



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ &
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Υποσταθμοί Υψηλής Τάσης 150kV με μόνωση αερίου (High Voltage Gas Insulated Substation)

ΔΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κυριακή Ν. Καντούνα

Καθηγητής : Ιωάννης Φ. Γκόνος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2025



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ &

ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Υποσταθμοί Υψηλής Τάσης 150kV με μόνωση αερίου (Gas Insulated Substation)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κυριακή Ν. Καντούνα

Επιβλέπων : Ιωάννης Φ. Γκόνος, Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 25/02/2025

.....
Ιωάννης Φ. Γκόνος
Καθηγητής
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

.....
Χρήστος Αθ. Χριστοδούλου
Επίκουρος Καθηγητής
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

.....
Πάυλος Σ. Γεωργιάκης
Καθηγητής
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Αθήνα, Φεβρουάριος 2025

.....
Κυριακή Ν. Καντούνα

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

Copyright © Κυριακή Καντούνα, 2025

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

*Αφιερωμένο στην οικογένειά μου για
όλη την στήριξη που μου παρείχε
όλα αυτά τα χρόνια.*

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση των χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων του αερίου SF₆, η ανάλυση των επιμέρους τμημάτων από τα οποία αποτελούνται οι διακόπτες ισχύος Υψηλής Τάσης με μόνωση αερίου SF₆ (GIS, Gas insulated Switchgear) καθώς και οι διαδικασίες που ακολουθούνται για την συντήρηση των πεδίων GIS (Gas Insulated Substation). Αποτυπώνεται και παρουσιάζεται μια καταγραφή των πλεονεκτημάτων – μειονεκτημάτων της χρήσης του αερίου SF₆ δίνοντας έμφαση στους κανονισμούς, στην προστασία του περιβάλλοντος και στην σωστή διαχείρισή του. Έπειτα γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση των βημάτων που ακολουθούνται για την συντήρηση του εξοπλισμού του GIS. Επίσης, στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, για περαιτέρω ανάλυση των διαδικασιών ελέγχου και συντήρησης, πραγματοποιήθηκε επίσκεψη σε Κέντρο Διανομής της Αττικής και έγινε καταγραφή των βημάτων που ακολουθήθηκαν για τον έλεγχο των πιέσεων του αερίου SF₆ στους χώρους του GIS καθώς και καταγραφή των αντίστοιχων μετρήσεων. Τέλος, γίνεται καταγραφή των μετρήσεων συντήρησης όλων των πεδίων ενός GIS, που έλαβε χώρα σε Κέντρο Διανομής της Αττικής. Στη συνέχεια αναλύονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Τέλος, εξάγονται συμπεράσματα και προτείνονται βελτιώσεις.

Λέξεις – κλειδιά: Διακόπτες ισχύος GIS, μονωτικό αέριο SF₆, υποσταθμοί Υψηλής Τάσης – Κέντρα Διανομής, διηλεκτρική αντοχή, σβέση ηλεκτρικού τόξου, περιβαλλοντική επίδραση SF₆, κανονισμοί και συνθήκες, διαχείριση SF₆.

Abstract

The purpose of this thesis is to analyze the characteristics and properties of SF₆ gas and examine the individual components that make up High Voltage Circuit Breakers with SF₆ gas insulation (GIS, Gas Insulated Switchgear). It also examines the procedures followed for the maintenance of GIS (Gas Insulated Substation) fields. A comprehensive overview of the advantages and disadvantages of using SF₆ gas is presented, with an emphasis on regulations, environmental protection, and proper management. Subsequently, a detailed presentation of the steps involved in the maintenance of GIS equipment is provided.

Furthermore, as part of this study, a site visit was conducted at a Distribution Center in Attica to further analyze the inspection and maintenance procedures. During the visit, the steps of checking the SF₆ gas pressures within the GIS spaces were recorded, along with the corresponding measurements. An analysis of these measurements is presented. Finally, the measurements taken during the maintenance of all fields in a GIS at a Distribution Centre in Attica are recorded. Then, the results of these measurements are analysed to evaluate the system's condition and performance. Based on this analysis, conclusions are drawn, and recommendations for improvements are suggested.

Finally, conclusions are drawn, and possible future improvements are proposed.

Keywords: GIS circuit breakers, SF₆ insulating gas, High Voltage substations - Distribution Centers, dielectric strength, arc quenching, environmental impact of SF₆, regulations and standards, SF₆ management.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	7
Abstract	9
Περιεχόμενα	10
Πρόλογος	13
Κεφάλαιο 1: Υποσταθμοί Υψηλής Τάσης με μόνωση αερίου	15
1.1 Εισαγωγή	15
1.1.1 Ιστορική αναδρομή	16
1.2 Σπουδαιότητα σωστού σχεδιασμού Διακοπών Ισχύος με μόνωση αερίου (GIS).....	17
1.2.1 Παράγοντες σχεδιασμού υποσταθμού με μόνωση αερίου.....	17
1.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Υποσταθμών με μόνωση αερίου	19
Κεφάλαιο 2: Μονωτικό αέριο εξαφθοριούχο θείο (SF₆)	20
2.1 Εισαγωγή	20
2.2 Ιδιότητες του SF ₆	20
2.2.1 Φυσικές ιδιότητες του SF ₆	22
2.2.2 Ηλεκτρικές ιδιότητες του SF ₆	23
2.2.3 Σύγκριση του SF ₆ με άλλα αέρια	24
2.3 Χρήσεις του SF ₆	25
2.4 Επίδραση του αερίου SF ₆ στο περιβάλλον	26
2.5 Κανονισμοί – Συνθήκες μείωσης εκπομπών αερίου SF ₆	27
2.5.1 Συνθήκη του Κιότο για την μείωση των εκπομπών SF ₆	27
2.5.2 Κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 517/2014 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου	28
2.5.3 Συμφωνία των Παρισίων (2015).....	29
2.5.4 Κανονισμοί του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών για το Κλίμα (UNFCCC).....	29
2.5.5 Εθνικές και Τεχνολογικές Κατευθύνσεις για τη Μείωση του SF ₆	29

2.5.6 Νόμος 4936/2022 Πλαίσιο για την Κλιματική αλλαγή και τη μετάβαση στην κλιματική ουδετερότητα	30
Κεφάλαιο 3: Περιγραφή εξοπλισμού GIS με μόνωση αερίου SF₆	32
3.1 Πόλοι Διακόπτη Ισχύος	33
Εικόνα 3.2 Τομή διακόπτη ισχύος [24]	34
3.2 Ταχυγειωτής.....	34
3.3 Πίνακας ελέγχου	36
3.4 Ακροκιβώτιο καλωδίου 150kV	37
3.5 Καλώδια 150kV	39
3.5.1 Καλώδια Υψηλής Τάσης 150kV με μόνωση χαρτιού-ελαίου	39
3.5.2 Καλώδια Υψηλής Τάσης 150kV με μόνωση πολυαιθυλενίου (PE)	40
3.5.3 Εσωτερική δομή καλωδίων Υψηλής Τάσης 150kV	42
3.5.3.1 Αγωγοί.....	45
3.5.3.2 Ημιαγώγιμη ταινία ή θωράκιση του αγωγού.....	45
3.5.3.3 Μολύβδινος μανδύας.....	47
3.5.3.4 Μεταλλικό χιτώνιο	47
3.5.3.5 Εξωτερικό περίβλημα καλωδίων YT 150kV	48
3.5.4 Τερματισμός καλωδίου εσωτερικού τύπου στο ακροκιβώτιο	49
3.6 Αποζεύκτες ζυγών	50
3.7 Ζυγοί GIS.....	52
3.8 Άλλα στοιχεία του βασικού εξοπλισμού ενός GIS.....	53
3.8.1 Μετασχηματιστής εντάσεως	53
3.8.2 Μετασχηματιστής τάσεως.....	54
3.8.3 Μονωτές συστήματος GIS	54
3.8.4 SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).....	55
Κεφάλαιο 4: Έλεγχοι αερίου SF₆ κατά τη χρήση του σε Υ/Σ GIS.....	58
4.1 Έλεγχος υγρασίας	58

4.2 Έλεγχος πίεσης αερίου SF ₆	59
4.3 Έλεγχος καθαρότητας και προϊόντων διάσπασης SF ₆	60
4.4 Έλεγχος διαρροής αερίου SF ₆	62
Κεφάλαιο 5: Επιθεώρηση και συντήρηση Υ/Σ GIS.....	64
5.1 Γενικά	64
5.2 Προετοιμασία, ασφάλεια και έλεγχος συνθηκών	65
5.2.1 Απαραίτητος εξοπλισμός και προετοιμασία για την συντήρηση του GIS.....	65
5.2.1.1 ΤΑΛΔ (Τομέα Ανάπτυξης και Λειτουργίας Δικτύου)	67
5.3 Βήματα συντήρησης GIS.....	69
5.3.1 Μέτρηση πίεσης αερίου SF ₆	69
5.3.2 Έλεγχος Ποιότητας του SF ₆	74
5.3.3 Έλεγχος πιέσεων Πρεσοστατών	75
5.3.4 Έλεγχος Υδραυλικού Συστήματος.....	82
5.3.5 Χρόνος Λειτουργίας Κομπρεσέρ	84
5.3.6 Μέτρηση Αντίστασης Μόνωσης.....	85
5.3.7 Έλεγχος Ταυτοχρονισμού	85
5.3.8 Συμπλήρωση Αναφορών	86
5.3.8.1 Δελτία Συντήρησης	86
Κεφάλαιο 6: Έλεγχος πίεσης αερίου SF₆ στο GIS ενός Κέντρου Διανομής εντός Αττικής.....	88
6.1 Case study ελέγχου πιέσεων σε ένα GIS εντός Αττικής.....	88
6.2 Έλεγχος και καταγραφή μετρήσεων πιέσεων SF ₆	95
Κεφάλαιο 7: Καταγραφή μετρήσεων κατά την συντήρηση ενός GIS.....	101
7.1 Καταγραφή μετρήσεων.....	101
Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα.....	117
Βιβλιογραφία.....	120

Πρόλογος

Η εξέλιξη της τεχνολογίας και η αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, έχει ωθήσει τις εταιρείες παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στην αναζήτηση νέων υλικών και εξοπλισμού τα οποία θα είναι ικανά να ανταπεξέλθουν στις νέες ανάγκες. Η κατασκευή Υποσταθμών Υψηλής Τάσης, που χρησιμοποιούν μόνωση αερίων (GIS) έχει αξιόλογα αποτελέσματα. Το μονωτικό αέριο SF₆ που χρησιμοποιείται στα GIS έχει εξαιρετική ικανότητα στην σβέση των τόξων. Στην παρούσα εργασία γίνεται ανάλυση των βημάτων, των κανονισμών και των πρωτοκόλλων που ακολουθούνται κατά την συντήρηση των GIS, ώστε να εξασφαλίζεται η σωστή λειτουργία του εξοπλισμού αλλά και η ασφάλεια του προσωπικού που εργάζεται στον υποσταθμό. Επίσης, δίνεται έμφαση στην σωστή διαχείριση του αερίου SF₆ καθώς είναι επιβλαβές για το περιβάλλον.

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται μια ιστορική αναδρομή σχετικά με τους διακόπτες ισχύος υποσταθμών Υψηλής Τάσης. Αναλύεται η σπουδαιότητα του σωστού σχεδιασμού τους καθώς και τα πλεονεκτήματα-μειονεκτήματά τους.

Στο κεφάλαιο 2 αναλύεται το αέριο SF₆ και παρουσιάζονται οι ιδιότητές του, οι χρήσεις του, η επίδρασή του στο περιβάλλον, οι Κανονισμοί που έχουν τεθεί για την παραγωγή και χρήση του καθώς και η διαχείρισή του.

Στο κεφάλαιο 3 αναλύονται τα διάφορα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα GIS, όπως είναι οι πόλοι του διακόπτη ισχύος, ο ταχυγειωτής, ο πίνακας ελέγχου, το ακροκιβώτιο και τα καλώδια 150kV, οι αποζεύκτες, οι ζυγοί οι μετασχηματιστές τάσης και έντασης καθώς και το σύστημα SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

Στο κεφάλαιο 4 αναφέρονται οι βασικοί έλεγχοι που πραγματοποιούνται στο αέριο SF₆ και η σπουδαιότητά τους ώστε να εξασφαλίζεται η μονωτική ικανότητα του αερίου και κατά συνέπεια η σβέση των τόξων.

Στο κεφάλαιο 5 αναλύεται η συντήρηση των GIS των Κέντρων Διανομής, δίνοντας έμφαση στην προετοιμασία, στην ασφάλεια και στον απαραίτητο εξοπλισμό. Καταγράφονται και παρουσιάζονται τα βήματα που πραγματοποιούνται κατά την συντήρηση.

Στο κεφάλαιο 6 καταγράφονται τα βήματα ελέγχου των πιέσεων του αερίου SF₆ σε ένα Κέντρο Διανομής της Αττικής, τα οποία πραγματοποιούνται κάθε έξι μήνες. Επίσης, καταγράφονται οι μετρήσεις αυτών των πιέσεων και εξάγονται συμπεράσματα.

Στο κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται οι μετρήσεις μιας ετήσιας συντήρησης, η οποία πραγματοποιήθηκε στο GIS ενός Κέντρου Διανομής εντός Αττικής, κατά το 2024.

Τέλος συνοψίζονται τα συμπεράσματα της χρήσης του αερίου SF₆ στα Κέντρα Διανομής και προτείνονται τρόποι βελτίωσης των διαδικασιών για το μέλλον.

Κεφάλαιο 1: Υποσταθμοί Υψηλής Τάσης με μόνωση αερίου

1.1 Εισαγωγή

Η όλο και αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί τη χρήση εξοπλισμού, ο οποίος λειτουργεί υπό υψηλή τάση. Η πρόοδος της τεχνολογίας προσπαθεί να καλύψει τις ανάγκες της αυξημένης ζήτησης.

Τα πρώτα διακοπτικά στοιχεία εναέριων υποσταθμών, χρησιμοποιούσαν ως μονωτικό υλικό τον αέρα. Με την τοποθέτηση του εξοπλισμού κυρίως σε εξωτερικούς χώρους και εξασφαλίζοντας μεγάλες αποστάσεις μεταξύ του εξοπλισμού, είναι δυνατή η σβέση των τόξων με τον αέρα να παρεμβάλλεται ως μονωτικό υλικό. Ο αέρας χρησιμοποιούταν ως κύριο μονωτικό υλικό για ψύξη και σβέση του τόξου. Έπειτα, οι επαφές των διακοπών άρχισαν να εμποτίζονται σε έλαιο για την ψύξη και σβέση του τόξου. Το έλαιο προσέφερε καλύτερη μονωτική ικανότητα καθώς έχει υψηλότερη διηλεκτρική αντοχή σε σύγκριση με τον αέρα. Ολόκληρος ο μηχανισμός του διακόπτη βυθιζόταν σε δεξαμενές ελαίου. Αργότερα ο χώρος του λαδιού μειώθηκε και μέσα σε αυτόν τοποθετούνταν μόνο τα διακοπτικά στοιχεία του διακόπτη, ενώ ο υπόλοιπος μηχανισμός βρισκόταν εκτός του βαρελιού με μόνωση αέρα. Παρά τα πλεονεκτήματά του, το έλαιο παρουσίαζε και κάποια μειονεκτήματα όπως ήταν ο κίνδυνος ανάφλεξης καθώς και η τακτική συντήρηση του εξοπλισμού. Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη για ανάπτυξη πιο σύγχρονων τεχνολογιών. Οι μηχανικοί αναζητούσαν πιο αποδοτικά υλικά και την δεκαετία του 1940, άρχισαν να χρησιμοποιούν ειδικά αέρια όπως N_2 , φρέον κ.α. Το φρέον εγκαταλείφθηκε πολύ γρήγορα, λόγω της μεγάλης επίπτωσης που είχε στο περιβάλλον. Έτσι τη δεκαετία του 1960 άρχισε να χρησιμοποιείται το αέριο SF_6 ως μονωτικό υλικό, λόγω της υψηλής μονωτικής του ικανότητας. [1]

Παράλληλα, άρχισε να αναπτύσσεται και εισήχθη στην βιομηχανία το 1960, η τεχνολογία των υποσταθμών κλειστού τύπου. Αυτοί οι υποσταθμοί χρησιμοποιούσαν μόνωση αερίου, Gas Insulated Subsystems (GIS). Είναι μεταλλικοί κλειστοί χώροι οι οποίοι περιέχουν μόνωση αερίου υπό υψηλή πίεση. Κύριο χαρακτηριστικό πλεονέκτημα των υποσταθμών αυτών είναι η μείωση των απαιτήσεων χώρου και η αύξηση της αξιοπιστίας τους. Τα GIS χρησιμοποιούνται κατά την μεταφορά και διανομή ηλεκτρικού ρεύματος και προσφέρουν μεγάλο εύρος πλεονεκτημάτων. [1]

1.1.1 Ιστορική αναδρομή

Οι πρώτοι υποσταθμοί GIS αναπτύχθηκαν την δεκαετία του 1960. Το 1965, στην Ελβετία, έγινε η πρώτη κατασκευή υποσταθμού μεταφοράς και διανομής ο οποίος είχε την λογική του GIS. Η τεχνολογία αυτή αποδείχθηκε αποτελεσματική καθώς είχε πολλά πλεονεκτήματα. Ένα από τα πλεονεκτήματα του GIS είναι ο μικρός χώρος που χρειάζεται για την εγκατάστασή του, ο οποίος επιτρέπει την τοποθέτησή του ακόμα και εντός πυκνοκατοικημένων πόλεων. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι η κατασκευή τους παρέχει καλύτερη απόδοση, αξιοπιστία και η λειτουργία του δεν επηρεάζεται από περιβαλλοντικές συνθήκες. [2]

Η συνεχής ανάπτυξη των GIS οδήγησε σε περαιτέρω προηγμένες εκδόσεις και καινοτομίες στην τεχνολογία. Σήμερα, οι υποσταθμοί GIS είναι απαραίτητοι για την αποδοτική και ασφαλή μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας σε πόλεις και σε μεγάλες κατοικημένες περιοχές. Οι υποσταθμοί GIS έχουν σημειώσει σημαντική εξέλιξη ανά τα χρόνια. Καθώς η τεχνολογία προχωρά, αυτοί οι υποσταθμοί βελτιώνονται σημαντικά. Το μονωτικό αέριο SF₆ υπό υψηλή πίεση 0-5bar καθιστά ευκολότερη τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας υπό υψηλή τάση με ταυτόχρονη μείωση των απωλειών ισχύος.

Οι σύγχρονοι υποσταθμοί με μόνωση αερίου είναι σχεδιασμένοι να είναι πιο ανθεκτικοί σε ακραίες καιρικές συνθήκες, να έχουν μεγαλύτερη αξιοπιστία και να διαθέτουν πιο αποδοτικά συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου. Επίσης, η κατασκευή τους είναι φιλικότερη προς το περιβάλλον και πιο αποδοτική από πλευράς ενέργειας. Οι ζυγοί, αποζεύκτες, διακόπτες ισχύος, μετασχηματιστές τάσης και έντασης καθώς και τα ακροκιβώτια των καλωδίων, βρίσκονται σε μεταλλικά περιβλήματα τα οποία περιέχουν αέριο SF₆. [3]

Οι μονάδες μόνωσης αερίου μπορούν να κατασκευαστούν με υλικά που έχουν υψηλή αντοχή στην πίεση και στις υψηλές θερμοκρασίες, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο διαρροής ή βλάβης. Επιπλέον, η χρήση υλικών με μεγάλη ανθεκτικότητα στη διάβρωση και στην καταπόνηση από το περιβάλλον μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο βλάβης του συστήματος.

1.2 Σπουδαιότητα σωστού σχεδιασμού Διακοπών Ισχύος με μόνωση αερίου (GIS)

Η βελτίωση του σχεδιασμού των Διακοπών Ισχύος με μόνωση αερίου (GIS) μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερα επίπεδα αξιοπιστίας. Ο σχεδιασμός πρέπει να λάβει υπόψη τις απαιτήσεις για αντοχή σε κρούσεις, αντοχή σε σεισμούς και αποτελεσματικότητα στον έλεγχο της θερμοκρασίας. Ένας καλός σχεδιασμός μπορεί να προστατεύει το σύστημα από εξωτερικές επιδράσεις και να εξασφαλίζει την ανεμπόδιστη λειτουργία του.

Με την εφαρμογή πιο αξιόπιστων υλικών και τη βελτίωση του σχεδιασμού, μπορούν να επιτευχθούν υψηλότερα επίπεδα αξιοπιστίας για τους υποσταθμούς με μόνωση αερίων. Αυτό έχει σημαντικά οφέλη, όπως την εξασφάλιση της ομαλούς λειτουργίας του δικτύου και τη βελτίωση της ασφάλειας και της απόδοσης του δικτύου.

1.2.1 Παράγοντες σχεδιασμού υποσταθμού με μόνωση αερίου

Ένας καλός σχεδιασμός ενός υποσταθμού με Διακόπτες Ισχύος μόνωσης αερίου (GIS) εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως οι ειδικές απαιτήσεις του έργου, οι απαιτήσεις της μεταφερόμενης ενέργειας, η γεωμετρία του οικοδομήματος και η διαθέσιμη επιφάνεια εγκατάστασης.

Κάποιες βασικές απαιτήσεις ενός καλού σχεδιασμού υποσταθμού GIS είναι:

1. Η επιλογή της κατάλληλης τάσης, η οποία εξαρτάται από το φορτίο που πρόκειται να χειριστεί ο υποσταθμός. Σημαντικό είναι να λαμβάνονται υπόψη και μελλοντικές προβλέψεις για τυχόν επεκτάσεις ή αυξήσεις φορτίου.
2. Ο προσεκτικός σχεδιασμός των καλωδίων για τη μεταφορά της ενέργειας, ώστε να υπάρχει μέγιστη απόδοση.
3. Σημαντικό είναι ο σχεδιασμός ενός υποσταθμού GIS να προβλέπει την τήρηση όλων των απαραίτητων μέτρων ασφαλείας για την προστασία του προσωπικού και του εξοπλισμού από τους κινδύνους που μπορεί να οφείλονται σε βραχυκυκλώματα, υπερτάσεις καθώς και άλλες ανεπιθύμητες καταστάσεις, καθώς και η πρόβλεψη για ασφαλείς διαδικασίες συντήρησης.

Γενικά, ο βέλτιστος σχεδιασμός ενός υποσταθμού GIS επιδιώκει να εξασφαλίσει ασφάλεια, αξιοπιστία και αποδοτικότητα ώστε να είναι ικανός να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις του συστήματος διανομής.

Ο σωστός σχεδιασμός και η αποδοτική λειτουργία ενός υποσταθμού GIS εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως οι λειτουργικές απαιτήσεις του, η τοποθεσία, η διαθεσιμότητα των πόρων και οι περιβαλλοντικοί παράγοντες. Για τον λόγο αυτό, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη ορισμένες βασικές αρχές που διασφαλίζουν τη μακροχρόνια αξιοπιστία, αποδοτικότητα και ασφάλεια.

Η αξιοπιστία αποτελεί έναν από τους βασικότερους στόχους του σχεδιασμού. Επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης αξιόπιστων εξαρτημάτων, της σωστής τοποθέτησης και διάταξής τους, καθώς και της μείωσης των αναγκών συντήρησης. Οι υποσταθμοί GIS επιτρέπουν μεγαλύτερα διαστήματα συντήρησης, και με τον κατάλληλο σχεδιασμό μπορούν να μειωθούν ακόμα περισσότερο οι περίοδοι συντήρησης και επισκευής.

Η οικονομία παίζει επίσης καθοριστικό ρόλο. Ένας οικονομικά βιώσιμος σχεδιασμός εξασφαλίζει αποδοτικές λύσεις με τη βέλτιστη αξιοποίηση των πόρων, μειώνοντας παράλληλα το κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Επιπλέον, η ευελιξία του σχεδιασμού είναι κρίσιμη για την προσαρμογή στις μελλοντικές ανάγκες. Οι υποσταθμοί GIS πρέπει να είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε να μπορούν να υποστηρίξουν αναβαθμίσεις, αλλαγές ή επεκτάσεις με ελάχιστη διακοπή της λειτουργίας τους.

Η ενσωμάτωση της έξυπνης τεχνολογίας προσφέρει νέες δυνατότητες παρακολούθησης και ελέγχου. Η χρήση έξυπνων συστημάτων και δικτύων καθιστά δυνατή την εξ αποστάσεως παρακολούθηση των λειτουργιών και τη βελτίωση της διαχείρισης και της συντήρησης. Παράλληλα, η ασφάλεια του προσωπικού και του εξοπλισμού διασφαλίζεται μέσω της τήρησης των προτύπων ασφαλείας, της χρήσης αξιόπιστων υλικών και μέτρων ατομικής προστασίας.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι η προστασία του περιβάλλοντος. Ο σχεδιασμός πρέπει να λαμβάνει υπόψη τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά την κατασκευή και τη λειτουργία του υποσταθμού, καθώς και την αποτελεσματική διαχείριση των υλικών.

Τέλος, η μείωση του χώρου που απαιτείται αποτελεί ένα σημαντικό πλεονέκτημα των υποσταθμών GIS. Ο σχεδιασμός τους επιτρέπει την ανάπτυξή τους σε περιορισμένους

χώρους ή σε περιοχές με αρχιτεκτονικούς περιορισμούς, γεγονός που καθιστά τους υποσταθμούς αυτούς ιδανική επιλογή για αστικές περιοχές και εφαρμογές με περιορισμένο διαθέσιμο χώρο.[3]

1.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Υποσταθμών με μόνωση αερίου

Συνοψίζοντας, οι υποσταθμοί GIS έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τους εναέριους υποσταθμούς. Πρώτον, απαιτούν πολύ μικρότερο χώρο, συχνά μόλις το 10-15% του χώρου που χρειάζεται ένας εναέριος υποσταθμός, γεγονός που τους καθιστά ιδανικούς για περιορισμένες ή αστικές περιοχές. Επίσης, προσφέρουν αυξημένη ασφάλεια τόσο για τον εξοπλισμό όσο και για το προσωπικό, χάρη στο μεταλλικό περίβλημα που προστατεύει τις εγκαταστάσεις από εξωτερικούς κινδύνους. [4]

Οι υποσταθμοί GIS διαθέτουν μεγαλύτερο κύκλο συντήρησης, με περιορισμένες ανάγκες τακτικών παρεμβάσεων, παράγουν λιγότερο θόρυβο, και μειώνουν τη συνολική ηλεκτρομαγνητική ενόχληση, καθιστώντας τους φιλικούς προς το περιβάλλον και κατάλληλους για πυκνοκατοικημένες περιοχές. Επιπλέον, ο πλήρως κλειστός σχεδιασμός τους εξασφαλίζει καλύτερη προστασία του εξοπλισμού από περιβαλλοντικές επιδράσεις, όπως υγρασία, ρύπανση ή ακραίες θερμοκρασίες.

Ωστόσο, οι υποσταθμοί GIS έχουν και ορισμένα μειονεκτήματα. Το κόστος εγκατάστασής τους είναι υψηλότερο σε σχέση με τους εναέριους υποσταθμούς, ενώ η επισκευή ζημιών μπορεί να είναι δαπανηρή, λόγω της εξειδικευμένης τεχνολογίας και της δυσκολίας πρόσβασης στα εσωτερικά τους μέρη. [4]

Κεφάλαιο 2: Μονωτικό αέριο εξαφθοριούχο θείο (SF₆)

2.1 Εισαγωγή

Το SF₆ είναι ηλεκτρομονωτικό υλικό που χρησιμοποιείται κυρίως στον τομέα της ενέργειας για να πραγματοποιεί σβέση τόξων. Οι όλο και αυξανόμενες απαιτήσεις για ηλεκτρική ενέργεια σε συνδυασμό με την εξέλιξη του ηλεκτροτεχνικού εξοπλισμού, δημιούργησαν την ανάγκη για αντικατάσταση του αέρα, που αρχικά χρησιμοποιούνταν ως μονωτικό υλικό, με αέρια νέας τεχνολογίας, όπως είναι το SF₆.

Το αέριο SF₆ (εξαφθοριούχο θείο) συντέθηκε για πρώτη φορά το 1900 από τους Henri Moissan και Paul Lebeau στη Γαλλία (Christophorou et al., 1997) [5].

Το αέριο SF₆ χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ως μονωτικό υλικό σε εξοπλισμό υψηλής τάσης στη Γαλλία το 1937. Το 1960, στις Ηνωμένες Πολιτείες, άρχισε η εμπορική παραγωγή εξοπλισμού υψηλής τάσης με μόνωση αερίου SF₆. Το 1967, στη Γερμανία, λειτούργησε για πρώτη φορά εξοπλισμός GIS (Gas Insulated Substation), εισάγοντας την τεχνολογία σε εμπορική κλίμακα (Christophorou et al., 1997) [5].

2.2 Ιδιότητες του SF₆

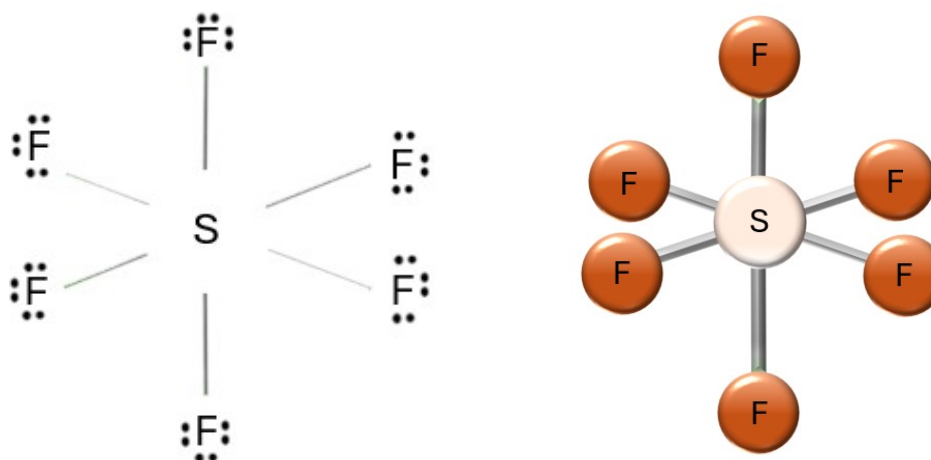
Το SF₆ (εξαφθοριούχο θείο) είναι ένα χημικό μόριο που περιλαμβάνει ένα άτομο θείου (S) και έξι άτομα φθορίου (F). Η γεωμετρία του είναι οκταεδρική, πράγμα που του προσφέρει εξαιρετική σταθερότητα και χαμηλή αντιδραστικότητα. Αυτή η δομή είναι κρίσιμη για τις ηλεκτρικές και χημικές του ιδιότητες.

Η δομή του αερίου SF₆ ονομάζεται δομή Lewis καθώς την ανέπτυξε στις αρχές του 20ού αιώνα ο Αμερικανός χημικός Γκλεν Λιούις. Η δομή Lewis ή ηλεκτρονιακή θεωρία σθένους, περιγράφει το σχηματισμό ομοιοπολικού δεσμού, σύμφωνα με την οποία στους δεσμούς συμμετέχουν μόνο τα ηλεκτρόνια σθένους και αυτά τα ηλεκτρόνια στη συνέχεια διαμοιράζονται μεταξύ των συνδεόμενων ατόμων με βάση τον κανόνα της οκτάδας. Δηλαδή, τα άτομα αποβάλλουν ή προσλαμβάνουν ηλεκτρόνια ή αμοιβαία συνεισφέρουν ηλεκτρόνια, προκειμένου να αποκτήσουν δομή ευγενούς αερίου, ήτοι οκτώ ηλεκτρόνια

στην τελευταία τους στοιβάδα. Όταν δημιουργείται χημικός δεσμός, το σύστημα των αρχικών ουσιών οδηγείται σε σταθερότερη κατάσταση [6].

Η χρήση αυτής της δομής βοηθά στην κατανόηση της διάταξης των ατόμων, των γωνιών δεσμού και της χημικής συμπεριφοράς των ενώσεων. Η γωνία δεσμού του SF_6 είναι 90 μοίρες. Αυτή η δομή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την αναγνώριση του τύπου των δεσμών (π.χ. απλοί, διπλοί) και των ατόμων που συμμετέχουν σε αυτούς [7].

Στην παρακάτω εικόνα 2.1 φαίνεται η δομή του αερίου SF_6 .



Εικόνα 2.1 Δομή του αερίου SF_6 [7]

Το εξαφθοριούχο θείο είναι αέριο άχρωμο, άοσμο και υπό κανονικές συνθήκες είναι μη τοξικό, άφλεκτο, σταθερό και χημικά αδρανές. Έχει εξαιρετική ικανότητα στη σβέση ηλεκτρικών τόξων. Θεωρείται πολύ καλή μόνωση λόγω της ηλεκτροαρνητικότητάς του, με την οποία έχει την τάση να συλλαμβάνει ηλεκτρόνια, έτσι ώστε ο ιονισμός του διακένου ύστερα από την διακοπή να είναι δυσκολότερος, από ότι εάν υπήρχε το διάκενο κενού αέρα. Ακόμα η διηλεκτρική αντοχή του SF_6 σε ατμοσφαιρική πίεση είναι 2 μέχρι 3 φορές υψηλότερη από του αέρα. Ασκώντας πίεση 4 με 6 bar στο SF_6 , η διηλεκτρική του αντοχή γίνεται περίπου ίδια με αυτή του λαδιού των μετασχηματιστών.

Είναι ιδανικό για την απόσβεση ηλεκτρικών τόξων καθώς:

- Έχει μεγάλη διάμετρο ατόμου, αυτό σημαίνει ότι κάθε μόριο καταλαμβάνει περισσότερο χώρο και έχει περισσότερη μάζα. Έτσι τα μόρια του SF_6 συγκρούονται συχνά και αποδοτικά με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που δημιουργούνται στο ηλεκτρικό

τόξο. Οι συγκρούσεις αυτές απορροφούν την ενέργεια των ηλεκτρονίων, μειώνοντας τη θερμοκρασία και την ενέργεια του τόξου.

- Η τάση διάσπασης του SF_6 είναι τρεις φορές μεγαλύτερη από του αέρα υπό κανονικές συνθήκες.
- Έχει την ικανότητα να ανασχηματίζεται μετά από διασπάσεις.
- Αποσβένει ηλεκτρικά τόξα 10 φορές γρηγορότερα σε σχέση με τον αέρα, στις ίδιες συνθήκες.

Όταν πραγματοποιούνται ηλεκτρικές διασπάσεις, το SF_6 ανασχηματίζεται, όμως δημιουργούνται και παραπροϊόντα σε μορφή σκόνης τα οποία αφαιρούνται εύκολα με σκούπες που διαθέτουν ειδικά φίλτρα. Κατά την λειτουργία μηχανημάτων με SF_6 δημιουργούνται παραπροϊόντα τα οποία σταδιακά δημιουργούν διοξείδιο του θείου SO_2 και υδροφθόριο HF .

