



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Βιβλιογραφική ανασκόπηση των κινδύνων από το ηλεκτρικό ρεύμα

Διπλωματική Εργασία

Παπαδάκη Ι. Χαρίκλεια

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Βιβλιογραφική ανασκόπηση των κινδύνων από το ηλεκτρικό ρεύμα

Διπλωματική Εργασία

Παπαδάκη Ι. Χαρίκλεια

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Γ. Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή την Οκτωβρίου 2010

.....
Κ. Γ. Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Π. Δ. Μπούρκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ν. Ι. Θεοδώρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2010

.....
Χαρίκλεια Ι. Παπαδάκη

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Χαρίκλεια Ι. Παπαδάκη, 2010

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Είναι φανερό, ότι η ανθρώπινη ζωή αποτελεί ανεκτίμητο αγαθό. Πρέπει λοιπόν να διασφαλιστεί με κάθε δυνατό τρόπο ότι ξεκινώντας από τους εργαζόμενους που είναι εκτεθειμένοι στο ηλεκτρικό ρεύμα και καταλήγοντας στους απλούς καταναλωτές που το χρησιμοποιούν στην καθημερινότητά τους, δεν θα τίθεται η ζωή τους σε κίνδυνο. Η καταπολέμηση των ατυχημάτων που οφείλονται στον ηλεκτρισμό αποτελεί ένα πολύπλοκο ζήτημα. Στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας, είναι να κατανοηθεί η συμπεριφορά του ηλεκτρικού ρεύματος, να προσδιοριστούν οι πιθανοί κίνδυνοι που μπορεί να προκύψουν από αυτό και να καταγραφούν λύσεις και προτάσεις για τον περιορισμό και την αντιμετώπιση όλων των ενδεχόμενων κινδύνων.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των άμεσων και των έμμεσων κινδύνων που μπορεί να προκληθούν από το ηλεκτρικό ρεύμα και δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο φαινόμενο της ηλεκτροπληξίας, στους παράγοντες που επηρεάζουν την σοβαρότητα του περιστατικού και στις φυσιοπαθολογικές επιδράσεις στον άνθρωπο. Στο δεύτερο κεφάλαιο δίνεται ο σκοπός της εργασίας. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται συνοπτικά τα διεθνή πρότυπα που αφορούν τις ασφαλείς ηλεκτρικές εγκαταστάσεις κτηρίων και τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις άνω του 1kV. Τέλος, στα τρία τελευταία κεφάλαια παρουσιάζονται τα ευρήματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης. Συγκεκριμένα στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται συγκεκριμένα περιστατικά με θανατηφόρα και μη ηλεκτρικά ατυχήματα που έχουν καταγραφεί. Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται και συγκρίνονται τα προγράμματα ηλεκτρικής ασφάλειας όπως έχουν διατυπωθεί από τα Διεθνή και Εθνικά πρότυπα. Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο περιγράφονται οι κίνδυνοι που μπορεί να προκαλέσει ένα ηλεκτρικό τόξο, η ανάλυση αυτών και συγκεκριμένες λύσεις για την μείωση και αντιμετώπιση του ιδιαίτερα επικίνδυνου αυτού φαινομένου.

Λέξεις κλειδιά

ηλεκτρικό ατύχημα, ηλεκτροπληξία, πρόγραμμα ηλεκτρικής ασφάλειας, εξοπλισμός ηλεκτρικής προστασίας, κίνδυνοι ηλεκτρικού ρεύματος, ηλεκτρικό τόξο

Abstract

It is obvious that human life is a priceless commodity. Therefore, it must be ensured by every possible way that starting by workers who are exposed to electricity and ending with the simple consumers who use electricity in everyday life, their lives will not be put at risk in any way. The fighting off accidents due to electricity is a complex issue. The aim of this diploma thesis, is to comprehend the behavior of electricity, to identify potential risks that can be arise from this and record solutions and suggestions in order to reduce and address all possible risks.

In the first chapter there is a presentation of the direct and indirect hazards that may be caused by electricity with a particular focus on the phenomenon of shock, the factors affecting the severity of the accident and fisiopathologikes effects in humans. In the second chapter the aim of the thesis is given. The third chapter outlines the international standards, who are relating to safe electrical installations in buildings and electrical installations exceeding 1kV. Finally, in the fourth chapter, the discoveries of literature are presented. Specifically, in chapter four, they are mentioned specific fatal and non-fatal electrical accidents that have been recorded. In the fifth chapter, the electrical safety programs as formulated by international and national standards are presented and compared. In the sixth and final chapter, the hazards that can be caused by an arc flash are described, as well as an analysis and concrete solutions in order to reduce and deal with this very dangerous phenomenon, are presented.

Key words

electrical accident, electric shock, electrocution, electrical safety program, electrical safety equipment, electrical hazards, arc flash

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή ευγνωμοσύνη μου στον επιβλέπων καθηγητή μου κ.Κωνσταντίνο Γ. Καραγιαννόπουλο, Καθηγητή της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Ε.Μ.Π., για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας, καθώς και για την προσπάθεια που καταβάλει να μεταδώσει τις γνώσεις και τη νοοτροπία του Μηχανικού προς τους φοιτητές του.

Ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ οφείλω και στην κ. Αικατερίνη Πολυκράτη, Διδάκτορα Μηχανικό, Ε.Ε.ΔΙ.Π. της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε καθώς και για τις καθοριστικής σημασίας υποδείξεις και συμβουλές της.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στήριξε και με στηρίζει όλα αυτά τα χρόνια και που χωρίς την πολύτιμη παρουσία της δε θα είχα καταφέρει τίποτα από όσα έχω μέχρι σήμερα επιτύχει.

Αφιερωμένο
στον πατέρα μου Ιωσήφ
και στην μητέρα μου Ιωάννα

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
Λέξεις κλειδιά.....	5
Abstract.....	6
Key words.....	6
Ευχαριστίες.....	7
Πίνακας περιεχομένων.....	11
Κεφάλαιο 1: Κίνδυνοι ηλεκτρικού ρεύματος.....	15
1.1 Ηλεκτρική ενέργεια.....	15
1.2 Κίνδυνοι από το ηλεκτρικό ρεύμα.....	16
1.3 Άμεσοι κίνδυνοι – Κίνδυνοι στον άνθρωπο.....	18
1.3.1 Ηλεκτροπληξία.....	19
1.3.2 Η διαδρομή.....	21
1.3.3 Ο χρόνος διέλευσης.....	21
1.3.4 Η ηλεκτρική αντίσταση του ανθρώπινου σώματος.....	22
1.3.5 Επίδραση εναλλασσόμενου ρεύματος.....	27
1.3.6 Επίδραση συνεχούς ρεύματος.....	38
1.3.7 Η συχνότητα του ρεύματος.....	39
1.3.8 Η τάση.....	41
1.3.9 Επίδραση φορτισμένων πυκνωτών.....	43
1.3.10 Το περιβάλλον.....	44
Κεφάλαιο 2: Σκοπός της εργασίας.....	45
Κεφάλαιο 3: Διεθνή πρότυπα και τυποποίηση.....	47
3.1 Πρότυπα ηλεκτρικών εγκαταστάσεων.....	47
3.2 Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις κτηρίων.....	48
3.2.1 Προσδιορισμός της μορφής δικτύου.....	49
3.2.2 Μέτρα προστασίας από ηλεκτροπληξία.....	50
3.2.3 Προστασία από άμεση και έμμεση επαφή.....	53
3.2.4 Προστασία από άμεση επαφή.....	54
3.2.5 Προστασία από έμμεση επαφή.....	54
3.2.6 Χρήση διατάξεων διαφορικού ρεύματος (RCDs).....	59
3.2.7 Επανέλεγχος.....	60

3.3	Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις για τάσεις άνω του 1kV.....	66
3.3.1	Ελάχιστες αποστάσεις ασφαλείας που τηρούνται σε υπαίθριες εγκαταστάσεις και εσωτερικούς χώρους κατά IEC 61936.....	67
3.3.2	Εσωτερικές και υπαίθριες εγκαταστάσεις.....	69

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Κεφάλαιο 4: Ηλεκτρικά ατυχήματα.....	77
---	-----------

4.1	Εργατικά ηλεκτρικά ατυχήματα στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.....	77
4.1.1	Ανάλυση δεδομένων που αφορούν τα ηλεκτρικά ατυχήματα.....	79
4.1.2	Ανάλυση δεδομένων από το CFOI.....	82
4.1.3	Σύγκριση ποσοστών θανατηφόρων ηλεκτρικών ατυχημάτων από τις δύο έρευνες.....	84
4.1.4	Σύγκριση ποσοστών θανατηφόρων ηλεκτρικών ατυχημάτων από τις δύο έρευνες.....	87
4.1.5	Η έρευνα NIOSH για τους κινδύνους του ηλεκτρικού ρεύματος.....	88
4.2	Θανατηφόρα εργατικά ηλεκτρικά ατυχήματα στην Αυστραλία.....	89
4.2.1	Μέθοδοι.....	90
4.2.2	Αποτελέσματα αναλύσεων.....	92
4.2.3	Συμπεράσματα.....	94
4.3	Θανατηφόρα περιστατικά λόγω ηλεκτροπληξίας στο Ταϊβάν.....	95
4.4	Ηλεκτρικά ατυχήματα από επαφή με τις εναέριες γραμμές μεταφοράς.....	97
4.4.1	Μέτρα για την πρόληψη επαφής με εναέριες γραμμές μεταφοράς	98
4.5	Ηλεκτρικά ατυχήματα από επαφή με τις εναέριες γραμμές μεταφοράς.....	100
4.5.1	Διαχωρισμός ατυχημάτων ανά λειτουργία μηχανής.....	100
4.5.2	Διαχωρισμός ατυχημάτων ανάλογα με την τάση των γραμμών μεταφοράς.....	101

Κεφάλαιο 5: Το πρόγραμμα ηλεκτρικής ασφάλειας και μέθοδοι υλοποίησης του.....	103
--	------------

5.1	Το πρότυπο NFPA 70E.....	103
5.1.1	Γενική εποπτεία του NFPA 70E.....	104
5.1.2	Πρόγραμμα ηλεκτρικής ασφάλειας.....	106
5.1.3	Επιλογή του εξοπλισμού ηλεκτρικής ασφάλειας.....	107
5.1.4	Εκπαίδευση.....	109
5.2	Σύγκριση των προτύπων NFPA 70E και EN 50110.....	109

5.2.1	Η ηλεκτρική ασφάλεια από άλλη οπτική γωνία.....	116	
5.3	Υλοποίηση των προγραμμάτων ηλεκτρικής ασφάλειας Θανατηφόρα.....	117	
5.3.1	Ανάμιξη της διοίκησης στην αναγνώριση των απαιτήσεων για ηλεκτρική ασφάλεια και στη βελτίωση της εφαρμογής τους.....	117	
5.3.2	Στρατηγική, σχεδιασμός και εφαρμογή των διαδικασιών ηλεκτρικής ασφάλειας, βασισμένα στο E.I du Pont de Nemours and Co.....	119	
5.3.3	Προστασία του ανθρώπινου δυναμικού με εφαρμογή ηλεκτρικών και μηχανικών συστημάτων.....	122	
5.3.3.1	Εξοπλισμός ασφαλείας.....	123	
5.3.4	Ανάλυση των πιο διαδεδομένων τεχνικών ασφαλείας.....	126	
5.3.4.1	Σύγκριση τεχνικών: Η αναλυτική διαδικασία.....	126	
5.3.4.2	Αποτελέσματα σύγκρισης.....	127	
Κεφάλαιο 6: Το ηλεκτρικό τόξο και το θεωρητικό μοντέλο ασφαλούς εργασιακής απόδοσης.....			129
6.1	Το ηλεκτρικό τόξο ως πηγή κινδύνου.....	129	
6.1.1	Μείωση της ενέργειας του ηλεκτρικού τόξου.....	130	
6.1.2	Σχεδιασμός και προετοιμασία για τη διεξαγωγή αποτίμησης του κινδύνου από ηλεκτρικό τόξο.....	131	
6.1.3	Σύγκριση προτύπων που αναφέρονται στις δοκιμές διακοπών μέσης τάσης για αποφυγή του ηλεκτρικού τόξου.....	132	
6.1.4	Προστασία από το ηλεκτρικό τόξο.....	141	
6.1.5	Συμπεράσματα.....	146	
6.2	Θεωρητικό μοντέλο ασφαλούς εργασιακής αποδόσεων.....	148	
6.3	Ένας παραγνωρισμένος ηλεκτρικός κίνδυνος.....	150	
Παράρτημα I : Φορείς τυποποίησης.....			152
Παράρτημα II: Πρότυπα και διασφάλιση ποιότητας υπηρεσιών παραγωγής.....			162
Παράρτημα III: Πιστοποίηση, μετρήσεις ή έλεγχος εξοπλισμού.....			165
Βιβλιογραφία.....			167

Κεφάλαιο 1

Κίνδυνοι ηλεκτρικού ρεύματος

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται οι άμεσοι και έμμεσοι κίνδυνοι που μπορεί να προκληθούν από το ηλεκτρικό ρεύμα. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση των άμεσων κινδύνων (κίνδυνοι στον άνθρωπο), συγκαταλέγονται οι περιπτώσεις ηλεκτροπληξίας. Το φαινόμενο της ηλεκτροπληξίας, οι παράγοντες που επηρεάζουν την σοβαρότητα του περιστατικού και οι φυσιοπαθολογικές επιδράσεις στον άνθρωπο παρουσιάζονται αναλυτικά στην τελευταία ενότητα του παρόντος κεφαλαίου.

1.1 Ηλεκτρική Ενέργεια

Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί σήμερα κοινωνικό αγαθό και είδος πρώτης ανάγκης. Η σύγχρονη κοινωνία εξαρτάται από την επάρκεια και ποιότητα αυτού του ενεργειακού πόρου. Δυσλειτουργίες ή ανεπάρκειες στο ηλεκτρικό σύστημα είναι ικανές να προκαλέσουν ισχυρό κλυδωνισμό ή και κατάρρευση της οικονομικής και κοινωνικής ζωής. Επιπλέον, η ενεργειακή κατανάλωση αποτελεί έναν αξιόπιστο δείκτη της οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης μιας χώρας.

Ιδιαίτερα σημαντική είναι βέβαια και η διαπίστωση ότι δεν υπάρχει τεχνολογία απαλλαγμένη από κάθε κίνδυνο, απόλυτα ασφαλής. Η παρανόηση ή η παραγνώριση αυτής της αλήθειας οδηγεί, και έχει οδηγήσει πολλές φορές, σε σφαλερές εκτιμήσεις. Ειδικά στην περίπτωση της ηλεκτρικής ενέργειας, η ασφάλεια των χρηστών αποτελεί κρίσιμη και αντικρουόμενη απαίτηση. Από τη μία πλευρά, ο ηλεκτρισμός πρέπει να διατίθεται σε όλους, σε επαρκή ποσότητα και ποιότητα και σε μικρό κόστος. Από την άλλη πλευρά, πρέπει να έχουν πρόσβαση σε αυτόν όλα τα μέλη της κοινωνίας. Το τελευταίο είναι και το σημαντικότερο. Δηλαδή το γεγονός ότι η ηλεκτρική ενέργεια θα χρησιμοποιείται και από άτομα που όχι μόνο δεν είναι τεχνικά κατάλληλα καταρτισμένα αλλά, αντίθετα, είναι άτεχνοι χρήστες αυτής της τεχνολογίας.

Τρεις είναι οι κυριότεροι λόγοι που καθιστούν τον ηλεκτρισμό ιδιαίτερα επικίνδυνο:

1. Η αόρατη φύση του, που τον κάνει δύσκολα αναγνωρίσιμο.
2. Η μεγάλη του εξάπλωση. Σήμερα, συναντάμε τον ηλεκτρισμό στο σπίτι, στην εργασία, στο σχολείο, στις μεταφορές, στη διασκέδαση. Όσο αυξάνονται οι χρήσεις του, τόσο αυξάνεται και η έκθεση του ανθρώπου σε αυτόν και συνεπώς και οι πιθανότητες ατυχήματος.

3. Η εξοικείωση. Συγκριτικά με την εξάπλωση του, ο ηλεκτρισμός είναι σχετικά ασφαλής, με αποτέλεσμα να λησμονείται συχνά η παρουσία του.

1.2 Κίνδυνοι από το ηλεκτρικό ρεύμα

Στα ατυχήματα τα οποία σημειώνονται κάθε χρόνο, περιλαμβάνονται περιστατικά τα οποία οφείλονται στον ηλεκτρισμό. Τα ατυχήματα αυτά δεν είναι πολλά σε αριθμό, όμως είναι θανατηφόρα και ο λόγος αυτός μας υποχρεώνει να δίνουμε ιδιαίτερη βαρύτητα σε αυτά.

Σύμφωνα με τα στατιστικά του Υπουργείου Εργασίας, τα ατυχήματα εργαζομένων που οφείλονται στον ηλεκτρισμό ανέρχονται περίπου μόλις στο 17% του συνόλου τους. Είναι δυσάρεστη, όμως η διαπίστωση ότι η αναλογία των θανατηφόρων ηλεκτρικών ατυχημάτων σε σχέση με το σύνολο των θανατηφόρων ατυχημάτων είναι μεγαλύτερη από κάθε άλλο είδος ατυχήματος. Συγκεκριμένα, ένα ποσοστό περίπου 24% από τα ηλεκτρικά ατυχήματα έχει συνέπειες θανατηφόρες, ποσοστό που αντιστοιχεί στο 17,2% του συνόλου των θανατηφόρων εργατικών ατυχημάτων.

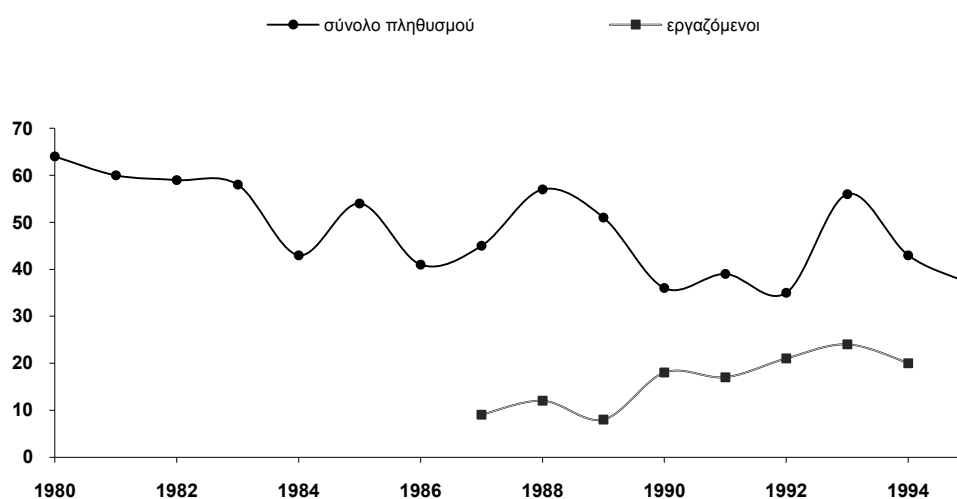
Εξίσου σημαντικό είναι και το γεγονός ότι και άλλα ηλεκτρικά ατυχήματα μη εργαζομένων συμβαίνουν κάθε χρόνο σε τόπους διαμονής, αναψυχής ή κυκλοφορίας, με μεγάλο ποσοστό θανατηφόρων αποτελεσμάτων.

Η εικόνα αυτή έρχεται να συμπληρωθεί με τα στοιχεία της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας, σύμφωνα με τα οποία ένα ποσοστό περίπου 9,40% των πυρκαγιών οφείλεται σε ηλεκτρικά αίτια. Από τις πυρκαγιές αυτές προκύπτουν βέβαια πέραν από τις ζημιές και άλλα ανθρώπινα θύματα. Ανθρώπινα θύματα προκύπτουν επίσης και σε ηλεκτρικά ατυχήματα που συμβαίνουν κατά την πυροσβεστική προσπάθεια.

Η σοβαρότητα των συνεπειών των ηλεκτρικών ατυχημάτων (24% του πλήθους τους θανατηφόρα, 9,40% των πυρκαγιών αποδίδεται στον ηλεκτρισμό), αποτελεί σοβαρό συντελεστή πίεσης τόσο για την πρόληψη όσο και για την αντιμετώπισή τους. Στον Πίνακα 1.1 που ακολουθεί φαίνεται ο αριθμός των ατυχημάτων και των ηλεκτρικών ατυχημάτων στο σύνολο της χώρας, σύμφωνα με τα στοιχεία του ΙΚΑ. Παρομοίως στο Σχήμα 1.1. παρουσιάζεται ο αριθμός των θανατηφόρων ηλεκτροπληξιών τόσο στο συνολικό πληθυσμό της Ελλάδας, όσο και στους εργαζομένους.

Τύπος Ατυχήματος (αιτία)	Θανατηφόρα Ατυχήματα	Ποσοστό (%)
Πτώσεις	301	40,2
Ηλεκτροπληξία	129	17,2
Μηχανήματα	126	16,8
Παθολογικά αίτια	70	9,4
Τροχαία	45	6,0
Εκρήξεις	39	5,2
Λοιπά	22	2,9
Εισπνοή αερίων	16	2,1
Σύνολο	748	100,0

Πίνακας 1.1 : Θανατηφόρα εργατικά ατυχήματα σύμφωνα με τον τύπο του ατυχήματος για τα χρόνια 1987 - 1994.



Σχήμα 1.1 : Αριθμός θανατηφόρων ηλεκτροπληξιών στον συνολικό πληθυσμό της Ελλάδας (πάνω καμπύλη) και στους εργαζομένους (κάτω καμπύλη).

Οι κίνδυνοι από την παραγωγή και χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος, μπορούν να καταταχθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

1. Άμεσοι κίνδυνοι ανθρώπινης βλάβης, όπως εξωτερικά και εσωτερικά εγκαύματα και μυϊκές και αναπνευστικές και καρδιακές βλάβες.
2. Έμμεσοι κίνδυνοι, όπως κίνδυνοι έκρηξης ατμών ή σκόνης από ηλεκτρικό σπινθήρα, κίνδυνοι πτώσης από ύψος λόγω τινάγματος από ρεύμα, κίνδυνοι τραυματισμών από άκαιρο ξεκίνημα ή σταμάτημα μηχανήματος και κίνδυνοι από αποτυχία θέσης σε λειτουργία ενός κρίσιμου μηχανισμού.

1.3 Άμεσοι κίνδυνοι – Κίνδυνοι στον άνθρωπο

Ως γνωστόν, το ανθρώπινο σώμα γενικά, είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού. Συνεπώς, όλοι οι άνθρωποι είναι εκτεθειμένοι σε ενδεχόμενο ηλεκτρικό ατύχημα. Αυτό έχει γίνει αντιληπτό πολύ νωρίς, για αυτό και οι έρευνες για τον τρόπο με τον οποίο το ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να προξενήσει θάνατο στον άνθρωπο ανάγονται στο 1880. Πριν το 1880 υπήρχε μικρή εμπορική χρήση του ηλεκτρισμού, αλλά περί το 1900 υπήρχαν στις ΗΠΑ μεγάλα ηλεκτρικά ατυχήματα σε λειτουργία, που μπορούσαν να προξενήσουν θάνατο. Τυπικό του ενδιαφέροντος για τον ηλεκτρισμό την περίοδο αυτή ήταν η μεγάλη δημοσιότητα που δινόταν στα ηλεκτρικά ατυχήματα. Η πρώτη εκτέλεση με ηλεκτρικό ρεύμα έγινε στις 6/8/1890. Αυτή η εκτέλεση ήταν σημαντική στην ανάπτυξη των θεωριών για τον θάνατο από ηλεκτρισμό, διότι 12 από τους 20 μάρτυρες ήταν παθολόγοι που ήλπιζαν ότι από την αυτοψία θα μάθαιναν πολλά για τον θάνατο από ηλεκτρικό ρεύμα.

Τα ηλεκτρικά ατυχήματα είναι δυνατόν να προκληθούν με κάποια άμεση επαφή με στοιχεία που έχουν ηλεκτρισμό. Το θύμα έρχεται σε απ' ευθείας επαφή με στοιχεία που βρίσκονται υπό τάση. Το άγγιγμα μίας ή δύο φάσεων ηλεκτροφόρων αγωγών είναι συνηθισμένο στα τριφασικά δίκτυα.

Σύνηθες όμως είναι και το φαινόμενο του ατυχήματος μετά από έμμεση επαφή. Διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις :

- Το θύμα μέσω κάποιου αγώγιμου σώματος που κρατά, έρχεται σε επαφή με κάποιο σώμα, που βρίσκεται υπό τάση ή έχει ηλεκτρισθεί λόγω σφάλματος ή διαρροής.
- Τα πόδια του θύματος πατούν στη γη σε σημεία με διαφορετικό δυναμικό (βηματική τάση).
- Το θύμα πλήττεται από κεραυνό (κεραυνοπληξία).

Για να συμβεί όμως ηλεκτρικό ατύχημα, δεν είναι απαραίτητη η επαφή (άμεση ή έμμεση) με ηλεκτρισμένο σώμα ή κάποιο δίκτυο. Μερικές φορές αρκεί η προσέγγιση και η είσοδος του ανθρώπινου σώματος ή κάποιου αγώγιμου σώματος με το οποίο αυτό βρίσκεται σε επαφή με ηλεκτρομαγνητικό πεδίο (ηλεκτρικό τόξο). Αυτό εμφανίζεται συνήθως σε ατυχήματα σε εγκαταστάσεις ισχύος υψηλής τάσης, αλλά και σε μικρότερη έκταση στη μέση.

Είναι σημαντικό να κατανοηθούν τα αποτελέσματα της ηλεκτροπληξίας στο ανθρώπινο σώμα, αφενός μεν για να εκτιμηθεί η ευαισθησία του ανθρώπου στη διέλευση εξωτερικού ηλεκτρικού ρεύματος δια μέσου των ιστών και των οργάνων του, αφετέρου δε διότι η σωστή θεραπεία της ηλεκτροπληξίας εξαρτάται από την αντίληψη της διαδρομής του ρεύματος μέσα στο σώμα και των βλαβών που αυτό μπορεί να προκαλέσει.

1.3.1 Ηλεκτροπληξία

Η ηλεκτροπληξία και τα επακόλουθα αυτής, τα εγκαύματα δηλαδή και οι καρδιακές επιπλοκές, αποτελούν σχετικά συχνό πρόβλημα υγείας. Έχει παρατηρηθεί ότι τα περιστατικά ηλεκτροπληξίας είναι συχνότερα κατά την πρώτη παιδική ηλικία (οπότε τα παιδιά έρχονται σε επαφή με ηλεκτρικά καλώδια και πρίζες), ελαττώνονται κατά τη μετάβαση στην εφηβεία και αυξάνουν απότομα κατά την έναρξη της εργασίας. Αφορούν κατά το μεγαλύτερο ποσοστό άρρενες μέσης ηλικίας που απασχολούνται σε κατασκευαστικές ή ηλεκτρολογικές εταιρίες. Όσο για τις κεραυνοπληξίες, συμβαίνουν κυρίως κατά τους θερινούς μήνες στη διάρκεια δραστηριοτήτων στην ύπαιθρο και εμφανίζουν πολύ υψηλό ποσοστό θνησιμότητας (ένας στους τρεις πληγέντες αποβιώνει) και αναπηρίας (τρεις στους τέσσερις επιζήσαντες αποκτούν κάποια μορφή μόνιμης αναπηρίας).

Ηλεκτροπληξία ονομάζεται η παθολογική κατάσταση που προκύπτει από τη δίοδο ηλεκτρικού ρεύματος στον ανθρώπινο οργανισμό. Τα συμπτώματα της ηλεκτροπληξίας διαίρουνται σε άμεσα, που εμφανίζονται αμέσως και επακόλουθα ή δευτερεύοντα, που εμφανίζονται κατά διάφορα χρονικά διαστήματα μετά από αυτήν.







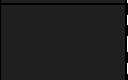









Η επίδραση της ηλεκτρικής ενέργειας στο ανθρώπινο σώμα, συνοδεύεται όπως ήδη αναφέραμε από ένα πλήθος φυσικών, χημικών και βιολογικών φαινομένων. Τα φυσικοχημικά φαινόμενα περιλαμβάνουν την θέρμανση των ιστών (φαινόμενο Joule) και, στην περίπτωση του συνεχούς ρεύματος, την ηλεκτρόλυση των σωματικών υγρών. Τα βιολογικά φαινόμενα είναι πολυπλοκότερα, πολυπληθέστερα και τα πλέον επικίνδυνα. Σε αυτά περιλαμβάνονται παράλυση μυών, καταστροφή οργάνων και θανατηφόρες βλάβες.


Επειδή το θέμα αφορά την προστασία της ανθρώπινης ζωής και επηρεάζει σημαντικά την κατασκευή των συσκευών και γενικά την οικονομία, έχουν γίνει αρκετές μελέτες από την ομάδα εργασίας της διεθνούς ηλεκτροτεχνικής ένωσης TC 64. Έτσι, τα αποτελέσματα που θα αναφερθούν παρακάτω είναι διεθνώς αποδεκτά. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το είδος και τη σοβαρότητα των αποτελεσμάτων της εισόδου του ηλεκτρικού ρεύματος στο ανθρώπινο σώμα είναι:

- Η διαδρομή του ρεύματος μέσα στο σώμα
- Ο χρόνος διέλευσης του ρεύματος μέσα από το σώμα (στιγμιαία ή παρατεταμένη επαφή)
- Το είδος του ρεύματος (εναλλασσόμενο, συνεχές, παλμικό, στατικός ηλεκτρισμός)
- Η αντίσταση κατά μήκος της παραπάνω διαδρομής
- Η ένταση του διερχόμενου ρεύματος
- Η κυματομορφή του ρεύματος

- Η τάση (διαφορά δυναμικού στην οποία βρέθηκαν τα σημεία εισόδου και εξόδου του ρεύματος στο σώμα)
- Η συχνότητα του ρεύματος (όσον αφορά στο εναλλασσόμενο ρεύμα)
- Οι συνθήκες του περιβάλλοντος (θερμοκρασία, υγρασία, καιρικά φαινόμενα).
- Το είδος της επαφής (άμεση, έμμεση, από απόσταση)
- Η επίδραση φορτισμένων πυκνωτών
- Η γενικότερη κατάσταση του θύματος (κατάσταση της υγείας του, προϋπάρχουσες ασθένειες, ψυχική κατάσταση, ματισμός, κατάσταση της επιφάνειας επαφής του σώματος με το ρεύμα).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι από τους παραπάνω παράγοντες αναλυτικότερα, εξηγώντας τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζουν καθένας από αυτούς την έκβαση του περιστατικού. Ακολουθεί ένας συνοπτικός πίνακας (Πίνακας 1.2) που σκιαγραφεί την επίδραση του ρεύματος στον οργανισμό με βάση τη δημοσίευση IEC 60479-1.

Ρεύμα 50Hz (ενεργός τιμή σε mA)	0.5	10	0.5 έως 25	25 έως 80	80 έως 3000	>3000
Τάση επαφής (V) που προκαλεί το ρεύμα			Έως 50	50 έως 100	100 έως 3000	>3000
Όριο αίσθησης						
Όριο αδυναμίας να ελευθερωθεί το χέρι						
Σύσπαση μυών						
Πόνος						
Μαρμαρυγή με περιόδους κανονικής λειτουργίας						
Θανατηφόρα, επικίνδυνη μαρμαρυγή						
Θανατηφόρα επικίνδυνα εγκαύματα						

 Αυτή η σκιαγράφιση σημαίνει ότι η αντίδραση μπορεί να επέλθει σε πολύ δυσμενείς συνθήκες.

 Αυτή η σκιαγράφιση σημαίνει αντίδραση σε συνηθισμένες συνθήκες.

Πίνακας 1.2 : Επίδραση του ρεύματος στον οργανισμό κατά τη δημοσίευση IEC 60479-1. Η καταπόνηση εκτείνεται σε χρόνους τάξης μεγέθους του 1 sec.

1.3.2 Η Διαδρομή

Για να συμβεί ηλεκτρική βλάβη κάποιου οργάνου, πρέπει αυτό να βρεθεί στη διαδρομή του ρεύματος. Έχει διαπιστωθεί ότι το ρεύμα δεν διακλαδίζεται σε ολόκληρο το σώμα, αλλά ακολουθεί την συντομότερη οδό από το σημείο εισόδου στο σημείο εξόδου, καθώς η αντίσταση του σώματος των θηλαστικών μπορεί να θεωρηθεί ομοιόμορφη. Η διαδρομή αυτή δεν είναι γραμμική, αλλά παρουσιάζει πλάτος διασποράς. Η πυκνότητα ρεύματος είναι μεγαλύτερη κατά μήκος της γραμμής που συνδέει τα δύο σημεία επαφής. Η συνηθέστερη διαδρομή του ρεύματος είναι μεταξύ ενός άνω άκρου και του άλλου άνω άκρου ή ενός κάτω άκρου. Αυτή η διαδρομή (με εξαίρεση την περίπτωση δεξί χέρι – δεξί πόδι) περιλαμβάνει την καρδιά και τους μυς της αναπνοής στο στήθος. Μόνον το 3% των θανατηφόρων σοκ περνούν από το κεφάλι, όπου εδράζει το νευρικό σύστημα ελέγχου της αναπνοής. Μια άλλη «εύκολη» διαδρομή είναι αυτή μεταξύ των δύο ποδιών (περίπτωση βηματικής τάσης), στην οποία δεν υπεισέρχεται κανένα ζωτικό όργανο του ανθρώπινου οργανισμού. Πειράματα του A.W. Weeks σε γάτες δεν ανίχνευσαν ρεύμα στην περιοχή της καρδιάς, όταν γινόταν διχοχέτευση ρεύματος μεταξύ των οπισθίων άκρων τους. Κατά την εφαρμογή ηλεκτροσόκ για την θεραπεία ψυχικών νόσων χρησιμοποιείται ρεύμα έντασης 300-600 mA επί 0,7 - 0,8 sec. Το ρεύμα αυτό διαρρέει τον εγκέφαλο και δεν προκαλεί βλάβες, ενώ, αν διαρρεύσει στον κορμό, είναι θανατηφόρο. Μια άλλη ευνοϊκή διαδρομή είναι από δάχτυλο σε δάχτυλο του ίδιου χεριού, η οποία προκαλεί μόνον τοπικά εγκαύματα.

1.3.3 Ο χρόνος διέλευσης

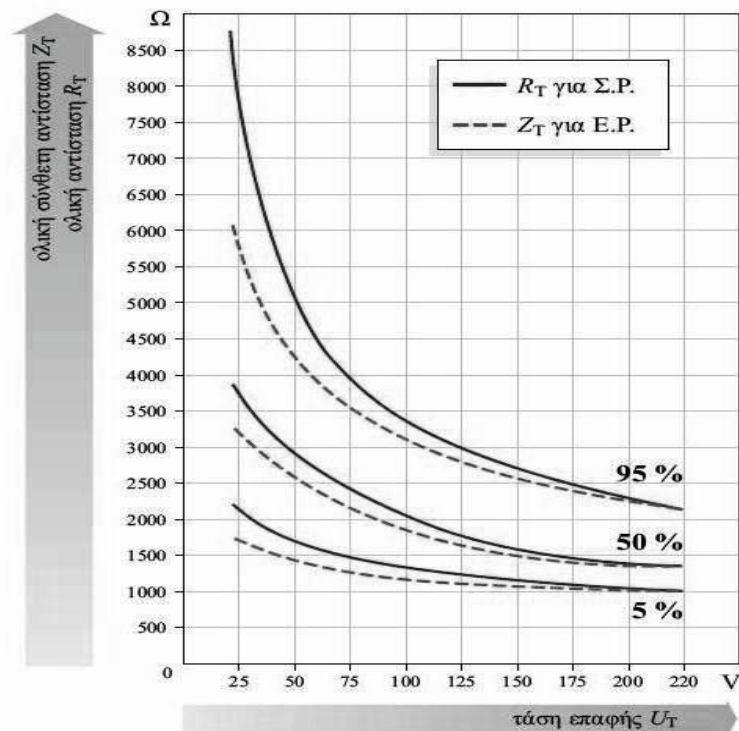
Η σοβαρότητα των συνεπειών της διέλευσης ηλεκτρικού ρεύματος από το ανθρώπινο σώμα εξαρτάται από το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο που θα διέλθει από το σώμα, που υπολογίζεται από τον κλασικό τύπο $Q = I \cdot t$, όπου Q το φορτίο σε Cb, I η ένταση του ρεύματος σε A και t ο χρόνος διέλευσης του ρεύματος σε sec. Επομένως, οποιοδήποτε σοκ, εάν είναι μεγάλης διάρκειας, έχει σοβαρότερες συνέπειες. Η μέγιστη τιμή επιτρεπόμενου ρεύματος ανεξάρτητα από τον χρόνο διέλευσης είναι 0,5mA. Η διάρκεια της επαφής είναι δύσκολο να τεκμηριωθεί. Οι περισσότερες σχετικές πληροφορίες προέρχονται από αυτόπτες μάρτυρες και αποτελούν τη λιγότερο ποσοτικοποιημένη πηγή. Η πιο κοινή αναφορά είναι ότι το «θύμα» έπεσε ή «απωθήθηκε» αμέσως.

1.3.4 Η ηλεκτρική αντίσταση του ανθρώπινου σώματος

Σε όλα τα ατυχήματα καθοριστικό ρόλο παίζει η τιμή της αντίστασης του ανθρώπινου σώματος. Αυτή είναι ο μεγάλος άγνωστος. Αν καθοριστεί αυτή, όλοι οι άλλοι παράγοντες είναι γνωστοί για τον υπολογισμό της έντασης. Η σύνθετη αντίσταση του ανθρώπινου σώματος είναι κυρίως ωμική με ελάχιστη χωρητικότητα, δηλαδή R και C παράλληλα. Η τιμή της σύνθετης αντίστασης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες ως εξής:

- Διαδρομή του ρεύματος δια του σώματος: Διαμορφώνει σημαντικά (>40%) την αντίσταση.
- Τάση επαφής: Η αντίσταση είναι μη γραμμική και μειώνεται με την αύξηση της τάσης επαφής.
- Σωματική διάπλαση.
- Δύναμη πίεσης και επιφάνεια επαφής: Αυξανόμενης της δύναμης, της μηχανικής πίεσης και της επιφάνειας επαφής του σώματος με τον αγωγό, μειώνεται η αντίσταση.
- Κατάσταση της επιδερμίδας: Το πάχος της επιδερμίδας και η υγρασία παίζουν σημαντικό ρόλο, καθώς επίσης και η ψυχική κατάσταση.
- Διάρκεια ροής του ρεύματος και συχνότητα ρεύματος.

Υψηλές αντιστάσεις υπάρχουν όταν το δέρμα είναι χονδρό, ξηρό και η επιφάνεια επαφής είναι μικρή. Χαμηλές τιμές προκύπτουν όταν το δέρμα είναι λεπτό, υγρό και η επιφάνεια επαφής μεγάλη. Το Σχήμα 1.2 δίνει τη συνολική σύνθετη αντίσταση (Z_T και R_T) του ανθρώπινου σώματος για διάφορες τάσεις τόσο για συνεχές όσο και για εναλλασσόμενο ρεύμα. Οι καμπύλες αφορούν και τις δύο περιπτώσεις χέρι – χέρι και ένα χέρι – δύο πόδια, όπου η επιδερμίδα είναι ξηρή. Οι τρεις καμπύλες αντιστοιχούν σε ποσοστά των ατόμων που παρουσιάζουν μία συγκεκριμένη μέγιστη αντίσταση.



Σχήμα 1.2 : Στατιστικές τιμές της συνολικής σύνθετης αντίστασης ανθρώπων εν ζωή για τάσεις μέχρι 5000V. Δρόμος χέρι – χέρι ή χέρι – πόδια.

Κλασικά και έγκυρα μέχρι σήμερα είναι τα πειράματα του Freiburger, σε πτώματα την δεκαετία του 1930. Η εργασία του έδειξε ότι η αντίσταση του σώματος αποτελείται από τρεις εν σειρά αντιστάσεις: Μία αντίσταση του δέρματος Z_p στο σημείο εισόδου του ρεύματος (εξωτερική), την εσωτερική αντίσταση Z_i και μία αντίσταση του δέρματος Z_p στο σημείο εξόδου του ρεύματος (εξωτερική). Η συνολική αντίσταση Z_t ορίζεται ως το διανυσματικό άθροισμα αυτών των τριών αντιστάσεων.

- **Εσωτερική Αντίσταση Z_i**

Το ανθρώπινο σώμα αποτελείται στο μεγαλύτερο μέρος του από νερό και έχει πολύ μικρή εσωτερική αντίσταση, που θεωρείται βασικά ωμική. Η τιμή της εξαρτάται κυρίως από το μήκος της διαδρομής του ρεύματος μέσα στο σώμα και σε μικρότερο βαθμό από την επιφάνεια επαφής. Όταν η επιφάνεια επαφής είναι πολύ μικρή (λίγα mm^2), η εσωτερική αντίσταση αυξάνεται. Η τιμή της είναι σχετικά σταθερή και τυπικά κυμαίνεται από 100 έως 500Ω, τιμή χαμηλή, διότι οι τένοντες, οι μύες και το αίμα είναι σχετικά καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού.

- **Εξωτερική Αντίσταση Z_p**

Η εξωτερική αντίσταση του σώματος βρίσκεται στο δέρμα, ως επί το πλείστον στο ανώτερο στρώμα της επιδερμίδας, τον «κερατοειδή χιτώνα». Είναι πολύ μεγαλύτερη από την εσωτερική, υπό την προϋπόθεση ότι το δέρμα δεν είναι υγρό ή κομμένο ή καμένο. Γι' αυτό η μεγαλύτερη αντίσταση στο ηλεκτρικό ρεύμα

είναι στα σημεία επαφής με το δέρμα και στις χαμηλές τάσεις η αντίσταση αυτή είναι ο κύριος παράγων περιορισμού του ρεύματος. Το σκληρό και στεγνό δέρμα προσφέρει πολύ μεγάλη αντίσταση, που η μέγιστη τιμή της είναι 100.000Ω. Επαφές σε σημεία που το δέρμα είναι ασυνεχές έχουν από τη φύση τους μικρή αντίσταση που σημαίνει ότι και ρεύματα λίγων mA είναι αρκετά επώδυνα. Εάν το δέρμα δεν είναι ασυνήθιστα υγρό, τη στιγμή της επαφής το μεγαλύτερο από το 95% της επιβαλλόμενης πτώσης τάσης ίσως αρχικά συμβεί κατά μήκος της μονωμένης επιδερμίδας.

Η ύπαρξη υγρασίας μειώνει δραματικά την αντίσταση του δέρματος. Βρεγμένες ή υγρές επαφές, όπως αυτές που συνήθως απαντώνται στο μπάνιο, την κουζίνα, τον κήπο, συνιστούν μία εν δυνάμει επικίνδυνη για ηλεκτροπληξία κατάσταση, ακόμη και στις χαμηλές τάσεις των 120 ή 240 V. Η εφίδρωση ελαττώνει την αντίσταση του δέρματος 11 φορές και η εμβάπτιση σε νερό ακόμη 25 φορές. Η αντίσταση του σώματος κατά τη διαδρομή χέρι – πόδι είναι μόνον 1000Ω, όταν αυτό είναι υγρό. Μεταξύ 50V και 500V οι συνθήκες είναι μη θανατηφόρες, εάν η αντίσταση επαφής είναι αρκετά υψηλή, ώστε να περιοριστεί επαρκώς το ρεύμα. Όταν κάποιος εργάζεται σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος σχηματίζεται ιδρώτας, ιδίως όταν η υγρασία είναι υψηλή. Ο φόβος και η ανησυχία κάνουν κάποιους ανθρώπους να ιδρώνουν. Επομένως οι φυσιολογικές συνθήκες επιδρούν στην αντίσταση του δέρματος.

Οι Αγγλικοί κανονισμοί αναφέρονται στην αντίσταση του σώματος κάτω από τις εξής επικεφαλίδες:

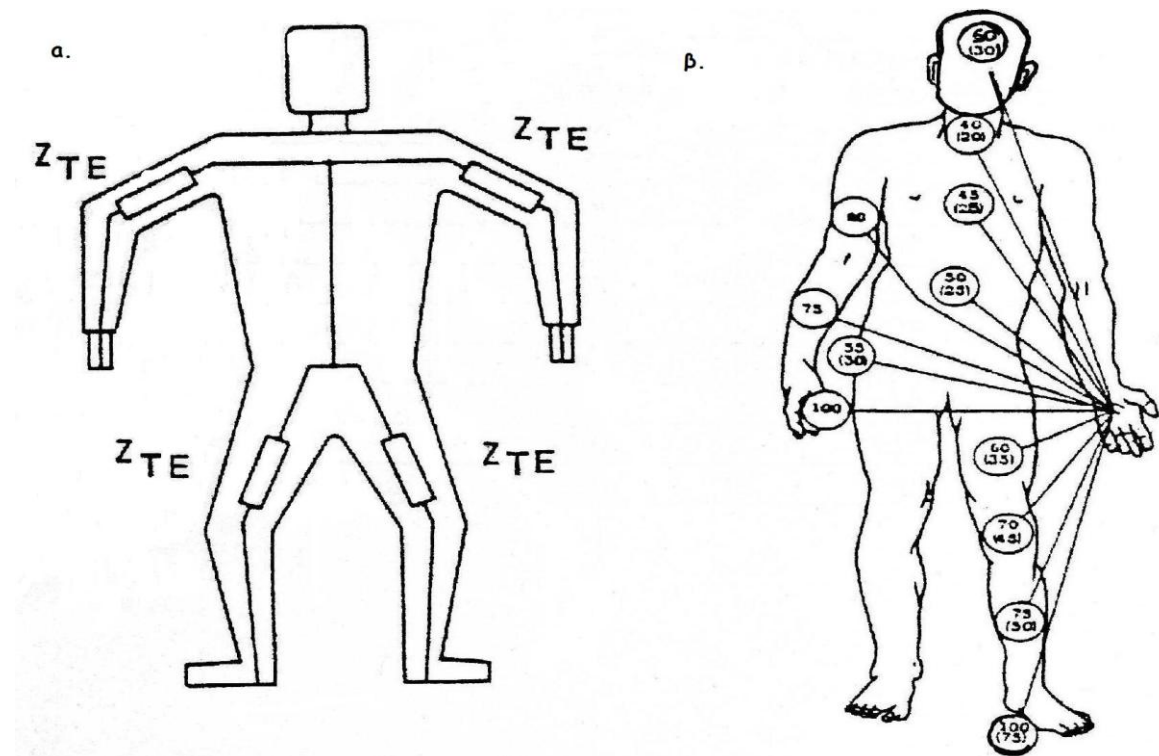
1. Τυπικά κανονική αντίσταση του σώματος: η επαφή περιλαμβάνει ένα χέρι και τα δυο πόδια, το δέρμα είναι στεγνό ή υγρό από ιδρώτα, αλλά όχι βρεγμένο.
2. Μειωμένη αντίσταση του σώματος: τα χέρια ή/και τα πόδια είναι βρεγμένα και το ρεύμα μπορεί να μειωθεί με την επαφή με άλλα σημεία του σώματος εκτός από τα χέρια και τα πόδια.
3. Πολύ χαμηλή αντίσταση του σώματος: το θύμα είναι βυθισμένο σε νερό ή είναι σε επαφή με αγώγιμη επιφάνεια.

Η τιμή της τάσης είναι ένας άλλος σπουδαίος παράγοντας καθορισμού της τιμής της αντίστασης. Στη μέση και υψηλή τάση, το ρεύμα τρυπά το δέρμα και αφήνει σημάδια, συμβαίνει δηλαδή διάσπαση. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι μηδενίζεται η εξωτερική αντίσταση του δέρματος και ο κύριος παράγων περιορισμού του ρεύματος είναι μόνον η εσωτερική αντίσταση του σώματος. Εάν ο χρόνος διέλευσης είναι μεγάλος, δημιουργούνται φουσκάλες. Η μορφή των σημαδιών εξαρτάται από την ένταση του ρεύματος και τη διάρκεια του.

Η τιμή των 500Ω χρησιμοποιείται συνήθως ως η ελάχιστη αντίσταση του σώματος μεταξύ δύο άκρων και χρησιμοποιείται και για τον υπολογισμό του

ρεύματος ηλεκτροπληξίας στα βιομηχανικά ατυχήματα. Η τιμή των 1500Ω , ίσως πολύ υψηλή, χρησιμοποιείται για το κύκλωμα μεταξύ των δύο χεριών ενός εργαζομένου με κανονική εφίδρωση για τον υπολογισμό του «ρεύματος αντίδρασης».

Η διαδρομή του ρεύματος μέσα στο σώμα καθορίζει και τη συνολική αντίσταση του. Το επί τοις εκατό (%) ποσοστό της εσωτερικής αντίστασης του σώματος Z_i για διάφορες διαδρομές του ρεύματος σε σχέση με τη διαδρομή από το ένα χέρι στο άλλο, μετρήθηκαν από τον Sam το 1968. Για μία πρόχειρη εκτίμηση και για διαδρομές του ρεύματος μεταξύ των άκρων, μπορεί να θεωρηθεί ότι οι τιμές αυτές ισχύουν και για τις συνολικές αντιστάσεις του σώματος Z_t . Για πρακτικούς λόγους μπορεί να θεωρηθεί ότι οι αντιστάσεις βρίσκονται στα άκρα του σώματος και μπορεί έτσι να κατασκευαστεί ένα διάγραμμα των συνολικών αντιστάσεων του σώματος (Σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.3 : α. Απλοποιημένο διάγραμμα αντιστάσεων στα άκρα του ανθρώπινου σώματος (αριστερά).

β. Εσωτερική αντίσταση του ανθρώπινου σώματος ως συνάρτηση της διαδρομής του ρεύματος. Οι αριθμοί δείχνουν το ποσοστό της αντίστασης για τη συγκεκριμένη διαδρομή σε σχέση με τη διαδρομή χέρι – χέρι. Οι αριθμοί χωρίς παρένθεση αφορούν διαδρομή από το χέρι στο συγκεκριμένο σημείο του σώματος. Οι αριθμοί στις παρενθέσεις θέσεις αφορούν διαδρομή από τα δυο χέρια στο συγκεκριμένο σημείο του σώματος (δεξιά).

Για να εξαχθούν οι πιο παραδεκτές τιμές για την αντίσταση του σώματος για όλο το εύρος της τάσης έως τα 5.000V, η Ομάδα Εργασίας 4 της Τεχνικής Επιτροπής 64 της IEC, αφού ανέλυσε με μοντέρνες στατιστικές μεθόδους όλες τις μετρήσεις που έγιναν από τον Freiburger για τάσεις επαφής έως 5.000V, σε πτώματα και ζωντανούς, για τη διαδρομή χέρι – χέρι και για μεγάλες επιφάνειες επαφής και για τα διαδρομή χέρι – πόδι και αφού έλαβε υπ' όψιν και τα πειράματα του Biegelmeier σε ζωντανούς κατέληξε σε τιμές για τη συνολική αντίσταση του ανθρώπινου σώματος, οι οποίες δεν ξεπερνιούνται για κάποιο ποσοστό του πληθυσμού. Όπως είναι γνωστό από την στατιστική, οι τιμές που αφορούν το 50% του πληθυσμού είναι οι πιο αξιόπιστες, γιατί η αξιοπιστία μειώνεται προς τις χαμηλότερες και υψηλότερες κατηγορίες ποσοστών του πληθυσμού, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.4. Από την άποψη αυτή οι τιμές που αφορούν το 5% και το 95% του πληθυσμού είναι κατάλληλες ως βάση για τη θέσπιση ορίων στα πρότυπα. Οι περισσότερες μετρήσεις έγιναν σε ενήλικες και οι τιμές αυτές παρουσιάζονται στο αναθεωρημένο Report 479 της IEC στον Πίνακα 1.3. Η αρχική αντίσταση του σώματος ορίστηκε στα 500Ω.

Αντίσταση ανθρώπινου σώματος κατά IEC 479 [Ω]			
Ποσοστό πληθυσμού			
Τάση Επαφής [V]	5%	50%	95%
25	1750	3250	6100
50	1450	2800	5100
75	1250	2550	4500
100	1200	2400	4150
125	1125	2200	3800
220	1000	1800	3000
700	750	1100	1550
1000	700	1050	1500
Ασυμπτωτικές τιμές	650	750	850

Πίνακας 1.3 : Τιμές της συνολικής αντίστασης του ανθρώπινου σώματος, που δεν ξεπερνιούνται για κάποιο ποσοστό του πληθυσμού, σύμφωνα με το IEC 479.

Διαδρομή Ρεύματος	Τιμή Αντίστασης [Ω]
Χέρι – χέρι	1000
Πόδι – πόδι	1000
Χέρι – πόδι	750
Χέρια – πόδια	500
Χέρι – στήθος	450
Χέρια – στήθος	230
Χέρι – γλουτός	550
Χέρια – γλουτός	300

Πίνακας 1.4 : Προσεγγιστικές τιμές σύνθετης αντίστασης του ανθρώπινου σώματος για διάφορες διαδρομές.

Τέλος, στον Πίνακα 1.5 παρουσιάζονται οι αντιστάσεις του ανθρώπινου σώματος για διάφορους δρόμους ρεύματος, αναλογικά με την αντίσταση στη διαδρομή «Ένα χέρι – Δύο πόδια». Γενικά ισχύει ότι :

$$Z = F_1 * Z_{ref} \quad (1.1)$$

Όπου Z = Αντίσταση για μία διαδρομή

Zref = Σχετική αντίσταση ως προς τη διαδρομή «Ένα χέρι – Δύο πόδια»

Δρόμος	Σχετική Αντίσταση F ₁	Δρόμος	Σχετική Αντίσταση F ₁
Ένα χέρι – δύο πόδια = Z _{ref}	1	Ένα χέρι – πλάτη	0,67
Δύο χέρια – δύο πόδια	0,67	Δύο χέρια – πλάτη	0,33
Αριστερό (δεξιό) χέρι-αριστερό (δεξιό) πόδι	1,33	Ένα χέρι – στήθος	0,60
Δύο χέρια – ένα πόδι	1,0	Δύο χέρια – στήθος	0,31
Αριστερό ή δεξιό χέρι – οπίσθια	0,4	Χέρι – Χέρι	1,33
Δύο χέρια – οπίσθια	0,4		

Πίνακας 1.5 : Σχετική αντίσταση του ανθρώπινου σώματος για διάφορους δρόμους του ρεύματος ηλεκτροπληξίας κατά IEC 60479-1.

1.3.5 Η ένταση του ρεύματος – Επίδραση εναλλασσόμενου ρεύματος

Όταν το ανθρώπινο σώμα γίνεται μέρος ενός ηλεκτρικού κυκλώματος εναλλασσόμενου ρεύματος συχνότητας 50Hz, συμπεριφέρεται ως μια απλή ωμική αντίσταση χωρίς ουσιαστικά χωρητικά ή και επαγωγικά φαινόμενα και ακολουθεί τον νόμο του Ohm. Έτσι το ρεύμα που διέρχεται μέσα από το σώμα μεταξύ των δύο σημείων επαφής του με το κύκλωμα υπολογίζεται από τον κλασσικό τύπο $I = U / Z$, όπου U η τάση μεταξύ των σημείων εισόδου και εξόδου του ρεύματος και Z η σύνθετη αντίσταση του σώματος. Στα ατυχήματα, συνήθως η τάση U είναι η μόνη γνωστή με βεβαιότητα ποσότητα και στα κυκλώματα ενέργειας η αντίσταση του κυκλώματος είναι ασήμαντη σε σύγκριση με την αντίσταση του σώματος ή εύκολο να υπολογισθεί από τα ηλεκτρικά στοιχεία του κυκλώματος. Εάν, επομένως, είναι γνωστές οι τιμές των U και Z, υπολογίζεται η τιμή του I.

Η έρευνα έχει αποδείξει ότι τα διάφορα φυσιοπαθολογικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος είναι ανάλογα της έντασης του ρεύματος. Σημαντικό μάλιστα για την προστασία του ανθρώπου είναι να γνωρίζουμε «το κατώφλι» της έντασης του ρεύματος, που προξενεί καθένα από αυτά. Όλοι οι ερευνητές συμφωνούν ότι τα αποτελέσματα της διέλευσης εναλλασσόμενου ρεύματος στο ανθρώπινο σώμα, ανάλογα με την ένταση του ρεύματος και το χρόνο διέλευσης έχουν την εξής διαβάθμιση : **απλή αίσθηση, αντίδραση, απαγκίστρωση, άπνοια, καρδιακή μαρμαρυγή (θάνατος), παράλυση του αναπνευστικού κέντρου, εγκαύματα, βλάβες άλλων οργάνων.**

- **Απλή Αίσθηση – Έως 0,5mA**

Οι ιστοί του σώματος είναι πολύ ευαίσθητοι στο ηλεκτρικό ρεύμα. Η μικρότερη ένταση ρεύματος (50/60 Hz) η οποία γίνεται αντιληπτή είναι 0,02mA από τον αμφιβληστροειδή και 0,045mA από την γλώσσα. Το επίπεδο του ρεύματος που προκαλεί ελαφρά αίσθηση μυρμηκίασης ονομάζεται «**κατώφλι αίσθησης**». Αυτό για ρεύμα που περνάει από έναν αγωγό που κρατείται στο χέρι, είναι περίπου 1mA. Ο G.Thompson σε πειράματα που έκανε σε άνδρες και γυναίκες διαπίστωσε ότι η μέγιστη ανεκτή ένταση ρεύματος κυμαίνεται από 0,34mA μέχρι 1,18mA ανάλογα με την σταθερότητα της επαφής και ότι τα 7,1mA δεν είναι ανεκτά από κανέναν. Το αίσθημα τρόμου μπορεί να προκαλέσει ακούσια αντίδραση των μυών και επομένως βλάβη. Πειράματα στο εργαστήριο δείχνουν ότι το χαμηλότερο επιτρεπτό ρεύμα στα 60Hz ποικίλει από άτομο σε άτομο. Μια μέση τιμή του ρεύματος της κατηγορίας αυτής είμαι 1,1mA για τους άνδρες και 0,7mA για τις γυναίκες. Ως αποτέλεσμα η μέση τιμή έχει θεσπιστεί στα 0,5mA.

- **Αντίδραση – Από 0,5 έως 0,75mA**

Το ελάχιστο ρεύμα που μπορεί να προξενήσει μη αναμενόμενη ακούσια αντίδραση και να οδηγήσει σε ατύχημα ως δευτερεύον αποτέλεσμα ονομάζεται «**ρεύμα αντίδρασης**». Μια τέτοια αντίδραση μπορεί να κάνει έναν εργαζόμενο να πέσει από τη σκάλα. Το 1967, είκοσι οργανισμοί στις ΗΠΑ χρηματοδότησαν και ζήτησαν από τα Underwriters' Laboratories Inc να προσδιορίσουν τα ρεύματα αντίδρασης υπό την καθοδήγηση του American National Standards Institute (ANSI). Η εργασία έγινε με εμπειρογνώμονες τους Kouwenhoven και Dalziel. Τον Νοέμβριο του 1970 υιοθετήθηκε ένα ANSI πρότυπο, που καθιέρωσε τα 0,5mA ως μέγιστο ρεύμα διαρροής για δυσύρματες φορητές συσκευές και τα 0,75mA για βαριές, κινητές, συνδεδεμένες με καλώδιο συσκευές.

- **Απαγκίστρωση (let – go current) – Έως 10mA (γυναίκες) και έως 16mA (άνδρες)**

Καθώς το ρεύμα αυξάνεται βαθμιαία, μούδιασμα, ζέστη και πόνος γίνονται αισθητά. Οι μύες των χεριών συσπώνται (τετανική σύσπαση) και το θύμα προσκολλάται στον αγωγό. Σε άλλες περιπτώσεις εκτινάσσεται μακριά από το σημείο επαφής με μεγάλη δύναμη. Το μέγιστο ρεύμα στο οποίο ένα άτομο πιασμένο σε αγωγό απαγκιστρώνεται χρησιμοποιώντας μόνον τους μυς που πλήττονται από το ρεύμα ονομάζεται «**ρεύμα απαγκίστρωσης**». Ο προσδιορισμός του ρεύματος απαγκίστρωσης είναι πολύ σημαντικός, διότι ένας κανονικός άνθρωπος μπορεί να αντέξει, χωρίς σοβαρά δευτερογενή συμπτώματα, επαναλαμβανόμενη έκθεση στο ρεύμα απαγκίστρωσης για τουλάχιστον όσο χρόνο του χρειάζεται για να απαγκιστρωθεί. Στην πραγματικότητα όλοι οι άνδρες και σχεδόν όλες οι γυναίκες και τα παιδιά μπορούν να απαγκιστρωθούν από ρεύματα έντασης έως 6mA. Έχει παρατηρηθεί ότι στα 10mA μπορεί να απαγκιστρωθεί το 98,5% των ανδρών, το 60% των γυναικών και το 7,5% των παιδιών. Στα 20mA μπορεί να απαγκιστρωθεί το 7,5% των ανδρών και καμία γυναίκα και κανένα παιδί. Σε ρεύμα μεγαλύτερο από 30mA δεν μπορεί να απαγκιστρωθεί κανένας. Γιατροί της Ιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου της California πειραματίστηκαν με 134 άνδρες και 28 γυναίκες. Τα δεδομένα ακολουθούν την κανονική κατανομή και η μέση τιμή είναι 16mA για τους άνδρες και 10,5mA για τις γυναίκες.

- **Άπνοια - Από 20mA έως 40mA**

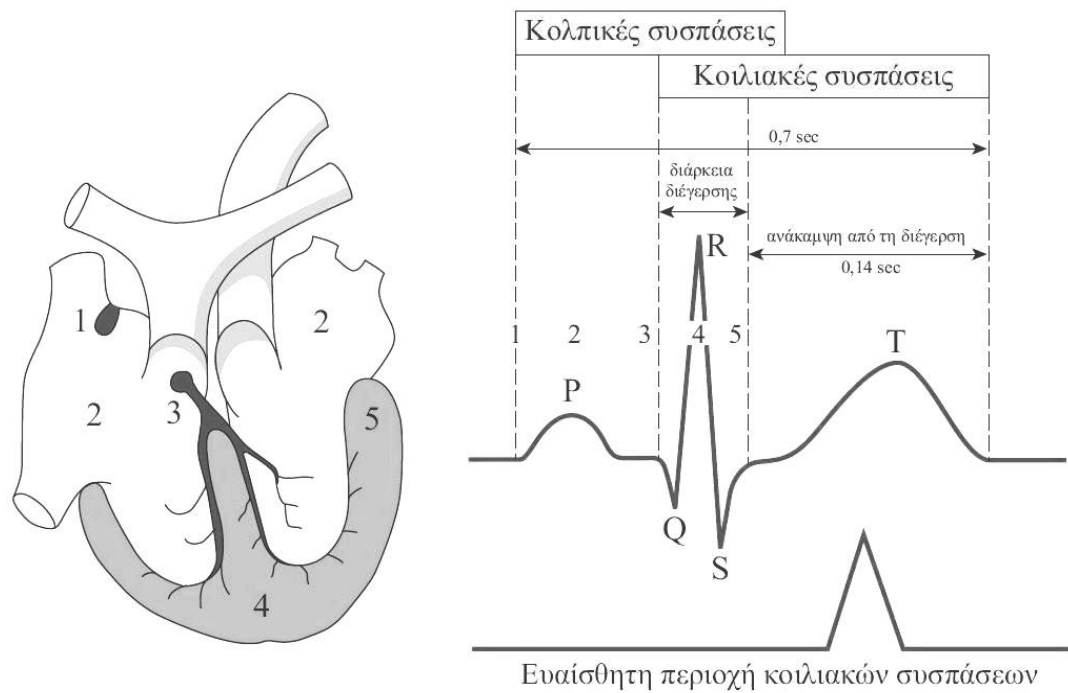
Στα περισσότερα ατυχήματα το ρεύμα περνάει από το στήθος και, εάν είναι 20-40mA, οι μύες του στήθους κρατώνται σε τετανική σύσπαση και η αναπνοή σταματά. Αυτό μπορεί να προκαλέσει θάνατο από ασφυξία μέσα σε λίγα λεπτά. Λόγω του τετάνου των μυών του στήθους, οι αεροφόροι οδοί είναι ανοικτές. Εάν το ρεύμα διακοπεί εντός 2-3 λεπτών, η αναπνοή ξαναρχίζει αυτόματα και η αποκατάσταση είναι συνήθως ραγδαία. Μελέτες έδειξαν ότι, καθώς η ένταση του ρεύματος αυξάνεται οι δυσλειτουργίες της αναπνοής κλιμακώνονται από την προσωρινή αναστολή της λειτουργίας της έως τη μόνιμη διακοπή της, που συνεπάγεται θάνατο.

