεδομένων και της λογικής λειτουργίας της εφαρμογής, διευκολύνοντας τη συντήρηση και την επέκταση του εργαλείου.

Ειδικότερα, το αρχείο rules.csv περιλαμβάνει τους κανόνες ενεργοποίησης κάθε Μέσου Ατομικής Προστασίας, το pre.csv περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά και την κατηγοριοποίηση των διαθέσιμων ΜΑΠ, ενώ το standards.csv περιλαμβάνει τα πρότυπα που σχετίζονται με κάθε κατηγορία εξοπλισμού. Κατά την εκτέλεση της αξιολόγησης, η εφαρμογή συνδυάζει τα δεδομένα των τριών αρχείων και δημιουργεί τη λίστα των προτεινόμενων Μέσων Ατομικής Προστασίας, την αντίστοιχη αιτιολόγηση επιλογής και τα σχετικά πρότυπα.

Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιείται από τη μονάδα αξιολόγησης (assessment.py), η οποία εφαρμόζει τους κανόνες της βάσης γνώσης στα δεδομένα που εισάγει ο χρήστης και επιστρέφει το τελικό αποτέλεσμα της αξιολόγησης.

Στους παρακάτω πίνακες, φαίνονται οι κατηγορίες και οι κανόνες που έχουν οργανωθεί σε κάθε μια:

Πίνακας 6.5.1

Συνθήκη	Προτεινόμενο ΜΑΠ
Ηλεκτρικός κίνδυνος	Κράνος ηλεκτρολόγου κατά EN 50365
Ηλεκτρικός κίνδυνος	Μονωτικά γάντια κατά IEC 60903
Κίνδυνος ηλεκτρικού τόξου (Arc Flash)	Arc-rated ενδυμασία

Incident Energy > 25 cal/cm ²	Arc hood υψηλής προστασίας
--	----------------------------

Ενδεικτικοί ηλεκτρικοί κανόνες επιλογής ΜΑΠ

Πίνακας 6.5.2

Συνθήκη	Προτεινόμενο ΜΑΠ
Εργασία σε ύψος	Ζώνη ασφαλείας πλήρους σώματος (EN 361)
Ύψος εργασίας > 2 m	Σύστημα ανακοπής πτώσης με απορροφητή ενέργειας (EN 355)
Εργασία σε ιστό εναέριας γραμμής ΜΤ	Ζώνη ασφαλείας πλήρους σώματος (EN 361) και σύστημα ανακοπής πτώσης με απορροφητή ενέργειας (EN 355)

Ενδεικτικοί κανόνες προστασίας από πτώση

Πίνακας 6.5.3

Συνθήκη	Προτεινόμενο ΜΑΠ
Συγκέντρωση O ₂ < 19,5%	Αναπνευστική προστασία κατάλληλη για εργασία σε περιβάλλον μειωμένου οξυγόνου
Κίνδυνος παρουσίας επικίνδυνων αερίων	Φορητός ανιχνευτής αερίων
Εργασία σε περιορισμένο χώρο	Συνεχής παρακολούθηση της ατμόσφαιρας εργασίας με κατάλληλο εξοπλισμό ανίχνευσης αερίων

Ενδεικτικοί κανόνες ατμόσφαιρας εργασίας

Πίνακας 6.5.4

Συνθήκη	Προτεινόμενο ΜΑΠ
Θόρυβος > 85 dB(A)	Προστασία ακοής
Αυξημένη θερμική καταπόνηση (π.χ. εργασία σε εξωτερικό χώρο ή περιβάλλον υψηλής θερμοκρασίας)	Ελαφρύτερη ενδυμασία εργασίας και χρήση σύγχρονων φορετών συστημάτων (cooling wearables), όπου απαιτείται

Ενδεικτικοί περιβαλλοντικοί κανόνες και πρόσθετα μέτρα προστασίας

6.6.Διεπαφή χρήστη

Η διεπαφή χρήστη σχεδιάστηκε με στόχο να είναι απλή, κατανοητή και εύκολη στη χρήση. Προορίζεται να χρησιμοποιείται από μηχανικούς, τεχνικούς ασφαλείας και άλλα στελέχη έργων ή τεχνικούς, ανεξάρτητα από το επίπεδο εξοικείωσής τους με εργαλεία προγραμματισμού. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στη δημιουργία ενός περιβάλλοντος εργασίας που επιτρέπει την ταχεία εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων, μειώνοντας παράλληλα την πιθανότητα λανθασμένων επιλογών.

Η εφαρμογή οργανώνει τη διαδικασία αξιολόγησης σε διακριτές ενότητες. Αρχικά ο χρήστης συμπληρώνει τα βασικά στοιχεία του έργου, όπως την εγκατάσταση, τη θέση εργασίας, τον αξιολογητή και την ημερομηνία πραγματοποίησης της αξιολόγησης. Στη συνέχεια επιλέγει το είδος της εργασίας και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης, ενώ δηλώνει τους σχετικούς παράγοντες κινδύνου που ενδέχεται να επηρεάσουν την επιλογή των Μέσων Ατομικής Προστασίας.

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά της διεπαφής είναι η δυναμική προσαρμογή των διαθέσιμων πεδίων εισαγωγής. Ανάλογα με το είδος της εργασίας και τις επιλογές του χρήστη, η εφαρμογή εμφανίζει μόνο τις παραμέτρους που σχετίζονται με το συγκεκριμένο σενάριο εργασίας. Για παράδειγμα, η εισαγωγή της εκτιμώμενης ενέργειας ηλεκτρικού τόξου (Incident Energy) εμφανίζεται μόνο όταν έχει δηλωθεί κίνδυνος ηλεκτρικού τόξου, ενώ οι παράμετροι συγκέντρωσης οξυγόνου και παρουσίας επικίνδυνων αερίων εμφανίζονται αποκλειστικά σε εργασίες περιορισμένου χώρου. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η πολυπλοκότητα της διεπαφής και περιορίζεται η πιθανότητα λανθασμένης εισαγωγής δεδομένων.

Εικόνα 6.6

Στοιχεία Έργου

Τύπος Έργου:

Συνθήκες Εργασίας:

Αξιολογμένα Εργασιακά Σενάρια

Σενάριο	Αξιολόγηση
Εργασία σε χώρο κλειστό	Μεσαία
Εργασία σε χώρο ανοικτό	Χαμηλή
Εργασία σε χώρο κλειστό με προστασία	Χαμηλή
Εργασία σε χώρο κλειστό με προστασία και εξοπλισμό	Χαμηλή
Εργασία σε χώρο κλειστό με προστασία και εξοπλισμό και εκπαίδευση	Χαμηλή

Συμπλήρωση στοιχείων έργου και επιλογή εργασίας.

