



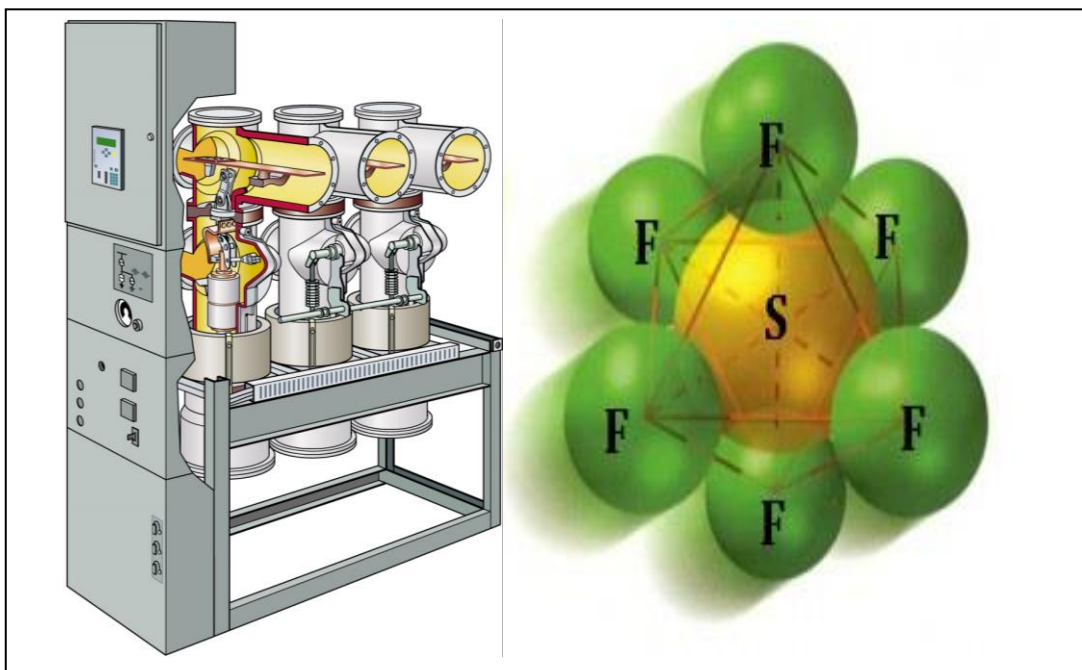
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Ιδιότητες, Χρήσεις και Εφαρμογές του Ηλεκτρομονωτικού Αερίου SF₆



Φοιτητής: Χρονάκης Χρυσοβαλάντης

ΑΜ: 04477

Επιβλέπων Καθηγητής

Καλκάνης Κωνσταντίνος

Επίκουρος Καθηγητής

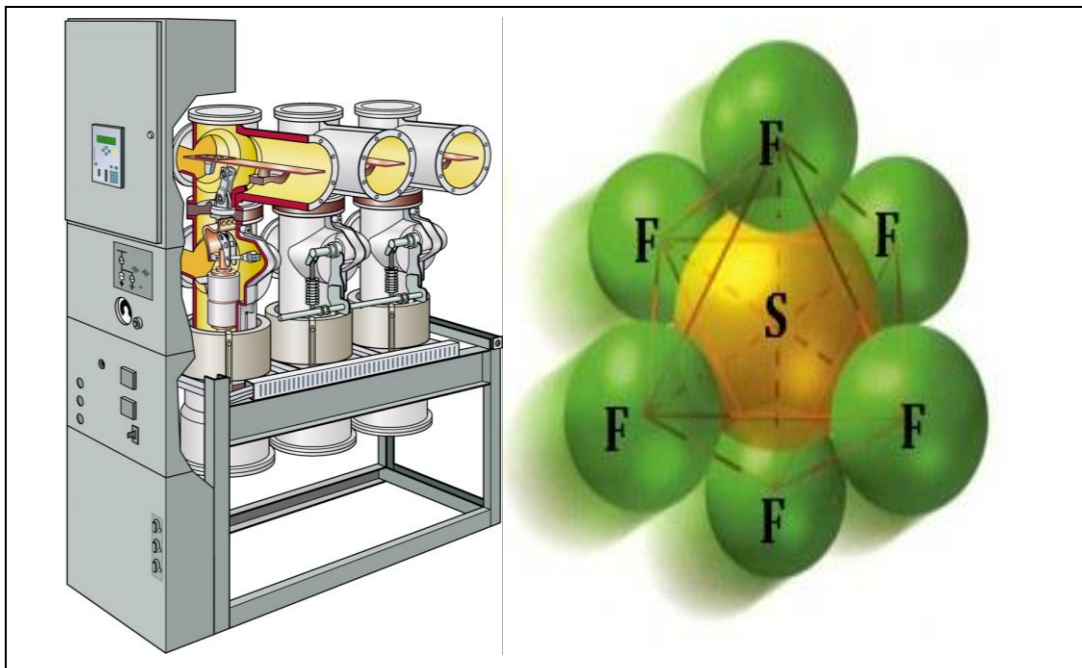
ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, Μάρτιος 2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING

Diploma Thesis

Properties, Uses and Applications of SF₆ Insulating Gas



Student: Chronakis Chrysovalantis
Registration Number: 04477

Supervisor

Kalkanis Konstantinos
Assistant Professor

ATHENS-EGALEO, March 2023

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Καλκάνης Κωνσταντίνος, Επίκουρος Καθηγητής	Κ. ΨΩΜΟΠΟΥΛΟΣ Καθηγητής	Ν. ΜΑΝΟΥΣΑΚΗΣ Επίκουρος Καθηγητής
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Χρονάκης Χρυσοβαλάντης,
Φεβρουάριος, 2023**

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 τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Χρονάκης Χρυσοβαλάντης του Ιωάννη, με αριθμό μητρώου 04477 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι 31/12/2023 και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος καθηγητή.»

Ο Δηλών
Χρονάκης Χρυσοβαλάντης



Αφιερώνεται στη σύζυγό μου Βαρβάρα και τον γιο μου Αλέξανδρο, που με στήριξαν αδιάκοπα κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Ευχαριστώ θερμά την οικογένειά μου και όλους τους καθηγητές μου, για την συνεχή στήριξη και ενθάρρυνση που μου παρείχαν κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται αρχικά τη νομοθεσία και τα πρότυπα που διέπουν τη χρήση αέριων διηλεκτρικών και ειδικότερα των φθοριούχων αερίων.

Στη συνέχεια θα γίνει παρουσίαση του σχετικού θεωρητικού υπόβαθρου, μια αναφορά των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του τεχνητού ηλεκτρομονωτικού αερίου εξαφθοριούχου θείου (SF₆) οι οποίες θα εξεταστούν ως προς την χρησιμοποίησή του σε ηλεκτροτεχνικές εφαρμογές. Ειδικότερα θα εξεταστεί η συμπεριφορά του σε ηλεκτρολογικό εξοπλισμό όπως:

- Διακόπτες ισχύος
- Γραμμές μεταφοράς
- Μετασχηματιστές
- Παραγωγή ημιαγωγών

αλλά και σε άλλες περιπτώσεις.

Επίσης, θα παρουσιαστεί εξοπλισμός που χρησιμοποιεί ως ηλεκτρομονωτικό αέριο το εξαφθοριούχο θείο (SF₆) και εταιρείες παραγωγής του, καθώς επίσης και απαραίτητα όργανα ανίχνευσης και μετρήσεων για εγκαταστάσεις με τέτοιο εξοπλισμό.

Επιπροσθέτως θα γίνει μια αναφορά στο φαινόμενο θερμοκηπίου και στην επίδραση του εξαφθοριούχου θείου σε αυτό ως ένα από τα ισχυρά αέρια του φαινομένου αυτού.

Λέξεις – κλειδιά

Φθοριούχα αέρια, ηλεκτρομονωτικά αέρια, εξαφθοριούχο θείο, SF₆, διακόπτες ισχύος, γραμμές μεταφοράς, μετασχηματιστές, παραγωγή ημιαγωγών, φαινόμενο θερμοκηπίου.

Abstract

This thesis first deals with the legislation and standards that govern the use of gaseous dielectrics and in particular fluorinated gases.

Then the relevant theoretical background will be presented, a record of the physical and chemical characteristics of sulfur hexafluoride (SF₆) will be examined in terms of its use in electrotechnical applications. In particular, the behavior of the gas in

- Power switches
- Transmission lines
- Transformers
- Semiconductor production

and in other cases will be examined.

Also, equipment that uses sulfur hexafluoride (SF₆) as an insulating gas and its production companies will be presented, as well as necessary detection and measurement instruments for installations with such equipment.

In addition, a reference will be made to the greenhouse effect and the effect of sulfur hexafluoride on it as one of the powerful gases of this phenomenon.

Keywords

Fluorine gases, insulating gases, sulfur hexafluoride, SF₆, circuit breakers, transmission lines, transformers, semiconductor manufacturing, greenhouse effect.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων.....	13
Κατάλογος Σχημάτων	13
Αλφαβητικό Ευρετήριο.....	16
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	17
Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας.....	17
Σκοπός και στόχοι	18
Μεθοδολογία.....	18
Δομή	18
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο : ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΜΟΝΩΤΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ SF₆	20
1.1 Εισαγωγή.....	20
1.2 Ευρωπαϊκή νομοθεσία.....	20
1.2.1 Κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 517/2014 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου	20
1.2.1.1 Βασικοί ορισμοί κανονισμού	20
1.2.1.2 Βασικά σημεία νέου κανονισμού.....	24
1.2.1.3 Εφαρμογή του νέου κανονισμού	27
1.3 Ελληνική νομοθεσία.....	27
1.3.1 Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) με Αριθμό 18694/2012	27
1.3.2 Η Κοινή Υπουργική Απόφαση με Αριθμό ΥΠΕΝ/ΔΔΕΔ/85858/2124 (Φ.Ε.Κ. 6777/Β-31-12-2021)	27
1.3.2.1 Οι γενικές προεκτάσεις της Κ.Υ.Α. ΥΠΕΝ/ΔΔΕΔ/85858/2124	27
1.3.2.2 Οι ρυθμίσεις της Κ.Υ.Α. ανά άρθρο.....	28
1.3.2.2.1 Άρθρο 2: Αρμόδια Κεντρική Συντονιστική Αρχή - Συναρμόδιες Αρχές.....	28
1.3.2.2.2 Άρθρο 3: Σύσταση Τεχνικής Διυπουργικής Επιτροπής (ΤΕ.Δ.Ε.).....	28
1.3.2.2.3 Άρθρο 4: Πρόληψη εκπομπών και έλεγχοι διαρροών (φθοριούχων αερίων) - Υποχρεώσεις χειριστών και παραγωγών	29
1.3.3 Νόμος 4936/2022 (Εθνικός Κλιματικός Νόμος)	30
1.3.3.1 Άρθρο 20: Μέτρα για τη μείωση των εκπομπών από επιχειρήσεις.....	31
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο : ΑΕΡΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΟΝΩΤΙΚΑ	33
2.1 Εισαγωγή.....	33
2.2 Η διάσπαση των ηλεκτρομονωτικών αερίων	34
2.2.1 Γενικά.....	34
2.2.2 Θεωρία Διάσπασης του Townsend	34
2.2.3 Νηματική θεωρία (steamer theory)	34
2.2.4 Η ηλεκτρική διάσπαση.....	34
2.2.5 Το ηλεκτρικό τόξο	36
2.2.5.1 Θεωρητικά μοντέλα	36
2.2.5.1.1 Το μοντέλο του Cassie.....	36
2.2.5.1.2 Το μοντέλο του Mayr	36
2.2.5.1.3 Σύγκριση θεωρητικών μοντέλων	37
2.2.5.2 Σβέση του τόξου.....	37
2.2.6 Ο Νόμος του Paschen	38

2.2.7	Εξάρτηση από την κατάσταση, το είδος και την διάταξη των ηλεκτροδίων	39
2.2.8	Ύπαρξη αγώγιμων σωματιδίων	40
2.2.9	Επίδραση υγρασίας	40
2.3	Χημική υπόσταση	40
2.4	Ποιότητες αερίου	41
2.5	Πρότυπα ASTM για τα διηλεκτρικά αέρια	41
2.6	Ιδιότητες	42
2.6.1	Τοξικότητα	42
2.6.2	Αντοχή σε ηλεκτρικά τόξα ισχύος	43
2.6.3	Χημική και θερμική σταθερότητα	43
2.6.4	Θερμικές ιδιότητες	44
2.6.5	Κρίσιμες σταθερές	45
2.6.6	Θερμοκρασίες Ζέσεως	46
2.6.7	Διηλεκτρική σταθερά	46
2.6.8	Συμβατότητα	47
2.6.9	Διαθεσιμότητα	47
2.7	Αέρια μείγματα	47
2.8	Χρήσεις στην ηλεκτρική & ηλεκτρονική βιομηχανία	48
2.9	Προγράμματα έρευνας και ανάπτυξης	48
2.10	Τάσεις της αγοράς	49
3	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΗΛΕΚΤΡΟΜΟΝΩΤΙΚΟ ΑΕΡΙΟ ΕΞΑΦΘΟΡΙΟΥΧΟ ΘΕΙΟ	
SF₆	50	
3.1	Ιδιότητες και χαρακτηριστικά του SF₆	50
3.2	Ηλεκτρικές ιδιότητες	52
3.2.1	Ηλεκτραρνητικότητα	52
3.2.2	Διηλεκτρικές σταθερές	52
3.2.3	Διηλεκτρική αντοχή	52
3.2.4	Ικανότητα σβέσης τόξου	54
3.2.5	Συντελεστής απωλειών	56
3.2.6	Άλλες φυσικές ιδιότητες	56
3.3	Χημική συμπεριφορά και δημιουργία παραπροϊόντων του SF₆	60
3.3.1	Συμπεριφορά σε υψηλές θερμοκρασίες	62
3.3.2	Συμπεριφορά υπό την επίδραση ηλεκτρικών εκκενώσεων	62
3.3.3	Χαρακτηριστικά διάβρωσης του SF ₆ και των παραπροϊόντων του	63
3.3.4	Μέτρα για την απομάκρυνση των διαβρωτικών ουσιών	63
3.4	Τοξικότητα	64
3.4.1	Το μη καταπονημένο καθαρό SF ₆	64
3.4.2	Χρησιμοποιημένο SF ₆	64
3.5	Προδιαγραφές	65
3.6	Κυκλική οικονομία και επαναχρησιμοποίηση του SF₆	65
3.7	Οπτικές ιδιότητες - Φάσμα αερίου SF₆	66
3.8	Χημική συμπεριφορά του SF₆ παρουσία μετάλλων	67
3.9	Η επίδραση του αερίου SF₆ στο φαινόμενο του θερμοκηπίου	68
3.9.1	Φαινόμενο του θερμοκηπίου και SF ₆	68
3.9.2	Η συγκέντρωση του SF ₆ στο περιβάλλον	69
3.9.3	Το αέριο SF ₆ ως ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου	70
3.9.4	Η επίδραση του SF ₆ στο φάσμα ακτινοβολίας	71
3.10	Ανίχνευση και μέτρηση παραπροϊόντων SF₆	75
3.10.1	Ανίχνευση μικρών περιεκτικότητων του SF ₆	75
3.10.2	Ανίχνευση με τετραπολικό φασματογράφο μάζας	75
3.10.2.1	Αρχή λειτουργίας των τετραπολικών φίλτρων	76
3.10.2.2	Πηγή ιόντων	78
3.10.2.3	Τετραπολικό φίλτρο μαζών	79

<i>Ιδιότητες, Χρήσεις και Εφαρμογές του Ηλεκτρομονωτικού Αερίου SF₆</i>	
3.10.2.4	Ανιχνευτής - συλλέκτης ιόντων Faraday 79
3.10.2.5	Η μελέτη του καθαρού και ξηρού SF ₆ με την χρήση του τετραπολικού φασματογράφου μαζών 80
3.10.2.6	Φάσμα μαζών καθαρού και ξηρού SF ₆ 80
3.10.2.7	Ανίχνευση μικρών περιεκτικοτήτων SF ₆ στον αέρα..... 81
3.11	Υποκατάσταση ή περιορισμός χρησιμοποίησης φθοριούχων αερίων θερμοκηπίου 82
3.11.1	Μερική υποκατάσταση..... 83
3.11.2	Πλήρης υποκατάσταση..... 83
3.11.3	Νέα αέρια υποκατάστασης του SF ₆ σε εξοπλισμό υψηλής τάσης..... 83
3.12	Διαδικασίες διαχείρισης και ασφάλειας χειρισμού αερίου SF₆ και αερίων υποκατάστασης 83
3.12.1	Κατά τη χρήση..... 83
3.12.2	Μετά το πέρας του κύκλου ζωής..... 84
3.13	Περιορισμός των διαρροών και έλεγχοι εντοπισμού διαρροών 84
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΜΟΝΩΤΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΕΞΑΦΘΟΡΙΟΥΧΟΥ ΘΕΙΟΥ SF₆ 86
4.1	Εισαγωγικά..... 86
4.2	Περιοχές ηλεκτροτεχνικών εφαρμογών του εξαφθοριούχου θείου..... 86
4.2.1	Ηλεκτρολογικές εφαρμογές 86
4.2.2	Διακόπτες και υποσταθμοί μέσης και υψηλής τάσης με μόνωση αερίου (GIS)..... 86
4.2.2.1	Σύγκριση κόστους κύκλου ζωής LCC μεταξύ υποσταθμών με μόνωση αέρα και υποσταθμών GIS 87
4.2.2.2	Πλεονεκτήματα τεχνολογίας GIS 87
4.2.3	Καλώδια υψηλής τάσης και Γραμμές μεταφοράς με μόνωση αερίου (GITL/GIL) 89
4.2.4	Μετασηματιστές με χρησιμοποιούμενο ψυκτικό μέσω αέριο (GITr) 90
4.2.5	Παροχή ηλεκτρικής ενέργειας με την τεχνολογία του SF ₆ 91
4.2.6	Χρήσεις του SF ₆ στη βιομηχανία και την τεχνολογία 91
4.2.6.1	Χύτευση μαγνησίου 92
4.2.6.2	Χύτευση αλουμίνιου 93
4.2.6.3	Ηχομόνωση τζαμιών 93
4.2.6.4	Ελαστικά αυτοκινήτων 93
4.2.6.5	Αεροσόλες υποδημάτων 94
4.2.6.6	Ιχνηθέτης αερίου (tracer) 94
4.2.6.7	Παραγωγή ημιαγωγών και ολοκληρωμένων κυκλωμάτων 94
4.2.6.8	Ιατρική – οφθαλμολογία..... 95
4.2.6.9	Διαγνωστική ιατρική - υπερηχογραφία 95
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : Συντήρηση και Μέτρα προστασίας σε διακόπτες και εξοπλισμό με SF₆..... 96
5.1	Περιπτώσεις χώρων υποσταθμών διανομής και καταναλωτών μέσης τάσης με πίνακες SF₆ 96
5.2	Τεχνικά χαρακτηριστικά των πινάκων MT με SF₆ 98
5.3	Πιθανές περιπτώσεις έκθεσης των εργαζομένων σε παραπροϊόντα του SF₆..... 99
5.4	Προσδιορισμός της έκθεσης των εργαζομένων σε τοξικά παραπροϊόντα, ανά περίπτωση έκθεσης 100
5.4.1	Έκθεση σε περίπτωση φυσιολογικής διαρροής 100
5.4.2	Έκθεση σε περίπτωση μη φυσιολογικής διαρροής..... 101

<i>Ιδιότητες, Χρήσεις και Εφαρμογές του Ηλεκτρομονωτικού Αερίου SF₆</i>	
5.4.3 Έκθεση λόγω εσωτερικού τόξου	102
5.4.4 Προσδιορισμός των αναγκαίων μέτρων προστασίας από τα παραπροϊόντα του SF ₆ μετά από εσωτερικό τόξο σε Πίνακες ΜΤ Υποσταθμών πόλεως ή ΒΚ.....	103
5.4.5 Έκθεση λόγω πυρκαγιάς.....	105
5.5 Διερεύνηση αναγκαιότητας του ελέγχου επάρκειας οξυγόνου σε χώρους υποσταθμών πόλεως και καταναλωτών μέσης τάσης με πίνακες.....	105
5.6 Μέσα ατομικής προστασίας από τα παραπροϊόντα του SF₆.....	106
5.7 Εξοπλισμός μετρήσεων και λοιπός εξοπλισμός.....	106
5.8 Διαλύματα και διαδικασία αδρανοποίησης.....	107
5.8.1 Αλκαλικά διαλύματα για την αδρανοποίηση των χώρων, των μέσων ατομικής προστασίας του εξοπλισμού κ.λπ., μετά από εσωτερικό τόξο σε Πίνακες ΜΤ με SF ₆	107
5.8.2 Αδρανοποίηση.....	107
5.9 Αναγκαία μέτρα προστασίας κατά τη διαχείριση SF₆ κέντρων διανομής και λοιπών εγκαταστάσεων της Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.....	108
5.9.1 Κέντρα Διανομής	108
5.9.2 Λοιπές εγκαταστάσεις	110
5.10 Τεχνικές οδηγίες συντήρησης υποσταθμού (Υ/Σ) εσωτερικού χώρου	111
6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : Συμπεράσματα – θέματα για μελλοντική έρευνα	114
6.1 Συμπεράσματα για τη χρήση στις ηλεκτροτεχνικές εφαρμογές του αερίου SF₆.....	114
6.2 Θέματα για μελλοντική έρευνα και ανάπτυξη	115
6.2.1 Εταιρείες παραγωγής εξοπλισμού τεχνολογίας απαλλαγμένης από χρήση SF ₆	115
6.2.1.1 Προϊόντα τεχνολογίας SF ₆ - free από την Schneider Electric.....	115
6.2.1.2 Προϊόντα τεχνολογίας SF ₆ - free από την SprePower (Sprecher)	116
6.2.1.3 Προϊόντα τεχνολογίας SF ₆ - free από την ABB	117
6.2.1.4 Προϊόντα τεχνολογίας SF ₆ - free από την Hitachi Energy.....	117
Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές	119
Παράρτημα Α: Φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου.....	121
Παράρτημα Β: Πίνακες Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.....	126
Παράρτημα Γ: Έντυπο συντήρησης υποσταθμού εσωτερικών χώρων ΜΤ/ΧΤ	128

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. 1. Απαγόρευση διάθεσης στην αγορά σύμφωνα με το Άρθρο 11 Παράγραφος 1 [4]	26
Πίνακας 2. 1. Μέσες τιμές για την τάση διάσπασης ορισμένων διηλεκτρικών αερίων	40
Πίνακας 2. 2. Σύσταση και Ιδιότητες του Αζώτου ως Αέριο Διηλεκτρικό (ASTM D 1933).....	41
Πίνακας 2. 3. Απαιτήσεις για το SF ₆ ως Αέριο Διηλεκτρικό (ASTM D 2472)	41
Πίνακας 2. 4. Σύσταση και Ιδιότητες του Αέρα ως Αέριο Διηλεκτρικό (ASTM D 3283).....	42
Πίνακας 2. 5. Όρια Έκθεσης Προσωπικού σε Αέρια για Οκτάωρο σταθμισμένο Μ.Ο. (Πηγή: NIOSH) [5]	42
Πίνακας 2. 6. Επιτρεπόμενες Τιμές Κατωφλίου Πιθανών Αέριων Παραπροϊόντων SF ₆	43
Πίνακας 2. 7. Σταθερότητα Κοινών Υλικών Παρουσία SF ₆	44
Πίνακας 2. 8. Ειδικές Θερμικές Αγωγιμότητες Τυπικών Αέριων Διηλεκτρικών (1 atm).....	44
Πίνακας 2. 9. Συντελεστές Ιξώδους Επιλεγμένων Αέριων Διηλεκτρικών (1 atm)	45
Πίνακας 2.10. Κρίσιμες Σταθερές Επιλεγμένων Διηλεκτρικών Αερίων	45
Πίνακας 2. 11. Πίεση υγροποίησης του SF ₆ ανά θερμοκρασία	46
Πίνακας 2. 12. Πίεση υγροποίησης του εξαφθοροαιθάνιου ανά θερμοκρασία.....	46
Πίνακας 2. 13. Θερμοκρασίες ζέσεως επιλεγμένων αέριων (1 atm)	46
Πίνακας 2. 14. Μέση αντοχή διάσπασης επιλεγμένων αερίων διηλεκτρικών και δυαδικών μειγμάτων των αερίων με SF ₆ (SF ₆ = 100)	47
Πίνακας 3. 1. Ιδιότητες του SF ₆ [16].	51
Πίνακας 3. 2. Διαλυτότητα του SF ₆	58
Πίνακας 3. 3. Ειδική θερμότητα του SF ₆	58
Πίνακας 3. 4. Τάση ατμών του SF ₆	58
Πίνακας 3. 5. Το πρότυπο DIN IEC 376 για το SF ₆	65
Πίνακας 5. 1. πιθανές περιπτώσεις χώρων Υποσταθμών Διανομής και Υποσταθμών καταναλωτών Μέσης Τάσης με Πίνακες SF ₆ [22].....	98

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 3. 1. (α) Διάταξη ηλεκτροδίων, (β) Τάση Διάσπασης του SF ₆ στα 50 Hz σε ομογενές πεδίο αναλόγως της τάσης (kV) και διακένου (mm) για διάφορες τιμές πίεσης [15].	52
---	----

Σχήμα 3. 2. (α) Διάταξη ηλεκτροδίων, (β) Σχέση της τάσης διάσπασης (MV) με πίεση (bar).

Συγκριτικές καμπύλες για SF₆ και μείγματα N₂/CO₂ [15]..... 53

Σχήμα 3. 3. (α) Διάταξη ηλεκτροδίων, (β) Αντοχή Τάσης Διάσπασης (kV) ελαίου μετασχηματιστών, αέρα και SF₆ συναρτήσει της πίεσης (bar). [15]. 53

Σχήμα 3. 4. (α) Διάταξη ηλεκτροδίων, (β) Εξάρτηση της τάσης έναυσης εκκενώσεων Κορόνα (kV) από την πίεση (bar) στο SF₆ και στον αέρα [15]..... 54

Σχήμα 3. 5. (α) Διάταξη ηλεκτροδίων, (β) Τάσεις έναυσης εκκενώσεων Κορόνα (kV) στο SF₆ και στον αέρα συναρτήσει της ακτίνας καμπυλότητας (mm) σε πίεση μιας ατμόσφαιρας [15]..... 54

Σχήμα 3. 6. Θερμοκρασιακό προφίλ σε κατάσταση ηλεκτρικού τόξου στο SF₆ και στο N₂ (Θερμοκρασία (K) προς μήκος τόξου) [15]. 55

Σχήμα 3. 7. Ικανότητα σβέσης τόξου του SF₆, του αέρα κι ενός μείγματος 1:1 των δύο αερίων (ρεύμα τόξου σε A προς πίεση σε bar) [15] 55

Σχήμα 3. 8. Θερμική αγωγιμότητα του SF₆ (W/cm*K) προς θερμοκρασία (Celsius) [15]..... 57

Σχήμα 3. 9. Συντελεστές απαγωγής θερμότητας (W/m²*K) του αέρα και του SF₆ (σύγκριση και με έλαιο μετασχηματιστή) προς ταχύτητα ροής (m/s) [15]. 57

Σχήμα 3. 10. Καμπύλες πίεσης (atm)/θερμοκρασίας (°C) του SF₆ [15]. 59

Σχήμα 3. 11. Διάγραμμα πίεσης ατμοποίησης του SF₆ για διάφορες τιμές θερμοκρασίας ανάλογα με την πυκνότητα του αερίου [15]. 59

Σχήμα 3. 12. Συντελεστής ιξώδους του SF₆ (α) Πίνακας τιμών σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες, (β) Μεταβολή ιξώδους (mPa*s) συναρτήσει της θερμοκρασίας (°C) σε ατμοσφαιρική πίεση [15]. 60

Σχήμα 3. 13. Το διάγραμμα Mollier για το αέριο SF₆ [15]..... 60

Σχήμα 3. 14. Περιοχές διαφορετικών χημικών δράσεων βάσει του μοντέλου τριών ζωνών για την αποσύνθεση του SF₆ σε εφαρμογές ακίδας πλάκας αρνητικής πολικότητας..... 62

Σχήμα 3. 15. Σημείο δρόσου (°C) αναλόγως της περιεκτικότητας σε υγρασία του SF₆ (ppm) [15]. 64

Σχήμα 3. 16. Ο κύκλος επαναχρησιμοποίησης του SF₆ [16] 65

Σχήμα 3. 17. Υπέρυθρο φάσμα του SF₆ ελεγμένο για τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις (Leitz M3, NaCl prism) [15]..... 67

Σχήμα 3. 18. Το φάσμα εισερχόμενης και εξερχόμενης ακτινοβολίας, τα κύρια φυσικά στοιχεία που απορροφούν την εξερχόμενη μαζί με το ποσοστό απορρόφησής τους [18]..... 69

Σχήμα 3. 19. Μετρήσεις συγκέντρωσης του SF₆ την δεκαετία 82-92 [9]..... 70

Σχήμα 3. 20. Η συγκέντρωση του SF₆ στην ατμόσφαιρα [9]..... 71

Σχήμα 3. 21. Το φάσμα του φωτός και οι σχέσεις ανάμεσα στην ενέργεια E , στα χρώματα και στο μήκος κύματος λ [18]. 72

Σχήμα 3. 22. Η φασματική εκπομπή Β τριών σωμάτων σε διάφορες θερμοκρασίες και μήκη κύματος (nm) [6]..... 73

Σχήμα 3. 23. Το φάσμα ακτινοβολίας μέλαν σώματος θερμοκρασίας T=5800K ως προς την απόσταση Ήλιου-Γης, η διαμόρφωσή του έξω απ' την γήινη ατμόσφαιρα MA 0, και στην επιφάνεια της γης σε τόπο με MA 1.5 [5].	74
Σχήμα 3. 24. Σύγκριση του φάσματος ακτινοβολίας μέλανος σώματος θερμοκρασίας 288K και του φάσματος ακτινοβολίας της γήινης ατμόσφαιρας [5].	75
Σχήμα 3. 25. Σύγκριση της οπτικής φασματομετρίας με την φασματομετρία μαζών, (Πάνω σχήμα: πρίσμα διαχωρισμού δέσμης φωτός, Κάτω σχήμα: σύστημα διαχωρισμού ιόντων) [5,6,7].	76
Σχήμα 3. 26. Απλοποιημένη μορφή του ατόμου του άνθρακα ¹² C .	77
Σχήμα 3. 27. Το ρεύμα ιόντων στη κλίμακα m/e (στην θέση 6 και 12 για τα ιόντα ¹² C ⁺ και ¹² C ⁺⁺) [5,6].	77
Σχήμα 3. 28. Ο αριθμός των παραγομένων ιόντων, διαφόρων αερίων σε συνάρτηση με την ενέργεια των προσπιπτόντων ηλεκτρονίων [5,6,7].	78
Σχήμα 3. 29. Διάταξη λειτουργίας ιοντικής πηγής αξονικής δέσμης [5,6,7].	78
Σχήμα 3. 30. Η γεωμετρική μορφή του τετραπολικού φίλτρου μαζών [5,6,7].	79
Σχήμα 3. 31. Κίνηση των ιόντων μέσα σε ένα τετράπολο [5,6,7].	79
Σχήμα 3. 32. Συλλέκτης τύπου Faraday [5,6,7].	80
Σχήμα 3. 33. Αρχή λειτουργίας αξονικού SEM [5,6,7].	80
Σχήμα 3. 34. Συνιστώσες ιοντικών ρευμάτων σε αέριο SF ₆ για εύρος m/e 1 έως 100 [5,6,7].	81
Σχήμα 3. 35. Συνιστώσες ιοντικών ρευμάτων του φάσματος αερίου SF ₆ για εύρος m/e 10 έως 300 [5,6,7].	81
Σχήμα 3. 36. Ανάλυση δείγματος ξηρού αέρα σε κλειστό χώρο που υπάρχει SF ₆ [5,6,7].	82
Σχήμα 4. 1. Διάγραμμα χύτευσης με χρήση μίγματος SF ₆ .	92
Σχήμα 4. 2. (α) χύτευση χωρίς προστασία (ανάφλεξη μαγνησίου) (β) χύτευση με προστασία SF ₆ και (γ) δείγματα αλουμινίου με διάφορους βαθμούς απαέρωσης με SF ₆ .	93
Σχήμα 4. 3. (α): Το profile που επιτυγχάνεται με την μέθοδο χημικής – υγρής χάραξης, (β): Το profile που επιτυγχάνεται με την μέθοδο ξηρής χάραξης [14].	95
Σχήμα 4. 4. Υαλοειδεκτομή οφθαλμού [15]	95
Σχήμα 4. 5. Υπερηχογράφημα με έγχυση σκιαστικού μέσου [15].	96
Εικόνα 3. 1 Αρχή λειτουργίας διακόπτη ισχύος με SF ₆ για σβέση τόξου.	56

Ιδιότητες, Χρήσεις και Εφαρμογές του Ηλεκτρομονωτικού Αερίου SF₆
Αλφαβητικό Ευρετήριο

APA: American Physics Association

IEEE: The Institute for Electrical and Electronics Engineers

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αναγκαιότητα για μονωτικά αέρια στον ηλεκτροτεχνικό εξοπλισμό, μας οδήγησε αρχικά στην χρησιμοποίηση του αέρα και το κύριου συστατικού του, του αζώτου, τα οποία λόγω των εγγενών περιορισμών τους, αντικαταστάθηκαν σταδιακά από αέρια με βελτιωμένα χαρακτηριστικά αφού ο διαρκώς εξελισσόμενος ηλεκτροτεχνικός εξοπλισμός γινόταν πολυπλοκότερος και απαιτητικότερος.

Έτσι αναπτύχθηκαν και άλλα αέρια, ή προσαρμόστηκαν τα ήδη υφιστάμενα για να χρησιμοποιούνται ως διηλεκτρικά, φθάνοντας στα ηλεκτραρνητικά αέρια και ειδικότερα στο εξαφθοριούχο θείο (SF₆), το οποίο είναι το μοναδικό από την συγκεκριμένη ομάδα που χρησιμοποιείται ως ηλεκτρομονωτικό αφού όλα τα υπόλοιπα χρησιμοποιούνται κυρίως ως ψυκτικά.

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι το ηλεκτρομονωτικό αέριο εξαφθοριούχο θείο (SF₆), η νομοθεσία που διέπει τη χρήση του, η καταγραφή των φυσικών/χημικών ιδιοτήτων του, ως προς την χρησιμοποίησή του σε ηλεκτροτεχνικές εφαρμογές, όπως στους διακόπτες και γραμμές μεταφοράς, στους μετασχηματιστές, στην παραγωγή ημιαγωγών αλλά και σε άλλες περιπτώσεις. Έχει εξαιρετικό ενδιαφέρον και γι' αυτό θα παρουσιαστούν τα είδη ηλεκτροτεχνικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται ως ηλεκτρομονωτικό αέριο το SF₆ και οι εταιρείες παραγωγής του, καθώς επίσης και τα απαραίτητα όργανα ανίχνευσης, μετρήσεων και ανάκτησης του αερίου, για εγκαταστάσεις με τέτοιο εξοπλισμό.

Επιπροσθέτως θα εξεταστεί η επίδραση του SF₆ στο φαινόμενο του θερμοκηπίου ως ένα από τα ισχυρά αέρια του φαινομένου αυτού, οι μελλοντικές προοπτικές που διαφαίνονται για χρήση σε ηλεκτροτεχνικό εξοπλισμό, θέματα εξαιρετικά σημαντικά και επίκαιρα.

Το SF₆ συντέθηκε για πρώτη φορά στα εργαστήρια της Faculté de Pharmacie στο Παρίσι το 1900 από τους Moissan και Lebeau.

Το φθόριο, όπως λαμβάνεται με ηλεκτρόλυση, αφέθηκε να αντιδράσει με θείο, μέσω μιας έντονης εξώθερμης αντίδρασης, δημιουργώντας ένα εξαιρετικά σταθερό αέριο.

Σταδιακά, οι φυσικές και χημικές ιδιότητες αυτού του αερίου ορίστηκαν, μέσω των δημοσιεύσεων των Pridaux (1906), Schlumb και Gamble (1930), Klemm και Henkel (1932 - 1935) και οι Yest και Clausson (1933) ασχολήθηκαν ειδικότερα με τις χημικές και διηλεκτρικές ιδιότητές του.

Η πρώτη έρευνα για τις βιομηχανικές εφαρμογές του αερίου πραγματοποιήθηκαν από την General Electric Company το 1937, όπου διαπιστώθηκε ότι το αέριο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη μόνωση σε ηλεκτρικό εργοστάσιο.

Το 1939 ο Thomson-Houston απέσπασε το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για την αρχή της χρησιμοποίησης του SF₆ για τη μόνωση με καλώδια και πυκνωτές.

Η εξελικτική του διαδρομή ιστορικά, παρατίθεται στην επόμενη χρονοσειρά, εταιρείας Asea Brown Boveri (ABB) :



Εικόνα 1. Χρονικά ορόσημα πρωτοποριακών έργων της ABB [1]

Σκοπός και στόχοι

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι να μελετήσουμε διεξοδικά το ηλεκτρομονωτικό αέριο εξαφθοριούχο θείο (SF₆) και τις προεκτάσεις της χρησιμοποίησής του καθώς και το υφιστάμενο νομικό πλαίσιο που την διέπει.

Οι βασικοί στόχοι της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η ανάλυση των ιδιοτήτων, των χρήσεων και των εφαρμογών του υπό το πρίσμα της σχετικής νομοθεσίας και της επίδρασής του στο περιβάλλον. Οι στόχοι της εργασίας, αναλυόμενοι σε επιμέρους ερευνητικά ερωτήματα προς διερεύνηση, συνοψίζονται στα εξής:

- Ποιο είναι το νομικό πλαίσιο που διέπει τη χρήση του SF₆;
- Μπορεί να εξακολουθήσει να χρησιμοποιείται και υπό ποιες προϋποθέσεις;
- Ποιες είναι ιδιότητες του SF₆;
- Ποιες είναι οι χρήσεις και οι εφαρμογές ηλεκτροτεχνικής φύσεως του SF₆;
- Ποιος είναι ο ηλεκτροτεχνικός εξοπλισμός που χρησιμοποιεί το SF₆;
- Ποια είναι η περιβαλλοντική επιβάρυνση που επιφέρει η χρήση του και με ποιους τρόπους μπορεί να ελαττωθεί ή να εξαλειφθεί;
- Ποιες είναι οι μελλοντικές προοπτικές που διαφαίνονται;

Μεθοδολογία

Η μεθοδολογική προσέγγιση θα είναι βιβλιογραφική. Θα εξεταστούν οι υπάρχουσες βιβλιογραφικές πηγές, η σχετιζόμενη ερευνητική δραστηριότητα και αρθρογραφία προκειμένου να αποτυπωθεί πλήρως η υφιστάμενη κατάσταση και να εξαχθούν τα αναγκαία συμπεράσματα.

Δομή

Η δομή της διπλωματικής εργασίας στο 1^ο Κεφάλαιο παρουσιάζει τη νομοθεσία και τα πρότυπα που διέπουν τη χρήση του αρχικά τη νομοθεσία που διέπουν τη χρήση αέριων διηλεκτρικών και ειδικότερα των φθοριούχων αερίων.

Ιδιότητες, Χρήσεις και Εφαρμογές του Ηλεκτρομονωτικού Αερίου SF₆

Στο 2^ο Κεφάλαιο γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση του σχετικού θεωρητικού υπόβαθρου και μια ενδελεχής καταγραφή των φυσικών/χημικών ιδιοτήτων του SF₆, οι οποίες θα εξεταστούν ως προς την χρησιμοποίησή του σε ηλεκτροτεχνικές εφαρμογές. Ειδικότερα θα εξετάζεται η συμπεριφορά του SF₆ σε:

- διακόπτες ισχύος
- γραμμές μεταφοράς
- μετασχηματιστές
- παραγωγή ημιαγωγών

αλλά και σε άλλες περιπτώσεις.

Επίσης, θα παρουσιάζεται εξοπλισμός που χρησιμοποιεί ως ηλεκτρομονωτικό αέριο το SF₆ και εταιρείες παραγωγής του, καθώς επίσης και απαραίτητα όργανα ανίχνευσης και μετρήσεων για εγκαταστάσεις με τέτοιο εξοπλισμό.

Επιπροσθέτως θα γίνει μια αναφορά στο φαινόμενο θερμοκηπίου και στην επίδραση του SF₆ σε αυτό ως ένα από τα ισχυρά αέρια του φαινομένου.

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο : ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΜΟΝΩΤΙΚΟΥ

ΑΕΡΙΟΥ SF₆

1.1 Εισαγωγή

Τα φθοριούχα αέρια είναι ένας τύπος αερίου που χρησιμοποιούνται συχνά σε ποικίλες εφαρμογές. Ορισμένα αέρια του θερμοκηπίου, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και το υποξείδιο του αζώτου, απελευθερώνονται στον αέρα και μπορούν να συμβάλουν στην κλιματική αλλαγή. Το Πρωτόκολλο του Κιότο περιορίζει αυτές τις εκπομπές προκειμένου να αποτραπεί η περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας. Αν και οι εκπομπές φθοριούχων αερίων αντιπροσωπεύουν επί του παρόντος μόνο ένα μικρό ποσοστό όλων των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αυξάνονται με τρόπο που είναι πολύ ανησυχητικό. Το υψηλό δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP) τους καθιστά μια ομάδα πολύ υψηλού κινδύνου όσον αφορά την κλιματική αλλαγή [2].

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δύο κανονισμούς που διέπουν τις εκπομπές φθοριούχων αερίων (F-gases): την οδηγία MAC (Mobile Air-Conditioning) για συστήματα κλιματισμού που χρησιμοποιούνται σε οχήματα και τον κανονισμό για τα φθοριούχα αέρια (F-Gas), που ισχύει για όλες τις άλλες χρήσεις φθοριούχων αερίων. Και οι δύο κανονισμοί αναπτύχθηκαν ως απάντηση στην απειλή της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής που προκαλείται από την απελευθέρωση αυτών των αερίων.

1.2 Ευρωπαϊκή νομοθεσία

1.2.1 Κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 517/2014 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου

Την 1η Ιανουαρίου 2015 τέθηκε σε ισχύ ο κανονισμός 517/2014 του Συμβουλίου και του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, που σηματοδοτεί τη νέα πολιτική της ΕΕ για τα φθοριούχα αέρια. Μέσω σταδιακών περιορισμών και απαγορεύσεων στην παραγωγή και χρήση τους, έχουμε τώρα μια στρατηγική που στοχεύει στον δραστικό περιορισμό των εκπομπών φθοριούχων αερίων στην ατμόσφαιρα. Οι Κανονισμοί που ορίζουν ζητήματα όπως η πιστοποίηση προσωπικού (KAN 303, 304, 305, 306, 307, 308 του 2008), υποχρέωση ελέγχου και αντιμέτρων για τυχόν διαρροές (KAN 1516, 1497 του 2008), η σήμανση προϊόντων και εξοπλισμού (KAN 1494 /2008), και η υποχρέωση αναφοράς και καταγραφής στοιχείων για τη χρήση φθοριούχων αερίων (KAN 1493/2008) είναι ειδικά για το θέμα αυτό [3]. Ο νέος κανονισμός διατηρεί τον άξονα πολιτικής περιορισμού των εκπομπών, ενώ εισάγει έναν δεύτερο σημαντικό άξονα ελέγχου της χρήσης αερίων με μέτρα όπως π.χ. :

- Μέχρι το 2030, η παραγωγή και η κατανάλωση φθορίου θα μειωθεί σταδιακά.
- Σταδιακή απαγόρευση χρήσης F-gases για κάποιες χρήσεις με έναρξη από την 1/1/2015.
- Σταδιακή απαγόρευση πώλησης προϊόντων που περιέχουν F-gases, με έναρξη από την 1/1/2015 [3].

1.2.1.1 Βασικοί ορισμοί κανονισμού

Το άρθρο 2 του κανονισμού ορίζει [4]:

- 1) «φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου»: οι υδροφθοράνθρακες, οι υπερφθοράνθρακες, το εξαφθοριούχο θείο και άλλα αέρια του θερμοκηπίου που περιέχουν φθόριο και απαριθμούνται στο παράρτημα I, ή τα μείγματα που περιέχουν οποιαδήποτε από αυτές τις ουσίες

- 2) «υδροφθοράνθρακες» ή «HFC»: οι ουσίες που απαριθμούνται στο τμήμα 1 του παραρτήματος I ή τα μείγματα που περιέχουν οποιαδήποτε από τις εν λόγω ουσίες·
- 3) «υπερφθοράνθρακες» ή «PFC»: οι ουσίες που απαριθμούνται στο τμήμα 2 του παραρτήματος I ή τα μείγματα που περιέχουν οποιαδήποτε από τις εν λόγω ουσίες·
- 4) «εξαφθοριούχο θείο» ή «SF₆»: η ουσία που αναφέρεται στο τμήμα 3 του παραρτήματος I ή τα μείγματα που περιέχουν την εν λόγω ουσία·
- 5) «μείγμα»: ρευστό αποτελούμενο από δύο ή περισσότερες ουσίες από τις οποίες μία τουλάχιστον είναι φθοριούχο αέριο του θερμοκηπίου ή ουσία που απαριθμείται στο παράρτημα I ή στο παράρτημα II·
- 6) «δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη» ή «GWP»: το δυναμικό θέρμανσης του κλίματος ενός αερίου του θερμοκηπίου σε σχέση με το αντίστοιχο δυναμικό του διοξειδίου του άνθρακα («CO₂»), που υπολογίζεται ως το δυναμικό θέρμανσης, εντός 100 ετών, ενός χιλιογράμμου αερίου του θερμοκηπίου σε σχέση με ένα χιλιογράμμο CO₂, όπως ορίζεται στα παραρτήματα I, II και IV ή, στην περίπτωση μειγμάτων, υπολογιζόμενο σύμφωνα με το παράρτημα IV·
- 7) «τόνος ή τόνοι ισοδυνάμου CO₂»: ποσότητα αερίων του θερμοκηπίου, εκπεφρασμένη ως το αποτέλεσμα του βάρους των αερίων του θερμοκηπίου σε μετρικούς τόνους και του συνολικού τους δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη·
- 8) «χειριστής»: το φυσικό ή νομικό πρόσωπο που είναι όντως υπεύθυνο για την τεχνική λειτουργία των προϊόντων και του εξοπλισμού που εμπίπτουν στον παρόντα κανονισμό· τα κράτη μέλη μπορούν, σε καθορισμένες και συγκεκριμένες περιστάσεις, να ορίζουν ότι ο κύριος είναι υπεύθυνος για τις υποχρεώσεις του χειριστή·
- 9) «χρήση»: η αξιοποίηση φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου στην παραγωγή, τη συντήρηση ή την επισκευή, συμπεριλαμβανομένης της επαναπλήρωσης, προϊόντων ή εξοπλισμού, ή σε άλλες διεργασίες που αναφέρονται στον παρόντα κανονισμό·
- 10) «διάθεση στην αγορά»: η παροχή ή διάθεση σε τρίτο στο εσωτερικό της Ένωσης για πρώτη φορά, έναντι αμοιβής ή δωρεάν, ή, εάν πρόκειται για παραγωγό, η ίδια χρήση, συμπεριλαμβανομένης της τελωνειακής άδειας για θέση σε ελεύθερη κυκλοφορία στην Ένωση·
- 11) «ερμητικά σφραγισμένος εξοπλισμός»: ο εξοπλισμός στον οποίο όλα τα μέρη που περιέχουν φθοριούχο αέριο του θερμοκηπίου στεγανοποιούνται με αυτογενή ή ετερογενή συγκόλληση ή με παρόμοια μόνιμη σύνδεση, που μπορεί να περιλαμβάνει σφραγισμένες βαλβίδες ή σφραγισμένα σημεία πρόσβασης τα οποία καθιστούν δυνατή την κατάλληλη επιδιόρθωση ή τελική διάθεση, και έχουν διαπιστωμένη ποσότητα διαρροής μικρότερη από 3 γραμμάρια ετησίως υπό πίεση τουλάχιστον ενός τετάρτου της μέγιστης επιτρεπόμενης πίεσης·
- 12) «περιέκτης»: προϊόν κυρίως για τη μεταφορά ή την αποθήκευση φθοριούχων αερίων θερμοκηπίου·

- 13) «περιέκτης μιας χρήσης»: περιέκτης που είναι αδύνατον να πληρωθεί κατ' επανάληψη χωρίς να προσαρμοστεί δεόντως προς τούτο ή διατίθεται στην αγορά χωρίς να έχει προβλεφθεί η επιστροφή του για επαναπλήρωση·
- 14) «ανάκτηση»: η συλλογή και αποθήκευση φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου από προϊόντα, συμπεριλαμβανομένων των περιεκτών, και εξοπλισμό κατά τη συντήρηση ή επισκευή ή πριν από την τελική διάθεση των προϊόντων ή του εξοπλισμού·
- 15) «ανακύκλωση»: η επαναχρησιμοποίηση ανακτηθέντος φθοριούχου αερίου του θερμοκηπίου αφού υποστεί βασικό καθαρισμό·
- 16) «ποιοτική αποκατάσταση»: η επανεπεξεργασία ανακτηθέντος φθοριούχου αερίου του θερμοκηπίου με σκοπό να αποκτήσει επιδόσεις ισοδύναμες με την αμεταχείριστη μορφή του, λαμβάνοντας υπόψη την επιδιωκόμενη χρήση·
- 17) «καταστροφή»: η διαδικασία μόνιμης μετατροπής ή αποδόμησης, συνολικά ή εν μέρει, ενός φθοριούχου αερίου του θερμοκηπίου σε μία ή περισσότερες σταθερές ουσίες που δεν είναι φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου·
- 18) «παροπλισμός»: η οριστική απενεργοποίηση και παύση λειτουργίας ή χρήσης ενός προϊόντος ή στοιχείου εξοπλισμού που περιέχει φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου·
- 19) «επιδιόρθωση»: η αποκατάσταση προϊόντων ή εξοπλισμού που περιέχουν ή των οποίων η λειτουργία βασίζεται σε φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου και εμφανίζουν φθορές ή διαρροές, σε σχέση με μέρος που περιέχει ή προορίζεται να περιέχει εν λόγω αέρια·
- 20) «εγκατάσταση»: η σύνδεση τουλάχιστον δύο στοιχείων εξοπλισμού ή κυκλωμάτων που περιέχουν ή προορίζονται να περιέχουν φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου, με σκοπό τη συναρμολόγηση του συστήματος στον τόπο λειτουργίας του, που συνεπάγεται τη σύνδεση αεριαγωγών του συστήματος για την ολοκλήρωση κυκλώματος, ανεξαρτήτως της ανάγκης πλήρωσης του συστήματος μετά τη συναρμολόγηση·
- 21) «συντήρηση ή επισκευή»: κάθε δραστηριότητα, πλην της ανάκτησης σύμφωνα με το άρθρο 8 και των ελέγχων για διαρροές σύμφωνα με το άρθρο 4 και το άρθρο 10 παράγραφος 1 στοιχείο β) του παρόντος κανονισμού, η οποία επιφέρει παρέμβαση στα κυκλώματα που περιέχουν ή προορίζονται να περιέχουν φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου, ιδίως την τροφοδότηση του συστήματος με φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου, την απομάκρυνση ενός ή περισσότερων στοιχείων του κυκλώματος ή του εξοπλισμού, την επανασυναρμολόγηση δύο ή περισσότερων στοιχείων του κυκλώματος ή του εξοπλισμού, καθώς και την επιδιόρθωση μετά από διαρροή·
- 22) «αμεταχείριστη ουσία»: ουσία που δεν έχει χρησιμοποιηθεί προηγουμένως·
- 23) «στατικός»: αυτός που κατά τη λειτουργία του δεν βρίσκεται, συνήθως, εν κινήσει και ως τέτοιες νοούνται και οι φορητές μονάδες κλιματισμού·
- 24) «εν κινήσει»: σημαίνει πως κινείται κανονικά κατά τη λειτουργία·
- 25) «αφρός ενός συστατικού»: αφρώδης ουσία που περιέχεται σε ένα μόνο δοχείο αερολύματος υπό πλήρως ή μερικώς ανενεργή υγρή μορφή, η οποία διογκώνεται και σκληραίνει κατά την έξοδο της από το δοχείο·

- 26) «φορητό ψυγείο»: μηχανοκίνητο όχημα μάζας άνω των 3,5 τόνων που έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί κυρίως για τη μεταφορά εμπορευμάτων και είναι εξοπλισμένο με ψυκτική μονάδα·
- 27) «ρυμουλκούμενο ψυγείο»: το όχημα που έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί για να ρυμουλκείται από αυτοκίνητο φορητό ή άλλον ελκυστήρα, με σκοπό πρωτίστως τη μεταφορά εμπορευμάτων και το οποίο είναι εξοπλισμένο με ψυκτική μονάδα·
- 28) «τεχνικό αερόλυμα»: δοχείο αερόλυματος που χρησιμοποιείται για τη συντήρηση, την επιδιόρθωση, τον καθαρισμό, τη δοκιμή, την απεντόμωση και την παρασκευή προϊόντων και εξοπλισμού, την εγκατάσταση εξοπλισμού, και σε άλλες εφαρμογές·
- 29) «σύστημα ανίχνευσης διαρροής»: μια βαθμονομημένη μηχανική, ηλεκτρική ή ηλεκτρονική συσκευή, η οποία ανιχνεύει τη διαρροή φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου και ειδοποιεί τον χειριστή·
- 30) «επιχείρηση»: κάθε φυσικό ή νομικό πρόσωπο που:
- παράγει, χρησιμοποιεί, ανακτά, συλλέγει, ανακυκλώνει, αποκαθιστά ποιοτικά ή καταστρέφει φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου,
 - εισάγει ή εξάγει φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου ή προϊόντα και εξοπλισμό που περιέχουν τα εν λόγω αέρια,
 - διαθέτει στην αγορά φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου ή προϊόντα και εξοπλισμό που περιέχουν ή η λειτουργία των οποίων βασίζεται στα εν λόγω αέρια,
 - εγκαθιστά, επισκευάζει, συντηρεί, επιδιορθώνει, διενεργεί ελέγχους για τον εντοπισμό διαρροών ή παροπλίζει εξοπλισμό που περιέχει ή η λειτουργία του οποίου βασίζεται σε φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου,
 - είναι ο χειριστής εξοπλισμού που περιέχει ή η λειτουργία του οποίου βασίζεται σε φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου, στ) παράγει, εισάγει, εξάγει, διαθέτει στην αγορά ή καταστρέφει τα αέρια που παρατίθενται στο παράρτημα II,
 - διαθέτει στην αγορά προϊόντα η εξοπλισμό που περιέχουν τα αέρια που παρατίθενται στο παράρτημα II·
- 31) «πρώτη ύλη»: κάθε φθοριούχο αέριο του θερμοκηπίου ή ουσία που περιλαμβάνεται στο παράρτημα II, που υφίσταται χημική μετατροπή με διεργασία κατά την οποία η αρχική της σύνθεση μεταβάλλεται πλήρως και οι εκπομπές της είναι αμελητέες·
- 32) «εμπορική χρήση»: η χρήση για την αποθήκευση, έκθεση ή διανομή προϊόντος, για πώληση στους τελικούς χρήστες, στο λιανεμπόριο και στις υπηρεσίες εστίασης·
- 33) «εξοπλισμός πυροπροστασίας»: ο εξοπλισμός και τα συστήματα που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές πρόληψης πυρκαγιών ή πυρόσβεσης και περιλαμβάνει τους πυροσβεστήρες·
- 34) «οργανικός κύκλος Rankine»: κύκλος που περιέχει συμπυκνώσιμα φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου και μετατρέπει τη θερμότητα από μια πηγή θερμότητας σε ισχύ για την παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας·
- 35) «στρατιωτικός εξοπλισμός»: τα όπλα, τα πυρομαχικά και το πολεμικό υλικό που προορίζονται αποκλειστικά για στρατιωτικούς σκοπούς οι οποίοι είναι αναγκαίοι για την προστασία των ουσιωδών συμφερόντων ασφαλείας των κρατών μελών·

36) «ηλεκτρικός εξοπλισμός μεταγωγής»: οι διατάξεις μεταγωγής καθώς και ο συνδυασμός τους με συναφή εξοπλισμό ελέγχου, μέτρησης, προστασίας και ρύθμισης, καθώς και τα συγκροτήματα διατάξεων και εξοπλισμού του είδους αυτού με συναφείς διασυνδέσεις, παρελκόμενα, περιβλήματα και συστήματα στήριξης, τα οποία προορίζονται να χρησιμοποιούνται στην παραγωγή, μεταφορά, διανομή και μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας·

1.2.1.2 Βασικά σημεία νέου κανονισμού

Ο νέος κανονισμός ορίζει ξεκάθαρα στο άρθρο 3 πως δεν επιτρέπεται η σκόπιμη απελευθέρωση F-Gases στην ατμόσφαιρα, εφόσον δεν είναι απολύτως τεχνικά απαραίτητο [3]. Ταυτόχρονα, οι ποσότητες των F-Gases εκφράζονται σε τόνους ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (CO₂ eq.) και υπολογίζεται εκ νέου το «δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη» (GWP) των F-Gases. Επίσης, ορίζονται μέτρα για τον προσδιορισμό των αερίων υψηλού GWP και για την προτεραιότητα χειρισμού τους. Οποιοδήποτε μίγμα περιέχει φθοριούχα, θεωρείται πλέον φθοριούχο αέριο [3].

Τα αέρια βάσει του κανονισμού χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: υδρο-φθοράνθρακες, υπερ-φθοράνθρακες, και SF₆. Τα αέρια που περιλαμβάνει ο Κανονισμός παρατίθενται στο Παράρτημα Ι. Σε άλλο Παράρτημα αναφέρονται «άλλα φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου» για τα οποία υπάρχει μόνο υποχρέωση αναφοράς για την παραγωγή, τη χρήση τους κ.λπ. [3][4].

Ο ηλεκτρικός εξοπλισμός που χρησιμοποιεί SF₆ μπορεί να επηρεαστεί από αυτά τα μέτρα. Προβλέπονται [3][4]:

- 1ον. Πρόληψη εκπομπών :** Ενισχύονται τα υφιστάμενα μέτρα για τη ρύθμιση των διαρροών και την τακτική συντήρηση του εξοπλισμού. Αυτά τα μέτρα περιλαμβάνουν την επέκταση σε νέες κατηγορίες εξοπλισμού στις οποίες περιλαμβάνεται ο ηλεκτρικός εξοπλισμός μεταγωγής, την απαίτηση από πιστοποιημένο προσωπικό για την εκτέλεση των εργασιών και την απαίτηση να τηρούνται λεπτομερή αρχεία συντήρησης από τους χειριστές των εγκαταστάσεων.
- 2ον. Πιστοποίηση τεχνικών :** Το σύστημα πιστοποίησης για το τεχνικό προσωπικό και τις εταιρείες ενισχύεται και επεκτείνεται ώστε να περιλαμβάνει διαδικασίες εγκατάστασης, επισκευής, και αφαίρεσης εξοπλισμού. Μια άλλη σημαντική νέα διάταξη είναι το καθήκον των χωρών μελών να διασφαλίζουν εκπαιδευτικά προγράμματα για το προσωπικό των προς πιστοποίηση τεχνικών κατηγοριών, καθώς και μόνιμα πληροφοριακά συστήματα για την πρόοδο στις τεχνολογίες που αντικαθιστούν F-Gases και τον ασφαλή χειρισμό του.
- 3ον. Σήμανση προϊόντων :** Οι απαιτήσεις επισήμανσης για προϊόντα που περιέχουν φθόριο βελτιώνονται ώστε να περιλάβουν όλες τις νέες κατηγορίες προϊόντων και οι παρεχόμενες πληροφορίες γίνονται πιο λεπτομερείς.
- 4ον. Έλεγχος χρήσεων / απαγορεύσεις :** Απαγορεύεται η χρήση SF₆ σε εφαρμογές παραγωγής μαγνησίου ή για φούσκωμα ελαστικών οχημάτων.
- 5ον. Απαγόρευση διάθεσης προϊόντων τα οποία περιέχουν F-gases :** Από την 1η Ιανουαρίου 2015 υπάρχουν νέες απαγορεύσεις στη χρήση φθοριούχων αερίων σε πολλά σημεία. Αυτές οι απαγορεύσεις βασίζονται στο δυναμικό υπερθέρμανσης του

πλανήτη (GWP) του περιεχόμενου αερίου και αναφέρονται λεπτομερώς στο Παράρτημα ΙΙΙ του Κανονισμού.

6ον. Μείωση φθοριούχων που διατίθενται στην αγορά-εισαγωγή ποσοτώσεων :
Από την 1η Ιανουαρίου 2015, η ποσότητα των φθοριούχων αερίων που μπορούν να παραχθούν ή να εισαχθούν στην ΕΕ θα είναι περιορισμένη. Αυτό το όριο θα μειωθεί σταδιακά έως το 2030 και αναμένεται τότε να έχει πέσει κάτω του 21%.

7ον. Υποβολή εκθέσεων – συλλογή στοιχείων σε ετήσια βάση : Επιβάλλεται υποχρέωση για τήρηση αρχείων και υποβολή εκθέσεων σε όλα τα στάδια χρήσης και διακίνησης F-gases :

- Οι εταιρείες που παράγουν, καταστρέφουν, εισάγουν ή εξάγουν φθόριο, ή το χρησιμοποιούν σε προϊόντα, πρέπει να υποβάλλουν εκθέσεις στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή κάθε χρόνο.
- Οι χειριστές εξοπλισμού που χρησιμοποιεί φθόριο οφείλουν να τηρούν λεπτομερή αρχεία των χαρακτηριστικών του εξοπλισμού και του τρόπου συντήρησής του. Αυτές οι πληροφορίες διατίθεται στις αρμόδιες αρχές.
- Οι εταιρίες πώλησης F-gases υποχρεούνται να διατηρούν αρχεία για την διάθεσή τους. Ο νέος κανονισμός υποχρεώνει πως μόνο πιστοποιημένοι τεχνικοί και εταιρείες μπορούν να αγοράσουν F-gases και οι πωλητές είναι υπεύθυνοι για την τήρηση αυτής της προϋπόθεσης.