- **Καρδιακή Μαρμαρυγή**

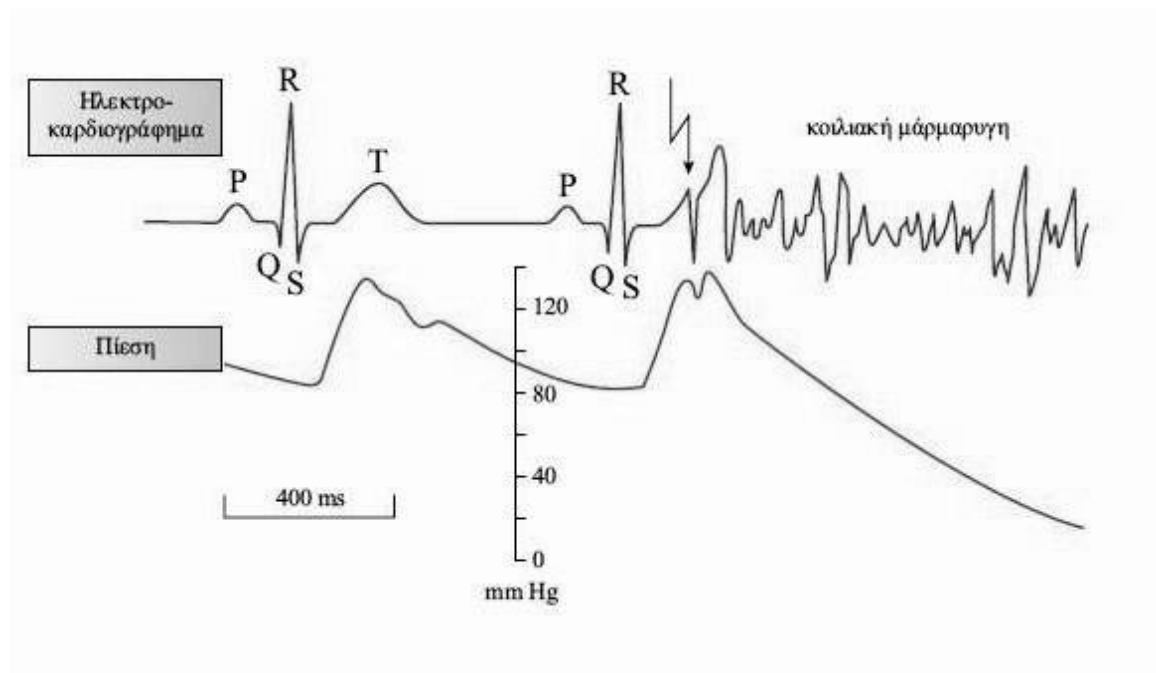
Καθώς η ένταση του ρεύματος αυξάνει, εμφανίζονται στην καρδιά βραδυκαρδία, αρρυθμία, μαρμαρυγή των κοιλιών. Μαρμαρυγή είναι το φαινόμενο της ακατάστατης λειτουργίας της καρδιάς. Κατ' αυτήν σταματά η κανονική λειτουργία της καρδιάς, απουσιάζει ο παλμός και σταματά η κυκλοφορία του

αίματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην αιματώνεται ο εγκέφαλος και σε λίγα λεπτά υφίσταται ανεπανόρθωτη βλάβη. Πολλές φορές το θύμα παρουσιάζει συμπτώματα φαινομενικού θανάτου. Είναι πάρα πολύ σπάνιο να αποκατασταθεί αυτόματα κανονικός ρυθμός και επομένως οι συνθήκες είναι σχεδόν πάντα θανατηφόρες, εκτός εάν θεραπευτούν αμέσως. Ο χρόνος μέσα στον οποίο θα παρασχεθούν οι πρώτες βοήθειες στο θύμα είναι ζωτικής σημασίας για τη διάσωσή του.

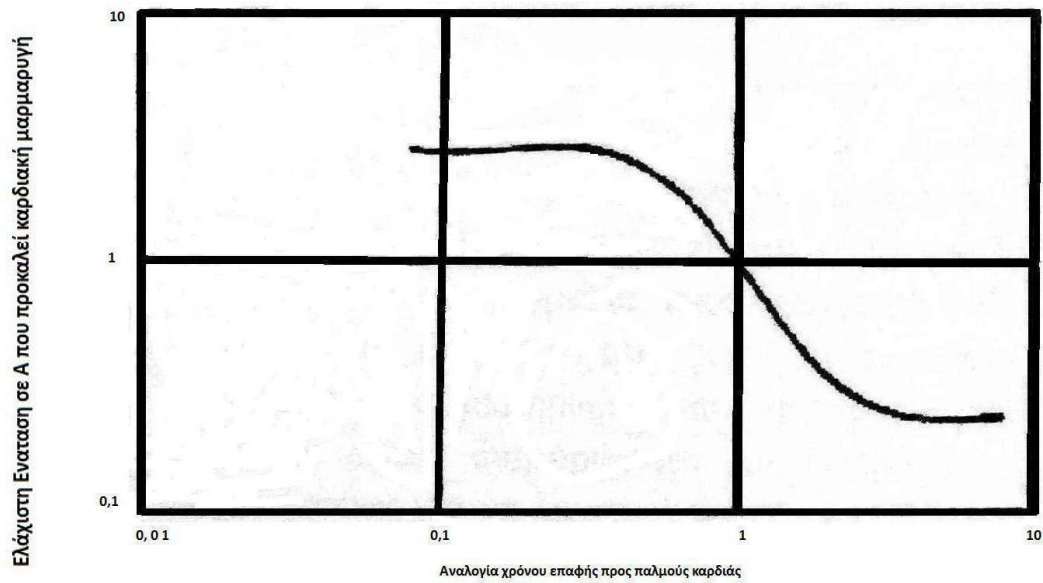
Η μαρμαρυγή εμφανίζεται μόνο όταν το ρεύμα διέρχεται από την καρδιά. Στο Σχήμα 1.4 και 1.5 εμφανίζεται ένα ηλεκτροκαρδιογράφημα. Εκεί διακρίνει κανείς διάφορες περιόδους, φάσεις (P, Q, R, S, T). Υπάρχουν οι περίοδοι της διέγερσης και της χαλάρωσης. Όσον αφορά τον χρόνο διέλευσης, έχει αποδειχθεί από τον Perris ότι το ρεύμα πρέπει να πλήξει την καρδιά κατά την περίοδο που οι κοιλίες είναι σε ανάπαυση ώστε να προκληθεί μαρμαρυγή. Η περίοδος αυτή λέγεται και ευαίσθητη περίοδος, αντιστοιχεί στο κύμα T στο ηλεκτροκαρδιογράφημα και απασχολεί το 25% (0,15sec) του καρδιακού κύκλου. Σημαντικός είναι επίσης, ο συνολικός χρόνος διέλευσης του ρεύματος από την καρδιά. Συνήθως το θύμα ηλεκτροπληξίας δίνει εσφαλμένα μεγαλύτερο χρόνο επαφής με το κύκλωμα, γιατί το αίσθημα του φόβου υποσυνείδητα επιμηκύνει το χρόνο. Ο H.A. Roehler δίνει το Σχήμα 1.6, στο οποίο φαίνεται ότι με την αύξηση του χρόνου επαφής μειώνεται η ένταση που απαιτείται για την πρόκληση μαρμαρυγής. Ο χρόνος δίνεται ως συνάρτηση της καρδιακής λειτουργίας. Εάν ο χρόνος διέλευσης του ρεύματος είναι μικρότερος από τον χρόνο ενός πλήρους κύκλου καρδιακής λειτουργίας, περίπου 0,8 δευτερολέπτων, είναι πιθανόν να μην προκληθεί μαρμαρυγή. Όσο όμως ο χρόνος διέλευσης αυξάνεται τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα πρόκλησης μαρμαρυγής. Στο Σχήμα 1.7 αναπαριστούνται γραφικά τα αποτελέσματα πειραματικών ερευνών ως προς την ένταση που προκαλεί μαρμαρυγή. Από την καμπύλη αυτή προκύπτει ότι η ευπάθεια των πειραματόζων στην μαρμαρυγή αυξάνεται με την αύξηση της έντασης του ρεύματος μέχρι κάποιο σημείο, πέραν του οποίου αρχίζει να ελαττώνεται με την συνεχιζόμενη αύξηση της έντασης. Δηλαδή κάτω και πάνω από ορισμένες εντάσεις δεν προκαλείται μαρμαρυγή των κοιλιών.



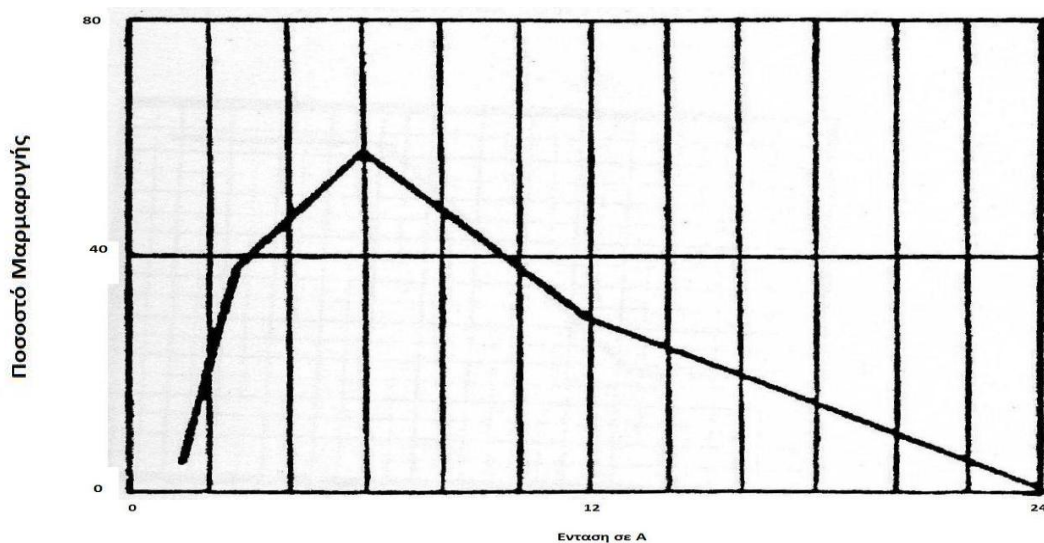
Σχήμα 1.4 : Καμπύλη που δείχνει στο ηλεκτροκαρδιογράφημα τη φάση της καρδιακής λειτουργίας κατά την οποία προκαλείται μαρμαρυγή στην καρδιά του προβάτου (από τον Η.Α. Roehler). Ευαίσθητη περιοχή **T** κατά τη διάρκεια ενός καρδιακού κύκλου. Οι αριθμοί 1 έως 5 δείχνουν την ακολουθία εξάπλωσης της ηλεκτρικής διέγερσης από την γεννήτρια του παλμού έως και την κοιλιακή σύσπαση.



Σχήμα 1.5 : Διέγερση κοιλιακής μαρμαρυγής με διέλευση ρεύματος σε ηλεκτροπληξία κατά τη φάση **T** (25% του καρδιακού κύκλου).



Σχήμα 1.6 : Καμπύλη που δείχνει την αναγκαία ένταση ρεύματος για την πρόκληση κοιλιακής μαρμαρυγής σε καρδιά προβάτου υπό μεταβαλλόμενη διάρκεια επαφής.



Σχήμα 1.7 : Καμπύλη που δείχνει την αναγκαία ένταση για την πρόκληση κοιλιακής μαρμαρυγής σε καρδιά προβάτου (από τον H.A. Roehler)

Οι Dalziel και Lee το 1968 πρότειναν ένα μαθηματικό τύπο για τη σχέση μεταξύ του κατωφλίου του ρεύματος που προξενεί μαρμαρυγή και της χρονικής διάρκειας του σοκ. Αυτός, για εναλλασσόμενο ρεύμα 50/60 Hz και για άτομο βάρους 50Kg είναι

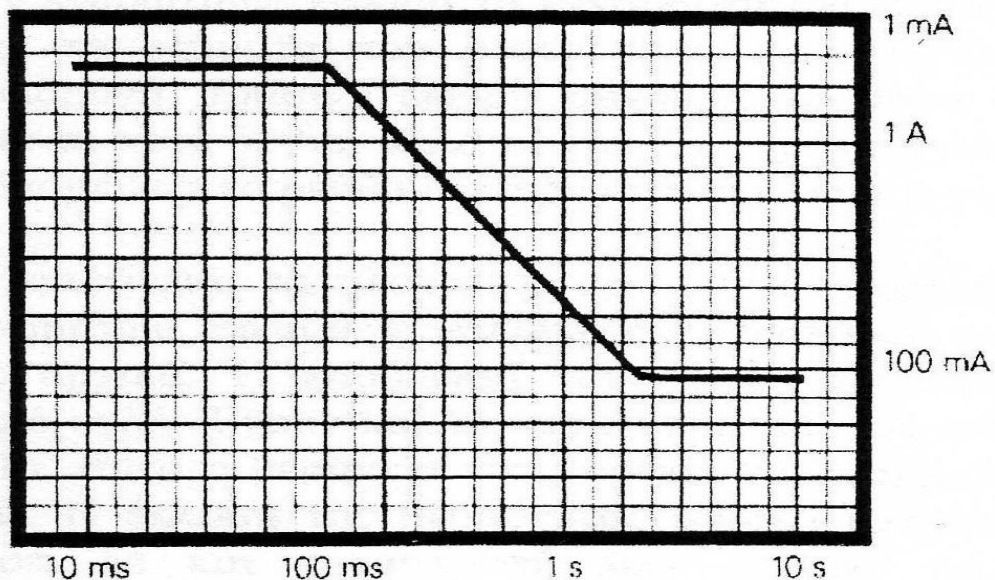
$$I = \frac{116 \text{ έως } 185}{t^{1/2}} \quad (1.2),$$

όπου I η ένταση του ρεύματος σε mA και t ο χρόνος

διοχέτευσης σε δευτερόλεπτα. Η σχέση αυτή ισχύει μόνον για χρονική διάρκεια του σοκ από 8ms έως 5s, διότι αποδείχθηκε ότι, εάν η διάρκεια του σοκ είναι

παρατεταμένη μέχρι 60s, το κατώφλι του ρεύματος που ήταν απαραίτητο για την πρόκληση μαρμαρυγής μένει περίπου στο ίδιο όπως και στα 5s και δεν συνεχίζει να μειώνεται. Υφίσταται επίσης, σχέση μεταξύ της έντασης του ρεύματος μαρμαρυγής και του βάρους του θύματος. Όσο μεγαλύτερο είναι το βάρος του σώματος, τόσο μεγαλύτερη ένταση χρειάζεται για την πρόκληση μαρμαρυγής. Για παράδειγμα, για άνθρωπο βάρους 70kg ο παράγων 116 της παραπάνω εξίσωσης είναι 157.

Πιο πρόσφατα προβλήθηκε ο ισχυρισμός ότι η σχέση μεταξύ του χρόνου διέλευσης του ρεύματος και του κατωφλιού του ρεύματος που προκαλεί μαρμαρυγή έχει τη μορφή **Z**, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.8. Το πάνω κατώφλι είναι όταν ένα σοκ πέφτει στο κύμα **T** του ηλεκτροκαρδιογραφήματος. Η ασυνέχεια συμβαίνει όταν η διάρκεια του σοκ αρχίζει να ξεπερνά τη διάρκεια ενός καρδιακού κύκλου. Το κάτω κατώφλι είναι για μεγαλύτερη διάρκεια του σοκ και αντιπροσωπεύει το μειωμένο κατώφλι μιας ακολουθίας συμπληρωματικών συστολών που προκαλούνται από το ρεύμα. Οι μελέτες αυτές διαμόρφωσαν τη θεωρητική βάση για το ρελαί διαφυγής, που σχεδιάστηκε για να λειτουργεί στην περίπτωση ηλεκτρικού ατυχήματος έτσι, ώστε να διακοπεί το κύκλωμα ραγδαία, πριν προκληθεί καρδιακή μαρμαρυγή. Εάν ένα ρεύμα δεδομένης διάρκειας ξεπεράσει την τιμή του κατωφλιού, η πιθανότητα πρόκλησης μαρμαρυγής προοδευτικά μειώνεται και πάνω από κάποια ένταση δεν προκαλείται καθόλου. Το γεγονός ότι η μαρμαρυγή εμφανίζεται μόνο σε μια συγκεκριμένη περιοχή τιμών του ρεύματος εξηγεί γιατί τα θύματα υψηλής τάσης συχνά ανανίστανται από το σοκ, αν και μπορούν να πεθάνουν από τα εγκαύματα. Διαμορφώνει επίσης τη βάση για τη λειτουργία απινιδωτών για κλινική χρήση.



Σχήμα 1.8 : Καμπύλη Z που αναπαριστά τη σχέση μεταξύ διάρκειας επαφής και κατωφλιού μαρμαρυγής.

- **Παράλυση του αναπνευστικού κέντρου**

Ρεύματα αρκετά μεγαλύτερα από τα ρεύματα μαρμαρυγής ή δεν επιδρούν στην καρδιά ή την κρατούν σε θέση συστολής (ανακοπή), προκαλούν δε παράλυση του αναπνευστικού κέντρου, μη αντιστρεπτή βλάβη του νευρικού συστήματος και εκτεταμένα εσωτερικά και εξωτερικά εγκαύματα, όλες εν δυνάμει θανατηφόρες συνθήκες. Δεν είναι διαθέσιμα αριθμητικά δεδομένα σχετικά με το μέγεθος του ρεύματος που είναι απαραίτητο για την πρόκληση αυτών των φαινομένων. Το 1927 ο Urichart διαπίστωσε προσωρινή αναστολή της λειτουργίας του κέντρου της αναπνοής, όταν αυτό βρισκόταν στη διαδρομή του ρεύματος. Πάντως μόνο το 3% των θανατηφόρων σοκ περνούν από το κεφάλι, όπου εδράζει το νευρικό σύστημα ελέγχου της αναπνοής. Οι Urichart και Noble διαπίστωσαν το 1929 ότι το ίδιο ισχύει και για τον νωτιαίο μυελό και τα περιφερικά νεύρα και ότι το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται από ορισμένη ένταση και πάνω.

- **Εγκαύματα**

Η δίοδος του ηλεκτρικού ρεύματος από έναν αγωγό συνοδεύεται από την έκλυση θερμότητας. Σύμφωνα με τον νόμο του Joule, η εκλυόμενη θερμότητα υπολογίζεται από τον τύπο $Q = I^2 \times R \times t$ (1.3), όπου I το ρεύμα σε A, R η αντίσταση σε Ω και t ο χρόνος σε sec. Όταν η ένταση του ρεύματος είναι πολύ μεγάλη, η εκλυόμενη θερμότητα είναι ικανή να προκαλέσει εγκαύματα στα σημεία του σώματος που είναι σε επαφή με το ρεύμα. Αυτό ονομάζεται ηλεκτρικά εγκαύματα ή εγκαύματα Joule ή ηλεκτροθερμικά εγκαύματα. Τα εγκαύματα παράγονται είτε από ρεύμα υψηλής τάσης είτε από ηλεκτρικά τόξα. Εάν ένας γειωμένος αγωγός έρθει κοντά σε έναν αγωγό υψηλής τάσης, η μόνωση του μεταξύ τους διακένου αέρος διασπάται και δημιουργείται σπινθήρας. Αυτός ιονίζει τον αέρα και επομένως μειώνει την αντίσταση του, γεγονός που αυξάνει το ρεύμα, ώστε να δημιουργηθεί τόξο. Εάν ο γειωμένος αγωγός είναι ένας άνθρωπος που είναι πολύ κοντά στη γραμμή υψηλής τάσης, θα καεί από το τόξο, χωρίς ουσιαστικά να έρθει σε επαφή με τον αγωγό. Λόγω της μειωμένης ηλεκτρικής αντίστασης του αέρα και της μεγάλης επιφάνειας του δέρματος που καίγεται (γεγονός που μειώνει περαιτέρω την αντίσταση του δέρματος), μπορεί να ρεύσουν υψηλά ρεύματα. Έτσι το θύμα υπόκειται σε ένα διπλό συμβάν : το καίει η φλόγα του τόξου και το ρεύμα που το διαπερνά. Τα εγκαύματα επιδεινώνονται λόγω ανάφλεξης των ενδυμάτων. Επίσης, επειδή συνήθως το θύμα δεν αγγίζει τον αγωγό, πρακτικά δεν είναι ποτέ όρθιο, αλλά πέφτει πολύ μακριά από τον αγωγό, σβήνοντας έτσι το τόξο. Επομένως, το ρεύμα διαπερνά το θύμα μόνον για σύντομο χρόνο.

Για δεδομένη επιφάνεια, τα ηλεκτρικά εγκαύματα είναι πάντοτε σοβαρότερα από άλλα είδη εγκαυμάτων. Είναι δε εξωτερικά και εσωτερικά, αν και αυτό μπορεί να μην είναι εμφανές αρχικά. Η επούλωση τους είναι συνήθως αργή και μπορεί να συνοδεύεται από ουλή. Έχουν πολλές επιπλοκές, από τις οποίες μερικές μόνον είναι

προβλέψιμες. Γι' αυτό η θεραπεία τους πρέπει να αναλαμβάνεται από γιατρούς με ειδικές γνώσεις. Επιφέρει δε και καταστροφή των αγγείων με σοβαρά δευτερεύοντα αποτελέσματα, όπως εσωτερικές στενώσεις και θρόμβους, που με τη σειρά τους προκαλούν νέκρωση, που συχνά συνεπάγεται ακρωτηριασμό. Η αποδόμηση των ιστών ευθύνεται για την έκλυση στον οργανισμό χρωμοπρωτεϊνών, όπως η μυογλοβίνη. Η μυογλοβίνη θεωρείται αιτία ανουρίας. Η θεωρία αυτή έχει επιβεβαιωθεί πειραματικά, αλλά δεν είναι καθολικά αποδεκτή. Αποτελεί, όμως, τη βάση για τη σύσταση της άμεσης αλκαλινοθεραπείας του θύματος.

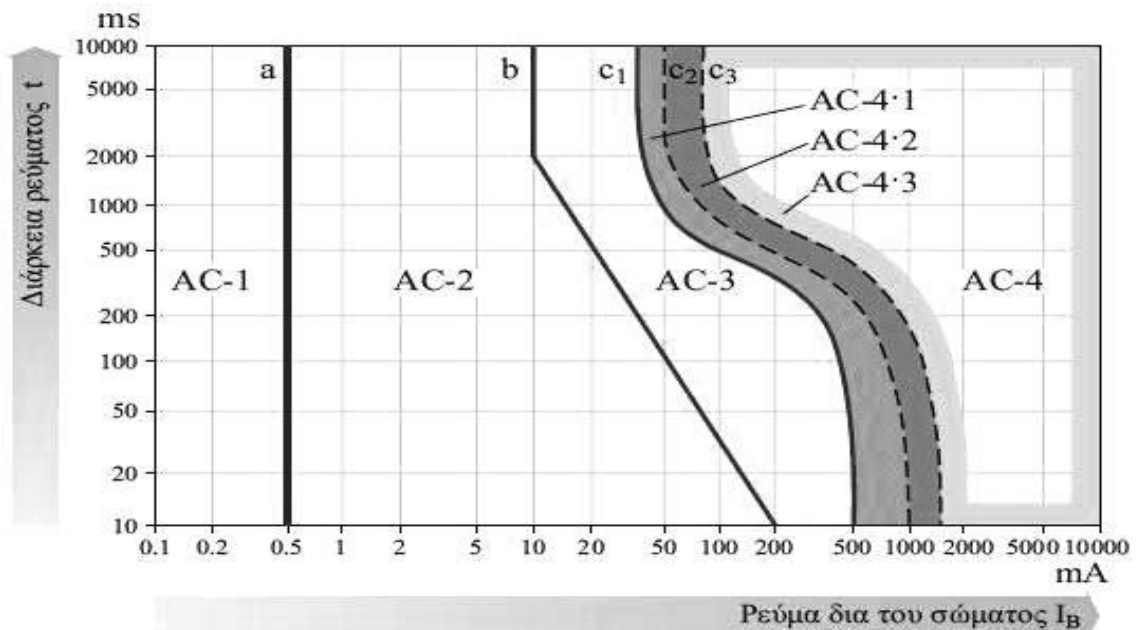
- **Δευτερεύοντα αποτελέσματα :**

Πολλά δευτερεύοντα αποτελέσματα του ηλεκτρικού σοκ έχουν αναφερθεί, που σχετίζονται κυρίως με την καρδιά, το νευρικό σύστημα και τη ψυχική σφαίρα. Τέτοια είναι η ηλεκτρική στηθάγχη, τρόμος, παραισθησία, αδυναμία συγκέντρωσης, αμνησία. Οι αναφορές συχνά περιγράφουν μεμονωμένες περιπτώσεις μια ασθένειας που ακολουθεί το σοκ και δεν είναι πραγματική απόδειξη μιας αιτιακής σχέσης. Πάντως, κάποια επακόλουθα είναι καλά τεκμηριωμένα. Ο ηλεκτρικός καταρράκτης είναι προσωρινός και μπορεί να προκύψει μετά από διάφορους τύπους σοκ, συνήθως σοβαρά και διερχόμενα από το κεφάλι. Η *chromoproteiuria* μερικές φορές οδηγεί σε σοβαρή διαταραχή της νεφρικής λειτουργίας και μπορεί να ακολουθεί ένα σοβαρό σοκ που προξένησε τέτανο των μυών με έκλυση μυογλοβίνης. Το φαινόμενο αυτό είναι ανάλογο με το «σύνδρομο της σύνθλιψης» (*crush syndrome*), κατά το οποίο εκλύονται στο αίμα μυϊκές πρωτεΐνες από τους κατεστραμμένους μύες. Πολλά νευρολογικά επακόλουθα έχουν περιγραφεί και είναι πιθανό μερικά από αυτά να οφείλονται στη βλάβη των νεύρων, ως αποτέλεσμα της βίαιης κίνησης της σπονδυλικής στήλης, που προκαλείται από ισχυρές συσπάσεις που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια του σοκ. Από την άλλη πλευρά, όμως, σοκ αρκετών εκατοντάδων mA περνούν από τον ένα κρόταφο στον άλλο κατά τη θεραπεία με ηλεκτροσόκ και οι παρενέργειες του κεντρικού νευρικού συστήματος από αυτό είναι πολύ σπάνιες. Ειδική περίπτωση αποτελεί η ηλεκτροπληξία εγκύων γυναικών, που μπορεί να προκαλέσει τον θάνατο της μητέρας, του εμβρύου ή και των δύο. Αναφέρεται μία περίπτωση κατά την οποία ένα ζωντανό έμβρυο διεσώθη με καισαρική τομή δεκαπέντε λεπτά μετά τον θάνατο της μητέρας του από ηλεκτροπληξία 220V.

Οι περισσότεροι ερευνητές διακρίνουν διάφορες περιοχές ρεύματος για την επίδραση του ρεύματος στον οργανισμό ανάλογα με την ένταση του. Από τις καλύτερες θεωρείται η διαίρεση του Koerppen, που στηρίζεται σε μεγάλο αριθμό πειραματικών και κλινικών μελετών και τεχνικών αναλύσεων ηλεκτρικών ατυχημάτων. Ο Koerppen διακρίνει τέσσερις περιοχές στην ένταση του ρεύματος, όπως φαίνονται στον Πίνακα 1.6.

Περιοχή	Ένταση ρεύματος I και άλλα χαρακτηριστικά του	Επίδραση Στον άνθρωπο
I	$I < 25\text{mA}$ Προέρχεται συνήθως από τάσεις 110, 220, 380V, συχνότητας 50Hz, όταν υπάρχει υψηλή αντίσταση	
II	$25\text{mA} < I < 80\text{mA}$ Προέρχεται από τάσεις 110, 220, 380V, συχνότητας 50Hz, όταν υπάρχει χαμηλή αντίσταση	Διάρκεια επαφής πέρα από 20-30sec προκαλεί καρδιακή μαρμαρυγή
III	$80 - 100\text{mA} < I < 3-5 \text{ A}$ Προέρχεται από τάσεις 110, 220, 380V, συχνότητας 50Hz, όταν υπάρχει χαμηλή αντίσταση	Εμφανίζεται ανεπανόρθωτη μαρμαρυγή, εκτός εάν ο χρόνος επαφής είναι 0,1 – 0,3sec
IV	$I > 3-8\text{A}$ Προέρχεται από τάσεις μεγαλύτερες από 2.000-3.000V	Επέρχεται θάνατος από βαρύτατα εγκαύματα, που η σοβαρότητα τους είναι ανάλογη του χρόνου επαφής, ή από παράλυση του αναπνευστικού κέντρου.

Πίνακα 1.6 : Περιοχές σοβαρότητας ηλεκτροπληξίας κατά Koerpen.



Σχήμα 1.9 : Περιοχές σοβαρότητας ηλεκτροπληξίας κατά IEC 60479-1. Επίδραση του εναλλασσόμενου ρεύματος 15-100Hz σε ανθρώπους, ανεξαρτήτως ηλικίας και βάρους. Ο δρόμος ρεύματος είναι από το αριστερό χέρι προς τα δύο πόδια. Το ρεύμα που αντιστοιχεί σε αυτό το δρόμο λέγεται ρεύμα αναφοράς. Για χρόνους κάτω των 200ms το διάγραμμα ισχύει για την ευαίσθητη περίοδο του καρδιογραφήματος.

Η Τεχνική Επιτροπή 64 (ηλεκτρικών εγκαταστάσεων σε κτίρια) της Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής (International Electrotechnical Committee – IEC) καθόρισε περιοχές επίδρασης του Σχήματος 1.9 και Πίνακα 1.7, του εναλλασσόμενου ρεύματος 50/60Hz βάσει του χρόνου διέλευσης και της έντασης του, υπό την προϋπόθεση ότι το βάρος του θύματος είναι τουλάχιστον 50Kg και η διαδρομή του ρεύματος είναι από άκρο σε άκρο. Μέσα σε κάθε περιοχή όσο αυξάνεται ο χρόνος διοχέτευσης τόσο καθίστανται σοβαρότερα τα αποτελέσματα. Στην περιοχή 3 και πάνω η αύξηση του χρόνου διοχέτευσης περικλείει κίνδυνο ασφυξίας. Η καμπύλη που διαχωρίζει την περιοχή 2 από την περιοχή 3 (καμπύλη b) καθορίζεται από τον τύπο $I = I_i + \left(\frac{10}{t}\right) (1.4)$, όπου I η RMS ένταση σε mA, I_i η RMS ένταση απαγκίστρωσης που λαμβάνεται ως 10mA και t ο χρόνος διέλευσης σε sec. Οι καμπύλες c_1 , c_2 και c_3 , δίνουν τις διάφορες πιθανότητες για την πρόκληση καρδιακής μαρμαρυγής.

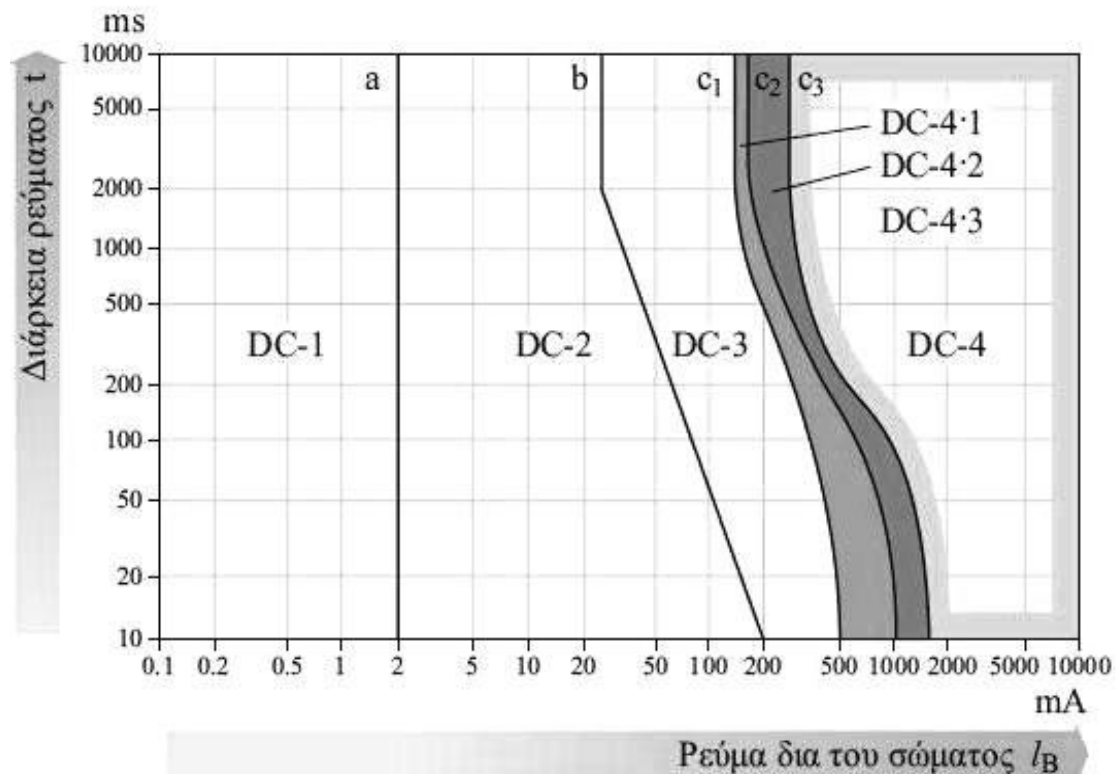
Ζώνη	Όρια	Συνέπειες
AC-1	Μέχρι 0.5mA (γραμμή α)	Δεν υφίσταται συνήθως αντίδραση (αμελητέο αποτέλεσμα)
AC-2	0.5mA έως τη γραμμή b	Υπάρχει αίσθηση του ρεύματος, αλλά δεν προκαλούνται συνήθως επικίνδυνα παθολογοφυσιολογικά προβλήματα.
AC-3	Γραμμή b έως καμπύλη c_1	Συνήθως δεν αναμένεται οργανική βλάβη. Υπάρχει πιθανότητα μουδιάσματος και δυσκολία αναπνοής για διάρκειες ρευμάτων άνω των 2s καρδιακής μαρμαρυγής και τετάνου των μυών. Πιθανολογούνται αναστρέψιμες διαταραχές στην παλμοδοσία της καρδιάς, κολπική μαρμαρυγή και παροδική στάση της καρδιάς χωρίς όμως κοιλιακή μαρμαρυγή, η πιθανότητα αυξάνεται με το ρεύμα και τη διάρκεια.
AC-4	Πάνω από την καμπύλη c_1	Αυξανόμενου του ρεύματος και της διάρκειας του μπορεί να συμβούν επικίνδυνες φυσιολογικές ενέργειες, όπως ανακοπή καρδιάς, ασφυξία, σοβαρά εγκαύματα.
AC-4.1.	$c_1 - c_2$	Πιθανότητα για κοιλιακή μαρμαρυγή έως 5%.
AC-4.2.	$c_2 - c_3$	Πιθανότητα για κοιλιακή μαρμαρυγή έως περίπου 50%.
AC-4.3.	Πέραν της c_3	Πιθανότητα για κοιλιακή μαρμαρυγή πάνω από 50%.

Πίνακας 1.7 : Περιοχές σοβαρότητας ηλεκτροπληξίας κατά IEC 60479-1

1.3.6 Επίδραση συνεχούς ρεύματος

Υπάρχουν τέσσερις περιοχές (ζώνες) επίδρασης του συνεχούς ρεύματος στον άνθρωπο σύμφωνα με το Σχήμα 1.10 και τον Πίνακα 1.8. Αυτές ισχύουν ανεξάρτητα από την ηλικία και το βάρος. Το συνεχές ρεύμα γίνεται αντιληπτό σε ένταση άνω των 2mA. Στη ζώνη 2, άνω των 2mA το ρεύμα προκαλεί συστολή των μυών όχι όμως οργανική βλάβη, μόνο αν αυτό μεταβληθεί απότομα, δηλαδή κατά την επαφή ή κατά τη διακοπή της επαφής. Στη ζώνη 3, είναι πιθανές καρδιακές διαταραχές. Λόγω έλλειψης δεδομένων τα όρια μεταξύ των περιοχών 2 και 3 είναι ασαφή. Στη ζώνη 4, δηλαδή άνω των 150-500mA υπάρχει κίνδυνος μαρμαρυγής.

Σύγκριση των Σχημάτων 1.9 και 1.10 οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το συνεχές ρεύμα είναι πιο ακίνδυνο από ότι ένα εναλλασσόμενο ρεύμα, με τιμή ίση με αυτή του συνεχούς.



Σχήμα 1.10 : Περιοχές επίδρασης του συνεχούς ρεύματος ανεξαρτήτως ηλικίας και βάρους. Ο δρόμος είναι από το αριστερό χέρι στα δύο πόδια, IEC 60474-1.

Ζώνη	Όρια	Συνέπειες
DC-1	Μέχρι 2mA (γραμμή α)	Δεν υφίσταται συνήθως αντίδραση. Πιθανό ελαφρύ κτύπημα κατά το ανοιγοκλείσιμο του ρεύματος.
DC-2	2mA έως τη γραμμή b	Συνήθως δεν προκαλούνται επικίνδυνα παθολογοφυσιολογικά προβλήματα.
DC-3	Γραμμή b έως καμπύλη c ₁	Συνήθως δεν αναμένεται οργανική βλάβη. Αυξανόμενου του ρεύματος και της διάρκειας του μπορεί να συμβούν αναστρέψιμες διαταραχές στην οδήγηση των καρδιακών διεγέρσεων.
DC-4	Πάνω από την καμπύλη c ₁	Αυξανόμενου του ρεύματος και της διάρκειας του μπορεί να συμβούν επικίνδυνες φυσιοπαθολογικές ενέργειες, όπως ανακοπή καρδιάς, ασφυξία, σοβαρά εγκαύματα.
DC-4.1.	c ₁ – c ₂	Πιθανότητα για κοιλιακή μαρμαρυγή έως 5%.
DC-4.2.	c ₂ – c ₃	Πιθανότητα για κοιλιακή μαρμαρυγή έως περίπου 50%.
DC-4.3.	Πέραν της c ₃	Πιθανότητα για κοιλιακή μαρμαρυγή πάνω από 50%.

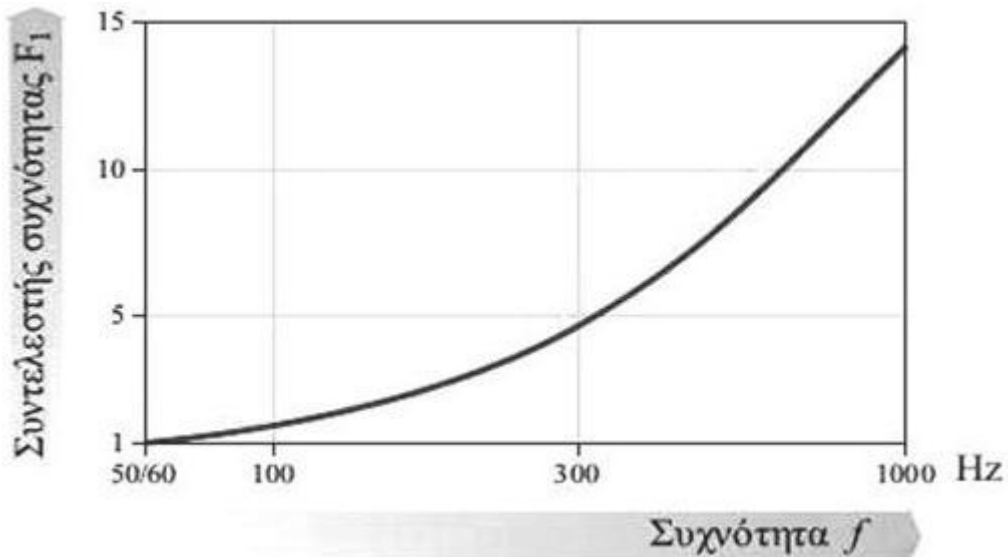
Πίνακας 1.8 : Περιοχές σοβαρότητας ηλεκτροπληξίας κατά IEC 60479-1 για συνεχές ρεύμα.

1.3.7 Η συχνότητα του ρεύματος

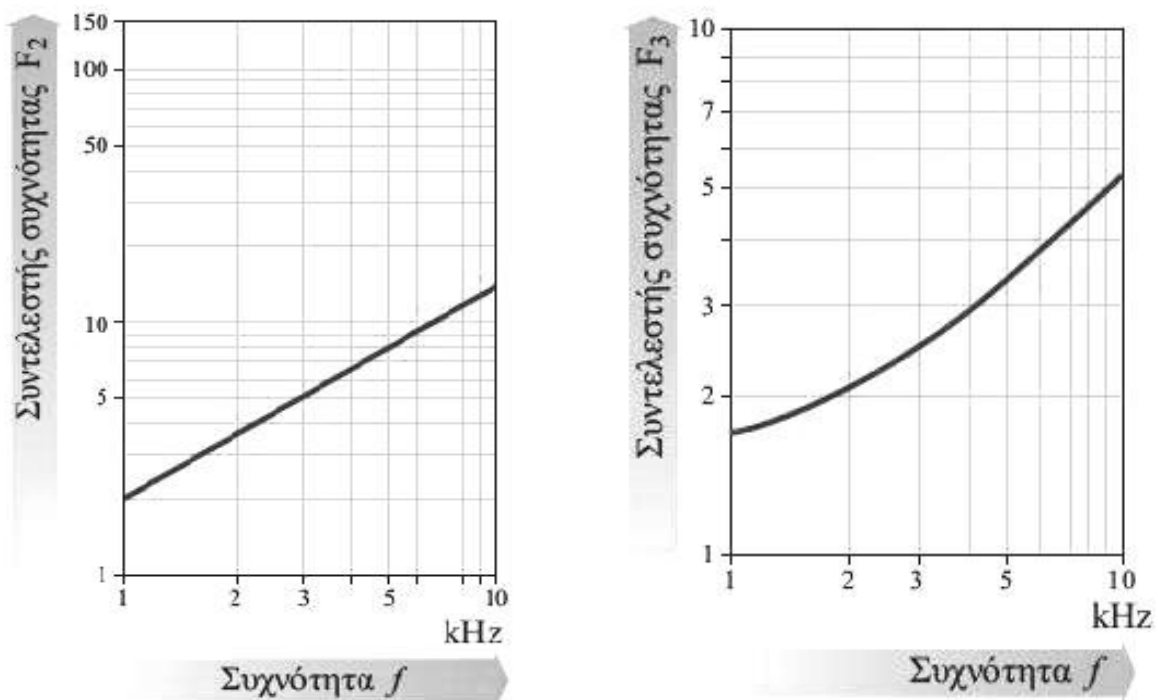
Η επίδραση του ρεύματος στον άνθρωπο γίνεται πιο ακίνδυνη καθώς αυξάνεται η συχνότητα από 50Hz σε υψηλότερες συχνότητες. Φαίνεται ότι η περιοχή γύρω από τα 50Hz είναι η πιο επικίνδυνη. Δηλαδή στο συνεχές και σε υψηλότερες συχνότητες η δράση του ρεύματος είναι πιο ακίνδυνη. Για συχνότητες διαφορετικές των 50Hz ισχύουν τα Σχήματα 1.11 και 1.12 των επιδράσεων του εναλλασσόμενου ρεύματος. Το Σχήμα 1.11 είναι στην κλίμακα των Hz και αφορά το όριο εμφάνισης μαρμαρυγής, ενώ το δεύτερο είναι στην κλίμακα των kHz με το 1.12α να αφορά το όριο κατωφλιού ευαισθησίας και το 1.12β να αφορά την περιοχή όπου οριακά μπορεί κανείς να απαγκιστρωθεί από τον αγωγό. Για να βρεθεί η τιμή ενός υψίσυχνου ρεύματος I_{eq} , που προκαλεί το ίδιο αποτέλεσμα όπως το ρεύμα των 50Hz, πρέπει να πολλαπλασιαστεί το ρεύμα I των 50Hz με συντελεστές που δίνονται στα Σχήματα 1.11 και 1.12.

$$I_{eq} = I * F_1 \text{ (1.5) } \quad \text{ή} \quad I_{eq} = I * F_2 \text{ (1.6) } \quad \text{ή} \quad I_{eq} = I * F_3 \text{ (1.7)}$$

Το F_1 ισχύει για την καμπύλη α, το F_2 για τις καμπύλες c₁, c₂, c₃ του Σχήματος 1.9. Για παράδειγμα, έστω 1000Hz δεν υπάρχει καμία αντίδραση (καμπύλη α) για $0,5 * 2,1 = 1,02mA$. Το όριο μαρμαρυγής (καμπύλη c₁) είναι για καταπόνηση 5 δευτερολέπτων $40 * 15,3 = 612mA$.



Σχήμα 1.11 : Συντελεστής συχνότητας F_1 που αφορά το όριο εμφάνισης μαρμαρυγής. Το ισοδύναμο ρεύμα για συχνότητα f είναι το ρεύμα των 50Hz επί του συντελεστή F_1 .

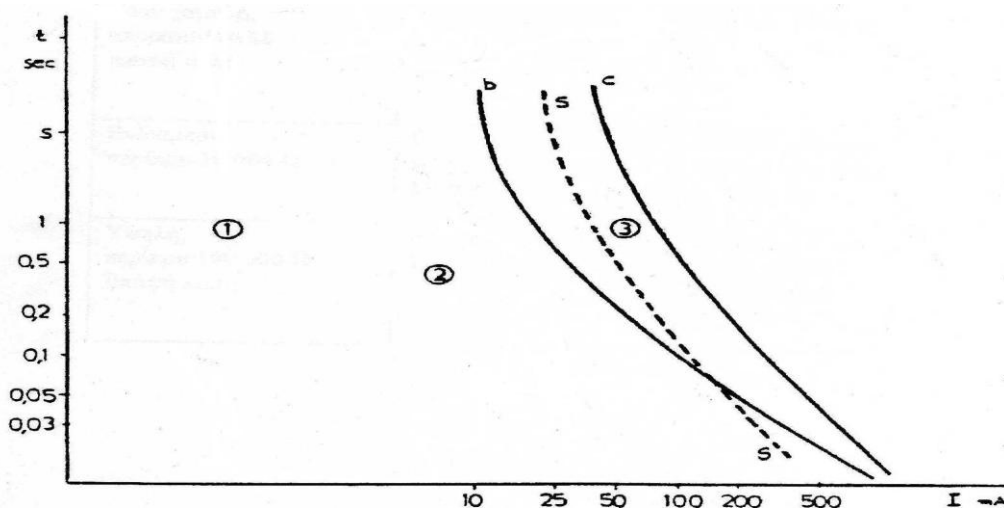


Σχήμα 1.12 : Συντελεστής συχνότητας F_2 (αριστερά) του κατωφλίου ευαισθησίας. Συντελεστής συχνότητας F_3 (δεξιά) για το ρεύμα κατωφλίου περιοχής AC₃ όπου οριακά μπορεί κανείς να απαγκιστρωθεί από τον ρευματοφόρο αγωγό, όριο ελέγχου μυών.

1.3.8 Η τάση

Σύμφωνα με τον νόμο του Ohm: «Ένταση = Τάση / Αντίσταση», φαίνεται ότι στον καθορισμό του επικίνδυνου ρεύματος υπεισέρχεται έμμεσα και ο παράγοντας της τάσης. Όπως έχει ήδη αναφερθεί και παραπάνω, δεδομένου ότι η ένταση του ρεύματος είναι άγνωστη, και αφού είναι άγνωστη και η αντίσταση του σώματος τη στιγμή του ατυχήματος, συμπεραίνεται ότι συνήθως το μόνο γνωστό δεδομένο είναι η τάση του ρεύματος. Θα πρέπει επομένως από το στοιχείο αυτό να εξαχθούν όσο το δυνατόν περισσότερα συμπεράσματα. Η τάση αυτή είναι φασική **Vφ** (220V για τα δίκτυα κατανάλωσης χαμηλής τάσης της ΔΕΗ), εάν το ατύχημα συμβεί μεταξύ μίας φάσης και της γείωσης, ή πολική **Vπ** (380V για τα δίκτυα κατανάλωσης χαμηλής τάσης της ΔΕΗ), εάν το ατύχημα συμβεί μεταξύ δύο φάσεων ($Vπ = \sqrt{3} \times Vφ$).

Το ρεύμα δεν πρέπει να υπερβαίνει τα επίπεδα ασφάλειας, δηλαδή πρέπει να ακολουθεί τις καμπύλες ασφάλειας χρόνου – ρεύματος. Η μέγιστη τάση επαφής που μπορεί να γίνει ανεκτή απεριόριστα χωρίς να προκαλέσει παθολογικά φαινόμενα ονομάζεται «**τάση ασφαλείας**». Βάσει των περιοχών χρόνου – έντασης της επίδρασης του ρεύματος του Report 473 της IEC, της αντίστασης του σώματος από το ίδιο Report και του ότι, όπως προκύπτει από ερωτηματολόγιο, δεν υφίστανται πειστικές αποδείξεις ότι ατυχήματα που έγιναν με τάση μικρότερη από 50V εναλλασσόμενου ή 75V συνεχούς ρεύματος προκάλεσαν σοβαρή βλάβη, καθορίστηκε μια καμπύλη ασφαλούς τάσης, η **καμπύλη S**. Η καμπύλη αυτή σε σχέση με τις περιοχές αποτελεσμάτων χρόνου – έντασης βρίσκεται στο κατώτερο τμήμα της περιοχής 3 και για υψηλές εντάσεις στην περιοχή 2, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.11.



Σχήμα 1.11 : Θέση καμπύλης ασφαλείας σε σχέση με τις περιοχές αποτελεσμάτων χρόνου / έντασης.

Οι υψηλές τάσεις οδηγούν σε ένα υψηλότερο ρεύμα μέσω μιας δεδομένης αντίστασης οποιουδήποτε σώματος και προξενούν μεγαλύτερο κίνδυνο για διέγερση και βλάβη του νευρικού συστήματος, μεγαλύτερη έκλυση ενέργειας και μεγαλύτερη βλάβη των κυττάρων. Παράγουν κατά κανόνα εντάσεις στην περιοχή IV κατά Koerpen, καθώς διασπούν το ρεύμα και η αντίσταση του σώματος μεταπίπτει στη χαμηλή τιμή της εσωτερικής αντίστασης. Κατά συνέπεια δεν θίγουν την καρδιά ή την κρατούν σε θέση συστολής, μετά δε τη διακοπή του κυκλώματος η λειτουργία της καρδιάς ξαναρχίζει κανονικά. Ίσως αυτό το γεγονός, ότι δηλαδή η καρδιά συστέλλεται συνολικά, είναι που την προφυλάσσει από μαρμαρυγή. Οι υψηλές τάσεις επιφέρουν τον θάνατο είτε λόγω παράλυσης του αναπνευστικού κέντρου του προμήκου, είτε λόγω εκτεταμένων εγκαυμάτων, είτε λόγω βλάβης των νεφρών, όπως προαναφέρθηκε. Αντίθετα, οι χαμηλές τάσεις, υπό κατάλληλες συνθήκες, δημιουργούν εντάσεις στην περιοχή III κατά Koerpen, που προκαλούν καρδιακή μαρμαρυγή. Τα αποτελέσματα της επιβολής τάσης ανάλογα με την αντίσταση του σώματος, συνοψίζονται στον Πίνακα 1.9 του Jex-Blake. Για τους λόγους αυτούς διάφοροι ερευνητές διακρίνουν τα ηλεκτρικά ατυχήματα ανάλογα με την τάση του ρεύματος και σε ατυχήματα από υψηλή και χαμηλή τάση. Ως όριο μεταξύ χαμηλής και υψηλής τάσης στη Γερμανία θεωρούνται τα 250V, στις ΗΠΑ τα 500V, αλλά από ηλεκτροπαθολογική πλευρά καλύτερο όριο είναι τα 1000V, όπως καθορίζουν και οι κανόνες της VDE.

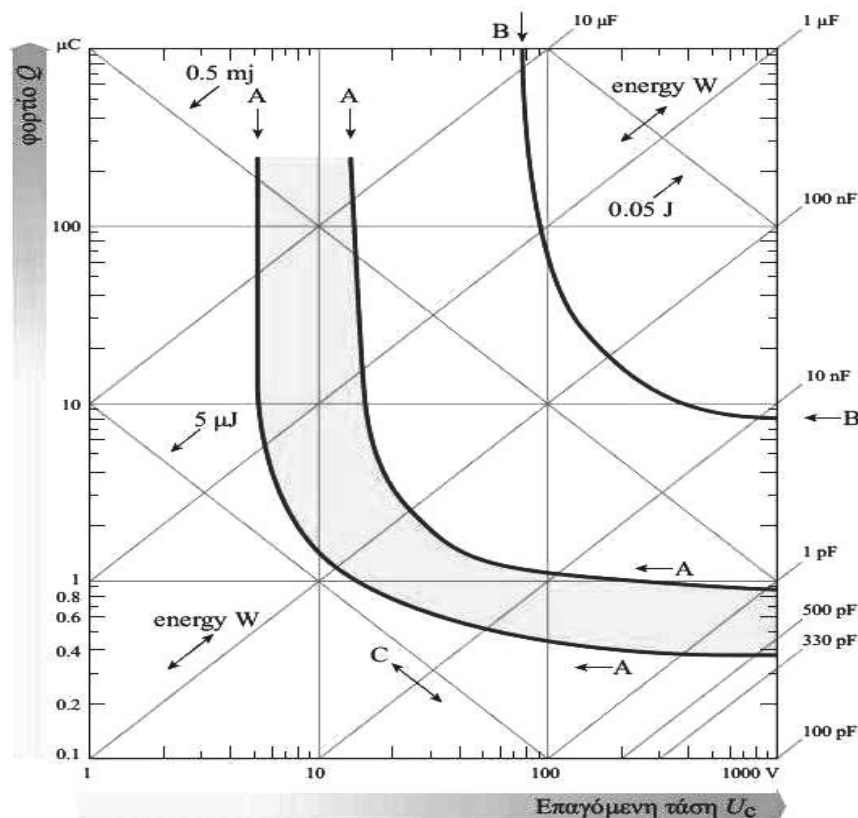
Υποτιθέμενη αντίσταση του σώματος και σταθερότητα επαφής	U = 100V	U = 1.000V	U = 10.000V
Λίαν χαμηλή, περίπου 100Ω . Επαφή καλή	Ασφαλής θάνατος, ελαφρά εγκαύματα I = 1A	Πιθανός θάνατος, σοβαρά εγκαύματα I=10A	Επιβίωση, εγκαύματα και επακόλουθα πολύ σοβαρά I=100A
Ενδιάμεση περίπου 10.000Ω	Επώδυνος κλονισμός χωρίς τραυματισμό I=0,01A	Ασφαλής θάνατος πιθανόν ελαφρά εγκαύματα I=0,1A	Πιθανός θάνατος, σοβαρά εγκαύματα I=1A
Υψηλή, περίπου 100.000Ω . Επαφή κακή	Ελάχιστα αισθητό I=0,001A	Οδυνηρός κλονισμός χωρίς σοβαρό τραυματισμό I=0,01A	Ασφαλής θάνατος ελαφρά εγκαύματα εάν η αντίσταση παραμένει I=0,1A

Πίνακας 1.9 : Αποτελέσματα από την επιβολή τάσης ανάλογα με την αντίσταση του σώματος Jex – Blake.

1.3.9 Επίδραση φορτισμένων πυκνωτών

Επαφή του ανθρώπου με φορτισμένους πυκνωτές που έχουν γειωθεί μόνο στο ένα τους άκρο, μπορεί να προκαλέσει εκκένωση τους μέσω του σώματος προς τη γη. Τέτοιοι πυκνωτές μπορεί να είναι μέσα σε συσκευές (τηλεόραση, συστήματα αντιστάθμισης, εργαστήρια υψηλών τάσεων, ηλεκτρικοί φράχτες).

Το ρεύμα εκκένωσης μπορεί εδώ να είναι υψηλό αλλά και βραχυχρόνιο. Σύμφωνα με τη δημοσίευση IEC 479-2, σαν κριτήρια επικινδυνότητας πρέπει να θεωρηθούν η αποθηκευμένη ενέργεια W στον πυκνωτή και η τάση U , ή το φορτίο Q και η τάση U . Ισχύει: $W = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2}QU$. Τιμές ενέργειας επικίνδυνες ευρίσκονται άνω των 2mJ περίπου. Από τη σχέση : $Q = W \omega$, όπου Q η άεργος ισχύς των πυκνωτών, αυτή η ενέργεια αντιστοιχεί, για παράδειγμα σε πυκνωτές 50Hz και ισχύος 0,6Var όταν αυτοί είναι φορτισμένοι στη μέγιστη τους τάση, οποιαδήποτε και αν είναι η ονομαστική τάση των πυκνωτών. Συνεπώς είναι αναγκαίο εφόσον οι πυκνωτές δεν είναι ενεργοί, να γειώνονται. Στο Σχήμα 1.12 που ακολουθεί δίνονται τα όρια αίσθησης και πόνου για διάφορες χωρητικότητες και τάσεις.



Σχήμα 1.12 : Κατώφλι ευαισθησίας και κατώφλι πόνου για εκφορτίσεις πυκνωτών δια μέσω του σώματος(στεγνά χέρια, μεγάλη επιφάνεια επαφής), κατά IEC 60479-2.

1.3.10 Το περιβάλλον

Η επίδραση του φυσικού περιβάλλοντος σε διάφορες παραμέτρους της ηλεκτροπληξίας είναι πολύ σημαντική. Ήδη αναφέρθηκε η επίδραση της υγρασίας στην αντίσταση του ανθρώπινου σώματος. Εξ ίσου σημαντική είναι η επίδραση κάποιων περιβαλλοντικών παραγόντων και στις αποστάσεις ασφαλείας για εργασία από υψηλή τάση. Αν και η ομίχλη ή και οι σταγόνες της βροχής έχουν αμελητέα επίδραση στην ηλεκτρική δύναμη του διακένου αέρα, δεν ισχύει το ίδιο για το νερό υπό μορφή συνεχούς ροής ή πιτσιλίσματος. Ακόμη και αντικείμενα που είναι ελαφρώς αγωγίμα μπορούν να αποτελέσουν πηγή κινδύνου, εάν έχουν μεγάλο μήκος. Γι' αυτό είναι σημαντικό να λαμβάνονται οι κατάλληλες προφυλάξεις κατά την διεξαγωγή εργασιών μετά από μεγάλη βροχή ή υπό ισχυρό άνεμο, ιδίως σε περιοχές όπου υπάρχουν ταινίες με μεταλλική επικάλυψη, εκτεταμένα απορρίμματα ιών άνθρακα ή ακόμη και άφθονα στελέχη (κοτσάνια) φυτών. Εξ άλλου, καμία απόσταση προσέγγισης σε αγωγό υπό τάση δεν είναι ασφαλής, σε περίπτωση απ' ευθείας πλήγματος του αγωγού από κεραυνό. Γι' αυτό σε όλες τις χώρες υπάρχουν κανονισμοί που απαγορεύουν παντελώς την εκτέλεση εργασιών, όταν υπάρχει πιθανότητα ηλεκτρικών καταιγίδων σε περιοχές με γραμμές υψηλής τάσης υπό επισκευή ή συντήρηση. Η επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ιδίως εάν συνοδεύεται από ταυτόχρονη ύπαρξη υγρασίας, επιδρούν στην διηλεκτρική αντοχή των μονωτήρων και του αέρα και ευνοούν τις διαρροές και την δημιουργία τόξων (παραθαλάσσιες περιοχές, περιοχές με λιγνιτωρυχεία, περιοχές με έντονη βιομηχανική μόλυνση). Η IEC έχει καθορίσει τέσσερις τύπους περιβάλλοντος (ξηρό, υγρό, βρεγμένο και εμβαπτισμένο) και όρισε παραμέτρους για την πρόληψη της ηλεκτροπληξίας για κάθε έναν από αυτούς.

Τα ενδύματα και τα υποδήματα του θύματος είναι σημαντικά, εάν η επαφή γίνεται μέσω αυτών. Η σημασία τους έγκειται στο αν είναι κακοί ή καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού, οπότε συντελούν στην αύξηση ή μείωση αντίστοιχα της συνολικής αντίστασης του κυκλώματος και συνεπώς στον περιορισμό ή όχι του διερχόμενου ρεύματος. Η κακή κατάσταση της υγείας του θύματος, η προϋπαρξη παθήσεων, ιδίως του κυκλοφοριακού συστήματος, είναι δυσμενής για το θύμα ηλεκτροπληξίας. Όσον αφορά την ψυχική του κατάσταση την ώρα του ατυχήματος, φαίνεται ότι και αυτή παίζει ρόλο. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η κατάσταση της προσοχής του, καθώς, σε ανθρώπους που χρησιμοποιήθηκαν σε πειράματα για την εξακρίβωση της μέγιστης ανεκτής έντασης, παρατηρήθηκε ότι, όταν αυτοί δεν ήταν προειδοποιημένοι, η ανεκτή ένταση ήταν πολύ χαμηλότερη από ό,τι στην αντίθετη περίπτωση.

Κεφάλαιο 2

Σκοπός της εργασίας

Από όσα αναφέρθηκαν στην εισαγωγή φαίνεται η ανάγκη ύπαρξης επαρκούς συστήματος ηλεκτρικής ασφάλειας. Είναι φανερό, ότι η ανθρώπινη ζωή αποτελεί ανεκτίμητο αγαθό. Πρέπει λοιπόν να διασφαλιστεί με κάθε δυνατό τρόπο ότι ξεκινώντας από τους εργαζόμενους που είναι εκτεθειμένοι στο ηλεκτρικό ρεύμα και καταλήγοντας στους απλούς καταναλωτές που το χρησιμοποιούν στην καθημερινότητά τους, δεν θα τίθεται η ζωή τους σε κίνδυνο.

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας, είναι η συλλογή και παρουσίαση επιστημονικών απόψεων πάνω στο αντικείμενο της προστασίας από το ηλεκτρικό ρεύμα. Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζονται διεθνή και εθνικά πρότυπα που περιέχουν οδηγίες και απαιτήσεις για τη δημιουργία ασφαλών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, προστατευτικούς εξοπλισμούς και προγράμματα ασφάλειας για την αποφυγή ατυχημάτων. Επίσης καταγράφονται συγκεκριμένα περιστατικά ατυχημάτων που οφειλόταν στο ηλεκτρικό ρεύμα με σκοπό τη διασαφήνιση των αιτιών τους και τον προσδιορισμό μέτρων για την απάλειψή τους. Για το σκοπό αυτό, έγινε διερεύνηση στη διεθνή βιβλιογραφία.

Στην έρευνα που διεξήχθη κατά τη διάρκεια της διπλωματικής αυτής εργασίας, βρέθηκαν αρκετές εργασίες πάνω στο αντικείμενο της ηλεκτρικής ασφάλειας και της πρόληψης των ηλεκτρικών ατυχημάτων. Από αυτές θεωρήθηκαν σημαντικότερες, αυτές που αναλύονται στα επόμενα κεφάλαια.

Κεφάλαιο 3

Διεθνή πρότυπα και τυποποίηση

Η ύπαρξη των προτύπων και κανονισμών σε θέματα ασφάλειας, στην κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων είναι αναγκαία τόσο για λόγους που αφορούν στο περιβάλλον, όσο και γιατί η ασφαλής χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και η ασφάλεια κατά την εργασία σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, προϋποθέτουν:

- Τη σχεδίαση, κατασκευή και συντήρηση των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων μόνο από εξειδικευμένους και εξουσιοδοτημένους για αυτό το σκοπό τεχνικούς (αδειούχους ηλεκτρολόγους).
- Το σχεδιασμό και την κατασκευή των εγκαταστάσεων σύμφωνα με τις κατάλληλες, κατά περίπτωση προδιαγραφές.
- Την λειτουργία της εγκατάστασης σύμφωνα με τους όρους και τις προϋποθέσεις για τις οποίες κατασκευάσθηκε.
- Το σωστό έλεγχο και συντήρηση της εγκατάστασης.
- Τη χρησιμοποίηση υλικών και εξοπλισμού που να πληρούν τις προϋποθέσεις ποιότητας και καταλληλότητας που επιβάλλουν τα πρότυπα και οι σχετικοί κανονισμοί.
- Τη χρήση των κατάλληλων μέσων ατομικής προστασίας κατά την εργασία στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις καθώς και τη λήψη των αναγκαίων μέτρων .

