



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις σε περιοχές που υπάρχει κίνδυνος
έκρηξης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΡΗΣΤΟΣ Χ. ΑΥΛΩΝΙΤΗΣ

Αθήνα, Ιούλιος 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις σε περιοχές που υπάρχει
κίνδυνος έκρηξης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΡΗΣΤΟΣ Χ. ΑΥΛΩΝΙΤΗΣ

Επιβλέπων : ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Γ. ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις σε περιοχές που υπάρχει
κίνδυνος έκρηξης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χρήστος Χ. Αυλωνίτης

Επιβλέπων : ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Γ. ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 2010.

.....
Κ.Γ. ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ν.Ι. ΘΕΟΔΩΡΟΥ

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Μ.Γ. ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2010

.....
ΧΡΗΣΤΟΣ Χ. ΑΥΛΩΝΙΤΗΣ

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

Copyright © Χρήστος Χ. Αυλωνίτης, 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

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη και η εμβάθυνση σε θέματα ηλεκτρικών εγκαταστάσεων σε περιοχές όπου υπάρχει ο κίνδυνος έκρηξης. Στην εισαγωγή που αποτελεί το πρώτο κεφάλαιο, εξετάζονται γενικές έννοιες για τις εκρηκτικές ατμόσφαιρες όπως οι έννοιες της ανάφλεξης, της έκρηξης, παραδείγματα πηγών ανάφλεξης και χώροι στους οποίους υπάρχει κίνδυνος έκρηξης. Στο δεύτερο κεφάλαιο μελετώνται οι τύποι προστασίας συσκευών που χρησιμοποιούνται σε εκρηκτικές ατμόσφαιρες. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην ταξινόμηση των επικίνδυνων χώρων σε ζώνες επικινδυνότητας. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια συνολική αποτίμηση στις λεπτομέρειες ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων σε επικίνδυνους χώρους, και τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο εξετάζεται η οδηγία ATEX.

Λέξεις κλειδιά

Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, επικίνδυνες περιοχές, έκρηξη.

Abstract

The subject of this diploma thesis is the study of electrical installations in hazardous areas, where there is a risk of explosion. In the introduction, which is the first chapter, general concepts of explosive atmospheres such as the concept of combustion, explosion, examples of sources of combustion, and typical places where there is a risk of explosion, are being examined. In the second chapter several types of protection of electrical appliances for explosives atmospheres are being considered. In the third chapter the classification of hazardous areas is being mentioned. In the fourth chapter there is an overall assessment of electrical installation in hazardous areas with explosive gas atmospheres. Finally, in the fifth chapter the ATEX directive is examined.

Key words

Electrical installations, hazardous areas, explosion.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Καθηγητές κ. Π. Δ. Μπούρκα και κ. Κ.Γ. Καραγιαννόπουλο για την καθοδήγηση, τις χρήσιμες υποδείξεις, και την πολύτιμη βοήθεια.

Περιεχόμενα

1.Εισαγωγή	11
1.1 Παραδείγματα βιομηχανικών ατυχημάτων	11
1.2 Καύση-έκρηξη βασικές έννοιες	12
1.3 Ορισμοί	13
1.4 Πηγές ανάφλεξης	13
1.5 Όρια εκρηκτικότητας	15
1.6 Ομάδες αερίων	15
1.7 Ομάδες συσκευών	16
1.8 Χώροι στους οποίους υπάρχει κίνδυνος έκρηξης	16
2. Τύποι προστασίας ηλεκτρικού εξοπλισμού	19
2.1 Έννοιες και τεχνικές προστασίας από έκρηξη	19
2.1.1 Περιορισμός έκρηξης	19
2.1.2 Περιορισμός πηγής ανάφλεξης	20
2.1.3 Περιορισμός ενέργειας	21
2.2 Τύποι προστασίας σύμφωνα με το πρότυπο IEC	22
2.3 Αντιπυρικό περίβλημα	23
2.4 Αυξημένη ασφάλεια	25
2.5 Εσωτερική ασφάλεια	26
2.5.1 Φραγμοί ζένερ	28
2.5.2 Υποκατηγορίες εσωτερικής ασφάλειας	28
2.6 Εγκιβωτισμός	30
2.7 Μη δημιουργία σπινθήρα	31
2.8 Βύθιση σε λάδι	34
2.9 Περίβλημα υπό πίεση	34
2.10 Πλήρωση με σκόνη	36
3.Ταξινόμηση επικίνδυνων περιοχών	37
3.1 Χαρακτηρισμός της εγκατάστασης σε ζώνες επικινδυνότητας	37
3.2 Προσδιορισμός ζώνης	38
3.3 Βαθμοί απελευθέρωσης εύφλεκτης ουσίας	38
3.4 Έκταση ζώνης	38
3.5 Αερισμός	39
3.5.1 Βαθμός αερισμού	39

3.5.2 Υπολογισμός υποθετικού όγκου V_z	40
3.5.3 Υπολογισμός του χρόνου εμμοής	42
3.5.4 Εκτίμηση του βαθμού αερισμού	42
3.6 Παράδειγμα υπολογισμού βαθμού αερισμού και ζώνης	43
3.6.1 Συμπέρασμα	44
3.7 Σύμβολα ζωνών	45
3.8 Παραδείγματα ταξινόμησης επικίνδυνων περιοχών	45
3.8.1 Παράδειγμα 1	45
3.8.2 Παράδειγμα 2	46
4. Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις σε περιοχές όπου υπάρχει ο κίνδυνος έκρηξης	47
4.1 Γενικές απαιτήσεις	47
4.2 Εγκαταστάσεις σε νοσοκομεία	47
4.3 Τεκμηρίωση	48
4.4 Επιλογή ηλεκτρικών συσκευών	49
4.4.1 Επιλογή σύμφωνα με τις ζώνες	49
4.4.2 Επιλογή σύμφωνα με τη θερμοκρασία ανάφλεξης	50
4.4.3 Εξωτερικές επιδράσεις	52
4.4.4 Φορητές συσκευές	52
4.5 Προστασία από σπινθήρες	52
4.5.1 Προστασία από εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη	52
4.5.2 Συστήματα σύνδεσης γειώσεων	52
4.5.3 Συστήματα χαμηλής τάσης	55
4.5.4 Εξίσωση δυναμικού	56
4.5.5 Καθοδική προστασία	56
4.6 Ηλεκτρική προστασία	56
4.6.1 Διακόπτες έκτακτης ανάγκης	57
4.6.2 Ηλεκτρική απομόνωση	57
4.7 Καλωδίωση	57
4.7.1 Ανοίγματα στους τοίχους	58
4.7.2 Ενώσεις	59
4.7.3 Σωληνώσεις	59
4.8 Επιπλέον απαιτήσεις για τον τύπο προστασίας "αντιπυρικό περίβλημα"	60
4.8.1 Κινητήρες	60
4.8.2 Σύστημα εισόδου καλωδίων	60

4.9 Επιπλέον απαιτήσεις για τον τύπο προστασίας "αυξημένη ασφάλεια"	62
4.9.1 Βαθμός προστασίας	62
4.9.2 Προστασία υπερφόρτωσης σε μηχανές επαγωγής τύπου κλωβού	63
4.9.3 Ηλεκτρικές συσκευές θέρμανσης	63
4.10 Επιπλέον απαιτήσεις για τον τύπο προστασίας "εσωτερική ασφάλεια"	64
4.10.1 Γενικά	64
4.10.2 Ορισμοί	64
4.10.3 Εγκαταστάσεις για τις ζώνες 1 και 2	66
4.10.3.1 Προστασία	66
4.10.3.2 Καλώδια	66
4.10.3.3 Γείωση αγώγιμης θωράκισης	67
4.10.3.4 Σύνδεση οπλισμού καλωδίου	68
4.10.3.5 Εγκατάσταση καλωδίων	69
4.10.3.6 Τερματισμός εσωτερικά ασφαλών κυκλωμάτων	70
4.10.3.7 Γείωση εσωτερικά ασφαλών κυκλωμάτων	72
4.10.3.8 Επαλήθευση εσωτερικά ασφαλών κυκλωμάτων	73
4.10.4 Εγκαταστάσεις για τη ζώνη 0	75
4.11 Επιπλέον απαιτήσεις για τον τύπο προστασίας "περίβλημα υπό πίεση"	76
4.11.1 Ορισμοί	76
4.11.2 Σωληνώσεις	77
4.11.3 Ενέργειες σε περίπτωση αποτυχίας ρύθμισης πίεσης	77
4.11.4 Κάθαρση	79
5. Οδηγίες για εκρηκτικές ατμόσφαιρες	80
5.1 Εισαγωγή	80
5.2 Σήμανση CE	80
5.3 Προειδοποιητικό σήμα	81
5.4 Ομάδες συσκευών	82
5.5 Παραδείγματα σήμανσης	84
Βιβλιογραφία	86

1. Εισαγωγή

Όπου αποθηκεύονται ή υποβάλλονται σε επεξεργασία καύσιμα ή εύφλεκτα υλικά, στις περισσότερες περιπτώσεις, υπάρχει πιθανότητα διαρροής τους με αποτέλεσμα λόγω της παρουσίας οξυγόνου στον αέρα να δημιουργείται μία εκρηκτική ατμόσφαιρα [3].

Αυτό ισχύει για τα αέρια, τους ατμούς, τα σταγονίδια και τις σκόνες όταν σε συνδυασμό με την ευρέως χρησιμοποιούμενη στις βιομηχανίες (και άλλες περιοχές), ηλεκτρική ενέργεια, μπορεί να δημιουργηθούν σπινθήρες ή θερμές επιφάνειες, με αποτέλεσμα την δημιουργία εκρηκτικής ατμόσφαιρας με μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης πυρκαγιάς ή έκρηξης. Δεν υπάρχει τρόπος με τον οποίο να αποτραπούν τελείως οι εκρηκτικές ατμόσφαιρες σε βιομηχανίες, γι' αυτό είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν οι διαδικασίες έτσι ώστε τέτοιες εκρήξεις να είναι σπάνιες.

Γενικά ο σκοπός της τεχνολογίας που συνδέεται με τη χρήση ηλεκτρολογικού εξοπλισμού σε επικίνδυνες ατμόσφαιρες είναι να μειώσει τον κίνδυνο έκρηξης σε ένα αποδεκτό επίπεδο.

1.1 Παραδείγματα βιομηχανικών ατυχημάτων

Ενδεικτικά αναφέρονται ορισμένα βιομηχανικά ατυχήματα μεγάλης έκτασης που είχαμε στην Ελλάδα, χαρακτηριστικότερα των οποίων ήταν [14]:

- Έκρηξη δυναμίτιδας στο πλοίο "Πανορμίτης". Λιμάνι Σούδας (1-10-1979) με αποτέλεσμα 7 νεκρούς και 140 τραυματίες.
- Πυρκαγιά σε εγκαταστάσεις πετρελαιοειδών στην jet Oil στη Θεσσαλονίκη (24-2-1986). Έκαιγε επί 7 ημέρες με τεράστιες ζημιές στις εγκαταστάσεις, γεωργικές καλλιέργειες και στο περιβάλλον.
- Πυρκαγιά σε Motor Ship σε προβλήτα των ΕΛΔΑ (6-7-1989).
- Ανάφλεξη σε μονάδα Φυτοφαρμάκων στα Λιπάσματα Δραπετσώνας με έκλυση ντιμοθοείτ και μεθυλοπαραθειού(16-1-1992).
- Πυρκαγιά στην ΠΕΤΡΟΛΑ . Η ανάφλεξη συνέβη σε αέριο μίγμα ελαφριάς νάφθας προπανίου -βουτανίου (1-9-1992) με 13 νεκρούς και 15 τραυματίες.

- Έκρηξη από φορτηγίδα στις εγκαταστάσεις της ΕΚΟ στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης (23-11-1998) με αποτέλεσμα 4 νεκρούς.

1.2 Καύση-έκρηξη βασικές έννοιες

Για να υπάρξει μια έκρηξη, τρία στοιχεία είναι απαραίτητα:

1. Καύσιμο

Το καύσιμο πρέπει να υπάρχει σε επαρκή ποσότητα και συγκέντρωση. Αυτό μπορεί να είναι εύφλεκτο υγρό, ατμός ή αναφλέξιμη σκόνη.

2. Οξυγόνο

Το οξυγόνο υπάρχει στον ατμοσφαιρικό αέρα σε ποσοστό 21%

3. Πηγή ανάφλεξης

Αυτά φαίνονται στο τρίγωνο της φωτιάς με σκοπό να γίνουν πιο κατανοητές οι συνθήκες δημιουργίας φωτιάς ή έκρηξης. Αν ένα από αυτά τα στοιχεία απουσιάζει ή περιοριστεί αρκετά, τότε δεν μπορεί να υπάρξει έκρηξη. Το οξυγόνο υπάρχει στον αέρα σε μεγάλες ποσότητες και συνήθως δεν μπορεί να αποκλειστεί, οπότε τα δύο στοιχεία που μπορούν να ελεγχθούν είναι το καύσιμο και η πηγή ανάφλεξης.



Σχήμα 1: Το τρίγωνο της φωτιάς [29]

1.3 Ορισμοί

Παρακάτω αναφέρονται ορισμένοι ορισμοί σχετική με τις επικίνδυνες περιοχές:

Καύση είναι η εξώθερμη και αυτοσυντηρούμενη χημική αντίδραση οξείδωσης ενός υλικού.

Φωτιά είναι το φαινόμενο έντονης καύσης ενός υλικού κατά το οποίο η εκλυόμενη θερμότητα/ακτινοβολία είναι εμφανής/άμεσα ορατή με εμφάνιση φλόγας

Ανάφλεξη είναι η έναρξη του φαινομένου της καύσης. Ανάλογα με τις συνθήκες και τη θερμότητα που θα αναπτυχθεί, μπορεί το φαινόμενο να οδηγήσει σε αυτοσυντηρούμενη καύση ή να σβήσει η φωτιά.

Έκρηξη είναι το φαινόμενο της βίαιης εκτόνωσης αερίων ως αποτέλεσμα ξαφνικής απελευθέρωσης εσωτερικής ενέργειας από μία ουσία ή ένα μηχανισμό, που οδηγεί στην ανάπτυξη πολύ υψηλών πιέσεων.

Θερμοκρασία ανάφλεξης της εκρηκτικής ατμόσφαιρας είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία μιας θερμαινόμενης επιφάνειας στην οποία κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, η ανάφλεξη μιας εύφλεκτης ουσίας υπό μορφή αερίου ή μείγματος ατμού με αέρα θα συμβεί.

1.4 Πηγές ανάφλεξης

Οι πηγές ανάφλεξης μπορούν να είναι οποιεσδήποτε από τις ακόλουθες [2]:

- Θερμές επιφάνειες
- Φλόγες
- Ηλεκτρικοί τόξα και σπινθήρες
- Ηλεκτροστατική εκφόρτιση
- Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία
- Ατμοσφαιρική εκφόρτιση (αστραπή)
- Μηχανική τριβή ή σπινθήρες από πρόσκρουση
- Υπέρηχοι
- Αδιαβατική συμπίεση (κρουστικά κύματα)
- Ιοντίζουσα Ακτινοβολία
- Οπτική ακτινοβολία
- Χημικές αντιδράσεις

Όσον αφορά την οπτική ακτινοβολία υπάρχει το σχετικό πρότυπο IEC 60079-28 το οποίο εξηγεί τους πιθανούς κινδύνους από εξοπλισμό που χρησιμοποιεί οπτική ακτινοβολία σε περιοχές όπου υπάρχει κίνδυνος έκρηξης [30]. Παραδείγματα συσκευών με οπτική ακτινοβολία είναι αναγνώστες γραμμικού κώδικα, σαρωτές, συνδέσεις για μεταφορά δεδομένων, δείκτες λέιζερ για συστήματα μετρήσεων, όπως και σε φασματοσκοπικές αναλύσεις χημικών ουσιών και σε συστήματα μέτρησης που χρησιμοποιούν οπτικές ίνες [31]. Ο πιο πιθανός κίνδυνος ανάφλεξης είναι όταν ακτινοβολία πέφτει σε μια απορροφούσα επιφάνεια με αποτέλεσμα τοπική αύξηση θερμοκρασίας. Μια τυπική πειραματική διάταξη ανάφλεξης εκρηκτικού μείγματος λόγω οπτικής ακτινοβολίας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα και αποτελείται από οπτική ίνα επενδυμένη στο ένα άκρο με κατάλληλο απορροφητικό υλικό. Στο τέλος της ίνας υπάρχει δοχείο με εκρηκτικό μείγμα [32].



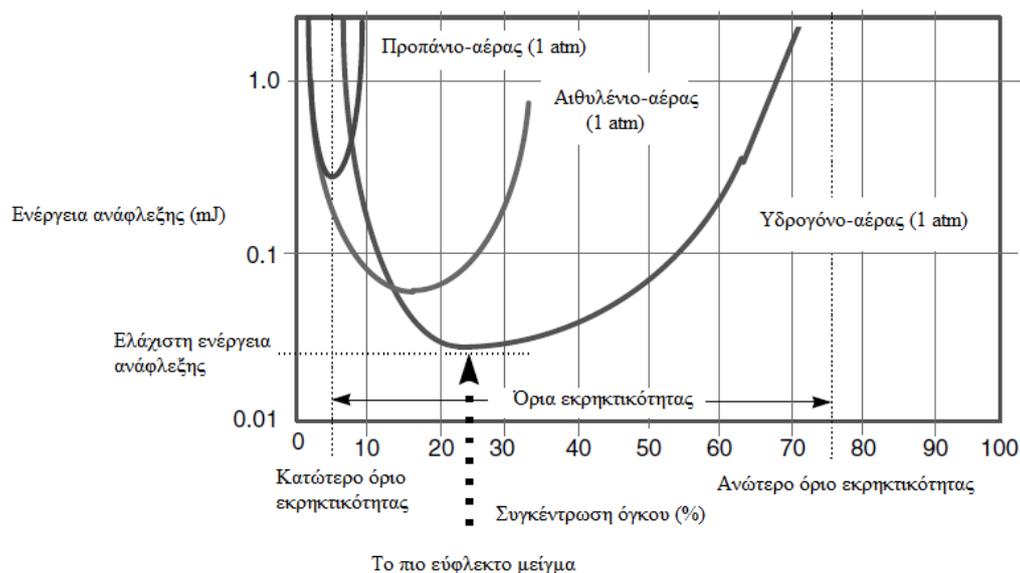
Σχήμα 2: Ανάφλεξη εκρηκτικού μείγματος από οπτική ακτινοβολία [32]

Η πηγή ανάφλεξης λόγω του ηλεκτρικού συστήματος μπορεί να εμφανιστεί με οποιοδήποτε από τους τέσσερις μηχανισμούς:

1. Εκφόρτηση χωρητικών κυκλωμάτων.
2. Διακοπή (άνοιγμα) επαγωγικών κυκλωμάτων.
3. Άνοιγμα ή κλείσιμο ωμικών κυκλωμάτων.
4. Πηγές υψηλής θερμοκρασίας.

1.5 Όρια εκρηκτικότητας

Είναι τα όρια της συγκέντρωσης μέσα στα οποία πρέπει να βρίσκεται το αέριο ή ο ατμός για να γίνει η έκρηξη. Πάνω ή κάτω από αυτά τα όρια υπάρχει έλλειψη οξυγόνου ή έλλειψη καυσίμου για να συντηρηθεί η καύση. Κάτω από το κατώτερο όριο εκρηκτικότητας η συγκέντρωση εύφλεκτου αερίου ή ατμού στον αέρα είναι τέτοια ώστε η ατμόσφαιρα δεν είναι εκρηκτική. Πάνω από το ανώτερο όριο εκρηκτικότητας η συγκέντρωση εύφλεκτου αερίου ή ατμού στον αέρα είναι τέτοια ώστε η ατμόσφαιρα δεν είναι εκρηκτική. Όπως φαίνεται π.χ. στο σχήμα 3 όταν το ποσοστό του υδρογόνου ανά όγκο στο μείγμα υδρογόνου-αέρα είναι μεταξύ 4% και 74 %, στους 21 °C και υπό ατμοσφαιρική πίεση, τότε το μείγμα βρίσκεται εντός των ορίων εκρηκτικότητας και είναι αρκετά εύφλεκτο.



Σχήμα 3: Όρια εκρηκτικότητας [2]

1.6 Ομάδες αερίων

Τα αέρια διακρίνονται στις παρακάτω ομάδες [33]:

Ομάδα I για ορυχεία όπου υπάρχει μεθάνιο, και ομάδα II για αέρια που εμφανίζονται σε χώρους εκτός από ορυχεία. Η ομάδα II υποδιαιρείται περαιτέρω:

IIA, για ατμόσφαιρες που περιέχουν ακετόνη, μεθάνιο, προπάνιο, αμμωνία, αιθυλική αλκοόλη, βενζίνη ή αέρια ή ατμούς ισοδύναμης επικινδυνότητας (όπως π.χ. σε χώρους αποθήκευσης προπανίου ή βενζίνης ως καύσιμα, σε ποτοποιίες όπου χρησιμοποιείται αιθυλική αλκοόλη για την παρασκευή οινοπνευματωδών ποτών, σε βιομηχανίες φωσφορικών λιπασμάτων που υπάρχει αμμωνία [34] κ.α.).

IIB, για ατμόσφαιρες που περιέχουν ακεταλδεύδη, αιθυλένιο ή αέρια ή ατμούς ισοδύναμης επικινδυνότητας (όπως π.χ. σε χημικές βιομηχανίες, στα νοσοκομεία που χρησιμοποιείται το αιθυλένιο ως αναισθητικό (μείγμα 85% αιθυλενίου και 15% οξυγόνου)[34] κ.α.).

IIIC, για ατμόσφαιρες που περιέχουν ακετυλένιο, υδρογόνο ή αέρια ισοδύναμης επικινδυνότητας. (όπως π.χ. σε βιομηχανίες πλαστικών όπου με το βάση ακετυλένιο παρασκευάζονται πολλά πλαστικά, σε πετροχημικές βιομηχανίες, σε εργαστήρια μετάλλων, για κοπές και συγκολλήσεις, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας καύσης του ακετυλενίου, σε βιομηχανίες που χρησιμοποιούν υδρογόνο για την παρασκευή αμμωνίας, μεθανίου, μεθανόλης. [34]κ.α.).

1.7 Ομάδες συσκευών

Με ανάλογο τρόπο κατατάσσονται και οι συσκευές, οι οποίες χωρίζονται σε δύο ομάδες: ομάδα I που περιλαμβάνει τις συσκευές σε ορυχεία, και ομάδα II για τις υπόλοιπες περιοχές. Οι συσκευές της ομάδας II, υποδιαιρούνται περαιτέρω σε 3 ομάδες ανάλογα με τη φύση της εκρηκτικής ατμόσφαιρας για την οποία προορίζονται.

Ομάδα συσκευών	Αντιπροσωπευτικό αέριο
IIA	Προπάνιο
IIB	Αιθυλένιο
IIIC	Υδρογόνο

Πίνακας 1: Ομάδες συσκευών [2]

1.8 Χώροι στους οποίους υπάρχει κίνδυνος έκρηξης

Χημική βιομηχανία

Στη χημική βιομηχανία εύφλεκτα αέρια, υγρά και στερεά υφίστανται μετατροπή και επεξεργασία σε πολλές διαφορετικές διαδικασίες. Κατά τη διάρκεια των διαδικασιών αυτών μπορούν να δημιουργηθούν εκρηκτικά μείγματα.

Βιομηχανίες πετρελαιοειδών και αερίων

Στις βιομηχανίες αυτές υπάρχουν διάφορα κτήρια όπως αντλιοστάσια, δεξαμενές καυσίμου, μονάδες παραγωγής αερίων και καυσίμων, κτήρια αναλύσεων που πρέπει να έχουν αντιεκρηκτικό εξοπλισμό.

Επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Κατά τον τεμαχισμό του μη εκρηκτικού άνθρακα μπορεί κατά τη μεταφορά, άλεση και ξήρανση να δημιουργηθεί σκόνη άνθρακα που ενδέχεται να σχηματίσει εκρηκτικό μείγμα σκόνης αέρα.

Τυπογραφεία, συσκευαστήρια

Σε τέτοιους χώρους χρησιμοποιούνται μελάνια και πτητικά διαλυτικά. Επίσης, οι κατασκευαστές δοχείων, κιβωτίων, χαρτονιών και άλλων μέσων συσκευασίας χρησιμοποιούν επικίνδυνα υλικά για εκτύπωση.