Δυναμική εμφάνιση παραμέτρων ανάλογα με το σενάριο εργασίας.

Μετά την ολοκλήρωση της εισαγωγής των στοιχείων, το εργαλείο εφαρμόζει αυτόματα τους κανόνες λήψης απόφασης και παρουσιάζει τα αποτελέσματα της αξιολόγησης. Η εφαρμογή εμφανίζει το επίπεδο κινδύνου της εργασίας, τα προτεινόμενα Μέσα Ατομικής Προστασίας, την αιτιολόγηση επιλογής κάθε ΜΑΠ και τα σχετικά πρότυπα που τεκμηριώνουν την πρόταση. Παράλληλα, παρέχεται η δυνατότητα αυτόματης παραγωγής αναφοράς αξιολόγησης σε μορφή PDF, η οποία μπορεί να αποθηκευτεί, να εκτυπωθεί ή να χρησιμοποιηθεί ως τεκμηρίωση της διαδικασίας επιλογής.

Η χρήση γραφικού περιβάλλοντος μέσω της βιβλιοθήκης Streamlit επέτρεψε την ανάπτυξη μίας σύγχρονης και διαδραστικής εφαρμογής, ενώ η αρθρωτή δομή του λογισμικού διευκολύνει την προσθήκη νέων λειτουργιών, πρόσθετων κανόνων λήψης απόφασης και νέων κατηγοριών Μέσων Ατομικής Προστασίας χωρίς ουσιαστικές μεταβολές στον βασικό κώδικα της εφαρμογής.

6.7.Παραδείγματα λειτουργίας

Μετά την ολοκλήρωση της ανάπτυξης του εργαλείου πραγματοποιήθηκε μια σειρά δοκιμών με διαφορετικούς συνδυασμούς δεδομένων εισόδου, που αντιπροσωπεύουν χαρακτηριστικά σενάρια εργασιών σε εγκαταστάσεις Μέσης Τάσης.

Στόχος των δοκιμών ήταν η επιβεβαίωση της σωστής λειτουργίας του μηχανισμού λήψης απόφασης, της σωστής ενεργοποίησης των κανόνων αξιολόγησης και της παραγωγής κατάλληλων προτάσεων επιλογής Μέσων Ατομικής Προστασίας.

Τα σενάρια που επελέγησαν είναι:

- Χειρισμός κυψέλης Μέσης Τάσης.
- Συντήρηση μετασχηματιστή Μέσης Τάσης.
- Εργασία σε ιστό εναέριας γραμμής Μέσης Τάσης.
- Εργασία σε περιορισμένο χώρο ή φρεάτιο.

Για κάθε σενάριο παρουσιάζονται τα βασικά δεδομένα εισόδου, τα αποτελέσματα της αξιολόγησης και η αντίστοιχη πρόταση Μέσων Ατομικής Προστασίας που παράγεται από την εφαρμογή. Η παρουσίαση πραγματοποιείται μέσω στιγμιότυπων της εφαρμογής (screenshots), ώστε να αποτυπώνεται η πραγματική λειτουργία του συστήματος και η μορφή των αποτελεσμάτων που λαμβάνει ο χρήστης.

Παράδειγμα 1 – Χειρισμός κυψέλης Μέσης Τάσης

Στο συγκεκριμένο σενάριο δηλώθηκε εργασία χειρισμού κυψέλης Μέσης Τάσης με παρουσία ηλεκτρικού κινδύνου και κινδύνου ηλεκτρικού τόξου. Η εφαρμογή ενεργοποίησε τους αντίστοιχους κανόνες της βάσης γνώσης και πρότεινε τα κατάλληλα Μέσα Ατομικής Προστασίας, συνοδευόμενα από το επίπεδο κινδύνου, την αιτιολόγηση της επιλογής και τα σχετικά πρότυπα.

Εικόνα 6.7.1.1

Εκτιμώμενη ενέργεια συμβόλιος Arc Flash (cal/cm²)

6.00

☐ Εργασία σε ύψος
☐ Περιορισμένος χώρος
☐ Αυξημένη θερμική καταπόνηση (εργασία σε εξωτερικό χώρο ή παραβόλιν υψηλής θερμοκρασίας)
☐ Έκθεση σε όρυξη > 85 dB(A)
☒ Μοναχική εργασία

Στοιχεία Αξιολόγησης

Παράμετρος	Τιμή
Έργο / Εγκατάσταση	Εκτέλεση διακοπής στο Ξενοδοχείο *****
Συντάκτης αξιολόγησης	Σαββήρη Πωλίνα
Ημερομηνία αξιολόγησης	2026-09-14
Θέση εργασίας	Υποσταθμός Μέσης Τάσης
Είδος εργασίας	Χειρισμός κυκλώτη MT
Ονομαστική τάση	20 kV
Ηλεκτρικός κίνδυνος	Ναι
Κίνδυνος ηλεκτρικού τόξου	Ναι
Incident Energy	8.0 cal/cm ²
Εργασία σε ύψος	Όχι
Ύψος εργασίας	0.0 m
Περιορισμένος χώρος	Όχι
O ₂	20.9 %
Κίνδυνος αερίων	Όχι
Θερμική καταπόνηση/Μοναχική εργασία	Όχι/Ναι

Εκτέλεση αξιολόγησης MAP

Δεδομένα εισόδου παραδείγματος 1

Εικόνα 6.7.1.2

Αποτελέσματα Αξιολόγησης

Εκτελεστικό Όνομα: ΜΑΠ

Προτεινόμενα ΜΑΠ ανά Κατηγορία

Προστασία κεφαλής

✓ Κρίσιμη κατάσταση

Προστατευτεί

Ενεργειακή κίνηση: Κίνηση φασματικής κίνησης.

Προστασία χεριών

✓ Μικροκίνηση/Χειροκίνητη

Προστατευτεί

Ενεργειακή κίνηση: Κίνηση φασματικής κίνησης.

Προστασία ποδιών

✓ Υψηλή επικινδυνότητα: Κίνηση φασματικής κίνησης.

Προστατευτεί

Ενεργειακή κίνηση: Κίνηση φασματικής κίνησης.