Ο σκοπός των προτύπων και κανονισμών αυτών είναι η εξασφάλιση στην πράξη, προστασίας σε πρόσωπα, κτήρια και πράγματα, από τους κινδύνους που προέρχονται από τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας. Με την εφαρμογή των κανονισμών προκύπτει μια εγκατάσταση ουσιαστικά απαλλαγμένη από κινδύνους. Υπάρχουν εκατοντάδες πρότυπα που αναφέρονται στις διάφορες εγκαταστάσεις και τον εξοπλισμό τους, τα οποία ενημερώνονται και επαυξάνονται ή καταργούνται με την πρόοδο της τεχνολογίας.

3.1 Πρότυπα ηλεκτρικών εγκαταστάσεων

Οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις μπορεί να διακριθούν σε διάφορες υποκατηγορίες όσον αφορά την τυποποίηση τους κατά IEC ή CENELEC. Η κάθε υποομάδα έχει τα δικά της ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και διάφορες περιοχές εφαρμογών.

3.2 Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις κτηρίων

Τα πρότυπα IEC 60364 και ΕΛΟΤ HD 384, εφαρμόζονται σε εγκαταστάσεις χαμηλής τάσης για κτήρια και παρόμοιες εφαρμογές. Συγκεκριμένα, η περιοχή εφαρμογής των προαναφερθέντων προτύπων είναι οι μόνιμες εγκαταστάσεις κτηρίων για ονομαστικές τιμές εναλλασσόμενης τάσης μικρότερης των 1000V (ενεργός τιμή) ή συνεχούς τάσης μικρότερης των 1400V και δεν περιλαμβάνουν εγκαταστάσεις αντικεραυνικής προστασίας, εγκαταστάσεις κίνησης και εγκαταστάσεις πλοίων, ορυχείων, εκρηκτικών περιβαλλόντων.

Το πρότυπο του ΕΛΟΤ HD 384, δημιουργήθηκε από το αντίστοιχο διεθνές πρότυπο IEC 60364 και αποτελεί το Ευρωπαϊκό Εναρμονισμένο Πρότυπο (Harmonization Document) από τη CENELEC με βάση τα ελληνικά δεδομένα.

Σήμερα το ΕΛΟΤ HD 384 αποτελεί τη βάση για τον Κανονισμό Εγκαταστάσεων Κτηρίων που έχει εκδοθεί σαν αντικατάσταση του παλαιού Κανονισμού Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων (ΚΕΗΕ). Από το Μάρτιο του 2004 ξεκίνησε το διετές μεταβατικό στάδιο στο οποίο ίσχυαν ταυτόχρονα ο ΚΕΗΕ και το νέο πρότυπο. Από την πρώτη Μαρτίου του 2006 ο ΚΕΗΕ έχει πάψει να ισχύει και το ΕΛΟΤ HD 384 είναι υποχρεωτικό για όλες τις νέες εγκαταστάσεις για την μελέτη, την κατασκευή και τον έλεγχο τους. Η συντακτική δομή του νέου προτύπου περιλαμβάνει επτά κύρια μέρη, καθένα από τα οποία περιέχει κεφάλαια, τμήματα και άρθρα. Τα μέρη του προτύπου είναι τα εξής:

Μέρος 1: Σκοπός, Αντικείμενο, Βασικές Αρχές. Εδώ οριοθετούνται τα πεδία εφαρμογής.

Μέρος 2: Ορισμοί

Μέρος 3: Εκτίμηση των γενικών χαρακτηριστικών, εξωτερικές συνθήκες, συμβατότητα, συντήρηση, χαρακτηριστικά εγκαταστάσεως, μορφές δικτύων TN, TN-C, TN-C-S, IT Δίκτυα. Τρόποι γείωσης.

Μέρος 4: Μέτρα προστασίας για την ασφάλεια.

Μέρος 5: Επιλογή και εγκατάσταση ηλεκτρολογικού υλικού. Τύποι Εγκαταστάσεων, Επιλογή του διακοπτικού υλικού και ελέγχου. Επιλογή γειώσεων και αγωγών προστασίας. Επιλογή ηλεκτροπαραγωγών ζευγών χαμηλής τάσης.

Μέρος 6: Επιθεώρηση και Δοκιμές Εγκαταστάσεων

Μέρος 7: Απαιτήσεις Ειδικών Εγκαταστάσεων. Λουτρά, κολυμβητήρια, σάουνες, εργοτάξια, αγωγίμοι χώροι, γειώσεις εγκαταστάσεων πληροφορικής, τροχόσπιτα και κατασκηνώσεις, λιμένες πλοιαρίων και πλοιάρια αναψυχής, έπιπλα, εξωτερικός φωτισμός.

Καθώς τίποτα δεν είναι πιο πολύτιμο και πιο σημαντικό από την ανθρώπινη ζωή και από την υγεία, η προστασία των καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας από ηλεκτροπληξία αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους στόχους του νέου προτύπου. Ακολουθεί λεπτομερής ανάλυση του τέταρτου μέρους του προτύπου, στο οποίο παρουσιάζονται ορισμένα από τα σημαντικότερα μέτρα προστασίας:

Μέρος 4: Μέτρα προστασίας και ασφάλειας στα δίκτυα TN-S – Ουδετέρωσης (Σχήμα 3.1α) και TT – Άμεσης Γείωσης (Σχήμα 3.1β).

- **Κεφάλαιο 4.1:** Προστασία έναντι της ηλεκτροπληξίας
- **Κεφάλαιο 4.2:** Προστασία έναντι θερμικών επιδράσεων
- **Κεφάλαιο 4.3:** Προστασία έναντι υπερεντάσεων
- **Κεφάλαιο 4.4:** Προστασία έναντι μειώσεων της τάσης
- **Κεφάλαιο 4.5:** Προστασία μέσω απομόνωσης και διακοπής
- **Κεφάλαιο 4.6:** Εφαρμογή των μέτρων προστασίας
- **Κεφάλαιο 4.7:** Επιλογή των μέτρων προστασίας σε συνάρτηση με τις εξωτερικές επιδράσεις

3.2.1 Προσδιορισμός της μορφής του δικτύου

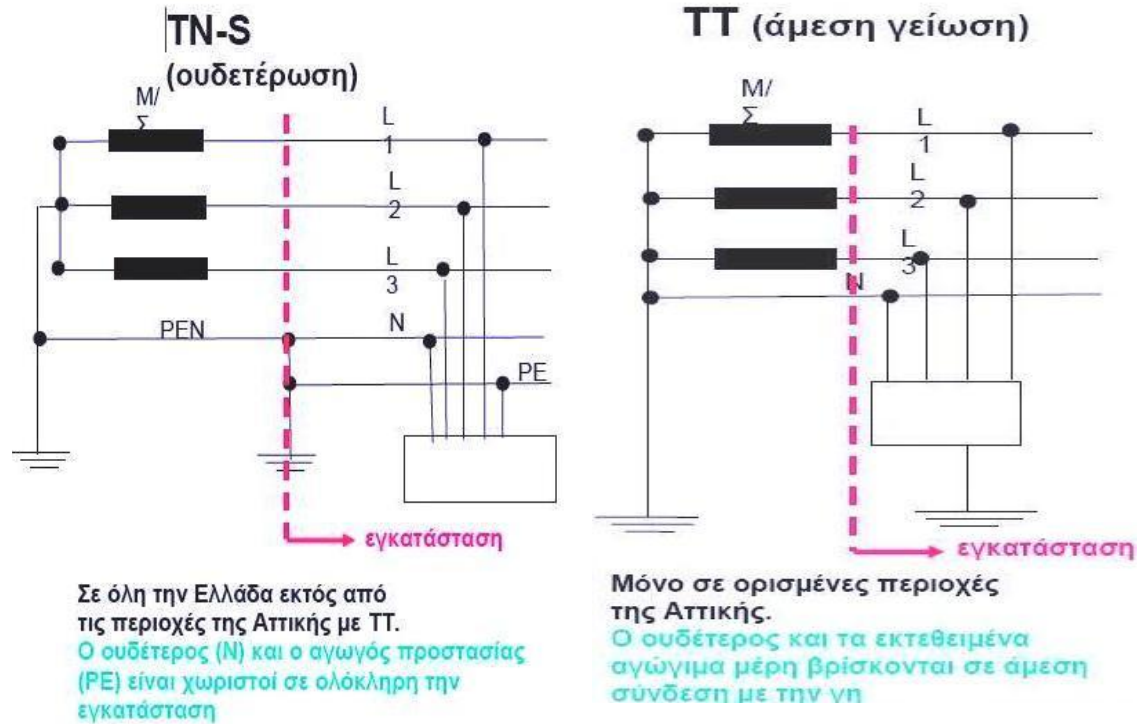
Σύμφωνα με το πρότυπο του ΕΛΟΤ HD 384, ανάλογα με τη μορφή του δικτύου εφαρμόζονται και τα κατάλληλα μέτρα προστασίας και ασφάλειας. Τα δίκτυα που εξετάζονται στη παρούσα ενότητα είναι τα εξής:

- **Δίκτυο TN-S**

Δίκτυο με γείωση ουδετέρου και αγωγού προστασίας. Αυτό είναι η πιο συνήθης μορφή σε οικιακούς αλλά και βιομηχανικούς καταναλωτές, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1α.

- **Δίκτυο TT**

Δίκτυο όπου ο μετασχηματιστής και τα μεταλλικά μέρη των συσκευών είναι γειωμένα με μη συνδεδεμένες, ανεξάρτητες, γειώσεις. Το δίκτυο αυτό παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.1β. Στην περιοχή της Αττικής υπάρχουν τέτοια δίκτυα.



Σχήμα 3.1 : α. Δίκτυο Ουδετέρωσης TN-S (αριστερά).

β. Δίκτυο Άμεσης Γείωσης (δεξιά)

3.2.2 Μέτρα προστασίας από ηλεκτροπληξία

Όπως έχει ήδη αναφερθεί και στο πρώτο κεφάλαιο, ηλεκτροπληξία μπορεί να επέλθει όταν ο άνθρωπος έρθει σε επαφή με δύο μεταλλικά ή αγώγιμα μέρη που έχουν διαφορά δυναμικού, τάσης ως προς γη. Αυτά είναι κυρίως:

1. α) Οι ενεργοί αγωγοί ενός κυκλώματος, δηλαδή οι αγωγοί φάσεων ή ο ουδέτερος και
β) η γη, ή γειωμένα αντικείμενα.
2. α) Εκτεθειμένα, προσβάσιμα μεταλλικά μέρη, όπως μεταλλικά κελύφη συσκευών που έχουν βραχυκυκλωθεί με έναν αγωγό και
β) η γη, ή γειωμένα αντικείμενα.

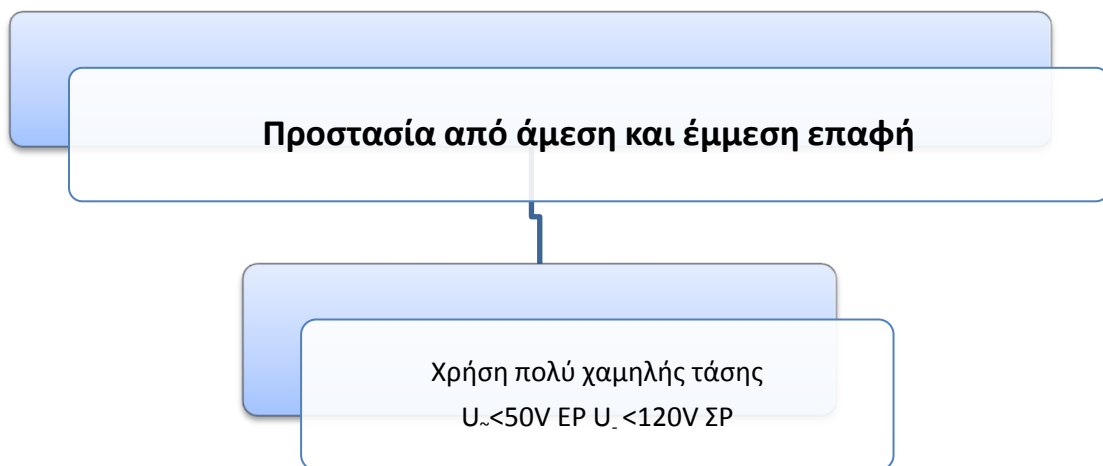
Ηλεκτροπληξία μπορεί να επέλθει με άμεση ή έμμεση επαφή του ανθρώπου με ένα κύκλωμα. Άμεση επαφή έχουμε όταν ακουμπήσει κανείς ηλεκτροφόρο αγωγό ενώ στέκεται στο έδαφος. Έμμεση επαφή, έχουμε όταν λόγω καταστροφής της μόνωσης μεταλλικά, αγείωτα μέρη, τεθούν υπό τάση οπότε η επαφή με αυτά μπορεί να προκαλέσει ηλεκτροπληξία. Επικίνδυνη έμμεση επαφή μπορεί να επέλθει επίσης αν λόγω καταστραμμένης μόνωσης ξένα μεταλλικά προσβάσιμα μέρη τεθούν υπό τάση, ενώ στη γειτνίαση ευρίσκονται μεταλλικά γειωμένα αντικείμενα.

Έτσι γεφυρώνοντας τα δύο μεταλλικά αντικείμενα με το ανθρώπινο σώμα μπορεί αυτό να τεθεί υπό τάση.

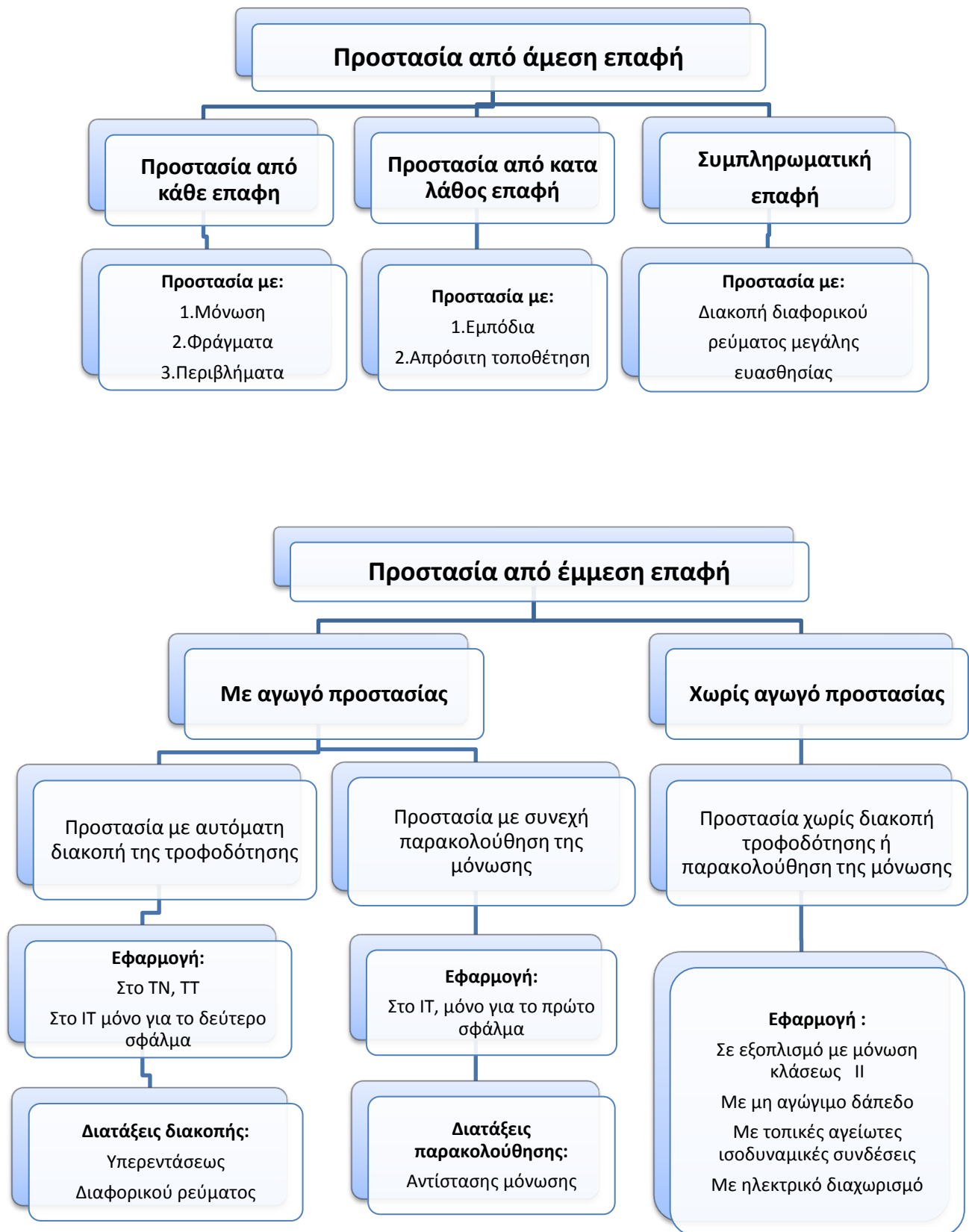
Τα μέτρα που εφαρμόζονται διεθνώς κατά της ηλεκτροπληξίας κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες, Α, Β, C.

- A. Αποφυγή της τάσης, δηλαδή μηδενική τάση επαφής.
- B. Χρήση πολύ χαμηλών τάσεων.
- C. Ταχεία απόζευξη επικίνδυνων τάσεων.

Τα πρότυπα HD 384 που ισχύουν σε όλη την επικράτεια της Ευρωπαϊκής Ένωσης αναγνωρίζουν ανάλογα με την περίπτωση, άμεση ή έμμεση επαφή, τα μέτρα που είναι στα Σχήματα 3.2 και 3.3.



Σχήμα 3.2 : Μέτρα κατά της ηλεκτροπληξίας σε άμεση και έμμεση επαφή.



Σχήμα 3.3 : Μέτρα κατά της ηλεκτροπληξίας σε άμεση και έμμεση επαφή.

3.2.3 Προστασία από άμεση και έμμεση επαφή

Προστασία τόσο σε άμεση όσο και σε έμμεση επαφή προσφέρουν ειδικά δίκτυα με τροφοδοσίες πολύ χαμηλής ονομαστικής τάσης. Πολύ χαμηλές ονομαστικές τάσεις θεωρούνται τάσεις κάτω των

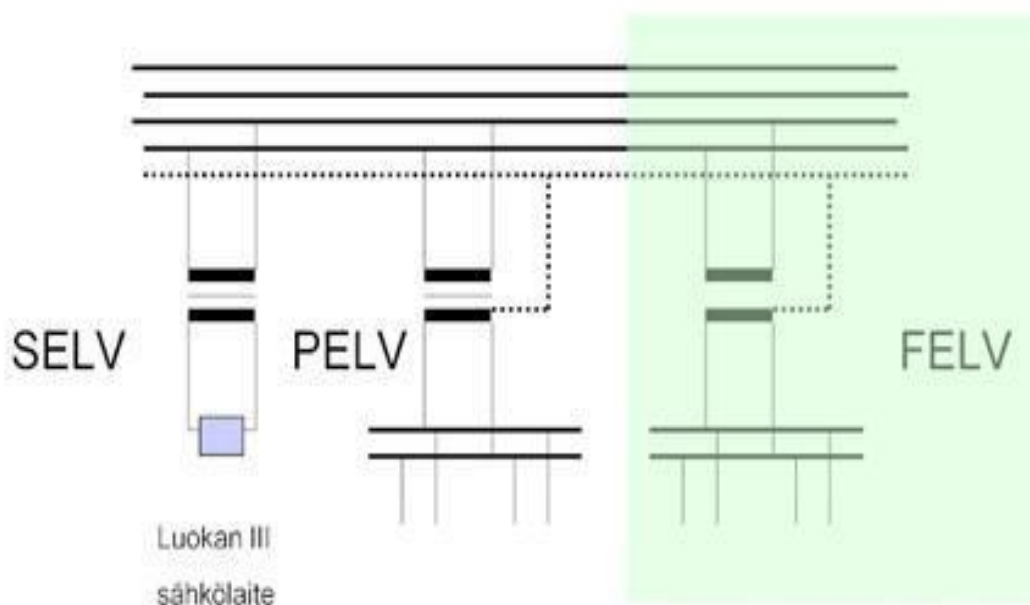
- 50V ενδεικτική τιμή τάσης στο Εναλλασσόμενο Ρεύμα ή
- 120V στο Συνεχές Ρεύμα ή τάση συνεχή με κυμάτωση το πολύ 10% της συνεχούς συνιστώσας και κορυφή μικρότερη των 140V. Για μεγαλύτερη κυμάτωση ισχύει το όριο των 140V μέγιστης τιμής με μέση τιμή τα 50V.

Τα συστήματα πολύ χαμηλών τάσεων είναι τα ακόλουθα (Άρθρο 411.1) και παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.4:

SELV: Safety Extra Low Voltage. Αγείωτο σύστημα που λειτουργεί με πολύ χαμηλή τάση ασφαλείας και χωρίς επαφή με άλλα κυκλώματα (Παράγραφος 411.1.1).

PELV: Protection Extra Low Voltage. Γειωμένο σύστημα που λειτουργεί με πολύ χαμηλή τάση προστασίας (Παράγραφος 411.1.2).

FELV: Functional Extra Low Voltage. Πολύ χαμηλή τάση λειτουργίας. Σύστημα όπου υπάρχει πιθανότητα επαφής με γειτονικά κυκλώματα τάσης υψηλότερης από 50V Εναλλασσόμενο Ρεύμα ή 120V Συνεχές Ρεύμα.



Σχήμα 3.3 : Συστήματα πολύ χαμηλών τάσεων SELV, PELV, FELV

3.2.4 Προστασία από άμεση επαφή

Η άμεση επαφή πρέπει να αποφεύγεται με ένα τουλάχιστον από τα εξής μέτρα:

1. Μόνωση ενεργών αγωγών έτσι ώστε να αντέχουν τις περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμική, ηλεκτρική, μηχανική ή άλλες καταπονήσεις).
2. Περιβλήματα ή φράγματα βαθμού προστασίας IP 2X ή IP XXB (ανοίγματα 12mm το πολύ). Όπου οι επιφάνειες είναι οριζόντιες και εύκολα προσιτές, ο βαθμός προστασίας είναι IP 4X ή IP XXD (ανοίγματα το πολύ 1mm). Αυτά πρέπει να είναι κλειδωμένα και μην μπορούν να αφαιρεθούν χωρίς ειδικά εργαλεία.
3. Εμπόδια που δεν επιτρέπουν την κατά λάθος επαφή με τα υπό τάση μέρη.
4. Εγκατάσταση σε απρόσιτη θέση που δεν επιτρέπουν την ακούσια επαφή με υπό τάση στοιχεία.

Οι δύο τελευταίοι μέθοδοι εφαρμόζονται σε εκπαιδευμένο προσωπικό (συνήθως σε πίνακες όπου προστατεύουν τους συντηρητές ηλεκτρολόγους). Οι μέθοδοι αυτοί δεν εξασφαλίζουν πλήρη προστασία σε άμεση επαφή, γι' αυτό και πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο σε ελεγχόμενους χώρους. Αντιθέτως οι δύο πρώτοι μέθοδοι εφαρμόζονται σε όλες τις περιπτώσεις, δηλαδή και στην περίπτωση χρήσης από ανεκπαίδευτα άτομα.

3.2.5 Προστασία από έμμεση επαφή

Επικίνδυνη έμμεση επαφή προέρχεται από την καταστροφή ή ανεπάρκεια της κύριας μόνωσης, οπότε τμήματα υπό τάση μπορεί να έλθουν σε επαφή με προσβάσιμα μεταλλικά μέρη και με το ανθρώπινο σώμα. Οι επιβαλλόμενες μέθοδοι προστασίας χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες σε αυτές με αγωγό προστασίας και σε αυτές χωρίς αγωγό προστασίας.

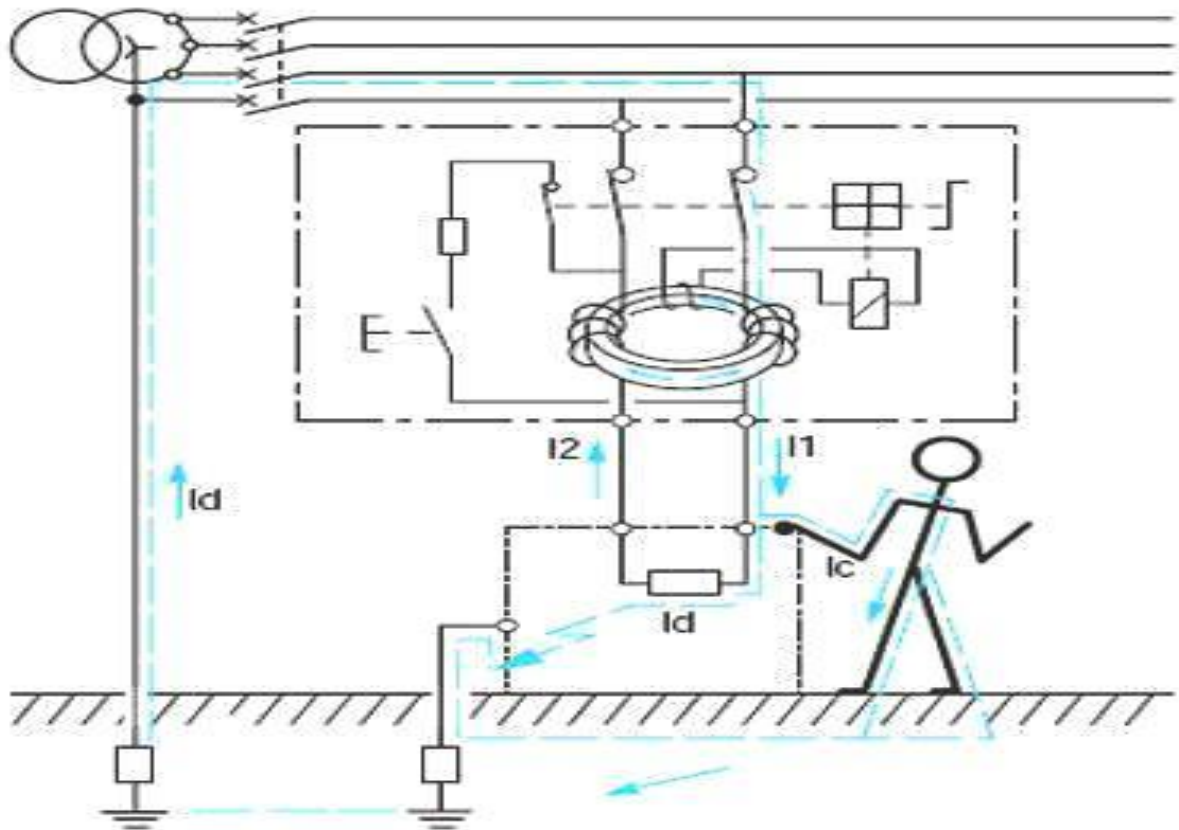
A. Με Αγωγό Προστασίας

- Αυτόματη διακοπή της τροφοδότησης σε περίπτωση σφάλματος.

Η μέθοδος αυτή είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη και σε συνδυασμό με ένα διακόπτη διαφυγής έντασης, οδηγεί σε πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα. Σύμφωνα με απαίτηση του Προτύπου στην Παράγραφο 413.1.1, σε περίπτωση που συμβεί σφάλμα αμελητέας σύνθετης αντίστασης μεταξύ φάσης και εκτεθειμένου αγώγιμου μέρους, η αυτόματη διακοπή πρέπει να επιτυγχάνεται έτσι ώστε, η τάση επαφής να μην ξεπερνά τα 50V εναλλασσόμενου ρεύματος και να μην διατηρείται για χρόνο που να μπορεί να προκαλέσει ηλεκτροπληξία.

➔ Σε δίκτυα TT (περιοχές Αττικής) η τάση επαφής πρέπει να μην ξεπερνά τα 50V και να διακόπτεται σε χρόνο μικρότερο ή ίσο από πέντε δευτερόλεπτα (Παράγραφος 413.1.4.3). Για να εκπληρώνεται η παραπάνω απαίτηση, θα πρέπει να υπάρχει πολύ καλή γείωση και να ελέγχεται η αντίστασή της. Αν με την αντίσταση γείωσης που θα μετρηθεί δεν εξασφαλίζεται η απαίτηση αυτή,

τότε θα πρέπει να χρησιμοποιείται διάταξη διακόπτη διαφυγής έντασης (RCD), η οποία παρουσιάζεται στο επόμενο Σχήμα 3.4, ή συμπληρωματική ισοδυναμική σύνδεση.



Σχήμα 3.4 : Κύκλωμα διάταξης διαφορικού ρεύματος (RCD).

➔ Σε δίκτυα TN (εκτός Αττικής), στα τερματικά κυκλώματα, τα κυκλώματα δηλαδή που τροφοδοτούν φορητές ή κινητές ηλεκτρικές συσκευές με τάση 230V ή 230/400V απευθείας ή μέσω ρευματοδοτών, η αυτόματη διακοπή πρέπει να γίνεται σε χρόνο μικρότερο ή ίσο από τέσσερα δευτερόλεπτα. Επίσης στα κυκλώματα διανομής, δηλαδή στις γραμμές τροφοδοσίας πινάκων ή για κυκλώματα που τροφοδοτούν σταθερές συσκευές, η αυτόματη διακοπή πρέπει να γίνεται σε χρόνο μικρότερο ή ίσο από πέντε δευτερόλεπτα (Παράγραφος 413.1.3.4). Επομένως στα δίκτυα TN αποκτά μεγάλη σημασία για την ασφάλεια η αντίσταση βρόγχου σφάλματος, η οποία θα πρέπει να ελέγχεται προκειμένου να διαπιστώνεται ότι εκπληρώνεται η απαίτηση αυτόματης διακοπής σε χρόνο $\leq 4\text{sec}$ ή $\leq 5\text{sec}$. Σε περίπτωση που δεν μπορεί να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη αντίσταση βρόγχου σφάλματος πρέπει να χρησιμοποιείται διάταξη διαφορικού ρεύματος (RCD) (Παράγραφος 413.1.3.7).

➔ Ρευματοδότες που βρίσκονται στο εξωτερικό του κτιρίου ή που είναι δυνατόν να τροφοδοτήσουν κινητές συσκευές στο εξωτερικό του κτιρίου πρέπει να προστατεύονται με διάταξη διαφορικού ρεύματος (Παράγραφος 471.2.3)

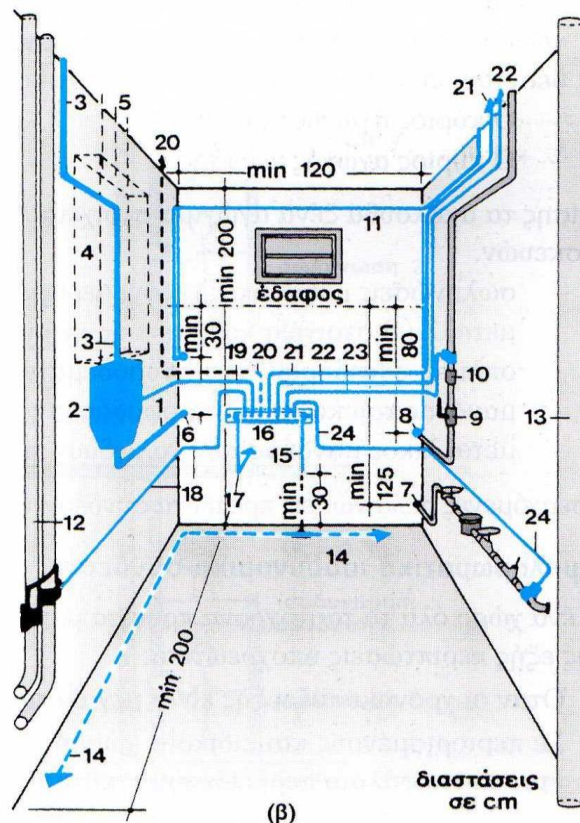
• Γειωμένες Ισοδυναμικές Συνδέσεις.

Κατόπιν απαίτησης του νέου Προτύπου ΕΛΟΤ HD 384, σε κάθε κτίριο πρέπει να δημιουργείται μια κύρια ισοδυναμική σύνδεση. Σε αυτή σύμφωνα με την Παράγραφο 413.1.2.1, πρέπει να συνδέονται:

- ➔ Ο κύριος αγωγός προστασίας (ή οι αγωγοί προστασίας)
- ➔ Ο κύριος αγωγός γείωσης
- ➔ Οι μεταλλικές σωληνώσεις παροχών (όπως του νερού, αερίου)
- ➔ Οι μεταλλικές σωληνώσεις θέρμανσης και κλιματισμού
- ➔ Τα μεταλλικά στοιχεία κατασκευής του κτιρίου
- ➔ Ο μεταλλικός σπλισμός σκυροδέματος, όταν αυτό είναι εφικτό.

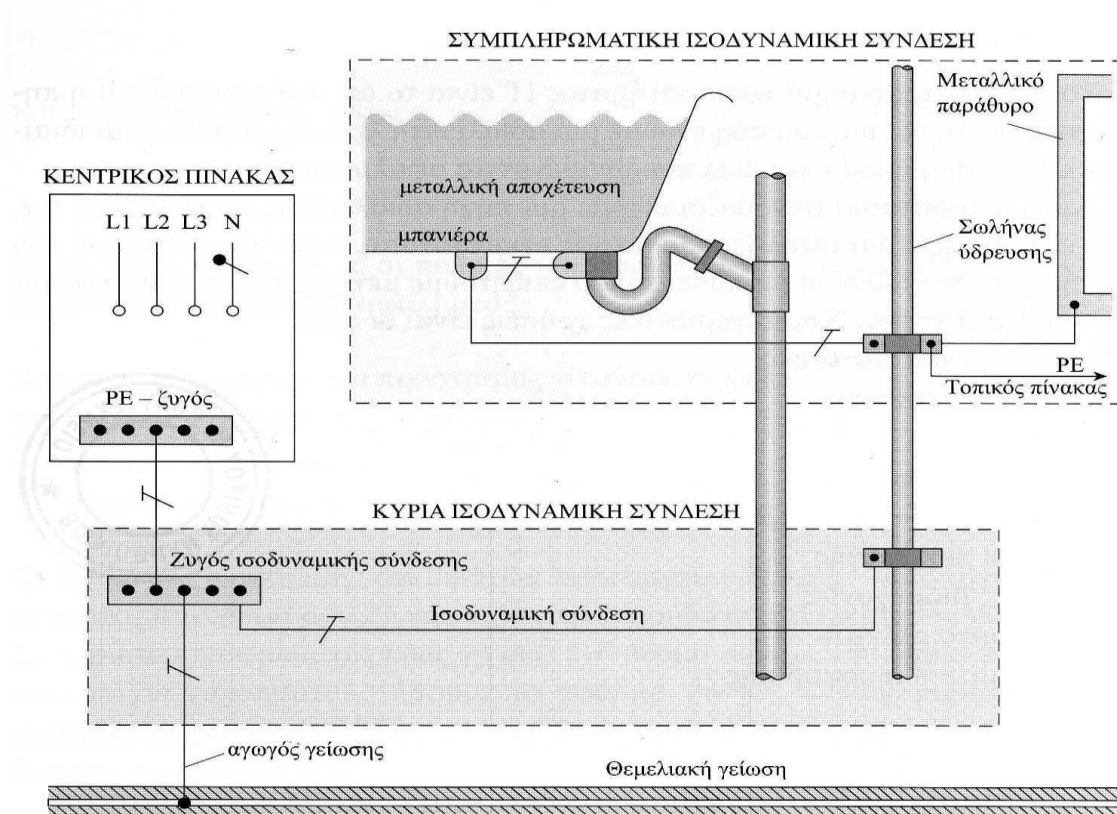
Παρακάτω στο Σχήμα 3.5 παρουσιάζεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μίας κύριας ισοδυναμικής σύνδεσης σε ένα κτίριο, που αποτελεί στην ουσία την κοινή σύνδεση των αγωγών προστασίας και των μεταλλικών στοιχείων ενός κτιρίου.

1. Είσοδος ηλεκτρικής ισχύος,
2. Κιβώτιο ασφαλειών,
3. Καλώδιο πίνακα,
4. Μετρητής,
5. Γραμμές κυκλωμάτων,
6. Προστατευτικός σωλήνας,
7. Σωλήνας νερού με μετρητή,
8. Σωλήνας για φωταέριο,
9. Αποφρακτικό όργανο για φωταέριο,
10. Μονωτήρας,
11. Καλώδιο τηλεφώνου,
12. Σωλήνας θέρμανσης,
13. Αποχέτευση,
14. Θεμελιακή γείωση,
15. Ακροδέκτης θεμελιακής γείωσης,
16. Ζυγός ισοδυναμικής σύνδεσης,
17. Σύστημα αντικεραυνικής προστασίας,
18. Σωλήνας θέρμανσης,
19. Σύνδεση ουδετέρωσης,
20. Αγωγός γείωσης προστασίας,
21. Γείωση τηλεφώνου,
22. Κεραία,
23. Γείωση σωλήνα φωταερίου,
24. Γείωση σωλήνα νερού.



Σχήμα 3.5 : Παράδειγμα κύριας ισοδυναμικής σύνδεσης.

Σε ένα χώρο όλα τα ταυτόχρονα προσιτά μεταλλικά μέρη, όταν οι χρόνοι απόξευξης τους είναι μεγαλύτεροι των επιτρεπόμενων, ή όταν βρίσκονται σε περιορισμένους ειδικούς χώρους (όπως μπάνια) πρέπει να γεφυρώνονται υποχρεωτικά. Για εγκαταστάσεις λοιπόν, ή για μέρη εγκαταστάσεων όπου υπάρχει ειδική απαίτηση, ή δεν είναι δυνατή η τήρηση των συνθηκών με αυτόματη διακοπή της τροφοδοσίας, επιβάλλεται η δημιουργία συμπληρωματικής ισοδυναμικής σύνδεσης (Παράγραφος 413.1.2.2). Η σχέση της κύριας και της συμπληρωματικής ισοδυναμικής σύνδεσης σε ένα κτίριο παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.6.



Σχήμα 3.6 : Σχέση κύριας και ισοδυναμικής σύνδεσης σε ένα κτίριο.

B. Χωρίς Αγωγό Προστασίας

Η χρήση των μέτρων αυτών χωρίς αγωγό προστασίας γίνεται μόνο σε συγκεκριμένα τμήματα της εγκατάστασης ή όπου υπάρχει επιτήρηση από ειδικευμένο προσωπικό.

- Προστασία με υλικό κλάσης II, υλικό με ενισχυμένη μόνωση.

Η μόνωση είναι τόσο ισχυρή ώστε να αποκλείεται η καταστροφή της. Αυτό γίνεται με τους εξής τρόπους:

- ➔ Ενισχυμένη μόνωση (προδιαγραφές EN 60335.1)
- ➔ Βασική και συμπληρωματική μόνωση
- ➔ Η συμπληρωματική μόνωση μπορεί να είναι μονωτικά περιβλήματα IP2X.
- ➔ Αν υπάρχουν μονωτικά περιβλήματα που πρέπει να διαπεραστούν για στερέωση εξοπλισμού, αυτό δεν πρέπει να μειώνει την ασφάλεια σε ηλεκτροπληξία.
- ➔ Τα μονωτικά περιβλήματα δεν πρέπει να διαπερνώνται γενικά από αγώγιμα υλικά.

- Προστασία με μη αγώγιμους χώρους.

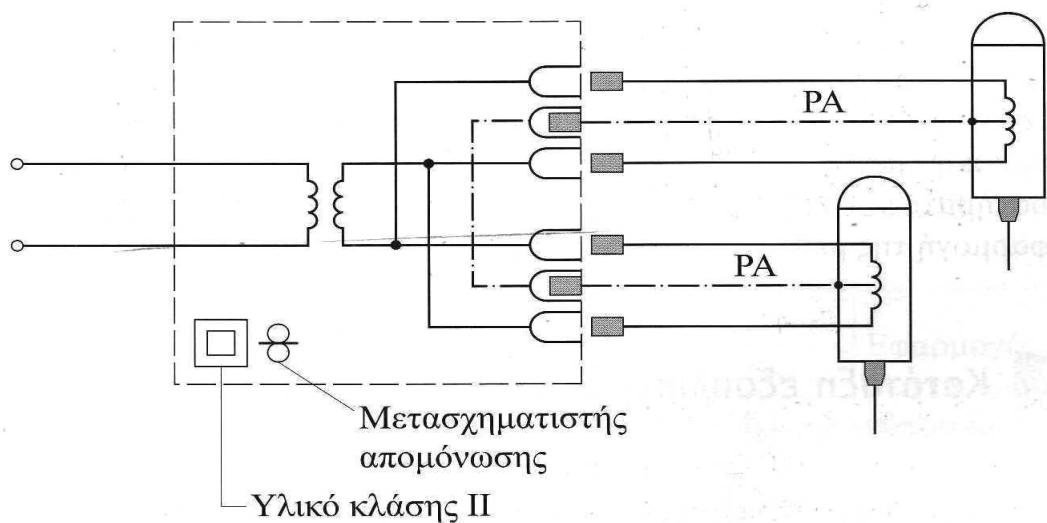
Για την προστασία έναντι έμμεσης επαφής πρέπει να αποκλείεται η ταυτόχρονη επαφή του ανθρώπου με δύο εκτεθειμένα αγώγιμα μέρη ή ένα εκτεθειμένο αγώγιμο μέρος και ένα ξένο αγώγιμο μέρος στην περίπτωση που έχουμε σφάλμα στη βασική μόνωση των ενεργών αγωγών. Δεν επιτρέπεται η σύνδεση του αγωγού προστασίας PE. Οι συνθήκες για την προστασία θεωρούνται ότι ικανοποιούνται αν το δάπεδο και οι τοίχοι είναι μονωμένοι και επιπλέον ισχύουν τα παρακάτω:

- ➔ Οι αποστάσεις μεταξύ αγώγιμων μερών πρέπει να είναι άνω των 2m. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν φράγματα ή κάγκελα.
- ➔ Οι μονώσεις πρέπει να αντέχουν 2000V. Το δάπεδο πρέπει να παρουσιάζει αντίσταση μεγαλύτερη των 50kΩ για 500V ή 100kΩ για 500V τάση συστήματος.,

- Προστασία με ηλεκτρικό διαχωρισμό (μετασχηματιστής απομόνωσης).

Σε περίπτωση όπου το κύκλωμα υπό προστασία τροφοδοτείται μέσω μετασχηματιστή απομόνωσης, αυτός πρέπει να είναι κατασκευασμένος σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 60742. Οι μετασχηματιστές απομόνωσης πρέπει να έχουν ιδιαίτερα ισχυρή μόνωση μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντος. Στους μετασχηματιστές απομόνωσης των 230/480V, η τάση δοκιμής είναι στα 5kV εναλλασσόμενου ρεύματος. Αντίστοιχα, οι μετασχηματιστές γενικής χρήσης έχουν τάσεις δοκιμής 2.5kV έως 3.5kV. Τέλος, η ισχύς των μετασχηματιστών απομόνωσης είναι περιορισμένη στα 4kVA για μονοφασικούς 230V και 10kVA για τριφασικούς 400V (Παράγραφος 413.5.1.1). Τα ενεργά μέρη του διαχωρισμένου κυκλώματος δεν πρέπει να συνδέονται προς την γη, ενώ τα εκτεθειμένα αγώγιμα μέρη του διαχωρισμένου κυκλώματος πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους, αλλά όχι και προς την γη (Παράγραφος 413.5.3.1). Εφαρμογές αυτού γίνονται σε εργοτάξια ή σε μικρές προσωρινές εγκαταστάσεις και σε εγκαταστάσεις υπαίθριες. Ένα

παράδειγμα προστασίας με γαλβανικό διαχωρισμό και ισοδυναμική σύνδεση φαίνεται στο Σχήμα 3.7



Σχήμα 3.7 : Προστασία με γαλβανικό διαχωρισμό και ισοδυναμική σύνδεση.

3.2.6 Χρήσεις διατάξεων διαφορικού ρεύματος (RCDs)

Συνιστάται στα κυκλώματα υπό προστασία, η χρήση διατάξεων διαφορικού ρεύματος (RCDs) σαν συμπληρωματικό μέσο προστασίας, ονομαστικού ρεύματος όχι μεγαλύτερου από 30mA. Οι διακόπτες αυτοί αντιστοιχούν στα πρότυπα EN 61008, EN 61009 και χρησιμοποιούνται σε:

- ➔ Εγκαταστάσεις σε δίκτυα TN στις οποίες, σε περίπτωση σφάλματος η αυτόματη απόζευξη τροφοδοσίας δεν διακόπτεται εντός των απαιτούμενων 0.4s
- ➔ Εγκαταστάσεις σε δίκτυα TT στις οποίες, σε περίπτωση σφάλματος η αυτόματη απόζευξη τροφοδοσίας δεν διακόπτεται σε τάσεις επαφής μεγαλύτερες των 50V.
- ➔ Ρευματοδότες που βρίσκονται εκτός του κτιρίου.
- ➔ Εγκαταστάσεις σε κάμπινγκ και μαρίνες.
- ➔ Αγροτικές εγκαταστάσεις.
- ➔ Εγκαταστάσεις σε εργοτάξια.
- ➔ Πρόχειρες εγκαταστάσεις σε εκθέσεις.
- ➔ Προστασία από πυρκαγιά. Σε ορισμένες περιπτώσεις υπερέντασης, όπως σε χώρους με εύφλεκτα υλικά, ή σε περίπτωση διαρροής μεταξύ φάσεως και γης, η προστασία με ασφάλειες δεν είναι αρκετή να προστατεύσει από πυρκαγιά. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι γραμμές πρέπει να προστατεύονται με διάταξη διαφορικού ρεύματος.

3.2.7 Επανάλεγχος

Για να υπάρχει βεβαιότητα ότι μία ηλεκτρική εγκατάσταση είναι πραγματικά ασφαλής, θα πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις που ορίζουν τα ισχύοντα Πρότυπα αλλά και το ισχύον νομικό πλαίσιο. Γι' αυτό θα πρέπει να πραγματοποιείται συστηματικός επανέλεγχος (ΦΕΚ 470, Δεύτερο Τεύχος, 5 Μαρτίου 2004). Με βάση τη νομοθεσία αυτή, ο επανέλεγχος είναι επίσης υποχρεωτικός μετά από μια φυσική καταστροφή που έχει επιδράσει στο κτίριο, όπως είναι κεραυνός, σεισμός ή πλημμύρα, ή μετά από σοβαρά ατυχήματα όπως η πυρκαγιά ή η ηλεκτροπληξία. Οι επανέλεγχοι σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία πρέπει να πραγματοποιούνται:

- Για κατοικίες, τουλάχιστον κάθε δεκατέσσερα χρόνια
- Για κλειστούς επαγγελματικούς χώρους που δεν έχουν εύφλεκτα υλικά, τουλάχιστον κάθε επτά χρόνια.
- Για κλειστούς επαγγελματικούς χώρους που έχουν εύφλεκτα υλικά, τουλάχιστον κάθε δύο χρόνια.
- Για χώρους ψυχαγωγίας και συνάθροισης κοινού, τουλάχιστον κάθε χρόνο.
- Για επαγγελματικές εγκαταστάσεις στο ύπαιθρο (μαρίνες, πισίνες, κάμπινγκ), τουλάχιστον κάθε χρόνο, ενώ σε περίπτωση διακοπής της ηλεκτροδότησης, πριν από την επανασύνδεση.
- Για όλες τις παραπάνω κατηγορίες, εφόσον προκύπτει αλλαγή χρήσης της εγκατάστασης.

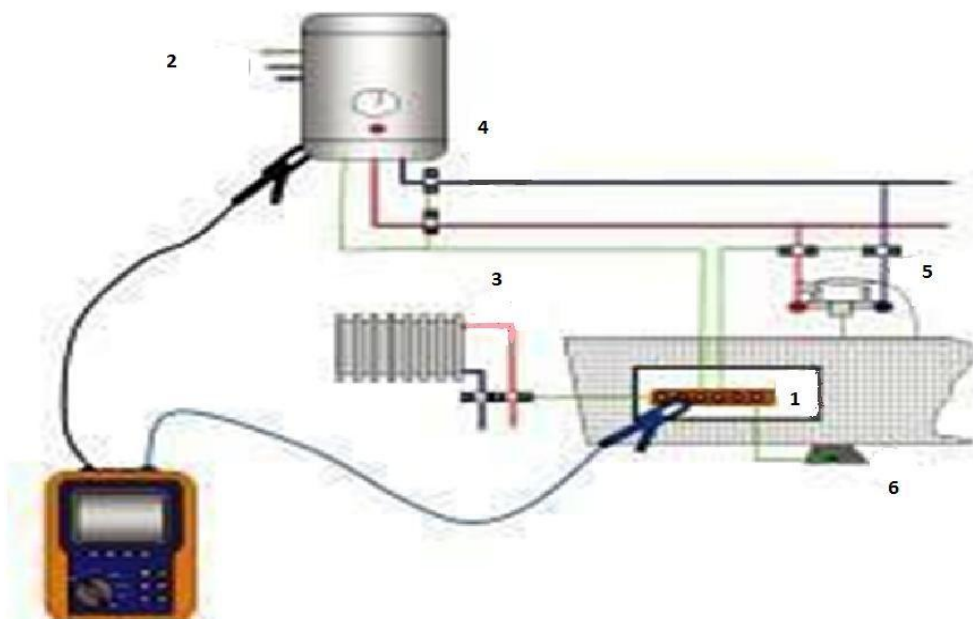
Οι επανέλεγχοι, για να είναι αξιοποιήσιμοι και αποδοτικοί, θα πρέπει να διεξάγονται όπως καθορίζονται και απαιτούνται από το πρότυπο του ΕΛΟΤ HD 384. Στις απαιτήσεις του προτύπου για τους επανέλεγχους περιλαμβάνονται και ειδικές μετρήσεις και δοκιμές, για να διαπιστώνεται από τα αποτελέσματά τους ότι η ηλεκτρική εγκατάσταση είναι πραγματικά ασφαλής. Οι μετρήσεις αυτές και οι δοκιμές θα πρέπει να διεξάγονται με ειδικά όργανα, τα οποία θα πρέπει να πληρούν συγκεκριμένες απαιτήσεις και κυρίως αυτές των προτύπων σειράς ΕΛΟΤ EN61557. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων και των δοκιμών αυτών θα πρέπει να τεκμηριώνονται σε ένα πρωτόκολλο ελέγχου.

Η διαδικασία της διεξαγωγής δοκιμών και μετρήσεων για τον επανέλεγχο μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης πραγματοποιείται ως εξής:

- Έλεγχος συνέχειας αγωγών προστασίας, κύριας και συμπληρωματικής ισοδυναμικής σύνδεσης (απαιτείται από το άρθρο 612.2 του ΕΛΟΤ HD 384).** Ο ολοκληρωμένος έλεγχος προϋποθέτει τον έλεγχο της συνέχειας όλων των αγωγών προστασίας, κύριας και συμπληρωματικών ισοδυναμικών συνδέσεων, όπως για παράδειγμα σε λουτρά (Σχήμα 3.8), για να εξακριβώνεται ότι αυτοί συνδέονται αγωγή με χαμηλή αντίσταση με το σύστημα γείωσης. Ο έλεγχος

συνέχειας αγωγών προστασίας και ισοδυναμικών συνδέσεων θα πρέπει να πραγματοποιείται μεταξύ:

- Ζυγού γείωσης Γενικού Πίνακα Διανομής (ΓΠΔ) και ζυγού γείωσης κάθε υποπίνακα (εφόσον υπάρχει)
- Ζυγού γείωσης Γενικού Πίνακα Διανομής (ΓΠΔ) και κάθε Συγκεντρωτικού Δακτυλίου Γείωσης (ΣΔΑΓ), εφόσον υπάρχει.
- Ζυγού γείωσης υποπίνακα ή Γενικού Πίνακα Διανομής (ΓΠΔ) και ακροδέκτη γείωσης κάθε ρευματοδότη.
- Κάθε εκτεθειμένου αγωγίμου αντικειμένου (όπως είναι μεταλλικά περιβλήματα συσκευών – μηχανημάτων, μεταλλικές σωληνώσεις) και του συστήματος γείωσης της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης.



Σχήμα 3.8: Έλεγχος συμπληρωματικής ισοδυναμικής σύνδεσης του λουτρού

- 1.Ισοδυναμικός ζυγός γείωσης
- 2.Αγωγός προστασίας
- 3.Συμπληρωματικός μεταλλικοί σωλήνες θέρμανσης
- 4.Μεταλλικοί σωλήνες ζεστού και κρύου νερού θερμοσίφωνα
- 5.Μεταλλικοί σωλήνες ζεστού και κρύου νερού λουτρού
- 6.Μεταλλική βάση μπανιέρας

Παράλληλα πρέπει να γίνεται έλεγχος προσιτών μεταλλικών στοιχείων. Σκοπός του ελέγχου είναι να εξακριβωθεί ότι υπάρχει ηλεκτρική συνέχεια μεταξύ ηλεκτροδίου γείωσης, γείωσης, αγωγών προστασίας (PE), αγωγών κύριας ισοδυναμικής και αγωγών συμπληρωματικής ισοδυναμικής σύνδεσης. Η τιμή αντίστασης των αγωγών προστασίας, κύριας και συμπληρωματικής σύνδεσης, δεν ορίζεται από το πρότυπο όμως θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται ότι :

- Αν συμβεί σφάλμα αμελητέας σύνθετης αντίστασης σε οποιοδήποτε σημείο της εγκατάστασης μεταξύ ενός αγωγού φάσης και ενός εκτεθειμένου αγώγιμου μέρους ή ενός αγωγού προστασίας, θα διακοπεί η τροφοδότηση μέσα στους χρόνους που απαιτεί το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384.
- Η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο οποιονδήποτε ταυτόχρονα προσιτών αγώγιμων μερών δε θα ξεπεράσει τα 50V.

ii. **Μέτρηση αντίστασης μόνωσης (απαιτείται από το άρθρο 612.3 του ΕΛΟΤ HD 384).** Σκοπός της μέτρησης της αντίστασης μόνωσης είναι ο έλεγχος της κατάστασης των μονωτικών υλικών (όπως για παράδειγμα της μόνωσης καλωδίων) αλλά και η τήρηση της ηλεκτρικής απομόνωσης για τον ασφαλή διαχωρισμό των κυκλωμάτων, μεταξύ τους αλλά και ως προς το σύστημα γείωσης όπου αυτό απαιτείται. Αν πρέπει να πραγματοποιηθούν μετρήσεις αντίστασης μόνωσης μεταξύ ενεργών αγωγών θα πρέπει να αποσυνδεθούν τα φορτία που αυτοί τροφοδοτούν διαφορετικά το όργανο θα μετρήσει την αντίσταση μόνωσης. Επιπλέον, μπορεί να προκληθεί ζημιά στα φορτία. Στην περίπτωση που τα φορτία δεν είναι δυνατό να αποσυνδεθούν, μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο η μέτρηση της αντίστασης μόνωσης μεταξύ κάθε ενεργού αγωγού και του αγωγού προστασίας.

Πριν πραγματοποιηθεί η μέτρηση της αντίστασης μόνωσης θα πρέπει να διαπιστωθεί ότι το υπό έλεγχο κύκλωμα δεν βρίσκεται υπό τάση και ότι όλα τα φορτία που τροφοδοτούνται από αυτό είναι αποσυνδεδεμένα. Γενικά, θα πρέπει η μέτρηση της μόνωσης να γίνεται καταρχήν στο σημείο τροφοδότησης της εγκατάστασης. Αν η τιμή που προκύπτει από τη μέτρηση είναι μικρότερη από την ελάχιστη επιτρεπτή τιμή που ορίζει το πρότυπο, τότε είναι επιτρεπτό να διαμοιραστεί (κατατμηθεί ή διαιρεθεί) η εγκατάσταση σε ομάδες κυκλωμάτων και να μετρηθεί η αντίσταση μόνωσης κάθε κυκλώματος της ομάδας αυτής χωριστά. Αν σε μια ομάδα η μετρούμενη τιμή είναι μικρότερη από την ελάχιστη επιτρεπτή, τότε θα πρέπει να μετρηθεί η αντίσταση μόνωσης κάθε κυκλώματος της ομάδας αυτής χωριστά. Αν ένα κύκλωμα ή τμήματα κυκλωμάτων διακόπτονται από διατάξεις προστασίας έναντι υποτάσεων, όπου όλοι οι ενεργοί αγωγοί διακόπτονται, τότε θα πρέπει να μετριέται χωριστά η αντίσταση μόνωσης αυτών των κυκλωμάτων ή των τμημάτων των κυκλωμάτων.

Ειδικότερα για τους επανελέγχους, σύμφωνα πάντα με τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ HD 384, θα πρέπει να πραγματοποιούνται οι παρακάτω μετρήσεις και έλεγχοι που έχουν σχέση με την αντίσταση μόνωσης:

- Μέτρηση της αντίστασης μόνωσης της ηλεκτρικής εγκατάστασης.
- Έλεγχος διαχωρισμού των κυκλωμάτων στην περίπτωση εφαρμογής SELV
- Έλεγχος διαχωρισμού των κυκλωμάτων στην περίπτωση εφαρμογής PELV
- Έλεγχος διαχωρισμού των κυκλωμάτων με ηλεκτρικό διαχωρισμό.

Στον Πίνακα 3.1 που ακολουθεί, αναφέρονται οι τιμές τάσεις ελέγχου και οι ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές αντίστασης μόνωσης που θα πρέπει να βρεθούν στις αντίστοιχες μετρήσεις. Το αποδεκτό σφάλμα μέτρησης γι' αυτές τις μετρήσεις είναι έως 30% με βάση το Πρότυπο. Αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε περιπτώσεις οριακών τιμών με βάση τον Πίνακα 3.1.

Σύντομη περιγραφή	Τάση ελέγχου	Ελάχιστη επιτρεπτή τιμή
Συστήματα SELV ή PELV	250 VDC	>0.250 MΩ
Συστήματα μέχρι 500V με εξαίρεση Τις περιπτώσεις SELV ή PELV	500 VDC	>0.500 MΩ
Συστήματα πάνω από 500V	1000 VDC	>1.0 MΩ
Αντίσταση μόνωσης πατωμάτων και τοιχωμάτων σε εγκαταστάσεις κάτω από 500V	500 VDC	>50KΩ
Αντίσταση μόνωσης πατωμάτων και τοιχωμάτων σε εγκαταστάσεις πάνω από 500V	1000 VDC	>100KΩ
Ηλεκτρικοί πίνακες 230/400V	500 VDC	>230KΩ
Ηλεκτρικός εξοπλισμός μηχανημάτων	500 VDC	>1MΩ

Πίνακας 3.1: Τιμές τάσης ελέγχου και οι ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές αντίστασης μόνωσης, που πρέπει να προκύψουν κατά τον επανέλεγχο.

- iii. Έλεγχος λειτουργίας Διατάξεων Προστασίας Διαφορικού ρεύματος [ρελαί] (απαιτείται από το άρθρο 612.6.1 και Παράρτημα Π.61-B του ΕΛΟΤ HD 384). Σκοπός του ελέγχου είναι να εξακριβωθεί ότι τα ρελέ έχουν εγκατασταθεί και ρυθμιστεί σωστά, ότι λειτουργούν και ότι διατηρούν τα χαρακτηριστικά τους με την πάροδο του χρόνου ώστε να παρέχουν την προβλεπόμενη ασφάλεια. Σύμφωνα με τα πρότυπα κατασκευής και ελέγχου των ρελέ, θεωρείται ότι ένα ρελέ λειτουργεί σωστά όταν το ρεύμα διακοπής του κυκλώματος (I_{Δ}) κυμαίνεται μεταξύ $\frac{1}{2} I_{\Delta n}$ και $I_{\Delta n}$, όπου $I_{\Delta n}$ το ονομαστικό διαφορικό ρεύμα λειτουργίας. Η απαίτηση αυτή αφορά εναλλασσόμενο ημιτονοειδές ρεύμα.

Ο αυτόματος έλεγχος των χαρακτηριστικών του ρελέ που γίνεται από σύγχρονα όργανα ελέγχου προκαλεί διαρροή σε αυτό. Για το λόγο αυτό προτείνεται να αποσυνδεθούν τα φορτία που είναι συνδεδεμένα στο υπό έλεγχο ρελέ και τα οποία θα μπορούσαν να επηρεαστούν από τη διακοπή

τροφοδοσίας. Επιπλέον, προτείνεται να ελεγχθούν όλα τα φορτία που συνδέονται στο ρελέ, γιατί μπορεί να προστεθούν ρεύματα διαρροής σε αυτό που θα παράγει το όργανο, με αποτέλεσμα να επηρεάσουν τη μέτρηση.

iv. Μέτρηση σύνθετης αντίστασης βρόχου σφάλματος (απαιτείται από το άρθρο 612.6 του ΕΛΟΤ HD 384). Σκοπός της μέτρησης αυτής είναι να μετρηθεί η σύνθετη αντίσταση του βρόχου που θα δημιουργηθεί αν σε σύστημα σύνδεσης γειώσεων TN ή TT συμβεί σφάλμα αμελητέας σύνθετης αντίστασης μεταξύ ενεργών αγωγών, ή μεταξύ ενός αγωγού φάσης και ενός εκτεθειμένου αγώγιμου μέρους ή ενός αγωγού προστασίας. Ο βρόχος σφάλματος αποτελείται από:

- Πηγή (για παράδειγμα μετασχηματιστή ΜΤ/ΧΤ υποσταθμού ΔΕΗ).
- Ενεργό αγωγό (L ή και N) μέχρι το σημείο του σφάλματος.
- Δεύτερο ενεργό αγωγό ή αγωγό προστασίας (PE) μεταξύ του σφάλματος και της πηγής.
- Αντίσταση γείωσης σε περίπτωση σφάλματος μεταξύ φάσης και ενός εκτεθειμένου αγώγιμου μέρους σε σύστημα σύνδεσης γειώσεων TT.

Ταυτόχρονα με τη μέτρηση της σύνθετης αντίστασης του βρόχου σφάλματος πρέπει να υπολογίζεται και το αναμενόμενο ρεύμα βραχυκυκλώσεως (σφάλματος μεταξύ φάσης και γης, μεταξύ φάσεως και ουδέτερου, ή μεταξύ δύο φάσεων). Η τιμή του ρεύματος βραχυκυκλώσεως θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την τιμή της διάταξης προστασίας που προστατεύει το κύκλωμα. Τα σύγχρονα όργανα μετρήσεων διεξάγουν αυτόματα το συγκεκριμένο υπολογισμό, κάνοντας ευκολότερο και αμεσότερο τον έλεγχο. Με τη σύνθετη αντίσταση βρόχου σφάλματος μπορεί να ελεγχθεί η σύνθετη αντίσταση και το αναμενόμενο ρεύμα βραχυκυκλώσεως μεταξύ:

- Αγωγού φάσης και αγωγού ουδέτερου (Z_{L-N})
- Δύο αγωγών φάσεων (Z_{L-L})
- Αγωγού φάσης και αγωγού προστασίας (Z_{L-PE})

Η πλέον σημαντική μέτρηση για μονοφασικά κυκλώματα είναι η αντίσταση του βρόχου σφάλματος μεταξύ του αγωγού φάσης και αγωγού προστασίας, κατά την οποία ελέγχονται το ονομαστικό ρεύμα διακοπής της ασφάλειας που προστατεύει τον εν λόγω αγωγό φάσης. Η μέτρηση αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί εύκολα και μέσω πρίζας χρησιμοποιώντας σύγχρονα όργανα μετρήσεων με πολύ καλή ακρίβεια μέτρησης, και μάλιστα χωρίς την απόζευξη της διάταξης διαφορικού ρεύματος που προστατεύει τη γραμμή αυτή.

v. Μέτρηση τιμής αντίστασης γείωσης (απαιτείται από το άρθρο 612.6.2. του ΕΛΟΤ HD 384). Η μέτρηση αυτή απαιτείται ιδιαίτερα για τις εγκαταστάσεις που

τροφοδοτούνται με σύστημα σύνδεσης γειώσεων TT. Η ακρίβεια της μέτρησης αυτής εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη μέτρηση όπως είναι:

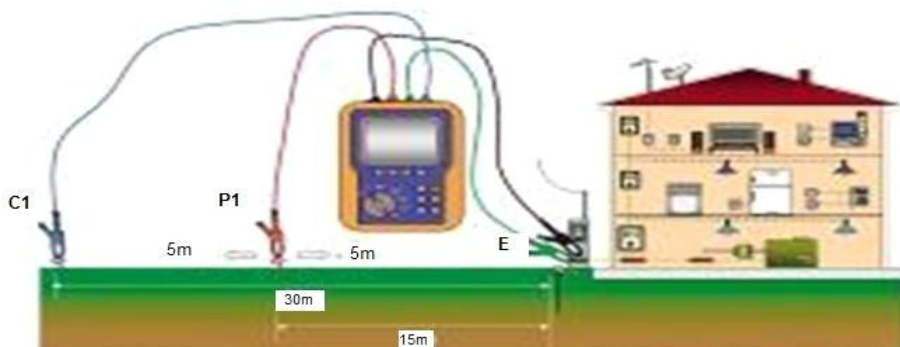
- Η υγρασία του εδάφους, η οποία μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους και επηρεάζει την ειδική αντίσταση του εδάφους.
- Η ύπαρξη υπόγειων μεταλλικών εγκαταστάσεων πλησίον της γείωσης ή των βοηθητικών ηλεκτροδίων, όπως είναι καλώδια, δίκτυα ύδρευσης, θεμελιώσεις, περιφράξεις.
- Η σύνδεση με άλλες μεταλλικές εγκαταστάσεις.