2.2.1 Φυσικές ιδιότητες του SF_6

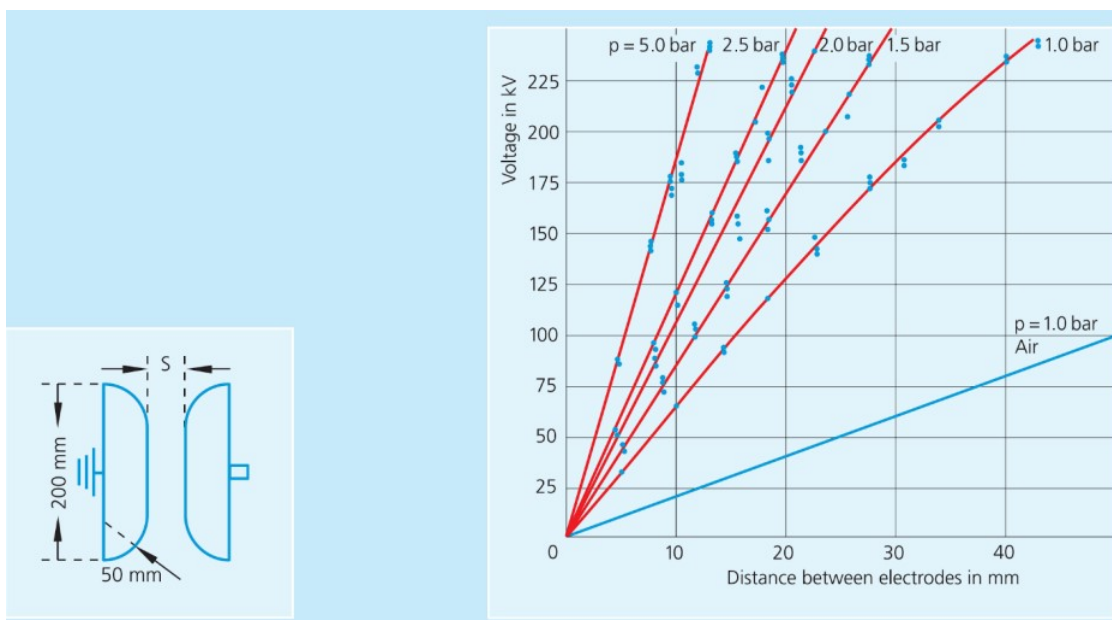
Παρακάτω αναλύονται οι φυσικές ιδιότητες του SF_6 :

- Το SF_6 έχει μοριακό βάρος 146.05 g/mol, σημαντικά υψηλότερο από τον αέρα, που έχει μέσο μοριακό βάρος περίπου 29 g/mol.
- Η πυκνότητά του είναι περίπου 6.17 g/L, με αποτέλεσμα να είναι πολύ βαρύτερο από τον αέρα. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να συσσωρεύεται σε χαμηλότερα σημεία, προκαλώντας κινδύνους ασφυξίας σε κλειστούς χώρους.
- Το σημείο βρασμού του είναι $-64\text{ }^\circ\text{C}$, που του επιτρέπει να συγκρατεί την μορφή του αερίου σε ευρύ φάσμα θερμοκρασιών. Σε θερμοκρασίες πάνω από αυτό το σημείο, βρίσκεται σε αέρια κατάσταση, ενώ κάτω από αυτό το σημείο, βρίσκεται σε υγρή μορφή.
- Έχει σημείο τήξης τους $-50.8\text{ }^\circ\text{C}$, το οποίο υποδηλώνει ότι παραμένει αέριο σε κανονικές συνθήκες εργασίας.
- Έχει πολύ χαμηλή διαλυτότητα στο νερό, αλλά είναι διαλυτό σε οργανικούς διαλύτες, κάτι που το καθιστά χρήσιμο σε συγκεκριμένες χημικές εφαρμογές [8].

2.2.2 Ηλεκτρικές ιδιότητες του SF₆

Το SF₆ έχει εξαιρετική διηλεκτρική αντοχή, δηλαδή εξαιρετική ικανότητα να αντιστέκεται στη διάσπαση λόγω ηλεκτρικού πεδίου. Το SF₆ σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, έχει διηλεκτρική αντοχή περίπου 2,5 φορές μεγαλύτερη από τον αέρα. Η διηλεκτρική αντοχή του αέρα είναι περίπου 30 kV/cm σε ατμοσφαιρική πίεση ενώ η διηλεκτρική αντοχή του SF₆ είναι περίπου $2,5 \times 30$ kV/cm, δηλαδή 75 kV/cm, γεγονός που το καθιστά ιδανικό για χρήση σε ηλεκτρικούς εξοπλισμούς υψηλής τάσης.

Η διηλεκτρική αντοχή των μονάδων GIS που χρησιμοποιούν SF₆ ως μονωτικό μέσο, είναι συνάρτηση της πυκνότητας του αερίου SF₆. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η διηλεκτρική αντοχή του αερίου σε σύγκριση με την διηλεκτρική αντοχή του αέρα σε διάφορες τιμές πίεσης του στους 20°C.



Εικόνα 2.2 Διηλεκτρική αντοχή του SF₆ σε διάφορες πιέσεις συγκριτικά με την διηλεκτρική αντοχή του αέρα σε συχνότητα 50Hz, σε ομοιογενές πεδίο. [9]

Το SF₆ έχει «ευνοϊκές» γωνίες επαφής (περίπου 90°), οι οποίες είναι οι γωνίες που σχηματίζονται μεταξύ της επιφάνειας του υλικού και της κατεύθυνσης του ηλεκτρικού πεδίου. Οι γωνίες επαφής του, συμβάλλουν στην αποτροπή της διαρροής ρεύματος και στην βελτίωση της απόδοσης καθώς μειώνεται η πιθανότητα ηλεκτρικών σπινθήρων.

Επιπλέον, το SF₆ είναι μη πολικό αέριο, με σχετική πολικότητα κοντά στο 0, που σημαίνει ότι έχει υψηλή σταθερότητα κι αντοχή σε ηλεκτρικά πεδία.

Επιπρόσθετα έχει την ικανότητα απόσβεσης τόξου/ηλεκτρικής εκκένωσης, διασφαλίζοντας τη σωστή λειτουργία των ηλεκτρικών συστημάτων. Μετά από μια διάσπαση έχει την ικανότητα να αποτρέπει την επανασύνδεση των ηλεκτρικών επαφών, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο βραχυκυκλωμάτων. Τέλος, έχει σταθερότητα σε υψηλές θερμοκρασίες που σημαίνει πως δεν αντιδρά εύκολα με άλλες ουσίες σε κανονικές θερμοκρασίες και πιέσεις. Αυτή η ιδιότητα το καθιστά ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν χημική αδράνεια. Όλα τα παραπάνω το καθιστούν εξαιρετική επιλογή για συστήματα υψηλής τάσης [10].

2.2.3 Σύγκριση του SF₆ με άλλα αέρια

Το SF₆ σε σύγκριση με άλλα αέρια, παρουσιάζει πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα που επηρεάζουν την ευρύτερη χρήση του.

Σε σύγκριση με τον αέρα, όπως είδαμε και σε προηγούμενο υποκεφάλαιο, το SF₆ έχει περίπου 2,5 φορές μεγαλύτερη διηλεκτρική αντοχή, γεγονός που του επιτρέπει να χρησιμοποιείται σε πολύ πιο συμπαγή εξοπλισμό. Είναι επίσης πολύ πιο αποτελεσματικό στην καταστολή των ηλεκτρικών τόξων, καθιστώντας το ιδανικό για διακόπτες ισχύος και συστήματα μόνωσης. Παρ' όλα αυτά, ο αέρας είναι πιο φιλικός προς το περιβάλλον, καθώς δεν έχει το ίδιο υψηλό δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (GWP) με το SF₆. Επίσης, ο αέρας είναι φθηνότερος και ευκολότερος στη διαχείριση, αλλά απαιτεί μεγαλύτερο χώρο για την εγκατάσταση του εξοπλισμού, λόγω της χαμηλότερης διηλεκτρικής αντοχής του.

Τα μίγματα αερίων, όπως αυτά που περιέχουν C4-FN (μίγμα τετραφθορονιτρίλου) ή C5-FK (μίγμα πενταφθοροκετόνης), έχουν αρχίσει να εμφανίζονται ως βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις του SF₆. Αυτά τα αέρια έχουν χαμηλότερο GWP, γεγονός που τα καθιστά φιλικότερα προς το περιβάλλον. Ωστόσο, η διηλεκτρική τους αντοχή και η απόδοσή τους στην καταστολή ηλεκτρικών τόξων είναι ελαφρώς χαμηλότερες από το SF₆, και συχνά απαιτούν βελτιώσεις στον σχεδιασμό του εξοπλισμού για να πληρούν τις ίδιες προδιαγραφές. [11]

Το CO₂ είναι επίσης μια εναλλακτική λύση που χρησιμοποιείται σε ορισμένες εφαρμογές λόγω του χαμηλού του GWP και της διαθεσιμότητάς του. Ωστόσο, η

διηλεκτρική του αντοχή είναι πολύ χαμηλότερη από αυτή του SF₆, γεγονός που περιορίζει τη χρήση του σε εφαρμογές χαμηλότερης τάσης ή σε συνδυασμό με άλλα μονωτικά υλικά. Επιπλέον, η ικανότητά του να καταστέλλει τόξα δεν είναι συγκρίσιμη με το SF₆, γεγονός που το καθιστά λιγότερο κατάλληλο για εφαρμογές υψηλής τάσης. [11]

Συνολικά, το SF₆ παραμένει το πιο αποτελεσματικό αέριο για χρήση σε υποσταθμούς υψηλής τάσης, αλλά οι περιβαλλοντικές ανησυχίες για την επίδρασή του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου έχουν οδηγήσει στην αναζήτηση εναλλακτικών λύσεων. Τα μίγματα αερίων και το CO₂ προσφέρουν βιώσιμες επιλογές σε ορισμένες εφαρμογές, αλλά η απόδοσή τους δεν είναι πάντα ισάξια με το SF₆ [12].

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η διηλεκτρική σταθερά κάποιων διαδεδομένων μονωτικών αερίων και μειγμάτων αυτών (πίνακας 2.1).

A/A	Αέριο	Διηλεκτρική σταθερά
1	H ₂	0.5
2	Αέρας	1
3	N ₂	1
4	30% SF ₆ + 70% αέρας	2
5	SF ₆	2.5
6	C ₅ F ₈	5,5

Πίνακας 2.1 Διηλεκτρική σταθερά μονωτικών αερίων [12]

2.3 Χρήσεις του SF₆

Στην ηλεκτρική ενέργεια το SF₆ χρησιμοποιείται για ηλεκτρική μόνωση σε συστήματα GIS, επιτρέποντας τη σχεδίαση πιο συμπαγών και αποδοτικών υποσταθμών. Η καινοτόμα εξέλιξη και χρήση των GIS, επιτρέπει τη μείωση του χώρου εγκατάστασης και την μείωση των κατασκευαστικών δαπανών.

Πολύ σημαντική είναι, επίσης, η χρήση του SF₆ για το σβήσιμο ηλεκτρικών τόξων σε διακόπτες Υψηλής Τάσης. Στον τομέα της ενέργειας το SF₆ χρησιμοποιείται για τη σβέση των τόξων όταν οι διακόπτες ανοίγουν ή κλείνουν. Η υψηλή διηλεκτρική αντοχή του το καθιστά ιδανικό για τη μόνωση ηλεκτρικών εξαρτημάτων. Επίσης, το SF₆ είναι χημικά σταθερό και δεν αντιδρά εύκολα με άλλα υλικά, γεγονός που το καθιστά αξιόπιστο σε

μακροχρόνιες εφαρμογές σε διακόπτες υψηλής τάσης. Έχει υψηλή ικανότητα απορρόφησης θερμότητας, που το βοηθά να σβήνει τα τόξα και να μειώνει τη θερμότητα που παράγεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτρικής εκκένωσης. Επιπλέον, είναι ικανό να σβήνει τον σπινθήρα και να αποτρέπει την επανασύνδεση των ηλεκτρικών επαφών σε συστήματα υψηλής τάσης.

Οι ανωτέρω ιδιότητες του SF₆ αυξάνουν την ασφάλεια και την αξιοπιστία των ηλεκτρικών δικτύων και το καθιστούν ιδανικό για χρήση σε διακόπτες υψηλής τάσης και άλλες ηλεκτρικές εφαρμογές όπου απαιτείται αποτελεσματική σβέση τόξων και αποφυγή ηλεκτρικών σπινθήρων.

Στην Ιατρική χρησιμοποιείται σε ακτινογραφίες, υπερηχογραφήματα, στην οφθαλμολογία, σε διαγνωστικές εξετάσεις και στην αναισθησία. Το SF₆ χρησιμοποιείται ως παράγοντας αντίθεσης σε υπερηχογραφήματα, κυρίως στην καρδιολογία. Η χρήση του διευκολύνει τη διαγνωστική απεικόνιση και επιτρέπει καλύτερη αναγνώριση καρδιολογικών παθήσεων. Στην οφθαλμολογία χρησιμοποιείται για την θεραπεία οφθαλμολογικών παθήσεων. Στις διαγνωστικές εξετάσεις χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των πνευμόνων, ενώ οι αναισθησιολόγοι το χρησιμοποιούν ως συστατικό της αναισθησίας. [13]

Το SF₆ χρησιμοποιείται σε περιβαλλοντικές μελέτες ως αέριο ιχνηθέτησης για τη μελέτη της διάχυσης του αέρα και των ρευμάτων του, χάρη στη σταθερή συμπεριφορά του.

Μια επιπλέον χρήση του αερίου SF₆ είναι σε εργαστηριακές εφαρμογές για πειραματικές ρυθμίσεις όπου απαιτείται αδρανής ατμόσφαιρα, όπως στη χημεία ή τη φυσική, για την αποφυγή αντιδράσεων με ατμοσφαιρικά αέρια.

2.4 Επίδραση του αερίου SF₆ στο περιβάλλον

Ενώ το SF₆ διαθέτει πολλά πλεονεκτήματα, έχει και κάποια πολύ σημαντικά μειονεκτήματα.

Το σημαντικότερο μειονέκτημα του SF₆ είναι ότι έχει παγκόσμια δυνητικότητα θέρμανσης (GWP) περίπου 23.000 φορές υψηλότερη από αυτή του CO₂, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό κανονισμό 517/2014 [14]. Έτσι το καθιστά ένα από τα πιο επιβλαβή αέρια για το περιβάλλον, καθώς εγκλωβίζει θερμότητα στην ατμόσφαιρα. Επιπλέον των ανωτέρω, το SF₆ διαφέρει από τα υπόλοιπα αέρια και λόγω του χρόνου ζωής του. Εκτιμάται ότι μπορεί να παραμείνει στην ατμόσφαιρα περίπου 3.200 χρόνια. Οι εκπομπές SF₆ συμβάλλουν

δραματικά στην κλιματική αλλαγή. Το αέριο απελευθερώνετε στην ατμόσφαιρα κυρίως από ηλεκτρικές εγκαταστάσεις και από βιομηχανικές εφαρμογές, κατά την παραγωγή, την χρήση και την απόρριψή του [15].

Για τους παραπάνω λόγους, πολλές χώρες και οργανισμοί εργάζονται για να περιορίσουν την χρήση του SF₆.

2.5 Κανονισμοί – Συνθήκες μείωσης εκπομπών αερίου SF₆

Πολλές χώρες έχουν επιβάλει κανονισμούς για τη χρήση και τη διάθεση του SF₆. Η ανακύκλωση και η αποθήκευση είναι κρίσιμες για τη μείωση των εκπομπών του στην ατμόσφαιρα.

Στις επόμενες υποενότητες θα δούμε διεθνείς, περιφερειακές και εθνικές συμφωνίες και νομοθεσίες που ενίσχυσαν τη δέσμευση για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, συμπεριλαμβανομένου του SF₆.

2.5.1 Συνθήκη του Κιότο για την μείωση των εκπομπών SF₆

Η Συνθήκη του Κιότο, που υιοθετήθηκε στις 11 Δεκεμβρίου 1997, είναι μια διεθνής συμφωνία που θέτει νομικά δεσμευτικούς στόχους για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ανάμεσα σε αυτά τα αέρια περιλαμβάνεται και το SF₆, το οποίο έχει εξαιρετικά υψηλό δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (GWP), περίπου 23.500 φορές μεγαλύτερο από το CO₂.

Τα Ευρωπαϊκά κράτη, ως μέλη του Πρωτοκόλλου του Κιότο, δεσμεύτηκαν να μειώσουν τις εκπομπές αυτών των αερίων κατά μέσο όρο 8% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990, κατά την περίοδο 2008-2012. Ειδικά για το SF₆, η δέσμευση περιλαμβάνει τη μείωση των διαρροών από βιομηχανικές εφαρμογές, όπως οι υποσταθμοί GIS, μέσω της βελτίωσης της τεχνολογίας, της αυστηρότερης παρακολούθησης, και της ανακύκλωσης του αερίου.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ενσωματώσει αυτές τις δεσμεύσεις στη νομοθεσία της, ενισχύοντας τη χρήση φιλικότερων προς το περιβάλλον τεχνολογιών και μειώνοντας τη χρήση του SF₆, όπου είναι δυνατόν, χωρίς να υπονομεύεται η ασφάλεια και η αποδοτικότητα των συστημάτων.

Πριν από το Πρωτόκολλο του Κιότο, δεν υπήρχε διεθνής νομικά δεσμευτική συμφωνία που να περιλάμβανε το SF₆ στις στρατηγικές μείωσης των εκπομπών [16], [17].

2.5.2 Κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 517/2014 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου

Ο Κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 517/2014 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, γνωστός ως Κανονισμός για τα Φθοριούχα Αέρια (F-Gas Regulation), τέθηκε σε ισχύ στις 16 Απριλίου 2014. Στόχος του είναι η μείωση των εκπομπών φθοριούχων αερίων θερμοκηπίου, που συμβάλλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Εντάσσεται στο πλαίσιο των στόχων της ΕΕ για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και προστασία του περιβάλλοντος. Αποτελεί σημαντικό βήμα προς τη βιώσιμη ανάπτυξη και την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής.

Κάποια από τα βασικά σημεία του κανονισμού είναι τα εξής:

1. Ο κανονισμός επιδιώκει τη σταδιακή μείωση (phasedown) της χρήσης φθοριούχων αερίων, με στόχο τη μείωση των εκπομπών τους κατά 79% έως το 2030 (σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2015). Η μείωση αυτή επιτυγχάνεται με ποσοστώσεις (quotas) που περιορίζουν τη συνολική ποσότητα φθοριούχων αερίων που εισέρχονται στην αγορά της ΕΕ κάθε χρόνο.
2. Ορισμένες εφαρμογές φθοριούχων αερίων, ειδικά εκείνες με υψηλό δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (GWP), απαγορεύονται. Κάποιες από τις απαγορεύσεις στη χρήση φθοριούχων αερίων σε προϊόντα και εξοπλισμούς περιλαμβάνουν ψυκτικά συστήματα με HFCs υψηλού GWP, μερικά μονωτικά αφρώδη υλικά και συσκευές κλιματισμού και καταψύκτες σε οικιακή και εμπορική χρήση.
3. Ο κανονισμός απαιτεί την πιστοποίηση και κατάρτιση των τεχνικών που εργάζονται με φθοριούχα αέρια. Στόχος είναι να διασφαλιστεί η ορθή διαχείριση και αποφυγή διαρροών κατά την εγκατάσταση, συντήρηση και διάθεση εξοπλισμού που περιέχει φθοριούχα αέρια.
4. Ο κανονισμός περιλαμβάνει αυστηρές απαιτήσεις για τον έλεγχο διαρροών, τη συντήρηση και την επιθεώρηση εξοπλισμού που περιέχει φθοριούχα αέρια. Οι επιχειρήσεις υποχρεούνται να διασφαλίζουν ότι ο εξοπλισμός τους δεν έχει διαρροές και να τηρούν μητρώα συντήρησης και επιθεώρησης.

5. Όλα τα φθοριούχα αέρια θα πρέπει να φέρουν σήμανση και οι εταιρείες υποχρεούνται να αναφέρουν στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή τις ποσότητες φθοριούχων αερίων που διακινούν, εισάγουν ή εξάγουν.
6. Ο κανονισμός ενθαρρύνει τη χρήση εναλλακτικών ψυκτικών και μονωτικών ουσιών με χαμηλότερο δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη. Στόχος του είναι η αντικατάσταση των φθοριούχων αερίων υψηλού GWP με πιο φιλικά προς το περιβάλλον αέρια.
7. Σε περίπτωση μη συμμόρφωσης με τον κανονισμό, οι επιχειρήσεις υπόκεινται σε κυρώσεις από τα κράτη μέλη, που περιλαμβάνουν πρόστιμα και άλλες διοικητικές κυρώσεις [18].

2.5.3 Συμφωνία των Παρισίων (2015)

Η Συμφωνία των Παρισίων αντικατέστησε το Πρωτόκολλο του Κιότο ως η βασική διεθνής συνθήκη για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Υιοθετήθηκε το 2015 και έθεσε στόχους για τη διατήρηση της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας κάτω από 2°C, με φιλοδοξία να περιοριστεί στους 1,5°C. Αν και δεν περιλαμβάνει συγκεκριμένες αναφορές στο SF₆, ενθαρρύνει την εφαρμογή τεχνολογιών και πολιτικών για τη μείωση των εκπομπών όλων των αερίων του θερμοκηπίου, και τα κράτη δεσμεύονται να ενισχύσουν τις προσπάθειες για τη μείωση των διαρροών SF₆ [19].

2.5.4 Κανονισμοί του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών για το Κλίμα (UNFCCC)

Ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC) καθιέρωσε μηχανισμούς για την καταγραφή και την αναφορά των εκπομπών SF₆ από τα κράτη μέλη. Μέσω εθνικών απογραφών, οι χώρες υποχρεούνται να παρακολουθούν και να αναφέρουν τις εκπομπές SF₆ σε τακτική βάση, προωθώντας τη διαφάνεια και τη λήψη μέτρων [20].

2.5.5 Εθνικές και Τεχνολογικές Κατευθύνσεις για τη Μείωση του SF₆

Προς την κατεύθυνση της μείωσης των εκπομπών του αερίου SF₆ έχουν κινηθεί κάποιες Εθνικές στρατηγικές και κατευθυντήριες γραμμές σε χώρες όπως οι ΗΠΑ, η

Ιαπωνία και η Γερμανία, οι οποίες ενθαρρύνουν την υιοθέτηση εναλλακτικών λύσεων αντί του SF₆ (π.χ. χρήση μιγμάτων αερίων ή στερεών μονωτικών υλικών).

Επιπρόσθετα προς αυτή την κατεύθυνση έχουν κινηθεί τα Βιομηχανικά πρότυπα, όπως το πρότυπο του IEC (International Electrotechnical Commission) 62271, το οποίο περιλαμβάνει συγκεκριμένες απαιτήσεις για τη διαχείριση του SF₆, την παρακολούθηση των διαρροών και την ανακύκλωση του αερίου.

Πολλές χώρες έχουν υιοθετήσει νομοθεσίες που ενισχύουν την εφαρμογή των δεσμεύσεων για το SF₆, όπως οι ΗΠΑ, όπου η Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας (EPA) έχει εισαγάγει το πρόγραμμα SF₆ Emission Reduction Partnership for Electric Power Systems, το οποίο συνεργάζεται με τη βιομηχανία για τη μείωση των διαρροών [21]. Στη Γερμανία, ισχύουν αυστηρά όρια για τις διαρροές SF₆ από βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Σε ορισμένες χώρες, όπως η Σουηδία και η Νορβηγία, έχουν τεθεί σε εφαρμογή περιορισμοί για τη χρήση του SF₆ σε νέα έργα, ενθαρρύνοντας τη μετάβαση σε φιλικότερες προς το περιβάλλον τεχνολογίες.

2.5.6 Νόμος 4936/2022 Πλαίσιο για την Κλιματική αλλαγή και τη μετάβαση στην κλιματική ουδετερότητα

Ο Νόμος 4936/2022 (ΦΕΚ Α' 105/27.05.2022) καθορίζει τη στρατηγική της Ελλάδας για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τη μετάβαση σε κλιματική ουδετερότητα έως το 2050. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, περιλαμβάνει διατάξεις που αφορούν τα φθοριούχα αέρια, όπως το εξαφθοριούχο θείο (SF₆), λόγω του υψηλού δυναμικού θέρμανσης (GWP) που έχουν αυτά τα αέρια.

Τα βασικά Σημεία του Νόμου 4936/2022 σχετικά με το SF₆ και τα Φθοριούχα Αέρια είναι:

1. Ο νόμος θέτει στόχους για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα, σε ευθυγράμμιση με τους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τα φθοριούχα αέρια, συμπεριλαμβανομένου του SF₆, κατατάσσονται στα αέρια που πρέπει να μειωθούν λόγω της μεγάλης επίπτωσής τους στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

2. Ο νόμος προβλέπει τη σταδιακή μείωση και την πιθανή αντικατάσταση των φθοριούχων αερίων (όπως το SF₆) σε βιομηχανικές εφαρμογές και ειδικά σε τομείς όπου είναι εφικτή η χρήση εναλλακτικών λύσεων. Επιπλέον στον τομέα της ενέργειας, όπου το SF₆ χρησιμοποιείται κυρίως ως μονωτικό αέριο σε διακόπτες υψηλής τάσης, προβλέπονται ρυθμίσεις για την παρακολούθηση και την καταγραφή των εκπομπών.
3. Οι εταιρείες και οι φορείς που χρησιμοποιούν SF₆ ή άλλα φθοριούχα αέρια έχουν την υποχρέωση να παρακολουθούν τις εκπομπές και να αναφέρουν τις ποσότητες των αερίων που χρησιμοποιούνται και διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα. Αυτή η υποχρέωση επιτρέπει στην Πολιτεία να παρακολουθεί και να ελέγχει τις συνολικές εκπομπές φθοριούχων αερίων στη χώρα.
4. Ο νόμος προωθεί την έρευνα και την υιοθέτηση εναλλακτικών τεχνολογιών και αερίων που έχουν χαμηλότερο δυναμικό θέρμανσης σε σχέση με το SF₆. Ενθαρρύνεται η χρήση νέων τεχνολογιών με σκοπό να μειωθεί η εξάρτηση από φθοριούχα αέρια που επηρεάζουν το κλίμα.
5. Προβλέπονται κυρώσεις για τους φορείς που δεν συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις του νόμου, όπως η μη καταγραφή των εκπομπών ή η ακατάλληλη διαχείριση των φθοριούχων αερίων [22].

Κεφάλαιο 3: Περιγραφή εξοπλισμού GIS με μόνωση αερίου SF₆

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα GIS, το οποίο βρίσκεται σε ένα Κέντρο Διανομής της Αττικής, όπου πραγματοποιείται υποβιβασμός της τάσης από 150kV σε 20kV.



Εικόνα 3.1 GIS 150kV

Στην ανωτέρω εικόνα φαίνεται ένα GIS 150kV με τα παρακάτω βασικά μέρη:

1. Πόλος διακόπτη ισχύος
2. Ταχυγειωτής
3. Πίνακας ελέγχου
4. Ακροκιβώτιο καλωδίου 150kV
5. Καλώδιο 150kV
6. Αποζεύκτες ζυγών
7. Ζυγοί I και II

Στα GIS, οι ζυγοί, οι αποζεύκτες, τα ακροκιβώτια και ο διακόπτης ισχύος αποτελούν ξεχωριστά τμήματα, τα οποία είναι συνδεδεμένα με αεροστεγείς φλάντζες και μονωτήρες.

Με αυτό τον τρόπο απομονώνονται μεταξύ τους οι χώροι ώστε σε περίπτωση σφάλματος να περιοριστεί η ζημιά.

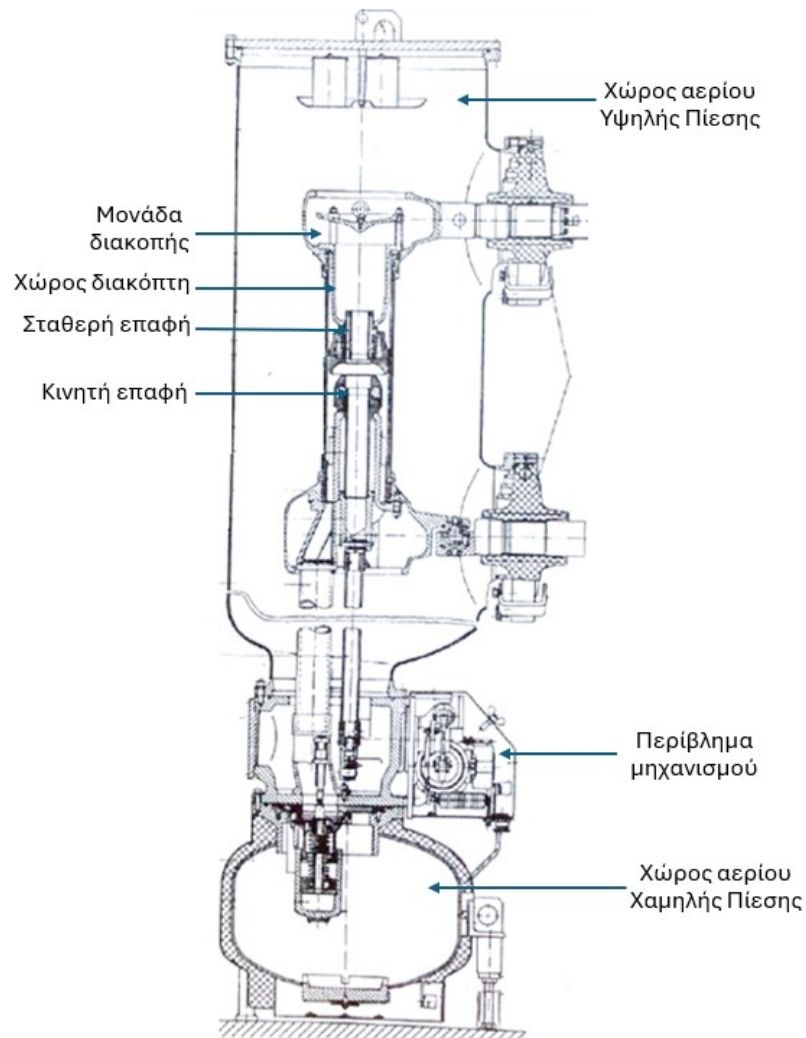
3.1 Πόλοι Διακόπτη Ισχύος

Οι πόλοι του διακόπτη ισχύος ενός GIS είναι ενσωματωμένοι στο σύστημα GIS, και βρίσκονται μέσα σε ένα μεταλλικό κέλυφος. Το μεταλλικό κέλυφος είναι γεμάτο με αέριο SF₆, το οποίο βρίσκεται σε κλειστό κύκλωμα με δύο βαθμίδες πιέσεων. Όπως αναλύσαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, το αέριο SF₆ διασφαλίζει τη μονωτική αντοχή και συμβάλλει στη μείωση της φθοράς των επαφών από το τόξο που δημιουργείται με τον χειρισμό του διακόπτη (το άνοιγμα και το κλείσιμο). Οι πόλοι του διακόπτη είναι κατασκευασμένοι για να αντέχουν σε υψηλές τάσεις και ρεύματα βραχυκυκλώματος, ενώ το περίβλημά τους προστατεύει από περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως υγρασία και σκόνη, αυξάνοντας την αξιοπιστία και τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού.

Οι πόλοι του διακόπτη ισχύος περιλαμβάνουν τον μηχανισμό επαφής, τον μηχανισμό αποσύνδεσης και τον μονωτήρα. Αυτά τα στοιχεία είναι τοποθετημένα μέσα στο μεταλλικό κέλυφος, το οποίο εκτός των άλλων πλεονεκτημάτων, εξασφαλίζει την αποφυγή διαρροής του SF₆ προς το περιβάλλον. Το κύκλωμα του διακόπτη οπλίζεται με υδραυλικό σύστημα, ενώ το άνοιγμά του (trip) με ελατήριο.

Για να εξασφαλίζεται η ασφάλεια του κυκλώματος, ο διακόπτης ισχύος διαθέτει μηχανισμό ελέγχου. Σε περιπτώσεις υπερφόρτωσης ή βλάβης, οι πόλοι του διακόπτη αποσυνδέουν το κύκλωμα για να προστατεύσουν το σύστημα [23, 24].

Στην παρακάτω εικόνα 3.2, φαίνεται η τομή με τα διάφορα μέρη από τα οποία αποτελείται ένας διακόπτης ισχύος.



Εικόνα 3.2 Τομή διακόπτη ισχύος [24]

3.2 Ταχυγειωτής

Ο ταχυγειωτής σε ένα σύστημα GIS (Gas Insulated Switchgear) είναι μια πολύ σημαντική συσκευή, η οποία εξασφαλίζει την γρήγορη σύνδεση του συστήματος με τη γη, παρέχοντας προστασία κατά τη συντήρηση, τις δοκιμές ή τις ανωμαλίες στη λειτουργία. Με την διασφάλιση του απομονωμένου και γειωμένου συστήματος, μειώνεται ο κίνδυνος ηλεκτροπληξίας κατά τη συντήρηση. Επιπλέον εξασφαλίζεται η πλήρης εκφόρτιση του συστήματος μετά την διακοπή λειτουργίας.

Οι ταχυγειωτές των GIS συστημάτων έχουν σχεδιαστεί να είναι ανθεκτικοί λόγω της χρήσης του αερίου SF_6 ως μονωτικού μέσου. Βρίσκονται εντός μονωτικής θήκης, η οποία

είναι γεμάτη με SF₆, που εξασφαλίζει ηλεκτρική απομόνωση και αποτρέπει βραχυκυκλώματα.

Ο ταχυγειωτής περιλαμβάνει κινητούς και σταθερούς πόλους που έρχονται σε επαφή όταν ο ταχυγειωτής ενεργοποιείται. Ο κινητός πόλος κινείται μέσω μηχανισμού ελατηρίου ή μέσω πίεσης αέρα, για γρήγορη επαφή με τη γείωση. Σε κατάσταση ηρεμίας, κατά την κανονική λειτουργία παραμένει ανοικτός, ενώ όταν ενεργοποιείται, κλείνει τις επαφές του και συνδέει το σύστημα με τη γη. Η ενεργοποίηση γίνεται χειροκίνητα (με μοχλό) ή αυτόματα (με ρελέ προστασίας).

Το σύστημα προστασίας του ταχυγειωτή του GIS, αποτελείται από ρελέ υπερτάσεων, από συστήματα ελέγχου και από αισθητήρες ρεύματος και τάσης. Έτσι επιτυγχάνεται απομακρυσμένη ενεργοποίηση και παρακολούθηση της κατάστασης του καθώς και ελέγχεται η ομαλή λειτουργία του και καταγράφονται δεδομένα για την αξιολόγηση της κατάστασης του συστήματος. Ο απομακρυσμένος έλεγχος συνδέεται με συστήματα SCADA, επιτρέποντας την απομακρυσμένη ενεργοποίηση και παρακολούθηση της κατάστασής του.

Οι ταχυγειωτές είναι συσκευές οι οποίες εξασφαλίζουν προστασία. Είναι μικρές συσκευές οι οποίες δεν αυξάνουν ιδιαίτερα τον απαιτούμενο χώρο εγκατάστασης του GIS, απαιτούν ελάχιστη συντήρηση και διασφαλίζουν ταχεία αντιμετώπιση σφαλμάτων.

