

Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΑΣ
Τμήμα: Ηλεκτρολογίας

Πτυχιακή Εργασία
Αριθμός 387

**«Μελέτη μονωτήρων ανάρτησης και
συμπεριφορά τους σε συνθήκες τεχνητής
ρύπανσης»**



Εισηγητής:
1. Ι. Μαυρογένης

Σπουδαστές:
1. Ανδ. Νικολακόπουλος
2. Νικ. Γάτος

Πάτρα - ΝΟΕ. 97

ΑΡΙΘΜΟΣ
ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ

32135

Πρόλογος

Για την ολοκλήρωση της φοίτησής μας στο τμήμα ηλεκτρολόγων του ΤΕΙ ΠΑΤΡΩΝ προβλέπεται η πραγματοποίηση της πτυχιακής εργασίας.

Έτσι ως αντικείμενο εργασίας επιλέξαμε τη ρύπανση των μονωτήρων που εντάσσεται στο γενικότερο αντικείμενο της μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.

Βασικός παράγοντας για την επιλογή του αντικειμένου αποτέλεσε το γεγονός των συχνών διακοπών ηλεκτρικής ενέργειας (BLACKOUTS) στη χώρα μας, που οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στην υπερπήδηση των ρυπασμένων μονωτήρων.

Το αντικείμενο της πτυχιακής μας εργασίας είναι ειδικότερα η αξιολόγηση μεθόδων τεχνικής ρύπανσης των μονωτήρων και ιδιαίτερα της μεθόδου SOLID-LAYER (Βλάβες, συντήρηση, δοκιμές). Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε πειραματικά στο κέντρο δοκιμών ερευνών (ΚΔΕΠ) της ΔΕΗ, στους χώρους του οποίου εγκαταστάθηκε και παραμένει η πειραματική διάταξη (θάλαμος ρύπανσης και δοκιμών).

Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| Πρόλογος | 1 |
| Περιεχόμενα | 3 |
| Κεφάλαιο I | 9 |
| 1.1. Ανάλυση του Ελληνικού προβλήματος | 9 |
| 1.1.α. Γενικά | 9 |
| 1.1.β. Σοβαρότητα ρύπανσης των Ελληνικών ακτών | 9 |
| 1.2. Φαινόμενα Μόλυνσης ή ρύπανσης μονωτήρων | 10 |
| 1.2.1. Ανάλυση φαινομένου | 10 |
| 1.3. Βαθμός ρύπανσης των επιφανειών των μονωτήρων | 13 |
| 1.3.1. Ισοδύναμη πυκνότητα επικάλυψης αλάτων (E.S.D.D.) | 13 |
| 1.3.2. Κατάταξη περιοχών ανάλογα με το βαθμό ρύπανσής τους | 13 |
| 2. Υπερπήδηση μονωτήρων | 15 |
| 2.1. Γενική θεώρηση | 15 |
| 2.2.1. Φυσική ερμηνεία κατά OBENHAUS | 16 |
| 2.2.2. Επεξήγηση σύμφωνα με το μοντέλο του HAMPTON | 18 |
| 2.3. Ποσοτική εξέταση του φαινομένου του τόξου | 20 |
| 2.3.1. Γενική θεώρηση | 20 |
| 2.3.2. Μοντέλο CLAVERIE, PORCHERON | 20 |
| 2.3.3. Μοντέλο ALSTON & ZOLEDZIONKI | 24 |
| 2.4. Επεξήγηση της δυναμικής κατανομής της τάσεως κατά BAKER, KAWAI | 26 |
| 2.4.1. Προσπινθηρισμός (προεκκένωση) | 27 |
| 2.4.2. Σπινθηρισμός μονωτήρων | 28 |
| 3. Επίδραση της διάταξης των μονωτήρων αναρτήσεως (οριζόντια, κατακόρυφη και σχήματος V) | 30 |
| 3.1. Αποτελέσματα έρευνας KARCIC | 30 |
| 3.2. Αποτελέσματα έρευνας B. MACCIAROLI | 32 |

| | |
|---|----|
| 3.3. Έκθεση αποτελεσμάτων CIGRE | 32 |
| 3.4. Αποτελέσματα έρευνας M. KAWAI | 34 |
| 3.5. Κανονισμός IEC-507/1975 (ARTIFICIAL POLLUTION TESTS ON H.V.INSULATORS TO BE USED ON A.C. SYSTEMS) | 34 |
| 3.6. Συμπεράσματα | 35 |
| 4. Κανονισμοί δοκιμών τεχνητά ρυπασμένων μονωτήρων για συστήματα E.P. σύμφωνα με τη δημοσίευση 507/1975 της I.E.C.35 | |
| 4.1. Γενικά για τις εργαστηριακές έρευνες δοκιμών μονωτήρων κάτω από συνθήκες τεχνητής ρύπανσης | 35 |
| 4.2. Κατηγορίες εργαστηριακών δοκιμών | 36 |
| 4.2.1. SALT FOG METHOD | 36 |
| 4.2.2. SOLID LAYER METHOD | 37 |
| 4.2.2.1 Εφαρμογή του στρώματος μόλυνσης | 41 |
| 4.2.2.2. Ύγρανση της μολυσμένης επιφάνειας | 44 |
| 4.2.2.3. Διαδικασία δοκιμής (επιβολή τάσης) | 46 |
| 4.3. Κανονισμοί δοκιμών για την τοποθέτηση των δοκιμίων | 47 |
| 4.4. Κανονισμοί για τα χαρακτηριστικά της τάσης δοκιμής | 48 |
| 5. Μέθοδος μέτρησης βαθμού ρύπανσης πάνω στην επιφάνεια μονωτήρων (φυσική ρύπανση) | 49 |
| 5.1. Γενική θεώρηση (E.S.D.D.) | 49 |
| 5.2. Μέθοδος μέτρησης | 50 |
| 5.3. Τοποθέτηση μονωτήρων - δοκιμίων | 54 |
| 5.4. Παράγοντες που μεταβάλλουν το ποσοστό επικαθήσεως μόλυνσης | 55 |
| 5.5. Μετρητές επικαθήσεων ρύπανσης | 56 |
| 6. Μέτρηση και καταγραφή των ρευμάτων διαρροής και της επιφανειακής αγωγιμότητας μονωτήρων κάτω από φυσικές συνθήκες ρύπανσης | 60 |
| 6.1. Γενική θεώρηση | 60 |
| 6.1.1. Καταγραφή των ρευμάτων διαρροής με τιμές πάνω από μια προκαθορισμένη στάθμη για δεδομένη χρονική περίοδο (Surge Counting). | 61 |

| | |
|--|-----------|
| 6.2. Καταγραφή των μεγίστων τιμών κορυφής των ρευμάτων διαρροής κατά την διάρκεια μιας καθορισμένης περιόδου σε μονωτήρες που βρίσκονται διαρκώς κάτω από κανονική τάση λειτουργίας των δικτύων. | 63 |
| 6.3. Μέτρηση της επιφανειακής αγωγιμότητας | 67 |
| 6.4. Οριακή ένταση υπερπήδησης | 70 |
| Κεφάλαιο II | 73 |
| Κατασκευαστικό μέρος | 73 |
| 1. Τοπολογία χώρου | 73 |
| 2. Κατασκευή θαλάμου ρύπανσης | 75 |
| 2.1. Γενικά | 75 |
| 2.2. Διάταξη περιστροφής των μονωτήρων στο θάλαμο ρύπανσης | 76 |
| 2.3. Σύστημα ψεκασμού μονωτήρα για τη δημιουργία στερεάς επιστρώσεως | 82 |
| 3. Κατασκευή θαλάμου δοκιμών (Test Chamber) | 86 |
| 3.1. Γενικά | 86 |
| 3.2. Σύστημα αναρτήσεως και γείωση του μονωτήρα | 88 |
| 3.3. Διέλευση του αγωγού Υψηλής Τάσης εντός του θαλάμου | 95 |
| 3.4. Γείωση της διάταξης δοκιμών | 96 |
| 3.5. Παραγωγή ομίχλης | 97 |
| 3.5.1. Παραγωγή αλατούχου ομίχλης ή ομίχλης για ελεγχόμενη υγρασία | 97 |
| 3.5.2. Ακροφύσια | 97 |
| 3.5.2.1. Αρχική λύση. Χρησιμοποίηση αντλίας και BOMBVALVES101 | |
| 3.5.2.2. Ανάγκη μεταφοράς υψηλής πίεσης από το Τομέα Μεγάλης Ισχύος | 102 |
| 3.5.2.3. Σύστημα ελεύθερης ροής νερού ή αλατούχου διαλύματος για σταθερότητα παροχής από τα ακροφύσια. | 104 |
| 3.5.3. Παραγωγή ομίχλης | 111 |
| 3.6. Σύστημα για τη περισυλλογή και την απομάκρυνση μέσω σιφωνίου των νερών που συγκεντρώνονται μέσα στο θάλαμο δοκιμών. | 112 |
| 3.7. Σύστημα απορρόφησης της αλατομίχλης που βγαίνει από το | |

| | |
|--|------------|
| θάλαμο δοκιμών. | 113 |
| Κεφάλαιο III | 122 |
| Τρόπος εκτέλεσης πειραμάτων | 122 |
| 1. Μέθοδος δημιουργίας του επιστρώματος | 122 |
| 1.1. Καθάρισμα μονωτήρα | 122 |
| 1.2. Σύνθεση και προετοιμασία αιωρήματος ρύπανσης | 124 |
| 1.3. Διαδικασία ψεκασμού του μονωτήρα και δημιουργία στερεού επιστρώματος στην επιφάνεια του | 125 |
| 2. Μέτρηση του βαθμού ρύπανσης του μονωτήρα. Πυκνότητα επικάλυψης αλατιού (MGR/CM=) | 130 |
| 2.1. Τρόπος μέτρησης | 130 |
| 2.2. Χαρακτηριστικά διαγράμματα του θαλάμου ρύπανσης | 132 |
| 3. Διαδικασία προετοιμασίας μέχρι την επιβολή της τάσης δοκιμής | 134 |
| 3.1. Ψύξη των τεχνητά ρυπασμένων μονωτήρων | 134 |
| 3.2. Χαρακτηριστικοί παράμετροι της ομίχλης (διαδικασία ελεγχόμενης ύγρανσης) | 137 |
| 3.2.1. Μέθοδοι παραγωγής ομίχλης | 137 |
| 3.2.2. Επιβολή ομίχλης στο ρυπασμένο μονωτήρα | 139 |
| 4. Επιβολή της τάσης δοκιμής | 143 |
| 4.1. Διαδικασία επιβολής της τάσης | 143 |
| 4.2. Καθορισμός των χαρακτηριστικών αντοχής των μονωτήρων | 144 |
| 4.3. Μετασχηματισμός δοκιμών 380V/300KV και όργανα μέτρησης | 146 |
| 5. Αποτελέσματα δοκιμών με τη μέθοδο Solid Layer | 148 |
| Κεφάλαιο IV | 165 |
| Καθορισμός παραμέτρων του μοντέλου ρυπασμένου μονωτήρα και εξαγωγή αναλυτικών σχέσεων $U_c(C1,C2)$ $P(A)$ $U_c(P)$ | 165 |

1. Ανάλυση της σχέσης μεταξύ της κρίσιμης τάσης και της πυκνότητας ρύπανσης σε ανομοιόμορφα ρυπασμένους

| | |
|--|------------|
| μονωτήρες. | 165 |
| 2. Υπολογισμός της ισοδύναμης επιφανειακής αγωγιμότητας και της ολικής ρύπανσης στους ανομοιόμορφα ρυπασμένους μονωτήρες. | 169 |
| 3. Γενικά - Υπολογιστικά προγράμματα | 173 |
| 3.1. S1.FOR | 174 |
| 3.2 S2.FOR | 179 |
| 4. Προσδιορισμός αναλυτικών σχέσεων $U_c(C_1, C_2)$ | 184 |
| 4.1. Αναλυτική σχέση $U_c(C_1, C_2)$ για την περίπτωση άνω τμήμα ένα κυάθιο, κάτω τμήμα τρία κυάθια. | 186 |
| 4.2. Αναλυτική σχέση $U_c(C_1, C_2)$ για την περίπτωση άνω τμήμα δύο κυάθια, κάτω τμήμα δύο κυάθια | 192 |
| 4.3. Αναλυτική σχέση $U_c(C_1, C_2)$ για την περίπτωση άνω τμήμα τρία κυάθια, κάτω τμήμα ένα κυάθιο. | 200 |
| 5. Προσδιορισμός αναλυτικών σχέσεων $P(A)$, $U_c(P)$ | 207 |
| 5.1. Αναλυτικές σχέσεις $P(A)$ και $U_c(P)$ για την περίπτωση $C_i = 0.03 + A \times L^{0.4}$ | 209 |
| 5.2. Αναλυτικές σχέσεις $P(A)$ και $U_c(P)$ για την περίπτωση $C_i = 0.03 + A \times L$ | 212 |
| 5.3. Αναλυτικές σχέσεις $P(A)$ και $U_c(P)$ για την περίπτωση $C_i = 0.03 + A \times L^2$ | 214 |
| Κεφάλαιο V | 218 |
| Αξιολόγηση αποτελεσμάτων και τεχνικές αντιμετώπισης των προβλημάτων της ρύπανσης | 218 |
| 1. Γενικά | 218 |
| 1.1. Σύγκριση της αναλυτικής σχέσης $U_c(C_1, C_2)$ για την περίπτωση άνω τμήμα ένα κυάθιο, κάτω τμήμα τρία κυάθια με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του S1.FOR. | 219 |
| 1.2. Σύγκριση της αναλυτικής σχέσης $U_c(C_1, C_2)$ για την περίπτωση άνω τμήμα δύο κυάθια, κάτω τμήμα δύο κυάθια με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του S1.FOR. | 222 |
| 1.3. Σύγκριση της αναλυτικής σχέσης $U_c(C_1, C_2)$ για την περίπτωση άνω τμήμα τρία κυάθια, κάτω τμήμα ένα κυάθιο με τα | |

| | |
|---|------------|
| αντίστοιχα αποτελέσματα του S1.FOR. | 229 |
| 1.4. Συμπεράσματα | 235 |
| 2. Τεχνικές αντιμετώπισης των προβλημάτων της ρύπανσης | 238 |
| Κεφάλαιο VI | 242 |
| Συμπεράσματα | 242 |
| Παράρτημα | 245 |
| Γεωμετρικά χαρακτηριστικά υπό εξέταση μονωτήρα (AMON.DAT) | 245 |
| S1.FOR | 248 |
| S2.FOR | 249 |
| Splines: Συναρτήσεις προσέγγισης | 250 |
| Βιβλιογραφία | 251 |

Κεφάλαιο I

1.1. Ανάλυση του Ελληνικού προβλήματος

1.1.α. Γενικά

Εξετάζοντας το Ελληνικό πρόβλημα των καθαλατώσεων των μονωτήρων μαζί με τα δυσμενή συνεπακόλουθα που έχει παρατηρούμε ότι εξαιτίας της ρύπανσης των μονωτήρων παρουσιάζονται στις υγρές περιόδους αναφλέξεις στύλων και βραχιόνων και το λιγότερο σπινθηρισμοί στους μονωτήρες.

Επίσης πρέπει να υπενθυμίσουμε στη θέση αυτή ότι στη τελευταία 20ετία αναφέρονται αρκετές διακοπές παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (Blackouts) οφειλόμενες σε υπερπήδηση ρυπασμένων μονωτήρων.

1.1.β. Σοβαρότητα ρύπανσης των Ελληνικών ακτών

Σε ότι αφορά τη σοβαρότητα της ρύπανσης παρ' ότι δεν έχουν γίνει μετρήσεις δεν μπορεί να είναι η μόλυνση μεγαλύτερη απ' τι στις δυτικές πολιτείες των ΗΠΑ που πλένουν τους μονωτήρες μέχρι και 4 φορές την εβδομάδα κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου ούτε μεγαλύτερη απ' ότι στην Ιαπωνία με την

κατευθείαν προσβολή των μονωτήρων με θαλασσινό νερό εξαιτίας των τυφώνων.

1.2. Φαινόμενα Μόλυνσης ή ρύπανσης μονωτήρων

1.2.1. Ανάλυση φαινομένου

Ο όρος μόλυνση για τους μονωτήρες των δικτύων μεταφοράς και διανομής, ηλεκτρικής ενέργειας αναφέρεται στην επικάθηση ακαθαρσιών (κατάλοιπα βιομηχανικών συγκροτημάτων, άμμου, σκόνης) δροσιάς ή θαλάσσιας άλμης (καθαλάτωση) σε ολόκληρη την επιφάνειά τους και όχι μόνο στα επάνω τμήματά της σε συνδυασμό πάντα με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Η συνύπαρξη ακαθαρσιών και δροσιάς ή ομίχλης αποτελεί δυσμενέστατη συνθήκη λειτουργίας των μονωτήρων των γραμμών και μπορεί να υποβιβάσει τη μονωτική τους ικανότητα σε ποσοστό μεταξύ 40% και 80%.

Γενικά υπάρχουν δύο μορφές μόλυνσης η θαλάσσια και η βιομηχανική.

Μια άλλη μορφή ρύπανσης είναι αποτέλεσμα της συνύπαρξης των δύο βασικών μορφών. Ακόμη σε γενική θεώρησή υπάρχει και μία άλλη μορφή, η ερημική μόλυνση (Desert pollution) που συναντάται σε περιοχές ερήμου που πολλές φορές οι επικαθίσεις περιέχουν αλάτι. Η τελευταία αυτή μορφή δεν υπάρχει στη χώρα

μας.

1.2.αΘαλάσσια ρύπανση (marine pollution) που είναι και η βασικότερη στον Ελληνικό χώρο.

Παρουσιάζεται σε παραθαλάσσιες περιοχές ή ακόμη και μεσόγειες που βρίσκονται σε μικρές ή σημαντικές αποστάσεις από ακτές όπου επικρατούν ειδικές περιβαλλοντολογικές συνθήκες, ανέμου, θερμοκρασίας κλπ.

Στη περίπτωση αυτή το φαινόμενο της υπερπήδησης μπορεί να δημιουργηθεί στις ακόλουθες περιστάσεις που μπορούμε να τις διακρίνουμε σε δύο επιμέρους μορφές.

i) Άμεση μορφή όταν ισχυροί άνεμοι που προέρχονται από τη θάλασσα μεταφέρουν θαλασσινό νερό υπό μορφή καταιωνισμένου νερού (spray) πάνω στους μονωτήρες όπου επικάθεται και σχηματίζεται ένα λεπτό υγρό επίστρωμα αλατιού που μπορεί να προκαλέσει ηλεκτρικό τόξο πριν την εκπνοή των ανέμων.

ii) Έμμεση μορφή όταν μετά από περίοδο *φοδρών ανέμων από τη πλευρά της θάλασσας σχηματίζονται πάνω στους μονωτήρες συσσωρευμένες επικαθίσεις που μπορούν να προκαλέσουν ηλεκτρικά τόξα όταν οι μονωτήρες βρεθούν υπό ειδικά υγρό περιβάλλον.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι το πρόβλημα της θαλάσσιας ρύπανσης σε χώρες που περιβρέχονται σε μεγάλο μήκος από θάλασσα είναι ιδιαίτερα οξύ αφ' ενός γιατί η συνεχής ανάπτυξη της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς συνεπάγεται τη κατασκευή μεγάλων; σταθμών παραγωγής και επομένως υποσταθμών και γραμμών μεταφοράς κοντά στη θάλασσα εξ' αιτίας της ευνοϊκής θέσης για οικονομικότερες λύσεις (ψύξη κλπ) και αφ' ετέρου η ανάπτυξη του τουρισμού στις παραθαλάσσιες περιοχές απαιτεί και την επέκταση των δικτύων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας στις περιοχές αυτές.

1.2.β. Βιομηχανική ρύπανση (Industrial pollution)

Που προέρχεται από τα στερεά κατάλοιπα βιομηχανικών συγκροτημάτων που απορρίπτονται στην ατμόσφαιρα χωρίς προηγουμένως να έχουν υποστεί καθάρισμα. Τα κατάλοιπα που προαναφέρθηκαν μπορεί να είναι διαφόρων προελεύσεων, (χημικών, μεταλλουργικών, βιομηχανιών, Τσιμεντοβιομηχανιών) και επικάθονται σ' ολόκληρη την επιφάνεια των μονωτήρων δημιουργώντας ένα στερεό λεπτό επίστρωμα.

Μια άλλη μορφή μόλυνσης που συνδέεται όχι μόνο με τη βιομηχανική ανάπτυξη αλλά με αυτή καθ' αυτή τη μορφή της σύγχρονης ζωής, παρουσιάζεται στις μεγάλες πόλεις ειδικότερα στη διάρκεια του χειμώνα όταν τα καυσαέρια των αυτοκινήτων και

των βιομηχανιών επαυξάνονται από τα καυσαέρια των κεντρικών θερμάνσεων των κτιρίων. Ανάλογα με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες αυτή η μορφή μόλυνσης έχει σοβαρές επιπτώσεις στη συμπεριφορά των μονωτήρων.

1.3. Βαθμός ρύπανσης των επιφανειών των μονωτήρων

1.3.1. Ισοδύναμη πυκνότητα επικάλυψης αλάτων (E.S.D.D.)

Η ποσότητα όλων των ηλεκτρολυτικών ουσιών που περιέχονται στο επικαθίμενο υλικό μόλυνσης πάνω στην επιφάνεια των μονωτήρων αντιπροσωπεύεται και εκφράζεται με την ποσότητα αλάτων (NaCl) Ισοδύναμη πυκνότητα επικάλυψης αλάτων (Equivalent Salt Deposit Density) που διάλυμα τους δίνει ειδική αντίσταση ίση με την ειδική αντίσταση του διαλύματος της επικάλυψης του ίδιου όγκου.

Το E.S.D.D. είναι η ισοδύναμη ποσότητα άλατος (NaCl) στη μονάδα της επιφάνειας του μονωτήρα και εκφράζεται σε mg/cm^2 .

1.3.2. Κατάταξη περιοχών ανάλογα με το βαθμό ρύπανσής τους

Οι διάφορες χώρες που αντιμετωπίζουν πρόβλημα ρύπανσης των μονωτήρων έχουν κατατάξει τις διάφορες περιοχές, σε κατηγορίες, ανάλογα με το βαθμό ρύπανσης. Έτσι π.χ. η ENEL

έχει την ακόλουθη κατάταξη:

| Κατηγορία ρύπανσης | Ισοδύναμη περιεκτικότητα NaCl |
|--------------------|-------------------------------|
| α) Μηδενική | 5 gr/lit |
| β) Πολύ ελαφρά | > 5 gr/lit (10 gr/lit |
| γ) Ελαφρά | >10 gr/lit >20 gr/lit |
| δ) Μέση | >20 gr/lit (40 gr/lit |
| ε) Ισχυρή | >40 gr/lit <80 gr/lit |
| στ) Πολύ ισχυρή | >80 gr/lit <160 gr/lit |
| ζ) Ειδική | >160 gr/lit |

Ανάλογη κατανομή των διαφόρων περιοχών ισχύει και στη Γαλλία με τις ακόλουθες τιμές:

| Κατηγορία NaCl | Είδος περιοχής | Ισοδύναμη περιεκτικότητα |
|----------------|---|--------------------------|
| 1 | Χωρίς πρόβλημα ρύπανσης | 5 gr/lit |
| 2 | Ελαφρά μολυσμένες περιοχές | 28 gr/lit |
| 3 | Σοβαρά ρυπασμένες περιοχές όπου η μόνωση των γραμμών πρέπει να ενισχυθεί | 80 gr/lit |
| 4 | Περιοχές με εξαιρετικά υψηλό βαθμό ρύπανσης, όπου μια ειδική στάθμη μονώσεως απαιτείται | 226 gr/lit |

Στην Ιαπωνία η κατάταξη των περιοχών ως εξής

| Κατηγορία περιοχής mg/cm ² | Περιεκτικότητα επικαθήσεως ρυπάνσεως επιφάνειας μονωτήρα 5 3/4"·10" |
|--|---|
| AA 50 Km από την ακτή | 0.03 |
| A 10-50 km από την ακτή | 0.063 |
| B 3-10 km από την ακτή | 0.125 |
| C 1-3 km από την ακτή | 0.25 |
| D 0-1 km από την ακτή | 0.5 |
| E απ' ευθείας προσβολή των μονωτήρων με καταιωτισμένο θαλασσινό νερό | |

2. Υπερπήδηση μονωτήρων

2.1. Γενική θεώρηση

Όπως ειπώθηκε η μόλυνση των μονωτήρων μπορεί να προκαλέσει, κάτω από ορισμένες συνθήκες, δημιουργία ηλεκτρικών τόξων που έχουν σοβαρότατες επιπτώσεις στην εκμετάλλευση των δικτύων.

Πάνω στα θέματα της μόλυνσης των μονωτήρων έχει δημοσιευθεί μεγάλο πλήθος εργασιών που έχουν γίνει, ενώ σημαντικότερες

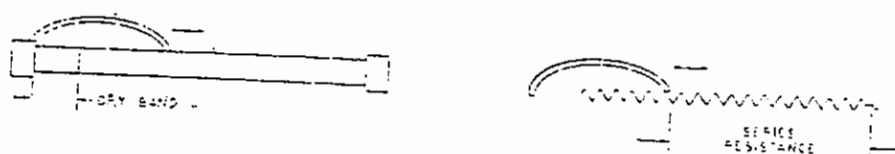
εργαστηριακές έρευνες έχουν εκτελεστεί σχετικά με το πρόβλημα αυτό.

Αν όμως η τάση που επιβάλλεται στο μονωτήρα έχει μια ικανή τιμή, τότε είναι δυνατό Γ' ξήρανση που θα δημιουργηθεί από τη δίοδο του ρεύματος να είναι τέτοια ώστε να πλησιάσει στο άλλο ηλεκτρόδιο του μονωτήρα και έτσι να παρουσιαστεί ηλεκτρικό τόξο.

2.2.1. Φυσική ερμηνεία κατά OBENHAUS

Η δημιουργία του τόξου αφού μπορεί να εξηγηθεί ποιοτικά με το μοντέλο OBENHAUS (1958), που εξομοιώνει το φαινόμενο του τόξου με μια εκκένωση με εν σειρά αντίσταση.

Η εκκένωση παριστάνεται από το μερικό τόξο που σχηματίζεται στην επιφάνεια του μονωτήρα (γεφυρώνοντας τις ξηρές ζώνες) που συνδέεται εν σειρά με μια αντίσταση που είναι η αγεφύρωτη υγρή μολυσμένη επιφάνεια του μονωτήρα.

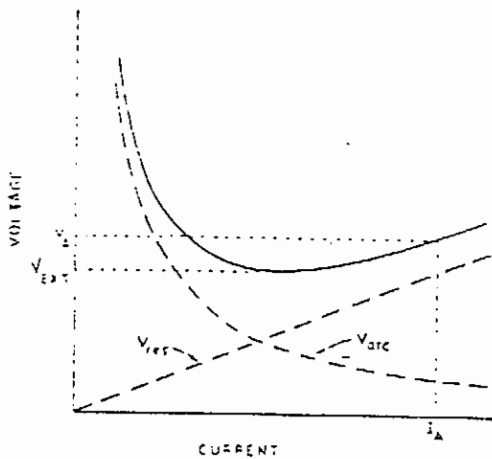


Σχήμα 1

Έτσι ο OBENHAUS υποθέτει ότι το ηλεκτρικό τόξο θα εμφανιστεί όταν η εκκένωση είναι ικανή να γεφυρώσει την επιφάνεια του μονωτήρα, χωρίς σβέση.

Σε ότι αφορά τη μερική εκκένωση, (20/1000 mA) αυτή θα έχει μια χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας που παριστάνεται στο σχέδιο No 2 με U_{arc} . Η πτώση τάσεως κατά μήκος της αντιστάσεως U_{res} είναι γραμμική συνάρτηση του ρεύματος.

Καθώς τα δύο αυτά στοιχεία βρίσκονται εν σειρά η χαρακτηριστική τάση στα άκρα του μονωτήρα προσθέτοντας τις δύο τάσεις.



Σχήμα 2

Από το σχέδιο αυτό φαίνεται ότι κάτω από την τιμή U_{ext} δεν υπάρχει περίπτωση ροής ρεύματος. Στην πράξη όμως τα χαρακτηριστικά εκκενώσεως πλησιάζουν προς την αρχή των αξόνων με πολύ μικρά και αμελητέα ρεύματα.

Για τάσεις πάνω από το σημείο Vext το σημείο λειτουργίας θα βρίσκεται στο μέρος της καμπύλης με τη θετική αύξηση, καθώς στο άλλο τμήμα η λειτουργία του τόξου είναι ασταθής. Έτσι με μια τάση επιβολής U_a θα υπάρχει ένα ρεύμα ροής I_a .

Οι πιο πάνω χαρακτηριστικές εφαρμόζονται μόνο για μια τιμή μήκους εκκενώσεως. Καθώς όμως η εκκένωση επιμηκύνεται, η πτώση τάσεως της για ένα ορισμένο ρεύμα θα αυξάνει, ενώ η εν σειρά αντίσταση θα μικραίνει. Ο ρόλος της εν σειρά αντιστάσεως στην πρόληψη του τόξου είναι καθαρός. Αν η εν σειρά αντίσταση είναι υψηλή τότε το ρεύμα εκκενώσεως θα αποκοπεί, προκαλώντας μια μεγάλη πτώση τάσεως κατά μήκος της αντιστάσεως. Αν αυτή η πτώση τάσεως έχει ικανοποιητική τιμή, η εκκένωση θα είναι ανίκανη να γεφυρώσει το μονωτήρα και τόξο δεν θα μπορέσει να εμφανιστεί.

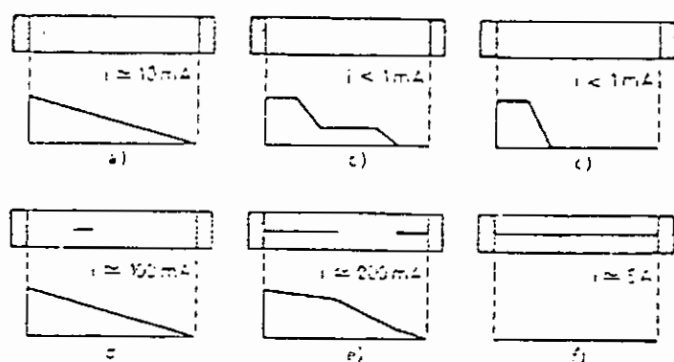
Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι το κριτήριο σβέσεως του OBENHAUS είναι αναγκαίο αλλά όχι ικανό για την εμφάνιση του ηλεκτρικού τόξου. Το κριτήριο προσδιορίζει την ελάχιστη τάση κάτω από την οποία ηλεκτρικό τόξο είναι αδύνατο να εμφανιστεί, δεν προσδιορίζει όμως σε πια τάση το τόξο θα εμφανιστεί.

2.2.2. Επεξήγηση σύμφωνα με το μοντέλο του HAMPTON

Η πιο πάνω επεξήγηση του φαινομένου διαπιστώθηκε και εργαστηριακά από τον HAMPTON ο οποίος μέτρησε την

κατανομή της τάσεως κατά μήκος μιας ορθογώνιας μολυσμένης ταινίας, που στην αρχή είναι ξηρή και μετά υποβάλλεται σε μια πυκνή ομίχλη.

Όλες οι φάσεις της εμφάνισης του φαινομένου του τόξου παρίστανται στο πιο κάτω Σχήμα 3.



- | | |
|------------------------------|---------------------------------|
| a. Έναρξη ύγρανσης | d. Εκκένωση κατά μήκος |
| b. Σχηματισμός Ξηρών ζωνών | ξηρής ζώνης |
| c. Μια ξηρή ζώνη επιβάλλεται | e. Σχηματισμός τόξου εκκενώσεως |
| | f. πλήρες ηλεκτρικό τόξο |

Σχήμα 3

Περνώντας από αυτό το απλό παράδειγμα της ορθογώνιας ταινίας στους πραγματικούς μονωτήρες να ειπωθεί ότι ο μηχανισμός του φαινομένου είναι βασικά ο ίδιος, παρ' ότι είναι πιο σύνθετος εξαιτίας της πιο περίπλοκης γεωμετρίας του μονωτήρα. Έτσι λόγω της διαφορετικής πυκνότητας του ρεύματος διαρροής

κατά μήκος της γραμμής ερπυσμού, παρουσιάζονται οι ξηρές ζώνες εκεί που η ροή είναι η μεγαλύτερη. Δηλαδή για τους μονωτήρες αναρτήσεως στο στέλεχος του μονωτήρα κατά πρώτο λόγο και στην κάψα του.

2.3. Ποσοτική εξέταση του φαινομένου του τόξου

2.3.1. Γενική θεώρηση

Πολλές έρευνες έχουν γίνει για την ποσοτική ανάλυση του φαινομένου του τόξου και έχουν διατυπωθεί αρκετά μαθηματικά μοντέλα έτσι ώστε να μπορούν να διατυπωθούν οι συνθήκες κάτω από τις οποίες το τόξου μπορεί ή δεν μπορεί να εμφανιστεί.

2.3.2. Μοντέλο CLAVERIE, PORCHERON

Έρευνα επίσης ενδιαφέρουσα πάνω σ' αυτό το αντικείμενο έγινε από τους P. CLAVERIE και Y. PORCHERON. Πιο κάτω συνοψίζονται τα αποτελέσματα της ποσοτικής αναλύσεως του φαινομένου του τόξου

Σχετικά χρησιμοποιούνται οι κάτω συμβολισμοί:

V : τάση που επιβάλλεται στον μονωτήρα (τιμή κορυφής) (VOLTS)

V_c : τάση δημιουργίας ηλεκτρικού τόξου (τιμή κορυφής) (VOLTS)

I : ρεύμα διαρροής (τιμή κορυφής) (AMP.)

I_m : μέγιστο ρεύμα διαρροής (τιμή κορυφής) (AMP.)

X : μήκος ηλεκτρικού τόξου (cm)

X_h : μέγιστο μήκος τόξου (cm)

$R(x)$: αντίσταση σε σειρά με το τόξο (OHMS)

p : Ειδική αντίσταση του ηλεκτρολύτη ρυπάνσεως (DHMS. cm)

$F(x)$: Συνάρτηση λειτουργίας της αγωγίμης οδού.

$$F(x) = \frac{R(x)}{P}$$

Από δοκιμές πειραματικές έχει διαπιστωθεί ότι η τάση του

$$\text{ηλεκτρικού τόξου είναι } V_{arc} = \frac{100x}{\sqrt{i}}$$

Η αντίσταση R , σε σειρά με το τόξο έχει τιμή που προφανώς εξαρτάται από το μήκος του τόξου πάνω στην επιφάνεια του μονωτήρα π.χ. για ένα μονωτήρα τέρματος οι αντιστάσεις εν σειρά θα μειώνονται καθώς το τόξο θα προχωρεί από το στέλεχος του μονωτήρα προς την κάψα του.

Αν η ρύπανση αποτελείται από μια οδό ηλεκτρολύτη με ομοιόμορφη ειδική αντίσταση P τότε η $R(x) = P \cdot F(x)$ και θα είναι

$$V = \frac{100x}{\sqrt{i}} + R(x) \qquad I = \frac{100x}{\sqrt{i}} + P \cdot F(x) \cdot I$$

Η βασική εξίσωση για την επανέναυση του τόξου, που έχει διαπιστωθεί πειραματικά σε φυσικά και τεχνητά ρυπασμένους μονωτήρες είναι :

$$V > \frac{800 \cdot x}{\sqrt{i}}$$

Ύστερα από αυτά προκύπτει ότι αν η τάση που επιβάλλεται στο μονωτήρα είναι V , αποδειχεται ότι το τόξο δεν θα υπερβεί ένα μήκος Xm έτσι ώστε:

$$V = 90Xm^{2/3} \cdot R(Xm)^{1/3}$$

Η μέγιστη τιμή του ρεύματος $Im = (800 \cdot Xm/V)^2$

Αν η ρύπανση του μονωτήρα δεν αυξηθεί (έστω και αν μερικό τόξο εμφανιστεί στην επιφάνεια του μονωτήρα και υπάρχει ρεύμα διαρροής) δεν θα δημιουργηθεί ηλεκτρικό τόξο. Αν τώρα η τάση που επιβάλλεται σε ένα ρυπασμένο μονωτήρα αυξάνεται προοδευτικά, τότε θα παρουσιάσει μια συνεχής αύξηση του τόξου Xm όπως φαίνεται και από τη σχέση :

$$V = 90Xm^{2/3} \cdot R(Xm)^{1/3}$$

Υπάρχει όμως μια κριτική τάση Vc που δεν μπορεί να ξεπεραστεί χωρίς να προκαλέσει τη δημιουργία ηλεκτρικού τόξου. Στην κριτική αυτή τάση Vc θα αντιστοιχεί ένα κριτικό ρεύμα Jc που θα προκύπτει από τις κάτω σχέσεις :

$$V_c = 90X_c^{2/3} \cdot R(X_c)^{1/3}$$

$X_c = (800X_c/V_c)^2$ όπου X_c προκύπτει από την επίλυση της

εξισώσεως $\frac{d(x^2 \cdot R(x))}{dx} = 0$

Εφόσον η συνάρτηση $R(x)$ είναι γνωστή, μπορούν να προσδιοριστούν τα V_c και J_c . Από εργαστηριακές έρευνες

προέκυψε ότι για $\frac{L}{4} < x < \frac{3L}{4}$ η συνάρτηση $R(x)$ μπορεί να

πάρει την απλουστευμένη μορφή :

$$R(x) = P \cdot C (L - x) \text{ όπου}$$

c είναι μία σταθερά που εξαρτιέται βασικά από το πάχος της ρύπανσης.

Έτσι μπορεί να προσδιοριστεί ότι η τάση $V_c = P^{1/3} \cdot K \cdot L$

Αν λοιπόν το γινόμενο $P^{1/3} \cdot K$ είναι γνωστό μπορεί να υπολογιστεί η τάση V από το μήκος ερπυσμού L και το αντίστροφο.

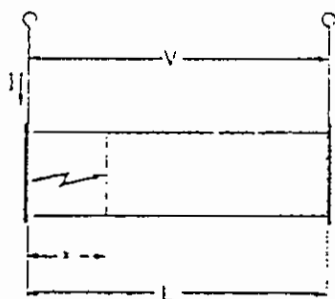
Από την έρευνα που έγινε προέκυψαν οι πιο κάτω τιμές για την παράσταση $P^{1/3} \cdot K$ σε cm/kV σε συνάρτηση με το είδος της ρύπανσης μιας περιοχής.

Έτσι οι ερευνητές πρότειναν τον πιο κάτω πίνακα.

| A/A | Είδος περιοχής | Ισοδύναμη ρύπανση g/l | $P^{1/3} \cdot K$ (cm/kV) (φασική τάση) |
|-----|-------------------------------|--------------------------|--|
| 1 | Περιοχές χωρίς προβλήματα | 5 | 1,3 |
| 2 | Ελαφρά μολυσμένες περιοχές | 28 | 2,0 |
| 3 | Σοβαρά μολυσμένες περιοχές | 80 | 2,8 |
| 4 | Πολύ μολυσμένες περιοχές | 226 | 3,7 |

2.3.3. Μοντέλο ALSTON & ZOLEDZIONKI

Ένα τέτοιο απλουστευμένο μοντέλο είναι των ALSTON και ZOLEDZIONKI που αναφέρεται σε μια απλή περίπτωση από μια ορθογώνια ρυπασμένη ταινία μεταξύ δύο ηλεκτροδίων. Στο πιο κάτω σχέδιο παριστάνεται το απλουστευμένο αυτό μοντέλο.



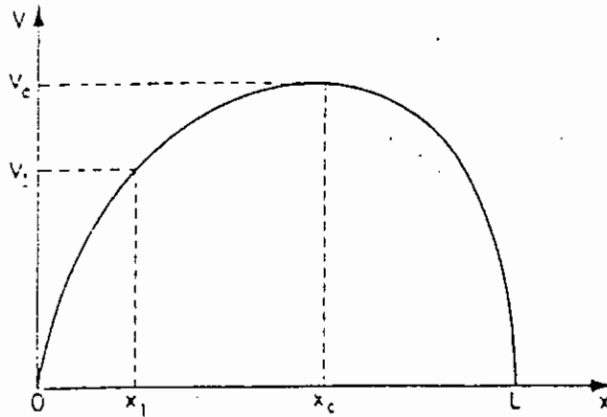
Σχήμα 4

Αν l η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων
 x η απόσταση εμφάνισης του μερικού τόξου
 r η αντίσταση μονάδας μήκους ρυπασμένης ταινίας
 I το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα, τότε η τάση V ,
 απαραίτητη για τη συντήρηση του κυκλώματος αυτού, είναι:

$$V = AXI^{-n} + r \cdot (l - x)I \text{ όπου}$$

A και n πειραματικές σταθερές που προσδιορίζουν την τάση κατά μήκος του τόξου. Από την εξίσωση, για μια δοσμένη τιμή της αντιστάσεως r , μπορεί να βρεθεί η ελάχιστη τιμή του V που απαιτείται για να μπορέσει να εμφανιστεί το μερικό τόξο κατά μήκος του X .

Έτσι όπως από το πιο κάτω σχέδιο φαίνεται



Σχήμα 5

ότι, αν η επιβαλλόμενη τάση είναι V_1 και το μήκος του τόξου είναι μικρότερο από X_1 τότε το μερικό τόξο θα αναπτυχθεί μόνο του έως ότου φτάσει το μήκος X_1 . Από το ίδιο σχέδιο και την εξίσωση προκύπτει ότι:

$$V_c = A^{1/n+1} \chi I \chi r^{n/n+1}$$

και αντίστοιχα μήκος $X_c = 1/n+1$

Έτσι φαίνεται ότι αν η τάση επιβολής είναι μικρότερη από την κριτική τάση V_c τότε δεν μπορεί να εμφανιστεί ηλεκτρικό τόξο. Το μοντέλο όμως αυτό δεν ανταποκρίνεται καλά σαν δεδομένο της εμπειρίας σε πραγματικούς μονωτήρες.

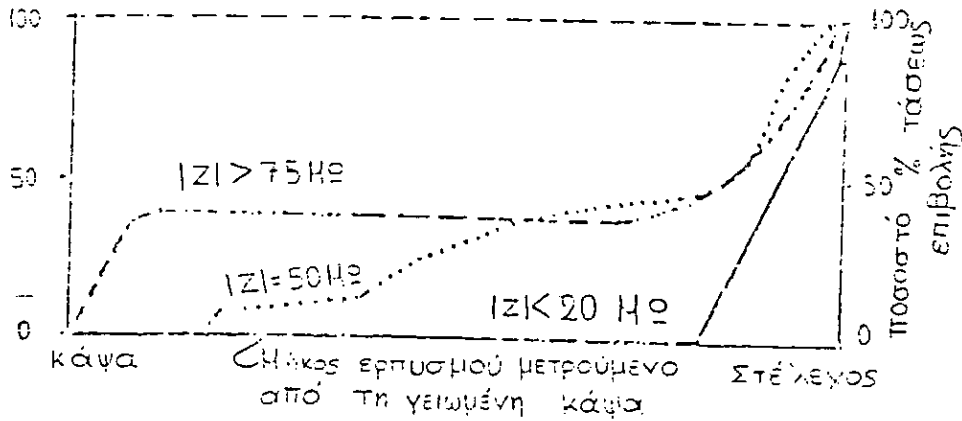
2.4. Επεξήγηση της δυναμικής κατανομής της τάσεως κατά BAKER, KAWAI

Η εργαστηριακή έρευνα πάνω στο πρόβλημα της κατανομής της τάσεως πάνω στην επιφάνεια του μονωτήρα έχει αναπτυχθεί από τους A.C BAKER και M. KAWAI που εξέτασαν το πρόβλημα αυτό κάτω από τεχνητές συνθήκες ρυπάνσεως πραγματικών μονωτήρων. Στην έρευνά τους, μέτρησαν πως κατανέμεται η τάση πάνω στην επιφάνεια του μονωτήρα και κατέληξαν στα πιο κάτω συμπεράσματα.

2.4.1. Προσπινθηρισμός (προεκκένωση)

Η αντίσταση της ρυπασμένης επιφάνειας του μονωτήρα όταν βρεθεί σε υγρό περιβάλλον προφανώς ελαττώνεται και η κατανομή της τάσεως αρχίζει και προοδευτικά γίνεται χειρότερη καθώς ο μονωτήρας εκτίθεται σε χαμηλή υγρή ομίχλη.

Η έρευνα αφορά σε μονωτήρα 10" κανονικού τύπου. Η διάρκεια της κάθε μιας δοκιμής ήταν 45 - 60 λεπτά.



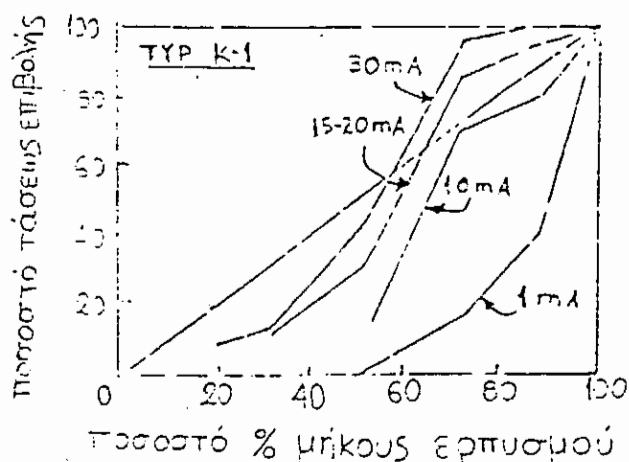
Σχήμα 6

Ύστερα από μια χρονική περίοδο ο ελαφρά φωτισμένος μονωτήρας παρουσιάζει μια πολύ στενή ξηρή ζώνη γύρω από το στέλεχος του μονωτήρα και όλη σχεδόν η τάση κατανέμεται κατά μήκος της ξηρής αυτής ζώνης. Αυτή η συγκέντρωση της τάσεως οδηγεί σε σπινθηρισμούς και τελικά μπορεί να καταλήξει στη δημιουργία μερικών ηλεκτρικών τόξων.

Παρόμοια αποτελέσματα διαπιστώθηκαν για όλα τα είδη των μονωτήρων τέρματος με εξαίρεση τους μονωτήρες με ημιαγωγίμη επιφάνεια. Σ' αυτούς το ρεύμα διαρροής ήταν σταθερό κατά τη διάρκεια της δοκιμής και η επιφάνεια παρέμεινε ξηρή εξαιτίας των απωλειών JOULE. Η κατανομή της τάσεως παρέμεινε γραμμική και δεν σχηματίστηκαν ξηρές ζώνες.

2.4.2. Σπινθηρισμός μονωτήρων

Ο σπινθηρισμός αρχίζει να παρουσιάζεται όταν οι ξηρές ζώνες που σχηματίστηκαν γύρω από το στέλεχος δεν μπορούν να αντέξουν την τάση που αναπτύσσεται κατά μήκος τους. Οι ξηρές ζώνες γεφυρώνονται από το τοπικό ηλεκτρικό τόξο και έτσι η τάση που επιβάλλεται κατανέμεται κάτω από τη βρεγμένη επιφάνεια.



Σχήμα 7

Στην αρχή του φαινομένου των σπινθηρισμών (έρευνα σε μονωτήρα K1 (146,254,2,95)) το ρεύμα είχε τιμή 1mA και αυξήθηκε στα 10mA ακριβώς πριν από τη δημιουργία ηλεκτρικού τόξου.

Με την αύξηση του εύρους του ρεύματος διαφυγής η κατανομή της τάσεως τείνει να γίνει πιο ευθύγραμμη από ότι είναι στην αρχή του φαινομένου.

Από την έρευνα αυτή διαπιστώθηκε ακόμη ότι η εμφάνιση των σπινθηρισμών αρχίζει όχι μόνο από το στέλεχος του μονωτήρα αλλά και από οποιαδήποτε σημείο των εξωτερικών πτερυγίων του μονωτήρα.

Εξαιτίας αυτού του φαινομένου (που σημαίνει ότι η δυναμική κατανομή της τάσεως, δεν είναι ανάλογη προς την επιφανειακή αντίσταση κατά μήκος της ακτινικής διευθύνσεως) για ορισμένους τύπους μονωτήρων είναι ενδεχόμενο ότι όλο το μήκος ερπυσμού δεν θα δρα δραστικά και επομένως θα πρέπει να υπολογίζεται μια μείωση στο δοσμένο μήκος ερπυσμού του μονωτήρα, π.χ. Ο κλασσικός μονωτήρας τέρματος των 10" ενώ έχει μήκος ερπυσμού γεωμετρικό 380, το πραγματικό δραστικό μήκος ερπυσμού είναι 184.

Επίσης για τον μονωτήρα ομίχλης που αναφέρθηκε πιο πάνω το γεωμετρικό μήκος ερπυσμού είναι 430 και το δραστικό μήκος ερπυσμού μόνο 180.

Γενικά, παρατηρήθηκε κατά τις δοκιμές ότι ανάλογα με το είδος των μονωτήρων υπάρχει μια μείωση του μήκους ερπυσμού έτσι ώστε το δραστικό μήκος ερπυσμού να είναι το 40-50% του κανονικού μήκους ερπυσμού.

3. Επίδραση της διάταξης των μονωτήρων αναρτήσεως (οριζόντια, κατακόρυφη και σχήματος V)

3.1. Αποτελέσματα έρευνας KARCIC

Η πιο εκτεταμένη έρευνα στο θέμα αυτό έχει γίνει από τους FLUGUM και KARCIC τα αποτελέσματά της συνοψίζονται πιο κάτω.

Εξετάστηκε η συμπεριφορά 3 ειδών μονωτήρων τέρματος σε οριζόντια διάταξη, κατακόρυφη και σε σχήμα V. Σαν μέθοδος μόλυνσης χρησιμοποιήθηκε τόσο η της απ' ευθείας προσβολής του μονωτήρα από αλατούχο ομίχλη όσο και της ύγρανσης της ρυπασμένης επιστρώσεως του μονωτήρα. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι κάτω από δοσμένη ρύπανση gr/lit η ελάχιστη τάση τόξου (FLASHOVER-VOLTAGE) είναι μικρότερη για την οριζόντια διάταξη, μετά έρχεται η κατακόρυφη διάταξη και τέλος η ευνοϊκότερη είναι η διάταξη σε σχήμα V.

Γενικά η συμπεριφορά των μονωτήρων στα τρία είδη διατάξεων είναι διαφορετική εξαιτίας του μηχανισμού ανάπτυξης του μερικού

τόξου σε ολικό ηλεκτρικό τόξο.

Από παρατηρήσεις, σε οριζόντια διάταξη, βγήκε το συμπέρασμα από την κίνηση του μερικού τόξου, ότι όλο το μήκος ερπυσμού του μονωτήρα δεν είναι δραστικό.

Το αρχικό μερικό τόξο που πρωτοεμφανίζεται στην περιοχή του στελέχους του μονωτήρα, εξαιτίας θερμικού φαινομένου οδηγείται προς τα πάνω, γεφυρώνοντας τις δύο επιφάνειες, των διαδοχικών μονωτήρων, χωρίς να μεσολαβήσει όλο το μήκος ερπυσμού. Αυτό οδηγεί σε μια χαλαρή τιμή υπερπηδήσεως μέρους ή ολόκληρης της αλυσίδας των μονωτήρων.

Εξάλλου τα δημιουργούμενα τόξα ευκολότερα αποσβένονται εξαιτίας της ευνοϊκής οριζόντιας διατάξεως των μονωτήρων.

Στην κατακόρυφη διάταξη των μονωτήρων, αντίθετα με τα προηγούμενα, το τόξο από την τάση που έχει να αυτοωθείται προς τα πάνω περιτρέχει όλη την επιφάνεια των μονωτήρων και έτσι χρησιμοποιείται όλο το μήκος ερπυσμού.

Εξάλλου τα θερμά τονισμένα αέρια που ανέρχονται, δημιουργούν μια αγώγιμη στήλη, διεγείρουν τη δημιουργία τόξου πριν ενωθούν τα μερικά τόξα.

Η διάταξη σε σχήμα V παρέχει τα πλεονεκτήματα των δύο άλλων διατάξεων και γι' αυτό θεωρείται ευνοϊκότερη. Παράλληλα θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο πλύσιμο των μονωτήρων με νερό της βροχής είναι σαφώς πλεονεκτικότερη η οριζόντια διάταξη.

3.2. Αποτελέσματα έρευνας B. MACCIAROLI

Στη μελέτη των B. MACCIAROLI, F. TURNER (1970) αναφέρονται τα εξής συμπεράσματα σχετικά με τη διάταξη των μονωτήρων:

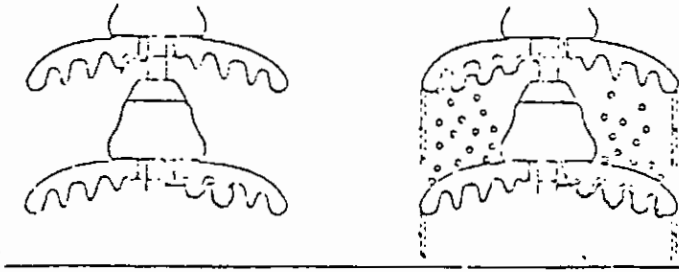
- Η αντοχή των ρυπασμένων μονωτήρων σε ηλεκτρικό τόξο για τις περιπτώσεις κάθετης ή οριζόντιας διάταξης μονωτήρων αναρτήσεως είναι ισοδύναμη.
- Η μεγαλύτερη ικανότητα των μονωτήρων αναρτήσεως σε οριζόντια διάταξη να αυτοκαθαρίζονται από το νερό της βροχής, μπορεί να προκαλέσει αυξημένη αντοχή των μονωτήρων σε οριζόντια διάταξη, όταν χρησιμοποιούνται σε δίκτυα.

3.3. Έκθεση αποτελεσμάτων CIGRE

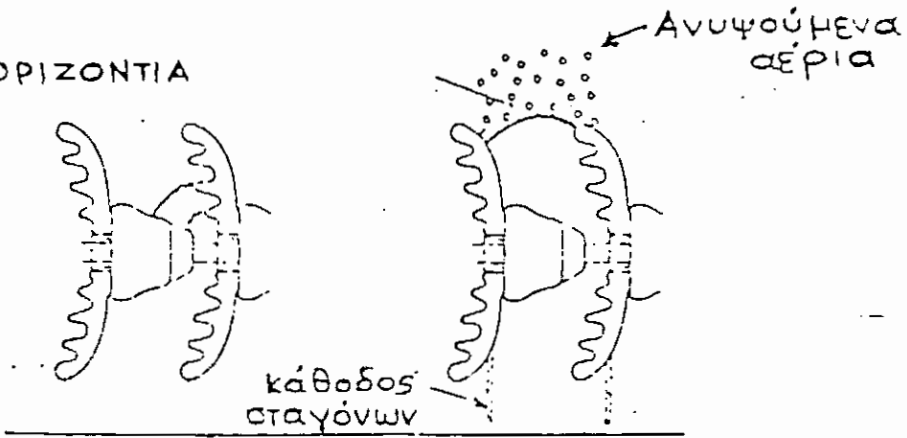
Στη δημοσίευση 33-02/1970/24.8 της CIGRE, από τα αποτελέσματα της έρευνας για ρυπασμένους μονωτήρες προκύπτουν τα εξής :

Στο σχέδιο που υπάρχει πιο κάτω φαίνεται η διαδικασία εμφάνισης του τόξου στα τρία είδη διατάξεων.

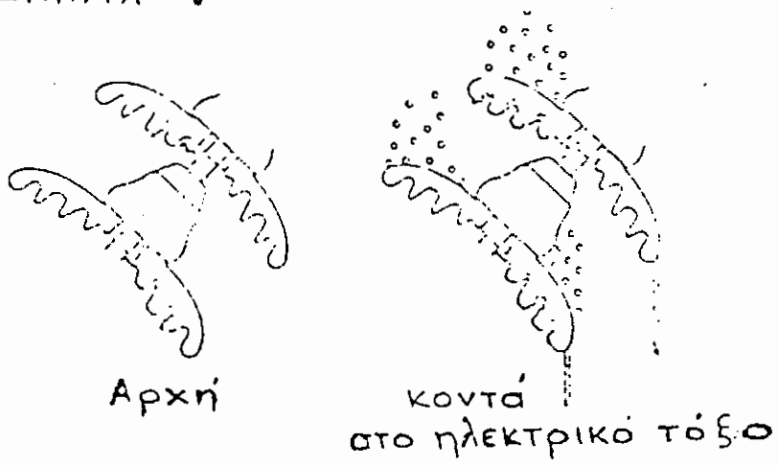
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΘΕΣΗ



ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ



ΣΧΗΜΑ V



Σχήμα 8

- Οι μονωτήρες αναρτήσεως συμπεριφέρονται καλύτερα σε δοκιμές αλατούχου ομίχλης όταν είναι υπό κλίση ή οριζόντια παρά όταν είναι σε κατακόρυφη διάταξη:
- Σε συνθήκες δικτύων με πραγματική ρύπανση ο προσανατολισμός των οριζόντιων αλυσίδων σε σχέση με την κατεύθυνση της ρυπάνσεως μπορεί να έχει μεγάλη επίδραση στη λειτουργία των μονωτήρων.

3.4. Αποτελέσματα έρευνας M. KAWAI

Από άλλη εργαστηριακή έρευνα του M. KAWAI (δημοσίευση 1973) προέκυψε ότι οι μονωτήρες αναρτήσεως του γενικά χρησιμοποιούμενου τύπου 5 3/4"-10"-11 " παρουσιάζουν σε διάταξη V μια καλύτερη συμπεριφορά κατά 30% απέναντι στους μονωτήρες που έχουν εγκατασταθεί οριζόντια.

3.5. Κανονισμός IEC-50711975 (ARTIFICIAL POLLUTION TESTS ON H.V.INSULATORS TO BE USED ON A.C. SYSTEMS)

Σύμφωνα με το κανονισμό IEC - 507 στις δοκιμές οι μονωτήρες τοποθετούνται σε κατακόρυφη διάταξη. Αυτή η διάταξη δίνει τα πιο μικρά αποτελέσματα και ενδείκνυται για τη σύγκριση των μονωτήρων των διαφόρων τύπων.

3.6. Συμπεράσματα

Η κατακόρυφη και οριζόντια διάταξη των μονωτήρων τέρματος πρέπει να θεωρούνται σχεδόν ισοδύναμες γιατί από τα στοιχεία που μέχρι τώρα συγκεντρώθηκαν, δε βγαίνει το θετικό συμπέρασμα ότι πλεονεκτεί η μια διάταξη απέναντι στην άλλη. Εκείνο όμως για το οποίο όλοι συμφωνούν είναι ότι η διάταξη σε σχήμα V πλεονεκτεί.

4. Κανονισμοί δοκιμών τεχνητά ρυπασμένων μονωτήρων για συστήματα E.P. σύμφωνα με τη δημοσίευση 507/1975 της I.E.C.