Συνήθως οι μετρήσεις αντίστασης γείωσης αφορούν δύο είδη γειώσεων.

- Τις σημειακές (όπως είναι ηλεκτρόδιο ράβδου / σταυρού, τρίγωνο, πλάκα γείωσης, γειωτής E, ταινία έως 10m μήκος).
- Τις εκτεταμένες (όπως είναι θεμελιακή ή περιμετρική γείωση, πλέγμα γείωσης).

A. Μέθοδος μέτρησης σημειακής γείωσης.

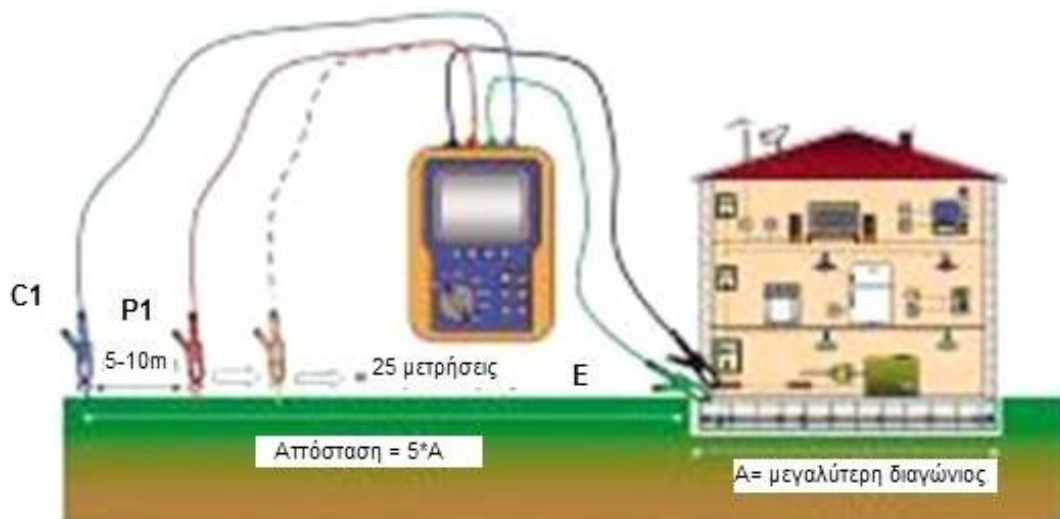
Η συνδεσμολογία που ακολουθείται παριστάνεται στο Σχήμα 3.9, όπου E το προς μέτρηση σύστημα γείωσης, ενώ με C1 και P1 συμβολίζονται οι πάσσαλοι μέτρησης. Ο πάσσαλος C1 τοποθετείται σε απόσταση περίπου 30m από το σημείο E, ενώ ο P1 σε απόσταση 15m από το σημείο E ορίζοντας μια ευθεία (E C1). Λαμβάνεται η πρώτη μέτρηση ενώ άλλες δύο μετρήσεις λαμβάνονται μετακινώντας πάντοτε επί της ίδιας ευθείας E C1 τον πάσσαλο P1, κατά περίπου 5m από την αρχική του θέση, μία προς τη θέση της γείωσης E και μία προς τη θέση του πασσάλου C1. Εάν οι τιμές των τριών μετρήσεων έχουν απόκλιση έως 5% η μία από την άλλη, τότε μπορεί να ληφθεί ως τιμή της γείωσης E ο μέσος όρος των τιμών. Εάν το αποτέλεσμα των τριών μετρήσεων δεν βρίσκεται στο εύρος ανοχών που έχουν τεθεί, οι μετρήσεις θα πρέπει να επαναληφθούν τοποθετώντας το βοηθητικό ηλεκτρόδιο C1 σε μεγαλύτερες αποστάσεις, έως ότου οι μετρήσεις κυμανθούν στο εύρος αυτό.



Σχήμα 3.9: Διάταξη μέτρησης σημειακής γείωσης.

B. Μέθοδος μέτρησης εκτεταμένης γείωσης.

Η μέθοδος μέτρησης μίας εκτεταμένης γείωσης είναι ίδια με εκείνη που περιγράφεται για τη μέτρηση μίας σημειακής γείωσης, με κάποιες διαφορές ως προς τη διάταξη των πάσσων μέτρησης και του πλήθους των μετρήσεων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.10. Ειδικότερα ο πάσσαλος ρεύματος C1 τοποθετείται από τη γείωση που πρέπει να μετρηθεί σε μία απόσταση, η οποία ορίζεται τουλάχιστον στο πενταπλάσιο της μεγαλύτερης διαγωνίου του κλειστού γεωμετρικού σχήματος που σχηματίζουν οι κορυφές των ράβδων γείωσης ή που σχηματίζει το περιμετρικό ηλεκτρόδιο γείωσης (για παράδειγμα περιμετρική ή θεμελιακή γείωση). Στη συνέχεια λαμβάνονται όσο το δυνατόν περισσότερες μετρήσεις, μετακινώντας τον πάσσαλο της τάσεως P1 επί της ευθείας E C1, με βήμα από 5 έως και 15m. Οι μετρήσεις μπορούν να ξεκινήσουν από τη θέση C1 μέχρι τη θέση E, ή και αντίστροφα.



Σχήμα 3.10: Διάταξη μέτρησης εκτεταμένης γείωσης.

3.3 Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις για τάσεις άνω του 1kV

Τα πρότυπα IEC 61936 και ΕΛΟΤ pr EN 50179, εφαρμόζονται σε εγκαταστάσεις υψηλής τάσης (πάνω από 1kV εναλλασσόμενη τάση και 1.4kV συνεχής τάση). Στην περιοχή εφαρμογής αυτών των προτύπων ανήκουν επίσης οι υποσταθμοί μέσης και υψηλής τάσης. Παρακάτω θα παρατεθούν κάποιοι πίνακες που θα μας δώσουν στοιχεία για ελάχιστες αποστάσεις ασφαλείας που πρέπει να τηρούνται σε εγκαταστάσεις υπαίθριες και εσωτερικού χώρου. Τα στοιχεία αυτά αναφέρονται σε «κανονικές συνθήκες» όπου ως κανονικές συνθήκες ορίζονται για τους εσωτερικούς χώρους:

Η θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα δεν πρέπει να ξεπερνά τους 40°C, ενώ μετρούμενη σε διάστημα 24 ωρών ο μέσος όρος της δεν πρέπει να ξεπερνά τους 35°C.

- Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας δεν λαμβάνεται υπόψη.
- Το υψόμετρο δεν υπερβαίνει τα 1000m.
- Ο ατμοσφαιρικός αέρας δεν πρέπει να είναι σημαντικά μολυσμένος από σκόνη, καπνό, διαβρωτικά και εύφλεκτα αέρια, ατμό ή άλατα.
- Ο μέσος όρος της υγρασίας μετρούμενη σε ένα διάστημα 24 ωρών δεν πρέπει να ξεπερνά το 95%.
- Κραδασμοί που οφείλονται σε λόγους εξωτερικούς, σε σχέση με τον εξοπλισμό ή δόνηση της γης, θεωρούνται αμελητέοι.
- Ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος πρέπει να ληφθεί υπόψη.

Αντίστοιχα για τους εξωτερικούς χώρους, οι κανονικές συνθήκες ορίζονται ως εξής:

- Η θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα δεν πρέπει να ξεπερνά τους 40°C, ενώ μετρούμενη σε διάστημα 24 ωρών ο μέσος όρος της δεν πρέπει να ξεπερνά τους 35°C.
- Ηλιακή ακτινοβολία μεγαλύτερη από 1000 W/m² (το μεσημέρι μίας καθαρής ημέρας) πρέπει να ληφθεί υπόψη.
- Το υψόμετρο δεν υπερβαίνει τα 1000m.
- Ο ατμοσφαιρικός αέρας δεν πρέπει να είναι σημαντικά μολυσμένος από σκόνη, καπνό, διαβρωτικά και εύφλεκτα αέρια, ατμό ή άλατα.
- Η ταχύτητα του ανέμου δεν πρέπει να ξεπερνά τα 34 m/s.
- Κραδασμοί που οφείλονται σε λόγους εξωτερικούς, σε σχέση με τον εξοπλισμό ή δόνηση της γης, θεωρούνται αμελητέοι.
- Ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος πρέπει να ληφθεί υπόψη.

3.3.1 Ελάχιστες αποστάσεις ασφαλείας που τηρούνται σε υπαίθριες εγκαταστάσεις και εσωτερικών χώρων κατά IEC 61936

Η επιλογή των ελάχιστων αποστάσεων ασφαλείας γίνεται συμφωνά με την μέγιστη τάση U_m και την κρουστική τάση αντοχής. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ τμημάτων μίας εγκατάστασης τα οποία επηρεάζονται από μία γειτονική φάση πρέπει να γίνει 20% υψηλότερη από τις τιμές που δίνονται στους Πίνακες 3.2 και 3.3. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ τμημάτων μίας εγκατάστασης τα οποία έχουν προσδιοριστεί σε διαφορετικά επίπεδα μόνωσης πρέπει να γίνει τουλάχιστον 125% της απόστασης του υψηλότερου επιπέδου μόνωσης. Η επιλογή των ελάχιστων αποστάσεων του πεδίου τάσης του Πίνακα 3.2 ($1 \text{ kV} < U_m \leq 245 \text{ kV}$) βασίζεται στην εξωτερική κρουστική τάση αντοχής. Για το πεδίο τάσης του Πίνακα 3.2 ($1 \text{ kV} < U_m \leq 245 \text{ kV}$) το ελάχιστο διάκενο αέρα βασίζεται στις δυσμενείς διατάξεις ηλεκτροδίων

(διάταξη ακίδας - πλάκας, ράβδου - πλάκας). Η επιλογή των ελάχιστων αποστάσεων για το πεδίο τάσης του Πίνακα 3.3 ($U_m > 245$ kV) βασίζεται στην εσωτερική και εξωτερική κρουστική τάση αντοχής.

Επίπεδο τάσης	Ονομαστική τάση	Μέγιστη τάση	Εξωτερική κρουστική τάση αντοχής ^c	Ελάχιστες αποστάσεις φάσης-γης, φάσης-φάσης, N ^o	
	U_n rms	U_m rms	1,2/50 μ s (peak value)	Εσωτερικές εγκαταστάσεις	Εξωτερικές εγκαταστάσεις
	kV	kV	kV	mm	mm
I	3	3,6	20 40	60 60	120 120
	6	7,2	40 60	60 90	120 120
	10	12	60 75 95	90 120 160	150 150 160
	15	17,5	75 95	120 160	160 160
	20	24	95 125 145	160 220 270	
	30	36	145 170	270 320	
	45	52	250	480	
	66	72,5	325	630	
	110	123	450 550	900 1 100	
	132	145	450 ^b 550	900 1 100	
	150	170	650 550 ^b 650	1 300 1 100 1 300	
	220	245	750 650 ^b 750 ^b 850 950 1 050	1 500 1 300 1 500 1 700 1 900 2 100	

Πίνακας 3.2: Ελάχιστες αποστάσεις για τάσεις ($1\text{kV} < U_m \leq 245\text{kV}$) σύμφωνα με το IEC.

a: Η εξωτερική κρουστική τάση εφαρμόζεται σε φάση-φάση και φάση-γη.

b: Εάν οι τιμές θεωρούνται ανεπαρκείς για τις απαιτήσεις φάσης-φάσης τάσης αντοχής πρέπει να γίνουν επιπλέον δοκιμές φάσης-φάσης.

c: Διάταξη ράβδου-πλάκας.

Επίπεδο τάσης	Ονομαστική τάση	Μέγιστη τάση ^ο	Εξωτερική κρουστική τάση αντοχής	Εσωτερική κρουστική τάση αντοχής	Ελάχιστες αποστάσεις φάσης-γης	
II	U_n r.m.s.	U_m r.m.s.	1,2/50 μ s peak value)	Φάσης - γης 250/2500 μ s(peak value)	Διάταξη Αγωγού - Πλάκας	Διάταξη ράβδου - πλάκας
	kV	kV	kV	kV	mm	
	275	300	850	750	1600 1700 ^b	1900
			950	850	1800 1900 ^b	2400
	330	362	950	850	1800 1900 ^b	2400
			1050	950	2200	2900
	380	420	1050	850	1900 2200 ^b	2400
			1175	950	2200 2400 ^b	2900
			1300	1050	2600	3400
	480	525 (550) ^c	1175	950	2200 2400 ^b	2900
			1300	1050	2600	3400
			1425	1175	3100	4100
	700	765 (800) ^c	1675	1300	3600	4800
1800			1425	4200	5600	
1950			1550	4900	6400	

Πίνακας 3.2: Ελάχιστες αποστάσεις για τάσεις ($U_m > 245$ kV) σύμφωνα με το IEC.

b: Η ελάχιστη απόσταση που επιλέγεται σύμφωνα με τις τιμές της εξωτερικής κρουστικής τάσης του παραπάνω πίνακα.

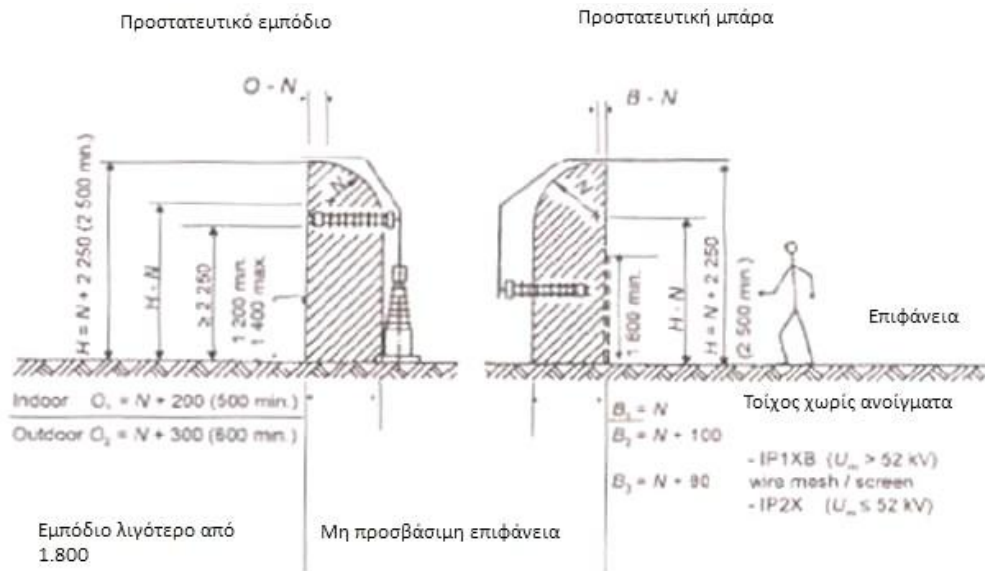
c: Η παρουσίαση των τάσεων 550kV, 800kV αντί για 526kV, 76kV και οι αντίστοιχες τάσεις αντοχής είναι σε πειραματικό στάδιο.

3.3.2 Εσωτερικές και υπαίθριες εγκαταστάσεις.

Πέρα όμως από τις γενικές περιπτώσεις των ελαχίστων αποστάσεων ασφαλείας που αναφερθήκαν παραπάνω υπάρχουν και πιο ειδικές καταστάσεις για τις ελάχιστες αποστάσεις μέσα σε κάποια εγκατάσταση, εσωτερική ή υπαίθρια. Τα ελάχιστα όρια για μερικές από αυτές τις εγκαταστάσεις παρατίθενται παρακάτω.

- «Φράγματα» προστασίας

Μέσα σε μία εγκατάσταση μεταξύ ενεργών τμημάτων και εσωτερικών επιφανειών των προστατευτικών «φραγμάτων» πρέπει να τηρηθούν οι ελάχιστες αποστάσεις ασφαλείας όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.11:



Σχήμα 3.11 : Προστασία απέναντι σε απευθείας επαφή μέσω προστατευτικών μπαρών-προστατευτικών εμποδίων σε μία κλειστή περιοχή ηλεκτρικών χειρισμών.

N= ελάχιστη απόσταση που δίνεται από τους πίνακες του IEC

O= ελάχιστη απόσταση από εμπόδια

B= ελάχιστη απόσταση από φράγματα

Οι ελάχιστες αποστάσεις ασφαλείας των ηλεκτρικών τμημάτων από τυχόν μπάρες προστασίας, τοίχους, φράχτες, παραπετάσματα, είναι όπως παρουσιάζονται στο δεξιό τμήμα του σχήματος.

Ενώ, στο αριστερό τμήμα του σχήματος καταγράφονται οι ελάχιστες αποστάσεις των ηλεκτρικών τμημάτων από διάφορα «εμπόδια» όπως κάγκελα, αλυσίδες και σχοινιά και είναι:

A. Για συμπαγείς τοίχους χωρίς ανοίγματα με ελάχιστο ύψος 1800mm, $B_1=N$.

Όπου N είναι οι ελάχιστες αποστάσεις ασφαλείας που έχουν δοθεί παραπάνω από τους πίνακες του IEC (αυτό ισχύει για όλες τις παρακάτω περιπτώσεις)

B. Για φράχτες ή παραπετάσματα

$B_2=N+100$ mm για μέγιστη τάση $U_m > 52$ kV

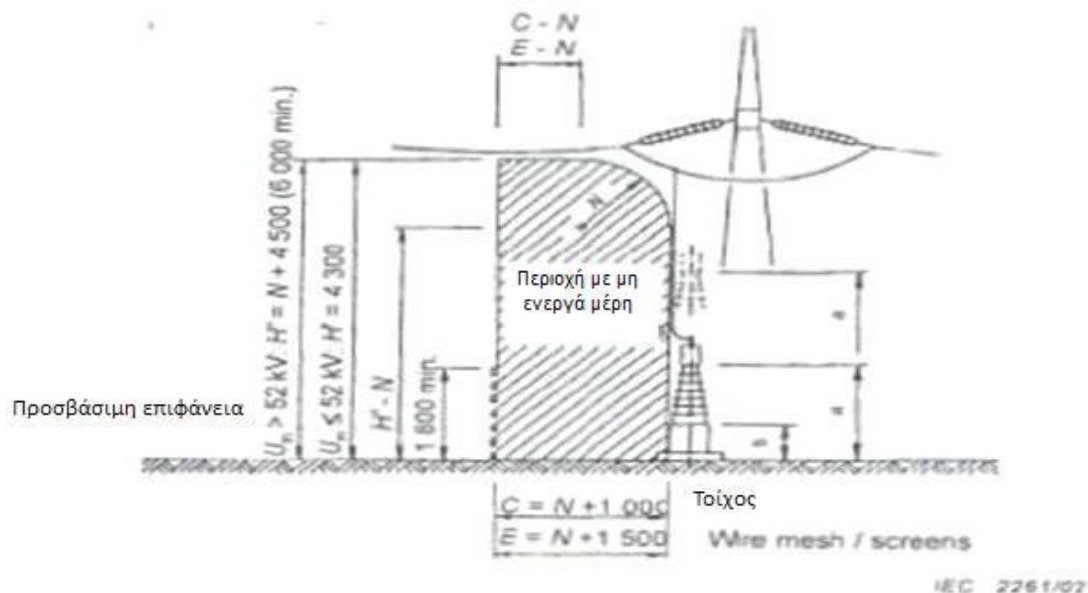
$B_3=N+80$ mm για μέγιστη τάση $U_m < 52$ kV

Για το αριστερό τμήμα του σχήματος η ελάχιστη απόσταση ασφαλείας πρέπει να είναι για συμπαγείς τοίχους ή προπετάσματα με ύψος μικρότερο από 1800mm και για κιγκλιδώματα, αλυσίδες ή σχοινιά $O_1 = N + 200\text{mm}$ για εσωτερικές εγκαταστάσεις (με ελάχιστη απόσταση 500mm).

$O_2 = N + 300\text{ mm}$ για εξωτερικές εγκαταστάσεις (με ελάχιστη απόσταση 600mm)

- **Εξωτερικοί φράχτες**

Ο εξωτερικός φράχτης εξωτερικών εγκαταστάσεων πρέπει να έχει τις ελάχιστες αποστάσεις ασφαλείας που δίνονται στο Σχήμα 3.12



Σχήμα 3.12 : Ελάχιστο ύψος και ελάχιστες αποστάσεις ηλεκτρισμένων τμημάτων από την εξωτερική περίφραξη υπαίθριων σταθμών.

H' = ελάχιστη απόσταση ενεργών τμημάτων πάνω από προσβάσιμες επιφάνειες στους εξωτερικούς φράχτες.

a = η ελάχιστη απόσταση ενεργών τμημάτων που αν είναι μικρότερη από **H'** επιβάλλει επιπλέον προστασία με μπάρες ή εμπόδια.

b = απόσταση η οποία αν είναι μικρότερη από 2250mm επιβάλλει επιπλέον προστασία με μπάρες ή εμπόδια.

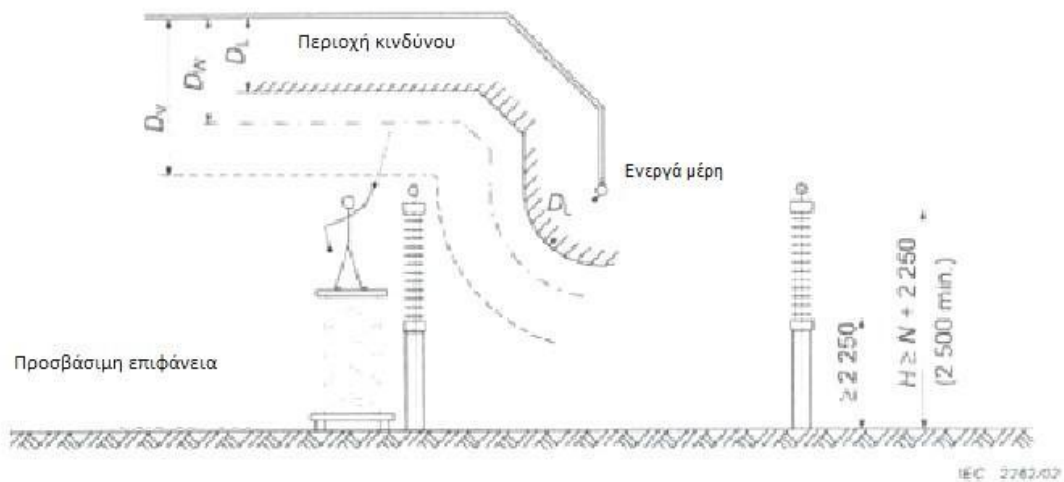
Στην περίπτωση που έχουμε συμπαγείς τοίχους με ελάχιστο ύψος 1800mm η ελάχιστη απόσταση ασφαλείας είναι $C = N + 1000\text{mm}$.

Σε περίπτωση που έχουμε συρμάτινο βρόγχο με ελάχιστο ύψος 180mm η ελάχιστη απόσταση ασφαλείας είναι $E = N + 1500\text{mm}$.

Τέλος, η μικρότερη απόσταση του συρμάτινου βρόγχου από το έδαφος δεν πρέπει να ξεπερνά τα 50mm.

- **Ελάχιστο ύψος πάνω από προσβάσιμη περιοχή**

Το ελάχιστο ύψος των ενεργών τμημάτων πάνω από επιφάνειες προσβάσιμες ή ειδικές κινητές πλατφόρμες σε περίπτωση πεζής πρόσβασης δίνεται παρακάτω, στο Σχήμα 3.13.



Σχήμα 3.13 : Ελάχιστο ύψος και ελάχιστες αποστάσεις ασφαλείας σε μία περιοχή χειρισμών.

$$D_L = N$$

$$D_V = N + 1000 \text{ για ονομαστική τάση } U_n < 110 \text{ kV}$$

$$D_V = N + 2000 \text{ για ονομαστική τάση } U_n > 110 \text{ kV}$$

$$D_W = \text{σύμφωνα με κανόνες εθνικών τυποποιήσεων}$$

$$N = \text{ελάχιστη απόσταση που δίνεται από τους πίνακες του IEC}$$

Για ενεργά τμήματα χωρίς ειδική προστασία το ελάχιστο ύψος είναι:

$$H = N + 2250 \text{ mm (με ελάχιστη απόσταση 2500 mm)}$$

Θα πρέπει εδώ να προσεχθεί και το βέλος ανάρτησης του αγωγού. Το χαμηλότερο τμήμα μίας μόνωσης π.χ. η ανώτερη ακμή μίας μεταλλικής βάσης μόνωσης δεν πρέπει να είναι λιγότερο από 2250mm πάνω από προσβάσιμες επιφάνειες εκτός αν η πρόσβαση επιτρέπεται από άλλες κατάλληλες μετρήσεις. Σε περίπτωση που έχουμε επίδραση χιονιού στις προσβάσιμες επιφάνειες οι παραπάνω τιμές πρέπει να αυξηθούν.

- **Απόσταση από κτίρια**

Σε περίπτωση που γυμνοί αγωγοί περνούν πάνω από κτίρια πρέπει να τηρηθούν οι ελάχιστες αποστάσεις ασφαλείας που δίνονται παρακάτω έχοντας πάντα υπόψη το βέλος ανάρτησης.

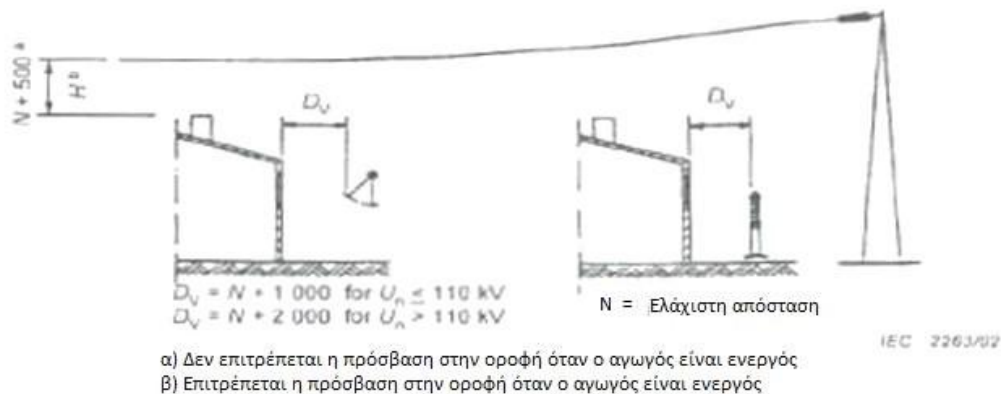
A. Όταν η οροφή είναι προσβάσιμη και οι αγωγοί ενεργοί οι ελάχιστες αποστάσεις ασφαλείας είναι ίδιες με αυτές που δόθηκαν στο «ελάχιστο ύψος πάνω από προσβάσιμη περιοχή».

B. Όταν η οροφή δεν είναι προσβάσιμη και οι αγωγοί είναι ενεργοί τότε η ελάχιστη απόσταση ασφαλείας είναι $N+500$ mm.

Γ. Σε πλευρική κατεύθυνση απ' το τέλος της οροφής και όταν η οροφή είναι προσβάσιμη και οι αγωγοί είναι ενεργοί η ελάχιστη απόσταση ασφαλείας είναι $O_2=N+300$ mm.

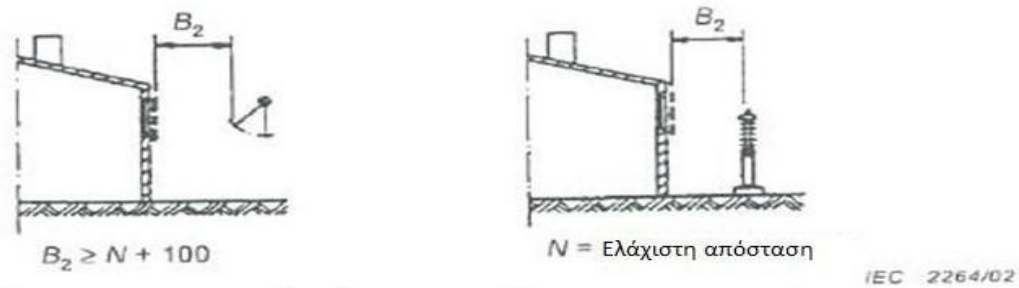
Όταν γυμνοί αγωγοί προσεγγίζουν κτίρια πρέπει να τηρηθούν οι παρακάτω αποστάσεις ασφαλείας έχοντας υπόψη το μεγαλύτερο βέλος ανάρτησης αλλά και ταλαντώσεις σε περιπτώσεις πολύκλωνων αγωγών.

A. Για εξωτερικούς τοίχους με παράθυρα χωρίς παραπετάσματα, η απόσταση ασφαλείας D_v δίνεται στο Σχήμα 3.14.



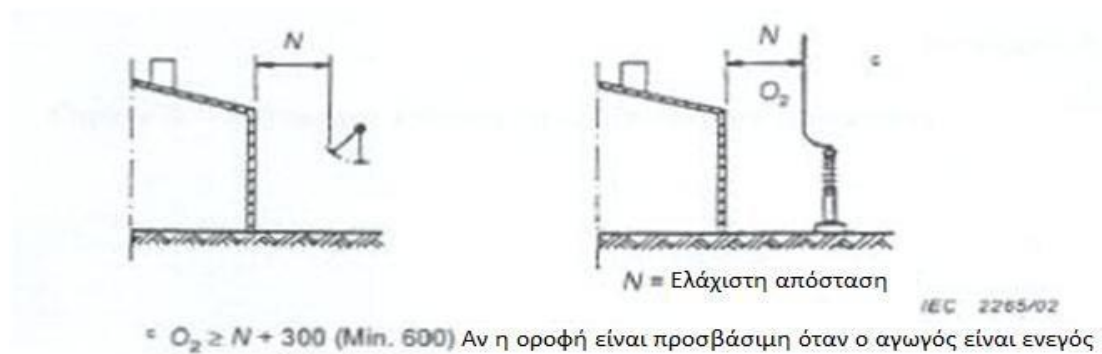
Σχήμα 3.14 : Εξωτερικοί τοίχοι με παράθυρα χωρίς παραπετάσματα.

B. Για εξωτερικούς τοίχους με παράθυρα με παραπετάσματα, η απόσταση B_2 δίνεται στο Σχήμα 3.15



Σχήμα 3.15 : Εξωτερικοί τοίχοι με παράθυρα με παραπετάσματα.

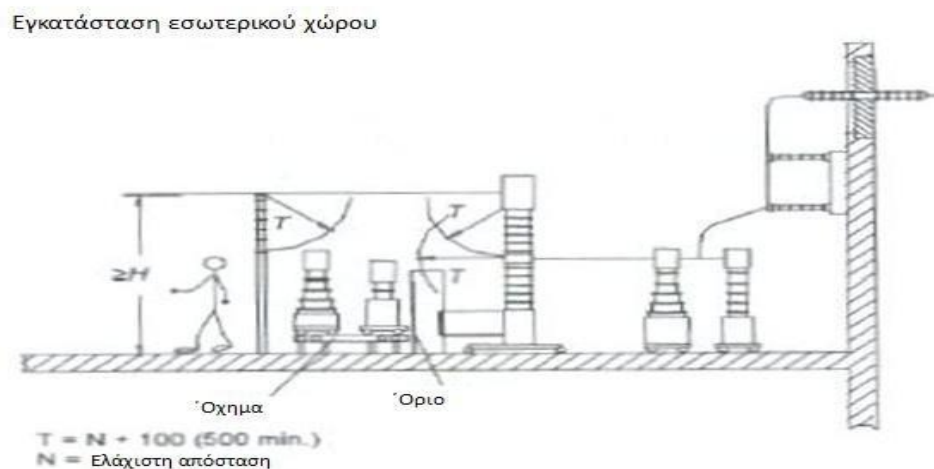
Γ. Για εξωτερικούς τοίχους χωρίς παράθυρα, η απόσταση N δίνεται στο Σχήμα 3.16.



Σχήμα 3.16 : Εξωτερικοί τοίχοι χωρίς παράθυρα.

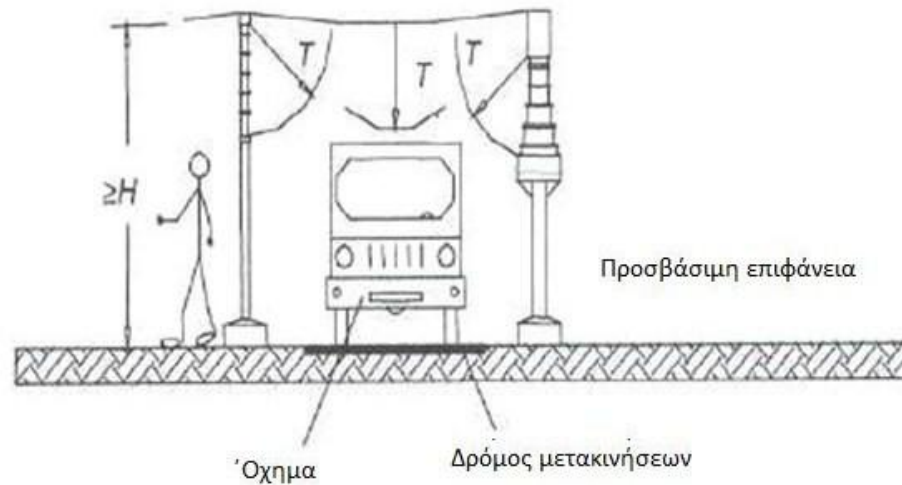
- Διαδρομές μεταφοράς

Η διέλευση των οχημάτων ή άλλων κινούμενων εξοπλισμών κάτω ή δίπλα από ενεργά τμήματα επιτρέπεται τηρώντας τις ελάχιστες αποστάσεις ασφαλείας που δίνονται στα παρακάτω Σχήματα 3.17 και 3.18:



Σχήμα 3.17: Ελάχιστη απόσταση ασφαλείας για μεταφορά οχημάτων ή άλλων κινούμενων εξοπλισμών, σε εσωτερικούς χώρους.

Εγκατάσταση εξωτερικού χώρου



Σχήμα 3.18: Ελάχιστη απόσταση ασφαλείας για μεταφορά οχημάτων ή άλλων κινούμενων εξοπλισμών, σε εξωτερικούς χώρους.

Οι ανοιχτές πόρτες των οχημάτων αλλά και το φορτίο τους δεν πρέπει να παραβιάζει την ασφαλή περιοχή η οποία φαίνεται στα παραπάνω σχήματα. Η ελάχιστη απόσταση ασφαλείας T στις περιπτώσεις αυτές είναι:

$$T = N + 100 \text{ mm (με ελάχιστη απόσταση 500 mm)}$$

Κάτω από αυτές τις συνθήκες το προσωπικό πρέπει να παραμείνει στα οχήματα ή στο κινητό εξοπλισμό και να βγει από αυτά όταν θα είναι απολύτως ασφαλές.

- **Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις σε σύλους, πασσάλους, πύργους**

Το ελάχιστο ύψος H' των ενεργών τμημάτων πάνω από προσβάσιμες επιφάνειες στον γενικό πληθυσμό πρέπει να είναι:

$$H' = 4300 \text{ mm για πεδία τάσης μέχρι 52 kV}$$

$$H' = N + 4500 \text{ mm (με ελάχιστο 6000 mm για πεδία τάσης πάνω από 52 kV)}$$

Όταν η επίδραση χιονιού πρέπει να ληφθεί υπόψη τότε οι τιμές αυτές πρέπει να αυξηθούν.

Κεφάλαιο 4

Ηλεκτρικά ατυχήματα

Στο κεφάλαιο αυτό, καταγράφονται συγκεκριμένα περιστατικά με εργατικά ατυχήματα και όχι μόνο που προκλήθηκαν από τον ηλεκτρισμό. Τα στοιχεία αυτά συγκεντρώθηκαν από διάφορες έρευνες [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23] κάθε μία από τις οποίες χρησιμοποίησε διαφορετικό τρόπο κατηγοριοποίησης και επεξεργασίας των περιστατικών αυτών και οδηγήθηκε στα δικά της συμπεράσματα.

4.1 Εργατικά ηλεκτρικά ατυχήματα στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

Στην παρακάτω ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από δύο έρευνες που πραγματοποίησαν οι James C.Cawley και Gerald T.Homce, σχετικά με τα ηλεκτρικά εργατικά ατυχήματα στις Ηνωμένες Πολιτείες [17], [18]. Η πρώτη από αυτές “Occupational electrical injuries in the United States, 1992-1998, and recommendations for safety research”, επεξεργάζεται τα δεδομένα των θανατηφόρων και μη εργατικών ατυχημάτων για την περίοδο 1992 έως 1998, ενώ η δεύτερη, “Trends in Electrical Injury in the U.S., 1992-2002”, είναι συμπληρωματική της πρώτης, καθώς ανανεώνει τα δεδομένα μέχρι το έτος 2002, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα, εστιάζοντας στο ουσιαστικό πρόβλημα και προτείνοντας λύσεις.

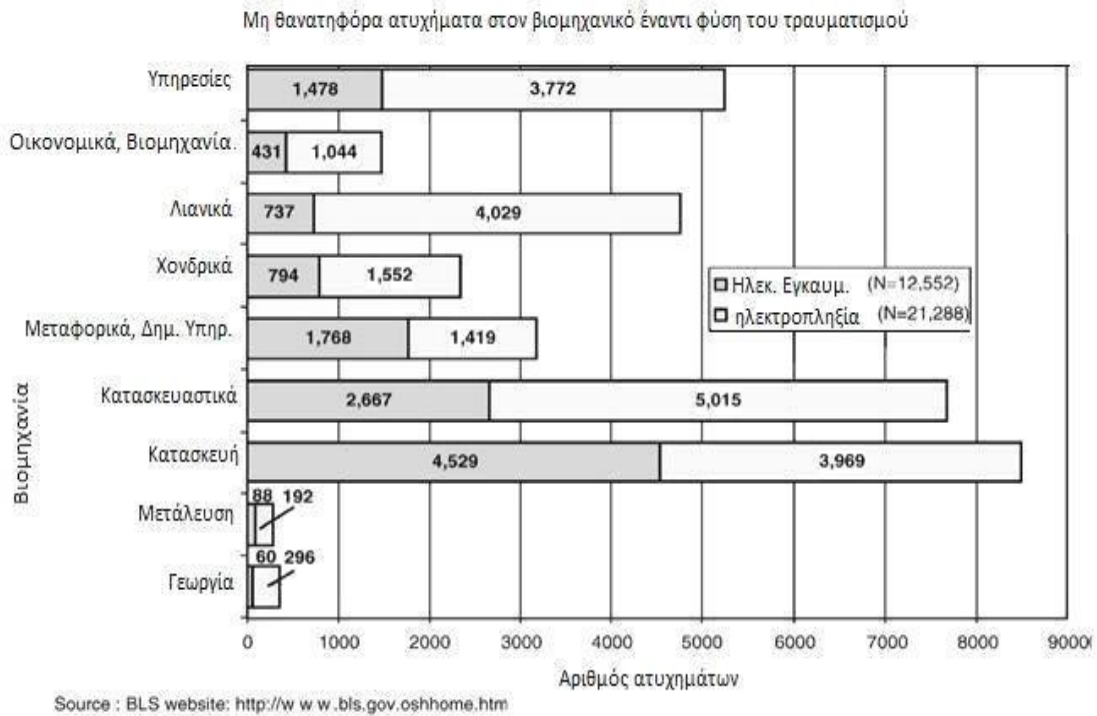
Τα εργατικά ατυχήματα αποτελούν μάλιστα στις Ηνωμένες Πολιτείες, καθώς κανείς δεν περιμένει να τραυματιστεί εν ώρα εργασίας πόσο μάλλον να σκοτωθεί. Αυτό αποτυπώνεται ανάγλυφα, αλλά και τραγικά, στους αριθμούς που αφορούν στα εργατικά ατυχήματα. Οι κύριες πηγές άντλησης των πληροφοριών αυτών προέρχονται από το U.S. Labor Department’s Bureau of Labor Statistics (BLS) το οποίο έχει συλλέξει τις πληροφορίες του από το Census of Fatal Occupational Injuries (CFOI) και το Survey of Occupational Illnesses and Injuries (SOII). Για την περίοδο 1992 έως 1998 [17] η βάση δεδομένων της CFOI περιέχει πληροφορίες για 43.921 περιστατικά θανάτου από κάθε είδος τραυματισμού. Στις πληροφορίες αυτές συμπεριλαμβάνονται και τα εξής στοιχεία: η αιτία του τραυματισμού, το επάγγελμα του θύματος, η τοποθεσία του περιστατικού, επαγγελματική δραστηριότητα του θύματος τη στιγμή του δυστυχήματος και άλλες παρεμφερείς λεπτομέρειες. Αναλόγως τώρα, το SOII παρέχει πληροφορίες για παραπάνω από πέντε εκατομμύρια μη θανατηφόρα εργατικά ατυχήματα που συμβαίνουν στις Ηνωμένες Πολιτείες κάθε χρόνο.

Τα εργατικά ατυχήματα συχνά περιλαμβάνουν διαφορετικά συμβάντα που μπορεί να καταλήξουν σε θανατηφόρα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η

περίπτωση όπου ένας εργαζόμενος υπόκειται σε απλή ηλεκτροπληξία, με αποτέλεσμα από το σοκ να τριχαιθεί και να προέλθει πτώση με θανατηφόρο χτύπημα στο κεφάλι. Ως αποτέλεσμα, το BLS καθιέρωσε κάποιους βασικούς κανόνες και οδηγίες για την κατηγοριοποίηση των εργατικών ατυχημάτων, με βάση την σημαντικότερη αιτία τραυματισμού (injury code or event code). Οι οδηγίες αυτές περιγράφονται αναλυτικά στο Occupational Injury and Illness Classification System. Για παράδειγμα το περιστατικό που αναφέραμε παραπάνω θα καταγραφόταν ως εξής: φύση ατυχήματος= ενδοκρανιακός τραυματισμός, μέρος = εγκέφαλος, αιτία = πάτωμα, γεγονός = πτώση, δευτερογενής αιτία = ηλεκτροπληξία από ηλεκτρικό καλώδιο. Κάθε περιστατικό λοιπόν καταγράφεται και με ένα συγκεκριμένο κωδικό, κάποιοι από τους οποίους θα αναφερθούν παρακάτω.

Με την εφαρμογή της μεθόδου των κωδικών για κάθε περιστατικό, προκύπτει από τα δεδομένα του CFOI, ότι για την περίοδο 1992 – 1998 μπορούν να απομονωθούν 2.267 θανατηφόρα ηλεκτρικά ατυχήματα με κωδικούς 0930 (ηλεκτροπληξίες) και 0520 (ηλεκτρικά εγκαύματα). Από αυτά το 98,5% οφειλόταν σε ηλεκτροπληξία. Αντίστοιχα, τα στοιχεία του SOII δείχνουν ότι για την ίδια περίοδο καταγράφηκαν στη βιομηχανία του ιδιωτικού τομέα 32.309 μη θανατηφόρα ηλεκτρικά ατυχήματα με τους ίδιους κωδικούς. Εδώ το 62% από αυτά προκλήθηκαν από ηλεκτροπληξία και το υπόλοιπο 38% από ηλεκτρικά εγκαύματα. Στο Σχήμα 4.1 που ακολουθεί φαίνεται ότι η αναλογία των ηλεκτροπληξιών και των ηλεκτρικών εγκαυμάτων στα μη θανατηφόρα ηλεκτρικά ατυχήματα, διαφέρει στους εννέα βιομηχανικούς τομείς (υπηρεσίες, οικονομικό, λιανικό, χονδρικό, μεταφορικό, κατασκευαστικό, κατασκευή, μετάλλευση, γεωργία) που παρακολουθεί το BLS.

Συνεπώς, μία ανάλυση βασιζόμενη απομονωμένα στα θανατηφόρα ή στα μη θανατηφόρα ατυχήματα, θα μπορούσε να οδηγήσει σε μία ανεπαρκή γενική εικόνα για τις ενέργειες που πρέπει να ακολουθήσει κάθε βιομηχανία ώστε να αποκλείσει τέτοια περιστατικά.



Σχήμα 4.1 : Αριθμός μη θανατηφόρων ηλεκτρικών ατυχημάτων σε κάθε μία από τους εννιά σημαντικότερους βιομηχανικούς τομείς, που κατέληξαν σε απουσία από τη δουλειά μεταξύ του 1992 και του 1998.

4.1.1 Ανάλυση δεδομένων που αφορούν τα ηλεκτρικά ατυχήματα

Οι δέκα επικρατέστερες κατηγορίες θανατηφόρων εργατικών ατυχημάτων, όπως καταγράφηκαν από το CFOI για τα έτη 1992 έως 1998, παρουσιάζονται σε φθίνουσα σειρά στον Πίνακα 4.1. Τα θανατηφόρα περιστατικά που οφείλονται στον ηλεκτρισμό έρχονται έκτα στην κατάταξη, ανερχόμενα στα 2.267 με ποσοστό 5,2%. Αναλυτικότερα ο αριθμός των θανατηφόρων εργατικών ατυχημάτων ανά έτος και ανά κωδικό περιστατικού, φαίνονται στον Πίνακα 4.2. Εύκολα συμπεραίνεται ότι η επικρατέστερη περίπτωση θανάτου από ηλεκτρικό ρεύμα είναι η επαφή με εναέριες γραμμές μεταφοράς ενέργειας (κωδικός περιστατικού: 3130) με 933 περιστατικά καταγεγραμμένα και ποσοστό 41% επί των συνολικών περιστατικών.

Ο αριθμός των συνολικών μη θανατηφόρων ηλεκτρικών εργατικών ατυχημάτων στη βιομηχανία, που είχαν ως αποτέλεσμα την απουσία από τη δουλειά εμφανίζεται στον Πίνακα 4.3. Τα δύο περιστατικά με τα συχνότερα κρούσματα είναι, ο κωδικός 3110, επαφή με ηλεκτρικό ρεύμα μέσω μηχανής, εργαλείου ή προσαρμογέα φωτός με 12.189 περιστατικά (38%) και ο κωδικός 3120, επαφή με καλώδια, μετατροπείς, μετασχηματιστές ή άλλο ηλεκτρολογικό εξοπλισμό με 10.782 περιστατικά (33%). Παρατηρώντας αυτά τα δεδομένα

συμπεραίνεται ότι τα μη θανατηφόρα ηλεκτρικά ατυχήματα συμβαίνουν συχνότερα σε αυτούς που δουλεύουν με μηχανές ή ηλεκτρικά εργαλεία και γύρω από ηλεκτρικές καλωδιώσεις παρά στις εναέριες γραμμές μεταφοράς.

CFOI κωδικός περιστατικού	Περιγραφή	Αριθμός Περιστατικών	Ποσοστό επί των Περιστατικών
4000 – 4330	Τροχαία	14,713	33,5
6000 – 6390	Βίαιες πράξεις	8,447	19,2
1000 – 1900	Πτώσεις	4,643	10,6
0100 – 0290	Χτύπημα από	4,043	9,2
0300 – 0490	Πιάσιμο/Εγκλωβισμός	2,909	6,6
3100 – 3190	Ηλεκτρισμός	2,267	5,2
4600 – 4690	Αεροσκάφη	2,163	4,9
3200 – 3900	Έκθεση σε (εκτός από	1,838	4,2
4500 – 4590	Πλοία	749	1,7
5200 – 5290	Εκρήξεις	702	1,6
Όλα τα υπόλοιπα		1,447	3,3
Συνολικά περιστατικά		43,921	

Πίνακας 4.1 : Κατάταξη των δέκα επικρατέστερων κατηγοριών θανατηφόρων ατυχημάτων από το CFOI για τα έτη 1992 – 1998.

Τα παραπάνω οδηγούν σε μια ιδιαίτερα δυσάρεστη διαπίστωση. Τα ηλεκτρικά ατυχήματα, παρόλο που αποτελούν μικρό μερίδιο των συνολικών ατυχημάτων, είναι δυσανάλογα θανατηφόρα όταν συμβαίνουν. Κατά τη διάρκεια του 1997, υπήρξαν συνολικά 6,1 εκατομμύρια μη θανατηφόρων περιστατικών όπου προκάλεσαν κάποιο τραυματισμό ή ασθένεια. Από αυτά μόλις το 0,2%, δηλαδή 3.710 περιστατικά προκλήθηκαν από κάποια μορφή ηλεκτρισμού. Εν τούτοις, κατά τη διάρκεια του ίδιου έτους, από τα 6.238 θανατηφόρα εργατικά ατυχήματα που σημειώθηκαν τα 298 (ποσοστό 4,8%) αποδόθηκαν στην ηλεκτρική ενέργεια. Συγκεντρωτικά λοιπόν, κατά τη διάρκεια του 1997, περίπου 1 στα 494 μη θανατηφόρα εργατικά ατυχήματα προκλήθηκε από ηλεκτρική ενέργεια, ενώ σχεδόν 1 στα 20 θανατηφόρα εργατικά ατυχήματα προήλθε από ηλεκτρικά αίτια.

Κωδικός Περιστατικού:								
Έτος	3100	3110	3120	3130	3140	3150	3190	Συνολικά
1992	32	60	66	140	Χ	15	19	334
1993	32	44	100	115	5	16	12	324
1994	23	63	98	132	6	15	11	348
1995	32	55	94	139	5	17	6	348
1996	22	46	70	116	5	18	Χ	281
1997	14	41	71	138	5	22	7	298
1998	10	51	84	153	9	21	6	334
Συνολικά	165	360	583	933	37	124	65	2,267

Χ : Σημαίνει ότι δεν υπάρχουν επαρκής πληροφορίες για το συγκεκριμένο έτος.

Ακολουθεί η περιγραφή των κωδικών των περιστατικών:

3100 – Επαφή με ηλεκτρικό ρεύμα, απροσδιόριστη

3110 – Επαφή με ηλεκτρικό ρεύμα μέσω μηχανής, εργαλείου, ηλεκτρικής συσκευής

3120 – Επαφή με καλώδια, μετατροπείς, ή άλλο ηλεκτρολογικό εξοπλισμό

3130 – Επαφή με εναέριες γραμμές μεταφοράς ενέργειας

3140 – Επαφή με υπόγεια, θαμμένα ηλεκτρικά καλώδια

3150 – Κεραυνοπληξία

3190 – Επαφή με ηλεκτρικό ρεύμα

Πίνακας 4.2 : Θανατηφόρα ηλεκτρικά ατυχήματα για όλες τις βιομηχανίες με βάση τον κωδικό περιστατικού, για τα έτη 1992 – 1998.

Κωδικός Περιστατικού:								
Έτος	3100	3110	3120	3130	3140	3150	3190	Συνολικά
1992	507	1,795	1,614	174	36	170	509	4,806
1993	453	2,111	1,531	133	74	71	620	4,995
1994	506	2,966	1,607	273	38	214	415	6,018
1995	769	1,506	1,571	155	47	172	522	4,744
1996	405	1,037	1,751	92	153	223	465	4,126
1997	365	1,413	1,390	79	52	Χ	386	3,710
1998	506	1,361	1,318	314	40	50	322	3,910
Συνολικά	3,511	12,189	10,782	1,220	400	900	3,239	32,309

Χ : Σημαίνει ότι δεν υπάρχουν επαρκής πληροφορίες για το συγκεκριμένο έτος.

Πίνακας 4.3 : Μη θανατηφόρα ηλεκτρικά ατυχήματα που κατέληξαν σε ημέρες απουσίας από τη δουλειά, για τα έτη 1992 – 1998.

4.1.2 Ανάλυση δεδομένων από το CFOI

Ο στόχος της ανάλυσης των επαγγελματικών ηλεκτρικών ατυχημάτων είναι να προσδιοριστούν οι προβληματικές περιοχές και να αναπτυχθούν στρατηγικές και τεχνικές για τη μείωση της συχνότητας και της σοβαρότητάς τους. Πολλές πτυχές των περιστάσεων που περιβάλλουν τα θανατηφόρα επεισόδια διατίθενται άμεσα από τη βάση δεδομένων του CFOI, όπως είναι θύμα, θέση, και πληροφορίες για τη δραστηριότητα. Είναι χρήσιμο, ωστόσο, να αποδοθεί η πρωταρχική αιτία σε κάθε περιστατικό. Αυτό είναι εφικτό για τα θανατηφόρα ηλεκτρικά ατυχήματα, καθώς το CFOI παρέχει μια συνοπτική αφηγηματική περιγραφή της κάθε περίπτωσης. Οι ερευνητές που γνωρίζουν τα θέματα ηλεκτρικής ασφάλειας στο εμπορικό και βιομηχανικό περιβάλλον εργασίας, προσπάθησαν αρχικά να δημιουργήσουν μία ενιαία και ολοκληρωμένη δομή ανάλυσης με την οποία θα αξιολογείται κάθε αφήγηση, αλλά η προσέγγιση αυτή αποδείχθηκε υπερβολικά περίπλοκη. Τελικά, μία πιο υποκειμενική προσέγγιση χρησιμοποιήθηκε όπου κάθε αφήγηση διαβάστηκε και αποδόθηκε μία πρωταρχική αιτία που μπορεί να είχε σχέση με τη δραστηριότητα, το προσωπικό ή τον εξοπλισμό που εμπλέκονταν. Τα μοιραία περιστατικά από ηλεκτρική ενέργεια χωρίστηκαν σε αυτά που συνέβησαν στον κατασκευαστικό κλάδο (περίπου 44% του συνόλου των θανατηφόρων ηλεκτρικών περιστατικών), καθώς και σε αυτά που συνέβησαν στις μη κατασκευαστικές βιομηχανίες. Επιπλέον, η αναθεώρηση διαχώρισε τα περιστατικά σε αυτά που σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια «ηλεκτρικής εργασίας», ανεξάρτητα από τα αίτια, και σε αυτά που σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια «μη ηλεκτρικής εργασίας». Αυτές οι προϋποθέσεις δημιούργησαν ένα χρήσιμο πλαίσιο για την ανάλυση των ατυχημάτων, πρώτον λόγω του υψηλού ποσοστού ηλεκτρικών συμβάντων στον τομέα των κατασκευών και δεύτερον λόγω της ανισότητας μεταξύ των περιστατικών που συνέβησαν κατά τη διάρκεια ηλεκτρικών εγκαταστάσεων ή συντήρησης και αυτών που συνέβησαν κατά τη διάρκεια άλλων δραστηριοτήτων.

Με βάση την αναθεώρηση του CFOI και τις αφηγήσεις για τα εν λόγω συμβάντα, το 91% των θανατηφόρων εργατικών ηλεκτρικών ατυχημάτων που συνέβησαν μεταξύ του 1992 και του 1998 [17] κατατάσσονται σε μία από τις ακόλουθες πέντε κατηγορίες:

1. Εγκατάσταση και συντήρηση των ηλεκτρικών συστημάτων και εξοπλισμών (εξαιρούνται οι εναέριες και οι υπόγειες γραμμές μεταφοράς/ διανομής) (506 επεισόδια, 22%)
2. Επαφή με εναέριες ηλεκτρικές γραμμές ηλεκτρικού ρεύματος μέσω αντικειμένου κατά τη διάρκεια εργασιών εκτός από τις εργασίες εγκατάστασης και συντήρησης ηλεκτρικών συστημάτων (495 επεισόδια, 22%).
3. Επαφή με εναέριες ηλεκτρικές γραμμές ηλεκτρικού ρεύματος έμμεσα μέσω κινητού εξοπλισμού μεγάλης εμβέλειας αντικειμένου κατά τη διάρκεια

εργασιών εκτός από τις εργασίες εγκατάστασης και συντήρησης ηλεκτρικών συστημάτων (387 επεισόδια, 17%).

4. Η τυχαία επαφή με ενεργά κυκλώματα (εξαιρούνται οι εναέριες και οι υπόγειες γραμμές μεταφοράς/ διανομής) (424 επεισόδια, 19%).
5. Εγκατάσταση, κατασκευή και συντήρηση των εναερίων και υπόγειων γραμμών μεταφοράς/ διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (253 επεισόδια, 11%).

Από τα υπόλοιπα περιστατικά που καταγράφηκαν στο CFOI, περίπου το 5% ήταν λόγω κεραυνών και τα λοιπά δεν μπορούν να τα χαρακτηριστούν με βάση τις παρεχόμενες πληροφορίες.

Ένα άλλο στοιχείο στο οποίο επικεντρώνεται η ανάλυση των δεδομένων, είναι η εξακρίβωση της σχέσης που μπορεί να έχει το αντικείμενο της εργασίας με τον αριθμό των ηλεκτρικών ατυχημάτων που σημειώνονται σε αυτήν. Στον Πίνακα 4.4 λοιπόν που ακολουθεί, φαίνεται η κατάταξη των επαγγελματιών με βάση τον συνολικό αριθμό των ηλεκτρικών θανατηφόρων ατυχημάτων από το 1992 έως και το 2002 [18]. Οι ηλεκτρολόγοι και οι μαθητευόμενοι τους κατέχουν την πρώτη θέση σε αριθμό ατυχημάτων, ενώ οι υπεύθυνοι εγκατάστασης και οι επισκευαστές των ηλεκτρικών γραμμών κατατάσσονται τρίτοι. Αυτά τα επαγγέλματα αναμφισβήτητα έχουν αυξημένη έκθεση στους ηλεκτρικούς κινδύνους, σε άλλα επαγγέλματα όμως που περιλαμβάνονται στη λίστα όπως, εργάτες κατασκευαστικών και κηπουροί, τυπικά δεν είναι αναγνωρισμένος ο υψηλός ηλεκτρικός κίνδυνος.

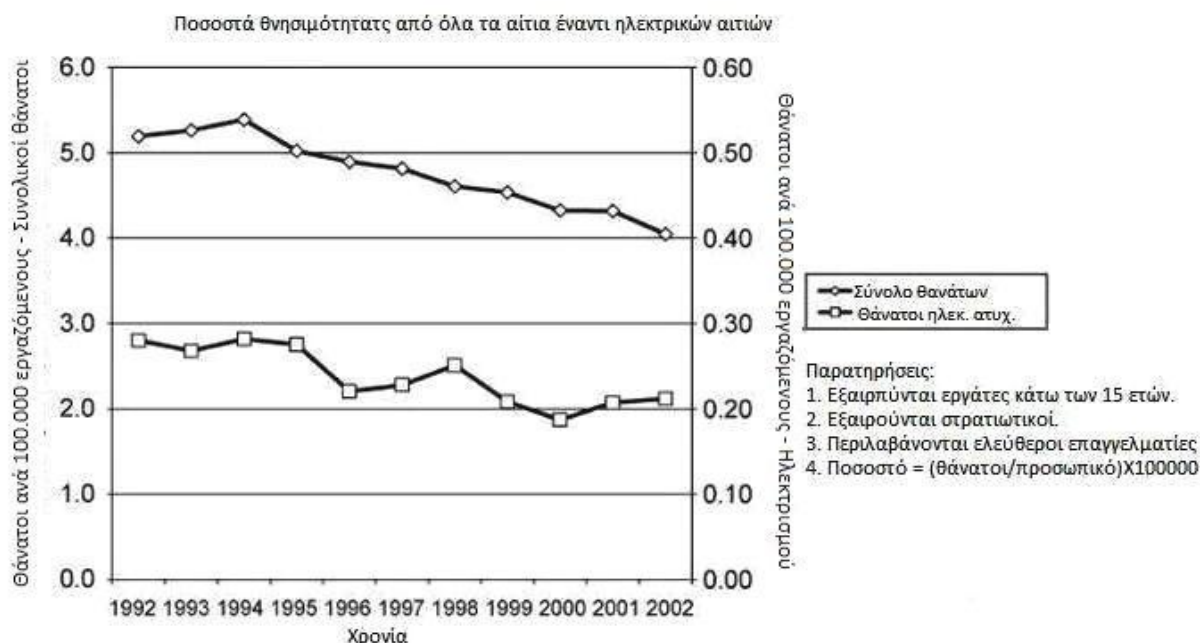
Επάγγελμα	Σύνολο
Ηλεκτρολόγοι και μαθητευόμενοι	566
Εργάτες κατασκευαστικών	259
Υπεύθυνοι εγκατάστασης και επισκευαστές ηλεκτρικών γραμμών	237
Κηπουροί	134
Οδηγοί Φορτηγών	119
Εργάτες Φάρμας	118
Εργάτες εκτός κατασκευαστικών	112
Ξυλουργοί	98
Διευθυντές και Διαχειριστές	91
Άθροισμα	1.805

Πίνακας 4.4: Τα επαγγέλματα που κατέχουν τα περισσότερα θανατηφόρα ηλεκτρικά ατυχήματα για τα έτη 1992 -2002.

4.1.3 Σύγκριση ποσοστών θανατηφόρων ηλεκτρικών ατυχημάτων από τις δύο έρευνες

Συνολικά σημειώθηκαν 3.378 θάνατοι στο χώρο εργασίας από ηλεκτρολογικά αίτια τα χρόνια 1992 έως 2002. Ο ηλεκτρισμός συνέχισε και μετά το 1998 να κατέχει την έκτη θέση στα αίτια θανάτου σε όλα συνολικά τα θανατηφόρα εργατικά ατυχήματα.

Συγκεκριμένα, τα ποσοστά θανάτων εν ώρα εργασίας από το 1994 έως το 2002 παρουσίασαν μείωση. Την μείωση αυτή ακολούθησαν σε γενικές γραμμές και τα ποσοστά των θανάτων λόγω ηλεκτρισμού, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.2. Το ποσοστό θνησιμότητας λόγω ηλεκτρικών αιτιών από 0.28 που ήταν το 1992, μειώθηκε στο 0.19 το 2000, αλλά σκαρφάλωσε ξανά στο 0.21 το 2001 και το 2002.