Ιδιότητες, Χρήσεις και Εφαρμογές του Ηλεκτρομονωτικού Αερίου SF₆

ΑΠΑΓΟΡΕΥΣΕΙΣ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΆΡΘΡΟ 11 ΠΑΡΑΓΡΑΦΟΣ 1

Προϊόντα και εξοπλισμός Όπου απαιτείται, το GWP μειγμάτων που περιέχουν φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου υπολογίζεται σύμφωνα με το παράρτημα IV, όπως προβλέπεται στο άρθρο 2 σημείο 6).		Ημερομηνία απαγόρευσης
1. Για τους μη επαναπληρούμενους περιέκτες φθοριούχων αερίων θερμοκηπίου που χρησιμοποιούνται για την επισκευή, τη συντήρηση ή την πλήρωση εξοπλισμού ψύξης, κλιματισμού ή αντλιών θερμότητας, συστημάτων πυροπροστασίας ή μεταγωγής, ή χρησιμοποιούνται ως διαλύτες		4 Ιουλίου 2007
2. Ανοικτά συστήματα άμεσης εξάτμισης τα οποία περιέχουν HFC και PFC ως ψυκτικά μέσα		4 Ιουλίου 2007
3. Εξοπλισμός πυροπροστασίας	που περιέχει υπερφθοράνθρακες (PFC)	4 Ιουλίου 2007
	που περιέχει HFC-23	1η Ιανουαρίου 2016
4. Παράθυρα για οικιακή χρήση που περιέχουν φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου		4 Ιουλίου 2007
5. Λοιπά παράθυρα που περιέχουν φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου		4 Ιουλίου 2008
6. Υποδήματα με φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου		4 Ιουλίου 2006
7. Ελαστικά επίσωτρα που περιέχουν φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου		4 Ιουλίου 2007
8. Αφροί ενός συστατικού, με εξαίρεση τις περιπτώσεις που απαιτείται για την τήρηση των εθνικών κανόνων ασφάλειας, που περιέχουν φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου με GWP τουλάχιστον 150		4 Ιουλίου 2008
9. Συσκευές παραγωγής αερολυμάτων που διατίθενται στην αγορά και προορίζονται για πώληση στο ευρύ κοινό για ψυχαγωγικούς και διακοσμητικούς σκοπούς, όπως ορίζονται στο σημείο 40 του παραρτήματος XVII του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1907/2006, και προειδοποιητικές κάρτες, που περιέχουν HFC με GWP μεγαλύτερο ή ίσο του 150		4 Ιουλίου 2009
10. Ψυγεία και καταψύκτες οικιακής χρήσης που περιέχουν HFC με GWP μεγαλύτερο ή ίσο του 150		1η Ιανουαρίου 2015
11. Ψυγεία και καταψύκτες εμπορικής χρήσης (ερμητικά σφραγισμένοι εξοπλισμοί)	που περιέχουν HFC με GWP μεγαλύτερο ή ίσο του 2 500	1η Ιανουαρίου 2020
	που περιέχουν HFC με GWP μεγαλύτερο ή ίσο του 150	1η Ιανουαρίου 2022
12. Στατικός ψυκτικός εξοπλισμός που περιέχει ή του οποίου η λειτουργία βασίζεται σε HFC με GWP μεγαλύτερο ή ίσο του 2 500, εξαιρουμένου του εξοπλισμού που προορίζεται για εφαρμογές σχεδιασμένες για την ψύξη προϊόντων σε θερμοκρασίες κάτω των - 50 °C.		1η Ιανουαρίου 2020
13. Κεντρικά ψυκτικά συγκροτήματα εμπορικής χρήσης, με ισχύ 40 kW ή μεγαλύτερη, τα οποία περιέχουν ή των οποίων η λειτουργία βασίζεται σε φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου με GWP τουλάχιστον 150, με εξαίρεση το πρωτεύον ψυκτικό κύκλωμα των κλιμακοειδών συστημάτων, όπου μπορούν να χρησιμοποιούνται φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου με GWP μικρότερο του 1 500.		1η Ιανουαρίου 2022
Προϊόντα και εξοπλισμός Όπου απαιτείται, το GWP μειγμάτων που περιέχουν φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου υπολογίζεται σύμφωνα με το παράρτημα IV, όπως προβλέπεται στο άρθρο 2 σημείο 6).		Ημερομηνία απαγόρευσης
14. Κινητός εξοπλισμός κλιματισμού αιθουσών (ερμητικά σφραγισμένα συστήματα που μπορούν να μετακινηθούν από τον τελικό χρήστη) που περιέχουν HFC με GWP μεγαλύτερο ή ίσο του 150		1η Ιανουαρίου 2020
15. Συστήματα κλιματισμού απλού διαιρούμενου τύπου με λιγότερο από 3 kg φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου, τα οποία περιέχουν ή των οποίων η λειτουργία βασίζεται σε φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου με GWP τουλάχιστον 750.		1η Ιανουαρίου 2025
16. Αφροί που περιέχουν υδροφθοράνθρακες με GWP τουλάχιστον 150, με εξαίρεση τις περιπτώσεις κατά τις οποίες είναι απαραίτητοι προκειμένου να πληρούνται εθνικά πρότυπα ασφάλειας.	Εξηλασμένο πολυστυρένιο (XPS)	1η Ιανουαρίου 2020
	Λοιποί αφροί	1η Ιανουαρίου 2023
17. Τεχνικά αερολύματα που περιέχουν υδροφθοράνθρακες με GWP τουλάχιστον 150, με εξαίρεση τις περιπτώσεις κατά τις οποίες είναι απαραίτητα προκειμένου να πληρούνται εθνικά πρότυπα ασφάλειας ή όταν χρησιμοποιούνται σε ιατρικές εφαρμογές.		1η Ιανουαρίου 2018

Πίνακας 1. 1. Απαγόρευση διάθεσης στην αγορά σύμφωνα με το Άρθρο 11 Παράγραφος 1 [4]

1.2.1.3 Εφαρμογή του νέου κανονισμού

Με τον νέο Κανονισμό η Ευρωπαϊκή Ένωση ως αποτέλεσμα επίμονων συστηματικών ενδοκοινοτικών διεργασιών φιλοδοξεί να αντιμετωπίσει τις κλιματικές επιπτώσεις της διαρκώς αυξανόμενης χρησιμοποίησης των φθοριούχων αερίων και για την εφαρμογή του στη χώρα μας θα απαιτηθούν επεμβάσεις σε πολλές ομάδες τεχνικών εφαρμογών και χρήσεων σε κάθε επίπεδο, επιχειρηματικών και βιομηχανικών τομέων καθώς και την αναβάθμιση του ρόλου και επιπέδου των υπηρεσιών που παρέχουν μεγάλοι επαγγελματικοί κλάδοι αφού πρέπει να συμμετάσχουν σε νέες συνεχείς διαδικασίες πιστοποίησης και εκπαίδευσης. Το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ), θα αποτελέσει τον εθνικό συντονιστή για τα θέματα προστασίας της στιβάδας του όζοντος, και πιο συγκεκριμένα η Διεύθυνση Κλιματικής Αλλαγής και θα έχει τη συνολική εποπτεία για την εφαρμογή του νέου Κανονισμού. Μέσα σε αυτά τα πλαίσια πρέπει να προωθήσει όλα τα αναγκαία μέτρα και τις αναγκαίες πολιτικές που εμπίπτουν στις αρμοδιότητές του σε διαρκή συνεργασία με τα συνυπεύθυνα Υπουργεία αλλά και Φορείς του Δημοσίου και Ιδιωτικού Τομέα για την λήψη αναγκαίων μέτρων σχετικών με τις δικές τους αρμοδιότητες.

1.3 Ελληνική νομοθεσία

1.3.1 Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) με Αριθμό 18694/2012

Η ΚΥΑ 18694/2012 ήταν η πρώτη εθνική νομοθεσία που ενεργοποιήθηκε για την εφαρμογή του νέου κανονισμού. Κύριος στόχος ήταν ο περιορισμός των εκπομπών F-Gases με ελέγχους, έγκαιρη αντιμετώπιση βλαβών, προώθηση τακτικών συντηρήσεων σε συσκευές που χρησιμοποιούν F-Gases, υποχρέωση πιστοποίησης του προσωπικού, επιβολή σημάνσεων, αλλά και επιβολή κανόνων για τις διαδικασίες ανάκτησης, μεταφοράς και ανακύκλωσης [3, 4].

1.3.2 Η Κοινή Υπουργική Απόφαση με Αριθμό ΥΠΕΝ/ΔΔΕΔ/85858/2124 (Φ.Ε.Κ. 6777/Β-31-12-2021)

Η Κοινή Υπουργική Απόφαση με Αριθμό ΥΠΕΝ/ΔΔΕΔ/85858/2124 δημοσιεύθηκε στο Φ.Ε.Κ. 6777/Β στις 31 Δεκεμβρίου 2021 και θέτει νέες βάσεις σχετικά με τα Μέτρα εφαρμογής του Κανονισμού (ΕΕ) αριθ. 517/2014 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Απριλίου 2014 “για τα φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου και για την κατάργηση του Κανονισμού (ΕΚ) 842/2006” και των Εκτελεστικών Κανονισμών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και συνιστά εκτελεστική κανονιστική πράξη του Κανονισμού (ΕΕ) θεσπίζοντας συμπληρωματικά μέτρα αναγκαία για τη εφαρμογή του στην εθνική μας νομοθεσία, σε αντικατάσταση της ΚΥΑ 18694/2012 που αφορούσε στην εφαρμογή του ΚΑΝ (ΕΚ) 842/2006.

1.3.2.1 Οι γενικές προεκτάσεις της Κ.Υ.Α. ΥΠΕΝ/ΔΔΕΔ/85858/2124

Στα πλαίσια εναρμόνισης της εγχώριας νομοθεσίας με την Ευρωπαϊκή, οι ρυθμίσεις της νέας ΚΥΑ αναφέρονται συνοπτικά στα παρακάτω θέματα [1, 4]:

1. Εθνικός συντονιστής για την εφαρμογή του κανονισμού είναι η Διεύθυνση ΚΑΠΑ του Υπουργείου Ενέργειας. Συναρμόδιες ορίζονται όλες οι αρχές που εμπλέκονται στην εφαρμογή διατάξεων του κανονισμού. Επίσης ορίζεται γνωμοδοτικό όργανο Τεχνική Διϋπουργική Επιτροπή που αποτελείται από εκπροσώπους όλων των εμπλεκόμενων αρχών και επιστήμονες.

2. Προσδιορίζει τις διαδικασίες και αρμοδίους για την κατάρτιση και πιστοποίηση προσωπικού που εμπλέκεται στην εγκατάσταση, επισκευή, συντήρηση ή επιδιόρθωση εξοπλισμού που περιέχει ή η λειτουργία του βασίζεται σε F-Gases.
3. Καθορίζει τις υποχρεώσεις των επιχειρήσεων που εμπλέκονται με αυτές τις διαδικασίες.
4. Ορίζει την οργάνωση και λειτουργία βάσης δεδομένων με αρμοδιότητα του Υπουργείου Ενέργειας για την αξιολόγηση της εφαρμογής του κανονισμού.
5. Προσδιορίζει ελεγκτικές διαδικασίες και αρμόδια όργανα για επιθεωρήσεις και ελέγχους σε κάθε επίπεδο.
6. Ορίζει τις κυρώσεις που θα επιβληθούν για την παραβίαση διατάξεων, τόσο διοικητικές/οικονομικές, όσο και ποινικές. Συγκεκριμένα αναφέρεται πως οι κυρώσεις αυτές επιβάλλονται αυτούσιες και δεν συγχωνεύονται με τυχόν άλλες κυρώσεις παραβάσεων της νομοθεσίας.

1.3.2.2 Οι ρυθμίσεις της Κ.Υ.Α. ανά άρθρο

Αναλυτικότερα οι ρυθμίσεις που αφορούν τους τεχνικούς που χειρίζονται τέτοιου είδους αέρια, είναι κατά άρθρο συλλέχθηκαν με κριτήριο την συνάφεια με το θέμα της παρούσας εργασίας και παρατίθενται ανά άρθρο στη συνέχεια.

1.3.2.2.1 Άρθρο 2: Αρμόδια Κεντρική Συντονιστική Αρχή - Συναρμόδιες Αρχές

Αρμόδια Κεντρική Συντονιστική Αρχή είναι το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας και ειδικότερα η Διεύθυνση Κλιματικής Αλλαγής και Ποιότητας Ατμόσφαιρας της Γενικής Διεύθυνσης Περιβαλλοντικής Πολιτικής, η οποία ορίζεται και Εθνικός Συντονιστής υποβοηθούμενος από την Τεχνική Διϋπουργική Επιτροπή. Ο Εθνικός Συντονιστής συνεργάζεται με άλλους κρατικούς φορείς και ιδιωτικούς οργανισμούς για να διασφαλίσει την τήρηση του κανονισμού και τυχόν λήψη μέτρων.

Συναρμόδιες Αρχές ορίζονται:

- Η Γενική Διεύθυνση Βιομηχανίας και Επιχειρηματικού Περιβάλλοντος της Γενικής Γραμματείας Βιομηχανίας και η Γενική Διεύθυνση Αγοράς της Γενικής Γραμματείας Εμπορίου του Υπουργείου Ανάπτυξης και Επενδύσεων.
- Η Γενική Γραμματεία Επαγγελματικής Εκπαίδευσης, Κατάρτισης, Δια Βίου Μάθησης και Νεολαίας του Υπουργείου Παιδείας και Θρησκευμάτων.
- Η Γενική Διεύθυνση Τελωνείων της Ανεξάρτητη Αρχή Δημοσίων Εσόδων (ΑΑΔΕ).
- Το Γενικό Χημείου του Κράτους.
- Ο Εθνικός Οργανισμός Πιστοποίησης Προσόντων και Επαγγελματικού Προσανατολισμού (Ε.Ο.Π.Π.Ε.Π.).
- Το Εθνικό Σύστημα Διαπίστευσης (Ε.ΣΥ.Δ.).

1.3.2.2.2 Άρθρο 3: Σύσταση Τεχνικής Διϋπουργικής Επιτροπής (ΤΕ.Δ.Ε.)

Η Τεχνική Διϋπουργική Επιτροπή συγκροτείται για να βοηθήσει στο συντονισμό των εργασιών του Υπουργείου Εξωτερικών και στην εναρμόνιση των πολιτικών που εφαρμόζουν οι διάφορες κυβερνητικές υπηρεσίες όσον αφορά την εφαρμογή του Κανονισμού (ΕΕ) για περιβαλλοντικά θέματα. Μέλος της επιτροπής είναι ο Προϊστάμενος της Διεύθυνσης Κλιματικής Αλλαγής και Ποιότητας Ατμόσφαιρας της Γενικής Διεύθυνσης Περιβαλλοντικής Πολιτικής.

Για την υποστήριξη του συντονιστικού έργου του ΥΠΕΝ και την εναρμόνιση των πολιτικών που ασκούνται στο πλαίσιο εφαρμογής του Κανονισμού (ΕΕ) από τις αρμόδιες αρχές που ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Χρονάκης Χρυσοβαλάντης

αναφέρονται στο άρθρο 2, συστήνεται Τεχνική Διϋπουργική Επιτροπή (ΤΕ.Δ.Ε.), η οποία συγκροτείται από τον Προϊστάμενο της Διεύθυνσης Κλιματικής Αλλαγής και Ποιότητας της Ατμόσφαιρας της Γενικής Διεύθυνσης Περιβαλλοντικής Πολιτικής του ΥΠΕΝ.

1.3.2.2.3 Άρθρο 4: Πρόληψη εκπομπών και έλεγχοι διαρροών (φθοριούχων αερίων) - Υποχρεώσεις χειριστών και παραγωγών

Κάθε χειριστής εξοπλισμού που περιέχει ή του οποίου η λειτουργία βασίζεται σε φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου είναι υπεύθυνος για τη διασφάλιση της καλής τεχνικής λειτουργίας του εξοπλισμού και για τη λήψη των απαραίτητων προληπτικών μέτρων για την αποφυγή ή την ελαχιστοποίηση της διαρροής αυτών των αερίων. Επιπλέον, αυτός ο χειριστής πρέπει να διασφαλίζει ότι ο έλεγχος του εξοπλισμού πραγματοποιείται μόνο από πιστοποιημένο προσωπικό. Αξιοσημείωτη αναφορά στην παράγραφο 4, είναι η τήρηση ηλεκτρονικής βάσης δεδομένων.

Ακολουθούν οι ισχύοντες κανονισμοί της ΕΕ κατά άρθρο:

Άρθρο 3: Πρόληψη των εκπομπών φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου

Η σκόπιμη απελευθέρωση φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα απαγορεύεται εφόσον δεν εξυπηρετεί κανένα τεχνικό σκοπό. Οι χειριστές εξοπλισμού που περιέχει φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου πρέπει να λάβουν μέτρα για την αποφυγή διαρροών, ακόμη και αν αυτό σημαίνει να κάνουν τα πράγματα προληπτικά. Χρησιμοποιούν όλα τα δυνατά μέσα για να ελαχιστοποιήσουν την έκλυση αυτών των αερίων, συμπεριλαμβανομένων των οικονομικών μέτρων. Όταν ανιχνεύεται διαρροή φθοριούχου αερίου θερμοκηπίου, οι χειριστές διασφαλίζουν ότι ο εξοπλισμός επισκευάζεται το συντομότερο δυνατό. Εάν ο εξοπλισμός πρέπει να ελεγχθεί για διαρροές σύμφωνα με το άρθρο 4 παράγραφος 1 και εάν διορθωθεί διαρροή, οι χειριστές πρέπει να διασφαλίζουν ότι ο εξοπλισμός ελέγχεται από πιστοποιημένο φυσικό πρόσωπο εντός ενός μηνός από την επιδιόρθωση για να βεβαιωθεί ότι η επιδιόρθωση ήταν αποτελεσματική. Τα άτομα που εκτελούν τα καθήκοντα που αναφέρονται είναι πιστοποιημένα και φροντίζουν να αποτρέπουν τη διαρροή F-Gases. Οι επιχειρήσεις που πραγματοποιούν την εγκατάσταση, συντήρηση ή την αφαίρεση του εξοπλισμού είναι επίσης πιστοποιημένες και λαμβάνουν μέτρα για την πρόληψη της διαρροής αερίων.

Άρθρο 4: Έλεγχος εντοπισμού διαρροών

Ο ηλεκτρικός εξοπλισμός μεταγωγής δεν επιδέχεται ελέγχους εντοπισμού διαρροών υπό την προϋπόθεση ότι ισχύει τουλάχιστον ένα από τα παρακάτω:

- i. Ο κατασκευαστής ορίζει ποσότητα διαρροής μικρότερη από 0,1% ετησίως.
- ii. Για ποσοστό διαρροής >0,1% ετησίως, υπάρχει σύστημα παρακολούθησης της πίεσης ή της πυκνότητας.
- iii. Ο εξοπλισμός περιέχει λιγότερα από 6 kg F-gases.

Άρθρο 5: Συστήματα εντοπισμού διαρροών

Οι χειριστές εξοπλισμού που περιέχει F-gases άνω των 500 τόνων CO₂eq και ενεργοποιήθηκε μετά την 1η Ιανουαρίου 2017 εξασφαλίζουν πως ο εξοπλισμός έχει σύστημα εντοπισμού διαρροών με αυτόματη ενημέρωση του συντηρητή σε περίπτωση

απώλειας. Επίσης εξασφαλίζει πως το σύστημα αυτό πιστοποιείται τουλάχιστον μία φορά κάθε έξι χρόνια.

Άρθρο 5: Ανάκτηση φθοριούχων αερίων στατικού ηλεκτρικού εξοπλισμού

Οι χειριστές προϊόντων και εξοπλισμού που απελευθερώνουν φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου, καθώς και οι επιχειρήσεις που χρησιμοποιούν δοχεία που περιέχουν φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου, έχουν ευθύνη να διασφαλίσουν ότι αυτά τα αέρια ανακτώνται. Οι ισχύοντες κανονισμοί της ΕΕ για τους χειριστές στατικού εξοπλισμού που περιέχει F-Gases απαιτούν τα αέρια αυτά να ανακυκλώνονται, να αποκαθίστανται ή να καταστρέφονται από φυσικά πρόσωπα που διαθέτουν τα σχετικά πιστοποιητικά. Αυτή η υποχρέωση ισχύει και για τους χειριστές στατικού ηλεκτρικού εξοπλισμού μεταγωγής.

Άρθρο 6: Γενικές διατάξεις για την πιστοποίηση προσόντων των προσώπων και προσωπικού εταιρειών και επιχειρήσεων

Οι παρακάτω εργασίες απαιτούν την πιστοποίηση του προσωπικού:

Η εγκατάσταση, συντήρηση, και αφαίρεση εξοπλισμού αλλά και η ανάκτηση και ο έλεγχος εντοπισμού διαρροών αερίων F-gases από σταθερό ηλεκτρικό εξοπλισμό απαιτείται να πραγματοποιείται από πιστοποιημένο προσωπικό. Αυτό συμπεριλαμβάνει και τυχόν μίγματα τα οποία περιέχουν F-Gases εν μέρει.

1.3.3 Νόμος 4936/2022 (Εθνικός Κλιματικός Νόμος)

Ο Εθνικός Κλιματικός Νόμος δημοσιεύτηκε στην εφημερίδα της Κυβερνήσεως την 27 Μαΐου 2022 και περιλάμβανε θέματα μετάβασης στην κλιματική ουδετερότητα και προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, επείγουσες διατάξεις για την αντιμετώπιση της ενεργειακής κρίσης και την προστασία του περιβάλλοντος.

Ο νόμος, όπως αναφέρει και στο άρθρο 3 παράγραφος 1, περιλαμβάνει και το εξαφθοριούχο θείο καθώς κι αυτό αποτελεί ανθρωπογενές αέριο που απορροφά και επανεκπέμπει υπέρυθρη ακτινοβολία όταν βρίσκεται στην ατμόσφαιρα.

Το κεφάλαιο Β του νόμου 4936 ορίζει την εθνική στρατηγική μετριασμού αερίων του θερμοκηπίου και προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή, καθώς και ονοματίζει κύριο φορέα εκπόνησής της το Υπουργείο Κλιματικής Κρίσης και Πολιτικής Προστασίας. Επίσης ορίζονται Περιφερειακά Σχέδια για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή για τα απαραίτητα μέτρα και δράσεις σε περιφερειακό επίπεδο, τα οποία εγκρίνονται κατά τις διαδικασίες που αναγράφει στο άρθρο 6 παρ.2. Οι απαιτήσεις για εκπόνηση Περιφερειακού Σχέδιου για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή αναλύονται στις επόμενες παραγράφους του άρθρου 6.

Το άρθρο 20 του νόμου 4936, όπως αυτό παρατίθεται στην παράγραφο 1.3.3.1, υποχρεώνει τις επιχειρήσεις μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σε απογραφή εκπομπών κι αυτοέλεγχο. Στο άρθρο 27 αναφέρεται η Ετήσια Έκθεση Προόδου που υποχρεώνεται να καταρτίζει ετησίως η Διεύθυνση Κλιματικής Αλλαγής και Ποιότητας της Ατμόσφαιρας του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας, σε συνεργασία με το αρμόδιο όργανο του Υπουργείου Κλιματικής Κρίσης και Πολιτικής Προστασίας και τον Οργανισμό Φυσικού Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής (ΟΦΥΠΕΚΑ), η οποία περιλαμβάνει δείκτη εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (και, κατ'επέκταση, του εξαφθοριούχου θείου).

1.3.3.1 **Άρθρο 20: Μέτρα για τη μείωση των εκπομπών από επιχειρήσεις**

1. Τα νομικά πρόσωπα της παρ. 2 υποβάλλουν, έως και την 31η Οκτωβρίου 2023, σε δημόσια προσβάσιμη ηλεκτρονική βάση δεδομένων που υλοποιεί και λειτουργεί ο Οργανισμός Φυσικού Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής, έκθεση σχετικά με το ανθρακικό τους αποτύπωμα για το έτος αναφοράς 2022. Στην έκθεση συμπεριλαμβάνονται εθελοντικοί στόχοι και δράσεις μείωσης ή αντιστάθμισης των εκπομπών. Η έκθεση επικαιροποιείται και επαληθεύεται με τη διαδικασία της παρ. 4 ετησίως.

2. Το παρόν εφαρμόζεται στα κάτωθι νομικά πρόσωπα:

α) τις ανώνυμες εταιρείες με μετοχές ή άλλες κινητές αξίες εισηγμένες σε ρυθμιζόμενη αγορά στην Ελλάδα,

β) τα πιστωτικά ιδρύματα της παρ. 1 του άρθρου 3 του ν. 4261/2014 (Α' 107),

γ) τις ασφαλιστικές επιχειρήσεις της περ. α' της παρ. 1 του άρθρου 3 του ν. 4364/2016 (Α' 13),

δ) τις επιχειρήσεις επενδύσεων της περ. α' της παρ. 1 του άρθρου 4 του ν. 4514/2018 (Α' 14),

ε) τις επιχειρήσεις σταθερής και κινητής τηλεφωνίας, στ) τις εταιρείες ύδρευσης και αποχέτευσης,

ζ) τις εταιρείες ταχυμεταφορών,

η) τις επιχειρήσεις παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου,

θ) τις αλυσίδες καταστημάτων λιανεμπορίου, οι οποίες απασχολούν πάνω από πεντακόσιους (500) εργαζόμενους,

ι) τις επιχειρήσεις παροχής υπηρεσιών εφοδιαστικής, της περ. δ' του άρθρου 1 του ν. 4302/2014 (Α' 225), και

ια) τις αστικές εταιρείες παροχής συγκοινωνιακού έργου.

Εξαιρούνται του πεδίου εφαρμογής της παρούσας οι μικρές και πολύ μικρές επιχειρήσεις, του άρθρου 2 του Παραρτήματος της Σύστασης 2003/361/ΕΚ της Επιτροπής της 6ης Μαΐου 2003 «σχετικά με τον ορισμό των πολύ μικρών, των μικρών και των μεσαίων επιχειρήσεων» (L 124).

3. Οι εκπομπές υπολογίζονται σύμφωνα με το πρότυπο «2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories», όπως έχει τροποποιηθεί, και περιλαμβάνει τις άμεσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και τις έμμεσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την κατανάλωση ενέργειας, όπως ορίζονται στο πρότυπο «GHG Protocol WORLD RESOURCES INSTITUTE» ή εναλλακτικά, σύμφωνα με το πρότυπο «ISO 14064 1:2018», κατηγορίας 1 και 2. Ως συντελεστές μετατροπής της τελικής κατανάλωσης ενέργειας σε ισοδύναμους τόνους εκλυόμενου διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) χρησιμοποιούνται οι συντελεστές που αναφέρονται στην πλέον πρόσφατη εθνική απογραφή εκπομπών.

4. Η πραγματοποίηση των αυτοελέγχων όλων των νομικών προσώπων της παρ. 2 ανατίθεται από το νομικό πρόσωπο σε επαληθευτή, φυσικό ή νομικό πρόσωπο, το οποίο είναι επίσημα αναγνωρισμένο, σύμφωνα με την υπό στοιχεία Φ.01.2/56790/ΔΠΠ1828/31.5.2016 κοινή απόφαση του Υπουργού και του Υφυπουργού Οικονομίας, Ανάπτυξης και Τουρισμού (Β' 1897, διόρθωση σφάλματος Β' 2387), ότι πληροί τις ελάχιστες απαιτήσεις επάρκειας που προβλέπονται στον Κανονισμό (ΕΕ) 600/2012 της Επιτροπής, της 21ης Ιουνίου 2012, «για την επαλήθευση των εκθέσεων που αφορούν τις εκπομπές

αερίων θερμοκηπίου και τα τονοχιλιόμετρα και για τη διαπίστευση των ελεγκτών σύμφωνα με την οδηγία 2003/87/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και Συμβουλίου» (L 181).

5. Με την επιφύλαξη του άρθρου 16, έως την 1η Ιανουαρίου 2025, το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, κατόπιν γνωμοδότησης της Επιστημονικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή, εξετάζει τη δυνατότητα θέσπισης στόχων μείωσης των εκπομπών ανά κλάδο δραστηριότητας σε αντιστοιχία με τους εθνικούς στόχους, αφού λάβει υπόψη τους σχετικούς τομεακούς προϋπολογισμούς του άρθρου 7 και τις προβλέψεις του Εθνικού Σχεδίου για την Ενέργεια και το Κλίμα.

6. Σε περίπτωση μη έγκαιρης υποβολής της έκθεσης της παρ. 1, επιβάλλεται πρόστιμο πενήντα (50) ευρώ για κάθε μέρα καθυστέρησης. Το πρόστιμο δεν υπερβαίνει το μηδέν κόμμα ένα τοις χιλίοις (0,01%) επί του συνολικού κύκλου εργασιών της τελευταίας χρήσης του φορέα του έργου ή της δραστηριότητας με βάση τον κύκλο εργασιών της τελευταίας υποβληθείσας δήλωσης φορολογίας εισοδήματος.

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΑΕΡΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΟΝΩΤΙΚΑ

2.1 Εισαγωγή

Ο αέρας και το κύριο συστατικό του, το άζωτο, ήταν τα πρώτα αέρια που χρησιμοποιήθηκαν ως μονωτικά αέρια στον ηλεκτρικό εξοπλισμό. Ωστόσο, σύντομα ξεπεράστηκαν από την ανάγκη για καλύτερες ιδιότητες για την κατασκευή πιο εξελιγμένου και πολύπλοκου εξοπλισμού. Ως εκ τούτου, αναπτύχθηκαν και άλλα αέρια που χρησιμοποιήθηκαν ως διηλεκτρικά. Τα διηλεκτρικά αέρια ταξινομούνται ως εξής:

Απλά αέρια	Αέρια οξείδια
<ul style="list-style-type: none"> • αέρας, άζωτο (N₂), • υδρογόνο (H₂), • ήλιο (He), • οξυγόνο (O₂) 	<ul style="list-style-type: none"> • διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), • διοξείδιο του θείου (SO₂)
Αέριοι υδρογονάνθρακες	Ηλεκτραρνητικά αέρια*
<ul style="list-style-type: none"> • μεθάνιο (CH₄), • αιθάνιο (C₂H₆), • προπάνιο (C₃H₈), • βουτάνιο (C₄H₁₀), • εξάνιο (C₆H₁₄) 	<ul style="list-style-type: none"> • Εξαφθοριούχο θείο (SF₆) • Διγλωροδιφθορομεθάνιο (CCl₂F₂, Freon 12, Genetron 12) • Χλωροτριφθορομεθάνιο (CClF₃, Freon 13) • Τετραφθοράνθρακας (CF₄, Freon 14) • Χλωροδιφθορομεθάνιο (CHClF₂, Freon 22) • Χλωροπενταφθοροαιθάνιο (CF₃CF₂Cl, Freon 115) • Εξαφθοροαιθάνιο (CF₃CF₃, Freon 116)

**Μόνο το SF₆ χρησιμοποιείται ως μονωτικό, τα υπόλοιπα μόνο ως ψυκτικά.*

Τα αέρια που έχουν την ικανότητα να προσλαμβάνουν ηλεκτρόνια σχηματίζοντας αρνητικά ιόντα λέγονται ηλεκτραρνητικά. Αυτό σημαίνει ότι είναι πιο ικανά ως μονωτικά από τα συνηθισμένα αέρια, όπως το άζωτο. Τυπικά ηλεκτροηλεκτρικά αέρια που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό είναι αλογονίδια θείου και άνθρακα. Σήμερα, το SF₆ είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο μονωτικό αέριο, λόγω των επιδράσεων στη στιβάδα του όζοντος των χλωροφθορανθράκων (CFC), των οποίων η παραγωγή έχει διακοπεί από το 1995. Οι κύριες πηγές μονωτικών αερίων είναι:

- AlliedSignal Corporation: SF₆ και αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες (Genetron™)
- Ashland Chemical: SF₆
- Du Pont: αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες (Freons™)
- Solvay Fluor: SF₆ και αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες

2.2 Η διάσπαση των ηλεκτρομονωτικών αερίων

2.2.1 Γενικά

Σε ένα ηλεκτρομονωτικό αέριο υπό ηλεκτρική ένταση χαμηλής ισχύος, δεν μπορεί να δημιουργηθεί ηλεκτρικό τόξο μεταξύ των ηλεκτροδίων, παρά μόνον αν υπάρχουν στο διάκενό τους σε μεγάλο αριθμό ελεύθερα ηλεκτρόνια ή και ιόντα [5]. Βέβαια λόγω της κοσμικής ακτινοβολίας, είναι υπαρκτή πάντοτε μία μικρή ποσότητα τέτοιων σωματιδίων [5]. Όταν αυξάνεται η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, λαμβάνουν χώρα περισσότερες κρούσεις μεταξύ των μορίων του ηλεκτρομονωτικού αερίου και των ελεύθερων ηλεκτρονίων δημιουργώντας έτσι επιπλέον φορτισμένα σωματίδια. Κατά την εξέλιξη αυτής της διαδικασίας, το ηλεκτρομονωτικό αέριο γίνεται μερικώς αγώγιμο. Τα μόρια των ηλεκτραρνητικών αερίων διαθέτουν την ταυτοτική ιδιότητα δέσμευσης ελεύθερων ηλεκτρονίων (electron attachment) στην αρχική φάση της διαδικασίας εμφάνισής τους και προτού το πλήθος τους μεγαλώσει αρκετά ώστε να καταστήσει το αέριο μερικώς αγώγιμο.

2.2.2 Θεωρία Διάσπασης του Townsend

Σε υψηλή ένταση πεδίου κι εφόσον υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια που δεν παγιδεύτηκαν, δύναται να δημιουργηθεί ένας «καταρράκτης» ηλεκτρονίων. Η σύγκρουση ηλεκτρονίου ionίζει τα μόρια του αερίου στα οποία προσπίπτει, ελευθερώνοντας άλλο ένα ηλεκτρόνιο κι δημιουργώντας ένα θετικό ιόν. Κατόπιν, τα δύο τώρα ελεύθερα ηλεκτρόνια λαμβάνουν ώθηση από το πεδίο κι με την σειρά τους συγκρούονται, επαναλαμβάνοντας τον ίδιο κύκλο. Έτσι δημιουργείται αφθονία ελεύθερων ηλεκτρονίων και θετικών ιόν, το οποίο μειώνει την διηλεκτρική αντοχή του αερίου και, εν τέλει, θα το καταστήσει αγώγιμο.

2.2.3 Νηματική θεωρία (streamer theory)

Η νηματική θεωρία (streamer theory), αναπτύχθηκε για την ερμηνεία της διάσπασης αερίου όταν οι δευτερεύουσες διαδικασίες δεν συνεισφέρουν σε αυτήν και εφαρμόζεται στην περίπτωση όπου ο μέσος αριθμός ηλεκτρονίων σε έναν καταρράκτη προσεγγίζει μία κρίσιμη τιμή της τάξεως των 10⁸ ηλεκτρονίων [5]. Βάσει της θεωρίας αυτής, υφίστανται δύο προϋποθέσεις για τη διάδοση των ηλεκτρικών φορέων μέσω ενός διαύλου (streamer) [5]:

1^η προϋπόθεση: Τα παραγόμενα από τον καταρράκτη χωρικά φορτία πρέπει να προκαλούν επαρκή αλλοίωση του ηλεκτρικού πεδίου έτσι ώστε τα δημιουργούμενα ελεύθερα ηλεκτρόνια να περνούν προς την κορυφή του καταρράκτη, δημιουργώντας επιπλέον καταρράκτες.

2^η προϋπόθεση: Να παράγονται ελεύθερα ηλεκτρόνια με φωτοϊοντισμό, από φωτόνια στην κορυφή του καταρράκτη.

Μια τάση μεγαλύτερη από την τάση διάσπασης ενός συστήματος δεν θα προκαλέσει αμέσως διηλεκτρική αστοχία. Αυτό συμβαίνει επειδή χρειάζεται χρόνος για να δημιουργήσει η τάση ελεύθερα ηλεκτρόνια και να συμβεί η διάσπαση. Αυτή η χρονική υστέρηση οφείλεται στο χρόνο που χρειάζεται για να συμβούν αυτά τα γεγονότα, δηλαδή το χρόνο που απαιτείται για τον σχηματισμό του καταρράκτη, καθώς και στον χρόνο που χρειάζεται για να συμβεί η εκφόρτιση. Πρακτικά ηλεκτρική εκκένωση μπορούμε να έχουμε σε κάθε περίπτωση που ελεύθερα ηλεκτρόνια παράγονται γρηγορότερα από τον ρυθμό επανασύνδεσής τους με τα μόρια του αερίου.

2.2.4 Η ηλεκτρική διάσπαση

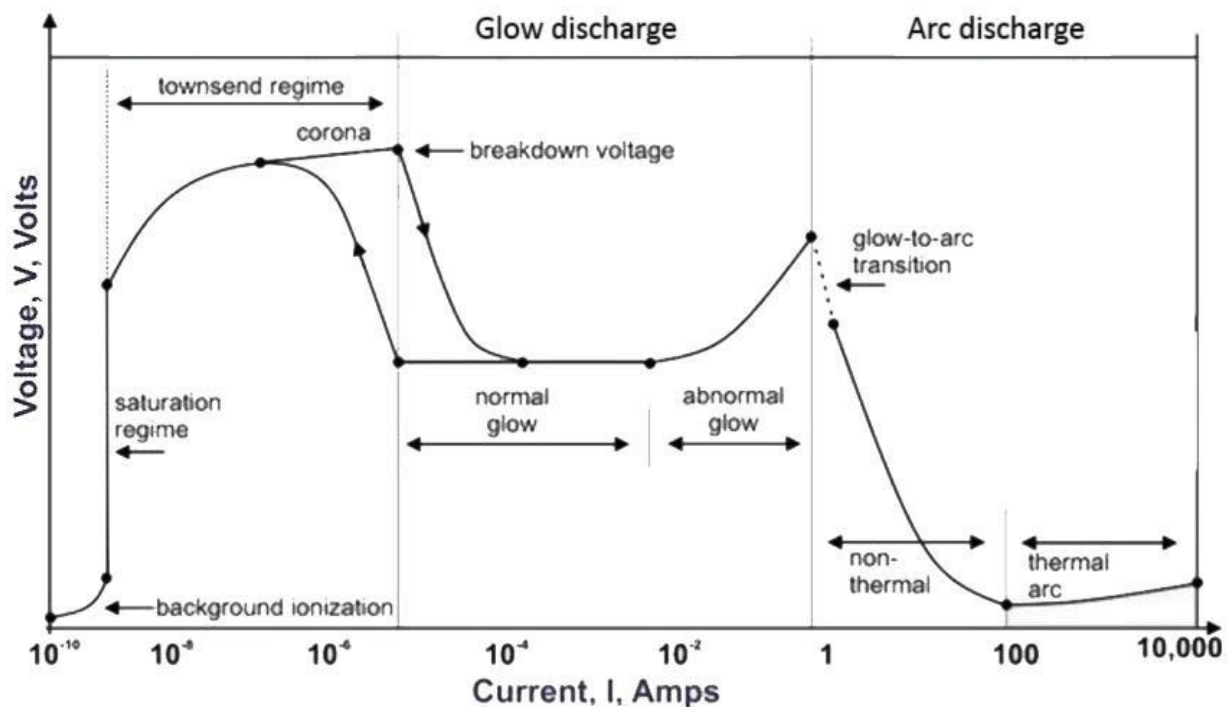
Με τον όρο «ηλεκτρική διάσπαση» (breakdown) περιγράφεται η κατάσταση κατά την οποία ένα αέριο χάνει την ηλεκτρομονωτική του ιδιότητα και η συμπεριφορά του γίνεται αγώγιμη, όπως ενός αγωγού του ηλεκτρισμού.

Με την διηλεκτρική αντοχή ενός μονωτικού περιγράφεται η τιμή της μέγιστης πεδιακής έντασης E_b (V/m) που είναι σε θέση να αντέξει το υλικό πριν λάβει χώρα μία ηλεκτρική διάσπαση.

Αναγκαία συνθήκη για να εκδηλωθεί μία ηλεκτρική διάσπαση αποτελεί ότι η «η μέγιστη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου E_{max} (V/m) που εφαρμόζεται σε ένα υλικό (έστω και σημειακά) να είναι μεγαλύτερη από την διηλεκτρική αντοχή του E_b (V/m):

Συνθήκη ηλεκτρικής διάσπασης: E_{max} (V/m) > E_b (V/m):

Η ηλεκτρική διάσπαση είναι το τελικό στάδιο διαδοχικών μεταβάσεων της τάσης και του ρεύματος που δίνονται αναλυτικά στο σχήμα 7 και εξαρτώνται από τις συνθήκες που επικρατούν.



Σχήμα 2. 1. Ενδεικτική χαρακτηριστική τάσης-ρεύματος σε αέριο μονωτικό. Διακρίνονται οι περιοχές της εκκένωσης αίγλης (glow discharge) και της εκδήλωσης ηλεκτρικού τόξου (arc discharge), αντίστοιχα [32].

Βάσει του Σχήματος 2.1, οι βασικές περιοχές της χαρακτηριστικής τάσης - ρεύματος σε ένα μονωτικό αέριο είναι οι παρακάτω:

- **Περιογή Townsend**: στην οποία παρατηρούμε την εκθετική αύξηση του ρεύματος καθώς αυξάνεται η τάση
- **Περιογή εκκένωσης αίγλης (glow discharge)**: αυξάνεται περαιτέρω το ρεύμα και παράλληλα μειώνεται η τάση και η ηλεκτρικής αντίσταση.
- **Περιογή εκκένωσης τόξου (arc discharge)**: αυξάνεται κατά πολύ το ρεύμα με μεγάλη μείωση της τάσης.

Το ηλεκτρικό τόξο είναι μια κατάσταση στη οποία βρίσκονται τα μονωτικά αέρια κατά την λειτουργία εξοπλισμού Υ.Τ. όπως οι διακόπτες ισχύος.

Ένα σημαντικό ζητούμενο είναι ο αποτελεσματικός χειρισμός για την σβέση του τόξου, το οποίο των πολύ μεγάλων ρευμάτων και θερμοκρασιών καταπονεί έντονα τον εξοπλισμό, οπότε θα πρέπει να γίνεται κατάλληλος σχεδιασμός για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων του ηλεκτρικού τόξου [32].

2.2.5 Το ηλεκτρικό τόξο

Ένα ηλεκτρικό τόξο αποτελεί ουσιαστικά μια εκκένωση η οποία αυτοσυντηρείται και η οποία έχει ως χαρακτηριστικά του την μικρή πτώση τάσης στα άκρα του αλλά κι ένα ιδιαίτερα υψηλό ρεύμα, συμπεριφερόμενο ως μη γραμμική αντίσταση. Η διαφορά δυναμικού μεταξύ των άκρων του τόξου, παρά του μικρού μεγέθους της, διαθέτει τη δυνατότητα να διατηρεί πολύ υψηλά ρεύματα. Επιπροσθέτως, η ηλεκτρική αντίσταση της οποίας η τιμή μεταβάλλεται συναρτήσει των χαρακτηριστικών του τόξου αυτού, αποτελεί άλλο ένα χαρακτηριστικό του. Η εμφάνιση ενός ηλεκτρικού τόξου αποτελεί μια μεταβατική κατάσταση εμφανιζόμενη κατά την μεταγωγή των διακοπών από την κατάσταση αγωγιμότητας σε μη αγωγή κατάσταση, όταν απομακρύνονται οι επαφές του, διακόπτοντας υψηλά ρεύματα βραχυκύκλωσης, συνήθως μερικών δεκάδων kA. Αυτή η εμφάνιση ενός τόξου δημιουργεί έναν οχετό χαμηλής αντίστασης για να κυκλοφορήσει το ηλεκτρικό ρεύμα μεταξύ των επαφών, κι έτσι η σβέση του να επιτευχθεί σταδιακά χωρίς μεταβατικές ταλαντώσεις που θα είχαν ως συνέπεια ανεπιθύμητες υπερτάσεις στο σύστημα. Δίχως την παρουσία του ηλεκτρικού τόξου θα είχαμε πολύ υψηλό ρυθμό μεταβολής του ρεύματος di/dt (σχεδόν ακαριαία διακοπή), συνεπώς θα δημιουργούνταν εξαιρετικά υψηλές υπερτάσεις V_t στο δίκτυο, εξαιτίας επαγωγικής συμπεριφοράς του, βάσει της σχέσεως:

$$V_t = L \cdot \frac{di}{dt}$$

Βέβαια, η δημιουργία του ηλεκτρικού τόξου, εκτονώνοντας τη αποθηκευμένη σε αυτό ενέργεια, προκαλεί ύστερα από τον αρχική εξάλειψη του ρεύματος ένα καινούριο ρεύμα, μικρού μεγέθους (post-arc current) που είναι ικανό να προκαλέσει μια μεταβατική υπέρταση ανάκτησης μεταξύ των άκρων του, διαδεχόμενη την αρχική σβέση. Αυτή η υπέρτασης συναρτάται κυρίως από τον ρυθμό παραγωγής και απαγωγής θερμότητας εντός του τόξου, αλλά και από μια σειρά άλλων παραμέτρων [32].

2.2.5.1 Θεωρητικά μοντέλα

2.2.5.1.1 Το μοντέλο του Cassie

Το μοντέλο ενός τόξου που έχει στον πυρήνα του κυλινδρική μορφή και με ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας και τη πυκνότητας ρεύματος και με την ισχύ να είναι ανάλογη της διατομής του πυρήνα του τόξου, πρότεινε ο Cassie το 1939 και μας δίνει την σχέση της μεταβολής της αντίστασης R του τόξου σε σχέση με την τάση v στα άκρα του οποιαδήποτε χρονική στιγμή:

$$R \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{R} \right) = \frac{1}{\theta} \left[\left(\frac{v}{v_0} \right)^2 - 1 \right]$$

όπου v_0 είναι η τάση του τόξου όταν αυτό βρίσκεται σε σταθερή κατάσταση και θ είναι η χρονική σταθερά του τόξου που αντιστοιχεί στο λόγο του χρονικού ρυθμού αποθήκευσης ενέργειας ανά μονάδα όγκου προς τον χρονικό ρυθμό απώλειας ενέργειας ανά μονάδα όγκου [32].

2.2.5.1.2 Το μοντέλο του Mayr

Το μοντέλο του Mayr (1943), αποτελεί μια βελτιωμένη έκδοση του παραπάνω μοντέλου, στο οποίο το ηλεκτρικό τόξο διαθέτει σταθερή διάμετρο έχει όμως μεταβαλλόμενη θερμοκρασία και αγωγιμότητα, που ελαττώνονται κατά την ακτινική απομάκρυνση από το κέντρο του τόξου και με την θεώρηση ότι η απώλεια ενέργειας γίνεται μόνο στην περίμετρό του, περιγράφεται από την εξίσωση [32]:

$$R \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{R} \right) = \frac{1}{\theta} \left[\left(\frac{vi}{w_0} \right)^2 - 1 \right]$$

όπου:

- R : αντίσταση τόξου
- v : τάση τόξου
- i : ρεύμα τόξου
- w_0 : περιμετρικές απώλειες ενέργειας τόξου κάθε χρονικού σημείου
- θ : χρονική σταθερά τόξου.

2.2.5.1.3 Σύγκριση θεωρητικών μοντέλων

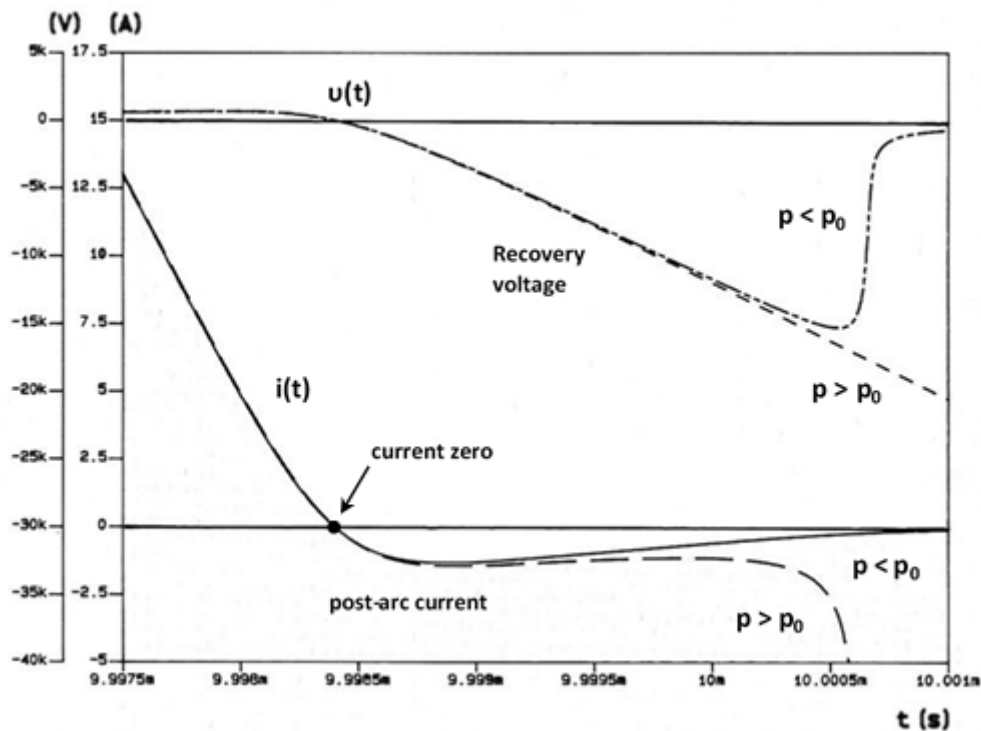
Το πρώτο μοντέλο (Cassie) αποδίδει το χρονικό διάστημα πριν τον μηδενισμό του ρεύματος με καλύτερη ακρίβεια, ενώ το δεύτερο μοντέλο (Mayr) περιγράφει καλύτερα το χρονικό διάστημα που ακολουθεί τον μηδενισμό του ρεύματος, όπου συντελείται μια στιγμιαία αύξηση του ρεύματος μικρού μεγέθους που προκαλεί μια τάση ανάκτησης η οποία, εξαιτίας της υπέρτασης που δημιουργείται μπορεί να είναι έχει είτε μικρό μέγεθος οπότε γίνεται ομαλή σβέση του τόξου ή μεγάλο μέγεθος οπότε λαμβάνει χώρα μια νέα ανάφλεξη του τόξου. Η τελική εξέλιξη της κατάστασης αφού συμβεί ο μηδενισμός του ρεύματος εξαρτάται, βάσει του μοντέλου του Mayr, από το ρυθμό απώλειας ενέργειας του τόξου ως προς τον ρυθμό τροφοδοσίας του με ενέργεια.

2.2.5.2 Σβέση του τόξου

Η σβέση ενός τόξου αποτελεί ένα μεταβατικό φαινόμενο της τάσης και του ρεύματος τα οποία μεταβάλλονται βάσει του τρόπου που απεικονίζεται στο Σχήμα 2.2. Στους διακόπτες ισχύος η σβέση του τόξου συμβαίνει όταν το εναλλασσόμενο ρεύμα διέρχεται από το μηδέν (current zero crossing) επειδή είναι ευκολότερη η σβέση του αφού η ισχύς μηδενίζεται. Βάσει του Σχήματος 2.2., εάν η ισχύς του τόξου δίνεται από τη σχέση $p = v \cdot i$ και ο όρος p_0 αναπαριστά τις απώλειες ισχύος του τόξου εξαιτίας της ψύξης του, από το μοντέλο του Mayr, θα έχουμε, ότι :

- Αν $p > p_0$ θα έχουμε νέα ανάφλεξη του τόξου με μεγάλη αύξηση της τάσης ανάκτησης (recovery) και τελικά του ρεύματος
- Αν $p < p_0$ θα έχουμε ομαλή σβέση του τόξου με μικρή τιμή της τάσης ανάκτησης (recovery) και μηδενισμό του ρεύματος

Η σχέση μεταξύ των p και p_0 επηρεάζουν με καθοριστικό τρόπο την μεταβατική συμπεριφορά τόσο της τάσης όσο και του ρεύματος αφού παρέλθει ο αρχικός μηδενισμός του ρεύματος. Για $p < p_0$ συμβαίνει ομαλή σβέση και για $p > p_0$ συμβαίνει νέα ανάφλεξη του τόξου εξαιτίας της υψηλής τάσης επαναφοράς (Recovery voltage). Από θεωρητικής άποψης, η μεταβολή της τάσης με γραμμικό τρόπο προκαλείται από την μεταβολή του ρεύματος του τόξου την βάσει της αντίστασής του, αλλά στο Σχήμα 2.2, διακρίνουμε ότι το ρεύμα δεν είναι δυνατό να μεταβληθεί με ακαριαίο τρόπο, εξαιτίας αποθηκευμένης στο ηλεκτρικό τόξο ενέργειας κι έτσι συντελείται σταδιακά με εκθετικό τρόπο (post arc current). Όταν έχουμε ομαλή σβέση τόξου, η αυξανόμενη τιμή ρεύματος του τόξου προκαλεί θερμοκρασιακή αύξηση και γίνεται εντονότερη η διεργασία ιονισμού, συνεπώς η αγωγιμότητα αυξάνεται με αποτέλεσμα τη μείωση της αντίστασης του τόξου και της πτώσης τάσης στα άκρα του.



Σχήμα 2. 2. Σβέση ενός τόξου και η μεταβολή τάσης και ρεύματος κατά τη διάρκειά του [32].

Οι σύγχρονοι διακόπτες διαθέτουν σχετικά μικρή χρονική σταθερά τόξου θ από 10 έως 100 μs , με αποτέλεσμα στα άκρα ενός διακόπτη, η πτώση τάσης να λαμβάνει ταχύτατα την τελική τιμή της, που είναι καθοριστική για την στατική χαρακτηριστική του ωμικού μοντέλου. Στους διακόπτες με εξαφθοριούχο θείο (SF₆), αυτό οφείλεται κυρίως στην αποτελεσματική απαγωγή της θερμότητας περιφερειακά του τόξου εξαιτίας της επικρατούσας αυξημένης πίεσης μερικών δεκάδων bar αλλά και δευτερευόντως εξαιτίας της καλής θερμικής αγωγιμότητας του SF₆ [32]. Γενικότερα, για την επιτυχή σβέση του τόξου απαιτείται ταχεία αύξηση της διηλεκτρικής αντοχής, δηλαδή αύξηση της αντίστασης εντός του διάκενου που συντελείται το τόξο, όπως για παράδειγμα έχουμε μεταξύ των επαφών ενός διακόπτη και επιτυγχάνεται με δυο τρόπους:

- Τον αποϊονισμό του τόξου: όπου συνδράμουν διάφορες παράμετροι όπως η αύξηση της πίεσης (πυκνότητας) του αερίου (ελάττωση της μέσης ελεύθερης διαδρομής), αλλά και η δραστική απαγωγή της θερμότητας για την άμεση ψύξη του τόξου, η οποία αυξάνει ταυτόχρονα εκτός από την ηλεκτρική αντίσταση και την ηλεκτρική τάση έτσι ώστε να διατηρηθεί το ρεύμα του τόξου.
- Την αντικατάσταση του τόξου από νέο αέριο χαμηλής θερμοκρασίας [32].

2.2.6 Ο Νόμος του Paschen

Ο νόμος του Paschen ορίζει την διηλεκτρική αντοχή των ηλεκτρομονωτικών αερίων για πιέσεις ως 15 bar. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό, αφού δεν ξεπερνάται αυτή η πίεση.

Ο νόμος του Paschen ορίζει πως με χρήση ηλεκτροδίων παράλληλων πλακών και για ορισμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας σε ένα ομογενές πεδίο, το δυναμικό εκδήλωσης ηλεκτρικού τόξου σε ένα αέριο εξαρτάται από το γινόμενο της πίεσης του αερίου επί την απόσταση (διάκενο) μεταξύ των ηλεκτροδίων [34]:

$$V_s = f(p \cdot d)$$

Όπου V_s το δυναμικό εκδήλωσης ηλεκτρικού τόξου, p η πίεση του αερίου, d το εύρος του διακένου, και f μια συνάρτηση του γινομένου $p \cdot d$ [34].

Υπάρχουν όμως συνθήκες που μπορούν να προκαλέσουν απόκλιση. Το σχήμα, η επιφάνεια, το υλικό, και το διάκενο μεταξύ των ηλεκτροδίων επηρεάζουν τα αποτελέσματα, αφού

επηρεάζουν και την ομογένεια του πεδίου. Επίσης ο νόμος θεωρεί πως το αέριο είναι πρότυπο, οπότε ο βαθμός καθαρότητας επίσης παίζει ρόλο.

Ο νόμος του Paschen παίρνει και την παρακάτω μορφή:

$$V_s = f(N \cdot d)$$

όπου N η πυκνότητα των μορίων ανά κυβικό εκατοστό.

Αυτή η μορφή είναι πολύ πρακτική στην μελέτη κλειστών συστημάτων, όπως μια γραμμική μεταφοράς με αέριο (GIL) ή κλειστό υποσταθμό (GIS). Εκεί η πίεση επηρεάζεται από την θερμοκρασία, αλλά η πυκνότητα είναι σταθερή, οπότε βλέπουμε πως η αντίσταση στη διάσπαση δεν επηρεάζεται.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο νόμος του Paschen δεν εφαρμόζεται σε πιέσεις άνω των 15 bar. Αν ξεπεραστεί αυτή η πίεση, η τάση διάσπασης ανεβαίνει πιο αργά σε σχέση με την πίεση. Επίσης, για τον προφανή λόγο της απουσίας μορίων σε πολύ χαμηλές πιέσεις, πάλι δεν μπορεί να εφαρμοστεί. Η διατήρηση υψηλού κενού είναι τεχνικά δύσκολη και έτσι δεν βρίσκει εφαρμογή ως μονωτής, παρά μόνο σε μικροηλεκτρονικά (πυκνωτές).

Η πιο κοινή πρακτική όταν χρησιμοποιούνται αέρια ως μονωτές είναι να χρησιμοποιούνται σε αυξημένη πίεση, αφού αυξάνεται σημαντικά η διηλεκτρική αντοχή τους. Σε ηλεκτρικό εξοπλισμό κοινές πιέσεις είναι μεταξύ 5 και 7.5 bar. Επιπλέον, το σύστημα πρέπει να σχεδιάζεται ώστε να προλαμβάνεται η υγραποίηση λόγω πίεσης, αφού υγραποίηση του αερίου θα αλλάξει προς το χειρότερο την διηλεκτρική αντοχή του συστήματος αλλά και θα προκαλέσει διάβρωση των υλικών.

2.2.7 Εξάρτηση από την κατάσταση, το είδος και την διάταξη των ηλεκτροδίων

Η αντοχή διηλεκτρικής διάσπασης ενός ισχυρά ηλεκτρομαγνητικού αερίου εξαρτάται άμεσα από την κατάσταση της επιφάνειας του μετάλλου με το οποίο έρχεται σε επαφή. Οι τραχιές ή ανώμαλες επιφάνειες δημιουργούν ένα ανομοιογενές ηλεκτρικό πεδίο και μειώνουν σημαντικά τη διηλεκτρική αντοχή του αερίου έναντι ενός ομοιογενούς ηλεκτρικού πεδίου. Για τα συνήθως χρησιμοποιούμενα ηλεκτρόδια, η διηλεκτρική αντοχή διάσπασης του SF₆ μειώνεται τουλάχιστον κατά 50% της θεωρητικής του τιμής σε πίεση 4 bar. Η παρουσία σωματιδίων κάθε είδους, όπως σκόνη ή υγρασία, μειώνει την αντοχή διηλεκτρικής διάσπασης.

Στο SF₆ υπάρχει σημαντική διακύμανση της τάσης διάσπασης ανάλογα με το σχήμα του ηλεκτροδίου. Ειδικότερα στα συστήματα ηλεκτροδίων ράβδου-πλάκας, η τάση διάσπασης πέφτει γρήγορα καθώς αυξάνεται η πίεση και μειώνεται η ακτίνα καμπυλότητας της ράβδου, υπό την προϋπόθεση ότι το διάκενο και άλλες συνθήκες δοκιμής παραμένουν σταθερές [5]. Σε πίεση 4 bar και διάκενο 20 mm διαπιστώθηκε ότι η τάση διάσπασης σε ακτίνα καμπυλότητας ράβδου 5 mm ήταν περισσότερο από τρεις φορές υψηλότερη από ό,τι σε ακτίνα 0,5 mm - μόνο σε πίεση 1 bar οι τιμές ήταν συγκρίσιμες [5]. Συνεπώς, η αλλαγή της γεωμετρίας του ηλεκτροδίου επηρεάζει διαφορετικά τις διαδικασίες χωρικού σχηματισμού και σταθεροποίησης του φορτίου λόγω του φαινομένου corona. Η φυσική αυτού του φαινομένου δεν είναι πλήρως κατανοητή, αλλά πιστεύεται ότι σχετίζεται με ένα ιονισμένο χωρικό φορτίο που παράγεται από μια εκκένωση κορώνα στο άκρο. Αυτός ο τύπος διάσπασης ορίζεται ως σταθεροποιημένη διάσπαση με κορώνα.

Με τον έλεγχο της μονωτικής επίστρωσης στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου, η αντοχή διάσπασης μπορεί να αυξηθεί κατά 25-50%, έτσι ώστε ο νόμος του Paschen να λειτουργεί σε υψηλότερες πιέσεις και εντάσεις πεδίου από ό,τι στα γυμνά ηλεκτρόδια.

