

0



Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

**“Αξιολόγηση μετρήσεων διηλεκτρικής αντοχής σε μονωτικά λάδια
μετασχηματιστών χρησιμοποιώντας την κατανομή Weibull”**



Επιβλέπων Καθηγητής:
Σπουδαστής:

Ψωμόπουλος Κωνσταντίνος
Διαμαντής Δημήτριος

ΑΜ: 40030

Αθήνα,
Ιούνιος 2016

Copyright © Α. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Α. Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πειραιά.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας αυτή την πτυχιακή εργασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ψωμόπουλο Κωνσταντίνο για την καθοδήγηση, τη συμπαράσταση, καθώς και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε σε όλα τα στάδια αυτής της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του τμήματος που πραγματικά μας δίδαξαν πολλά, με την ευχή να συνεχίζουν να προσπαθούν για την περαιτέρω ανάπτυξη και βελτίωση του τμήματος σε συνεργασία με τους φοιτητές, έτσι ώστε οι απόφοιτοι του τμήματος Ηλεκτρολόγων μηχανικών Τ.Ε. να αποτελούν χρήσιμο και απαραίτητο δυναμικό για την κοινωνία μας.

Τέλος ευχαριστώ πολύ όλους τους φίλους μου και φυσικά την οικογένειά μου για την αγάπη, τη στήριξή τους και την προτροπή να γίνομαι συνεχώς καλύτερος.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	i
Περιεχόμενα	ii
Λίστα σχημάτων	v
Λίστα πινάκων	vi
Summary	vii
Πρόλογος	1
1^ο Κεφάλαιο “Εισαγωγικά στοιχεία”	1
1.1 Εισαγωγή	1
2^ο Κεφάλαιο “Μονωτικά λάδια μετασχηματιστών”	4
2.1 Γενικά περί μονωτικών λαδιών	4
2.2 Προέλευση μονωτικών λαδιών	5
2.3 Παραγωγή μονωτικών λαδιών	7
2.4 Εφαρμογές μονωτικών λαδιών	8
2.4.1 Μετασχηματιστές	8
2.4.2 Ελαιοδιακόπτες	10
2.4.3 Πυκνωτές	11
2.4.4 Καλώδια	12
2.4.5 Μονωτήρες διελεύσεως	14
2.4.6 Μετασχηματιστές οργάνων	14
2.5 Χαρακτηριστικά μονωτικών λαδιών	15
2.5.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη διηλεκτρική αντοχή των μονωτικών λαδιών	27
2.5.2 Διάσπαση μέσω αιωρούμενων σωματιδίων	28
2.5.3 Διάσπαση φυσαλίδων	29
3^ο Κεφάλαιο “Μετρήσεις σε μονωτικά λάδια”	31
3.1 Γενικά περί γήρανσης	31
3.2 Γήρανση	31
3.2.1 Θερμική και ηλεκτρική γήρανση	32
3.2.1.1 Γήρανση λόγω διάβρωσης	33
3.2.1.2 Ο ρόλος του θείου	35
3.2.1.3 Η διαδικασία της διάβρωσης	36
3.3 Μέθοδοι ανάλυσης της γήρανσης του λαδιού	37
3.3.1 Αεριοχρωματογραφία	37
3.3.2 Φασματοσκοπία	38
3.3.3 Μέθοδοι μετριάσμου του διαβρωτικού θείου	39
4^ο Κεφάλαιο “Διηλεκτρική δοκιμή σε μονωτικά λάδια”	43
4.1 Γενικά περί διηλεκτρικών δοκιμών στα μονωτικά λάδια	43
4.2 Ιδιότητες και υποβάθμιση λαδιού	44
4.3 Δοκιμές μονωτικών λαδιών	44
4.3.1 Χρώμα και εμφάνιση	45
4.3.2 Τάση διάσπασης	45
4.3.3 Ιζήματα και λάσπη	45
4.3.4 Βαθμός εξουδετέρωσης	46
4.3.5 Παράγοντας διηλεκτρικής απαγωγής και αντοχής	46
4.3.6 Διεπιφανειακή τάση	46
4.3.7 Περιεκτικότητα σε νερό	47
4.3.8 Συνολική Περιεκτικότητα σε αέριο	48
4.3.9 Σημείο ανάφλεξης	48

4.3.10	Σημείο ροής.....	48
4.3.11	Πυκνότητα.....	48
4.3.12	Ιξώδες.....	48
4.3.13	Περιεκτικότητα αναστολέα και σταθερότητα οξείδωσης.....	49
4.4	Δειγματοληψία λαδιού απο μία συσκευή.....	50
4.5	Κατηγορίες συσκευών.....	50
4.6	Αξιολόγηση του ορυκτού μονωτικού λαδιού σε μία καινούργια συσκευή.....	51
4.7	Αξιολόγηση των χρησιμοποιημένων λαδιών.....	51
4.7.1	Συχνότητα της εξέτασης.....	51
4.8	Διαδικασίες ελέγχου.....	53
4.8.1	Έλεγχοι.....	53
4.8.2	Δοκιμές εργαστηρίου.....	53
4.8.3	Κατηγοριοποίηση των λαδιών που είναι σε λειτουργία.....	54
4.8.4	Διορθωτικά μέσα.....	56
4.9	Αμοιβαία συμβατότητα των ορυκτών μονωτικών λαδιών.....	56
4.10	Χειρισμός και αποθήκευση.....	57
4.11	Μεταχείριση.....	57
4.11.1	Εξοπλισμός επιδιόρθωσης.....	57
4.11.1.1	Φίλτρα.....	58
4.11.1.2	Συσκευές φυγοκέντρωσης.....	59
4.11.1.3	Αποξηραντές κενού.....	59
4.12	Εφαρμογή σε ηλεκτρική συσκευή.....	59
4.12.1	Άμεσως καθαρισμός.....	59
4.12.1.1	Καθαρισμός με κυκλοφορία.....	59
4.12.1.2	Ανάκτηση.....	59
4.12.1.3	Διάλυση.....	60
4.13	Επανατοποθέτηση του λαδιού.....	60
4.13.1	Επανατοποθέτηση του λαδιού σε μετασχηματιστές απο 72.5 kv και πάνω.....	61
4.14	Υγιεινή και περιβαλλοντικές προφυλάξεις.....	61
5 °	Κεφάλαιο “Αποτελέσματα διηλεκτρικής αντοχής σε μονωτικά λάδια M/Σ”.....	62
5.1	Κατανομή weibull.....	62
5.1.1	Μετρήσεις μονωτικών λαδιών.....	62
5.1.1.1	Πλαστικά δοχεία.....	63
6 °	Κεφάλαιο “Συμπεράσματα”.....	110
	Βιβλιογραφία.....	111
	Παράρτημα 1.....	113
	Παράρτημα 2.....	114

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1 Ενώσεις υδρογονανθράκων[5].....	5
Σχήμα 2.2 Μετασχηματιστής λαδιού [16].....	9
Σχήμα 2.3 Ελαιοδιακόπτης [5].....	10
Σχήμα 2.4 Καλώδιο MT ακτινικού πεδίου [16].....	13
Σχήμα 2.5 Σχέση περιεχόμενου νερού-σχετικής υγρασίας [3].....	18
Σχήμα 2.6 Σχέση πυκνότητας-θερμοκρασίας.....	20
Σχήμα 2.7 Σχέση ειδικής θεμότητας-θερμοκρασίας.....	21
Σχήμα 2.8 Σχέση συντελεστή απωλειών-θερμοκρασία.....	26
Σχήμα 2.9 Προσανατολισμος των αιωρούμενων σωματιδίων υπό την επίδραση του πεδίου μέσα σε μονωτικό υγρό [2].....	28
Σχήμα 2.10 Σχηματισμός φυσαλίδας στην επιφάνεια του ηλεκτροδίο [2].....	29
Σχήμα 2.11 Επιμήκυνση σταγονιδίου σε μονωτικό υγρό και διάσπαση του ηλεκτρικού [2]...30	
Σχήμα 3.1 Κατανομή πυκνότητας του Cu ₂ S σε μονωτικό λάδι εμποτισμένο από χαρτί γύρω από έναν αγωγό πηνίου ενός μετασχηματιστή [14].....	34
Σχήμα 3.2 Δημιουργία παραπροϊόντων σε ηλεκτρικές διατάξεις που εμπεριέχουν μονωτικά έλαια [5].....	38
Σχήμα 3.3 Διαβρωτικότητα του επεξεργασμένου ελαίου σε συνάρτηση με των αριθμό κύκλων θεραπείας στο μετασχηματιστή, με τη μέθοδο διάβρωσης.....	41
Σχήμα 4.1 Περιεκτικότητα κορεσμού του νερού σε αχρησιμοποίητο λάδι [9].....	47
Σχήμα 5.1.1 Συσκευή ελέγχου διηλεκτρικής αντοχής μονωτικών λαδιών.....	63
Σχήμα 5.1.1-1 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 1.....	64
Σχήμα 5.1.1-2 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 1.....	65
Σχήμα 5.1.1-3 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 2.....	66
Σχήμα 5.1.1-4 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 2.....	67
Σχήμα 5.1.1-5 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 3.....	68
Σχήμα 5.1.1-6 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 3.....	69
Σχήμα 5.1.1-7 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 4.....	70
Σχήμα 5.1.1-8 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 4.....	71
Σχήμα 5.1.1-9 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 5.....	72
Σχήμα 5.1.1-10 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 5.....	73
Σχήμα 5.1.1-11 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 6.....	74
Σχήμα 5.1.1-12 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 6.....	75
Σχήμα 5.1.1-13 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 7.....	76
Σχήμα 5.1.1-14 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 7.....	77
Σχήμα 5.1.1-15 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 8.....	78
Σχήμα 5.1.1-16 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 8.....	79
Σχήμα 5.1.1-17 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 9.....	80
Σχήμα 5.1.1-18 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 9.....	81
Σχήμα 5.1.1-19 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 10.....	82
Σχήμα 5.1.1-20 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 10.....	83
Σχήμα 5.1.1-21 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 11.....	84
Σχήμα 5.1.1-22 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 11.....	85
Σχήμα 5.1.1-23 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 12.....	86

Σχήμα 5.1.1-24 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 12.....	87
Σχήμα 5.1.1-25 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 13.....	88
Σχήμα 5.1.1-26 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 13.....	89
Σχήμα 5.1.1-27 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 14.....	90
Σχήμα 5.1.1-28 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 14.....	91
Σχήμα 5.1.1-29 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 15.....	92
Σχήμα 5.1.1-30 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 15.....	93
Σχήμα 5.1.1-31 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 16.....	94
Σχήμα 5.1.1-32 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 16.....	95
Σχήμα 5.1.1-33 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 17.....	96
Σχήμα 5.1.1-34 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 17.....	97
Σχήμα 5.1.1-35 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 18.....	98
Σχήμα 5.1.1-36 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 18.....	99
Σχήμα 5.1.1-37 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 19.....	100
Σχήμα 5.1.1-38 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 19.....	101
Σχήμα 5.1.1-39 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 20.....	102
Σχήμα 5.1.1-40 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 20.....	103
Σχήμα 5.1.1-41 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 21.....	104
Σχήμα 5.1.1-42 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 21.....	105
Σχήμα 5.1.1-43 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 22.....	106
Σχήμα 5.1.1-44 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 22.....	107
Σχήμα 5.1.1-45 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 23.....	108
Σχήμα 5.1.1-46 Διάγραμμα weibull δοκιμής No 23.....	109

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 Κατάταξη ακατέργαστου πετρελαίου [5]	6
Πίνακας 2.2 Χαρακτηριστικά χρησιμοποιούμενων μονωτικών ελαίων	12
Πίνακας 3.1 Σταθερότητα οξείδωσης του αποπολωμένου πετρελαίου πριν και μετά	41
Πίνακας 4.1 Ερμηνεία και εφαρμογή δοκιμών [9].....	52
Πίνακας 4.2 Όρια συμπλήρωσης για τα αχρησιμοποιήτα μονωτικά λάδια [9].....	55
Πίνακας 4.3 Οι πιο ικανοποιητικές συνθήκες για την επεξεργασία ορυκτών ελαίων	58
Πίνακας 5.1.1.1-1 Ενδείξεις ανά δοκιμή 1.....	64
Πίνακας 5.1.1.1-2 Ενδείξεις ανά δοκιμή 2.....	66
Πίνακας 5.1.1.1-3 Ενδείξεις ανά δοκιμή 3.....	68
Πίνακας 5.1.1.1-4 Ενδείξεις ανά δοκιμή 4.....	70
Πίνακας 5.1.1.1-5 Ενδείξεις ανά δοκιμή 5.....	72
Πίνακας 5.1.1.1-6 Ενδείξεις ανά δοκιμή 6.....	74
Πίνακας 5.1.1.1-7 Ενδείξεις ανά δοκιμή 7.....	76
Πίνακας 5.1.1.1-8 Ενδείξεις ανά δοκιμή 8.....	78
Πίνακας 5.1.1.1-9 Ενδείξεις ανά δοκιμή 9.....	80
Πίνακας 5.1.1.1-10 Ενδείξεις ανά δοκιμή 10.....	82
Πίνακας 5.1.1.1-11 Ενδείξεις ανά δοκιμή 11.....	84
Πίνακας 5.1.1.1-12 Ενδείξεις ανά δοκιμή 12.....	86
Πίνακας 5.1.1.1-13 Ενδείξεις ανά δοκιμή 13.....	88
Πίνακας 5.1.1.1-14 Ενδείξεις ανά δοκιμή 14.....	90
Πίνακας 5.1.1.1-15 Ενδείξεις ανά δοκιμή 15.....	92
Πίνακας 5.1.1.1-16 Ενδείξεις ανά δοκιμή 16.....	94
Πίνακας 5.1.1.1-17 Ενδείξεις ανά δοκιμή 17.....	96
Πίνακας 5.1.1.1-18 Ενδείξεις ανά δοκιμή 18.....	98
Πίνακας 5.1.1.1-19 Ενδείξεις ανά δοκιμή 19.....	100
Πίνακας 5.1.1.1-20 Ενδείξεις ανά δοκιμή 20.....	102
Πίνακας 5.1.1.1-21 Ενδείξεις ανά δοκιμή 21.....	104
Πίνακας 5.1.1.1-22 Ενδείξεις ανά δοκιμή 22.....	106
Πίνακας 5.1.1.1-23 Ενδείξεις ανά δοκιμή 23.....	108

SUMMARY

The purpose of this work is to describe and to evaluate the dielectric strength of mineral oils and transformers using different statistic methods. Initially, an introductory section is cited in which concepts and definitions that help further understanding the investigation are explained. Then, the characteristics, the way of use and the mode of production are described.

The third section of this work is about aging, the way it occurs and the methods used to detect them. In addition, dielectric tests applied to insulating oil are described, in order to establish credibility.

In the main section the statistical analysis performed on measurements executed in typical oil samples is presented.

Keywords: mineral oils, aging, dielectric strength, statistical methods, weibull distribution.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η περιγραφή και η αξιολόγηση της διηλεκτρικής αντοχής των μονωτικών λαδιών των μετασχηματιστών χρησιμοποιώντας διάφορες στατιστικές μεθόδους. Αρχικά, παρατίθεται μία εισαγωγική ενότητα στην οποία εξηγούνται σχετικές έννοιες και ορισμοί που βοηθούν στην περαιτέρω κατανόηση της έρευνας. Στη συνέχεια, περιγράφονται τα γενικά χαρακτηριστικά των μονωτικών λαδιών η χρήση τους και οι τρόποι εφαρμογής του.

Στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται λόγος για την γήρανση, τους τρόπους με τους οποίους αυτή παρουσιάζεται αλλά και στις μεθόδους με τις οποίες ανιχνεύεται. Στη συνέχεια περιγράφονται οι διηλεκτρικές δοκιμές πάνω στα μονωτικά ορυκτά έλαια προκειμένου να διαπιστωθεί η αξιοπιστία.

Ακόμη, βασικό κομμάτι της πτυχιακής εργασίας αποτελεί η στατιστική επεξεργασία μετρήσεων από τυπικά δείγματα.

Λέξεις κλειδιά: Μονωτικά λάδια, γήρανση, διηλεκτρικές δοκιμές, στατιστικές μέθοδοι, κατανομή Weibull.

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ”

1.1 Εισαγωγή

Όπως είναι γνωστό η χρήση του μονωτικού λαδιού είναι απαραίτητη για την σωστή λειτουργία των μετασχηματιστών υψηλής τάσης. Η χρήση του μονωτικού λαδιού είναι ευρέως διαδεδομένη στους μετασχηματιστές για δύο κυρίους λόγους: α) για την υψηλή θερμική τους αγωγιμότητα που έχει σαν αποτέλεσμα την ψύξη των ηλεκτρικών συσκευών β) για τις μονωτικές ιδιότητες που έχει, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η ηλεκτρική μόνωση των μετασχηματιστών και ιδιαιτέρως η μόνωση των τυλιγμάτων τους. Σε αυτή την περίπτωση γίνεται συνδυαστική χρήση του λαδιού με στερεά φύλλα που καλύπτουν τα τυλίγματα. [3] [4][9]

Ως έλαια μετασχηματιστών χρησιμοποιούνται κυρίως τα πετρελαιοειδή τα οποία κατασκευάστηκαν από ένα κλάσμα υδρογονοανθράκων το οποίο παράγεται κατά την διαδικασία απόσταξης του αποθέματος αργού πετρελαίου. Το απόθεμα του αργού πετρελαίου και οι διαδικασίες διύλισης που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή των μονωτικών ελαίων, παρουσιάζουν κοινά στοιχεία με τις διαδικασίες που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγή πολλών κοινών πετρελαιοειδών λιπαντικών λαδιών. Όμως τα πετρελαιοειδή παρουσιάζουν το μειονέκτημα της χαμηλής διηλεκτρικής σταθεράς, είναι σε μικρό βαθμό τοξικά και μία πιθανή περίπτωση διαρροής του μετασχηματιστή θα μπορούσε να έχει βλαβερές συνέπειες στο περιβάλλον. [3] [4][9]

Λόγω των παραπάνω αρνητικών χαρακτηριστικών στα μέσα της δεκαετίας του 1970 έγιναν προσπάθειες αντικατάστασης των ορυκτών ελαίων με κάποια φυτικά, συνθετικά έλαια. Τα φυτικά έλαια προτειμήθηκαν λόγο του ότι ήταν λιγότερο τοξικά για το περιβάλλον και τον άνθρωπο, εξασφάλιζαν την καλύτερη λειτουργία του μετασχηματιστή και επίσης χρησιμοποιήθηκαν για το λόγο του ότι είχαν χαμηλή ευφλεκτικότητα και προσέφεραν μεγαλύτερη ασφάλεια έναντι πυρός. Όμως, πως εξασφαλίζεται η σωστή λειτουργία ενός μετασχηματιστή; [3] [4][9]

Τα μονωτικά λάδια μετασχηματιστών υπόκεινται σε αλλοιώσεις που οφείλονται σε μηχανικές και χημικές συνθήκες χρήσης. Κατά τη διάρκεια χρήσης, το λάδι υποβάλλεται σε αντιδράσεις οξείδωσης λόγω της παρουσίας οξυγόνου, νερού και μετάλλων. Η παρακολούθηση και η διατήρηση της ποιότητας του μονωτικού λαδιού είναι απαραίτητη για την εξασφάλιση και την αξιόπιστη λειτουργία των ηλεκτρικών εξοπλισμών. Έχοντας μεγάλη ποικιλία διαδικασιών και κριτηρίων μπορούμε να συγκρίνουμε την αξία και την σημασία των δοκιμασμένων πρότυπων λαδιών για την αξιολόγηση των δεδομένων δοκιμών. Από όλα τα παραπάνω προκύπτει ότι οι μετρήσεις και οι δοκιμές πάνω στα μονωτικά λάδια είναι απαραίτητες για την αποδοτική λειτουργία των μετασχηματιστών. [3] [4][9]

Υπάρχει μία μεγάλη ποικιλία δοκιμών που μπορούν να εφαρμοστούν και να καθορίσουν το πότε η κατάσταση στην οποία βρίσκεται το έλαιο είναι ικανοποιητική ώστε να εξασφαλιστεί μία συνεχόμενη λειτουργία του μετασχηματιστή και στην περίπτωση υπολειτουργίας, μπορούν να προτείνουν τον τύπο των διορθωτικών πράξεων που απαιτούνται. Οι δοκιμές που γίνονται αφορούν στο χρώμα και στην εμφάνιση του λαδιού, την τάση διάσπασης, την περιεκτικότητα σε νερό, την αξία εξουδετέρωσης, την διεπιφανιακή τάση, το σημείο ανάφλεξης, το σημείο ροής, την πυκνότητα, την συνολική περιεκτικότητα σε αέριο κ.λ. [3] [4][9]

Κάθε μέτρηση δεν είναι ολοκληρωμένη και γι αυτό το λόγο δεν μπορεί να δώσει την πραγματική αξία της ποιότητας που μετράμε ακόμα και αν γίνεται πολλές φορές πάνω στο αντικείμενο δοκιμής και οι συνθήκες είναι φαινομενικά ίδιες. Τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιούνται δείχνουν ότι οι αξίες ποιότητας διαφέρουν η μία από την άλλη. Οι ποιότητα εκφράζεται ποιοτικά από μία αριθμητική αξία. Σύμφωνα με τον ορισμό του διεθνούς λεξιλογίου μετρωλογίας (VIM) είναι μία παράμετρος η οποία συνδέεται με το αποτέλεσμα μίας μέτρησης που χαρακτηρίζει την διασπορά των τιμών που θα μπορούσε εύλογα να αποδοθεί στην μετρούμενη ποιότητα. [3] [4][9]

Τα όσα γνωρίζουμε σχετικά με την αβεβαιότητα της μέτρησης και την αξιολόγησή της έχει μεγάλη πρακτική σημασία. Όσο μικρότερη είναι η αβεβαιότητα τόσο πιο αξιόπιστο είναι το αποτέλεσμα της μέτρησης. Με την επανάληψη μιας μέτρησης μπορούν να αποκτηθούν τιμές περισσότερο ή λιγότερο παρεκκλίνουσες η μία από την άλλη όσο μεγάλη προσοχή κι αν έχουμε δείξει. Οι αποκλίσεις αυτές μπορεί να είναι αποτέλεσμα αστάθειας των οργάνων μέτρησης που χρησιμοποιούνται, αστάθειας των ίδιων των οργάνων δοκιμής και των περιβαλλοντικών παραγόντων. [3] [4][9]

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής γίνεται αρχικά μία σύντομη αναφορά στα χαρακτηριστικά των μονωτικών λαδιών των μετασχηματιστών, στους τρόπους παραγωγής και στην εφαρμογή

- χρήση. Επίσης, γίνεται λόγος σχετικά με το πόσο και πώς η γήρανση, η θερμοκρασία κ.τ.λ. επηρεάζουν και συμβάλουν στην αλλοίωση του λαδιού. Στη συνέχεια θα γίνει αξιολόγηση μετρήσεων διηλεκτρικής αντοχής σε μονωτικά λάδια μετασχηματιστών χρησιμοποιώντας διάφορες στατιστικές μεθόδους. Έμφαση θα δοθεί στις σύγχρονες κατανομές.

Τέλος θα δοθούν τα απαραίτητα συμπεράσματα τα οποία ίσως αποτελέσουν το έναυσμα για περαιτέρω μελέτη σχετικά με τις μετρήσεις και την αξιολόγηση των μονωτικών λαδιών. [3][4][9].

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΛΑΔΙΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ ”

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΑΔΙΩΝ

Οι αυξημένες ανάγκες που σχετίζονται με την ηλεκτρική ενέργεια έχουν οδηγήσει σε συστήματα μεταφοράς ενέργειας υψηλών τάσεων. Η διατήρηση των συστημάτων αυτών, όπως διαπιστώνουμε, είναι απαραίτητη και επιτυγχάνεται με την χρήση των κατάλληλων μονωτικών υλικών. Τα μονωτικά αυτά υλικά είναι διηλεκτρικά υγρά και παίζουν ένα ουσιώδη ρόλο στην παραγωγή και την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο συχνά χρησιμοποιούνται μονωτικά έλαια τα οποία προέρχονται από την κλασματική απόσταξη του πετρελαίου και οι χρήσεις τους είναι διαδεδομένη λόγω του χαμηλού τους κόστους. [2][5]

Τα μονωτικά έλαια χρησιμοποιούνται στους ηλεκτρικούς εξοπλισμούς τόσο για την μονωτική τους ικανότητα όσο και για την θερμική τους αγωγιμότητα. Επιπλέον προτιμώνται από τα αέρια γιατί έχουν μεγάλη διηλεκτρική αντοχή και μεγάλο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας και έτσι κάνουν πιο εύκολη την απαγωγή θερμότητας που δημιουργείται στους μετασχηματιστές. Ένα από τα πλεονεκτήματα είναι ότι μπορούν να συνδυαστούν με στερεά μονωτικά αποτρέποντας την επαφή με τον αέρα και προστατεύουν τα στερεά μονωτικά από την υγρασία. [2][5]

Ένας περιορισμός που τίθεται στην χρησιμοποίηση των μονωτικών λαδιών είναι η μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία λειτουργίας τους. Τίθεται αυτός ο περιορισμός διότι οι υψηλές θερμοκρασίες συμβάλλουν στην γρήγορη αποσύνδεση των λαδιών και επιπλέον διότι σε υψηλές θερμοκρασίες υπάρχει η πιθανότητα δημιουργίας αναφλέξεων. [2][5]

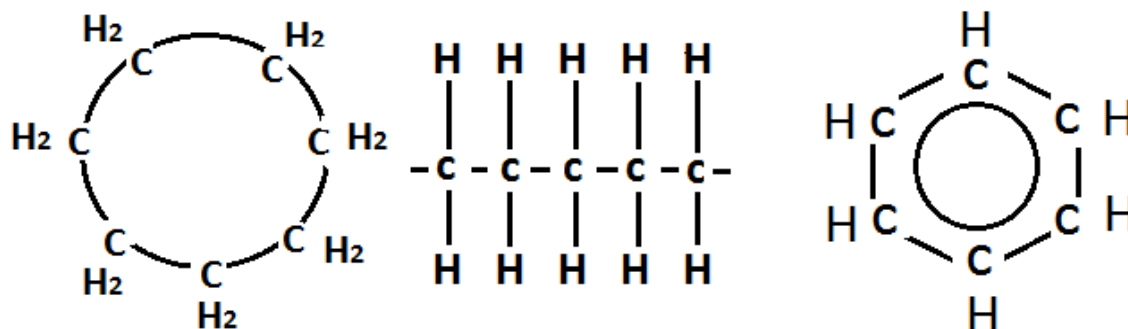
Στις υψηλές θερμοκρασίες και στην επαφή με το οξυγόνο τα μονωτικά λάδια οξειδώνονται και προϊόντα της οξείδωσης αυτής είναι το νερό που παραμένει διαλυμένο και μειώνει την διηλεκτρική αντοχή του λαδιού, ιζήματα που εμποδίζουν την ψύξη της συσκευής, καθώς έχουν την δυνατότητα να φράζουν την κυκλοφορία του λαδιού και πτητικά οξείδια. Επιπλέον ένας παράγοντας που επιταχύνει την οξείδωση είναι η επαφή του λαδιού με μέταλλα, ιδίως με τον χαλκό και τον μόλυβδο καθώς η παρουσία τους μπορεί να έχει αρνητικά αποτελέσματα κατά την διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικών συσκευών [2][5].

2.2 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΑΔΙΩΝ

Τα μονωτικά λάδια προέρχονται από το αργό πετρέλαιο το οποίο αποτελείται από υδρογονάνθρακες οι οποίοι μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες:

- α) ναφθενικούς
- β) παραφινικούς
- γ) αρωματικούς

Στην περίπτωση των παραφινικών και ναφθενικών υδρογονανθράκων από δύο και πάνω άτομα σχηματίζουν μία πολλαπλή αλυσίδα, αφού ενωθούν με απλό ή πολλαπλό δεσμό και ονομάζονται ακόρεστα. Στους αρωματικούς υδρογονάνθρακες τα άτομα του άνθρακα ενώνονται με έναν απλό δεσμό, σχηματίζοντας έναν δακτύλιο. Αυτοί ονομάζονται κορεσμένοι [1][4][5].



Σχήμα 2.1: Ενώσεις υδρογονανθράκων. Πηγή: Διηλεκτρικές δοκιμές σε μονωτικά λάδια. [1]

Με βάση τα παραπάνω το αργό πετρέλαιο χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες:

- Στην κατηγορία ναφθενικής βάσεως (υπάρχει άσφαλτος σε μεγάλη ποσότητα)
- Στην κατηγορία παραφινικής βάσεως (υπάρχει παραφινικός κηρός σε μεγάλη ποσότητα)
- Στην κατηγορία μικτής βάσεως (υπάρχουν άσφαλτος και παραφινικός κηρός στην ίδια περίπου ποσότητα)

Για την παρασκευή των μονωτικών λαδιών χρησιμοποιούνται κυρίως τα πετρέλαια ναφθενικής βάσεως, επειδή διατηρούν την ρευστότητά τους σε χαμηλές θερμοκρασίες τους.

Σύμφωνα με τα παραπάνω γίνεται πιο συχνή χρήση ταξινόμησης του αργού πετρελαίου με βάση το U.S. Bureau of Mines όπου ένα ακατέργαστο τοποθετείται σε μία από τις εννέα κατηγορίες που θα αναφερθούν παρακάτω σε συνδυασμό παραφινικών, ενδιάμεσων και ναφθενικών βάσεων: [1][4][5].

Τάξη	Πετρέλαιο
1	Παραφινικό
2	Παραφινικό - Μεικτής βάσης
3	Μεικτής βάσης- Παραφινικό
4	Μεικτής βάσης
5	Μεικτής βάσης- Ναφθενικό
6	Ναφθενικό - Μεικτής βάσης
7	Ναφθενικό
8	Παραφινικό - Ναφθενικό
9	Ναφθενικό - Παραφινικό

Πίνακας 2.1: Κατάταξη ακατέργαστου πετρελαίου. Στοιχεία: Διηλεκτρικές δοκιμές σε μονωτικά λάδια. [1]

Το αργό πετρέλαιο της πρώτης κατηγορίας περιέχει σε μεγάλη ποσότητα (πάνω από 66%) παραφινικούς υδρογονάνθρακες και σε μικρή ποσότητα ναφθενικούς και αρωματικούς. Στην αναλογία αυτή υπάρχει σε μεγάλη αναλογία κερί και σε μικρή άσφαλτος. Το αργό πετρέλαιο της έβδομης κατηγορίας περιέχει σε μεγάλη ποσότητα (πάνω από 66%) ναφθενικούς υδρογονάνθρακες και σε μικρή ποσότητα παραφινικούς και αρωματικούς. Στην ποσότητα αυτή υπάρχει σε μεγάλη αναλογία άσφαλτος και σε μικρή κερί [1][4][5].

Το μεγαλύτερο ποσοστό αργού πετρελαίου ανήκει στην τέταρτη κατηγορία, που περιέχει υδρογονάνθρακες όλων των ομάδων σε σχετικά μεγάλη ποσότητα και τα μόρια του είναι σε δακτυλιοειδή μορφή [1][4][5].

2.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΑΔΙΩΝ

Η επεξεργασία αργού πετρελαίου οδηγεί στην παραγωγή μονωτικών λαδιών. Οι δύο κύριες μέθοδοι παραγωγής είναι:

α) Κλασματική απόσταξη

β) Διύλιση

α) Κλασματική απόσταξη: Το πετρέλαιο θερμαίνεται και κατά την διάρκεια θέρμανσης του εξατμίζεται. Οι ατμοί που συμπυκνώνονται σε διάφορες θερμοκρασίες σχηματίζουν υγρά αποστάγματα. Η συγκεκριμένη μέθοδος παραγωγής εφαρμόζεται σε συνθήκες κενού γιατί στις συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες που μπορούν να οδηγήσουν σε αποσύνθεση του λαδιού [1][5].

β) Διύλιση: Μετά την διαδικασία της απόσταξης ακολουθεί ο καθαρισμός και η επεξεργασία με οξέα. Τα δύο τελευταία αποτελούν την διύλιση. Αρχικά οι τρόποι διύλισης των μονωτικών λαδιών περιορίζονταν στην επεξεργασία τους με οξέα και κάποιες φορές σε συνδυασμό με διαλύτες. Εάν η διύλιση εκτελεστεί με σωστό τρόπο τότε το μονωτικό λάδι αποσυντίθεται γρήγορα και μέσα σε αυτό δημιουργούνται μεγάλες ποσότητες λάσπης (Sludge). Από την άλλη όταν η διύλιση είναι μεγάλη, το παραγόμενο λάδι αποσυντίθεται γρήγορα, η οξύτητά του αυξάνεται με γοργούς ρυθμούς, αλλά η λάσπη που σχηματίζεται στην αρχή θα είναι περιορισμένη. Με την διύλιση πρέπει να εξαλειφθεί ένα μέρος των μη επιθυμητών αρωματικών ενώσεων στις οποίες οφείλεται η μικρή σταθερότητα του λαδιού σχετικά με την οξειδωσή του. Σε αυτό το σημείο, πρέπει να αναφέρουμε ότι υπάρχει ένα βέλτιστο σημείο διύλισης κι έτσι δεν πρέπει να εξαλειφθούν όλες οι αρωματικές ενώσεις από το λάδι. Όταν μέσα στο λάδι δεν υπάρχουν αρωματικές ενώσεις δεν θα σχηματιστεί λάσπη από οξειδωση, αλλά θα δημιουργηθούν οξέα, η οξύτητα θα αυξηθεί και θα διαβρώσει όλα τα μεταλλικά μέρη του μετασχηματιστή [1][5].

Οι σύγχρονοι τρόποι διύλισης και οι βελτιωμένοι διαλύτες μας δίνουν λάδια καλής ποιότητας που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των μεγάλων μετασχηματιστών. Ένας τέτοιος σύγχρονος τρόπος διύλισης είναι η διύλιση με υδρογόνο (H₂). Σε αυτή τη διύλιση το υδρογόνο έρχεται σε επαφή με το λάδι κάτω από μεγάλες θερμοκρασίες και πιέσεις (εδώ πρέπει να αναφέρουμε ότι είναι απαραίτητη η παρουσία ειδικών καταλητών). Έτσι,

απομακρύνονται ενώσεις που σχηματίζουν λάσπη, αλλά διατηρούνται αντιοξειδωτικές ενώσεις που προστατεύουν το λάδι από την οξείδωση [1][5].

Σε γενικές γραμμές η παραγωγή ικανοποιητικών μονωτικών λαδιών εξαρτάται τόσο από το κατάλληλα εκλεγμένο αργό πετρέλαιο όσο και από την τεχνική της διύλισης. Εμείς πρέπει να προσέξουμε να παράξουμε ένα λάδι με καλές ηλεκτρικές ιδιότητες, οξειδωτική σταθερότητα και κάποιες φορές καλές ιδιότητες απορροφόμενου αερίου καθώς και μια μικρή περιεκτικότητα θείου και αζώτου. Αν και έχουν γίνει αλλαγές στις μεθόδους διύλισης, η αλλαγή στα χαρακτηριστικά του προϊόντος δεν είναι μεγάλη, εδώ και αρκετές δεκαετίες, αλλά έχει δοθεί μεγάλη προσοχή σε βελτιώσεις και στην τεχνική εξασφάλισης σταθερότητας με δοκιμές που έχουν σχέση με την ποιότητα του λαδιού [1][5].

2.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΑΔΙΩΝ

Η διατήρηση της ποιότητας του μονωτικού λαδιού στις υψηλές τάσεις είναι απαραίτητη για την αξιόπιστη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών. Οι χρήσεις των μονωτικών λαδιών εφαρμόζονται, κατά κύριο λόγο, σε μετασχηματιστές, ελαιοδιακόπτες, πυκνωτές, καλώδια, μονωτήρες διέλευσης και μετασχηματιστές οργάνων. Κάθε ηλεκτρική συσκευή που βρίσκεται σε λειτουργία πρέπει να τηρεί κάποιες προϋποθέσεις π.χ. στους μετασχηματιστές πρέπει να υπάρχουν καλές ψυκτικές και ηλεκτρικές ιδιότητες με καλό βαθμό απόδοσης [1][3].

Παρακάτω θα αναφερθούμε στις εφαρμογές των μονωτικών λαδιών καθώς και στις απαιτήσεις που πρέπει να τηρούν αναλόγως την ηλεκτρική συσκευή που χρησιμοποιούνται [1][3].

2.4.1 Μετασχηματιστές

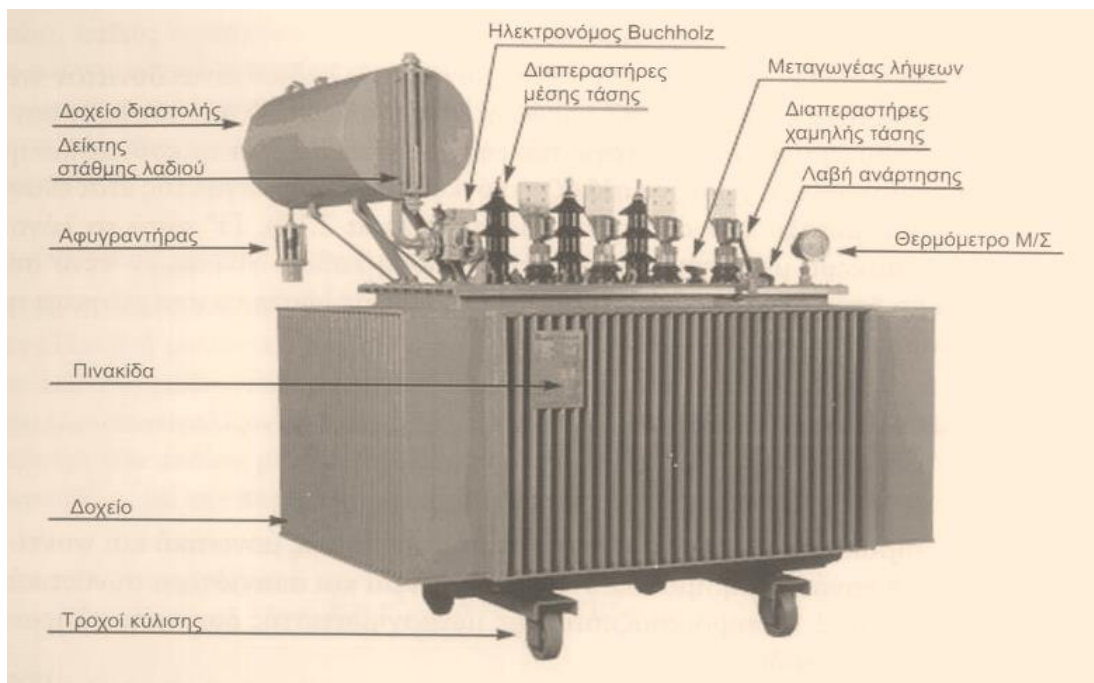
Στους μετασχηματιστές ισχύος χρησιμοποιείται το μονωτικό λάδι για τέσσερις λόγους:

α) Κατάλληλο ψυκτικό: Όταν τα τυλίγματα του μετασχηματιστή διαρρέονται από ρεύμα προκαλείται το γνωστό φαινόμενο θερμότητα (Joule). Ωστόσο θερμότητα εκλύεται επίσης και από τον πυρήνα λόγω κυκλοφορίας των δινορευμάτων μέσα σ' αυτόν. Στην περίπτωση αυτή το μονωτικό λάδι απορροφά τη θερμότητα και την μεταφέρει στις ψυκτικές επιφάνειες των ψυγείων και στα τοιχώματα του δοχείου. Έτσι με την βοήθεια των ανεμιστήρων η

θερμότητα αποβάλλεται στο περιβάλλον. Η υπερθέρμανση από του λαδιού είναι αυτή που συμβάλει στην αλλοίωση του . Το μονωτικό λάδι προτείνεται τον αέρα σαν ψυκτικό μέσο για δύο λόγους: [1][3].

1) έχει μεγαλύτερη ειδική θερμότητα και μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα, κι αυτό έχει ως αποτέλεσμα την καλή απαγωγή θερμότητας των απωλειών σιδήρου (λόγω του πυρήνα) και χαλκού (λόγω των ελιγμάτων) και τη δυνατότητα αποθήκευσης μεγάλης ποσότητας ενέργειας και θερμότητας 2) παρουσιάζει μεγαλύτερη διηλεκτρική αντοχή και σταθερά [1][3].