Η λειτουργία του ταχυγειωτή περιλαμβάνει διάφορα στάδια. Σε κανονική κατάσταση λειτουργίας του συστήματος, παραμένει ανοικτός και δεν συνδέεται με τη γη. Όταν απαιτείται συντήρηση ή απομόνωση του συστήματος, ο ταχυγειωτής ενεργοποιείται, συνδέοντας το κύκλωμα με τη γη μέσω της επαφής του κινητού και του σταθερού πόλου. Αυτή η διαδικασία είναι κρίσιμη για την ασφάλεια του προσωπικού, καθώς αποτρέπει την παρουσία επικίνδυνων τάσεων. Μετά την ολοκλήρωση της συντήρησης, ο ταχυγειωτής αποσυνδέεται και επανέρχεται σε κατάσταση αδράνειας [25].

3.3 Πίνακας ελέγχου

Ο πίνακας ελέγχου του συστήματος GIS διαχειρίζεται, ελέγχει και επιβλέπει τη λειτουργία του Gas Insulated Switchgear. Δίνει πρόσβαση στον έλεγχο των διακοπών, των προστατευτικών διατάξεων (ενεργοποιεί αυτόματα τον ταχυγειωτή ή τους διακόπτες ισχύος όταν ανιχνευθεί σφάλμα), και των συστημάτων παρακολούθησης.

Ο πίνακας ελέγχου τροφοδοτείται είτε από το σύστημα είτε από εφεδρική ισχύ (UPS), ώστε να εξασφαλίζεται η λειτουργία του, ακόμα και σε διακοπή ρεύματος.

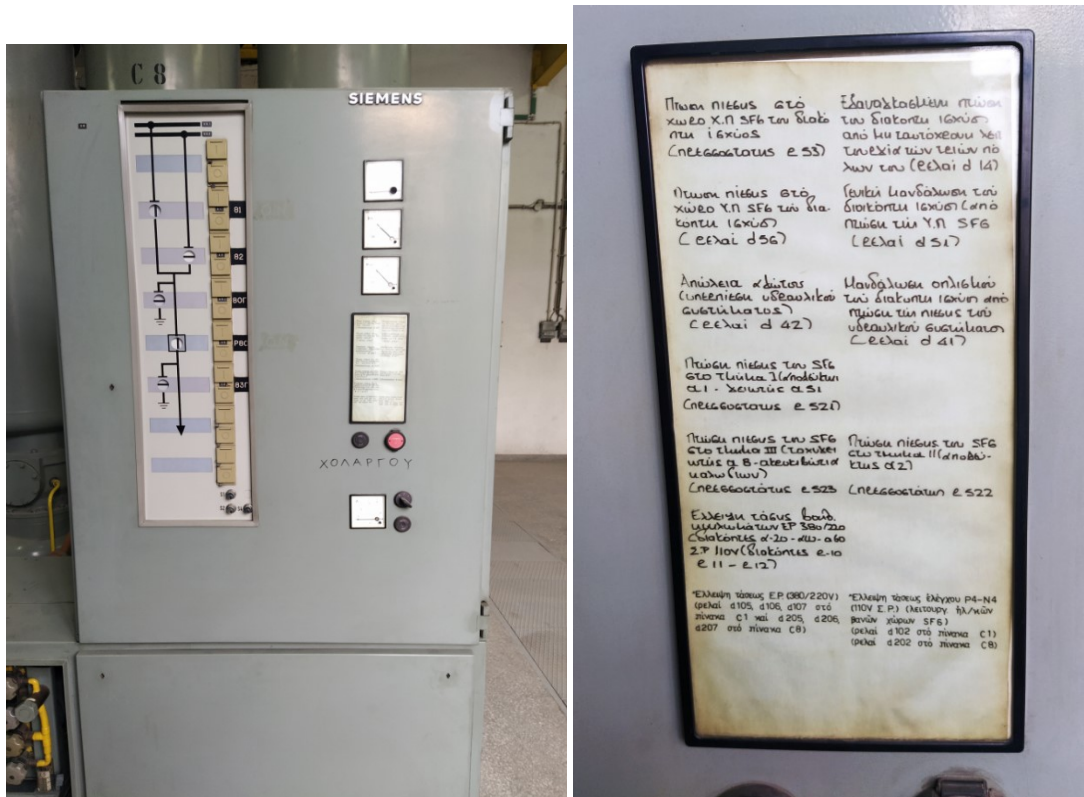
Ο πίνακας ελέγχου του GIS παίζει σημαντικό ρόλο καθώς δίνει την δυνατότητα χειροκίνητης ή απομακρυσμένης ενεργοποίησης και απενεργοποίησης των διακοπών. Εμφανίζει πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του GIS, όπως η τάση, το ρεύμα, η πίεση του SF₆ και η θερμοκρασία. Ενεργοποιεί αυτόματα προστατευτικές διατάξεις (π.χ. ρελέ υπερφόρτωσης) σε περιπτώσεις σφαλμάτων (υπερφόρτισης ή βραχυκυκλώματος) και κάνει αυτόματη αποσύνδεση (Tripping) ενεργοποιώντας τον διακόπτη ισχύος.

Συνδέεται με το σύστημα SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) του Υποσταθμού και προσφέρει απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχο.

Αποτελείται από πίνακα οργάνων (Mimic Panel), το οποίο περιλαμβάνει ένα γραφικό διάγραμμα του συστήματος GIS με διακόπτες, μονάδες προστασίας και γραμμές μεταφοράς καθώς και ενδείξεις LED, οι οποίες δείχνουν την κατάσταση λειτουργίας (π.χ., διακόπτης ανοιχτός, κλειστός ή σε σφάλμα).

Ο πίνακας ελέγχου διαθέτει κουμπιά έκτακτης ανάγκης τα οποία επιτρέπουν την άμεση αποσύνδεση του συστήματος σε περίπτωση κρίσιμης κατάστασης. Επίσης διαθέτουν ψηφιακά μετρητικά όργανα (τάσης, ρεύματος, ισχύος, συχνότητας) και αισθητήρες πίεσης SF₆, οι οποίοι παρέχουν δεδομένα για την πίεση του αερίου για να εξασφαλίζεται η σωστή μόνωση [26], [27].

Στην παρακάτω αριστερή εικόνα φαίνεται ενδεικτικά ένας πίνακας ελέγχου Δ/Ι 150kV, ενώ στα δεξιά φαίνεται ο πίνακας με τις ενδείξεις σε μεγέθυνση.



Εικόνα 3.3 α. Πίνακας ελέγχου, β. Πίνακας ενδείξεων

3.4 Ακροκιβώτιο καλωδίου 150kV

Το ακροκιβώτιο του καλωδίου 150kV στο GIS (Gas-Insulated Substation) είναι κρίσιμο για τη σύνδεση των καλωδίων υψηλής τάσης με το σύστημα GIS, εξασφαλίζοντας την ασφαλή και αξιόπιστη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας. Παρέχει ηλεκτρική μόνωση μεταξύ των καλωδίων και της γειωμένης θήκης, ενώ διαχειρίζεται τις μηχανικές και θερμικές καταπονήσεις που προκαλούνται από την ένταση του ρεύματος. Επιπλέον, προστατεύει τον εξοπλισμό από εξωτερικές επιδράσεις, όπως υγρασία και σκόνη.

Η λειτουργία του βασίζεται στη μεταφορά ρεύματος μέσω αγωγίμων επαφών, οι οποίες διασφαλίζουν την αξιόπιστη σύνδεση του καλωδίου με το GIS. Τα μονωτικά υλικά αποτρέπουν τη διαρροή ρεύματος, ενώ ειδικά στοιχεία, όπως οι δακτύλιοι κατανομής τάσης (stress cones), μειώνουν την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στις άκρες του καλωδίου. Η μεταλλική θήκη του ακροκιβωτίου προσφέρει μηχανική στήριξη και προστατεύει τα εσωτερικά μέρη από μηχανικές καταπονήσεις.

Η βασική δομή του περιλαμβάνει αγωγούς επαφής για τη μεταφορά του ρεύματος, μονωτικά υλικά για την απομόνωση της υψηλής τάσης, δακτυλίους κατανομής τάσης για τη διαχείριση του ηλεκτρικού πεδίου και μια μεταλλική θήκη για στήριξη και προστασία. Είναι σχεδιασμένο ώστε να προσφέρει υψηλή ασφάλεια, προστατεύοντας από ηλεκτρικά σφάλματα και υπερτάσεις. Η μόνωση που διαθέτει μειώνει τον κίνδυνο διάσπασης, ενώ οι μηχανισμοί διαχείρισης υπερτάσεων προστατεύουν τον εξοπλισμό από κεραυνούς ή άλλες αιτίες.

Η συντήρηση περιλαμβάνει τον έλεγχο της κατάστασης των μονωτικών υλικών, την επαλήθευση της ποιότητας των επαφών και τη διασφάλιση της στεγανότητας, ιδίως για ακροκιβώτια που περιέχουν SF₆ ή λάδι. Οι περιοδικές δοκιμές υψηλής τάσης διασφαλίζουν τη διατήρηση της αποτελεσματικότητας της μόνωσης και την ασφαλή λειτουργία του συστήματος.

Η συμπαγής σχεδίαση, η ανθεκτικότητα σε περιβαλλοντικές συνθήκες και οι μειωμένες απαιτήσεις συντήρησης καθιστούν το ακροκιβώτιο καλωδίου ιδανικό για χρήση σε αστικές περιοχές, όπου ο χώρος είναι περιορισμένος. Ως θεμελιώδες μέρος ενός GIS, συμβάλλει στην ομαλή λειτουργία και την προστασία του δικτύου διανομής ενέργειας [26].

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα ακροκιβώτιο 150kV ενός GIS.



Εικόνα 3.4 Ακροκιβώτιο GIS 150kV

3.5 Καλώδια 150kV

Τα καλώδια Υψηλής Τάσης 150kV κατασκευάζονται με δύο διαφορετικούς τύπους μόνωσης. Είτε με μόνωση χαρτιού-ελαίου είτε με μόνωση πολυαιθυλενίου (PE). Μέχρι το 1998 τα υπόγεια καλώδια Υ.Τ. στην Ελλάδα, διέθεταν αποκλειστικά μόνωση χαρτιού – ελαίου. Τα καλώδια χαρτιού-ελαίου ανακαλύφθηκαν από τον Giulio Emanueli και άρχισαν να παράγονται και να πωλούνται για πρώτη φορά το 1924. Τα καλώδια με μόνωση πολυαιθυλενίου είναι προηγμένης τεχνολογίας εφευρέθηκαν και άρχισαν να παράγονται την δεκαετία του 1960.

3.5.1 Καλώδια Υψηλής Τάσης 150kV με μόνωση χαρτιού-ελαίου

Η μόνωση των καλωδίων χαρτιού-λαδιού, αποτελείται από εμποτισμένο χαρτί και λάδι. Το καλώδιο εμποτίζεται από κατασκευής του και παραμένει με πλήρες λάδι καθ' όλη την διάρκεια ζωής του. Δεν πρέπει να υπάρχουν φυσαλίδες μέσα σε αυτό, ώστε να αποφεύγονται ανομοιογένειες στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στο καλώδιο, κατά την λειτουργία του. Στην περίπτωση που υπάρχουν φυσαλίδες ή στερεά υπολείμματα που παρέμειναν εντός του καλωδίου κατά την διάρκεια κατασκευής του, δημιουργείται σε αυτά τα σημεία ιονισμός. Ο ιονισμός συνοδεύεται από τεράστιες απώλειες ισχύος και υψηλές θερμοκρασίες, καθώς το διηλεκτρικό αρχίζει να μετατρέπεται μερικώς σε ημιαγωγό. Το αποτέλεσμα είναι πως πολύ γρήγορα αρχίζει η κατάρρευση της μόνωσης του.

Για την σωστή λειτουργία του καλωδίου χαρτιού-ελαίου, χρησιμοποιούνται δοχεία πίεσεως λαδιού ή αλλιώς δοχεία διαστολής (εικόνα 3.5) στα άκρα του καλωδίου αλλά και ενδιάμεσα, σε συνδέσμους διακοπής ελαίου. Τα δοχεία πίεσεως λαδιού είναι απαραίτητα ώστε να εξασφαλίζουν την πλήρη τροφοδοσία του καλωδίου με λάδι, αλλά και για περιπτώσεις συστολής διαστολής του ελαίου. Έτσι, είναι απαραίτητα σε περιπτώσεις διαρροής, αλλά και σε περιπτώσεις μεταβολής της θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία του καλωδίου επηρεάζεται από την αλλαγή θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, αλλά και από την αλλαγή των φορτίων που τροφοδοτεί το εκάστοτε καλώδιο.



Εικόνα 3.5 Δοχεία διαστολής στο ένα άκρο του καλωδίου

Ο συνεχής και πλήρης εμποτισμός με λάδι του καλωδίου, επιτρέπει την λειτουργία του σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών.

Το λάδι και το χαρτί μόνωσης, εξασφαλίζουν σταθερή διηλεκτρική αντοχή ακόμα και σε υψηλές θερμοκρασίες καθώς επίσης και σε χαμηλές διηλεκτρικές απώλειες.

3.5.2 Καλώδια Υψηλής Τάσης 150kV με μόνωση πολυαιθυλενίου (PE)

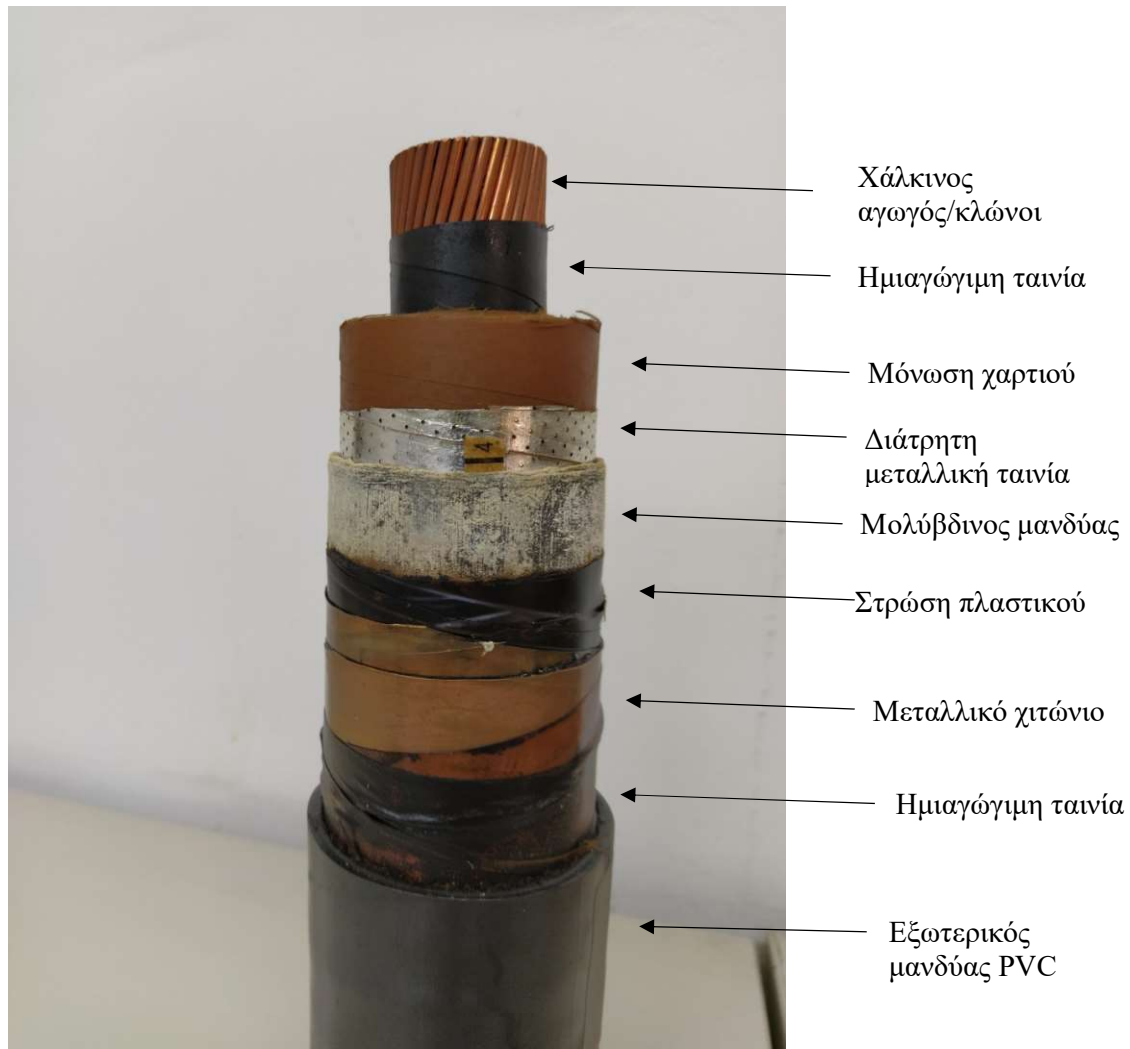
Τα καλώδια πολυαιθυλενίου (PE) είναι πιο προηγμένα σε σχέση με τα καλώδια μόνωσης χαρτιού-ελαίου. Περιβάλλονται από μόνωση εξωθημένου διηλεκτρικού, το οποίο είναι στερεό διηλεκτρικό υλικό και εξωθείται γύρω από τον αγωγό, ώστε να τον καλύπτει χωρίς να χρειάζεται κάποιο μέσο εμποτισμού. Το νέο αυτό υλικό είναι το πολυαιθυλένιο (PE). Καλύπτει απαιτήσεις όπως, μικρές απώλειες, υψηλή θερμοκρασιακή αντοχή και μηδενική εμφάνιση φυσαλίδων ή υπολειμμάτων. Το πολυαιθυλένιο και κάποια χημικά παράγωγά του, όπως το XLPE (πεπλεγμένο πολυαιθυλένιο) ή το EPR (Ethylene propylene rubber), χρησιμοποιήθηκαν και χρησιμοποιούνται και σήμερα ως μέσα μόνωσης των καλωδίων.

Τα καλώδια μόνωσης XLPE είναι προηγμένης τεχνολογίας, η οποία εξελίσσεται όλο και περισσότερο καθημερινά.

Είναι αξιόπιστα, αλλά για να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία τους, θα πρέπει να γίνεται ενδελεχής έλεγχος κατά την παραγωγή τους. Θα πρέπει να πληρούνται οι προδιαγραφές και τα πρότυπα, αλλιώς υπάρχει μεγάλος κίνδυνος αστοχίας υλικού. Η αστοχία υλικού είναι ένα από τα μειονεκτήματα αυτού του τύπου καλωδίων. Τα κενά ή οι φυσαλίδες που μπορεί να παραμείνουν εντός του καλωδίου κατά την παραγωγή του, οδηγούν σε ολική κατάρρευση λόγω φθοράς. Διαφορές ανάμεσα στα πολυμερή υλικά (PE, EPR, XLPE), βρίσκουμε ως προς τον χρόνο που εκδηλώνεται η πρώτη εκκένωση μέχρι και την τελική κατάρρευση. Ένας από τους λόγους όπου τα υλικά αυτά, παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία στις εκκενώσεις είναι ότι κατά την κατάρρευση, εξάγουν αεριούχα μη αγωγίμα παράγωγα, όπως υδρογόνο, μεθάνιο και υδρογονάνθρακες. Δεν αφήνουν αγωγίμα κατάλοιπα στις επιφάνειες των κενών και έτσι ανακουφίζουν ηλεκτρικά τον χώρο εκκένωσης, έστω και για μικρό χρονικό διάστημα.

3.5.3 Εσωτερική δομή καλωδίων Υψηλής Τάσης 150kV

Παρακάτω φαίνεται ένα υπόγειο καλώδιο Υψηλής Τάσης 150kV με μόνωση χαρτιού-ελαίου, με τα διάφορα στρώματα που το απαρτίζουν:



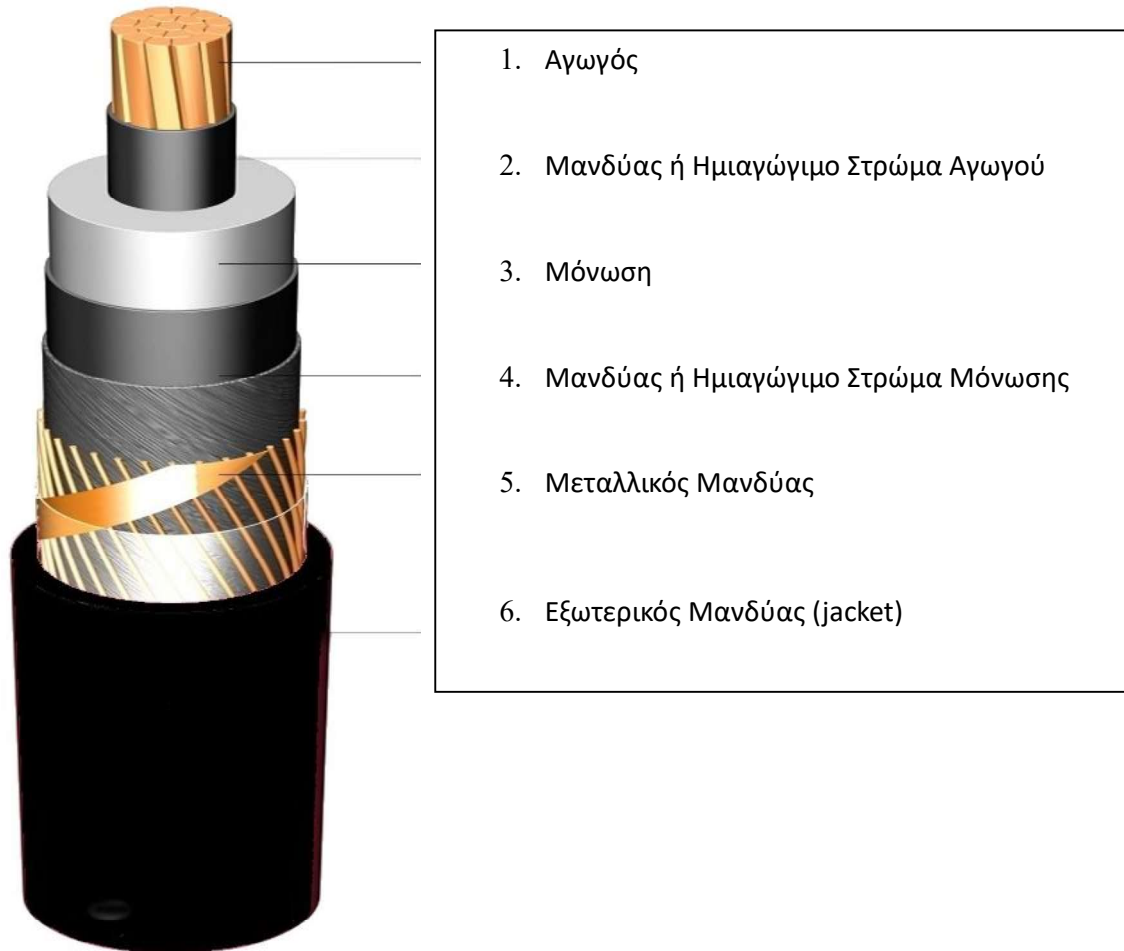
Εικόνα 3.6 Εσωτερική δομή καλωδίου μόνωσης χαρτιού-ελαίου

Η ροή λαδιού εντός του καλωδίου, εξασφαλίζεται με το διάκενο που υπάρχει μεταξύ των κλώνων των αγωγών ή σε κάποιες περιπτώσεις με έναν οχετό/αυλάκι που βρίσκεται στο εσωτερικό των συστρεφόμενων κλώνων.



Εικόνα 3.7 Οχετός καλωδίων λαδιού-χαρτιού

Παρακάτω φαίνεται ένα υπόγειο καλώδιο Υψηλής Τάσης 150kV μόνωσης XLPE, με τα διάφορα στρώματα που το απαρτίζουν:



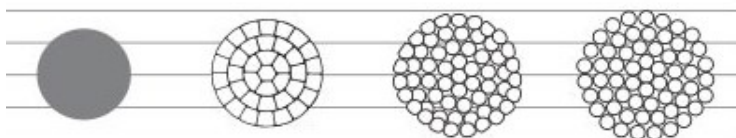
Εικόνα 3.8 Εσωτερική δομή καλωδίου μόνωσης XLPE [29]

3.5.3.1 Αγωγοί

Οι κλώνοι του αγωγού είναι συνήθως φτιαγμένοι από χαλκό ή αλουμίνιο. Οι κλώνοι χαλκού έχουν κατά 60% μικρότερη ειδική αντίσταση και κατά συνέπεια μικρότερη ενεργό διατομή αγωγού για μια δεδομένη τιμή ρεύματος, σε σχέση με το αλουμίνιο. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι η σκληρότητα του υλικού. Ο χαλκός είναι περίπου 3 φορές σκληρότερος από το αλουμίνιο κάτι που βοηθάει στην αντοχή κατά τον εφελκυσμό. Από την άλλη πλευρά, οι αγωγοί αλουμινίου έχουν πολύ μικρό ειδικό βάρος. Πολύ σημαντικό ρόλο στην επιλογή του υλικού του αγωγού είναι και το κόστος. Το ρεύμα και το διηλεκτρικό καθορίζουν τον σχεδιασμό του αγωγού.

Βασικά στοιχεία αγωγών:

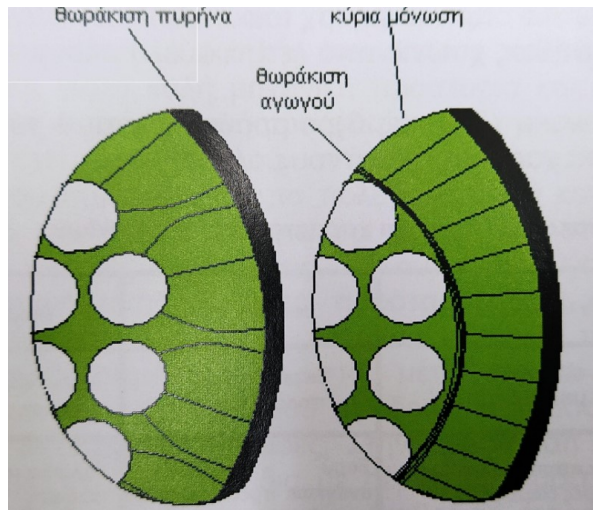
- Απαιτείται να έχει μικρή αντίσταση ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες ισχύος:
 $P = R \times I^2$
- Το βάρος, η πλαστικότητα, η αντοχή στη διάβρωση, το κόστος είναι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη στην επιλογή μετάλλου για τον αγωγό.
- Ο αγωγός μπορεί να είναι από χαλκό, από αλουμίνιο, στερεός ή τμηματικός



Εικόνα 3.9 Τύποι αγωγών [30]

3.5.3.2 Ημιαγωγίμη ταινία ή θωράκιση του αγωγού

Το σύνολο των συστρεφόμενων κλώνων του καλωδίου περιβάλλεται από ημιαγωγίμη ταινία. Το στρώμα αυτό, εξασφαλίζει ομοιογένεια στο πεδίο γύρω από τους κλώνους αλλά και στα διάκενα μεταξύ κλώνων, εξασφαλίζοντας έτσι χαμηλή πεδιακή ένταση στο έλαιο που περιλαμβάνεται σε αυτό. Στα καλώδια λαδιού χρησιμοποιείται χάρτινη ταινία με μεταλλική επένδυση, ενώ στα XLPE χρησιμοποιούνται ημιαγωγίμες συνθετικές ταινίες.



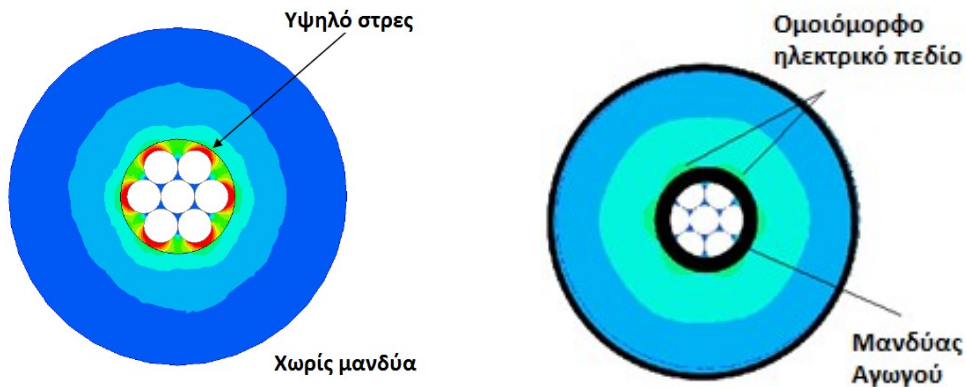
Εικόνα 3.10 Διαφορά ηλεκτρικού πεδίου με και χωρίς χρήση ημιαγώγιμης ταινίας [31]

Η ημιαγώγιμη ταινία τοποθετείται σε δυο διαφορετικά σημεία της διάταξης του καλωδίου. Γύρω από τους αγωγούς και ακριβώς πριν το εξωτερικό περίβλημα.

Στην αριστερή πλευρά της παραπάνω εικόνας παρατηρούμε, ότι όταν δεν χρησιμοποιηθεί ημιαγώγιμη ταινία γύρω από τους κλώνους του καλωδίου, οι γραμμές του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου επηρεάζονται από τις ανωμαλίες που δημιουργούνται στα εξωτερικά τμήματα των κλώνων. Ενώ στην δεξιά πλευρά της παραπάνω εικόνας παρατηρούμε, ότι με την χρήση της ημιαγώγιμης ταινίας, υπάρχει εξομάλυνση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

Βασικά στοιχεία ημιαγώγιμου μανδύα:

- Χρησιμοποιείται για να παρέχει ομαλή επαφή μεταξύ του αγωγού και της μόνωσης.
- Χωρίς τον (ημιαγώγιμο) μανδύα του αγωγού οι γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου συγκεντρώνονται, δημιουργώντας σημεία υψηλού στρες στην επαφή αγωγού/μόνωσης.
- Τα ημιαγώγιμα υλικά, δεν είναι ούτε αγωγοί ούτε μονωτές, συνήθως βασίζονται σε άνθρακα απλωμένο σε ένα πολυμερές.



Εικόνα 3.11 Διαφορά ηλεκτρικού πεδίου με και χωρίς ημιαγώγιμο μανδύα [32]

Οι ημιαγώγιμοι μανδύες αγωγού και μόνωσης δημιουργούν ομοιόμορφες γραμμές ηλεκτρικού πεδίου και ελεγχόμενη κατανομή του ηλεκτρικού στρες στο καλώδιο.

Τύποι μανδυνών μόνωσης:

- Καλώδια με μόνωση στρώσεων: μαύρο χαρτί άνθρακα, διάτρητο μεταλλικό χαρτί.
- Καλώδια με μόνωση εξώθησης: συνδεδεμένο στην μόνωση.

3.5.3.3 Μολύβδινος μανδύας

Ο μολύβδινος μανδύας προσφέρει μηχανική αντοχή στο καλώδιο.

3.5.3.4 Μεταλλικό χιτώνιο

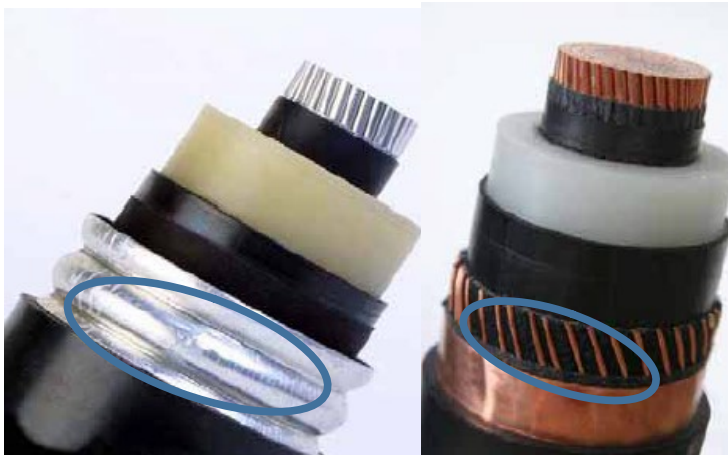
Το μεταλλικό χιτώνιο αφορά στο εξωτερικό περιβάλλον του αγωγού. Μπορεί να είναι από φύλλα αλουμινίου ή χαλκού. Το μεταλλικό χιτώνιο, επιστρέφει το χωρητικό ρεύμα που αναπτύσσεται κατά την λειτουργία του καλωδίου. Μπορεί και συγκρατεί ένα ποσοστό των διαρροών λαδιού, στις περιπτώσεις καλωδίου με μόνωση χαρτιού.

Επιπλέον, προσδίδει μηχανική αντοχή στο καλώδιο σε περιπτώσεις που θα χρειαστεί να καμφθεί. Τέλος, ενισχύει την μηχανική αντοχή του μολύβδινου μανδύα.

Τύποι μεταλλικών μανδυνών:

- Συγκεντρικών χάλκινων συρμάτων (σύρμα, ιμάντας)
- Σε μορφή κυματοειδούς φύλλου μετάλλου (Cu, Al, stainless steel)

- Σε μορφή πολλαπλών στρώσεων μετάλλου (Cu, Al)
- Σε μορφή ταινίας (Cu, Al)
- Από εξώθηση (μολύβι, Al)



Εικόνα 3.12 Διάφοροι τύποι μεταλλικού χιτωνίου καλωδίων

3.5.3.5 Εξωτερικό περίβλημα καλωδίων YT 150kV

Το περίβλημα από PVC ή εξωθημένο πλαστικό, προσφέρει αντιδιαβρωτικές ιδιότητες. Κατά την κατασκευή του καλωδίου, το περίβλημα ελέγχεται για τις διηλεκτρικές και τις μηχανικές αντοχές του.

