



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΡΙΘΜΟΣ : 1208**

**ΘΕΜΑ:**  
**«ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ  
ΕΛΑΙΩΝ»**

**Σπουδαστές:**

**Κόλλιας Ιωάννης (Α.Μ.:5264)**  
**Τριανταφυλλίδης Γεώργιος (Α.Μ.:5241)**

**Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:**

**Πυργιώτη Ελευθερία**

**ΠΑΤΡΑ**  
**ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2012**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

**Η** μόνωση του εξοπλισμού των δικτύων Υψηλής Τάσης, λόγω των τάσεων που τις χαρακτηρίζουν (μεγαλύτερες του 1kV) αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι πολλών μελετών, ερευνών και πειραματικών διαδικασιών. Έτσι λοιπόν και στην συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία ασχοληθήκαμε με τα μονωτικά έλαια και ειδικότερα με τη διηλεκτρική αντοχή τους. Ως διηλεκτρική αντοχή ορίζουμε τη μέγιστη τιμή της τάσης που εφαρμόζεται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων βυθισμένα σε λάδι χωρίς να δημιουργηθεί ηλεκτρικό τόξο.

Επιπρόσθετα, σε θεωρητικό επίπεδο εξετάσαμε τις χρήσεις, τις ιδιότητες και τους παράγοντες που επηρεάζουν τα μονωτικά έλαια καθώς και το ρόλο τους σε διάφορες εφαρμογές όπως μετασχηματιστές. Ακόμη, σε πειραματικό επίπεδο, πραγματοποιήσαμε πλήθος μετρήσεων έχοντας ως στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων από την εφαρμογή γραμμικώς αυξανόμενης τάσης A.C. στον φυσικό εστέρα Envirotemp® FR3™ με τη βοήθεια της συσκευής BAUR Oil Tester DTA 822-129-1 που αποτελεί εξοπλισμό του εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών.

Τέλος, τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας έχουν ταξινομηθεί σε πίνακες και με τη βοήθεια διαγραμμάτων και συγκριτικών πινάκων που έχουμε δημιουργήσει, καταλήγουμε σε ασφαλή συμπεράσματα για τη λειτουργία των μονωτικών ελαίων επαληθεύοντας έτσι το θεωρητικό υπόβαθρο της πτυχιακής εργασίας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα τμήμα των δικτύων εναλλασσόμενου ρεύματος (A.C) αποτελούν τα δίκτυα υψηλής τάσης. Τα εν λόγω δίκτυα χαρακτηρίζονται από τάσεις λειτουργίας μεγαλύτερες του 1kV και όπως γίνεται αντιληπτό και ο αντίστοιχος εξοπλισμός που προορίζεται γι' αυτά πρέπει να πληρεί τις αντίστοιχες προδιαγραφές.

Η μόνωση του προαναφερθέντος εξοπλισμού αποτελεί αντικείμενο μελέτης της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας. Ειδικότερα, η μόνωση των τυλιγμάτων μετασχηματιστών υψηλής τάσης γίνεται με συνδυασμό δύο μονωτικών μέσων : α) Με μονωτικά έλαια τα οποία αποτελούν το κύριο μονωτικό μέσο και β) Με συνθετικά λεπτά φύλλα στερεής φύσεως τα οποία καλύπτουν τα τυλίγματα ως δευτερεύον μονωτικό μέσο.

Στόχο για εμάς, αποτέλεσε η εργαστηριακή δοκιμή και η διερεύνηση της συμπεριφοράς του μονωτικού μέσου κάτω από συνθήκες καταπόνησης υπό γραμμικά αυξανόμενη εναλλασσόμενη τάση. Στο θεωρητικό κομμάτι, παραθέτουμε πληροφορίες σύμφωνα με την εγχώρια αλλά και παγκόσμια βιβλιογραφία σχετικά με τη χρήση, τις ιδιότητες, τις εφαρμογές των μονωτικών ελαίων αλλά και τους παράγοντες που τα επηρεάζουν. Στην πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήσαμε έλαιο φυτικής προέλευσης με απώτερο σκοπό να μελετήσουμε την επίδρασή του στην τάση διάσπασης σε συνδυασμό με την απόσταση διακένου και το μέσο διάσπασης.

Για τη διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας χρησιμοποιήσαμε την συσκευή BAUR Oil Tester DTA 822-129-1 η οποία αποτελεί μέρος του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού του εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων του Πανεπιστημίου Πατρών. Όπως προαναφέρθηκε οι πειραματικές δοκιμές διεξήχθησαν μόνο με έλαιο φυτικής προέλευσης το οποίο αντικαθίστατο από καινούργιο σε κάθε νέα δοκιμή. Η παραπάνω συσκευή παράγει γραμμικά αυξανόμενη τάση (A.C) με ρυθμό 2kV rms/sec καταγράφοντας την τάση διάσπασης, τη μέση τιμή της καθώς και τυπικές αποκλίσεις παραθέτοντας τα σε πίνακες. Συμπερασματικά, σε όλες τις πειραματικές διαδικασίες τηρήθηκαν τα απαραίτητα μέτρα προστασίας.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>4</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ .....</b>	<b>5</b>
1.1 ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ .....	8
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ (ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ).....</b>	<b>18</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΩΤΕΣ .....</b>	<b>21</b>
3.1 ΓΕΝΙΚΑ .....	21
3.2 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ .....	22
3.2.1 Η ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ.....	22
3.2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ .....	23
3.2.3 Η ΣΧΕΤΙΚΗ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΣΤΑΘΕΡΑ .....	23
3.2.4 Ο ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ .....	24
3.2.5 Η ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ .....	25
3.2.6 Ο ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ .....	26
3.2.7 Η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ .....	26
3.2.8 Η ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ .....	27
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΥΓΡΑ ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ – ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΕΛΑΙΑ.....</b>	<b>28</b>
4.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ .....	28
4.2 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....	29
4.3 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	29
4.4 ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΕΛΑΙΩΝ .....	31
4.5 ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ .....	35
4.6 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΥΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΩΝ ΕΛΑΙΩΝ .....	36

4.6.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	38
4.6.2 ΧΗΜΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ .....	40
4.6.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ .....	42
4.7 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ–ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΜΟΝΩΤΙΚΟΥ ΛΑΔΙΟΥ.....	44

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΙΔΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΕΛΑΙΩΝ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ**

### **ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΙ ΣΕ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ .....**

<b>46</b>	
5.1 ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΟ .....	46
5.2 ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΥΓΡΑ.....	47
5.3 ΕΛΑΙΑ ΣΙΛΙΚΟΝΗΣ .....	48
5.4 ΣΥΝΘΕΤΙΚΟΙ ΕΣΤΕΡΕΣ.....	48
5.5 ΦΥΣΙΚΟΙ ΕΣΤΕΡΕΣ.....	48
5.5.1 ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΗ ΧΡΗΣΗ ΦΥΤΙΚΩΝ ΕΛΑΙΩΝ .....	50
5.6 ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΤΡΙΒΗ (ΙΞΩΔΕΣ) ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΑΔΙΩΝ .....	51
5.6.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΑΔΙΩΝ ....	51
5.6.2 ΙΞΩΔΕΣ .....	52
5.7 ΟΔΗΓΙΑ 96/59/ΕΚ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ ΤΗΣ 16 <sup>ΗΣ</sup> ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 1996 ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΘΕΣΗ ΤΩΝ ΠΟΛΥΧΛΩΡΟΔΙΦΑΙΝΥΛΙΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΟΛΥΧΛΩΡΟΤΡΙΦΑΙΝΥΛΙΩΝ (PCB/PCT) .....	53

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....**

<b>61</b>	
6.1 ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΝΤΑ ΟΡΓΑΝΑ.....	61
6.2 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ BAUR OIL TESTER DTA.....	64
6.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΤΑΔΙΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ .....	65

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....**

<b>69</b>	
7.1 ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	69
7.2 ΣΧΟΛΙΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	84

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....**

<b>90</b>
-----------

Την παρούσα εργασία την αφιερώνω στην οικογένειά μου και στον συνάδελφό μου Τριανταφυλλίδη Γιώργο για την πολύτιμη βοήθειά του ώστε να περατωθεί με επιτυχία η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία.

**Κόλλιας Ιωάννης**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για τη στήριξή τους κατά τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων καθώς και τον φίλο μου και συνάδελφο Κόλλια Γιάνη για την αρωγή του στην εκπόνηση της εν λόγω πτυχιακής εργασίας.

**Τριανταφυλλίδης Γεώργιος**

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εκπόνηση της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας έχει ως στόχο την ανάδειξη των λειτουργιών, των ιδιοτήτων και των εφαρμογών των μονωτικών ελαίων σε μια εποχή όπου η τεχνολογία και η βιομηχανία εξελίσσονται με όλο και αυξανόμενο ρυθμό.

Πέρα από τη θεωρητικό υπόβαθρο της μελέτης μας εξετάσαμε και πειραματικά τη λειτουργία των μονωτικών ελαίων.

Η πειραματική διαδικασία διεξήχθη στο εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών και η χρονική της διάρκεια ήταν από τα μέσα Μαΐου 2011 έως τις αρχές Ιουλίου 2011. Αντικειμενικός σκοπός των πειραμάτων ήταν να ασχοληθούμε και να κατανοήσουμε το ρόλο της διηλεκτρικής αντοχής του μονωτικού ελαίου το οποίο στην προκειμένη περίπτωση ήταν ο φυσικός εστέρας Envirotemp® FR3™. Με τον όρο διηλεκτρική αντοχή, εννοούμε τη μέγιστη δυνατή τιμή τάσης που μπορεί να εφαρμοστεί μέσω δύο ηλεκτροδίων βυθισμένα σε λάδι χωρίς να δημιουργηθεί ηλεκτρικό τόξο. Συνεπώς, η μελέτη μας είχε ως κεντρικό άξονα τη «συμπεριφορά» της διηλεκτρικής αντοχής του ελαίου σε σχέση με εξωτερικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η ατμοσφαιρική πίεση, ο αέρας (φυσαλίδες) και το μήκος διακένου.

Στο πρώτο κεφάλαιο κάνουμε λόγο για τους μετασχηματιστές, τα είδη τους, τα εξαρτήματά τους και τη λειτουργία τους καθώς είναι μία από τις κύριες εφαρμογές των μονωτικών ελαίων, αφού η χρησιμότητά τους σ'αυτούς είναι μεγάλη κυρίως ως ψυκτικά μέσα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφερόμαστε στις ηλεκτρικές καταπονήσεις ή υπερτάσεις οι οποίες χωρίζονται σε ατμοσφαιρικές (κεραυνοί), εσωτερικές και μεταβατικές.

Στο τρίτο κεφάλαιο δίνουμε έμφαση στους μονωτές και αναφέρουμε λεπτομερώς σε κάθε ενότητα τους παράγοντες που τους διέπουν.

Στο τέταρτο κεφάλαιο εξειδικεύουμε τους μονωτές σε υγρά μονωτικά υλικά όπου κάνουμε λόγο για τα χαρακτηριστικά τους, τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα αλλά και τις ιδιότητες αυτών.

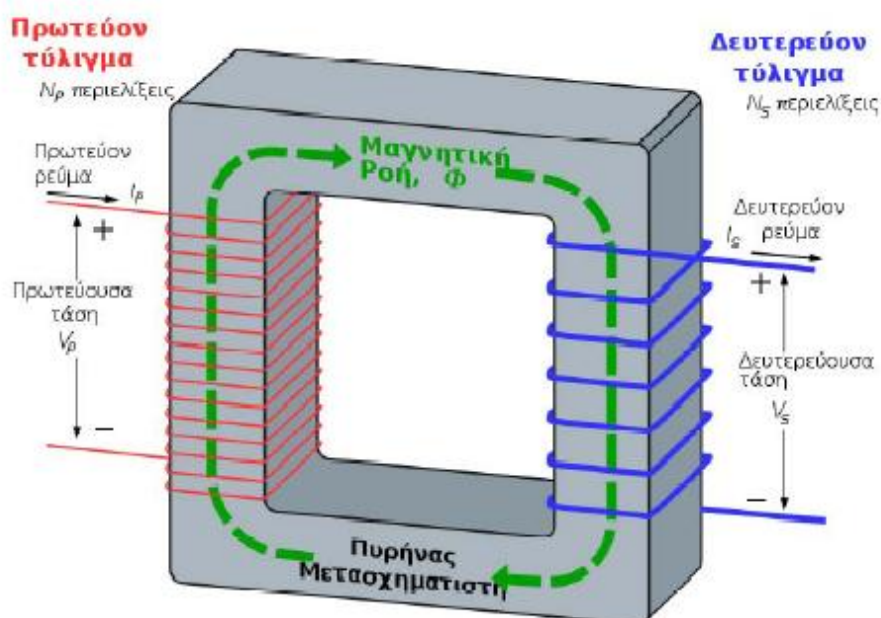
Στο πέμπτο κεφάλαιο εκθέτουμε τα είδη των μονωτικών ελαίων που έχουν χρησιμοποιηθεί σε μετασχηματιστές όπως ορυκτέλαια, έλαια σιλικόνης κ.α.

Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφουμε τα στάδια του πειράματος στα πλαίσια της ερευνητικής διαδικασίας και παρουσιάζουμε το χρησιμοποιηθέν όργανο αλλά και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του.

Εν κατακλείδι, στο έβδομο κεφάλαιο παραθέτουμε τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας καταχωρημένα σε πίνακες και με τη βοήθεια των διαγραμμάτων εξάγουμε τα συμπεράσματά μας και τα απαραίτητα σχόλια για την κατανόηση της λειτουργίας των μονωτικών ελαίων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

Οι μετασχηματιστές αποτελούν ηλεκτρικές συσκευές μετατροπής εναλλασσόμενης ηλεκτρικής ενέργειας με συγκεκριμένο πλάτος τάσης σε εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια με διαφορετικό πλάτος τάσης, και χαρακτηρίζονται από τις ίδιες αρχές λειτουργίας των ηλεκτρικών μηχανών, λειτουργώντας κατά το μετασχηματισμό μέσω της επίδρασης ενός μαγνητικού πεδίου. Αποτελούνται από δύο ή περισσότερα πηνία περιελιγμένα γύρω από έναν κοινό σιδηρομαγνητικό πυρήνα, και συνήθως δεν είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Το ένα από τα δύο πηνία (πρωτεύον τύλιγμα ή τύλιγμα εισόδου) συνδέεται με μία πηγή εναλλασσόμενης τάσης, ενώ το δεύτερο - ή τρίτο αν υπάρχει - συνδέεται με το φορτίο (δευτερεύον ή τριτεύον τύλιγμα ή τύλιγμα εξόδου). Οι μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή του επιπέδου της εναλλασσόμενης τάσης που εφαρμόζεται στην είσοδό του σε τάση διαφορετικού επιπέδου τάσης στην έξοδο, χωρίς σημαντικές απώλειες, ώστε να διατηρείται ηλεκτρικής ισχύς ίδιας συχνότητας.



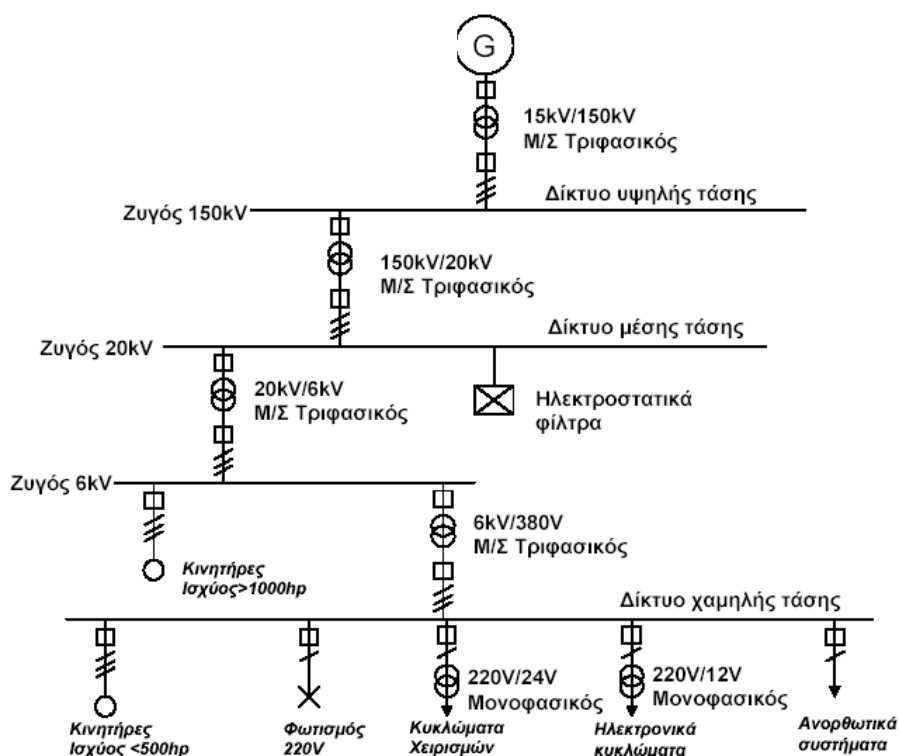
$$\text{Αρχή λειτουργίας} \Rightarrow \text{Νόμος Faraday: } e_{ind} = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

**Εικόνα 1-1.** Αρχή λειτουργίας ιδανικού μετασχηματιστή. [28]

Κύρια εφαρμογή των μετασχηματισμών ισχύος απαντάται στα συστήματα παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Στα σύγχρονα συστήματα ισχύος, η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από σταθμούς ηλεκτρικών γεννητριών υψηλής τάσης επιπέδου 12 έως 25 kV. Σε πρώτο στάδιο οι μετασχηματιστές μονάδος (unit transformers) ανυψώνουν τα επίπεδα στα 110-1000 kV, ώστε οι απώλειες μεταφοράς στο δίκτυο διανομής να είναι πολύ μικρές. Ο πρώτος υποβιβασμός τάσης γίνεται στους υποσταθμούς διανομής σε επίπεδα τάσης από 12 έως 34,5 kV (μετασχηματιστές υποσταθμού, substation transformers). Τελικά, με συνεχείς υποβιβασμούς (μέχρι π.χ. τα 120 V), η ηλεκτρική ενέργεια καταλήγει σε επίπεδα της

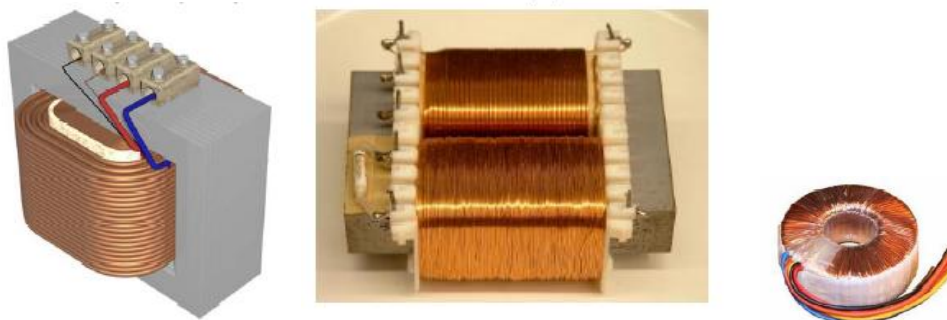


χρησιμοποιήσιμης με ασφάλεια (οικιακή, επαγγελματική, βιομηχανική χρήση) τάσης (μετασχηματιστές διανομής, distribution transformers).

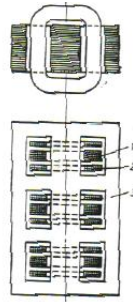


Εικόνα 1-2. Μετασχηματισμοί τάσεως κατά τη μεταφορά της ισχύος. [28]

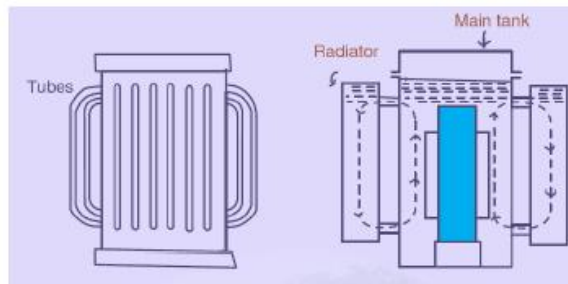
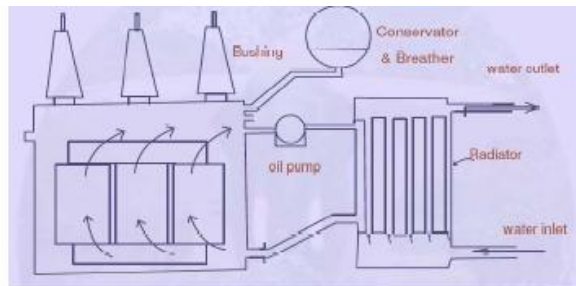
Διακρίνονται επιπλέον οι μετασχηματιστές μετρήσεων: μετασχηματιστές τάσης (potential transformers) & μετασχηματιστές ρεύματος (current transformers)] και οι αυτομετασχηματιστές (autotransformers). Λειτουργία του μετασχηματιστή τάσης αποτελεί η μετατροπή υψηλής τάσης εισόδου σε κάποια χαμηλή τιμή ανάλογη της πρώτης. Λειτουργεί με ρεύματα χαμηλής τάσης και βρίσκει εφαρμογή σε διαδικασίες δειγματοληψίας τάσης δικτύου. Οι μετασχηματιστές ρεύματος μετατρέπουν το υψηλό ρεύμα εισόδου σε χαμηλό ρεύμα δευτερευόντως ανάλογο του ρεύματος εισόδου. Τέλος, στους αυτομετασχηματιστές η τάση εξόδου ισούται με το άθροισμα τάσεων στο πρώτο (κοινό τύλιγμα) και δεύτερο (τύλιγμα σειράς) τύλιγμα.



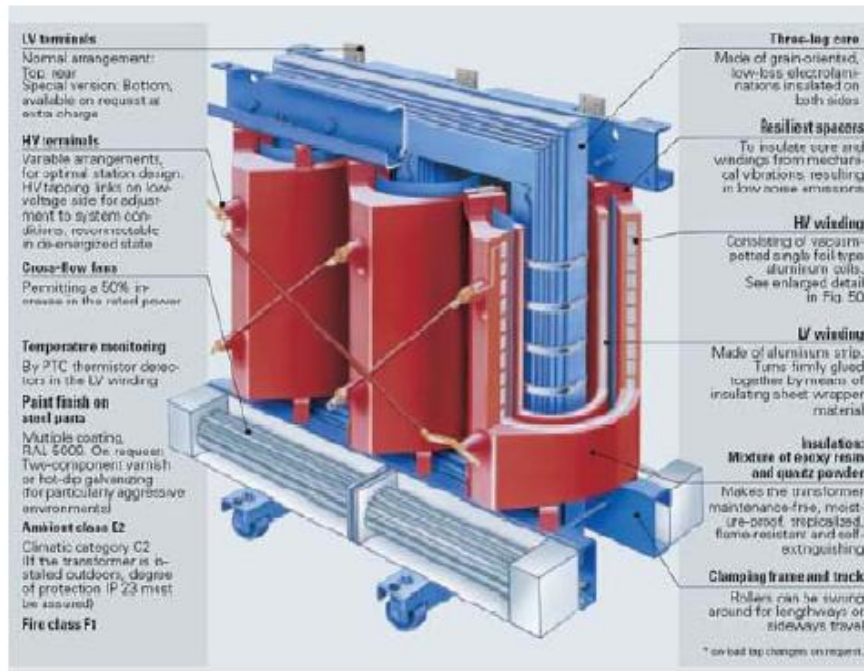
Εικόνα 1-3. Μονοφασικοί μετασχηματιστές : α.) τύπου μανδύα με συγκεντρικά τυλίγματα, β.) τύπου πυρήνα, γ.) τύπου πυρήνα τοροειδούς μορφής. [28]



**Εικόνα 1-4.** Τριφασικοί μετασχηματιστές : α.) τύπου πυρήνα με συγκεντρικά τυλίγματα, β.) τύπου μανδύα με δισκοειδή τυλίγματα. [28]

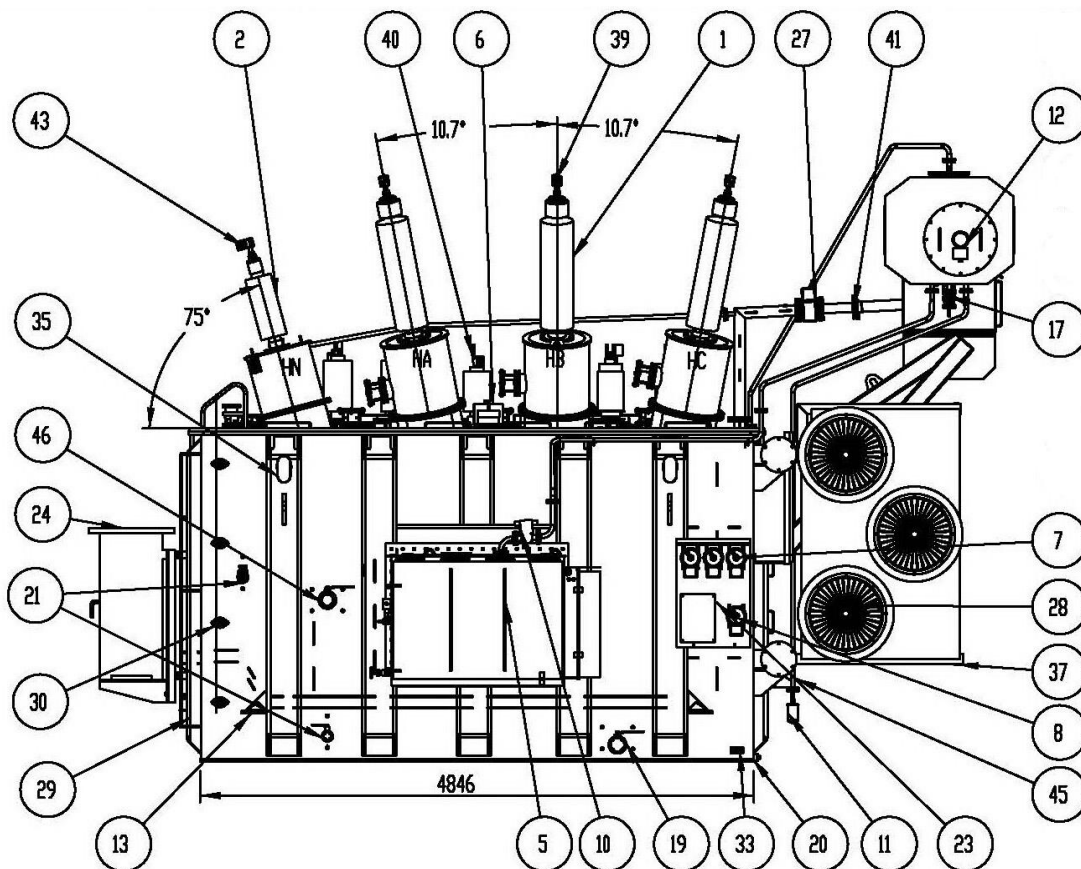


**Εικόνα 1-5.** Τριφασικοί μετασχηματιστές με ψύξη λαδιού. [28]



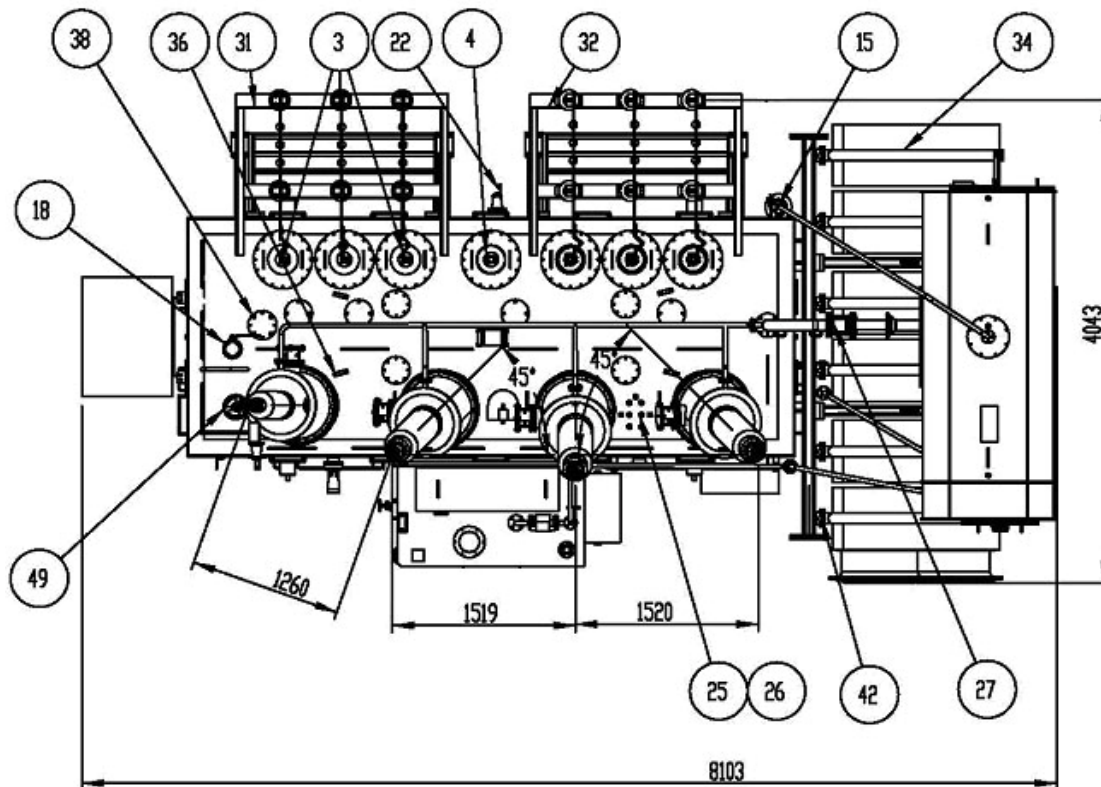
Εικόνα 1-6. Τριφασικός μετασχηματιστής ξηρού τύπου. [28]

## 1.1 ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ



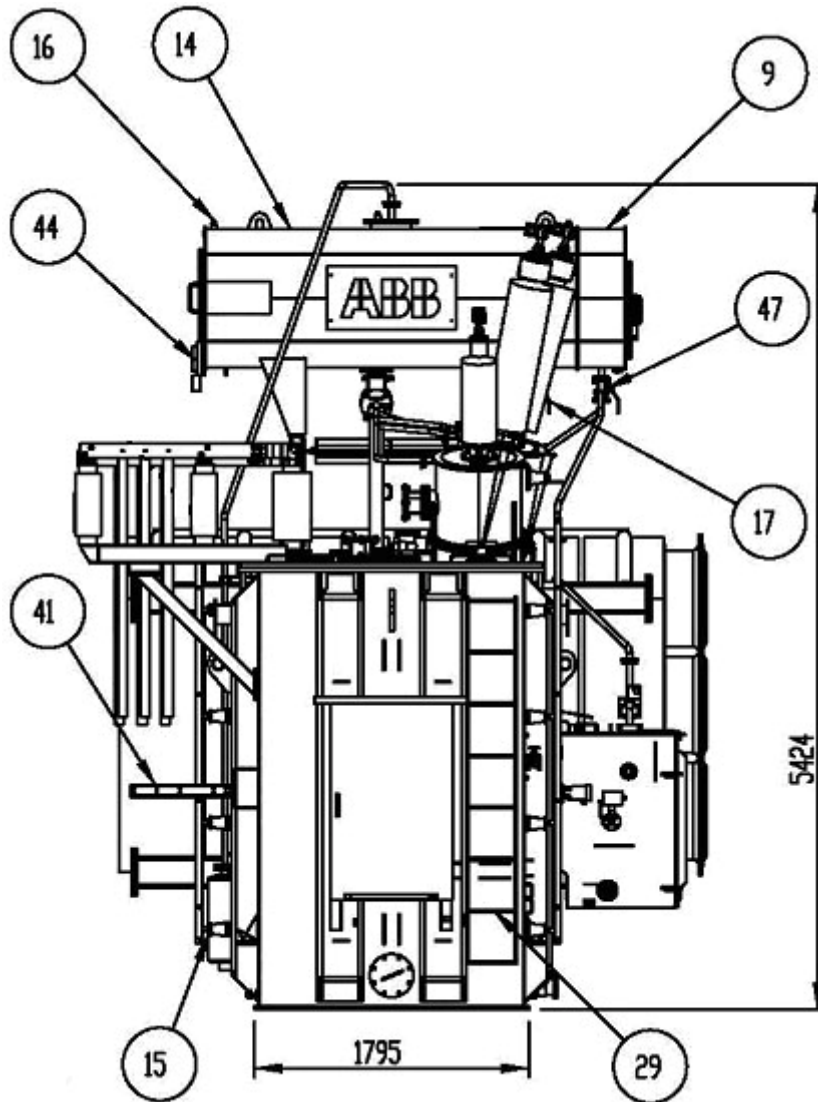
Εικόνα 1-7. Πλάγια όψη μετασχηματιστή 20/25MVA. [31]

1. Μονωτήρας διέλευσης υψηλής τάσης
2. Μονωτήρας ουδέτερου κόμβου
5. Μεταγωγέας λήψεων υπό φορτίο
6. Συσκευή ανακούφισης πίεσης
7. Θερμόμετρα τυλιγμάτων
8. Θερμόμετρο λαδιού
10. Ηλεκτρονόμος ροής λαδιού από μεταγωγέα
11. Αφυγραντής μεταγωγέα λήψεων
12. Ενδεικτικό στάθμης λαδιού μεταγωγέα
13. Λαβές έλξης
17. Βάνα αποστράγγισης δοχείου διαστολής κύριας δεξαμενής
19. Βάνα πλήρωσης/αποστράγγισης λαδιού
20. Πώμα αποστράγγισης
21. Βάνα δειγματοληψίας
23. Πινακίδα
24. Πίνακας ελέγχου
27. Ηλεκτρονόμος ανίχνευσης αερίων (Buchholz)
28. Ανεμιστήρες ψύξης
29. Σκάλα
30. Γείωση τυλιγμάτων υψηλής τάσης
33. Ακροδέκτης γείωσης κύριας δεξαμενής
35. Λαβές ανύψωσης μετασχηματιστή
37. Βάνα αποστράγγισης ψυγείου
39. Ακροδέκτες μονωτήρα διέλευσης υψηλής τάσης
40. Ακροδέκτες μονωτήρα διέλευσης μέσης και χαμηλής τάσης
41. Βάνα απομόνωσης
43. Ακροδέκτης μονωτήρα ουδέτερου κόμβου
45. Βαλβίδα εξαέρωσης δεξαμενής
46. Ηλεκτρονόμος άμεσης εκτόνωσης



Εικόνα 1-8. Κάτοψη μετασχηματιστή 20/25MVA. [31]

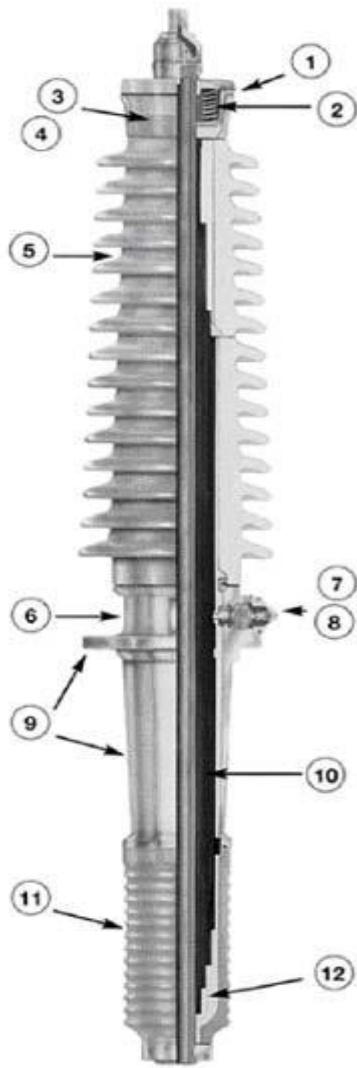
- 3. Μονωτήρας διέλευσης μέσης τάσης
- 4. Μονωτήρας διέλευσης χαμηλής τάσης
- 15. Αφυγραντής δοχείου διαστολής
- 18. Βάνα κένωσης
- 22. Ακροδέκτης γείωσης ουδετέρου κόμβου
- 25. Αισθητήρας θερμοκρασίας ελαίου (προαιρετικά)
- 26. Αισθητήρας θερμοκρασίας τυλιγμάτων (προαιρετικά)
- 27. Ηλεκτρονόμος ανίχνευσης αερίων (Buchholz)
- 31. Ζυγοί μέσης τάσης (προαιρετικά)
- 32. Ζυγοί χαμηλής τάσης (προαιρετικά)
- 34. Ψυγείο
- 36. Λαβές ανύψωσης πάνω καλύμματος
- 38. Κιβώτιο σύνδεσης γείωσης πυρήνα
- 42. Βάνες ψυγείου
- 49. Μεταγωγέας λήψεων εν κενώ (προαιρετικά)



**Εικόνα 1-9.** Μπροστινή όψη μετασχηματιστή 20/25MVA. [31]

- 9. Δοχείο διαστολής μεταγωγέα λήψεων
- 14. Δοχείο διαστολής κύριας δεξαμενής
- 15. Αφυγρατής δοχείου διαστολής κύριας δεξαμενής
- 16. Εξαερωτήρας δοχείου διαστολής
- 17. Βάνα αποστράγγισης δοχείου διαστολής κύριας δεξαμενής
- 29. Σκάλα
- 41. Σχάρα όδευσης καλωδίων
- 44. Ενδεικτικό στάθμης για δοχείο διαστολής
- 47. Βάνα αποστράγγισης δοχείου διαστολής μεταγωγέα

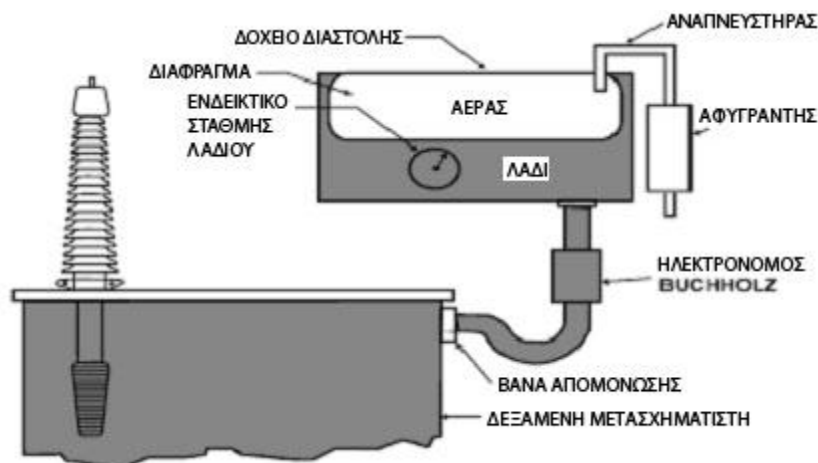
Ενδεικτικά θα κάνουμε μια πιο λεπτομερή αναφορά σε κάποια από τα βασικά εξαρτήματα του μετασχηματιστή.