Βιομηχανίες μετάλλων

Στη βιομηχανία μετάλλου [13] συνήθως δεν υπάρχουν πολλά εύφλεκτα υλικά, τουλάχιστον ως πρώτη βασική ύλη. Υπάρχουν βέβαια περιπτώσεις όπου γίνεται χρήση εύφλεκτων ως βοηθητικά στοιχεία όπως οι εγκαταστάσεις φυσικού αερίου για τους καυστήρες φούρνων, και οι φιάλες ασετιλίνης και οξυγόνου για την οξυγονοκόλληση. Τα μηχανήματα και οι διαδικασίες που ενέχουν κινδύνους πυρκαγιάς ή έκρηξης στη βιομηχανία μετάλλου, είναι οι φούρνοι (καυστήρες), οι αεροσυμπιεστές, οι εγκαταστάσεις παροχής καυσίμου (φυσικού αερίου, πετρελαίου), οι ηλεκτροσυγκολλήσεις διαφόρων τύπων και οι οξυγονοκολλήσεις.

Νοσοκομεία

Στα νοσοκομεία [1] ένας κίνδυνος για τον ασθενή, το προσωπικό και τον εξοπλισμό που περιλαμβάνει ολοκληρωμένα κυκλώματα, είναι ο στατικός ηλεκτρισμός που μπορεί να δημιουργηθεί στους χώρους νάρκωσης και στα χειρουργεία. Το ηλεκτροστατικό πεδίο στους χώρους αυτούς προέρχεται από την παραγωγή ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων, λόγω διεργασιών φόρτισης (τριβή, κόψιμο τεμαχίων, κ.λ.π.) και ηλεκτροστατικών φορτίσεων υπό την επίδραση ηλεκτρικών πεδίων. Οι ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις, υπό μορφή σπινθήρα (ηλεκτρικό τόξο) ή όχι, που είναι δυνατό να εκδηλωθούν στο παραπάνω ηλεκτροστατικό πεδίο, μπορεί να

προκαλέσουν ανωμαλίες λειτουργίας ή βλάβες σε κυκλώματα ηλεκτρονικών συσκευών, καθώς και έκρηξη ή ανάφλεξη, όταν συνυπάρχουν με εύφλεκτα μείγματα αερίων που χρησιμοποιούνται στους χώρους αυτούς.

Εργοστάσια επεξεργασίας λυμάτων

Σε χώρους επεξεργασίας όπου μπορεί να εμφανιστούν μεγάλες συγκεντρώσεις μεθανίου και όξινων αερίων.

Αποστακτήρια και ποτοποιίες

Σε όλους τους χώρους που μπορεί να εμφανιστούν μεγάλες συγκεντρώσεις ατμών αλκοόλης.

Αποθήκες πυρομαχικών - εργοστάσια

Σε όλους τους χώρους που αποθηκεύονται ή παράγονται πυρομαχικά.

Αποθήκες καυσίμων και εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού

Σε τέτοιους χώρους υπάρχουν ιδιαίτερα πτητικά καύσιμα, όπως στα υπόστεγα αεροσκαφών, στους χώρους αποθήκευσης καυσίμων αεροσκαφών, στους χώρους ανεφοδιασμού σε φυσικό αέριο (π.χ. για λεωφορεία) κ.λ.π.

Γεωργικές εφαρμογές

Σε χώρους όπως τα σιλό σιτηρών, αποθήκες, μύλοι κ.λ.π. μπορεί να εμφανιστούν εκρηκτικές συγκεντρώσεις σκόνης.

Βαφεία

Σε χώρους όπου μπορεί να εμφανιστούν εκρηκτικές συγκεντρώσεις ατμών εξαιτίας διαφόρων διαδικασιών βαφής.

Βιομηχανία υαλονημάτων

Κατά την διαδικασία παραγωγής χρησιμοποιούνται πτητικά διαλυτικά.

Επαγγελματικά μαγειρεία

Σε ξενοδοχεία ή εστιατόρια που χρησιμοποιούν για το μαγείρεμα υγραέριο ή φυσικό αέριο.

Πλοία

Στα πλοία μεταφοράς πετρελαίου, χημικών και σιτηρών.

2. Τύποι προστασίας ηλεκτρικού εξοπλισμού

2.1 Έννοιες και τεχνικές προστασίας από έκρηξη

Ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός μπορεί να σχεδιαστεί, να κατασκευαστεί και να λειτουργήσει σε ένα επικίνδυνο περιβάλλον με διάφορους τρόπους χωρίς να προκαλέσει έκρηξη. Σήμερα υπάρχουν 3 τεχνικές προστασίας ηλεκτρικών κυκλωμάτων σε επικίνδυνες περιοχές [2]:

- Περιορισμός έκρηξης
- Περιορισμός πηγής ανάφλεξης
- Περιορισμός ενέργειας

2.1.1 Περιορισμός έκρηξης

Στη τεχνική αυτή επιτρέπεται η συνύπαρξη και των τριών στοιχείων του τριγώνου της φωτιάς δηλαδή καύσιμο, οξυγόνο και πηγή ανάφλεξης. Αυτό σημαίνει ότι είναι δυνατόν να υπάρξει έκρηξη, ωστόσο αυτή περιορίζεται από ένα αρκετά στιβαρό περίβλημα ώστε να αντέξει την έκρηξη. Όλες οι ενώσεις του περιβλήματος σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε η φωτιά, οι σπινθήρες και τα ζεστά αέρια που προκύπτουν, να ψύχονται πριν φθάσουν στην εξωτερική ατμόσφαιρα. Επιπροσθέτως, οι θερμοκρασίες των εξωτερικών επιφανειών θα πρέπει να διατηρούνται σε τιμή χαμηλότερη από την θερμοκρασία ανάφλεξης του αερίου που θα βρίσκεται στο χώρο.

Η τεχνολογία αυτή παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα. Εφόσον το περίβλημα πρέπει να αντέχει την έκρηξη, πρέπει να είναι ογκώδες, βαρύ και δύσκολο στην εγκατάσταση. Τα καλώδια που εισέρχονται και εξέρχονται από το περίβλημα πρέπει να τοποθετούνται σε ανθεκτικές σωλήνες που απαιτούν ειδικές ενώσεις, μούφες και λοιπό εξοπλισμό σύμφωνα με αυστηρούς κανόνες. Επίσης το όλο σύστημα πρέπει να επιθεωρείται τακτικά για εξασφάλιση της σωστής λειτουργίας του. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν την τεχνική περιορισμού της πηγής ανάφλεξης είναι το περίβλημα υπό πίεση και το αντιτυρικό περίβλημα [2].

Ένα παράδειγμα είναι ένας διακόπτης με αντιτυρικό περίβλημα όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4: Διακόπτης με αντιπυρικό περίβλημα για περιορισμό έκρηξης [2]

2.1.2 Περιορισμός πηγής ανάφλεξης

Η δεύτερη τεχνική προστασίας βασίζεται στην απομόνωση της πηγής ανάφλεξης από το καύσιμο ή αέριο μείγμα. Αν και υπάρχουν πολλές μέθοδοι, η πιο διαδεδομένη είναι η παροχή πίεσης η οποία μειώνει την συγκέντρωση του αερίου μείγματος μέσα στο περίβλημα σε ασφαλή επίπεδα. Διατηρώντας υψηλή πίεση εντός του περιβλήματος κάθε ηλεκτρική συσκευή που υπάρχει μέσα απομονώνεται από την εξωτερική ατμόσφαιρα. Άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούν την τεχνική περιορισμού της πηγής ανάφλεξης είναι η βύθιση σε λάδι, εγκιβωτισμός, γέμισμα με άμμο, σκόνη ή αδρανές αέριο[2].

Ένα παράδειγμα είναι ένας πίνακας ελέγχου με περίβλημα υπό πίεση όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 5: Πίνακας ελέγχου με περίβλημα υπό πίεση για περιορισμό πηγής ανάφλεξης[2]

2.1.3 Περιορισμός ενέργειας

Αυτή η τεχνική προστασίας επιτρέπει στην πηγή ενέργειας να υπάρχει μέσα σε ένα μείγμα αέρα, αλλά σύμφωνα με τα όρια σχεδίασης, η ποσότητα της ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας που μπορεί να απελευθερωθεί, είναι σε επίπεδα που δεν μπορεί να προκαλέσει ανάφλεξη. Οι πιο ευρέως διαδεδομένες μέθοδοι που χρησιμοποιούν αυτή τη τεχνική είναι η μη δημιουργία σπινθήρα και η εσωτερική ασφάλεια[2].

Ένα παράδειγμα είναι ένα φωτιστικό φθορισμού που δεν δημιουργεί σπινθήρες όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 6: Φωτιστικό φθορισμού που με περιορισμό ενέργειας δεν δημιουργεί σπινθήρες [2]

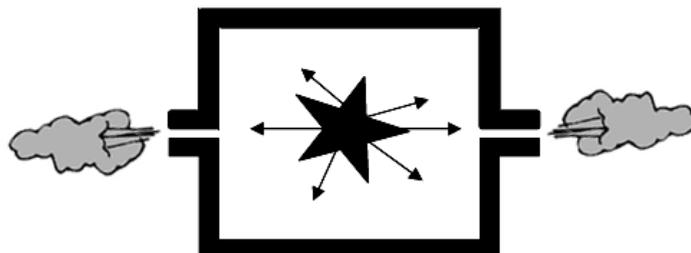
2.2 Τύποι προστασίας σύμφωνα με το πρότυπο IEC

Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται οι τύποι προστασίας σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60079.

Τύπος προστασίας σύμφωνα με το πρότυπο IEC	Μέθοδος	Εφαρμογές
Flameproof enclosure 'd' IEC 60079-1	Αντιπυρικό περίβλημα	Εξοπλισμός μεταγωγής, εργαλεία ελέγχου, συστήματα ελέγχου, κινητήρες, μετασχηματιστές, εξοπλισμός θέρμανσης, φωτιστικά
Increased safety 'e' IEC 60079-7	Αυξημένη ασφάλεια	Κουτιά διακλάδωσης, κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα, φωτιστικά
Intrinsic safety 'i' IEC 60079-11	Εσωτερική ασφάλεια	Μετρήσεις και έλεγχος, τεχνολογία επικοινωνιών, αισθητήρες, ενεργοποιητές
Encapsulation 'm' IEC 60079-18	Εγκιβωτισμός	Εξοπλισμός μεταγωγής με μικρή ικανότητα, μονάδες ελέγχου και σηματοδότησης, μονάδες απεικόνισης, αισθητήρες, ηλεκτρονικές πλακέτες
Protection 'n' IEC 60079-15	Μη δημιουργία σπινθήρα	Όλες οι ηλεκτρικές συσκευές για τη ζώνη επικινδυνότητας 2
Oil-immersion 'o' IEC 60079-6	Βύθιση σε λάδι	Μετασχηματιστές, αντιστάσεις εκκίνησης
Pressurized enclosures 'p' IEC 60079-3	Περίβλημα υπό πίεση	Εξοπλισμός μεταγωγής, πίνακες ελέγχου, αναλυτές, μεγάλοι κινητήρες
Powder filling 'q' IEC 60079-5	Πλήρωση με σκόνη	Αισθητήρες, μονάδες απεικόνισης, ηλεκτρονικά στραγγαλιστικά πηνία και εκπομποί [35]

Πίνακας 2: Εφαρμογές τύπων προστασίας [2]

2.3 Αντιπυρικό περίβλημα



Σχήμα 7: Σχηματική αναπαράσταση αντιπυρικού περιβλήματος [36]

Το αντιπυρικό περίβλημα [7] είναι τύπος προστασίας στον οποίο τα μέρη τα οποία μπορούν να προκαλέσουν ανάφλεξη τοποθετούνται σε ένα περίβλημα το οποίο μπορεί να αντέξει την πίεση από την έκρηξη που μπορεί να συμβεί μέσα σε αυτό και ταυτόχρονα να αποτρέψει την μετάδοση της έκρηξης στην εκρηκτική ατμόσφαιρα που το περικλείει.



Σχήμα 8: Προβολέας με αντιπυρικό περίβλημα [18]

Μία συσκευή με αντιπυρικό περίβλημα μπορεί να έχει ενσωματωμένη ή ξεχωριστή μια συσκευή αναπνοής ώστε να επιτρέπεται η ανταλλαγή ανάμεσα στην ατμόσφαιρα εντός του περιβλήματος και στην ατμόσφαιρα εκτός του περιβλήματος. Επίσης μπορεί να διαθέτει συσκευή αποστράγγισης η οποία επιτρέπει την απομάκρυνση νερού υπό μορφή συμπυκνωμάτων μέσα από το περίβλημα. Υπάρχουν επίσης άδεια αντιπυρικά περιβλήματα, στα οποία τοποθετούνται άλλες συσκευές.



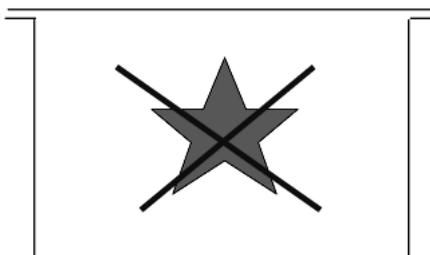
Σχήμα 9: Άδεια αντιπυρικά περιβλήματα [18]

Χαρακτηριστικό στοιχείο των αντιπυρικών περιβλημάτων είναι οι αντιπυρικές ενώσεις. Μία αντιπυρική ένωση ορίζεται ως η περιοχή όπου τα δύο μέρη του περιβλήματος ή ο συνδυασμός των περιβλημάτων ενώνονται, για να εμποδιστεί η μετάδοση της έκρηξης από το εσωτερικό του περιβλήματος στην εκρηκτική ατμόσφαιρα γύρω από το περίβλημα [7]. Οι αντιπυρικές ενώσεις που είτε είναι μόνιμα κλειστές είτε ανοίγουν κατά καιρούς, θα πρέπει να είναι κατασκευασμένες να αντέχουν τη μηχανική καταπόνηση της εσωτερικής έκρηξης. Επίσης πρέπει να είναι προστατευμένες από τη διάβρωση [7]. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ενώσεων για αντιπυρικά περιβλήματα, όπως ενώσεις με φλάντζα, με σπείρωμα και με τάπα.



Σχήμα 10: 3 τύποι ενώσεων (φλάντζα, με σπείρωμα, τάπα) [18]

2.4 Αυξημένη ασφάλεια



Σχήμα 11: Σχηματική αναπαράσταση αυξημένης ασφάλειας [36]

Η αυξημένη ασφάλεια [10] είναι τύπος προστασίας στον οποίο γίνονται επιπλέον μετρήσεις έτσι ώστε να αποτραπεί με μεγάλο βαθμό ασφάλειας η πιθανότητα δημιουργίας υπερβολικών θερμοκρασιών σπινθήρων ή τόξων υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας ή σε βλάβη. Εφαρμόζεται σε τάσεις τροφοδοσίας που δεν ξεπερνάνε τα 11 kV r.m.s. εναλλασσόμενη ή συνεχή τάση.

Η αυξημένη ασφάλεια επιτυγχάνεται με την μείωση των ρευμάτων και την ενίσχυση των τιμών μόνωσης και αποστάσεων επιφανειακής εκφόρτισης και διακένων πάνω από αυτές που ισχύουν για κανονική λειτουργία. Απόσταση επιφανειακής εκφόρτισης είναι η συντομότερη απόσταση κατά μήκος της επιφάνειας ενός μονωμένου υλικού ανάμεσα σε δύο αγωγία μέρη και διάκενο είναι η συντομότερη απόσταση στον αέρα ανάμεσα σε δύο αγωγία μέρη.

Σε αυτό το τύπο προστασίας δεν επιτρέπονται διακόπτες ή διακοπτικοί μηχανισμοί με αποτέλεσμα να μην δημιουργούνται σπινθήρες [2]. Επίσης οι αγωγοί που διαρρέονται με ρεύμα γίνονται μεγαλύτεροι σε μέγεθος (μεγαλύτερη διατομή) για καλύτερη απαγωγή θερμότητας ώστε να μην υπάρχει αύξηση της θερμοκρασίας. Σε αυτό το τύπο προστασίας εφαρμόζονται οι παρακάτω αρχές:

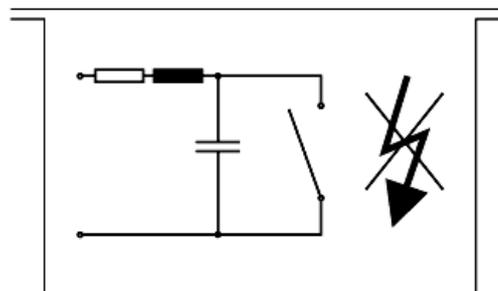
- Τα περιβλήματα κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε η είσοδος υγρασίας και ακαθαρσιών σε επικίνδυνες ποσότητες να αποφεύγεται και έχουν τέτοια μηχανική αντοχή ώστε να αντέξουν τις σκληρές συνθήκες σε ένα εργοστάσιο.
- Εσωτερικά οι αποστάσεις επιφανειακής εκφόρτισης και τα διάκενα είναι διαστασιολογημένα με τέτοιο τρόπο ώστε να μην συμβαίνουν σφάλματα.

- Οι ακροδέκτες σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην είναι δυνατή η χαλάρωση των καλωδίων που είναι συνδεδεμένα σε αυτούς (βλ. σχήμα 8).
- Η διαστασιολόγηση των συσκευών είναι τέτοια ώστε να μην επιτρέπουν υψηλές θερμοκρασίες μέσα ή έξω από αυτές.



Σχήμα 12: Είδη τερματισμού ακροδεκτών σφηνωτού και βιδωτού τύπου [18]

2.5 Εσωτερική ασφάλεια



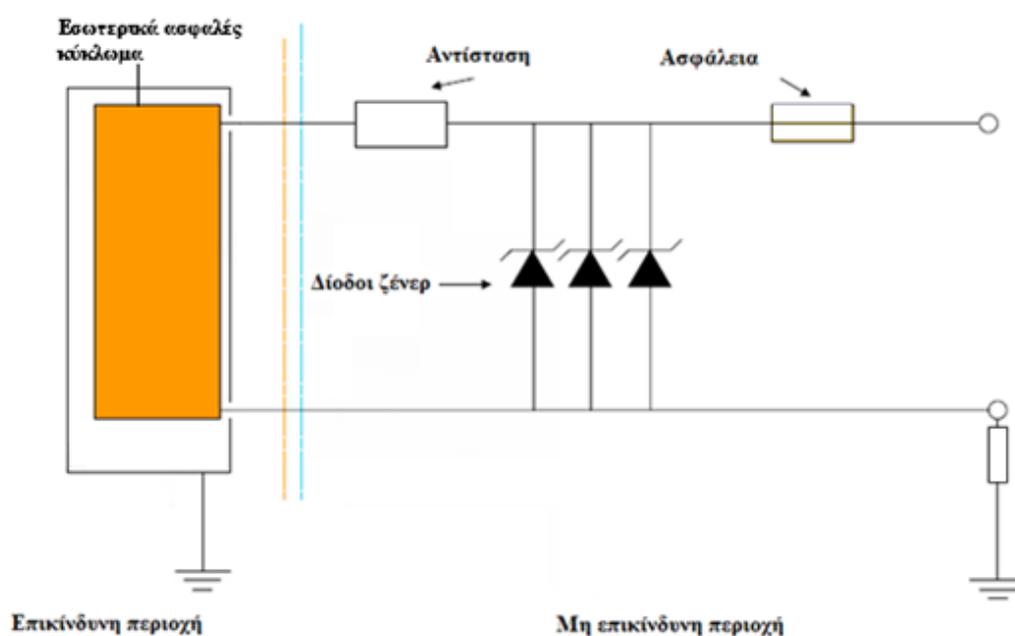
Σχήμα 13: Σχηματική αναπαράσταση τεχνικής εσωτερικής ασφάλειας [36]

Η εσωτερική ή εγγενής ή φυσική ασφάλεια, είναι τύπος προστασίας ο οποίος βασίζεται στον περιορισμό της ηλεκτρικής ενέργειας εντός της συσκευής σε επίπεδο κάτω από το οποίο θα μπορούσε να προκαλέσει ανάφλεξη είτε λόγω σπινθήρα είτε λόγω υψηλής θερμοκρασίας [4].

Η εσωτερική ασφάλεια είναι μοναδικός μεταξύ των τύπων προστασίας στον τρόπο λειτουργίας του. Οι άλλοι τύποι στηρίζονται στην αποφυγή παραγωγής

2.5.1 Φραγμοί ζένερ

Σκοπός της χρήσης τους είναι η αποφυγή τυχόν υπερεντάσεων ή υπερτάσεων από πηγές τροφοδοσίας που βρίσκονται στην αίθουσα ελέγχου. Ο φραγμός Zener περιορίζει το ρεύμα και την τάση στα επιθυμητά επίπεδα γι' αυτό χρησιμοποιείται σε περιβάλλοντα εκρηκτικού κινδύνου. Σε περίπτωση σφάλματος, ενεργοποιείται μία ενσωματωμένη ασφάλεια και διακόπτει τη σύνδεση.



Σχήμα 15: Κύκλωμα με διόδους ζένερ [18]

2.5.2 Υποκατηγορίες εσωτερικής ασφάλειας

Ο τύπος προστασίας έχει δύο υποκατηγορίες, τις ia και ib ο ορισμός [6] των οποίων είναι ο εξής:

Κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες τροφοδοσίας, τα εσωτερικά ασφαλή κυκλώματα της ηλεκτρικής συσκευής κατηγορίας ia δεν θα πρέπει να προκαλούν ανάφλεξη σε κάθε μία από τις παρακάτω καταστάσεις.

1. Κατά τη κανονική λειτουργία και με την εφαρμογή εκείνων των μη μετρήσιμων σφαλμάτων από τα οποία προκύπτει η πιο δυσμενής συνθήκη φόρτισης

2. Κατά τη κανονική λειτουργία και με την εφαρμογή ενός μετρήσιμου σφάλματος και εκείνων των μη μετρήσιμων σφαλμάτων από τα οποία προκύπτει η πιο δυσμενής συνθήκη φόρτισης
3. Κατά τη κανονική λειτουργία και με την εφαρμογή δύο μετρήσιμων σφαλμάτων και εκείνων των μη μετρήσιμων σφαλμάτων από τα οποία προκύπτει η πιο δυσμενής συνθήκη φόρτισης

Κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες τροφοδοσίας, τα εσωτερικά ασφαλή κυκλώματα της ηλεκτρικής συσκευής κατηγορίας Ib δεν θα πρέπει να προκαλούν ανάφλεξη σε κάθε μία από τις παρακάτω καταστάσεις.

1. Κατά τη κανονική λειτουργία και με την εφαρμογή εκείνων των μη μετρήσιμων σφαλμάτων από τα οποία προκύπτει η πιο δυσμενής συνθήκη φόρτισης
2. Κατά τη κανονική λειτουργία και με την εφαρμογή ενός μετρήσιμου σφάλματος και εκείνων των μη μετρήσιμων σφαλμάτων από τα οποία προκύπτει η πιο δυσμενής συνθήκη φόρτισης

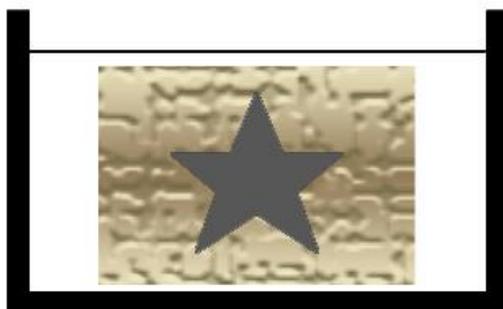
Μετρήσιμο [6] ορίζεται το σφάλμα που συμβαίνει στα μέρη της ηλεκτρικής συσκευής που συμμορφώνονται στις κατασκευαστικές απαιτήσεις του πρότυπου IEC 60079-11. Όταν το εξάρτημα λειτουργεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πρότυπου δηλαδή να μην λειτουργεί σε τιμές μεγαλύτερες από τα $2/3$ του μέγιστου ρεύματος, μέγιστης τάσης και μέγιστης ισχύς, (εξαιρουμένων των μετασχηματιστών των ασφαλειών και των ηλεκτρονόμων που πρέπει να λειτουργούν στις ονομαστικές τιμές για να λειτουργούν σωστά), τότε το σφάλμα σε αυτό το εξάρτημα θεωρείται μετρήσιμο. Για παράδειγμα το σφάλμα ενός εξαρτήματος π.χ. ημιαγωγού που λειτουργεί σύμφωνα με τις παραπάνω απαιτήσεις και στο οποίο τα διάκενα και οι αποστάσεις δεν είναι καθορισμένα, θεωρείται μετρήσιμο σφάλμα.