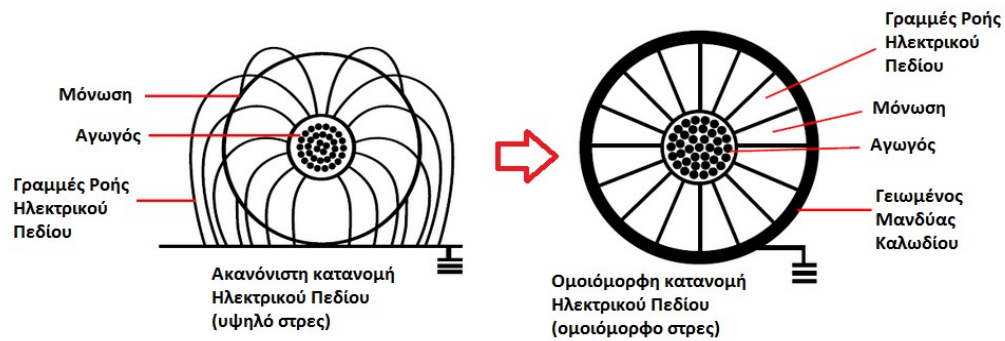
Τύποι εξωτερικών μανδυνών

- Ημιαγώγιμοι → Συμπολυμερή με μαύρο άνθρακα
- Ειδικοί → Νεοπρένιο, Νάυλον, Πολυπροπυλένιο, LSF *low smoke free of halogen
- Τυπικοί → PVC, PP, PE (LLDPE *linear low density PE, MDPE *medium density PE, HDPE *high density PE)



Εικόνα 3.13 Στρώματα που απαρτίζουν ένα καλώδιο YT 150kV τύπου XLPE

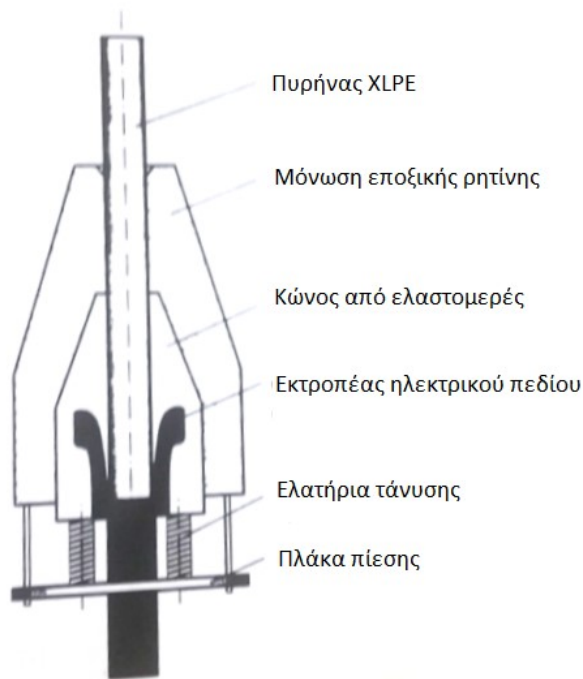
Ο μανδύας της μόνωσης εξομαλύνει το ηλεκτρικό πεδίο στο καλώδιο:



Εικόνα 3.14 Κατανομή ηλεκτρικού πεδίου με και χωρίς την ύπαρξη γειωμένου μανδύα [33]

3.5.4 Τερματισμός καλωδίου εσωτερικού τύπου στο ακροκιβώτιο

Τα καλώδια υψηλής τάσης, όπως είδαμε και στο κεφάλαιο 3.4, τερματίζουν στο ακροκιβώτιο του GIS. Παρακάτω φαίνεται η τομή ενός ακροκιβωτίου καλωδίου XLPE, το οποίο συνδέεται στο ακροκιβώτιο του GIS.



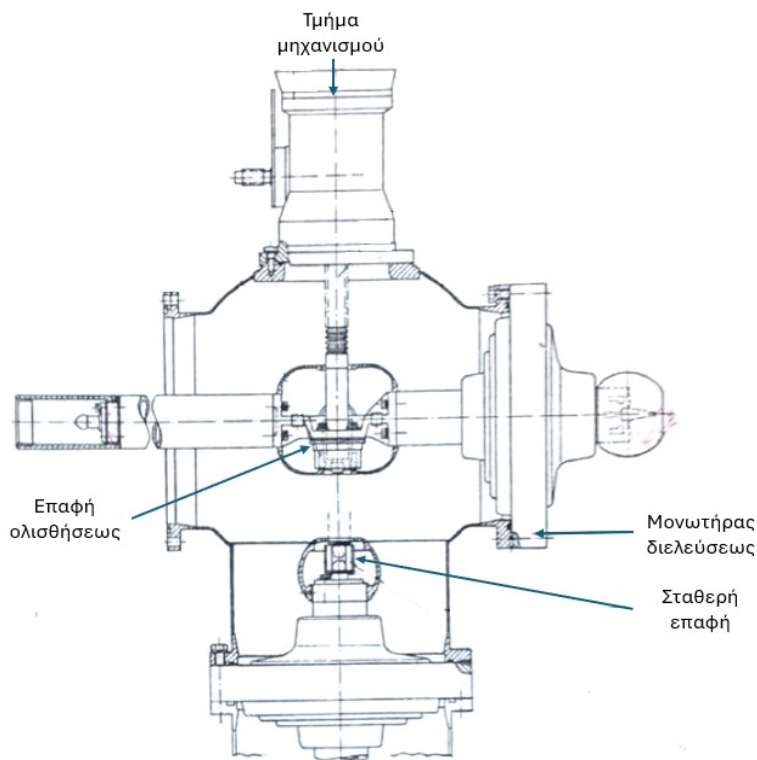
Εικόνα 3.15 Ακροκιβώτιο καλωδίου XLPE [34]

3.6 Αποζεύκτες ζυγών

Οι αποζεύκτες ζυγών σε ένα GIS, αποτελούν βασικά εξαρτήματα που εξασφαλίζουν την ασφαλή απομόνωση των ζυγών από τα υπόλοιπα κυκλώματα του συστήματος. Διασφαλίζουν ότι συγκεκριμένα μέρη του ηλεκτρικού συστήματος είναι πλήρως αποσυνδεδεμένα κατά τη διάρκεια συντήρησης ή επισκευών, παρέχοντας οπτική επιβεβαίωση της απομόνωσης.

Η κύρια λειτουργία των αποζευκτών ζυγών είναι να διακόπτουν τη ροή του ρεύματος σε ένα κύκλωμα όταν αυτό δεν βρίσκεται υπό φορτίο. Επειδή δεν είναι σχεδιασμένοι για τη διακοπή φορτίου, λειτουργούν σε συνδυασμό με τους διακόπτες ισχύος, οι οποίοι πρώτα διακόπτουν το φορτίο πριν ενεργοποιηθούν οι αποζεύκτες. Αυτή η διαδικασία εξασφαλίζει ότι η αποσύνδεση γίνεται χωρίς κίνδυνο για την ακεραιότητα του συστήματος.

Οι αποζεύκτες ζυγών περιλαμβάνουν κινητές και σταθερές επαφές. Όταν οι κινητές επαφές απομακρύνονται, το κύκλωμα διακόπτεται φυσικά, και η απομόνωση είναι πλήρης. Οι μονωτές που χρησιμοποιούνται στον αποζεύκτη παρέχουν ηλεκτρική απομόνωση μεταξύ των φάσεων και της γειωμένης θήκης του GIS. Παράλληλα, οι μονωτήρες, μαζί με το αέριο SF₆ που περιβάλλει το σύστημα, συμβάλλουν στη διατήρηση της ηλεκτρικής μόνωσης και της ασφάλειας.



Εικόνα 3.16 Αποξεύκτης [34]

Η λειτουργία των αποξευκτών ζυγών είναι κυρίως χειροκίνητη ή γίνεται μέσω μηχανισμών ελέγχου, όπως ελατήρια ή μοτέρ, που ενεργοποιούν την κίνηση των επαφών. Η οπτική ένδειξη της κατάστασης του αποξεύκτη (ανοιχτός ή κλειστός) παρέχεται μέσω μηχανικών ή ηλεκτρονικών δεικτών, διασφαλίζοντας ότι οι τεχνικοί γνωρίζουν την κατάσταση του κυκλώματος.

Σε περιπτώσεις συντήρησης ή αναβάθμισης, οι αποξεύκτες ζυγών απομονώνουν συγκεκριμένα τμήματα του ζυγού για να παρέχουν ασφαλείς συνθήκες εργασίας. Συνεργάζονται επίσης με τους ταχυγειωτές, οι οποίοι γειώνουν το απομονωμένο κύκλωμα για περαιτέρω ασφάλεια. Επιπλέον, οι αποξεύκτες είναι εξοπλισμένοι με διατάξεις ασφάλειας, όπως μηχανικές κλειδαριές, που αποτρέπουν την τυχαία λειτουργία τους όταν το σύστημα βρίσκεται υπό φορτίο.

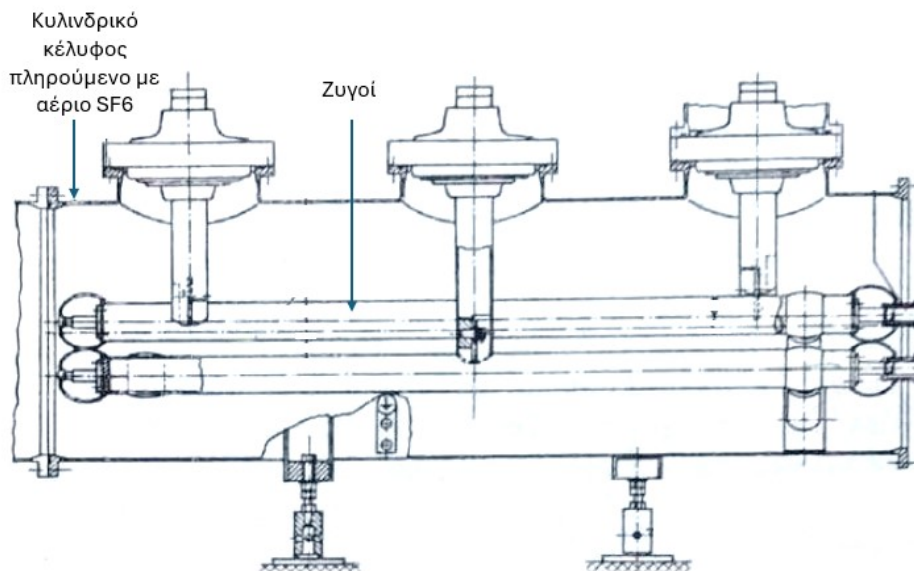
Η συντήρηση των αποξευκτών ζυγών είναι κρίσιμη για την αξιόπιστη λειτουργία τους. Οι επαφές πρέπει να ελέγχονται για φθορά ή διάβρωση, και οι μονωτές πρέπει να διατηρούνται σε καλή κατάσταση για να αποτρέπονται ηλεκτρικές διαρροές. Η διασφάλιση της σωστής πίεσης και της καθαρότητας του SF₆ είναι επίσης σημαντική για τη μακροχρόνια απόδοση του συστήματος.

Οι αποζεύκτες ζυγών είναι αναπόσπαστο μέρος του GIS, καθώς προσφέρουν την αναγκαία ευελιξία και ασφάλεια στο δίκτυο διανομής ενέργειας. Με την απομόνωση συγκεκριμένων ζυγών και την υποστήριξη ασφαλών συνθηκών συντήρησης, συμβάλλουν στη συνολική αξιοπιστία και τη διάρκεια ζωής του συστήματος.

3.7 Ζυγοί GIS

Οι ζυγοί αποτελούν βασική δομή ενός GIS (Gas-Insulated Substation), εξασφαλίζοντας τη μεταφορά ηλεκτρικού ρεύματος με ελάχιστες απώλειες και υψηλή αντοχή στις καταπονήσεις από φορτία και βραχυκυκλώματα. Είναι μεταλλικές μπάρες σχεδιασμένες για λειτουργία σε υψηλές τάσεις, όπως τα 150kV σε Κέντρα Διανομής, ενώ η τοποθέτησή τους μέσα σε θήκη γεμάτη με αέριο SF₆ προσφέρει προστασία από εξωτερικούς παράγοντες, όπως υγρασία και σκόνη, και αποτρέπει τη διαρροή του αερίου.

Η διάταξη των ζυγών ποικίλλει ανάλογα με τις απαιτήσεις του Κέντρου Διανομής, περιλαμβάνοντας συνήθως δύο ή περισσότερους ζυγούς. Αυτή η ευελιξία επιτρέπει την απομόνωση γραμμών ή τμημάτων του δικτύου για συντήρηση ή αναβάθμιση, χωρίς διακοπή της τροφοδοσίας στο υπόλοιπο σύστημα. Οι ζυγοί συνδέονται με εξαρτήματα του GIS, όπως διακόπτες ισχύος, αποζεύκτες, ταχυγειωτές και μετασχηματιστές, μέσω αγωγίμων επαφών που εξασφαλίζουν τη μεταφορά ρεύματος χωρίς απώλειες.



Εικόνα 3.17 Διάταξη ζυγών εντός του GIS [34]

Για την αποδοτική λειτουργία και την ασφάλεια, οι ζυγοί εξοπλίζονται με συστήματα παρακολούθησης που ανιχνεύουν ανωμαλίες, όπως υπερθέρμανση ή υπερφόρτωση, και ενεργοποιούν μέτρα προστασίας. Η συντήρησή τους περιλαμβάνει τακτικούς ελέγχους των επαφών, της κατάστασης της θήκης και της πίεσης του SF₆, ώστε να διατηρείται η απόδοση και η αξιοπιστία τους.

Ο σωστός σχεδιασμός, η υψηλή ποιότητα κατασκευής και η τακτική συντήρηση των ζυγών είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της ασφαλούς και αποδοτικής λειτουργίας του GIS. Ως κεντρικό στοιχείο του συστήματος, συμβάλλουν στην αποτελεσματική μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας, υποστηρίζοντας την αξιοπιστία του δικτύου.

3.8 Άλλα στοιχεία του βασικού εξοπλισμού ενός GIS

3.8.1 Μετασχηματιστής έντασης

Ο Μετασχηματιστής Έντασης (Current Transformer - CT) είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί μέσα σε θήκη γεμάτη με αέριο SF₆, το οποίο παρέχει εξαιρετική ηλεκτρική μόνωση και προστασία από εξωτερικούς παράγοντες, όπως υγρασία και σκόνη.

Η κύρια λειτουργία του είναι η ακριβής μέτρηση του ρεύματος γραμμής, ενώ παράλληλα διασφαλίζει την ηλεκτρική απομόνωση μεταξύ του κυκλώματος υψηλής τάσης και των συσκευών χαμηλής τάσης που συνδέονται με συστήματα προστασίας, ελέγχου και μέτρησης. Έτσι χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του ηλεκτρικού ρεύματος που ρέει στο κύκλωμα υψηλής τάσης και παράλληλα το μετατρέπει σε χαμηλότερης έντασης, ώστε να είναι κατάλληλο για χρήση από τα συστήματα προστασίας, ελέγχου και μέτρησης.

Ο μετασχηματιστής έντασης έχει συμπαγή σχεδιασμό, υψηλή ακρίβεια και μπορεί να αντέξει σε απαιτητικές συνθήκες λειτουργίας, όπως υψηλές εντάσεις ρεύματος, γρήγορες διακυμάνσεις ρεύματος και φορτία βραχυκυκλώματος.

3.8.2 Μετασχηματιστής τάσεως

Ο Μετασχηματιστής Τάσεως (Voltage Transformer - VT) σε ένα GIS είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της τάσης σε κυκλώματα υψηλής τάσης (π.χ. 150kV) και την παροχή ενός χαμηλότερου επιπέδου τάσης (π.χ. 110V), η οποία θα είναι ασφαλής για συστήματα προστασίας, ελέγχου, μέτρησης και SCADA. Ο μετασχηματιστής τάσεως διασφαλίζει την ηλεκτρική απομόνωση μεταξύ του κυκλώματος υψηλής τάσης και των συσκευών μέτρησης ή ελέγχου.

Είναι τοποθετημένος μέσα σε θήκη με μόνωση SF₆, που παρέχει εξαιρετική διηλεκτρική αντοχή και προστατεύει τον εξοπλισμό από περιβαλλοντικούς κινδύνους. Αντέχει σε συνθήκες λειτουργίας υψηλής τάσης, σε πιθανά ρεύματα βραχυκυκλώματος, ενώ η χρήση του SF₆ εξασφαλίζει μικρότερο μέγεθος και μεγαλύτερη αξιοπιστία σε σύγκριση με τα συστήματα ανοιχτού τύπου.

3.8.3 Μονωτές συστήματος GIS

Οι μονωτές σε ένα GIS είναι κρίσιμα εξαρτήματα που παρέχουν ηλεκτρική απομόνωση μεταξύ των αγωγίων μερών του συστήματος και της γειωμένης θήκης. Παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διασφάλιση της διηλεκτρικής αντοχής και της σταθερότητας του συστήματος, ακόμα και υπό υψηλή τάση.

Στα GIS, οι μονωτές είναι συνήθως κατασκευασμένοι από υλικά όπως πορσελάνη ή σύνθετα υλικά, ενώ περιβάλλονται από το μονωτικό αέριο SF₆, που ενισχύει τη μόνωσή τους. Η κύρια λειτουργία τους είναι να διαχωρίζουν ηλεκτρικά τα μέρη του εξοπλισμού που βρίσκονται υπό τάση από τη γειωμένη θήκη, αποτρέποντας τη διηλεκτρική διάσπαση και την πιθανότητα βραχυκυκλώματος. Επίσης βοηθούν στην διατήρηση της σωστής μηχανικής στήριξης των αγωγίων στοιχείων, όπως οι ζυγοί, εντός της θήκης του GIS. Είναι ανθεκτικοί σε μηχανικές καταπονήσεις και αντέχουν σε θερμικές διακυμάνσεις. Διακρίνονται για τη μικρή τους διάσταση, την υψηλή αξιοπιστία και την αντοχή σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες, καθιστώντας τους ιδανικούς για τη χρήση σε συμπαγή υποσταθμούς υψηλής και υπερυψηλής τάσης.

3.8.4 SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)

Το σύστημα SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) που χρησιμοποιείται στα Κέντρα Διανομής υψηλής τάσης είναι ένα κρίσιμο εργαλείο για την επίβλεψη, τον έλεγχο και τη διαχείριση των ηλεκτρικών δικτύων. Το SCADA επιτρέπει την απομακρυσμένη παρακολούθηση και τον έλεγχο του εξοπλισμού σε πραγματικό χρόνο, προσφέροντας στους χειριστές τη δυνατότητα να διαχειρίζονται τη ροή ενέργειας, να εντοπίζουν και να αντιμετωπίζουν βλάβες και να διασφαλίζουν την αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος.

Το σύστημα περιλαμβάνει διάφορα υποσυστήματα υλικού και λογισμικού που συνεργάζονται αρμονικά για την επίτευξη αυτών των στόχων. Από την πλευρά του υλικού, οι RTU (Remote Terminal Units) συλλέγουν δεδομένα από αισθητήρες και συσκευές του GIS, όπως διακόπτες ισχύος και μετασχηματιστές. Τα PLC (Programmable Logic Controllers) αναλαμβάνουν την εκτέλεση αυτοματοποιημένων λειτουργιών, όπως η ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση διακοπών σε περίπτωση ανωμαλίας. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται ειδικοί αισθητήρες για την παρακολούθηση κρίσιμων παραμέτρων, όπως η πίεση του SF₆, η θερμοκρασία και η υγρασία, ώστε να διατηρούνται οι κατάλληλες συνθήκες λειτουργίας του εξοπλισμού.

Το λογισμικό του SCADA περιλαμβάνει μια διεπαφή ανθρώπου-μηχανής (HMI), η οποία προσφέρει στους χειριστές μια γραφική απεικόνιση του GIS και των δεδομένων που συλλέγονται. Το λογισμικό επιτρέπει την ανάλυση αυτών των δεδομένων, τη δημιουργία αναφορών και την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για τη λειτουργία και τη συντήρηση του συστήματος. Τα δεδομένα μεταδίδονται και επεξεργάζονται μέσω πρωτοκόλλων επικοινωνίας, με το IEC 61850 να αποτελεί το πλέον σύγχρονο πρότυπο που ενσωματώνει την επικοινωνία όλων των συσκευών σε πραγματικό χρόνο. Παλαιότερα πρωτόκολλα, όπως το Modbus και το DNP3, χρησιμοποιούνται ακόμη για ειδικές εφαρμογές.

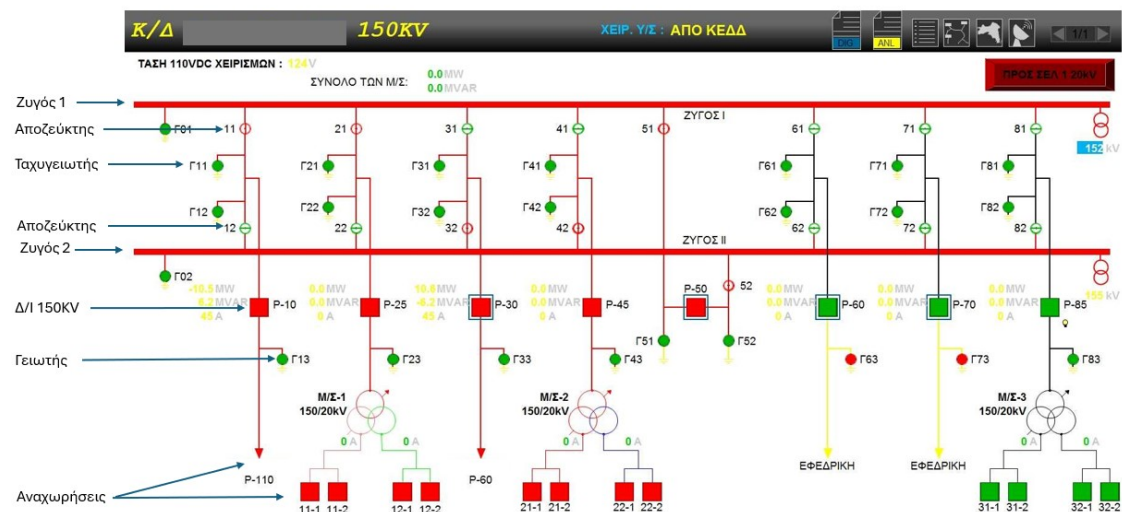
Η επικοινωνία και η συλλογή δεδομένων είναι κεντρικής σημασίας για το SCADA, καθώς επιτρέπουν τη λήψη αποφάσεων βάσει πραγματικών συνθηκών. Όταν εντοπιστεί μια ανωμαλία, το σύστημα μπορεί να ενεργοποιήσει αυτόματα διακόπτες προστασίας ή να ειδοποιήσει τους χειριστές για να προβούν σε διορθωτικές ενέργειες.

Η ασφάλεια είναι επίσης πρωταρχικός στόχος του SCADA. Το σύστημα διαθέτει εφεδρικές πηγές τροφοδοσίας για την εξασφάλιση συνεχούς λειτουργίας, ακόμα και σε

περιπτώσεις διακοπής ρεύματος, και ενσωματώνει μέτρα κυβερνοασφάλειας, όπως η κρυπτογράφηση δεδομένων και ο περιορισμός πρόσβασης στο δίκτυο. Οι αυτοματοποιημένοι έλεγχοι βοηθούν στην αποτροπή ανθρώπινων λαθών, εξασφαλίζοντας την ομαλή λειτουργία του συστήματος.

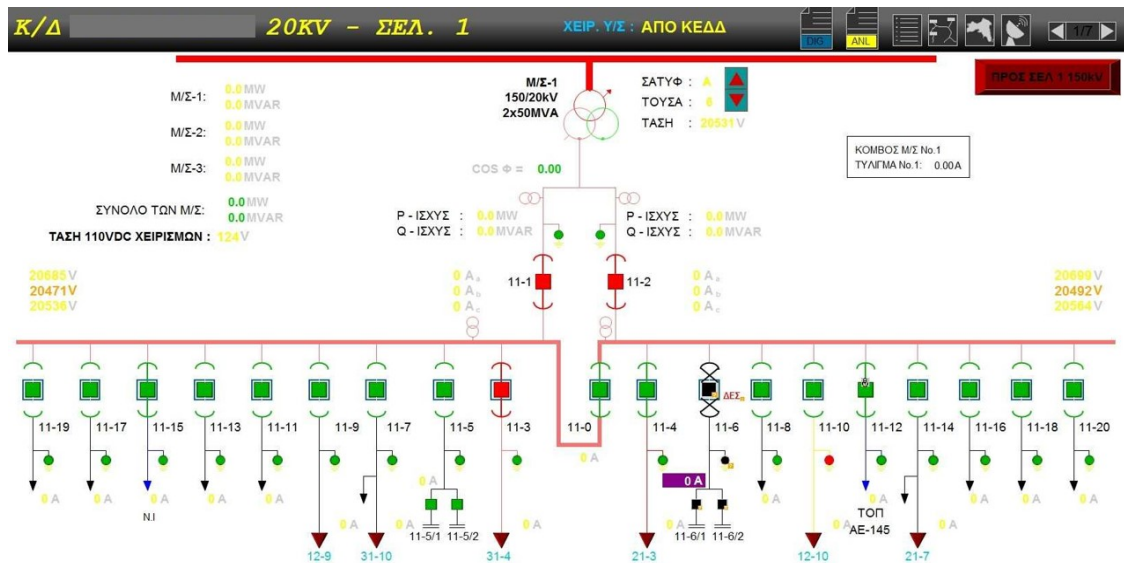
Ένα SCADA που λειτουργεί σε ένα Κέντρο Διανομής προσφέρει πλεονεκτήματα που σχετίζονται με τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης ενέργειας, την ελαχιστοποίηση των διακοπών και τη μείωση του λειτουργικού κόστους. Η ενσωμάτωση του SCADA με τα συστήματα του Κέντρου Διανομής παρέχει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για τη διαχείριση της πολυπλοκότητας των δικτύων υψηλής τάσης και μέσης τάσης, επιτρέποντας παράλληλα τη διατήρηση της ασφάλειας και της απόδοσης του εξοπλισμού.

Στην παρακάτω εικόνα 3.17 φαίνεται το μονογραμμικό σχέδιο, όπως αυτό αποτυπώνεται από το SCADA, ενός Κ/Δ εντός της Αττικής. Στα αριστερά έχουν σημειωθεί κάποια βασικά στοιχεία του. Πρόκειται για την απεικόνιση των ζυγών 150kV, των στοιχείων που είναι συνδεδεμένα πάνω σε αυτούς, των Μ/Σ 150/20kV και των αναχωρήσεων.



Εικόνα 3.17 Μονογραμμικό σχέδιο, απεικόνιση από το SCADA

Στην παρακάτω εικόνα 3.18 φαίνεται το μονογραμμικό της Μέσης Τάσης του ίδιου Κ/Δ με τα διάφορα στοιχεία του, όπως αυτό αποτυπώνεται στο σύστημα SCADA.



Εικόνα 3.18 Μονογραμμικό Μέσης Τάσης, απεικόνιση από το SCADA

Επίσης, το SCADA κρατάει στην μνήμη τα σφάλματα και τις διάφορες ενδείξεις δίνοντας την δυνατότητα στον χρήστη να ανατρέξει ώστε να δει παλαιότερες αναφορές.

Κεφάλαιο 4: Έλεγχοι αερίου SF₆ κατά τη χρήση του σε Υ/Σ GIS

Κατά την χρήση του αερίου SF₆ σε εξοπλισμό Υψηλής Τάσης είναι απαραίτητο να πραγματοποιούνται κάποιοι έλεγχοι ώστε να διαπιστώνετε η μονωτική του ικανότητα, η διηλεκτρική του αντοχή καθώς και η αποτελεσματικότητά του στην απόσβεση των ηλεκτρικών τόξων. Επίσης πολύ σημαντικό είναι να ελέγχεται ο εξοπλισμός για τυχόν διαρροές του αερίου. Παρακάτω αναλύονται οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται αναφορικά με το αέριο SF₆.

4.1 Έλεγχος υγρασίας

Κατά την χρήση του SF₆ σε Υποσταθμούς GIS, είναι απαραίτητος ο έλεγχος της περιεκτικότητάς του σε υγρασία. Το αέριο δεν πρέπει να περιέχει ίχνη δρόσου σε πίεση λειτουργίας, με την χαμηλότερη πιθανή θερμοκρασία περιβάλλοντος. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η περιεκτικότητα του αερίου σε υγρασία στο σημείο δρόσου (φ_1), η μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα υγρασίας (φ_2) και η αντίστοιχη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα υγρασίας (φ_3) για απόλυτη πίεση 2,25bar σε διάφορες θερμοκρασίες (θ) [22]. Οι τιμές του φ_2 και φ_3 πρέπει να είναι εντός των ορίων που ορίζουν οι σχέσεις:

- $\varphi_2 \leq 0,9 * \varphi_1$
- $\varphi_3 \leq 0,45 * \varphi_1$

Ελάχιστη αναμενόμενη θερμοκρασία	Περιεκτικότητα σε υγρασία κατά τον κορεσμό στους $\theta^\circ\text{C}$	Μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα στους $\theta^\circ\text{C}$	Περιεκτικότητα υγρασίας κατά τη λειτουργία
$\theta^\circ\text{C}$	φ_1 (VPM %)	$\varphi_2 \leq 0,9\varphi_1$ (VPM%)	$\varphi_3 \leq 0,45\varphi_1$ (VPM%)
-25	280	250	125
-10	1120	900	375
-5	1650	1300	550
0	2700	2150	900
5	3800	3000	1250

Πίνακας 4.1 Πίνακας μέγιστης επιτρεπόμενης περιεκτικότητας υγρασίας στο SF₆ [34]

Όπου VPM: Volume Percent Moisture, Ογκομετρικά μέρη υδρατμού για κάθε 10^6 ογκομετρικά μέρη αερίου. Για συστήματα κλειστού κυκλώματος η VPM είναι συνάρτηση της πίεσεως και της θερμοκρασίας.

Κατά την αποσύνθεση του SF_6 μετά από κάποιο ηλεκτρικό τόξο, προκύπτουν στερεά κατάλοιπα σε μορφή σκόνης. Επίσης με την παρουσία υγρασίας δημιουργούνται σταδιακά μικρές ποσότητες διοξειδίου του θείου (SO_2) και υδροφθορίου (HF). Τα κατάλοιπα της ανωτέρω καύσης, έπειτα από κάποια ηλεκτρική διάσπαση, μυρίζουν πολύ έντονα (σαν κλούβιο αυγό). Οι χώροι των εγκαταστάσεων που περιλαμβάνουν αέριο SF_6 , θα πρέπει να έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να εξασφαλίζουν πολύ καλό αερισμό.

Πριν την πρόσβαση του προσωπικού, ο χώρος θα πρέπει να έχει αεριστεί καλά, το προσωπικό θα πρέπει να χρησιμοποιεί γάντια και σε περίπτωση ύπαρξης σκόνης θα πρέπει να φορούν ειδικά γυαλιά. Για την απομάκρυνση της σκόνης θα πρέπει να χρησιμοποιείται ειδική σκούπα με φίλτρο HEPA για μικρά σωματίδια [34]. Οι χώροι του GIS που έχουν SF_6 , διαθέτουν φίλτρα απορρόφησης της υγρασίας.

4.2 Έλεγχος πίεσης αερίου SF_6

Ο έλεγχος της πίεσης του αερίου SF_6 σε υποσταθμούς GIS είναι κρίσιμος για τη διασφάλιση της ασφαλούς και αποδοτικής λειτουργίας του συστήματος. Η πίεση επηρεάζει άμεσα τη διηλεκτρική αντοχή του αερίου και τη δυνατότητά του να λειτουργεί αποτελεσματικά.

Η πίεση πρέπει να παραμένει εντός συγκεκριμένων ορίων που καθορίζονται από τον κατασκευαστή του εξοπλισμού. Αν πέσει κάτω από ένα επιτρεπτό όριο, η διηλεκτρική αντοχή μειώνεται και έτσι αυξάνεται ο κίνδυνος ηλεκτρικών σφαλμάτων ή τόξων. Επιπλέον, η υπερβολική πίεση μπορεί να προκαλέσει πιθανές αστοχίες λόγω μηχανικών καταπονήσεων στο περίβλημα του GIS.

Το πρότυπο IEC 62271 καθορίζει τις απαιτήσεις για την ασφαλή και αποδοτική χρήση του SF_6 σε εξοπλισμό υψηλής τάσης, όπως τα GIS. Αναφέρει συγκεκριμένα όρια πίεσης λειτουργίας (συνήθως 4-6 bar) και υποχρεώνει τη χρήση συστημάτων παρακολούθησης της πίεσης και της πυκνότητας του αερίου.

Η παρακολούθηση της πίεσης πραγματοποιείται με τη χρήση ειδικών αισθητήρων ή μετρητών πίεσης, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στα σημεία πλήρωσης ή στα συστήματα μέτρησης του GIS. Αυτοί οι αισθητήρες δίνουν σε πραγματικό χρόνο ενδείξεις της πίεσης, επιτρέποντας την άμεση ανίχνευση αποκλίσεων. Εάν η πίεση δεν βρίσκεται εντός των καθορισμένων ορίων, ενεργοποιούνται συναγερμοί ή μηχανισμοί προστασίας, όπως είναι το trip, το οποίο βγάζει τον εξοπλισμό εκτός τάσης για λόγους ασφαλείας.

Κατά τη συντήρηση, η πίεση του SF₆ ελέγχεται με φορητούς μετρητές πίεσης, οι οποίοι είναι διακριβωμένοι. Αυτοί συνδέονται σε βαλβίδες μέτρησης για την επιβεβαίωση των ενδείξεων των μόνιμων αισθητήρων. Εάν η πίεση είναι χαμηλή, γίνεται πλήρωση με SF₆ από ειδικούς κυλίνδρους (μπουκάλες) υπό πίεση, ενώ αν διαπιστωθεί υπερβολική πίεση, το αέριο αφαιρείται προσεκτικά μέσω συστημάτων ανάκτησης. Οι ενέργειες αυτές απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό, καθώς η ακατάλληλη διαχείριση του SF₆ μπορεί να οδηγήσει σε απώλειες του αερίου και κατά συνέπεια σε περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η πίεση του SF₆ επηρεάζεται από την περιβαλλοντική θερμοκρασία. Σε χαμηλές θερμοκρασίες, η πίεση μπορεί να μειωθεί, ακόμα και αν η ποσότητα του αερίου είναι επαρκής. Αυτό λαμβάνεται υπόψη στον σχεδιασμό των GIS, με ειδικούς ρυθμιστές πίεσης που διατηρούν τη σωστή λειτουργία ανεξάρτητα από τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις.

4.3 Έλεγχος καθαρότητας και προϊόντων διάσπασης SF₆

Ο έλεγχος της καθαρότητας του SF₆ και των προϊόντων διάσπασής του είναι κρίσιμος για τη διατήρηση της απόδοσης και της ασφάλειας των υποσταθμών GIS. Η καθαρότητα του SF₆ διασφαλίζει τη μέγιστη διηλεκτρική αντοχή και την αποτελεσματική απόσβεση ηλεκτρικών τόξων, ενώ η παρουσία προϊόντων διάσπασης μπορεί να υποδείξει προβλήματα στη λειτουργία του συστήματος ή τη διάσπαση του αερίου λόγω ηλεκτρικών τόξων.

Η καθαρότητα του SF₆ ελέγχεται με ειδικούς αναλυτές αερίων που μετρούν την περιεκτικότητα του αερίου σε SF₆ σε σχέση με άλλες ακαθαρσίες, όπως το άζωτο ή το οξυγόνο. Μια τυπική τιμή καθαρότητας για το SF₆ είναι πάνω από 97-99%. Εάν η καθαρότητα είναι χαμηλότερη, μειώνεται η διηλεκτρική αντοχή του αερίου, γεγονός που αυξάνει τον κίνδυνο ηλεκτρικών σφαλμάτων. Η χαμηλή καθαρότητα μπορεί να οφείλεται σε .

Τα προϊόντα διάσπασης του SF₆, όπως το SF₄, SOF₂, SO₂ και HF, σχηματίζονται όταν το αέριο υποβάλλεται σε υψηλή θερμότητα ή ηλεκτρικά τόξα. Αυτά τα προϊόντα είναι τοξικά και διαβρωτικά και μπορεί να προκαλέσουν φθορά στους μεταλλικούς αγωγούς ή στους μονωτές του GIS. Η ανίχνευση των προϊόντων διάσπασης γίνεται μέσω εξειδικευμένων αναλυτών που μετρούν τη συγκέντρωση των συγκεκριμένων ενώσεων. Αυτή η μέτρηση είναι ιδιαίτερα σημαντική μετά από περιστατικά ηλεκτρικών τόξων.