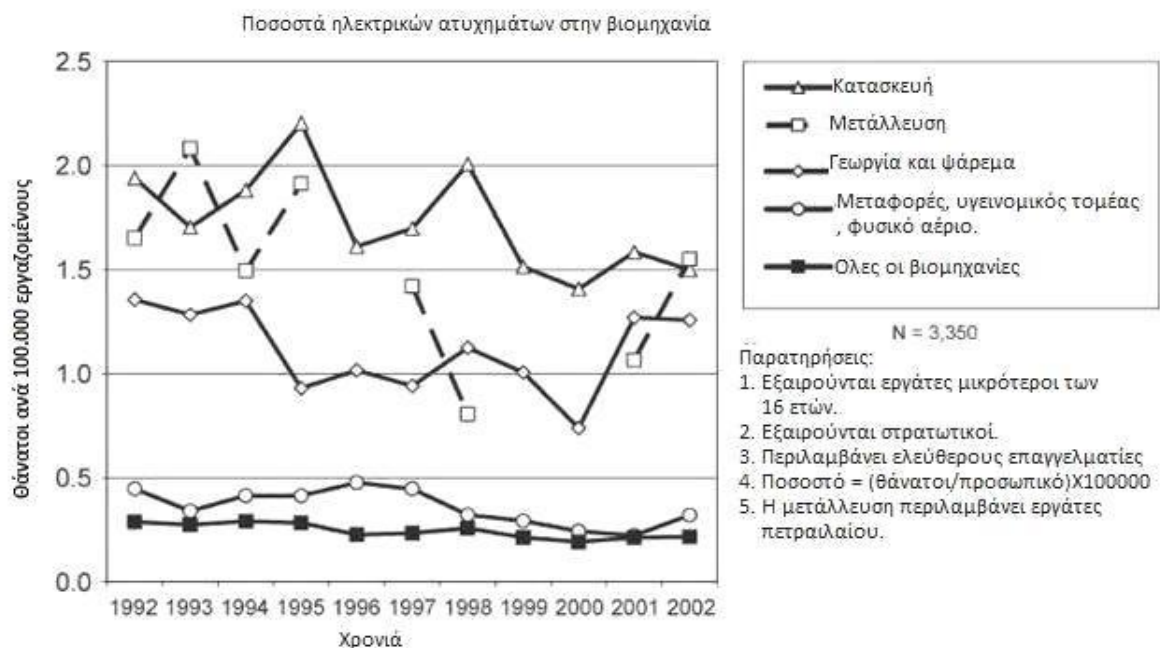


Σχήμα 4.2: Ποσοστά θνησιμότητας λόγω ηλεκτρισμού σε σύγκριση με τα ποσοστά θνησιμότητας λόγω όλων των αιτιών, για όλες τις βιομηχανίες (1992 – 2002).

Την σύγκριση των στατιστικών στοιχείων από τις δύο παραπάνω έρευνες για τα θανατηφόρα ηλεκτρικά ατυχήματα, πραγματοποίησαν οι συγγραφείς με βάση μια σειρά από διαφορετικά κριτήρια τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Σύγκριση ποσοστών με βάση την κατηγορία της βιομηχανίας

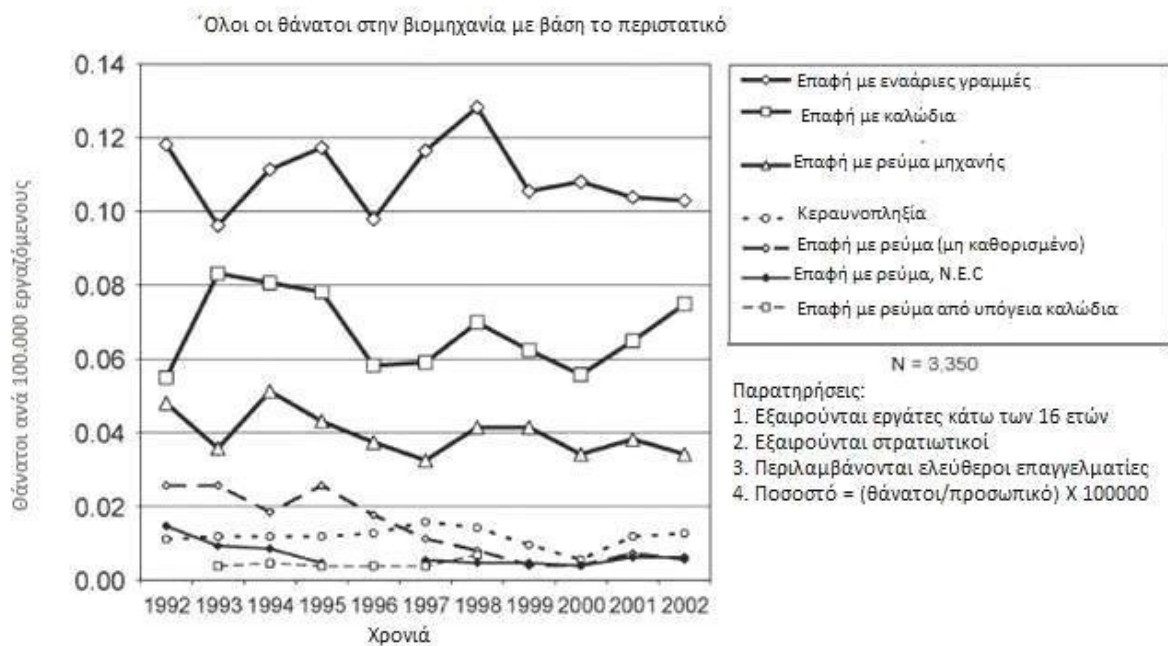
Οι τρεις κατηγορίες της βιομηχανίας, κατασκευαστικός τομέας, μεταλλευτική βιομηχανία και γεωργία, κατείχαν ποσοστά τα οποία παρέμειναν υψηλότερα από το μέσο όρο όλων των υπολοίπων. Ο κατασκευαστικός τομέας, είχε τα υψηλότερα ποσοστά καθ' όλη τη διάρκεια της έρευνας, με εξαίρεση τα έτη 1993 και 2002 που η μεταλλευτική βιομηχανία τον υπερέβη. Οι κατασκευές ευθύνονται για το 47% όλων των θανάτων από ηλεκτρισμό από το 1992 έως το 2002, αλλά φάνηκαν σημάδια βελτίωσης από το 1995 και μετά με μείωση του ποσοστού της από 2.2 στο 1.5 σε κάθε 100.000 εργαζόμενους. Η μεταλλευτική βιομηχανία από την άλλη, σημείωσε σημαντική διακύμανση με αύξηση του ποσοστού της από 0.8 που ήταν το 1998 σε 1.6 το 2002. Ο τομέας της γεωργίας, εκδήλωσε βελτίωση μεταξύ του 1992 και 2000, αλλά το 2001 και το 2002, τα ποσοστά θνησιμότητας σκαρφάλωσαν ξανά στα επίπεδα που βρισκόταν μία δεκαετία πριν. Ο τομέας των μεταφορών, είχε ποσοστά τα οποία παρέμειναν στα επίπεδα ή λίγο ψηλότερα από τα επίπεδα που είχαν όλες οι υπόλοιπες βιομηχανίες από το 1992 έως το 2002. Όλα τα παραπάνω δεδομένα, παρουσιάζονται στο γράφημα που ακολουθεί, Σχήμα 4.3.



Σχήμα 4.3: Ποσοστά θνησιμότητας λόγω ηλεκτρισμού ταξινομημένα με βάση τον κλάδο της βιομηχανίας (1992 – 2002).

2. Σύγκριση ποσοστών με βάση το περιστατικό

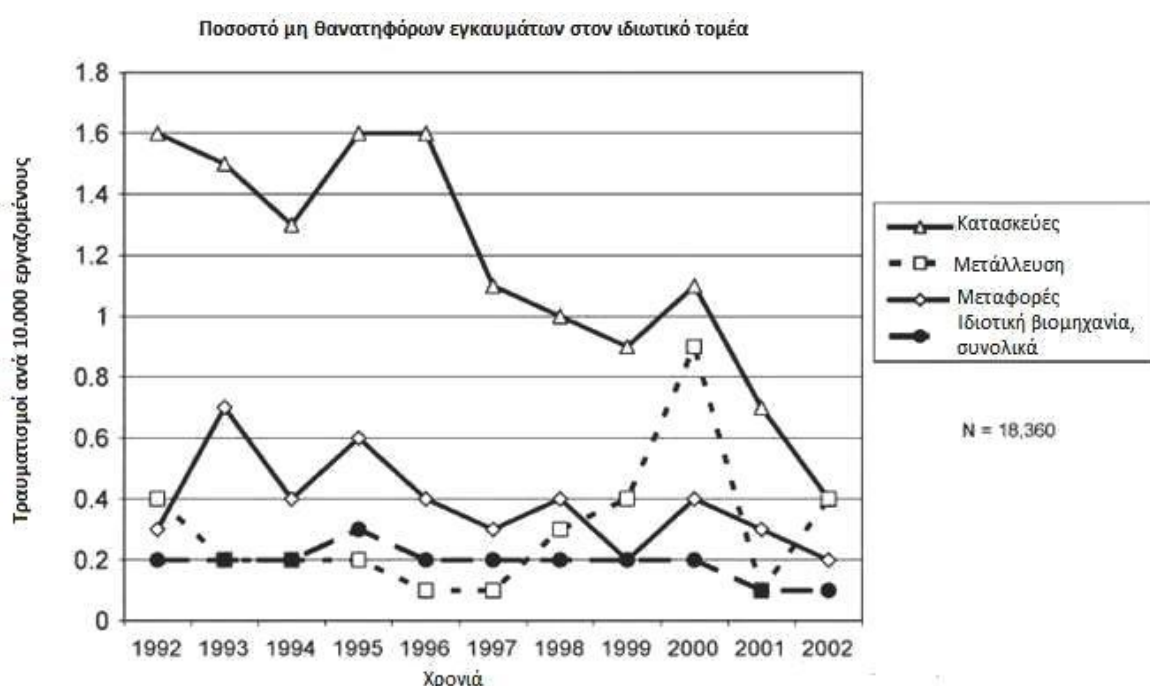
Στο γράφημα του Σχήματος 4.4, παρουσιάζονται τα στατιστικά για τους θανατηφόρους τραυματισμούς για τα έτη 1992-2002 κατηγοριοποιημένα με βάση το περιστατικό που τα προκάλεσε. Η επαφή με τις εναέρια γραμμές μεταφοράς, παρέμεινε ξεκάθαρα για ολόκληρη τη δεκαετία η πιο κοινή αιτία θανάτου από ηλεκτρικό ρεύμα. Αν και υπέστη μικρές διακυμάνσεις, το ποσοστό της βρισκόταν πάντα σε επίπεδα από 0.10 μέχρι 0.12 για κάθε 100.000 εργαζομένους, χωρίς να σημειώσει καμία αξιόλογη βελτίωση. Ο αμέσως επόμενος λόγος τραυματισμού, περιελάμβανε επαφή με καλώδια, μετασχηματιστές ή άλλο ηλεκτρολογικό εξοπλισμό. Ούτε και αυτή η κατηγορία όμως δεν έδειξε σημάδια βελτίωσης, με ποσοστά που παρέμειναν από 0.06 έως 0.08. Στην κατάταξη ακολουθεί η επαφή με το ηλεκτρικό ρεύμα μέσω μηχανών, εργαλείων ή ηλεκτρικών συσκευών (ποσοστό από 0.03 έως 0.04). Τέλος, τα ποσοστά όλων των υπόλοιπων τύπων περιστατικών παρέμειναν κάτω από 0.02 για τα έτη 1996 έως 2002.



Σχήμα 4.4: Ποσοστά θνησιμότητας λόγω ηλεκτρισμού ταξινομημένα με βάση το περιστατικό (1992 – 2002).

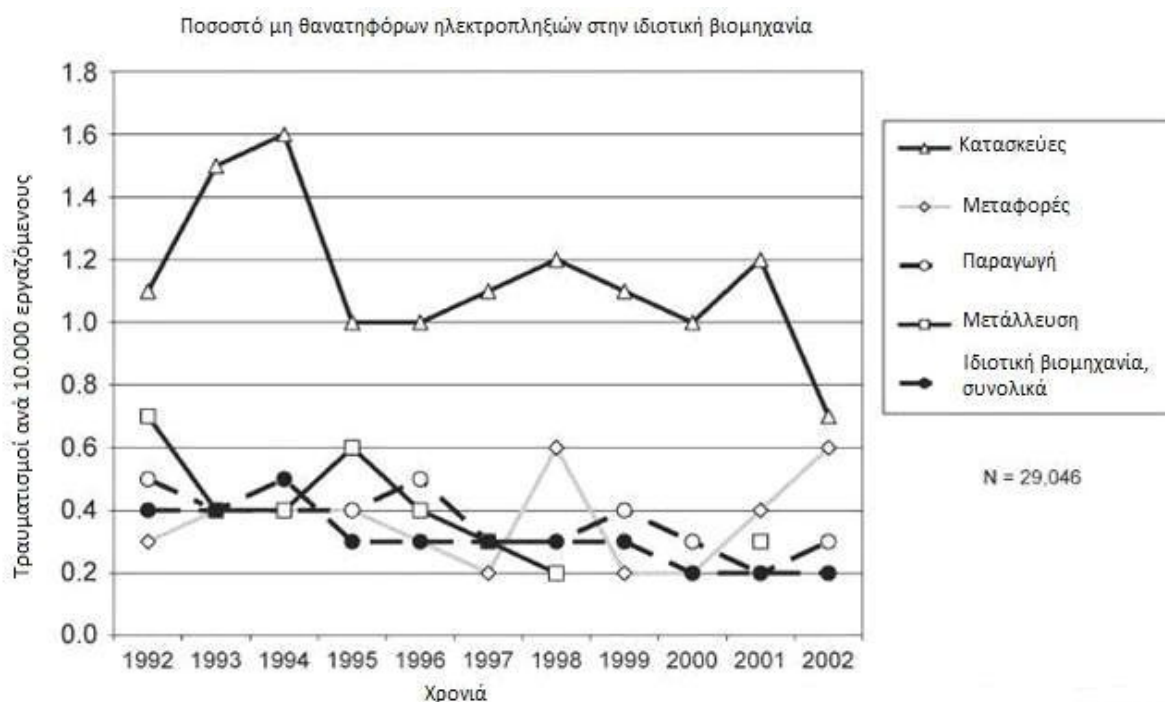
4.1.4 Σύγκριση ποσοστών μη θανατηφόρων ηλεκτρικών ατυχημάτων από τις δύο έρευνες

Στο Σχήμα 4.5, φαίνονται τα ποσοστά των μη θανατηφόρων ηλεκτρικών εγκαυμάτων, όπως προέκυψαν από τη σύγκριση των ερευνών [17] και [18], όπως την υλοποίησαν οι ίδιοι οι συγγραφείς. Και για τις τέσσερις κατηγορίες της βιομηχανίας που βρίσκονται πάνω από το συνολικό άθροισμα όλων των υπόλοιπων. Ο κατασκευαστικός κλάδος είχε τα υψηλότερα ποσοστά, αλλά παρουσίασε μια καθαρή τάση βελτίωσης μετά το 1996. Παρόλα αυτά το ποσοστό των κατασκευών για το 2002 ήταν ακόμα παραπάνω από το διπλάσιο όλων των υπολοίπων. Η μεταλλευτική βιομηχανία, είχε σημαντικές διακυμάνσεις στα ποσοστά της, με σημαντική αύξηση από το 1997 έως το 2000. Τέλος τα ποσοστά των μη θανατηφόρων ηλεκτρικών εγκαυμάτων για τον τομέα των μεταφορών, φαίνεται ότι παρουσιάζουν μειωτικές τάσεις.



Σχήμα 4.5: Ποσοστά μη θανατηφόρων ηλεκτρικών εγκαυμάτων με βάση τον κλάδο της βιομηχανίας (1992 – 2002).

Στο Σχήμα 4.6 τώρα, παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά ποσοστά και για τους τέσσερις κλάδους της βιομηχανίας, για τις μη θανατηφόρες ηλεκτροπληξίες που σημειώθηκαν. Για ακόμα μια φορά ο κατασκευαστικός κλάδος βρίσκεται στη θέση με τα υψηλότερα ποσοστά.



Σχήμα 4.6: Ποσοστά μη θανατηφόρων ηλεκτροπληξιών με βάση τον κλάδο της βιομηχανίας (1992 – 2002).

4.1.5 Η έρευνα της NIOSH για τους κινδύνους του ηλεκτρικού ρεύματος.

Το ετήσιο ποσοστό των συνολικών εργατικών θανατηφόρων ατυχημάτων στις Ηνωμένες Πολιτείες παρουσίασε μια γενικότερη μείωση μεταξύ του 1992 και του 2002. Παρομοίως και οι θάνατοι που οφειλόταν σε ηλεκτρολογικά αίτια, μειώθηκαν και αυτοί. Επίσης, το ετήσιο ποσοστό μη θανατηφόρων εργατικών ηλεκτρικών ατυχημάτων μειώθηκε τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Παρ' όλες τις βελτιώσεις που σημειώθηκαν, ο ηλεκτρισμός παραμένει ιδιαίτερα ψηλά στη λίστα με τους κύριους υπαίτιους για τα θανατηφόρα ατυχήματα το 2002 (έκτη θέση).

Λαμβάνοντας υπόψη της όλα τα παραπάνω, η NIOSH Alerts παρουσίασε εν συντομία πληροφορίες σχετικά με τα εργατικά ατυχήματα, ασθένειες και θανάτους, θεωρώντας ως επιτακτική ανάγκη την πρόληψη, την επίλυση και τον έλεγχο των επαγγελματικών κινδύνων. Ύστερα από συνεχείς μελέτες, η NIOSH Alerts κατέληξε σε ορισμένες συστάσεις οι οποίες περιλαμβάνουν:

- Η βελτίωση της κατάρτισης και της σήμανσης για την πρόληψη ηλεκτροπληξίας από ηλεκτρικό τρυπάνι.

- Βελτίωση της κατάρτισης των εργαζομένων, ώστε να μπορούν να αναγνωρίσουν τον κίνδυνο, και να μπορούν να παρέχουν άμεσα τις πρώτες βοήθειες, καρδιοαναπνευστική ανάνηψη (CPR), σε περίπτωση ανάγκης.
- Βελτίωση της κατάρτισης, της αναγνώρισης και της χρήσης του κατάλληλου προσωπικού εξοπλισμού προστασίας (PPE), και βελτίωση των διαδικασιών εργασίας στις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας.
- Αυστηρή τήρηση των Κανονισμών Ασφάλειας και Υγιεινής (OSHA), βελτίωση της κατάρτισης στην αναγνώριση των κινδύνων και στις εργασιακές πρακτικές για την πρόληψη ηλεκτροπληξιών με σκάλες και στην περίπτωση ικριωμάτων, συστάσεις για μη αγωγή ικριώματα με βελτιωμένη σήμανση.
- Αυστηρή τήρηση των κανονισμών του OSHA, βελτιωμένη σήμανση, απενεργοποίηση και γείωση των ηλεκτρικών συστημάτων πριν από την έναρξη της εργασίας για την προστασία όλων των εργαζομένων από τις ανεξέλεγκτες απελευθερώσεις της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Αυστηρή τήρηση των κανονισμών του OSHA και ANSI, βελτίωση της κατάρτισης για την αναγνώριση της επικινδυνότητας, χρήση του βοηθητικού προγράμματος υπηρεσιών για την απενεργοποίηση των γραμμών μεταφοράς, και ενθάρρυνση της ιδιωτικής βιομηχανίας να βελτιώσουν τον εξοπλισμό για την πρόληψη ηλεκτροπληξίας των χειριστών γερανών και των πληρωμάτων εδάφους από εναέρια γραμμές μεταφοράς ενέργειας.
- Ιδιαίτερα αυστηρή τήρηση των νόμων περί εργασίας ανηλίκων, συμμετοχή και των γονέων, βελτίωση της κατάρτισης για την αναγνώριση του κινδύνου και την προστασία των εφήβων εργαζομένων από ηλεκτροπληξία.

4.2 Θανατηφόρα εργατικά ηλεκτρικά ατυχήματα στην Αυστραλία

Στην παράγραφο αυτή, παρουσιάζεται μια έρευνα με τίτλο “The causes of Electrical Fatalities at work” [19], των Ann Williamson και Anne –Marie Feyer, που πραγματοποιήθηκε στους εργαζομένους της Αυστραλίας και αφορά τα θανατηφόρα εργατικά ατυχήματα που προκλήθηκαν από τον ηλεκτρισμό κατά τα έτη 1982 έως 1984. Η παρακάτω ανάλυση στηρίζεται σε στοιχεία που αποκομίστηκαν από δικαστική έρευνα και επικεντρώνεται σε δύο βασικές κατηγορίες περιπτώσεων. Πρώτον στις περιπτώσεις όπου η κύρια αιτία θανάτου ήταν η απευθείας επαφή με τον ηλεκτρισμό (ηλεκτροπληξία) και δεύτερον στις περιπτώσεις όπου ο θάνατος προκλήθηκε σε επαγγέλματα με μεγάλη έκθεση στον ηλεκτρισμό, αλλά η αιτία του θανάτου δεν ήταν απαραίτητα ηλεκτροπληξία. Έπειτα τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα από άλλες έρευνες που ασχολούνται με θανατηφόρα εργατικά ατυχήματα όλων των περιπτώσεων.

Στην αρχή γίνεται λόγος για τα χαρακτηριστικά του δείγματος που εξετάζεται και για τις μεθόδους οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση αυτή. Κατόπιν, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αναλύσεως, τόσο για τις περιπτώσεις θανάτων από επαφή με το ηλεκτρικό ρεύμα, όσο και για τις περιπτώσεις όπου προκλήθηκαν θανατηφόρα ατυχήματα σε ηλεκτροτεχνίτες και παρεμφερή επαγγέλματα. Τέλος, αξιολογούνται τα αίτια των θανάτων συμπεραίνοντας ποιο από αυτά αποτελεί πρωταρχική αιτία και προτείνονται λύσεις για την αντιμετώπιση και αποφυγή της κατάστασης αυτής.

4.2.1 Μέθοδοι

Το δείγμα που εξετάστηκε περιλαμβάνει όλους τους θανάτους εν ώρα εργασίας που συνέβησαν στην Αυστραλία από το 1982 έως το 1984. Οι πληροφορίες συλλέχτηκαν από τις αναφορές των ανακριτών που συνέταξαν για το National Institute of Occupational Health and Safety (OSHA). Από τους 1.738 θανάτους που σημειώθηκαν, στην παρούσα έρευνα συμπεριλαμβάνονται οι 1.020. Τα κριτήρια με βάση τα οποία επιλέχθηκαν τα περιστατικά που εξετάστηκαν ήταν, πρώτον η ηλικία του θανόντος (δεκαπέντε έως εξήντα πέντε χρόνων) και δεύτερον το κατά πόσον το θύμα εργαζόταν στην κανονική του δουλειά την ώρα του ατυχήματος. Επίσης, περίπου εκατόν τριάντα περιστατικά, αποκλείστηκαν από την έρευνα καθώς δεν υπήρχαν αρκετά στοιχεία για την κωδικοποίηση τους.

Το σύστημα σχεδιάστηκε έτσι ώστε να επιτρέπει την κωδικοποίηση έως τριών διαδοχικών γεγονότων που προηγήθηκαν του ατυχήματος και οδήγησαν στον θάνατο του θύματος. Τα γεγονότα αυτά ονομάζονται προάγγελοι και καθένα από αυτά μπορεί να καταταχθεί σε μία από τις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες:

1. Περιστατικά λόγω περιβάλλοντος: Συμβάντα που προήλθαν λόγω της τοποθεσίας την ώρα του ατυχήματος και δεν μπορούσαν να αλλάξουν εγκαίρως (για παράδειγμα χαμηλός φωτισμός, υγρό πάτωμα κλπ.)
2. Περιστατικά λόγω εξοπλισμού: Συμβάντα που προήλθαν λόγω δυσλειτουργίας ή ζημιάς σε μηχανήματα ή εργαλεία, και συνέβη εκείνη την ώρα.
3. Ιατρικά περιστατικά: Συμβάντα που προκλήθηκαν από την φυσική κατάσταση του θύματος τη δεδομένη χρονική στιγμή (έμφραγμα, διαβητικό ή επιληπτικό επεισόδιο κλπ.)
4. Περιστατικά λόγω συμπεριφοράς: Συμβάντα που προήλθαν από άμεση ανάμειξη του ανθρώπου.

Η τέταρτη κατηγορία έχει κωδικοποιηθεί περαιτέρω με βάση το κατά πόσον τα περιστατικά αυτά αποτελούσαν λάθος ή όχι. Τα λάθη με βάση μία πρώτη

κωδικοποίηση ταξινομήθηκαν σε δυο ιδιαίτερα γνωστές υποκατηγορίες του συστήματος. Η πρώτη ονομάζεται *Παραλείψεις*, δηλαδή πράγματα που δεν έγιναν, και η δεύτερη ονομάζεται *Σφάλματα*, δηλαδή πράγματα που έγιναν λάθος. Επίσης, τα λάθη αυτά ταξινομηθήκαν και με μία δεύτερη διαφορετική κωδικοποίηση, ανάλογα με το που οφείλονται: έλλειψη ικανοτήτων, λάθος συμπεριφορά λόγω ρουτίνας και απροσεξίας, λάθος κανόνες, λάθος εφαρμογή των διδαγμένων κανόνων, λάθη που βασίζονται στις γνώσεις του θύματος ή λάθη κατά την επίλυση και διόρθωση προβλημάτων.

Επιπροσθέτως, η φύση των παραγόντων που συνέβαλαν κωδικοποιείται σε οκτώ πιθανές κατηγορίες όπως παρουσιάζονται ακριβώς παρακάτω:

1. Περιβαλλοντική: Παράγοντες που προέκυψαν από τις συνθήκες που επικρατούσαν ακριβώς πριν στο χώρο του ατυχήματος.
2. Εξοπλισμός: Παράγοντες που συνδέονται με τον σχεδιασμό ή τη συντήρηση του εξοπλισμού, των εργαλείων και του προσωπικού εξοπλισμού προστασίας.
3. Εξάσκηση επαγγέλματος: Παράγοντες που οφείλονται σε επικίνδυνη διεξαγωγή των διαδικασιών.
4. Επιτήρηση: Παράγοντες που οφείλονται σε ανεπαρκή επίβλεψη των εργαζομένων.
5. Εκπαίδευση: Παράγοντες που οφείλονται σε ανεπαρκή εκπαίδευση των εργαζομένων.
6. Λάθη εν ώρα καθήκοντος: Παράγοντες που σχετίζονται με λάθη διεξαγωγής των διαδικασιών.
7. Ιατρική: Παράγοντες που περιλαμβάνουν την φυσική κατάσταση του θύματος πριν το ατύχημα.
8. Άλλοι: Παράγοντες όπως αλκοόλ, επήρεια ναρκωτικών, καθυστερήσεις άφιξης ιατρικής βοήθειας.

Όλα τα καταγεγραμμένα ατυχήματα, μπορούν να έχουν έως τρία γεγονότα (προάγγελους) κάθε τύπου από τους τέσσερις που αναφέρθηκαν και όσους παράγοντες συνεισφοράς υπήρξαν. Επίσης κατά την κωδικοποίηση των γεγονότων αυτά τοποθετούνται με σειρά αύξουσας σημασίας με το πιο σημαντικό να λαμβάνει τη πρώτη θέση.

Τα δεδομένα αυτά αναλύθηκαν και με τους δύο ακόλουθους τρόπους. Η πρώτη ανάλυση επικεντρώθηκε στις αιτίες όλων των θανατηφόρων ηλεκτροπληξιών που συνέβησαν σε χώρο εργασίας, ενώ η δεύτερη περιλαμβάνει τις αιτίες των θανατηφόρων ατυχημάτων που συνέβησαν σε επαγγέλματα όπως ηλεκτροτεχνίτες, ή άλλα παρεμφερή επαγγέλματα στα οποία υπάρχει μεγάλη έκθεση στον ηλεκτρισμό. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της διπλής προσέγγισης, είναι ότι καθεμία παρατηρεί από διαφορετική πλευρά τον ρόλο που παίζει ο ηλεκτρισμός

στα θανατηφόρα ατυχήματα στους χώρους εργασίας. Ακολουθεί παρουσίαση των αποτελεσμάτων της έρευνας αυτής.

4.2.2 Αποτελέσματα αναλύσεων

Τα στατιστικά στοιχεία που συλλέχθηκαν από την συγκεκριμένη έρευνα, χωρίστηκαν και αναλύθηκαν πρώτον με βάση τους συνολικούς θανάτους που σημειώθηκαν και οφειλόταν στην επαφή με το ηλεκτρικό ρεύμα και δεύτερον στους θανάτους που σημειώθηκαν στα επαγγέλματα που υπάρχει άμεση επαφή με το ηλεκτρικό ρεύμα. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων με βάση τα κριτήρια αυτά, παρουσιάζεται παρακάτω:

1. Θάνατοι που οφείλονται σε επαφή με το ηλεκτρικό ρεύμα

Περίπου ένα στα δέκα εργατικά θανατηφόρα ατυχήματα που σημειώθηκαν οφειλόταν σε επαφή με το ηλεκτρικό ρεύμα, γεγονός που καθιστά τον ηλεκτρισμό την πέμπτη κυριότερη αιτία θανατηφόρων ατυχημάτων. Σχεδόν το ένα τρίτο από τους θανόντες, ήταν άνθρωποι που δούλευαν με τον ηλεκτρισμό. Αμέσως μετά ακολούθησαν άνθρωποι που δούλευαν σε αγροτικές βιομηχανίες και κατασκευαστικές εταιρίες. Η πλειοψηφία των ατυχημάτων (69%), συνέβη σε εργαζομένους από είκοσι έως σαράντα ετών. Μια εξίσου σημαντική διαπίστωση αποτελεί το γεγονός ότι περίπου το 37% των θυμάτων, δούλευε για χρηματική αμοιβή (μισθωτοί), το 14.4% ήταν συμβασιούχοι ενώ ένα ποσοστό περίπου 13% ήταν ιδιοκτήτες ή μέτοχοι επιχειρήσεων. Εν τούτοις, ένα αξιοσημείωτο ποσοστό, 11.3% δούλευαν χωρίς πληρωμή, ενώ μόλις το 5% ήταν μαθητευόμενοι.

Τα περιβαλλοντολογικά αίτια αποτελούν πολύ συνηθισμένο προάγγελο στα ατυχήματα που περιλαμβάνουν ηλεκτρισμό. Παρόλα αυτά σπάνια αποτελούν την κύρια αιτία του ατυχήματος. Όπως διαπιστώθηκε από την ανάλυση που περιλαμβάνει όλων των ειδών τα επαγγέλματα, όταν στα ατυχήματα συμμετέχουν αίτια λόγω συμπεριφοράς, τα αίτια αυτά τείνουν να αποτελούν τον πρωταρχικό λόγο του συμβάντος. Στα περισσότερα από τα περιστατικά λόγω συμπεριφοράς υπήρχε λάθος κάποιου συγκεκριμένου τύπου. Χρησιμοποιώντας την κωδικοποίηση Παραλείψεις / Σφάλματα φαίνεται ότι και τα δύο συμβαίνουν εξίσου συχνά, με τη διαφορά ότι τα λάθη που ήταν κυρίως υπαίτια για τον θάνατο των εργαζομένων τις περισσότερες φορές ήταν πράγματα που έγιναν λάθος. Με βάση τη δεύτερη μέθοδο κατηγοριοποίησης που αναφέρθηκε, λάθη λόγω έλλειψης ικανοτήτων ήταν τα πιο κοινά, ενώ πολύ λιγότερα οφειλόταν σε λάθος κανόνες και λάθη από γνώσεις του θύματος.

Όσον αφορά τώρα τους παράγοντες συνεισφοράς, η επικίνδυνη διεξαγωγή εργασιών αποτελεί τον πιο κοινό παράγοντα και με μεγάλο ποσοστό αυτού να θεωρείται ως η κύρια αιτία θανάτου. Έπειτα από λεπτομερέστερη ανάλυση, ως επικίνδυνη διεξαγωγή εργασιών, θεωρήθηκε κυρίως η ανεπάρκεια του να διατηρηθεί ο εξοπλισμός σε κατάσταση λειτουργίας. Αμέσως μετά ακολουθεί η λάθος διεξαγωγή εργασιών και τέλος ακολουθούν οι περιβαλλοντολογικοί παράγοντες και οι παράγοντες λόγω ελλιπούς εκπαίδευσης του προσωπικού με μικρό αριθμό περιπτώσεων, αλλά πρωταρχική σημασία.

2. Θάνατοι σε επαγγέλματα με άμεση επαφή με τον ηλεκτρισμό

Στα επαγγέλματα που σχετίζονται με τον ηλεκτρισμό, έχει καταγραφεί περίπου το 4.4% από τα θανατηφόρα ατυχήματα που έχουν συμβεί σε όλους τους επαγγελματικούς κλάδους. Περίπου οι μισοί από τους θανόντες ήταν εκπαιδευμένοι ηλεκτροτεχνίτες και μηχανικοί, ενώ το ένα τέταρτο ήταν επόπτες και συντηρητές γραμμών. Όπως και στην προηγούμενη ανάλυση, η πλειοψηφία των ατυχημάτων (62%), συνέβη σε εργαζομένους από είκοσι έως σαράντα ετών. Στις περισσότερες περιπτώσεις (57.8%), οι εργαζόμενοι ήταν μισθωτοί, αλλά και ένα μεγάλο ποσοστό περίπου 13% ήταν εκπαιδευόμενοι, ενώ σχεδόν άλλοι τόσοι εργαζόταν εκείνη τη στιγμή χωρίς πληρωμή. Επίσης έχει καταγραφεί ότι η πιο συνηθισμένη αιτία θανάτου σε αυτά τα επαγγέλματα ήταν η ηλεκτροπληξία με ποσοστό 64.4%.

Για άλλη μια φορά τα περιβαλλοντολογικά αίτια και τα αίτια λόγω συμπεριφοράς, αποτελούν τα πιο συνηθισμένα στα εργατικά ατυχήματα. Εδώ όμως τα περιβαλλοντολογικά συχνά είναι και η πρωταρχική αιτία θανάτου. Περιστατικά λόγω εξοπλισμού παρατηρούνται σπάνια, ενώ ιατρικά περιστατικά δεν συνέβησαν καθόλου. Σχεδόν σε όλα τα περιστατικά λόγω συμπεριφοράς, με ποσοστό μεγαλύτερο από 90% , συμπεριλαμβανόταν λάθος. Χρησιμοποιώντας αρχικά την κωδικοποίηση Παραλείψεις / Σφάλματα φαίνεται ότι και τα δύο συμβαίνουν εξίσου συχνά ακριβώς πριν το συμβάν, ενώ όσο μεγαλύτερος ο χρόνος από το ατύχημα, τόσο τα λάθη λόγω παραλείψεων αυξάνονται σημαντικά. Σε αντιστοιχία με την προηγούμενη ανάλυση των ηλεκτρικών ατυχημάτων, και με βάση τη δεύτερη μέθοδο κατηγοριοποίησης, λάθη λόγω έλλειψης ικανοτήτων ήταν τα πιο κοινά και τα πιο επικίνδυνα, ενώ στη δεύτερη θέση σπουδαιότητας βρίσκονταν περιστατικά που οφειλόταν σε λάθος κανόνες.

Τέλος, όσον αφορά τους παράγοντες συνεισφοράς, η επικίνδυνη, ή η μη ασφαλής διεξαγωγή εργασιών αποτελεί με διαφορά τον πιο συχνό παράγοντα και σχεδόν πάντα και τον πρωταρχικό παράγοντα θανάτου. Στην ανάλυση αυτή όμως, ως επικίνδυνη διεξαγωγή εργασιών θεωρήθηκε κυρίως η μη ασφαλής υλοποίηση

των λειτουργικών διαδικασιών είτε από την διεύθυνση, είτε από τον ίδιο τον εργαζόμενο. Αμέσως μετά με σχετικά μικρό αριθμό περιπτώσεων, ακολουθούν οι περιβαλλοντολογικοί παράγοντες.

4.2.3 Συμπεράσματα

Τα εργατικά θανατηφόρα ατυχήματα στα οποία εμπλέκεται ηλεκτρισμός, είτε μέσω ηλεκτροπληξίας, είτε επειδή συμβαίνουν σε επαγγέλματα στα οποία υπάρχει υψηλή έκθεση στο ηλεκτρικό ρεύμα, έχουν ένα σημαντικό αριθμό από αιτίες που τα διαχωρίζουν από τα θανατηφόρα ατυχήματα γενικά.

Αρχικά, στα ατυχήματα που συμβαίνουν σε επαγγέλματα που έχουν άμεση επαφή με τον ηλεκτρισμό, υπάρχει πιθανότητα στα θύματα να περιλαμβάνονται άτομα που απλά βρέθηκαν στο λάθος μέρος τη λάθος στιγμή, ακριβώς πριν το συμβάν. Παρόλο που αυτό αποτελεί σημαντικό στοιχείο των αιτιών της ηλεκτροπληξίας δεν είναι και το πρωταρχικό. Καθοριστικό ρόλο παίζει ο ανθρώπινος παράγοντας και η μη ασφαλής διεξαγωγή των λειτουργικών διαδικασιών. Επίσης τα θανατηφόρα εργατικά ατυχήματα που σχετίζονται με τον ηλεκτρισμό διαχωρίζονται και από τα θανατηφόρα εργατικά ατυχήματα όλων των περιπτώσεων μέσω της διαπίστωσης ότι στα ηλεκτρικά ατυχήματα το πιο πιθανόν ήταν τα λάθη να οφειλόταν σε πράγματα τα οποία δεν έγιναν (παραλείψεις), παρά σε πράγματα τα οποία έγιναν λάθος. Αντίθετα, στα ατυχήματα γενικά, περιστατικά που οφειλόταν σε πράγματα που έγιναν λάθος ήταν με διαφορά τα πιο συχνά. Γι' αυτό το λόγο η πρόληψη των ηλεκτροπληξιών πρέπει να περιλαμβάνει επιβεβαίωση ότι όλοι οι εργαζόμενοι είναι ενήμεροι όλων των σταδίων για όλες τις εργασίες που λαμβάνουν χώρα, και ότι κανένα στάδιο δεν πρόκειται να παραληφθεί κατά τη λειτουργική διαδικασία.

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα της παραπάνω έρευνας, παρατηρείται ότι ο πιο συνηθισμένος τύπος λάθους που οδηγεί σε θανάτους λόγω ηλεκτρισμού εν ώρα εργασίας, είναι λάθη που οφείλονται στην έλλειψη ικανοτήτων του εμπλεκόμενου. Ακριβώς το ίδιο διαπιστώθηκε για τα θανατηφόρα εργατικά ατυχήματα γενικά. Λάθη τα οποία οφειλόταν σε μη τήρηση κανόνων ή σε έλλειψη γνώσης έπαιξαν επίσης το ρόλο τους αλλά σε αρκετά μικρότερο βαθμό. Τα δύο τελευταία λάθη που αναφέρθηκαν, δηλώνουν ότι τουλάχιστον κάποια από τα ατυχήματα που συνέβησαν, προήλθαν από έλλειψη γνώσης της κατάστασης (για παράδειγμα δεν ήταν ενήμεροι ότι το σύστημα ήταν ακόμα υπό τάση). Προληπτικές ενέργειες για λάθη λόγω κανόνων ή γνώσεων, πρέπει να αποτελέσουν η καλύτερη και μεγαλύτερη εκπαίδευση και καλύτερες διαδικασίες ώστε να κρατάνε τους εργαζόμενους ενήμερους για την τρέχουσα κατάσταση.

Από την άλλη μεριά, η πρόληψη λαθών που προέρχονται από την έλλειψη ικανοτήτων δεν είναι τόσο εύκολη καθώς οι ικανότητες αποτελούν αποτέλεσμα τόσο καλής εκπαίδευσης όσο και εμπειρίας. Υπάρχουν δύο στρατηγικές προσεγγίσεις για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος. Η πρώτη προσέγγιση, περιλαμβάνει λύσεις όπως η χρήση εξαιρετικών και ανθεκτικών μηχανών ρεύματος, οι οποίες θα προστατεύουν τους εργάτες από την επαφή με το ηλεκτρικό ρεύμα, ακόμα και στην περίπτωση όπου οι ίδιοι κάνουν κάποιο λάθος. Προσοχή πρέπει να δοθεί όμως στο γεγονός ότι η εισαγωγή τέτοιων μηχανών έχει προκαλέσει πιο ριψοκίνδυνη και απερίσκεπτη συμπεριφορά των εργαζομένων. Εναλλακτικά, λύση μπορεί να αποτελέσει και η εξασφάλιση ότι η κατάσταση κατά την οποία προκλήθηκε το λάθος δεν ήταν ήδη μη ασφαλής. Η πρόληψη για προστασία από ηλεκτροπληξία, πρέπει επίσης να περιέχει συντήρηση του εξοπλισμού ως πρωταρχικό μέλημα.

4.3 Θανατηφόρα περιστατικά λόγω ηλεκτροπληξίας στο Ταϊβάν

Οι Chia-Fen Chi, Chong- Cheng και Zheng – Lun Chen στη δημοσίευση τους “In – depth analysis of electrical fatalities in the construction industry” [20], στην εργασία τους αναφέρουν ότι τα θανατηφόρα ηλεκτρικά ατυχήματα στην Ταϊβάν, υπολογίζεται ότι ανέρχονται στο 14.6% των συνολικών εργατικών ατυχημάτων που οδηγούν σε θάνατο, λαμβάνοντας τη δεύτερη θέση στην κατάταξη και ακολουθώντας τις πτώσεις (30%). Η παρούσα ενότητα αναλύει 255 θανατηφόρα περιστατικά λόγω ηλεκτροπληξίας, που συνέβησαν στον κατασκευαστικό τομέα στην Ταϊβάν από το 1996 έως το 2002 Το ετήσιο ποσοστό περιστατικών με αιτία το ηλεκτρικό ρεύμα, ανέρχεται κατά μέσο όρο στο 0.78 για κάθε 100.000 εργαζομένους, ποσοστό ιδιαίτερα υψηλό συγκρινόμενο και με τα αντίστοιχα ποσοστά για τις Ηνωμένες Πολιτείες (0.4) [17] [18], και για την Αυστραλία (0.49) [19]. Από τα παραπάνω στατιστικά αποδεικνύεται λοιπόν ότι τα ηλεκτρικά θανατηφόρα ατυχήματα αποτελούν για την Ταϊβάν ένα ιδιαίτερα σημαντικό πρόβλημα.

Κάθε περιστατικό, αναλύθηκε αναφορικά με τα εξής :

1. Προσωπικοί παράγοντες: ηλικία, φύλο, εμπειρία του θύματος
2. Παράγοντες επηρεασμού κατά τη διεκπεραίωση του έργου
3. Περιβαλλοντολογικοί παράγοντες: υγρή περιοχή, περιορισμένος χώρος
4. Διοικητικοί παράγοντες: μέγεθος της εταιρίας βασιζόμενο στον αριθμό των εργαζομένων
5. Αιτία του τραυματισμού/ ατυχήματος.

Τα περιστατικά ηλεκτροπληξιών που μελετήθηκαν, διαιρέθηκαν σε πέντε μοτίβα ατυχημάτων: απευθείας επαφή του εργαζομένου με ενεργοποιημένη γραμμή μεταφοράς, επαφή του γερανού/σκάλας του οχήματος με τις εναέριες γραμμές μεταφοράς, επαφή του αγώγιμου εξοπλισμού με ενεργές γραμμές μεταφοράς, απευθείας επαφή του εργαζομένου με εξοπλισμό που διαρρέεται από ρεύμα και ακατάλληλος εγκατεστημένος ή χαλασμένος εξοπλισμός. Η διαίρεση αυτή γίνεται με σκοπό να προσδιοριστούν οι παράγοντες που συμβάλλουν κάθε φορά στην εκδήλωση του ατυχήματος. Για κάθε μοτίβο ατυχήματος, οι αιτίες του ατυχήματος και τα μέτρα προστασίας, αναπτύχθηκαν βάσει των αναγνωρισμένων κοινών σεναρίων. Τα σενάρια αυτά ορίζουν ως αιτίες του ατυχήματος: σφάλμα κατά την απενεργοποίηση του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού, ακατάλληλη χρήση του εξοπλισμού προσωπικής ασφάλειας (PPE), σφάλμα κατά τη μη τήρηση των αποστάσεων ασφαλείας, τυχαία επαφή με εκτεθειμένα ηλεκτρικά μέρη, ελαττωματικά εργαλεία και εξοπλισμός, έλλειψη αποτελεσματικών συσκευών ασφαλείας ή μη ασφαλές περιβάλλον. Τέλος ως μέτρα προστασίας θέτονται: ασφαλείς πρακτικές εργασίας, μόνωση, φύλαξη, γείωση και συσκευές ηλεκτρικής προστασίας.

Η έρευνα από την οποία αντλήθηκαν οι πληροφορίες [20], αναπτύσσει ένα σύστημα κωδικοποίησης που διευκολύνει την κατηγοριοποίηση των θανατηφόρων ηλεκτροπληξιών και αποτελεί ένα ολοκληρωμένο και περιεκτικό πλαίσιο εργασίας που βασίζεται στο σενάριο ανάλυσης του Drury and Brill (1983), στις τρεις κύριες αιτίες ηλεκτρικών ατυχημάτων όπως προκύπτουν από το OSHA (2002) και σε πολλές ακόμα έρευνες για τα θανατηφόρα ηλεκτρικά ατυχήματα. Τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξαν οι συγγραφείς, επικεντρώνονται κυρίως στις ομάδες που αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των θανόντων και στους τρόπους μείωσης και αποφυγής των περιστατικών αυτών. Συγκεκριμένα, οι ανειδίκευτοι εργάτες και αυτοί όπου δουλεύουν σε μικρότερες εταιρίες διαπιστώθηκε ότι διατρέχουν το μεγαλύτερο κίνδυνο όσον αφορά τις θανατηφόρες ηλεκτροπληξίες. Οι νεότεροι εργάτες, δηλαδή ηλικίας κάτω των τριάντα πέντε ετών, παρουσίασαν δυσανάλογα ποσοστά στο δείγμα των περιστατικών. Θεωρείται λοιπόν ότι αυτό συνέβη κυρίως λόγω της έλλειψης εμπειρίας και της απροσεξίας τους. Ακατάλληλα εγκατεστημένος ή καταστραμμένος εξοπλισμός (101 περιστατικά, 36%), αποτέλεσε τον κυρίαρχο τύπο ατυχήματος, κυρίως σε αναφορά με εργάτες με ελλιπή εμπειρία.

Μέτρα προστασίας, προτάθηκαν από τους συγγραφείς για καθένα από τα πέντε μοτίβα ατυχημάτων βασιζόμενοι στις πιο διαδεδομένες αιτίες και σενάρια. Για τον ακατάλληλα εγκατεστημένο ή καταστραμμένο εξοπλισμό για παράδειγμα, οι εργάτες που εμπλέκονται σε τέτοιες εργασίες, πρέπει να εφοδιάζονται με προστατευτικά ρούχα, με εργαλεία με καλή μόνωση και επίσης πρέπει να τοποθετούνται προστατευτικοί φράχτες ώστε να αποφθεχθεί ακούσια επαφή με εκτεθειμένα ηλεκτρικά μέρη. Αποτελεσματικές αλλά ριψοκίνδυνες διαδικασίες,

όπως μετακίνηση μεταλλικών κλιμάκων ή μη κατάλληλα εγκατάσταση εξοπλισμού γείωσης, πρέπει να αποτρέπεται και να απαγορευθεί. Τέλος, καθημερινές επιθεωρήσεις των εργαλείων και του εξοπλισμού, καθώς και προγράμματα διατήρησης της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης, πρέπει να τεθούν σε εφαρμογή από την εταιρεία και να εφαρμόζονται από τους εργάτες.

4.4 Ηλεκτρικά ατυχήματα από επαφή με τις εναέριες γραμμές μεταφοράς

Η παρουσίαση “Contact with Overhead Power Lines. How can we prevent this”, του D.Ray Crow [21], παρέχει πληροφορίες σχετικά με μία από τις κύριες αιτίες θανάτου από ηλεκτρικά ατυχήματα. Την επαφή με εναέριες γραμμές μεταφοράς ενέργειας. Έχουν καταγραφεί πάνω από 130 θάνατοι ετησίως, και δυστυχώς ο αριθμός των περιστατικών και των θανάτων που σχετίζονται με την επαφή με εναέριες γραμμές μεταφοράς ενέργειας δεν έχει αλλάξει τα τελευταία 10 χρόνια. Η αρμόδια κοινότητα πρέπει να αναλάβει δράση σχετικά με αυτό το θέμα. Παρακάτω παρουσιάζονται συγκεκριμένα περιστατικά και προτάσεις για το πώς αυτό το είδος ατυχημάτων μπορούν να προληφθούν. Αρχικά παρουσιάζεται το ιστορικό των περιστατικών:

- Βόρεια Ντακότα - Τέσσερα άτομα κατασκεύασαν μία ράμπα σνούμπορντ ύψους 16 μέτρων για ένα καρναβάλι. Όταν το προστατευτικό κιγκλίδωμα της ράμπας ήρθε σε επαφή με τα εναέρια ηλεκτροφόρα καλώδια, οι τέσσερις άνθρωποι που κρατούσαν τους μεταλλικούς σταθεροποιητές που ήταν σε επαφή με τη ράμπα, υπέστησαν ηλεκτροπληξία και εγκαύματα. Ένας από αυτούς έχασε τη ζωή του, ο δεύτερος αναβίωσε με καρδιοαναπνευστική ανάνηψη, και οι άλλοι δυο υπέστησαν σοβαρά εγκαύματα τρίτου βαθμού.
- Τζαμάικα – Περιστατικό με γερανό. Το ατύχημα προκλήθηκε από την επαφή ενός σωλήνα που μετέφερε ο γερανός με τις εναέριες γραμμές μεταφοράς. Ύστερα από αιφνίδια αλλαγή στα σχέδια, αποφασίστηκε να τοποθετηθεί ο σωλήνας στην απέναντι πλευρά του δρόμου έτσι ώστε να υπάρχει παραπάνω χώρος εργασίας. Αποτέλεσμα ήταν ο βραχίονας του γερανού να επικοινωνήσει με τα ηλεκτροφόρα καλώδια και οι δύο εργάτες που καθοδηγούσαν τον αγωγό να υποστούν ηλεκτροπληξία και εγκαύματα τρίτου βαθμού.
- Βιρτζίνια – Σε ημέρα τρόμου κατέληξε η εκδρομή που οργάνωσε μία ομάδα προσκόπων στην Αλάσκα, όταν πέντε μέλη της ομάδας αποφάσισαν να στήσουν μία σκηνή για την διανυκτέρευση τους. Την ώρα που προσπαθούσαν να σταθεροποιήσουν τον κεντρικό μεταλλικό άξονα της σκηνής, αυτός ήρθε σε

επαφή με τις εναέριες γραμμές μεταφοράς ενέργειας. Τέσσερις από αυτούς υπέστησαν σοβαρή ηλεκτροπληξία.

- Τέξας – Βραχίονας γερανού ήρθε σε επαφή με γραμμή μεταφοράς υψηλής τάσης των 138kV. Ο άτυχος άντρας που ακουμπούσε το φορτίο, υπέφερε από σοβαρά εγκαύματα σε χέρια και πόδια.
- Βαλτιμόρη – Ένας εικοσάχρονος εργαζόμενος σε μία εταιρεία ενοικιαζόμενων οχημάτων, υπέστη ηλεκτροπληξία την ώρα που προσπαθούσε να παρκάρει ένα όχημα ανύψωσης στη μάντρα της εταιρίας και ο βραχίονας του οχήματος ήρθε σε επαφή με τις εναέριες γραμμές μεταφοράς.
- Ντένβερ – Εργαζόμενος σε λατομείο αμμοχάλικου σκοτώθηκε από ηλεκτροπληξία. Ο τριαντάχρονος άντρας μετέφερε τον κατάλληλο εξοπλισμό κοντά σε έναν εκσκαφέα όταν ο βραχίονας του ακούμπησε με τα εναέρια ηλεκτροφόρα καλώδια.
- Αλαμπάμα – Δύο οπαδοί μίας ποδοσφαιρικής ομάδας σκοτώθηκαν την στιγμή που το κοντάρι της σημαίας που κατασκεύαζαν ακούμπησε σε μία γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
- Οντάριο – Το Υπουργείο Εργασίας του Οντάριο προσπαθεί να διερευνήσει τα ακριβή αίτια του ατυχήματος που κόστισε τη ζωή σε έναν τριαντάχρονο εργαζόμενο, ο οποίος χτυπήθηκε από ηλεκτρικό ρεύμα την ώρα που κλάδευε ένα δέντρο.
- Τζαμάικα – Ένας άντρας υπέστη ηλεκτροπληξία ενώ μάζευε καρπούς από ένα δέντρο μάνγκο και ήρθε σε επαφή με εναέρια γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
- Μπέλινγκχαμ – Ένας εικοσάχρονος αφισοκολλητής τραυματίστηκε σοβαρά όταν η σκάλα αλουμινίου που χρησιμοποιούσε ήρθε σε επαφή με εναέριες γραμμές υψηλής τάσης.

Παρατηρώντας όλα τα παραπάνω περιστατικά συμπεραίνεται ότι τα ατυχήματα από την επαφή με εναέριες γραμμές μεταφοράς μπορεί να συμβούν οπουδήποτε και σε ανθρώπους οποιασδήποτε ηλικίας και σχέσης με το αντικείμενο.

4.4.1 Μέτρα για την πρόληψη επαφής με εναέριες γραμμές μεταφοράς

Η ηλεκτρική κοινότητα πρέπει να αναλάβει δράση για να μειώσει τον αριθμό των περιστατικών και των θανάτων που προκύπτουν από την επαφή με εναέριες γραμμές. Μερικές ιδέες και δράσεις που παρουσιάζουν οι συγγραφείς για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου αυτού είναι:

- Η εκπαίδευση του κοινού σχετικά με τους κινδύνους της επαφής με εναέριες γραμμές μεταφοράς ενέργειας μέσω της χρήσης δημόσιων μηνυμάτων στο ραδιόφωνο και την τηλεόραση.
- Η συμμετοχή των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας μέσα από χορηγίες σε μηνύματα ασφαλείας σχετικά με τους κινδύνους της επαφής με εναέριες γραμμές μεταφοράς ενέργειας - "Look Up και Live"
- Η ύπαρξη παντού σε εμφανή σημεία διαφημίσεων στο διαδίκτυο.
- Η χρήση καθολικής σήμανσης και συμβόλων.
- Η χρήση καθολικής σήμανσης και συμβόλων - Αφίσες σε κέντρα συγκέντρωσης του εργατικού δυναμικού.
- Η προειδοποιητική σήμανση σε όλες τις συσκευές υψηλής ανύψωσης σε εμφανή θέση για τον χειριστή.
- Η ενσωμάτωση άρθρων σε περιοδικά του εμπορίου που διαβάζονται από χειριστές κινητού εξοπλισμού.
- Οι περιοδικές συνεδριάσεις της εταιρείας για θέματα ασφάλειας και την αντιμετώπιση τους.
- Η αλλαγή στο σχέδιο καθώς και κοινοποίηση σε όλους τους εμπλεκόμενους, όταν υπάρχει κάποια αλλαγή στην εργασία.
- Η ύπαρξη «φύλακα» πάντα όταν εκτελείται εργασία κοντά σε εναέρια γραμμή μεταφοράς ενέργειας.
- Η εξασφάλιση της κατάρτισης και επανεκπαίδευσης όλων των εργαζομένων, που να περιλαμβάνει και τους κινδύνους της εργασίας κοντά σε εναέριες γραμμές μεταφοράς ενέργειας και πώς να τους αποφύγεις.
- Η εξασφάλιση ύπαρξης σχεδίων ασφαλείας και πρακτικών για κάθε εργασία και τήρηση αυτών (χρήση οδοφραγμάτων, παρατηρητές ασφαλείας, πιστοποιημένοι φορείς, εξοπλισμός, κ.λπ.).
- Η ύπαρξη υπογεγραμμένης ειδική άδεια ασφαλείας από τον κατάλληλο φορέα/ διαχειριστή, σε περίπτωση εισόδου του κινητού εξοπλισμού σε «μη ασφαλή απόσταση» από τις εναέριες γραμμές μεταφοράς.
- Η κατανόηση του κινδύνου του να είσαι σε μικρή απόσταση από τις εναέριες γραμμές μεταφοράς και της απαιτούμενης ελάχιστης απόστασης ασφαλείας.
- Η παροχή πληροφοριών στα σχολικά συστήματα και υποχρεωτικά προγράμματα για τους κανόνες ασφαλείας σε όλα τα σχολεία.

4.5 Ηλεκτρικά ατυχήματα από επαφή γερανών με τις εναέριες γραμμές μεταφοράς.

Η αναφορά αυτή αποτελεί μία αποτίμηση των ηλεκτροπληξιών που συμβαίνουν όταν μηχανές έρχονται σε επαφή με γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Έγγραφα από διάφορες πηγές αναλύθηκαν και κωδικοποιήθηκαν στη δημοσίευση “Crane accidents by contact with power lines” [22], από τον Joseph – Jean Raques, του οποίου οι πληροφορίες προέρχονται από τέσσερις διαφορετικές περιοχές: Κεμπέκ (70 περιστατικά), Οντάριο (99 περιστατικά), Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (23 περιστατικά) και Γαλλία (70 περιστατικά).

Ο τύπος του εξοπλισμού που συμμετείχε στο ατύχημα μπορεί να καταταχθεί σε έναν από τους οκτώ αναγνωρισμένους τύπους που ακολουθούν:

1. Κινούμενος Γερανός
2. Γερανός Φορτηγό
3. Απορριμματοφόρα
4. Εκσκαφέας
5. Σκάλα πυροσβεστικής (ανυψωτήρας) με ή χωρίς τρυπάνι εδάφους
6. Διάφοροι τύποι τρακτέρ (φτυάρια, εκσκαφέας, γερανοί)
7. Ειδικές αντλίες με μακρά δοκό προσέγγισης πλατφόρμας
8. Διάφοροι άλλοι τύποι εξοπλισμού

Αρχικά ο διαχωρισμός των ατυχημάτων έγινε με βάση τον τύπο της μηχανής που περιελάμβαναν και έδειξε ότι οι κινούμενοι γερανοί και τα φορτηγά γερανοί είναι οι δύο πιο συνηθισμένοι τύποι μηχανών που εμπλέκονται στα ατυχήματα επαφής με γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και ευθύνονται για το 66.2% των συνολικών ατυχημάτων. Οι υπόλοιποι τύποι μηχανών δεν εμπλέκονται τόσο συχνά και έχει παρατηρηθεί ότι ο βαθμός εμπλοκής του εξαρτάται και από τη χώρα.

4.5.1 Διαχωρισμός ατυχημάτων ανά λειτουργία και τύπο μηχανής

Μία σημαντική αναλογία βρέθηκε ότι υπάρχει μεταξύ των χειριστών και των βοηθών εδάφους στα ατυχήματα που μελετήθηκαν στην εργασία για τους διάφορους τύπους μηχανών. Από την ανάλυση της συγκεκριμένης έρευνας [22], προέκυψε ότι κάποιες γενικές καταστάσεις μπορούν να προσδιοριστούν για τους πέντε τύπους εξοπλισμού:

1. Κινούμενοι γερανοί: Η συντριπτική πλειοψηφία των εργαζόμενων που ήρθαν σε επαφή με τις γραμμές μεταφοράς ήταν βοηθοί εδάφους (90%). Οι χειριστές που

επηρεάστηκαν από το ατύχημα, τραυματίστηκαν την ώρα που άφηναν την καμπίνα τους. Δεν υπάρχει καμία αναφορά για χειριστή που να τραυματίστηκε ενώ βρισκόταν μέσα στην καμπίνα του.

2. Φορτηγά Γερανοί: Την πλειοψηφία των τραυματιών αποτελούν οι χειριστές (70%), οι οποίοι συνήθως τραυματίστηκαν μέσω του κουτιού ελέγχου.
3. Απορριμματοφόρα: Στις περισσότερες περιπτώσεις οι πληγέντες ήταν οι οδηγοί (77%), και σε αρκετές περιπτώσεις τραυματίστηκαν την ώρα που άφηναν το όχημα τους.
4. Εκσκαφείς: Συνήθως οι βοηθοί εδάφους είναι οι πρώτοι που τραυματίζονται (70%), όταν οι εκσκαφείς έρχονται σε επαφή με τις γραμμές μεταφοράς.
5. Σκάλα πυροσβεστικής (ανυψωτήρας) με ή χωρίς τρυπάνι εδάφους: Εδώ η αναλογία μεταξύ χειριστών και βοηθών ήταν σχεδόν ίδια (40-60%).

4.5.2 Διαχωρισμός ατυχημάτων ανάλογα με την τάση των γραμμών μεταφοράς

Στο 83% των περιπτώσεων που εξετάστηκαν η τάση επαφής με τις γραμμές μεταφοράς ήταν διαθέσιμη, διαχωρίστηκαν λοιπόν οι τάσεις σε τέσσερις κατηγορίες:

1. Λιγότερο από 700V: Οι τάσεις αυτές χρησιμοποιούνται συνήθως για τη σύνδεση με τον τελικό χρήστη (οικίες και κάποιες από τις βιομηχανίες). Τις περισσότερες φορές τα σύρματα είναι μονωμένα.
2. Περισσότερο από 700V και λιγότερο από 44kV: Οι τάσεις αυτές χρησιμοποιούνται για το δίκτυο διανομής από τον σταθμό παραγωγής έως τον τελικό μετασχηματιστή.
3. Περισσότερο ή ίσο με 44kV: Οι τάσεις αυτές χρησιμοποιούνται για το δίκτυο διανομής από τον σταθμό παραγωγής έως τους κύριους μετασχηματιστές διανομής.
4. Άγνωστη τάση.

Τα περισσότερα ατυχήματα, 74% όλων των περιπτώσεων περιελάμβαναν τις γραμμές μεταφοράς του δικτύου διανομής με τάσεις από 700V έως 44kV. Αυτή η τάση είναι ξεκάθαρα ανεξάρτητη από το τύπο της μηχανής, με εξαίρεση τους γερανούς που μπορούν να φθάσουν σε υψηλότερα επίπεδα. Ενδιαφέρουσα είναι επίσης η διαπίστωση ότι οι γραμμές μεταφοράς χαμηλής τάσης (λιγότερο από 700V), ευθύνονταν για πολύ λίγα περιστατικά (περίπου 2%).

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί λοιπόν στις γραμμές μέσης τάσης, στις οποίες παρουσιάζεται η συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων. Αυτές οι

γραμμές μεταφοράς πρέπει να ανυψώνονται σε ξύλινους στύλους και οι αγωγοί τους πρέπει να εγκαθίστανται σε ελάχιστο ύψος 4.15m έως 5.5m, ανάλογα με την τάση τους και την τοποθεσία.

Κεφάλαιο 5

Το πρόγραμμα ηλεκτρικής ασφάλειας και μέθοδοι υλοποίησης του

Η ολοκληρωμένη ηλεκτρική ασφάλεια για τους εργαζόμενους, απαιτεί ένα συνδυασμό από πρότυπα και διαδικασίες επιβολής τους, που θα πρέπει προσεκτικά να συνδυαστούν ώστε να λειτουργήσουν μαζί. Οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Ευρώπη, χρησιμοποιούν διαφορετικές δομές για να παρέχουν ηλεκτρική ασφάλεια.

Το παρόν κεφάλαιο είναι χωρισμένο σε τρεις βασικές υποενότητες. Στην πρώτη ενότητα του πέμπτου κεφαλαίου, παρουσιάζονται και συζητούνται τα προγράμματα ηλεκτρικής ασφάλειας όπως έχουν διατυπωθεί από τα Διεθνή και Εθνικά πρότυπα. Στη δεύτερη ενότητα του, ακολουθεί περιληπτική σύγκριση αυτών και εντοπισμός κάποιων εκ των αδυναμιών τους. Τέλος, στην τρίτη ενότητα, γίνεται λόγος για συγκεκριμένες μεθόδους υλοποίησης των προγραμμάτων ηλεκτρικής ασφάλειας όπως έχουν διατυπωθεί από έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε πραγματικές συνθήκες εργασίας.

5.1 Το Πρότυπο NFPA 70E

Το πρότυπο NFPA 70E – «Απαιτήσεις Ηλεκτρικής Ασφάλειας για τους Εργαζομένους στους Χώρους Εργασίας» (Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces) ισχύει στις Ηνωμένες Πολιτείες, ενώ τα Ευρωπαϊκά πρότυπα με τις απαιτήσεις για την ασφαλή λειτουργία των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων ορίζονται από το EN 50110 – «Λειτουργία των ηλεκτρολογικών Εγκαταστάσεων» (Operation of electrical Installations).