**Εικόνα 1-10.** Μονωτήρες διέλευσης. [5]

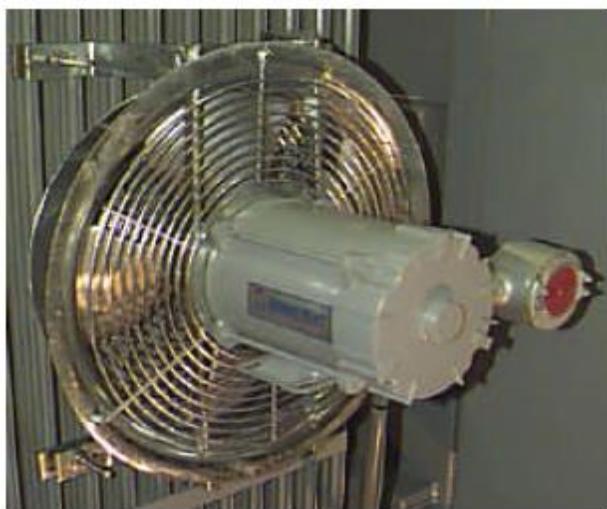
Οι μονωτήρες διέλευσης ή αλλιώς διαπεραστήρες ενός μετασχηματιστή χρησιμοποιούνται για την ασφαλή έξοδο των αγωγών των τυλιγμάτων από το κυρίως δοχείο.

1. Φλάντζα
2. Ελατήρια στεγανοποίησης
3. Ενδεικτικό στάθμης λαδιού
5. Εξωτερικό περίβλημα από πορσελάνη
6. Πινακίδα με τεχνικά στοιχεία
7. Λήψη για μέτρηση συντελεστή ισχύος και χωρητικότητας
8. Λήψη για μέτρηση τάσης ή χωρητικότητας
9. Κεντρική φλάντζα τοποθέτησης
10. Χωρητική επίστρωση χαρτιού-αλουμινίου
11. Κάτω τμήμα πορσελάνης
12. Λάδι



Εικόνα 1-11. Δοχείο διαστολής. [5]

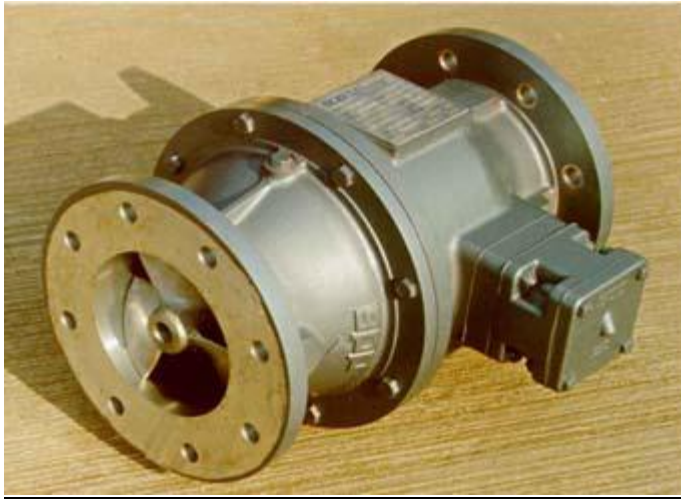
Το δοχείο διαστολής είναι ένα δοχείο που τοποθετείται πάνω στον μετασχηματιστή και χρησιμοποιείται για την απόσβεση της διαστολής του λαδιού καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται. Το δοχείο διαστολής διαθέτει στο εσωτερικό του, διάφραγμα το οποίο αποτρέπει την άμεση επαφή αέρα και λαδιού. Έτσι, το μονωτικό λάδι διατηρείται καθαρό χωρίς τον κίνδυνο εισχώρησης υγρασίας και αέρα. Η απομάκρυνση της υγρασίας γίνεται μέσω του αφυγραντή ο οποίος επιτρέπει την «αναπνοή» του μετασχηματιστή, εμποδίζοντας την εισχώρηση υγρασίας από το εξωτερικό περιβάλλον.



Εικόνα 1-12. Ανεμιστήρας προσαρτημένος σε ψυγείο. [5]

Οι ανεμιστήρες τοποθετούνται πάνω στα ψυγεία ώστε να αυξήσουν το ποσό θερμότητας που αποβάλλεται. Η ενεργοποίηση των ανεμιστήρων μπορεί να γίνεται κατά στάδια, με ενεργοποίηση μίας ή δύο βαθμίδων ανάλογα με τις ανάγκες ψύξης. προσαρτημένος σε ψυγείο





**Εικόνα 1-13.** Αντλία λαδιού. Διακρίνεται η περωτή, η πινακίδα και το ακροκιβώτιο [5]

Οι αντλίες λαδιού χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία εξαναγκασμένης ροής λαδιού από το εσωτερικό της δεξαμενής προς τα ψυγεία (ή τους εναλλάκτες). Ενεργοποιούνται από το θερμόμετρο τυλιγμάτων μέσω των κατάλληλων επαφών. Οι αντλίες εφοδιάζονται με ροόμετρο ώστε να ελέγχεται το ότι λειτουργούν καθώς και η φορά ροής του λαδιού. Η ορθή φορά περιστροφής της περωτής αναγράφεται με ένα βέλος πάνω στην αντλία.



**Εικόνα 1-14.** Θερμόμετρο τυλιγμάτων. [5]

Το θερμόμετρο αυτό δίνει την θερμοκρασία στο θερμότερο σημείο των τυλιγμάτων. Αποτελείται από το ενδεικτικό και το στέλεχος. Το στέλεχος τοποθετείται σε μια στεγανή υποδοχή. Η υποδοχή θερμαίνεται από το λάδι του μετασχηματιστή που την περιβάλλει και από μια θερμαντική αντίσταση, η οποία τροφοδοτείται από ένα μετασχηματιστή έντασης που

βρίσκεται στο εσωτερικό της δεξαμενής και χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της μεταβολής της θερμοκρασίας θερμού σημείου. Ο συνδυασμός των δύο θερμοκρασιών (από λάδι και από αντίσταση) δίνεται στην ένδειξη του οργάνου. Ένας πρόσθετος δείκτης δίνει τη μέγιστη θερμοκρασία που έχει εμφανιστεί από την τελευταία φορά που έχει γίνει μηδενισμός από το χρήστη. Ο τελευταίος πραγματοποιείται χειροκίνητα από το κουμπί μηδενισμού. Τα θερμόμετρα τυλιγμάτων φέρουν βοηθητικές επαφές, οι οποίες χρησιμεύουν για την σήμανση κινδύνων και την ενεργοποίηση ανεμιστήρων.



**Εικόνα 1-15.** Θερμόμετρο λαδιού. [5]

Το θερμόμετρο λαδιού δίνει την θερμοκρασία του άνω στρώματος λαδιού σε κλίμακα βαθμών Κελσίου. Αποτελείται από το ενδεικτικό και το στέλεχος, το αισθητήριο βολβού, και τον διακόπτη. Το θερμοευαίσθητο στοιχείο (βολβός) τοποθετείται σε μια στεγανή υποδοχή έτσι ώστε το ενδεικτικό όργανο να μπορεί να αφαιρεθεί, χωρίς να μειώνεται η στάθμη του λαδιού. Ένας πρόσθετος δείκτης δίνει τη μέγιστη θερμοκρασία που έχει εμφανιστεί από την τελευταία φορά που έχει γίνει μηδενισμός από το χρήστη. Ο τελευταίος πραγματοποιείται χειροκίνητα από το κουμπί μηδενισμού. Το θερμόμετρο διαθέτει επαφές για την σήμανση χαμηλής θερμοκρασίας λαδιού ή και έλεγχο μίας ή περισσοτέρων βαθμίδων ανεμιστήρων.



**Εικόνα 1-16.** Όργανο ένδειξης στάθμης λαδιού. [5]

Το ενδεικτικό αυτό όργανο δείχνει την στάθμη του λαδιού ακόμα και όταν ο μετασχηματιστής λειτουργεί υπό φορτίο. Αποτελείται από έναν πλωτήρα που βρίσκεται στο εσωτερικό της δεξαμενής και είναι μαγνητικά συζευγμένος με το δείκτη, ο οποίος είναι τοποθετημένος στο εξωτερικό της δεξαμενής.



**Εικόνα 1-17.** Ηλεκτρονόμος Buchholz. [5]

Ο ηλεκτρονόμος ανίχνευσης αερίων τοποθετείται σε μετασχηματιστές που διαθέτουν δοχείο διαστολής. Παρεμβάλλεται ανάμεσα στη κυρίως δεξαμενή και το δοχείο διαστολής, και αποτελείται από το θάλαμο συσσώρευσης αερίων (άνω και κάτω), τους αντίστοιχους πλωτήρες και το κύκλωμα σημάτων και απενεργοποίησης του μετασχηματιστή . Υπό φυσιολογικές συνθήκες ο θάλαμος συσσώρευσης αερίων είναι γεμάτος με μονωτικό λάδι. Όταν συμβεί σφάλμα, παράγονται αέρια λόγω της χειροτέρευσης της μόνωσης ή της διάσπασης του λαδιού σε θερμά σημεία. Στην περίπτωση έκλυσης σημαντικής ποσότητας αερίων ο ηλεκτρονόμος ενεργοποιείται και σημαίνεται συναγερμός.

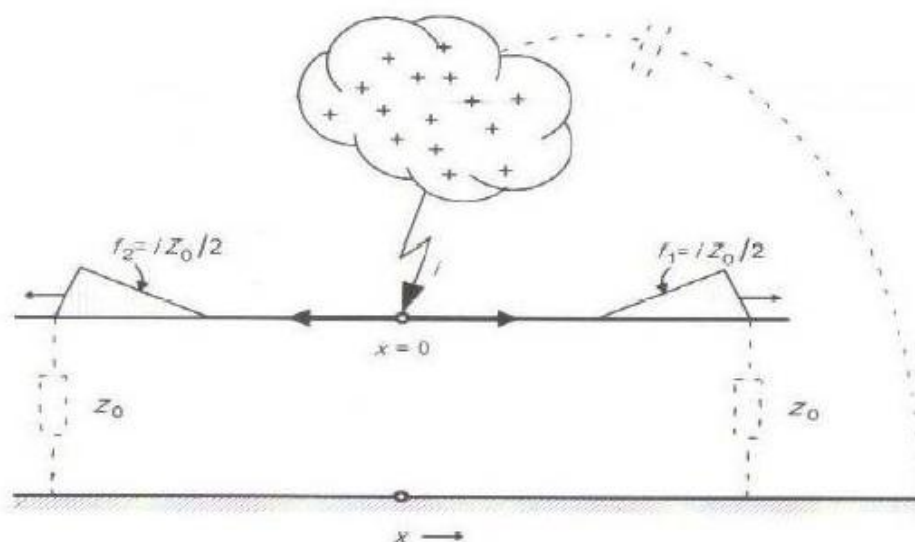
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ (ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ)



**Εικόνα 2-1.** Ατμοσφαιρική υπέρταση (κεραυνός) στον ουρανό του πατραϊκού κόλπου. [34]

Τα συστήματα ηλεκτρικής ισχύος χαρακτηρίζονται από καθορισμένες προδιαγραφές αντοχής στην ασκούμενη σε αυτά διηλεκτρική καταπόνηση. Αυτή αποδίδεται εν μέρει σε τάσεις που αναπτύσσονται κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας και ονομάζονται τάσεις ομαλής λειτουργίας. Πέραν όμως από την καθορισμένη καταπόνηση την οποία έχει σχεδιαστεί να υφίσταται κάθε σύστημα ηλεκτρικής ισχύος, μπορεί να υποστεί αυξημένη καταπόνηση λόγω των ασκούμενων επ' αυτού υπερτάσεων. Οι διηλεκτρικές καταπονήσεις στην περίπτωση αυτή, προέρχονται από τις τάσεις που αναπτύσσονται ανάμεσα στα διάφορα τμήματα του συστήματος σε εξαιρετικές μόνο περιπτώσεις ή ανωμαλίες, και χαρακτηρίζονται από υψηλότερο πλάτος από τις τάσεις ομαλής λειτουργίας (υπερτάσεις). Οι υπερτάσεις διακρίνονται ανάλογα με τις αιτίες που τις προκαλούν, σε ατμοσφαιρικές και σε εσωτερικές.

Οι ατμοσφαιρικές υπερτάσεις προέρχονται από τις ατμοσφαιρικές εκκενώσεις (εκκενώσεις νέφους-γης, κεραυνοί). Είναι ανεξάρτητες από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού συστήματος ισχύος. Ως εκ τούτου, είναι οι πιο κρίσιμες για συστήματα ισχύος έως 300 kV, στα οποία για το λόγο αυτό οι μονώσεις τους σχεδιάζονται βάσει των ατμοσφαιρικών υπερτάσεων. Η πτώση ενός κεραυνού είτε απ' ευθείας πάνω στο δίκτυο είτε κοντά σε αυτό, προκαλεί βίαιες μετακινήσεις φορτίων μέσα στο δίκτυο με τη μορφή ρεύματος  $I$ , πολλών kA. Το ρεύμα αυτό κυκλοφορώντας μέσα σ' ένα στοιχείο του δικτύου που παρουσιάζει κυματική αντίσταση  $Z$ , προκαλεί την υπέρταση  $IZ$ . Η βασική παράμετρος που αναπτύσσεται είναι το ρεύμα εντός του δικτύου και η υπέρταση είναι δευτερογενές φαινόμενο, που εξαρτάται τόσο από την ένταση του επιδρώντος ρεύματος, όσο και από τα χαρακτηριστικά του δικτύου.

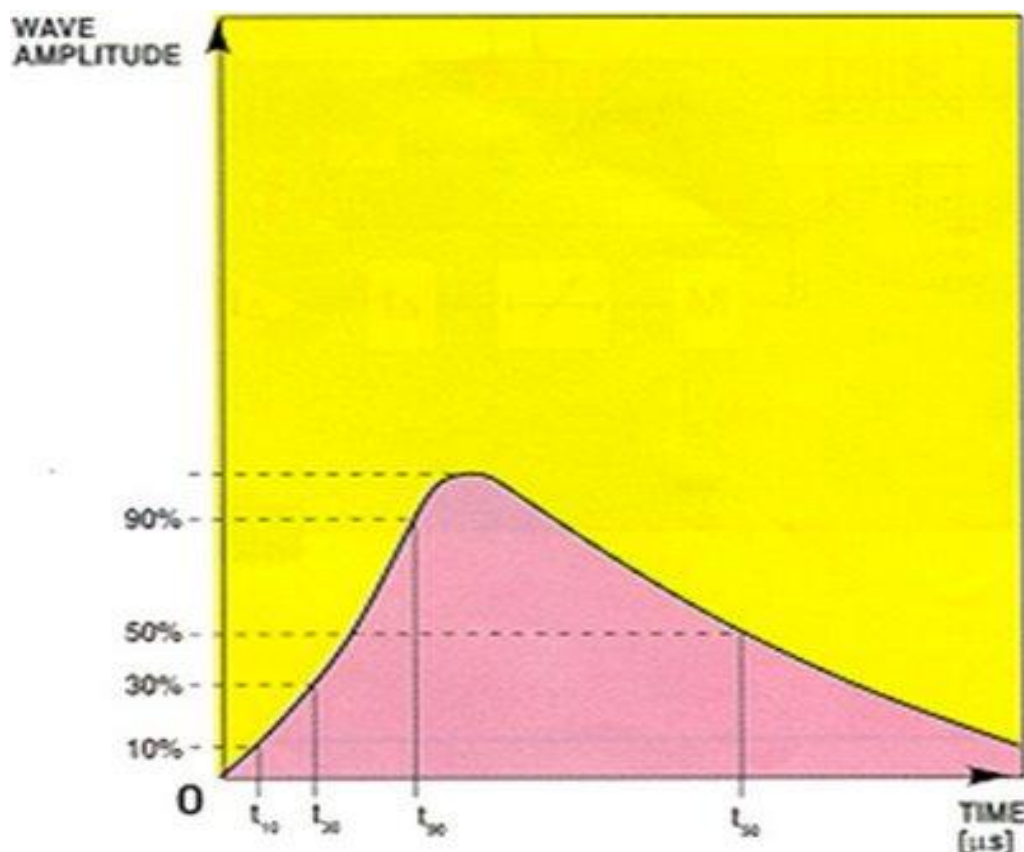


**Εικόνα 2-2.** Το ηλεκτρικό κύκλωμα και τα οδεύοντα κύματα που δημιουργούνται ( $f_1$  και  $f_2$ ) κατά την πτώση κεραυνού σε εναέρια γραμμή. Το κύκλωμα είναι: νέφος – χωρητικότητα του προς τη γη – γείωση – κυματική αντίσταση γραμμής – ηλεκτρικό τόξο. [22]

Οι εσωτερικές υπερτάσεις αποδίδονται σε μη ομαλή λειτουργία του ίδιου του ηλεκτρικού συστήματος και διαχωρίζονται βάσει του μηχανισμού πρόκλησης, σε δυναμικές και μεταβατικές υπερτάσεις χειρισμών. Είναι πιο σημαντικές για συστήματα με ονομαστική τάση άνω των 300 kV, καθώς υπάρχει ένα όριο όπου γίνονται πιο κρίσιμες για το σύστημα από τις ατμοσφαιρικές, και έτσι η σχεδίαση των μονώσεων τους γίνεται βάσει των υπερτάσεων χειρισμών. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι ο αέρας σαν μονωτικό υλικό έχει μικρότερη αντοχή σε υπερτάσεις χειρισμών από ότι σε ατμοσφαιρικές. Οι δυναμικές υπερτάσεις καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό τον τύπο της μόνωσης που θα επιλεγεί, αλλά δεν είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες για την ίδια τη μόνωση λόγω του μικρού σχετικά εύρους τους (αν και διαρκούν από sec έως μερικά λεπτά). Ειδικότερα, αν και δεν αποτελούν σοβαρή καταπόνηση για τις μονώσεις, καθορίζουν τα χαρακτηριστικά των αλεξικεραυνών, και έτσι επιδρούν έμμεσα στη μόνωση των πιο δαπανηρών συσκευών του συστήματος, όπως οι μετασχηματιστές, διακόπτες, κτλ., και συνεπώς στο κόστος τους. Αποδίδονται εν γένει σε μη ομαλή λειτουργία του ίδιου του ηλεκτρικού συστήματος (απόρριψη φορτίου, αυτοδιέγερση γεννητριών, κορεσμός μαγνητικών κυκλωμάτων, φαινόμενο Ferranti, κτλ.). Σοβαρές

δυναμικές υπερτάσεις με τη συχνότητα του δικτύου μπορούν να αναπτυχθούν από το συνδυασμό απόρριψης φορτίου και τη φόρτιση της γεννήτριας με ένα χωρητικό φορτίο (π.χ. μία αφόρτιστη γραμμή) και ταυτόχρονο μονοφασικό κύκλωμα προς γη.

Οι μεταβατικές υπερτάσεις, αν και μικρότερης διάρκειας από τις δυναμικές (διαρκούν έως μερικά ms), παίζουν σημαντικό ρόλο στα δίκτυα Υπερυψηλής Τάσης (>300 kV), λόγω του σημαντικά μεγαλύτερου εύρους τους, το οποίο διαμορφώνεται με ευθέως αναλογικό τρόπο από την τάση κανονικής λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος στο οποίο εμφανίζονται.



**Εικόνα 2-3.** Διάγραμμα επίδρασης εσωτερικών υπερτάσεων στη διαμόρφωση των τιμών τάσης του ηλεκτρικού συστήματος ισχύος. [22]

Ο λόγος για τον οποίο ο έλεγχος και ο περιορισμός των υπερτάσεων αποτελεί σημαντικό στοιχείο για την ομαλή λειτουργία ενός συστήματος ηλεκτρικής ισχύος, είναι το γεγονός ότι η ικανότητα φόρτισης κάθε ηλεκτρικής συσκευής που αποτελεί μέρος του συστήματος, καθορίζεται από τη διατήρηση της ομαλής της λειτουργίας ακόμη και αν υποστεί ηθελημένα ή από σφάλμα αυξημένη ηλεκτρική καταπόνηση.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΩΤΕΣ**

### **3.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Ως μονωτικά σώματα ή μονωτές χαρακτηρίζονται τα υλικά που πρακτικά δεν έχουν ηλεκτρική αγωγιμότητα σε σχετικά ασθενή πεδία συνεχούς ρεύματος. Στη χημική τους σύνθεση οι μονωτές είναι σώματα ιοντικής, ομοιοπολικής ή μοριακής κατασκευής. Καθώς μάλιστα τα ιόντα των σωμάτων αυτών είναι δυσκίνητα, ή η ισχύς των ομοιοπολικών δεσμών είναι μεγάλη, ή τα μόριά τους είναι σταθερά, δηλαδή δεν διασπώνται εύκολα σε φορτισμένες ρίζες, δεν υπάρχουν στα παραπάνω σώματα ευκίνητοι φορείς σε αξιόλογη ποσότητα, και έτσι δεν έχουν την δυνατότητα της εκδήλωσης μιας ουσιαστικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Πάντως είναι πρακτικά αναπόφευκτη η ύπαρξη, σε κάθε σώμα, ενός κάποιου πλήθους προσμίξεων, ακαθαρσιών, διεγέρσεων και διασπάσεων που δημιουργούν έναν μικρό αριθμό φορέων του ηλεκτρικού ρεύματος.

Αποτέλεσμα της έλλειψης αξιόλογης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, τα μονωτικά σώματα είναι κατάλληλα για να εμποδίζουν τη δημιουργία ηλεκτρικών ρευμάτων διά μέσου της μάζας τους, και για να διατηρούν τις διαφορές δυναμικού στα διάφορα τμήματα των ηλεκτροτεχνικών διατάξεων και εγκαταστάσεων. Έτσι βρίσκουν πολύ σημαντικές χρήσεις, κυρίως ως ηλεκτρικές μονώσεις σε όλες τις ηλεκτρικές εφαρμογές, και ως διηλεκτρικά υλικά στην κατασκευή των πυκνωτών .

Σύμφωνα με τις συνθήκες υπό τις οποίες λειτουργούν και με βάση τα βασικά χαρακτηριστικά τους, διακρίνονται τα ακόλουθα είδη μονώσεων:

- εξωτερική μόνωση : η μόνωση αέρα των διατάξεων ενός συστήματος, η οποία βρίσκεται εκτεθειμένη στις ατμοσφαιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια όπου υπόκειται σε ηλεκτρική καταπόνηση.
- εσωτερική μόνωση : η μόνωση που είναι εσωτερικά στο σύστημα απόλυτα προστατευμένη από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Αποτελείται από στερεά ή υγρά ή αέρια υπό πίεση.
- επανορθούμενη μόνωση : η μόνωση που ανακτά όλα τα χαρακτηριστικά που είχε πριν από την επίδραση ενός βραχυκυκλώματος, κατά την επίδραση αυτού (π.χ. αέρας).
- μη επανορθούμενη μόνωση : η μόνωση που έπειτα από την επίδραση μίας ηλεκτρικής διάσπασης χάνει τελείως ή μερικώς τις μονωτικές της ιδιότητες (στερεά μονωτικά υλικά).

Η ανάγκη για την αξιόπιστη, διαχρονική συμπεριφορά των μονωτικών υλικών σε μία κατασκευή έχει οδηγήσει σε ορισμένα βασικά κριτήρια αξιολόγησής τους ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής αυτών. Αυτά είναι η διηλεκτρική αντοχή, η σχετική διηλεκτρική σταθερά, ο συντελεστής απωλειών και η ειδική αγωγιμότητα. Σε πολλές εφαρμογές ενδιαφέρον παρουσιάζει η αντοχή των μονωτικών υλικών σε μηχανικές καταπονήσεις, καθώς και η επιφανειακή ειδική αγωγιμότητα.



## **3.2 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**

### **3.2.1 Η ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ**

Η διηλεκτρική αντοχή μίας μόνωσης, περιγράφει την ικανότητά της να αντέχει μία ορισμένη καταπόνηση χωρίς την μόνιμη ή πρόσκαιρη καταστροφή της. Είναι ένας ορισμός για την αξιολόγηση των μονωτικών υλικών, μέσω της ελάχιστης τιμής της πεδιακής έντασης για τη διάσπαση εντός ομογενούς πεδίου. Ως διηλεκτρική αντοχή ( $E_d$ ) ενός μονωτικού υλικού ορίζεται το πηλίκο της ελάχιστης ενεργού τιμής της τάσης για τη διάσπαση ( $U_{dmin}$ ) προς την απόσταση των ηλεκτροδίων ( $d$ ) σε ομογενές πεδίο :  $E_d = U_{dmin} / d$  (συνήθως σε kV/cm)

Για μια δεδομένη διάταξη των ηλεκτροδίων η τιμή  $E_d$  αποτελεί ένα πρώτο κριτήριο για την επιλογή των διαφόρων μονωτικών. Η διηλεκτρική αντοχή μετριέται με επιβολή ημιτονικής εναλλασσόμενης τάσης σε δοκίμιο πάχους 1 mm, και είναι η ενεργός τιμή της τάσης στην οποία εκδηλώνεται ακαριαία η διάσπαση του υλικού. Στις εφαρμογές όμως ενδιαφέρει η μακροχρόνια και όχι η στιγμιαία συμπεριφορά των υλικών . Επειδή, λοιπόν, όταν η τάση επιβάλλεται για μεγάλο χρονικό διάστημα προκαλείται εξασθένηση της διηλεκτρικής αντοχής του μονωτικού, λόγω κυρίως των μερικών εκκενώσεων, στους υπολογισμούς των μονωτικών υλικών θεωρείται συνήθως ότι η διηλεκτρική αντοχή τους είναι πρακτικά περίπου 10% της τιμής που μετριέται στις δοκιμές.

Μονωτικό υλικό	d (mm)	$E_d$ (kV/cm)
αέρας		21
λάδι μετασχηματιστών		60...200
πορσελάνη	0,5...3	340...380
στεατίτης	0,5...3	200...300
γυαλί	<1	160...450
χαρτόνι	.. 0,5...1,5	300...450
χαρτί στο λάδι	<2	200...400
σκληρό ελαστικό	<3	300...500
ξύλο	<3	30...50
Glimmer	0,01...0,1	500...1000

**Πίνακας 3-1.**  $E_d$  για καταπόνηση μικρής χρονικής διάρκειας ορισμένων μονωτικών υλικών σε ομογενές πεδίο συχνότητας 50 Hz. [12]

### **3.2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ**

Το λάδι καταπονείται με εναλλασσόμενο πεδίο, με συνεχή αύξηση της τάσης μέχρις ότου διασπασθεί.

α)Κυψελίδα δοκιμής: είναι φτιαγμένη από γυαλί ή διαφανές πλαστικό με χωρητικότητα από 350 έως 600ml.Είναι σκεπασμένη με κατάλληλο καπάκι.

β)Ηλεκτρόδια: Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ηλεκτρόδια από ορείχαλκο ή με επικάλυψη από ορείχαλκο ,από ανοξείδωτο ατσάλι με καλά λειασμένη την επιφάνεια τους.

Η μορφή τους είναι σφαιρική είτε ημισφαιρική και τοποθετούνται οριζόντια ώστε να σχηματίζουν διάκενο μεταβαλλόμενο της τάξης μερικών mm με τη βοήθεια παχυμέτρου(φίλερ).Το μήκος του διακένου πρέπει να διορθώνεται εξαιτίας των εκκενώσεων που μετακινούν τα ηλεκτρόδια. Επίσης τα ηλεκτρόδια πρέπει να αντικαθίστανται αν φθαρούν από ηλεκτρικές εκκενώσεις. Η απόσταση των ηλεκτροδίων από την ελεύθερη επιφάνεια πρέπει να είναι 40mm.

Εκτενέστερη αναφορά στην μέθοδο ελέγχου διηλεκτρικής αντοχής γίνεται σε επόμενο κεφάλαιο της παρούσας πτυχιακής.

### **3.2.3 Η ΣΧΕΤΙΚΗ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΣΤΑΘΕΡΑ**

Η σχετική διηλεκτρική σταθερά  $\epsilon_r$ , ή απλούστερα διηλεκτρική σταθερά (ή επιτρεπτότητα ή διαπερατότητα) ενός υλικού είναι ένα αδιάστατο μέγεθος και εκφράζει το πόσο μεγαλύτερη είναι η χωρητικότητα μιας διάταξης συγκριτικά προς εκείνη στο κενό. Οι σχετικές διηλεκτρικές σταθερές των διαφόρων μονωτικών υλικών που συνθέτουν μία μόνωση (π .χ. περιελίξεις μετασχηματιστών, μονώσεις καλωδίων), θα πρέπει να επιλέγονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξομαλύνεται το πεδίο στις διαχωριστικές επιφάνειές τους, ώστε να μη διευκολύνεται η εκδήλωση μερικών εκκενώσεων.