β) Κατάλληλο μονωτικό μέσο: Το λάδι καθώς κυκλοφορεί ανάμεσα στα διάφορα στοιχεία του μετασχηματιστή, που παρουσιάζουν διαφορετικά δυναμικά, εμποδίζει την ηλεκτρική υπερπήδηση και ενισχύει με αυτό τον τρόπο τις μονωτικές ιδιότητες που έχουν οι μονώσεις των τυλιγμάτων, εμποδίζοντας την εισχώρηση υγρασίας. Οι μονωτικές ιδιότητες στο χαρτί και στο βαμβάκι βασίζονται στην κυτταρίνη όπου απορροφούν υγρασία από τον αέρα, όταν τις εκθέσουμε σε αυτόν. Το μονωτικό λάδι αντέχει σε υψηλότερες τάσεις παρά ο αέρας επειδή η αντοχή διασπάσεως του λαδιού μετασχηματιστών είναι περίπου εξαπλάσια [1][3].



Εικόνα 2.2: Μετασχηματιστής λαδιού. Πηγή: eclass.teipat.gr/eclass/modules/document/file.php/487163/.../TYT%203.ppt [18]

γ) Παρεμπόδιση δημιουργίας μικροσκοπικών φυσαλίδων αέρα: Παρόλο που οι μονώσεις απο χαρτί εφαρμόζονται πάνω αγωγούς με προσοχή, απομένουν μικράδιάκενα μεταξύ των μονώσεων και των αγωγών. Ο αέρας που υπάρχει στα διάκενα αυτά ιονίζεται κι έτσι είναι δυνατό να προκληθούν απώλειες και καταστροφή των μονώσεων. Το μονωτικό λάδι, γεμίζοντας τα διάκενα αυτά, παρεμποδίζει τον ιονισμό[1][3].

δ) Απομάκρυνση ξένων σωμάτων και υγρασίας: Κάθε καινούργιος μετασχηματιστής μπορεί να περιέχει ίχνη ξένων σωμάτων και υγρασίας. Το μονωτικό λάδι με την κυκλοφορία του πομακρύνει τα ίχνη, προκαλώντας διάταξη διηθήσεως (φίλτρο) [1][3].

2.4.2 Ελαιοδιακόπτες

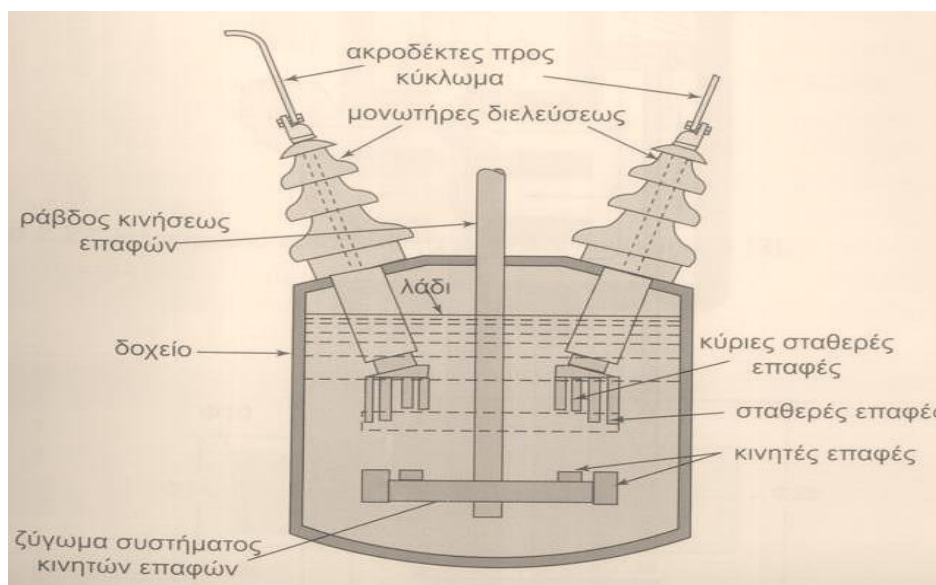
Ελαιοδιακόπτες ονομάζουμε τους διακόπτες που χρησιμοποιούν το μονωτικό λάδι σαν μονωτή μεταξύ των φάσεων και μεταξύ φάσης-γης για το σβύσιμο του τόξου που αναπτύσσεται κατά την λειτουργία του. Επίσης το λάδι ατμοποιείται και δημιουργεί μια φυσαλίδα γύρω από το τόξο. Η αποσύνθεση μίας ποσότητας λαδιού που υπάρχει γύρω από τη φυσαλίδα απομακρύνει τη θερμότητα από το τόξο με αποτέλεσμα να βοηθά στο σβύσιμο του τόξου [3][5].

Το μονωτικό λάδι πρέπει να έχει πολύ χαμηλή τάση για τη δημιουργία στερεών σωματιδίων, έτσι ώστε να αποτρέψει να παραχθεί μεγάλη ποσότητα άνθρακα που προκαλεί σχηματισμό αγωγίμου δρόμου και να παράγει μικρές ποσότητες υδρογόνου κατά τις διακοπές των τόξων [3][5].

Το λάδι που χρησιμοποιούμε στους ελαιοδιακόπτες είναι το ίδιο με το λάδι που βάζουμε στους μετασχηματιστές. Μόνο σε κάποιες ελάχιστες περιπτώσεις χρησιμοποιούμε χλωριομένα συνθετικά λάδια που δεν δημιουργούν αέρια αλλά ελκύουν υδροχλώριο [3][5].

Το βασικό μειονέκτημα των ελαιοδιακοπών είναι η χαμηλή αναφλεξιμότητα του λαδιού και η αναγκαία συντήρησή του ώστε να κρατιέται το λάδι σε καλή κατάσταση (π.χ. αντικατάσταση και καθαρισμός του). Το πλεονέκτημά τους σε σχέση με τους μετασχηματιστές είναι ότι προκαλούν λιγότερη οξειδωση στο λάδι λόγω των αντιοξειδωτικών ουσιών που προσθέτουμε [3][5].

Οι περισσότεροι ελαιοδιακόπτες είναι εγκατεστημένοι στην ύπαιθρο και λειτουργούν σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Γι αυτό το λόγο τα τελευταία χρόνια τοποθετούμε σύγχρονους ελαιοδιακόπτες που χρησιμοποιούν μονωτικά λάδια με χαμηλό ιξώδες και χαμηλό σημείο ροής [3][5].



Εικόνα 2.3: Ελαιοδιακόπτης. Πηγή: eclass.teipat.gr/eclass/modules/document/file.php/487163/.../TYT%203.ppt [18]

2.4.3 Πυκνωτές

Στους πυκνωτές το μονωτικό υγρό ενισχύει και διαποτίζει τη μόνωσή τους. Ο διαποτισμός γίνεται υπό συνθήκες υψηλού κενού και υψηλής θερμοκρασίας έπειτα υπό την τέλεια ξήρανση. Τα φύλλα αλουμινίου με την ενδιάμεση διαποτισμένη μόνωση κλείνονται μέσα σε στεγανό σφραγιστό μεταλλικό δοχείο. Το γεγονός αυτό αποκλείει τη δυνατότητα αντικατάστασης ή συμπλήρωσης του υγρού, επομένως η διάρκεια ζωής του υγρού είναι και η διάρκεια ωφέλιμης ζωής του πυκνωτή. Φυσικά το υγρό δε μπορεί να οξειδωθεί αφού δεν έρχεται σε επαφή με τον αέρα και η θερμοκρασία λειτουργίας δεν είναι μεγάλη [1][3][5].

Το μονωτικό υγρό χρησιμοποιείται στους πυκνωτές ισχύος για την ενίσχυση της μόνωσης την οποία και διαποτίζει. Παλαιότερα τα λάδια που χρησιμοποιούσαν στους πυκνωτές ήταν ίδια με τα λάδια των μετασχηματιστών. Τα τελευταία χρόνια άλλαξαν λόγω διαφορετικών συνθηκών λειτουργίας μεταξύ των πυκνωτών και των μετασχηματιστών. Έτσι χρησιμοποιούμε ειδικά λάδια τα οποία χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη ανήκουν αυτά που προέρχονται από ορυκτά έλαια και στη δεύτερη τα χλωρισμένα συνθετικά υγρά που όλα έχουν σαν βάση τους τα PCBs (polychlorinated biphenyl). Το PCB παρόλο που παρουσιάζει χαμηλές διηλεκτρικές απώλειες και χαμηλό σημείο ανάφλεξης, δεν χρησιμοποιείται λόγω των αρνητικών επιδράσεών του στο περιβάλλον [1][3][5].

Αντικαταστάθηκε από το XFS - 4169L (εμπορική ονομασία). Αυτό έχει τοξικότητα 20 φορές μικρότερη από υγρά που βασίζονται στο PCB. Επίσης έχει σημεία ανάφλεξης και

καύσης μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα του ορυκτού μονωτικού λαδιού όπως φαίνεται από τα παρακάτω πίνακα. 2 αναφέρουμε κάποια μονωτικά έλαια [1][3][5].

Τύπος	Σημείο ανάφλεξης	Σημείο καύσεως
Ορυκτέλαια	154	167
PCB	166	316
XFS-4169L	174	199

Πίνακας 2.2: Χαρακτηριστικά χρησιμοποιούμενων μονωτικών ελαίων. Πηγή: Διηλεκτρικές ιδιότητες ηλεκτρομονωτικών ελαίων. Επίδραση ναοσωματιδιακής ρύπανσης. [5]

2.4.4 Καλώδια

Ο σκοπός που χρησιμοποιούμε μονωτικά λάδια στα υποβρύχια καλώδια είναι η ενίσχυση της μόνωσης τους που είναι απο χαρτί, η παρεμπόδιση της εισχώρησης υγρασίας και η ψύξη του αγωγού του καλωδίου [1][3][5].

Παλαιότερα, τα καλώδια χαμηλής τάσης παρουσίαζαν στην μόνωσή τους αλλοίωση. Επειδή αλλοιωνόταν γρήγορα η μόνωση θεικωμένης ασφάλτου, λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών, σχημάτιζαν κενά που μπορούσαν να ιονισθούν. Για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου χρησιμοποιήθηκε σαν πυκνωτικό, το καλοφόνιο που ενίσχυσε την προσκόλληση του διαποτιστικού υλικού [1][3][5].

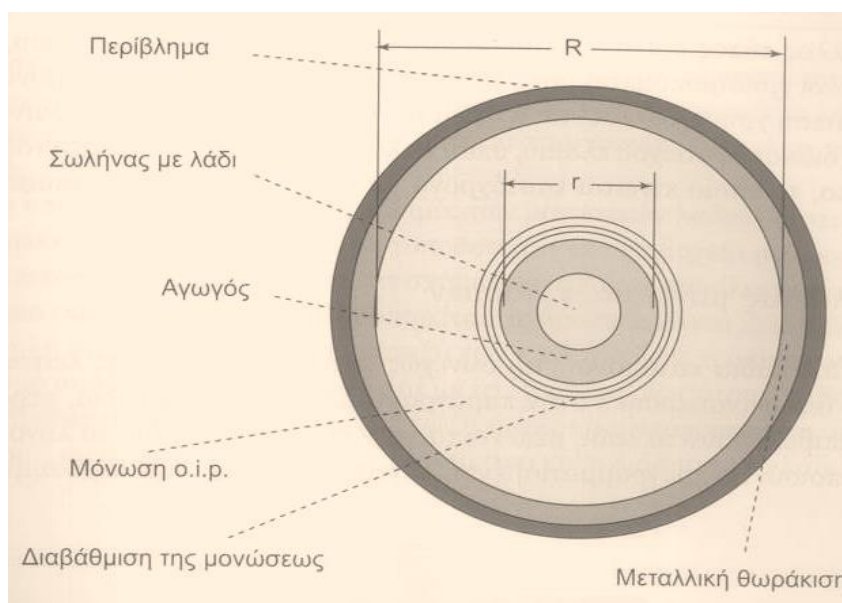
Αργότερα εντοπίστηκαν βλάβες στα καλώδια που προκαλούνταν από τις συχνές διασπάσεις στη μόνωση, οι οποίες οφείλονταν στα κενά που δημιουργούσε η συστολή του υλικού στις χαμηλές θερμοκρασίες [1][3][5].

Σήμερα στα καλώδια χρησιμοποιούνται παραφινικά λάδια που αναμιγνύονται με κολοφόνιο, ναφθενική κ.τ.λ. Το ποσοστό των λαδιών εξαρτάται απο την τοποθέτηση του καλωδίου αν είναι οριζόντιο ή κατακόρυφο. Στα οριζόντια αναμιγνύεται λιγότερο κολοφόνιο σε σχέση με τα κατακόρυφα. Επειδή το παραπάνω υλικό έχει χαμηλή διηλεκτρική αντοχή, δε χρησιμοποιείται σε καλώδια υψηλών τάσεων [1][3][5].

Έτσι, για καλώδια μέχρι 66kV έχουμε παχύρρευστα λάδια, πολλές φορές αναμιγμένα με εξευγενισμένο κολοφόνιο. Το εξευγενισμένο κολοφόνιο έχει βέβαια μικρότερες απώλειες,

δεν έχει όμως ικανοποιητική διαλυτότητα στα λάδια παραφινικής βάσης και στις χαμηλές θερμοκρασίες παίρνει κρυσταλλική μορφή όταν οξειδωθεί. Εξαιτίας αυτού προτιμώνται τα λάδια παραφινικής βάσης που έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

1. διατηρούν το κολοφώνιο εύκολα, ακόμα και όταν οξειδωθεί
2. είναι πιο λεπτόρευστα στις θερμοκρασίες διαποτισμού
3. έχουν μικρότερες απώλειες [1][3][5].



Εικόνα 2.4: Καλώδιο υψηλής τάσης. Πηγή: eclass.teipat.gr/eclass/modules/document/file.php/487163/.../ΤΥΤ%203.ppt [18]

Στα καλώδια που προορίζονται για τάσεις άνω των 66kV έχουμε λάδι με πίεση. Σχετικά με τα καλώδια αυτά, τελευταίες έρευνες πάνω στην αντοχή των λαδιών τους έδειξαν ότι αυτά παθαίνουν φυσικοχημικές αλλοιώσεις, ακόμη και στην κανονική λειτουργία του καλωδίου, επειδή μολύνονται από τα προϊόντα των αντιδράσεων που προκαλούνται από την ανύψωση της θερμοκρασίας. Η μόλυνση και οι αλλοιώσεις επιδρούν πάνω στις διηλεκτρικές απώλειες του λαδιού και του καλωδίου. Κανονικά οι απώλειες αυξάνονται με την θερμοκρασία και πρακτικά είναι ανεξάρτητες από την τάση. Δηλαδή η συνδυασμένη επίδραση θερμότητας και τάσης με την παρουσία χαλκού και σιδήρου προκαλεί γήρανση του λαδιού χωρίς όμως να σχηματισθούν κατάλοιπα οξείδωσης, όπως συμβαίνει με την οξείδωση από τον αέρα. Αυτά βέβαια είναι αντίθετα με τον ισχυρισμό ότι το καλώδιο δεν υφίσταται οξείδωση αφού δεν έρχεται σε επαφή με τον αέρα [1][3][5].

Επειδή οι αλλοιώσεις του λαδιού δεν προσβάλλουν το μονωτικό χαρτί, μπορεί να αφαιρεθεί το γηρασμένο λάδι, να ξεπλυθούν τα καλώδια με λάδι και να γεμισθούν με καινούριο για την εκ νέου χρήση τους. Τα λάδια που χρησιμοποιούνται σε καλώδια υψηλής τάσης έχουν γενικά ναφθενική βάση. Αυτά πρέπει να αντέχουν σε μεγάλες θερμοκρασίες και στη γήρανση. Επίσης, πρέπει να ελκύουν όσο το δυνατόν λιγότερο αέρια και να είναι παχύρρευστα, αν δεν προσδιορίζονται για κυκλοφορία μέσα στα καλώδια. Τόσο το λάδι όσο και το μονωτικό εκλέγονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε σε οποιοδήποτε συνθήκες το λάδι να διαποτίζει το μονωτικό χαρτί [1][3][5].

Τα λάδια σαν υλικά εμποτισμού μπορούν να καταταγούν σε δύο κατηγορίες:

- Παχύρρευστα, που περιέχουν εξευγενισμένο κολοφώνιο ή πολυμερείς υδρογονάνθρακες.
- Λάδια με χαμηλή εσωτερική τριβή (ιξώδες) [1][3][5].

2.4.5 Μονωτήρες διελεύσεως

Οι μονωτήρες διέλευσης των μετασχηματιστών περιέχουν λάδι που μπορεί να είναι ίδιο με το λάδι των μετασχηματιστών. Αν το λάδι του μονωτήρα επικοινωνεί με το λάδι του μετασχηματιστή τότε βρίσκεται στην πίεση που οφείλεται στη στάθμη του λαδιού του δοχείου διαστολής [1][3][5].

Αν το λάδι του μονωτήρα διέλευσης δεν επικοινωνεί με το λάδι του μετασχηματιστή τότε είναι ένα παχύρρευστο ειδικό λάδι που έχει διηλεκτρική αντοχή που δε μεταβάλλεται ακόμα και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Οι μονωτήρες διέλευσης των μετασχηματιστών και των διακοπών είναι στεγανοί και έχουν χώρο διαστολής του υγρού που δεν επικοινωνεί με την ατμόσφαιρα και άρα δεν επηρεάζεται από τις συνθήκες [1][3][5].

Η γωνία εφδ του μονωτικού λαδιού έχει καλύτερη απόδοση όταν προορίζεται για πυκνωτές. Για αυτό το λάδι των μετασχηματιστών είναι κατάλληλο για μονωτήρες διελεύσεως. Ειδικά στους μετασχηματιστές υπερυψηλής τάσης χρησιμοποιείται λάδι που περιέχει πρόσθετο βελτιωτικό [1][3][5].

2.4.6 Μετασχηματιστές οργάνων

Η χρήση του μονωτικού λαδιού στους μετασχηματιστές οργάνων είναι ο εμποτισμός ενός ειδικού χαρτιού που περιέχουν [1][3].

Το λάδι που χρησιμοποιείται στους μετασχηματιστές οργάνων είναι ίδιο με το λάδι των μετασχηματιστών ισχύος [1][3].

2.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΑΔΙΩΝ

Τα λάδια που προορίζονται για χρήση σε μετασχηματιστές και σε πυκνωτές πρέπει να έχουν ψυκτικές ιδιότητες και καλά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά [3].

- Το λάδι των μετασχηματιστών πρέπει να μπορεί να διατηρεί τα χαρακτηριστικά του για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- Το λάδι που προορίζεται για πυκνωτές πρέπει να έχει δύο βασικά χαρακτηριστικά: α) να μπορεί να προσφέρει τέλεια μόνωση προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες β) να μπορεί να αντέχει σε υψηλές τάσεις δηλαδή να εκλύει λιγότερο υδρογόνο.
- Το λάδι που προορίζεται για ελαιοδιακόπτες πρέπει να μπορεί να αντέχει στα τόξα που σχηματίζονται στο διακόπτη χωρίς να δημιουργούνται εναποθέσεις [3].

Παρακάτω θα αναφερθούν τα κυριότερα χαρακτηριστικά των μονωτικών λαδιών που προορίζονται για συνιθισμένες χρήσεις. Τα χαρακτηριστικά αυτά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: α) φυσικά-χημικά χαρακτηριστικά β) ηλεκτρικά χαρακτηριστικά [3].

φυσικά - χημικά χαρακτηριστικά

1. Χρώμα και εμφάνιση

Το χρώμα ενός μονωτικού λαδιού καθορίζεται σε μεταδιδόμενο φως και μπορεί να εκφραστεί από μία αριθμητική τιμή η οποία βασίζεται στην σύγκριση με μια σειρά χρωματικών προτύπων [2][3].

Το χρώμα των μονωτικών λαδιών είναι ανοιχτό κίτρινο και διαφέρει από λάδι σε λάδι. Μέσο αυτού μπορεί να εκτιμηθεί η κατάσταση των λαδιών χρησιμοποιημένων τόσο για μικρό όσο και για μεγάλο χρονικό διάστημα [2][3].

Η μεταβολή του χρώματος λαδιού που βρίσκεται σε χρήση μπορεί να σημαίνει οξείδωση, παρουσία νερού, λάσπης, άνθρακα και γενικότερα ξένων σωματιδίων. Εάν το χρώμα είναι πιο σκούρο δεν σημαίνει απαραίτητα ότι το λάδι έχει πάθει οξείδωση. Σε αυτή την περίπτωση οι έρευνες θα δείξουν εάν το λάδι έχει υπερθερμανθεί ή μολυνθεί από ξένες διαλυτές ουσίες. Τονίζετε, όμως, ότι η γρήγορη μεταβολή στο χρώμα των λαδιών πρέπει να προκαλεί ανησυχία [2][3].

Τέλος, είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι το ανοιχτό χρώμα του λαδιού μας διευκολύνει στην ανακάλυψη ξένων σωματιδίων ή λάσπης [2][3].

2. Πυκνότητα

Η πυκνότητα του λαδιού δεν είναι σημαντική για τον προσδιορισμό της ποιότητας αλλά μπορεί να γίνει χρήσιμη για την αναγνώριση του τύπου του λαδιού ή για την "πρόταση" κάποιων αλλαγών. Όταν το κλίμα είναι ψυχρό η πυκνότητα μπορεί να σχετίζεται με την αξιολόγηση της καταλληλότητας για χρήση [3].

Παλαιότερα από την πυκνότητα του λαδιού προσδιοριζόταν η προέλευσή του. Σήμερα αυτό δεν μπορεί να γίνει λόγω των σύγχρονων μεθόδων διύλισης που μπορούν να τροποποιήσουν ριζικά το λάδι της προέλευσης [3].

Όταν το λάδι έχει μικρή πυκνότητα το νερό που εισχωρεί στο λάδι κατακάθεται στον πυθμένα του δοχείου που περιέχει το λάδι. Στην περίπτωση του μετασχηματιστή το νερό κατακάθεται στον πυθμένα και υπάρχει μικρότερη πιθανότητα μείωσης της διηλεκτρικής αντοχής του λαδιού που βρίσκεται σε επαφή με την μόνωση [3].

Γενικότερα η πυκνότητα είναι χρήσιμη για τον υπολογισμό του βάρους κάποιου όγκου λαδιού και βοηθάει στην επαλήθευση της ομοιογένειας διάφορων φορτίων η δειγμάτων λαδιού [3].

3. Σημείο ανάφλεξης

Το σημείο ανάφλεξης είναι η ελάχιστη θερμότητα στην οποία κάτω από ορισμένες συνθήκες το λάδι κατά την εξάτμισή του αποτελεί με τον αέρα αναφλέξιμο μείγμα [3][9].

Το σημείο αναφλέξεως προσδιορίζεται από την θέρμανση του λαδιού είτε μέσα σε κλειστό είτε μέσα σε ανοιχτό δοχείο. Στην πρώτη περίπτωση οι ατμοί του λαδιού δεν μπορούν να διαφύγουν και οι εξαγωγές τους γίνεται μέσα από θυρίδα που υπάρχει για αυτό το λόγο. Υπό κανονικές συνθήκες η θυρίδα είναι κλειστή και ανοίγεται από αυτόν που κάνει την μέτρηση. Στην δεύτερη περίπτωση, την περίπτωση του ανοιχτού δοχείου, οι ατμοί διαχέονται στο περιβάλλον [3][9].

Ένα χαμηλό σημείο ανάφλεξης είναι μία ένδειξη παρουσίας πτυτικών έφλεκτων προϊόντων στο λάδι. Γενικά αποφεύγεται η χρήση λαδιών χαμηλού σημείου αναφλέξεως. Αυτό όμως δεν πρέπει να οδηγεί σε χρήση λαδιών με πολύ υψηλό σημείο ανάφλεξης γιατί αυτό δεν έχει καμιά σκοπιμότητα. Εξ άλλου το να επιτύχουμε μεγάλο σημείο ανάφλεξης συνεπάγεται και θυσία άλλων χαρακτηριστικών τα οποία έχουν μεγάλη σπουδαιότητα [3][9].

Το σημείο ανάφλεξης δεν χρησιμεύει τόσο πολύ για λόγους τυχαίας αναφλέξεως αλλά γιατί αποτελεί ένδειξη του σημείου εξατμίσεως του λαδιού [3][9].

4. Σημείο ροής

Τον σημείο ροής υγρού είναι μία μέτρηση της ικανότητας του λαδιού να ρέει σε χαμηλή θερμοκρασία στην οποία το υγρό αρχίζει να ρέει μετά απο ψύξη που του έγινε με προκαθορισμένες συνθήκες. Δεν υπάρχουν αποδεικτικά στοιχεία που να δείχνουν οτι η ιδιότητα επηρεάζει την αλλοίωση του λαδιού [3][9].

Το σημείο ροής έχει σημασία για τα μονωτικά λάδια των μηχανημάτων που βρίσκονται στην ύπαιθρο, όπου επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες, διότι αν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι χαμηλότερη απο το σημείο ροής, είναι αδύνατη η μετάγγιση του απο το ένα δοχείο σε ένα άλλο. Το λάδι μέσω της δημιουργίας ρευμάτων μεταφοράς θερμότητας, μεταφέρει θερμότητα από τον πυρήνα και τα τυλίγματα του μετασχηματιστή και γι αυτό, εάν το λάδι πεύξει ή γίνει παχύρευστο, δεν μπορεί να συντελεστεί ψύξη. Το λάδι σε αντίθεση με το νερό δεν έχει ορισμένη ιδιαίτερη θερμοκρασία πήξεως πάνω απο την οποία να είναι υγρό και κάτω απο την οποία να είναι στερεό [3][9].

Η ρευστότητα του λαδιού εξαρτάται απο την πίεση στην οποία υπόκειται, απο την επεξεργασία και απο την θερμοκρασία [3][9].

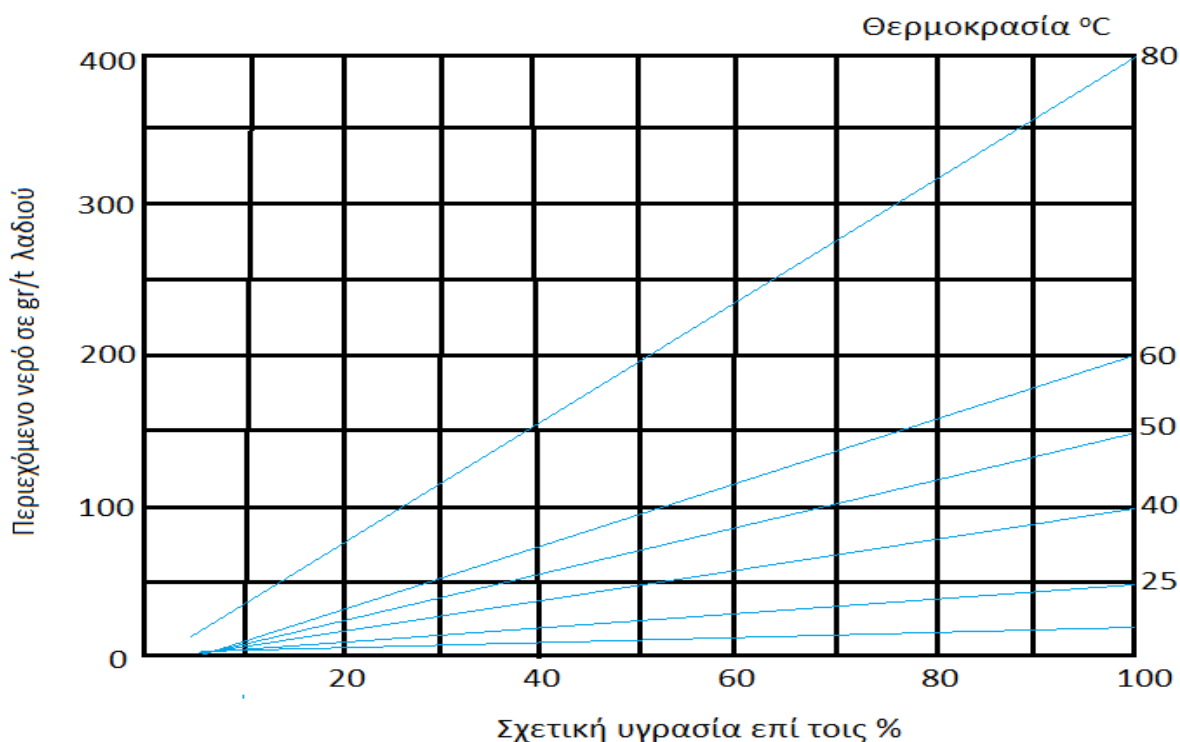
Αλλαγές στο σημείο ροής μπορούν να ερμηνεύονται ως το αποτέλεσμα συμπλήρωσης με ένα διαφορετικό τύπο λαδιού [3][9].

5. Ιξώδες

Ιξώδες ονομάζουμε το ρυθμιστικό παράγοντα στη διάχυση της θερμότητας. Το ιξώδες αυξάνεται με την γήρανση και την οξείδωση του λαδιού, αλλά το αποτέλεσμα δεν είναι ορατό στα επίπεδα αλλοίωσης. Η μέτρηση του ιξώδους είναι χρήσιμη και σημαντική για να αναγνωρίσουμε τον τύπο του λαδιού [9].

6. Διαλυτότητα του νερού σε μονωτικό λάδι

Τα μονωτικά λάδια είτε είναι μεταχειρισμένα είτε όχι περιέχουν κάποια ποσότητα νερού η υγρασίας. Τα σημερινά λάδια περιέχουν νερό διαλυμένο αλλά μπορεί να βρίσκεται και σαν γαλάκτωμα ή σε διασπορά, σε παλαιότερα λάδια. Σε όποια μορφή και αν συναντήσουμε το νερό στο λάδι η παρουσία του είναι ανεπιθύμητη [9].



Εικόνα 2.5: Σχέση περιεχόμενου νερού-σχετικής υγρασίας. Στοιχεία: Μονωτικά λάδια. Αθήνα (1979). [3]

Φαίνεται ότι οι μικρές ποσότητες νερού που είναι διαλυμένες στο λάδι έχουν μικρή επίδραση στη διηλεκτρική του αντοχή. Το διαλυμένο νερό μπορεί ή δεν μπορεί να επηρεάσει τις ηλεκτρικές ιδιότητες του λαδιού και το ελεύθερο νερό κατά κανόνα οδηγεί σε ένα μειωμένο διηλεκτρικό συντελεστή διάχυσης. Σε έναν μετασχηματιστή η συνολική περιεκτικότητα νερού διανέμεται μεταξύ του χαρτιού και του λαδιού σε μία αναλογία η οποία είναι κατά κύριο λόγο στην διάθεση του χαρτιού. Μικρές αλλαγές στην θερμοκρασία διαφοροποιούν κατά πολύ την περιεκτικότητα του νερού στο λάδι αλλά πολύ ελαφρά την περιεκτικότητα νερού του χαρτιού [3][9].

7. Βαθμός εξουδετερώσεως

Βαθμός εξουδετερώσεως ονομάζεται το ποσό των χιλιοστών του γραμμαρίου του υδροξειδίου του καλίου που απαιτείται για να εξουδετερωθούν τα ελεύθερα οξέα που περιέχονται σε ένα γραμμάριο λαδιού. Ο βαθμός εξουδετέρωσης ενός λαδιού είναι ένα μέτρο των όξινων συστατικών ή των προσμείξεων στο λάδι [9].

Η αξία του, αμελητέα στο λάδι που χρησιμοποιείται, μεγαλώνει και λειτουργεί σαν οδηγός μέσω της οξειδωτικής γήρανσης για να προσδιορίσουμε πότε ένα λάδι πρέπει να αντικατασταθεί ή να ανακτηθεί [9].

8. Συντελεστής θερμικής διαστολής

Ο συντελεστής θερμικής διαστολής πρέπει να είναι $0,7\pm 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}$ για να μπορεί να υπολογίσει το δοχείο διαστολής η το κενό χώρο του δοχείου που το περιέχει. Η σχέση με τον οποίο υπολογίζουμε τον συντελεστή θερμικής διαστολής είναι:

$$C = \frac{S-S1}{S(T1-T)} \quad (2.5)$$

Όπου C: Συντελεστής θερμικής διαστολής

S: Βάρος στη μικρότερη θερμοκρασία

S1: Βάρος στη μεγαλύτερη θερμοκρασία

T: Μικρότερη θερμοκρασία

T1: Μεγαλύτερη θερμοκρασία [2]

9. Ειδική θερμότητα

Η ειδική θερμότητα είναι ανάμεσα στα όρια $0,4\pm 0,5 \text{ cal/(gr)}$ ανάλογα με την θερμοκρασία. Όταν αυξάνεται η θερμοκρασία αυξάνεται και η ειδική θερμότητα. Την υπολογίζουμε από την παρακάτω σχέση:

$$Cp = \frac{1}{\sqrt{d}} (0.402+0.0008 \text{ } t) \quad (2.6)$$

Όπου: Cp= η ειδική θερμότητα σε σταθερή πίεση

d= η πυκνότητα

t= η θερμοκρασία [2]

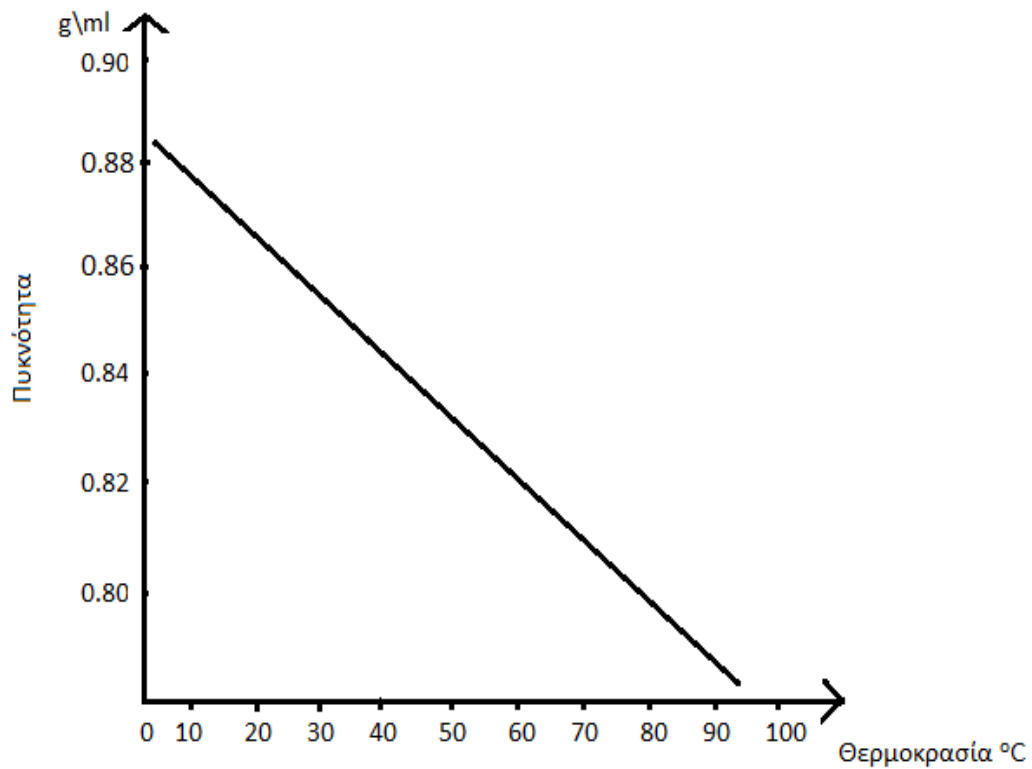
10. Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας

Για τον υπολογισμό της θερμικής αγωγιμότητας σε άλλες θερμοκρασίες χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος :

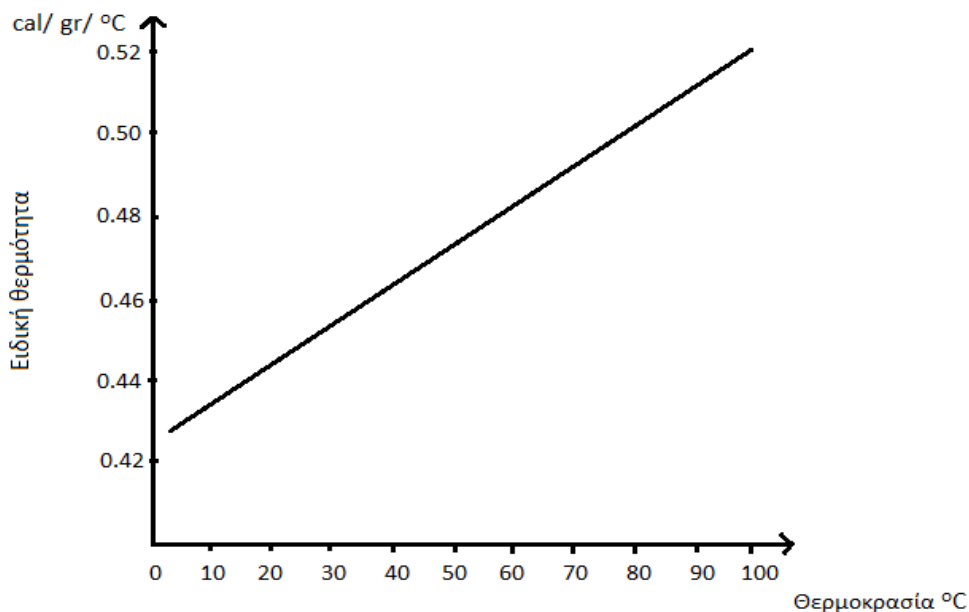
$$Kt = \frac{0.28}{d} (1 - 0.00054 * 10^{-3}) \quad (2.7)$$

Όπου: Kt = θερμική αγωγιμότητα σε $\text{Cal/cm/cm}^2/\text{S}/^\circ\text{C}$ σε θερμοκρασία $t^\circ\text{C}$

Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του λαδιού, ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του ελλατώνεται γραμμικά όπως φαίνεται και στα παρακάτω διαγράμματα [2][3].



Εικόνα 2.6 : Σχέση πυκνότητας θερμοκρασίας. Στοιχεία: Μονωτικά λάδια. Αθήνα (1979) [3]



Εικόνα 2.7 – Σχέση ειδικής θερμότητας-θερμοκρασίας. Στοιχεία: Μονωτικά λάδια. Αθήνα (1979) [3]

11. Καθαρότητα του λαδιού

Μπορούμε να μετρήσουμε την διηλεκτρική του αντοχή του μονωτικού λάδι που είναι καθαρό από ίνες κυταρρίνης, αλκάλια, αέρα, ελεύθερο θείο, ρητίνες και νερό ,σε πολύ υψηλές τιμές [2].

12. Απώλειες από εξάτμιση

Όταν ο μετασχηματιστής βρίσκεται σε λειτουργία για μεγάλο χρονικό διάστημα το λάδι θερμαίνεται με αποτέλεσμα αν φτάσει στους 100 °C να εξατμίζεται [3].

Οι προδιαγραφές των λαδιών προβλέπουν την απώλεια λαδιού από εξάτμιση. Όσο μεγαλύτερη είναι η απώλεια απο εξάτμιση, τόσο συχνότερα πρέπει να προσθέτουμε λάδι για να διατηρείται η κανονική στάθμη του στους ηλεκτρικούς εξοπλισμούς [3].

13. Σημείο αναφλέξεως

Σημείο ανάφλεξης είναι η θερμοκρασία στην οποία το λάδι κάτω από εσφαλμένες συνθήκες αναδίδει ατμούς και μαζί με τον ατμοσφαιρικό αέρα δημιουργεί εύφλεκτο μείγμα. Το σημείο ανάφλεξης του λαδιού των μετασχηματιστών χρησιμοποιεί κατά κανόνα η συσκευή Pensky-Martens [2].

14. Περιεκτικότητα σε τέφρα

Εάν το λάδι που έχει διυλιθεί, ξεπερνά την περιεκτικότητά του σε τέφρα (άνω της τάξεως

του 0,001%) τότε είναι βρώμικο και χρειάζεται διήθηση [2].