Στο εμπόριο κυκλοφορούν διάφορες συσκευές ανάλυσης αερίου SF₆, όπως είναι οι παρακάτω, οι οποίες μετράνε καθαρότητα, παραπροϊόντα διάσπασης και υγρασία του αερίου:



Εικόνα 4.1 Συσκευές ανάλυσης αερίου SF₆

Η περιοδική ανάλυση του SF₆ βοηθά στον εντοπισμό προβλημάτων πριν αυτά εξελιχθούν σε βλάβες. Εάν εντοπιστούν προϊόντα διάσπασης, το αέριο συνήθως ανακυκλώνεται ή αντικαθίσταται, αλλά σε καμία περίπτωση δεν απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρά. Τα προϊόντα διάσπασης αφαιρούνται μέσω συστημάτων φιλτραρίσματος που περιλαμβάνουν χημικά φίλτρα ή ξηραντήρες, διασφαλίζοντας ότι το SF₆ διατηρεί την καθαρότητά του.

Ο έλεγχος της καθαρότητας και των προϊόντων διάσπασης είναι απαραίτητος όχι μόνο για την απόδοση του GIS αλλά και για την ασφάλεια του προσωπικού. Η σωστή διαχείριση του SF₆ περιλαμβάνει τη χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού και προσωπικού που

ακολουθεί αυστηρά πρωτόκολλα ασφαλείας. Επιπλέον, η μείωση των διαρροών και η επαναχρησιμοποίηση του αερίου συμβάλλουν στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, δεδομένου ότι το SF₆ είναι ένα ισχυρό αέριο θερμοκηπίου. Συνεπώς, ο τακτικός έλεγχος της καθαρότητας και η διαχείριση των προϊόντων διάσπασης αποτελούν βασικά στοιχεία για τη συντήρηση ενός αξιόπιστου και ασφαλούς υποσταθμού GIS.

4.4 Έλεγχος διαρροής αερίου SF₆

Η διαρροή SF₆ μπορεί να συμβεί μέσω των βαλβίδων, στις συνδέσεις ή στις φλάντζες του GIS. Οι διαρροές αυτές μπορούν να προκύψουν λόγω φθοράς, θερμοκρασιακών μεταβολών ή κακής συντήρησης. Επομένως, η τακτική επιθεώρηση και παρακολούθηση του συστήματος είναι απαραίτητη για τον έγκαιρο εντοπισμό και την αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων.

Ο εντοπισμός διαρροών πραγματοποιείται με τη χρήση ανιχνευτών αερίου SF₆. Αυτοί μπορεί να είναι φορητοί, για επιτόπιους ελέγχους, ή μόνιμα εγκατεστημένοι αισθητήρες στο GIS, οι οποίοι παρακολουθούν συνεχώς τη συγκέντρωση του SF₆ στο περιβάλλον. Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι ανίχνευσης περιλαμβάνουν τη χρήση υπέρυθρων ανιχνευτών (infrared detectors), οι οποίοι ανιχνεύουν την παρουσία του SF₆ μέσω της απορρόφησης υπέρυθρης ακτινοβολίας, και τις τεχνικές υπερήχων, που ανιχνεύουν ηχητικά κύματα από τις διαρροές.

Εάν ανιχνευθεί διαρροή, η συντήρηση περιλαμβάνει την επισκευή ή την αντικατάσταση των φθαρμένων εξαρτημάτων και την επανασφράγιση των σημείων διαρροής. Παράλληλα, χρησιμοποιούνται συστήματα ανάκτησης του SF₆ για να αποτραπεί η απελευθέρωσή του στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια της συντήρησης. Σε περίπτωση διαρροών μεγάλης κλίμακας, το GIS μπορεί να τεθεί προσωρινά εκτός λειτουργίας για να διασφαλιστεί η ασφάλεια του εξοπλισμού και του προσωπικού.

Η συνεχής παρακολούθηση και οι τακτικοί έλεγχοι μειώνουν τις πιθανότητες μεγάλων απωλειών και συμβάλλουν στην προστασία του περιβάλλοντος. Το πρότυπο IEC 62271, διασφαλίζει ότι οι επιτρεπόμενες διαρροές παραμένουν εντός αποδεκτών ορίων. Ο έλεγχος της διαρροής του SF₆ όχι μόνο προστατεύει το GIS από βλάβες, αλλά και

ελαχιστοποιεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, συμβάλλοντας στη βιώσιμη λειτουργία του συστήματος.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται μια φορητή συσκευή ελέγχου διαρροής αερίου SF₆.



Εικόνα 4.2 Φορητή συσκευή ελέγχου διαρροής αερίου SF₆

Αυτή η συσκευή χρησιμοποιείται για την ανίχνευση και τον εντοπισμό μικροδιαρροών σε GIS. Η λειτουργία της βασίζεται σε τεχνολογία ανίχνευσης μέσω αισθητήρων υπέρυθρης ακτινοβολίας ή ηλεκτροχημικών αισθητήρων, οι οποίοι είναι ευαίσθητοι στα μόρια του SF₆. Η συσκευή "σκανάρει" την περιοχή κοντά σε σημεία σύνδεσης, φλάντζες, βαλβίδες και άλλα σημεία του συστήματος GIS που είναι πιθανό να έχουν διαρροές. Ο αισθητήρας στην άκρη της συσκευής ανιχνεύει την παρουσία μορίων SF₆ στον αέρα και, εφόσον εντοπιστεί διαρροή, ενεργοποιεί ένα οπτικό ή ηχητικό σήμα συναγερμού. Ο ευλύγιστος σωλήνας (gooseneck) επιτρέπει την πρόσβαση σε δύσκολα σημεία, ενώ η ψηφιακή οθόνη παρέχει δεδομένα σχετικά με τη συγκέντρωση του αερίου.

Οι σύγχρονες συσκευές έχουν υψηλή ευαισθησία και είναι ικανές να ανιχνεύσουν ακόμη και εξαιρετικά μικρές συγκεντρώσεις αερίου (π.χ., μέρη ανά εκατομμύριο, ppm).

Κεφάλαιο 5: Επιθεώρηση και συντήρηση Υ/Σ GIS

Το κεφάλαιο αυτό είναι ένας αναλυτικός οδηγός συντήρησης των υποσταθμών GIS. Παρουσιάζεται η προετοιμασία, ο εξοπλισμός και τα βήματα της συντήρησης. Το κεφάλαιο αυτό συνδυάζει πληροφορίες από κατασκευαστές των GIS, διεθνείς κανονισμούς καθώς και βέλτιστες πρακτικές συντήρησης,

5.1 Γενικά

Η συντήρηση ενός GIS (Gas Insulated Switchgear) είναι ζωτικής σημασίας για την ασφαλή και ομαλή λειτουργία του εξοπλισμού, ιδιαίτερα στους υποσταθμούς υψηλής τάσης 150kV. Βασίζεται σε διεθνείς κανονισμούς και οδηγίες του κατασκευαστή, ενώ προσαρμόζεται ανάλογα με τον χρόνο λειτουργίας, τον αριθμό των διακοπών λόγω βραχυκυκλώματος και τη συχνότητα των χειρισμών.

Οι εργασίες συντήρησης περιλαμβάνουν:

1. Έλεγχος των επαφών: Μετά από 10 διακοπές λόγω σφάλματος κοντά στην ονομαστική ένταση λειτουργίας του διακόπτη.
2. Μικρή συντήρηση: Μετά από 1000 χειρισμούς ή 5 χρόνια.
3. Μεγάλη συντήρηση: Μετά από 5000 χειρισμούς ή 20 χρόνια.

Η τήρηση των προγραμμάτων συντήρησης, η τακτική εποπτεία της κατάστασης των εξαρτημάτων και η αυστηρή εφαρμογή των προληπτικών μέτρων ασφαλείας είναι απαραίτητες για τη μακροζωία των συστημάτων και την αποφυγή κινδύνων. Εξίσου σημαντική είναι η εκπαίδευση του προσωπικού σε θέματα ασφαλείας και συντήρησης, καθώς και η καταγραφή όλων των δεδομένων στα δελτία συντήρησης, για την αποτελεσματική διαχείριση και πρόληψη προβλημάτων.

5.2 Προετοιμασία, ασφάλεια και έλεγχος συνθηκών

Πριν ξεκινήσει η συντήρηση θα πρέπει να εξασφαλιστεί ότι όλες οι πηγές ενέργειας έχουν απομονωθεί. Ξεκινάμε με τη μέτρηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος (°C) καθώς η θερμοκρασία μπορεί να επηρεάσει την απόδοση και τη σταθερότητα του εξοπλισμού. Βεβαιωνόμαστε ότι η θερμοκρασία βρίσκεται εντός των αποδεκτών ορίων που καθορίζονται από τις προδιαγραφές του κατασκευαστή και τέλος βεβαιωνόμαστε ότι έχουμε όλα τα απαραίτητα εργαλεία και όργανα.

5.2.1 Απαραίτητος εξοπλισμός και προετοιμασία για την συντήρηση του GIS

Παρακάτω φαίνεται η λίστα με τα απαραίτητα εργαλεία και όργανα που θα πρέπει να διαθέτει το προσωπικό για να πραγματοποιήσει μια συντήρηση:

- 1) Δυναμόκλειδο, εργαλειοθήκη και σετ εργαλείων (Άλεν, Γερμανικό, Γερμανοπολύγωνο)
- 2) Όργανο μέτρησης διαρροών SF₆
- 3) Όργανο μέτρησης ποιότητας SF₆
- 4) Όργανο μέτρησης αγωγιμότητας 200 A dc
- 5) Όργανο μέτρησης μονώσεων (Megger)
- 6) Όργανο μέτρησης ταυτοχρονισμού
- 7) Θερμόμετρο για μέτρηση θερμοκρασίας περιβάλλοντος
- 8) Τράπεζα δοκιμών μανομέτρων μαζί με φιάλη αζώτου και αντάπτορα
- 9) Σύνδεσμοι / αντάπτορες και λάστιχα σύνδεσης SF₆
- 10) ΜΑΠ για SF₆ - Κάδος μεταλλικός, μάσκες, σόδα κ.α.
- 11) Ζυγαριά
- 12) Μειωτήρας για SF₆
- 13) Φιάλη με καλή περιεκτικότητα SF₆
- 14) Φιάλη άδεια

15) Πολύμετρο

16) Εξοπλισμός πρώτων βοηθειών

Κατά την έναρξη της συντήρησης ενός συστήματος GIS αρχικά θα πρέπει να διαπιστώνετε με ιδιαίτερη προσοχή πιο μέρος του εξοπλισμού πρόκειται να συντηρηθεί. Επίσης οι εργαζόμενοι στο σημείο, θα πρέπει να είναι ενήμεροι για τον εξοπλισμό προς συντήρηση καθώς και για τα μέρη του εξοπλισμού που βρίσκονται υπό τάση.

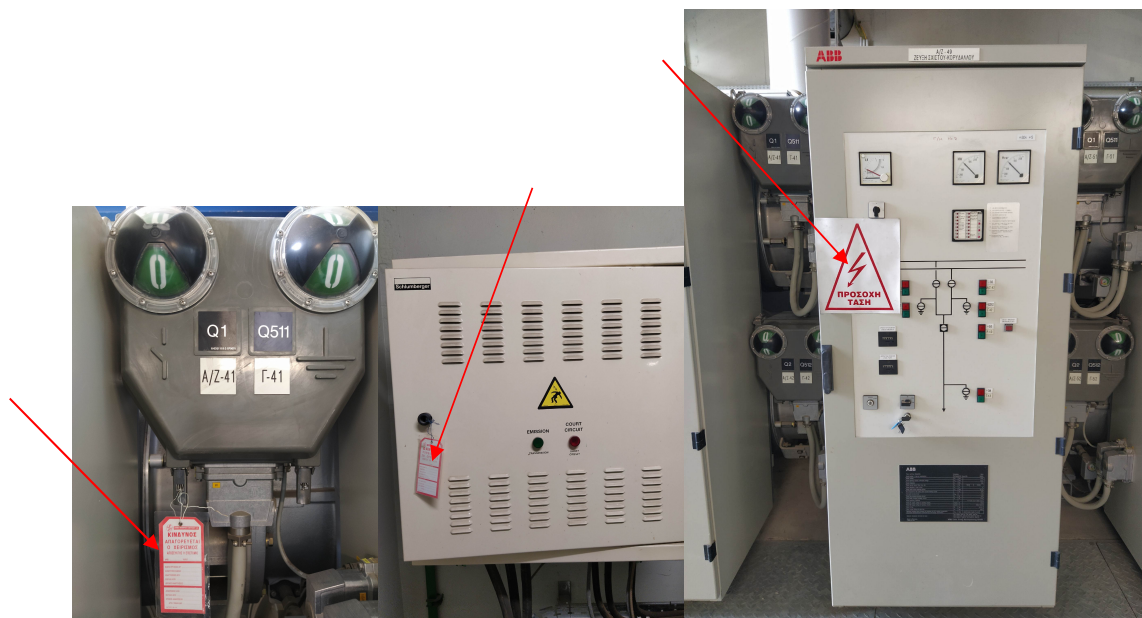
Έπειτα θα πρέπει να γίνουν οι απαραίτητοι χειρισμοί ώστε να απομονωθεί πλήρως ο εξοπλισμός που πρόκειται να συντηρηθεί.

Στην συνέχεια τοποθετούνται ειδικές σημάνσεις (κόκκινες κορδέλες και ταμπελάκια) στον εξοπλισμό ο οποίος δεν θα συντηρηθεί και βρίσκεται υπό τάση, ώστε να αποφευχθεί ο χειρισμός του κατά λάθος, ο οποίος θα μπορούσε να αποβεί μοιραίος.

Στις παρακάτω φωτογραφίες φαίνεται η σήμανση του εξοπλισμού υπό τάση, για αποφυγή λάθους.



Εικόνα 5.1 Σήμανση με κόκκινη κορδέλα σε εξοπλισμό υπό τάση



Εικόνα 5.2 Σήμανση με ταμπελάκια σε εξοπλισμό υπό τάση

Αφού πραγματοποιηθούν οι απαραίτητοι χειρισμοί, τοποθετούνται λουκέτα σε συγκεκριμένα σημεία του εξοπλισμού, τα οποία εξασφαλίζουν μηχανικό «μπλοκάρισμα», ώστε να μην δύναται ο εξ αποστάσεως χειρισμός που θα είχε σαν συνέπεια την επαναφορά του εξοπλισμού απομακρυσμένα. Λόγω της ζωτικής σημασίας για την εξασφάλιση της κάλυψης των φορτίων των πόλεων, ο εξοπλισμός έχει την δυνατότητα απομακρυσμένου χειρισμού. Αυτοί οι χειρισμοί στην Αττική γίνονται από τον ΤΑΛΔ (Τομέα Ανάπτυξης και Λειτουργίας Δικτύου).

5.2.1.1 ΤΑΛΔ (Τομέα Ανάπτυξης και Λειτουργίας Δικτύου)

Στον ΤΑΛΔ περιλαμβάνονται τα Κέντρα Ελέγχου Δικτύου Διανομής (ΚΕΔΔ) που αποτελούν εξέλιξη και επέκταση του Κέντρου Κατανομής Φορτίου της Αττικής και έχουν την ευθύνη Διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας από τα Κέντρα Υψηλής και Υπερυψηλής Τάσης (Κ.Υ.Υ.Τ.) της Αττικής προς την κατανάλωση. Τα παραπάνω Κέντρα Ελέγχου Δικτύου Διανομής (ΚΕΔΔ) του ΤΑΛΔ ελέγχουν αδιαλείπτως, μέσω ενός σύγχρονου συστήματος τηλεποπτείας, το σύνολο των εγκαταστάσεων Υψηλής και Μέσης Τάσης (Υ.Τ. και Μ.Τ.) της Αττικής, οι οποίες επιτηρούνται από τους χειριστές - επιτηρητές του Κέντρου Κατανομής Φορτίου. Αυτό δίνει την δυνατότητα χειρισμών ανάλογα με την ανάγκη που θα προκύψει (π.χ. συντήρηση, βλάβη, μεταβολή φορτίων κλπ.).

Η ειδικότερη δε αποστολή των Κέντρων του πρώην Τομέα Εκμετάλλευσης Συστημάτων Διανομής της ΔΠΑ και νυν Τομέα Ανάπτυξης και Λειτουργίας Δικτύου (ΤΑΛΔ), είναι η συνεχής και με απόλυτα ικανοποιητική τάση, τροφοδότηση των καταναλωτών με την πλέον οικονομική και αξιόπιστη λειτουργία του Συστήματος και την ελαχιστοποίηση του χρόνου διακοπής λόγω βλαβών [33].

Επιπλέον, σε περίπτωση βλάβης του εξοπλισμού ή του τηλεχειρισμού, υπάρχουν ειδικά συνεργεία τα οποία ενημερώνει ο ΤΑΛΔ ώστε να επέμβουν στο σημείο, να ελέγξουν την κατάσταση του εξοπλισμού και να κάνουν τις απαραίτητες ενέργειες ώστε να αποκατασταθεί το πρόβλημα.

Ο ΤΑΛΔ καθώς και τα συνεργεία συντήρησης παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην αδιάλειπτη λειτουργία του Δικτύου.

5.3 Βήματα συντήρησης GIS

Για να πραγματοποιηθεί μία συντήρηση ακολουθούνται συγκεκριμένα βήματα. Αυτά τα βήματα καταγράφηκαν και παρουσιάζονται παρακάτω. Αποτελούν έναν αναλυτικό οδηγό που συνδυάζει πληροφορίες από τον κατασκευαστή, διεθνής κανονισμούς καθώς και βέλτιστες πρακτικές.

5.3.1 Μέτρηση πίεσης αερίου SF₆

Κατά την συντήρηση ενός GIS, ένα από τα βασικότερα στοιχεία προς έλεγχο είναι η πίεση του αερίου SF₆.

Για να πραγματοποιηθεί ο έλεγχος και η μέτρηση της πίεσης του αερίου SF₆ ανοίγουμε το μπροστινό μέρος του GIS το οποίο περιλαμβάνει τον πίνακα ελέγχου του GIS.



Εικόνες 5.3 Ανοιχτό κάτω μέρος πίνακα ελέγχου

Έπειτα χρησιμοποιούμε φορητό μανόμετρο (διακριβωμένο) ώστε να μετρήσουμε την πίεση του αερίου SF₆ σε διάφορους χώρους του GIS (Χώρος I, Χώρος II, Χώρος III).

Ο εξοπλισμός διαθέτει εγκατεστημένα μανόμετρα, τα μανόμετρα μονάδας. Για λόγους σύγκρισης και επιβεβαίωσης των τιμών, παράλληλα με αυτά τα μανόμετρα, χρησιμοποιούνται και φορητά διακριβωμένα μανόμετρα. Με αυτό τον τρόπο ελέγχεται η σωστή λειτουργία των εγκατεστημένων μανομέτρων της μονάδας και παράλληλα εξασφαλίζουμε σωστά αποτελέσματα στις μετρήσεις μας.



Εικόνα 5.4 Φορητό μανόμετρο

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται στα αριστερά ο διακόπτης με τον οποίο επιλέγουμε να ανοίξουμε ή να κλείσουμε την ροή αερίου και στα δεξιά ο διακόπτης από τον οποίο επιλέγουμε τον χώρο του GIS που επιθυμούμε να μετρήσουμε I, II ή III.



Εικόνα 5.5 Επιλογέας ροής αερίου και επιλογέας επιλογής χώρου μέτρησης αερίου I, II, III

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι χώροι του GIS I, II και III, που περιλαμβάνουν αέριο SF₆, σημειωμένοι με γαλάζιο χρώμα.



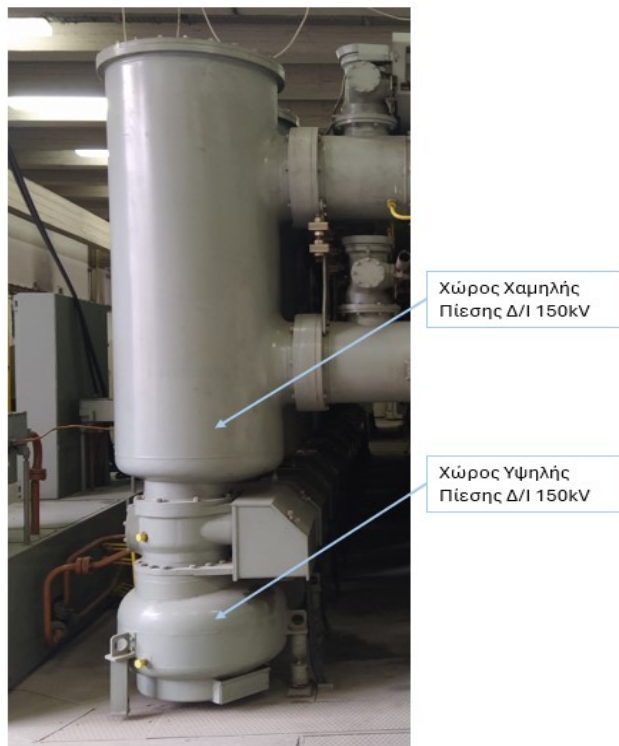
Εικόνα 5.6 Χώροι I, II και III αερίου SF₆

Οι ενδεικτικές τιμές λειτουργίας των πιέσεων στους χώρους Υψηλής Πίεσης (ΥΠ) και Χαμηλής Πίεσης (ΧΠ) είναι:

- ΥΠ: 18 bar
- ΧΠ: 2,8 bar

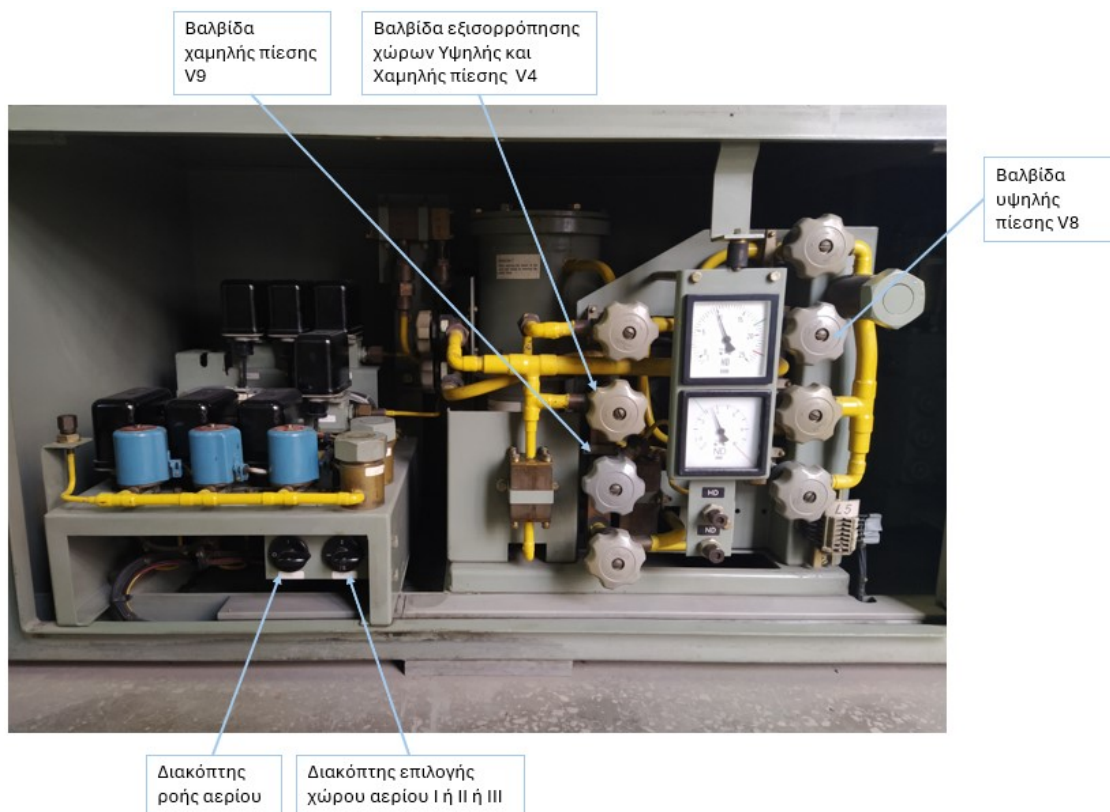
Μετά την εξισορρόπηση των πιέσεων περιμένουμε τιμές περίπου 5,2-5,3 bar.

Η βαλβίδα V4 (εικόνα 5.8) δίνει την δυνατότητα εξισορρόπησης των πιέσεων του Διακόπτη Ισχύος μεταξύ χώρου υψηλής και χαμηλής πίεσης. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο χώρος Υψηλής και ο χώρος Χαμηλής πίεσης του Δ/Ι 150kV του GIS (εικόνα 5.7).



Εικόνα 5.7 Χώρος Χαμηλής και Υψηλής πίεσης Δ/Ι 150kV

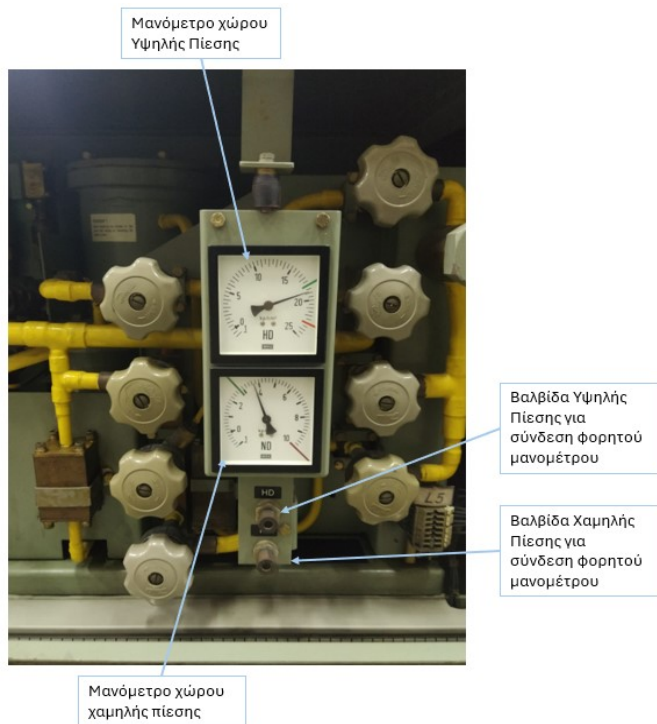
Με την βοήθεια της βαλβίδας V4 και του μανομέτρου, καταγράφουμε τις υπάρχουσες πιέσεις για να ελέγξουμε τυχόν αποκλίσεις από τις επιτρεπόμενες τιμές λειτουργίας.



Εικόνα 5.8 Βαλβίδες μέτρησης χώρων και διακόπτες επιλογής

Στην παραπάνω εικόνα 5.8 βλέπουμε τους επιλογικούς διακόπτες, την βαλβίδα εξισορρόπησης V4, την βαλβίδα V9 του χώρου χαμηλής πίεσης καθώς και την βαλβίδα V8 του χώρου υψηλής πίεσης.

Στην παρακάτω εικόνα 5.9 βλέπουμε τα μανόμετρο που είναι εγκατεστημένα στον εξοπλισμό καθώς και τις βαλβίδες χαμηλής και υψηλής πίεσης στις οποίες συνδέουμε το φορητό μανόμετρο.



Εικόνα 5.9 Μανόμετρα και βαλβίδες

Αν η πίεση βρίσκεται εκτός των ορίων, πραγματοποιούμε τις κατάλληλες ενέργειες όπως πλήρωση με αέριο SF₆ ή επισκευή του εξοπλισμού.

5.3.2 Έλεγχος Ποιότητας του SF₆

Πραγματοποιείται έλεγχος της ποιότητας του SF₆, με τον οποίο μετρούνται:

- Ποσοστό SF₆ (%), για να διασφαλιστεί ότι το αέριο διατηρεί την απαιτούμενη καθαρότητα.
- Σημείο δρόσου, για να αποφευχθεί η διάβρωση, ηλεκτρικές εκκενώσεις και η μείωση της διηλεκτρικής αντοχής.
- Διοξείδιο του Θείου (SO₂ ppm), που αποτελεί ένδειξη διάσπασης του αερίου και ενδέχεται να υποδεικνύει ηλεκτρικές ανωμαλίες.

Οι μετρήσεις αυτές εκτελούνται τόσο πριν όσο και μετά τη συντήρηση, για όλους τους χώρους του GIS.

Με τον επιλογικούς διακόπτες ροής αερίου και επιλογής χώρου αερίου (εικόνα 5.8) και με την σύνδεση του οργάνου ανάλυσης αερίου (Gus analyzer), γίνονται οι παραπάνω μετρήσεις και καταγράφονται τα αποτελέσματα στα δελτία συντήρησης.

Αν εντοπιστούν αποκλίσεις, λαμβάνονται διορθωτικά μέτρα, όπως αντικατάσταση του αερίου.

5.3.3 Έλεγχος πιέσεων Πρεσοστατών

Οι πρεσοστάτες χρησιμοποιούνται για να ανιχνεύουν την πίεση του αερίου. Όταν η πίεση πέσει χαμηλότερα ή ανέβει ψηλότερα από το όριο λειτουργίας που της έχουμε ορίσει, τότε ο πρεσοστάτης είτε δίνει alarm, είτε εκκινεί τον συμπιεστή/κομπρεσέρ, είτε δίνει γενική μανδάλωση στον Δ/Ι.

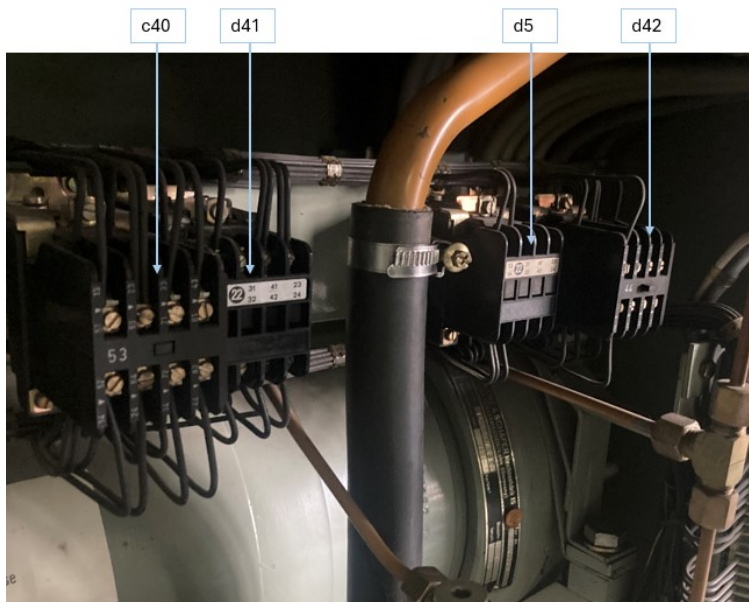
Παρακάτω φαίνονται οι πρεσοστάτες αριθμημένοι και σημειωμένοι με μπλε βέλη (εικόνα 5.10). Οι πρεσοστάτες e60, e562 και e512 ελέγχουν τον χώρο της υψηλής πίεσης του διακόπτη ισχύος και ο e53 ελέγχει τον χώρο της χαμηλής πίεσης. Ο πρεσοστάτης e521 ελέγχει την πτώση πίεσης στο χώρο I και στον αποζεύκτη I του ζυγού I. Ο πρεσοστάτης e522 ελέγχει την πτώση της πίεσης στο χώρο II και στον αποζεύκτη II του ζυγού II. Ενώ ο e523 ελέγχει την πτώση του SF₆ στο χώρο III και στον ταχυγειωτή.



Εικόνα 5.10 Πρεσοστάτες

Ακολουθεί μια σειρά με εικόνες οι οποίες επεξηγούν τον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί κατά τον έλεγχο των πρεσοστατών.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η αντλία λαδιού, η οποία χρησιμοποιείται κατά την λειτουργία κλεισίματος του διακόπτη. Όταν ο διακόπτης κλείνει τότε η πίεση του διακόπτη μειώνεται, εκεί επεμβαίνει η αντλία η οποία λειτουργεί ώστε να επαναφέρει την πίεση σε κανονικά επίπεδα. Σημειωμένα με μπλε βέλη φαίνονται τα ρελέ μανδάλωσης αντλίας c40 και d41 καθώς και τα ρελέ υπερπίεσης d5 και d42.



Εικόνα 5.11 *Αντλία λαδιού*

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε τα εξής:

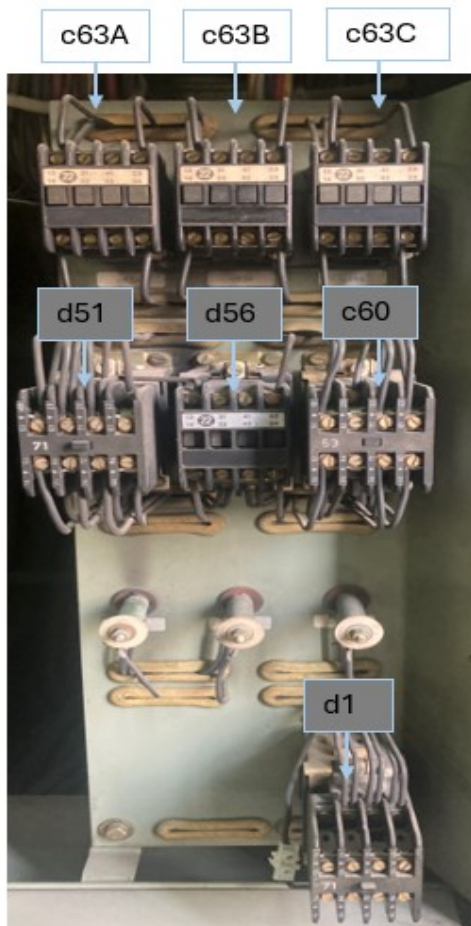
1. Στην πάνω σειρά βλέπουμε τα alarm εξαναγκασμένης πτώσης του Διακόπτη Ισχύος d11, d12, d13 και d14.
2. Στην μεσαία σειρά βλέπουμε τους αυτόματους διακόπτες a20 της αντλίας, a60 του SF₆ και a40 του υδραυλικού κυκλώματος, οι οποίοι έχουν εναλλασσόμενη τάση 380V.
3. Στην κάτω σειρά βλέπουμε τις ασφάλειες e10 του Control, e11 του αποζεύκτη και του γειωτή, και e12 του ταχυγειωτή, τα οποία έχουν συνεχή τάση 110V.



Εικόνα 5.12 Alarm εξαναγκασμένης πτώσης, διακόπτες και ασφάλειες

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται:

1. Στην πάνω σειρά, τα ρελέ των αντιστάσεων c63A, c63B και c63C,
2. Στην μεσαία σειρά, τα ρελέ των κομπρεσέρ του SF₆ d51, d56 και c60,
3. Το ρελέ του d1 trip.



Εικόνα 5.13 Ρελέ αντιστάσεων, κομπρεσέρ SF₆ και trip

Το άζωτο χρησιμοποιείται για συστολή/διαστολή του δοχείου του λαδιού του διακόπτη. Όταν το δοχείο υπερβαίνει μια δοσμένη τιμή πίεσης, τότε δίνεται alarm στο κομπρεσέρ του λαδιού ώστε να σταματήσει. Η βίδα εξισορρόπησης (εικόνα 5.15) χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της πίεσης του αζώτου. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το μανόμετρο e5 το οποίο μετράει την υδραυλική πίεση του λαδιού (N₂). Όταν ανοίγουμε την βίδα εξισορρόπησης (εικόνα 5.15), με κομμένη την παροχή ρεύματος του κομπρεσέρ του λαδιού, τότε το μανόμετρο e5 μετράει την πίεση του αζώτου.