Η πρότυπη μέθοδος της βιομηχανίας για τη μέτρηση της τάσης διηλεκτρικής διάσπασης είναι το πρότυπο ASTM D 2477, «Test Method for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Insulating Gases at Commercial Power Frequencies».

Η μέθοδος περιγράφει ένα σφαιρικό και ένα επίπεδο ηλεκτρόδιο τοποθετημένα κατακόρυφα. Η σφαίρα πρέπει να χαλύβδινη και διαμέτρου 19.1 mm. Το επίπεδο ηλεκτρόδιο πρέπει να είναι ορειχάλκινο, με στρογγυλεμένες άκρες, και διαμέτρου 38.1 mm. Μεταξύ τους ορίζεται διάκενο 2.54 ± 0.025 mm. Η δοκιμή γίνεται σε πρότυπες συνθήκες (μία ατμόσφαιρα και 25 βαθμοί κελσίου). Δίνεται ο ακόλουθος τύπος για την μετατροπή στις πρότυπες συνθήκες από τις συνθήκες περιβάλλοντος, οι οποίες πολλαπλασιάζονται με τον παράγοντα:

$$F = (273 + T)/0.392P$$

όπου:

- T = θερμοκρασία περιβάλλοντος, °C
- P = πίεση αερίου, torr.

Η τάση διάσπασης εξαρτάται από το διάκενο, το σχήμα, τυχόν ανωμαλίες στις επιφάνειες, κ.λπ. Συνεπώς αποδεχόμαστε τις συγκρίσεις τιμών διηλεκτρικής αντοχής μονωτικών αερίων με τις τιμές του αζώτου ή SF₆ στις ίδιες συνθήκες. Στον πίνακα 2.1 βλέπουμε πως ορισμένα αέρια έχουν μέση τιμή τάσης διάσπασης καλύτερη του SF₆, όπως αυτές προκύπτουν από την εφαρμογή αυτής της μεθόδου. Όμως το υψηλότερο σημείο βρασμού τους τα εμποδίζει να καλύψουν όλο το θερμοκρασιακό εύρος που καλύπτει το SF₆ σε βιομηχανικές εφαρμογές [5].

ΑΕΡΙΟ	Αντοχή Διάσπασης	Σημείο Βρασμού	
	%	°C	°F
Χλωροπενταφθοροαιθάνιο, CF ₃ CF ₂ Cl	114	-38.7	-37.7
Διοξείδιο του Θείου, SO ₂	102	-10.0	+14.0
Διχλωροδιφθορομεθάνιο, CCl ₂ F ₂	100	-29.8	-21.6
Εξαφθοριούχο Θείο, SF ₆	100	-63.9	-83.0

Πίνακας 2. 1. Μέσες τιμές για την τάση διάσπασης ορισμένων διηλεκτρικών αερίων

2.2.8 Ύπαρξη αγώγιμων σωματιδίων

Εάν υπάρχουν πολλά ελεύθερα σωματίδια που επιπλέουν σε ένα σύστημα με μόνωση αερίου, αυτό μπορεί να κάνει το σύστημα πιο αδύναμο και πιο πιθανό να καταρρεύσει. Ένα παράδειγμα είναι όταν η διηλεκτρική ισχύς του SF₆ μειώνεται πολύ παρόλο που υπάρχει υψηλή πίεση. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν εισάγονται αγώγιμα σωματίδια κατά τη συναρμολόγηση ή λόγω τριβών από τα μέρη του συστήματος. Η παρουσία τους μπορεί να επιφέρει διάσπαση σε τιμές πολύ χαμηλότερες της ονομαστικής. Οι παγίδες από κολλώδες υλικό έχουν βρεθεί ότι είναι πολύ αποτελεσματικές στο να εμποδίζουν αυτά τα σωματίδια να ρυπαίνουν το σύστημα και μπορούν να βοηθήσουν να γίνει το σύστημα πιο αξιόπιστο.

2.2.9 Επίδραση υγρασίας

Υπάρχει κρίσιμο όριο υγρασίας που πρέπει να τηρείται. Αυτό το καθορίζει η θερμοκρασία λειτουργίας. Αν το όριο αυτό παραβιαστεί είναι δυνατή η συμπύκνωση υδρατμών που θα προκαλέσουν ηλεκτρική διαρροή.

2.3 Χημική υπόσταση

Το SF₆ παράγεται από ατμούς θείου και φθορίου. Τα υπολείμματα απομακρύνονται με καυστική σόδα και στη συνέχεια θερμαίνονται στους 400 °C, όπου τα μεγάλα μόρια θείου και φθορίου διασπώνται σε SF₄ και SF₆. Ένας δεύτερος διαχωρισμός απομακρύνει το SF₄. Το

SF₆ ξηραίνεται στη συνέχεια σε στήλη όπου υπάρχει θεϊκό οξύ, το νερό απομακρύνεται, υγροποιείται και αποστάζεται σε υψηλή καθαρότητα.

2.4 Ποιότητες αερίου

Για να εγκριθεί ένα αέριο ως κατάλληλο για χρήση σε ηλεκτρικό εξοπλισμό, πρέπει επιβεβαιωμένα να περιέχει ελάχιστη υγρασία. Το SF₆ για να γίνει εμπορικά διαθέσιμο πρέπει να καλύπτει τις ακόλουθες προδιαγραφές:

- Σημείο δρόσου -60°C (-76°F)
- Αέρας (θεωρούμενος ως άζωτο), % κατά βάρος 0.04 μέγιστο
- Οξύτητα (ως HF), % κατά βάρος 0.00003 μέγιστο
- CF₄, % κατά βάρος 0.04 μέγιστο
- Έλαια υδρογονανθράκων, % κατά βάρος 0.0005 μέγιστο
- Τοξικότητα μη τοξικό
- Οσμή άοσμο
- Περιεκτικότητα (assay) % κατά βάρος 99.9 ελάχιστο

2.5 Πρότυπα ASTM για τα διηλεκτρικά αέρια

Η ASTM έχει δημοσιεύσει τα παρακάτω πρότυπα:

- D 1993, Αέριο Άζωτο ως Ηλεκτρομονωτικό Υλικό. Αυτές οι προδιαγραφές καλύπτουν τρεις τύπους αζώτου που χρησιμοποιούνται ως μονωτικά υλικά σε ηλεκτρολογικό εξοπλισμό [5]:
 - Τύπος I, παρασκευάζεται από τον αέρα με διαδικασίες υγροποίησης και ξήρανσης.
 - Τύπος II, παρασκευάζεται από τον αέρα με διαδικασίες υγροποίησης, αφαίρεσης του οξυγόνου με υδρογόνο πάνω από καταλύτη λευκόχρυσου και ξήρανση.
 - Τύπος III, παρασκευάζεται από τον αέρα με διαδικασίες υγροποίησης και, αν κριθεί απαραίτητο, αφαίρεσης του οξυγόνου με κατάλληλα μέσα.

Τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά φαίνονται στον Πίνακα 2.2.

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΤΥΠΟΣ I	ΤΥΠΟΣ II	ΤΥΠΟΣ III
Άζωτο και σπάνια αέρια, ελάχιστος όγκος %	99.8	98.998	99.993
Υδρογόνο, μέγιστος όγκος %	0.0	1.0	0.005
Οξυγόνο, μέγιστος όγκος %	0.2	0.002	0.002
Σημείο Δρόσου, μέγιστο °F (°C)	-67 (-55)	-67 (-55)	-75 (-60)

Πίνακας 2. 2. Σύσταση και Ιδιότητες του Αζώτου ως Αέριο Διηλεκτρικό (ASTM D 1933)

- D 2472, SF₆. Το SF₆ για χρήση ως μονωτικό υλικό οφείλει να συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις του Πίνακα 2.3. Επιπρόσθετα, οι κατασκευαστές θα πρέπει να δύνανται να πιστοποιήσουν ότι το υλικό είναι τουλάχιστον εξίσου μη τοξικό με την ‘Ομάδα VI’ (υλικά ελάχιστης τοξικότητας) της ταξινόμησης των ‘Underwriters Laboratories’ [5].

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ
Περιεκτικότητα σε νερό, μέγιστο σημείο δρόσου, °F (°C)	-50* (-45)
Υδροδιαλυτές φθοριούχες ενώσεις, εκφρασμένες ως οξύτητα HF, μέγιστο ppm κατά βάρος	0.3
Αέρας (θεωρούμενος ως N ₂), μέγιστο βάρος %	0.05
Τετραφθοράνθρακας, μέγιστο βάρος %	0.05
Μοριακό Βάρος	146 ± 2%
Περιεκτικότητα (assay), ελάχιστη κατά βάρος %	99.8

Πίνακας 2. 3. Απαιτήσεις για το SF₆ ως Αέριο Διηλεκτρικό (ASTM D 2472)

Ιδιότητες, Χρήσεις και Εφαρμογές του Ηλεκτρομονωτικού Αερίου SF₆

- D 3283, ο Αέρας ως Μονωτικό Υλικό. Ο αέρας που χρησιμοποιείται ως μονωτικό υλικό οφείλει να συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις του Πίνακα 2.6.

	ΤΙΜΗ
Οξυγόνο, κατ' όγκο %	19 έως 23
Μονοξείδιο του Άνθρακα, μέγιστος όγκος %	0.0020
Διοξείδιο του Άνθρακα, μέγιστος όγκος %	0.010
Άζωτο	Ισορροπία
Σημείο Δρόσου, μέγιστο °F (°C)	-72 (-58)

Πίνακας 2. 4. Σύσταση και Ιδιότητες του Αέρα ως Αέριο Διηλεκτρικό (ASTM D 3283)

2.6 Ιδιότητες

Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγηση των αερίων διηλεκτρικών είναι οι εξής [5]:

- Βαθμός ηλεκτραρνητικότητας του αερίου
- Τοξικότητα του αερίου και των παραπροϊόντων της αποσύνθεσης του
- Σχηματισμός ανθρακούχων ιζημάτων σε συνθήκες εκδήλωσης τόξου
- Αναφλεξιμότητα
- Αδράνεια
- Χημική σταθερότητα
- Θερμική σταθερότητα
- Κρίσιμη θερμοκρασία
- Κρίσιμη πίεση
- Διηλεκτρικές ιδιότητες
- Ρυθμός μεταφοράς θερμότητας
- Συμβατότητα με άλλα ηλεκτροτεχνικά υλικά
- Εμπορική διαθεσιμότητα
- Τιμή

2.6.1 Τοξικότητα

Αέρια τοξικά ή επιβλαβή για τον άνθρωπο ή το περιβάλλον δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως διηλεκτρικά, όσο καλές κι αν είναι οι ιδιότητές τους [34]. Στον πίνακα 2.5 παρουσιάζονται τα όρια έκθεσης προσωπικού για κάποια αέρια.

ΑΕΡΙΟ	ppm (vol) σε 25°C, 760 mmHg
Διοξείδιο του Άνθρακα	5000
Εξαφθοριούχο Θείο	1000
Freons 12, 13, 14, 22, 115, 116	1000
Προπάνιο	1000
Κανονικό Εξάνιο	500
Διοξείδιο του Θείου	5

Πίνακας 2. 5. Όρια Έκθεσης Προσωπικού σε Αέρια για Οκτάωρο σταθμισμένο Μ.Ο. (Πηγή: NIOSH) [5]

Όπως φαίνεται, το SF₆ είναι ιδιαίτερα ασφαλές. Το διοξείδιο του θείου, από την άλλη πλευρά, είναι πολύ επικίνδυνο. Ωστόσο, τα μέτρα προστασίας είναι απαραίτητα για όλα τα αέρια. Η τοξικότητα είναι πιο προβληματική όταν τα αέρια διασπώνται από υψηλές θερμοκρασίες ή εκκενώσεις τόξου. Τα απλά αέρια (π.χ. N) δεν αποτελούν πρόβλημα, αλλά τα σύνθετα αέρια μπορούν να παράγουν παραπροϊόντα κατά τη διάρκεια της αποσύνθεσης (η οποία είναι πιο πιθανό να συμβεί σε στερεά μόνωση).

Ίσως η πιο σημαντική εφαρμογή των διηλεκτρικών αερίων είναι στους διακόπτες ισχύος. Οι μικρές ποσότητες προϊόντων αποσύνθεσης στους διακόπτες απορροφώνται από φίλτρα που περιέχουν μείγμα σόδας ασβέστου ή αλουμίνας [34]. Όταν όμως έχουμε ηλεκτρικό τόξο ή μερική εκκένωση τύπου corona, οι ποσότητες παραπροϊόντων είναι υπερβολικά υψηλές για να τις διαχειριστούν αυτά τα φίλτρα. Για παράδειγμα, το SF₆ μπορεί να αποσυντεθεί σε μία πληθώρα τοξικών παραπροϊόντων, συνήθως μέσω αντιδράσεων με το νερό ή το οξυγόνο. Τα πιο συνηθισμένα παραπροϊόντα είναι το διοξείδιο του θείου και οι οξυφθοριούχες ενώσεις [34]. Η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή (TLV) για κάθε προϊόν αποσύνθεσης φαίνεται στον Πίνακα 2.6.

ΑΕΡΙΟ	ppm (vol) σε 25°C, 760 mmHg
SO ₂ F ₂	5
HF	3
SO ₂	2
SOF ₂	1.6
SiF ₄	0.6
S ₂ F ₂	0.5
SOF ₄	0.5
SF ₄	0.1
WF ₆	0.1
S ₂ F ₁₀	0.01

Πίνακας 2. 6. Επιτρεπόμενες Τιμές Κατωφλίου Πιθανών Αέριων Παραπροϊόντων SF₆.

2.6.2 Αντοχή σε ηλεκτρικά τόξα ισχύος

Σε σύγκριση με πολλά άλλα ηλεκτρομαγνητικά αέρια, το SF₆ είναι πολύ σταθερό απέναντι σε ηλεκτρικά τόξα και η διηλεκτρική αντοχή του αερίου δεν μειώνεται όταν εμφανίζεται ηλεκτρικό τόξο. Οι αλογονούχοι υδρογονάνθρακες, από την άλλη πλευρά, περιέχουν άνθρακα ως παραπροϊόν αποσύνθεσης, ο οποίος είναι αγωγός. Η παρουσία ελεύθερων εναποθέσεων άνθρακα που προκύπτουν από τη διάσπαση των αερίων φθοράνθρακα μειώνεται σημαντικά με την προσθήκη SF₆ σε συγκεντρώσεις 20-30%, γεγονός που συνήθως βελτιώνει τη διηλεκτρική αντοχή.

2.6.3 Χημική και θερμική σταθερότητα

Τα διηλεκτρικά υλικά πρέπει να μην είναι τοξικά ή και εύφλεκτα, αλλά να είναι σταθερά και αδρανή σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών. Εκτός από τα αέρια υδρογονανθράκων, όλα τα διηλεκτρικά αέρια καλύπτουν αυτές τις προδιαγραφές σε θερμοκρασία δωματίου και ατμοσφαιρική πίεση [34]. Οι αέριοι υδρογονάνθρακες είναι εύφλεκτοι εγγενώς.

Οι χημικές ουσίες μπορούν να παραμείνουν σταθερές μόνο σε ορισμένες θερμοκρασίες, μετά από τις οποίες αρχίζουν να αποσυντίθενται. Οι ρυθμοί αποσύνθεσης του ξηρού SF₆ σε υψηλή θερμοκρασία όταν αυτό βρίσκεται σε επαφή με τυπικά μέταλλα εξοπλισμού φαίνονται στον Πίνακα 2.7 [34].

Ο ρυθμός αποσύνθεσης αυξάνεται σημαντικά καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε υγρασία και άλλες ακαθαρσίες. Το άζωτο είναι πολύ σταθερό χημικά και μπορεί να αντέξει τις υψηλές θερμοκρασίες, ένα χαρακτηριστικό που είναι πλεονεκτικό για τον ηλεκτρικό εξοπλισμό. Πειράματα της DuPont δείχνουν ότι υπό ορισμένες συνθήκες, το Freon 116 έχει καλύτερη θερμική σταθερότητα από το SF₆. Ωστόσο, και τα δύο αέρια παράγουν πολύ υψηλά ποσοστά ιόντων φθορίου σε υψηλή υγρασία, η οποία είναι ο κύριος καθοριστικός παράγοντας της

θερμικής και ηλεκτρικής σταθερότητάς τους. Τα υποπροϊόντα μπορούν επίσης να επηρεάσουν την ευαισθησία του εξοπλισμού.

ΥΛΙΚΟ	ΡΥΘΜΟΣ ΑΠΟΣΥΝΘΕΣΗΣ %/έτος	
	στους 200°C	στους 250°C
Αλουμίνιο	-	0.006
Χαλκός	0.18	1.4
Χάλυβας Πυριτίου (Silicon Steel)	0.005	0.01
Μαλακός Χάλυβας (Mild steel)	0.2	2

Πίνακας 2. 7. Σταθερότητα Κοινών Υλικών Παρουσία SF₆

2.6.4 Θερμικές ιδιότητες

Η ψυκτική ικανότητα ενός διηλεκτρικού αερίου σε μια εγκατάσταση καθορίζεται από την ειδική θερμότητα, την ειδική θερμική αγωγιμότητα και τις ιδιότητες διάχυσης θερμότητας. Η ειδική θερμότητα είναι η ποσότητα θερμότητας που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας κατά έναν βαθμό ανά μονάδα μάζας σε δεδομένη θερμοκρασία και πίεση [34]. Θεωρούμε πως η μεταβολή πραγματοποιείται είτε με σταθερή πίεση ή σε σταθερό όγκο κι έτσι έχουμε διαφορετικές τιμές ειδικής θερμότητας. Καθώς τα αέρια έχουν πολύ χαμηλή πυκνότητα σε σύγκριση με τα υγρά και τα στερεά, οι τιμές της ειδικής τους θερμότητας δεν είναι συνήθως αρκετά υψηλές ώστε να επηρεάζουν σημαντικά την ψυκτική τους ικανότητα [34].

Η ειδική θερμική αγωγιμότητα είναι η ποσότητα θερμότητας που διαχέεται από μια μονάδα επιφάνειας ενός υλικού σε μια μονάδα χρόνου, όταν υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας μιας μονάδας σε μια μονάδα πάχους του υλικού. Η ειδική θερμική αγωγιμότητα ενός αερίου αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης, γεγονός που βελτιώνει τις επιδόσεις του στην απαγωγή θερμότητας. Στον πίνακα 2.8 παρουσιάζονται οι τιμές της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας για τα διηλεκτρικά αέρια.

ΑΕΡΙΟ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		calories*/s/cm ² /°C για 1 cm ²
	°C	°F	
Ήλιο (He)	26.7	80	360.4·10 ⁻⁶
Οξυγόνο (O ₂)	26.7	80	63.6·10 ⁻⁶
Αζωτο (N ₂)	26.7	80	62.4·10 ⁻⁶
Αέρας	26.7	80	62.2·10 ⁻⁶
Διοξείδιο του Άνθρακα (CO ₂)	26.7	80	39.7·10 ⁻⁶
Εξαφθοροαιθάνιο (CF ₃ CF ₃)	25	77	36.5·10 ⁻⁶
Εξαφθοριούχο Θείο (SF ₆)	30	86	33.6·10 ⁻⁶
Χλωροπενταφθοροαιθάνιο, Freon115 (CF ₃ CF ₂ Cl)	25	77	33.1·10 ⁻⁶
Χλωροδιφθορομεθάνιο, Freon22 (CHClF ₂)	26.7	80	28.1·10 ⁻⁶
Διχλωροδιφθορομεθάνιο, Freon12, Genetron12 (CCl ₂ F ₂)	26.7	80	22.7·10 ⁻⁶
Διοξείδιο του Θείου (SO ₂)	0	32	15.0·10 ⁻⁶

Πίνακας 2. 8. Ειδικές Θερμικές Αγωγιμότητες Τυπικών Αέριων Διηλεκτρικών (1 atm).

Ο πιο σημαντικός δείκτης απαγωγής θερμότητας των αερίων είναι το ιξώδες. Ο συντελεστής ιξώδους μιας ουσίας ορίζεται ως η επαπτομενική δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας μεταξύ δύο οριζόντιων επιφανειών (η μία ακίνητη και η άλλη κινούμενη με μοναδιαία ταχύτητα) που απέχουν μεταξύ τους μια μοναδιαία απόσταση και μεταξύ των οποίων υπάρχει η εξεταζόμενη ουσία [34]. Όσο υψηλότερος είναι ο συντελεστής ιξώδους, τόσο λιγότερη θερμότητα χάνεται. Ο συντελεστής ιξώδους ενός αερίου αυξάνεται με τη θερμοκρασία (μειώνεται για τα υγρά) [34]. Οι τιμές του συντελεστή ιξώδους επιλεγμένων αερίων δίνονται στον πίνακα 2.9.

ΑΕΡΙΟ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		POISES*
	°C	°F	
Διοξείδιο του Θείου (SO ₂)	20	68	125·10 ⁻⁶
Διχλωροδιφθορομεθάνιο, Freon 12, (CCl ₂ F ₂)	25	77	130·10 ⁻⁶
Χλωροδιφθορομεθάνιο, Freon 22 (CHClF ₂)	25	77	130·10 ⁻⁶
Χλωροπενταφθοροαιθάνιο, Freon 115 (CF ₃ CF ₂ Cl)	25	77	130·10 ⁻⁶
Διοξείδιο του Ανθρακα (CO ₂)	20	68	160·10 ⁻⁶
Εξαφθοριούχο Θείο (SF ₆)	25	77	161·10 ⁻⁶
Αέρας	20	68	181·10 ⁻⁶
Άζωτο (N ₂)	20	68	184·10 ⁻⁶
Ήλιο (He)	20	68	200·10 ⁻⁶
Οξυγόνο (O ₂)	20	68	206·10 ⁻⁶

Πίνακας 2. 9. Συντελεστές Ιξώδους Επιλεγμένων Αέριων Διηλεκτρικών (1 atm)

2.6.5 Κρίσιμες σταθερές

Κάθε αέριο έχει μια κρίσιμη θερμοκρασία πάνω από την οποία δεν μπορεί να υγροποιηθεί, όσο κι αν αυξηθεί η πίεση [34]. Η κρίσιμη πίεση είναι η ελάχιστη πίεση στην οποία μπορεί να επιτευχθεί ισορροπία μεταξύ της αέριας και της υγρής φάσης στην κρίσιμη θερμοκρασία. Κάτω από την κρίσιμη θερμοκρασία η πίεση που απαιτείται για τη διατήρηση της ισορροπίας είναι χαμηλότερη. Στον πίνακα 2.10 παρουσιάζονται οι κρίσιμες σταθερές για τα διηλεκτρικά αέρια.

ΑΕΡΙΟ	ΚΡΙΣΙΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΚΡΙΣΙΜΗ ΠΙΕΣΗ
	°C (°F)	atmospheres
Ήλιο (He)	-268.0 (-450.4)	2.26
Άζωτο (N ₂)	-147.1 (-232.3)	33.5
Αέρας	-140.7 (-221.3)	32.2
Οξυγόνο (O ₂)	-118.4 (-202.5)	50.1
Τετραφθοράνθρακας (CF ₄)	-45.7 (-50.3)	37.0
Εξαφθοροαιθάνιο (CF ₃ CF ₃)	19.7 (67.5)	29.4
Χλωροτριφθορομεθάνιο (CClF ₃)	28.9 (84.0)	38.2
Διοξείδιο του Ανθρακα (CO ₂)	31.1 (88.0)	73.0
Εξαφθοριούχο Θείο (SF ₆)	45.6 (114.1)	37.2
Χλωροπενταφθοροαιθάνιο, Freon115 (CF ₃ CF ₂ Cl)	80.0 (176.0)	30.8
Χλωροδιφθορομεθάνιο, (CHClF ₂)	96.0 (204.8)	49.1
Διχλωροδιφθορομεθάνιο, (CCl ₂ F ₂)	112.0 (233.6)	40.6
Διοξείδιο του Θείου (SO ₂)	157.5 (315.5)	77.9

Πίνακας 2.10. Κρίσιμες Σταθερές Επιλεγμένων Διηλεκτρικών Αερίων

Η οριακή πίεση για την υγροποίηση του SF₆ σε διάφορες θερμοκρασίες φαίνεται στους Πίνακες 2.11 και 2.12. Η πίεση λειτουργίας για πολλά πρακτικά συστήματα SF₆ είναι της τάξης των 3 με 7.5 bar.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΠΙΕΣΗ	
	psi	atm
°F (°C)		
-83 (-63.9)	14.7	1
-40 (-40.0)	33	2.2
-20 (-28.9)	57	3.9
0 (-17.8)	90	6.1
20 (-6.7)	130	8.8
40 (4.4)	180	12.2
60 (15.6)	260	17.7
80 (26.7)	330	22.4
100 (37.8)	430	29.3
114 (45.6) κρίσιμη	546	37.2

Πίνακας 2. 11. Πίεση υγροποίησης του SF₆ ανά θερμοκρασία

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΠΙΕΣΗ	
	psi	atm
°F (°C)		
-40 (-40.0)	80	5.4
-20 (-28.9)	125	8.5
0 (-17.8)	175	11.9
20 (-6.7)	240	16.3
40 (4.4)	300	20.4
60 (15.6)	400	27.2
67.4 (19.7) κρίσιμη	432	29.4

Πίνακας 2. 12. Πίεση υγροποίησης του εξαφθοροαιθάνιου ανά θερμοκρασία

2.6.6 Θερμοκρασίες Ζέσεως

Η Θερμοκρασία Ζέσεως του διηλεκτρικού αερίου πρέπει να είναι χαμηλότερη από τη χαμηλότερη θερμοκρασία του εξοπλισμού που το περιέχει, διαφορετικά το αέριο θα υγροποιηθεί. Στον πίνακα 2.13 παρατίθενται επιλεγμένες Θερμοκρασίες Ζέσεως του αέρα. Γενικά, ο εξοπλισμός με μόνωση αερίου έχει σχεδιαστεί για να αντέχει μια ελάχιστη θερμοκρασία -40°C χωρίς βοηθητικά στοιχεία θέρμανσης. Αν οι διακόπτες ισχύος έχουν πίεση λειτουργίας υψηλή (άνω των 5 bar), αναλόγως την θέση εγκατάστασης μπορεί να χρειάζονται θερμαντικά στοιχεία.

ΑΕΡΙΟ	°C	°F
Ήλιο (He)	-269.8	-453.8
Άζωτο (N ₂)	-195.8	-320.4
Οξυγόνο (O ₂)	-183.0	-297.4
Τετραφθοράνθρακας (CF ₄)	-128.0	-198.4
Χλωροτριφθορομεθάνιο (CClF ₃)	-81.4	-114.5
Διοξείδιο του Άνθρακα (εξάχνωση) (CO ₂)	-78.5	-109.3
Εξαφθοροαιθάνιο (CF ₃ CF ₃)	-78.2	-108.8
Εξαφθοριούχο Θείο (εξάχνωση) (SF ₆)	-63.9	-83.0
Χλωροδιφθορομεθάνιο, (CHClF ₂)	-40.75	-41.35
Χλωροπενταφθοροαιθάνιο, (CF ₃ CF ₂ Cl)	-38.7	-37.7
Διγλωροδιφθορομεθάνιο, (CCl ₂ F ₂)	-29.8	-21.6
Διοξείδιο του Θείου (SO ₂)	-10.0	+14.0

Πίνακας 2. 13. Θερμοκρασίες ζέσεως επιλεγμένων αέριων (1 atm)

2.6.7 Διηλεκτρική σταθερά

Για όλα τα διηλεκτρικά αέρια θεωρούμε πως η σταθερά είναι 1, αν και στην πραγματικότητα είναι ελαφρώς υψηλότερη. Για παράδειγμα, η διηλεκτρική σταθερά του SF₆ είναι 1.002 ενώ του N είναι 1.0006. Καθώς τα μόρια SF₆ είναι μη πολικά, η διηλεκτρική τους σταθερά δεν μεταβάλλεται σημαντικά με τη συχνότητα. Ωστόσο, μεγάλες αλλαγές στην πίεση επηρεάζουν την τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς. Εάν η πίεση αυξηθεί κατά 22 bar, η αύξηση της

διηλεκτρικής σταθεράς είναι περίπου 7%, όμως δεν έχει πρακτική αξία στις περισσότερες εφαρμογές.

2.6.8 Συμβατότητα

Η συμβατότητα μεταξύ των εξαρτημάτων στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις είναι ζωτικής σημασίας για την απόδοση και τη διάρκεια ζωής του συστήματος [34]. Εξίσου σημαντική είναι και η καθαριότητα του εξοπλισμού για την αποφυγή υγρασίας και σωματιδίων. Για το λόγο αυτό, τα χαρακτηριστικά απόδοσης των μεμονωμένων εξαρτημάτων δεν προβλέπουν πάντα με ακρίβεια τη συμπεριφορά ολόκληρης της εγκατάστασης σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας [34].

Οι κατασκευαστές υποχρεούνται να παρέχουν την εναλλαξιμότητα μεταξύ των εξαρτημάτων και τη δυνατότητα συναρμολόγησης του εξοπλισμού χωρίς μόλυνση από υγρασία ή άλλα ξένα σώματα πριν από τον καθορισμό των τελικών προδιαγραφών. Το καθαρό SF₆ είναι χημικά αδρανές σε θερμοκρασία δωματίου, οπότε τέτοια προβλήματα δεν προκύπτουν συνήθως. Προβλήματα συμβατότητας προκύπτουν μόνο όταν το αέριο αποσυντίθεται από εκκενώσεις, παράγοντας ενεργά παραπροϊόντα όπως υδροφθορικό οξύ και φθόριο.

2.6.9 Διαθεσιμότητα

Τα πιο συνηθισμένα διηλεκτρικά αέρια, SF₆, αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες και άζωτο, είναι το καθένα άμεσα διαθέσιμο από τουλάχιστον δύο πηγές. Το SF₆ είναι ακριβότερο από τα άλλα διηλεκτρικά αέρια, αλλά η συνεισφορά του στο συνολικό κόστος του εξοπλισμού είναι μικρότερη από 10%. Έχει τεχνικά πλεονεκτήματα και συνεχίζει να είναι το κατεξοχήν κατάλληλο για τις περισσότερες εφαρμογές.

2.7 Αέρια μείγματα

Η αναζήτηση εναλλακτικών διηλεκτρικών αερίων ξεκίνησε επειδή το SF₆ είναι σχετικά ακριβό, έχει υψηλό σημείο βρασμού, είναι ευαίσθητο σε ατέλειες στις επιφάνειες των ηλεκτροδίων και συμβάλλει σημαντικά στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Καθώς κανένα από τα αέρια δεν είναι επαρκώς αποτελεσματικό από μόνο του, το κύριο βάρος έχει δοθεί στα μείγματα αερίων. Το SF₆ υγροποιείται πιο εύκολα από το άζωτο, οπότε απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην ανάμιξη των δύο αερίων στις σωστές αναλογίες. Οι μετρήσεις που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.14, πραγματοποιήθηκαν σε ομογενές πεδίο χρησιμοποιώντας μια σφαίρα αλουμινίου ακτίνας 49mm και ένα επίπεδο ηλεκτρόδιο υψηλής τάσης διαμέτρου 26 mm. Το διάκενο είναι 5 mm και η πίεση 0.15 MPa με υπεριώδη ακτινοβολία [5].

ΑΕΡΙΟ	ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΧΩΡΙΣ ΑΝΑΜΕΙΞΗ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΕΡΙΟΥ ΣΕ ΜΕΙΓΜΑ ΜΕ SF ₆		
			75	50	25
Χλωροπενταφθοροαιθάνιο	CF ₃ CF ₂ Cl	114	111	108	104
Διοξείδιο του Θείου	SO ₂	102	111	116	108
Διγλωροδιφθορομεθάνιο	CCl ₂ F ₂	100	108	107	106
Εξαφθοροαιθάνιο	CF ₃ CF ₃	81	88	90	95
Χλωροτριφθορομεθάνιο	CClF ₃	58	78	88	95
Χλωροδιφθορομεθάνιο	CHClF ₂	43	84	92	97
Τετραφθοράνθρακας	CF ₄	42	63	78	89
Αέρας	N ₂ + O ₂	37	78	85	94
Άζωτο	N ₂	37	77	88	95
Διοξείδιο του Άνθρακα	CO ₂	32	65	80	91

Πίνακας 2. 14. Μέση αντοχή διάσπασης επιλεγμένων αερίων διηλεκτρικών και δυαδικών μειγμάτων των αερίων με SF₆ (SF₆ = 100)

2.8 Χρήσεις στην ηλεκτρική & ηλεκτρονική βιομηχανία

Η κύρια εφαρμογή του SF₆ είναι στους ηλεκτρικούς διακόπτες με μόνωση αερίου (GIS). Οι συσκευές αυτές χρησιμοποιούνται για την απόξευση εξοπλισμού υψηλής τάσης. Υπάρχουν ήδη σε λειτουργία διακόπτες ικανότητας άνω των 1200 kV AC / 1100 kV DC από την Hitachi, όπως και διακόπτες με ικανότητα διακοπής μεγαλύτερη των 3000A. Στις υψηλές τάσεις, τα πλεονεκτήματα του SF₆ γίνονται όλο και πιο σημαντικά. Πλέον δεν υπάρχουν διακόπτες ονομαστικής τάσης άνω των 150 kV που να μην είναι SF₆, αντικαθιστώντας πλήρως τους διακόπτες αέρα και λαδιού. Υπάρχουν απόπειρες για αντικατάσταση του SF₆ λόγω της περιοριστικής νομοθεσίας που αναπτύξαμε στα προηγούμενα κεφάλαια, αλλά ελάχιστα προϊόντα έχουν γίνει ευρέως εμπορικά διαθέσιμα.

Το SF₆ είναι επίσης μονωτικό αέριο για επίγειες, υπόγειες και υποθαλάσσιες γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης σε πυκνοκατοικημένες περιοχές και άλλες τοποθεσίες όπου δικαιολογείται το υψηλό κόστος. Αυτές οι γραμμές μεταφοράς μπορούν να εγκατασταθούν πολύ κοντά μεταξύ τους και απαιτούν το 1/10 έως 1/20 του χώρου των συμβατικών εναέριων γραμμών μεταφοράς με μόνωση αέρα, μειώνοντας την οπτική όχληση και την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Το άζωτο χρησιμοποιείται κυρίως σε μετασχηματιστές με υγρά πληρωτικά (π.χ. ορυκτά, ημισυνθετικά, εστερικά και φυτικά έλαια) για την πρόληψη της οξειδωσης του λαδιού. Έχουν δοκιμαστεί μετασχηματιστές με SF₆ ως μονωτικό αέριο, αλλά δεν υπάρχουν μεγάλοι τέτοιοι μετασχηματιστές εμπορικά διαθέσιμοι ακόμη.

2.9 Προγράμματα έρευνας και ανάπτυξης

Η μείωση του κόστους του εξοπλισμού έχουν αυξήσει πολύ το ενδιαφέρον για συμπαγείς υποσταθμούς (GIS). Αν και τέτοιου είδους εξοπλισμός υπάρχει από το 1970, οι υποσταθμοί τύπου GIS διαδόθηκαν πολύ τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Στην Ελλάδα υπάρχουν πολλοί τέτοιοι υποσταθμοί υψηλής και υπερυψηλής τάσης, οι οποίοι κατασκευάστηκαν κυρίως μετά το 2003. Ο εξοπλισμός GIS (π.χ. διακόπτες, γραμμές μεταφοράς) μπορεί να είναι πολύ πιο συμπαγής από τον αντίστοιχο με μόνωση αέρα, παρουσιάζοντας τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Απαιτείται πολύ μικρότερη έκταση γης.
- Είναι πολύ πιο ασφαλείς (πυροπροστασία, βανδαλισμοί).
- Έχει σαφώς ανώτερη αισθητική (ιδιαίτερα σημαντικό σε κατοικημένες και τουριστικές περιοχές)

Τα μείγματα συνεχίζουν να αξιολογούνται με στόχο τον προσδιορισμό μειγμάτων που είναι τεχνικά αποδεκτά, φιλικά προς το περιβάλλον και οικονομικότερα από το καθαρό SF₆: ένα μείγμα από 80% SF₆ και 20% N₂ έχει σχεδόν την ίδια ισχύ αποσύνθεσης με το καθαρό SF₆ λόγω συνεργιστικών επιδράσεων. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν επίσης τα τρισθενή μείγματα που αποτελούνται από 40%-60% άζωτο, 20%-30% SF₆ και όσο το δυνατόν περισσότερο αέριο αλογόνου, έτσι ώστε να μην παρατηρείται συμύκνωση σε πίεση λειτουργίας ή χαμηλές θερμοκρασίες και να μην παράγεται άνθρακας σε συνθήκες ηλεκτρικού τόξου. Τέτοια μείγματα, εφόσον γίνουν τεχνικά αποδεκτά από τη βιομηχανία, μπορούν να μειώσουν σημαντικά το κόστος του αερίου σε σύγκριση με το SF₆. Για παράδειγμα, ένα μείγμα από 50% N₂, 40% SF₆ και 10% CCl₂F₂ έχει 85% της διηλεκτρικής αντοχής του SF₆ από μόνο του, αλλά κοστίζει μόνο 40%. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το κόστος των αερίων είναι ένα μικρό κλάσμα του κόστους του μονωτικού εξοπλισμού, ενώ ταυτόχρονα η χρήση των CFCs περιορίζεται σημαντικά λόγω των επιπτώσεών τους στο στρώμα του όζοντος στην ανώτερη ατμόσφαιρα.

2.10 Τάσεις της αγοράς

Το SF₆ αναμένεται να παραμείνει κυρίαρχο για τα επόμενα έτη. Επί του παρόντος, ισχύουν περιορισμοί όσον αφορά τη διαχείρισή του και τα νέα συστήματα πρέπει να εμποδίζουν τυχόν διαρροές. Όπου είναι δυνατόν, το χρησιμοποιημένο αέριο πρέπει να αναγεννάται επιτόπου και οι παλιές, ακατάλληλες ποσότητες να ανακτώνται για θερμική καταστροφή παρουσία καταλύτη.

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΗΛΕΚΤΡΟΜΟΝΩΤΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

ΕΞΑΦΘΟΡΙΟΥΧΟ ΘΕΙΟ SF₆

3.1 Ιδιότητες και χαρακτηριστικά του SF₆

Το SF₆ είναι ένα μη τοξικό και αδρανές αέριο με άριστες μονωτικές ικανότητες. Έχει πολύ υψηλή διηλεκτρική αντοχή και είναι εξαιρετικά σταθερό θερμικά. Εντούτοις χρησιμοποιείται κατά κόρον σε διακοπτικό εξοπλισμό μέσης και υψηλής τάσης, αλλά και σε άλλο εξοπλισμό όπως σταθερό ηλεκτρικό εξοπλισμό. Η ανακάλυψή του κατέστησε δυνατή την κατασκευή εξοπλισμό σημαντικά μικρότερου, αξιόπιστου, και πολύ καλύτερης απόδοσης από προηγούμενες τεχνολογίες (κενό, συμπιεσμένος αέρας, λάδι, κ.λπ.).

Πλέον του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού, το SF₆ χρησιμοποιείται πολύ στην μεταλλουργία (παραγωγή μαγνησίου και αλουμινίου) αλλά και στην ιατρική. Λόγω του πολύ μεγάλου του GWP όμως, η νομοθεσία επέβαλλε απαγορεύσεις σε πολλές από τις χρήσεις αυτές (Παράγραφος 1.2).

Το SF₆ έχει πολλές εξαιρετικές ιδιότητες που το καθιστούν ιδανικό διηλεκτρικό αέριο [5]:

- Εμποδίζει την έκλυση άνθρακα (carbonization).
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλο το εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας.
- Έχει τις καλύτερες επιτεύξιμες ιδιότητες σβέσης τόξου.
- Έχει εξαιρετικές διηλεκτρικές ιδιότητες.
- Είναι μη τοξικό και απλό στον χειρισμό.
- Είναι χημικά αδρανές.
- Έχει καλές ιδιότητες απαγωγής θερμότητας.
- Είναι ισχυρά ηλεκτραρνητικό.

Ο Πίνακας 3.1. που ακολουθεί παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες του SF₆:

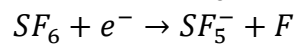
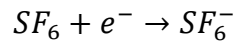
ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ
ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	
Μοριακό Βάρος	145.05
Θερμοκρασία Εξάχνωσης σε 1 atm °C	-63.9
Σημείο Τήξης στα 32.5 psia °C	-50.8
Πυκνότητα στους 21.1°C, 1 atm, g/l	6.139
Πυκνότητα υγρού στους 0 °C, 12.65 bar, kg/l	1.56
Πυκνότητα αερίου στους -100 °C, kg/l	2.77
Επιφανειακή Τάση στους -20°C, dyn/cm	8.02
Συντελεστής Ιξώδους, centipoises υγρό στους 13.52°C (56.34°F)	0.305
αέριο στους 31.16°C (88.08°F)	0.0157
Δείκτης Διάθλασης στους 0°C (32°F), 1 atm, n _D	1.000738
Ταχύτητα ήχου, στους 0 °C, 1.0 bar, m/s	129.06
Κρίσιμη Θερμοκρασία, °K	318.70
Κρίσιμη Πίεση, bars	37.71
A tm	37.22
Κρίσιμος Όγκος, cm ³ /g	1.356
Κρίσιμη Πυκνότητα, kg/l	0.74
Διαλυτότητα σε 1atm σε έλαιο μετασχηματιστή στους 27°C (80.6°F), ml SF ₆ /ml ελαίου σε νερό στους 24.85°C (76.73°F), cm ³ SF ₆ /cm ³ νερού	0.408 0.0055
Διαλυτότητα του νερού στο SF ₆ , % κατά βάρος	0.0097
ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	
Διηλεκτρική Αντοχή σε σχέση με του αζώτου (=1) (60 Hz – 1.2MHz)	2.3-2.5
Διηλεκτρική Σταθερά στους 25°C	1.002
Εφαπτομένη Απωλειών (tanδ) σε 1 atm	<2·10 ⁻⁷
ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	
Θερμότητα Εξάχνωσης, cal/gram mol kJ/kg	5.640 153.2
Θερμότητα Τήξης, cal/gram mol kJ/kg	1.200 34.37
Θερμότητα Εξάτμισης στους 70°F, Btu/lb στοις 25°C, cal/g	28.380 15.767
Θερμότητα Σχηματισμού στους 25°C, Kcal/g mol	-291.77
Θερμική Αγωγιμότητα στους 30°C, cal/s cm °C	3.36·10 ⁻⁵
Ισοεντροπικός Συντελεστής στους 30°C, 1.0bar	1.08
Εντροπία Αντίδρασης στους 25°C, J/mol °K	-349.01

Πίνακας 3. 1. Ιδιότητες του SF₆ [16].

3.2 Ηλεκτρικές ιδιότητες

3.2.1 Ηλεκτραρνητικότητα

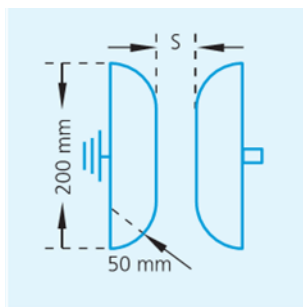
Οι εξαιρετικές ιδιότητες του SF₆ ως διηλεκτρικό αέριο οφείλονται στην ηλεκτραρνητικότητά του. Λαμβάνουν μέρος δύο μηχανισμοί: ο πρώτος είναι η σύλληψη ηλεκτρονίων από μόρια αερίων και η μετατροπή τους σε ανιόντα και ο άλλος είναι η σύλληψη ηλεκτρονίων και η ταυτόχρονη διάσπαση μορίων, σύμφωνα με τον χημικό τύπο:



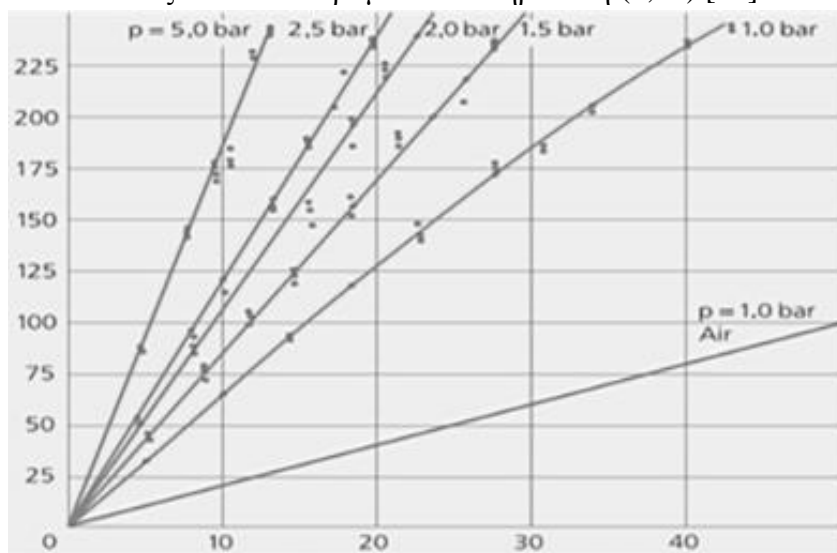
Η διαδικασία της πρώτης εξίσωσης εφαρμόζεται σε ενέργειες ηλεκτρονίων της τάξεως των 0.1 eV με ενεργειακό εύρος 0.05 eV. Η δεύτερη εξίσωση αφορά στο ενεργειακό εύρος των 0.1 eV.

3.2.2 Διηλεκτρικές σταθερές

Η διηλεκτρική σταθερά του SF₆ είναι 1,0021 στους 20 °C, σε πίεση 1. Αυξάνεται κατά 6% όταν η πίεση αυξάνεται στις είκοσι atm. Στους 50 °C, η διηλεκτρική σταθερά του υγρού SF₆ σε όλο το εύρος συχνοτήτων από 10 έως 500 kHz παραμένει ανεπηρέαστη (1,81) [15].



(α)



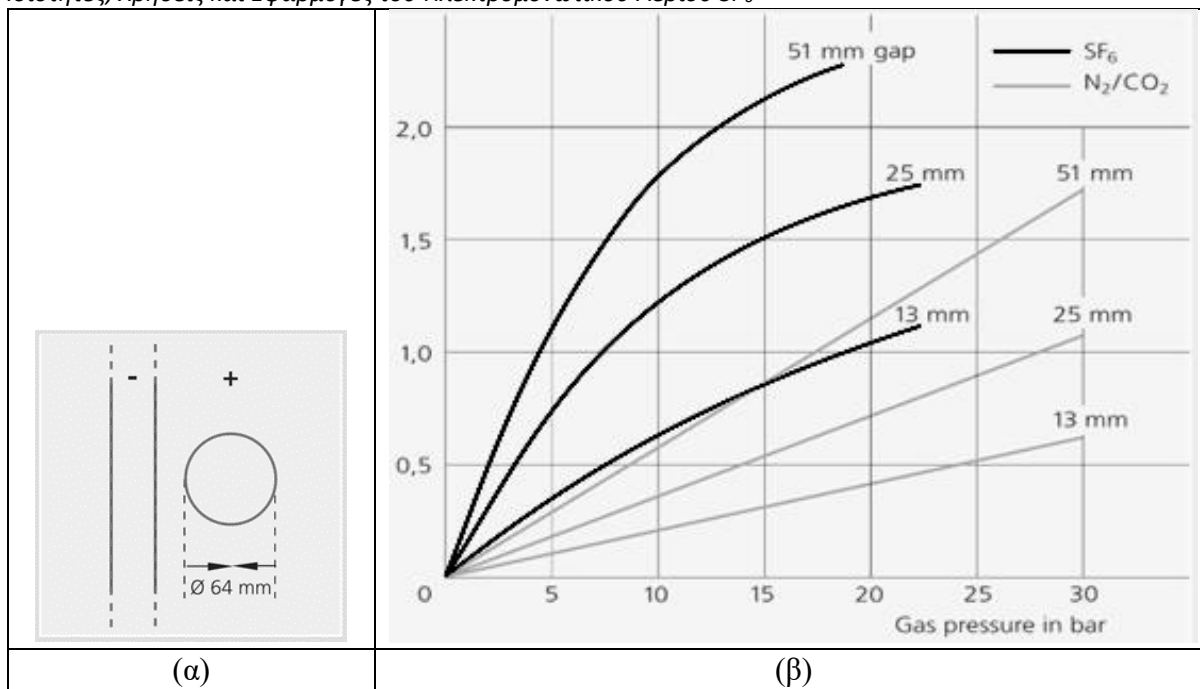
(β)

Σχήμα 3. 1. (α) Διάταξη ηλεκτροδίων, (β) Τάση Διάσπασης του SF₆ στα 50 Hz σε ομογενές πεδίο αναλόγως της τάσης (kV) και διακένου (mm) για διάφορες τιμές πίεσης [15].

3.2.3 Διηλεκτρική αντοχή

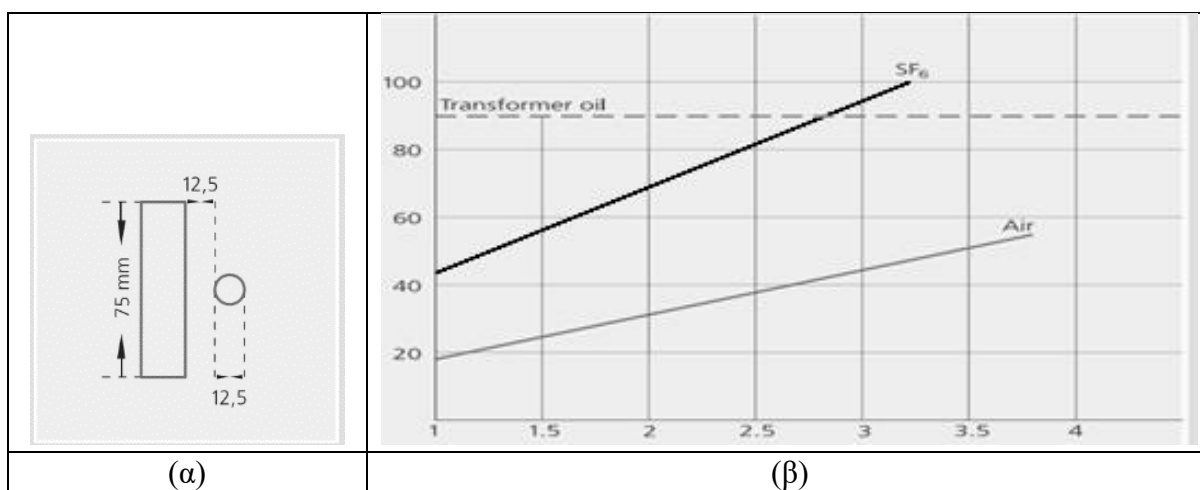
Η ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ των ενεργητικών ηλεκτρονίων και του πολυατομικού μορίου SF₆ προκαλεί την ταχεία επιβράδυνση των ηλεκτρονίων, μειώνοντας την ενέργειά τους στα επίπεδα που περιγράφονται παραπάνω. Επομένως, η διάσπαση του SF₆ μπορεί να συμβεί μόνο σε ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο.

Σε ομογενές πεδίο και για πίεση 1 atm, η τάση διάσπασης είναι δύο με τρεις φορές υψηλότερη από τις αντίστοιχες τιμές για το άζωτο στο (Σχήμα 3.1). Στο Σχήμα 3.2 παρουσιάζεται η μεταβολή της σε σχέση με την πίεση σε ανομοιογενές πεδίο σε σύγκριση με μίγμα διοξειδίου/αζώτου.



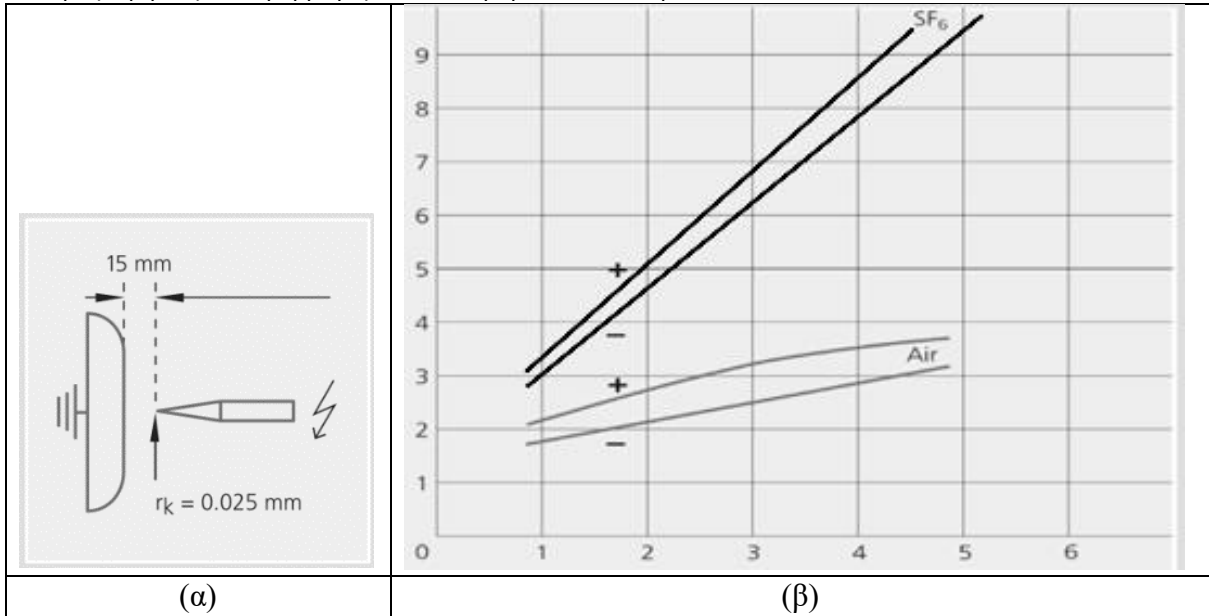
Σχήμα 3. 2. (α) Διάταξη ηλεκτροδίων, (β) Σχέση της τάσης διάσπασης (MV) με πίεση (bar). Συγκριτικές καμπύλες για SF₆ και μείγματα N₂/CO₂ [15].

Η αντοχή διάσπασης του αέρα αυξάνεται απότομα όταν προστίθεται μικρή ποσότητα SF₆. Ο αέρας, από την άλλη πλευρά, έχει πολύ περιορισμένη επίδραση στη αντοχή διάσπασης του SF₆: η προσθήκη 10% κατ' όγκο μειώνει τη αντοχή διάσπασης του SF₆ κατά περίπου 3% και η προσθήκη 30% κατ' όγκο αέρα τη μειώνει κατά περίπου 10% [34]. Η τάση διάσπασης του SF₆ υπερβαίνει εκείνη του ορυκτελαίου που χρησιμοποιείται στους μετασχηματιστές μόλις η πίεση του αερίου φτάσει τα 3 bar. Η τάση διάσπασης του μονωτικού ελαίου, του αέρα και του SF₆ σε συνάρτηση με την πίεση του αερίου παρουσιάζεται στο σχήμα 3.3.

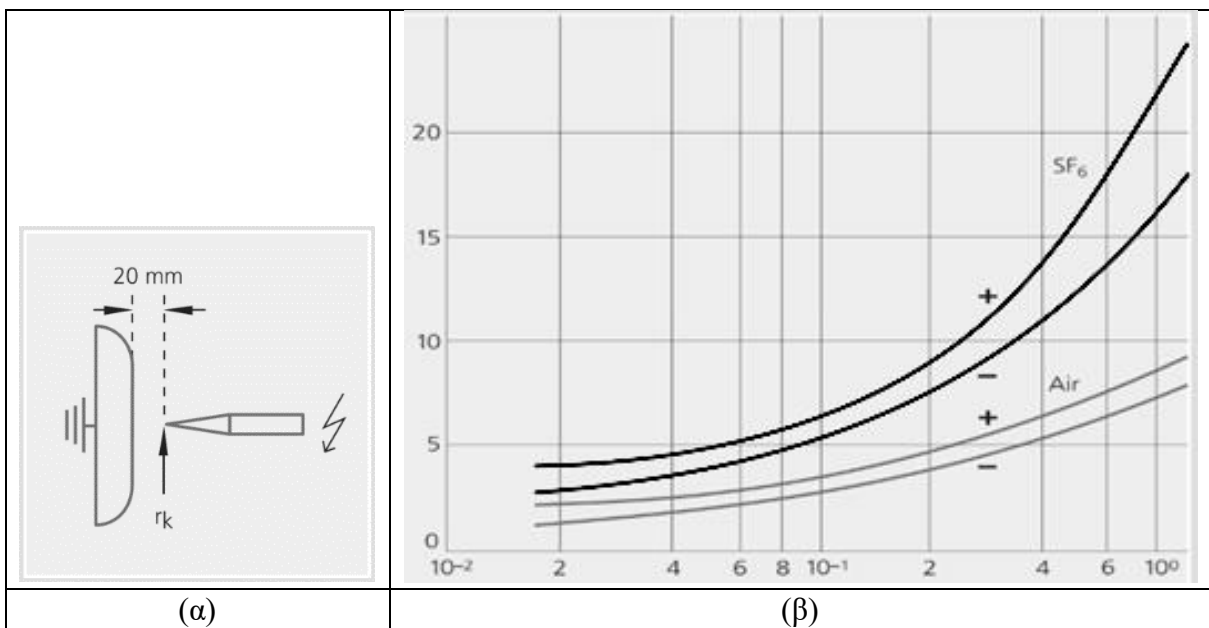


Σχήμα 3. 3. (α) Διάταξη ηλεκτροδίων, (β) Αντοχή Τάσης Διάσπασης (kV) ελαίου μετασχηματιστών, αέρα και SF₆ συναρτήσει της πίεσης (bar). [15].

Η τάση για την έναρξη φαινομένων κορώνας με SF₆ σε μη ομοιογενή χώρο πεδίου είναι σημαντικά υψηλότερη από ό,τι στον αέρα. Στα σχήματα 3.4 και 3.5 παρουσιάζεται η εξάρτηση της πίεσης και της ακτίνας καμπυλότητας του ηλεκτροδίου για SF₆ και αέρα, αντίστοιχα, σε σύστημα ηλεκτροδίων ακίδας πλάκας.



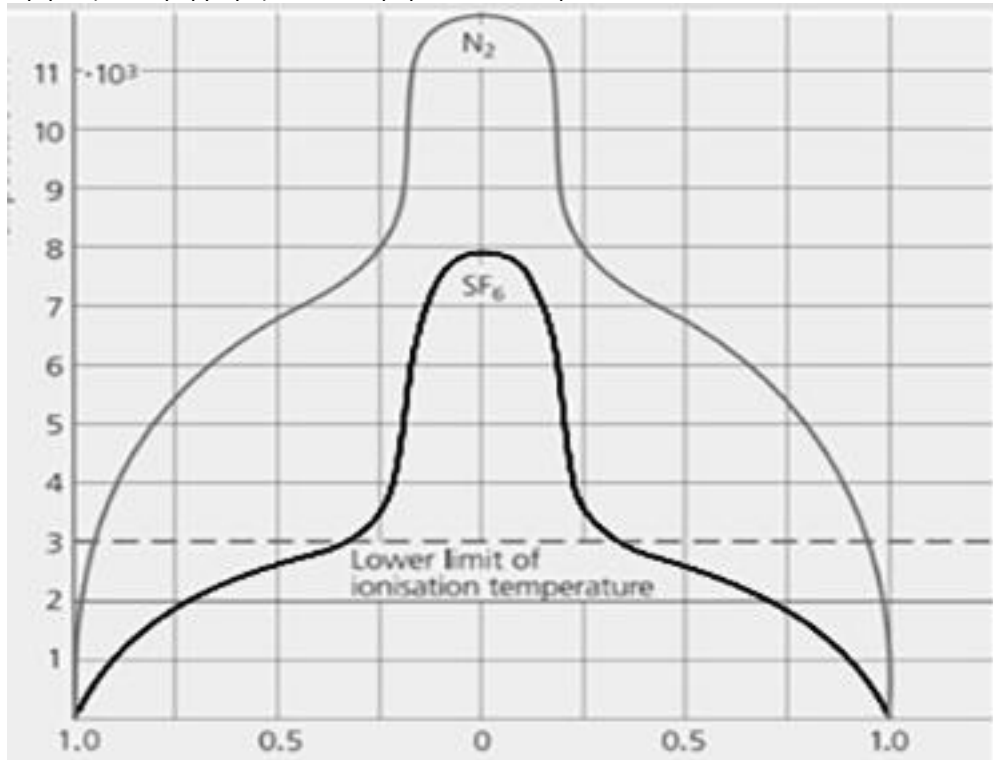
Σχήμα 3. 4. (α) Διάταξη ηλεκτροδίων, (β) Εξάρτηση της τάσης έναυσης εκκενώσεων Κορόνα (kV) από την πίεση (bar) στο SF₆ και στον αέρα [15].



Σχήμα 3. 5. (α) Διάταξη ηλεκτροδίων, (β) Τάσεις έναυσης εκκενώσεων Κορόνα (kV) στο SF₆ και στον αέρα συναρτήσει της ακτίνας καμπυλότητας (mm) σε πίεση μιας ατμόσφαιρας [15].