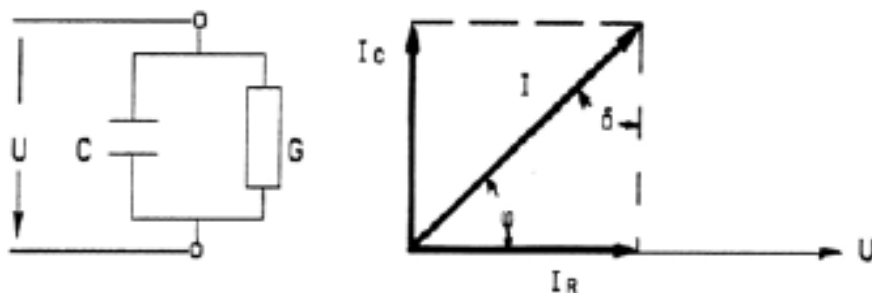
Μονωτικό υλικό	$\epsilon_r$	Μονωτικό υλικό	$\epsilon_r$
αέρας	1,000594	Mikanit	4...6
αέρας (κανονικές συνθήκες)	1,5	πάγος	2...3
αποσταγμένο νερό	8	Petrinax	4,8...5,4
βακελίτης	3,5...8,2	PVC	4...6
Condense	4...8	Plexiglas	2,6...3,5
Glimmer	4...8	πορσελάνη	5,5...6
γυαλί	5...16	Presspan	2,5...3,4
θερμοπλαστικά συνθετικά	2...5	ρητίνη	2,2
λάδι μετασχηματιστών	2,0...2,5	στεατίτης	6,4
λάστιχο	218...6,5	χαλαζίας	3... 7
ξύλο	215...6,5	χαρτί	1,8...2,6

**Πίνακας 3-2.** Σχετική διηλεκτρική σταθερά ορισμένων υλικών στους 20 °C. [12]

### **3.2.4 Ο ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ**

Όταν τα μονωτικά υλικά βρίσκονται κάτω από την επίδραση ηλεκτρικών πεδίων, αναπτύσσονται διάφοροι μηχανισμοί οι οποίοι απορροφούν ενέργεια από τα πεδία. Δηλαδή έχουμε ανεπιθύμητη απώλεια ενέργειας. Σε μία μόνωση, που παρεμβάλλεται μεταξύ ηλεκτροδίων με σκοπό τη δημιουργία ενός ηλεκτροστατικού πεδίου, υπάρχουν πάντοτε απώλειες ενέργειας, οι οποίες υπό εναλλασσόμενη τάση οφείλονται : α) στην κατανάλωση ενέργειας κατά τη διαρκή εναλλαγή της φοράς της ηλεκτρικής ροπής των δίπολων στο ρυθμό της εναλλαγής της πολικότητας της εναλλασσόμενης τάσης, και β) στην πολύ μικρή ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα, που έχουν τα μονωτικά υλικά. Έτσι, ο μονωτής έχει, εκτός από το χωρητικό ρεύμα  $I_c$  και ένα ρεύμα διαρροής  $I_r$ . Στην πράξη το ρεύμα διαρροής αυξάνει, γιατί η αγωγιμότητα του μονωτή γίνεται μεγαλύτερη, όπως συμβαίνει π.χ. κατά την εκδήλωση μερικών εκκενώσεων, και τη θερμική καταπόνηση του μονωτή από τις απώλειες των αγωγών.

Στο Σχήμα 3-3. δίδεται το ισοδύναμο κύκλωμα ενός πυκνωτή  $C$  με ομοιογενές διηλεκτρικό και απώλειες (λόγω της αγωγιμότητάς του  $G$ ).



**Σχήμα 3-3.** Ισοδύναμο κύκλωμα ενός πυκνωτή  $C$  με απώλειες λόγω της αγωγιμότητας  $G$  του διηλεκτρικού του. [20]

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{G}{\omega C}$$

Ο συντελεστής απωλειών  $\operatorname{tg} \delta$  είναι ένα κριτήριο αξιολόγησης του διηλεκτρικού (ή μίας μονωτικής διάταξης γενικότερα), γιατί δίνει πληροφορίες για την αγωγιμότητά του.

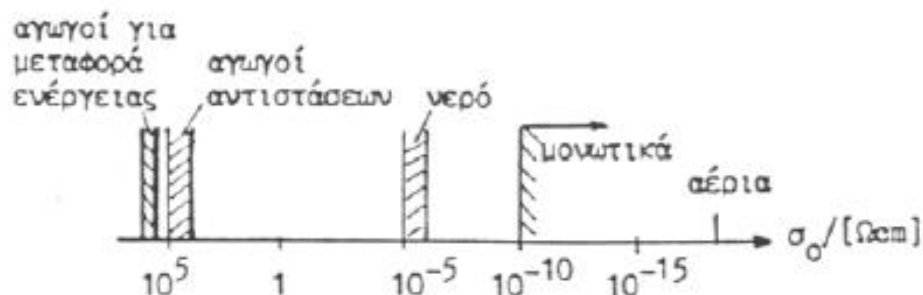
Η ενέργεια που προκύπτει από τις απώλειες της αγωγιμότητας και απορροφάται από τα υλικά μετατρέπεται κυρίως σε θερμότητα, η οποία αν δεν αποβάλλεται προς το περιβάλλον με αρκετά ταχύ ρυθμό, προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας των υλικών με αποτέλεσμα την κακή λειτουργία, τις βλάβες και την πρόωρη καταστροφή των ηλεκτροτεχνικών διατάξεων. Ειδικότερα, κάτω από συνεχή τάση η απορρόφηση της ενέργειας οφείλεται στη δημιουργία του ρεύματος διαρροής στο μονωτικό σώμα, εξαιτίας της όποιας αγωγιμότητας όγκου ή και της επιφανειακής του αγωγιμότητας. Δηλαδή η θέρμανση του υλικού οφείλεται στο φαινόμενο Joule. Στα εναλλασσόμενα πεδία εμφανίζεται επιπλέον μία συνήθως πολύ μεγαλύτερη απορρόφηση ενέργειας και θέρμανση του σώματος, που προκαλείται από τις περιοδικές πολώσεις και αποπολώσεις του, σύμφωνα με τους διάφορους μηχανισμούς πόλωσης. Στην περίπτωση αυτή η απώλεια ενέργειας ανά περίοδο και ανά μονάδα όγκου του σώματος δίνεται από τη σχέση :

$W = \pi E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r \operatorname{tg} \delta$ , όπου  $\operatorname{tg} \delta$  ο συντελεστής απωλειών και  $E_m$  η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης.

Ο συντελεστής απωλειών εξαρτάται από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος του μονωτικού υλικού.

### **3.2.5 Η ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ**

Τα ηλεκτρομονωτικά υλικά έχουν μία πολύ μικρή ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (Σχήμα 3-4), που εξαρτάται γενικά από τις συνθήκες λειτουργίας τους (τιμή της πεδιακής έντασης, θερμοκρασία, υγρασία, κλπ). Η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι επομένως ένα σημαντικό κριτήριο αξιολόγησης των διηλεκτρικών, γιατί εκφράζει τους ελεύθερους ηλεκτρικούς φορείς. Αύξηση της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας και κατά συνέπεια μείωση της ηλεκτρομονωτικής ικανότητας των ηλεκτρομονωτικών μέσων, επισυμβαίνει κυρίως σε αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας του συστήματος και κατά την επίδραση της ενέργειας των μερικών εκκενώσεων.



**Σχήμα 3-4.** Τάξη μεγέθους της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας διαφόρων κατηγοριών υλικών. [20]

### **3.2.6 Ο ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ**

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, αποτελεί δείκτη της αντοχής του ηλεκτρομονωτικού υλικού στη θερμική καταπόνηση. Η θερμική καταπόνηση των μονωτικών υλικών σχετίζεται με την αύξηση του αριθμού των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων στις περιοχές όπου η πεδιακή ένταση έτυχε να είναι αυξημένη (όπως π.χ. ανομοιογένειες στον όγκο ή στην επιφάνεια στερεών μονωτικών, ανεπιθύμητα αιωρούμενα σωματίδια στο μονωτικό έλαιο, παρουσία υγρασίας στην περίπτωση αέριου μονωτικού). Γενικά ισχύει ο κανόνας ότι όσο πιο καλός μονωτής είναι ένα υλικό τόσο καλύτερες είναι οι θερμομονωτικές του ιδιότητες.

### **3.2.7 Η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ**

Πρόκειται για την αγωγιμότητα που εμφανίζεται στα μονωτικά υλικά με μετακίνηση φορέων κατά μήκος της εξωτερικής τους επιφάνειας, έξω από το κυρίως σώμα. Στα περισσότερα μονωτικά υλικά η αγωγιμότητα όγκου είναι πολύ μικρή, και έτσι η επιφανειακή τους αγωγιμότητα αποκτά συχνά κυρίαρχη σημασία, ιδίως όταν ευνοείται από το γεωμετρικό του σχήμα. Η επιφανειακή αγωγιμότητα επηρεάζεται σημαντικά από την υγρασία του περιβάλλοντος και από τη ρύπανση της επιφάνειας του σώματος. Όταν η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας είναι μεγαλύτερη από 70 -80%, η επιφανειακή αγωγιμότητα των περισσότερων σωμάτων αποκτά αξιόλογες τιμές. Η αύξηση αυτή της επιφανειακής αγωγιμότητας οφείλεται στα ιόντα που συγκεντρώνονται στη λευκή υδάτινη στοιβάδα που σχηματίζεται στην επιφάνεια των σωμάτων, όταν βρίσκονται σε υγρή ατμόσφαιρα. Τα ιόντα προέρχονται ή από τις ακαθαρσίες που επικάθονται στην επιφάνεια των στερεών, ή από τη χημική δομή του σώματος, όπως π.χ. τα ιόντα νατρίου του κοινού γυαλιού. Το επιφανειακό στρώμα ενός αντιπροσωπευτικά ρυπαρού μονωτήρα θα περιέχει αδρανή ορυκτή ύλη, ηλεκτρικά αγώγιμη σκόνη όπως άνθρακα ή οξειδία μετάλλου, διαλυτά άλατα στο νερό και υγρασία. Αυτό το στρώμα θα συμπεριφέρεται σαν ένας μεταβλητός μη γραμμικός αντιστάτης, ασταθής στις περισσότερες περιπτώσεις στην εμφάνιση ηλεκτρικών πεδίων. Το ρεύμα διαρροής θα προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας, των ηλεκτροχημικών προϊόντων ηλεκτρόλυσης και των ηλεκτρικών μερικών εκκενώσεων. Οι δευτερογενείς επιπτώσεις μπορούν να ποικίλουν από την ηλεκτροχημική διάβρωση μέχρι την δημιουργία μερικών εκκενώσεων, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν στην υπερπήδηση του μονωτήρα και το

σχηματισμό ηλεκτρικού τόξου στο περιβάλλον μέσο. Το ρεύμα διαρροής και οι επιπτώσεις του καθορίζουν το σχεδιασμό ενός μονωτήρα, ειδικά στις κατηγορίες των μονωτήρων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε εξωτερικούς χώρους, εκτεθειμένους σε ατμοσφαιρική υγρασία και ρύπανση. Μεγάλη δυσκολία παρουσιάζει η αντικειμενική σύγκριση των σωμάτων ως προς την επιφανειακή αγωγιμότητα, αφού η ιδιότητα αυτή δεν παρατηρείται ουσιαστικά στο εξεταζόμενο σώμα αλλά εκδηλώνεται έξω από αυτό, στο λεπτό υγρό στρώμα που σχηματίζουν η υγρασία και οι ακαθαρσίες που επικάθονται στην επιφάνειά του. Εκείνο που έχει ενδιαφέρον, στην περίπτωση αυτή, είναι να εκτιμηθεί η προδιάθεση του μονωτικού υλικού να διαβρέχεται από την υγρασία και να ευνοεί έτσι το σχηματισμό του λεπτού επιφανειακού αγώγιμου στρώματος.

### **3.2.8 Η ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ**

Σε αρκετές κατασκευές ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μηχανική αντοχή των μονωτικών υλικών, λόγω των μεγάλων δυνάμεων που εξασκούνται σε αυτά (δυνάμεις του ηλεκτρικού πεδίου και μηχανικές δυνάμεις). Σε πολλές κατασκευές (πίνακες μέσης τάσης, μετασχηματιστές μεταφοράς και διανομής, διακόπτες υψηλών τάσεων), τα μονωτικά υλικά εξετάζονται και ως προς την μηχανική τους αντοχή σε δυνάμεις ηλεκτρικής προέλευσης, όπως αυτές αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια χειρισμών ή ενός βραχυκυκλώματος. Οι δυνάμεις αυτές μπορούν να μειώσουν τις αποστάσεις μόνωσης και να γίνουν αιτία καταστροφής της κατασκευής, όταν δεν υπάρχει η απαιτούμενη μηχανική αντοχή κατά το βραχυκύκλωμα. Η μόνωση π.χ. ενός διακόπτη υψηλής τάσης δεν εξασφαλίζεται μόνο με την επιλογή των κατάλληλων αποστάσεων μόνωσης, προς τη δημιουργία ηλεκτροστατικού πεδίου, όταν η επιδίωξη αυτή δε συνδυάζεται με την απαιτούμενη μηχανική αντοχή, που θα εξασφαλίζει την ικανότητα μόνωσης μέχρι να διακοπεί το βραχυκύκλωμα από τα μέσα προστασίας του δικτύου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΥΓΡΑ ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ – ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΕΛΑΙΑ

### 4.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ

Τα υγρά μονωτικά υλικά είναι τα κυρίως χρησιμοποιούμενα μονωτικά μέσα στις ηλεκτροτεχνικές συσκευές. Κατά κύριο λόγο, χρησιμοποιούνται τα ορυκτά έλαια, που διακρίνονται στις εξής κατηγορίες :

- Παραφινικά έλαια (μεθανολικής βάσης, περιέχοντα κορεσμένους υδρογονάνθρακες, με υψηλή συγκέντρωση n-παραφινών )
- Ναφθαλενικά έλαια (περιέχουν ακόρεστους υδρογονάνθρακες : ναφθαλίνες, με μικρή συγκέντρωση n-παραφινών)
- Μικτά έλαια (και οι δύο τύποι υδρογονανθράκων)

Μια άλλη κατηγορία μονωτικών υγρών είναι οι σιλικονούχοι υδρογονάνθρακες (περιεκτικότητα πυριτίου). Στη δεκαετία του '80 εισάγεται και η χρήση συνθετικών ελαίων, των πολυαλφαολεφινών (polyalphaolefins, PAO) και των πολυολεστέρων (polyolesters, POE), οι οποίες έχουν πιο φιλικές προς το περιβάλλον ιδιότητες χρήσης. Στα τέλη της δεκαετίας του '90 αρχίζουν να χρησιμοποιούνται ως μονωτικά έλαια οι «φυσικοί» εστέρες (“natural” esters), που στην ουσία αποτελούν επεξεργασμένα φυτικής προέλευσης έλαια.

**Υγρά και συσκευές στις οποίες αυτά χρησιμοποιούνται**

Υγρό	Συσκευή	
	Συνηθισμένη χρήση	Πειραματική χρήση
Πετρελαϊκά (ορυκτά) λάδια	όλοι οι τύποι συσκευών	-
Syntetic υδρογονάνθρακες	καλώδια, πυκνωτές	μετασχηματιστές
Askarels	μετασχηματιστές	-
	πυκνωτές, καλώδια, διακόπτες	-
Silicones	μετασχηματιστές	πυκνωτές
Οργανικοί εστέρες	-	πυκνωτές
Φωσφορικοί εστέρες	-	πυκνωτές
Sulphones	-	πυκνωτές
Μείγμα υγρών	-	πυκνωτές

**Πίνακας 4-1.** Μονωτικά υγρά και συσκευές στις οποίες χρησιμοποιούνται. [29]

## **4.2 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

Τα ρευστά μονωτικά υλικά έχουν ευρεία εφαρμογή και χρήση στα συστήματα ηλεκτρικής ισχύος εξαιτίας καταρχήν, της μεγάλης διηλεκτρικής αντοχής που εμφανίζουν συγκρινόμενα με τα αέρια σε ατμοσφαιρική πίεση (Πίνακας 4-1). Επιπλέον, χαρακτηρίζονται από μεγάλο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, διευκολύνοντας την απαγωγή της παραγόμενης θερμότητας λόγω των απωλειών Joule. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι ιδιαίτερος σημαντικό στους μετασχηματιστές ηλεκτρικής ισχύος όπου η κυκλοφορία του μονωτικού ελαίου ευοδώνει την ψύξη των τυλιγμάτων της μόνωσης. Παράλληλα, σε συνδυασμό με στερεά μονωτικά υλικά, τα μονωτικά έλαια αποτρέπουν την παρουσία αέρα και των συνοδών προκαλούμενων εξ' αυτού επιφανειακών αλλοιώσεων των στερεών μονωτικών, αλλά και της οξείδωσης του μονωτικού ελαίου. Για το λόγο αυτό και η πλήρωση του χώρου που καταλαμβάνει το μονωτικό έλαιο γίνεται υπό συνθήκες κενού σε ορισμένη θερμοκρασία.

## **4.3 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

Κατά την εκλογή ενός μονωτικού ελαίου σε μια ηλεκτροτεχνική εφαρμογή θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και να αξιολογούνται βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του ελαίου, τα οποία είναι το ιξώδες, η μονωτική ικανότητα, το σημείο αναφλέξεως, το σημείο καύσεως, η καθαρότητα από προσμίξεις, ο σχηματισμός ιζήματος, η οξύτητα, η δυνατότητα εμπλουτισμού του ελαίου.

Το **ιξώδες** προσδιορίζει την ικανότητα ψύξεως και μεταβάλλεται συναρτήσει της θερμοκρασίας. Για την καλύτερη απαγωγή της θερμότητας σε έναν μετασχηματιστή, όπου υπάρχουν μικρά διάκενα μεταξύ των τυλιγμάτων του, είναι απαραίτητο το μονωτικό λάδι να χαρακτηρίζεται από χαμηλό ιξώδες, έτσι ώστε να ρέει ευκολότερα ανάμεσα στα τυλίγματα.

Η **μονωτική ικανότητα** του ελαίου προσδιορίζεται από το βαθμό διηλεκτρικής αντοχής αυτού. Συνήθως όλα τα μονωτικά έλαια στο σύνολό τους είναι καλοί μονωτές. Εντούτοις, σε μεγάλο βαθμό ενδιαφέρει η μείωση της παρουσίας υγρασίας, η οποία θα πρέπει να αποφεύγεται αυστηρώς. Μια πολύ μικρή ποσότητα υγρασίας, εντός του ελαίου, μειώνει σε μεγάλο βαθμό την αξία του μονωτικού, ενώ η παρουσία σκόνης και μικρών ινών τείνει να δημιουργήσει οδούς μεγάλης αγωγιμότητας.

Το **σημείο αναφλέξεως** είναι η θερμοκρασία στην οποία το μονωτικό έλαιο, θερμαινόμενο εντός ειδικής συσκευής (Pensky-Martens), αναδίδει ατμούς, σε ποσότητα τέτοια ώστε αναμειγνύμενο με τον ατμοσφαιρικό αέρα να σχηματίζουν εύφλεκτο μίγμα και με την παρουσία σπινθήρα να αναφλέγονται αυτοστιγμεί. Για λόγους ασφαλείας και αξιοπιστίας του συστήματος το σημείο αναφλέξεως θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 130°C.



Το **σημείο καύσεως** είναι η θερμοκρασία στην οποία το έλαιο, θερμαινόμενο υπό κανονικές συνθήκες δοκιμής, αναδίνει ατμούς επάρκειας τέτοιας, ώστε να αναφλεγεί και να συνεχίσει καιγόμενο. Η θερμοκρασία αυτή είναι περίπου 25% υψηλότερα του σημείου αναφλέξεως.

Η **καθαρότητα** προσδιορίζει το ποσοστό προσμίξεων που χαρακτηρίζει το έλαιο. Το έλαιο δε θα πρέπει να περιλαμβάνει προσμίξεις όπως το θείο και οι ενώσεις αυτού. Η παρουσία θείου προκαλεί διάβρωση των μεταλλικών τμημάτων και επιταχύνει την παραγωγή ιζήματος.

Ο **σηματισμός ιζήματος** είναι ένα τεχνικό χαρακτηριστικό του ελαίου που περιγράφει την ευκολία με την οποία σχηματίζεται ίζημα κατά τον βραδύ μετασχηματισμό ημιστερέων υδρογονανθράκων εμπεριεχόμενων στο μονωτικό έλαιο. Αποτελεί μεγάλης σημασίας χαρακτηριστικό, ιδιαίτερα στην περίπτωση των μετασχηματιστών. Τα ιζήματα αυτά που είναι δυνατόν να είναι ακόμη οξειδωμένης μορφής, επικάθονται επί των τυλιγμάτων και επί των τοιχωμάτων του δοχείου του μετασχηματιστή. Ο σηματισμός του ιζήματος συνδέεται άμεσα με την θερμοκρασία και την οξείδωση του λαδιού. Το ίζημα σχηματιζόμενο, καθιστά το σύνολο του μετασχηματιστή θερμότερο, όσο δε αυξάνει η θερμοκρασία μεταβάλλει προς το χειρότερο την κατάσταση από απόψεως ιζήματος, έως ότου αποφραχθούν τελικώς οι σωληνώσεις ψύξεως και ο μετασχηματιστής καταστεί ακατάλληλος προς χρήση, λόγω υπερθέρμανσης. Η εμπειρία δείχνει ότι το ίζημα σχηματίζεται ταχύτερα εκεί όπου υπάρχουν στιλπνές επιφάνειες χαλκού.

Η **οξύτητα** του μονωτικού ελαίου καθορίζεται από το ποσό και τον τύπο των παραγόμενων προϊόντων της οξείδωσής του. Μεταξύ των παραγόμενων προϊόντων οξείδωσης του ελαίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), πτητικά οργανικά και ανόργανα οξέα διαλυτά στο νερό και νερό. Τα παραπάνω προϊόντα σε συνδυασμό δύναται να προσβάλλουν και να διαβρώσουν τα μεταλλικά τμήματα του μετασχηματιστή. Για τον λόγο αυτό υπάρχουν ειδικές διατάξεις που εμποδίζουν την είσοδο του υγρού αέρα στο δοχείο λαδιού και επιπλέον απομακρύνουν τα ανεπιθύμητα προϊόντα οξείδωσης.

Η αλλοίωση του ελαίου κατά τη διάρκεια της χρησιμοποίησής του είναι δυνατόν να επιβραδυνθεί με εμπλουτισμό του, κατά την κατεργασία του, με αντιοξειδωτικά μέσα (oxidation inhibitors). Η **δυνατότητα εμπλουτισμού του ελαίου** καθορίζεται από τη δυνατότητα προσθήκης τέτοιων μέσων στο έλαιο. Τα αντιοξειδωτικά αυτά, τα οποία συνήθως είναι τύπου φαινόλης ή αμίνης, μετατρέπουν τα εις το έλαιο σχηματισμένα μοριακά συκροτήματα σε αδρανή μόρια, καταναλισκόμενα βαθμιαία κατά τη λειτουργία. Οι αντιοξειδωτικές ουσίες εμπλουτισμού αυξάνουν σημαντικά την διάρκεια χρησιμοποίησής του ελαίου, αφού ο σηματισμός οξέων και ιζήματος είναι κατ' ουσίαν μηδενικός.

**Τεχνικά χαρακτηριστικά μονωτικών ελαίων  
(Σύνοψη)**

Διηλεκτρική αντοχή (μονωτική ικανότητα)

Ιξώδες (χαρακτηρίζει τη ρευστότητα του ελαίου)

Καθαρότητα (απουσία ανόργανων οξέων, αλκαλίων και διαβρωτικού θείου)

Σχηματισμός Ιζήματος (γαλακτωματοποίηση, δημιουργία κεροποιημένων ιζημάτων)

Ταχεία καθίζηση των προϊόντων δημιουργίας ηλεκτρικού τόξου

Σημείο Πήξης

Σημείο Ανάφλεξης

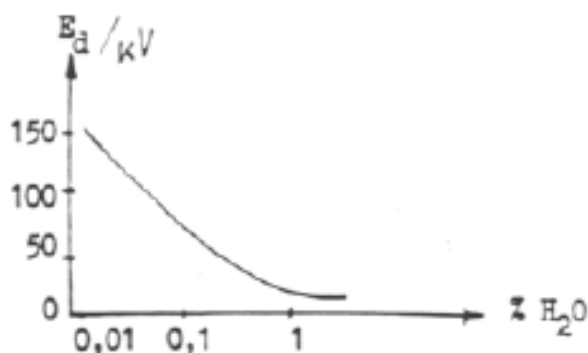
Δυνατότητα εμπλουτισμού του ελαίου

**Πίνακας 4-2.** Τεχνικά χαρακτηριστικά μονωτικών ελαίων. [9]

#### **4.4 ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΕΛΑΙΩΝ**

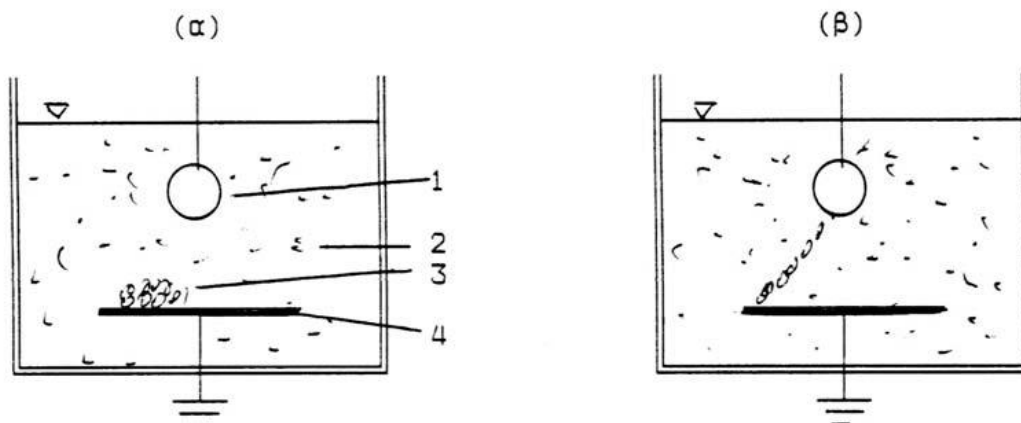
Τα μονωτικά έλαια που χρησιμοποιούνται προκειμένου για την απρόσκοπτη λειτουργία του εξοπλισμού Υ.Τ. που αυτά μονώνουν, αλλά και για τη διασφάλιση της υγείας των μηχανικών που έρχονται σε επαφή με αυτά κατά τις διεργασίες της εγκατάστασης, συντήρησης ή/και αντικατάστασης μελών του εξοπλισμού, θα πρέπει να πληρούν ορισμένες λειτουργικές απαιτήσεις. Οι απαιτήσεις αυτές θα πρέπει να παρέχουν στο μονωτικό έλαιο τη δυνατότητα να διατηρεί σε υψηλό βαθμό την μονωτική του ικανότητα, παρά τις επιδράσεις των κύριων επιβαρυντικών παραγόντων αυτής. Κύρια υπεύθυνη για την απώλεια των μονωτικών ικανοτήτων των μονωτικών ελαίων είναι η διάσπαση αυτών, η οποία επιτελείται κατά το μηχανισμό της είτε ως θερμική είτε ως διάσπαση από ιονισμό. Και οι δύο προϋποθέτουν την ύπαρξη φυσαλίδων αέρα. Οι παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για τη δημιουργία τέτοιων φυσαλίδων εντός των μονωτικών ελαίων, είναι κυρίως η οξείδωση, η μόλυνση και οι υψηλές θερμοκρασίες. Η οξείδωση επισυμβαίνει κατά την επαφή του μονωτικού ελαίου με το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα, και αποτελεί την κυριότερη αιτία χειροτέρευσης των μονωτικών ιδιοτήτων του. Τα προϊόντα της οξείδωσης είναι πτητικά οξείδια, νερό που παραμένει εντός του ελαίου και μειώνει τη διηλεκτρική του αντοχή, και ιζήματα, τα οποία αποφράσσουν τους οχετούς κυκλοφορίας του ελαίου, παρεμποδίζοντας τη ψύξη της συσκευής. Ο σχηματισμός φυσαλίδων αέρα εντός του ελαίου αποδίδεται επίσης στη μόλυνση του μονωτικού ελαίου, που οφείλεται κυρίως στην παρουσία προσμίξεων νερού εντός του, καθώς βρίσκεται σε μεγάλες συγκεντρώσεις στον ατμοσφαιρικό αέρα. Άλλα αίτια μόλυνσεων αποτελούν επίσης διάφορες άλλες προσμίξεις του ελαίου, όπως προσμίξεις ιόντων, μετάλλων και αερίων. Η επαφή του ελαίου με τις ουσίες αυτές επιταχύνει σημαντικά

την οξείδωσή του. Έναν άλλο παράγοντα αποτελούν οι υψηλές θερμοκρασίες που μπορεί να αναπτύσσονται κατά τη λειτουργία των συστημάτων ηλεκτρικής ισχύος, και οι οποίες προκαλούν αποσύνθεση και επιταχύνουν την ταχύτητα οξείδωσης του ελαίου.



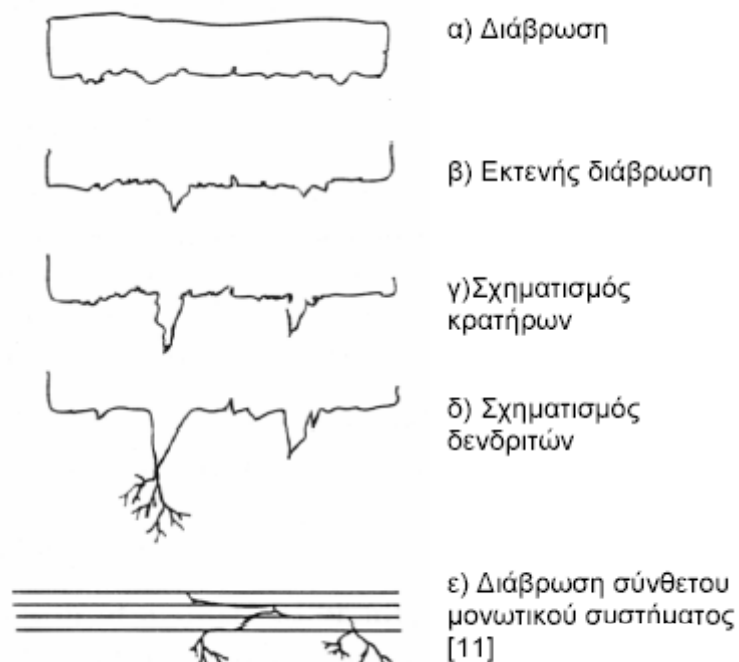
**Σχήμα 4-3.** Μείωση της διηλεκτρικής αντοχής του μονωτικού ελαίου συναρτήσει της περιεκτικότητάς του σε νερό. [20]

Σύμφωνα με τη υπόθεση της θερμικής διάσπασης, το έλαιο που περιβάλλει την ιονισμένη φυσαλίδα αερίου θερμαίνεται και όταν φθάσει τη θερμοκρασία βρασμού η φυσαλίδα διογκώνεται, εκτοπίζει το έλαιο και η διάσπαση επέρχεται μέσω σε ατμούς λαδιού που έχουν σημαντικά χαμηλότερη διηλεκτρική αντοχή από το ίδιο το λάδι. Στο μηχανισμό της διάσπασης φαίνεται πως σημαντικό ρόλο παίζει η παρουσία αιωρημάτων. Τα αιωρήματα, επειδή συνήθως παρουσιάζουν υψηλότερη διηλεκτρική σταθερά από το λάδι, διαταράσσονται κατά τις γραμμές του μέγιστου ηλεκτρικού πεδίου. Έτσι, σχηματίζεται μεταξύ των ηλεκτροδίων μία γέφυρα αιωρημάτων με μικρότερη διηλεκτρική αντοχή από το λάδι, η οποία συμβάλλει στη διάσπαση. Επειδή επίσης τα αιωρήματα αυτά απορροφούν υγρασία που μειώνει περαιτέρω τη διηλεκτρική αντοχή, λάδια που περιέχουν αιωρήματα είναι πιο ευαίσθητα στην παρουσία υγρασίας.