15. Αλκαλικότητα

Η μεγάλη ποσότητα αλκαλικότητας μειώνει την διηλεκτρική αντοχή στα μονωτικά λάδια και προκαλεί μόλυνση. Γι αυτό το λόγο η αλκαλικότητα στα καινούργια λάδια είναι αμελητέα. Το μέτρο της αλκαλικότητας είναι ο βαθμός σαπωνοποίησης που μετριέται σε mgr KOH. Ο βαθμός αυτός πρέπει να είναι $0,3 \pm 0,6$ mgr KOH/gr. Εάν ξεπεράσει 1,5 mgr KOH/gr, επιβάλλεται η αντικατάσταση του λαδιού [2][3].

16. Επιφανειακή τάση

Πρέπει να είναι $20 \pm 15 \cdot 10^{-3}$ N/m. Όσο περισσότερα αιωρήματα υπάρχουν τόσο μικραίνει η επιφανειακή τάση [2].

17. Σταθερότητα των χαρακτηριστικών του λαδιού

Τα χαρακτηριστικά του μονωτικού λαδιού πρέπει να μένουν αναλλοίωτα όταν έρχεται σε επαφή με γυμνό χαλκό και όταν η θερμοκρασία δεν υπερβαίνει τους 90°C . Όταν συμβαίνει το αντίθετο, τότε ξεκινάει η οξείδωση, οι διάφορες διαβρώσεις, η εμφάνιση ιζήματος (λάσπης) και η ανάπτυξη οξύτητας. Ο σχηματισμός λάσπης εμποδίζει την ελεύθερη κυκλοφορία του λαδιού και εξαιτίας της κακής ψύξης του επιταχύνεται η οξείδωση και αυξάνεται και η οξύτητα του λαδιού. Γι αυτό και πρέπει να γίνεται δοκιμή της ταχείας οξείδωσης. Η συγκεκριμένη δοκιμή γίνεται με την παροχή ενός λίτρου οξυγόνου την ώρα μέσα από το υπο δοκιμή λάδι (το οποίο διατηρείται σε θερμοκρασία 100°C) με την παρουσία χαλκού ως καταλύτη. Ύστερα από 164 ώρες ελέγχεται ο βαθμός εξουδετέρωσης και ο σχηματισμός λάσπης. Χρησιμοποιούμε φαινολικές ή αμινικές ενώσεις για να αποφύγουμε τον κίνδυνο σχηματισμού οξέων και λάσπης [2][3].

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των μονωτικών λαδιών είναι τα παρακάτω: η διηλεκτρική αντοχή, η αγωγιμότητα, ο συντελεστής ισχύος και η διηλεκτρική σταθερά [2].

1. Η διηλεκτρική αντοχή

Διηλεκτρική αντοχή ονομάζουμε τη μέγιστη τιμή τάσης την οποία μπορούμε να εφαρμόσουμε ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια τα οποία βυθίζονται στο λάδι και δεν

δημιουργείται τόξο. Όμως, υπάρχουν κάποιοι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη διηλεκτρική αντοχή των μονωτικών λαδιών και παρουσιάζονται παρακάτω: [2].

A) Η θερμοκρασία

Είναι γνωστό ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία μειώνεται η διηλεκτρική αντοχή του μονωτικού λαδιού [2].

B) Το εμβαδόν επιφάνειας ηλεκτροδίων

Όταν η επιφάνεια των ηλεκτροδίων αυξάνεται, άρα έχει και περισσότερες ανωμαλίες, τότε η διηλεκτρική αντοχή του λαδιού που εξετάζουμε ελαττώνεται [2].

Γ) Το υλικό των ηλεκτροδίων

Τα μέταλλα που έχουν υψηλό έργο εξόδου δίνουν και υψηλή διηλεκτρική αντοχή. Η χρήση διαφορετικών μετάλλων για την άνοδο και την κάθοδο έδειξε εξάρτηση της διηλεκτρικής αντοχής μόνο από την κάθοδο [2].

Δ) Η απόσταση μεταξύ ηλεκτροδίων

Όσο το διάκενο ανάμεσα στα δύο ηλεκτρόδια μεγαλώνει, τόσο η διηλεκτρική αντοχή του μονωτικού λαδιού που εξετάζεται μικραίνει. Αυτό συμβαίνει διότι ένα μεγαλύτερο διάκενο συνεπάγεται και μεγαλύτερο όγκο υγρού που καταπονείται και κατά συνέπεια περισσότερα αιωρούμενα σωματίδια [2].

Ε) Το είδος της εφαρμοζόμενης τάσης

Η διηλεκτρική αντοχή κάτω από κρουστική τάση είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι με εναλλασσόμενη τάση 50 Hz επί ένα λεπτό. Υπό συνεχή τάση η διηλεκτρική αντοχή είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι με εναλλασσόμενη, ενώ η τάση διάσπασης κατά την καταπόνηση με κρουστικές τάσεις, είναι μεγαλύτερη κατά την αρνητική πολικότητα απ' ό,τι κατά τη θετική [2].

Στ) Η πίεση

Όσο αυξάνεται η πίεση τόσο αυξάνεται και η διηλεκτρική αντοχή του μονωτικού λαδιού που εξετάζουμε [2].

Z) Η γεωμετρία των ηλεκτροδίων

Απο αυτόν τον παράγοντα εξαρτάται η ομοιογένεια του ηλεκτρικού πεδίου. Όσο πιο ανομοιογενές είναι ένα πεδίο, τόσο πιο μικρή είναι η τάση διάσπασης [2].

H) Η παρουσία φυσαλίδων αέρα, ξένων σωματιδίων και υγρασίας

Τα αιωρούμενα σωματίδια μειώνουν τις αποστάσεις μόνωσης και δημιουργούν αγώγιμες γέφυρες. Ακόμη, ο αέρας προκαλεί οξείδωση στα υγρά μονωτικά, πράγμα που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της διηλεκτρικής τους αντοχής και γι αυτό όταν γίνεται η πλήρωση των δοχείων ελέγχου των μετασχηματιστών στο στάδιο της κατασκευής τους όλη η διαδικασία λαμβάνει χώρα σε κενό αέρα [2].

2. Αγωγιμότητα

Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, η ειδική αντίσταση του λαδιού μειώνεται. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και όταν υπάρχουν μέσα στο λάδι σωματίδια ή προϊόντα αποσύνθεσης που προκαλούνται κατά την οξείδωση του. Η μέτρηση αυτού του μεγέθους που πρέπει να είναι $5 \cdot 10^{11} \div 5 \cdot 10^{10}$ αποτελεί ένα κριτήριο για τον προσδιορισμό της κατάστασης του λαδιού.

3. Διηλεκτρική σταθερά

Η διηλεκτρική σταθερά ελ του λαδιού είναι ο λόγος της ειδικής αγωγιμότητας του προς την ειδική αγωγιμότητα του κενού κάτω από τις ίδιες συνθήκες.

Η τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς είναι μεταξύ 2.2 και 2.45 στους 20 °C για όλα σχεδόν τα καθαρά λάδια [3].

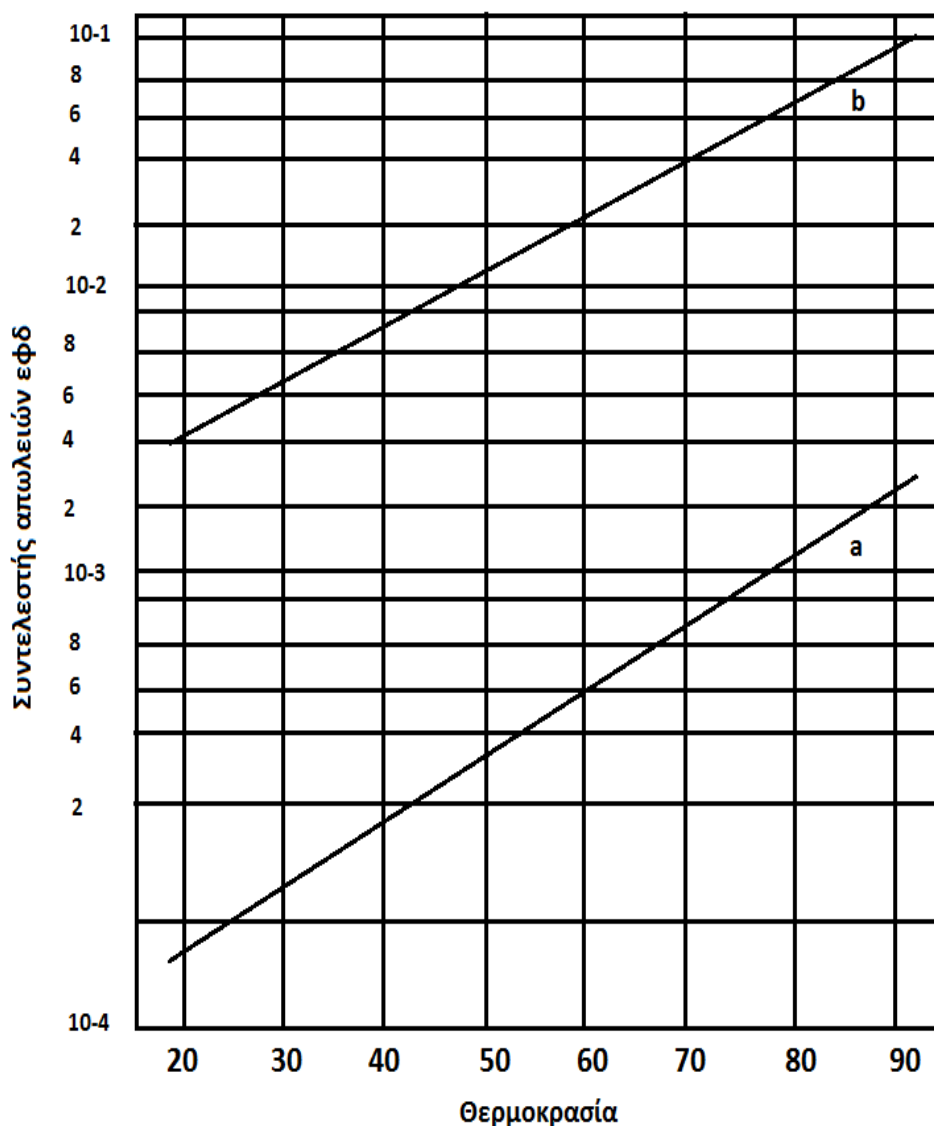
Κάποιες από τις ιδιότητες που έχει η ελ είναι:

- Η ελ όταν αυξάνεται η θερμοκρασία, αυξάνει αισθητά στα ακάθαρτα λάδια και σε όσα περιέχουν υγρασία.
- Η ελ μεταβάλλεται είτε λίγο είτε πολύ μέχρι τους 90 °C. Αυτό συμβαίνει και στα οξειδωμένα ξηρά λάδια όσο και στα καινούργια.
- Η ελ επηρεάζεται από την συχνότητα που έχει η εφαρμοζόμενη τάση.
- Η ελ είναι ανεξάρτητη από την τάση και από το χρόνο εφαρμογής της.
- Η ελ δεν επηρεάζεται από το πεδίο παρά μόνο για πολύ μεγάλες τιμές αυτού.
- Όταν η ελ του λαδιού είναι χαμηλή, συγκριτικά με την ϵ των στερεών μονωτικών, τότε καταπονείται το λάδι σε συσκευές που έχουν για μόνωση στερεά μονωτικά σε σειρά με αυτό [3].

4. Συντελεστής ισχύος εφδ

Το μονωτικό λάδι υπόκειται σε χωρητικά φαινόμενα και έτσι χαρακτηρίζεται από κάποιο συντελεστή ισχύος [3].

Όταν ο συντελεστής ισχύος του λαδιού που χρησιμοποιείται μεταβάλλεται τότε εμείς μπορούμε να βοηθηθούμε για την εκτίμηση της κατάστασής του. Ενώ οι διηλεκτρικές απώλειες των μονωτικών λαδιών κανονικά είναι μικρές είναι δυνατόν να πάρουν σημαντική τιμή και να μειώσουν την απόδοση του μετασχηματιστή αυξάνοντας την θερμοκρασία του. Το φαινόμενο αυτό έχει δυσμενέστερες συνέπειες σε καλώδια και πυκνωτές και γενικά ο συντελεστής ισχύος του λαδιού πρέπει να είναι πολύ μικρός [3].



Εικόνα 2.8: Σχέση συντελεστή απωλειών-θερμοκρασία. Στοιχεία: Μονωτικά λάδια. Αθήνα (1979) [3]

Έχει αποδειχθεί ότι ο συντελεστής ισχύος λαδιού μεταβάλλεται γραμμικά σε συνάρτηση με την αποσύνθεση του λαδιού από οξείδωση ή σε συνάρτηση με τα ξένα σωματίδια που υπάρχουν στο λάδι. Πολλά λάδια κρίνονται ως ακατάλληλα όταν έχουν μεγάλο συντελεστή ισχύος [3].

Η γωνία απωλειών του λαδιού δεν αποτελεί κριτήριο για το περιεχόμενο νερό. Όταν το περιεχόμενο νερό βρίσκεται σε αναλογία μικρότερη από 20 ppm η γωνία απωλειών παραμένει σταθερή και η συνέχιση της ξήρανσης του λαδιού, ώστε να μειωθούν τα ppm, δεν επιδρά στην τιμή της εφδ [3].

Πρέπει να λάβουμε υπόψιν και να μην ξεχνάμε ότι ο συντελεστής ισχύος του λαδιού μεταβάλλεται με την θερμοκρασία. Οι διηλεκτρικές απώλειες πάλι εξαρτώνται από την τάση και από τα χαρακτηριστικά του ρεύματος [3].

Με μεγάλες τάσεις στο μονωτικό η εφδ του μπορεί να αυξηθεί ακανόνιστα με τον χρόνο πάνω από τις τιμές που παίρνουμε σε χαμηλές τάσεις. Αυτό αποτελεί απόδειξη ότι σχηματίζονται γέφυρες στις θέσεις που υπάρχουν μεγάλες τιμές πεδιακής έντασης κι αυτό αποτελεί την πρώτη βαθμίδα διάσπασης του λαδιού [3].

2.5.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΑΔΙΩΝ

A) Η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων

Κατά την εξέταση του μονωτικού λαδιού τα ηλεκτρόδια όσο πιο μεγαλύτερο διάκενο έχουν μεταξύ τους, τόσο μικρότερη γίνεται η διηλεκτρική αντοχή του. Αυτό οφείλεται στο μεγαλύτερο διάκενο που συνεπάγεται με μεγαλύτερο όγκο υγρού που καταπονείται και δημιουργεί περισσότερα αιωρούμενα σωματίδια, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πιθανότητα τάσης διάσπασης [2].

B) Το εμβαδό επιφάνειας ηλεκτροδίων

Κατά την εξέταση του μονωτικού λαδιού η επιφάνεια των ηλεκτροδίων όσο πιο μεγάλη είναι τόσο μικρότερη είναι και η διηλεκτρική του αντοχή. Αυτό οφείλεται στις πολλές ανωμαλίες που εμφανίζει η επιφάνεια των ηλεκτροδίων λόγω μεγαλύτερης επιφάνειας που έχει [2].

Γ) Η γεωμετρία των ηλεκτροδίων

Από την γεωμετρία των ηλεκτροδίων εξαρτάται η ομοιογένεια του ηλεκτρικού πεδίου. Όσο περισσότερο ομοιογενές είναι το πεδίο, τόσο μειώνεται η τάση διάσπασης [2].

Δ) Η θερμοκρασία

Με την αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται η διηλεκτρική αντοχή του μονωτικού [2].

Ε) Το είδος της εφαρμοζόμενης τάσης

Τα διηλεκτρικά υλικά εμφανίζουν μια χωρική κατανομή των ηλεκτρικών φορτίων, που μπορεί να μεταβληθεί κατά την επιβολή εξωτερικού πεδίου. Τα θετικά και αρνητικά φορτία προσανατολίζονται σε αντίθετες κατευθύνσεις, ώστε το εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται από την πόλωση να αντισταθμίζει μερικώς το εξωτερικά επιβαλλόμενο. Λόγω της πολικότητας η τάση διάσπασης κατά την καταπόνηση με κρουστικές τάσης είναι μεγαλύτερη κατά την αρνητική πολικότητα από ότι κατά τη θετική [2].

Ζ) Η πίεση

Όσο αυξάνεται η πίεση τόσο αυξάνεται και η διηλεκτρική αντοχή του μονωτικού [2].

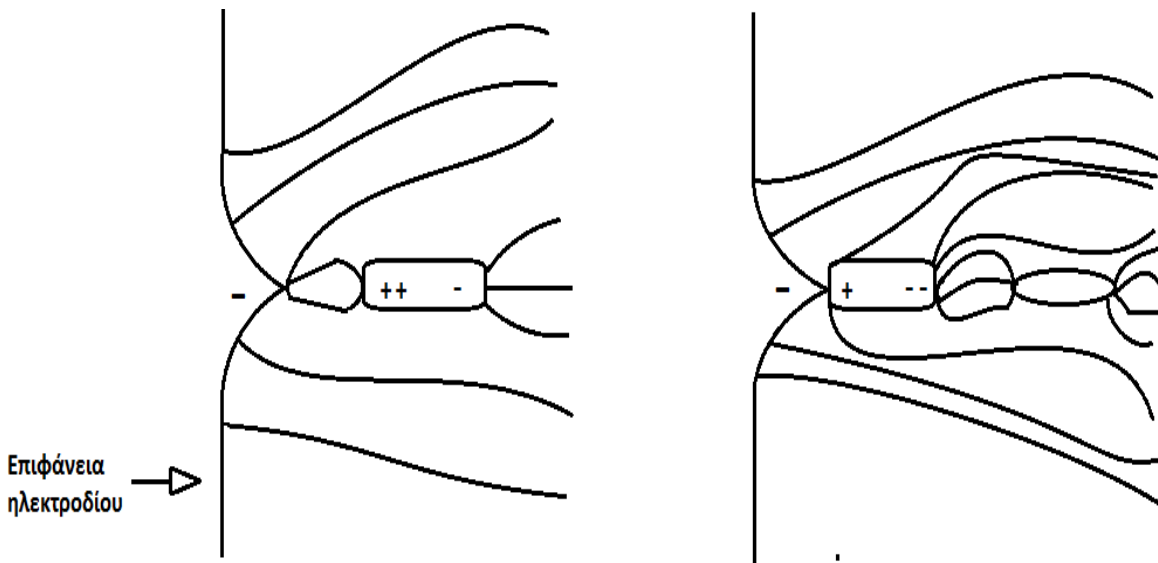
Η) Η παρουσία ξένων σωματιδίων και φυσαλλίδων αέρα

Η παρουσία υγρασίας μειώνει κατά πολύ την μονωτική ικανότητα του υγρού διηλεκτρικού, ενώ τα αιωρούμενα σωματίδια μειώνουν τις αποστάσεις μόνωσης, δημιουργώντας αγωγίμες γέφυρες. Επίσης, ο αέρας οξειδώνει τα μονωτικά υγρά, με αποτέλεσμα να μειώνεται η διηλεκτρική τους αντοχή. Γι αυτό κατά την κατασκευή του δοχείου ελαίου των μετασχηματιστών, όλη η διαδικασία λαμβάνει χώρα σε κενό αέρα, ώστε να αποφευχθεί η παρουσία αέρα στο δοχείο λαδιού, γεγονός που θα μειώσει τη διηλεκτρική αντοχή του λαδιού [2].

2.5.2 ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΜΕΣΩ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Σε ένα μονωτικό λάδι υπάρχουν συνήθως σωματίδια σκόνης, ίνες, μεταλλικά σωματίδια από στερεά μονωτικά. Υπό την επίδραση του εφαρμοζόμενου ηλεκτρικού πεδίου E και επειδή η διηλεκτρική σταθερά των σωματιδίων (ϵ_2) είναι μεγαλύτερη από την διηλεκτρική

σταθερά του υγρού (ϵ_1) τα σωματίδια πολώνονται και οδηγούνται προς την περιοχή της υψηλότερης πεδιακής έντασης [2].



Εικόνα 2.9: Προσανατολισμος των αιωρούμενων σωματιδίων υπό την επίδραση του πεδίου μέσα σε μονωτικό υγρό. Πηγή: Έλεγχος διηλεκτρικής αντοχής μονωτικού ελαίου έπειτα από καταπόνηση κατά την μεταφορά του. [2]

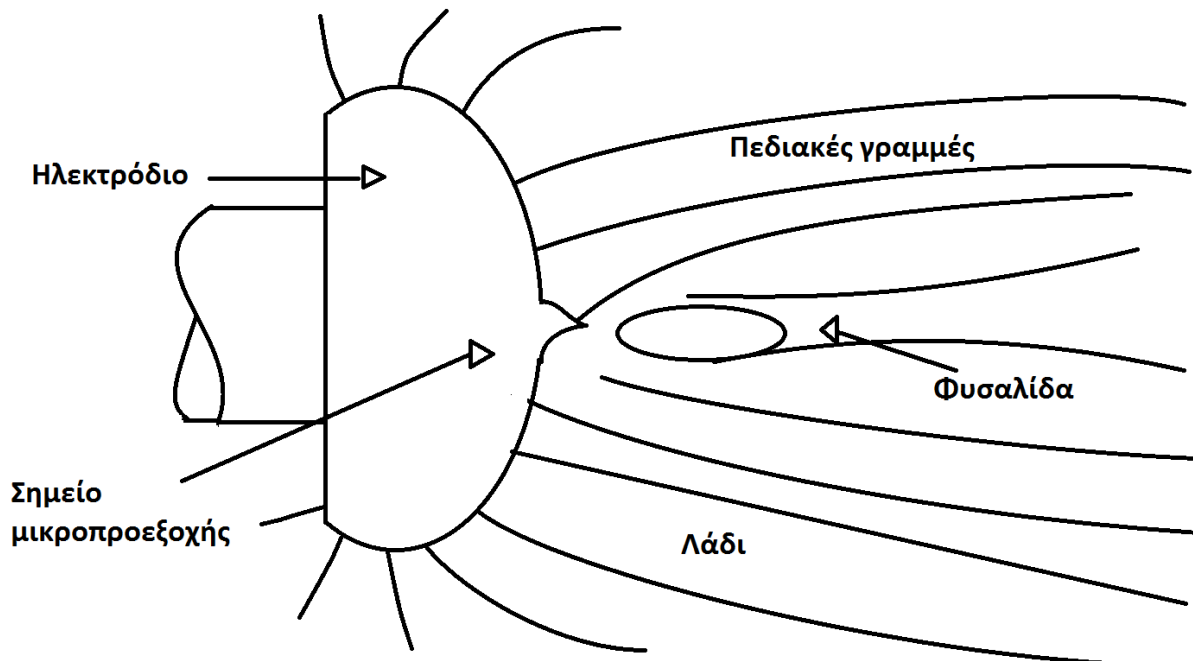
Τα σωματίδια εξαιτίας των δυνάμεων τείνουν να ευθυγραμμιστούν σχηματίζοντας αγώγιμες γέφυρες μεταξύ των ηλεκτροδίων κι αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη διάσπαση του υγρού. Όταν η τιμή του πεδίου ξεπεράσει τη διηλεκτρική αντοχή του υγρού, έχουμε την έναρξη μερικών εκκενώσεων με αποτέλεσμα το σχηματισμό φυσαλίδων αέρα που μπορούν να οδηγήσουν στη διάσπαση του υγρού [2].

2.5.3 ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΦΥΣΑΛΙΔΩΝ

Η παρουσία φυσαλίδων αέρα μέσα στο μονωτικό λάδι μειώνει την διηλεκτρική αντοχή του και το οδηγεί στη διάσπασή του. Παρακάτω αναφέρονται παράγοντες που ευθύνονται για τον σχηματισμό των φυσαλίδων αερίου [2].

- Σε εξάτμιση του υγρού λόγω εκκενώσεων τύπου Corona σε προεξοχές των ηλεκτροδίων
- Σε αέρια προϊόντα που προέρχονται από την αποσύνθεση των μορίων του υγρού λόγω σύγκρουσης τους με ηλεκτρόνια
- Σε θύλακες αερίου στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων

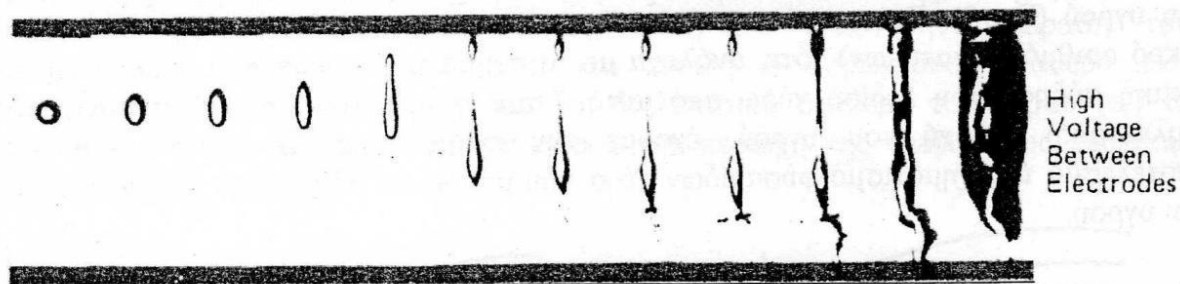
- Σε ηλεκτροστατικές δυνάμεις χωρικών φορτίων που μπορούν να ξεπεράσουν την επιφανειακή τάση [2].



Εικόνα 2.10: Σχηματισμός φυσαλίδας στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου. Πηγή: Έλεγχος διηλεκτρικής αντοχής μονωτικού ελαίου έπειτα από καταπόνηση κατά την μεταφορά του. [2]

Λόγω της διαφοράς των διηλεκτρικών σταθερών αερίου και υγρού, η φυσαλίδα μετά τον σχηματισμό της επιμηκύνεται προς την κατεύθυνση του πεδίου υπό την επίδραση ηλεκτροστατικών δυνάμεων, ενώ ο όγκος της παραμένει σταθερός. Η τάση διάσπασης εξαρτάται από δύο παράγοντες από το αρχικό σχήμα και το μέγεθος της φυσαλίδας, τα οποία εξαρτώνται από την υδροστατική πίεση και τη θερμοκρασία του μονωτικού υγρού. Τέλος, διάσπαση έχουμε όταν η πτώση τάσης κατά μήκος της φυσαλίδας πάρει μια συγκεκριμένη τιμή [2].

Υπό κανονικές συνθήκες η υγρασία που υπάρχει σε ένα μονωτικό υγρό δεν πρέπει να ξεπερνά το 10^{-3} % [2].



Εικόνα 2.11 – Επιμήκυνση σταγονιδίου μέσα σε μονωτικό υγρό και διάσπαση του ηλεκτρικού. Πηγή: Έλεγχος διηλεκτρικής αντοχής μονωτικού ελαίου έπειτα από καταπόνηση κατά την μεταφορά του. [2]

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕ ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΛΑΔΙΑ ”

3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΓΗΡΑΝΣΗΣ

Οι πρώτες μελέτες της γήρανσης της μόνωσης αφορούσαν κυρίως την θερμική αντοχή. Κατά το σχεδιασμό των αρχικών μονωτικών συστημάτων, ο κύριος στόχος ήταν να πετύχουμε σχετικά χαμηλές τιμές τάσεις και πολύ χαμηλές ηλεκτρικές πιέσεις σε μία μεγάλη ποσότητα. Έπειτα, η υπεθέρμανση της μόνωσης ήταν κυρίως ο επικρατούμενος παράγοντας γήρανσης. Στις αρχές της δεκαετίας του '70 πρόβλημα της σχηματοποίησης της αντοχής της ηλεκτρικής μόνωσης αξιολογούνταν για τη θερμική αντοχή. Στην πραγματικότητα έως το 1930 ο Monstinger μελέτησε τη συμπεριφορά μερικών μονωτικών υλικών τα οποία είχαν εκτεθεί σε υψηλές θερμοκρασίες με σκοπό, να βρει τη σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και του χρόνου έως την αποτυχία. Ο χρόνος που χρειάζεται για να φτάσει ένα προκαθορισμένο τελικό σημείο για μία επιλεγμένη ιδιότητα που σχετίζεται με τη γήρανση. Η σχέση που βρήκε ο Monstinger ήταν μία εκθετική και αυτό τον οδήγησε να καθιερώσει τον λεγόμενο “ρόλο του Monstinger”: Η ζωή μειώνεται στο μισό με μία αύξηση της θερμοκρασίας από 8 έως 10 °C. Οι μελετητές προσπάθησαν να συμπεράνουν τους μηχανισμούς γήρανσης λόγω της θερμοκρασίας. Η πιο ενδιαφέρουσα προσσέγγιση προτάθηκε από τον Dakin. Το αποτέλεσμα της θερμοκρασίας είναι να αυξάνει το ποσοστό των χημικών αντιδράσεων, συνεπώς η σχέση μεταξύ του ρυθμού υποβάθμισης και η θερμοκρασία έχουν την ίδια μορφή [8].

Τα διεθνή πρότυπα έχουν καθιερωθεί για να αξιολογούμε τους συντελεστές θερμικής αντοχής των μονωτικών υλικών χρησιμοποιώντας ενδείξεις όπως TI (δείκτης θερμοκρασίας) και HIC (μείωση στο μισό του διαστήματος σε °C, η διαφορά θερμοκρασίας δίνει αύξηση στη μείωση κατά το μισό της ζωής, ξεκινώντας από τη θερμοκρασία του TI) [8].

3.2 ΓΗΡΑΝΣΗ

Η γήρανση σχετίζεται κυρίως με την υποβάθμιση της μόνωσης, η οποία προκαλείται κυρίως από θερμική καταπόνηση του μονωτικού χαρτιού, σε συνδυασμό με τη ηλεκτροχημική διάσπαση του χαρτιού. Τα υποπροϊόντα είναι το νερό και άλλες ουσίες μερικώς πολώσιμες με

ιονιζόμενο χαρακτήρα. Η γήρανση δεν εξαρτάται μόνο από τη φόρτωση αλλά επηρεάζεται επίσης σημαντικά από τον τύπο του χαρτιού, τη σύνθεση πολτού, την υγρασία και το οξυγόνο που περιέχονται καθώς και το επίπεδο οξύτητας του μονωτικού υγρού. Περιστασιακά, οι αποτυχίες συμβαίνουν σε υψηλή τάση, εξαιτίας της ροής ηλεκτροδότησης. Αυτές οι αποτυχίες προκαλούνται από τις διαπαφές μεταξύ των κινούμενων μονωτικών λαδιών και τα στερεά μονωτικά υλικά του μετασχηματιστή ισχύος. Εκτός από τους παράγοντες αυτούς η γήρανση προκαλείται με την αύξηση της εφδ μετά από καταπόνηση, από αιωρούμενα σε αυτό ξένα σωματίδια, τα οποία φαίνεται ότι μειώνουν τις αποστάσεις μόνωσης, γιατί σχηματίζουν αγωγίμες γέφυρες μεταξύ των ρευματοφόρων μερών με διαφορετικό δυναμικό [8][17].

Σε ό,τι αφορά στα μονωτικά λάδια τα φαινόμενα της γήρανσης και της διάσπασης δεν έχουν ακόμη ξεκαθαριστεί. Έχει διατυπωθεί η άποψη ότι οι παράγοντες που συμβάλλουν στη μείωση της διηλεκτρικής αντοχής του λαδιού μπορεί να είναι ίδιοι με εκείνους κατά τη γήρανση και διάσπαση των στερεών μονωτικών. Όλες οι δυσκολίες που αφορούν στη μελέτη των παραπάνω παραγόντων οφείλονται στη αλλαγή της μοριακής δομής του λαδιού μετά από μία τιμή της εφαρμοζόμενης τάσης [8][17].

3.2.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΓΗΡΑΝΣΗ

Τα υγρά διηλεκτρικά βρίσκουν εφαρμογή σε αντικείμενα όπως διακόπτες, καλώδια και μετασχηματιστές. Σε αυτές τις εφαρμογές το λάδι παρέχει μία ζωτική λειτουργία ψύξης αλλά χρησιμεύει και ως διηλεκτρικό μέσο. Ενώ συνήθως χρησιμοποιούνται έλαια υδρογονανθράκων, τα έλαια σιλικόνης χρησιμοποιούνται σε εξειδικευμένες εφαρμογές όπου η υψηλή απόδοση θερμοκρασίας είναι πλεονεκτική [8][17].

Πάνω στη θερμική και ηλεκτρική γήρανση ελαίων σιλικόνης έχουν γίνει αρκετές μελέτες και έχει παρατηρηθεί ότι η ηλεκτρική γήρανση συνοδεύεται από λάσπη (sludge) ενώ η θερμική όχι. Αυτό σημαίνει ότι διαφορετικοί μηχανισμοί γήρανσης λειτουργήσαν σε κάθε περίπτωση ξεχωριστά. Τα διάφορα πειράματα που έγιναν πάνω στα παλαιά έλαια φανέρωσαν τις φυσικές, ηλεκτρικές και χημικές επιδράσεις και των δύο διαδρομών γήρανσης (θερμικής και ηλεκτρικής) [8][17].

Πιο συγκεκριμένα η θερμική γήρανση δεν οδηγεί σε ορατό χρωματισμό παρά μόνο σε μικρές αλλαγές στις οπτικές ιδιότητες και σε διηλεκτρική απώλεια. Μεγαλύτερες αλλαγές συνέβησαν όταν κατά τη γήρανση ήταν παρών και ο χαλκός. Μόνο τα γηρασμένα δείγματα

στην απουσία χαλκού δεν έδειξαν αισθητή οξείδωση και ανιχνεύσιμες αυξήσεις στο ιξώδες [8][17].

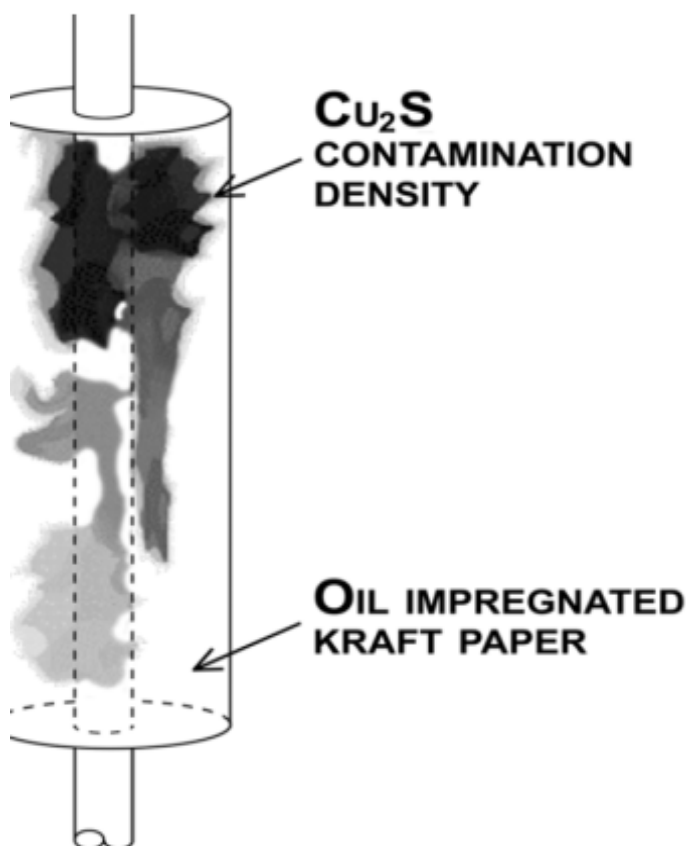
Η ηλεκτρική γήρανση οδηγεί σε ορατή θόλωση των ελαίων και σε μία σχετική διηλεκτρική απώλεια. Δεν έγινε αντιληπτή οξείδωση ή μεταβολή στο ιξώδες. Η στενή συσχέτιση μεταξύ οπτικής και διηλεκτρικής ιδιότητας, θα μπορούσε να παρέχει ένα μέσο για την παρακολούθηση της κατάστασης των ελαίων σιλικόνης χρησιμοποιώντας φθηνούς οπτικούς ανιχνευτές [8][17].

3.2.1.1 ΓΗΡΑΝΣΗ ΛΟΓΩ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Οι περισσότερες ενώσεις του θείου προκαλούν διάβρωση, επιταχύνουν το σχηματισμό λάσπης και επηρεάζουν αρνητικά τις ηλεκτρικές ιδιότητες των πετρελαιοειδών. Υπάρχουν μερικές ενώσεις θείου οι οποίες είναι επωφελείς για τα έλαια που μπορούν να δράσουν ως επιβραδυντικά κατά τη διαδικασία της οξείδωσης των ελαίων. Ο βαθμός της διάβρωσης σε ένα μονωτικό λάδι είναι μία συνάρτηση του τύπου και της συγκέντρωσης της διαβρωτικής ουσίας, της κατάστασης επιφάνειας των αγωγών χαλκού, τη θερμοκρασία και τον χρόνο έκθεσης. Έτσι, για παράδειγμα, στο πλαίσιο των μετασχηματιστών, ο όρος διαβρωτικό θείο αναφέρεται σε εκείνες τις μορφές θείου που θεωρούνται ότι είναι διαβρωτικές στις επιπτώσεις τους σε μονωτικά λάδια στο μετασχηματιστή [10][15].

Όταν λαμβάνει χώρα η αποκόλληση της ταινίας του θειούχου χαλκού από τις επιφάνειες του αγωγού τότε συμβαίνουν σοβαρές βλάβες στο μετασχηματιστή. Η φυσική αποκόλληση των θειούχων ταινιών από τις επιφάνειες του αγωγού μπορεί να οδηγήσει σε σχηματισμό κενών αέρα εντός των οποίων μπορεί να συμβεί μερική απαλλαγή. Παρά το γεγονός ότι, αυτό το σενάριο είναι λιγότερο πιθανό να συμβεί, δεδομένου ότι οι ηλεκτρικές καταπονήσεις μεταξύ των μεμονωμένων σπειρών είναι ανεπαρκείς για να προκαλέσουν ιονισμό των διακένων αέρα, ωστόσο, εάν ο μετασχηματιστής μόνωσης συχνά υποβάλλεται σε ηλεκτρικές υπερτάσεις, είναι κατανοητό ότι η μερική απαλλαγή που προκαλείται από την κατανομή της μόνωσης μπορεί να συμβεί. Μια πιο πιθανή αιτία της αποτυχίας που μπορεί να συνδέεται με τον ημιαγωγίμο χαλκό σωματιδιακού υδρόθειου Cu_2S , είναι οι μολυσματικοί παράγοντες που διαχέονται μέσα στην πορώδη κραφτ δομή των ινών του χαρτιού και έτσι το κάνουν πιο αγωγίμο. Οι απώλειες της προκύπτουσας αυξημένης διηλεκτρικής μπορούν οδηγήσουν σε θερμική υποβάθμιση του χαρτιού κραφτ, η οποία είναι πρόδηλη από τη μειωμένη διηλεκτρική αντοχή κατάρρευσης [10][15].

Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει σχηματικά τα περιγράμματα θερμοκρασίας συμπεριλαμβανομένου ενός Kraft χαρτιού αγωγού με μόνωση χαλκού γύρω από τον οποίο έχει λάβει χώρα σχηματισμός Cu_2S . Όπως αναμενόταν, οι υψηλότερες θερμοκρασίες αποδείχθηκαν από τις μολυνσμένες περιοχές ημιαγωγικών Cu_2S σε πιο κοντινές προσεγγίσεις στον αγωγό χαλκού [10][15].



Εικόνα 3.1: Κατανομή πυκνότητας του Cu_2S σε μονωτικό λάδι εμποτισμένο από χαρτί γύρω από έναν αγωγό πηνίου ενός μετασχηματιστή. Πηγή: *Corrosive sulphur in mineral oils: Its detection and correlated transformer failures.* [15]

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας σε αρκετές χώρες αναφέρουν στοιχεία για τους αντιδραστήρες shunt και τις αποτυχίες του μετασχηματιστή και έτσι εμπλέκουν περαιτέρω τα δηλητηριώδη αποτελέσματα του διαβρωτικού θείου. Στην Ιταλία πολλές αποτυχίες προκλήθηκαν από την υποβάθμιση του χαρτιού kraft και άλλες αποδόθηκαν σε κυμαινόμενα σωματίδια χαλκού. Το 2005 στη Βραζιλία αναφέρθηκαν δύο κύριες αποτυχίες μετασχηματιστή που οδήγησαν σε ολοκληρωτικές παραμορφώσεις στις

περιελίξεις. Τέτοιες παραμορφωτικές βλάβες που οφείλονται σε διάβρωση θείου έχουν επίσης συμβεί σε αντιδραστήρες διακλάδωσης [10][15].