4.1. Γενικά για τις εργαστηριακές έρευνες δοκιμών μονωτήρων κάτω από συνθήκες τεχνητής ρύπανσης

Οι εργαστηριακές έρευνες αποσκοπούν στη μελέτη της συμπεριφοράς των μονωτήρων σε συνθήκες ρύπανσης ώστε να προσδιοριστεί ο κατάλληλος τύπος μονωτήρα για κάποιο δίκτυο.

Τη περίοδο 1970-1980 είχαν επινοηθεί αρκετές μέθοδοι (από την ιταλική ENEL, τη γαλλική EDF την ιαπωνική NGK κατά κύριο λόγο καθώς και από άλλες εταιρείες όπως η PACIFIC GAS AND ELECTRIC COMPANY στην Καλιφόρνια, η GENERAL ELECTRIC στο Πίτσφελντ κλπ.) για την εκτέλεση δοκιμών σε

μολυσμένους μονωτήρες κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες έτσι ώστε οι εργαστηριακές δοκιμές να αναπαριστούν όσο το δυνατό ακριβέστερα το φυσικό φαινόμενο της ρύπανσης.

Οι μέθοδοι αυτοί ενσωματώθηκαν στο κανονισμό I.E.C. -507 που εκδόθηκε το 1975 και αφορά δοκιμές μονωτήρων γραμμών υψηλής τάσεως κάτω από συνθήκες τεχνητής γήρανσης.

4.2. Κατηγορίες εργαστηριακών δοκιμών

Γενικά μπορούμε να κατατάξουμε τις μεθόδους δοκιμών μονωτήρων κάτω από συνθήκες τεχνητής ρύπανσης σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- i). στην απευθείας προσβολή του μονωτήρα από αλατούχο ομίχλη (SALT FOG METHOD)
- ii) στην δημιουργία ενός ομοιόμορφου στερεού επιστρώματος (αγώγιμο ηλεκτρολυτικό στρώμα) στην επιφάνεια του μονωτήρα (SOLID LAYER METHOD)

4.2.1. SALT FOG METHOD

Είναι μια μέθοδος της απευθείας προσβολής του μονωτήρα από αλατούχο ομίχλη (που δημιουργείται σε ειδικά κατασκευασμένο θάλαμο).

Ο μονωτήρας τίθεται υπό τάση μέσα σε περιβάλλον αλατούχου

ομίχλης, της οποίας η συγκέντρωση διαλύσεως άλατος, καθαρίζει τη σοβαρότητα ρυπάνσεως της δοκιμής.

Το αλατούχο διάλυμα μπορεί να γίνει από NaCl εμπορικής καθαρότητας και νερό βρύσης.

Η αλατούχος συγκέντρωση στο διάλυμα (SALINITY) εκφράζεται από τη μάζα του άλατος σε kg ανά όγκο διαλύματος σε m³. Η συγκέντρωση του αλατούχου διαλύματος που θα χρησιμοποιηθεί θα έχει μια από τις τιμές 2.2, 3.5, 5, 7, 10, 14, 20, 28, 40, 56, 80, 112, 160, και 224 kg/m.

Το μέγιστο επιτρεπτό λάθος στη παραπάνω συγκέντρωση είναι $\pm 5\%$ της ονομαστικής τιμής.

Επιτρεπόμενη αντοχή μονωτήρα σε αλατούχο ομίχλη είναι εκείνη η συγκέντρωση διαλύματος που επιτρέπει στο μονωτήρα να αντέξει προδιαγραμμένη τάση τρεις στις τέσσερις φορές.

4.2.2. SOLID LAYER METHOD

Με τη μέθοδο αυτή επιστρώνεται πάνω-πάνω στην επιφάνεια του μονωτήρα ένα αγωγίμο ηλεκτρολυτικό στρώμα που περιλαμβάνει αδιάλυτα μέρη. Μετά ο μονωτήρας εισέρχεται σε θάλαμο όπου επικρατούν συνθήκες ελεγχόμενης υγρασίας και δοκιμάζονται στην επιβολή τάσης.

Η μέθοδος αυτή απαιτεί δύο θαλάμους :

- το θάλαμο ρύπανσης για τη δημιουργία του στρώματος ρύπανσης στην επιφάνεια του μονωτήρα και
- το θάλαμο δοκιμών όπου επικρατούν συνθήκες ελεγχόμενης υγρασίας.

Το επίστρωμα ρύπανσης (Pollution layer) είναι ένα αγωγίμο ηλεκτρολυτικό στρώμα, που περιλαμβάνει αδιάλυτα και διαλυτά μέρη.

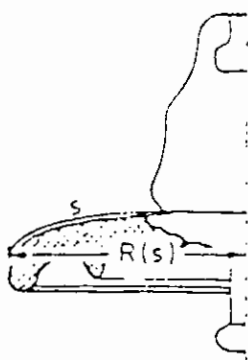
Η αγωγιμότητα της επιστρώσεως G (Layer conductance) είναι η μετρούμενη αγωγιμότητα της μολυσμένης επιφάνειας κατά τη διάρκεια της ύγρανσης (wetting) και γίνεται με μια πρόσφορη μέθοδος με μια τάση μέχρι 2 kV r.m.s. ανά μέτρο μήκους ερπυσμού του μονωτήρα.

Η ειδική αγωγιμότητα της επιστρώσεως K (Layer conductivity) είναι η τιμή της αγωγιμότητας της επιστρώσεως πολλαπλασιασμένη με τον παράγοντα μορφής (form factor) τού μονωτήρα δηλαδή $K = G \cdot F$.

Ο παράγοντας μορφής f του μονωτήρα υπολογίζεται από τις διαστάσεις του και τη γεωμετρική του μορφή (όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα) και δίνεται από τη σχέση :

$$f = \int_0^l \frac{ds}{\pi D(s)} = \int_0^l \frac{ds}{2\pi R(s)}$$

όπου $D(s)$, $R(s)$ είναι η διάμετρος, ακτίνα του μονωτήρα στο sI το συνολικό μήκος ερπυσμού s μήκος ερπυσμού μετρούμενο από το ένα ηλεκτρόδιο.



Σχήμα 9

Αν θ Κελσίου είναι η θερμοκρασία της επιφάνειας του μονωτήρα τότε η μετρημένη ειδική αγωγιμότητα $K\theta$ θα μετατραπεί σε μια θερμοκρασία αναφοράς 20 Κελσίου στην K_{20} χρησιμοποιώντας την επόμενη σχέση:

$$K_{20} = \frac{1,6}{1 + 0,03\theta}$$

Ειδική αγωγιμότητα αναφοράς της επιστρώσεως (Reference layer conductivity) είναι η τιμή της ειδικής αγωγιμότητας της επιστρώσεως που χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει μια δοκιμή.

Για τη διαδικασία α (procedure a) που θα αναφερθεί αναλυτικά σε επόμενη παράγραφο - η reference - layer conductivity είναι η μέγιστη τιμή της ειδικής αγωγιμότητας της επίστρωσης μετρημένη

πριν τη πρώτη δοκιμή σ' αυτό το επίστρωμα.

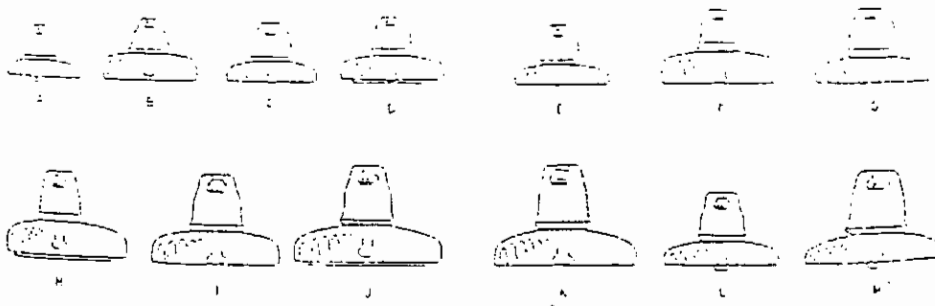
Παρακάτω βλέπουμε τα προφίλ 13 μονωτήρων (κοινών και ομίχλης) που χρησιμοποιήθηκαν από την NGK για δοκιμές κάτω από συνθήκες ρύπανσης και στον πίνακα τις διαστάσεις τους όπου έχει υπολογιστεί και ο form factor f του καθένα από αυτούς.

| Type of Insulator | Part Number | Material | Core Diameter (mm) | Body Diameter (mm) | Length (mm) | Volume of Shell, cm ³ | Surface Area, cm ² | Form Factor f |
|-------------------|------------------|------------|--------------------|--------------------|-------------|----------------------------------|-------------------------------|---------------|
| A | 21,000701,000 21 | Επιχάλκινη | 8-3/16" | 10" | 10" | 1.45 | 116 cm ² | 0.012 |
| B | 21,000730,000 21 | Τεφ | 8-3/16" | 10" | 10" | 1.95 | 122 cm ² | 0.016 |
| C | 21,000740,000 21 | Επιχάλκινη | 8-3/16" | 10" | 11-1/2" | 2.02 | 116 cm ² | 0.017 |
| D | 21,000740,000 21 | Τεφ | 8-3/16" | 11-1/2" | 11-1/2" | 2.45 | 143 cm ² | 0.020 |
| E | 21,000750,000 21 | Επιχάλκινη | 8-1/8" | 11" | 11-1/2" | 2.02 | 116 cm ² | 0.017 |
| F | 21,000750,000 21 | Τεφ | 8" | 11-5/8" | 11-1/2" | 2.24 | 124 cm ² | 0.018 |
| G | 91,000711 26 | Επιχάλκινη | 8-3/16" | 12-1/8" | 11" | 2.24 | 124 cm ² | 0.018 |
| H | 91,000711 26 | Τεφ | 8-3/16" | 13-3/16" | 11" | 3.24 | 167 cm ² | 0.022 |
| I | 91,000711 26 | Επιχάλκινη | 8-1/2" | 14-1/4" | 11-1/2" | 3.11 | 163 cm ² | 0.020 |
| J | 91,000711 26 | Τεφ | 8-1/2" | 14-1/2" | 11" | 3.24 | 174 cm ² | 0.022 |
| K | 120,000711 26 | Επιχάλκινη | 8-1/2" | 14-1/2" | 11-1/2" | 3.11 | 174 cm ² | 0.020 |
| L | 120,000711 26 | Τεφ | 8-1/2" | 14-5/8" | 11-1/2" | 3.23 | 173 cm ² | 0.020 |
| M | 91,000711 26 | Επιχάλκινη | 8-1/8" | 15-3/16" | 11" | 2.24 | 124 cm ² | 0.018 |

$$\text{Volume} = \frac{1}{3} \pi H (R^2 + Rr + r^2)$$

$$f = \frac{V}{A \cdot L}$$

where: V = Volume (volume measured from one electrode to the other) in cm³
 A = Surface Area of shell in cm²
 L = Length of shell in cm



Για τη διαδικασία β (procedure β) η reference layer conductivity είναι η τιμή της ειδικής αγωγιμότητας της επιστρώσεως μετρημένη αμέσως πριν τη δοκιμή.

4.2.2.1 Εφαρμογή του στρώματος μόλυνσης

Αυτή γίνεται σε κάποιο θάλαμο ρύπανσης όπου πρέπει να προετοιμαστεί αρχικά ένα διάλυμα (αιώρημα) για να επικαθήσει μετά στην επιφάνεια ενός καθαρού και ξηρού μονωτήρα ένα ομοιόμορφο στρώμα.

Για τη διαδικασία α η σύνθεση του αιωρήματος αυτού είναι η ακόλουθη :

1000 gr kieselguhr-diatomaceous earth (γή διατομιτών)

10 gr διοξειδίου πυριτίου με διαστάσεις κόκκων 2-20 μm

1000 gr νερό

Η ειδική αγωγιμότητα του αιωρήματος μπορεί να πάρει επιθυμητή τιμή με πρόσθεση ποσότητα αλατιού (NaCl ή CaCl₂).

Για ένα σωστό πάχος του στρώματος επικάθησης η ειδική αγωγιμότητα αναφοράς του εκλέγεται από τον επόμενο πίνακα:

| | | | | |
|---|------|------|------|-------|
| Ειδική αγωγιμότητα αναφοράς στους 20°C σε μs (ανοχή $\pm 15\%$) | 5 | 10 | 20 | 40 |
| Αντίστοιχη τιμή ειδικής αγωγιμότητας του προετοιμασμένου διαλύματος, στους 20°C σε $\mu\text{S/cm}$ | 1500 | 3000 | 6000 | 12000 |

Επίσης για τη σύνθεση του αιωρήματος ρύπανσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα υλικά όπως ο καολίνης, σκόνη ΤΟΝΟΚΟ, Cab-O-Sil (κλπ.) αντί του kjedelguhn ή του διοξειδίου του πυριτίου.

Ακόμη, η σοβαρότητα της δοκιμής μπορεί να χαρακτηρίζεται από το E.S.D.D.

Για τη διαδικασία β η σύνθεση του αιωρήματος μόλυνσης είναι η παρακάτω: 30 gr μεθυλοκελουλόζη 25 gr ελαφρά κιμωλία 1000 gr νερό και ενώ η ειδική αγωγιμότητα του αιωρήματος ρυθμίζεται από τη προστιθέμενη ποσότητα αλατιού, (NaCl ή CaCl_2) και η ειδική αγωγιμότητα αναφοράς του επιστρώματος εκλέγεται για ένα σωστό πάχος στρώματος, από τον παρακάτω πίνακα.

| | | | | |
|--|-----|------|------|------|
| Ειδική αγωγιμότητα αναφοράς στους 20°C σε μs (ανοχή $\pm 15\%$) | 5 | 10 | 20 | 40 |
| Αντίστοιχη τιμή ειδικής αγωγιμότητας του προετοιμασμένου διαλύματος, στους 20°C σε $\mu\text{ s/cm}$ | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |

Το τεχνητό επίστρωμα και για τις δύο διαδικασίες πρέπει να εφαρμοστεί στην επιφάνεια του καθαρού και ξηρού μονωτήρα με την χρησιμοποίηση μπέκ (ακροφύσια) για το ψεκασμό του μονωτήρα με το προετοιμασμένο αιώρημα.

Η διεύθυνση των μπέκ (spray nozzles) πρέπει να είναι τέτοια ώστε να δημιουργεί στην επιφάνεια του μονωτήρα ένα ομοιόμορφο επίστρωμα.

Μια απόσταση 20cm-40cm μεταξύ των μπέκ και του περιγράμματος της επιφάνειας του μονωτήρα έχει βρεθεί ότι είναι ικανοποιητική.

Ακόμη η διάμετρος των μπέκ πρέπει να είναι μεταξύ 0.5mm-2mm. Ο μονωτήρας πρέπει να περιστρέφεται σε οριζόντια ή κατακόρυφη θέση με μια ταχύτητα μεταξύ 30 rev/min-250 rev/min που έχει βρεθεί ότι είναι ικανοποιητική.

4.2.2.2. Ύγρανση της μολυσμένης επιφάνειας

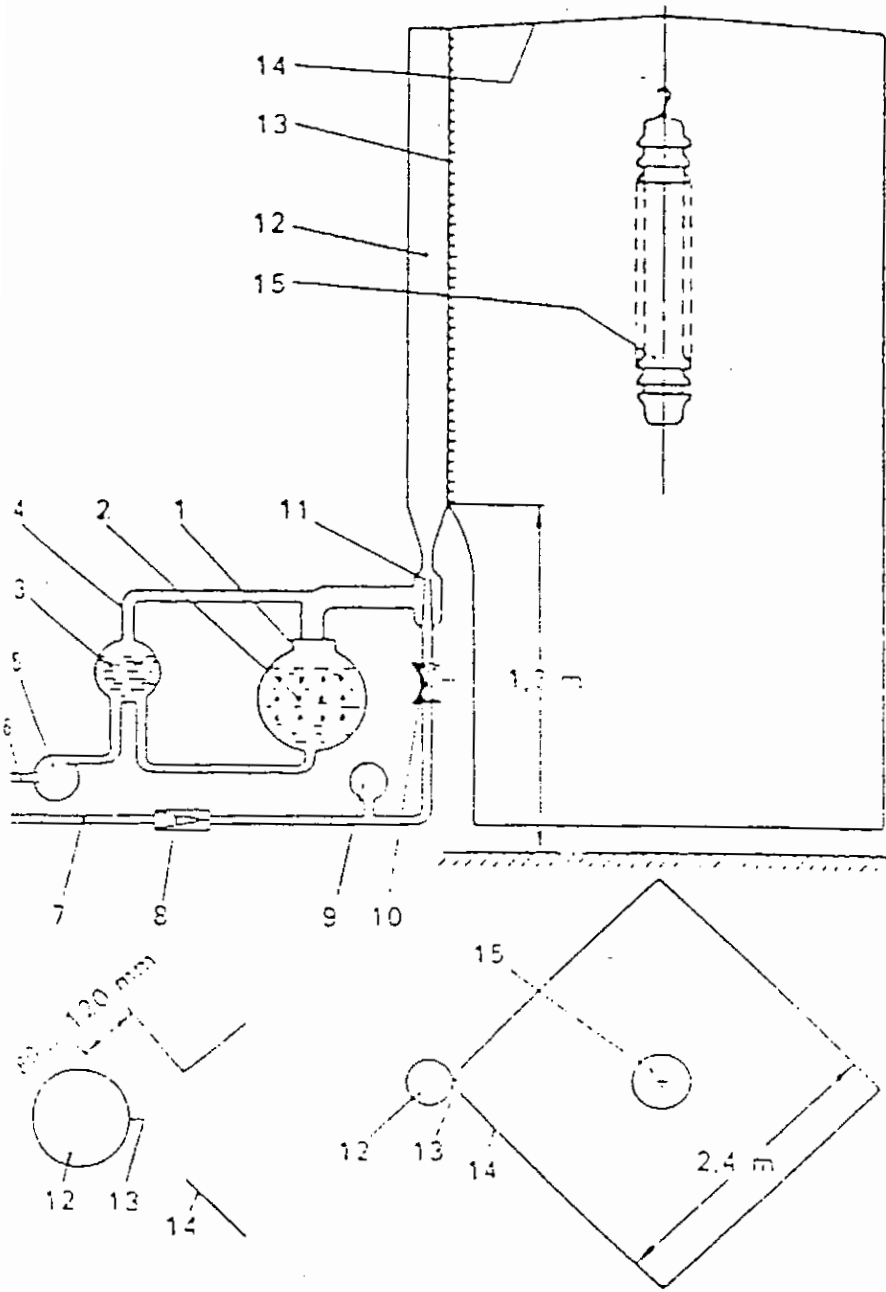
Η ύγρανση της επιφάνειας του μονωτήρα που ρυπάνθηκε (που γίνεται μόνο για τη διαδικασία αφού η διαδικασία β δεν χρειάζεται πρόσθετη ύγρανση) εκτελείται με μια γεννήτρια ομίχλης με ομοιόμορφη κατανομή γύρω από το μονωτήρα.

Αρχικά αναφέρεται ότι δεν πρέπει να παρατηρείται στάξιμο από τη κάτω επιφάνεια του μονωτήρα.

Επειδή υπάρχει πρόβλημα της συμπύκνωσης είναι καλύτερα να χρησιμοποιηθεί ομίχλη ατμού (Steam fog).

Μια τοπική διάταξη γεννήτριας Steam fog καθώς και μια μορφή θαλάμου δοκιμών με το αντικείμενο της δοκιμής (μονωτήρας) φαίνεται στο παρακάτω σχέδιο.

Η θερμοκρασία της ομίχλης κοντά στο αντικείμενο δοκιμών δεν θα πρέπει να ξεπερνά τους 40°C. Για κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας δωματίου, μια κλίμακα ροής 0.7 kgf ατμού / ώρα ανά κυβικό μέτρο του θαλάμου δοκιμών είναι επαρκής. Πάντως μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες μέθοδοι ύγρανσης εκτός από τη steam fog που να δίνουν μια ομοιόμορφη ύγρανση. Τέτοιες μέθοδοι ύγρανσης είναι η διοχέτευση ζεστού ή κρύου νερού (θερμοκρασία νερού πριν τα ακροφύσια 60°C-70°C ή 10°C αντίστοιχα), δηλαδή έχουμε warm fog ή cold fog, σε ακροφύσιο φαίνεται στο παρακάτω σχέδιο.



Σχήμα 10

Τυπική διάταξη γεννήτριας ομίχλης STEAM FOG. Διακρίνονται οι 12 θερμαντικές αντιστάσεις (3kw) στο βραστήρα χαμηλής πίεσης (χωρητικότητας 20 λίτρων, τα στόμια για την είσοδο του ατμού στο θάλαμο δοκιμών και ο κατακόρυφος μονωτήρας δοκίμιο.

| Περιεκτικότητα νερού στην ομίχλη gr/cm^3 | | | |
|---|----------|----------|-----------|
| | warm fog | cold fog | steam fog |
| Νερό σε κατάσταση ατμού | 25,8 | 19,4 | 34,4 |
| Νερό σε υγρή μορφή | 35,5 | 39,2 | 17,3 |
| Συνολική | 61,3 | 58,6 | 51,7 |

Πάντως, όταν πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάποια τέτοια μέθοδος πρέπει ο μονωτήρας να μείνει στο ψυγείο (η ψύξη χρειάζεται για τη συμπύκνωση υδρατμών) για μερικές ώρες πριν την ύγρανση.

Η συμπύκνωση που είναι το αποτέλεσμα της διαφοράς της θερμοκρασίας του μονωτήρα από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος του θαλάμου και της ομίχλης ενεργεί έτσι ώστε να έχουμε γρήγορη ύγρανση του επιστρώματος της ρύπανσης.

4.2.2.3. Διαδικασία δοκιμής (επιβολή τάσης)

Ο τεχνητά ρυπασμένος μονωτήρας τοποθετείται στη θέση δοκιμής στο θάλαμο ομίχλης. Η τιμή της ειδικής αγωγιμότητας του ρυπασμένου στρώματος αυξάνεται μέχρι που φτάνει μια μέγιστη τιμή. Τότε εφαρμόζεται η τάση δοκιμής ακαριαία ή δε χρόνο που

δεν ξεπερνάει τα 5 sec και παραμένει μέχρι να συμβεί υπερπήδηση ή για 15 min αν δεν συμβεί υπερπήδηση.

Μέγιστη τιμή ρύπανσης μονωτήρα σε δοσμένη τάση

Βρίσκεται η μέγιστη τιμή μόλυνσης (mgr/cm^2) ώστε να μη συμβεί υπερπήδηση του μονωτήρα για τρεις σε τέσσερις δοκιμές.

Μέγιστη αντοχή μονωτήρα σε μια δοσμένη ειδική αγωγιμότητα μολυσμένης επιφάνειας του μονωτήρα

Είναι η μέγιστη τάση που μπορεί να υποστεί ο μονωτήρας, με δοσμένη ρύπανση, χωρίς να συμβεί υπερπήδηση για τρεις σε τέσσερις δοκιμές.

Οι δοκιμές που αναφέρθηκαν χρησιμοποιούνται για τη διερεύνηση της συμπεριφοράς των μονωτήρων στα δίκτυα υψηλής τάσεως A.C. σε κανονική λειτουργία.

Οι κανονισμοί δοκιμών που αναφέρθηκαν ισχύουν για τάσεις A.C. μικρότερες των 765 kV. Για μεγαλύτερες τάσεις χρειάζεται νέα διερεύνηση του προβλήματος.

4.3. Κανονισμοί δοκιμών για την τοποθέτηση των δοκιμών

Οι μονωτήρες μαζί με τα μεταλλικά εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται για την ανάρτηση και τη σύνδεση τους στα δίκτυα κανονικά αναρτώνται στο θάλαμο δοκιμών σε κατακόρυφη διάταξη. Η διάταξη αυτή έχει τη μικρότερη ικανότητα αντοχής και

χρησιμεύει για τη σύγκριση διαφόρων τύπων μονωτήρων.

Δοκιμές σε οριζόντια ή κεκλιμένη διάταξη γίνονται μόνο όταν αυτό συνιστάται. Στη περίπτωση αυτή μόνο η συνιστάμενη διάταξη διερευνάται.

Για τη μέθοδο SALT-FOG η ελάχιστη απόσταση μεταξύ κάθε μέρους του μονωτήρα και κάθε γειωμένου αντικειμένου του θαλάμου εκτός από τα ακροφύσια και το σημείο στήριξης του μονωτήρα δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 0.5m ανά 100 kV της τάσης δοκιμής και σε καμιά περίπτωση μικρότερη από 2m.

Για τη SOLID-LAYER αρκεί να ικανοποιείται το κριτήριο των 0.5m ανά 100 kV της τάσης δοκιμής.

4.4. Κανονισμοί για τα χαρακτηριστικά της τάσης δοκιμής

Κατά τη διάρκεια της δοκιμής πρέπει ο μονωτήρας να βρίσκεται συνέχεια κάτω από καθορισμένη τάση η οποία γενικά είναι η φασική τάση του συστήματος στο οποίο χρησιμοποιείται ο μονωτήρας.

Η προσομοίωση του ηλεκτρικού πεδίου των γραμμών επιτυγχάνεται με τμήμα αγωγού Υ.Τ. το οποίο συνδέεται στο μονωτήρα. Η συχνότητα της τάσης δοκιμής πρέπει να βρίσκεται στο διάστημα μεταξύ 48 Hz και 62 Hz.

Το ελάχιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης της εγκαταστάσεως δοκιμών

εξαρτάται από το λόγο R/X της πηγής που παρέχει τη τάση δοκιμής. Ο παρακάτω πίνακας δίνει τα ελάχιστα όρια του ρεύματος βραχυκύκλωσης (Isc) που συνιστώνται για διαφορετικές τιμές του λόγου R/X.

| R/X Isc (min) r.m.s. | | |
|----------------------|--------------------|----|
| SALT FOG METHOD | SOLID LAYER METHOD | A |
| 0,05 | 0,05 | 5 |
| 0,05-0,15 | 0,05-0,15 | 7 |
| 0,15-0,5 | 0,15-0,3 | 10 |
| 0,5-1,5 | 0,3-0,5 | 15 |

5. Μέθοδος μέτρησης βαθμού ρύπανσης πάνω στην επιφάνεια μονωτήρων (φυσική ρύπανση)

5.1. Γενική θεώρηση (E.S.D.D.)

Στη παράγραφο αυτή περιγράφεται η μέθοδος μετρήσεως της ποσότητας επικάθησης υλικού μόλυνσης πάνω στην επιφάνεια των μονωτήρων, με την οποία μπορεί να γίνει η απεικόνιση του ποσοστού της ρύπανσης με τον όρο Ισοδύναμη πυκνότητα

επικάθησης αλάτων (E.S.D.D.).

Η ποσότητα όλων των ηλεκτρολυτικών ουσιών που περιέχονται στη μόλυνση θα αντιπροσωπεύεται και θα εκφράζεται με τη ποσότητα αλάτων (NaCl) E.S.D.D. που διάλυμά τους δίνει ειδική αντίσταση ίση με την ειδική αντίσταση του διαλύματος της επικαθήμενης ρύπανσης (τα διαλύματα είναι ίσου όγκου).

Η μέθοδος αυτή θεωρείται η πιο πρακτική για το καθορισμό του βαθμού μόλυνσης των μονωτήρων γιατί η μείωση της επιφανειακής μόνωσης του μονωτήρα προκαλείται από την ειδική αγωγιμότητα των ηλεκτρολυτικών ουσιών που περιέχονται στο μολυσμένο επίστρωμα.

5.2. Μέθοδος μέτρησης

α) Παίρνουμε διάλυμα από το στρώμα ρύπανσης με πλύσιμο του φυσικά ρυπασμένου μονωτήρα, με μια ορισμένη ποσότητα ($A \text{ cm}^3$) απεσταγμένου ή νερού βρύσης. Αυτή η μέθοδος είναι δυνατό να γίνει με πλύσιμο της επιφάνειας του μολυσμένου μονωτήρα, με μικρή βούρτσα, ενώ ταυτόχρονα ρίχνεται νερό από δοχείο που έχει λεπτό στόμιο. Η ποσότητα του διαλύματος του νερού μπορεί να μετρηθεί μετά το πλύσιμο.

β) Με γέφυρα MEGGER ή άλλο όργανο μπορούμε να μετρήσουμε την ειδική αντίσταση του διαλύματος. Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν τέτοια όργανα μπορούμε να

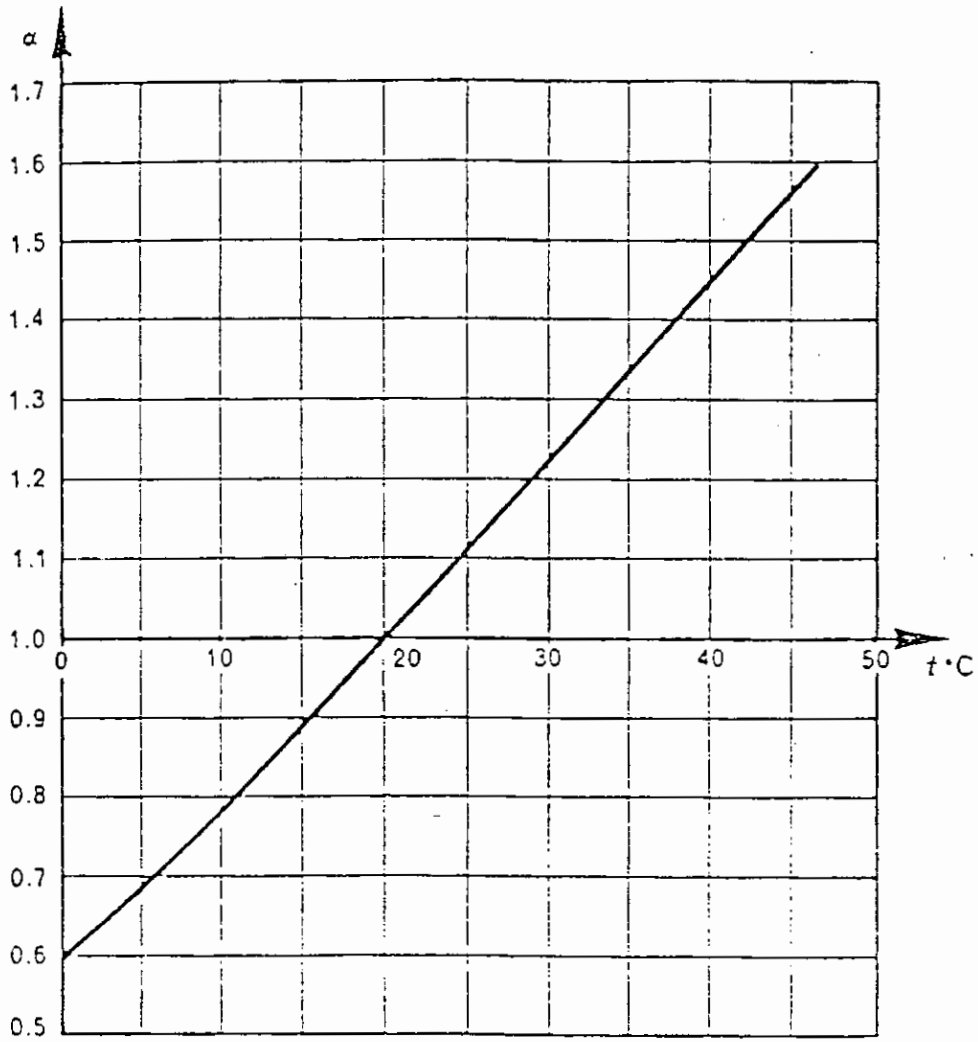
χρησιμοποιήσουμε αγωγιμόμετρο για τη μέτρηση της ειδικής αγωγιμότητας του διαλύματος και με τη σχέση $\rho=10^{4/\sigma}$ με ρ σε $\Omega\cdot\text{m}$ και σ σε $\mu\text{S}/\text{cm}$ να έχουμε την ειδική αντίσταση. Ακόμη, επειδή και το απεσταγμένο έχει κάποια μικρή ειδική αγωγιμότητα αλλά ακόμη περισσότερο το νερό τοπικής παροχής που έχει μεγάλη τιμή πρέπει η ποσότητα άλατος του νερού πριν το ξέπλυμα να αφαιρεθεί από την ποσότητα άλατος στο διάλυμα που προκύπτει μετά το ξέπλυμα της επιφάνειας του μονωτήρα. Αυτό γίνεται εύκολα με την αφαίρεση των αντίστοιχων ειδικών αντιστάσεων ή ειδικών αγωγιμοτήτων.

Έτσι η ειδική αντίσταση προκύπτει οφείλεται μόνο στο διάλυμα των ηλεκτρολυτικών ουσιών που υπάρχουν στο υλικό μόλυνσης. Συγχρόνως ανάγουμε τη μέτρηση της ειδικής αντίστασης στους 20 βαθμούς Κελσίου.

Αν η μέτρηση της ειδικής αντίστασης γίνεται σε t βαθμούς Κελσίου (P_t) τότε η αναγωγή γίνεται με τη σχέση

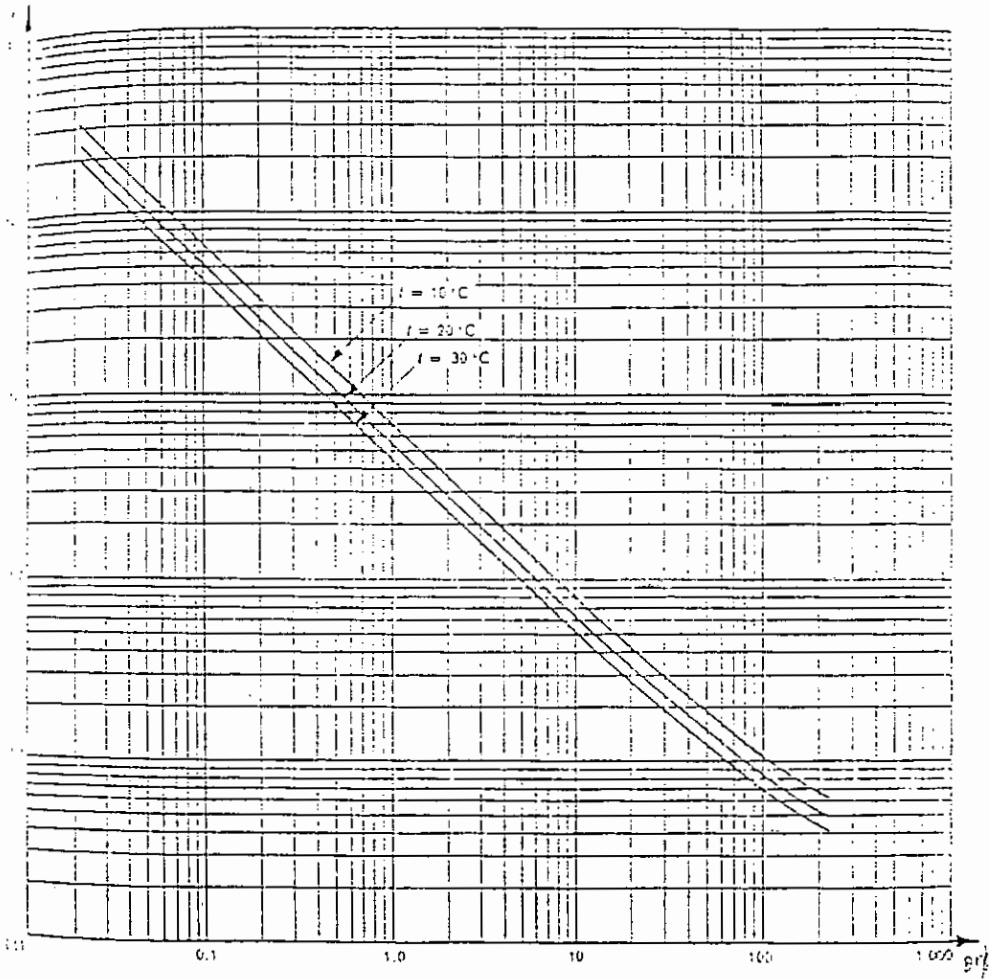
$$P_{20}=P_t \times \alpha$$

όπου ο παράγοντας διόρθωσης θερμοκρασίας α (TEMPERATURE CORRECTION FACTOR α) παίρνει τιμή από τη παρακάτω καμπύλη.



Σχήμα 12

Μεταβολή του παράγοντα α με την θερμοκρασία



SALINITY

Σχήμα 13

Διάγραμμα της ειδικής αντίστασης ($\Omega \cdot m$) αλατούχου διαλύματος σε συνάρτηση με την συγκέντρωση του διαλύματος σε αλάτι gr/lit.

γ) Η ισοδύναμη ποσότητα NaCl (συγκέντρωση B σε gr/lit) μπορεί να προσδιοριστεί συναρτήσει της ειδικής αντίστασης με χρησιμοποίηση του παραπάνω διαγράμματος ειδική αντίσταση του διαλύματος NaCl σε Ω.m με τη συγκέντρωση NaCl στο διάλυμα σε gr/lit για τρεις θερμοκρασίες διαλύματος ($t = 10^{\circ}\text{C}$, 20°C , 30°C).

δ) Η ισοδύναμη ποσότητα NaCl στο διάλυμα είναι :

$$X = A \text{ (cm}^3\text{)} \times B \text{ (gr/lit)} = A \times B \text{ (mgr)}$$

Η ισοδύναμη πυκνότητα επικάθησης αλάτων (A.S.D.D.) δηλαδή ισοδύναμη ποσότητα NaCl στη μονάδα της επιφάνειας που καθαρίστηκε του φυσικά ρυπασμένου μονωτήρα (s σε cm^2) είναι:

$$E.S.D.D. = \frac{X}{S} = \frac{A \cdot B}{S} \text{ (mgr/cm}^2\text{)}$$

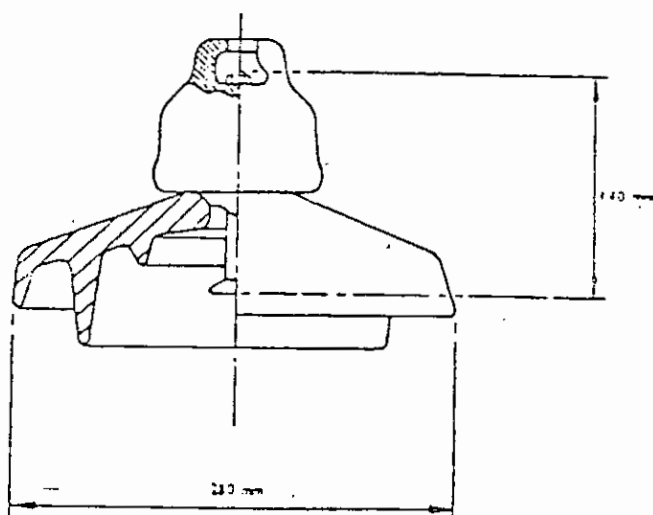
5.3. Τοποθέτηση μονωτήρων - δοκιμίων

Μονωτήρες - δοκίμια μπορούν να είναι εκτεθειμένοι στις δυσμενέστερες συνθήκες ρύπανσης που βρίσκεται εκτεθειμένος ο υπαίθριος ηλεκτρολογικό εξοπλισμός. Μονωτήρες - δοκίμια μπορούν να αφαιρούνται και να επανατοποθετούνται εύκολα όταν θέλουμε να μετρήσουμε συχνά την πυκνότητα επικάθησης αλάτων σ' αυτούς.

Για τους μονωτήρες ανάρτησης η ισοδύναμη πυκνότητα επικάθησης αλάτων για την πάνω και για την κάτω επιφάνεια

πρέπει να μετρηθεί ξεχωριστά έτσι ώστε η μεγαλύτερη τιμή που θα προκύψει (συνήθως η κάτω επιφάνεια έχει περισσότερη επικαθήμενη ρύπανση) να είναι κριτήριο για το επιτρεπτό όριο του βαθμού μόλυνσης.

Στο παρακάτω σχέδιο φαίνεται ένας μονωτήρας αναρτήσεως που χρησιμοποιείται στην Ιταλία (ENEL) και στην Γαλλία (EDF) σαν μονωτήρας - δοκίμιο για μετρήσεις σοβαρότητας μόλυνσης.



Σχήμα 14.

5.4. Παράγοντες που μεταβάλλουν το ποσοστό επικάθησης μόλυνσης

Το ποσοστό επικάθησης ρύπανσης στους μονωτήρες εξαρτάται και απ' τους ίδιους και από το περιβάλλον στο οποίο είναι εκτεθειμένοι.

i) Όσον αφορά τους ίδιους τους μονωτήρες είναι δυνατό για ίσα μήκη ερπυσμού σε μια ορισμένη περιοχή να προκύπτουν διαφορετικοί βαθμοί ρύπανσης λόγω του διαφορετικού προφίλ των μονωτήρων ή της διαφορετικής θέσης τους (σε θέση ανάρτησης ή σε θέση τάνυσης).

ii) Ο Παράγοντας του περιβάλλοντος εξαρτάται και από τις πηγές ρύπανσης και από τις τοπικές καιρικές συνθήκες που επικρατούν (κατεύθυνση, ένταση τοπικών ανέμων, σχετική υγρασία, κλπ.) κατά τη δημιουργία της μόλυνσης.

Το ποσοστό επικάθησης ρύπανσης στους μονωτήρες μεταβάλλεται ακόμη και εποχιακό.

Για μια σταθερή πηγή μόλυνσης και για ορισμένο μονωτήρα σε ίσα χρονικά διαστήματα δύο διαφορετικών εποχών η ποσότητα επικάθησης (ύπαρξη ή όχι βροχοπτώσης, ένταση και διάρκειά της κλπ.).

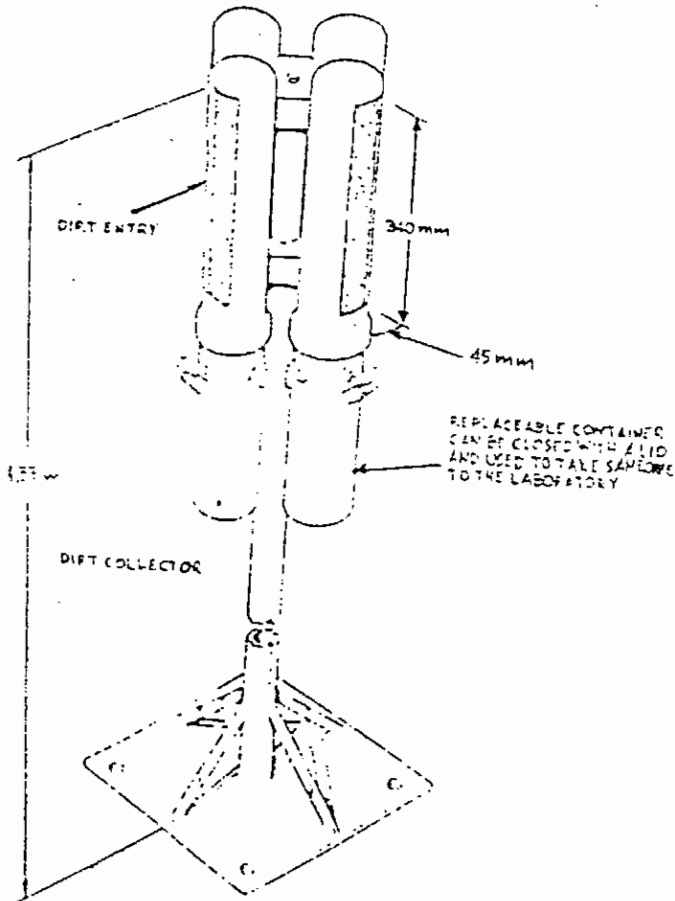
Ακόμη υπάρχει και εποχιακή επίδραση στις πηγές μόλυνσης. Περισσότερο βέβαια η επίδραση αφορά τη πηγή θάλασσα και φυσικό περιβάλλον παρά τις πηγές βιομηχανικής προέλευσης.

5.5. Μετρητές επικαθήσεων ρύπανσης

Στην Ιταλία (ENEL), στη Γαλλία (EDF) και στην Αγγλία έχουν τοποθετηθεί σταθμοί μέτρησης ρύπανσης (Diredional deposit gauge) που έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύουν ρύπανση από

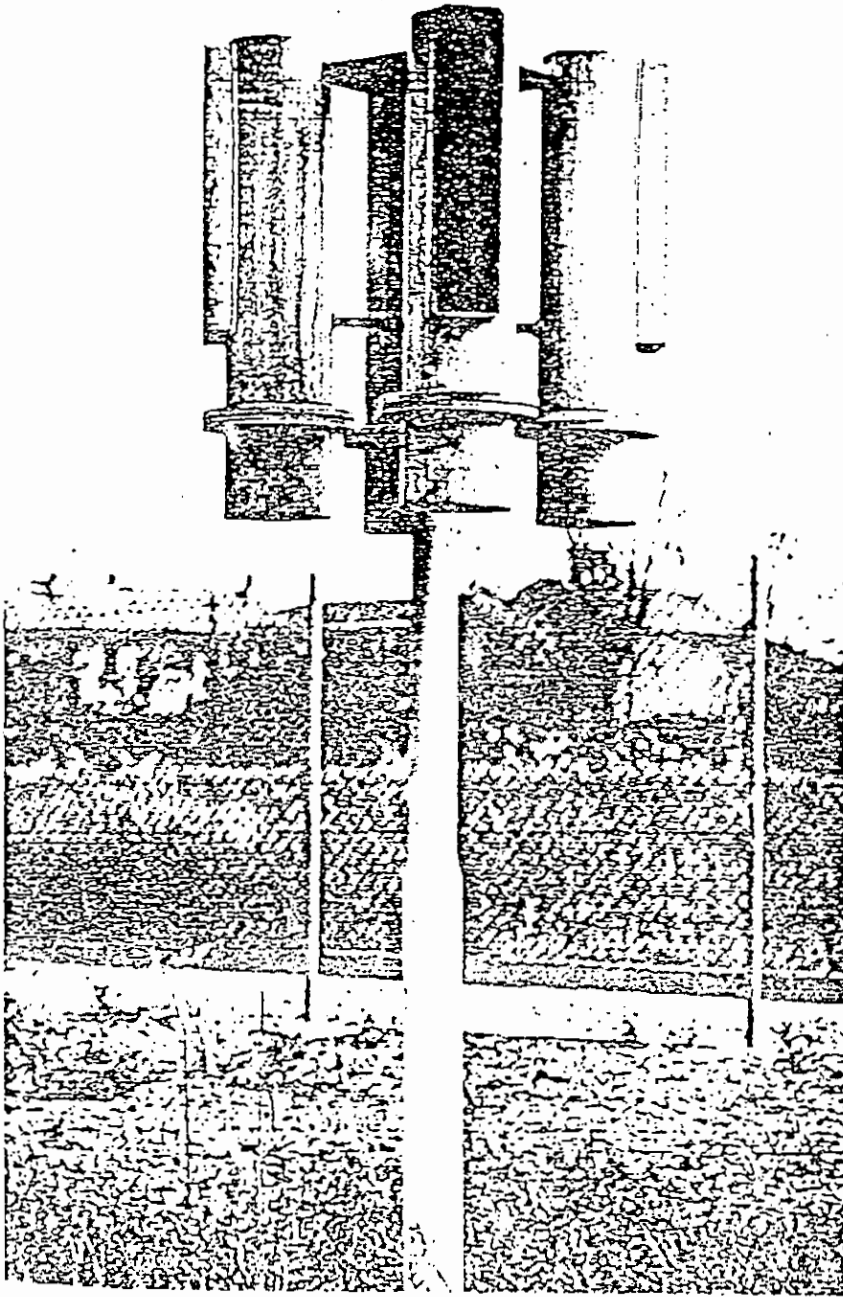
4 βασικές διευθύνσεις.

Ένας τέτοιος μετρητής τοποθετημένος φαίνεται στην επόμενη σελίδα ενώ μια τυπική του κατασκευαστική διάταξη φαίνεται στο σχέδιο.



Σχήμα 15

Τυπική διάταξη μετρητή επικαθήσεως ρύπανσης



Εικόνα 1
Μετρητής επικάθησης ρύπανσης

Οι μετρητές αυτοί τοποθετούνται σε υπαίθρια περιοχή με σοβαρότητα ρύπανσης και σε ύψος περίπου ίδιο με αυτό των μονωτήρων. Κάθε μετρητής έχει τέσσερις συλλέκτες οι οποίοι γεμίζουν με νερό βροχής και ρύπανση από τα κατακόρυφα ανοίγματα διαστάσεων 340mm χ 45mm που έχουν τις διευθύνσεις Βορρά, Νότου, Ανατολής και Δύσης αντίστοιχα. Έτσι οι συλλέκτες στο τέλος κάθε μήνα που αφαιρούνται περιέχουν κάποια ποσότητα ρύπανσης σε μορφή διαλύματος. Μετρείται ο όγκος του διαλύματος κάθε δοχείο συλλέκτη ξεχωριστά και συμπληρώνεται με αποσταγμένο νερό μέχρις όγκου 0.5 lit και στη συνέχεια μετρούνται οι ειδικές αγωγιμότητες των τεσσάρων διαλυμάτων. Με τη καμπύλη της ειδικής αντίστασης διαλύματος NaCl συναρτήσει της συγκέντρωσης σε gr/lit NaCl μπορούμε να προσδιορίσουμε την περιεκτικότητα των ηλεκτρολυτικών ουσιών των διαλυμάτων και να εκφράσουμε τη ρύπανση σε ισοδύναμη συγκέντρωση gr/lit NaCl. Μπορούμε ακόμη να κάνουμε μια ενιαία μέτρηση της ρύπανσης συμπληρώνοντας τη συλλεγόμενη ρύπανση και των 4 δοχείων μέχρις όγκου 2lt και ακολουθώντας τη παραπάνω διαδικασία.

6. Μέτρηση και καταγραφή των ρευμάτων διαρροής και της επιφανειακής αγωγιμότητας μονωτήρων κάτω από φυσικές συνθήκες ρύπανσης

6.1. Γενική θεώρηση

Μια σωστή μέθοδος μελέτης της συμπεριφοράς των μονωτήρων στο περιβάλλον μιας ρυπασμένης περιοχής θα έπρεπε να μας δίνει στοιχεία για τον υπολογισμό της πιθανότητας να συμβεί FLASHOVER σε ένα μονωτήρα που θα λειτουργούσε στην περιοχή αυτή στην τάση λειτουργίας του τοπικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό απαιτεί όπως όλοι εκείνοι οι παράγοντες που δημιουργούν τις διάφορες φάσεις του φαινομένου να λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό συμπεριλαμβανομένων και, των στατιστικών αποκλίσεων που υπάρχουν σε κάθε φάση του φαινομένου.

Για το σκοπό αυτό επινοήθηκαν μέθοδοι αυτόματης καταγραφής μεγεθών- παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το φαινόμενο σε όλες τις φάσεις του που εφαρμόστηκαν για μεγάλα χρονικά διαστήματα σε μονωτήρες - δοκίμια.

Τα μεγέθη παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής :

α) Equivalent Salt Deposit Density (E.S.D.D.)

β) ρεύμα διαρροής (Leakage current)

γ) οριακή τάση υπερπήδησης (Flashover Stress)

δ) επιφανειακή αγωγιμότητα (Surface Conductance)

Για το E.S.D.D. έγινε αναφορά στη παράγραφο 5.

6.1.1. Καταγραφή των ρευμάτων διαρροής με τιμές πάνω από μια προκαθορισμένη στάθμη για δεδομένη χρονική περίοδο (Surge Counting).

Η εμφάνιση των ρευμάτων διαρροής συνήθως προηγείται της εμφάνισης της τελικής φάσης του φαινομένου δηλ. του FLASHOVER. Η συχνότητα και το μέγεθος των ρευμάτων αυξάνονται καθώς πλησιάζει η στιγμή του FLASHOVER.

Η εμπειρία έδειξε ότι η καταγραφή των ρευμάτων διαρροής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς ενός ρυπασμένου μονωτήρα και να μας προειδοποιήσει για το κίνδυνο εμφάνισης ενός FLASHOVER.

Τα συστήματα καταγραφής είναι ρυθμισμένα να λειτουργούν για τιμές κορυφής των ρευμάτων πάνω από στάθμες των 20, 50, 100, και 250mA. Η εμπειρία έδειξε ότι ρεύματα μεταξύ 100-250mA είναι περισσότερο σχετικά με το φαινόμενο.

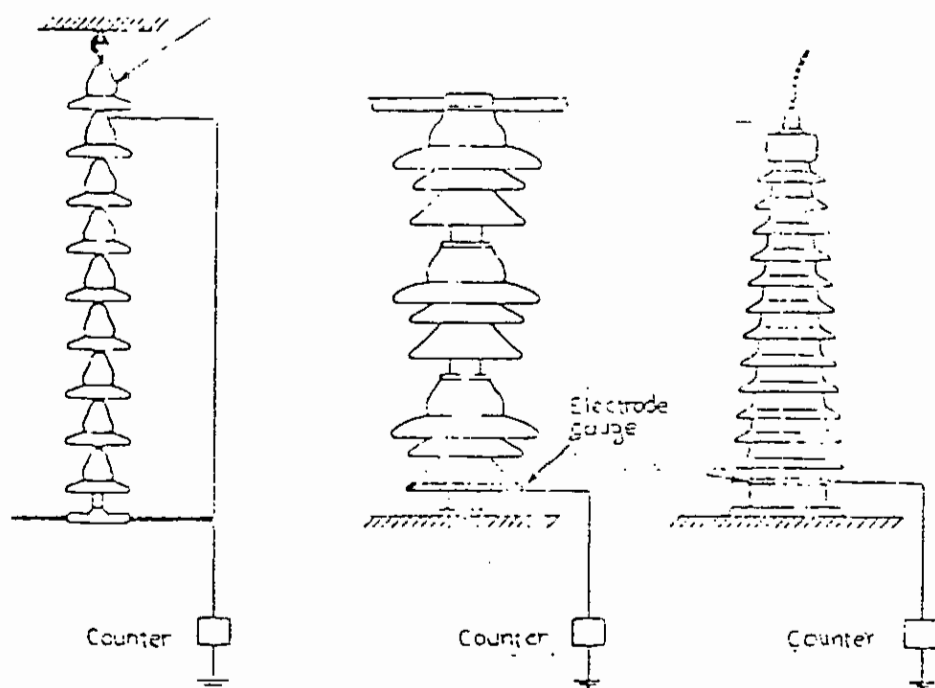
Έχει παρατηρηθεί ότι ρεύματα διαρροής που καταγράφηκαν πριν την εμφάνιση FLASHOVER σε διαφορετικούς τύπους μονωτήρων

κάτω από τις ίδιες συνθήκες ρύπανσης μπορεί να διαφέρουν αρκετά.

Για το λόγο αυτό τα στοιχεία μιας τέτοιας καταγραφής μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε γενική κλίμακα για τη μελέτη της συμπεριφοράς μονωτήρων του ίδιου τύπου.

Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι το μικρό κόστος των συσκευών καταγραφής και η ικανότητα της συνεχούς καταγραφής των ρευμάτων σε ικανό αριθμό μονωτήρων των δικτύων.

Στο παρακάτω σχέδιο φαίνεται η μέθοδος σύνδεσης των καταγραφητών μετρητών σε διάφορους τύπους μονωτήρων



Σχήμα 16

6.2. Καταγραφή των μεγίστων τιμών κορυφής των ρευμάτων διαρροής κατά την διάρκεια μιας καθορισμένης περιόδου σε μονωτήρες που βρίσκονται διαρκώς κάτω από κανονική τάση λειτουργίας των δικτύων.

Η μέγιστη τιμή κορυφής του ρεύματος διαρροής σε ένα μονωτήρα συνιστάται σαν κατάλληλη παράμετρος που δείχνει τόσο από κοντά στην εμφάνιση FLASHOVER βρίσκεται ο μονωτήρας.

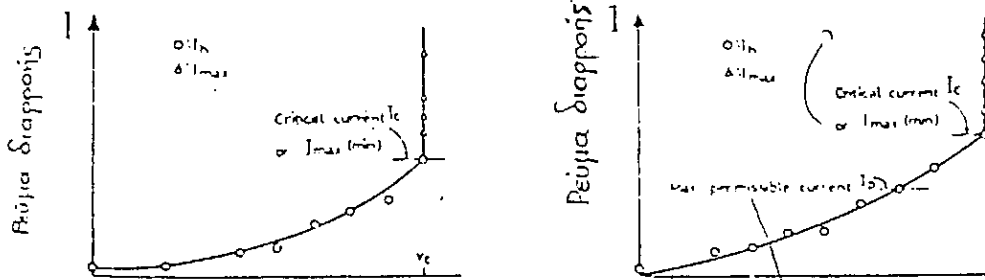
Για κάποιο τύπο μονωτήρα είναι εύκολο να γίνει η ανάλογη καταγραφή του I_h σε εργαστηριακές συνθήκες τεχνητής ρύπανσης συναρτήσει της μεταβολής του βαθμού της ρύπανσης που εκφράζεται σε gr/lit ή mgr/cm^2 (E.S.D.D.). Έτσι παίρνουμε μια καμπύλη $I_h - S$ από εργαστηριακές μεθόδους δοκιμών που θα αναφερθούν παρακάτω.

Γενικά το I_h είναι συνάρτηση της εφαρμοζόμενης τάσης V σε δεδομένο βαθμό ρύπανσης s ή E.S.D.D. και στις δύο περιπτώσεις το I_h αυξάνεται μέχρι μια κρίσιμη τιμή I_c πάνω από την οποία συμβαίνει FLASHOVER.

Η αντίστοιχη τιμή της τάσης είναι τότε V_c . Τα κατώτερα όρια των τιμών κορυφής του ρεύματος διαρροής στις ημιπεριόδους πριν το FLASHOVER, I_{max} έχουν βρεθεί κατά προσέγγιση ίσα με τις αντίστοιχες θεωρητικές τιμές του I_c .

Έτσι η τιμή κορυφής I_c μπορεί να υπολογιστεί πειραματικά.

Σχετικά με το φαινόμενο είναι τα παρακάτω διαγράμματα.



Σχήμα 17

Τάση επιβολής, V

Ρεύμα διαρροής σε συνάρτηση με την επιβαλλόμενη τάση για δοσμένη σοβαρότητα ρύπανσης S .

Σχήμα α

Βαθμός ρύπανσης, S

ρεύμα διαρροής σε συνάρτηση με το βαθμό ρύπανσης για δοσμένη επιβαλλόμενη V

Σχήμα β

Τοποθετώντας ένα μονωτήρα σε μια περιοχή με συνθήκες ρύπανσης στον οποίο εφαρμόζεται η τάση λειτουργίας του δικτύου V_w οι τιμές του I_h μπορούν να καταγράφονται. Η σοβαρότητα της ρύπανσης της περιοχής για τον συγκεκριμένο μονωτήρα μπορεί να βρεθεί με την μέγιστη τιμή του I_h η οποία μπορεί να προκύψει από τη λειτουργία τον μονωτήρα κάτω από εργαστηριακές συνθήκες τεχνητής ρύπανσης διαφόρων βαθμών στην ίδια τάση λειτουργίας V_w ,

Με βάση την καταγραφή που έγινε σε κάποια περιοχή ρύπανσης και τα χαρακτηριστικά της κυματομορφής του ρεύματος στο εργαστήριο, μπορούμε να διαλέξουμε τον κατάλληλο τύπο

μονωτήρα με το ανάλογο μήκος ερπυσμού που πρέπει να χρησιμοποιηθεί στην αντίστοιχη περιοχή για να έχουμε αξιόπιστη λειτουργία των δικτύων ακολουθώντας τις παρακάτω μεθόδους:

α) Μέθοδος βασιζόμενη στην τάση υπερπήδησης

Γνωρίζοντας τη μέγιστη τιμή κορυφής I_h της κυματομορφής του ρεύματος διαρροής σε μονωτήρα στην συγκεκριμένη περιοχή ο βαθμός ρύπανσης της περιοχής είναι ίσος με το βαθμό ρύπανσης που χρησιμοποιείται από κάποια εργαστηριακή μέθοδο για να προκύψει η ίδια μέγιστη τιμή I_h του ρεύματος διαρροής στην ίδια τάση λειτουργίας.