**Σχήμα 4-4.** Πειραματική απόδειξη για τη διάταξη των αιωρούμενων σωματιδίων στο μονωτικό λάδι, υπό μορφή γέφυρας μεταξύ των ηλεκτροδίων (1, 4 : ηλεκτρόδια εφαρμογής της τάσης, 2 : μονωτικό λάδι, 3 : τεμάχια χαρτιού) : **(α)** Τεμάχια χαρτιού πάνω στο ηλεκτρόδιο πλάκα προ της εφαρμογής της τάσης & **(β)** Διάταξη των τεμαχίων χαρτιού κατά την εφαρμογή της τάσης. [20]

Σύμφωνα με την υπόθεση διάσπασης από ιονισμό, για τη διάσπαση του μονωτικού ελαίου ενέχεται η ανάπτυξη του φαινομένου εκκενώσεων Corona, οι οποίες πέραν της διάσπασης των μορίων του ελαίου προκαλούν επίσης και τοπική αύξηση της θερμοκρασίας. Το φαινόμενο Corona συναντάται στην επιφάνεια των αγωγών των γραμμών μεταφοράς όταν η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στην επιφάνεια του αγωγού υπερβεί την διηλεκτρική αντοχή του αέρα. Το ίδιο φαινόμενο μπορεί να παρατηρηθεί ακόμα και στο ομογενές ηλεκτρικό πεδίο το οποίο δημιουργείται μεταξύ δύο επίπεδων πλακών, εάν ισχύει ένα σύνολο συνθηκών. Αυτές οι συνθήκες σχετίζονται με την ατμοσφαιρική πίεση, το υλικό της πλάκας και την παρουσία νερού ή υγρασίας, το τύπο της τάσης κ.ά.. Στεμματοειδείς εκκενώσεις (Corona) είναι εκείνες οι μερικές εκκενώσεις που συμβαίνουν μέσα σε υγρό (ή αέριο) μονωτικό μέσο ξεκινώντας από την επιφάνεια κάποιου αγωγού που βρίσκεται υπό υψηλή τάση μέσα στο εν λόγω μονωτικό. Οι εκκενώσεις Corona αρχίζουν να εμφανίζονται με την προοδευτική άνοδο της τάσης υπό τη μορφή θυσάνων μήκους μερικών χιλιοστών που ξεκινούν από αιχμές, ανωμαλίες ή προεξοχές στην επιφάνεια του αγωγού, είτε από σημεία οξειδωσης, υγρασίας ή ρύπανσης της επιφάνειάς του, όπου δηλαδή είτε ενισχύεται το ηλεκτρικό πεδίο (πύκνωση δυναμικών γραμμών) είτε μειώνεται η διηλεκτρική αντοχή του περιβάλλοντος του αγωγού. Οι υπό μορφή θυσάνων εκκενώσεις είναι διακεκομμένες μερικές εκκενώσεις και ο αριθμός τους ανά μονάδα επιφανείας είναι περιορισμένος εξαιτίας της μείωσης της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, η οποία προκαλείται στην περιοχή της κάθε εκκένωσης που αναστέλλει, έτσι, τον σχηματισμό γειτονικών θυσάνων. Όταν η τάση του αγωγού φτάσει μια τιμή  $U$ , (τάση έναρξης του φαινομένου Corona), οι εκκενώσεις γίνονται συνεχείς και καλύπτουν τον αγωγό υπό μορφή φωτεινής αίγλης. Οι ηλεκτρικές διασπάσεις προκαλούνται από την επιτάχυνση ηλεκτρονίων διά της επίδρασης ηλεκτρικού πεδίου διά μέσου αερίου. Τα ηλεκτρόνια αυτά εν συνεχεία, όταν αποκτήσουν αρκετή ενέργεια από το εξασκουμένο ηλεκτρικό πεδίο, δημιουργούν νέα ιόντα ως προϊόντα συγκρούσεων των ηλεκτρονίων με άτομα (ιονισμός με επίδραση ηλεκτρονίων). Τα ηλεκτρόνια πολλαπλασιάζονται μέχρι δευτερεύοντα φαινόμενα από τα ηλεκτρόδια να μπορέσουν να διατηρήσουν την εκκένωση αυτοσυντηρούμενη. Οι εκκενώσεις Corona (θύσανοι και αίγλη) προκαλούν απώλειες ισχύος, ενώ στην περίπτωση κατά την οποία οι εν λόγω εκκενώσεις εμφανίζονται συστηματικά σε τμήμα αγωγού και είναι σχετικά μεγάλης έντασης, μπορούν να προκαλέσουν τη διάβρωση του αγωγού λόγω σχηματισμού οξειδίων στην επιφάνειά του και την κατ' ακολουθία μείωση της μηχανικής αντοχής του. Η διάσπαση αυτή του αέρα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία φωτεινής λάμψης, ακουστικού και ραδιοφωνικού θορύβου, ταλάντωσης του αγωγού και φυσικά τη σπατάλη ενέργειας παρεχόμενη από το ηλεκτρικό δίκτυο υπό μορφή απωλειών. Θα πρέπει να τονισθεί ότι η έναρξη των εκκενώσεων αυτού του τύπου δεν είναι συνάρτηση του ηλεκτρικού πεδίου αλλά της τάσης. Αυτό σημαίνει ότι προεξοχές που μπορεί να προκαλέσουν Corona πρέπει να αποφεύγονται όσο αυτό είναι δυνατό, καθώς το φαινόμενο μπορεί να εμφανιστεί σε πολύ χαμηλές τάσεις. Το φαινόμενο επηρεάζεται από την κατάσταση της επιφάνειας των αγωγών, καθώς και από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες (βροχή, πυκνότητα αέρα, υγρασία, άνεμο). Όσον αφορά τη γήρανση των αγωγών, έχει παρατηρηθεί ότι οι απώλειες Corona μειώνονται με την πάροδο του χρόνου. Αυτό συμβαίνει καθώς έχει παρατηρηθεί ότι οι καινούριοι αγωγοί είναι υδροφοβικοί, ενώ οι γηρασμένοι υδροφιλικοί.



**Εικόνα 4-5.** Επιδράσεις φαινομένων διάσπασης. [22]

Για το σκοπό λοιπόν αυτό απαιτείται καταρχήν, η βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών προδιαγραφών των χρησιμοποιούμενων μονωτικών ελαίων (η διηλεκτρική αντοχή, η σχετική διηλεκτρική σταθερά, ο συντελεστής απωλειών και η ειδική αγωγιμότητα, η αντοχή των μονωτικών υλικών σε μηχανικές καταπονήσεις καθώς και η επιφανειακή ειδική αγωγιμότητα), προς ελαχιστοποίηση της επίδρασης της ηλεκτρικής καταπόνησης που υφίσταται το σύστημα ηλεκτρικής ισχύος. Και αυτό, διότι, η λειτουργική αξιοπιστία των συστημάτων ηλεκτρικής ισχύος συνδέεται άμεσα με την ικανοποιητική λειτουργική κατάσταση των μόνωσών τους. Επιπρόσθετα, απαιτείται η συνεχής παρακολούθηση και ο έλεγχος της ικανότητας μόνωσης των διατάξεων του συστήματος, καθώς πέραν της τακτικής περιοδικής συντήρησης μπορεί να προβλεφθεί έγκαιρα η αυξημένη πιθανότητα εκδήλωσης αστοχίας στις διατάξεις αυτές και να επιχειρηθεί προληπτική συντήρηση, όταν και όπου απαιτηθεί. Τέλος, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η ανάγκη λήψης των απαιτούμενων μέτρων για τη διασφάλιση της υγιεινής και της ασφάλειας του ανθρώπινου δυναμικού, αλλά και του περιβάλλοντος, καθώς οι μηχανισμοί διάσπασης και γήρανσης των ηλεκτρομονωτικών υλικών έχουν επιβαρυντική επίδραση σε αυτά. Για τους σκοπούς αυτούς αποτελεί επιτακτική ανάγκη η ανάπτυξη και η εφαρμογή βελτιωμένων ηλεκτρομονωτικών μέσων, αλλά και αντίστοιχων διαγνωστικών μεθόδων της ικανότητας μόνωσης. Ακολουθώντας, μελετώνται οι ποιοτικοί και διαγνωστικοί έλεγχοι αυτών των ιδιοτήτων.

## **4.5 ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ**

Οι κύριοι διαγνωστικοί έλεγχοι που εφαρμόζονται προκειμένου για την αξιολόγηση της καταλληλότητας ενός ελαίου (φυτικής προέλευσης ή ορυκτού), προκειμένου για χρήση ως ηλεκτρομονωτικό μέσο, αφορούν διαδικασίες αξιολόγησης φυσικών, χημικών και ηλεκτρικών ιδιοτήτων των υλικών αυτών. Ουσιαστικά, πρόκειται για μεθόδους ελέγχου ανταπόκρισης του υλικού υπό συνθήκες ηλεκτρικής και θερμικής καταπόνησης, που αποτελούν και τις κύριες αιτίες πρόκλησης γήρανσης του ηλεκτρομονωτικού μέσου. Υπό την επίδραση συνθηκών ηλεκτρικού και θερμικού stress, μετρώνται εν συνεχεία τα επίπεδα του παραγόμενου, στο υπό εξέταση ηλεκτρομονωτικό δείγμα ελαίου, διαλελυμένου αερίου, καθώς η τάση αεριοποίησης και η ποιότητα και οι συγκεντρώσεις των παραγόμενων αερίων αποτελούν δείκτη εκτίμησης της αξιοπιστίας του υλικού. Επιπλέον, υπό συνθήκες εφαρμογής ηλεκτρικής καταπόνησης εκτιμώνται οι ηλεκτροδυναμικές ιδιότητες του μέσου. Παράλληλα, με εφαρμογή προσομοίωσης θερμικής γήρανσης εκτιμάται η αξιοπιστία του ρευστού ηλεκτρομονωτικού υλικού, εμμέσως διά της εκτίμησης της πτώσης της μηχανικής αντοχής του χάρτου διήθησης που αποτελεί το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο συστατικό της ηλεκτρομόνωσης μαζί με το μονωτικό έλαιο.

Ειδικότερα, κατά τη δοκιμασία ανάλυσης του παραγόμενου διαλελυμένου αερίου υπό συνθήκες ηλεκτρικού και θερμικού stress, όπου με χρήση της μεθόδου της χρωματογραφίας αέριας φάσης ποσοτικοποιούνται οι τιμές αυτού, αναλύεται το παραγόμενο (-α) αέριο (-α), υπό τους εξής τύπους καταπόνησης :

- κρουστική επίδραση φωτεινών παλμών (στο υπό εξέταση δείγμα ηλεκτρομονωτικού ελαίου εφαρμόζονται 90 φωτεινοί παλμοί – 1.2/50 μs)
- ηλεκτρικό stress διά μερικών εκκενώσεων χαμηλής (700-100 pC), μέσης (1000 pC) και υψηλής (2000 pC) έντασης, με τάση εφαρμογής στα 34-58 kV, ποικίλης διάρκειας
- ηλεκτρικό stress με εφαρμογή καταπονούντος ηλεκτρικού πεδίου πρόκλησης AC διάσπασης, όπου η εφαρμόζεται AC τάση (κατά τη μία ημιπερίοδο το ένα ηλεκτρόδιο - κάθοδος - εγγύει ηλεκτρόνια εντός του ρευστού διηλεκτρικού μέσου τα οποία σχηματίζουν περιοχές όπου αυξάνεται το χωρικό φορτίο, ενώ το δεύτερο μισό της περιόδου το ίδιο ηλεκτρόδιο δρα αντίστροφα, ως άνοδος. Στο φαινόμενο αυτό η ηλεκτροϋδροδυναμική κίνηση του ρευστού παίζει πρωτεύοντα ρόλο).
- θερμικό stress με hotspot τεχνική ταχείας εφαρμογής υψηλής θερμικής καταπόνησης εντός του υπό εξέταση δείγματος ελαίου, θ 300, 500 & 700°C.
- θερμική γήρανση ελαίου, με εφαρμογή θερμικής καταπόνησης διάρκειας 63 ημερών σε θ 150°C.

Ενώ, κατά τη δοκιμασία θερμικής γήρανσης ηλεκτρομονωτικού χάρτου εμποτισμένου σε ρευστό ηλεκτρομονωτικό μέσο, εκτιμάται η αξιοπιστία του ηλεκτρομονωτικού ρευστού εμμέσως διά της εκτίμησης του βαθμού και της ταχύτητας γήρανσης του χάρτου, αξιολογούμενης ποιοτικά και ποσοτικά διά της μετρούμενης μεταβολής στη μηχανική αντοχή, το βαθμό πολυμερισμού και την περιεκτικότητα ύδατος αυτού. Η προσομοίωση γήρανσης του ηλεκτρομονωτικού χάρτου εμποτισμένου στο υπό εξέταση ηλεκτρομονωτικό έλαιο, πραγματοποιείται με εφαρμογή θερμικής καταπόνησης θ 130, 150, 170°C, διάρκειας 500, 1000, 2000, 4000 ωρών (κατά τη μέθοδο αυτή οι ηλεκτρομονωτικές ιδιότητες του ρευστού μέσου εκτιμώνται εμμέσως).

## 4.6 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΥΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΩΝ ΕΛΑΙΩΝ

Η συγκριτική αξιολόγηση φυτικών και ορυκτών ελαίων προς χρήση ως ηλεκτρομονωτικών μέσων, αποσκοπεί στην διατύπωση αξιόπιστων ερευνητικών συμπερασμάτων, προκειμένου για την αξιοποίηση των φυτικών ελαίων ως εναλλακτικού τύπου ρευστού διηλεκτρικού μέσου. Η αξιολόγηση αυτή αφορά στη συγκριτικό έλεγχο μέσα από σειρά διαγνωστικών ελέγχων (παράγραφος V), των χημικών, φυσικών και ηλεκτρικών ιδιοτήτων των υπό εξέταση μέσων. Η διαδικασία αποσκοπεί στον έλεγχο τυχόν συγκριτικών πλεονεκτημάτων των φυτικών ελαίων εν σχέσει προς τα ευρέως χρησιμοποιούμενα ορυκτά έλαια, στη βάση των δεδομένων της διαφορετικής χημικής σύστασης των δύο τύπων ελαίου, με χρήση των ίδιων διαγνωστικών μεθόδων εντούτοις που χρησιμοποιούνται έως τώρα και για τον ποιοτικό έλεγχο των ορυκτελαίων. Διακρίνονται πέντε (5) κατηγορίες ελέγχων (κατά την εταιρεία Doble, “Doble Engineering Company”) :

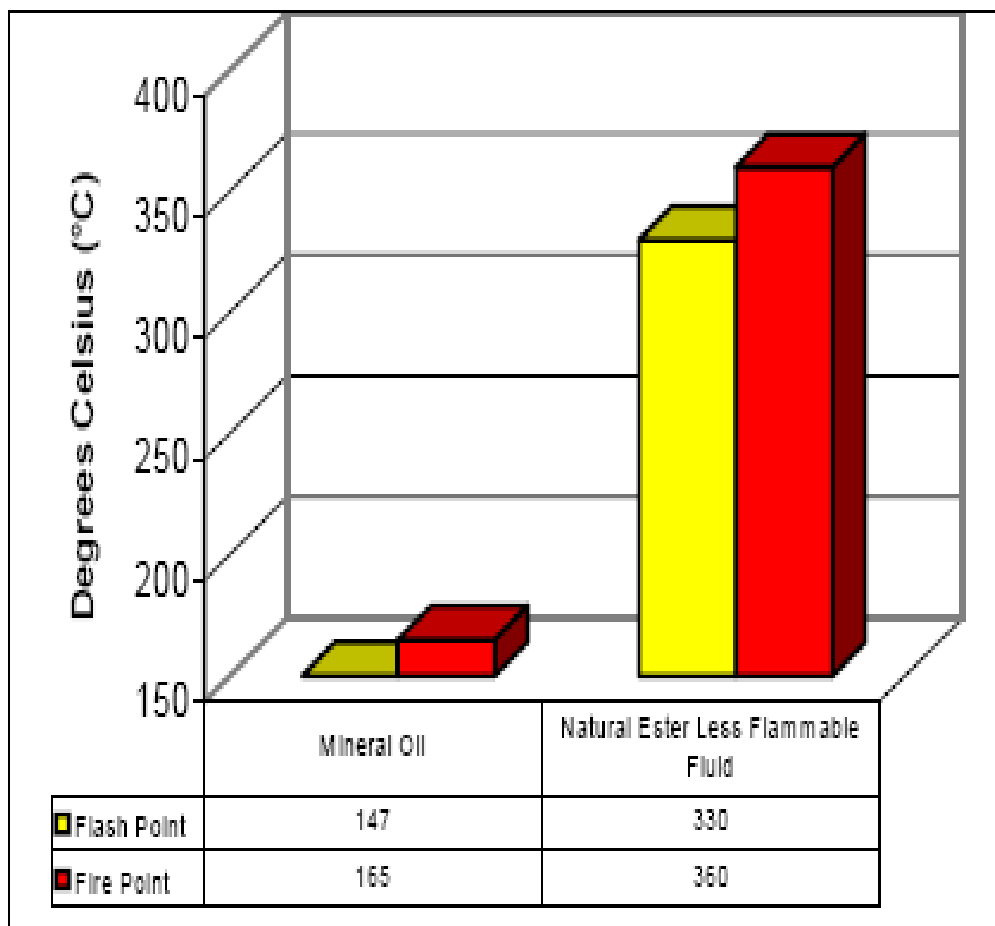
- Φυσικοί έλεγχοι/ δοκιμασίες (physical tests)
- Ηλεκτρικές δοκιμασίες (electrical tests)
- Έλεγχος χημικών ιδιοτήτων (chemical tests)
- Δοκιμασίες επιταχυνόμενης οξείδωσης (accelerated oxidation test)
- Ανάλυση διαλυμένου αερίου (dissolved gas analysis)



Εικόνα 4-6. Χρώμα φυτικού μονωτικού ελαίου. [21]



Εικόνα 4-7. Χρώμα διαφόρων τύπων ορυκτελαίων. [19]



Εικόνα 4-8. Σημεία ανάφλεξης ορυκτού και φυτικού ελαίου μετασχηματιστή. [30]



#### **4.6.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ**

Κατά τις δοκιμές αυτές αξιολογήθηκαν παράμετροι που χαρακτηρίζουν την επάρκεια των φυσικών ιδιοτήτων του εκάστοτε προς χρήση ηλεκτρομονωτικού ελαίου (ορυκτού ή φυτικού). Οι δοκιμές ακολούθησαν το πρότυπο της ASTM και αξιολόγησαν τις φυσικές ιδιότητες που παρατίθενται στον Πίνακα 4-9.

<b>Δοκιμασίες αξιολόγησης φυσικών ιδιοτήτων ηλεκτρομονωτικών ελαίων</b> (ορυκτών και φυτικής προέλευσης)	
<b>Παράμετρος ελέγχου</b> (φυσική ιδιότητα ελαίου)	<b>Κωδικός δοκιμασίας</b> (κατά ASTM)
Σημείο ανιλίνης	D611
Χρώμα	D1500
Σημείο ανάφλεξης	D92
Σημείο καύσης	D92
Διεπιφανειακή τάση (mN/m)	D971
Σημείο ροής	D97
Σχετική πυκνότητα	D1298
Ιξώδες στους 40 °C	D445
Δείκτης διάθλασης στους 20°C	D1807
Επαρκής καθαρότητα (οπτική εξέταση)	D1524

**Πίνακας 4-9.** Δοκιμασίες αξιολόγησης φυσικών ιδιοτήτων ηλεκτρομονωτικών ελαίων. [13]

Στον Πίνακα 4-10 παρατίθενται τα αποτελέσματα της συγκριτικής αξιολόγησης των φυσικών ιδιοτήτων φυσικών και ορυκτών ελαίων. Ως εκπρόσωποι της κατηγορίας των φυτικών ελαίων αξιολογήθηκαν τα προϊόντα BIOTEMP, Coconut oil, ECO Fluid, Envirotemp FR3.

Τιμές φυσικών ιδιοτήτων ορυκτελαίων και φυτικών ηλεκτρομονωτικών ελαίων					
Δοκιμασία (κατά ASTM)	Ορυκτέλαιο (τυπικές τιμές)	Biotemp	Coconut oil	ECO Fluid	Envirotemp FR3
Σημείο ανιλίνης	<80	25.0			2.4
Χρώμα	<0.5	L0.5		1.0	L0.5
Σημείο ανάφλεξης	>145	328	225	321	326
Σημείο καύσης	180	358		341	362
Διεπιφανειακή τάση (mN/m)	>40	26		26	24
Σημείο ροής	<(-40)	-12	20	-12	-21
Σχετική πυκνότητα	<0.910	0.919	0.917	0.920	0.923
Ιξώδες στους 40 °C	<11.0	41.4	29	92	33.8
Δείκτης διάθλασης στους 20°C	1.4808	1.4708		1.46	1.4750
Επαρκής καθαρότητα (οπτική εξέταση)	διαυγές/ λαμπερό	διαυγές/ λαμπερό		διαυγές	διαυγές/ λαμπερό

**Πίνακας 4-10.** Τιμές φυσικών ιδιοτήτων ορυκτελαίων και φυτικών ηλεκτρομονωτικών ελαίων. [29]

Όπως διαπιστώνουμε από τα δεδομένα συγκριτικής αξιολόγησης των φυσικών ιδιοτήτων ορυκτελαίων και φυτικών ελαίων, ως ηλεκτρομονωτικών μέσων, υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις των φυσικών ιδιοτήτων, και αυτές εντοπίζονται κυρίως στις τιμές των παραμέτρων του σημείου ανιλίνης, του σημείου ανάφλεξης, της διεπιφανειακής τάσης, του σημείου ροής και του ιξώδους. Επιπλέον, κάποιες δοκιμές φυσικών ιδιοτήτων όπως το σημείο ανιλίνης και η διεπιφανειακή τάση δε βρίσκουν τόσο καλή εφαρμογή στον έλεγχο των φυτικών ελαίων εν σχέσει προς τα ορυκτέλαια, λόγω της διαφορετικής ιδιοσυστατικής χημικής δομής των δύο τύπων ελαίου. Για παράδειγμα, το σημείο ανιλίνης επηρεάζεται από το ποσοστό περιεκτικότητας του ελαίου σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες, συστατικό που τα φυτικά έλαια δεν περιέχουν εκ σύστασης. Επίσης, η δοκιμή διεπιφανειακής τάσης, μπορεί να μην είναι αξιόπιστη στην ευαισθησία της ως μεθόδου ανίχνευσης ποιοτικών μεταβολών της σύστασης του υποψήφιου ηλεκτρομονωτικού ελαίου, λόγω της υψηλής ιδιοσυστατικής υδροφιλικότητας εν γένει των ρευστών υλικών. Άλλη μια σημαντική διαφορά που συνιστά παράλληλα και το κύριο συγκριτικό πλεονέκτημα των φυτικών ελαίων ως ηλεκτρομονωτικών υλικών σε σχέση προς τα ορυκτέλαια, αποτελεί το γεγονός ότι χαρακτηρίζονται από υψηλότερες τιμές των σημείων ανάφλεξης και καύσης. Η ιδιότητα αυτή τους εξασφαλίζει υψηλότερα στάνταρτ δυνατότητας ασφαλούς χρήσης ως ηλεκτρομονωτικών μέσων. Επιπλέον, οι φυσικοί εστέρες χαρακτηρίζονται από συγκριτικά υψηλότερες τιμές των παραμέτρων του σημείου ροής και του ιξώδους, σε σχέση με ένα τυπικό ορυκτό ηλεκτρομονωτικό έλαιο. Η τιμή του ιξώδους είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον καθορισμό της ψυκτικής ικανότητας του ηλεκτρομονωτικού ελαίου (χρήση ιδίως σε μετασχηματιστές). Μάλιστα. Όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του, ευοδώνεται περισσότερο η ικανότητα απαγωγής θερμότητας διά του ηλεκτρομονωτικού ελαίου. Το σημείο ροής, που αποτελεί την τομή της χαμηλότερης θερμοκρασίας όπου το έλαιο μπορεί να διατηρήσει τη

ρευστότητά του, είναι επίσης μια ιδιαίτερα σημαντική φυσική παράμετρος χαρακτηρισμού των ηλεκτρομονωτικών ελαίων, καθώς η διατήρηση υψηλής ρευστότητας σε όσο το δυνατόν χαμηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος διασφαλίζει την απρόσκοπτη διατήρηση της κυκλοφορίας του ρευστού ηλεκτρομονωτικού υλικού, ευοδώνοντας την ψυκτική και μονωτική του λειτουργία εντός του συστήματος ηλεκτρικής ισχύος. Στο χαρακτήρα αυτό όπως υποδεικνύουν τα αποτελέσματα των συγκριτικών δοκιμών αξιολόγησης, τα φυτικά έλαια μειονεκτούν σημαντικά έναντι των ορυκτών ηλεκτρομονωτικών ελαίων.

#### **4.6.2 ΧΗΜΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ**

Κατά τις δοκιμές αυτές αξιολογούνται συγκριτικά οι χημικές ιδιότητες φυτικών και ορυκτών ηλεκτρομονωτικών ελαίων. Οι παράμετροι που μετρώνται παρατίθενται στον Πίνακα 4-11.

<b>Δοκιμασίες αξιολόγησης χημικών ιδιοτήτων ηλεκτρομονωτικών ελαίων (ορυκτών και φυτικής προέλευσης)</b>	
<b>Παράμετρος ελέγχου (φυσική ιδιότητα ελαίου)</b>	<b>Κωδικός δοκιμασίας (κατά ASTM)</b>
Διαβρωτικό θείο	D1275
Συγκέντρωση νερού (ppm)	D1533
Βαθμός εξουδετέρωσης ή Οξύτητα (mg KOH/g)	D974
Σταθερότητα σε οξείδωση / αναστολείς οξείδωσης (%)	D2668
Συγκέντρωση φουρανικών ενώσεων (μg/L)	D5837
Παρουσία βενζοτρίαζόλης (μg/L)	Doble
Συγκέντρωση πολυχλωριωμένων διφαινυλίων (ppm)	D4059

**Πίνακας 4-11.** Δοκιμασίες αξιολόγησης χημικών ιδιοτήτων ηλεκτρομονωτικών ελαίων. [13]

Τιμές χημικών ιδιοτήτων ορυκτελαίων και φυτικών ηλεκτρομονωτικών ελαίων					
Δοκιμασία (κατά ASTM)	Ορυκτέλαιο (τυπικές τιμές)	Biotemp	Coconut oil	ECO Fluid	Envirotemp FR3
Διαβρωτικό θείο	-	-		-	-
Συγκέντρωση νερού (ppm)	<30	<80	1.0	110	<80
Βαθμός εξουδετέρωσης ή Οξύτητα (mg KOH/g)	<0.015	0.02		0.05	0.02
Αναστολείς οξείδωσης (%)	<0.30	-		0.15	-
Συγκέντρωση φουρανικών ενώσεων (μg/L)	<5	<5			654 HMF
Παρουσία βενζοτριαζόλης (μg/L)	<10	<10			<10
Συγκέντρωση πολυχλωριωμένων διφαινυλίων (ppm)	<2	<2		<2	<2

**Πίνακας 4-12.** Τιμές χημικών ιδιοτήτων ορυκτελαίων και φυτικών ηλεκτρομονωτικών ελαίων. [29]

Οι τιμές των χημικών παραμέτρων που αξιολογούνται φαίνεται να είναι παραπλήσιες για τους δύο τύπους ηλεκτρομονωτικών ελαίων, με εξαίρεση την περιεκτικότητα ύδατος που είναι συγκριτικά υψηλότερη στους φυτικούς εστέρες, ιδιότητα που αποδίδεται στην υψηλή τους υδροφιλικότητα. Το χαρακτηριστικό αυτό δε φαίνεται να επηρεάζει τη διηλεκτρική αντοχή των φυτικών εστέρων, καθώς αυτή εξαρτάται από την απόλυτη συγκέντρωση ύδατος που περιέχεται στο διηλεκτρικό έλαιο, αλλά από τη σχετική περιεκτικότητα σε αυτό. Η αυξημένη συγκέντρωση ύδατος στους φυσικούς εστέρες, φαίνεται μάλιστα να τους προσδίδει επιπλέον πλεονέκτημα ως διηλεκτρικών μέσων έναντι των ορυκτελαίων, καθώς τους αποδίδει την ικανότητα συγκράτησης πλεονάζουσας, δυνητικά επιβλαβούς για το σύστημα ηλεκτρικής ισχύος, υγρασίας. Να σημειώσουμε τέλος ότι οι παράμετροι της περιεκτικότητας των ηλεκτρομονωτικών ελαίων σε φουρανικές ενώσεις και βενζοτριαζόλη δε μπόρεσαν να εκτιμηθούν για τα φυτικά έλαια, λόγω τεχνικών κωλυμάτων κατά τη διεξαγωγή της χρωματογραφικής μεθόδου ελέγχου. Συνεπώς δε μπορούμε να διατυπώσουμε αξιολογικά συμπεράσματα σχετικά με αυτές τις δύο παραμέτρους για τους δύο τύπους ελαίων.

### 4.6.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

Στις δοκιμασίες ελέγχου της συγκεκριμένης κατηγορίας οι ηλεκτρικές ιδιότητες αξιολογούνται συγκριτικά οι ηλεκτρικές ιδιότητες των δύο τύπων ελαίων, ως ηλεκτρομονωτικών μέσων. Οι παράμετροι που ελέγχονται παρατίθενται στον Πίνακα 4-13 :

Παράμετροι που χαρακτηρίζουν τις ηλεκτρικές ιδιότητες ορυκτελαίων και φυτικών ελαίων ως ηλεκτρομονωτικών μέσων	
Παράμετρος ελέγχου	Κωδικός δοκιμασίας (κατά ASTM)
Διηλεκτρική αντοχή σε τάση	D877
Διηλεκτρική αντοχή σε τάση (1mm gap)	D1816
Συντελεστής ισχύος στους 20-25°C %	D924
Συντελεστής ισχύος στους 100°C %	D924
Διηλεκτρική σταθερά στους 25°C	D924
Διηλεκτρική αντοχή σε κρουστική τάση	D3300
Τάση αεριοποίησης (μL/min)	D2300

**Πίνακας 4-13.** Ηλεκτρικές ιδιότητες ορυκτελαίων και φυτικών ελαίων ως ηλεκτρομονωτικών μέσων. [13]

Δοκιμασία (κατά ASTM)	Ορυκτέλαιο (τυπικές τιμές)	Biotemp	ECO Fluid	Envirotemp FR3
Διηλεκτρική αντοχή σε τάση	>30	38	45	51
Διηλεκτρική αντοχή σε τάση (1mm gap)	>20	33	61	36
Συντελεστής ισχύος στους 20-25°C %	<0.05	0.0093	0.09	0.0610
Συντελεστής ισχύος στους 100°C %	<0.30	0.590	0.30	1.850
Διηλεκτρική σταθερά στους 25°C	2.2	3.1	2.86	3.1
Διηλεκτρική αντοχή σε κρουστική τάση	>145	134	148	ανεπαρκές δείγμα
Τάση αεριοποίησης (μL/min)	αρνητικό	-52.7	+22.0	-80.5

**Πίνακας 4-14.** Τιμές χημικών ιδιοτήτων ορυκτελαίων και φυτικών ηλεκτρομονωτικών ελαίων. [29]

Οι ηλεκτρικές ιδιότητες παρουσιάζουν παραπλήσιες τιμές και για τους δύο τύπους ηλεκτρομονωτικών ελαίων. Εξαιρέση αποτελούν η πολύ χαμηλή τιμή της τάσης αεριοποίησης και η υψηλότερη τιμή διηλεκτρικής σταθεράς, που χαρακτηρίζουν τα φυτικά έλαια συγκριτικά προς τα ορυκτέλαια ηλεκτρομόνωσης. Η εξαιρετικά χαμηλή τιμή της τάσης αεριοποίησης των φυτικών ελαίων σε σχέση με τα ορυκτέλαια αποδίδεται στην υψηλή περιεκτικότητα αυτών σε ακόρεστα, μη αρωματικά μόρια συγκριτικά με τα ορυκτέλαια. Το χαρακτηριστικό δε αυτό τους προσδίδει πλεονέκτημα χρήσης ως ηλεκτρομονωτικών μέσων σε καλωδιακά συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, όπου η προδιαγραφή αυτή είναι εξαιρετικά σημαντική για τη μείωση απωλειών ρεύματος. Επιπλέον, οι φυτικοί εστέρες πλεονεκτούν κατά το ότι χαρακτηρίζονται από υψηλότερο συντελεστή ισχύος στους 100°C σε σχέση προς τα ορυκτά ηλεκτρομονωτικά έλαια, ιδιότητα που αποδίδεται στην υψηλότερη περιεκτικότητά τους σε πολικά μόρια. Εντούτοις, τα φυτικά έλαια μειονεκτούν έναντι των ορυκτελαίων ως προς την παράμετρο της αντοχής σε κρουστική τάση, ιδιότητα η οποία παρατηρείται συγκριτικά πολύ μειωμένη.

Συμπερασματικά, οι συγκριτικές δοκιμασίες ελέγχου των φυτικών εστέρων και των ορυκτελαίων ως υποψήφιων ρευστών ηλεκτρομονωτικών υλικών αναδεικνύουν ομοιότητες και κάποιες αξιοσημείωτες διαφορές μεταξύ των δύο. Κάθε τύπος ρευστού ηλεκτρομονωτικού υλικού παρουσιάζει συγκριτικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, και έτσι η επιλογή του τύπου ελαίου θα καθοριστεί από την ανταπόκριση αυτών των χαρακτηριστικών στις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής χρήσης. Εντούτοις, η παρούσα συγκριτική αξιολόγηση επιχειρείται προκειμένου για την ανάδειξη πιθανών εναλλακτικών μορφών ρευστών ηλεκτρομονωτικών υλικών πέραν των ορυκτών ελαίων, που ήδη χρησιμοποιούνται ευρέως ως διηλεκτρικά ρευστά. Όσον αφορά λοιπόν στους φυτικούς εστέρες φαίνεται να πλεονεκτούν κυρίως λόγω της περιεκτικότητας πρόσθετων χημικών ενώσεων που λειτουργούν ως οξειδωτικοί αναστολείς και επιπλέον μειώνουν σημαντικά το σημείο ροής και τη σταθερότητα του ελαίου σε συνθήκες οξείδωσης. Εντούτοις, μένει να δειχθεί αν κατά τη χρήση τους επί μακρόν εμφανίζουν μειονεκτήματα όταν επιλέγονται ως ηλεκτρομονωτικά μέσα μετασχηματιστών. Παράλληλα, ο έλεγχος σε χρήση των φυτικών εστέρων κρίνεται απαραίτητος προκειμένου για τον έλεγχο ιδιοτήτων που διά της εφαρμογής των διαθέσιμων σήμερα δοκιμασιών ελέγχου δεν εξασφαλίζεται η δυνατότητα επαρκούς συγκριτικής αξιολόγησής τους με τα ορυκτά έλαια (οι δοκιμασίες αυτές αφορούν στις παραμέτρους της περιεκτικότητας σε ύδωρ, της συγκέντρωσης φουρανικών ενώσεων και πολυχλωριωμένων διφαινυλίων, το σημείο οξείδωσης, της διεπιφανειακής τάσης και το συντελεστή ισχύος). Απαιτείται άλλως η

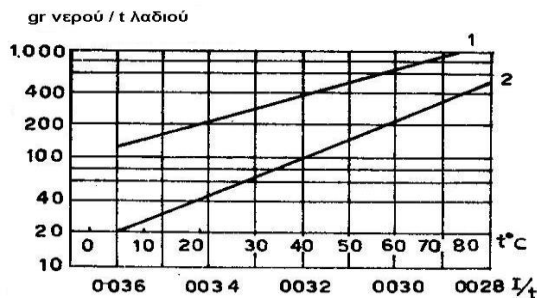
σε-χρήση συγκριτική αξιολόγηση των φυτικών ελαίων ως ηλεκτρομονωτικών μέσων σε σχέση προς τα ορυκτά έλαια, προκειμένου να επιχειρηθεί η διατύπωση αξιόπιστων συμπερασμάτων ως προς τη δυνατότητα αξιοποίησής τους ως εναλλακτικών ηλεκτρομονωτικών μέσων.