Επίσης βλέπουμε τους πρεσοστάτες εκκίνησης e4.3 (190-5bar) και μανδάλωσης e4.1(155-5bar).



Εικόνα 5.14 Μανόμετρο και πρεσοστάτες



Εικόνα 5.15 Βίδα εξισορρόπησης (σημειωμένη με μπλε χρώμα)

Ελέγχουμε τους πρεσοστάτες e60, e562 και e512 για να διασφαλίσουμε την ορθή λειτουργία τους.

Έλεγχος του πρεσοστάτη e60

Ο πρεσοστάτης e60 ελέγχει την πίεση του χώρου ΥΠ του ΔΙ και εκκινεί τον συμπιεστή όταν η πίεση πάει στα 17,4 bar. Ο έλεγχός του γίνεται ως εξής:

- Αρχικά ανοίγουμε τον a60.
- Έπειτα ανοίγουμε τη βάνα V4 (εξισορρόπηση χαμηλής - Υψηλής Πίεσης) μέχρι να εκκινήσει το ρελέ c60.
- Καταγράφουμε την πίεση στην οποία φεύγει το Alarm με φορητό μανόμετρο αλλά και με το εγκατεστημένο μανόμετρο μονάδας.
- Και τέλος κλείνουμε τη βάνα V4 και τον a60.

Έλεγχος πρεσοστάτη e562

Ο πρεσοστάτης e562 ελέγχει την πίεση του χώρου ΥΠ του ΔΙ και δίνει alarm όταν η πίεση πάει στα 15,6 bar:

- Αρχικά ανοίγουμε τον a60.

- Ανοίγουμε τη βάνα V4 (εξισορρόπηση χαμηλής - Υψηλής Πίεσης) μέχρι να εκκινήσει το ρελέ d56.
- Καταγράφουμε την πίεση στην οποία φεύγει το Alarm με φορητό μανόμετρο και με μανόμετρο μονάδας.
- Κλείνουμε τη βάνα V4 και τον a60.

Έλεγχος πρεσοστάτη e512

Αυτός ο πρεσοστάτης, ελέγχει την πίεση του χώρου Υ.Π. του Δ/Ι και δίνει γενική μανδάλωση στον Δ/Ι. Όταν η πίεση πάει στα 14,4 bar, ξεοπλίζει το ρελέ d51. Για να γίνει ο έλεγχος του πρεσοστάτη ακολουθούνται τα βήματα:

- Ανοίγουμε τη βάνα V4 (η οποία κάνει εξισορρόπηση μεταξύ υψηλής και χαμηλής πίεσης) και τον a60, μέχρι να ξεοπλίσει το ρελέ d51 και να έρθει alarm γενικής μανδάλωσης.
- Καταγράφουμε την πίεση στην οποία φεύγει το Alarm με φορητό μανόμετρο και με μανόμετρο μονάδας.
- Κλείνουμε τη βάνα V4 και τον a60.

Εξισορρόπηση πιέσεων

Ανοίγουμε τον a60 και την βάνα V4. Αφού γίνει η εξισορρόπηση Χαμηλής-Υψηλής Πίεσης, καταγράφουμε την πίεση SF₆ Χώρου Χαμηλής Πίεσης του Δ/Ι με το μανόμετρο μονάδας και με φορητό μανόμετρο. Περιμένουμε 5,2 - 5,3 bar.

Έλεγχος Πρεσοστάτη e53

Αυτός ο πρεσοστάτης δίνει Alarm χαμηλής πίεσης στον Χώρο της Χαμηλής Πίεσης του Δ/Ι για πίεση κάτω των 2bar και απενεργοποιεί το alarm για πίεση από 2,8bar και πάνω. Για να γίνει ο έλεγχος:

- Κλείνουμε (με το χέρι) την επαφή του e53 και βλέπουμε αν ήρθε το alarm.
- Έπειτα κλείνουμε τον a60 και ανοίγουμε την βάνα V4 μέχρι να επανέλθει το κύκλωμα στις αρχικές πιέσεις.
- Καταγράφουμε τις πιέσεις στις οποίες ενεργοποιούνται ή ξεοπλίζονται τα σχετικά ρελέ.

- Χρησιμοποιούμε φορητά μανόμετρα ή τα ενσωματωμένα μανόμετρα της μονάδας για τη μέτρηση για επιβεβαίωση της ορθής λειτουργίας της μονάδας.
- Οποιαδήποτε απόκλιση στις τιμές ενεργοποίησης απαιτεί ρύθμιση ή αντικατάσταση του πρεσοστάτη.

5.3.4 Έλεγχος Υδραυλικού Συστήματος

Για τον έλεγχο του υδραυλικού συστήματος, πραγματοποιούμε έλεγχο στις ασφαλιστικές βαλβίδες για να δούμε σε ποια πίεση ανοίγουν και κλείνουν.

Ελέγχουμε τους πρεσοστάτες του υδραυλικού συστήματος για να διασφαλίσουμε ότι λειτουργούν εντός των καθορισμένων ορίων (π.χ., 95-105 bar για το άζωτο).

Αν οι βαλβίδες δεν λειτουργούν σωστά, πραγματοποιείται καθαρισμός ή αντικατάσταση.

- Αρχικά κλείνουμε τον αυτόματο διακόπτη a40,
- Έπειτα ανοίγουμε τη βίδα εξισορρόπησης σιγά-σιγά.
- Κοιτάζουμε το μανόμετρο e5. Στο σημείο που η βελόνα θα πέσει απότομα καταγράφουμε την πίεση του Αζώτου. Η πίεση θα πρέπει να είναι 95 - 105 bar.
- Επαναλαμβάνουμε κλείνοντας τον a40 και ανοίγοντας τη βίδα εξισορρόπησης σιγά-σιγά ώστε να μηδενιστεί η πίεση του υδραυλικού συστήματος και να μπορέσουμε να συνδέσουμε το φορητό μανόμετρο.
- Κοιτάζουμε το φορητό μανόμετρο. Στο σημείο που η βελόνα θα πέσει απότομα καταγράφουμε την πίεση του Αζώτου. Η πίεση θα πρέπει να είναι 95 - 105 bar.

Έλεγχος Υδραυλικού κυκλώματος Πρεσοστάτη e4.3

Ο πρεσοστάτης αυτός ελέγχει τις εκκινήσεις της αντλίας λαδιού του υδραυλικού συστήματος οπλισμού.

- Αρχικά απενεργοποιούμε τον a40, ξεβιδώνουμε τη βίδα εξισορρόπησης σιγά-σιγά και βλέπουμε σε ποια τιμή πίεσης λαδιού ο πρεσοστάτης e4.3 ενεργοποιεί το ρελέ C40.
- Έπειτα καταγράφουμε την τιμή από το φορητό μανόμετρο.
- Επαναλαμβάνουμε την διαδικασία και καταγράφουμε την τιμή του μανομέτρου της μονάδας.

Έλεγχος Υδραυλικού κυκλώματος Πρεσοστάτη e4.1

Ο πρεσοστάτης αυτός προκαλεί γενική μανδάλωση υδραυλικού συστήματος στο Δ/Ι 150 KV σε πίεση 155-150 bar.

- Αρχικά απενεργοποιούμε τον a40, ξεβιδώνουμε τη βίδα εξισορρόπησης σιγά-σιγά και βλέπουμε σε ποια τιμή πίεσης λαδιού ο πρεσοστάτης e4.1 ξεοπλίζει το ρελέ d41.
- Καταγράφουμε την τιμή από το φορητό μανόμετρο
- Ελέγχουμε ότι ήρθε το alarm.
- Επαναλαμβάνουμε την διαδικασία και καταγράφουμε την τιμή από το μανόμετρο μονάδας.
- Ελέγχουμε ότι ήρθε το alarm.

Έλεγχος Υδραυλικού κυκλώματος και απώλειας αζώτου του Alarm Υπερπίεσης

- Ενεργοποιούμε με το χέρι το ρελέ C40,
- Μόλις ανέβει η πίεση του λαδιού ενεργοποιείται το ρελέ d42
- Καταγράφουμε την πίεση από το φορητό μανόμετρο
- Επιβεβαιώνουμε ότι ήρθε το alarm.
- Επαναλαμβάνουμε την διαδικασία και καταγράφουμε την τιμή από το μανόμετρο μονάδας.
- Ελέγχουμε ότι ήρθε το alarm.

Έλεγχος Υδραυλικού κυκλώματος Ασφαλιστικής βαλβίδας

Αυτή η βαλβίδα ανοίγει στα 250bar. Για να γίνει έλεγχος:

- Ενεργοποιούμε με το χέρι το ρελέ C40 μέχρι τα 250-260 bar, όπου θα ανοίξει η ασφαλιστική βαλβίδα,
- Καταγράφουμε την τιμή της πίεσης από το φορητό μανόμετρο.
- Επαναλαμβάνουμε την διαδικασία και καταγράφουμε την τιμή της πίεσης από το μανόμετρο μονάδας.

Έλεγχος Υδραυλικού κυκλώματος Ασφαλιστικής βαλβίδας

Αυτή η ασφαλιστική βαλβίδα κλείνει στα 235 bar. Για να γίνει ο έλεγχος:

- Αφήνουμε το ρελέ C40 και στο σημείο που σταματάει η βελόνα του μανομέτρου να πέφτει είναι η πίεση που κλείνει η ασφαλιστική βαλβίδα.
- Καταγράφουμε την πίεση του φορητού μανομέτρου.
- Επαναλαμβάνουμε την διαδικασία και καταγράφουμε την τιμή της πίεσης από το μανόμετρο μονάδας.

5.3.5 Χρόνος Λειτουργίας Κομπρεσέρ

Με την παρακάτω διαδικασία μετράμε τον χρόνο λειτουργίας των κομπρεσέρ (SF₆ και υδραυλικού λαδιού) μετά από λειτουργίες ανοίγματος και κλεισίματος του GIS. Καταγράφουμε την απόδοση και συγκρίνουμε με τις προβλεπόμενες τιμές (π.χ., 120 δευτερόλεπτα για το SF₆). Αν ο χρόνος λειτουργίας είναι αυξημένος, ελέγχουμε για πιθανές διαρροές ή προβλήματα στο κομπρεσέρ.

Έλεγχος Χρόνου λειτουργίας κομπρεσέρ SF₆ μετά από ένα άνοιγμα

- Με κατεβασμένο τον α60 κάνουμε άνοιγμα του Δ/Ι.
- Ενεργοποιούμε τον α60 ταυτόχρονα με ένα χρονόμετρο.
- Καταγράφουμε τα sec που θα σταματήσει το κομπρεσέρ. Ο χρόνος λειτουργίας του κομπρεσέρ μετά από ένα άνοιγμα είναι περίπου 120s.

Έλεγχος Χρόνου λειτουργίας κομπρεσέρ υδραυλικού ελαίου μετά από ένα κλείσιμο

- Με κατεβασμένο τον a40 κλείνουμε τον Δ/Ι.
- Ενεργοποιούμε τον a40 ταυτόχρονα με ένα χρονόμετρο.
- Καταγράφουμε τα sec που θα σταματήσει το κομπρεσέρ (περίπου 15sec).

5.3.6 Μέτρηση Αντίστασης Μόνωσης

Εκτελούμε μετρήσεις αντίστασης μόνωσης για διάφορες φάσεις (L1, L2, L3) και διαμορφώσεις (κλειστός ή ανοιχτός διακόπτης).

Οι μετρήσεις αυτές βοηθούν στον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων μόνωσης.

Αν εντοπιστούν χαμηλές τιμές αντίστασης, διερευνούμε τις αιτίες και λαμβάνουμε μέτρα για τη βελτίωση της μόνωσης.

Πραγματοποιούνται οι παρακάτω μετρήσεις ώστε να διαπιστωθεί η αντίσταση μόνωσης.

Έχοντας την L1 φάση του Διακόπτη Ισχύος 150kV κλειστή και τις L2 και L3 φάσεις συνδεδεμένες ως προς γη, δίνοντας από το όργανο μέτρησης αντίστασης μόνωσης τάση με διάρκεια 60s, παρατηρούμε τις τιμές αντίστασης που θα μας δώσει.

Έπειτα πραγματοποιούμε την ίδια μέτρηση για την L2 και L3 φάση, έχοντας κάθε φορά τις υπόλοιπες φάσεις, ως προς γη, αντίστοιχα.

Τέλος επαναλαμβάνουμε την παραπάνω διαδικασία, έχοντας τον Διακόπτη Ισχύος ανοικτό και συνδεδεμένη την L1. Έπειτα κάνουμε το ίδιο και για τις υπόλοιπες φάσεις L2 και L3.

5.3.7 Έλεγχος Ταυτοχρονισμού

Μετράμε τους χρόνους ταυτοχρονισμού των λειτουργιών OPEN και CLOSE για όλες τις φάσεις (L1, L2, L3).

Βεβαιωνόμαστε ότι οι χρόνοι είναι εντός των επιτρεπτών ορίων. Οι χρόνοι θα πρέπει να είναι $65 \pm 5\text{ms}$ για το OPEN και $70 \pm 5\text{ms}$ για το CLOSE. Βεβαιωνόμαστε ότι οι χρόνοι του open είναι σχεδόν ίδιοι για όλες τις φάσεις (A,B,C) και του Close αντίστοιχα.

Αν οι χρόνοι δεν πληρούν τις προδιαγραφές, ελέγχουμε το μηχανισμό οπλισμού και εκφόρτισης.

Τέλος ελέγχουμε τον χρόνο φόρτισης του υδραυλικού μηχανισμού λειτουργίας, μετά από μία λειτουργία CO(Close-Open).

5.3.8 Συμπλήρωση Αναφορών

Κατά την διάρκεια αλλά και μετά την ολοκλήρωση της συντήρησης, καταγράφονται όλες τις μετρήσεις και τις παρατηρήσεις σε αναφορές συντήρησης. Οι αναφορές αυτές χρησιμοποιούνται για μελλοντική αναφορά και προγραμματισμό συντήρησης. Περιλαμβάνουν προτάσεις για βελτιώσεις ή επιπλέον έλεγχο σε μελλοντικές συντηρήσεις. Η τήρηση αυτών των βημάτων διασφαλίζει την ασφάλεια, τη μακροχρόνια λειτουργία και την αποδοτικότητα του GIS.

5.3.8.1 Δελτία Συντήρησης

Κατά την συντήρηση του εξοπλισμού, καταγράφονται στα δελτία Συντήρησης τα εξής:

1. Αρχικά καταγράφονται τα στοιχεία του εξοπλισμού προς συντήρηση:
 1. Τύπος Δ/Ι
 2. Κατασκευαστής
 3. Πεδίο
 4. Στοιχείο (προς συντήρηση)
 5. Αριθμός σειράς
 6. Τάση DC
 7. ALARM
2. Έπειτα καταγράφεται η θερμοκρασία του χώρου του GIS.
3. Έπειτα γίνονται οπτικοί έλεγχοι και καταγράφονται τα παρακάτω:
 1. Ενδείξεις μετρητών
 2. Κατάσταση βαφής-χρωματισμοί
 3. Λειτουργία μη ταυτόχρονου κλεισίματος
 4. Διαρροή από τη πλοηγό βαλβίδα
 5. Εμφάνιση alarm Χαμηλής Πίεσης (Χ.Π.) στο χώρο Υψηλής Πίεσης (Υ.Π) κατά κύκλο λειτουργίας C-O-C
 6. Ένδειξη μανομέτρου Χ.Π (bar)
 7. Ένδειξη μανομέτρου Υ.Π (bar)

8. Έλεγχοι μανομέτρων Χ.Π (bar) - Σύγκριση με πρότυπο Υ.Π (bar) - Μανόμετρο λαδιού (bar)
9. Περιεκτικότητα σε αέριο SF₆
4. Έπειτα ελέγχεται και καταγράφεται η κατάσταση των επαφών (χώροι Χ.Π):
 1. Σταθερή επαφή
 2. Χώρος σβέσης τόξου
 3. Κινητή επαφή επαργύρωση
 4. Αλλαγή συστήματος
5. Έπειτα ελέγχονται οι βαλβίδες εκτόξευσης:
 1. Αλλαγή βαλβίδων
 2. Απόσταση στην τρύπα(mm/°C) πριν/μετά (Δ/Ι κλειστός)
 3. Απόσταση στο τακάκι (mm) πριν/μετά (Δ/Ι ανοιχτός)
6. Έπειτα γίνεται έλεγχος και καταγραφή του θαλάμου και λειτουργία βαλβίδων:
 1. Έλεγχος καθαρότητας
 2. Έλεγχος σφιζίματος βιδών
7. Έπειτα γίνεται έλεγχος και συντήρηση του κομπρεσέρ SF₆, ως εξής:
 1. Αλλαγή λαδιών-συντήρηση
 2. Φίλτρο λαδιού κομπρεσέρ (καθάρισμα)
 3. Ανεπίστροφη συντήρηση, αλλαγή πιστονιού, φλάντζες
 4. Διαχωριστήρας λαδιού, αλλαγή λαδιού, φλάντζες
8. Αλλαγή φίλτρων:
 1. Φίλτρα πόλων (ανάλογα με την ημερομηνία τελευταίας αλλαγής τους)
 2. Φίλτρα κυκλώματος SF₆ (ανάλογα με την ημερομηνία τελευταίας αλλαγής τους)
9. Διαδικασία κενού:
 1. Χρόνος για κενό ως 3 Torr (4mbar) (min)
 2. Συνολικός χρόνος κενού (min)
 3. Πλήρωση με SF₆

Οι διαφορές της μεγάλης από την μικρή συντήρηση, είναι ότι η μεγάλη συντήρηση περιλαμβάνει επιπλέον την αφαίρεση αερίου SF₆ από όλους τους χώρους, ώστε να γίνει έλεγχος των κινητών και σταθερών μερών του εξοπλισμού, για αλλαγή στεγανωτικών δακτυλίων (oring), για έλεγχο πρεσοστατών και αντικατάστασή τους καθώς και για βαλβίδα διακόπτη. Αφού πραγματοποιηθούν όλα τα ανωτέρω και ολοκληρωθεί η συντήρηση, τότε γίνεται επαναπλήρωση του GIS με αέριο SF₆.

Κεφάλαιο 6: Έλεγχος πίεσης αερίου SF₆ στο GIS ενός Κέντρου Διανομής εντός Αττικής

Όπως είδαμε στο κεφάλαιο 4, ο έλεγχος της πίεσης του SF₆ στους υποσταθμούς GIS είναι κρίσιμος για την ασφαλή και αποδοτική λειτουργία του συστήματος, καθώς επηρεάζει τη διηλεκτρική αντοχή του αερίου και την αποτελεσματικότητά του. Η πίεση πρέπει να διατηρείται εντός των ορίων που καθορίζονται από το πρότυπο IEC 62271, για να αποφεύγονται ηλεκτρικά σφάλματα λόγω χαμηλής πίεσης ή μηχανικές καταπονήσεις από υπερβολική πίεση. Ο έλεγχος της πίεσης πραγματοποιείται κάθε έξι (6) μήνες.

Η παρακολούθηση πραγματοποιείται με αισθητήρες που παρέχουν ενδείξεις σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας την άμεση ανίχνευση αποκλίσεων και την ενεργοποίηση μηχανισμών προστασίας, όπως το alarm (που μας ειδοποιεί) ή την γενική μανδάλωση (που αποτρέπει τον χειρισμό). Κατά τη συντήρηση, χρησιμοποιούνται φορητά διακριβωμένα μανόμετρα για την επιβεβαίωση και σύγκριση της πίεσης με τα μανόμετρα μονάδας. Αν υπάρχουν αποκλίσεις γίνονται διορθωτικές ενέργειες όπως πλήρωση ή ανάκτηση αερίου. Αυτές οι διαδικασίες απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό για τη διασφάλιση της σωστής διαχείρισης του SF₆ και την αποφυγή περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

6.1 Case study ελέγχου πιέσεων σε ένα GIS εντός Αττικής

Έτσι λοιπόν, για να πραγματοποιήσουμε τον εξαμηνιαίο έλεγχο της πίεσης του αερίου SF₆, μεταβήκαμε σε ένα Κέντρο Διανομής εντός Αττικής, όπου διαθέτει σύστημα GIS. Το εν λόγω GIS παράχθηκε την δεκαετία του 1970 από την εταιρεία SIEMENS.

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται ο χώρος του GIS (εικόνες 6.1 και 6.2).



Εικόνα 6.1 Χώρος GIS 150kV



Εικόνα 6.2 Χώρος GIS 150kV

Για να ελέγξουμε τις πιέσεις ανοίγουμε τους χώρους του πίνακα ελέγχου, απ' όπου πραγματοποιούνται οι μετρήσεις για τον έλεγχο του αερίου SF₆. Στην παρακάτω εικόνα 6.3 υποδεικνύεται με ένα βέλος, ο χώρος απ' όπου γίνονται οι μετρήσεις του αερίου SF₆.



Εικόνα 6.3 Χώρος μανομέτρων και βαλβίδων πίεσης

Στην συνέχεια φαίνεται το φορητό μανόμετρο ή μανόμετρο αναφοράς, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις του αερίου SF₆ (εικόνα 6.4).



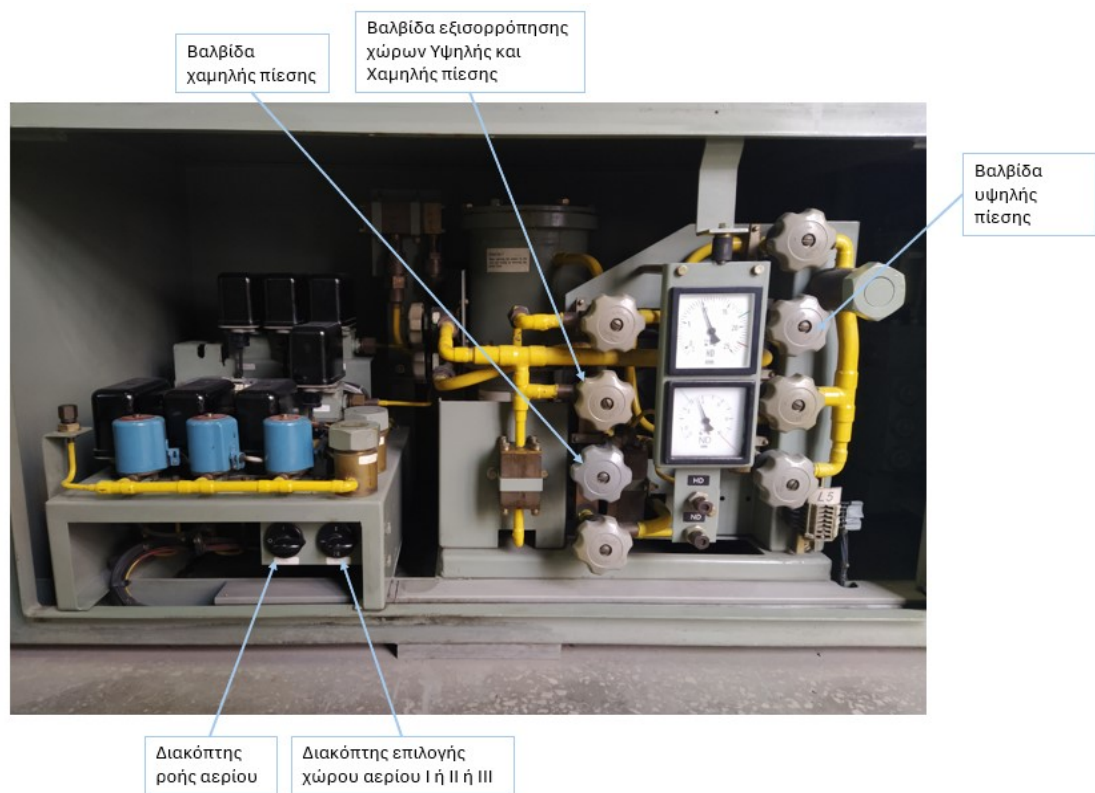
Εικόνα 6.4 Φορητό μανόμετρο

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το μανόμετρο που βρίσκεται εγκατεστημένο στην μονάδα (εικόνα 6.5).



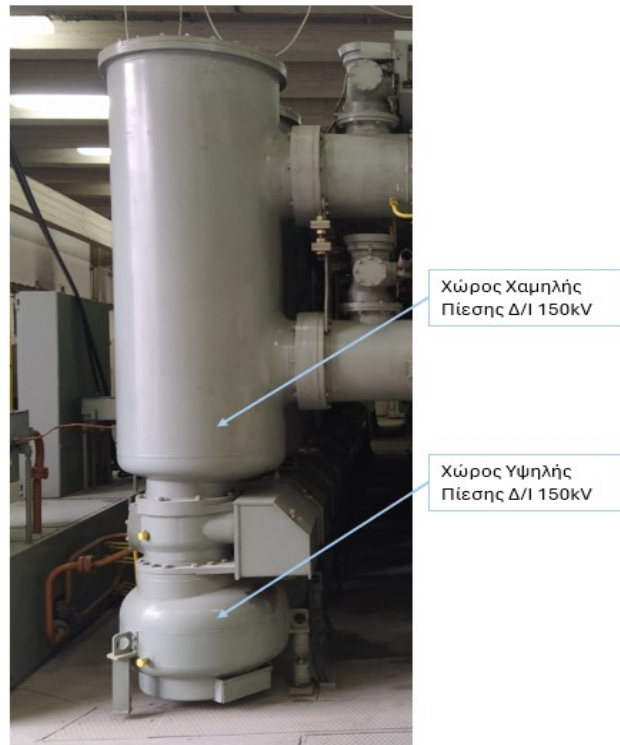
Εικόνα 6.5 Μανόμετρα μονάδας

Στην παρακάτω εικόνα 6.6 είναι σημειωμένα κάποια βασικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται κατά τον έλεγχο πίεσης του αερίου SF₆.



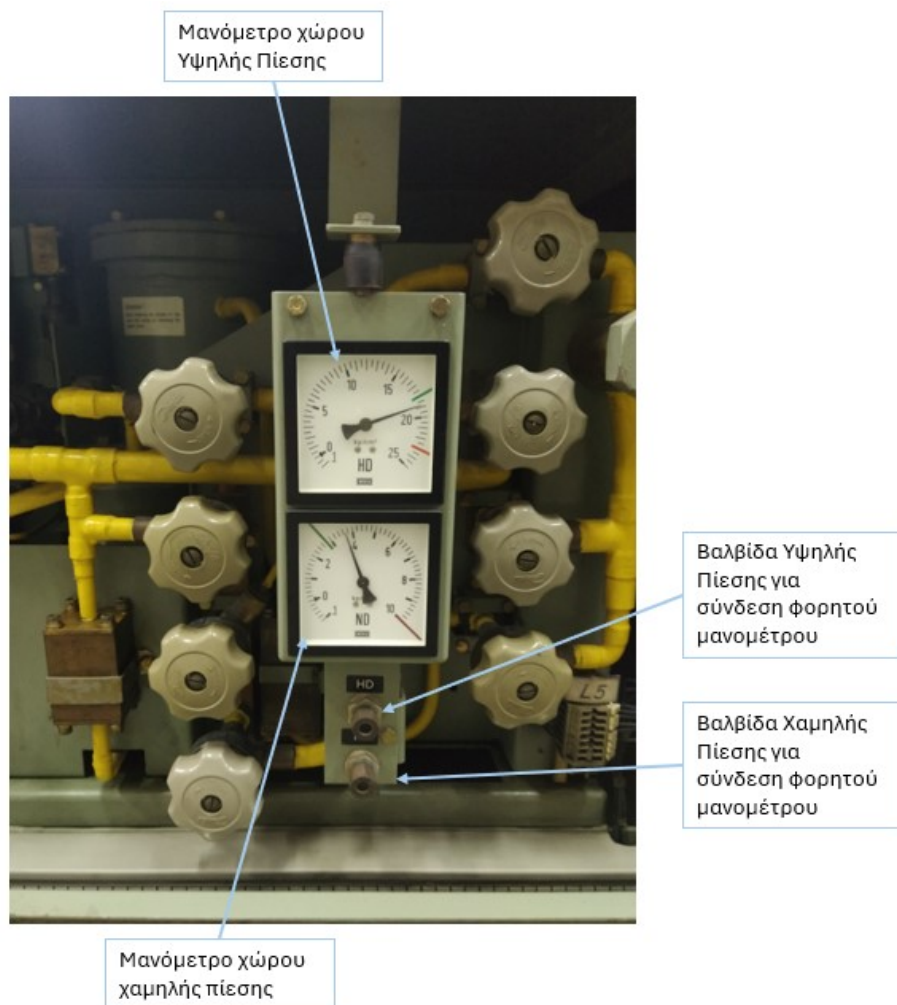
Εικόνα 6.6 Στοιχεία ελέγχου πιέσεων

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο χώρος Υψηλής και ο χώρος Χαμηλής πίεσης του Δ/Ι 150kV του GIS.



Εικόνα 6.7 Χώρος Χαμηλής και Υψηλής πίεσης Δ/Ι 150kV

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα ενσωματωμένα μανόμετρα του GIS, καθώς και οι βαλβίδες στις οποίες συνδέεται το φορητό μανόμετρο.



Εικόνα 6.8 Ενσωματωμένα μανόμετρα και βαλβίδες μέτρησης πίεσης αερίου SF_6

6.2 Έλεγχος και καταγραφή μετρήσεων πιέσεων SF₆

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι μετρήσεις που πήραμε με τη βοήθεια των μανομέτρων σε κάθε ένα πεδίο μέτρησης, στις 28 Νοεμβρίου 2024, με θερμοκρασία χώρου 20° C.

ΠΕΔΙΟ	ΧΩΡΟΣ I	ΧΩΡΟΣ II	ΧΩΡΟΣ III	ΖΥΓΟΣ I	ΖΥΓΟΣ II	Υ.Π. ΠΟΛΟΥ	Χ.Π. ΠΟΛΟΥ
P80	2,5	2,6	2,8			18,5	3,6
P75	2,5	2,5	2,3			18,6	3,6
P60	2,2	2,0	2,4			18,4	3,1
P50 ΖΕΥΞΗ ΖΥΓΩΝ	2,2	2,5		2,2	2,0	18,5	3,6
P45	2,3	2,6	2,6			18,5	3,7
P20	2,6	2,4	2,6			18,5	3,5
P15	2,6	2,5	2,6			19,0	3,6

Πίνακας 6.1 Μετρήσεις πιέσεων Νοέμβριος 2024

Οι κατώτερες τιμές λειτουργίας που δίνει ο κατασκευαστής του συγκεκριμένου GIS για θερμοκρασία χώρου 20° C είναι για τον πόλο Υψηλής Πίεσης 18bar και Χαμηλής Πίεσης 2,8bar. Για τους χώρους I, II, III δίνει 2,5bar και για τους ζυγούς δίνει 2bar. Όπως παρατηρούμε στον παραπάνω πίνακα μετρήσεων, οι τιμές των πόλων του διακόπτη είναι όλες εντός αποδεκτών ορίων. Στους υπόλοιπους χώρους των πεδίων υπάρχουν αρκετές τιμές κάτω από το όριο λειτουργίας που ορίζει ο κατασκευαστής. Τα συνεργεία που πραγματοποιούν την συντήρηση του εξοπλισμού και τους ελέγχους, προσπαθούν να κρατούν την πίεση στους χώρους I, II, III το λιγότερο στα 2,2-2,5bar. Αυτές οι τιμές εξασφαλίζουν την μονωτική ικανότητα του αερίου και παράλληλα προστατεύουν τις φλάντζες από καταπονήσεις μεγαλύτερων πιέσεων. Σύμφωνα με τα παραπάνω ο εξοπλισμός χρειάζεται πλήρωση με αέριο σε κάποιους χώρους του, όπως το πεδίο P60, στον χώρο II με τιμή 2bar. Το πεδίο P50 ζεύξης ζυγών, στον ζυγό II με τιμή 2bar χρειάζεται παρακολούθηση καθώς η τιμή του είναι οριακά αποδεκτή.

Τα συνεργεία που πραγματοποιούν τον έλεγχο των πιέσεων, προσθέτουν αέριο από μπουκάλες με καθαρό SF₆ είτε απευθείας από την μπουκάλια είτε, όταν έχει μειωθεί η πίεση

της μπουκάλας και δεν υπάρχει δυνατότητα φυσικής ροής, χρησιμοποιείται ειδική συσκευή διαχείρισης αερίου με κομπρεσέρ.

Έχοντας αυτά τα κατώτερα όρια πιέσεων στο αέριο SF₆, εξασφαλίζουμε την μονωτική του ικανότητα και τη σωστή και αδιάλειπτη λειτουργία του εξοπλισμού.

Για να μπορέσει να γίνει σύγκριση των τιμών και να εξάγουμε συμπεράσματα ως προς την απώλεια αερίου SF₆, έγινε μία καταγραφή των μετρήσεων που λήφθηκαν τα τελευταία χρόνια και πιο συγκεκριμένα από το 2020 έως το 2024.

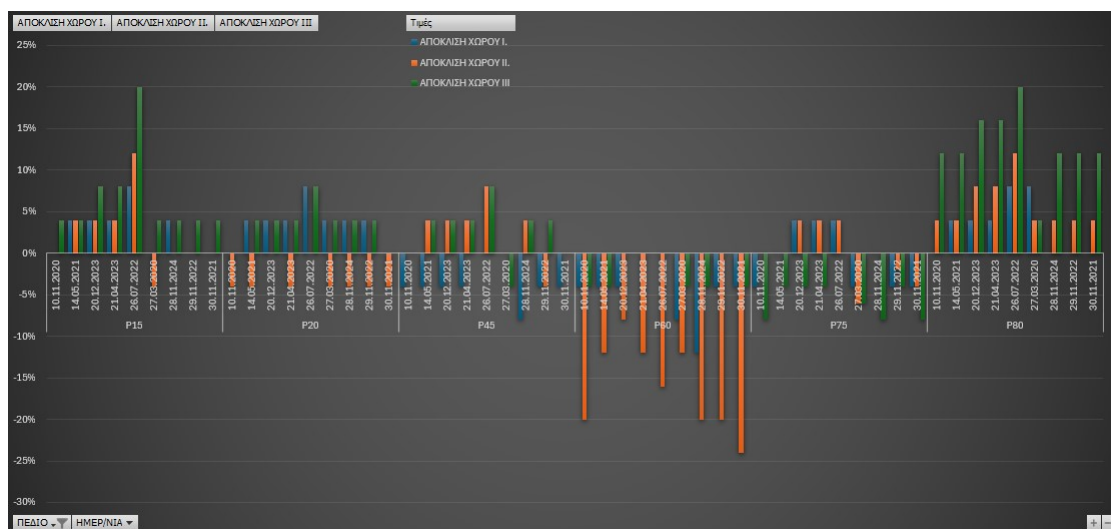
Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι μετρήσεις που καταγράφηκαν για το συγκεκριμένο GIS.

Στην τελευταία στήλη του πίνακα 6.2, φαίνονται οι χώροι στους οποίους οι τιμές των πιέσεων ήταν χαμηλές καθώς και οι νέες τιμές των πιέσεων μετά την συμπλήρωση με αέριο.