Γι' αυτό το βαθμό ρύπανσης η κρίσιμη τάση V_c προκύπτει από την καμπύλη του Σχεδίου. Ο λόγος V_c/N_w είναι ίσος με τον συντελεστή ασφάλειας της λειτουργίας του μονωτήρα στη συγκεκριμένη περιοχή.

β) Μέθοδος βάση της κρίσιμης τιμής I_c του ρεύματος.

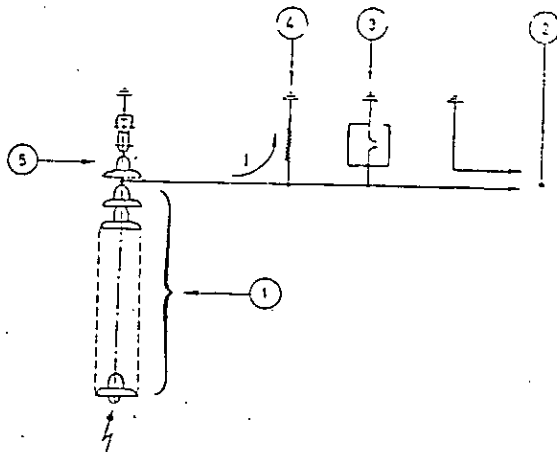
Για την τάση λειτουργίας V_w , τα χαρακτηριστικά της καμπύλης I_h/s ή E.S.D.D. για ένα μονωτήρα που προέκυψε από εργαστηριακή μέθοδο μας δίνουν το αντίστοιχο I_c ή I_{max} . Για να έχουμε το απαιτούμενο διάστημα ασφαλείας εκλέγεται σαν μέγιστη επιτρεπτή τιμή I_p του ρεύματος η προηγούμενη τιμή από αυτή του I_{max} (όπως φαίνεται στο σχέδιο) για τάση λειτουργίας V_w . Εάν η τιμή του I_h που προκύπτει από τις μετρήσεις σε μονωτήρες σε κανονική λειτουργία είναι μικρότερη του I_p το μήκος

του μονωτήρα είναι κατάλληλο αλλά μπορεί να μην αποδειχθεί υπέρ-αρκετό.

Εάν όχι, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ίδιας μορφής μονωτήρας με μεγαλύτερο μήκος. Το κύκλωμα της μέτρησης του I_h φαίνεται στο παρακάτω σχέδιο.

Η μέθοδος του I_h είναι απλή, αξιόπιστη και επιτρέπει μια εύκολη σύγκριση των όσων καταγράφονται σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας των μονωτήρων με όσα καταγράφονται σε ανάλογες εργαστηριακές.

Το κύριο χαρακτηριστικό της είναι ότι δίνει μια συνεχή καταγραφή της συνδυασμένης επίδρασης των καιρικών συνθηκών και της τάσης λειτουργίας των ηλεκτρικών δικτύων στη συμπεριφορά των μονωτήρων σε συνθήκες ρύπανσης.



Σχήμα 18

Κύκλωμα για τη μέτρηση I_h . 1) μονωτήρας - 2) Σήμα μέτρησης - 3) Προστασία
- 4) Αντίσταση μέτρησης 5) Πρόσθετος μονωτήρας

6.3. Μέτρηση της επιφανειακής αγωγιμότητας (Surface Conductance)

Η επιφανειακή αγωγιμότητα ενός μονωτήρα ισούται με το λόγο του ρεύματος που διέρχεται από τον μονωτήρα προς την τάση που επιβάλλεται σ' αυτόν.

Εφαρμόζοντας μια τάση σε μονωτήρες δοκίμια που έχουν τοποθετηθεί σε περιοχές ρύπανσης μετράμε το αντίστοιχο ρεύμα και κατά συνέπεια την αντίστοιχη αγωγιμότητα των μονωτήρων.

Η επιφανειακή αγωγιμότητα ενός μονωτήρα είναι μια παράμετρος που περιγράφει την όλη κατάσταση της επιφάνειάς του (ποσότητα ρύπανσης και βαθμό ύγρυνσης του στρώματος ρύπανσης) η οποία καθορίζει την συμπεριφορά του μονωτήρα.

Γι' αυτό οι μετρήσεις της αντίστασης σε μια ρυπασμένη περιοχή μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό του βαθμού ρύπανσης της περιοχής.

Παρόμοιες μετρήσεις γίνονται σε εργαστηριακό περιβάλλον ρύπανσης σε μονωτήρες ίδιου τύπου χρησιμοποιώντας μια μέθοδο τεχνητής ρύπανσης και ή οποία είναι περισσότερο κατάλληλη για την προσομείωση των συνθηκών ρύπανσης στη συγκεκριμένη περιοχή. Έτσι προκύπτει μια καμπύλη της αγωγιμότητας συναρτήσεως του βαθμού ρύπανσης για κάθε εργαστηριακή μέθοδο ξεχωριστά όπως φαίνεται στα παρακάτω

σχήματα.

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο ισοδύναμος βαθμός ρύπανσης της περιοχής και είναι αυτός στον οποίο αντιστοιχεί εργαστηριακή τιμή αγωγιμότητας ίση με την τιμή που προέκυψε από τις μετρήσεις της αγωγιμότητας σε φυσικές συνθήκες.

Η εκλογή του μεγέθους της τάσης επιβολής και ο χρόνος που αυτή επιβάλλεται είναι πολύ σημαντικοί παράγοντες για να παρουσιαστεί μια πλήρης εικόνα της επιφανειακής αγωγιμότητας του μονωτήρα. Η τιμή της τάσης πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη για να αποφύγουμε σφάλματα στη μέτρηση λόγω της εξαιρετικά μεγάλης αλλά και απείρου καμιά φορά αντιστάσεως του μονωτήρα λόγω διακοτιών του επιφανειακού επιστρώματος ρύπανσης ενώ ο χρόνος επιβολής της τάσης πρέπει να είναι αρκετά μικρός ώστε να αποφύγουμε το σχηματισμό ξηρών ζωνών στην επιφάνεια του μονωτήρα οι οποίες θα είχαν σαν αποτέλεσμα την παραμόρφωση του ρεύματος διαρροής και κατά συνέπεια λανθασμένες μετρήσεις. Η εμπειρία έδειξε ότι τάσεις μεταξύ 20-25 Kv(rms) ανά μέτρο μήκους της αλυσίδας μονωτήρων με χρόνο επιβολής 2-3 κύκλων ανταποκρίνονται στις παραπάνω απαιτήσεις.

Σύμφωνα με τα παραπάνω επινοήθηκαν πολλές παρόμοιες διατάξεις μέτρησης της επιφανειακής αγωγιμότητας μονωτήρων.

Αντιπροσωπευτική είναι αυτή που επινοήθηκε από την ENEL.

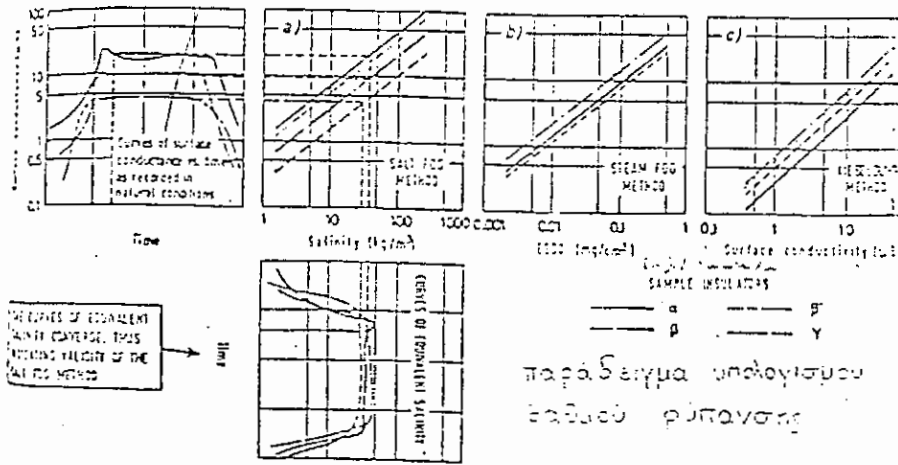
Σ' αυτή τη διάταξη οι μετρήσεις της επιφανειακής αγωγιμότητας γίνονται σε τρεις διαφορετικούς τύπους μονωτήρων μήκους 30cm έκαστος (αλυσίδα δύο μονωτήρων αναρτήσεως (1), κοινών των 10", δύο μονωτήρων αναρτήσεως τύπου ομίχλης 10"(2) και ενός κυλινδρικού μονωτήρα (3)).

Κατά διαστήματα των 15 λεπτών μια σταθερή τάση V 50 Hz 10 Kv (rms) επιβάλλεται αυτόματα για διάρκεια δύο περιόδων σε κάθε μονωτήρα και τα ρεύματα διαρροής I_1 , I_2 , I_3 που διέρχονται από τους μονωτήρες του αντίστοιχου τύπου ανιχνεύονται με αναλογικές μνήμες κορυφής που καταγράφουν τους λόγους :

$$G1 = \frac{I_1}{V}, G2 = \frac{I_2}{V}, G3 = \frac{I_3}{V}$$

Στους μονωτήρες δεν επιβάλλεται τάση παρά μόνο για το μικρό διάστημα της μέτρησης που αναφέρθηκε. Όλα τα αποτελέσματα καταγράφονται σε μαγνητική ταινία για περαιτέρω επεξεργασία με χρήση κομπιούτερ.

Η ENEL σε πρώτη φάση τοποθέτησε 4 παρόμοιες διατάξεις στην Ιταλία σε σημεία αντιπροσωπευτικά των κατηγοριών ρύπανσης όπου είχαν τοποθετηθεί και πειραματικοί σταθμοί μέτρησης της ρύπανσης. Μετά την επιτυχή επεξεργασία των αποτελεσμάτων της πρώτης φάσης του προγράμματος ικανός αριθμός ομοίων διατάξεων, 20 περίπου τοποθετήθηκαν σε διάφορα σημεία.

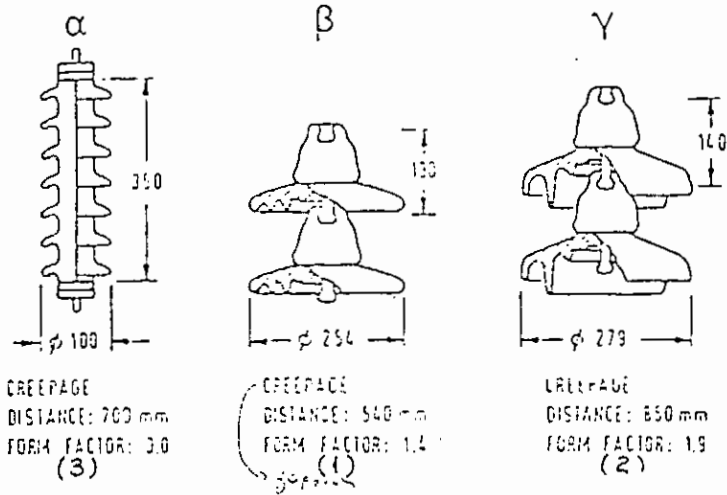


Σχήμα 19

6.4. Οριακή ένταση υπερπήδησης (FLASHOVER STRESS)

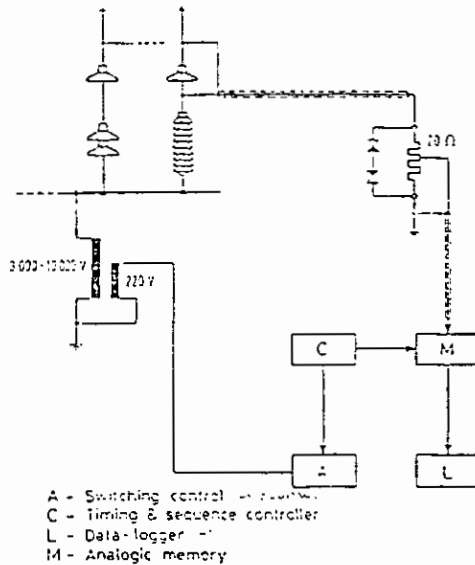
Η ένταση υπερπήδησης εκφράζεται με το λόγο της τάσης υπερπήδησης προς το μήκος της αλυσίδας των μονωτήρων και μετρείται σε KV/mm.

Οι μετρήσεις της έντασης υπερπήδησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους της αλυσίδας που εξασφαλίζει μια ασφαλή λειτουργία των δικτύων.



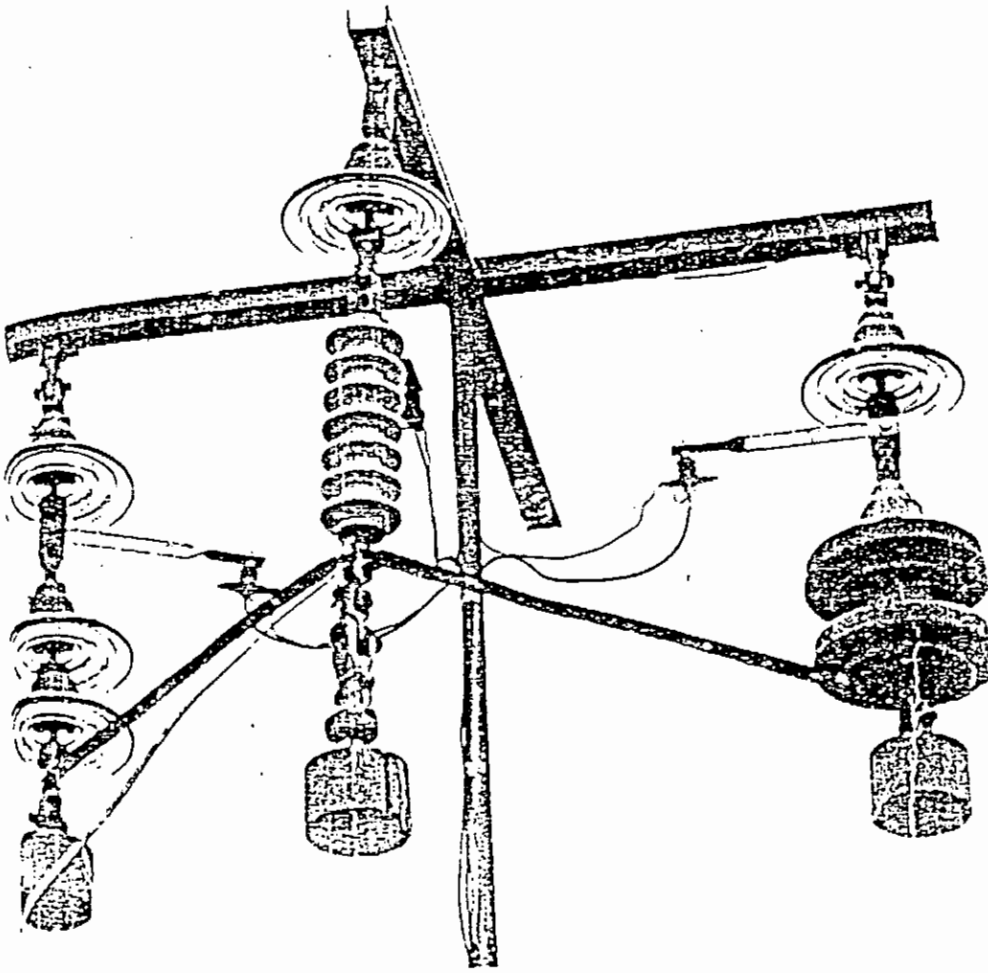
Σχήμα 20

Κυλινδρικός μονωτήρας κοινοί 10" ομίχλης 10". Μονωτήρες - δοκίμια για τη διάταξη μέτρησης επιφανειακής αγωγιμότητας.



Σχήμα 21

Διάταξη μέτρησης επιφανειακής αγωγιμότητας σε φυσικές συνθήκες ρύπανσης. A,C,M,L, διάταξη ανίχνευσης καταγραφής καθώς και ελέγχου τιμής και χρόνου επιβολής της τάσης.



Εικόνα 2

Εγκατεστημένη διάταξη μέτρησης επιφανειακής αγωγιμότητας από την ENEL.

Κεφάλαιο II

Κατασκευαστικό μέρος

Τοπολογία χώρου - επιλογή σχήματος και διαστάσεων θαλαμών - κατασκευή θαλάμου ρύπανσης και δοκίμων καθώς και όλου του λοιπού εξοπλισμού

1. Τοπολογία χώρου

Σύμφωνα με τα αναφερόμενα για τους θαλάμους δοκιμών τεχνητά ρυπασμένων μονωτήρων από εργαστηριακές έρευνες άλλων χωρών (π.χ. της ENEL στην Ιταλία, της EDF στη Γαλλία, της PACIFIC GAS AND ELECTRIC COMPANY στη Καλιφόρνια κ.α.) γίνεται κατανοητό ότι η κατασκευή ανάλογης διάταξης απαιτεί αρκετά μεγάλο χώρο. Στο Τομέα Υψηλής Τάσεως (ΤΥΤ) του Κέντρου Ερευνών Δοκιμών και Προτύπων (ΚΔΕΠ) της ΔΕΗ όπου τελικά έγινε η εγκατάσταση της διάταξης δοκιμών τεχνητά ρυπασμένων μονωτήρων ο διατιθέμενος χώρος για μια τέτοια κατασκευή δεν μπορούσε σε καμία περίπτωση να είναι μεγαλύτερος των διαστάσεων 5.5m x 5.5m x 5m ύψος λόγω τεχνικών προβλημάτων στην αίθουσα του εργαστηρίου του ΤΥΤ (γερανογέφυρα, γραφεία, εργαστηριακοί πάγκοι, κρουστική

γεννήτρια κλπ.). Στην κατασκευή έγινε προσπάθεια να βρεθεί η χρυσή τομή στη κατασκευή μιας λυόμενης διάταξης και στην κατά το καλύτερο τρόπο εκμετάλλευση του χώρου ώστε η κατασκευή να έχει αρκετές δυνατότητες στη περιοχή λειτουργίας της.

Εξάλλου ο χώρος διατέθηκε για προσωρινή λύση.

Εξετάστηκε η δυνατότητα κατασκευής κοινού θαλάμου ελεγχόμενης υγρασίας για τις δοκιμές της μεθόδου SOLID-LAYER και θαλάμου αλατούχου ομίχλης για τη μέθοδο SALT-FOG όπως και τελικά έγινε. Ακόμη η δημιουργία αλατούχου ομίχλης και η παραγωγή ομίχλης για ελεγχόμενη υγρασία γίνονται με το ίδιο σύστημα (εκτοξευτήρες, δοχεία ελεύθερης ροής, αντλία).

Για τους ίδιους λόγους ο θάλαμος όπου γίνεται η τεχνητή ρύπανση των μονωτήρων με τη μέθοδο της στερεάς επιστρώσεως έγινε λυόμενος ώστε σε μελλοντική επέκταση του εργαστηρίου (υπό μελέτη) να μεταφερθεί σε καταλληλότερη θέση.

Πάντως η τελική διάταξη του θαλάμου δοκιμών και του θαλάμου ρύπανσης βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με τις προδιαγραφές IEC - 507 που εκδόθηκε το 1975 (πλήρη αναφορά των προδιαγραφών έγινε στο πρώτο κεφάλαιο).

Τέλος η κατασκευή τέτοιας διάταξης στην Ελλάδα γίνεται για πρώτη φορά πιθανό να υπάρξουν αλλαγές για τη βελτίωση της διάταξης στο μέλλον.

Η κατασκευή της διάταξης δοκιμών τεχνητά ρυπασμένων μονωτήρων αποτελείται από δύο επί μελέτες - κατασκευές.

i) του θαλάμου ρύπανσης (Contamination Chamber)

ii) του θαλάμου δοκιμών ή ομίχλης (Test Chamber or for Chamber)

2. Κατασκευή θαλάμου ρύπανσης (POLLUTION CONTAMINATION CHAMBER)

2.1. Γενικά

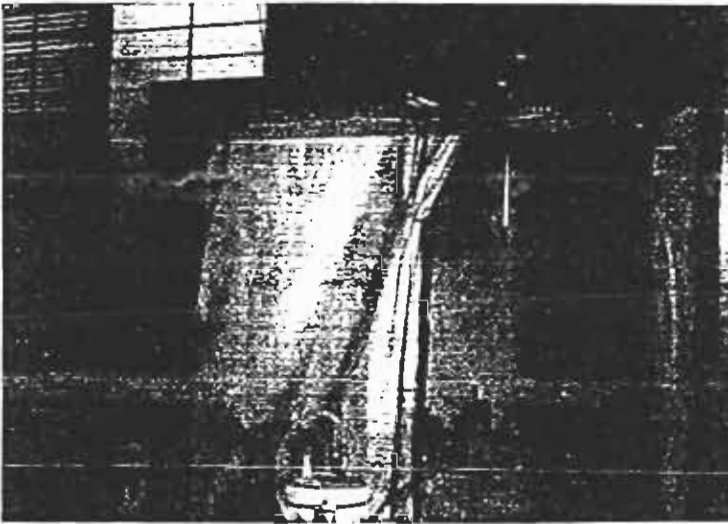
Στο θάλαμο ρύπανσης πραγματοποιείται, με συγκεκριμένη μεθοδολογία, η επίστρωση της επιφάνειας του μονωτήρα με ένα λεπτό στρώμα ρύπανσης.

Σαν πρότυπο χρησιμοποιήθηκε ο θάλαμος ρύπανσης που κατασκευάστηκε από τους REECE και MAULDIN για λογαριασμό της PASIFIC GAS AND ELECTRIC Co. στην Καλιφόρνια χωρίς να γίνει απομίμηση, παίρνοντας συγχρόνως υπόψη τις προδιαγραφές IEC-50711975 παράγραφος 14 που αναφέρονται στην εφαρμογή του στρώματος ρύπανσης στην επιφάνεια των μονωτήρων (APPLICATION OF THE POLLUTION LAYER) για μέθοδο SOLID - LAYER.

Ο σκελετός του θαλάμου κατασκευάστηκε από DEXION - 140 σε

σχήμα κύβου με μήκος ακμής 1.5m. Όπως φαίνεται στην εικόνα 1 κρίθηκαν αναγκαίες και μερικές άλλες ενισχύσεις από DEXION και έγιναν για τη στήριξη του συστήματος περιστροφής του μονωτήρα, τη στήριξη του συστήματος ψεκασμού του με καθορισμένης σύστασης αιώρημα ρύπανσης καθώς επίσης για την όσο το δυνατό μεγαλύτερης σταθερότητας του δικτυώματος του σκελετού.

Ο θάλαμος καλύφθηκε με φύλα πολυαιθυλενίου πάχους 0.2 cm



Εικόνα 1. Γενική άποψη του θαλάμου ρύπανσης

2.2. Διάταξη περιστροφής των μονωτήρων στο θάλαμο ρύπανσης

Το σύστημα περιστροφής που φαίνεται στην εικόνα 2 προγραμματίζει μια περιστροφή του μονωτήρα γύρω από

κατακόρυφο άξονα σε πεδίο στροφών που καθορίζεται από τη προδιαγραφή IEC - 507 να είναι 30 - 250 RPM.



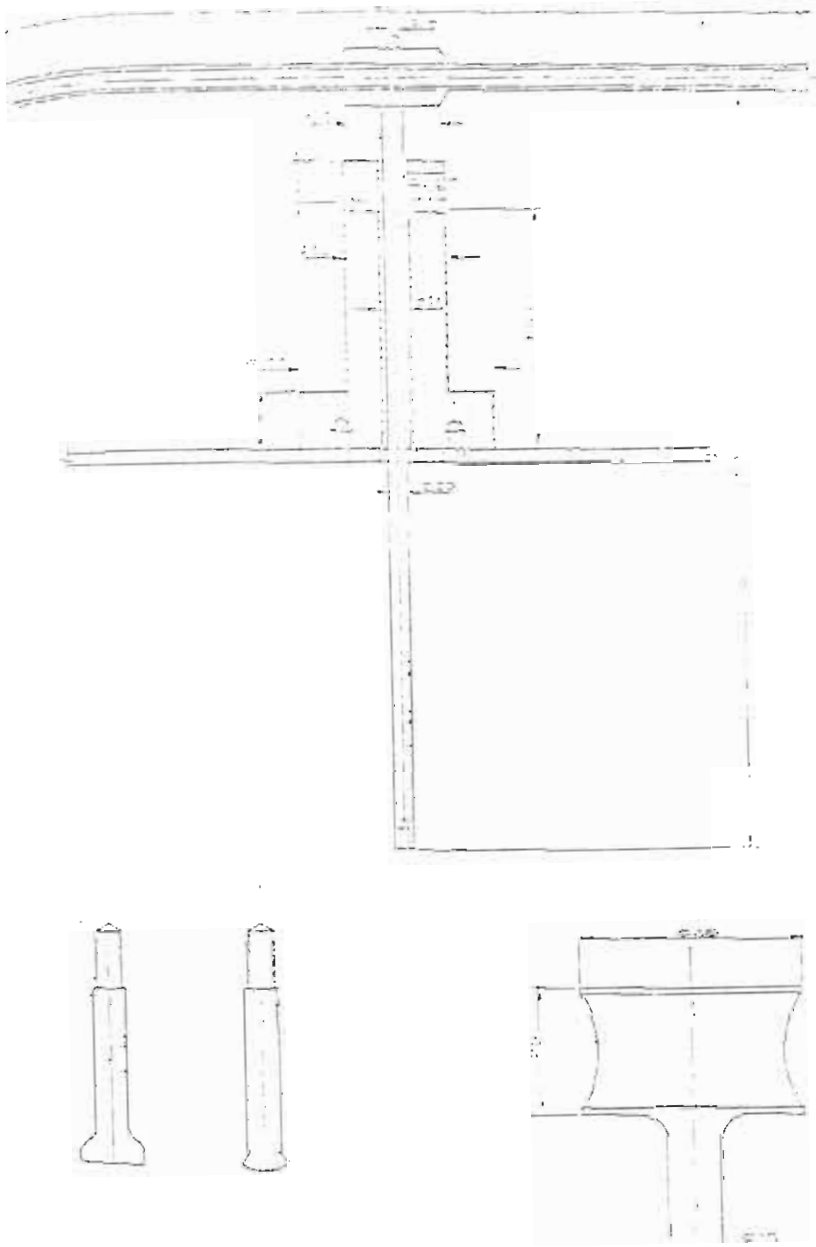
Εικόνα 2. Σύστημα περιστροφής μονωτήρα. Διακρίνονται το δράππανο, οι τροχαλίες, ο μόνωτης και το πάνω μέρος του κουζινιέτου.

Το δράππανο τύπου PEGEOT 500W έχει δυνατότητα γραμμικής ρύθμισης των στροφών του έτσι ώστε να καλύπτει μεγάλο πεδίο στροφών. Μια κατάλληλα διαμορφωμένη τροχαλία, τέτοια ώστε να μπορεί να στηριχθεί στην υποδοχή του δράππανου, τοποθετείται για να δώσει τελικά τη περιστροφική κίνηση της στη μεγάλη τροχαλία που θα τη μεταβιβάσει στο μονωτήρα μέσω του άξονα περιστροφής.

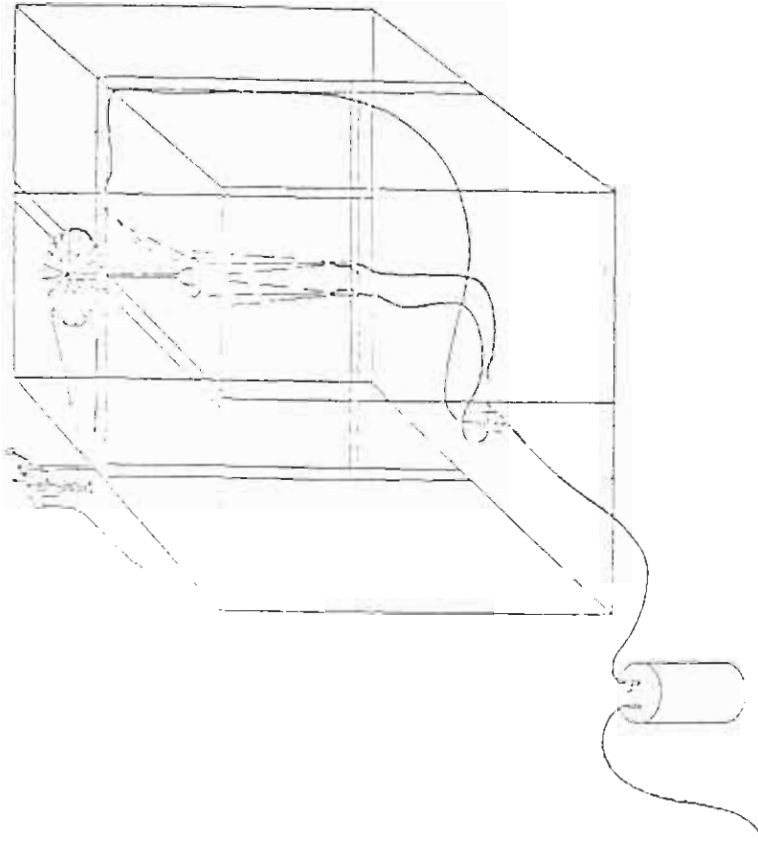
Το δράππανο στηρίζεται πάνω στο σκελετό του θαλάμου με τη βοήθεια ειδικής μεταλλικής βάσης.

Ο άξονας περιστροφής που φαίνεται στην εικόνα 3 καθώς και στο μηχανολογικό σχέδιο 2.1 είναι καλιμπρέ διαμέτρου 20mm και

περνάει μέσα από το κουζινέτο ενώ στη πάνω άκρη του προσαρμόζεται τροχαλία 450mm για τη μετάδοση της περιστροφικής κίνησης και στη κάτω άκρη του έχει υποδοχή (σπείρωμα περικοχλίου) όπου αναλόγως του είδους του μονωτήρα προσαρμόζεται μεταλλικός πείρος (σχέδιο 2.1) που μπορεί να τοποθετηθεί στην υποδοχή της κεφαλής (κάψας) του αντίστοιχου μονωτήρα που επιθυμούμε να περιστρέψουμε.



Σχ.2.1



Σχ. 2α.

Η μικρή τροχαλία στο κάτω μέρος του δράπανου έχει διάμετρο $D_2 = 45\text{mm}$ έτσι ώστε να πετύχουμε υποβιβασμό των στροφών του δράπανου κατά 1:10 αφού οι δύο τροχαλίες έχουν λόγο διαμέτρων $450/45 = 10$.



Εικόνα 3. Περιστροφή μονωτήρα. Διακρίνεται ο άξονας περιστροφής το κουζινέτο, η μεγάλη τροχαλία, ο μεταλλικός πείρος και στο κάτω άκρο του άξονα ένα μονωτήρα 5 3/4" -10" ομίχλης που περιστρέφεται.

Έτσι επιτυγχάνεται η κάλυψη του επιθυμητού πεδίου στροφών 30-250 RPM αφ' ενός με τη ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής του δράπανου και αφ' ετέρου με τον υποβιβασμό στροφών από τις δύο τροχαλίες.

Η χρησιμοποίηση του δράπανου έγινε για λόγους οικονομίας επειδή το κόστος του συστήματος περιστροφής ήταν μικρό. Οι τροχαλίες και το κουζινέτο κατασκευάστηκαν στο μηχανουργείο του ΚΔΕΠ, η μεγαλύτερη από τροχό ποδηλάτου και η μικρότερη από σίδηρο.

Η λύση του συστήματος περιστροφής με κινητήρα - μειωτήρα στροφών απορρίφθηκαν σαν οικονομικά ασύμφορη.

2.3. Σύστημα ψεκασμού μονωτήρα για τη δημιουργία στερεάς επιστρώσεως

Η δημιουργία της στερεάς επίστρωσης ρύπανσης στην επιφάνεια του μονωτήρα γίνεται με ψεκασμό του μονωτήρα από μπέκ που διοχετεύουν στην επιφάνειά του το διάλυμα τεχνητής ρύπανσης που καθορίζουν οι προδιαγραφές. Ο ψεκασμός γίνεται από 3 μπέκ που η διάμετρος του στόμιου τους είναι 1mm (προδιαγραφές IEC - 507 αναφέρουν διαστάσεις διαμέτρου 0.5mm-2mm) από τα οποία το ένα ψεκάζει την πάνω επιφάνεια του μονωτήρα και τα άλλα δύο την κάτω. Ο λόγος είναι ότι η κάτω επιφάνεια των μονωτήρων όπως έχει αποδειχθεί εργαστηριακά έχει ρύπανση τουλάχιστον διπλάσια από την αντίστοιχη ρύπανση της πάνω επιφάνειας. Αυτό συμβαίνει

λόγω του σχήματος της πάνω επιφάνειας των μονωτήρων και συγκεκριμένα λόγω της χαρακτηριστικής κλίσης της πάνω επιφάνειας του η οποία αυτοκαθαρίζεται με τη βοήθεια του νερού της βροχής. Οι πτυχώσεις όμως που υπάρχουν στη κάτω επιφάνεια εμποδίζουν να συμβεί κάτι ανάλογο και σ' αυτή την επιφάνεια.

Στην εικόνα 4 φαίνεται η διάταξη των μπεκ στο θάλαμο ρύπανσης

σε σχέση με την επιφάνεια ενός κοινού μονωτήρα 5 3/4"-10" της NGK.



Εικόνα 4. Διατάξη μπέκ ψεκασμού. Διακρίνονται τα ρυθμιζόμενα μπέκ και κοινός μονωτήρας 5 3/4" -10"

Το διάλυμα της τεχνητής ρύπανσης τοποθετείται στο δοχείο πίεσεως που φαίνεται στην εικόνα 5. Το διάλυμα (αιώρημα) έχει διάφορες συστάσεις.

Κατά IEC - 507 η σύνθεση, των αιωρημάτων αυτών αναφέρονται στις παραγράφους 14.1 και 14.2 που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο I του παρόντος στην αντίστοιχη ανασκόπηση των προδιαγραφών για τη SOLID - LAYER METHOD.

Με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα λίγων ατμοσφαιρών το διάλυμα που βρίσκεται στο δοχείο πίεσεως πηγαίνει στα μπέκ και από

εκεί γίνεται ο ψεκασμός του μονωτήρα



Εικόνα 5. Τροφοδοσία συστήματος ψεκασμού. Διακρίνονται το δοχείο πίεσης που βρίσκεται το διάλυμα ρύπανσης, τα λάστιχα πεπιεσμένου αέρα και μεταφοράς του διαλύματος, ο ρυθμιστής πίεσης και οι διατάξεις,

Το δοχείο πίεσεως είναι ένας θερμοσίφωνας τύπου GLASS για να μην έχουμε προϊόντα διάβρωσης των τοιχωμάτων από το χρησιμοποιούμενο διάλυμα ρύπανσης που θα μπορούσαν βέβαια να επηρεάσουν την ειδική αγωγιμότητα του διαλύματος και συνεπώς να εισέλθει στη διαδικασία της ρύπανσης και της δοκιμής ένα μεγάλο σφάλμα.

Η είσοδος και η έξοδος του δοχείου αποτελούνται από χαλκοσωλήνες όπως φαίνεται στο σχέδιο 2.2 από τους οποίους αυτός της εισόδου του αέρα έχει μερικές τρύπες κατά μήκος του έτσι ώστε αφ' ενός ο αέρας να κάνει ανάδευση του αιωρήματος για να μην έχουμε καθίζηση των εισερχομένων υλικών (Καολίνης, χαλαζιακή άμμος κλπ.) και αφ' ετέρου να γίνεται εξαέρωση του

δοχείου όταν το γεμίζουμε με διάλυμα από το σωλήνα εξόδου προς τα μπέκ.



Σχέδιο 2.2 Εσωτερικοί σωλήνες δοχείου πίεσης. Διακρίνεται ο διάτρητος σωλήνας εισόδου του πεπιεσμένου αέρα και ο σωλήνας εξόδου του διαλύματος προς τα μπέκ.

Η πίεση του αέρα σταθεροποιείται περίπου στις 2 atm μέσω ρυθμιστού πίεσης. Κατά την έξοδο του διαλύματος από το δοχείο με κατεύθυνση προς τα μπέκ παρεμβάλλονται διακόπτες τύπου VALME με τους οποίους μπορούμε να ρυθμίσουμε τη παροχή από τα μπέκ ώστε να επιτυγχάνεται τελικά η σωστή αναλογία ρύπανσης της πάνω και της κάτω επιφάνειας του μονωτήρα.

Για τα κατάλοιπα του ψεκασμού υπάρχει συλλεκτήριο στρώμα από διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου πάχους 0.2 mm.

3. Κατασκευή θαλάμου δοκιμών (Test Chamber)

3.1. Γενικά

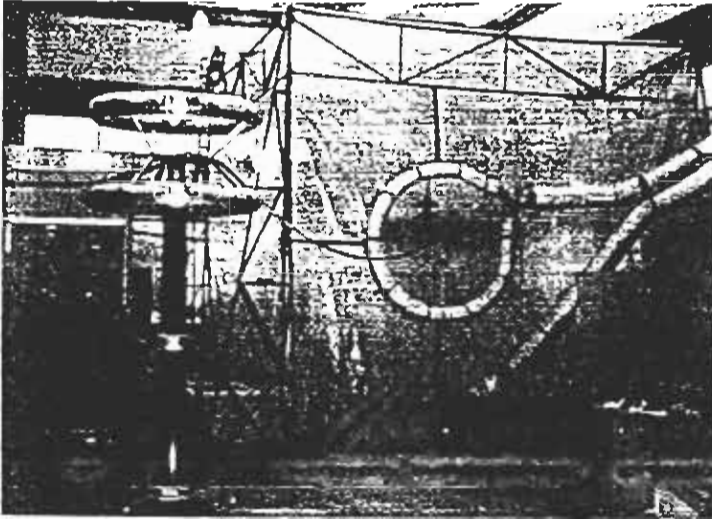
Στο θάλαμο δοκιμών πραγματοποιείται η διαδικασία εφαρμογής υψηλής τάσης στους τεχνητά ρυπασμένους μονωτήρες κάτω από ελεγχόμενη υγρασία, (ομίχλη) ή με απ' ευθείας προσβολή των μονωτήρων από αλατούχο ομίχλη. Έτσι γενικά στο θάλαμο δοκιμών πραγματοποιούνται είτε συνθήκες ελεγχόμενης υγρασίας είτε συνθήκες αλατούχου ομίχλη με το ίδιο σύστημα παραγωγής. Οι διαστάσεις του θαλάμου είναι 4.6m x 4.6m x 4.6m και είναι οι μέγιστες δυνατές που μπορούσαν να επιτευχθούν για το διαθέσιμο χώρο του εργαστηρίου του ΤΥΤ.

Η βάση του θαλάμου δεν μπορούσε να ξεπεράσει τα 4.6m x 4.6m γ γιατί θα περιόριζε ή και θα διέκοπτε τις μετακινήσεις στην αίθουσα του εργαστηρίου.

Εξάλλου η πλευρά 4.6 της βάσης εξασφαλίζει μια διαγώνιο $4.6 \times \sqrt{2} = 6.5\text{m}$ η οποία είναι κατάλληλη για τη τοποθέτηση των ακροφυσίων κατά τη διαγώνιο του να εξασφαλίζεται η απόσταση των 3m του ακροφυσίου από τον κατακόρυφο άξονα του μονωτήρα για τη μέθοδο της αλατούχου ομίχλης όπως απαιτεί σχετική παράγραφος των προδιαγραφών IEC - 507. Το ύψος του θαλάμου περιορίστηκε στα 4.6m για να επιτρέψει τη διέλευση της

γερανογέφυρας του εργαστηρίου πάνω από το θάλαμο δοκιμών.

Μια γενική άποψη του θαλάμου δοκιμών φαίνεται στην εικόνα 6.



Εικόνα 6. Γενική άποψη του θαλάμου δοκιμών. Αριστερά διακρίνεται και ο καταμεριστής που χρησιμοποιείται για την ακριβή μέτρηση μέσω βολτομέτρου της τιμής της επιβαλλόμενης τάσης.

Η κατασκευή του σκελετού θαλάμου έγινε από DEXION -140 όπως φαίνεται στο σχέδιο 2.3 ενώ κατασκευάστηκαν τέσσερις πυλώνες στήριξης τέσσερα ζυγώματα πλαϊνά για σύνδεση των πυλώνων και δύο ζυγώματα οροφής για την ανάρτηση των μονωτήρων και τη σταθερότητα του συνολικού πλαισίου.

Στο σχέδιο 2.4 φαίνονται αντιπροσωπευτικά δείγμα από τους παραπάνω αναφερθέντες δικτυωτούς φορείς που όλοι κατασκευάστηκαν με DEXION - 140.

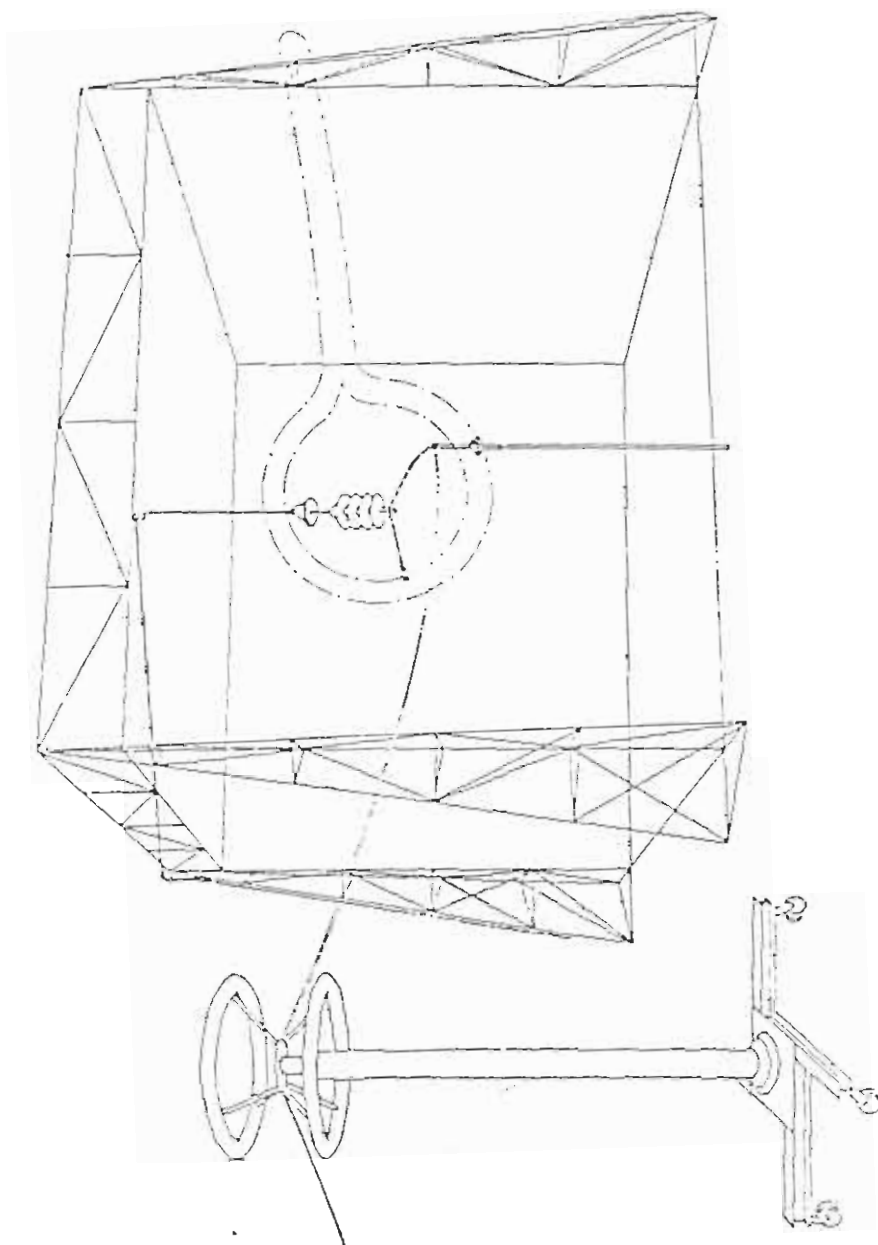
Τέλος οι τέσσερις πυλώνες στήριξης ενώνονται στη βάση τους με

τέσσερις ράβδους DEXION για ευστάθεια του συστήματος. Κατά τη συναρμολόγηση των επί μέρους φορέων για να δοθεί η τελική μορφή του σκελετού τοποθετήθηκαν, όπου κρίθηκε αναγκαίο, ενισχύσεις από σιδηρόβεργες DEXION για ευσταθέστερη λειτουργία της όλης κατασκευής.

Ο σκελετός του θαλάμου καλύφθηκε με κουρτίνες από φύλλα πολυαιθυλενίου πάχους 0.2mm κατά τον ίδιο τρόπο όπως στο θάλαμο ρύπανσης.

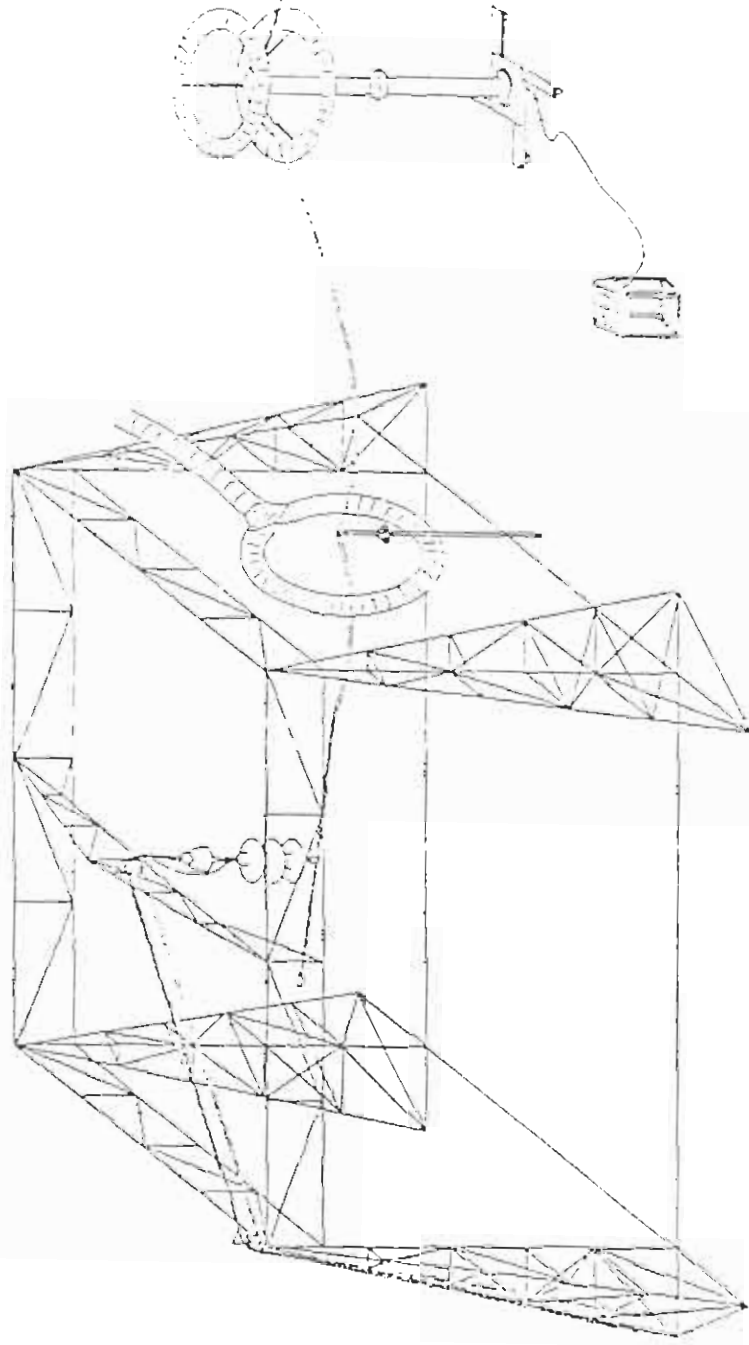
3.2. Σύστημα αναρτήσεως και γείωση του μονωτήρα

Οι μονωτήρες στο θάλαμο δοκιμών αναρτώνται όπως στην πραγματικότητα οι μονωτήρες ανάρτησης δηλαδή με όλα τα εξαρτήματα ανάρτησης.

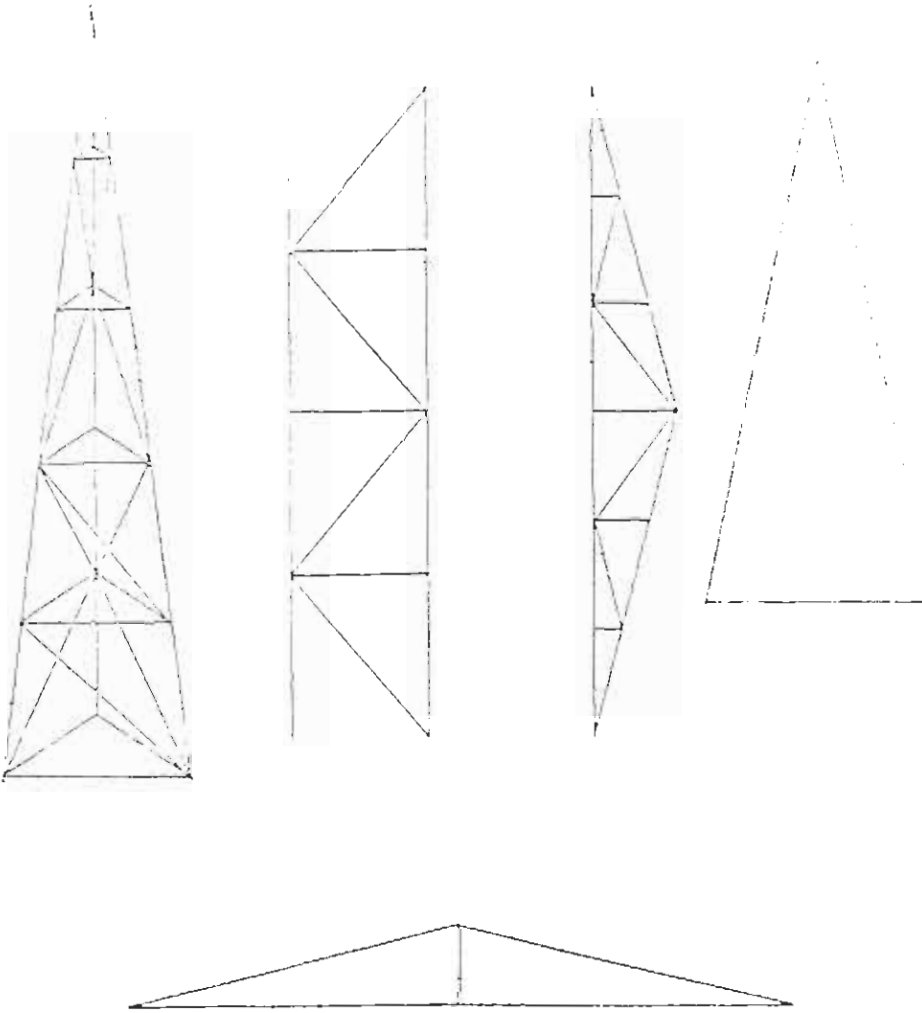


Σχ. 2.3.

90



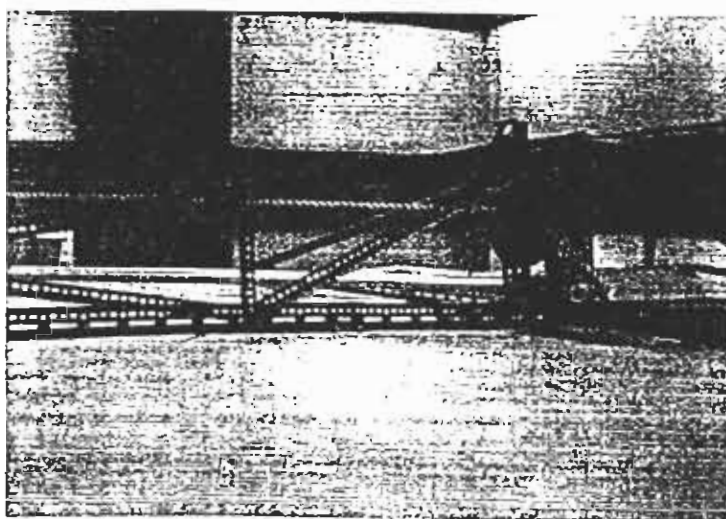
Σχ. 2.4



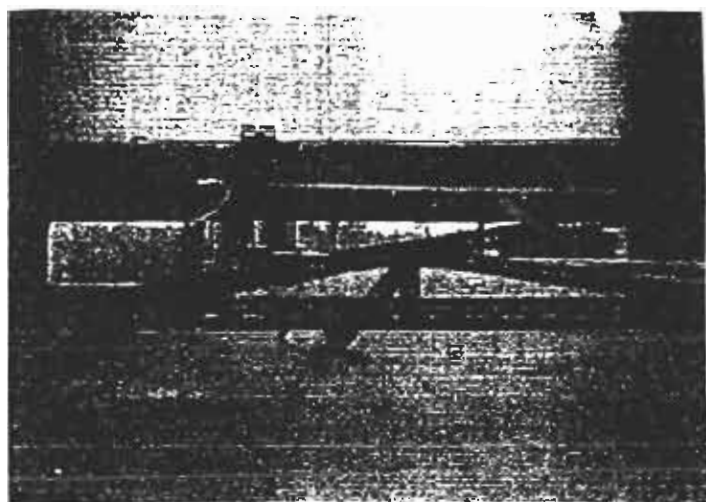
Σχ. 2β.

Επειδή οι δοκιμές απαιτούν την ανάρτηση του μονωτήρα σε καθορισμένο ύψος και ταυτόχρονη γείωση του σημείου ανάρτησης, την συχνή αλλαγή των αναρτημένων μονωτήρων για την ανάρτηση άλλων εκλέχθηκε σαν πιο ικανοποιητική λύση η χρησιμοποίηση συνδυασμού δύο τροχαλιών όπως φαίνεται στις εικόνες 7 και 8. Το σχοινί στο οποίο τελικά γίνεται η ανάρτηση

των μονωτήρων διευθύνεται από τη βάση του θαλάμου όπως φαίνεται στην εικόνα 9.

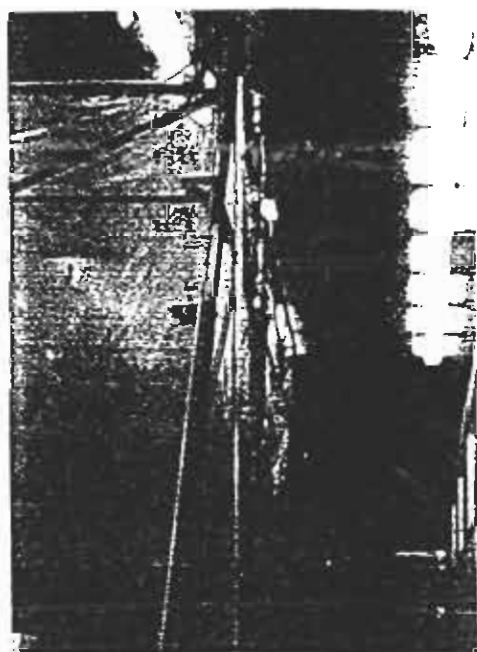


Εικόνα 7. Η τροχαλία στο κέντρο το θαλάμου πάνω από το σημείο ανάρτησης. Διακρίνονται οι δικτυωτοί φορείς οροφής, το σχοινί ανάρτησης, και ο σωλήνας που περιέχει το συρματοσχοίνο γείωσης.



Εικόνα 8. Η τροχαλία στη γωνία της οροφής. Διακρίνονται το σχοινί ανάρτησης και ο σωλήνας που περιέχει το συρματοσχοίνο γείωσης.

Στο σημείο ανάρτησης του μονωτήρα από το σχοινί προσαρμόστηκε η κάψα μονωτήρας του οποίου έχει αφαιρεθεί η πορσελάνη και στη συνέχεια σε μεταλλικό έλασμα που χρησιμοποιείται στις αναρτήσεις μονωτήρων από τις τραβέρσες των πυλώνων που συνδέεται με εξάρτημα που ταιριάζει με την υποδοχή της κάψας του μονωτήρα που εισέρχεται στο θάλαμο για δοκιμή όπως φαίνεται στην εικόνα 10. Όλα τα παραπάνω εξαρτήματα δημιουργούν και ένα αντίβαρο ώστε να μη χαλαρώνει το σχοινί ανάρτησης.



Εικόνα 9. Διεύθυνση συστήματος ανάρτησης και γείωσης. Διακρίνονται πάνω η τροχαλία στη γωνία της οροφής, και ο σωλήνας αλουμινίου (κατακόρυφο τμήμα) που περιέχει το συρματοσχοινο γείωσης.



Εικόνα 10. Ανάρτηση μονωτήρα και αγωγού προσομοίωσης

Διακρίνονται τα εξαρτήματα ανάρτησης που χρησιμοποιούνται στα Δίκτυα διανομής και μονωτήρας ομίχλης 5 3/4" - 10" τύπου ομίχλης, που έχει επιστρωθεί με τεχνητή ρύπανσης, στη θέση Σοκιμής. Με ειδικά εξαρτήματα μεταλλικά συνδέεται στο στέλεχος του μονωτήρα ο αγωγός προσομοίωσης που εφαρμόζει τη προκαθορισμένη τάση επιβολής στην αλυσίδα των μονωτήρων κάτω από συνθήκες υγρασίας ή αλατούχου ομίχλης.

Στο μεταλλικό έλασμα στο πάνω άκρο ανάρτησης του μονωτήρα συνδέεται σταθερά το άκρο του συρματόσχοινου γείωσης το οποίο ολισθαίνει μέσα σε δύο σωλήνες αλουμινίου (εικόνες 7 και 9) που χρησιμεύουν σαν οδηγί του συρματόσχοινου. Οι σωλήνες έχουν εξωτερική διάμετρο 40mm και πάχος 2mm.

