



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Αγωγή συμπεριφορά του πανίτη σε ανομοιογενές
ηλεκτρικό πεδίο εντός μονωτικού ελαίου υπό κρουστικές
τάσεις $\pm 10/200\mu\text{s}$**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Ζ. Κουσούλης

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Αγώγιμη συμπεριφορά του πανίτη σε ανομοιογενές
ηλεκτρικό πεδίο εντός μονωτικού ελαίου υπό κρουστικές
τάσεις $\pm 10/200\mu\text{s}$**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Ζ. Κουσούλης

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή την Ιουλίου 2010

.....
Κ. Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ν. Θεωδόρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Μ.Ιωαννίδου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2010

.....
Κουσσούλης Ιωάννης

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

Copyright © Κουσσούλης Ιωάννης, 2010

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος, All rights reserved.

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

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

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των μερικών εκκενώσεων και οι επιπτώσεις αυτών, στον πανίτη σε ανομοιογενές ηλεκτρικό πεδίο εντός μονωτικού ελαίου υπό κρουστικές τάσεις της μορφής $\pm 10/200\mu\text{s}$. Η προαναφερθείσα μελέτη πραγματοποιείται με τη βοήθεια μετρήσεων αλμάτων δυναμικού, λόγω μερικών εκκενώσεων, σε δοκίμια πάχους $d=1\text{ mm}$ και $d=2\text{ mm}$ σε θερμοκρασία 20° C , και στατιστικής μελέτης των μετρήσεων αυτών.

Από τη θέση αυτή επιθυμώ να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου Κωνσταντίνο Καραγιαννόπουλο και Περικλή Μπούρκα για την ανάθεση της παρούσης εργασίας, και την πολύτιμη βοήθεια που προσέφεραν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της. Άλλωστε η θεωρητική ανάλυση που ακολουθεί προέρχεται κυρίως από τα βιβλία «Βιομηχανικές ηλεκτρικές διατάξεις και υλικά» των καθηγητών Π.Μπούρκα- Κ.Γ. Καραγιαννόπουλο και «Μονωτικά υλικά υψηλών τάσεων» του καθηγητή Κ.Θ.Δέρβου.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των μερικών εκκενώσεων και οι επιπτώσεις αυτών, στον πανίτη σε ανομοιογενές ηλεκτρικό πεδίο εντός μονωτικού ελαίου υπό κρουστικές τάσεις της μορφής $\pm 10/200\mu\text{s}$. Η προαναφερθείσα μελέτη πραγματοποιείται με τη βοήθεια μετρήσεων αλμάτων δυναμικού, λόγω μερικών εκκενώσεων, σε δοκίμια πάχους $d=1\text{ mm}$ και $d=2\text{ mm}$ σε θερμοκρασία 20° C , και στατιστικής μελέτης των μετρήσεων αυτών.

Στο πρώτο κεφάλαιο βρίσκεται το θεωρητικό κομμάτι της εργασίας, στο οποίο γίνεται μια περιγραφή των κυριότερων χαρακτηριστικών των μονωτικών υλικών (στερεά, υγρά, αέρια) που χρησιμοποιούνται σήμερα σε πολλές εφαρμογές, αναφέροντας ειδικά τις βασικές ιδιότητες αυτών. Στη συνέχεια, γίνεται εκτενής αναφορά στα στερεά μονωτικά υλικά, στα φαινόμενα πριν και κατά τη διάσπαση των στερεών μονωτικών υλικών καθώς επίσης και ανάλυση της μακροσκοπικής θεωρίας των φαινομένων αυτών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο σκοπό της εργασίας μας, τη διάταξη και γίνεται καταγραφή όλων των σχέσεων και μεγεθών που χρησιμοποιήθηκαν στην εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Έπειτα το κομμάτι αυτής της μελέτης περιλαμβάνει τη στατιστική μελέτη και την αγώγιμη συμπεριφορά του πανίτη εντός μονωτικού ελαίου υπό κρουστικές τάσεις διάφορων μορφών μέσα από συγκεντρωτικούς πίνακες και διαγράμματα των αντίστοιχων μεγεθών.

Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται προσπάθεια για μια μαθηματική προσέγγιση των προηγούμενων πειραματικών αποτελεσμάτων (δηλ. εκθετική προσέγγιση για κάθε διάγραμμα) καθώς επίσης και η φυσική τους ερμηνεία μέσα από κάποια συμπεράσματα.

Στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται αναφορά στη συμβολή της εργασίας στην έρευνα και τις πρακτικές εφαρμογές.

Στο τέλος της εργασίας παρατίθεται και η βιβλιογραφία από την οποία αντλήθηκαν όλα τα θεωρητικά στοιχεία που την συνοδεύουν στην εισαγωγή για την πληρέστερη και καλύτερη κατανόηση της εργασίας.

Λέξεις κλειδιά

Πανίτης, Μονωτικά υλικά, Διάσπαση μόνωσης, Μερικές εκκενώσεις, Γήρανση υλικών, Κρουστική τάση.

Abstract

The scope of this thesis is the study of partial evacuations at panitis in a heterogeneous electric field in insulating oil under impactive voltage of form of $\pm 10/200\mu\text{s}$. This is accomplished through different series of measurements of voltage alternations due to partial evacuations on samples of $d=1\text{mm}$ and $d=2\text{mm}$ thickness in at 20°C temperature, and statistical study of these measurements.

Initially, in the theoretical part of the thesis is a description of the main characteristics of insulating materials (solid, liquid, gas) that are used today in a lot of applications, reporting the basic attributes of these. In continuation we make a comprehensive reference to solid insulating materials, phenomena before and during decomposition of solid insulating materials as well as macroscopic and quantum mechanics theory of these phenomena.

The second chapter refers to the purpose of our study, the used layout, and it is recording all the equations which were used in the preparation of this study.

Then the next part of this study includes the statistical design and conductive behavior of panitis in insulating oil impulse voltages in various forms through summaries and diagrams of corresponding sizes.

The next chapter attempts a mathematical approach of the previous experimental results (i.e. exponential approach for each graph) as well as their physical interpretation through some conclusions.

In the final chapter we make a reference on the contribution of this study to research and practical applications.

In the end is the bibliography on which the whole thesis is based for a more complete briefing of the reader.

Keywords

*Panitis, Insulating materials, Insulation Division, Partial discharge, Ageing materials
Impulse voltage*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
1.1. Βασικές ιδιότητες μονωτικών υλικών	10
1.2. Στερεά μονωτικά	18
1.2.1. Φαινόμενα προ και κατά τη διάσπαση των στερεών μονωτικών υλικών	19
1.2.2. Μακροσκοπική θεωρία των φαινομένων προ και κατά τη διάσπαση των στερεών μονωτικών	20
1.2.2.1. Η θερμική διάτρηση	21
1.2.2.2. Η ηλεκτρική διάτρηση	22
1.2.2.3. Η διάσπαση λόγω μερικών εκκενώσεων (ηλεκτροχημική διάσπαση ή γήρανση)	24
1.2.2.4. Η θερμοχημική διάτρηση	27
1.2.2.5. Η επιφανειακή διάσπαση και η υπερπήδηση	28
1.2.2.6. Στατιστικές μετρήσεις των μερικών εκκενώσεων	28
1.2.3. Η κβαντομηχανική θεωρία της γήρανσης και της διάσπασης των στερεών μονωτικών	33
1.2.4. Το φάσμα της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κατά τη διάτρηση	35
1.2.5. Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κατά την επιφανειακή διάσπαση	35
2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	39
2.1. Διάταξη του δοκιμίου	39
2.2. Καθορισμός των χαρακτηριστικών που αποτελούν αντικείμενο της εργασίας	40
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	42
3.1. Συγκεντρωτικοί πίνακες μετρήσεων σε κρουστική τάση $+10/200\mu s$ και πάχος $d=1mm$	42
3.2. Συγκεντρωτικοί πίνακες μετρήσεων σε κρουστική τάση $-10/200\mu s$ και πάχος $d=1mm$	51
3.3. Συγκεντρωτικοί πίνακες μετρήσεων σε κρουστική τάση $-10/200\mu s$ και πάχος $d=2mm$	60
3.4. Συγκεντρωτικοί πίνακες μετρήσεων σε κρουστική τάση $+10/200\mu s$ και πάχος $d=2mm$	69
4. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ	78
4.1. Γραμμική προσέγγιση των χαρακτηριστικών με κρουστική τάση $+10/200\mu s$ και πάχος $d=1mm$	78
4.2. Γραμμική προσέγγιση των χαρακτηριστικών με κρουστική τάση $-10/200\mu s$ και πάχος $d=1mm$	85
4.3. Γραμμική προσέγγιση των χαρακτηριστικών με κρουστική τάση $-10/200\mu s$ και πάχος $d=2mm$	91
4.4. Γραμμική προσέγγιση των χαρακτηριστικών με κρουστική τάση $+10/200\mu s$ και πάχος $d=2mm$	97
4.5. Σχόλια – Συμπεράσματα	103
5. ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	121
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	122

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

(Το εισαγωγικό μέρος της εργασίας αυτής προέρχεται κυρίως από τη βιβλιογραφία [1,2,3,4,5])

1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Σκοπός των μονώσεων σε μια ηλεκτροτεχνική κατασκευή είναι ο ηλεκτρικός διαχωρισμός μεταξύ ρευματοφόρων μερών, καθώς και ρευματοφόρων μερών προς γή.

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

Αποτέλεσμα της έλλειψης αξιόλογης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, τα μονωτικά σώματα είναι κατάλληλα για να εμποδίζουν τη δημιουργία ηλεκτρικών ρευμάτων δια μέσου της μάζας τους, και για να διατηρούν τις διαφορές δυναμικού στα διάφορα τμήματα των ηλεκτροτεχνικών διατάξεων και εγκαταστάσεων.

Σκοπός των μονώσεων σε μια ηλεκτροτεχνική κατασκευή είναι ο ηλεκτρικός διαχωρισμός μεταξύ ρευματοφόρων μερών καθώς και των ρευματοφόρων μερών προς τη γη. Έτσι βρίσκουν πολύ σημαντικές χρήσεις, κυρίως ως ηλεκτρικές μονώσεις σε όλες τις ηλεκτρικές εφαρμογές, και ως διηλεκτρικά υλικά στην κατασκευή των πυκνωτών

Με τον όρο **διάσπαση** εννοούμε την αγωγή σύνδεση δύο, μεταξύ τους μονωμένων, ηλεκτροδίων μέσω ηλεκτρικής εκκένωσης. Όταν η διάσπαση συμβαίνει με εκκένωση στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ δύο μονωτικών (π.χ.: αέρας-πορσελάνη, βακελίτης-μονωτικό λάδι) τότε ονομάζεται **επιφανειακή διάσπαση** (ή **υπερπήδηση**). Η διάσπαση διά του όγκου ενός μονωτικού υλικού καλείται **διάτρηση**. Η διάσπαση σε περιορισμένο μήκος του μονωτικού ονομάζεται **μερική εκκένωση**. Οι μερικές εκκενώσεις οφείλονται σε θέσεις ανομοιογένειας στον όγκο ή στην επιφάνεια του υλικού (κυρίως φυσαλίδες αερίων στον όγκο του υλικού και διάφορες ξένες επικαθίσεις στην επιφάνεια του: σκόνη, υγρασία, κ.λ.π.). οι μερικές εκκενώσεις στον όγκο ενός στερεού μονωτικού ονομάζονται **εσωτερικές μερικές εκκενώσεις** και εκείνες στην επιφάνεια του **εξωτερικές μερικές εκκενώσεις**. Οι μερικές εκκενώσεις στον αέρα γύρω από γυμνούς αγωγούς έχουν την ξεχωριστή ονομασία **Korona (στεματοειδείς μερικές εκκενώσεις)**.

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

1) Η διηλεκτρική αντοχή

Ως **διηλεκτρική αντοχή** (E_d) ενός μονωτικού υλικού ορίζεται το πηλίκο της ελάχιστης ενεργού τιμής της τάσης για τη διάσπαση (U_{dmin}) προς την απόσταση των ηλεκτροδίων (d) σε ομογενές πεδίο :

$$E_d = U_{dmin} / d \quad (\text{kV/cm}) \quad (1.1-1)$$

Μονωτικό υλικό	d (mm)	E_d (kV/cm)
Αέρας		21
Λάδι μετασχηματιστών		60 ...200
Πορσελάνη	0,5 ... 3	340 ...380
Στεατίτης	0,5 ... 3	200 ...300
Γυαλί	< 1	160 ...450
Χαρτόνι	0,5 ... 1,5	300 ...450
Χαρτί στο λάδι	< 2	200 ...400
Σκληρό ελαστικό	< 3	300 ...500
Ξύλο	< 3	30 ...50
Glimmer	0,01 ... 0,1	500 ...1000

Πίνακας 1.1-1: Διηλεκτρική αντοχή (E_d) για καταπόνηση μικρής χρονικής διάρκειας ορισμένων μονωτικών υλικών σε ομογενές πεδίο συχνότητας 50 Hz

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

2) Η σχετική διηλεκτρική σταθερά

Η **σχετική διηλεκτρική σταθερά** ϵ_r , ή απλούστερα διηλεκτρική σταθερά (επιτρεπτότητα ή διαπερατότητα) ενός υλικού είναι ένα αδιάστατο μέγεθος και εκφράζει το πόσο μεγαλύτερη είναι η χωρητικότητα μιας διάταξης συγκριτικά προς εκείνη στο κενό. Οι σχετικές διηλεκτρικές σταθερές των διαφόρων μονωτικών υλικών, που συνθέτουν μία μόνωση (π.χ. περιελίξεις μετασχηματιστών, μονώσεις καλωδίων) θα πρέπει να επιλέγονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξομαλύνεται το πεδίο στις διαχωριστικές επιφάνειές τους, ώστε να μη διευκολύνεται η εκδήλωση μερικών εκκενώσεων. Αυτός είναι άλλωστε και ο λόγος που ο συνδυασμός του μονωτικού λαδιού και του χαρτιού βρίσκει πολλές πρακτικές εφαρμογές. Τα δύο μονωτικά υλικά έχουν την ίδια περίπου σχετική διηλεκτρική σταθερά με αποτέλεσμα να μην συμβαίνει διάθλαση των πεδιακών γραμμών στη διαχωριστική επιφάνειά τους. Επιπλέον το λάδι εμποτίζει το χαρτί, ώστε να αποκλείεται η ύπαρξη του αέρα ο οποίος

μόνο προβλήματα θα μπορούσε να δημιουργήσει λόγω της μικρής του διηλεκτρικής αντοχής, σύμφωνα με τον Πίνακα 1.1-2.

Υλικό	ϵ_r	Υλικό	ϵ_r
Αέρας (Κανονικές συνθήκες)	1,000594	Πάγος	2 – 3
Αέρας (υγρός)	1,5	Pertinax	4,8 – 5,4
Απεσταγμένο νερό	8	PVC	4 – 6
Βακελίτης	3,5 – 8,2	Plexiglas	2,6 – 3,5
Condasa	4 – 8	Πορσελάνη	5,5 – 6
Glimmer	4 – 8	Presspann	2,5 – 3,4
Γυαλί	5 – 16	Ρητίνη	2,2
Θερμοπλαστικά συνθετικά	2 – 5	SF ₆	1,002049
Μονωτικό λάδι	2 – 2,5	Στεατίτης	6,4
Λάστιχο	2,8 – 6,5	Teflon	2,1
Mikanit	4 – 6	Χαλαζίας	3 – 7
Ξύλο	2,5 – 6,5	Χαρτί	1,8 – 2,6

Πίνακας 1.1-2 : Σχετική διηλεκτρική σταθερά ορισμένων υλικών στους 20 °C

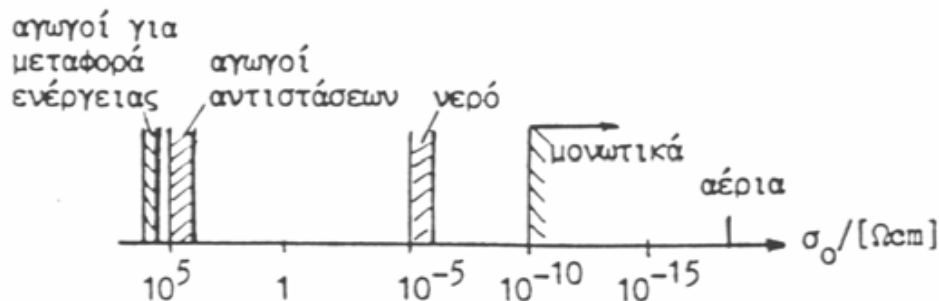
3) Ο συντελεστής απωλειών (tgδ)

Σε μία μόνωση, που παρεμβάλλεται μεταξύ ηλεκτροδίων με σκοπό τη δημιουργία ενός ηλεκτροστατικού πεδίου, υπάρχουν πάντοτε απώλειες ενέργειας, οι οποίες υπό εναλλασσόμενη τάση οφείλονται :

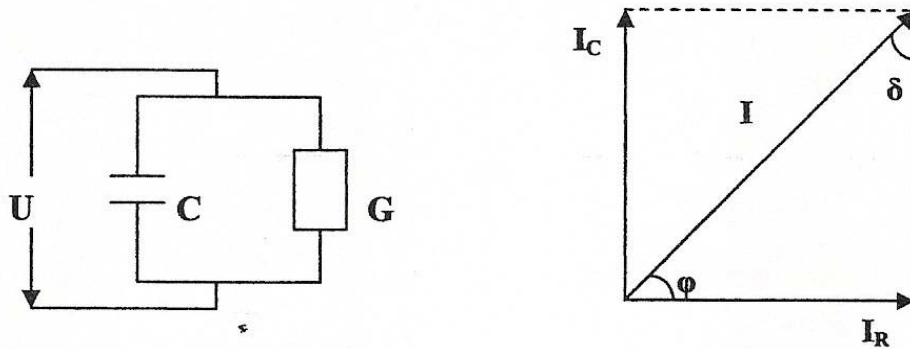
α) στην κατανάλωση ενέργειας κατά τη διαρκή εναλλαγή της φοράς της ηλεκτρικής ροπής των διπόλων στο ρυθμό της εναλλαγής της πολικότητας της εναλλασσόμενης τάσης,

β) στην πολύ μικρή ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα, που έχουν τα μονωτικά υλικά (σχήμα 1.1-1).

Έτσι, ο μονωτής έχει, εκτός από το χωρητικό ρεύμα I_C και ένα ρεύμα διαρροής I_R . Στην πράξη το ρεύμα διαρροής αυξάνει, γιατί η αγωγιμότητα του μονωτή γίνεται μεγαλύτερη, όπως συμβαίνει π.χ. κατά την εκδήλωση μερικών εκκενώσεων, και τη θερμική καταπόνηση του μονωτή από τις απώλειες των αγωγών.



Σχήμα 1.1-1 : Τάξη μεγέθους της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας διαφόρων κατηγοριών υλικών.



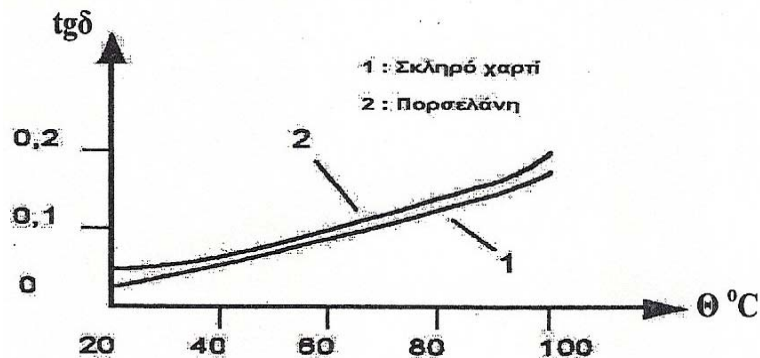
Σχήμα 1.1-2 : Ισοδύναμο κύκλωμα ενός πυκνωτή C με απώλειες λόγω της αγωγιμότητας G

Ο συντελεστής απωλειών :

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{G}{\omega C} \quad (1.1-2)$$

είναι ένα κριτήριο αξιολόγησης του διηλεκτρικού, ή μιας μονωτικής διάταξης γενικότερα, γιατί παρέχει πληροφορίες σχετικά με την αγωγιμότητά του.

Ο συντελεστής απωλειών όπως εξαρτάται και από την θερμοκρασία περιβάλλοντος που είναι το μονωτικό υλικό όπως βλέπουμε και από το Σχήμα 1.1-2



Σχήμα 1.1-3 Αύξηση του συντελεστή απωλειών σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία

Οι απώλειες Joule (P_w) στην αγωγιμότητα είναι :

$$P_w = I_R U = G U^2 = U^2 \nu C \operatorname{tg} \delta = P_B \operatorname{tg} \delta \quad (1.1-3)$$

όπου P_w η άεργος ισχύς στη χωρητικότητα C.

Αν υποθέσουμε, ότι ο παραπάνω πυκνωτής αποτελείται από δύο επίπεδες πλάκες διατομής A σε απόσταση d και ότι ο μεταξύ τους χώρος καταλαμβάνεται από ένα μονωτικό υλικό χωρητικότητας C τότε θα είναι :

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (1.1-4)$$

Για την αγωγιμότητα G του παραπάνω πυκνωτή ισχύει ότι :

$$G = \sigma \frac{A}{d} \quad (1.1-5)$$

όπου σ η ειδική αγωγιμότητα του διηλεκτρικού. Για τις απώλειες του πυκνωτή, σύμφωνα με τις σχέσεις 1.1-3 και 1.1-4 θα είναι :

$$P_w = U^2 \omega \varepsilon \frac{A}{d} \operatorname{tg} \delta \quad (1.1-6)$$

και πολλαπλασιάζοντας και διαιρώντας με την απόσταση d :

$$P_w = (U / d)^2 \omega \cdot \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot (Ad) = (U / d)^2 \omega \cdot \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot V \quad (1.1-7)$$

όπου V ο όγκος του διηλεκτρικού.

Αν θεωρήσουμε ότι ο στοιχειώδης όγκος dV μίας τυχαίας διάταξης ηλεκτροδίων είναι ένας μικρός πυκνωτής επιπέδων πλακών, τότε οι απώλειες Joule της είναι :

$$P_w = \omega \cdot \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot \int (U / d)^2 dV = \omega \cdot \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot \int E^2 dV \quad (1.1-8)$$

4) Η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα

Τα ηλεκτρομονωτικά υλικά έχουν μία πολύ μικρή ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (σχήμα 1.1-1), που εξαρτάται γενικά από τις συνθήκες λειτουργίας τους (τιμή της πεδιακής έντασης, θερμοκρασία, υγρασία, κ.λ.π.). Η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι επομένως ένα σημαντικό κριτήριο αξιολόγησης των διηλεκτρικών, γιατί εκφράζει τους ελεύθερους ηλεκτρικούς φορείς.

Η αύξηση της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα στερεά μονωτικά, σε τιμές πεδίου, που η καταπόνηση του διηλεκτρικού μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μόνο θερμική, δίνεται από την σχέση :

$$\sigma = \sigma_0 e^{-w/kT} = \sigma_0 e^{\beta\theta} \quad (1.1-9)$$

όπου σ_0 : η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα για διαφορά θερμοκρασίας θ ως προς το περιβάλλον

σ : η αρχική ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα

W : η ενέργεια ενεργοποίησης (ενέργεια για τη μεταφορά ηλεκτρονίων από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας)

k : η σταθερά Boltzmann ($1,37 \cdot 10^{-23}$ Ws/°K)

T : η απόλυτη θερμοκρασία

β : ένας συντελεστής του υλικού (π.χ. για το presspan $\beta \approx 0,02$)

Από έρευνες σε οργανικά στερεά μονωτικά συμπεραίνεται, ότι η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα αυξάνει απότομα με την ενέργεια των μερικών εκκενώσεων. Έχει διαπιστωθεί ότι η τιμή της πεδιακής έντασης είναι καθοριστική για την τιμή σ . Μία τιμή πεδιακής έντασης χαρακτηρίζεται ως χαμηλή όταν δεν εκδηλώνονται μερικές εκκενώσεις, ή έστω όταν οι μερικές εκκενώσεις συμμετέχουν μόνο στην αύξηση των απωλειών Joule. Αυτό μπορεί να συμβεί λόγω π.χ. του μεγάλου πάχους του διηλεκτρικού, ή της μικρής τιμής της εφαρμοζόμενης τάσης.

Για μεγαλύτερες τιμές της πεδιακής έντασης από προηγουμένως, η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας οφείλεται κυρίως στις μερικές εκκενώσεις. Έχει διαπιστωθεί, ότι στην περίπτωση αυτή συμβαίνει ιονισμός με κρούσεις, όπως στα ιονισμένα αέρια. Για την

αύξηση της τιμής σ , από τις απώλειες του διηλεκτρικού και τις μερικές εκκενώσεις, έχει διατυπωθεί η σχέση :

$$\sigma = \sigma_0 \frac{\exp(\beta\theta)}{(1 - \delta E)^2} \quad (1.1-10)$$

όπου E η πεδιακή ένταση στο τμήμα του υλικού, που δεν εκδηλώνονται μερικές εκκενώσεις (το οποίο χαρακτηρίζεται ως υγιές τμήμα) και δ ένας συντελεστής, που εκφράζει τη συμμετοχή των ανομοιογενειών του υλικού στη διαμόρφωση της τιμής σ . Για το ομοιογενές υλικό είναι $\delta=0$, διαφορετικά ισχύει $\delta>0$.

Η αγωγιμότητα τέλος των μονωτικών υλικών αυξάνει όταν προσβάλλονται με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η ακτινοβολία X ειδικότερα μπορεί να μετατρέψει ένα μονωτή σε αγωγό. Φαίνεται ότι η ακτινοβολία προκαλεί διαχωρισμό των ηλεκτρονίων από τους μητρικούς τους πυρήνες και ανύψωση των ελεύθερων ηλεκτρονίων σε υψηλότερο ενεργειακό επίπεδο, με αποτέλεσμα την αύξηση της αγωγιμότητας των μονωτικών. Το φαινόμενο αυτό, που είναι γνωστό ως επαγόμενη αγωγιμότητα, αποτελεί πρόβλημα στις διαστημικές κατασκευές, λόγω του υψηλού ποσοστού κοσμικής ακτινοβολίας.

5) Ο συντελεστής $\epsilon_t g \delta$

Για ένα ομοιογενές μονωτικό υλικό σε ομογενές ηλεκτρικό πεδίο ισχύει ότι

$$\epsilon_t g \delta = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \omega} \quad (1.1-11)$$

όπου $\epsilon_0 = 8,857 \text{ pF/m}$ και ω η κυκλική συχνότητα. Στην πράξη χρησιμοποιείται συνηθέστερα το γινόμενο $\epsilon_t g \delta$ για την αξιολόγηση των μονωτικών υλικών. Στον πίνακα 1.1-3 δίνονται οι τιμές $\epsilon_t g \delta$ για ορισμένα υλικά..

Υλικό	Πάχος μόνωσης (mm)	$\epsilon_t g \delta$
Λάδι μετασχηματιστών	-	0,004 ... 0,0046
Πορσελάνη	0,5 ... 3	0,085 ... 0,16
Στεατίτης	0,5 ... 3	0,006 ... 0,02
Γυαλί	< 1	
Χαρτόνι	0,5 ... 1,5	0,03 ... 0,1
Glimmer	0,01 ... 0,1	0,009 ... 0,012

Πίνακας 1.1-3 : Τάξη μεγέθους της τιμής $\epsilon_t g \delta$ για ορισμένα μονωτικά στους 20 °C

6) Η επιφανειακή αγωγιμότητα

Η διηλεκτρική αντοχή των στερεών μονωτικών μειώνεται, όταν η επιφάνειά τους περιλαμβάνει ξένες επικαθίσεις (σκόνη, υγρασία, κ.λ.π.). Το ίδιο συμβαίνει όταν καταπονηθεί θερμικά η επιφάνεια. Έχει διαπιστωθεί, ότι στα φαινόμενα που εκδηλώνονται στην επιφάνεια των στερεών μονωτικών κατά την ηλεκτρική καταπόνησή τους (κυρίως αύξηση των απωλειών Joule και μερικές εκκενώσεις), συμμετέχει η επιφάνειά τους σε πάχος

μέχρι 30Å. Γι' αυτό, η επιφανειακή αγωγιμότητα είναι ένα κριτήριο για την προδιάθεση των διαφόρων στερεών διηλεκτρικών στην εκδήλωση των παραπάνω φαινομένων. Επειδή οι παράγοντες, που προκαλούν αύξηση της επιφανειακής αγωγιμότητας ποικίλουν (ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας), η ειδική επιφανειακή αγωγιμότητα δεν είναι κάποια σταθερά των στερεών μονωτικών.

Η επιφανειακή αγωγιμότητα έχει συσχετιστεί με έννοιες, που αφορούν την αντοχή των στερεών μονωτικών από τις καταπονήσεις στην επιφάνειά τους (όπως : αντοχή σε ρεύμα διαρροής, αντοχή σε ηλεκτρικό τόξο, δυνατότητα απομάκρυνσης των επικαθίσεων κατά τη βροχή κ.λ.π.), που ενδιαφέρουν στην πράξη για την κατασκευή π.χ. μονωτήρων και φλογοθαλάμων διακοπτών. Με κριτήριο π.χ. τη μείωση του ποσοστού της σκόνης συμπεραίνει κανείς, ότι οι μονωτήρες πορσελάνης χρησιμοποιούνται ως εξωτερικού χώρου, έναντι των μονωτήρων ρητίνης (που χρησιμοποιούνται ως εσωτερικού χώρου), γιατί η επιφάνειά τους διευκολύνει περισσότερο στην απομάκρυνση της σκόνης κατά τη βροχή.

Πληροφορίες για τη μέτρηση της επιφανειακής αγωγιμότητας μπορούν να αναζητηθούν στις προδιαγραφές (π.χ. VDE 0303) και στη βιβλιογραφία περί ηλεκτρικών μετρήσεων.

7) Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας

Ένα ακόμα κριτήριο αξιολόγησης των μονωτικών υλικών είναι και ο **συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (λ)**. Η θερμική καταπόνηση των μονωτικών υλικών σχετίζεται με την αύξηση του αριθμού των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων στις περιοχές όπου η πεδιακή ένταση έτυχε να είναι αυξημένη (όπως π.χ. ανομοιογένειες στον όγκο ή στην επιφάνεια των στερεών μονωτικών, ανεπιθύμητα αιωρούμενα σωματίδια στο μονωτικό λάδι, παρουσία υγρασίας στην περίπτωση αέριου μονωτικού). Η θερμότητα για την εκδήλωση των παραπάνω θέσεων διαταραχής υπάρχει πάντοτε κατά τη λειτουργία των διαφόρων κατασκευών (π.χ. : απώλειες joule των αγωγών, απώλειες σιδήρου, θερμότητα στις επαφές των διακοπτών, κλπ.). Γενικά ισχύει ότι η θερμική ειδική αγωγιμότητα (λ) συμβαδίζει με την ηλεκτρική ειδική αγωγιμότητα.

Υλικό	Πάχος μόνωσης (mm)	λ (Wcm / cm ² grad)
Πορσελάνη	0,5 ... 3	0,008 ... 0,015
Στεατίτης	0,5 ... 3	0,02 ... 0,026
Γυαλί	< 1	0,0075 ... 0,012
Ξύλο	< 3	0,001 ... 0,002
Χαρτόνι	0,3 ... 1,5	0,003
Σκληρό ελαστικό	< 3	0,001
Glimmer	< 0,5	0,003
Χαρτί στο λάδι	< 2	0,014 ... 0,03

Πίνακας 1.1-4 : Τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ορισμένων μονωτικών υλικών

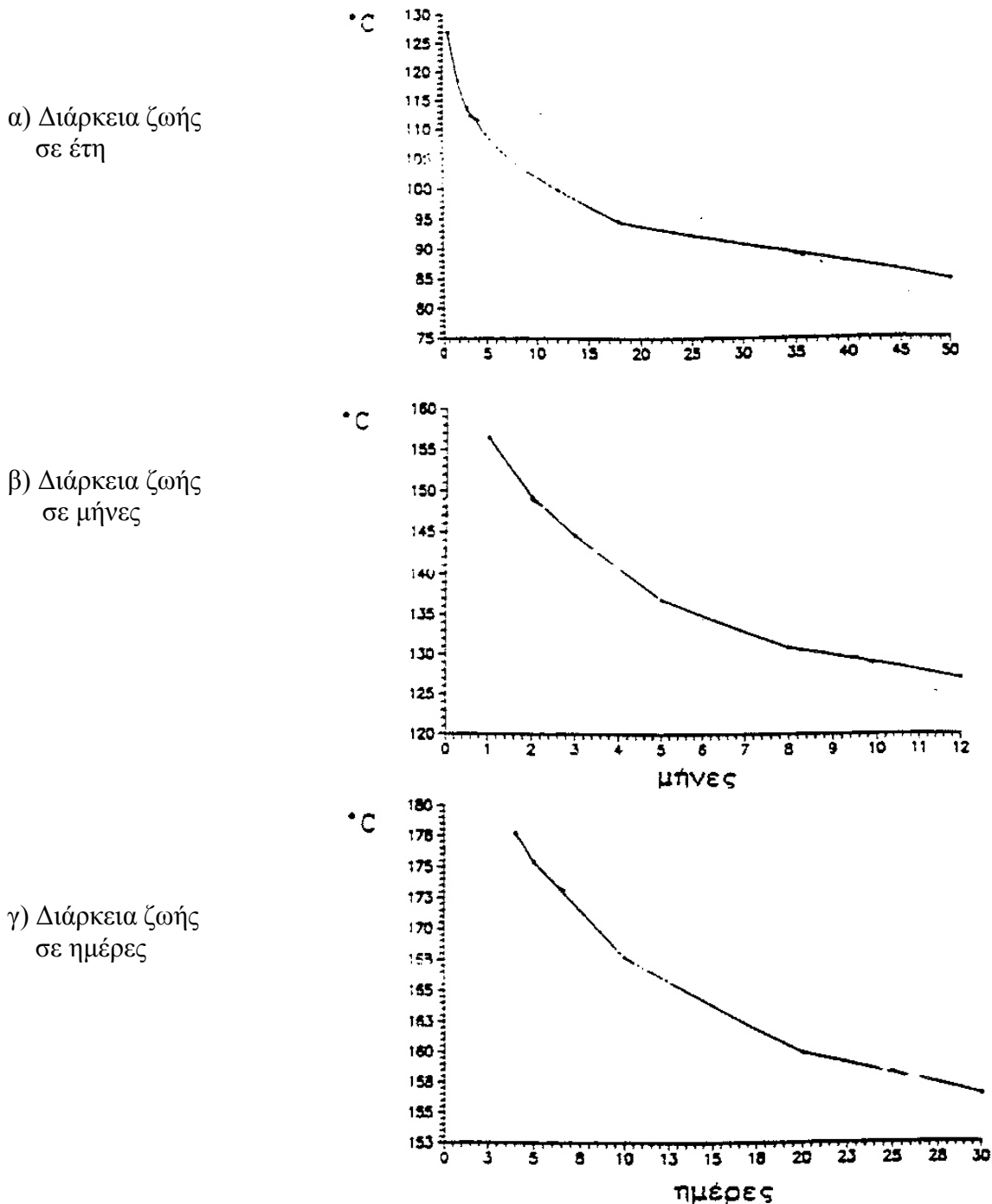
Στις προδιαγραφές IEC και VDE γίνεται μια διαβάθμιση των στερεών μονωτικών ως προς τη μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία λειτουργίας τους. Για την επίδραση της θερμοκρασίας στη διάρκεια ζωής των στερεών μονωτικών υλικών έχουν γίνει αρκετές

έρευνες, που δίνουν χρήσιμες πληροφορίες για τις πρακτικές εφαρμογές. Οι χαρακτηριστικές π.χ. κατά τα σχήματα 1-5 δίνουν τη διάρκεια ζωής του χαρτιού, ανάλογα με τη θερμοκρασία θ. Από μαθηματική προσέγγιση των χαρακτηριστικών αυτών (μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή) ισχύουν αντίστοιχα οι σχέσεις :

α) διάρκεια ζωής σε έτη : $t = 1,15242 \times 10^2 \times e^{-0,00736482 \theta}$ (1.1-12)

β) διάρκεια ζωής σε μήνες : $t = 1,54429 \times 10^2 \times e^{-0,01838 \theta}$ (1.1-13)

γ) διάρκεια ζωής σε ημέρες : $t = 1,78848 \times 10^2 \times e^{-0,00483647 \theta}$ (1.1-14)



Σχήμα 1.1-4 : Διάρκεια ζωής του χαρτιού , ανάλογα με τη θερμοκρασία.

7) Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας

Τελευταία ιδιότητα των μονωτικών υλικών είναι η **μηχανική αντοχή** που έχουν. Σε αρκετές κατασκευές ενδιαφέρουν εκτός από τις ηλεκτρικές ιδιότητες των στερεών μονωτικών και οι μηχανικές ιδιότητές τους, όπως π.χ. τα πλαστικά μέρη του μηχανισμού περιστροφής ενός ασφαλειοαποζεύκτη σε ένα πίνακα μέσης τάσης, η αντοχή σε εφελκυσμό ενός μονωτικού, η δύναμη τάνυσης σε μονωτήρες των γραμμών μεταφοράς. Στις περιπτώσεις αυτές θεωρείται το στερεό μονωτικό ως ένα "μηχανολογικό εξάρτημα", οπότε ισχύουν για τον υπολογισμό του οι κανόνες της μηχανικής αντοχής των υλικών.

Συχνά ενδιαφέρει η μηχανική αντοχή σε πλήρεις κατασκευές, που περιλαμβάνουν στερεά μονωτικά, όταν αυτή ενδέχεται να επηρεάσει τη διηλεκτρική αντοχή από την εξάσκηση μεγάλων δυνάμεων ηλεκτρικής προέλευσης, όπως συμβαίνει κατά το βραχυκύκλωμα (π.χ. πίνακες μέσης τάσης, μετασχηματιστές μεταφοράς και διανομής, μετασχηματιστές μέτρησης στο δίκτυο υψηλών τάσεων, διακόπτες υψηλών τάσεων). Οι δυνάμεις αυτές μπορούν να μειώσουν τις αποστάσεις μόνωσης και να γίνουν αιτία καταστροφής της κατασκευής, όταν δεν υπάρχει η απαιτούμενη μηχανική αντοχή κατά το βραχυκύκλωμα. Η μόνωση π.χ. ενός διακόπτη υψηλής τάσης δεν εξασφαλίζεται μόνο με επιλογή των σωστών αποστάσεων μόνωσης, προς δημιουργία ηλεκτροστατικού πεδίου, όταν η επιδίωξη αυτή δεν συνδυάζεται με την απαιτούμενη μηχανική αντοχή, που θα διασφαλίζει την ικανότητα μόνωσης μέχρι να διακοπεί το βραχυκύκλωμα από το μέσο προστασίας του δικτύου.

1.2 ΣΤΕΡΕΑ ΜΟΝΩΤΙΚΑ

Τα στερεά ηλεκτρομονωτικά υλικά εξαιτίας της σταθερότητας της μοριακής τους δομής δεν έχουν τη δυνατότητα να επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση ύστερα από μία διάσπαση. Η ικανότητα δημιουργίας ιόντων είναι κατά πολύ μικρότερη και η διάτρηση έχει σαν αποτέλεσμα κάποια μόνιμη βλάβη σ' αυτά (κάψιμο, τήξη, μηχανικές κακώσεις, κ.λ.π.). Επίσης, τα φαινόμενα που εκδηλώνονται προ της διάσπασης των στερεών μονωτικών, καθώς και εκείνα κατά την επιφανειακή διάσπαση ή την υπερπήδηση, προκαλούν συνήθως μόνιμες βλάβες σε βάρος της διηλεκτρικής αντοχής των στερεών διηλεκτρικών. Αυτή ακριβώς η ιδιότητα των στερεών μονωτικών, να μην επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση, αλλά να καταστρέφονται κατά τη διάσπαση ή να αποκτούν συνήθως μόνιμες βλάβες (λόγω επιφανειακής διάσπασης, υπερπήδησης και μερικών εκκενώσεων) είναι η βασική δυσκολία για τη μελέτη του μηχανισμού της γήρανσης, της διάσπασής τους.

Τα στερεά μονωτικά χρησιμεύουν στις μονώσεις ηλεκτρικών μηχανών, σε καλώδια, για την κατασκευή μονωτήρων κάθε είδους (όπως μονωτήρες εναέριων γραμμών, διακοπών κ.λ.π.). Επίσης, χρησιμοποιούνται ως διηλεκτρικά υλικά στην κατασκευή των πυκνωτών. Τέλος, πολλές φορές συνδυάζονται με υγρά μονωτικά, όπως ο συνδυασμός χαρτί-λάδι. Ο συνδυασμός στερεού με υγρό μονωτικό αποσκοπεί κυρίως στον εμποτισμό του στερεού μονωτικού με το υγρό, ώστε να αποφεύγονται οι θύλακες αέρα.

1.2.1 ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΠΡΟ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΤΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Από τις διάφορες έρευνες , που έχουν γίνει, για τα φαινόμενα γήρανσης και διάσπασης των στερεών μονωτικών υλικών, μπορεί κανείς να ομαδοποιήσει τις μεθόδους που εφαρμόζονται σε δύο βασικές θεωρίες :

- 1) Τη μακροσκοπική θεωρία των φαινομένων προ και κατά τη διάσπαση των στερεών μονωτικών.
- 2) Τη κβαντομηχανική θεωρία των φαινομένων προ και κατά τη διάσπαση των στερεών μονωτικών.

Σύμφωνα με τη μακροσκοπική θεωρία, τα αποτελέσματα των ερευνών βασίζονται (ή αποσκοπούν) σε κάποιο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα, το οποίο πηγάζει συνήθως από το συνδυασμό των ηλεκτρικών μετρήσεων με οπτικές παρατηρήσεις για την εκδήλωση ακουστικών φωτεινών φαινομένων, καθώς και αλλαγές στην επιφάνεια του υλικού.

Στην κβαντομηχανική θεωρία ενδιαφέρει κυρίως η ενέργεια των ελεύθερων φορέων (κυρίως ηλεκτρόνια), κατά την εξαναγκασμένη επιβράδυνσή τους στα ηλεκτρόδια. Πρόκειται δηλαδή για μία συσχέτιση των φαινομένων προ και κατά τη διάσπαση, με το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας , που εκπέμπεται.

1.2.2 ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΤΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ

Όπως προαναφέρθηκε, τα στερεά μονωτικά αποκτούν συνήθως μόνιμες βλάβες προ της διάσπασης και καταστρέφονται κατά τη διάτρηση. Η ανάγκη για να δοθεί μία εξήγηση στις παραπάνω αλλαγές των υλικών, οδήγησε στην αναζήτηση των διαφόρων παραγόντων, που τις προκαλούν. Έτσι, από μετρήσεις που έχουν γίνει σε διάφορα στερεά μονωτικά (κυρίως μετρήσεις της τάσης διάσπασης σε σχέση με το χρόνο και τη μορφή της τάσης), οι οποίες έχουν συνδυαστεί με παρατηρήσεις σχετικά με την αλλαγή της μοριακής δομής που προκαλείται στα υλικά αυτά, θεωρείται ότι υπάρχουν οι παρακάτω βασικοί παράγοντες μείωσης της σταθερότητας των μορίων τους :

1. Οι απώλειες Joule.
2. Οι δυνάμεις Coulomb.
3. Οι μερικές εκκενώσεις.
4. Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Οι αντίστοιχες προς τους παραπάνω παράγοντες θεωρητικές μορφές της διάτρησης είναι :

1. Η θερμική διάτρηση.
2. Η ηλεκτρική διάτρηση (που διακρίνεται στη δένδροειδή και στην ηλεκτρομηχανική)
3. Η διάσπαση λόγω μερικών εκκενώσεων (ηλεκτροχημική διάσπαση ή γήρανση).
4. Η θερμοχημική διάτρηση.

Στην πράξη βέβαια οι παράγοντες αυτοί συνδυάζονται και υποβοηθούνται από διάφορες ειδικές συνθήκες , που επικρατούν (μορφή ηλεκτρικού πεδίου, περιβάλλον μέσο, κ.λ.π.), έτσι ώστε η αλλαγή της μοριακής δομής να είναι κάποιο από κοινού αποτέλεσμα τους.

1.2.2.1 Η ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ

Η μορφή της διάτρησης αυτής συναντάται κυρίως σε χαμηλές τιμές της τάσης, όταν το στερεό μονωτικό καταπονείται θερμικά μόνο από τις απώλειες Joule. Η εικόνα που παρουσιάζει το θερμικά καταπονούμενο υλικό είναι συνήθως η απανθράκωση και η τήξη του, στην περιοχή όπου οι απώλειες Joule είναι ιδιαίτερα αυξημένες .

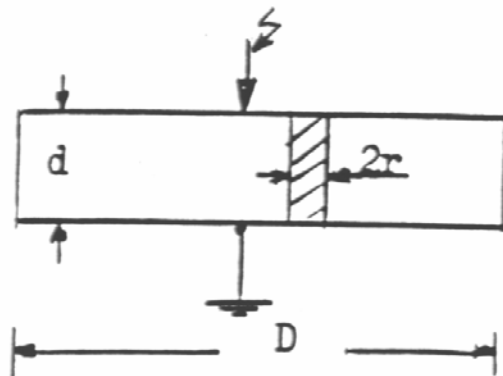
Ο οχετός διάτρησης δημιουργείται, όταν η ειδική αγωγιμότητα σε κάποια θέση του υλικού έχει αποκτήσει την απαιτούμενη για τη διάτρηση οριακή τιμή σ_1 , οπότε έχουμε σύμφωνα με προηγούμενη σχέση (1.1-9)

$$\sigma_1 = \sigma_0 e^{\beta\theta} \quad (1.2.2.1-1)$$

Με την προϋπόθεση σταθερής διατομής (A) του οχετού διάτρησης (σχήμα 1.2.2.1-1) και ειδική αγωγιμότητα σ_1 , η θερμική ισχύς που παράγεται είναι :

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{U^2 \sigma_0 e^{\beta\theta} A}{d} \quad (1.2.2.1-2)$$

όπου U η ενδεικνύμενη τιμή της τάσης, που εφαρμόζεται στα ηλεκτρόδια.



Σχήμα 1.2.2.1-1: Απλοποιημένη παράσταση του οχετού διάτρησης λόγω των απωλειών Joule του στερεού μονωτικού .
 D : διάμετρος δοκιμίου
 d : πάχος του μονωτικού
 2r: διάμετρος του οχετού διάτρησης.

Αν P_a είναι η τιμή της απαγόμενης θερμικής ισχύος, C_0 η θερμοχωρητικότητα και t ο χρόνος, ισχύει γενικά ότι:

$$P = P_a + C_0 (d\theta / dt) \quad (1.2.2.1-3)$$

Η απαγόμενη θερμική ισχύς είναι (για $d \gg r$) :

$$P_a = 2\pi \cdot r \cdot d \cdot \kappa \cdot \theta \quad (1.2.2.1-4)$$

όπου κ ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας.

Στην περίπτωση όμως της θερμικής διάτρησης ισχύει, ότι η θερμική ισχύς που παράγεται είναι ίση με εκείνη που απάγεται, δηλαδή ότι:

$$\frac{U^2 \sigma_0 e^{\beta\theta} A}{d} = 2\pi \cdot r \cdot d \cdot \kappa \cdot \theta \quad (1.2.2.1-5)$$

Η παραπάνω σχέση αποτελείται από δύο συναρτήσεις της θερμοκρασίας ($P=f(\theta)$ και $P_a=f(\theta)$). Για το λόγο αυτό, η οριακή τιμή της τάσης για τη θερμική διάτρηση (U_θ) δίνεται όταν εφάπτονται οι χαρακτηριστικές τους. Έτσι, από τη διαφόριση ως προς θ , τόσο του αριστερού όσο και του δεξιού τμήματος της σχέσης (1.2.2.1-5), έχουμε:

$$\frac{\beta U_\theta^2 \sigma_0 e^{\beta\theta} A}{d} = 2\pi \cdot r \cdot d \cdot \kappa \quad (1.2.2.1-6)$$

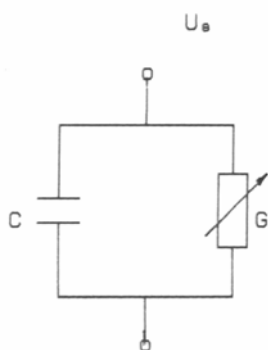
Από τις σχέσεις (1.2.2.1-5) και (1.2.2.1-6) φαίνεται ότι:

$$\beta \cdot \theta = 1 \quad (1.2.2.1-7)$$

$$\text{και } U_\theta = d \sqrt{\frac{2\kappa}{e\beta\sigma_0 r}} \quad (1.2.2.1-8)$$

Την αύξηση των απωλειών Joule του στερεού μονωτικού κατά την εφαρμογή της εναλλασσόμενης τάσης με ενεργό τιμή U_θ μπορεί να παραστήσει κανείς με ένα ισοδύναμο κύκλωμα, κατά το σχήμα 1.2.2.1-2, όπου η αύξηση των απωλειών Joule συμβολίζεται με μία μεταβλητή αγωγιμότητα G .