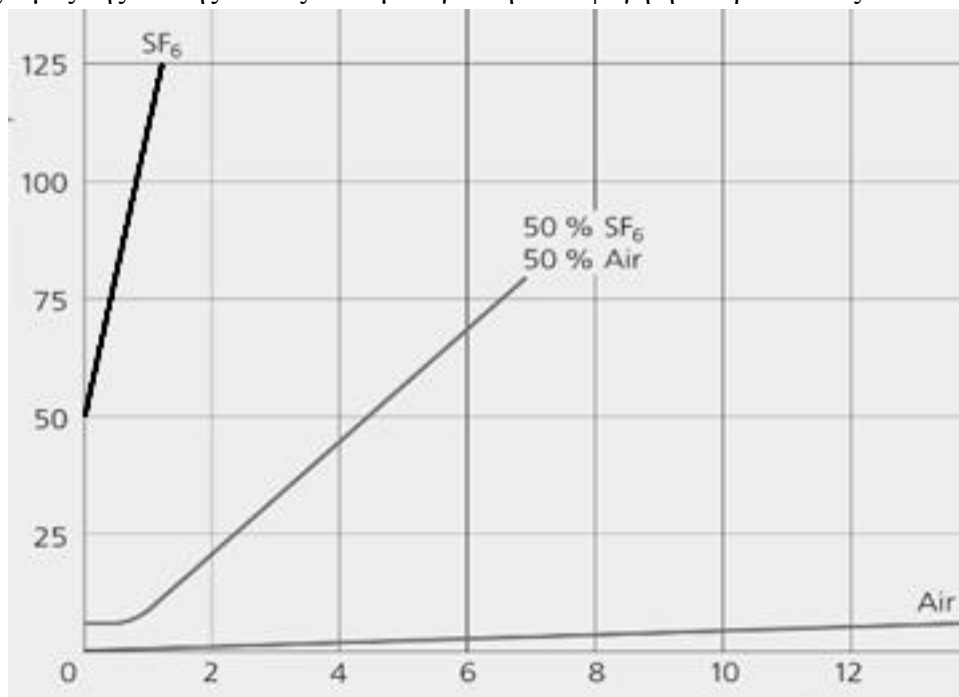
3.2.4 Ικανότητα σβέσης τόξου

Χάρη στις θερμικές του ιδιότητες και τη χαμηλή θερμοκρασία ιοντισμού, το SF₆ έχει υψηλή απόδοση στη σβέση ηλεκτρικών τόξων [5]. Αυτό αποδεικνύεται από το Σχήμα 3.6.



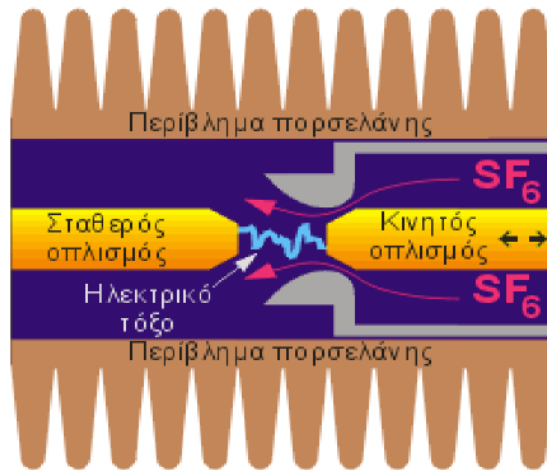
Σχήμα 3. 6. Θερμοκρασιακό προφίλ σε κατάσταση ηλεκτρικού τόξου στο SF₆ και στο N₂ (Θερμοκρασία (K) προς μήκος τόξου) [15].

Για εξοπλισμό που χρησιμοποιεί SF₆, ο χρόνος που απαιτείται για την κατάσβεση ενός τόξου είναι περίπου το ένα εκατοστό του χρόνου που απαιτείται με αέρα. Η υπεροχή του SF₆ στην κατάσβεση ηλεκτρικών τόξων σε σύγκριση με άλλα αέρια απεικονίζεται στο Σχήμα 3.7, το οποίο δείχνει τα ρεύματα που μπορούν να διακόψουν το SF₆, ο αέρας και τα μείγματά τους για διάφορες τιμές της πίεσης του εξοπλισμού για την αποφυγή ηλεκτρικών τόξων.



Σχήμα 3. 7. Ικανότητα σβέσης τόξου του SF₆, του αέρα κι ενός μείγματος 1:1 των δύο αερίων (ρεύμα τόξου σε A προς πίεση σε bar) [15]

Στην Εικόνα 3.1 παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας ενός κοινού διακόπτη με μόνωση αερίου SF₆ όπου αέριο SF₆ διαχέεται από τον δεξιό θάλαμο υψηλότερης πίεσης προς τον αριστερό θάλαμο κατά το άνοιγμα των επαφών, σβήνοντας το ηλεκτρικό τόξο.



Εικόνα 3. 1 Αρχή λειτουργίας διακόπτη ισχύος με SF₆ για σβέση τόξου.

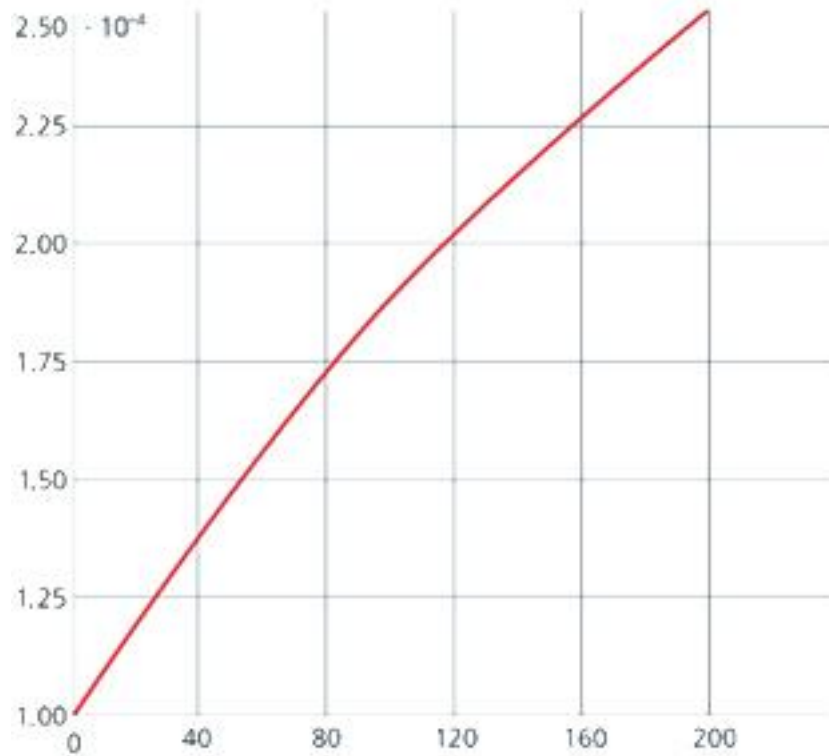
3.2.5 Συντελεστής απωλειών

Ο συντελεστής απωλειών $\tan\delta$ του SF₆ είναι πάρα πολύ χαμηλός, κάτω του $2.0 \cdot 10^{-7}$. Σε υγρή μορφή το SF₆ στους -50°C έχει τιμή $\tan\delta$ μικρότερη του 0,001.

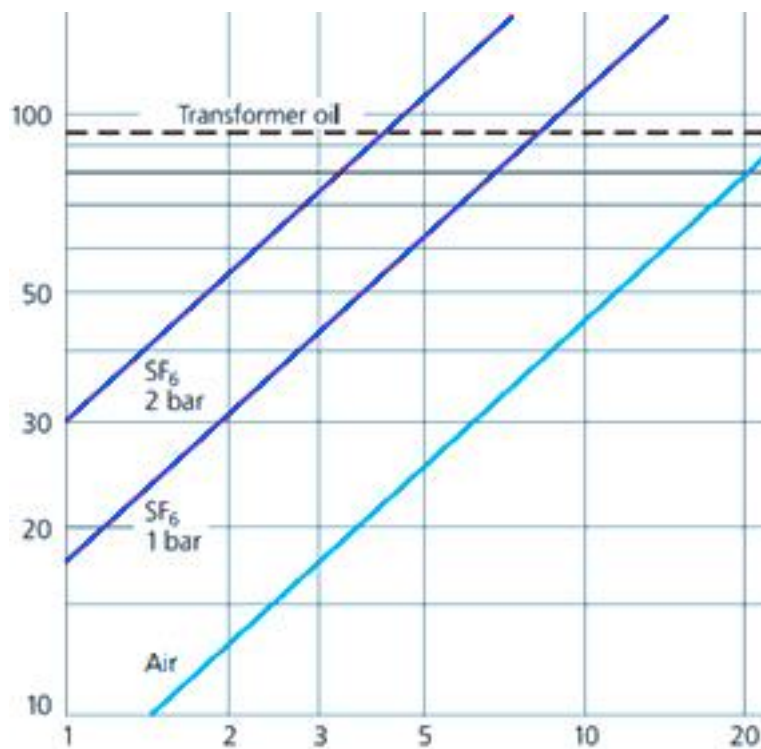
3.2.6 Άλλες φυσικές ιδιότητες

Το SF₆ είναι ένα άχρωμο, άοσμο, μη τοξικό, μη εύφλεκτο αέριο με μοριακό βάρος 5 φορές μεγαλύτερο του αέρα, γεγονός που το καθιστά ένα από τα βαρύτερα αέρια. Για τους λόγους αυτούς έχει καταστεί ιδανικό για τη χρήση του. Ορισμένες άλλες χρήσιμες φυσικές ιδιότητες, οι οποίες παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 3.1, παρατίθενται παρακάτω.

Στα Σχήματα 3.8 και 3.9 παρουσιάζονται τα εμφανώς ανώτερα θερμοαγωγιμα χαρακτηριστικά του SF₆ σε σύγκριση με τον αέρα και το μονωτικό λάδι.



Σχήμα 3. 8. Θερμική αγωγιμότητα του SF₆ (W/cm*K) προς θερμοκρασία (Celsius) [15].



Σχήμα 3. 9. Συντελεστές απαγωγής θερμότητας (W/m²*K) του αέρα και του SF₆ (σύγκριση και με έλαιο μετασχηματιστή) προς ταχύτητα ροής (m/s) [15].

Ιδιότητες, Χρήσεις και Εφαρμογές του Ηλεκτρομονωτικού Αερίου SF₆
 Η Διαλυτότητα του SF₆, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.2:

Διαλυτότητα στο Νερό								
Διορθωμένος Όγκος Αερίου στους 0 °C, 1.0133 bar								
Θερμοκρασία (°C)	5	10	15	20	25	30	40	50
Διαλυτότητα (cm ³ SF ₆ /kg H ₂ O)	11.39	9.11	7.48	6.31	5.44	4.79	3.96	3.52
Διαλυτότητα σε μετασχηματιστή ελαίου								
Διορθωμένος Όγκος Αερίου στους 0 °C, 1.0133 bar								
Θερμοκρασία (°C)	27	50	70					
Διαλυτότητα (cm ³ SF ₆ /kg oil)	0.408	0.344	0.302					

Πίνακας 3. 2. Διαλυτότητα του SF₆

Η Ειδική θερμότητα του SF₆, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.3:

Στερεή και Υγρή Φάση											
Θερμοκρασία (K)	200	210	220	225	230						
Ειδική Θερμότητα (J/mol·K)	104.17	116.60	184.22	110.95	119.58						
Αέρια Φάση											
Θερμοκρασία (K)	298	373	400	473	500	573	600	673	700	773	1273
Ειδική Θερμότητα (J/mol·K)	97.26	112.45	116.39	125.89	128.54	134.51	136.07	140.21	141.10	144.35	152.62

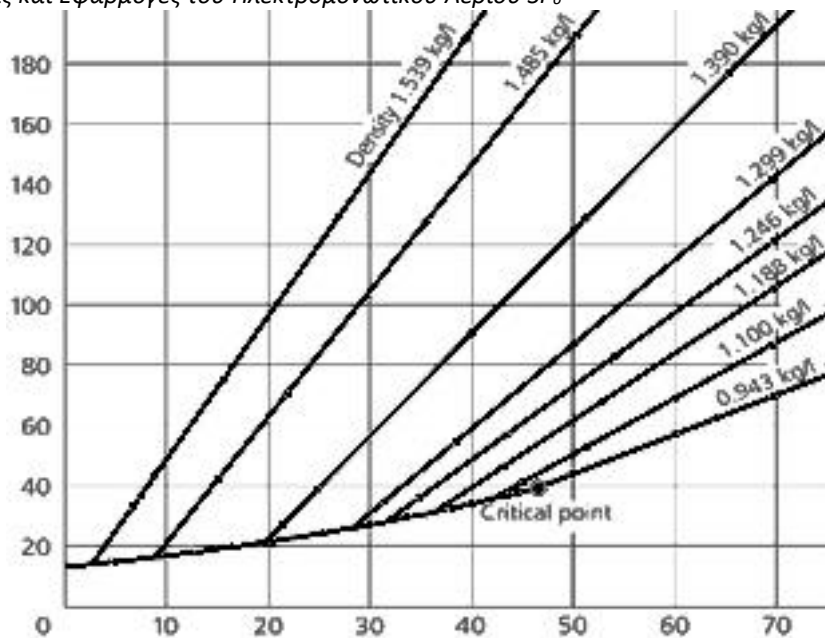
Πίνακας 3. 3. Ειδική θερμότητα του SF₆

Η Τάση ατμών του SF₆, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.4:

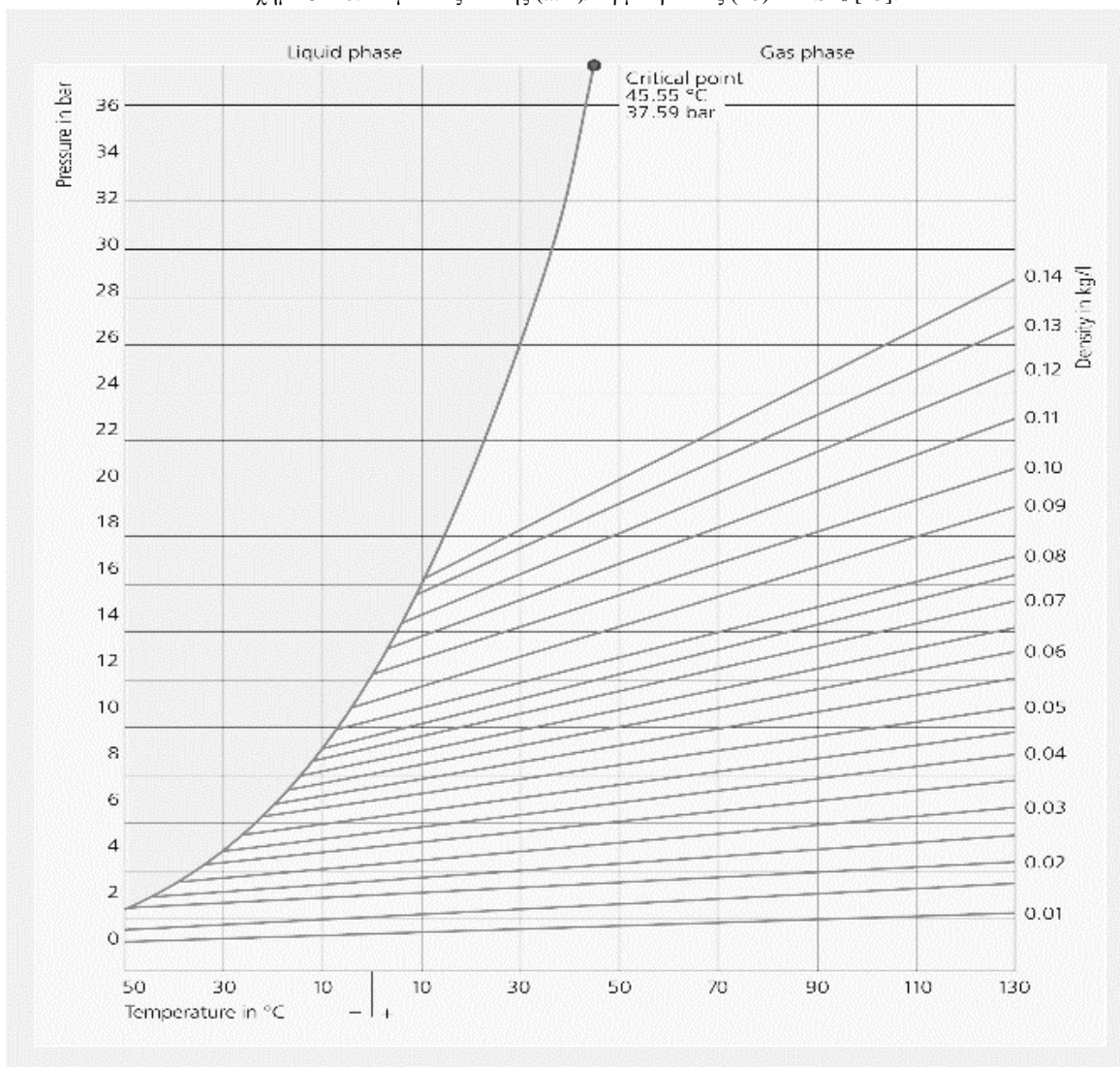
Τάση Ατμών																				
Θερμοκρασία (°C)	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Πίεση (bar)	2.34	2.87	3.49	4.20	5.02	5.95	7.01	8.19	9.52	11.01	12.65	14.47	16.47	18.67	21.08	23.72	26.62	29.79	33.27	37.13

Πίνακας 3. 4. Τάση ατμών του SF₆

Η συσχέτιση πίεσης – θερμοκρασίας για το SF₆, όπως φαίνεται στα Σχήματα 3.10 και 3.11:



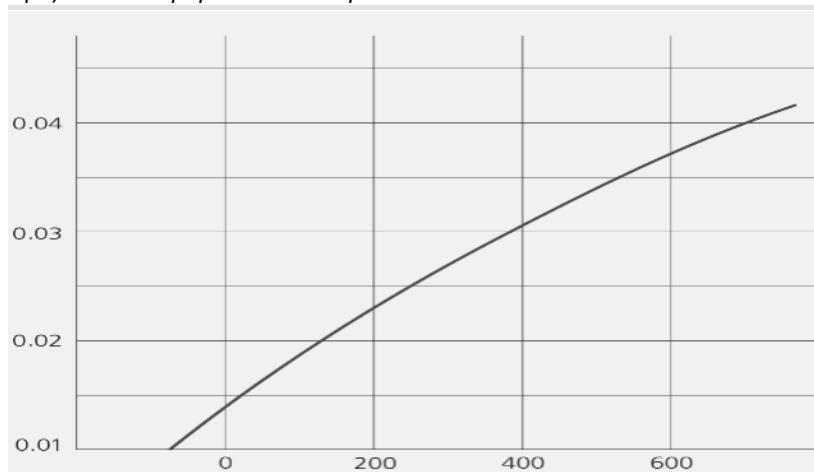
Σχήμα 3. 10. Καμπύλες πίεσης (atm)/θερμοκρασίας (°C) του SF₆ [15].



Σχήμα 3. 11. Διάγραμμα πίεσης ατμοποίησης του SF₆ για διάφορες τιμές θερμοκρασίας ανάλογα με την πυκνότητα του αερίου [15].

Ο συντελεστής ιξώδους του SF₆ σε 1 atm και συσχετιζόμενο με την θερμοκρασία παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.11:

Temperature [°C]	Viscosity [mPa·s]
0	0.0141
25	0.0153
100	0.0186
200	0.0228
300	0.0266
400	0.0302
500	0.0335

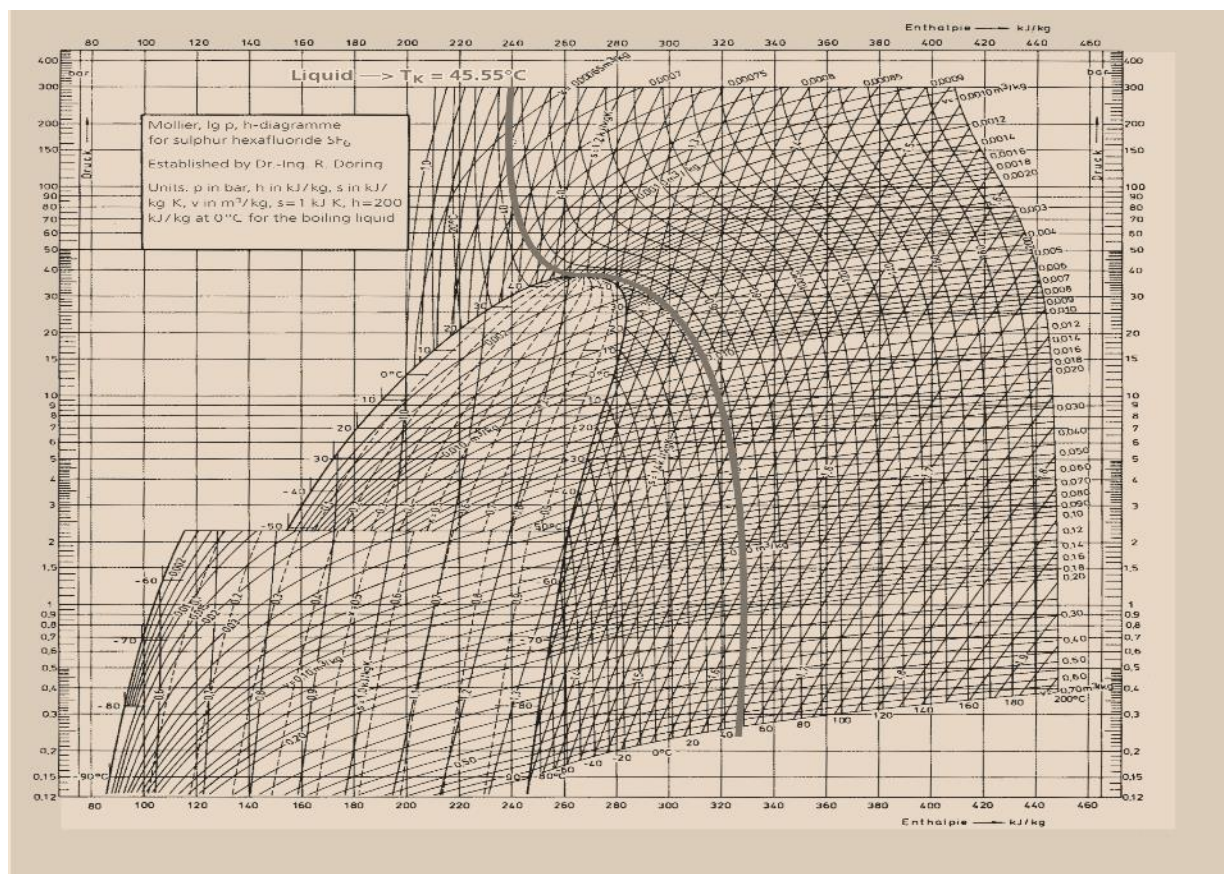


(α)

(β)

Σχήμα 3. 12. Συντελεστής ιξώδους του SF₆ (α) Πίνακα τιμών σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες, (β) Μεταβολή ιξώδους (mPa*s) συναρτήσει της θερμοκρασίας (°C) σε ατμοσφαιρική πίεση [15].

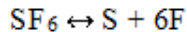
Το διάγραμμα Μολιέρ πίεσης – ενθαλπίας του SF₆ παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.12:



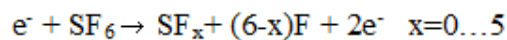
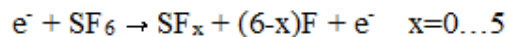
Σχήμα 3. 13. Το διάγραμμα Mollier για το αέριο SF₆ [15].

3.3 Χημική συμπεριφορά και δημιουργία παραπροϊόντων του SF₆

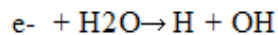
Υπό κανονικές συνθήκες, το SF₆ είναι χημικά αδρανές και σταθερό. Η αντιδραστικότητά του είναι η χαμηλότερη από όλες τις ουσίες και δεν αποσυντίθεται εύκολα ούτε αντιδρά με άλλες χημικές ουσίες. Ωστόσο, σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας, δηλαδή σε ηλεκτρικά τόξα άνω των 500°C, το SF₆ μπορεί να αποσυντεθεί και στη συνέχεια να ανασυσταθεί με τις ακόλουθες αντιδράσεις [6]:



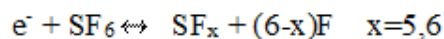
Η πρόσκρουση ελευθέρων ηλεκτρονίων στα μόρια του SF₆ μπορεί να του προκαλέσουν ιονισμό ή διάσπαση σύμφωνα με τις αντιδράσεις [6]:



Αν υπάρχει υγρασία τότε έχουμε διάσπαση του νερού δηλαδή [6]:



ή τη δημιουργία άλλων μορίων και ατόμων φθορίου όπως φαίνεται στις παρακάτω αντιδράσεις. Αυτές λαμβάνουν μέρος αν δεν υπάρχουν άλλα στοιχεία να αντιδράσουν τα προϊόντα.



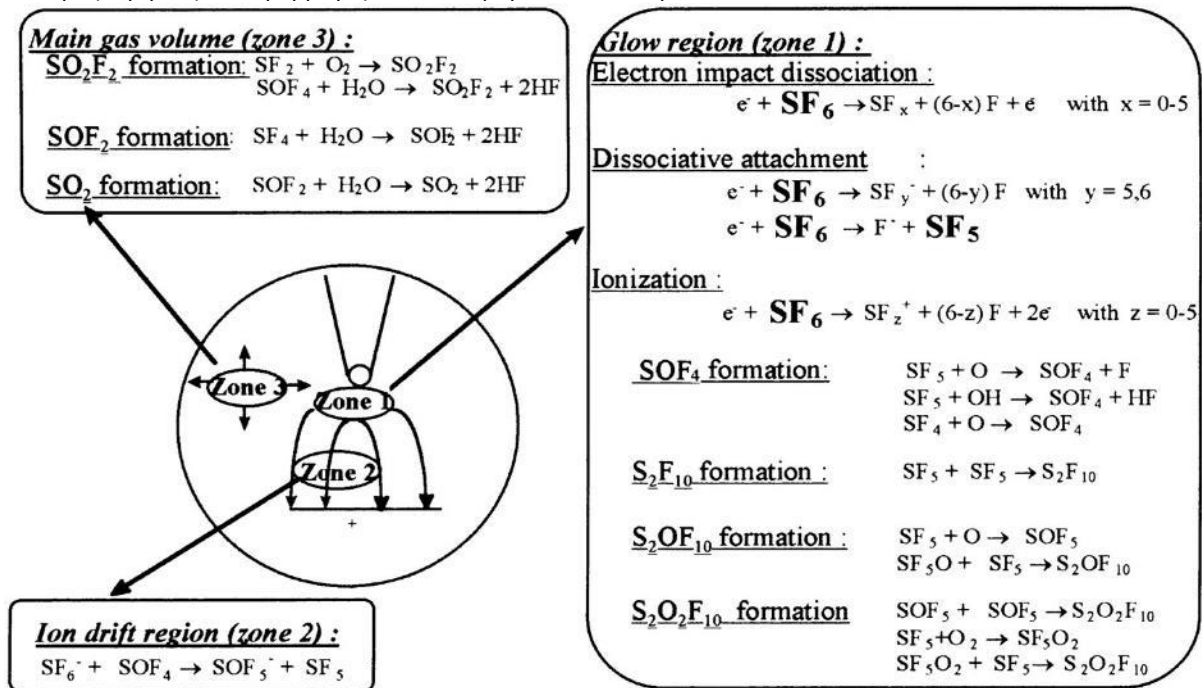
Τα κοινά υλικά, όπως το μέταλλο, το γυαλί και το καουτσούκ που χρησιμοποιούνται στους διακόπτες SF₆ και σε άλλα εξαρτήματα, είναι σταθερά έως τους 150 °C. Πάνω από τους 200 °C, ορισμένα υλικά αλλοιώνονται και μπορεί να δημιουργηθούν παραπροϊόντα SF₆.

Το SF₆ διασπάται σε υψηλές θερμοκρασίες και στη συνέχεια επανασυνδέεται, με αποτέλεσμα να προκύπτει SO₂F₂ στο τόξο εκκένωσης ως παραπροϊόν [6]. Ωστόσο, κατά τον ανασυνδυασμό, δεν παράγονται όλα τα μόρια SF₆ ταυτόχρονα, αλλά σταδιακά σε διάστημα περίπου 100 δευτερολέπτων. Επομένως, παράγωγα παράγονται παρουσία νερού- το SO₂F₂ παράγεται κυρίως από το φαινόμενο κορώνα (~0,5 nmol/J) και υπάρχει στα τόξα (~0,03 nmol/J) και στους σπινθηριστές (~0,016 nmol/J). Το S₂F₁₀ ανιχνεύεται μόνο σε σπινθηριστές, ενώ το SOF₄ βρίσκεται κυρίως σε σπινθηριστές (~0,22 nmol/J) και σε εκκενώσεις κορώνα (~1 nmol/J).

Το SF₆ διασπάται σε παραπροϊόντα μέσω τεσσάρων μηχανισμών ηλεκτρικών εκκενώσεων [34]:

- Μερικές εκκενώσεις που προκαλούνται από τις ατέλειες της μόνωσης,
- Εκκενώσεις σπινθήρων που εμφανίζονται στις ατέλειες της μόνωσης ή κατά τη διάρκεια των διαδικασιών λειτουργίας του διακόπτη,
- Τόξα διακοπών που εμφανίζονται κατά την διακοπή ρευμάτων φορτίου και στους διακόπτες ισχύος,
- Τόξα βλαβών που εμφανίζονται λόγω της βλάβης της μόνωσης.

Σε κάθε εκκένωση μπορεί να εμφανίζονται διαφορετικά μείγματα και συγκεντρώσεις υποπροϊόντων. Οι κύριες αντιδράσεις στις εκκενώσεις χαμηλής θερμοκρασίας είναι οι μερικές εκκενώσεις ή τύπου κορώνα. Οι διάφορες περιοχές χημικής δράσης με βάση το μοντέλο τριών ζωνών διάσπασης του SF₆ σε εφαρμογές πλάκα-ακίδα αρνητικής πολικότητας παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.14..



Σχήμα 3. 14. Περιοχές διαφορετικών χημικών δράσεων βάσει του μοντέλου τριών ζωνών για την αποσύνθεση του SF₆ σε εφαρμογές ακίδας πλάκας αρνητικής πολικότητας.

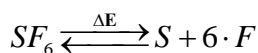
3.3.1 Συμπεριφορά σε υψηλές θερμοκρασίες

Το SF₆ μπορεί να θερμανθεί μέχρι 500°C σε δοχείο χαλαζία χωρίς αποσύνθεση, όπως και ως τους 150°C σε κοινά υλικά (μέταλλα, κεραμικά, ρητίνες, κ.λπ.) είναι απολύτως σταθερά παρουσία SF₆. Πάνω από τους 200°C, η παρουσία ορισμένων μετάλλων έχει καταστροφικές επιδράσεις στο SF₆. Παραδείγματα τέτοιων επιδράσεων αναφέρονται στο πειραματικό μέρος της μελέτης μας. Ωστόσο, τα μέταλλα και τα κράματά τους με τα οποία συνήθως συναντάμε σε ηλεκτρικό εξοπλισμό δεν παρουσιάζουν προβλήματα εκτός κι αν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 400°C.

Η ικανότητα του SF₆ να αντιδρά με τα μέταλλα σε υψηλές θερμοκρασίες χρησιμοποιήθηκε σημαντικά στη μεταλλουργία. Εδώ, το SF₆ χρησιμοποιείται ως προστατευτικό αέριο για το τήγμα. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας μαγνησίου για να σχηματίσει μια λεπτή, αδιαπέραστη ζώνη στην επιφάνεια του λιωμένου μαγνησίου. Η ζώνη αυτή εμποδίζει περαιτέρω αντιδράσεις του μαγνησίου με την ατμόσφαιρα. Παρά την πολύ υψηλή θερμοκρασία του λιωμένου κράματος μαγνησίου, ο ρυθμός διάσπασης του SF₆ είναι αμελητέος. Η χρήση του SF₆ για αυτόν το σκοπό βάσει του νέου κανονισμού έχει απαγορευτεί.

3.3.2 Συμπεριφορά υπό την επίδραση ηλεκτρικών εκκενώσεων

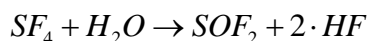
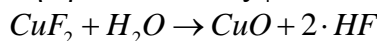
Η εκκένωση προκαλεί τη διάσπαση του αερίου ανάλογα με την ενέργεια που απελευθερώνεται. Υπό την επίδραση τόξου εκκένωσης, μέρος του SF₆ διαχωρίζεται όπως φαίνεται στην ακόλουθη εξίσωση:



Η αντίδραση αυτή μπορεί να αντιστραφεί. Μετά την εκφόρτιση, τα προϊόντα διαχωρισμού επανασυστήνονται, εκτός εάν προκύψουν δευτερογενείς αντιδράσεις με άτομα μετάλλου που εξατμίζονται από τα ηλεκτρόδια, τα τοιχώματα του δοχείου ή άλλα δομικά στοιχεία. Αυτές οι δευτερογενείς αντιδράσεις μπορεί να οδηγήσουν σε στερεά και αέρια προϊόντα [5]:

1. φθορίδια, σουλφίδια και οξειδία μετάλλων όπως AlF₂, CuF₂, SiF₄, CuSi
2. φθορίδια του θείου, όπως το SF₄
3. οξυφθοριούχες ενώσεις του θείου, όπως SOF₂, SO₂F₂, SOF₄

Αυτά τα προϊόντα που παράγονται από εκκενώσεις είναι επίσης εξαιρετικά διηλεκτρικά, οπότε η εναπόθεσή τους ως σκόνη σε επιφάνειες μονωτήρων δεν επηρεάζει τη λειτουργική ικανότητα του επηρεαζόμενου εξοπλισμού. Ωστόσο, αυτό ισχύει μόνο εάν το επίπεδο υγρασίας στο θάλαμο αερίων είναι πολύ χαμηλό. Τα παραπάνω υδρολύονται σε επαφή με το νερό και σχηματίζουν δευτερογενή προϊόντα, όπως φαίνεται στην ακόλουθη εξίσωση [34]:



Το υδροφθόριο (HF) που παράγεται είναι εξαιρετικά καυστικό για κάθε υλικό που περιλαμβάνει διοξείδιο του πυριτίου (SiO₂), όπως το γυαλί και η πορσελάνη [34]. Παρουσία υδροφθόριου και πυριτίου οδηγεί σε SiF₄. Για το λόγο αυτό η χρήση υλικών που περιέχουν πυρίτιο σε εξοπλισμό που χρησιμοποιείται SF₆ για την σβέση τόξων είναι ακατάλληλη.

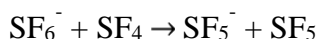
3.3.3 Χαρακτηριστικά διάβρωσης του SF₆ και των παραπροϊόντων του

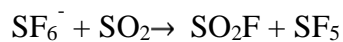
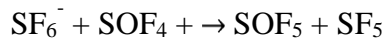
Όπως αναφέραμε παραπάνω, το καθαρό SF₆ είναι χημικά αδρανές. Συνεπώς, δεν προκαλεί διάβρωση. Ωστόσο, παρουσία υγρασίας, τα πρωτογενή και δευτερογενή προϊόντα διάσπασης του SF₆ μπορούν να σχηματίσουν διαβρωτικούς ηλεκτρολύτες, οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν καταστροφή και λειτουργικές βλάβες, ιδίως στον ηλεκτρικό εξοπλισμό. Όταν ο σχηματισμός προϊόντων αποσύνθεσης δεν μπορεί να αποτραπεί με κατάλληλες κατασκευαστικές μεθόδους, η διάβρωση μπορεί να μειωθεί σημαντικά με την προσεκτική απομάκρυνση της υγρασίας και τη χρήση κατάλληλων υλικών. Συνήθως χρησιμοποιούμενα μέταλλα είναι το αλουμίνιο, ο χάλυβας, ο χαλκός και ο ορείχαλκος, τα οποία θα πρέπει να είναι σχεδόν ανέπαφα από χημικές επιθέσεις. Από την άλλη πλευρά, υλικά όπως το γυαλί, η πορσελάνη και το μονωτικό χαρτί δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται, καθώς υπόκεινται σε σημαντική υποβάθμιση ανάλογα με τη συγκέντρωση των ουσιών που προκαλούν διάβρωση. Τα μονωτικά υλικά όπως οι εποξειδικές ρητίνες, το πολυτετραφθοροαιθυλένιο, το πολυαιθυλένιο, το χλωριούχο πολυβινύλιο και το οξείδιο του πολυμεθυλενίου δεν επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό.

3.3.4 Μέτρα για την απομάκρυνση των διαβρωτικών ουσιών

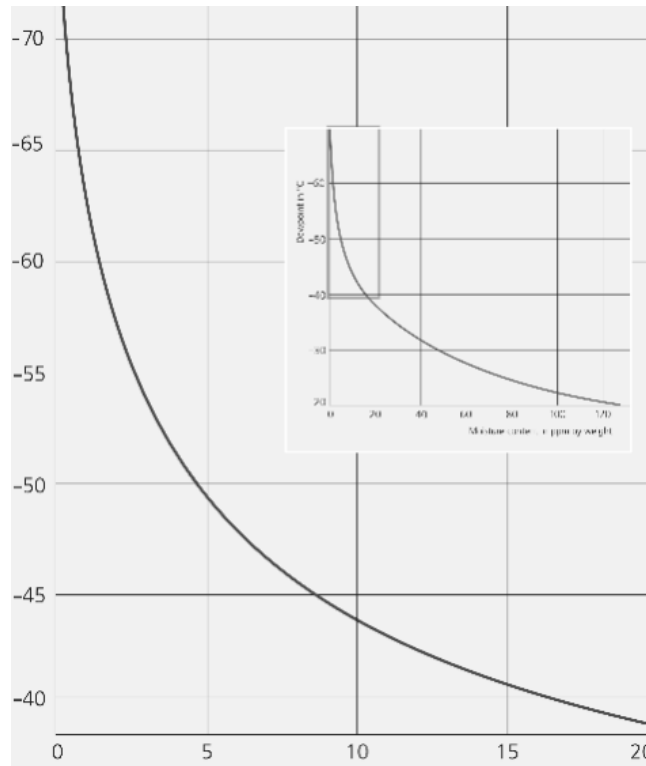
Τυχόν υγρασία και τα παραπροϊόντα του SF₆ μπορούν να φιλτραριστούν εύκολα με προσρόφηση. Το οξείδιο του αλουμινίου και τα μοριακά κόσκινα, ή μίγματα αυτών, είναι κατάλληλα για το σκοπό αυτό, καθώς προσροφούν πολύ αποτελεσματικά τα αέρια παραπροϊόντα. Ταυτόχρονα, εξασφαλίζουν ότι το σημείο δρόσου στο αέριο διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα. Ιδιαίτερα κατάλληλοι είναι οι απορροφητές με τη μορφή φίλτρων, οι οποίοι αντλούνται έτσι ώστε το αέριο να κυκλοφορεί. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται, για παράδειγμα, στην περίπτωση των διακοπών ισχύος SF₆, καθώς σε περίπτωση ηλεκτρικού τόξου μπορεί να παραχθεί σημαντική συγκέντρωση παραπροϊόντων χημικής αποσύνθεσης. Σε πολλές περιπτώσεις, τα στατικά φίλτρα παρέχουν επαρκή προστασία περιορίζοντας τη συγκέντρωση ανεπιθύμητων παραπροϊόντων.

Το οξείδιο του αλουμινίου και τα μοριακά κόσκινα, ή ένα μείγμα και των δύο, είναι κατάλληλα, καθώς προσροφούν πολύ αποτελεσματικά τα αέρια παραπροϊόντα. Ταυτόχρονα, διατηρείται το σημείο δρόσου σε χαμηλή θερμοκρασία και εξασφαλίζεται ότι δεν υπάρχει επαρκής περιεκτικότητα σε νερό για να υγροποιηθεί το SF₆, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.15. Η αντίδραση των ιόντων SF₆ με ορισμένα από τα παραπροϊόντα παράγει επίσης άλλα παραπροϊόντα. Ορισμένες από τις συντομότερες αντιδράσεις παρουσιάζονται παρακάτω [6]:





Από τα παραπροϊόντα που σχηματίζονται κυριότερο θεωρείται το SO₂F το οποίο έχει παρατηρηθεί σε εκκενώσεις τόξου (~600 nmol/J), σε σπινθήρα (~16 nmol/J) και σε φαινόμενο κορώνα (~3 nmol/J). Ένα πολύ μικρό ποσοστό αυτού μετά από υδρόλυση σχηματίζει SO₂ (την διάσπαση δηλαδή του δεσμού SO₂ και F με την παρουσία νερού) [6].



Σχήμα 3. 15. Σημείο δρόσου (°C) αναλόγως της περιεκτικότητας σε υγρασία του SF₆ (ppm) [15].

3.4 Τοξικότητα

3.4.1 Το μη καταπονημένο καθαρό SF₆

Το καθαρό SF₆ είναι εντελώς μη τοξικό. Τα παραπροϊόντα που παράγονται κατά την παραγωγή του αερίου εξαλείφονται πλήρως με επαναλαμβανόμενο καθαρισμό [34].

Σε κλειστούς χώρους εργασίας όπου υπάρχουν μεγάλες ποσότητες SF₆, απαιτούνται προστατευτικοί κανονισμοί για να ληφθεί υπόψη η πιθανότητα ασφυξίας λόγω έλλειψης οξυγόνου. Ο κίνδυνος ελλοχεύει επειδή το SF₆ είναι πυκνότερο από τον αέρα και συσσωρεύεται στα κατώτερα στρώματα ενός κλειστού χώρου. Η παροχή εξαερισμού από εδάφους εξουδετερώνει το πρόβλημα. Η περιεκτικότητα του αέρα σε SF₆ μπορεί να ελεγχθεί με την εγκατάσταση μιας συσκευής μέτρησης με βάση τη θερμική αγωγιμότητα. Για παράδειγμα, η περιεκτικότητα του αέρα σε SF₆ σύμφωνα με τους γερμανικούς κανονισμούς δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 1000 ppm.

3.4.2 Χρησιμοποιημένο SF₆

Η εκκένωση παράγει αέρια παραπροϊόντα και κονιορτοποιημένες ενώσεις που περιέχουν μέταλλα. Τα αέρια προϊόντα της αποσύνθεσης του SF₆ εμφανίζουν πολύ χαρακτηριστικά προειδοποιητικά σήματα, ακόμη και σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Παραδείγματα είναι η δυσάρεστη, συγκεκριμένη οσμή υδρόθειου (H₂S) που μοιάζει με σάπιων αυγών λόγω των οξειδίων του θείου και ο άμεσος ερεθισμός της ματιών και μύτης. Οι πρώτες ενοχλήσεις εμφανίζονται σχεδόν αμέσως και πολύ πριν το όριο δηλητηρίασης. Κατά το χειρισμό SF₆ που έχει ήδη χρησιμοποιηθεί, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην εισπνέονται αέρια

ή στερεά προϊόντα αποσύνθεσης. Εάν δεν υπάρχει διαθέσιμος εξαερισμός, απαιτείται προστασία των ματιών, του σώματος και της αναπνοής.

Το χρησιμοποιημένο SF₆ έχει απομακρυνθεί με τεχνικές εργασίες στον εξοπλισμό GIS. Τα χρησιμοποιημένα SF₆ που είναι κατάλληλα για επαναχρησιμοποίηση από τον κατασκευαστή είναι εκείνα που απομακρύνθηκαν κατά τη διάρκεια τεχνικών εργασιών σε εξοπλισμό GIS, τα οποία δεν πληρούν τις απαιτήσεις του IEC 60480, αλλά πληρούν τις απαιτήσεις του κατασκευαστή.

3.5 Προδιαγραφές

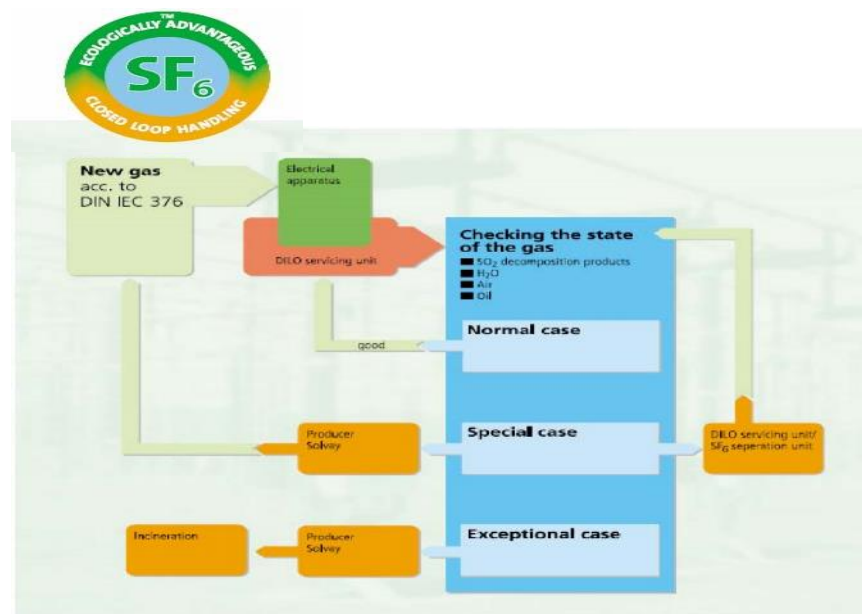
Οι προδιαγραφές για το εμπορικό SF₆ ορίζονται στο IEC 376 και δίνονται στον παρακάτω πίνακα. Οι τιμές αναφέρονται στη σύνθεση της υγρής φάσης.

Σύσταση	Τιμή	Μονάδα
SF ₆	≥ 99,90	% κ.β.
Αέρας	≤ 500	ppm κ.β. (0.25 % κ.ό.)
CF ₄	≤ 500	ppm κ.β. (0.1 % κ.ό.)
H ₂ O	≤ 15	ppm κ.β. (0.012 % κ.ό.)
Ορυκτέλαιο	≤ 10	ppm κ.β.
Οξύτητα, ισοδύναμη περιεκτικότητα σε HF	≤ 0,3	ppm κ.β.
Υδροδιαλυτά φθορίδια, ισοδύναμη περιεκτικότητα σε HF	≤ 1	ppm κ.β.

Πίνακας 3. 5. Το πρότυπο DIN IEC 376 για το SF₆

3.6 Κυκλική οικονομία και επαναχρησιμοποίηση του SF₆

Παρόλο που το SF₆ είναι ένα αέριο με μεγάλο όφελος, δεν είναι επιθυμητό να απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, καθώς έχει αρνητικό αντίκτυπο στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Ως εκ τούτου, καταβάλλονται προσπάθειες για την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση αυτού του αερίου. Στο σχήμα 3.16 παρουσιάζεται ο κύκλος διαχείρισης του SF₆.



Σχήμα 3. 16. Ο κύκλος επαναχρησιμοποίησης του SF₆ [16].

Το μη ανακτήσιμο SF₆ καταστρέφεται με θερμική επεξεργασία σε θερμοκρασίες 1000-1200°C όπου και διασπάται και με χρήση H₂ και O₂ παράγει SO₂ και HF που εξουδετερώνονται κατάλληλα και με θερμική επεξεργασία σε μονάδες καύσης τοξικών και επικίνδυνων αποβλήτων.

Για να αξιολογηθεί η επαναχρησιμοποίηση του SF₆ πρέπει να μετρηθούν οι ποσότητες των N₂, H₂O, O₂, SO₂/SO₂F₂, HF, έλαιο, επιμολυντές. Εάν το αέριο SF₆ κατά τη μέτρηση στη διάρκεια της συντήρησης δεν περιέχει τοξικούς ή διαβρωτικούς παράγοντες μπορεί να καθαριστεί σε επίπεδο τεχνικού βαθμού (technical grade) στο πεδίο. Όλες οι κατηγορίες SF₆ μπορούν να ανακυκλωθούν και να καθαριστούν ώστε να επιτύχουν καθαρότητα τεχνικού βαθμού (technical grade).

Το SF₆ μπορεί να ανακτηθεί από το μείγμα που συλλέχθηκε ανάλογα με την μέθοδο που χρησιμοποιείται και την περιεκτικότητά του σε διάφορους επιμολυντές και παράγωγα της λειτουργίας σε εξοπλισμό με μόνωση SF₆ και ανάλογα με την μέθοδο που χρησιμοποιείται (στις περισσότερες των περιπτώσεων σε ποσοστό τουλάχιστον 98%).

Το SF₆ που δεν είναι κατάλληλο για επανάχρηση και πρέπει να οδηγηθεί για ανακύκλωση σε εγκατάσταση εκτός του πεδίου. Από την ανακύκλωση του SF₆ προκύπτουν δύο τύποι αερίων κατάλληλων για χρήση, υπό την προϋπόθεση ότι πληρούνται οι απαιτήσεις καθαρότητας για επανάχρηση.

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες SF₆ για την επαναχρησιμοποίηση, αυτό που:

- μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί στο πεδίο
- χρειάζεται επεξεργασία και μετά επαναχρησιμοποίηση.

Για το ανακτημένο από τον εξοπλισμό SF₆ υπάρχουν τρεις περιπτώσεις καταλληλότητας:

- κατάλληλο για επανάχρηση στο πεδίο,
- κατάλληλο για επανάχρηση μετά από ανακατασκευή και
- πλήρως ακατάλληλο για καταστροφή.

Το SF₆ όταν δεν μπορεί να καθαριστεί άλλο και να επαναχρησιμοποιηθεί, μετά τη θερμική επεξεργασία μετατρέπεται σε οικοδομικό γύψο και φθορίτη για οδοντιατρική χρήση.

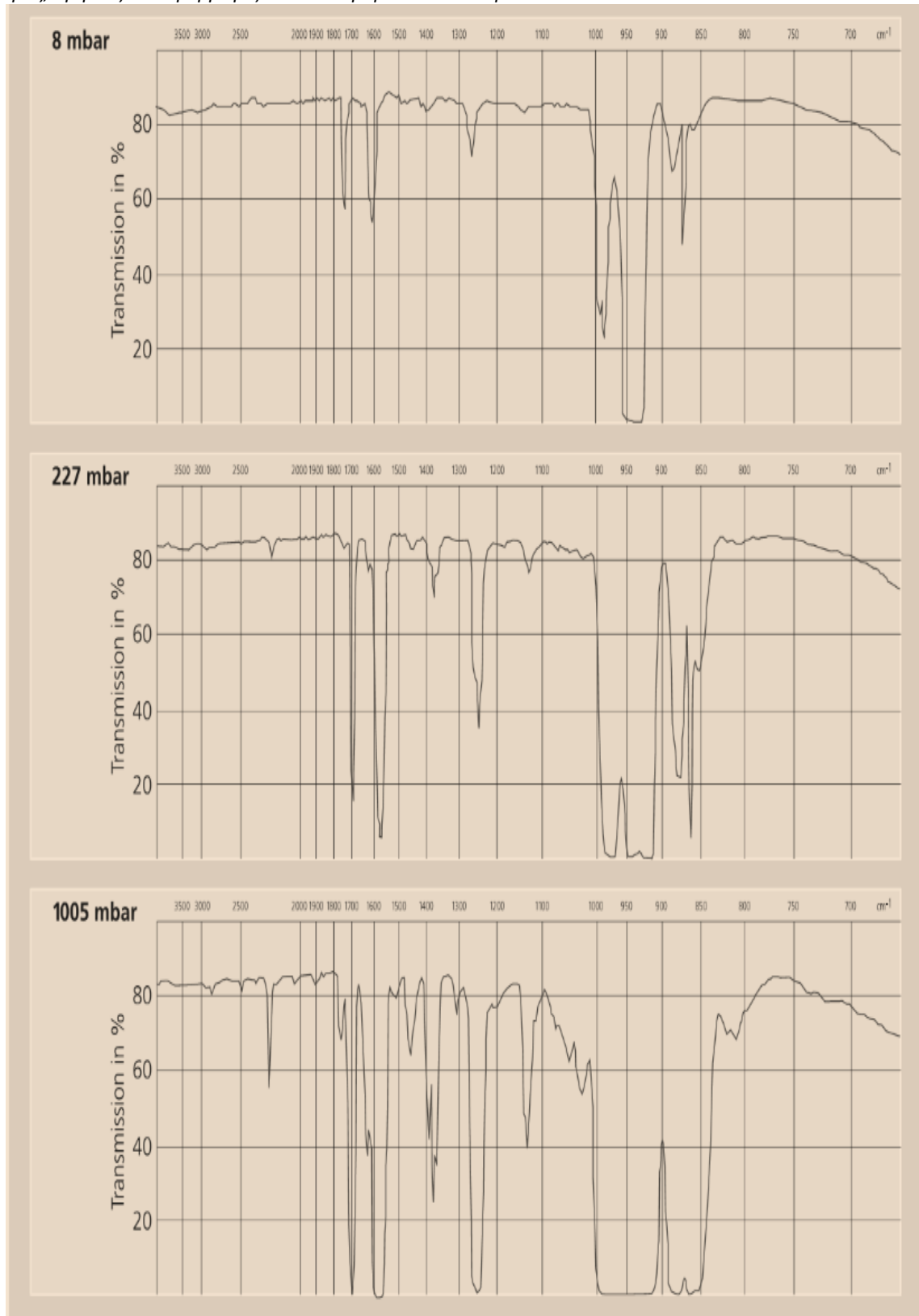
Ο εξοπλισμός για την ανάκτηση και πλήρωση στο πεδίο του SF₆ περιλαμβάνει :Αντλία κενού για την ανάκτηση, κατάλληλα φίλτρα και συμπιεστή αερίου, ενώ γίνεται μέτρηση της ποιότητας του SF₆, αντλία κενού, δοχείο και συμπιεστή για την πλήρωση του νέου SF₆.

Όταν ο εξοπλισμός ανάκτησης SF₆ έρθει σε επαφή με το χρησιμοποιημένο αέριο θα πρέπει εφόσον έχει έρθει σε επαφή με απορροφητές ή στερεά υπολείμματα να πλένεται και να εξουδετερώνεται σε διάλυμα ύδατος / σόδας 10% κ.β. υγρής σόδας και στη συνέχεια να ξεπλένεται με καθαρό νερό. Εάν έχει έρθει σε επαφή με απορροφητές ή στερεά υπολείμματα συλλέγεται σε ειδικές πλαστικές σακούλες με κατάλληλη σήμανση και σφραγίζεται.

Στον εξοπλισμό ή τη διαδικασία ανάκτησης του SF₆ θα πρέπει η μονάδα ανάκτησης να περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον φίλτρα, συμπιεστή, αντλία κενού και δοχείο αποθήκευσης. Για την επαναχρησιμοποίηση του SF₆ ή/και των μειγμάτων αυτού απαιτείται ανάκτηση κάθε αερίου ξεχωριστά μέσω διαδικασιών διαχωρισμού, καθαρισμός καθενός ξεχωριστά σε διαφορετικές συσκευές στην απαιτούμενη ποιότητα και μείξη μετά στην προκαθορισμένη αναλογία.

3.7 Οπτικές ιδιότητες - Φάσμα αερίου SF₆

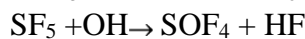
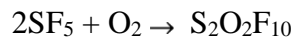
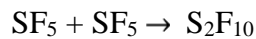
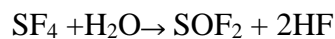
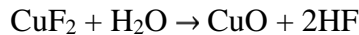
Το αέριο SF₆, έχει δείκτη διάθλασης, σε θερμοκρασία 0°C και υπό πίεση 1.0133 bar με n_D =1.000783. Το υπέρυθρο φάσμα του SF₆ σε τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις παρατίθεται στο Σχήμα 3.17.



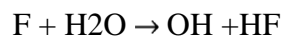
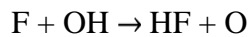
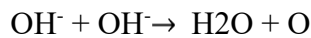
Σχήμα 3. 17. Υπέρυθρο φάσμα του SF₆ ελεγμένο για τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις (Leitz M3, NaCl prism) [15].

3.8 Χημική συμπεριφορά του SF₆ παρουσία μετάλλων

Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, σχηματίζονται CuF₂ και SF₄ εάν το μέταλλο των ηλεκτροδίων και των τοιχωμάτων του δοχείου εξαχνωθεί και βρεθούν άτομα χαλκού, διαφορετικά σχηματίζονται AlF₃ και CuSi. Τα προϊόντα αυτά είναι επίσης διηλεκτρικά και δεν επηρεάζουν τη λειτουργία του εξοπλισμού αλλά, εάν υπάρχει αρκετή υγρασία στο θάλαμο, σχηματίζονται διαβρωτικά προϊόντα όπως το υδροφθόριο (HF), όπως φαίνεται στην ακόλουθη αντίδραση [6].



Τα OH και το O δίδονται από τη διάσπαση υγρασίας:



Το HF που παράγεται καταστρέφει το γυαλί και την πορσελάνη που περιέχουν πυρίτιο SiO₂ σχηματίζοντας SiF₄. Η δημιουργία παραπροϊόντων είναι αναπόφευκτος ακόμη και σε ειδικές κατασκευές ΓΑΘ και η διάβρωση πρέπει να ελέγχεται με την απομάκρυνση της υγρασίας και τη χρήση κατάλληλων υλικών κατασκευής. Συνεπώς, αποφεύγεται η χρήση γυαλιού, πορσελάνης, αλλά και μονωτικού χαρτιού σε εξοπλισμό που περιέχει SF₆ για την απόσβεση ηλεκτρικού τόξου. Το αλουμίνιο, ο χάλυβας, και ο χαλκός θεωρούνται ωστόσο τα πλέον κατάλληλα υλικά. Η υγρασία και τα παραπροϊόντα μπορούν να απομακρυνθούν με διαδικασίες προσρόφησης.

Συνοπτικά αναφέρονται τα παρακάτω:

- Σχηματίζεται λευκή σκόνη που είναι επικίνδυνη και προκαλεί ερεθισμούς.
- Σχηματίζεται τοξικό SOF₂ που μυρίζει έντονα ακόμη και σε ελάχιστη ποσότητα. Αυτό μπορεί να φιλτραριστεί με φίλτρα αλουμίνιας. Οι διακόπτες SF₆ έχουν πάντα φίλτρο ενεργής αλουμίνιας.
- Μπορούν να σχηματιστούν ίχνη τοξικών SO₂F₂ και SOF₄.

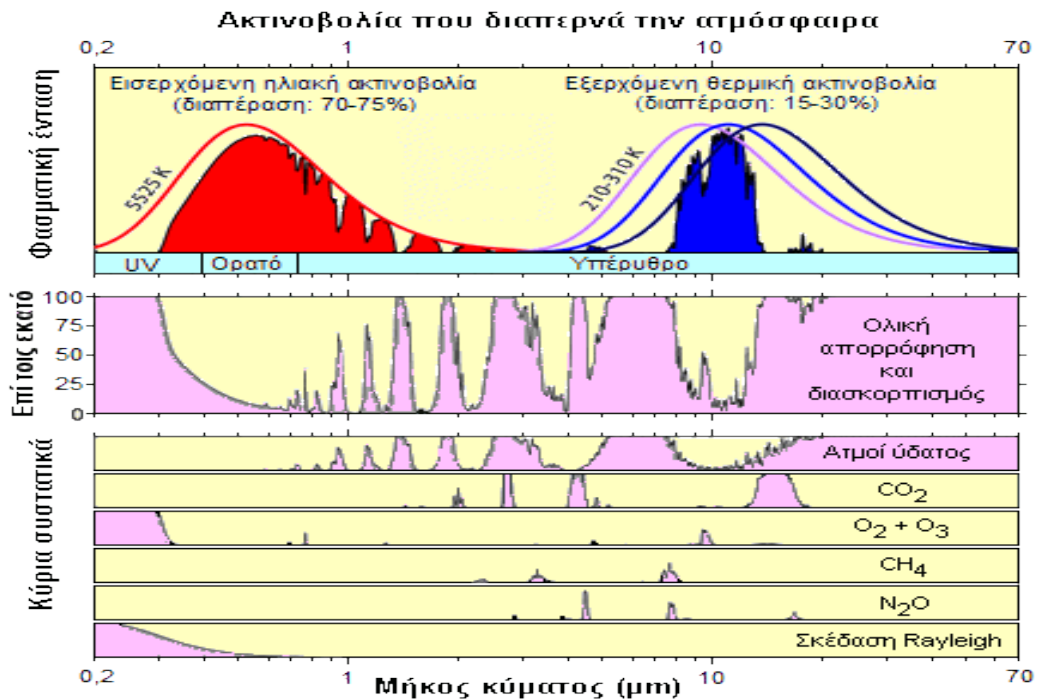
3.9 Η επίδραση του αερίου SF₆ στο φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το αέριο SF₆ έχει ερευνηθεί καλά και έχει διαπιστωθεί ότι είναι ακίνδυνο για τον άνθρωπο, δεν αντιδρά καθόλου και επομένως δεν αντιδρά με τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται και η συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα παραμένει πολύ χαμηλή. Στο σύνολό του, είναι ένα ανθρωπογενές αέριο και έχει διαπιστωθεί η υψηλή δυναμική του ως αέριο του θερμοκηπίου και καταβάλλονται προσπάθειες για τη μείωση των εκπομπών από διάφορες εφαρμογές. Στη βιομηχανία παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, καταβάλλονται προσπάθειες να μηδενιστούν οι εκπομπές, καθώς το αέριο θεωρείται προς το παρόν αναντικατάστατο, ενώ σε άλλες εφαρμογές γίνονται σοβαρές προσπάθειες αντικατάστασής του με άλλα αέρια.

3.9.1 Φαινόμενο του θερμοκηπίου και SF₆

Καθώς η επιφανειακή θερμοκρασία της Γης είναι πολύ χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του Ήλιου, είναι γνωστό ότι η Γη θερμαίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία του Ήλιου. Η ακτινοβολία που δέχεται η Γη από τον Ήλιο ανήκει κυρίως στην υπεριώδη και την ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Σχήμα 3.18, κόκκινη γραμμή στο παρακάτω διάγραμμα) [6]. Είναι γνωστό πως η θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης είναι πολύ χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του Ήλιου, οπότε η Γη εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μεγαλύτερο μήκος κύματος από αυτό που δέχεται, δηλαδή ακτινοβολεί στην υπέρυθη περιοχή (μπλε διάγραμμα) [6]. Μέρος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας απορροφάται από τα συστατικά της ατμόσφαιρας και επιστρέφει στη Γη, διατηρώντας έτσι τη θερμοκρασία στην τροπόσφαιρα στα τρέχοντα επίπεδα. Η ισορροπία μεταξύ της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και της εξερχόμενης ακτινοβολίας από την επιφάνεια της Γης είναι απαραίτητη για να διατηρηθεί η θερμοκρασία της γήινης ατμόσφαιρας μακροπρόθεσμα. Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει τα κύρια φυσικά συστατικά της ατμόσφαιρας (π.χ. υδρατμοί, CO₂, CH₄ και

N₂O) που παγιδεύουν την ανακλώμενη ακτινοβολία πίσω στη Γη. Είναι προφανές πως η παγίδευση της ακτινοβολίας από φυσικά συστατικά και η επιστροφή της στη Γη είναι απαραίτητη για τη ζωή στη Γη. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως φαινόμενο του θερμοκηπίου και τα συστατικά της ατμόσφαιρας που συμβάλλουν σε αυτό το φαινόμενο είναι γνωστά ως αέρια του θερμοκηπίου. Ωστόσο, όλα τα στοιχεία που συμβάλλουν σε αυτό το φαινόμενο συμβάλλουν στην αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας με καταστροφικές συνέπειες. Εκτός από τα φυσικά στοιχεία που συμβάλλουν σε αυτό το φαινόμενο, υπάρχουν και ανθρωπογενή στοιχεία όπως οι διάφορα φθοριούχα αέρια, που περιλαμβάνεται και το SF₆.