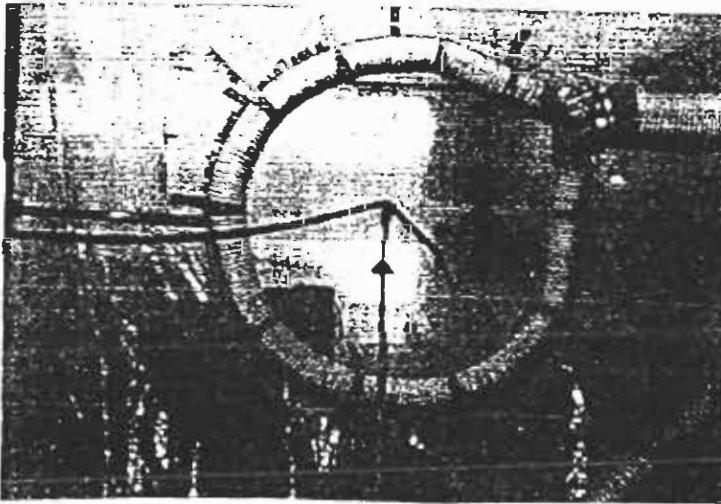
Η λειτουργία του συστήματος ανάρτησης και γείωσης διευθύνεται από τη βάση του πυλώνα της εικόνας 9 όπου τοποθετήθηκε ειδικό εξάρτημα που προσδένεται το σχοινί ανάρτησης για το επιθυμητό ύψος των μονωτήρων μέσα στο θάλαμο και

συγχρόνως διευθύνεται και το συρματόσχοινο της γείωσης ώστε να μη χαλαρώνει.

Το συρματόσχοινο καταλήγει στη γείωση.

3.3. Διέλευση του αγωγού Υψηλής Τάσης εντός του θαλάμου

Ο αγωγός υψηλής τάσης που από το μετασχηματιστή δοκιμών και μέσω του καταμεριστή εισέρχεται στο θάλαμο δοκιμών από μια τρύπα όπως φαίνεται στην εικόνα 11. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της IEC-507 πρέπει να διατηρείται απόσταση από γειωμένα εξαρτήματα του αγωγού 0.5 m ανά 100 kV της τάσης δοκιμής. Η τρύπα που υπάρχει στο θάλαμο δοκιμών για τη διέλευση του αγωγού Υ.Τ. έχει ακτίνα 0.75m και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τάσεις μέχρι 150 kV.



Εικόνα 11. Είσοδος αγωγού Υ.Τ. στο θάλαμο δοκιμών.

Διακρίνονται ο αγωγός Υ.Τ., το μονωτικό ακόντιο για τη στήριξη του αγωγού και μέρος του συστήματος εξαερισμού-απορροφήσεως της επικίνδυνης για το εργαστήριο αλατομίχλης.

Ο αγωγός που προσάγει την υψηλή τάση στο θάλαμο δοκιμών είναι τύπου SPIRAL διαμέτρου 24mm για την αποφυγή του φαινομένου CORONA. Στο σημείο που εισέρχεται στο θάλαμο υπάρχει μονωτικό ακόντιο για τη στήριξη του και την είσοδό του στο θάλαμο από το κέντρο της τρύπας που υπάρχει.

3.4. Γείωση της διάταξης δοκιμών

Αυτή επιτυγχάνεται με το συρματόσχοινο γείωσης του μονωτήρα. Το συρματόσχοινο είναι αγώγιμα συνδεδεμένο με τους δύο σωλήνες αλουμινίου που είναι οδηγοί του και οι οποίοι με τη σειρά τους είναι αγώγιμα συνδεδεμένοι με τους δικτυωτούς φορείς της οροφής, και σε αρκετά σημεία με τον πυλώνα της εικόνας 9. Η αγώγιμη σύνδεση των σιδηροβεργών DEXION - 140 επιτυγχάνεται με χρησιμοποίηση GROVER σε κατάλληλα επιλεγμένους κοχλίες σύνδεσης των DEXION. Έτσι γειώνεται όλη η εγκατάσταση του θαλάμου δοκιμών.

Όλα τα άλλα εξαρτήματα που τοποθετήθηκαν μετά (μηχανήματα εξαερισμού κλπ.) έχουν όλα αγώγιμη σύνδεση με το σκελετό του θαλάμου (γείωση).

Ακόμη το συρματόσχοινο γείωσης πριν καταλήξει στο σημείο

γείωσης του εργαστηρίου συνδέεται στις βάσεις δύο πυλώνων καθώς και στη βάση του μονωτικού ακοντίου που στηρίζει τον αγωγό Υ.Τ. στην είσοδό του στο θάλαμο.

3.5. Παραγωγή ομίχλης

3.5.1. Παραγωγή αλατούχου ομίχλης ή ομίχλης για ελεγχόμενη υγρασία

Εξετάστηκε η δυνατότητα παραγωγής από διάταξη που αναφέρθηκε αλατούχου ομίχλης για τη μέθοδο SALT FOG και ομίχλης για ελεγχόμενη ύγρανση τεχνητά ρυπασμένων μονωτήρων με COLD FOG για τη μέθοδο SOLID LAYER. Οι δύο τρόποι παραγωγής ομίχλης (αλατούχος και κοινή) για της δύο διαφορετικές μεθόδους με τις δεδομένες διαστάσεις του θαλάμου δοκιμών κρίθηκαν ότι μπορούσαν να πραγματοποιηθούν αφού έρχονταν σε συμφωνία με τις προδιαγραφές της IEC-507 (Εκτενέστερα αναλύθηκαν οι αντίστοιχες παράγραφοι των προδιαγραφών στο κεφάλαιο Ι). Και η αλατούχος ομίχλη και η κοινή ομίχλη παράγονται από ακροφύσια με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα υψηλής πίεσης.

3.5.2. Ακροφύσια

Τα ακροφύσια παραγωγής ομίχλης που φαίνονται με τις

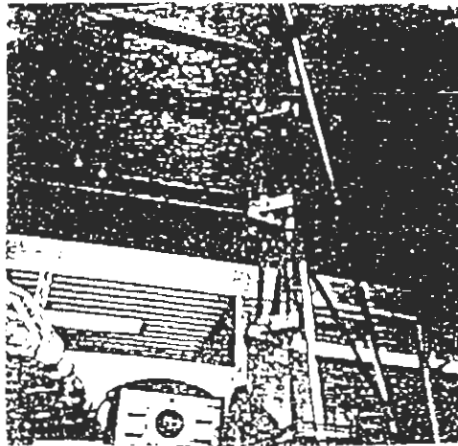
αναλυτικές διαστάσεις τους στο σχέδιο 2.5 κατασκευάστηκαν από PLEXYGLASS στο Μηχανουργείο Λεπτουργείο του ΚΔΕΠ με τις ακριβείς διαστάσεις που καθορίζει ο κανονισμός IEC-507.

Ο αριθμός των ακροφυσίων καθορίστηκε από τη παράγραφο 8 των προδιαγραφών IEC-507, που αναφέρει ότι ο ελάχιστος αριθμός N των εκτοξευτήρων ανά στήλη για ένα μήκος L του μονωτήρα είναι:

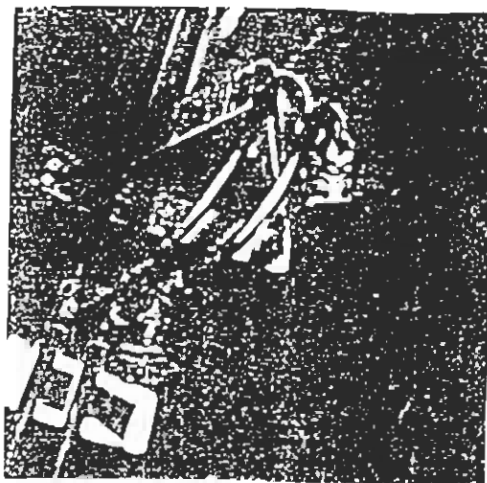
$$N = \frac{L}{0,6} - 3 \text{ όπου } L \text{ σε μέτρα.}$$

για τη μέθοδο SALT-FOG ενώ συγχρόνως πρέπει να ικανοποιείται και η απόσταση των $3\text{m} \pm 5\text{cm}$ των ακροφυσίων από τον κατακόρυφο άξονα των μονωτήρων.

Τελικά τοποθετήθηκαν 4 ακροφύσια ανά στήλη (σύνολο 8) για τις διαστάσεις του θαλάμου δοκιμών, σε απόσταση μεταξύ του 60cm όπως φαίνεται στην εικόνα 12.

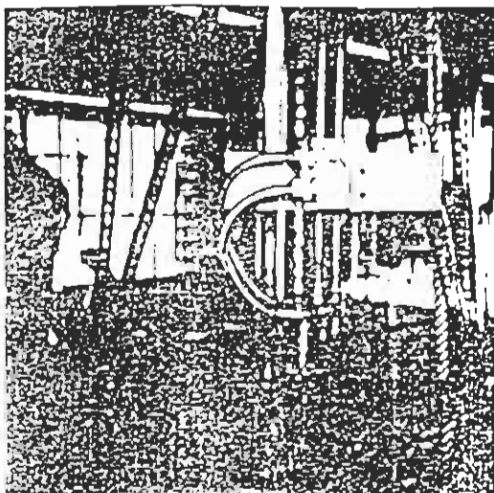


Εικόνα 12. Αρχική τοποθέτηση ακροφυσίων στον κατακόρυφο άξονα του πυλώνα όπου διακρίνονται και οι σωλήνες αέρα και νερού.



Εικόνα 13. Τοποθέτηση ακροφυσίου πάνω στην ειδική τριγωνική μεταλλική κατασκευή ενώ διακρίνεται ο σωλήνας νερού με τη χρήση βαλβίδας αντεπιστροφής η οποία λύση τελικά απέτυχε.

Για την εξασφάλιση της απόστασης των $3\text{m} \pm 5\text{cm}$ των ακροφυσίων από το κατακόρυφο άξονα της αναρτημένης αλυσίδας των μονωτήρων τοποθετήθηκαν στο κατακόρυφο άξονα του πυλώνα ειδική τριγωνική μεταλλική κατασκευή η οποία εξασφαλίζει αφ' ενός την στήριξη του ακροφυσίου και αφ' ετέρου την απόσταση του από τον κατακόρυφο άξονα του μονωτήρα στα όρια του $3\text{m} \pm 5\text{cm}$. Η διάταξη φαίνεται στις εικόνες 13 και 14.



Εικόνα 14. Πρόσωση του ακροφυσίου όπως φαίνεται από τη μεριά του κατακόρυφου άξονα του μονωτηρα.

3.5.2.1. Αρχική λύση. Χρησιμοποίηση αντλίας και BOMBVALVES

Όπως φαίνεται και στις εικόνες 13 και 14 η αρχική λύση που δόθηκε για τη σταθερότητα της παροχής του νερού ή του αλατούχου διαλύματος από το ακροφύσιο, ήταν η χρησιμοποίηση αντλίας η οποία έστελνε το νερό ή το διάλυμα μέσω ειδικά τοποθετημένου χαλκοσωλήνα στα ακροφύσια ενώ παρεμβάλλονταν στη ροή για κάθε ακροφύσιο από μία βαλβίδα αυτεπιστροφής αρχικά η βαλβίδες εκτόξευσης BOMBVALVE στη συνέχεια για τη ρύθμιση της τελικής παροχής από τα ακροφύσια ώστε να έχουμε σταθερό ύψος παροχής για κάθε ένα ακροφύσιο.

Η τελική παροχή που χρειαζόμαστε από τα ακροφύσια ήταν 0.5 lt/min για τη μέθοδο SALT-FOG και 0.4 lt/min για τη μέθοδο

COLD-FOG που έπρεπε να μένει σταθερή κατά τη περίοδο της δοκιμής και επιτρέπεται μια απόκλιση της συνολικής ροής από όλα τα ακροφύσια της τάξης του 5% της καθορισμένης τιμής. Η μικρή όμως παροχή των 0.5 lt/min κάθε ακροφυσίου απαιτούσε μεγάλους στραγγαλισμούς μέσω των διακοπών αντεπιστροφής ή των BOMBVALVES στους οποίους η αντλία δεν μπορούσε να ανταποκριθεί λαμβανομένης υπόψη και της σχετικής ασυμμετρίας του συστήματος των δύο στηλών των ακροφυσίων.

Έτσι υπήρχε μια ανομοιομορφία στην παροχή νερού των ακροφυσίων με αποτέλεσμα η ομίχλη να μην είναι ομοιόμορφη.

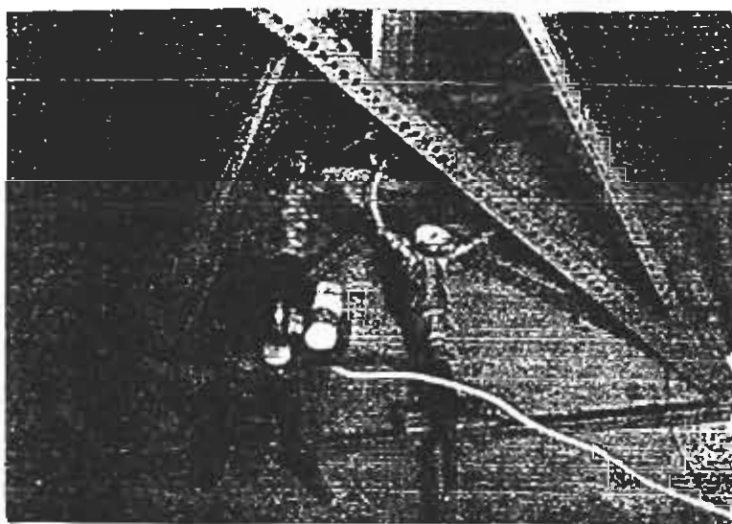
Έτσι η λύση αυτή απέτυχε και επιλέχθηκε η πολυπλοκότερη κατασκευή συστήματος ελεύθερης ροής στο τα ακροφύσια χωρίς την παρεμβολή στραγγαλιστικών διακοπών.

3.5.2.2. Ανάγκη μεταφοράς υψηλής πίεσης από το Τομέα Μεγάλης Ισχύος

Οι αυστηρές απαιτήσεις των κανονισμών για σταθερή πίεση αέρα στα ακροφύσια τιμής 7 ατμοσφαιρών με ανοχή $\pm 4\%$ για τη SALT - FOG METHOD για όλη τη διάρκεια της δοκιμής (1 ώρα) και παίρνοντας υπόψη την απόδοση του μικρού κομπρεσέρ του TYT αποφασίστηκε η μεταφορά πεπιεσμένου αέρα υψηλής πίεσης από το κτίριο της Μεγάλης Ισχύος που βρίσκεται σε απόσταση περίπου 180 μέτρων από το κομπρεσέρ που χρησιμοποιείται για

τις δοκιμές μεγάλης ισχύος. Μετά διακανονισμό απομονώθηκε ο ένας από τους δύο μεγάλους αεροσυμπιεστές και χρησιμοποιήθηκε για τη μεταφορά του πεπιεσμένου αέρα για τις δοκιμές των τεχνητά ρυπασμένων μονωτήρων. Για την υπόθεση αυτή δαπανήθηκαν ένα σοβαρό ποσό για την αγορά σωλήνα (12 ατμοσφαιρών) για τη μεταφορά του αέρα αφού υπολογίστηκε η πτώση πίεσης στο σύνολο της απόστασης.

Στην εικόνα 15 φαίνεται η κατάληξη του σωλήνα αέρα υψηλής πίεσης στο ρυθμιστή πίεσης που από εκεί ρυθμίζεται πλέον η σταθερότητα στη πίεση του αέρα.



Εικόνα 15. Ρυθμιστής πίεσης υψηλής πίεσης ενώ διακρίνεται και η αντλία που χρησιμοποιείται για τις δοκιμές.

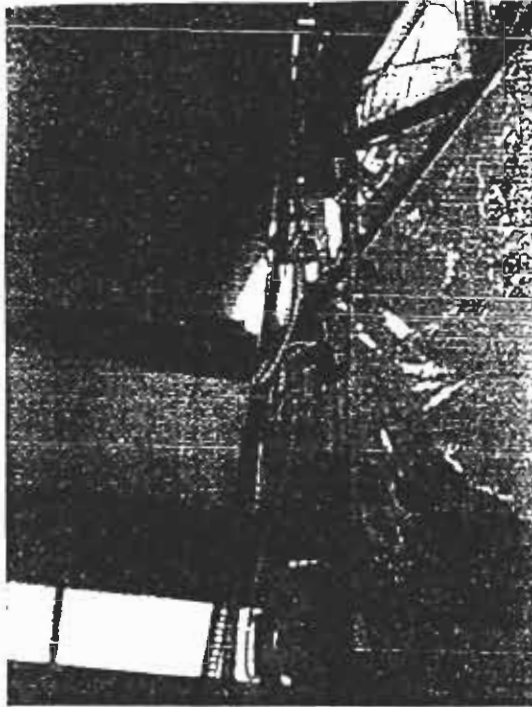
3.5.2.3. Σύστημα ελεύθερης ροής νερού ή αλατούχου διαλύματος για σταθερότητα παροχής από τα ακροφύσια.

Μετά την αποτυχία του συστήματος αντλία-βαλβίδες στραγγαλισμού επινοήθηκε για τη σταθερή παροχή νερού από τα ακροφύσια η σκέψη για μια μορφή ελεύθερης ροής.

Αρχικά διατυπώθηκε η άποψη για δοχείο που να βρίσκεται πάνω από το θάλαμο με σταθερή ελεύθερη επιφάνεια αλλά λόγω τεχνικών προβλημάτων απορρίφθηκε.

Τελικά επινοήθηκε η λύση για ατομική τροφοδοσία κάθε ακροφυσίου από αντίστοιχο δοχείο που θα παρέμενε σταθερή η ελεύθερη επιφάνειά του και θα βρίσκονταν σε μια υψομετρική διαφορά με το ακροφύσιο τέτοια ώστε να έχουμε την επιθυμούμενη παροχή από το ακροφύσιο.

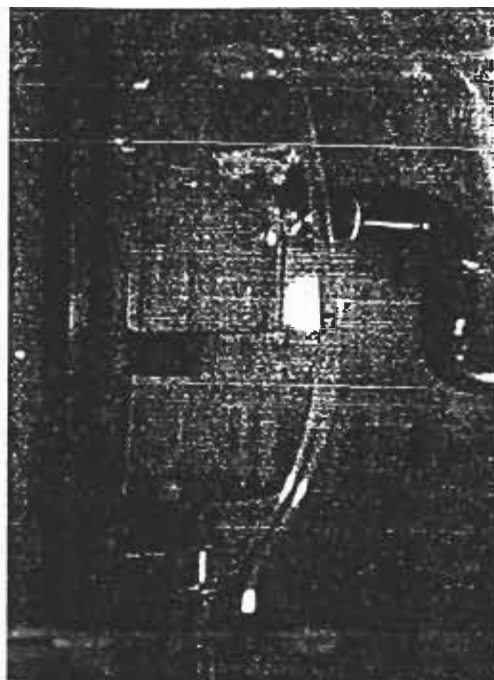
Η λύση αυτή θεωρήθηκε επικρατέστερη και τελικά διαμορφώθηκε και κατασκευάστηκε όπως φαίνεται στη φωτογραφία 16.



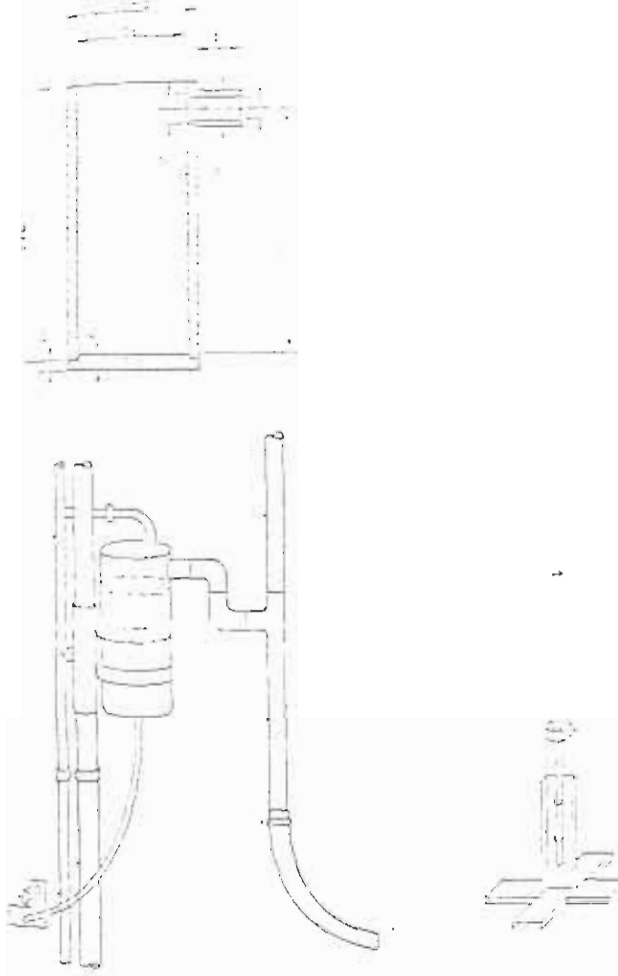
Εικόνα 16. Σύστημα ελεύθερης ροής. Διακρίνονται τα δοχεία από PLEXYGLASS οι τροφοδοσίες τους από σωλήνες που συνδέονται με την αντλία και οι υπερχειλιστές.

Η όλη φιλοσοφία του συστήματος είναι ότι λόγω της σταθερής ελεύθερης επιφάνειας που επιτυγχάνεται με τους υπερχειλιστές (φωτογραφία 17 και σχέδιο 2.6) σε συνδυασμό με τη παροχή της αντλίας που τροφοδοτεί τα δοχεία εξασφαλίζεται για μια υψομετρική διαφορά δοχείο - ακροφυσίου ίδια για όλα τα ακροφύσια σταθερή παροχή για όλα τα ακροφύσια.

Τα δοχεία είναι τοποθετημένα πάνω σε κινητό σιδηροσωλήνα σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους ίδιες με τις αντίστοιχες αποστάσεις μεταξύ των ακροφυσίων.



Εικόνα 17. Λεπτομέρεια δοχείου. Δίπλα από το σωλήνα στήριξης διακρίνεται ο χαλκοσωλήνας που τροφοδοτεί από την αντλία τα δοχεία.



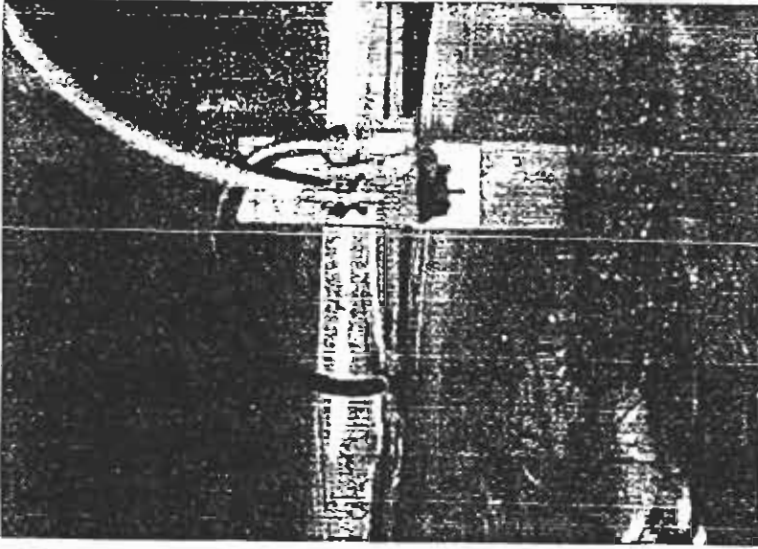
Σχ. 2.6.

Η παροχή που δίνει η αντλία σε κάθε δοχείο κανονίστηκε ώστε να είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη επιθυμούμενη παροχή του ακροφυσίου και να μην καλύπτει την απορριπτούμενη παροχή μέσω του υπερχειλιστή.

Στην εικόνα 18 φαίνεται η λειτουργικότητα του νέου συστήματος τροφοδοσίας των ακροφυσίων. Στη νέα λύση αφαιρέθηκε ο σωλήνας νερού που ανέβαινε μέσα στα ειδικά τριγωνικά στηρίγματα των ακροφυσίων στην προηγούμενη λύση (BOMBVALVE - εικόνα 19).



Εικόνα 18. Λειτουργικότητα του νερού συστήματος ελεύθερης ροής



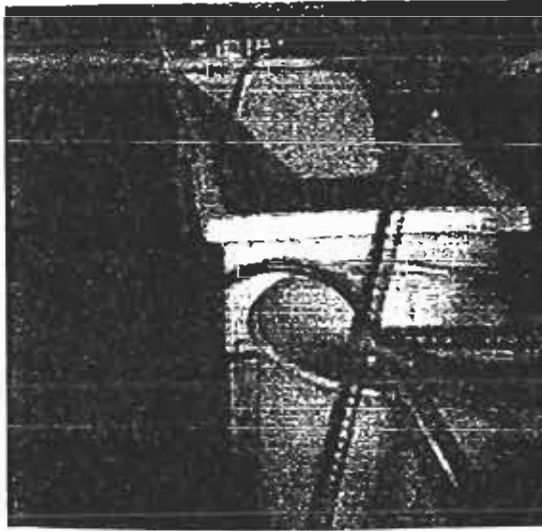
Εικόνα 19. Ένα ακροφύσιο. Διακρίνεται ο χάλκοσωλήνας που τροφοδοτεί το ακροφύσιο με πεπιεσμένο αέρα και ο λευκός σωλήνας που τροφοδοτεί το ακροφύσιο από τα δοχεία ελεύθερης ροής με νερό ή αλατούχο διάλυμα.



Εικόνα 20. Λειτουργία του συστήματος ελεύθερης ροής χωρίς να προσάγεται στα ακροφύσια πεπιεσμένος αέρας. Διακρίνεται η σταθερότητα παροχής.

Έτσι με μια διαφορά δοχείο - ακροφυσίου 60cm επιτυγχάνεται

σταθερή παροχή 0.5 lt/min των ακροφυσίων. Μια δοκιμή ελέγχου της παροχής των ακροφυσίων φαίνεται στην εικόνα 20. Η αντλία της διάταξης (εικόνα 15) που τροφοδοτείται από ένα απ' τα τρία δοχεία της εικόνας 21. Στα ορθογωνίου σχήματος δοχεία δημιουργούνται τα διαλύματα καθορισμένης συγκέντρωσης διαλύσεως αλατιού που χρησιμοποιούνται για την απ' ευθείας προσβολή των μονωτήρων με αλατούχο ομίχλη για τη μέθοδο SALT- FOG. Στο κυλινδρικό δοχείο υπάρχει νερό ορισμένης θερμοκρασίας για τη τροφοδότηση των ακροφυσίων και τη δημιουργία COLD - FOG. Οι υπερχειλιστές συνδέονται με σωλήνες οι οποίοι καταλήγουν στα δοχεία αυτά ανάλογα με την αντίστοιχη δοκιμή για να μη χάνεται έτσι νερό ή αλατούχο διάλυμα.



Εικόνα 21: Δοχεία τροφοδοτήσεως συστήματος ελεύθερης ροής. Διακρίνονται οι δύο σωλήνες που προέρχονται από την υπερχειλίση των δοχείων PLEXYGLASS.

Τα δοχεία PLEXYGLASS κατασκευάστηκαν και διαμορφώθηκαν στο μηχανουργείο - λεππουργείο του ΚΔΕΠ ενώ οι κολλήσεις έγιναν με χλωροφόρμιο.

Ακόμη στο μηχανουργείο του ΚΔΕΠ πήραν τη τελική τους μορφή και οι σωλήνες στήριξης των δοχείων PLEXYGLASS, καθώς και η βάση στήριξης του όλου συστήματος που τελικά έδωσε τη λύση στο πρόβλημα της σταθερότητας της παροχής.

3.5.3. Παραγωγή ομίχλης

Με την ρύθμιση των ακροφυσίων στην επιθυμητή στάθμη παροχής ανοίγεται η παροχή του αέρα υψηλής πίεσης και ρυθμίζεται η πίεσή του από ρυθμιστή πίεσης. Επειδή από το ρυθμιστή τροφοδοτούνται και τα 8 ακροφύσια μέσω διαφόρων σωληνών η ρύθμιση έγινε έτσι ώστε στην έξοδο κάθε ακροφυσίου να έχουμε την επιθυμητή πίεση αέρα.

Αυτό γίνεται γιατί τα λάστιχα, οι σωλήνες και οι γωνίες των σωληνώσεων μεταφοράς του αέρα στα ακροφύσια παρεμβάλουν αντιστάσεις στη ροή του με αποτέλεσμα να έχουμε κάποια πτώση πίεσης του αέρα από το ρυθμιστή πίεσης μέχρι την έξοδό του από το ακροφύσιο. Με τις ρυθμίσεις αυτές νερού και αέρα δημιουργείται στο θάλαμο δοκιμών μια ομοιόμορφη μορφή ομίχλης γύρω από το κατακόρυφο άξονα του μονωτήρα. Λόγω των επιθυμητών πυκνοτήτων ομίχλης στην αλατούχο ομίχλη

έχουμε πιο μεγάλη πυκνότητα ενώ για τη κοινή ομίχλη ελεγχόμενης υγρασίας έχουμε μικρότερη πυκνότητα λόγω μικρότερης παροχής νερού καθώς και μικρότερης πίεσης αέρα για να μην παρουσιάζονται συνέπειες για τους αναρτημένους τεχνητά ρυπασμένους μονωτήρες (όπως στάξιμο από τη πάνω επιφάνεια κλπ.).

3.6. Σύστημα για τη περισυλλογή και την απομάκρυνση μέσω σιφωνίου των νερών που συγκεντρώνονται μέσα στο θάλαμο δοκιμών

Ένα πρόβλημα που δημιουργήθηκε ήταν η έξοδος των νερών μέσω αποχετευτικού αγωγού για να μην υπάρχει πρόβλημα από λιμνάζοντα νερά μέσα στην αίθουσα του εργαστηρίου του ΤΥΤ μετά από δοκιμή μέσα στο θάλαμο ομίχλης.

Αρχικά διατυπώθηκε και κατασκευάστηκε η λύση της δημιουργίας στη βάση του θαλάμου συλλεκτήριου στρώματος από πολλαπλά φύλλα πολυαιθυλενίου όμοια μ' αυτά που κλείστηκε ο θάλαμος.

Αλλά λόγω των μετακινήσεων πάνω στο στρώμα για εργασίες μέσα στο θάλαμο (ανάρτηση μονωτήρα, ρύθμιση ακροφυσίων κλπ) το στρώμα τελικά δεν δημιουργούσε την επιθυμητή στεγανότητα αφού παρά την ύπαρξη σιφωνίου μέσα στο θάλαμο τα νερά έβγαιναν από άλλες εξόδους.

Τελικά η επιτυχημένη λύση που επινοήθηκε και κατασκευάστηκε

ήταν η δημιουργία στεγανότητας γύρω από τη περίμετρο της βάσης του θαλάμου με τσιμεντένιο φράγμα ύψους 5 εκατοστών.

Έτσι τα κατάλοιπα της ομίχλης δεν βγαίνουν έξω από το θάλαμο δοκιμών και απομακρύνονται προς το αποχετευτικό σύστημα του εργαστηρίου από ένα σιφόνι που υπάρχει στο δάπεδο του θαλάμου δοκιμών.

3.7. Σύστημα απορρόφησης της αλατομίχλης που βγαίνει από το θάλαμο δοκιμών.

Τέλος δημιουργήθηκε πρόβλημα για την σωστή λειτουργία του εργαστηρίου λόγω διοχέτευσης αλατομίχλης δια μέσου της τρυπας που υπάρχει στο θάλαμο για τη προσαγωγή του αγωγού υψηλής τάσης, στο χώρο του εργαστηρίου του ΤΥΤ.

Όταν έγιναν οι πρώτες δοκιμές με τη μέθοδο της αλατούχου ομίχλης δημιουργήθηκε σ' όλο το χώρο του εργαστηρίου ένα στρώμα ομίχλης το οποίο μελλοντικά θα μπορούσε να έχει καταστροφικές συνέπειες για τα διάφορα όργανα του εργαστηρίου (καταμεριστές, κρουστική γεννήτρια, μετασχηματιστής δοκιμών) λόγω της δημιουργίας στις επιφάνειες του πορώδους αλατούχου στρώματος.

Έτσι μελετήθηκε το θέμα της απορρόφησης της αλατομίχλης που βγαίνει από τη τρύπα εισαγωγής του αγωγού ΥΤ με τη χρησιμοποίηση εξαεριστήρων και αεραγωγών.

Τελικά κρίθηκε αναγκαία η διάταξη της εικόνας 22 που αποτελείται από:

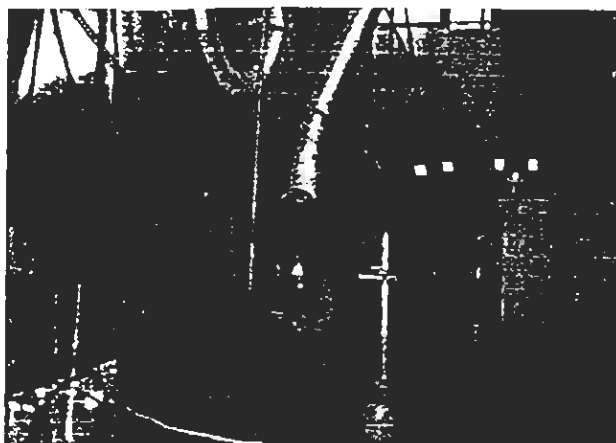
α) Αεραγωγό CROWN FLEX ονομαστικής διαμέτρου 6 ιντσών ο οποίος τοποθετήθηκε κατά τη περιφέρεια της ανοιχτής τρύπας του θαλάμου σε σχήμα τορροειδές (εικόνα 22) και του ανοίχτηκαν μικρές τρύπες στην εσωτερική του διάμετρο για την απορρόφηση της εξερχόμενης αλατομίχλης.

β) Αεραγωγό 10 ιντσών CROWN FLEX στον οποίο διοχετεύτηκαν στην είσοδο του οι δύο άκρες του κυκλικά τοποθετημένου αεραγωγού - ενώ στην άλλη άκρη του προσαρμόστηκε εξαεριστήρας 200W - 17 ιντσών (εικόνα 22) Αρχική λύση.

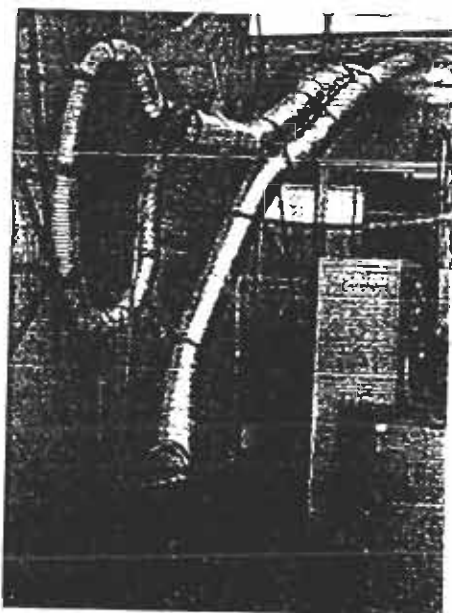
γ) Τριφασικός απορροφητήρας 200W που τοποθετήθηκε στη βάση του μονωτικού ακοντίου όπως φαίνεται στην εικόνα 23.

Μέσω αεραγωγού CROWN FLEX 10 ιντσών (εικόνα 23) διοχετεύει την αλατομίχλη που δεν μπορεί να απορροφήσει το σύστημα του κυκλικά τοποθετημένου αεραγωγού έξω από το εργαστήριο του ΤΥΤ, σε συνδυασμό με ένα εξαεριστήρα της VENT-AXIA 50W - 9 ιντσών. Τελική λύση

Ο συνδυασμός των παραπάνω αεραγωγών και εξαεριστών-απορροφητήρων πέτυχε να απομακρύνει από την αίθουσα του εργαστηρίου την αλατομίχλη η οποία διοχετεύονταν στην αίθουσα.



Εικόνα 22. Πρόσθετος τριφασικός απορροφητήρας για την απομάκρυνση της αλατομίχλης



Εικόνα 23. Σύστημα απορρόφησης αλατομίχλης που διοχετεύεται στο εργαστήριο.

Χαρακτηριστικά εργαστηριακών διατάξεων δοκιμών τεχνητά ρυπασμένων μονωτήρων άλλων χωρών

1. Θάλαμοι δοκιμών για τη μέθοδο SALT - FOG

Η Ιταλική ENTE NAZIONALE PER L'ENERGIA ELETTRICA (ENEL) διαθέτει τους θαλάμους στο CERL και στο CESI που είναι μεγάλων διαστάσεων, 12m x 11 m x 15m ύψος και 18m x 16m x 15m ύψος αντίστοιχα και 10 ζεύγη ακροφυσίων για κατακόρυφο μονωτήρα.

Ο θάλαμος της γαλλικής EDF είναι μικρότερος διαστάσεων 6m x 3.5m x 4m ύψος και 5 ζεύγη ακροφυσίων.

2. Θάλαμοι δοκιμών για τη μέθοδο SOLID - LAYER με χρησιμοποίηση των τριών μορφών δημιουργίας ομίχλης (STEAM, WARM, COLD FOG)

A. BONNEVELLE POWER ADMINISTRATION (BPA)

Ο θάλαμος της BPA είναι πλαστικό ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο με ακμές διαστάσεων 7.9m x 9.75m x 9.75m ύψος. Στη μια πλευρά υπάρχει άνοιγμα 5.5m x 5.5m που κλείνεται με πλαστική κουρτίνα στην οποία υπάρχει τρύπα 1.2m για την είσοδο του αγωγού Υ.Τ. Η παραγωγή της ομίχλης (STEAM FOG) γίνεται από 6 δοχεία από γαλβανισμένο χάλυβα που περιέχουν νερό με εμβαπτισμένες θερμαντικές αντιστάσεις με ικανότητα εξάτμισης

43 λίτρα νερού ανά ώρα.

B. CERAVER

Ο θάλαμος αποτελείται από πλαστικές κουρτίνες πολυαιθυλενίου που αναρτώνται με ανυψωτικό μηχάνημα με τη χρησιμοποίηση μιας μεταλλικής βάσης 6m x 5m. Η μέγιστη μεταβολή του ύψος είναι 8m. Η ομίχλη είναι COLD FOG. Τα ακροφύσια είναι τοποθετημένα στο δάπεδο του θαλάμου και έχουν κατεύθυνση 45 μοίρες προς τα πάνω με παροχή.

C. DOW CONRNING

Ο θάλαμος που είναι από PLEXYGLAS έχει κορυφή σχήματος πυραμίδας διαστάσεων 1.5m x 1.5m x 1.5m. Η ομίχλη είναι COLD FOG και τη παράγουν 8 ακροφύσια διατεταγμένα συμμετρικά γύρω από τη περιφέρεια που ρίχνουν κρύο νερό ειδικής αγωγιμότητας 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ με παροχή 3.3 λίτρα ανά λεπτό υπό γωνία ως προς οριζόντιο άξονα.

D. ENEL - CESI LABORATORIES

Στα εργαστήρια του CESI, ο θάλαμος H.V με διαστάσεις 7.5m x 6.5m x 7.5m ύψος. Η ομίχλη είναι STEAM FOG και παράγεται με εξάτμιση από μεγάλα ανοικτά δοχεία με νερό που βρίσκονται στο δάπεδο των θαλάμων στα οποία υπάρχουν εμβαπτισμένες θερμαντικές αντιστάσεις. Ο ρυθμός της ομίχλης μετά από 60 λεπτά θέρμανσης είναι 32 $\text{gr}/\text{h} \cdot \text{m}^3$.

E. INSTITUT DE RICHERCHE D' HYDRO-QUEBEC (IREQ)

Ο θάλαμος πλαστικός με ξύλινες ακμές διαστάσεις 4.7m x 4.7m x

4.7m. Η ομίχλη είναι STEAM FOG και παράγεται από ατμούς νερού από ένα διάτρητο χάλινο σωλήνα τοποθετημένο κατά μήκος του τοιχώματος σε απόσταση 0.3m πάνω από το δάπεδο.

F. NGK INSYLATORS

Οι διαστάσεις του θαλάμου της NGK είναι 6.1m x 5.3m x 4.8m ύψος. Η ομίχλη είναι WARM FOG και παράγεται από 25 ακροφύσια. Πυκνότητα ομίχλης 3.5 gr/m³.

G OHIO BRASS COMPANY

Αποτελείται από ξύλινο σκελετό 5m x 5m x 5m και κλείνεται με φύλλα πολυαιθυλενίου πάχους 0.25. Στη μια πλευρά υπάρχει άνοιγμα διαμέτρου 1 για την είσοδο του αγωγού υψηλής τάσης.

Η ομίχλη (STEAM FOG) παράγεται με εξάτμιση από δοχείο 227 λίτρων με εμβαπτισμένες 2 θερμαντικές αντιστάσεις των 10 kW.

Η επιφάνεια του δοχείου είναι 0.8 m².

H. ONTARIO HYDRO

Αποτελείται από νάιλον τέντα αναρτημένη μέσα στην αίθουσα κτιρίου σε απόσταση 0.5m από τους τοίχους της αίθουσας. Υπάρχει σύστημα θερμομόνωσης με δυνατότητα ελέγχου της θερμοκρασίας του θαλάμου και της ομίχλης σε επιθυμητό βαθμό.

Η ομίχλη είναι WARM FOG.

I. FROJECT UHV

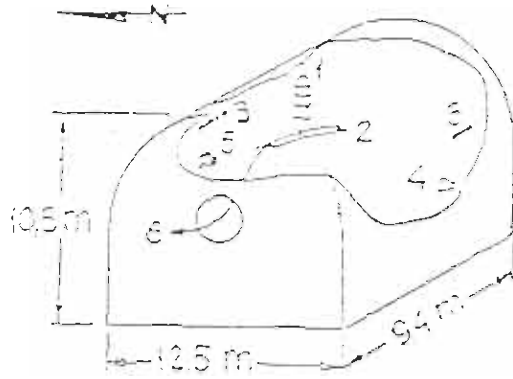
Ο θάλαμος είναι μεταλλικός κύλινδρος διαμέτρου 24.4 και ύψους 24.4. Έχει ικανότητα δοκιμής πάνω από 18 δίσκους μονωτήρων

στην αλυσίδα. Η ομίχλη (STEAM FOG) παράγεται από 4 μεγάλα δοχεία χωρητικότητα 760 λίτρων το καθένα. Ο μέγιστος βαθμός παραγωγής ομίχλης είναι 30 gr/h.m³.

J. PACIFIC GAS AND ELECTRIC COMPANY

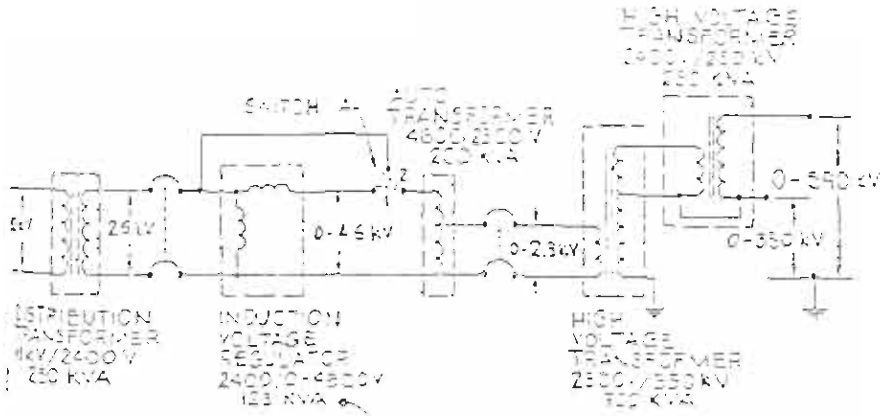
Ο θάλαμος ομίχλης τοποθετήθηκε σε ένα μεγαλύτερου κτίσματος και κλείστηκε με πλαστικές κουρτίνες. Οι διαστάσεις του είναι 12.5m x 9.4m x 10.5m ύψος. Παραγόμενη ομίχλη είναι COLD - FOG.

| Εργαστήριο | Χαρακτηριστικά ομίχλης | | Χαρακτηριστικά πηγής | | |
|------------|------------------------|-----------|----------------------|--------|------|
| | Τύπος | Πυκνότητα | Ονομαστική τάση (KV) | Isc(A) | R/X |
| A | STEAM | | 290 | 50 | |
| B | COLD | 2,6-3,5 | 250 | 18 | 0,36 |
| C | COLD | | 30 | 2 | 0,5 |
| D | STEAM | 2,5-3,5 | 350 | 50 | 0,5 |
| E | STEAM | 3,5-4,2 | 200 | 43 | 0,2 |
| F | WARM | 3,5 | 200 | 11 | 0,1 |
| G | STEAM | | 250 | 16 | |
| H | WARM | 3,2 | 350 | 23 | 0,51 |
| I | STEAM | | 150 | 22 | 1,78 |
| J | COLD | | 590 | 8 | |



1. Insulation test chamber
2. High voltage test transformer
3. Induction voltage regulator
4. High voltage transformer
5. High voltage transformer
6. High voltage transformer

ΣΧ. 2.8. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ ΔΟΚΙΜΩΝ



ΣΧ. 2.8. Διάγραμμα μετασχηματιστή δοκιμών



Ο θάλαμος του CESI για SALT - FOG (ENEL)

Κεφάλαιο III

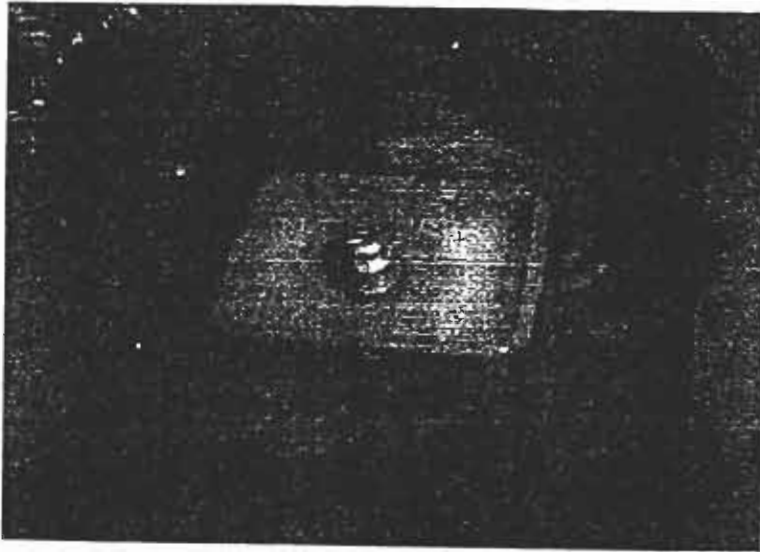
Τρόπος εκτέλεσης πειραμάτων

1. Μέθοδος δημιουργίας του επιστρώματος τεχνητής ρύπανσης πάνω στην επιφάνεια των μονωτήρων.

1.1. Καθάρισμα μονωτήρα πριν την εισαγωγή του στο θάλαμο ρύπανσης.

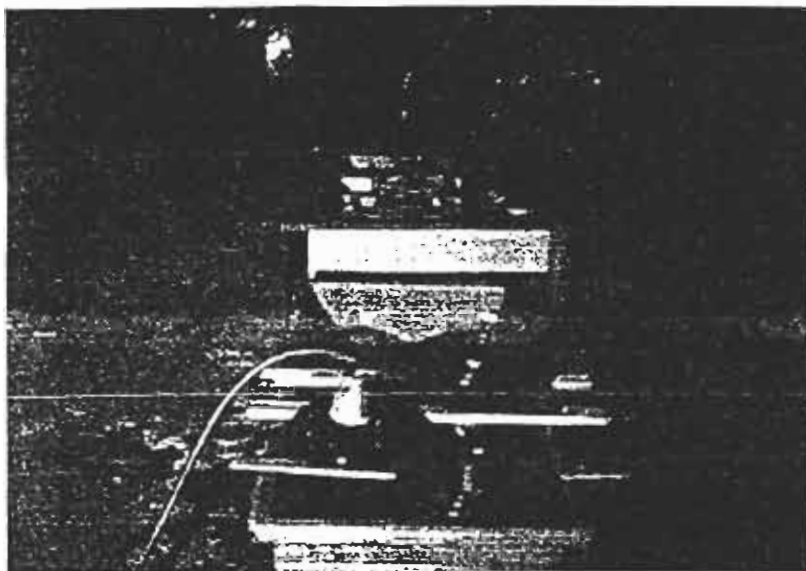
Σύμφωνα με τη παράγραφο 13 των προδιαγραφών της IEC-507 οι μονωτήρες που μπαίνουν για τεχνητή ρύπανση στο θάλαμο ρύπανσης πρέπει να έχουν καθαριστεί προσεχτικά, και να απομακρυνθούν κάθε ίχνη λιπαρής ουσίας από την επιφάνεια τους.

Για το λόγο αυτό πρέπει να χρησιμοποιηθεί TRISODIUM PHOSPHATE όπως φαίνεται στην εικόνα 24 όπου οι μονωτήρες ξεπλένονται σε νερό που περιέχει αρκετή ποσότητα TRISODIUM PHOSPHATE.



Εικόνα 24. Έκλυση μονωτήρα σε νερό που περιέχει TRISODIUM PHOSPHATE

Στη συνέχεια και χωρίς να έρθουν σε επαφή τα χέρια με την επιφάνεια της πορσελάνης του μονωτήρα (κράτημα από τη κάψα ή από το στέλεχος του μονωτήρα) ξεπλένεται καθαρά με απεσταγμένο νερό ή νερό βρύσης και αφήνεται να στεγνώσει ώστε καθαρισμένος και στεγνός να τοποθετηθεί στον άξονα περιστροφής του θαλάμου ρύπανσης για τη διαδικασία της τεχνητής ρύπανσης.



Εικόνα 25. Έκλυση μονωτήρων με αποσταγμένο νερό. Στο βάθος διακρίνεται το αγωγιμότερο για μετρήσεις σε ρυπασμένους μονωτήρες.

1.2. Σύνθεση και προετοιμασία αιωρήματος ρύπανσης

Η σύνθεση του αιωρήματος ρύπανσης που χρησιμοποιήθηκε είναι ίδια με τη σύνθεση που χρησιμοποίησαν οι REECE και MAULDIN της PACIFIC GAS AND ELECTRIC COMPANY λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρει.

Το αιώρημα της ρύπανσης έχει την ακόλουθη σύνθεση :

75 gr καολίνη (KAOLIN CLAY) με μέγεθος κόκκων που να διαπερνούν κόσκινο 200mesh.

675 gr χαλαζιακής άμμου (SILICA FLOUR) επίσης 200 mesh

Ποσότητα NaCl όση χρειάζεται για τη δημιουργία της κατάλληλης

ειδικής αγωγιμότητας του διαλύματος.

1 λίτρο ισοπροπυλικής αλκοόλης.

Η ισοπροπυλική αλκοόλη χρησιμοποιείται γιατί αφ' ενός έχει μικρό εξάτμισης και στεγνώνει γρήγορα στην επιφάνεια του μονωτήρα όταν εφαρμόζεται το επίστρωμα ρύπανσης με αποτέλεσμα να παρεμποδίζεται η σταγονοποίηση και το στάξιμο ποσοτήτων ρύπανσης.

Για τον έλεγχο της ομοιομορφίας της επίστρωσης θα ήταν καλό να χρησιμοποιηθεί χρωματιστή κιμωλία επίσης 200mesh που θα έδινε μια οπτική δυνατότητα ελέγχου της ομοιομορφίας.

Πριν το αιώρημα μπει στο δοχείο πίεσεως του θαλάμου ρύπανσης πρέπει πρώτα να γίνει ανάδευσή του για αρκετό χρόνο.

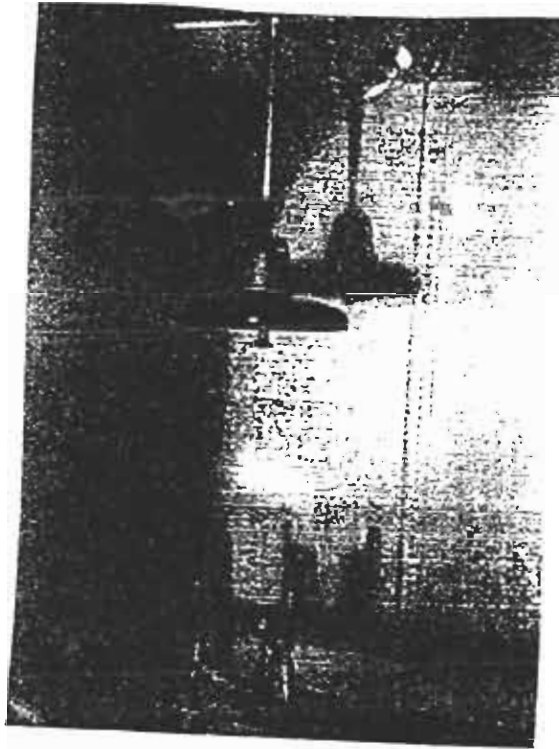
Μετά μπαίνει στο δοχείο πίεσης για να ακολουθήσει η διαδικασία του ψεκασμού του μονωτήρα.

1.3. Διαδικασία ψεκασμού του μονωτήρα και δημιουργία στερεού επιστρώματος στην επιφάνεια του

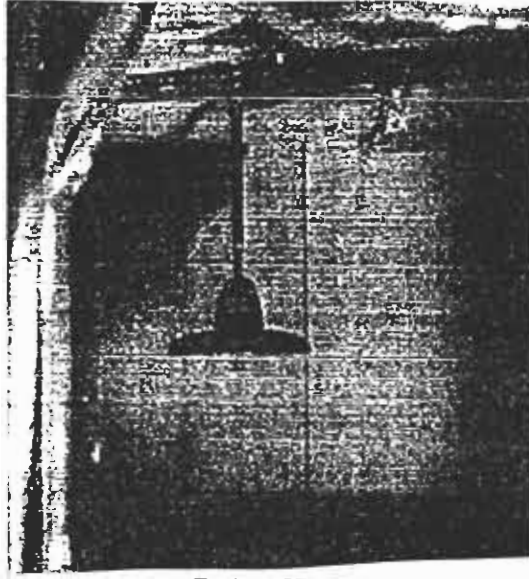
Με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα πίεσης 1,5-2 ατμοσφαιρών μπαίνει σε λειτουργία το σύστημα ψεκασμού των μονωτήρων αφού έχουν ρυθμιστεί πρώτα οι διακόπτες (BOMBVALVE) και τα μπέκ εκτόξευσης. Φυσικά ο αναρτημένος μονωτήρας

περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα στο πεδίο στροφών 30-250 RPM. Ο χρόνος που διαρκεί η ρύπανση παραμένει σταθερός για όλους τους μονωτήρες και όλους τους βαθμούς ρύπανσης.

Οι διαδοχικές φάσεις της δημιουργίας του επιστρώματος τεχνητής ρύπανσης εμφανίζονται στις εικόνες 26-28 όπου ρυπαίνεται κοινός μονωτήρας 5 3/4" - 10" της NGK και στις εικόνες 29-30 όπου ρυπαίνεται μονωτήρας τύπου ομίχλης 5 3/4"-10" της NGK.

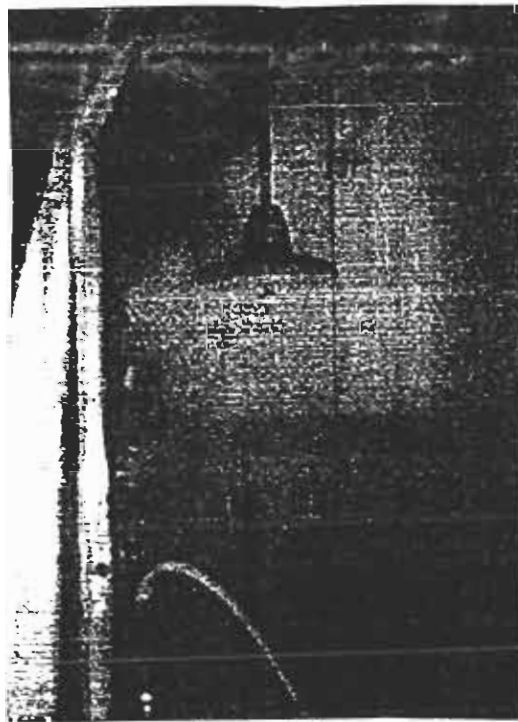


Εικόνα 26



Εικόνα 27

Διαδοχικές φάσεις δημιουργίας του επιστρώματος



Εικόνα 28



Εικ. 29

Διαδοχικές φάσεις δημιουργίας του επιστρώματος.

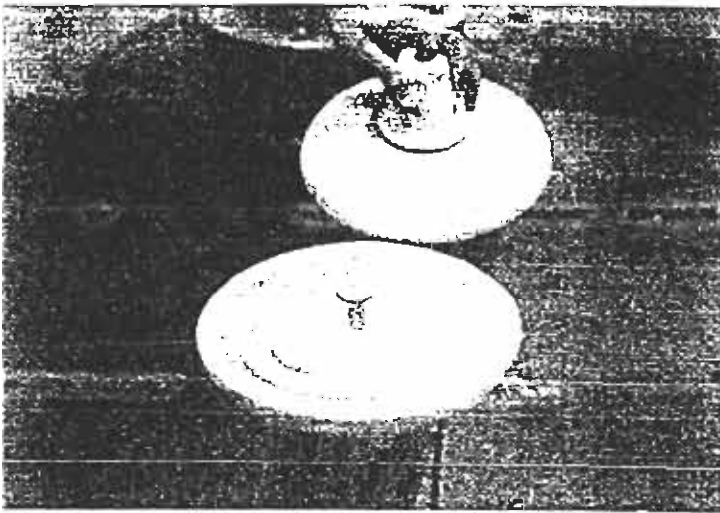


Εικ. 30

Διαδοχικές φάσεις δημιουργίας του επιστρώματος

Μετά το τέλος της διαδικασίας της τεχνητής ρύπανσης του μονωτήρα αφήνεται στη θέση του χωρίς όμως να περιστρέφεται μέχρι να στεγνώσει.

Στην εικόνα 31 διακρίνονται δύο μονωτήρες κοινοί 4 3/4" - 10" οι οποίοι έχουν στεγνώσει μετά τη διαδικασία του ψεκασμού τους. Φαίνεται καθαρά η ομοιομορφία της επίστρωσης της τεχνητής ρύπανσης.



Εικόνα 31. Μονωτήρες στους οποίους έχει δημιουργηθεί με τη μέθοδο SOLID - LAYER ένα ομοιομορφο στρώμα τεχνητής ρύπανσης.