Μη μετρήσιμο ορίζεται το σφάλμα που συμβαίνει στα μέρη της ηλεκτρικής συσκευής που δεν συμμορφώνονται στις κατασκευαστικές απαιτήσεις του πρότυπου IEC 60079-11. Όταν το εξάρτημα δεν λειτουργεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πρότυπου δηλαδή λειτουργεί σε τιμές μεγαλύτερες από τα $2/3$ του μέγιστου ρεύματος, μέγιστης τάσης και μέγιστης ισχύς, (εξαιρουμένων των μετασχηματιστών των ασφαλειών και των ηλεκτρονόμων που πρέπει να λειτουργούν στις ονομαστικές τιμές για να λειτουργούν σωστά), τότε το σφάλμα σε αυτό το εξάρτημα θεωρείται μη μετρήσιμο. Αν ο τύπος προστασίας εξαρτάται από τις διαχωριστικές αποστάσεις των

αγώγιμων μερών τότε μη μετρήσιμο σφάλμα θεωρείται ένα βραχυκύκλωμα μεταξύ αγώγιμων μερών των οποίων οι διαχωριστικές αποστάσεις είναι μικρότερες από το ένα τρίτο των τιμών που ορίζει το πρότυπο IEC 60079-11.

Ένα εσωτερικά ασφαλές κύκλωμα είναι το κύκλωμα στο οποίο κάθε σπινθήρας ή κάθε θερμική επίδραση που παράγονται υπό συγκεκριμένες συνθήκες που ορίζει το πρότυπο IEC 60079-11, κατά τη κανονική λειτουργία ή υπό συγκεκριμένες συνθήκες βλάβης, δεν είναι ικανό να προκαλέσει ανάφλεξη μιας δεδομένης εκρηκτικής ατμόσφαιρας [6].

2.6 Εγκιβωτισμός



Σχήμα 16: Σχηματική αναπαράσταση τεχνικής εγκιβωτισμού [36]

Ο εγκιβωτισμός είναι τύπος προστασίας ηλεκτρικών εξαρτημάτων όπου αυτά τοποθετούνται σε περίβλημα με ρητίνη ώστε η εκρηκτική ατμόσφαιρα να μην μπορεί να αναφλεγεί κατά τη διάρκεια της λειτουργίας λόγω σπινθήρα ή υπερθέρμανσης.

Είναι ένας τύπος προστασίας ο οποίος χρησιμοποιεί στερεά. Ο εγκιβωτισμός χρησιμοποιείται για να εμποδίσει τα εύφλεκτα αέρια να φθάσουν την πηγή ανάφλεξης που βρίσκεται μέσα στο περίβλημα. Το πρότυπο IEC 60079-18 επιτρέπει τη χρήση διαφόρων στερεών μιγμάτων σε αντίθεση με τη μέθοδο προστασίας "βύθιση σε λάδι" η οποία χρησιμοποιεί υγρά [2]. Ένα παράδειγμα συσκευής που χρησιμοποιεί την τεχνική του εγκιβωτισμού είναι οι παρακάτω αισθητήρες:



Σχήμα 17: Αισθητήρες που χρησιμοποιούν τεχνική εγκιβωτισμού [40]

2.7 Μη δημιουργία σπινθήρα

Η μη δημιουργία σπινθήρα είναι τύπος προστασίας ηλεκτρικής συσκευής ώστε υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας ή σε βλάβη, να μην είναι δυνατή η ανάφλεξη της εκρηκτικής ατμόσφαιρας που το περικλείει [8]. Για αυτό το τύπο δεν υπάρχει σχηματική αναπαράσταση διότι χρησιμοποιεί διάφορες τεχνικές.

Αυτός ο τύπος προστασίας έχει εφαρμογή σε ηλεκτρικές συσκευές που δεν παράγουν σπινθήρες και επίσης σε ηλεκτρικές συσκευές με μέρη ή κυκλώματα που παράγουν σπινθήρες ή έχουν ζεστές επιφάνειες οι οποίες αν δεν προστατευόντουσαν με αυτό το τύπο προστασίας θα ήταν ικανές να αναφλέξουν μια εκρηκτική ατμόσφαιρα. Αυτός ο τύπος προστασίας διαιρείται στους παρακάτω υποτύπους:

- **Συσκευή 'nA'**

Είναι συσκευή η οποία ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο δημιουργίας σπινθήρων ή τόξων ικανών να αναφλέξουν μια εκρηκτική ατμόσφαιρα υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Ένα παράδειγμα συσκευής 'nA' είναι ο παρακάτω φωτοηλεκτρικός αισθητήρας (εκπομπός και δέκτης):



Σχήμα 18: Φωτοηλεκτρικός αισθητήρας 'nA' (εκπομπός και δέκτης) [38]

- **Συσκευές 'nC'**

Υπάρχουν οι παρακάτω τύποι συσκευών 'nC'

- **Εγκιβωτισμένη συσκευή 'nC'**

Είναι συσκευή η οποία μπορεί να περιέχει ή να μην περιέχει κενά, η οποία είναι έτσι κατασκευασμένη όπου βυθίζεται σε ένα μίγμα έτσι ώστε να απομονωθεί και να εμποδιστεί η επαφή με την εξωτερική ατμόσφαιρα.

- **Εγκιβωτισμένος διακόπτης 'nC'**

Είναι συσκευή η οποία ενσωματώνει ηλεκτρικές επαφές, και που αντέχει μία έκρηξη ενός εύφλεκτου αερίου ή ατμού στο εσωτερικό του το οποίο έχει εισέλθει εντός της συσκευής. Επιπλέον δεν μεταδίδει αυτή την έκρηξη στο εύφλεκτο αέριο ή ατμό εκτός περιβλήματος.

- **Ερμητικά σφραγισμένη συσκευή 'nC'**

Αυτή η συσκευή είναι κατασκευασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να μην μπορεί να ανοιχτεί κατά τη κανονική λειτουργία, και σφραγίζεται κατάλληλα ώστε να εμποδίζει την εξωτερική ατμόσφαιρα να εισέλθει στο εσωτερικό της [8]. Η σφράγιση της γίνεται με συγκόλληση, για παράδειγμα μπρουτζοκόλληση, κασσιτεροκόλληση, ηλεκτροσυγκόλληση ή συγκόλληση γυαλιού με μέταλλο.

- **Μη εμπρηστικός 'nC'**

Εξάρτημα που έχει επαφές αλλά δεν είναι ικανό να προκαλέσει ανάφλεξη της εκρηκτικής ατμόσφαιρας

- **Σφραγισμένη συσκευή 'nC'**

Αυτή η συσκευή είναι κατασκευασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να μην μπορεί να ανοιχτεί κατά τη κανονική λειτουργία, και σφραγίζεται κατάλληλα ώστε να εμποδίζει την εξωτερική ατμόσφαιρα να εισέλθει στο εσωτερικό της [8].

- **Συσκευή περιορισμένης ενέργειας 'nL'**

Είναι ηλεκτρική συσκευή της οποίας τα κυκλώματα και τα εξαρτήματα είναι κατασκευασμένα σύμφωνα με την έννοια του περιορισμού της ενέργειας (βλ. παρ. 2.1.3) [8]. Ένα παράδειγμα είναι ο παρακάτω αισθητήρας θερμοκρασίας:



Σχήμα 19: Αισθητήρας θερμοκρασίας περιορισμένης ενέργειας 'nL' [37]

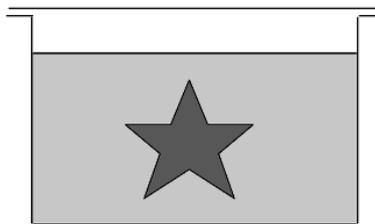
- **Συσκευή απαγορευμένης αναπνοής 'nR'**

Είναι συσκευή με περίβλημα σχεδιασμένο να εμποδίζει την είσοδο αερίων, ατμών και σκόνης. Ένα παράδειγμα είναι το παρακάτω φωτιστικό σώμα:



Σχήμα 20: Φωτιστικό σώμα απαγορευμένης αναπνοής 'nR' [39]

2.8 Βύθιση σε λάδι

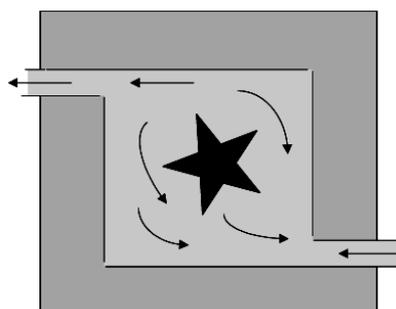


Σχήμα 21: Σχηματική αναπαράσταση βύθισης σε λάδι [36].

Η βύθιση σε λάδι είναι τύπος προστασίας όπου η ηλεκτρική συσκευή ή μέρη αυτής βυθίζονται σε προστατευτικό υγρό (ορυκτέλαιο) με τέτοιο τρόπο ώστε η εκρηκτική ατμόσφαιρα που μπορεί να υπάρχει πάνω από το υγρό ή έξω από το περίβλημα να μην μπορεί να αναφλεγεί [12].

Μερικά ορυκτέλαια που χρησιμοποιούνται σε διακοπτικούς μηχανισμούς παράγουν ασετιλίνη και υδρογόνο όταν συμβαίνει το τόξο [18]. Εξ αιτίας αυτού του κινδύνου με τη βύθιση σε λάδι, η εφαρμογή αυτού του τύπου προστασίας στις επικίνδυνες περιοχές έχει γενικά περιοριστεί. Στα πετροχημικά εργοστάσια υπάρχουν πολύ λίγα παραδείγματα συσκευών που χρησιμοποιούν αυτό το τύπο προστασίας, παρά το γεγονός ότι το πρότυπο επιτρέπει τη χρήση τους στις ζώνες επικινδυνότητας 1 και 2. Παράδειγμα συσκευών που χρησιμοποιούν αυτή τη τεχνική είναι μετασχηματιστές και αντιστάσεις εκκίνησης.

2.9 Περίβλημα υπό πίεση



Σχήμα 22: Σχηματική αναπαράσταση περιβλήματος υπό πίεση [36]

Το περίβλημα υπό πίεση είναι τύπος προστασίας στον οποίο [9]:

1. Εντός του περιβλήματος διατηρείται προστατευτικό αέριο σε πίεση υψηλότερη από αυτή της ατμόσφαιρας για την αποτροπή σχηματισμού εκρηκτικής ατμόσφαιρας εντός αυτού, το οποίο (περίβλημα) δεν περιέχει καμία εσωτερική πηγή απελευθέρωσης εύφλεκτου αερίου ή ατμού,
2. προστατευτικό αέριο παρέχεται σε επαρκή ποσότητα έτσι ώστε η συγκέντρωση μείγματος που προκύπτει γύρω από τα ηλεκτρικά μέρη της συσκευής να διατηρείται σε τιμή εκτός των ορίων εκρηκτικότητας. Το προστατευτικό αέριο παρέχεται στο περίβλημα το οποίο περιέχει μία ή περισσότερες πηγές απελευθέρωσης για την αποτροπή σχηματισμού εκρηκτικής ατμόσφαιρας

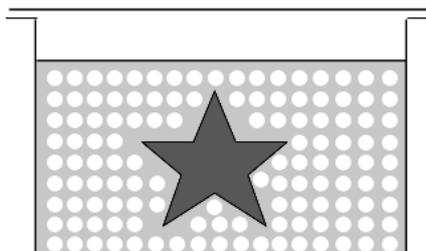


Σχήμα 23: Κινητήρας με τύπο προστασίας px [41]

Αυτός ο τύπος προστασίας υποδιαιρείται σε 3 τύπους (px, py, pz) Οι οποίοι επιλέγονται ανάλογα με την εξωτερική εκρηκτική ατμόσφαιρα (ομάδα I, ζώνη 1, ή ζώνη 2), ανάλογα με το αν υπάρχει ενδεχόμενο εσωτερικής απελευθέρωσης εύφλεκτου αερίου, και με το αν η συσκευή που υπάρχει μέσα στο περίβλημα υπό πίεση είναι ικανή να προκαλέσει ανάφλεξη.

Η θερμοκρασία του προστατευτικού αερίου δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τους 40°C στο εσωτερικό του περιβλήματος. Σε ειδικές περιπτώσεις επιτρέπεται υψηλότερη θερμοκρασία η οποία πρέπει να αναγράφεται.

2.10 Πλήρωση με σκόνη



Σχήμα 24: Σχηματική αναπαράσταση πλήρωσης με σκόνη [36]

Η πλήρωση με σκόνη είναι τύπος προστασίας στον οποίο τα μέρη τα οποία είναι ικανά να αναφλέξουν μία εκρηκτική ατμόσφαιρα τοποθετούνται μέσα σε σκόνη για αποφυγή της έκρηξης [11].

Αυτός ο τύπος προστασίας μπορεί να μην εμποδίζει την εκρηκτική ατμόσφαιρα να εισέλθει στη συσκευή και στα εξαρτήματα, με αποτέλεσμα να υπάρξει ανάφλεξη. Όμως επειδή τα κενά μέσα στο υλικό γέμισης είναι πολύ μικρά η φωτιά σβήνει και η έκρηξη της εξωτερικής ατμόσφαιρας εμποδίζεται. Τα εξαρτήματα αυτά γεμίζονται με χαλαζία ή με κόκκους γυαλιού με τέτοιο τρόπο ώστε να μην αφήνουν κενά. Κατόπιν κλείνονται στο εργοστάσιο ώστε να μην είναι δυνατό το άνοιγμά τους.

Αυτή η τεχνική σπάνια χρησιμοποιείται μόνη της και συνήθως συνδυάζεται με άλλες τεχνικές προστασίας. Παραδείγματα συσκευών που χρησιμοποιούν αυτή τη τεχνική είναι αισθητήρες, μονάδες απεικόνισης, ηλεκτρονικά στραγγαλιστικά πηνία φωτιστικών φθορισμού και εκπομποί [35]. Τα τηλέφωνα που χρησιμοποιούνταν παλιότερα σε ορυχεία, χρησιμοποιούσαν αυτή τη τεχνική και είχαν ακροδέκτες και εξαρτήματα τα οποία ήταν τοποθετημένα σε χώρους γεμάτους με χαλαζία [2].

3. Ταξινόμηση επικίνδυνων περιοχών

Ταξινόμηση περιοχής είναι η μέθοδος ανάλυσης και ταξινόμησης χώρων όπου μπορεί να υπάρξουν εκρηκτικές ατμόσφαιρες έτσι ώστε να διευκολυνθεί η κατάλληλη επιλογή ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και εγκατάστασή του, ώστε να υπάρχει ασφάλεια [5].

3.1 Χαρακτηρισμός της εγκατάστασης σε ζώνες επικινδυνότητας

Οι επικίνδυνες περιοχές έχουν ταξινομηθεί σε ζώνες βάσει της συχνότητας της εμφάνισης και της διάρκειας της εκρηκτικής ατμόσφαιρας. Για περιοχές όπου υπάρχουν αέρια, ατμοί και σταγονίδια, οι ζώνες επικινδυνότητας είναι τρεις. **Η ζώνη 0, η ζώνη 1 και η ζώνη 2.** Ως ζώνη 0 ορίζεται ο χώρος στον οποίο υπάρχει μόνιμα, ή για μεγάλα χρονικά διαστήματα ή συχνά, εκρηκτική ατμόσφαιρα αποτελούμενη από μείγμα με αέρα εύφλεκτων ουσιών υπό μορφή αερίων ατμού ή συγκέντρωσης σταγονιδίων. Ως ζώνη 1 ορίζεται ο χώρος στον οποίο είναι δυνατόν να δημιουργηθεί περιστασιακά κατά τη συνήθη λειτουργία, εκρηκτική ατμόσφαιρα αποτελούμενη από μείγμα με αέρα εύφλεκτων ουσιών υπό μορφή αερίων, ατμού ή σταγονιδίων. Τέλος ως ζώνη 2 ορίζεται ο χώρος στον οποίο δεν θεωρείται δυνατόν να δημιουργηθεί κατά τη συνήθη λειτουργία, εκρηκτική ατμόσφαιρα αποτελούμενη από μείγμα με αέρα εύφλεκτων ουσιών υπό μορφή αερίων, ατμού ή συγκέντρωσης σταγονιδίων αλλά εάν δημιουργηθεί, θα διαρκέσει μόνον για μικρό χρονικό διάστημα [5].

Για περιοχές όπου υπάρχουν σκόνης, οι ζώνες επικινδυνότητας είναι επίσης τρεις. **Η ζώνη 20, η ζώνη 21 και η ζώνη 22.** Ως ζώνη 20 ορίζεται ο χώρος στον οποίο υπάρχει μόνιμα, ή για μεγάλα χρονικά διαστήματα ή συχνά, εκρηκτική ατμόσφαιρα υπό μορφή νέφους εύφλεκτης σκόνης στον αέρα. Ως ζώνη 21 ορίζεται ο χώρος στον οποίο είναι δυνατόν να δημιουργηθεί περιστασιακά κατά τη συνήθη λειτουργία εκρηκτική ατμόσφαιρα υπό μορφή νέφους εύφλεκτης σκόνης στον αέρα. Τέλος ως ζώνη 22 ορίζεται ο χώρος στον οποίο δεν θεωρείται δυνατόν να δημιουργηθεί κατά τη συνήθη λειτουργία εκρηκτική ατμόσφαιρα υπό μορφή νέφους εύφλεκτης σκόνης στον αέρα αλλά, εάν δημιουργηθεί, θα διαρκέσει μόνον για μικρό χρονικό διάστημα.

Σκοπός είναι η ελαχιστοποίηση του αριθμού και του εύρους των ζωνών 0 και 1 σε ζώνη 2 ή όχι επικίνδυνες. Το αντίστοιχο ισχύει και για τις σκόνης. Επίσης όπου η

παρουσία της εύφλεκτης ουσίας είναι αναπόφευκτη, τα εξαρτήματα πρέπει να περιορίζονται σε αυτά που δίνουν δευτερεύον βαθμό απελευθέρωσης.

3.2 Προσδιορισμός ζώνης

Η πιθανότητα παρουσίας εκρηκτικής ατμόσφαιρας αποτελούμενη από μείγμα με αέρα εύφλεκτων ουσιών υπό μορφή αερίων ατμού ή συγκέντρωσης σταγονιδίων, και συνεπώς ο τύπος της ζώνης εξαρτάται κυρίως από το βαθμό απελευθέρωσης της εύφλεκτης ουσίας και τον αερισμό.

3.3 Βαθμοί απελευθέρωσης εύφλεκτης ουσίας

Υπάρχουν τρεις βαθμοί απελευθέρωσης μιας εύφλεκτης ουσίας:

- Συνεχής, όπου η απελευθέρωση είναι συνεχής ή αναμένεται να συμβεί συχνά ή για μεγάλες περιόδους
- Πρωτεύων, όπου η απελευθέρωση μπορεί να αναμένεται να συμβεί περιοδικά ή περιστασιακά κατά τη κανονική λειτουργία
- Δευτερεύων, όπου η απελευθέρωση δεν αναμένεται να συμβεί κατά τη κανονική λειτουργία και αν συμβεί είναι μόνο σπάνια και για μικρές περιόδους.

Πηγή απελευθέρωσης είναι σημείο ή τοποθεσία, από την οποία εύφλεκτη ουσία υπό μορφή εύφλεκτου αερίου, ατμού, ή υγρού μπορεί να απελευθερωθεί μέσα στο υπό πίεση περίβλημα, έτσι ώστε με την παρουσία του αέρα να δημιουργηθεί εκρηκτική ατμόσφαιρα. Πηγές απελευθέρωσης μπορεί να είναι αντλίες εύφλεκτων υγρών, βαλβίδες πίεσης, βαλβίδες ελέγχου, δοχεία ανάμιξης, διαχωριστές νερού λαδιού, συμπιεστές υδρογόνου, δεξαμενές αποθήκευσης εύφλεκτων υγρών, σταθμοί φόρτωσης καυσίμων κ.λ.π.

Ο ρυθμός απελευθέρωσης εξαρτάται από τη γεωμετρία της πηγής, τη ταχύτητα απελευθέρωσης τη συγκέντρωση, θερμοκρασία υγρού και πτητικότητα.

3.4 Έκταση ζώνης

Έκταση της ζώνης είναι η απόσταση σε κάθε κατεύθυνση από τη πηγή απελευθέρωσης σε σημείο όπου το αέριο ή το μείγμα αέρα έχει αραιωθεί από τον αέρα σε τιμή κάτω του κατώτερου εκρηκτικού ορίου.

3.5 Αερισμός

Τα αέρια ή οι ατμοί που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα μπορούν να αραιωθούν στον αέρα μέσω του αερισμού με σκοπό τη μείωση της συγκέντρωσής τους κάτω από το κατώτερο όριο εκρηκτικότητας. Διάφοροι βαθμοί αερισμού μπορεί να επηρεάσουν τον τύπο της ζώνης. Υπάρχουν δύο τύποι αερισμού:

1. Φυσικός αερισμός
2. Τεχνητός αερισμός

Ο φυσικός αερισμός προκύπτει από την κίνηση του αέρα λόγω ανέμου και\ ή λόγω θερμοκρασιακών διαφορών. Ο τεχνητός αερισμός παρέχεται από τεχνητά μέσα όπως ανεμιστήρες ή εξαεριστήρες. Με τη χρήση τεχνητού αερισμού μπορούμε να επιτύχουμε:

1. Μείωση του τύπου και της έκτασης της ζώνης.
2. Μείωση του χρόνου εμμονής του εκρηκτικού αερίου.
3. Μείωση της πιθανότητας εμφάνισης εκρηκτικής ατμόσφαιρας.

3.5.1 Βαθμός αερισμού

Η αποτελεσματικότητα του αερισμού στο να ελέγξει την αραιώση και την εμμονή της εκρηκτικής ατμόσφαιρας εξαρτάται από το βαθμό και τη διαθεσιμότητα του αερισμού. Υπάρχουν τρεις βαθμοί αερισμού:

1. Υψηλός, όπου είναι ο βαθμός που μπορεί να μειώσει την συγκέντρωση της πηγής απελευθέρωσης στιγμιαία.
2. Μέσος, όπου είναι ο βαθμός που μπορεί να ελέγξει τη συγκέντρωση.
3. Χαμηλός, όπου είναι ο βαθμός που δεν μπορεί να ελέγξει τη συγκέντρωση.