Η δημοσίευση του Dennis K. Neitzel επίτιμου μέλους του IEEE, “Understanding NFPA 70E Electrical Safety Requirements” [24], παρουσιάζει τμήματα από το πρότυπο NFPA 70E-2004, Πρότυπο για την Ηλεκτρική Ασφάλεια στους Χώρους Εργασίας (Standard for Electrical Safety in the Workplace), το οποίο αποτελεί το ομόφωνα αναγνωρισμένο πρότυπο που χρησιμοποιεί ο OSHA για να καθιερώσει τους κανόνες ηλεκτρικής ασφάλειας και την απαίτηση για την πραγματοποίηση ανάλυσης των ηλεκτρικών κινδύνων για τους εργαζόμενους σε ή κοντά σε εκτεθειμένους ενεργούς ηλεκτροφόρους αγωγούς και τμήματα κυκλωμάτων που λειτουργούν σε 50Volts ή περισσότερα. Το πρότυπο NFPA 70E χωρίζεται σε τέσσερα Κεφάλαια:

- Κεφάλαιο 1: Ασφάλεια – Σχετικά με τις πρακτικές εργασίας
- Κεφάλαιο 2: Ασφάλεια – Σχετιζόμενη με τις απαιτήσεις συντήρησης
- Κεφάλαιο 3: Απαιτήσεις ασφαλείας για ειδικό εξοπλισμό
- Κεφάλαιο 4: Απαιτήσεις ασφαλείας για τις εγκαταστάσεις

Συγκεκριμένα, η δημοσίευση του, επικεντρώνεται στο Κεφάλαιο 1, στο οποίο καταγράφονται οι απαιτήσεις για την ανάλυση των ηλεκτρικών σφαλμάτων, την ασφαλή διεξαγωγή των διεργασιών καθώς και τις διαδικασίες που απαιτούνται για την προστασία των εργαζομένων από τους ηλεκτρικούς κινδύνους.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια οι τρεις βασικοί κίνδυνοι που μπορεί να προκύψουν από τον ηλεκτρισμό είναι: ηλεκτροπληξία, ηλεκτρικό τόξο και έκρηξη ηλεκτρικού τόξου. Οι κίνδυνοι αυτοί μαζί με τις επιδράσεις που μπορεί να επιφέρουν στο ανθρώπινο σώμα πρέπει να γίνουν κατανοητοί από όλους όσους εργάζονται κοντά σε ηλεκτρικά κυκλώματα, ή ηλεκτρολογικό εξοπλισμό, και αυτό γιατί καθένας από αυτούς έχει τα δικά του διαφορετικά χαρακτηριστικά και απαιτεί ειδικά μέτρα προστασίας.

5.1.1 Γενική εποπτεία του NFPA 70E

Υπάρχουν κάποιοι συγκεκριμένοι όροι που σχετίζονται με τους ηλεκτρικούς κινδύνους και την ανάλυση αυτών, οι οποίοι πρέπει να καταστούν απόλυτα αντιληπτοί. Παραθέτονται παρακάτω οι ορισμοί «οριακή», «περιορισμένη» και «απαγορευμένη» προσέγγιση όπως βρέθηκαν στο NFPA 70E-2004, Άρθρο 100 και η κατηγοριοποίηση των αποστάσεων αυτών στον Πίνακα 5.1:

- Οριακή προσέγγιση (Στήλες 2 και 3): Όριο προσέγγισης σε συγκεκριμένη απόσταση για ένα ανειδίκευτο άτομο από ένα εκτεθειμένο ενεργό μέρος, εντός του οποίου υπάρχει περίπτωση ηλεκτροπληξίας. Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα ανειδίκευτα άτομα έχουν λιγότερες πιθανότητες να αναγνωρίσουν τον κίνδυνο, πρέπει να παραμείνουν σε ασφαλή απόσταση από τον ενεργό αγωγό. Αν όμως είναι απαραίτητο για ένα ανειδίκευτο άτομο να περάσει το όριο ασφαλείας για να κάνει κάποια μικρή εργασία ή να παρατηρήσει για κάποιο λόγο τον εξοπλισμό, πρέπει αυτό το άτομο να δεχθεί συμβουλή από ένα ειδικευμένο άτομο και να «οδηγηθεί» από αυτό έτσι ώστε να είναι ασφαλές. Ο εκτεθειμένος ενεργός αγωγός (Στήλη 2) έχει σχεδιαστεί έχοντας υπόψη ότι ο κάθε αγωγός μπορεί να κινηθεί (όπως π.χ. υπερυψωμένες γραμμές μεταφοράς) ή μπορεί ένα άτομο να κινηθεί (όπως π.χ. μία κινητή πλατφόρμα). Ένα στέρεο τμήμα ηλεκτρικού κυκλώματος (Στήλη 3) αναφέρεται σε μία εργασία όπου ο αγωγός δεν αναμένεται να κινηθεί.

- Περιορισμένη προσέγγιση (Στήλη 4): Όριο προσέγγισης σε συγκεκριμένη απόσταση από ένα εκτεθειμένο ενεργό μέρος, εντός του οποίου υπάρχει αυξημένος κίνδυνος ηλεκτροπληξίας, εξαιτίας του ηλεκτρικού τόξου σε συνδυασμό με ακούσιες κινήσεις για το ανειδίκευτο προσωπικό που εργάζεται σχετικά κοντά με το ενεργό τμήμα. Υπό φυσιολογικές συνθήκες μπορεί σε ένα ανειδίκευτο άτομο να επιτραπεί να περάσει την περιορισμένη απόσταση προσέγγισης. Για να περάσει το όριο αυτό πρέπει:
 1. Να έχει ένα εγκεκριμένο σχέδιο.
 2. Να χρησιμοποιεί εξοπλισμό προστασίας, εγκεκριμένο για τις συγκεκριμένες συνθήκες.
 3. Η θέση του σώματος του να είναι σε τέτοια στάση ώστε να μειώσει το ρίσκο ακούσιας επαφής.
- Απαγορευμένη προσέγγιση (Στήλη 5): Όριο προσέγγισης σε συγκεκριμένη απόσταση από ένα εκτεθειμένο ενεργό μέρος, όπου εντός του ορίου αυτού η εργασία θεωρείται το ίδιο σαν να υπήρχε άμεση επαφή με το ενεργό μέρος.
- Οριοθέτηση προστασίας από το ηλεκτρικό τόξο: Όριο προσέγγισης σε συγκεκριμένη απόσταση από ένα εκτεθειμένο ενεργό μέρος, εντός του οποίου ο εκτεθειμένος μπορεί να υποστεί έγκαυμα δευτέρου βαθμού εάν συμβεί ηλεκτρικό τόξο.

Το NFPA 70E προκειμένου να θέσει τα όρια που αναφέρθηκαν, στηρίζεται σε συγκεκριμένες απαιτήσεις για την υλοποίηση της ανάλυσης των ηλεκτρικών κινδύνων και απαιτεί συγκεκριμένα στάδια ώστε να επιβεβαιώσει ότι υπάρχουν όλες οι κατάλληλες προϋποθέσεις για την ασφαλή διεξαγωγή των εργασιών.

Ονομαστική τάση φάσης-φάσης (kV)	Οριακή προσέγγιση (m)		Περιορισμένη προσέγγιση (m)	Απαγορευμένη προσέγγιση (m)
	Εκτεθειμένος κινητός αγωγός	Εκτεθειμένος πακτωμένος Αγωγός	Ακούσια κίνηση	
1 έως 15	3.04	1.52	0.66	0.17
15.1 έως 36	3.04	1.83	0.79	0.25
36,1 έως 46	3.04	2.44	0.84	0.43
46,1 έως 72.5	3.04	2.44	0.99	0.63
72,6 έως 121	3.25	2.44	0.96	0.81
138 έως 145	3.35	3.04	1.09	0.94
161 έως 169	3.55	3.55	1.22	1.06
230 έως 242	3.96	3.96	1.6	1.44
345 έως 362	4.67	4.67	2.6	2.44
500 έως 550	5.8	5.8	3.43	3.27
765 έως 800	7.3	7.3	4.54	4.4

Πίνακας 5.1: Αποστάσεις προσέγγισης ενός εκτεθειμένου αγωγού. Δίνει τα όρια για την «οριακή», «περιορισμένη» και «απαγορευμένη» προσέγγιση. (ANSI/IEEE 4-1195)

- ➔ Στήλη 1: Οι ομάδες τάσεων έχουν επιλεγθεί έτσι ώστε να έχουν όμοιες απαιτήσεις για αποστάσεις ασφαλείας βασιζόμενες στο άθροισμα των ηλεκτρικών αποστάσεων αντοχής.
- ➔ Στήλη 2: Οι αποστάσεις της στήλης αυτής βασίζονται σε κανόνες της OSHA για ανειδίκευτα άτομα τα οποία πρέπει να διατηρούν μία απόσταση τουλάχιστον 3,05 m για όλες τις τάσεις πάνω από 50 kV (φάσης- γης) 102 mm για κάθε 1 kV πάνω από 50 kV.
- ➔ Στήλη 3: Οι αποστάσεις βασίζονται στα παρακάτω : α) πάνω από 1 kV αλλά κάτω από 145 kV τα στοιχεία τα παίρνουμε από το NEC (National Electrical Code), πίνακας 110.34. β) για πάνω από 145 kV χρησιμοποιούμε το όριο των 3,05m όπως περιγράφηκε στην στήλη 2.
- ➔ Στήλη 4: Οι αποστάσεις βασίζονται στο πρότυπο C2 του ANSI (National Electrical Safety Code) για ελάχιστες αποστάσεις προσέγγισης για τους εργαζόμενους.
- ➔ Στήλη 5: Οι ελάχιστες αποστάσεις βασίζονται στις τιμές του NEC (National Electrical Code), πίνακας 490.24.

5.1.2 Πρόγραμμα ηλεκτρικής ασφάλειας

Στις απαιτήσεις του OSHA Κανόνες Συμμόρφωσης (Directorate of Compliance) δηλώνεται ότι: «Εάν ο εργοδότης δεν απενεργοποιήσει το σύστημα, τότε η πλήρης διαδικασία που θα ακολουθηθεί για την ασφαλή διεξαγωγή των διεργασιών, πρέπει να περιλαμβάνεται αναλυτικά στην γραπτή αναφορά και να εφαρμοσθεί αυστηρά».

Το NFPA 70E, στην Ενότητα 110.7, ορίζει έξι θέματα τα οποία θα πρέπει να περιλαμβάνονται στο πρόγραμμα ηλεκτρικής ασφάλειας και είναι τα εξής:

1. Επίγνωση και αυτοπειθαρχία
2. Αξίες του προγράμματος ηλεκτρικής ασφάλειας
3. Έλεγχοι του προγράμματος ηλεκτρικής ασφάλειας
4. Διαδικασίες του προγράμματος ηλεκτρικής ασφάλειας
5. Διαδικασία αποτίμησης των κινδύνων
6. Λεπτομερείς οδηγίες των εργασιών

5.1.3 Επιλογή του εξοπλισμού ηλεκτρικής προστασίας

Όλες οι απαραίτητες απαιτήσεις για την επιλογή και επιθεώρηση του κατάλληλου ηλεκτρολογικού εξοπλισμού προσωπικής προστασίας (Personal Protective Equipment - PPE) που χρησιμοποιείται για την προστασία από ηλεκτροπληξία, καθώς επίσης και για προστασία του κεφαλιού, των ματιών, του προσώπου, των χεριών και των ποδιών, βρίσκονται στο OSHA 1910, Ενότητα 1, Προσωπικός Εξοπλισμός Προστασίας (Personal Protective Equipment). Ο όρος PPE στο NFPA 70E περιλαμβάνει προστατευτικό ρουχισμό με επιβραδυντικά φωτιάς (fire retardant - FR), V-rated γάντια, και μονωμένα εργαλεία. Η επιλογή βασίζεται στην κατηγορία κινδύνου που ανήκει η συγκεκριμένη εργασία. Οι κατηγορίες κινδύνου ορίζονται από 0 έως 4, με την κατηγορία 4 να είναι η πιο επικίνδυνη. Ανάλογα λοιπόν με την κατηγορία κινδύνου, ο FR προστατευτικός εξοπλισμός μπορεί να περιλαμβάνει:

- FR ρουχισμό (μπλούζες με μακρύ μανίκι, παντελόνια, επενδύσεις, βαριά πουλόβερ)
- Στολές για προστασία από το ηλεκτρικό τόξο (μπουφάν και παντελόνι)
- Προστασία για το κεφάλι (σκληρό κράνος)
- Προστασία για τα μάτια (προστατευτικά γυαλιά)
- Προστασία για το πρόσωπο (κουκούλα με μονό ή διπλό στρώμα προστασίας)
- Προστασία για τα αυτιά

Ο ρουχισμός για την προστασία από το ηλεκτρικό τόξο, έχει ως σκοπό να προστατεύσει το προσωπικό μόνο από τα θερμικά φαινόμενα του τόξου και δεν μπορεί να παρέχει προστασία από υπτάμενα αντικείμενα που μπορεί να εκτοξευθούν από κάποια έκρηξη. Ο Πίνακας 5.2, παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά των ρούχων προστασίας, ανάλογα με την κατηγορία κινδύνου όπως αυτά περιέχονται στο NFPA 70E – 2004.

Κατηγορία	Περιγραφή Ρουχισμού (αριθμός στρώσεων του ρουχισμού στις παρενθέσεις)	Βαθμοί προστασίας ανάλογα με την ενέργεια του τόξου (cal/cm ²)
0	Υλικά εύφλεκτα που δεν λιώνουν (ακατέργαστο βαμβάκι, μαλλί, ρεγιόν, ή μετάξι, ή μίγματα από αυτά τα υλικά) με βάρος υφάσματος τουλάχιστον 4.5 oz/yd ²	
1	FR μπλούζα, FR παντελόνι, ή FR επένδυση(1)	4 (16.74)
2	Εσώρουχα από βαμβάκι – συμβατικά κοντομάνικα + FR μπλούζα και FR παντελόνι (1 ή 2)	8 (33.47)
3	Εσώρουχα από βαμβάκι + FR μπλούζα και FR παντελόνι + FR επένδυση, ή Εσώρουχα από βαμβάκι + 2 FR επενδύσεις (2 ή 3)	25 (104.6)
4	Εσώρουχα από βαμβάκι + FR μπλούζα και FR παντελόνι + στολές για προστασία από το ηλεκτρικό τόξο πολλαπλών στρώσεων (3 ή περισσότερα)	40 (167.36)

Πίνακας 5.2 : Χαρακτηριστικά τυπικού ρουχισμού προστασίας (NFPA 70E – 2004)

PPE: Εξοπλισμός προσωπικής προστασίας

$$1 \text{ oz/yd}^2 = 27.445\text{gr} / (0.9144)^2 \text{ m}^2 = 28.7022 \text{ gr/m}^2$$

Ρουχισμός προστασίας είναι επίσης εφικτός για 55cal/cm², 75cal/cm² και 100cal/cm², χρησιμοποιώντας πολλαπλές στρώσεις από FR ρουχισμό. Παρόλα αυτά, η χρήση πιο βαριών και πολλαπλών στρώσεων του FR ρουχισμού μπορεί να καταλήξει σε περιορισμό των κινήσεων και της ορατότητας. Γι' αυτόν τον λόγο η χρήση PPE μεγαλύτερου από 40 cal/cm² σε φυσιολογικές συνθήκες δεν προτείνεται, παρά μόνο σε ειδικές περιπτώσεις. Η χρήση προστατευτικής κουκούλας, αυξάνει τις ανησυχίες για έλλειψη οξυγόνου όταν χρησιμοποιείται για μεγάλο χρονικό διάστημα. Απαραίτητες προφυλάξεις πρέπει να περιλαμβάνονται στις διαδικασίες ασφαλείας, ώστε να διασφαλιστεί η ορθή χρησιμοποίηση του PPE. Επιπλέον, ο PPE πρέπει να συντηρείται και να ελέγχεται εξασφαλίζοντας με αυτόν τον τρόπο την ακεραιότητά του.

5.1.4 Εκπαίδευση

Μία από τις σημαντικότερες βάσεις για την ηλεκτρική ασφάλεια είναι η επιβεβαίωση ότι όλοι οι εργαζόμενοι που είναι εκτεθειμένοι σε ενεργούς ηλεκτροφόρους αγωγούς ή μέρη κυκλωμάτων είναι κατάλληλα εκπαιδευμένοι και ικανοί. Ο ορισμός ενός εργάτη ως ειδικευμένου (με τα κατάλληλα προσόντα) αποτελεί αμφιλεγόμενο θέμα, ορίζεται σαφώς όμως από το Εθνικό Ηλεκτρικό Κώδικα (National Electrical Code - NEC), ως «Κάποιος που έχει την ικανότητα και την γνώση που σχετίζεται με την κατασκευή και τη λειτουργία του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και των εγκαταστάσεων και έχει λάβει ασφαλή εκπαίδευση ώστε να αναγνωρίζει και να αποφεύγει τους κινδύνους που μπορεί να περικλείονται». Επιπροσθέτως των απαιτήσεων που ορίζονται από το NEC, το NFPA, στην Ενότητα 110.6, Απαιτήσεις Εκπαίδευσης (Training Requirements), υπογραμμίζει ότι απαιτείται οι υπάλληλοι να είναι εκπαιδευμένοι να αντιλαμβάνονται τους ηλεκτρικούς κινδύνους που σχετίζονται με την ηλεκτρική ενέργεια και ορίζει ως ειδικευμένο κάποιον που είναι εξοικειωμένος με:

- Ειδικές τεχνικές προφύλαξης
- Προσωπικό εξοπλισμό προστασίας
- Μονωτικά και προστατευτικά υλικά
- Μονωτικά υλικά και έλεγχο του εξοπλισμού

Συμπερασματικά, όπως ορίζεται και από το OSHA 190.399, «Το αν κάποιος εργαζόμενος μπορεί να θεωρεί ειδικευμένος, εξαρτάται από διάφορες περιστάσεις στο χώρο εργασίας. Είναι δυνατόν, και στην πραγματικότητα αρκετά πιθανόν, κάποιος να θεωρείται ως ειδικευμένος για συγκεκριμένο εξοπλισμό και εργασία, αλλά ανειδίκευτος για διαφορετικό εξοπλισμό.

5.2 Σύγκριση των προτύπων NFPA 70E και EN 50110

Η δημοσίευση του Giuseppe Parise, με τίτλο “Electrical Safety for Employee Workplaces in Europe and in the USA” [26], ασχολείται με τα δύο αυτά πρότυπα και εστιάζει στις ομοιότητες και τις διαφορές τους.

Το πρότυπο του NFPA 70E είναι μια εμπειρική προσέγγιση με γενικά και συγκεκριμένα τμήματα. Αποτελεί ένα περιεκτικό σύνολο με απαιτήσεις για τις ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις, για τις πρακτικές εργασίας και τον εξοπλισμό ασφαλείας, χωρίς να βασίζεται σε αναφορές από άλλα πρότυπα για την διασαφήνιση αυτών.

Το EN 50110 από την άλλη, δεν αποτελεί παράδειγμα περιεκτικού προτύπου, καθώς δημιουργήθηκε ως στάδιο της διαδικασίας εξίσωσης των κρατών μελών της

Ευρωπαϊκής Ένωσης με τα επίπεδα ασφάλειας που σχετίζονται με την εργασία σε ή κοντά σε ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις. Παρόλα αυτά το EN 50110 κατέχει μία θέση ανάμεσα στις γενικές Ευρωπαϊκές οδηγίες και στους εθνικούς νόμους για την ασφάλεια έναντι σε κάθε είδος κινδύνου.

Αναλύοντας λοιπόν στη συγκριτική του μελέτη ο Giuseppe Parise τα δύο παραπάνω πρότυπα, επικεντρώθηκε στον προσδιορισμό των ομοιοτήτων και των διαφορών τους, με σκοπό να εμβαθύνει στην πιθανότητα της σταδιακής εναρμόνισης μεταξύ των προτύπων. Μερικές από τις σημαντικότερες ομοιότητες και διαφορές τους, παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

1. Προσωπικό, Καθήκοντα και εκπαίδευση

Και τα δύο πρότυπα αναγνωρίζουν το γεγονός ότι η εκπαίδευση είναι απαραίτητη, ώστε ο κάθε εργαζόμενος να φτάσει στο επιθυμητό επίπεδο. Η εκπαίδευση που απαιτείται από τα συγκεκριμένα πρότυπα αφορά μόνο την ασφάλεια από τυχόν ηλεκτρικούς κινδύνους, και αποτελεί επιπλέον εκπαίδευση από αυτή που έχει ήδη πραγματοποιηθεί και αφορά τις τεχνικές ικανότητες για την πραγματοποίηση της εργασίας.

Το NFPA 70E αναγνωρίζει δύο επίπεδα, τους ειδικευμένους και τους ανειδίκευτους εργάτες, των οποίων οι έννοιες έχουν οριστεί παραπάνω.

Από την άλλη το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 50110, ορίζει τρία επίπεδα: ειδικευμένους, εκπαιδευμένους και ανεκπαιδευτους εργαζόμενους. Το ειδικευμένο και εκπαιδευμένο προσωπικό πρέπει να περάσει από διάφορα περιοδικά ανανεωμένα και ελεγμένα επίπεδα επάρκειας, τα οποία επιβεβαιώνονται επίσημα από έγγραφα πιστοποίησης της εκπαίδευσής τους, ενώ παράλληλα αξιολογείται η αποτελεσματικότητα των εργασιών τους μέχρι τότε.

Ο ειδικευμένος χειριστής έχει την αποκλειστική ευθύνη για όλες τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα και τις επιθεωρήσεις στο χώρο εργασίας. Ο εκπαιδευμένος χειριστής έχει την ευθύνη για την εξουσιοδότηση όλων των δραστηριοτήτων. Οι εργασίες που πραγματοποιούνται με ενεργοποιημένο τον εξοπλισμό (live working), πρέπει να διεκπεραιώνονται από τους ειδικευμένους ή εκπαιδευμένους χειριστές μόνο. Τέλος, οι ανεκπαιδευτοι εργαζόμενοι δεν είναι υπεύθυνοι, χρειάζονται έλεγχο και επιτήρηση κατά τη διάρκεια που πραγματοποιούν κάποια εργασία.

Και στις δύο περιπτώσεις η νομοθεσία καθιστά υπεύθυνο τον εργοδότη για οποιαδήποτε ζημιά / ατύχημα συμβεί εντός του λειτουργικού χώρου του κτίσματος.

2. Οργάνωση

Το NFPA ορίζει το Φορέα που έχει Δικαιοδοσία (Authority Having Jurisdiction – AHJ) ως τον οργανισμό, υπηρεσία, ή κάποιον υπεύθυνο που εγκρίνει τον εξοπλισμό, την εγκατάσταση ή τη διαδικασία. Παρόλα αυτά σε πολλές μεγάλες επιχειρήσεις, το διοικητικό στέλεχος που έχει την απόλυτη εξουσία, συνήθως δεν έχει την εμπειρία και την εξειδίκευση να πάρει αποφάσεις κυρίως σε τεχνικά θέματα. Σε τέτοιες περιπτώσεις συνήθως μεταβιβάζουν την εξουσία ή τουλάχιστον δέχονται συμβουλές από ειδικούς.

Το EN 50110 θεωρεί τα εξής:

- Κάθε ηλεκτρολογική εγκατάσταση πρέπει να πραγματοποιείται υπό την ευθύνη ενός προσώπου, του Διορισμένου για τον έλεγχο των Ηλεκτρολογικών Εγκαταστάσεων (Nominated Person in Control of the Electrical Installation - NPCEI)
- Κάθε δραστηριότητα πρέπει να πραγματοποιείται υπό την ευθύνη ενός προσώπου, του Διορισμένου για τον έλεγχο των Εργασιών (Nominated Person in Control of the Work Activity – NPCWA)

3. Γενικές Απαιτήσεις για την υλοποίηση των ηλεκτρικών εργασιών

Και τα δύο πρότυπα επιδιώκουν την επίτευξη ασφαλών εργασιακών συνθηκών, ακόμα και στις περιπτώσεις όπου οι συνθήκες δεν επιτρέπουν την πλήρη απενεργοποίηση του συστήματος, επισημαίνοντας την αναγκαιότητα για ύπαρξη πλάνου εργασίας, αν και μόνο το NFPA 70E δίνει συγκεκριμένες οδηγίες.

Συγκεκριμένα το NFPA περιγράφει τις πρακτικές εργασίας κοντά σε μέρη του κυκλώματος, αναφερόμενο σε συγκεκριμένες περιπτώσεις και δημιουργεί ένα λεπτομερές πρόγραμμα ηλεκτρικής ασφάλειας στο παράρτημα του βιβλίου Πρόγραμμα Ηλεκτρικής Ασφάλειας (Electrical Safety Program).

Το EN50110-1 όχι μόνο περιγράφει τις φυσιολογικές διαδικασίες εργασίας, αλλά και τους τρόπους και τα μέσα ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ συντονιστών και χειριστών. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο ότι για να αποφευχθούν τυχόν λάθη κατά τη μεταφορά των πληροφοριών, πρέπει ο παραλήπτης να επαναλάβει τις πληροφορίες ξανά πίσω στον αποστολέα ώστε αυτός με τη σειρά του να επιβεβαιώσει ότι στάλθηκαν και κατανοήθηκαν σωστά.

4. Διαδικασίες Εργασίας

Το Αμερικάνικο πρότυπο NFPA εξετάζει πλήρως τις ευθύνες του εργοδότη και του ειδικευμένου προσωπικού που σχετίζονται με τον έλεγχο της επικίνδυνης ηλεκτρικής ενέργειας. Περιγράφει μερικές logout/tagout συσκευές (συσκευές που εξασφαλίζουν την ασφάλεια του κυκλώματος με τη διαδικασία κλειδιού/πινακίδας) και συνιστά ετήσια αναθεώρηση των συσκευών αυτών, ή τουλάχιστον μία αντιπροσωπευτική αναθεώρηση ώστε να απαλειφθούν τυχόν ελαττώματα.

Από την άλλη μεριά, το EN50110-1 ασχολείται με τις δραστηριότητες και τις ευθύνες της δουλειάς στις ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις, περιγράφοντας τις οργανωτικές κινήσεις μεταξύ δύο επιπέδων δράσης, του θεμελιώδους και γενικού συντονισμού και της συγκεκριμένης διαδικασίας. Παρόλα αυτά το πρότυπο επικεντρώνεται κυρίως σε γραφειοκρατικά, παρά σε λειτουργικά στοιχεία. Ορίζει την κατηγοριοποίηση των εργασιακών συνθηκών και ξεκινώντας από αυτό καθορίζει και το επίπεδο κινδύνου, τα απαραίτητα προσόντα του χειριστή, και τις ατομικές και κοινές προστατευτικές συσκευές που πρέπει να χρησιμοποιηθούν.

5. Έλεγχοι

Το Αμερικάνικο πρότυπο ορίζει και περιγράφει τα πολυάριθμα στοιχεία που πρέπει να ελεγχθούν ώστε να εξασφαλιστεί η ακεραιότητα της εγκατάστασης και των συστατικών της.

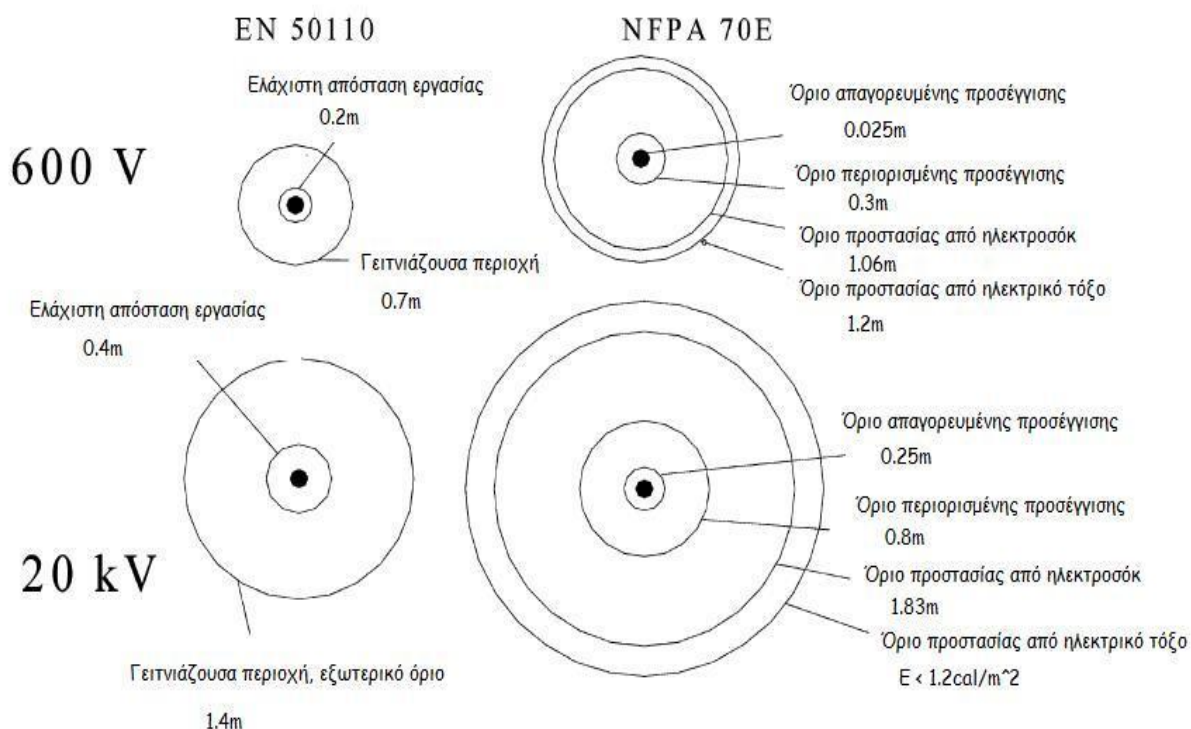
Το Ευρωπαϊκό πρότυπο απαιτεί τη διεξαγωγή δοκιμής τάσης και την επαλήθευση της λειτουργίας των οργάνων πριν, αλλά κατά προτίμηση μετά τη χρήση. Το πρότυπο αυτό δηλαδή, εμβαθύνει στις μετρήσεις, στις δοκιμές, στους σκοπούς και στη χρησιμότητα των μετρήσεων και τονίζει τις προφυλάξεις που πρέπει να λαμβάνονται κατά τον έλεγχο.

6. Χώροι Εργασίας, Αποστάσεις στον ατμοσφαιρικό αέρα και Όρια προσέγγισης

Ως χώρος εργασίας θεωρείται από το NFPA η γεωμετρικά προσδιορισμένη περιοχή, που είναι διαθέσιμη γύρω από τον εξοπλισμό όπου πραγματοποιείται η εργασία. Η οριοθέτηση των αποστάσεων ασφαλείας από τους χώρους εργασίας με βάση το αμερικάνικο πρότυπο παρουσιάζεται αναλυτικά στην υποενότητα 4 του προτύπου.

Από την άλλη μεριά, το πρότυπο EN50110 ορίζει ως χώρο εργασίας τη θέση, χώρο ή περιοχή όπου η εργασία θα πραγματοποιηθεί, πραγματοποιείται ή έχει ήδη πραγματοποιηθεί. Τα δύο πρότυπα στο συγκεκριμένο κομμάτι παρουσιάζουν και

αρκετές διαφορές στην οριοθέτηση των αποστάσεων ασφαλείας, οι οποίες παρουσιάζονται στον ακόλουθο Σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.1: Γραφική αναπαράσταση αποστάσεων ασφαλείας για τα επίπεδα τάσης 600V και 20kV με βάση τα δύο πρότυπα NFPA 70E και EN 50110.

7. Προσωπικός Εξοπλισμός Προστασίας

Το NFPA ασχολείται κυρίως με την προστασία από το ηλεκτρικό τόξο, θεωρώντας το τόξο και ως τυχαίο παράγοντα επαφής αλλά και ως επικίνδυνο παράγοντα πρόκλησης εγκαυμάτων από την ακτινοβολούμενη ενέργεια. Αφιερώνει στα συγκεκριμένα μέτρα προστασίας ιδιαίτερα ευρεία ανάλυση (περιλαμβάνει και ρούχα προστασίας ξεκινώντας από τα εσώρουχα), παρόλα αυτά δεν παραλείπει και τους υπόλοιπους ηλεκτρικούς κινδύνους. Αποτελεί λοιπόν μία ολοκληρωμένη αναφορά στα μέτρα προσωπικής προστασίας, του προστατευτικού εξοπλισμού και στη συντήρηση αυτών.

Το EN 50110 περιγράφει τις συσκευές προσωπικής ασφάλειας που πρέπει να χρησιμοποιούνται κατά τη διεξαγωγή διάφορων ηλεκτρολογικών εργασιών, χωρίς να παραλείπει τους κανόνες για τη διατήρηση της ακεραιότητας και των χαρακτηριστικών των συσκευών αυτών. Επίσης τονίζει ότι τα εργαλεία και ο εξοπλισμός θα πρέπει να συμμορφώνονται με τα Διεθνή ή Εθνικά Πρότυπα.

8. Διαδικασίες Συντήρησης

Και τα δύο πρότυπα δίνουν μεγαλύτερη έμφαση στη λειτουργία των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων παρά στη συντήρησή τους. Παρόλα αυτά αναφέρουν τις βασικές αρχές για τις διαδικασίες συντήρησης.

Συγκεκριμένα, το NFPA 70E στο τρίτο μέρος του επιβάλλει συγκεκριμένες μεθόδους συντήρησης ή ελέγχου, εξαρτάται από τον εργοδότη όμως ποιές από τις μεθόδους αυτές θα επιλέξει ώστε να καλύψει τις απαιτήσεις του. Περιγράφει έστω και εν συντομία, διαδικασίες για τη βασική συντήρηση και τον επαρκή έλεγχο και επισημαίνει τις ευθύνες του ειδικευμένου προσωπικού στο οποίο έχει ανατεθεί η ευθύνη της επιλογής του τύπου και του τρόπου εφαρμογής των διαδικασιών συντήρησης.

Από την άλλη μεριά, με βάση το EN 50110 ο σκοπός της συντήρησης είναι να διατηρεί τις ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις στην απαιτούμενη κατάσταση. Η συντήρηση μπορεί να αποτελείται από προληπτική συντήρηση, ή από διορθωτική συντήρηση. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η περιγραφή των διάφορων τύπων συντήρησης και της ανάθεσης ευθυνών, δραστηριοτήτων και καθηκόντων στο προσωπικό από το Ευρωπαϊκό πρότυπο είναι κάπως γενικές.

Συγκεντρωτικά παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3 που ακολουθεί οι ομοιότητες και οι διαφορές που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Περιοχή	Λειτουργία	NFPA 70E	EN 50110-1
Προσωπικό Ευθύνες και εκπαίδευση	Επίπεδα Εκπαίδευσης	Ειδικευμένοι Ανειδίκευτοι	Ειδικευμένοι Εκπαιδευμένοι
	Ευθύνες	Εργοδότης	Εργοδότης
Οργάνωση	Ηλεκτρολογικές Εγκαταστάσεις	Εργοδότης	NPCEI
	Δραστηριότητα	Εργοδότης	NPCWA
	Εγκρίσεις	AHJ	NPCEI
Γενικές Απαιτήσεις για τις πρακτικές εργασίας	Πρακτικές Εργασίας	Περιγράφονται	Περιγράφονται
	Πλάνο Εργασίας	Πρόγραμμα Ηλεκτρικής Ασφάλειας	NPCEI – NPCWA Σύστημα
Διαδικασίες Εργασίας	Οργανωτικά	Εργαζόμενοι και ειδικευμένο προσωπικό	Δραστηριότητες και ευθύνες
	Πρακτικά	Μεθοδική και λεπτομερής εξέταση ασφάλειας	Αποσαφήνιση διαδικασιών
Έλεγχοι	Συσκευές ανίχνευσης τάσης	Επαλήθευση πριν και μετά τη χρήση	Επαλήθευση πριν αλλά κυρίως μετά τη χρήση
	Ακεραιότητα των εγκαταστάσεων και των συστατικών τους	Επαλήθευση και έλεγχος	Μετρήσεις, δοκιμές και επιθεωρήσεις
Χώροι Εργασίας και τοποθεσίες Αποστάσεις - Όρια προσέγγισης	Χώροι Εργασίας	Διατήρηση των αποστάσεων	Διατήρηση των αποστάσεων
	Αποστάσεις στον αέρα	Όρια ασφαλείας από το ηλεκτρικό τόξο	Ελάχιστες αποστάσεις Εργονομικά εξαρτήματα
	Όρια προσέγγισης	Οριακή Περιορισμένη Απαγορευμένη	Ζώνη ζωντανής λειτουργίας Γειτνιάζουσα περιοχή
Προσωπικός Εξοπλισμός Προστασίας (PPE)		Κατάταξη κινδύνων Προστατευτικές συσκευές Πρότυπες αναφορές Φροντίδα και συντήρηση	Κατάταξη προστασίας Προστατευτικές συσκευές Φροντίδα και συντήρηση
Διαδικασίες Συντήρησης		Σύντομη περιγραφή	Γενική περιγραφή

Πίνακας 5.3: Σύγκριση των προτύπων ασφαλείας NFPA 70E και EN 50110

5.2.1 Η ηλεκτρική ασφάλεια από άλλη οπτική γωνία

Η ηλεκτρική ασφάλεια απαιτεί μία ολοκληρωμένη προσέγγιση που θα περιλαμβάνει όλες τις πιθανές όψεις ηλεκτρικών κινδύνων. Σύμφωνα με το συγγραφέα Danny Liggett, παρόλο που το Πρόγραμμα Ηλεκτρικής Ασφάλειας όπως έχει οριστεί στο NFPA 70E έχει αποδειχθεί χρήσιμο εργαλείο στη προσπάθεια για ηλεκτρική ασφάλεια στους χώρους εργασίας, υστερεί σε κάποια σημεία. Στη δημοσίευση του λοιπόν “Refocusing Electrical Safety”[27], προσπαθεί να εντοπίσει τα κενά στην ηλεκτρική ασφάλεια και επικεντρώνεται στα στοιχεία που πρέπει να επανεξεταστούν ώστε να υπάρξει ουσιαστική αλλαγή και πρόοδος στην επίτευξη της ηλεκτρικής ασφάλειας.

Αρχικά, ο συγγραφέας εστιάζει στην εκπαίδευση των εργαζομένων, τονίζοντας ότι η συναίσθηση του κινδύνου αυτών που εργάζονται με τον ηλεκτρισμό πρέπει να βρίσκεται πάντα σε υψηλά επίπεδα. Προτείνει την προσθήκη συμπληρωματικής πρακτικής εκπαίδευσης με όλες τις απαραίτητες οδηγίες η οποία θα είναι υποχρεωτική για όλους. Υποστηρίζει επίσης ότι παρέχοντας τη βασική εκπαίδευση στους εργαζομένους και διατηρώντας τη συναίσθηση του κινδύνου πάντα σε υψηλά επίπεδα, θα αυξηθεί και η προθυμία τους να χρησιμοποιούν ασφαλείς πρακτικές εργασίας. Τέλος, η καθοδήγηση από τους επιβλέποντες αποτελεί επιβεβλημένη ανάγκη για τη συνεχή βελτίωση της ηλεκτρικής ασφάλειας.

Ένα άλλο κομμάτι που πρέπει να προσεχθεί, είναι ο ρόλος της διοίκησης. Η διοίκηση πρέπει να ενεργοποιηθεί και να αναλάβει την καθοδήγηση έτσι ώστε να διασφαλίσει ότι η ηλεκτρική ασφάλεια θα αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της εργασίας. Από την άλλη μεριά, πρέπει και η κυβέρνηση να αναλάβει τις ευθύνες της. Οι κανονισμοί της κυβέρνησης πρέπει να είναι τέτοιοι ώστε να εξυπηρετούν τα συμφέροντα της κοινωνίας που υπηρετούν. Η επανάληψη των απαιτήσεων από ένα άλλο πρότυπο δεν αποτελεί λύση στη βελτίωση της ηλεκτρικής ασφάλειας.

Επιπροσθέτως, ο Danny Liggett πιστεύει ότι θα πρέπει να υπάρξει σαφής διαχωρισμός μεταξύ του NEC και το NFPA 70E. Το ένα θα πρέπει να καλύπτει τις απαιτήσεις για τις κατασκευές και τις εγκαταστάσεις των ηλεκτρολογικών εξοπλισμών και το άλλο τις ασφαλείς πρακτικές εργασίας που απαιτούνται όταν υπάρχει έκθεση σε ηλεκτρικούς κινδύνους. Εάν το NFPA συνεχίσει να ασχολείται με τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό, τότε πρέπει να παρέχει και κανόνες για τη λειτουργία του.

Τέλος, τα εθνικά αναγνωρισμένα πρότυπα πρέπει να αρχίσουν να ενσωματώνουν και να απαιτούν ασφαλέστερους σχεδιασμούς. Ο σχεδιασμός του εξοπλισμού που έχει υιοθετηθεί τόσα χρόνια δεν είναι πλέον αποδεκτός. Αλλαγή πρέπει να υπάρξει και στο πως οι εργαζόμενοι αλληλεπιδρούν με τον εξοπλισμό και τους κινδύνους στους οποίους εκτίθενται. Ο συγγραφέας καταλήγει ότι ο μόνος

τρόπος να υπάρξει σταδιακή βελτίωση της κατάστασης είναι η προσκόλληση στους κανόνες ηλεκτρικής ασφάλειας από όλες τις περιοχές ευθύνης. Η ηλεκτρική ασφάλεια είναι ένας ολόκληρος μηχανισμός και οι μηχανισμοί λειτουργούν αποτελεσματικά μόνο όταν όλα τα μέρη του μηχανισμού λειτουργούν σωστά.

5.3 Υλοποίηση των προγραμμάτων ηλεκτρικής ασφάλειας

Στην παρούσα ενότητα, γίνεται λόγος για συγκεκριμένες μεθόδους υλοποίησης των προγραμμάτων ηλεκτρικής ασφάλειας όπως έχουν διατυπωθεί από έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε πραγματικές συνθήκες εργασίας.

Αρχικά, στο άρθρο “Identifying electrical safety needs, implementing improvement, and measuring results”[29], περιγράφεται ο τρόπος που μια επιχείρηση οργάνωσε μια ειδική επιτροπή για να μπορέσει να μειώσει τα ηλεκτρικά ατυχήματα στην εταιρία της. Οι συγγραφείς Joseph J.Andrews, Stephen W.Kilpatrick και John H.McAlhane, αναφέρουν ότι μόνο μέσω της αποτελεσματικής διαχείρισης και με την συμμετοχή των εργαζομένων μπορείς να βρεις το πρόβλημα και να το λύσεις αποτελεσματικά.

5.3.1 Ανάμιξη της διοίκησης στη αναγνώριση των απαιτήσεων για ηλεκτρική ασφάλεια και στη βελτίωση της εφαρμογής τους.

Η επιτροπή αυτή οργανώθηκε από τον αντιπρόεδρο της εταιρείας και από το τμήμα ασφαλείας και ονομάστηκε «ομάδα εργασίας για την ηλεκτρική ασφάλεια» (electrical safety task team). Αποτελούνταν από έναν πρόεδρο και από δεκατρία (13) άλλα μέλη από διάφορους τομείς. Σκοπός της επιτροπής ήταν να λαμβάνει αποφάσεις και μέτρα για τη μείωση των ηλεκτρικών ατυχημάτων.

Προκειμένου να προσδιορίσουν τα προβλήματα και να προταθούν αποτελεσματικές λύσεις, αποφάσισαν να λάβουν πληροφορίες από τους εργαζόμενους και κυρίως από αυτούς που ήταν πιο πολύ εκτεθειμένοι στα ηλεκτρικά ατυχήματα. Για να προσελκύσουν όλο και περισσότερα άτομα να συμμετάσχουν χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω τρόποι:

- Συζήτηση των εργαζομένων και των μελών της επιτροπής χωρίς την παρουσία των προϊσταμένων τους.
- Συζήτηση με τους υπευθύνους των εργαζομένων σε ηλεκτρικές εργασίες.
- Συζήτηση με τους ηλεκτρολόγους μηχανικούς της εταιρείας.
- Γραπτή ανώνυμη αναφορά από τους εργαζόμενους, η οποία παρείχε πάρα πολύ χρήσιμες πληροφορίες στην επιτροπή.

- Γραπτή αναφορά από εργαζομένους σε αντίστοιχες θέσεις εργασίας από άλλες επιχειρήσεις.
- Συζήτηση και γραπτές αναφορές από τα ίδια μέλη της επιτροπής.

Στην συνέχεια για να μπορέσουν να μελετήσουν αποτελεσματικά από τις πληροφορίες που είχαν συγκεντρώσει της χώρισαν στις εξής κατηγορίες:

- Πρωτόκολλο
- Εκπαίδευση και ειδίκευση
- Πρόγραμμα και έλεγχος εργασίας
- Συνθήκες εργασίας
- Διάταξη τμημάτων
- Επικοινωνία
- Διοικητική επίβλεψη και υπευθυνότητα
- Ανθρώπινοι παράγοντες

Έπειτα δημιούργησαν τις τελικές προτάσεις και τις παρουσίασαν στους προϊστάμενους των τμημάτων, δίνοντας τους την δυνατότητα να ρωτήσουν ότι απορίες είχαν και επισημαίνοντας τους ότι μπορούν να τους παραχωρήσουν οποιαδήποτε βοήθεια προκειμένου να τις υλοποιήσουν. Για να μπορέσουν να γίνουν πραγματικά αποτελεσματικές οι προτάσεις οι προϊστάμενοι θα πρέπει να τις αξιολογούν και να παρέχουν όλα τα μέσα για να τις υλοποιήσουν και να τις βελτιώσουν.

Οι αποφάσεις χωρίστηκαν σε οκτώ κατηγορίες, όπου σε κάθε κατηγορία ήταν υπεύθυνος ένα μέλος της επιτροπής, ο οποίος υπεδείκνυε συγκεκριμένα πράγματα τα οποία έπρεπε να γίνουν. Το σχέδιο για την υλοποίηση της κάθε πρότασης γράφτηκε στο «Σχέδιο βελτίωσης της ηλεκτρικής ασφάλειας» (electrical safety improvement plan). Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή και την βελτίωση των αποφάσεων είναι η αποτελεσματική συνεργασία μεταξύ των προϊσταμένων και των εργαζομένων της εταιρείας. Απαραίτητο παράγοντα αποτελεί η επικοινωνία μεταξύ τους. Οι προϊστάμενοι και οι επιβλέποντες πρέπει να είναι καλοί στο να παρέχουν και να δέχονται πληροφορίες από τους εργαζομένους. Επίσης, πρέπει να δείχνουν εμπιστοσύνη στις ικανότητες των εργαζομένων τους. Ακόμη, θα πρέπει να κατανοήσουν ότι η ασφάλεια των εργαζομένων προέχει από το χρονοδιάγραμμα εργασίας, και σε κάθε περίπτωση να μειώνουν τις περιττές γραφειοκρατικές διαδικασίες που μπορούν να έχουν ως αποτέλεσμα τον κίνδυνο των εργαζομένων. Και τέλος, για να μην αποδίδονται άδικα πειθαρχικά μέτρα στους εργαζομένους από τους υπευθύνους τους, δημιουργήθηκε από το τμήμα ανθρωπίνου δυναμικού μια επιτροπή για τον έλεγχο των ποινών που θα αποδίδονται.

Ένα σημαντικό κομμάτι είναι η ενημέρωση των εργαζομένων για τα μέτρα ασφαλείας και η συνεχόμενη εκπαίδευση τους. Για αυτό τον λόγο μοιράστηκαν στους εργαζομένους εγχειρίδια για το πως ήταν δομημένο το πρόγραμμα ασφαλείας και πως θα υλοποιούνταν. Επίσης, έγιναν σημαντικοί έλεγχοι στην ασφάλεια του χώρου εργασίας, και στον εξοπλισμό ασφαλείας.

Αφού εφαρμόστηκε το σχέδιο συνέχισαν να πραγματοποιούν επαναλαμβανόμενους έλεγχους για να διαπιστώσουν την αποτελεσματικότητα του και διάφορες βελτιώσεις ανάλογα με τις αδυναμίες του σε κάθε σημείο. Έτσι για την αξιολόγηση των μέτρων δημιουργήθηκε ένας νέος δείκτης ονομαζόμενος «δείκτης υλοποίησης της ηλεκτρικής ασφάλειας» (the electrical safety performance index) ο οποίος υπολογιζόταν κάθε μήνα και αποδείχτηκε ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για τους προϊστάμενους, αφού μπορούσαν να γνωρίζουν το επίπεδο ασφαλείας κάθε μήνα και να το συγκρίνουν με άλλους μήνες και με άλλες καταστάσεις.

Εν κατακλείδι σύμφωνα με τους συγγραφείς, η ασφάλεια των εργαζομένων μέσα σε έναν χώρο εργασίας εξαρτάται από την φυσική κατάσταση του χώρου και από τις ενέργειες των εργαζομένων. Επίσης, οι προϊστάμενοι πρέπει να κατανοήσουν ότι τα προβλήματα δε λύνονται μέσω του γραφείου τους και γραφειοκρατικά αλλά μέσα στο χώρο εργασίας. Πρέπει επίσης να κρατούν συνεχώς ενήμερους τους εργαζομένους τους και να ελέγχουν την απόδοση των μέτρων τους.

5.3.2 Στρατηγική, σχεδιασμός και εφαρμογή των διαδικασιών ηλεκτρικής ασφάλειας, βασισμένα στο E.I. du Pont de Nemours and Co

Οι συγγραφείς Bruce C.Cole, Richard L.Doughty, Landis Floyd, Ray A.Jones και Charles D.Whelan, στη μελέτη τους με τίτλο “Creating a Continuous Improvement Environment for Electrical Safety”[30], αναφέρονται στο πόσο σημαντική είναι η συμμετοχή τόσο των εργαζομένων της επιχείρησης όσο και της ίδιας της επιχείρησης για την δημιουργία ενός ασφαλούς περιβάλλοντος εργασίας. Για να βελτιώνεται η ασφάλεια από τα ηλεκτρικά ατυχήματα σημαντικοί παράγοντες είναι η εφαρμογή των αποφάσεων, η κατανόηση και η αφομοίωση των στόχων από τους εργαζομένους, η παραγωγική διαδικασία και οι ατομικοί παράγοντες.

Τα κέρδη από την εφαρμογή ενός προγράμματος ασφαλείας χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: ηθικά, νομικά και οικονομικά. Όσον αναφορά την πρώτη κατηγορία ένας εργαζόμενος θα αποδώσει περισσότερο σε ένα ασφαλές περιβάλλον. Επίσης κάθε επιχείρηση πρέπει να τηρεί κάποιους κανονισμούς ασφαλείας που θέτει το κράτος, πράγμα που αν δε γίνει τότε τιμωρείται με χρηματική ποινή. Και τέλος, αν μια εταιρεία δε τηρεί και δε βελτιώνει το

πρόγραμμα εργασίας της θα έχει οικονομικά έξοδα. Τα έξοδα αυτά χωρίζονται σε άμεσα και έμμεσα. Άμεσα είναι τα έξοδα όπως οι πληρωμές για την περίθαλψη των εργαζομένων και οι αποζημιώσεις που θα δώσουν σε αυτούς. Έμμεσα έξοδα είναι η μείωση της παραγωγικότητας, η καθυστέρηση του χρονοδιαγράμματος και οι βλάβες στις εγκαταστάσεις.

Κάθε εταιρεία έχει τις δικές της αρχές για την ασφάλεια και την υγεία των εργαζομένων της. Οι βασικές αρχές είναι η εξής.

- Όλα τα ατυχήματα και οι αρρώστιες μπορούν να αποφευχθούν.
- Η μέση διοικητική βαθμίδα είναι υπεύθυνοι για την πρόληψη των ατυχημάτων.
- Η έκθεση σε ατυχήματα μπορεί να ελεγχθεί.
- Οι εργαζόμενοι είναι υπεύθυνοι για την ατομική τους ασφάλεια αλλά και για την ασφάλεια των συναδέλφων τους.
- Η προστασία των εργολάβων και των ατόμων που δεν ανήκουν στο προσωπικό της εταιρείας, πρέπει να εξασφαλιστεί.

Οι αρχές μια εταιρείας όμως είναι πολύ γενικές, για αυτό και κάθε εργαζόμενος έχει τις δικές του προσωπικές αρχές. Έτσι και η επιχείρηση θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις προσωπικές αρχές των εργαζομένων της.

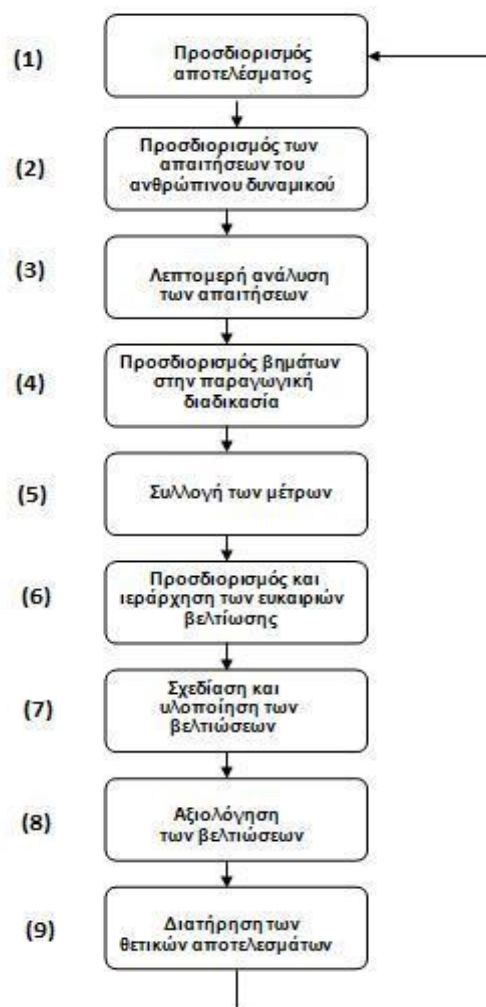
Για να μπορέσει να εξασφαλιστεί η ασφάλεια μέσα στην επιχείρηση θα πρέπει το πρόγραμμα ασφαλείας συνεχώς να βελτιώνεται ώστε να είναι πιο αποδοτικό. Για αυτό τον λόγο θα πρέπει να γίνονται έλεγχοι στο ηλεκτρικό περιβάλλον εργασίας της επιχείρησης και συνεχώς να βελτιώνεται. Τα στάδια από τα οποία περνάει μια τέτοια διαδικασία είναι τα εξής:

1. Σχεδίαση: Η σχεδίαση περιλαμβάνει την αξιολόγηση του υπάρχοντος συστήματος, τη λήψη των απαραίτητων πληροφοριών για το σχέδιο, την διευθέτηση του σχεδίου, τον απαραίτητο εξοπλισμό και την λεπτομερή υλοποίηση του σχεδιασμού.
2. Κατασκευή: Κατά το στάδιο αυτό γίνεται υλοποίηση του σχεδιασμού. Απαραίτητες διαδικασίες είναι ο σχεδιασμός του προγράμματος εργασίας και του χρονοδιαγράμματος εκτέλεσής του.
3. Ανάθεση εργασιών: Στο στάδιο αυτό ανακοινώνονται οι αποφάσεις και οι εργαζόμενοι θα πρέπει να γνωρίζουν πλήρως τους κινδύνους από τα ηλεκτρικά ατυχήματα.
4. Εφαρμογή: Κατά την εγκατάσταση των ηλεκτρολογικών εξοπλισμών οι εργαζόμενοι είναι εκτεθειμένοι σε διάφορους κινδύνους όπως ηλεκτροπληξία, εγκαύματα, έκθεση σε ραδιενέργεια κ.α..
5. Συντήρηση: Η συντήρηση περιλαμβάνει την επιθεώρηση, τον καθαρισμό, την επισκευή, την τεχνική δοκιμή και την αντικατάσταση του εξοπλισμού και των συστημάτων.

6. Διόρθωση/ ανανέωση: Στο στάδιο αυτό γίνεται επισκευή ή αλλαγή του ηλεκτρικού εξοπλισμού για να επιτευχθεί υψηλότερη απόδοση, μείωση των εξόδων, μικρότερη κατανάλωση ενέργειας και μεγαλύτερη ασφάλεια από τα ηλεκτρικά ατυχήματα.

Είναι πολύ σημαντικό η παραγωγική διαδικασία μέσα σε ένα ηλεκτρικό περιβάλλον εργασίας να χωρίζεται σε στάδια. Τα στάδια αυτά είναι τα εξής: σχεδιασμός, προετοιμασία, εκτέλεση και βελτίωση.

Απαραίτητο για να διατηρηθεί η ασφάλεια από τα ηλεκτρικά ατυχήματα είναι η συνεχής βελτίωσης των αποφάσεων. Σύμφωνα με τον Malcolm Balbridge η διαδικασία βελτίωσης μπορεί να γίνει σε 9 στάδια που ανακυκλώνονται, όπως αυτά φαίνονται στο Σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2: Τα εννιά στάδια της διαδικασίας βελτίωσης σύμφωνα με τον Malcolm Balbridge

Για την υλοποίηση των βελτιώσεων χρησιμοποιούνται οι παρακάτω στρατηγικές:

- Χρήση εγχειριδίων ασφαλείας και κοινού κώδικα επικοινωνίας μεταξύ των εργαζομένων.
- Δημιουργία σχέσεων μεταξύ των εργαζομένων σε ηλεκτρικούς χώρους εργασίας και μεταξύ αυτών και των ανωτέρων τους.
- Μείωση των κινδύνων μέσω βελτίωσης των εγκαταστάσεων και όχι μόνο με την βελτίωση του ατομικού εξοπλισμού ασφαλείας.
- Υπολογισμός της βελτίωσης και όχι των αποτελεσμάτων της.
- Μακροπρόθεσμη εφαρμογή των σχεδίων ασφαλείας.
- Αναγνώριση και αποδοχή των ανωτέρων από τους εργαζόμενους γιατί μόνο έτσι θα μπορούν να εφαρμοστούν αποτελεσματικά τα μέτρα που τους προτείνουν.

Ως αποτέλεσμα της εφαρμογής των παραπάνω μέτρων και στρατηγικών είναι η μείωση των ηλεκτρικών ατυχημάτων στους χώρους εργασίας.

Στο παραπάνω άρθρο οι συγγραφείς προσπάθησαν να αιτιολογήσουν τους λόγους για τους οποίους μία επιχείρηση πρέπει συνεχώς να βελτιώνει τα μέτρα ασφαλείας της έναντι στα ηλεκτρικά ατυχήματα. Επίσης, πρότειναν μερικούς τρόπους με τους οποίους μπορεί να επιτευχθεί αυτό. Τέλος χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι, όπως το περιβάλλον μέσα στο οποίο λειτουργεί μια επιχείρηση είναι δυναμικό και όχι στατικό, έτσι και αυτή πρέπει να παραμένει δυναμική σε όλους τους τομείς της.

5.3.3 Προστασία του ανθρώπινου δυναμικού με εφαρμογή ηλεκτρικών και μηχανικών συστημάτων

Το άρθρο “Electrical safety by design”[31], των Daller Mohla, L.Bruce McClung και N.R Rafferty, επικεντρώνεται στο πόσο σημαντικά είναι τα ηλεκτρικά και τα μηχανικά συστήματα και το περιβάλλον μιας επιχείρησης για την προστασία του ανθρώπινου δυναμικού.

Η ασφάλεια μέσω του σχεδιασμού είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για την προστασία των εργαζομένων από ηλεκτρικά ατυχήματα που προέρχονται από τα ηλεκτρικά συστήματα και τον εξοπλισμό. Έτσι λοιπόν, κάθε ηλεκτρικό προϊόν θα πρέπει να αναγράφει την μέγιστη τιμή τάσης που μπορεί να λειτουργήσει, μέγιστη τιμή φορτίου και το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να το διαρρεύσει.

Από οικονομική άποψη, τα έξοδα τα οποία απαιτούνται για αποζημίωση και θεραπεία των εργαζομένων από ηλεκτρικά ατυχήματα υπολογίζετε ότι είναι σχεδόν

τα ίδια με τα έξοδα για την χρήση πιο ασφαλούς εξοπλισμού. Χωρίς να υπολογιστούν οι απώλειες χρημάτων από την καθυστέρηση της παραγωγικής διαδικασίας. Επίσης με την βελτίωση του εξοπλισμού δε χρειάζεται να βελτιωθεί ο ατομικός εξοπλισμός ασφαλείας των εργαζομένων.

5.3.3.1 Εξοπλισμός ασφαλείας

Ο εξοπλισμός ασφαλείας ο οποίος σύμφωνα με τους συγγραφείς πρέπει να βελτιωθεί, χωρίζεται σε επιμέρους κατηγορίες και για κάθε μία από αυτές γίνεται συνοπτική περιγραφή των σημείων που πρέπει να προσεχθούν:

- **Εξωτερικής χρήσης εξοπλισμός ασφαλείας για υψηλές τάσεις**

Ο κατάλληλος εξοπλισμός ασφαλείας εξωτερικής χρήσης για υψηλές τάσεις, πρέπει να αποτελείται από σταθερούς αποζεύκτες, μονωμένους διακόπτες και γυμνούς γειωμένους αγωγούς. Επίσης, οι διακόπτες οι οποίοι δεν χρησιμοποιούνται για τη διακοπή φορτίων θα πρέπει να είναι κλειδωμένοι ώστε πρώτα να κλείνουν οι αποζεύκτες και μετά αυτοί. Εξίσου σημαντικό είναι, οι αποζεύκτες να είναι εξοπλισμένοι με διπλό πηνίο για καλύτερη αξιοπιστία.

Επιπροσθέτως, όλοι οι διακόπτες και οι αποζεύκτες πρέπει να είναι σχεδιασμένοι και τοποθετημένοι έτσι ώστε να αποφεύγετε η δημιουργία ηλεκτρικού τόξου. Η τήρηση των κανονισμών ασφαλείας για την απόσταση των αγωγών μεταφοράς σύμφωνα με το NASC αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση. Για να αποφευχθεί η διακοπή ηλεκτρισμού συνηθίζεται να απενεργοποιείται ένα μέρος της εγκατάστασης. Τέλος, για τη συντήρηση της εγκατάστασης θα πρέπει να έχει προβλεφθεί από το σχέδιο συντήρησης η ύπαρξη διαδρόμων για την ασφαλή αφαίρεση των εξαρτημάτων και την χρήση των γερανών.

- **Μέσης τάσης κλειστοί αγωγοί μεταφοράς φορτίου**

Η προστασία του εσωτερικού τμήματος της ασφάλειας από το ηλεκτρικό τόξο το οποίο δημιουργείται κατά το άνοιγμα του κυκλώματος, πρέπει να είναι διασφαλισμένη. Επίσης, οι διακόπτες οι οποίοι δεν είναι εξοπλισμένοι για την αποφυγή των ηλεκτρικών τόξων θα πρέπει να εξοπλίζονται ώστε να μπορούν να κλείνουν από απόσταση.

- **Μέσης τάσης μαγνητικοί αυτόματοι για τον έλεγχο κινητήρων**

Οι αυτόματοι διακόπτες χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο κινητήρων πάνω από 3000HP και για μετασχηματιστές άνω των 1000kVA. Για την προστασία των εργαζομένων πρέπει να χρησιμοποιηθεί προσωπικός εξοπλισμός προστασίας, καθώς και να γίνεται χρήση του διακόπτη. Απαραίτητη είναι και η χρήση του κατάλληλου εξοπλισμού για να διατηρηθεί ο διακόπτης ανοιχτός κατά την διάρκεια της συντήρησης.

Οι μονωμένοι αγωγοί για την αποφυγή επαφής δύο φάσεων και η διατήρηση των αποστάσεων ασφαλείας για την αποφυγή δημιουργίας ηλεκτρικού τόξου, αποτελούν δύο ακόμη μεθόδους βελτίωσης του εξοπλισμού. Επίσης λύσεις αποτελούν και η χρήση εξοπλισμού για το κλείσιμο και το άνοιγμα των διακοπών από απόσταση, η χρήση ψηκτρών και συστημάτων εξαερισμού και η σχεδίαση του συστήματος έτσι ώστε να είναι εύκολη η αλλαγή ενός εξαρτήματος.

- **Χαμηλής τάσης διακόπτες**

Μιλώντας για χαμηλή τάση εννοείται εγκατάσταση μικρότερη των 600V. Αρχικά, θα πρέπει να γίνεται χρήση προστατευτικών καλυμμάτων για την αποφυγή επαφής των αγωγών με τον εξοπλισμό. Οι διακόπτες θα πρέπει να έχουν εξοπλισμό για τον χειρισμό τους από απόσταση μεγαλύτερη από αυτή που δημιουργείται από το ηλεκτρικό τόξο. Τέλος, ο σχεδιασμός πρέπει να λαμβάνει υπόψη του τις αποστάσεις στις οποίες υπάρχει εμφάνιση του ηλεκτρικού τόξου.