Οι στατιστικές της υψηλής επίπτωσης των μετασχηματιστών που έχουν κατασκευαστεί πρόσφατα και οι αποτυχίες αντιδραστήρων shunt συμπεραίνουν ότι νέα ορυκτέλαια μπορεί να περιέχουν υψηλές ποσότητες διαβρωτικού θείου. Μεταξύ 2001 και 2005 δοκιμές που χρησιμοποίησαν το ASTM πρότυπο D 1275 με μία τροποποιημένη διάρκεια 48 ωρών έχουν αναφέρει ότι μεταξύ του 15% έως 20% των αξιολογούμενων ορυκτών ελαίων πρέπει να αξιολογηθούν ως διαβρωτικά [10][15].

Οι αρχές του '90 αντιπροσωπεύουν μία οριοθετούμενη περιοχή, μετά την οποία τα πετρελαιοειδή παρουσιάζουν μία απότομη αύξηση στην διαβρωτική δράση τους εναντίον του χαλκού. Εσωτερική επιθεώρηση κάποιων από αυτές τις μονάδες αποκάλυψε την παρουσία ταινιών με κοιτάσματα θειούχου μαύρου χαλκού στους χάλκινους αγωγούς. Με βάση τα στατιστικά στοιχεία που είχαν συσσωρευτεί μέχρι τώρα, θα ήταν σωστό να προτείνουμε ότι όλοι οι νέοι μετασχηματιστές που εγκαταστάθηκαν και οι άλλοι που βρίσκονται σε λειτουργία για τους οποίους τα λάδια άλλαξαν μετά το 1990, να εξετάζονται για την παρουσία διαβρωτικού θείου, με τη βοήθεια μιας κατάλληλης δοκιμής, προκειμένου να αποφευχθούν μελλοντικές αποτυχίες εξαιτίας των αυξημένων επιπέδων διαβρωτικού θείου στα καινούρια μονωτικά λάδια [10][15].

Συνοψίζοντας, είναι σκόπιμο να αναφερθεί ότι με βάση τις δοκιμές διάβρωσης που έγιναν πάνω στα μονωτικά λάδια, αποκαλύφθηκε ότι όταν το θείο βρίσκεται σε συνδυαστική κατάσταση δεν είναι διαβρωτικό, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι κάτι τέτοιο συμβαίνει πάντα. Από την άλλη, τα δείγματα ελαίου με χαμηλή πρόσμιξη θείου (όσο 1 ppm), όταν δοκιμάστηκαν, ήταν διαβρωτικά. Αυτό σημαίνει ότι το ελεύθερο θείο στο λάδι, ακόμα και σε μικρές ποσότητες, είναι διαβρωτικό. Γι αυτό το λόγο τα ελαστικά παρεμβάσματα και άλλα υλικά από καουτσούκ που χρησιμοποιούνται στην επαφή με το λάδι δεν πρέπει να περιέχουν κανένα ελεύθερο θείο [10][15].

Υπήρξε μία σημαντική προσπάθεια για να επινοηθούν πιο αποτελεσματικές διαδικασίες δοκιμής για τον προσδιορισμό της διάβρωσης του θείου των ηλεκτρικών μονωτικών ελαίων. Σε μελέτες πάνω στη διάβρωση για τα έλαια, υιοθετήθηκε μία διαδικασία δοκιμής κατά την οποία οι χρόνοι δοκιμής των μερών του λαδιού με τη βυθισμένη ταινία χαλκού επεκτάθηκαν από 19 σε 48 και 72 ώρες, στους 170 °C και η διαβρωτική δράση των ελαίων προσδιορίστηκε σε σχέση με τις μεταβολές του χρώματος του χαλκού (μαύρο, σκούρο γκρι και σκούρο καφέ) [10][15].

3.2.1.2 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ

Πολλοί τύποι χημικών ενώσεων θείου περιέχονται στο ορυκτό λάδι ψύξης. Ωστόσο, δεν είναι όλοι οι τύποι διαβρωτικοί. Κατά τη διαδικασία διύλισης, οι ενώσεις είτε αποβάλλονται είτε μεταβάλλονται σε πιο σταθερές. Μερικές ενώσεις θείου οδηγούν σε αναστολή οξείδωσης. Αυτό το φαινόμενο είναι πολύ επιθυμητό επειδή η ζωή του μετασχηματιστή είναι άμεσα συνδεδεμένη με τα ποσοστά οξείδωσης. Με την επιβράδυνση της διαδικασίας οξείδωσης, επεκτείνεται η ζωή του μετασχηματιστή [10].

Σε ό,τι αφορά στους αναστολείς της οξείδωσης οι πιο φυσικοί είναι οι συνθέσεις από θειϊκή βάση. Ωστόσο, οι διυλιστήρες ήταν απρόθυμοι να μετακινήσουν πολλές συνθέσεις θείου [10].

Ο χαλκός είναι πολύ αντιδραστικός με το θείο ειδικά το ελεύθερο θείο ή το στοιχειακό θείο, όταν δεν απαιτείται θερμότητα για μία αντίδραση. Ο στοιχειώδης χαλκός αφαιρείται τυπικά κατά τη διαδικασία της διύλισης, αλλά άλλες ενώσεις διαβρωτικού θείου, οι οποίες απαιτούν θερμότητα για να αντιδρούν με τον χαλκό, μπορεί να είναι παρούσες ακόμα και μετά από κάποια διύλιση [10].

Για να γίνουν τα πράγματα πιο περίπλοκα το μη-διαβρωτικό θείο μπορεί να γίνει διαβρωτικό στην παρουσία επιφανειών ζεστού μετάλλου. Αυτό καθιστά τον προσδιορισμό του διαβρωτικού θείου σε μη διαβρωτικό πιο δύσκολο διότι οι συνθέσεις οι οποίες προκαλούν τη διάβρωση μπορεί να μην είναι διαβρωτικές κατά τη στιγμή της δοκιμής (όταν το έλαιο είναι καινούριο). Ωστόσο στην παρουσία θερμότητας, μπορεί να σχηματιστούν συνθέσεις που είναι διαβρωτικές [10].

3.2.1.3 Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Το διαβρωτικό θείο στην παρουσία μετάλλου, όπως χαλκός, αντιδρά για να δημιουργήσει μία θειϊκή ένωση. Επειδή η αντίδραση περιλαμβάνει χαλκό μειώνει την ποσότητα χαλκού στις περιελίξεις, η οποία με τη σειρά της θα προκαλέσει αυξημένη θερμοκρασία και απώλειες. Ενώ αυτό μειώνει την αποτελεσματικότητα του μετασχηματιστή και προκαλεί γήρανση δε φαίνεται να είναι πρωταρχικός παράγοντας βλάβης και αποτυχίας [10].

Ο θειούχος χαλκός μπορεί να αποκολληθεί από την επιφάνεια του χαλκού. Αυτά τα αποκολλημένα μέρη έχουν μικρότερη στρώση χαλκού στο εξωτερικό και σε περίπτωση που πιαστούν ανάμεσα στις μονωτικές στρώσεις ίσως προκαλέσουν μία κατάσταση κλειστού κυκλώματος. Ωστόσο, από τη στιγμή που τα αποκολλημένα μέρη είναι πολύ μικρά (1-8 microns) αυτό δε φαίνεται να είναι νούμερο 1 μηχανισμός που συμβάλλει στις βλάβες [10].

Η κατάθεση του θειούχου χαλκού στη μόνωση του χαρτιού σχετίζεται με τις περισσότερες αποτυχίες στους μετασχηματιστές. Αυτό συμβαίνει διότι όσο αυξάνεται ο θειούχος χαλκός στη μόνωση του χαρτιού τόσο μειώνεται η ηλεκτρική μόνωση, επειδή ο θειούχος χαλκός είναι αγωγίμος [10].

Δεδομένου ότι οι καταθέσεις συσσωρεύονται και διεισδύουν στο χαρτί, υποβαθμίζουν τη διηλεκτρική αντοχή της μόνωσης [10].

Το μονωτικό χαρτί τυλίγεται κοντά στον αγωγό και μπορεί να έχει μία λαμπερή μεταλλική αμφίεση, επειδή οι αντιδράσεις θείου οδηγούν, σε κάποιο μέρος της μεταφοράς, στην επιφάνεια του χαρτιού. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι τα τυλίγματα χαμηλότερης τάσης, τα οποία έχουν επικάλυψη σμάλτου, δε φαίνεται να υποφέρουν από θέματα που σχετίζονται με το διαβρωτικό θείο καθώς οι αντιδράσεις του χαλκού έχουν πάρει τη μορφή κάψουλας από το σμάλτο. Το θερμικά αναβαθμισμένο χαρτί φαίνεται να είναι πιο ανθεκτικό σε "επιθέσεις" διαβρωτικού θείου [10].

3.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΗΣ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΛΑΔΙΟΥ

Η ποιοτική ανάλυση των ελαίων επιτρέπει την ταυτοποίηση των διεργασιών βλάβης όπως οι σπινθήρες, η υπερθέρμανση, το βραχυκύκλωμα κ.ά. Οι διαδικασίες που αναφέρονται παρακάτω και σχετίζονται με τους τρόπους ανάλυσης των ελαίων είναι η αεριοχρωματογραφία και η φασματοσκοπία [5].

3.3.1 ΑΕΡΙΟΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ

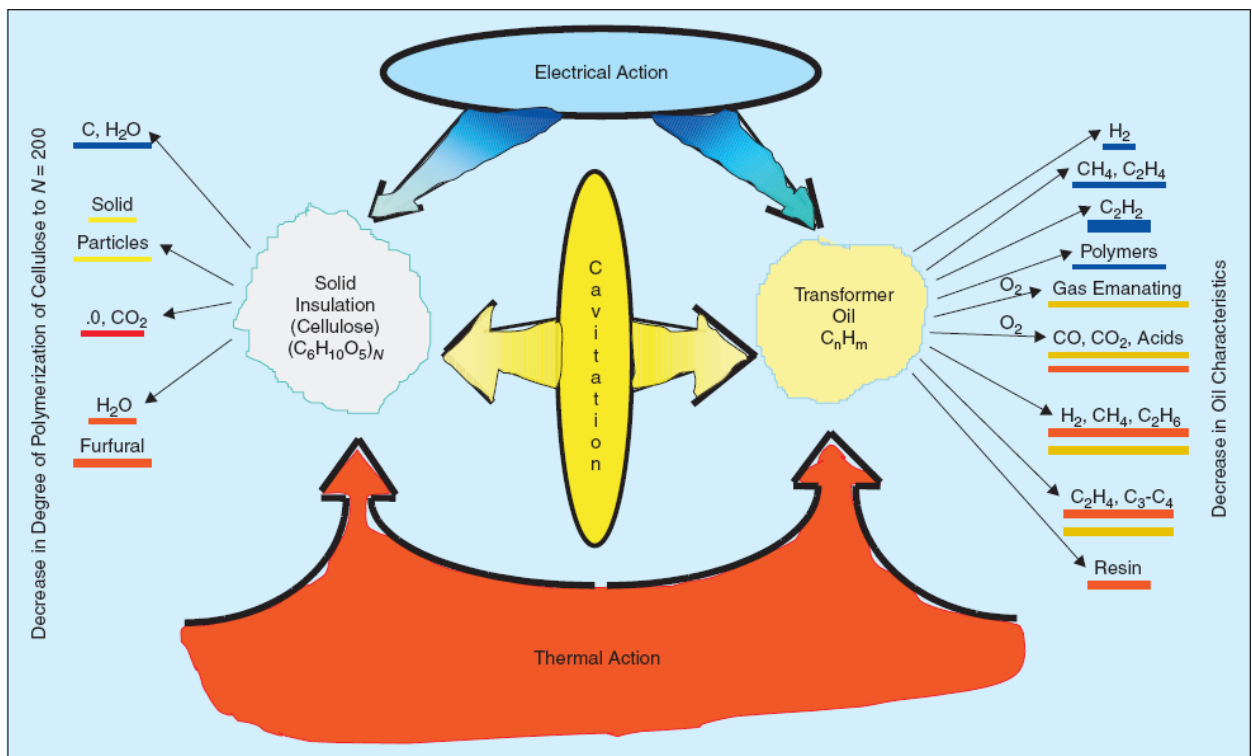
Η αεριοχρωματογραφία είναι η μέθοδος διαχωρισμού διαφορετικών αερίων. Τα αέρια διαχέονται στη χρωματογραφία και μεταφέρονται μέσω μίας στήλης διαχωρισμού. Αυτή η στήλη καθυστερεί το μείγμα αερίων και καθώς τα αέρια προχωρούν μπροστά από έναν ανιχνευτή σε διαφορετικούς χρόνους, αναγνωρίζονται. Τα πιο συχνά ανιχνευόμενα αέρια με τη βοήθεια υγρής χρωματογραφίας σε ορυκτά έλαια μετασχηματιστών είναι O₂, N₂, H₂, CH₄, CO, CO₂, C₂H₆, C₂H₄, C₂H₂, C₃H₈ καθώς και άλλοι υδρογονάνθρακες. Οι παράγοντες που δημιουργούν μηχανισμούς συνέργειας, οδηγούν σε αλλοίωση των χαρακτηριστικών των μονώσεων και προκαλούν γήρανση είναι οι παρακάτω:

- Η θερμική καταπόνηση
- Η ηλεκτρική καταπόνηση [5].

Όπως αναφέρθηκε η αεριοχρωματογραφία εντοπίζει τις αέριες φάσεις και τα ποσοστά τους με τα οποία εμπιέρονται. Όμως, αυτή η μέθοδος δεν μπορεί να προσδιορίσει τη σωματιδιακή ρύπανση και άλλα στέρεα παραπροϊόντα και γι αυτό για αυτές τις περιπτώσεις υπάρχουν συγκεκριμένες συμπληρωματικές φυσικοχημικές αναλύσεις, ξεχωριστές για το κάθε πιθανό συστατικό οι οποίες και θα πρέπει να επαναλαμβάνονται ανα τακτά χρονικά διαστήματα [5].

Πρέπει να αναφερθεί ότι η απαίτηση για απειραιτέρω μετρήσεις σχετικά με τον τελικό χαρακτηρισμό της κατάστασης του ηλεκτρομονωτικού ελαίου υποδηλώνει μία αδυναμία στην προσέγγιση του προβλήματος [5].

Στο παρακάτω σχήμα συνοψίζονται οι μηχανισμοί σχηματισμού αερίων και στερεών καταλοίπων στο μονωτικό λάδι των μετασχηματιστών [5].



Εικόνα 3.2 – Δημιουργία παραπροϊόντων σε ηλεκτρικές διατάξεις που εμπιέρον μονωτικά έλαια.
Πηγή: Διηλεκτρικές ιδιότητες ηλεκτρομονωτικών ελαίων. Επίδραση νανοσωματιδιακής ρύπανσης. [5]

3.3.2 ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ

Με τη διηλεκτρική φασματοσκοπία καταγράφεται η μεταβολή των διηλεκτρικών ιδιοτήτων ενός υλικού με το χρόνο ή με τη συχνότητα.

Σε ό,τι αφορά στη συχνότητα, η μετάβαση από μετρήσεις μίας συχνότητας σε μετρήσεις πολλών συχνοτήτων αποτελεί μία απλή διαδικασία, καθώς εφαρμόζοντας κάθε φορά πεδίο διαφορετικής συχνότητας προσδιορίζεται το αντίστοιχο κύκλωμα και παίρνονται μετρήσεις για την εγ και την εφδ [19].

Σε ό,τι αφορά στο πεδίο του χρόνου τα πράγματα είναι διαφορετικά. Ένα πεδίο που μεταβάλλεται χρονικά περιέχει πληροφορίες σε ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων [19].

Τα τελευταία χρόνια γίνεται μία προσπάθεια προκειμένου να αντικατασταθούν οι συνήθεις μετρήσεις φυσικοχημικών παραμέτρων των μονωτικών ελαίων, όπως οξύτητας, χρώματος, τάσης διασπασης, ιξώδους, διεπιφανειακής τάσης, υγρασίας και αεριοχρωματογραφίας από μία μόνο σύνθετη μέτρηση. Εκείνη η μέθοδος που προτιμάται είναι η «διηλεκτρική φασματοσκοπία στο πεδίο της συχνότητας», η οποία καταγράφει τη μεταβολή της μιγαδικής επιτρεπτότητας στα μονωτικά έλαια των μετασχηματιστών. Γενικότερα, η φασματοσκοπία προσφέρει το πλεονέκτημα ότι επιτρέπει την εμφάνιση των μηχανισμών πόλωσης και χαλάρωσης που μπορεί να προκύψουν στο εξεταζόμενο δείγμα [19].

3.3.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟΥ ΘΕΙΟΥ

Αρκετές τεχνικές μετριάσμου μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση των προσκρούσεων του διαβρωτικού θείου σε μετασχηματιστές και αντιδραστήρες. Η πιο προφανής προσέγγιση είναι η χρήση αδρανοποίητης μεταλλικής επιφάνειας που παρέχει ένα κάλυμμα μεμβράνης επί του χάλκινου αγωγού για την προστασία του στην επιφάνεια. Ένα κοινό μέταλλο με την ονομασία passivator, προστίθεται συνήθως και χρησιμοποιείται σε μετασχηματιστές λαδιών. Ο σκοπός του μετάλλου passivator είναι η προστασία του χάλκινου αγωγού με τον σχηματισμό ενός μοριακού στρώματος στην επιφάνεια του χαλκού. Ωστόσο, αυτό δεν αίρει τις διαβρωτικές ουσίες από το λάδι και εκδηλώνει κάποια ανεπιθύμητα παράπλευρα αποτελέσματα, όπως η απελευθέρωση του υδρογόνου και του διοξειδίου του άνθρακα. Αυτό συχνά οδηγεί σε εσφαλμένα αποτελέσματα της δοκιμής για την εξέλιξη του αερίου [13].

Ίσως μια από τις πιο δυσμενείς επιπτώσεις της θερμικής καταπόνησης και οξείδωσης υποπροϊόντων του πετρελαίου είναι η επακόλουθη αστάθεια του μετάλλου passivator. Μια

αρχική μείωση του μετάλλου passivator θα πρέπει να αναμένεται σε 10-15% των μονάδων παθητικοποίησης κατά τη διάρκεια λειτουργίας του. Από την άλλη πλευρά, μετασχηματιστές με εμποτισμένο παθητικοποιημένο έλαιο δεν φαίνεται να επηρεάζονται από τα προβλήματα της μη φυσιολογικής κατανάλωσης passivator [13].

Το περιεχόμενο της διαβρωτικής χημικής ένωσης μειώνεται με αραίωση του υπάρχον ελαίου μεταξύ του όγκου του νέου λαδιού και το υπόλειμμα όγκου του παλιού λαδιού. Η τελευταία αναλογία μπορεί να κυμαίνεται από 5 έως 12%, ανάλογα σχετικά με την ποσότητα χαρτιού και άλλων υλικών απορρόφησης, όπως καθώς και με το σχήμα της δεξαμενής. Επιπλέον, πριν από την αλλαγή του ελαίου, πρέπει να γίνει μία δοκιμή του διαβρωτικού θείου με ένα κατάλληλο μίγμα μαζί με παλιά και νέα έλαια για να εξακριβωθεί κατά πόσον η προσπάθεια μετριασμού είναι επαρκής για να παρέχει ένα μη διαβρωτικό λάδι. Το διαβρωτικό θείο μπορεί να αφαιρεθεί από το έλαιο με την βοήθεια χημικής επεξεργασίας. Υπάρχουν τέσσερις κοινές μέθοδοι:

1. Εκπόλωση του πετρελαίου
2. Αποκατάσταση παλιού λαδιού
3. Εκχύλιση στερεού/υγρού
4. Εκχύλιση υγρού/υγρού [13].

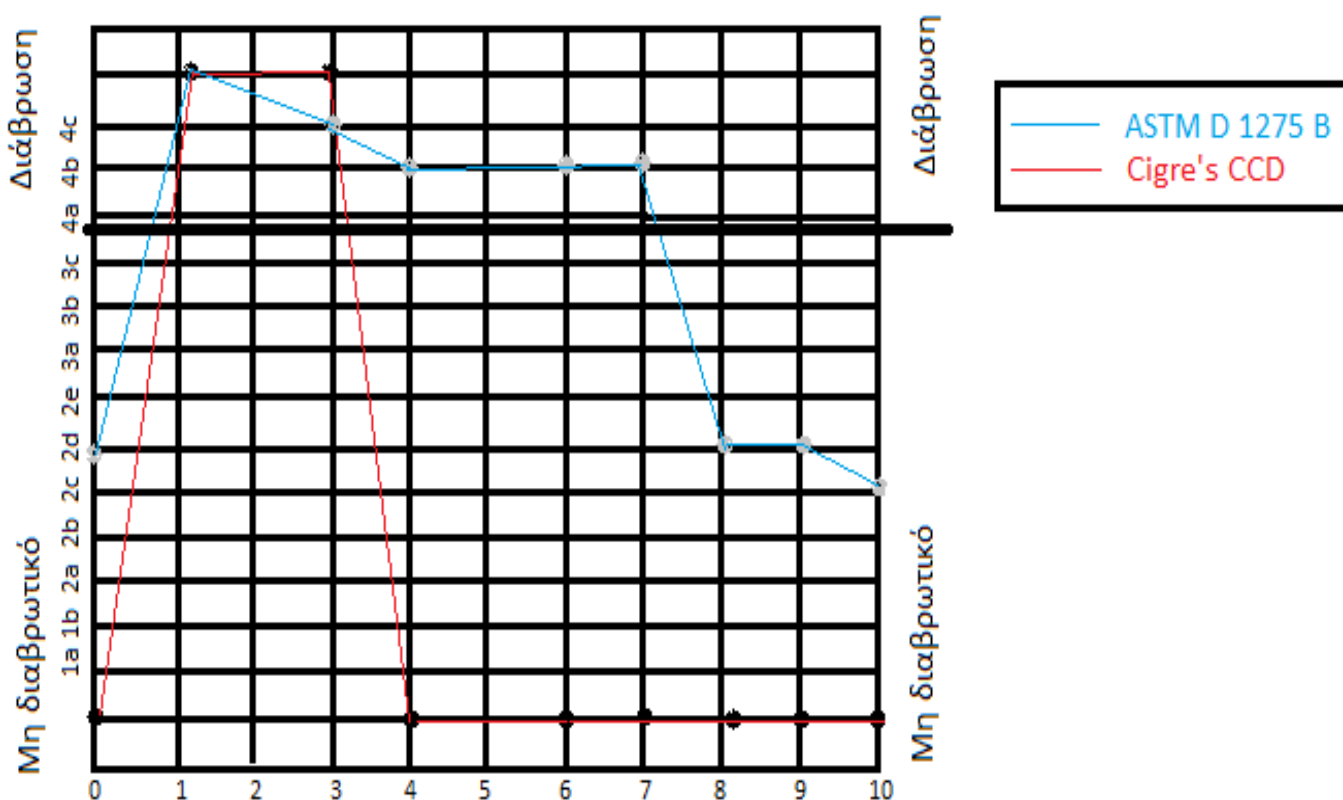
Η εκπόλωση του πετρελαίου έχει χρησιμοποιηθεί τόσο ως χωρίς φορτίο όσο και με φορτίο για τη μείωση περιεκτικότητας του διαβρωτικού θείου σε μετασχηματιστές. Αυτό χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό στερεού αντιδραστήρα, με χημικές και απορροφητικές ουσίες που είναι ικανό να μειώνει την περιεκτικότητα DBDS κάτω από 5 mg / kg [13].

Η μέθοδος εκχύλισης στερεού / υγρού μειώνει τη διαβρωτική περιεκτικότητα σε θείο περιλαμβάνοντας έλαια μέσω ενός κατάλληλου προσροφητικού, ενώ η μέθοδος εκχύλισης του υγρού / υγρού βασίζεται στην επιλεκτικότητα ορισμένων ελαίων μη αναμίξιμου διαλύτη, οι οποίοι έρχονται σε επαφή με το λάδι και τοποθετούνται σε μια ξεχωριστή δεξαμενή για την εκχύλιση του διαβρωτικού θείου με ενώσεις [13].

Όσον αφορά τη μείωση των διαβρωτικών ενώσεων θείου σε έλαια, θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν το γεγονός, ότι στην περίπτωση της DBDS που περιέχει έλαια, η μείωση περιλαμβάνει επίσης κατ 'ανάγκη την υπολειμματική σταθερότητα οξείδωσης του ελαίου. Η DBDS δρα ως ένας αναστολέας οξείδωσης. Ο πίνακας 3.3.3 παρέχει μερικές τυπικές τιμές για την σταθερότητα οξείδωσης πριν και μετά την εκπόλωση [13].

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΟΞΕΙΔΩΣΕΙΣ	ΕΚΠΟΛΩΣΗ ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ (ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ 164 ΩΡΕΣ)	DBPC 0,3%(ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ 500 ΩΡΕΣ)	IEC 60296 ΑΝΑΦΟΡΑ ΤΙΜΩΝ (ΓΙΑ ΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΤΟ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ)
ΛΑΣΠΗ (%)	0,91%	0,76	< 0,80
ΤΟΞΟ (mg/g)	1,55	0,78	< 1,2

Πίνακας 3.1 - Σταθερότητα οξείδωσης του αποπολωμένου πετρελαίου πριν και μετά. Στοιχεία: Corrosive Sulfur Effects in Transformer Oils and Remedial Procedures (2009) [13]



Εικόνα 3.3 – Διαβρωτικότητα του επεξεργασμένου ελαίου σε συνάρτηση με τον αριθμό κύκλων θεραπειών στο μετασχηματιστή, με τη μέθοδο διάβρωσης. Στοιχεία: Corrosive Sulfur Effects in Transformer Oils and Remedial Procedures (2009) [13]

Οι μέθοδοι δοκιμής για τη διαβρωτική ικανότητα του πετρελαίου φαίνεται να δίνουν αρνητικό αποτέλεσμα, εξαιτίας της παρουσίας του μετάλλου passivator. Όσο η περιεκτικότητα passivator μειώνεται μειώνεται και η προστασία του χαλκού και αυξάνεται η Διάβρωση [13].

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΣΕ ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΛΑΔΙΑ ”

4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΤΑ ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΛΑΔΙΑ

Η διαβεβαίωση της αξιόπιστης λειτουργίας των ηλεκτρικών εξοπλισμών που λειτουργούν με πετρέλαιο είναι απαραίτητη για την διατήρηση της ποιότητας του λαδιού. Γι αυτό το λόγο υπάρχει μια σειρά διαδικασιών που επιτρέπει την παρακολούθησή του. Αρκετές δυσκολίες υπάρχουν σχετικά με την συχνότητα των δοκομών και τα επιτρεπτά επίπεδα υποβάθμισης του λαδιού. Για παράδειγμα μεγάλες εταιρίες θα βρουν αντιοικονομικές όλες τις παρακάτω πρακτικές, ενώ οι βιομηχανικοί χρήστες ίσως θεσπίσουν πιο αυστηρούς ελέγχους της ποιότητας των λαδιών. Είναι απαραίτητο σε πρώτο στάδιο να υπάρξει κατανόηση της επιδείνωσης της ποιότητας έτσι ώστε να παρθούν οι σωστές αποφάσεις για τις πρακτικές συντήρησης. Παρακάτω δίνονται οι κατευθυντήριες γραμμές για την προετοιμασία δοκιμών της ποιότητας λαδιού, έτσι ώστε αυτό να βρίσκεται σε κατάσταση να προσφέρει υπηρεσίες. Επιπλέον περιγράφονται μέθοδοι επιδιόρθωσης και ανάκτησης λαδιού όπου αυτό είναι απαραίτητο [9].

4.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗ ΛΑΔΙΟΥ

Το λάδι για να μπορέσει να έχει αξιόπιστη λειτουργία πρέπει να έχει βασικές ιδιότητες:

- Μεγάλη ηλεκτρική αντοχή
- Επαρκώς χαμηλό ιξώδες
- Επαρκείς ιδιότητες χαμηλής θερμοκρασίας
- κατάλληλη οξειδωτική αντοχή

Το λάδι που βρίσκεται σε λειτουργία υπόκειται σε φθορές. Κάποιες φορές έρχεται σε επαφή με τον αέρα κι έτσι υπόκειται σε οξειδωτικές αντιδράσεις. Επιπλέον η ύπαρξη νερού στερεών

σωματιδίων ελαιοδιαλυτών και πολικών ενώσεων που συσσωρεύονται στο λάδι μπορούν να διαταράξουν την λειτουργία του και να αλλάξουν τις ιδιότητές του [9].

4.3 ΔΟΚΙΜΕΣ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΑΔΙΩΝ

Πολλές δοκιμές μπορούν να εφαρμοσθούν στα μονωτικά λάδια είτε βρίσκονται σε λειτουργία είτε όχι. Οι δοκιμές αυτές βοηθούν στο προσδιορισμό κατάστασης του λαδιού και προτείνουν τον τύπο των διορθωτικών πράξεων που απαιτούνται. Οι δοκιμές αφορούν στις παρακάτω ιδιότητες:

- Χρώμα και εμφάνιση
- Τάση διάσπασης
- Περιεκτικότητα νερού
- Ιζήματα και λάσπη
- Παράγοντας διηλεκτρικής απαγωγής και αντοχής
- Διεπιφανειακή τάση
- Οξειδωτική σταθερά
- Συνολική περιεκτικότητα σε αέριο
- Σημείο ανάφλεξης
- Σημείο ροής
- Πυκνότητα
- Ιξώδες
- Περιεκτικότητα αναστολέα [9].

4.3.1 ΧΡΩΜΑ ΚΑΙ ΕΜΦΑΝΙΣΗ

Το χρώμα των μονωτικών ελαίων είναι γενικά ανοιχτό κίτρινο και εκφράζεται από μία αριθμητική τιμή η οποία βασίζεται σε μια σειρά από χρωματικά πρότυπα. Δεν είναι μία κρίσιμη ιδιότητα, αλλά είναι αρκετά χρήσιμη για μία συγκριτική αξιολόγηση. Μία γρήγορη μεταβολή του χρώματος μπορεί να σημαίνει μόλυνση, οξείδωση ή παρουσία ξένων σωματιδίων μέσα σε αυτό [9].

4.3.2 ΤΑΣΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ

Η τάση διάσπασης είναι μία μέτρηση της καταλληλότητας ενός λαδιού να αντέξει την ηλεκτρική πίεση. Το καθαρό λάδι παρουσιάζει υψηλή τάση διάσπασης. Την μείωση της τάσης διάσπασης προκαλούν το καθαρό νερό και τα στερεά σωματίδια, που μετακομίζουν σε περιοχές υψηλής θερμικής πίεσης. Η μέτρηση της τάσης διάσπασης χρησιμεύει για την αποκάλυψη του βαθμού, στο οποίο το νερό ή αγώγιμα σωματίδια είναι αναμεμιγμένα στο έλαιο, παρατηρώντας απο τη δοκιμή. Η μέθοδος περιγράφεται σε διάφορους κανονισμούς, ο επικρατέστερος των οποίων είναι ο IEC156. Μία υψηλή τάση διάσπασης δεν υποδηλώνει την απουσία όλων των προσμίξεων [9].

4.3.3 ΙΖΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΛΑΣΠΗ

Αυτή η δοκιμή διακρίνει ανάμεσα στα ιζήματα και στο συνολικό αδιάλυτο λάδι και λυματολάσπη. Το θέμα περιέχει αδιάλυτη οξείδωση ή προϊόντα αποδόμησης από στερεά ή υγρά μονωτικά υλικά, ίνες από διάφορες προελεύσεις, άνθρακα, μεταλλικά οξείδια κ.τ.λ. Η παρουσία στερεών σωματιδίων μπορεί να μειώσει την ηλεκτρική αντοχή του λαδιού και επιπλέον η συγκέντρωσή τους μπορεί να εμποδίσει την ανταλλαγή θερμότητας, προωθώντας έτσι περαιτέρω την αλλοίωση της μόνωσης. Η λυματολάσπη αποτελείται από προϊόντα που έχουν σχηματιστεί σε ένα προχωρημένο επίπεδο οξείδωσης και αποτελεί προειδοποίηση συσσώρευσης λυματολάσπης στον εξοπλισμό [9].

4.3.4 ΒΑΘΜΟΣ ΕΞΟΥΔΕΤΕΡΩΣΗΣ

Ο βαθμός εξουδετέρωσης ενός λαδιού είναι το μέτρο των όξινων συστατικών ή των προσμίξεων στο λάδι. Ο βαθμός του στο λάδι που χρησιμοποιείται, έχει ως αποτέλεσμα να μεγαλώνει την οξειδωτική γήρανση. Χρησιμοποιείται σαν οδηγός για τον προσδιορισμό αντικατάστασης λαδιού [9].

4.3.5 ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΠΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΗ

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά επηρεάζονται απο τα κολλοειδή τις πολικές διαλυτές προσμίξεις και τα παλαιά προϊόντα. Τα όρια των χαρακτηριστικών αυτών εξαρτώνται απο την εφαρμογή και την συσκευή. Ωστόσο οι υψηλές τιμές του συντελεστή διάχυσης μπορούν να επηρεάσουν τον συντελεστή ισχύος και την μονωτική αντοχή των

περιελίξεων του μετασχηματιστή. Υπάρχει μια σχέση ανάμεσα στον παράγοντα ηλεκτρικής επαγωγής και την αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία. Όταν ο παράγοντας διηλεκτρικής επαγωγής αυξάνεται η αντοχή πέφτει. Χρήσιμες παραπάνω πληροφορίες μπορούν να αποκτηθούν με την μέτρηση της αντοχής και το παράγοντα διηλεκτρικής επαγωγής και της αντοχής σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ή σε μία υψηλότερη θερμοκρασία (90 °C). Ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα είναι η ένδειξη νερού η προϊόντος αποδόμησης. Ένα μη ικανοποιητικό αποτέλεσμα υποδεικνύει μία μεγαλύτερη επέκταση της αλλοίωσης [9].

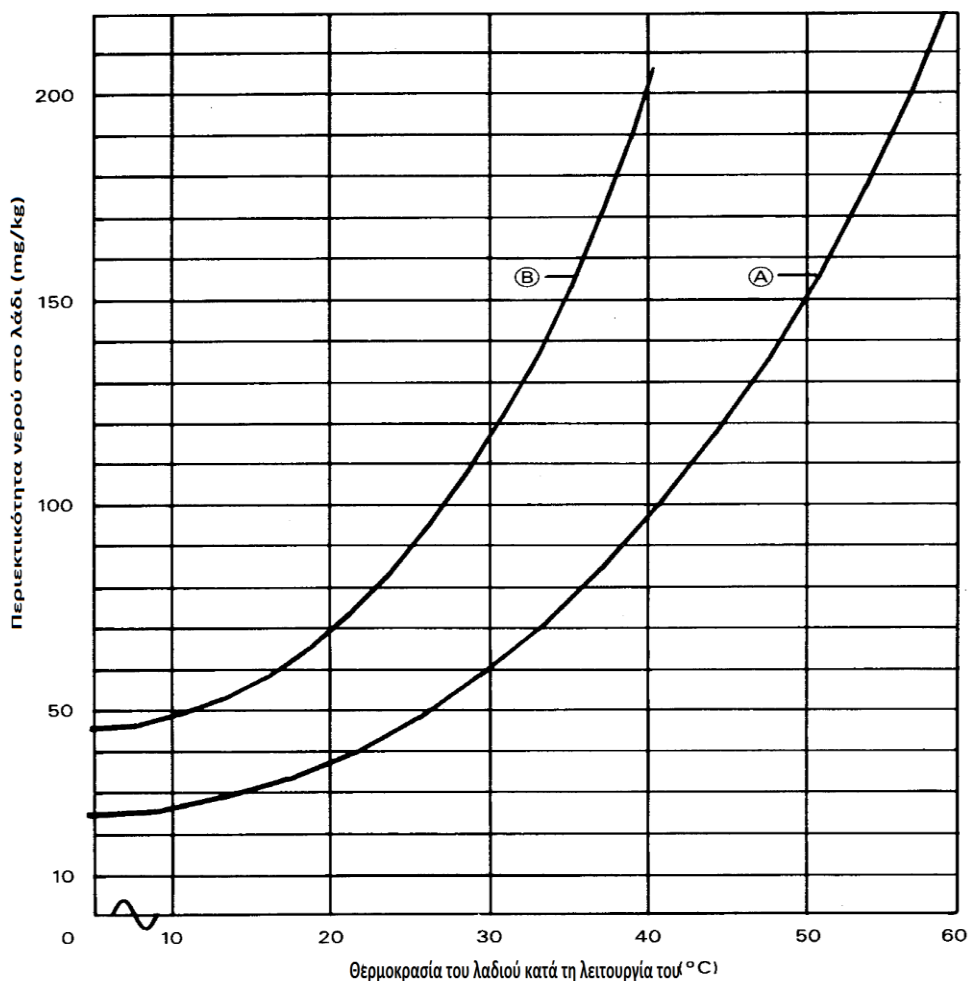
4.3.6 ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΤΑΣΗ

Με την διεπιφανειακή τάση μεταξύ του λαδιού και νερού ανιχνεύονται τα προϊόντα αλλοίωσης και οι διαλυτές πολικές προσμείξεις. Το χαρακτηριστικό αυτό αλλάζει γρήγορα κατά την διάρκεια των αρχικών σταδίων της παλαίωσης και εξισορροπείται όταν η αλλοίωση είναι ακόμα μέτρια. Για το λόγο αυτό είναι δύσκολο να εμνηυτούν τα αποτελέσματα σε συνάρτηση με την συντήρηση του λαδιού [9].

4.3.7 ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΝΕΡΟ

Το νερό που μπορεί να προέρχεται από την ατμόσφαιρα ή από την αλλοίωση των μονωτικών λαδιών μπορεί ή δεν μπορεί να επηρεάσει τις ηλεκτρικές ιδιότητες του λαδιού. Η χαμηλή περιεκτικότητα έχει ως αποτέλεσμα αυτό να παραμένει διάλυμα, ενώ σε μία μεγαλύτερη περιεκτικότητα το νερό δεν μπορεί να παραμείνει στο συνολό του διαλυμένο. Η συνολική περιεκτικότητα διανέμεται μεταξύ λαδιού και χαρτιού σε μία αναλογία η οποία είναι κατά κύριο λόγο στη διάθεση του χαρτιού. Η ελάχιστη αλλαγή στη θερμοκρασία διαφοροποιεί κατά πολύ την περιεκτικότητα νερού στο λάδι, αλλά πολύ λιγότερο την περιεκτικότητα νερού στο χαρτί [9].

Στα παρακάτω γράφηματα φαίνεται κάτω από ισορροπημένες συνθήκες η περιεκτικότητα νερού του χαρτιού από την μετρημένη περιεκτικότητα νερού του λαδιού [9].



Εικόνα 4.1-: Καμπύλη A: Περιεκτικότητα κορεσμού του νερού σε αχρησιμοποίητο λάδι
Καμπύλη B: Περιεκτικότητα κορεσμού του νερού σε οξειδωμένο λάδι με
0,3 mg KOH/g. Πηγή: International standard. [9]

4.3.8 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΑΕΡΙΟ

Για τις περισσότερες εφαρμογές του μονωτικού λαδιού, ο προσδιορισμός των εξ ολοκλήρου διαλυμένων αερίων που περιέχονται φυσιολογικά έχει μικρή σημασία για την αξιολόγηση της ποιότητας και τις δυνατότητες λειτουργίας του λαδιού. Ωστόσο, για συγκεκριμένους τύπους EHV συσκευών μια μέγιστη περιεκτικότητα αερίου είναι μερικές φορές καθορισμένη όταν γεμίζουμε την συσκευή ή όταν βρίσκεται σε λειτουργία. Το αέριο στην ανάλυση λαδιού για την ανίχνευση αρχόμενων ρηγμάτων αντιμετωπίζεται με τις μεθόδους IEC567 και IEC599 [9].

4.3.9 ΣΗΜΕΙΟ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ

Η μείωση στο σημείο ανάφλεξης του λαδιού προκαλείται όταν το λάδι βρίσκεται σε υψηλές θερμοκρασίες κάτω από εσφαλμένες συνθήκες και παράγει υδρογονάνθρακες χαμηλού μοριακού βάρους [9].