Προστασία σώματος

✓ Ανεπίδηση

Προστατευτεί

Ενεργειακή κίνηση: Κίνηση φασματικής κίνησης.

Προστασία προσώπου

✓ Υψηλή επικινδυνότητα: Κίνηση φασματικής κίνησης.

Προστατευτεί

Ενεργειακή κίνηση: Κίνηση φασματικής κίνησης.

Συστήματα επικοινωνίας

✓ Συστήματα επικοινωνίας: Κίνηση φασματικής κίνησης.

Προστατευτεί

Ενεργειακή κίνηση: Κίνηση φασματικής κίνησης.

Εφαρμοζόμενα Πρότυπα

Πρότυπο	Εφαρμογή	Εφαρμογή
EN 50303	Εφαρμογή για χρήση σε εγκαταστάσεις	Κίνηση φασματικής κίνησης
EN 50303	Εφαρμογή για χρήση σε εγκαταστάσεις	Μικροκίνηση/Χειροκίνητη
EN 50303	Εφαρμογή για χρήση σε εγκαταστάσεις	Υψηλή επικινδυνότητα: Κίνηση φασματικής κίνησης
EN 50303	Εφαρμογή για χρήση σε εγκαταστάσεις	Ανεπίδηση
EN 50303	Εφαρμογή για χρήση σε εγκαταστάσεις	Υψηλή επικινδυνότητα: Κίνηση φασματικής κίνησης
EN 50303	Εφαρμογή για χρήση σε εγκαταστάσεις	Κίνηση φασματικής κίνησης

Αποτελέσματα παραδείγματος 1

Παράδειγμα 2 – Συντήρηση μετασχηματιστή Μέσης Τάσης

Η εφαρμογή αξιολόγησε τα δεδομένα που εισήχθησαν για τη συντήρηση μετασχηματιστή και προσδιόρισε το απαιτούμενο σύνολο Μέσων Ατομικής Προστασίας σύμφωνα με τους ενεργούς κανόνες λήψης απόφασης, παρουσιάζοντας παράλληλα το επίπεδο κινδύνου και τα σχετικά πρότυπα.

Εικόνα 6.7.2.1

The screenshot shows a web application interface for transformer maintenance assessment. The interface is in Greek and displays the following sections:

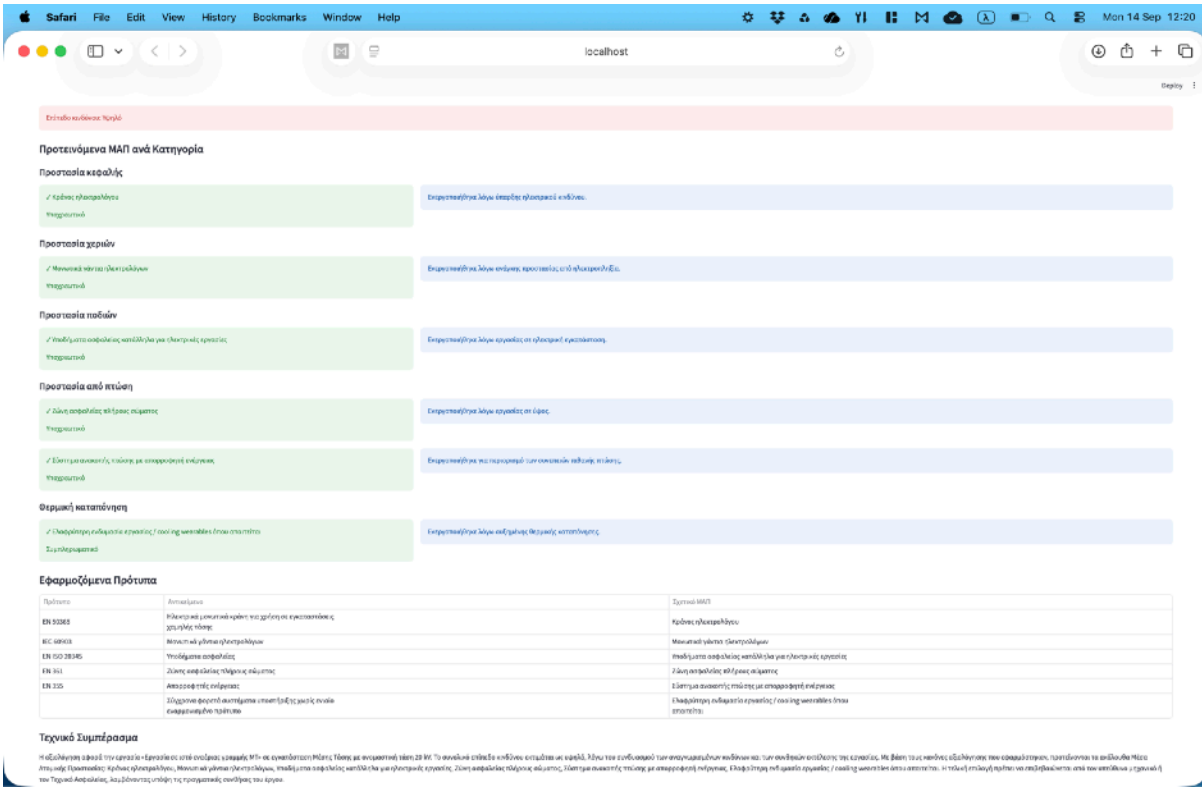
- Επίπεδο κινδύνου: Χαμηλό** (Risk Level: Low)
- Αποτελέσματα Αξιολόγησης** (Assessment Results)
- Προτεινόμενα ΜΑΠ ανά Κατηγορία** (Recommended PPE by Category)
- Προστασία κεφαλής** (Head Protection): ☒ Κράνος ηλεκτρολόγου (Electrician's helmet) - **Υποχρεωτικό** (Mandatory). Ενεργοποιήθηκε λόγω ύψους εργασίας (Activated due to height of work).
- Προστασία χεριών** (Hand Protection): ☒ Μονωτικά γάντια ηλεκτρολόγων (Electrician's insulating gloves) - **Υποχρεωτικό** (Mandatory). Ενεργοποιήθηκε λόγω ανάγκης προστασίας από ηλεκτροπληξία (Activated due to need for protection from electrocution).
- Προστασία ποδιών** (Foot Protection): ☒ Υπερδύναμη ασφαλείας κατάλληλα για ηλεκτρικές εργασίες (Extra-duty safety shoes suitable for electrical work) - **Υποχρεωτικό** (Mandatory). Ενεργοποιήθηκε λόγω εργασίας σε ηλεκτρική εγκατάσταση (Activated due to work on electrical installation).
- Εφαρμοζόμενα Πρότυπα** (Applicable Standards):