Η διαθεσιμότητα του αερισμού έχει επίδραση στην παρουσία ή στον σχηματισμό της εκρηκτικής ατμόσφαιρας. Υπάρχουν τρία επίπεδα διαθεσιμότητας:

1. Καλή, όπου ο αερισμός υπάρχει συνεχώς.
2. Μέτρια, όπου ο αερισμός αναμένεται να υπάρχει κατά τη κανονική λειτουργία. Διακοπές επιτρέπονται αν συμβαίνουν σπάνια και για μικρά χρονικά διαστήματα.
3. Κακή, όπου ο αερισμός δεν πληροί τις προϋποθέσεις της καλής ή μέτριας διαθεσιμότητας. Διακοπές δεν αναμένεται να συμβαίνουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

3.5.2 Υπολογισμός υποθετικού όγκου V_z

Ο υποθετικός όγκος αναπαριστά τον όγκο στον οποίο η μέση συγκέντρωση του εύφλεκτου αερίου ή ατμού θα είναι 0,25 ή 0,5 φορές το κατώτερο όριο εκρηκτικότητας, ανάλογα με την τιμή του συντελεστή ασφαλείας k . Δηλαδή στα όρια της περιοχής του υποθετικού όγκου η συγκέντρωση του αερίου ή του ατμού θα είναι αρκετά κάτω από το κατώτερο όριο εκρηκτικότητας, δηλαδή ο όγκος όπου η συγκέντρωση είναι πάνω από το κατώτερο όριο εκρηκτικότητας θα είναι μικρότερος από τον υποθετικό όγκο. Για την εύρεση του υποθετικού όγκου πρέπει να καθοριστεί ο ελάχιστος ογκομετρικός ρυθμός ροής φρέσκου αέρα που θα αραιώσει το εύφλεκτο αέριο κάτω από το κατώτερο όριο εκρηκτικότητας. Αυτός ο ρυθμός δίνεται από τον τύπο:

$$(dV/ dt)_{\min} = \frac{(dG/ dt)_{\max}}{k \times LEL} \times \frac{T}{293} \quad (3.5.2-1)$$

όπου

$(dV/ dt)_{\min}$ είναι ο ελάχιστος ογκομετρικός ρυθμός ροής φρέσκου αέρα (όγκος ανά χρόνο, m^3/s)

$(dG/ dt)_{\max}$ είναι ο ελάχιστος ρυθμός απελευθέρωσης της πηγής (όγκος ανά χρόνο, kg/s)

LEL είναι το κατώτερο όριο εκρηκτικότητας (μάζα ανά όγκο, kg/m^3)

k είναι συντελεστής ασφαλείας που εφαρμόζεται στο κατώτερο όριο εκρηκτικότητας, με τυπικές τιμές $k=0,25$ (για συνεχή και πρωτεύον βαθμό απελευθέρωσης), $k=0,5$ (για δευτερεύων βαθμό απελευθέρωσης)

T θερμοκρασία περιβάλλοντος σε βαθμούς Kelvin

Η σχέση μεταξύ του $(dV/ dt)_{min}$ και του πραγματικού βαθμού αερισμού μέσα στον όγκο που μας ενδιαφέρει (V_o), εκφράζεται ως V_k .

$$V_k = \frac{(dV/ dt)_{min}}{C} \quad (3.5.2-2)$$

Όπου

C είναι ο αριθμός των αλλαγών φρέσκου αέρα ανά μονάδα χρόνου (s^{-1}), και προκύπτει από,

$$C = \frac{dV_o / dt}{V_o} \quad (3.5.2-3)$$

Όπου

dV_o / dt είναι ο ολικός ρυθμός ροής φρέσκου αέρα στον υπό εξέταση όγκο, και

V_o είναι ο ολικός αεριζόμενος όγκος

Η σχέση 3.5.2-2 ισχύει για ιδανικές καταστάσεις (στιγμιαία και ομογενής ανάμιξη στο σημείο απελευθέρωσης), όμως όταν υπάρχουν εμπόδια στη ροή του αέρα η πραγματική αλλαγή αέρα στη πηγή απελευθέρωσης θα είναι χαμηλότερη από αυτή που δίνεται από το C της παραπάνω εξίσωσης, οδηγώντας σε αυξημένο όγκο (V_z). Εισάγοντας τον συντελεστή διόρθωσης f έχουμε:

$$V_z = f \times V_k = \frac{f \times (dV/ dt)_{min}}{C} \quad (3.5.2-4)$$

Όπου

$f=1$ (ιδανική κατάσταση)

$f=5$ (εμποδιζόμενη ροή αέρα)

Σε εξωτερικούς χώρους, ακόμα και χαμηλές ταχύτητες ανέμου δημιουργούν υψηλό αριθμό εναλλαγών αέρα. Σε αυτή τη περίπτωση αέρας με ταχύτητα 0,5 m/s θα παρέχει ρυθμό αλλαγών αέρα περισσότερο από 100/h (0,03/s, αριθμός αλλαγών ανά δευτερόλεπτο) με όγκο $V_o=3400 \text{ m}^3$, οπότε ο υποθετικό όγκος γίνεται:

$$V_z = \frac{f \times (dV/ dt) \text{ min}}{0.03} \quad (3.5.2-5)$$

3.5.3 Υπολογισμός του χρόνου εμμονής

Ο χρόνος που απαιτείται για να μειωθεί μια μέση συγκέντρωση από την αρχική τιμή X_o στο κατώτερο όριο εκρηκτικότητας πολλαπλασιασμένο με τον συντελεστή k , δίνεται από την σχέση:

$$t = \frac{-f}{C} \ln \frac{LEL \times k}{X_o} \quad (3.5.3-1)$$

3.5.4 Εκτίμηση του βαθμού αερισμού

Οι αρχικές εκτιμήσεις θα έδειχναν ότι ένας συνεχής βαθμός απελευθέρωσης οδηγεί σε μια ζώνη 0, ένας πρωτεύον βαθμός στη ζώνη 1 και έναν δευτερεύον βαθμός στη ζώνη 2. Όμως δεν γίνεται πάντα έτσι λόγω της επίδρασης του αερισμού. Σε μερικές περιπτώσεις, ο βαθμός και το επίπεδο διαθεσιμότητας του αερισμού μπορεί να είναι τόσο υψηλοί που στην πράξη δεν υπάρχει καμία επικίνδυνη περιοχή. Εναλλακτικά, ο βαθμός αερισμού μπορεί να είναι τόσο χαμηλός που η προκύπτουσα ζώνη μειώνεται (δηλ. μια επικίνδυνη ζώνη 1 από μια πηγή με δευτερεύον βαθμό απελευθέρωσης). Ο όγκος V_z μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθοριστεί ο βαθμός αερισμού.

Ο βαθμός του αερισμού μπορεί να θεωρηθεί ως υψηλός μόνο όταν η εκτίμηση του κινδύνου δείχνει ότι το εύρος της πιθανής ζημιάς εξαιτίας ξαφνικής αύξησης της θερμοκρασίας και/ή της πίεσης, ως αποτέλεσμα της ανάφλεξης ενός εκρηκτικού αερίου όγκου ίσου με V_z , είναι μηδαμινός. Αυτό συμβαίνει όταν το V_z είναι μικρότερο από $0,1 \text{ m}^3$. Σε αυτή τη περίπτωση ο όγκος της επικίνδυνης περιοχής θεωρείται ίση με το V_z . Ο αερισμός θεωρείται χαμηλός αν το V_z ξεπερνά το V_o . Αν ο αερισμός δεν είναι ούτε υψηλός, ούτε χαμηλός, τότε θεωρείται μέσος. Σε αυτή τη περίπτωση το V_z θα είναι μικρότερο ή ίσο με το V_o .

Η επίδραση του αερισμού στον τύπο της ζώνης φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

		Αερισμός					
Βαθμός απελευθέρωσης	Βαθμός						
	Υψηλός			Μέσος			Χαμηλός
	Διαθεσιμότητα						
	Καλή	Μέτρια	Κακή	Καλή	Μέτρια	Κακή	Καλή, μέτρια ή κακή
Συνεχής	(Ζώνη 0 ΕΕ) μη επικίνδυνη ¹	(Ζώνη 0 ΕΕ) Ζώνη 2 ¹	(Ζώνη 0 ΕΕ) Ζώνη 1 ¹	Ζώνη 0	Ζώνη 0 + Ζώνη 2	Ζώνη 0 + Ζώνη 1	Ζώνη 0
Πρωτεύων	(Ζώνη 1 ΕΕ) μη επικίνδυνη ¹	(Ζώνη 1 ΕΕ) Ζώνη 2 ¹	(Ζώνη 1 ΕΕ) Ζώνη 2 ¹	Ζώνη 1	Ζώνη 1 + Ζώνη 2	Ζώνη 1 + Ζώνη 2	Ζώνη 1 ή Ζώνη 0 ³
Δευτερεύων ²	(Ζώνη 2 ΕΕ) μη επικίνδυνη ¹	(Ζώνη 2 ΕΕ) μη επικίνδυνη ¹	Ζώνη 2	Ζώνη 2	Ζώνη 2	Ζώνη 2	Ζώνη 1 και ακόμη Ζώνη 0 ³

Το σύμβολο + σημαίνει «περιβάλλεται από»

1 Η ζώνη 0 ΕΕ, ζώνη 1 ΕΕ και ζώνη 2 ΕΕ, είναι ελαχίστου εύρους κατά την κανονική λειτουργία και έχουν μόνο θεωρητική σημασία.

2 Η έκταση της ζώνης 2 που προκύπτει από το δευτερεύον βαθμό απελευθέρωσης δηλαδή όπου υπάρχει ζώνη 2 στην τελευταία γραμμή του πίνακα, μπορεί να είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την έκταση της ζώνης 2 που προκύπτει από πρωτεύον ή συνεχή βαθμό απελευθέρωσης. Σε αυτή τη περίπτωση η έκταση της ζώνης 2 λαμβάνεται ίση με την μεγαλύτερη τιμή από αυτές που προκύπτουν για συνεχή, πρωτεύον και δευτερεύον βαθμό απελευθέρωσης.

3 Θα είναι ζώνη 0 αν ο αερισμός είναι ανεπαρκής και η απελευθέρωση τέτοια ώστε στη πραγματικότητα η εκρηκτική ατμόσφαιρα υπάρχει συνεχώς.

Πίνακας 3: Επίδραση του αερισμού στον τύπο της ζώνης

3.6 Παράδειγμα υπολογισμού βαθμού αερισμού και ζώνης

Εύφλεκτο υλικό

προπάνιο

Μοριακή μάζα προπανίου

44,1(kg/kmol)

Πηγή απελευθέρωσης

ακροφύσιο παροχής

Κατώτερο εκρηκτικό όριο	0,039 kg/m ³ (2,1% vol.)
Βαθμός απελευθέρωσης	πρωτεύον
Συντελεστής ασφαλείας, k	0,25
Ρυθμός απελευθέρωσης, (dG/ dt) max	0,005 kg/s

Χαρακτηριστικά αερισμού

Σε εσωτερικό χώρο

Αριθμός αλλαγών αέρα, C:	20/h (5,6*10 ⁻³ /s)
Συντελεστής διόρθωσης, f:	1
Θερμοκρασία περιβάλλοντος, T:	35° C (308 K)
Θερμοκρασιακός συντελεστής, (T/293 K):	1,05
Μέγεθος κτιρίου, V _o :	10 m*15 m*6 m

Ελάχιστος ογκομετρικός ρυθμός ροής φρέσκου αέρα:

$$(dV/ dt)_{\min} = \frac{(dG/ dt)_{\max}}{k \times LEL} \times \frac{T}{293} = \frac{0,005}{0,25 \times 0,039} \times \frac{308}{293} = 0,6 m^3 / s$$

Υπολογισμός υποθετικού όγκου V_z:

$$V_z = \frac{f \times (dV/ dt)_{\min}}{C} = \frac{1 \times 0,6}{5,6 \times 10^{-3}} = 1,1 \times 10^2 m^3$$

Χρόνος εμμονής:

$$t = \frac{-f}{C} \ln \frac{LEL \times k}{X_0} = \frac{-1}{20} \ln \frac{2,1 \times 0,25}{100} = 0,26h$$

3.6.1 Συμπέρασμα

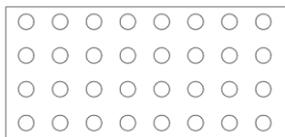
Ο υποθετικός όγκος V_z, δεν είναι αμελητέος αλλά δεν ξεπερνά το V_o.

Ο βαθμός αερισμού θεωρείται μέσος (παρ. 3.5.4, Εκτίμηση του βαθμού εξαερισμού)

σε σχέση με τη πηγή απελευθέρωσης και την περιοχή υπό εξέταση. Από τον πίνακα 3 προκύπτει ζώνη 1 αλλά με χρόνο εμμονής 0,26 h, η έννοια της ζώνης 1 μπορεί να μην είναι σωστή αν η διαδικασία επαναλαμβάνεται συχνά.

3.7 Σύμβολα ζωνών

Τα σύμβολα ζωνών σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60079-10 δίνονται στα παρακάτω σχήματα:



α) Σύμβολο ζώνης 0



β) Σύμβολο ζώνης 1



γ) Σύμβολο ζώνης 2

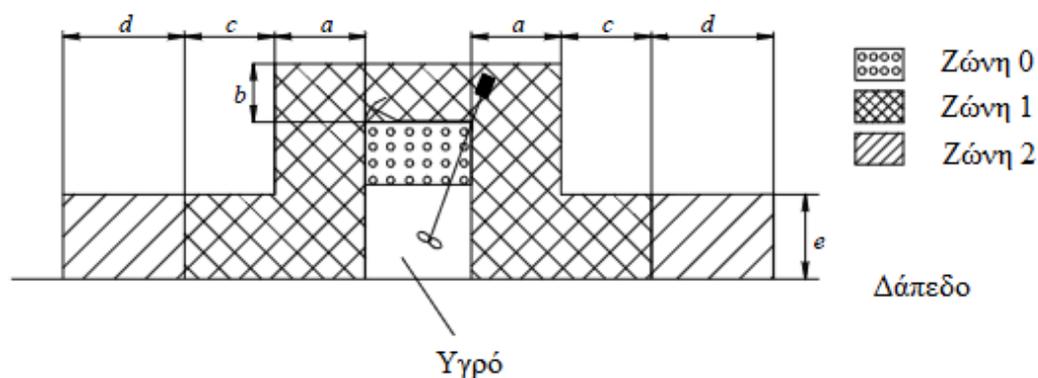
Σχήμα 25: Σύμβολα ζωνών

3.8 Παραδείγματα ταξινόμησης επικίνδυνων περιοχών

Τα παρακάτω παραδείγματα αποτελούν ένα γενικό οδηγό. Παράγοντες όπως η λεπτομερής κατάσταση των υλικών της διαδικασίας, η πίεση, η θερμοκρασία και άλλα κριτήρια, επηρεάζουν την ταξινόμηση περιοχών και πρέπει να εφαρμόζονται κατά περίπτωση.

3.8.1 Παράδειγμα 1

Δοχείο ανάμιξης υγρών σε εσωτερικό χώρο το οποίο χρησιμοποιείται συχνά.



Σχήμα 26: Δοχείο ανάμιξης υγρών

Τυπικές τιμές αποστάσεων

$a=1$ m οριζόντια από την πηγή απελευθέρωσης

$b=1$ m πάνω από την πηγή απελευθέρωσης

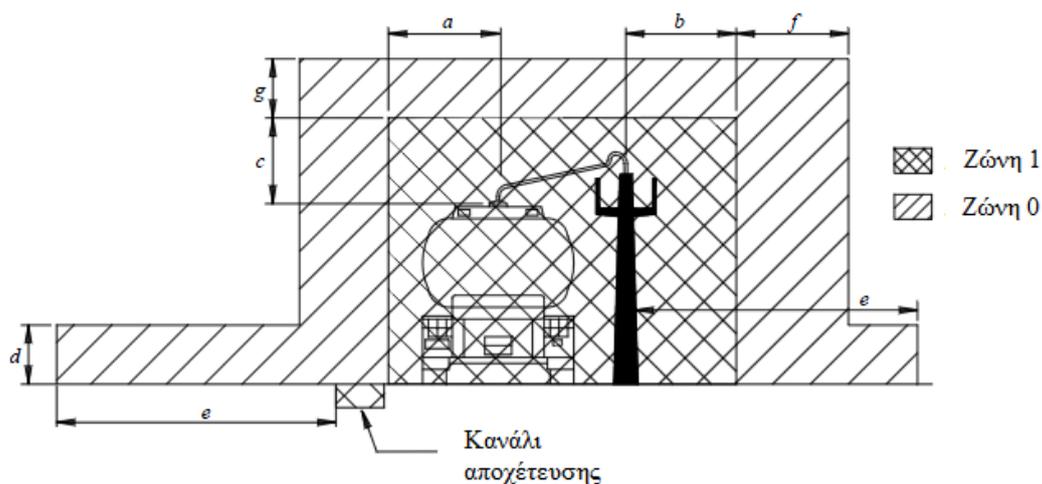
$c=1$ m οριζοντίως

$d=2$ m οριζοντίως

$e=1$ m πάνω από το επίπεδο του εδάφους

3.8.2 Παράδειγμα 2

Εγκατάσταση τροφοδοσίας βενζίνης σε βυτιοφόρο σε εξωτερικό χώρο



Σχήμα 27: Εγκατάσταση τροφοδοσίας βενζίνης

Τυπικές τιμές αποστάσεων

$a=1,5$ m οριζόντια από την πηγή απελευθέρωσης

$b=1,5$ m οριζόντια από την εύκαμπτη άρθρωση

$c=1,5$ m πάνω από την πηγή απελευθέρωσης

$d=1,0$ m πάνω από το επίπεδο του εδάφους

$e=4,5$ m οριζόντια από τη στήλη τροφοδοσίας

$f=1,5$ m οριζόντια από τη ζώνη 1

$g=1,0$ m πάνω από τη ζώνη 1

4. Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις σε περιοχές όπου υπάρχει ο κίνδυνος έκρηξης

Όταν εγκαθίστανται ηλεκτρικές συσκευές σε περιοχές όπου υπάρχουν επικίνδυνες συγκεντρώσεις εύφλεκτων ουσιών υπό μορφή αερίων, ατμού ή σταγονιδίων, πρέπει να λαμβάνονται προστατευτικά μέτρα για να μειώσουν την πιθανότητα έκρηξης εξ' αιτίας ανάφλεξης από τόξα, σπινθήρες ή θερμές επιφάνειες, οι οποίες δημιουργούνται κατά τη φυσιολογική λειτουργία ή από βλάβες.

4.1 Γενικές απαιτήσεις

Οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις στις επικίνδυνες περιοχές πρέπει επίσης να συμμορφώνονται με τις κατάλληλες απαιτήσεις για τις εγκαταστάσεις στις μη επικίνδυνες περιοχές. Εντούτοις οι απαιτήσεις για τις μη επικίνδυνες περιοχές ενδεχομένως να είναι ανεπαρκείς για τις εγκαταστάσεις στις επικίνδυνες περιοχές.

Οι ηλεκτρικές συσκευές και τα υλικά θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μέσα στα όρια των ηλεκτρικών μεγεθών, όπως τάση, ρεύμα, συχνότητα κ.α. για τα οποία είναι κατασκευασμένα. Επίσης τα υλικά που αντικαθίστανται όπως οι λάμπες θα είναι σωστού τύπου και για τα ηλεκτρικά μεγέθη της εγκατάστασης.

Γενικά πρέπει να επιδιώκεται όσο αυτό είναι δυνατόν περισσότερο η τοποθέτηση ηλεκτρολογικού εξοπλισμού σε μη επικίνδυνους χώρους. Όπου δεν είναι δυνατόν αυτό πρέπει να τοποθετούνται στις λιγότερο επικίνδυνες ζώνες. Επίσης ο εξοπλισμός θα πρέπει να εγκαθίσταται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να διευκολύνεται η περιοδική επιθεώρησή του, ο έλεγχος και η συντήρησή του.

4.2 Εγκαταστάσεις σε νοσοκομεία

Στα νοσοκομεία [1] όπου υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας στατικού ηλεκτρισμού στους χώρους νάρκωσης και στα χειρουργεία, χρειάζονται ειδικές εγκαταστάσεις για την εξάλειψη του. Πρόκειται κυρίως για αντιστατικά δάπεδα και ειδικό κλιματισμό. Θα πρέπει επίσης να αποφεύγεται η χρήση υλικών που ευνοούν από τη φύση τους τη δημιουργία ηλεκτροστατικών φορέων. Στα χειρουργεία και γενικά σε χώρους νάρκωσης χρειάζονται επιπλέον αντιακρηκτικού τύπου ηλεκτρικές

εγκαταστάσεις και συσκευές. Η χρησιμοποίηση αντιακρηκτικών διακοπών και ρευματοδοτών γίνεται σε ύψος μέχρι 1,2 m από το δάπεδο. Το τμήμα του χώρου μέχρι ύψος 1,2 m έχει θεωρηθεί για τις αίθουσες χειρουργείων ως επικίνδυνη περιοχή για εκδήλωση ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων (περιοχή έκρηξης). Οι ηλεκτρικές συσκευές στην παραπάνω περιοχή, καθώς και τα ελεύθερα καλώδια παροχής της τάσης προς αυτές, πρέπει να είναι επίσης αντιακρηκτικού τύπου. Για ύψος μεγαλύτερο από 1,2 m από το δάπεδο δεν απαιτείται η παραπάνω αντιακρηκτική προστασία. Στη περιοχή αυτή τα φωτιστικά σώματα, οι διακόπτες των φωτιστικών οι ρευματοδότες, οι ρευματολήπτες και γενικά οι ηλεκτρικές συσκευές διέπονται από τους κανόνες των συνήθων ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Κρίνεται πάντως σκόπιμο να χρησιμοποιούνται διακόπτες και ρευματολήπτες στεγανού τύπου. Ο διαχωρισμός αυτός των εγκαταστάσεων σε αντιακρηκτικού τύπου και μη, ισχύει επίσης για τους χώρους: προνάρκωση και ανάνηψη.

Στην εξάλειψη των ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων συμβάλλουν επίσης:

- Η ανανέωση του αέρα ενός χώρου (απαγωγή εύφλεκτων μειγμάτων).
- Τα αντιστατικά υλικά (βαμβακερά υλικά κλινοστρομής, βαμβακερός ρουχισμός, υποδήματα από αντιστατικά υλικά κ.λ.π.).
- Η γείωση μεταλλικών επιφανειών.
- Η αύξηση της σχετικής υγρασίας (στα χειρουργεία και στη μονάδα εντατικής θεραπείας απαιτείται σχετική υγρασία 50% -60%).

4.3 Τεκμηρίωση

Οι προδιαγραφές που αναφέρονται μέχρι το τέλος του κεφαλαίου ισχύουν για εγκαταστάσεις σε χώρους όπου υπάρχουν μείγματα ατμοσφαιρικού αέρα με αέρια, ατμούς ή συγκέντρωση σταγονιδίων σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60079-14, και στο οποίο εξαιρούνται διάφοροι χώροι, όπως χώρους όπου υπάρχουν σκόνες, ορυχεία, χώροι για ιατρικούς σκοπούς και άλλα. Όλες οι εγκαταστάσεις θα πρέπει να γίνονται σύμφωνα με τους γενικούς κανόνες που αναφέρονται παρακάτω, και τους επιπρόσθετους κανόνες, σύμφωνα με τις επιπλέον απαιτήσεις που ορίζει ο τύπος προστασίας.

Για τη σωστή εγκατάσταση ή επέκταση μιας ηλεκτρολογικής εγκατάστασης σε επικίνδυνη περιοχή [4], και τη διευκόλυνση της επιλογής των κατάλληλων ηλεκτρικών συσκευών, απαιτούνται οι ακόλουθες πληροφορίες, πέρα από αυτές που ισχύουν για τις ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις σε μη επικίνδυνες περιοχές,:

1. Έγγραφα και πληροφορίες για τη σωστή ταξινόμηση της περιοχής, όπως συστάσεις από σχετικά πρότυπα, χαρακτηριστικά αερίων, χαρακτηριστικά αερισμού σε σχέση με το εύφλεκτο αέριο, λίστα με τις τοποθεσίες των πηγών απελευθέρωσης ειδικά σε μεγάλες εγκαταστάσεις, και τοποθεσίες ανοιγμάτων σε κτίρια όπως πόρτες, παράθυρα και σημεία εισόδου και εξόδου του αέρα του αερισμού.
2. Οδηγίες εγκατάστασης και συνδέσεων.
3. Γνώση της διαδικασίας επαλήθευσης των εσωτερικά ασφαλών κυκλωμάτων.
4. Δήλωση συμμόρφωσης κατασκευαστή/αρμόδιου (κυρίως για μη πιστοποιημένο εξοπλισμό).

4.4 Επιλογή ηλεκτρικών συσκευών

Προκειμένου να επιλεγούν οι κατάλληλες ηλεκτρικές συσκευές για τις επικίνδυνες περιοχές, απαιτούνται κυρίως οι ακόλουθες πληροφορίες:

1. Ταξινόμηση της επικίνδυνης περιοχής σε ζώνες.
2. Θερμοκρασιακή κλάση ή θερμοκρασία ανάφλεξης του αερίου ή του ατμού.
3. Εξωτερικές επιδράσεις και θερμοκρασία περιβάλλοντος.

4.4.1 Επιλογή σύμφωνα με τις ζώνες

Παρακάτω φαίνεται σε ποιες ζώνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ηλεκτρικές συσκευές ανάλογα με τον τύπο προστασίας τους. Παρατηρούμε ότι ο τύπος προστασίας Ia μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη ζώνη 0 που είναι η πιο επικίνδυνη. Επίσης ο τύπος προστασίας n μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο στη ζώνη 2 που είναι η λιγότερο επικίνδυνη.