4.3.10 ΣΗΜΕΙΟ ΡΟΗΣ

Το σημείο ροής είναι μία μέτρηση της ικανότητας του λαδιού να ρέει σε χαμηλή θερμοκρασία. Η ιδιότητα αυτή δεν επηρεάζεται από την αλλοίωση του λαδιού. Οι αλλαγές στο σημείο ροής αποδίδονται στη συμπλήρωση διαφορετικού τύπου λαδιού [9].

4.3.11 ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

Η πυκνότητα του λαδιού μας χρησιμεύει να αναγνωρίζουμε τον τύπο ή τις συνθετικές αλλαγές του λαδιού. Όταν το κλίμα είναι κρύο η πυκνότητα μπορεί να είναι σχετική για την αξιολόγηση της καταλληλότητας για χρήση. Για παράδειγμα, κρύσταλλοι πάγου σχηματισμένοι από διαχωρισμένο νερό μπορούν να επιπλέουν σε λάδι υψηλής πυκνότητας προκαλώντας ανάφλεξη [9].

4.3.12 ΙΞΩΔΕΣ

Το ιξώδες είναι ένας ρυθμιστικός παράγοντας στη διάχυση της θερμότητας. Η μέτρηση του ιξώδους μπορεί να είναι χρήσιμη για την αναγνώριση του τύπου του λαδιού. Η γήρανση και η οξείδωση του λαδιού αυξάνουν το ιξώδες [9].

4.3.13 ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΝΑΣΤΟΛΕΑ ΚΑΙ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΟΞΕΙΔΩΣΗΣ

Τα λάδια που έχουν ανασταλεί αλλοιώνονται πιο αργά από τα λάδια που δεν έχουν ανασταλεί σε τέτοιο βαθμό καθώς είναι παρόν ένας ενεργός αναστολέας και το λάδι έχει ακόμα αντίδραση σε αυτό. Για ένα δεδομένο ζευγάρι λαδιού αναστολέα η περίοδος επαγωγής είναι γενικά αναλογική στην περιεκτικότητα του ενεργού αναστολέα και εξαρτάται από την παρουσία οξείδωσης. Η δοκιμή οξείδωσης για αχρησιμοποίητο λάδι που δεν έχει ανασταλεί επιτρέπει στην περίοδο επαγωγής να μπορεί εύκολα να μετρηθεί μέσω του προσδιορισμού των αναπτυγμένων πτητικών οξέων. Η δοκιμή σε ένα

χρησιμοποιημένο λάδι, θα μας δείξει σε ποιο βαθμό η περίοδος επαγωγής έχει μειωθεί [9].

4.4 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΛΑΔΙΟΥ ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΥΣΚΕΥΗ

Τα δείγματα που λαμβάνονται πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά του μονωτικού λαδιού που υπάρχει στη συσκευή. Μερικές φορές το λάδι απορρίπτεται γιατί υπήρξε ανεπαρκής φροντίδα κατά τη δειγματοληψία. Η απρόσεκτη διαδικασία δειγματοληψίας ή η μόλυνση στο δοχείο με το δείγμα θα οδηγήσει σε λάθος συμπεράσματα σχετικά με την ποιότητα. Η διαδικασία της δειγματοληψίας πρέπει να διεξάγεται όταν η συσκευή λειτουργεί κανονικά ή αμέσως μετά την απενεργοποίησή της. Αυτό είναι απαραίτητο, όταν η περιεκτικότητα νερού ή τα χαρακτηριστικά που εξαρτώνται από αυτή, πρέπει να ελεγχθούν και σε αυτές τις περιπτώσεις η θερμοκρασία του λαδιού κατά τη στιγμή της δειγματοληψίας πρέπει να καταγράφεται. Όταν είναι εφικτό οι οδηγίες πρέπει να ακολουθούνται [9].

Τα δείγματα λαδιού λαμβάνονται από τη βαλβίδα δειγματοληψίας ή το κάτω μέρος της βαλβίδας αποστράγγισης ακολουθώντας τους παρακάτω κανόνες:

- Η δειγματοληψία πρέπει να γίνεται από ένα έμπειρο άτομο.
- Οι δειγματοληψίες πρέπει να αποφεύγονται κάτω από δυσμενείς καιρικές συνθήκες αλλά αν είναι απαραίτητες πρέπει να λαμβάνονται ειδικές προφυλάξεις.
- Χρήση μόνο στεγνών, καθαρών δοχείων όπως γυάλινα μπουκάλια ή μεταλλικά δοχεία. Πλαστικά δοχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο όταν η καταλληλότητα τους έχει αποδειχθεί.
- Για να αφαιρεθούν τυχόν προσμείξεις που είναι συσσωρευμένες στο στόμιο πρέπει να τρέξει στην αρχή μία επαρκής ποσότητα λαδιού.
- Το δοχείο πρέπει να ξεπλένεται με το λάδι που έχουμε πάρει για δείγμα.
- Το δοχείο πρέπει να γεμίσει, εάν είναι δυνατόν αφήνοντας το υγρό που έχει παρθεί για δειγματοληψία να τρέξει στην πλευρά του δοχείου, αποφεύγοντας έτσι την παγίδευση του αέρα.
- Πρέπει να βεβαιωθούμε ότι το δοχείο είναι γεμάτο στο 95% της χωρητικότητάς του.
- Τοποθετούμε ταμπέλες στα δείγματα, περιλαμβάνοντας τα παρακάτω:

1. Ταυτότητα της συσκευής
2. Σημείο δειγματοληψίας
3. Θερμοκρασία του λαδιού
4. Ημέρα της δειγματοληψίας [9].

Τέλος, αποθηκεύουμε τα δείγματα σε ένα σκοτεινό μέρος, εάν έχουν χρησιμοποιηθεί καθαρά μπουκάλια [9].

4.5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΣΚΕΥΩΝ

Οι συσκευές έχουν κατηγοριοποιηθεί όπως παρακάτω:

Κατηγορία 0 : Μετασχηματιστές ισχύος με σύστημα υψηλής τάσης πάνω από 420 V [9].

Κατηγορία A : Μετασχηματιστές ισχύος με συστήματα υψηλής τάσης πάνω από 170 KV και ως 420 KV. Επίσης, μετασχηματιστές ισχύος κάθε τάσης όπου η συνέχεια του εφοδιασμού είναι ζωτική και παρόμοιες συσκευές για ειδικές εφαρμογές που λειτουργούν κάτω από επαχθείς συνθήκες [9].

Κατηγορία B : Μετασχηματιστές ισχύος με ένα σύστημα τάσης πάνω από 72.5 KV έως 170KV [9].

Κατηγορία C : Μετασχηματιστές ισχύος με συστήματα υψηλής τάσης έως 72.5 KV διακόπτες πετρελαίου, διακόπτες ελέγχου και διακόπτες που περικλείουν μέταλλα [9].

Κατηγορία D : Μετασχηματιστές ισχύος με συστήματα υψηλής τάσης πάνω από 170 KV [9].

Κατηγορία E : Μετασχηματιστές ισχύος με συστήματα υψηλής τάσης έως 170 KV [9].

Κατηγορία F : Δεξαμενές [9].

Κατηγορία G: Ελαιοδιακόπτες κυκλώματος [9].

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι χωριστές δεξαμενές επιλογής του ενός φορτίου ανήκουν στην ίδια κατηγορία. Κάθε είδους δοκιμή που θεωρείται απαραίτητη θα μπορούσε να ειδικευτεί στη φύση. Μικροί μετασχηματιστές έως 36KV δεν περιλαμβάνονται στις παραπάνω κατηγορίες [9].

4.6 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΟΡΥΚΤΟΥ ΜΟΝΩΤΙΚΟΥ ΛΑΔΙΟΥ ΣΕ ΜΙΑ ΚΑΙΝΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΚΕΥΗ

Ένα ουσιαστικό ποσοστό του λαδιού τοποθετείται στην συσκευή και είναι κοινώς αποδεκτό ότι συγκεκριμένες ιδιότητες που προδίδουν την παρουσία διαλυμένων προσμείξεων μπορούν να διαφέρουν από αυτές που μπορεί να είναι αποδεκτές για ένα μη χρησιμοποιημένο λάδι. Δηλαδή λάδι που δεν έχει έρθει σε επαφή με μονωτικά και κατασκευαστικά υλικά. Η έκταση των αλλαγών μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τον τύπο της συσκευής λόγω των διαφορετικών τύπων υλικών από την υγρή στην στερεά μόνωση και πρέπει να κρατούνται μέσα σε επιτρεπτά όρια μέσω της κατάλληλης τεχνικής επεξεργασίας λαδιού. Επιπλέον άλλες ιδιότητες λαδιού, όπως η τάση διάσπασης και η περιεκτικότητα νερού, πρέπει να είναι επαρκείς για την κατηγορία και τη λειτουργία της συσκευής [9].

4.7 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΛΑΔΙΩΝ

4.7.1 ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΞΕΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΛΑΔΙΩΝ ΠΟΥ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Το κατάλληλο διάστημα της συχνότητας εξέτασης εξαρτάται από το τύπο, λειτουργία, την δύναμη της κατασκευής και τις καταστάσεις λειτουργίας του εξοπλισμού. Πρέπει να υπάρχει ένας συνδυασμός ανάμεσα στους οικονομικούς παράγοντες και τις απαιτήσεις αξιοπιστίας.

Μία συνιστώμενη συχνότητα των ελέγχων που είναι κατάλληλη για τους διαφορετικούς τύπους συσκευών δίνεται στον παρακάτω πίνακα. Οι μετρήσεις ελέγχου μπορούν να γίνουν με βάση τα παρακάτω κριτήρια, τα οποία εφαρμόζονται ιδιαίτερα σε λάδια μετασχηματιστών [9].

- Ελέγχονται τα χαρακτηριστικά περιοδικά από των παραπάνω πίνακα
- Οι μετασχηματιστές που είναι φορτωμένοι ίσως χρειάζονται πιο συχνό έλεγχο

- Αυξήστε τη συχνότητα ελέγχου όταν οποιαδήποτε από τις σημαντικές ιδιότητες φτάνει στο επιτρεπόμενο όριο της συχνής χρήσης [9].

	Χώρος δοκιμής	Κατηγορία εξοπλισμού	Δοκιμή συχνότητας	Όρια	Ενέργεια
Περιεκτικότητα σε νερό	L	0,A,B,C,D,E	0,A	0,A,D \leq 20 mg/kg B: \leq 40 mg/kg E: \leq 30 mg/kg C: Όχι υγρασία	Ελέγξτε την πηγή του νερού.
Χρώμα και εμφάνιση	L και F	0,A,B,C,D,E	Σε συνδυασμό με άλλες δοκιμές.	0,A,D \leq 20 mg/kg B: \leq 40 mg/kg E: \leq 30 mg/kg C: Όχι υγρασία	Όπως υπαγορεύεται από άλλη δοκιμή.
Τάση διάσπασης	L και F	0,A,B,C,D,E,F,G	0,A,B	0,A,D $>$ 50 kv B,E $>$ 40 kv C $>$ 30 kv G $>$ 20 kv	Να αντικατασταθεί το πετρέλαιο.
Τιμή εξουδετέρωσης	L	0,A,B,C,D,E,F,G	0,A,B,C D,E,F,G	0,A,B,C,D: Max 0.5mg KOH/g	Αντικατάσταση Λαδιού.

Πίνακας 4.1: Ερμηνεία και εφαρμογή δοκιμών. Πηγή: International standard. [9]

4.8 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

Το δοκιμαστήριο που θα διεξάγουμε ένα μείγμα λαδιού εξαρτάται από δύο λόγους, τον οικονομικό και τις τοπικές συνθήκες. Καμιά δοκιμή δεν μπορεί να αποτελέσει από μόνη της το μοναδικό κριτήριο για την κατάσταση του λαδιού. Η εκτίμηση της κατάστασης του λαδιού θα πρέπει να είναι βασισμένη στη σύνθετη αξιολόγηση των σημαντικών χαρακτηριστικών που καθορίζονται από εξοπλισμένα εργαστήρια [9].

4.8.1 ΈΛΕΓΧΟΙ

Αυτοί οι έλεγχοι περιορίζονται στην εμφάνιση του λαδιού, τάση διάσπασης με κάποια προσέγγιση. Αυτές οι δοκιμές χρησιμοποιούνται είτε για την κατηγοριοποίηση των παλιών λαδιών είτε για την αξιολόγηση του εργαστηρίου μέσω της ταυτοποίησης δειγμάτων λαδιού. Οι δοκιμές της τάσης διάσπασης που έχουν γίνει, παράγουν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα σε αντίθεση με αυτά που λαμβάνονται στο εργαστήριο ακολουθώντας μία μεγάλη απόσταση μεταφοράς και αποθήκευσης μεγάλης διάρκειας των δειγμάτων λαδιού [9].

4.8.2 ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

Για να επιβεβαιωθεί η αξιόπιστη λειτουργία της συσκευής πρέπει να γίνουν δοκιμές και αξιολόγηση της κατάστασης του λαδιού. Όλα τα αποτελέσματα μαζί επιτρέπουν τη δημιουργία της υποβάθμισης ή την αναγνώριση μιας πηγής προσμείξεων. Η εξέταση του εργαστηρίου για να πετύχει τη συνεχή ικανότητα λειτουργίας του λαδιού εφαρμόζει τις παρακάτω δοκιμές:

- Χρώμα και εμφάνιση
- Τάση διάσπασης
- Συντελεστής διηλεκτρικών απωλειών και αντοχής
- περιεκτικότητα νερού [9].

Επιπλέον για να επιτευχθεί η ικανότητα λειτουργίας του λαδιού, όταν η τάση διάσπασης φτάνει στο όριο απόρριψης είναι απαραίτητη να γίνει η δοκιμή της περιεκτικότητας νερού. Μετασχηματιστές ρεύματος και πιο συγκεκριμένα μετασχηματιστές ισχύος HV που χρησιμοποιούν HV σε LV στερεά μόνωση από χαρτί απαιτούν αυστηρότερο έλεγχο των

διηλεκτρικών απωλειών. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο συντελεστής αντοχής πρέπει να μετρώνται τακτικά [9].

4.8.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΛΑΔΙΩΝ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Είναι σχετικά δύσκολο να θέσουμε κάποιους κανόνες αξιολόγησης για τα λάδια που βρίσκονται σε λειτουργία. Με βάση τη βιομηχανική εμπειρία τα λάδια που βρίσκονται σε λειτουργία κατηγοριοποιούνται παρακάτω με βάση την αξιολόγηση των σημαντικών ποιοτήτων ή την ικανότητα που έχουν να μεταβληθούν προς τα επιθυμητά χαρακτηριστικά [9].

Κατηγορία 1: Αυτή η κατηγορία περιέχει λάδια που σε συνεχόμενη χρήση βρίσκονται σε ικανοποιητική κατάσταση. Με την εξαίρεση της τάσης διάσπασης, μία ή δύο ιδιότητες εκτός των προκαθορισμένων ορίων δεν απαιτούν άμεση παρεμβολή, ωστόσο μακροχρόνια μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την επιταχυνόμενη επιδείνωση και την μείωση ζωής της συσκευής. Κατά την ανάλυση των στοιχείων πρέπει να ληφθούν υπόψιν διάφοροι παράγοντες όπως: κατάσταση χρήσης, ηλικία της συσκευής και την γενική εξέλιξη των χαρακτηριστικών του λαδιού [9].

Κατηγορία 2: Η κατηγορία περιλαμβάνει λάδια σε κακή κατάσταση που μόνο μετά από ανάκτηση μπορούν να αλλάξουν και να αποκτήσουν ικανοποιητικές ιδιότητες. Αυτή η κατάσταση θα φαίνεται από στοιχεία αδιάλυτης ή καθιζάμενης λάσπης ή του συντελεστή διάχυσης. Σε αυτή την κατηγορία τα λάδια θα πρέπει να ανακτηθούν ή να αντικατασταθούν ανάλογα με τους οικονομικούς παράγοντες [9].

Κατηγορία 3: Η κατηγορία περιλαμβάνει λάδια σε πολύ κακή κατάσταση με μη ικανοποιητικές ιδιότητες και γι αυτό το λόγο πρέπει να πεταχθούν [9].

Κατηγορία 4: Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει λάδια που απαιτούν συντήρηση για περαιτέρω χρήση. Αυτή η κατάσταση θα φανεί από την υψηλότερη περιεκτικότητα σε νερό και την χαμηλότερη τάση διάσπασης, ενώ όλα τα άλλα κριτήρια θα είναι ικανοποιητικά [9].

Το λάδι ίσως έχει θαμπή εμφάνιση. Η κατάλληλη διατήρηση αποτελείται από την εξαγωγή της υγρασίας και των αδιάλυτων υλών με μηχανικά μέσα. Η διαδικασία πρέπει να είναι

επαρκής για να οδηγήσει σε τιμές, της περιεκτικότητας του νερού και της τάσης διάσπασης, που θα πλησιάζουν στον παρακάτω πίνακα [9].

Ιδιότητα	Υψηλότερη τάση για εξοπλισμό (KV)		
	< 72.5	72.5 μέχρι 170	> 170
- Εμφάνιση			
- Χρώμα		Max 2.0	
- Ιξώδες στους 40 °C		Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 296	
- Πυκνότητα 20°C		Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 296	
- Σημείο ανάφλεξης (°C)		Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 296	
- Σημείο ροής (°C)		Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 296	
- Περιεκτικότητα νερού		Max 0.03	
- Διεπιφανειακή τάση		Max 15	Max 10
- Συντελεστής διηλ. απωλ. εφδ για 90°C	Max 0.015	Max 0.015	Max 0.010
- Αντίσταση για 90°C	Min 60	Min 60	Min 60
- Τάση διάσπασης	Min 40	Min 50	Min 60

Πίνακας 4.2: Όρια συμπλήρωσης για τα αχρησιμοποιήτα ορυκτά μονωτικά λάδια στους μετασχηματιστές. Πηγή: International standard. [9]

1. Για χρήση σε μετασχηματιστές κάτω από 72.5 KV θα πρέπει να οριστεί η μέγιστη περιεκτικότητα σε νερό μεταξύ του προμηθευτή και να χρησιμοποιηθεί ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες.
2. Η υψηλότερη τιμή του συντελεστή διάχυσης μπορεί να υποδεικνύει την υπερβολική μόλυνση ή την εσφαλμένη εφαρμογή των στερεών υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή και θα πρέπει να διερευνηθεί.

Ωστόσο πρέπει να εκτιμηθεί ότι η υπερβολική ποσότητα νερού μπορεί να είναι ενδεικτική μιας ανεπιθύμητης κατάστασης της στερεάς μόνωσης η οποία επίσης απαιτεί διόρθωση [9].

4.8.4 ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ

Στον πίνακα 4.7 φαίνονται λεπτομερώς τα μέτρα που πρέπει να παρθούν. Ωστόσο πρέπει να καταγραφούν οι παρακάτω συστάσεις:

1. Όταν το αποτέλεσμα της δοκιμής είναι έξω από τα προτεινόμενα όρια πρέπει να συγκρίνεται με προηγούμενα αποτελέσματα και ανάλογα με την περίπτωση θα αποκτηθεί ένα καινούργιο δείγμα για επιβεβαίωση πρωτού γίνει οτιδήποτε άλλο.
2. Αν η τάση διάσπασης είναι εκτός ορίων, τότε τα δεδομένα, ανεξάρτητα από τις τιμές άλλων χαρακτηριστικών, είναι απαραίτητη πράξη, όπως περιγράφεται στον πίνακα 4.7.
3. Εάν παρατηρηθεί ταχεία επιδείνωση ή επιτάχυνση κατά τη διαδικασία, συνιστώνται πιο συχνοί έλεγχοι και ενημέρωση του κατασκευαστή της συσκευής [9].

4.9 ΑΜΟΙΒΑΙΑ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΑΔΙΩΝ

Το γέμισμα πρέπει να γίνεται με χρησιμοποιημένα λάδια. Σε καμία περίπτωση δεν πρέπει οι ιδιότητες του λαδιού που προστίθεται να είναι χειρότερες από εκείνες του λαδιού που είναι στο εσωτερικό [9].

Τα μη χρησιμοποιημένα λάδια που συμμορφώνονται με το πρότυπο IEC 296, της ίδιας κατηγορίας και που δεν περιέχουν πρόσθετα, θεωρούνται να είναι συμβατά το ένα με το άλλο και να μπορούν να αναμιχθούν σε οποιαδήποτε αναλογία. Η εμπειρία σε αυτό το κομμάτι δείχνει ότι δεν υπάρχουν προβλήματα όταν νέο λάδι προστίθεται σε μικρό ποσοστό (λιγότερο από 5 %) [9].

Όταν ουσιαστικές ποσότητες των παλιών λαδιών που βρίσκονται σε λειτουργία ή των καινούργιων και των χρησιμοποιημένων λαδιών που προορίζονται για μίξη, είναι καλό να γίνονται εργαστηριακοί έλεγχοι για να προσδιορίσουν εάν οι ιδιότητες του λαδιού που έχει αναμειχθεί είναι ακόμα ικανοποιητικές. Οι έλεγχοι συμβατότητας γίνονται όταν τα λάδια περιέχουν πρόσθετα [9].

Τα κύρια χαρακτηριστικά, περιλαμβανομένης της σταθερότητας στην οξείδωση και της μέτρησης του συντελεστή διάχυσης μετά από κάποια χρόνια, καθορίζονται από ένα μείγμα συστατικών λαδιών. Η αναλογία αυτού του μείγματος πρέπει να είναι ίδια με εκείνη που είχε επιλεγεί αποτελεσματικά στην πράξη ή εάν αυτό δεν είναι γνωστό χρησιμοποιείται η αναλογία 50/50 [9].

Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται στο σύνθετο μείγμα δεν πρέπει να είναι λιγότερο ευνοικά από εκείνα του χειρότερου μεμονομένου λαδιού. Εάν προκείψουν αμφιβολίες σχετικά με την συμβατότητα συνιστάται αναφορά στον προμηθευτή του ελαίου ή στον κατασκευαστή της συσκευής [9].

4.10 ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

Για την σωστή λειτουργία του λαδιού ο χειρισμός είναι πολύ σημαντικός. Η μεταφορά και η αποθήκευση του λαδιού μέσα στα δοχεία πρέπει να διατηρείται καθαρή όταν μεταφέρεται από το ένα δοχείο στο άλλο. Εάν το δοχείο έχει καλυφθεί από υγρασία είναι πολύ δύσκολο να καθαριστεί. Τα δοχεία πρέπει να έχουν καθαρές ενδείξεις, είτε είναι για καθαρό είτε είναι για βρώμικο λάδι και πρέπει να διατηρούνται για τον τύπο λαδιού που είναι προσδιορισμένα. [9].

Σε υποσταθμούς και ηλεκτρικές συσκευές τα λάδια πρέπει να κρατώνται καθαρά και απαλλαγμένα από την μούχλα. Εάν το καθαρό λάδι προέρχεται από δοχεία, πρέπει να έχει ελεγχθεί πρόσφατα και το γέμισμα των ανοιγμάτων των δοχείων πρέπει να είναι καθαρό. Σωλήνες που έχουν χρησιμοποιηθεί για καθαρό λάδι και σωλήνες που έχουν χρησιμοποιηθεί για βρώμικο λάδι πρέπει να επισημανθούν και να σφραγιστούν [9].

4.11 ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΗ

Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιεί τα φυσικά μέσα για την μείωση της περιεκτικότητας νερού και των στερεών σωματιδίων από το λάδι που περιλαμβάνει διάφορους τύπους φιλτραρίσματος, φυγοκέντρωσης και τεχνικές αφυδάτωσης κενού [9].

Εάν η θεραπεία κενού δεν χρησιμοποιείται τότε είναι σκόπιμο να περιοριστεί η θερμοκρασία στους 60 °C. Εάν χρησιμοποιείται, μία υψηλότερη θερμοκρασία θα είναι πλεονεκτική. Ωστόσο, όταν χρησιμοποιείται, το αρχικό σημείο βρασμού του λαδιού δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το όριο ώστε να αποφεύγεται η απώλεια ελαφρών κλασμάτων [9].

Τα φίλτρα είναι ικανά να απομακρύνουν μόνο μικρές ποσότητες νερού, όπως αυτές που βρίσκονται στο λάδι οικιακών συσκευών. Όπου υπάρχουν μεγάλες ποσότητες νερού και οι περισσότερες αποστραγγίζονται πριν το φιλτράρισμα του λαδιού [9].

Οι φυγοκεντρικοί διαχωριστές αφαιρούν το νερό από το λάδι και μπορούν να αντιμετωπίσουν σε κάθε περίπτωση τη στερεά πρόσμιξη [9].

Το λάδι, εάν κρατείται καθαρό, μειώνεται το ιξώδες του. Η άμμος και το καθαρό νερό είναι περισσότερο διαλυτά στο ζεστό λάδι παρά στο κρύο. Το αδιάλυτο και το νερό αφαιρούνται αποτελεσματικά με την ζεστή κατεργασία. Εάν το λάδι περιέχει στερεά ύλη είναι σκόπιμο να το περάσουμε μέσα από μερικά είδη φίλτρων πριν την επεξεργασία του υπό κενού. Επιπλέον η επεξεργασία ορυκτού λαδιού υπό κενά και σε υψηλή θερμοκρασία μπορεί να προκαλέσει απώλεια ανασχετικών της οξειδωσης. Η εκλεκτικότητα για την απομάκρυνση του νερού και του αέρα κατά προτίμηση σε απώλεια του αναστολέα, και το λάδι βελτιώνεται με την χρήση χαμηλής επεξεργασίας της θερμοκρασίας [9].

Θερμοκρασία (°C)	Πίεση
40	5
50	10
60	20
70	40
80	100

Πίνακας 4.3: Οι πιο ικανοποιητικές συνθήκες για την επεξεργασία ορυκτών ελαίων. Στοιχεία: International standard. [9]

4.11.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΕΠΙΔΙΟΡΘΩΣΗΣ

4.11.1.1 ΦΙΛΤΡΑ

Τα φίλτρα χρησιμοποιούνται περισσότερο στην αφαίρεση των προσμείξεων σε αναστολή. Αυτές οι συσκευές δεν μπορούν να εξαερώσουν το λάδι [9].

Η ικανότητα του φίλτρου να αφαιρεί το νερό εξαρτάται από την ξηρότητα και την ποσότητα του μεσαίου φίλτρου. Όταν φιλτράρουμε λάδι που περιέχει νερό, η περιεκτικότητα νερού του μεσαίου φίλτρου έρχεται σε ισορροπία με την περιεκτικότητα νερού του λαδιού. Πρέπει να υπάρξει προσοχή στα φίλτρα χαρτιού, εάν είναι του ίδιου βαθμού για να επιβεβαιώσουμε ότι δεν αποβάλλονται ίνες από αυτά [9].

4.11.1.2 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΗΣΗΣ

Η συσκευή φυγοκέντρωσης μπορεί να διαχειριστεί μια μεγαλύτερη συγκέντρωση προσμείξεων απ' ότι ένα φίλτρο αλλά υστερεί ως προς το φίλτρο αφού δεν μπορεί να αφαιρέσει εντελώς μερικές στερεές προσμείξεις. Οι συσκευές φυγοκέντρωσης χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό ακατέργαστων προσμείξεων [9].

4.11.1.3 ΑΠΟΞΗΡΑΝΤΕΣ ΚΕΝΟΥ

Ο αποξηραντής κενού είναι ένα αποτελεσματικό μέσο για την μείωση του αέρα και του νερού ενός μονωτικού λαδιού σε πολύ χαμηλές τιμές. Εκτός από την αφαίρεση του νερού βοηθούν στην εξαέρωση του λαδιού με αποτέλεσμα να αφαιρούν τα πτητικά οξέα [9].

Υπάρχουν δύο είδη αποξηραντικών κενού που και οι δύο λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες. Στην μία μέθοδο η επεξεργασία επιτυγχάνεται με τον ψεκασμό του λαδιού σε ένα θάλαμο κενού. Στην άλλη μέθοδο το λάδι ρέει μέσα σε λεπτές στρώσεις σε μια σειρά διαφραγμάτων μέσα σε ένα θάλαμο κενού. Και στις δυο αυτές μεθόδους ο στόχος είναι να εκτεθεί μεγάλη επιφάνεια και μικρό πάχος του λαδιού στο θάλαμο [9].

4.12 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ

4.12.1 ΑΜΕΣΩΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ

Το λάδι περνάει μέσα απο έναν καθαριστή και μετά αποθηκεύεται στα κατάλληλα καθαρά δοχεία. Όταν η ηλεκτρική συσκευή πρέπει να ξαναγεμίσει, το λάδι περνάει ξανά από τον καθαριστή και μετά πίσω στην συσκευή. Τα μέρη των ηλεκτρικών συσκευών που περιέχουν λάδι πρέπει να είναι πολύ καλά καθαρισμένα, με μέσα απο τον καθαριστή [9].

4.12.1.1 ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ

Η διαδικασία κυκλοφορίας του λαδιού πρέπει να γίνεται ομαλά και οριζόντια, κοντά στην επιφάνεια του λαδιού για να αποφύγουμε, όσο γίνεται, την πρόσμιξη καθαρού λαδιού με λάδι που δεν έχει περάσει ακόμα απο τον καθαριστή. Για την αφαίρεση προσμείξεων πρέπει να περάσουμε όλη την ποσότητα του λαδιού, τουλάχιστον πάνω από τρεις φορές μέσα απο τον καθαριστή και πρέπει να επιλεγεί η κατάλληλη συσκευή. Το αποτέλεσμα θα εξαρτηθεί από τον βαθμό μόλυνσης και είναι σημαντικό η διαδικασία να συνεχιστεί μέχρι να παρθεί ένα

δείγμα από τον πυθμένα της συσκευής, αφού έχει επιτραπεί στο λάδι να ηρεμήσει για λίγες ώρες, περνώντας από τη δοκιμή της τάσης διάσπασης. Η μέθοδος αυτή πρέπει να γίνεται όταν η ηλεκτρική συσκευή βρίσκεται εκτός πρίζας και αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, όταν χρησιμοποιούμε συσκευή καθαρισμού που εξαερώνει το λάδι [9].

Στους μετασχηματιστές μερικές φορές χρησιμοποιείται μια άλλη τεχνική, όπου το λάδι κινείται συνεχώς κατά τη λειτουργία του, κρατώντας έτσι το λάδι και τις περιερίξεις στεγνά και αφαιρώντας πολλά προϊόντα της οξειδωσης του λαδιού [9].

4.12.1.2 ΑΝΑΚΤΗΣΗ

Είναι μια διαδικασία που μειώνει διαλυτές και αδιάλυτες προσμείξεις από το λάδι με χημικά μέσα. Η ανάκτηση είναι μια διαδικασία που συχνά γίνεται από έναν δυλιστή λαδιού [9].

4.12.1.3 ΔΙΑΛΥΣΗ

Αυτή η μέθοδος κάνει χρήση αρχικών διαδικασιών διάλυσης που μπορεί να περιλαμβάνουν απόσταξη και οξύ, καυστικά, διαλύτη, υδρογόνο και άλλα φυσικά και χημικά μέσα για να παραχθεί λάδι με χαρακτηριστικά λαδιού που είναι συμβατά με το IEC 296 [9].

4.13 ΕΠΑΝΑΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΛΑΔΙΟΥ

Μια μικρή ποσότητα παραπάνω λαδιού χρειάζεται για να ξεπλύνει το εσωτερικό της δεξαμενής και τα βυθισμένα μέρη. Κατά τη συντήρηση της μονάδας είναι σημαντικό το δοχείο και οι επιφάνειες των αγωγών και των μονωτικών να είναι καθαρές από ίνες και από την υγρασία [9].

Πρέπει να υπάρχει όσο το δυνατόν λιγότερη εξαέρωση κατά τη διαδικασία γέμισης του δοχείου και το τέλος του σωλήνα που μεταφέρει πρέπει να διατηρείται κάτω από την επιφάνεια του λαδιού. Διαφορετικά τα δοχεία θα πρέπει να γεμίζονται από τον πυθμένα. Θα πρέπει να περάσουν δώδεκα ώρες για να επιτραπεί η εξαέρωση πριν την ανάθεση στους μετασχηματιστές [9].

4.13.1 ΕΠΑΝΑΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΛΑΔΙΟΥ ΣΕ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΑΠΟ 72.5 KV ΚΑΙ ΠΑΝΩ

Αναφορά πρέπει να γίνεται στον κατασκευαστή της συσκευής [9].

4.14 ΥΓΙΕΙΝΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΦΥΛΑΞΕΙΣ

Για προσωπική υγιεινή, εκείνοι που δουλεύουν και έρχονται σε επαφή με το λάδι πρέπει να πλένουν το δέρμα και τα ρούχα τους [9].

Όταν το ορυκτό λάδι πρέπει να πεταχτεί, πρέπει να τηρηθούν συγκεκριμένες προφυλάξεις για την αποφυγή του κινδύνου της περιβαλλοντικής μόλυνσης. Εάν αυτές οι προφυλάξεις και οι κανονισμοί εφαρμοστούν με 0.1 σε μια κωνική φιάλη με πώμα και εισάγουμε μία ποσότητα επτανίου για κάθε γραμμάριο λαδιού που παίρνουμε. Ανα μειγνύουμε καλά το δείγμα και τον διαλύτη και αφήνουμε το μείγμα να ξεκουραστεί στο γυάλινο δοχείο , στο σκοτάδι, για 18 με 24 ώρες. Ξεπλένουμε τη φιάλη με καινούριο επτάνιο για να βεβαιώσουμε την ολοκληρωτική μεταφορά του ιζήματος στο χωνευτήριο. Πλένουμε το χωνευτήριο και ρίχνουμε επτάνιο μέχρι να καθαρίσουμε το λάδι. Αφήνουμε κάθε επτάνιο να εξατμιστεί και μετά στεγνώνουμε το χωνευτήριο σε ένα φούρνο στους 100 έως τους 110 για μία ώρα. Στεγνώνουμε το χωνευτήριο σε έναν ξηραντήρα και μετά ζυγίζουμε. Υπολογίζουμε την αύξηση της μάζας του χωνευτηρίου ως ποσοστό της μάζας του ελαίου που λάβαμε. Σημειώνουμε την τιμή του συνόλου του αδιάλυτου υλικού, όπως είναι ένα ίζημα [9].

Διαλύουμε την λάσπη στο χωνευτήριο με προσοχή και με την ελάχιστη ποσότητα ενός μείγματος ακετόνης και αλκόολ στους 50, μέχρι να μην διαλύεται τίποτα και συλλέγουμε τα υγρά πλύσεως σε μία ζυγισμένη φιάλη. Ακολουθεί απόσταξη του διαλύτη. Με αυτή τη μέθοδο δε θα προκύψουν προβλήματα υγείας και περιβάλλοντος απο τα ορυκτά μονωτικά λάδια [9].

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΛΑΔΙΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ”

5.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ WEIBULL

Στην παρούσα εργασία για την αξιολόγηση της διηλεκτρικής αντοχής μονωτικών λαδιών διαλέγουμε την κατανομή weibull που χρησιμοποιείται αποκλειστικά, στην θεωρία αξιοπιστίας. Η κατανομή weibull αρχικά προτάθηκε να αναπαραστήσει τις κατανομές από την θραύση δειγμάτων σε δοκιμές αντοχής υλικών αφού ανάλογα με τις τιμές των παραμέτρων της μπορεί να προσεγγίσει ένα πολύ μεγάλο αριθμό κατανομών.

Η διαδικασία επεξεργασίας των μετρήσεων είναι η εξής:

Υπολογισμός δύο παραμέτρων: K (παράμετρος μορφής) και λ (παράμετρος κλίμακας)

$$f(t; k, \lambda) = \frac{k}{\lambda^k} t^{k-1} e^{-\left(\frac{t}{\lambda}\right)^k}, \quad t \geq 0 \text{ και } k, \lambda \geq 0$$

Μέση τιμή υπολογίζεται:

$$x = \lambda^{\frac{1}{k}} \Gamma\left(\frac{k+1}{k}\right)$$

Η διασπορά υπολογίζεται:

$$\sigma^2 = \lambda^{\frac{2}{k}} \left\{ \Gamma\left(\frac{k+2}{k}\right) - \left[\Gamma\left(\frac{k+1}{k}\right) \right]^2 \right\}$$

5.1.1. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΑΔΙΩΝ

Κατά το πειραματικό μέρος αξιολογήσαμε τη διηλεκτρική αντοχή του μονωτικού λαδιού. Χρησιμοποιήσαμε την παρακάτω συσκευή δοκιμής μονωτικών λαδιών και πήραμε τις μετρήσεις όπως προβλέπει το πρότυπο CEI/IEC 422.



Εικόνα 5.1.1 – Συσκευή ελέγχου διηλεκτρικής αντοχής μονωτικών λαδιών. Πηγή: <http://www.tsaras-electrical services.com/images/services/ORGANA5.jpg>.

5.1.1.1 ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΔΟΧΕΙΑ

Παρακάτω παραθέτουμε τους πίνακες αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τα 24 σετ μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν.

Ακολουθούν γραφικές παραστάσεις που δείχνουν ακριβώς την κατάσταση που βρίσκετε το μονωτικό λάδι έπειτα απο μετρήσεις διηλεκτρικής αντοχής που εφαρμόστηκαν.

