



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΔΙΑΡΡΟΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΛΟΓΩ ΜΕΡΙΚΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ ΣΤΟ
PERTINAX ΕΝΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΟΝΩΤΙΚΟΥ ΕΛΑΙΟΥ 20°C
ΣΕ ΑΝΟΜΟΙΟΓΕΝΕΣ ΠΕΔΙΟ
ΥΠΟ ΚΡΟΥΣΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ $\pm 250/2500 \mu\text{s}$

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΥ Μ. ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

Επιβλέπων: Κ.Γ. ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2011



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

ΔΙΑΡΡΟΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΛΟΓΩ ΜΕΡΙΚΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ ΣΤΟ
PERTINAX ΕΝΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΟΝΩΤΙΚΟΥ ΕΛΑΙΟΥ 20°C
ΣΕ ΑΝΟΜΟΙΟΓΕΝΕΣ ΠΕΔΙΟ
ΥΠΟ ΚΡΟΥΣΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ $\pm 250/2500 \mu s$

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΥ Μ. ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

Επιβλέπων: Κ.Γ. ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή την 1^η Ιουλίου 2011

.....
Κ. Καραγιαννόπουλος Π. Μπούρκας Ν. Θεοδώρου

ΑΘΗΝΑ 2011

.....

Γιαννακοπούλου Μ. Παναγιώτα

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

Copyright © Παναγιώτα Μ. Γιαννακοπούλου, 2011
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.

Στην μνήμη της γιαγιάς μου Νότας

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο “Διαρροή ρεύματος λόγω μερικών εκκενώσεων στο Pertinax εντός ηλεκτρομονωτικού ελαίου 20 °C σε ανομοιογενές πεδίο υπό κρουστικές τάσεις $\pm 250/2500 \mu\text{s}$ ” εκπονήθηκε στην Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών στον Τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων.

Στο 1^ο κεφάλαιο αυτής της εργασίας, παρατίθεται μια εισαγωγή σχετικά με τα φαινόμενα γήρανσης και διάσπασης των μονωτικών υλικών. Επίσης αναφέρονται και τα κριτήρια αξιολόγησης των μονωτικών υλικών. Στο 2^ο κεφάλαιο, αναλύεται ο σκοπός της εργασίας που αφορά την διάσπαση της μόνωσης του στερεού μονωτικού Pertinax λόγω μερικών εκκενώσεων, όταν αυτό υποβάλλεται σε κρουστικές τάσεις της μορφής $\pm 250/2500 \mu\text{s}$. Στο 3^ο κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι συγκεντρωτικοί πίνακες από μετρήσεις μερικών εκκενώσεων στο στερεό μονωτικό Pertinax σε πάχη υλικού 1 mm και 2 mm και οι χαρακτηριστικές καμπύλες για την στατιστική ανάλυση διαρροής ρεύματος λόγω αυτών. Τέλος, στο 4^ο κεφάλαιο, παρουσιάζονται συμπεράσματα και σχόλια σε όσα παρουσιάστηκαν στο 3^ο κεφάλαιο.

Η συμβολή ορισμένων ανθρώπων κατέστη ουσιαστική και πολύτιμη για την περαίωση της εργασίας αυτής. Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κ.Γ. Καραγιαννόπουλο και τα μέλη της τριμελούς επιτροπής κ. Π.Δ. Μπούρκα και Ν. Θεοδώρου για την ενεργητική καθοδήγηση τους. Πιο συγκεκριμένα, ευχαριστώ τον κ. Π.Δ. Μπούρκα για την υποστήριξη του καθώς και για την αρωγή του καθ’ όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά την κ. Αικατερίνη Πολυκράτη για τη μεγάλη συμπαράσταση και ενθάρρυνσή της.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τους γονείς μου για την υποστήριξη τους και την υπομονή τους καθ’ όλη την διάρκεια της προσπάθειας αυτής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στην γήρανση και διάσπαση των μονωτικών υλικών καθώς και τις επιπτώσεις αυτών. Παράλληλα μελετώνται και οι παράγοντες που οδηγούν στην γήρανση και την διάσπαση των άνωθι υλικών.

Ο σκοπός της εργασίας είναι η στατιστική ανάλυση των μερικών εκκενώσεων στο στερεό μονωτικό Pertinax εντός ηλεκτρομονωτικού ελαίου υπό κρουστικές τάσεις $\pm 250/2500$ μs .