2. Μέτρηση του βαθμού ρύπανσης του μονωτήρα. Πυκνότητα επικάλυψης αλατιού (MGR/CM=)

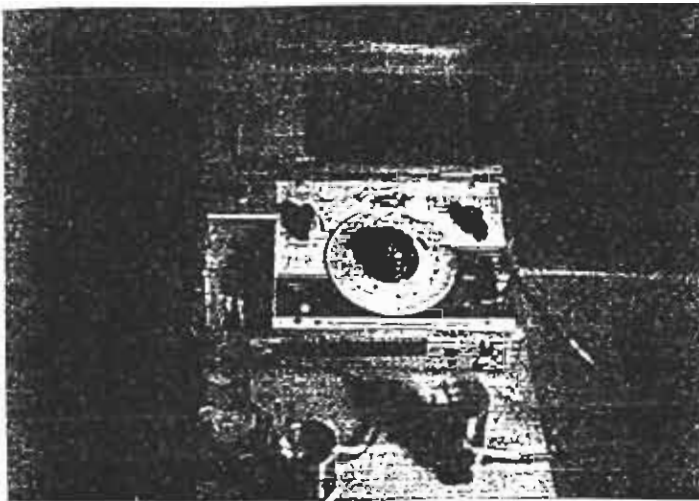
2.1. Τρόπος μέτρησης

Στο αιώρημα ρύπανσης τοποθετείται μία καθορισμένη ποσότητα αλατιού (π.χ. 5 gr) ανά λίτρο ισοπροπυλικής αλκοόλης και πραγματοποιούμε τη ρύπανση του μονωτήρα στο POLLUTION CHAMBER. Όταν το επίστρωμα της ρύπανσης πάνω στην επιφάνεια του μονωτήρα στεγνώσει, παίρνουμε το μονωτήρα προσεκτικά, ώστε να μην αλλοιωθεί η επίστρωση, από τη θέση του στο θάλαμο ρύπανσης και μεταφέρεται στο σημείο που θα γίνει η έκπλυση του με αποσταγμένο νερό. Το αποσταγμένο νερό που υπάρχει στο εργαστήριο του ΤΥΤ προέρχεται από στήλη απιονισμού νερού η οποία τελικά στην έξοδο της παρέχει νερό του οποίου η ειδική αγωγιμότητα είναι της τάξης του 1 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Με το νερό αυτό κατ' αρχήν πλένεται προσεκτικά γυάλινο δοχείο στο οποίο θα γίνει η περισυλλογή του διαλύματος της έκπλυσης του μονωτήρα. Με μεγάλη προσοχή και με ειδικό σφουγγαράκι γίνεται το πλύσιμο της ρυπασμένης επιφάνειας του μονωτήρα ενώ ρίχνεται πάνω στην επιφάνειά του αποσταγμένου νερό από μικρό γυάλινο δοχείο το οποίο έχει προηγουμένως καθαριστεί με αποσταγμένο νερό.

Μετά το τέλος αυτής της διαδικασίας και αφού πλυθεί εντελώς η επιφάνεια του μονωτήρα μετράμε τον όγκο του διαλύματος ρύπανσης που συλλέχθηκε. Έστω $V \text{ cm}^3$ ο όγκος του διαλύματος ρύπανσης στο απεσταγμένο νερό.

Μετά με τη βοήθεια του αγωγιμομέτρου της εικόνας 32, της αγγλικής εταιρείας KENT μοντέλο MC1-MKV που έχει δυνατότητα μετρήσεως ειδικής αγωγιμότητας από $0.01 \mu\text{s}/\text{cm}$ με μεγάλη ακρίβεια μετράμε την ειδική αγωγιμότητα του εκπλύματος ρύπανσης που συλλέχθηκε. Η τελική τιμή της ειδικής αγωγιμότητας που θα χρησιμοποιηθεί παρακάτω προκύπτει φυσικά από την παραπάνω αναφερθείσα τιμή αφαιρώντας την ειδική αγωγιμότητα του χρησιμοποιηθέντος αποσταγμένου νερού.



Εικόνα 32. Μετρητής ειδικής αγωγιμότητας μεγάλης ακρίβειας με όλα τα εξαρτήματα για τη μέτρηση της ειδικής αγωγιμότητας του εκπλύματος ρύπανσης.

Με τη βοήθεια τώρα του διαγράμματος της σελίδας 40 των προδιαγραφών IEC-60 PART 1 HIGH VOLTAGE TEST TECHNIQUES που υπάρχει και στη σελίδα 37 του κεφαλαίου I του παρόντος, μπορούμε μετατρέποντας την ειδική αγωγιμότητα που μετρήσαμε σε (μs/cm) σε ειδική αντίσταση ρ (RESISTIVITY) με τη σχέση

$$\rho = \frac{10^4}{\sigma} \text{ όπου } \rho \text{ σε } \Omega \cdot \text{m}$$

να βρούμε τη περιεκτικότητα του αλατιού στο υδατικό διάλυμα σε gr/lit.

Έστω Π η περιεκτικότητα σε gr/lit του NaCl στο διάλυμα της έκπλυσης.

Αν $A \text{ cm}^2$ η συνολική επιφάνεια του μονωτήρα τότε η πυκνότητα επικάλυψης αλατιού M σε gr/cm^2 πάνω στην επιφάνεια του μονωτήρα θα είναι :

$$M \text{ (gr/cm}^2) = \frac{\Pi \text{ (gr/lit)} \cdot V \text{ (cm}^3)}{A \text{ (cm}^2)}$$

2.2. Χαρακτηριστικά διαγράμματα του θαλάμου ρύπανσης

Κάνοντας αρκετές μετρήσεις με τη παραπάνω αναφερθείσα μέθοδο για καθορισμένες ποσότητες αλατιού ανά λίτρο ισοπροπυλικής αλκοόλης, προκύπτουν τα διαγράμματα 3.1 και 3.2 της επόμενης σελίδας για τους κοινούς μονωτήρες 5 3/4" -10"

της NGK, και τα διαγράμματα 3.4 και 3.5 για τους αντίστοιχους τύπους ομίχλης 5 3/4" -10".

Τα χαρακτηριστικά στοιχεία των δύο αυτών τύπων μονωτήρων στους οποίους έγιναν οι δοκιμές είναι:

Μονωτήρα I

Τύπος : κοινός πορσελάνης

Διάμετρος D :10" ή 254 mm

Μήκος - άνοιγμα H : 5 3/4" ή 146 mm

Μήκος ερπυσμού L :12" ή 305 mm

Επιφάνεια S (υπολογίστηκε με το θεώρημα του Πάπου που εφαρμόστηκε ξεχωριστά για τη πάνω επιφάνεια)

S συνολική (TOTAL) : 1539 cm²

S πάνω (TOP) : 660 cm²

S κάτω (BOTTTOM) : 879 cm²

Μέση Διάμετρος $D = \frac{S}{\pi \cdot L} = 160.5 \text{ mm}$

Μονωτήρας II

Τύπος : Ομίχλης πορσελάνης

Διάμετρος D :10" ή 254 mm

Μήκος H : 53/4 " ή 146 mm

Μήκος ερπυσμού L : 431 mm

Επιφάνεια S

Συνολική (TOTAL) : 2431 cm²

Πάνω (TOP) : 837 cm²

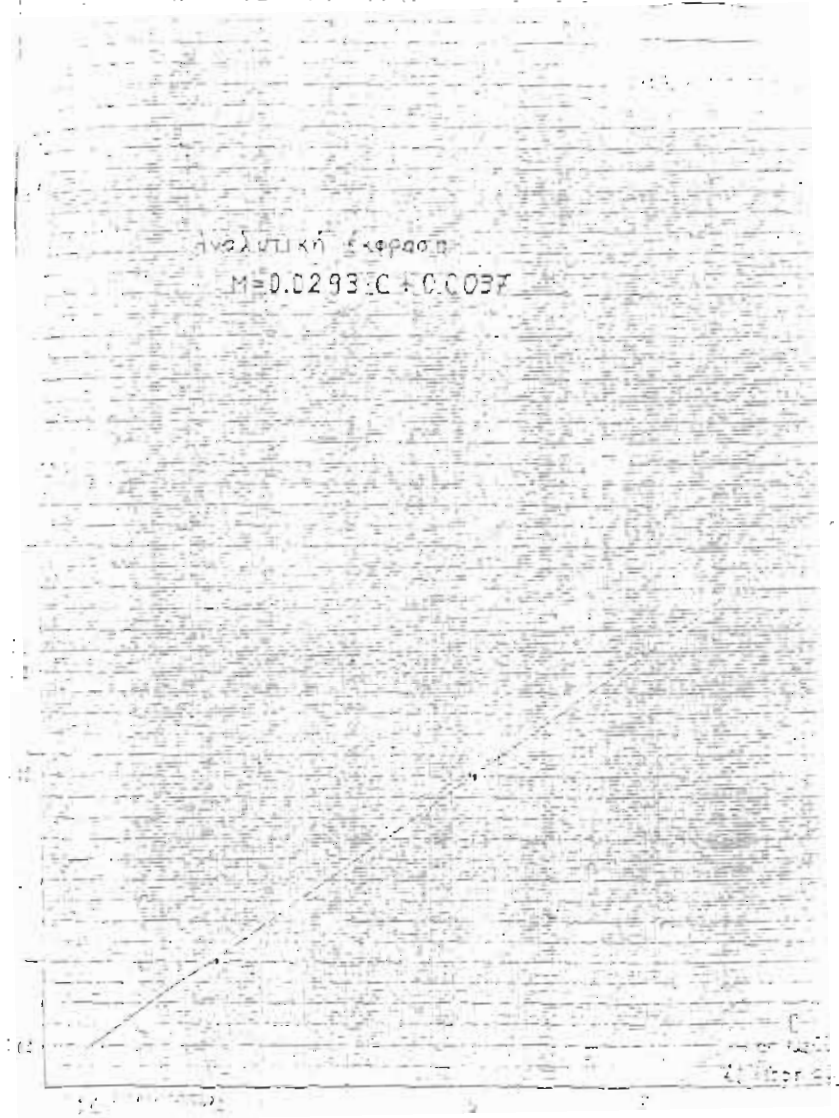
Κάτω (BOTTOM) : 1594 cm²

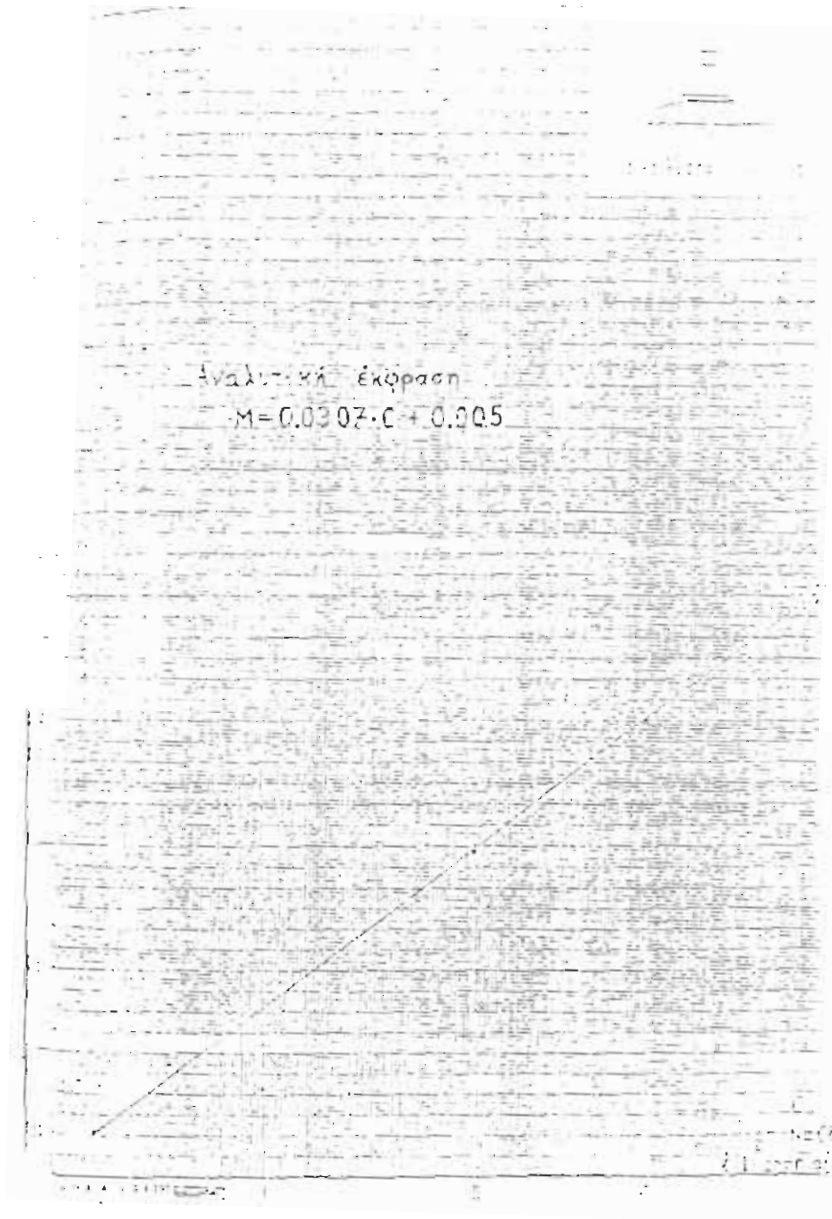
Μέση διάμετρος D : 179.5 mm

3. Διαδικασία προετοιμασίας των τεχνητά ρυπασμένων μονωτήρων με τη μέθοδο SOLID LAYER, μέχρι την επιβολή της τάσης δοκιμής (ψύξη, διαδικασία ύγρανσης του στρώματος τεχνητής ρύπανσης του στρώματος τεχνητής ρύπανσης, μέγιστη ειδική αγωγιμότητα)

3.1. Ψύξη των τεχνητά ρυπασμένων μονωτήρων

Μετά το στέγνωμα του επιστρώματος ρύπανσης που αποτέθηκε στην επιφάνεια του μονωτήρα είναι γνωστή, για καθορισμένη τιμή της ποσότητας αλατιού στο αιώρημα ρύπανσης, η τιμή της πυκνότητας επικάθησης αλατιού στην επιφάνεια του (MGR/CM²) δηλαδή ο βαθμός ρύπανσής του.





Επειδή η χρησιμοποιούμενη μέθοδος ύγρανσης του ρυπασμένου στρώματος είναι η μέθοδος της COLD FOG, πρέπει να γίνει ψύξη του μονωτήρα όπως αναφέρεται στις προδιαγραφές IEC - 50711975 παράγραφος 15 WEDING OF THE POLLUTION LAYER όταν δεν χρησιμοποιείται για την ύγρανση της επίστρωσης η STEAM FOG METHOD. Η διαφορά θερμοκρασίας που προκύπτει λόγω της ψύξης του μονωτήρα στους 5 βαθμούς Κελσίου - 10 βαθμούς Κελσίου μεταξύ της επιφάνειας του και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος του θαλάμου και της ομίχλης, ενεργεί (καλύτερη συμπύκνωση) έτσι ώστε να έχουν γρηγορότερη ύγρανση του επιστρώματος της ρύπανσης.

3.2. Χαρακτηριστικοί παράμετροι της ομίχλης (διαδικασίες ελεγχόμενης ύγρανσης)

3.2.1. Μέθοδοι παραγωγής ομίχλης

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο υπάρχουν τρεις τρόποι παραγωγής ομίχλης για ελεγχόμενη ύγρανση της τεχνητά ρυπασμένης επίστρωσης των μονωτήρων ώστε να φθάσει η τιμή της LAYER CONDUCTIVITY στη μέγιστη τιμή της.

Οι μέθοδοι αυτοί παραγωγής ομίχλης είναι :

1) COLD FOG : Παράγεται από ακροφύσια εκτοξευτήρες

(χρησιμοποιούμενη (FOG NOZZLES) που ψεκάζουν μέθοδος) νερό σε μεγάλη απόσταση με τη βοήθεια αέρα υψηλής πίεσης.

Θερμοκρασία νερού πριν τα ακροφύσια: 10-15 βαθμούς Κελσίου

Παροχή νερού: 0.4-0.5,5 lt/min (υπολογισμένο στον όγκο του θαλάμου δοκιμών $4.6 \times 4.6\text{m} \times 4.6\text{m} = 97.5 \text{m}^3$)

Πίεσης αέρα : 2-3 atm

Θερμοκρασία ομίχλης : 20 βαθμούς Κελσίου.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ανεμιστήρες για την επιθυμούμενη διεύθυνση της ομίχλης.

ii) WARM FOG : Παράγεται με τον ίδιο τρόπο όπως η COLD FOG αλλά αλλάζουν οι παράμετροι.

Θερμοκρασία νερού πριν τα ακροφύσια: 65 - 75 βαθμούς Κελσίου.

Θερμοκρασία ομίχλης :περίπου ίδια

iii) STEAM FOG : Παράγεται με την εξάτμιση (EVAPORATION FOG) νερού με θερμαντικές αντιστάσεις

Ισχύς αντιστάσεων 75-175 W ανά κυβικό μέτρο του θαλάμου δοκιμών.

iv) STEAM FOG : Όπως αναφέρεται στις προδιαγραφές IEC-50711975

Η σχετική υγρασία στο θάλαμο δοκιμών είναι 100% και η

ύγρυνση του στρώματος ρύπανσης παράγεται ανά:

- 1) συμπύκνωση (διαφορά θερμοκρασίας του μονωτήρα με την ομίχλη).
- 2) προστριβή των σταγονιδίων νερού με τη ρυπασμένη επιφάνεια του μονωτήρα.
- 3) υγροσκοπική συμπεριφορά της ρυπασμένης επιφάνειας του μονωτήρα (πορώδες στρώμα)
- 4) μια χημική διάχυση που αναπτύσσεται μεταξύ του διαλύματος αλατιού στην επιφάνεια του μονωτήρα και των μορίων νερού της ομίχλης.

3.2.2. Επιβολή ομίχλης στο ρυπασμένο μονωτήρα

Με τις παραμέτρους που ορίστηκαν 3.2.1 για τη COLD FOG μέθοδο παράγεται η ομίχλη στο θάλαμο δοκιμών.

Οι μονωτήρες μετά τη ψύξη τους, αναρτώνται στον θάλαμο δοκιμών όπου αρχίζει η διαδικασία της ύγρυνσης με την COLD FOG. Προηγουμένως βέβαια έχει ρυθμιστεί η παροχή νερού από τα ακροφύσια στα 0.lt/min για κάθε ακροφύσιο και γίνεται η ρύθμιση του πεπιεσμένου αέρα στις 2.5-3 ατμόσφαιρες.

Οι τιμές αυτές προέκυψαν μετά από αρκετούς πειραματισμούς που έγιναν σε διάφορους τεχνητά ρυπασμένους μονωτήρες ώστε να επιτυγχάνονται δύο στόχοι:

1) Να μην δημιουργείται σταγονοποίηση στις πτυχώσεις του μονωτήρα στη κάτω επιφάνεια του με αποτέλεσμα να χάνονται μετρήσιμες ποσότητες τεχνητής ρύπανσης με στάξιμο κατά τη διάρκεια της δοκιμής.

2) να έχουμε σχετικά ένα μικρό χρόνο (περίπου 35-40min) για τη πραγματοποίηση της μέγιστης τιμής της ειδικής αγωγιμότητας δηλαδή η δημιουργία της σύστασης ειδικής αγωγιμότητας.

Η μέτρηση της αντίστασης της ρυπασμένης επιφάνειας κατά τη διάρκεια της ομίχλης γίνεται με MEGGER του οποίου οι δύο ακροδέκτες συνδέονται στο στέλεχος του κάτω μονωτήρα της αλυσίδας των τεχνητά ρυπασμένων μονωτήρων και στη κάψα του άνω μονωτήρα. Οι μετρήσεις γίνονται κάθε 5 min από την έναρξη της ομίχλης. Στην αρχή παρουσιάζεται μεγάλη τιμή αντίστασης, η οποία σε 10-15 min μειώνεται αρκετά έτσι ώστε στα 30-40 από την έναρξη της ύγρανσης να παρουσιάζεται μια σταθερή σχεδόν τιμή της αντίστασης πολύ χαμηλή που εξαρτάται φυσικά από τον αριθμό των δίσκων στην αλυσίδα των μονωτήρων και από το E.S.D.D. που προφανώς θα είναι πολύ μικρή για μεγάλες τιμές του E.S.D.D. (MGRICMI).

Η χαμηλή σταθερή τιμή της αντίστασης της επιφάνειας των τεχνητά ρυπασμένων μονωτήρων είναι η μέγιστη φυσικά τιμή της αγωγιμότητας της επίστρωσης. Έτσι στο χρόνο περίπου των 35-40min από την έναρξη της ύγρανσης φτάνει η τιμή της LAYER CONDUCTIVITY στη μέγιστη τιμή της. Τη στιγμή αυτή γίνεται και

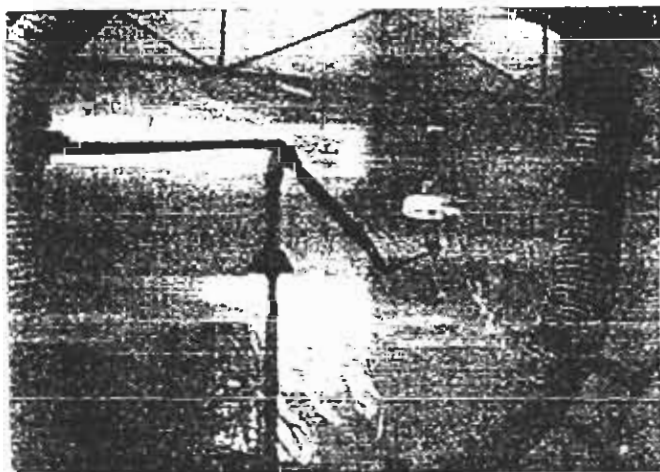
η συμβολή της τάσης δοκιμής.

Ο χρόνος για τη μετάβαση της αγωγιμότητας της επίστρωσης από πρακτικά μηδενική τιμή στη μέγιστη τιμή της εξαρτάται από:

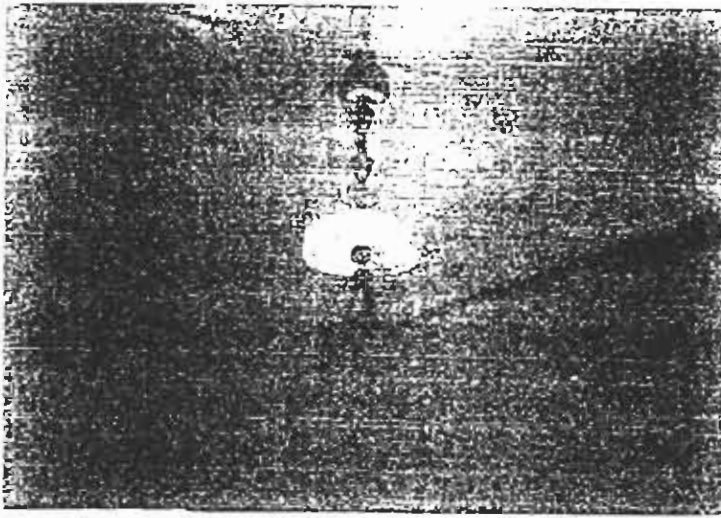
1) Τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας επικάλυψης και της ομίχλης.

2) Την πυκνότητα επικάλυψης αλάτων (E.S.D.D.) και τη πυκνότητα των εσωτερικών υλικών (καολίνη, διοξειδίου του πυριτίου κλπ.)

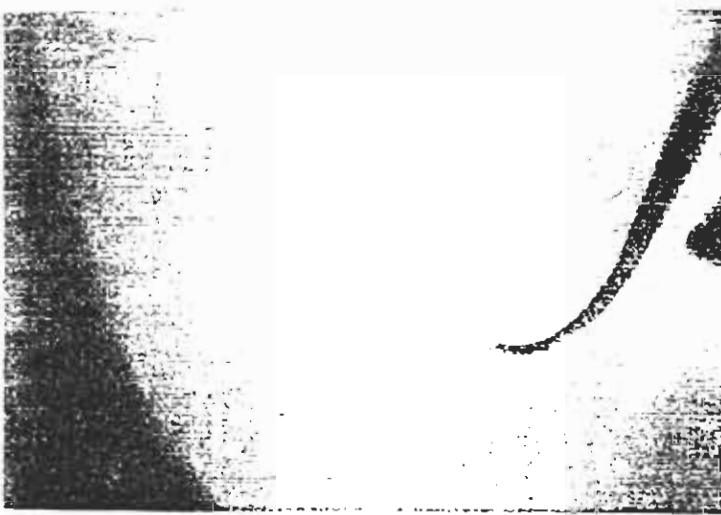
Στις εικόνες 33 - 35 διακρίνονται μονωτήρες τεχνητά ρυπασμένοι κατά τη διάρκεια της ελεγχόμενης ύγρανσης πριν την επιβολή τάσης.



Εικόνα 33. Μονωτήρας τύπου ομίχλης αναρτήσεως στο θάλαμο δοκιμών λίγο πριν αρχίσει η διαδικασία της ύγρανσης.



Εικόνα 34. Ο ίδιος μονωτήρας λίγο πριν την επιβολή της τάσης δοκιμής



Εικόνα 35. Αλυσίδα δύο τεχνητά ρυτιασμένων μονωτήρων (κοινών 5 3/4" - 10") κατά τη διάρκεια της ύγρανσής τους.

4. Επιβολή της τάσης δοκιμής

4.1. Διαδικασία επιβολής της τάσης

Μόλις οι τεχνητά ρυπασμένοι μονωτήρες φτάσουν στη σύσταση ειδικής αγωγιμότητας πραγματοποιείται η επιβολή της προκαθορισμένης τάσης δοκιμής, που εξαρτάται από τον αριθμό των δίσκων της αλυσίδας και το βαθμό ρύπανσής τους (E.S.D.D.)

Επειδή η τάση δεν μπορεί να επιβληθεί ακαριαία (δεν υπάρχει τέτοια δυνατότητα), επιβάλλεται σε χρόνο μικρότερο από 5sec όπως καθορίζουν και οι προδιαγραφές IEC - 507/1975 για την επιβολή της τάσης δοκιμής, και περιμένουμε ενώ η τάση μένει σταθερή μέχρι να συμβεί FLASHOVER ή για 15 λεπτά αν δεν συμβεί FLASHOVER (IEC -507).

Πάντως ο χρόνος αναμονής FLASHOVER των 15 min μπορούμε να είναι 2 λεπτά γιατί από πειραματισμούς που έγιναν προκύπτει ότι όταν συνέβαινε FLASHOVER ο χρόνος εμφάνισης του ήταν πάντα μικρότερος από 2 min, ενώ η τάση δοκιμής παρέμενε στις περιπτώσεις που δεν συνέβαινε FLASHOVER 15 min, (όπως καθορίζουν οι προδιαγραφές) χωρίς να συμβεί FLASHOVER μετά το πρώτο χρονικό διάστημα των 2 λεπτών. Ακόμη σε μετρήσεις που έγιναν από τους REECE και MAULDIN της PACIFIC GAS AND ELECTRIC COMPANY πάνω σε 154 FLASHOVER πολύ

λίγα FLASHOVER έγιναν μετά το πρώτο λεπτό της εφαρμογής της τάσης δοκιμής.

Στο διάγραμμα 3 φαίνεται το επί τοις εκατό ποσοστό των FLASHOVERS που έγιναν σε συνάρτηση με το χρόνο από τη στιγμή της επιβολής της τάσης δοκιμής. Όπως υπολογίζεται από το διάγραμμα το 81% των FLASHOVERS που έγιναν πραγματοποιήθηκαν στο πρώτο λεπτό, ενώ τα υπόλοιπα FLASHOVERS (19%) συμβαίνουν στη διάρκεια του δεύτερου λεπτού.

4.2. Καθορισμός των χαρακτηριστικών αντοχής των μονωτήρων

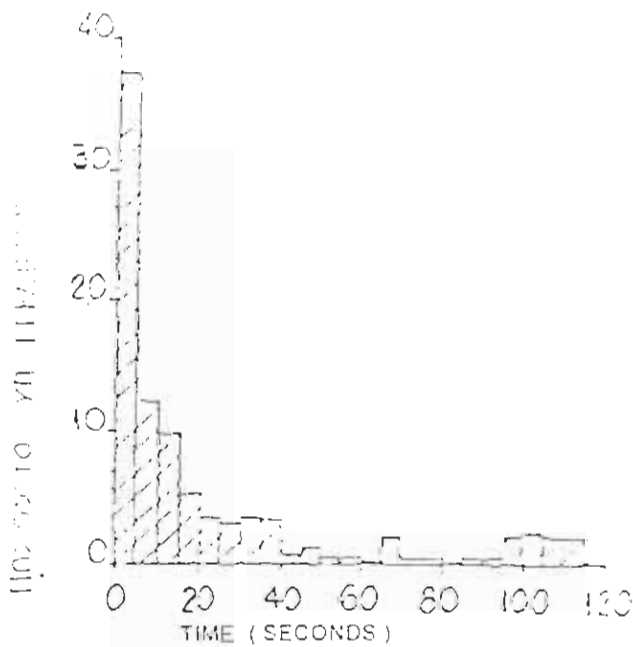
Γενικά πρέπει να γίνουν 3 δοκιμές στο μονωτήρα ή στην αλυσίδα μονωτήρων:

- 1) Αν δεν συμβεί σε κανένα TEST (από τα 3), υπερπήδηση τότε η τάση εισβολής χαρακτηρίζεται σαν τάση αντοχής.
- 2) Αν συμβεί σε ένα από τα 3 TEST FLASHOVER τότε πρέπει να γίνει ακόμη μία δοκιμή. Αν στη δοκιμή αυτή αντέξει ο μονωτήρας τότε η επιβαλλόμενη τάση χαρακτηρίζεται σαν τάση αντοχής.
- 3) Αν συμβεί σε 2 δοκιμές υπερπήδηση τότε ο μονωτήρας δεν αντέχει την τάση εισβολής.

Μέγιστη τάση αντοχής σε ορισμένη τιμή της ειδικής αγωγιμότητας της ρυπασμένης επιφάνειας του μονωτήρα (MAXIMUM

WITHSTAND VOLTAGE) είναι η μέγιστη τάση που μπορεί να υποστεί ο μονωτήρας, με καθορισμένη ρύπανση, σε τρεις δοκιμές χωρίς να συμβεί υπερπήδηση.

Όταν ο μονωτήρας ή η αλυσίδα των τεχνητά ρυπασμένων αντέξει μια καθορισμένη τάση η επόμενη τιμή της τάσης δοκιμής θα είναι αυξημένη κατά 5%. Όλη η παραπάνω διαδικασία συμφωνεί με τις παραγράφους 18, 19 και 20 των προδιαγραφών IEC - 507 που αναφέρεται στη διαδικασία της δοκιμής αντοχής και στο καθορισμό των χαρακτηριστικών αντοχής των τεχνητά ρυπασμένων μονωτήρων.

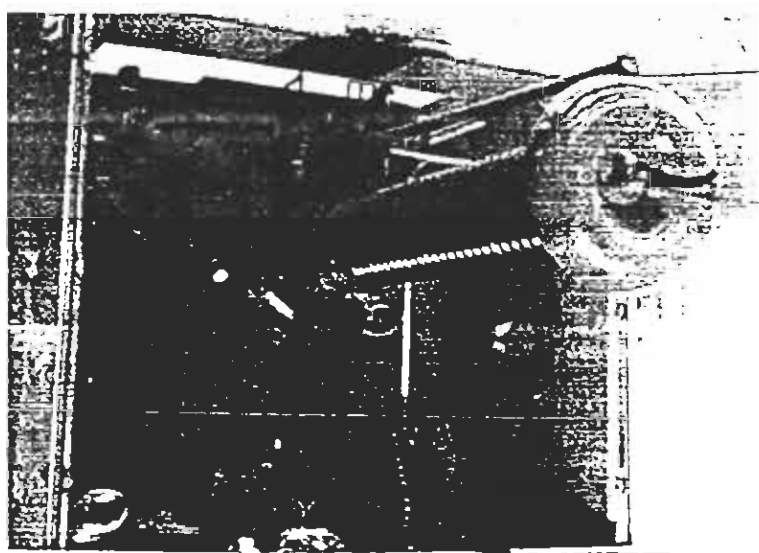


Διάγραμμα 3

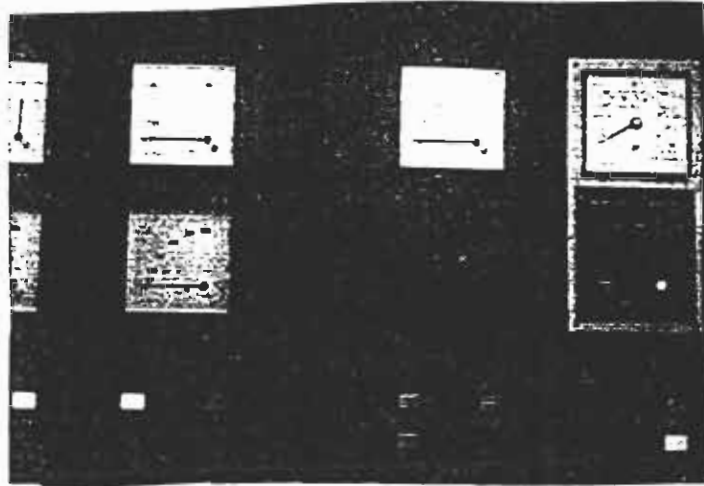
4.3. Μετασχηματισμός δοκιμών 380V/300KV και όργανα μέτρησης

τάσης δοκιμής και ρευμάτων διαρροής και υπερρπήδισης

Ο Μετασχηματισμός Δοκιμών 380V/300KV του εργαστηρίου του ΤΥΤ είναι κινητή μονάδα, και φαίνεται στην εικόνα 36. Η μονάδα διαθέτει ρυθμιστή (VARIAC) για μεταβολή της τάσης εξόδου από 0-300KV.



Εικόνα 36. Έξοδος του μετασχηματιστή δοκιμών. Διακρίνονται το BUSHING ο γειωτής και η αναχώρηση του αγωγού Υ.Τ.

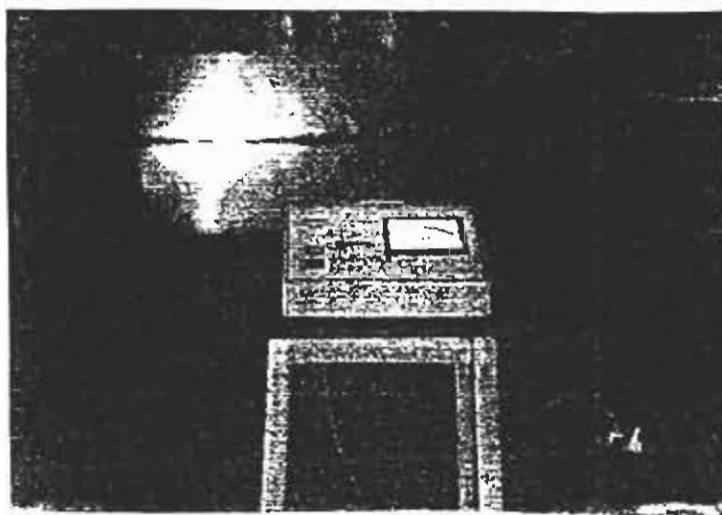


Εικόνα 37. Πίνακας ελέγχου του μετασχηματιστή δοκιμών. Διακρίνονται τα μπουτόν ρύθμισης καθώς και τα όργανα μέτρησης τάσης, έντασης στη χαμηλή και την υψηλή τάση.



Εικόνα 38.

Καταμεριστής του εργαστηρίου του ΤΥΤ, που αφ' ενός τη πορεία του αγωγού Υ Τ. (διακρίνεται η είσοδος του αγωγού στο θάλαμο δοκιμών) και αφ' ετέρου βοηθά για την ευκρινέστερη και πιο ακριβή ανάγνωση της καθορισμένης τάσης δοκιμής μέσω του βολτομέτρου που φαίνεται στην εικόνα 39.



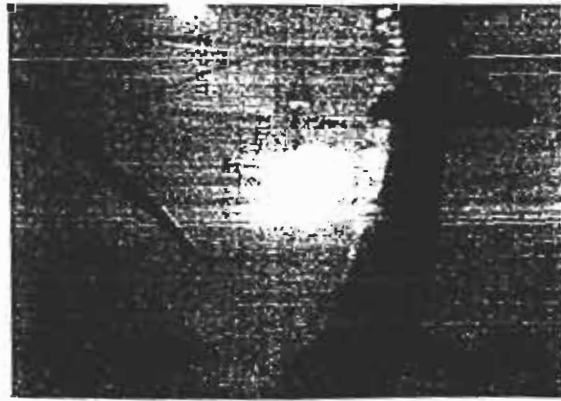
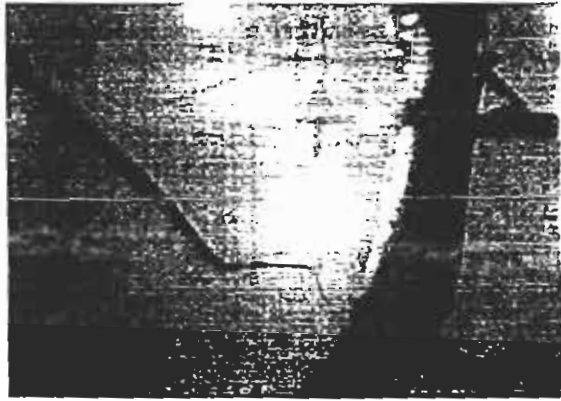
Εικόνα 39. Βολτόμετρο ακριβείας της HAEFELY

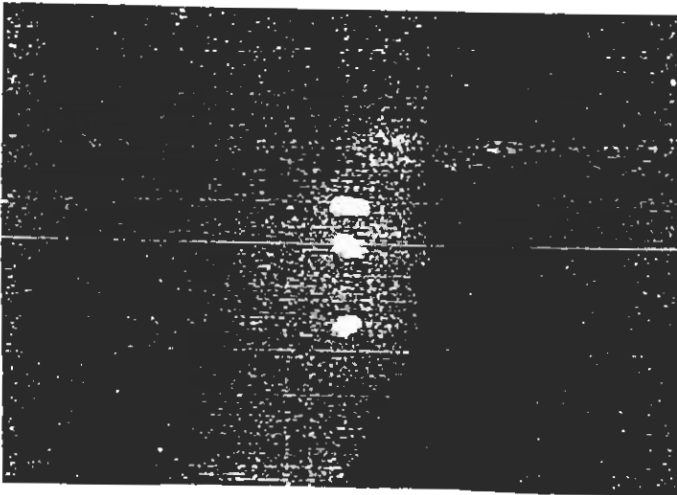
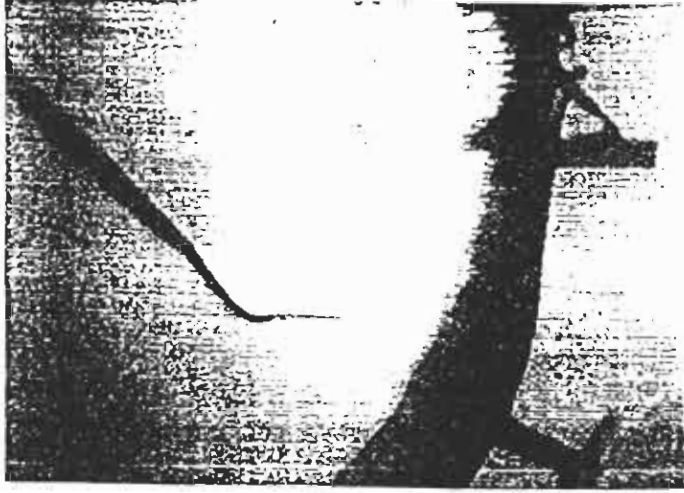
5. Αποτελέσματα δοκιμών με τη μέθοδο Solid Layer

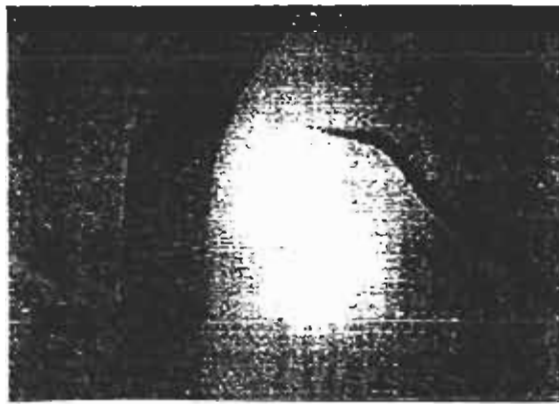
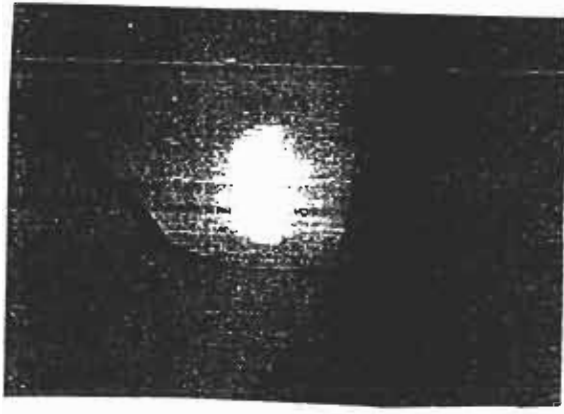
Με τη διαδικασία που αναφέρθηκε έγιναν των τεχνητά ρυπασμένων μονωτήρων.

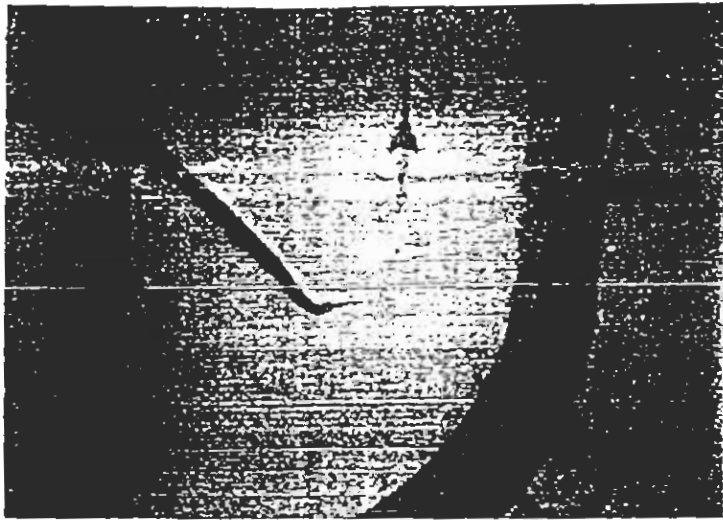
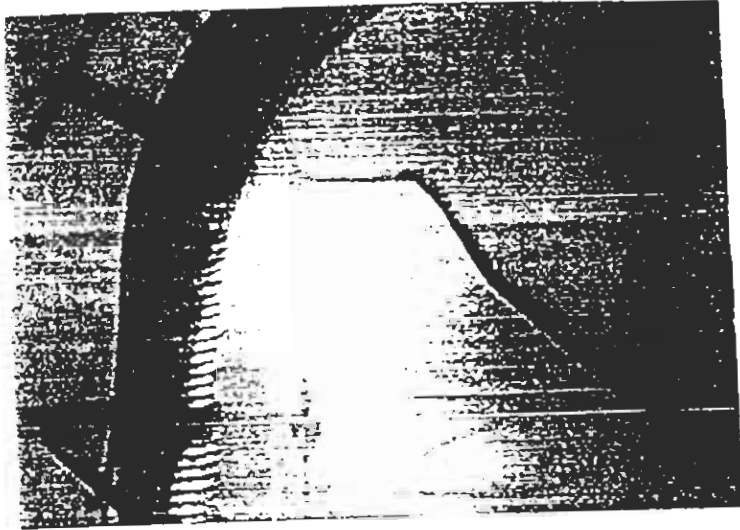
Αποτελέσματα δοκιμών.

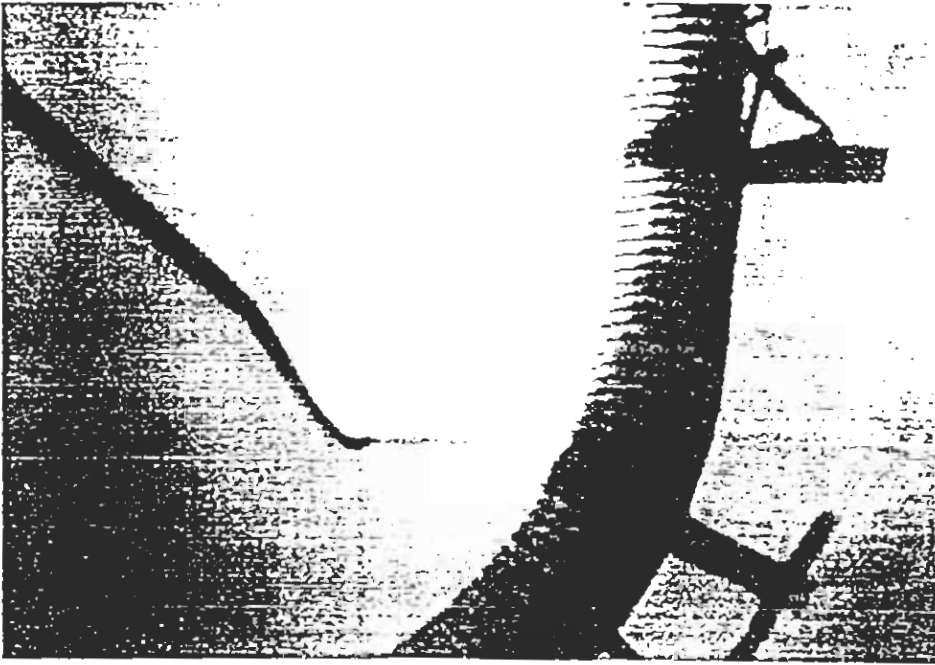
A. Μονωτήρες MGK 5 3/4"-10" τύπος κοινός πορσελάνης (τα άλλα χαρακτηριστικά των μονωτήρων αναφέρθηκαν).

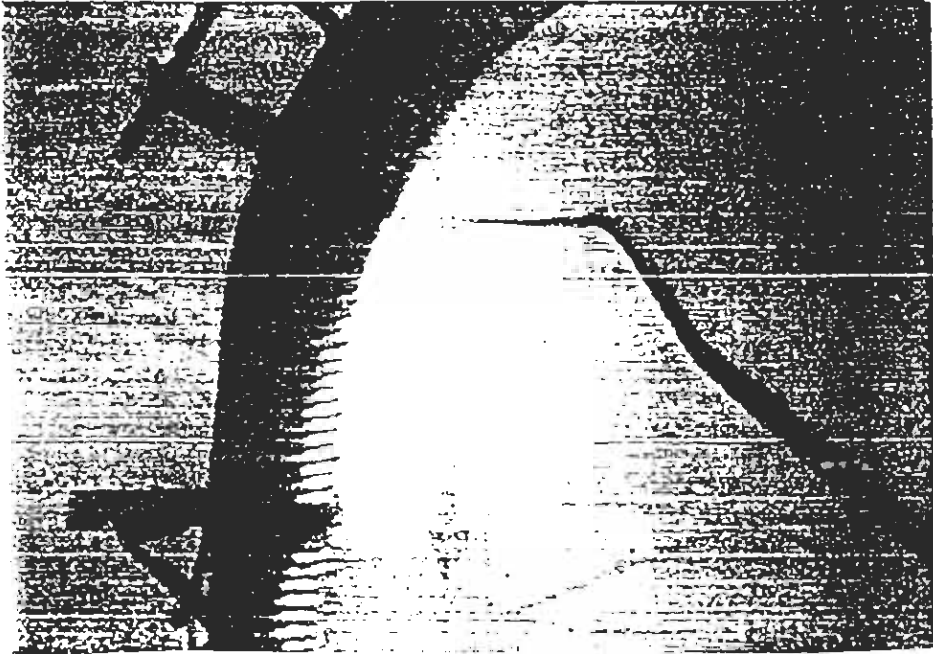












Αποτελέσματα δοκιμών

| Ρύπανση (E.S.D.D.), C (MGR/CM ²) | Τάση αντοχής. VC (WITHSTAND VOLTAGE) KV/UNIT |
|---|---|
| 0,02 | 21 |
| 0,05 | 15 |
| 0,1 | 12 |
| 0,16 | 10 |
| 0,22 | 9 |

Από τις παραπάνω τιμές προκύπτει η καμπύλη 3.1 της οποίας η αναλυτική έκφραση είναι $V_c = 5,26 \cdot C^{-0,35}$

| Ρύπανση C (MGR/CM ²) | Τάση υπερπή- δησης ανά μονάδα μήκους | Μήκος ερπυσμού / τάση F/D/KV | Τάση υπερπήδησης KV/UNIT |
|-------------------------------------|--|------------------------------------|--------------------------------|
| 0,02 | 72,13 | 13,86 | 22 |
| 0,05 | 52,46 | 19,06 | 16 |
| 0,1 | 42,62 | 23,46 | 13 |
| 0,22 | 32,78 | 30,5 | 10 |

Από τις παραπάνω τιμές προκύπτει η καμπύλη 3.2 της οποίας η αναλυτική έκφραση είναι $V_f.o = 6,035 \cdot C^{-0,33}$

B. Μονωτήρες NGK5 3/4" - 10" τύπου ομίχλης πορσελάνης (για τα άλλα χαρακτηριστικά τους).

Αποτελέσματα δοκιμών

| Ρύπανση C MGR/CM ² | Τάση αντοχής V _c KV/UNIT |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| 0,02 | 26 |
| 0,05 | 19 |
| 0,1 | 15 |
| 0,16 | 13 |
| 0,22 | 12 |

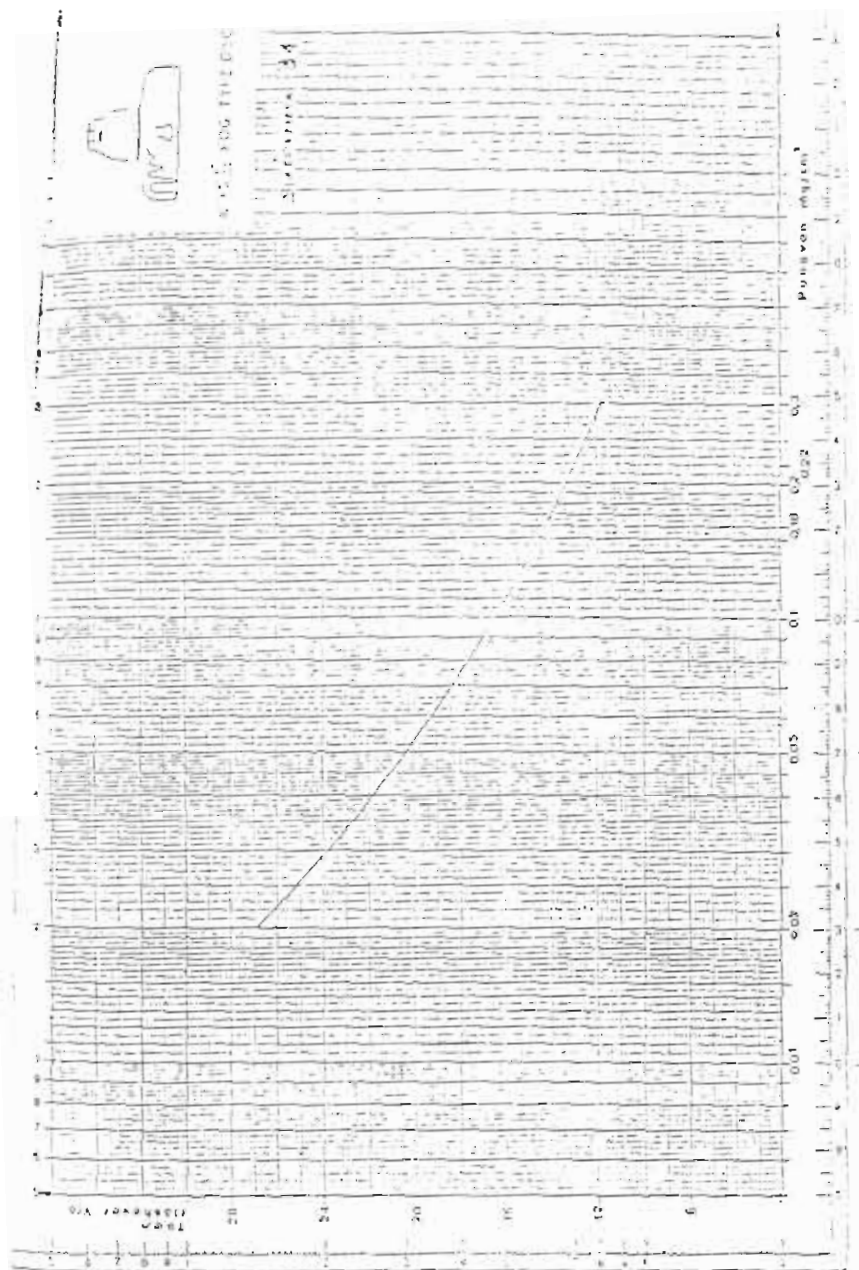
Από τις παραπάνω τιμές προκύπτει η καμπύλη 3.3 της οποίας η αναλυτική έκφραση είναι $V_c = 7,24 \cdot C^{-0,326}$

| Ρύπανση MGR/CM ² | Τάση υπερπήδησης ανά F.D. μονωτήρα KV/UNIT |
|-----------------------------|--|
| 0,02 | 27 |
| 0,05 | 20 |
| 0,1 | 16 |
| 0,16 | 14 |
| 0,22 | 13 |

Από τις παραπάνω τιμές προκύπτει η καμπύλη 3.4 της οποίας η αναλυτική έκφραση είναι $V_{f.o} = 8,054 \cdot C^{-0,38}$







Τέλος παραθέτουμε για σύγκριση τα αποτελέσματα των δοκιμών των Reese και Mauldim που είχαν διεξάγει τη διαδικασία της δοκιμής και της τεχνητής ρύπανσης (73) όπως ακριβώς και εμείς. Από τις καμπύλες που ακολουθούν, συγκρίσιμα αποτελέσματα είναι αυτά των τύπων I και III που αφορούν μονωτήρες 10"- 5 3/4" τύπου κοινού και ομίχλης, πορσελάνης, με τους οποίους μόνο μικρή διαφορά στο μήκος ερπυσμού έχουν οι αντίστοιχοι που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα.

Πάντως είναι φανερό ότι οι δοκιμές αντοχής των μονωτήρων που χρησιμοποιήθηκαν στο Τ.Υ.Τ., έδειξαν ότι αυτοί είναι ανθεκτικότεροι από τους αντίστοιχους των Reese και Mauldin.

Για κοινούς :

Εργαστήριο P.G.E Company: (TYPE I) $V_c = 4.8C$ (KV/UNIT)

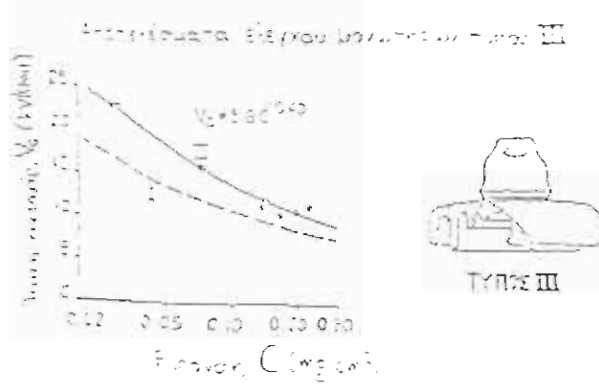
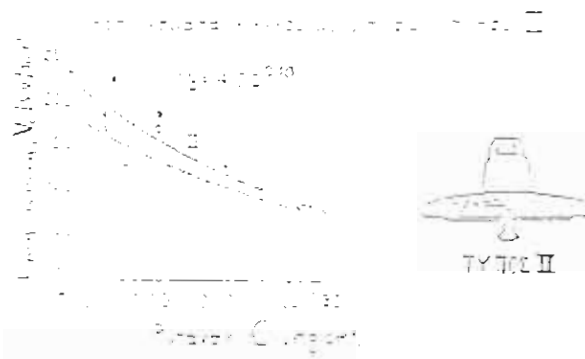
Εργαστήριο Τ.Υ.Τ. /Κ.Δ.Ε.Π.: $V_c = 5.26 \cdot C$ (KV/unit)

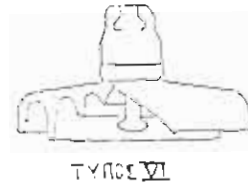
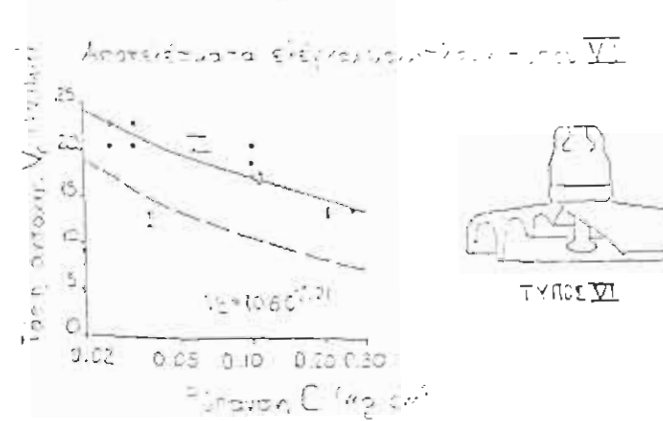
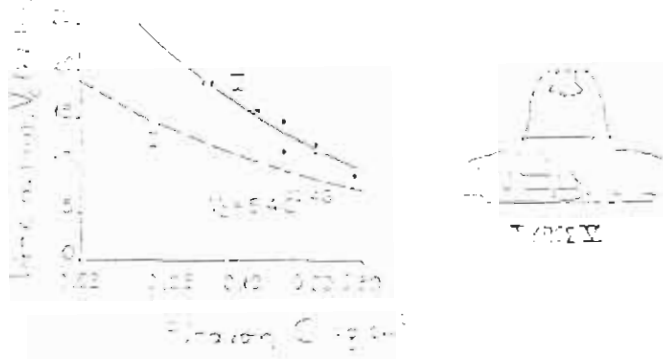
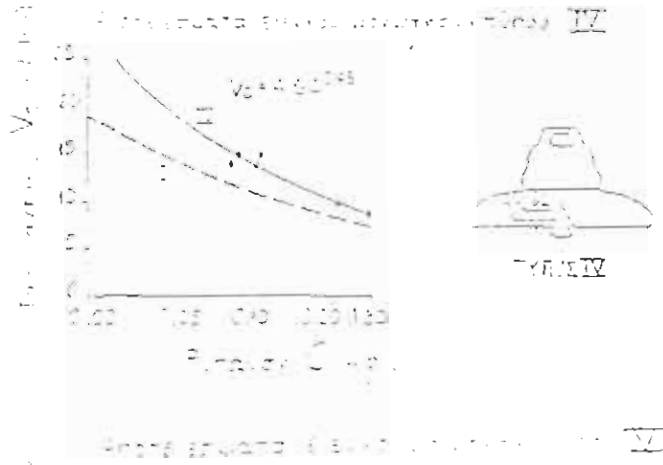
Για τύπου ομίχλης :

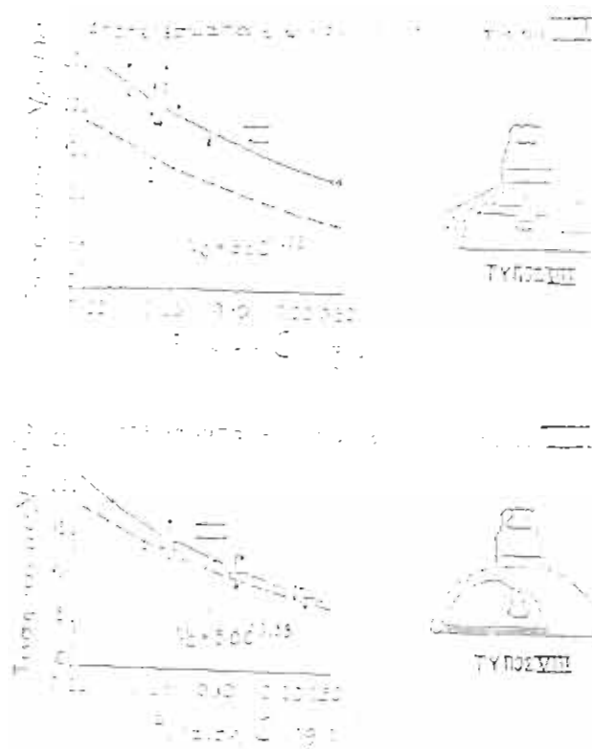
Εργαστήριο P.G.E. Company : (TYPE III) $V_c=5.6 \cdot C$

Εργαστήριο Τ.Υ.Τ. /Κ.Δ.Ε.Π. : $V_c= 5.26 \cdot C - (KV/unit)$

Ακολουθούν οι καμπύλες τάσης αντοχής (KV/unit) σε συνάρτηση με τη ρύπανση (mgr/cm^2) των Reese και Mauldim ενώ τα χαρακτηριστικά των μονωτήρων που χρησιμοποιήθηκαν δίνονται μετά τα διαγράμματα.







| Τύπος μονωτήρα | Ανοιγμα mm | Διάμετρος mm | Μήκος ερπυσμού mm | Μηχανική αντοχή LBS | Υλικό | Τύπος |
|----------------|------------|--------------|-------------------|---------------------|-----------|---------|
| I | 146 | 254 | 292 | 18000 | Πορσελάνη | Κοινός |
| II | 140 | 254 | 292 | 20000 | Ύαλος | Κοινός |
| III | 146 | 254 | 432 | 18000 | Πορσελάνη | Ομίχλης |
| IV | 146 | 254 | 394 | 20000 | Πορσελάνη | Ομίχλης |
| V | 159 | 292 | 470 | 36000 | Πορσελάνη | Ομίχλης |
| VI | 156 | 321 | 508 | 40000 | Ύαλος | Ομίχλης |
| VII | 146 | 254 | 368 | 25000 | Ύαλος | |
| VIII | 146 | 254 | 292 | 20000 | Ύαλος | Κοινός |

Κεφάλαιο IV

Καθορισμός παραμέτρων του μοντέλου ρυπασμένου μονωτήρα και εξαγωγή αναλυτικών σχέσεων $U_c(C1,C2) P(A) U_c(P)$

1. Ανάλυση της σχέσης μεταξύ της κρίσιμης τάσης και της πυκνότητας ρύπανσης σε ανομοιόμορφα ρυπασμένους μονωτήρες.