Η διάτρηση στην τιμή U_θ συμβαίνει, όταν η αγωγιμότητα αποκτήσει (λόγω αύξησης της ειδικής αγωγιμότητας από σ_0 στην τιμή σ_1), μία οριστική τιμή G_{\max} .



Σχήμα 1.2.2.1-2 : Ισοδύναμο κύκλωμα του στερεού μονωτικού λόγω αύξησης των απωλειών Joule.

$$G = G_0 \dots G_{\max}$$

G_0 : αγωγιμότητα του ιδανικού μονωτή.

G_{\max} : αγωγιμότητα για τη διάτρηση.

C : χωρητικότητα του ιδανικού μονωτή.

1.2.2.2 Η ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ

Όταν η ενεργός τιμή της τάσης, που εφαρμόζεται στο δοκίμιο, είναι αρκετά μεγαλύτερη από εκείνη για τη θερμική διάτρηση, τότε η πεδιακή ένταση γίνεται μεγαλύτερη και επομένως μπορεί να αυξηθεί η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων μέσα στο μονωτικό υλικό.

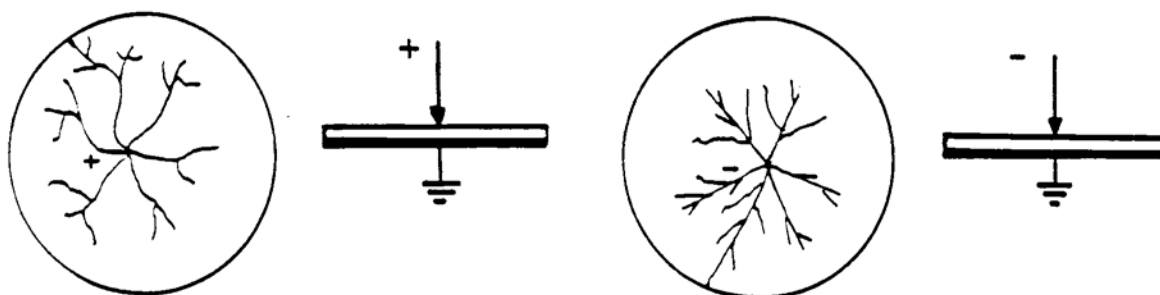
Από μία τιμή της τάσης και μετά η διάτρηση του υλικού αποδίδεται κυρίως στις δυνάμεις Coulomb. Θεωρείται, ότι η διάτρηση οφείλεται σε :

- 1) Αυτοσυντηρούμενο ιονισμό.
- 2) Μηχανική τάνυση του υλικού (διαχωρισμό του σε αρνητικούς και θετικούς φορείς, υπό την επίδραση των δυνάμεων του ηλεκτρικού πεδίου).
- 3) Συνδυασμό των δύο παραπάνω περιπτώσεων.

Η μορφή της διάτρησης αυτής ονομάζεται ηλεκτρική και διακρίνεται ανάλογα με την εικόνα που παρουσιάζει το ηλεκτρικό τόξο κατά τη διάτρηση. Έτσι υπάρχει:

- Η δενδροειδής (θύσανοι κάθετοι προς το ηλεκτρικό πεδίο) μορφή.
- Η μορφή οχετού κατά τη διεύθυνση του πεδίου.

Η **δενδροειδής διάτρηση** είναι ένα θερμικό φαινόμενο μικρότερης χρονικής διάρκειας από εκείνο της θερμικής διάτρησης, γιατί λόγω της μεγαλύτερης τιμής της έντασης, δημιουργούνται ελεύθερα ηλεκτρόνια με κρούσεις. Η εικόνα του υλικού μετά τη διάτρηση σχετίζεται με θερμική καταπόνηση στα ίχνη του δενδρίτη. Η διάτρηση συμβαίνει όταν μία διακλάδωση του δενδρίτη ολοκληρώνει την πλήρη αγωγίμη σύνδεση των ηλεκτροδίων. Στο σχήμα 1.2.2.2-1 δίνεται ένα παράδειγμα για τη μορφή του δενδρίτη, ανάλογα με την πολικότητα της τάσης, για τη δυσμενέστερη περίπτωση των πρακτικών εφαρμογών (δηλαδή την περίπτωση ηλεκτροδίων τύπου ακίδας-πλάκας).



Σχήμα 1.2.2.2-1 : Επεξήγηση της μορφής του δενδρίτη

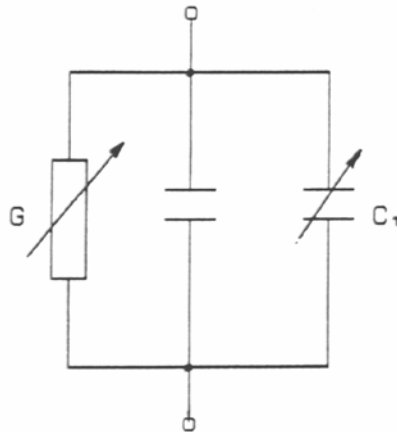
Στην περίπτωση της θετικής ακίδας ο δενδρίτης έχει, λόγω των δυνάμεων Coulomb που εξασκούνται μεταξύ των ελεύθερων αρνητικών ηλεκτρικών φορέων κατά την κίνησή τους προς την ακίδα, αρκετές διακλαδώσεις, κατά κανόνα μη ευθύγραμμες. Όταν όμως η ακίδα είναι αρνητική, οι δυνάμεις απομάκρυνσης μεταξύ των ελεύθερων αρνητικών ηλεκτρικών φορέων είναι, λόγω της μεγάλης ακτίνας, μικρότερες και έτσι οι διαδρομές είναι περίπου οι ακτίνες του κύκλου, των οποίων όμως η λαμπρότητα μειώνεται προς την περιφέρειά του.

Η **διάτρηση υπό μορφή οχετού** (ή **ηλεκτρομηχανική διάτρηση**) οφείλεται στην πολύ μεγαλύτερη τιμή της πεδιακής έντασης, από ότι κατά τη δενδροειδή διάτρηση. Στα πολυμερή υλικά διαχωρίζονται τα μόρια σε αρνητικούς και θετικούς φορείς. Η διάτρηση

συμβαίνει κυρίως από τις δυνάμεις Coulomb, που εξασκούνται μεταξύ ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων και ηλεκτροδίων. Η χρονική διάρκεια του φαινομένου είναι μερικά μs . Η εικόνα που παρουσιάζει το υλικό είναι κυρίως το αποτέλεσμα μιας ακαριαίας εξάσκησης δυνάμεων, στην περιοχή όπου η πεδιακή ένταση είναι ιδιαίτερα μεγάλη (μηχανική τάση υπό την επίδραση των δυνάμεων του πεδίου).

Κατά την καταπόνηση οργανικών στερεών μονωτικών με κρουστικές τάσεις, έχει διαπιστωθεί, ότι πάνω από μία μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης $U_{\text{κmin}}$, που εφαρμόζεται στο δοκίμιο, συμβαίνει η διάτρηση με μία κρούση υπό μορφή οχτού, αν και η τιμή της πεδιακής έντασης είναι αρκετά μικρότερη από εκείνη κατά την ηλεκτρομηχανική διάτρηση υπό εναλλασσόμενη τάση καταπόνησης. Η μορφή της διάτρησης αυτής χαρακτηρίζεται επίσης ως ηλεκτρομηχανική. Το φαινόμενο έχει αποδοθεί στην απότομη μεταβολή της πεδιακής έντασης, λόγω της οποίας δημιουργούνται ελεύθερα ηλεκτρόνια, με αποτέλεσμα την ηλεκτρομηχανική διάτρηση από τις δυνάμεις Coulomb μεταξύ του αρνητικού ηλεκτροδίου και των θετικών ηλεκτρικών φορέων, που συγκρατούνται στο πλέγμα των μορίων.

Μία ερμηνεία της ηλεκτρικής διάτρησης, μέσω ενός ισοδύναμου κυκλώματος, μπορεί να δοθεί ως ακολούθως :



Σχήμα 1.2.2.2-2: Ισοδύναμο κύκλωμα του στερεού μονωτικού κατά την ηλεκτρική διάτρηση.

C : ιδανική χωρητικότητα.

$C_{\pi}=0...C_{\text{max}}$: χωρητικότητα, που συμβολίζει την πόλωση του στερεού μονωτικού στη θέση θα συμβεί η διάτρηση.

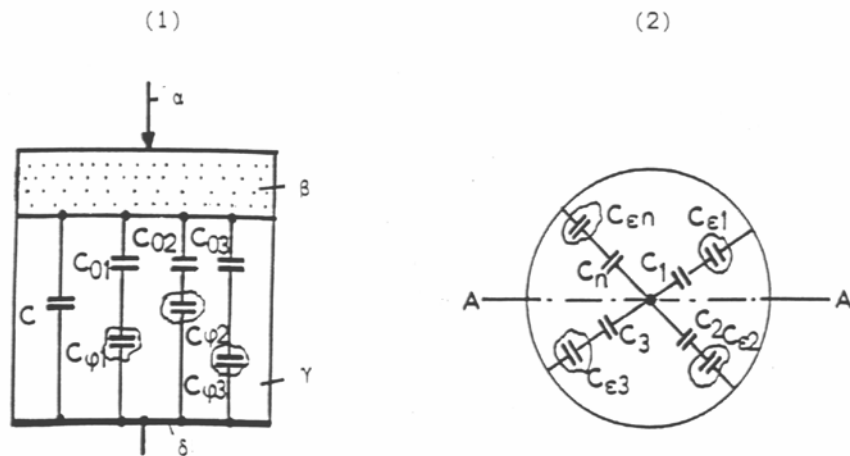
$G=0...G_{\text{max}}$: αγωγιμότητα λόγω αύξησης των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων στη θέση όπου θα συμβεί η διάτρηση.

Όταν από την αύξηση των ηλεκτρικών φορέων, λόγω κάποιας ανομοιογένειας (δεν υπάρχουν πρακτικά ιδανικοί μονωτές), η ειδική αγωγιμότητα έχει αποκτήσει μία κρίσιμη για το υλικό τιμή σ_2 τότε η πόλωση του υλικού είναι αρκετή για να συμβεί η διάτρηση από τις δυνάμεις Coulomb μεταξύ ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων και ηλεκτροδίων. Η πόλωση αυτή του υλικού στην περιοχή, όπου θα συμβεί η διάτρηση, μπορεί να παρασταθεί σε ένα ισοδύναμο κύκλωμα (σχήμα 1.2.2.2-2), ως αύξηση της χωρητικότητας από την παράλληλη σύνδεση ενός μεταβλητού πυκνωτή C_{π} (που συμβολίζει την πόλωση) προς την ιδανική χωρητικότητα C . Όταν η αγωγιμότητα G και ο πυκνωτής C_{π} έχουν αποκτήσει μόλις προ της διάτρησης τις τιμές G_{max} και C_{max} (που αντιστοιχούν στην κρίσιμη ειδική αγωγιμότητα σ_2 , λόγω κάποιας ανομοιογένειας), τότε συμβαίνει η διάτρηση.

1.2.2.3 Η ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΛΟΓΩ ΜΕΡΙΚΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ (ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗ Η ΓΗΡΑΝΣΗ)

α) Γενικά περί μερικών εκκενώσεων

Η διάσπαση των στερεών μονωτικών έχει, στις περισσότερες περιπτώσεις, την αφετηρία της στις μερικές εκκενώσεις στην επιφάνεια και στον όγκο τους. Οι μερικές εκκενώσεις εμφανίζονται σε φυσαλίδες αερίων ή γενικά θέσεις ανομοιογένειας μέσα στον όγκο του μονωτικού (**εσωτερικές μερικές εκκενώσεις**), καθώς και σε θέσεις ανομοιογένειας ή ξένες επικαθίσεις (ηλεκτρικές ακαθαρσίες) στην επιφάνειά του (**εξωτερικές εκκενώσεις**). Μία μακροσκοπική παράσταση των θέσεων διαταραχής δίνεται στο σχήμα 1.2.2.3-1. Σύμφωνα με αυτό, οι επιφανειακές θέσεις διαταραχής έχουν παρασταθεί με τους πυκνωτές $C_{\varepsilon 1} \dots C_{\varepsilon n}$ και οι εσωτερικές με τους πυκνωτές $C_{\varphi 1} \dots C_{\varphi n}$. Οι πυκνωτές $C_1 \dots C_n$ και $C_{01} \dots C_{0n}$ παριστάνουν αντίστοιχα το υπόλοιπο υγιές τμήμα του μονωτικού (κάθε ένας από αυτούς δίνει την ολική χωρητικότητα δύο πυκνωτών, εκ των οποίων ο ένας είναι η χωρητικότητα μεταξύ ακίδας και της θέσης διαταραχής και ο άλλος η χωρητικότητα μεταξύ της πλάκας και της θέσης διαταραχής)



Σχήμα 1.2.2.3-1: Μία μακροσκοπική παράσταση των θέσεων διαταραχής σε στερεό μονωτικό εντός μονωτικού ελαίου

1) Τομή A-A της διάταξης πειραματισμού :

α : ηλεκτρόδιο ακίδα.

β: επιφανειακό φιλμ του μονωτικού ελαίου και επιφάνεια του στερεού μονωτικού.

γ : στερεό μονωτικό.

δ : ηλεκτρόδιο πλάκα

2) Κάτοψη της διάταξης πειραματισμού :

$C_1 \dots C_n$: πυκνωτές του "υγιούς" τμήματος της επιφάνειας του στερεού μονωτικού και του επιφανειακού φιλμ ελαίου.

$C_{\varepsilon 1} \dots C_{\varepsilon n}$: πυκνωτές επιφανειακών (εξωτερικών) θέσεων διαταραχής

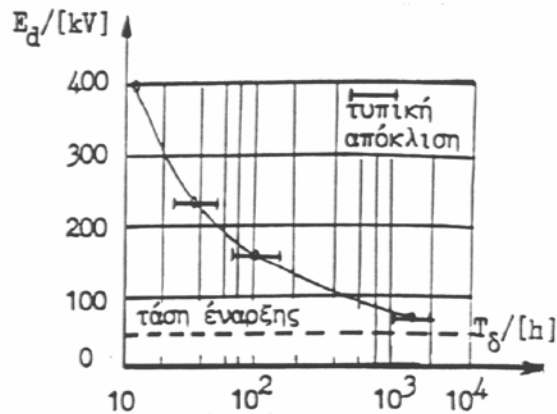
C : ιδανική χωρητικότητα της διάταξης.

$C_{\varphi 1} \dots C_{\varphi n}$: πυκνωτές εσωτερικών θέσεων διαταραχής (κυρίως φυσαλίδες αερίων).

$C_{01} \dots C_{0n}$: πυκνωτές του "υγιούς" τμήματος του στερεού μονωτικού.

Από τη στιγμή της έναρξης των μερικών εκκενώσεων προκαλείται συνήθως σταδιακή αλλαγή της μοριακής δομής του στερεού μονωτικού, η οποία είναι ιδιαίτερα έντονη σε περιορισμένο τμήμα του, όπου δηλαδή έτυχε οι θέσεις ανομοιογένειας να είναι περισσότερο αγωγίμες. Πρόκειται για ένα ηλεκτροχημικό φαινόμενο, που σε κάποιο απροσδιόριστο χρονικό διάστημα οδηγεί στη διάσπαση του στερεού μονωτικού.

Συγκριτικά με τις άλλες μορφές διάσπασης, η ηλεκτροχημική διάσπαση προκαλεί βαθμιαία μείωση της ηλεκτρικής αντοχής, ανάλογα με το ρυθμό αύξησης της χημικής μεταβολής και είναι συνήθως μακροπρόθεσμη, γι' αυτό ονομάζεται και γήρανση του μονωτικού υλικού. Στο σχήμα 1.2.2.3-2 δίνεται ένα παράδειγμα μείωσης της διηλεκτρικής αντοχής, λόγω γήρανσης του υλικού από τη μεγαλύτερη συμμετοχή των θέσεων διαταραχής.



Σχήμα 1.2.2.3-3: Σχηματική παράσταση και ισοδύναμο κύκλωμα ενός στερεού μονωτικού με φυσαλίδα αερίου στον όγκο του (κατά Gemant και Philipoff).

α : σχηματική παράσταση.

β : ισοδύναμο κύκλωμα.

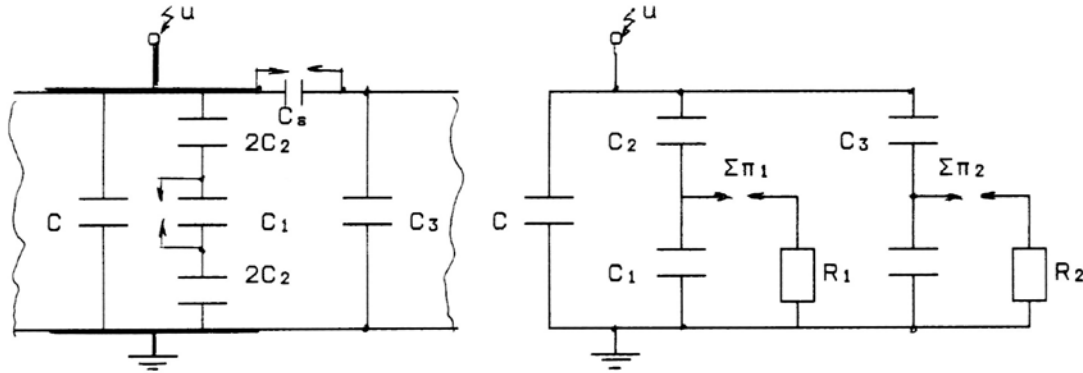
C : ιδανική χωρητικότητα της διάταξης.

C_1 : χωρητικότητα της φυσαλίδας.

C_2 : χωρητικότητα του υπόλοιπου υγιούς τμήματος του στερεού μονωτικού.

R_1 : αντίσταση του τόξου του σπινθηριστή $\Sigma_{\pi 1}$.

Στο επόμενο σχήμα 1.2.2.3-4 έχει συμπληρωθεί το μακροσκοπικό αυτό μοντέλο και για τις εξωτερικές μερικές εκκενώσεις, που οφείλονται σε θέσεις διαταραχής στην επιφάνεια του υλικού. Η ύπαρξη των εσωτερικών και εξωτερικών εκκενώσεων παριστάνεται στο ισοδύναμο κύκλωμα με την αύξηση της χωρητικότητας, η οποία επιτυγχάνεται αντίστοιχα κατά τη διάσπαση της φυσαλίδας (C_1) και του πυκνωτή εξωτερικών μερικών εκκενώσεων (C_e). Με τον τρόπο δηλαδή αυτό γίνεται παράλληλη σύνδεση του υπόλοιπου "υγιούς τμήματος" του μονωτικού (C_2 και C_3 αντίστοιχα) προς την ιδανική χωρητικότητα C . Οι σπινθήρες $\Sigma_{\pi 1}$ και $\Sigma_{\pi 2}$ στα ισοδύναμα κυκλώματα διασπώνται όταν διασπάται η αντίστοιχη θέση διαταραχής. Έτσι, μέσω της αντίστασης του τόξου που σχηματίζεται (R_1 , R_2) γίνεται η εκφόρτιση του αντίστοιχου πυκνωτή διαταραχής (C_1 , C_e). Η εκδήλωση μερικών εκκενώσεων κατά το ισοδύναμο κύκλωμα των Gemant και Philipoff σημαίνει αύξηση της τάσης στους ακροδέκτες της διάταξης, στο ρυθμό που διασπώνται χρονικά οι διάφορες θέσεις διαταραχής. Μπορούμε δηλαδή να υποθέσουμε, ότι οι θέσεις ανομοιογένειας επενεργούν ως ένα είδος διακόπτη. Με βάση την υπόθεση αυτή συναντά κανείς συχνά στη βιβλιογραφία το ισοδύναμο κύκλωμα των μερικών εκκενώσεων κατά το σχήμα 1.2.2.3-5.



Σχήμα 1.2.2.3-4: Σχηματική παράσταση και ισοδύναμο κύκλωμα ενός στερεού μονωτικού με φυσαλίδα αερίου στον όγκο του και με επιφανειακή θέση διαταραχής.

α : σχηματική παράσταση

β : ισοδύναμο κύκλωμα

C : ιδανική χωρητικότητα της διάταξης

C₁: χωρητικότητα της φυσαλίδας

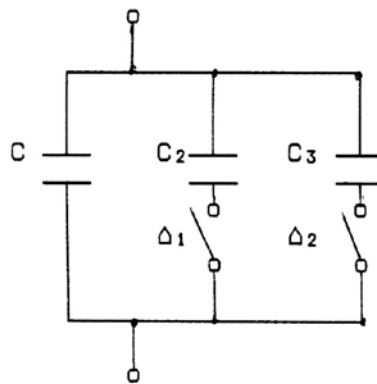
C_ε: χωρητικότητα της επιφανειακής θέσης διαταραχής

C₂: χωρητικότητα του υπόλοιπου υγιούς τμήματος του στερεού μονωτικού

C₃: χωρητικότητα του υπόλοιπου υγιούς τμήματος του επιφανειακού φιλμ

R₁: αντίσταση του τόξου του σπινθηριστή Σπ₁

R₂: αντίσταση του τόξου του σπινθηριστή Σπ₂



Σχήμα 1.2.2.3-5: Ισοδύναμο κύκλωμα των μερικών εκκενώσεων (παραλλαγή του ισοδύναμου κυκλώματος των Gemant και Philipoff).

C : ιδανική χωρητικότητα της διάταξης

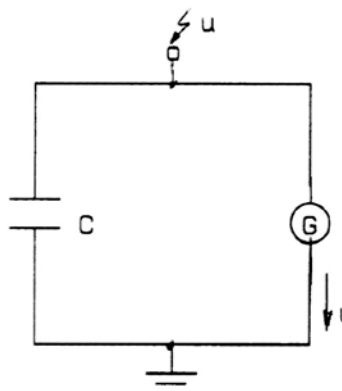
C₂: χωρητικότητα του υγιούς στον όγκο του μονωτικού

C₃: χωρητικότητα του υγιούς στην επιφάνεια του μονωτικού

Δ₁ και Δ₂ : διακόπτες, που όταν κλείνουν συμβολίζουν την διάσπαση αντίστοιχα των εσωτερικών και των εξωτερικών μερικών εκκενώσεων.

Εκτός από το ισοδύναμο κύκλωμα των Gemant και Philipoff, έχουν προταθεί για τη μελέτη του φαινομένου της γήρανσης των στερεών μονωτικών και άλλα μακροσκοπικά ισοδύναμα ηλεκτρικά κυκλώματα, στα οποία λαμβάνονται υπ' όψη η αύξηση της αγωγιμότητας στις πλευρές της φυσαλίδας, οι απώλειες ενέργειας σε αυτές, η αγωγιμότητα του υλικού κ.λ.π. Το ισοδύναμο κύκλωμα κατά Widmann δίνει επίσης μία ικανοποιητική μακροσκοπική ερμηνεία των μερικών εκκενώσεων (σχήμα 1.2.2.3-6). Σύμφωνα με αυτό, οι

θέσεις διαταραχής αποδίδονται ως μία γεννήτρια μερικών εκκενώσεων G . Έτσι, όταν διεγείρεται η γεννήτρια G συμβαίνει αύξηση του δυναμικού στους ακροδέκτες της διάταξης.



Σχήμα 1.2.2.3-6: Ισοδύναμο κύκλωμα των μερικών εκκενώσεων κατά Widmann.

C : ιδανική χωρητικότητα της διάταξης
 G : γεννήτρια μερικών εκκενώσεων

1.2.2.4 Η ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ

Η μείωση της διηλεκτρικής αντοχής είναι δεδομένη κατά την αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος μέσου, γιατί η παραγωγή ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων γίνεται μεγαλύτερη. Στα πολυμερή μονωτικά υλικά μπορούμε να υποθέσουμε ότι εξασθενούν οι δεσμοί των μορίων και επομένως η ενέργεια εξόδου των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων από το πλέγμα των μορίων είναι μικρότερη.

Η διάτρηση που προκαλείται μόνο από τη θερμότητα του περιβάλλοντος του στερεού μονωτικού μέσου, ονομάζεται θερμοχημική. Έχει διαπιστωθεί πειραματικά ότι, μετά από μία τιμή της τάσης, η θερμοχημική διάτρηση δεν αντιμετωπίζεται με την αύξηση του πάχους της μόνωσης.

Η τάση αυτή ονομάζεται θερμική τάση ανατροπής. Η τάση αυτή αποτελεί το κριτήριο για το τεχνικοοικονομικό πάχος των στερεών μονωτικών στις πρακτικές εφαρμογές (όπως μετασχηματιστές, καλώδια κ.λ.π.). Η τιμή της για τα περισσότερα υλικά, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C και καταπόνηση με εναλλασσόμενη τάση 50Hz, είναι της τάξης του 1MV.

Πρόσφατες έρευνες σε στερεά μονωτικά οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η αύξηση της θερμοκρασίας στο περιβάλλον μέσο του στερεού μονωτικού ενισχύει τις μερικές εκκενώσεις, με αποτέλεσμα τη μείωση της διηλεκτρικής αντοχής. Έχει διαπιστωθεί ότι οι μερικές εκκενώσεις εκδηλώνονται, λόγω της θερμότητας του περιβάλλοντος, σε μικρότερες τιμές της τάσης απ' ό,τι σε κανονική θερμοκρασία (20°C), με αποτέλεσμα να συμβαίνει ο ιονισμός διακρούσεως σε αρκετά μικρότερες τιμές του πεδίου απ' ό,τι κατά την καταπόνηση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (20°C).

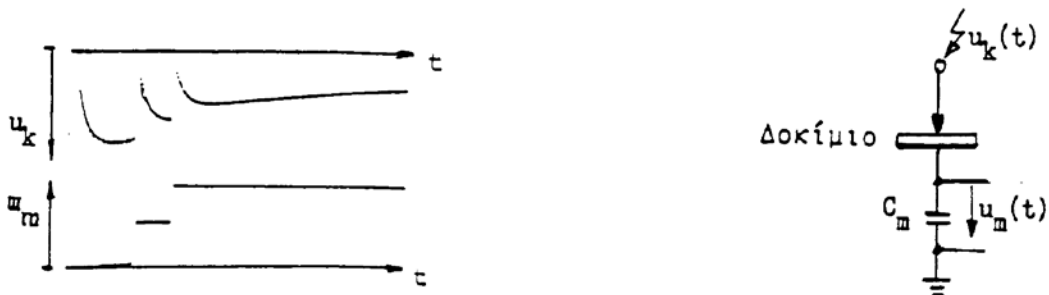
Στην διπλωματική αυτή εργασία δεν λαμβάνεται υπόψη η θερμοχημική διάσπαση, ακριβώς γιατί θεωρείται πως μέσα στο εργαστήριο επικρατεί σταθερή θερμοκρασία περιβάλλοντος.

1.2.2.5 Η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΚΑΙ Η ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗ

Η εκδήλωση των εξωτερικών μερικών εκκενώσεων στη διαχωριστική επιφάνεια του συνδυασμού «στερεό μονωτικό-αέριο μονωτικό», ή του συνδυασμού «στερεό μονωτικό-υγρό μονωτικό» θα οδηγήσει σε επιφανειακή διάσπαση, όταν μία ομάδα ελεύθερων ηλεκτρονίων (η οποία, με βάση τις οπτικές παρατηρήσεις, μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μία διαδρομή της δενδροειδούς φωτεινής ακτινοβολίας, που εκδηλώνεται) θα προκαλέσει μείωση της απόστασης μεταξύ των ηλεκτροδίων (δηλαδή μείωση της απόστασης μόνωσης), ώστε τελικά να συμβεί ένας οχετός διάσπασης στην επιφάνεια του στερεού (επιφανειακή διάσπαση), ή στο περιβάλλον μέσο του (υπερπήδηση).

Από πειράματα είναι γνωστό, ότι στα φαινόμενα παραγωγής ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων (κυρίως ηλεκτρόνια) στην επιφάνεια των στερεών μονωτικών συμμετέχει και η ίδια η επιφάνεια σε βάθος μέχρι 3λ . Έτσι, εκτός από τις εξωτερικές μερικές εκκενώσεις (οι οποίες οφείλονται σε ξένες επικαθίσεις και έχουν συνήθως τον κυρίαρχο ρόλο στη μείωση της διηλεκτρικής αντοχής στην επιφάνεια), μπορεί κανείς να υποθέσει ότι εκδηλώνονται και οι άλλοι παράγοντες (απώλειες Joule, δυνάμεις Coulomb και θερμότητα του περιβάλλοντος), όπως κατά τη διάτρηση.

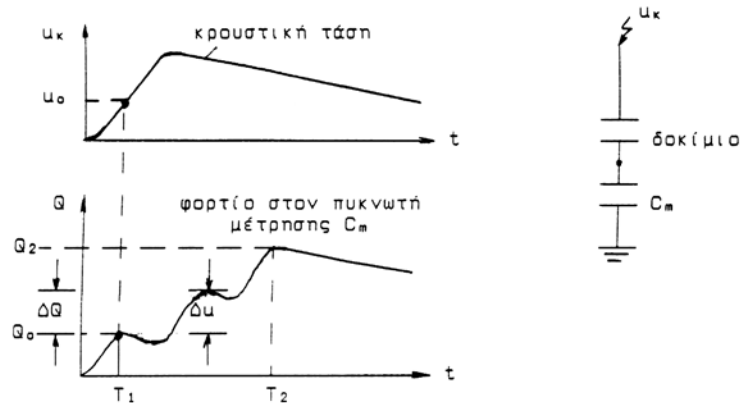
Πειραματικές έρευνες σε στερεά μονωτικά των πρακτικών εφαρμογών με κρουστικές τάσεις, δείχνουν ότι υπάρχει ομοιότητα των παλμογραφημάτων της διάτρησης ως προς εκείνα της επιφανειακής διάσπασης, με τη διαφορά ότι η επιφανειακή διάσπαση εκδηλώνεται στην ουρά της κρουστικής τάσης.



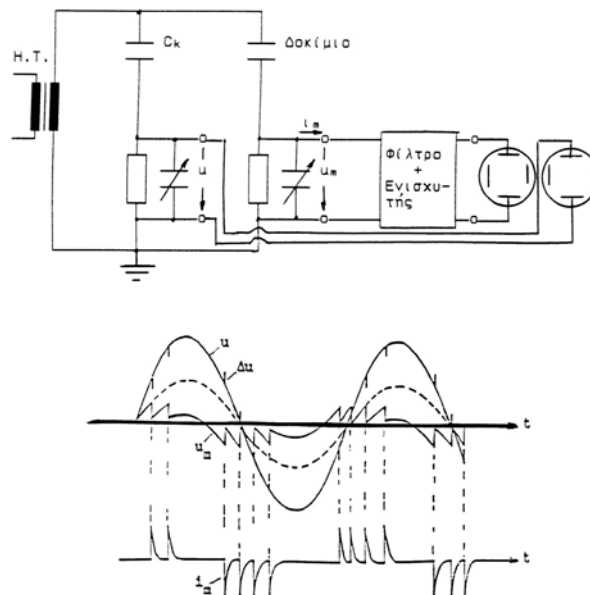
Σχήμα 1.2.2.5 : Τυπικό παλμογράφημα της επιφανειακής διάσπασης πολυμερών στερεών μονωτικών (πάχους 2mm) εντός μονωτικού ελαίου, υπό κρουστική τάση 10/200 μ s και διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα –πλάκα.
 C_m : 1835 nF
 U_k : 70kV

1.2.2.6 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΜΕΡΙΚΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ

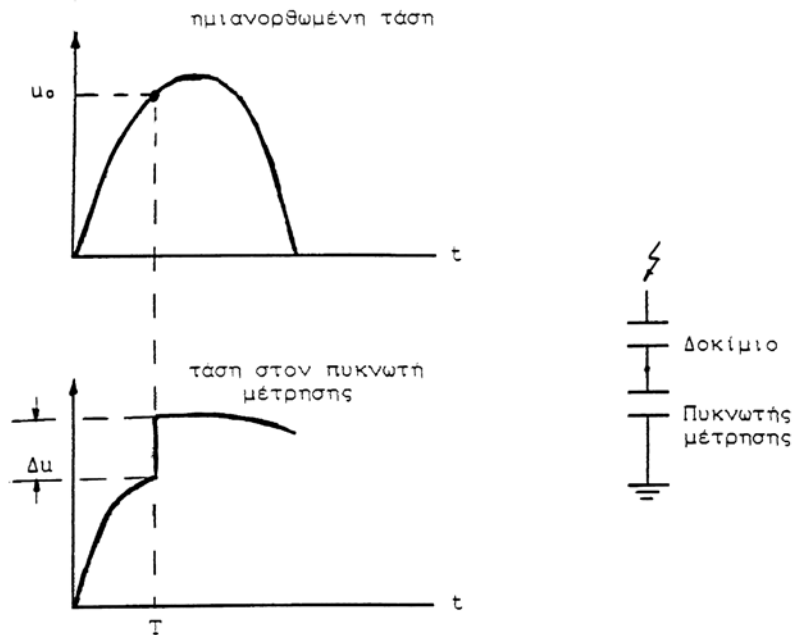
Για την πειραματική έρευνα των μερικών εκκενώσεων, μέσω παλμογραφημάτων (ή μετρήσεων των κυματομορφών σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, μέσω αναλογικού-ψηφιακού μετατροπέα), έχουν προταθεί διάφορες έννοιες, όπως π.χ. στο σχήμα 1.2.2.6-1 για μετρήσεις με κρουστικές τάσεις. Με παρόμοιες σκέψεις, μπορεί κανείς να καθορίσει μεγέθη για τη μελέτη των μερικών εκκενώσεων κατά την καταπόνηση με άλλες μορφές τάσεων, καθώς και με άλλα τετράπολα μέτρησης (συνήθως ωμική αντίσταση, αντί του πυκνωτή, ή συνδυασμός των δύο αυτών στοιχείων μέτρησης, σχήμα 1.2.2.6-2). Στο σχήμα π.χ. 1.2.2.6-3 δίνεται ένα παράδειγμα καθορισμού εννοιών, για παλμογραφήματα των μερικών εκκενώσεων, υπό ημιανορθωμένη τάση καταπόνησης.



Σχήμα 1.2.2.6-1: Παράδειγμα καθορισμού ορισμένων εννοιών για τη στατιστική μελέτη των μερικών εκκενώσεων σε στερεά μονωτικά, των πρακτικών εφαρμογών, υπό κρουστικές τάσεις καταπόνησης.
 T_1 : Χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων.
 T_2 : Χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων.
 Q_0 : Φορτίο έναρξης των μερικών εκκενώσεων.
 Q_2 : Φορτίο περαίωσης των μερικών εκκενώσεων.
 U_k : Στιγμιαία τιμή της εφαρμοζόμενης κρουστικής τάσης.
 U_0 : Τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων (στιγμιαία τιμή).
 ΔU : Άλμα δυναμικού.
 ΔQ : Αύξηση φορτίου.

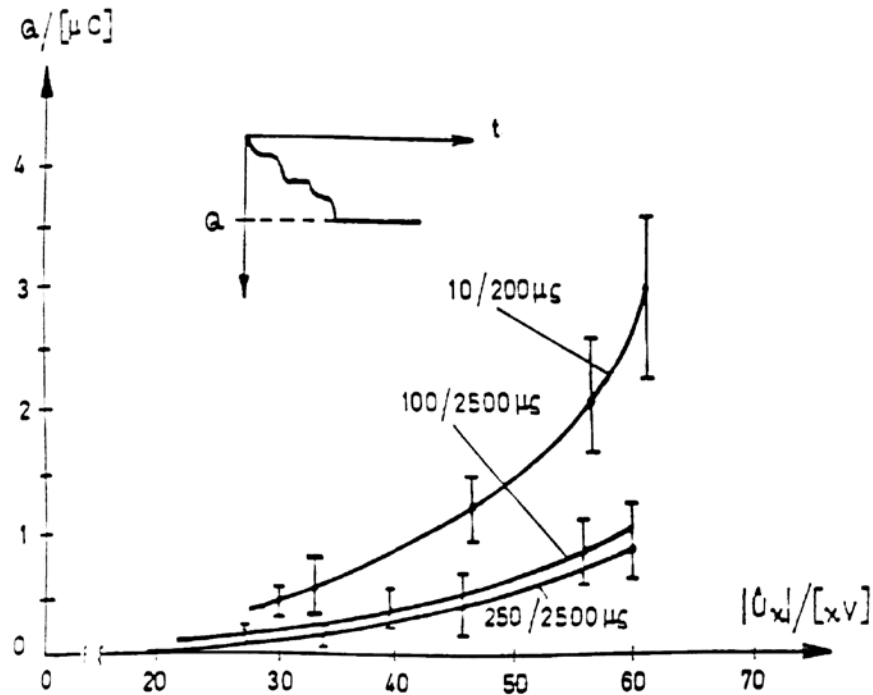


Σχήμα 1.2.2.6-2 : Απλοποιημένο κύκλωμα μέτρησης των μερικών εκκενώσεων μέσω «ωμικού-χωρητικού» τετράπολου μέτρησης, κατά την καταπόνηση του δοκιμίου με εναλλασσόμενη τάση 50 Hz.
H.T.: Μετασχηματιστής υψηλής τάσης.
 C_k : Πυκνωτής υψηλής τάσης.
 U : Στιγμιαία τιμή της εναλλασσόμενης τάσης (η οποία μετράται σε ένα ωμικό-χωρητικό τετράπολο).
 U_m : Στιγμιαία τιμή της τάσης στο ωμικό-χωρητικό τετράπολο
 I_m : Στιγμιαία τιμή του ρεύματος λόγω μερικών εκκενώσεων.
 ΔU : Μεταβολές στην εφαρμοζόμενη τάση λόγω μερικών εκκενώσεων.

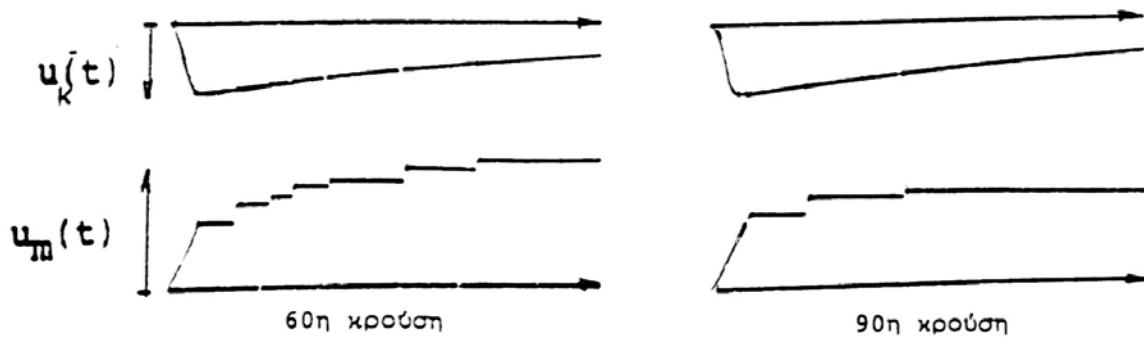


Σχήμα 1.2.2.6-3 : Παράδειγμα καθορισμού ορισμένων εννοιών για την στατιστική μελέτη των μερικών εκκενώσεων σε στερεά μονωτικά, των πρακτικών εφαρμογών, υπό ημιανορθωμένες τάσεις καταπόνησης.
 T_1 : Χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων.
 U_0 : Τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων (στιγμιαία τιμή).
 Δu : άλμα δυναμικού.

Με βάση τις παραπάνω έννοιες έχουν σχεδιαστεί διάφορες χαρακτηριστικές, όπως : η χαρακτηριστική $Q=f(\dot{U}_k)$, η χαρακτηριστική $u_0=f(\dot{U}_k)$, ο χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων σε συνάρτηση με την μέγιστη τιμή της τάσης, κ.λ.π. Οι τιμές των χαρακτηριστικών αυτών βασίζονται συνήθως σε μετρήσεις επί ενός αρκετά μεγάλου αριθμού δοκιμίων. Ιδιαίτερη σημασία έχει η χαρακτηριστική $Q=f(\dot{U}_k)$, η οποία φαίνεται ότι είναι εκθετικής μορφής (σχήμα 1.2.2.6-4), με αποκλίσεις από αυτήν, που έχουν αποδοθεί στη στατιστικότητα των ανομοιογενειών των στερεών μονωτικών, καθώς και στην εκδήλωση και άλλων παραγόντων μείωσης της διηλεκτρικής αντοχής, όπως π.χ. των δυνάμεων Coulomb κατά την καταπόνηση οργανικών στερεών μονωτικών με κρουστικές τάσεις της μορφής $1,2/50\mu s$ ή $10/200\mu s$, όπου παρατηρούνται μηχανικές βλάβες (θραύσματα) στο υλικό σε βάρος της εκδήλωσης των μερικών εκκενώσεων. Στο σχήμα 1.2.2.6-5 δίνεται ένα τυπικό παράδειγμα τεχνητής γήρανσης, από όπου φαίνεται η σημαντική μείωση των αλμάτων δυναμικού κατά την $90^{\text{η}}$ κρούση, ως προς την $60^{\text{η}}$. Από ταυτόχρονες παρατηρήσεις της εικόνας των επιφανειακών διαταραχών, εύκολα διαπιστώνεται, ότι η μείωση των αλμάτων δυναμικού (και επομένως του φορτίου Q στον πυκνωτή μέτρησης) σχετίζεται με τις μηχανικές κακώσεις (θραύσματα) στην επιφάνεια του μονωτικού.



Σχήμα 1.2.2.6-4 : Χαρακτηριστική $Q_2=f(\hat{U}_k)$ για τον βακελίτη (πάχους 2mm), υπό κρουστικές τάσεις 10/200μs, 100/2500μs και 250/2500μs. Περιβάλλον μέσο : μονωτικό λάδι. Διάταξη ηλεκτροδίων : ακίδα-πλάκα. C_m : 1000nF.



Σχήμα 1.2.2.6-5 : Άλματα δυναμικού κατά την 60η και την 90η κρούση στο pertinax (πάχους 2mm). Μορφή τάσης : 1,2/50μs ($\kappa U = 99,7kV$). Περιβάλλον μέσο : μονωτικό λάδι. Διάταξη ηλεκτροδίων : ακίδα-πλάκα. C_m : 210nF.

Ένα σημαντικό αποτέλεσμα των ερευνών του είδους αυτού είναι ο διαχωρισμός μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών μερικών εκκενώσεων στο διάγραμμα της χρονικής μεταβολής της εφαρμοζόμενης τάσης στο στερεό μονωτικό. Έχει διαπιστωθεί ότι:

- 1) οι εσωτερικές μερικές εκκενώσεις εμφανίζονται στην περιοχή μηδενισμού της τάσης, ή γενικότερα στην περιοχή της μέγιστης χρονικής μεταβολής της,
- 2) οι εξωτερικές μερικές εκκενώσεις εμφανίζονται στην περιοχή, όπου δεν μηδενίζεται η τάση.

Τα παραπάνω σημαίνουν π.χ. για καταπονήσεις με κρουστικές τάσεις ότι : οι εσωτερικές μερικές εκκενώσεις εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του μετώπου της κρουστικής τάσης, ενώ οι εξωτερικές μερικές εκκενώσεις κατά τη διάρκεια της ουράς της κρουστικής τάσης.

Μία πειραματική προσέγγιση του παραπάνω διαχωρισμού, μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών μερικών εκκενώσεων, έχει δοθεί από παλμογραφήματα των αλμάτων δυναμικού σε στερεά οργανικά μονωτικά, με κρουστικές τάσεις διαφόρων μορφών (σε περιβάλλον μονωτικού ελαίου και διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα-πλάκα), που συνδυάστηκαν με ταυτόχρονες οπτικές παρατηρήσεις της εικόνας των επιφανειακών διαταραχών.

Στον πίνακα 1.2.2.6-1 δίνονται αποτελέσματα των στατιστικών αυτών μετρήσεων, που αφορούν οργανικά στερεά μονωτικά με $\epsilon_r \sim 2,5-4,5$, από τα οποία συμπεραίνεται ο διαχωρισμός μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών μερικών εκκενώσεων, που προαναφέρθηκε. Φαίνεται επίσης, ότι οι κρουστικές τάσεις μεγάλης χρονικής διάρκειας (τάσεις χειρισμών) προκαλούν κυρίως εσωτερικές μερικές εκκενώσεις (ενισχύοντας έτσι τη γήρανση των στερεών μονωτικών υλικών), ενώ οι κεραυνικές τάσεις (μορφή κρουστικής τάσης 1,2/50μs) σχετίζονται περισσότερο με εξωτερικές μερικές εκκενώσεις.

<i>Μορφή τάσης σε μs</i>	<i>Δενδρίτης</i>	<i>Εικόνα επιφανειακών διαταραχών</i>	<i>Άλματα Δυναμικού</i>	<i>Συμπεράσματα για τις μερικές εκκενώσεις</i>
1,2/50	ΝΑΙ	ΝΑΙ	Στην ουρά	Εξωτερικές μερικές εκκενώσεις
10/200	ΝΑΙ (αλλά μικρότερος από εκείνον κατά την καταπόνηση με κρουστική τάση 1,2/50μs	ΝΑΙ (αλλά μικρότερη από εκείνη κατά την καταπόνηση με κρουστική τάση 1,2/50μs	στην ουρά και στο μέτωπο	εξωτερικές και εσωτερικές μερικές εκκενώσεις
250/2500	ΟΧΙ	ΟΧΙ	Στο μέτωπο	Εσωτερικές μερικές εκκενώσεις

Πίνακας 1.2.2.6-1 : Αποτελέσματα της συσχέτισης μεταξύ εμφάνισης των αλμάτων δυναμικού και της εικόνας των επιφανειακών διαταραχών.

1.2.3 Η ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ ΤΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, η γήρανση και η διάσπαση των στερεών μονωτικών οφείλονται σε τέσσερις βασικούς παράγοντες (απώλειες Joule, μερικές εκκενώσεις, δυνάμεις Coulomb, και θερμότητα του περιβάλλοντος). Οι παράγοντες αυτοί δεν περιλαμβάνουν όμως στοιχεία για φαινόμενα που δεν μπορεί κανείς να ακούσει ή να παρατηρήσει, όπως :

- **ο ιονισμός με κρούσεις**, που πιστεύεται ότι εκδηλώνεται στα στερεά μονωτικά,
- **το μη ορατό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας**, που εκπέμπεται κατά την εξαναγκασμένη επιβράδυνση των παραγόμενων ελεύθερων ηλεκτρονίων στα ηλεκτρόδια.

Τα δύο τελευταία φαινόμενα συσχετίζονται με τις καταπονήσεις και τα φωτεινά φαινόμενα, που παρατηρούνται στα στερεά μονωτικά δίνοντας έτσι περισσότερες πληροφορίες για τη μείωση της διηλεκτρικής αντοχής τους.

Οι πληροφορίες αυτές, καθώς και άλλες, δόθηκαν με κβαντομηχανική ερμηνεία των φαινομένων, που εκδηλώνονται προ και κατά τη διάσπαση των στερεών μονωτικών, η οποία βασίζεται κυρίως :

- στις μετρήσεις των αλμάτων δυναμικού κατά την καταπόνηση στερεών μονωτικών με κρουστικές τάσεις,
- στις κρούσεις φορτίου, που είναι η κυματομορφή (το παλμογράφημα) της πτώσης τάσης σε ένα ωμικό τετράπολο μέτρησης (ως στοιχείο μέτρησης χρησιμοποιήθηκε δηλαδή μία αντίσταση, αντί του πυκνωτή μέτρησης),
- στην ανίχνευση του μη ορατού φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (που εκπέμπεται κατά τη γήρανση και τη διάσπαση),
- στην ικανοποιητική πειραματική και θεωρητική ταύτιση του μηχανισμού παραγωγής των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων.