## 4.7 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΜΟΝΩΤΙΚΟΥ ΛΑΔΙΟΥ

Η εξέλιξη των μετασχηματιστών σε ολοένα και μεγαλύτερες τάσεις λειτουργίας και παροχής ισχύος έχει δημιουργήσει την ανάγκη να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στην κατάλληλη συντήρηση και επεξεργασία του μονωτικού λαδιού, έτσι ώστε να διατηρεί τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά καλής λειτουργίας.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του λαδιού είναι αρκετοί και σε πολλές περιπτώσεις ενδέχεται να οδηγήσουν στην αχρηστία ακριβές ηλεκτροτεχνικές κατασκευές. Η παρουσία νερού μειώνει την μονωτική ικανότητα του λαδιού και επιπλέον συμβάλει στην οξείδωση των επιμέρους τμημάτων της διάταξης. Μονωτικό λάδι, εκτεθειμένο στον αέρα, απορροφά υγρασία, το δε ποσοστό αυτής εξαρτάται από διάφορους παραμέτρους όπως είναι ο τύπος του λαδιού και η θερμοκρασία.

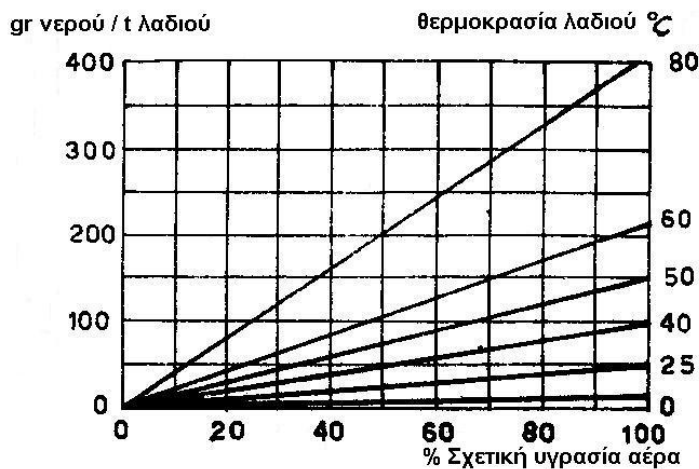
Ένα καλώς διυλισμένο ή φτωχό σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες λάδι, είναι δυνατόν να απορροφήσει, σε θερμοκρασία 20°C, μέχρι 40gr H<sub>2</sub>O/t λαδιού, ενώ λάδι που περιέχει αρωματικούς υδρογονάνθρακες έως 200 40gr H<sub>2</sub>O/t λαδιού. Οι οριακές αυτές τιμές αντιστοιχούν σε λάδι σε επαφή με αέρα 100% κεκορεσμένο σε υγρασία επί μεγάλο χρονικό διάστημα. Επίσης το νερό δύναται να εμφανισθεί εντός του λαδιού και ως προϊόν οξειδώσεως.



1 : λάδι με αρωματικούς υδρογονάνθρακες

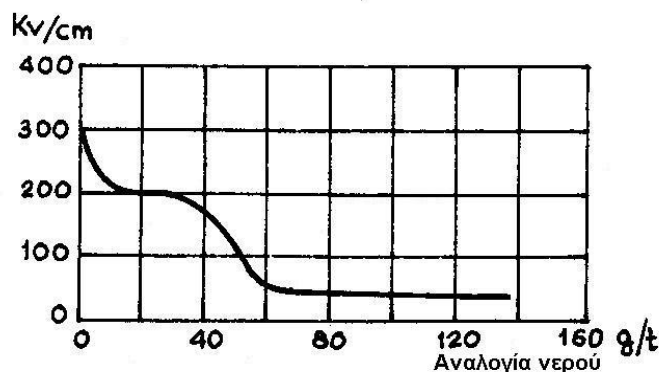
2 : λάδι μετασχηματιστών

Σχήμα 4-15. Μέγιστη διαλυτότητα του νερού στο μονωτικό λάδι συναρτήσει της θερμοκρασίας του ελαίου. [12]



Σχήμα 4-16. Περιεκτικότητα νερού σε μονωτικό λάδι μετασχηματιστή συναρτήσει της % σχετικής υγρασίας του αέρα. [12]

Το νερό με όποια μορφή (διαλυμένο ή διεσπαρμένο κατά περιοχές) και εάν εμφανισθεί εντός του λαδιού, επιδρά καθοριστικά στη μονωτική ικανότητα του λαδιού και παράλληλα συμμετέχει ενεργά στη διαδικασία γήρανσης της μόνωσης. Είναι γεγονός ότι το χαρτί, που περιβάλλει τα τυλίγματα ενός μετασχηματιστή καταστρέφεται σταδιακά από την παρουσία νερού στο μονωτικό λάδι. Με την πάροδο του χρόνου και εφόσον δεν ληφθεί μέριμνα για την ξήρανση του λαδιού εκδηλώνονται διασπάσεις μεταξύ των ελιγμάτων, επιταχύνοντας την απαξίωση της μόνωσης και της ηλεκτρολογικής διάταξης γενικότερα.



**Σχήμα 4-17.** Τάση διάσπασης ορυκτού ελαίου συναρτήσει της περιεκτικότητας σε νερό ( $\text{gr H}_2\text{O}/\text{t}_{\text{ελαίου}}$ ). [12]

Προκειμένου να διατηρηθεί η μονωτική ικανότητα του λαδιού σε ικανοποιητικά επίπεδα κατά περίπτωση, κρίνεται αναγκαίος ο περιοδικός έλεγχος αυτού, έτσι ώστε να αποφευχθούν ατυχήματα και καταστροφή του εξοπλισμού. Στην περίπτωση που διαπιστωθεί στο μονωτικό λάδι υπάρχουν προσμίξεις, αέρας, υγρασία ή μικροσωματίδια τότε είναι δυνατή η συμβατική αναγέννηση του λαδιού. Με τον όρο συμβατική αναγέννηση εννοούμε τον μηχανικό καθαρισμό του λαδιού με διύλιση, την αφυδάτωση (ξήρανση) σε κενό, την απαέρωση σε δοχείο κενού.

Κατά τη διύλιση απομακρύνονται προϊόντα γήρανσης, τα οποία εμφανίζονται υπό μορφή ιζήματος, ίνες μονωτικών υλικών και νερό. Κατά κανόνα το μονωτικό λάδι θα πρέπει να διυλίζεται εντελώς ψυχρό διότι ορισμένα προϊόντα γήρανσης και το νερό διαλύονται εύκολα στο θερμό λάδι.

Η αφυδάτωση υπό κενό και η απαέρωση λαμβάνουν χώρα σε ειδικές συσκευές κενού, έτσι ώστε να αποκλειστεί η πιθανότητα επαφής του λαδιού με τον αέρα και διάφορα σωματίδια.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΙΔΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΕΛΑΙΩΝ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΙ ΣΕ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ



Εικόνα 5-1. Σπόροι φυτικών μονωτικών ελαίων. [27]

### 5.1 ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΟ

Αυτός ο τύπος ελαίου βασίζεται στο πετρέλαιο και αποτελείται ουσιαστικά από άτομα υδρογόνου και άνθρακα. Ο άνθρακας και το υδρογόνο συγκεντρώνονται σε διαφορετικές δομές: ναφθενικός ( $C_nH_{2n}$ ), παραφινικός ( $C_nH_{2n+2}$ ), και αρωματικός ( $C_nH_{2n-6}$ ). Αποτελείται από ένα σύνθετο μίγμα βασικών υγρών υδρογονανθράκων όπως παραφινικούς (40 – 60%), ναφθενικούς (30 – 50%), αρωματικούς (5 – 20%) και ολεφίνη (κατά προσέγγιση 1%). Αυτοί οι υδρογονάνθρακες αποτελούνται από άνθρακα και υδρογόνο που συνδέονται μεταξύ τους με μονούς και διπλούς δεσμούς. Η κατανομή των ανθράκων στις ναφθενικές και παραφινικές δομές καθορίζει τον τύπο του ορυκτελαίου. Αυτή η κατανομή ελέγχεται με τα ακατέργαστα ορυκτέλαια και τις διαδικασίες καθαρισμού που χρησιμοποιούνται. Τα μονωτικά έλαια βασισμένα στο πετρέλαιο, έχουν γενικά άριστες διηλεκτρικές ιδιότητες όπως χαμηλές διηλεκτρικές απώλειες, χαμηλό ιζώδες, συνδυάζονται καλά με την κυτταρίνη και έχουν καλή μακροπρόθεσμη συμπεριφορά. Η δημοτικότητα του ορυκτού ελαίου μετασχηματιστών οφείλεται στη διαθεσιμότητα και το χαμηλότερο κόστος, καθώς επίσης και στο ότι είναι άριστο διηλεκτρικό και μέσο ψύξης. Για αυτούς τους λόγους χρησιμοποιείται στη βιομηχανία των μετασχηματιστών και είναι αυτή τη στιγμή γενικά το μοναδικό που χρησιμοποιείται για τους μετασχηματιστές ισχύος. Όμως αυτού του τύπου το έλαιο μετασχηματιστών είναι κακώς βιοδιασπώμενο και ελαφρώς τοξικό. Θα μπορούσε να μολύνει το χώμα και τις υδάτινες οδούς εάν εμφανιστούν διαρροές. Πολλές έρευνες διεξάγονται ώστε να αναζητηθεί εναλλακτική λύση των υγρών μονωτικών υλικών που είναι φιλικά στο περιβάλλον. Άλλωστε τα αποθέματα πετρελαίου τείνουν να εξαντληθούν, γεγονός που θα οδηγήσει σε σοβαρά προβλήματα και έλλειψη του ορυκτελαίου μέσα στις επόμενες δεκαετίες.



**Εικόνα 5-2.** Χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια. [24]

Τα τελευταία χρόνια έχουν κάνει την εμφάνιση τους στην αγορά των διηλεκτρικών, συνθετικά και φυτικά έλαια, μη πετρελαϊκής προέλευσης, τα οποία μάλιστα ενδέχεται να προσφέρουν πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά ορυκτέλαια. Αυτή είναι πλέον η σύγχρονη τάση για εφαρμογές που συνδυάζουν υψηλή απόδοση και φιλικότητα προς το περιβάλλον. Μολονότι τα συμβατικά ορυκτέλαια, επιτελούν σε μεγάλο βαθμό το έργο τους ως διηλεκτρικά αρκετά ικανοποιητικά, δεν προσφέρουν κανέναν είδους ασφάλεια έναντι πυρός. Έχουν σχετικά χαμηλό σημείο ανάφλεξης και έτσι ο κίνδυνος να εκδηλωθεί πυρκαγιά στον μετασχηματιστή σε περίπτωση σφάλματος είναι μεγάλος. Η ανάγκη να μειωθεί ο κίνδυνος ανάφλεξης του ορυκτελαίου, που ενδέχεται να συνεπάγεται έκρηξη του ίδιου του μετασχηματιστή και καταστροφή των γειτονικών μηχανημάτων, αποτέλεσε το πρώτο κίνητρο για την αναζήτηση άλλων διηλεκτρικών ελαίων με διαφορετική συμπεριφορά καύσης.

## **5.2 ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΥΓΡΑ**

Η πρώτη γενιά άφλεκτων εναλλακτικών ελαίων ήταν αυτά με βάση τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια, γνωστά με τα αρχικά PCB. Τα PCB είχαν άριστες διηλεκτρικές ιδιότητες και μη μετρήσιμο σημείο ανάφλεξης που ξεπερνά τους 300 βαθμούς Κελσίου. Σε ξαφνικές αυξήσεις ηλεκτρικών φορτίων μεταβάλλεται σημαντικά το ιξώδες τους με παράλληλη αύξηση της ειδικής θερμότητας και θερμοαγωγιμότητας τους, πράγμα που τα αναδεικνύει σε θαυμάσια ψυκτικά μέσα. Μεταξύ του 1930 και των μέσων της δεκαετίας του 70, άφλεκτα υγρά πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PolyChlorinated Biphenyls) δηλαδή τα PCBs χρησιμοποιήθηκαν για λόγους μόνωσης.

Κατά τη διάρκεια του 1970 καθορίστηκε ότι τα PCBs εκτός από τις ευεργετικές ιδιότητες μπορεί να είναι ένας περιβαλλοντικός κίνδυνος και η παραμονή τους στο φυσικό περιβάλλον

είχε αρνητικές επιπτώσεις(βιοσυσσώρευση). Έχουν χαμηλά ποσοστά βιοαποικοδόμησης και είναι τοξικά. Επίσης σε μια φωτιά το PCBs μπορεί να τροποποιηθεί χημικά και να παράγει υψηλά επίπεδα διοξινών και φουρανίων. Τα άφλεκτα διηλεκτρικά αποσύρθηκαν από την αγορά και από τότε οι ερευνητές στη βιομηχανία μετασχηματιστών έχουν δοκιμάσει πολλούς συνδυασμούς χημικών ουσιών για να αφαιρέσουν και να αντικαταστήσουν τα PCBs στους παλαιότερους μετασχηματιστές και να βρουν νέα υγρά για τους νέους μετασχηματιστές.

### **5.3 ΕΛΑΙΑ ΣΙΛΙΚΟΝΗΣ**

Τα διηλεκτρικά υψηλού σημείου ανάφλεξης με πρώτα τα λάδια με βάση τη σιλικόνη αντικατέστησαν τα συνθετικά έλαια. Το έλαιο σιλικόνης είναι πολυμερές που βασίζεται στη σιλικόνη ,είναι άχρωμο και περιλαμβάνει επίσης άτομα άνθρακα, οξυγόνου και υδρογόνου. Το τελικό προϊόν, λαμβάνεται από το πολυμερισμό του polydimethylsiloxane (PDMS). Το πλεονέκτημα του είναι ότι έχει μια υψηλή θερμική σταθερότητα, αλλά ο συνδυασμός μέτρων διηλεκτρικών και μονωτικών ιδιοτήτων με τις αμφισβητούμενες οικολογικές συνέπειες της σχεδόν μηδαμινής βιοαποικοδομησιμότητας της σιλικόνης, έχουν περιορίσει τη χρήση της σε ειδικές εφαρμογές.

### **5.4 ΣΥΝΘΕΤΙΚΟΙ ΕΣΤΕΡΕΣ**

Επόμενη κατηγορία συνθετικών ελαίων με μικρό αλλά σταθερό μερίδιο αγοράς, είναι οι συνθετικοί εστέρες(pentaerythritol).Ο συνθετικός εστέρας κατασκευάζεται βιομηχανικά. Πρόκειται για έλαια υψηλού σημείου ανάφλεξης, με διηλεκτρικές και μονωτικές ιδιότητες πολύ κοντά σε αυτές των ορυκτελαίων και με υψηλή βιοαποικοδομησιμότητα. Εξαιτίας του υψηλού κόστους παρασκευής τους περιορίζονται σε ειδικές εφαρμογές, όπου η ασφάλεια έναντι της πιθανότητας φωτιάς και οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί δικαιολογούν την διαφορά στην τιμή του. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπως μετασχηματιστές έλξης και κινητούς μετασχηματιστές.

### **5.5 ΦΥΣΙΚΟΙ ΕΣΤΕΡΕΣ**

Εκτενέστερη αναφορά θα γίνει στους φυσικούς εστέρες καθώς με τέτοιου είδους έλαιο πραγματοποιήθηκε η πειραματική διαδικασία.

Η χρήση των συνθετικών εστέρων σημείωσε επιτυχία λόγω μικρού κόστους και όχι άλλων ιδιοτήτων. Ήταν λογική η αναζήτηση πρακτικότερων και οικονομικότερων λύσεων οι φυσικοί εστέρες σαν διηλεκτρικά. Τα βρώσιμα έλαια από σπόρους είναι μια πηγή. Υπάρχουν φυτικά έλαια –φυσικοί εστέρες (τριεστέρες) που καθαρίζονται από τους φυτικούς ιστούς σε αντίθεση με τους συνθετικούς. τα φυτικά έλαια έχουν ιδιότητες σαν των συνθετικών και μικρότερο κόστος επεξεργασίας. Τέτοια έλαια είναι:

-BIOTEMP

-ECO FLUID

-ENVIROTEMP FR3

-COCONUT OIL

Τα φυτικά έλαια πετυχαίνουν σίγουρα πέρα από τις προσδοκίες τους στόχους περιβαλλοντικής ασφάλειας και υγείας.

Τα έλαια αυτά συντίθενται από:

-ΣΟΓΙΑ

-ΗΛΙΑΝΘΟ

-ΣΙΝΑΠΟΣΠΟΡΟ

-ΚΛΠ

Δημιουργούνται από αντίδραση τριαλκοόλης και λιπαρών οξέων, τα ακατέργαστα έχουν σκούρο χρώμα και περιέχουν πρωτεΐνες και ίνες λίπη και έλαιο.

Οι προηγούμενες χρήσεις μονωτικών ελαίων σίγουρα μας δίδαξαν ότι τα φυτικά έλαια σε συνθήκες φυσικού περιβάλλοντος (νερό, οξυγόνο και μικροοργανισμοί σε αφθονία) διασπώνται ταχύτατα. Δεν δημιουργούν τοξικά κατάλοιπα είναι ασφαλή για την χλωρίδα, την πανίδα και τον άνθρωπο. Επίσης η χρήση τους συνάδει με την τάση αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς μετά την ωφέλιμη χρήση τους είναι μια πρώτη ύλη για παραγωγή βιοκαυσίμων.

Μεγάλες εταιρίες ηλεκτρικών ειδών και μετασχηματιστών πλέον χρησιμοποιούν φυτικά έλαια.

Όμως τα πλεονεκτήματα δεν σταματούν εδώ καθώς τα φυτικά έλαια βελτιώνουν τη λειτουργία του μετασχηματιστή παρατείνουν την διάρκεια ζωής του και αντιμετωπίζουν καλύτερα υπερφορτίσεις. Διατηρούν το μονωτικό χαρτί του μετασχηματιστή σε καλύτερη κατάσταση ακόμα και σε υψηλότερη θερμοκρασία.

Η χρήση τους είχε αποκλειστεί λόγω της μειωμένης συμπεριφοράς τους έναντι της οξείδωσης. Λόγω της παρουσίας του χαλκού στους μετασχηματιστές αυτή η τάση είχε ενισχυθεί. Όμως τα τελευταία χρόνια οι μοντέρνες πρακτικές σχεδιασμού των μετασχηματιστών μαζί με πρόσθετα κατάλληλου υγρού αντισταθμίζουν αυτό τον παράγοντα. Ακόμα ένα μειονέκτημα των φυτικών ελαίων αποτελεί το υψηλό κόστος παραγωγής και το υψηλό ιξώδες. Όμως τα έλαια συνεχώς βελτιώνονται και επιδέχονται αλλαγές για την βελτίωση των παραπάνω χαρακτηριστικών. Από τη δεκαετία του 90 λόγω περιβαλλοντικών ανησυχιών αναπτύχθηκαν για την ανάπτυξή τους. Είναι διαδεδομένη σήμερα η χρήση τους στην αγορά μετασχηματιστών σε παγκόσμια κλίμακα. Αρκεί μόνο ο μετασχηματιστής να είναι κλειστού τύπου ή σε περίπτωση ύπαρξης δοχείου διαστολής να προσαρμοστεί μια μεμβράνη για την αποφυγή επικοινωνίας ελαίου-ατμοσφαιρικού αέρα.



Εικόνα 5-3. Σπόροι ηλίανθου. [23]



Εικόνα 5-4. Ηλιανθοί. [23]

### **5.5.1 ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΗ ΧΡΗΣΗ ΦΥΤΙΚΩΝ ΕΛΑΙΩΝ**

Αρχικά τα φυτικά έλαια χρησιμοποιήθηκαν στους πυκνωτές. Αναφορά γίνεται για χρήση ελαίων καστώρων και βαμβακόσπορων σε πυκνωτές από 1962. Το 1971 ινδοί ερευνητές ανέφεραν δοκιμή ελαίου καρύδων. Το 1979 και το 1983 εμφανίζονται και άλλα τεχνικά έγγραφα από ινδούς ερευνητές. Το 1985 ένα αμερικανικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας περιγράφει τη χρήση ελαίου σόγιας με πρόσθετες ουσίες στους πυκνωτές. Το 1987 παρουσιάστηκε από βραζιλιάνους ερευνητές ενδιαφέρον για το έλαιο κάστορα οι οποίοι εξέθεσαν την εργασία τους σε ένα έγγραφο της CIGRE. Στη δεκαετία του 90 το έλαιο σιναπόσπορου έγινε το κέντρο ενδιαφέροντος.



Εικόνα 5-5. Σπόροι σιναπιού. [25]



Εικόνα 5-6. Σπόροι σόγιας. [26]

## **5.6 ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΤΡΙΒΗ (ΙΞΩΔΕΣ) ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΑΔΙΩΝ**

Τα μονωτικά λάδια χρησιμοποιούνται σε διάφορες ηλεκτρολογικές εφαρμογές, όπως σε μετασχηματιστές ισχύος, σε μετασχηματιστές οργάνων, σε ελαιοδιακόπτες, σε πυκνωτές και σε καλώδια. Ο ρόλος τους είναι συνήθως διπλός. Χρησιμοποιούνται δηλαδή αφ' ενός μεν σαν ηλεκτρομονωτικά υλικά αφ' ετέρου δε σαν ψυκτικά μέσα για την απαγωγή για παράδειγμα της θερμότητας που παράγεται στα τυλίγματα των μετασχηματιστών.

Διακρίνουμε δύο μεγάλες κατηγορίες μονωτικών λαδιών:

A). Τα ορυκτά μονωτικά λάδια που προέρχονται από επεξεργασία του αργού πετρελαίου.

B). Τα συνθετικά μονωτικά λάδια που είναι συνήθως χλωριωμένα παράγωγα του διφαινύλιου και πολυφαινύλιου και είναι γνωστά με τις εμπορικές ονομασίες Clorhene, Ascarel, Pyranol, Aroclor, Dielectrol κ.ά.

Τα συνθετικά λάδια υπερτερούν έναντι των ορυκτών ως προς το ότι αναφλέγονται δύσκολα, όταν αναφλεγούν καίγονται με αργούς ρυθμούς, έχουν υψηλότερη διηλεκτρική σταθερά και παρουσιάζουν καλές ψυκτικές ιδιότητες λόγω της σημαντικής μεταβολής του ιξώδους τους με την αύξηση της θερμοκρασίας και παράλληλης αύξησης της ειδικής τους θερμότητας. Όμως παρουσιάζουν και ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα που περιορίζουν έτσι τη χρήση τους, όπως ότι είναι ισχυρά τοξικά και ότι μερικά από αυτά είναι ισχυρά διαλυτικά και είναι πιθανόν να διαλύσουν και να προκαλέσουν φθορές σε άλλα μονωτικά υλικά όπως βερνίκια και πλαστικά.

### **5.6.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΑΔΙΩΝ**

Οι προδιαγραφές για τα μονωτικά λάδια διαφέρουν ανάλογα με τη συγκεκριμένη κάθε φορά χρήση τους. Για παράδειγμα:

- Τα λάδια των μετασχηματιστών πρέπει να έχουν καλά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (π.χ. μεγάλη διηλεκτρική σταθερά, μεγάλη διηλεκτρική αντοχή) αλλά και καλές ψυκτικές ιδιότητες (καλή θερμοαγωγιμότητα, μικρό ιξώδες για ευκολότερη κυκλοφορία μέσα στο σύστημα ψύξης).
- Τα λάδια των ελαιοδιακοπών πρέπει να αντέχουν στα ηλεκτρικά τόξα που δημιουργούνται χωρίς να διασπώνται δημιουργώντας έτσι εναποθέσεις.
- Τα λάδια των πυκνωτών πρέπει να έχουν πολύ καλές μονωτικές ιδιότητες και να αντέχουν σε υψηλές τάσεις χωρίς να διασπώνται.

Διακρίνουμε γενικά δύο κατηγορίες χαρακτηριστικών των μονωτικών λαδιών:

- Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά (πχ. πυκνότητα, πτητικότητα, ιξώδες, σημείο ανάφλεξης, θερμική αγωγιμότητα, περιεκτικότητα σε υγρασία, οξύτητα, χημική σταθερότητα, χημική δραστηριότητα κα.)
- Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (ειδική ηλεκτρική αντίσταση, διηλεκτρική σταθερά, διηλεκτρική επιδεκτικότητα, διηλεκτρική αντοχή, εφαπτομένη απωλειών κα.).

Ανάλογα με τη χρήση του ορυκτελαίου ορισμένες από τις ιδιότητες αυτές μετρώνται τόσο πριν την πρώτη χρησιμοποίησή τους όσο και κατά τακτά χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια της χρησιμοποίησής τους. Οι τιμές που λαμβάνονται αποτελούν δείκτες της κατάστασης των ορυκτελαίων σύμφωνα με τις διεθνείς προδιαγραφές και υποδεικνύουν την αναγκαιότητα ή όχι αντικατάστασής τους και τη δυνατότητα αναγέννησής τους.

## 5.6.2 ΙΞΩΔΕΣ

Το ιξώδες είναι ένα μέγεθος που χαρακτηρίζει τη ρευστότητα των υγρών ή τη λεγόμενη "εσωτερική τριβή". Διακρίνουμε το **δυναμικό ή απόλυτο ιξώδες (n)** του οποίου οι μονάδες είναι το **poise (p)** ή συνήθως το cp ( $1cp=0.01p$ ) και το **κινηματικό ιξώδες (v)** με μονάδα το **stoke (st)** και το cst ( $1cst=0.01st$ ) όπου  $1st=1cm^2/sec$ .

Το δυναμικό και κινηματικό ιξώδες σχετίζονται με τη σχέση:

$$v=n/d \quad (1)$$

όπου  $d$ =πυκνότητα του υγρού (σε  $g/cm^3$ ).

Μεγάλες τιμές ιξώδους χαρακτηρίζουν τα παχύρευστα υγρά ενώ μικρές τα λεπτόρευστα.

Το ιξώδες μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία και συγκεκριμένα μειώνεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία. Για την ποσοτική εκτίμηση της αλλαγής του ιξώδους συναρτήσει της θερμοκρασίας χρησιμοποιείται ο **δείκτης ιξώδους VI (Viscosity Index)**, ο οποίος σύμφωνα με την πρότυπη μέθοδο ASTM D-2270 δίδεται από την σχέση:

$$VI=L-U/L-H \text{ εάν } VI < 100$$

όπου  $U$ = ιξώδες ορυκτελαίου στους  $40^\circ C$

$L$ = ιξώδες ορυκτελαίου στους  $40^\circ C$  αν  $VI=0$

$H$ = ιξώδες ορυκτελαίου στους  $40^\circ C$  αν  $VI=100$ .

Ο δείκτης ιξώδους είναι ένας ακέραιος αριθμός και αποτελεί εμπειρικό μέτρο της σταθερότητας του ιξώδους με την θερμοκρασία.

Στη κατασκευή της κλίμακας του VI, χρησιμοποιήθηκαν ορυκτέλαια του Μεξικάνικου κόλπου που παρουσιάζουν μεγάλη μεταβολή του ιξώδους με την θερμοκρασία και για τα οποία δόθηκε η τιμή  $VI=0$ , όπως και ορυκτέλαια Πενσυλβανίας τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη σταθερότητα του ιξώδους και στα οποία δόθηκε η τιμή  $VI=100$ . Οι δύο αυτές ακραίες κατηγορίες περιέκλειαν όλα τα αρχικά ορυκτέλαια. Σήμερα η πλειοψηφία των λιπαντικών ελαίων έχουν  $VI > 100$ , ενώ υπάρχουν και περιπτώσεις όπου  $VI < 0$ .

Για τον προσδιορισμό του δείκτη ιξώδους (VI) ενός οποιουδήποτε ορυκτελαίου, προσδιορίζεται το κινηματικό ιξώδες στους  $100^\circ C$  (Y) και στους  $40^\circ C$  (U) διαδοχικά, ενώ από πίνακες προσδιορίζονται τα L και H (Πίνακας I). Στη συνέχεια από τη σχέση (2) υπολογίζεται ο δείκτης ιξώδους. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι η σχέση (2) ισχύει μόνο για τις περιπτώσεις όπου  $VI < 100$  δηλαδή  $U > H$ . Αν  $VI > 100$  δηλαδή  $U < H$  τότε χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση για τον υπολογισμό του VI:

$$VI=100+(10^N-1)/0.00715 \text{ όπου } N=(\log H-\log U)/\log Y \text{ εάν } VI > 100 \quad (3)$$

Η μεταβολή του ιξώδους με την θερμοκρασία δίδεται από τη σχέση:

$$\log[\log(v+0.7)] = A + B \log T \quad (4)$$

όπου  $v$ =κινηματικό ιξώδες (st)

$T$ =απόλυτη θερμοκρασία (K)

$A, B$ =σταθερές χαρακτηριστικές κάθε λαδιού.

Οι τιμές του ιξώδους που επιτρέπεται να έχουν τα μονωτικά λάδια σε διάφορες θερμοκρασίες καθορίζονται σύμφωνα με τους κανονισμούς των διαφόρων χωρών και ποικίλουν από εφαρμογή σε εφαρμογή.

## **5.7 ΟΔΗΓΙΑ 96/59/ΕΚ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ ΤΗΣ 16<sup>ΗΣ</sup> ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 1996 ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΘΕΣΗ ΤΩΝ ΠΟΛΥΧΛΩΡΟΔΙΦΑΙΝΥΛΙΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΟΛΥΧΛΩΡΟΤΡΙΦΑΙΝΥΛΙΩΝ (PCB/PCT)**

*Επίσημη Εφημερίδα αριθ. L 243 της 24/09/1996 σ. 0031 - 0035*

ΟΔΗΓΙΑ 96/59/ΕΚ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 16ης Σεπτεμβρίου 1996 για τη διάθεση των πολυχλωροδιφαινυλίων και των πολυχλωροτριφαινυλίων (PCB/PCT)

ΤΟ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ,

Έχοντας υπόψη:

τη συνθήκη για την ίδρυση της Ευρωπαϊκής Κοινότητας, και ιδίως το άρθρο 130Σ παράγραφος 1,

την πρόταση της Επιτροπής (1),

τη γνώμη της Οικονομικής και Κοινωνικής Επιτροπής (2),

Αποφασίζοντας σύμφωνα με τη διαδικασία που προβλέπεται στο άρθρο 189Γ της συνθήκης (3),

Εκτιμώντας:

(1) ότι, με την οδηγία 76/403/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 6ης Απριλίου 1976, περί της εξαλείψεως των πολυχλωροδιφαινυλίων και των πολυχλωροτριφαινυλίων (4), έχει επέλθει προσέγγιση των νομοθεσιών των κρατών μελών στον εν λόγω τομέα 7 ότι, εντούτοις, οι κανόνες αυτοί απεδείχθησαν ανεπαρκείς 7 ότι η εξέλιξη του επιπέδου της τεχνικής επιτρέπει τη βελτίωση των συνθηκών διάθεσης των PCB 7 ότι θα πρέπει, ως εκ τούτου, να αντικατασταθεί η εν λόγω οδηγία από νέα οδηγία 7(2) ότι η οδηγία 76/769/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 27ης Ιουλίου 1976, περί προσεγγίσεως των νομοθετικών, κανονισμών και διοικητικών διατάξεων των κρατών μελών που αφορούν περιορισμούς κυκλοφορίας στην αγορά και χρήσεως μερικών επικινδύνων ουσιών και παρασκευασμάτων (5), επιστά την προσοχή στην ανάγκη επανεξέτασης του συνόλου του προβλήματος προκειμένου να επιβληθεί προοδευτικά πλήρης απαγόρευση των PCB και των PCT 7(3) ότι η ασφαλής διάθεση των μη ανακυκλώσιμων και μη επαναχρησιμοποιήσιμων αποβλήτων είναι ένας από τους στόχους του ψηφίσματος του Συμβουλίου, της 7ης Μαΐου 1990, σχετικά με την πολιτική διαχείρισης των αποβλήτων (6), όπως επιβεβαιώθηκε από το πέμπτο πρόγραμμα δράσης στον τομέα του περιβάλλοντος και της αειφόρου ανάπτυξης, η γενική προσέγγιση και στρατηγική του οποίου εγκρίθηκαν από το Συμβούλιο και τους αντιπροσώπους των κυβερνήσεων των κρατών μελών, συνεργομένων στα πλαίσια του Συμβουλίου, με το ψήφισμα της 1ης Φεβρουαρίου 1993 (7) 7(4) ότι, σύμφωνα με την οδηγία 75/442/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 15ης Ιουλίου 1975, περί των στερεών αποβλήτων (8), πρέπει να ληφθούν κατάλληλα μέτρα ώστε να αποφεύγεται η εγκατάλειψη, η απόρριψη, η ανεξέλεγκτη διάθεση των αποβλήτων και η χρησιμοποίηση τρόπων ή μεθόδων που θα μπορούσαν να βλάψουν το περιβάλλον 7(5) ότι, για τη διάθεση PCB, λόγω των κινδύνων που



παρουσιάζουν για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία, χρειάζονται γενικές υποχρεώσεις σχετικά με την ελεγχόμενη διάθεση των PCB, καθώς και για την απολύμανση ή διάθεση των συσκευών 7(6) ότι θα πρέπει να ληφθούν τέτοια μέτρα το συντομότερο δυνατόν με την επιφύλαξη των διεθνών υποχρεώσεων που έχουν αναλάβει τα κράτη μέλη, και ειδικότερα εκείνων που περιέχονται στην απόφαση PARCOM 92/3 (9) 7 ότι τα PCB που απογράφονται πρέπει να διατεθούν το αργότερο μέχρι τα τέλη του 2010 7(7) ότι η διάθεση των PCB αποτελεί μεταβατικό και προσωρινό πρόβλημα και ορισμένα κράτη μέλη, τα οποία δεν έχουν δυνατότητες διάθεσης των PCB, αντιμετωπίζουν κατάσταση ανωτέρας βίας 7 ότι η αρχή της εγγύτητας θα πρέπει να ερμηνεύεται ελαστικά, προκειμένου να καταστεί δυνατή η ευρωπαϊκή αλληλεγγύη στον τομέα αυτό 7 ότι, επιπλέον, θα πρέπει να δημιουργηθούν εντός της Κοινότητας εγκαταστάσεις για τη διάθεση, την απολύμανση και την εναποθήκευση των PCB 7(8) ότι η οδηγία 75/439/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 16ης Ιουνίου 1975, περί διαθέσεως των χρησιμοποιημένων ορυκτελαίων (10), ορίζει ως ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε PCB ή PCT των αναγεννημένων ή χρησιμοποιούμενων ορυκτελαίων τα 50 ppm 7(9) ότι η οδηγία 91/339/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 18ης Ιουνίου 1991, για την ενδέκατη τροποποίηση της οδηγίας 76/769/ΕΟΚ (11), απαγορεύει ή περιορίζει την κυκλοφορία στην αγορά ορισμένων υποκατάστατων των PCB και ότι θα πρέπει συνεπώς αυτά να διατεθούν πλήρως 7(10) ότι, για να μπορέσουν οι δυνατότητες διάθεσης των PCB να προσαρμοστούν στις ανάγκες, είναι ουσιαστικής σημασίας να είναι γνωστές οι υπάρχουσες ποσότητες PCB 7 ότι, κατά συνέπεια, είναι αναγκαίο να γίνει η επισήμανση των συσκευών που περιέχουν PCB και η απογραφή τους 7 ότι αυτή η απογραφή πρέπει να ενημερώνεται σε τακτά διαστήματα 7(11) ότι, δεδομένου του κόστους και των τεχνικών δυσκολιών που συνεπάγεται η απογραφή των ελαφρώς μολυσμένων από PCB συσκευών, θα πρέπει να ακολουθηθεί απλουστευμένη απογραφή 7 ότι, επιπλέον, για τις ελαφρώς μολυσμένες από PCB συσκευές, θα πρέπει να προβλεφθεί η διάθεσή τους στο τέλος της διάρκειας της ωφέλιμης ζωής τους, δεδομένων των μικρών κινδύνων που ενέχουν για το περιβάλλον 7(12) ότι, δεδομένου ότι απαγορεύεται η κυκλοφορία στην αγορά των PCB, θα πρέπει να απαγορεύεται και ο διαχωρισμός των PCB από άλλες ουσίες με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή τους και η συμπλήρωση των μετασχηματιστών με PCB 7 ότι, ωστόσο, για λόγους ασφαλείας, η συντήρηση των μετασχηματιστών μπορεί να συνεχίζεται ώστε να διατηρείται η διηλεκτρική ιδιότητα των PCB που περιέχουν 7(13) ότι οι επιχειρήσεις που προβαίνουν στη διάθεση ή/και την απολύμανση των PCB πρέπει να λαμβάνουν άδεια 7(14) ότι θα πρέπει να ορισθούν οι προϋποθέσεις για την απολύμανση των συσκευών που περιέχουν PCB και να επιβληθεί ειδική επισήμανση σ' αυτές τις συσκευές 7(15) ότι ορισμένες τεχνικές εργασίες που απαιτούνται για την εφαρμογή της παρούσας οδηγίας θα πρέπει να αναληφθούν από την Επιτροπή, σύμφωνα με την διαδικασία της επιτροπής που αναφέρεται στο άρθρο 18 της οδηγίας 75/442/ΕΟΚ 7(16) ότι, δεδομένου ότι οι εγκαταστάσεις διάθεσης και απολύμανσης των PCB είναι περιορισμένες σε αριθμό και ικανότητα, είναι αναγκαίο να προγραμματιστεί η διάθεση ή/και η απολύμανση των απογεγραμμένων PCB 7 ότι, επιπλέον, για τις μη απογεγραμμένες συσκευές θα πρέπει να συνταχθεί σχέδιο για τη συλλογή και τη μετέπειτα διάθεσή τους 7 ότι, στο σχέδιο αυτό, μπορεί, εάν χρειάζεται, να χρησιμοποιηθούν οι υφιστάμενοι μηχανισμοί σχετικά με τα απόβλητα εν γένει

και δεν είναι δυνατόν να ληφθούν υπόψη οι πολύ μικρές ποσότητες PCB οι οποίες δεν μπορούν να ανιχνευτούν πρακτικά,

ΕΞΕΛΩΣΕ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΟΔΗΓΙΑ:

Άρθρο 1

Σκοπός της παρούσας οδηγίας είναι η προσέγγιση των νομοθεσιών των κρατών μελών σχετικά με την ελεγχόμενη διάθεση των PCB, την απολύμανση ή διάθεση συσκευών που περιέχουν PCB ή/και τη διάθεση χρησιμοποιημένων PCB, προκειμένου να διατεθούν πλήρως βάσει των διατάξεων της παρούσας οδηγίας.