Η ασφάλεια των ηλεκτρικών δικτύων εξαρτάται άμεσα από το φαινόμενο της υπερπήδησης (flashover) στους ρυπασμένους μονωτήρες. Όταν έχει ήδη συμβεί το φαινόμενο της υπερπήδησης, τότε υπάρχει πλήρες τόξο και δεν είναι εύκολο να βρεθεί η σχέση που ζητείται. Αντίθετα τη χρονική στιγμή πριν το γεγονός της υπερπήδησης, το ρεύμα διαρροής και η τάση υπερπήδησης παίρνουν τις οριακές τιμές I_l και V_c αντίστοιχα. Συνέπεια αυτού, η ανάλυση που ακολουθεί θα γίνει για τη στιγμή ακριβώς πριν σημειωθεί το φαινόμενο.

Για την ερμηνεία και τους υπολογισμούς στο φαινόμενο της υπερπήδησης σε συνθήκες ρύπανσης, από πολλούς ερευνητές ((5), (6)) χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Obenhaus (4).

Σύμφωνα με τον Obenhaus, ένας ρυπασμένος μονωτήρας εξομοιώνεται απλά, με ένα μερικό τόξο το οποίο γεφυρώνει μια ξηρή ζώνη και με μια εν σειρά αντίσταση επιφάνειας. Η εφαρμοζόμενη τάση U , απαραίτητη για τη συντήρηση του εμφανιζόμενου μερικού τόξου, πρέπει να πληρεί την ακόλουθη σχέση :

$$U = A \cdot X \cdot I^n + I \cdot r_0 \cdot (L - X) \quad (1)$$

όπου : X : Μήκος του τόξου

L : Μήκος ερπυσμού

I : Ρεύμα διαρροής

r_0 : Αντίσταση ανά μονάδα μήκους της αγεφύρωτης υγρής ρυπασμένης επιφάνειας

A, n : Σταθερές του τόξου

Οι σταθερές του τόξου έχουν υπολογιστεί (7) και είναι :

$$A = 131.5 \text{ και } n = 0.374$$

Η κρίσιμη συνθήκη για την εξέλιξη του μερικού τόξου σε πλήρη υπερπήδηση είναι (8):

$$\frac{di}{dx} > 0 \quad (2)$$

Η μαθηματική επεξεργασία της κρίσιμης αυτής συνθήκης ((7),(8)) οδηγεί στον υπολογισμό των κρίσιμων μεγεθών (ρεύματος, τάσης, πεδριακής έντασης), της υπερπήδησης συναρτήσει των

γεωμετρικών χαρακτηριστικών του μονωτήρα και της ρύπανσης.

Σαν πρώτο βήμα της προαναφερθείσας επεξεργασίας εξάγεται η ακόλουθη σχέση μεταξύ της αντίστασης ανά μονάδα μήκους της ρυπασμένης επιφάνειας r_0 , της ισοδύναμης επιφανειακής αγωγιμότητας X_d , και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του μονωτήρα:

$$r_0 = \frac{f}{\pi \cdot L \cdot X_d} = \frac{1}{\pi \cdot X_d \cdot D_d} \quad (3)$$

όπου D_d είναι η ισοδύναμη διάμετρος του δίσκου του μονωτήρα και ισούται με:

$$D_d = \frac{L}{\pi \cdot f} \quad (4)$$

Το r_0 προκύπτει σε Ω/cm , όταν η ισοδύναμη διάμετρος του μονωτήρα D_d εκφράζεται σε cm και η επιφανειακή αγωγιμότητα X_d σε Ω^{-1} .

Το κρίσιμο ρεύμα I_c δίνεται από τη σχέση :

$$I_c = \left(\frac{D_r \cdot A}{D_d \cdot r_0} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad (5)$$

όπου D_r είναι η μέγιστη διάμετρος του μονωτήρα.

Η τάση υπερπήδησης είναι το άθροισμα της τάσης κατά μήκος του τόξου, όταν αυτό λάβει το οριακό μήκος l_c και της τάσης κατά μήκος της ρυπασμένης επιφάνειας. Δηλαδή :

$$U_c = I_c \cdot [I_c \cdot r_0 + K' \cdot r_0 \cdot (L - l_c)] \quad (6)$$

όπου K' είναι ο τροποποιημένος συντελεστής του ρυπασμένου στρώματος που εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του μονωτήρα και του τόξου και $\alpha = A \cdot l^{-(n+1)}$ είναι η αντίσταση ανά μονάδα μήκους του τόξου.

Το l_c είναι το κρίσιμο μήκος του τόξου όπως φαίνεται στην ακόλουθη σχέση:

$$l_c = \frac{L}{n+1} \quad (7)$$

Αν το τόξο υπερπήδησης θεωρηθεί ότι έχει μια ακτίνα στο σημείο επαφής με την επιφάνεια του μονωτήρα, τότε η ακτίνα αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$r = \sqrt{\frac{l_c}{\pi \cdot 1.45}} \quad (8)$$

Από τις σχέσεις (5) και (6) προκύπτει τελικά ότι:

$$U_c = A \cdot L \cdot \left[\frac{l_c}{L} + \frac{Dr}{Dd} \cdot \frac{K' \cdot (L - l_c)}{L} \right] \cdot I_c^n \quad (9)$$

$$K' = \frac{l}{2\pi X} \cdot \frac{\ln\left(\frac{4l}{\pi r}\right) - \ln\left(\tan\left(\frac{\pi l c / N}{2l}\right)\right)}{l \cdot l_c} \quad (10)$$

$$\pi \cdot Dd \cdot X;$$

Όπου $l = \frac{L}{N}$ και $N=4$

Ένα εναλλασσόμενο ρεύμα που διαρρέει ένα κύκλωμα ένα κύκλωμα (όπως είναι το ισοδύναμο κύκλωμα του μονωτήρα) δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που οφείλετε στο ρεύμα διαρροής είναι ο λόγος της τάσης υπερπήδησης προς το ενεργό μήκος ερπυσμού. Δηλαδή :

$$Ec = \frac{Uc}{L}(V/cm) \quad (11)$$

2. Υπολογισμός της ισοδύναμης επιφανειακής αγωγιμότητας και της ολικής ρύπανσης στους ανομοιόμορφα ρυπασμένους μονωτήρες.

Στις περισσότερες μελέτες για τη διηλεκτρική συμπεριφορά των μονωτήρων, οι οποίες έχουν εκπονηθεί μέχρι σήμερα, η ολική ρύπανση P (mg) θεωρείται ομοιόμορφα κατανεμημένη και ως εκ τούτου η ισοδύναμη πυκνότητα επικάθησης αλάτων C σταθερή, λόγω της δυσκολίας του ακριβούς προσδιορισμού της κατανομής της ολικής ρύπανσης P πάνω στην επιφάνεια του μονωτήρα. Η ισοδύναμη πυκνότητα επικάθησης αλάτων C (Equivalent Salt Deposit Density, E.S.D.D.), στην παρούσα εργασία, λόγω συντομίας, αναφέρεται και ως πυκνότητα ρύπανσης. Η σχέση πλου συνδέει την επιφανειακή αγωγιμότητα ρύπανσης, προέκυψε

από την καμπύλη $X_s(C)$ (7) και είναι :

$$X_s = \frac{369.05 \cdot C^{-0.42}}{10^6} \text{ (s.mg/cm}^3\text{)} \quad (12)$$

Συνεπώς και η X_s είναι σταθερή σε όλη την επιφάνεια του μονωτήρα.

Είναι όμως πολύ πιθανό στην πράξη, η ολική ρύπανση να μην είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη και να υπάρχουν περιοχές με διαφορετική ισοδύναμη πυκνότητα επικάθησης αλάτων (E.S.D.D.) πάνω στην επιφάνεια του μονωτήρα. Δηλαδή C (σταθερή και συνεπώς $X_s \neq$ σταθερή). Συνεπώς, η προηγούμενη σχέση (.12) δεν ισχύει και απαιτείται μια νέα σχέση, που να προσδιορίζει την επιφανειακή αγωγιμότητα X_s συναρτήσει της C και ενδεχομένης και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του μονωτήρα.

Στην εργασία του H. Streubel (9), γίνεται μια συστηματοποίηση των πιθανών ειδών της

ανομοιόμορφης ρύπανσης και καθορίζεται αυτή η νέα σχέση για το είδος εκείνο που ονομάζεται κατά ομάδες σχηματισμένη ανομοιόμορφη ρύπανση (Group-Shaped Nonuniformly Distributed Contamination).

Η κατά ομάδες σχηματισμένη ανομοιόμορφη ρύπανση θεωρείται διαιρώντας τον μονωτήρα με επίπεδα κάθετα στον άξονά του σε m τον αριθμό τμήματα διαφορετικής ομοιόμορφης ρύπανσης το κάθε ένα (C_i = σταθερή, όπου $i = 1, 2, \dots, m$).

Για να επιτευχθεί η συνεχής μεταβολή της πυκνότητας ρύπανσης C (mg/cm^2) πάνω στην επιφάνεια του μονωτήρα κατά τη διαδρομή του μήκους ερπυσμού, πρέπει να ισχύει η συνθήκη $m \rightarrow \infty$.

Η επιφανειακή αγωγιμότητα κάθε τμήματος i σύμφωνα με τη σχέση (12) θα είναι:

$$X_{ii} = \frac{369,05 \cdot C_i - 0,42}{106} \text{ (s.mg/cm}^2\text{)} \quad (13)$$

όπου C_i =σταθερή, είναι η ρύπανση του κάθε τμήματος, η οποία θα προκύπτει από τον τρόπο μεταβολής της πυκνότητας ρύπανσης $C(L)$ κατά το μήκος της διαδρομής ερπυσμού.

Ορίζεται ο συντελεστής μορφής f του μονωτήρα από την ακόλουθη σχέση:

$$f = \int_0^L \frac{dl}{\pi \cdot D(l)} \quad (14)$$

όπου dl το στοιχειώδες μήκος διαδρομής ερπυσμού, L το μήκος ερπυσμού και $D(l)$ η διάμετρος του μονωτήρα στο dl .

Για τη συγκεκριμένη περίπτωση όπου το μήκος ερπυσμού διαιρείται σε i τμήματα θα ισχύει:

$$L = \sum_{i=1}^m l_i \cdot dl = L \cdot D(l) = d_i(l) \quad (15)$$

$$f = \sum_{i=1}^m \frac{l_i}{\pi \cdot D_i(l)} \quad (16)$$

όπου l_i είναι το πλάτος κάθε στοιχειώδους τμήματος i κατά μήκος της διαδρομής ερπυσμού, $D_i(l_i)$ είναι η μέση διάμετρος του τμήματος i . Το κάθε τμήμα θα έχει το δικό του συντελεστή μορφής:

$$f_i = \frac{l_i}{\pi \cdot D_i(l_i)} \quad (17)$$

Συνεπώς η σχέση (3.16) γίνεται:

$$f = \sum_{i=1}^m f_i \quad (18)$$

Η ισοδύναμη επιφανειακή αγωγιμότητα X_s του ανομοιομορφα ρυπασμένου μονωτήρα θα δίνεται (9) από τη σχέση (19).

Η ποσότητα ρύπανσης P_i (mg) κάθε στοιχειώδους τμήματος δίνεται από τη σχέση (20).

$$X_i = \frac{f}{\sum_{i=1}^m X_i} \quad (19)$$

$$P_i = \pi \cdot l_i \cdot D_i \cdot C_i \quad (20)$$

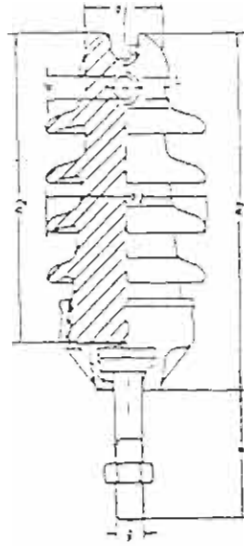
Η ολική ρύπανση P (mg) θα είναι το άθροισμα των ρυπάνσεων P_i (mg) όλων των στοιχειωδών τμημάτων του μονωτήρα:

$$P = \sum_{i=1}^m P_i = \sum_{i=1}^m \pi \cdot l_i \cdot D_i \cdot C_i \quad (21)$$

Εξαγωγή αναλυτικών σχέσεων $U_c(C_1, C_2) = P(A) = U_c(P)$

3. Γενικά - Υπολογιστικά προγράμματα

Η διαδικασία που ακολουθεί περιλαμβάνει δύο βήματα. Το πρώτο αφορά τη βελτίωση των υπολογιστικών προγραμμάτων, που προσδιορίζουν με διαφορετικό τρόπο, την κατανομή της ρύπανσης στην επιφάνεια μονωτήρα τέρματος με μήκος ερπυσμού 37.17cm τύπου stad-tupe support, καθώς και την εξάρτηση της κρίσιμης τάσης από την ποσότητα και τον τρόπο κατανομής της ρύπανσης. Ο υπό εξέταση μονωτήρας φαίνεται στο Σχήμα 1.



VS1-MK Aufhebung

Σχήμα 1: Υπό εξέταση μονωτήρας

Τα προαναφερθέντα προγράμματα αναπτύχθηκαν στα πλαίσια της Διπλωματικής Εργασίας του κ.Ν. Λεοντίδη

Το δεύτερο βήμα αναφέρεται στη διαδικασία εξαγωγής των αναλυτικών σχέσεων $U_c(C_1, C_2) P(A) U_c(P)$.

3.1. S1.FOR

Στο κύριο πρόγραμμα δηλώνονται τα ονόματα των αρχείων στα οποία θα καταχωρούνται τα αποτελέσματα του προγράμματος. Στα πρώτα εννέα αρχεία (UC1.DAT-UC9.DAT) θα περιέχονται οι πίνακες μεταβολής της κρίσιμης τάσης U_c , συναρτήσει της πυκνότητας ρύπανσης C_1, C_2 , όπου C_1 η μικρότερη πυκνότητα ρύπανσης και C_2 η μεγαλύτερη και της αντίστοιχης ολικής

ρύπανσης P του υπό εξέταση μονωτήρα. Τα υπόλοιπα αρχεία (UC₁₉.DAT-UC₄₀₀.DAT) περιέχουν τους πίνακες μεταβολής της πυκνότητας ρύπανσης στην επιφάνεια του μονωτήρα συναρτήσει του μήκους ερπυσμού. Ανοίγεται το αρχείο AMON.DAT (βλέπε Παράρτημα) στη διεύθυνση 5 από το οποίο διαβάζονται κατά την εκτέλεση του προγράμματος τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υπό εξέταση μονωτήρα. Στην περίπτωση που πρόκειται να εξεταστεί η συμπεριφορά κάποιου άλλου μονωτήρα με τη βοήθεια του υπ' όψη προγράμματος θα δημιουργηθεί ένα άλλο αρχείο μετά γεωμετρικά χαρακτηριστικά του και θα γίνει επέμβαση στο πρόγραμμα, ώστε να αλλάχθει το όνομα του αρχείου αυτών και πλέον το πρόγραμμα να "τρέχει" για το νέο μονωτήρα. Στη διεύθυνση 2 ανοίγει το αρχείο APOTEL που περιέχει συγκεντρωμένα τα προαναφερθέντα αρχεία UC₁.DAT-UC₉.DAT.

Στη διάρκεια εκτέλεσης αυτής της εργασίας διαπιστώθηκε ότι η αύξηση της πυκνότητας ρύπανσης C σπτό την τιμή $C_{min}=0.03 \text{ mg/cm}^2$ έως κάποια τιμή C_{max} πρέπει να γίνεται με σταθερό βήμα $C_i=0.025 \text{ mg/cm}^2$, δηλαδή να διέπεται από αριθμητική πρόοδο.

Στη συνέχεια δίνονται οι συντελεστές διόρθωσης των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του μονωτήρα. Πρόκειται για το συντελεστή R_i που αντιστοιχεί στην μετρούμενη μέση ακτίνα των στοιχειωδών τμημάτων που προέκυψαν από τη διαίρεση του μήκους ερπυσμού και το συντελεστή BL_i που αντιστοιχεί στο μετρούμενο μήκος αυτών των τμημάτων (βλέπε ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ).

Στην περίπτωση που πρόκειται να εξεταστεί η συμπεριφορά κάποιου άλλου μονωτήρα με τη βοήθεια του υπ'όψη προγράμματος θα γίνει επέμβαση σε αυτό, ώστε να αλλαχθούν οι τιμές των R_1 και BL_1 με αυτές του νέου μονωτήρα και πλέον το πρόγραμμα να "τρέχει" γι'αυτόν.

Το υποπρόγραμμα ACOL διαβάζει από το αρχείο AMON.DAT τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (L , R_i) του μονωτήρα και υπολογίζει σύμφωνα με όσα αναπτύχθηκαν

1) Συντελεστές μορφής f_1 , f_2 του άνω και κάτω τμήματος (που προέκυψε από τη διαίρεση του μονωτήρα), με αντίστοιχη πυκνότητα ρύπανσης C_1 και C_2 από τη σχέση (17).

2) Ολικός συντελεστής μορφής που σύμφωνα με τη σχέση (18) είναι :

$$f=f_1+f_2$$

3) Ρύπανσης P_1 (mg) και P_2 (mg) του άνω κάτω τμήματος του μονωτήρα από τη σχέση (20)

4) Ολική ρύπανση P (mg) του μονωτήρα από τη σχέση (21)

5) Άθροισμα του παρανομαστή της σχέσης (19) που για $i=2$ γίνεται:

$$\sum_{i=1}^m \frac{f_i}{X_i} = SU$$

$$SU = \frac{f_1}{X_{s1}} + \frac{f_2}{X_{s2}}$$

6) Τα X_{s1} και X_{s2} προκύπτουν από τη σχέση (12) και είναι:

$$X_{s1} = \frac{369,05 \cdot C_1 + 0,42}{10^6} \text{ (s.mg/cm}^2\text{)}$$

$$X_{s2} = \frac{369,05 \cdot C_2 + 0,42}{10^6} \text{ (s.mg/cm}^2\text{)}$$

7) Εξετάζεται η απλούστερη περίπτωση της κατά ομάδες σχηματισμένης ανομοιόμορφης ρύπανσης (8), όπου ο μονωτήρας χωρίζεται με ένα επίπεδο κάθετο στον άξονά του σε δύο τμήματα ($m=2$), διαφορετικής ισοδύναμης επιφανειακής αγωγιμότητας: X_{s1} του άνω τμήματος και X_{s2} του κάτω τμήματος, με ομοιόμορφη πυκνότητα ρύπανσης C_1 και C_2 , (mg/cm^2) αντίστοιχα. Διακρίνονται τρεις περιπτώσεις μεταβολής της πυκνότητας ρύπανσης C κατά το μήκος της διαδρομής ερπυσμού:

α) Η πυκνότητα ρύπανσης του άνω τμήματος C_1 αυξάνεται από $0,03 \text{ mg/cm}^2$ κατά $C1 = 0,025 \text{ mg/cm}^2$ με αριθμητική πρόοδο, ενώ η πυκνότητα ρύπανσης C_2 του κάτω τμήματος παραμένει σταθερή.

β) Η πυκνότητα ρύπανσης του άνω τμήματος C_1 παραμένει σταθερή, ενώ η πυκνότητα ρύπανσης C_2 του κάτω τμήματος

αυξάνεται από 0.03 mg/cm^2 κατά $CI=0.025 \text{ mg/cm}^2$ με αριθμητική πρόοδο.

γ) Ο λόγος $C_1 / C_2=0.03/0.5$ =σταθερός και C_1 , C_2 μεταβάλλονται κατά $CI=0.025 \text{ mg/cm}^2$.

Οι τιμές $C_1=0.03 \text{ mg/cm}^2$ και $C_2=0.5 \text{ mg/cm}^2$ αντιστοιχούν στην ελάχιστη και μέγιστη μετρηθείσα ομοιόμορφη ρύπανση ανά τον κόσμο. Βέβαια στα αποτελέσματα του προγράμματος προκύπτουν τιμές των C_1 και C_2 μεγαλύτερες από τη 0.5 mg/cm^2 . Οι διαδικασίες υπολογισμών σταματούν όταν η συνολική ρύπανση P πάρει την τιμή 680 mg . Η τιμή αυτή είναι ιδανική και αντιστοιχεί στη θεωρητική περίπτωση όπου ολόκληρος ο μονωτήρας έχει ομοιόμορφη ρύπανση $C=0.03 \text{ mg/cm}^2$ και στο κάτω άκρο του (στέλεχος) είναι συγκεντρωμένη όλη η υπόλοιπη ρύπανση, γεγονός απίθανο.

Κάθε μία από τις προαναφερθείσες περιπτώσεις θα περιλαμβάνει τρεις υποπεριπτώσεις αναλόγως του αριθμού των κυαθίων που θα περιέχει το άνω και κάτω τμήμα.

- 1) Το άνω τμήμα περιέχει ένα κυάθιο, το κάτω τμήμα περιέχει τρία κυάθια.
- 2) Και τα δύο τμήματα περιέχουν δύο κυάθια.
- 3) Το άνω τμήμα περιέχει τρία κυάθια, το κάτω τμήμα περιέχει ένα κυάθιο.

Το υποπρόγραμμα COL προσδιορίζει τα κρίσιμα μεγέθη I_c , U_c και E_c από τις σχέσεις (-5), (10) και (11) αντίστοιχα, όπου στο πρόγραμμα αναφέρονται ως AIC, UC ΚΑΙ EC, συναρτήσει της ισοδύναμης επιφανειακής αγωγιμότητας X_s που είναι:

$$X_s = \frac{f}{SU}$$

Το SU έχει υπολογιστεί στο υποπρόγραμμα ACOL. Τα υποπρογράμματα S1, S2, S3, S4 είναι βοηθητικά και ασχολούνται με τη διαδικασία εκτύπωσης

των αρχείων με τα αποτελέσματα στη μνήμη του υπολογιστή.

Το πρόγραμμα S1.FOR παρατίθεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.

3.2 S2.FOR

Για να προσεγγιστεί η συνεχής μεταβολή της πυκνότητας ρύπανσης C , πάνω στην επιφάνεια του μονωτήρα κατά το μήκος της διαδρομής ερπυσμού όπου ισχύει η συνθήκη $m \rightarrow$ (όπως αναφέρθηκε, διαιρείται ο μονωτήρας με επίπεδα κάθετα στον άξονα του σε σαρανταοκτώ τον αριθμό τμήματα ($m=48$), διαφορετικής ομοιόμορφης ρύπανσης το κάθε ένα (C_i =σταθερή, όπου $i = 1, 2, \dots, 48$).

Η ρύπανση C_i θα προκύπτει συναρτήσει της απόστασης L από το άνω άκρο του μονωτήρα (κάψα) έως και το τμήμα i κατά το μήκος της διαδρομής ερπυσμού από τις παρακάτω εννέα

σχέσεις:

$$1) C_1 = 0.03 + A \times L^0 \text{ (Ομοιόμορφη ρύπανσης)}$$

$$2) C_1 = 0.03 + A \times L^{0.2}$$

$$3) C_1 = 0.03 + A \times L^{0.4}$$

$$4) C_1 = 0.03 + A \times L^{0.3}$$

$$5) C_1 = 0.03 + A \times L$$

$$6) C_1 = 0.03 + A \times L^2$$

$$7) C_1 = 0.03 + A \times L^4$$

$$8) C_1 = 0.03 + A \times L^3$$

$$9) C_1 = A_1 \times e^{-1.00} - B_1$$

Στο κύριο πρόγραμμα δηλώνονται τα ονόματα των αρχείων στα οποία θα καταχωρούνται τα αποτελέσματα του προγράμματος. Στα πρώτα εννέα αρχεία (PUC1.DAT-PUC9. DAT) θα περιέχονται οι πίνακες μεταβολής της κρίσιμης τάσης U_c συναρτήσει της πυκνότητας ρύπανσης C και της αντίστοιχης ολικής ρύπανσης P .

Τα υπόλοιπα αρχεία (PCL19.DAT-PCLISO.DAT) θα περιέχουν τους πίνακες της μεταβολής της πυκνότητας ρύπανσης στην επιφάνεια του μονωτήρα συναρτήσει του μήκους ερπυσμού. Ανοίγεται το αρχείο AMON.DAT στη διεύθυνση 5 από το οποίο διαβάζονται κατά την εκτέλεση του προγράμματος τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υπό εξέταση μονωτήρα. Στην περίπτωση

που πρόκειται να εξεταστεί η συμπεριφορά κάποιου άλλου μονωτήρα με τη βοήθεια του υπ'όψη προγράμματος θα δημιουργηθεί ένα άλλο αρχείο με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του και θα γίνει επέμβαση στο πρόγραμμα, ώστε να αλλάξει το όνομα του αρχείου αυτών και πλέον το πρόγραμμα να "τρέχει" για το νέο μονωτήρα. Στις διευθύνσεις 2 και 3 ανοίγουν τα αρχεία RESULT1 και RESULT2 αντίστοιχα που περιέχουν συγκεντρωμένα τα προαναφερθέντα αρχεία PUC1, DAT-PUC9.DAT και PCL9.DAT-PCLISO.DAT.

Στη συνέχεια δίνονται οι συντελεστές διόρθωσης των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του μονωτήρα. Πρόκειται για το συντελεστή R_1 που αντιστοιχεί στη μετρούμενη μέση ακτίνα των στοιχειωδών τμημάτων που προέκυψαν από τη διαίρεση του μήκους ερπυσμού και το συντελεστή BL_1 που αντιστοιχεί στο μετρούμενο μήκος αυτών των τμημάτων. Στην περίπτωση που πρόκειται να εξεταστεί η συμπεριφορά κάποιου άλλου μονωτήρα με τη βοήθεια του υπ'όψη προγράμματος θα γίνει επέμβαση σε αυτό ώστε να αλλάξθούν οι τιμές των R_1 και BL_1 με αυτές του νέου μονωτήρα και πλέον το πρόγραμμα να "τρέχει" γι' αυτόν.

Στη συνέχεια υπολογίζεται το συνολικό μήκος ερπυσμού DL του μονωτήρα και καθορίζεται ο δείκτης B_2 για τις εκθετικές συναρτήσεις του τύπου:

$$C_i = 0.03 + A \times L^{B_2}$$

Από την εξίσωση αυτή προκύπτει ότι στο άνω άκρο του μονωτήρα (κάψα, $L=0$) η πυκνότητα ρύπανσης C είναι σταθερή και ίση με 0.03 mg/cm^2 . Στο κάτω άκρο η πυκνότητα ρύπανσης C_x παίρνει τιμές από 0.03 mg/cm^2 έως C_{\max} που είναι η οριακή τιμή της όταν η αντίστοιχη ολική ρύπανση ξεπεράσει την τιμή P_{\max} η οποία είναι η μέγιστη ολική ρύπανση στην περίπτωση ομοιόμορφης ρύπανσης $C=0.5 \text{ mg/cm}^2$.

Η μεταβολή της πυκνότητας της ρύπανσης C_x από την τιμή 0.03 έως την τιμή C_{\max} ακολουθεί γεωμετρική πρόοδο με λόγο CI ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

$$CI = \left(\frac{C_{\max}}{C_{\min}} \right)^{1/10} = \left(\frac{0.5}{0.03} \right)^{1/10}$$

όπου: $C_{\min}=0.03 \text{ mg/cm}^2$ και $C_{\max}=0.5 \text{ mg/cm}^2$ η ελάχιστη και η μέγιστη μετρηθείσα ομοιόμορφη ρύπανση ανά τον κόσμο αντίστοιχα και 10 είναι ο αριθμός των βημάτων από το 0.03 έως το 0.5 .

Στο υποπρόγραμμα BCOL προσδιορίζεται από τη σχέση $C_x=0.03+A \cdot L^{3/2}$ σε συνδυασμό με την οριακή συνθήκη $L=DL$ ο συντελεστής A ως εξής:

$$L = DL \quad \Rightarrow \quad A = \frac{C_x - 0.03}{DL^{3/2}} \text{ για κάθε τιμή της } C_x$$

$$C_x = 0.03 + A \cdot L^{3/2}$$

Επίσης προσδιορίζονται οι συντελεστές A_1 και B_1 της εξίσωσης $C_1 = A_1 x e^{-L^{1.00}} - B_1$ σε συνδυασμό με τις οριακές συνθήκες μήκους

ερπυσμού $L=DL$ και $L=0$ αντίστοιχα ως εξής:

$$L = 0 \Rightarrow Ck = 0,03$$

$$Ck = A_1 \cdot e^{L/100} - B_1 \quad \Rightarrow B_1 = A_1 - 0,03$$

$$L = DL$$

$$Ck = A_1 \cdot e^{L/100} - B_1 \quad \Rightarrow A_1 = \frac{Ck - 0,03}{e^{DL/100} - 1}$$

$$B_1 = A_1 - 0,03$$

Το υποπρόγραμμα COL προσδιορίζει τα κρίσιμα μεγέθη I_c , U_c και E_c από τις σχέσεις (5), (10) και (11) αντίστοιχα, όπου στο πρόγραμμα αναφέρονται ως AIC, UC και EC, συναρτήσει της ισοδύναμης επιφάνειας αγωγιμότητας X_s που είναι:

$$X_s = \frac{f}{SU}$$

Το SU έχει υπολογιστεί στο υποπρόγραμμα BCOL.

Τα υποπρογράμματα TYP 1, TYP2 είναι βοηθητικά και ασχολούνται με τη διαδικασία εκτύπωσης των αρχείων με τα αποτελέσματα στη μνήμη του υπολογιστή.

Το πρόγραμμα S2.FOR παρατίθεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.

4. Προσδιορισμός αναλυτικών σχέσεων $U_c (C_1, C_2)$

Γενικά

Από τη διερεύνηση των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών πειραμάτων, που αφορούν τη διηλεκτρική συμπεριφορά των ανομοιόμορφα ρυπασμένων μονωτήρων, διαπιστώνεται ότι η κρίσιμη τάση U_c συνδέεται με την ολική ρύπανση P στην επιφάνεια του μονωτήρα με σχέση της μορφής:

$$U_c(P) = a \cdot P^b$$

όπου a, b προσδιοριστέοι συντελεστές.

Όμως η ολική ρύπανση P συνδέεται με τις πυκνότητες ρύπανσης C_1 και C_2 στην επιφάνεια του μονωτήρα ως εξής :

$$P = \sum_{i=1}^m \pi \cdot l_i \cdot D_i \cdot C_i - C_1 \cdot \sum_{i=1}^j \pi \cdot l_i \cdot D_i + C_2 \cdot \sum_{i=j+1}^m \pi \cdot l_i \cdot D_i$$

όπου $m=48$ ο αριθμός των στοιχειωδών τμημάτων του υπό εξέταση μονωτήρα.

$j = 12, 24, 36$ ανάλογα με το αν η πυκνότητα ρύπανσης C_1 (μικρότερη της πυκνότητας ρύπανσης C_2) αντιστοιχεί σε 1,2,3 κυάθια αντίστοιχα.

Επομένως γίνεται φανερό ότι η P θα είναι της μορφής:

$$P=C_1 \times A + C_2 \times B$$

Έτσι προκύπτει μια σχέση της κρίσιμης τάσης U_c σε συνάρτηση με τις πυκνότητες ρύπανσης C_1 και C_2 της μορφής:

$$U_c(\rho) = a \times P^b = a \times (C_1 \times A + C_2 \times B)^b = U_c(C_1, C_2)$$

Από την διερεύνηση των αποτελεσμάτων του προγράμματος S1.FOR για την κρίσιμη τάση U_c και τις πυκνότητες ρύπανσης C_1, C_2 με τη βοήθεια του υπολογιστικού πακέτου GRAPHER διαπιστώθηκε ότι μεταξύ της U_c και της C_1 υπάρχει μια σχέση της μορφής:

$$U_c(C_1) = a_1 \times C_1^4 + a_2 \times C_1^3 + a_3 \times C_1^2 + a_4 \times C_1 + a_5$$

Ακόμα διαπιστώνεται ότι οι συντελεστές a_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5$) συνδέονται με την πυκνότητα ρύπανσης C_2 με σχέσεις της μορφής:

$$a_i(C_2) = a_{i1} \times C_2^4 + a_{i2} \times C_2^3 + a_{i3} \times C_2^2 + a_{i4} \times C_2 + a_{i5}$$

$$a_i(C_2) = a_{i1} \times C_2^5 + a_{i2} \times C_2^4 + a_{i3} \times C_2^3 + a_{i4} \times C_2^2 + a_{i5} \times C_2 + a_{i6}$$

Επομένως αν τα $a_i(C_2)$ αντικατασταθούν στην $U_c(C_1)$ θα προκύψει η ζητούμενη αναλυτική σχέση $U_c(C_1, C_2)$. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για να εξαχθούν οι προαναφερθείσες σχέσεις οι οποίες αφορούν τον υπό εξέταση μονωτήρα. Εξετάστηκαν τρεις περιπτώσεις: 1) Το άνω τμήμα του υπό εξέταση μονωτήρα περιέχει ένα κυάθιο, το κάτω τμήμα περιέχει τρία κυάθια.

2) Το άνω τμήμα καθώς και το κάτω τμήμα περιέχουν δύο κυάθια.

3) Το άνω τμήμα περιέχει τρία κυάθια, το κάτω τμήμα περιέχει ένα κυάθιο.

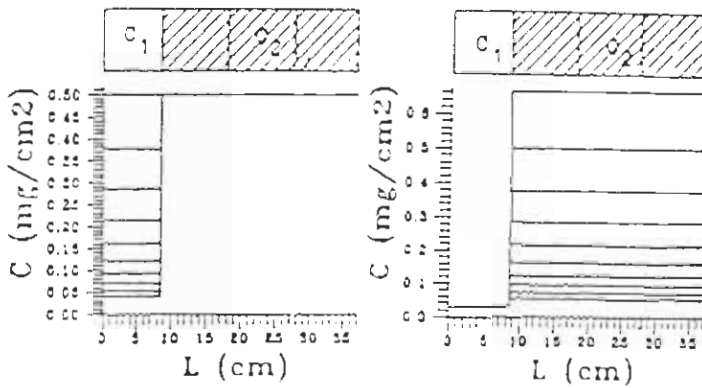
4.1. Αναλυτική σχέση $U_c(C_1, C_2)$ για την περίπτωση άνω τμήμα ένα κυάθιο, κάτω τμήμα τρία κυάθια.

Για την εξαγωγή της αναλυτικής σχέσεως $U_c(C_1, C_2)$ ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία :

Το πρόγραμμα S1.FOR "έτρεξε" οκτώ φορές για τις εξής τιμές του C_2 : 0.03, 0.055, 0.08, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5. Δηλαδή, κάθε φορά γινόταν στο τμήμα δηλώσεως δεδομένων του προγράμματος που βρίσκεται στην αρχή του, στην εντολή DATA μια επέμβαση στη θέση $TC_2!$ και η C_2 έπαιρνε τις προαναφερθείσες τιμές.

Για παράδειγμα, τίθεται $TC_2/0.03/$, το πρόγραμμα "τρέχει" για $C_2 = 0.03$ και για C_1 μεταβαλλόμενο κατά 0.025 με αριθμητική πρόοδο μέχρι την τιμή 0.5050. Στη συνέχεια επεμβαίνοντας στο πρόγραμμα, τίθεται $TC_2/0.055/$ κ.ο.κ. Με τη μεθοδολογία αυτή καλύπτονται οι δύο περιπτώσεις υπό τις τρεις που καλύπτει το πρόγραμμα, δηλαδή, η C_1 μεταβάλλεται ενώ η C_2 παραμένει και το αντίστροφο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2. Η τρίτη περίπτωση που εξετάζει το πρόγραμμα είναι αρκετά θεωρητική, συνέπεια

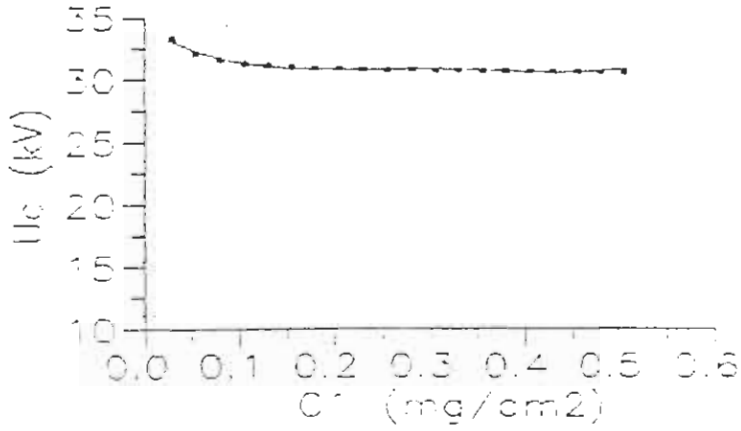
αυτού τα αποτελέσματα της θα παρουσίαζαν μεγάλη απόκλιση.



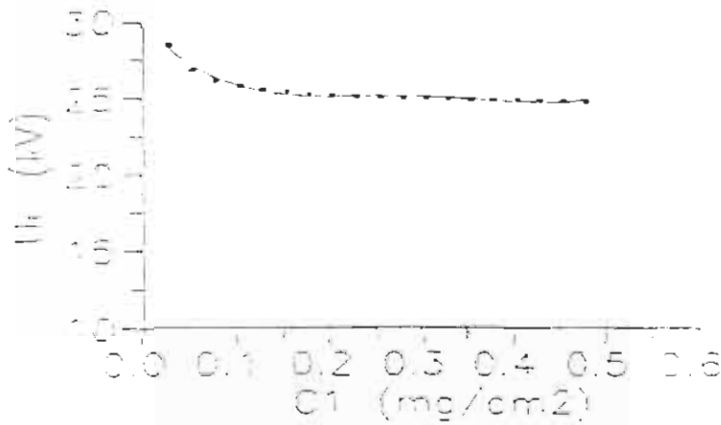
Σχήμα 2: Περίπτωση άνω τμήμα ένα κύβηιο, κάτω τμήμα τρία κύβηια. C_1 μεταβάλλεται, ενώ C_2 είναι σταθερή και το αντίστροφο.

Έπειτα με τη βοήθεια του υπολογιστικού πακέτου GRAPHER για κάθε τιμή του C_2 προσεγγίζεται με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού η γραφική παράσταση $U_c(C_1)$. Έτσι ουσιαστικά προσδιορίζονται οι τιμές των συντελεστών a_i της $U_c(C_1)$.

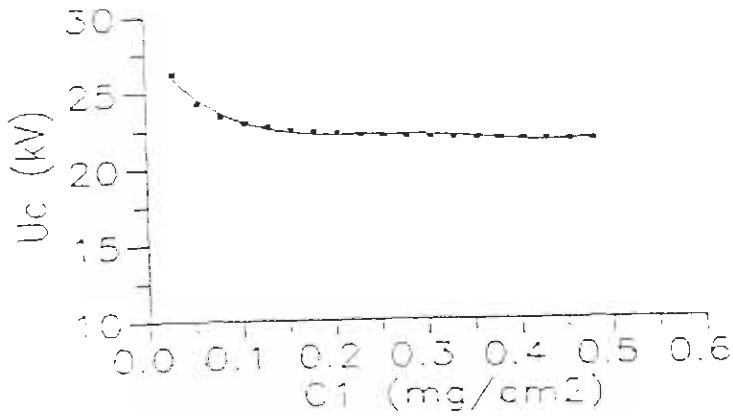
Όμως υπάρχει αναλυτική σχέση $a_i(C_2)$ μεταξύ των συντελεστών a_i και της πυκνότητας ρύπανσης C_2 . Ξανά με τη χρήση του GRAPHER προσεγγίζονται με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού οι γραφικές παραστάσεις $a_i(C_2)$. Πρέπει να αναφερθεί ότι ο GRAPHER παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να έχει στη διάθεσή του τους συντελεστές των εν λόγω πολυωνύμων. Έτσι πλέον είναι διαθέσιμη η ζητούμενη σχέση $U_c(C_1, C_2)$. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν όλα τα διαγράμματα που πραγματοποιήθηκαν καθώς και οι ανάλογες επεξηγήσεις.



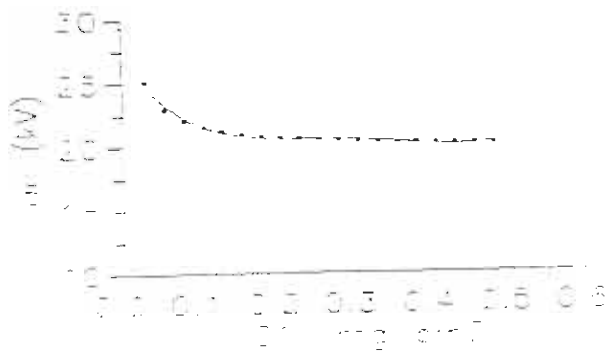
Σχήμα 3. Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού της γραφικής παράστασης $U_c(C_1)$ ενώ $C_2=0.03$ mg/cm²



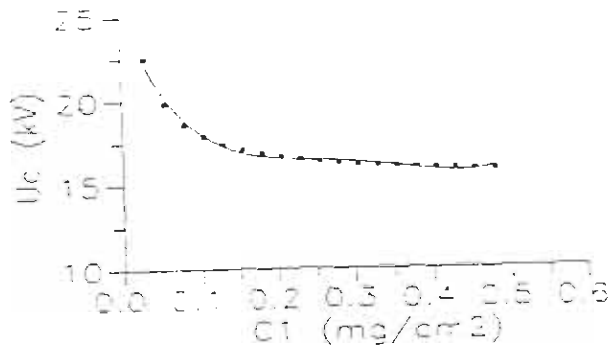
Σχήμα 4. Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού της γραφικής παράστασης $U_c(C_1)$ ενώ $C_2=0.055$ mg/cm²



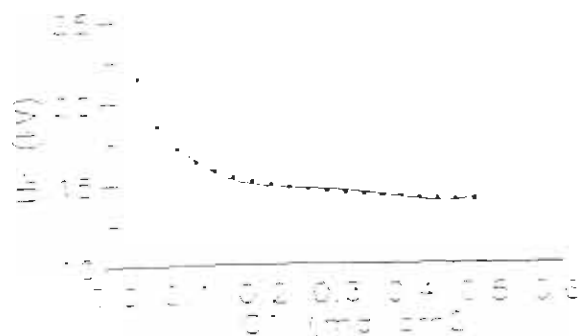
Σχήμα 5: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού της γραφικής παράστασης $U_c(C_1)$ ενώ $C_2=0.08\text{mg/cm}^2$



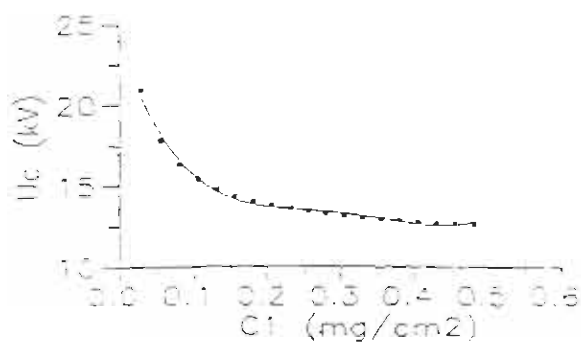
Σχήμα6: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού της γραφικής παράστασης $U_c(C_1)$ ενώ $C_2=0.1\text{mg/cm}^2$



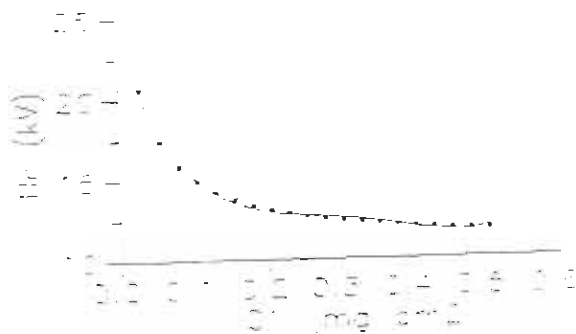
Σχήμα 7: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού της γραφικής παράστασης $U_c(C_1)$ ενώ $C_2=0.2\text{mg/cm}^2$



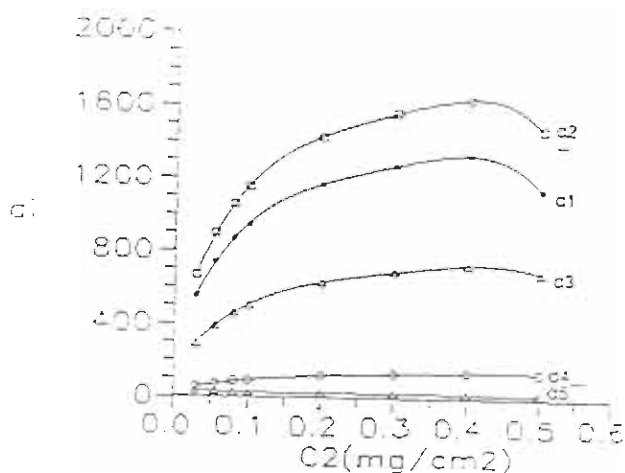
Σχήμα 8: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού της γραφικής παράστασης $U_2(C_1)$ ενώ $C_2=0.3\text{mg/cm}^2$



Σχήμα 9: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού της γραφικής παράστασης $U_2(C_1)$ ενώ $C_2=0.4\text{mg/cm}^2$



Σχήμα 10: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού της γραφικής παράστασης $U_2(C_1)$ ενώ $C_2=0.5\text{mg/cm}^2$



Σχήμα 11: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού των γραφικών παραστάσεων $a_i(C_2)$.

Οι συντελεστές a_2 και a_4 έχουν αρνητικές τιμές, αλλά για λόγους αισθητικής του Σχήματος 11 εισάγονται στο GRAPHER κατά απόλυτη τιμή. Στη συνέχεια όμως κατά τη διαδικασία εξαγωγής των σχέσεων $a_2(C_2)$ και $a_4(C_2)$ αυτό λαμβάνεται υπόψη ώστε να αποφευχθούν λάθη.

Έτσι έχουμε τις ακόλουθες αναλυτικές σχέσεις $a_i(C_2)$:

$$a_1 = -116304 \cdot C_2^4 + 128309 \cdot C_2^3 - 53629.9 \cdot C_2^2 + 11021 \cdot C_2 + 269.717 \quad (4.1)$$

$$a_2 = 126780 \cdot C_2^4 - 143918 \cdot C_2^3 + 62047.3 \cdot C_2^2 - 13178.5 \cdot C_2 - 329.965 \quad (4.2)$$

$$a_3 = -48548.4 \cdot C_2^4 + 57075.3 \cdot C_2^3 - 25532.7 \cdot C_2^2 + 5652.99 \cdot C_2 + 143.55 \quad (4.3)$$

$$a_4 = 7793.36 \cdot C_2^4 - 9564.24 \cdot C_2^3 + 4476.33 \cdot C_2^2 - 1051.8 \cdot C_2 - 26.5291 \quad (4.4)$$

$$a_5 = 2163.08 \cdot C_2^4 - 2704.88 \cdot C_2^3 + 1190.84 \cdot C_2^2 - 221.23 \cdot C_2 + 39.6926$$

(4.5)

Οι σχέσεις (4.1),(4.2),(4.3),(4.4),(4.5) αντικαθίστανται στη σχέση (4.6) που ακολουθεί και έτσι προκύπτει η πλήρης αναλυτική σχέση $U_c(C_1, C_2)$, όπου η κρίσιμη τάση U_c μετράται σε Kν και οι πυκνότητες ρύπανσης C_1, C_2 μετρώνται σε mg/cm^2 .

$$U_c(C_1, C_2) = a_1 \cdot C_1^4 + a_2 \cdot C_1^3 + a_3 \cdot C_1^2 + a_4 \cdot C_1 + a_5 \quad (4.6)$$

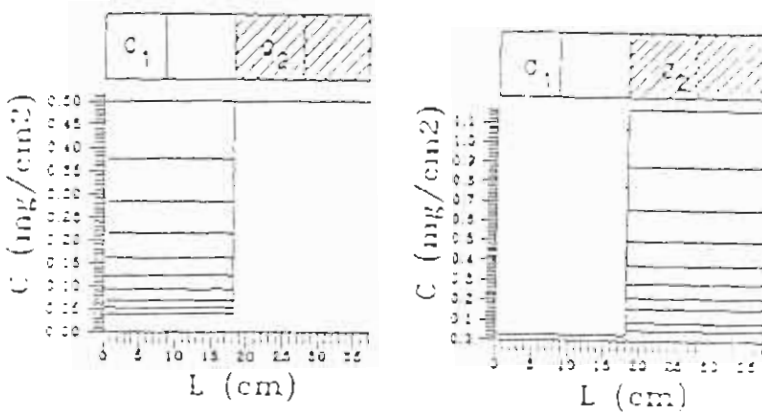
4.2. Αναλυτική σχέση $U_c(C_1, C_2)$ για την περίπτωση άνω τμήμα δύο κυάθια, κάτω τμήμα δύο κυάθια

Για την εξαγωγή της αναλυτικής σχέσης $U_c(C_1, C_2)$ ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

Το πρόγραμμα S1.FOR "έτρεξε" οκτώ φορές για τις εξής τιμές του C_2 : 0.03, 0.055, 0.08, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5. Δηλαδή, κάθε φορά γινόταν στο τμήμα δηλώσεως δεδομένων του προγράμματος που βρίσκεται στην αρχή του, στην εντολή DATA μια επέμβαση στη θέση $TC_2/$ / και η C_2 έπαιρνε τις προαναφερθείσες τιμές. Για παράδειγμα, τίθεται $TC_2/0.03/$, το Πρόγραμμα "τρέχει" για $C_2 = 0.03$ και για C_1 μεταβαλλόμενο κατά 0.025 με αριθμητική πρόοδο μέχρι την τιμή 0.5050. Στη συνέχεια επεμβαίνοντας στο πρόγραμμα, τίθεται $TC_2/0.055/$ κ.ο.κ.

Με τη μεθοδολογία αυτή καλύπτονται οι δύο περιπτώσεις από τις τρεις που καλύπτει το πρόγραμμα, δηλαδή η C_1 μεταβάλλεται,

ενώ η C_2 παραμένει σταθερή και το αντίστροφο όπως φαίνεται στο σχήμα 12.

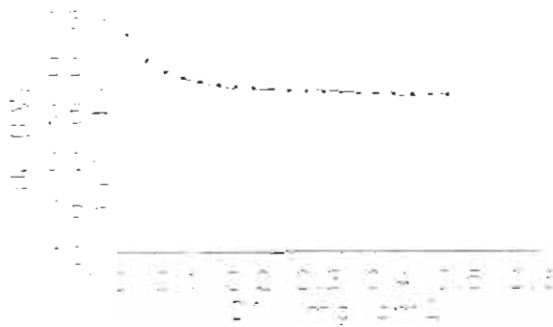


Σχήμα 12: Περίπτωση άνω τμήμα δύο κυάθια, κάτω τμήμα δύο κυάθια, C_1 μεταβάλλεται ενώ C_2 σταθερή και το αντίστροφο

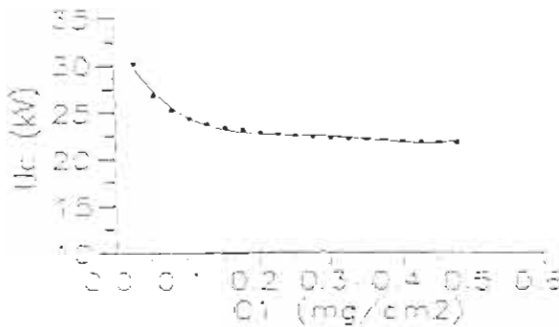
Η τρίτη περίπτωση που εξετάζει το πρόγραμμα είναι αρκετά θεωρητική συνέπεια αυτού τα αποτελέσματά της θα παρουσίαζαν μεγάλη απόκλιση.

Έπειτα με τη βοήθεια του υπολογιστικού πακέτου GRAPHER για κάθε τιμή του C_1 προσεγγίζεται με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού η γραφική παράσταση $U_c(C_1)$. Έτσι ουσιαστικά προσδιορίζονται οι τιμές των συντελεστών a_i της $U_c(C_1)$. Όμως υπάρχει αναλυτική σχέση $a_i(C_2)$ μεταξύ των συντελεστών a_i και της πυκνότητας ρύπανσης C_2 . Ξανά με τη χρήση του GRAPHER προσεγγίζονται με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού οι γραφικές παραστάσεις $a_i(C_2)$. Διαπιστώνεται όμως ότι η ακρίβεια αυτής της προσέγγισης δεν είναι τόσο ικανοποιητική και έτσι οι γραφικές παραστάσεις $a_i(C_2)$

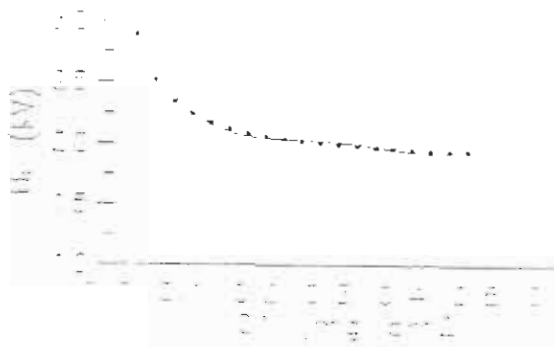
προσεγγίζονται πλέον με πολυώνυμο πέμπτου βαθμού. Πρέπει να αναφερθεί ότι ο GRAPHER παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να έχει στη διάθεσή του τους συντελεστές των εν λόγω πολυωνύμων. Έτσι πλέον είναι διαθέσιμη η ζητούμενη σχέση U_c (C_1 , C_2). Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν όλα τα διαγράμματα που πραγματοποιήθηκαν καθώς και οι ανάλογες επεξηγήσεις.