Πρότυπο	Περιγραφή	Σημειώ. ΜΑΠ
EN 30365	Εξοπλισμός μονωτικό κράνος για χρήση σε εγκαταστάσεις υψηλής τάσης	Κράνος ηλεκτρολόγου
IEC 62053	Μονωτικά γάντια ηλεκτρολόγων	Μονωτικά γάντια ηλεκτρολόγων
EN ISO 20345	Υπερδύναμη ασφαλείας	Υπερδύναμη ασφαλείας κατάλληλα για ηλεκτρικές εργασίες
- Τεχνικό Συμπέρασμα** (Technical Conclusion):

Η αξιολόγηση αφορά την εργασία «Συντήρηση μετασχηματιστή ΜΤ» σε εγκατάσταση Μέσης Τάσης με αναμενόμενη τάση 20 kV. Το συνολικό επίπεδο κινδύνου εκτιμάται ως χαμηλό, με βάση τα δεδομένα που εισήχθησαν στο εργαλείο. Με βάση τους κανόνες αξιολόγησης που εφαρμόστηκαν, προτείνονται τα ακόλουθα Μέσα Ατομικής Προστασίας: Κράνος ηλεκτρολόγου, Μονωτικά γάντια ηλεκτρολόγων, Υπερδύναμη ασφαλείας κατάλληλα για ηλεκτρικές εργασίες. Η τελική επιλογή πρέπει να επιβεβαιώνεται από τον υπεύθυνο μηχανισμό ή τον Τεχνικό Ασφαλείας, λαμβάνοντας υπόψη τις πραγματικές συνθήκες του έργου.
- Αξιόχ. Αναφορές PDF**

Αποτελέσματα παραδείγματος 2

Εικόνα 6.7.3.2



Αποτελέσματα

Παράδειγμα 4 – Εργασία σε περιορισμένο χώρο

Η εφαρμογή ενεργοποίησε τους κανόνες που σχετίζονται με την εργασία σε περιορισμένο χώρο, αξιολογώντας τη συγκέντρωση οξυγόνου και την πιθανή παρουσία επικίνδυνων αερίων. Με βάση τα δεδομένα εισόδου προτάθηκαν τα αντίστοιχα Μέσα Ατομικής Προστασίας και τα απαιτούμενα μέσα παρακολούθησης της ατμόσφαιρας.

Εικόνα 6.7.4.1



ΕΛΛΗΝΙΚΟ
ΑΝΟΙΚΤΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

PPE Advisor MV

Decision Support Report for Personal Protective Equipment Selection in Medium Voltage Works

Version 1.0

Έργο / Εγκατάσταση	Εγκατάσταση ευθείας σύνδεσης σε καλώδιο MT
Θέση εργασίας	Υποσταθμός Μέσης Τάσης
Συντάκτης αξιολόγησης	Σαβάρη Πωλίνα
Ημερομηνία αξιολόγησης	2026-09-14

Στοιχεία Εργασίας

Είδος εργασίας	Εργασία σε περιορισμένο χώρο / φρεάτιο
Ονομαστική τάση	20 kV
Επίπεδο κινδύνου	Μεσαίο

Προτεινόμενα Μέσα Ατομικής Προστασίας

Κατηγορία	ΜΑΠ	Πρότυπο	Χαρακτηρισμός
Προστασία κεφαλής	Κράνος ηλεκτρολόγου	EN 50365	Υποχρεωτικό
Προστασία χεριών	Μονωτικά γάντια ηλεκτρολόγων	IEC 60903	Υποχρεωτικό
Προστασία ποδιών	Υποδήματα ασφαλείας κατάλληλα για ηλεκτρικές εργασίες	EN ISO 20345	Υποχρεωτικό
Ανίχνευση ατμόσφαιρας	Φορητός ανιχνευτής αερίων	EN 60079	Υποχρεωτικό
Ανίχνευση ατμόσφαιρας	Συνεχής παρακολούθηση ατμόσφαιρας με φορητό ανιχνευτή αερίων	EN 60079	Υποχρεωτικό
Θερμική καταπόνηση	Ελαφρύτερη ενδυμασία εργασίας / cooling wearables όπου απαιτείται	-	Συμπληρωματικό

PPE Advisor MV | Version 1.0 | Σελίδα 1

PDF αποτελεσμάτων

6.8.Επαλήθευση της λειτουργίας του εργαλείου

Μετά την ολοκλήρωση του εργαλείου πραγματοποιήθηκε έλεγχος της λειτουργίας του, με στόχο την επιβεβαίωση της ορθής εφαρμογής των κανόνων λήψης απόφασης και της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων που παράγει η εφαρμογή.

Η διαδικασία επαλήθευσης βασίστηκε στην εκτέλεση αντιπροσωπευτικών σεναρίων εργασιών Μέσης Τάσης, τα οποία κάλυπταν διαφορετικούς συνδυασμούς εργασιών και παραγόντων κινδύνου. Για κάθε σενάριο εξετάστηκε η ορθή ενεργοποίηση των κανόνων της βάσης γνώσης, η παραγωγή του κατάλληλου συνόλου Μέσων Ατομικής Προστασίας, η αντιστοίχισή τους με τα σχετικά πρότυπα.

Τα αποτελέσματα της διαδικασίας επαλήθευσης έδειξαν ότι η εφαρμογή ανταποκρίνεται με συνέπεια στους κανόνες που έχουν ενσωματωθεί στη βάση γνώσης και παράγει προτάσεις επιλογής Μέσων Ατομικής Προστασίας συμβατές με τα κριτήρια που αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια της εργασίας. Επιπλέον, η αρθρωτή δομή της εφαρμογής επιτρέπει την εύκολη προσθήκη νέων κανόνων, κατηγοριών ΜΑΠ και λειτουργιών χωρίς να απαιτούνται ουσιαστικές τροποποιήσεις στη βασική λογική του συστήματος.

7.Κεφάλαιο 7 – Εφαρμογή και αξιολόγηση του εργαλείου

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η πιλοτική εφαρμογή του προτεινόμενου εργαλείου υποστήριξης απόφασης σε ενδεικτικά σενάρια εργασιών Μέσης Τάσης. Στόχος είναι η αξιολόγηση της λειτουργικότητας του πλαισίου και η διερεύνηση της δυνατότητάς του να προσαρμόζει την επιλογή ΜΑΠ ανάλογα με τους κινδύνους και τις συνθήκες εργασίας.