Όνομασία προστασίας	Τύπος προστασίας ηλεκτρικής συσκευής		Ζώνη		
			0	1	2
Αντιτυρικό περίβλημα	d			v	v
Αυξημένη ασφάλεια	e			v	v
Εγγενής ασφάλεια	i	ia	v	v	v
		ib		v	v
Εγκιβωτισμός	m			v	v
Μη δημιουργία σπινθήρα	n				v
Βύθιση σε λάδι	o			v	v
Περίβλημα υπό πίεση	p			v	v
Πλήρωση με σκόνη	q			v	v

Πίνακας 4: Σχέση μεταξύ ζώνης και τύπου προστασίας

4.4.2 Επιλογή σύμφωνα με τη θερμοκρασία ανάφλεξης

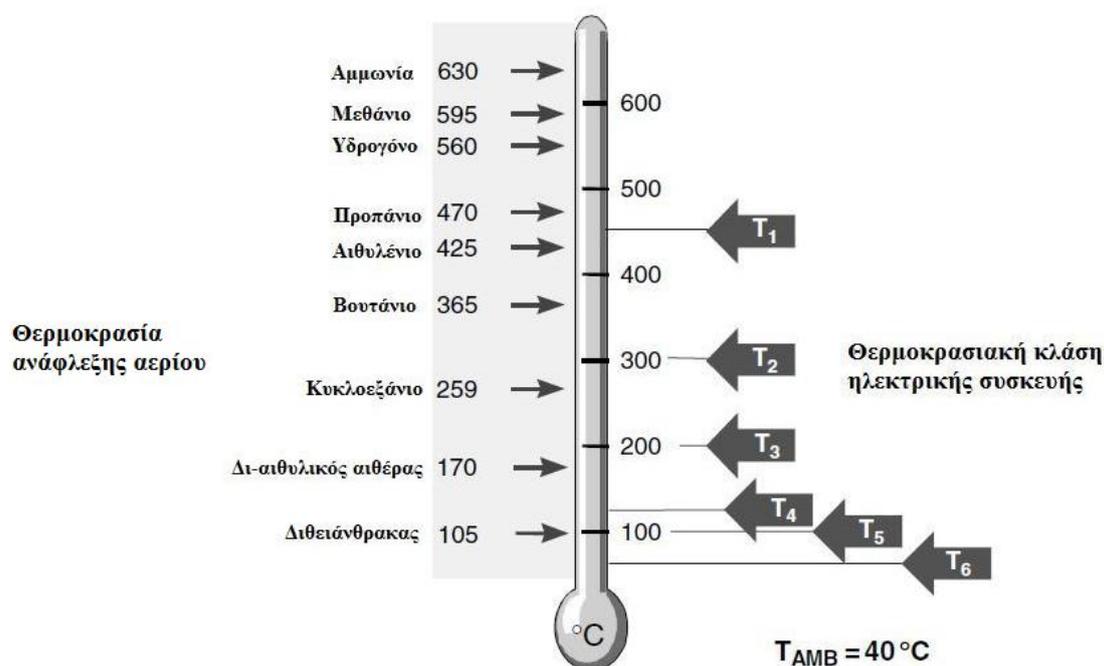
Η επιλογή των ηλεκτρικών συσκευών πρέπει να γίνεται έτσι ώστε η μέγιστη θερμοκρασία της επιφάνειάς τους να μην φθάνει τη θερμοκρασία ανάφλεξης οποιουδήποτε αερίου ή ατμού που μπορεί να βρίσκεται στο χώρο.

Θερμοκρασιακή κλάση της ηλεκτρικής συσκευής	Μέγιστη θερμοκρασία επιφάνειας της ηλεκτρικής συσκευής (°C)	Θερμοκρασία ανάφλεξης αερίου ή υδρατμών(°C)
T1	450	>450
T2	300	>300
T3	200	>200
T4	135	>135
T5	100	>100
T6	85	>85

Πίνακας 5: Σχέση μεταξύ θερμοκρασιακής κλάσης, θερμοκρασίας επιφάνειας και θερμοκρασίας ανάφλεξης

Εάν στη πινακίδα της συσκευής δεν αναγράφεται θερμοκρασία τότε θα χρησιμοποιείται μόνο σε θερμοκρασίες από - 20 °C έως +40 °C.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η θερμοκρασία ανάφλεξης ορισμένων συνηθισμένων αερίων σε σχέση με την θερμοκρασιακή κλάση των ηλεκτρικών συσκευών.



Σχήμα 28: Θερμοκρασία ανάφλεξης αερίων και θερμοκρασιακή κλάση ηλεκτρικών συσκευών

4.4.3 Εξωτερικές επιδράσεις

Η επιλογή και η εγκατάσταση των ηλεκτρικών συσκευών να γίνεται έτσι ώστε να προστατεύονται από τις εξωτερικές επιρροές (π.χ. χημικές, μηχανικές, θερμικές, ηλεκτρικές και υγρασία) που θα μπορούσαν να έχουν επιπτώσεις στην προστασία έναντι των εκρήξεων.

4.4.4 Φορητές συσκευές

Οι φορητές συσκευές πρέπει να χρησιμοποιούνται στις επικίνδυνες περιοχές μόνο όταν είναι απολύτως αναγκαίο. Οι φορητές συσκευές πρέπει να έχουν τύπο προστασίας κατάλληλο για τη ζώνη στην οποία χρησιμοποιούνται. Κατά τη διάρκεια της χρήσης, οι συσκευές δεν πρέπει να μεταφέρονται από μια ζώνη χαμηλότερου κινδύνου σε μια ζώνη του υψηλότερου κινδύνου, εκτός αν η συσκευή έχει τύπο προστασίας για τη ζώνη με τον υψηλότερο κίνδυνο. Οι συνηθισμένες φορητές συσκευές βιομηχανικού τύπου δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε επικίνδυνες περιοχές. Η μόνη χρήση που μπορεί να γίνει είναι όταν στο χώρο δεν υπάρχουν εύφλεκτες ουσίες.

4.5 Προστασία από σπινθήρες

4.5.1 Προστασία από εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη

Βασική αρχή για την προστασία είναι ο περιορισμός της τιμής και της διάρκειας των ρευμάτων από σφάλματα γης σε μεταλλικά πλαίσια ή περιβλήματα και η αποφυγή ανάπτυξης δυναμικού στους ισοδυναμικούς ζυγούς.

4.5.2 Συστήματα σύνδεσης γειώσεων

Γενικά στα συστήματα γειώσεων ακολουθείται ο παρακάτω συμβολισμός:

Για το πρώτο γράμμα που μπορεί να είναι T ή I έχουμε:

- T: άμεση σύνδεση ουδετέρου με τη γη.
- I: όλα τα ενεργά μέρη απομονωμένα από τη γη ή ένα σημείο συνδεδεμένο με τη γη μέσω μιας σύνθετης αντίστασης σημαντικής τιμής.

Για το δεύτερο γράμμα που μπορεί να είναι T ή N έχουμε:

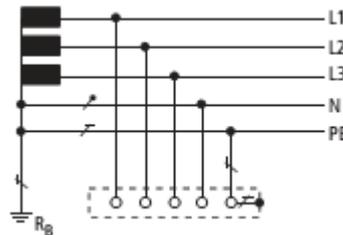
- T: άμεση σύνδεση των εκτεθειμένων αγωγίμων μερών με τη γη, ανεξάρτητα από τη γείωση του ουδέτερου του συστήματος τροφοδότησης.
- N: άμεση σύνδεση των εκτεθειμένων αγωγίμων μερών με τον ουδέτερο του συστήματος τροφοδότησης.

Για το επόμενο γράμμα που μπορεί να είναι S ή C έχουμε:

- S: η προστασία εξασφαλίζεται από ιδιαίτερο αγωγό προστασίας διαφορετικό από τον ουδέτερο.
- C: οι λειτουργίες ουδέτερου και προστασίας συνδυάζονται σε ένα μόνο αγωγό (αγωγό PEN).

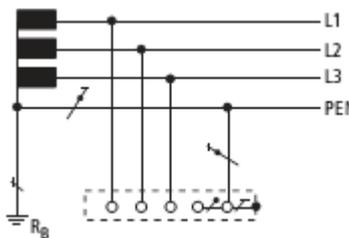
Από τον συνδυασμό των παραπάνω προκύπτει ότι:

- Στον τύπο TN-S ο ουδέτερος και ο αγωγός προστασίας είναι χωριστοί σε ολόκληρο το σύστημα.



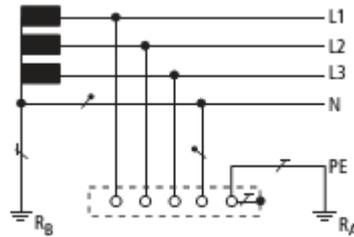
Σχήμα 29: Σύστημα γείωσης TN-S. [23]

- Στον τύπο TN-C οι λειτουργίες ουδέτερου και αγωγού προστασίας συνδυάζονται σε ένα μόνο αγωγό σε ένα μέρος του συστήματος.



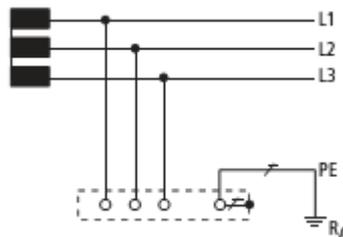
Σχήμα 30: Σύστημα γείωσης TN-C. [23]

- Στον τύπο TT ο ουδέτερος είναι άμεσα συνδεδεμένος προς τη γη, ενώ τα εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη της εγκατάστασης συνδέονται με ηλεκτρόδια γείωσης ηλεκτρικά ανεξάρτητα από τη γείωση του συστήματος τροφοδότησης.



Σχήμα 31: Σύστημα γείωσης TT. [23]

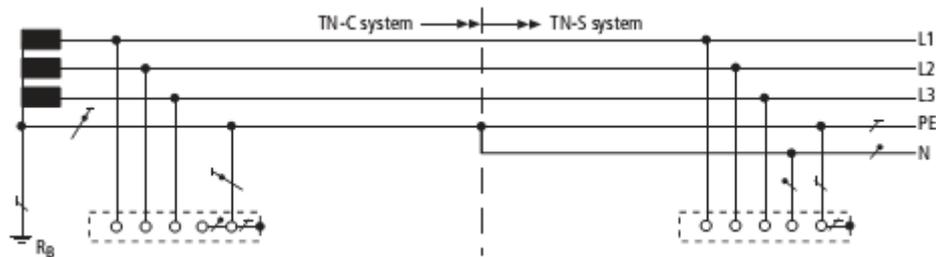
- Στον τύπο IT όλα τα ενεργά μέρη είναι μονωμένα προς τη γη, ή ένα σημείο συνδέεται με τη γη μέσω μιας μεγάλης σύνθετης αντίστασης, ενώ τα εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη της εγκατάστασης είναι γειωμένα.



Σχήμα 32: Σύστημα γείωσης IT. [23]

Σύστημα TN

Εάν σε περιοχές που υπάρχει κίνδυνος έκρηξης χρησιμοποιείται σύστημα ισχύος TN, θα είναι τύπου TN-S στην επικίνδυνη περιοχή, δηλ. ο ουδέτερος και ο αγωγός προστασίας δεν θα συνδέονται μεταξύ τους, ούτε θα συνδυάζονται σε έναν ενιαίο αγωγό, στην επικίνδυνη περιοχή. Σε οποιοδήποτε σημείο της μετάβασης από TN-C σε TN-S, ο αγωγός προστασίας θα συνδεθεί με τον ισοδυναμικό ζυγό στη μη επικίνδυνη περιοχή.



Σχήμα 33: Σύστημα γείωσης με μετάβαση από TN-C σε TN-S. [23]

Σύστημα TT

Εάν σε περιοχές που υπάρχει κίνδυνος έκρηξης χρησιμοποιείται σύστημα TT στη ζώνη 1 θα πρέπει να υπάρχει προστασία ρελέ διαρροής.

Σύστημα IT

Εάν σε περιοχές που υπάρχει κίνδυνος έκρηξης χρησιμοποιείται σύστημα IT, θα πρέπει να υπάρχει συσκευή ελέγχου μόνωσης.

4.5.3 Συστήματα χαμηλής τάσης

Στα συστήματα χαμηλής τάσης SELV (Safety Extra Low Voltage) και PELV (Protective Extra Low Voltage), η ονομαστική τάση δεν υπερβαίνει τα 50V για το εναλλασσόμενο ρεύμα ή τα 120 V για το συνεχές. Πηγές μπορεί να είναι ένας μετασχηματιστής απομόνωσης ή μία πηγή ρεύματος που παρέχει βαθμό ασφαλείας ίδιο με αυτό του μετασχηματιστή ασφαλείας, όπως για παράδειγμα ένα ζεύγος κινητήρα γεννήτριας με τυλίγματα που παρέχουν απομόνωση κ.α.

Τα ενεργά μέρη των συστημάτων SELV δεν θα πρέπει να συνδέονται στη γη ή σε άλλα ενεργά μέρη, ή σε αγωγούς προστασίας άλλων κυκλωμάτων.

Στα συστήματα PELV μπορεί να υπάρχει γείωση μπορεί και όχι. Αν είναι γειωμένα, το κύκλωμα γης και τα άλλα εκτιθέμενα αγωγίμα μέρη θα είναι συνδεδεμένα στον ισοδυναμικό ζυγό. Αν δεν είναι γειωμένα, τα εκτιθέμενα αγωγίμα μέρη μπορεί να γειώνονται (για παράδειγμα για λόγους ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας), ή να μένουν αγείωτα.

4.5.4 Εξίσωση δυναμικού

Η εξίσωση δυναμικού απαιτείται για τις εγκαταστάσεις σε επικίνδυνες περιοχές. Για TN, TT και IT συστήματα, όλα τα εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη και τα ξένα αγωγίμα στοιχεία (π.χ. μεταλλικές σωλήνες θέρμανσης, μεταλλικά στοιχεία κτιρίου, μεταλλικός οπλισμός σκυροδέματος κτιρίου κ.α.) θα πρέπει να συνδέονται με τον ισοδυναμικό ζυγό. Στο ζυγό μπορεί να συνδέονται οι προστατευτικοί αγωγοί, οι μεταλλικοί σωλήνες, οι χαλύβδινες συρμάτινες θωρακίσεις καλωδίων και τα μεταλλικά μέρη των διαφόρων κατασκευών, αλλά δεν θα συνδέονται οι ουδέτεροι αγωγοί. Οι συνδέσεις θα πρέπει να έχουν ασφάλεια έναντι στη χαλάρωση. Εγκαταστάσεις με καθοδική προστασία δεν θα πρέπει να συνδέονται στο σύστημα ισοδυναμικού ζυγού, εκτός αν το σύστημα είναι σχεδιασμένο για αυτό το σκοπό.

Επίσης θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για τη διατήρηση του στατικού ηλεκτρισμού σε ασφαλή επίπεδα, για μείωση των επιπέδων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας όπως και για την προστασία από κεραυνούς.

4.5.5 Καθοδική προστασία

Τα μεταλλικά μέρη στις επικίνδυνες περιοχές στα οποία υπάρχει καθοδική προστασία είναι δυνητικά επικίνδυνα (ειδικά εάν χρησιμοποιείται καθοδική προστασία με επιβαλλόμενο ρεύμα) παρά το χαμηλό αρνητικό δυναμικό. Η καθοδική προστασία με επιβαλλόμενο ρεύμα είναι μια τεχνική για τον έλεγχο της διάβρωσης μεταλλικών επιφανειών. Η μέθοδος εφαρμόζεται σε πετρελαιοαγωγούς, πλοία, πλατφόρμες άντλησης, αγωγούς ύδρευσης, δεξαμενές κ.α. Η τεχνική στηρίζεται στην ομοιόμορφη κατανομή συνεχούς ρεύματος συγκεκριμένης έντασης στην υπό προστασία μεταλλική επιφάνεια. Στη ζώνη 0 δεν θα πρέπει να υπάρχει καμία καθοδική προστασία μεταλλικών μερών εκτός αν είναι ειδικά σχεδιασμένη για τη συγκεκριμένη εφαρμογή.

4.6 Ηλεκτρική προστασία

Τα καλώδια θα πρέπει να προστατεύονται από υπερφόρτωση, βραχυκυκλώματα και σφάλματα γης. Όλες οι ηλεκτρικές συσκευές θα πρέπει να προστατεύονται από βραχυκυκλώματα και σφάλματα γης. Οι ηλεκτρικές μηχανές θα πρέπει επιπλέον να προστατεύονται από υπερφόρτωση εκτός αν μπορούν να αντέχουν

συνεχώς το ρεύμα εκκίνησης υπό ονομαστική τάση και συχνότητα ή σε περίπτωση γεννήτριας το ρεύμα βραχυκύκλωσης χωρίς υπερβολική θέρμανση. Οι συσκευές προστασίας από υπερφόρτωση θα είναι:

1. συσκευή επιτήρησης και των τριών φάσεων, ρυθμισμένη σε ρεύμα όχι μεγαλύτερο από το ονομαστικό της μηχανής,
2. συσκευή για απευθείας έλεγχο θερμοκρασίας μέσω αισθητήρων,
3. άλλη ισοδύναμη συσκευή.

Οι μετασηματιστές θα πρέπει επιπλέον να προστατεύονται από υπερφόρτωση εκτός αν μπορούν να αντέχουν συνεχώς το ρεύμα βραχυκύκλωσης του δευτερεύοντος τυλίγματος υπό ονομαστική τάση και συχνότητα πρωτεύοντος τυλίγματος.

Οι συσκευές προστασίας από βραχυκύκλωμα ή σφάλμα γης δεν θα πρέπει να έχουν αυτόματο διακόπτη επαναφοράς.

Μέτρα προστασίας πρέπει να λαμβάνονται σε τριφασικές συσκευές σε περίπτωση απώλειας μίας φάσης ή οποία μπορεί να προκαλέσει υπερθέρμανση.

4.6.1 Διακόπτες έκτακτης ανάγκης

Για λόγους ασφαλείας, σε κατάλληλο σημείο ή σημεία έξω από την επικίνδυνη περιοχή, πρέπει να υπάρχουν διακόπτες έκτακτης ανάγκης για τον έλεγχο ηλεκτρικών φορτίων που βρίσκονται στην επικίνδυνη περιοχή.

Ηλεκτρικές συσκευές που δεν πρέπει να διακοπεί η λειτουργία τους ώστε να αποτραπεί πρόσθετος κίνδυνος που μπορεί να προκύψει, δεν θα πρέπει να συμπεριληφθούν στα κυκλώματα έκτακτης ανάγκης, αλλά σε χωριστό κύκλωμα.

4.6.2 Ηλεκτρική απομόνωση

Κατάλληλα μέσα απομόνωσης (αποζεύκτες, ασφάλειες) πρέπει να υπάρχουν σε κάθε κύκλωμα ή ομάδα κυκλωμάτων, που θα περιλαμβάνουν όλους τους αγωγούς συμπεριλαμβανομένου και του ουδετέρου. Δίπλα σε κάθε μέσο απομόνωσης πρέπει να υπάρχουν πινακίδες για άμεση αναγνώριση του κυκλώματος ή της ομάδας κυκλωμάτων που πρέπει να ελεγχθούν.

4.7 Καλωδίωση

Όπου υπάρχουν αγωγοί αλουμινίου με εξαίρεση στις εσωτερικά ασφαλής εγκαταστάσεις, θα έχουν διατομή τουλάχιστον 16 mm². Τα καλώδια θα πρέπει να

τοποθετούνται σε σημεία όπου δεν θα υπάρχει κίνδυνος φθοράς τους από θερμότητα, διάβρωση, μηχανικούς και χημικούς παράγοντες. Όπου αυτό είναι αναπόφευκτο, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται θωρακισμένα καλώδια ή να τοποθετούνται σε σωληνώσεις.

Όπου χρησιμοποιούνται κανάλια ή χαντάκια για την όδευση των καλωδίων θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για την αποφυγή της μετακίνησης εύφλεκτων αερίων, ατμών ή υγρών από μία περιοχή σε μία άλλη ή της συγκέντρωσής τους σε συγκεκριμένα σημεία. Τέτοιες προφυλάξεις μπορεί να είναι ο αερισμός, η σφράγιση των σωληνώσεων και των καναλιών, και η τοποθέτηση άμμου μέσα στα χαντάκια. Επίσης, η θερμοκρασία επιφάνειας των καλωδίων δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την θερμοκρασιακή κλάση της εγκατάστασης.

4.7.1 Ανοίγματα στους τοίχους

Τα ανοίγματα που γίνονται στους τοίχους (οι οποίοι χωρίζουν μία επικίνδυνη από μία μη επικίνδυνη περιοχή) θα πρέπει να σφραγίζονται επαρκώς, για παράδειγμα με χρήση κονιάματος άμμου ή με άλλο τρόπο, για να διατηρηθεί η ταξινόμηση των περιοχών.



Σχήμα 34: Πέρασμα καλωδίων μέσα από τοίχο, και σφράγιση του ανοίγματος [22]

4.7.2 Ενώσεις

Στις επικίνδυνες περιοχές δεν θα υπάρχουν όπου είναι αυτό δυνατό διακλαδώσεις καλωδίων. Όπου αυτό είναι αναπόφευκτο, οι διακλαδώσεις πρέπει να είναι μηχανικά, ηλεκτρικά και περιβαλλοντικά κατάλληλες για την περίπτωση. Επιπλέον πρέπει να είναι σε περίβλημα προστασίας κατάλληλο για την ζώνη ή εφόσον η διακλάδωση δεν υφίσταται μηχανική καταπόνηση, μπορεί να γίνεται με εποξικό υλικό ή θερμοσυστελλόμενους σωλήνες σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Οι ενώσεις αγωγών, με εξαίρεση αυτών που βρίσκονται σε αντιπυρικό περίβλημα ή σε εσωτερικά ασφαλή κυκλώματα, θα πρέπει να γίνονται με συνδετήρες πίεσης ή βιδωτούς, συγκολλημένα ή μπρουτζοκολλημένα. Η κασσιτεροκόλληση επιτρέπεται αν οι αγωγοί πρώτα συνδέονται με κατάλληλο μηχανικό μέσο.

Στην επικίνδυνη περιοχή οι μη χρησιμοποιούμενο αγωγοί ενός καλωδίου θα συνδέονται είτε στη γη είτε θα μονώνονται κατάλληλα με κατάλληλο τερματισμό. Η μόνωση αυτών των άκρων με μονωτική ταινία δεν συνίσταται.

4.7.3 Σωληνώσεις

Η σύσφιξη των σωλήνων θα γίνεται έως το τέρμα του σπειρώματος. Όπου οι σωλήνες χρησιμοποιούνται ως προστατευτικοί αγωγοί, οι κοχλιωτές ενώσεις θα πρέπει να μπορούν να αντέξουν τη διέλευση των ρευμάτων σφάλματος όταν το κύκλωμα είναι κανονικά προστατευμένο από ασφάλειες και διακόπτες. Οι σωλήνες θα πρέπει να είναι κατασκευασμένοι από κατάλληλο υλικό ώστε να είναι προστατευμένοι όταν εγκαθίστανται σε διαβρωτικό περιβάλλον. Συνδυασμός υλικών που οδηγεί σε γαλβανική διάβρωση πρέπει να αποφεύγεται. Όταν τρία ή περισσότερα καλώδια χωρίς εξωτερικό μανδύα τοποθετούνται μέσα σε σωλήνα, τότε η συνολική διατομή τους μαζί με την μόνωση δεν θα ξεπερνάει το 40% της διατομής του σωλήνα. Μεγάλες διαδρομές καλωδίων μέσα σε σωλήνες πρέπει να διαθέτουν συσκευή αποστράγγισης για την απομάκρυνση των συμπυκνωμάτων, και τα καλώδια να έχουν μόνωση με αντοχή στο νερό.

4.8 Επιπλέον απαιτήσεις για τον τύπο προστασίας “αντιπυρικό περίβλημα”

Αλλαγή της θέσης των εξαρτημάτων της συσκευής εντός του περιβλήματος θα πρέπει να αποφεύγεται. Οι αντιπυρικές ενώσεις θα πρέπει να προστατεύονται από τη διάβρωση, και τα κενά από την είσοδο νερού. Τα στεγανωτικά παρεμβύσματα θα χρησιμοποιούνται μόνο αν αναφέρεται στη συσκευασία από τον κατασκευαστή.

4.8.1 Κινητήρες

Κινητήρες που τροφοδοτούνται με μεταβαλλόμενη τάση και συχνότητα απαιτούν:

1. Μέσα για άμεσο έλεγχο της θερμοκρασίας από αισθητήρες θερμότητας, που καθορίζονται από τον κατασκευαστή ή άλλα μέσα για μείωση της θερμοκρασίας του περιβλήματος του κινητήρα. Σε περίπτωση αύξησης θερμοκρασίας, η διάταξη προστασίας πρέπει να αποσυνδέει τον κινητήρα. Ο κινητήρας και ο μετατροπέας δεν χρειάζεται να έχουν δοκιμαστεί μαζί,
2. Ο κινητήρας να έχει υποστεί τις δοκιμές τύπου που ορίζονται στο πρότυπο IEC 60079-0 μαζί με τον μετατροπέα και την διάταξη προστασίας.

Οι σωληνώσεις για το συγκεκριμένο τύπο προστασίας μπορεί να είναι οι εξής:

1. Χαλύβδινες βιδωτές μεγάλου πάχους, μασίφ τραβηχτές ή με ραφή συγκολλημένες ή,
2. Εύκαμπτοι μεταλλικοί σωλήνες ή σωλήνες από σύνθετο υλικό (μεταλλικοί σωλήνες με πλαστικό ή ελαστομερές υλικό επικάλυψης)

Οι σωλήνες θα έχουν το λιγότερο 5 σπειρώματα για βίδωμα πάνω στο αντιπυρικό περίβλημα ή για ένωση με άλλη σωλήνα.