- **Συστήματα και εξοπλισμός γείωσης**

Απαραίτητη θεωρείται η εγκατάσταση υψηλής αντοχής συστημάτων γείωσης με συναγερμό για να μειωθεί η πιθανότητα επαφής δύο φάσεων. Επίσης, η εγκατάσταση αυτή εξασφαλίζει άμεσο εντοπισμό της βλάβης και αποφεύγει τη δημιουργία μεγαλύτερου προβλήματος.

Μπορεί να γίνει χρήση αυτόματων ή χειροκίνητων συστημάτων γείωσης άνω των 1000V για την περίπτωση κατάρρευσης των υπόλοιπων διακοπών, ή χρήση ενός κανονικού αγωγού στη γείωση στην θέση ή και μαζί με τον μεταλλικό αγωγό για την τάση των 480/600V.

Επίσης συνιστάται η χρήση ισοδυναμικών γειώσεων σε όλο τον αγωγίμο εξοπλισμό εξωτερικής χρήσης, η χρήση δοχείων με υγρό κάτω από τις μπαταρίες σε περίπτωση διαρροής των υγρών της μπαταρίας και η χρήση πλαστικών προστατευτικών γύρω από τις μπαταρίες για την αποφυγή επαφής του γύρο

εξοπλισμού. Τέλος, ανιχνευτές καπνού και συστήματα εξαερισμού, καθώς και απομακρυσμένοι πίνακες ενδείξεων για όλους τους σημαντικούς συναγερμούς, θεωρούνται από τους συγγραφείς ως ικανοί τρόποι βελτίωσης του εξοπλισμού ασφαλείας.

- **Όργανα και συστήματα ελέγχου**

Τα ηλεκτρικά συστήματα ελέγχου μπορούν να προκαλέσουν σημαντικά ατυχήματα λόγω της καθημερινής χρήσης τους από τους εργαζομένους. Παραδείγματος χάριν, μέθοδο για την αποφυγή των ηλεκτρικών ατυχημάτων σε αυτή την κατηγορία αποτελεί η κάλυψη με πλαστικό κάλυμμα των επικίνδυνων επιφανειών για να μην έρθουν σε επαφή με τον εργαζόμενο κατά την χρήση από τον ελεγκτή.

Άλλοι μέθοδοι είναι, η χρήση ελεγκτή τάσης του κυκλώματος, η χρήση αυτόματου ή χειροκίνητου διακόπτη για το άνοιγμα του κυκλώματος σε περίπτωση βραχυκυκλώματος καθώς και η χρήση χρωμάτων για την αναγνώριση της επικινδυνότητας των εξαρτημάτων. Τέλος, στη βελτίωση της ασφάλειας συμβάλλουν και η χρήση πινακίδων που να προειδοποιούν για κινδύνους καθώς και η χρήση οδηγιών ασφαλείας που γράφουν τι σημαίνει το κάθε σύμβολο ασφαλείας.

- **Αναγνωριστικά σήματα**

Αρχικά, απαιτούνται αναγνωριστικά σήματα με αναφορά των αποστάσεων ασφαλείας για την αποφυγή δημιουργίας ηλεκτρικού τόξου. Επίσης, όλα τα όργανα, οι ηλεκτρονόμοι και οι μετρητές πρέπει να μαρκάρονται για την αποφυγή ατυχημάτων κατά την αντικατάστασή τους. Όλες οι συσκευές πρέπει να αναγράφουν επάνω τους αν είναι επικίνδυνες και το είδους του κινδύνου. Επιπλέον, σε κάθε υποσταθμό θα πρέπει να υπάρχει ηλεκτρολογικό σχέδιο.

Σύμφωνα με το άρθρο ο σχεδιασμός ασφαλείας είναι ένας κερδοφόρος τρόπος για την βελτίωση της ασφάλειας των εργαζομένων χωρίς την χρήση διοικητικών μέσων. Με λίγα λόγια οι επιχειρηματίες κάνουν μια σημαντική επένδυση για την ασφάλεια του προσωπικού τους.

5.3.4 Ανάλυση των πιο διαδεδομένων τεχνικών ανάλυσης ασφαλείας

Ο συγγραφέας J.L. Rounroge, περιγράφει στην έρευνα του “Comparing safety analysis techniques”[32] τα ποιοτικά και ποσοτικά αποτελέσματα της σύγκρισης διαφορετικών τεχνικών ανάλυσης και υποστηρίζει ότι εξαιτίας των διαφορών στις τεχνικές ανάλυσης, μία ανάλυση θα προτιμηθεί.

Συγκεκριμένα η ανάλυση τεχνικών συχνής χρήσης σε πρότυπα ακολουθεί τα εξής στάδια:

1. Ανάλυση από ειδικούς.
2. Αποτυχία και ανάλυση επίδρασης και παράγωγα (FMEA)
3. Ανάλυση αρίθμησης μερών ή ανάλυση αρίθμησης εξαρτημάτων σε τεχνική ανάλυσης για τον υπολογισμό της αποτυχίας ενός συστήματος όταν τα ποσοστά αποτυχίας των συστατικών μερών είναι γνωστά.
4. Διαγράμματα φραγμού αξιοπιστίας (RBD): Μοντέλο της συμπεριφοράς ενός συστήματος μέσω της υπόδειξης με διάγραμμα του όρου για μια επιτυχή εφαρμογή
5. Υβριδικές Τεχνικές: Συνδυασμοί των RBD και αποτελεσμάτων Markov και δέντρο ανάλυσης σφάλματος (FTA) για περιττές διαμορφώσεις
6. Δέντρο ανάλυσης σφάλματος (FTA): Μέθοδος για υπόδειξη, από πάνω προς τα κάτω, πως (οι συνδυασμοί από) βασικά γεγονότα μπορεί να οδηγήσουν σε συγκεκριμένο (μη επιθυμητό) γεγονός
7. Ανάλυση Markov: Μέθοδος ανάλυσης, στην οποία η ασφάλεια του συστήματος επιτυγχάνεται με την παρουσίαση του συστήματος μέσω διαφορετικών καταστάσεων και των μεταβάσεων μεταξύ αυτών των καταστάσεων
8. Ενισχυμένη Ανάλυση Markov: Συνδυασμός της ανάλυσης Markov, ανάλυση αβεβαιότητας και ανάλυση ευαισθησίας

5.3.4.1 Σύγκριση τεχνικών: Η αναλυτική διαδικασία

Σύγκριση πληροφοριών απαραίτητες για τη διαδικασία ανάλυσης:

1. Πληροφορίες πλήρους συστήματος για ορισμένες τεχνικές/ για άλλες απαιτούνται μόνο οι πληροφορίες που είναι σχετικές με το ανεπιθύμητο περιστατικό που θα αναλυθεί.
2. Για πληροφορίες εξειδικευμένης ανάλυσης απαιτείται να είναι γνωστός ο στόχος ασφαλείας που πρέπει να επιτευχθεί.
3. Λεπτομερείς ποσοτικές πληροφορίες σχετικά με τη δοκιμή και την επισκευή για ορισμένες τεχνικές.

Σύγκριση εφαρμογών κατά τη διάρκεια της αναλυτικής διαδικασίας

1. Για ανάλυση από ειδικούς ο στόχος ασφαλείας καθορίζεται σαν σημείο εκκίνησης για την ανάλυση.
2. Για ορισμένες τεχνικές ανάλυσης η ανάλυση της αποτυχίας του συστήματος καθορίζεται στην αρχή της ανάλυσης.
3. Κάποιες τεχνικές ξεκινούν με λίστες εξαρτημάτων, ενώ άλλες σε υψηλό επίπεδο με ένα λειτουργικό σύστημα ανάλυσης.
4. Ορισμένες τεχνικές αναλύουν μόνο το τμήμα που συνδέεται με την πτώση του συστήματος.
5. Οι περισσότερες τεχνικές καθορίζουν το αποτέλεσμα της πτώσης και την πιθανότητα πτώσης των εξαρτημάτων/ του υποσυστήματος.
6. Η αβεβαιότητα σε παραμέτρους του μοντέλου λαμβάνεται υπόψη μόνο από την ενισχυμένη ανάλυση Markov.
7. Η εύρεση των κυρίαρχων παραμέτρων γενικά δεν περιλαμβάνεται στις τεχνικές ανάλυσης.
8. Οι μεθοδολογίες που ακολουθούνται από διαφορετικές τεχνικές ανάλυσης ξεκινούν με διαφορετικές δράσεις, τελειώνουν με διαφορετικές δράσεις και ακολουθούν διαφορετικά μονοπάτια ανάμεσα στην αρχή και στο τέρμα της ανάλυσης.

5.3.4.2 Αποτελέσματα σύγκρισης

Όλες οι τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συγκρίνουν και να ταξινομήσουν την ασφάλεια του συστήματος, άλλες ποιοτικά και άλλες ποσοτικά, η βάση, ωστόσο, διαφέρει. Όλες οι ποσοτικές τεχνικές μπορούν να προβλέψουν τη διαθεσιμότητα όμως για ορισμένες τεχνικές πρέπει να δημιουργηθεί καινούριο μαθηματικό μοντέλο. Κάποιες ποσοτικές τεχνικές μπορούν να προβλέψουν και τη συχνότητα διακοπών. Τέλος, κάποιες τεχνικές παρέχουν χρήσιμο σύστημα καταγραφής

Σύμφωνα λοιπόν με το συγγραφέα, το πιο κατάλληλο μπλοκ διάγραμμα για αναλύσεις κατά τον πρώτο κύκλο ζωής είναι το (block-level) FMEA και τα RBD, ενώ τα μοντέλα Markov, το μοντέλο FTA ή το (σε επίπεδο εξαρτήματος) FMEA είναι πιο κατάλληλα για φάσεις κύκλου ζωής όπου η δομή του συστήματος είναι περισσότερο ή λιγότερο ή καθόλου παγιωμένη.

Κεφάλαιο 6

Το ηλεκτρικό τόξο και το θεωρητικό μοντέλο ασφαλούς εργασιακής απόδοσης

Στην πρώτη ενότητα του παρόντος κεφαλαίου περιγράφονται οι κίνδυνοι που μπορεί να προκαλέσει ένα ηλεκτρικό τόξο, η ανάλυση αυτών και συγκεκριμένες λύσεις για την μείωση και αντιμετώπιση του ιδιαίτερα επικίνδυνου αυτού φαινομένου. Στη δεύτερη ενότητα, παρουσιάζεται ένα θεωρητικό μοντέλο ασφαλούς εργασιακής απόδοσης, στο οποίο διερευνώνται λύσεις για την μείωση του φαινομένου του ηλεκτρικού τόξου. Τέλος, στην τελευταία ενότητα του περιγράφεται ένας ακόμα ηλεκτρικός κίνδυνος, η έλλειψη της κατανόησης του ρόλου της γείωσης, ο οποίος είναι παραγνωρισμένος και έχει δημιουργήσει αρκετά προβλήματα και θανάτους τις τελευταίες δεκαετίες.

6.1 Το ηλεκτρικό τόξο ως πηγή κινδύνου

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μίας έρευνας με τίτλο “Reducing the flash hazard”[29], του Timothy B.Dugan που επικεντρώνεται στους κινδύνους που μπορεί να προκαλέσει ένα ηλεκτρικό τόξο, την ανάλυση αυτών και αντίστοιχους τρόπους για την ελάττωση της ενέργειας που αποδεσμεύεται κατά την εμφάνιση ενός τόξου.

Σφάλμα από ηλεκτρικό τόξο προκαλείται από το τη ροή του ρεύματος μεταξύ αγωγών από φάση σε φάση, μεταξύ μονοφασικού αγωγού και γείωσης, ή μεταξύ πολυφασικού αγωγού και γείωσης. Κατά την παραγωγή ηλεκτρικού τόξου μπορεί να αποδεσμευτούν μεγάλες ποσότητες ενέργειας σε υπερβολικά μικρό χρονικό διάστημα υπό την μορφή ακτινοβολούμενης θερμότητας, έντονης λάμψης και κυμάτων υψηλής πίεσης. Η ακτινοβολούμενη θερμότητα που εκπέμπεται ταξιδεύει με την ταχύτητα του φωτός και μπορεί να φθάσει θερμοκρασίες έως και 35.000°F. Εξαιτίας αυτών των υψηλών θερμοκρασιών, τα στοιχεία του κυκλώματος που έχουν άμεση επαφή με το τόξο μπορεί αυτόματα να αλλάξουν φυσική κατάσταση και να μετατραπούν από στερεά σε ατμό. Όταν συμβεί αυτό, το σφάλμα από ένα μονοφασικό αγωγό μπορεί να προαχθεί σε σφάλμα ενός τριφασικού αγωγού σε λιγότερο από 1ms. Όλα τα παραπάνω μπορούν να οδηγήσουν σε περαιτέρω εκρήξεις, εξαιρετικά υψηλές πιέσεις και κύματα ήχου.

Για την καλύτερη αντιμετώπιση των σφαλμάτων από ηλεκτρικά τόξα, απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η αποσαφήνιση των αιτιών που τα προκαλούν. Οι κύριοι παράγοντες σε αυτά τα περιστατικά είναι, το ανθρώπινο λάθος και οι βλάβες στον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό. Το ανθρώπινο λάθος μπορεί να περιλαμβάνει επαφή ηλεκτροφόρων αγωγών με εργαλεία από απροσεξία, ακατάλληλη ευθυγράμμιση του εξοπλισμού ενώ αυτός βρίσκεται εντός ηλεκτροφόρου ζυγού τροφοδοσίας, ή ακόμα και πτώση εργαλείων ή αποσυνδεδεμένα μέρη εντός του εξοπλισμού. Από την άλλη, τα λάθη στον εξοπλισμό μπορεί να περιλαμβάνουν έλλειψη συντήρησης αυτού, βλάβες στην μόνωση του εξοπλισμού, ή επαναλαμβανόμενα ηλεκτρικά σφάλματα.

6.1.1 Μείωση της ενέργειας του ηλεκτρικού τόξου

Οι μέθοδοι για την μείωση της ενέργειας ενός περιστατικού, στοχεύουν μεμονωμένα στην αλλαγή των παραμέτρων που καθορίζουν την ποσότητα της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από ένα ηλεκτρικό τόξο. Ονομαστικά, οι παράμετροι αυτοί είναι η τάση, το ρεύμα και ο χρόνος. Αρκεί η ρύθμιση έστω μίας από αυτών ώστε να ρυθμιστεί το μέγεθος του σφάλματος. Καθώς όμως η τάση του δικτύου είναι ήδη ρυθμισμένη στις εγκαταστάσεις, η αντιμετώπιση του προβλήματος γίνεται μέσω του ρεύματος και του χρόνου. Συγκεκριμένα:

A. Ρεύμα: Το ρεύμα που εμπλέκεται σε ένα ηλεκτρικό τόξο, είναι το ρεύμα βραχυκυκλώσεως που προκύπτει από την ανάλυση του κυκλώματος. Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι να μειωθεί το ρεύμα βραχυκύκλωσης σε περίπτωση σφάλματος.

1. Μείωση του μεγέθους του Μετασχηματιστή.
2. Εγκατάσταση μετασχηματιστών μεγαλύτερης σύνθετης αντίστασης.
3. Χρήση γείωσης υψηλής αντίστασης στα συστήματα χαμηλής τάσης.

B. Χρόνος: Η παράμετρος του χρόνου σε ένα περιστατικό ηλεκτρικού τόξου, ορίζεται ως η χρονική διάρκεια που μεσολαβεί από την εμφάνιση του τόξου έως ότου οι συσκευές προστασίας από υπερεντάσεις (over current protection devices – OCPD) να ενεργοποιηθούν. Τα ακόλουθα αποτελούν αλλαγές που μπορούν να πραγματοποιηθούν ώστε να επέλθει μείωση του χρόνου αυτού.

1. Μείωση όσο το δυνατόν περισσότερο του **μεγέθους** των συσκευών προστασίας από υπερεντάσεις (OCPD) (ενεργοποίηση για χαμηλότερες τιμές εντάσεως).
2. Χρήση πολλαπλών τροφοδοτικών, έτσι ώστε να μοιράζεται η ισχύς εξόδου σε μικρότερα μέρη.
3. Εγκατάσταση κατάλληλου εξοπλισμού εντοπισμού σφαλμάτων γείωσης.

4. Χρήση συσκευών προστασίας από υπερεντάσεις (OCPD) περιορισμένης τιμής ρεύματος.
5. Μείωση του χρόνου καθυστέρησης των ρυθμίσεων.
6. Χρήση μηχανών εκκίνησης Τύπου 2, όπως αναφέρεται στο IEC947-4-1.

6.1.2 Σχεδιασμός και προετοιμασία για τη διεξαγωγή αποτίμησης του κινδύνου από ηλεκτρικό τόξο

Τα στάδια για την υλοποίηση του προγράμματος καταπράυνσης του ηλεκτρικού τόξου, αρχίζουν από τη διοίκηση με την ανάθεση διεξαγωγής αποτίμησης του τόξου. Το μέγεθος της δουλειάς και του κόστους που συνεπάγεται η αποτίμηση αυτή, εξαρτάται εν μέρει από τη διαθεσιμότητα και την ποιότητα των εγγράφων του μηχανικού σχεδιασμού των εγκαταστάσεων του ηλεκτρικού συστήματος.

Υπάρχουν σχετικά λίγα στάδια για την ανάλυση ενός ηλεκτρικού τόξου, θεωρώντας ότι οι απαραίτητες πληροφορίες είναι διαθέσιμες για χρήση από τον μηχανικό και είναι ενημερωμένες. Ακολουθεί η λίστα με τις αναγκαίες πληροφορίες που χρειάζονται για να ολοκληρωθεί η ανάλυση ενός ηλεκτρικού τόξου.

1. Ανάλυση βραχυκυκλώματος.
2. Μονογραμμικό Σχέδιο της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης.
3. Πληροφορίες για τις Συσκευές Προστασίας.
4. Συνθήκες λειτουργίας του συστήματος, όπως θέσεις των διακοπών υπό κανονική λειτουργία του συστήματος ή παράλληλη τροφοδοσία από μετασχηματιστές.
5. Πληροφορίες μετασχηματιστών, συμπεριλαμβανομένου της σύνθετης αντίστασης, των χαρακτηριστικών ορίων της μηχανής και της μεθόδου της γείωσης.
6. Πληροφορίες καλωδίων, συμπεριλαμβανομένου τύπου, μεγέθους και προσεγγιστικά του μήκος.
7. Κατασκευαστής, μοντέλο, μονάδα ασφάλειας κυκλώματος και αποζεύκτης.
8. Κατασκευαστής, τύπος και μέγεθος ηλεκτρικών ασφαλειών.
9. Πληροφορίες για τους κινητήρες με ισχύ μεγαλύτερη από 100HP.
10. Τύποι του εξοπλισμού
11. Αποστάσεις Εργασίας για κάθε εργασία που μελετάται, σε κάθε τμήμα του εξοπλισμού.

6.1.3 Σύγκριση προτύπων που αναφέρονται στις δοκιμές διακοπών μέσης τάσης για αποφυγή του ηλεκτρικού τόξου

Ποικίλα πρότυπα επιτροπών επιδίδονται στην αντιμετώπιση του κινδύνου από ηλεκτρικό τόξο δημιουργώντας κατευθυντήριες γραμμές και πρότυπα όπως το IEEE P1584 με σκοπό τον περιορισμό των εγκαυμάτων και των τραυματισμών από ηλεκτρικά τόξα. Οι διαφορές ανάμεσα στα ποικίλα πρότυπα, έχουν αναγκάσει τους ηλεκτρολόγους μηχανικούς να λαμβάνουν υπόψη τους και να αξιολογούν όλα αυτά τα πρότυπα προκειμένου να αποφασίσουν πιο είναι το κατάλληλο σε κάθε περίπτωση.

Δυο βασικά πρότυπα χρησιμοποιούνται στη Βόρεια Αμερική για τον έλεγχο των διακοπών μέσης τάσης που χρησιμοποιούνται για αποφυγή του ηλεκτρικού τόξου. Το πρώτο δημιουργήθηκε από την ομάδα εργασίας του IEEE C37.20.7 ως συμπληρωματική τεχνική έκθεση για το «Οδηγός για τον Έλεγχο Διακοπών Μέσης τάσης με Μεταλλικό περίβλημα για τα Εσωτερικά Ηλεκτρικά Τόξα». Το δεύτερο συντάχθηκε από τον Ηλεκτρονικό Σύλλογο Βιομηχάνων του Καναδά (Electronic Manufacture’s Association of Canada – EEMAC) με τίτλο «Διαδικασίες για τον έλεγχο της αντίστασης του μεταλλικού περιβλήματος του διακόπτη κάτω από συνθήκες ηλεκτρικού τόξου κατά τη διάρκεια εσωτερικού σφάλματος». Τέλος, το IEC 298, αποτελεί το αντίστοιχο ευρωπαϊκό πρότυπο.

Οι Steve J. Swencki, James E. Smith και David D. Roybal μέλη του οργανισμού IEEE, στην περιεκτική τους μελέτη “Electrical Safety, arc flash hazards and the standards”[30], παρουσιάζουν συνοπτικά τις απαιτήσεις των δοκιμών με βάση το πρότυπο IEEE C37.20.7-2001 και υπογραμμίζουν συνοπτικά τις βασικές διαφορές μεταξύ του C37.20.7-2001 και του νέου IEC 62271-200 FDIS. Όπου κρίνεται απαραίτητο αναφέρεται επίσης και το EEMAC G14-1. Όλα τα προαναφερθέντα έγγραφα βρίσκονται στο στάδιο αναθεώρησης με σκοπό να ενοποιηθούν όσο το δυνατόν περισσότερο.

1. Εμβέλεια / Πεδίο εφαρμογής

Το IEEE C37.20.7 καλύπτει διακόπτες με περικλειόμενο μέταλλο, μέσης τάσης (τάση >1kV), σχεδιασμένους σύμφωνα με το IEEE C37.20.2 και C37.20.3, οι οποίοι εφαρμόζονται στον εξοπλισμό αξιοποιώντας μόνο τον αέρα ως βασικό μονωτικό μέσο. Αντίθετα, το IEC 62271, Παράρτημα A, καλύπτει και διακόπτες με μέταλλο αλλά και διακόπτες ελέγχου, σχεδιασμένους σύμφωνα με το IEC 62271, οι οποίοι εφαρμόζονται στον εξοπλισμό αξιοποιώντας είτε αέρα είτε υγρό ως βασικό μονωτικό μέσο. Το νέο CSA C222#261 εφαρμόζεται για κάθε τάση ≤46kV, περιλαμβάνοντας εξοπλισμό που αξιοποιεί είτε αέρα είτε υγρό ως βασικό μονωτικό

μέσο. Αυτό σημαίνει ότι το CSA C222#261 συμπεριλαμβάνει και χαμηλής και μέσης τάσης διακόπτες. Επιπλέον υπάρχει ποικιλία στα ανώτερα όρια της τάσης – για το IEEE είναι 38kV, για το CSA 46kV και για το IEC 52kV.

2. Τύπος Προσβασιμότητας

Ο Τύπος Προσβασιμότητας είναι ένας τομέας στον οποίο προκύπτει μεγάλη σύγχυση στον ορισμό. Η σύγχυση αυτή στελεχώνεται από το γεγονός ότι και το πρότυπο IEC 62271 Παράρτημα Α και το ΕΕΜΑC G14-1 έχουν Προσβασιμότητα Τύπου Α, Τύπου Β και Τύπου C, οι οποίοι έχουν εντελώς διαφορετικούς ορισμούς. Οι ορισμοί αυτοί δίνονται στον Πίνακα 6.1, μαζί με τη σχέση τους με τους Τύπους Προσβασιμότητας I, II, IC και IIC του IEEE.

3. Διευθέτηση Ελέγχων

Σύμφωνα με το IEEE C37.20.7, κάθε τμήμα του κυρίου κυκλώματος πρέπει να ελεγχθεί. Λόγω της επιρροής της αντίστασης του διακόπτη κατανομής κυκλώματος στην κορυφή του ρεύματος, το δείγμα δοκιμής είναι περιορισμένο σε τέσσερις τομείς. Το πρότυπο προτείνει περιοχές που πρέπει να ληφθούν υπόψη στην ανάπτυξη της διαμόρφωσης των μοντέλων ελέγχου.

Παρομοίως, κατά το IEC 62271, κάθε τμήμα του κυρίου κυκλώματος πρέπει να ελεγχθεί. Αν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην αντοχή συνένωσης των γειτονικών μονάδων με τις μονάδες του τέλους, τότε η κεντρική μονάδα του τριφασικού δείγματος πρέπει να εξεταστεί για να επιβεβαιωθούν οι διαφορές στην κατασκευή.

Τύπος προσβασιμότητας	Ορισμοί
A (IEEE Τύπου I)	IEEE C37.20.7 – Διακόπτης σχεδιασμένος για αντίσταση στο τόξο ή με χαρακτηριστικά για ελεύθερη, μπροστινή μόνο πρόσβαση του εξοπλισμού.
	EEMAC G14-17 – Ίδιο με IEEE C37.20.7.
	IEC 62271 – Η πρόσβαση επιτρέπεται μόνο σε εξουσιοδοτημένο προσωπικό και μπορεί να οριστεί ως κάλυμμα μπροστινής πλευράς (F), πλευρικής πλευράς (L) ή πίσω πλευράς (R).
B (IEEE Τύπου II)	IEEE C37.20.7 – Διακόπτης σχεδιασμένος για αντίσταση στο τόξο ή με χαρακτηριστικά για ελεύθερη εξωτερική πρόσβαση του εξοπλισμού (μπροστά, πίσω, στα πλαϊνά).
	EEMAC G14-17 – Ίδιο με IEEE C37.20.7.
	IEC 62271 – Απεριόριστη πρόσβαση, περιλαμβανομένου του γενικού κοινού και μπορεί να σχεδιαστεί ως κάλυμμα μπροστινής πλευράς (F), πλευρικής πλευράς (L) ή πίσω πλευράς (R). Θα πρέπει να επισημανθεί ότι ο τύπος πρόσβασης χρησιμοποιείται για να αξιολογηθεί η εξωτερική όψη ενός υπαίθριου κομματιού του εξοπλισμού. Ο διακόπτης μέσα στην περίφραξη δεν έχει αξιολογηθεί.
C (IEEE Τύπου IC και IIC)	IEEE C37.20.7 – Το ίδιο με το EEMAC G14-1, εκτός από το ότι η κατάληξη του Τύπου C έχει προστεθεί στο Παράρτημα A (έχει μετακινηθεί στο παράρτημα επειδή μια ομάδα εργασίας ένοιωσε ότι το εξάρτημα στοχεύει στη μείωση των παράπλευρων απωλειών σε γειτονικούς θαλάμους και εξοπλισμό. Αυτό δε θα έπρεπε να ερμηνευτεί ότι υποδεικνύει κάποιον πρόσθετο βαθμό προστασίας για το προσωπικό).
	EEMAC G14-17 – Διακόπτης σχεδιασμένος για αντίσταση στο τόξο ή με χαρακτηριστικά για ελεύθερη εξωτερική πρόσβαση του εξοπλισμού (μπροστά, πίσω, στα πλαϊνά) και ανάμεσα σε παρακείμενους θαλάμους και κάθετα τμήματα.
	IEC 62271 – Πολωμένος διακόπτης με απαγορευμένη πρόσβαση μέσω εγκατάστασης από μακριά.

Πίνακας 6.1: Τύποι Προσβασιμότητας IEC, EEMAC και IEEE

4. Προσομοίωση χώρου

Κατά το IEEE C37.20.7, τα ελάχιστα περιθώρια παραπλεύρως, στα οπίσθια τοιχώματα και στην οροφή, πρέπει να προσδιορίζονται από τον κατασκευαστή και την προσομοίωση στη διάρκεια της δοκιμής. Αν το σχέδιο ενσωματώνει σύστημα

εξάτμισης μέσω του οποίου θα εξαχθεί πίεση κατευθείαν έξω από το δωμάτιο, δεν είναι απαραίτητη η προσομοίωση του χώρου. Το δείγμα δοκιμής του συστήματος εξάτμισης πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό του μεγαλύτερου μήκους που χρησιμοποιείται από το σχέδιο.

Ενώ με βάση το IEC 62271, το πλαϊνό τοίχωμα πρέπει να είναι 100mm (4in.) και κάθε άλλη διάσταση πρέπει να ελεγχθεί. Η θέση του οπίσθιου τοιχώματος εξαρτάται από το εάν ο εξοπλισμός έχει πίσω προσβασιμότητα. Αν δεν είναι προσβάσιμο τότε το τοίχωμα πρέπει να έχει πάχος 100mm (4in.) και αν υπάρχει πίσω προσβασιμότητα, τότε έχει πάχος 800mm (31.5in.). Το ύψος της οροφής έχει τεθεί στα 600mm (23.6in.) πάνω από το ύψος του δοκιμίου, εκτός και αν έχει τεθεί υψηλότερη ελάχιστη απόσταση από τον κατασκευαστή.

Αν το σχέδιο του κατασκευαστή χρησιμοποιεί αγωγό εκροής για να εκκενωθούν τα αέρια, οι ελάχιστες διαστάσεις τομής πρέπει να ελεγχθούν και το ελεύθερο άκρο του αγωγού εκροής πρέπει να είναι τουλάχιστον 2m (78,75in.) μακριά από τον εξοπλισμό.

5. Τοποθέτηση Δείκτη

Σύμφωνα με το IEEE C37.20.7, όλοι οι δείκτες τοποθετούνται κάθετα σε ύψος 2 μέτρων (78.75in.) και σε απόσταση 100mm (4in.) από την επιφάνεια, στο πλαίσιο της αξιολόγησης. Στη συνέχεια τοποθετούνται οριζόντιοι δείκτες σε ύψος 2m (78.75in.) και σε απόσταση από 100mm (4in.) έως 800mm (31.5in.) από την επιφάνεια. Όλοι οι δείκτες κατασκευάζονται από μαύρο κρετόν (βαμβακερό ύφασμα περίπου 150g/m²).

Αντιθέτως με βάση το IEC 62271, οι δείκτες τοποθετούνται διαφορετικά, ανάλογα με τον τύπο προσβασιμότητας.

- **Τύπος Α** Το υλικό και η θέση του δείκτη είναι ίδια με το IEEE C37.20.7, εκτός από τους κάθετους δείκτες, οι οποίοι τοποθετούνται σε απόσταση 300mm (11.8in.) αντί για 100mm (4in.) από την επιφάνεια, στο πλαίσιο της αξιολόγησης.
- **Τύπος Β** Το υλικό και η θέση του δείκτη είναι ίδια με το IEEE C37.20.7, εκτός από το ότι το πάχος του δείκτη είναι 40g/m² αντί για 150g/m².
- **Τύπος C** Οι δείκτες έχουν πάχος 40g/m² και τοποθετούνται οριζόντια, σε ύψος 2m από το έδαφος, καλύπτοντας ολόκληρη την περιοχή 3×3m του πλαισίου που επικεντρώνεται στον πόλο.

Τέλος με βάση το EEMAC G14-1, δεν είναι υποχρεωτικοί οι οριζόντιοι δείκτες.

6. Δοκιμή Τάσης

Κατά το IEEE C37.20.7, προτιμάται δοκιμή κυκλώματος ονομαστικής τάσης. Μία χαμηλότερη δοκιμή τάσης, η οποία δε μπορεί να είναι μικρότερη από το 60% από το V_{max} , μπορεί να χρησιμοποιηθεί εφόσον το τόξο δεν αποσβήνει πρόωρα και η δοκιμή του ρεύματος ανταποκρίνεται στις συγκεκριμένες απαιτήσεις που σχετίζονται με τη μέση τιμή της συνιστώσας AC.

Η διαφορά του IEC 62271 με το IEEE C37.20.7 είναι, ότι δεν υπάρχουν ελάχιστα όρια στις εφαρμογές της τάσης.

7. Δοκιμή Ρεύματος

Με βάση το IEEE C37.20.7, ο καθορισμός της τιμής της συνιστώσας AC γίνεται μέσω του ρεύματος βραχυκύκλωσης σε περίπτωση τόξου. Λόγω της αντίστασης του διακόπτη κατανομής κυκλώματος, η μέγιστη συνιστώσα AC πρέπει να είναι $\leq 15\%$ της ελάχιστης συνιστώσας AC. Επιπλέον, εάν η δοκιμή εφαρμόζεται με μειωμένη τάση, η μέση τιμή της συνιστώσας AC δε θα πρέπει να είναι μικρότερη από το ρεύμα βραχυκύκλωσης του τόξου.

Όσον αφορά τον καθορισμό της τιμής της συνιστώσας DC, τη στιγμή που κλείνει το κύκλωμα, η ενδεχόμενη ροή μέγιστου ρεύματος σε μια από τις εξωτερικές φάσεις πρέπει να είναι ≥ 2.6 φορές από ρεύμα βραχυκύκλωσης του τόξου για ένα σύστημα 60Hz (≥ 2.5 φορές για ένα σύστημα 50Hz). Το άλλο εξωτερικό ρεύμα φάσης θα έπρεπε να ξεκινάει με έναν μεγάλο βρόχο. Το μέγιστο ρεύμα της συνιστώσας DC θα πρέπει να είναι $\geq 90\%$ από 2.6 φορές το εκτιμηθέν ρεύμα βραχυκύκλωσης του τόξου.

Ενώ σύμφωνα με το IEC 62271, η συνιστώσα AC του ρεύματος βραχυκύκλωσης θα πρέπει να τεθεί με όρια ανάμεσα σε (+5, -0%). Αν η δοκιμή εφαρμόζεται σε μειωμένη τάση, η διάρκεια της δοκιμής πρέπει να επεκταθεί μέχρι η συνιστώσα AC του ρεύματος να ισούται με την τιμή που ορίζεται με ανοχή (+10, -0%).

8. Δοκιμή Συχνότητας

Σύμφωνα με το IEEE C37.20.7, η διάρκεια της δοκιμής πρέπει να εξεταστεί όταν εφαρμόζεται η συχνότητα του ρεύματος και της τάσης της δοκιμής. Η ενέργεια του τόξου επηρεάζεται σημαντικά από τη συχνότητα, όταν η διάρκεια του τόξου είναι $< 50ms$. Όταν η ταχείας δράσης προστατευτική συσκευή περιορίσει την ονομαστική διάρκεια (διάρκεια της δοκιμής τόξου) σε $\leq 50ms$, η συχνότητα

εκκίνησης της δοκιμής θα πρέπει να έχει την τιμή ονομαστικής συχνότητας της συσκευής $\pm 10\%$. Για ονομαστική διάρκεια $> 50\text{ms}$, η συχνότητα κατά την εκκίνηση της δοκιμής θα πρέπει να έχει την τιμή ονομαστικής συχνότητας της συσκευής $\pm 20\%$ και η συχνότητα της κυματομορφής δε θα πρέπει να αποκλίνει από την αρχική τιμή για περισσότερο από 8% της διάρκειας της δοκιμής.

Από την άλλη με βάση το IEC 62271, για ονομαστική συχνότητα 50 ή 60Hz, η συχνότητα στην έναρξη της δοκιμής πρέπει να είναι μεταξύ 48 και 62Hz. Για άλλες συχνότητες, δεν πρέπει να παρεκκλίνει από την ονομαστική τιμή περισσότερο από $\pm 10\%$. Όταν η λειτουργία των ταχείας δράσης προστατευτικών συσκευών εξαρτάται από τη συχνότητα, η δοκιμή πρέπει να εφαρμόζεται με την ονομαστική συχνότητα των συσκευών $\pm 10\%$.

9. Διάρκεια Δοκιμής

Με βάση το IEEE C37.20.7, το σφάλμα του ρεύματος θα πρέπει να ρέει για διάρκεια που έχει προσδιοριστεί από τη διάρκεια ύπαρξης του τόξου στην ονομαστική συχνότητα λειτουργίας της συσκευής. Η προτιμώμενη τιμή της διάρκειας του τόξου είναι 0.5s. Αν η δοκιμή τόξου γίνεται σε πλήρη τάση και το τόξο σβήνει πριν το τέλος της δοκιμής, η δοκιμή θεωρείται έγκυρη. Ωστόσο, για μειωμένη τάση η δοκιμή θεωρείται άκυρη. Συσκευές που χρησιμοποιούν διατάξεις που μειώνουν το σφάλμα στη διάρκεια (ασφάλειες, ρελέ κλπ.) θα πρέπει να ελεγχθούν με τη συσκευή εγκατεστημένη και η δοκιμή κυκλώματος πρέπει να είναι βαθμονομημένη για την προτιμώμενη διάρκεια 0.5s.

Ενώ, σύμφωνα με το IEC 62271, η διάρκεια της δοκιμής καθορίζεται από τον κατασκευαστή. Δεδομένες προτεινόμενες τιμές είναι 1s, 0.5s και 0.1s.

10. Έναρξη Τόξου

Κατά το IEEE C37.20.7, το τόξο πρέπει να ξεκινάει με τη βοήθεια ενός μεταλλικού πλέγματος διαμέτρου 0.5mm ή 24 AWG. Σε μονοφασικές συσκευές το τόξο θα πρέπει να αρχίσει ως σφάλμα μεταξύ φάσης και γείωσης. Για πολυφασικές συσκευές το τόξο αρχίζει ως σφάλμα μεταξύ φάσης και φάσης. Το σημείο έναρξης του τόξου πρέπει να επιλεγεί ώστε να παράγει την υψηλότερη ένταση (υψηλότερη τάση τόξου), προσομοιώνοντας ρεαλιστικές συνθήκες λειτουργίας. Το τόξο θα πρέπει να εισαχθεί σε αρθρώσεις ή ανοίγματα του προσβεβλημένου αγωγού, όταν υπάρχουν. Η συμπαγής μόνωση δε θα πρέπει να είναι διάτρητη για να εισαχθεί το σφάλμα, εκτός από τις περιπτώσεις όπου η μεσαία μόνωση αλλάζει.

Από την άλλη πλευρά, το IEC 62271 υποστηρίζει ότι το σημείο έναρξης θα πρέπει να τοποθετηθεί στο απώτατα προσβάσιμο σημείο του εφοδιασμού μέσα στο θάλαμο που γίνεται η δοκιμή. Σε λειτουργικές μονάδες όπου τα ζωντανά μέρη καλύπτονται από στερεό μονωτικό υλικό, το τόξο πρέπει να ξεκινήσει ανάμεσα σε δύο παρακείμενες φάσεις με τιμή ρεύματος 87% του ονομαστικού ρεύματος. Για τμήμα καλωδίων στα οποία οι συνδέσεις κατασκευάζονται με συνδετικά βύσματα, καλυμμένα ή όχι, ή για συμπαγείς μονώσεις κατασκευασμένες επιτόπου, εφαρμόζεται ειδική δοκιμή. Σε ακλόνητα γειωμένα δίκτυα, ή σε δίκτυα με προστασία σφάλματος γείωσης, το ρεύμα βραχυκύκλωσης μονής φάσης-γείωσης θα κλείσει κατευθείαν. Για διακόπτες και διακόπτες ελέγχου που προορίζονται αποκλειστικά για τέτοια χρήση, είναι αποδεκτό να ελεγχθούν αναλόγως. Τότε το τόξο αναφλέγεται σαν σφάλμα μονοφασικό με γείωση, με τις υπόλοιπες φάσεις σε λειτουργία ώστε να επιτρέψουν στο τόξο να γίνει τριφασικό. Καθώς το προσδιορισμένο εσωτερικό τόξο αντέχει το ρεύμα, εφαρμόζεται η ελεγμένη τιμή του μονοφασικού.

11. Αναφορά Δοκιμής

Σύμφωνα με το IEEE C37.20.7, στην αναφορά δοκιμής θα πρέπει να παρουσιάζονται οι παρακάτω πληροφορίες:

- Περιγραφή της μονάδας της δοκιμής με ένα σχέδιο που θα δείχνει κατασκευαστικές λεπτομέρειες, συμπεριλαμβάνοντας και απαιτήσεις για την εγκατάσταση του πεδίου.
- Διευθέτηση των συνδέσεων της δοκιμής και του σημείου έναρξης του τόξου.
- Διευθέτηση των δεικτών με σεβασμό στον τύπο προσβασιμότητας.
- Αναμενόμενη τιμή βαθμονόμησης.
- Δοκιμή τιμών ρεύματος τόξου.
- Καταγραφή παλμογράφου στην οποία θα παρουσιάζονται ρεύματα και τάσεις.
- Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της δοκιμής και συμμόρφωση με τα αποδεκτά κριτήρια.

Παρομοίως και στο IEC 62271, τα περιεχόμενα της αναφοράς της δοκιμής είναι βασικά τα ίδια όπως στο IEEE C37.20.7.

12. Αναγνώριση

Κατά το IEEE C37.20.7, πρέπει να υπάρχουν πινακίδες για τον τύπο προσβασιμότητας, το ρεύμα βραχυκύκλωσης του εσωτερικού τόξου και τη διάρκεια του τόξου. Αυτή η ταξινόμηση εφαρμόζεται σε όλο τον τομέα του μηχανισμού.

Ενώ με βάση το IEC 62271, για την κατάταξη του IAC, οι απαιτήσεις της πινακίδας είναι βασικά οι ίδιες όπως στο IEEE C37.20.7. Η ειδοποιός διαφορά είναι ότι η κατάταξη IAC του IEC 62271 μπορεί να διαφέρει για κάθε πλευρά του εξοπλισμού, για παράδειγμα στη μπροστινή πλευρά μπορεί να είναι Τύπου Α και στο πίσω μέρος και στα πλάγια να είναι Τύπου Β. Επιπλέον είναι πιθανό να έχουν διαφορετικά επίπεδα σφάλματος και διάρκειας τόξου στο ίδιο κομμάτι του εξοπλισμού.

13. Κριτήρια Αποδοχής

Ενώ τα κριτήρια αποδοχής και για το IEEE και για το IEC απαιτούν να ικανοποιούνται όλα τα κριτήρια, υπάρχουν κάποια ειδικά κριτήρια τα οποία παρουσιάζουν διαφορές στην κάθε μέθοδο και προσδιορίζονται στους κανόνες γνωστοποίησης της κάθε μεθόδου. Κάποιες λεπτομέρειες φαίνονται στον Πίνακα 6.2.

Κριτήριο	Περιγραφή
Κανόνες Γνωστοποίησης	IEEE C37.20.7 – Όλα τα κριτήρια πρέπει να ικανοποιούνται. IEC 62271 – Όλα τα κριτήρια πρέπει να ικανοποιούνται.
1	IEEE C37.20.7 – Πόρτες, καλύμματα, κλπ. δεν πρέπει να ανοίγονται. Παραμορφώσεις ή άλλες αλλοιώσεις επιτρέπονται, εκτός από πόρτες, καλύμματα, κλπ., που δύναται να έχουν ηλεκτρονόμους, μετρητές, ή άλλες συσκευές ελέγχου τοποθετημένες σε αυτά. Περιοχές που δύναται να έχουν τέτοιες συσκευές, πρέπει να αναγνωρίζονται ως μέρος της καταγραφής της δοκιμής. IEC 62271 – Σωστά ασφαλισμένες πόρτες και καλύμματα δεν ανοίγονται. Παραμορφώσεις είναι αποδεκτές, υπό την προϋπόθεση ότι κανένα τμήμα δεν πλησιάζει τη θέση των δεικτών ή των τοίχων (όποιο είναι πλησιέστερα) σε κάθε πλευρά. Για να παρατεθούν τα κριτήρια αποδοχής σε μια εγκατάσταση τοποθετημένη πλησιέστερα στον τοίχο απ' ότι μετρήθηκε, θα πρέπει να ικανοποιούνται δύο πρόσθετες προϋποθέσεις: 1) Η μόνιμη παραμόρφωση να είναι μικρότερη από την επιθυμητή απόσταση από τον τοίχο και 2) Τα καυσαέρια να μην κατευθύνονται προς τον τοίχο.

Πίνακας 6.2: Κριτήρια αποδοχής για δοκιμές μέσης τάσης στα εσωτερικά τόξα

Κριτήριο	Περιγραφή
Κανόνες Γνωστοποίησης	<p>IEEE C37.20.7 – Όλα τα κριτήρια πρέπει να ικανοποιούνται.</p> <p>IEC 62271 – Όλα τα κριτήρια πρέπει να ικανοποιούνται.</p>
2	<p>IEEE C37.20.7 – Κανένα τμήμα δεν πρέπει να εκτοξεύεται μέσα στο κατακόρυφο επίπεδο που ορίζεται στον Τύπο Προσβασιμότητας. Κανένα τμήμα τόσο μεγάλο ώστε να είναι επικίνδυνο δεν πρέπει να εκτοξεύεται από την κορυφή της συσκευής. Αυτό περιλαμβάνει και μεγάλα κομμάτια ή κομμάτια με αιχμηρές γωνίες (π.χ. πόρτες, πτερύγια πίεσης, καλύμματα, κλπ.). Αν ο εξοπλισμός δύναται να έχει ηλεκτρονόμους ή άλλες συσκευές ελέγχου τοποθετημένες σε εκτεθειμένες πόρτες ή καλύμματα που δεν περιλαμβάνονται στο δείγμα της δοκιμής, η περιοχή πίσω από αυτές τις πόρτες ή καλύμματα πρέπει να αξιολογηθεί για σημάδια ή παραμορφώσεις που μπορεί να προκαλέσουν εκτίναξη στις συσκευές.</p> <p>IEC 62271 – Καμιά αλλοίωση της περίφραξης δεν πρέπει να συμβεί κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Εκτίναξη μικρών κομματιών, έως 60g, είναι αποδεκτή.</p>
3	<p>IEEE C37.20.7 – Αξιολόγηση της πλήρους καύσης: Υποτίθεται ότι οποιοδήποτε άνοιγμα στο διακόπτη προκαλούμενο από άμεση επαφή με ένα τόξο θα ανάψει έναν δείκτη τοποθετημένο έξω από το διακόπτη, την ίδια στιγμή. Επειδή δεν είναι εφικτό να καλυφθεί ολόκληρη η περιοχή που πρόκειται να εκτιμηθεί με δείκτες, οποιοδήποτε άνοιγμα στην υπό εξέταση περιοχή που προκύπτει από άμεση επαφή με ένα τόξο, θεωρείται λόγος αποτυχίας της δοκιμής.</p> <p>IEC 62271 – Τα τόξα δεν πρέπει να προκαλούν οπές πάνω από ύψος 2m στις προσβάσιμες πλευρές.</p>
4	<p>IEEE C37.20.7 – Κανείς δείκτης δεν πρέπει να είναι αναμμένος, λόγω διαφυγής αερίων ή σωματιδίων. Αναμμένοι δείκτες λόγω καύσης βαφής, πινακίδων κλπ. αποκλείονται από την αξιολόγηση. Ταινίες υψηλής ταχύτητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αξιολογηθούν οι συνέπειες που προκύπτουν από ανάφλεξη δεικτών. Οπές στην οριζόντια διεύθυνση των τοποθετούμενων δεικτών που προκλήθηκαν από σωματίδια που δεν άναψαν το δείκτη αγνοούνται.</p> <p>IEC 62271 – Τα ίδια με το IEEE C37.20.7.</p>
5	<p>IEEE C37.20.7 – Όλες οι συνδέσεις με το έδαφος παραμένουν ενεργές.</p> <p>IEC 62271 – Η περίφραξη παραμένει συνδεδεμένη με το σημείο γείωσης. Γενικά η οπτική επιθεώρηση είναι αποδοτική για την εκτίμηση της συμμόρφωσης. Σε περίπτωση αμφιβολίας, η συνοχή της γείωσης θα πρέπει να ελεγχθεί.</p>

Πίνακας 6.2 (συνέχεια): Κριτήρια αποδοχής για δοκιμές μέσης τάσης στα εσωτερικά τόξα

6.1.4 Προστασία από το ηλεκτρικό τόξο

Η καλύτερη προστασία από το ηλεκτρικό τόξο είναι η αποφυγή έκθεσης σε αυτό και η αποφυγή εκτέλεσης εργασιών σε, ή κοντά σε ενεργοποιημένο εξοπλισμό. Παρόλα αυτά το NFPA 70E αναγνωρίζει το γεγονός ότι σε πολλές περιπτώσεις αυτό δεν είναι εφικτό. Καταγράφονται λοιπόν μία σειρά από γενικές απαιτήσεις που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν εκτελούνται εργασίες κοντά σε ενεργοποιημένα μέρη[29]:

1. Ανάθεση της εργασίας σε εργαζόμενους με τα κατάλληλα προσόντα.
2. Εκπαίδευση των εργαζομένων σχετικά με την εργασία που θα αναλάβουν.
3. Απομάκρυνση των εργαζομένων που δεν συμμετέχουν στην συγκεκριμένη εργασία από το πεδίο εμβέλειας του ηλεκτρικού τόξου.
4. Ελαχιστοποίηση του αριθμού των εργαζομένων που αναλαμβάνουν την εργασία.
5. Αναγκαστική χρήση του απαραίτητου εξοπλισμού προσωπικής προστασίας (personal protection equipment – PPE)

Επιπροσθέτως, το ANSI Z10-2005, στο εγχειρίδιο του Occupational Health and Safety Management System, παρέχει μία ιεραρχία των μέτρων ελέγχου του ηλεκτρικού τόξου, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί και κάθε είδος ηλεκτρικού κινδύνου. Η λίστα αυτή που παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.3, δεν αποτελεί την ολοκληρωμένη λίστα, και μπορεί να διαφέρει ανάλογα την βιομηχανία, την ηλικία της εγκατάστασης και άλλες συνθήκες.

Η αναγκαιότητα των παραπάνω μέτρων προστασίας φαίνεται και από τα αποτελέσματα ερευνών, σύμφωνα με τα οποία το 80% των συνολικών καταγεγραμμένων ηλεκτρικών ατυχημάτων ήταν εγκαύματα που προήλθαν από την έκθεση σε ηλεκτρικά τόξα. Επιπλέον, εκτός από τα εγκαύματα, στα θύματα από τα ηλεκτρικά τόξα μπορεί να επέλθουν βλάβες στην όραση, απώλεια ακοής, και βλάβες στο αναπνευστικό, μυϊκό ή νευρικό σύστημα.

Ιεραρχία των Μέτρων Ελέγχου (ANSI Z10-2005)	Παραδείγματα εφαρμογών για τα σφάλματα από ηλεκτρικά τόξα
1. Απαλοιφή	Εκφράζει την προσδοκία ότι η εργασία σε ή κοντά σε ενεργοποιημένο ηλεκτρολογικό εξοπλισμό στον οποίο υπάρχει πιθανότητα εμφάνισης τόξου, αποτελεί εξαίρεση και όχι συνήθεια. Για την πραγματοποίηση τέτοιας εργασίας απαιτείται έγκριση υψηλού επιπέδου. (NFPA 70E-2004, άρθρο 130.1)
2. Αντικατάσταση των λιγότερο επιβλαβών συστημάτων ή εξοπλισμών	Ηλεκτρικές ασφάλειες περιορισμού του ρεύματος και αποζεύκτες ώστε να περιοριστεί η ποσότητα της ενέργειας του ηλεκτρικού τόξου. Γείωση υψηλής αντίστασης, ώστε να περιοριστεί η συχνότητα των τόξων υψηλής ενέργειας, στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας των 480V.
3. Έλεγχοι Μηχανικών	IP20 καλύμματα των τερματικών και συσκευών, με σκοπό να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα ένα εργαλείο ή μεταλλικό αντικείμενο να ξεκινήσει ένα ηλεκτρικό τόξο.
4. Προειδοποιήσεις	Ταμπέλες όπως και όπου απαιτείται από το National Electrical Code, άρθρο 100.116
5. Διοικητικός Έλεγχος	Επανασχεδιασμός διακοπών, εντοπισμός βλαβών και διαδικασιών λειτουργίας που μειώνουν την έκθεση και τον κίνδυνο.
6. Προσωπικός Εξοπλισμός Προστασίας (PPE)	Ρούχα και εξοπλισμός που έχουν εκτιμηθεί ότι απαιτούνται για πιθανή έκθεση σε ηλεκτρικό τόξο. (NFPA 70E-2004, άρθρο 130.7)

Πίνακας 6.3: Ιεραρχία μέτρων ελέγχου σύμφωνα με το ANSI Z10-2005 και παραδείγματα εφαρμογών για την έκθεση σε ηλεκτρικά τόξα.

Πρόσθετες λύσεις βασισμένες στην πρόοδο της τεχνολογίας για την αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού, παρουσίασαν και οι Steve J. Swencki, James E. Smith και David D. Roybal, στη δημοσίευσή τους με τίτλο “Electrical Safety, arc flash hazards and the standards” [30]. Οι λύσεις αυτές παρουσιάζονται παρακάτω:

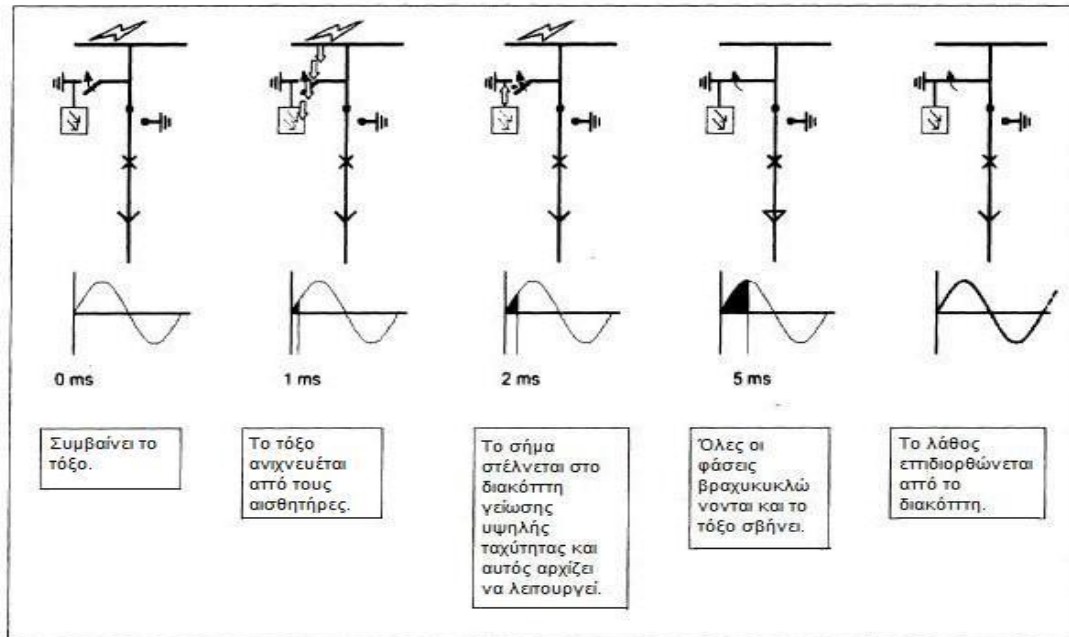
A. Γείωση υψηλής ταχύτητας

Τα τελευταία χρόνια, έχει αναπτυχθεί η τεχνολογία υψηλής ταχύτητας διακοπών εδάφους. Αυτές οι συσκευές βρίσκουν πολύ γρήγορα το σφάλμα, μετατρέποντας ένα σφάλμα τόξου σε ένα τριφασικό βραχυκύκλωμα μεταξύ φάσεων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.1. Το τριφασικό βραχυκύκλωμα μεταξύ φάσεων μειώνει την τάση του τόξου στο μηδέν, ενώ αφαιρεί την ενέργεια του τόξου. Αν ο συνδυασμένος χρόνος για εύρεση του σφάλματος και κλείσιμο του διακόπτη μπορεί να μειωθεί σε 3-5ms, η υψηλή πίεση που προκαλείται από το ηλεκτρικό τόξο μέσα στο διακόπτη μπορεί να μειωθεί δραματικά.

Αρκετές περιοχές πρέπει να εξετάζονται και να λαμβάνονται υπόψη πριν εφαρμοστεί αυτή η τεχνολογία. Θα πρέπει να τοποθετούνται αισθητήρες σε κάθε διαμέρισμα, που θα παρακολουθούν για εσωτερικά σφάλματα του τόξου. Φως, ήχος και πίεση, συνδεδεμένα με γρήγορα αναπτυσσόμενο ρεύμα, υποδεικνύουν εσωτερικό σφάλμα του τόξου μέσα στην ηλεκτρική συσκευή.

Ανάλογα με την τεχνολογία του αισθητήρα, δύο ή περισσότερα τέτοια γεγονότα ενδέχεται να χρειάζονται παρακολούθηση ώστε να βεβαιωθεί η ύπαρξη σφάλματος τόξου. Μόλις αυτό προσδιοριστεί, μπορεί να σταλεί ένα σήμα για να λειτουργήσει ο γρήγορης ταχύτητας διακόπτης γείωσης. Όποιο σύστημα κι αν χρησιμοποιείται για να αναγνωρισθεί το εσωτερικό σφάλμα τόξου, είναι σημαντικό το σύστημα ανίχνευσης να είναι αξιόπιστο. Μια ενδεχόμενη αποτυχία ανίχνευσης του σφάλματος τόξου, ή η αποστολή σήματος ύπαρξης σφάλματος χωρίς να υπάρχει, είναι πολυέξοδο και μπορεί να επηρεάσει την ασφάλεια του προσωπικού.

Ένας άλλος τομέας που πρέπει να ενδιαφέρει είναι η παγκόσμια τοποθέτηση ενός τριφασικού βραχυκύκλωμα μεταξύ φάσεων στο σύστημα. Παρόλο που οι ηλεκτρολογικοί εξοπλισμοί που είναι σχεδιασμένοι με τα πρότυπα IEEE αντέχουν ένα σφάλμα διάρκειας 2s, δεν είναι γνωστό το πόσα σφάλματα αντέχει η συσκευή ή ποια είναι η κατάσταση του εξοπλισμού στο πεδίο την ώρα του σφάλματος. Ευτυχώς, τα εσωτερικά σφάλματα τόξου είναι λίγα και χρονικά μακριά μεταξύ τους. Τέλος, η ερώτηση εάν η τεχνολογία των γρήγορης ταχύτητας διακοπών γείωσης επιτρέπει στον τελικό χρήστη να αγοράσει μη ανθεκτικούς στα τόξα διακόπτες πρέπει επίσης να αξιολογηθεί.



Σχήμα 6.1: Λειτουργία τυπικού συστήματος γείωσης υψηλής ταχύτητας

Β. Εξοπλισμός διανομής μεγάλων ηλεκτρικών φορτίων απαλλαγμένων από το φαινόμενο Κορόνα

Τα κενά αέρος, τα εσωτερικά κενά στην κυλινδρική επίστρωση του αγωγού που δημιουργούνται κατά τη διαδικασία ρίψης του μετάλλου, οι εσωτερικές ρωγμές, ή εμπεδωμένα μολύνουν υλικά εντός του συστήματος μόνωσης, μπορεί να προκαλέσουν ηλεκτρική εκκένωση γνωστή ως κορόνα. Κορόνα μπορεί επίσης να προκληθεί σε υψηλές τάσεις όταν παρουσιάζονται αιχμηρές άκρες ή γωνίες στους αγωγούς. Το φαινόμενο κορόνα οδηγεί σε εκφυλισμό της μόνωσης και σε ενδεχόμενη βλάβη του εξοπλισμού.

Με την επεξεργασία συστημάτων μόνωσης χρησιμοποιώντας κάποια χημική ουσία με τεχνικές καλουπώματος που εξαλείφουν κενά και ρωγμές και εκτελώντας ειδικές κατασκευές και τεχνικές διαχωρισμού, όπως στρογγυλοποίηση και τράχυνση όλων των αιχμηρών γωνιών σε αγωγούς, οι εκπομπές corona μπορούν να εξαλειφθούν ή να μειωθούν σε πολύ χαμηλά επίπεδα – εξ' ου και ο όρος «διακόπτης απαλλαγής από το φαινόμενο κορόνα». Τα επίπεδα κορόνα μπορούν να μετρηθούν μέσω της μεθόδου μερικής απαλλαγής ανίχνευσης. Ο εξοπλισμός μπορεί να ελεγχθεί στο εργοστάσιο για να διασφαλιστεί ότι ο διακόπτης είναι απαλλαγμένος από το φαινόμενο κορόνα παράγοντας ένα βασικό πλαίσιο αναφοράς για μελλοντική σύγκριση.

Η ίδια δοκιμή μπορεί να γίνει στο πεδίο ώστε να διασφαλιστεί ότι ο εγκατεστημένος εξοπλισμός ικανοποιεί τα ίδια κριτήρια. Επιπρόσθετα, ο διακόπτης μπορεί να εφοδιαστεί με μερικώς απαλλακτικούς αισθητήρες που επιτρέπουν στο διακόπτη να παρακολουθείται συνεχώς όσο είναι ενεργοποιημένος. Αυτή η διαδικασία ανιχνεύει το φαινόμενο κορόνα αρκετά πριν συμβεί οποιαδήποτε αποτυχία και επιτρέπει την εφαρμογή σχεδιασμένων διορθωτικών κινήσεων. Ανιχνεύοντας ένα εξελισσόμενο πρόβλημα σε πρόωρο στάδιο, σημαίνει ότι το κόστος διόρθωσης είναι μικρότερο και ο χρόνος λειτουργίας της μηχανής και οι επιδόσεις της είναι μεγαλύτερες. Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα είναι ότι οι μερικώς απαλλαγμένοι αισθητήρες, μπορούν και να παρακολουθούν δυνητικά προβλήματα μόνωσης στο συνδεδεμένο εξοπλισμό, όπως καλώδια και τερματισμούς.

Γ. Διακόπτης μείωσης του ηλεκτρικού τόξου κατά τη συντήρηση

Ο διακόπτης μείωσης του ηλεκτρικού τόξου κατά τη συντήρηση (Arc-flash reduction maintenance switch - ARMS) είναι ένας υπερσχύων διακόπτης και κύκλωμα που επιτρέπει σε έναν μικροεπεξεργαστή να τοποθετείται στην στιγμιαία θέση όσο το προσωπικό εκτελεί εργασίες στον εξοπλισμό συντήρησης. Οι χρόνοι στιγμιαίας διαδρομής είναι στην πραγματικότητα γρηγορότεροι από τον κανονικό στιγμιαίο χρόνο (όταν η μονάδα έχει τεθεί στη θέση I). Ο λόγος για τον οποίο ο χρόνος είναι γρηγορότερος είναι ότι δε χρειάζεται η διαδικασία αποστολής σήματος όταν συμβεί ένα σφάλμα. Πρότερα της εφαρμογής συντήρησης σε οποιοδήποτε εξοπλισμό, το άτομο θα πάει στη συγκεκριμένη προστατευτική συσκευή και θα θέσει το διακόπτη στη θέση συντήρησης. Αυτή η προσαρμογή αυτόματα εξουδετερώνει όλες τις λειτουργίες καθυστέρησης, επιτρέποντας στο διακόπτη να «σκοντάψει» στην εύρεση κάποιου σφάλματος. Ενώ αναγνωρίζεται ότι υπάρχει έλλειψη συντονισμού στη διάρκεια αυτής της περιόδου, ο μειωμένος κίνδυνος ηλεκτρικού τόξου για το προσωπικό είναι υψηλότερης σημασίας από τη συνέχιση της εργασίας.

Μετά την ολοκλήρωση της συντήρησης στον εξοπλισμό, ο διακόπτης γυρίζει στην κανονική του θέση, έτσι ώστε να αποκατασταθούν όλες οι συντονισμένες κινήσεις.

Προαιρετικές συσκευές όπως φωτεινές λυχνίες ή επικοινωνία με τα συστήματα παρακολούθησης μπορούν να συνδεθούν με το ARMS για να παρέχουν ενδείξεις ότι ο διακόπτης δεν είναι στη συντονισμένη της θέση. Το ARMS είναι μια διαθέσιμη επιλογή σε καινούριους μικροεπεξεργαστές και είναι και διαθέσιμο ως μετασκευή σε υπάρχουσες συσκευές.