Άρθρο 2

Για τους σκοπούς της παρούσας οδηγίας, νοούνται ως:

α) PCB:

- τα πολυχλωροδифαινύλια,
- τα πολυχλωροτριφαινύλια,
- το μονομεθυλο-τετραχλωροδифαινύλο-μεθάνιο, το μονομεθύλο-διχλωροδифαινύλο-μεθάνιο, το μονομεθύλο-διβρωμοδифαινύλο-μεθάνιο,
- κάθε μείγμα συσσωρευμένης περιεκτικότητας στις προαναφερθείσες ουσίες μεγαλύτερης του 0,005 % κατά βάρος 7β) συσκευή που περιέχει PCB: κάθε συσκευή που περιέχει ή περιείχε PCB (π.χ. μετασχηματιστές, πυκνωτές, υποδοχείς που περιέχουν υπολειμματικά αποθέματα) η οποία δεν έχει απολυμανθεί. Συσκευές τύπου που ενδέχεται να περιέχουν PCB θεωρούνται ως συσκευές που περιείχαν PCB εκτός εάν είναι εύλογο να υποτεθεί το αντίθετο 7γ) χρησιμοποιημένα PCB: όλα τα PCB που θεωρούνται ως απόβλητα κατά την έννοια της οδηγίας 75/442/ΕΟΚ 7δ) κάτοχος: κάθε φυσικό ή νομικό πρόσωπο το οποίο έχει στην κατοχή του PCB, χρησιμοποιημένα PCB ή/και συσκευές που περιέχουν PCB 7ε) απολύμανση: όλες οι εργασίες οι οποίες επιτρέπουν σε συσκευές, αντικείμενα, υλικά ή υγρά που έχουν μολυνθεί από PCB να χρησιμοποιηθούν εκ νέου, να ανακυκλωθούν ή να διατεθούν υπό συνθήκες ασφαλείας, και οι οποίες ενδέχεται να περιλαμβάνουν την αντικατάσταση, ήτοι τις εργασίες δια των οποίων τα PCB αντικαθίστανται από κατάλληλα υγρά που δεν περιέχουν PCB 7στ) διάθεση: οι εργασίες διάθεσης D 8, D 9, D 10, D 12 (μόνον για ασφαλή, βαθειά, υπόγεια εναποθήκευση σε σχηματισμούς από στεγνό βράχο και μόνον για συσκευές που περιέχουν PCB και χρησιμοποιημένα PCB αλλά δεν μπορούν να απολυμανθούν) και D 15 οι οποίες προβλέπονται στο παράρτημα II Α της οδηγίας 75/442/ΕΟΚ.

Άρθρο 3

Με την επιφύλαξη των διεθνών υποχρεώσεών τους, τα κράτη μέλη λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα ώστε να εξασφαλιστεί η διάθεση των χρησιμοποιημένων PCB και η απολύμανση ή η διάθεση των PCB και των συσκευών που περιέχουν PCB, το ταχύτερο δυνατόν. Για τις συσκευές και τα PCB τα οποία περιέχουν οι συσκευές αυτές, οι οποίες οφείλουν να περιληφθούν σε κατάλογο σύμφωνα με το άρθρο 4 παράγραφος 1, η απολύμανση ή/και διάθεση θα πραγματοποιηθούν το αργότερο έως το τέλος του 2010.

Άρθρο 4

1. Προκειμένου να συμμορφωθούν προς το άρθρο 3, τα κράτη μέλη διασφαλίζουν την κατάρτιση καταλόγων των συσκευών που περιέχουν όγκο

PCB μεγαλύτερο των 5 dm<sup>3</sup>, και αποστέλλουν περίληψη των καταλόγων αυτών στην Επιτροπή, το αργότερο τρία χρόνια μετά την έκδοση της παρούσας οδηγίας. Σε περίπτωση πυκνωτών ισχύος, το όριο των 5 dm<sup>3</sup> νοείται ότι συμπεριλαμβάνει το σύνολο των μεμονωμένων στοιχείων μιας συνδυασμένης σειράς.

2. Οι συσκευές για τις οποίες είναι εύλογο να υποτεθεί ότι τα υγρά περιέχουν ποσοστό PCB κατά βάρος κυμαινόμενο μεταξύ 0,05 % και 0,005 % μπορούν να απογράφονται χωρίς τα στοιχεία που απαιτούνται στην παράγραφο 3, τρίτη και τέταρτη περίπτωση και μπορούν να επισημαίνονται ως «μολυσμένες από PCB σε ποσοστό < 0,05 %». Η απολύμανση ή η διάθεσή τους πραγματοποιούνται σύμφωνα με το άρθρο 9 παράγραφος 2.

3. Οι κατάλογοι περιλαμβάνουν τα ακόλουθα στοιχεία:

- όνομα και διεύθυνση του κατόχου,
- θέση και περιγραφή της συσκευής,
- ποσότητα PCB που περιέχει ο εξοπλισμός,
- ημερομηνίες και τύπος επεξεργασίας ή αντικατάστασης που έχει πραγματοποιηθεί ή προβλέπεται να πραγματοποιηθεί,
- ημερομηνίες δήλωσης.

Εάν ένα κράτος μέλος έχει ήδη καταρτίσει ανάλογο κατάλογο, δεν απαιτείται νέος. Οι κατάλογοι ενημερώνονται τακτικά.

4. Προκειμένου να συμμορφωθούν προς την παράγραφο 1, τα κράτη μέλη λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι οι κάτοχοι τέτοιων συσκευών κοινοποιούν στις αρμόδιες αρχές τις ποσότητες τις οποίες κατέχουν και οποιεσδήποτε αλλαγές σχετικά με το θέμα αυτό.

5. Τα κράτη μέλη λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα ώστε να εξασφαλιστεί ότι όλες οι συσκευές οι οποίες οφείλουν να περιληφθούν σε κατάλογο σύμφωνα με την παράγραφο 1 φέρουν επισήμανση. Ανάλογη επισήμανση επικολλάται στις θύρες των χώρων όπου τοποθετούνται οι εξοπλισμοί αυτοί.

6. Οι επιχειρήσεις διάθεσης PCB τηρούν μητρώο στο οποίο αναγράφονται η ποσότητα, η προέλευση, η φύση και η περιεκτικότητα σε PCB των χρησιμοποιημένων PCB που παραδίδονται σε αυτές. Παρέχουν τα στοιχεία αυτά στις αρμόδιες αρχές. Οι τοπικές αρχές και το κοινό μπορούν να έχουν πρόσβαση στο εν λόγω μητρώο. Οι επιχειρήσεις χορηγούν επίσης στους κατόχους οι οποίοι τους παραδίδουν χρησιμοποιημένα PCB απόδειξη στην οποία αναφέρονται η φύση και η ποσότητα τους.

7. Τα κράτη μέλη διασφαλίζουν ότι οι αρμόδιες αρχές παρακολουθούν τις κοινοποιημένες ποσότητες.

#### Άρθρο 5

1. Κατά παρέκκλιση του άρθρου 3 της οδηγίας 75/442/EOK, τα κράτη μέλη απαγορεύουν το διαχωρισμό των PCB από άλλες ουσίες ο οποίος γίνεται με σκοπό την εκ νέου χρησιμοποίηση των PCB.

2. Τα κράτη μέλη απαγορεύουν τη συμπλήρωση μετασχηματιστών με PCB.

3. Έως ότου απολυμανθούν, τεθούν εκτός λειτουργίας ή/και διατεθούν σύμφωνα προς την παρούσα οδηγία, η συντήρηση μετασχηματιστών που περιέχουν PCB μπορεί να συνεχίζεται μόνον εφόσον ο στόχος είναι να εξασφαλιστεί η συμμόρφωση των PCB που περιέχουν προς τους τεχνικούς

κανόνες ή προδιαγραφές σχετικά με τη διηλεκτρική ποιότητα, υπό τον όρον ότι οι μετασχηματιστές βρίσκονται σε καλή κατάσταση λειτουργίας και δεν έχουν διαρροές.

#### Άρθρο 6

1. Τα κράτη μέλη λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι τα χρησιμοποιημένα PCB και οι συσκευές που περιέχουν PCB οι οποίες οφείλουν να περιληφθούν σε κατάλογο σύμφωνα προς το άρθρο 4 παράγραφος 1 μεταφέρονται το ταχύτερο δυνατόν σε επιχείρηση η οποία έχει λάβει άδεια σύμφωνα προς το άρθρο 8.

2. Πριν η επιχείρηση η οποία έχει λάβει άδεια παραλάβει τα PCB, τα χρησιμοποιημένα PCB ή/και τις συσκευές που περιέχουν PCB, λαμβάνονται όλες οι αναγκαίες δυνατές προφυλάξεις ώστε να αποφευχθεί κάθε κίνδυνος πυρκαγιάς. Προς το σκοπό αυτό, τα παραδινόμενα είδη φυλάσσονται μακριά από εύφλεκτα προϊόντα.

3. Όταν αυτό είναι ευλόγως εφικτό, οι συσκευές που περιέχουν PCB αλλά δεν οφείλουν να περιληφθούν σε κατάλογο σύμφωνα προς το άρθρο 4 παράγραφος 1 και οι οποίες αποτελούν μέρος άλλου εξοπλισμού, μεταφέρονται και συλλέγονται χωριστά όταν ο εξοπλισμός τίθεται εκτός λειτουργίας, ανακυκλώνεται ή δίδεται προς διάθεση.

#### Άρθρο 7

Τα κράτη μέλη λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα προκειμένου να απαγορευθεί η αποτέφρωση PCB ή/και χρησιμοποιημένων PCB επί πλοίων.

#### Άρθρο 8

1. Τα κράτη μέλη λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα ώστε να εξασφαλιστεί ότι όλες οι επιχειρήσεις που ασχολούνται με την απολύμανση ή/και τη διάθεση PCB, χρησιμοποιημένων PCB ή/και συσκευών που περιέχουν PCB, λαμβάνουν άδεια σύμφωνα με το άρθρο 9 της οδηγίας 75/442/ΕΟΚ.

2. Όταν η διάθεση συνίσταται σε αποτέφρωση, εφαρμόζεται η οδηγία 94/67/ΕΚ του Συμβουλίου, της 16ης Δεκεμβρίου 1994, για την αποτέφρωση των επικινδύνων αποβλήτων (12). Μπορούν να γίνουν δεκτές και άλλες μέθοδοι διάθεσης PCB, χρησιμοποιημένων PCB ή/και συσκευών που περιέχουν PCB, υπό τον όρο ότι οι μέθοδοι αυτές επιτυγχάνουν ισοδύναμες προδιαγραφές ασφαλείας του περιβάλλοντος - σε σχέση προς την αποτέφρωση - και πληρούν τις τεχνικές απαιτήσεις οι οποίες αναφέρονται ως οι καλύτερες διαθέσιμες τεχνικές.

3. Τα κράτη μέλη λαμβάνουν χωριστά ή από κοινού τα αναγκαία μέτρα προς ανάπτυξη, εφόσον ενδείκνυται, και λαμβάνουν υπόψη το άρθρο 4 παράγραφος 3 στοιχείο α) σημείο ii) του κανονισμού (ΕΟΚ) αριθ. 259/93 (13) και το άρθρο 5 παράγραφος 1 της οδηγίας 75/442/ΕΟΚ, εγκαταστάσεων διάθεσης, απολύμανσης και ασφαλούς εναποθήκευσης PCB, χρησιμοποιημένων PCB ή/και συσκευών που περιέχουν PCB.

#### Άρθρο 9

1. Τα κράτη μέλη λαμβάνουν όλα τα αναγκαία μέτρα ώστε να εξασφαλιστεί ότι οι μετασχηματιστές που περιέχουν ποσοστό PCB άνω του 0,05 % κατά βάρος απολυμαίνονται υπό τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

α) στόχος της απολύμανσης είναι να μειωθεί το επίπεδο των PCB σε ποσοστό κάτω του 0,05 % κατά βάρος και, ει δυνατόν, όχι άνω του 0,005 % κατά βάρος

7β) το υγρό αντικατάστασης που δεν περιέχει PCB πρέπει να παρουσιάζει αισθητά μικρότερους κινδύνους 7γ) η αντικατάσταση του υγρού δεν πρέπει να θίγει τη μετέπειτα διάθεση των PCB 7δ) η επισήμανση του μετασχηματιστή μετά την απολύμανσή του αντικαθίσταται από την επισήμανση που αναφέρεται στο παράρτημα.

2. Κατά παρέκκλιση του άρθρου 3, τα κράτη μέλη διασφαλίζουν ότι οι μετασχηματιστές, τα υγρά των οποίων περιέχουν ποσοστό PCB κυμαινόμενο μεταξύ 0,05 % και 0,005 % κατά βάρος, είτε απολυμαίνονται υπό τις προϋποθέσεις που αναφέρονται στην παράγραφο 1 στοιχεία β) έως δ) είτε διατίθενται στο τέλος της ωφέλιμης ζωής τους.

#### Άρθρο 10

Η Επιτροπή, ενεργώντας σύμφωνα προς τη διαδικασία της επιτροπής που αναφέρεται στο άρθρο 18 της οδηγίας 75/442/ΕΟΚ:

α) καθορίζει τις μεθόδους μετρήσεως αναφοράς για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε PCB των μολυσμένων υλικών. Οι μετρήσεις που έχουν γίνει πριν από τον καθορισμό των μεθόδων μετρήσεως αναφοράς παραμένουν έγκυρες 7β) μπορεί να καθορίσει τεχνικά πρότυπα για τις άλλες μεθόδους διάθεσης PCB που αναφέρονται στο άρθρο 8 παράγραφος 2 δεύτερη πρόταση 7γ) διαθέτει κατάλογο ονομασιών παραγωγής πυκνωτών, ρυθμιστών εντάσεως και πηνίων αυτεπαγωγής, που περιέχουν PCB 7δ) επισημαίνει, εφόσον απαιτείται, μόνο για τους σκοπούς του άρθρου 9 παράγραφος 1 στοιχεία β) και γ), άλλα λιγότερο επικίνδυνα υποκατάστατα των PCB.

#### Άρθρο 11

1. Εντός τριών ετών από την έκδοση της παρούσας οδηγίας, τα κράτη μέλη καταρτίζουν:

- σχέδια απολύμανσης ή/και διάθεσης των συσκευών που έχουν απογραφεί και των PCB τα οποία περιέχουν,
- γενικές κατευθύνσεις για τη συλλογή και τη μετέπειτα διάθεση συσκευών οι οποίες δεν οφείλουν να περιληφθούν σε κατάλογο σύμφωνα με το άρθρο 4 παράγραφος 1, όπως ορίζει το άρθρο 6 παράγραφος 3.

2. Τα κράτη μέλη ανακοινώνουν χωρίς καθυστέρηση στην Επιτροπή αυτά τα σχέδια και τις γενικές κατευθύνσεις.

#### Άρθρο 12

1. Τα κράτη μέλη λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα προκειμένου να συμμορφωθούν προς την παρούσα οδηγία το αργότερο εντός 18 μηνών από την έκδοσή της. Πληροφορούν αμέσως την Επιτροπή σχετικά.

2. Οι διατάξεις αυτές, όταν θεσπίζονται από τα κράτη μέλη, αναφέρονται στην παρούσα οδηγία ή συνοδεύονται από παρόμοια αναφορά κατά την επίσημη δημοσίευσή τους. Οι λεπτομερείς ρυθμίσεις για την αναφορά αυτή καθορίζονται από τα κράτη μέλη.

3. Τα κράτη μέλη ανακοινώνουν στην Επιτροπή το κείμενο των διατάξεων εσωτερικού δικαίου τις οποίες θεσπίζουν στον τομέα που διέπει η παρούσα οδηγία. Η Επιτροπή ενημερώνει σχετικά τα λοιπά κράτη μέλη.

#### Άρθρο 13

1. Η παρούσα οδηγία αρχίζει να ισχύει από την ημερομηνία της εκδόσεώς της και καταργεί την οδηγία 76/403/ΕΟΚ από την ημερομηνία αυτή.

2. Από την ημερομηνία που αναφέρεται στην παράγραφο 1:

α) η αναφορά που γίνεται στο άρθρο 10 παράγραφος 1 της οδηγίας 87/101/ΕΟΚ (14) στα «PCB και PCT κατά την έννοια της οδηγίας 76/403/ΕΟΚ», νοείται ως αναφορά στα PCB κατά την έννοια της παρούσας οδηγίας 7β) η αναφορά που γίνεται στο άρθρο 10 παράγραφος 2 της οδηγίας 87/101/ΕΟΚ στην οδηγία 76/403/ΕΟΚ, νοείται ως αναφορά στην παρούσα οδηγία 7γ) η αναφορά που γίνεται στο άρθρο 2 στοιχείο ι) του κανονισμού (ΕΟΚ) αριθ. 259/93 στο άρθρο 6 της οδηγίας 76/403/ΕΟΚ, νοείται ως αναφορά στο άρθρο 8 της παρούσας οδηγίας.

Άρθρο 14

Η παρούσα οδηγία απευθύνεται στα κράτη μέλη.

Βρυξέλλες, 16 Σεπτεμβρίου 1996.

Για το Συμβούλιο Ο Πρόεδρος Ι. YATES

(1) ΕΕ αριθ. C 319 της 12. 12. 1988, σ. 57 και ΕΕ αριθ. C 299 της 20. 11. 1991, σ. 9.

(2) ΕΕ αριθ. C 139 της 5. 6. 1989, σ. 1.

(3) Γνώμες του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, της 15ης Μαΐου 1990 (ΕΕ αριθ. C 149 της 18. 6. 1990, σ. 150) και της 12ης Δεκεμβρίου 1990 (ΕΕ αριθ. C 19 της 28. 1. 1991, σ. 83), κοινή θέση του Συμβουλίου, της 27ης Νοεμβρίου 1995 (ΕΕ αριθ. C 87 της 25. 3. 1996, σ. 1) και απόφαση του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, της 22ης Μαΐου 1996 (ΕΕ αριθ. C 166 της 10. 6. 1996, σ. 76).

(4) ΕΕ αριθ. L 108 της 26. 4. 1976, σ. 41.

(5) ΕΕ αριθ. L 262 της 27. 9. 1976, σ. 201 7 οδηγία όπως τροποποιήθηκε τελευταία από την οδηγία 94/60/ΕΚ (ΕΕ αριθ. L 365 της 31. 12. 1994, σ. 1).

(6) ΕΕ αριθ. C 122 της 18. 5. 1990, σ. 2.

(7) ΕΕ αριθ. C 138 της 17. 5. 1993, σ. 1.

(8) ΕΕ αριθ. L 194 της 25. 7. 1975, σ. 39 7 οδηγία όπως τροποποιήθηκε τελευταία από την απόφαση 94/3/ΕΚ της Επιτροπής (ΕΕ αριθ. L 5 της 7. 1. 1994, σ. 15).

(9) Σύνοδος υπουργών στα πλαίσια των Επιτροπών του Όσλο και των Παρισίων της 21ης και 22ας Σεπτεμβρίου 1992.

(10) ΕΕ αριθ. L 194 της 25. 7. 1975, σ. 23 7 οδηγία όπως τροποποιήθηκε τελευταία από την οδηγία 91/692/ΕΟΚ (ΕΕ αριθ. L 377 της 31. 12. 1991, σ. 48).

(11) ΕΕ αριθ. L 186 της 12. 7. 1991, σ. 64.

(12) ΕΕ αριθ. L 365 της 31. 12. 1994, σ. 34.

(13) ΕΕ αριθ. L 30 της 6. 2. 1993, σ. 1 7 κανονισμός όπως τροποποιήθηκε τελευταία από την απόφαση 94/721/ΕΚ της Επιτροπής (ΕΕ αριθ. L 288 της 9. 11. 1994, σ. 36).

(14) ΕΕ αριθ. L 42 της 12. 2. 1987, σ. 43.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Επισήμανση των απολυμασμένων συσκευών που περιέχουν PCB

Κάθε στοιχείο απολυμανθείσας συσκευής επισημαίνεται ευκρινώς με ανεξίτηλη και ανάγλυφη ή εγχάρακτη επιγραφή, η οποία πρέπει να

περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία και να συντάσσεται στη γλώσσα της χώρας στην οποία χρησιμοποιείται η συσκευή:

>ΑΡΧΗ ΓΡΑΦΗΚΟΥ>

ΑΠΟΛΥΜΑΣΜΕΝΗ ΣΥΣΚΕΥΗ PCB

Το υγρό που περιείχε PCB αντικαταστάθηκε:

- από ..... (όνομα του υποκατάστατου)
- την ..... (ημερομηνία)
- εκ μέρους ..... (επιχείρηση)

Συγκέντρωση PCB:

- στο προηγούμενο υγρό ..... % κατά βάρος
- στο νέο υγρό ..... % κατά βάρος

>ΤΕΛΟΣ ΓΡΑΦΗΚΟΥ>

Όπως φαίνεται και από τα παραπάνω είναι επιβεβλημένη όσο ποτέ η χρήση φυτικών μονωτικών ελαίων.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ**

### **6.1 ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΝΤΑ ΟΡΓΑΝΑ**

Στις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιήθηκε γραμμικά αυξανόμενη AC τάση με τα εξής χαρακτηριστικά:

AC Voltage 60Hz, Ταχύτητα αύξησης : 2kV/s

Για την παραγωγή αλλά και τη μέτρηση της τάσης αυτής χρησιμοποιήθηκε το μηχάνημα BAUR Oil Tester DTA 822-129-1 . Είναι μία συσκευή που περιέχει μια γεννήτρια εναλλασσόμενης τάσης, ένα δοχείο που δέχεται το προς διηλεκτρική δοκιμή ρευστό, και ένα ζεύγος προσαρμοζόμενων ηλεκτροδίων. το δοχείο με τα ηλεκτρόδια είναι της εξής μορφής:



**Εικόνα 6-1.** Δοχείο δοκιμής με λάδι της συσκευής.





**Εικόνα 6-2.** Δοχείο δοκιμής με λάδι της συσκευής

Το μηχάνημα αυτό έχει ορισμένα πολύ χρήσιμες δυνατότητες. Συγκεκριμένα έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Έχει μικρό όγκο και είναι εύκολα μεταχειρίσιμο
- Παράγει τάσεις 0 – 100 kVrms με ταχύτητα αύξησης 0.5 kV/s, 1kV/s, 2kV/s ή 5kV/s
- Κύκλωμα γρήγορης ανοιχτοκύκλωσης ώστε να επιτυγχάνεται ταχεία σβέση του ηλεκτρικού τόξου, αποφεύγοντας έτσι το σχηματισμό παραπροϊόντων, αύξηση της θερμότητας που προκαλεί γρηγορότερη οξείδωση κτλ.
- Ξεκάθαρη και σίγουρη μέτρηση της τάσης διάσπασης
- Δυνατότητα ανάδευσης του μίγματος με χρήση αναδευτήρα
- Εύκολη στη χρήση διεπαφή χρήστη
- Δυνατότητα προγραμματισμού σειράς μετρήσεων με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και παραμέτρους
- Ειδικά εργαλεία όπως ο καθαρισμός ηλεκτροδίων (24 συνεχείς διασπάσεις σύμφωνα με διεθνή πρότυπα – IEC, BS, ASTM – ώστε να αφαιρούνται ατέλειες και προσμίξεις που μπορεί να έχουν κατακαθίσει στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων)

- Μνήμη αποθήκευσης των ληφθεισών μετρήσεων
- Προστατευτικό καπάκι με μηχανισμό ανίχνευσης της κατάστασής του (αν είναι ανοιχτό ή κλειστό) για αποφυγή ηλεκτροπληξίας του χρήστη κατά τη διάρκεια διεξαγωγής μετρήσεων
- Εύκολη και ακριβής ρύθμιση της απόστασης του διακένου (με σκάλα Vernier)



**Εικόνα 6-3.** Συσκευή εκτέλεσης δοκιμών BAUR OIL TESTER 822-129-1. [32]

**6.2 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ BAUR OIL TESTER DTA**

Τροφοδοσία	85V...264V(47Hz...63Hz)
Κατανάλωση ισχύος	70VA
Τάση εισόδου για δόκιμες ελαίων	0...10KVrms συμμετρική
Χρήση για διηλεκτρικά ρευστά με χαρακτηριστικά	Ειδική αντίσταση $\rho > 30 \text{M}\Omega\text{m}$ ή συντελεστής απωλειών $\delta < 4.5$
Ρυθμός γραμμικής αύξησης εύρους τάσης	0.5...10KV/s
Χρόνος διακοπής μετά την εκκένωση	<10 $\mu\text{s}$
Ανίχνευση σφαλμάτων	Παρακολουθεί αν έλαβε χωρά ηλεκτρική εκκένωση (RBM)
Μέτρηση θερμοκρασίας δοκιμίου	0...99 °C(32...210.2 °F)
Ελάχιστη υποδιαίρεση θερμοκρασίας	1°C (1.8°F)
Οθόνη	LCD έγχρωμη οθόνη, ανάλυσης 320*240
Ακρίβεια μέτρησης τάσης	0...100kV $\pm$ 1kV
Ελάχιστη υποδιαίρεση τάσης	0.1kV
Γλώσσες μενού	Γερμανικά, Αγγλικά, Γαλλικά, Ισπανικά, Ιταλικά, Πορτογάνα, Ολλανδικά, Πολωνικά, Ρωσικά, Κινέζικα, Τσεχικά
Επιλέξιμα προγράμματα(σύμφωνα με διεθνείς κανονισμούς)	ASTM D 1816-04 1mm,ASTM D 1816-04 2mm,ASTM D 877/87 PA,ASTM D 877 PB,BS EN60156,CEI EN 60156,CSSR RVHP/85,IEC 60156/1995-05,IRAM 2341/72,JIS C2101/78,PN 77/E-04408,PA SEV EN 60156,UNE EN 60156,NF EN 60156,SABS EN 60156,VDE 0370 part 5/96,AS1767.2.1, προγραμματιζόμενη μονή μέτρηση
Διαμορφούμενα προγράμματα	10
Συνδεσιμότητα	USB 2.0
Εκτυπωτής	Ακίδων, 24 χαρακτήρων,57(2.24'')mm απλό χαρτί
Θερμοκρασία λειτουργίας	0...45 °C(32...113 °F)
Θερμοκρασία αποθήκευσης	-20...+55 °C (-4...+131 °F)
Σχετική υγρασία	Απουσία συμπυκνωτή
Διαστάσεις(Π*Υ*Μ)	542*454*365*mm(21.3''*17.9''*14.4'')
Βάρος	36kg(79.4lbs)
Σχεδιασμένο και κατασκευασμένο σύμφωνα με τα πρότυπα	IEC 1010,EN 61010-1,VDE 0411 part 100

Πινάκας 6-4. Τεχνικά χαρακτηριστικά BAUR OIL TESTER DTA. [33]

## **6.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΤΑΔΙΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ**

Η ακριβής σειρά εκτέλεσης των βημάτων που ακολουθήθηκε καθ'όλην την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας περιγράφεται παρακάτω:

1) Με χρήση γαντιών από latex, άνοιγμα του δοχείου που εμπεριέχει το λάδι που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στη δοκιμή μας. Για την εξαγωγή του λαδιού χρησιμοποιήθηκε σύριγγα η οποία πριν την πρώτη της χρήση ξεπλύθηκε με λάδι ίδιου τύπου με αυτό που χρησιμοποιείται στην εκάστοτε δοκιμή. Το πρώτο γέμισμα του δοχείου της δοκιμής χρησιμοποιούταν για να ξεπλυθεί αυτό (ώστε να απομακρυνθούν σωματίδια τα οποία μπορεί να έχουν προηγουμένως προσκολληθεί στα τοιχώματα του δοχείου) και το λάδι αυτό πεταγόταν και κατόπιν το δοχείο της δοκιμής ξαναγεμιζόταν με νέο λάδι. Αμέσως μετά ερμητικό σφράγισμα του δοχείου που εμπεριέχει το λάδι που χρησιμοποιείται στις δοκιμές ώστε να μην ανανεώνεται μονίμως ο αέρας με τον οποίο έρχεται σε επαφή. Επίσης η σύριγγα φυλάσσεται τυλιγμένη σε ένα σημείο όπου να μην είναι σε επαφή με το φως του ηλίου και με τη σκόνη και τα μικροσωματίδια του αέρα.

2) Κλείσιμο του δοχείου δοκιμής με το καπάκι του και τοποθέτησή του εντός της συσκευής BAUR Oil Tester DTA 822-129-1. Επιλογή του ειδικού προγράμματος καθαρισμού ηλεκτροδίων (Tools→ Electrode Cleaning) κατά το οποίο διεξάγεται μία σειρά 24 συνεχόμενων διασπάσεων (υπό ταχέως αυξανόμενη τάση) όπως απαιτούν διεθνή πρότυπα (IEC, BS, AS) δοκιμών σε λάδια ώστε να αφαιρεθούν τυχόν ατέλειες και προσμίξεις που Έχουν κατακαθίσει στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων. Τα αποτελέσματα αυτά καταγράφονται για λόγους αναφοράς και για σύγκριση μεταξύ διαφορετικών δοκιμών (μεγάλες διαφοροποιήσεις από δοκίμιο σε δοκίμιο καταδεικνύουν πιθανό πρόβλημα στη σύσταση του λαδιού, οδηγώντας σε ανάγκη αντικατάστασής του).

3) Κοπή των απαραίτητων διαφραγμάτων από τα φύλλα συνθετικών διηλεκτρικών. Η κοπή γίνεται με κοπίδι . Η κοπή επίσης γίνεται πάνω σε ένα τραπέζι του εργαστηρίου, και κατά συνέπεια χρησιμοποιείται ένα σεντόνι με το οποίο στρώνεται αυτό ώστε τα συνθετικά φύλλα διηλεκτρικού να μην έρχονται σε επαφή με σκόνη και ανωμαλίες στην επιφάνεια του τραπεζιού, κάτι που θα μπορούσε να τα μολύνει ή να τα τραυματίσει, με αρνητικές συνέπειες στη διηλεκτρική τους συμπεριφορά.