7.1.Χειρισμός κυψέλης ΜΤ

Περιγραφή εργασίας

Ο χειρισμός κυψέλης Μέσης Τάσης αποτελεί μία από τις συνηθέστερες εργασίες σε εγκαταστάσεις διανομής και βιομηχανικούς υποσταθμούς. Η εργασία μπορεί να περιλαμβάνει χειρισμούς αποζευκτών ή διακοπών ισχύος, εφαρμογή διαδικασιών απομόνωσης και γείωσης (ΛΟΤΟ), καθώς και επιβεβαίωση απουσίας τάσης πριν από την έναρξη εργασιών συντήρησης.

Παρότι οι εργασίες αυτές πραγματοποιούνται σύμφωνα με συγκεκριμένες διαδικασίες ασφαλείας, εξακολουθούν να συνδέονται με σοβαρούς κινδύνους, κυρίως λόγω της πιθανότητας ηλεκτροπληξίας ή εμφάνισης ηλεκτρικού τόξου (arc flash), ειδικά σε συνθήκες όπου ο εξοπλισμός δεν είναι σε καλή κατάσταση ή λόγω προβλημάτων που μπορούν να παρουσιάσουν εξαιτίας προβλημάτων στις προστασίες του Υποσταθμού.

Αναγνώριση κινδύνων

Για το συγκεκριμένο σενάριο αναγνωρίζονται οι ακόλουθοι βασικοί κίνδυνοι:

- Ηλεκτροπληξία λόγω επαφής με υπό τάση μέρη.
- Θερμικές επιδράσεις ηλεκτρικού τόξου.

- Εκτόξευση μεταλλικών σωματιδίων σε περίπτωση σφάλματος.
- Μηχανικοί τραυματισμοί κατά τη λειτουργία του εξοπλισμού.
- Πιθανή έκθεση σε υψηλά επίπεδα θορύβου κατά τη εσφαλμένη γείωση ενεργών μερών.

Δεδομένα εισόδου στο εργαλείο

Παράμετρος	Τιμή
Είδος εργασίας	Χειρισμός κυψέλης MT
Ονομαστική τάση	20 kV
Ηλεκτρικός κίνδυνος	Ναι
Κίνδυνος Arc Flash	Ναι
Incident Energy	8 cal/cm ²
Εργασία σε ύψος	Όχι
Περιορισμένος χώρος	Όχι
Μοναχική εργασία	Όχι

Αποτέλεσμα του εργαλείου

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, το προτεινόμενο εργαλείο ενεργοποιεί τους κανόνες που σχετίζονται με τον ηλεκτρικό κίνδυνο και το ηλεκτρικό τόξο και προτείνει τον ακόλουθο εξοπλισμό προστασίας:

- Κράνος ηλεκτρολόγου σύμφωνα με EN 50365.
- Μονωτικά γάντια σύμφωνα με IEC 60903.
- Προστασία οφθαλμών και προσώπου έναντι ηλεκτρικού τόξου.
- Arc-rated ενδυμασία κατάλληλης κατηγορίας προστασίας.
- Υποδήματα ασφαλείας κατάλληλα για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις.

7.2. Συντήρηση μετασχηματιστή Μέσης Τάσης

Η συντήρηση μετασχηματιστών Μέσης Τάσης αποτελεί βασική δραστηριότητα για τη διασφάλιση της ασφαλούς και αξιόπιστης λειτουργίας των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Οι

εργασίες μπορεί να περιλαμβάνουν οπτικούς ελέγχους, θερμογραφικές επιθεωρήσεις, δειγματοληψία και ανάλυση ελαίου, έλεγχο συνδέσεων, καθαρισμό μονωτήρων και γενικές εργασίες προληπτικής συντήρησης.

Οι συγκεκριμένες εργασίες πραγματοποιούνται συνήθως εντός υποσταθμών ή ηλεκτρολογικών χώρων και συνοδεύονται από συνδυασμό ηλεκτρικών, μηχανικών και περιβαλλοντικών κινδύνων.

Αναγνώριση κινδύνων

Για το συγκεκριμένο σενάριο αναγνωρίζονται οι ακόλουθοι βασικοί κίνδυνοι:

- Ηλεκτροπληξία λόγω παρουσίας ηλεκτρικού εξοπλισμού.
- Τυχαία προσέγγιση σε υπό τάση μέρη.
- Μηχανικοί τραυματισμοί κατά τη χρήση εργαλείων.
- Ολισθήσεις και πτώσεις στο επίπεδο εργασίας.
- Θόρυβος από γειτονικό εξοπλισμό.
- Θερμική καταπόνηση σε εξωτερικούς υποσταθμούς κατά τους θερινούς μήνες.

Δεδομένα εισόδου στο εργαλείο

Παράμετρος	Τιμή
Είδος εργασίας	Συντήρηση μετασχηματιστή MT
Ονομαστική τάση	20 kV
Ηλεκτρικός κίνδυνος	Ναι
Κίνδυνος Arc Flash	Όχι
Incident Energy	-
Εργασία σε ύψος	Όχι
Περιορισμένος χώρος	Όχι
Θόρυβος	88 dB(A)
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	35°C

Αποτέλεσμα του εργαλείου

Με βάση τους κανόνες λήψης απόφασης που αναπτύχθηκαν στο Κεφάλαιο 5, προκύπτει η ακόλουθη πρόταση ΜΑΠ:

- Κράνος ασφαλείας.
- Υποδήματα ασφαλείας.
- Γάντια μηχανικής προστασίας.
- Προστασία οφθαλμών.
- Προστασία ακοής λόγω επιπέδων θορύβου άνω των 85 dB(A).
- Ελαφριά ενδυμασία εργασίας κατάλληλη για συνθήκες αυξημένης θερμικής καταπόνησης.