ΠΕΔΙΟ	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΧΩΡΟΣ I (bar)	ΧΩΡΟΣ II (bar)	ΧΩΡΟΣ III (bar)	ΖΥΓΟΣ I (bar)	ΖΥΓΟΣ II (bar)	Υ.Π. ΠΟΛΟΥ (bar)	Χ.Π. ΠΟΛΟΥ (bar)	ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΝΕΑΣ ΠΙΕΣΗΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ
P80	28.11.2024	20	2,5	2,6	2,8			18,5	3,6	
	20.12.2023	24	2,6	2,7	2,9			18,6	3,5	
	21.04.2023	24	2,6	2,7	2,9			18,5	3,6	
	29.11.2022	23	2,5	2,6	2,8			18,5	3,5	
	26.07.2022	32	2,7	2,8	3			18,9	3,8	
	30.11.2021	22	2,5	2,6	2,8			18,2	3,6	
	14.05.2021	24	2,6	2,6	2,8			19	3,6	
	10.11.2020	21	2,5	2,6	2,8			18,6	3,6	
	27.03.2020	22	2,7	2,6	2,6			18,6	3,6	
P75	28.11.2024	20	2,5	2,5	2,3			18,6	3,6	
	20.12.2023	24	2,6	2,6	2,4			18	3,7	
	21.04.2023	24	2,6	2,6	2,4			18,5	3,6	
	29.11.2022	23	2,4	2,45	2,4			18,5	3,6	
	26.07.2022	32	2,6	2,6	2,5			18,6	4	
	30.11.2021	22	2,4	2,4	2,3			18,7	3,6	
	14.05.2021	24	2,5	2,5	2,4			19,5	3,8	
	10.11.2020	21	2,4	2,5	2,3			18,6	3,6	
	27.03.2020	22	2,4	2,35	2,35			18,4	3,7	
P60	28.11.2024	20	2,2	2	2,4			18,4	3,1	Χώρος II: από 2 → 2,4bar
	20.12.2023	24	2,4	2,3	2,5			18	3,2	
	21.04.2023	24	2,5	2,2	2,5			18	3,2	
	29.11.2022	23	2,4	2	2,5			18,2	3,6	Χώρος II: από 2 → 2,4bar
	26.07.2022	32	2,5	2,1	2,5			18,4	3,8	Χώρος II: από 2,1 → 2,4bar
	30.11.2021	22	2,4	1,9	2,4			18,5	3,6	Χώρος II: από 1,9 → 2,3bar
	14.05.2021	24	2,4	2,2	2,4			18	3,8	
	10.11.2020	21	2,4	2	2,4			18,5	3,8	Χώρος II: από 2 → 2,6bar
	27.03.2020	22	2,3	2,2	2,4			18,2	3,6	Χώρος I: από 2,3 → 2,4bar κατ Χώρος II: από 2,2 → 2,4bar
P50 ΖΕΥΞΗ ΖΥΓΩΝ	28.11.2024	20	2,2	2,5		2,2	2	18,5	3,6	Ζυγός II: από 2 → 2,2bar
	20.12.2023	24	2,4	2,6		2,1	2,3	18,5	3,6	Ζυγός I: από 2,1 → 2,4bar
	21.04.2023	24	2,2	2,6		2,4	2,4	18,5	3,6	
	29.11.2022	23	2,3	2,5		2,3	2,3	18,5	3,6	Ζυγός II: από 2,3 → 2,5bar
	26.07.2022	32	2,4	2,6		2,5	2,4	19	3,9	
	30.11.2021	22	2,2	2,4		2,3	2,2	18,6	3,7	
	14.05.2021	24	2,2	2,6		2,4	2,2	19	3,8	
	10.11.2020	21	2,2	2,4		2,3	2,2	18,4	3,6	
	27.03.2020	22	2,2	2,5		2,4	2,2	18,2	3,6	Χώρος I: από 2,2 → 2,4bar κατ Ζυγός II: από 2,2 → 2,4bar
P45	28.11.2024	20	2,3	2,6	2,6			18,5	3,7	
	20.12.2023	24	2,4	2,6	2,6			19	3,6	
	21.04.2023	24	2,4	2,6	2,6			18,5	3,8	
	29.11.2022	23	2,4	2,4	2,6			18,5	3,7	
	26.07.2022	32	2,5	2,7	2,7			18	4	
	30.11.2021	22	2,4	2,5	2,5			18,2	3,8	
	14.05.2021	24	2,4	2,6	2,6			18,7	3,8	
	10.11.2020	21	2,4	2,5	2,5			19	3,6	
	27.03.2020	22	2,5	2,5	2,4			18,4	3,6	
P20	28.11.2024	20	2,6	2,4	2,6			18,5	3,5	
	20.12.2023	24	2,6	2,5	2,6			19	3,5	
	21.04.2023	24	2,6	2,4	2,6			18,5	3,6	
	29.11.2022	23	2,6	2,4	2,6			18,6	3,4	
	26.07.2022	32	2,7	2,5	2,7			18,6	3,8	
	30.11.2021	22	2,5	2,4	2,5			18,5	3,6	
	14.05.2021	24	2,6	2,4	2,6			18,5	2,7	
	10.11.2020	21	2,5	2,4	2,5			18,9	3,6	
	27.03.2020	22	2,6	2,4	2,6			18,4	3,6	
P15	28.11.2024	20	2,6	2,5	2,6			19	2,6	
	20.12.2023	24	2,6	2,6	2,7			19	2,8	
	21.04.2023	24	2,6	2,6	2,7			18,5	3	
	29.11.2022	23	2,5	2,5	2,6			18,9	3	
	26.07.2022	32	2,7	2,8	3			18,9	3,8	
	30.11.2021	22	2,5	2,5	2,6			18,6	3,3	
	14.05.2021	24	2,6	2,6	2,6			19	3,4	
	10.11.2020	21	2,5	2,5	2,6			18,6	3,2	
	27.03.2020	22	2,5	2,4	2,6			19	3	

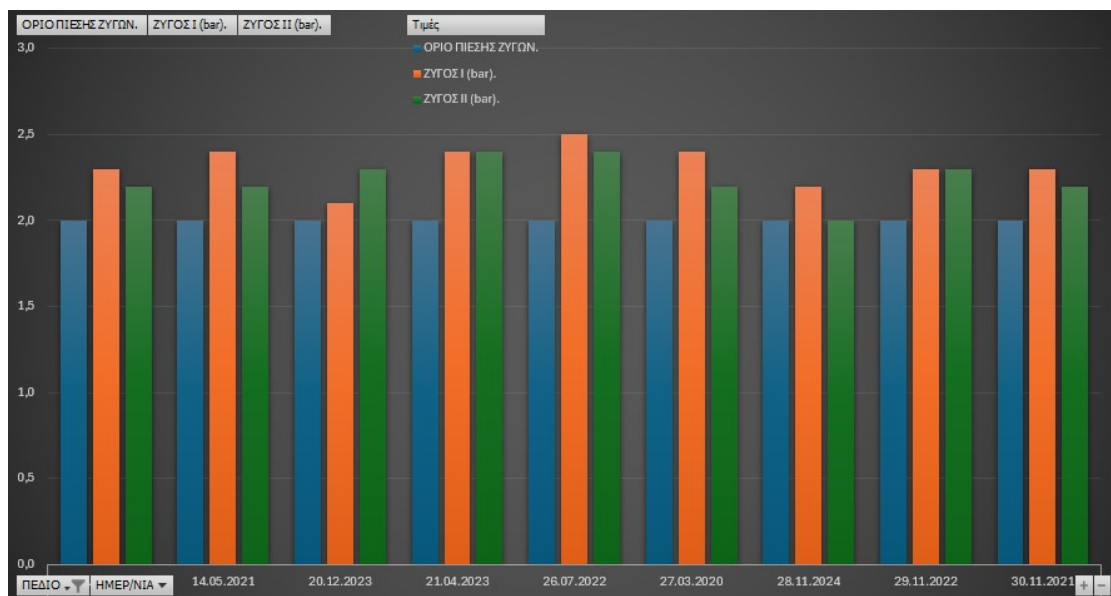
Πίνακας 6.2 Μετρήσεις πιέσεων GIS από το 2020 έως το 2024

Παρακάτω φαίνεται η γραφική απεικόνιση των αποκλίσεων της πίεσης στους χώρους I, II και III (με αποδεκτές τιμές $\geq 2,5\text{bar}$).



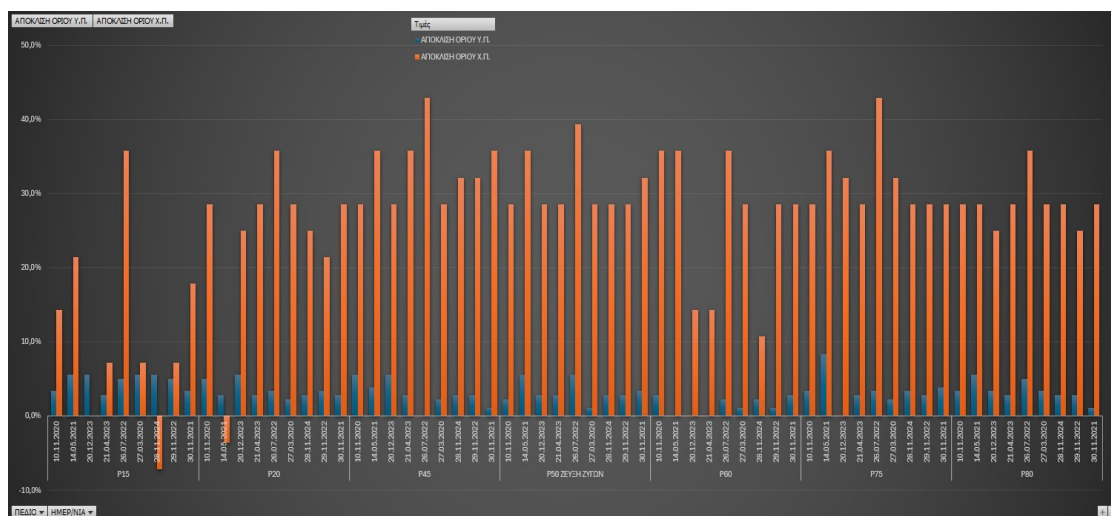
Εικόνα 6.9 Απεικόνιση των αποκλίσεων της πίεσης των χώρων I, II και III

Παρακάτω φαίνεται η γραφική απεικόνιση των αποκλίσεων της πίεσης στους χώρους των ζυγών (με αποδεκτές τιμές $\geq 2\text{bar}$).



Εικόνα 6.10 Απεικόνιση των αποκλίσεων της πίεσης στους χώρους των ζυγών

Παρακάτω φαίνεται η γραφική απεικόνιση των αποκλίσεων της πίεσης στους χώρους των πόλων Υψηλής και Χαμηλής Πίεσης των Διακοπών Ισχύος (με αποδεκτές τιμές Υ.Π. $\geq 18\text{bar}$ και Χ.Π. $\geq 2,8\text{bar}$).



Εικόνα 6.11 Απεικόνιση των αποκλίσεων της πίεσης στους χώρους των πόλων Υψηλής και Χαμηλής Πίεσης των Διακοπών Ισχύος

Από τον πίνακα 6.2 και τις γραφικές απεικονίσεις των αποκλίσεων της πίεσης των διάφορων χώρων (Εικόνα 6.9, 6.10 και 6.11) μπορούμε να βγάλουμε κάποια συμπεράσματα. Όμως πρώτα θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ο ανθρώπινος παράγοντας, ο οποίος παίζει σημαντικό ρόλο κατά την λήψη των μετρήσεων καθώς τα μανόμετρα είναι αναλογικά και η λήψη των τιμών, μπορεί να διαφέρει ανάλογα τον παρατηρητή. Επίσης σημαντικό ρόλο παίζει η ακρίβεια του οργάνου καθώς επίσης και η θερμοκρασία του χώρου, η οποία επηρεάζει την πίεση του αερίου, άρα και τις μετρήσεις.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

1. Οι μετρήσεις δείχνουν γενικά σταθερότητα, με μικρές διακυμάνσεις στις πιέσεις ανά τα χρόνια, γεγονός που υποδηλώνει καλή συντήρηση και λειτουργία του GIS.
2. Σε περιπτώσεις όπου οι πιέσεις αποκλίνουν από τα επιθυμητά όρια, πραγματοποιήθηκε συμπλήρωση SF₆, όπως καταγράφεται στην τελευταία στήλη του πίνακα 6.2. Αυτό δείχνει ότι το σύστημα παρακολουθείται και διορθώνεται όταν απαιτείται.

3. Ειδικότερα στον Χώρο II του πεδίου P60, παρατηρούνται συχνότερες πτώσεις της πίεσης, κάτι που υποδεικνύει μικρές διαρροές ή φυσική απώλεια αερίου λόγω της παρόδου του χρόνου.
4. Σε ορισμένες ημερομηνίες και πεδία, υπήρξε ανάγκη συμπλήρωσης SF₆, κυρίως για να διατηρηθεί η πίεση εντός των επιθυμητών ορίων. Οι νέες τιμές πιέσεων δείχνουν ότι το σύστημα δεν παρουσιάζει μόνιμες βλάβες ή σοβαρές διαρροές.
5. Η πίεση στους πόλους είναι πιο υψηλή και παρουσιάζει μεγαλύτερη διακύμανση, γεγονός που συνδέεται με τον τρόπο λειτουργίας τους.
6. Παρατηρείται ότι οι πιέσεις είναι ελαφρώς υψηλότερες κατά τους θερινούς μήνες (Ιούλιος), ενώ το χειμώνα οι πιέσεις τείνουν να είναι χαμηλότερες. Αυτές οι αποκλίσεις είναι λογικές καθώς όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η θερμοκρασία του χώρου παίζει σημαντικό ρόλο στις μετρήσεις λόγω της διαστολής και συστολής του αερίου.

Στους χώρους όπου εμφανίζουν συστηματική μείωση της πίεσης θα πρέπει να γίνει έλεγχος μικροδιαρροών (στη δομή του εξοπλισμού), συνεχής παρακολούθηση καθώς και προγραμματισμένες συμπληρώσεις αερίου. Ειδικότερα για το πεδίο P60, προτείνεται έλεγχος διαρροής αερίου με ανιχνευτές, πιθανή αντικατάσταση φλαντζών ή στεγανώσεων ανάλογα με τα ευρήματα και συστηματικότερη παρακολούθηση, λόγω των απωλειών που εμφανίζει το συγκεκριμένο πεδίο.

Κεφάλαιο 7: Καταγραφή μετρήσεων κατά την συντήρηση ενός GIS

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται καταγραφή των μετρήσεων μιας συντήρησης GIS 150kV το οποίο βρίσκεται εντός Αττικής. Η συντήρηση των πεδίων του GIS πραγματοποιήθηκε εντός του 2024 τους μήνες Σεπτέμβρη έως Δεκέμβρη. Το συγκεκριμένο GIS έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Έτος κατασκευής: 1970
- Κατασκευαστής: SIEMENS
- Rated Voltage: 150/170kV
- Ονομαστικό ρεύμα: 1250A (τροφοδοσίας) και 1600A (ζυγών)
- Συχνότητα λειτουργίας: 50Hz

Αφού ακολουθήθηκαν τα βήματα και η διαδικασία που αναλύεται διεξοδικά στο κεφάλαιο 5, παρατίθενται οι αντίστοιχες μετρήσεις που καταγράφηκαν.

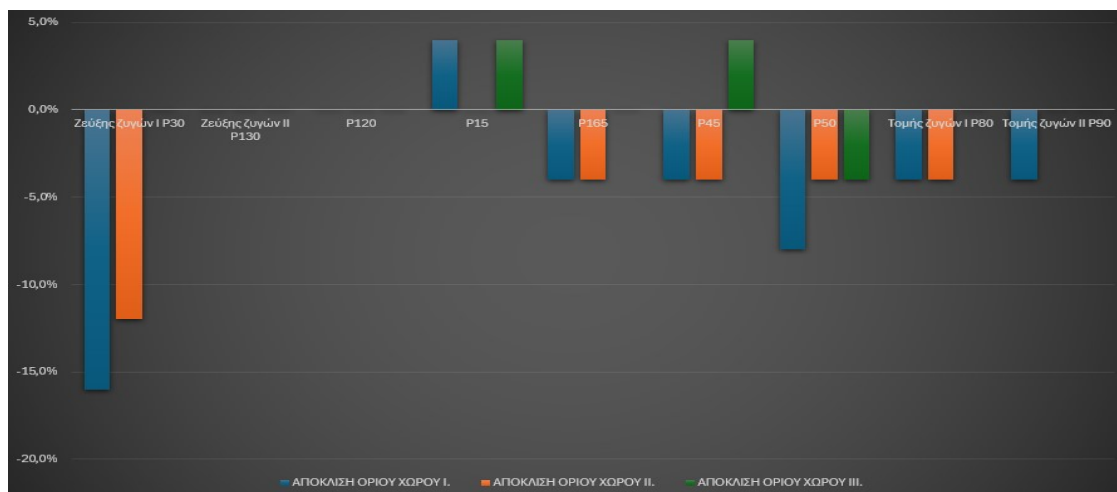
7.1 Καταγραφή μετρήσεων

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι μετρήσεις των πιέσεων του αερίου SF₆ που λήφθηκαν κατά τη συντήρηση του GIS το 2024. Βάσει των χαρακτηριστικών του κατασκευαστή του συγκεκριμένου GIS η Υψηλή Πίεση (Υ.Π.) θα πρέπει να είναι 18bar ενώ η Χαμηλή Πίεση (Χ.Π.) 2,8bar. Η πίεση εξισορρόπησης θα πρέπει να είναι 5,2-5,3bar, η πίεση στους χώρους I, II και III θα πρέπει να είναι 2,5bar και η πίεση στους χώρους των ζυγών να είναι 2bar. Όλες οι παραπάνω πιέσεις αφορούν θερμοκρασία 20° C.

ΠΕΔΙΟ	Θερμοκρασία (°C)	Πίεση Χώρου I (bar)	Πίεση Χώρου II (bar)	Πίεση Χώρου III (bar)	Πίεση Ζυγός I (bar)	Πίεση Ζυγός II (bar)	Υ.Π. Πόλου Δ/Ι (bar) (Όργανο μονάδας)	Υ.Π. Πόλου Δ/Ι (bar) (Φορητό όργανο)	Χ.Π. Πόλου Δ/Ι (bar) (Όργανο μονάδας)	Χ.Π. Πόλου Δ/Ι (bar) (Φορητό όργανο)	Πίεση εξισορρόπησης (bar)
P15	22	2,6	2,5	2,6			18	18	3,4	3,4	5,4
P45	21	2,4	2,4	2,6			18,1	17,5	3,4	3,4	5,5
P120	22	2,5	2,5	2,5			18,6	17,7	3,6	3,3	5,4
P165	22	2,4	2,4	2,5			18	17,2	3,6	3,4	5,3
P50	22	2,3	2,4	2,4			18,8	17,5	2,8	2,7	5
Ζεύξης ζυγών I P30	21	2,1	2,2		2,6	2,6	18	17	3,6	3,4	5,4
Ζεύξης ζυγών II P130	22	2,5	2,5		2,5	2,5	18,6	17,7	3,4	3,2	5,4
Τομής ζυγών I P80	21	2,4	2,4				18	17,6	3,3	3,4	5,5
Τομής ζυγών II P90	21	2,4	2,5				18,7	17,6	3,2	2,9	5,3

Πίνακας 7.1 Μετρήσεις πιέσεων GIS

Παρακάτω φαίνεται η γραφική απεικόνιση των αποκλίσεων της πίεσης στους χώρους I, II και III (με αποδεκτές τιμές 2,5bar).



Εικόνα 7.1 Απεικόνιση των αποκλίσεων της πίεσης των χώρων I, II και III

Όπως παρατηρούμε από τον πίνακα πιέσεων 7.1 και την απεικόνιση των αποκλίσεων (εικόνα 7.1), οι πιέσεις στους χώρους I και II κυμαίνονται από 2,1bar έως 2,6bar, με αποδεκτό κατώτατο όριο λειτουργίας κατασκευαστή τα 2,5bar.

Τα συνεργεία που πραγματοποιούν την συντήρηση του εξοπλισμού και τους ελέγχους, προσπαθούν να κρατούν την πίεση στους χώρους I, II, III το λιγότερο στα 2,2-2,5bar. Αυτές οι τιμές εξασφαλίζουν την μονωτική ικανότητα του αερίου και παράλληλα προστατεύουν τις φλάντζες από καταπονήσεις μεγαλύτερων πιέσεων.

Έτσι σύμφωνα με τις ανωτέρω τιμές, θα πρέπει να γίνει πλήρωση με αέριο SF₆ σε κάποιους από αυτούς τους χώρους καθώς βλέπουμε αποκλίσεις μεγαλύτερες του 10-15% (π.χ. πεδίο P30 με 2,1bar).

Οι τιμές των ζυγών I και II, στις ζεύξεις των ζυγών είναι αποδεκτές αφού κυμαίνονται από 2,5-2,6bar και το κατώτατο όριο του κατασκευαστή είναι τα 2,5bar.

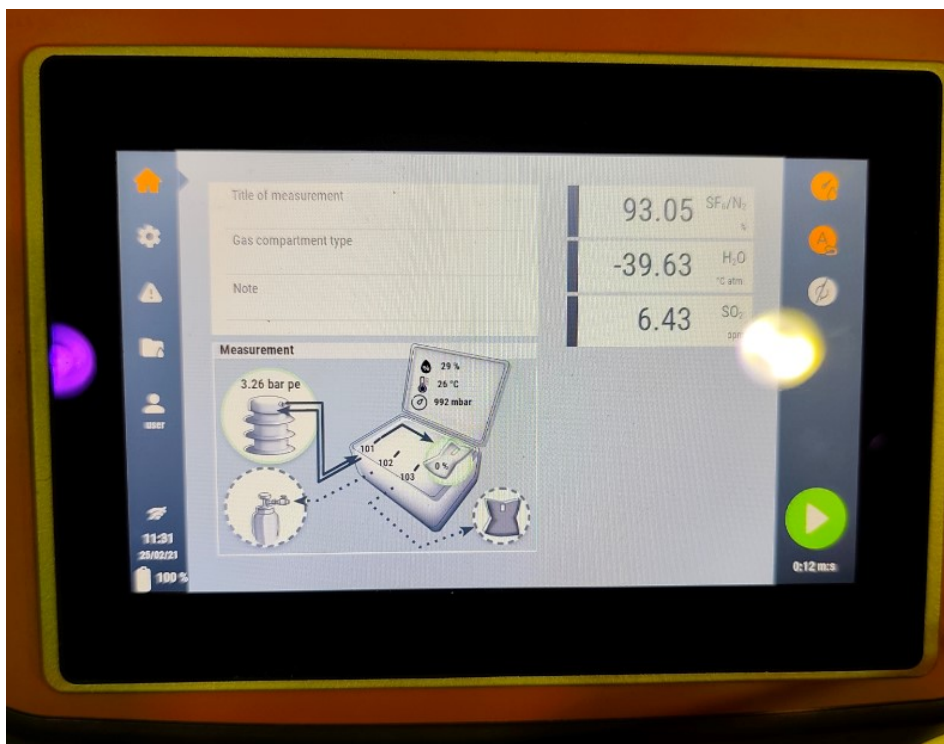
Οι τιμές της πίεσης εξισορρόπησης είναι αποδεκτές (>5,2bar) εκτός από εκείνη των 5bar του πεδίου P50.

Στους χώρους της Υψηλής πίεσης έχουμε τιμές 17-18,8bar και της Χαμηλής πίεσης και 2,7-3,6bar, αντίστοιχα. Εδώ παρατηρούμε χαμηλότερες τιμές όταν οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με το φορητό μανόμετρο σε σχέση με αυτές που μας δίνει το όργανο που είναι εγκατεστημένο στην μονάδα. Το φορητό όργανο διακριβώθηκε περίπου τέσσερις μήνες πριν την ημερομηνία λήψης των μετρήσεων, άρα μπορούμε να βασιστούμε περισσότερο στις μετρήσεις του, σε σχέση με το μανόμετρο της μονάδας. Έτσι θα πρέπει να πραγματοποιηθεί πλήρωση με αέριο SF₆ στους χώρους όπου οι πιέσεις είναι χαμηλότερες από τις τιμές λειτουργίας του κατασκευαστή.

Μετά τα παραπάνω, παρατηρούμαι ότι είναι απαραίτητες οι μετρήσεις και ο συνεχής έλεγχος του εξοπλισμού ώστε να εξασφαλίζεται η καλή και αδιάληπτη λειτουργία του. Στις περιπτώσεις που βρέθηκαν χαμηλές πιέσεις σε συγκεκριμένα πεδία, θα πρέπει να γίνει έλεγχος διαρροών, πλήρωση με αέριο και παρακολούθηση.

Στον παρακάτω πίνακα (7.2) φαίνονται οι τιμές των μετρήσεων καθαρότητας του αερίου SF₆, στους διάφορους χώρους του GIS. Η καθαρότητα σε αέριο SF₆ θα πρέπει να βρίσκεται μεταξύ των τιμών 97,0-99,9%, ώστε να εξασφαλίζεται μονωτική ικανότητα του αερίου και η σβέση των τόξων. Οι μετρήσεις έγιναν με ειδική συσκευή ανάλυσης αερίου. Αφού συνδεθεί η συσκευή στο εκάστοτε πεδίο και ενεργοποιηθεί, εισάγει αέριο (λίγα γραμμάρια) σε μια ειδική σακούλα που διαθέτει στο εσωτερικό της, αναλύει το περιεχόμενό του και έπειτα επιστρέφει το αέριο είτε πίσω στην μονάδα είτε σε ειδική φιάλη, ανάλογα με την ρύθμιση που της ορίζουμε. Στην παρακάτω εικόνα 7.2 φαίνεται η συνδεσμολογία που

επιλέξαμε δηλαδή μεταφορά αερίου από τον διακόπτη προς την σακούλα για μέτρηση και έπειτα επιστροφή του αερίου πίσω στον διακόπτη. Επίσης στα δεξιά της εικόνας εμφανίζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων καθαρότητας, σημείο δρόσου και παραπροϊόντων (οι τιμές που εμφανίζονται στην προκειμένη περίπτωση είναι από παλαιότερες αποθηκευμένες μετρήσεις).

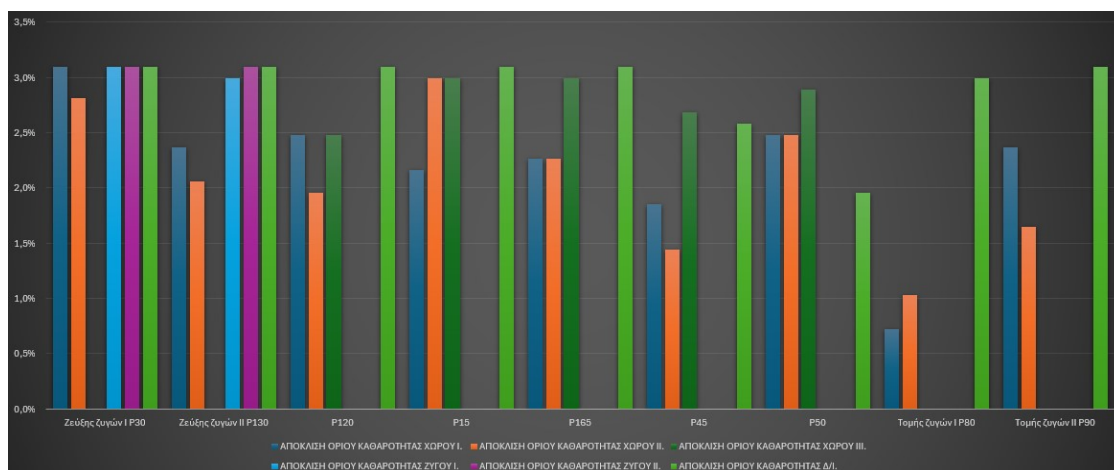


Εικόνα 7.2 Οθόνη αναλυτή αερίου

ΠΕΔΙΟ	Θερμοκρασία (°C)	Καθαρότητα SF6 Χώρος I (%)	Καθαρότητα SF6 Χώρος II (%)	Καθαρότητα SF6 Χώρος III (%)	Καθαρότητα SF6 Ζυγός I (%)	Καθαρότητα SF6 Ζυγός II (%)	Καθαρότητα SF6 Δ/I (%)
P15	22	99,1	99,9	99,9			100,0
P45	21	98,8	98,4	99,6			99,5
P120	22	99,4	98,9	99,4			100,0
P165	22	99,2	99,2	99,9			100,0
P50	22	99,4	99,4	99,8			98,9
Ζεύξης ζυγών I P30	21	100,0	99,7		100,0	100,0	100,0
Ζεύξης ζυγών II P130	22	99,3	99,0		99,9	100,0	100,0
Τομής ζυγών I P80	21	97,7	98,0				99,9
Τομής ζυγών II P90	21	99,3	98,6				100,0

Πίνακας 7.2 Μετρήσεις καθαρότητας SF₆ (%)

Παρακάτω φαίνεται η γραφική απεικόνιση των αποκλίσεων της καθαρότητας του αερίου SF₆ ανά πεδίο και χώρο.



Εικόνα 7.3 Απεικόνιση των αποκλίσεων της καθαρότητας του αερίου

Από τον πίνακα 7.2 και την παραπάνω απεικόνιση των αποκλίσεων, παρατηρούμε ότι οι τιμές περιεκτικότητας SF₆ είναι υψηλές και εντός αποδεκτών ορίων αφού κυμαίνονται μεταξύ 97,7% - 100%. Αυτό σημαίνει ότι το αέριο του GIS βρίσκεται σε πολύ καλή κατάσταση. Αν οι τιμές ήταν κοντά στο 97% θα έπρεπε να γίνεται συχνός έλεγχος τους καθώς θα ήταν οριακά αποδεκτές. Αν οι τιμές ήταν κάτω από το 97%, θα έπρεπε να αφαιρεθεί το αέριο από τον αντίστοιχο χώρο του GIS, να μεταφερθεί σε ειδική μπουκάλια

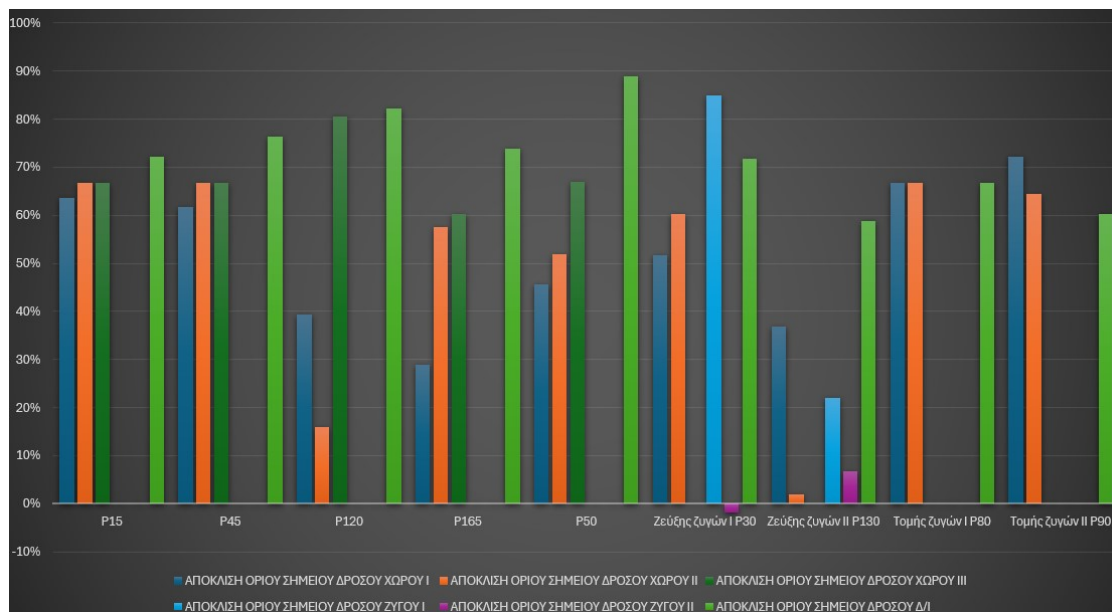
με κίτρινη σήμανση (για μη καθαρό αέριο) και έπειτα να γίνει πλήρωση του διακόπτη με καθαρό αέριο.

Στον παρακάτω πίνακα (7.3) καταγράφηκαν οι τιμές μέτρησης του σημείου δρόσου ανά χώρο. Οι μετρήσεις του σημείου δρόσου πραγματοποιείται με τον αναλυτή αερίου όπως περιεγράφηκε παραπάνω. Το σημείο δρόσου στους διάφορους χώρους του GIS θα πρέπει να είναι μικρότερο από -40°C ώστε να μειώνεται ο κίνδυνος ηλεκτρικής διάσπασης λόγω υγρασίας. Η μέτρηση γίνεται με αναλυτή αερίου, ο οποίος ανιχνεύει την υγρασία στο SF_6 .

ΤΕΔΙΟ	Θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)	Σημείο δρόσου Χώρος I	Σημείο δρόσου Χώρος II	Σημείο δρόσου Χώρος III	Σημείο δρόσου Ζυγός I	Σημείο δρόσου Ζυγός II	Σημείο δρόσου Δ/I
P15	22	-58,9	-60,0	-60,0			-62,0
P45	21	-58,2	-60,0	-60,0			-63,5
P120	22	-50,2	-41,7	-65,0			-65,6
P165	22	-46,4	-56,7	-57,7			-62,6
P50	22	-52,4	-54,7	-60,1			-68,0
Ζεύξης ζυγών I P30	21	-54,6	-57,7		-66,6	-35,3	-61,8
Ζεύξης ζυγών II P130	22	-49,3	-36,7		-43,9	-38,4	-57,2
Τομής ζυγών I P80	21	-60,0	-60,0				-60,0
Τομής ζυγών II P90	21	-62,0	-59,2				-57,7

Πίνακας 7.3 Μετρήσεις σημείου δρόσου ($^{\circ}\text{C}$)

Παρακάτω φαίνεται η γραφική απεικόνιση των αποκλίσεων των μετρήσεων, του σημείου δρόσου, όλων των χώρων και των πεδίων του GIS.



Εικόνα 7.4 Απεικόνιση των αποκλίσεων του σημείου δρόσου

Οι αποδεκτές τιμές σημείου δρόσου είναι από τους -36°C και κάτω. Έτσι από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται πως όλες οι τιμές είναι αποδεκτές, εκτός από την τιμή $-35,3^{\circ}\text{C}$, του ζυγού II του πεδίου P30, για την οποία θα πρέπει να επαναληφθεί η μέτρηση και αν συνεχίζει να είναι εκτός ορίου θα πρέπει να γίνει εξαγωγή του αερίου, φιλτράρισμα και επαναπλήρωση. Επίσης η τιμή $-36,7^{\circ}\text{C}$ είναι οριακά αποδεκτή, έτσι θα πρέπει να παρακολουθείται.

Η διατήρηση χαμηλής συγκέντρωση υγρασίας στο μίγμα SF_6 , είναι κρίσιμη για την διηλεκτρική αντοχή του αερίου.

Παρακάτω φαίνεται η καταγραφή των μετρήσεων των παραπροϊόντων διοξειδίου του θείου του GIS σε ppm (parts per million), η οποία πραγματοποιείται με τον αναλυτή αερίου όπως περιεγράφηκε παραπάνω.