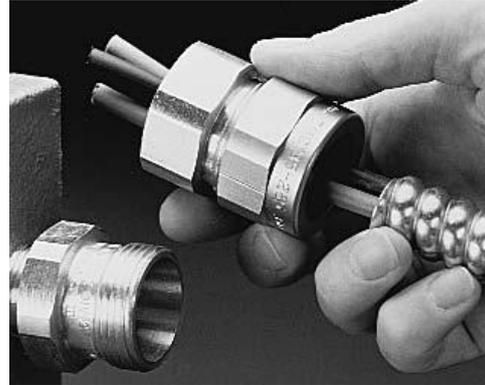
4.8.2 Σύστημα εισόδου καλωδίων

Η είσοδος των καλωδίων στο περίβλημα μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Το περίβλημα μπορεί να διαθέτει δικό του σύστημα που παρέχεται από τον κατασκευαστή, ή αν δεν διαθέτει μπορεί να γίνει ανάλογα με την περίπτωση, για παράδειγμα ανάλογα με τον τύπο του καλωδίου.(θερμοπλαστικό, ελαστομερές,

καλώδια με ορυκτή μόνωση κ.α.). Παρακάτω φαίνεται ένα σύστημα εισόδου που χρησιμοποιεί και εποξικό μίγμα για αποφυγή διαρροής των αερίων [15].



α) Προετοιμασία καλωδίου



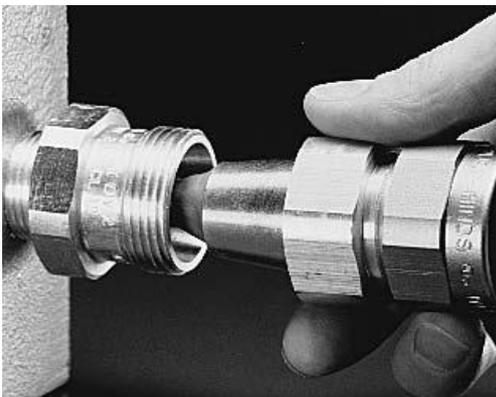
β) Τοποθέτηση του δακτυλίου περίσφιξης στο καλώδιο



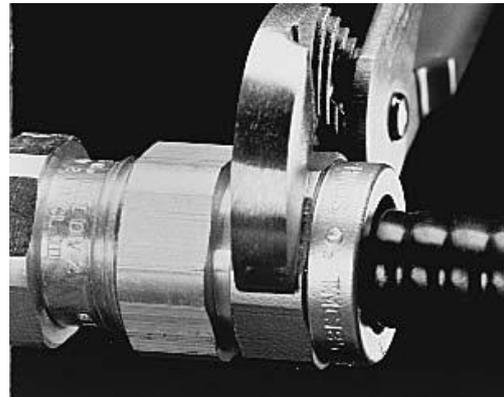
γ) Τοποθέτηση εποξικού υλικού



δ) Τοποθέτηση κωνικού δακτυλίου γύρω από το εποξικό υλικό



ε) Εισαγωγή καλωδίου



ζ) Σύσφιξη στυπιοθλήπτη

Σχήμα 35: Παράδειγμα συστήματος σύνδεσης καλωδίων [15]

4.9 Επιπλέον απαιτήσεις για τον τύπο προστασίας "αυξημένη ασφάλεια"

4.9.1 Βαθμός προστασίας

Ο βαθμός προστασίας πινάκων ηλεκτρολογικού υλικού καθορίζεται από δύο ψηφία που σχετίζονται με τις εξωτερικές επιρροές. Ο πρώτος αριθμός είναι δείκτης προστασίας από διείσδυση στερεών σωματιδίων και ο δεύτερος αριθμός είναι δείκτης προστασίας από διείσδυση υγρών.

ΨΗΦΙΟ	1 ^ο ΨΗΦΙΟ		2 ^ο ΨΗΦΙΟ
	Προστασία από την επαφή με το ανθρώπινο σώμα	Προστασία από την είσοδο ξένων σωματιδίων	Προστασία από την είσοδο νερού
0	Καμία προστασία.	Καμία προστασία.	Καμία προστασία.
1	Αποκλείεται η επαφή με το σώμα αλλά χωρούν τα δάκτυλα	Δεν μπορούν να εισέλθουν αντικείμενα πάνω από 50mm.	Προστασία από σταγόνες που πέφτουν κατακόρυφα
2	Αποκλείεται η επαφή με το δάκτυλο	Δεν μπορούν να εισέλθουν αντικείμενα πάνω από 12mm	Προστασία από σταγόνες που πέφτουν με κλίση μέχρι 15 ^ο ως προς την κατακόρυφο.
3	Αποκλείεται επαφή μέσω εργαλείων με διάσταση πάνω από 2,5mm	Δεν μπορούν να εισέλθουν αντικείμενα πάνω από 2,5mm.	Προστασία από πτώση νερού βροχής, υπό γωνία 60 ^ο από την κατακόρυφο
4	Αποκλείεται επαφή μέσω εργαλείων άνω του 1mm.	Δεν μπορούν να εισέλθουν αντικείμενα πάνω από 1mm	Προστασία από πτώση νερού που ψεκάζεται από όλες τις κατευθύνσεις.
5	Αποκλείεται εντελώς η επαφή.	Προστασία από την είσοδο σκόνης	Προστασία από εκτόξευση νερού που πέφτει υπό μορφή δέσμης απ' όλες τις κατευθύνσεις.
6	Αποκλείεται εντελώς η επαφή.	Ολική προστασία από την είσοδο σκόνης	Προστασία από πτώση νερού που πέφτει υπό πίεση ισοδύναμη με θαλάσσια κύματα
7			Προστασία σε περίπτωση βύθισης σε μικρό βάθος υπό δοσμένη πίεση και χρόνο.
8			Προστασία σε περίπτωση βύθισης σε μεγάλο βάθος υπό δοσμένη πίεση και χρόνο.

Πίνακας 6: Προστασία IP (International Protection ή Ingress Protection)[19]

Τα περιβλήματα για τον τύπο προστασίας αυξημένης ασφάλειας που περιέχουν ενεργά μέρη, πρέπει να έχουν βαθμό προστασίας τουλάχιστον IP54, ενώ περιβλήματα που περιέχουν μόνο μονωμένα μέρη πρέπει να έχουν βαθμό προστασίας τουλάχιστον IP44. Περιστρεφόμενες ηλεκτρικές μηχανές τοποθετημένες σε καθαρό περιβάλλον και που επιβλέπονται τακτικά από εκπαιδευμένο προσωπικό χρειάζονται προστασία από περίβλημα με βαθμό προστασίας IP20.

4.9.2 Προστασία υπερφόρτωσης σε μηχανές επαγωγής τύπου κλωβού

Στις μηχανές με τύλιγμα τριγώνου, η απώλεια μιας φάσης, αντίθετα από τις μηχανές με τύλιγμα αστέρα, μπορεί να μην ανιχνευτεί, ειδικά αν συμβεί κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Το αποτέλεσμα θα είναι ασυμμετρία ρεύματος στις γραμμές που τροφοδοτούν τη μηχανή και αύξηση της θερμοκρασίας της μηχανής. Μια μηχανή με τύλιγμα τριγώνου με μικρή ροπή εκκίνησης μπορεί να ξεκινήσει με απώλεια μιας φάσης και το πρόβλημα να μην διαπιστωθεί για μεγάλο διάστημα. Για αυτό το λόγο στις μηχανές με τύλιγμα τριγώνου πρέπει να υπάρχει προστασία ασυμμετρίας φάσεων.

4.9.3 Ηλεκτρικές συσκευές θέρμανσης

Πέρα από τη προστασία υπερφόρτωσης, οι παρακάτω τύποι προστασίας πρέπει να είναι εγκατεστημένοι για τον περιορισμό θερμοκρασιών σε περιπτώσεις σφαλμάτων γης και ρευμάτων διαρροής προς γη:

1. Στα συστήματα TN και TT η προστασία πρέπει να γίνεται με διατάξεις προστασίας διαφορικού ρεύματος με ονομαστικό διαφορικό ρεύμα λειτουργίας που δεν θα ξεπερνάει τα 300 mA. Προτιμότερα είναι τα συστήματα με ονομαστικό διαφορικό ρεύμα λειτουργίας 30 mA. Ο χρόνος λειτουργίας σε περίπτωση σφάλματος της διάταξης δεν θα υπερβαίνει τα 5s για ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας, και δεν θα υπερβαίνει τα 0,15s για ρεύμα λειτουργίας ίσο με πέντε φορές το ονομαστικό ρεύμα.
2. Σε σύστημα IT, θα χρησιμοποιείται διάταξη επιτήρησης μόνωσης η οποία θα αποσυνδέει το φορτίο όταν η αντίσταση μόνωσης δεν είναι μεγαλύτερη από 50 Ω για κάθε volt της ονομαστικής τάσης.

4.10 Επιπλέον απαιτήσεις για τον τύπο προστασίας “εσωτερική ασφάλεια”

4.10.1 Γενικά

Σε αυτό το τύπο προστασίας υπάρχει μία εντελώς διαφορετική φιλοσοφία εγκαταστάσεων. Σε σχέση με άλλους τύπους εγκαταστάσεων όπου λαμβάνεται μέριμνα για τον περιορισμό της ενέργειας ώστε μια εκρηκτική ατμόσφαιρα να μην αναφλεγεί, η ακεραιότητα ενός εσωτερικά ασφαλούς κυκλώματος πρέπει να προστατευθεί από την παρείσφρηση ενέργειας από άλλες ηλεκτρικές πηγές, έτσι ώστε τα ασφαλή όρια ενέργειας του κυκλώματος να μην ξεπερνιούνται, ακόμα και κάτω από συνθήκες βραχυκυκλώματος.

Ως συνεπεία αυτής της αρχής, ο σκοπός των κανόνων εγκαταστάσεων για τα εσωτερικά ασφαλή κυκλώματα είναι να διατηρηθεί ο διαχωρισμός από άλλα κυκλώματα.

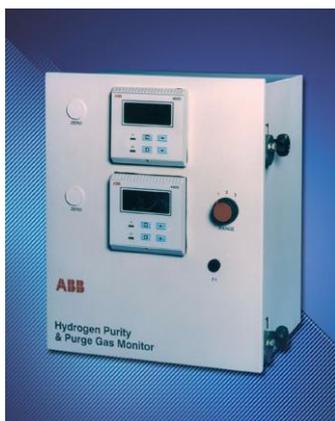
4.10.2 Ορισμοί

Εσωτερικά ασφαλές κύκλωμα

Είναι το κύκλωμα στο οποίο κάθε σπινθήρας ή θερμική επίπτωση που προκύπτουν από τις καθορισμένες από το πρότυπο IEC 60079-11 συνθήκες, που περιλαμβάνουν κανονική λειτουργία και συγκεκριμένες συνθήκες βλαβών, δεν είναι ικανό να προκαλέσει ανάφλεξη μιας δεδομένης εκρηκτικής ατμόσφαιρας.

Εσωτερικά ασφαλής συσκευή

Είναι η συσκευή όπου όλα της τα κυκλώματα είναι εσωτερικά ασφαλή. Οι εσωτερικά ασφαλής συσκευές πρέπει να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις του πρότυπου IEC 60079-11 κατηγορία ia ή ib. Ένα παράδειγμα εσωτερικά ασφαλούς συσκευής κατηγορίας ia είναι ο παρακάτω αναλυτής αερίων για ψύξη γεννητριών με υδρογόνο:



Σχήμα 36: Εσωτερικά ασφαλής συσκευή [42]

Συνεργαζόμενη συσκευή

Είναι η συσκευή η οποία περιέχει εσωτερικά ασφαλή κυκλώματα και μη εσωτερικά ασφαλή κυκλώματα και κατασκευάζεται έτσι ώστε τα μη εσωτερικά ασφαλή κυκλώματα να μην επηρεάζουν αρνητικά τα εσωτερικά ασφαλή κυκλώματα. Η συνεργαζόμενη συσκευή είναι συνήθως η διεπαφή ανάμεσα στο εσωτερικά ασφαλές κύκλωμα και στο μη ασφαλές κύκλωμα και συνήθως τοποθετείται στη μη επικίνδυνη περιοχή. Παραδείγματα συνεργαζόμενων συσκευών είναι οι γαλβανικοί απομονωτές ή φραγμοί ασφαλείας με εγκάρσιες διόδους.

Απλή συσκευή

Είναι ένα ηλεκτρικό εξάρτημα ή συνδυασμός εξαρτημάτων απλής κατασκευής με καλά ορισμένες ηλεκτρικές παραμέτρους και είναι συμβατή με την εσωτερική ασφάλεια του κυκλώματος στο οποίο χρησιμοποιείται. Παραδείγματα απλών συσκευών είναι τα παρακάτω:

- Παθητικά στοιχεία όπως διακόπτες, κουτιά διακλάδωσης, αντιστάσεις και απλές ημιαγωγίμες συσκευές.
- Πηγές αποθηκευμένης ενέργειας με καλά ορισμένες παραμέτρους όπως πυκνωτές ή αυτεπαγωγές των οποίων οι τιμές εξετάζονται προσεκτικά όταν προσδιορίζεται η συνολική ασφάλεια του συστήματος.
- Πηγές ενέργειας όπως θερμοζεύγη, φωτοκύτταρα, που δεν παράγουν περισσότερο από 1,5 V, 100mA, ή 25 mW.

4.10.3 Εγκαταστάσεις για τις ζώνες 1 και 2

4.10.3.1 Προστασία

Τα εξαρτήματα και οι καλωδιώσεις των εσωτερικά ασφαλών συσκευών και των συνεργαζόμενων συσκευών, θα πρέπει να τοποθετούνται σε περιβλήματα με βαθμό προστασίας τουλάχιστον IP 20 για προστασία από ζημιά και μη εξουσιοδοτημένη επέμβαση.

4.10.3.2 Καλώδια

Μόνο μονωμένα καλώδια των οποίων τα ζευγάρια αγωγός-γη, αγωγός-θωράκιση και θωράκιση-γη θα έχουν υποστεί δοκιμή τάσης τουλάχιστον 500 V a.c. ή 750 V d.c., θα χρησιμοποιούνται στα εσωτερικά ασφαλή κυκλώματα. Η διάμετρος των μεμονωμένων αγωγών μέσα στην επικίνδυνη περιοχή δεν θα είναι μικρότερη από 0.1 mm.

Οι ηλεκτρικοί παράμετροι (χωρητικότητα καλωδίου C_c και επαγωγή καλωδίου L_c) ή (χωρητικότητα καλωδίου C_c και λόγος επαγωγής δια την ωμική αντίσταση του καλωδίου L_c/R_c) για όλα τα χρησιμοποιούμενα καλώδια θα προσδιορίζονται σύμφωνα με έναν από τους 3 παρακάτω τρόπους:

1. Τις πιο δυσμενείς ηλεκτρικές παραμέτρους που προσδιορίζει ο κατασκευαστής.
2. Από τη μέτρηση ενός δείγματος καλωδίου, όπου η
 - μέγιστη χωρητικότητα του καλωδίου προσδιορίζεται ανοιχτοκυκλώνοντας τα άκρα του καλωδίου και μετρώντας τη χωρητικότητα του συνδυασμού των κλώνων και θωρακίσεων που δίνουν τη μέγιστη τιμή,
 - μέγιστη αυτεπαγωγή του καλωδίου προσδιορίζεται συνδέοντας τα πιο απομακρυσμένα άκρα του καλωδίου. Η αντίσταση συνεχούς ρεύματος αυτής της συνδεσμολογίας είναι η αντίσταση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του λόγου L/R του καλωδίου.
3. 200pF/m και είτε 1 $\mu\text{H}/\text{m}$ ή 30 $\mu\text{H}/\text{m}$, ανάλογα με το αν η διασύνδεση αποτελείται από 2 ή 3 κλώνους ενός συνηθισμένου καλωδίου, με η χωρίς μανδύα.

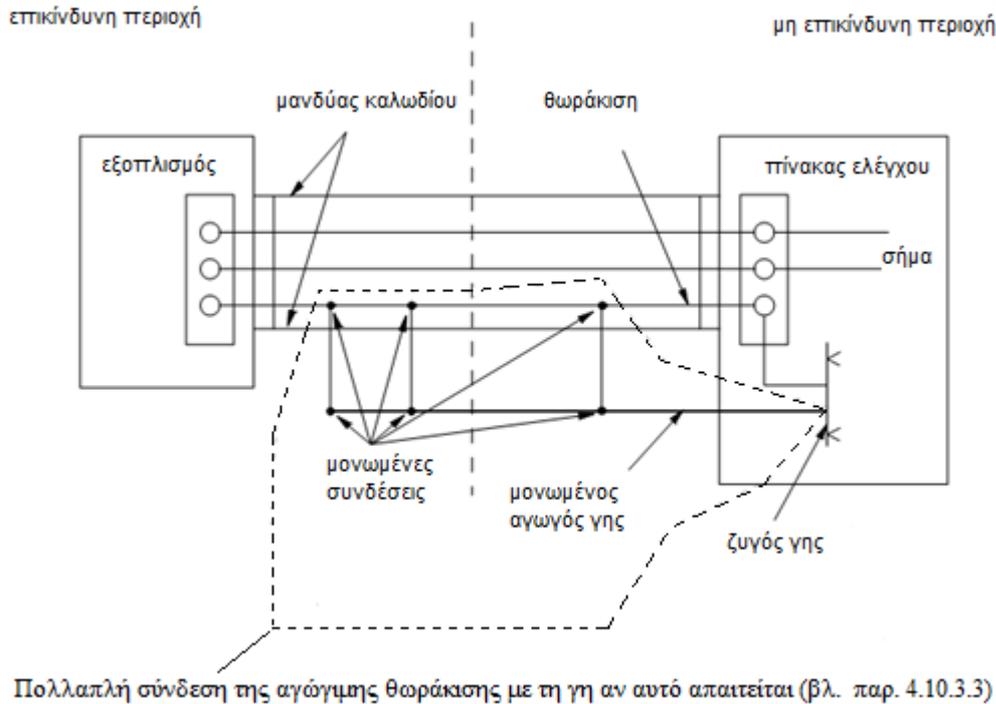
4.10.3.3 Γείωση αγώγιμης θωράκισης

Όπου απαιτείται θωράκιση, αυτή θα πρέπει να είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένη στη γη σε ένα σημείο μόνο, συνήθως στη μη επικίνδυνη περιοχή. Αυτό γίνεται για να αποφευχθεί η κυκλοφορία του ρεύματος στη θωράκιση λόγω διαφορών δυναμικού που μπορεί να εμφανιστούν στα άκρα του κυκλώματος.

Ειδικές περιπτώσεις

1. Αν για ειδικές περιπτώσεις (όπου η θωράκιση έχει υψηλή αντίσταση ή όπου απαιτείται η θωράκιση για αποφυγή εξ επαγωγής παρεμβολών) η θωράκιση απαιτείται να έχει πολλαπλές ηλεκτρικές συνδέσεις σε όλο της το μήκος, η διάταξη του παρακάτω σχήματος 35 μπορεί να χρησιμοποιηθεί εφόσον
 - ο μονωμένος αγωγός γης είναι στιβαρής κατασκευής (διατομής μεταξύ 4mm^2 και 16mm^2),
 - η διάταξη του μονωμένου αγωγού γης και της θωράκισης θα πρέπει να αντέχει δοκιμή μόνωσης υπό τάση 500V rms εναλλασσόμενη για ένα λεπτό [2], με όλους τους άλλους αγωγούς ή οπλισμούς του καλωδίου,
 - ο μονωμένος αγωγός γης και η θωράκιση συνδέονται μόνο σε ένα σημείο στη γη, το οποίο θα είναι το ίδιο σημείο και για τον μονωμένο αγωγό γης και για τη θωράκιση, και συνήθως θα είναι στο άκρο του καλωδίου που καταλήγει στη μη επικίνδυνη περιοχή,
 - ο μονωμένος αγωγός γης θα πρέπει να τοποθετείται σε σημεία όπου δεν θα υπάρχει κίνδυνος φθοράς του από θερμότητα, διάβρωση, μηχανικούς και χημικούς παράγοντες,
 - ο λόγος αυτεπαγωγής/αντίστασης (L/R) του καλωδίου, που είναι εγκατεστημένο με τον μονωμένο αγωγό γης, θα πρέπει να συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις της παραγράφου 4.10.3.8 «επαλήθευση εσωτερικά ασφαλών κυκλωμάτων».
2. Αν για την εγκατάσταση υπάρχει μεγάλος βαθμός βεβαιότητας ότι υπάρχει εξίσωση δυναμικού ανάμεσα στα δύο άκρα του κυκλώματος, δηλαδή ανάμεσα στην επικίνδυνη και στη μη επικίνδυνη περιοχή, τότε αν είναι επιθυμητό η θωράκιση του καλωδίου μπορεί να συνδεθεί στη γείωση και στα δύο άκρα του καλωδίου ή σε οποιαδήποτε παρεμβαλλόμενα σημεία.

3. Πολλαπλή γείωση μέσω μικρών πυκνωτών (για παράδειγμα 1nF, 1500 V κεραμικός) είναι αποδεκτή εφόσον η συνολική χωρητικότητα δεν ξεπερνά τα 10 nF.



Σχήμα 37: Γείωση αγωγίμης θωράκισης

Εξήγηση

Στην ειδική περίπτωση όπου η αγωγίμη θωράκιση έχει υψηλή αντίσταση, οι πολλαπλές συνδέσεις της θωράκισης με τη γη ουσιαστικά υποδιαιρούν το συνολικό μήκος της θωράκισης σε μικρότερα τμήματα, ώστε οι πτώσεις τάσης σε αυτά σε περίπτωση που βρεθούν υπό τάση, να διατηρείται σε χαμηλές τιμές.

4.10.3.4 Σύνδεση οπλισμού καλωδίου

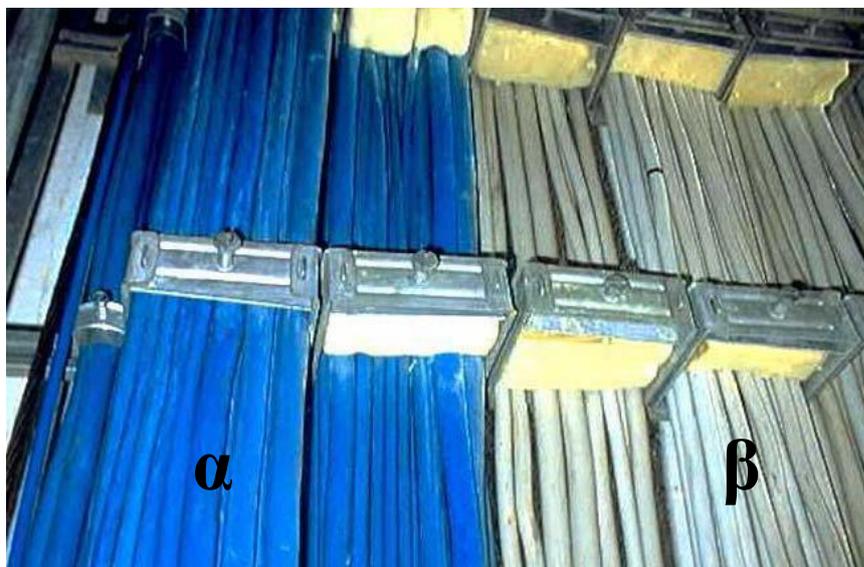
Ο οπλισμός θα πρέπει να συνδέεται στον ισοδυναμικό ζυγό μέσω των εξαρτημάτων εισόδου του καλωδίου ή ισοδύναμα στο τέλος κάθε άκρου του καλωδίου. Όταν παρεμβάλλονται άλλα κουτιά διακλάδωσης ή άλλες συσκευές, ο οπλισμός θα πρέπει να συνδέεται παρομοίως στον ισοδυναμικό ζυγό αυτών των σημείων. Σε περίπτωση που ο οπλισμός δεν απαιτείται να συνδέεται στον ισοδυναμικό ζυγό σε κάθε παρεμβαλλόμενο σημείο, θα πρέπει να εξασφαλίζεται η ηλεκτρική συνέχεια του οπλισμού από άκρο σε άκρο της διαδρομής του καλωδίου.

4.10.3.5 Εγκατάσταση καλωδίων

Οι εγκαταστάσεις εσωτερικά ασφαλών κυκλωμάτων πρέπει να γίνεται ώστε τα καλώδια να μην επηρεάζονται από εξωτερικά ηλεκτρικά ή μαγνητικά πεδία που μπορεί να δημιουργηθούν από κοντινές γραμμές μεταφοράς, ή από μονοπολικά καλώδια που διαρρέονται από υψηλά ρεύματα. Αυτό μπορεί να γίνει με τη χρήση θωράκισης, συνεστραμμένων ζευγών ή με τη διατήρηση συγκεκριμένης απόστασης από τη πηγή του ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου. Πέρα από τις γενικές απαιτήσεις για τους επικίνδυνους και μη χώρους, οι καλωδιώσεις πρέπει να πληρούν μία από τις παρακάτω απαιτήσεις:

- Τα καλώδια των εσωτερικά ασφαλών κυκλωμάτων πρέπει να οδεύουν ξεχωριστά από τα καλώδια των μη εσωτερικά ασφαλών κυκλωμάτων.
- Τα καλώδια των εσωτερικά ασφαλών κυκλωμάτων πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε να προστατεύονται από τις μηχανικές καταπονήσεις.
- Τα καλώδια των εσωτερικά ασφαλών και μη ασφαλών κυκλωμάτων πρέπει να είναι οπλισμένα, με μεταλλικό μανδύα ή θωρακισμένα.