4) Προσαρμογή του κομμένου διαφράγματος στην ειδικά σχεδιασμένη διάταξη. Απαραίτητη προϋπόθεση η χρήση γαντιών latex ώστε να μην έρχεται σε επαφή ούτε η διάταξη, ούτε το διάφραγμα με τα γυμνά χέρια (στα οποία μπορεί να βρίσκονται σωματίδια, νεκρά κύτταρα κτλ.). Με πολλή προσοχή, αφού το διάφραγμα ευθυγραμμιστεί με το σχήμα της διάταξης, βιδώνουμε πάνω στα πόδια της διάταξης τα ειδικά πλακίδια που στόχο έχουν να συγκρατούν το διάφραγμα στη θέση του.

5) Ξέπλυμα του διαφράγματος με λάδι, ώστε να του αφαιρεθούν τυχόν σωματίδια που μπορεί να έχουν κατακαθίσει στην επιφάνειά του. Αυτό γίνεται με την επαναλαμβανόμενη εισαγωγή του προεξέχοντος κομματιού της διάταξης (τα πόδια επάνω στα οποία είναι προσαρμοσμένο το διάφραγμα) εντός ενός δεύτερου δοχείου, το οποίο είναι γεμάτο με λάδι ίδιο με αυτό που χρησιμοποιούμε στη δοκιμή μας. Το δοχείο αυτό κατά την υπόλοιπη διεξαγωγή του πειράματος παραμένει καλυμμένο, και θεωρείται πως το λάδι του είναι επαρκώς καθαρό καθώς δεν αναδεύεται, επιτρέποντας την καθίζηση των όσων αιωρημάτων μπορεί να εντοπίζονται εντός του.

6) Εισαγωγή της διάταξης με το προσαρμοσμένο πάνω της διάφραγμα εντός του δοχείου δοκιμής και κατόπιν εισαγωγή του δοχείου στη συσκευή BAUR Oil Tester DTA 822-129-1 και κλείσιμο του προστατευτικού καπακιού της. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται ώστε να μην υφίσταται το δοχείο κατά τη μεταφορά του τραντάγματα, ώστε να μην υπάρχει ο κίνδυνος μετατόπισης του διαφράγματος από θέση του .

7) Εκκίνηση της διαδικασίας εκτέλεσης ενός σετ μετρήσεων (6 διασπάσεις) σύμφωνα με το ειδικά διαμορφωμένο πρόγραμμα που έχει αποθηκευτεί στη μνήμη της συσκευής BAUR Oil Tester DTA 822-129-1 και έχει τις εξής ρυθμίσεις:

- Εύρος τάσης δοκιμής 0 –100 kVrms
- Συχνότητα AC τάσης 60Hz
- Κλίση ράμπας (ταχύτητα αύξησης rms τιμής της AC εφαρμοζόμενης τάσης) 2 kV/s
- Συνεχής Ανάδευση καθ'όλην την διάρκεια του πειράματος. Κατ'αυτόν τον τρόπο, προσομοιώνεται η συνεχής κίνηση του λαδιού εντός του μετασχηματιστή.
- 6 διασπάσεις
- Χρονικά κενά μεταξύ των 6 διασπάσεων (ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής χρόνος ομογενοποίησης του μίγματος μέσω ανάδευσής του) 5min για την πρώτη διάσπαση 2min μεταξύ των υπολοίπων 5 διασπάσεων.

8) Καταγραφή των μετρηθεισών τιμών της τάσης διάσπασης, καθώς και των υπόλοιπων παραμέτρων που αυτόματα δίνει ως αποτελέσματα η συσκευή, όπως:

- α) Μέση Τιμή τάσης διάσπασης.
- β) Τυπική Απόκλιση κανονικής κατανομής.
- γ) Λόγος τυπική απόκλιση/μεση τιμή.

9) Άνοιγμα του καπακιού της συσκευής BAUR Oil Tester DTA 822-129-1 και εξαγωγή του δοχείου δοκιμής. Αφαίρεση της διάταξης προσαρμογής και αφαίρεση του διασπασμένου διάτρητου διαφράγματος, με ξεβίδωμα των πλακιδίων συγκράτησης. Προσοχή πρέπει να δοθεί σε δύο σημεία. Το δοχείο δοκιμής πρέπει να επανασφραγίζεται με το δικό του καπάκι ώστε να αποφεύγεται η ελεύθερη έκθεση του λαδιού στον ατμοσφαιρικό αέρα και η διάταξη προσαρμογής του διαφράγματος δεν πρέπει να έρχεται σε επαφή με αντικείμενα που μπορεί να αφήσουν κατάλοιπα στην επιφάνειά της, κάτι που σημαίνει πως δεν πρέπει να σκουπίζεται.

- 10)** Επανάληψη των βημάτων 4) – 9) έως ότου πραγματοποιηθούν 7 συνολικά σερ μετρήσεων των 6 μετρήσεων έκαστο. Κατόπιν πραγματοποιείται ένα ακόμη σερ των 6 μετρήσεων, με σκέτο το λάδι αυτήν τη φορά, για λόγους διαπίστωσης της κατάστασης (της μεταβολής των διηλεκτρικών ιδιοτήτων δηλαδή) στην οποία περιέρχεται το λάδι μετά τις επαναλαμβανόμενες διασπάσεις που υφίσταται το διάφραγμα εντός του (λόγω συσσώρευσης παραπροϊόντων της δημιουργίας ηλεκτρικού τόξου που διαπερνά το συνθετικό διάφραγμα).
- 11)** Άδειασμα του δοχείου δοκιμής, στράγγισμά του και αποθήκευση αυτού και της διάταξης προσαρμογής διαφράγματος σε σημείο όπου να μην είναι σε επαφή με το φως του ηλίου και με τη σκόνη και τα μικροσωματίδια του αέρα.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ****7.1 ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ****➤ 1<sup>ος</sup> Πίνακας Μετρήσεων**

Ημερομηνία διεξαγωγής μετρήσεων: 12-5-2011

Μήκος Διακένου: D=3.5mm

Ηλεκτρόδια: Ακίδα - Πλάκα

Συνθήκες πειράματος :

- Απόλυτη υγρασία : 8.0 g/m<sup>3</sup>
- Θερμοκρασία: 22.6 °C
- Πίεση: 755 mm Hg

Διάσπαση / Set	1 <sup>ο</sup> Set	2 <sup>ο</sup> Set	3 <sup>ο</sup> Set	4 <sup>ο</sup> Set	5 <sup>ο</sup> Set	6 <sup>ο</sup> Set	7 <sup>ο</sup> Set
1 <sup>η</sup> Διάσπαση	39.8 kV	83.4 kV	72.1 kV	59.5 kV	75.7 kV	49.6 kV	85.6 kV
2 <sup>η</sup> Διάσπαση	63.9 kV	36.0 kV	84.7 kV	76.9 kV	>95.0 kV	55.0 kV	77.1 kV
3 <sup>η</sup> Διάσπαση	79.2 kV	59.8 kV	66.5 kV	83.6 kV	-	61.7 kV	56.1 kV
4 <sup>η</sup> Διάσπαση	93.1 kV	68.3 kV	67.8 kV	75.7 kV	-	87.2 kV	>95.0 kV
5 <sup>η</sup> Διάσπαση	76.6 kV	42.6 kV	64.7 kV	63.0 kV	-	85.0 kV	-
6 <sup>η</sup> Διάσπαση	72.2 kV	62.4 kV	34.0 kV	88.8 kV	-	91.6 kV	-
<b>M.O.</b>	<b>70.8 kV</b>	<b>58.8 kV</b>	<b>65.0 kV</b>	<b>74.6 kV</b>	-	<b>71.7 kV</b>	-
<i>Stand dev</i>	17.9 kV	17.3 kV	16.8 kV	11.4 kV	-	18.3 kV	-
<i>Stand dev/min</i>	25.3 %	29.4 %	25.8 %	15.3 %	-	25.6 %	-

Mtot : 68.2 kV



➤ 2<sup>ος</sup> Πίνακας Μετρήσεων

Ημερομηνία διεξαγωγής μέτρησης : 13-5-2011

Μήκος Διακένου: D=3.5mm

Ηλεκτρόδια: Ακίδα-Πλάκα

Συνθήκες πειράματος :

- Απόλυτη υγρασία: 9.0 g/m<sup>3</sup>
- Θερμοκρασία: 23.0 °C
- Πίεση: 755 mm Hg

Διάσπαση / Set	1 <sup>ο</sup> Set	2 <sup>ο</sup> Set	3 <sup>ο</sup> Set	4 <sup>ο</sup> Set	5 <sup>ο</sup> Set	6 <sup>ο</sup> Set	7 <sup>ο</sup> Set
1 <sup>η</sup> Διάσπαση	54.7 kV	50.9 kV	76.5 kV	67.9 kV	66.6 kV	70.9 kV	73.4 kV
2 <sup>η</sup> Διάσπαση	41.1 kV	79.8 kV	74.5 kV	>95.0 kV	59.5 kV	82.5 kV	82.7 kV
3 <sup>η</sup> Διάσπαση	52.5 kV	66.9 kV	93.0 kV	-	74.5 kV	83.6 kV	80.4 kV
4 <sup>η</sup> Διάσπαση	78.7 kV	>95.0 kV	92.0 kV	-	67.4 kV	90.0 kV	67.5 kV
5 <sup>η</sup> Διάσπαση	46.8 kV	-	64.3 kV	-	65.4 kV	73.6 kV	84.3 kV
6 <sup>η</sup> Διάσπαση	91.5 kV	-	69.8 kV	-	77.6 kV	88.7 kV	87.4 kV
<b>M.O</b>	<b>60.9 kV</b>	<b>-</b>	<b>78.4 kV</b>	<b>-</b>	<b>68.5 kV</b>	<b>81.5 kV</b>	<b>79.3 kV</b>
<i>Stand dev</i>	19.8 kV	-	11.8 kV	-	6.5 kV	7.8 kV	7.3 kV
<i>Stand dev/min</i>	32.5 %	-	15.0 %	-	9.5 %	9.6 %	9.2 %

Mtot : 73.7 kV

➤ 3<sup>ος</sup> Πίνακας Μετρήσεων

Ημερομηνία διεξαγωγής μετρήσεων: 18-5-2011

Μήκος Διακένου: D=1.5mm

Ηλεκτρόδια: Ακίδα-Πλάκα

Συνθήκες πειράματος :

- Απόλυτη υγρασία: 10.4 g/m<sup>3</sup>
- Θερμοκρασία: 20.5 °C
- Πίεση: 756 mm Hg

Διάσπαση / Set	1 <sup>ο</sup> Set	2 <sup>ο</sup> Set	3 <sup>ο</sup> Set	4 <sup>ο</sup> Set	5 <sup>ο</sup> Set	6 <sup>ο</sup> Set	7 <sup>ο</sup> Set
1 <sup>η</sup> Διάσπαση	87.0 kV	44.0 kV	49.0 kV	48.9 kV	50.3 kV	48.9 kV	54.7 kV
2 <sup>η</sup> Διάσπαση	57.3 kV	33.1 kV	47.7 kV	51.1 kV	46.8 kV	45.8 kV	41.8 kV
3 <sup>η</sup> Διάσπαση	44.0 kV	46.3 kV	48.3 kV	51.0 kV	51.0 kV	50.0 kV	52.8 kV
4 <sup>η</sup> Διάσπαση	40.8 kV	55.6 kV	44.8 kV	51.2 kV	41.9 kV	50.3 kV	43.8 kV
5 <sup>η</sup> Διάσπαση	54.3 kV	47.5 kV	43.9 kV	47.0 kV	50.7 kV	62.1 kV	50.2 kV
6 <sup>η</sup> Διάσπαση	39.6 kV	46.1 kV	46.6 kV	37.9 kV	51.0 kV	41.1 kV	42.8 kV
<b>M.O.</b>	<b>53.8 kV</b>	<b>45.4 kV</b>	<b>46.7 kV</b>	<b>47.8 kV</b>	<b>48.6 kV</b>	<b>49.7 kV</b>	<b>48.2 kV</b>
<i>Stand dev</i>	17.8 kV	7.3 kV	2.0 kV	5.1 kV	3.7 kV	7.0 kV	5.1 kV
<i>Stand dev/min</i>	33.0 %	16.0 %	4.3 %	10.7 %	7.5 %	14 %	10.5 %

**Mtot : 48.6kV**

➤ 4<sup>ος</sup> Πίνακας Μετρήσεων

Ημερομηνία διεξαγωγής μετρήσεων: 19-5-2011

Μήκος Διακένου: D=1.8mm

Ηλεκτρόδια: Ακίδα-Πλάκα

Συνθήκες πειράματος :

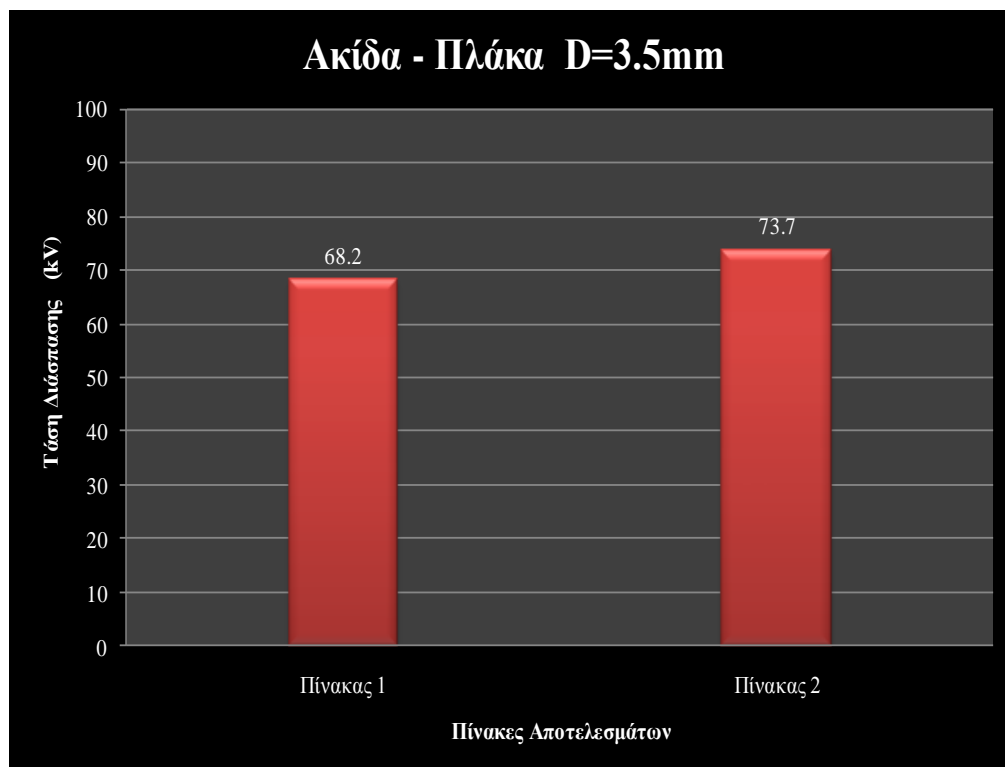
- Απόλυτη υγρασία: 7.5 g/m<sup>3</sup>
- Θερμοκρασία: 21.0 °C
- Πίεση: 756 mm Hg

Διάσπαση / Set	1 <sup>ο</sup> Set	2 <sup>ο</sup> Set	3 <sup>ο</sup> Set	4 <sup>ο</sup> Set	5 <sup>ο</sup> Set	6 <sup>ο</sup> Set	7 <sup>ο</sup> Set
1 <sup>η</sup> Διάσπαση	60.6 kV	30.4 kV	41.4 kV	48.0 kV	55.7 kV	56.9 kV	47.6 kV
2 <sup>η</sup> Διάσπαση	49.4 kV	49.1 kV	73.1 kV	60.5 kV	46.9 kV	89.7 kV	50.7 kV
3 <sup>η</sup> Διάσπαση	48.3 kV	45.0 kV	60.2 kV	52.4 kV	55.9 kV	40.7 kV	61.5 kV
4 <sup>η</sup> Διάσπαση	40.1 kV	55.6 kV	62.6 kV	53.1 kV	44.5 kV	37.7 kV	40.6 kV
5 <sup>η</sup> Διάσπαση	49.8 kV	45.9 kV	49.5 kV	51.2 kV	74.7 kV	49.2 kV	55.7 kV
6 <sup>η</sup> Διάσπαση	53.5 kV	44.5 kV	47.2 kV	49.2 kV	50.4 kV	45.3 kV	45.8 kV
<b>M.O.</b>	<b>50.3 kV</b>	<b>45.1 kV</b>	<b>55.7 kV</b>	<b>52.4 kV</b>	<b>54.7 kV</b>	<b>53.2 kV</b>	<b>50.3 kV</b>
<i>Stand dev</i>	6.7 kV	8.3 kV	11.7 kV	4.4 kV	10.8 kV	19.1 kV	7.4 kV
<i>Stand dev/min</i>	13.4 %	18.4 %	21.0 %	8.5 %	19.8 %	35.8 %	14.7 %

Mtot : 51.7kV

Ηλεκτρόδια: Ακίδα – Πλάκα		
Μήκος Διακένου: D =3.5mm		
Πίνακας	1 <sup>ος</sup>	2 <sup>ος</sup>
Mtot	68.2 kV	73.7 kV

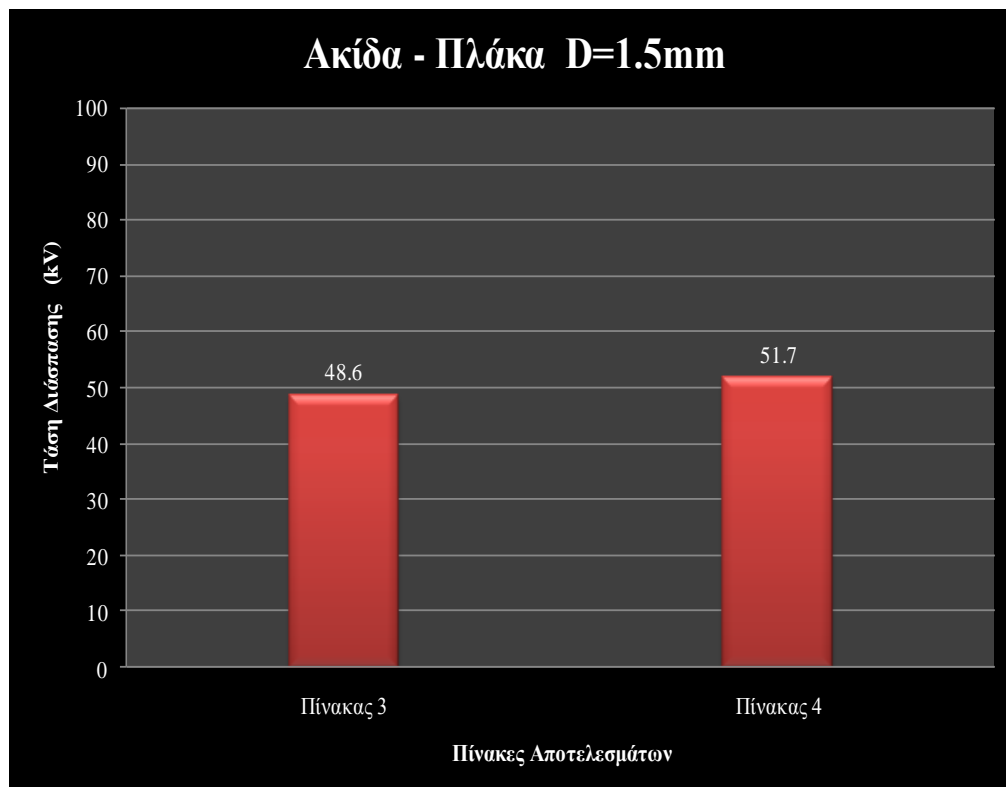
**Πίνακας 7-1.** Συγκεντρωτικός πίνακας τάσεων διάσπασης για μήκος διακένου D=3.5mm και ηλεκτροδιακή διάταξη ακίδα-πλάκα.



**Σχήμα 7-2.** Διάγραμμα τάσεων διάσπασης για μήκος διακένου D=3.5mm και ηλεκτροδιακή διάταξη ακίδα-πλάκα.

Ηλεκτρόδια: Ακίδα – Πλάκα		
Μήκος Διακένου: D =1.5mm		
Πίνακας	3 <sup>ος</sup>	4 <sup>ος</sup>
Mtot	48.6 kV	51.7 kV

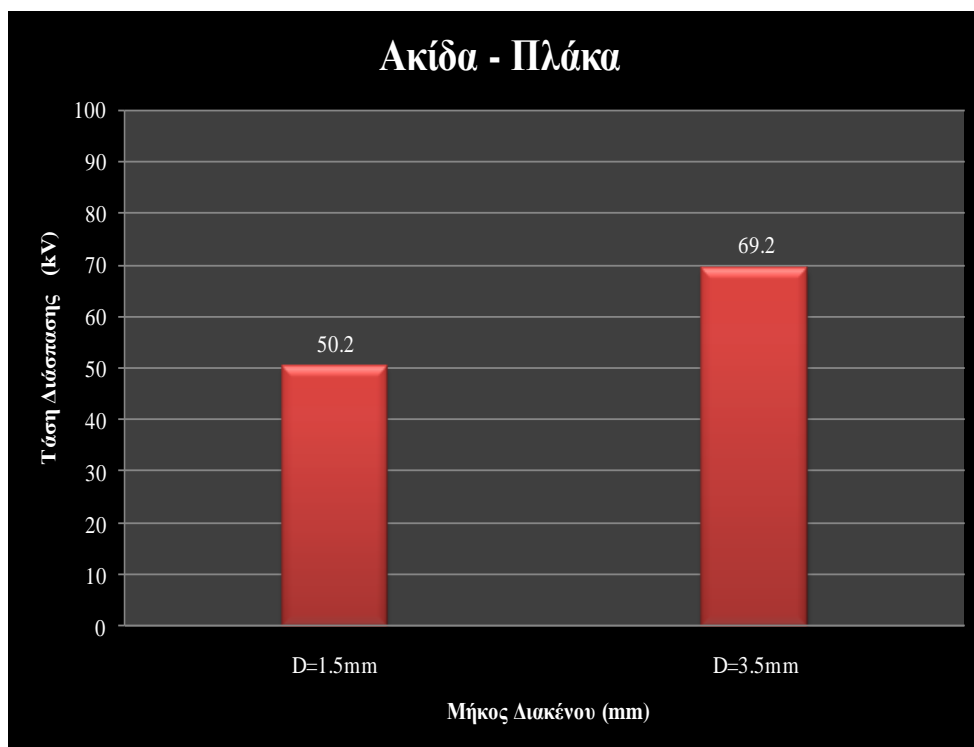
**Πίνακας 7-3.** Συγκεντρωτικός πίνακας τάσεων διάσπασης για μήκος διακένου D=1.5mm και ηλεκτροδιακή διάταξη ακίδα-πλάκα.



**Σχήμα 7-4.** Διάγραμμα τάσεων διάσπασης για μήκος διακένου D=1.5mm και ηλεκτροδιακή διάταξη ακίδα-πλάκα.

Ηλεκτρόδια: Ακίδα-Πλάκα		
Μήκος διακένου	1.5mm	3.5mm
Mtot	50.2 kV	69.2 kV

**Πίνακας 7-5.** Συγκεντρωτικός πίνακας τάσεων διάσπασης για τα μήκη διακένου D=1.5mm και D=3.5mm και ηλεκτροδιακή διάταξη ακίδα-πλάκα.



**Σχήμα 7-6.** Διάγραμμα τάσεων διάσπασης για τα μήκη διακένου D=1.5mm και D=3.5mm και ηλεκτροδιακή διάταξη ακίδα-πλάκα.

➤ 5<sup>ος</sup> Πίνακας Μετρήσεων

Ημερομηνία διεξαγωγής μετρήσεων : 24-5-2011

Μήκος Διακένου: D=2.5mm

Ηλεκτρόδια: Rogowski-Πλάκα

Συνθήκες πειράματος :

- Απόλυτη υγρασία: 11.3 g/m<sup>3</sup>
- Θερμοκρασία: 25.3 °C
- Πίεση: 755 mm Hg

Διάσπαση / Set	1 <sup>ο</sup> Set	2 <sup>ο</sup> Set	3 <sup>ο</sup> Set	4 <sup>ο</sup> Set	5 <sup>ο</sup> Set	6 <sup>ο</sup> Set	7 <sup>ο</sup> Set
1 <sup>η</sup> Διάσπαση	78.6 kV	70.4 kV	82.8 kV	76.1 kV	81.8 kV	88.7 kV	>95.0 kV
2 <sup>η</sup> Διάσπαση	83.6 kV	75.1 kV	70.5 kV	93.6 kV	93.0 kV	>95.0 kV	-
3 <sup>η</sup> Διάσπαση	48.3 kV	77.6 kV	49.6 kV	>95.0 kV	>95.0 kV	-	-
4 <sup>η</sup> Διάσπαση	72.4 kV	35.5 kV	>95.0 kV	-	-	-	-
5 <sup>η</sup> Διάσπαση	70.5 kV	85.6 kV	-	-	-	-	-
6 <sup>η</sup> Διάσπαση	63.6 kV	81.0 kV	-	-	-	-	-
<b>M.O.</b>	<b>69.4 kV</b>	<b>70.9 kV</b>	-	-	-	-	-
<i>Stand dev</i>	12.4 kV	18.1 kV	-	-	-	-	-
<i>Stand dev/min</i>	17.9 %	25.5 %	-	-	-	-	-

Mtot : 70.2kV

➤ **6<sup>ος</sup> Πίνακας Μετρήσεων**

Ημερομηνία διεξαγωγής μετρήσεων: 27-5-2011

Μήκος Διακένου: D=1.8mm

Ηλεκτρόδια: Rogowski-Πλάκα

Συνθήκες πειράματος :

- Απόλυτη υγρασία : 10.5 g/m<sup>3</sup>
- Θερμοκρασία: 26.5 °C
- Πίεση: 757 mm Hg

Διάσπαση / Set	1 <sup>ο</sup> Set	2 <sup>ο</sup> Set	3 <sup>ο</sup> Set	4 <sup>ο</sup> Set	5 <sup>ο</sup> Set	6 <sup>ο</sup> Set	7 <sup>ο</sup> Set
1 <sup>η</sup> Διάσπαση	44.8 kV	50.5 kV	46.7 kV	56.1 kV	61.3 kV	50.5 kV	52.4 kV
2 <sup>η</sup> Διάσπαση	41.3 kV	42.3 kV	53.4 kV	45.6 kV	44.3 kV	56.5 kV	40.5 kV
3 <sup>η</sup> Διάσπαση	43.1 kV	32.4 kV	40.9 kV	33.5 kV	40.0 kV	54.2 kV	53.0 kV
4 <sup>η</sup> Διάσπαση	31.1 kV	38.4 kV	43.4 kV	43.7 kV	47.4 kV	48.9 kV	44.9 kV
5 <sup>η</sup> Διάσπαση	41.5 kV	41.8 kV	44.7 kV	51.4 kV	50.1 kV	43.9 kV	21.2 kV
6 <sup>η</sup> Διάσπαση	23.8 kV	48.8 kV	39.7 kV	47.5 kV	49.2 kV	48.4 kV	31.6 kV
<b>M.O.</b>	<b>37.6 kV</b>	<b>42.4 kV</b>	<b>44.8 kV</b>	<b>46.3 kV</b>	<b>48.7 kV</b>	<b>50.4 kV</b>	<b>40.6 kV</b>
<i>Stand dev</i>	8.3 kV	6.7 kV	4.9 kV	7.7 kV	7.2 kV	4.5 kV	12.4 kV
<i>Stand dev/min</i>	22.0 %	15.7 %	11.0 %	16.6 %	14.7 %	8.9 %	30.5 %

Mtot : 44.4kV



➤ 7<sup>ος</sup> Πίνακας Μετρήσεων

Ημερομηνία διεξαγωγής μετρήσεων: 30-5-2011

Μήκος Διακένου: D=3.0mm

Ηλεκτρόδια: Rogowski-Πλάκα

Συνθήκες πειράματος :

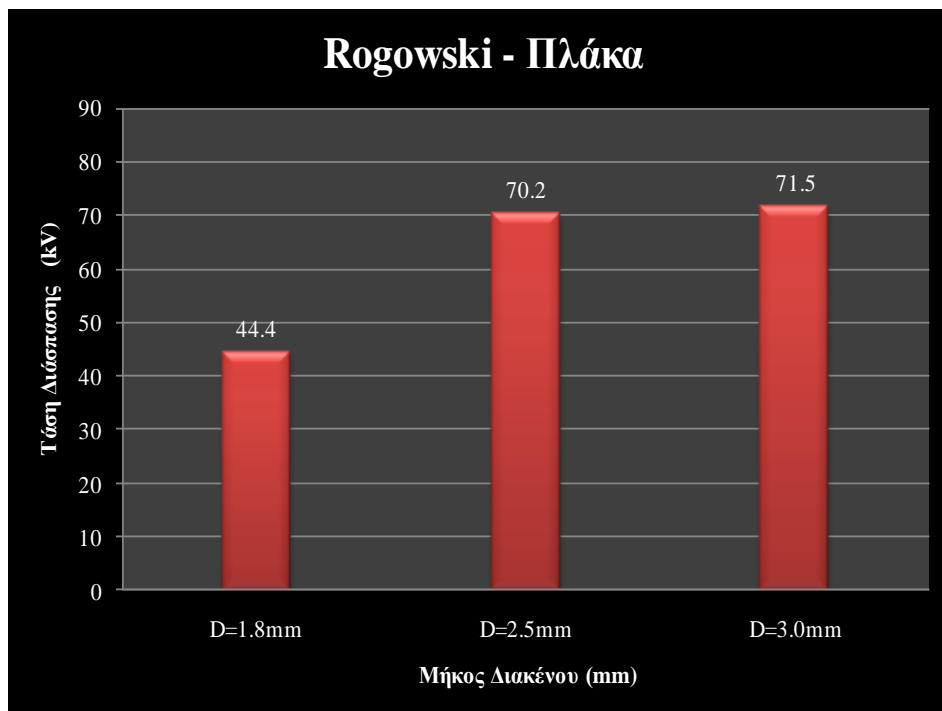
- Απόλυτη υγρασία : 9.5 g/m<sup>3</sup>
- Θερμοκρασία: 25 °C
- Πίεση: 755 mm Hg

Διάσπαση / Set	1 <sup>ο</sup> Set	2 <sup>ο</sup> Set	3 <sup>ο</sup> Set	4 <sup>ο</sup> Set	5 <sup>ο</sup> Set	6 <sup>ο</sup> Set	7 <sup>ο</sup> Set
1 <sup>η</sup> Διάσπαση	65.6 kV	86.4 kV	77.9 kV	81.5 kV	>95.0 kV	91.3 kV	90.5 kV
2 <sup>η</sup> Διάσπαση	52.9 kV	70.9 kV	76.0 kV	62.8 kV	-	65.6 kV	87.3 kV
3 <sup>η</sup> Διάσπαση	66.8 kV	77.9 kV	87.6 kV	52.2 kV	-	79.6 kV	91.7 kV
4 <sup>η</sup> Διάσπαση	69.1 kV	68.4 kV	80.8 kV	80.7 kV	-	86.5 kV	>95.0 kV
5 <sup>η</sup> Διάσπαση	79.3 kV	>95.0 kV	78.0 kV	85.5 kV	-	>95.0 kV	-
6 <sup>η</sup> Διάσπαση	74.7 kV	-	39.8 kV	75.4 kV	-	-	-
<b>M.O.</b>	<b>68.1 kV</b>	-	<b>73.4 kV</b>	<b>73.0 kV</b>	-	-	-
<i>Stand dev</i>	9.1 kV	-	16.9 kV	12.9 kV	-	-	-
<i>Stand dev/min</i>	13.3 %	-	23.0 %	17.7 %	-	-	-

Mtot : 71.5kV

Ηλεκτρόδια: Rogowski - Πλάκα			
Μήκος Διακένου	1.8mm	2.5mm	3.0mm
Mtot	44.4 kV	70.2 kV	71.5 kV

Πίνακας 7-7. Συγκεντρωτικός πίνακας τάσεων διάσπασης συναρτήσει των μηκών διακένου.



Σχήμα 7-8. Διάγραμμα τάσεων διάσπασης συναρτήσει των μηκών διακένου.