Σε αντίθεση με το προηγούμενο σενάριο, όπου κυριαρχεί ο κίνδυνος ηλεκτρικού τόξου, στην περίπτωση της συντήρησης μετασχηματιστή η επιλογή ΜΑΠ επηρεάζεται κυρίως από τους μηχανικούς και περιβαλλοντικούς κινδύνους, αφού ο εξοπλισμός δεν βρίσκεται υπό τάση. Το εργαλείο δεν ενεργοποιεί κανόνες προστασίας από ηλεκτρικό τόξο, καθώς δεν υφίσταται αντίστοιχη απαίτηση στα δεδομένα εισόδου, ενώ παράλληλα προτείνει προστασία ακοής λόγω των αυξημένων επιπέδων θορύβου που συναντώνται λόγω της λειτουργίας εφεδρικών

γεννητριών. Το αποτέλεσμα δείχνει ότι η διαδικασία λήψης απόφασης προσαρμόζεται στα πραγματικά χαρακτηριστικά της εργασίας και δεν οδηγεί σε υπερβολική ή αδικαιολόγητη χρήση ΜΑΠ.

7.3.Εργασία σε ιστό εναέριας γραμμής Μέσης Τάσης

Περιγραφή εργασίας

Οι εργασίες σε ιστούς εναέριων γραμμών Μέσης Τάσης αποτελούν συνήθη δραστηριότητα για τα συνεργεία κατασκευής, συντήρησης και αποκατάστασης βλαβών ηλεκτρικών δικτύων. Οι εργασίες αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν αντικατάσταση μονωτήρων, τοποθέτηση ή αντικατάσταση ακροκιβωτίων, αντικατάσταση γεφυρών, συντήρηση αγωγών και γενικότερα επεμβάσεις σε εγκαταστάσεις που βρίσκονται σε ύψος.

Οι συγκεκριμένες εργασίες χαρακτηρίζονται από την ταυτόχρονη παρουσία ηλεκτρικών και μηχανικών κινδύνων, ενώ η εργασία σε ύψος αυξάνει σημαντικά τη σοβαρότητα ενός πιθανού ατυχήματος.

Αναγνώριση κινδύνων

Για το συγκεκριμένο σενάριο αναγνωρίζονται οι ακόλουθοι βασικοί κίνδυνοι:

- Ηλεκτροπληξία λόγω προσέγγισης ή επαφής με ηλεκτροφόρα μέρη.
- Θερμικές επιδράσεις ηλεκτρικού τόξου.
- Πτώση εργαζομένου από ύψος.
- Πτώση εργαλείων ή υλικών.
- Μυοσκελετική καταπόνηση κατά την ανάβαση και την εργασία στον ιστό.
- Έκθεση σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες.

Δεδομένα εισόδου στο εργαλείο

Παράμετρος

Τιμή

Είδος εργασίας	Εργασία σε ιστό εναέριας γραμμής MT
Ονομαστική τάση	20 kV
Ηλεκτρικός κίνδυνος	Ναι
Κίνδυνος Arc Flash	Ναι
Incident Energy	8 cal/cm ²
Εργασία σε ύψος	Ναι
Ύψος εργασίας	10 m
Περιορισμένος χώρος	Όχι
Μοναχική εργασία	Όχι

Αποτέλεσμα του εργαλείου

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, το εργαλείο ενεργοποιεί τόσο τους κανόνες προστασίας έναντι ηλεκτρικών κινδύνων όσο και τους κανόνες προστασίας από πτώση και προτείνει τον ακόλουθο εξοπλισμό:

- Κράνος ηλεκτρολόγου σύμφωνα με EN 50365.
- Μονωτικά γάντια σύμφωνα με IEC 60903.
- Arc-rated ενδυμασία κατάλληλης κατηγορίας προστασίας.
- Προστασία οφθαλμών και προσώπου έναντι ηλεκτρικού τόξου.
- Υποδήματα ασφαλείας κατάλληλα για ηλεκτρικές εργασίες.
- Ζώνη ασφαλείας πλήρους σώματος σύμφωνα με EN 361.
- Σύστημα ανακοπής πτώσης με απορροφητή ενέργειας σύμφωνα με EN 355.

7.4.Συγκριτική αξιολόγηση των σεναρίων εφαρμογής

Για την αξιολόγηση σε πραγματικές συνθήκες, εφαρμόστηκε η διαδικασία λήψης απόφασης σε τρία διαφορετικά σενάρια εργασιών Μέσης Τάσης, σε εργασίες που εκτελέστηκαν από συνεργείο στο νησί της Ρόδου σε Υποσταθμούς Μέσης Τάσης Πελατών. Τα σενάρια επιλέχθηκαν ώστε να καλύπτουν διαφορετικούς συνδυασμούς κινδύνων και απαιτήσεων προστασίας.

Ο χειρισμός κυψέλης Μέσης Τάσης χαρακτηρίζεται κυρίως από ηλεκτρικούς κινδύνους και κίνδυνο ηλεκτρικού τόξου. Οι κίνδυνοι αυτοί οδηγούν στην επιλογή εξειδικευμένων ΜΑΠ, όπως μονωτικά γάντια και arc-rated ενδυμασία. Αντίθετα, στη συντήρηση μετασχηματιστή κυριαρχούν οι μηχανικοί και περιβαλλοντικοί κίνδυνοι, με αποτέλεσμα η προτεινόμενη σύνθεση ΜΑΠ να περιλαμβάνουν κυρίως βασικό εξοπλισμό προστασίας, προστασία ακοής και προστασία οφθαλμών. Τέλος, η εργασία σε ιστό εναέριας γραμμής Μέσης Τάσης συνδυάζει ηλεκτρικούς κινδύνους και εργασία σε ύψος, οδηγώντας στην ανάγκη χρήσης τόσο εξοπλισμού ηλεκτρικής προστασίας όσο και συστημάτων ανακοπής πτώσης.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το εργαλείο προσαρμόζει την πρόταση ΜΑΠ ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της εργασίας και τους αναγνωρισμένους κινδύνους, χωρίς να οδηγεί σε ενιαίες ή υπερβολικές απαιτήσεις προστασίας για όλες τις περιπτώσεις. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μια πιο συστηματική και τεκμηριωμένη διαδικασία επιλογής ΜΑΠ σε σχέση με την αποκλειστική χρήση εμπειρικών πρακτικών.

Ο Πίνακας 7.4 παρουσιάζει συνοπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά των τριών σεναρίων και τα κυριότερα προτεινόμενα Μέσα Ατομικής Προστασίας.