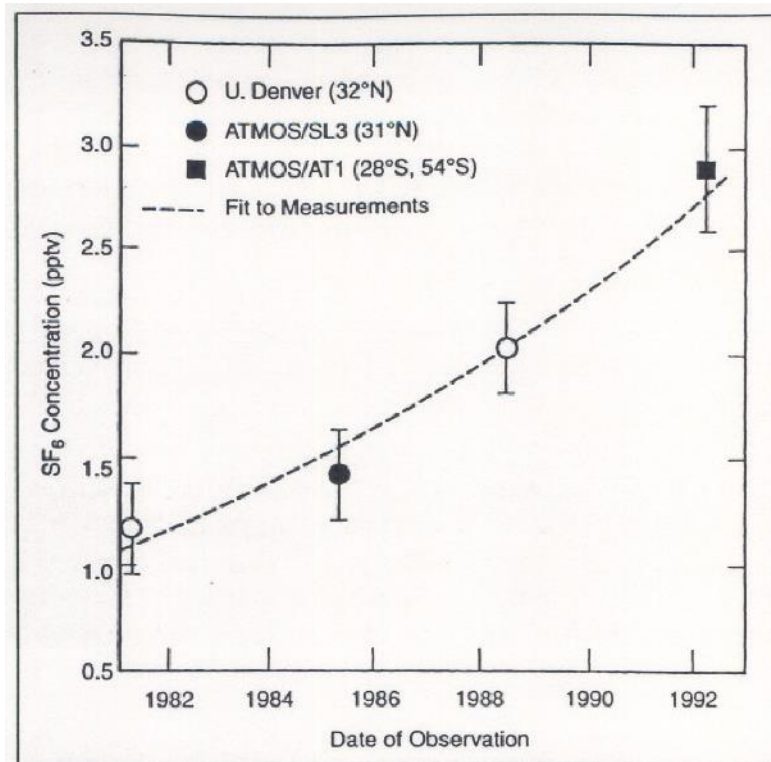
Σχήμα 3. 18. Το φάσμα εισερχόμενης και εξερχόμενης ακτινοβολίας, τα κύρια φυσικά στοιχεία που απορροφούν την εξερχόμενη μαζί με το ποσοστό απορρόφησής τους [18].

Πολλές χώρες (160) που κατασκευάζουν με φυσικό ή τεχνητό τρόπο τα αέρια που ευθύνονται για την υπερθέρμανση του πλανήτη λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου συναίνεσαν να αναλάβουν δράση στο Κιότο της Ιαπωνίας, ώστε να μειώσουν τις εκπομπές όλων των κύριων "αερίων του θερμοκηπίου". Η συμφωνία αυτή, γνωστή ως "Πρωτόκολλο του Κιότο", προβλέπει ότι αν μια χώρα εκπέμπει λιγότερες εκπομπές, μπορεί να πουλήσει τη διαφορά σε μια χώρα με υψηλότερες εκπομπές. Όπως φαίνεται στο γράφημα, το CO₂ είναι η κύρια πηγή εκπομπών και οι διάφοροι χλωροφθοράνθρακες, αν και συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, δεν θεωρούνται πλέον αέρια του θερμοκηπίου, καθώς η παραγωγή τους έχει απαγορευτεί επειδή καταστρέφουν το όζον. Ωστόσο, το SF₆ είναι αέριο του θερμοκηπίου και μάλιστα εξαιρετικά ισχυρό.

3.9.2 Η συγκέντρωση του SF₆ στο περιβάλλον

Το αέριο SF₆ είναι πολύ χρήσιμο στη βιομηχανία ενέργειας λόγω των εξαιρετικών ιδιοτήτων του (π.χ. εξαιρετικός μονωτής), γι' αυτό και η ζήτηση έχει αυξηθεί και παράγεται σε μεγάλες ποσότητες- η παγκόσμια παραγωγή αυξάνεται κάθε χρόνο από το 1970 και μετά, φθάνοντας τους 7 000 τόνους το 1993. Στο Σχήμα 3.19 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων στο Πανεπιστήμιο του Ντένβερ, όπου η ποσότητα που ανιχνεύεται στην ατμόσφαιρα έχει αυξηθεί με ετήσιο ρυθμό 8,7%. Αυτό σημαίνει ότι αν μετρηθεί στο όριο ανίχνευσης από το 1980, έφτασε τα 3,2 pptv (σωματίδια ανά 1012 όγκους) το 1993 και με αυτόν τον ρυθμό εκτιμάται ότι θα φτάσει τα 20 pptv μέχρι το 2030. οι χώρες της ΕΕ έχουν απαγορεύσει τη ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Χρονάκης Χρυσοβαλάντης

χρήση του SF₆ σε πολλές εφαρμογές (όπως για φούσκωμα ελαστικών οχημάτων) και άλλες εφαρμογές έχουν θεσπιστεί κανονισμοί για την αποφυγή διαρροών.



Σχήμα 3. 19. Μετρήσεις συγκέντρωσης του SF₆ την δεκαετία 82-92 [9].

Στην πραγματικότητα, με τη μείωση του ρυθμού διαρροής και την εφαρμογή μεθόδων ανακύκλωσης και καταστροφής, μειώνεται η συνολική παγκόσμια παραγωγή SF₆, δεδομένου ότι όλα τα αέρια που παράγονται και λειτουργούν στο μέλλον θα απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα τους επόμενους αιώνες, εάν δεν υπάρχουν μέθοδοι καταστροφής ή ανακύκλωσης του SF₆ και η διαρροή δεν μπορεί να ελεγχθεί, μειώνοντας τελικά την ποσότητα που απελευθερώνεται στο περιβάλλον.

Οι προσπάθειες διαχείρισης του αερίου από τις ίδιες τις εταιρείες, όπως η παρακολούθηση της πίεσης του εξοπλισμού που χρησιμοποιεί αέριο SF₆, και οι εθνικοί κανονισμοί, όπως οι βελτιωμένες μέθοδοι ποσοτικοποίησης και διακοπής των διαρροών, οι βελτιωμένες μέθοδοι άντλησης και αποθήκευσης, ο καθορισμός προτύπων ανακύκλωσης, η παραγωγή περισσότερων στεγανών μηχανημάτων, η σταδιακή απόσυρση μηχανημάτων παλαιότερης τεχνολογίας και οι γενικές αποτελεσματικές πολιτικές χρήσης, έχουν οδηγήσει σε μείωση της ποσότητας SF₆. Δεδομένου ότι ο SF₆ είναι ένα εξαιρετικά επικίνδυνο αέριο του θερμοκηπίου αποτελεί από μόνο του κίνητρο για να ενδιαφερθούν όλοι να μειωθεί η ποσότητά του.[9].

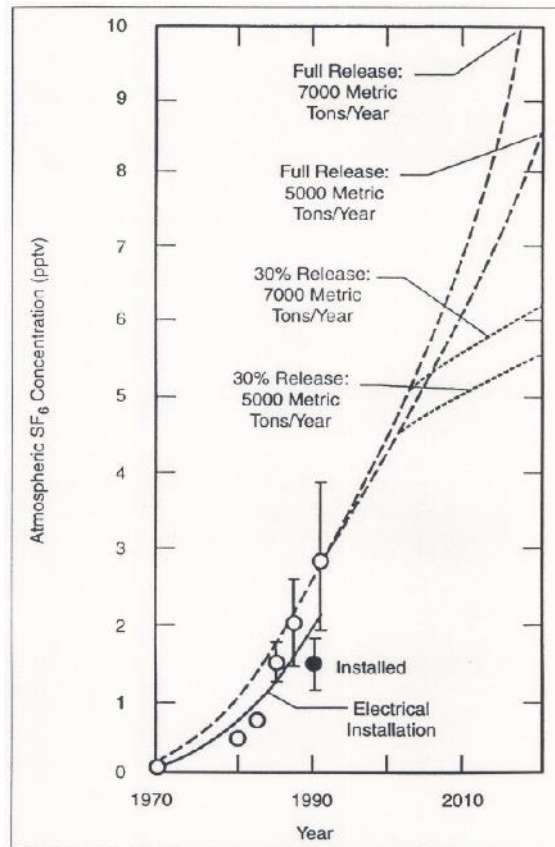
3.9.3 Το αέριο SF₆ ως ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου

Όπως αναφέρθηκε, οτιδήποτε οδηγεί την ισορροπία της εισερχόμενης και εξερχόμενης ακτινοβολίας στην ανώτερη τροπόσφαιρα προς μια κατεύθυνση, θα διαταράξει τη σταθερή παγκόσμια θερμοκρασία της Γης.

Το SF₆ απορροφά πολύ αποτελεσματικά την υπέρυθη ακτινοβολία, ιδίως σε μήκη κύματος γύρω στα 10,5 μm (η μπλε περιοχή στο Σχήμα 3.18). Επιπλέον, σε αντίθεση με τα φυσικά αέρια του θερμοκηπίου (π.χ. CO₂, CH₄), το SF₆ είναι χημικά σταθερό και δεν καταστρέφεται στη φύση. Υπολογίζεται ότι χρειάζονται ως και 3.200 χρόνια για να μειωθεί το SF₆ που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα κατά 37% από φυσικές δυνάμεις.

Λόγω αυτής της ισχυρής απορρόφησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας και της μεγάλης διάρκειας ζωής του, τοποθετείται ως ουσία με εξαιρετικά υψηλό δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη

σε κλίμακα πολλών εκατοντάδων ετών. Εκτιμάται ότι είναι περίπου 25000 φορές πιο ισχυρή από το CO₂, τον κύριο παράγοντα που συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη.



Σχήμα 3. 20. Η συγκέντρωση του SF₆ στην ατμόσφαιρα [9].

Καθώς το SF₆ χρησιμοποιείται ήδη ευρέως σε πολλές βιομηχανικές και τεχνικές εφαρμογές, υπάρχουν σαφείς οικονομικές επιπτώσεις από τις προσπάθειες ελέγχου της παραγωγής, της χρήσης και της ενδεχόμενης διάθεσής του. Το γράφημα στο Σχήμα 3.20 δείχνει τη σωρευτική ποσότητα SF₆ στην ατμόσφαιρα και η συμπαγής γραμμή στο γράφημα δείχνει την εκτιμώμενη σωρευτική ποσότητα SF₆ στην ατμόσφαιρα από τη μόνωση ηλεκτρικού εξοπλισμού. Το σημείο «Installed» αντιστοιχεί στην εκτιμώμενη συγκέντρωση του SF₆ υποθέτοντας ότι όλο το αέριο που υπήρχε στον ηλεκτρικό εξοπλισμό το 1990 απελευθερώθηκε στην ατμόσφαιρα [9]. Η διακεκομμένη γραμμή στο γράφημα δείχνει την ποσότητα που αναμένεται να αυξηθεί στο μέλλον υπό συνθήκες [9].

3.9.4 Η επίδραση του SF₆ στο φάσμα ακτινοβολίας

Μέχρι τα τέλη του περασμένου αιώνα, το φως θεωρούνταν ένα είδος ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Έχει κι άλλη μία ιδιότητα, η οποία μπορεί να γίνει κατανοητή αν θεωρήσουμε ότι αποτελείται από ένα σωματίδιο με μια ουσία που διαδίδεται σαν κύμα. Τα σωματίδια αυτά ονομάζονται φωτόνια και διαδίδονται με ταχύτητες:

$$c = f \cdot \lambda$$

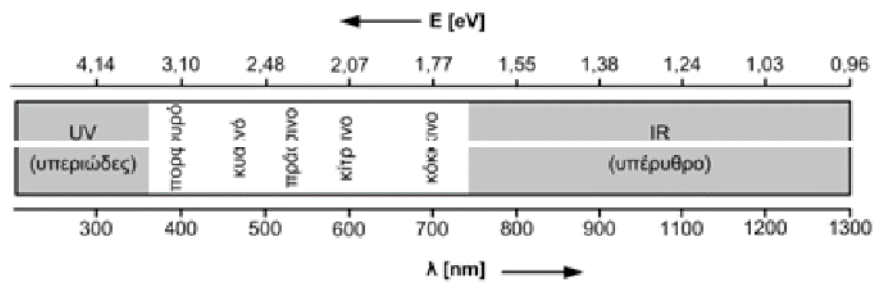
Όπου c η ταχύτητα του φωτός, f η συχνότητα ταλάντωσης και λ το μήκος κύματος.

Την ενέργεια που έχει ένα τέτοιο σωματίδιο την υπολόγισε ο Planck [6]:

$$E = h \cdot f = \hbar \cdot \omega$$

Όπου h η σταθερά Planck $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{sec} = 4,15 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{sec}$ και $\hbar = \frac{h}{2\pi}$

Η εξέταση της ηλιακής ακτινοβολίας δείχνει ότι το ηλιακό φως έχει ένα ευρύ φάσμα ενεργειών E (eV) ανάλογα με το μήκος κύματος λ (nm), όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.21 [18]. Για παράδειγμα, το μήκος κύματος λ = 300 nm αντιστοιχεί στο υπεριώδες και η ενέργεια των φωτονίων είναι E = 4,14 eV.



Σχήμα 3. 21. Το φάσμα του φωτός και οι σχέσεις ανάμεσα στην ενέργεια E , στα χρώματα και στο μήκος κύματος λ [18].

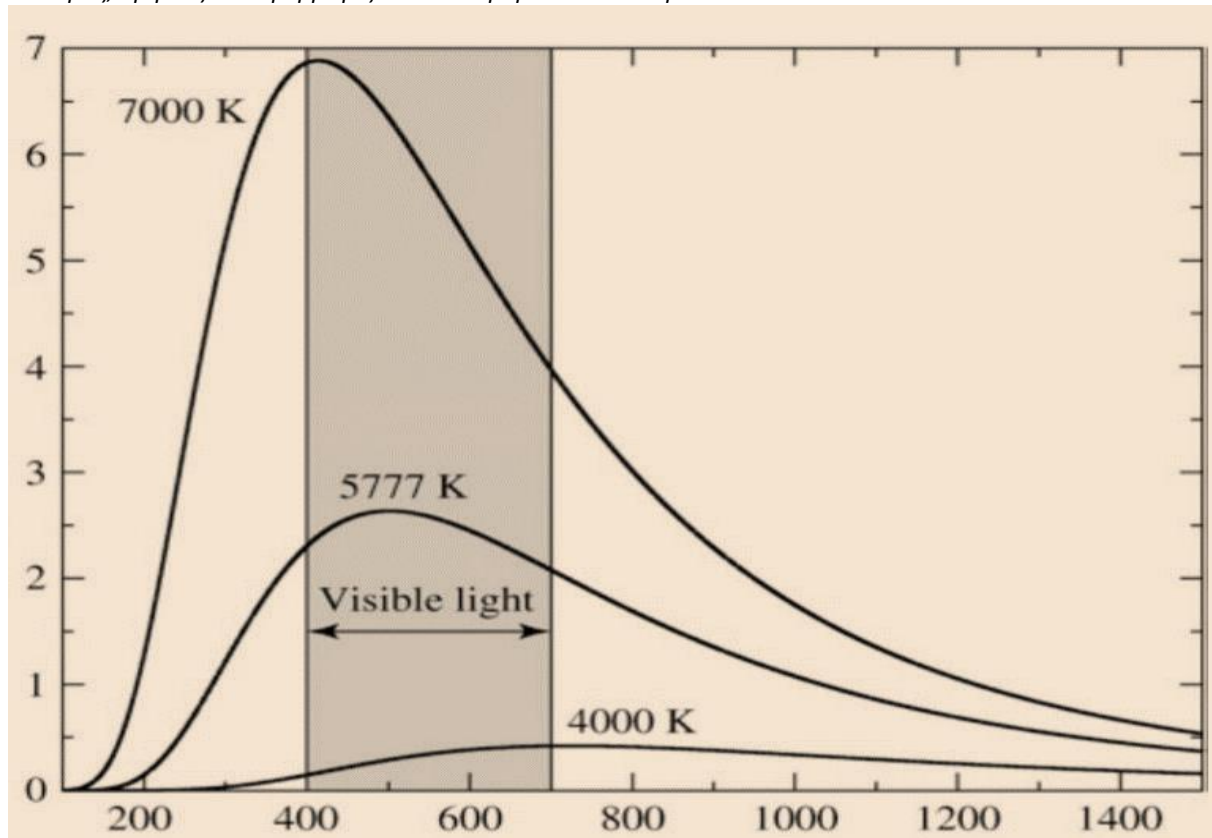
Σύμφωνα με τη θεωρία του «μέλαν σώματος», κάθε αντικείμενο βρίσκεται σε θερμική ισορροπία με το περιβάλλον του και αν έχει περισσότερη ενέργεια από αυτή που διαθέτει, θα προσπαθήσει να την αποβάλει. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την εκπομπή φωτονίων διαφορετικών ενεργειακών καταστάσεων. Ο Planck επινόησε μια εξίσωση για τον υπολογισμό της φασματικής ακτινοβολίας ενός μαύρου σώματος, η οποία δίνει την ένταση I (λ, T) σε W/(m² nm) ή W/(m² eV) για διάφορες τιμές του μήκους κύματος λ του φάσματος, όταν η θερμοκρασία του σώματος είναι T [6].

$$I_{(\lambda,T)} = \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2 \cdot \lambda^{-5}}{e^{\frac{h \cdot c}{\lambda \cdot k \cdot T}} - 1}$$

Η ολοκλήρωση της έντασης σε όλο το μήκος του φάσματος για την θερμοκρασία του σώματος μας δίνει την συνολική ενέργεια που εκπέμπει το σώμα [6].

$$E_{(T)} = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot T^4$$

Στο διάγραμμα του Σχήματος 3.22 φαίνεται η γραφική παράσταση της έντασης I μέλανος σώματος, σε τρεις τιμές θερμοκρασίας στο φάσμα ακτινοβολίας [6].

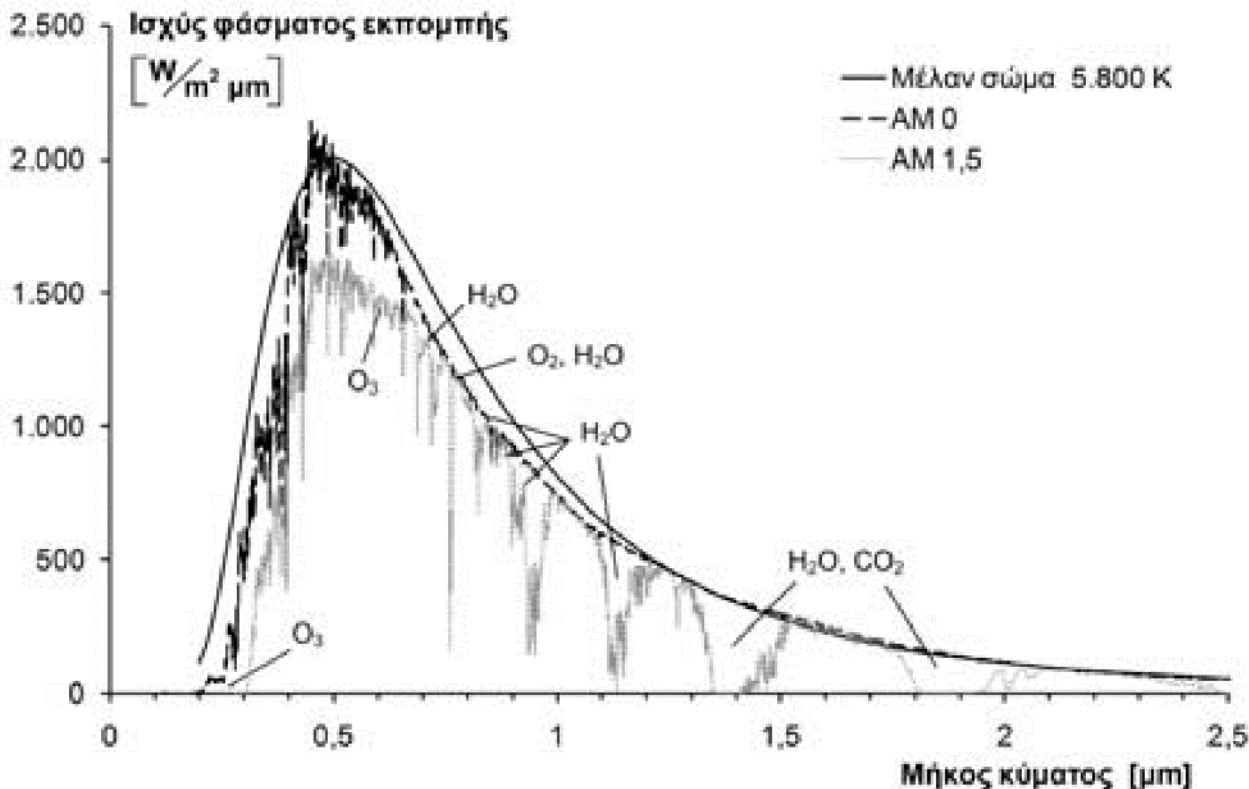


Σχήμα 3. 22. Η φασματική εκπομπή B τριών σωμάτων σε διάφορες θερμοκρασίες και μήκη κύματος (nm) [6].

Η ένταση του ηλιακού φωτός εξασθενεί καθώς περνά μέσα από τα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας και φτάνει στην επιφάνεια της Γης [6]. Αφού ένα μέρος του ανακλαστεί στα όρια της ατμοσφαιρικής επιφάνειας, το μεταδιδόμενο μέρος του εξασθενεί και πάλι. Οι κύριες αιτίες της εξασθένησης είναι η απορρόφηση των φωτονίων από άλλα μόρια που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα (υδρατμοί, O₂, O₃, CO₂, CO₃, SF₆ κ.λπ.) και η εξασθένηση της έντασης I λόγω της διέλευσής τους από την ατμόσφαιρα. Στην πράξη, το μεγαλύτερο μέρος της εξασθένησης συμβαίνει στα πρώτα στάδια της μετάδοσης, σύμφωνα με το νόμο Lambert – Beer – Bouguer:

$$I(x) = I(x = 0) \cdot e^{-a \cdot x}$$

Ένα άλλο μέγεθος που συναντάται κατά τον υπολογισμό της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της γης σε μια δεδομένη θέση σε μια δεδομένη ημέρα είναι η μάζα αερίου (MA) [5]. Η μάζα αερίου ορίζεται ως ο λόγος της ατμοσφαιρικής διαδρομής x της άμεσης ακτινοβολίας για να φθάσει σε μια ορισμένη θέση προς το πάχος d της ατμόσφαιρας στην εν λόγω θέση. Υποθέτοντας ότι δεν υπάρχει εξασθένηση πριν από την είσοδο στην ατμόσφαιρα, η μάζα αερίου εκτός της ατμόσφαιρας είναι MA 0 και εκφράζεται ως MA 1 όταν η ακτινοβολία πέφτει κατακόρυφα ($x/d = 1$) και MA $1/\cos(90-\gamma_s)$ όταν η ακτινοβολία πέφτει υπό γωνία γ_s . Το MA 1,5 είναι ένα τυπικό ηλιακό φάσμα στην επιφάνεια της γης υπό καθαρό ουρανό και χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό των ηλιακών συλλεκτών. Με άλλα λόγια, ο όρος μάζα γάμμα χαρακτηρίζεται επίσης από τη γωνία πρόσπτωσης του άμεσου ηλιακού φωτός στη θέση. Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει πώς σχηματίζεται το φάσμα έντασης I ενός μέλανος σώματος με θερμοκρασία T = 5800 K εκτός της γήινης ατμόσφαιρας στην MA 0 και πώς καταλήγει στην επιφάνεια της Γης σε μια θέση στην MA 1,5.



Σχήμα 3. 23. Το φάσμα ακτινοβολίας μέλαν σώματος θερμοκρασίας $T=5800\text{K}$ ως προς την απόσταση Ήλιου-Γης, η διαμόρφωσή του έξω απ' την γήινη ατμόσφαιρα MA 0, και στην επιφάνεια της γης σε τόπο με MA 1.5 [5].

Στο Σχήμα 3.23 παρατηρούμε την εξασθένηση της ηλιακής ακτινοβολίας (δεδομένου ότι η θερμοκρασία της επιφάνειας του Ήλιου είναι 5777K) από τη διαδρομή και τα μόρια που την απορροφούν στη θέση MA1.5 (το MA 1.5 θεωρείται το παγκόσμιο ηλιακό φάσμα αναφοράς για τη δοκιμή συσκευών και εξαρτημάτων). Το φως μικρού μήκους κύματος ($\lambda < 0,29\ \mu\text{m}$) απορροφάται από το όζον, αλλά είναι επίσης γνωστό ότι απορροφάται από το N₂ και το O₂. Από το Σχήμα 3.23 φαίνεται επίσης ότι το ποσό της έντασης της ακτινοβολίας σε μεγάλα μήκη κύματος ($2,5\ \mu\text{m} < \lambda$) είναι μικρότερο από 5%.

Από την άλλη πλευρά, το φάσμα στα μήκη κύματος μεταξύ $0,29\ \mu\text{m}$ και $2,5\ \mu\text{m}$ αντιπροσωπεύει την πλειονότητα της ηλιακής ακτινοβολίας και είναι σχετικό για φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα φωτοβολταϊκά υλικά είναι ευαίσθητα σε μήκη κύματος έως και $0,8\ \mu\text{m}$ για το άμορφο πυρίτιο και $1,35\ \mu\text{m}$ για άλλα υλικά.

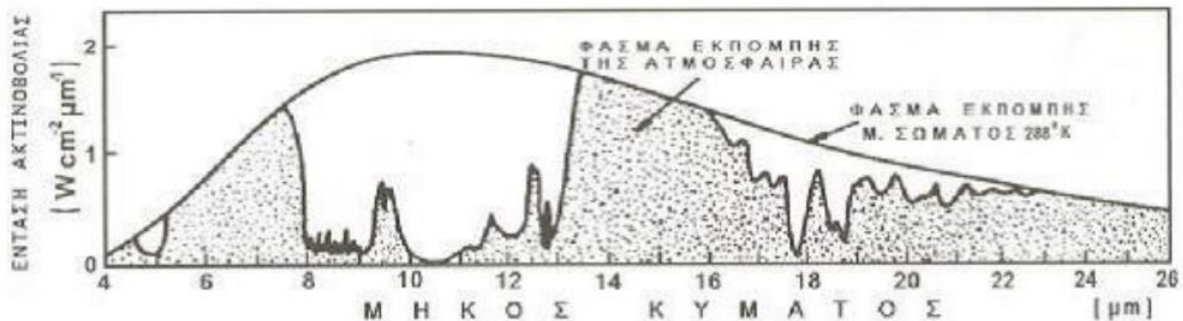
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η Γη ακτινοβολεί επίσης και το μήκος κύματός της είναι μεγαλύτερο από το μήκος κύματος στο οποίο δέχεται ακτινοβολία από τον Ήλιο. Με άλλα λόγια, η Γη είναι ένα είδος "μέλαν σώματος" και η συνολική ενέργεια της ακτινοβολίας που εκπέμπει η Γη είναι ανάλογη του νόμου του Boltzmann, δηλαδή της τέταρτης δύναμης της θερμοκρασίας [5].

$$E = \sigma \cdot T^4$$

Η χαρακτηριστική φασματική εκπομπή δίνει την ένταση της ακτινοβολίας "μέλανος σώματος" σε θερμοκρασία $T = 288\text{K}$, με τη μέγιστη ένταση να παρατηρείται στο μήκος κύματος $\lambda = 10\ \mu\text{m}$ και το μήκος κύματος λ_{max} να αντιστοιχεί στη μέγιστη ένταση που προβλέπει ο νόμος του Wien [5].

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = 2,9 \cdot 10^{-3} \cdot m \cdot K$$

Ωστόσο, καθώς η Γη είναι ένας πλανήτης με ατμόσφαιρα, δεν εκπέμπεται όλη η ακτινοβολία και κάποια απορροφάται, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.24 [5]. Η ακτινοβολία απορροφάται κυρίως από τους υδρατμούς σε μήκη κύματος μεταξύ 5 μm και 7,5 μm και σε μήκη κύματος $\lambda > 14$ μm. Το CO₂ που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα απορροφάται στα $\lambda = 4$ μm και $\lambda = 15$ μm, το CH₄ και το N₂O στα $\lambda = 8$ μm. Δύο κορυφές στα $\lambda = 9,5$ μm παράγονται από το O₂ και το O₂. Το SF₆ απορροφά πολύ έντονα τα φωτόνια στο μήκος κύματος $\lambda = 10,5$ μm.



Σχήμα 3. 24. Σύγκριση του φάσματος ακτινοβολίας μέλανος σώματος θερμοκρασίας 288K και του φάσματος ακτινοβολίας της γήινης ατμόσφαιρας [5].

Ωστόσο, το SF₆ είναι ένα τεχνητό αέριο που δημιουργήθηκε τις τελευταίες δεκαετίες και η συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα δεν είναι αρκετά υψηλή ώστε να δημιουργεί κορυφές στο φάσμα της ατμοσφαιρικής εκπομπής. Το 15-30% της ακτινοβολίας διαφεύγει μέσω του χάσματος μεταξύ των μηκών κύματος $\lambda = 8$ μm και $\lambda = 13$ μm, γνωστό ως "ατμοσφαιρικό παράθυρο", ενώ το υπόλοιπο παραμένει στη ατμόσφαιρα.

3.10 Ανίχνευση και μέτρηση παραπροϊόντων SF₆

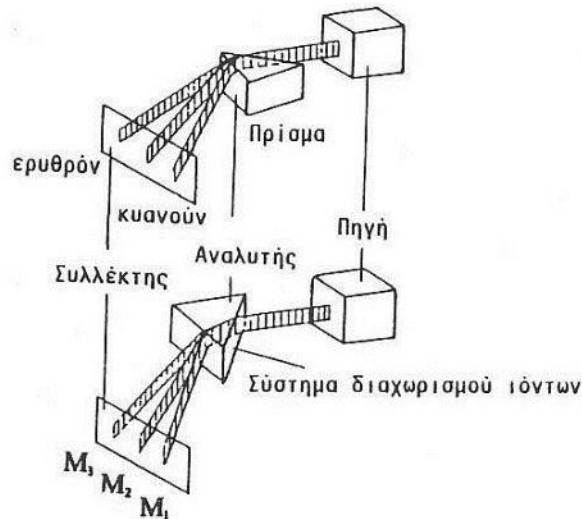
Τα αέρια προϊόντα αποσύνθεσης του SF₆ όταν διαρρέυσουν στο χώρο εντοπίζονται χαρακτηριστικά και σε μικρές περιεκτικότητες. Μικρές συγκεντρώσεις αυτών των αερίων μπορεί να προκαλέσουν δυσάρεστες οσμές, ενόχληση στη μύτη και τα μάτια και συμπτώματα δηλητηρίασης μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα. Όταν χειρίζεστε το χρησιμοποιημένο SF₆, προσέξτε να μην εισπνεύσετε τα αέρια και βεβαιωθείτε ότι η περιοχή αερίζεται καλά.

3.10.1 Ανίχνευση μικρών περιεκτικότητας του SF₆

Η ανίχνευση διαρροών είναι χρήσιμη σε κλειστούς και καλυμμένους χώρους όπου χρησιμοποιείται πολύ SF₆, επειδή βοηθά στην προστασία των εργαζομένων από την έκθεσή τους σε υποπροϊόντα και βοηθά στον έλεγχο της στεγανότητας του εξοπλισμού. Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις μιγμάτων, δεν είναι αρκετό να εξετάζεται η συνολική πίεση αλλά πρέπει να γνωρίζουμε τα επιμέρους συστατικά και την συμπεριφορά τους. Τρόποι ανίχνευσης αναφέρονται παρακάτω.

3.10.2 Ανίχνευση με τετραπολικό φασματογράφο μάζας

Ο τετραπολικός φασματογράφος μάζας χρησιμοποιείται για να αναλύουμε τις επιμέρους πιέσεις των συστατικών ενός αερίου. Μπορεί να εντοπίσει ουσίες ως και 1 ppm. Το τετραπολικό φασματόμετρο μάζας είναι μια συσκευή που χρησιμοποιεί φασματομετρία μάζας για να ανιχνεύσει ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια. Αυτό είναι παρόμοιο με το πώς λειτουργεί η οπτική φασματοσκοπία, καθώς το φως αναλύεται στα επιμέρους μέρη του και αναλύεται. Με ένα τετραπολικό φασματόμετρο μάζας, τα ιόντα δημιουργούνται από μια πηγή και στη συνέχεια ταξιδεύουν μέσω ενός συστήματος που τα χωρίζει με βάση τη μάζα και το φορτίο τους [5,6,7].



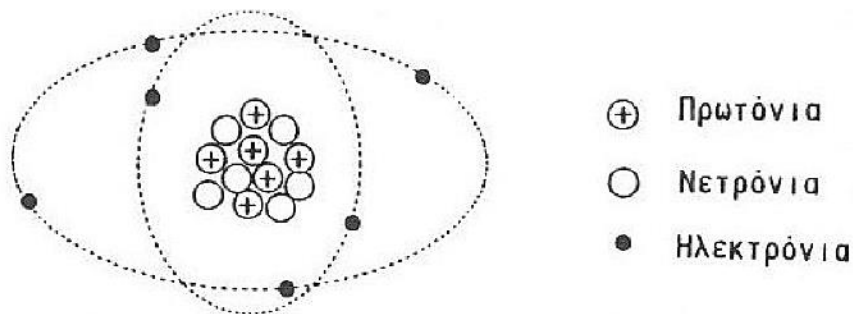
Σχήμα 3. 25. Σύγκριση της οπτικής φασματομετρίας με την φασματομετρία μαζών, (Πάνω σχήμα: πρίσμα διαχωρισμού δέσμης φωτός, Κάτω σχήμα: σύστημα διαχωρισμού ιόντων) [5,6,7].

3.10.2.1 Αρχή λειτουργίας των τετραπολικών φίλτρων

Το προς ανάλυση αέριο μείγμα εισάγεται στο θάλαμο σε πίεση μικρότερη από 10⁻⁵ mbar και κατευθύνεται σε πηγή ιόντων. Αυτή η πηγή ιόντων μετατρέπει τα ουδέτερα μόρια του αερίου μείγματος σε ιόντα. Τα φορτισμένα ιόντα μπορούν να εκτραπούν και να διαχωριστούν με ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. Λόγω του συγκεκριμένου συνδυασμού ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων, η διαδρομή των ιόντων εξαρτάται από τον λόγο μάζας/φορτίου τους (m/e), επιτρέποντάς τους να περάσουν από ένα φίλτρο και να ανιχνευθούν. Τα υπόλοιπα ιόντα που δεν περνούν από το φίλτρο εξουδετερώνονται. Η ανίχνευση των ιόντων οφείλεται στο ρεύμα που δημιουργούνται από αυτά. Όπως φαίνεται από την παραπάνω ανάλυση, τα μέρη ενός τετραπολικού φασματόμετρου μάζας που θα αναλυθούν στη συνέχεια είναι: η πηγή ιόντων, το τετραπολικό φίλτρο μάζας και ο ανιχνευτής ιόντων.

Η πηγή ιόντων λειτουργεί χρησιμοποιώντας τις αρχές της ατομικής θεωρίας. Κάθε άτομο έχει έναν πυρήνα και γύρω από τον πυρήνα υπάρχουν ηλεκτρόνια. Το μέγεθος των σωματιδίων στα άτομα είναι πολύ μικρό, επομένως χρησιμοποιούμε τον αριθμό ατομικής μάζας για να μετρήσουμε τη μάζα των ατόμων. Ο ατομικός μαζικός αριθμός είναι: $1 \text{ amu} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

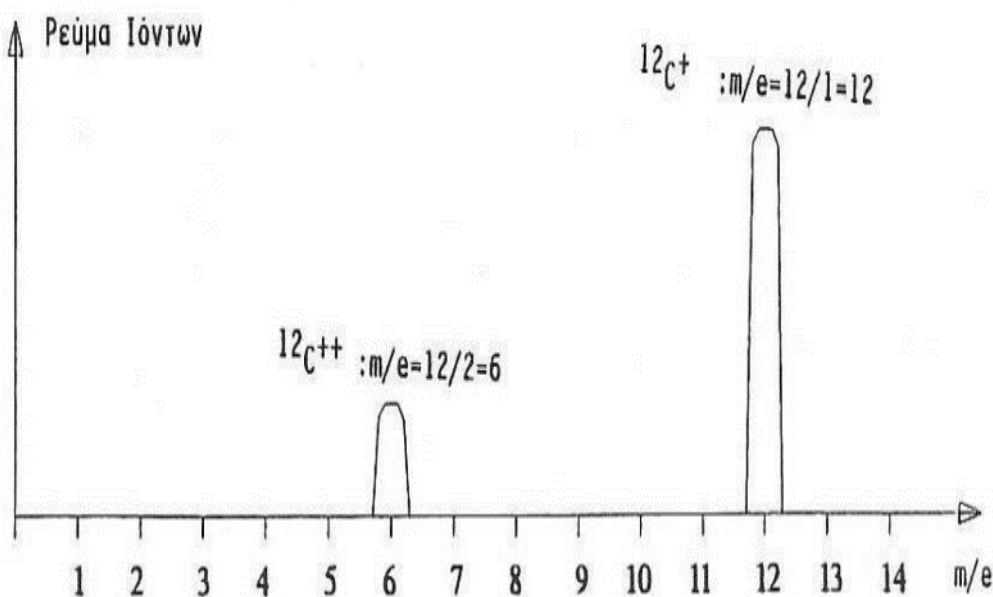
Ο πυρήνας ενός ατόμου περιέχει πρωτόνια (θετικά φορτισμένα σωματίδια) και νετρόνια (ουδέτερα σωματίδια). Ο αριθμός των πρωτονίων σε ένα άτομο ονομάζεται ατομικός του αριθμός και είναι ίσος με τον αριθμό των ηλεκτρονίων που περιφέρονται γύρω από τον πυρήνα. Το άτομο είναι ηλεκτρικά ουδέτερο, αφού τα νετρόνια στον πυρήνα δεν έχουν ηλεκτρικό φορτίο. Ο αριθμός των πρωτονίων και των νετρονίων σε ένα άτομο ονομάζεται μαζικός αριθμός του. Διαφορετικά άτομα του ίδιου στοιχείου μπορεί να έχουν διαφορετικούς αριθμούς νετρονίων και αυτά τα άτομα ονομάζονται ισότοπα. Τα στοιχεία που έχουν ισότοπα ονομάζονται μικτά στοιχεία, ενώ αυτά που δεν έχουν ισότοπα ονομάζονται απλά στοιχεία. Στο Σχήμα 3.26 φαίνεται το άτομο του άνθρακα σε απλοποιημένη μορφή [5,6,7].



Σχήμα 3. 26. Απλοποιημένη μορφή του ατόμου του άνθρακα ¹²C .

Όλα τα αέρια στη φύση αποτελούνται από δύο ή περισσότερα άτομα. Ορισμένα αέρια, όπως το οξυγόνο, έχουν άτομα οξυγόνου με δύο πρωτόνια μέσα τους. Άλλα αέρια, όπως το άζωτο, έχουν άτομα αζώτου με ένα πρωτόνιο μέσα τους. Τα ευγενή αέρια είναι ιδιαίτερα επειδή αποτελούνται από ένα άτομο, που ονομάζεται άτομο ηλίου. Όταν ένα άτομο ή μόριο βομβαρδίζεται με ηλεκτρόνια, ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια μπορεί να εγκαταλείψουν το ατομικό ή μοριακό σύστημα και να σχηματίσουν φορτισμένα ιόντα. Ωστόσο, τα ιόντα αυτά δεν είναι πλέον ηλεκτρικά ουδέτερα και μπορούν να εκτραπούν και να ανιχνευθούν από ηλεκτρικά ή μαγνητικά πεδία.

Στο παράδειγμα του ατόμου του άνθρακα όταν αυτό χάσει ένα ηλεκτρόνιο εμφανίζεται στη θέση 12, ενώ όταν έχει χάσει δύο ηλεκτρόνια πέφτει στη θέση 6 της κλίμακας m/e όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.27 [5,6].

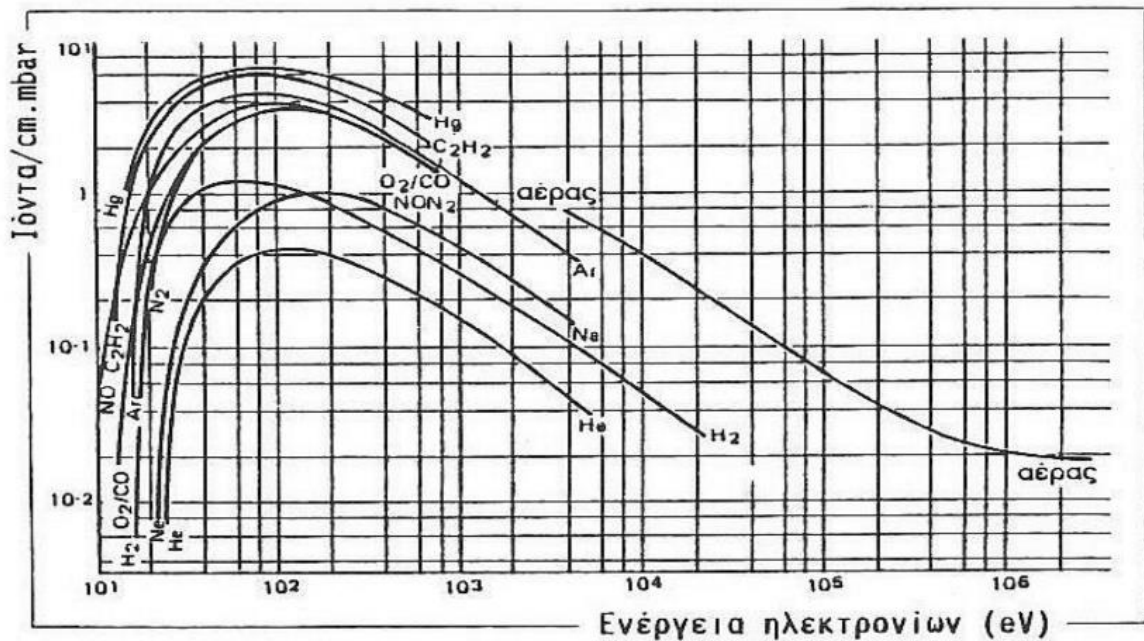


Σχήμα 3. 27. Το ρεύμα ιόντων στη κλίμακα m/e (στην θέση 6 και 12 για τα ιόντα ¹²C⁺ και ¹²C⁺⁺) [5,6].

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, το ρεύμα των ιόντων ¹²C⁺ και ¹²C⁺⁺ δεν εμφανίζεται ταυτόχρονα αλλά σε διαφορετικές θέσεις [5] . Τα μόρια με πιο πολύπλοκες δομές τείνουν να έχουν περισσότερα ιονισμένα άτομα (δηλαδή άτομα που έχουν χάσει ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια). Αυτό σημαίνει ότι οι βάσεις δεδομένων που έχουν σχεδιαστεί για την ερμηνεία τέτοιων αποτελεσμάτων μπορεί να είναι πιο ακριβείς. Είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί ότι οι κρούσεις των ηλεκτρονίων μπορεί να οδηγήσουν σε διάσπαση του μορίου, δηλαδή να προκύψουν τα άτομα απ' τα οποία έχει συντεθεί.

Η ενέργεια των προσπίπτων ηλεκτρονίων επηρεάζει την ποσότητα και τον τύπο των ιόντων που σχηματίζονται. Τα ιόντα δημιουργούνται σε ενέργειες γύρω στα 50 eV, αλλά τα πιο ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Χρονάκης Χρυσοβαλάντης

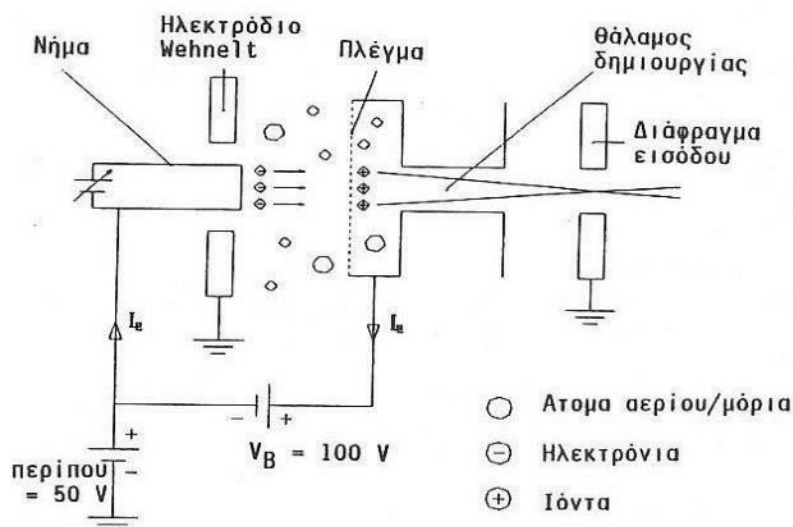
αποτελεσματικά ιόντα δημιουργούνται στα 100 eV περίπου. Στο παρακάτω διάγραμμα, μπορείτε να δείτε τον «διαφορικό ιονισμό» και είναι εμφανές πως ηλεκτρόνιο ενέργειας 100 eV παράγει πολύ περισσότερα ιόντα από ηλεκτρόνια άλλων ενεργειών [5,6,7]. Ο αριθμός των παραγομένων ιόντων, διαφόρων αερίων σε συνάρτηση με την ενέργεια των προσπιπτόντων ηλεκτρονίων, παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.28.



Σχήμα 3. 28. Ο αριθμός των παραγομένων ιόντων, διαφόρων αερίων σε συνάρτηση με την ενέργεια των προσπιπτόντων ηλεκτρονίων [5,6,7].

3.10.2.2 Πηγή ιόντων

Η λειτουργία της πηγής ιόντων καθώς και η περιγραφή της διαδικασίας ιονισμού, παρουσιάζεται στο Σχήματος 3.29.



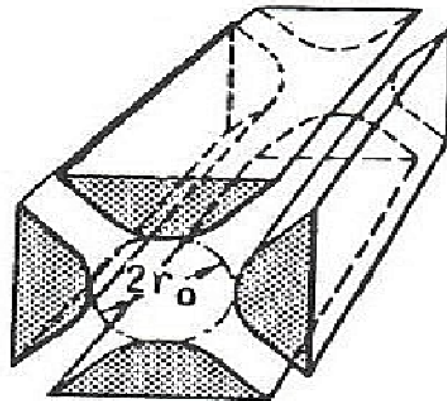
Σχήμα 3. 29. Διάταξη λειτουργίας ιοντικής πηγής αξονικής δέσμης [5,6,7].

Το νήμα θερμαίνεται και εκπέμπει ηλεκτρόνια. Αυτά τα ηλεκτρόνια στη συνέχεια κατευθύνονται από το ηλεκτρόδιο Wehnelt και δημιουργούν ένα ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ του νήματος και του πλέγματος. Αυτό το ηλεκτρικό πεδίο δίνει στα ηλεκτρόνια πολλή ενέργεια, η οποία τα αναγκάζει να πέσουν στα μόρια και τα άτομα του αερίου. Αυτό δημιουργεί ιόντα. Τα ηλεκτρόνια εκπέμπονται από το δίκτυο και ταξιδεύουν στην πηγή, V_B. Στη συνέχεια οδηγούνται στο νήμα, κλείνοντας το ηλεκτρικό κύκλωμα. Θετικά ιόντα εκτοξεύονται επίσης

από το πλέγμα, το οποίο δημιουργεί ένα ηλεκτρικό πεδίο που κατευθύνεται προς τον θάλαμο παραγωγής και το διάφραγμα εισόδου [5,6,7].

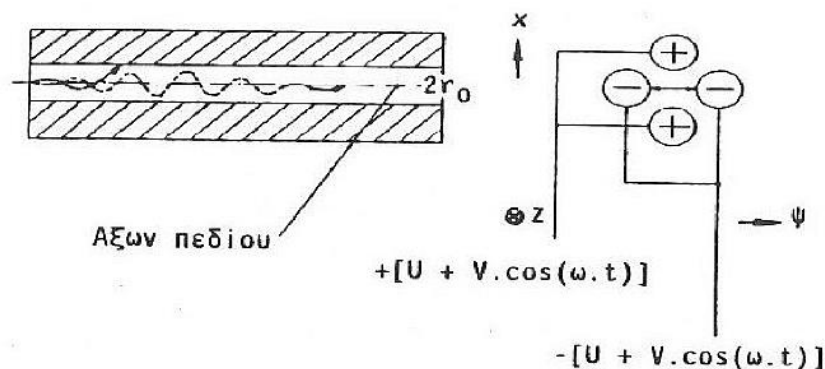
3.10.2.3 Τετραπολικό φίλτρο μαζών

Ο διαχωρισμός των ιόντων βασίζεται στη χημική τους σύνθεση. Συγκεκριμένα, τα ιόντα διαχωρίζονται με βάση την αναλογία μάζας προς ηλεκτρική ενέργεια (m/e). Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας είτε μαγνητικό είτε ηλεκτρικό πεδίο. Για τη μέτρηση της μερικής πίεσης χρησιμοποιείται ηλεκτρικό εναλλασσόμενο πεδίο της μορφής $V \cos(\omega t)$ με συχνότητες κυρίως στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων (RF). Το ηλεκτρικό πεδίο δημιουργείται από τέσσερα ηλεκτρόδια (ράβδους) που τοποθετούνται σε σταθερή ελάχιστη απόσταση, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.30.



Σχήμα 3. 30. Η γεωμετρική μορφή του τετραπολικού φίλτρου μαζών [5,6,7].

Στο Σχήμα 3.31 παρουσιάζεται η συνδεσμολογία των ράβδων, η εναλλασσόμενη τάση $V \cdot \cos(\omega t)$ που υπερτίθεται στη συνεχή τάση U και η αξονική πορεία των ιόντων [5,6,7]. Με καθορισμένες τις παραμέτρους V , U , ω και r_0 μόνο τα ιόντα με καθορισμένο λόγο μάζα/φορτίο (m/e) μπορούν να περάσουν το φίλτρο μαζών [5,6,7]. Όλα τα υπόλοιπα ιόντα οδηγούνται εκτός πορείας του άξονα του πεδίου αφού εμφανίζουν αυξανόμενο εύρος ταλάντωσης, προσκρούουν πάνω στις ράβδους, αποφορτίζονται και δεν συλλέγονται στην έξοδο [5,6,7]. Λόγω αυτής της συμπεριφοράς των ιόντων στο εσωτερικό του τετραπόλου συχνά αναφέρονται και «φίλτρα μαζών» [5,6,7].

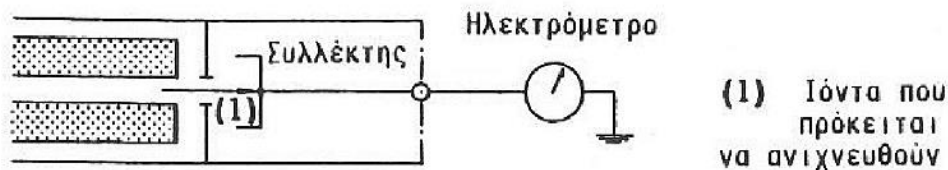


Σχήμα 3. 31. Κίνηση των ιόντων μέσα σε ένα τετράπολο [5,6,7].

3.10.2.4 Ανιχνευτής - συλλέκτης ιόντων Faraday

Ο συλλέκτης ανιχνεύει ιόντα με αναλογία μάζας/φόρτισης που διέρχεται από αυτόν. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας την αρχή Faraday, η οποία φαίνεται στο Σχήμα 3.32 [5,6,7].

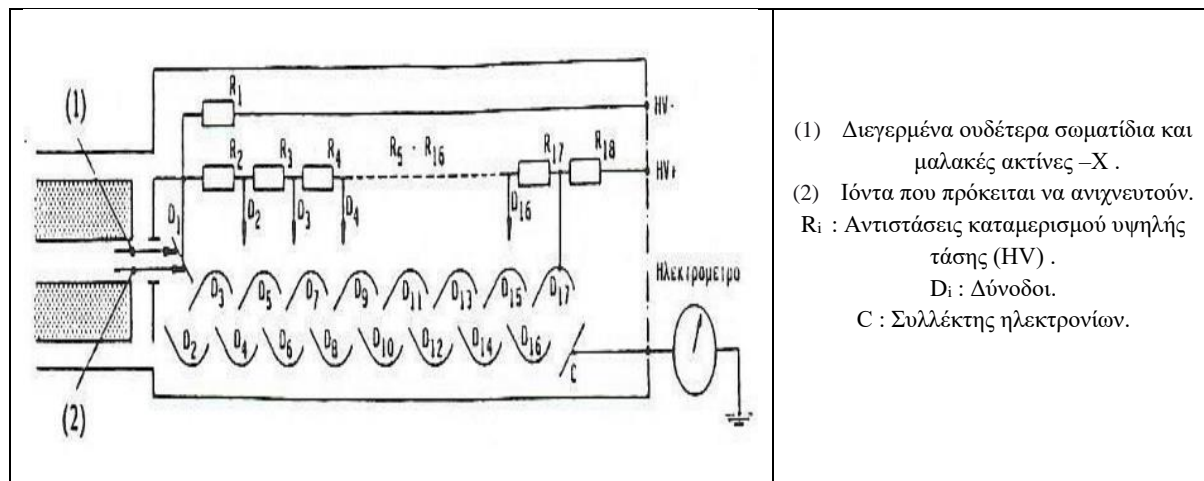
**Τετραπολικό
φίλτρο μαζών**



(1) Ιόντα που πρόκειται να ανιχνευθούν

Σχήμα 3. 32. Συλλέκτης τύπου Faraday [5,6,7].

Ο συλλέκτης Faraday είναι ένας τύπος συλλέκτη που έχει μικρό ποσοστό συστηματικών σφαλμάτων και βασίζεται στην αρχή λειτουργίας του να μετατρέπει το φορτίο σε ιονικό ρεύμα. Το ιονικό ρεύμα μετατρέπεται σε ευαίσθητο ρεύμα/τάση και στη συνέχεια διαβάζουμε την ένδειξη ως μερική πίεση [5,6,7]. Όταν το ιονικό ρεύμα είναι αρκετά ασθενές χρησιμοποιείται μια πρόσθετη συσκευή ενίσχυσης, ο SEM (Δευτερεύων Πολλαπλασιαστής ηλεκτρονίων) [5,6,7]. Σε αυτή τη διάταξη, τα ιόντα που θα περάσουν μέσα από το φίλτρο επιταχύνονται ξανά από ένα υψηλότερο δυναμικό και ανακλώνται διαδοχικά σε ένα σύστημα δυνόδων [5,6,7]. Έτσι το σήμα ανίχνευσης προέρχεται πλέον από ηλεκτρόνια και όχι από ιόντα [5,6,7].



(1) Διεγερμένα ουδέτερα σωματίδια και μαλακές ακτίνες -X .
 (2) Ιόντα που πρόκειται να ανιχνευτούν.
 R_i : Αντιστάσεις καταμερισμού υψηλής τάσης (HV) .
 D_i : Δύνοδοι.
 C : Συλλέκτης ηλεκτρονίων.

Σχήμα 3. 33. Αρχή λειτουργίας αξονικού SEM [5,6,7].

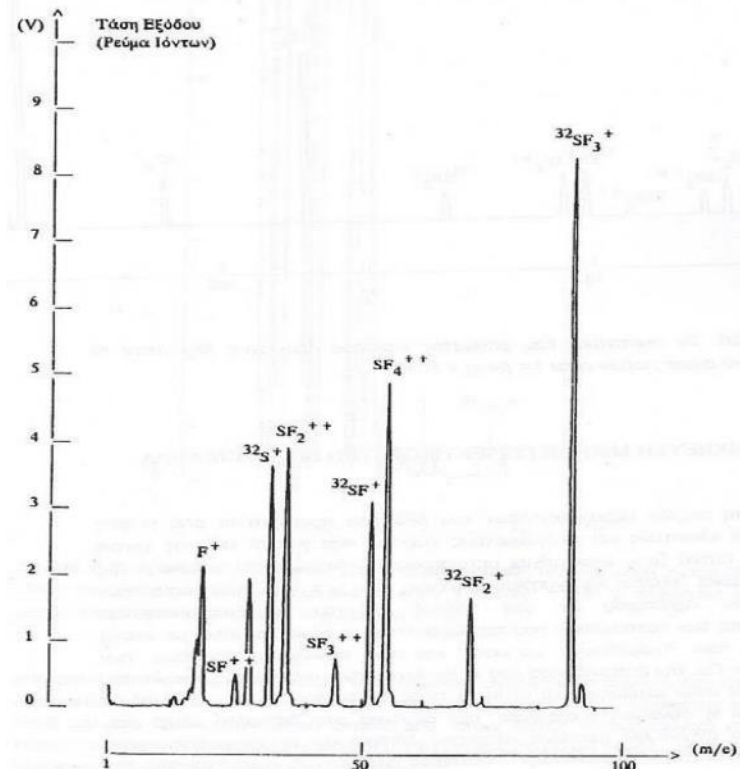
3.10.2.5 Η μελέτη του καθαρού και ξηρού SF₆ με την χρήση του τετραπολικού φασματογράφου μαζών

Το SF₆ είναι ένα αέριο που χρησιμοποιείται σε πολλά τεχνολογικά επιτεύγματα επειδή είναι ένα εξαιρετικό μονωτικό υλικό και σε άλλες εφαρμογές επίσης. Είναι χημικά αδρανές, αλλά η δραστηριότητά του είναι χαμηλότερη από άλλα στοιχεία και ενώσεις. Η χρήση του SF₆ μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή άλλων χημικών ουσιών (παραπροϊόντα). Μας ενδιαφέρει να ανιχνεύσουμε αυτές τις χημικές ουσίες και άλλα υποπροϊόντα που μπορεί να δημιουργηθούν όταν διαρρέει SF₆ ή χρησιμοποιείται σε συσκευές [5,6,7].

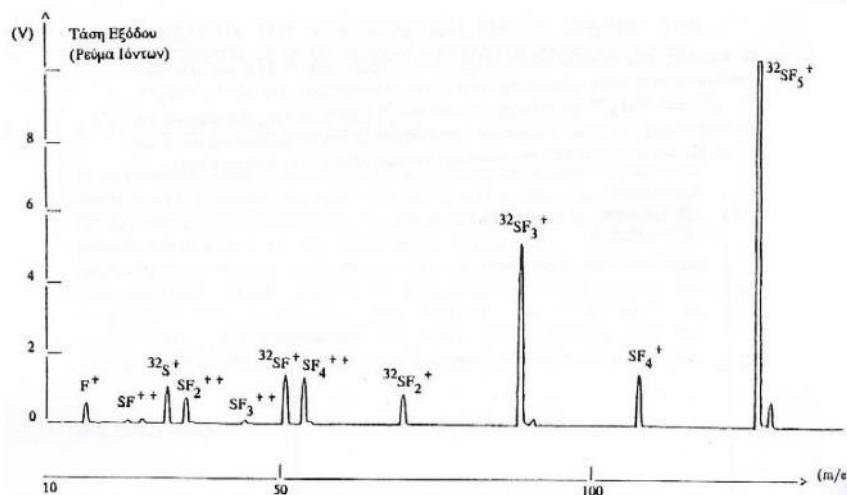
3.10.2.6 Φάσμα μαζών καθαρού και ξηρού SF₆

Εξετάζοντας σε τετραπολικό φασματογράφο μάζας δείγματα αμεταχείριστου SF₆, μπορούν να γίνουν μετρήσεις των συνιστωσών των ιοντικών ρευμάτων και να δημιουργηθούν τα διαγράμματα των παρακάτω σχημάτων [5,6,7]. Χρησιμοποιείται ένα σύστημα κενού συνολικής πίεσης 10⁻⁸ mbar που αποτελείται από έναν χαλύβδινο κώδωνα και με αντλία που διαθέτει αντλητική ικανότητα 500 l/sec [5,6,7]. Έτσι το SF₆ εισάγεται με σταθερό ρυθμό 4ccm/min και με διαφορικό σύστημα πίεσης έτσι ώστε να αποκλειστεί το ενδεχόμενο του διαχωρισμού των μαζών, λαμβάνονται οι μετρήσεις των συνιστωσών των ιοντικών ρευμάτων

με τη βοήθεια ενός φασματογράφου με την κλασική κλίμακα μαζών 1-100 m/e ο οποίος διαθέτει πηγή ιόντων αξονικής δέσμης, τετραπολικό σύστημα ράβδων, και δευτερογενή πολλαπλασιαστή ηλεκτρονίων SEM [5,6,7]. Η ενέργεια ιονισμού είναι 100 eV και το ρεύμα εκπομπής 1 mA. Επαναλαμβάνεται η διαδικασία για κλίμακα μαζών 10-300 m/e [5,6,7].



Σχήμα 3. 34. Συνιστώσες ιοντικών ρευμάτων σε αέριο SF₆ για εύρος m/e 1 έως 100 [5,6,7].