ΠΕΔΙΟ	Παραπροϊόντα SO ₂ (PPM) Χώρος Ι	Παραπροϊόντα SO ₂ (PPM) Χώρος ΙΙ	Παραπροϊόντα SO ₂ (PPM) Χώρος ΙΙΙ	Παραπροϊόντα SO ₂ (PPM) Δ/Ι	Παραπροϊόντα SO ₂ (PPM) Ζυγός Ι	Παραπροϊόντα SO ₂ (PPM) Ζυγός ΙΙ
P15	0	0	0	0		
P45	0	1,44	0	0		
P120	3,4	2,2	2,7	0		
P165	3,1	0	0	0		
P50	0	0	2,3	0		
ύξης ζυγών Ι P30	0	0		0	0	0
Ζεύξης ζυγών ΙΙ P130	3,1	2,4		0	0	4,1
ής ζυγών Ι P80	2,17	0		0		
Τομής ζυγών ΙΙ P90	2,9	2,6		0		

Πίνακας 7.4 Παραπροϊόντα SO₂ (ppm)

Παρακάτω φαίνεται η γραφική απεικόνιση των αποκλίσεων, των μετρήσεων των παραπροϊόντων, από το όριο των 12ppm.



Εικόνα 7.5 Απεικόνιση των αποκλίσεων του σημείου δρόσου

Το αποδεκτό ανώτατο όριο εμφάνισης παραπροϊόντων στο αέριο είναι τα 12ppm SO₂. Από τον πίνακα 7.4 παρατηρούμε ότι σε αρκετά πεδία τα παραπροϊόντα είναι μηδενικά, που σημαίνει ότι δεν υπάρχουν καθόλου παραπροϊόντα λόγω διάσπασης του αερίου. Στα υπόλοιπα πεδία οι τιμές δεν είναι μηδενικές, αλλά είναι χαμηλότερες από το αποδεκτό ανώτατο όριο, άρα αποδεκτές. Τα ανωτέρω επιβεβαιώνονται και από την απεικόνιση των αποκλίσεων (εικόνα 7.5), όπου όλες οι τιμές είναι χαμηλότερες από το ανώτερο όριο.

Στον παρακάτω πίνακα 7.5 φαίνεται η καταγραφή των τιμών των ελέγχων κάποιων πρεσοστατών. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν όπως ακριβώς περιγράφουν τα βήματα του κεφαλαίου 5.

ΠΕΔΙΟ	Μανόμετρο	Εκκίνηση e60 Start 17,4-17,6 Stop 18	Χ.Π. e562 Start 15,6 Stop 15,8- 16,3	Γενική μανδάλωση e512 Start 14,4 Stop 14,6-15,1
P15	Μανόμετρο μονάδας	17,6-18	15,6-16	14,4-14,9
	Φορητό μανόμετρο	17,6-18	15,7-16	14,4-14,9
P45	Μανόμετρο μονάδας	18-18,2	15,5-15,9	14,4-14,9
	Φορητό μανόμετρο	17,4-17,5	15,0-15,4	13,9-14,4
P120	Μανόμετρο μονάδας	17,9-18,1	15,4-16	14,4-14,4
	Φορητό μανόμετρο	17,4-17,5	14,9-15,4	13,9-14,3
P165	Μανόμετρο μονάδας	17,8-18	15,5-16	14,6-15
	Φορητό μανόμετρο	17-17,2	15-15,4	14,2-14,5
P50	Μανόμετρο μονάδας	18-18,5	15,9-16,4	15-15,2
	Φορητό μανόμετρο	17,8-17,8	15-15,3	14-14,2
Ζεύξης ζυγών I P30	Μανόμετρο μονάδας	17,6-18	15,8-16,1	14,5-15
	Φορητό μανόμετρο	16,7-17,5	15-15,2	13,9-14,2
Ζεύξης ζυγών II P130	Μανόμετρο μονάδας	18,4-18,9	15,8-16	14,3-14,5
	Φορητό μανόμετρο	17,5-17,5	14,8-15	13,4-13,6
Τομής ζυγών II P80	Μανόμετρο μονάδας	17,8-18	15,9-16,2	14,5-14,9
	Φορητό μανόμετρο	17,4-17,6	15,5-15,7	14,2-14,5
Τομής ζυγών I P90	Μανόμετρο μονάδας	18,2-18,6	16,3-16,6	14,9-15,2
	Φορητό μανόμετρο	17,2-17,6	15,4-15,7	14,1-14,4

Πίνακας 7.5 Τιμές ελέγχου πρεσοστατών I

Ο πρεσοστάτης e60 ελέγχει την πίεση του χώρου ΥΠ του ΔΙ και εκκινεί τον συμπιεστή όταν η πίεση πάει στα 17,4 bar. Οι επιθυμητές τιμές έναρξης του συμπιεστή είναι 17,4-17,6 bar και θα πρέπει να σταματάει στα 18 bar. Από τις μετρήσεις που καταγράψαμε στον παραπάνω πίνακα φαίνεται πως η εκκίνηση του συμπιεστή πραγματοποιείται τις περισσότερες φορές σε αποδεκτές τιμές. Όπου οι τιμές έχουν

αποκλίσεις από τις αποδεκτές εντός των ορίων ± 2 , θα πρέπει να πραγματοποιηθεί συντήρηση του αντίστοιχου πρεσοστάτη.

Επίσης φαίνεται μια διαφορά μεταξύ των δυο μανομέτρων. Όπως είδαμε και παραπάνω, το φορητό όργανο διακριβώθηκε πρόσφατα σε σχέση με το όργανο της μονάδας, έτσι μπορούμε να βασιστούμε στις μετρήσεις του. Το όργανο της μονάδας λόγω παλαιότητας έχει κάποιες αποκλίσεις και θα πρέπει να συντηρηθεί.

Αντίστοιχες ενέργειες θα πρέπει να γίνουν και για τον πρεσοστάτη e562, ο οποίος ελέγχει την πίεση του χώρου ΥΠ του ΔΙ και δίνει alarm όταν η πίεση πάει στα 15,6 bar. Το Alarm θα πρέπει να σταματάει στα 15,8-16,3bar.

Ο πρεσοστάτης e512 ελέγχει την πίεση του χώρου Υ.Π. του Δ/Ι και δίνει γενική μανδάλωση στον Δ/Ι όταν η πίεση πάει στα 14,4 bar. Η μανδάλωση φεύγει στα 14,6-15,1bar. Όπου υπάρχουν αποκλίσεις από τις αναμενόμενες θα πρέπει να επαναληφθούν οι μετρήσεις και αν συνεχίζουν να έχουν απόκλιση, θα πρέπει να γίνει συντήρηση των πρεσοστατών,

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι τιμές από τον έλεγχο κάποιων επιπλέον πρεσοστατών.

	Μανόμετρο	Εκκίνηση e4,3 190-185	Γενική μανδάλωση E4,1 155-150	Ασφαλιστική βαλβίδα Άνοιγμα 250-260 Κλείσιμο 235		Alarm ΧΠ e53 Start 2 Stop 2,8	Χρόνος λειτουργίας από το e4,3
P15	Μανόμετρο μονάδας	180-195	160-165	258	220	OK	14,36sec
	Φορητό μανόμετρο	170-185	152-155	258	210		
P45	Μανόμετρο μονάδας	185-200	150-152	260	249	OK	12,81sec
	Φορητό μανόμετρο	180-190	145-150	250	240		
P120	Μανόμετρο μονάδας	187-190	148-150	253	245	OK	15,11
	Φορητό μανόμετρο	178-180	145-148	240	230		
P165	Μανόμετρο μονάδας	180-200	155-160	270	245	OK	15,57sec
	Φορητό μανόμετρο	175-190	150-153	255	235		
P50	Μανόμετρο μονάδας	200-212	150-163	258	250	OK	15,3sec
	Φορητό μανόμετρο	192-208	150-158	250	240		
Ζεύξης ζυγών I P30	Μανόμετρο μονάδας	180-190	155-158	260	250	OK	8,06sec
	Φορητό μανόμετρο	172-180	152-155	240	230		
Ζεύξης ζυγών II P130	Μανόμετρο μονάδας	188-200	153-158	252	245	OK	15,4sec
	Φορητό μανόμετρο	178-188	150-153	242	230		
Τομής ζυγών II P80	Μανόμετρο μονάδας	182-200	152-154	250	240	OK	8,02sec
	Φορητό μανόμετρο	179-197	148-150	240	230		
Τομής ζυγών I P90	Μανόμετρο μονάδας	185-205	155-157	255	240	OK	7,90sec
	Φορητό μανόμετρο	177-196	148-151	236	220		

Πίνακας 6.6 Πίνακας ελέγχου πρεσοστατών II

Από τον έλεγχο του υδραυλικού συστήματος του πρεσοστάτη e4.3, ο οποίος ελέγχει τις εκκινήσεις της αντλίας λαδιού του υδραυλικού συστήματος οπλισμού, περιμένουμε τιμές έναρξης 185 και κλεισίματος 190bar. Με βάσει τις τιμές του πίνακα 6.6 ο πρεσοστάτης e4.3 λειτουργεί αρκετά καλά σε όλα τα πεδία μέτρησης.

Ο πρεσοστάτης e4.1 προκαλεί γενική μανδάλωση του υδραυλικού συστήματος στο Δ/Ι 150 KV σε πίεση έναρξης 155 bar και κλεισίματος 150 bar. Οι τιμές κατά τον έλεγχο είναι πολύ κοντά στις επιθυμητές τιμές, το οποίο επιβεβαιώνει την καλή λειτουργία του πρεσοστάτη e4.1.

Για την ασφαλιστική βαλβίδα θέλουμε τιμές ανοίγματος 250-260bar και κλεισίματος 235bar. Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι οι τιμές είναι αρκετά κοντά στις επιθυμητές, με κάποιες εξαιρέσεις όπου οι τιμές βρέθηκαν εκτός ορίων (άνοιγμα 236bar και κλείσιμο 210bar). Εκεί όπου υπάρχουν αποκλίσεις, θα πρέπει να γίνει επανέλεγχος και συντήρηση.

Ο προεσοστάτης e53, δίνει Alarm χαμηλής πίεσης στον Χώρο της Χαμηλής Πίεσης του Δ/Ι για πίεση κάτω των 2bar και απενεργοποιεί το alarm για πίεση από 2,8bar και πάνω. Κατά τον έλεγχο του παρατηρήθηκε ότι λειτουργεί εντός των ορίων.

Η τελευταία στήλη του πίνακα μας δείχνει τον χρόνο λειτουργίας της αντλίας από την ενεργοποίηση του e4.3.

Παρακάτω φαίνεται η καταγραφή των μετρήσεων της πίεσης του αζώτου, στους διάφορους χώρους του GIS.

ΠΕΔΙΟ	Θερμοκρασία (°C)	Πίεση χώρου Υ.Π. N ₂ (Όργανο μονάδας)	Πίεση χώρου Υ.Π. N ₂ (Φορητό όργανο)	Έλεγχος alarm υπερπίεσης d42 (225+10bar) Μανόμετρο μονάδας/φορητό
P15	22	95	92	240/230
P45	21	95	90	228/230
P120	22	98	96	230/220
P165	22	95	92	230/220
P50	22	98	92	222/220
Ζεύξης ζυγών I P30	21	95	92	230/215
Ζεύξης ζυγών II P130	22	98	98	230/212
Τομής ζυγών I P80	21	95	95	230/220
Τομής ζυγών II P90	21	95	92	228/216

Πίνακας 7.7 Μετρήσεις πιέσεων αζώτου N₂

Οι επιθυμητές τιμές αζώτου του χώρου Υψηλής πίεσης είναι 95-105bar. Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι υπάρχουν αποκλίσεις ειδικά κατά τις μετρήσεις με το φορητό όργανο. Το όργανο θα πρέπει να επανελεγχθεί. Αν οι τιμές παραμείνουν χαμηλότερα από τις αποδεκτές, τότε θα πρέπει να γίνει συντήρηση και πλήρωση με άζωτο.

Στην τελευταία στήλη του πίνακα 7.7 φαίνονται οι πιέσεις κατά τον έλεγχο του alarm υπερπίεσης d42, το οποίο ενεργοποιείται όταν οι τιμές ανέβουν πάνω από τα 225-

235bar. Όπως παρατηρούμε, οι τιμές που καταγράφηκαν από τα μανόμετρα κυμαίνονται μεταξύ 222-240bar στο μανόμετρο μονάδας ενώ μεταξύ 212-230bar στο φορητό μανόμετρο. Θα πρέπει να γίνει έλεγχος του πρεσοστάτη d42 των πεδίων P50, P30 και P130 καθώς εκεί εντοπίζονται οι πιο χαμηλές τιμές, αν και κίνδυνος θα υπήρχε όταν το alarm υπερπίεσης ενεργοποιούνταν σε υψηλότερες τιμές. Σε εκείνη την περίπτωση θα υπήρχε φόβος για το σύστημά μας.

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τις τιμές που καταγράφηκαν κατά τον έλεγχο Ταυτοχρονισμού των πεδίων του GIS.

Έλεγχος Ταυτοχρονισμού						
ΠΕΔΙΟ	Φάση Α (msec)		Φάση Β (msec)		Φάση C (msec)	
	Open	Close	Open	Close	Open	Close
P15	52,0	66,5	50,5	67,0	51,0	67,0
P45	64,0	67,0	63,0	68,0	62,5	67,5
P120	63,0	70,0	62,5	71,5	62,0	71,0
P165	61,5	70,0	61,0	70,5	61,0	70,0
P50	60,5	66,0	61,5	65,5	61,0	66,5
Ζεύξης ζυγών I P30	59,5	66,0	61,0	66,0	60,5	67,0
Ζεύξης ζυγών II P130	62,0	68,0	61,5	68,0	62,5	68,5
Τομής ζυγών II P80	65,0	71,5	66,0	71,0	65,5	71,0
Τομής ζυγών I P90	59,5	72,0	60,5	71,5	61,0	72,0

Πίνακας 7.8 Μετρήσεις ταυτοχρονισμού

Τα όρια στις μετρήσεις ταυτοχρονισμού είναι για άνοιγμα $65 \pm 5\text{msec}$ και για κλείσιμο $70 \pm 5\text{msec}$. Συνδέοντας στο όργανο μέτρησης ταυτοχρονισμού βοηθητικές επαφές του GIS και δίνοντας εντολή ανοίγματος – κλεισίματος (open – close) του διακόπτη, καταγράφουμε τους χρόνους ενεργοποίησης των επαφών ανά φάση. Θα πρέπει οι χρόνοι του open να είναι σχεδόν ίδιοι για όλες τις φάσεις (A,B,C) καθώς και του Close αντίστοιχα. Η αποδεκτές αποκλίσεις open και close μεταξύ των φάσεων είναι $<2\text{msec}$. Από τον

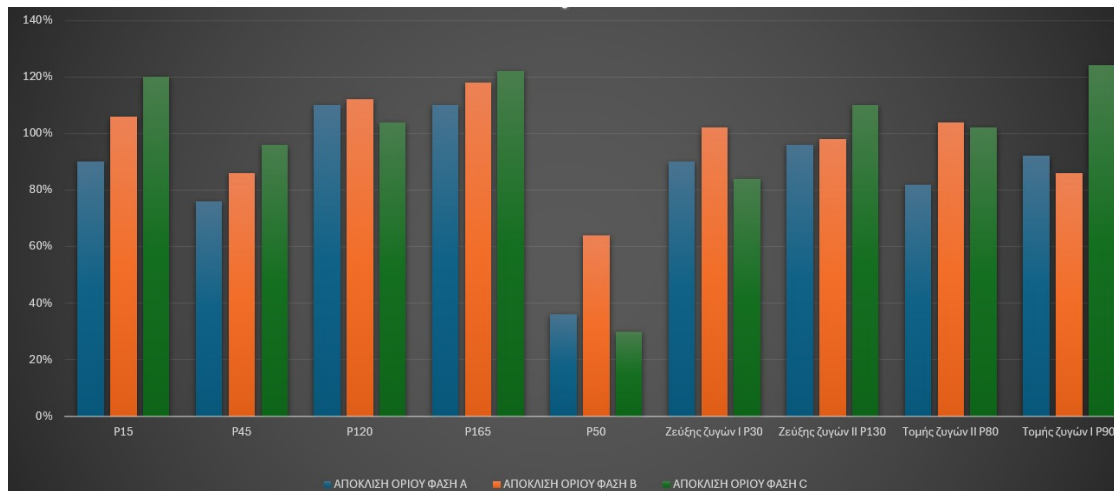
παραπάνω πίνακα, παρατηρούμε ότι οι μετρούμενες τιμές έχουν αποκλίσεις έως 1,5msec, άρα υπάρχει ταυτοχρονισμός μεταξύ των τριών φάσεων.

Στον παρακάτω πίνακα 7.9 καταγράφονται οι τιμές μέτρησης αντίστασης μόνωσης ανά φάση και ανά πεδίο.

Έλεγχος Αντίστασης Μόνωσης			
ΠΕΔΙΟ	Φάση Α (ΜΩ)	Φάση Β (ΜΩ)	Φάση Γ (ΜΩ)
P15	950	1030	1100
P45	880	930	980
P120	1050	1060	1020
P165	1050	1090	1110
P50	680	820	650
Ζεύξης ζυγών Ι	950	1010	920
Ζεύξης ζυγών ΙΙ	980	990	1050
Τομής ζυγών ΙΙ	910	1020	1010
Τομής ζυγών Ι	960	930	1120

Πίνακας 7.9 Μετρήσεις αντίστασης μόνωσης

Παρακάτω φαίνεται η γραφική απεικόνιση των αποκλίσεων, των μετρήσεων αντίστασης μόνωσης.



Εικόνα 7.6 Απεικόνιση των αποκλίσεων των μετρήσεων αντίστασης μόνωσης

Οι αποδεκτές τιμές αντίστασης μόνωσης είναι μεταξύ 500ΜΩ και 1.000ΜΩ. Οι ιδανικές τιμές είναι μεγαλύτερες των 1.000ΜΩ. Από τον πίνακα 7.9 παρατηρούμε ότι η αντίσταση μόνωσης σε όλες τις περιπτώσεις είναι εντός των ορίων.

Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα

Η μελλοντική πολιτική για τα GIS (Gas Insulated Substations) επικεντρώνεται στην ενίσχυση της βιωσιμότητας, στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και στη χρήση φιλικότερων τεχνολογιών.

Μια βασική πολιτική είναι η σταδιακή μείωση της χρήσης του SF₆, λόγω του υψηλού δυναμικού θέρμανσης του πλανήτη (GWP) το οποίο είναι 23.500 φορές μεγαλύτερο από αυτό του CO₂. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, είναι σημαντική η ανάπτυξη εναλλακτικών μονωτικών αερίων που θα διατηρούν χαμηλότερο δείκτη GWP (όπως μίγματα αερίων με βάση το τετραφθορονιτρίλιο C₄-FN ή την πενταφθοροκετόνη C₅-FK).

Πολύ σημαντικό ρόλο παίζουν οι κανονισμοί που θέτουν οι κυβερνήσεις και οι διεθνείς οργανισμοί, ως προς τον περιορισμό των διαρροών. Με τη χρήση προτύπων, όπως το IEC 62271, αυστηροποιούνται οι κανονισμοί αναφορικά με τις διαρροές SF₆. Επιπλέον γίνεται υποχρεωτική η παρακολούθηση, μέσω αισθητήρων και συστημάτων παρακολούθησης για τη διαρκή μέτρηση της πυκνότητας και της πίεσης του SF₆.

Επίσης σημαντικό ρόλο παίζει η ενσωμάτωση των GIS σε έξυπνα δίκτυα (Smart Grids). Με τη χρήση τεχνολογιών όπως το SCADA βελτιώνεται η παρακολούθηση της αποδοτικότητας και της διαχείρισης της ενέργειας.

Όπως αναλύθηκε στην παρούσα εργασία, η συμπαγής σχεδίαση των GIS αποτελεί και θα συνεχίσει να αποτελεί βασική προτεραιότητα, με έμφαση στη χρήση λιγότερων υλικών και στην εξοικονόμηση χώρου, κάτι που τα καθιστά ιδανικά για αστικές περιοχές και υποδομές με περιορισμένο χώρο. Οι κατασκευαστές αυτού του είδους εξοπλισμού, επικεντρώνονται στη δυνατότητα ανακύκλωσης του SF₆ και των άλλων υλικών του GIS. Στόχος είναι η ανάκτηση και η επαναχρησιμοποίηση του αερίου μέσω ειδικών συστημάτων ανάκτησης και η υιοθέτηση πολιτικών κυκλικής οικονομίας.

Η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των GIS, με στόχο τη μείωση των απωλειών και τη μεγιστοποίηση της αξιοπιστίας του συστήματος, παραμένει επίσης προτεραιότητα. Η ενσωμάτωση τεχνολογιών χαμηλών απωλειών αποτελεί ήδη και θα συνεχίσει να αποτελεί μέρος της μελλοντικής στρατηγικής.

Στο πλαίσιο της Συμφωνίας του Παρισιού και των στόχων της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας, τα GIS θα πρέπει να συμμορφώνονται με αυστηρότερους κανονισμούς βιωσιμότητας, μειώνοντας τις εκπομπές σε όλο τον κύκλο ζωής τους (παραγωγή, λειτουργία, αποσυναρμολόγηση). Η μελλοντική πολιτική για τα GIS στοχεύει σε ένα πιο φιλικό προς το περιβάλλον μοντέλο, με τεχνολογικές καινοτομίες και αυστηρότερα περιβαλλοντικά πρότυπα, που θα διασφαλίζουν τη βιωσιμότητα και την αξιοπιστία του ενεργειακού συστήματος.

Στην παρούσα εργασία έγινε ανάλυση και καταγραφή βήμα προς βήμα της συντήρησης των πεδίων του GIS. Έχοντας αυτά τα βήματα για οδηγό καθώς και σωστό προγραμματισμό ελέγχων και συντηρήσεων, οι εταιρείες διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να εξασφαλίσουν την εύρυθμη λειτουργία του εξοπλισμού τους, την ασφάλεια του προσωπικού τους καθώς και την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Με την παρουσίαση της μεθόδου μετρήσεων των πιέσεων, αλλά και της ανάλυσης των μετρήσεων των τελευταίων ετών (2020 έως 2024), που καταγράφηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, προσφέρεται μια μοναδική ευκαιρία να εντοπίσουμε νέες ιδέες και καινοτόμες προσεγγίσεις για τη διαχείριση των πιέσεων στα GIS.

Επίσης, με την καταγραφή των μετρήσεων της συντήρησης όλων των πεδίων ενός GIS μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για την κατάστασή του, να προγραμματίσουμε περαιτέρω ελέγχους καθώς και να προβούμε στις απαραίτητες ενέργειες για την ασφαλή και εύρυθμη λειτουργία του GIS. Με την καταγραφή των μετρήσεων, δημιουργείται μια βάση δεδομένων, η οποία είναι πολύτιμη για την γενική εικόνα της κατάστασης του GIS αλλά και για περαιτέρω εύρεση ιδεών και λύσεων της σωστής συντήρησής του.

Μια τέτοια καινοτόμος ιδέα είναι η πρόβλεψη των απωλειών αερίου μέσω AI και Machine Learning. Με την ανάπτυξη ενός αλγορίθμου μηχανικής μάθησης (ML) που θα χρησιμοποιεί ιστορικά δεδομένα πιέσεων, θερμοκρασίας και συντήρησης για να προβλέψει πότε και πού αναμένεται απώλεια αερίου, ο αλγόριθμος θα μπορεί να ειδοποιεί το προσωπικό για προληπτικές παρεμβάσεις πριν εμφανιστεί κρίσιμη απώλεια πίεσης. Με τη χρήση ενός Νευρωνικού Δικτύου (Deep Learning), θα μπορεί να γίνει συσχέτιση μεταξύ μείωσης πίεσης, θερμοκρασίας και χρόνου. Επίσης με την ταυτόχρονη ανάπτυξη dashboard σε cloud περιβάλλον, το προσωπικό θα μπορούσε να βλέπει προβλέψεις και να ειδοποιείται σε περιπτώσεις κινδύνου.

Μια άλλη ιδέα είναι το αυτόματο σύστημα ανίχνευσης διαρροών. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια ασύρματων αισθητήρων, σε κάθε πεδίο, για συνεχή καταγραφή. Στην συνέχεια, οι αισθητήρες θα μπορούν να συνδεθούν με ένα κεντρικό σύστημα παρακολούθησης, το οποίο θα εμφανίζει τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Μια επιπλέον προσθήκη σε αυτό το σύστημα θα ήταν ο προγραμματισμός του συστήματος, ώστε αυτό να ειδοποιεί τα συνεργεία συντήρησης, μόλις εντοπίσει χαμηλή πίεση σε κάποιο χώρο του GIS.

Μια άλλη ιδέα είναι η δημιουργία ενός δυναμικού πλάνου συντήρησης που βασίζεται σε ανάλυση τάσεων και όχι σε σταθερά προγραμματισμένες ημερομηνίες. Με αυτόν τον τρόπο, το αέριο θα συμπληρώνεται μόνο όταν είναι πραγματικά απαραίτητο, μειώνοντας κόστος και περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Κάτι τέτοιο είναι εφικτό με την ανάλυση των μοτίβων απώλειας αερίου ανά πεδίο και δημιουργία πλάνων συντήρησης, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη λογισμικού που θα προτείνει την ιδανική χρονική στιγμή για συμπλήρωση αερίου, βασισμένο σε αναλύσεις ιστορικών δεδομένων. Αυτό το σύστημα θα ειδοποιεί αυτόματα όταν η πίεση σε ένα πεδίο μειωθεί σε επίπεδα που δείχνουν πιθανή διαρροή.

Τα δεδομένα που καταγράψαμε κατά την επίσκεψη στο Κ/Δ της Αττικής δεν είναι απλώς αριθμοί. Αν αξιοποιηθούν σωστά, μπορούν να μετατραπούν σε ένα δυναμικό εργαλείο πρόβλεψης και προληπτικής συντήρησης.

Με σωστές τεχνολογίες και στρατηγική, μπορούμε να μετατρέψουμε τις μετρήσεις πίεσης σε ένα πλήρες έξυπνο σύστημα GIS. Το όραμα είναι ένα αυτοματοποιημένο, προγνωστικό και διασυνδεδεμένο σύστημα που βελτιώνει τη συντήρηση, μειώνει το κόστος και αυξάνει την αξιοπιστία του GIS.

Η τακτική συντήρηση και παρακολούθηση διασφαλίζουν την αξιοπιστία και τη μακροχρόνια απόδοση του συστήματος, ενώ η ορθή διαχείριση του SF₆ περιορίζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του.

Βιβλιογραφία

- [1] Hermann Koch, “Gas Insulated Substations”, IEEE Publication, Energy Transmission, 2014.
- [2] The Gas-insulated Substation [Online], ABB, 2016. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://new.abb.com/docs/librariesprovider78/eventos/power-energy-day-colombia/presentation-gis---cam-august-2016.pdf?sfvrsn=2> [Πρόσβαση Οκτώβριος 2024]
- [3] Κουρκούτας Β., Πρίφτη Α., «Μελέτη υποσταθμού μέσης τάσης 20/0,4kV,» Πτυχιακή εργασία, Τμήμα ηλεκτρολόγων μηχανικών, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Πάτρα 2013.
- [4] Ibrahim Metwally, “Technology progress in high-voltage gas-insulated substations”, IEEE Potentials 29(6), p.25-32, 2011.
- [5] Christophorou L., Olthoff J. and Van Brunt R., “Sulfur Hexafluoride and the Electric Power Industry”, IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 13, p. 20-24,1997.
- [6] Π. Παναγιωτόπουλος. «Ηλεκτρονιακοί τύποι κατά Lewis,» [Online]. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: https://panagiotisathanasopoulos.gr/wp-content/uploads/2013/07/xglk_K1_math6_theory_site.pdf. [Πρόσβαση Οκτώβριος 2024].
- [7] How are SF₆ Lewis structures and hybrids formed [Online], Nov 24, Chemical book. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://www.chemicalbook.com/article/how-are-sf6-lewis-structures-and-hybrids-formed.htm>. [Πρόσβαση 05 Οκτωβρίου 2024].
- [8] Xiaopeng Fan, Bin Hai, Li Li, She Chen, Yongyan Zhou, Nian Tang, Feng Wang et Zhuanglei Zou, “Influence of Molecular Properties on the Electric Strength of Potential SF₆ Substitutes,” IOP Conf. Series: Earth Environ. Science 252 032009, 2019.

Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/252/3/032009/pdf>. [Πρόσβαση Οκτώβριος 2024].

- [9] Ε. Φυλλαδιτάκης, «Μελέτη και ανάπτυξη πρωτότυπου συστήματος παρακολούθησης λειτουργικών παραμέτρων για διακόπτες υψηλής τάσης με χρήση τεχνολογιών,» Διπλωματική εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, 2022.
- [10] SF₆ Properties and use in MV and HV switchgear [Online], Feb 2003.
 Διαθέσιμο στον ιστότοπο: https://www.studiecd.dk/cahiers_techniques/SF6_properties.pdf
 [Πρόσβαση Οκτώβριος 2024].
- [11] Viktor Strandberg, “Evaluating Future Challenges and Possibilities of Electrical Substations”, Master Thesis, Department of Electrical Engineering, Chalmers University of Technology, Sweden 2024.
- [12] Ι. Μέργος, «Διηλεκτρικά υλικά και περιβάλλον,» Διδακτορική διατριβή, Σχολή ηλεκτρολόγων μηχανικών και μηχανικών υπολογιστών, ΕΜΠ, 2007.
- [13] R. Yao, W. Zhao, Y. Jiang, “[The clinical application of sulfur hexafluoride micro-bubbles in treating uterine fibroid with high intensity focused ultrasound](#),” Journal of Interventional Radiology, 2016.
- [14] M. Schulz and D. Kourkoulas, "Regulation (EU) No 517/2014 of The European Parliament and of the council of 16 April 2014 on fluorinated greenhouse gases and repealing Regulation (EC) No 842/2006," Off. J. Eur. Union, p. L150, 2014.
- [15] Assessment of the Use of Sulfur Hexafluoride (SF₆) Gas Insulated Switchgears (GIS) within the Offshore Wind Sector, Global Warming Potential of SF₆, United States Environmental Protection Agency (EPA), Eastern Research Group, 2023.
 Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-12/ocs-sf6.pdf>. [Πρόσβαση Οκτώβριος 2024]
- [16] Wikipedia contributors. (2024, Jan. 16). Πρωτόκολλο του Κιότο, Wikipedia, the Free Encyclopedia [Online].
 Διαθέσιμο στον ιστότοπο: https://el.wikipedia.org/wiki/Πρωτόκολλο_του_Κιότο. [Πρόσβαση Νοέμβριος 2024].

- [17] Πρωτόκολλο του Κιότο [Online]. Διαθέσιμο στον ιστότοπο της Ευρωπαϊκής Ένωσης:
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=LEGISSUM:kyoto_protocol.
[Πρόσβαση Νοέμβριος 2024].
- [18] Κανονισμός (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) αριθ. 842/2006.
Διαθέσιμο στον ιστότοπο της Ευρωπαϊκής Ένωσης: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=CELEX%3A32014R0517>. [Πρόσβαση Νοέμβριος 2024].
- [19] Συμφωνία των Παρισίων [Online], Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ανάπτυξης. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://ypen.gov.gr/perivallon/klimatiki-allagi/diethneis-diapragmatefseis/symfonia-ton-parision/>. [Πρόσβαση Νοέμβριος 2024].
- [20] Η παγκόσμια σύμβαση για το κλίμα (UNFCCC) [Online], Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://www.consilium.europa.eu/el/policies/paris-agreement-climate/>. [Πρόσβαση Δεκέμβριος 2024].
- [21] Emission Reduction Partnership (EPA) [Online].
Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://www.epa.gov/eps-partnership>. [Πρόσβαση Δεκέμβριος 2024].
- [22] Εθνικός Κλιματικός Νόμος 4936/2022 (ΦΕΚ 105/Α` 27.5.2022) [Online].
Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://www.elinyae.gr/ethniki-nomothesia/n-49362022-fek-105a-2752022>. [Πρόσβαση Δεκέμβριος 2024].
- [23] Operation and Maintenance of a Gas Insulated Substation Course [Online]. Διαθέσιμο στον ιστότοπο:
<https://www.cedengineering.com/userfiles/Operation%20and%20Maintenance%20of%20a%20Gas%20Insulated%20Substation-R1.pdf>. [Πρόσβαση Δεκέμβριος 2024].
- [24] Χ. Κιούγκη, Διεύθυνση Περιφέρειας Αττικής, ΔΕΔΔΗΕ, μεταφράσεις από εγχειρίδια της SIEMENS, 2005.

- [25] Gas Insulated Switchgear: Definition, Components, and Applications [Online], [Electrical4U](https://www.electrical4u.com/gis-or-gas-insulated-switchgear/?utm_content=cmp-true), 2024.
- Διαθέσιμο στον ιστότοπο: https://www.electrical4u.com/gis-or-gas-insulated-switchgear/?utm_content=cmp-true. [Πρόσβαση Δεκέμβριος 2024].
- [26] J. T. Stauffer, “Successes in Usage of Programmable Controllers in GIS Control Cabinets,” IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D), New Orleans, LA, USA, 2022, pp. 1-4, 2022.
- [27] Major components you can spot while looking at HV/EHV GIS (Gus-Insulated Switchgear) [Online], Electrical engineering portal, 2024.
- Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://electrical-engineering-portal.com/gis-gas-insulated-switchgear-components>. [Πρόσβαση Δεκέμβριος 2024].
- [28] S. Hidayat, F. Damanik and U. Khayam, “Electric field optimization on 150 kV GIS spacer using functionally gradient material,” 2nd International Conference of Industrial, Mechanical, Electrical and Chemical Engineering (ICIMECE), Yogyakarta, Indonesia, pp. 254-259, 2016.
- [29] Insulated single core cable with PE outer sheath [Online].
- Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://www.teslacables.com/en/product/254> [Πρόσβαση Νοέμβριος 2024].
- [30] Conductor strand types [Online].
- Διαθέσιμο στον ιστότοπο: https://www.anixter.com/en_us/resources/literature/wire-wisdom/conductor-strand-types.html. [Πρόσβαση Νοέμβριος 2024].
- [31] Σ. Μαγιάτης, «Τύποι και χαρακτηριστικά καλωδίων για Υψηλή και Υπερυψηλή τάση» Πτυχιακή εργασία, Σχολή Τεχνολογικών εφαρμογών, Τμήμα Ηλεκτρολογίας, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό ίδρυμα Χαλκίδας, 2009.
- [32] Jignesh Parmar, “Cable construction & cable selection,” Electrical notes and articles, 2016 [Online].
- Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://electricalnotes.wordpress.com/2016/04/07/cable-construction-cable-selection-part1/>. [Πρόσβαση Νοέμβριος 2024].

- [33] Chris Dodds, “What is electrical stress?,” [Online].
Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://www.cablejoints.co.uk/blog/article/electrical-stress?sthash.eeLagvqo.mjjo>. [Πρόσβαση Νοέμβριος 2024].
- [34] Cable Systems for HV/EHV, Pirelli, 1999.
- [35] Άρειος Πάγος, Β2’ Πολιτικό, Απόφαση 227/2014 [Online].
Διαθέσιμο στον ιστότοπο: https://areiospagos.gr/nomologia/apofaseis_DISPLAY.asp?cd=66QPJTR0TLT3ZWKSAECZE6VA2HCULN. [Πρόσβαση Νοέμβριος 2024]