Οι αγωγοί των εσωτερικά ασφαλών και μη ασφαλών κυκλωμάτων δεν θα πρέπει να βρίσκονται μέσα στο ίδιο καλώδιο.



Σχήμα 38: Οδευση και χρωματισμός καλωδίων

α) Καλώδια εσωτερικά ασφαλών κυκλωμάτων (χρώμα μπλε).

β) Καλώδια μη ασφαλών κυκλωμάτων (με μεταλλικό μανδύα ή θωράκιση).

Τα καλώδια των εσωτερικά ασφαλών κυκλωμάτων πρέπει να είναι μπλε χρώματος για να διαπιστώνεται εύκολα ότι ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία. Αν όλα τα καλώδια των εσωτερικά ασφαλών και μη ασφαλών κυκλωμάτων είναι οπλισμένα, ή έχουν μεταλλικό μανδύα ή είναι θωρακισμένα, τότε δεν απαιτείται χρωματισμός.

Τα πολυπολικά καλώδια μπορούν να περιέχουν περισσότερα από ένα εσωτερικά ασφαλή κυκλώματα, αλλά ένα εσωτερικά ασφαλές κύκλωμα και ένα εσωτερικά μη ασφαλές κύκλωμα δεν θα πρέπει να βρίσκονται στο ίδιο καλώδιο.

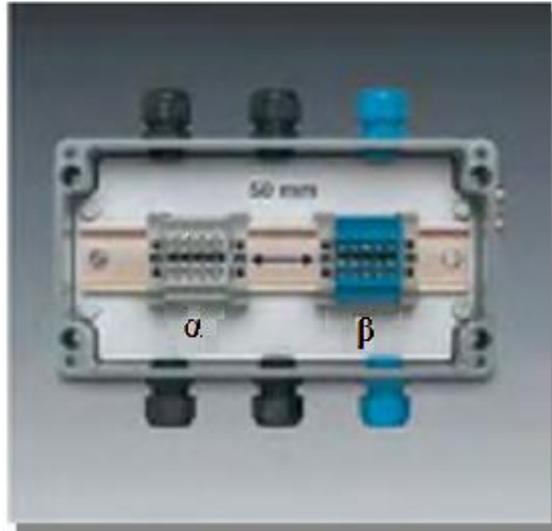
Τα πολυπολικά καλώδια θα πρέπει να αντέχουν διηλεκτρικό τεστ τουλάχιστον

- 500 V r.m.s.εναλλασσόμενη ή 750 V συνεχή τάση μεταξύ οποιουδήποτε οπλισμού και /η θωράκισης συνδεδεμένα μεταξύ τους και με όλους τους πόλους ενωμένους μεταξύ τους,
- 1000 V r.m.s. εναλλασσόμενη ή 1500 V συνεχή τάση μεταξύ μιας δεσμίδας που περιέχει τους μισούς πόλους του καλωδίου ενωμένους μαζί, και μίας δεσμίδας που περιέχει τους άλλους μισούς πόλους του καλωδίου ενωμένους μαζί.

4.10.3.6 Τερματισμός καλωδίων εσωτερικά ασφαλών κυκλωμάτων

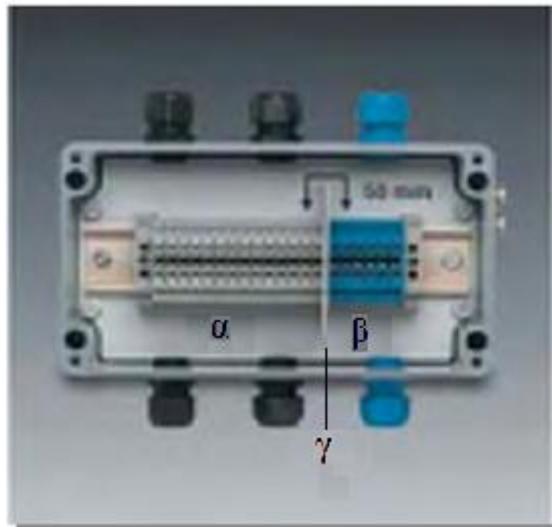
Οι ακροδέκτες των εσωτερικά ασφαλών κυκλωμάτων, που βρίσκονται για παράδειγμα στους πίνακες ελέγχου, θα πρέπει να τοποθετούνται ξεχωριστά από αυτούς των μη ασφαλών κυκλωμάτων με μία από τις δύο παρακάτω μεθόδους:

1. Όταν ο διαχωρισμός γίνεται με την απόσταση, τότε το διάκενο μεταξύ των ακροδεκτών θα είναι τουλάχιστον 50 mm.
2. Όταν ο διαχωρισμός γίνεται με τη χρήση μονωτικού διαχωριστικού, ή μεταλλικού γειωμένου διαχωριστικού, τότε το διαχωριστικό θα εκτείνεται 1,5 mm από τα τοιχώματα του περιβλήματος, ή εναλλακτικά θα παρέχει το λιγότερο απόσταση 50 mm μεταξύ των ακροδεκτών σε οποιαδήποτε κατεύθυνση γύρω από το διαχωριστικό.



Σχήμα 39: Διαχωρισμός ακροδεκτών με απόσταση τουλάχιστον 50 mm [18]

- α) Επαφές τερματισμού ακροδεκτών μη ασφαλών κυκλωμάτων.
- β) Επαφές τερματισμού ακροδεκτών εσωτερικά ασφαλών κυκλωμάτων.



Σχήμα 40: Διαχωρισμός ακροδεκτών γύρω από το διαχωριστικό με απόσταση τουλάχιστον 50 mm [18]

- α) Επαφές τερματισμού ακροδεκτών μη ασφαλών κυκλωμάτων.
- β) Επαφές τερματισμού ακροδεκτών εσωτερικά ασφαλών κυκλωμάτων.
- γ) Διαχωριστικό.

Οι ρευματολήπτες και οι ρευματοδότες για την σύνδεση εξωτερικών ασφαλών κυκλωμάτων δεν θα πρέπει να συμβατοί όσον αφορά τη σύνδεση με τους ρευματολήπτες και τους ρευματοδότες απλού τύπου, για λόγους ασφαλείας. Τυπικό παράδειγμα είναι οι ρευματολήπτες στην περιοχή έκρηξης εντός των χειρουργείων [1].

4.10.3.7 Γείωση εσωτερικά ασφαλών κυκλωμάτων

Τα εσωτερικά ασφαλή κυκλώματα μπορεί να είναι είτε

1. Απομονωμένα από τη γη, ή
2. Αν υπάρχει ισοδυναμικός ζυγός σε όλη τη περιοχή στην οποία είναι εγκατεστημένο το εσωτερικά ασφαλές κύκλωμα, συνδεδεμένα σε αυτόν σε ένα σημείο.

Περισσότερες από μία συνδέσεις στη γη επιτρέπονται για το κύκλωμα εφόσον το κύκλωμα είναι γαλβανικά απομονωμένο από τα υποκυκλώματά του, κάθε ένα από τα οποία έχει μία σύνδεση στη γη.

Για τα εσωτερικά ασφαλή κυκλώματα που είναι απομονωμένα από τη γη, πρέπει να δοθεί προσοχή στον κίνδυνο ηλεκτροστατικής φόρτισης. Μία σύνδεση προς γη μέσω μιας αντίστασης 0,2 MΩ και 1MΩ, για παράδειγμα, για την ηλεκτροστατική εκφόρτιση, δεν εννοείται ως γείωση.

Στα εσωτερικά ασφαλή κυκλώματα, οι ακροδέκτες γείωσης των φραγμών ασφαλείας χωρίς γαλβανική απομόνωση (για παράδειγμα φραγμοί ζένερ) θα είναι:

1. συνδεδεμένοι στον ισοδυναμικό ζυγό μέσω της συντομότερης διαδρομής, ή
2. για τα TN-S συστήματα μόνο, συνδεδεμένοι στη γη με τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλιστεί ότι η σύνθετη αντίσταση από το σημείο της σύνδεσης μέχρι τον κύριο ζυγό της γης είναι μικρότερη από 1Ω.

Η διατομή της σύνδεσης γης θα αποτελείται από:

1. τουλάχιστον δύο διαφορετικούς αγωγούς καθέννας από τους οποίους μπορεί να αντέξει το μέγιστο πιθανό ρεύμα που θα ρέει συνεχώς, με ελάχιστη διατομή 1,5 mm² χαλκού, ή
2. τουλάχιστον ένας αγωγός με ελάχιστη διατομή 4 mm² χαλκού.

4.10.3.8 Επαλήθευση εσωτερικά ασφαλών κυκλωμάτων

Αν δεν υπάρχει πιστοποιητικό για όλο το κύκλωμα θα πρέπει να γίνεται επαλήθευση των εσωτερικά ασφαλών κυκλωμάτων. Όταν γίνεται η εγκατάσταση εσωτερικά ασφαλών κυκλωμάτων, συμπεριλαμβανομένων και των καλωδίων, η μέγιστη επιτρεπόμενη αυτεπαγωγή, χωρητικότητα ή ο λόγος L/R και η μέγιστη θερμοκρασία επιφάνειας δεν θα πρέπει ξεπερνιούνται. Οι επιτρεπόμενες τιμές θα πρέπει να λαμβάνονται από την πινακίδα της συνεργαζόμενης συσκευής.

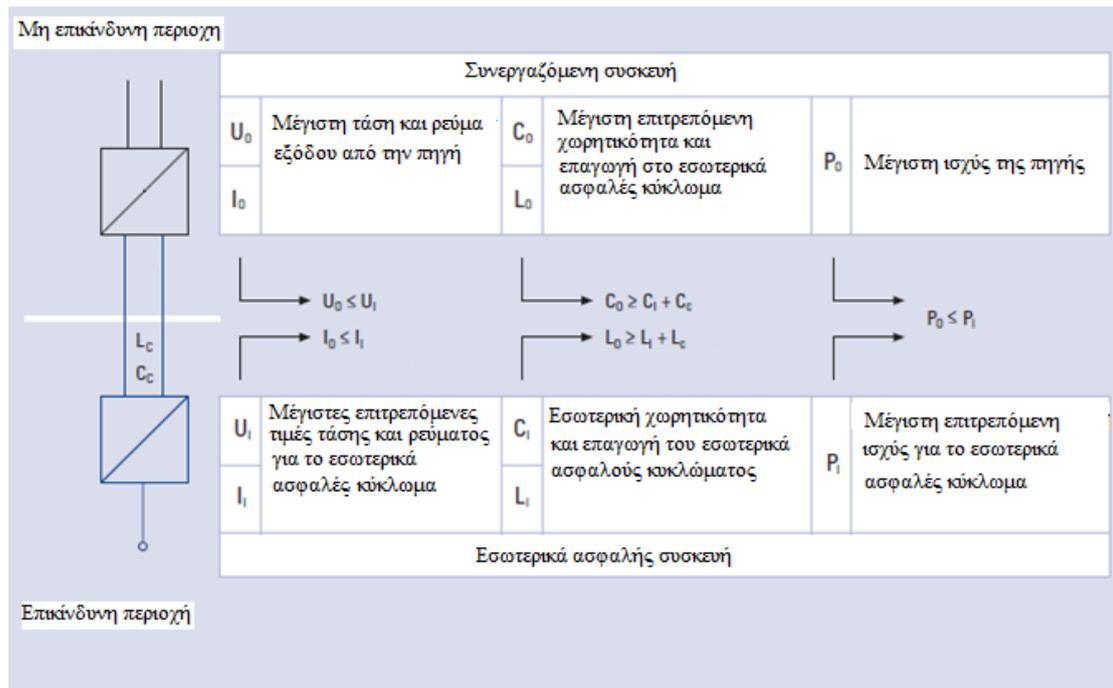
Για εσωτερικά ασφαλή κυκλώματα με μία συνεργαζόμενη συσκευή το άθροισμα της μέγιστης εσωτερικής χωρητικότητας C_i κάθε εξαρτήματος της εσωτερικά ασφαλούς συσκευής και η χωρητικότητα του καλωδίου C_c (τα καλώδια γενικά θεωρούνται συγκεντρωμένες χωρητικότητες ίσες με τη μέγιστη χωρητικότητα δύο διπλανών κλώνων) δεν θα πρέπει να ξεπερνούν τη μέγιστη τιμή C_o της συνεργαζόμενης συσκευής.

Το άθροισμα της μέγιστης εσωτερικής επαγωγής L_i κάθε εξαρτήματος της εσωτερικά ασφαλούς συσκευής και η επαγωγή του καλωδίου L_c (τα καλώδια γενικά θεωρούνται συγκεντρωμένες επαγωγές ίσες με τη μέγιστη επαγωγή δύο κλώνων του καλωδίου που έχουν τη μέγιστη απόσταση) δεν θα πρέπει να ξεπερνούν τη μέγιστη τιμή L_o της συνεργαζόμενης συσκευής.

Όταν η εσωτερικά ασφαλής συσκευή δεν έχει επαγωγή και στη συνεργαζόμενη συσκευή αναγράφεται ο λόγος L/R , αν ο λόγος L/R του καλωδίου μετρούμενος μεταξύ δύο κλώνων του καλωδίου που έχουν τη μέγιστη απόσταση, είναι μικρότερος από αυτή τη τιμή (L/R συνεργαζόμενης συσκευής), δεν είναι αναγκαίο να ικανοποιείται η απαίτηση για το L_o .

Οι επιτρεπόμενες τιμές τάσης εισόδου U_i , ρεύματος εισόδου I_i και ισχύος εισόδου P_i της κάθε εσωτερικά ασφαλούς συσκευής πρέπει να είναι μεγαλύτερες ή ίσες με τις τιμές U_o , I_o και P_o της συνεργαζόμενης συσκευής αντίστοιχα.

Τα παρακάτω φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχήμα 41: Κριτήρια για την επαλήθευση ενός απλού εσωτερικά ασφαλούς κυκλώματος [20].

Για τις απλές συσκευές, η μέγιστη θερμοκρασία μπορεί να προσδιοριστεί από τις τιμές του P_0 της συνεργαζόμενης συσκευής για την εύρεση της θερμοκρασιακής κλάσης. Η θερμοκρασιακή κλάση μπορεί να προσδιοριστεί από τον παρακάτω πίνακα ή από τον τύπο

$$T = P_0 R_{th} + T_{amb} \quad (4.10.3.8-1)$$

Όπου

T είναι η θερμοκρασία επιφάνειας,

P_0 η ισχύς της συνεργαζόμενης συσκευής που αναγράφεται στη πινακίδα,

R_{th} η θερμική αντίσταση (K/W),

T_{amb} η θερμοκρασία περιβάλλοντος και σύμφωνα με τον πίνακα 5 (βλ. παρ. 4.4.2)

Επιπροσθέτως, εξαρτήματα με εμβαδό επιφάνειας μικρότερο των 10cm^2 μπορούν να ταξινομηθούν ως T5 αν η θερμοκρασία επιφάνειάς τους δεν ξεπερνά τους 150°C .

Συνολικό εμβαδόν επιφάνειας Εξαιρούνται τα μολύβδινα καλώδια	Απαιτήση για κατηγορία T4 (βασισμένη σε 40° θερμοκρασία περιβάλλοντος)
<20mm ²	Θερμοκρασία επιφάνειας ≤ 275°C
≥20mm ² ≤10cm ²	Θερμοκρασία επιφάνειας ≤ 200°C
≥20mm ²	Ισχύς να μην υπερβαίνει τα 1,3 W
Μειούμενη σε 1,2 W για 60°C θερμοκρασία περιβάλλοντος ή 1,0 W για 80°C θερμοκρασία περιβάλλοντος	

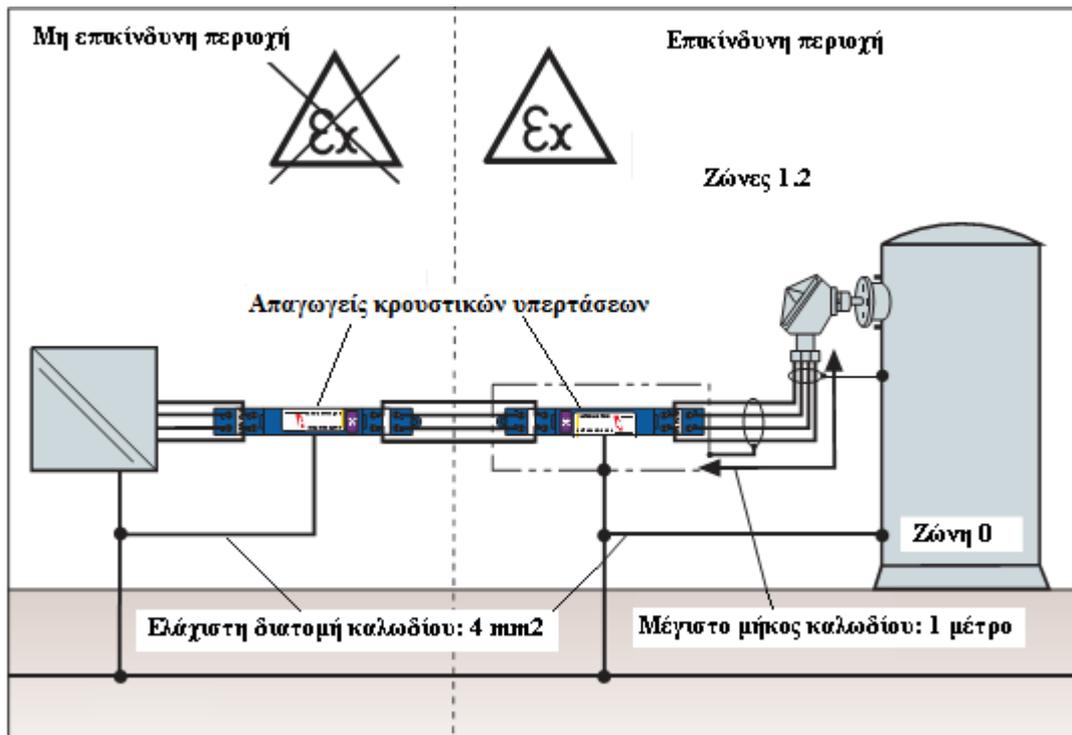
Πίνακας 7: Εκτίμηση για κατηγορία T4 σύμφωνα με το μέγεθος του εξαρτήματος και τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

4.10.4 Εγκαταστάσεις για τη ζώνη 0

Στις εγκαταστάσεις με εσωτερικά ασφαλή κυκλώματα για τη ζώνη 0, η εσωτερικά ασφαλής συσκευή και η συνεργαζόμενη συσκευή θα πρέπει να ανήκουν στην κατηγορία Ia. Προτιμούνται συνεργαζόμενες συσκευές με γαλβανική απομόνωση ανάμεσα στα εσωτερικά ασφαλή και μη εσωτερικά ασφαλή κυκλώματα.

Αν απαιτείται γείωση του κυκλώματος για λειτουργικούς λόγους, η σύνδεση στη γη πρέπει να γίνεται έξω από τη ζώνη 0, αλλά όσο κοντά γίνεται στις συσκευές της ζώνης 0.

Αν μέρος του εσωτερικά ασφαλούς κυκλώματος είναι εγκατεστημένο στη ζώνη 0 έτσι ώστε η συσκευή και ο συνεργαζόμενος εξοπλισμός διατρέχει το ρίσκο ανάπτυξης επικίνδυνης διαφοράς δυναμικού στη ζώνη 0, ένας απαγωγέας κρουστικών υπερτάσεων θα πρέπει να τοποθετηθεί ανάμεσα σε κάθε μη γειωμένο κλώνο του καλωδίου και την τοπική κατασκευή όσο το δυνατόν πιο κοντά κατά προτίμηση εντός ενός μέτρου από την είσοδο της ζώνης 0. Παραδείγματα αυτών των τοποθεσιών είναι δεξαμενές αποθήκευσης εύφλεκτων υγρών, μονάδες διαχείρισης υγρών αποβλήτων και στήλες απόσταξης σε πετροχημικές διαδικασίες.



Σχήμα 42: Απαγωγείς κρουστικών υπερτάσεων σε εσωτερικά ασφαλή κυκλώματα [21]

Όταν σε εσωτερικά ασφαλή κυκλώματα εγκαθίσταται απαγωγέας κρουστικών τάσεων θα πρέπει αυτός να ανταποκρίνεται σε ένα ελάχιστο ρεύμα εκφόρτισης κορυφής 10 kA (8/20 μ s, 10 κρούσεις). Η σύνδεση μεταξύ της συσκευής προστασίας και της τοπικής κατασκευής θα έχει ελάχιστη διατομή ισοδύναμη με 4 mm² χαλκού. Το καλώδιο ανάμεσα στην εσωτερικά ασφαλή συσκευή στη ζώνη 0 και τον απαγωγέα, θα πρέπει να είναι εγκατεστημένο με τέτοιο τρόπο ώστε να προστατεύεται από κεραυνούς.

4.11 Επιπλέον απαιτήσεις για τον τύπο προστασίας p – Περίβλημα υπό πίεση

4.11.1 Ορισμοί

Ρύθμιση πίεσης

Ρυθμίζεται και επιτηρείται για την αποτροπή της εισόδου της εξωτερικής ατμόσφαιρας μέσα στο περίβλημα της συσκευής ή στο χώρο, διατηρώντας το

προστατευτικό αέριο που βρίσκεται μέσα, σε πίεση μεγαλύτερη από αυτή της εξωτερικής ατμόσφαιρας.

Κάθαρση

Σε ένα περίβλημα υπό πίεση, κάθαρση είναι η διαδικασία της διέλευσης ποσότητας προστατευτικού αερίου μέσα από το περίβλημα και τις σωλήνες, έτσι ώστε η συγκέντρωση της εκρηκτικής ατμόσφαιρας να διατηρείται σε ασφαλή επίπεδα.

Στατική ρύθμιση πίεσης

Διατήρηση της υπερπίεσης μέσα σε περίβλημα υπό πίεση, χωρίς την προσθήκη προστατευτικού αερίου στην επικίνδυνη περιοχή.

4.10.2 Σωληνώσεις

Όλοι οι σωλήνες και τα εξαρτήματα σύνδεσης θα πρέπει να αντέχουν πίεση ίση με 1,5 φορές την μέγιστη υπερπίεση, που προσδιορίζει ο κατασκευαστής για την κανονική λειτουργία ή τη μέγιστη υπερπίεση όπου η πηγή παροχής πίεσης μπορεί να αποδώσει με όλα τα ανοίγματα κλειστά, όπου η πηγή παροχής πίεσης (για παράδειγμα ανεμιστήρας) προσδιορίζεται από τον κατασκευαστή της συσκευής με περίβλημα υπό πίεση, με ελάχιστο 200Pa (2 mbar). Τα σημεία στα οποία το προστατευτικό αέριο εισέρχεται στις σωληνώσεις ή εξέρχεται από αυτές, θα πρέπει να βρίσκεται στη μη επικίνδυνη περιοχή.

Οι συσκευές παροχής πίεσης, όπως ανεμιστήρες ή συμπιεστές που χρησιμοποιούνται για την παροχή προστατευτικού αερίου θα πρέπει κατά προτίμηση να εγκαθίστανται στη μη επικίνδυνη περιοχή. Όταν ο κινητήρας ή ο εξοπλισμός ελέγχου βρίσκονται μαζί με τους σωλήνες παροχής, ή όταν η εγκατάσταση στην επικίνδυνη περιοχή δεν μπορεί να αποφευχθεί, τότε η συσκευή παροχής πίεσης πρέπει να προστατεύεται κατάλληλα.

4.11.3 Ενέργειες σε περίπτωση αποτυχίας ρύθμισης πίεσης

Σε περιπτώσεις αποτυχίας ρύθμισης πίεσης πρέπει να ληφθούν μέτρα για αποφυγή επικίνδυνων καταστάσεων. Οι ενέργειες που πρέπει να γίνουν σε κάθε περίπτωση, ανάλογα με το αν η συσκευή περιέχει ή όχι εσωτερική πηγή απελευθέρωσης είναι οι εξής:

Αν η συσκευή δεν έχει εσωτερική πηγή απελευθέρωσης τότε σε αυτή τη περίπτωση πρέπει να γίνουν οι ενέργειες που δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Είδος περιοχής	Περίβλημα που περιέχει συσκευή όχι κατάλληλη για τη ζώνη 2 χωρίς ρύθμιση πίεσης	Περίβλημα που περιέχει συσκευή κατάλληλη για τη ζώνη 2 χωρίς ρύθμιση πίεσης
Ζώνη 2	Συναγερμός ¹	Καμία ενέργεια
Ζώνη 1	Συναγερμός και διακοπή ²	Συναγερμός ¹

1 Αν λειτουργήσει ο συναγερμός άμεσες ενέργειες πρέπει να γίνουν για να αποκατασταθεί το σύστημα

2 Αν από την αυτόματη διακοπή προκύπτει επικίνδυνη κατάσταση, άλλα μέτρα πρέπει να ληφθούν

Σημείωση : Η αποκατάσταση της ρύθμισης πίεσης θα πρέπει να ολοκληρωθεί το συντομότερο δυνατόν, όμως σε κάθε περίπτωση εντός 24 ωρών.