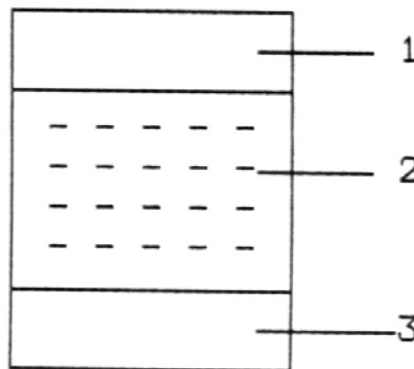
Στη κβαντομηχανική θεωρία ενδιαφέρει κυρίως η **ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων** (κυρίως ηλεκτρόνια). Η τιμή της ενέργειας αυτής, πάνω από την ενέργεια Fermi των ηλεκτροδίων διευκολύνει στην εξαγωγή συμπερασμάτων για τον μηχανισμό παραγωγής των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων. Τα βασικότερα συμπεράσματα από τη θεωρία αυτή είναι :

- 1) Η γήρανση και η διάσπαση, σχετίζονται με εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που παράγεται στο υλικό. Έχει διαπιστωθεί ότι :
 - α) το φάσμα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας κατά τη γήρανση μπορεί να είναι από ακουστικά κύματα μέχρι υπεριώδεις ακτίνες.
 - β) Το φάσμα της παραπάνω ακτινοβολίας κατά τη διάσπαση είναι δυνατό να επεκταθεί σε τιμές της ιονίζουσας περιοχής του (η εκπομπή του φάσματος αυτού προκαλεί την απεικόνιση αντικειμένων στη φωτογραφική πλάκα)
- 2) Καθοριστικός παράγοντας για την δημιουργία ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων είναι η τιμή του πεδίου. Από μετρήσεις σε οργανικά στερεά μονωτικά (με σχετική διηλεκτρική σταθερά 2,5-4,5) έχει διαπιστωθεί ότι οι μερικές εκκενώσεις, υπό κρουστικές τάσεις καταπόνησης, αρχίζουν σε τιμή πεδίου περίπου 0,2MV/cm.
- 3) Για τιμές του πεδίου μέχρι περίπου 0,5MV/cm αυξάνει η ειδική αγωγιμότητα κατά τη σχέση (1.1-9).

- 4) Για μεγαλύτερες τιμές πεδίου από προηγουμένως, οι ελεύθεροι ηλεκτρικοί φορείς γίνονται αρκετά περισσότεροι και δεν ισχύει η σχέση (1.1-9). Στην περίπτωση αυτή η παραγωγή των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων αποδίδεται στον ιονισμό με κρούσεις. Έχει διαπιστωθεί, ότι ο ιονισμός με κρούσεις σχετίζεται με την εκδήλωση αρνητικής διαφορικής αντίστασης στο υλικό. Το φάσμα της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας εξαρτάται από το περίσσειμα της ενέργειας των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων κατά την εξαναγκασμένη επιβράδυνσή τους στα ηλεκτρόδια.

Κατά τη θεωρία αυτή ενδιαφέρουν τα ενεργειακά επίπεδα των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων κατά την εκδήλωση μερικών εκκενώσεων και όχι ο διαχωρισμός των τελευταίων σε εσωτερικές και εξωτερικές. Η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων (κυρίως ηλεκτρόνια), πάνω από την ενέργεια Fermi του ηλεκτροδίου, μπορεί να υπολογιστεί από την ενέργεια στον πυκνωτή μέτρησης C_m ανά άλμα δυναμικού, με την σχέση $W = 0,5q_e\Delta u$, όπου q_e το φορτίο του ηλεκτρονίου και Δu το άλμα δυναμικού). Η σχέση αυτή ισχύει για μηδενική τιμή της ωμικής αντίστασης R από τον πυκνωτή μέτρησης μέχρι και το ηλεκτρόδιο γείωσης.

Μία διαδρομή της δένδροειδούς μορφής εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, αντιστοιχεί σε μία κρούση φορτίου, η οποία περιλαμβάνει ελεύθερα ηλεκτρόνια, που είχαν την ίδια ενεργειακή στάθμη (κατά την άφιξή τους στην άνοδο προκάλεσαν εκπομπή του ίδιου μήκους κύματος). Μπορούμε να υποθέσουμε, λόγω του εύρους της παραπάνω ακτινοβολίας, ότι υπάρχουν στο υλικό διάφορες ενεργειακές στάθμες διαταραχής μέσα στην απαγορευμένη ζώνη, που είναι καθοριστικής σημασίας για την εκδήλωση του ιονισμού (σχήμα 1.2.3-1). Οι στάθμες διαταραχής φαίνεται ότι αντιστοιχούν στις θέσεις διαταραχής του ισοδύναμου κυκλώματος των μερικών εκκενώσεων κατά Gemant και Philipoff (σχήμα 1.2.2.3-3). Από τις στάθμες διαταραχής συμμετέχουν περισσότερο στο φαινόμενο της γήρανσης οι πλησιέστερες προς τη ζώνη αγωγιμότητας.



Σχήμα 1.2.3-1 : Διάγραμμα ενεργειακών ζωνών του ανομοιογενούς στερεού μονωτικού.

1 : ζώνη αγωγιμότητας

2 : στάθμες διαταραχής μέσα στην απαγορευμένη ζώνη

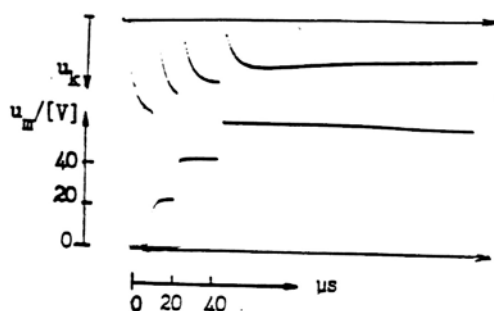
3: ζώνη σθένους

Από πρόσφατες έρευνες, που έχουν γίνει κατά τη γήρανση στερεών μονωτικών των πρακτικών εφαρμογών, υπό εναλλασσόμενη (ή συνεχή) τάση καταπόνησης, διαπιστώνεται επίσης η εκπομπή του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που έχει προαναφερθεί για την τεχνητή γήρανση με κρουστικές τάσεις.

1.2.4 ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΤΗΣ ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ

Η διάτρηση έχει διερευνηθεί με καταπονήσεις στερεών μονωτικών με σχετική διηλεκτρική σταθερά περίπου 2,5~4,5 (διάφορα χαρτιά μετασχηματιστών, πεπιεσμένο χαρτί, βακελίτης, pertinax, πανίτης, κ.λ.π.). Οι τάσεις δοκιμής, που έχουν χρησιμοποιηθεί για την κβαντομηχανική ερμηνεία του μηχανισμού διάτρησης, είναι κυρίως κρουστικής μορφής (1,2/50μs, 10/200μs, 250/2500μs, κ.λ.π.). Πειράματα έχουν γίνει επίσης με εναλλασσόμενες και ημιανορθωμένες τάσεις καταπόνησης.

Ένα τυπικό παλμογράφημα του φαινομένου δίνεται στο σχήμα 1.2.4-1. Η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων (W) υπολογίζεται ότι είναι περίπου 105eV. Μπορούμε επομένως να υποθέσουμε, ότι η διάτρηση σχετίζεται με εκπομπή μαλακών ακτίνων X.



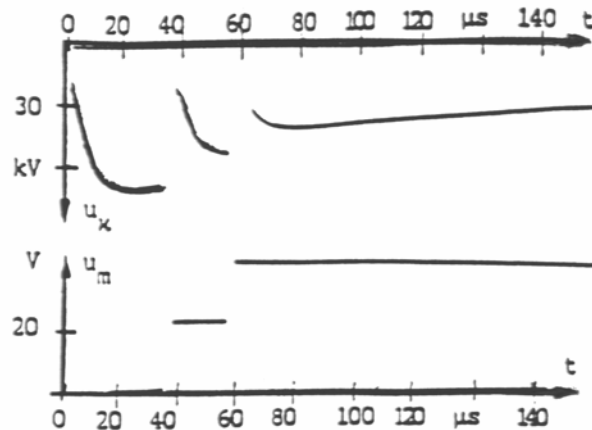
Σχήμα 1.2.4-1 : Τυπικό παλμογράφημα αλμάτων δυναμικού κατά τη διάτρηση πολυμερών στερεών μονωτικών (πάχους 1mm) εντός μονωτικού ελαίου.
 Κρουστική τάση : 1,2/50μs.
 R της ακίδας ~1mm.
 U_k : 85kV.
 E : 1,2 MV/cm.
 C_m : 1835nF.

Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που παράγεται στα στερεά μονωτικά κατά την πραγματοποίηση των πειραμάτων της γήρανσης και της διάτρησης εξαρτάται σημαντικά από τον συντελεστή χρησιμοποίησης της διάταξης των ηλεκτροδίων. Όσο περισσότερο ανομοιογενές είναι το πεδίο, τόσο μειώνεται το εύρος της παραπάνω ακτινοβολίας. Όταν ακίδα έχει π.χ. ακτίνα καμπυλότητας 0,3mm (αντί του ~1mm), τότε (όπως έχει διαπιστωθεί πειραματικά) η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία επεκτείνεται μέχρι το ορατό τμήμα της.

1.2.5 ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗ

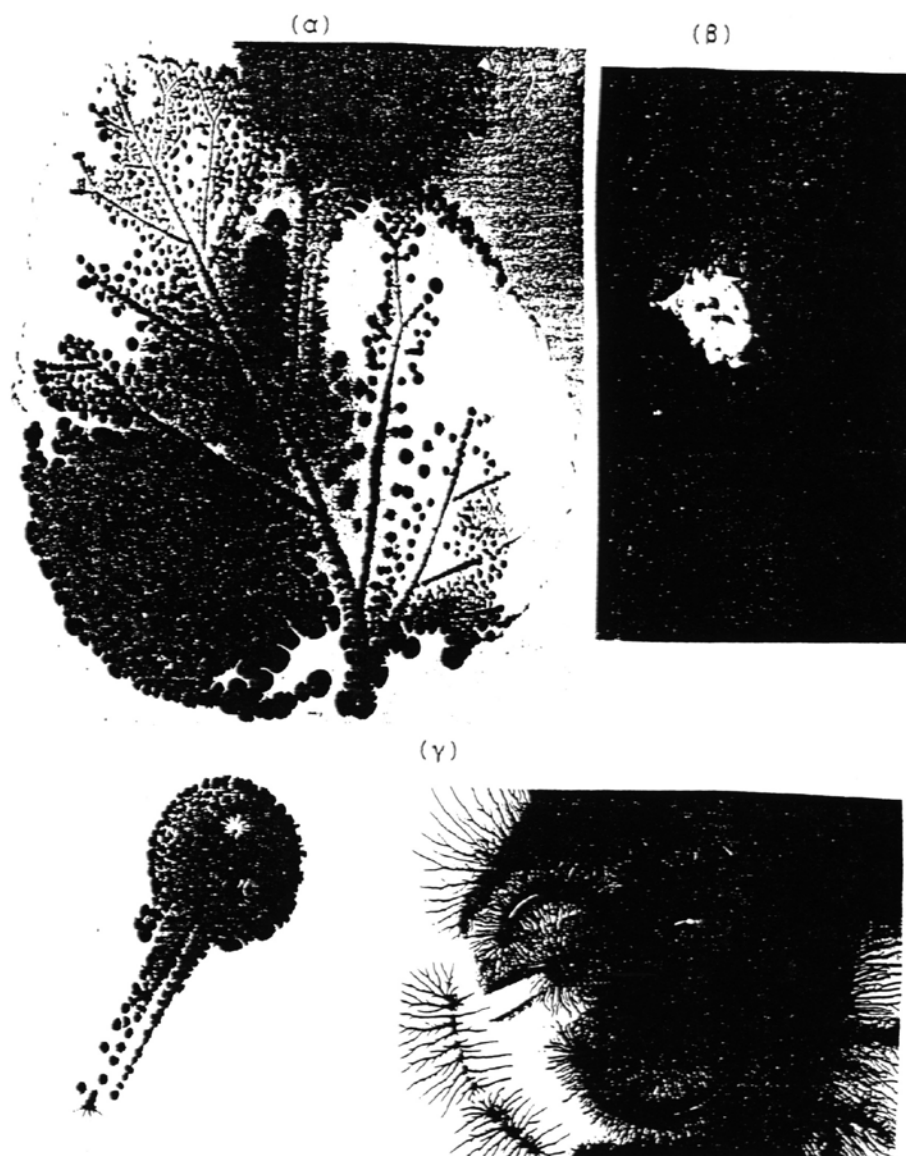
Από πειράματα, που έχουν γίνει για τη μελέτη των φαινομένων, που εκδηλώνονται προ και κατά την επιφανειακή διάσπαση, σε περιβάλλον μονωτικού ελαίου ή ατμοσφαιρικού αέρα, φαίνεται ότι ισχύει ότι και προηγουμένως για τον μηχανισμό της γήρανσης και της διάτρησης. Παρακάτω εξετάζεται (για λόγους σύγκρισης με τη διάτρηση) ένα τυπικό παράδειγμα επιφανειακής διάσπασης πολυμερών στερεών μονωτικών πάχους 2mm σε

περιβάλλον μονωτικού ελαίου, υπό κρουστικές τάσεις 10/200 μ s και διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα-πλάκα. Από το τυπικό παλμογράφημα της επιφανειακής διάσπασης του σχήματος 1.2.5-1 υπολογίζεται η ενέργεια W των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων. Η ενέργεια αυτή για το πρώτο και το τελευταίο άλμα δυναμικού είναι αντίστοιχα : 122eV και 96,5eV. Όπως φαίνεται η επιφανειακή διάσπαση σχετίζεται (όπως και η διάτρηση) με την εκπομπή μαλακών ακτίνων X.



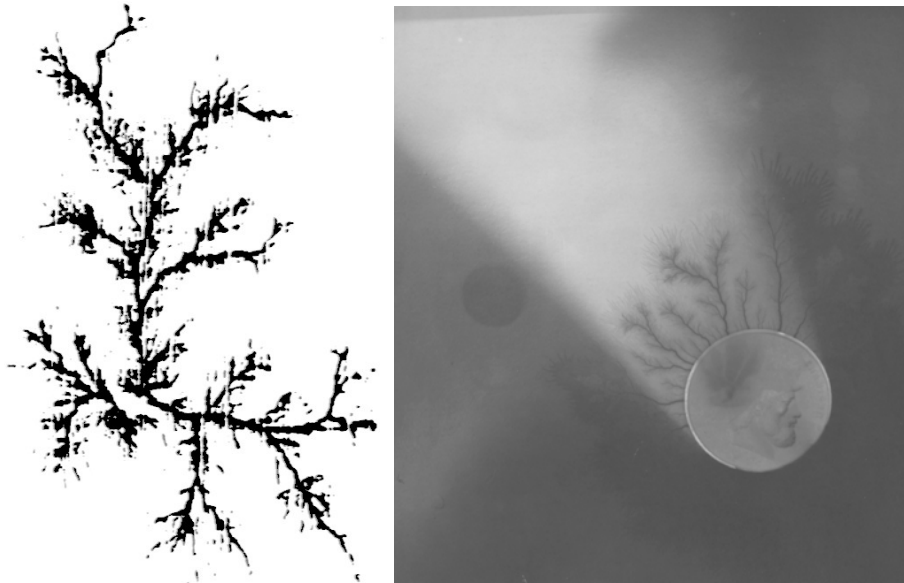
Σχήμα 1.2.5-1 : Παλμογράφημα αλμάτων δυναμικού κατά την επιφανειακή διάσπαση του *reptinax* (πάχους 2mm και με διάμετρο της επιφάνειάς του 150mm), υπό κρουστικές τάσεις 10/200 μ s σε περιβάλλον μονωτικού ελαίου. Ηλεκτρόδια εφαρμογής της τάσης : «ακίδα-πλάκα».

Αν τελικά συμβαίνει εκπομπή ακτίνων X κατά τη διάτρηση και την επιφανειακή διάσπαση, τότε θα πρέπει να προσβάλλεται το φωτογραφικό φιλμ και να απεικονίζονται αντικείμενα (όπως π.χ. συμβαίνει με τις λυχνίες των ακτινολογικών μηχανημάτων). Το ίδιο θα πρέπει να ισχύει και κατά την εκπομπή υπεριώδους ακτινοβολίας (τουλάχιστον σε τιμές πεδίου πλησίον της διάσπασης, όπου αυτή να είναι αρκετά eV). Από πειράματα που έγιναν για τον σκοπό αυτό, φαίνεται ότι προσβάλλεται το φωτογραφικό φιλμ και απεικονίζονται αντικείμενα, καθώς και βιολογικοί οργανισμοί. Στο σχήμα 1.2.5-2 δίνονται ορισμένες από τις φωτογραφίες αυτές.



Σχήμα 1.2.5-2 : Προσβολή του φωτογραφικού φιλμ κατά την επιφανειακή διάσπαση στον αέρα πολυμερούς στερεού μονωτικού, υπό κρουστική τάση 1,2/50μs.
Διάταξη ηλεκτροδίων : ακίδα-πλάκα.
α) Φωτογράφιση φύλλου δένδρου
β) Φωτογραφία βιολογικού οργανισμού (σκαθάρι).
γ) Φωτογραφία μεταλλικών αντικειμένων.

Επίσης, στο σχήμα 1.2.5-3 δίνονται φωτογραφίες επιφανειακών δενδριτών, που αφορούν αντίστοιχα τη γήρανση και τη διάσπαση. Οι παραπάνω φωτογραφίες αφορούν την επιφανειακή διάσπαση δοκιμίων (πάχους 1 έως 2mm και διαμέτρου 150mm), υπό κρουστικές τάσης 1,2/50μs σε περιβάλλον ατμοσφαιρικού αέρα.

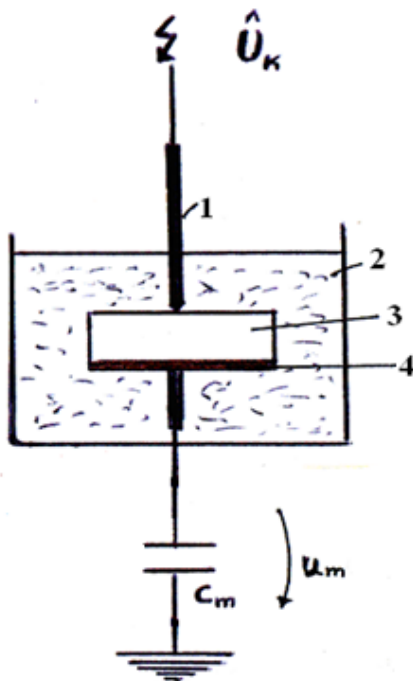


Σχήμα 1.2.5-3 : Φωτογράφιση ενός εικοσάδραχμου κατά την επιφανειακή διάσπαση στον αέρα πολυμερών στερεών μονωτικών υπό κρουστική τάση 1,2/50μs (διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα-πλάκα).

2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο σκοπός συγγραφής αυτής της εργασίας είναι μια στατιστική ανάλυση της ενέργειας λόγω μερικών εκκενώσεων στον πανίτη εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (διάταξη ακίδα – πλάκα) . Πρόκειται για μια προσέγγιση της αγωγίμης συμπεριφοράς του πανίτη (όταν βρίσκεται εντός μονωτικού ελαίου) υπό κρουστικές τάσεις $\pm 10/200\mu\text{s}$.

2.1 ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ



Σχήμα 2.1-1 Απλοποιημένο κύκλωμα της διάταξης του δοκιμίου

U_k : Κρουστική τάση με μέγιστη τιμή \hat{U}_k , που παράγεται από κρουστική γεννήτρια

1: Ακίδα (ακτίνα καμπυλότητας 0,9mm)

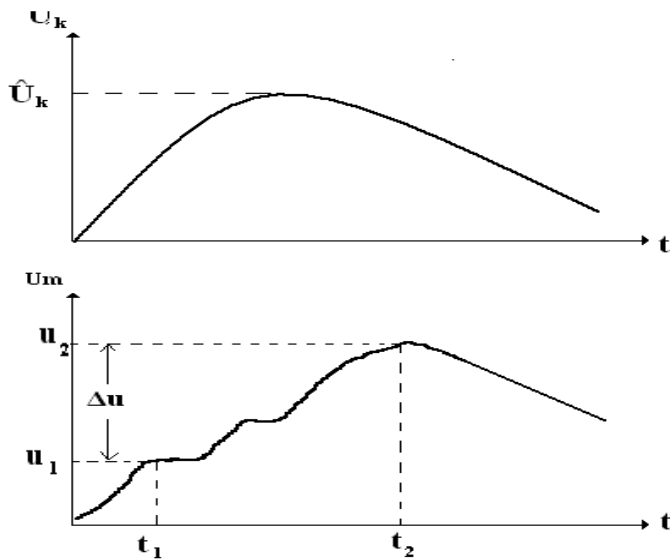
2: Μονωτικό λάδι

3 Δοκίμιο βακελίτη

4: Πλάκα

C_m : Πυκνωτής μέτρησης

Στο σχήμα 2.1-2 δίνεται ένα παράδειγμα γραφικής παράστασης της εφαρμοζόμενης κρουστικής τάσης $u_k(t)$ και των μερικών εκκενώσεων (άλματα δυναμικού στον πυκνωτή μέτρησης C_m).



Σχήμα 2.1-2: Παράδειγμα καθορισμού ορισμένων εννοιών για τη στατιστική μελέτη των μερικών εκκενώσεων σε στερεά μονωτικά, των πρακτικών εφαρμογών, υπό κρουστικές τάσεις καταπόνησης.
 t_1 : Χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων.
 t_2 : Χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων.
 u_k : Στιγμιαία τιμή της εφαρμοζόμενης κρουστικής τάσης.
 u_1 : Τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων (στιγμιαία τιμή).
 u_2 : Τάση περαίωσης των μερικών εκκενώσεων (στιγμιαία τιμή).
 Δu : Άλμα δυναμικού.

Η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας δίνεται προσεγγιστικά (κατά Zeller):

$$\hat{E}_k = 2\hat{U}_k / R \ln(4d / R) \quad , \text{σε [MV/cm]} \quad (2.1-1)$$

όπου \hat{U}_k σε [MV] και R, d σε [cm].

2.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΟΥ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σύμφωνα με το παλμογράφημα του σχήματος 2.1-2 προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις:

- Το φορτίο του δοκιμίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων και κατά τη λήξη τους δίνεται, αντίστοιχα, από τους τύπους:

$$q_1 = C_m \cdot u_1 \quad , \text{σε [\mu C]} \quad (2.2-1)$$

$$q_2 = C_m \cdot u_2 \quad , \text{σε [\mu C]} \quad (2.2-2)$$

όπου C_m σε [μF] και u_1, u_2 σε [V].

- Η διάρκεια των μερικών εκκενώσεων:

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad , \text{σε [\mu s]} \quad (2.2-3)$$

όπου τ_1, τ_2 σε [μs].

- Η διαφορά δυναμικού λόγω των μερικών εκκενώσεων:

$$\Delta u = u_2 - u_1 \quad , \text{σε [V]} \quad (2.2-4)$$

όπου u_1, u_2 σε [V].

- Η αύξηση του φορτίου λόγω των μερικών εκκενώσεων:

$$\Delta q = q_2 - q_1 \quad , \text{σε [\mu C]} \quad (2.2-5)$$

όπου q_1, q_2 σε [\mu C].

- Το ρεύμα λόγω των μερικών εκκενώσεων

$$i = q / t \quad , \text{σε [A]} \quad (2.2-6)$$

- Η στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη και το πέρας των μερικών εκκενώσεων αντίστοιχα

$$Z_1 = t_1 / C_m \quad , \text{σε [\Omega]} \quad (2.2-7)$$

$$Z_2 = t_2 / C_m \quad , \text{σε [\Omega]} \quad (2.2-8)$$

$$\text{που αποδεικνύεται από } Z = u / i = u / \{(C_m u) / t\} = t / C_m \quad (2.2-9)$$

- Η διαφορά της στιγμιαίας τιμής της σύνθετης αντίστασης μεταξύ της έναρξης και του τέλους των μερικών εκκενώσεων

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1 \quad , \text{σε [\Omega]} \quad (2.2-10)$$

- Η στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά την έναρξη και το πέρας των μερικών εκκενώσεων αντίστοιχα.

$$W_1 = u_1^2 C_m \quad , \text{σε [Ws]} \quad (2.2-11)$$

$$W_2 = u_2^2 C_m \quad , \text{σε [Ws]} \quad (2.2-12)$$

- Η διαφορά της στιγμιαίας τιμής της ενέργειας στον C_m κατά την έναρξη και το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$$\Delta W = W_2 - W_1 \quad , \text{σε [Ws]} \quad (2.3-13)$$

- Η στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά την έναρξη και το πέρας των μερικών εκκενώσεων αντίστοιχα

$$P_1 = W_1 / t \quad , \text{σε [W]} \quad (2.3-14)$$

$$P_2 = W_2 / t \quad , \text{σε [W]} \quad (2.3-15)$$

- Η διαφορά της στιγμιαίας τιμής της ισχύος στον C_m κατά την έναρξη και το πέρας των μερικών εκκενώσεων αντίστοιχα

$$\Delta P = P_2 - P_1 \quad , \text{σε [W]} \quad (2.3-16)$$

- Η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$$\Delta We = 0,5 \Delta u \quad , \text{σε [eV]} \quad (2.3-17)$$

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η σχεδίαση των χαρακτηριστικών $\hat{E}_k = f(\hat{U}_k)$, $Z_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$, $Z_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$, $\Delta Z = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$, $W_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$, $W_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$, $\Delta W = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$, $t_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$, $P_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$, $P_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$, $\Delta P = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$, $\Delta We = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$, $\Delta We = f(\Delta W)$ και σχόλια επί αυτών.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Παρακάτω δίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων και υπολογισμών χωρίς κανένα σχόλιο. Σχόλια επί των αποτελεσμάτων δίνονται στην παράγραφο 4.

3.1 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΕ ΚΡΟΥΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗ -10/200μs ΚΑΙ ΠΑΧΟΣ d=1mm

\hat{U}_k [kV]	E_k [MV/cm]	C_m [nF]	Q_1 [μC]	Q_2 [μC]	u_1 [V]	u_2 [V]	Δu [V]	t_1 [s]	t_2 [s]	Δt [s]	Z_1 [Ω]	Z_2 [Ω]	ΔZ [Ω]
25	0,37	210	0,13	0,8	0,00062	0,0038	0,0032	10	51	41	0,0476	0,2429	0,1952
30	0,45	210	0,15	2	0,00071	0,0095	0,0088	8	38	30	0,0381	0,1810	0,1429
35	0,52	210	0,2	2,5	0,00095	0,0119	0,0110	6	35,5	29,5	0,0286	0,1690	0,1405
40	0,60	210	0,22	3,8	0,00105	0,0181	0,0170	5,5	42,5	37	0,0262	0,2024	0,1762
45	0,67	210	0,21	4,6	0,00100	0,0219	0,0209	5	63,4	58,4	0,0238	0,3019	0,2781
50	0,74	210	0,2	7,9	0,00095	0,0376	0,0367	4,5	78	73,5	0,0214	0,3714	0,3500
55	0,82	210	0,19	9,2	0,00090	0,0438	0,0429	4	72	68	0,0190	0,3429	0,3238
60	0,89	210	0,23	11,8	0,00110	0,0562	0,0551	3,8	92,5	88,7	0,0181	0,4405	0,4224

Πίνακας 3.1-1 : Στατιστική ανάλυση της ενέργειας λόγω μερικών εκκενώσεων στον « πανίτη » εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενή πεδία (ακίδα με R=0,9mm – πλάκα) υπό κρουστική τάση +10/200μs και πάχος d=1mm με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν στην παράγραφο 2.

\hat{U}_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k : τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k

C_m : πυκνωτής μέτρησης

u_1 : στιγμιαία τιμή της \hat{U}_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

u_2 : στιγμιαία τιμή της \hat{U}_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

q_1 : στιγμιαία τιμή του φορτίου στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q_2 : στιγμιαία τιμή του φορτίου στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$\Delta u = u_2 - u_1$

t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

$\Delta t = t_2 - t_1$

Z_1 : στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

Z_2 : στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$\Delta Z = Z_2 - Z_1$

\hat{U}_k [kV]	E_k [MV/cm]	C_m [nF]	Q_1 [μC]	Q_2 [μC]	u_1 [V]	u_2 [V]	Δu [V]	t_1 [s]	t_2 [s]	Δt [s]
25	0,37	210	0,13	0,8	0,00062	0,00381	0,00319	10	51	41
30	0,45	210	0,15	2	0,00071	0,00952	0,00881	8	38	30
35	0,52	210	0,2	2,5	0,00095	0,01190	0,01095	6	35,5	29,5
40	0,60	210	0,22	3,8	0,00105	0,01810	0,01705	5,5	42,5	37
45	0,67	210	0,21	4,6	0,00100	0,02190	0,02090	5	63,4	58,4
50	0,74	210	0,2	7,9	0,00095	0,03762	0,03667	4,5	78	73,5
55	0,82	210	0,19	9,2	0,00090	0,04381	0,04290	4	72	68
60	0,89	210	0,23	11,8	0,00110	0,05619	0,05510	3,8	92,5	88,7

Πίνακας 3.1-2α: Στατιστική ανάλυση της ενέργειας λόγω μερικών εκκενώσεων στον « πανίτη » εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενή πεδία (ακίδα με $R=0,9\text{mm}$ – πλάκα) υπό κρουστική τάση $+10/200\mu\text{s}$ και πάχος $d=1\text{mm}$ με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν στην παράγραφο 2.

\hat{U}_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k : τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k

C_m : πυκνωτής μέτρησης

u_1 : στιγμιαία τιμή της \hat{U}_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

u_2 : στιγμιαία τιμή της \hat{U}_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

q_1 : στιγμιαία τιμή του φορτίου στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q_2 : στιγμιαία τιμή του φορτίου στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$\Delta u = u_2 - u_1$

t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

$\Delta t = t_2 - t_1$

\hat{U}_k [kV]	E_k [MV/cm]	C_m [nF]	W_1 [Ws]	W_2 [Ws]	ΔW [Ws]	P_1 [W]	P_2 [W]	ΔP [W]	ΔWe [eV]
25	0,37	210	8,05E-05	0,00305	0,0030	8,05E-06	0,00006	-5,17E-05	0,00159
30	0,45	210	1,07E-04	0,01905	0,0189	1,34E-05	0,00050	-4,88E-04	0,00440
35	0,52	210	1,90E-04	0,02976	0,0296	3,17E-05	0,00084	-8,07E-04	0,00548
40	0,60	210	2,30E-04	0,06876	0,0685	4,19E-05	0,00162	-1,58E-03	0,00852
45	0,67	210	2,10E-04	0,10076	0,1006	4,20E-05	0,00159	-1,55E-03	0,01045
50	0,74	210	1,90E-04	0,29719	0,2970	4,23E-05	0,00381	-3,77E-03	0,01833
55	0,82	210	1,72E-04	0,40305	0,4029	4,30E-05	0,00560	-5,55E-03	0,02145
60	0,89	210	2,52E-04	0,66305	0,6628	6,63E-05	0,00717	-7,10E-03	0,02755

Πίνακας 3.1-2β: Στατιστική ανάλυση της ενέργειας λόγω μερικών εκκενώσεων στον « πανίτη » εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενή πεδία (ακίδα με $R=0,9\text{mm}$ – πλάκα) υπό κρουστική τάση $+10/200\mu\text{s}$ και πάχος $d=1\text{mm}$ με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν στην παράγραφο 2.

\hat{U}_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k : τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k

C_m : πυκνωτής μέτρησης

W_1 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

W_2 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

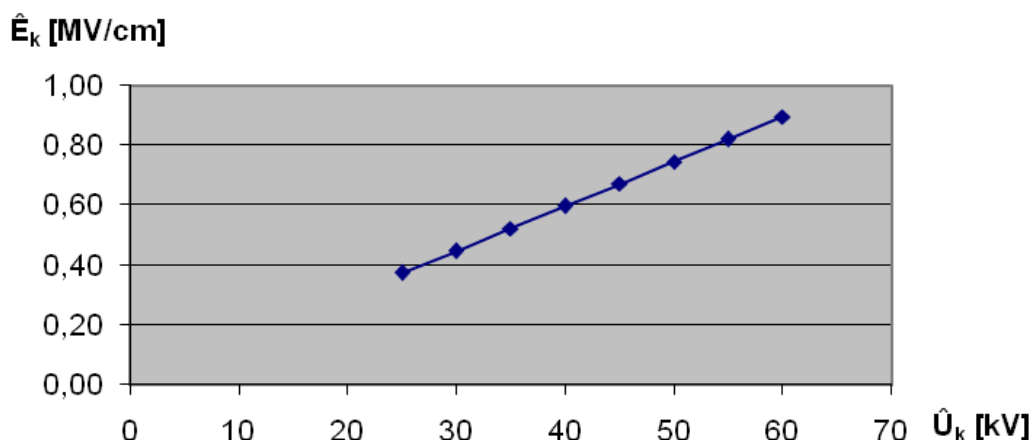
$\Delta W = W_2 - W_1$

P_1 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

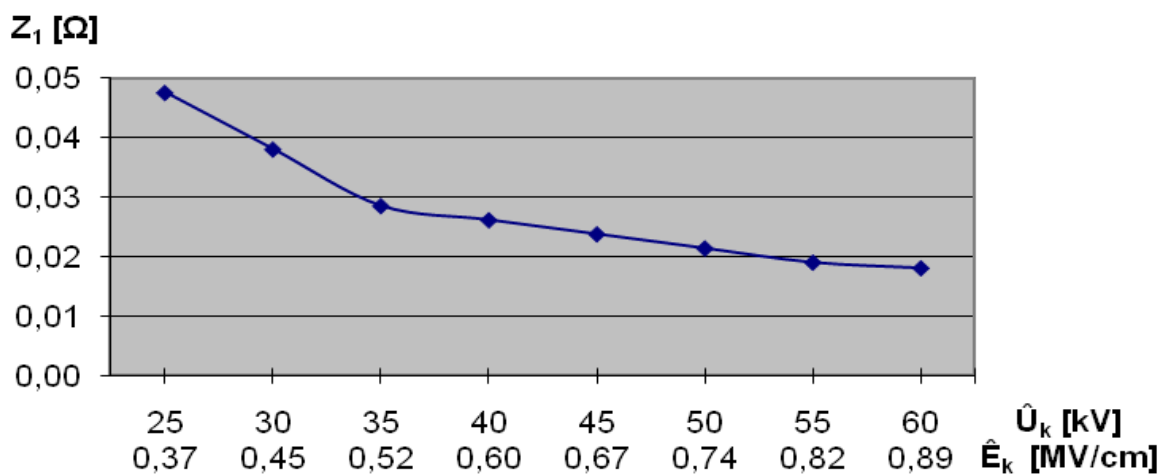
P_2 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$\Delta P = P_2 - P_1$

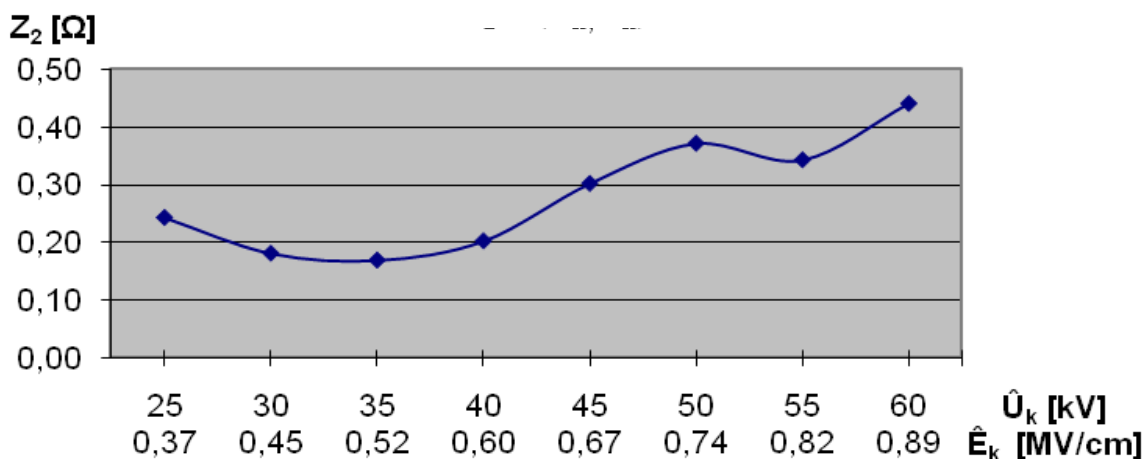
ΔWe : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων



Σχήμα 3.1-1 : Χαρακτηριστική $\hat{E}_k = f(\hat{U}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$.
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



Σχήμα 3.1-2 : Χαρακτηριστική $Z_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 Z_1 : η στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

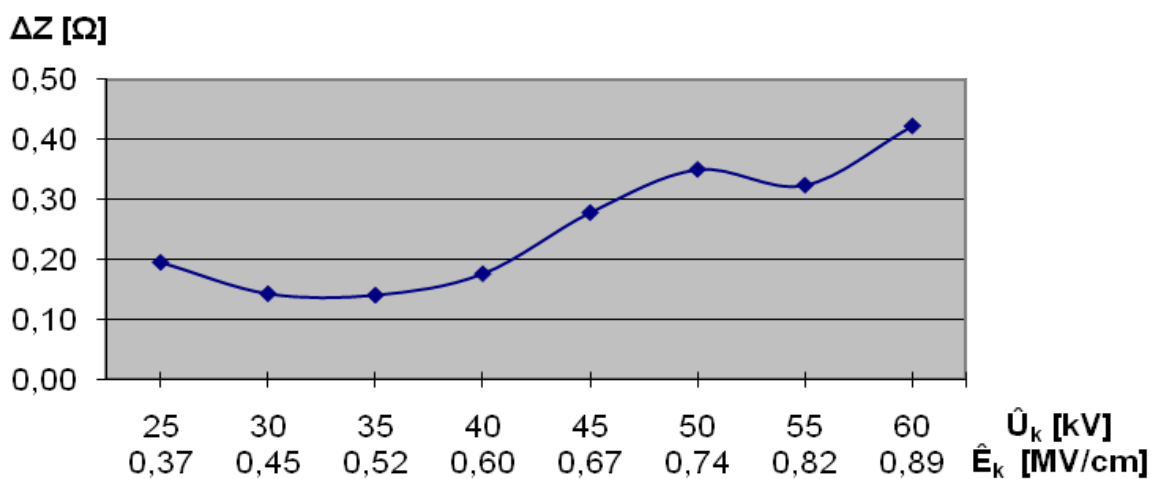


Σχήμα 3.1-3 : Χαρακτηριστική $Z_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$

Z_2 : η στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

\hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας

\hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

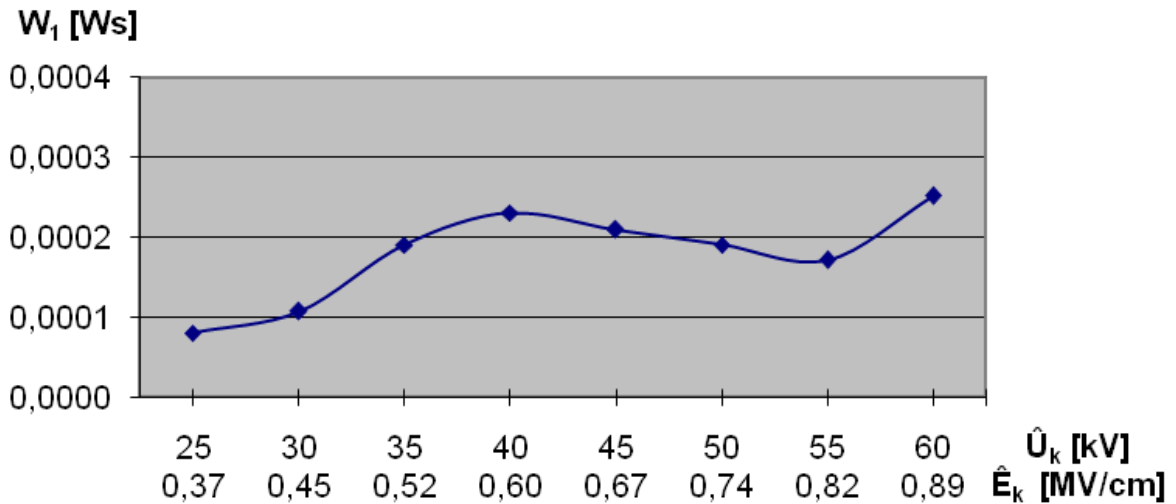


Σχήμα 3.1-4 : Χαρακτηριστική $\Delta Z = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$

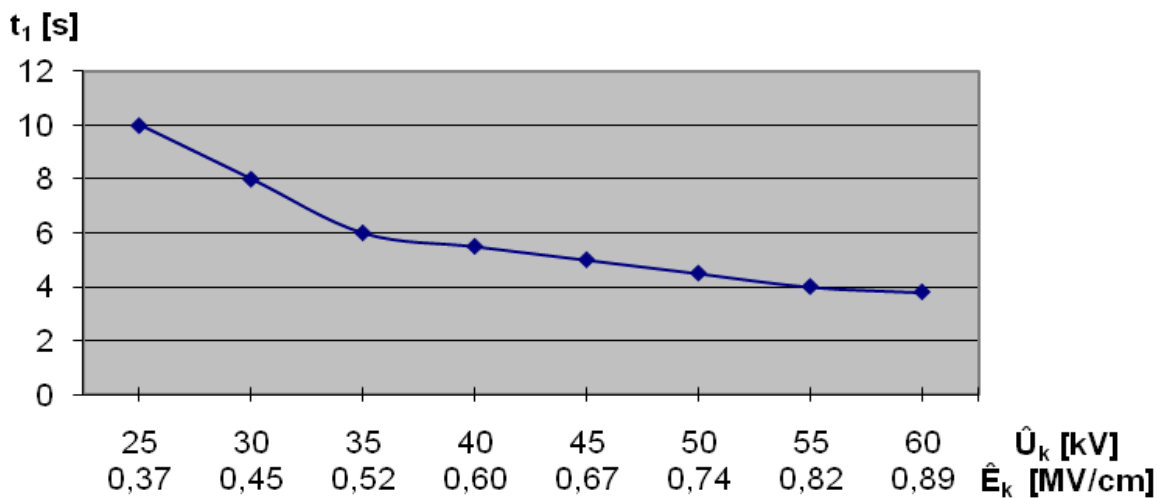
$\Delta Z = Z_1 - Z_2$

\hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας

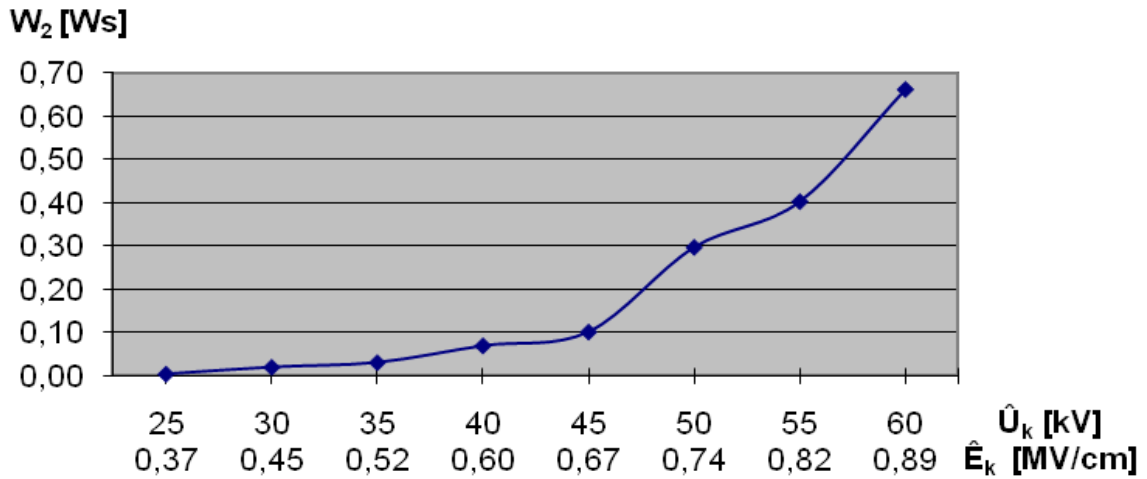
\hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



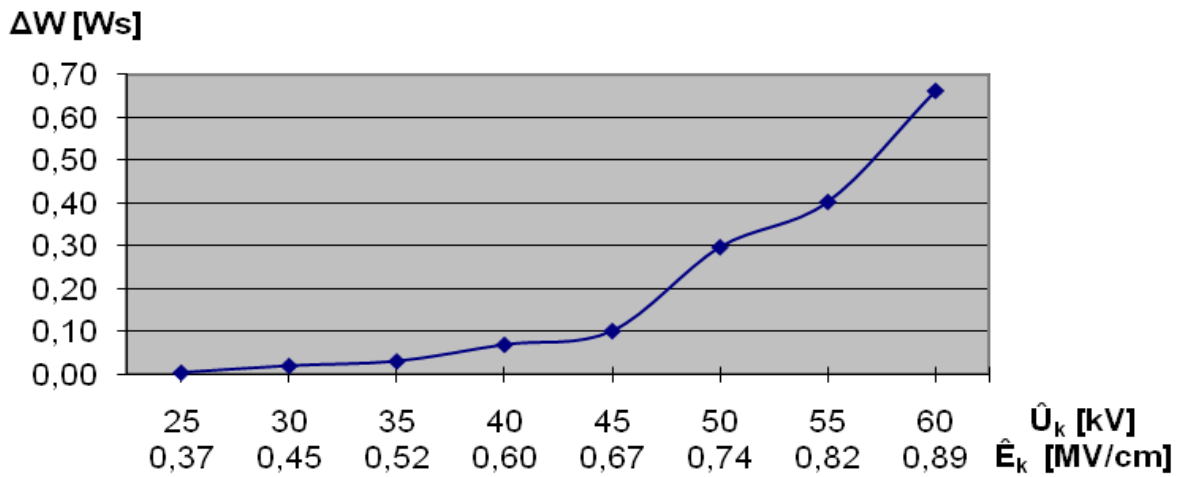
Σχήμα 3.1-5 : Χαρακτηριστική $W_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 W_1 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



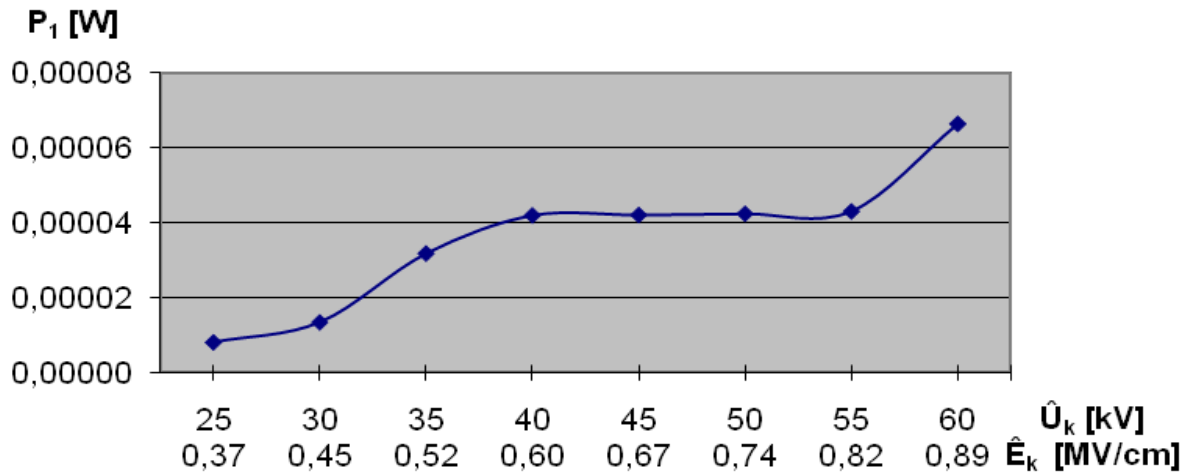
Σχήμα 3.1-6 : Χαρακτηριστική $t_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



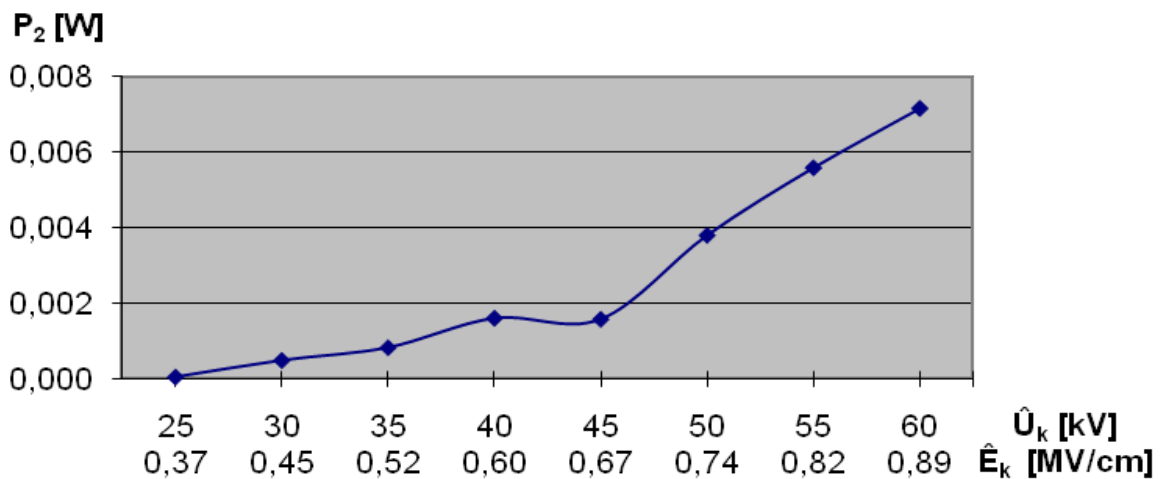
Σχήμα 3.1-7 : Χαρακτηριστική $W_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 W_2 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