Στην εισαγωγή αναφέρονται οι ιδιότητες των ηλεκτρομονωτικών υλικών (στερεών, υγρών, αερίων) και οι βιομηχανικές τους εφαρμογές. Έπειτα, γίνεται μια εκτενής ανάλυση στα φαινόμενα διάσπασης των στερεών μονωτικών υλικών εφόσον αυτά αποτελούν το κύριο θέμα της παρούσης διπλωματικής εργασίας. Με την βοήθεια της μακροσκοπικής και κβαντομηχανικής θεωρίας εξετάζονται τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα πριν και κατά την διάσπαση των προαναφερθέντων μονωτικών υλικών.

Η παρούσα εργασία περιλαμβάνει την στατιστική μελέτη διαρροής ρεύματος λόγω μερικών εκκενώσεων στο στερεό μονωτικό Pertinax εντός ηλεκτρομονωτικού ελαίου σε θερμοκρασία 20°C σε ανομοιογενές πεδίο υπό κρουστικές τάσεις $\pm 250/2500$ μs . Κατόπιν γίνεται ανάλυση των μετρήσεων, των υπολογισμών και των γραφικών παραστάσεων βασικών ηλεκτρικών μεγεθών ανάλογα με το πάχος του δοκιμίου (1 mm, 2 mm) και την πολικότητα της επιβαλλόμενης τάσης (θετική, αρνητική). Τέλος, με βάση τις γραφικές παραστάσεις και όσα έχουν αναφερθεί στην θεωρία, ερμηνεύονται και συζητώνται τα φαινόμενα που παρατηρούνται κατά την διάρκεια διάσπασης του στερεού μονωτικού Pertinax.

Λέξεις – Κλειδιά: Κρουστικές τάσεις, Στερεά μονωτικά υλικά, Διαρροή ρεύματος.

ABSTRACT

The present thesis refers to the ageing and breakage of insulators as well as their consequences. In addition, the factors leading to these consequences are also studied.

The purpose of this thesis is based on the statistical analysis of the partial discharges of the industrial material Pertinax in an environment of oil insulator under impulse voltage of the form of $\pm 250/2500 \mu\text{s}$.

The introductory chapter discusses the characteristics of insulators (solid, liquid, gas) and their industrial applications. What is more, the electrical phenomena causing the break-down of these insulators are widely mentioned and analyzed considering the macroscopic and quantum-mechanic theory.

Great emphasis is also exerted on the statistical analysis of current leakage due to partial discharges of the solid industrial material Pertinax in an environment of oil insulator-temperature: 20°C under impulse voltage of the form of $\pm 250/2500 \mu\text{s}$. Furthermore, the measurements, the calculations and the graphic presentations of basic electrical quantities are analyzed, depending on the thickness of the material (1 mm, 2 mm) and the polarity of the voltage applied (positive, negative). Finally, according to the graphic presentations and the factors discussed in theory, conclusions and interpretations of the ageing and break-down of the solid insulator "Pertinax" are justified.

Key-words: Impulse voltage, Solid insulators, Current leakage

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
1.1. ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ.....	15
1.2. ΒΑΣΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	17
1.3. ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΠΡΟ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	20
1.3.1. ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ.....	21
1.3.1.1. ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ.....	21
1.3.1.2. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ.....	23
1.3.1.3. ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ.....	24
1.3.1.4. ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ.....	25
1.3.1.5. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ.....	26
1) ΜΕΡΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΩΛΕΙΕΣ JOULE.....	26
2) ΜΕΡΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΙΩΣΗ ΤΑΣΗΣ.....	27
3) ΜΕΡΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗ ΤΑΣΗ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ.....	28
4) ΜΕΡΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΡΟΥΣΕΩΝ.....	28
1.3.1.6. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΜΕΡΙΚΕΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ ΜΕ ΑΛΛΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ.....	29
1.3.1.7. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΡΙΚΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ.....	31
1.3.2. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΚΑΙ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗ.....	31
1.3.3. ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ.....	32
1.3.3.1. ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΠΡΟ ΤΗΣ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ ΤΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ.....	33
1.3.3.2. ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΤΗΣ ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗ.....	33
1.3.4. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗΣ ΚΑΙ ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ.....	34
2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	37
3. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	41
3.1. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΙ ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΓΙΑ ΔΕΙΓΜΑ ΠΑΧΟΥΣ 1mm ΥΠΟ ΚΡΟΥΣΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ +250/2500 μs	44
3.2. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΙ ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΓΙΑ ΔΕΙΓΜΑ ΠΑΧΟΥΣ 1mm ΥΠΟ ΚΡΟΥΣΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ -250/2500 μs	61
3.3. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΙ ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΓΙΑ ΔΕΙΓΜΑ ΠΑΧΟΥΣ 2mm ΥΠΟ ΚΡΟΥΣΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ +250/2500 μs	78
3.4. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΙ ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΓΙΑ ΔΕΙΓΜΑ ΠΑΧΟΥΣ 2mm ΥΠΟ ΚΡΟΥΣΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ -250/2500 μs	95