6.1.5 Συμπεράσματα

Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη χρήση διακοπών με ανθεκτικότητα στα τόξα για νέες εγκαταστάσεις ή εγκαταστάσεις που απαιτούν αλλαγή στη θέση ήδη υπαρχόντων διακοπών. Ορθώς εκτιμημένοι και ελεγμένοι διακόπτες ανθεκτικοί στα τόξα, παρέχουν ασφάλεια από σχεδιαστικές αρχές, μειώνοντας την πιθανότητα σε λάθη του κατασκευαστή στη διάρκεια της χρήσης σωστού PPE στη διάρκεια λειτουργίας του διακόπτη. Επιπλέον, οι διακόπτες με ανθεκτικότητα στα τόξα εξαλείφουν προβλήματα κινητικότητας και ορατότητας, επειδή μειώνουν την ανάγκη για συμπληρωματικό προστατευτικό ρουχισμό κα/ή άλλες απαιτήσεις PPE. Ο προστατευτικός εξοπλισμός του προσωπικού συνήθως φοριέται μόνο στη διάρκεια της εφαρμογής και της συντήρησης του διακόπτη, με τη λογική ότι ενδεχόμενη αποτυχία του εξοπλισμού είναι πιο πιθανή στη διάρκεια του ανοίγματος ή του κλεισίματος ενός διακόπτη. Παρόλα αυτά, σφάλμα τόξου μπορεί να συμβεί κατά τη διάρκεια συνεχούς λειτουργίας λόγω αποτυχίας μόνωσης, για παράδειγμα. Ο διακόπτης με ανθεκτικότητα τόξου παρέχει την απαραίτητη ασφάλεια κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες χωρίς την απαίτηση εμπλοκής του προσωπικού, **εφόσον όλες οι πόρτες και οι προσβάσεις είναι κλειστές**. Σε κάποιες περιπτώσεις, η χρήση διακόπτη ανθεκτικότητας τόξου μειώνει τον απαιτούμενο χρόνο για το προσωπικό χειρισμού και επίβλεψης για να διασφαλιστεί ότι εφαρμόζεται το κατάλληλο PPE στη διάρκεια της δραστηριότητας. Η ενισχυμένη παραγωγικότητα του προσωπικού που κάνει τη μεταγωγή, ουσιαστικά καταργεί κάποια από τα πρόσθετα κόστη του διακόπτη. Η χρήση διακοπών ανθεκτικότητας τόξου μπορεί επίσης να ελαχιστοποιήσει την εξέταση του εξοπλισμού διαχωρισμού που προκύπτει από την ανάγκη ελαχιστοποίησης της επίδρασης της τοποθεσίας του διακόπτη ή άλλου ηλεκτρικού εξοπλισμού μέσα στα όρια του ηλεκτρικού τόξου ή άλλου εξοπλισμού.

Η αντικατάσταση υπάρχοντος διακόπτη μπορεί να μην είναι εφικτή, λόγω του κόστους. Παρόλα αυτά, αν οι υπολογισμοί δείχνουν ότι η προσπίπτουσα ενέργεια είναι μεγαλύτερη από 40cal/cm^2 , μπορούν να εφαρμοστούν κάποιες από τις παρακάτω λύσεις. Παρόλα αυτά οι συγγραφείς δεν προτείνουν ότι το 40cal/cm^2 είναι αποδεκτό επίπεδο προστασίας. Θα έπρεπε να γίνει μια προσπάθεια για τη μείωση περιστατικών ενέργειας λόγω σφάλματος τόξου στο χαμηλότερο δυνατό επίπεδο. Οι προτεινόμενες λύσεις είναι:

- Η Ελαχιστοποίηση της διασύνδεσης του συστήματος, ώστε να μειωθεί η πιθανότητα σφάλματος του ρεύματος. Τα περισσότερα εργοστασιακά συστήματα έχουν συστήματα μεταγωγής με δύο μετασχηματιστές για να διασφαλιστεί η αξιοπιστία και να επιτραπεί η κλειστή μετάβαση από τον ένα κύριο αγωγό στον άλλο κατά τη διάρκεια προγραμματισμένων διακοπών. Σε περίπτωση που η προσπίπτουσα ενέργεια υπερβεί τα 40cal/cm^2 , θα πρέπει να

ληφθεί υπόψη η αξιοποίηση ανοιχτής μετάβασης, ή τουλάχιστον η ελαχιστοποίηση της διάρκειας διασύνδεσης των δύο συστημάτων.

- Η χρήση γρήγορων ηλεκτρονόμων για ταχεία απομόνωση του σφάλματος. Διαφορικός διακόπτης κατανομής κυκλώματος γρήγορης δράσης ή γραμμή διαφορικού ηλεκτρονόμου μπορεί να εντοπίσει ένα σφάλμα τόξου και να το απομονώσει γρήγορα, μειώνοντας την προσπίπτουσα ενέργεια.
- Η χρήση ηλεκτρονόμων ανίχνευσης εδάφους βοηθάει στο γρήγορο καθαρισμό σφάλματος τόξου και στη μεγάλη ανθεκτικότητα της γείωσης, ώστε να μειωθεί το επίπεδο του σφάλματος ρεύματος στο έδαφος. Η πλειοψηφία των σφαλμάτων τόξου ξεκινάει ως σφάλμα μεταξύ φάσης και γείωσης.
- Η εφαρμογή της επιλεκτικής αλληλοσύνδεσης ζωνών ώστε να επιτραπεί η γρηγορότερη απελευθέρωση του μηχανισμού και επιπλέον να μειωθεί η ενέργεια του τόξου που βιώνει το σύστημα κατά τη διάρκεια κατάστασης σφάλματος. Αυτό καταλήγει στη βελτιωμένη προστασία του προσωπικού.
- Για συστήματα χαμηλής τάσης, η χρήση μετασχηματιστών μικρότερων kVa μειώνει τα πιθανά σφάλματα ρεύματος.
- Απομακρυσμένη παρακολούθηση και απομακρυσμένη λειτουργία των διακοπών απομακρύνει το προσωπικό από τη ζώνη του τόξου στη διάρκεια των εργασιών συντήρησης.
- Νέες τεχνολογίες όπως: Διακόπτης απαλλαγής από το φαινόμενο κορόνα, μέσα ανίχνευσης ελεγχόμενα μέσω υπολογιστή για τη συνεχή σταδιακή εκφόρτιση, διακόπτες γείωσης υψηλής ταχύτητας, ή διακόπτες μείωσης του ηλεκτρικού τόξου σε μικροεπεξεργαστή βασισμένο σε συστήματα προστασίας κυκλώματος..

Ο μηχανικός διανομής ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να έχει επίγνωση όλων των διαθέσιμων δεδομένων και εναλλακτικών λύσεων, ώστε οι αποφάσεις του συστήματος να παρέχουν, όχι μόνο τις οικονομικότερα αποτελεσματικές λύσεις, αλλά κυρίως την προστασία του προσωπικού που είτε θα χειρίζονται τη συσκευή είτε θα βρίσκεται στην καθορισμένη περιοχή του εξοπλισμού.

6.2 Θεωρητικό μοντέλο ασφαλούς εργασιακής απόδοσης

Η έρευνα με τίτλο “Reducing non contact electric arc injuries: An investigation of behavioral and organizational issues”[38], των Kathleen Kowalski-Trakofler και Edward Barrett είναι μέρος μίας μεγαλύτερης έρευνας του NIOSH (Εθνικό Ινστιτούτο για την Επαγγελματική Ασφάλεια και Υγεία), η οποία βρίσκεται σε εξέλιξη και στην οποία διερευνώνται μηχανικές λύσεις για τη μείωση των φαινομένων ηλεκτρικού τόξου. Προκειμένου να επιτευχτεί αυτός ο στόχος, οι συγγραφείς ανέπτυξαν ένα θεωρητικό Μοντέλο Ασφαλούς Εργασιακής Απόδοσης, το οποίο αποτελείται από 6 συστατικά μέρη που λειτουργούν ως θεμέλιο για τη στήριξη της ασφαλούς εργασιακής απόδοσης τόσο για τον οργανισμό όσο και για το άτομο. Τα μέρη αυτά περιλαμβάνουν μηχανικούς ελέγχους, διοικητικούς ελέγχους, ελέγχους συμπεριφοράς, τεχνικές ικανότητες, γνώση και ικανότητα κρίσης και λήψης αποφάσεων.

Η έρευνα διαμορφώθηκε σε δύο μέρη. Η πρώτη φάση περιελάμβανε αναφορές στην Αμερικανική Ασφάλεια Ορυχείων και Διοίκηση Υγείας από 836 άτομα που είχαν βιώσει φαινόμενα ηλεκτρικού τόξου μεταξύ του 1990 και 2001. Οι πληροφορίες που περιγράφηκαν περιελάμβαναν δημογραφικά στοιχεία των τραυματιών, όπως ηλικία, φύλο, έτη εμπειρίας εργασίας σε ορυχείο και έτη εμπειρίας εργασίας στο συγκεκριμένο ορυχείο όπως επίσης και πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία του ορυχείου όπου συνέβη το περιστατικό, μέρες αδειας λόγω του περιστατικού, μέρες περιορισμένης εργασίας, πηγή τραυματισμού, μέρη του σώματος που υπέστησαν τραυματισμό και μια λεπτομερή αφήγηση του γεγονότος. Τα πρόσωπα αυτής της έρευνας είχαν μέση ηλικία τριάντα εννέα (39) τη στιγμή του συμβάντος και η μέση εμπειρία τους σε ορυχείο ήταν δεκατέσσερα (14) χρόνια. Περίπου 30% των ατόμων ανήκαν στο επάγγελμα του ανειδίκευτου εργάτη, ενώ 54% ανήκαν στην κατηγορία του τεχνικού και 14% στην κατηγορία του επόπτη.

Όσον αφορά τις αφηγήσεις των τραυματιών για το εκάστοτε συμβάν, ποικίλουν από εξαιρετικά λεπτομερείς έως ατελείς. Επομένως οι πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς είναι περιορισμένες. Προκειμένου να γίνει έρευνα και για αυτή την παράμετρο, μια ομάδα αποτελούμενη από ένα ψυχολόγο, έναν κοινωνιολόγο και μερικούς μηχανικούς ορυχείων, διάβασαν ορισμένες αναφορές και ανέπτυξαν δύο κατηγορίες κριτηρίων μέσα από τις οποίες θα αποκτούσαν χρήσιμα δεδομένα ως προς τη συμπεριφορά των τραυματιών. Η πρώτη κατηγορία, η Οργάνωση Εργασίας περιελάμβανε τρία στοιχεία: αν το ατύχημα ήταν "πέραν του ελέγχου του εργάτη" θεωρούνταν μηχανικό/τεχνικό λάθος. Εάν δεν ήταν μηχανικό/τεχνικό λάθος, τότε η ομάδα έπρεπε να αποφασίσει εάν ο εργάτης "αναγνώρισε τον κίνδυνο" ή όχι. Εάν τον είχε αντιληφθεί, ήταν θέμα λήψης απόφασης του εργάτη να προχωρήσει στη συμπεριφορά που οδήγησε στο

ατύχημα. Η δεύτερη κατηγορία, η Δραστηριότητα, αναφέρεται στη δραστηριότητα του ατόμου την ώρα του περιστατικού.

Η δεύτερη φάση έλαβε χώρα με τη μορφή συνεντεύξεων για τη συλλογή πληροφοριών από άτομα που ήταν είτε θύματα είτε μάρτυρες φαινομένου ηλεκτρικού τόξου. Τα άτομα ήταν τριάντα δύο (32) συνολικά. Από αυτά τα είκοσι δύο (22) ήταν θύματα ηλεκτρικού τόξου και πέντε (5) ήταν μάρτυρες. Δεκαεπτά (17) από αυτούς εργάζονταν στη βιομηχανία ορυχείων όταν συνέβη το περιστατικό και δεκατέσσερις (14) είχαν προσληφθεί στη γενική βιομηχανία. Δεκαπέντε (15) από τους δεκαοκτώ (18) εργάζονταν σε υπόγειο ορυχείο και τρεις (3) στην επιφάνεια. Η συμμετοχή στην έρευνα ήταν εθελοντική και ανώνυμη και τα άτομα έπρεπε επίσης να δώσουν μια λεπτομερή περιγραφή του συμβάντος και να συμπληρώσουν μια φόρμα σχετικά με την ασφάλεια στο χώρο εργασίας.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της πρώτης φάσης, το 34% των συμβάντων ήταν μηχανικά/τεχνικά λάθη. Το 45% των ατόμων δεν αντιλήφθηκε τον κίνδυνο, ενώ το 55% ήξερε για τους κινδύνους. Επιπρόσθετα, το έμπειρο τεχνικό προσωπικό αριθμούσε περισσότερους τραυματίες από ηλεκτρικό τόξο σε σχέση με τους ανειδίκευτους εργάτες. Σύμφωνα με το τρίτο στοιχείο, σχετικά με την ικανότητα κρίσης και τη λήψη αποφάσεων, οι εργάτες που ήξεραν τον κίνδυνο και αποφάσισαν παρόλα αυτά να εργαστούν με το ενδεχόμενο του τραυματισμού έφτασαν σχεδόν το 55%.

Τα αποτελέσματα της δεύτερης φάσης έδειξαν ότι το 72% των τραυματιών ανήκαν στην κατηγορία των ηλεκτρολόγων. Το 87% είχε περισσότερο από 6,5 χρόνια εμπειρίας, ενώ η μέση ηλικία ήταν τριάντα επτά (37) ετών. Το 87,5 ήταν πιστοποιημένοι ηλεκτρολόγοι. Το 60% των τάσεων στις οποίες έγιναν τα ατυχήματα ήταν 480 Volt AC, ενώ το 78% των τραυματιών ασχολούνταν με την επισκευή ή την ανίχνευση βλαβών τη στιγμή του γεγονότος. Το 90% πίστευε ότι το ατύχημα θα μπορούσε να αποφευχθεί.

Κλείνοντας, δεν πρέπει να παραλειφθεί να αναφερθεί ότι η απενεργοποίηση του εξοπλισμού πριν τη συντήρηση και την επισκευή είναι η καλύτερη προετοιμασία για το ηλεκτρικό τόξο. Για την ανίχνευση βλαβών, ωστόσο, η τάση πρέπει να είναι ενεργοποιημένη. Σε αυτή την περίπτωση, πρέπει να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα ασφαλείας και οι εργάτες να είναι εκπαιδευμένοι να τα χρησιμοποιούν. Οι συγγραφείς προτείνουν τις εξής πρακτικές σχετικά με την εκπαίδευση: χρήση του Μοντέλου Ασφαλούς Εργασιακής Αποδόσεως, την εκπαίδευση των ομάδων υψηλού κινδύνου για τέτοιου είδους ατυχήματα, συμπεριλαμβανομένων των ανειδίκευτων εργατών, πιστοποιημένων ηλεκτρολόγων και εποπτών, μέθοδο και περιεχόμενο εστιασμένο σε τεχνικές ικανότητες (γνώσεις) και ικανότητα κρίσης και λήψης αποφάσεων.

6.3 Ένας παραγνωρισμένος ηλεκτρικός κίνδυνος

Στην παρούσα εργασία “The electrical hazard of the future”[39] του Donald W.Zipse, θίγεται το θέμα ενός διαρκούς και ολοένα αυξανόμενου ηλεκτρικού κινδύνου, όπου δυστυχώς συχνά προσπερνιέται. Για πάνω από 80 χρόνια, οι πολλές ανακρίβειες και η έλλειψη κατανόησης του ρόλου της γείωσης, συνέβαλαν στο να προκληθούν συχνές ηλεκτροπληξίες σε αγελάδες γαλακτοπαραγωγής, χοίρους, αλλά και ανθρώπους που κατοικούν στη Βόρεια Αμερική από το σύστημα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Η ανάγκη να μειωθεί το κόστος από τις επιχειρήσεις κοινής ωφελείας, είχε ως αποτέλεσμα την έλλειψη συντήρησης του συστήματος διανομής. Αυτό σε συνδυασμό με την αναμενόμενη αύξηση της ζήτησης αιχμής κατά 16% κατά τη διάρκεια της επόμενης δεκαετίας, αναμένεται να οδηγήσει σε αύξηση της ροής των ρευμάτων διακλάδωσης πάνω στο έδαφος με αποτέλεσμα το θάνατο όχι μόνο των αγελάδων και των χοίρων, αλλά και πολλών ανθρώπων.

Τα καναρίνια είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στο μεθάνιο, στο διοξείδιο και το μονοξείδιο του άνθρακα, έτσι στο παρελθόν χρησιμοποιήθηκαν στα ανθρακωρυχεία, όπου έλειπε εξαερισμός, για την ανίχνευση αυτών των επιβλαβών αερίων. Όσο τα καναρίνια τραγουδούσαν, ήταν ασφαλές για τους ανθρακωρύχους να εργαστούν. Σήμερα, η αγελάδα γαλακτοπαραγωγής είναι ανάλογη με το καναρίνι στο ορυχείο. Με τέσσερα πόδια στήριξης και αρκετές εκατοντάδες κιλά, οι σπλές τις βρίσκονται σε στενή επαφή με τη γη με αποτέλεσμα να γίνονται αισθητά από την ίδια τα επικίνδυνα ρεύματα διακλάδωσης που ρέουν ανεξέλεγκτα μέσα από το χώμα.

Το πρόβλημα ξεκίνησε, στην αρχή της λειτουργίας των συστημάτων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, όπου ο ουδέτερος αγωγός συμπεριλαμβανόταν μαζί με τη φάση . Ακόμα κι αν ο ουδέτερος συνδεόταν με τη γη από τον κατασκευαστή των μετασχηματιστών, παρέμενε ενεργός αγωγός και δεν ήταν στο ίδιο δυναμικό σε σχέση με τη γη κατά όλο το μήκος του. Η έλλειψη κατανόησης της λειτουργίας της γείωσης και του νόμου του Ohm, είχε ως αποτέλεσμα οι επισκευαστές των γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας, όταν εργαζόταν μακριά από τον υποσταθμό και συγκεκριμένα με τον ουδέτερο, να υπόκεινται σε ηλεκτροπληξίες, δεδομένου ότι εργαζόνταν στη γραμμή με γυμνά χέρια. Αυτό είναι αδιανόητο στις μέρες μας, καθώς και μέσω των Κανόνων Ασφάλειας και Υγιεινής των Εργαζομένων είναι αναγνωρισμένο το γεγονός ότι ο ουδέτερος είναι και αυτός ενεργοποιημένος αγωγός που διαρρέεται από επικίνδυνο ηλεκτρικό ρεύμα.

Εκείνη την εποχή, η λύση ήταν να συνδέσουν τον ενεργό ουδέτερο αγωγό με τη γη τέσσερις φορές ανά μίλι, μειώνοντας έτσι την πιθανότητα να περνάνε περισσότερα από 35V δια μέσω των συνδέσεων με τη γη, η οποία τότε θεωρούνταν ως η ασφαλής τάση επαφής. Ο Εθνικός Κώδικας Ηλεκτρικής Ασφάλειας αδυνατεί ακόμη και σήμερα να αναγνωρίσει το γεγονός ότι δεν είναι η τάση που σκοτώνει,

αλλά το ηλεκτρικό ρεύμα είναι αυτό που καθιστά τους ανθρώπους, τις αγελάδες και χοίρους θύματα των επικίνδυνων επαφών με τους ουδέτερους αγωγούς. Εδώ θα έπρεπε να προστεθεί και η αντίληψη ότι οι πολλαπλές ηλεκτρικές συνδέσεις προς τη γη δεν είναι τίποτα περισσότερο από τη χρήση της γης ως ένα παράλληλο ηλεκτρικό αγωγό για την επιστροφή του ρεύματος από τον ουδέτερο και ότι αυτό το ηλεκτρικό ρεύμα κατά τη διάρκεια της ανεξέλεγκτης ροής του πάνω στο έδαφος μπορεί να οδηγήσει σε ηλεκτροπληξία και θάνατο.

Πριν από πενήντα χρόνια, προσφέρθηκε στη βιομηχανία μια οικονομική μέθοδος χρήσης γυμνών ομοαξονικών ουδέτερων αγωγών, με αποτέλεσμα εκατοντάδες μίλια να εγκατασταθούν σε όλη τη περιοχή της Βόρειας Αμερικής. Αν η γείωση του εναέριου ουδέτερου αγωγού τέσσερις φορές ανά μίλι θεωρείτο επιβλαβής, τότε η συνεχής γείωση της διακλάδωσης του καλωδίου αποτελεί ακόμα μεγαλύτερο παραγνωρισμένο κίνδυνο, που παραμένει ακόμη και σήμερα. Ο ουδέτερος αγωγός όταν έρχεται σε επαφή με τη γη, επιτρέπει την ανεξέλεγκτη ροή του ρεύματος διακλάδωσης πίσω στον υποσταθμό προέλευσης μέσα από το χώμα. Μέσα σε περίπου 25 χρόνια από την εγκατάσταση, το εξωτερικό περίβλημα σε αρκετούς από αυτούς τους χάλκινους αγωγούς είχε διαλυθεί και ως εκ τούτου όλο το ρεύμα επέστρεφε στη γη. Αυτό το ρεύμα παίρνει όλες τις αγωγίμες διαδρομές πίσω προς τον υποσταθμό προέλευσης σκοτώνοντας ανθρώπους, αγελάδες γαλακτοπαραγωγής και χοίρους στο δρόμο του.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, συμπεραίνεται ότι για να είναι και να διατηρείται μια ηλεκτρική εγκατάσταση ασφαλής και προστατευμένη από τις ανεξέλεγκτες ροές των ρευμάτων διακλάδωσης πρέπει σύμφωνα με τον Νόμο του Zipse: «Ολόκληρη η συνεχής ροή του ρεύματος να περιέχεται μέσα σε έναν αγωγό, μονωμένο από τη γη, με εξαίρεση μια θέση μέσα στο σύστημα και μόνο μία που μπορεί ο ουδέτερος να συνδεθεί στη γη.»

Παράρτημα Ι

Φορείς Τυποποίησης

Μερικοί από τους σημαντικότερους Φορείς Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης, ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και εξοπλισμών είναι:

1. Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή

International Electrotechnical Commission – IEC

Έδρα: Ελβετία

Διεύθυνση δικτύου: www.iec.gr

Στην IEC ανήκουν πενήντα επτά κράτη μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα καθώς και κράτη εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC), η οποία έχει και μια μακρά ιστορία στην υπηρεσία της αγοράς, ιδρύθηκε το 1906 στο Λονδίνο από τον Άγγλο επιστήμονα λόρδο Kelvin που ήταν και ο πρώτος πρόεδρος.

Η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC) είναι ένας παγκόσμιος οργανισμός που προετοιμάζει και δημοσιεύει διεθνή πρότυπα όλων των ηλεκτρικών, ηλεκτρονικών και συναφών τεχνολογιών. Αυτά τα πρότυπα χρησιμεύουν ως βάση για την εθνική τυποποίηση και ως αναφορά κατά τη σύνταξη των προσφορών και των διεθνών συμβάσεων. Μέσω των μελών της η IEC προωθεί τη διεθνή συνεργασία για όλα τα θέματα της Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης καθώς και συναφών θεμάτων, όπως η αξιολόγηση της συμμόρφωσης με τα πρότυπα στους τομείς της ηλεκτρικής ενέργειας, των ηλεκτρονικών και παρεμφερών τεχνολογιών.

Ο χάρτης της περιλαμβάνει όλες τις «ηλεκτρικές τεχνολογίες» συμπεριλαμβανόμενης της ηλεκτρονικής, ηλεκτροακουστικής, πολυμέσων, τηλεπικοινωνιών, παραγωγής και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και άλλων επιστημονικών κλάδων, όπως την αξιοπιστία, τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη, την ασφάλεια και το περιβάλλον.

Οι στόχοι της Επιτροπής είναι:

- Να ανταποκρίνεται, αποτελεσματικά στις απαιτήσεις της παγκόσμιας αγοράς
- Να ασφαλίζει κατ' ανώτατο όριο, σε παγκόσμιο επίπεδο, τη χρήση των προτύπων και συστημάτων αξιολόγησης της ποιότητας.
- Να αξιολογεί και να βελτιώνει την ποιότητα των προϊόντων και υπηρεσιών που καλύπτονται από τα πρότυπα.

- Να αυξάνει την αποτελεσματικότητα των βιομηχανικών διεργασιών.
- Να συμβάλλει στη βελτίωση της ανθρώπινης υγείας και ασφάλειας.
- Να συμβάλλει στην προστασία του περιβάλλοντος.

2. Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Ηλεκτροτεχνική Τυποποίηση

European Committee for Electrotechnical Standardization – CENELEC

Έδρα: Βέλγιο

Διεύθυνση δικτύου: www.cenelec.be

Η CENELEC είναι όργανο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, δημιουργήθηκε το 1973 και ήταν αποτέλεσμα της συγχώνευσης των δύο προηγούμενων ευρωπαϊκών οργανώσεων CENELCOM και CENEL. Σήμερα η CENELEC είναι μια μη κερδοσκοπική οργάνωση που συστάθηκε σύμφωνα με το βελγικό δίκαιο και απαρτίζεται από τις Εθνικές Ηλεκτροτεχνικές Επιτροπές των 30 ευρωπαϊκών χωρών.

Η Ελλάδα συμμετείχε για πρώτη φορά το 1980. Απ' τη δεκαετία του 1950 τα μέλη της έχουν εργαστεί από κοινού, προς όφελος της ευρωπαϊκής εναρμόνισης, δημιουργώντας δύο πρότυπα που θεωρούνται αναγκαία από την αγορά αλλά και εναρμονισμένα πρότυπα για τη στήριξη της ευρωπαϊκής νομοθεσίας τα οποία συνέβαλαν στη διαμόρφωση της Ευρωπαϊκής Εσωτερικής Αγοράς. Για τη CENELEC εργάζονται 15.000 τεχνικοί εμπειρογνώμονες από 30 ευρωπαϊκές χώρες. Το έργο της ενθαρρύνει την τεχνολογική ανάπτυξη και εγγυάται την ασφάλεια και την υγεία των καταναλωτών και των εργαζομένων.

Αποστολή της είναι να προετοιμάσει εθελοντικά, ηλεκτρολογικά πρότυπα που βοηθούν στην ανάπτυξη της ενιαίας ευρωπαϊκής αγοράς για ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά αγαθά, στην κατάργηση των εμποδίων στο εμπόριο, στη δημιουργία νέων αγορών και στη μείωση του κόστους συμμόρφωσης. Με ένα ψήφισμα στις 7 Μαΐου 1985, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο ενέκρινε την αρχή της αναφοράς σε ευρωπαϊκά πρότυπα ανοίγοντας έτσι το δρόμο για μια προσέγγιση στη φιλοσοφία των κανονισμών και προτύπων στην Ευρώπη.

Υπό το πόρισμα της νέας αυτής προσέγγισης η CENELEC πέτυχε να αναπτύξει μια συνεκτική σειρά εθελοντικών προτύπων που αποτέλεσαν την βάση για τη δημιουργία της ενιαίας ευρωπαϊκής αγοράς για αγαθά και υπηρεσίες χωρίς εσωτερικά σύνορα. Επίσης η CENELEC έχει δημιουργήσει ένα πλαίσιο προτύπων, με σύντομη διάρκεια ζωής, για προϊόντα όπου ο χρόνος διάθεσής τους στην αγορά είναι «κρίσιμος».

3. Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης - ΕΛΟΤ

Hellenic Organization Standardization – ELOT

Έδρα: Ελλάδα

Διεύθυνση δικτύου: www.elot.gr

Ο Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης (ΕΛΟΤ) είναι Νομικό Πρόσωπο Ιδιωτικού Δικαίου που έχει ιδρυθεί βάσει του Νόμου 372/76. Ο ΕΛΟΤ χρηματοδοτείται από το κράτος, εποπτεύεται από το Υπουργείο Ανάπτυξης και διοικείται από Διοικητικό Συμβούλιο. Από την 25-6-1997 λειτουργεί ως ανώνυμη εταιρεία βάσει του νόμου 2414/96 και σύμφωνα με το ΠΔ 155/ΦΕΚ 131/Α/25-6-97.

Σκοπός του ΕΛΟΤ είναι η προαγωγή και η εφαρμογή της Τυποποίησης στην Ελλάδα. Κύριες δραστηριότητες του ΕΛΟΤ είναι η εκπόνηση και η διάδοση των προτύπων, η απονομή σημάτων συμμόρφωσης (ποιότητας), η πιστοποίηση συστημάτων ποιότητας επιχειρήσεων και η διενέργεια εργαστηριακών δοκιμών. Η εκπόνηση των προτύπων γίνεται από Τεχνικές Επιτροπές στις οποίες εκπροσωπούνται όλοι οι τομείς της οικονομίας. Την ευθύνη λειτουργίας, γραμματειακής και οικονομικής υποστήριξης των επιτροπών αυτών την έχει ο ίδιος ο ΕΛΟΤ ή άλλοι συνεργαζόμενοι με αυτόν οργανισμοί (χαρακτηριστικό παράδειγμα ο ΟΤΕ στον τομέα των τηλεπικοινωνιών).

4. Σύλλογος Γερμανών Ηλεκτρολόγων Μηχανικών

The Association of German Electrical Engineers – VDE

Έδρα: Γερμανία

Διεύθυνση δικτύου: www.vde.de

Από τότε που το πρώτο ηλεκτροτεχνικό πρότυπο VDE 0100 ψηφίστηκε στις 23 Νοεμβρίου 1985 στο κάστρο Wartburg στο Eisenach της Γερμανίας τα VDE πρότυπα έχουν γίνει αναπόσπαστο στοιχείο της ανάπτυξης των τεχνολογιών, της τεχνολογίας των πληροφοριών και της προστασίας των καταναλωτών.

Τα πρότυπα είναι βασική προϋπόθεση για την καινοτομία και τη διασφάλιση της ασφάλειας των ανθρώπων και του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με μελέτη που πραγματοποιήθηκε από το πρότυπο DIN 2002 συνεισφέρουν περίπου 16 δις. Ευρώ στη Γερμανία. Συμβάλλουν στη μείωση των εμπορικών φραγμών όπως τα διπλώματα ευρεσιτεχνίας και άδειες εκμετάλλευσης και γενικότερα αποτελούν σημαντικό παράγοντα για την επιτυχία μιας επιχείρησης.

Ο VDE είναι υπεύθυνος για την καθημερινή λειτουργία του DKE, που είναι ο εθνικός οργανισμός για την ανάπτυξη προτύπων και κανονισμών και αφορά στην

ασφάλεια ηλεκτρικών, ηλεκτρονικών και των τεχνολογιών της πληροφορίας. Ο DKE εκπροσωπεί τα γερμανικά συμφέροντα στον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Τυποποίησης (CENELEC) και στον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (IEC).

Ο Οργανισμός δοκιμών και πιστοποίησης του VDE δοκιμάζει ηλεκτρικά προϊόντα και εξάγει το παγκοσμίως γνωστό και αποδεκτό VDE, σήμα πιστοποίησης. Ο εκδοτικός οίκος VDE (VDE Verlag GmbH) δημοσιεύει τις ρυθμιστικές αγορές έργων καθώς και εξειδικευμένες εκδόσεις για την τυποποίηση. Ο VDE προσφέρει επίκαιρες πληροφορίες για την τυποποίηση, προτάσεις και εξελίξεις στον ηλεκτρολογικό τομέα.

Ο VDE ιδρύθηκε στη Γερμανία το 1893 και έχει εξελιχθεί σε μία από τις μεγαλύτερες τεχνικές και επιστημονικές ενώσεις στην Ευρώπη. Αυτή τη στιγμή έχει πάνω από 34.000 μέλη, συμπεριλαμβανομένου μηχανικών, επιστημόνων, τεχνικών και περίπου 5000 φοιτητών. Επιπλέον, περίπου 1250 εταιρικά και θεσμικά μέλη του αντιπροσωπεύουν το σύνολο των μεγάλων επιχειρήσεων της Γερμανίας στην βιομηχανία των ηλεκτρικών, ηλεκτρονικών και πληροφορικής όπως και των ηλεκτρικών επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας. Ο VDE εδρεύει στη Φραγκφούρτη, και εκπροσωπείται στο Βερολίνο και τις Βρυξέλλες από 29 υποκαταστήματα.

5. Βρετανικός Οργανισμός Τυποποίησης

British Standards Institution - BSI

Έδρα: Βρετανία

Διεύθυνση δικτύου: www.bsi-global.com

Ο BSI (British Standards Institution) είναι ο Βρετανικός Οργανισμός εθνικών προτύπων. Παράγει πρότυπα και πληροφορίες που προωθούν τα προϊόντα και την ανταλλαγή βέλτιστων πρακτικών. Εξυπηρετεί τα συμφέροντα ενός ευρέως φάσματος της βιομηχανίας καθώς και της κυβέρνησης, των καταναλωτών, των εργαζομένων και της κοινωνίας συνολικά.

Η Βρετανική Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (BEC), σε στενή συνεργασία με τον BSI διασφαλίζει την εκπροσώπηση των απόψεων της. Μια ολοκληρωμένη άποψη για το πεδίο εφαρμογής των βρετανικών προτύπων εργασίας έχει ως εξής: δημοσιεύονται κάθε χρόνο περίπου 2.000 νέα και αναθεωρημένα πρότυπα και υποστηρίζονται περίπου 1.350 τεχνικές επιτροπές και ομάδες εργασίας που καλύπτουν 20.000 πρότυπα.

Το 1901 τα θεσμικά όργανα των Πολιτικών Μηχανικών, Μηχανολόγων Μηχανικών, Αρχιτεκτόνων και το Ναυτικό Ινστιτούτο Σιδήρου και Χάλυβα δημιούργησαν μια επιτροπή για την τυποποίηση του σιδήρου και του χάλυβα για τα

τμήματα των γεφυρών, σιδηροδρόμων και θαλάσσιων μεταφορών. Η εφαρμογή των προτύπων πέτυχε τη μείωση της παραγωγής διαφορετικών τροχιών τραμ από 75 σε 5. Αυτό σήμαινε τότε για τη βιομηχανία περίπου ένα εκατομμύριο λίρες το χρόνο.

Το 1906 ιδρύθηκε η Βρετανική Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (BEC). Η BEC ήταν ιδρυτικό μέλος της Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής (IEC) η οποία εξέλεξε τον πρώτο Γενικό Γραμματέα της IEC τον κ. Le Maistre που κατείχε τη θέση αυτή για σαράντα χρόνια, καθώς ήταν και ο πρώτος διευθυντής του BSI.

Μέχρι το 1929 η «Επιτροπή Μηχανικών Προτύπων» έγινε «Ένωση Βρετανικών Μηχανικών Προτύπων». Ένα χρόνο αργότερα η «Ένωση» έγινε το «Βρετανικό Ίδρυμα Προτύπων» (BSI).

Το 1946, μετά το τέλος του δεύτερου παγκοσμίου πολέμου ο BSI ήταν ιδρυτικό μέλος του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης (ISO) και το 1964 έγινε ιδρυτικό μέλος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής CEN και αργότερα του Ηλεκτροτεχνικού Οργανισμού CENELEC.

Το 2001 γιόρτασε την εκατονταετηρίδα και ένα χρόνο αργότερα υπέγραψε νέο μνημόνιο συμφωνίας με τη βρετανική κυβέρνηση. Το 2003 ο BSI και το Υπουργείο Εμπορίου και Βιομηχανίας ξεκίνησαν το «Εθνικό Στρατηγικό Πλαίσιο», μία τριετή πρωτοβουλία για να προωθήσουν τη στρατηγική για τη χρήση των προτύπων.

Το πρόγραμμα διήρκησε από τον Οκτώβριο του 2004 έως τον Μάρτιο του 2007 και περιλαμβάνει την έρευνα και τα οικονομικά οφέλη των προτύπων και τον ρόλο τους στην καινοτομία. Ο BSI βοήθησε στη δημιουργία εθνικών προτύπων σε διάφορες χώρες ανά την υφήλιο. Ο BSI σήμερα έχει μνημόνια κατανόησης και συμφωνίες συνεργασίας με μια σειρά από φορείς τυποποίησης συμπεριλαμβανομένων των εθνικών οργανισμών τυποποίησης της Κίνας, Ιαπωνίας και Κορέας. Σήμερα ο BSI British Standards έχει πάνω από 27.000 πρότυπα, με 1.700 νέα Βρετανικά Ευρωπαϊκά ή Διεθνή Πρότυπα που παράγονται κάθε χρόνο.

6. Αμερικάνικος Οργανισμός Τυποποίησης

American National Standards Institution – ANSI

Έδρα: Η.Π.Α.

Διεύθυνση δικτύου: www.ansi.org

Ο American National Standards Institution (ANSI) συντονίζει την ανάπτυξη και χρήση των προτύπων στις Ηνωμένες Πολιτείες και αντιπροσωπεύει τις ανάγκες και τις απόψεις των φορέων των ΗΠΑ στην αγορά τυποποίησης σε όλο τον κόσμο. Ο Οργανισμός επιβλέπει τη δημιουργία, τη διάδοση και τη χρήση των χιλιάδων διεθνών προτύπων που έχουν άμεσο αντίκτυπο στις επιχειρήσεις, σε κάθε σχεδόν τομέα, από την κατασκευή συσκευών μέχρι τον ηχητικό εξοπλισμό, από τα γαλακτοκομικά μέχρι την παραγωγή και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας (εκδίδει το πρότυπο National Electrical Safety Code) και πολλά άλλα.

Ο ANSI είναι ο επίσημος αντιπρόσωπος των ΗΠΑ στον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO) και μέσω της Εθνικής Επιτροπής των ΗΠΑ στη Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC).

Το 1916, ο American Institute of Electrical Engineers (IEEE τώρα) κάλεσε την Αμερικανική Εταιρεία Πολιτικών Μηχανολόγων Μηχανικών (ASME), την Αμερικανική Εταιρεία Πολιτικών Μηχανικών (ASCE), το Αμερικάνικο Ινστιτούτο Μεταλλειολόγων, Μεταλλουργών (AIME) και την Αμερικανική Εταιρεία Δομικών Υλικών (ASTM International τώρα) να συμμετάσχουν στην ίδρυση ενός αμερόληπτου εθνικού φορέα για το συντονισμό και την ανάπτυξη προτύπων.

Ο ANSI είχε αρχικά καθοριστεί ως η αμερικανική επιτροπή Μηχανικών Προτύπων (AESC). Σύμφωνα με τον Paul G. Agnew, που ήταν ο πρώτος μόνιμος γραμματέας και επικεφαλής του προσωπικού το 1919, η AESC ξεκίνησε ως ένα φιλόδοξο πρόγραμμα και τίποτα περισσότερο. Το προσωπικό της για το πρώτο έτος αποτελούνταν από ένα εκτελεστικό όργανο, τον Clifford B. Lepage. Ο ετήσιος προϋπολογισμός της ήταν 7500 δολάρια.

Ένα χρόνο μετά η AESC ιδρύθηκε και ενέκρινε το πρώτο πρότυπο για σπειρώματα του σωλήνα. Το επόμενο μεγάλο έργο άρχισε το 1920 όταν η AESC ξεκίνησε τον συντονισμό των εθνικών προτύπων για την αντικατάσταση πολλών νόμων και πρακτικών που παρεμπόδιζαν την πρόληψη ατυχημάτων.

Ο πρώτος «American Standard Κώδικας Ασφαλείας» εγκρίθηκε το 1921 και κάλυψε την προστασία του κεφαλιού και των ματιών των βιομηχανικών εργατών. Στα δέκα πρώτα χρόνια η AESC ενέκρινε πρότυπα στους τομείς της εξόρυξης, των ηλεκτρικών και μηχανολογικών κατασκευών, των κατασκευών και της οδικής κυκλοφορίας. Η AESC ήταν πολύ ενεργή στις αρχικές προσπάθειες για προώθηση της διεθνούς συνεργασίας και το 1926 φιλοξένησε τη διάσκεψη που δημιούργησε ο

International Standards Association (ISA), ένας οργανισμός που θα παραμείνει ενεργός μέχρι τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο και τελικά θα γίνει ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO).

Το 1928 αναδιοργανώθηκε και μετονομάστηκε σε αμερικανικό Standards Association (ASA). Σε πολλά πρότυπα που παράχθηκαν κατά τη δεκαετία του 1930 προωθήθηκε η ασφάλεια, τόσο στην εργασία όσο και στο σπίτι. Υπήρχε συνεχής ανάπτυξη των προτύπων για την ασφάλεια στην εργασία περιλαμβάνοντας οδηγίες για την πρόληψη των κινδύνων στις βιομηχανίες όπου εργάζονταν πολλοί Αμερικάνοι. Ταυτόχρονα, αφού η οικιακή τεχνολογία γρήγορα εκσυγχρονίστηκε πολλά πρότυπα, που αναπτύχθηκαν την τρέχουσα δεκαετία, απευθύνονται στην ασφάλεια των οικιακών συσκευών.

Όταν οι Ηνωμένες Πολιτείες πήγαν στον πόλεμο το 1941, ο ASA ήταν έτοιμος με «πρότυπα διαδικασίας πολέμου» που έχει εγκρίνει περίπου ένα χρόνο νωρίτερα. Αυτό συνέβαλε στην επιτάχυνση της ανάπτυξης και της έγκρισης των νέων και αναθεωρημένων της πολεμικής βιομηχανίας. Σχεδόν 1.300 μηχανικοί εργάστηκαν στις ειδικές επιτροπές για την παραγωγή αμερικανικών προτύπων πολέμου, για τον έλεγχο της ποιότητας, της ασφάλειας, των φωτογραφικών προμηθειών και εξοπλισμού, για το στρατιωτικό και πολιτικό ραδιόφωνο, συνδετήρες και άλλα προϊόντα.

Λίγο μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, το 1946 ο ASA εντάχθηκε στους εθνικούς οργανισμούς τυποποίησης 25 χωρών για το σχηματισμό ενός διεθνούς οργανισμού τυποποίησης. Ο στόχος αυτού του νεοσυσταθέντος Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης ήταν η προώθηση και ανάπτυξη διεθνών προτύπων για τη διευκόλυνση της διεθνούς ενοποίησης των βιομηχανικών προτύπων.

Στη δεκαετία του 1950 και 1960 ο ASA βοήθησε τη βιομηχανία και τις κυβερνητικές ανάγκες σε τομείς όπως η πυρηνική ενέργεια, η πληροφορική, η διακίνηση υλικών και ηλεκτρονικών ειδών.

Ο ASA ανασυστάθηκε το 1966 ως «Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής Standards Institute» (USASI) απαντώντας σε διαπιστωμένες ανάγκες για ευρύτερη χρήση της αρχικής συναίνεσης με σκοπό να ανταποκρίνεται περισσότερο στις ανάγκες των καταναλωτών.

Το 1968 σχημάτισε επιτροπή πιστοποίησης για να επιβλέπει τις άδειες του σήματος στους παρασκευαστές προϊόντων που διατίθενται στην αγορά. Ο USASI πιστοποίησε το σημερινό όνομα του 1969. Σ' όλη αυτή την περίοδο διάφορες αναδιοργανώσεις και αλλαγές επωνυμίας του Οργανισμού αποσκοπούσαν στο να συντονίσουν τις προσπάθειες του και να εγκρίνει υποχρεωτικά εθνικά πρότυπα, γνωστά σήμερα ως αμερικανικά εθνικά πρότυπα.

7. Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης

Standards Organization – ISO

Έδρα: Ελβετία

Διεύθυνση δικτύου: www.iso.org

Τον Οκτώβριο του 1946, αντιπρόσωποι από 25 χώρες, συναντήθηκαν στο Ινστιτούτο Πολιτικών Μηχανικών στο Λονδίνο και αποφάσισαν να δημιουργήσουν έναν νέο Διεθνή Οργανισμό του οποίου το αντικείμενο θα ήταν «να διευκολύνει τον διεθνή συντονισμό και την ενοποίηση των βιομηχανικών προτύπων».

Ο νέος αυτός Οργανισμός (ISO) επίσημα άρχισε να λειτουργεί στις 23 Φεβρουαρίου 1947. Από το 1947 μέχρι σήμερα, ο ISO έχει δημοσιεύσει περίπου 16.500 διεθνή πρότυπα, που κυμαίνονται μεταξύ προτύπων για δραστηριότητες όπως η γεωργία και οι κατασκευές, έως τους κλάδους της μηχανολογίας, των ιατροτεχνολογικών προϊόντων, και την νεότερη εξέλιξη της τεχνολογίας των πληροφοριών.

Τον Απρίλιο του 1947, σε μια συνάντηση στο Παρίσι δημιουργήθηκε ένας κατάλογος με 67 τεχνικές επιτροπές ISO, περίπου τα δύο τρίτα από τις οποίες βασίζονταν σε προηγμένες επιτροπές ISA.

Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1950 οι ISO τεχνικές επιτροπές αναπαρήγαγαν ότι ήταν γνωστό τότε ως συστάσεις. Η βασική ιδέα μεταπολεμικής διεθνούς τυποποίησης ήταν να αναδειχθούν Διεθνή Πρότυπα από αυτά που είχαν ήδη αναπτυχθεί σε εθνικό επίπεδο και στη συνέχεια να επανεφαρμοστούν σε εθνικό επίπεδο.

Η πρώτη Γενική Συνέλευση του ISO διοργανώθηκε στο Παρίσι το 1949. Έγινε μια δημόσια συνεδρίαση που πραγματοποιήθηκε στο μεγάλο αμφιθέατρο του Πανεπιστημίου της Σορβόνης. Οι μεταφράσεις γινόταν η μία μετά την άλλη ξεκινώντας απ' τα αγγλικά, μετά ρώσικα και κατόπιν οι υπόλοιπες γλώσσες.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1950 και 1960 υπήρχε αύξηση του αριθμού των νέων κρατών μελών του ISO τα οποία προέρχονταν από τον αναπτυσσόμενο κόσμο. Τα διεθνή πρότυπα που αναπτύχθηκαν από τον ISO είχαν μεγάλη αξία για τις αναπτυσσόμενες χώρες. Προσέφεραν πρακτικές λύσεις σε μία σειρά από θέματα που σχετίζονταν με το διεθνές εμπόριο, τη μετάδοση τεχνολογίας, τις επιδόσεις, την ποιότητα την ασφάλεια και το περιβάλλον. Ωστόσο, για να επωφεληθούν από τα διεθνή πρότυπα και να συμμετάσχουν στην ανάπτυξη, οι αναπτυσσόμενες χώρες είχαν να αντιμετωπίσουν επιπλέον προβλήματα από εκείνα των βιομηχανικών χωρών τα οποία κυμαίνονταν μεταξύ της έλλειψης των καθιερωμένων βιομηχανικών υποδομών και των σχετικών τεχνικών στοιχείων

(συμπεριλαμβανομένων των εθνικών προτύπων εγκαταστάσεων) έως τον σοβαρό περιορισμό των οικονομικών τεχνικών μέσων.

Το πρώτο ορόσημο στην ISO για τις προσπάθειες του να ανταποκριθεί στις ανάγκες των μελών αυτών ήταν η ίδρυση το 1961 της επιτροπής DEVCO για θέματα των αναπτυσσόμενων χωρών. Το 1967, πραγματοποιήθηκε διάσκεψη στη Μόσχα και το 1968 μία νέα κατηγορία ιδρύθηκε (ανταποκριτής κράτος), έτσι ώστε οι αναπτυσσόμενες χώρες να μπορέσουν να διαδραματίσουν τον ρόλο τους στο έργο του ISO χωρίς να επιβαρυνθούν το κόστος της πλήρους ένταξης.

Μία άλλη κατηγορία (συνδρομητής κράτος), τελικά προστίθεται το 1992, επιτρέποντας σε πολύ μικρές οικονομίες να διατηρήσουν μία επαφή με τον ISO έναντι μίας ελάχιστης χρέωσης.

Από τη δεκαετία του 1960, η σύνθεση και ο ρόλος των αναπτυσσόμενων χωρών, εντός ISO, συνέχισε να αυξάνεται. Παράλληλα, η προσοχή του Οργανισμού για τις ανάγκες των αναπτυσσόμενων χωρών είχε αυξηθεί σημαντικά μαζί με την επιχείρηση των προγραμμάτων παροχής τεχνικής βοήθειας και ανάπτυξης υποδομών και μία σειρά από πρωτοβουλίες για τη διευκόλυνση των αναπτυσσόμενων χωρών στη συμμετοχή τους στη διεθνή τυποποίηση.

8. Οργανισμός Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών

Institute of Electrical and Electronic Engineers - IEEE

Έδρα: Η.Π.Α.

Διεύθυνση δικτύου: www.ieee.org

Την άνοιξη του 1884 μια μικρή ομάδα ηλεκτρολόγων μηχανικών συναντήθηκε στη Νέα Υόρκη και δημιούργησε έναν νέο οργανισμό για την υποστήριξη του επαγγέλματος τους, έτσι ώστε να τους βοηθήσει στις προσπάθειες τους να εφαρμόσουν τις καινοτομίες τους για την βελτίωση της ζωής των ανθρώπων. Ο οργανισμός αυτός ονομάστηκε American Institute of Electrical Engineers (AIEE).

Ο AIEE είχε την πρώτη συγκέντρωση στη Φιλαδέλφεια. Καθώς η ηλεκτρική ισχύς εξαπλωνόταν ταχύτατα στην χώρα και υπήρχαν νέες τεχνολογίες όπως ο επαγωγικός κινητήρας και η μεταφορά της AC τάσης σε μεγάλη απόσταση, ο AIEE προσπάθησε να επικεντρώσει την προσπάθεια του στην ηλεκτρική ισχύ με σκοπό να βελτιώσει την ζωή των ανθρώπων μέσω νέων προϊόντων και υπηρεσιών που θα παρείχε.

Σε δεύτερο επίπεδο επικεντρώθηκε στην ενσύρματη τηλεπικοινωνία δηλαδή στο τηλέφωνο και τον τηλέγραφο. Μέσω τεχνικών συγκεντρώσεων, δημοσιεύσεων και προωθήσεων των προτύπων ο ΑΙΕΕ κατάφερε να αυξήσει το πεδίο του επαγγέλματος του μηχανικού.

Στις αρχές του προηγούμενου αιώνα ξεκίνησε μία νέα τεχνολογία, ο ασύρματος τηλέγραφος. Με την νέα αυτή τεχνολογία δημιουργήθηκε το 1912 ένας νέος οργανισμός που ονομάστηκε Institute of Radio Engineers (IRE). Την πρώτη Ιανουαρίου του 1963 ο ΑΙΕΕ και ο ΙΡΕ συγχωνεύτηκαν και δημιούργησαν το Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE). Από την ίδρυση του ο IEEE είχε 150.000 μέλη, 140.000 εκ των οποίων ήταν στις Η.Π.Α.

Στις αρχές του 21^{ου} αιώνα ο IEEE προσφέρει στα μέλη του εκατό τριάντα δημοσιεύσεις και περιοδικά και εννιάκόσια ενεργά πρότυπα. Το πεδίο του IEEE επεκτείνεται πέρα από ηλεκτρικά και ηλεκτροτεχνικά και σε πεδία που έχουν σχέση με τον υπολογιστή, την νανοτεχνολογία, ρομποτικά και ηλεκτροτεχνικά υλικά και σε πολλά άλλα. Το 2008 ο IEEE αριθμούσε 375.000 μέλη σε εκατόν εξήντα χώρες με σαράντα τρεις παρουσίες εκτός της χώρας.

Παράρτημα II

Πρότυπα και διασφάλιση ποιότητας υπηρεσιών παραγωγής

Ένα πρότυπο που εφαρμόζεται από μία επιχείρηση για να παράγει προϊόντα (όπως καλώδια, ή από μια κατασκευαστική εταιρεία για να κατασκευάσει μια εγκατάσταση), από μόνο του δεν αρκεί για να πείσει τον παραλήπτη του καλωδίου, τον πελάτη, ή το φορέα της εγκατάστασης ότι στην πράξη, δηλαδή κατά την παραγωγή, υπάρχει ακριβής εφαρμογή αυτού. Το τελευταίο αποτελεί το αντικείμενο των προτύπων διασφάλισης ποιότητας (Quality Assurance). Αυτά ήταν μέχρι το 2000 τα εξής:

ISO 9001: Για διασφάλιση ποιότητας σχεδιασμού/ ανάπτυξης, παραγωγής εγκατάστασης και υπηρεσιών υποστήριξης (εδώ εμπíπτουν τα γραφεία μελετών και συμβούλων).

ISO 9002: Για διασφάλιση ποιότητας παραγωγής και εγκατάστασης προϊόντων (όπως για παράδειγμα τηλεοράσεων, κατασκευής Η/Μ ενεργειακών έργων).

Από το 2000 αντικαταστάθηκαν και τα δύο από το πρότυπο ISO 9001:2000. Αυτό το Διεθνές Πρότυπο καθορίζει τις απαιτήσεις για ένα σύστημα διαχείρισης της ποιότητας στις περιπτώσεις όπου ένας οργανισμός

- a. χρειάζεται να αποδείξει την ικανότητα του να παρέχει με συνέπεια προϊόν το οποίο ικανοποιεί τις απαιτήσεις των πελατών, καθώς επίσης και τις εφαρμόσιμες κανονιστικές απαιτήσεις και
- b. σκοπεύει να αυξήσει την ικανοποίηση των πελατών μέσω της αποτελεσματικής εφαρμογής του συστήματος, συμπεριλαμβάνοντας διεργασίες για τη διαρκή βελτίωση του συστήματος και για τη διασφάλιση της συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις των πελατών, καθώς επίσης και με τις εφαρμόσιμες κανονιστικές απαιτήσεις.

Αυτό το πρότυπο προσδιορίζει δηλαδή την οργάνωση, τις διαδικασίες και τους πόρους για την παραγωγή συγκεκριμένων προϊόντων και υπηρεσιών. Στόχος είναι να μπορεί ο παραλήπτης του προϊόντος να μάθει επ' ακριβώς τι έγινε στην επιχείρηση που παρήγαγε το προϊόν. Δηλαδή ποιος παρέλαβε τις πρώτες ύλες, σε ποιον τις χρέωσε για να τις κατεργασθεί, τι ελέγχους πέρασε το προϊόν, σε ποιες μηχανές επεξεργάστηκε.

Τόσο τα μελετητικά γραφεία όσο και οι τεχνικές εταιρίες ανάληψης δημόσιων έργων και πολύ περισσότερο οι βιομηχανίες παραγωγής εξοπλισμού, είναι

υποχρεωμένα να έχουν πιστοποιητικό διασφάλισης ποιότητας ISO 9001:2000. Φορείς έκδοσης των πιστοποιητικών είναι οι φορείς τυποποίησης ή ισοδύναμοι των ΕΛΟΤ, VDE, UKAS και άλλων αντίστοιχων.

Παράρτημα III















Πιστοποίηση, μετρήσεις ή έλεγχος εξοπλισμού

Ο εξοπλισμός που πρόκειται να διατεθεί στο εμπόριο από ένα απλό καλώδιο μέχρι ένα πολύπλοκο μηχάνημα, πρέπει τουλάχιστον δειγματοληπτικά να εξετασθεί, να μετρηθεί, για να διαπιστωθεί αν πληροί τα τεχνικά πρότυπα. Η πιστοποίηση γίνεται από φορείς που διαθέτουν τα κατάλληλα όργανα, υλικοτεχνική υποδομή και επιστημονική αρμοδιότητα. Οι φορείς αυτοί, εργαστήρια συνήθως, διαπιστεύονταν παλαιά σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα EN 45011, EN 45001. Από το 2000 αυτά αντικαταστάθηκαν από το Πρότυπο EN ISO/IEC 17025. Η πιστοποίηση γίνεται πάλι από φορείς τυποποίησης ΕΛΟΤ, VDE, TÜV, Lloyds. Η πιστοποίηση αφορά στην καταλληλότητα της οργάνωσης και των πόρων του εργαστηρίου για να κάνει τις μετρήσεις. Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις πρέπει να είναι διακριβωμένα, δηλαδή να είναι γνωστή η ακρίβειά τους. Σύμφωνα με τα παραπάνω πρότυπα, τα όργανα μέτρησης πρέπει λοιπόν να συνοδεύονται από πιστοποιητικά διακρίβωσης. Τα πιστοποιητικά διακρίβωσης τα εκδίδουν αναγνωρισμένα εργαστήρια προτύπων μετρήσεων διαπιστευμένα κατά EN ISO/IEC 17025. Αυτά τα πιστοποιητικά περιέχουν μεταξύ άλλων και τη χρονική ισχύ (για παράδειγμα μπορεί αυτή να περιορίζεται στα δύο χρόνια).

Οι φορείς που διαθέτουν εργαστήρια που είναι διαπιστευμένα μπορούν να εξουσιοδοτηθούν, να δίνουν σήματα ποιότητας CE, VDE, κλπ. Τα σήματα αυτά αναγράφονται πάνω στη συσκευή και φαίνονται στον Πίνακα 3.4.

	Ελλάς	ΕΛΟΤ
	Αυστρία	Österreichischer Elektrotechnischer Verein
	Γερμανία	Verband Deutscher Elektrotechniker
	Δανία	DEMKO: Danmarks Elektriske Materielkontrol
	Ελβετία	SEV: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein

Πίνακας 3.4: Σήματα ποιότητας επάνω σε συσκευές. Τα σήματα δείχνουν ότι οι συσκευές είναι κατασκευασμένες σύμφωνα με τις εθνικές προδιαγραφές και επιτρέπεται η χρήση τους στην αντίστοιχη χώρα.

 UL RU	ΗΠΑ	UL: Underwriter's Laboratories
	Καναδάς	CSA: Canadian Standards Association
	Ολλανδία	CEMA N.V.: tot keuring van Elektrotechnische Materialen
	Νορβηγία	NEMKO: Norges Elektriske Materielkontrol
	Σουηδία	SEMKO: Svenska Elektriska Materiel - Kontroll - Anstalten
	Φινλανδία	Elektrical Inspectorate
	Ευρωπαϊκή Ένωση	Ευρωπαϊκή Επιτροπή
TÜV	Γερμανία	Technischer Überwachtungs Verein
	Γαλλία	Norm Francaise
	Αγγλία	British Standards
	Ουγγαρία	–
	Λουξεμβούργο	–
	Ιρλανδία	–
	Πορτογαλία	–
	Ισπανία	–

Πίνακας 3.4: (συνέχεια) Σήματα ποιότητας επάνω σε συσκευές. Τα σήματα δείχνουν ότι οι συσκευές είναι κατασκευασμένες σύμφωνα με τις εθνικές προδιαγραφές και επιτρέπεται η χρήση τους στην αντίστοιχη χώρα.

Βιβλιογραφία

- [1] Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις καταναλωτών : σύμφωνα με το νέο κανονισμό ΕΛΟΤ ΗΔ 384, Πέτρος Ντοκόπουλος, Αθήνα: Εκδόσεις Ζήτη, c2005
- [2] Ηλεκτρικά Εργατικά Ατυχήματα κατά την παραγωγή, μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, Παρασκευή Ε. Μπατρά , Διδακτορική Διατριβή – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2000
- [3] Electrical Safety Hazards Handbook,
http://www.lanl.gov/safety/electrical/docs/arc_flash_safety.pdf
- [4] Handbook of electrical hazards and accidents, Leslie A. Geddes and Rebecca A. Roeder, USA: Lawyers & Judges Publishing Company, Inc, 2005
- [5] Electrical Safety Handbook, John Cadick, New York: McGraw-Hill, c1994
- [6] Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις, Gunter G. Seip, Μετάφραση : Γιώργος Γρ. Σαρρής, Θεσσαλονίκη : Τζιόλα, c2004
- [7] Βιομηχανική Ασφάλεια, Φώτης Ρήγας, Αθήνα: Παπασωτηρίου, 2005
- [8] Κίνδυνοι από το ηλεκτρικό ρεύμα, Χρήστος Χατζηιωάννου, ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε. Παράρτημα Θεσσαλονίκης
- [9] Ασφαλείς Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις, Χαράλαμπος Κουτρούλης Τεχνική Υπηρεσία Τ.Ε.Ι. Κρήτης
- [10] Ασφάλεια και Προστασία Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων, η επίδραση του ελέγχου των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων στα ηλεκτρικά ατυχήματα, Χαράλαμπος Κουτρούλης, Τεχνική Υπηρεσία Τ.Ε.Ι. Κρήτης
- [11] Safety at work, John Ridley and John Channing, Oxford: Butterworth Heinemann, 2004
- [12] Safety and Health for engineers, Roger L. Brauer, New York: John Wiley & Sons, Inc, 2006

- [13] Υγιεινή και ασφάλεια της εργασίας, Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας Εργασίας,
- [14] The handbook of health and safety practice, Jeremy Stranks, Harlow, UK: Pearson-Prentice Hill, 2005.
- [15] Υγιεινή και Ασφάλεια στον εργασιακό χώρο, Ζαχαρίας Α. Τσαρακλής, Αθήνα: Ελληνικά Γράμματα, 2002
- [16] Ασφάλεια Εργαζομένων: οδηγός τεχνικού ασφαλείας, Π. Ανδρεάδης, Γ. Παπαιωάννου, Αθήνα: Εκδόσεις Ιων, 2004
- [17] Occupational electrical injuries in the U.S. , 1992 – 1998, and recommendation for safety research, James C. Cawley, Gerald T. Homce, National Institute for Occupational Safety and Health, Pittsburgh
- [18] Trends in Electrical Injury in the U.S., 1992 – 2002, James C. Cawley and Gerald T. Homce.
- [19] The Causes of Electrical Fatalities at Work, Ann Williamson and Anne – Marie Feyer, 1998
- [20] In – Depth accident analysis of electrical fatalities in the construction industry, Chia – Fen Chi, Chong – Cheng Yang, Zheng – Lun Chen, Department of industrial management, National Taiwan University, 2007
- [21] Contact with overhead power lines, how can we prevent this? , D. Raw Crow, 2009
- [22] Crane accidents by contact with powerlines, Joseph – Jean Paques, Health and Safety Research Institute, 1992
- [23] Occupational fatalities due to electrocutions in the construction industry, Christopher A. Janicak, Indian Univesity of Pennsylvania, 2008
- [24] Understanding NFPA 70E Electrical Safety Requirements, Dennis K. Neitzel, 2010
- [25] Appendix of NFPA 70E Electrical Safety Requirements
- [26] Electrical Safety for Employee Workplace in Europe and in the USA, Guiseppe Parise, Peter E. Sutherland and William J. Moylan, 2005

- [27] Refocusing Electrical Safety, Danny Liggett, Senior Member, IEEE, 2006
- [28] How do the NEC and IEC 60364 help provide electrical safety? , George D. Gregory, Joseph H. Kusca, Giuseppe Parise, 2000
- [29] Identifying electrical safety needs, implementing improvement and measuring results, Joseph J. Andrews, Stephen W. Kilpatrick and John H. McAlhane, Westinghouse Savannah River Company, 1997
- [30] Creating a Continuous Improvement Environment for Electrical Safety, Bruce C. Cole, Richard L. Doughty, H. Landis Floyd, Ray A. Jones, Charles D. Whelan, 1994
- [31] Electrical Safety by design, Dallep Mohla, L.Bruce McClung, N.R Rafferty, IEEE, 1999
- [32] Comparing safety analysis techniques, J. L. Rouvroye, E. G. van den Blik, Department of Technology Management, Eindhoven University, The Netherlands, 2002
- [33] Reducing the flash hazards, Timothy B. Dugan, 2007
- [34] Electrical safety, arc flash hazards and the standards, J. Swencki, James E. Smith, David D. Roybal, David B. Burns, Gary E. Wetzel, Dallep C. Mohla, IEEE, 2005
- [35] Arc flash hazards reduction : learning from the IEEE petroleum and chemical industry committee, H. Landis Floyd II, 2007
- [36] Electrical safety in hazardous environment, C. Grantham, Department of electrical power engineering, University of new south Wales, Australia 2003
- [37] Electrostatic hazards in the process industries, I. D. Pavey, Chilworth Technology, Southampton, UK, 2004
- [38] Reducing non – contact electric arc injuries : an investigation of behavioral and organizational issues, Kathleen Kowalski – Trakofler, Edward Barrett, 2007
- [39] A complete electrical hazards classification system and its application, Lloyd B. Gordon, Laura Cartelli, Las Alamos, USA

- [40] Effective implementation of electrical safety regulation and standards, Shahid Jamil, H. Landis Floyd, David A. Pace, 1997
- [41] Designing for Electrical Safety that can withstand Legal Scrutiny, Michael S. Morse, University of San Diego, Department of Electrical Engineering, 2009
- [42] Results of formal benchmarking electrical safety, L. Bruce McClung, Union Carbide Corporation, South Charleston, USA, 2001
- [43] Electrical Design – Refined for Safety, Ben McClung, Bruce McClung, Daleep Mohla, Charleston, USA, 2005
- [44] A Proposal for Harmonizing Global Electrical Safety Standards, Robert E. Nabours, Giuseppe Parise, 2006
- [45] www.iec.gr
- [46] www.cenelec.be
- [47] www.elot.gr
- [48] www.vde.de
- [49] www.bsi-global.com
- [50] www.ansi.org
- [51] www.iso.org
- [52] www.ieee.org