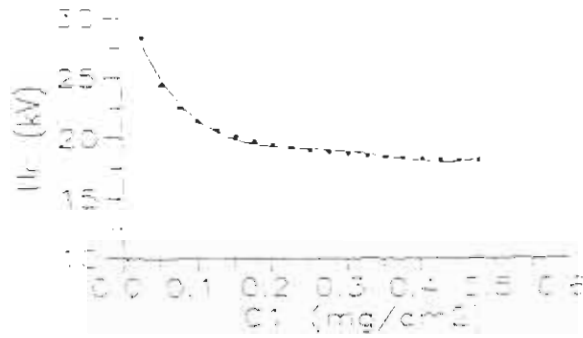
Σχήμα13: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού της γραφικής παράστασης U_c (C_1) ενώ $C_2=0.03\text{mg/cm}^2$



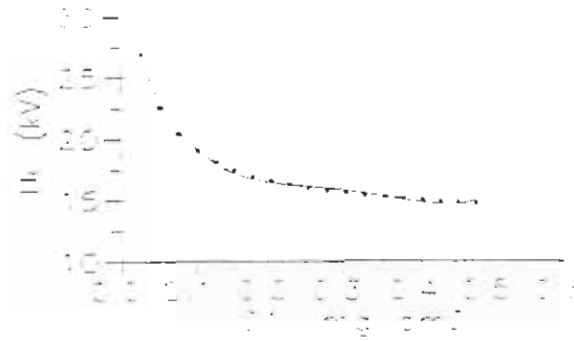
Σχήμα14: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού της γραφικής παράστασης U_c (C_1) ενώ $C_2=0.055\text{mg/cm}^2$



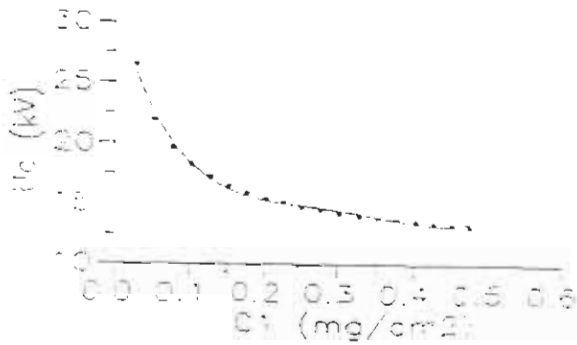
Σχήμα15: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού της γραφικής παράστασης U_c (C_1) ενώ $C_2=0.08\text{mg/cm}^2$



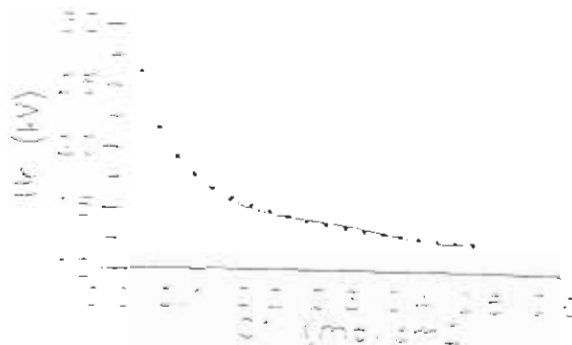
Σχήμα16: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού της γραφικής παράστασης U_c (C_1) ενώ $C_2=0.01\text{mg/cm}^2$



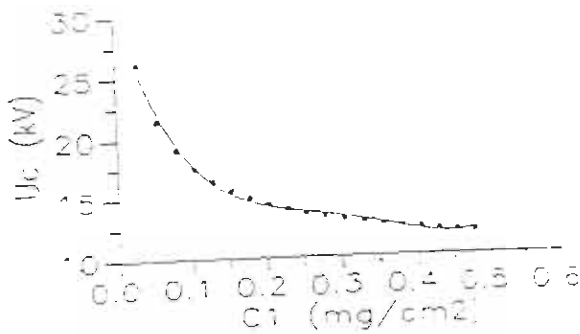
Σχήμα17: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού της γραφικής παράστασης $U_c(C_1)$ ενώ $C_2=0.2\text{mg/cm}^2$



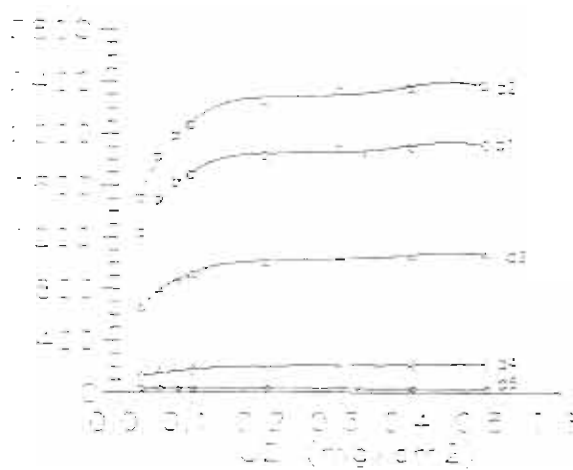
Σχήμα18: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού της γραφικής παράστασης $U_c(C_1)$ ενώ $C_2=0.3\text{mg/cm}^2$



Σχήμα19: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού της γραφικής παράστασης $U_c(C_1)$ ενώ $C_2=0.4\text{mg/cm}^2$



Σχήμα 20: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού της γραφικής παράστασης $U_c(C_1)$ ενώ $C_2=0.5\text{mg/cm}^2$



Σχήμα 21: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού των γραφικών παραστάσεων $a_i(C_2)$

Οι συντελεστές a_2 και a_4 έχουν αρνητικές τιμές, αλλά για λόγους αισθητικής του Σχήματος 21 εισάγονται στο GRAPHER κατά απόλυτη τιμή. Στη συνέχεια όμως κατά τη διαδικασία εξαγωγής των σχέσεων $a_2(C_2)$ και $a_4(C_2)$ αυτό λαμβάνεται υπόψη ώστε να αποφευχθούν λάθη.

Έτσι έχουμε τις ακόλουθες αναλυτικές σχέσεις $a_i(C_2)$:

$$a_1 = -125557 \cdot C_2^4 + 151164 \cdot C_2^3 - 70451.5 \cdot C_2^2 + 13486.2 \cdot C_2 + 904.799$$

(4.7)

$$a_2 = 154626 \cdot C_2^4 - 194672 \cdot C_2^3 + 87254.4 \cdot C_2^2 - 16837.8 \cdot C_2 - 1089.94$$

(4.8)

$$a_3 = -63659.3 \cdot C_2^4 + 86742.4 \cdot C_2^3 - 39140.7 \cdot C_2^2 + 7669.27 \cdot C_2 + 467.368$$

(4.9)

$$a_4 = 13290.3 \cdot C_2^4 - 16909.8 \cdot C_2^3 + 7739.59 \cdot C_2^2 - 1570.59 \cdot C_2 - 85.2354$$

(4.10)

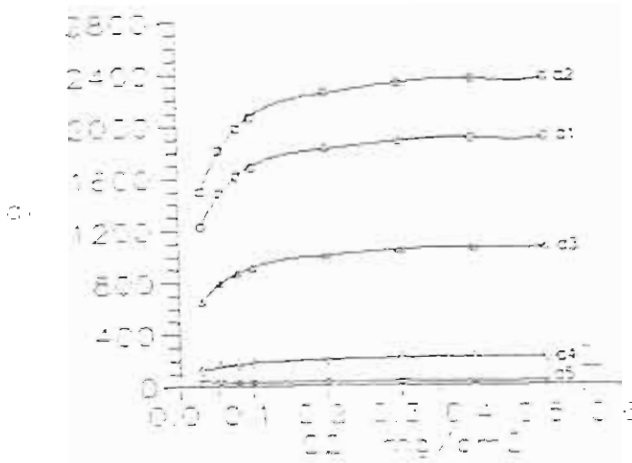
$$a_5 = 1248.05 \cdot C_2^4 - 1531.33 \cdot C_2^3 + 656.708 \cdot C_2^2 - 116.51 \cdot C_2 + 38.7278$$

(4.11)

Οι σχέσεις (4.7), (4.8), (4.9), (4.10), (4.11) αντικαθίστανται στη σχέση (4.12) ΠΟυ ακολουθεί και έτσι προκύπτει η πλήρης αναλυτική σχέση $U_c(C_1, C_2)$, όπου η κρίσιμη τάση U_c μετράται σε KV και οι πυκνότητες ρύπανσης C_1, C_2 μετρώνται σε mg/cm^2 .

$$U_c(C_1, C_2) = a_1 \cdot C_1^4 + a_2 \cdot C_1^3 + a_3 \cdot C_1^2 + a_4 \cdot C_1 + a_5 \quad (1.12)$$

Παρατηρώντας όμως κανείς την προσέγγιση στις γραφικές παραστάσεις $a_i(C_2)$ που φαίνονται στο Σχήμα 21 διαπιστώνει εύκολα ότι θα μπορούσε να είναι πιο ακριβής. Έτσι γίνεται μια δεύτερη προσπάθεια προσέγγισης των $a_i(C_2)$ με πολυώνυμα πέμπτου βαθμού. Το αποτελέσματα αυτής είναι προφανή και φαίνονται στο Σχήμα 22.



Σχήμα 22: Προσέγγιση με πολυώνυμο πέμπτου βαθμού των γραφικών παραστάσεων $a_i(C_2)$

Από την προσέγγιση αυτή έχουμε τις ακόλουθες αναλυτικές σχέσεις $a_i(C_2)$:

$$a_1 = 553175 \cdot C_2^5 - 828521 \cdot C_2^4 + 474237 \cdot C_2^3 - 130717 \cdot C_2^2 + 18005.9 \cdot C_2 + 803.462 \quad (4.13)$$

$$a_2 = -675423 \cdot C_2^5 + 1012940 \cdot C_2^4 - 581082 \cdot C_2^3 + 160838 \cdot C_2^2 - 22356.4 \cdot C_2 + 966.212 \quad (4.14)$$

$$a_3 = 295645 \cdot C_2^5 - 444360 \cdot C_2^4 + 255881 \cdot C_2^3 - 71349.7 \cdot C_2^2 + 10084.9 \cdot C_2 + 413.209 \quad (4.15)$$

$$a_4 = -55717.8 \cdot C_2^5 + 84095.4 \cdot C_2^4 - 48786.1 \cdot C_2^3 + 13809.7 \cdot C_2^2 - 2025.84 \cdot C_2 - 75.0284 \quad (4.16)$$

$$a_5 = -6427.21 \cdot C_2^5 + 9415.64 \cdot C_2^4 - 5208.34 \cdot C_2^3 + 1356.92 \cdot C_2^2 - 169.024 \cdot C_2 + 39.9052 \quad (4.17)$$

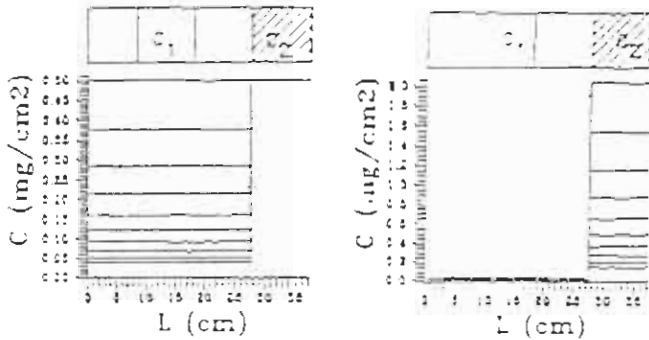
Οι σχέσεις(4.13), (4.14), (4.15), (4.16), (4.17) αντικαθίστανται στη σχέση (4.12) και έτσι προκύπτει νέα πλήρης αναλυτική σχέση U_c (C_1, C_2)

4.3. Αναλυτική σχέση U_c (C_1, C_2) για την περίπτωση άνω τμήμα τρία κυάθια, κάτω τμήμα ένα κυάθιο.

Για την εξαγωγή της αναλυτικής σχέσης U_c (C_1, C_2) ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία :

Το πρόγραμμα S1.FOR "έτρεξε" οκτώ φορές για τις εξής τιμές του C_2 : 0.03, 0.055, 0.08, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5. Δηλαδή, κάθε φορά γινόταν στο τμήμα δηλώσεως δεδομένων του προγράμματος που βρίσκεται στην αρχή του, στην εντολή DATA μια επέμβαση στη θέση $TC_2/$ /και η C_2 έπαιρνε τις προαναφερθείσες τιμές. Για παράδειγμα, τίθεται $TC_2 /0.03/$, το πρόγραμμα "τρέχει" για $C_2=0.03$ και για C_1 μεταβαλλόμενο κατά 0.025 με αριθμητική πρόοδο μέχρι την τιμή 0.5050. Στη συνέχεια επεμβαίνοντας στο πρόγραμμα, τίθεται $TC_2/0.055/$ κ.ο.

Με τη μεθοδολογία αυτή καλύπτονται οι δύο περιπτώσεις από τις τρεις που καλύπτει το πρόγραμμα, δηλαδή η C_1 μεταβάλλεται, ενώ η C_2 παραμένει σταθερή και το αντίστροφο όπως φαίνεται στο Σχήμα 23.

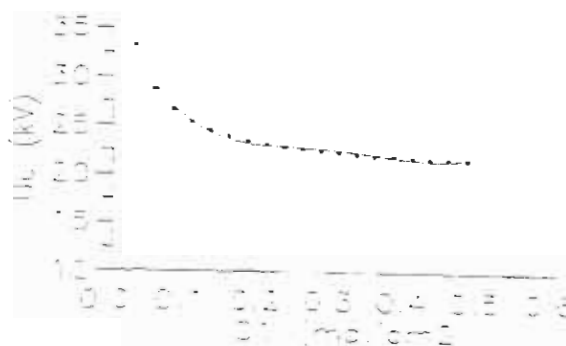


Σχήμα 23: Περίπτωση άνω τμήμα τρία κυάθια, κάτω τμήμα ένα κυάθιο, C_1 μεταβάλλεται, ενώ C_2 σταθερή και το αντιστροφο

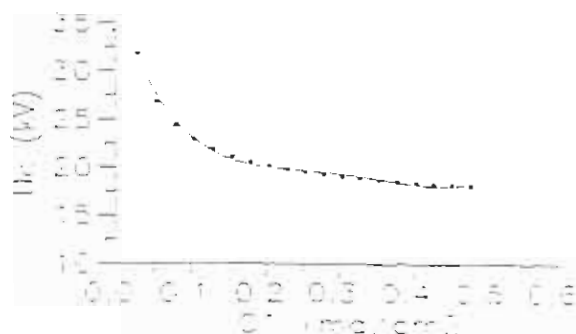
Η τρίτη περίπτωση που εξετάζει το πρόγραμμα είναι αρκετά θεωρητική συνέπεια αυτού τα αποτελέσματά της θα παρουσίαζαν μεγάλη απόκλιση.

Έπειτα με τη βοήθεια του υπολογιστικού πακέτου GRAPHER για κάθε τιμή του C_2 προσεγγίζεται με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού η γραφική παράσταση $U_c(C_1)$. Έτσι ουσιαστικά προσδιορίζονται οι τιμές των συντελεστών a_i της $U_c(C_1)$. Όμως υπάρχει αναλυτική σχέση $a_i(C_2)$ μεταξύ των συντελεστών a_i και της πυκνότητας ρύπανσης C_2 . Ξανά με τη χρήση του GRAPHER προσεγγίζονται με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού οι γραφικές παραστάσεις $a_i(C_2)$. Διαπιστώνεται όμως ότι η ακρίβεια αυτής της προσέγγισης δεν είναι τόσο ικανοποιητική και έτσι οι γραφικές παραστάσεις $a_i(C_2)$ προσεγγίζονται πλέον με πολυώνυμο πέμπτου βαθμού. Πρέπει να αναφερθεί ότι ο GRAPHER παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να έχει στη διάθεσή του τους συντελεστές των εν λόγω

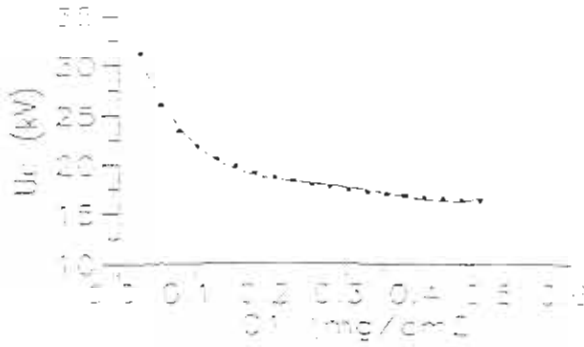
πολυωνύμων. Έτσι πλέον είναι διαθέσιμη η ζητούμενη σχέση U_c (C_1, C_2). Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν όλα τα διαγράμματα που πραγματοποιήθηκαν καθώς οι ανάλογες επεξηγήσεις.



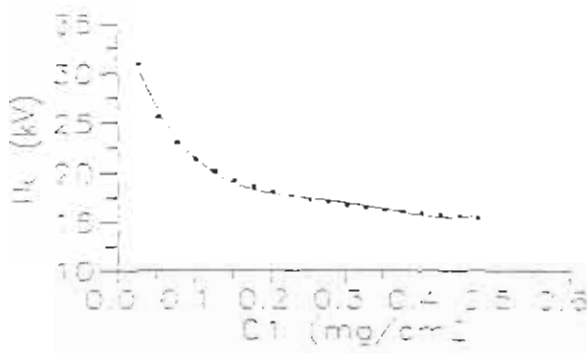
Σχήμα 24: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού της γραφικής παράστασης U_c (C_1) ενώ $C_2 = 0.03 \text{ mg/cm}^2$



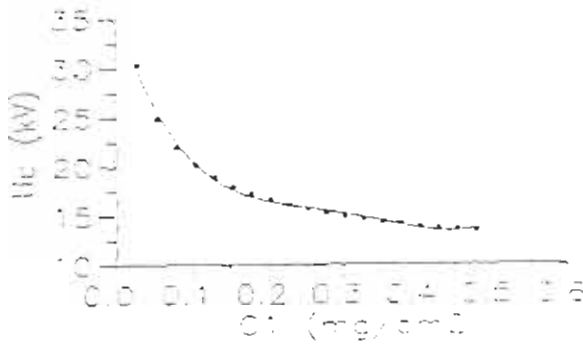
Σχήμα 25: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού της γραφικής παράστασης U_c (C_1) ενώ $C_2 = 0.055 \text{ mg/cm}^2$



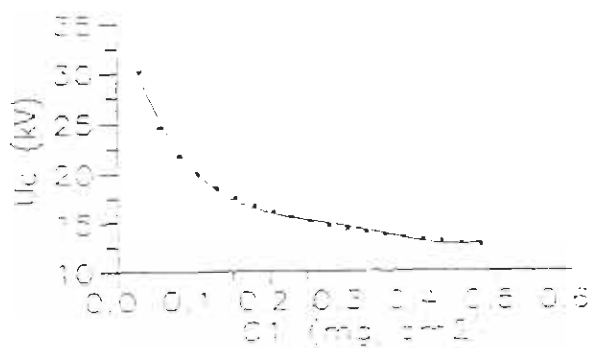
Σχήμα 26: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού της γραφικής παράστασης U_c (C_1) ενώ $C_2 = 0.08 \text{ mg/cm}^2$



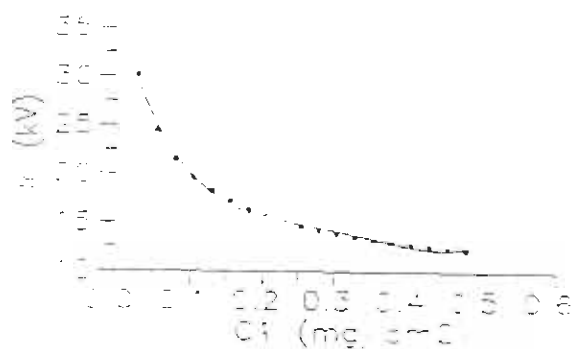
Σχήμα 27: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού της γραφικής παράστασης U_c (C_1) ενώ $C_2 = 0.1 \text{ mg/cm}^2$



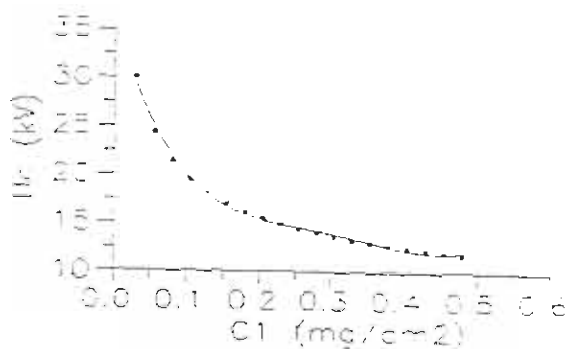
Σχήμα 28: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού της γραφικής παράστασης U_c (C_1) ενώ $C_2 = 0.2 \text{ mg/cm}^2$



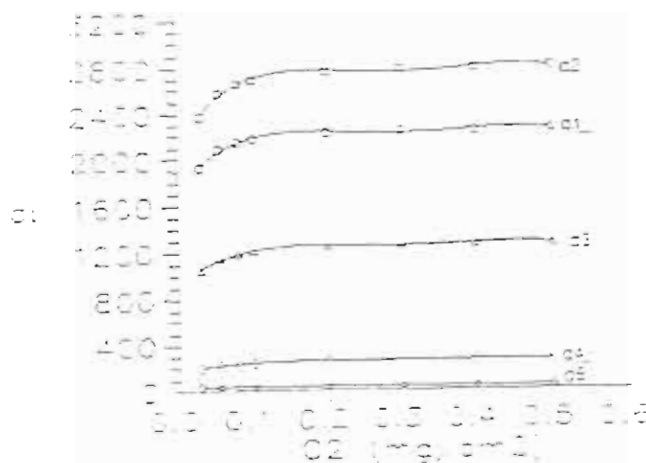
Σχήμα 29: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού της γραφικής παράστασης U_c (C_1) ενώ $C_2 = 0.3 \text{ mg/cm}^2$



Σχήμα 30: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού της γραφικής παράστασης U_c (C_1) ενώ $C_2 = 0.4 \text{ mg/cm}^2$



Σχήμα 31: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού της γραφικής παράστασης U_c (C_1) ενώ $C_2 = 0.5 \text{ mg/cm}^2$



Σχήμα 32: Προσέγγιση με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού των γραφικών παραστάσεων $a_i(C_2)$

Οι συντελεστές a_2 και a_4 έχουν αρνητικές τιμές, αλλά για λόγους αισθητικής του σχήματος 32 εισάγονται στο Grapher κατά απόλυτη τιμή. Στη συνέχεια όμως κατά τη διαδικασία εξαγωγής των σχέσεων $a_2(C_2)$ και $a_4(C_4)$ αυτό λαμβάνεται υπόψη ώστε να αποφευχθούν λάθη.

Έτσι έχουμε τις ακόλουθες αναλυτικές σχέσεις $a_i(C_2)$:

$$a_1 = -85354.1 \cdot C_2^4 + 104622 \cdot C_2^3 - 44771.7 \cdot C_2^2 + 7900.09 \cdot C_2 + 1747.08 \quad (4.18)$$

$$a_2 = 110466 \cdot C_2^4 - 135611 \cdot C_2^3 + 58187.8 \cdot C_2^2 - 10321.4 \cdot C_2 - 2129.62 \quad (4.19)$$

$$a_3 = -53441.4 \cdot C_2^4 + 65817.1 \cdot C_2^3 - 28403.4 \cdot C_2^2 + 5097.89 \cdot C_2 + 931.193 \quad (4.20)$$

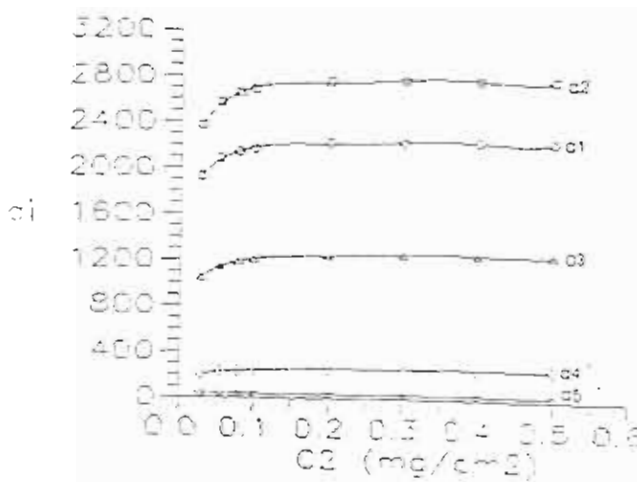
$$a_4 = 12192.8 \cdot C_2^4 - 15135.2 \cdot C_2^3 + 6628.36 \cdot C_2^2 - 1229.47 \cdot C_2 - 176.014 \quad (4.21)$$

$$a_5=455.381 \cdot C_2^4 - 556.467 \cdot C_2^3 + 237.094 \cdot C_2^2 - 41.6078 \cdot C_2 + 38.8853 \quad (4.22)$$

Οι σχέσεις (4.18), (4.19), (4.20), (4.21), (4.22) αντικαθίστανται στη σχέση (4.23) που ακολουθεί και έτσι προκύπτει η πλήρης αναλυτική σχέση $U_c(C_1, C_2)$, όπου η κρίσιμη τάση U_c μετράται σε Kv και οι πυκνότητες ρύπανσης C_1 , C_2 μετρώνται σε mg/cm^2 .

$$U_c(C_1, C_2) = a_1 \cdot C_1^4 + a_2 \cdot C_1^3 + a_3 \cdot C_1^2 + a_4 \cdot C_1 + a_5 \quad (4.23)$$

Παρατηρώντας όμως κανείς την προσέγγιση στις γραφικές παραστάσεις $a_i(C_2)$ που φαίνονται στο Σχήμα 32 διαπιστώνει εύκολα ότι θα μπορούσε να είναι πιο ακριβής. Έτσι γίνεται μια δεύτερη προσπάθεια προσέγγισης των $a_i(C_2)$ με πολυώνυμα πέμπτου βαθμού. Τα αποτελέσματα αυτής είναι προφανή και φαίνεται στο Σχήμα 33.



Σχήμα 33: Προσέγγιση με πολυώνυμα πέμπτου βαθμού των γραφικών παραστάσεων $a_i(C_2)$

Από την προσέγγιση αυτή τις ακόλουθες αναλυτικές σχέσεις a_i (C_2):

$$a_1 = 439345 \cdot C_2^5 - 643666 \cdot C_2^4 + 355972 \cdot C_2^3 - 92636 \cdot C_2^2 + 11489.8 \cdot C_2 + 1666.6 \quad (4.24)$$

$$a_2 = -563126 \cdot C_2^5 + 826076 \cdot C_2^4 - 457775 \cdot C_2^3 + 119537 \cdot C_2^2 - 14922.4 \cdot C_2 - 2026.46 \quad (4.25)$$

$$a_3 = 267398 \cdot C_2^5 - 393246 \cdot C_2^4 + 218797 \cdot C_2^3 - 87838.1 \cdot C_2^2 + 7282.69 \cdot C_2 + 882.208 \quad (4.26)$$

$$a_4 = -58602.7 \cdot C_2^5 + 86664.1 \cdot C_2^4 - 48661.9 \cdot C_2^3 + 13012.8 \cdot C_2^2 - 1708.29 \cdot C_2 - 165.279 \quad (4.27)$$

$$a_5 = -2427.76 \cdot C_2^5 + 3540.53 \cdot C_2^4 - 1945.39 \cdot C_2^3 + 501.585 \cdot C_2^2 - 61.444 \cdot C_2 + 39.3301 \quad (4.28)$$

Οι σχέσεις (4.24), (4.25), (4.26), (4.27), (4.28) αντικαθίστανται στη σχέση (4.23) και έτσι προκύπτει νέα πλήρης αναλυτική σχέση $U_c(C_1, C_2)$.

5. Προσδιορισμός αναλυτικών σχέσεων $P(A)$, $U_c(P)$

Γενικά

Στην παράγραφο 4.1.2 έγινε μια περιληπτική αναφορά στο υπολογιστικό πρόγραμμα S2.FOR. Στα πλαίσια αυτής της

παρουσίασης αναφέρθηκε ότι η ρύπανση C_i θα προκύπτει συναρτήσει της απόστασης L από το άνω άκρο του μονωτήρα (κάψα) έως και το τμήμα i κατά το μήκος της διαδρομής ερπυσμού από εννέα διαφορετικές σχέσεις. Λαμβάνοντας υπόψη μια από αυτές π.χ. την $C_i = 0.03 + A \times L$ γίνεται αντιληπτό ότι η πυκνότητα ρύπανσης C εξαρτάται από το συντελεστή A , ο οποίος εξαρτάται από το C_i , δηλαδή είναι διαφορετικός για κάθε ένα από αυτά. Έτσι υπάρχει σχέση $C(A)$. Όμως η ολική ρύπανση P συνδέεται με την πυκνότητα C_i με τη σχέση:

$$\begin{aligned}
 P &= \sum_{i=1}^m \pi \cdot I_i \cdot D_i \cdot C_i = \\
 &= \sum_{i=1}^m \left\langle \pi \cdot I_i \cdot D_i \cdot (0.03 + A \cdot \sum_{j=1}^i L_j) \right\rangle = 0.03 \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^m I_i \cdot D_i + A \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^m \left\langle I_i \cdot D_i \cdot \sum_{j=1}^i L_j \right\rangle
 \end{aligned}$$

Επομένως γίνεται φανερό ότι η P θα είναι της μορφής:

$$P = K_1 + A \times K_2$$

όπου K_1 , K_2 προσδιοριστέες σταθερές.

Επομένως υπάρχει αναλυτική σχέση $P(A)$ η οποία θα αναζητηθεί στη συνέχεια.

Από τη διερεύνηση των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών πειραμάτων που αφορούν τη διηλεκτρική συμπεριφορά των ανομοιόμορφα ρυπασμένων μονωτήρων διαπιστώνεται ότι η κρίσιμη τάση U_c συνδέεται με την ολική ρύπανση P στην

επιφάνεια του μονωτήρα με σχέση της μορφής

$$U_c(P) = a \times P^b$$

όπου a, b προσδιοριστέοι συντελεστές

Έτσι, θα εξαχθεί στη συνέχεια πλήρης αναλυτική σχέση $U_c(P)$.

Ακολουθεί η διαδικασία με την οποία προέκυψαν οι προαναφερθείσες σχέσεις και αφορούν τον υπό εξέταση μονωτήρα.

Διερευνήθηκαν οι εξής τρεις περιπτώσεις :

$$1) C_i = 0.03 + A \times L^{0.4}$$

$$2) C_i = 0.03 + A \times L$$

$$3) C_i = 0.03 + A \times L^2$$

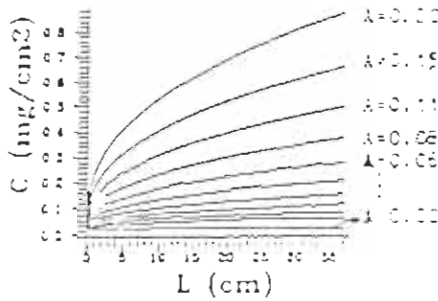
5.1. Αναλυτικές σχέσεις $P(A)$ και $U_c(P)$ για την περίπτωση $C_i = 0.03 + A \times L^{0.4}$

Για την εξαγωγή των αναλυτικών σχέσεων $P(A)$ και $U_c(P)$ ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία :

Το πρόγραμμα S2. FOR "έτρεξε" για υπό εξέταση μονωτήρα και από το αρχείο αποτελεσμάτων RESULT1 αξιοποιήθηκαν τα αποτελέσματα των A και P για την περίπτωση όπου $C_i = 0.03 + A \times L^{0.4}$ που φαίνεται στο Σχήμα 34.

Η μεταβολή της πυκνότητας ρύπανσης του κάτω άκρου του

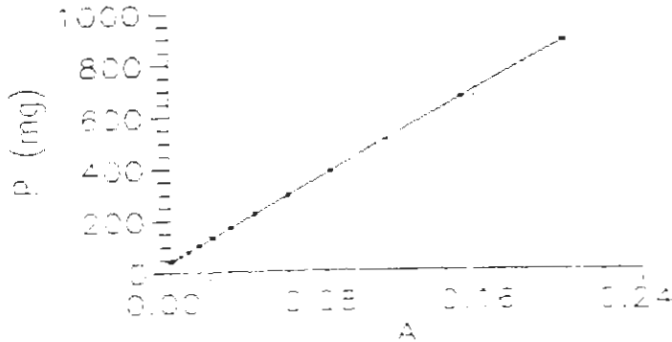
μονωτήρα ακολουθεί γεωμετρική πρόοδο με λόγο CI, πρώτο όρο $0.03\text{mg}/\text{cm}^2$ και τελευταίο $C_{\text{max}} = 0.88\text{mg}/\text{cm}^2$.



Σχήμα 34: Περίπτωση $C_i = 0.03 + A \times L^{2.4}$, $C_{\text{min}} = 0.03\text{mg}/\text{cm}^2$, $C_{\text{max}} = 0.88\text{mg}/\text{cm}^2$

Έπειτα με τη βοήθεια του υπολογιστικού πακέτου GRAPHER προσεγγίζεται γραμμικά η γραφική παράσταση $P(A)$. Έτσι ουσιαστικά προσδιορίζονται οι τιμές των σταθερών $K1$ και $K2$.

Στη συνέχεια αξιοποιούνται τα αποτελέσματα των P και U_c για την περίπτωση του Σχήματος 34. Γίνεται εκθετική προσέγγιση της γραφικής παράστασης $U_c(P)$ με χρήση του GRAPHER. Με αυτό τον τρόπο συγκεκριμενοποιούνται οι τιμές των συντελεστών a, b . Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν όλα τα διαγράμματα που πραγματοποιήθηκαν καθώς και οι ανάλογες επεξηγήσεις.

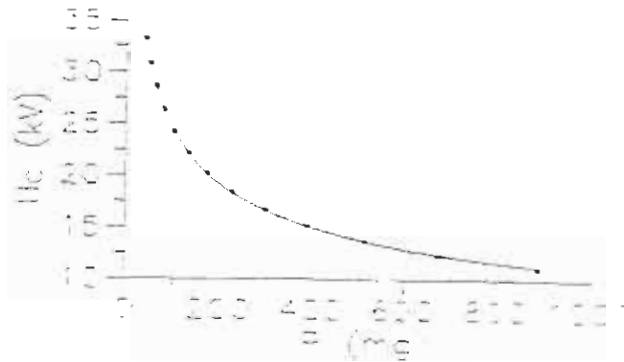


Σχήμα 35: Γραμμική προσέγγιση της γραφικής παράστασης $P(A)$ ενώ $C_i = 0.03 + A \times L^{2.4}$

Από την προαναφερθείσα προσέγγιση προκύπτει η πλήρης αναλυτική σχέση $P(A)$ όπου η ολική ρύπανση P μετράται σε mg.

Η σχέση αυτή η εξής :

$$P = 40.9313 + 4221.4 \times A \quad (4.29)$$



Σχήμα 36: Εκθετική προσέγγιση της γραφικής παράστασης $U_e(P)$ ενώ $C_i = 0.03 + A \times L^{2.4}$

Από την προαναφερθείσα προσέγγιση προκύπτει η πλήρης

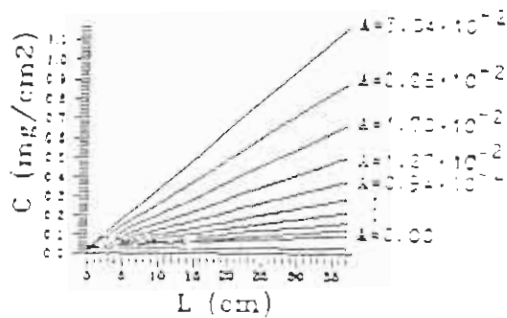
αναλυτική σχέση U_c (P) όπου η κρίσιμη τάση U_c μετράται σε Kν και η ολική ρύπανση P μετράται σε mg. Η σχέση αυτή είναι η εξής:

$$U_c = 125.341 \times P^{-0.35508} \quad (4.30)$$

5.2. Αναλυτικές σχέσεις P(A) και U_c (P) για την περίπτωση $C_i = 0.03 + A \times L$

Για την εξαγωγή των αναλυτικών σχέσεων P(A) και U_c (P) ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

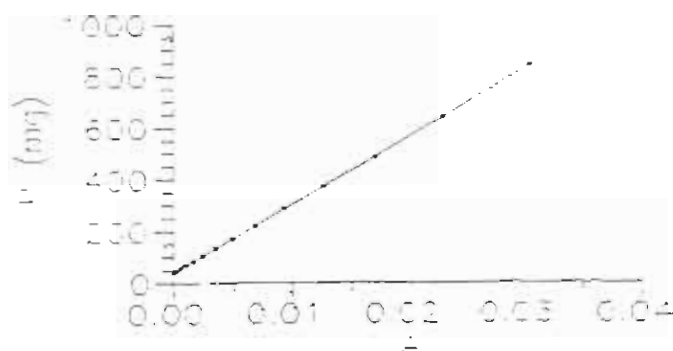
Το πρόγραμμα S2.FOR "έτρεξε" για τον υπό εξέταση μονωτήρα και από το αρχείο αποτελεσμάτων RESULT1 αξιοποιήθηκαν τα αποτελέσματα των A και P για την περίπτωση όπου $C_i = 0.03 + A \times L$ που φαίνεται στο Σχήμα 37. Η μεταβολή της πυκνότητας ρύπανσης του κάτω άκρου του μονωτήρα ακολουθεί γεωμετρική πρόοδο με λόγο Ci, πρώτο όρο 0.03 mg/cm^2 και τελευταίο $C_{\max} = 1.16 \text{ mg/cm}^2$.



Σχήμα 37: Περίπτωση $C_i = 0.03 + A \times L$, $C_{\min} = 0.03 \text{ mg/cm}^2$, $C_{\max} = 1.16 \text{ mg/cm}^2$

Έπειτα με τη βοήθεια του υπολογιστικού πακέτου GRAPHER προσεγγίζεται γραμμικά η γραφική παράσταση $P(A)$. Έτσι ουσιαστικά προσδιορίζονται οι τιμές των σταθερών K_1 και K_2 .

Στη συνέχεια αξιοποιούνται τα αποτελέσματα των P και U_c για την περίπτωση του Σχήματα 37. Γίνεται εκθετική προσέγγιση της γραφικής παράστασης $U_c(P)$ με χρήση του GRAPHER. Με αυτό τον τρόπο συγκεκριμενοποιούνται οι τιμές των συντελεστών a, b . Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν όλα τα διαγράμματα που πραγματοποιήθηκαν, καθώς και οι ανάλογες επεξηγήσεις.

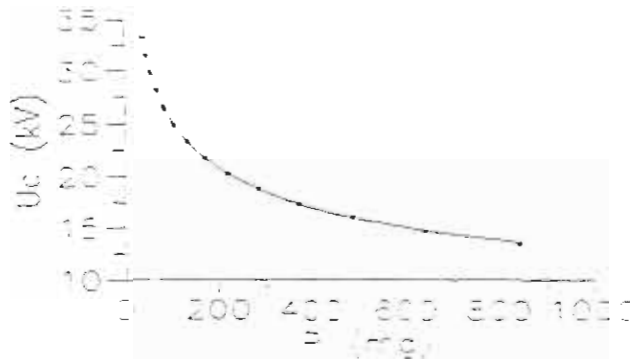


Σχήμα 38: Γραμμική προσέγγιση της γραφικής παράστασης $P(A)$ ενώ $C_i=0.03-A \times L$

Από την προαναφερθείσα προσέγγιση προκύπτει η πλήρης αναλυτική σχέση $P(A)$ όπου η ολική ρύπανση P μετράται σε mg .

Η σχέση αυτή είναι η εξής :

$$P = 40.931 + 26261.1 \times A \quad (4. 31)$$



Σχήμα 39: Εκθετική προσέγγιση της γραφικής παράστασης $U_c(P)$ ενώ $C_i = 0.03 + A \times L$

Από την προαναφερθείσα προσέγγιση προκύπτει η πλήρης αναλυτική σχέση $U_c(P)$, όταν η κρίσιμη τάση U_c μετράται σε kV και η ολική ρύπανση P μετράται σε mW. Η σχέση αυτή είναι η εξής:

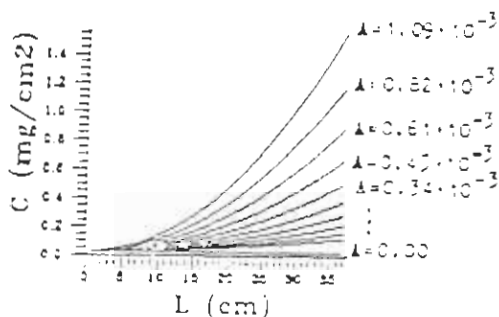
$$U_c = 97.53 \times P^{-0.291752} \quad (4.32)$$

5.3. Αναλυτικές σχέσεις $P(A)$ και $U_c(P)$ για την περίπτωση $C_i = 0.03 + A \times L^2$

Για την εξαγωγή των αναλυτικών σχέσεων $P(A)$ και $U_c(P)$ ακολουθήθει η εξής διαδικασία:

Το πρόγραμμα S2.FOR "έτρεξε" για τον υπό εξέταση μονωτήρα και από το αρχείο αποτελεσμάτων RESULT1 αξιοποιήθηκαν τα αποτελέσματα των A και P για την περίπτωση όπου $C_i = 0.03 + A \times L^2$ που φαίνεται στο Σχήμα 40. Η μεταβολή της πυκνότητας

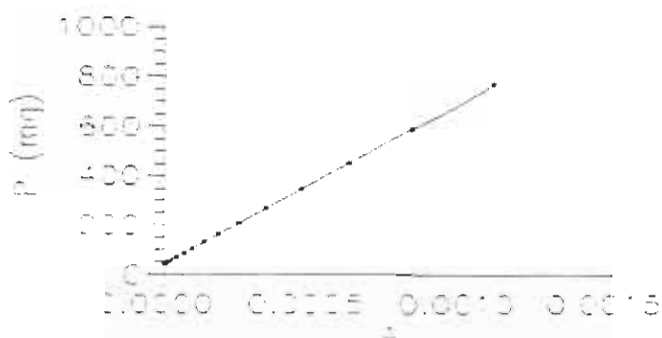
ρύπανσης του κάτω άκρου του μονωτήρα ακολουθεί γεωμετρική πρόοδο με λόγο C_i , πρώτο όρο $0.03\text{mg}/\text{cm}^2$ και τελευταίο $C_{\text{max}} = 1.54\text{mg}/\text{cm}^2$.



Σχήμα 40: Περίπτωση $C_i = 0.03 + A \times L^2$, $C_{\text{min}} = 0.03\text{mg}/\text{cm}^2$, $C_{\text{max}} = 1.54\text{mg}/\text{cm}^2$

Έπειτα με τη βοήθεια του υπολογιστικού πακέτου GRAPHER προσεγγίζεται γραμμικά η γραφική παράσταση $P(A)$. Έτσι ουσιαστικά προσδιορίζονται οι τιμές των σταθερών K_1 και K_2 .

Στη συνέχεια αξιοποιούνται τα αποτελέσματα των P και U_c για την περίπτωση του Σχήματος 40. Γίνεται εκθετική προσέγγιση της γραφικής παράστασης $U_c(P)$ με χρήση του GRAPHER. Με αυτό τον τρόπο συγκεκριμενοποιούνται οι τιμές των συντελεστών a , b . Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν όλα τα διαγράμματα που πραγματοποιήθηκαν, καθώς και οι ανάλογες επεξηγήσεις.

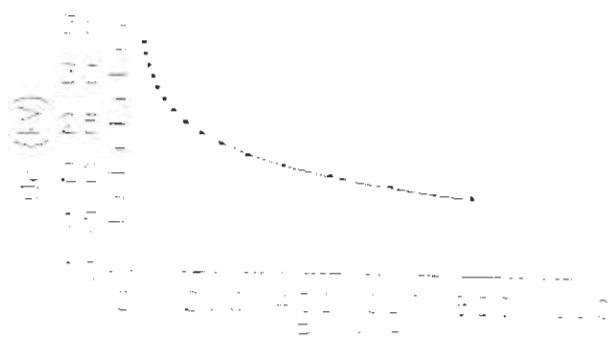


Σχήμα 41: Γραμμική προσέγγιση της γραφικής παράστασης $P(A)$ ενώ $C_i=0.03+AxL^2$

Από την προαναφερθείσα προσέγγιση προκύπτει η πλήρης αναλυτική σχέση $P(A)$ όπου η ολική ρύπανση P μετράται σε mg.

Η σχέση αυτή είναι η εξής :

$$P = 40.9282 + 665415 \times A \quad (4.33)$$



Σχήμα 42: Εκθετική προσέγγιση της γραφικής παράστασης $U_c(P)$ ενώ $C_i=0.03+AxL^2$

Από την προαναφερθείσα προσέγγιση προκύπτει η πλήρης

αναλυτική σχέση $U_c(P)$, όπου η κρίσιμη τάση U_c μετράται σε Κν και η ολική ρύπανση P μετράται σε mg. Η σχέση αυτή είναι η εξής:

$$U_c = 69.4016 \times \rho^{-0.20513} \quad (4.34)$$

Κεφάλαιο V

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων και τεχνικές αντιμετώπισης των προβλημάτων της ρύπανσης

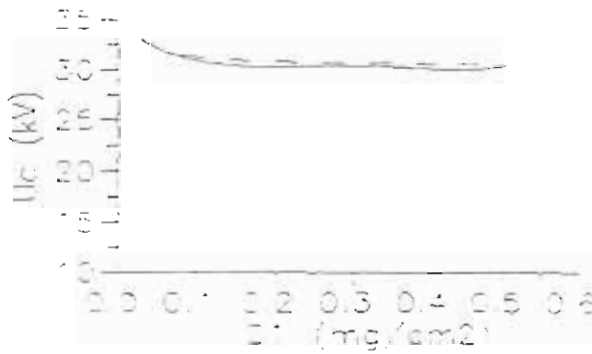
1. Γενικά

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας αναπτύχθηκε ένα μαθηματικό μοντέλο για τη μελέτη της διηλεκτρικής συμπεριφοράς των ανομοιόμορφα ρυπασμένων μονωτήρων. Έχοντας διαθέσιμα τα αποτελέσματα των υπολογιστικών προγραμμάτων S1.FOR και S2.FOR καθώς και τα αποτελέσματα του προαναφερθέντος μοντέλου θα επιχειρηθεί μια σύγκριση ανάμεσα τους με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων. Βέβαια για μια πλήρη αντικειμενική αξιολόγηση του μοντέλου ή του προγράμματος θα έπρεπε να υπάρχουν διαθέσιμα πειραματικά αποτελέσματα ώστε η πιθανή απόκλιση ή σύγκλιση να διαπιστώνεται με βάση την εμπειρία της πράξης.

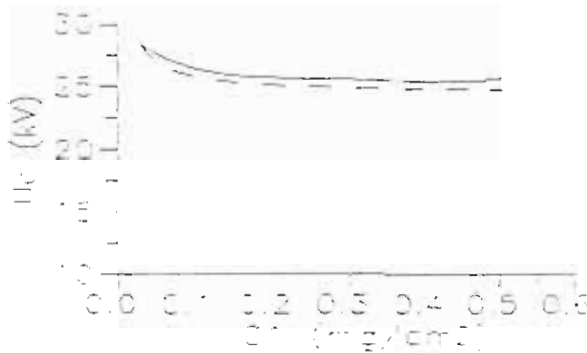
1.1. Σύγκριση της αναλυτικής σχέσης U_c (C1, C2) για την περίπτωση άνω τμήμα ένα κυάθιο, κάτω τμήμα τρία κυάθια με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του S1.FOR.

Η διαδικασία της προαναφερθείσας σύγκρισης πραγματοποιήθηκε ως εξής : τα αποτελέσματα της κρίσιμης τάσης U_c και της πυκνότητας ρύπανσης C1 που δίνει το πρόγραμμα S1. FOR προσεγγίζονται με spline (βλέπε παράρτημα) για κάθε τιμή της πυκνότητας ρύπανσης C2 με τη βοήθεια του υπολογιστικού πακέτου GRAPHER. Στα Σχήματα που θα ακολουθήσουν παρουσιάζονται με τις διακεκομμένες γραμμές. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα της κρίσιμης τάσης U_c και της πυκνότητας ρύπανσης C1 που δίνει το μαθηματικό μοντέλο προσεγγίζονται με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού για κάθε τιμή της πυκνότητας ρύπανσης C2 με τη βοήθεια του υπολογιστικού πακέτου GRAPHER. Στα Σχήματα που θα ακολουθήσουν παρουσιάζονται με τις συνεχείς γραμμές.

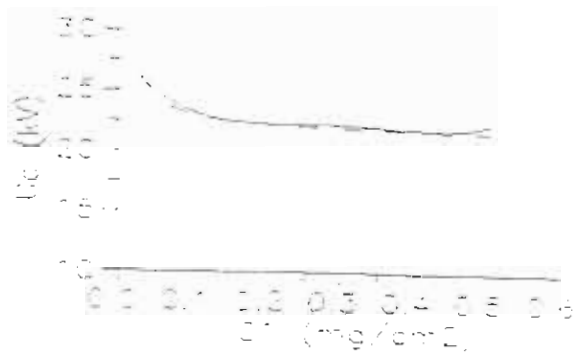
Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν όλα τα διαγράμματα που πραγματοποιήθηκαν καθώς και οι ανάλογες επεξηγήσεις.



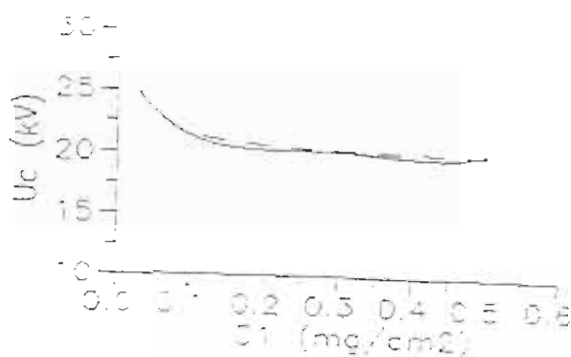
Σχήμα 1: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c (C1) ενώ $C_2 = 0.03 \text{mg/cm}^2$ και a_i (C2) πολυώνυμο τετάρτου βαθμού



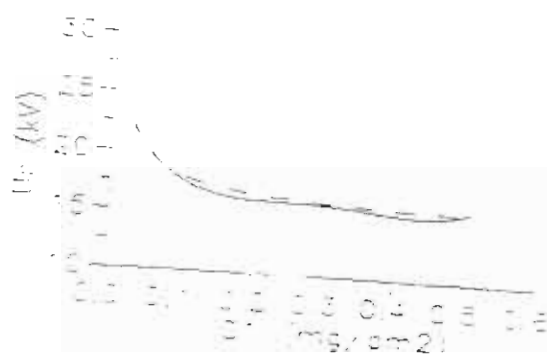
Σχήμα 2: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c (C1) ενώ $C_2 = 0.055 \text{mg/cm}^2$ και a_i (C2) πολυώνυμο τετάρτου βαθμού



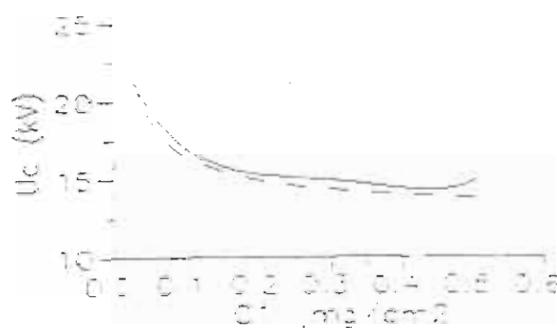
Σχήμα 3: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c (C1) ενώ $C_2 = 0.08 \text{mg/cm}^2$ και a_i (C2) πολυώνυμο τετάρτου βαθμού.



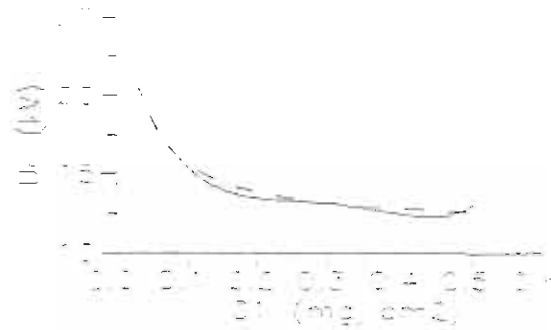
Σχήμα 4: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού $U_c(C1)$ ενώ $C2 = 0.1 \text{ mg/cm}^2$ και $a_i (C2)$ πολυώνυμο τετάρτου βαθμού.



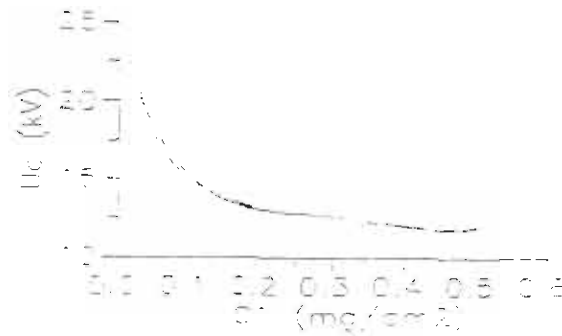
Σχήμα 5: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού $U_c(C1)$ ενώ $C2 = 0.2 \text{ mg/cm}^2$ και $a_i (C2)$ πολυώνυμο τετάρτου βαθμού.



Σχήμα 6: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού $U_c(C1)$ ενώ $C2 = 0.3 \text{ mg/cm}^2$ και $a_i (C2)$ πολυώνυμο τετάρτου βαθμού.



Σχήμα 7: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού $U_C(C_1)$ ενώ $C_2 = 0.4 \text{ mg/cm}^2$ και $a_1(C_2)$ πολυώνυμο τετάρτου βαθμού.



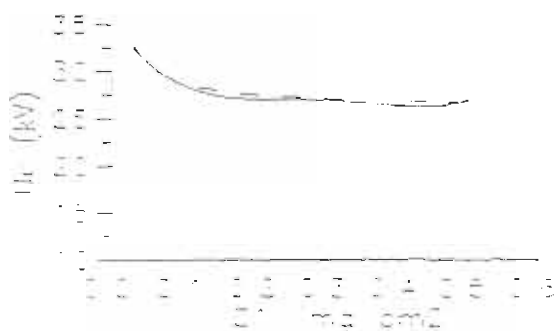
Σχήμα 8: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού $U_C(C_1)$ ενώ $C_2 = 0.5 \text{ mg/cm}^2$ και $a_1(C_2)$ πολυώνυμο τετάρτου βαθμού.

1.2. Σύγκριση της αναλυτικής σχέσης $U_C(C_1, C_2)$ για την περίπτωση άνω τμήμα δύο κυάθια, κάτω τμήμα δύο κυάθια με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του S1.FOR.

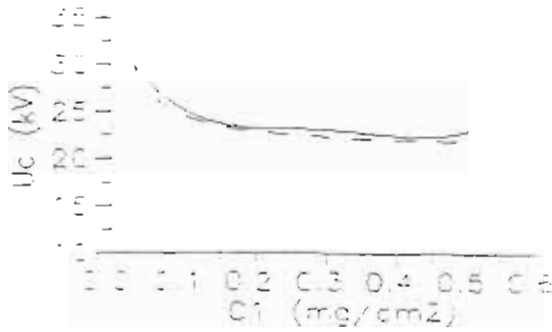
Η διαδικασία της προαναφερθείσας σύγκρισης πραγματοποιήθηκε ως εξής: τα αποτελέσματα της κρίσιμης

τάσης U_c και της πυκνότητας ρύπανσης C_1 που δίνει το πρόγραμμα S1.FOR προσεγγίζονται με spline (βλέπε παράρτημα) για κάθε τιμή της πυκνότητας ρύπανσης C_2 με τη βοήθεια του υπολογιστικού πακέτου GRAPHER. Στα Σχήματα που θα ακολουθήσουν παρουσιάζονται με τις διακεκομμένες γραμμές. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα της κρίσιμης τάσης U_c και της πυκνότητας ρύπανσης C_1 που δίνει το μαθηματικό μοντέλο προσεγγίζονται με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού για κάθε τιμή της πυκνότητας ρύπανσης C_2 με τη βοήθεια του υπολογιστικού πακέτου GRAPHER.

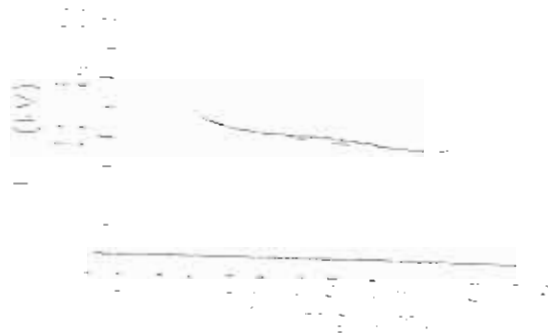
Διακρίνονται δύο περιπτώσεις για τα a_i (C_2). Εκφράζονται ως πολυώνυμα τετάρτου και πέμπτου βαθμού αντίστοιχα. Στα Σχήματα που θα ακολουθήσουν παρουσιάζονται με τις συνεχείς γραμμές. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν όλα τα διαγράμματα που πραγματοποιήθηκαν καθώς και οι ανάλογες επεξηγήσεις.



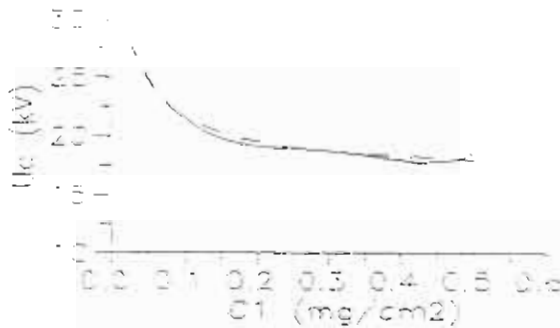
Σχήμα 9: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c (C_1) ενώ $C_2 = 0.03 \text{ mg/cm}^2$ και a_i (C_2) πολυώνυμο τετάρτου βαθμού.



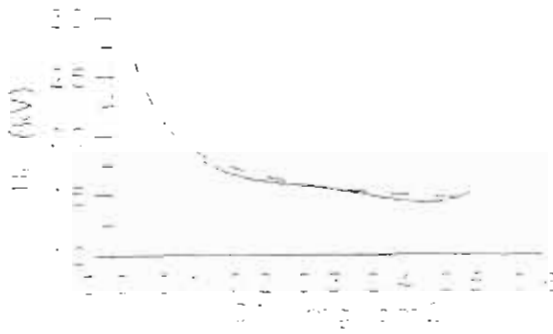
Σχήμα 10: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού $U_c(C1)$ ενώ $C2 = 0.055 \text{ mg/cm}^2$ και $a_i (C2)$ πολυώνυμο τετάρτου βαθμού.



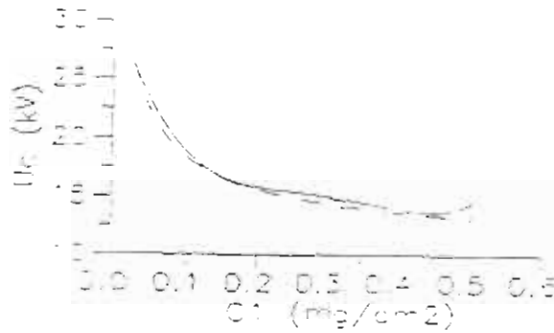
Σχήμα 11: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού $U_c(C1)$ ενώ $C2 = 0.08 \text{ mg/cm}^2$ και $a_i (C2)$ πολυώνυμο τετάρτου βαθμού.



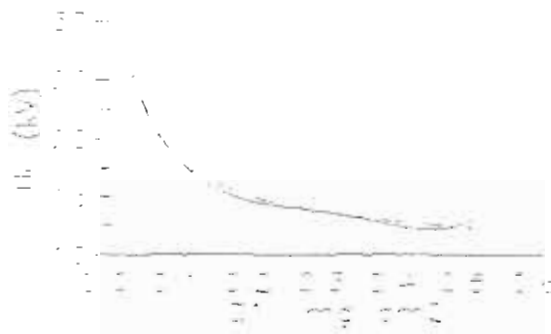
Σχήμα 12: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού $U_c(C1)$ ενώ $C2 = 0.1 \text{ mg/cm}^2$ και $a_i (C2)$ πολυώνυμο τετάρτου βαθμού.



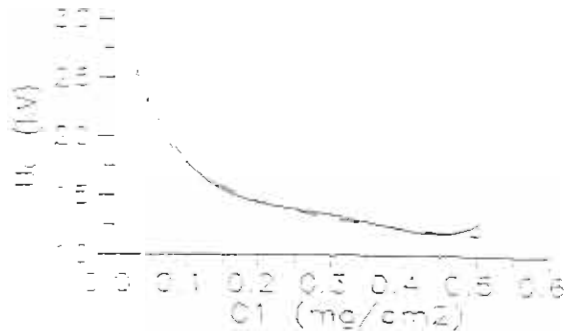
Σχήμα 13: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού $U_c(C1)$ ενώ $C2 = 0.2 \text{ mg/cm}^2$ και $a_1(C2)$ πολυώνυμο τετάρτου βαθμού.



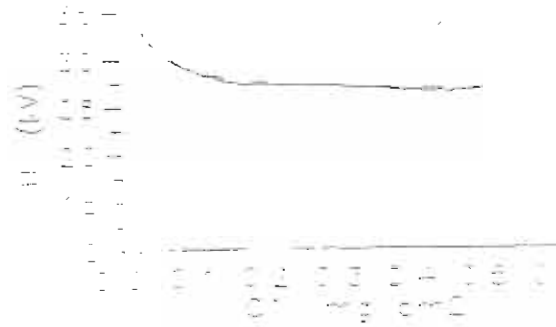
Σχήμα 14: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού $U_c(C1)$ ενώ $C2 = 0.3 \text{ mg/cm}^2$ και $a_1(C2)$ πολυώνυμο τετάρτου βαθμού.