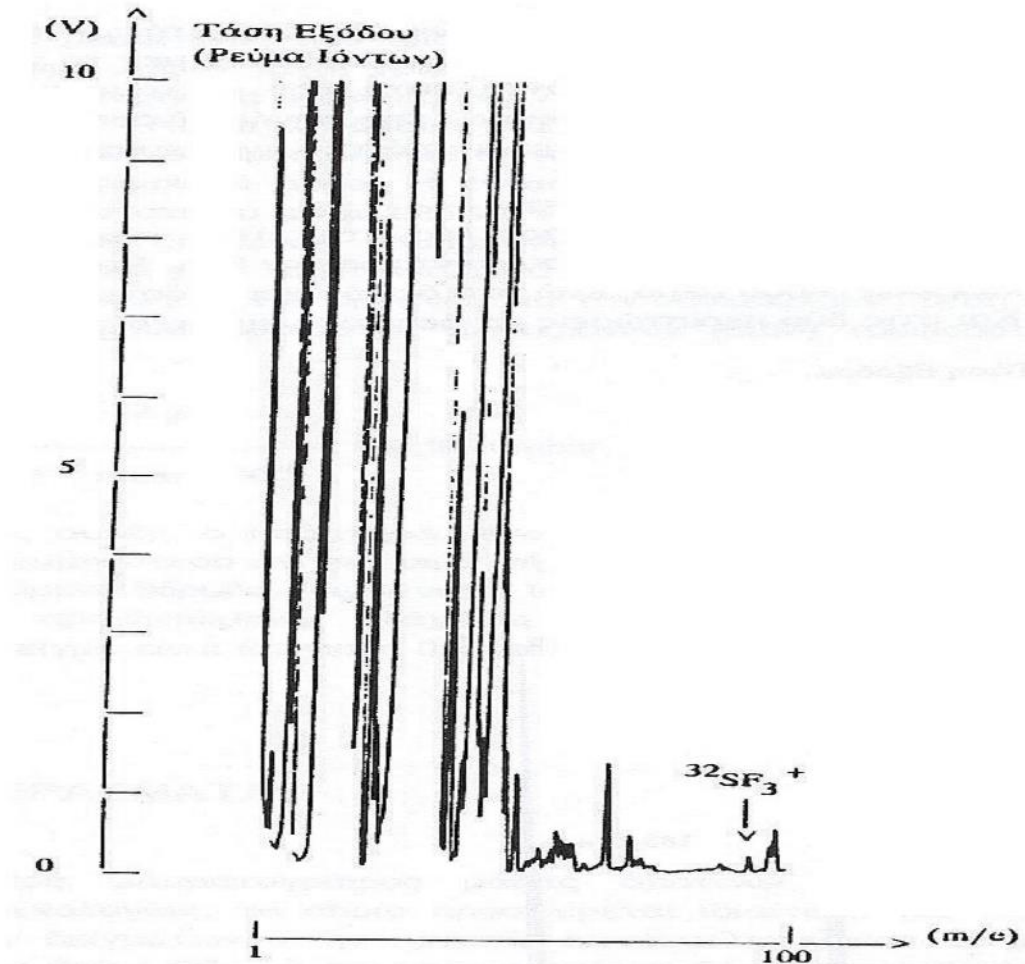
Σχήμα 3. 35. Συνιστώσες ιοντικών ρευμάτων του φάσματος αερίου SF₆ για εύρος m/e 10 έως 300 [5,6,7].

3.10.2.7 Ανίχνευση μικρών περιεκτικότητας SF₆ στον αέρα

Τα ηλεκτρικά εξαρτήματα και οι συσκευές σε στεγασμένους χώρους, όπως μετασχηματιστές, υποσταθμοί GIS, και άλλα, απαιτούν πολύ καλές μονωτικές ιδιότητες, επομένως η χρήση SF₆ σε τέτοιο εξοπλισμό αποτελεί τον κανόνα στην ηλεκτρική βιομηχανία. Αυτά τα εξαρτήματα πρέπει να ελέγχονται περιοδικά για να βεβαιωθείτε ότι δεν υπάρχουν διαρροές αερίου. Ο έλεγχος αυτός γίνεται περιοδικά σε δείγμα ξηρού αέρα του περιβάλλοντος χώρου.

Στο Σχήμα 3.36 παρουσιάζεται το φάσμα ενός δείγματος σε εύρος κλίμακας μαζών m/e 1 έως 100, στο οποίο παρατηρούμε στις θέσεις της κλίμακας m/e στα αριστερά, κάποιες κορυφές ιοντικών ρευμάτων οι οποίες χαρακτηρίζονται ως θόρυβος που προέρχεται από διάφορους παράγοντες, όπως είναι ο ηλεκτρονικός θόρυβος, η σκέδαση ιόντων από τις ακαθαρσίες του

αέρα, συνεπώς δεν είναι εφικτό να εντοπιστούν διαρροές σε αυτές τις θέσεις. Προχωρώντας δεξιότερα στο φάσμα, στη θέση $m/e=89$ υπάρχει η κορυφή του ιοντικού ρεύματος του SF₃⁺, όπου δεν παρατηρείται κορυφή σε καθαρό δείγμα αέρα και στις θέσεις $m/e=92,5$ και $m/e=93,5$ καταγράφονται οι κορυφές των ιόντων ρηνίου από το νήμα εκπομπής ιόντων. Παρατηρώντας προσεκτικά κι ελέγχοντας την ύπαρξη κορυφής στη θέση $m/e=89$ προκύπτει εάν είναι υπαρκτή διαρροή αερίου SF₆ στις εγκαταστάσεις. Στην συστηματική μελέτη αερίων δειγμάτων, μία ενδεδειγμένη και αξιόπιστη λύση είναι ο τετραπολικός φασματογράφος μάζας [5,6,7].



Σχήμα 3. 36. Ανάλυση δείγματος ξηρού αέρα σε κλειστό χώρο που υπάρχει SF₆ [5,6,7].

3.11 Υποκατάσταση ή περιορισμός χρησιμοποίησης φθοριούχων αερίων θερμοκηπίου

Είναι εύκολα αντιληπτό ότι μέσα από εκτεταμένες ερευνητικές προσπάθειες, έχουν προκύψει διάφορες τεχνολογίες υποκατάστασης ή περιορισμού της χρήσης φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου.

Για τα μίγματα υπερφθορανθράκων (CF₄, C₃F₈, and c-C₄F₈) με N₂ ή CO₂ που χρησιμοποιούνται με μεγαλύτερη συχνότητα, ισχύει ότι αυτά με Άζωτο (N₂) παρουσιάζουν καλύτερη συμπεριφορά όσον αφορά την τάση διάσπασης, ενώ τα αντίστοιχα μίγματα με CO₂ παρουσιάζουν καλύτερη συμπεριφορά κατά την εκδήλωση μερικών εκκενώσεων. Επιπροσθέτως, σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και προκειμένου να αποφευχθεί μείωση της διηλεκτρικής αντοχής του SF₆ λόγω ανεπιθύμητης υγροποίησης χρησιμοποιείται Αέριο SF₆ σε μείγμα με N₂ ή CF₄. Η υποκατάσταση του SF₆ σε διακόπτες μπορεί να γίνει μερικώς με χρήση μείγματος SF₆ με N₂ (άζωτο) ή πλήρως με χρήση αερίου

CO₂, για κάποιες κατηγορίες εξοπλισμού. Τα αέρια που χρησιμοποιούνται συνηθέστερα σε μίγμα με SF₆ σε εξοπλισμό Υ.Τ. για τον περιορισμό των περιβαλλοντικών του επιπτώσεων, είναι το Άζωτο (N₂) και ο Τετραφθοριούχος άνθρακας (CF₄). Μίγμα αερίων που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο του SF₆ σε ένα διακόπτη είναι το Φθοριούχο σουλφουρύλιο (SO₂F₂) σε διάφορες συγκεντρώσεις μιγμάτων με CO₂.

3.11.1 Μερική υποκατάσταση

Ειδικότερα για το Άζωτο (N₂) όπου χρησιμοποιείται σε μίγμα με SF₆ σε εξοπλισμό υψηλής τάσης, κατά το πρότυπο IEC60376 προβλέπονται οι παρακάτω απαιτήσεις:

- Να έχει καθαρότητα μεγαλύτερη από 99.7% κατ' όγκο
- Η περιεκτικότητά του σε υγρασία να μην ξεπερνά τα 200 ppmv

Η ανάμιξη του SF₆ με άζωτο σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να δώσει συγκρίσιμη διηλεκτρική αντοχή με το καθαρό SF₆.

Συγκριτικά, μπορούμε να σημειώσουμε ότι, τα μείγματα SF₆ με Άζωτο (N₂) σε διακόπτες εμφανίζουν υψηλότερη διηλεκτρική αντοχή σε σχέση τα μείγματα SF₆ με Τετραφθοριούχος άνθρακας (CF₄).

3.11.2 Πλήρης υποκατάσταση

Η χρήση CO₂ μπορεί να υποκαταστήσει την χρήση SF₆ σε κάποιες εφαρμογές διακοπών υψηλής τάσης μέχρι 145 kV.

3.11.3 Νέα αέρια υποκατάστασης του SF₆ σε εξοπλισμό υψηλής τάσης

Υποσχόμενα νέα αέρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποκατάστατα του SF₆ σε εξοπλισμό υψηλής τάσης είναι :

- Μίγμα Φθοροκετόνης C₅F₁₀₀ με διοξείδιο του άνθρακα και οξυγόνο
- Επταφθορο-ισο-βουτυρονιτρίλιο (CF₃)₂-CF-CN σε διάφορες συγκεντρώσεις μιγμάτων με CO₂. Η εμπορική του ονομασία είναι g³.

3.12 Διαδικασίες διαχείρισης και ασφάλειας χειρισμού αερίου SF₆ και αερίων υποκατάστασης

3.12.1 Κατά τη χρήση

Η λειτουργία διακοπών που περιέχουν SF₆ μπορεί να είναι για την υγεία των χειριστών, εν δυνάμει επιβλαβής, διότι δημιουργούνται τοξικά παράγωγα προϊόντα η συγκέντρωση των οποίων εξαρτάται κυρίως από τον αριθμό των σφαλμάτων που διακόπτονται, λόγω της σβέσης τόξων υψηλής ενέργειας.

Η χρήση αναπνευστικών συσκευών είναι υποχρεωτική για εργασίες χειρισμού εξοπλισμού SF₆.

Η χρήση αναπνευστήρα με κάλυψη πλήρης όψης συνιστάται στην περίπτωση μιας μικρής χρονικής διάρκειας επιθεώρησης ανεξαρτήτου της συγκέντρωσης των παραπροϊόντων SF₆.

Στην περίπτωση τυχαίας έκλυσης SF₆ :

- Εκκενώνεται ο χώρος.
- Κατά την είσοδο στην περιοχή χρησιμοποιείται ανεξάρτητη από το περιβάλλον αναπνευστική συσκευή, σε περίπτωση που δεν διασφαλίζεται η μη επικινδυνότητα της ατμόσφαιρας του χώρου.

- Αποφεύγετε την είσοδο στην αποχέτευση, σε υπόγεια, λάκκους ή σε άλλους χώρους όπου η συγκέντρωση θα μπορούσε να γίνει επικίνδυνη.

Ένα μείγμα 20% οξυγόνου και 80% SF₆ μπορεί να εισπνευστεί χωρίς καμία δυσμενή επίδραση. Αλλά συγκεντρώσεις άνω του 20% μπορούν να προκαλέσουν ασφυξία λόγω έλλειψης οξυγόνου. Τα κτίρια που περιέχουν εσωτερικό εξοπλισμό γεμάτο SF₆ θα πρέπει να είναι εφοδιασμένα με εξαερισμό. Μετά από μια εσωτερική βλάβη που οδηγεί σε ανακούφιση της πίεσης ή καύση του περιβλήματος, το SF₆ και πολλά από τα στερεά προϊόντα αποσύνθεσης (σκόνες) θα έχουν εκδιωχθεί από το περιβλήμα SF₆. Για τους διακόπτες υψηλής τάσης, ο συντελεστής εκπομπών κυμαίνεται από περίπου 0, 1% ετησίως έως 0, 5% (0, 5% ετησίως είναι ο μέγιστος αποδεκτός ρυθμός διαρροής σύμφωνα με το IEC 62271-203)

Πρέπει να χρησιμοποιούνται προστατευτικά καλύμματα όταν αφαιρούνται προϊόντα με συμπαγή τόξα. Η χρήση αναπνευστήρα είναι προαιρετική για εργασία σε διακόπτες όταν η μονάδα του διακόπτη δεν είναι αρκετά μεγάλη για να εισέλθει ένα άτομο και η μονάδα αερίζεται καλά. Εάν ο τύπος κασέτας δεν είναι αποτελεσματικός, πρέπει να χρησιμοποιούνται αναπνευστήρες με αγωγούς, καθώς ο χρόνος εργασίας πριν από τη μόλυνση της κασέτας είναι πολύ μικρός και απαιτείται ανίχνευση οσμών.

3.12.2 Μετά το πέρας του κύκλου ζωής

Υπάρχει σήμανση στο ανακτηθέν SF₆ ανάλογα με το χαρακτηρισμό του και το είδος των προσμίξεων που περιέχει. Τα φθοριούχα αέρια που έχουν ανακυκλωθεί, φέρουν επισήμανση ότι η ουσία προέρχεται από ανακύκλωση, μαζί με την επωνυμία της εγκατάστασης στην οποία έλαβε χώρα η ανακύκλωση ή η ποιοτική αποκατάσταση και τον αριθμό παρτίδας της διεργασίας.

3.13 Περιορισμός των διαρροών και έλεγχοι εντοπισμού διαρροών

Οι χειριστές εξοπλισμού και το προσωπικό συντήρησης είναι γενικά υποχρεωμένοι για την:

- Πρόληψη των διαρροών και επιδιόρθωση το συντομότερο δυνατόν.
- Ελάχιστη συχνότητα ελέγχων εντοπισμού διαρροών από πιστοποιημένο προσωπικό.
- Εγκατάσταση συστήματος ανίχνευσης διαρροών που πρέπει να υποβάλλεται σε έλεγχο τουλάχιστον ανά 12 μήνες.
- Ανάκτηση φθοριούχων αερίων θερμοκηπίου πριν από την τελική απόρριψη του εξοπλισμού και κατά περίπτωση, κατά τη συντήρηση ή την επισκευή, από πιστοποιημένο προσωπικό.

Η γενική συντήρηση των διακοπών SF₆ πραγματοποιείται με βάση την καταπόνηση και όχι σε τακτά χρονικά διαστήματα. Η επείγουσα συντήρηση των διακοπών πραγματοποιείται, για παράδειγμα, όταν υποδεικνύεται από μια συσκευή που παρακολουθεί την κατάσταση του διακόπτη (εάν υπάρχει) ή εάν παρουσιαστεί βλάβη στον διακόπτη. Η επείγουσα συντήρηση του διακόπτη πρέπει να πραγματοποιείται εάν υπάρχουν ρεύματα σφάλματος.

Κατά την γενική συντήρηση ενός διακόπτη SF₆ λαμβάνουν χώρα τα παρακάτω:

- Γίνεται συνεχής παρακολούθηση της πυκνότητας (πίεσης) του αερίου SF₆.
- Γίνονται δοκιμές καλής λειτουργίας με μηδενικό φορτίο.
- Γίνεται επιθεώρηση του μηχανισμού κίνησης του διακόπτη

Οι χειριστές πρέπει να διασφαλίζουν ότι το SF₆ απομακρύνεται σωστά από τον εξοπλισμό υψηλής τάσης για επεξεργασία και προστασία, δηλαδή απομακρύνεται και αποθηκεύεται από εξουσιοδοτημένο προσωπικό, και ότι το SF₆ που παραμένει σε δοχεία αποθήκευσης απομακρύνεται σωστά. Οι χειριστές ηλεκτρικού εξοπλισμού πρέπει να διασφαλίζουν ότι τα συστήματα ανίχνευσης διαρροών ελέγχονται τουλάχιστον μία φορά κάθε έξι χρόνια για να διασφαλίζεται η ορθή λειτουργία τους. Οι φορείς εκμετάλλευσης ηλεκτρικών διακοπών που περιέχουν περισσότερους από 500 τόνους ισοδύναμου CO₂ πρέπει να διασφαλίζουν ότι ο φορέας εκμετάλλευσης ή αυτοί πρέπει να διασφαλίζουν ότι υπάρχει σύστημα ανίχνευσης διαρροών για την ειδοποίηση της εταιρείας συντήρησης σε περίπτωση διαρροής.

Ο ηλεκτρικός εξοπλισμός μεταγωγής δεν υπόκειται σε ελέγχους εντοπισμού διαρροών σύμφωνα με το άρθρο 4 του Καν. 517/2014, υπό την προϋπόθεση ότι συντρέχουν ένα από τα ακόλουθα:

- i. με διαπιστωμένη ποσότητα διαρροής μικρότερη από 0,1 % ετησίως όπως ορίζεται στις τεχνικές προδιαγραφές του κατασκευαστή και φέρει σχετική επισήμανση
- ii. ο εξοπλισμός μεταγωγής με διαπιστωμένο ποσοστό διαρροής 0,1 % ή περισσότερο ετησίως
- iii. διαθέτει διάταξη παρακολούθησης της πίεσης ή της πυκνότητας ή περιέχει λιγότερα από 6 kg φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου.

Οι έλεγχοι εντοπισμού διαρροών σύμφωνα με την παράγραφο 1 του άρθρου του Κανονισμού 517/2014 διεξάγονται με την ακόλουθη συχνότητα για τον εξοπλισμό που περιέχει φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου σε ποσότητες:

- i. 5 τόνων ισοδύναμου CO₂ ή περισσότερο, αλλά κάτω από 50 τόνους ισοδύναμου CO₂: τουλάχιστον ανά δωδεκάμηνο ή, σε περίπτωση που υπάρχει εγκατεστημένο σύστημα ανίχνευσης διαρροών, τουλάχιστον ανά είκοσι τέσσερις μήνες
- ii. 50 τόνων ισοδύναμου CO₂ ή περισσότερο, αλλά κάτω από 500 τόνους ισοδύναμου CO₂: τουλάχιστον ανά εξάμηνο ή, σε περίπτωση που υπάρχει εγκατεστημένο σύστημα ανίχνευσης διαρροών, τουλάχιστον ανά δωδεκάμηνο
- iii. 500 τόνων ισοδύναμου CO₂ ή περισσότερο: τουλάχιστον ανά τρίμηνο ή, σε περίπτωση που υπάρχει εγκατεστημένο σύστημα ανίχνευσης διαρροών, τουλάχιστον ανά εξάμηνο.

Οι χειριστές εξοπλισμού που περιέχει φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου σε ποσότητες:

- i. τόνων ισοδύναμου CO₂ ή περισσότερο και δεν περιέχονται σε αφρούς διασφαλίζουν ότι ο εξοπλισμός υποβάλλεται υποχρεωτικά σε έλεγχο εντοπισμού διαρροών
- ii. 10τόνων ισοδύναμου CO₂ ή περισσότερο και δεν περιέχονται σε αφρούς διασφαλίζουν ότι ο εξοπλισμός υποβάλλεται υποχρεωτικά σε έλεγχο εντοπισμού διαρροών

Ο σφραγισμένος εξοπλισμός που περιέχει λιγότερους από 10 τόνους ισοδύναμου CO₂ φθοριούχων αερίων θερμοκηπίου δεν υπόκειται σε δοκιμή διαρροής, εάν φέρει ανάλογη ένδειξη.

Ένας ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας για τους διακόπτες SF₆ είναι η πίεση πόλου του αερίου. Η πίεση του αερίου είναι περίπου 0,5 bar υψηλότερη από την ατμοσφαιρική πίεση. Εάν οι πόλοι ενός διακόπτη SF₆ είναι σφραγισμένοι στο εργοστάσιο, μια διαρροή αερίου σε οποιονδήποτε από τους τρεις πόλους μπορεί να προκαλέσει βλάβη του διακόπτη στην επόμενη εντολή μεταγωγής, η οποία μπορεί να αποβεί μοιραία.

Η ανεξέλεγκτη απελευθέρωση αερίου SF₆ στην ατμόσφαιρα είναι δυνατή εάν:

- i. Καταστραφούν τα παραπετάσματα του δοχείου που εγκλωβίζουν το αέριο

- ii. Εμφανιστεί υπερβολικό και ανεξέλεγκτο τόξο
- iii. Εξωτερικούς παράγοντες (π.χ. φθορά, πυρκαγιά)

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΜΟΝΩΤΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΕΞΑΦΘΟΡΙΟΥΧΟΥ ΘΕΙΟΥ SF₆

4.1 Εισαγωγικά

Το SF₆ είναι ένα τεχνητό αέριο, δηλαδή όχι φυσικό αέριο, και κυκλοφόρησε για πρώτη φορά στην αγορά το 1945. Λόγω των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του, έχει μελετηθεί και ερευνηθεί εκτενώς, με αποτέλεσμα να έχει πολλές εφαρμογές στη σύγχρονη τεχνολογία.

Το SF₆ είναι μη τοξικό, μη εύφλεκτο, χημικά αδρανές και σταθερό υπό κανονικές συνθήκες (δεν διασπάται στην αέρια φάση κάτω από τους 500οC). Λόγω των ηλεκτρομαγνητικών ιδιοτήτων του (ικανότητα δέσμευσης ηλεκτρονίων) είναι ένας εξαιρετικός ηλεκτρικός μονωτής σε συσκευές διανομής και εξαρτήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμοκρασίες πολύ πάνω από 21 0οC. Η τάση διάσπασης του SF₆ είναι περίπου τρεις φορές υψηλότερη από εκείνη του αέρα υπό κανονικές συνθήκες πίεσης. Είναι ικανό να σχηματιστεί ξανά μετά από διάσπαση με εκκένωση ή τόξο. Πολλά παραπροϊόντα δεν μειώνουν τη διηλεκτρική σταθερά και μπορούν να απομακρυνθούν σχετικά εύκολα με διήθηση. Δεν υπάρχει πολυμερισμός με άνθρακα και άλλες αγωγίμες εναποθέσεις στον εξοπλισμό κατά την καύση με τόξο και είναι συμβατό με τα περισσότερα στερεά μονωτικά και αγωγία υλικά που χρησιμοποιούνται. Καθώς απαιτείται υψηλή πίεση για την υγροποίηση στους 21°C, είναι δυνατή η συμπίεση σε 6 bar για καλύτερα αποτελέσματα με μικρή ποσότητα εξοπλισμού. Η περαιτέρω συμπίεση εξασφαλίζει εύκολη υγροποίηση, αποθήκευση σε φιάλες αερίου και ανταγωνιστική τιμή.

4.2 Περιοχές ηλεκτροτεχνικών εφαρμογών του εξαφθοριούχου θείου

4.2.1 Ηλεκτρολογικές εφαρμογές

Η χρήση του SF₆ ως μονωτικού υλικού παρουσιάζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- **Υψηλή διηλεκτρική αντοχή σε ανταγωνιστικό κόστος**
Όταν συμπιέζεται, το SF₆ μπορεί να παρέχει την ίδια διηλεκτρική αντοχή με το υγρό μονωτικό λάδι. Ωστόσο, το κόστος ανά μονάδα όγκου του SF₆ είναι μόνο ένα κλάσμα αυτού του υγρού διηλεκτρικού ελαίου.
- **Ικανότητα αναγέννησης**
Το SF₆ αναγεννιέται κάθε φορά που διασπάται και ανακτά φυσικά την αρχική του αντοχή, και στις περισσότερες περιπτώσεις αυτή είναι και αυξημένη.
- **Μικρή αύξηση πίεσης σε περίπτωση διάσπασης**
Το SF₆ έχει πολύ χαμηλό αδιαβατικό συντελεστή, οπότε η αύξηση της πίεσης λόγω θερμικής διαστολής μετά την ηλεκτρόλυση είναι πολύ χαμηλότερη από ό,τι για άλλα αέρια και σημαντικά χαμηλότερη από ό,τι για τα υγρά διηλεκτρικά.

4.2.2 Διακόπτες και υποσταθμοί μέσης και υψηλής τάσης με μόνωση αερίου (GIS)

Η πιο σύγχρονη κατασκευαστική προσέγγιση στην τεχνολογία των υποσταθμών μέσης και υψηλής τάσης είναι ο εξ ολοκλήρου εγκλεισμός όλων των επιμέρους δομικών στοιχείων εξοπλισμού που βρίσκονται υπό τάση, όπως οι ζυγοί, οι μετασχηματιστές μέτρησης, οι διακόπτες, οι αποζεύκτες, οι γειωτές και όλα τα υπόλοιπα στοιχεία, σε πλήρως στεγανά

διαμερίσματα με μονωτικό αέριο SF₆. Αυτού του είδους οι υποσταθμοί ονομάζονται GIS¹ κι εξαιτίας της τεχνολογίας κατασκευής τους καταλαμβάνουν μόνο μέχρι το 20% των αντίστοιχων διαστάσεων που θα χρειαζόταν για ένα αντίστοιχο υποσταθμό συμβατικής τεχνολογίας κι εξαιτίας αυτού, ενσωματώνονται ευκολότερα σε αστικά περιβάλλοντα και σε περιπτώσεις με περιορισμένο χώρο τοποθέτησης, όπως κλειστούς υπόγειους χώρους. Επιπροσθέτως, τοποθετούνται και στην ύπαιθρο σε περιβάλλοντα με αυξημένους ρύπους λόγω της μη εξαρτώμενης λειτουργίας τους από τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες, μιας και όλα τα μέρη του εξοπλισμού τους βρίσκονται σε κλειστά διαμερίσματα.

Η εφαρμογή σε διακόπτες και υποσταθμούς μέσης και υψηλής τάσης, της μόνωσης αερίου (Gas Insulated Switchgear - GIS), έχει ευρύτατη απήχηση.

4.2.2.1 Σύγκριση κόστους κύκλου ζωής LCC μεταξύ υποσταθμών με μόνωση αέρα και υποσταθμών GIS

Παρά του γεγονότος ότι το κόστος του εξοπλισμού GIS είναι υψηλότερο από τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται συμβατικά, το συνολικό κόστος του κύκλου ζωής των υποσταθμών GIS είναι τελικά χαμηλότερο, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1.

Κόστος κύκλου ζωής LCC (Life Cycle Cost)	Air insulated substation	Gas insulated substation
	(AIS)	(GIS)
Μελέτη και σχεδιασμός	100%	80%
Κόστος γης / ιδιοκτησίας	100%	40%
Πρωτεύων εξοπλισμός	100%	120%
Δευτερεύων εξοπλισμός	100%	100%
Εκσκαφές, έργα πολιτικού μηχανικού	100%	60%
Συναρμολόγηση ηλεκτρολογικού εξοπλισμού	100%	70%
Συντήρηση	100%	50%
Κόστος διακοπών (outages)	100%	50%
LCC μετά από 10 έτη	100%	Max 70%

Πίνακας 4. 1. Σύγκριση κόστους κύκλου ζωής (LCC) μεταξύ υποσταθμών με μόνωση αέρα (AIS) και μόνωση αερίου (GIS)

Τα στοιχεία του Πίνακα 4.1 αναφέρονται σε πραγματική σύγκριση, συγκριμένου υποσταθμού και είναι εμφανές ότι αν και το κόστος του υποσταθμού με μόνωση GIS είναι υψηλότερο εν τέλει εξαιτίας των υπόλοιπων παραμέτρων κόστους λειτουργίας ο υποσταθμός με τεχνολογία GIS πλεονεκτεί και το κόστος LCC σε 10 έτη ανέρχεται στο 70%.

4.2.2.2 Πλεονεκτήματα τεχνολογίας GIS

Η χρησιμοποίηση τόσο διακοπών τεχνολογίας SF₆ όσο και εξοπλισμού υποσταθμών GIS είναι εξαιρετικά εκτεταμένη εξαιτίας της πληθώρας σημαντικών πλεονεκτημάτων τους, όπως τα παρακάτω:

- Ελάχιστη χωρική ενόχληση εξαιτίας των συγκριτικά μικρών διαστάσεων.

¹ Gas Insulated Substations βάσει της σχετικής ισχύουσας ορολογίας από το IEEE

Ιδιότητες, Χρήσεις και Εφαρμογές του Ηλεκτρομονωτικού Αερίου SF₆

- Μη επηρεαζόμενη λειτουργία από ρύπους ή τις περιβαλλοντικές συνθήκες λόγω της κατασκευαστικής στεγανότητας του εξοπλισμού)
- Δυνατότητα χρήσης GIS και GIL και σε υπόγειους χώρους και συνεπώς εύκολης ενσωμάτωσης σε αστικό τοπίο που είναι ορατή η έλλειψη διαθέσιμων χώρων.
- Σχεδόν αθόρυβη λειτουργία
- Σεισμική συμπεριφορά καλού επιπέδου αφού οι διακόπτες τοποθετούνται σε χαμηλό ύψος, κι έτσι προσδίδουν χαμηλό κέντρο βάρους στην κατασκευή.
- Υψηλή ικανότητα σβέσης τόξου σε ελάχιστο χρόνο (μικρότερο των δύο κύκλων), με όφελος τον περιορισμό της διάβρωσης των επαφών δίνοντας μεγάλη αξιοπιστία
- Μεγάλη διάρκεια ζωής, (περίπου 40 χρόνια) αφού μονωτική ικανότητά του διατηρείται και μετά από μεγάλο αριθμό χειρισμών
- Ελαχιστοποιημένες διαστάσεις εξαιτίας της υψηλής διηλεκτρικής αντοχής του περιορίζοντας τις αναγκαίες αποστάσεις μόνωσης.
- Για τάσεις < 145kV υπάρχει η δυνατότητα οικονομικής λύσης με χρήση τριών πόλων σε ενιαίο δοχείο
- Περιορισμένες μεταβατικές υπερτάσεις μικρότερες των 2.5 α.μ. (p.u.) σε χειρισμούς μεγάλων ονομαστικών ρευμάτων και ρευμάτων βραχυκύκλωσης.
- Περιορισμένες ανάγκες συντήρησης σε σχέση με άλλες τεχνολογίες.
- Καμία απαίτηση συντήρησης για όλη τη διάρκεια ζωής των διακοπών SF₆ ερμητικού τύπου (sealed) μέσης τάσης.
- Αυξημένη ασφάλεια προσωπικού στην συντήρηση υποσταθμών GIS αφού δεν είναι προσιτός ο υπό τάση εξοπλισμός, (βρίσκεται στο εσωτερικό γειωμένων κλειστών διαμερισμάτων, όπου και η άμεση επαφή με αυτά δεν εγκυμονεί κάποιο κίνδυνο.
- Το συνολικό κόστος κύκλου ζωής υποσταθμών GIS είναι χαμηλότερο από τις συμβατικές τεχνολογίες, παρά του γεγονότος ότι το κόστος αγοράς του είναι υψηλότερο από τις συμβατικές τεχνολογίες.
- Διασφάλιση καθαριότητας (μη δυνατή εισροή ξένων σωματιδίων/αερίων) δια του μεταλλικού καλύμματος.
- Εξάλειψη κινδύνου πυρκαγιάς.



Εικόνα 4. 1. Διακόπτης ισχύος SF₆ της ABB

Οι υποσταθμοί που χρησιμοποιούν SF₆ ως μονωτικό υλικό απαιτούν περιορισμένο χώρο και συμπαγή σχεδιασμό. Αυτοί οι υποσταθμοί απαιτούν μόνο 10-15% λιγότερο χώρο από τους συμβατικούς υποσταθμούς. Ως εκ τούτου, οι νέες εγκαταστάσεις με βάση το SF₆ μπορούν να εγκατασταθούν σε πυκνοκατοικημένα κέντρα διανομής, όπου το κόστος γης είναι υψηλό και δεν συμφέρει εφαρμογή συμβατικών μεθόδων [35].



Εικόνα 4. 2. Υποσταθμοί Μέσης και Υψηλής τάσης με μονωτικό αέριο SF₆ (εγκαταστάσεις εσωτερικού και εξωτερικού χώρου)

Οι υπαίθριοι υποσταθμοί που χρησιμοποιούν SF₆ ως μονωτικό υλικό μπορούν να εγκατασταθούν σε ερήμους καθώς και σε παραλίες, επειδή δεν έχει σημασία πόσο μολυσμένος είναι ο περιβάλλον αέρας. Το SF₆ χρησιμοποιείται σε κάθε είδος υποσταθμού, εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, ως μονωτικό υλικό σε διακόπτες ισχύος [27].

4.2.3 Καλώδια υψηλής τάσης και Γραμμές μεταφοράς με μόνωση αερίου (GITL/GIL)

Τα τελευταία χρόνια, η χρήση του SF₆ στην κατασκευή γραμμών υψηλής τάσης και σωληνωτών γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται για τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας σε πυκνοκατοικημένες βιομηχανικές περιοχές έχει προσελκύσει μεγάλη προσοχή. Οι γραμμές μεταφοράς με μόνωση αερίου (GITL, Gas Insulated Lines: GIL) είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για τη μεταφορά υψηλής ισχύος. Οι γραμμές με μόνωση αερίου χρησιμοποιούνται επίσης για τη σύνδεση σταθμών παραγωγής ενέργειας με μετασχηματιστές και υποσταθμούς, π.χ. σε υπόγειους σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Οι γραμμές GITL με SF₆ ως μονωτικό υλικό μπορούν να μεταφέρουν πολύ υψηλά επίπεδα ρεύματος, εφόσον είναι κατάλληλα διαστασιολογημένες. Έχουν επίσης χαμηλότερα ρεύματα φόρτισης και διηλεκτρικές απώλειες από τα συμβατικά καλώδια. Σε συστήματα μεταφοράς υψηλής συχνότητας, η χρήση SF₆ σε σωληνοειδή καλώδια βελτιώνει την απόδοση περισσότερο από 10 φορές. Το πλεονέκτημα του σχεδιασμού είναι η υψηλότερη απόδοση σε σύγκριση με τα συμβατικά καλώδια και, επιπλέον, η δυνατότητα κατασκευής σταθμών μετάδοσης σήματος UHF (πολύ υψηλών συχνοτήτων) υψηλής απόδοσης με εξαιρετικά μικρές διαστάσεις. Οι γραμμές είτε θάβονται είτε τοποθετούνται σε σήραγγες.



Εικόνα 4. 3. Γραμμές τοποθετημένες σε τούνελ [28].

Είναι κατάλληλο ως εναλλακτική λύση για την παροχή και τη μεταφορά ενέργειας σε περιπτώσεις όπου η τοποθέτηση εναέριων γραμμών είναι δύσκολη ή όπου τα συμβατικά καλώδια δεν έχουν επαρκή χωρητικότητα. Για τη μεταφορά ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις, οι ιδιότητες καταστολής τόξου του SF₆ δεν έχουν σημαντική επίδραση στις εφαρμογές αυτές, οπότε εξετάζεται η αντικατάσταση του καθαρού SF₆ με ένα οικονομικότερο μείγμα SF₆/N₂. Σήμερα, η τεχνολογία των γραμμών βελτιστοποιείται όσον αφορά τη σύνθεση του μίγματος αερίου, την πίεση του αερίου και το μέγεθος της γραμμής, ώστε να είναι ανταγωνιστική σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών.

4.2.4 Μετασχηματιστές με χρησιμοποιούμενο ψυκτικό μέσω αέριο (GITr)

Το SF₆ εξαιτίας των εξαιρετικών χαρακτηριστικών του, όπως η αυξημένη δυνατότητα απαγωγής θερμότητας, η μη αναφλεξιμότητα και τοξικότητα χρησιμοποιείται και στην κατασκευή μετασχηματιστών ισχύος.

Κατά τα τελευταία τριάντα χρόνια έχει επιτευχθεί ιδιαίτερη πρόοδος στην τεχνολογία κατασκευής μετασχηματιστών με χρησιμοποιούμενο ψυκτικό μέσω αέριο (Gas Insulated Transformers – GIT ή Gas Immersed Transformers - GITr), οι οποίοι χρησιμοποιούν το SF₆ για μονωτικούς και ψυκτικούς σκοπούς.



Εικόνα 4. 4. Μετασχηματιστής με χρησιμοποιούμενο ψυκτικό μέσω SF₆ (Gas Immersed Transformers – GITr) της Toshiba [31]

Το SF₆ υπό πίεση, χρησιμοποιείται ως το μονωτικό μέσο των μετασχηματιστών με μόνωση αερίου αφού διαθέτει μεγαλύτερη διηλεκτρική σταθερά από τον ατμοσφαιρικό αέρα, χαρακτηριστικό που δυσχεραίνει τη διάσπασή του ακόμη και υπό την επίδραση ενός ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου το οποίο δημιουργεί τις κατάλληλες συνθήκες έναρξης ενός ηλεκτρικού τόξου. Αυτή ακριβώς η ιδιότητά του, κάνει εφικτή την σημαντική ελάττωση του μεγέθους ενός τέτοιου μετασχηματιστή, επειδή δεν είναι πλέον αναγκαίες μεγαλύτερες αποστάσεις για την αποφυγή ηλεκτρικών τόξων. Τα υψηλά επίπεδα ασφαλούς λειτουργίας τους, τους καθιστά κατάλληλους για σημαντικό εύρος εφαρμογών από συνηθισμένες χρήσεις σε κτίρια πολυκαταστημάτων έως αρκετά εξεζητημένες εφαρμογές όπως εγκαταστάσεις ορυχείων. Πλεονεκτούν έναντι των υπολοίπων μετασχηματιστών, λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους, όπως το χαμηλό βάρος, τον συμπαγή σχεδιασμό και τα χαμηλά επίπεδα θορύβου.

4.2.5 Παροχή ηλεκτρικής ενέργειας με την τεχνολογία του SF₆

Οι κατασκευαστές διακοπών με μόνωση αερίου (GIS), οι εταιρείες διανομής ενέργειας και οι κατασκευαστές SF₆ είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του αερίου. Αυτό οδήγησε στην ιδέα της επαναχρησιμοποίησης του αερίου και της επίτευξης ενός κλειστού κύκλου ζωής. Δεδομένων των υποχρεώσεων που απορρέουν από το πρωτόκολλο του Κιότο, προέκυψε η ανάγκη ποσοτικοποίησης του περιβαλλοντικού προφίλ του SF₆. Το κύριο κίνητρο για την παρούσα μελέτη ήταν να πραγματοποιηθεί μια πιο ολοκληρωμένη ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του αερίου και της συμβολής του στην υπερθέρμανση του πλανήτη.

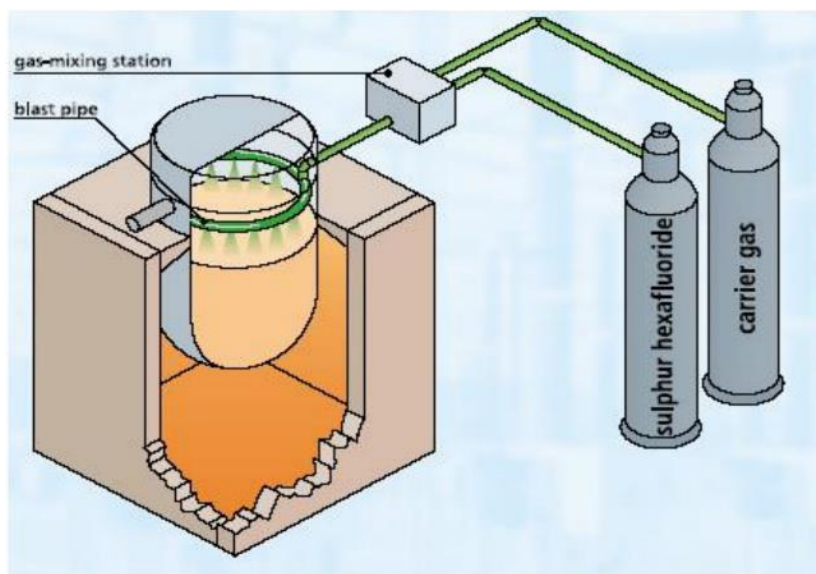
4.2.6 Χρήσεις του SF₆ στη βιομηχανία και την τεχνολογία

Το αέριο SF₆ παρουσιάζει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που το καθιστούν ιδανικό για χρησιμοποίηση σε πληθώρα βιομηχανικών και τεχνολογικών προϊόντων. Από το 1998, υπήρξε εκτεταμένη μελέτη για τις ποσότητες του αερίου και τους τομείς που χρησιμοποιούνταν αποσκοπώντας στην μείωση των διαρροών του, εξαιτίας της συμβολής του στην επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου [5]. Η μελέτη αυτή κατέδειξε ότι χρησιμοποιείται κυρίως στους παρακάτω βιομηχανικούς τομείς [5]:

- Ηλεκτρικός Εξοπλισμός (στον οποίο αναφερθήκαμε ήδη και από τον οποίο απορροφάται το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής του SF₆)
- Χύτευση Μαγνησίου
- Ηχομονωτικά Παράθυρα
- Ελαστικά Αυτοκινήτων
- Επιταχυντές Σωματιδίων
- Ραντάρ Στρατιωτικών Αεροσκαφών
- Κατασκευή Ημιαγωγών
- Ιατρική

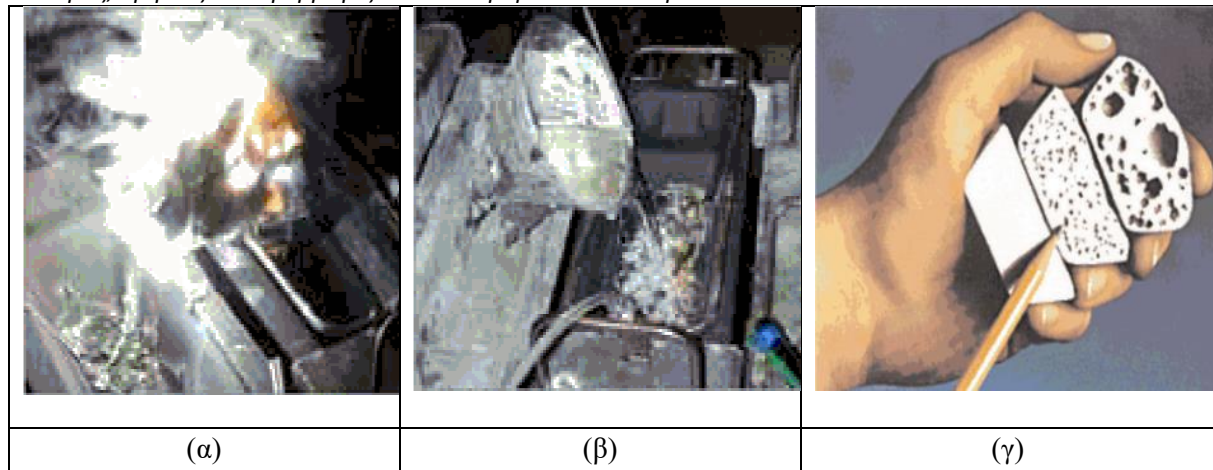
4.2.6.1 Χύτευση μαγνησίου

Στην διαδικασία χύτευσης του μαγνησίου, το SF₆ χρησιμοποιείται ως προστατευτικό κάλυμμα για την αποφυγή οξείδωσης, ανάφλεξης και σχηματισμού νιτριδίων.



Σχήμα 4. 1. Διάγραμμα χύτευσης με χρήση μίγματος SF₆

Πριν από τη χρήση του SF₆, τα χυτά προστατεύονταν με λιωμένο αλάτι και SO₂. Οι ουσίες αυτές ήταν πολύ διαβρωτικές και, σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες κατά τη χύτευση, η οσμή που εκλύεται δημιουργούσε μια επικίνδυνη ατμόσφαιρα. Επομένως, ένα λεπτό προστατευτικό στρώμα SF₆ είναι αρκετό για να αποτρέψει την ανάφλεξη του μαγνησίου. Τα μείγματα SF₆/CO₂ πολύ χαμηλής συγκέντρωσης που ψεκάζονται πάνω στο λιωμένο μέταλλο είναι επίσης κατάλληλα για το σκοπό αυτό. Συνήθως μπορούν να χρησιμοποιηθούν 100 λίτρα μείγματος με συγκέντρωση 0,03-0,4 ανά ώρα. Το Σχήμα 4.2 δείχνει την ανάφλεξη σε δείγματα αλουμινίου με (α) μαγνήσιο χυτευμένο χωρίς προστασία, (β) προστατευμένο με στρώμα SF₆ και (γ) με διαφορετικούς βαθμούς απαέρωσης SF₆.



Σχήμα 4. 2. (α) χύτευση χωρίς προστασία (ανάφλεξη μαγνησίου) (β) χύτευση με προστασία SF₆ και (γ) δείγματα αλουμινίου με διάφορους βαθμούς απαέρωσης με SF₆.

4.2.6.2 Χύτευση αλουμινίου

Ένα από τα προβλήματα που συναντάται κατά τη διαδικασία χύτευσης του αλουμινίου, η παρουσία πόρων στο τελικό προϊόν. Αυτό οφείλεται στην περιεκτικότητα του τηγμένου αλουμινίου σε υδρογόνο, που οδηγεί στην ελάττωση της μηχανικής του αντοχής. Η αντιμετώπιση γινόταν αρχικά με καθαρισμό του τηγμένου μετάλλου εισάγοντας χλώριο ή μίγμα χλωρίου - αδρανούς αερίου, αλλά από τη μία η δραστηριότητα του χλωρίου που επιτάσσει ειδικούς χειρισμούς και προφυλάξεις και από την άλλη το γεγονός ότι η εισαγωγή αδρανών αερίων, ελαττώνει μεν την περιεκτικότητα σε υδρογόνο αλλά παράλληλα αφαιρεί και αναγκαία στοιχεία. Με την χρησιμοποίηση εξαχλωροεθανίου οδηγούμασταν σε ανεπιθύμητες καταστάσεις δεδομένου ότι απελευθερώνεται χλώριο. Χρησιμοποιήθηκαν και ενώσεις φθορίου αλλά εξαιτίας της επίδρασής του στην τρύπα του όζοντος, καταργήθηκε αρκετά γρήγορα. Χρησιμοποιώντας SF₆ ξεπεράστηκαν τα προαναφερθέντα προβλήματα στην χύτευση του αλουμινίου. Διοχετεύοντας ένα μίγμα SF₆ και αδρανούς αερίου στο τηγμένο αλουμίνιο ελαττωνόταν σε μεγάλο βαθμό η περιεκτικότητα σε υδρογόνο και παράλληλα αφαιρούνταν οξειδία και άλλα στερεά προϊόντα. Ο χειρισμός του μίγματος του SF₆ δεν συνοδεύεται από προβλήματα σε περιβάλλον εργασίας και κρίνεται ως ένα ασφαλές αέριο.

4.2.6.3 Ηχομόνωση τζαμιών

Το SF₆ σε θερμοκρασία δωματίου και πίεση είναι γνωστό ότι είναι αέριο. Λόγω του μεγάλου μοριακού μεγέθους του, εξασθενεί τα εισερχόμενα ηχητικά κύματα που διαδίδονται στον αέρα. Έτσι, με την πλήρωση των κενών στα παράθυρα με διπλά τζάμια, βελτιώνεται η ηχομόνωση έναντι του εξωτερικού θορύβου: η βελτίωση της ηχομόνωσης των παραθύρων με διπλά τζάμια που γεμίζουν με SF₆ είναι περίπου 8 dB- η θερμοκρασία υγροποίησης του SF₆ είναι περίπου -50°C, αλλά χρησιμοποιούνται μοριακά φίλτρα για την περαιτέρω μείωσή της. Κατά την τελευταία δεκαετία, ένα μεγάλο μέρος του παραγόμενου SF₆ χρησιμοποιήθηκε για την πλήρωση υπό κενό μονωτικών υαλοπινάκων σε κτίρια. Ωστόσο, επειδή το SF₆ παγιδεύεται στο κενό του διπλού υαλοπίνακα, απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα όταν ο διπλός υαλοπίνακας σπάσει. Ωστόσο, εάν ένα τυπικό παράθυρο έχει διάρκεια ζωής 20 ετών, θα πρέπει να σκεφτούμε τη συνετή χρήση του και να μη διστάσουμε να χρησιμοποιήσουμε τέτοιο γυαλί. Ο συνδυασμός διαφορετικού πάχους γυαλιού και αδρανούς αερίου είναι παρόμοιος με την ηχομόνωση SF₆ και είναι υπεύθυνος για το κεφάλαιο για την ηχομόνωση των παραθύρων.

4.2.6.4 Ελαστικά αυτοκινήτων

Από το 1984, μεγάλες ποσότητες SF₆ χρησιμοποιούνται για το φούσκωμα των ελαστικών αυτοκινήτων, κυρίως από γερμανικές εταιρείες- το αέριο SF₆ θεωρήθηκε ιδανικό επειδή το

μεγάλο μοριακό του μέγεθος καθιστά δύσκολη τη διαφυγή του από τους πόρους του ελαστικού, διατηρώντας έτσι σταθερή την πίεση στο ελαστικό. Μέχρι το 2007, πάνω από 1 kg αερίου απαιτούνταν για το φούσκωμα τεσσάρων ελαστικών, με αποτέλεσμα την ετήσια κατανάλωση 100 τόνων SF₆. Από το 2007, η ΕΕ έχει απαγορεύσει τη χρήση του SF₆, αλλά πολλοί κατασκευαστές ελαστικών συνιστούν τη χρήση του στα ελαστικά.

4.2.6.5 *Αεροσόλες υποδημάτων*

Το αέριο SF₆ χρησιμοποιήθηκε από την εταιρεία αθλητικών ειδών Nike σε αεροσόλες παπουτσιών στα αρχικά στάδια ανάπτυξής τους, επειδή κρίθηκε ως ιδανικό αφού παράγονταν παπούτσια με μικρό βάρος που βοηθούσαν τους αθλητές στα άλματα και απορροφούσαν τους κραδασμούς. Οδηγία του 2007 από την ΕΕ προς όλα τα κράτη - μέλη της απαγόρευσε την χρήση του αερίου γι' αυτόν τον σκοπό μιας και συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου κι επιπροσθέτως θεωρήθηκε συνυπεύθυνο για κρούσματα αφθώδους πυρετού (νόσος μεταδιδόμενη από τα ζώα στον άνθρωπο μέσω της διατροφικής αλυσίδας).

4.2.6.6 *Ιχνηθέτης αερίου (tracer)*

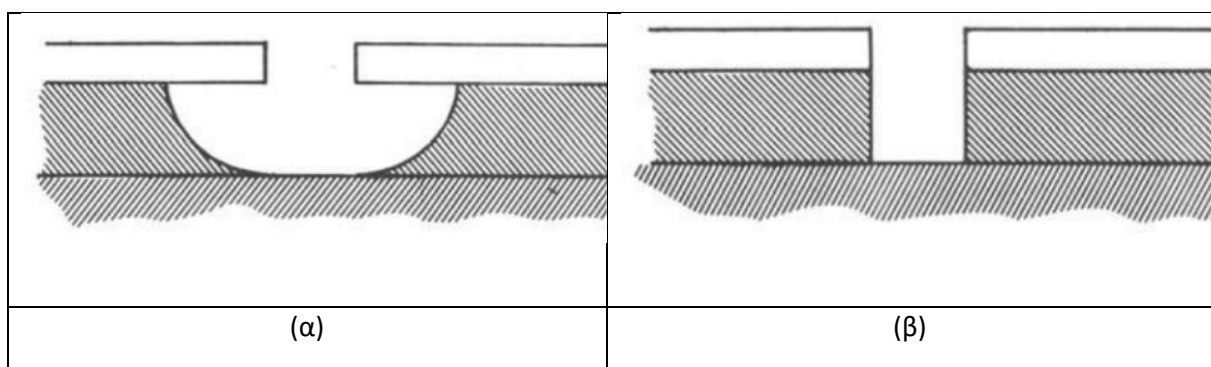
Μικρές ποσότητες (περίπου 2 kg/έτος) SF₆ χρησιμοποιούνται, για παράδειγμα, από το Ινστιτούτο Περιβαλλοντικών Ερευνών της Δανίας για τη μελέτη των ροών αέρα στην ατμόσφαιρα και σε κλειστούς χώρους [5]. Θεωρείται κατάλληλο για χρήση ως ιχνηθέτης επειδή δεν αντιδρά με άλλα μόρια [5]. Χρησιμοποιείται επομένως για τη μέτρηση του αερισμού και της ροής του αέρα σε χώρους.

4.2.6.7 *Παραγωγή ημιαγωγών και ολοκληρωμένων κυκλωμάτων*

Το SF₆ χρησιμοποιήθηκε στην παραγωγή ηλεκτρονικών και οπτικών μικροτσιπ. Θεωρήθηκε ιδανικό για την ξηρή χάραξη υλικών πυριτίου και τον καθαρισμό μικροτσιπ με χρήση τεχνολογίας πλάσματος [5]. Η ξηρή χάραξη με τεχνολογία πλάσματος αντικαθιστά τη χημική υγρή χάραξη επειδή είναι φθηνότερη και παρέχει καλύτερη ποιότητα προϊόντος με ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Από τις φθοριούχες ενώσεις που χρησιμοποιούνται για τη χάραξη υλικών πυριτίου στην τεχνολογία πλάσματος προτιμάται το SF₆, καθώς είναι πολύ ισχυρό για τη χάραξη πυριτίου ακόμη και σε χαμηλές συγκεντρώσεις όταν αραιώνεται με αδρανές αέριο και σχεδόν δεν αντιδρά με το διοξείδιο του πυριτίου (SiO₂) [5].

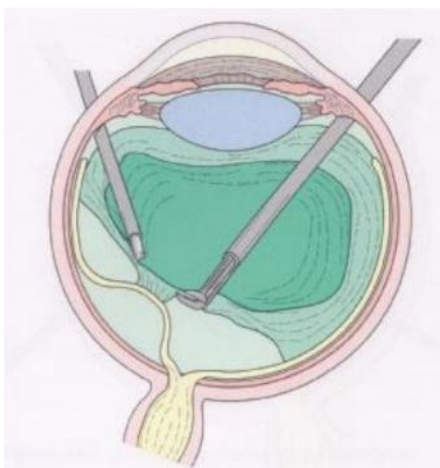
Στο Σχήμα 4.3. παρουσιάζεται ένα τμήμα ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος (Ο.Κ.). Στην κατασκευή αυτών των εξαρτημάτων χρησιμοποιείται πλάσμα μίγματος SF₆ με O₂ με πίεση 1,4 Pa επί 160 δευτερόλεπτα, υπό ραδιοφωνικής συχνότητας (Radio Frequency, RF) ηλεκτρικό πεδίο ισχύος 80W.

Στις σκανδιναβικές χώρες χρησιμοποιήθηκαν αρκετές ποσότητες SF₆ για την παραγωγή ημιαγωγών, αλλά από το 2000 περίπου, οι χρησιμοποιούμενες ποσότητες για τον σκοπό αυτό ελαττώθηκαν σημαντικά αφού τα εργοστάσια παραγωγής, μεταφέρθηκαν σε τρίτες χώρες [14].



4.2.6.8 **Ιατρική – οφθαλμολογία**

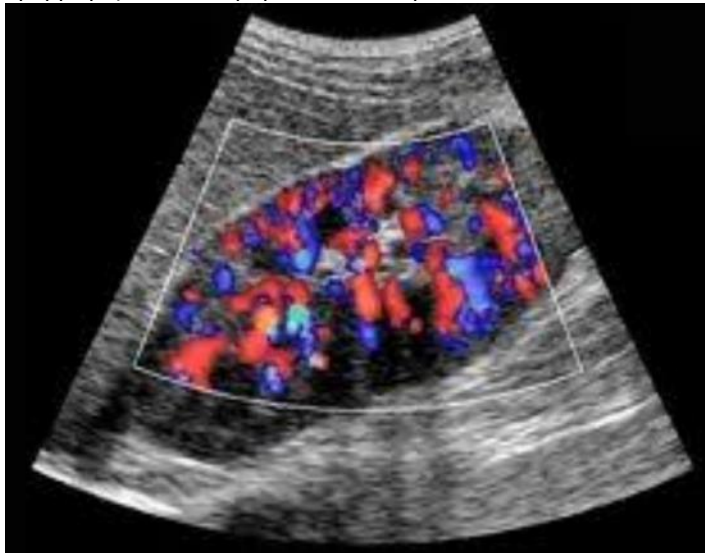
Η οφθαλμολογία, και ιδίως η οφθαλμική χειρουργική, έχει σημειώσει μεγάλη πρόοδο τα τελευταία χρόνια. Πολλές ασθένειες αντιμετωπίζονται με υαλοειδεκτομή. Κατά την επέμβαση αυτή, γίνονται τρεις τομές στον οφθαλμό μέσω των οποίων εισάγονται ειδικά μικροχειρουργικά εργαλεία (αναρρόφηση, μικροκάμερα και λαβίδα), όπως φαίνεται στην εικόνα 4.4, η οποία δείχνει πώς εισέρχονται τα χειρουργικά εργαλεία στον οφθαλμό κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Μετά την επέμβαση οι τρεις μικρές οπές κλείνονται με αέριο SF₆ για την επούλωση, αλλά το SF₆ δεν διαλύεται στο αίμα και το μεγάλο μοριακό του μέγεθος σημαίνει ότι παραμένει στην τομή για μεγάλο χρονικό διάστημα μέχρι να επούλωθεί και να απορροφηθεί από τον ανθρώπινο οργανισμό μετά από 10-40 ημέρες.



Σχήμα 4. 4. Υαλοειδεκτομή οφθαλμού [15]

4.2.6.9 **Διαγνωστική ιατρική - υπερηχογραφία**

Μια άλλη πρακτική εφαρμογή του SF₆ είναι η χρήση του ως σκιαγραφικού παράγοντα κατά τις υπερηχογραφικές εξετάσεις. Οι ουσίες αυτές ονομάζονται σκιαγραφικές ουσίες, από τις οποίες το αέριο SF₆ λέγεται ότι είναι η πιο προηγμένη τεχνολογία. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί ένα πολυμερές κέλυφος που περιέχει αέριο SF₆. Χορηγείται τελικά ενδοφλεβίως ως μικροφουσαλίδες με πολύ μικρή διάμετρο, ώστε να μπορεί να διέρχεται από τα τριχοειδή αγγεία χωρίς να τα φράζει. Το αέριο στις μικροφουσαλίδες συμπιέζεται και επομένως ταλαντώνεται με συχνότητα που εξαρτάται από το μέγεθος της μικροφουσαλίδας, τη σύνθεση του αερίου και του κελύφους. Κατά σύμπτωση, οι μικροφουσαλίδες δονούνται στη συχνότητα που χρησιμοποιούν οι σαρωτές υπερήχων, καθιστώντας τις αποτελεσματικούς ανακλαστήρες των υπερήχων. Καθώς το αέριο διαχέεται αργά χωρίς να διαχέεται, η διάρκεια ζωής των μικροφουσαλίδων μετά την έγχυση είναι μεγαλύτερη, επιτρέποντας έτσι περισσότερο χρόνο για την εξέταση της εικόνας υπερήχων. Η μέση διάρκεια ζωής των μικροφουσαλίδων είναι 5-7 λεπτά και το αέριο τελικά αποβάλλεται από τους πνεύμονες με την εκπνοή έως και 90 λεπτά αργότερα [15]. Η εικόνα 4.5 δείχνει ότι η έγχυση ενός σκιαγραφικού παράγοντα μικροφουσαλίδων βελτιώνει την ανάλυση της εικόνας των υπερηχογραφικών εξετάσεων.



Σχήμα 4. 5. Υπερηχογράφημα με έγχυση σκιαστικού μέσου [15].

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : Συντήρηση και Μέτρα προστασίας σε διακόπτες και εξοπλισμό με SF₆

5.1 Περιπτώσεις χώρων υποσταθμών διανομής και καταναλωτών μέσης τάσης με πίνακες SF₆

Οι Υποσταθμοί Διανομής που είναι σε λειτουργία στη ΔΕΗ, ανέρχονται σε 133.000 περίπου. Από αυτούς, οι 6.300 περίπου είναι Υποσταθμοί πόλεως εσωτερικού χώρου και οι 350 συνεπτυγμένοι Υποσταθμοί, ενώ οι υπόλοιποι είναι εναέριοι (στους εναέριους Υποσταθμούς δεν εγκαθίστανται Πίνακες Μέσης Τάσης με SF₆). Οι καταναλωτές Μέσης Τάσης (BKΙ και BKII) είναι συνολικά περί τους 8.000 (στοιχεία 12^{ου} 2003). Λαμβάνοντας υπόψη όσα προαναφέρθηκαν, οι πιθανές περιπτώσεις χώρων Υποσταθμών Διανομής και Υποσταθμών καταναλωτών Μέσης Τάσης με Πίνακες SF₆, παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 6.1. Επισημαίνεται ότι όλοι οι Πίνακες που έχει προμηθευτεί και εξακολουθεί να προμηθεύεται η Διανομή είναι εφοδιασμένοι με φίλτρα απορρόφησης των παραπροϊόντων, τα οποία είναι εγκατεστημένα στους χώρους του SF₆ [22].