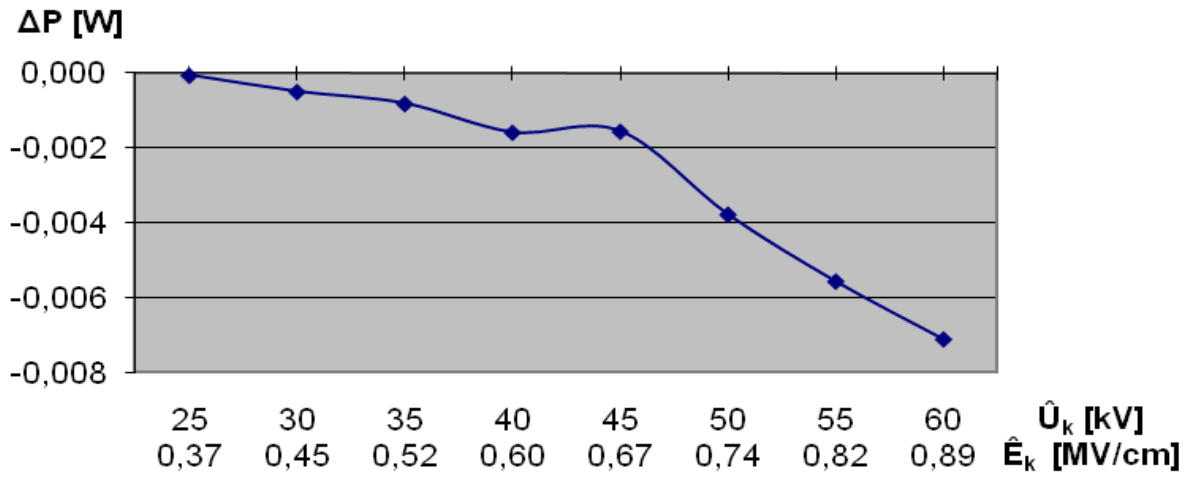
Σχήμα 3.1-8 : Χαρακτηριστική $\Delta W = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 $\Delta W = W_2 - W_1$
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



Σχήμα 3.1-9 : Χαρακτηριστική $P_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 P_1 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



Σχήμα 3.1-10 : Χαρακτηριστική $P_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 P_2 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

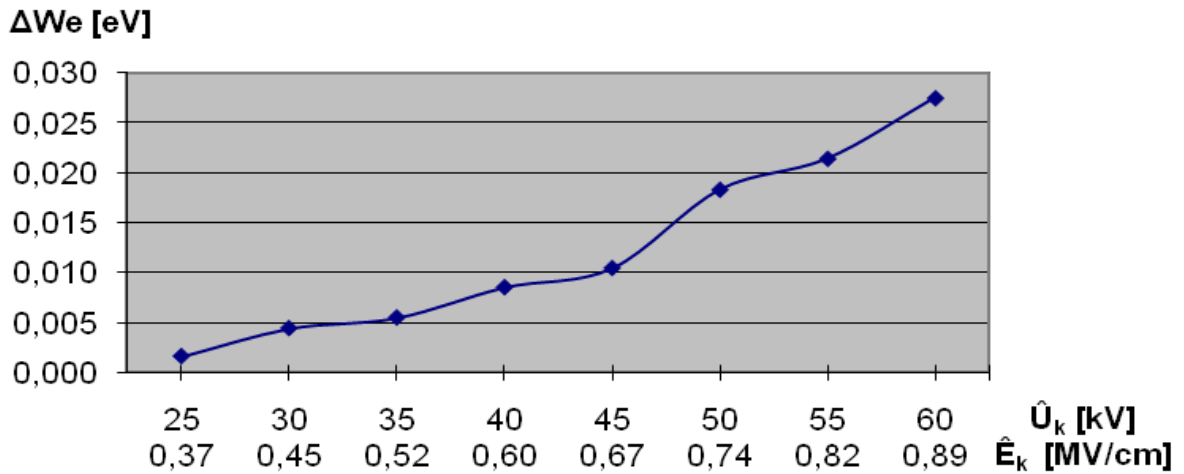


Σχήμα 3.1-11 : Χαρακτηριστική $\Delta P = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$

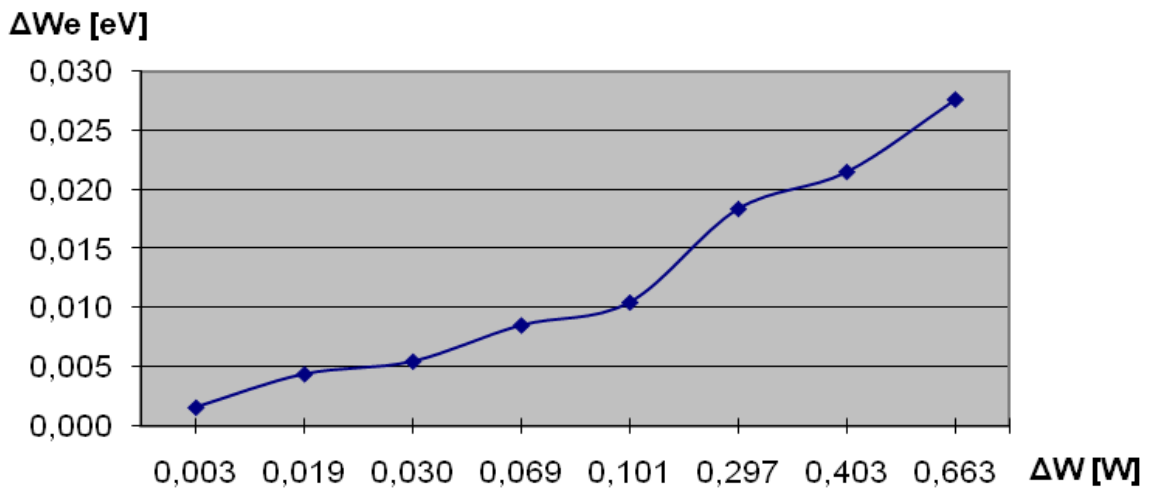
$$\Delta P = P_2 - P_1$$

\hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας

\hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



Σχήμα 3.1-12 : Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 ΔW_e : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



Σχήμα 3.1-13 : Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(\Delta W)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 ΔW_e : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 $\Delta W = W_2 - W_1$

3.2 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΕ ΚΡΟΥΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗ +10/200μs και πάχος $d=1mm$

\hat{U}_k [kV]	E_k [MV/cm]	C_m [nF]	Q_1 [μC]	Q_2 [μC]	u_1 [V]	u_2 [V]	Δu [V]	t_1 [s]	t_2 [s]	Δt [s]	Z_1 [Ω]	Z_2 [Ω]	ΔZ [Ω]
20	0,30	210	0,09	0,5	0,00043	0,0024	0,0020	16	27	11	0,0762	0,1286	0,0524
25	0,37	210	0,1	0,8	0,00048	0,0038	0,0033	9,5	35,5	26	0,0452	0,1690	0,1238
30	0,45	210	0,13	1	0,00062	0,0048	0,0041	8,5	37	28,5	0,0405	0,1762	0,1357
35	0,52	210	0,17	1,5	0,00081	0,0071	0,0063	8	40	32	0,0381	0,1905	0,1524
40	0,60	210	0,23	2,5	0,00109	0,0119	0,0108	6,5	46	39,5	0,0310	0,2190	0,1881
45	0,67	210	0,24	4,5	0,00114	0,0214	0,0203	6	50	44	0,0286	0,2381	0,2095
50	0,74	210	0,32	6,2	0,00152	0,0295	0,0280	5,5	60	54,5	0,0262	0,2857	0,2595
55	0,82	210	0,4	9	0,00191	0,0429	0,0410	5	68,5	63,5	0,0238	0,3262	0,3024
60	0,89	210	0,45	10	0,00214	0,0476	0,0455	4	80	76	0,0190	0,3810	0,3619

Πίνακας 3.2-1 : Στατιστική ανάλυση της ενέργειας λόγω μερικών εκκενώσεων στον « πανίτη » εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενή πεδία (ακίδα με $R=0,9mm$ – πλάκα) υπό κρουστική τάση -10/200μs και πάχος $d=1mm$ με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν στην παράγραφο 2.

\hat{U}_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

\hat{E}_k : τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k

C_m : πυκνωτής μέτρησης

u_1 : στιγμιαία τιμή της \hat{U}_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

u_2 : στιγμιαία τιμή της \hat{U}_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

q_1 : στιγμιαία τιμή του φορτίου στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q_2 : στιγμιαία τιμή του φορτίου στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$\Delta u = u_2 - u_1$

t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

$\Delta t = t_2 - t_1$

Z_1 : στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

Z_2 : στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$\Delta Z = Z_2 - Z_1$

\hat{U}_k [kV]	E_k [MV/cm]	C_m [nF]	Q_1 [μC]	Q_2 [μC]	u_1 [V]	u_2 [V]	Δu [V]	t_1 [s]	t_2 [s]	Δt [s]
20	0,30	210	0,09	0,5	0,00043	0,00238	0,00195	16	27	11
25	0,37	210	0,1	0,8	0,00048	0,00381	0,00333	9,5	35,5	26
30	0,45	210	0,13	1	0,00062	0,00476	0,00414	8,5	37	28,5
35	0,52	210	0,17	1,5	0,00081	0,00714	0,00633	8	40	32
40	0,60	210	0,23	2,5	0,00110	0,01190	0,01081	6,5	46	39,5
45	0,67	210	0,24	4,5	0,00114	0,02143	0,02029	6	50	44
50	0,74	210	0,32	6,2	0,00152	0,02952	0,02800	5,5	60	54,5
55	0,82	210	0,4	9	0,00190	0,04286	0,04095	5	68,5	63,5
60	0,89	210	0,45	10	0,00214	0,04762	0,04548	4	80	76

Πίνακας 3.2-2α: Στατιστική ανάλυση της ενέργειας λόγω μερικών εκκενώσεων στον « πανίτη » εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενή πεδία (ακίδα με R=0,9mm – πλάκα) υπό κρουστική τάση -10/200μs και πάχος d=1mm με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν στην παράγραφο 2.

\hat{U}_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k : τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k

C_m : πυκνωτής μέτρησης

u_1 : στιγμιαία τιμή της \hat{U}_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

u_2 : στιγμιαία τιμή της \hat{U}_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

q_1 : στιγμιαία τιμή του φορτίου στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q_2 : στιγμιαία τιμή του φορτίου στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$\Delta u = u_2 - u_1$

t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

$\Delta t = t_2 - t_1$

\hat{U}_k [kV]	E_k [MV/cm]	C_m [nF]	W_1 [ws]	W_2 [ws]	ΔW [ws]	P_1 [W]	P_2 [W]	ΔP [W]	ΔWe [eV]
20	0,30	210	3,86E-05	0,00119	0,0012	2,41E-06	0,00004	-4,17E-05	0,00098
25	0,37	210	4,76E-05	0,00305	0,0030	5,01E-06	0,00009	-8,08E-05	0,00167
30	0,45	210	8,05E-05	0,00476	0,0047	9,47E-06	0,00013	-1,19E-04	0,00207
35	0,52	210	1,38E-04	0,01071	0,0106	1,72E-05	0,00027	-2,51E-04	0,00317
40	0,60	210	2,52E-04	0,02976	0,0295	3,88E-05	0,00065	-6,08E-04	0,00541
45	0,67	210	2,74E-04	0,09643	0,0962	4,57E-05	0,00193	-1,88E-03	0,01014
50	0,74	210	4,88E-04	0,18305	0,1826	8,87E-05	0,00305	-2,96E-03	0,014
55	0,82	210	7,62E-04	0,38571	0,3850	1,52E-04	0,00563	-5,48E-03	0,02048
60	0,89	210	9,64E-04	0,47619	0,4752	2,41E-04	0,00595	-5,71E-03	0,02274

Πίνακας 3.2-2β: Στατιστική ανάλυση της ενέργειας λόγω μερικών εκκενώσεων στον « πανίτη » εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενή πεδία (ακίδα με R=0,9mm – πλάκα) υπό κρουστική τάση -10/200μs και πάχος d=1mm με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν στην παράγραφο 2.

\hat{U}_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k : τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k

C_m : πυκνωτής μέτρησης

W_1 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

W_2 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

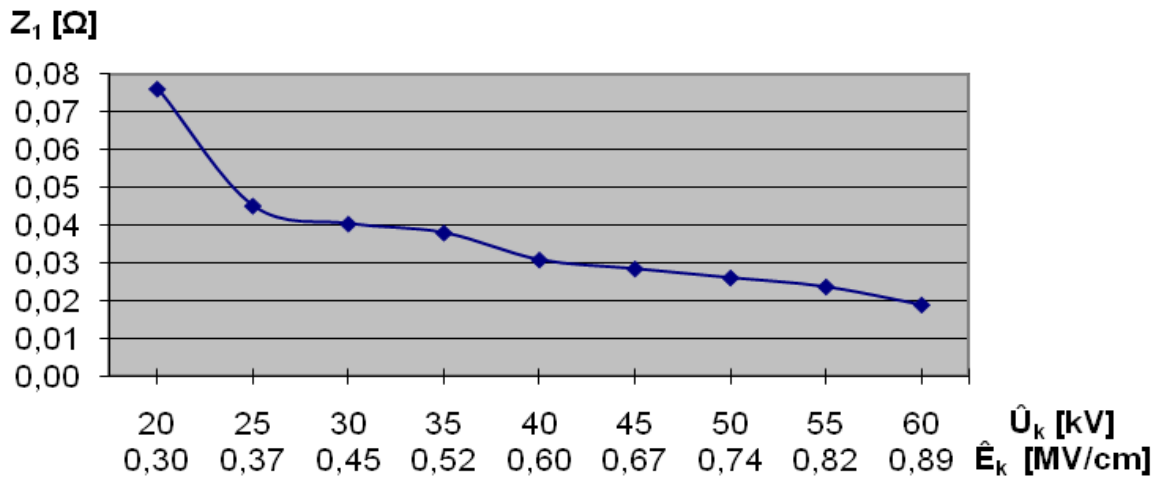
$\Delta W = W_2 - W_1$

P_1 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

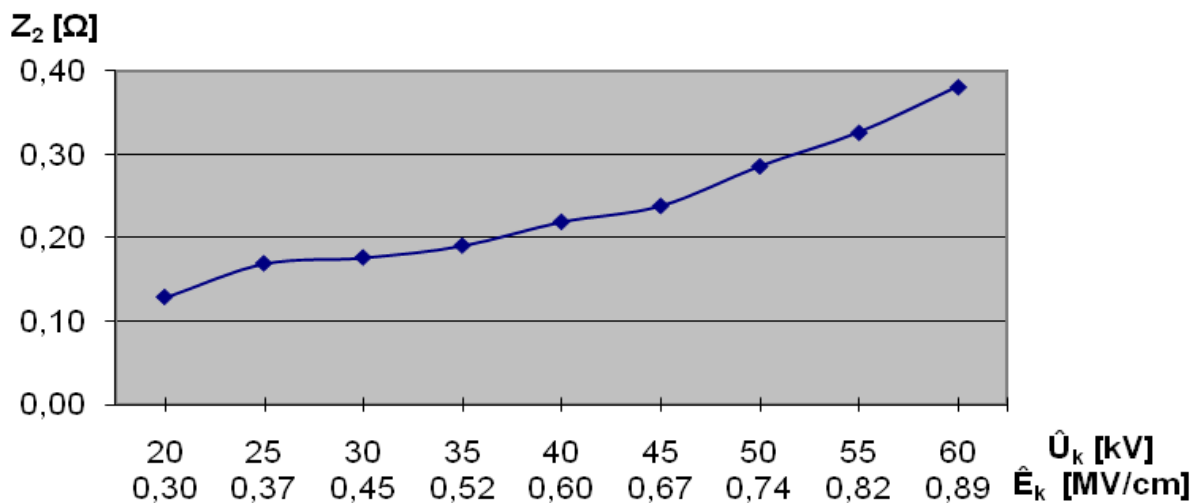
P_2 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$\Delta P = P_2 - P_1$

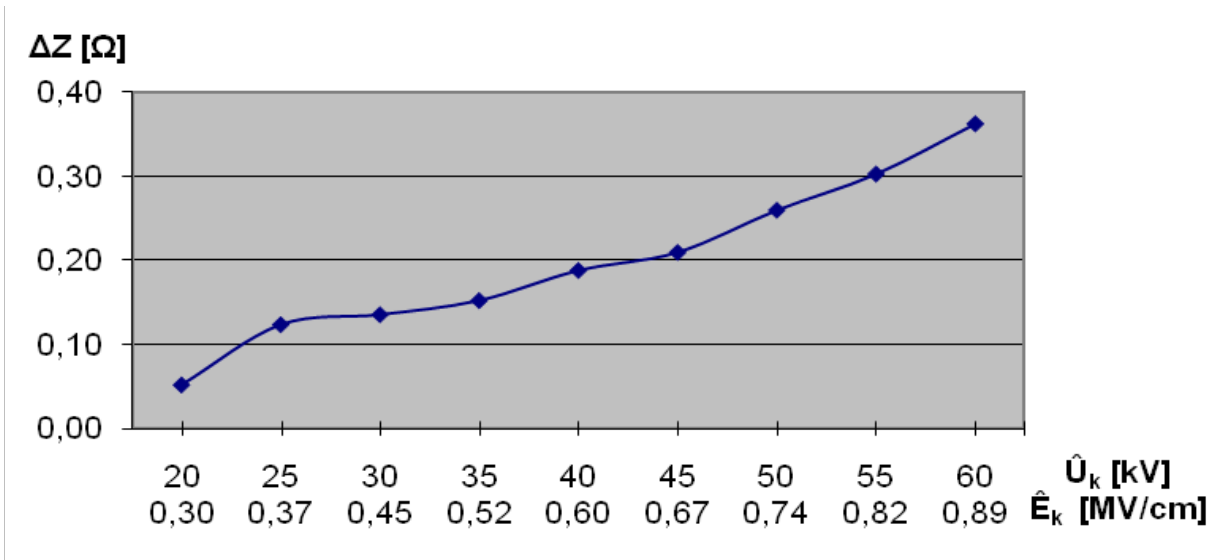
ΔWe : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων



Σχήμα 3.2-1 : Χαρακτηριστική $Z_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 Z_1 : η στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



Σχήμα 3.2-2 : Χαρακτηριστική $Z_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 Z_2 : η στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

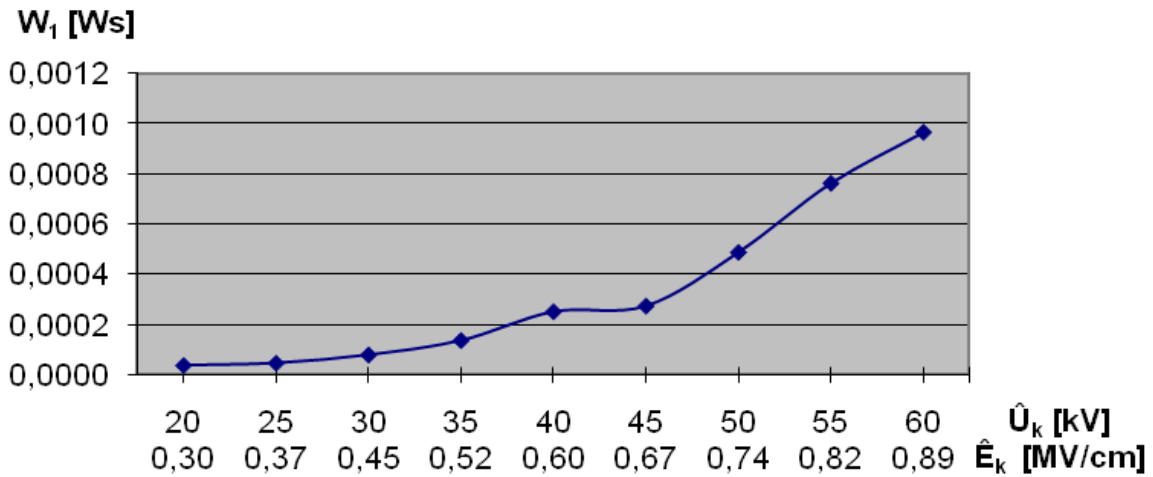


Σχήμα 3.2-3: Χαρακτηριστική $\Delta Z = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$

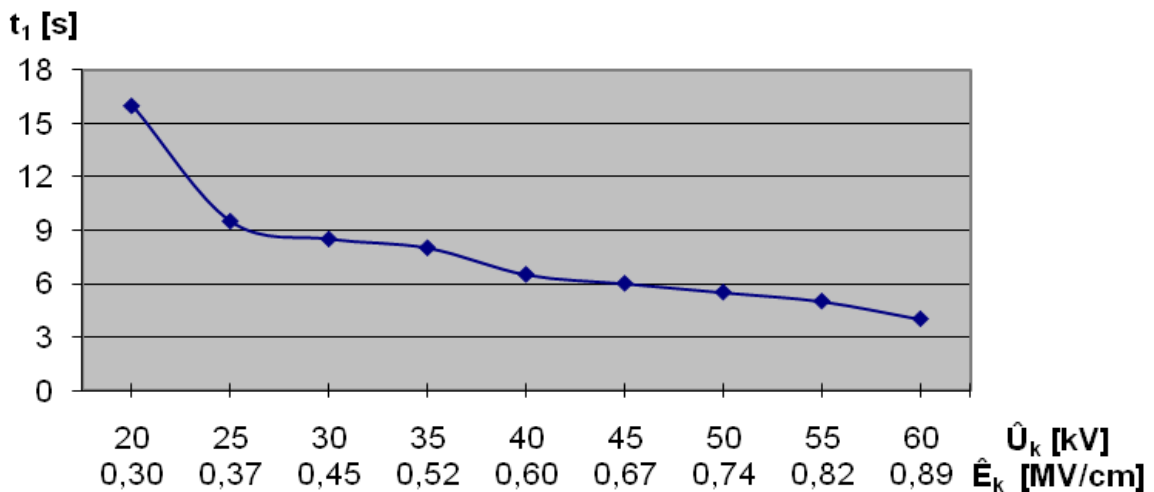
$$\Delta Z = Z_2 - Z_1$$

\hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας

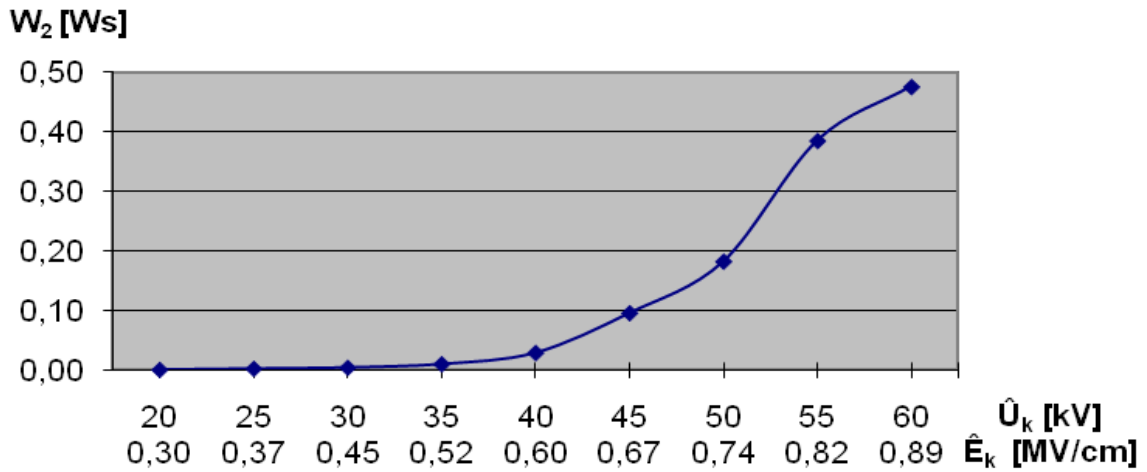
\hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



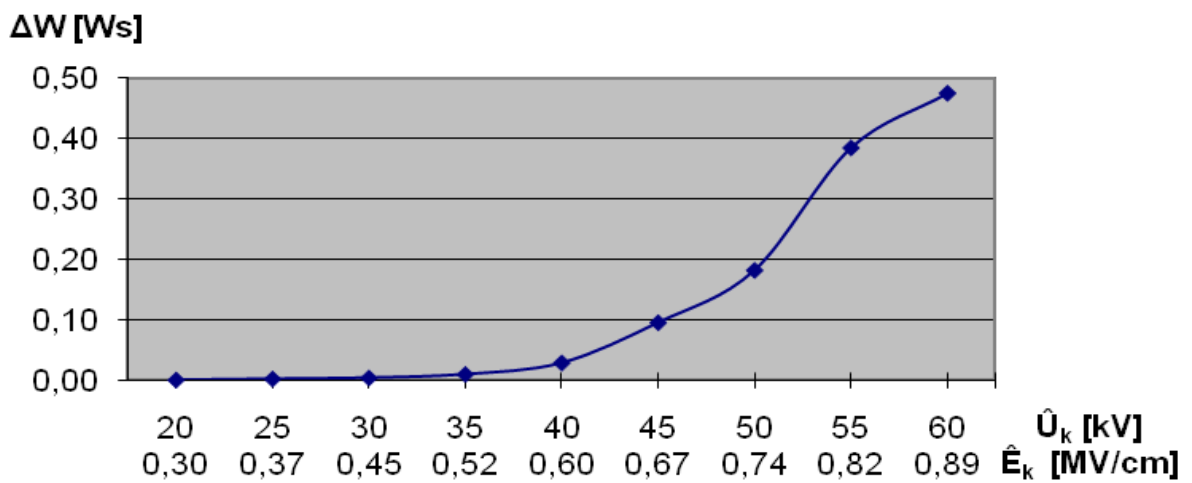
Σχήμα 3.2-4 : Χαρακτηριστική $W_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 W_1 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



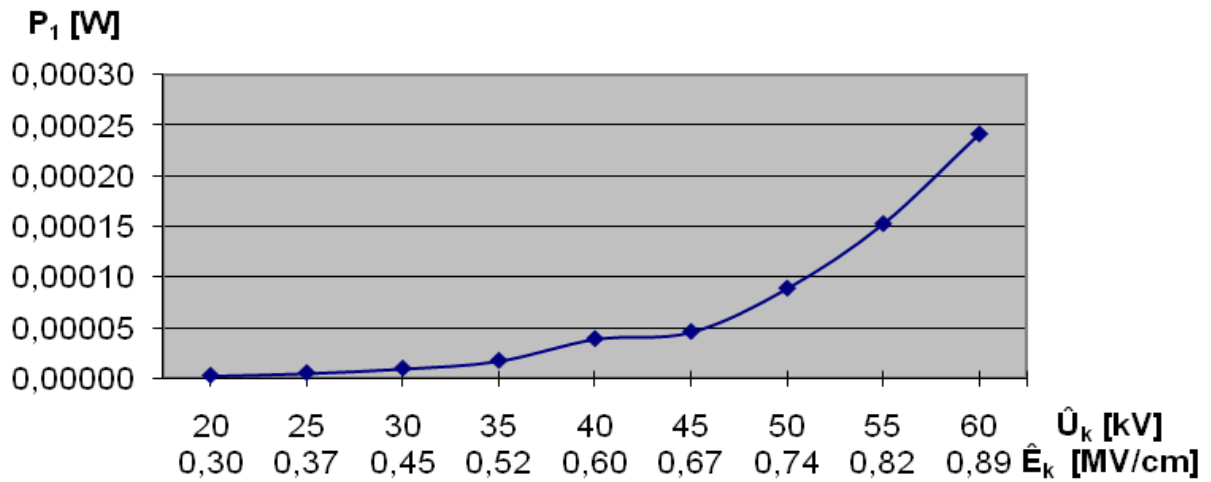
Σχήμα 3.2-5 : Χαρακτηριστική $t_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



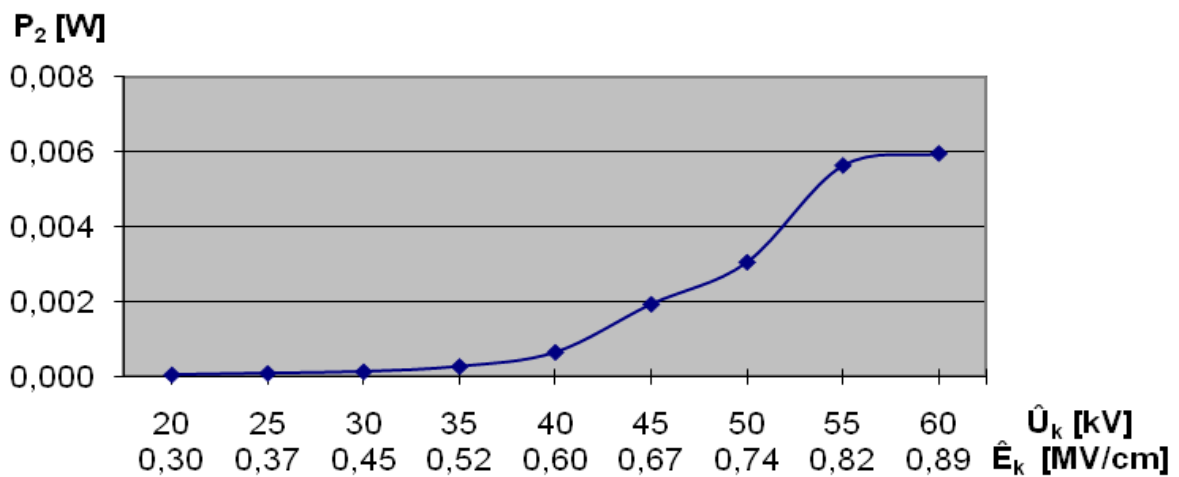
Σχήμα 3.2-6 : Χαρακτηριστική $W_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 W_2 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



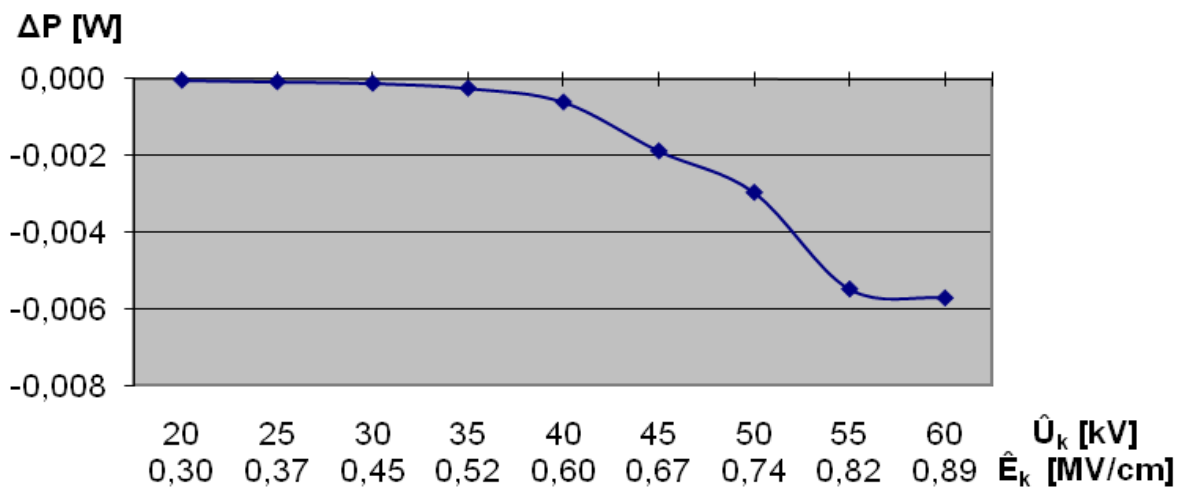
Σχήμα 3.2-7 : Χαρακτηριστική $\Delta W = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 $\Delta W = W_2 - W_1$
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



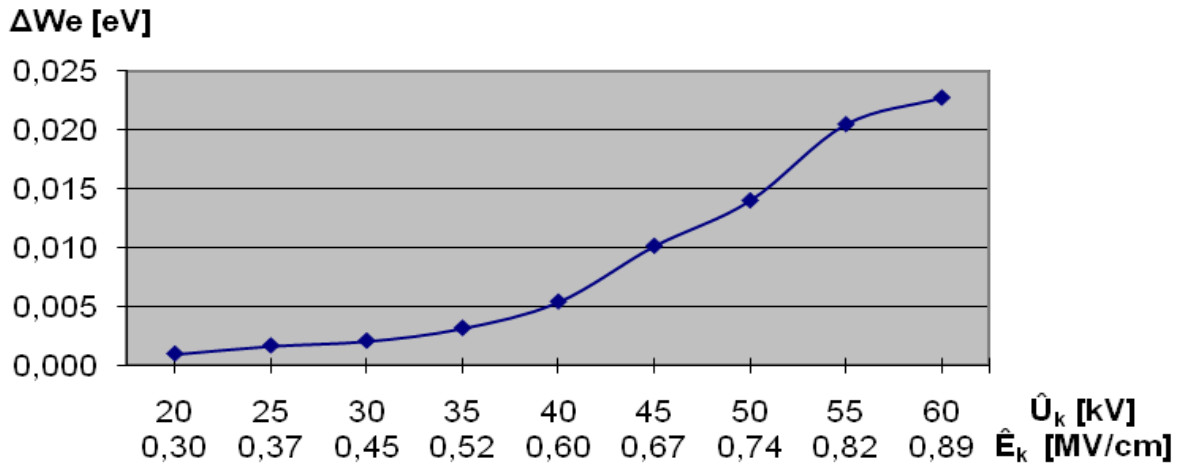
Σχήμα 3.2-8 : Χαρακτηριστική $P_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 P_1 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



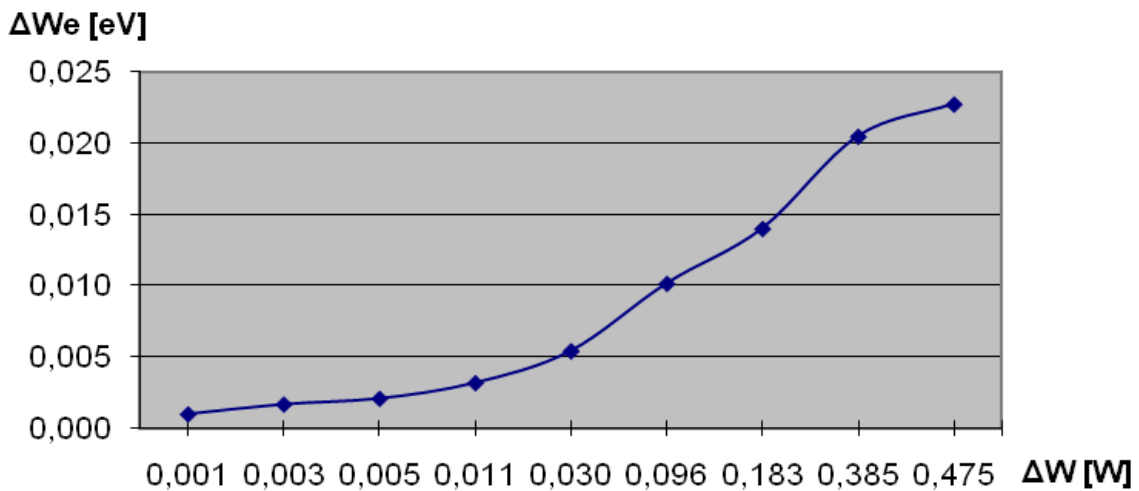
Σχήμα 3.2-9 : Χαρακτηριστική $P_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 P_2 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



Σχήμα 3.1-10 : Χαρακτηριστική $\Delta P = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{ mm}$
 $\Delta P = P_2 - P_1$
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



Σχήμα 3.2-11 : Χαρακτηριστική $\Delta We = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 ΔWe : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδικής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



Σχήμα 3.2-12 : Χαρακτηριστική $\Delta We = f(\Delta W)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 ΔWe : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 $\Delta W = W_2 - W_1$

3.3 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΕ ΚΡΟΥΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗ -10/200μs ΚΑΙ ΠΑΧΟΣ d=2mm

\hat{U}_k [kV]	E_k [MV/cm]	C_m [nF]	Q_1 [μC]	Q_2 [μC]	u_1 [V]	u_2 [V]	Δu [V]	t_1 [s]	t_2 [s]	Δt [s]	Z_1 [Ω]	Z_2 [Ω]	ΔZ [Ω]
29	0,29	210	0,09	0,3	0,00043	0,0014	0,0010	10	35	25	0,0476	0,1667	0,1190
35	0,36	210	0,11	0,5	0,00052	0,0024	0,0019	13	39	26	0,0619	0,1857	0,1238
40	0,41	210	0,12	0,8	0,00057	0,0038	0,0032	11	40	29	0,0524	0,1905	0,1381
45	0,46	210	0,13	1	0,00062	0,0048	0,0041	9,5	45	35,5	0,0452	0,2143	0,1690
50	0,51	210	0,12	1,3	0,00057	0,0062	0,0056	7	49	42	0,0333	0,2333	0,2000
55	0,56	210	0,17	1,8	0,00081	0,0086	0,0078	6,1	56	49,9	0,0290	0,2667	0,2376
60	0,61	210	0,19	2,8	0,00090	0,0133	0,0124	5	61	56	0,0238	0,2905	0,2667
65	0,66	1000	0,21	6,3	0,00021	0,0063	0,0061	4	67,5	63,5	0,0040	0,0675	0,0635

Πίνακας 3.3-1 : Στατιστική ανάλυση της ενέργειας λόγω μερικών εκκενώσεων στον « πανίτη » εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενή πεδία (ακίδα με R=0,9mm – πλάκα) υπό κρουστική τάση -10/200μs και πάχος d=2mm με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν στην παράγραφο 2.

\hat{U}_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k : τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k

C_m : πυκνωτής μέτρησης

u_1 : στιγμιαία τιμή της \hat{U}_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

u_2 : στιγμιαία τιμή της \hat{U}_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

q_1 : στιγμιαία τιμή του φορτίου στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q_2 : στιγμιαία τιμή του φορτίου στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$\Delta u = u_2 - u_1$

t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

$\Delta t = t_2 - t_1$

Z_1 : στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

Z_2 : στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$\Delta Z = Z_2 - Z_1$

\hat{U}_k [kV]	E_k [MV/cm]	C_m [nF]	Q_1 [μC]	Q_2 [μC]	u_1 [V]	u_2 [V]	Δu [V]	t_1 [s]	t_2 [s]	Δt [s]
29	0,29	210	0,09	0,3	0,00043	0,00143	0,00100	10	35	25
35	0,36	210	0,11	0,5	0,00052	0,00238	0,00186	13	39	26
40	0,41	210	0,12	0,8	0,00057	0,00381	0,00324	11	40	29
45	0,46	210	0,13	1	0,00062	0,00476	0,00414	9,5	45	35,5
50	0,51	210	0,12	1,3	0,00057	0,00619	0,00562	7	49	42
55	0,56	210	0,17	1,8	0,00081	0,00857	0,00776	6,1	56	49,9
60	0,61	210	0,19	2,8	0,00090	0,01333	0,01243	5	61	56
65	0,66	1000	0,21	6,3	0,00021	0,00630	0,00609	4	67,5	63,5

Πίνακας 3.3-2α: Στατιστική ανάλυση της ενέργειας λόγω μερικών εκκενώσεων στον « πανίτη » εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενή πεδία (ακίδα με $R=0,9\text{mm}$ – πλάκα) υπό κρουστική τάση $-10/200\mu\text{s}$ και πάχος $d=2\text{mm}$ με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν στην παράγραφο 2.

\hat{U}_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k : τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k

C_m : πυκνωτής μέτρησης

u_1 : στιγμιαία τιμή της \hat{U}_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

u_2 : στιγμιαία τιμή της \hat{U}_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

q_1 : στιγμιαία τιμή του φορτίου στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q_2 : στιγμιαία τιμή του φορτίου στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$\Delta u = u_2 - u_1$

t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

$\Delta t = t_2 - t_1$

\hat{U}_k [kV]	E_k [MV/cm]	C_m [nF]	W_1 [Ws]	W_2 [Ws]	ΔW [Ws]	P_1 [W]	P_2 [W]	ΔP [W]	ΔWe [eV]
29	0,29	210	3,86E-05	0,00043	0,0004	3,86E-06	0,00001	-8,39E-06	0,0005
35	0,36	210	5,76E-05	0,0012	0,0011	4,43E-06	0,00003	-2,61E-05	0,00093
40	0,41	210	6,86E-05	0,00305	0,0030	6,23E-06	0,00008	-7,00E-05	0,00162
45	0,46	210	8,05E-05	0,00476	0,0047	8,47E-06	0,00011	-9,73E-05	0,00207
50	0,51	210	6,86E-05	0,00805	0,0080	9,80E-06	0,00016	-1,54E-04	0,00281
55	0,56	210	1,38E-04	0,01543	0,0153	2,26E-05	0,00028	-2,53E-04	0,00388
60	0,61	210	1,72E-04	0,03733	0,0372	3,44E-05	0,00061	-5,78E-04	0,00621
65	0,66	1000	4,41E-05	0,0397	0,0396	1,10E-05	0,00059	-5,77E-04	0,00304

Πίνακας 3.3-2β : Στατιστική ανάλυση της ενέργειας λόγω μερικών εκκενώσεων στον « πανίτη » εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενή πεδία (ακίδα με $R=0,9\text{mm}$ – πλάκα) υπό κρουστική τάση $-10/200\mu\text{s}$ και πάχος $d=2\text{mm}$ με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν στην παράγραφο 2.

\hat{U}_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k : τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k

C_m : πυκνωτής μέτρησης

W_1 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

W_2 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

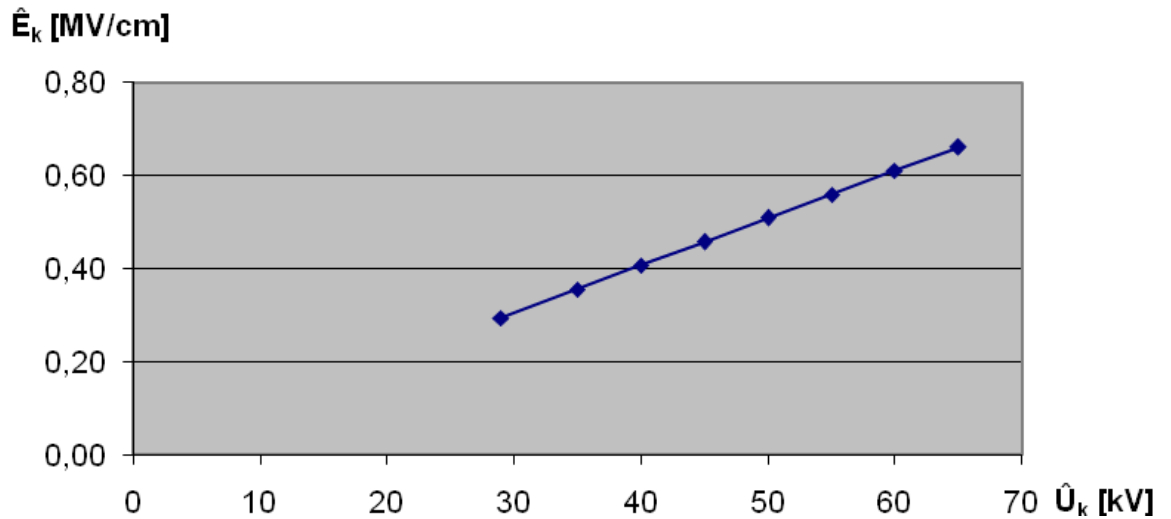
$\Delta W = W_2 - W_1$

P_1 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

P_2 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$\Delta P = P_2 - P_1$

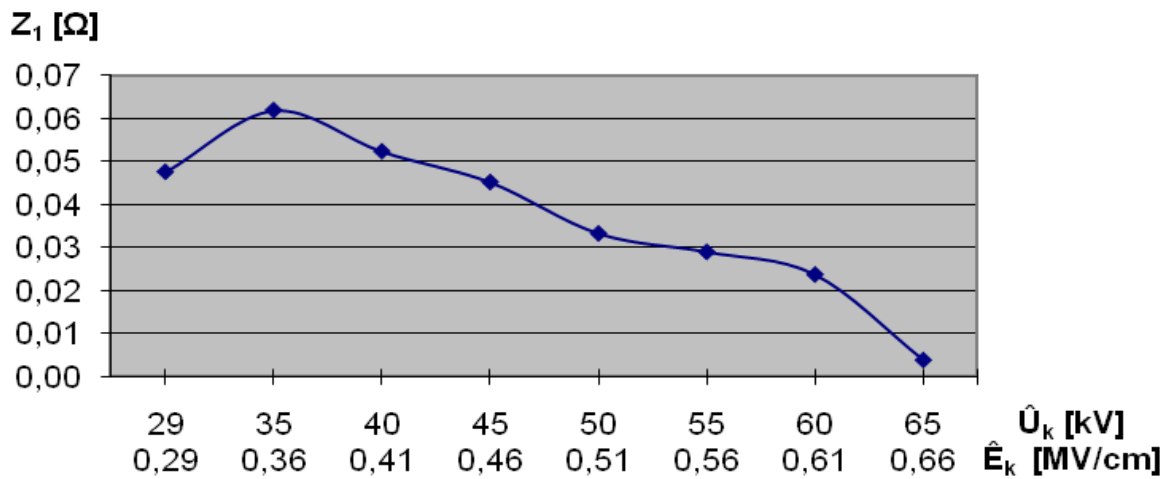
ΔWe : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων



Σχήμα 3.3-1 : Χαρακτηριστική $\hat{E}_k = f(\hat{U}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$.

\hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας

\hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

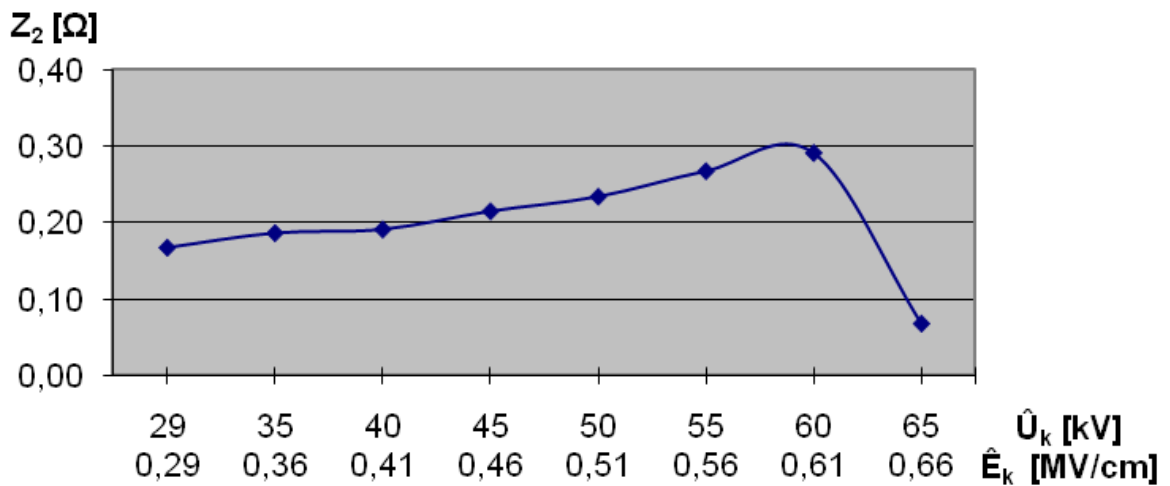


Σχήμα 3.3-2 : Χαρακτηριστική $Z_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$

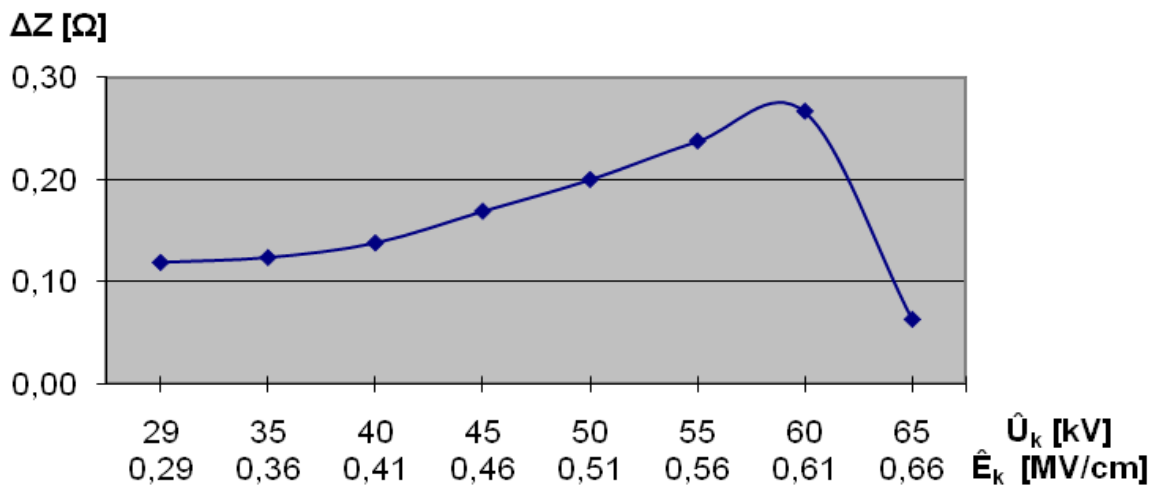
Z_1 : η στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

\hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας

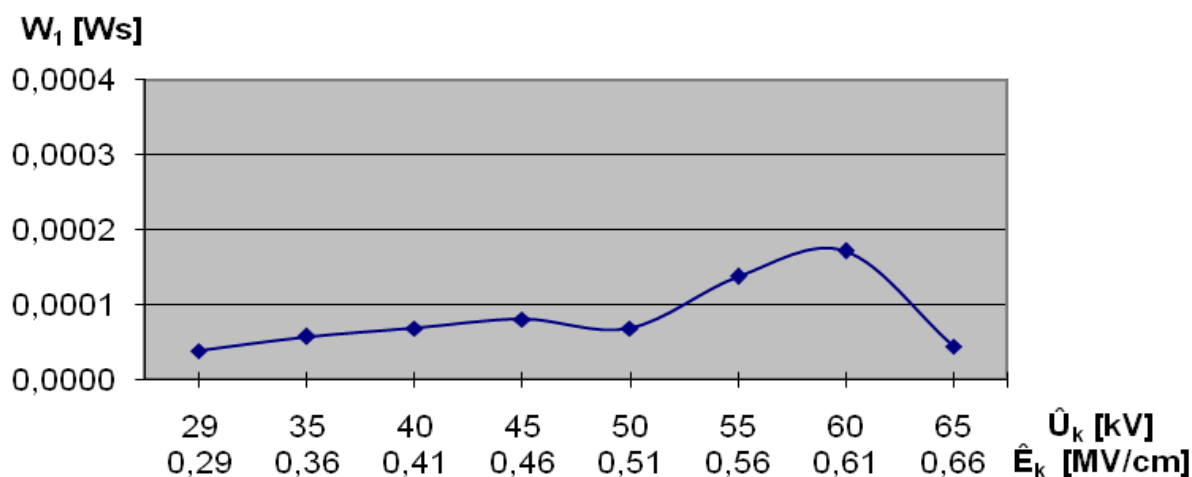
\hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



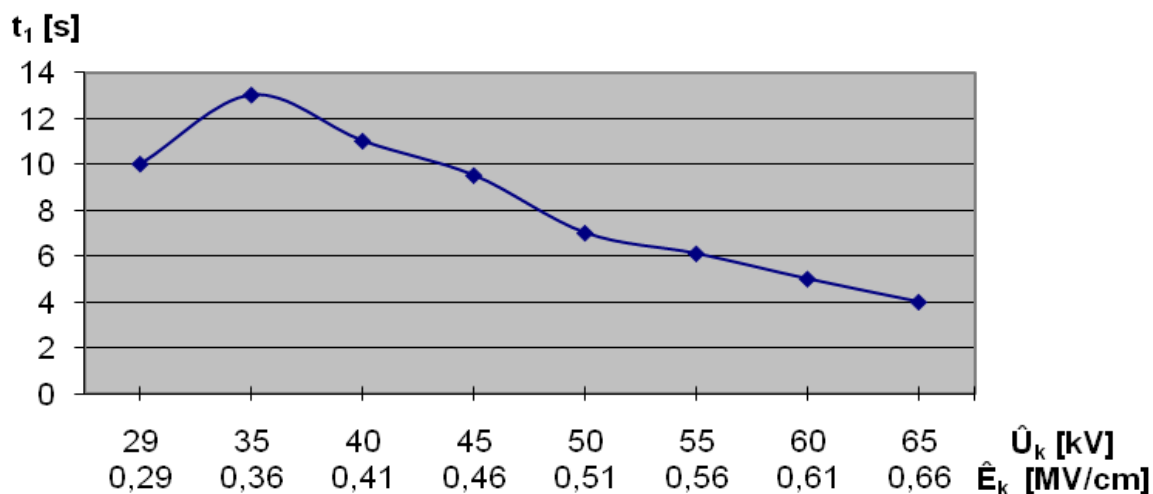
Σχήμα 3.3-3 : Χαρακτηριστική $Z_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 Z_2 : η στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



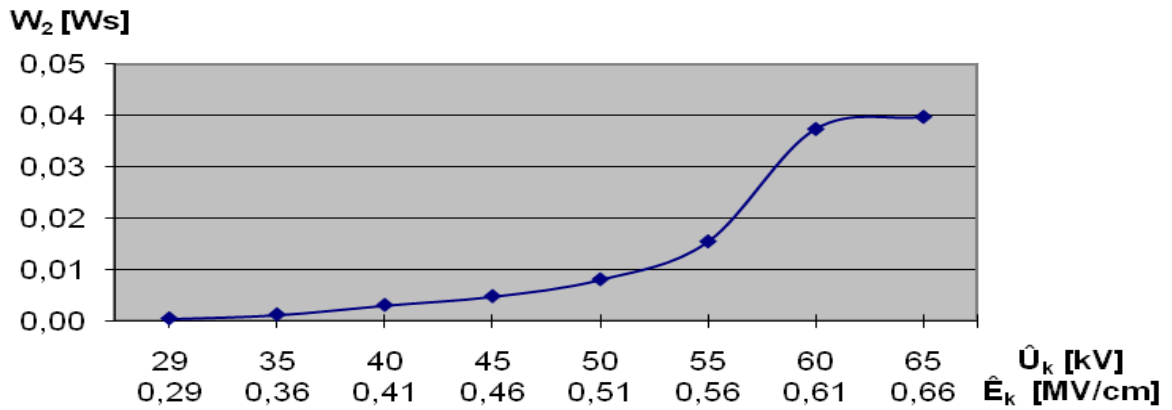
Σχήμα 3.3-4 : Χαρακτηριστική $\Delta Z = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 $\Delta Z = Z_2 - Z_1$
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



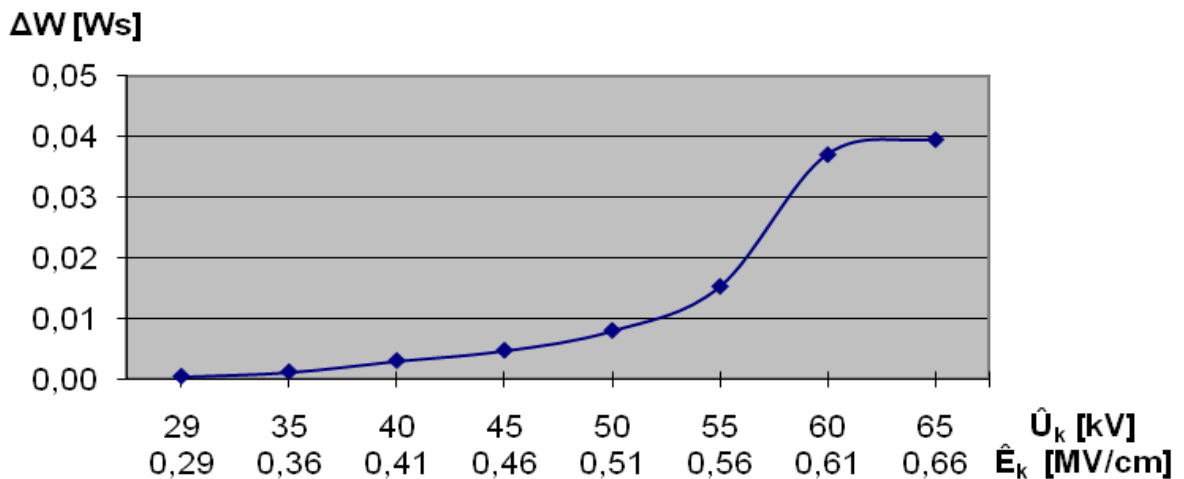
Σχήμα 3.3-5 : Χαρακτηριστική $W_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 W_1 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



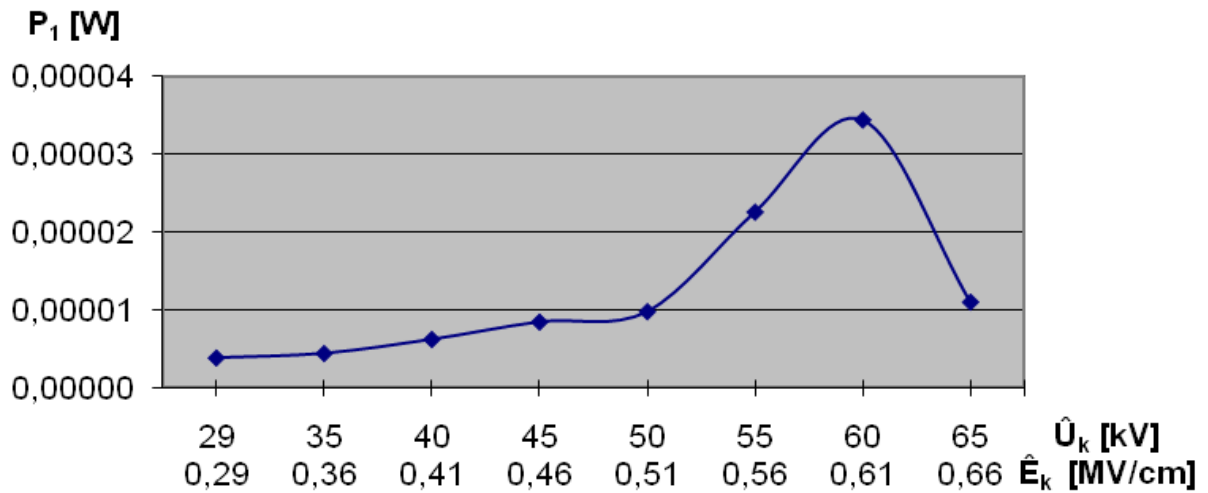
Σχήμα 3.3-6 : Χαρακτηριστική $t_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



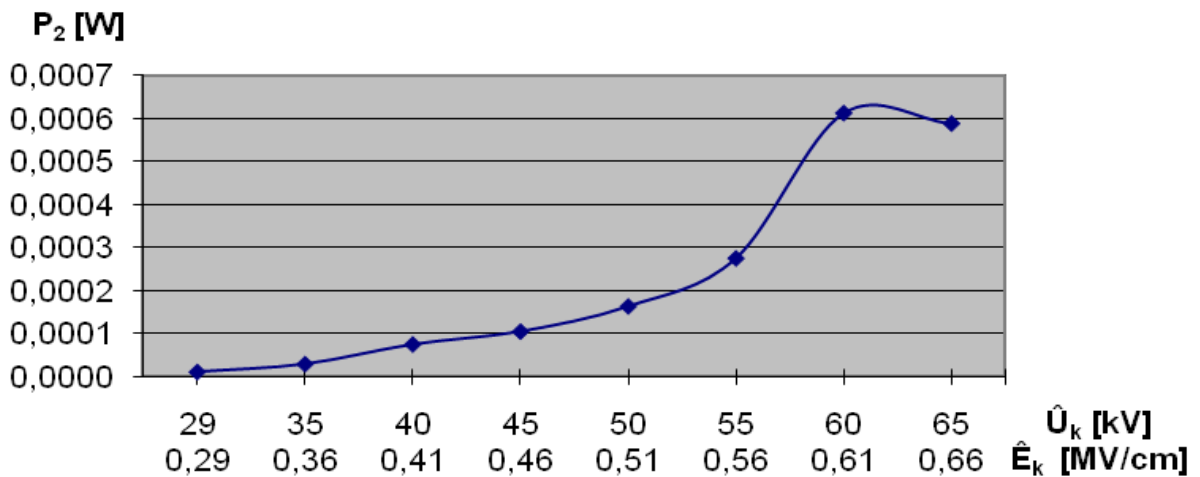
Σχήμα 3.3-7 : Χαρακτηριστική $W_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 W_2 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



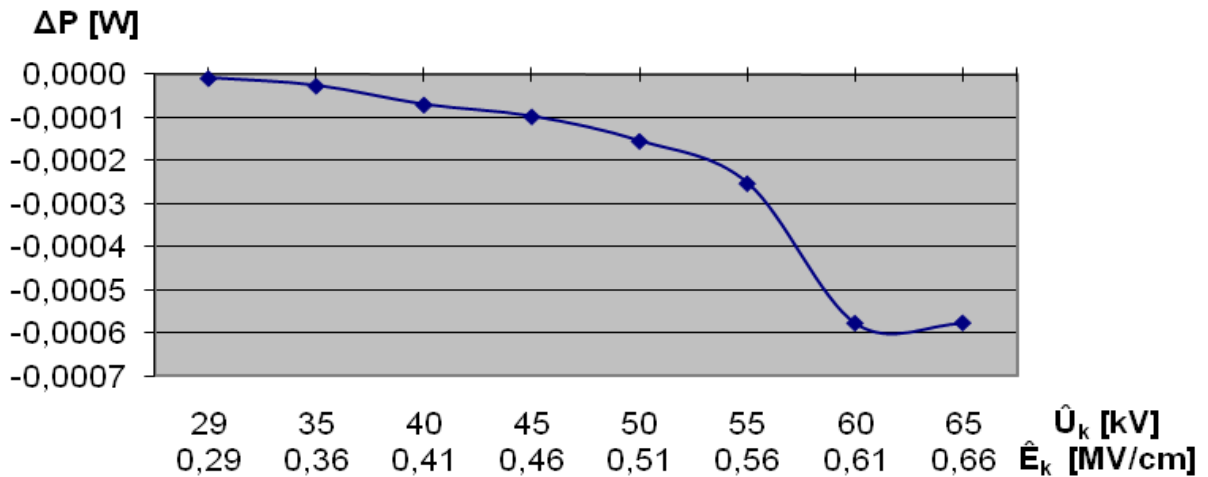
Σχήμα 3.3-8 : Χαρακτηριστική $\Delta W = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 $\Delta W = W_2 - W_1$
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



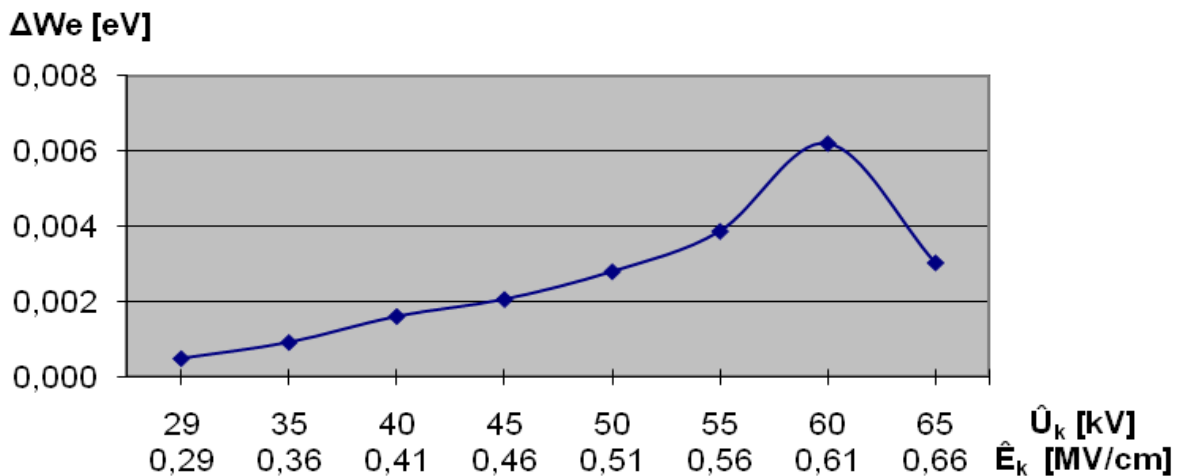
Σχήμα 3.3-9 : Χαρακτηριστική $P_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 P_1 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



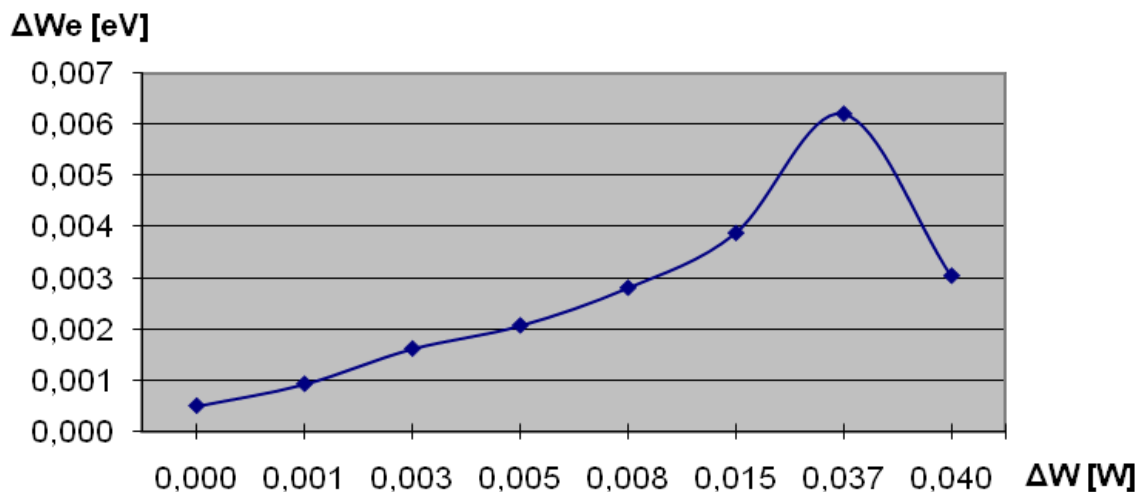
Σχήμα 3.3-10 : Χαρακτηριστική $P_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 P_2 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



Σχήμα 3.3-11 : Χαρακτηριστική $\Delta P = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 $\Delta P = P_2 - P_1$
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



Σχήμα 3.3-12 : Χαρακτηριστική $\Delta We = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 ΔWe : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



Σχήμα 3.3-13 : Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(\Delta W)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 ΔW_e : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 $\Delta W = W_2 - W_1$

3.4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΕ ΚΡΟΥΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗ +10/200μs ΚΑΙ ΠΑΧΟΣ $d=2mm$

\hat{U}_k [kV]	E_k [MV/cm]	C_m [nF]	Q_1 [μC]	Q_2 [μC]	u_1 [V]	u_2 [V]	Δu [V]	t_1 [s]	t_2 [s]	Δt [s]	Z_1 [Ω]	Z_2 [Ω]	ΔZ [Ω]
27	0,27	210	0,11	0,5	0,00052	0,0024	0,0019	24	37	13	0,1143	0,1762	0,0619
30	0,31	210	0,12	0,6	0,00057	0,0029	0,0023	16	39	23	0,0762	0,1857	0,1095
35	0,36	210	0,14	0,75	0,00067	0,0036	0,0029	8,2	39,5	31,3	0,0390	0,1881	0,1490
40	0,41	210	0,17	1,25	0,00081	0,0060	0,0051	8	40	32	0,0381	0,1905	0,1524
45	0,46	210	0,2	1,5	0,00095	0,0071	0,0062	6	46	40	0,0286	0,2190	0,1905
50	0,51	210	0,24	2,6	0,00114	0,0124	0,0112	4,2	49,5	45,3	0,0200	0,2357	0,2157
55	0,56	210	0,26	3,5	0,00124	0,0167	0,0154	4	53	49	0,0190	0,2524	0,2333
60	0,61	210	0,33	4,25	0,00157	0,0202	0,0187	3,9	65	61,1	0,0186	0,3095	0,2910
65	0,66	1000	0,43	5,2	0,00043	0,0052	0,0048	3,7	72	68,3	0,0037	0,0720	0,0683

Πίνακας 3.4-1 : Στατιστική ανάλυση της ενέργειας λόγω μερικών εκκενώσεων στον « πανίτη » εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενή πεδία (ακίδα με $R=0,9mm$ – πλάκα) υπό κρουστική τάση +10/200μs και πάχος $d=2mm$ με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν στην παράγραφο 2.

\hat{U}_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k : τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k

C_m : πυκνωτής μέτρησης

u_1 : στιγμιαία τιμή της \hat{U}_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

u_2 : στιγμιαία τιμή της \hat{U}_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

q_1 : στιγμιαία τιμή του φορτίου στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q_2 : στιγμιαία τιμή του φορτίου στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$\Delta u = u_2 - u_1$

t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

$\Delta t = t_2 - t_1$

Z_1 : στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

Z_2 : στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$\Delta Z = Z_2 - Z_1$

\hat{U}_k [kV]	E_k [MV/cm]	C_m [nF]	Q_1 [μC]	Q_2 [μC]	u_1 [V]	u_2 [V]	Δu [V]	t_1 [s]	t_2 [s]	Δt [s]
27	0,27	210	0,11	0,5	0,00052	0,00238	0,00186	24	37	13
30	0,31	210	0,12	0,6	0,00057	0,00286	0,00229	16	39	23
35	0,36	210	0,14	0,75	0,00067	0,00357	0,00290	8,2	39,5	31,3
40	0,41	210	0,17	1,25	0,00081	0,00595	0,00514	8	40	32
45	0,46	210	0,2	1,5	0,00095	0,00714	0,00619	6	46	40
50	0,51	210	0,24	2,6	0,00114	0,01238	0,01124	4,2	49,5	45,3
55	0,56	210	0,26	3,5	0,00124	0,01667	0,01543	4	53	49
60	0,61	210	0,33	4,25	0,00157	0,02024	0,01867	3,9	65	61,1
65	0,66	1000	0,43	5,2	0,00043	0,00520	0,00477	3,7	72	68,3

Πίνακας 3.4-2α : Στατιστική ανάλυση της ενέργειας λόγω μερικών εκκενώσεων στον « πανίτη » εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενή πεδία (ακίδα με $R=0,9\text{mm}$ – πλάκα) υπό κρουστική τάση $+10/200\mu\text{s}$ και πάχος $d=2\text{mm}$ με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν στην παράγραφο 2.

\hat{U}_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k : τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k

C_m : πυκνωτής μέτρησης

u_1 : στιγμιαία τιμή της \hat{U}_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

u_2 : στιγμιαία τιμή της \hat{U}_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

q_1 : στιγμιαία τιμή του φορτίου στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q_2 : στιγμιαία τιμή του φορτίου στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$\Delta u = u_2 - u_1$

t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

$\Delta t = t_2 - t_1$

\hat{U}_k [kV]	E_k [MV/cm]	C_m [nF]	W_1 [Ws]	W_2 [Ws]	ΔW [Ws]	P_1 [W]	P_2 [W]	ΔP [W]	ΔWe [eV]
27	0,27	210	5,76E-05	0,00119	0,0011	2,40E-06	0,00003	-2,98E-05	0,000929
30	0,31	210	6,86E-05	0,001714	0,0016	4,29E-06	0,00004	-3,97E-05	0,001143
35	0,36	210	9,33E-05	0,002679	0,0026	1,14E-05	0,00007	-5,64E-05	0,001452
40	0,41	210	1,38E-04	0,00744	0,0073	1,72E-05	0,00019	-1,69E-04	0,002571
45	0,46	210	1,90E-04	0,010714	0,0105	3,17E-05	0,00023	-2,01E-04	0,003095
50	0,51	210	2,74E-04	0,03219	0,0319	6,53E-05	0,00065	-5,85E-04	0,005619
55	0,56	210	3,22E-04	0,058333	0,0580	8,05E-05	0,00110	-1,02E-03	0,007714
60	0,61	210	5,19E-04	0,086012	0,0855	1,33E-04	0,00132	-1,19E-03	0,009333
65	0,66	1000	1,85E-04	0,02704	0,0269	5,00E-05	0,00038	-3,26E-04	0,002385

Πίνακας 3.4-2β: Στατιστική ανάλυση της ενέργειας λόγω μερικών εκκενώσεων στον « πανίτη » εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενή πεδία (ακίδα με $R=0,9\text{mm}$ – πλάκα) υπό κρουστική τάση $+10/200\mu\text{s}$ και πάχος $d=2\text{mm}$ με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν στην παράγραφο 2.

\hat{U}_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k : τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k

C_m : πυκνωτής μέτρησης

W_1 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

W_2 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

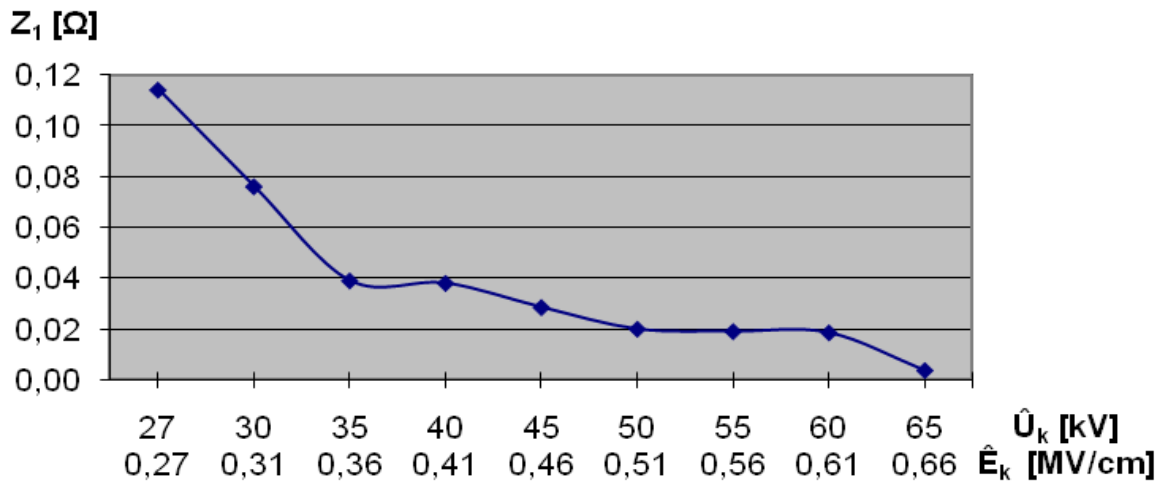
$\Delta W = W_2 - W_1$

P_1 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

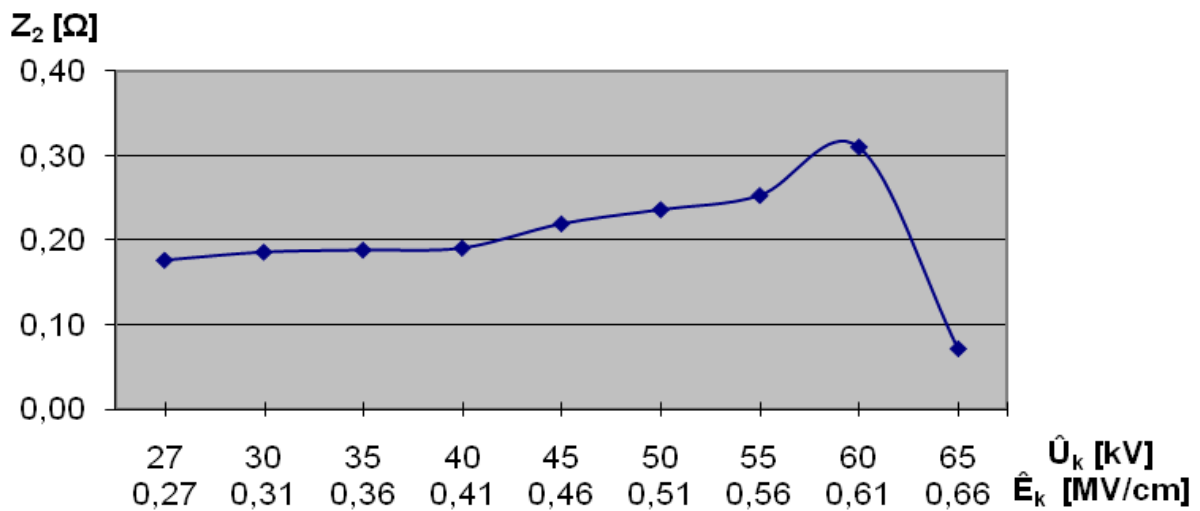
P_2 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$\Delta P = P_2 - P_1$

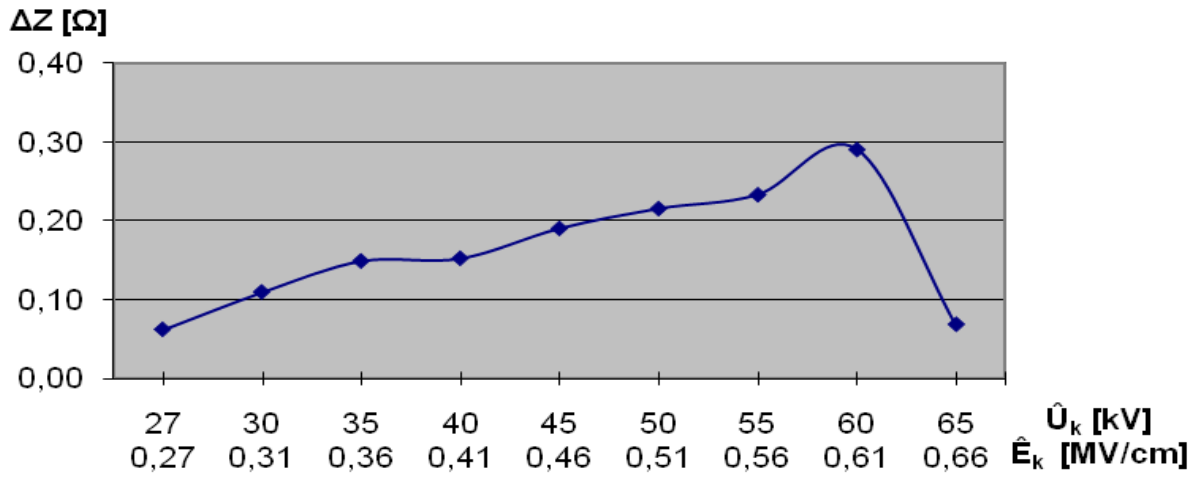
ΔWe : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων



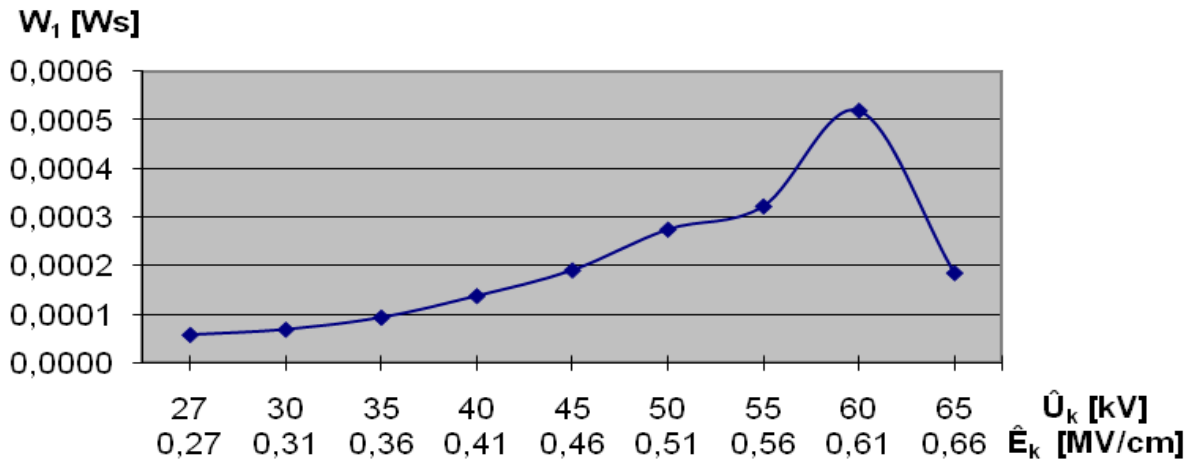
Σχήμα 3.4-1 : Χαρακτηριστική $Z_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 Z_1 : η στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



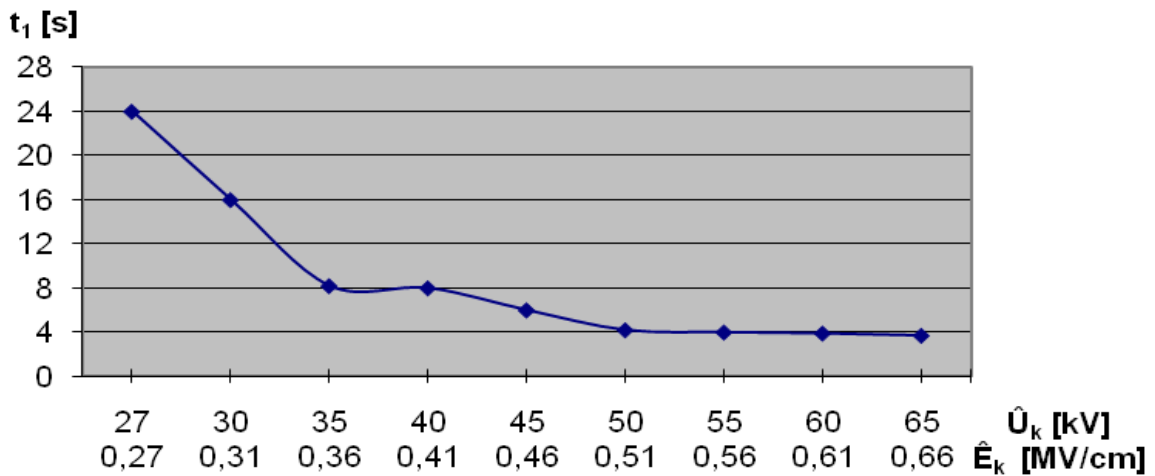
Σχήμα 3.4-2 : Χαρακτηριστική $Z_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 Z_2 : η στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



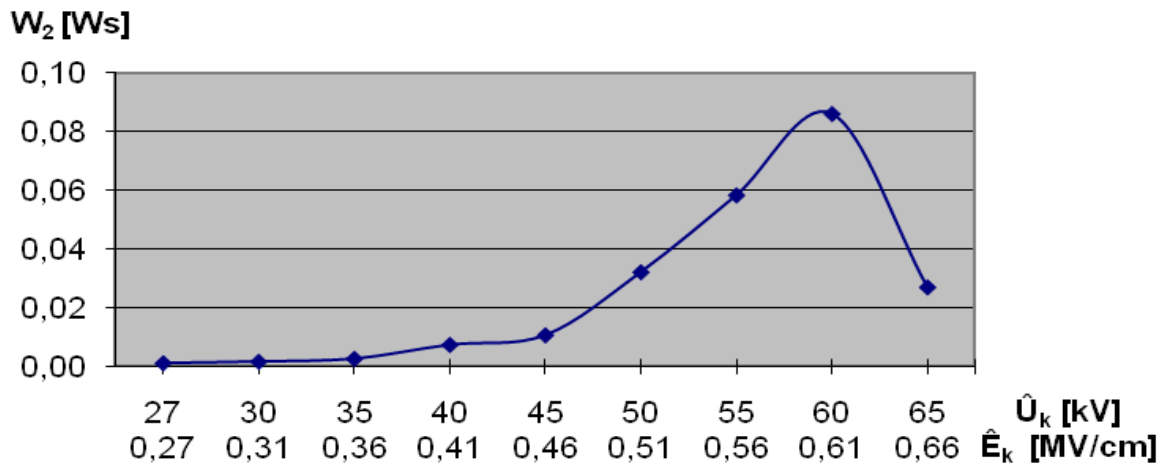
Σχήμα 3.4-3 : Χαρακτηριστική $\Delta Z = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 $\Delta Z = Z_2 - Z_1$
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



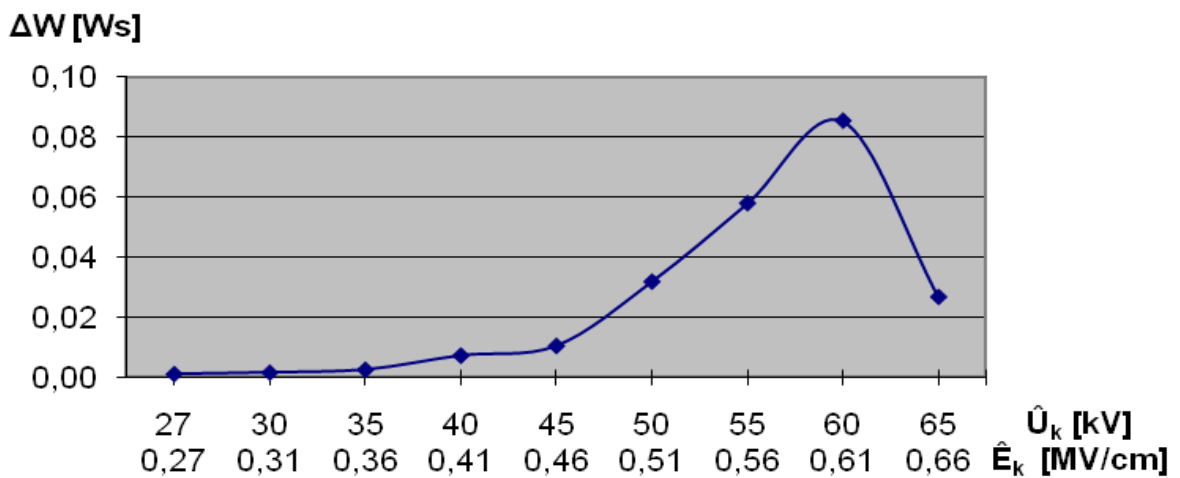
Σχήμα 3.4-4 : Χαρακτηριστική $W_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 W_1 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



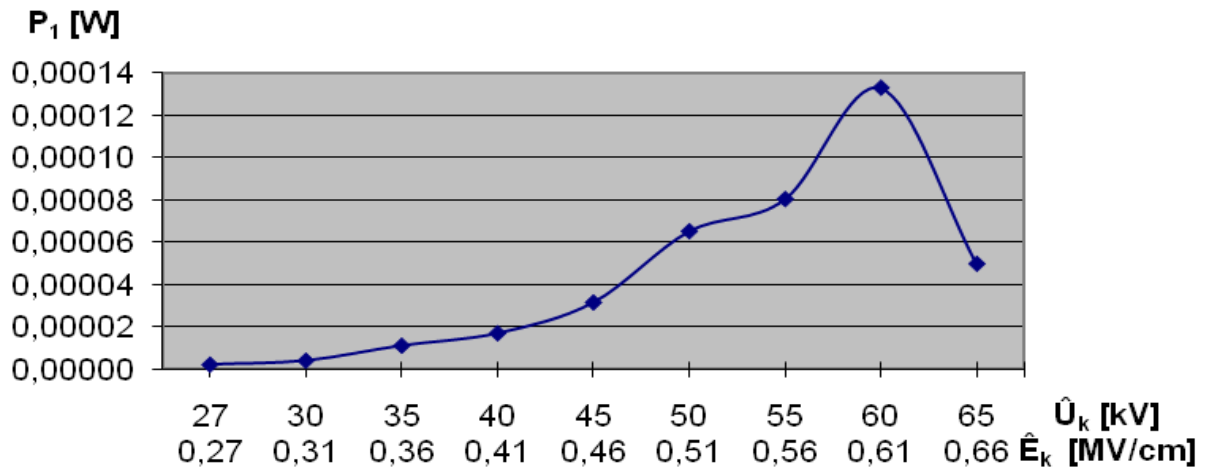
Σχήμα 3.4-5 : Χαρακτηριστική $t_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



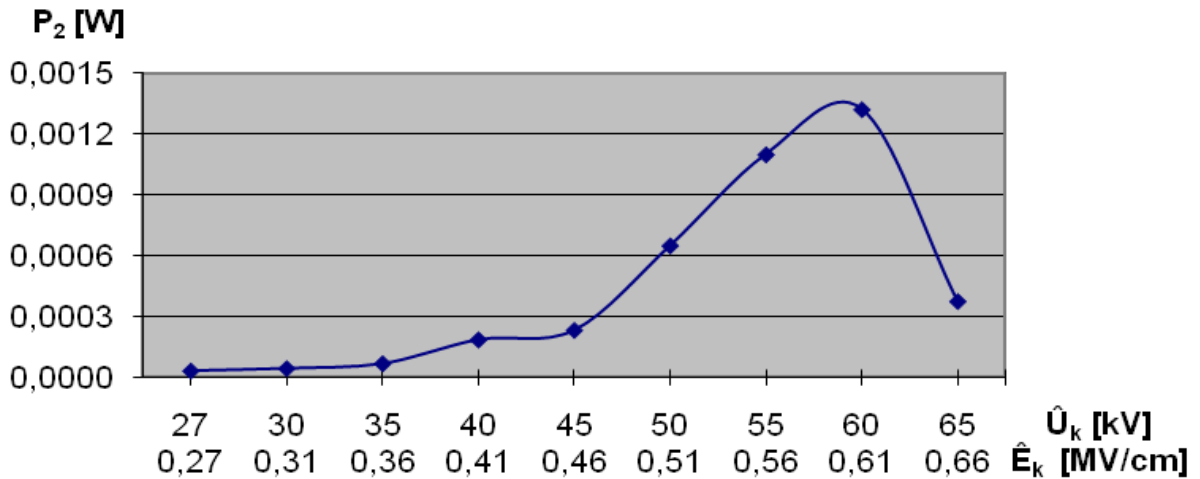
Σχήμα 3.4-6 : Χαρακτηριστική $W_2=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 W_2 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



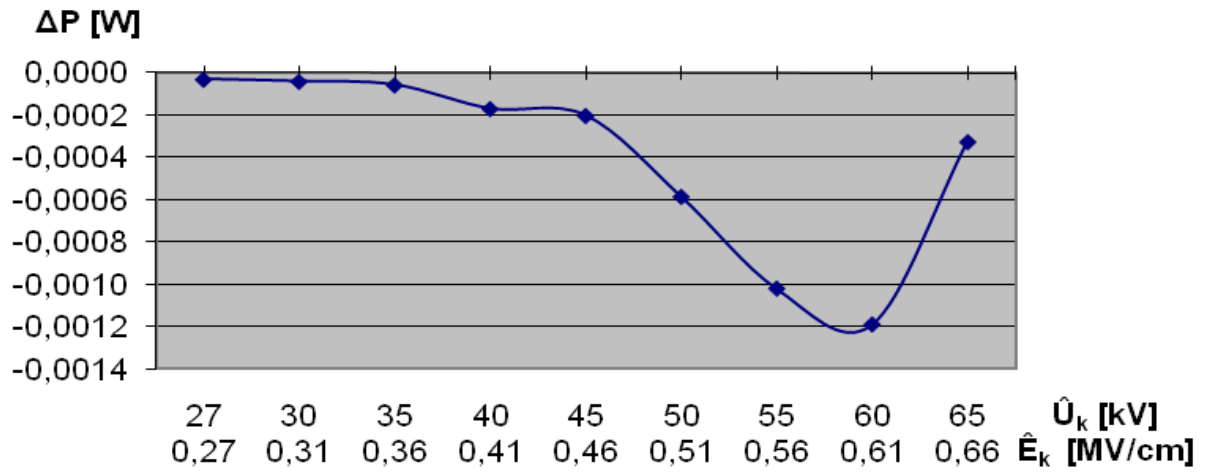
Σχήμα 3.4-7 : Χαρακτηριστική $\Delta W=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 $\Delta W = W_2 - W_1$
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



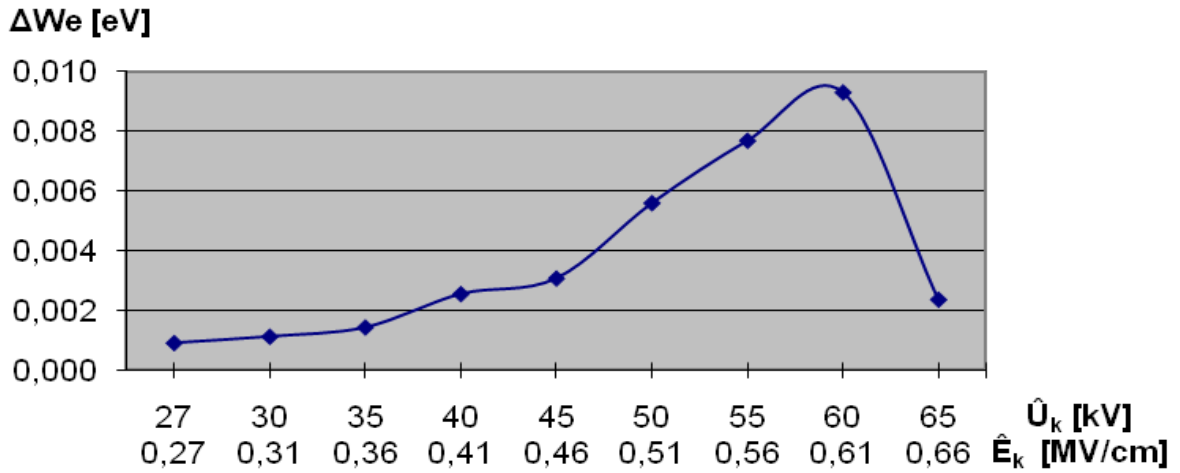
Σχήμα 3.4-8 : Χαρακτηριστική $P_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 P_1 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



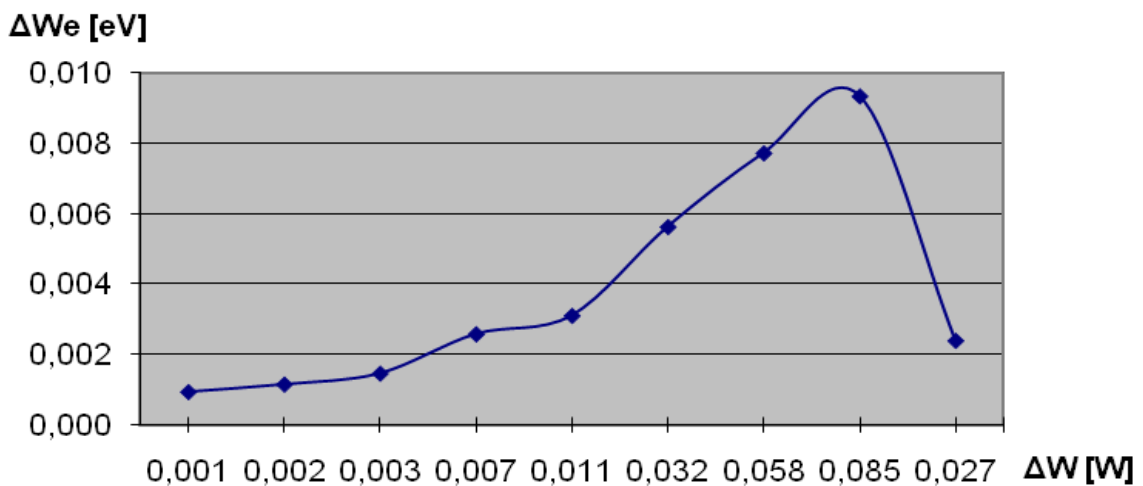
Σχήμα 3.4-9 : Χαρακτηριστική $P_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 P_2 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



Σχήμα 3.4-10 : Χαρακτηριστική $\Delta P = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 $\Delta P = P_2 - P_1$
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



Σχήμα 3.4-11 : Χαρακτηριστική $\Delta We = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 ΔWe : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

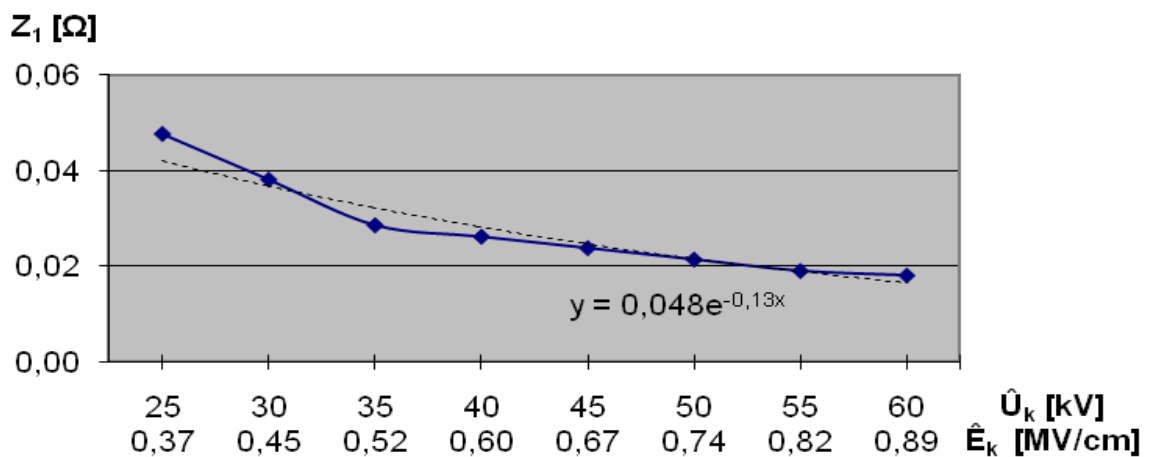


Σχήμα 3.4-12 : Χαρακτηριστική $\Delta We = f(\Delta W)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 ΔWe : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 $\Delta W = W_2 - W_1$

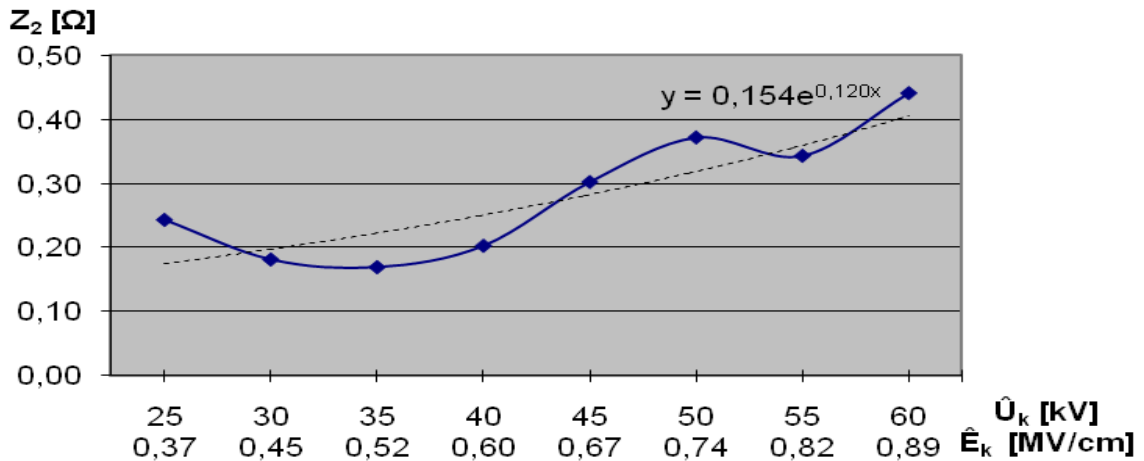
4. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ

Στο κεφάλαιο αυτό οι πραγματικές καμπύλες που παρουσιάστηκαν παραπάνω αντιστοιχίζονται κατά προσέγγιση με γραμμικές καμπύλες. Όπως φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα, σε κάθε πραγματική καμπύλη (συνεχής γραμμή) αντιστοιχεί μία γραμμική καμπύλη (διακεκομμένη γραμμή) με όσο το δυνατό καλύτερη προσέγγιση.