Πίνακας 7.4

Σενάριο	Κύριοι κίνδυνοι	Βασικά προτεινόμενα ΜΑΠ
Χειρισμός κυψέλης MT	Ηλεκτροπληξία, Arc Flash	Κράνος EN 50365, γάντια IEC 60903, arc-rated ενδυμασία, προστασία προσώπου
Συντήρηση μετασχηματιστή MT	Μηχανικοί κίνδυνοι, θόρυβος, θερμική καταπόνηση	Κράνος, υποδήματα ασφαλείας, γάντια μηχανικής προστασίας, προστασία ακοής
Εργασία σε ιστό εναέριας γραμμής MT	Ηλεκτροπληξία, Arc Flash, πτώση από ύψος	Arc-rated ΜΑΠ, γάντια IEC 60903, ζώνη ασφαλείας EN 361, απορροφητής ενέργειας

Συγκριτική παρουσίαση των σεναρίων εφαρμογής και των προτεινόμενων Μέσων Ατομικής Προστασίας

8.Κεφάλαιο 8 – Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική ανάπτυξη

8.1.Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως αντικείμενο την ανάπτυξη ενός εργαλείου υποστήριξης για την επιλογή Μέσων Ατομικής Προστασίας (ΜΑΠ) σε εργασίες Μέσης Τάσης. Σκοπός ήταν να κάνει εύκολα εφαρμόσιμη τη συστηματική και τεκμηριωμένη υποστήριξη των μηχανικών και των τεχνικών ασφαλείας κατά τη διαδικασία επιλογής των απαιτούμενων μέτρων προστασίας. Η ανάπτυξη του εργαλείου βασίστηκε στον συνδιασμό της ισχύουσας νομοθεσίας, των ευρωπαϊκών οδηγιών, των διεθνών προτύπων, της σχετικής βιβλιογραφίας και της πρακτικής εμπειρίας από εργασίες σε ηλεκτρικές εργασίες Μέσης Τάσης.

Στο πρώτο και θεωρητικό μέρος της εργασίας, παρουσιάστηκαν οι κίνδυνοι που εμφανίζονται σε εργασίες Μέσης Τάσης, οι βασικές κατηγορίες Μέσων Ατομικής Προστασίας, καθώς και οι σύγχρονες τεχνολογίες προστασίας που ενσωματώνουν έξυπνους αισθητήρες, δυνατότητες επικοινωνίας και λειτουργίες παρακολούθησης. Παράλληλα, αναπτύχθηκαν τα βασικά κριτήρια επιλογής των κατάλληλων ΜΑΠ και καθορίστηκε ένα οργανωμένο πλαίσιο λήψης απόφασης, το οποίο αποτέλεσε τη βάση για την ανάπτυξη του ψηφιακού εργαλείου.

Η υλοποίηση του λογισμικού, πραγματοποιήθηκε με τη γλώσσα προγραμματισμού Python και τη βιβλιοθήκη Streamlit. Η εφαρμογή επιτρέπει την εισαγωγή των χαρακτηριστικών της εργασίας και στη συνέχεια αξιολογεί αυτόματα τους επιλεγμένους παράγοντες κινδύνου μέσω ενός συνόλου κανόνων που έχουν οργανωθεί σε μια εξωτερική βάση γνώσης. Με αυτό τον τρόπο εξάγεται η πρόταση των κατάλληλων Μέσων Ατομικής Προστασίας. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα να παραχθεί μια αναφορά σε μορφή PDF, η οποία μπορεί να κάνει ακόμα ευκολότερη την εφαρμογή του εργαλείου.

Η αξιολόγηση του λογισμικού σε ένα σύνολο αντιπροσωπευτικών σεναρίων εργασιών Μέσης Τάσης έδειξε πως οι κατάλληλοι κανόνες λήψης απόφασης ενεργοποιούνται με συνέπεια και ότι οι προτάσεις ΜΑΠ που παράγονται είναι κατάλληλες σύμφωνα με τις απαιτήσεις των εξεταζόμενων σεναρίων.

Συνολικά, η εργασία καταδεικνύει ότι η αξιοποίηση ενός εργαλείου που υποστηρίζει την απόφαση μπορεί να συμβάλει στην τυποποίηση της διαδικασίας επιλογής Μέσων Ατομικής Προστασίας, στη μείωση της πιθανότητας παράλειψης κρίσιμων απαιτήσεων προστασίας αλλά και στη βελτίωση της τεκμηρίωσης της διαδικασίας εκτίμησης του κινδύνου.

8.2.Περιορισμοί της εργασίας

Η ανάπτυξη του προτεινόμενου εργαλείου υποστήριξης απόφασης πραγματοποιήθηκε με στόχο ένα λειτουργικό πρωτότυπο (prototype). Μια εφαρμογή που να μπορεί να υποστηρίξει τη διαδικασία επιλογής Μέσων Ατομικής Προστασίας σε αντιπροσωπευτικές εργασίες Μέσης Τάσης. Βέβαια, όπως κάθε ερευνητική εργασία, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί, οι οποίοι θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την αξιολόγηση και την ενδεχόμενη εφαρμογή του.

Η βάση γνώσης του εργαλείου αναπτύχθηκε με βάση τη βιβλιογραφία, την ισχύουσα νομοθεσία, τα σχετικά πρότυπα και την εμπειρία από εργασίες Μέσης Τάσης. Παρότι περιλαμβάνει τους βασικούς κανόνες που απαιτούνται για την υποστήριξη της επιλογής των κατάλληλων Μέσων Ατομικής Προστασίας, δεν είναι δυνατόν να καλύπτει κάθε πιθανό σενάριο ή όλες τις ιδιαίτερες συνθήκες που ενδέχεται να εμφανιστούν στην πράξη.

Ο έλεγχος του εργαλείου βασίστηκε σε αντιπροσωπευτικά σενάρια εργασιών Μέσης Τάσης, τα οποία επέτρεψαν την επαλήθευση της σωστής λειτουργίας του και της εφαρμογής των κανόνων που έχουν ενσωματωθεί. Ωστόσο, δεν έχει προηγηθεί πιλοτική εφαρμογή του σε μεγάλο αριθμό πραγματικών έργων ούτε αξιολόγησή του από διαφορετικούς χρήστες.

Επομένως, η περαιτέρω διερεύνηση της αποτελεσματικότητας και της χρηστικότητάς του σε πραγματικές συνθήκες εργασίας, αποτελεί ένα επόμενο βήμα.