1^ο Μετρηση

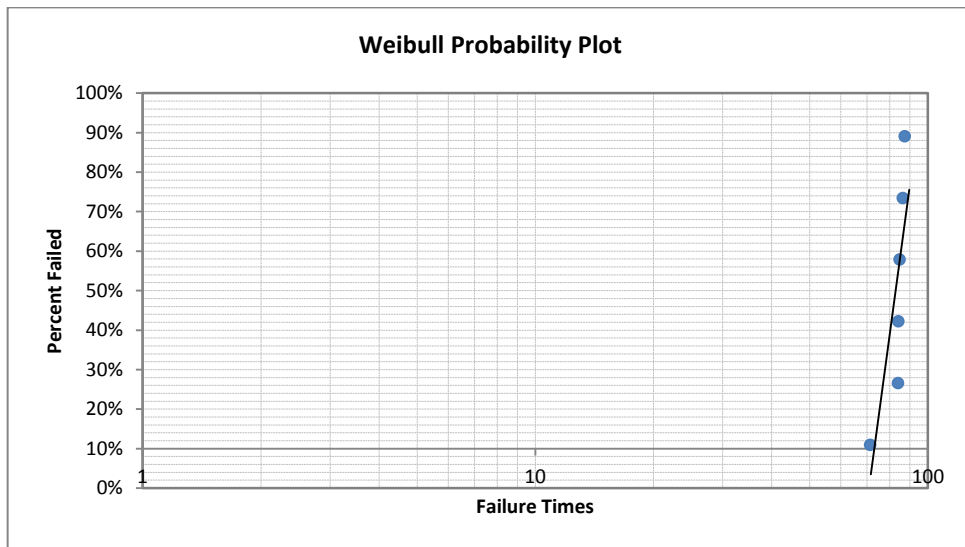
<i>Αριθμός δοκιμής</i>	<i>Ενδείξεις (kV)</i>
1	85.1
2	84.0
3	87.8
4	71.3
5	86.4
6	84.1

Πίνακας 5.1.1.1-1: Ενδείξεις kV ανά δοκιμή

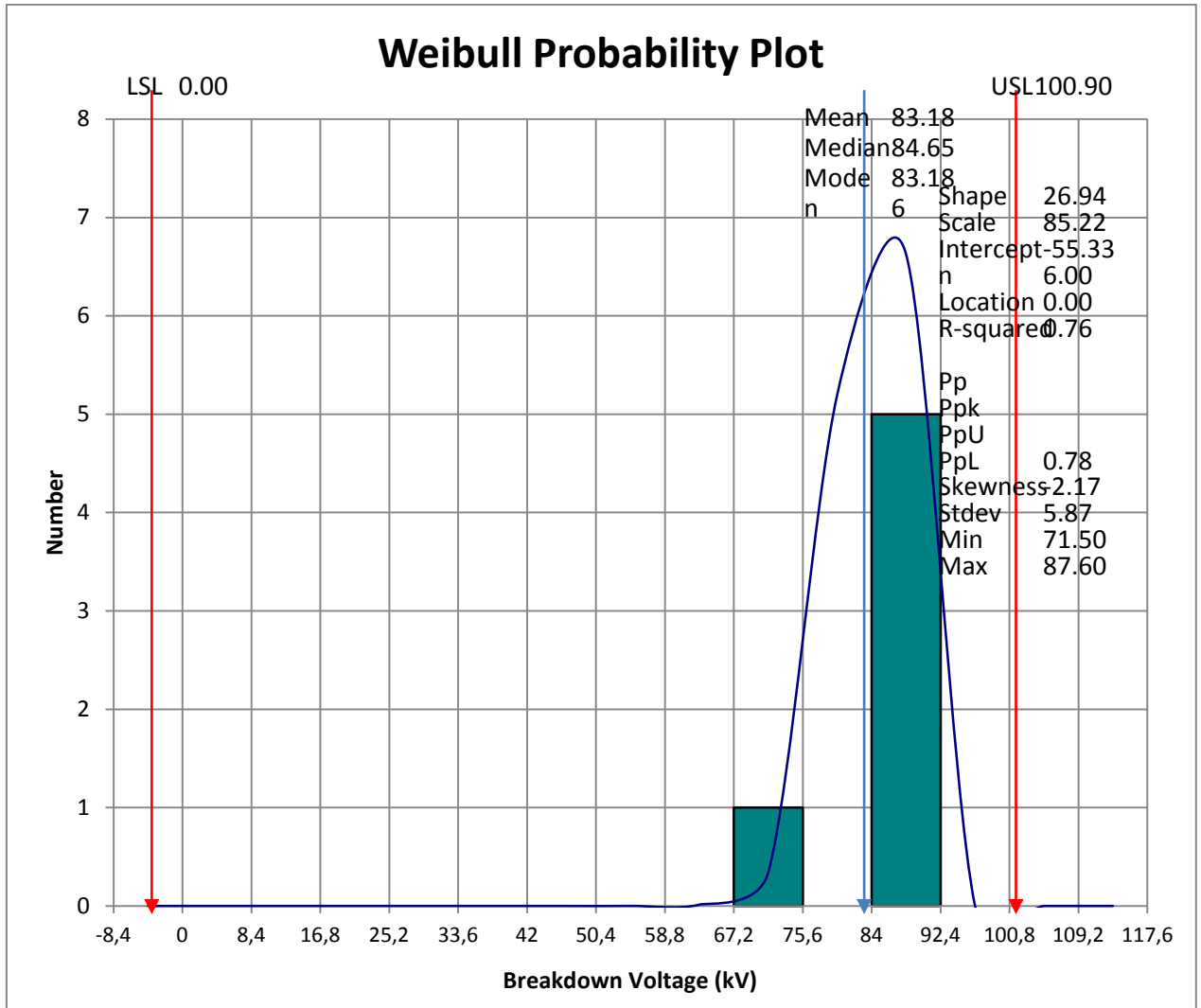
k (parameter shape) = 26.94

λ (parameter scale) = 85.22

$$x = \lambda^{\frac{1}{k}} \Gamma \left(\frac{k + 1}{k} \right) = 83.18$$



Σχήμα 5.1.1-1 δοκιμής No 1



Σχήμα 5.1.1-2 δοκιμής No 1

2° Μετρηση

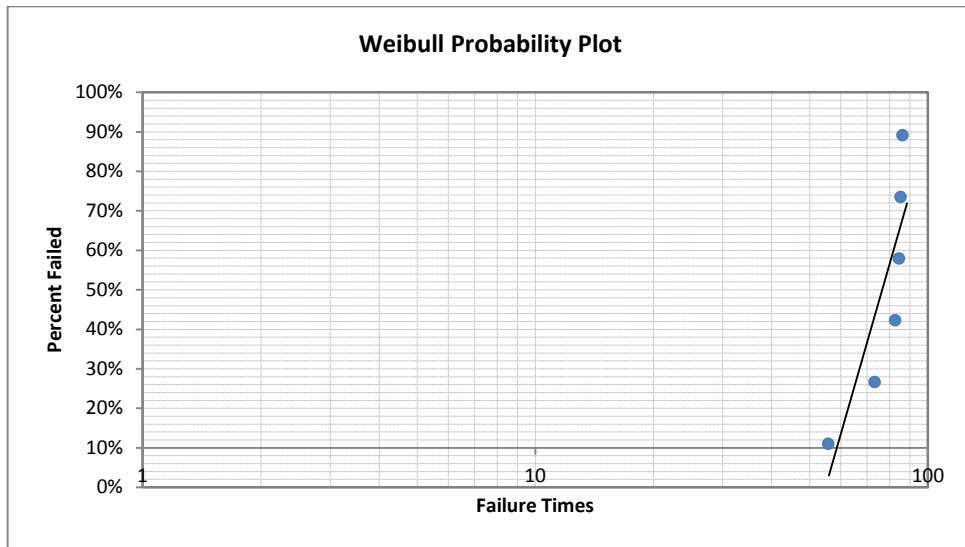
<i>Αριθμός δοκιμής</i>	<i>Ενδείξεις (kV)</i>
1	73.6
2	55.7
3	84.9
4	85.2
5	86.5
6	82.6

Πίνακας 5.1.1.1-2: Ενδείξεις kV ανά δοκιμή

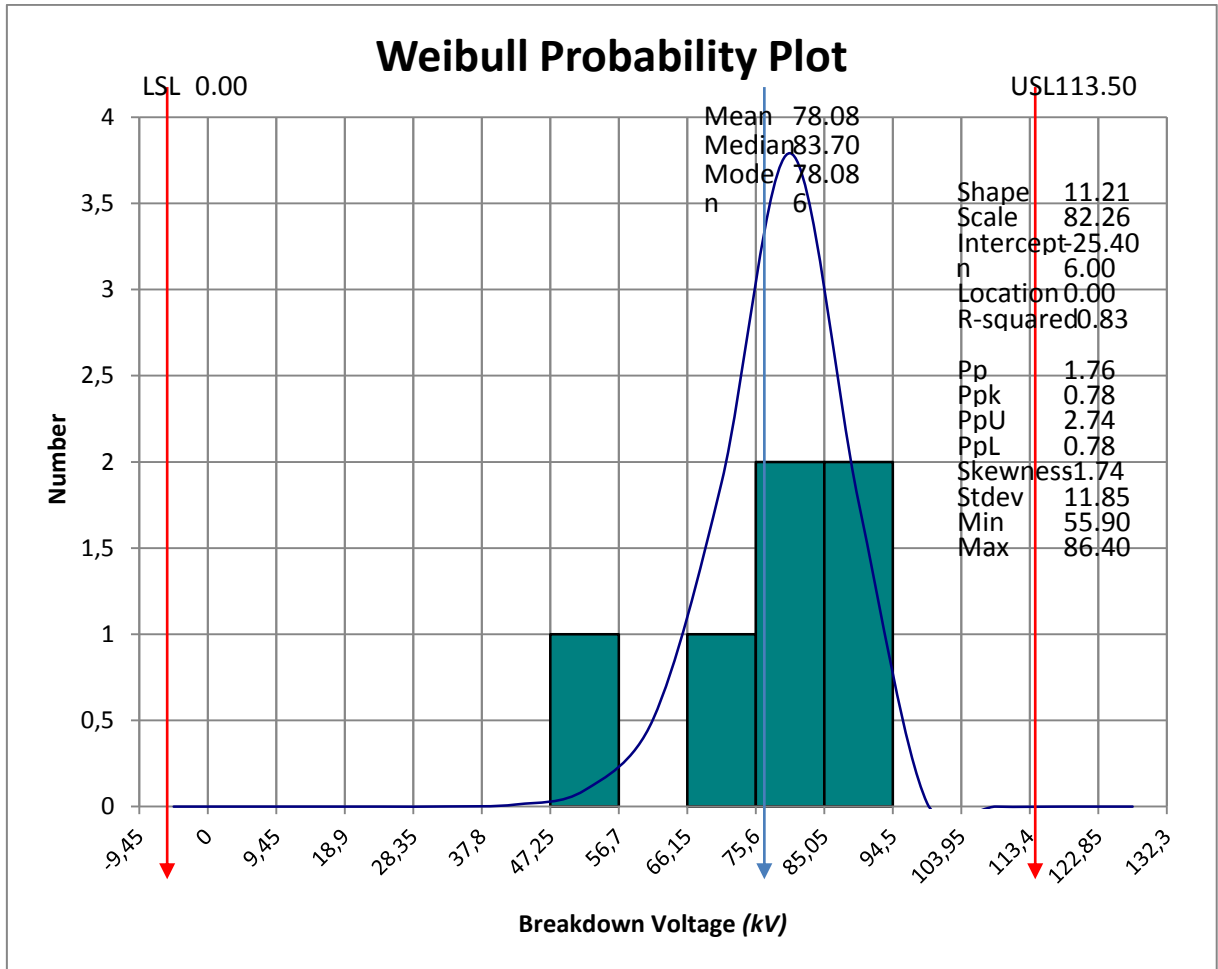
k (parameter shape) = 26.94

λ (parameter scale) = 85.22

$$x = \lambda^{\frac{1}{k}} \Gamma \left(\frac{k + 1}{k} \right) = 78.08$$



Σχήμα 5.1.1-3 δοκιμής No 2



Σχήμα 5.1.1-4 δοκιμής No 2

3^ο Μετρηση

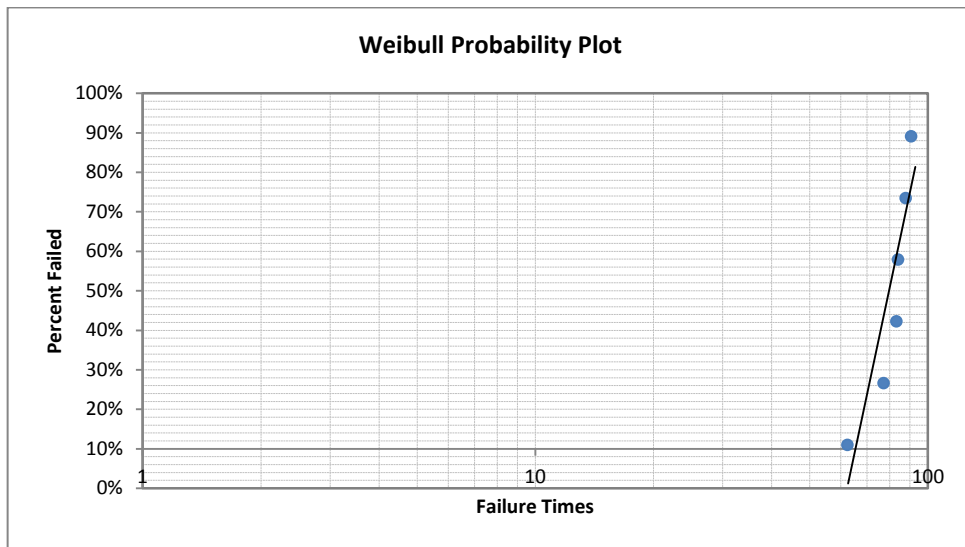
<i>Αριθμός δοκιμής</i>	<i>Ενδείξεις (kV)</i>
1	91.1
2	87.8
3	84.3
4	62.4
5	77.4
6	83.3

Πίνακας 5.1.1.1-3: Ενδείξεις kV ανά δοκιμή

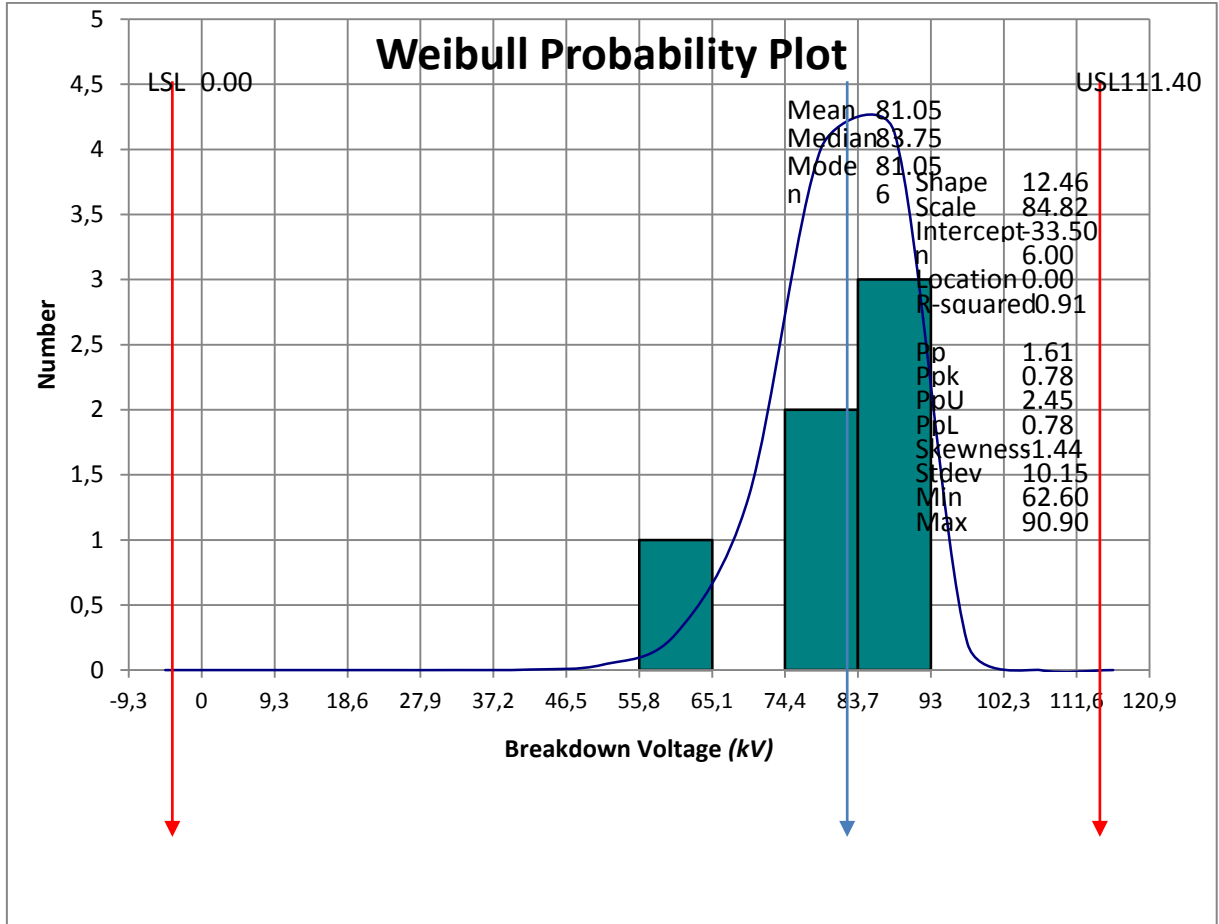
k (parameter shape) = 12.46

λ (parameter scale) = 84.82

$$x = \lambda^{\frac{1}{k}} \Gamma \left(\frac{k + 1}{k} \right) = 81.05$$



Σχήμα 5.1.1-5 δοκιμής No 3



Σχήμα 5.1.1-6 δοκιμής Νο 3

4^ο Μετρηση

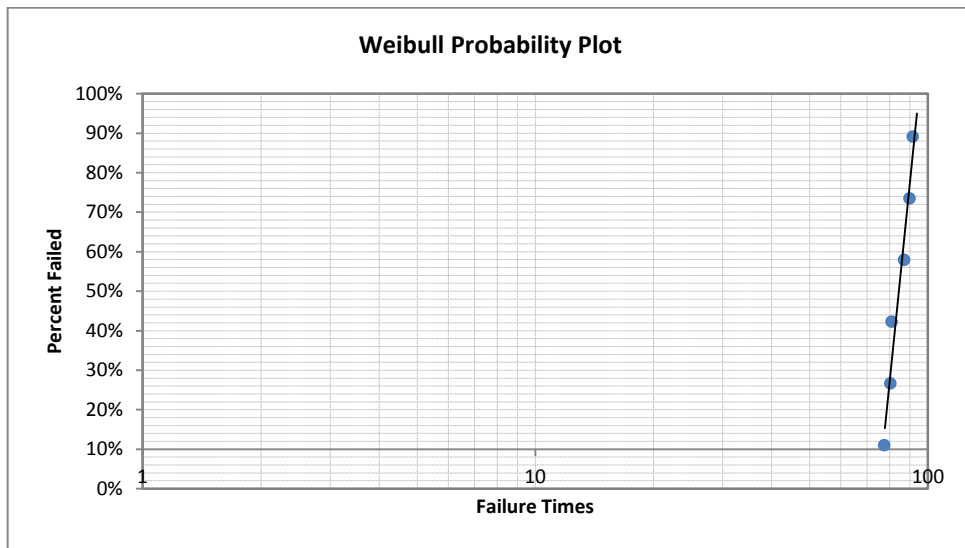
<i>Αριθμός δοκιμής</i>	<i>Ενδείξεις (kV)</i>
1	87.4
2	77.5
3	90.3
4	80.2
5	81.1
6	91.7

Πίνακας 5.1.1.1-4: Ενδείξεις kV ανά δοκιμή

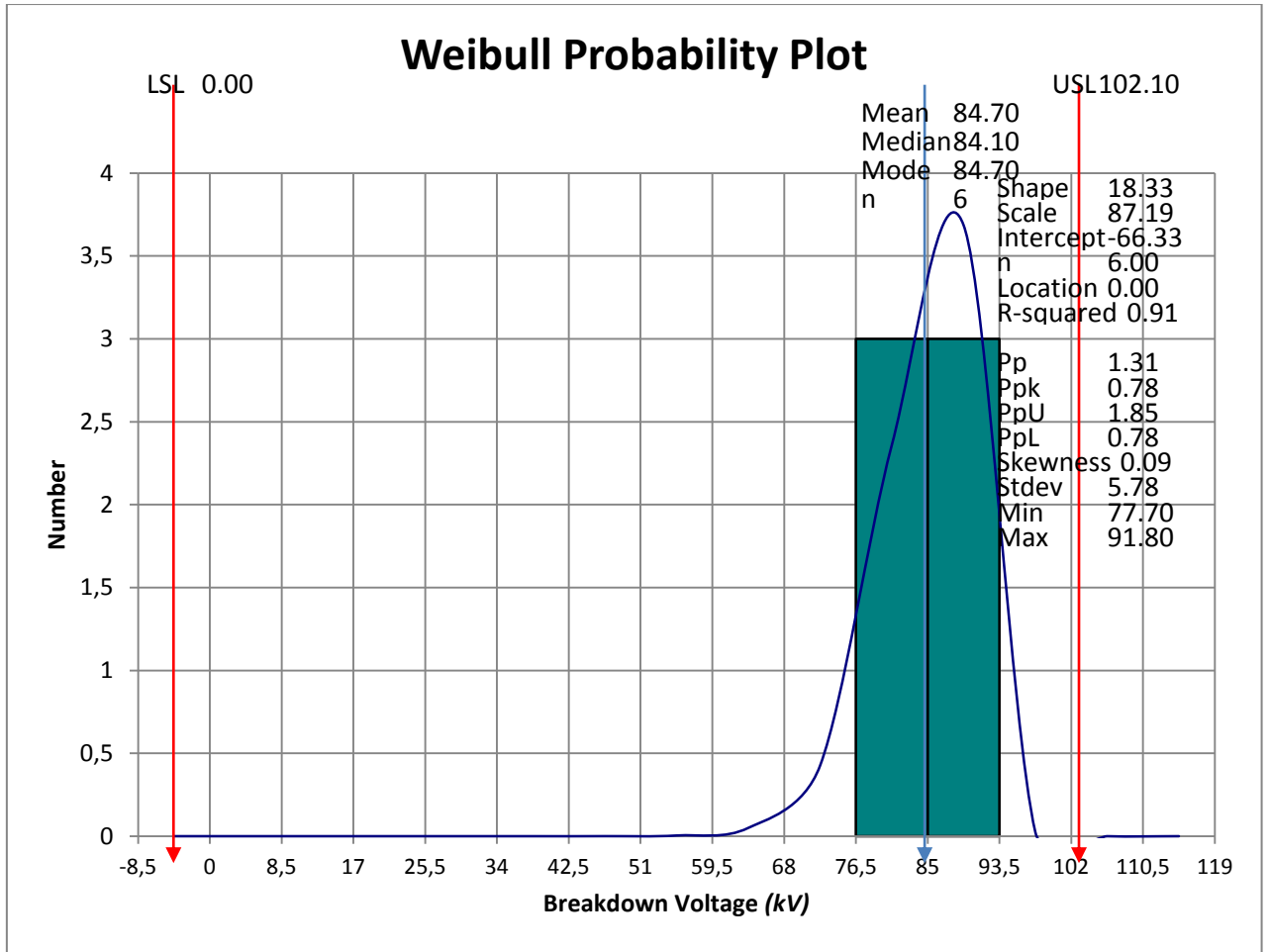
k (parameter shape) = 18.33

λ (parameter scale) = 87.19

$$x = \lambda^{\frac{1}{k}} \Gamma \left(\frac{k + 1}{k} \right) = 84.70$$



Σχήμα 5.1.1-7 δοκιμής No 4



Σχήμα 5.1.1-8 δοκιμής Νο 4

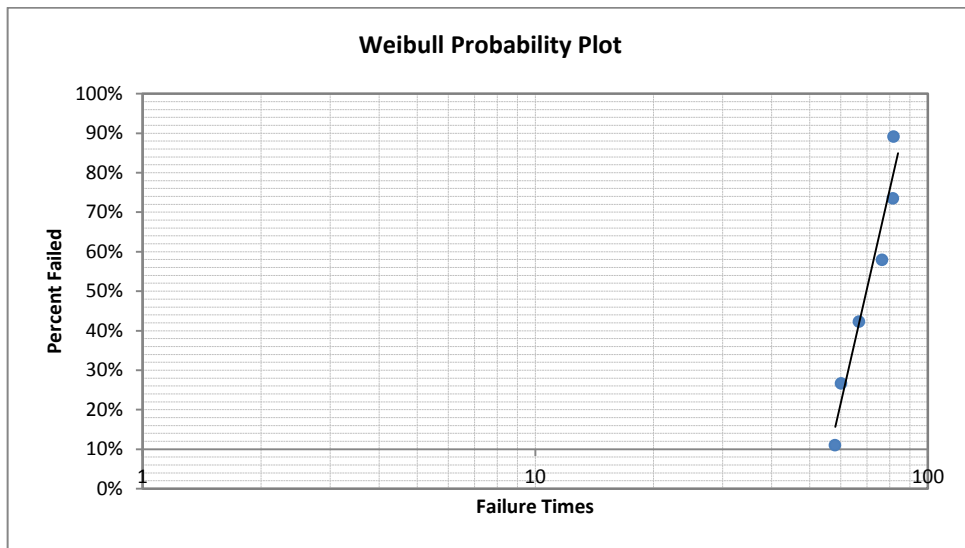
5^ο Μετρηση

<i>Αριθμός δοκιμής</i>	<i>Ενδείξεις (kV)</i>
1	67.1
2	81.5
3	76.8
4	60.1
5	82.1
6	58.0

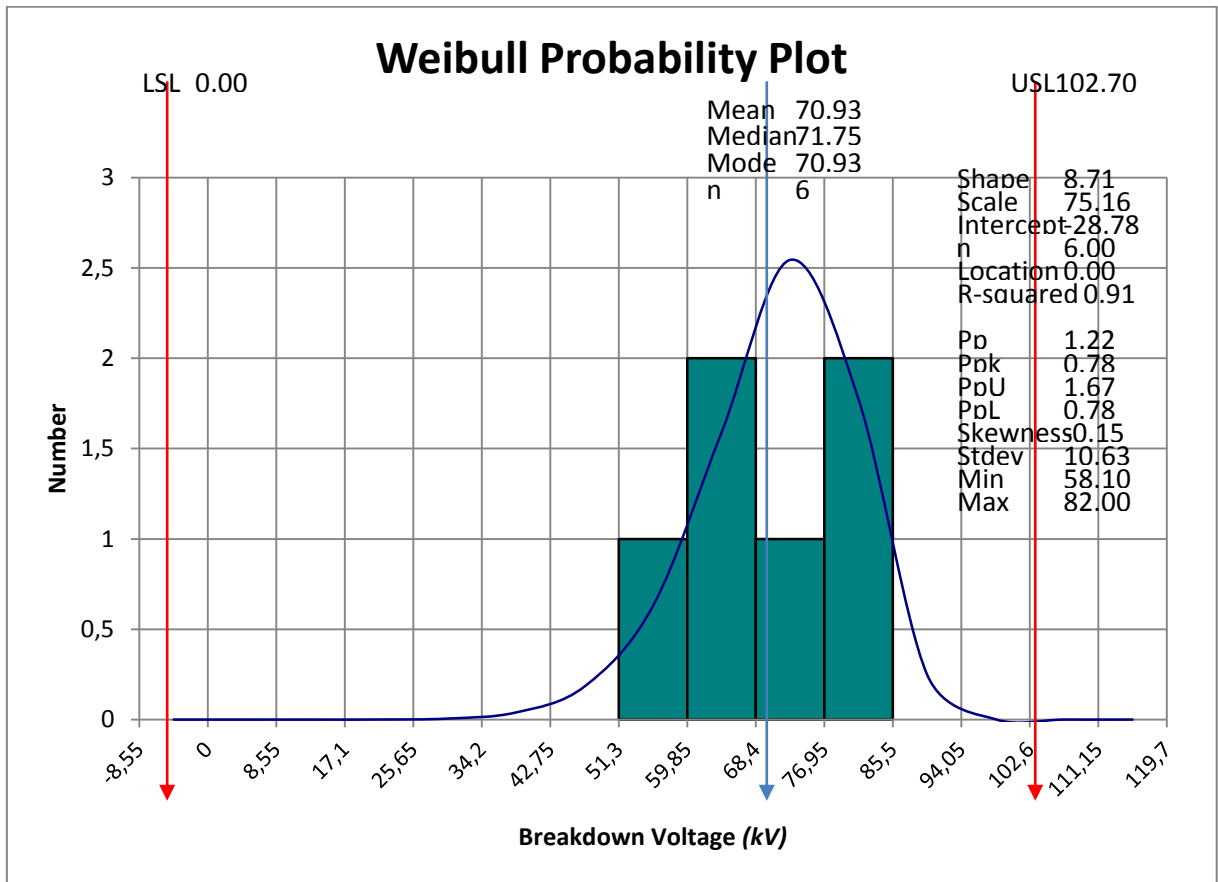
Πίνακας 5.1.1.1-5: Ενδείξεις kV ανά δοκιμή

k (parameter shape) = 8.71
 λ (parameter scale) = 75.16

$$x = \lambda^{\frac{1}{k}} \Gamma \left(\frac{k + 1}{k} \right) = 70.93$$



Σχήμα 5.1.1-9 δοκιμής No 5



Σχήμα 5.1.1-10 δοκιμής No 5

6^ο Μετρηση

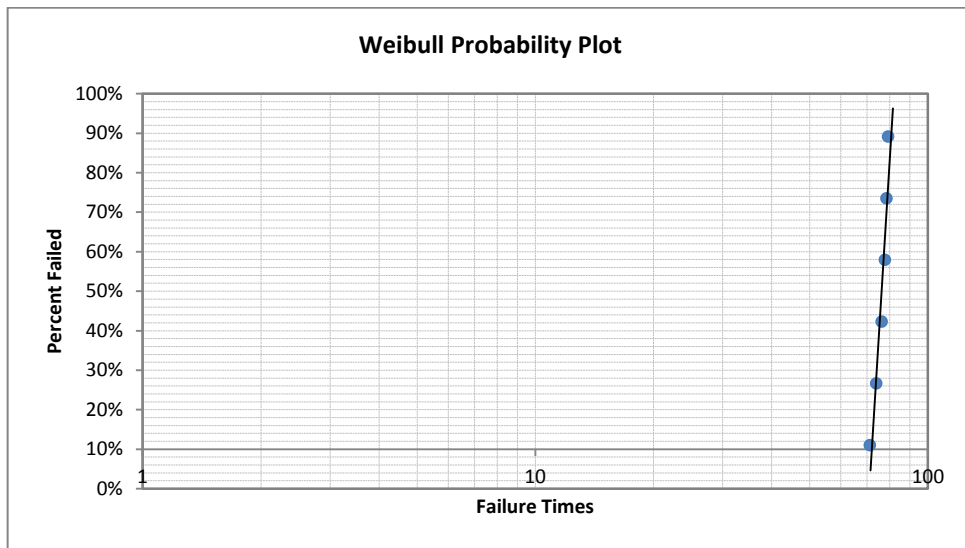
<i>Αριθμός δοκιμής</i>	<i>Ενδείξεις (kV)</i>
1	76.7
2	79.2
3	78.2
4	71.2
5	78.8
6	74.0

Πίνακας 5.1.1.1-6: Ενδείξεις kV ανά δοκιμή

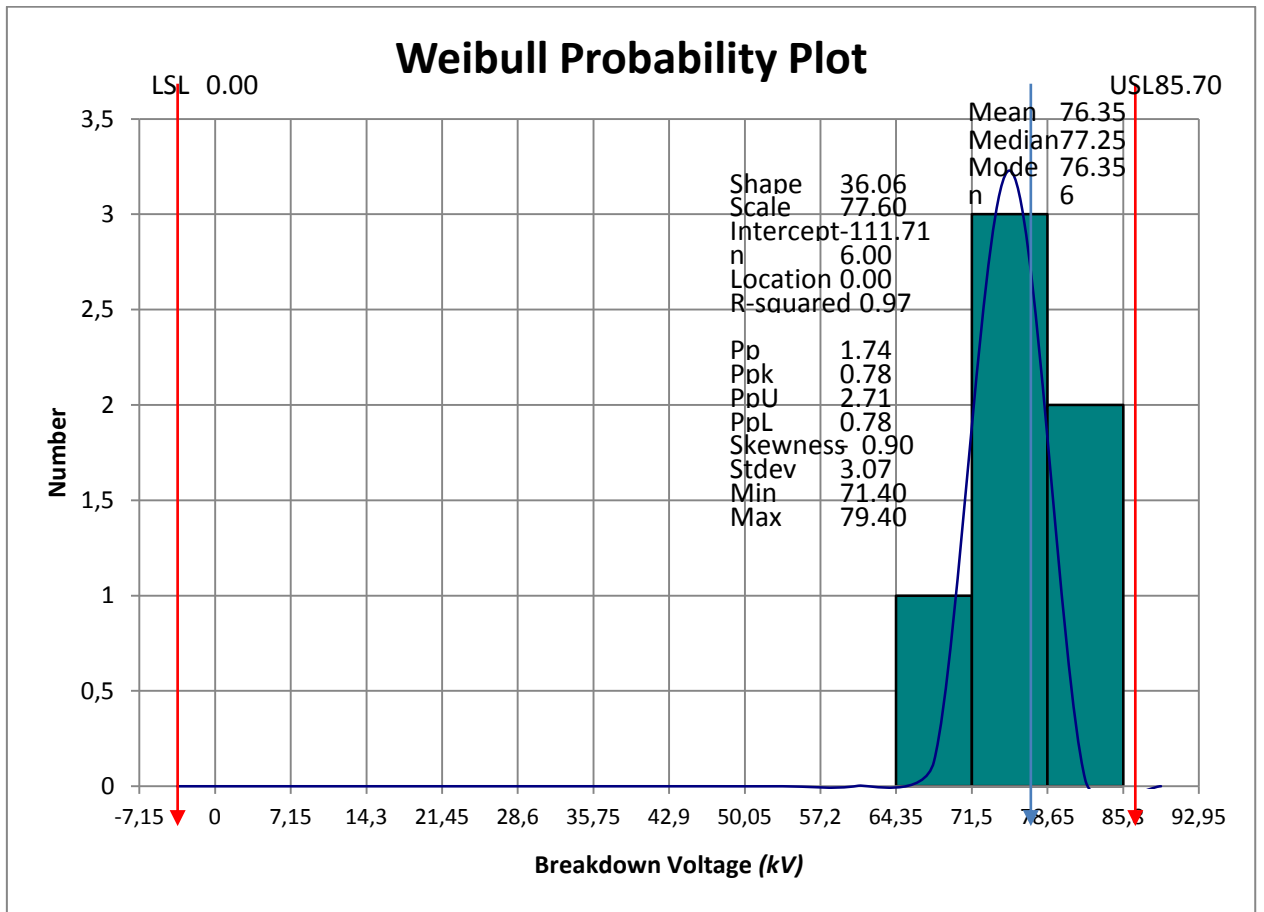
k (parameter shape) = 36.06

λ (parameter scale) = 77.60

$$x = \lambda^{\frac{1}{k}} \Gamma \left(\frac{k + 1}{k} \right) = 76.35$$



Σχήμα 5.1.1-11 δοκιμής No 6



Σχήμα 5.1.1-12 δοκιμής No 6

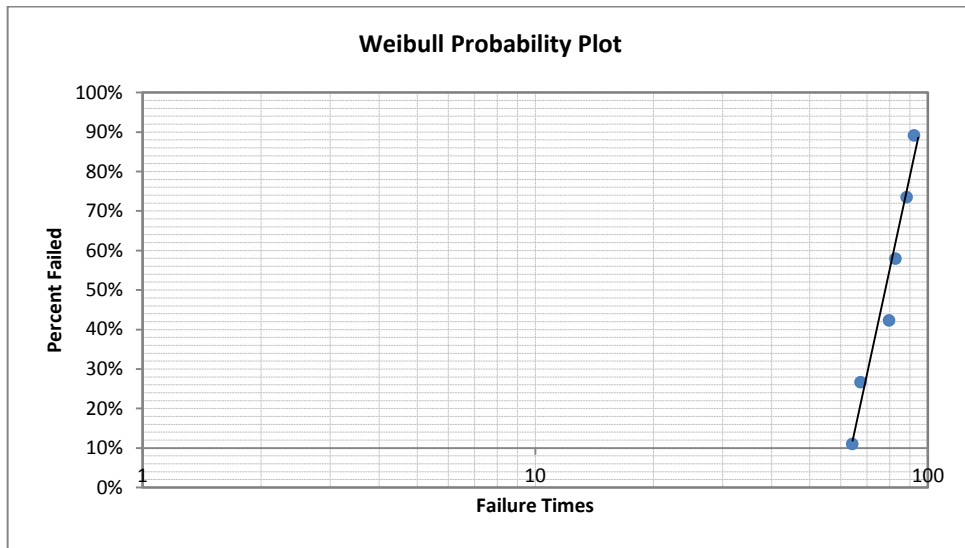
7^ο Μετρηση

<i>Αριθμός δοκιμής</i>	<i>Ενδείξεις (kV)</i>
1	64.5
2	92.2
3	67.8
4	79.4
5	88.7
6	82.8

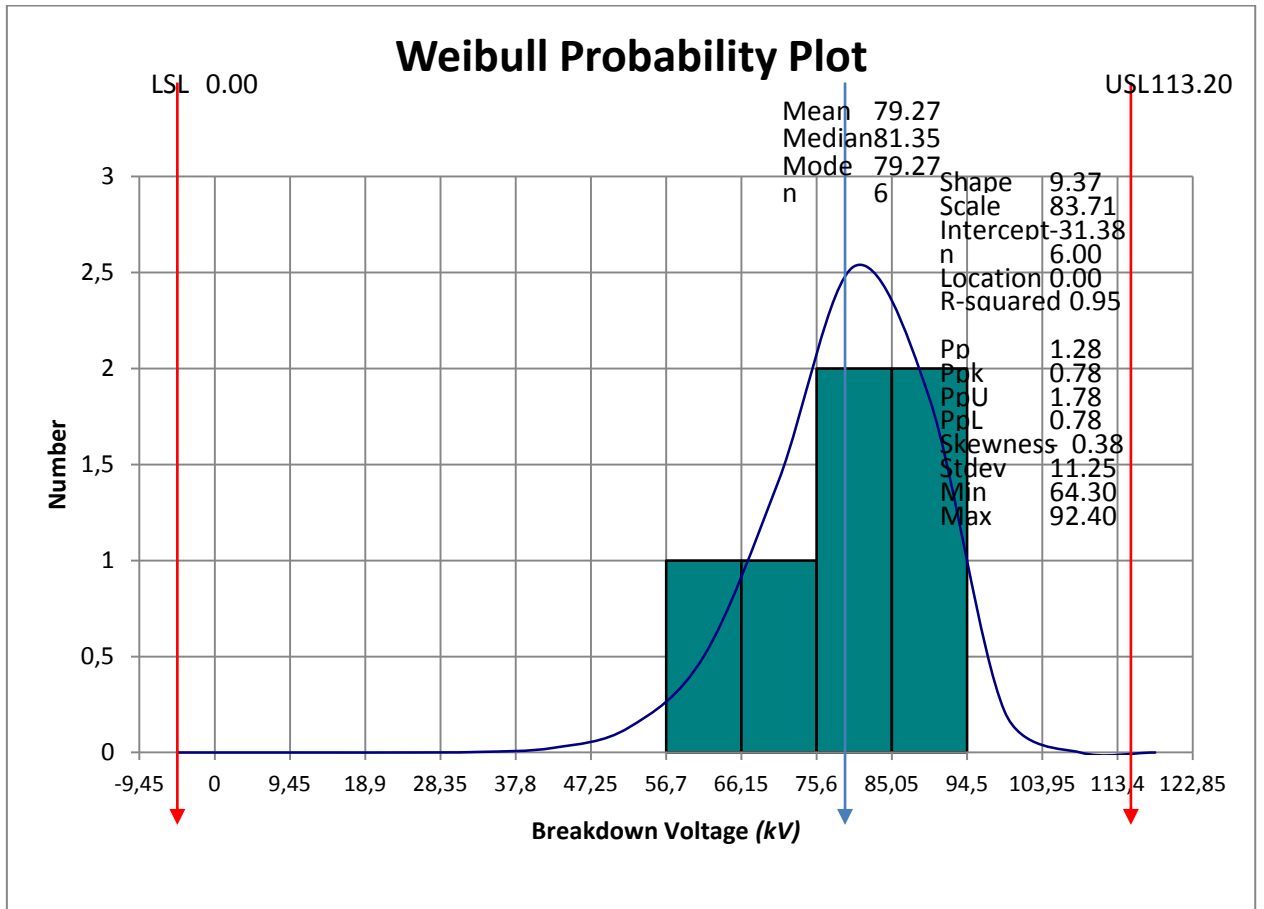
Πίνακας 5.1.1.1-7: Ενδείξεις kV ανά δοκιμή

k (parameter shape) = 9.37
 λ (parameter scale) = 83.71

$$x = \lambda^{\frac{1}{k}} \Gamma \left(\frac{k + 1}{k} \right) = 79.27$$



Σχήμα 5.1.1-13 δοκιμής No 7



Σχήμα 5.1.1-14 δοκιμής Νο 7

8^ο Μετρηση

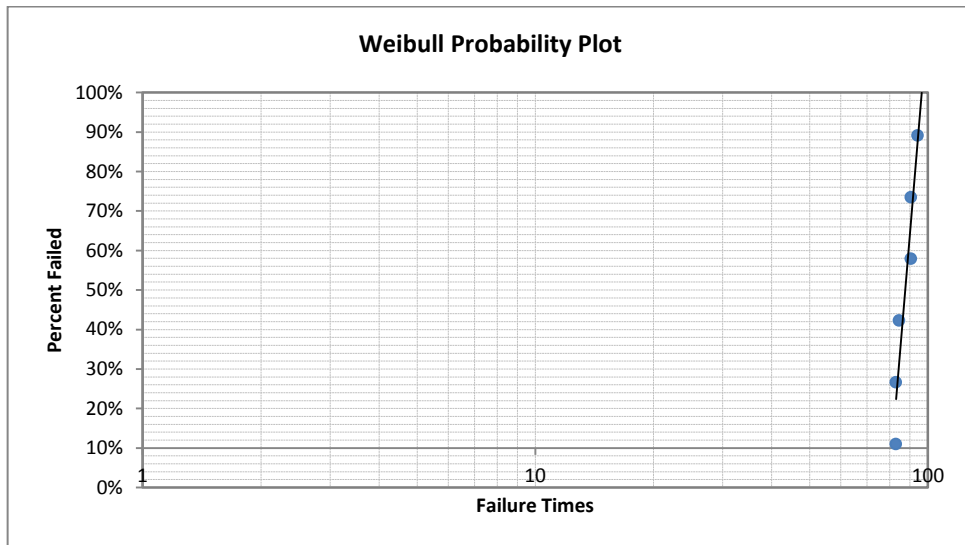
<i>Αριθμός δοκιμής</i>	<i>Ενδείξεις (kV)</i>
1	83.2
2	82.9
3	84.8
4	90.5
5	90.9
6	94.3