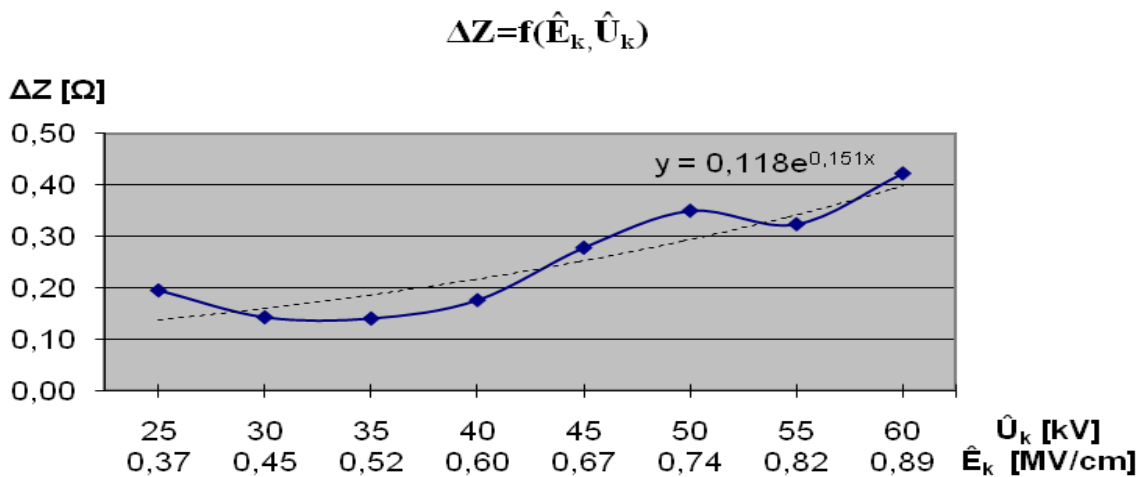
4.1 ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕ ΚΡΟΥΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗ +10/200 μ s ΚΑΙ ΠΑΧΟΣ $d=1$ mm



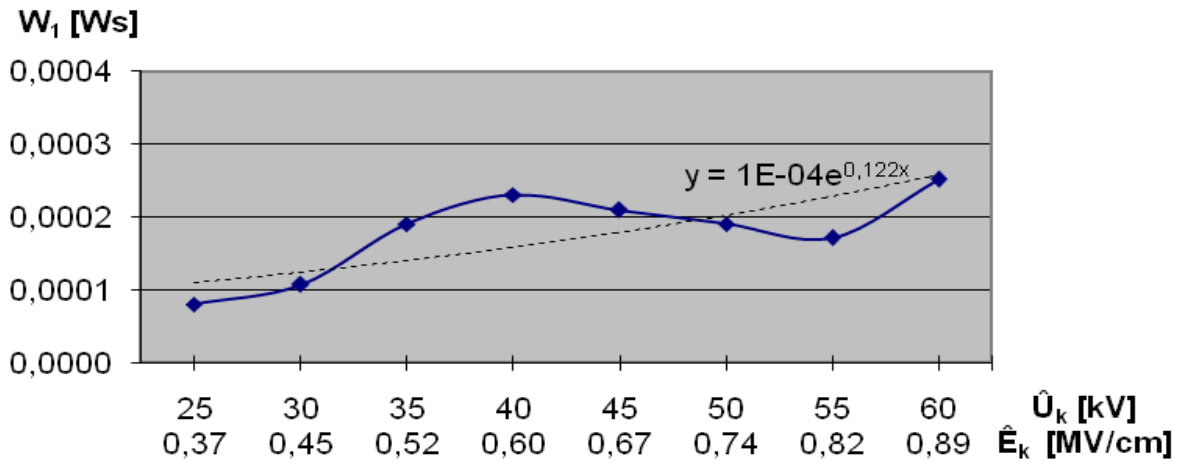
Σχήμα 4.1-1 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $Z_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1$ mm
 Z_1 : η στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y = 0,048e^{-0,13x}$



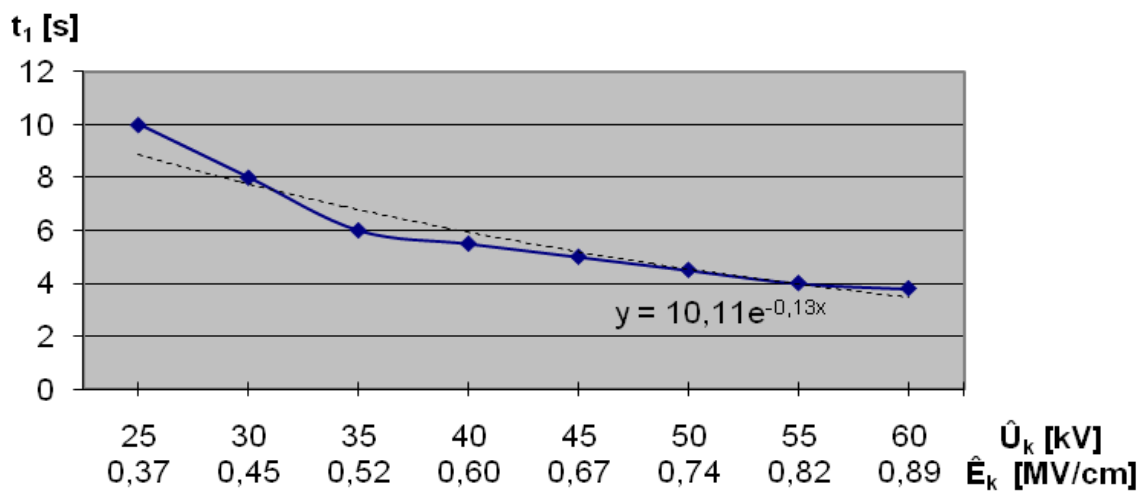
Σχήμα 4.1-2: Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $Z_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 Z_2 : η στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,154e^{0,120x}$



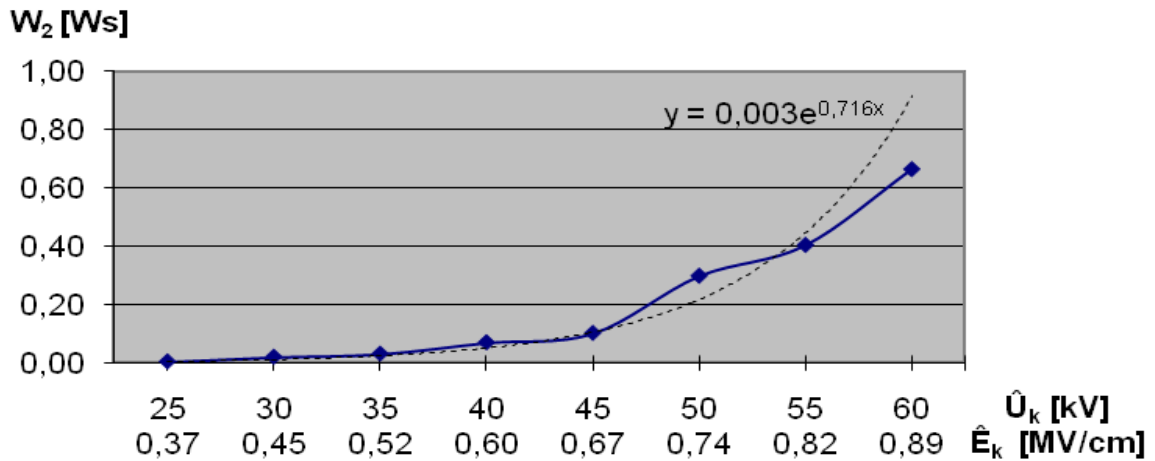
Σχήμα 4.1-3 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $\Delta Z = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 $\Delta Z = Z_1 - Z_2$
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,118e^{0,151x}$



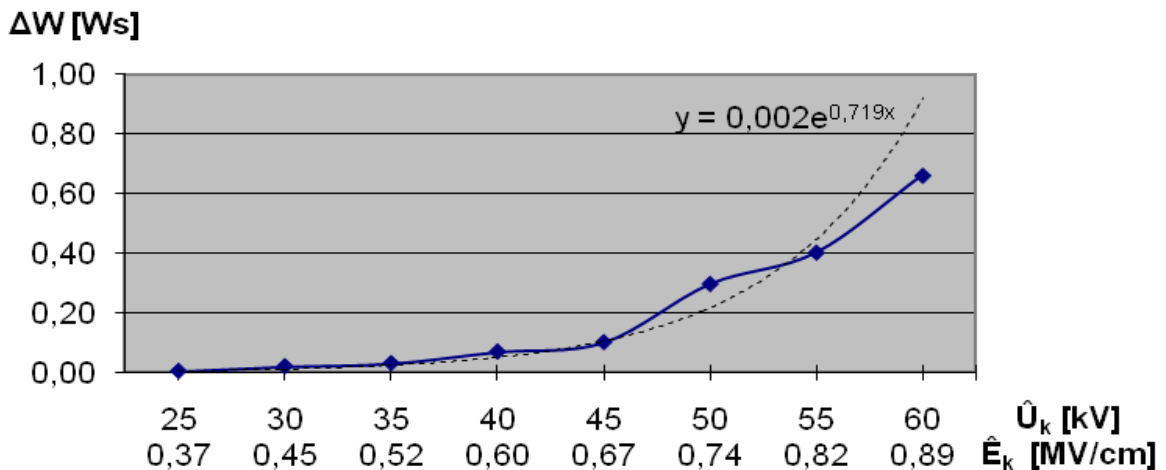
Σχήμα 4.1-4 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $W_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 W_1 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y = 1E-04e^{0,122x}$



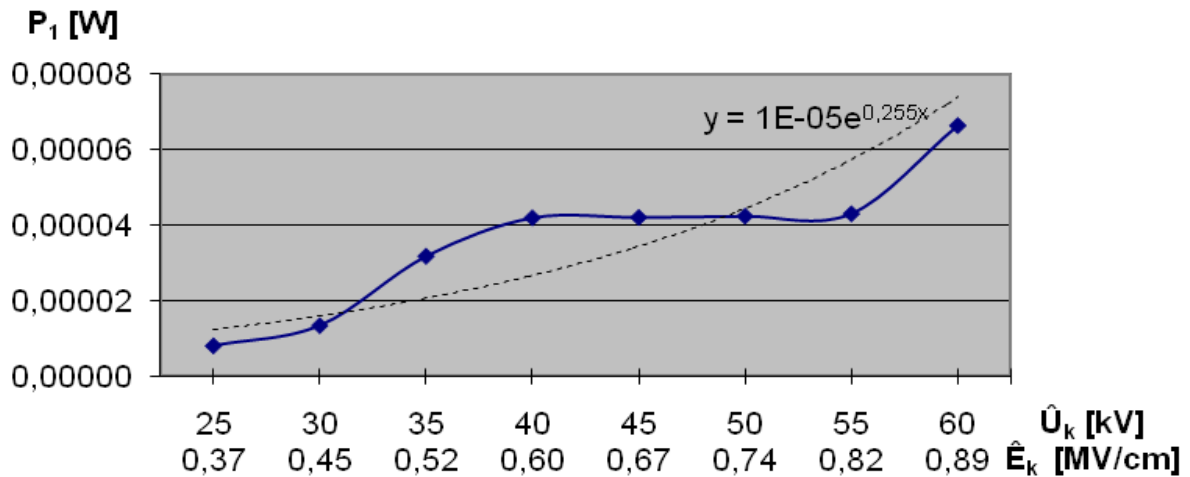
Σχήμα 4.1-5 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $t_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y = 10,11e^{-0,13x}$



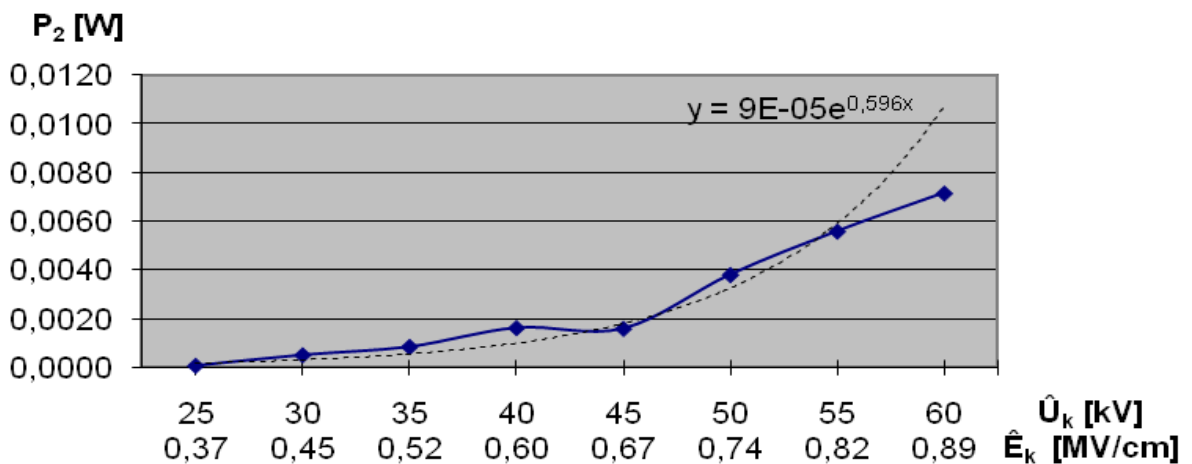
Σχήμα 4.1-6 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $W_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 W_2 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,003e^{0,716x}$



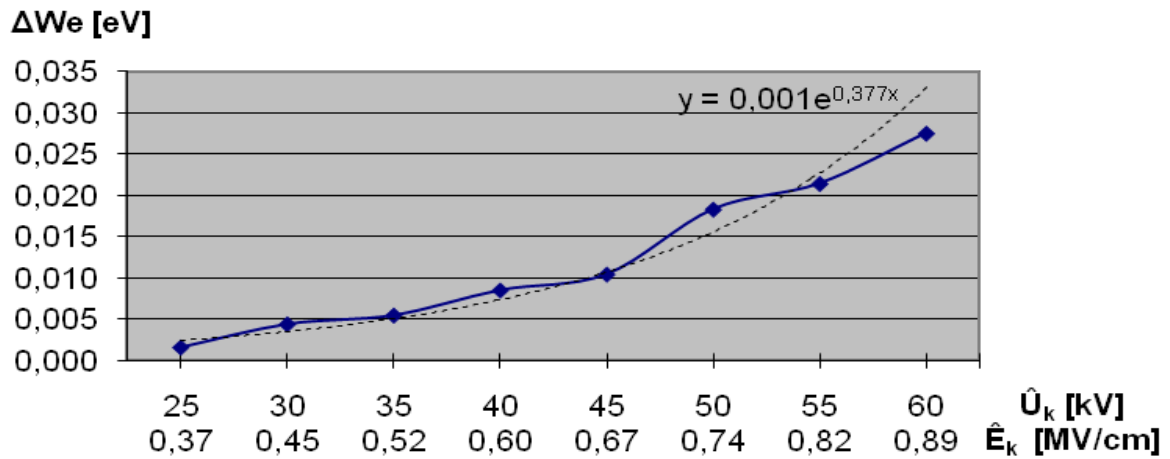
Σχήμα 4.1-7 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $\Delta W = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 $\Delta W = W_2 - W_1$
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,002e^{0,719x}$



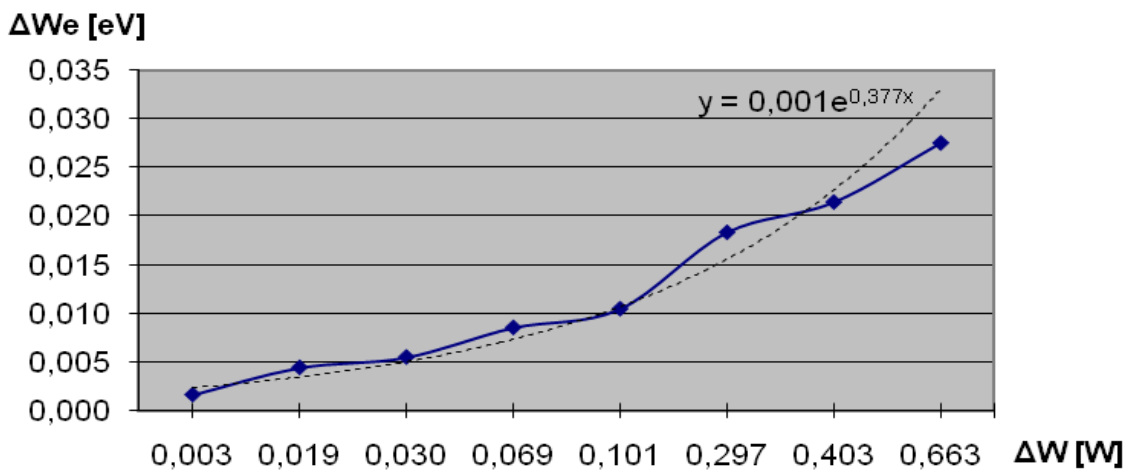
Σχήμα 4.1-8 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $P_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 P_1 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=1E-05e^{0,255x}$



Σχήμα 4.1-9 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $P_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 P_2 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=9E-05e^{0,596x}$



Σχήμα 4.1-10 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) και για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 ΔW_e : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,001e^{0,377x}$



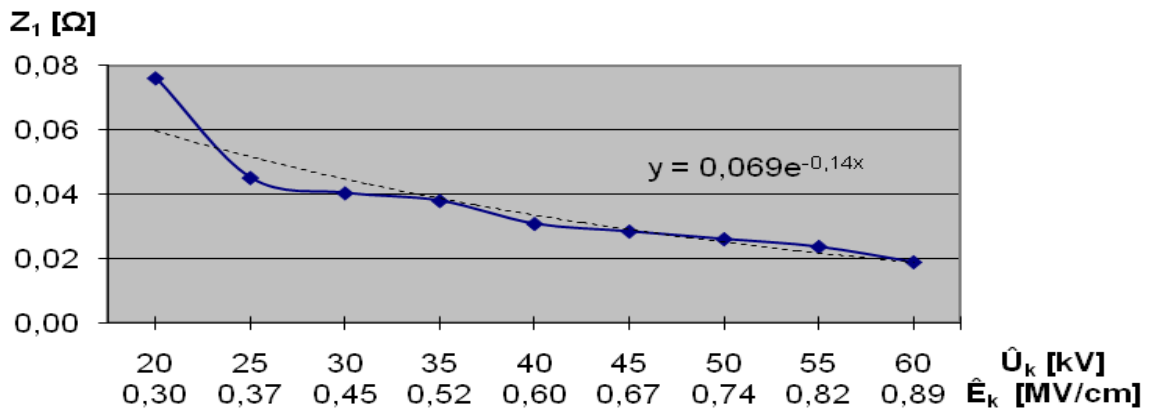
Σχήμα 4.1-11 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(\Delta W)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 ΔW_e : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 $\Delta W = W_2 - W_1$
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,001e^{0,377x}$

Στον πίνακα 4.1-1 δίνονται συγκεντρωτικά οι μαθηματικές σχέσεις προσέγγισης των πειραματικών αποτελεσμάτων.

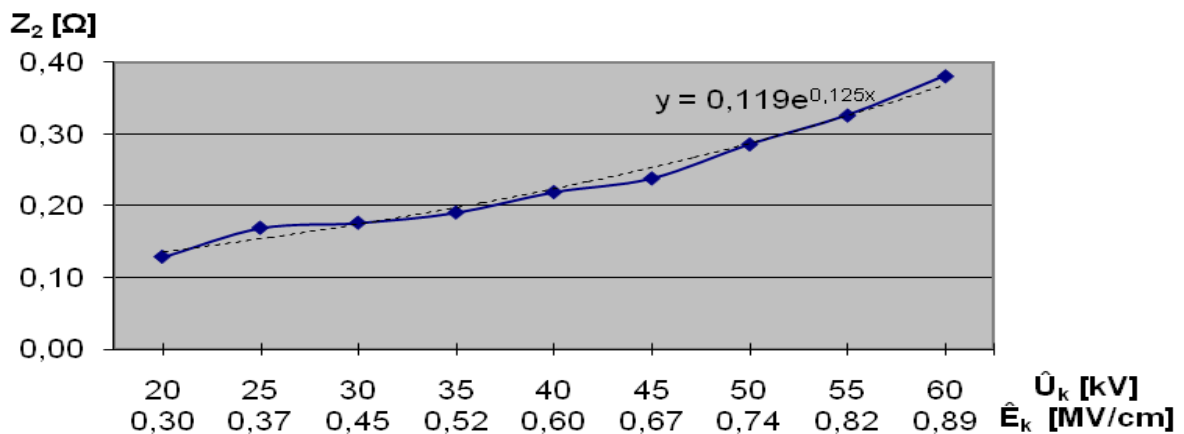
Συνάρτηση	Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης
$Z_1=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=0,048e^{-0,13x}$
$Z_2=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=0,154e^{0,12x}$
$\Delta Z=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=0,118e^{0,151x}$
$W_1=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=1E-04e^{0,122x}$
$W_2=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=0,003e^{0,716x}$
$\Delta W=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=0,002e^{0,719x}$
$t_1=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=10,11e^{-0,13x}$
$P_1=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=1E-05e^{0,255x}$
$P_2=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=9E-05e^{0,596x}$
$\Delta We=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=0,001e^{0,377x}$
$\Delta We=f(\Delta W)$	$y=0,001e^{0,377x}$

Πίνακας 4.1-1 Συγκεντρωτικός πίνακας των εξισώσεων προσέγγισης των πειραματικών αποτελεσμάτων

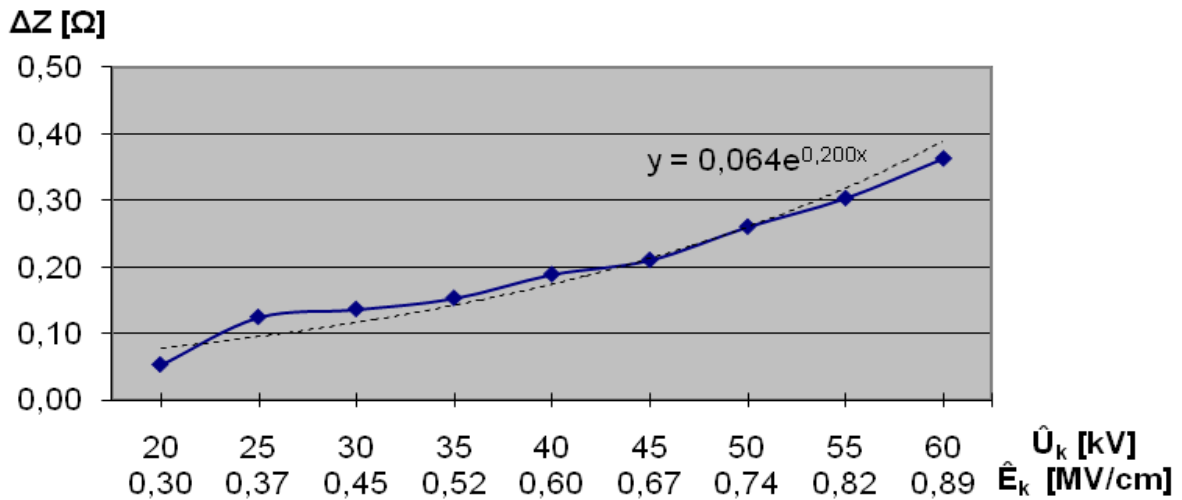
4.2 ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕ ΚΡΟΥΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗ -10/200μs ΚΑΙ ΠΑΧΟΣ $d=1mm$



Σχήμα 4.2-1 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $Z_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1mm$
 Z_1 : η στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,069e^{-0,14x}$



Σχήμα 4.2-2 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $Z_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1mm$
 Z_2 : η στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,119e^{0,125x}$



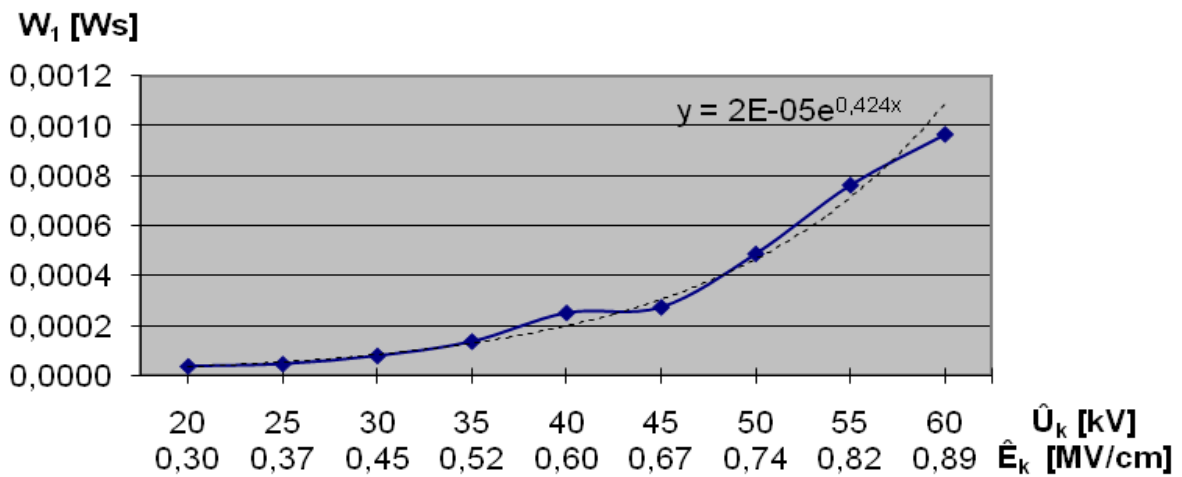
Σχήμα 4.2-3 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $\Delta Z = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1$$

\hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας

\hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,064e^{0,200x}$



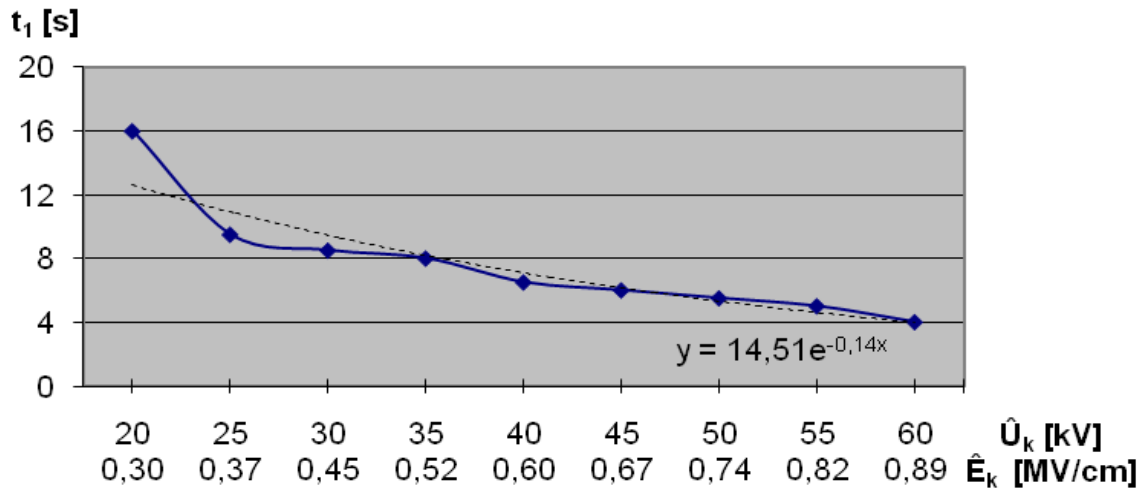
Σχήμα 4.2-4 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $W_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$

W_1 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

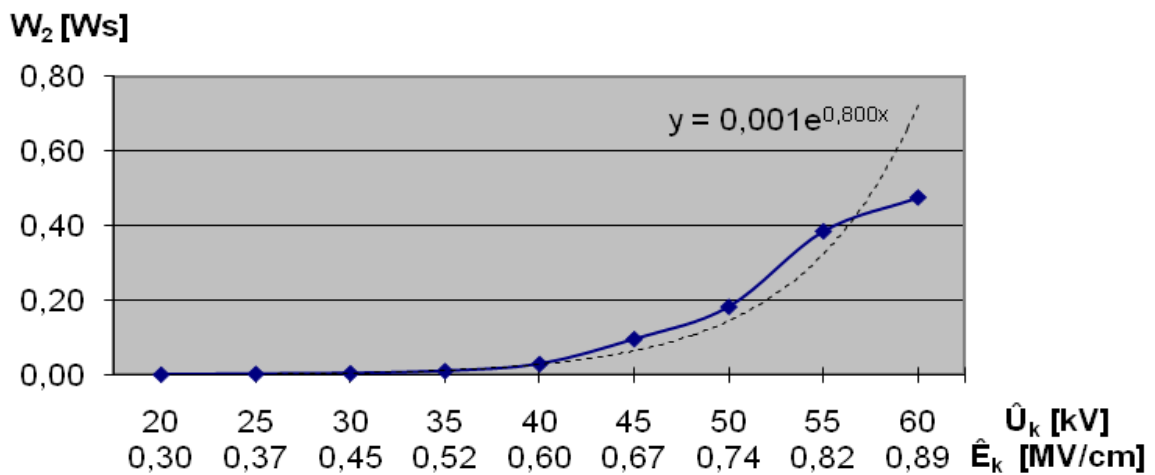
\hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας

\hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

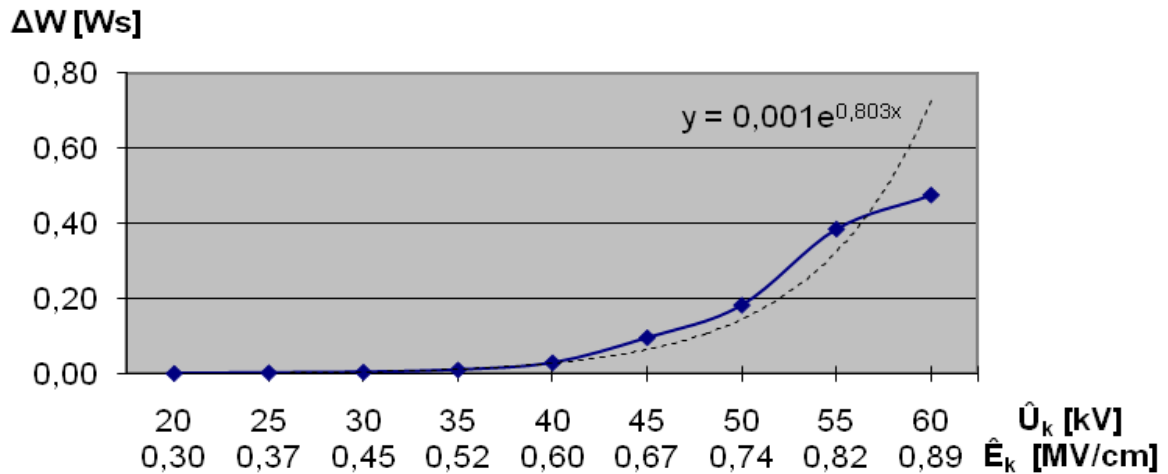
Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=2E-05e^{0,424x}$



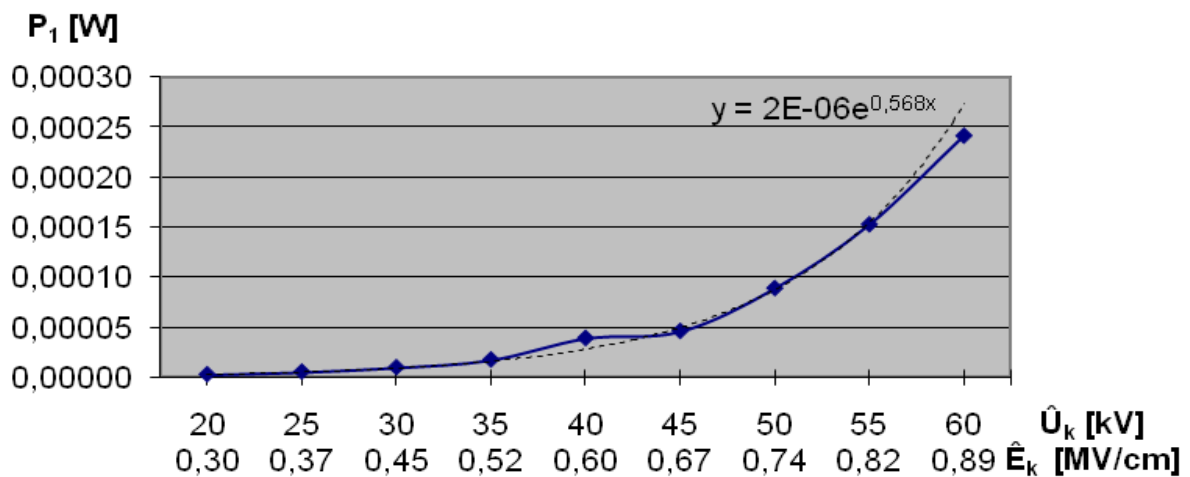
Σχήμα 4.2-5 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $t_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y = 14,51e^{-0,14x}$



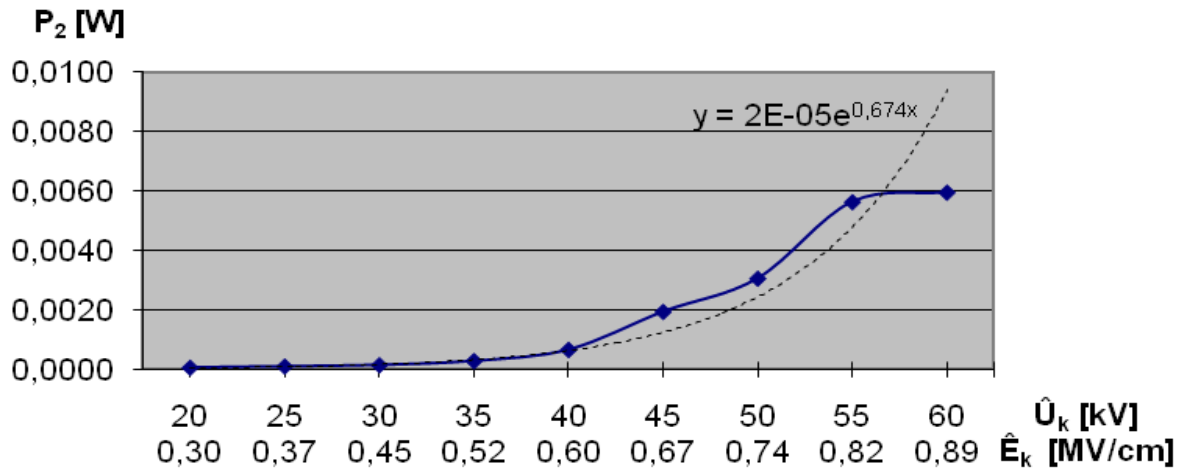
Σχήμα 4.2-6 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $W_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 W_2 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y = 0,001e^{0,800x}$



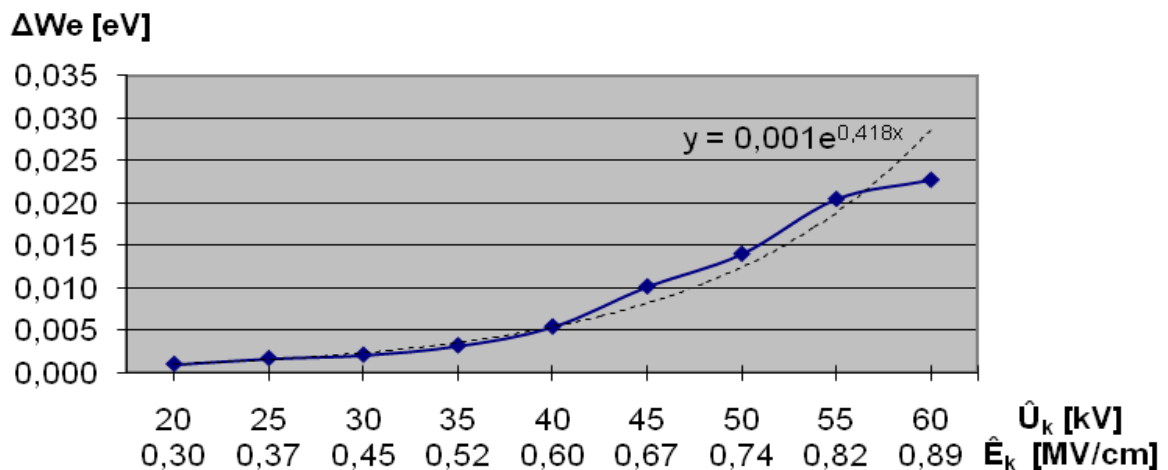
Σχήμα 4.2-7 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $\Delta W = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 $\Delta W = W_2 - W_1$
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,001e^{0,803x}$



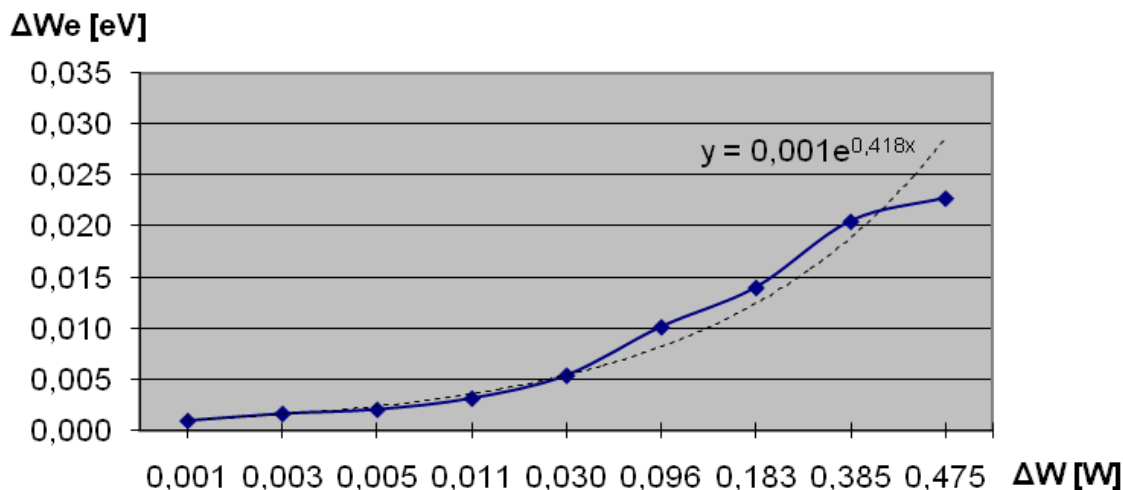
Σχήμα 4.2-8 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $P_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 P_1 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=2E-06e^{0,568x}$



Σχήμα 4.2-9 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $P_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 P_2 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=2E-05e^{0,674x}$



Σχήμα 4.2-10 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $\Delta We = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 ΔWe : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,001e^{0,418x}$



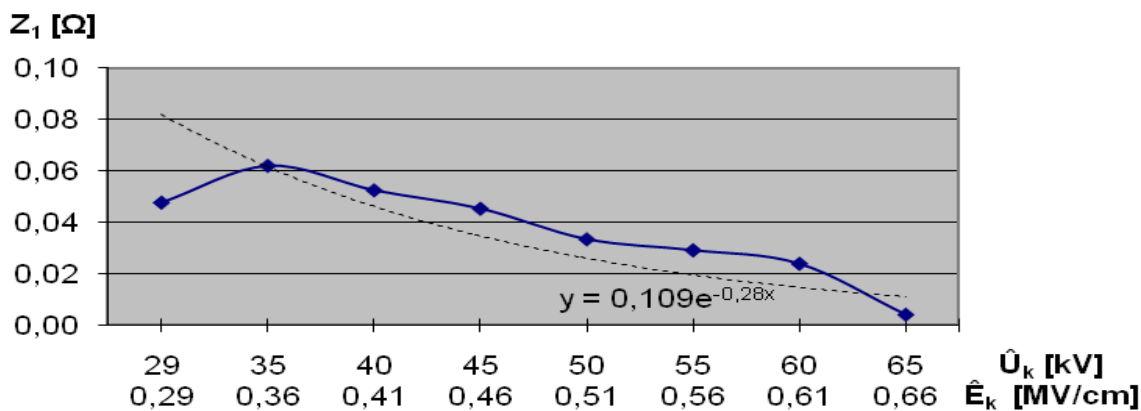
Σχήμα 4.2-11 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $\Delta We = f(\Delta W)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$
 ΔWe : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 $\Delta W = W_2 - W_1$
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,001e^{0,418x}$

Στον πίνακα 4.2-1 δίνονται συγκεντρωτικά οι μαθηματικές σχέσεις προσέγγισης των πειραματικών αποτελεσμάτων.

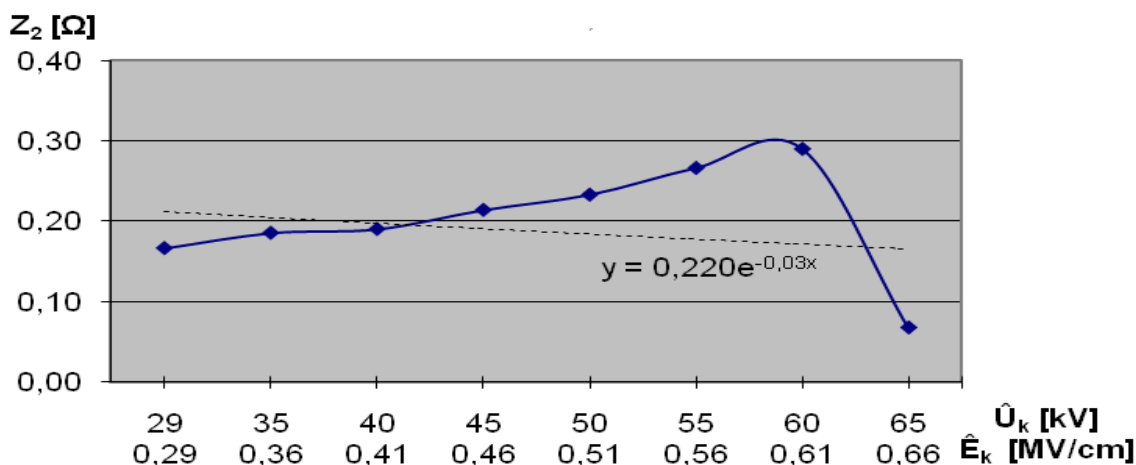
Συνάρτηση	Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης
$Z_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=0,069e^{-0,14x}$
$Z_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=0,119e^{0,12x}$
$\Delta Z = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=0,064e^{0,151x}$
$W_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=2E-05e^{0,424x}$
$W_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=0,001e^{0,800x}$
$\Delta W = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=0,001e^{0,803x}$
$t_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=14,51e^{-0,14x}$
$P_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=2E-06e^{0,568x}$
$P_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=2E-05e^{0,674x}$
$\Delta We = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=0,001e^{0,418x}$
$\Delta We = f(\Delta W)$	$y=0,001e^{0,418x}$

Πίνακας 4.2-1 Συγκεντρωτικός πίνακας των εξισώσεων προσέγγισης των πειραματικών αποτελεσμάτων.