Το εργαλείο αναπτύχθηκε με στόχο να υποστηρίξει τη διαδικασία επιλογής των κατάλληλων Μέσων Ατομικής Προστασίας και να διευκολύνει τον χρήστη κατά τη λήψη της απόφασης. Σε καμία περίπτωση δεν αντικαθιστά την κρίση του μηχανικού ή του τεχνικού ασφαλείας, οι οποίοι εξακολουθούν να έχουν την ευθύνη της τελικής επιλογής. Η απόφαση αυτή θα πρέπει πάντα να βασίζεται στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εγκατάστασης, στα αποτελέσματα της εκτίμησης επαγγελματικού κινδύνου, στις οδηγίες του κατασκευαστή του εξοπλισμού και στις απαιτήσεις της ισχύουσας νομοθεσίας και των εφαρμοζόμενων προτύπων.

8.3.Προτάσεις για μελλοντική ανάπτυξη

Παρότι το εργαλείο που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας αποτελεί ένα βοήθημα υποστήριξης της επιλογής Μέσων Ατομικής Προστασίας για εργασίες Μέσης Τάσης, υπάρχουν σημαντικές δυνατότητες περαιτέρω εξέλιξης και εμπλουτισμού του.

Αρχικά, η βάση δεδομένων του συστήματος μπορεί να επεκταθεί με την προσθήκη νέων κανόνων λήψης απόφασης, ώστε να καλύπτει μεγαλύτερο εύρος εργασιών, πρόσθετους παράγοντες κινδύνου και ειδικές περιπτώσεις που ενδέχεται να συναντώνται σε διαφορετικούς τύπους ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Η διαδικασία αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς σημαντικές αλλαγές στη δομή της εφαρμογής, αφού η αρχιτεκτονική της σχεδιάστηκε με βάση την εύκολη συντήρηση και επέκταση.

Επιπλέον, το εργαλείο θα μπορούσε να εμπλουτιστεί με δυνατότητες αποθήκευσης των αξιολογήσεων, δημιουργίας ιστορικού επιθεωρήσεων και παρακολούθησης των αποτελεσμάτων ανά εγκατάσταση ή έργο. Με τον τρόπο αυτό θα μπορούσε να αποτελέσει μέρος ενός ευρύτερου συστήματος διαχείρισης της ασφάλειας και φυσικά της συντήρησης ηλεκτρικών εγκαταστάσεων.

Μία ακόμη σημαντική προοπτική αποτελεί η αξιοποίηση σύγχρονων τεχνολογιών, όπως έξυπνα Μέσα Ατομικής Προστασίας (smart PPE), φορητοί αισθητήρες (wearables) και συστήματα παρακολούθησης της κατάστασης του εργαζομένου σε πραγματικό χρόνο. Η ενσωμάτωση δεδομένων από τέτοιες συσκευές θα επέτρεπε στο εργαλείο να μην βασίζεται μόνο στις πληροφορίες που εισάγει ο χρήστης, αλλά και σε πραγματικές μετρήσεις του περιβάλλοντος εργασίας και της κατάστασης του εργαζομένου.

Τέλος, ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η ανάπτυξη έκδοσης της εφαρμογής για φορητές συσκευές (κινητά τηλέφωνα και tablets). Αυτό θα έδινε τη δυνατότητα να μπορεί να χρησιμοποιείται απευθείας στο πεδίο πριν από την έναρξη των εργασιών.

Η περαιτέρω ανάπτυξη των παραπάνω λειτουργιών θα μπορούσε να μετατρέψει το εργαλείο από ένα σύστημα υποστήριξης της επιλογής Μέσων Ατομικής Προστασίας σε μια ολοκληρωμένη ψηφιακή πλατφόρμα διαχείρισης ασφάλειας σε εργασίες ηλεκτρικών εγκαταστάσεων Μέσης Τάσης.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Ελληνική Δημοκρατία. (2010). Ν. 3850/2010: Κύρωση του Κώδικα νόμων για την υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων (ΦΕΚ Α' 84/02.06.2010).

Adebowale, O. J., & Agumba, J. N. (2026). Smart PPE and wearable technology for construction safety management: A scientometric analysis and state-of-the-art review. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 81(5–6), 127–138. <https://doi.org/10.1080/19338244.2026.2655851>

Aksüt, G., & Eren, T. (2024). Evaluation of personal protective equipment to protect health and safety in pesticide use. *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*, 9, 1305367. <https://doi.org/10.3389/fams.2023.1305367>

Al-Fazari, A., Al-Zarei, R., Al-Harooni, A., & Al-Qurashi, Z. (2026). Smart PPE vest: IoT-enabled system with LoRa for real-time hazard detection in worksites. *Journal of Physics: Conference Series*, 3191(1), 012014. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/3191/1/012014>

Council of the European Communities. (1989). Council Directive 89/391/EEC of 12 June 1989 on the introduction of measures to encourage improvements in the safety and health of workers at work. *Official Journal of the European Communities*, L183, 1–8.

European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA). (2023). Occupational safety and health in Europe: State and trends report 2023. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

European Parliament & Council. (2013). Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from electromagnetic fields. *Official Journal of the European Union*, L179, 1–21.

European Parliament and Council. (2016). Regulation (EU) 2016/425 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2016 on personal protective equipment and repealing Council Directive 89/686/EEC. *Official Journal of the European Union*, L81, 51–98.

Göcsei, G., Németh, B., & Ramirez Bettoni, E. (2022). Arc protection during high voltage live work. In 2022 13th International Conference on Live Maintenance (ICOLIM). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICOLIM56184.2022.9840583>

International Electrotechnical Commission (IEC). (2020). IEC 61482-2: Live working – Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc – Part 2: Requirements. Geneva: IEC.

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

Kondrateva, O. E., Loktionov, O. A., & Miroshnichenko, D. A. (2024). Analysis of regulatory requirements for providing personal protective equipment to electric power industry employees in Russia, the USA and Canada. In 2024 6th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE) (pp. 1–5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/REEPE60449.2024.10479711>

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (2024). Hierarchy of Controls. Centers for Disease Control and Prevention. Retrieved from <https://www.cdc.gov/niosh/topics/hierarchy/>

National Fire Protection Association (NFPA). (2024). NFPA 70E: Standard for Electrical Safety in the Workplace. Quincy, MA: NFPA.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2023). Fall Protection in Construction. Washington, DC: U.S. Department of Labor.

Pirbalouti, R. G., Behnam, B., & Dehkordi, M. K. (2023). A risk-based approach to identify safety-critical equipment in process industries. Results in Engineering, 20, 101448. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101448>

Scarborough, M. S. (2024). Electrical equipment task based risk assessment – Using the HRN method. In 2024 IEEE IAS Electrical Safety Workshop (ESW) (pp. 1–8). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ESW52258.2024.10752765>