Πίνακας 5.1.1.1-8: Ενδείξεις kV ανά δοκιμή

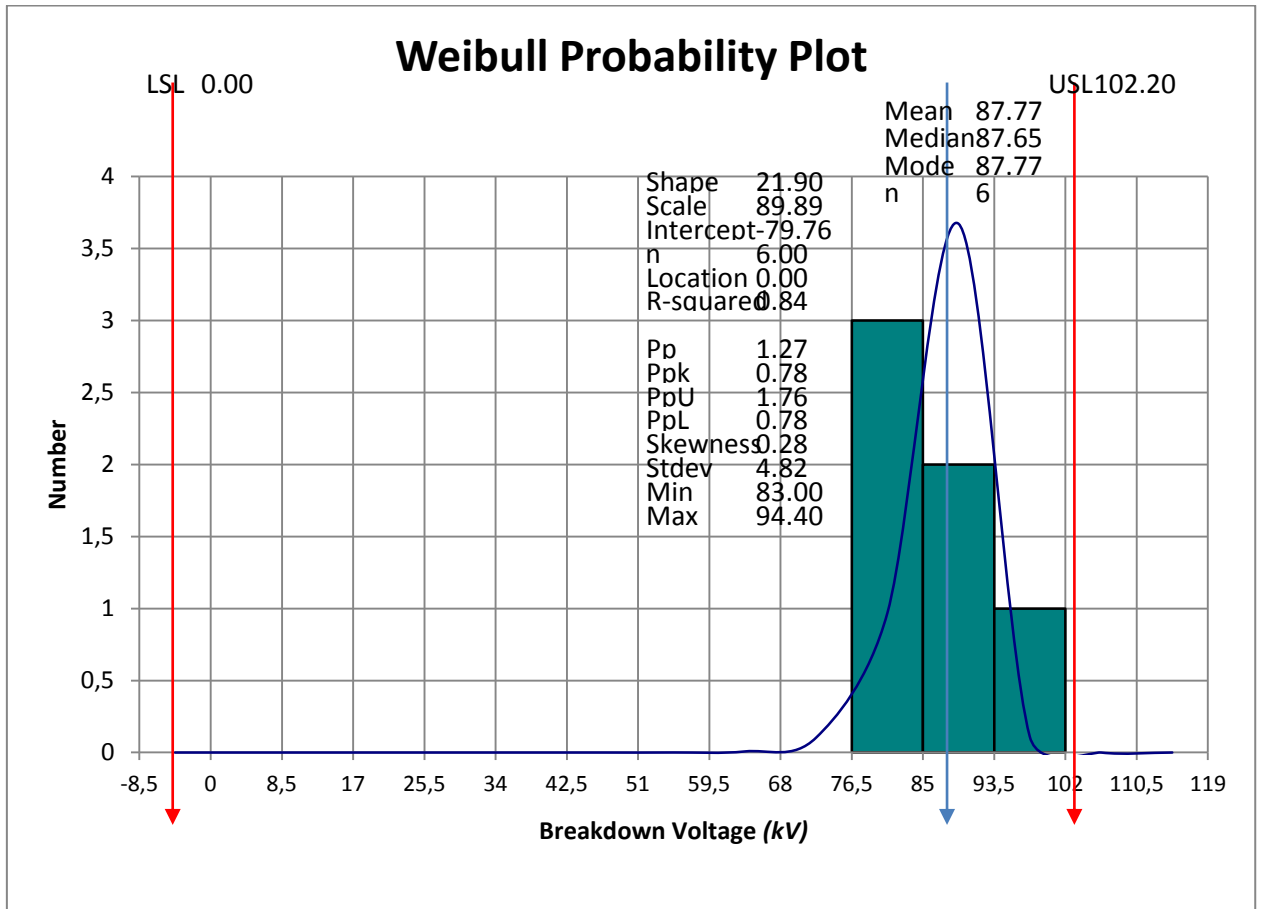
k (parameter shape) = 21.90

λ (parameter scale) = 89.89

$$x = \lambda^{\frac{1}{k}} \Gamma \left(\frac{k + 1}{k} \right) = 87.77$$



Σχήμα 5.1.1-15 δοκιμής No 8



Σχήμα 5.1.1-16 δοκιμής Νο 8

9^ο Μετρηση

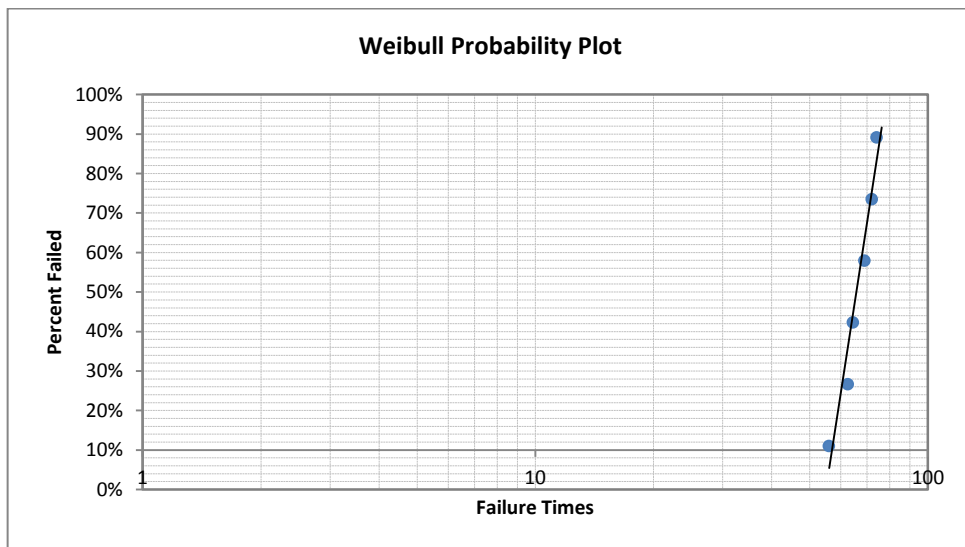
<i>Αριθμός δοκιμής</i>	<i>Ενδείξεις (kV)</i>
1	62.9
2	55.9
3	64.8
4	74.0
5	69.2
6	72.1

Πίνακας 5.1.1.1-9: Ενδείξεις kV ανά δοκιμή

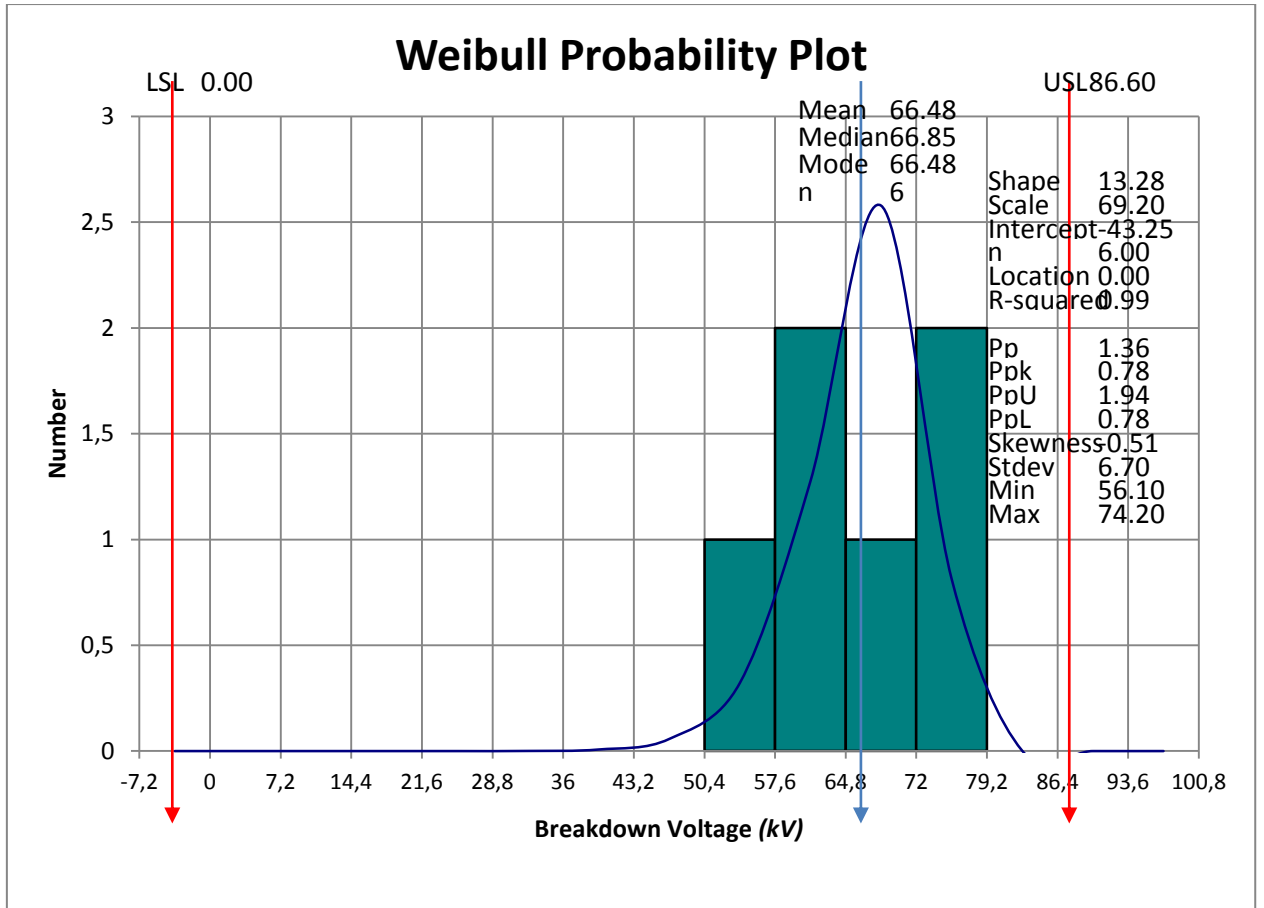
k (parameter shape) = 13.28

λ (parameter scale) = 69.20

$$x = \lambda^{\frac{1}{k}} \Gamma \left(\frac{k + 1}{k} \right) = 66.48$$



Σχήμα 5.1.1-17 δοκιμής No 9



Σχήμα 5.1.1-18 δοκιμής No 9

10^ο Μετρηση

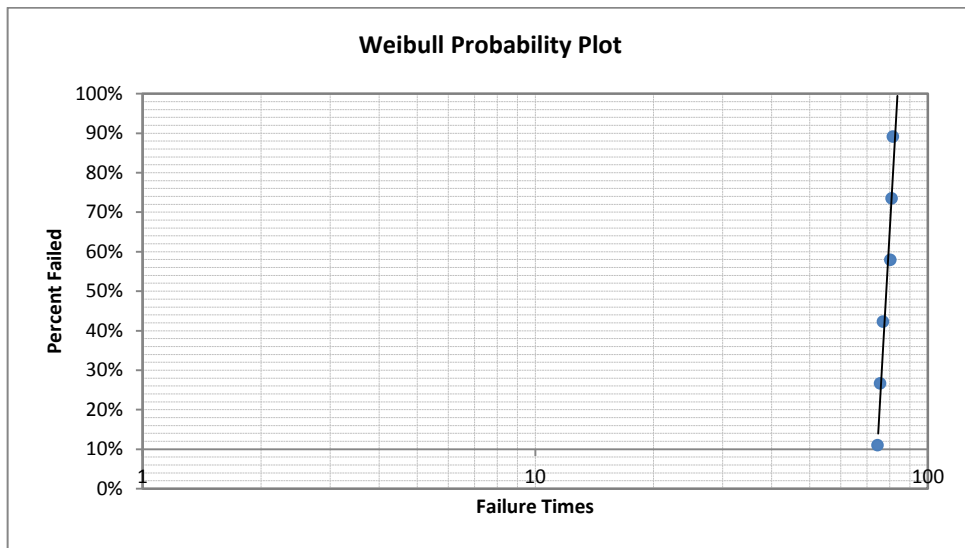
<i>Αριθμός δοκιμής</i>	<i>Ενδείξεις (kV)</i>
1	76.0
2	77.3
3	80.6
4	74.5
5	81.2
6	81.5

Πίνακας 5.1.1.1-10: Ενδείξεις kV ανά δοκιμή

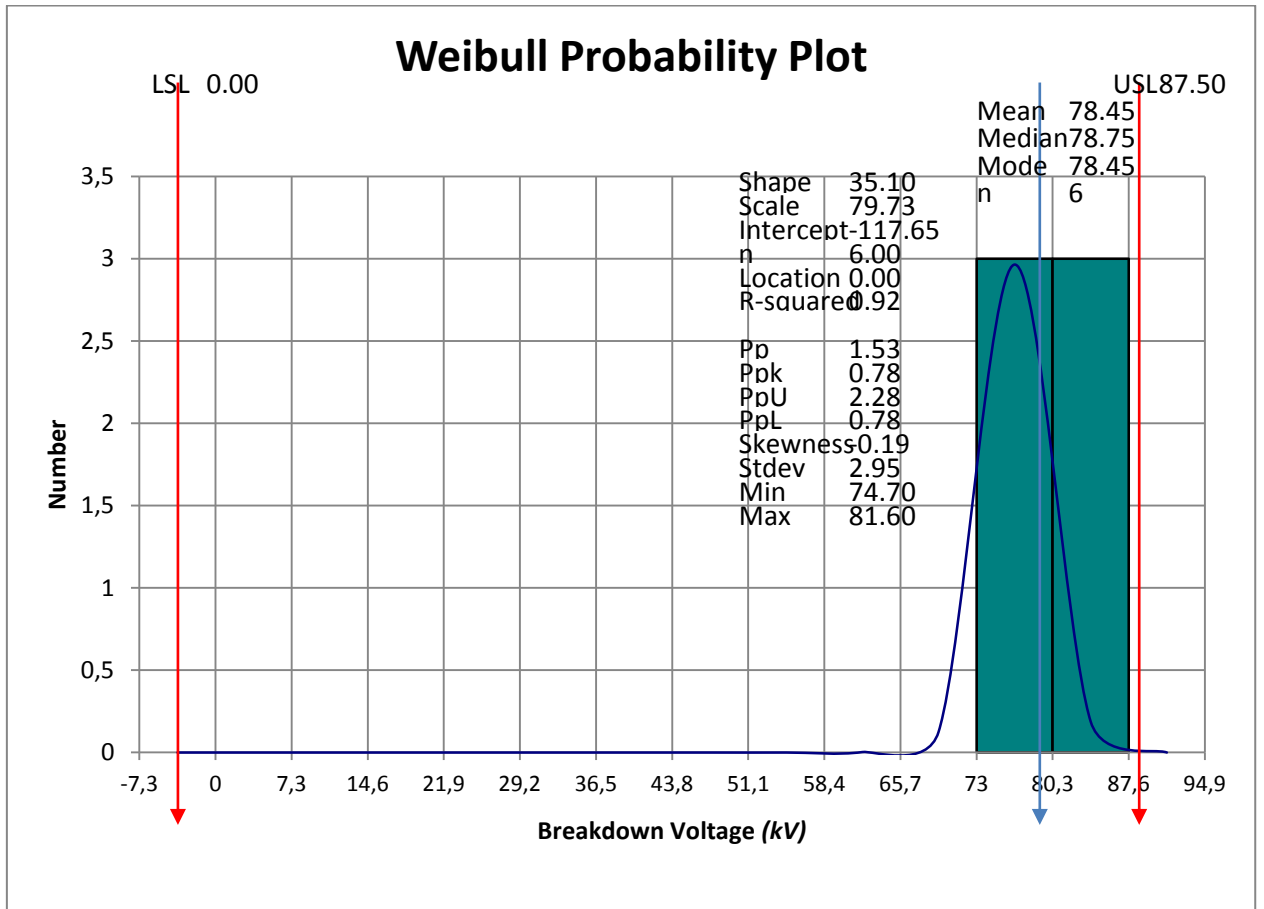
k (parameter shape) = 35.10

λ (parameter scale) = 79.73

$$x = \lambda^{\frac{1}{k}} \Gamma \left(\frac{k + 1}{k} \right) = 78.45$$



Σχήμα 5.1.1-19 δοκιμής No 10



Σχήμα 5.1.1-20 δοκιμής Νο 10

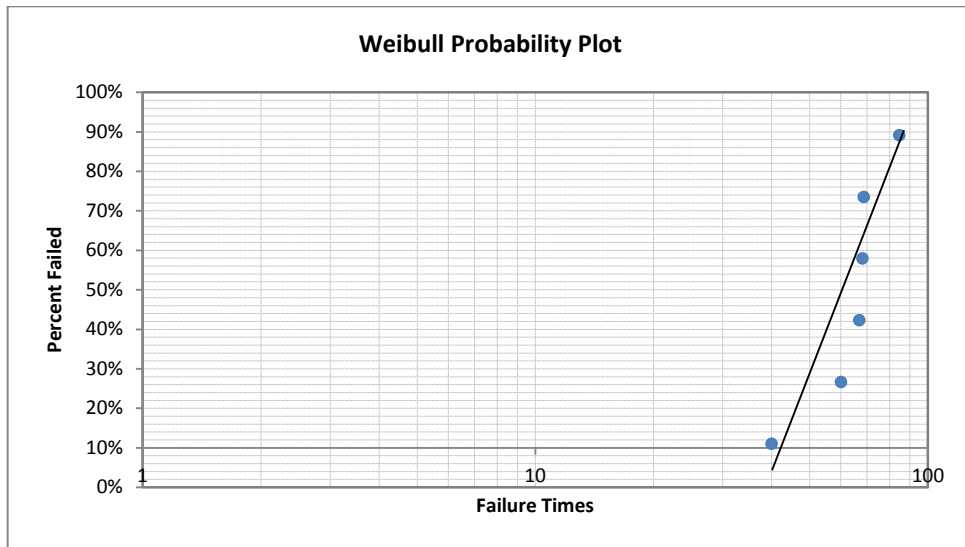
11^ο Μετρηση

<i>Αριθμός δοκιμής</i>	<i>Ενδείξεις (kV)</i>
1	60.5
2	66.8
3	69.0
4	40.0
5	84.9
6	68.2

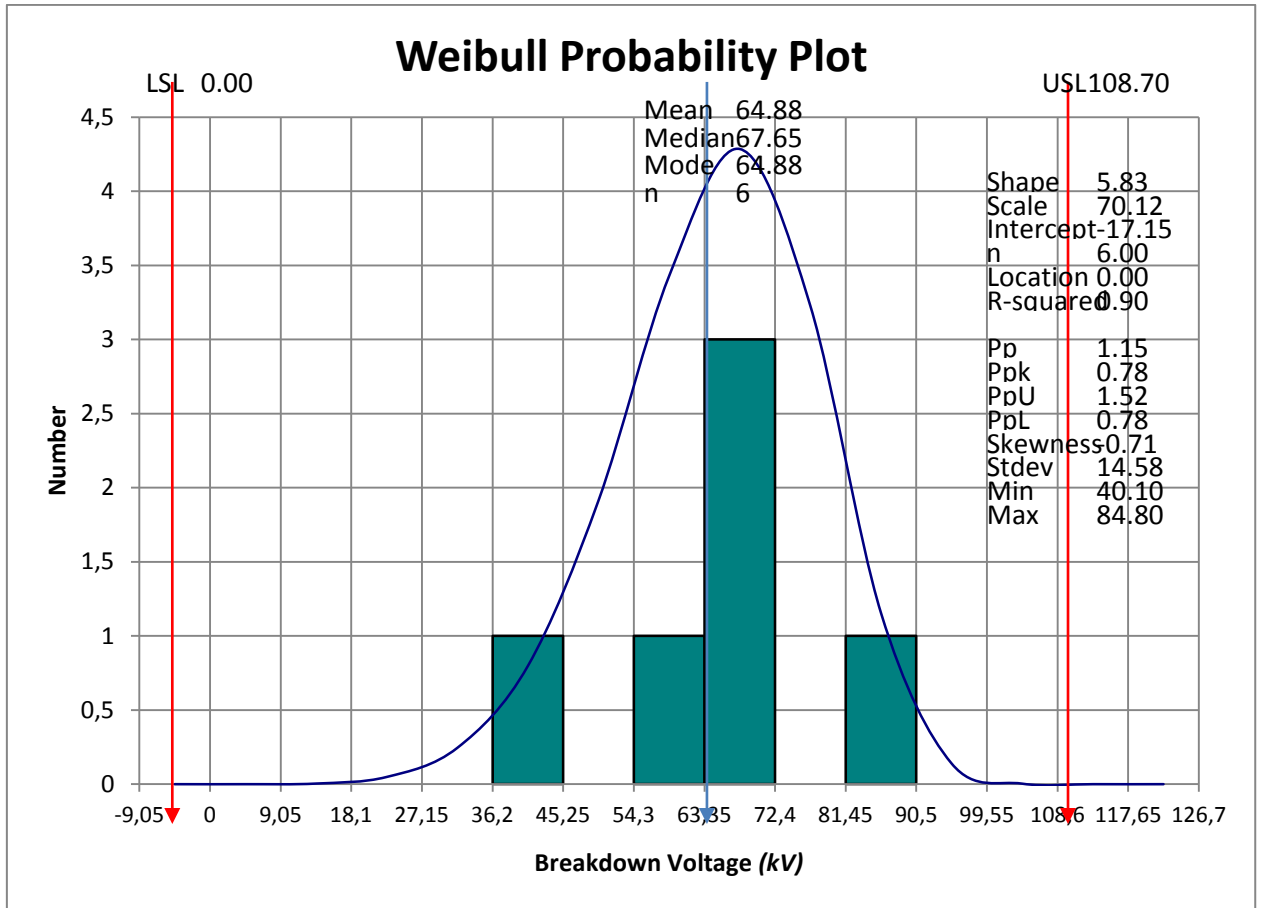
Πίνακας 5.1.1.1-11: Ενδείξεις kV ανά δοκιμή

k (parameter shape) = 5.83
 λ (parameter scale) = 70.12

$$x = \lambda^{\frac{1}{k}} \Gamma \left(\frac{k + 1}{k} \right) = 64.88$$



Σχήμα 5.1.1-21 δοκιμής No 11



Σχήμα 5.1.1-22 δοκιμής No 11

12^ο Μετρηση

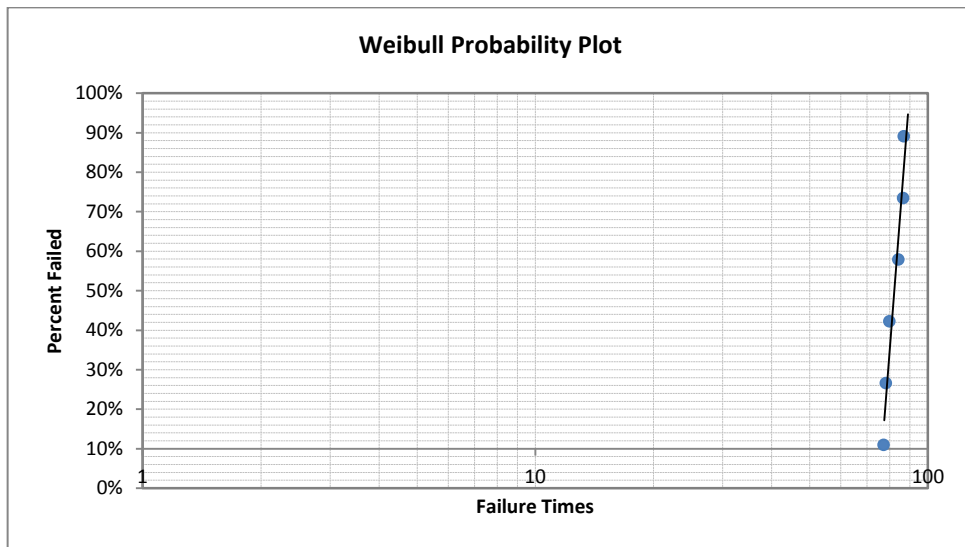
<i>Αριθμός δοκιμής</i>	<i>Ενδείξεις (kV)</i>
1	77.6
2	86.5
3	80.2
4	86.8
5	84.3
6	78.5

Πίνακας 5.1.1.1-12: Ενδείξεις kV ανά δοκιμή

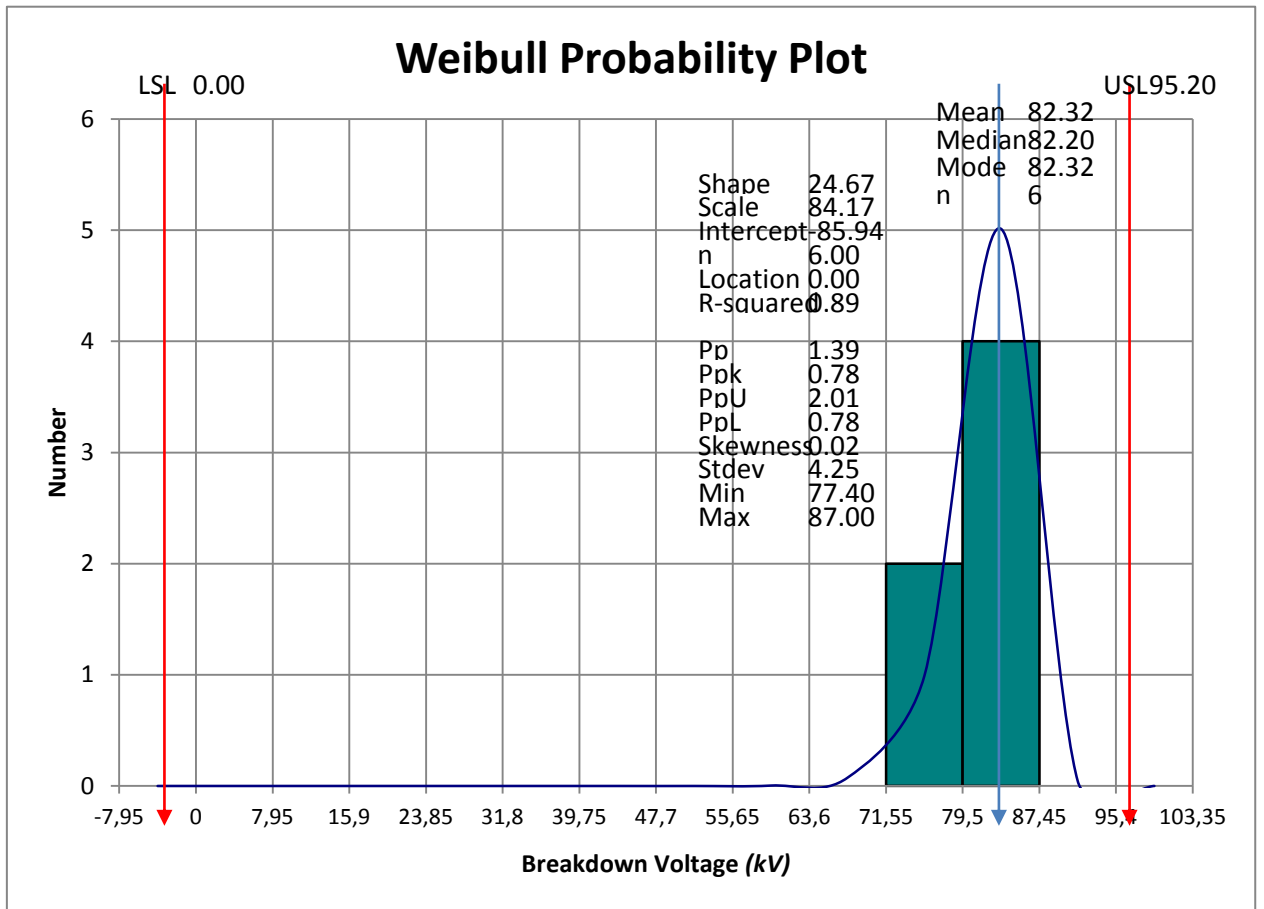
k (parameter shape) = 24.67

λ (parameter scale) = 84.17

$$x = \lambda^{\frac{1}{k}} \Gamma \left(\frac{k + 1}{k} \right) = 82.32$$



Σχήμα 5.1.1-23 δοκιμής No 12



Σχήμα 5.1.1-24 δοκιμής Νο 12

13^ο Μετρηση

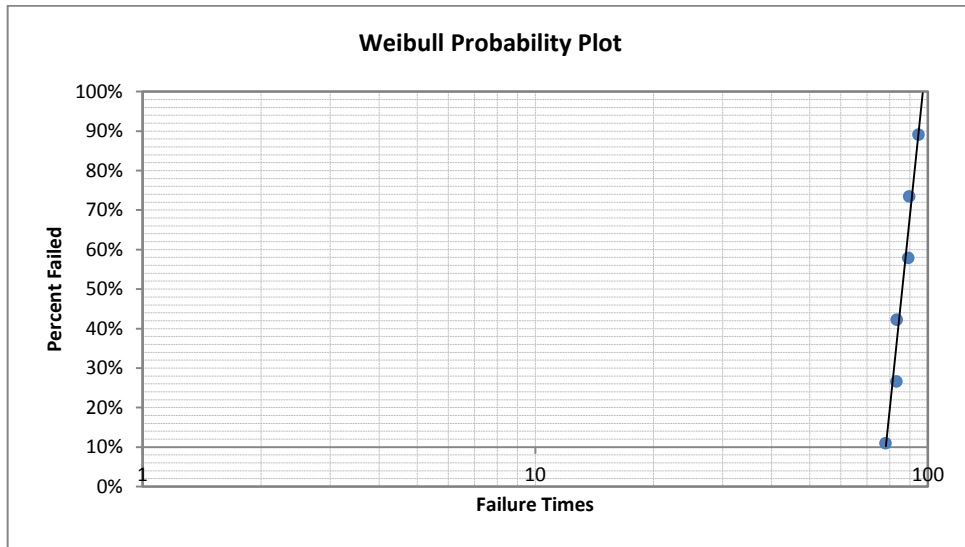
<i>Αριθμός δοκιμής</i>	<i>Ενδείξεις (kV)</i>
1	83.6
2	83.3
3	78.4
4	89.7
5	95.1
6	89.3

Πίνακας 5.1.1.1-13: Ενδείξεις kV ανά δοκιμή

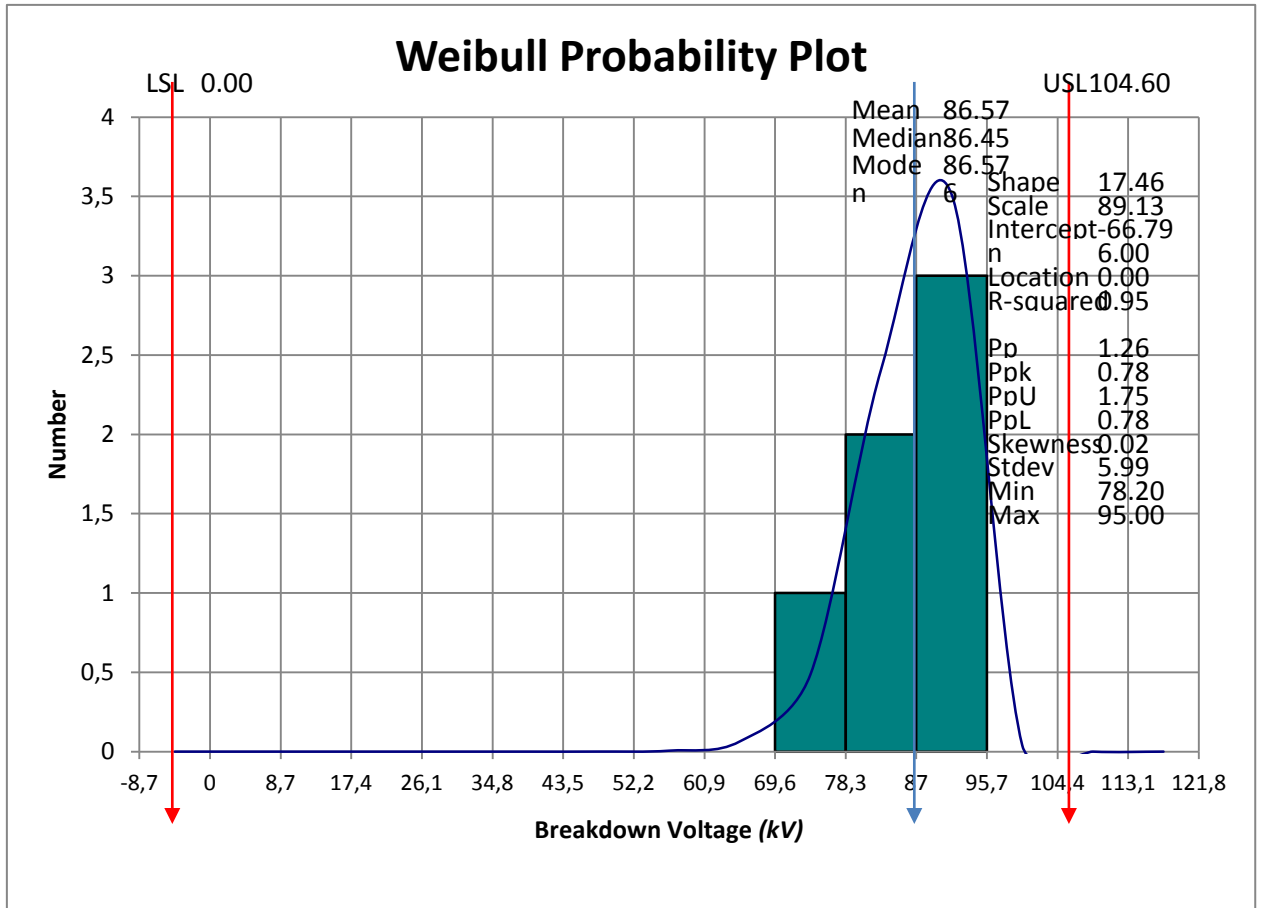
k (parameter shape) = 17.46

λ (parameter scale) = 89.13

$$x = \lambda^{\frac{1}{k}} \Gamma \left(\frac{k + 1}{k} \right) = 86.57$$



Σχήμα 5.1.1-25 δοκιμής No 13



Σχήμα 5.1.1-26 δοκιμής No 13

14^ο Μετρηση

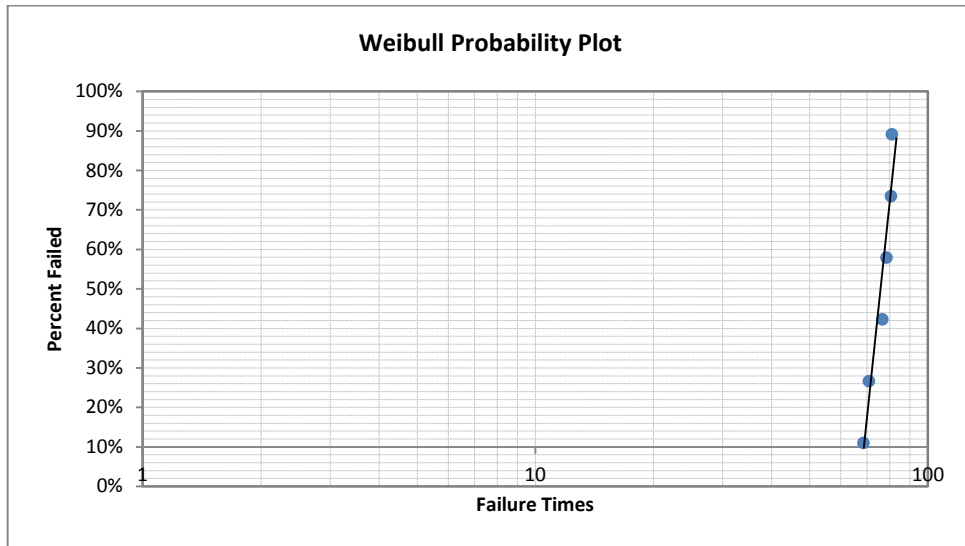
<i>Αριθμός δοκιμής</i>	<i>Ενδείξεις (kV)</i>
1	78.8
2	70.7
3	68.9
4	81.0
5	80.8
6	76.6

Πίνακας 5.1.1.1-14: Ενδείξεις kV ανά δοκιμή

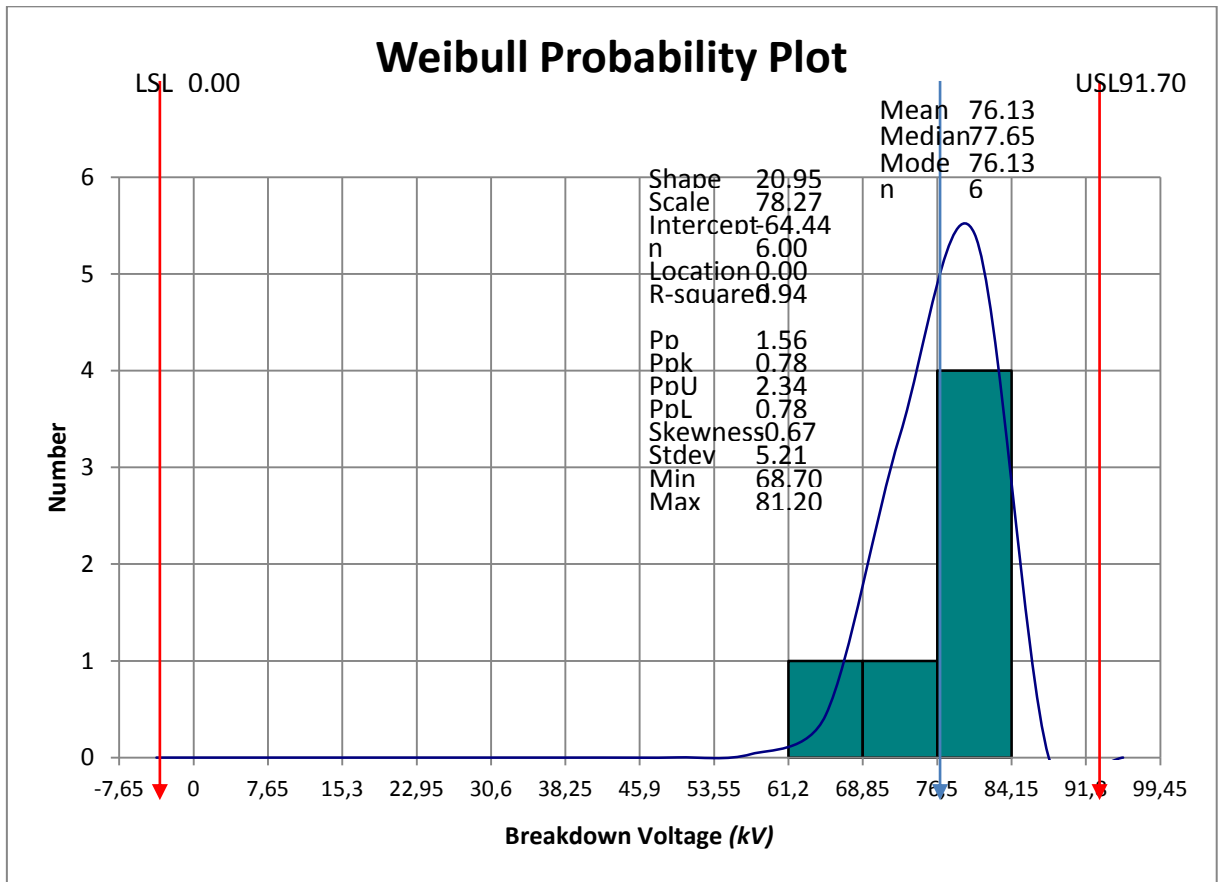
k (parameter shape) = 20.95

λ (parameter scale) = 78.27

$$x = \lambda^{\frac{1}{k}} \Gamma \left(\frac{k + 1}{k} \right) = 76.13$$



Σχήμα 5.1.1-27 δοκιμής No 14



Σχήμα 5.1.1-28 δοκιμής No 14

15° Μετρηση

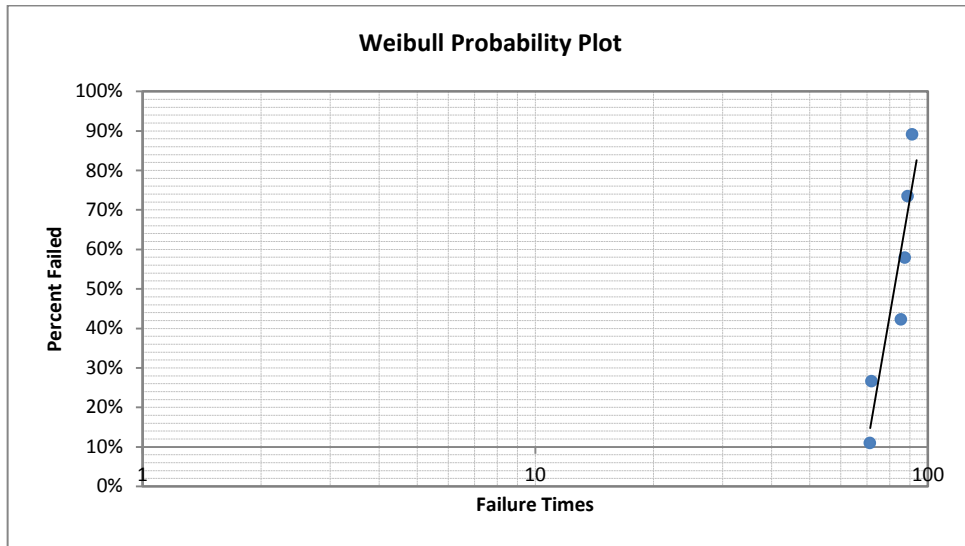
<i>Αριθμός δοκιμής</i>	<i>Ενδείξεις (kV)</i>
1	71.5
2	85.4
3	87.7
4	88.9
5	91.6
6	72.1