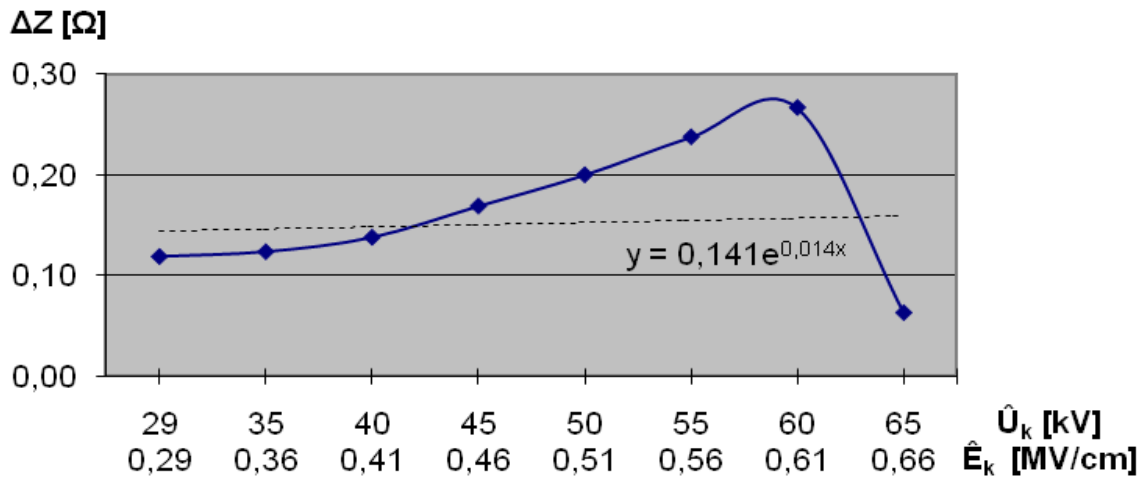
4.3 ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕ ΚΡΟΥΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗ -10/200μs ΚΑΙ ΠΑΧΟΣ $d=2mm$



Σχήμα 4.3-1 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $Z_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2mm$
 Z_1 : η στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y = 0,109e^{-0,28x}$



Σχήμα 4.3-2 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $Z_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2mm$
 Z_2 : η στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y = 0,220e^{-0,03x}$



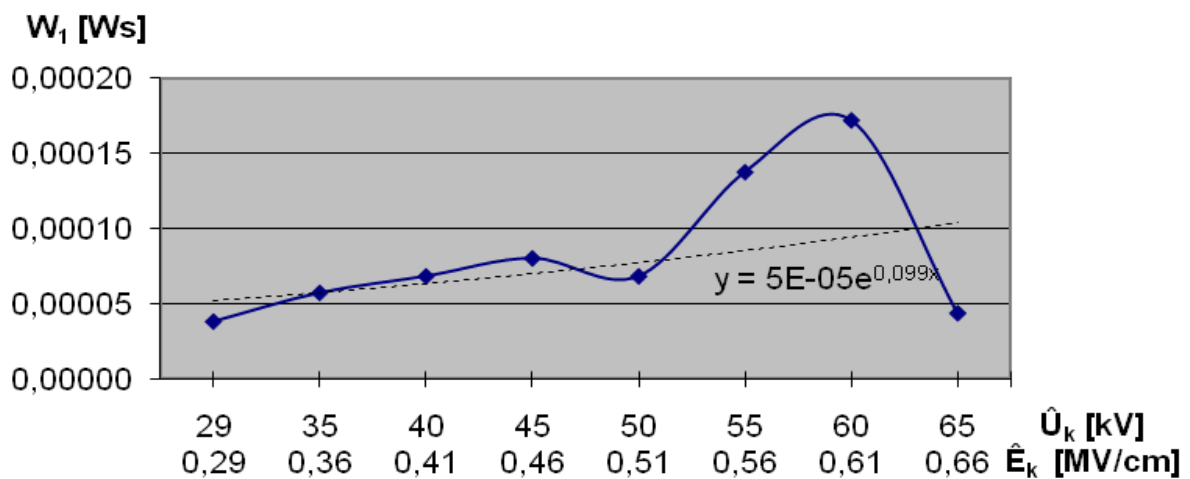
Σχήμα 4.3-3 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $\Delta Z = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1$$

\hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας

\hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y = 0,141e^{0,014x}$



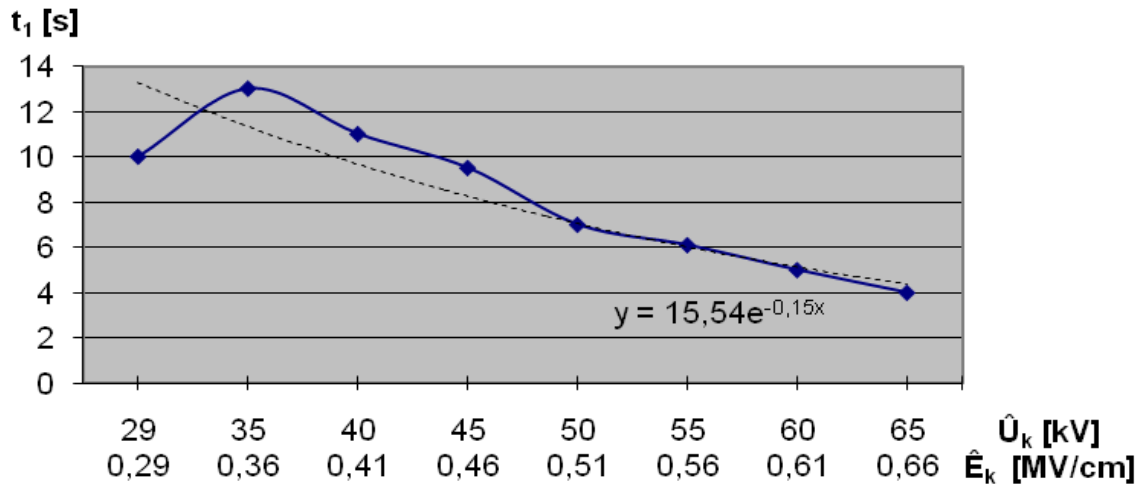
Σχήμα 4.3-4 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $W_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$

W_1 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

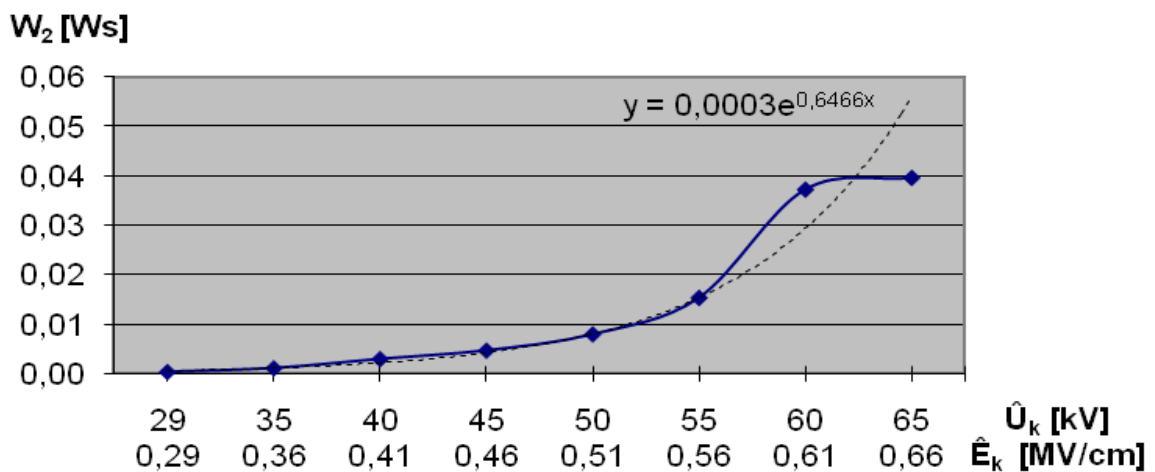
\hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας

\hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

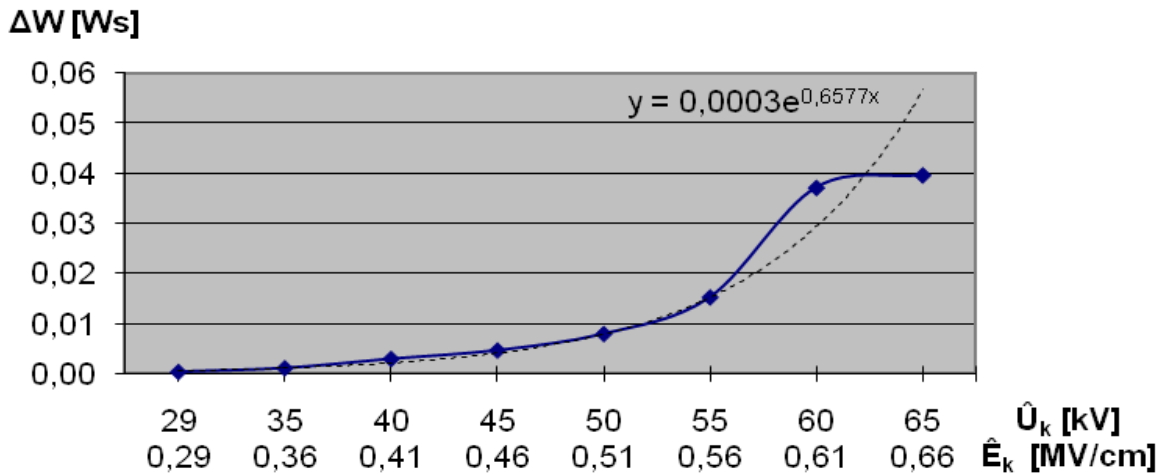
Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y = 5E-05e^{0,099x}$



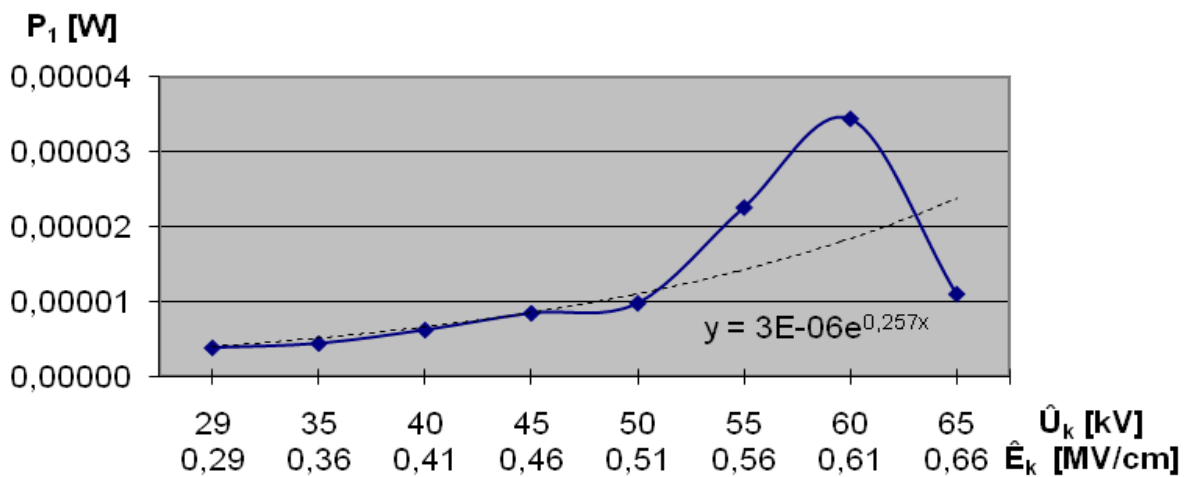
Σχήμα 4.3-5 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $t_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y = 15,54e^{-0,15x}$



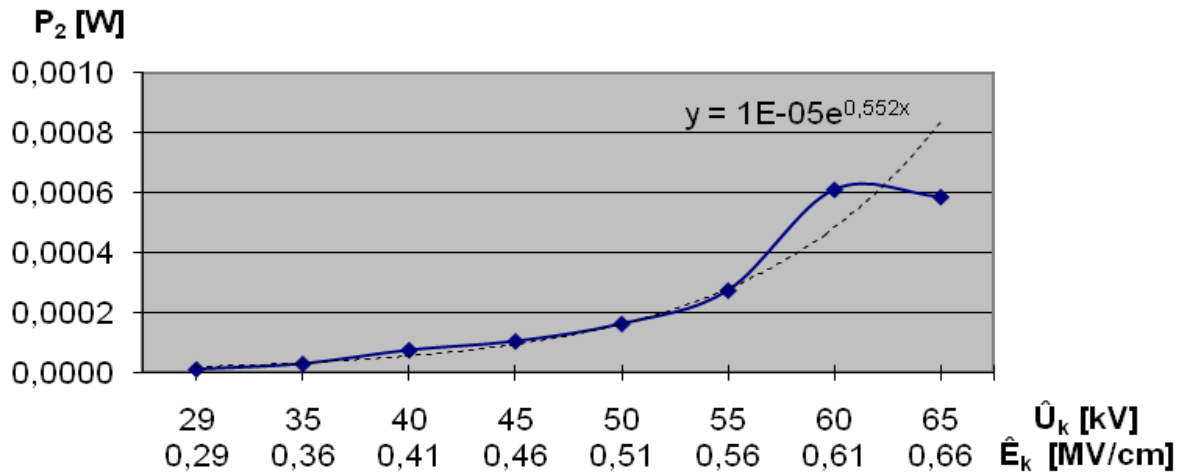
Σχήμα 4.3-6 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $W_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 W_2 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y = 0,0003e^{0,6466x}$



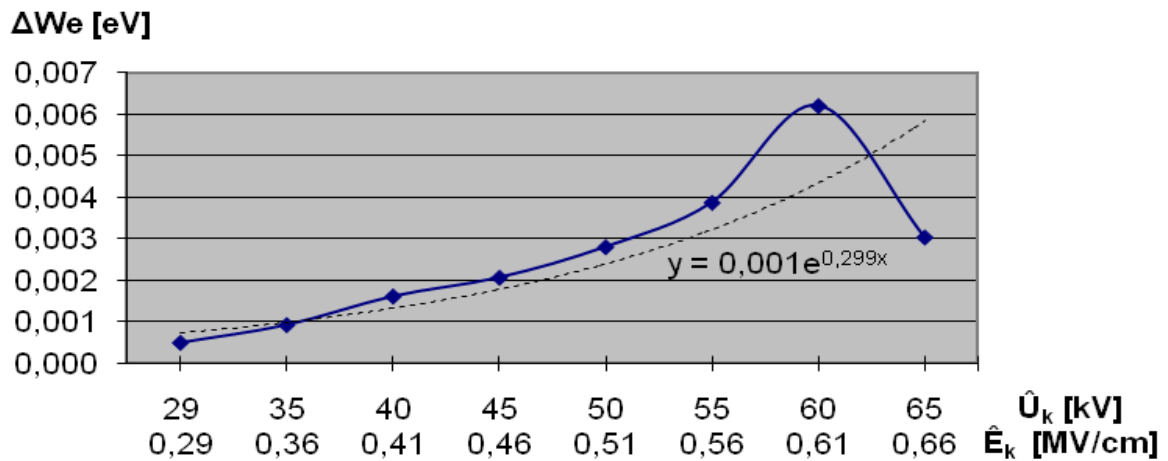
Σχήμα 4.3-7 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $\Delta W = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 $\Delta W = W_2 - W_1$
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,0003e^{0,6577x}$



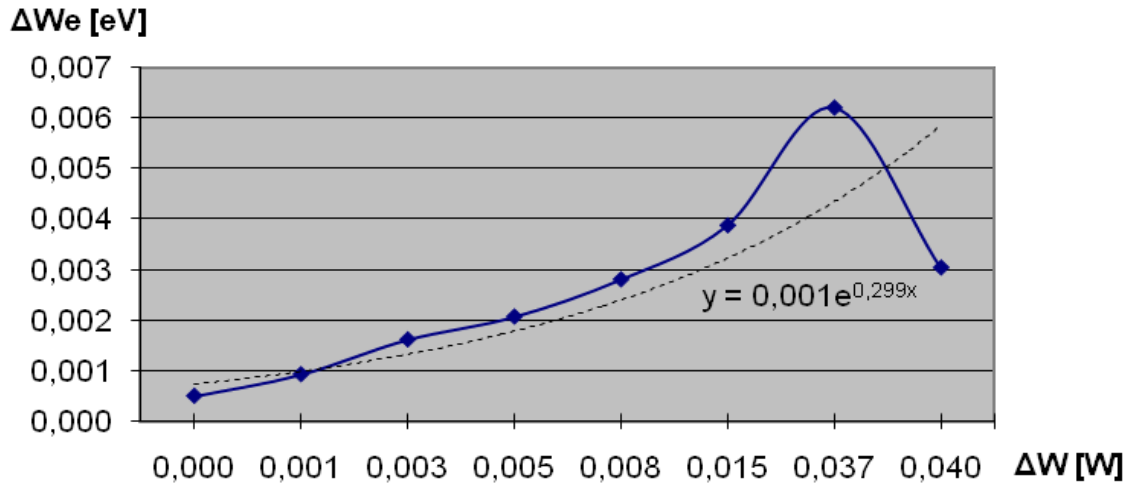
Σχήμα 4.3-8 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $P_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 P_1 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=3E-06e^{0,257x}$



Σχήμα 4.3-9 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $P_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 P_2 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=1E-05e^{0,552x}$



Σχήμα 4.3-10 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $\Delta We = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 ΔWe : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,001e^{0,299x}$



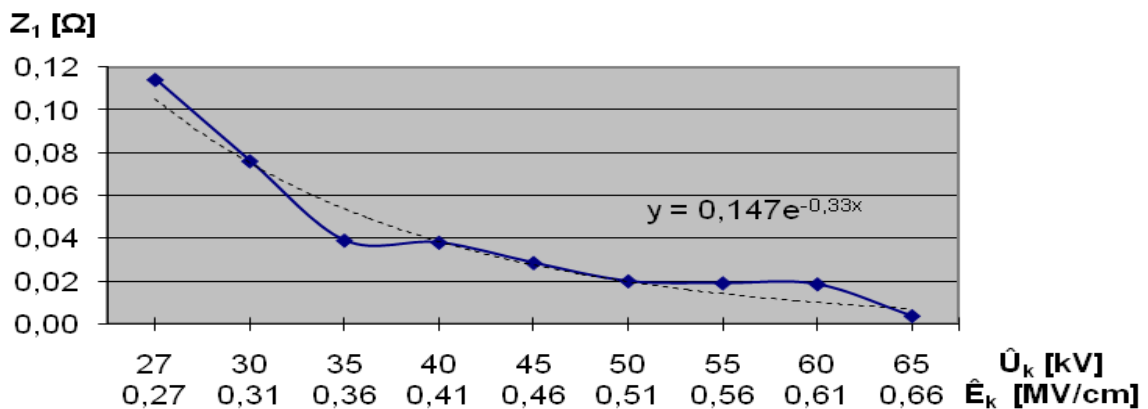
Σχήμα 4.3-11 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $\Delta We = f(\Delta W)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 ΔWe : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 $\Delta W = W_2 - W_1$
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,001e^{0,299x}$

Στον πίνακα 4.3-1 δίνονται συγκεντρωτικά οι μαθηματικές σχέσεις προσέγγισης των πειραματικών αποτελεσμάτων.

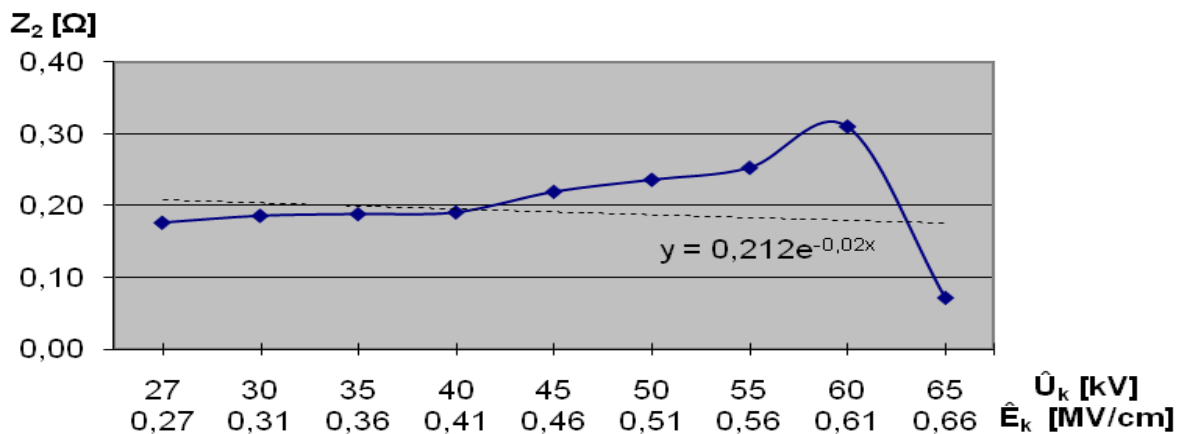
Συνάρτηση	Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης
$Z_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=0,109e^{-0,28x}$
$Z_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=0,220e^{-0,03x}$
$\Delta Z = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=0,141e^{0,014x}$
$W_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=5E-05e^{0,099x}$
$W_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=0,0003e^{0,6466x}$
$\Delta W = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=0,0003e^{0,6577x}$
$t_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=15,54e^{-0,15x}$
$P_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=3E-06e^{0,257x}$
$P_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=1E-05e^{0,552x}$
$\Delta We = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=0,001e^{0,299x}$
$\Delta We = f(\Delta W)$	$y=0,001e^{0,299x}$

Πίνακας 4.3-1 Συγκεντρωτικός πίνακας των εξισώσεων προσέγγισης των πειραματικών αποτελεσμάτων.

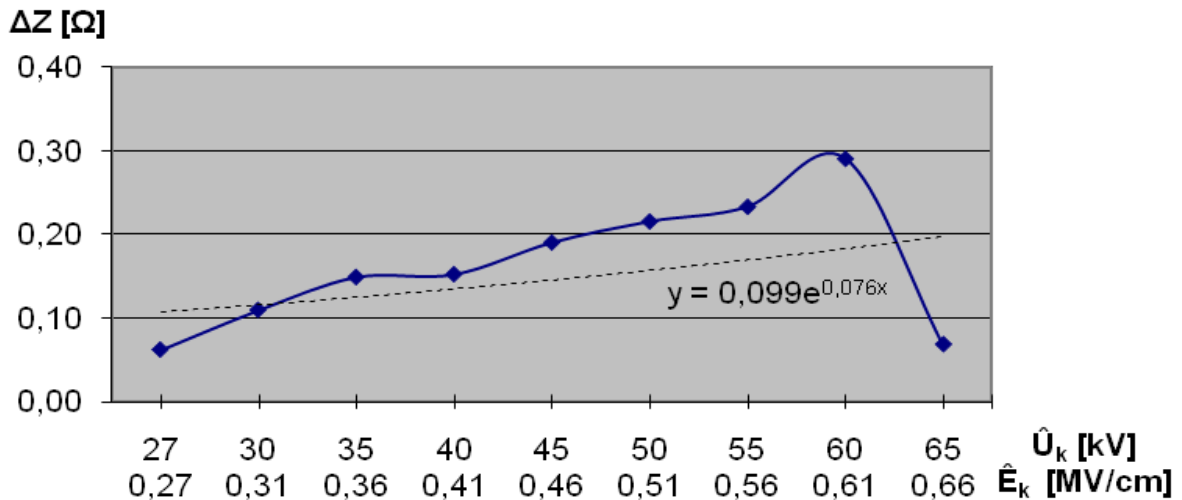
4.4 ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕ ΚΡΟΥΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗ +10/200μs ΚΑΙ ΠΑΧΟΣ d=2mm



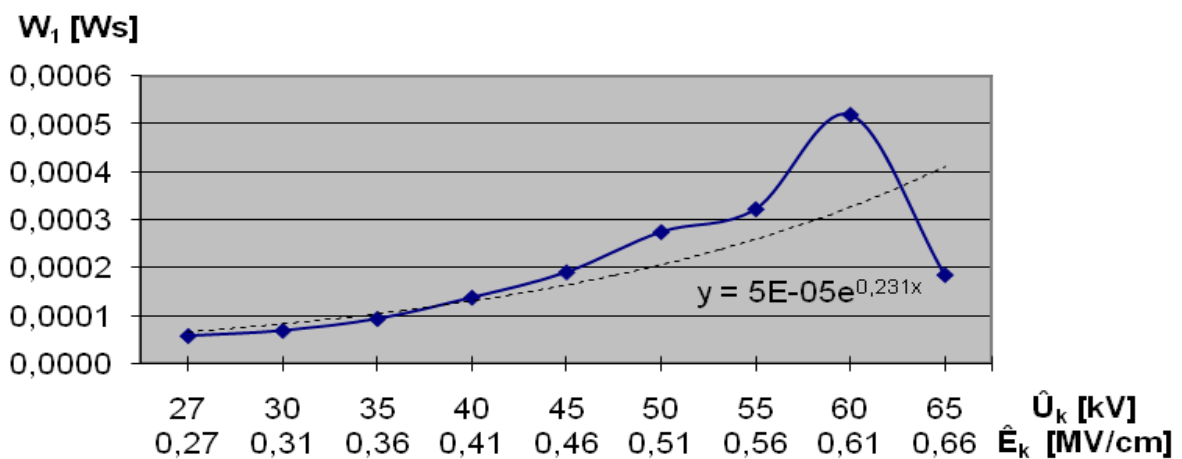
Σχήμα 4.4-1 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $Z_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου d=2mm
 Z_1 : η στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y = 0,147e^{-0,33x}$



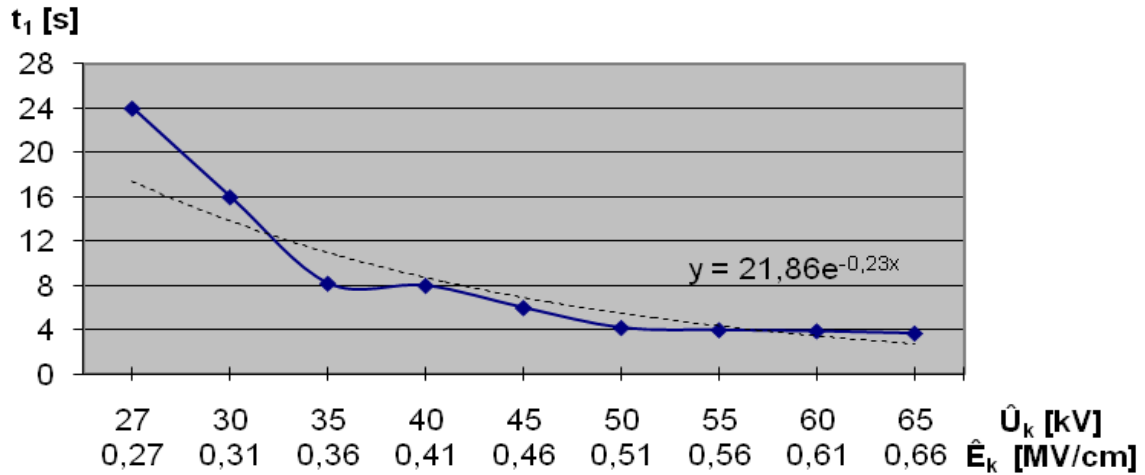
Σχήμα 4.4-2 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $Z_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου d=2mm
 Z_2 : η στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y = 0,212e^{-0,02x}$



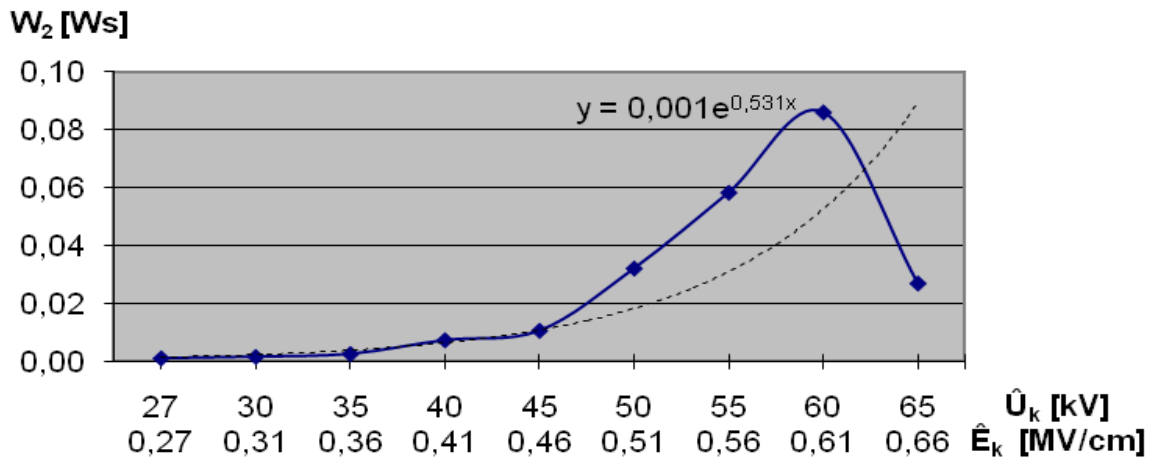
Σχήμα 4.4-3 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $\Delta Z = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 $\Delta Z = Z_2 - Z_1$
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,099e^{0,076x}$



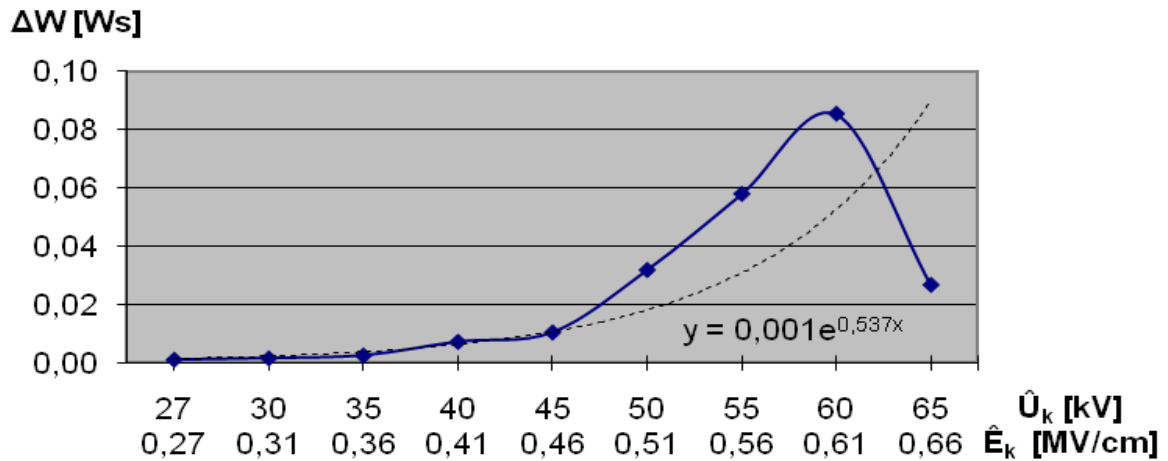
Σχήμα 4.4-4 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $W_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 W_1 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=5E-05e^{0,231x}$



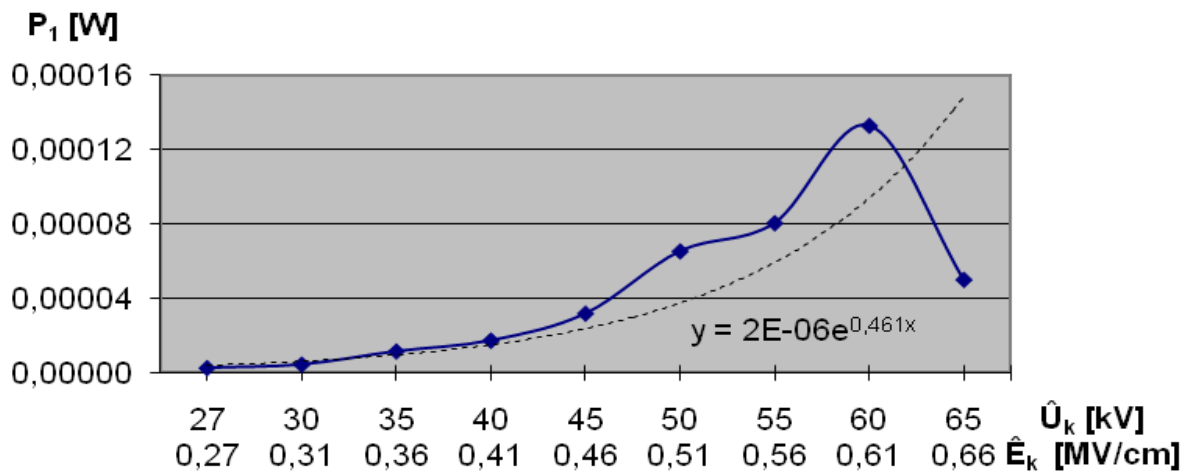
Σχήμα 4.4-5 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $t_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=21,86e^{-0,23x}$



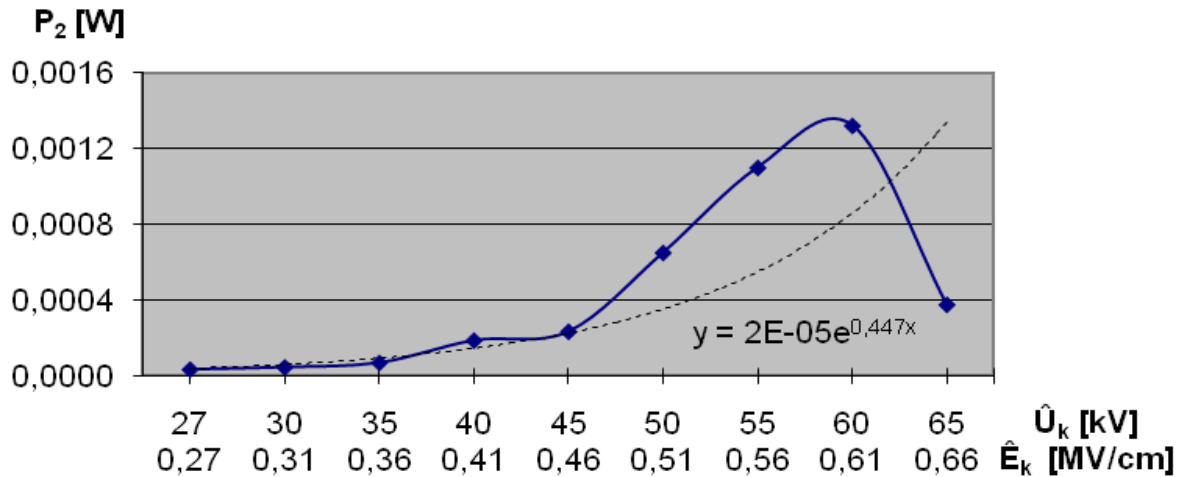
Σχήμα 4.4-6 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $W_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 W_2 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,001e^{0,531x}$



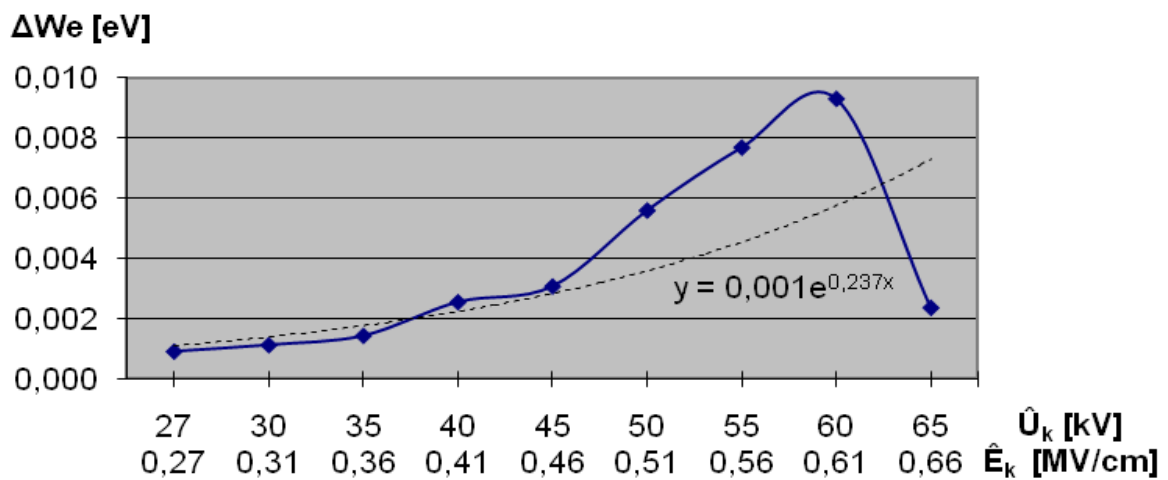
Σχήμα 4.4-7 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $\Delta W = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 $\Delta W = W_2 - W_1$
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,001e^{0,537x}$



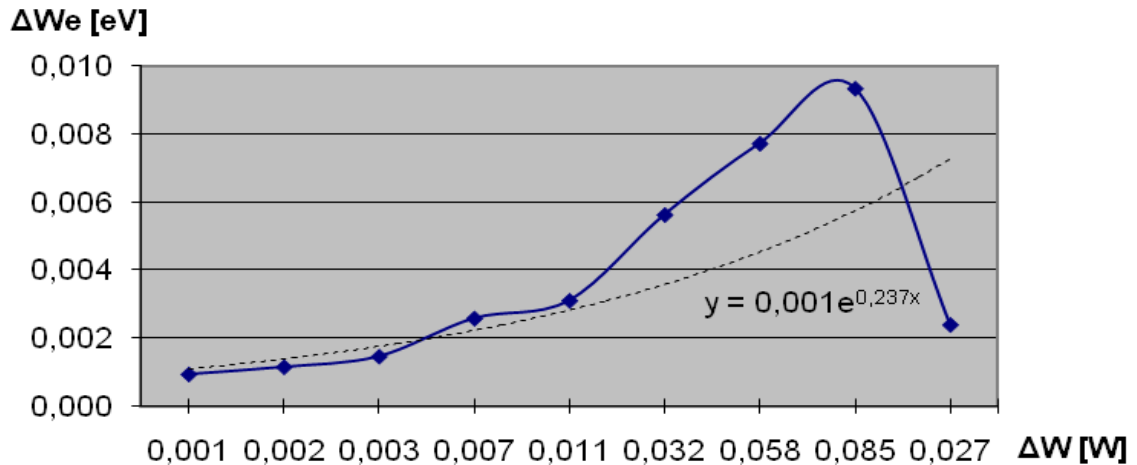
Σχήμα 4.4-8 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $P_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 P_1 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=2E-06e^{0,461x}$



Σχήμα 4.4-9 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $P_2=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 P_2 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=2E-05e^{0,447x}$



Σχήμα 4.4-10 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $\Delta We=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 ΔWe : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,001e^{0,237x}$



Σχήμα 4.4-11 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $\Delta We = f(\Delta W)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 ΔWe : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 $\Delta W = W_2 - W_1$
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,001e^{0,237x}$

Στον πίνακα 4.4-1 δίνονται συγκεντρωτικά οι μαθηματικές σχέσεις προσέγγισης των πειραματικών αποτελεσμάτων.

Συνάρτηση	Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης
$Z_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=0,147e^{-0,33x}$
$Z_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=0,212e^{-0,02x}$
$\Delta Z = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=0,099e^{0,076x}$
$W_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=5E-05e^{0,231x}$
$W_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=0,001e^{0,531x}$
$\Delta W = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=0,001e^{0,537x}$
$t_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=21,86e^{-0,23x}$
$P_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=2E-06e^{0,461x}$
$P_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=2E-05e^{0,447x}$
$\Delta We = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$	$y=0,001e^{0,237x}$
$\Delta We = f(\Delta W)$	$y=0,001e^{0,237x}$

Πίνακας 4.4-1 Συγκεντρωτικός πίνακας των εξισώσεων προσέγγισης των πειραματικών αποτελεσμάτων.

4.5 ΣΧΟΛΙΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη παράγραφο 3 παρουσιάστηκαν οι καμπύλες των μεγεθών που υπολογίσθηκαν με βάση τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν. Αντίστοιχα σε αυτό το κεφάλαιο της εργασίας έγινε προσπάθεια να προσεγγιστούν οι καμπύλες αυτές με βάση ένα εκθετικό ανάλογο που περιγράφεται αντίστοιχα από κάποια εκθετική συνάρτηση. Ο αναγνώστης μπορεί από τα σχήματα της παραγράφου 4 να συγκρίνει άμεσα την πραγματική καμπύλη του κάθε μεγέθους με την εκθετική προσέγγιση που βρίσκεται στο ίδιο διάγραμμα. Παρακάτω λοιπόν γίνεται η προσπάθεια ερμηνείας των πειραματικών χαρακτηριστικών και των μαθηματικών προσεγγίσεων τους.

1. Η χαρακτηριστική $Z_1=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$

Η χαρακτηριστική είναι φθίνουσα με την αύξηση της τάσης, γιατί η μεγαλύτερη τιμή του πεδίου προκαλεί αύξηση των φαινομένων αγωγιμότητας στο υλικό. Φαίνεται ότι πρόκειται για φθίνουσα εκθετική προσέγγιση.

2. Η χαρακτηριστική $Z_2=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$

Γενικά παρατηρεί κανείς ότι $Z_1 < Z_2$ και ότι η χαρακτηριστική είναι αύξουσα. Η τιμή Z_2 αυξάνει γιατί φαίνεται ότι η ενέργεια του πεδίου καταναλώνεται και για τις δυνάμεις Coulomb με αποτέλεσμα να μειώνεται η παραγωγή ελεύθερων ηλεκτρονίων. Για αυτό το λόγο αυξάνεται η αντίσταση και έχει αύξουσα εκθετική προσέγγιση.

3. Η χαρακτηριστική $\Delta Z=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$

Η χαρακτηριστική έχει ουσιαστικά την μορφή της Z_2 . Αυτό συμβαίνει γιατί στην διαφορά $\Delta Z=Z_2-Z_1$ η Z_2 είναι αρκετά μεγαλύτερη της Z_1 και επηρεάζει περισσότερο την χαρακτηριστική.

4. Οι χαρακτηριστικές $W_1=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ και $P_1=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$

Η προσφερόμενη ενέργεια/ισχύς γίνεται μεγαλύτερη όσο αυξάνει η τάση στο δοκίμιό και γι' αυτό το λόγο προκαλείται μείωση της Z_1 όπως προαναφέρθηκε προηγουμένως. Έτσι είναι αύξουσα η χαρακτηριστική όπως επίσης είναι αύξουσα και η εκθετική προσέγγιση της.

5. Η χαρακτηριστική $t=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$

Η πειραματική χαρακτηριστική και συνεπώς και η εκθετική προσέγγιση, είναι φθίνουσα. Δηλαδή όσο αυξάνεται η τάση ο χρόνος μειώνεται και αυτό είναι λογικό αφού όσο αυξάνεται η κρουστική τάση τόσο απαιτείται μικρότερος χρόνος για τις διεργασίες ιονισμού και της έναρξης των φαινομένων στον πανίτη.

6. Οι χαρακτηριστικές $W_2=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ και $P_2=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$

Όμοια με πριν και εδώ πρόκειται για αύξουσα εκθετική προσέγγιση. Όσο αυξάνει η τάση στον πανίτη τόσο αυξάνεται η ενέργεια και η ισχύς. Επιπλέον παρατηρεί κανείς ότι

συμβαίνει μικρότερος ρυθμός αύξησης από ότι στην έναρξη των φαινομένων και αυτό οφείλεται στις δυνάμεις Coulomb

7. Η χαρακτηριστική $\Delta W = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$

Πρόκειται για αύξουσα εκθετική προσέγγιση αφού $W_2 > W_1$

8. επί της χαρακτηριστικής $\Delta W_e = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$

Αύξουσα είναι και η ενέργεια των ηλεκτρονίων όπως. Αυτό είναι λογικό αφού το φάσμα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερο όσο αυξάνει η τιμή του πεδίου που υφίσταται το δοκίμιο μας.

Μια παρατήρηση που αφορά τις μετρήσεις είναι ότι στην 3^η περίπτωση (με κρουστική τάση $-10/200\mu\text{s}$ και πάχος $d=2\text{mm}$) όπως επίσης και στην 4^η (με κρουστική τάση $+10/200\mu\text{s}$ και πάχος $d=2\text{mm}$) στην τελευταία δοκιμή η χωρητικότητα του πυκνωτή 1000nF αντί για 210nF όπως σε όλες τις άλλες μετρήσεις. Αυτό συνέβη γιατί ο παλμογράφος δεν είχε την απαιτούμενη κλίμακα τιμών. Έτσι η μέτρηση ήταν εκτός ορίων του οργάνου. Γι'αυτό το λόγο υπάρχει μια απότομη πτώση στις χαρακτηριστικές Z_1 και Z_2 που παρατέθηκαν στην παράγραφο 3 και 4. Παρακάτω γίνεται μια προσπάθεια να εκφράσθει η τελευταία μέτρηση με χωρητικότητα πυκνωτή $C_m=210\text{nF}$.

Γνωρίζοντας ότι η ενέργεια του δοκιμίου παραμένει σταθερή μπορεί κανείς εύκολα να βρει τις νέες τιμές u_1 και u_2 , ως ακολούθως:

$$W = \frac{u \cdot q}{2} = \frac{u^* \cdot q^*}{2} = \frac{u^{*2} \cdot C_m^*}{2} \Rightarrow u^* = \sqrt{\frac{u \cdot q}{C_m^*}} \quad (4.5-1)$$

Παρακάτω δίνονται τα αποτελέσματα για $d=2\text{mm}$ με διορθωμένες τις τιμές των τελευταίων μετρήσεων και διορθωμένες αντίστοιχα όλες οι πειραματικές χαρακτηριστικές και οι εκθετικές μαθηματικές προσεγγίσεις τους.

Πίνακας μετρήσεων σε κρουστική τάση -10/200μs και πάχος d=2mm

\hat{U}_k [kV]	E_k [MV/cm]	C_m [nF]	Q_1 [μC]	Q_2 [μC]	u_1 [V]	u_2 [V]	Δu [V]	t_1 [s]	t_2 [s]	Δt [s]	Z_1 [Ω]	Z_2 [Ω]	ΔZ [Ω]
29	0,29	210	0,09	0,3	0,00043	0,0014	0,0010	10	35	25	0,0476	0,1667	0,1190
35	0,36	210	0,11	0,5	0,00052	0,0024	0,0019	13	39	26	0,0619	0,1857	0,1238
40	0,41	210	0,12	0,8	0,00057	0,0038	0,0032	11	40	29	0,0524	0,1905	0,1381
45	0,46	210	0,13	1	0,00062	0,0048	0,0041	9,5	45	35,5	0,0452	0,2143	0,1690
50	0,51	210	0,12	1,3	0,00057	0,0062	0,0056	7	49	42	0,0333	0,2333	0,2000
55	0,56	210	0,17	1,8	0,00081	0,0086	0,0078	6,1	56	49,9	0,0290	0,2667	0,2376
60	0,61	210	0,19	2,8	0,00090	0,0133	0,0124	5	61	56	0,0238	0,2905	0,2667
65	0,66	210	0,10	6,3	0,00046	0,0138	0,0133	4	67,5	63,5	0,0190	0,3214	0,3024

Πίνακας 4.5-1 : Στατιστική ανάλυση της ενέργειας λόγω μερικών εκκενώσεων στον « πανίτη » εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενή πεδία (ακίδα με R=0,9mm – πλάκα) υπό κρουστική τάση -10/200μs και πάχος d=2mm με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν στην παράγραφο 2.

\hat{U}_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

\hat{E}_k : τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k

C_m : πυκνωτής μέτρησης

u_1 : στιγμιαία τιμή της \hat{U}_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

u_2 : στιγμιαία τιμή της \hat{U}_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

q_1 : στιγμιαία τιμή του φορτίου στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q_2 : στιγμιαία τιμή του φορτίου στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$\Delta u = u_2 - u_1$

t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

$\Delta t = t_2 - t_1$

Z_1 : στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

Z_2 : στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$\Delta Z = Z_2 - Z_1$

\hat{U}_k [kV]	E_k [MV/cm]	C_m [nF]	Q_1 [μC]	Q_2 [μC]	u_1 [V]	u_2 [V]	Δu [V]	t_1 [s]	t_2 [s]	Δt [s]
29	0,29	210	0,09	0,3	0,00043	0,00143	0,00100	10	35	25
35	0,36	210	0,11	0,5	0,00052	0,00238	0,00186	13	39	26
40	0,41	210	0,12	0,8	0,00057	0,00381	0,00324	11	40	29
45	0,46	210	0,13	1	0,00062	0,00476	0,00414	9,5	45	35,5
50	0,51	210	0,12	1,3	0,00057	0,00619	0,00562	7	49	42
55	0,56	210	0,17	1,8	0,00081	0,00857	0,00776	6,1	56	49,9
60	0,61	210	0,19	2,8	0,00090	0,01333	0,01243	5	61	56
65	0,66	210	0,10	6,3	0,00046	0,0138	0,0133	4	67,5	63,5

Πίνακας 4.5-2α : Στατιστική ανάλυση της ενέργειας λόγω μερικών εκκενώσεων στον « πανίτη » εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενή πεδία (ακίδα με $R=0,9\text{mm}$ – πλάκα) υπό κρουστική τάση $-10/200\mu\text{s}$ και πάχους $d=2\text{mm}$ με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν στην παράγραφο 2.

\hat{U}_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k : τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k

C_m : πυκνωτής μέτρησης

u_1 : στιγμιαία τιμή της \hat{U}_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

u_2 : στιγμιαία τιμή της \hat{U}_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

q_1 : στιγμιαία τιμή του φορτίου στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q_2 : στιγμιαία τιμή του φορτίου στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$\Delta u = u_2 - u_1$

t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

$\Delta t = t_2 - t_1$

\hat{U}_k [kV]	E_k [MV/cm]	C_m [nF]	W_1 [Ws]	W_2 [Ws]	ΔW [Ws]	P_1 [W]	P_2 [W]	ΔP [W]	ΔWe [eV]
29	0,29	210	3,86E-05	0,00043	0,0004	3,86E-06	0,00001	-8,39E-06	0,0005
35	0,36	210	5,76E-05	0,0012	0,0011	4,43E-06	0,00003	-2,61E-05	0,00093
40	0,41	210	6,86E-05	0,00305	0,0030	6,23E-06	0,00008	-7,00E-05	0,00162
45	0,46	210	8,05E-05	0,00476	0,0047	8,47E-06	0,00011	-9,73E-05	0,00207
50	0,51	210	6,86E-05	0,00805	0,0080	9,80E-06	0,00016	-1,54E-04	0,00281
55	0,56	210	1,38E-04	0,01543	0,0153	2,26E-05	0,00028	-2,53E-04	0,00388
60	0,61	210	1,72E-04	0,03733	0,0372	3,44E-05	0,00061	-5,78E-04	0,00621
65	0,66	210	4,41E-05	0,03969	0,0396	1,10E-05	0,00059	-5,77E-04	0,00665

Πίνακας 4.5-2β : Στατιστική ανάλυση της ενέργειας λόγω μερικών εκκενώσεων στον « πανίτη » εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενή πεδία (ακίδα με $R=0,9\text{mm}$ – πλάκα) υπό κρουστική τάση $-10/200\mu\text{s}$ και πάχους $d=2\text{mm}$ με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν στην παράγραφο 2.