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΧΟΛΙΑ.....115

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....117

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Βασικές πηγές για την άντληση πληροφοριών των φαινομένων που περιγράφονται στην εισαγωγή αποτέλεσαν τα συγγράμματα “Βιομηχανικές ηλεκτρικές διατάξεις και υλικά” Π.Δ. Μπούρκας, Κ.Γ. Καραγιαννόπουλος, “Εφαρμογές κτιριακών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων” Π.Δ. Μπούρκας και “Αρχές Ηλεκτρονικών Υλικών και Διατάξεων” S.O. Kasap.

1.1 ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ

Μονωτικά υλικά θεωρούνται τα υλικά που πρακτικά δεν επιτρέπουν στο ηλεκτρικό ρεύμα να διαπεράσει την μάζα τους. Σκοπός των μονώσεων σε μία ηλεκτροτεχνική κατασκευή είναι ο ηλεκτρικός διαχωρισμός μεταξύ ρευματοφόρων μερών, καθώς και ρευματοφόρων μερών προς γη. Τα μονωτικά υλικά χωρίζονται σε στερεά, υγρά και αέρια και αναλόγως την εφαρμογή χρησιμοποιούνται μόνα τους ή και σε συνδυασμό.

Με τον όρο διάσπαση εννοεί κανείς την αγωγήμη σύνδεση μεταξύ δύο μονωμένων ηλεκτροδίων μέσω ηλεκτρικής εκκένωσης. Όταν η διάσπαση συμβαίνει με εκκένωση στην διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ δύο μονωτικών (π.χ. αέρας – πορσελάνη) τότε ονομάζεται επιφανειακή διάσπαση ή αλλιώς υπερπήδηση. Η διάσπαση σε περιορισμένο μήκος του μονωτικού υλικού ονομάζεται μερική εκκένωση. Οι μερικές εκκενώσεις συνήθως οφείλονται σε θέσεις ανομοιογένειας στον όγκο (εσωτερικές μερικές εκκενώσεις) ή στην επιφάνεια του υλικού (εξωτερικές μερικές εκκενώσεις). Ξεχωριστή ονομασία έχουν οι μερικές εκκενώσεις στον αέρα γύρω από γυμνούς αγωγούς (εκκενώσεις Corona ή στεμματοειδείς μερικές εκκενώσεις).

Στα αέρια, η διάσπαση εξαρτάται από την πίεση. Η συγκέντρωση των μορίων των αερίων είναι υψηλότερη στις υψηλές πιέσεις. Αυτό σημαίνει ότι η μέση απόσταση ανάμεσα στα μόρια και επομένως, η μέση ελεύθερη

διαδρομή ενός ελεύθερου ηλεκτρονίου, είναι μικρότερη. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια των αερίων (που υπάρχουν πάντοτε λόγω της κοσμικής ακτινοβολίας) πρέπει να επιταχυνθούν σε τέτοιο βαθμό ώστε να αποκτήσουν ενέργεια που να αντιστοιχεί στην ενέργεια ιονισμού πρόσκρουσης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο αν αυξηθεί το πεδίο. Τα ηλεκτρόνια αποκτούν τέτοια επιτάχυνση που τους επιτρέπει, προσκρούοντας σε ένα μόριο αερίου να το ιονίσουν, δημιουργώντας έτσι ένα επιπλέον ελεύθερο ηλεκτρόνιο και ένα θετικά φορτισμένο ιόν. Τα ηλεκτρόνια που επιταχύνθηκαν αλλά και αυτά που μόλις απελευθερώθηκαν από την πρόσκρουση μπορούν να επιταχυνθούν εκ νέου από το πεδίο και προσκρούοντας σε άλλα μόρια του αερίου να τα ιονίσουν. Έτσι, μια χιονοστιβάδα διαδικασιών πρόσκρουσης (φαινόμενο χιονοστιβάδας) δημιουργεί πολλά ελεύθερα ηλεκτρόνια και θετικά ιόντα στο αέριο.