➤ **8<sup>ος</sup> Πίνακας Μετρήσεων**

Ημερομηνία διεξαγωγής μετρήσεων : 7-6-2011

Μήκος Διακένου D=2.5mm

Ηλεκτρόδια: Rogowski-Ακίδα

Συνθήκες πειράματος :

- Απόλυτη υγρασία : 7.5 g/m<sup>3</sup>
- Θερμοκρασία: 26.5 °C
- Πίεση: 756 mm Hg

Διάσπαση / Set	1 <sup>ο</sup> Set	2 <sup>ο</sup> Set	3 <sup>ο</sup> Set	4 <sup>ο</sup> Set	5 <sup>ο</sup> Set	6 <sup>ο</sup> Set	7 <sup>ο</sup> Set
1 <sup>η</sup> Διάσπαση	48.1 kV	53.2 kV	71.0 kV	52.3 kV	56.3 kV	50.0 kV	57.1 kV
2 <sup>η</sup> Διάσπαση	47.8 kV	39.7 kV	68.8 kV	50.9 kV	39.0 kV	57.0 kV	47.9 kV
3 <sup>η</sup> Διάσπαση	50.2 kV	52.0 kV	53.2 kV	67.9 kV	58.0 kV	46.9 kV	52.5 kV
4 <sup>η</sup> Διάσπαση	62.6 kV	59.7 kV	55.7 kV	53.7 kV	49.2 kV	63.1 kV	37.6 kV
5 <sup>η</sup> Διάσπαση	52.0 kV	60.8 kV	63.8 kV	41.7 kV	45.7 kV	53.4 kV	50.1 kV
6 <sup>η</sup> Διάσπαση	32.8 kV	37.0 kV	58.5 kV	63.8 kV	57.9 kV	58.7 kV	66.2 kV
<b>M.O.</b>	<b>48.9 kV</b>	<b>50.4 kV</b>	<b>61.8 kV</b>	<b>55.0 kV</b>	<b>51.0 kV</b>	<b>54.8 kV</b>	<b>51.9 kV</b>
<i>Stand dev</i>	9.6 kV	10.0 kV	7.2 kV	9.5 kV	7.7 kV	5.9 kV	9.5 kV
<i>Stand dev/min</i>	19.6 %	19.8 %	11.7 %	17.2 %	15.2 %	10.8 %	18.3 %

**Mtot : 53.4kV**

➤ **9<sup>ος</sup> Πίνακας Μετρήσεων**

Ημερομηνία διεξαγωγής μετρήσεων: 29-6-2011

Μήκος Διακένου: D=3.5mm

Ηλεκτρόδια: Rogowski - Ακίδα

Συνθήκες πειράματος :

- Απόλυτη υγρασία : 8.5 g/m<sup>3</sup>
- Θερμοκρασία: 28.2 °C
- Πίεση: 757 mm Hg

Διάσπαση / Set	1 <sup>ο</sup> Set	2 <sup>ο</sup> Set	3 <sup>ο</sup> Set	4 <sup>ο</sup> Set	5 <sup>ο</sup> Set	6 <sup>ο</sup> Set	7 <sup>ο</sup> Set
1 <sup>η</sup> Διάσπαση	46.3 kV	37.4 kV	61.7 kV	66.9 kV	51.6 kV	53.4 kV	56.0 kV
2 <sup>η</sup> Διάσπαση	56.2 kV	67.1 kV	62.6 kV	65.7 kV	59.6 kV	64.0 kV	55.2 kV
3 <sup>η</sup> Διάσπαση	43.2 kV	59.6 kV	59.8 kV	65.1 kV	59.8 kV	73.1 kV	55.1 kV
4 <sup>η</sup> Διάσπαση	71.3 kV	46.2 kV	60.0 kV	66.3 kV	71.1 kV	51.4 kV	54.5 kV
5 <sup>η</sup> Διάσπαση	50.4 kV	47.8 kV	73.8 kV	55.6 kV	59.0 kV	58.7 kV	54.6 kV
6 <sup>η</sup> Διάσπαση	53.8 kV	68.8 kV	72.7 kV	69.5 kV	71.2 kV	64.6 kV	60.4 kV
<b>M.O.</b>	<b>53.5 kV</b>	<b>54.5 kV</b>	<b>65.1 kV</b>	<b>64.9 kV</b>	<b>62.0 kV</b>	<b>60.7 kV</b>	<b>56.0 kV</b>
<i>Stand dev</i>	9.9 kV	12.6 kV	6.4 kV	4.8 kV	7.7 kV	8.1 kV	2.3 kV
<i>Stand dev/min</i>	18.5 %	23.1 %	9.9 %	7.4 %	12.4 %	13.2 %	4.0 %

Mtot : 59.6kV

➤ **10<sup>ος</sup> Πίνακας Μετρήσεων**

Ημερομηνία διεξαγωγής μετρήσεων: 5-7-2011

Μήκος Διακένου: D=1.8mm

Ηλεκτρόδια: Rogowski - Ακίδα

Συνθήκες πειράματος :

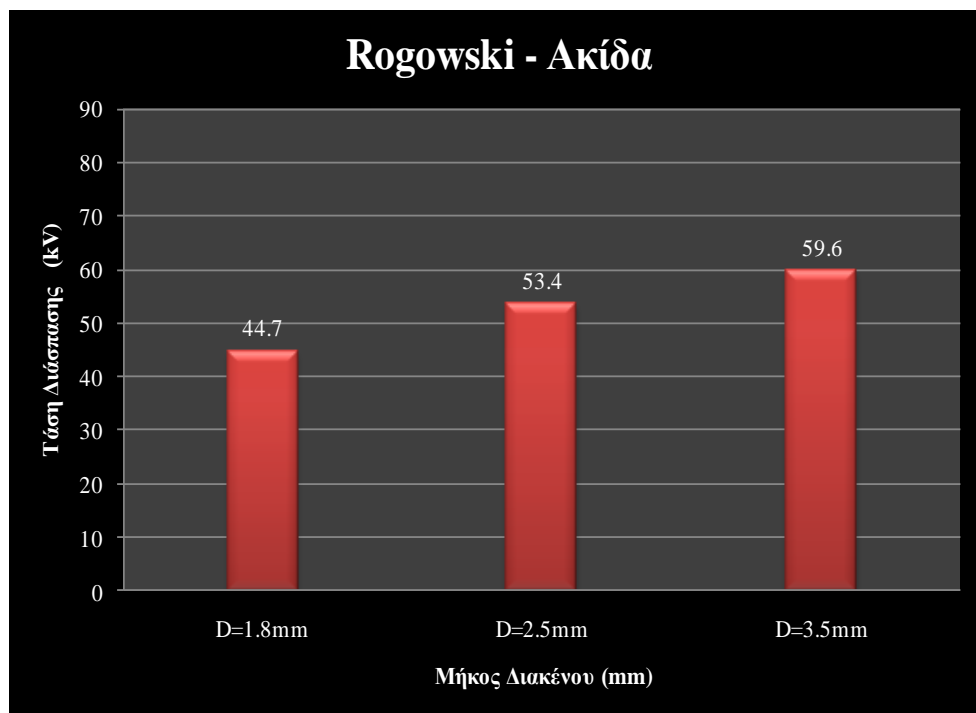
- Απόλυτη υγρασία : 8.5 g/m<sup>3</sup>
- Θερμοκρασία: 27.5 °C
- Πίεση: 755 mm Hg

Διάσπαση / Set	1 <sup>ο</sup> Set	2 <sup>ο</sup> Set	3 <sup>ο</sup> Set	4 <sup>ο</sup> Set	5 <sup>ο</sup> Set	6 <sup>ο</sup> Set	7 <sup>ο</sup> Set
1 <sup>η</sup> Διάσπαση	49.7 kV	46.4 kV	42.1 kV	44.8 kV	44.1 kV	45.7 kV	34.7 kV
2 <sup>η</sup> Διάσπαση	48.8 kV	42.1 kV	41.6 kV	42.4 kV	33.9 kV	33.8 kV	68.0 kV
3 <sup>η</sup> Διάσπαση	52.8 kV	46.2 kV	46.5 kV	55.1 kV	42.8 kV	46,8 kV	42.6 kV
4 <sup>η</sup> Διάσπαση	51.2 kV	30.4 kV	53.1 kV	47.7 kV	46.3 kV	48.0 kV	48.8 kV
5 <sup>η</sup> Διάσπαση	47.8 kV	43.6 kV	41.5 kV	38.0 kV	28.3 kV	48.0 kV	32.0 kV
6 <sup>η</sup> Διάσπαση	44.3 kV	65.7 kV	44.1 kV	46.9 kV	37.2 kV	35.1 kV	47.1 kV
<b>M.O.</b>	<b>49.1 kV</b>	<b>45.7 kV</b>	<b>44.8 kV</b>	<b>45.8 kV</b>	<b>38.8 kV</b>	<b>42.9 kV</b>	<b>45.6 kV</b>
<i>Stand dev</i>	2.9 kV	11.4 kV	4.5 kV	5.7 kV	6.9 kV	6.6 kV	12.9 kV
<i>Stand dev/min</i>	6.0 %	25.0 %	10.0 %	12.5 %	17.7 %	15.5 %	28.3 %

Mtot : 44.7 kV

<b>Ηλεκτρόδια: Rogowski - Ακίδα</b>			
<b>Μήκος Διακένου</b>	<b>1.8mm</b>	<b>2.5mm</b>	<b>3.5mm</b>
<b>Mtot</b>	<b>44.7 kV</b>	<b>53.4 kV</b>	<b>59.6 kV</b>

**Πίνακας 7-9.** Συγκεντρωτικός πίνακας τάσεων διάσπασης συναρτήσει των μηκών διακένου.



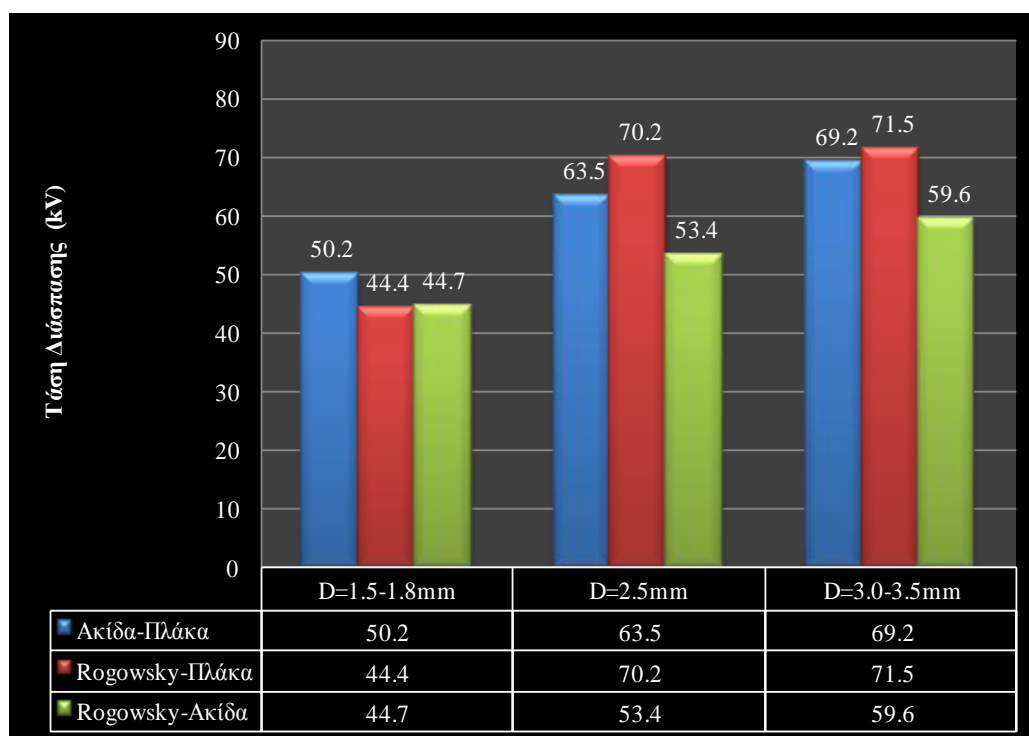
**Σχήμα 7-10.** Διαγράμμα τάσεων διάσπασης συναρτήσει των μηκών διακένου.

## 7.2 ΣΧΟΛΙΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο παραθέτουμε τα συμπεράσματα που αποκομίσαμε από την πειραματική διαδικασία και με την βοήθεια των πινάκων αλλά και των διαγραμμάτων καταλήγουμε στα ακόλουθα σχόλια.

- **Επίδραση του μήκους διακένου :**

Αυτό που παρατηρούμε από τις μετρήσεις μας είναι η αναλογία μεταξύ τάσης διάσπασης και μήκους διακένου. Ειδικότερα όσο αυξάνουμε την απόσταση του μήκους διακένου αυξάνεται η τάση διάσπασης άρα και η διηλεκτρική αντοχή του μονωτικού ελαίου. Αυτό συμβαίνει λόγω το ότι η τάση πρέπει να καλύψει την εκάστοτε αύξηση της απόστασης του διακένου έχοντας ως αποτέλεσμα να αυξάνεται η τιμή της.



**Σχήμα 7-11.** Διάγραμμα τάσεων διάσπασης συναρτήσει των διάφορων μηκών διακένων για διάφορους τύπους ηλεκτροδίων.

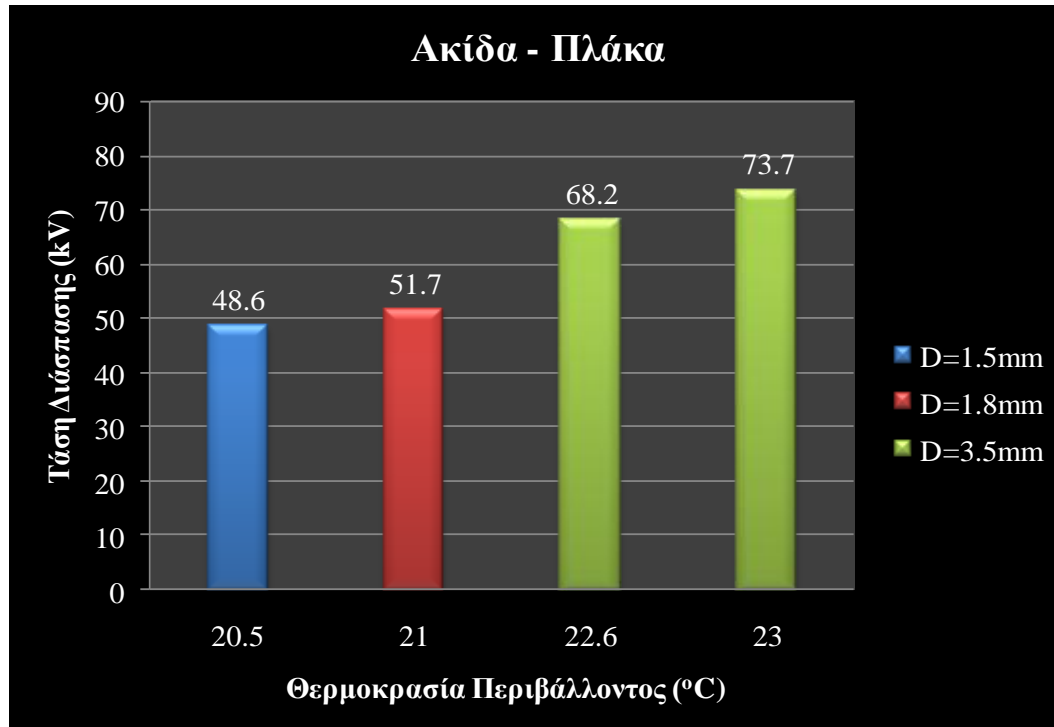
- **Επίδραση της θερμοκρασίας :**

Παρατηρώντας τους πίνακες μετρήσεων αλλά και τα αντίστοιχα διαγράμματα συμπεραίνουμε πως η θερμοκρασία επιδρά στην διηλεκτρική αντοχή του μονωτικού μέσου. Αναλυτικότερα κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας που διεξήχθη από την 12-5-2011 έως την 5-7-2011, είχαμε αύξηση της θερμοκρασίας του εργαστηρίου όπως ήταν φυσικό και διαπιστώσαμε ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία τόσο αυξάνεται και η τάση διάσπασης για τιμές κατώτερες της θερμοκρασίας δωματίου. Αυτό συμβαίνει διότι το ιξώδες του ελαίου αλλά και οι τυχόν φυσαλίδες αέρα που υπάρχουν μειώνονται όπως επίσης και η περιεκτικότητα σε νερό (υγρασία). Τέλος για τιμές θερμοκρασίας μεγαλύτερες του δωματίου παρατηρούμε μείωση της τάσης διάσπασης επομένως και της διηλεκτρικής αντοχής.

<b>Ηλεκτρόδια: Ακίδα - Πλάκα</b>				
<b>Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)</b>	<b>20.5</b>	<b>21.0</b>	<b>22.6</b>	<b>23.0</b>
<b>M<sub>tot</sub></b>	<b>48.6 kV</b>	<b>51.7 kV</b>	<b>68.2 kV</b>	<b>73.7 kV</b>

**Πίνακας 7-12.** Συγκεντρωτικός πίνακας τάσης διάσπασης συναρτήσεως της θερμοκρασίας περιβάλλοντος για ηλεκτρόδια Ακίδα - Πλάκα για διάφορα μήκη διακένων.

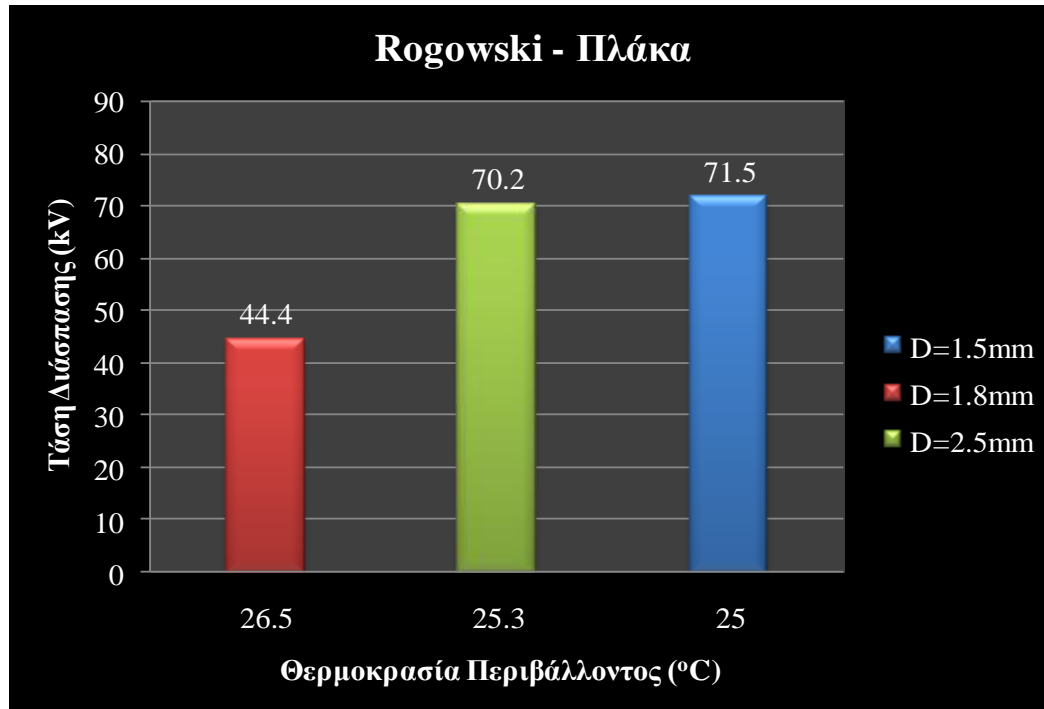




**Σχήμα 7-13.** Διάγραμμα τάσης διάσπασης συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος για ηλεκτρόδια Ακίδα - Πλάκα για διάφορα μήκη διακένων.

<b>Ηλεκτρόδια: Rogowski - Πλάκα</b>			
<b>Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)</b>	<b>26.5</b>	<b>25.3</b>	<b>25.0</b>
<b>Mtot</b>	<b>44.4 kV</b>	<b>70.2 kV</b>	<b>71.5 kV</b>

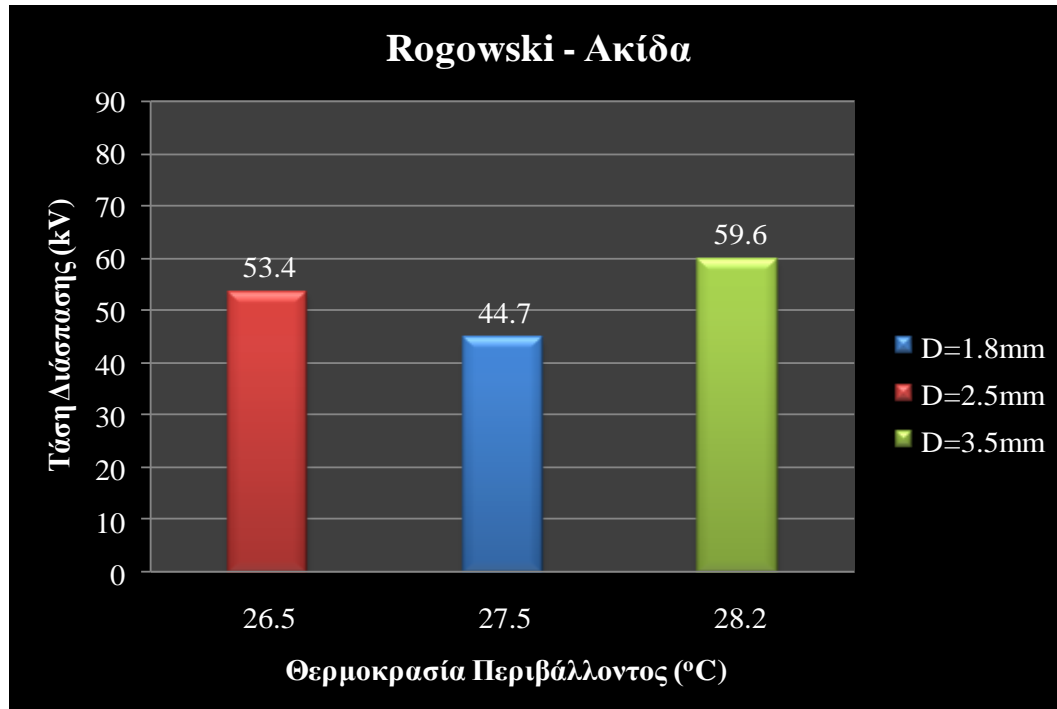
**Πίνακας 7-14.** Συγκεντρωτικός πίνακας τάσης διάσπασης συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος για ηλεκτρόδια Rogowski - Πλάκα για διάφορα μήκη διακένων.



**Σχήμα 7-15.** Διάγραμμα τάσης διάσπασης συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος για ηλεκτρόδια Rogowski - Πλάκα για διάφορα μήκη διακένων.

<b>Ηλεκτρόδια: Rogowski - Ακίδα</b>			
<b>Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)</b>	<b>26.5</b>	<b>27.5</b>	<b>28.2</b>
<b>Mtot</b>	<b>53.4 kV</b>	<b>44.7 kV</b>	<b>59.6 kV</b>

**Πίνακας 7-16.** Συγκεντρωτικός πίνακας τάσης διάσπασης συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος για ηλεκτρόδια Rogowski - Ακίδα για διάφορα μήκη διακένων.



**Σχήμα 7-17.** Διάγραμμα τάσης διάσπασης συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος για ηλεκτρόδια Rogowski - Ακίδα για διάφορα μήκη διακένων.

- **Επίδραση της υγρασίας :**

Η περιεκτικότητα σε νερό ενός υγρού μονωτικού είναι ένας από τους σπουδαιότερους παράγοντες που επηρεάζουν τη διηλεκτρική αντοχή του. Έτσι η επίδραση της υγρασίας στο μονωτικό λάδι είναι σημαντική αλλά και «παραπλανητική». Αυτό γίνεται διότι όταν τοποθετούμε καινούριο λάδι στο δοχείο, λόγω το ότι εμπεριέχει κάποια ποσοστά υγρασίας κατά τις πρώτες μετρήσεις η τάση διάσπασης επηρεάζεται αρνητικά. Όταν όμως προχωρά η πειραματική διαδικασία εξαιτίας των πολλών διασπάσεων η τάση διάσπασης σταδιακά αυξάνεται αφαιρώντας μέρος της υγρασίας του μονωτικού μέσου.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Η εν λόγω παρατήρηση στοχεύει μόνο το συγκεκριμένο πείραμα, όπου στο μονωτικό έλαιο που χρησιμοποιήσαμε δεν προσθέσαμε καθόλου νερό, και αυτό διότι μελέτες έχουν δείξει ότι η πρόσμιξη μεγαλύτερου ποσοστού της τάξεως του 1.5 % σε νερό μειώνει τη διηλεκτρική αντοχή κατά το ήμισυ ενώ παρουσία νερού μεγαλύτερη του 2.5 % καταστρέφει εξ' ολοκλήρου τις ηλεκτρικές ιδιότητες του μονωτικού μέσου.

- **Επίδραση αερίων προσμίξεων (φουσαλίδες) :**

Θεωρητικά η παρουσία φουσαλίδων στο μονωτικό έλαιο παίζει καταλυτικό ρόλο. Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας αντλήσαμε και μεταφέραμε το υπό εξέταση έλαιο από το δοχείο που ήταν αποθηκευμένο με τη βοήθεια σύριγγας στη συσκευή μας. Αυτό όπως είναι φυσικό ευνοεί την παρουσία φουσαλίδων στο λάδι. Βέβαια η όλη διαδικασία έγχυσης του στη συσκευή γίνεται, όπως προείπαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, αργά και σταθερά ακριβώς για να έχουμε όσο το δυνατόν λιγότερη ύπαρξη φουσαλίδων, αφού εξ' ολοκλήρου απουσία τους θεωρείται αδύνατη. Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφέρουμε πως η χρησιμοποιηθείσα συσκευή BAUR Oil Tester DTA 822-129-1 είναι ρυθμισμένη να αφήνει περίπου 5 λεπτά ηρεμίας στο ρευστό μετά την πρώτη μέτρηση και 2 λεπτά για κάθε επόμενη μέτρηση αφού κατά τη διάρκεια των διασπάσεων έχουμε παραγωγή φουσαλίδων. Έτσι με τη βοήθεια της συσκευής η ύπαρξη φουσαλίδων είναι απειροελάχιστη και δεν επηρεάστηκαν σημαντικά οι μετρήσεις μας.<sup>2</sup>

- **Επίδραση και σύγκριση των ηλεκτροδιακών διατάξεων :**

Σύμφωνα πάντα με τις μετρήσεις μας παρατηρούμε ότι για διάκενο μεγαλύτερο των 2.5mm υπερέχουν οι διατάξεις Rogowski - Πλάκα και Ακίδα - Πλάκα έναντι της Rogowski – Ακίδας. Για διάκενο μικρότερο των 1.8mm έχουμε μεγαλύτερη τάση διάσπασης στη διάταξη Ακίδα – Πλάκα και ακολουθούν με μικρή διαφορά οι διατάξεις Rogowski – Ακίδα και Rogowski – Πλάκα. Η επίδραση των ηλεκτροδιακών διατάξεων στη διηλεκτρική αντοχή του μονωτικού μέσου εξαρτάται σημαντικά από τη γεωμετρία τους ( μεγαλύτερη επιφάνεια ηλεκτροδίων συνεπάγεται μικρότερη διηλεκτρική αντοχή λόγω ατελειών σε αυτή ), αλλά και η ομοιογένεια ή ανομοιογένεια του πεδίου των προαναφερθεισών διατάξεων.

---

<sup>2</sup> Οι φουσαλίδες επηρεάζουν αρνητικά έχοντας καταστροφική δράση στη μονωτική ικανότητα των ελαίων αν αναλογιστούμε ότι σε συνθήκες λειτουργίας ενός μετασχηματιστή το έλαιο το οποίο χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο κινείται συνεχώς δημιουργώντας φουσαλίδες.

Στην περίπτωση των πειραμάτων με ηλεκτροδιακές διατάξεις είναι πιθανόν να έχουμε διάσπαση με ιονισμό της φουσαλίδας και εν τέλει διάσπαση του μονωτικού μέσου.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] Ελευθερία Πυργιώτη, Τεχνολογία Υψηλών Τάσεων, Σημειώσεις Θεωρίας και Εργαστηρίου.
- [2] Σαμοΐλης Β. Γ. , «Μονωτικά λάδια», Αθήνα, 1979.
- [3] Σκουληκίδης Θ. Ν. , «Φυσικοχημεία Ι,ΙΙ» , Αθήνα, 1986.
- [4] Ηλεκτρικές Μηχανές AC – DC, Stephen J. Charman, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 2003.
- [5] Δημήτριος Α. Γιαννόπουλος, Διπλωματική Εργασία, «Συντήρηση Μετασχηματιστών Μεταφοράς», Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ Ε.Μ.Π., Αθήνα 2010.
- [6] Προδιαγραφές IEC.
- [7] Σύντομο ενημερωτικό σημείωμα ελέγχου μονωτικών ορυκτελαίων και καλής λειτουργίας μετασχηματιστή ICELAB, Powered by eneternet, 2006.
- [8] Laboratory Liquid.
- [9] Παπαχρήστος Χρήστος, «Διπλωματική Μελέτη Συμπεριφοράς Διηλεκτρικών Υγρών Σε Εναλλασσόμενες Τάσεις», Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ, Πάτρα, 2009.
- [10] Επίσημη Εφημερίδα, αριθμός L243 την 24-9-1996, σελ. 0031-0035 Συμβουλίου Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- [11] Μερτζανάκης Ν. Σωκράτης, Διπλωματική Εργασία, «Στατική ανάλυση αλμάτων δυναμικού σε δοκίμια πεπιεσμένου χαρτιού υπό κρουστική τάση μορφής 250/2500  $\mu\text{sec}$ », Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2008.
- [12] Κορδαλής Β. Γεώργιος, Διπλωματική Εργασία, «Μετρήσεις μερικών εκκενώσεων σε βιομηχανικά μονωτικά υλικά υπό κρουστικές τάσεις της μορφής 250/2500  $\mu\text{sec}$ » , Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2005.
- [13] Παρασκευάς Χ.Δ. - Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Μηχανικός Η/Υ Ε.Μ.Π., Βασιλείου Π. – Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π., Δέρβος Κ.Θ. – Καθηγητής Ε.Μ.Π., «Χαρακτηρισμός γήρανσης μονωτικών ελαίων μετασχηματιστών – φυσικοχημικές/αναλυτικές μέθοδοι και διηλεκτρική φασματοσκοπία μέρος Ι – θεωρητική ανάλυση», Τεχν. Χρον. Επιστ. Εκδ. ΤΕΕ, ΙΙΙ, τευχ. 1-2, 2003, pages: 19 – 30.

- [14] Lance R. Lewand, Doble Engineering Company – «Laboratory Testing of Natural Ester Dielectric Liquids», Winter 2004 – 2005, Neta World.
- [15] 2001 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition, Oct. 28 – Nov. 02, 2001, Atlanta GA – «Aging of Paper Insulation in Natural Ester Dielectric Fluid».
- [16] John Luksich, Cooper Power Systems Waukesha, WI – «Evaluating New and In-Service Vegetable Oil Dielectric Fluids».
- [17] M. Jovalekic, D. Vukovic and S. Tenbohlen – «Dissolved Gas Analysis of Natural Ester Fluids Under Electrical And Thermal Stress», Institute of Power Transmission and High Voltage Technology (IEH) University Stuttgart, Germany.
- [18] Κόσκολος Αναστάσιος, Διπλωματική εργασία, «Μελέτη στερεών/υγρών Μονωτικών», Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Η/Υ, Πάτρα 2011.
- [19] Δημακοπούλου Παναγιώτα, Διπλωματική εργασία, «Διηλεκτρικές Δοκιμές Μονωτικών Ελαίων Φυτικής Προέλευσης», Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Η/Υ, Πάτρα 2011.
- [20] Εμμανουήλ Ι. Κουφάκης, Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Πολυτεχνικής Σχολής Πανεπιστημίου Πατρών, Διδακτορική διατριβή, «Μια προσέγγιση της διάρκειας ζωής εξοπλισμού των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας με παράδειγμα τους μετασχηματιστές διανομής», Ε.Μ.Π., Αθήνα, Δεκέμβριος 2008.
- [21] Research with an eye on the future, Alstom Grid/Summer 2010.
- [22] Φρίξος Κ. Πριονιστής, Μεταπτυχιακή διατριβή στον τομέα ειδίκευσης: Τεχνολογίες Συστημάτων Ενέργειας & Εκμετάλλευσης Ανανεώσιμων Ενεργειακών Πηγών, «Ανίχνευση και καταγραφή μερικών εκκενώσεων κάτω από την τάση ενάρξεως σε μικρά διάκενα με διατάξεις ανομοιογενούς ηλεκτρικού πεδίου», Δημοκρήτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Ξάνθη 2003.

- [23] <http://www.ua.all.biz/el/g861202/----->
- [24] [http://ophioussa.blogspot.com/2011/01/blog-post\\_8139.html](http://ophioussa.blogspot.com/2011/01/blog-post_8139.html)
- [25] [http://gr.photaki.com/picture-null-seeds-mustard-seeds-seeds-mustard-seeds\\_148951.htm](http://gr.photaki.com/picture-null-seeds-mustard-seeds-seeds-mustard-seeds_148951.htm)
- [26] <http://www.ua.all.biz/el/g848466>
- [27] <http://alithinapsemata.wordpress.com/2011/01/08/>
- [28] [http://www.mie.uth.gr/ekp\\_yliko/HLMHX\\_EN3.pdf](http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/HLMHX_EN3.pdf), Ηλεκτρικές Μηχανές – Βιομηχανικοί Αυτοματισμοί, «Μετασχηματιστές», Γ.Στρατάκης.
- [29] Ανδρικόπουλος Αθανάσιος, Διπλωματική εργασία, «Διηλεκτρικές δοκιμές σε μονωτικά λάδια», Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Η/Υ Πανεπιστημίου Πατρών.
- [30] David P. Stockton, Jim Wilson, John R. Bland, David L. Harris, Todd McClanahan, Patric McShane, «Natural Ester Transformer Fluids: Safety, Reliability & Environmental Performance», Copyright Material IEEE, Paper No. PCIC-2007-34, pages: 1-7.
- [31] ABB, Data Sheets Transformer, Transformer 25MVA  
15±9x1.78%/38.5±2x2.5%/23(10)kV (1ZVN460100-E), 2007.
- [32] [http://www.baur.at/fileadmin/ASSETS/products/DTA/PS\\_821-046\\_DTA100C\\_en-g.pdf](http://www.baur.at/fileadmin/ASSETS/products/DTA/PS_821-046_DTA100C_en-g.pdf)
- [33] <http://www.hvtechnologies.com/LinkClick.aspx?fileticket=MiEQBidPdIM%3D&tabid=197>
- [34] [http://www.google.gr/imgres?q=090919\\_2158\\_PAT\\_NELightning&um=1&hl=el&biw=1280&bih=709&tbnid=KZmMDcN\\_gInnYM:&imgrefurl=http://groups.yahoo.com/group/hellasweather/message/80874&docid=wFPz\\_wNCURthVM&itg=1&imgurl=http://ozia.net/F/0909/090919\\_2158\\_PAT\\_NELightning.JPG&w=1024&h=768&ei=AxJ4T\\_GWI4Gg4gTx\\_5CWDw&zoom=1&iact=hc&vpx=176&vpy=155&dur=237&hovh=194&hovw=259&tx=164&ty=108&sig=101862196492421927080&page=1&tbnh=145&tbnw=171&start=0&ndsp=7&ved=1t:429,r:0,s:0](http://www.google.gr/imgres?q=090919_2158_PAT_NELightning&um=1&hl=el&biw=1280&bih=709&tbnid=KZmMDcN_gInnYM:&imgrefurl=http://groups.yahoo.com/group/hellasweather/message/80874&docid=wFPz_wNCURthVM&itg=1&imgurl=http://ozia.net/F/0909/090919_2158_PAT_NELightning.JPG&w=1024&h=768&ei=AxJ4T_GWI4Gg4gTx_5CWDw&zoom=1&iact=hc&vpx=176&vpy=155&dur=237&hovh=194&hovw=259&tx=164&ty=108&sig=101862196492421927080&page=1&tbnh=145&tbnw=171&start=0&ndsp=7&ved=1t:429,r:0,s:0)