A/A	Τύπος Πίνακες MT	Πληροφορίες
1.	Συνεπτυγμένοι Πίνακες MT με SF ₆ σε Υποσταθμούς πόλεως εσωτερικού χώρου	Οι συνεπτυγμένοι Πίνακες MT περιέχουν περί τα 2001 SF ₆ με πίεση 0,13 MPa (30% μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής). Μέσα στο χώρο του SF ₆ περιέχονται οι ζυγοί του Πίνακα και οι τρεις διακόπτες φορτίου. Όλοι οι συνεπτυγμένοι Πίνακες είναι εφοδιασμένοι με μανόμετρο ένδειξης της πίεσης του SF ₆ . Εάν από την ένδειξη του μανομέτρου προκύψει ότι η πίεση του SF ₆ έχει μειωθεί κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια (δείκτης στην «κόκκινη» περιοχή), δεν επιτρέπεται να γίνεται χειρισμός του Πίνακα, αλλά είναι αναγκαία η αντικατάστασή του. Η Διανομή έχει σταματήσει να προμηθεύεται τέτοιους Πίνακες, λόγω του ότι δεν είναι επεκτάσιμοι (προμηθεύεται πλέον μόνο κυψελωτούς Πίνακες για τους Υποσταθμούς πόλεως). Οι συνεπτυγμένοι Πίνακες που έχουν εγκατασταθεί σε Υποσταθμούς πόλεως εσωτερικού χώρου είναι περίπου 350. Οι Υποσταθμοί πόλεως εσωτερικού χώρου διαθέτουν φυσικό αερισμό και έχουν επιφάνεια κατ' ελάχιστον 25 m ² και ελάχιστο ύψος 3 m. Συνεπώς ο όγκος που καταλαμβάνουν είναι τουλάχιστον 75 m ³ .
2.	Κυψελωτοί Πίνακες MT με SF ₆ σε Υποσταθμούς	Κάθε κυψελωτός Πίνακας περιλαμβάνει 3 πεδία διακοπών φορτίου σε χώρο με SF ₆ . Οι ζυγοί του Πίνακα δεν είναι εγκατεστημένοι σε χώρο με

	<p>πόλεως εσωτερικού χώρου</p>	<p>SF₆. Κάθε πεδίο διακοπών περιέχει περί τα 20 λίτρα SF₆ με πίεση 0,13 MPa (συνολική ποσότητα SF₆ 60 λίτρα σε πίεση 0,13 MPa). Τα πεδία των διακοπών φορτίου που προμηθεύσαν η Διανομή έως το 2006 δεν είναι εφοδιασμένα με μανόμετρο (διεθνώς δεν χρησιμοποιούνται πεδία κυψελωτών Πινάκων SF₆ με μανόμετρο). Από το 2006, η Διανομή άρχισε να προμηθεύεται κυψελωτούς Πίνακες με μανόμετρο (ειδικά διαμορφωμένοι Πίνακες).</p> <p>Σε σπάνιες περιπτώσεις, σε Υποσταθμούς πόλεως εγκαθίσταται κυψελωτοί πίνακες SF₆ με περισσότερα από τρία πεδία διακοπών φορτίου (4 ή πολύ σπανιότερα 5).</p> <p>Οι κυψελωτοί Πίνακες με SF₆ που έχουν εγκατασταθεί σε Υποσταθμούς πόλεως εσωτερικού χώρου είναι περίπου 700.</p> <p>Οι χώροι των Υποσταθμών πόλεως εσωτερικού χώρου περιγράφηκαν στην περίπτωση με Α/Α (1).</p>
<p>3.</p>	<p>Κυψελωτοί Πίνακες MT με SF₆ σε χώρους Πινάκων καταναλωτών ΒΚΙ.</p>	<p>Ο Πίνακας MT καταναλωτή ΒΚΙ περιλαμβάνει 2 ή, σπανιότερα, 3 πεδία διακοπών φορτίου σε χώρο SF₆, όπως αυτά που περιγράφηκαν στην περίπτωση με Α/Α (2).</p> <p>Οι Πίνακες με SF₆ που έχουν εγκατασταθεί σε χώρους Πινάκων καταναλωτών ΒΚΙ είναι περίπου 400.</p> <p>Ο χώρος των Πινάκων των καταναλωτών ΒΚΙ έχει επιφάνεια τουλάχιστον 12 m² και ύψος τουλάχιστον 3 m (ελάχιστος όγκος χώρου 36 m³).</p> <p>Οι οδηγίες που δίνονται από τη Διανομή στους καταναλωτές MT για τη διαμόρφωση των χώρων των Πινάκων προβλέπουν την ύπαρξη φυσικού αερισμού, ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις, στην πράξη, ο αερισμός είναι ανεπαρκής.</p>
<p>4.</p>	<p>Κυψελωτοί Πίνακες MT με SF₆ σε χώρους Πινάκων καταναλωτών ΒΚΙΙ</p>	<p>Ο Πίνακας MT καταναλωτή ΒΚΙΙ περιλαμβάνει τέσσερα πεδία διακοπών φορτίου (ο ένας διακόπτης φορτίου, συγκεκριμένα αυτός που προτάσσεται του διακόπτη ισχύος, χρησιμοποιείται ως αποξεύκτης), όμοια με αυτά που περιγράφηκαν στην περίπτωση με Α/Α (2), καθώς και ένα πεδίο διακόπτη ισχύος. Το πεδίο του διακόπτη ισχύος περιέχει περί τα 45 λίτρα SF₆, σε πίεση 0,3 MPa (τριπλάσια της ατμοσφαιρικής). Ο διακόπτης αυτός είναι εφοδιασμένος με δύο ζεύγη επαφών, καθώς και με μανόμετρο ένδειξης της πίεσης του SF₆. Μέσω του ενός ζεύγους επαφών, εάν μειωθεί η πίεση του SF₆ κάτω από συγκεκριμένο όριο, δίνεται σήμα ειδοποίησης (alarm) (φωτεινή ένδειξη, ηχητικό σήμα). Με περαιτέρω μείωση της πίεσης, μέσω του άλλου ζεύγους επαφών, ο διακόπτης δεσμεύεται σε ανοικτή θέση (δεν επιτρέπεται ο χειρισμός του, μέσω αυτόματης μηχανικής μανδάλωσης). Στην περίπτωση αυτή (δέσμευση του διακόπτη σε ανοικτή θέση) το πεδίο του διακόπτη ισχύος πρέπει να αντικατασταθεί.</p> <p>Οι Πίνακες με SF₆ που έχουν εγκατασταθεί σε χώρους Πινάκων καταναλωτών ΒΚΙΙ είναι περίπου 300.</p> <p>Τα τελευταία χρόνια η Διανομή δεν προμηθεύεται πλέον Πίνακες ΒΚΙΙ με διακόπτη ισχύος τεχνολογίας SF₆, αλλά αντίστοιχους Πίνακες με διακόπτη ισχύος τεχνολογίας κενού. Οι χώροι στους οποίους εγκαθίστανται οι Πίνακες καταναλωτών ΒΚΙΙ είναι όμοιοι με τους αντίστοιχους χώρους των Πινάκων καταναλωτών ΒΚΙ (βλέπε περίπτωση με Α/Α (3)).</p>
<p>5.</p>	<p>Συνεπτυγμένοι Πίνακες MT με SF₆ σε συνεπτυγμένους (compact) Υποσταθμούς</p>	<p>Οι συνεπτυγμένοι Πίνακες MT με SF₆ περιγράφονται στην περίπτωση με Α/Α (1).</p> <p>Οι συνεπτυγμένοι Υποσταθμοί είναι προκατασκευασμένοι μεταλλικοί οικίσκοι, επιφάνειας περίπου 6 m² και ύψους περίπου 1,7 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, οι οποίοι διαθέτουν πόρτες με περσίδες, ώστε να εξασφαλίζεται ο αερισμός τους. Μέσα στους οικίσκους είναι εγκατεστημένοι: ο μετασχηματιστής Διανομής, ο Πίνακας Ασφαλειών ΧΤ και ο Πίνακας MT. Ο χώρος του Πίνακα MT είναι διαμορφωμένος κατά τέτοιο τρόπο, ώστε η πρόσοψη του Πίνακα να απέχει μόλις λίγα εκατοστά από την αντίστοιχη εξωτερική πόρτα του Υποσταθμού. Έτσι, κατά τη διάρκεια των χειρισμών του Πίνακα MT, ο χειριστής δεν εισέρχεται στον οικίσκο, αλλά ουσιαστικά βρίσκεται σε εξωτερικό χώρο.</p> <p>Κατά κανόνα, οι συνεπτυγμένοι Υποσταθμοί που προμηθεύεται η Διανομή είναι εφοδιασμένοι με συνεπτυγμένους Πίνακες MT με SF₆ και όχι με κυψελωτούς Πίνακες, λόγω του ελαφρά μεγαλύτερου όγκου που έχουν οι</p>

		τελευταίοι. οι εγκατεστημένοι συνεπτυγμένοι Υποσταθμοί με συνεπτυγμένους Πίνακες είναι περίπου 300.
6.	Κυψελωτοί Πίνακες MT με SF₆ σε συνεπτυγμένους (compact) Υποσταθμούς.	Οι κυψελωτοί Πίνακες MT των συνεπτυγμένων Υποσταθμών περιλαμβάνουν τρία πεδία διακοπών φορτίου (βλέπε περίπτωση με A/A (2)). Η διαμόρφωση των συνεπτυγμένων Υποσταθμών αναφέρεται στην περίπτωση με A/A (1).

Πίνακας 5. 1. πιθανές περιπτώσεις χώρων Υποσταθμών Διανομής και Υποσταθμών καταναλωτών Μέσης Τάσης με Πίνακες SF₆ [22].

5.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά των πινάκων MT με SF₆

Οι Πίνακες MT με SF₆, που προμηθεύεται η Διανομή, καθώς και ο εξοπλισμός που περιέχεται σ' αυτούς (διακόπτες φορτίου, διακόπτες ισχύος, ασφάλειες κ.λπ.) έχουν προδιαγραφεί (Τεχνικές Περιγραφές ΔΜΚΛΔ - 179, για κυψελωτούς και συνεπτυγμένους Πίνακες MT Υποσταθμών Διανομής και ΔΜΚΛΔ - 180 για Πίνακες καταναλωτών MT) έτσι, ώστε να διαθέτουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά και να ικανοποιούν τις απαιτήσεις ποιότητας και ασφάλειας που επιβάλουν τα σχετικά Ευρωπαϊκά Πρότυπα και Κανονισμοί, τα οποία είναι υποχρεωμένη η χώρα μας να τηρεί [22]. Συγκεκριμένα:

- Οι Πίνακες είναι σύμφωνοι με το EN 60298
- Οι διακόπτες φορτίου με το EN 60265
- Οι διακόπτες ισχύος με το HD 384 S7
- Το SF₆ με το IEC 376

Για την επαλήθευση των τεχνικών χαρακτηριστικών και της ποιότητας τους, οι Πίνακες υποβάλλονται στις δοκιμές τύπου που καθορίζουν τα σχετικά Πρότυπα και Κανονισμοί. Ιδιαίτερη σημασία έχει η δοκιμή εσωτερικού τόξου, η οποία έχει στόχο να διασφαλίσει την προστασία ατόμων που βρίσκονται κοντά στον Πίνακα, κατά τη χρονική στιγμή εκδήλωσης εσωτερικού τόξου, από τα θερμά αέρια που εκτοξεύονται. Η δοκιμή πραγματοποιείται σε συνθήκες όμοιες με τις πραγματικές συνθήκες εγκατάστασης του Πίνακα και τα κριτήρια επιτυχίας της είναι ιδιαίτερα αυστηρά [22]. Συγκεκριμένα, για να θεωρηθεί επιτυχής η δοκιμή, θα πρέπει:

- Να μην ανοίξουν θύρες, καλύμματα κ.λπ. του Πίνακα
- Να μην εκτοξευτούν μέρη του Πίνακα που είναι δυνατό να προκαλέσουν σωματική βλάβη
- Να μη δημιουργηθούν οπές στο εξωτερικό περίβλημα του Πίνακα
- Να μη γίνει ανάφλεξη των ειδικών δεικτών (τεμαχίων υφάσματος, στερεωμένων σε κατάλληλα πλαίσια, τοποθετημένων κοντά στην πρόσοψη του Πίνακα, στις πλησιέστερες προς αυτόν θέσεις στις οποίες μπορεί να βρίσκεται ο τεχνίτης κατά το χειρισμό του)
- Οι συνδέσεις της γείωσης να παραμείνουν αποτελεσματικές

Για να ικανοποιούν οι Πίνακες τις απαιτήσεις της δοκιμής εσωτερικού τόξου, οι κατασκευαστές τους διαμορφώνουν έτσι, ώστε να διαθέτουν, μια ασθενή περιοχή, από την οποία, σε περίπτωση εσωτερικού τόξου και επακόλουθης αύξησης της εσωτερικής πίεσης πάνω από ορισμένα όρια, εκτονώνονται τα αέρια. Η ασθενής περιοχή συνήθως διαμορφώνεται στην πίσω ή, σπανιότερα, στην κάτω πλευρά του Πίνακα, για να παρέχεται προστασία σε άτομα που βρίσκονται κοντά στην εμπρός πλευρά του Πίνακα. Επιπλέον, η διαμόρφωση των Πινάκων περιλαμβάνει ειδικά κανάλια στην πίσω πλευρά του Πίνακα, τα οποία διοχετεύουν

τα αέρια που εκτονώνονται κοντά στην οροφή του χώρου ή κάτω από τον Πίνακα, στα κανάλια των καλωδίων (ώστε να μην κατευθύνονται προς τα άτομα που βρίσκονται μπροστά στον Πίνακα) [22].

5.3 Πιθανές περιπτώσεις έκθεσης των εργαζομένων σε παραπροϊόντα του SF₆

Οι πιθανές περιπτώσεις έκθεσης των εργαζομένων της Διανομής σε παραπροϊόντα του SF₆, που προέρχονται από Πίνακες Μέσης Τάσης με SF₆ υποσταθμών Διανομής και καταναλωτών, είναι οι εξής [22]:

➤ **Φυσιολογική διαρροή SF₆ από τους Πίνακες, μέσα στα πλαίσια που επιτρέπουν οι προδιαγραφές τους.**

Οι Τεχνικές Περιγραφές, βάσει των οποίων προμηθεύεται η Διανομή Πίνακες MT με SF₆ προδιαγράφουν Πίνακες ερμητικού τύπου (sealed pressure system), σύμφωνα με το IEC 289:1990. Για την κατηγορία Πινάκων αυτή, προβλέπονται οι αυστηρότερες απαιτήσεις, ως προς τον αποδεκτό ρυθμό διαρροής του SF₆. Με τις δοκιμές τύπου στις οποίες υποβάλλονται οι Πίνακες ερμητικού τύπου, εξασφαλίζεται διάρκεια ζωής τους 30 χρόνια, χωρίς επαναπλήρωσή τους. Ο ρυθμός διαρροής για τους Πίνακες ερμητικού τύπου είναι περί το 0,1% το έτος.

➤ **Μη φυσιολογική διαρροή.**

Μπορεί να οφείλεται σε αστοχία μηχανικών μερών (η οποία είναι δυνατό να προκληθεί από μηχανική καταπόνηση, π.χ. κτύπημα, ή από άλλες αιτίες) είτε* σε αστοχία των υλικών στεγανοποίησης.

➤ **Διαρροή λόγω εσωτερικού τόξου.**

Τυχόν εσωτερικό τόξο στους Πίνακες μπορεί να δημιουργήσει αύξηση της εσωτερικής πίεσης τέτοια, ώστε να προκαλέσει το άνοιγμα συγκεκριμένου, ασθενούς τμήματος του περιβλήματος από το οποίο διαρρέει το SF₆. Επίσης, τόξο προς το περίβλημα, είναι δυνατό, σε σπάνιες περιπτώσεις, να δημιουργήσει, μέσω τοπικής τήξης, οπή σ' αυτό, από την οποία μπορεί να διαφύγει το SF₆.

➤ **Πυρκαγιά.**

Πυρκαγιά στο χώρο γύρω από τον Πίνακα μπορεί να προκαλέσει διαρροή SF₆, λόγω καταστροφής των στεγανωτικών υλικών. Επίσης μπορεί να προκαλέσει άνοιγμα του ασθενούς τμήματος του περιβλήματος, λόγω αύξησης της πίεσης του SF₆, ωστόσο η πιθανότητα να συμβεί κάτι τέτοιο είναι ελάχιστη, γιατί απαιτείται μεγάλη τοπική ένταση της πυρκαγιάς.

Ιδιαίτερη σημασία στην αντιμετώπιση των προβλημάτων που μπορεί να προκαλέσει η διαρροή παραπροϊόντων του SF₆ έχει ο αερισμός των χώρων. Το Ευρωπαϊκό Πρότυπο HD 637 S1:1999: Power installations exceeding 1 kV A.C. το οποίο είναι υποχρεωτικό για τη χώρα μας, επιβάλλει τον αερισμό των χώρων στους οποίους εγκαθίσταται εξοπλισμός με SF₆. Σύμφωνα με το πρότυπο αυτό, σε περίπτωση που ο όγκος του SF₆ το οποίο περιέχεται σε εξοπλισμό εγκατεστημένο σε ένα χώρο δεν υπερβαίνει το 10% του όγκου του χώρου, είναι επαρκής ο φυσικός αερισμός, ενώ εάν είναι μεγαλύτερος απαιτείται αερισμός με μηχανικά μέσα.

Ο όγκος του SF₆ που περιέχεται σε Πίνακες MT Υποσταθμών πόλεως ή Β Κ, σε κανονικές συνθήκες, είναι σε κάθε περίπτωση σημαντικά μικρότερος από το 10% του όγκου των αντίστοιχων χώρων στους οποίους είναι εγκατεστημένοι οι Πίνακες. Επιπλέον, οι ρυθμίσεις που ισχύουν στη Διανομή επιβάλλουν το φυσικό αερισμό των Υποσταθμών πόλεως και των χώρων Πινάκων MT των καταναλωτών Β Κ. Συνεπώς ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του

Προτύπου αυτού στους Υποσταθμούς πόλεως και στους χώρους Πινάκων των καταναλωτών Β Κ της Διανομής.

Σε όλες τις περιπτώσεις διαρροής, το SF₆, λόγω του ότι είναι σημαντικά βαρύτερο του αέρα, τείνει να συγκεντρωθεί στο δάπεδο του χώρου. Με βάση τις ποσότητες του SF₆ που περιέχονται στους Πίνακες και τη διαμόρφωση των χώρων που εξετάζονται, σε περίπτωση πλήρους διαρροής του και συγκέντρωσής του στο δάπεδο, το SF₆ θα καταλάμβανε στρώμα με ύψος της τάξης του ενός έως δέκα εκατοστών, γεγονός που είναι εύκολο να επιβεβαιωθεί με απλούς υπολογισμούς. Ωστόσο, λόγω της διάχυσης (νόμος του Dalton), ακόμη και σε κατάσταση ηρεμίας (χωρίς ρεύματα αέρα), ποσότητες του SF₆ περιέχονται και στα υπερκείμενα στρώματα αέρα. Έτσι, στην πράξη, εφόσον υπάρχει στοιχειώδης έστω αερισμός, με την πάροδο του χρόνου η ποσότητα του SF₆ που βρίσκεται στο χώρο και συνεπώς και η συγκέντρωση του SF₆ θα τείνουν να εκμηδενιστούν, ακόμη και αν ο αερισμός δεν είναι σύμφωνος με τις οδηγίες (οι οποίες προβλέπουν ανοίγματα αερισμού κοντά στην επιφάνεια του δαπέδου αφενός και κοντά στην οροφή αφετέρου). Εν πάση περιπτώσει, για λόγους πλήρους εξασφάλισης, εάν στα μέτρα προστασίας, που προσδιορίζονται στην επόμενη παράγραφο, συγκαταλέγεται και ο αερισμός του χώρου (φυσικός ή με μηχανικά μέσα), συνιστάται αυτός να γίνεται με προσοχή του εδάφους (π.χ. κανάλια καλωδίων) [22].

5.4 Προσδιορισμός της έκθεσης των εργαζομένων σε τοξικά παραπροϊόντα, ανά περίπτωση έκθεσης

Οι πιθανές περιπτώσεις έκθεσης των εργαζομένων στη Διανομή της ΔΕΗ σε τοξικά παραπροϊόντα του SF₆, εξετάζονται στην συνέχεια, για κάθε συνδυασμό χώρου - είδους Πίνακα. Η διερεύνηση αυτή βασίζεται στις αντίστοιχες μελέτες περιπτώσεων (Case studies) που περιλαμβάνονται στο παράρτημα C του διεθνούς προτύπου IEC 1634:1995. Προσδιορίζονται οι περιπτώσεις κατά τις οποίες είναι αναγκαία η λήψη μέτρων, λόγω υψηλής έκθεσης, καθώς και τα μέτρα που θα πρέπει να λαμβάνονται.

Η εξέταση γίνεται με βάση τις ακόλουθες παραδοχές, οι οποίες ακολουθούνται από το υπόψη πρότυπο:

- Οι χώροι στους οποίους είναι εγκατεστημένοι οι Πίνακες θεωρούνται ως ερμητικά κλειστοί (πλήρης ανυπαρξία αερισμού) κατά τη χρονική περίοδο που εξετάζεται.
- Τα φίλτρα που είναι τοποθετημένα στους χώρους SF₆ των Πινάκων θεωρούνται ανενεργά κατά τη χρονική περίοδο που εξετάζεται.
- Τα αέρια που διαφεύγουν από τους Πίνακες θεωρείται ότι αναμιγνύονται με τον αέρα μέσα στο χώρο των Πινάκων έτσι, ώστε να απαρτίσουν ένα ομοιογενές μείγμα, μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα σε σύγκριση με το ωράριο εργασίας ή τη διάρκεια έκθεσης.

Όπως είναι ευνόητο, οι δύο παραδοχές οδηγούν σε υπερεκτίμηση της έκθεσης στα τοξικά παραπροϊόντα (η εξέταση γίνεται προς την ασφαλή πλευρά). Επίσης, το γεγονός ότι οι όγκοι των χώρων όπου είναι εγκατεστημένοι οι Πίνακες, στους οποίους βασίζεται η διερεύνηση είναι οι ελάχιστοι δυνατοί (κατά κανόνα οι αντίστοιχοι χώροι που συναντώνται στην πράξη έχουν σημαντικά μεγαλύτερο όγκο) οδηγεί ομοίως σε υπερεκτίμηση της έκθεσης [22].

5.4.1 Έκθεση σε περίπτωση φυσιολογικής διαρροής

Σε περίπτωση φυσιολογικής διαρροής SF₆ και παραπροϊόντων του από Πίνακα Μέσης Τάσης δεν απαιτείται η λήψη πρόσθετων μέτρων για την προστασία των εργαζόμενων (εκτός από αυτά που είναι απαραίτητα για τις συνήθεις εργασίες στους χώρους των Πινάκων), αφού [22]:

- Στην περίπτωση Πινάκων με SF₆ σε συνεπτυγμένους Υποσταθμούς, η έκθεση των εργαζόμενων σε παραπροϊόντα του SF₆ που προέρχονται από φυσιολογική διαρροή του SF₆ είναι πρακτικά μηδενική, δεδομένου ότι αφενός οι εργαζόμενοι βρίσκονται ουσιαστικά σε εξωτερικό χώρο κατά το χειρισμό των Πινάκων και αφετέρου οι συνεπτυγμένοι Υποσταθμοί έχουν πάντοτε καλό αερισμό.
- Το SF₆ των Πινάκων ΜΤ, που είναι εγκατεστημένοι στα δίκτυα, περιέχει σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό παραπροϊόντα, τα οποία σχηματίστηκαν λόγω της θερμότητας που αναπτύσσεται κατά τη συνήθη λειτουργία των διακοπών των Πινάκων (σβέση τόξων στους διακόπτες φορτίου και στους διακόπτες ισχύος, τα οποία δημιουργούνται από τη διακοπή - αποκατάσταση ροής ρεύματος, με εντάσεις που είναι μέσα στα προδιαγραφόμενα όρια). Κατά συνέπεια, κατά τη διαρροή SF₆ από τους εγκατεστημένους («χρησιμοποιημένους») διαρρέουν ταυτόχρονα και παραπροϊόντα, στο χώρο όπου είναι εγκατεστημένοι οι Πίνακες.
- Στον Πίνακα 1 (Παράρτημα Β) υπολογίζεται η συγκέντρωση του χρησιμοποιημένου SF₆ σε περίπτωση φυσιολογικής διαρροής για όλες τις περιπτώσεις Πινάκων με SF₆ Υποσταθμών πόλεως και ΒΚ. Ο υπολογισμός γίνεται με την παραδοχή ότι το SF₆ που διαρρέει επί μια εβδομάδα δεν απομακρύνεται από το χώρο, δηλαδή ο αερισμός του χώρου είναι ανύπαρκτος για το διάστημα αυτό. Λαμβάνεται ρυθμός διαρροής 0,1% το έτος. Για τους Πίνακες καταναλωτών ΒΚ ΙΙ εξετάζεται τόσο η διαρροή από διακόπτη φορτίου, όσο και από τον διακόπτη ισχύος. Σε όλες τις περιπτώσεις προκύπτει ότι η συγκέντρωση του SF₆ που διαρρέει είναι χιλιάδες φορές μικρότερη από το όριο των 200 ppmv. Συγκεντρώσεις πολύ κάτω από το όριο αυτό θα προέκυπταν ακόμη και στο ενδεχόμενο φυσιολογικής διαρροής όλων των πεδίων κυψελωτού Πίνακα Υποσταθμού πόλεως ή Πίνακα ΒΚ, καθώς επίσης και σε περιστατικό μη απομάκρυνσης του SF₆, που διαρρέει, και των παραπροϊόντων του, από το χώρο των Πινάκων για διάστημα π.χ. ενός έτους, όπως εύκολα μπορεί να επαληθευτεί. Στην πράξη, λόγω του ότι οι Πίνακες είναι εφοδιασμένοι πάντοτε με φίλτρα κατακράτησης των παραπροϊόντων του SF₆ και επιπλέον υπάρχει φυσικός αερισμός του χώρου, οι συγκεντρώσεις του SF₆ αναμένεται να έχουν σημαντικά μικρότερες τιμές ακόμη και από τις αμελητέες τιμές που υπολογίστηκαν.
- Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 1634:1995 στις περιπτώσεις κι για τις οποίες στο χώρο βρίσκεται χρησιμοποιημένο (γηρασμένο) SF₆. Με μικρή έως μέτρια αποσύνθεση, δεν απαιτείται να ληφθούν μέτρα προστασίας εάν η συγκέντρωση του δεν υπερβαίνει τα 200 ppmv. Το SF₆ που είναι εγκατεστημένο σε Πίνακες Ηλεκτρικής Ενέργειας έχει υποστεί μικρή έως μέτρια αποσύνθεση, σύμφωνα με το υπόψη Πρότυπο, όταν οι Πίνακες έχουν χρησιμοποιηθεί για τη διακοπή - αποκατάσταση ροής ρεύματος με εντάσεις που είναι μέσα στα προδιαγραφόμενα όρια των Πινάκων. Αντίθετα, το SF₆ έχει υποστεί υψηλή αποσύνθεση όταν οι Πίνακες έχουν υποστεί εσωτερικό τόξο. Το όριο των 200 ppmv για το χρησιμοποιημένο SF₆ με μικρή έως μέτρια αποσύνθεση δεν αναφέρεται στην επικινδυνότητα αυτού καθ' εαυτού του SF₆ (όπως αναφέρθηκε το καθαρό SF₆ έχει TLV 1.000 ppmv), αλλά έχει την έννοια ότι, εάν η συγκέντρωση του χρησιμοποιημένου SF₆ είναι κάτω από το όριο αυτό, τότε τα τοξικά παραπροϊόντα που το συνοδεύουν έχουν συγκεντρώσεις που είναι ακίνδυνες για την υγεία.

5.4.2 Έκθεση σε περίπτωση μη φυσιολογικής διαρροής

Και στο ενδεχόμενο αυτό, δεδομένου ότι το χρησιμοποιημένο (γηρασμένο) SF₆ που διαρρέει έχει υποστεί μικρή έως μέτρια αποσύνθεση, μέτρα προστασίας απαιτούνται

μόνο εάν η συγκέντρωση του υπερβαίνει τα 200 ppm (βλ. και παράγραφο 6.1.2.). Στον Πίνακα 2 (Παράρτημα Β) υπολογίζεται η συγκέντρωση του χρησιμοποιημένου SF₆ σε περίπτωση μη φυσιολογικής διαρροής για όλες τις περιπτώσεις Πινάκων με SF₆ Υποσταθμών πόλεως και ΒΚ. Οι υπολογισμοί βασίζονται στις παραδοχές που προαναφέρθηκαν, καθώς επίσης και στην παραδοχή ότι η διαρροή συνεχίζεται μέχρι την εξισορρόπηση των πιέσεων του SF₆ που παραμένει μέσα στον Πίνακα και του αέρα του περιβάλλοντος χώρου, δηλαδή μέχρι το SF₆ που παραμένει στον Πίνακα να αποκτήσει πίεση ίση με την ατμοσφαιρική. Από τον Πίνακα 2 (Παράρτημα Β) προκύπτει ότι, σε περίπτωση μη φυσιολογικής διαρροής του SF₆ από πεδίο κυψελωτού Πίνακα με SF₆ Υποσταθμού πόλεως δεν απαιτείται η λήψη πρόσθετων μέτρων προστασίας, παρά ίο ότι οι παραδοχές που λήφθηκαν υπόψη (πλήρης έλλειψη αερισμού, διαρροή του SF₆ μέχρι την εξισορρόπηση των πιέσεων κ.λπ.) είναι σαφώς δυσμενέστερες από τις συνθήκες που εμφανίζονται στην πράξη. Επισημαίνεται ότι η πλειονότητα των Πινάκων ΜΤ με SF₆ Υποσταθμών πόλεως της Διανομής είναι κυψελωτοί. Επιπλέον, δεν απαιτείται η λήψη πρόσθετων μέτρων προστασίας σε περίπτωση διαρροής SF₆ από διακόπτη φορτίου Πινάκων ΒΚΙ και ΒΚΙΙ.

Αντίθετα, στην περίπτωση διαρροής SF₆ από συνεπτυγμένο Πίνακα Υποσταθμού πόλεως, καθώς και στην περίπτωση διαρροής SF₆ από το διακόπτη ισχύος Πίνακα ΒΚΙΙ, η συγκέντρωση χρησιμοποιημένου SF₆ στο χώρο μπορεί να υπερβεί τα 200 ppm, συνεπώς είναι αναγκαία η διερεύνηση της αναγκαιότητας λήψης πρόσθετων μέτρων προστασίας από τους εργαζόμενους, καθώς και ο προσδιορισμός των τυχόν πρόσθετων μέτρων που πρέπει να ληφθούν. Ωστόσο, η απευθείας διερεύνηση είναι πρακτικά ανέφικτη, γιατί προϋποθέτει την επεξεργασία στοιχείων του ιστορικού κάθε Πίνακα, τα οποία αφορούν στο πλήθος των διακοπών - αποκαταστάσεων κυκλώματος που έχει πραγματοποιήσει σε όλη τη διάρκεια ζωής του, τις εντάσεις ρεύματος κάθε διακοπής και αποκατάστασης κ.λπ. (τέτοια στοιχεία δεν τηρούνται, αλλά ακόμη και εάν ετηρούντο, η κατά περίπτωση επεξεργασία τους και η λήψη αποφάσεων βάσει των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας είναι πρακτικά αδύνατη). Έτσι, για την περίπτωση των Πινάκων αυτών, τα συμπεράσματα θα προκύψουν έμμεσα, από τη διερεύνηση της επόμενης παραγράφου 6.3., η οποία αναφέρεται στην περίπτωση διαρροής SF₆ λόγω εσωτερικού τόξου.

Στις περιπτώσεις συνεπτυγμένων Υποσταθμών, το αέριο που διαφεύγει θα διαχυθεί γρήγορα στην ατμόσφαιρα και η συγκέντρωση του θα γίνει αμελητέα, συνεπώς δεν απαιτείται η λήψη πρόσθετων μέτρων προστασίας.

Επισημαίνεται ότι στις περιπτώσεις που εξετάζονται, δηλαδή κατά τη διαρροή SF₆ με μικρή έως μέτρια αποσύνθεση από Πίνακες ΜΤ, παρατηρείται διαρροή στερεών παραπροϊόντων [22].

5.4.3 Έκθεση λόγω εσωτερικού τόξου

Λαμβάνοντας υπόψη όσα προαναφέρθηκαν, στον Πίνακα 3 (Παράρτημα Β) γίνεται υπολογισμός της συγκέντρωσης SOF₂ μετά από εσωτερικό τόξο σε Πίνακες ΜΤ εγκατεστημένους σε Υποσταθμούς πόλεως και σε χώρους Πινάκων ΒΚ. Ο υπολογισμός βασίζεται στα στοιχεία του δικτύου διανομής ΜΤ 20 kV της ΔΕΗ (μέγιστο ρεύμα σφάλματος), στη μεθοδολογία υπολογισμού που εφαρμόζεται στο παράρτημα C του προτύπου IEC 1634/04 1995, καθώς και στα στοιχεία που δίνονται στο παράρτημα αυτό, για τα εσωτερικά τόξα σε Πίνακες ΜΤ (διάρκεια, τάση τόξου) και για την ενέργεια τόξου που απαιτείται για παραγωγή ενός λίτρου SOF₂. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με το όριο μη επαναλαμβανόμενης

βραχυχρόνιας έκθεσης για 1 ώρα (non-repetitive momentary exposure - C_m) και τη μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση SOF₂ για μακροχρόνια έκθεση των εργαζομένων (καθημερινή, οκτάωρη έκθεση, για 5 ημέρες την εβδομάδα – TLV). Τα όρια αυτά είναι 1,6 ppmv και 500 ppmv αντίστοιχα [22].

Από τον Πίνακα 3 (Παράρτημα Β) προκύπτει ότι η συγκέντρωση του SOF₂ μετά από εσωτερικό τόξο είναι μεν μεγαλύτερη από το όριο μακροχρόνιας έκθεσης, ωστόσο είναι 10 και πλέον φορές χαμηλότερη από το όριο βραχυχρόνιας έκθεσης διάρκειας μιας ώρας [22].

Πρέπει να επισημανθεί ότι οι υπολογισμοί του Πίνακα 3 (Παράρτημα Β) οδηγούν σε υπερεκτίμηση της συγκέντρωσης και κατά συνέπεια της επικινδυνότητας των αέριων παραπροϊόντων, για τους εξής λόγους [22]:

- Ελήφθη υπόψη ρεύμα βραχυκυκλώματος 7,2 kA, το οποίο είναι το δυσμενέστερο το οποίο μπορεί να εμφανιστεί σε δίκτυα 20 kV της Διανομής. Οι συνήθειες τιμές της παραμέτρου αυτής είναι σημαντικά μικρότερες, εξαρτώμενες από τα χαρακτηριστικά του δικτύου που παρεμβάλλεται μεταξύ του Πίνακα ΜΤ στον οποίο συνέβη το εσωτερικό τόξο και του υποσταθμού ΥΤ/ΜΤ από τον οποίο τροφοδοτείται (μήκη και χαρακτηριστικά των καλωδίων είτε αγωγών της γραμμής τροφοδότησης) και από την αντίσταση σφάλματος. Συνεπώς η ποσότητα του παραγόμενου SOF₂ είναι στην πράξη σημαντικά μικρότερη.
- Δεν ελήφθη υπόψη η ύπαρξη και λειτουργία φίλτρων μέσα στον Πίνακα, τα οποία έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της ποσότητας των παραπροϊόντων που απελευθερώνονται.
- Δεν ελήφθη υπόψη η ύπαρξη αερισμού, η οποία έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται, με την πάροδο του χρόνου, η συγκέντρωση των τοξικών αέριων παραπροϊόντων. Έτσι, οι εργαζόμενοι, οι οποίοι επεμβαίνουν για καθαρισμό του χώρου και για αποκατάσταση της βλάβης μετά το εσωτερικό τόξο, δηλαδή για εργασίες οι οποίες γίνονται ώρες ή και ημέρες μετά την εκδήλωσή της διαρροής, εκτίθενται σε μικρότερες συγκεντρώσεις τοξικών αέριων παραπροϊόντων από αυτές που υπολογίστηκαν.
- Στην πράξη, οι όγκοι των χώρων όπου είναι εγκατεστημένοι οι Πίνακες είναι κατά κανόνα σημαντικά μεγαλύτεροι από αυτούς που ελήφθησαν υπόψη στους υπολογισμούς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις του SOF₂, που προκύπτουν συνήθως, να είναι μικρότερες από αυτές που υπολογίστηκαν.

5.4.4 Προσδιορισμός των αναγκαίων μέτρων προστασίας από τα παραπροϊόντα του SF₆ μετά από εσωτερικό τόξο σε Πίνακες ΜΤ Υποσταθμών πόλεως ή ΒΚ

Για τον προσδιορισμό των μέτρων, συνεκτιμώνται τα χαρακτηριστικά τόσο των αέριων όσο και των στερεών παραπροϊόντων [22]:

- Εάν κατά τη διάρκεια εκδήλωσης του εσωτερικού τόξου υπάρχουν εργαζόμενοι στο χώρο, αυτοί θα πρέπει να απομακρυνθούν οι σύντομο χρονικό διάστημα (συνήθως ο χρόνος εγκατάλειψης του χώρου είναι της τάξης του ενός λεπτού ή των λίγων λεπτών). Τα τοξικά αέρια παραπροϊόντα του SF₆ έχουν συγκεντρώσεις πολύ χαμηλότερες από το αντίστοιχο όριο μη επαναλαμβανόμενης βραχυχρόνιας έκθεσης για 1 ώρα, συνεπώς δεν προκαλούνται κίνδυνοι στην υγεία του προσωπικού που τυχόν εκτίθεται σ' αυτά για λίγα λεπτά. Οι εργαζόμενοι, μετά την απομάκρυνσή τους, θα πρέπει να κάνουν

αδρανοποίηση των ενδυμάτων και υποδημάτων τους καθώς και του εξοπλισμού (κράνος, γάντια) και των εργαλείων τους. Επίσης, να πλύνουν με επιμέλεια τα ακάλυπτα μέρη του σώματός τους (ιδιαίτερα τα μάτια). Οι τρόποι αδρανοποίησης και πλυσίματος αναφέρονται σε επόμενη παράγραφο.

- Το συνεργείο για τον καθαρισμό του χώρου θα πρέπει να επέμβει τουλάχιστον 1 - 2 ώρες μετά τη βλάβη, ώστε να έχει προλάβει να κατακαθίσει η σκόνη (στερεά παραπροϊόντα) που πιθανόν να έχει απελευθερωθεί. Το προσωπικό του συνεργείου καθαρισμού θα φέρει μέσα προστασίας από χημικές ουσίες (κατάλληλη φόρμα και γάντια), καθώς και μέσα προστασίας της αναπνοής και των ματιών. Το συνεργείο συλλέγει τη σκόνη με κατάλληλη σκούπα κενού. Επίσης, μεριμνά για τον αερισμό του χώρου, ώστε η συγκέντρωση των τοξικών αερίων παραπροϊόντων να μειωθεί κάτω από τα επιθυμητά όρια. Κατά κανόνα η συγκέντρωσή τους έχει περιοριστεί σε τιμές κάτω από τα όρια μακροχρόνιας έκθεσης (TLV), πριν από την επέμβαση του συνεργείου, λόγω του φυσικού αερισμού του χώρου, ωστόσο σε ορισμένες ακραίες περιπτώσεις ενδεχομένως να απαιτηθεί και αερισμός με μηχανικά μέσα. Εάν αρχίσει ο αερισμός πριν από τη συλλογή της σκόνης, θα πρέπει να γίνεται με ήπια ροή αέρα, για να μην προκαλέσει ανακυκλοφορία της. Μετά τη συλλογή της σκόνης και τον αερισμό, τα πρόσθετα μέσα προστασίας (αναπνοής, ματιών, φόρμα προστασίας από χημικές ουσίες) παύουν να είναι αναγκαία, δεδομένου ότι και η συγκέντρωση των τοξικών αερίων παραπροϊόντων θα έχει περιοριστεί σαφώς κάτω από τα όρια μακροχρόνιας έκθεσης (TLV). Για άρση κάθε τυχόν αμφιβολίας και κυρίως για να αντιμετωπιστεί η εντύπωση, η οποία έχει επικρατήσει σε συνεργεία της Διανομής ότι η χρήση του SF₆ στους Πίνακες ΜΤ της Διανομής αποτελεί ιδιαίτερα επικίνδυνη πρακτική, γίνεται μέτρηση της συγκέντρωσης του SF₆ ή του SOF₂, εφόσον το συνεργείο διαθέτει τον κατάλληλο ανιχνευτή. Σημειώνεται ότι η μέτρηση της συγκέντρωσης του SOF₂ δεν ενδείκνυται, εάν έχει περάσει αρκετός χρόνος από την εκδήλωση του τόξου και στο χώρο υπάρχει πολλή υγρασία. Υπενθυμίζεται ότι τα όρια μακροχρόνιας έκθεσης, με τα οποία συγκρίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων, είναι 20 ppmv, για το SF₆ και 1,6 ppmv για το SOF₂.
- Σημειώνεται ότι το πρότυπο IEC 1634/04 1995 συνιστά τη συλλογή των στερεών παραπροϊόντων με σκούπα κενού, όπως προαναφέρθηκε, για τον καθαρισμό εσωτερικών χώρων, σε περίπτωση εσωτερικού τόξου σε Πίνακες που είναι εγκατεστημένοι στους χώρους αυτούς. Ωστόσο, σε περισσότερο επιβαρυνμένες περιπτώσεις παρουσίας στερεών παραπροϊόντων, όπως είναι ο καθαρισμός εσωτερικών επιφανειών «δοχείων» που περιέχουν SF₆ με μέτρια ή υψηλή αποσύνθεση (π.χ. Πινάκων Μ και ΥΤ με SF₆, μετά το πέρας της διάρκειας ζωής τους), συνιστά την αδρανοποίησή τους με κατάλληλα αλκαλικά διαλύματα. Συγκεκριμένα, προβλέπει το γέμισμα ή το πλύσιμο του εσωτερικού των δοχείων με αλκαλικά διαλύματα και το ξέπλυμά τους με νερό. Κατά συνέπεια, αντί της συλλογής των στερεών παραπροϊόντων με σκούπα κενού μπορεί να εφαρμόζεται η αδρανοποίησή τους, ως περισσότερο δραστικό μέτρο.
- Μετά από το πέρας των εργασιών, οι σακούλες της σκούπας με τη σκόνη που συγκεντρώθηκε, καθώς και ο εξοπλισμός μιας χρήσης που χρησιμοποιήθηκε θα πρέπει να αδρανοποιούνται και να διατίθενται ως στερεά απόβλητα. Ομοίως, ακολουθείται διαδικασία αδρανοποίησης για τα υποδήματα, για τυχόν ενδύματα που δεν ήταν καλυμμένα από την ειδική φόρμα, καθώς και για τα εργαλεία και τον εξοπλισμό. Η σύνθεση των διαλυμάτων αδρανοποίησης, η διαδικασία αδρανοποίησης καθώς και τα

μέσα ατομικής προστασίας που πρέπει να φέρουν τα μέλη του συνεργείου που πραγματοποιεί τον καθαρισμό, αναφέρονται σε επόμενη παράγραφο.

5.4.5 Έκθεση λόγω πυρκαγιάς

Εάν εκδηλωθεί πυρκαγιά σε χώρο Υποσταθμού με Πίνακα MT με SF₆ είναι πιθανό να προκληθεί αλλοίωση των συνθετικών παρεμβυσμάτων (από εποξικές ρητίνες ή άλλα συνθετικά υλικά), που βρίσκονται στα σημεία εισόδου των καλωδίων στον Πίνακα και διαρροή SF₆ από τα σημεία αυτά. Η αλλοίωση των παρεμβυσμάτων ξεκινά για τοπική θερμοκρασία της τάξης των 150 °C.

Επιπλέον, σε θερμοκρασίες σαφώς μικρότερες των 500 °C η ασθενής περιοχή του περιβλήματος των Πινάκων υποχωρεί, λόγω της αύξησης της πίεσης του SF₆, το οποίο διαρρέει από τους Πίνακες. Συνεπώς, η διαρροή συμβαίνει πάντοτε πριν το SF₆ υποστεί αξιόλογη αποσύνθεση λόγω της θερμοκρασίας. Το SF₆ που διαρρέει, δεν είναι εύφλεκτο και για το λόγο αυτό δε συμβάλλει στην εξάπλωση της πυρκαγιάς. Μετά τη διαρροή, το SF₆ διαχέεται μέσω των θερμικών ρευμάτων αέρα και για το λόγο αυτό δεν εκτίθεται άμεσα σε θερμότητα για ικανό χρόνο, συνεπώς δεν υφίσταται σημαντική θερμική αποσύνθεση.

Εάν το προσωπικό πυρόσβεσης το οποίο προσεγγίζει τους Πίνακες, χρησιμοποιεί τα μέσα προστασίας που απαιτούνται για την προστασία του από τα προϊόντα καύσης των οργανικών συνθετικών υλών (από τέτοιες ύλες αποτελούνται οι μονώσεις και οι μανδύες των καλωδίων του Υποσταθμού), δεν διατρέχει κίνδυνο, δεδομένου ότι τα μέσα αυτά είναι επαρκή και για την προστασία του από τα αέρια και στερεά παραπροϊόντα του SF₆.

Μετά από την κατάσβεση πυρκαγιάς σε εσωτερικό χώρο με Πίνακες SF₆, το προσωπικό που θα επέμβει για καθαρίσει το χώρο και να αποκαταστήσει τη βλάβη θα πρέπει να παίρνει τα ίδια μέτρα προστασίας με την περίπτωση εσωτερικού τόξου στους Πίνακες. Τα μέτρα αυτά αναφέρθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο [22].

5.5 Διερεύνηση αναγκαιότητας του ελέγχου επάρκειας οξυγόνου σε χώρους υποσταθμών πόλεως και καταναλωτών μέσης τάσης με πίνακες

Στον Πίνακα Β.4 (Παράρτημα Β) υπολογίζεται η μέση περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο, μετά από διαρροή SF₆ από Πίνακες MT σε Υποσταθμούς πόλεως και σε χώρους Πινάκων καταναλωτών ΒΚ. Η εξέταση γίνεται για διαρροή του SF₆ μέχρι την εξισορρόπηση των πιέσεων, με την παραδοχή ότι δεν υπάρχει αερισμός στους χώρους. Πιο αναλυτικά, οι περιπτώσεις που εξετάζονται είναι η διαρροή από συνεπτυγμένο Πίνακα και από πεδίο διακόπτη φορτίου κυψελωτού Πίνακα σε Υποσταθμούς πόλεως, η διαρροή από διακόπτη φορτίου σε χώρο Πινάκων ΒΚΙ και ΒΚΙΙ και η διαρροή από διακόπτη ισχύος σε χώρο Πινάκων ΒΚΙΙ.

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 4 (Παράρτημα Β), σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάζονται η μέση περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο μειώνεται ανεπαίσθητα, παραμένοντας πάντοτε σαφώς μεγαλύτερη από το όριο του 19,5 % (για περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο κάτω από το ποσοστό αυτό, απαιτείται η χρήση αναπνευστικών συσκευών).

Η περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο παραμένει σαφώς πάνω από το 19,5 %, ακόμη και σε ακραίες περιπτώσεις, οι οποίες είναι σχεδόν αδύνατο να εμφανιστούν στην πράξη, όπως είναι η ταυτόχρονη διαρροή SF₆ και από τα τρία πεδία κυψελωτού Πίνακα MT σε Υποσταθμό πόλεως ή η ταυτόχρονη διαρροή SF₆ από τα τέσσερα πεδία διακοπών φορτίου και το πεδίο διακόπτη ισχύος σε χώρο Πινάκων ΒΚΙΙ. Επίσης, παραμένει σαφώς πάνω από το όριο, ακόμη

και εάν, στις ακραίες περιπτώσεις που προαναφέρθηκαν, η διαρροή του SF₆ συνεχιστεί μέχρι την πλήρη ανάμιξη του SF₆ των Πινάκων με τον αέρα του περιβάλλοντα χώρου. Αυτό είναι δυνατό να επιβεβαιωθεί εύκολα, με την επανάληψη των υπολογισμών του Πίνακα 4 (Παράρτημα Β), με βάση τις συνθήκες που προαναφέρθηκαν.

Κατά συνέπεια, δεν συντρέχει λόγος χρησιμοποίησης ανιχνευτή οξυγόνου σε Υποσταθμούς πόλεως και σε χώρους Πινάκων ΒΚ, ακόμη και μετά από εσωτερικό τόξο σε Πίνακες με SF₆, δεδομένου ότι σε όλες τις δυνατές περιπτώσεις διαρροής, η μέση περιεκτικότητα του οξυγόνου στον αέρα παραμένει πολύ πάνω από 19,5% [22].

5.6 Μέσα ατομικής προστασίας από τα παραπροϊόντα του SF₆

Μέσα ατομικής προστασίας από τα παραπροϊόντα του SF₆ και περιπτώσεις χρησιμοποίησής τους. Ο προσδιορισμός των αναγκαίων μέσων για την ατομική προστασία των εργαζομένων, που εκτίθενται σε παραπροϊόντα του SF₆ σε Υποσταθμούς πόλεως, συνεπτυγμένους Υποσταθμούς και χώρους Πινάκων ΒΚ της Διανομής, όπου είναι εγκατεστημένοι Πίνακες ΜΤ με SF₆, γίνεται με βάση:

- τα συμπεράσματα για τις περιπτώσεις έκθεσης σε παραπροϊόντα του SF₆, οι οποίες εξετάστηκαν σε προηγούμενη παράγραφο.
- όσα αναφέρονται σχετικά με τα μέσα ατομικής προστασίας στο πρότυπο IEC 1634:1995 (1) (κυρίως στην παράγραφο 1.2. Equipment for personal protection).
- τον «Οδηγό για τη διαχείριση συσκευών με SF₆».

Σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν, προκύπτει ότι τα μέσα προστασίας τα οποία πρέπει να φέρουν τα μέλη του συνεργείου καθαρισμού, μετά από εσωτερικό τόξο που έχει ως αποτέλεσμα τη διαρροή SF₆ σε Υποσταθμούς πόλεως ή σε χώρους Πινάκων καταναλωτών ΒΚ, είναι τα εξής:

1. Φόρμα μίας χρήσης για προστασία από χημικές ουσίες, Κωδικός ΔΕΗ 831008040. Η φόρμα αυτή διαθέτει και κάλυμμα των υποδημάτων, για προστασία τους από χημικές ουσίες.
2. Γάντια νιτριλίου, Κωδικός ΔΕΗ 831009251.
3. Φιλτράμασκα ΑΒΕΚ1Ρ3, Κωδικός ΔΕΗ 831009391.
4. Γυαλιά τύπου μάσκας, για προστασία έναντι μηχανικών και χημικών κινδύνων, Κωδικός ΔΕΗ 831000480).
5. Αντί της φιλτράμασκας και των γυαλιών προστασίας μπορεί να χρησιμοποιείται μάσκα ολοκλήρου προσώπου, Κωδικός ΔΕΗ 831007084) με φίλτρο Α2Β2Κ2Ρ3 (Κωδικός ΔΕΗ 83101049) [22].

5.7 Εξοπλισμός μετρήσεων και λοιπός εξοπλισμός

Εκτός από τα μέσα ατομικής προστασίας, για τη διαχείριση του SF₆ και των παραπροϊόντων του, σε περίπτωση μη φυσιολογικής διαρροής (η οποία οφείλεται σε εσωτερικό τόξο είτε σε άλλα αίτια), ο ακόλουθος εξοπλισμός είναι επίσης χρήσιμος ή και απαραίτητος [22]:

1. **Ανιχνευτής SF₆**, με ικανότητα να ανιχνεύει συγκεντρώσεις του SF₆ στον αέρα 20 ppmv, 200 ppmv και 1.000 ppmv. Χρήσιμο είναι (όχι όμως απαραίτητο) να έχει και τη δυνατότητα ανίχνευσης και της συγκέντρωσης του SOF₂. Ο ανιχνευτής αυτός είναι χρήσιμος για τη μέτρηση της συγκέντρωσης γηρασμένου SF₆ (είτε της αντίστοιχης συγκέντρωσης του SOF₂) μετά από εσωτερικό τόξο σε Πίνακες με SF₆ σε Υποσταθμούς πόλεως και σε χώρους Πινάκων καταναλωτών ΒΚ. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της συγκέντρωσης του SF₆ είτε του SOF₂, μετά από

μη φυσιολογική διαρροή συνεπτυγμένων Πινάκων με SF₆ σε Υποσταθμούς πόλεως και διακοπών ισχύος με SF₆ σε χώρους Πινάκων καταναλωτών ΒΚΙΙ.

2. **Σκούπα κενού**, με ικανότητα συλλογής σκόνης διαστάσεων της τάξης του ενός μικρού, με μη μεταλλικό στόμιο απορρόφησης, εφοδιασμένη με τις κατάλληλες πλαστικές σακούλες (π. χ. σκούπα τύπου Η, σύμφωνα με το Βρετανικό πρότυπο BS 5415 / Συμπλήρωμα 1 / 1986). Η σκούπα αυτή χρησιμοποιείται για τη συλλογή των στερεών παραπροϊόντων, μετά από εσωτερικό τόξο σε Πίνακες με SF₆, σε Υποσταθμούς πόλεως και σε χώρους Πινάκων καταναλωτών ΒΚ. Αντί της συλλογής με σκούπα, είναι δυνατόν, εναλλακτικά, να γίνει αδρανοποίηση των στερεών παραπροϊόντων με κατάλληλο αλκαλικό διάλυμα (βλ. επόμενη παράγραφο). Επίσης, χρησιμοποιείται για τη συλλογή των στερεών παραπροϊόντων, μετά από εσωτερικό τόξο σε συνεπτυγμένους Υποσταθμούς, εναλλακτικά, αντί της αδρανοποίησης τους με κατάλληλο αλκαλικό διάλυμα (η αδρανοποίηση, στην περίπτωση αυτή, αποτελεί την κύρια μέθοδο αντιμετώπισης).
3. **Μηχανικά μέσα για τον αερισμό** των Υποσταθμών πόλεως και των χώρων Πινάκων καταναλωτών ΒΚ (μετά από εσωτερικό τόξο σε Πίνακες με SF₆, καθώς και μετά από μη φυσιολογική διαρροή σε συνεπτυγμένους Πίνακες Υποσταθμών πόλεως ή σε διακόπτες ισχύος Πινάκων ΒΚΙΙ). Κατά κανόνα, ο φυσικός αερισμός είναι σχεδόν πάντοτε επαρκής για τη μείωση της συγκέντρωσης των τοξικών αέριων παραπροϊόντων του SF₆ κάτω από τα όρια μακροχρόνιας έκθεσης, ωστόσο ενδέχεται, σε ορισμένες ακραίες περιπτώσεις, ως προς τη διαμόρφωση των χώρων, να απαιτηθεί επικουρικά και αερισμός με μηχανικά μέσα.
4. **Μεταλλικά βαρέλια** τύπου UN των 208 λίτρων ή άλλα, κατάλληλης χωρητικότητας βαρέλια, μεταλλικά ή από συνθετικό υλικό, για την αδρανοποίηση των στερεών παραπροϊόντων που συλλέγονται, των ενδυμάτων κ.λπ. (βλ. επόμενη παράγραφο).

5.8 Διαλύματα και διαδικασία αδρανοποίησης

5.8.1 Αλκαλικά διαλύματα για την αδρανοποίηση των χώρων, των μέσων ατομικής προστασίας του εξοπλισμού κ.λπ., μετά από εσωτερικό τόξο σε Πίνακες ΜΤ με SF₆.

Ως προς τα αλκαλικά διαλύματα, με τα οποία γίνεται η αδρανοποίηση των επιφανειών με αποθέσεις στερεών παραπροϊόντων του SF₆, καθώς και των μέσων ατομικής προστασίας, των ενδυμάτων, του εξοπλισμού κ.λπ., το διεθνές πρότυπο IEC 1634/04 1995 δεν καταλήγει σε μονοσήμαντες οδηγίες, αλλά αναφέρει και συνιστά τις πλέον έγκυρες πρακτικές (state of the art) που απαντώνται σε εθνικούς κανονισμούς και στη βιβλιογραφία, αφήνοντας την επιλογή στο χρήστη. Στη συνέχεια, οι μέθοδοι αδρανοποίησης, οι οποίες συγκαταλέγονται στις το IEC και θα εφαρμόζονται από τη Διανομή [22].

5.8.2 Αδρανοποίηση

Για την αδρανοποίηση των στερεών ενδέχεται να διαρρεύσουν από Πίνακες ΜΤ με SF₆ στους συνεπτυγμένους Υποσταθμούς και στους χώρους ΜΤ, μετά από εσωτερικό τόξο, θα εφαρμόζεται η εξής πρακτική [22]:

- Θα γίνεται ψεκασμός της επιφάνειας του εδάφους που περιβάλλει τους συνεπτυγμένους Υποσταθμούς (συνήθως αποτελείται από χαλίκια) και πλύση των λοιπών επιφανειών των χώρων που προαναφέρθηκαν με διάλυμα ανθρακικού νατρίου Na₂CO₃ με συγκέντρωση 3 kg / 100 λίτρα.
- Η πλύση θα επικεντρώνεται κυρίως στις οριζόντιες επιφάνειες, στις οποίες μπορεί να κατακαθίσει η σκόνη (δάπεδο, πυθμένας καναλιών καλωδίων κ.λπ.).

Ιδιότητες, Χρήσεις και Εφαρμογές του Ηλεκτρομονωτικού Αερίου SF₆

- Ακολούθως θα ξεπλένονται οι επιφάνειες με νερό. Σημειώνεται ότι, όταν χρησιμοποιείται ασθενώς αλκαλικό διάλυμα, όπως αυτό που προαναφέρθηκε, δεν είναι αναγκαίο να λαμβάνονται μέτρα για την αποφυγή της επαφής του με το δέρμα.
- Αντίθετα, σε περίπτωση ισχυρά αλκαλικών διαλυμάτων (π.χ. διαλύματος Na₂CO₃ με συγκέντρωση μεγαλύτερη από 10 kg / 100 λίτρα), θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για να αποφεύγεται η επαφή τους με το δέρμα και τα μάτια.

Όπως προαναφέρθηκε, η αδρανοποίηση των χώρων με το διάλυμα αυτό μπορεί να εφαρμόζεται κατά τον καθαρισμό Υποσταθμών πόλεως και χώρων Πινάκων ΜΤ καταναλωτών ΒΚ μετά από εσωτερικό τόξο σε Πίνακες ΜΤ, ως εναλλακτική μέθοδος, αντί της συλλογής των στερεών παραπροϊόντων με σκούπα κενού. Επίσης, θα εφαρμόζεται κατά τον καθαρισμό των συνεπτυγμένων Υποσταθμών και της επιφάνειας του εδάφους που τους περιβάλλει, ως κύρια μέθοδος αντιμετώπισης των στερεών παραπροϊόντων (η εναλλακτική μέθοδος, που είναι σε αυτή την περίπτωση η συλλογή των παραπροϊόντων με σκούπα κενού, μειονεκτεί ως προς την αντιμετώπιση των στερεών παραπροϊόντων στο χώρο που περιβάλλει τον Υποσταθμό).

Η σακούλα της σκούπας με τη σκόνη καθώς και τα μη επαναχρησιμοποιήσιμα μέσα προστασίας (όπως π.χ. η φόρμα μιας χρήσης) και λοιπά υλικά (π.χ. στουπιά) θα τοποθετούνται σε βαρέλι και θα αδρανοποιούνται με τα εξής διαλύματα, εναλλακτικά:

- Κορεσμένο διάλυμα υδροξειδίου του ασβεστίου με χρόνο παραμονής 24 ώρες.
- Διάλυμα ανθρακικού νατρίου (Na₂CO₃) με συγκέντρωση kg / 100 λίτρα, με χρόνο παραμονής 24 ώρες. Το διάλυμα αυτό, που συνιστάται από το IEC, είναι παραπλήσια σύστασης με αυτό που συνιστάται από την Οδηγία ΚΥΑΕ. Κατά συνέπεια, η μέθοδος αδρανοποίησης που περιγράφεται στην Οδηγία είναι μέσα στα πλαίσια του IEC και μπορεί να εφαρμόζεται.

Κατά την αδρανοποίηση, θα πρέπει ο αερισμός του χώρου να είναι επαρκής και το προσωπικό να φέρει τα μέσα προστασίας που χρησιμοποιούνται από τα μέλη του συνεργείου που επεμβαίνει για τον καθαρισμό των Υποσταθμών μετά από εσωτερικό τόξο σε Πίνακες SF₆. Τα αδρανοποιημένα υλικά μπορούν να διατεθούν ως μη επικίνδυνα στερεά απόβλητα.

Τα ενδύματα και τα υποδήματα, που τυχόν εκτέθηκαν σε στερεά παραπροϊόντα του SF₆ (π.χ. σε περίπτωση που υπήρχε προσωπικό στο χώρο κατά την εκδήλωση εσωτερικού τόξου σε Πίνακα ΜΤ), θα εμβάπτιζονται σε διάλυμα ανθρακικού νατρίου (Na₂CO₃) με συγκέντρωση 3 kg / λίτρο. Μετά την εμβάπτιση, θα ξεπλένονται με καθαρό νερό. Ακολούθως, μπορούν να πλυθούν κανονικά (όπως πλένονται συνήθως τα ενδύματα) και να επαναχρησιμοποιηθούν.

Τα εργαλεία και τα επαναχρησιμοποιήσιμα μέσα προστασίας (π.χ. γυαλιά προστασίας) θα πλένονται με αλκαλικό διάλυμα αδρανοποίησης (π.χ. όπως αυτό που χρησιμοποιείται για την αδρανοποίηση των ενδυμάτων) και ακολούθως με καθαρό νερό.

Τα ακάλυπτα μέρη του σώματος που τυχόν εκτέθηκαν σε παραπροϊόντα του SF₆ θα πλένονται με επιμέλεια, με νερό και σαπούνι ή με διάλυμα όξινου ανθρακικού νατρίου (διτανθρακικού νατρίου ή μαγειρικής σόδας — NaHCO₃) με συγκέντρωση 1 kg / 100 λίτρο [22].

5.9 Αναγκαία μέτρα προστασίας κατά τη διαχείριση SF₆ κέντρων διανομής και λοιπών εγκαταστάσεων της Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.

5.9.1 Κέντρα Διανομής

Τα Κέντρα Διανομής περιλαμβάνουν εξοπλισμό ο οποίος έχει ποσότητες SF₆ πολύ μεγαλύτερες από εκείνες που συναντώνται στους Υποσταθμούς πόλεως και στους χώρους Πινάκων καταναλωτών ΒΚ (ιδιαίτερα στους χώρους ΥΤ).