Πίνακας 8: Ενέργειες σε περίπτωση αποτυχίας ρύθμισης πίεσης σε συσκευή χωρίς εσωτερική πηγή απελευθέρωσης.

Αν η συσκευή έχει μια εσωτερική πηγή απελευθέρωσης, τότε σε περίπτωση αποτυχίας ρύθμισης της πίεσης, ο χρήστης θα πρέπει να πάρει μέτρα λαμβάνοντας υπόψη τουλάχιστον τα παρακάτω:

1. Τις υποδείξεις του κατασκευαστή,
2. Τη φύση της απελευθέρωσης (μηδαμινή, περιορισμένη, απεριόριστη),
3. Την ουσία που απελευθερώνεται (υγρό, αέριο) και τα όρια ανάφλεξης τους,
4. Αν η παροχή της εύφλεκτης ουσίας διακόπτεται ή όχι σε περίπτωση απελευθέρωσης,
5. Το είδος της συσκευής που βρίσκεται μέσα στο περίβλημα, π.χ. αν περιέχει μηχανισμούς με ελατήρια, αν είναι κατάλληλη για τη ζώνη 1 ή τη ζώνη 2, και την απόσταση της από τη πηγή απελευθέρωσης,
6. Το είδος της εξωτερικής περιοχής, ζώνη 1 ή ζώνη 2,
7. Τον τύπο του προστατευτικού αερίου, (αέρας ή αδρανές αέριο),
8. Τις επιπτώσεις από μια απροειδοποίητη αυτόματη διακοπή λειτουργίας της συσκευής.

4.11.4 Κάθαρση

Το χρησιμοποιούμενο προστατευτικό αέριο για κάθαρση και παροχή πίεσης πρέπει να είναι μη εύφλεκτο και μη τοξικό. Επίσης, δεν θα πρέπει να περιέχει υγρασία, λάδι, σκόνη, ίνες, χημικά, ή άλλα επικίνδυνα εύφλεκτα υλικά. Συνήθως είναι αέρας ή κάποιο αδρανές αέριο. Ο κατασκευαστής θα πρέπει να διευκρινίζει τον τύπο του αερίου ή οποιοδήποτε άλλο εναλλακτικό. Όταν χρησιμοποιείται αδρανές αέριο, υπάρχει ο κίνδυνος ασφυξίας. Για αυτό πρέπει να υπάρχει κατάλληλη σήμανση προειδοποίησης. Διαφορετικά θα πρέπει να γίνεται κάθαρση ώστε να απομακρυνθεί το αδρανές αέριο πριν ανοιχτεί ή πόρτα ή το κάλυμμα [9]. Το προστατευτικό αέριο δεν θα πρέπει να περιέχει περισσότερο οξυγόνο ανά όγκο από ότι περιέχει ο αέρας. Επίσης η θερμοκρασία του προστατευτικού αερίου δεν θα πρέπει να ξεπερνά τους 40°C [4].

5. Οδηγίες για εκρηκτικές ατμόσφαιρες

5.1 Εισαγωγή

Ο όρος ATEX (ATmospheres EXplosives) αναφέρεται [26] στις Ευρωπαϊκές οδηγίες για την εναρμόνιση των νομοθεσιών των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με τις βασικές απαιτήσεις υγείας και ασφάλειας, τις απαιτήσεις για τη σήμανση CE των προϊόντων και τις διαδικασίες αξιολόγησης της συμμόρφωσης του εξοπλισμού και των συστημάτων προστασίας που προορίζονται για χρήση σε εκρηκτικές ατμόσφαιρες σύμφωνα με την οδηγία 94/9/ EC. Επίσης αναφέρεται στην προστασία των εργαζομένων από τον κίνδυνο εκρηκτικών ατμοσφαιρών σύμφωνα με την οδηγία 1999/92/EC.

Και οι δύο οδηγίες είναι υποχρεωτικές στην εφαρμογή τους από 01.07.2003. Η εναρμόνιση της οδηγίας 94/9/EC στην Ελληνική νομοθεσία έγινε με τη σχετική απόφαση που δημοσιεύεται στο ΦΕΚ 157-13.03.96 / Β 17081/2964 (Συσκευές και συστήματα προστασίας που προορίζονται για χρήση σε εκρήξιμες ατμόσφαιρες). Οι οδηγίες ATEX βρίσκουν εφαρμογή σε όλους τους χώρους όπου είναι δυνατόν οι εργαζόμενοι να εκτεθούν σε κίνδυνο λόγω εκρηκτικών ατμοσφαιρών.

Οι οδηγίες ATEX επηρεάζουν :

1. Κατασκευαστές εξοπλισμού που προορίζεται σε εκρηκτικές ατμόσφαιρες.
2. Λειτουργούς εγκαταστάσεων όπου υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας εκρηκτικής ατμόσφαιρας.
3. Σχεδιαστές, διανομείς, αντιπροσώπους, εγκαταστάτες, συντηρητές, φορείς επιθεώρησης.

5.2 Σήμανση CE

Σε κάθε συσκευή και σύστημα προστασίας πρέπει να αναγράφονται κατά τρόπο ευανάγνωστο και ανεξίτηλο οι ακόλουθες ελάχιστες ενδείξεις [27]:

- η επωνυμία και διεύθυνση του κατασκευαστή,
- η σήμανση CE,
- ο χαρακτηρισμός σειράς ή τύπου,
- ο αριθμός σειράς, εάν υπάρχει,

- το έτος κατασκευής,
- η ειδική σήμανση προστασίας από εκρήξεις EX ακολουθούμενη από το σύμβολο της ομάδας συσκευών και της κατηγορίας,
- για την ομάδα συσκευών II το γράμμα G (όσον αφορά τις εκρηκτικές ατμόσφαιρες που οφείλονται στην παρουσία αερίων, ατμών ή συγκεντρώσεις σταγονιδίων) ή/και το γράμμα D (όσον αφορά τις εκρηκτικές ατμόσφαιρες που οφείλονται στην παρουσία σκόνης). Εξάλλου και εφόσον είναι αναγκαίο πρέπει επίσης να φέρουν όλες τις απαραίτητες ενδείξεις για την ασφαλή χρήση.

Η σήμανση CE [16] είναι δήλωση του κατασκευαστή του προϊόντος (ή του εξουσιοδοτημένου εκπροσώπου σε περίπτωση που το προϊόν εισάγεται στην Ευρωπαϊκή Ένωση), ότι αυτό συμμορφώνεται με όλα τα κριτήρια που θέτει η Ευρωπαϊκή Ένωση. Η σήμανση CE δεν σημαίνει ότι το προϊόν έχει κατασκευαστεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση ούτε υπονοεί ένα συγκεκριμένο επίπεδο ποιότητας, αφού το προϊόν δεν έχει πιστοποιηθεί από κάποιο αρμόδιο οργανισμό.

5.3 Προειδοποιητικό σήμα

Σύμφωνα με το Προεδρικό Διάταγμα υπ' αριθ. 42, αρ. φύλλου 44, 21/2/2003 (σχετικά με τις ελάχιστες απαιτήσεις για τη βελτίωση της προστασίας της υγείας και της ασφάλειας των εργαζομένων οι οποίοι είναι δυνατόν να εκτεθούν σε κίνδυνο από εκρηκτικές ατμόσφαιρες σε συμμόρφωση με την οδηγία 1999/92/EK της 16^{ης} Δεκεμβρίου 1999 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου E.E.L 23/57/28.01.2000) , προειδοποιητικό σήμα για τη σήμανση χώρων στους οποίους είναι δυνατόν να δημιουργηθούν εκρηκτικές ατμόσφαιρες σε βαθμό τέτοιο ώστε να θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια και την υγεία των εργαζομένων, είναι το παρακάτω:



Σχήμα 43: Προειδοποιητικό σήμα για εκρηκτικές ατμόσφαιρες [29]

Το σήμα πρέπει να έχει διακριτικά στοιχεία, τριγωνικό σχήμα και μαύρους χαρακτήρες σε κίτρινο φόντο, μαύρο περίγραμμα (το κίτρινο πρέπει να καλύπτει τουλάχιστον το 50% της επιφάνειας του σήματος).

5.4 Ομάδες συσκευών

Οι ομάδες συσκευών σύμφωνα όπως αναφέρονται στο ΦΕΚ 157-13.03.96 / Β 17081/2964 (Συσκευές και συστήματα προστασίας που προορίζονται για χρήση σε εκρήξιμες ατμόσφαιρες), παράρτημα 1 είναι:

- Ομάδα συσκευών I που έχει 2 κατηγορίες:

Η κατηγορία M 1 περιλαμβάνει [27] τις συσκευές που έχουν σχεδιαστεί και όπου είναι απαραίτητο εξοπλιστεί με πρόσθετα ειδικά μέσα προστασία ώστε να μπορούν να λειτουργούν σύμφωνα με τις λειτουργικές παραμέτρους του κατασκευαστή και να εξασφαλίζουν **πολύ υψηλό** επίπεδο προστασίας. Οι συσκευές αυτής της κατηγορίας προορίζονται για υπόγειες εξορυκτικές εργασίες και για όσα τμήματα των εγκαταστάσεων εδάφους των ορυχείων κινδυνεύουν από το εκρηκτικό αέριο ή/και καύσιμες σκόνες.

Η κατηγορία M 2 περιλαμβάνει τις συσκευές που έχουν σχεδιαστεί για να μπορούν να λειτουργούν σύμφωνα με τις λειτουργικές παραμέτρους του κατασκευαστή και βασίζονται σε **υψηλό** επίπεδο προστασίας. Οι συσκευές αυτής της κατηγορίας προορίζονται για υπόγειες εξορυκτικές εργασίες και για όσα τμήματα των εγκαταστάσεων εδάφους των ορυχείων κινδυνεύουν από το εκρηκτικό αέριο ή/και καύσιμες σκόνες.

- Ομάδα συσκευών II που έχει 3 κατηγορίες:

Η κατηγορία 1 περιλαμβάνει τις συσκευές που έχουν σχεδιαστεί για να μπορούν να λειτουργούν σύμφωνα με τις λειτουργικές παραμέτρους του κατασκευαστή και να εξασφαλίζουν **πολύ υψηλό** επίπεδο προστασίας. Οι συσκευές αυτής της κατηγορίας προορίζονται για περιβάλλον όπου υπάρχουν διαρκώς, ή για μεγάλο διάστημα, ή συχνά, εκρηκτικές ατμόσφαιρες προκαλούμενες από μείγματα ατμοσφαιρικού αέρα με αέρια, ατμούς, συγκέντρωση σταγονιδίων ή μείγματος αέρα-

σκόνης. Ένα παράδειγμα συσκευής ομάδας II κατηγορίας 1 είναι η παρακάτω κάμερα:



Σχήμα 44: Κάμερα ασφαλείας, ομάδας II, κατηγορίας 1 [44]

Η κατηγορία 2 περιλαμβάνει τις συσκευές που έχουν σχεδιαστεί για να μπορούν να λειτουργούν σύμφωνα με τις λειτουργικές παραμέτρους του κατασκευαστή και βασίζονται σε **υψηλό** επίπεδο προστασίας. Οι συσκευές αυτής της κατηγορίας προορίζονται για περιβάλλον όπου είναι πιθανό να εκδηλωθούν εκρηκτικές ατμόσφαιρες προκαλούμενες από αέρια, ατμούς, συγκέντρωση σταγονιδίων ή μείγματος αέρα-σκόνης. Ένα παράδειγμα συσκευής ομάδας II κατηγορίας 2 είναι ο παρακάτω θερμοστάτης:



Σχήμα 45:Θερμοστάτης, ομάδας II, κατηγορία 2 [43]

Η κατηγορία 3 περιλαμβάνει τις συσκευές που έχουν σχεδιαστεί για να μπορούν να λειτουργούν σύμφωνα με τις λειτουργικές παραμέτρους του κατασκευαστή και να εξασφαλίζουν **κανονικό** επίπεδο προστασίας. Οι συσκευές

αυτής της κατηγορίας προορίζονται για περιβάλλον όπου υπάρχει μικρή πιθανότητα σχηματισμού εκρηκτικών ατμοσφαιρών προκαλούμενων από αέρια, ατμούς, συγκέντρωση σταγονιδίων ή μείγματος αέρα-σκόνης και κατά πάσα πιθανότητα οι ατμόσφαιρες αυτές θα σχηματίζονται σπάνια και δεν θα διατηρούνται παρά μόνο για βραχύ χρονικό διάστημα.



Σχήμα 46: Φακός, ομάδας II, κατηγορία 3 [45]

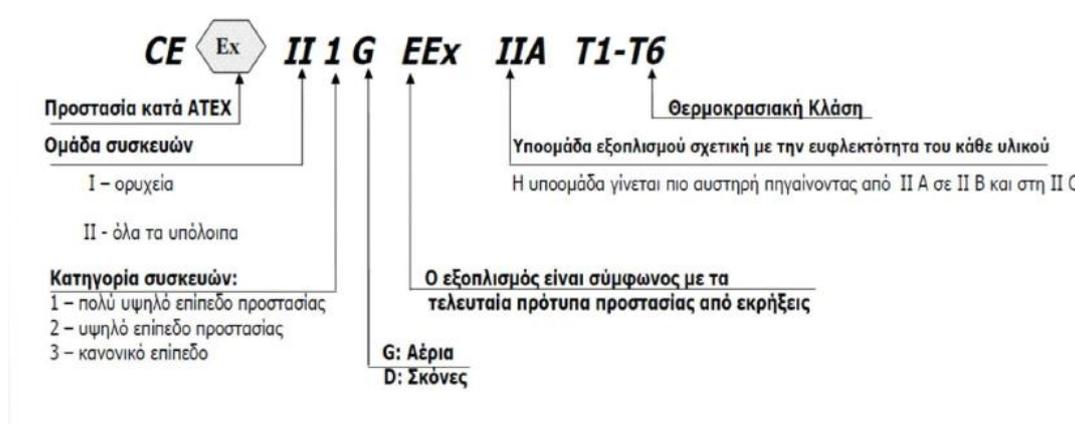
Στον παρακάτω πίνακα υπάρχει η αντιστοιχία της κατηγορίας εξοπλισμού ATEX για την ομάδα συσκευών II με τη ζώνη επικινδυνότητας σύμφωνα με το πρότυπο IEC.

Κατηγορία εξοπλισμού ATEX	Ζώνη επικινδυνότητας σύμφωνα με το πρότυπο IEC
1G	Εξοπλισμός κατάλληλος για ζώνη 0
1D	Εξοπλισμός κατάλληλος για ζώνη 20
2G	Εξοπλισμός κατάλληλος για ζώνη 1
2D	Εξοπλισμός κατάλληλος για ζώνη 21
3G	Εξοπλισμός κατάλληλος για ζώνη 2
3D	Εξοπλισμός κατάλληλος για ζώνη 22

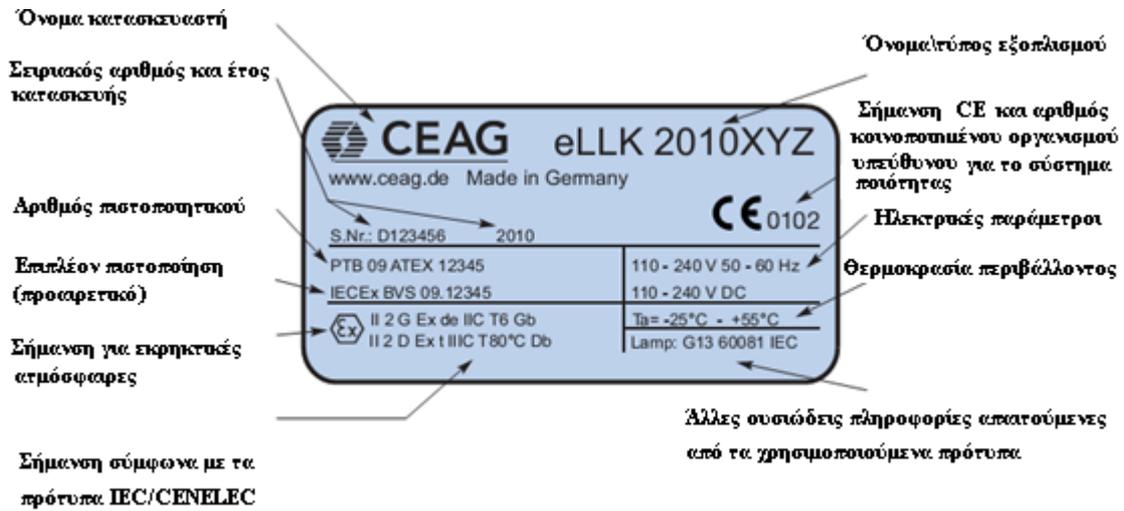
Πίνακας 9: Κατηγορία εξοπλισμού ATEX και ζώνη επικινδυνότητας [28]

5.5 Παραδείγματα σήμανσης

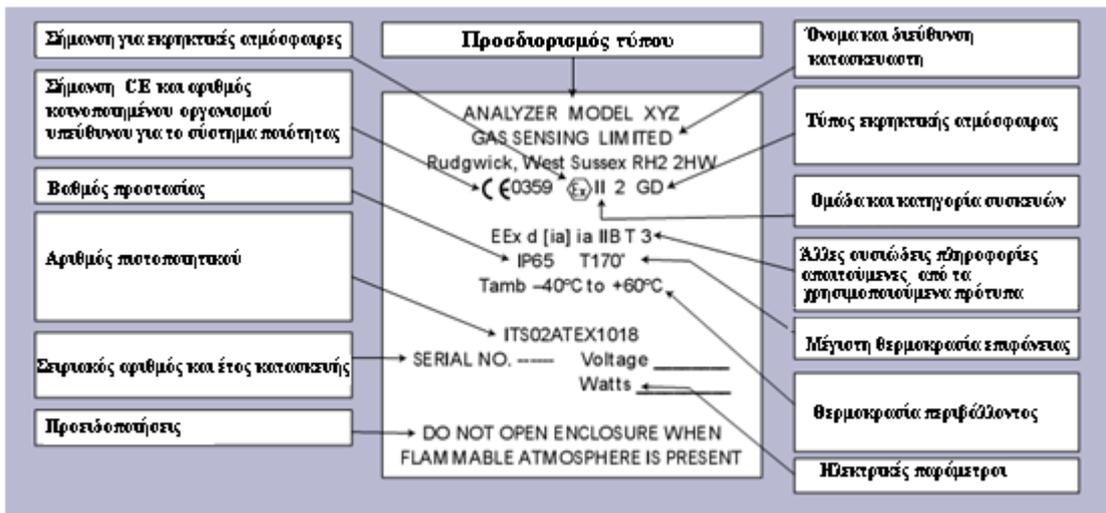
Παρακάτω, ακολουθούν 3 παραδείγματα σήμανσης σύμφωνα με την οδηγία ATEX.



Σχήμα 47: Σήμανση ATEX [29]



Σχήμα 48: Σήμανση σε πινακίδα συσκευής [24]



Σχήμα 49: Σήμανση σε πινακίδα συσκευής [25]

Βιβλιογραφία

- [1] Π. Δ. Μπούρκας: “Εφαρμογές Εγκαταστάσεων σε νοσοκομεία”, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 1999.
- [2] Geoffrey Bottrill, Derek Cheyne, G. vijayaraghanan: “ Practical Electrical Equipment and Installations in Hazardous Areas”, Elsevier, 2005.
- [3] Alan McMillan, “Electrical Installations in Hazardous Areas”, Butterworth Heinemann, 1998.
- [4] International Standard IEC 60079-14 “Electrical apparatus for explosive gas atmospheres-Electrical installations in hazardous areas (other than mines)”, 2002.
- [5] International Standard IEC 60079-10 “Electrical apparatus for explosive gas atmospheres-Classification of hazardous areas”, 2002.
- [6] International Standard IEC 60079-11 “Electrical apparatus for explosive gas atmospheres-Intrinsic safety “i””, 1999.
- [7] International Standard IEC 60079-1 “Electrical apparatus for explosive gas atmospheres-Flameproof enclosures “d””, 2003.
- [8] International Standard IEC 60079-15 “Electrical apparatus for explosive gas atmospheres-Construction, test and marking of type of protection “n” electrical apparatus”, 2005.
- [9] International Standard IEC 60079-2 “Electrical apparatus for explosive gas atmospheres-Pressurized enclosures “p””, 2001.
- [10] International Standard IEC 60079-7 “Electrical apparatus for explosive gas atmospheres-Increased safety “e””, 2001.
- [11] International Standard IEC 60079-5 “Electrical apparatus for explosive gas atmospheres-Powder filling “q””, 1997.
- [12] International Standard IEC 60079-6 “Electrical apparatus for explosive gas atmospheres-Oil-immersion “o””, 1995.
- [13] http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/Metalo.1110201726173.pdf
- [14] <http://www.firefighters.gr>
- [15] http://www.crouse-hinds.com/crousehinds/sound_ideas/Chapter7.pdf
- [16] <http://www.sourceiec.com/Chapter%204%20CE%20Marking.pdf>
- [17] <http://www.rtkinstruments.com/documentation/UK/rtktec101.pdf>

- [18] <http://www.sourceiec.com/Chapter%2012%20EX%20Protection%20Techniques.pdf>
- [19] http://www.ehawke.com/technical/ip_codes.html
- [20] http://www.r-stahl.ru/fileadmin/Dateien/ex-zeitschrift/2007/en/16verification_for_intrinsic_safety.pdf
- [21] http://www.dehn.de/pdf/blitzplaner/Chapters/BBP_E_Chapter_09_15.pdf
- [22] <http://www.sourceiec.com/Chapter%2019%20Installation%20Examples.pdf>
- [23] http://www.dehn.de/pdf/kataloge/UE_2010_E_complete.pdf
- [24] http://www.ceag.de/en/Explosion_Protection/Expert_Forum/30080002154_ATE_X_Wall_Chart_lowres_en.pdf
- [25] <http://uk.intertek-etlsemko.com>
- [26] <http://www.tuvhellas.gr/42204.asp>
- [27] ΦΕΚ 157-13/03/96.
- [28] Προεδρικό Διάταγμα αρ. φύλλου 44, 21/2/2003.
- [29] <http://www.hellenicpaints.gr/images/stories/presentation1.pdf>
- [30] <http://www.iec.ch/cgi-bin/procgi.pl/www/iecwww.p?wwwlang=english&wwwprog=cat-det.p&progdb=db1&wartnum=36557>
- [31] http://www.isa.org/InTechTemplate.cfm?Section=article_index1&template=/ContentManagement/ContentDisplay.cfm&ContentID=712
- [32] http://www.r-stahl.com/fileadmin/Dateien/ex-zeitschrift/2008/en/11_ExMagazine_Web_EN_Ignition_risk_due_to_optival_radiation.pdf
- [33] http://www.servis.gr/greek/ex_qa.htm
- [34] <http://el.wikipedia.org/wiki>
- [35] http://www.r-stahl.com/fileadmin/Dateien/explosionsschutz/pdf/grundlagen_en.pdf
- [36] http://www.crouse-hinds.com/CrouseHinds/Sound_Ideas/Chapter4.pdf

- [37] <http://www.correge.fr/EN/44>
- [38] http://www.leuze.com/downloads/los/db/04_ex/DS_LSR46B_S-Ex_n_en.pdf
- [39] http://www.sourceiec.com/ABELCO_Hadar_Lighting.pdf
- [40] <http://www.pulsar-pm.com/Products/Transducers.aspx>
- [41]
<http://www.abb.com/product/ap/seitp322/0541cbba8eeda02ac1256dd0003e8f74.aspx>
- [42][http://www05.abb.com/global/scot/scot203.nsf/veritydisplay/dd471773f362da1cc12575a90037e96f/\\$File/SS_AK100_7.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot203.nsf/veritydisplay/dd471773f362da1cc12575a90037e96f/$File/SS_AK100_7.pdf)
- [43] <http://www.omega.co.uk/ppt/pptsc.asp?ref=REX011&flag=1>
- [44]http://resource.boschsecurity.com/documents/MICSeries440Exp_DataSheet_enUS_T55_25925131.pdf
- [45] <http://www.atexshop.com/1820c-pocket-sabre-lite-2c-p-45.html>