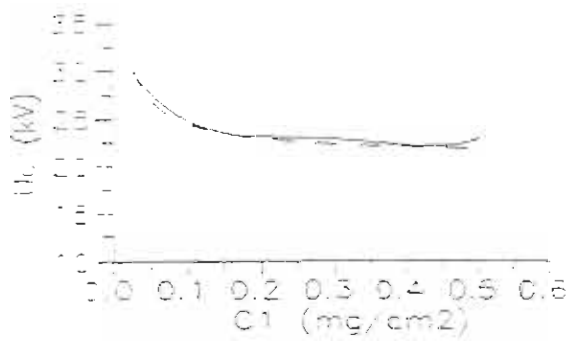
Σχήμα 15: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού $U_c(C1)$ ενώ $C2 = 0.4 \text{ mg/cm}^2$ και $a_1(C2)$ πολυώνυμο τετάρτου βαθμού.



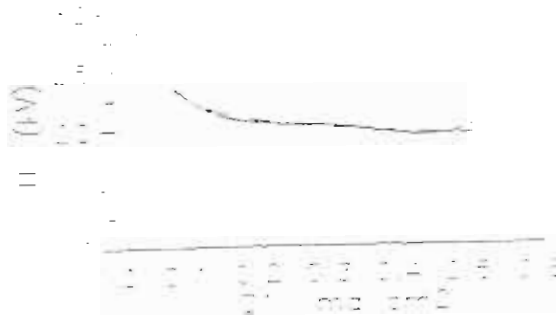
Σχήμα 16: Σύγκριση *spline* και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού $U_c(C1)$ ενώ $C2 = 0.5 \text{ mg/cm}^2$ και $a_i(C2)$ πολυώνυμο τετάρτου βαθμού.



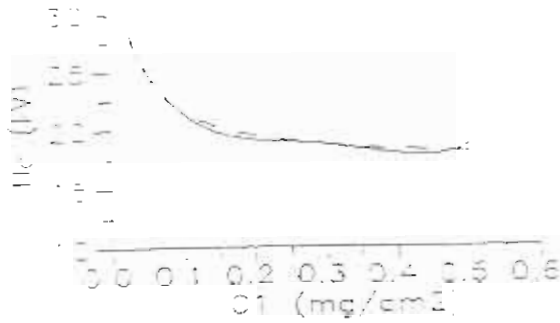
Σχήμα 17: Σύγκριση *spline* και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού $U_c(C1)$ ενώ $C2 = 0.03 \text{ mg/cm}^2$ και $a_i(C2)$ πολυώνυμο πέμπτου βαθμού.



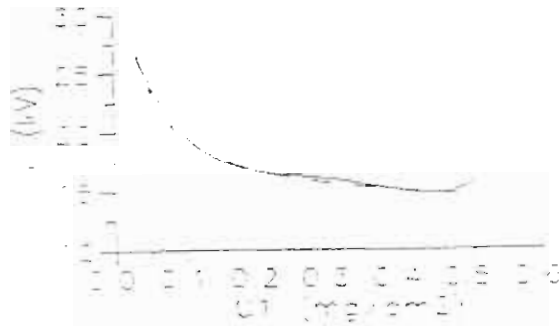
Σχήμα 18: Σύγκριση *spline* και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού $U_c(C1)$ ενώ $C2 = 0.055 \text{ mg/cm}^2$ και $a_i(C2)$ πολυώνυμο πέμπτου βαθμού.



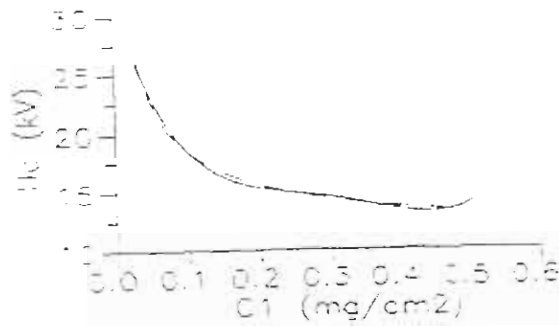
Σχήμα 19: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c (C1) ενώ $C_2 = 0.08 \text{ mg/cm}^2$ και αι (C2) πολυώνυμο πέμπτου βαθμού.



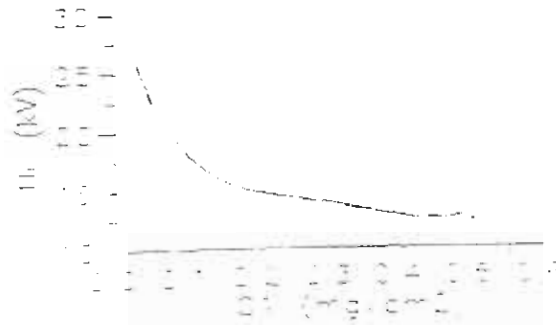
Σχήμα 20: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c (C1) ενώ $C_2 = 0.1 \text{ mg/cm}^2$ και αι (C2) πολυώνυμο πέμπτου βαθμού.



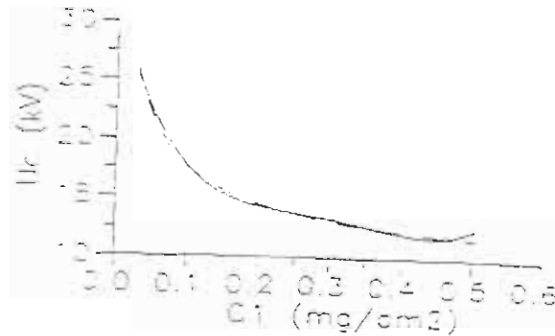
Σχήμα 21: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c (C1) ενώ $C_2 = 0.2 \text{ mg/cm}^2$ και αι (C2) πολυώνυμο πέμπτου βαθμού.



Σχήμα 22: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c ($C1$) ενώ $C2 = 0.3 \text{ mg/cm}^2$ και a_1 ($C2$) πολυώνυμο πέμπτου βαθμού.



Σχήμα 23: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c ($C1$) ενώ $C2 = 0.4 \text{ mg/cm}^2$ και a_1 ($C2$) πολυώνυμο πέμπτου βαθμού.

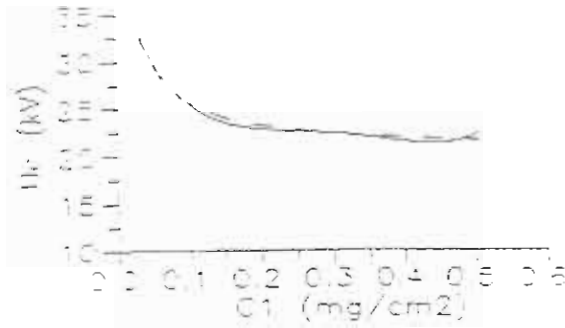


Σχήμα 24: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c ($C1$) ενώ $C2 = 0.5 \text{ mg/cm}^2$ και a_1 ($C2$) πολυώνυμο πέμπτου βαθμού.

1.3. Σύγκριση της αναλυτικής σχέσης U_c (C1,C2) για την περίπτωση άνω τμήμα τρία κυάθια, κάτω τμήμα ένα κυάθιο με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του S1.FOR.

Η διαδικασία της προαναφερθείσας σύγκρισης πραγματοποιήθηκε ως εξής : τα αποτελέσματα της κρίσιμης τάσης U_c και της πυκνότητας ρύπανσης C1 που δίνει το πρόγραμμα S1.FOR προσεγγίζονται με spline (βλέπε παράρτημα) για κάθε τιμή της πυκνότητας ρύπανσης C2 με τη βοήθεια του υπολογιστικού πακέτου GRAPHER. Στα Σχήματα που θα ακολουθήσουν παρουσιάζονται με τις διακεκομμένες γραμμές. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα της κρίσιμης τάσης U_c και της πυκνότητας ρύπανσης C1 που δίνει το μαθηματικό μοντέλο προσεγγίζονται με πολυώνυμο τετάρτου βαθμού για κάθε τιμή της πυκνότητας ρύπανσης C2 με τη βοήθεια του υπολογιστικού πακέτου GRAPHER. Διακρίνονται δύο περιπτώσεις για τα a_i (C2).

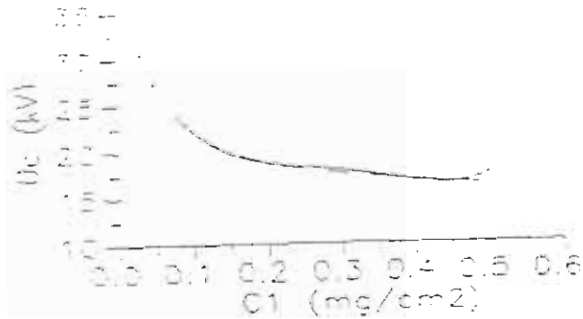
Εκφράζονται ως πολυώνυμο τετάρτου βαθμού αντίστοιχα. Στα Σχήματα που θα ακολουθήσουν παρουσιάζονται με τις συνεχείς γραμμές. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν όλα τα διαγράμματα που πραγματοποιήθηκαν καθώς και οι ανάλογες επεξηγήσεις.



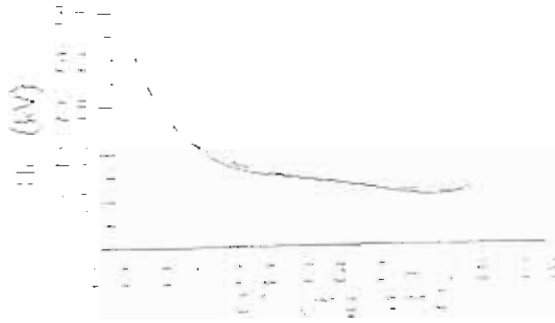
Σχήμα 25: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c (C_1) ενώ $C_2 = 0.03 \text{ mg/cm}^2$ και a_i (C_2) πολυώνυμο τετάρτου βαθμού.



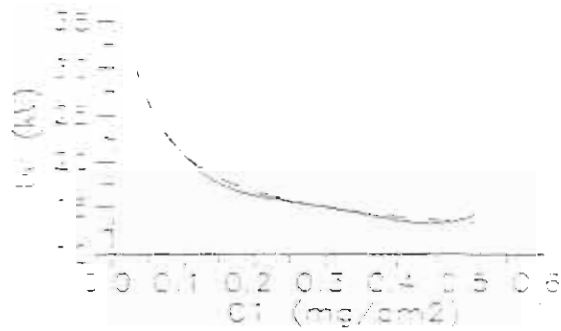
Σχήμα 26: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c (C_1) ενώ $C_2 = 0.055 \text{ mg/cm}^2$ και a_i (C_2) πολυώνυμο τετάρτου βαθμού.



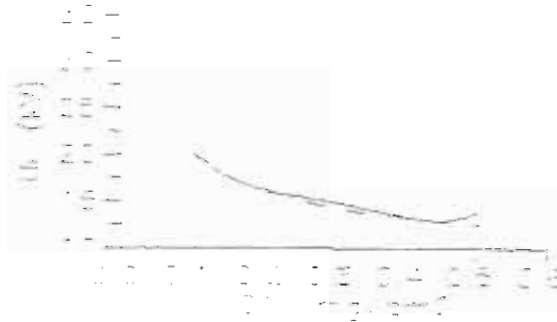
Σχήμα 27: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c (C_1) ενώ $C_2 = 0.08 \text{ mg/cm}^2$ και a_i (C_2) πολυώνυμο τετάρτου βαθμού.



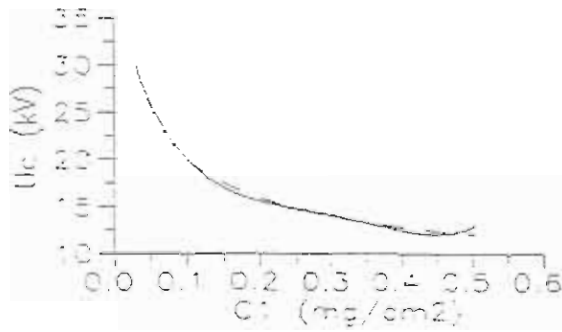
Σχήμα 28: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c (C1) ενώ $C_2 = 0.1 \text{ mg/cm}^2$ και a_i (C2) πολυώνυμο τετάρτου βαθμού.



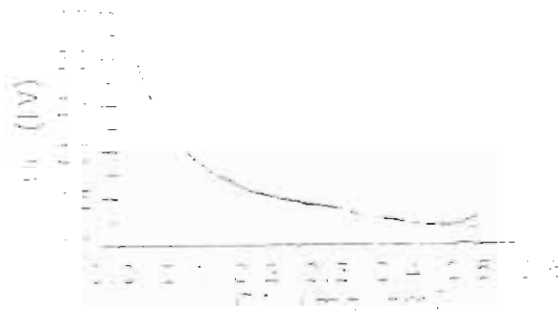
Σχήμα 29: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c (C1) ενώ $C_2 = 0.2 \text{ mg/cm}^2$ και a_i (C2) πολυώνυμο τετάρτου βαθμού.



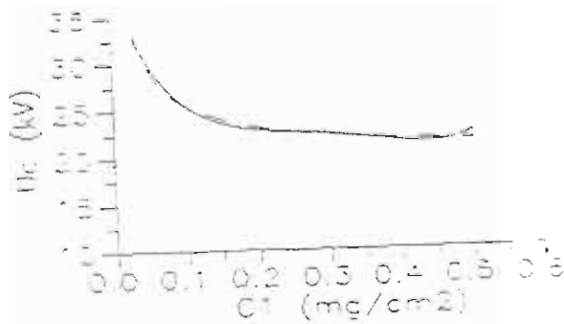
Σχήμα 30: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c (C1) ενώ $C_2 = 0.3 \text{ mg/cm}^2$ και a_i (C2) πολυώνυμο τετάρτου βαθμού.



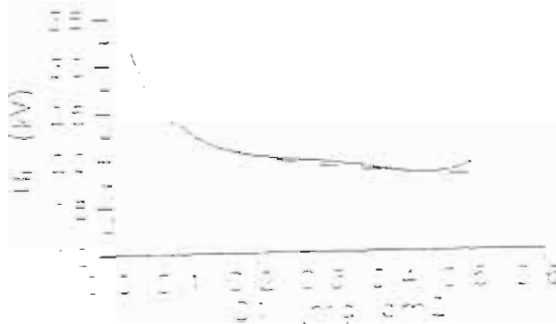
Σχήμα 31: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c (C_1) ενώ $C_2 = 0.4 \text{ mg/cm}^2$ και a_i (C_2) πολυώνυμο τετάρτου βαθμού.



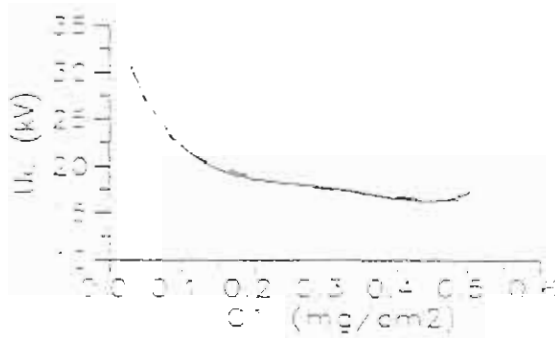
Σχήμα 32: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c (C_1) ενώ $C_2 = 0.5 \text{ mg/cm}^2$ και a_i (C_2) πολυώνυμο τετάρτου βαθμού.



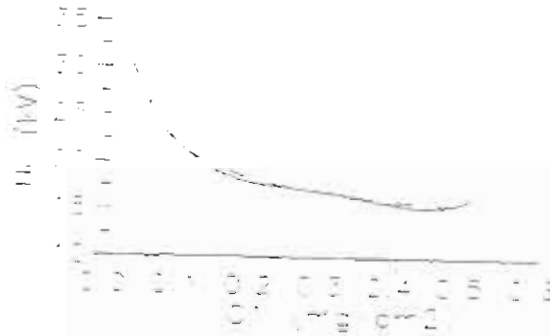
Σχήμα 33: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c (C_1) ενώ $C_2 = 0.03 \text{ mg/cm}^2$ και a_i (C_2) πολυώνυμο πέμπτου βαθμού.



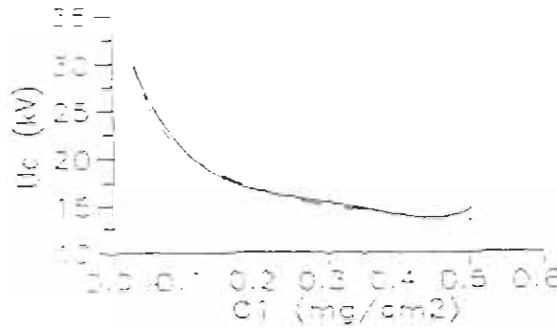
Σχήμα 34: Σύγκριση *spline* και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c (C1) ενώ $C_2 = 0.055 \text{mg/cm}^2$ και a_i (C2) πολυώνυμο πέμπτου βαθμού.



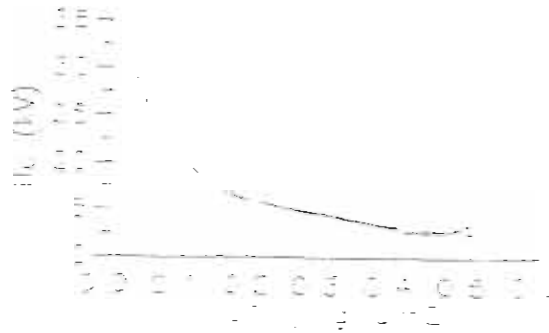
Σχήμα 35: Σύγκριση *spline* και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c (C1) ενώ $C_2 = 0.08 \text{mg/cm}^2$ και a_i (C2) πολυώνυμο πέμπτου βαθμού.



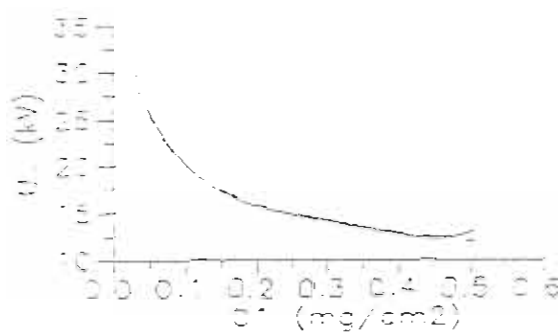
Σχήμα 36: Σύγκριση *spline* και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c (C1) ενώ $C_2 = 0.1 \text{mg/cm}^2$ και a_i (C2) πολυώνυμο πέμπτου βαθμού.



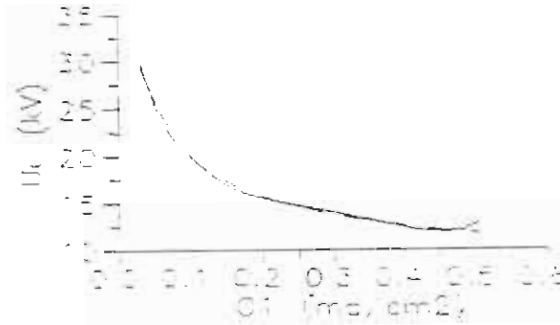
Σχήμα 37: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c (C_1) ενώ $C_2 = 0.2 \text{ mg/cm}^2$ και a_i (C_2) πολυώνυμο πέμπτου βαθμού.



Σχήμα 38: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c (C_1) ενώ $C_2 = 0.3 \text{ mg/cm}^2$ και a_i (C_2) πολυώνυμο πέμπτου βαθμού.



Σχήμα 39: Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c (C_1) ενώ $C_2 = 0.4 \text{ mg/cm}^2$ και a_i (C_2) πολυώνυμο πέμπτου βαθμού.



Σχήμα 40. Σύγκριση spline και πολυωνυμικής τετάρτου βαθμού U_c ($C1$) ενώ $C2 = 0.5 \text{ mg/cm}^2$ και αι ($C2$) πολυώνυμο πέμπτου βαθμού.

1.4. Συμπεράσματα

Πρώτα απ' όλα κανείς μπορεί να παρατηρήσει γενικά ότι η αύξηση της ρύπανσης πάνω στην επιφάνεια του μονωτήρα μειώνει τη μονωτική του ικανότητα. Όσο περισσότερα καθαρά κυάθια υπάρχουν, τόσο η αρχική τιμή της κρίσιμης τάσης U_c ($C1=0.03 \text{ mg/cm}^2$) είναι μεγαλύτερη και φθίνει ταχύτερα όσο αυξάνει η $C1$ ως το σημείο στο οποίο λαμβάνει την ελάχιστη τιμή U_c , η οποία είναι η χαμηλότερη κρίσιμη τάση που παρουσιάζεται στην ομοιόμορφη ρύπανση για $C = 0.5 \text{ mg/cm}^2$.

Όσο αυξάνει ο αριθμός κυαθίων του κάτω τμήματος ($C2=0.05 \text{ mg/cm}^2 =$ σταθερή) τόσο μειώνεται η μονωτική ικανότητα $(\Delta U/U_{\max}) \cdot 100\%$ του μονωτήρα, επιπρόσθετα δε η μείωση αυτή δεν γίνεται αναλογικά, δηλαδή, όταν το κάτω τμήμα περιέχει ένα κυάθιο, η μονωτική ικανότητά του υποβάζεται μόνο

κατά 10%, όταν περιέχει δύο κυάθια κατά 21.5% και όταν περιέχει τρία κυάθια κατά 38%. Συνεπώς η ύπαρξη καθαρών κυαθίων παίζει σπουδαίο ρόλο στην παρεμπόδιση της υποβίβασης της μονωτικής ικανότητας των μονωτήρων.

Όσο μεγαλύτερες ποσότητες ρύπανσης υπάρχουν τόσο περισσότερο μειώνεται η διασπορά των τιμών της κρίσιμης τάσης ΔU_c για την ίδια πυκνότητα ρύπανσης.

Υπάρχει μια τιμή της ολικής ρύπανσης πάνω από την οποία η συνάρτηση $U_c (P)$ είναι μονοσήμαντα ορισμένη και ανεξάρτητη της κατανομής της ρύπανσης πάνω στην επιφάνεια του μονωτήρα. Η ταχύτητα μείωσης της διηλεκτρικής ικανότητας είναι μεγαλύτερη, όσο μικρότερος αριθμός καθαρών κυαθίων υπάρχει. Όταν ένα μεγάλο τμήμα του μονωτήρα είναι καθαρό (3 κυάθια), τότε υπάρχει δυνατότητα να διατηρηθεί σε υψηλά επίπεδα η κρίσιμη τάση (περίπου 30Kv), όσο και αν αυξάνεται η ρύπανση C2 του κάτω τμήματος.

Μπορεί να θεωρηθεί ότι στο τμήμα με τη μεγαλύτερη ρύπανση ο μονωτήρας λειτουργεί σαν αγωγός οπότε ουσιαστικά μειώνεται το μήκος ερπυσμού του. Υπάρχει πάντα ένα όριο κάτω του οποίου δεν μπορεί να πέσει η U_c που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο μήκος του καθαρού τμήματος όσο και να αυξάνεται η ρύπανση του πολύ ρυπασμένου τμήματος και επίσης όσο μεγαλύτερη επιφάνεια του μονωτήρα έχει ελάχιστη ρύπανση τόσο μεγαλύτερη τιμή παίρνει η U_{kor} .

Τα όρια των καμπυλών $U_c(P)$ καθορίζονται από την καμπύλη της ομοιόμορφης ρύπανσης και μια υποθετική ευθεία που εκτείνεται από $P_{min} = 40.93 \text{ mg}$ έως $P_{max} = 682.19 \text{ mg}$ και $U_c = 33.26 \text{ Kv}$ και αντιστοιχεί στη θεωρητική περίπτωση όπου όλος ο μονωτήρας έχει ομοιόμορφη ρύπανση $C = 0.03 \text{ mg/cm}^2$ και στο κάτω άκρο του (στέλεχος) είναι συγκεντρωμένη όλη η υπόλοιπη ρύπανση, γεγονός απίθανο. Για την ίδια τάση U_c ο μονωτήρας είναι δυνατόν να έχει ποικιλία από τιμές της ολικής ρύπανσης ανάλογα του τρόπου κατανομής της. Δηλαδή αν στο εργαστήριο μετρηθεί μια τάση $U_c = 27 \text{ Kv}$ αυτό σημαίνει ότι ο μονωτήρας θα μπορούσε να έχει ρύπανση από $P = 50 \text{ mg}$ έως $P = 680 \text{ mg}$, ανάλογα με την κατανομή της. Συνεπώς δεν παίζει μεγάλο ρόλο η ποσότητα της ρύπανσης στον καθορισμό της κρίσιμης τάσης, αλλά ο τρόπος κατανομής της.

Για να μη μειώνεται πολύ η μονωτική ικανότητα του μονωτήρα πρέπει να υπάρχουν περισσότερα τμήματα με μικρή σχετικά ρύπανση και λιγότερα με αυξημένη. Η μέγιστη μεταβολή της κρίσιμης τάσης $\Delta U_c = 0.5 \text{ Kv}$ για $P_{max} = 682 \text{ mg}$. Η κρίσιμη τάση δεν μπορεί να " διακρίνει " εκείνες τις κατανομές της ρύπανσης που πλησιάζουν την ομοιόμορφη. Με άλλα λόγια η συνάρτηση U_c είναι μονοσήμαντα ορισμένη σε όλο το διάστημα μεταβολής της ολικής ρύπανσης.

Όσον αφορά το μαθηματικό μοντέλο που αναπτύχθηκε, τα αποτελέσματα που δίνει η $U_c (C1, C2)$ παρουσιάζουν μια

απόκλιση που κυμαίνεται από 0.01 Kν έως 0.7 Kν από τα αποτελέσματα του υπολογιστικού προγράμματος S1.FOR. Αυτό ίσως οφείλεται σε ατέλειες των προσεγγίσεων που έγιναν.

Όμως τα αποτελέσματα που δίνουν οι $P(A)$ και $U_c (P)$ συμπίπτουν καταπληκτικά με τα αποτελέσματα του S2.FOR. Αυτό οφείλεται στην τέλεια προσέγγιση που έγινε με την εκθετική συνάρτηση.

Οι μικρότερες αποκλίσεις οφείλονται στην προσέγγιση με πολυώνυμα πέμπτου βαθμού των a_i (C2), ενώ οι μεγαλύτερες αποκλίσεις αντιστοιχούν στην προσέγγιση ΙΙ πολυώνυμα τετάρτου βαθμού των a_i (C2).

Βέβαια, πρέπει ν' αναφερθεί εδώ ότι η έννοια της απόκλισης είναι σχετική, διότι δεν είναι γνωστό ποιο μοντέλο είναι το πιο αξιόπιστο. Κάτι τέτοιο θα αποδειχθεί με την πειραματική επιβεβαίωση ή απόρριψη κάποιου από αυτά.

2. Τεχνικές αντιμετώπισης των προβλημάτων της ρύπανσης

Στη συνέχεια αναλύονται οι επικρατέστερες μέθοδοι που αναπτύσσονται στο διεθνή χώρο για την αντιμετώπιση του προβλήματος της ρύπανσης των μονωτήρων.

1) Εκλογή μονωτήρων με κατάλληλο μήκος ερπυσμού

Το μήκος ερπυσμού έχει άμεση εξάρτηση από την αντοχή του

μονωτήρα σε ηλεκτρικό τόξο κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες ρύπανσης. Ταυτόχρονα η μορφή του μονωτήρα παίζει και αυτή ουσιαστικό ρόλο στη διαμόρφωση των ιδιοτήτων του. Όπως θα δειχθεί και από τη θεωρητική ανάλυση, η κρίσιμη τιμή της τάσης U_c είναι ανάλογη με το μήκος ερπυσμού. Έτσι για συγκεκριμένες τιμές ρύπανσης μπορεί να βρεθεί το ελάχιστο μήκος ερπυσμού που απαγορεύει τη δημιουργία τόξου.

2) Χρήση ημιαγωγικών μονωτήρων (Semiconductive glase insulator) Ημιαγωγοί είναι οι μονωτήρες εκείνοι στους οποίους προστίθενται αγώγιμα μεταλλικά οξειδία στην εφυσωμένη επιφάνειά τους, η οποία καθίσταται με τον τρόπο αυτό ημιαγώγιμη.

Έτσι, σχετικά με το μηχανισμό υπερπήδησης, η πρώτη ξηρή ζώνη που θα εμφανιστεί, βραχυκυκλώνεται από την περισσότερο αγώγιμη επιφάνεια της εφυσάλωσης, με αποτέλεσμα να μην αναπτύσσεται μεγάλη διαφορά δυναμικού (άρα ούτε σπινθηρισμοί) κατά μήκος της ξηρής ζώνης.

Εξάλλου, σε αυτούς τους μονωτήρες υπάρχει ένα συνεχές ρεύμα διαρροής, που αυξάνει τη θερμοκρασία του μονωτήρα και, κατά συνέπεια, την αντοχή του σε ρυπασμένο περιβάλλον. Ωστόσο, επειδή ο θερμικός συντελεστής αντίστασης είναι αρνητικός σε αυτούς τους μονωτήρες, υπάρχει πιθανότητα θερμικής αστοχίας.

3) Γρασάρισμα μονωτήρων

Η επάλειψη του μονωτήρα με σιλικονούχο ή πετρελαϊκό γράσο σε κατάλληλο πάχος, έχει σαν αποτέλεσμα να απορροφώνται από αυτό τα συστατικά της ρύπανσης, όπως το NaCl, ενώ η υγρασία να επικάθεται και να μην υπάρχει έτσι συνέχεια του ηλεκτρολύτη, εξαιτίας της στεγανοποίησης.

Σε ισχυρά ρυπασμένες περιοχές όμως, το γράσο δεν προλαβαίνει να απορροφήσει τα συστατικά της ρύπανσης, διότι με την πάροδο του χρόνου κορένεται από την απορρόφηση, αποσυντίθεται, ολισθαίνει με τη θερμοκρασία κτλ.

4) Πλύσιμο μονωτήρων

Το πλύσιμο μονωτήρων γίνεται με συχνότητα που ποικίλει ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν και το βαθμό ρύπανσης της περιοχής. Το νερό εκτοξεύεται με πίεση από απόσταση ασφάλειας, ενώ το πλύσιμο μπορεί να γίνει υπό τάση ή εκτός τάσης.

Σύμφωνα με μια έρευνα (3) των Flugum και Karcic διαπιστώνεται ότι η διάταξη των μονωτήρων ανάρτησης επηρεάζει τη δημιουργία ηλεκτρικού τόξου. Η κρίσιμη τάση U_c προκύπτει μικρότερη για την οριζόντια διάταξη, ακολουθεί η κατακόρυφη διάταξη και τέλος, ευνοϊκότερη είναι η διάταξη σε σχήμα V για μια δεδομένη ρύπανση. Αυτό οφείλεται στα ανερχόμενα θερμικά ιονισμένα αέρια που γεφυρώνουν ή περιτρέχουν τις επιφάνειες και αλλοιώνουν έτσι το μήκος ερπυσμού.

Τέλος ένα άλλο πρόβλημα είναι τα ρεύματα διαφυγής προς τη γη, που μπορούν να αναφλέξουν ξύλινους στύλους, ανεξάρτητα από τη δημιουργία τόξου, αφού παρατηρήθηκαν αναφλέξεις για πολύ μεγάλα μήκη ερπυσμού. Στα σημεία επαφής ξύλου-χάλυβα η πυκνότητα του ρεύματος είναι μεγαλύτερη εξαιτίας της μικρής διατομής της επαφής.

Τοπικά λοιπόν, παρουσιάζεται στέγνωμα του ξύλου και σημαντική διαφορά δυναμικού, που επιτρέπει την εμφάνιση σπινθήρων ικανών να αναφλέξουν την τραβέρσα. Το φαινόμενο είναι εντονότερο όταν χρησιμοποιούνται ημιαγωγιμοί. Η καλύτερη λύση στο παραπάνω πρόβλημα είναι η γεφύρωση των μεταλλικών στηριγμάτων των μονοκτιήρων

Κεφάλαιο VI

Συμπεράσματα

Από τα αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών SOLID LAYER METHOD πάνω σε μονωτήρες MEK 5 3/4" -10" τύπου κοινού πορσελάνης προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- * όσο αυξάνεται η ρύπανση C (mg/cm²) μειώνονται η τάση αντοχής V_c και η τάση υπερπήδησης.
- * όσο αυξάνεται η ρύπανση C (mg/cm²) το μήκος ερπυσμού αυξάνεται και αυτό με τη σειρά του.

Ανάλογα είναι και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα των δοκιμών της SOLID LAYER METHOD πάνω σε μονωτήρες NGK 5 3/4" - 10" τύπου ομίχλης πορσελάνης, δηλαδή όσο αυξάνεται η ρύπανση C, μειώνονται η τάση αντοχής και η τάση υπερπήδησης.

Ανάλογα είναι και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα δοκιμών των Reese και Mauldim σε σύγκριση με αυτά των μονωτήρων που χρησιμοποιήθηκαν στο (Κ.Δ.Ε.Π.).

Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι οι μονωτήρες που χρησιμοποιήθηκαν στις εργαστηριακές διατάξεις του Κ.Δ.Ε.Π. είναι ανθεκτικότεροι από αυτούς που χρησιμοποίησαν οι Reese

και Mauldim.

Ο τρόπος εκτέλεσης της μεθόδου SALT FOG όσο και οι συνθήκες στις οποίες πραγματοποιείται η ρύπανση του μονωτήρα και η δοκιμή του, προσεγγίζουν τις φυσικές συνθήκες ρύπανσης των μονωτήρων στα δίκτυα της Δ.Ε.Η. που είναι και συνάρτηση των περιβαλλοντολογικών συνθηκών που επικρατούν σε κάθε περιοχή.

Αντίθετα η μέθοδος SOLID LAYER απαιτεί ομοιόμορφη κατανομή του ηλεκτρολυτικού στρώματος πάνω στην επιφάνεια του μονωτήρα, φαινόμενο που δεν ανταποκρίνεται σε φυσικές συνθήκες με αποτέλεσμα η μέθοδος αυτή να είναι περισσότερο εργαστηριακού επιπέδου. Για το λόγο αυτό μετά την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας της μεθόδου SOLID LAYER που πραγματοποιήθηκε, αποφασίστηκε από το Κ.Δ.Ε.Π. να μην χρησιμοποιείται σαν μέθοδος μελέτης ρυπασμένων μονωτήρων.

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται κατά κόρο στο Κ.Δ.Ε.Π. και δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα είναι η SALT FOG METHOD.

θεωρητικά παρουσιάζεται πιο αξιόπιστη η μέθοδος της μοντελοποίησης και χρήσης υπολογιστικών προγραμμάτων S.FOR. και S2.FOR. γιατί γίνεται συνδυασμός όλων εκείνων των παραμέτρων που επηρεάζουν και μεταβάλλουν τη διηλεκτρική ικανότητα των μονωτήρων σε φυσικές συνθήκες ρύπανσης. Οι παράμετροι αυτές είναι: πυκνότητα ρύπανσης, ρύπανση του

πάνω τμήματος του μονωτήρα, ρύπανση του κάτω τμήματος του μονωτήρα, αριθμός καθαρών κυαθίων του πάνω και κάτω τμήματος αντίστοιχα του μονωτήρα, ολική ρύπανση του μονωτήρα ρεύμα διαρροής, τάση υπερπήδησης, μήκος τόξου, μήκος ερπυσμού κ.α.

Επίσης έχουμε τη δυνατότητα επέμβασης στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υπό εξέταση μονωτήρα όπως επίσης και στην ποσότητα τον τρόπο κατανομής της ρύπανσης πάνω στο μονωτήρα. για να επιτύχουμε κατά προσέγγιση τα επιθυμητά αποτελέσματα δοκιμών.

Παράρτημα

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά υπό εξέταση μονωτήρα
(AMON.DAT)

| N | Li (cm) | Ri (cm) |
|----|---------|---------|
| 0 | 0.0 | 1.00 |
| 1 | 0.4 | 4.10 |
| 2 | 1.0 | 4.40 |
| 3 | 1.9 | 5.80 |
| 4 | 0.6 | 6.90 |
| 5 | 0.4 | 7.20 |
| 6 | 0.4 | 7.35 |
| 7 | 0.4 | 7.35 |
| 8 | 0.5 | 7.00 |
| 9 | 0.8 | 6.45 |
| 10 | 2.0 | 5.20 |
| 11 | 0.5 | 3.95 |
| 12 | 0.6 | 3.70 |
| 13 | 1.7 | 3.75 |
| 14 | 0.6 | 3.95 |
| 15 | 2.4 | 5.30 |
| 16 | 0.5 | 6.65 |
| 17 | 0.6 | 7.10 |
| 18 | 0.3 | 7.35 |
| 19 | 0.5 | 7.45 |
| 20 | 0.7 | 7.05 |

| | | |
|----|-----|------|
| 21 | 0.4 | 6.60 |
| 22 | 2.1 | 5.50 |
| 23 | 0.4 | 4.20 |
| 24 | 0.4 | 4.10 |
| 25 | 1.7 | 3.75 |
| 26 | 0.6 | 3.95 |
| 27 | 2.4 | 5.30 |
| 28 | 0.5 | 6.65 |
| 29 | 0.6 | 7.10 |
| 30 | 0.3 | 7.35 |
| 31 | 0.5 | 7.45 |
| 32 | 0.7 | 7.05 |
| 33 | 0.4 | 6.60 |
| 34 | 2.1 | 5.50 |
| 35 | 0.4 | 4.20 |
| 36 | 0.4 | 4.10 |
| 37 | 1.7 | 3.75 |
| 38 | 0.6 | 3.95 |
| 39 | 2.4 | 5.30 |
| 40 | 0.5 | 6.65 |
| 41 | 0.6 | 7.10 |
| 42 | 0.3 | 7.35 |
| 43 | 0.5 | 7.45 |
| 44 | 0.7 | 7.05 |
| 45 | 0.4 | 6.60 |
| 46 | 2.1 | 5.50 |
| 47 | 0.4 | 4.20 |
| 48 | 0.4 | 4.10 |

N = Αύξων αριθμός των $m = 48$ τμημάτων κατά την διαδρομή του μήκους ερπυσμού

L_i = Μήκος του i τμήματος σε cm

R_i = Μέση ακτίνα του i τμήματος σε cm

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υπό εξέταση μονωτήρα και οι συντελεστές διόρθωσης- αυτών προκύπτουν ως εξής :

Αποτυπώνεται σε μεγέθυνση το σχήμα του υπό εξέταση μονωτήρα προσεγγίζοντας το φυσιολογικό του μέγεθος, έτσι ώστε ο συντελεστής διόρθωσης να είναι περίπου ίσος με τη μονάδα.

Βρίσκεται ότι ο συντελεστής διόρθωσης της μέσης ακτίνας για κάθε στοιχειώδες τμήμα i κατά το μήκος της διαδρομής ερπυσμού είναι $R_i = 1.07$ για τον υπό εξέταση μονωτήρα.

Επίσης ο συντελεστής διόρθωσης του μήκους κάθε στοιχειώδους τμήματος i είναι $BL_1 = 0.9$ για τον υπό εξέταση μονωτήρα.

Τα στοιχειώδη τμήματα προκύπτουν από τη διαίρεση του μήκους ερπυσμού του μονωτήρα σε τμήματα ευθύγραμμα, ώστε να είναι δυνατόν να μετρηθούν με γνώμονα τα μήκη τους l_i , με όσο το δυνατό μεγαλύτερη ακρίβεια.

S1.FOR

```

S DEBU 9
CHARACTER UC, 40 110
COMMON LEE=0
DATA B B 1000000 2000000 3000000 4000000 5000000
1700000
.....
O* 1000000 1000000 1000000
O* 1000000 1000000 1000000
.....
O* ANOIGD TA APKE A UC10 DAT UC9 DAT META OI TO P 1000000
O* POCY ANTI ET D KOY N ETON N TO BEETASH MOX HRA OTOM H 1000000
.....
ACL1=UC1 DAT
ACL2=UC2 DAT
ACL3=UC3 DAT
ACL4=UC4 DAT
ACL5=UC5 DAT
ACL6=UC6 DAT
ACL7=UC7 DAT
ACL8=UC8 DAT
ACL9=UC9 DAT
.....
O* ANOIGD TA APKE A UC10 DAT UC20 DAT META OI TO P 1000000
O* POCY ANTI ET D KOY N ETON N TO BEETASH MOX HRA OTOM H 1000000
.....
ACL10=UC10 DAT
ACL20=UC20 DAT

```

```
ACL0101=U0091 DAT
ACL0101=U0091 DAT
ACL0102=U0092 DAT
ACL0103=U0093 DAT
ACL0104=U0094 DAT
ACL0105=U0095 DAT
ACL0106=U0096 DAT
ACL0107=U0097 DAT
ACL0108=U0098 DAT
ACL0109=U0099 DAT
ACL0110=U0100 DAT
```

```
.....
D' ANOITO TO ARXEIO ΔΕΛΤΙΟΥ ΕΡΕΥΝΑΣ ΑΜΟΝ. DAT ΤΟΥ ΠΕΡΙΕΧΕ ΤΑ
D' ΜΕΤΡΗΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩ ΝΟΣΤΗΡΑ
D' ΜΟΝΤΗΡΑ ΔΕΛΤΙΟΥ
```

```
.....
D' OPEN=FILE=AMON.DAT STATUS=OLD RECL=13 ACCESS= DIRECT
D' (FORM=FORMATTED)
```

```
.....
D' ANOITO TO ARXEIO ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΡΘΡΩΝ ΕΡΕΥΝΑΣ
D' ΧΟΝΤΑΙ ΟΙ ΟΝΟΜΑΤΕΣ ΜΕΤΑΦΡΑΣΤΗΣ ΚΑΙ ΣΤΑΘΜΕΣ ΤΑΞΕΩΣ
D' ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΣ
D' ΣΕΙΡΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΥΡΑΝΘΗΣ ΟΙ ΜΟΖΤΟΥ ΚΑΘ' ΕΞΕΤΑΣΗ
D' ΜΟΝΤΗΡΑ
```

.....
*
C* PSEUDOPHAROTEL STATHI 1980
.....

.....
*
C* PSEUDOPHAROTEL STATHI 1980
.....

.....
*
C* PSEUDOPHAROTEL STATHI 1980
.....
1. FORMAT(3X)
WRITE(2) 1
2. FORMAT(10X) STATHI 1980
WRITE(2) 2
3. FORMAT(10X)
WRITE(2) 3
4. FORMAT(30X)
WRITE(2) 4
5. FORMAT(30X)
WRITE(2) 5
.....

.....
*
C* RI 107 SYNTAKTES LOROSCHOTON METROIMENON
C* ECDOMETRIKON KAFKITHRIET HON TO KYMO BEETACH MONOTHEA *

C* RI 107 SYNTAKTES LOROSCHOTON METROIMENON
C* ECDOMETRIKON KAFKITHRIET HON TO KYMO BEETACH MONOTHEA *

C* RI 107 SYNTAKTES LOROSCHOTON METROIMENON
C* ECDOMETRIKON KAFKITHRIET HON TO KYMO BEETACH MONOTHEA *

.....
*
C* RI 107 SYNTAKTES LOROSCHOTON METROIMENON
C* ECDOMETRIKON KAFKITHRIET HON TO KYMO BEETACH MONOTHEA *

.....
*
C* RI 107 SYNTAKTES LOROSCHOTON METROIMENON
C* ECDOMETRIKON KAFKITHRIET HON TO KYMO BEETACH MONOTHEA *

000000

CALL ADDCIR R1=0170700000000000

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΣ ΤΕΤΡΑΠΛΑΣΜΑΤΟΣ

ΤΕΤΡΑΠΛΑΣΜΑΤΟΣ

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΣ ΤΕΤΡΑΠΛΑΣΜΑΤΟΣ

ΤΕΤΡΑΠΛΑΣΜΑΤΟΣ

FORMAT A, J

CLOSE O=STATUS#KEEP

STOP

END

ΟΙ ΑΠΟΡΟΦΗΧΕΣ Ο ΔΕΔΟΜΕΝΟΝ ΑΝΟΙ, ΟΝΟΤΟ ΟΠΟΙΟ Ε ΝΑ,

ΟΙ ΚΑΤΑΚΟΙΤΗΜΕΝΟ ΟΙ ΕΙΣΒΡΗΝΗ ΟΧΕ ΔΑΒΑΖΟΝΤΑ

ΟΙ ΤΑΤΕΣ ΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡ ΟΤ ΚΑ ΤΟΥ ΚΠΟ ΕΒΕΤΑΖΗ

ΟΙ ΜΟΝΟΤΗΡΑ (ΙΙ, ΒΙ) ΚΑΙ ΤΡΟΣΩ ΟΡΩΝΤΗΡΑ ΒΕΗΣ

ΟΙ 1) ΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΟΡΦΗΣ ΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΟ ΚΑΙ ΚΑΤΟ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

ΟΙ 2) ΜΕ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΡΥΘΑΝΣΗΣ ΟΙ ΚΑΙ ΟΙ

ΟΙ 2) Ο ΟΛΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ F

ΟΙ 3) Η ΡΥΘΑΝΣΗ Ρ1 mg, ΚΑΙ Ρ2 mg, ΤΟΥ ΑΝΟ ΚΑΙ ΚΑΤΟ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

.....
C* M1 = M*VA + TON * TO BLEPACH (1-3) TO PAISE M*K*E + TON*E

C* M2 = M*VA*TA + TON * TO BLEPACH (1-3) TO PAISE M*K*E + TON*E

C* M3 = M*VA*TA*E

.....
C* M1 =
C* M2 = M*VA*TA
C* M3 = M*VA*TA*E
C* M4 = M*VA*TA*E*E

.....
C* M4 = M*VA*TA*E*E

.....
C* M1 =
C* M2 =
AL=0.0
DO 31 I=1 TO M1+1
 READ (M*REC=I) LM, BL, E
 FORMAT 'Y (Z,F4.4,F6.2)
 D=2*R*R1
31 F1=F1+BL*(BL*(PI*D))
 DO 32 J=1 TO I+2.49
 READ (M*REC=J) LM, BL, E
 D=2*R*R1
32 F2=F2+BL*(BL*(PI*D))
 F=F1+F2

.....
C* K = AYEDNAPIOMOS (1-3) TON TP ON Δ ΑΦΟΡΕΤΗΡΩΝ

ΕΙΣΑΓΡΑΦΗ ΧΣ

CALL S4 (CMIN C2 C₁ N₁ N₂)

```

P = BQ 1 01=01+0
P = BQ 2 02=02+0
P = BQ 3 03=03+0
P = BQ 31 00=00+0
01=02
PRLT 600 GO TO 14
CLOSE 6 4 STATUS= 222
AFTER 2
** FORMAT,EX .....

```

CALL S4 (CMIN C2 C₁ N₁ N₂)

```

K=K+1
IF K=41 GO TO 33
GO TO 33
** RETURN
END

```

ΕΠΕΡΟΥΝ ΝΕ 10

- Ο* ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΙ ΤΑ ΚΡΙΣ ΜΑ ΜΕΓΕΘΗ U_0 Ε₀ ΟΠΟΥ ΣΤΟ
- Ο* ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΩΣ ΑΙΣ ΨΟ Ε₀ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗΣ
- Ο* ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ X_0 ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ


```

1) WRITE(10) 'MATH'
2) WRITE(10) 'MATH'
3) WRITE(10) 'MATH'
4) WRITE(10) 'MATH'
5) WRITE(10) 'MATH'
6) WRITE(10) 'MATH'
7) WRITE(10) 'MATH'
8) WRITE(10) 'MATH'
9) WRITE(10) 'MATH'
10) WRITE(10) 'MATH'
11) WRITE(10) 'MATH'
12) WRITE(10) 'MATH'
13) WRITE(10) 'MATH'
14) WRITE(10) 'MATH'
15) WRITE(10) 'MATH'
16) WRITE(10) 'MATH'
17) WRITE(10) 'MATH'
18) WRITE(10) 'MATH'
19) WRITE(10) 'MATH'
20) WRITE(10) 'MATH'
21) WRITE(10) 'MATH'
22) WRITE(10) 'MATH'
23) WRITE(10) 'MATH'
24) WRITE(10) 'MATH'
25) WRITE(10) 'MATH'
26) WRITE(10) 'MATH'
27) WRITE(10) 'MATH'
28) WRITE(10) 'MATH'
29) WRITE(10) 'MATH'
30) WRITE(10) 'MATH'
31) WRITE(10) 'MATH'
32) WRITE(10) 'MATH'
33) WRITE(10) 'MATH'
34) WRITE(10) 'MATH'
35) WRITE(10) 'MATH'
36) WRITE(10) 'MATH'
37) WRITE(10) 'MATH'
38) WRITE(10) 'MATH'
39) WRITE(10) 'MATH'
40) WRITE(10) 'MATH'
41) WRITE(10) 'MATH'
42) WRITE(10) 'MATH'
43) WRITE(10) 'MATH'
44) WRITE(10) 'MATH'
45) WRITE(10) 'MATH'
46) WRITE(10) 'MATH'
47) WRITE(10) 'MATH'
48) WRITE(10) 'MATH'
49) WRITE(10) 'MATH'
50) WRITE(10) 'MATH'
51) WRITE(10) 'MATH'
52) WRITE(10) 'MATH'
53) WRITE(10) 'MATH'
54) WRITE(10) 'MATH'
55) WRITE(10) 'MATH'
56) WRITE(10) 'MATH'
57) WRITE(10) 'MATH'
58) WRITE(10) 'MATH'
59) WRITE(10) 'MATH'
60) WRITE(10) 'MATH'
61) WRITE(10) 'MATH'
62) WRITE(10) 'MATH'
63) WRITE(10) 'MATH'
64) WRITE(10) 'MATH'
65) WRITE(10) 'MATH'
66) WRITE(10) 'MATH'
67) WRITE(10) 'MATH'
68) WRITE(10) 'MATH'
69) WRITE(10) 'MATH'
70) WRITE(10) 'MATH'
71) WRITE(10) 'MATH'
72) WRITE(10) 'MATH'
73) WRITE(10) 'MATH'
74) WRITE(10) 'MATH'
75) WRITE(10) 'MATH'
76) WRITE(10) 'MATH'
77) WRITE(10) 'MATH'
78) WRITE(10) 'MATH'
79) WRITE(10) 'MATH'
80) WRITE(10) 'MATH'
81) WRITE(10) 'MATH'
82) WRITE(10) 'MATH'
83) WRITE(10) 'MATH'
84) WRITE(10) 'MATH'
85) WRITE(10) 'MATH'
86) WRITE(10) 'MATH'
87) WRITE(10) 'MATH'
88) WRITE(10) 'MATH'
89) WRITE(10) 'MATH'
90) WRITE(10) 'MATH'
91) WRITE(10) 'MATH'
92) WRITE(10) 'MATH'
93) WRITE(10) 'MATH'
94) WRITE(10) 'MATH'
95) WRITE(10) 'MATH'
96) WRITE(10) 'MATH'
97) WRITE(10) 'MATH'
98) WRITE(10) 'MATH'
99) WRITE(10) 'MATH'
100) WRITE(10) 'MATH'

```

```
.....
21
22
23 .....
24
25
26
27
28 .....
.....
```

```

      AR TO 200
29  FORMAT(2X) .....
      SET, 94
      END
      SUBROUTINE 200
      AR TO 200
30  FORMAT(6X) ..... METAIN=CTACBP02
      *
      AR TO 200 WRITE 2 23
31  FORMAT(6X) ..... METAIN=AYE
      *
      AR TO 200 WRITE 2 24
32  FORMAT(6X) ..... METAIN=CTACBP02
      *
      AR TO 200 ***** AR TO 200 *****
      WRITE(2) 4K
      WRITE(2) 5
33  FORMAT(6X) .....
      * .....
      WRITE(2) 6
```

```

02  FORMAT('X',I3,'  ' /)
      WRITE(1)
      WRITE(2)
03  FORMAT('X',I3,'  ' /)
      WRITE(1)
      WRITE(2)
      SUBROUTINE 24 (M,N,CO,CM,NP)
      WRITE(1) CO, CM, NP
08  FORMAT('X',I3,'  ' /)
      WRITE(1) CO, CM, NP
09  FORMAT('X',I3,'  ' /)
      WRITE(1) CO, CM, NP
      WRITE(1)
      WRITE(1)
      END
      SUBROUTINE 24 (M,N,CO,CM,NP)
.....
C* CP = ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΤ ΣΤΗ Ρ ΚΑΙ ΕΥΧΑ ΣΤΗΣ ΤΙΜΗΣ ΤΗΣ ΡΜΝ
C*  ΡΥΠΑΝΣΗΣ Ρ,mg =Ρ·ΡΜΝ ΤΑ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ (ΑΠΟ ΤΙΣ 9)
C* CPMAX = ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΤ ΣΤΗΣ ΡΜΑΧ ΤΙΧ (82 137) ΚΑΙ
C*  ΕΥΧΑΙΣΤΗΣ ΡΜΝ ΤΙΜΗΣ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ Ρ(mg)=ΡΜΑΧ
C*  ΡΜΝ ΤΑΝΘ ΣΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ
.....
C* CO = ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΤ ΣΤΗΣ CO ΚΑΙ ΕΥΧΑ ΣΤΗΣ COΜΝ ΤΙΜΗΣ ΤΙΧ
C*  ΤΑΝΘ ΣΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ Ρ(mg)cm = CO·CMΝ
.....
C.....
      IRK=NE 11 CO=CO·C
      DR=Ρ·ΡΜΝ
      DC=CO·CM·N
      SC=DC·C2

```


.....
DIPRA - ELSADCPA THS TAPACWA
DIPRA - ELSADCPA THS TAPACWA
.....

DIPRA - ELSADCPA THS TAPACWA

.....
DIPRA - ELSADCPA THS TAPACWA
.....

DIPRA - ELSADCPA THS TAPACWA

.....
DIPRA - ELSADCPA THS TAPACWA
.....

DIPRA - ELSADCPA THS TAPACWA

DIPRA - ELSADCPA THS TAPACWA

DIPRA - ELSADCPA THS TAPACWA

S2.FOR

```

SIDEBUG
CHARACTER ACL(1)='12
COMMON FILES ACL
DATA PLS(14)='PLOT EN 40 AN STA 41000 DR 1507
      01 001 001 0
C.....
C* 01 = M-REP-EXTANGH .....
C* 02 = META-REPANGH .....
C.....
C.....
C* ANOIGO TA ARXIA PCL19.DAT-PCL150.DAT ME TA ALIOTA P
C* POU ANTIΣTOIXOYΝ ΣΤΟΝ ΥΠΟ ΒΕΒΤΑΣΗ ΜΟΝΤΗΡΑ
C.....
      ACL(1)=PUC1.DAT
      ACL(2)=PUC2.DAT
      ACL(3)=PUC3.DAT
      ACL(4)=PUC4.DAT
      ACL(5)=PUC5.DAT
      ACL(6)=PUC6.DAT
      ACL(7)=PUC7.DAT
      ACL(8)=PUC8.DAT
      ACL(9)=PUC9.DAT
C.....
C* ANOIGO TA ARXIA PCL19.DAT-PCL150.DAT ME TA ALIOTA P
*
C* POU ANTIΣTOIXOYΝ ΣΤΟΝ ΥΠΟ ΒΕΒΤΑΣΗ ΜΟΝΤΗΡΑ ΟΛΟΥ ΗΜΕ
*
C.....

```

ACU 138=RCU 138 DAT
ACU 139=RCU 139 DAT

ACU 140=RCU 140 DAT
ACU 141=RCU 141 DAT
ACU 142=RCU 142 DAT
ACU 143=RCU 143 DAT
ACU 144=RCU 144 DAT
ACU 145=RCU 145 DAT
ACU 146=RCU 146 DAT
ACU 147=RCU 147 DAT
ACU 148=RCU 148 DAT
ACU 149=RCU 149 DAT
ACU 150=RCU 150 DAT

DI ANOIGO TO ARXEO SELOVNON AMON DAT TOY TEREKE TO
DI PERMETRIKA KAPAKHPICT HA TOY YPO EPETACH MONOTHO
DAT

DI KOVNOH

OPENIS FILE=AMON DAT (STATUS=CLO RECL=13 ACCESS=0
'DIRECT' FORM=FORMATTED)

C.....

Splines: Συναρτήσεις προσέγγισης

Πρόκειται για λεγόμενες κυβικές συναρτήσεις παρεμβολής, οι οποίες είναι κατά τμήματα πολυώνυμα τρίτου βαθμού και με ομαλότητα C^2 . Οι συναρτήσεις αυτές έχουν το πλεονέκτημα να δίνουν σχετικά "μικρό" σφάλμα παρεμβολής (προσεγγίζοντας καλά και την παράγωγο της συνάρτησης f που παρεμβάλλεται). Έτσι οι splines χρησιμοποιούνται στη θεωρία προσέγγισης συναρτήσεων, στην αριθμητική επίλυση κανονικών και μερικών διαφορικών εξισώσεων επίσης και ολοκληρωτικών εξισώσεων. Σημειωτέον ότι ορίζονται και συναρτήσεις splines μεγαλύτερου βαθμού (>3), παρόλα αυτά, στις εφαρμογές χρησιμοποιούνται κατά κανόνα οι κυβικές splines επειδή συνδυάζουν καλό σφάλμα παρεμβολής με απλές υπολογιστικές διαδικασίες.

Βιβλιογραφία

1. Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used on a.c. systems INTERNATIONAL ELEKTROTECHNIKAL commission publication 507.
2. A critical comparison of artificial pollution test methods for H.V. insulators ELECTRA 64 - MAY 1979
3. Les phenomenes de pollution des isolateurs et l'isolements des outages en regions polluees p. chaverie Tome 82, No3
4. Γ.Ι.Θεοδωράκης/ Φ.Β.Τολαπής/Σ.Α. Σταθόπουλος, Γενικευμένο μοντέλο διηλεκτρικής συμπεριφοράς ρυπασμένων μονωτήρων.
5. Α. Κροβαρίτης. Αντιμετώπιση προβλημάτων λειτουργίας μονωτήρων σε ρυπασμένο περιβάλλον, Μάρτης 1980.
6. Κ. Οικονόμου Μελέτη συμπεριφοράς μονωτήρων αναρτήσεως κάτω από συνθήκες τεχνητής ρύπανσης εφαρμογής της μεθόδου δημιουργίας στερεάς επίστρωσης "SOLID-LAYER", Φεβρουάριος 1986.
7. Λεονίδης Ν. Διηλεκτρική συμπεριφορά αναμοιόμορφα ρυπασμένων μονωτήρων. Διπλωματική εργασία.
8. Α. Ταμπαθάνη, Μελέτη της διηλεκτρικής συμπεριφοράς μονωτήρων υπό συνθήκες ρύπανσης. Διπλωματική εργασία 1989.

9. F.V. TopalisiN,Leontidell.A. Stathopulos. Investigation of the dielectric behavior of hohuhiformly Polluted insulators 1992.

10. Obenhaus F. Prendsichtu berschaeg and criechweglange Dtschn. Electrotechnik 195844 PP