Εμφανίζονται σημαντικές διαφορές μεταξύ των Κέντρων Διανομής ως προς τα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού και ειδικότερα ως προς την ποσότητα του SF₆ που περιέχει (όγκος, πίεση, πλήθος - π.χ. Πινάκων ΜΤ κ.λπ.), καθώς και ως προς τη διαμόρφωση των χώρων στους οποίους είναι εγκατεστημένος (όγκος, συνθήκες αερισμού κ.λπ.). Έτσι, είναι αναγκαίο να γίνει διερεύνηση, όμοια με αυτή που έγινε στους Υποσταθμούς Διανομής, για κάθε χώρο Κέντρου Διανομής που περιέχει εξοπλισμό με SF₆, για να προσδιοριστούν με ακρίβεια τα μέτρα προστασίας που είναι αναγκαία ανά περίπτωση. Μέχρι να γίνει η κατά περίπτωση διερεύνηση, συνιστάται να λαμβάνονται τα αυστηρότερα δυνατά μέτρα, ώστε να υπάρχει πλήρης εξασφάλιση. Για την εφαρμογή των μέτρων αυτών, εκτός από τα μέσα ατομικής προστασίας και τον εξοπλισμό, που αναφέρθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο, απαιτείται ανιχνευτής οξυγόνου και αυτόνομη αναπνευστική συσκευή (Κωδικός ΔΕΗ 831004540). Επιπλέον, ο ανιχνευτής SF₆ που αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο είναι απαραίτητος. Σε περίπτωση διαρροής (ή πιθανής διαρροής) από εξοπλισμό που περιέχει SF₆, η οποία δεν οφείλεται σε εσωτερικό τόξο, γίνεται μέτρηση της περιεκτικότητας του αέρα σε οξυγόνο και της συγκέντρωσης του SF₆ (ή, εναλλακτικά του SOF₂) στο χώρο που είναι εγκατεστημένος ο εξοπλισμός. Ανάλογα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα, ως εξής [22]:

- Εάν η περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο είναι μικρότερη από 19,5 % τα μέλη του συνεργείου που επεμβαίνει στο χώρο θα φέρουν αυτόνομες αναπνευστικές συσκευές. Θα πρέπει να γίνει καλός αερισμός του χώρου με φυσικά μέσα είτε με μηχανικά μέσα. Τα πρόσθετα μέσα προστασίας (η αναπνευστική συσκευή, στην περίπτωση που εξετάζεται) παύουν να είναι αναγκαία όταν, λόγω του αερισμού, η περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο υπερβεί το 19,5 % και συγχρόνως η συγκέντρωση του SF₆ είναι μικρότερη από το όριο των 200 ppmv.
- Εάν η περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο είναι μεγαλύτερη από 19,5 % αλλά η συγκέντρωση του SF₆ είναι μεγαλύτερη από το όριο των 200 ppmv, τα μέλη του συνεργείου θα φέρουν φιλτράμασκα και προστατευτικά γυαλιά ή μάσκα ολοκλήρου προσώπου. Και στην περίπτωση αυτή, θα πρέπει να γίνει καλός αερισμός του χώρου. Τα πρόσθετα μέσα προστασίας παύουν να είναι αναγκαία όταν η συγκέντρωση του SF₆ περιοριστεί κάτω από τα 200 ppmv.
- Εάν η περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο είναι μεγαλύτερη από 19,5 % και η συγκέντρωση του SF₆ είναι μικρότερη από το όριο των 200 ppmv, δεν απαιτείται η λήψη πρόσθετων μέτρων προστασίας από τα μέλη του συνεργείου που θα εργαστεί στο χώρο.
- Σε περίπτωση εκδήλωση, εσωτερικού τόξου σε εξοπλισμό με SF₆, τη στιγμή που βρίσκονται εργαζόμενοι, μέσα στο χώρο όπου είναι εγκατεστημένος, αυτοί θα πρέπει να απομακρυνθούν το συντομότερο από το χώρο. Μετά την απομάκρυνσή τους, θα πρέπει να κάνουν αδρανοποίηση των ενδυμάτων και των υποδημάτων τους καθώς και του εξοπλισμού (κράνος, γάντια) και των εργαλείων τους. Επίσης, να πλύνουν με επιμέλεια τα ακάλυπτα μέρη του σώματός τους ιδιαίτερα τα μάτια). Οι τρόποι αδρανοποίησης και πλυσίματος αναφέρθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο.
- Σε περίπτωση διαρροής η οποία οφείλεται (ή πιθανολογείται ότι οφείλεται) σε εσωτερικό τόξο, θα πρέπει να επέλθει το συνεργείο καθαρισμού του χώρου. Τα μέλη του συνεργείου θα φέρουν φόρμα προστασίας από χημικές ουσίες, γάντια νιτριλίου και αυτόνομη αναπνευστική συσκευή. Το συνεργείο θα είναι εφοδιασμένο με κατάλληλη σκούπα κενού είτε με κατάλληλο αλκαλικό διάλυμα αδρανοποίησης, καθώς και με συσκευές ανίχνευσης SF₆ και οξυγόνου. Η επέμβασή του γίνεται ικανό χρονικό διάστημα μετά την εκδήλωση της βλάβης (1 -2 ώρες τουλάχιστον), ώστε να έχει κατακαθίσει η σκόνη. Το συνεργείο συλλέγει τη σκόνη με τη σκούπα κενού, είτε αδρανοποιεί το χώρο με κατάλληλο αλκαλικό διάλυμα. Επίσης, μεριμνά για τον αερισμό του χώρου, με φυσικά

είτε με μηχανικά μέσα, ώστε να αυξηθεί η περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο και να μειωθεί η συγκέντρωση των τοξικών παραπροϊόντων του SF₆. Εάν αρχίσει ο αερισμός πριν από τη συλλογή της σκόνης, θα πρέπει να γίνεται με ήπια ροή αέρα, για να μην προκαλέσει ανακυκλοφορία της. Μετά τη συλλογή της σκόνης και τον αερισμό, γίνεται μέτρηση της περιεκτικότητας του αέρα σε οξυγόνο και της συγκέντρωσης του SF₆. Εάν διαπιστωθεί ότι η περιεκτικότητα σε οξυγόνο είναι μεγαλύτερη από 19,5 % και η συγκέντρωση του SF₆ μικρότερη από 20 ppmv, τα πρόσθετα μέσα προστασίας (αναπνευστική συσκευή, ειδικά γάντια» φόρμα προστασίας από χημικές ουσίες) παύουν να είναι αναγκαία.

Μετά από το πέρας των εργασιών, οι σακούλες της σκούπας με τη σκόνη που συγκεντρώθηκε, καθώς και ο εξοπλισμός μιας χρήσης που χρησιμοποιήθηκε θα πρέπει να αδρανοποιούνται και να διατίθενται ως στερεά απόβλητα. Ομοίως, ακολουθείται διαδικασία αδρανοποίησης για τα υποδήματα, για τυχόν ενδύματα που δεν ήταν καλυμμένα από την ειδική φόρμα, καθώς και για τα εργαλεία και τον εξοπλισμό. Η σύνθεση των διαλυμάτων αδρανοποίησης, καθώς και η διαδικασία αδρανοποίησης αναφέρονται σε προηγούμενη παράγραφο.

- Σε περίπτωση πυρκαγιάς σε χώρο με εξοπλισμό που περιέχει SF₆, είναι πιθανό να προκληθεί εσωτερικό τόξο και διαρροή SF₆. Το προσωπικό πυρόσβεσης που επεμβαίνει, εφόσον φέρει τα αναγκαία μέσα για την προστασία του από τα παραπροϊόντα καύσης οργανικών συνθετικών υλών, είναι προστατευμένο και από τα παραπροϊόντα του SF₆. Μετά την κατάσβεση της πυρκαγιάς, θα γίνει και καθαρισμός του χώρου, όμοιος με εκείνον που εφαρμόζεται μετά από εσωτερικό τόξο.

5.9.2 Λοιπές εγκαταστάσεις

Σε λοιπές εγκαταστάσεις της Επιχείρησης οι οποίες περιλαμβάνουν εξοπλισμό με SF₆ σε εσωτερικό χώρο (π.χ. Πίνακες σε Σταθμούς Παραγωγής) είναι αναγκαίο να γίνει διερεύνηση, όμοια με αυτή που έγινε στους Υποσταθμούς Διανομής, για κάθε χώρο που περιέχει τέτοιο εξοπλισμό, για να προσδιοριστούν με ακρίβεια τα αναγκαία ανά περίπτωση μέτρα προστασίας. Μέχρι να γίνει η κατά περίπτωση διερεύνηση και να εξειδικευτούν τα μέτρα ανά χώρο, συνιστάται να λαμβάνονται τα αυστηρότερα δυνατά μέτρα, τα οποία αναπτύχθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο για τα Κέντρα Διανομής, ώστε να υπάρχει πλήρης εξασφάλιση. Σε εγκαταστάσεις της Επιχείρησης με εξοπλισμό SF₆ σε εξωτερικό χώρο, συνιστώνται μέτρα όμοια με εκείνα που λαμβάνονται σε συνεπτυγμένους Υποσταθμούς Διανομής [22].

5.10 Τεχνικές οδηγίες συντήρησης υποσταθμού (Υ/Σ) εσωτερικού χώρου

Μετά το πέρας της εντολής συντήρησης Υ/Σ εσωτερικού χώρου, ο Ανάδοχος συμπληρώνει το έντυπο ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΕΣΩΤ.ΧΩΡΩΝ ΜΤ/ΧΤ (Παράρτημα Β) και το προσκομίζει στην Επιβλέπουσα Υπηρεσία [23]. Τα στάδια συντήρησης είναι τα παρακάτω:

Στάδιο 1ο: Καθαρισμός Υ/Σ εσωτερικού χώρου

Ο καθαρισμός του εσωτερικού χώρου του Υ/Σ περιλαμβάνει:

1. Σκούπισμα με ηλεκτρική σκούπα του δαπέδου και των μεταλλικών καλυμμάτων (λαμαρίνες) των καναλιών.
2. Καθαρισμό διαχωριστικών πλεγμάτων.
3. Απομάκρυνση σκόνης από τους πίνακες με ηλεκτρική σκούπα.
4. Απομάκρυνση σκόνης από τον Μ/Σ με ηλεκτρική σκούπα.
5. Εκτοποθέτηση των μεταλλικών καλυμμάτων (λαμαρινών) των καναλιών.
6. Σκούπισμα με ηλεκτρική σκούπα των καναλιών και απομάκρυνση ξένων αντικειμένων εφόσον υπάρχουν.
7. Επανατοποθέτηση των μεταλλικών καλυμμάτων (λαμαρινών) των καναλιών.
8. Σκούπισμα με ηλεκτρική σκούπα πλαϊνών τοίχων και οροφής.
9. Καθαρισμό με κατάλληλο πανί και υγρό καθαρισμού των περσίδων εξαερισμού του Υ/Σ.
10. Απομάκρυνση ξένων αντικειμένων από κάθε σημείο του υποσταθμού εφόσον υπάρχουν.

Στάδιο 2ο: Έλεγχος λειτουργίας εξοπλισμού

Ο έλεγχος λειτουργίας του εξοπλισμού του Υ/Σ περιλαμβάνει:

1. Έλεγχο Ηλεκτρολογικής εγκατάστασης του χώρου (Ηλεκτρικός πίνακας, διακόπτες, ρευματοδότες, λυχνιολαβές φωτιστικών).
2. Έλεγχο λειτουργίας λαμπτήρων φωτισμού και φωτιστικών σωμάτων ασφαλείας.
3. Έλεγχο εισροής υδάτων.
4. Έλεγχο ημερομηνίας λήξης αναγόμωσης και ένδειξης αερίου Πυροσβεστήρων. Σε περίπτωση ακαταλληλότητας των μέσων πυρόσβεσης, ειδοποιείται άμεσα η αρμόδια Επιβλέπουσα Υπηρεσία.
5. Έλεγχο λειτουργίας εξαερισμού
6. Έλεγχο αντικειμένων (κλειδαριές, λουκέτα, μεντεσέδες, πόμολα) του Υ/Σ και επιδιόρθωση ή αντικατάσταση τους όπου χρειάζεται.
7. Έλεγχο συνέχειας γειώσεων (περιμετρική λάμα γείωσης και γειώσεις συσκευών).
8. Μέτρηση θερμοκρασίας χώρου.

Στάδιο 3ο: Συντήρηση πίνακα μέσης τάσης (Μ.Τ.)

Η συντήρηση του πίνακα Μ.Τ. περιλαμβάνει:

1. Έλεγχο λειτουργίας ενδεικτικών λυχνιών (ύπαρξης τάσεως).
2. Έλεγχο λειτουργίας των διακοπών Μέσης Τάσεως (Open - Close).
3. Έλεγχο μηχανισμών μέσω δοκιμαστικών χειρισμών των διακοπών (γειωτή, Δ/Φ και Δ/Γ) και λίπανση αυτών με βαζελίνη.
4. Έλεγχο λειτουργίας της αλληλομανδάλωσης πόρτας διακόπτη.
5. Έλεγχο και καθαρισμό των επαφών των διακοπών με κατάλληλο πανί, λείανση τυχόν επιφανειακών ανωμαλιών λόγω εστιών τόξου με σμυριδόπανο.
6. Έλεγχο των ζυγών και σύσφιξη των επαφών με δυναμόκλειδο.
7. Έλεγχο καλής κατάστασης των μονωτήρων και ακροκιβωτίων στις κυψέλες.
8. Έλεγχο έδρασης κυψέλης και σύσφιξη όπου χρειάζεται.
9. Καθάρισμα με στουπί ή πανί με ειδικό υγρό της κυψέλης εξωτερικά και εσωτερικά.
10. Καθάρισμα με στουπί ή πανί των μονωτήρων και των ακροκιβωτίων της κυψέλης.
11. Έλεγχο γείωσης πίνακα.

Ειδικά για πίνακα Μ.Τ. τύπου SF₆

1. Έλεγχο πληρότητας αερίου SF₆. Σε περίπτωση αρνητικής ένδειξης του αερίου, ειδοποιείται άμεσα η αρμόδια Επιβλέπουσα Υπηρεσία για την αντικατάσταση της κυψέλης.
2. Έλεγχο συσφίξεων περιβλήματος διακόπτη (βαρελάκι).

Για πίνακα Μ.Τ. παλαιού τύπου (π.χ. Stalco)

1. Εκτέλεση δοκιμαστικών χειρισμών και διαπίστωση της πλήρους συνεργασίας μεταξύ θέσεως χειριστηρίου και θέσεως επαφών (για θέση χειριστηρίου ON οι επαφές πρέπει να έχουν “κλείσει” πλήρως και για θέση χειριστηρίου OFF πρέπει να έχουν “ανοίξει” πλήρως).
2. Εκτέλεση δοκιμαστικών χειρισμών και διαπίστωση προκειμένου τα κεράτια να μην ευρίσκονται σε επαφή όταν ο τριπολικός διακόπτης βρίσκεται στη θέση OFF.
3. Έλεγχο και ρύθμιση αντίβαρου.

Στάδιο 4ο: Συντήρηση μετασχηματιστή (Μ/Σ)

Η συντήρηση του Μ/Σ περιλαμβάνει:

1. Έλεγχο στάθμης ελαίου και συμπλήρωσή του όπου χρειάζεται.
2. Έλεγχο διαρροής ελαίου Μετασχηματιστή.
3. Δειγματοληψία ελαίου για έλεγχο διηλεκτρικής αντοχής.
4. Έλεγχο θερμοκρασίας με θερμοκάμερα στις επαφές Χ.Τ. ο οποίος διενεργείται πριν και μετά την ηλεκτρική απομόνωση του Υ/Σ.
5. Έλεγχο έδρασης Μετασχηματιστή και σύσφιξη όπου χρειάζεται.
6. Έλεγχο και μέτρηση μονώσεων Μετασχηματιστή με MEGGER.
7. Εξωτερικό καθαρισμό του Μετασχηματιστή.
8. Έλεγχοι συσφίξεων.
9. Έλεγχο καλής κατάστασης των μονωτήρων και των ακροκιβωτίων του Μ/Σ.
10. Έλεγχο γείωσης του Μ/Σ.
11. Έλεγχο σωστής λειτουργίας και καθαρισμό με αντισκωριακό του μηχανισμού ρύθμισης.
12. Καθαρισμό του περιβάλλοντα χώρου του Μ/Σ.
13. Καθάρισμα με πανί και κατάλληλο υγρό καθαρισμού του κελύφους του Μ/Σ.
14. Καθάρισμα με πανί και κατάλληλο υγρό καθαρισμού των μονωτήρων κ επαφών ΜΤ και ΧΤ του Μ/Σ

Στάδιο 5ο: Συντήρηση πίνακα χαμηλής τάσης (Χ.Τ.) (PILLAR)

Η συντήρηση του πίνακα Χ.Τ. περιλαμβάνει:

1. Έλεγχο λειτουργίας του κεντρικού διακόπτη (αποζεύκτες ή Δ/Φ).
2. Λίπανση όλων των κινητών μερών με κατάλληλο λιπαντικό.
3. Έλεγχο των επαφών (δύο) με χρήση θερμοκάμερας οι οποίοι διενεργούνται πριν και μετά την ηλεκτρική απομόνωση του Υ/Σ.
4. Έλεγχο όλων των επαφών και συσφίξεις όπου αυτό απαιτείται
5. Έλεγχο λειτουργίας οργάνων μέτρησης και ενδείξεων.
6. Έλεγχο έδρασης πίνακα και σύσφιξη όπου χρειάζεται.
7. Έλεγχο γείωσης πίνακα.
8. Έλεγχο και σύσφιξη ακροδεκτών καλωδίων και αντικατάστασή τους όπου απαιτείται.
9. Έλεγχο και σύσφιξη ζυγών και όλων των ηλεκτρικών συνδέσεων και βάσεων ασφαλειών.
10. Έλεγχο πόρτας και κλείθρου του Pillar
11. Καθαρισμό με στυπί ή πανί με ειδικό υγρό του πίνακα εξωτερικά και εσωτερικά.

6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : Συμπεράσματα – θέματα για μελλοντική έρευνα

6.1 Συμπεράσματα για τη χρήση στις ηλεκτροτεχνικές εφαρμογές του αερίου SF₆

Το SF₆ είναι ένα εξαιρετικό διηλεκτρικό αέριο για όλες σχεδόν τις εφαρμογές υψηλής τάσης. Είναι εύκολο στη χρήση, έχει εξαιρετικές μονωτικές και μονωτικές ιδιότητες τόξου και η απόδοσή του έχει αποδειχθεί από τη χρήση και την έρευνα των τελευταίων δεκαετιών - σαφώς ανώτερη από τον αέρα και τα μονωτικά έλαια που χρησιμοποιούνταν στα περίπτερα πριν από την ανάπτυξη του SF₆.

Η χρήση της τεχνολογίας φασματομετρίας μάζας (QMS) για την ανάλυση αερίων, η οποία έχει την ευαισθησία που απαιτείται για τη μέτρηση των συγκεντρώσεων των παραπροϊόντων SF₆ σε ppmv (μέρη ανά εκατομμύριο κατ' όγκο), επιτρέπει:

- την μεγιστοποίηση της μελλοντικής διαθεσιμότητας του εξοπλισμού προγραμματίζοντας σωστά την επιθεώρηση και τη συντήρηση των υποσταθμών.
- την διάγνωση των αιτιών των βλαβών και των ζημιών του εξοπλισμού και βελτίωση της αξιοπιστίας του συστήματος στο μέλλον, εξασφαλίζοντας την ανθρώπινη ασφάλεια και την προστασία του περιβάλλοντος.

Στους Υποσταθμούς πόλεως, στους χώρους Πινάκων ΜΤ καταναλωτών ΒΚ στους συνεπτυγμένους Υποσταθμούς, με Πίνακες ΜΤ με SF₆, καθώς και στους λοιπούς χώρους της Επιχείρησης όπου είναι εγκατεστημένος εξοπλισμός με SF₆, δεν υφίσταται κίνδυνος για την υγεία των εργαζομένων από τα παραπροϊόντα του SF₆, εφόσον λαμβάνονται τα αναγκαία μέτρα προστασίας, τα οποία προαναφέρθηκαν.

Σε ό,τι αφορά στους Υποσταθμούς πόλεως, στους χώρους Πινάκων ΜΤ καταναλωτών ΒΚ και στους συνεπτυγμένους Υποσταθμούς, ουσιαστικά τα μέτρα προστασίας περιορίζονται μόνο στην περίπτωση εκδήλωσης εσωτερικού τόξου στους Πίνακες ΜΤ, δηλαδή σε μία περίπτωση αστοχίας, η οποία είναι σπάνια.

Το μείζον κομμάτι των μέτρων αφορά στην προστασία από τα στερεά παραπροϊόντα (χρήση ολόσωμης ειδικής φόρμας, συλλογή σκόνης, αδρανοποίηση υλικών κ.λπ.), παρά το ότι η επικινδυνότητά τους συνίσταται στη δυνατότητα δημιουργίας δευτερογενών τοξικών αέριων παραπροϊόντων, μετά από έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες ή μετά από υδρόλυση, ενώ επιπρόσθετα είναι αμφίβολο εάν θα παρατηρηθεί διαφυγή τους και εν πάση περιπτώσει η ποσότητα που ενδεχομένως θα διαφύγει θα είναι ελάχιστη. Ο λόγος είναι ότι, η μορφή που έχουν τα παραπροϊόντα αυτά (λεπτόκοκκη σκόνη) καθιστά δυσχερή τη συλλογή και αδρανοποίησή τους, σε αντίθεση με τα αέρια παραπροϊόντα, όπου η μείωση μέχρι εκμηδενισμού της συγκέντρωσής τους γίνεται είτε «αυτόματα» (διάχυση) είτε με πολύ απλές μεθόδους (αερισμός).

Ωστόσο, λόγω των μέτρων προστασίας που λαμβάνονται, για τα στερεά κυρίως παραπροϊόντα, έχει δημιουργηθεί σε μεγάλο βαθμό η εντύπωση στα στο τεχνικό προσωπικό της Διανομής ότι τα παραπροϊόντα αυτά είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα, καθώς και η γενικότερη εντύπωση ότι η χρήση του SF₆ στους Πίνακες ΜΤ της Διανομής είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη πρακτική. Ανάλογη εντύπωση προφανώς θα δημιουργηθεί π.χ. και στο κοινό, που θα τύχει να παρακολουθήσει καθαρισμό συνεπτυγμένου Υποσταθμού μετά από εσωτερικό τόξο στον Πίνακα ΜΤ, κάτι όμως που δεν ισχύει στην πραγματικότητα.

6.2 Θέματα για μελλοντική έρευνα και ανάπτυξη

Η καλύτερη απάντηση στις ανησυχίες σχετικά με την αύξηση της υπερθέρμανσης του πλανήτη λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη είναι η πρόληψη της απελευθέρωσης του SF₆ στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο, η αποδεδειγμένη βιομηχανική και κοινωνική αξία του καθιστά δύσκολη την πρόβλεψη της κατάργησής του στο εγγύς μέλλον - αέρια διηλεκτρικά που θα αντικαταστήσουν το SF₆ είναι δύσκολο να βρεθούν λόγω των πολλών θεμελιωδών και πρακτικών απαιτήσεων που πρέπει να πληρούν τα αέρια αυτά. Τα χαρακτηριστικά υψηλής πίεσης του SF₆, η μη τοξικότητα, η μη αναφλεξιμότητα, η διαθεσιμότητα, το κόστος, η απόδοση υπό διάφορες τάσεις δοκιμής, η σταθερότητα υπό μακροχρόνιες φορτίσεις, η διακοπή του ηλεκτρικού τόξου και ο περιορισμός του φαινομένου corona είναι μερικές από τις απαιτήσεις που πρέπει να πληροί το νέο αέριο.

Τα προβλήματα που δημιουργεί το SF₆ δεν έχουν λύσεις, αλλά, όπως σημειώνεται στις επόμενες παραγράφους, η συνεχιζόμενη έρευνα μπορεί να οδηγήσει σε νέες ευκαιρίες και πρωτοβουλίες για την ανάπτυξη εναλλακτικών αερίων μόνωσης και εναλλακτικών τεχνολογιών υψηλής τάσης.

6.2.1 Εταιρείες παραγωγής εξοπλισμού τεχνολογίας απαλλαγμένης από χρήση SF₆

6.2.1.1 Προϊόντα τεχνολογίας SF₆ - free από την Schneider Electric

Η εταιρεία Schneider Electric παρουσίασε μία σειρά νέων υπηρεσιών και προϊόντων στην Ετήσια έκθεση Messe του 2021. Μεταξύ άλλων, η εταιρεία γνωστοποίησε την διάθεση μίας νέας σειράς διακοπών MT, τους SM AirSeT, ως ένα βήμα για την επίτευξη βιωσιμότητας. Αντί για αέριο, ο διακόπτης χρησιμοποιεί συνδυασμό καθαρισμένου αέρα και κενό, με ψηφιακό χειριστήριο.



Εικόνα 6.1. Διακόπτες μέσης τάσης SM Air 1 [24]

Ο πρωτοποριακός πίνακας διανομής μεσαίας τάσης (M.T.) SM AirSeT σηματοδοτεί μια τολμηρή μετάβαση από το αέριο SF₆ στο καλύτερο δυνατό αέριο, τον καθαρό αέρα.

Βασίζεται στον καθιερωμένο πίνακα διανομής SM6, με εγκατεστημένη βάση που υπερβαίνει το 1,5 εκατομμύριο και χρησιμοποιεί αποδεδειγμένη και αξιόπιστη τεχνολογία κενού,

διατηρώντας όλες τις λειτουργίες και τη συνδεσιμότητα για μια προσέγγιση χωρίς συμβιβασμούς.

Η Schneider Electric αναμένει ότι ο συνδυασμός SVI και απομόνωσης καθαρού αέρα θα προκαλέσει μεγάλο ενδιαφέρον, καθώς αποφεύγεται η χρήση του SF₆, διατηρώντας παράλληλα τα πλεονεκτήματα του συμπαγούς φυσικού χώρου και των άλλων πλεονεκτημάτων που προσφέρει αυτό το βιομηχανικό τυποποιημένο αέριο. Οι νέοι διακόπτες SM AirSeT προσφέρουν ένα ευρύ φάσμα χαρακτηριστικών, συμπεριλαμβανομένου του διακόπτη ασφαλείας SF₆, μια λύση που συχνά προτιμάται σε κατασκευαστικές εγκαταστάσεις. Υποστηρίζουν επίσης την αξιόπιστη λειτουργία του παραδοσιακού εξοπλισμού που βασίζεται στο SF₆. Διαθέτει ισχυρή συνδεσιμότητα και είναι ευέλικτο για να παρέχει μεγαλύτερη απόδοση. Το SM AirSeT διαθέτει επίσης κι άλλες ισχυρές ψηφιακές δυνατότητες που εκτείνονται πέρα από την τοπική εποπτεία και συντήρηση, όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.1.



Σχήμα 6. 1. Ψηφιακές δυνατότητες συνδεσιμότητας SM AirSeT [24]

Ο νέος διακόπτης SM AirSeT της Schneider Electric αναγνωρίστηκε στην έκθεση Hannover Messe 2020 με το "Βραβείο Βιομηχανικής Ενεργειακής Αποδοτικότητας", το οποίο αναγνωρίζει την θέληση εταιρειών που επενδύουν και αναπτύσσουν ενεργειακά αποδοτικές λύσεις [24].

6.2.1.2 Προϊόντα τεχνολογίας SF₆ - free από την SprePower (Sprecher)

Οι μονάδες μεταγωγής μέσης τάσης SPREPOWER κατασκευάζονται με κύρια χαρακτηριστικά, τα ακόλουθα [25]:

- Αερομονωμένες με σχεδιασμό ελαχιστοποιημένης χρήσης πλαστικού
- Αερομονωμένοι ή με βάση SF₆ διακόπτες και επαφές ισχύος
- Σχεδιασμός σταθερής τοποθέτησης και αποσπώμενης μονάδας
- Μηχανοκίνητες και τηλεχειριζόμενες συσκευές μεταγωγής
- Τυποποιημένοι μετρικοί μετασχηματιστές
- Ενσωματωμένοι, δοκιμασμένοι τύπου αγωγού απελευθέρωσης πίεσης

Ιδιότητες, Χρήσεις και Εφαρμογές του Ηλεκτρομονωτικού Αερίου SF₆

- Εύκολη λειτουργία όταν οι μπροστινές πόρτες είναι κλειστές
- Διαμερίσματα εσωτερικά ελεγμένα με τόξο για μέγιστη ασφάλεια προσωπικού
- Χρήση ελεύθερα διαθέσιμων εξαρτημάτων και συσκευών
- Εξοπλισμός διανομής για τον πελάτη
- Μετασχηματιστές ρεύματος & τάσης IEC/DIN
- Δευτερεύοντα συστήματα ειδικά για τον πελάτη
- Υψηλό διαμέρισμα καλωδίων
- Θήκη διακόπτη κυκλώματος με μεταλλική επένδυση και θήκη καλωδίων

6.2.1.3 Προϊόντα τεχνολογίας SF₆ - free από την ABB

Η ABB έχει δεσμευτεί να αναπτύξει οικολογικά αποδοτικά προϊόντα και πέτυχε μια τεχνολογική ανακάλυψη στο οικολογικά αποδοτικό GIS ως εναλλακτική λύση στο SF₆. Μειώνει σημαντικά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις με δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP) μικρότερο από 1.

Το AirPlus™ είναι η οικογένεια οικολογικά αποδοτικών μιγμάτων αερίων της ABB ως εναλλακτική λύση στο SF₆, για προϊόντα υψηλής τάσης (HV) και μέσης τάσης (MV) από το 2015. Η οικογένεια οικολογικά αποδοτικών αερίων της ABB αποτελείται από συστατικά του αέρα (O₂, N₂, CO₂) συν C₅-φθοροκετόνες [26], [27].



Σχήμα 6. 2. Η πρώτη εγκατάσταση GIS στον κόσμο με ένα νέο οικολογικά αποδοτικό μείγμα αερίων ως εναλλακτική λύση στο SF₆ τέθηκε σε λειτουργία για την ewz, μια εταιρεία ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελβετία [26].

6.2.1.4 Προϊόντα τεχνολογίας SF₆ - free από την Hitachi Energy

Διαθέτει διακόπτες ισχύος και υποσταθμοί μέσης και υψηλής τάσης με μόνωση αέρα (Air-insulated switchgear - AIS), οι οποίοι έχουν ευρύτατη απήχηση και φθάνουν έως 1100 kV. Η Hitachi Energy εστιάζει στη συνεχή ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για την αύξηση της οικολογικής απόδοσης, της διαθεσιμότητας και της αξιοπιστίας των προϊόντων υποσταθμών AIS. Ο εξοπλισμός του πρωτεύοντος υποσταθμού AIS περιλαμβάνει ένα χαρτοφυλάκιο έως 1100 kV που περιλαμβάνει

Ιδιότητες, Χρήσεις και Εφαρμογές του Ηλεκτρομονωτικού Αερίου SF₆

διακόπτες ισχύος κυκλώματος ενεργού δοχείου² (live tank circuit breakers - LTB), διακόπτες κυκλώματος μη ενεργού δοχείου (dead tank circuit breakers - DTB), μετασχηματιστές οργάνων (instrument transformers), αποζεύκτες (disconnectors), απαγωγείς υπέρτασης (surge arresters), εποπτευόμενη και ελεγχόμενη μεταγωγή (monitoring and controlled switching) [28][29].

² κελύφους του μετασχηματιστή

Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

- [1]. Jessica Ponce de Leon, Head of Sales for AMERICAS, Safety and availability in GIS, Service Continuity, ABB Switzerland Ltd.
- [2]. Φ.Ε.Κ. 6777/31-12-2021, Κ.Υ.Α. Αριθμ. ΥΠΕΝ/ΔΔΕΔ/85858/2124
- [3]. Ενημερωτικό ΥΠΕΝ, ΥΠΕΚΑ Γενική Διεύθυνση Περιβαλλοντικής Πολιτικής, Διεύθυνση Κλιματικής Αλλαγής & Ποιότητας Ατμόσφαιρας, Τμήμα Κλιματικής Αλλαγής, Αθήνα, Δεκέμβρης 2014
- [4]. Κανονισμού (ΕΕ) αριθ. 517/2014 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου
- [5]. Παναγιώτογλου Σ. Μαρία, 2006, Διπλωματική εργασία «Θερμοκρασιακή Σταθερότητα του Εξαφθοριούχου Θείου», Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Δέρβος Καθηγητής Ε.Μ.Π., Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, ΕΜΠ
- [6]. Γκίνης Ι. Δημήτριος, 2013, Διπλωματική εργασία «Εξειδικευμένες Χρήσεις και Εφαρμογές του Μονωτικού Αερίου SF₆», Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Δέρβος Καθηγητής Ε.Μ.Π., Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, ΕΜΠ
- [7]. Δέρβος Θ. Κ., (2005), Μονωτικά Υλικά Υψηλών Τάσεων, Αθήνα 2005.
- [8]. Δέρβος Θ. Κ., (2010), Εισαγωγή στα Ημιαγώγιμα Υλικά και Φωτοβολταϊκές Διατάξεις, Αθήνα 2010
- [9]. Christophorou, L., Olthoff, J. and Van Brunt, R. (1997), Sulfur Hexafluoride and the Electric Power Industry, IEEE Electrical Insulation Magazine, [online], https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=29211 (Accessed January 3, 2023)
- [10]. U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), Global Programs Division by ICF Consulting, Inc., Byproducts of Sulfur Hexafluoride (SF₆) Use in the Electric Power Industry, January 2002
- [11]. U.S. Environmental Protection Agency, <https://www.epa.gov/>
- [12]. National Institute of Standards and Technology (NIST), <https://www.nist.gov/>
- [13]. NIST Chemistry WebBook, SRD 69 (Standard Reference Database 69), <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C2551624&Mask=6EF>
- [14]. Y. Tzeng and T. H. Lin, (1987) Dry Etching of Silicon Materials in SF₆ Based Plasmas, <https://iopscience.iop.org/article/10.1149/1.2100875/pdf>
- [15]. Solvay, (2018), Sulphur Hexafluoride, https://www.solvay.com/sites/g/files/srpend221/files/2018-08/SF6-Sulphur-Hexafluoride_0.pdf
- [16]. Solvay, (2014), The SF₆-ReUse-Process, A contribution on the sustainability of SF₆, Allied Signal Technical Bulletin Sulphur Hexafluoride <https://www.solvay.com/sites/g/files/srpend221/files/tridion/documents/SF6-ReUse-Process.pdf>
- [17]. Μπουτσιούκης Σταμάτης, (2010), Η Συμβολή των Σκιαστικών Ουσιών στην Υπερηχογραφική Μελέτη του Ουροποιητικού Συστήματος.
- [18]. Η Χημική Ένωση του Μήνα, Σεπτέμβριος 2007. http://195.134.76.37/chemicals/chem_SF6.htm
- [19]. Ψωμόπουλος Στ. Κωνσταντίνος, Καθηγητής Τ.Η.Η.Μ. (2018), Διάλεξη Θεωρίας Διάσπασης SF₆ και Μειγμάτων Αερίων, Τμήμα Η.& Η.Μ., Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
- [20]. Μπούρκας Δ. Π., Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π., (1992), Φαινόμενα προ και κατά την διάσπαση των αερίων, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Τμήμα Η.Μ. & Μ.Υ., Ε.Μ.Π.

- [21]. Σαμοΐλης Γ. Β., Μηχανολόγος – Ηλεκτρολόγος Ε.Μ.Π., (1992), Ηλεκτρομονωτικά Αέρια, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Τμήμα Η.Μ. & Μ.Υ., Ε.Μ.Π.
- [22]. Δ.Ε.Η. Α.Ε., Δ.Υ. & Α.Σ.Ε., Διεύθυνση Δικτύου, Ανάλυση των μέτρων προστασίας σε διακόπτες και εξοπλισμό με SF₆, Οκτώβριος 2007, Αθήνα.
- [23]. Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. Α.Ε., ΕΙΔΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΔΔ-210, ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12, ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ Υ/Σ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ
- [24]. <https://www.se.com/ww/en/product-range/21830291-sm-airset/>
- [25]. <https://www.sprecher-automation.com/en/energie/produkte/schaltanlagen/medium-voltage-switchgears/compact-switchgear-up-to-24-kv-air-insulated>
- [26]. ABB, 2019, Gas-insulated switchgear Pioneer and technology leader, driving gas-insulated switchgear (GIS) innovations.
- [27]. <https://new.abb.com/news/detail/53483/abb-launches-its-groundbreaking-eco-efficient-airplus-switchgear-in-china>
- [28]. <https://www.hitachienergy.com/products-and-solutions/high-voltage-switchgear-and-breakers/gas-insulated-switchgear>
- [29]. <https://www.hitachienergy.com/products-and-solutions/high-voltage-switchgear-and-breakers/air-insulated-switchgear>
- [30]. Αμοιραλής Ε., 2008, Διδακτορική Διατριβή «Εξοικονόμηση ενέργειας στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας αναπτύσσοντας προηγμένα ενιαία μοντέλα εκτίμησης κόστους κατασκευής και λειτουργίας μετασχηματιστών», Πολυτεχνείο Κρήτης
- [31]. Toshiba, 2012, Gas Insulated Transformers.
- [32]. E. Kuffel, W.S. Zaengl, High Voltage Engineering Fundamentals, Newnes, 2000.
- [33]. Εκτελεστικός Κανονισμός (ΕΕ) 2015/2065
- [34]. Μέργος Ιωάννης, 2007, Διδακτορική Διατριβή «Διηλεκτρικά Υλικά και Περιβάλλον», Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, ΕΜΠ
- [35]. IEEE Substation Committe GIS Subcommittee K0 - Working Group K2, GIS Theory.

Παράρτημα Α: Φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου

ΦΘΟΡΙΟΥΧΑ ΑΕΡΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜ ΟΚΗΠΙΟΥ ΤΟΥ ΑΡΘΡΟΥ 2 ΣΗΜΕΙΟ 1)

Ουσία			GWP (¹)
Βιομηχανική ονομασία	Χημική ονομασία (Κοινή ονομασία)	Χημικός τύπος	
Τμήμα 1: Υδροφθοράνθρακες (HFC)			
HFC-23	τριφθορομεθάνιο (φθοροφόρμιο)	CHF ₃	14 800
HFC-32	διφθορομεθάνιο	CH ₂ F ₂	675
HFC-41	φθορομεθάνιο (μεθυλοφθορίδιο)	CH ₃ F	92
HFC-125	πενταφθοροαιθάνιο	CHF ₂ CF ₃	3 500
HFC-134	1,1,2,2-τετραφθοροαιθάνιο	CHF ₂ CHF ₂	1 100
HFC-134a	1,1,1,2-τετραφθοροαιθάνιο	CH ₂ FCF ₃	1 430
HFC-143	1,1,2-τριφθοροαιθάνιο	CH ₂ FCHF ₂	353
HFC-143a	1,1,1-τριφθοροαιθάνιο	CH ₃ CF ₃	4 470
HFC-152	1,2-διφθοροαιθάνιο	CH ₂ FCH ₂ F	53
HFC-152a	1,1-διφθοροαιθάνιο	CH ₃ CHF ₂	124
HFC-161	φθοροαιθάνιο (αιθυλοφθορίδιο)	CH ₃ CH ₂ F	12
HFC-227ea	1,1,1,2,3,3,3-επταφθοροπροπάνιο	CF ₃ CHFCF ₃	3 220
HFC-236cb	1,1,1,2,2,3-εξαφθοροπροπάνιο	CH ₂ FCF ₂ CF ₃	1 340
HFC-236ea	1,1,1,2,3,3-εξαφθοροπροπάνιο	CHF ₂ CHFCF ₃	1 370
HFC-236fa	1,1,1,3,3,3-εξαφθοροπροπάνιο	CF ₃ CH ₂ CF ₃	9 810
HFC-245ca	1,1,2,2,3-πενταφθοροπροπάνιο	CH ₂ FCF ₂ CHF ₂	693
HFC-245fa	1,1,1,3,3-πενταφθοροπροπάνιο	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	1 030

Ιδιότητες, Χρήσεις και Εφαρμογές του Ηλεκτρομονωτικού Αερίου SF₆

Ουσία			GWP (1)
Βιομηχανική ονομασία	Χημική ονομασία (Κοινή ονομασία)	Χημικός τύπος	
HFC-365 mfc	1,1,1,3,3-πενταφθοροβουτάνιο	CF ₃ CH ₂ CF ₂ CH ₃	794
HFC-43-10 mee	1,1,1,2,2,3,4,5,5,5-δεκαφθοροπεντάνιο	CF ₃ CHFCHF ₂ CF ₃	1 640

Τμήμα 2: Υπερφθοράνθρακες (PFC)

PFC-14	Τετραφθορομεθάνιο (υπερφθορομεθάνιο, τετραφθορίδιο του άνθρακα)	CF ₄	7 390
PFC-116	Εξαφθοροαιθάνιο (υπερφθοροαιθάνιο)	C ₂ F ₆	12 200
PFC-218	Οκταφθοροπροπάνιο (υπερφθοροπροπάνιο)	C ₃ F ₈	8 830
PFC-3-1-10 (R-31-10)	Δεκαφθοροβουτάνιο (υπερφθοροβουτάνιο)	C ₄ F ₁₀	8 860
PFC-4-1-12 (R-41-12)	Δωδεκαφθοροπεντάνιο (υπερφθοροπεντάνιο)	C ₅ F ₁₂	9 160
PFC-5-1-14 (R-51-14)	Δεκατετραφθοροεξάνιο υπερφθοροεξάνιο	C ₆ F ₁₄	9 300
PFC-c-318	Οκταφθοροκυκλοβουτάνιο (υπερφθοροκυκλοβουτάνιο)	c-C ₄ F ₈	10 300

Τμήμα 3: Άλλες υπερφθοριωμένες ενώσεις

	εξαφθοριούχο θείο	SF ₆	22 800
--	-------------------	-----------------	--------

(1) Με βάση την τέταρτη έκθεση αξιολόγησης (TAR) που ενέκρινε η Διακυβερνητική Ομάδα για την κλιματική αλλαγή, εκτός εάν αναφέρεται διαφορετικά.

Πίνακας Α. 1. Φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου του Άρθρου 2 Σημείο 1 [4]

Ιδιότητες, Χρήσεις και Εφαρμογές του Ηλεκτρομονωτικού Αερίου SF₆

ΛΑΛΑ ΦΘΟΡΙΟΥΧΑ ΑΕΡΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΠΟΥ ΕΜΠΙΠΤΟΥΝ ΣΤΗΝ ΥΠΟΧΡΕΩΣΗ ΥΠΟΒΟΛΗΣ ΕΚΘΕΣΕΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΑΡΘΡΟ 19

Ουσία		GWP (1)
Κοινή ονομασία/βιομηχανική ονομασία	Χημικός τύπος	
Τμήμα 1: Ακόρεστοι υδρο(χλωρο)φθοράνθρακες		
HFC-1234yf	CF ₃ CF = CH ₂	4 (2)
HFC-1234ze	trans — CHF = CHCF ₃	7 ²
HFC-1336mzz	CF ₃ CH = CHCF ₃	9
HCFC-1233zd	C ₃ H ₂ C ₁ F ₃	4,5
HCFC-1233xf	C ₃ H ₂ C ₁ F ₃	1 (3)
Τμήμα 2: Φθοριωμένοι αιθέρες και αλκοόλες		
HFE-125	CHF ₂ OCF ₃	14 900
HFE-134 (HG-00)	CHF ₂ OCHF ₂	6 320
HFE-143a	CH ₃ OCF ₃	756
HCFE-235da2 (ισοφλουράνιο)	CHF ₂ OCHC ₁ CF ₃	350
HFE-245cb2	CH ₃ OCF ₂ CF ₃	708
HFE-245fa2	CHF ₂ OCH ₂ CF ₃	659
HFE-245cb2	CH ₃ OCF ₂ CHF ₂	359
HFE-347 mcc3 (HFE-7000)	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CF ₃	575
HFE-347pcf2	CHF ₂ CF ₂ OCH ₂ CF ₃	580
HFE-356pcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CHF ₂	110
HFE-449sl (HFE-7100)	C ₄ F ₉ OCH ₃	297
HFE-569sf2 (HFE-7200)	C ₄ F ₉ OC ₂ H ₅	59

Ιδιότητες, Χρήσεις και Εφαρμογές του Ηλεκτρομονωτικού Αερίου SF₆

Ουσία		GWP (1)
Κοινή ονομασία/βιομηχανική ονομασία	Χημικός τύπος	
HFE-43-10pccc124 (H-Galden 1040x) HG-11	CHF ₂ OCF ₂ OC ₂ F ₄ OCHF ₂	1 870
HFE-236ca12 (HG-10)	CHF ₂ OCF ₂ OCHF ₂	2 800
HFE-338pcc13 (HG-01)	CHF ₂ OCF ₂ CF ₂ OCHF ₂	1 500
HFE-347mmy1	(CF ₃) ₂ CFOCH ₃	343
2,2,3,3,3-πενταφθοροπροπανόλη	CF ₃ CF ₂ CH ₂ OH	42
δισ (τριφθορομεθυλο)-μεθανόλη	(CF ₃) ₂ CHOH	195
HFE-227ea	CF ₃ CHFOCF ₃	1 540
HFE-236ea2 (δεσφλουράνιο)	CHF ₂ OCHF ₂ CF ₃	989
HFE-236fa	CF ₃ CH ₂ OCF ₃	487
HFE-245fa1	CHF ₂ CH ₂ OCF ₃	286
HFE 263fb2	CF ₃ CH ₂ OCH ₃	11
HFE-329 mcc2	CHF ₂ CF ₂ OCF ₂ CF ₃	919
HFE-338 mcf2	CF ₃ CH ₂ OCF ₂ CF ₃	552
HFE-338mmz1	(CF ₃) ₂ CHOCHF ₂	380
HFE-347 mcf2	CHF ₂ CH ₂ OCF ₂ CF ₃	374
HFE-356 mec3	CH ₃ OCF ₂ CHFCF ₃	101
HFE-356mm1	(CF ₃) ₂ CHOCH ₃	27
HFE-356pcf2	CHF ₂ CH ₂ OCF ₂ CHF ₂	265
HFE-356pcf3	CHF ₂ OCH ₂ CF ₂ CHF ₂	502
HFE 365 mcf3	CF ₃ CF ₂ CH ₂ OCH ₃	11

Ιδιότητες, Χρήσεις και Εφαρμογές του Ηλεκτρομονωτικού Αερίου SF₆

Ουσία		GWP ⁽¹⁾
Κοινή ονομασία/βιομηχανική ονομασία	Χημικός τύπος	
HFE-374rc2	CHF ₂ CF ₂ OCH ₂ CH ₃	557
	- (CF ₂) ₄ CH (OH) -	73

Τμήμα 3: Άλλες υπερφθοριωμένες ενώσεις

υπερφθοροπολυμεθυλισοπροπυλαιθέρας (PFPMIE)	CF ₃ OCF(CF ₃)CF ₂ OCF ₂ OCF ₃	10 300
τριφθορίδιο του αζώτου	NF ₃	17 200
τριφθορο-μεθυλ-πενταφθοριούχο θείο	SF ₅ CF ₃	17 700
υπερφθοροκυκλοπροπάνιο	c-C ₃ F ₆	17 340 ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Με βάση την τέταρτη έκθεση αξιολόγησης (TAR) που ενέκρινε η Διακυβερνητική Ομάδα για την κλιματική αλλαγή, εκτός εάν αναφέρεται διαφορετικά.

⁽²⁾ GWP σύμφωνα με την Έκθεση του 2010 σχετικά με την αξιολόγηση της Επιτροπής Επιστημονικής Αξιολόγησης (SAP) του πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ, πίνακες 1-11, με δύο αξιολογήσεις από ομοτίμους επιστημονικές παραπομπές. http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/SAP/Scientific_Assessment_2010/index.shtml

⁽³⁾ Προκαθορισμένη τιμή, το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη δεν είναι ακόμη διαθέσιμο.

⁽⁴⁾ Ελάχιστη τιμή σύμφωνα με την τέταρτη έκθεση αξιολόγησης που ενέκρινε η διακυβερνητική ομάδα για την κλιματική αλλαγή.

Πίνακας Α. 2. Άλλα φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου που εμπίπτουν στην υποχρέωση υποβολής εκθέσεων σύμφωνα με το Άρθρο 19 [4].

Παράρτημα Β: Πίνακες Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1					
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ SF ₆ ΣΤΟΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΧΩΡΟ ΛΟΓΩ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΑΠΟ ΠΙΝΑΚΑ ΜΤ					
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΔΙΑΡΡΟΗΣ		Συνεπτυγμένος Πίνακας ΜΤ SF ₆ σε Υ/Σ πόλεως	Κυψελωτός Πίνακας ΜΤ SF ₆ σε Υ/Σ πόλεως.- Διαρροή από ένα Δ/Φ	Πίνακας ΜΤ SF ₆ χώρο Πινάκων ΒΚΙ ή ΒΚΠ.- Διαρροή από ένα Δ/Φ	Πίνακας ΜΤ SF ₆ χώρο Πινάκων ΒΚΠ.- Διαρροή από το Δ/Ι
A	Όγκος χώρου (m ³)		75	75	36
B	Πίεση SF ₆ (MPa)		0,13	0,13	0,30
C	Όγκος SF ₆ (l)		200	20	45
D	Όγκος SF ₆ σε ατμ. πίεση (0,1 MPa) (l)	(BxC/0,1)	260	26	135
E	Ρυθμός διαρροής SF ₆ (% ανά έτος)		0,1	0,1	0,1
F	Ποσότητα SF ₆ που διαρρέει μέσα σε μία εβδομάδα (l)	(DxE)/(100x52)	0,005	0,001	0,001
G	Συγκέντρωση του SF ₆ στον περιβάλλοντα χώρο (ppmv)	Fx1.000.000/ (Ax1.000)	0,067	0,007	0,014
H	Μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση γηρασμένου SF ₆ για την οποία δεν απαιτείται λήψη ειδικών μέτρων προστασίας (ppmv)		200	200	200

ΠΙΝΑΚΑΣ 2					
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ SF ₆ ΣΤΟΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΧΩΡΟ ΛΟΓΩ ΜΗ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΑΠΟ ΠΙΝΑΚΑ ΜΤ					
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΔΙΑΡΡΟΗΣ		Συνεπτυγμένος Πίνακας ΜΤ SF ₆ σε Υ/Σ πόλεως	Κυψελωτός Πίνακας ΜΤ SF ₆ σε Υ/Σ πόλεως.- Διαρροή από ένα Δ/Φ	Πίνακας ΜΤ SF ₆ χώρο Πινάκων ΒΚΙ ή ΒΚΠ.- Διαρροή από ένα Δ/Φ	Πίνακας ΜΤ SF ₆ χώρο Πινάκων ΒΚΠ.- Διαρροή από το Δ/Ι.
A	Όγκος χώρου (m ³)		75	75	36
B	Πίεση SF ₆ (MPa)		0,13	0,13	0,30
C	Όγκος SF ₆ (l)		200	20	45
D	Όγκος SF ₆ σε ατμ. πίεση (0,1 MPa) (l)	(BxC/0,1)	260	26	135
E	Όγκος SF ₆ που διαρρέει σε ατμ. πίεση (0,1 MPa) (l)	(D-C)	60	6	90
F	Συγκέντρωση SF ₆ στον περιβάλλοντα χώρο μετά την διαρροή του SF ₆ μέχρι την ισορροπία πιέσεων (ppmv)	(Ex1.000.000)/ (Ax1.000)	800	80	167
G	Μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση γηρασμένου SF ₆ για την οποία δεν απαιτείται λήψη ειδικών μέτρων προστασίας (ppmv)		200	200	200

ΠΙΝΑΚΑΣ 3				
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ SF ₆ ΣΤΟΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΧΩΡΟ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΤΟΞΟ ΣΕ ΠΙΝΑΚΑ ΜΤ				
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΛΟΓΩ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΤΟΞΟΥ			Συνεπτυγμένος ή κυψελωτός πίνακας ΜΤ SF ₆ σε Υ/Σ πόλεως	Πίνακας ΜΤ SF ₆ ΒΚΙ ή ΒΚΙΙ σε χώρο Πινάκων ΒΚΙ ή ΒΚΙΙ.-Τόξο σε Δ/Φ ή σε Δ/Ι
A	Όγκος χώρου (m ³)		75	36
B	Ρεύμα βραχυκυκλώματος (kA)		7,2	7,2
C	Τάση τόξου (V)		200	200
D	Διάρκεια τόξου (ms)		100	100
E	Ενέργεια τόξου (kJ)	(3xIxIxD)/1.000	432	432
F	Απαιτούμενη ενέργεια για την παραγωγή ενός λίτρου SF ₆ (υπό κανονικές συνθήκες) (I/kJ)		3,7x10 ⁻³	3,7x10 ⁻³
G	Όγκος παραγόμενου SF ₆ (l)	ExF	1,598	1,598
H	Συγκέντρωση SF ₆ στο χώρο (ppmv)	(Gx1.000)/A	21,3	44,4
I	Μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση SF ₆ για βραχυχρόνια έκθεση (C _m) (ppmv)		500	500
J	Μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση SF ₆ για μακροχρόνια έκθεση (TLV) (ppmv)		1,6	1,6

ΠΙΝΑΚΑΣ 4					
ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΣΕ ΟΞΥΓΟΝΟ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΔΙΑΡΡΟΗ SF ₆ ΑΠΟ ΠΙΝΑΚΑ ΜΤ					
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΔΙΑΡΡΟΗΣ		Συνεπτυγμένος Πίνακας ΜΤ SF ₆ σε Υ/Σ πόλεως	Κυψελωτός Πίνακας ΜΤ SF ₆ σε Υ/Σ πόλεως.- Διαρροή από ένα Δ/Φ	Πίνακας ΜΤ SF ₆ χώρο Πινάκων ΒΚΙ ή ΒΚΙΙ.- Διαρροή από ένα Δ/Φ	Πίνακας ΜΤ SF ₆ χώρο Πινάκων ΒΚΙΙ.- Διαρροή από το Δ/Ι
A	Όγκος χώρου (m ³)		75	36	36
B	Πίεση SF ₆ (MPa)		0,13	0,13	0,30
C	Όγκος SF ₆ (lt)		200	20	45
D	Όγκος SF ₆ σε ατμ. πίεση (0,1 MPa) (lt)	(BxC/0,1)	260	26	135
E	Όγκος O ₂ στον χώρο πριν τη διαρροή (m ³)	0,21xA	15,75	15,75	7,56
F	Όγκος αέρα που εκτοπίζεται λόγω της διαρροής του SF ₆ μέχρι την ισορροπία πιέσεων (m ³)	(D-C)/1.000	0,060	0,006	0,050
G	Όγκος O ₂ που εκτοπίζεται λόγω της διαρροής του SF ₆ μέχρι την ισορροπία πιέσεων (m ³)	0,21xF	0,013	0,001	0,019
H	Όγκος O ₂ μετά την διαρροή SF ₆ (m ³)	F-G	15,737	15,749	7,541
I	Περιεκτικότητα αέρα σε O ₂ μετά την διαρροή SF ₆ (%)	(H/A)x100	20,983	20,998	20,948

Παράρτημα Γ: Έντυπο συντήρησης υποσταθμού εσωτερικών χώρων ΜΤ/ΧΤ

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΕΣΩΤ.ΧΩΡΩΝ ΜΤ/ΧΤ		ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Α) ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ		
Απομάκρυνση ξένων αντικειμένων και σκούπισμα όλου του χώρου του Υ/Σ: <input type="checkbox"/> δάπεδο <input type="checkbox"/> μεταλλικά καλύμματα καναλιών <input type="checkbox"/> περιόδες εξαερισμού <input type="checkbox"/> πίνακες <input type="checkbox"/> Μ/Σ <input type="checkbox"/> διαχωριστικά πλέγματα <input type="checkbox"/> εσχάρες εξαερισμού <input type="checkbox"/> κανάλια <input type="checkbox"/> οροφή <input type="checkbox"/> πλαινών τοίχων		
Β) ΕΛΕΓΧΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ		ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
1. Έλεγχος ηλεκτρολογικής εγκατάστασης του χώρου: <input type="checkbox"/> ηλεκτρικός πίνακας <input type="checkbox"/> διακόπτες <input type="checkbox"/> λυχνιολαβές φωτιστικών <input type="checkbox"/> ρευματοδότες		
2. Έλεγχος λειτουργίας: <input type="checkbox"/> εξαερισμού <input type="checkbox"/> λαμπτήρων φωτισμού <input type="checkbox"/> φωτιστικών σωμάτων ασφαλείας		
3. Έλεγχος εισροής υδάτων (σε περίπτωση εισροής, τοποθετείται αντλία για απομάκρυνσή τους).		
4. Έλεγχος ημερομηνίας λήξης αναγόμωσης και ένδειξης αερίου πυροσβεστήρων.		
5. Έλεγχος και επιδιόρθωση/ αντικατάσταση όπου χρειάζεται σε: <input type="checkbox"/> κλειδαριές <input type="checkbox"/> λουκέτα <input type="checkbox"/> μεντεσέδες <input type="checkbox"/> πόμοια		
6. Έλεγχος συνέχειας γειώσεων.		
7. Μέτρηση θερμοκρασίας χώρου:°C		
8. Έλεγχος εξωτερικά του Υ/Σ για πιθανές παράνομες παρεμβάσεις τρίτων.		
Γ) ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΠΙΝΑΚΑ Μ.Τ.		ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
1. Έλεγχος λειτουργίας: <input type="checkbox"/> ενδεικτικών λυχνιών (ύπαρξης τάσεως) <input type="checkbox"/> διακοπών Μέσης Τάσεως (open - close) <input type="checkbox"/> αλληλομανδάλωσης πόρτας διακόπτη		
2. Έλεγχος μηχανισμών (μέσω δοκιμαστικών χειρισμών) και λίπανση με βαζελίνη: <input type="checkbox"/> γειωτή <input type="checkbox"/> διακόπτη φορτίου (Δ/Φ) <input type="checkbox"/> διακόπτη ισχύος (Δ/Ι) <u>Σημείωση</u> : Θα γίνεται καθαρισμός των επαφών τους με κατάλληλο πανί και λίπανση εάν απαιτείται (με σμυριδόπανο).		
3. Έλεγχος των ζυγών και σύσφιξη των επαφών με δυναμόκλειδο.		
4. Έλεγχος καλής κατάστασης στις κυψέλες: ανί. <input type="checkbox"/> μονωτήρες <input type="checkbox"/> ακροκιβώτια <u>Σημείωση</u> : Ο καθαρισμός τους θα γίνεται με στουπί ή πανί.		
5. Έλεγχος έδρασης κυψέλης και σύσφιξη.		
6. Καθάρισμα της κυψέλης εξωτερικά και εσωτερικά.		
7. Έλεγχος γείωσης πίνακα.		
Γ1) Για πίνακα Μ.Τ. τύπου SF6	Γ2) Για πίνακα Μ.Τ. παλαιού τύπου	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
<input type="checkbox"/> Έλεγχος πληρότητας αερίου SF ₆ . <input type="checkbox"/> Έλεγχος συσφίξεων περιβλήματος διακόπτη (βαρελάκι).	<input type="checkbox"/> Εκτέλεση δοκιμαστικών χειρισμών (έλεγχος συνεργασίας μεταξύ θέσεως χειριστηρίου και θέσεως επαφών). Εκτέλεση δοκιμαστικών χειρισμών (τα κεράτια να μη βρίσκονται σε επαφή όταν ο τριπολικός διακόπτης βρίσκεται στη θέση 'OFF'). <input type="checkbox"/> Έλεγχος και ρύθμιση αντιβαρου.	
Δ) ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ Μ/Σ		ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
1. Θα πραγματοποιούνται οι ακόλουθοι έλεγχοι: <input type="checkbox"/> στάθμης ελαίου (με προσθήκη όπου απαιτείται) <input type="checkbox"/> διαρροής ελαίου Μ/Σ <input type="checkbox"/> μέγιστη θερμοκρασία θερμομέτρου:°C <input type="checkbox"/> θερμοκρασία επαφών Χ.Τ.:°C (με θερμοκάμερα) <input type="checkbox"/> έδραση Μ/Σ & σύσφιξη <input type="checkbox"/> συσφίξεων καλής κατάστασης των μονωτήρων & ακροκιβωτίων <input type="checkbox"/> σωστής λειτουργίας μηχανισμού ρύθμισης (tap) <input type="checkbox"/> στηριγμάτων καλωδίων Μ.Τ. & Χ.Τ. (με αντικατάστασή τους εάν απαιτείται) <input type="checkbox"/> γείωσης <input type="checkbox"/> μονώσεις Μ/Σ και μέτρησή τους με MEGGER 5.000V		
2. Δειγματοληψία ελαίου για έλεγχο διηλεκτρικής αντοχής.		
3. Καθαρισμός Μ/Σ: <input type="checkbox"/> εξωτερικός - περιβάλλοντα χώρου <input type="checkbox"/> κέλυφος <input type="checkbox"/> μονωτήρες & επαφές Μ.Τ./Χ.Τ.		
Ε) ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΠΙΝΑΚΑ Χ.Τ. (PILLAR)		ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
1. Θα πραγματοποιούνται οι ακόλουθοι έλεγχοι: <input type="checkbox"/> έλεγχος λειτουργίας του κεντρικού διακόπτη (αποζεύκτης ή Δ/Φ) <input type="checkbox"/> επαφές (δύο) με χρήση θερμοκάμερας <input type="checkbox"/> έδραση πίνακα και σύσφιξη <input type="checkbox"/> όλων των επαφών και συσφίξεις <input type="checkbox"/> ακροδεκτών καλωδίων και σύσφιξη <input type="checkbox"/> έλεγχος λειτουργίας οργάνων μέτρησης & ενδείξεων <input type="checkbox"/> γείωσης πίνακα <input type="checkbox"/> ζυγοί, ηλεκτρικές συνδέσεις & βάσεις ασφαλειών (με σύσφιξη όπου απαιτείται) <input type="checkbox"/> πόρτας και κλείθρου pillar		
2. Καθαρισμός του πίνακα εξωτερικά και εσωτερικά.		
3. Συντήρηση όλων των κινητών μερών με κατάλληλο υγρό.		
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Ο ΕΚΤΕΛΩΝ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	