\hat{U}_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k : τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k

C_m : πυκνωτής μέτρησης

W_1 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

W_2 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

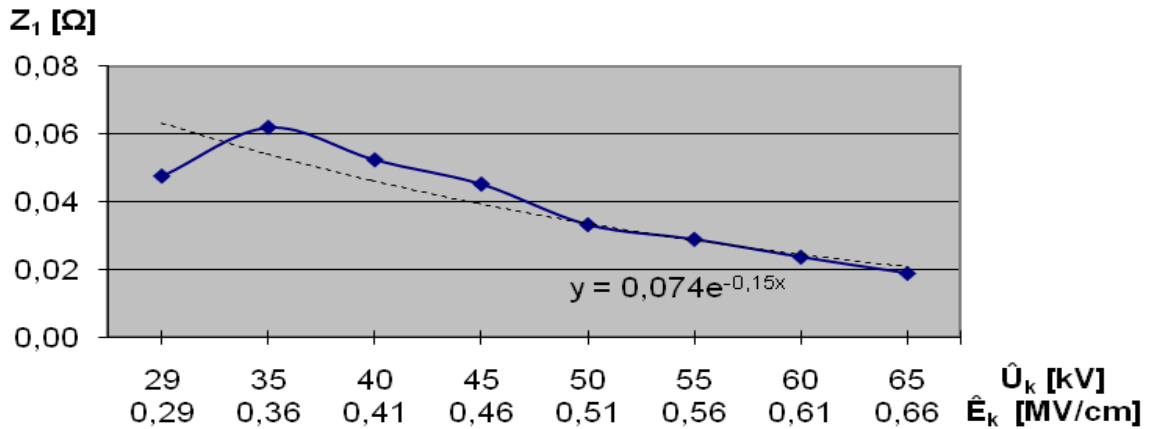
$\Delta W = W_2 - W_1$

P_1 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

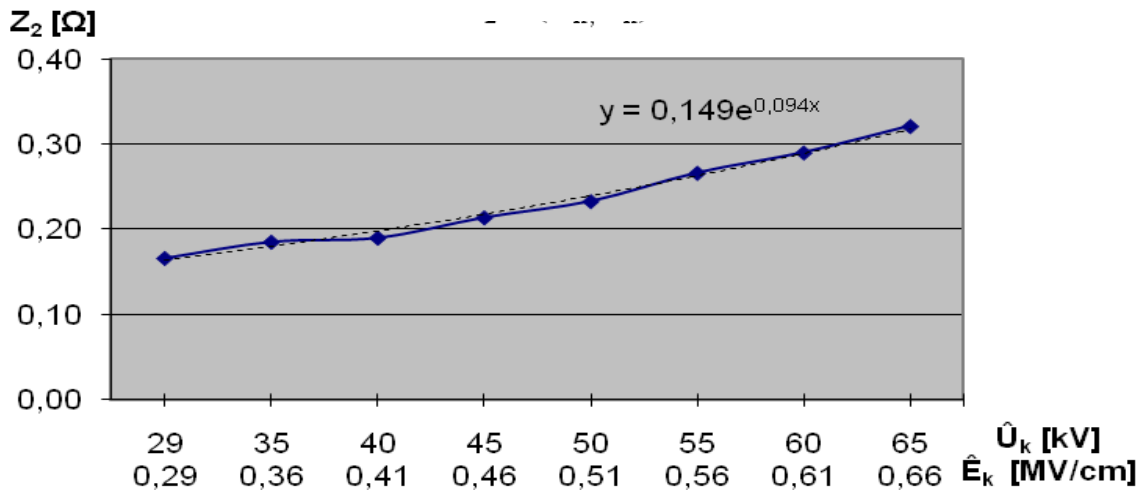
P_2 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$\Delta P = P_2 - P_1$

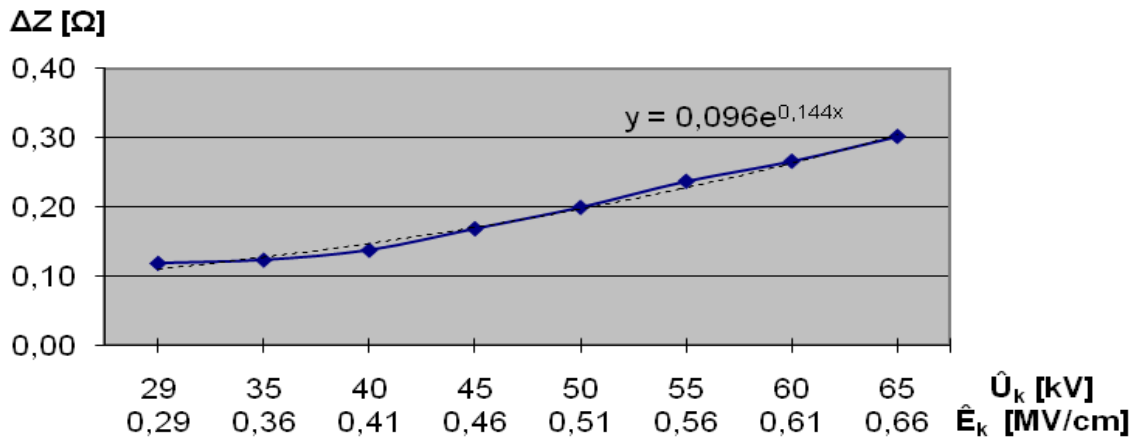
ΔWe : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων



Σχήμα 4.5-1 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $Z_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 Z_1 : η στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,074e^{-0,15x}$



Σχήμα 4.5-2 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $Z_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 Z_2 : η στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,149e^{0,094x}$



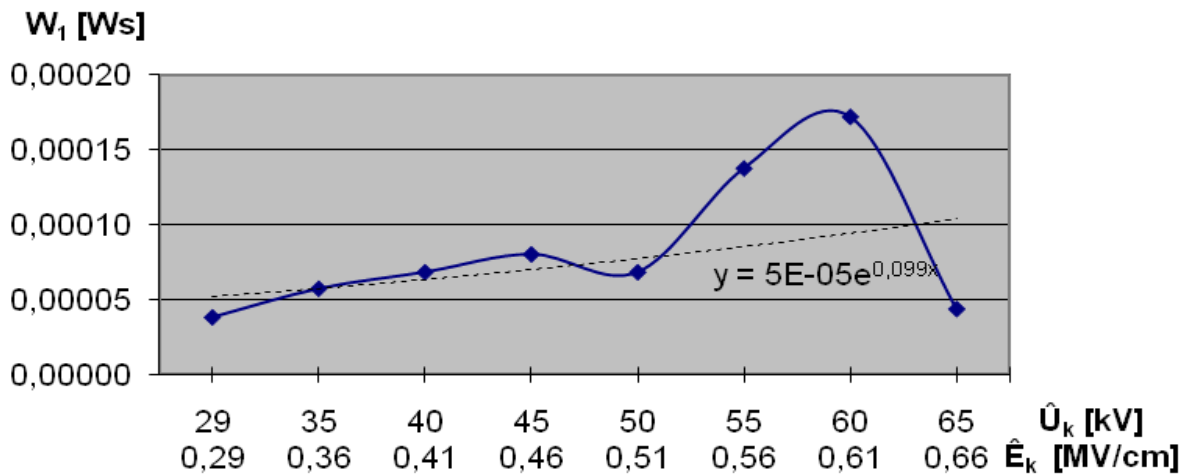
Σχήμα 4.5-3 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $\Delta Z = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1$$

\hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας

\hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,096e^{0,144x}$



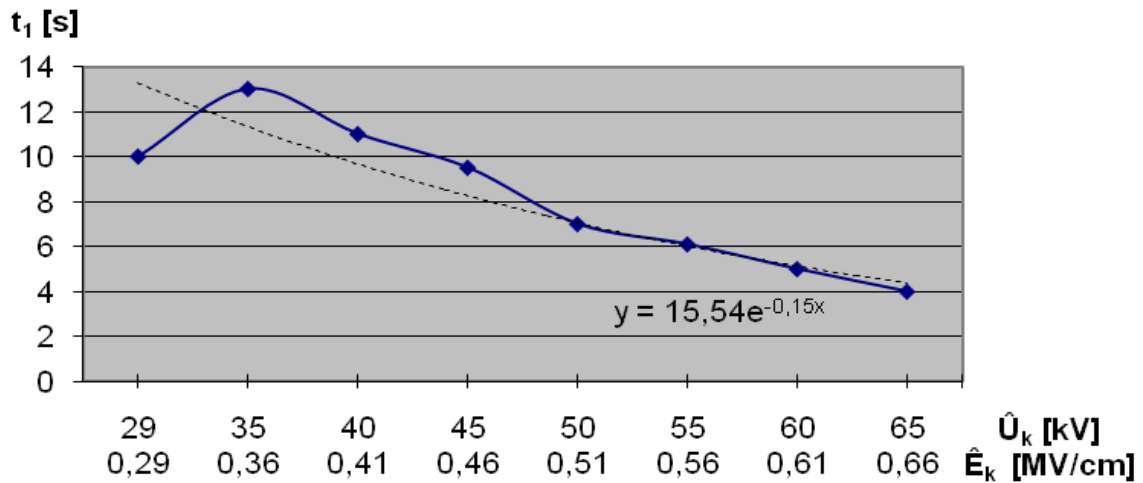
Σχήμα 4.5-4 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $W_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$

W_1 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

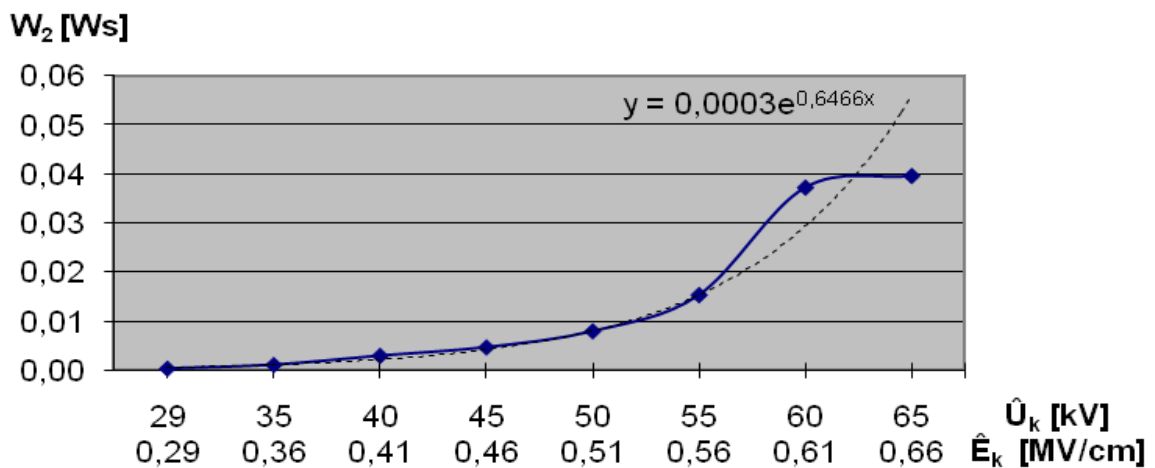
\hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας

\hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

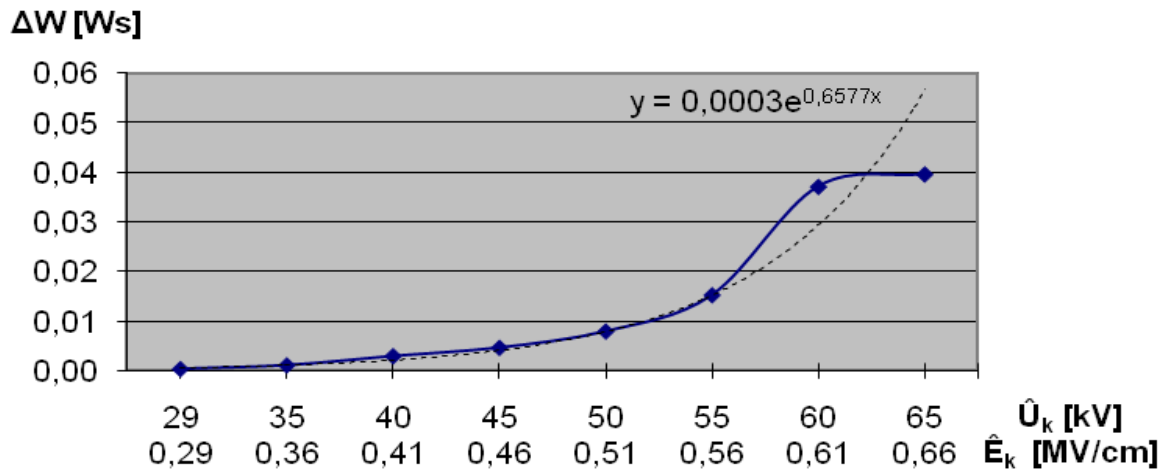
Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=5E-05e^{0,099x}$



Σχήμα 4.5-5 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $t_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y = 15,54e^{-0,15x}$



Σχήμα 4.5-6 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $W_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 W_2 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y = 0,0003e^{0,6466x}$



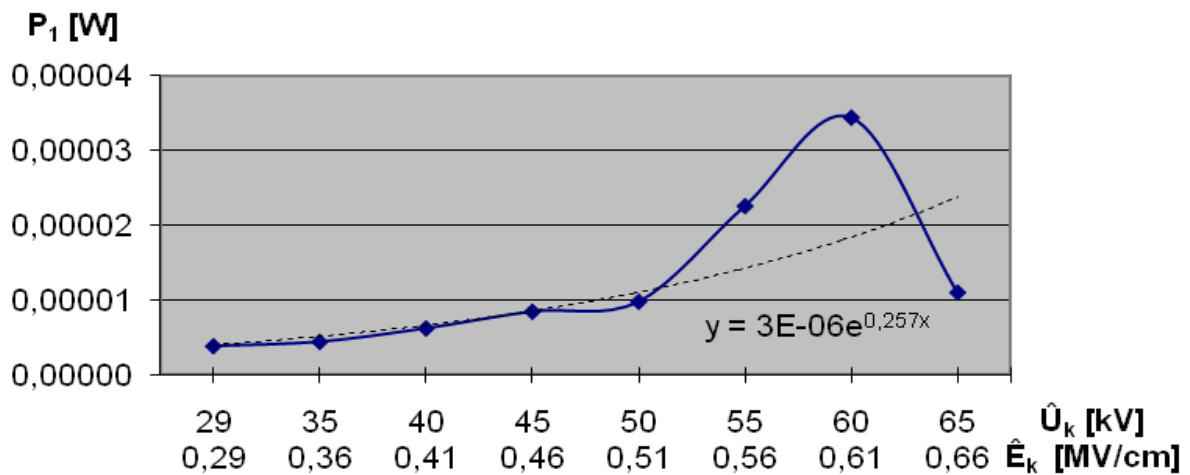
Σχήμα 4.5-7 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $\Delta W = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$

$$\Delta W = W_2 - W_1$$

\hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας

\hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,0003e^{0,6577x}$



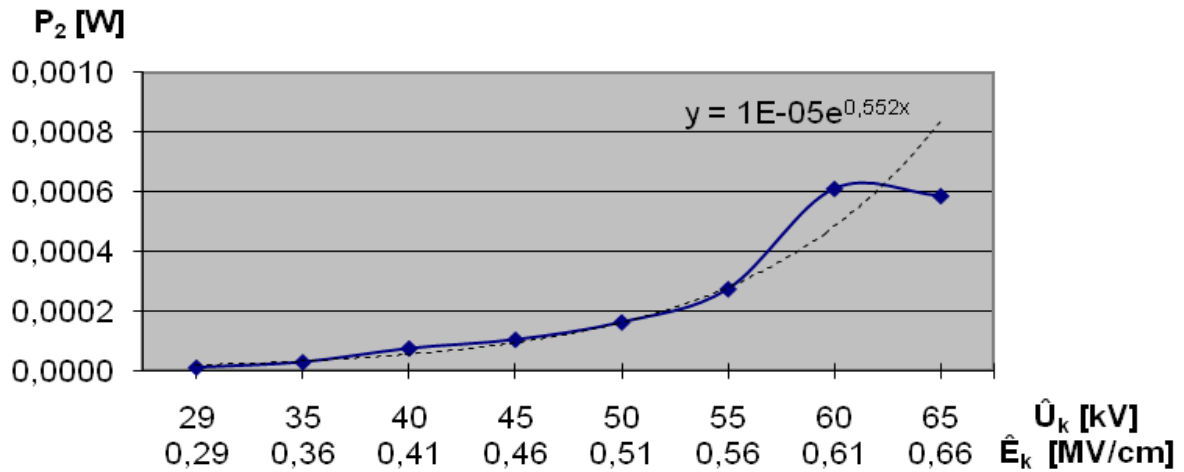
Σχήμα 4.5-8 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $P_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$

P_1 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

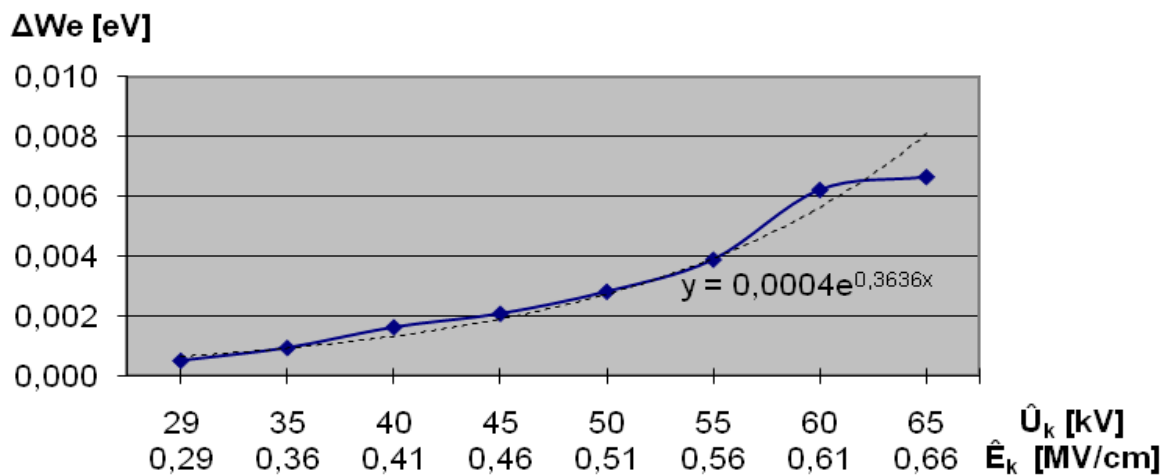
\hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας

\hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

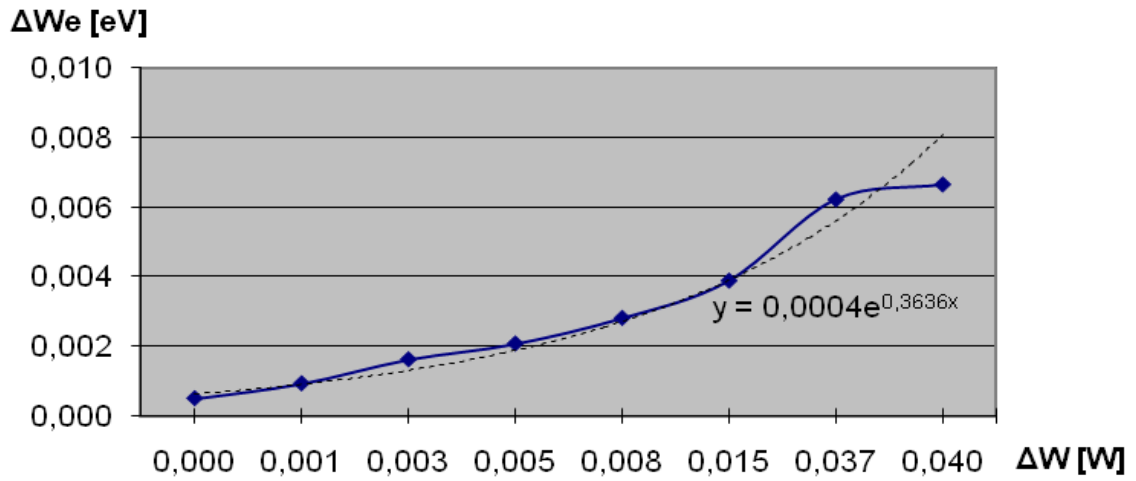
Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=3E-06e^{0,257x}$



Σχήμα 4.5-9 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $P_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 P_2 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y = 1E-05e^{0,552x}$



Σχήμα 4.5-10 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $\Delta We = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 ΔWe : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y = 0,0004e^{0,3636x}$



Σχήμα 4.5-11 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(\Delta W)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 ΔW_e : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 $\Delta W = W_2 - W_1$
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,0004e^{0,3636x}$

Πίνακα μετρήσεων σε κρουστική τάση +10/200μs και πάχος d=2mm

\hat{U}_k [kV]	E_k [MV/cm]	C_m [nF]	Q_1 [μC]	Q_2 [μC]	u_1 [V]	u_2 [V]	Δu [V]	t_1 [s]	t_2 [s]	Δt [s]	Z_1 [Ω]	Z_2 [Ω]	ΔZ [Ω]
27	0,27	210	0,11	0,5	0,00052	0,0024	0,0019	24	37	13	0,1143	0,1762	0,0619
30	0,31	210	0,12	0,6	0,00057	0,0029	0,0023	16	39	23	0,0762	0,1857	0,1095
35	0,36	210	0,14	0,75	0,00067	0,0036	0,0029	8,2	39,5	31,3	0,0390	0,1881	0,1490
40	0,41	210	0,17	1,25	0,00081	0,0060	0,0051	8	40	32	0,0381	0,1905	0,1524
45	0,46	210	0,2	1,5	0,00095	0,0071	0,0062	6	46	40	0,0286	0,2190	0,1905
50	0,51	210	0,24	2,6	0,00114	0,0124	0,0112	4,2	49,5	45,3	0,0200	0,2357	0,2157
55	0,56	210	0,26	3,5	0,00124	0,0167	0,0154	4	53	49	0,0190	0,2524	0,2333
60	0,61	210	0,33	4,25	0,00157	0,0202	0,0187	3,9	65	61,1	0,0186	0,3095	0,2910
65	0,66	210	0,20	2,38	0,00094	0,0114	0,0104	3,7	72	68,3	0,0176	0,3429	0,3252

Πίνακας 4.5-3 : Στατιστική ανάλυση της ενέργειας λόγω μερικών εκκενώσεων στον « **πανίτη** » εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενή πεδία (ακίδα με R=0,9mm – πλάκα) υπό κρουστική τάση +10/200μs και πάχος d=2mm με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν στην παράγραφο 2.

\hat{U}_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

\hat{E}_k : τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k

C_m : πυκνωτής μέτρησης

u_1 : στιγμιαία τιμή της \hat{U}_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

u_2 : στιγμιαία τιμή της \hat{U}_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

q_1 : στιγμιαία τιμή του φορτίου στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q_2 : στιγμιαία τιμή του φορτίου στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$\Delta u = u_2 - u_1$

t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

$\Delta t = t_2 - t_1$

Z_1 : στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

Z_2 : στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$\Delta Z = Z_2 - Z_1$

\hat{U}_k [kV]	E_k [MV/cm]	C_m [nF]	Q_1 [μC]	Q_2 [μC]	u_1 [V]	u_2 [V]	Δu [V]	t_1 [s]	t_2 [s]	Δt [s]
27	0,27	210	0,11	0,5	0,00052	0,00238	0,00186	24	37	13
30	0,31	210	0,12	0,6	0,00057	0,00286	0,00229	16	39	23
35	0,36	210	0,14	0,75	0,00067	0,00357	0,00290	8,2	39,5	31,3
40	0,41	210	0,17	1,25	0,00081	0,00595	0,00514	8	40	32
45	0,46	210	0,2	1,5	0,00095	0,00714	0,00619	6	46	40
50	0,51	210	0,24	2,6	0,00114	0,01238	0,01124	4,2	49,5	45,3
55	0,56	210	0,26	3,5	0,00124	0,01667	0,01543	4	53	49
60	0,61	210	0,33	4,25	0,00157	0,02024	0,01867	3,9	65	61,1
65	0,66	210	0,20	2,38	0,00094	0,0114	0,0104	3,7	72	68,3

Πίνακας 4.5-4α: Στατιστική ανάλυση της ενέργειας λόγω μερικών εκκενώσεων στον « πανίτη » εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενή πεδία (ακίδα με R=0,9mm – πλάκα) υπό κρουστική τάση +10/200μs και πάχος d=2mm με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν στην παράγραφο 2.

\hat{U}_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k : τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k

C_m : πυκνωτής μέτρησης

u_1 : στιγμιαία τιμή της \hat{U}_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

u_2 : στιγμιαία τιμή της \hat{U}_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

q_1 : στιγμιαία τιμή του φορτίου στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q_2 : στιγμιαία τιμή του φορτίου στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$\Delta u = u_2 - u_1$

t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

$\Delta t = t_2 - t_1$

\hat{U}_k [kV]	E_k [MV/cm]	C_m [nF]	W_1 [Ws]	W_2 [Ws]	ΔW [Ws]	P_1 [W]	P_2 [W]	ΔP [W]	ΔWe [eV]
27	0,27	210	5,76E-05	0,00119	0,0011	2,40E-06	0,00003	-2,98E-05	0,000929
30	0,31	210	6,86E-05	0,001714	0,0016	4,29E-06	0,00004	-3,97E-05	0,001143
35	0,36	210	9,33E-05	0,002679	0,0026	1,14E-05	0,00007	-5,64E-05	0,001452
40	0,41	210	1,38E-04	0,00744	0,0073	1,72E-05	0,00019	-1,69E-04	0,002571
45	0,46	210	1,90E-04	0,010714	0,0105	3,17E-05	0,00023	-2,01E-04	0,003095
50	0,51	210	2,74E-04	0,03219	0,0319	6,53E-05	0,00065	-5,85E-04	0,005619
55	0,56	210	3,22E-04	0,058333	0,0580	8,05E-05	0,00110	-1,02E-03	0,007714
60	0,61	210	5,19E-04	0,086012	0,0855	1,33E-04	0,00132	-1,19E-03	0,009333
65	0,66	210	9,64E-04	0,47619	0,4752	2,41E-04	0,00595	-5,71E-03	0,02274

Πίνακας 4.5-4β: Στατιστική ανάλυση της ενέργειας λόγω μερικών εκκενώσεων στον « πανίτη » εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενή πεδία (ακίδα με R=0,9mm – πλάκα) υπό κρουστική τάση +10/200μs και πάχος d=2mm με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν στην παράγραφο 2.

\hat{U}_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k : τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k

C_m : πυκνωτής μέτρησης

W_1 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

W_2 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

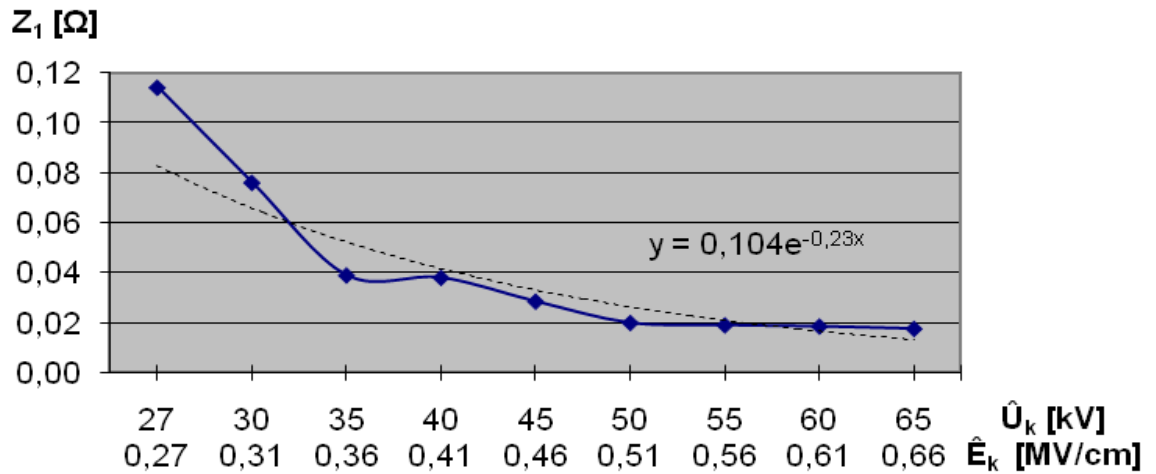
$\Delta W = W_2 - W_1$

P_1 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

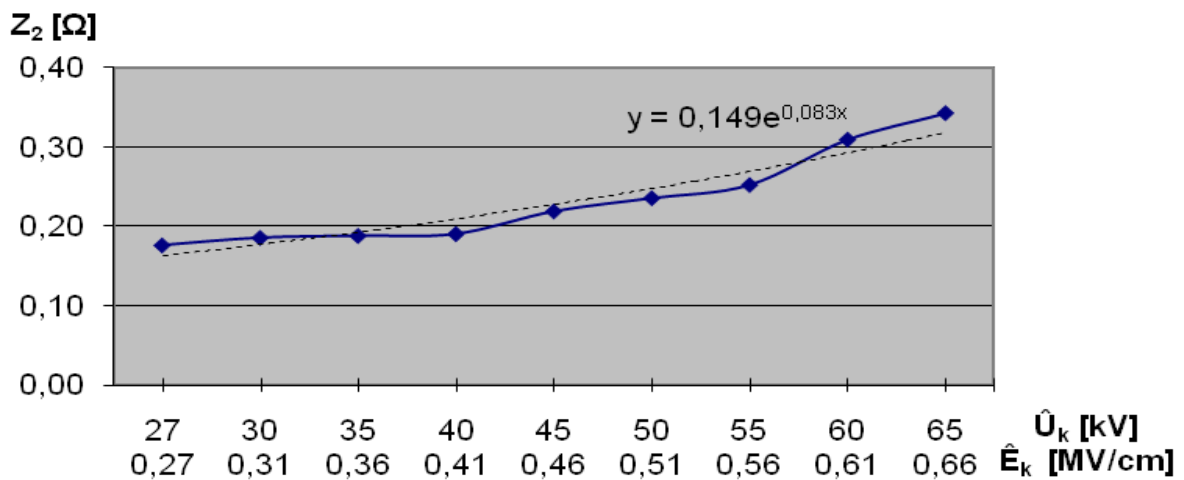
P_2 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

$\Delta P = P_2 - P_1$

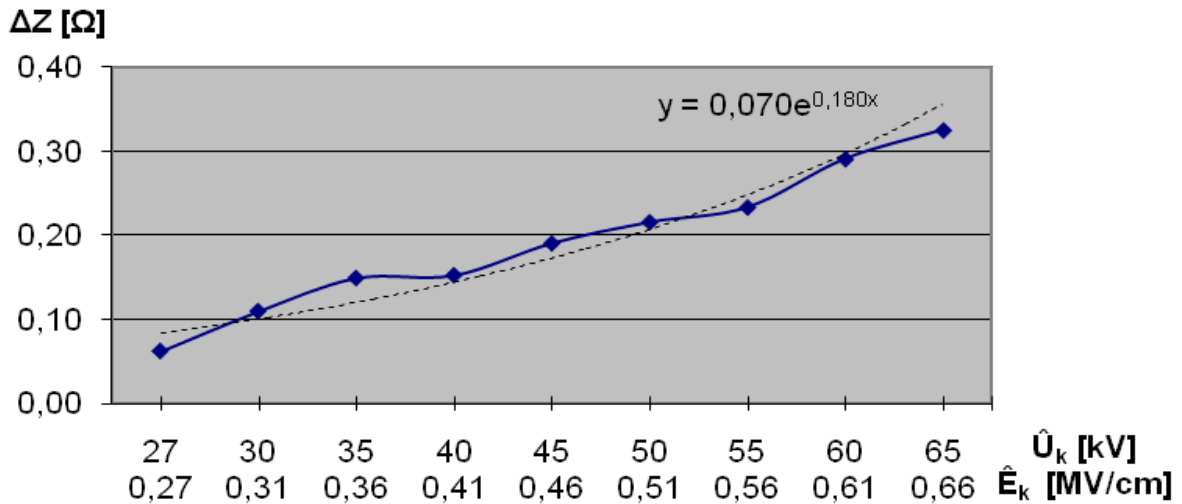
ΔWe : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων



Σχήμα 4.5-12 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $Z_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 Z_1 : η στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,104e^{-0,23x}$



Σχήμα 4.5-13: Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $Z_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 Z_2 : η στιγμιαία τιμή της σύνθετης αντίστασης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,149e^{0,083x}$



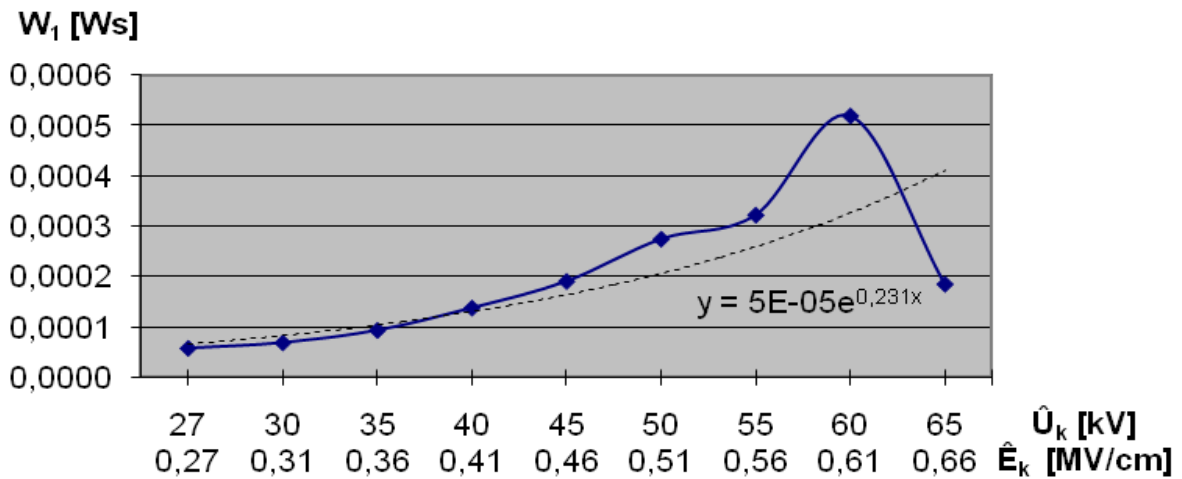
Σχήμα 4.5-14 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $\Delta Z = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1$$

\hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας

\hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,070e^{0,180x}$



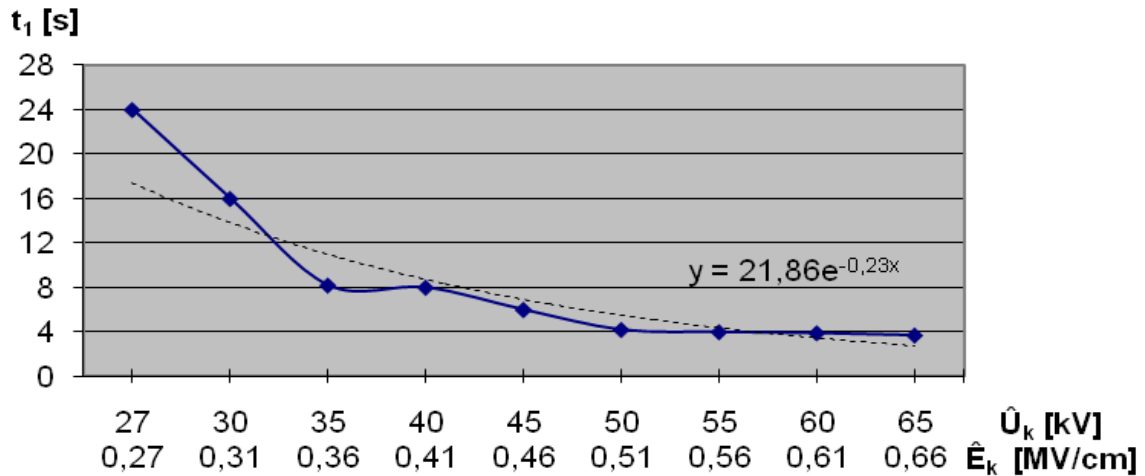
Σχήμα 4.5-15 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $W_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$

W_1 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

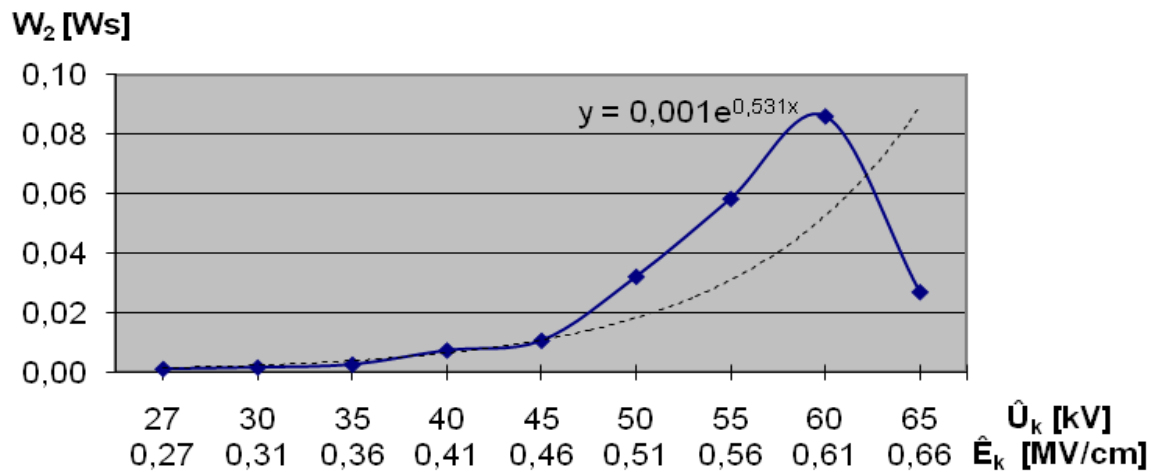
\hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας

\hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

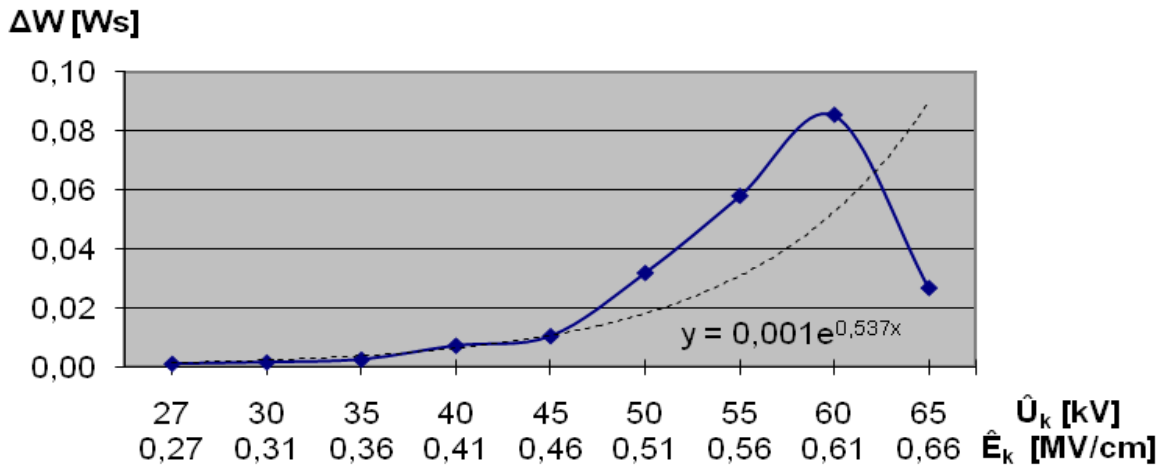
Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=5E-05e^{0,231x}$



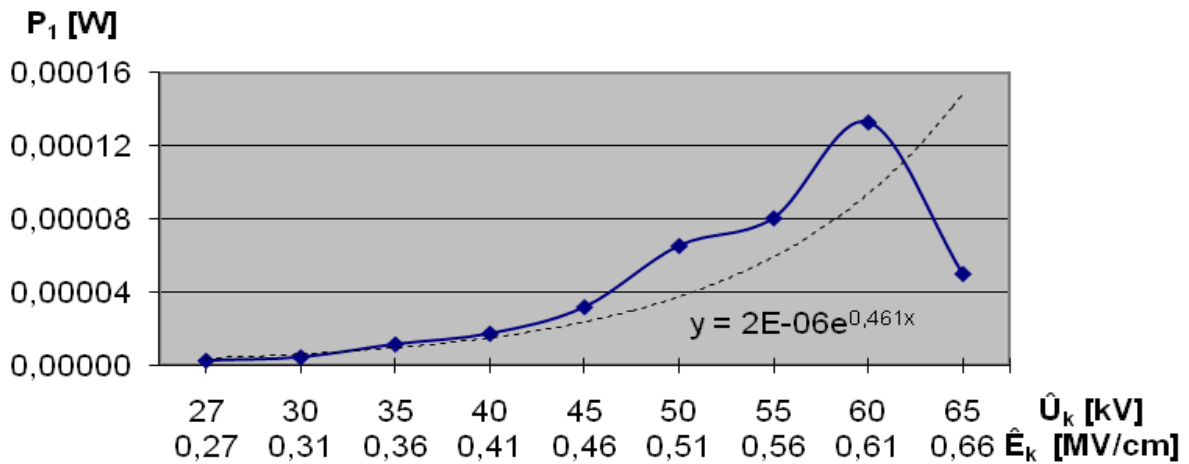
Σχήμα 4.5-16 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $t_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=21,86e^{-0,23x}$



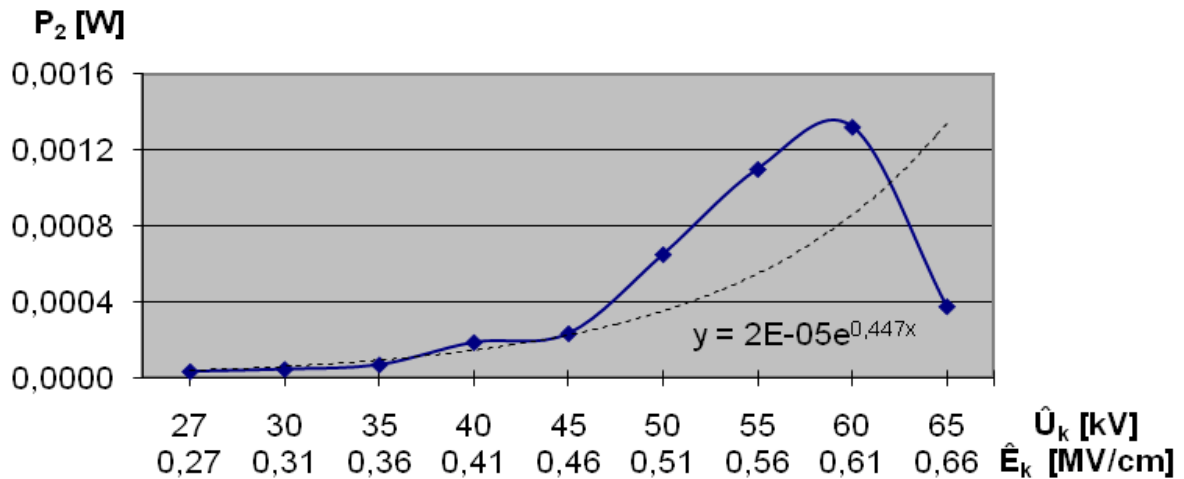
Σχήμα 4.5-17 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $W_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 W_2 : στιγμιαία τιμή της ενέργειας στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,001e^{0,531x}$



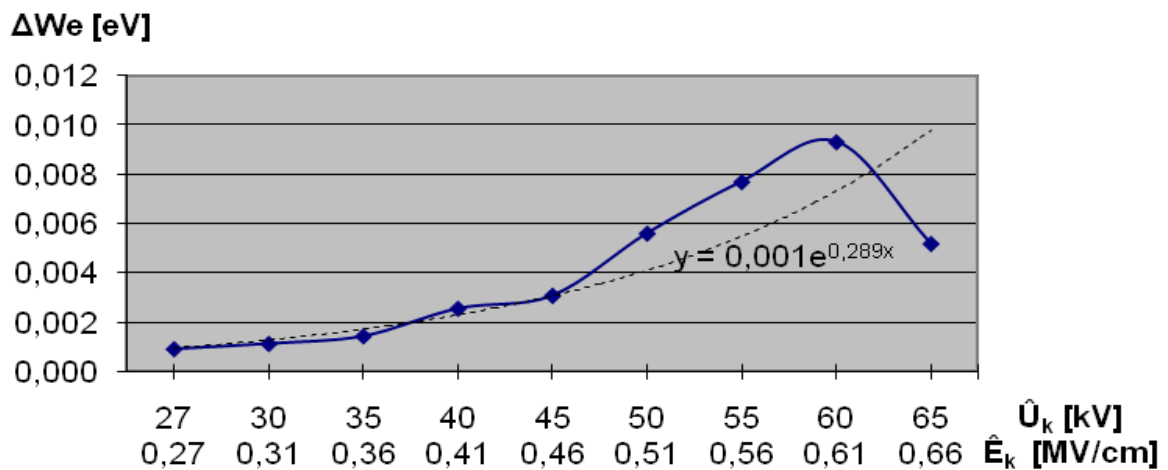
Σχήμα 4.5-18 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $\Delta W = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 $\Delta W = W_2 - W_1$
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,001e^{0,537x}$



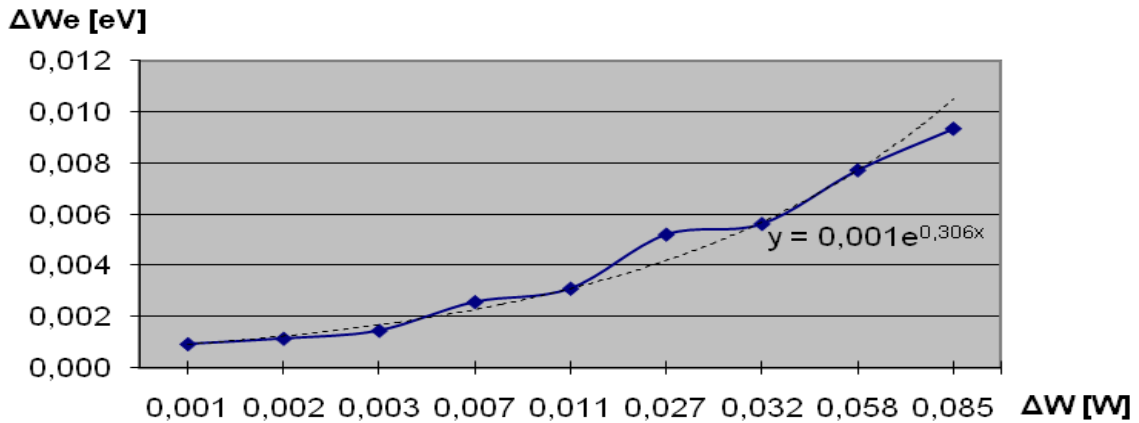
Σχήμα 4.5-19 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $P_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 P_1 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=2E-06e^{0,461x}$



Σχήμα 4.5-20 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $P_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 P_2 : στιγμιαία τιμή της ισχύος στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=2E-05e^{0,447x}$



Σχήμα 4.5-21 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $\Delta We = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$
 ΔWe : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{E}_k : η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης στο άκρο της ακίδας
 \hat{U}_k : η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y=0,001e^{0,289x}$



Σχήμα 4.5-22 : Εκθετική προσέγγιση στη χαρακτηριστική $\Delta We = f(\Delta W)$ για τη διάταξη του δοκιμίου (σχ. 2.1-1) για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$ μερικών εκκενώσεων
 ΔWe : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 $\Delta W = W_2 - W_1$
 Εξίσωση εκθετικής προσέγγισης $y = 0,001e^{0,306x}$

Παρατηρείται λοιπόν ότι οι χαρακτηριστικές $Z_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$, $Z_2 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$, $\Delta Z = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$, $\Delta We = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$, $\Delta We = f(\Delta W)$ όπως και οι αντίστοιχες εκθετικές προσεγγίσεις τους, όπως ήταν αναμενόμενο, να μην έχουν κάποιο ανώμαλο σημείο και να είναι ανάλογα την περίπτωση γνησίως αύξουσες ή γνησίως φθίνουσες.

5. ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Εύκολα διαπιστώνεται ότι η ενέργεια των μερικών εκκενώσεων αυξάνεται ανάλογα με την αύξηση της εφαρμοσμένης κρουστικής τάσης που επιβάλλεται στο δοκίμιο μας. Η χαρακτηριστική της ενέργειας των μερικών εκκενώσεων έχει αύξουσα εκθετική μορφή, κάτι που καταδεικνύει την εκδήλωση του ιονισμού με κρούσεις. Αυτό θεωρείται ότι εκδηλώνεται κατά τη γήρανση των στερεών ηλεκτρομονωτικών υλικών.

Σε ότι αφορά τις πρακτικές εφαρμογές φαίνεται ότι ο χρόνος και η τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων όπως αυτή εκδηλώνεται σε έναν πυκνωτή μέτρησης θα μπορούσε να είναι ένα κριτήριο αξιολόγησης μεταξύ ισοδύναμων μονώσεων (πχ. 2 μετασχηματιστών διανομής της ίδιας ισχύος) όχι μόνο της ίδιας εταιρείας, αλλά και από διαφορετικές εταιρείες. Με άλλα λόγια η τάση έναρξης u_1 , είναι ένα βασικό κριτήριο επιλογής μεταξύ μονωτικών υλικών όπως για παράδειγμα ο βακελίτης, ο πανίτης, το Pertinax κα. όπου όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή u_1 υπό σταθερή τιμή της εφαρμοζόμενης τάσης τόσο καλύτερο ποιοτικά είναι το μονωτικό υλικό.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ
Π.Δ. Μπούρκας και Κ.Γ. Καραγιαννόπουλος
Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
Αθήνα 2004
- [2] ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΤΙΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ
Π.Δ. Μπούρκας
Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
Αθήνα 1998
- [3] ΥΨΗΛΕΣ ΤΑΣΕΙΣ Ι
Ι.Α.Θ. Σταθόπουλος
Εκδόσεις Συμεών
- [4] ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ
Κ.Θ. Δέρβος,
Εκδόσεις Ε.Μ.Π. 1997
- [5] Εισαγωγή Στα Ηλεκτρομονωτικά Υλικά
Κ.Θ. Δέρβος, Π.Δ. Μπούρκας
Εκδόσεις Ε.Μ.Π. 1991
- [6] ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΕΣ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ
Ι.Α. Σταθόπουλος, Π.Δ. Μπούρκας, Φ.Β. Τοπαλής,
Εκδόσεις Ε.Μ.Π. 1991