Πίνακας 5.1.1.1-15: Ενδείξεις kV ανά δοκιμή

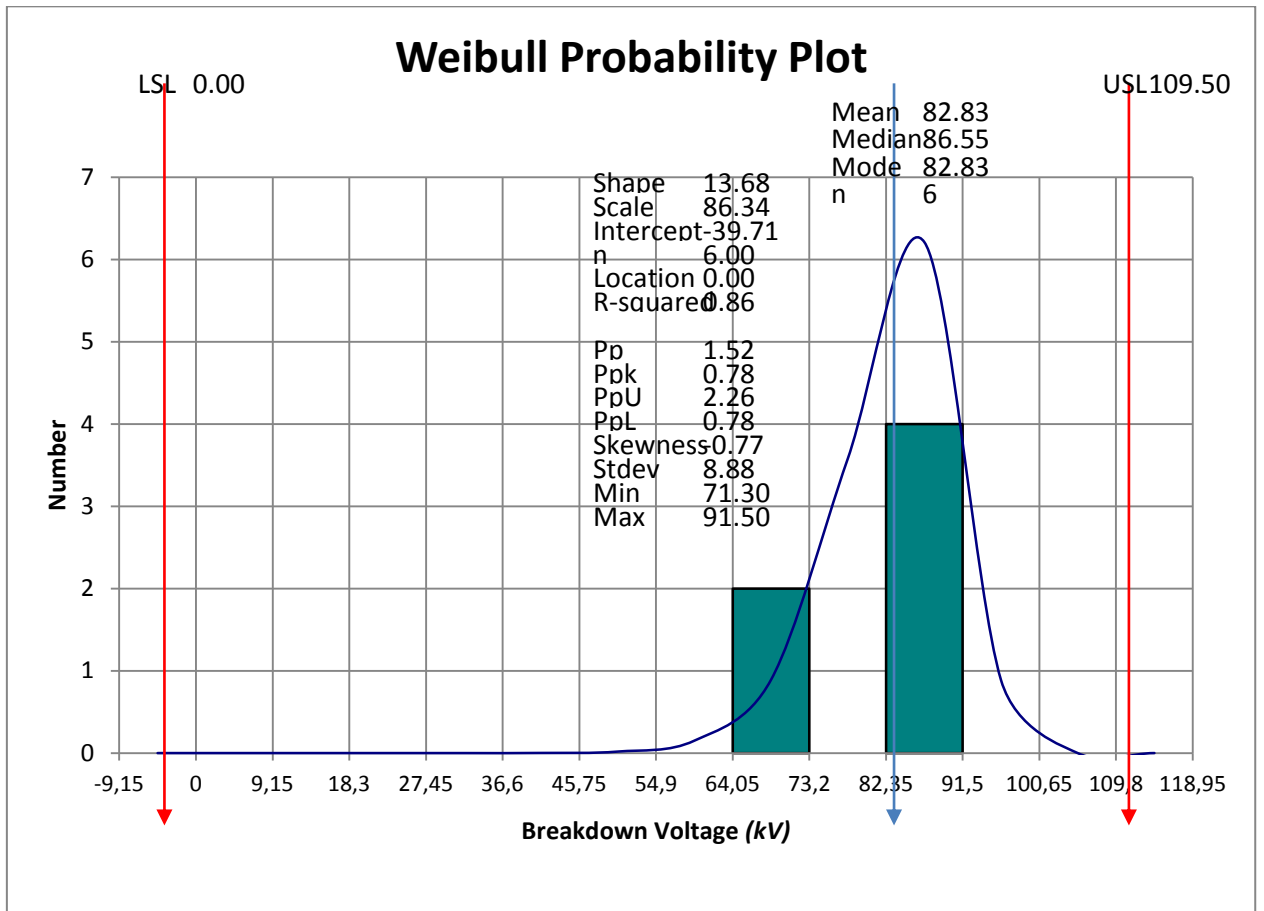
k (parameter shape) = 13.68

λ (parameter scale) = 86.34

$$x = \lambda^{\frac{1}{k}} \Gamma \left(\frac{k + 1}{k} \right) = 82.83$$



Σχήμα 5.1.1-29 δοκιμής No 15



Σχήμα 5.1.1-30 δοκιμής No 15

16° Μετρηση

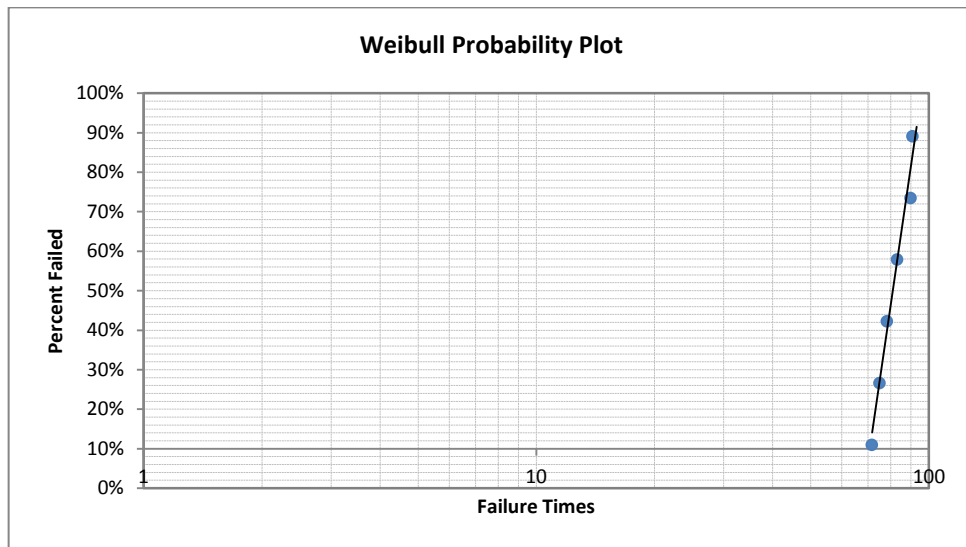
<i>Αριθμός δοκιμής</i>	<i>Ενδείξεις (kV)</i>
1	83.5
2	71.5
3	78.6
4	74.8
5	90.3
6	90.9

Πίνακας 5.1.1.1-16: Ενδείξεις kV ανά δοκιμή

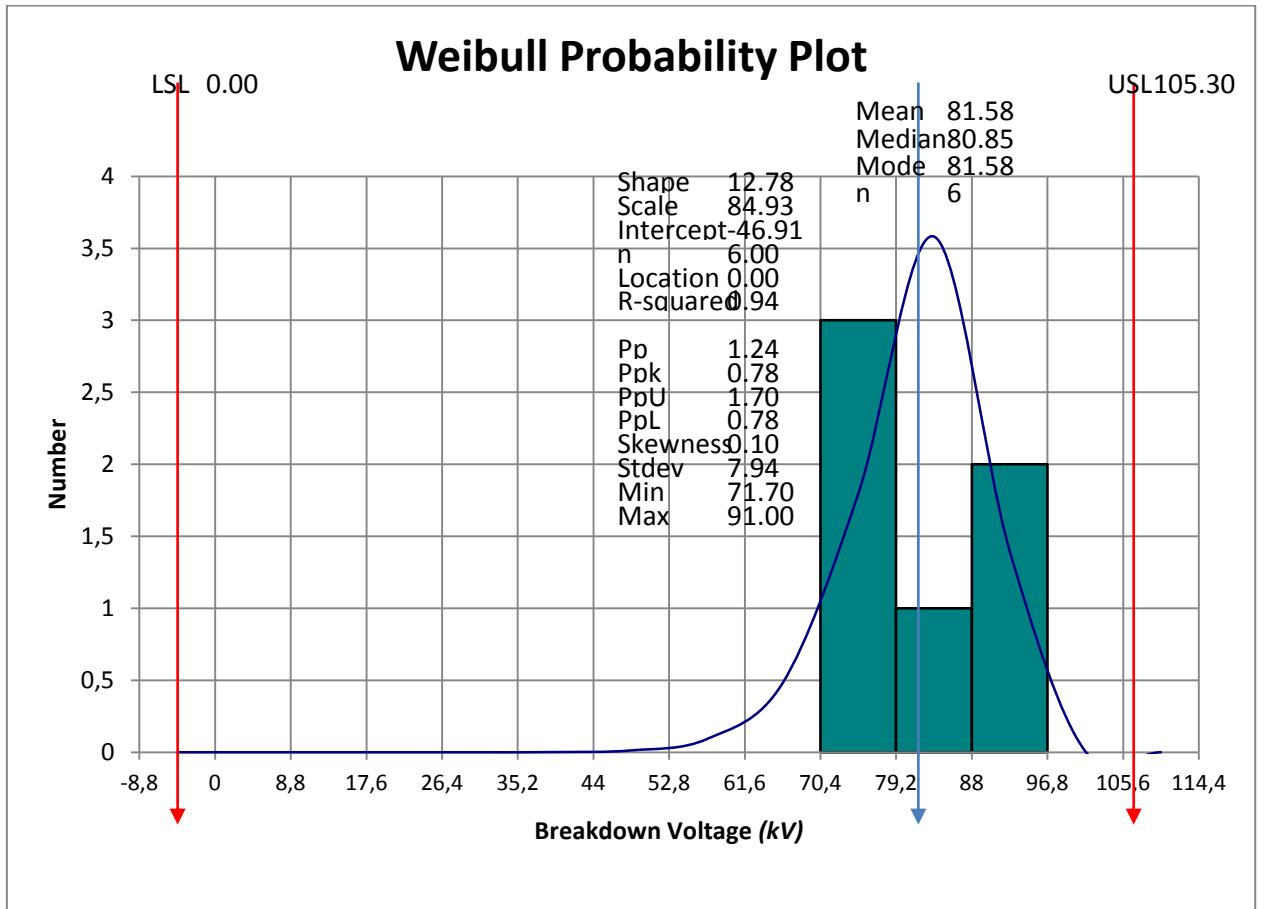
k (parameter shape) = 12.78

λ (parameter scale) = 84.93

$$x = \lambda^{\frac{1}{k}} \Gamma \left(\frac{k + 1}{k} \right) = 81.58$$



Σχήμα 5.1.1-31 δοκιμής No 16



Σχήμα 5.1.1-32 δοκιμής No 16

17° Μετρηση

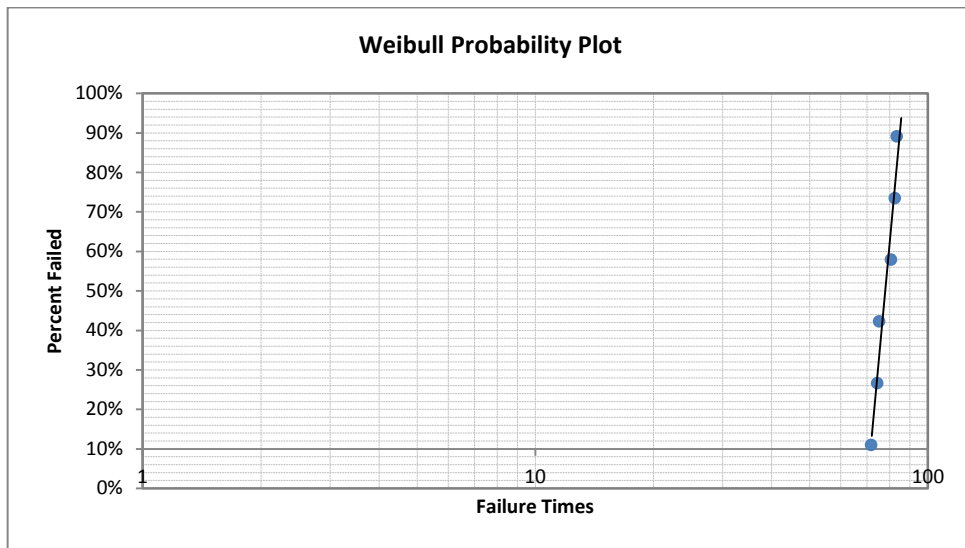
<i>Αριθμός δοκιμής</i>	<i>Ενδείξεις (kV)</i>
1	75.5
2	81.0
3	82.8
4	71.7
5	83.6
6	74.4

Πίνακας 5.1.1.1-17: Ενδείξεις kV ανά δοκιμή

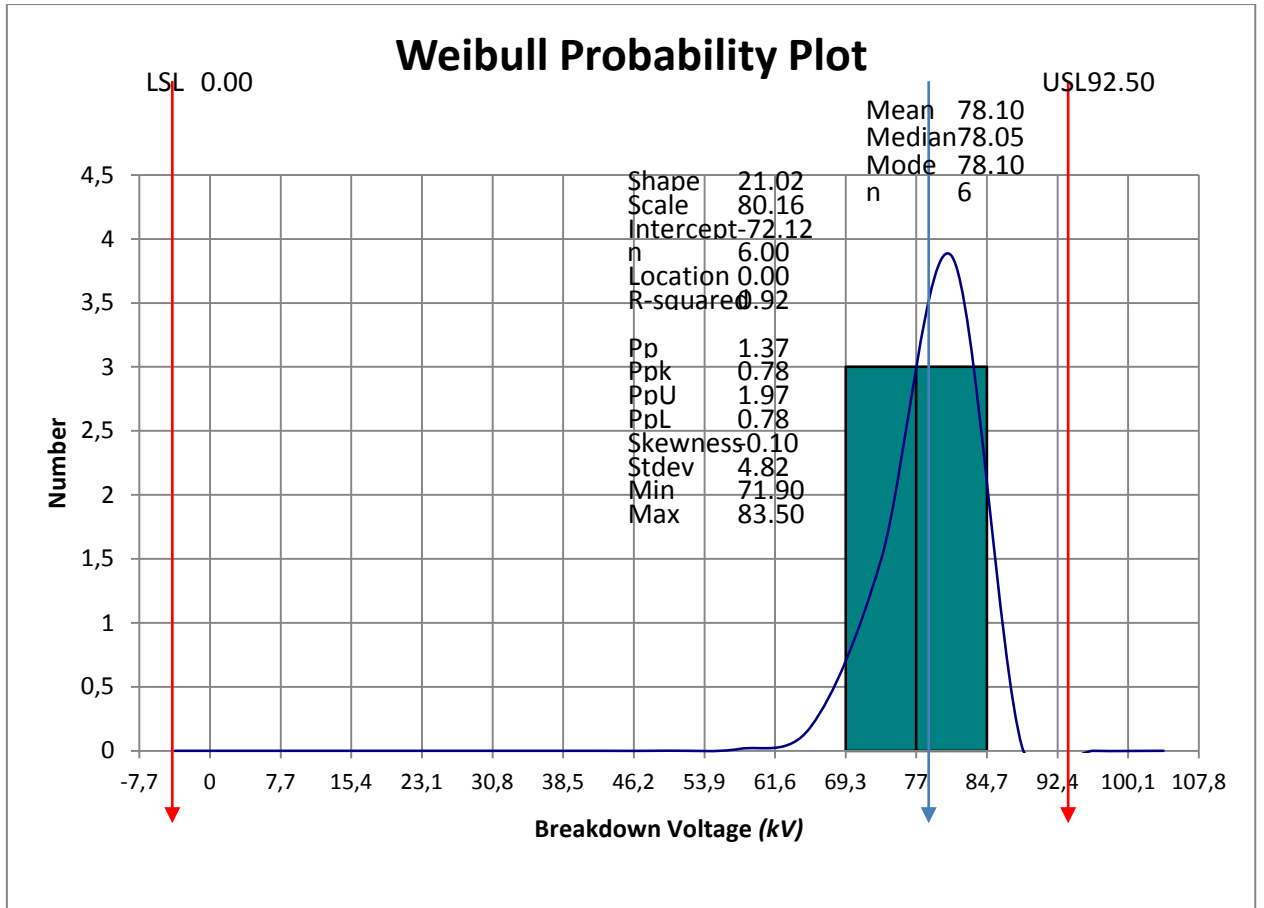
k (parameter shape) = 21.02

λ (parameter scale) = 80.16

$$x = \lambda^{\frac{1}{k}} \Gamma \left(\frac{k + 1}{k} \right) = 78.10$$



Σχήμα 5.1.1-33 δοκιμής No 17



Σχήμα 5.1.1-34 δοκιμής No 17

18° Μετρηση

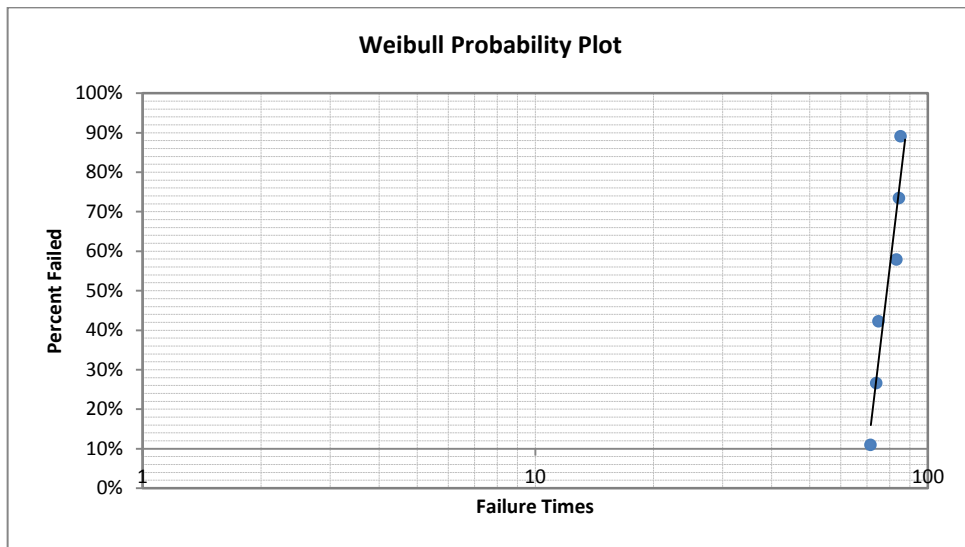
<i>Αριθμός δοκιμής</i>	<i>Ενδείξεις (kV)</i>
1	75.3
2	73.9
3	71.8
4	83.2
5	85.1
6	84.5

Πίνακας 5.1.1.1-18: Ενδείξεις kV ανά δοκιμή

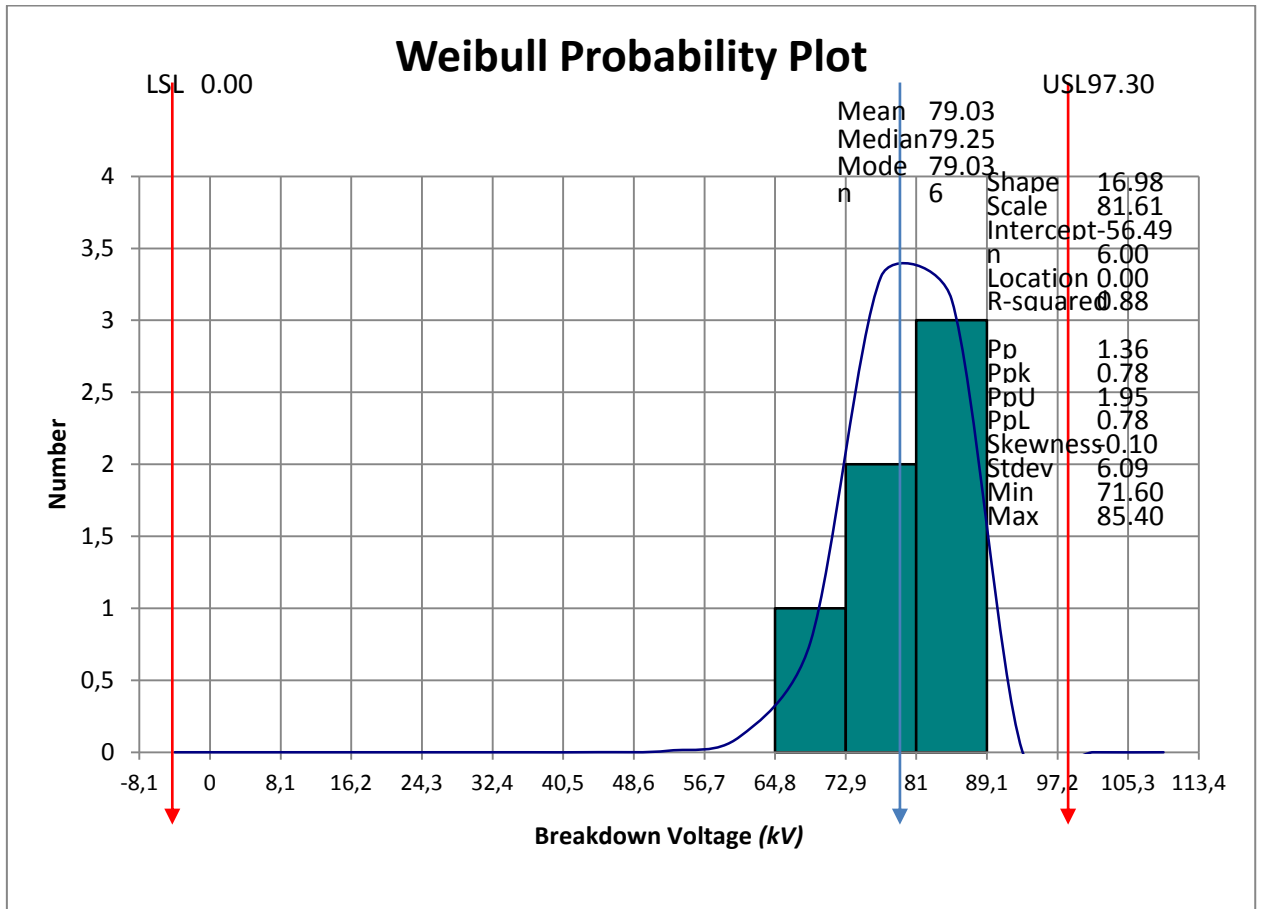
k (parameter shape) = 16.98

λ (parameter scale) = 81.61

$$x = \lambda^{\frac{1}{k}} \Gamma \left(\frac{k + 1}{k} \right) = 79.03$$



Σχήμα 5.1.1-35 δοκιμής No 18



Σχήμα 5.1.1-36 δοκιμής Νο 18

19^ο Μετρηση

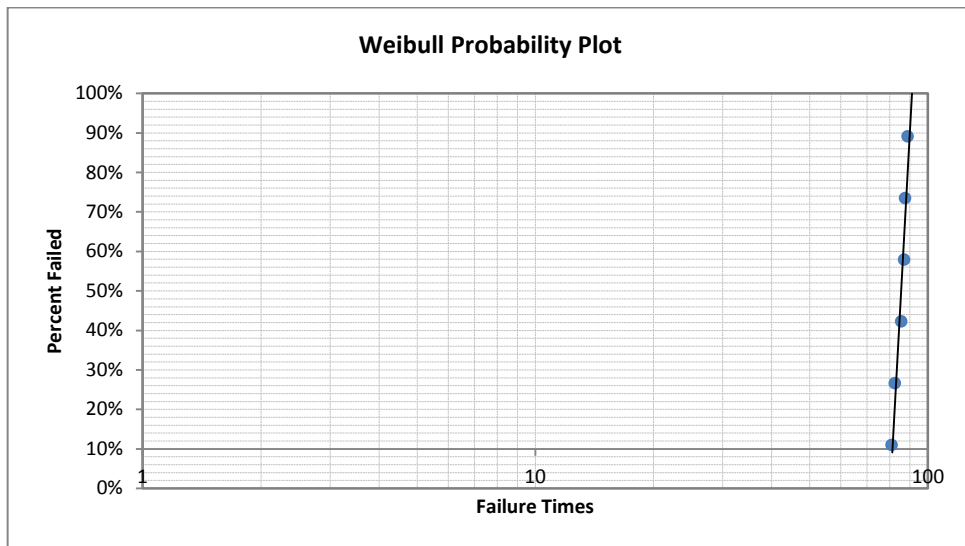
<i>Αριθμός δοκιμής</i>	<i>Ενδείξεις (kV)</i>
1	87.4
2	80.9
3	87.9
4	82.4
5	89.2
6	85.6

Πίνακας 5.1.1.1-19: Ενδείξεις kV ανά δοκιμή

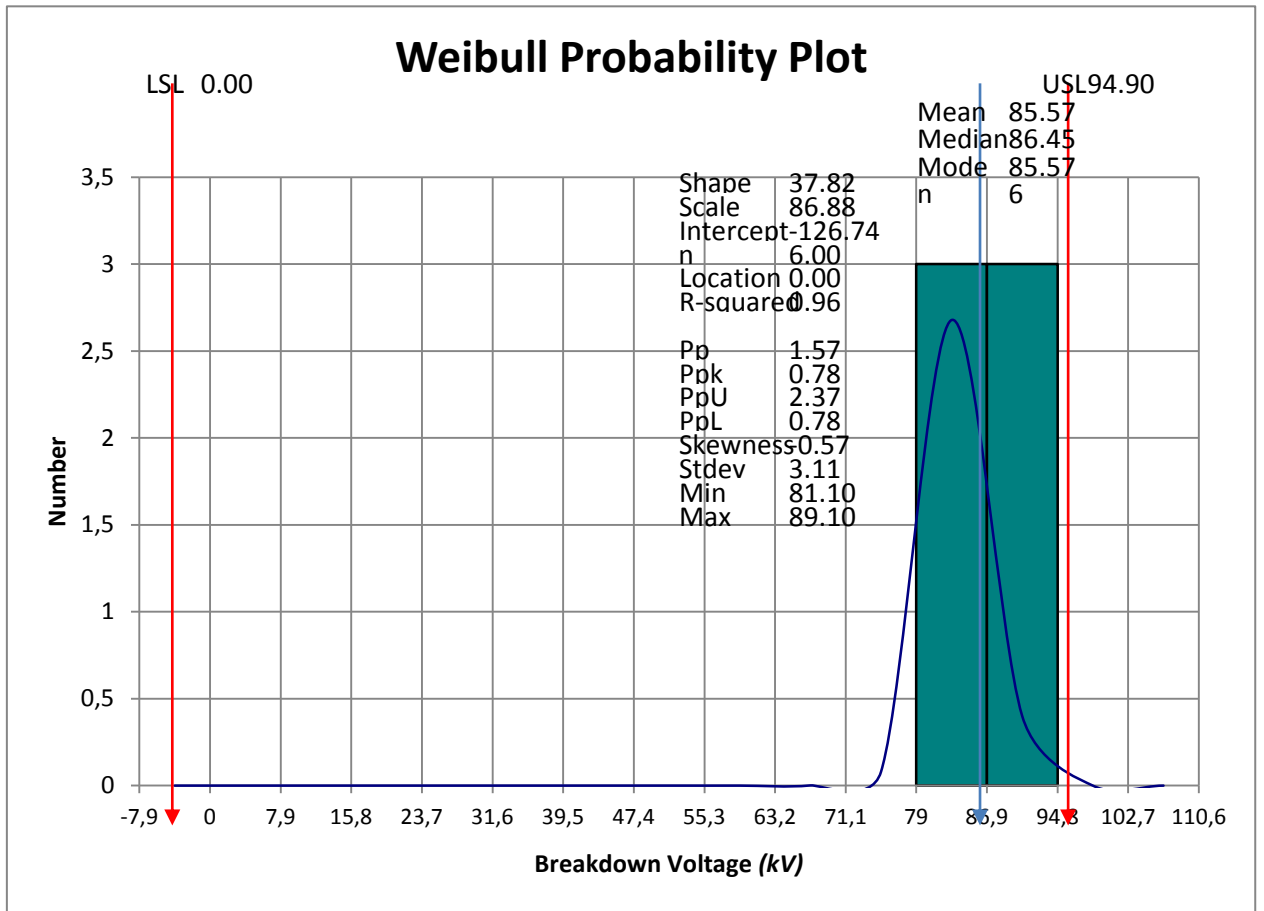
k (parameter shape) = 37.82

λ (parameter scale) = 86.88

$$x = \lambda^{\frac{1}{k}} \Gamma \left(\frac{k + 1}{k} \right) = 85.57$$



Σχήμα 5.1.1-37 δοκιμής No 19



Σχήμα 5.1.1-38 δοκιμής No 19

20° Μετρηση

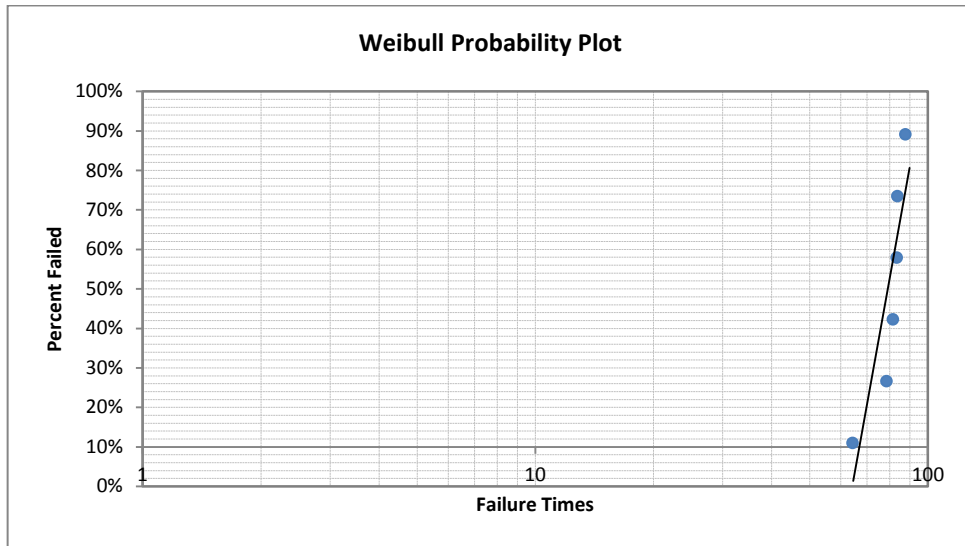
<i>Αριθμός δοκιμής</i>	<i>Ενδείξεις (kV)</i>
1	78.9
2	64.3
3	84.0
4	81.5
5	83.7
6	87.7

Πίνακας 5.1.1.1-20: Ενδείξεις kV ανά δοκιμή

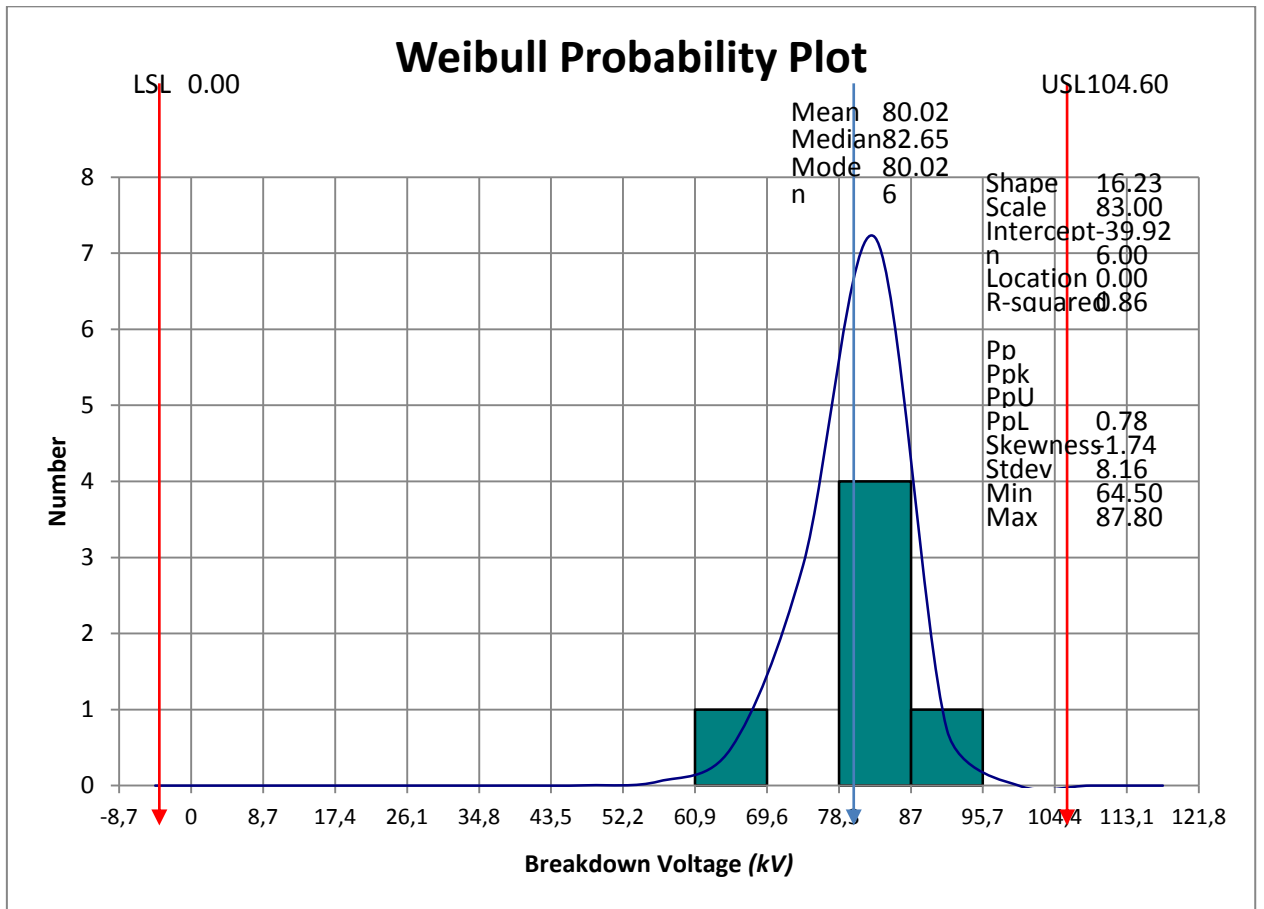
k (parameter shape) = 16.23

λ (parameter scale) = 83.00

$$x = \lambda^{\frac{1}{k}} \Gamma \left(\frac{k + 1}{k} \right) = 80.02$$



Σχήμα 5.1.1-39 δοκιμής No 20



Σχήμα 5.1.1-40 δοκιμής Νο 20

6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ”

Στο τελευταίο κεφάλαιο της πειραματικής διαδικασίας, πραγματοποιήσαμε εικοσι τρεις διαφορετικές μετρήσεις διηλεκτρικής αντοχής στα μονωτικά λάδια. Κάναμε χρήση της ίδιας προδιαγραφής για τις δοκιμές που εφαρμόσαμε στα μονωτικά λάδια ξεχωριστά.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η μηχανική καταπόνηση του μονωτικού ελαίου κάποιο χρονικό διάστημα προκαλεί μείωση της διηλεκτρικής αντοχής του. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στη δημιουργία φυσαλίδων αέρα που επιμηκύνονται προς την κατεύθυνση του πεδίου. Όταν η πτώση τάσης στο εσωτερικό της φυσαλίδας φθάσει μία κρίσιμη τιμή, συμβαίνει μερική εκκένωση με αποτέλεσμα την πιθανή διάσπαση του ελαίου.

Κατά την μελέτη των γραφημάτων παρατηρούμαι, ότι σε έντεκα μετρήσεις απο τις εικοσι τρεις τα αποτελέσματα που προκύπτουν αποδεικνύουν την αλλοίωση των μονωτικών λαδιών. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι οι συγκεκριμένες έντεκα μετρήσεις φανερώνουν ότι το μονωτικό λάδι καθίσταται λιγότερο αξιόπιστο σε σχέση με την σταθερότητά του στις τιμές της τάσης διάσπασης.

Στις περιπτώσεις που οι μετρήσεις μας έδειξαν την ελαφρά αλλοίωση των μονωτικών λαδιών, υπέστησαν μείωση της μόνωσης με αποτέλεσμα την γήρανση. Η οποία προκαλείται απο την υγρασία και το οξυγόνο, το επίπεδο οξύτητας του μονωτικού υ-γρού καθώς και με την αύξηση της εφδ μετά από καταπόνηση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ανδρικόπουλος Αθανάσιος, “Διηλεκτρικές δοκιμές σε μονωτικά λάδια”, Διπλωματική εργασία, Αθήνα.
- [2] Νέστορας Αλέξανδρος, “Έλεγχος Διηλεκτρικής Αντοχής Μονωτικού Ελαίου έπειτα από καταπόνηση κατά την μεταφορά του” Διπλωματική εργασία, Αθήνα (2011).
- [3] Σαμοίλης Β.Γ, “**Μονωτικά λάδια**” Αθήνα (1979).
- [4] Ψωμόπουλος Κ., Σημειώσεις “**Υψηλών τάσεων**” Αιγάλεω, Μάιος 2009.
- [5] Τσιακτσήρα. Δ Ι., “Διηλεκτρικές ιδιότητες ηλεκτρομονωτικών ελαίων. Επίδραση νανοσωματιδιακής ρύπανσης”, Διπλωματική εργασία, Αθήνα (2011).
- [6] C.T. Dervos, C.D. Paraskevas, P. Skafidas and P. Vassiliou, “Dielectric characterization of power transformer oils as a diagnostic life prediction method” IEEE-EI Mag., Vol. 21, No.1, pp.11-19, (2005).
- [7] F. Scatiggio, V. Tumiatti, “Corrosive Sulfur in Insulating Oils: Its Detection and Correlated Power Apparatus Failures”, IEEE-EI Mag., Vol. 23, No.1,(2008).
- [8] G. C. Montanari, G. Mazzanti, L. Simoni, “Progress in Electrothermal Life Modeling of Electrical Insulation during the Last Decades” IEEE., Vol. 9, No.5, pp.1-13, (2002).
- [9] “International standard” CEI/IEC 422
- [10] J.R. Smith, PE ,and P.K. Sen, PE “Corrosive Sulfur in Transformer Oil”
- [11] J. M. Lehr, F. J. Agee, R. Copeland and W. D. Prather “Measurement of the Electric Breakdown Strength of Transformer Oil in the Sub-nanosecond Regime” IEEE-EI Mag., Vol. 5, No.6, pp.1-4, (1998).
- [12] P. B. Ishai, M. S Talary, A. Caduff, E. Levy and Y.Feldman, “ Electrode polarization in dielectric measurements: a review” , pp.21,Meas. Sci. Technol. 24 , (2013).
- [13] R. Maina, V. Tumiatti “Corrosive Sulfur Effects in Transformer Oils and Remedial Procedures ” IEEE., Vol. 16, No.6, pp.5-8, (2009).
- [14] T. V. Oommen “Corrosive and Non-Corrosive Sulfur in Transformer Oils” IEEE AB6 Power T & D Company Inc. Transmission Technology Institute 1021 Main Campus Drive Raleigh, North Carolina 27606.
- [15] V. Tumiatti, R. Maina, F. Scatiggio, M. Pompili and R. Bartnikas “Corrosive Sulphur in Mineral Oils: Its Detection and Correlated Transformer Failures” IEEE. pp.1-3, (2006).

- [16] Weidmann diagnostic solution INC “Dissolved Gas Analysis (DGA) of Insulating Fluids”
- [17] <http://www.wikipedia.org/>
eclass.teipat.gr/eclass/modules/document/file.php/487163/.../TYT%203.ppt
- [18] M.J. Coelho Pontesa, A.M. José Rocha, M.F. Pimentel, C.F. Pereira. “Determining the quality of insulating oils using near infrared spectroscopy and wavelength selection” *Microchemical Journal* 98 (2011) 254–259.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Αθήνα

Ιούνιος - 2016