Λέγεται ότι πραγματοποιείται μερική εκκένωση όταν σε μια περιορισμένη περιοχή του διηλεκτρικού δημιουργείται μια ηλεκτρική εκκένωση. Τα αέρια μονωτικά υλικά έχουν το μειονέκτημα να προκαλούν βλάβες στα στερεά μονωτικά, που συνεργάζονται μαζί τους. Αυτό οφείλεται κυρίως στις ξένες επικαθίσεις, λόγω των οποίων μειώνονται οι αποστάσεις μόνωσης με αποτέλεσμα την εκδήλωση εκκενώσεων στην επιφάνεια των στερεών μονωτικών. Προκαλούν επίσης βλάβες στα υγρά μονωτικά όταν εγκλωβίζονται σε αυτά, γιατί τότε επενεργούν ως ανεπιθύμητες ανομοιογένειες, οι οποίες μειώνουν την διηλεκτρική αντοχή των στερεών και υγρών μονωτικών.

Οι διαδικασίες που οδηγούν στην διάσπαση της μόνωσης στα υγρά δεν είναι τόσο ξεκάθαρες όσο το φαινόμενο της ηλεκτρονικής χιονοστιβάδας στα αέρια. Σε ορισμένα υγρά, η εκκένωση ξεκινάει με την μορφή μερικών εκκενώσεων σε φυσαλίδες αερίου που είναι παγιδευμένες στο υγρό. Το αποτέλεσμα μιας σειράς τέτοιων εκκενώσεων προκαλεί εν γένει την περαιτέρω μείωση της διηλεκτρικής αντοχής. Η γήρανση και η διάσπαση του μονωτικού ελαίου αποδίδεται κυρίως στα αιωρούμενα σε αυτό ξένα σωματίδια, τα οποία φαίνεται ότι μειώνουν τις αποστάσεις μόνωσης, γιατί σχηματίζουν αγωγίμες γέφυρες μεταξύ των ρευματοφόρων μερών με διαφορετικό δυναμικό.

Τα στερεά μονωτικά υλικά 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 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. Τα στερεά μονωτικά υλικά εξαιτίας της σταθερότητας της μοριακής τους δομής δεν έχουν την ικανότητα να επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση ύστερα από μια διάσπαση.

Δύο βασικές θεωρίες επικρατούν για τα φαινόμενα γήρανσης και διάσπασης των στερεών μονωτικών υλικών: η μακροσκοπική θεωρία και η κβαντομηχανική θεωρία.

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

Η κβαντομηχανική θεωρία ενδιαφέρεται κυρίως για την ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων (ηλεκτρονίων κυρίως), κατά την εξαναγκασμένη επιβράδυνσή τους στα ηλεκτρόδια.

1.2 ΒΑΣΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα διάφορα μονωτικά υλικά οφείλουν να παρουσιάζουν μια αξιόπιστη διαχρονική συμπεριφορά σε μία κατασκευή υψηλών τάσεων. Από εκεί προέκυψε η ανάγκη εξαγωγής ορισμένων βασικών κριτηρίων αξιολόγησης των μονωτικών υλικών όσον αφορά τις διηλεκτρικές και άλλες ιδιότητες

που πρέπει να έχουν ανάλογα με την συγκεκριμένη κατασκευή. Τα κριτήρια αυτά είναι τα εξής:

- ☞ Διηλεκτρική αντοχή: συμβολίζεται με E_d και είναι η μέγιστη πεδιακή ένταση την οποία μπορεί να υποστεί ένα μονωτικό υλικό χωρίς να απολέσει την μονωτική του ικανότητα, δηλαδή χωρίς να διασπαστεί. Ορίζεται ως το πηλίκο της τάσης διασπάσεως προς το πάχος της μόνωσης μεταξύ των αγωγών-ηλεκτροδίων επί των οποίων εφαρμόζεται η τάση διάσπασης.
- ☞ Σχετική διηλεκτρική σταθερά: συμβολίζεται με ϵ_r και έχει οριστεί με βάση την αύξηση χωρητικότητας, ή της ικανότητας αποθήκευσης φορτίου, λόγω της εισαγωγής ενός διηλεκτρικού μέσου. Η αύξηση αποθηκευμένου φορτίου οφείλεται στην πόλωση του διηλεκτρικού από το εφαρμοζόμενο πεδίο.
- ☞ Συντελεστής απωλειών: συμβολίζεται με $\text{tg}\delta$ και είναι ένα κριτήριο αξιολόγησης του διηλεκτρικού καθώς δίνει πληροφορίες για την αγωγιμότητα του. Σε μια μόνωση που περιβάλλεται μεταξύ ηλεκτροδίων με σκοπό την δημιουργία ενός ηλεκτροστατικού πεδίου, υπάρχουν πάντοτε απώλειες ενέργειας, οι οποίες υπό εναλλασσόμενη τάση οφείλονται αφενός στην κατανάλωση ενέργειας κατά την διαρκή εναλλαγή της φοράς της ηλεκτρικής ροπής και αφετέρου στην πολύ μικρή ειδική αγωγιμότητα, που έχουν τα μονωτικά υλικά.
- ☞ Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα: συμβολίζεται με σ και ορίζεται ως το αντίστροφο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Τα ηλεκτρομονωτικά υλικά έχουν μια πολύ μικρή ειδική αγωγιμότητα που εξαρτάται γενικά από τις συνθήκες λειτουργίας τους (τιμή της πεδιακής έντασης, θερμοκρασία, υγρασία, κλπ). Η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι επομένως ένα σημαντικό κριτήριο αξιολόγησης των διηλεκτρικών, γιατί εκφράζει τους ελεύθερους ηλεκτρικούς φορείς. 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 της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Για μεγάλες τιμές πεδιακής έντασης, η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας οφείλεται κυρίως στις μερικές εκκενώσεις και επιπροσθέτως στην περίπτωση αυτή συμβαίνει ιονισμός με κρούσεις, όπως στα ιονισμένα αέρια.

- ☞ Συντελεστής $\epsilon \cdot t g \delta$: το γινόμενο $\epsilon \cdot t g \delta$ χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των μονωτικών υλικών. Ο συντελεστής αυτός του ομοιογενούς στερεού μονωτικού υλικού (ή γενικότερα στερεού διηλεκτρικού), όταν δεν εκδηλώνονται σε αυτό μερικές εκκενώσεις, αυξάνει εκθετικά με την θερμοκρασία.
- ☞ Επιφανειακή αγωγιμότητα: η διηλεκτρική αντοχή στερεών μονωτικών μειώνεται όταν η επιφάνειά τους περιλαμβάνει ξένες επικαθίσεις (σκόνη, υγρασία). Το ίδιο συμβαίνει όταν καταπονηθεί θερμικά η επιφάνεια. Η επιφανειακή αγωγιμότητα είναι ένα κριτήριο για την προδιάθεση των διαφόρων στερεών διηλεκτρικών στην εκδήλωση των άνωθι 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 επιφάνεια τους όπως αντοχή σε ρεύμα διαρροής, αντοχή σε ηλεκτρικό τόξο και δυνατότητα απομάκρυνσης επικαθίσεων κατά τη βροχή. Αυτό ενδιαφέρει στην πράξη την κατασκευή π.χ. μονωτήρων.
- ☞ Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας: συμβολίζεται με λ και ορίζεται ως η ποσότητα θερμότητας που περνά στη μονάδα του χρόνου μέσα από τις απέναντι πλευρές ενός κύβου πλευράς 1 m από ομογενές υλικό, όταν η διαφορά θερμοκρασίας των επιφανειών αυτών διατηρείται σταθερή στον 1 °C. Η θερμική καταπόνηση των μονωτικών υλικών σχετίζεται με την αύξηση του αριθμού των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων στις θέσεις όπου η πεδιακή ένταση

έτυχε να είναι αυξημένη (όπως π.χ. ανομοιογένειες στον όγκο ή στην επιφάνεια των στερεών μονωτικών, ανεπιθύμητα αιωρούμενα σωματίδια στο λάδι). Η θερμική ειδική αγωγιμότητα συμβαδίζει με την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα και είναι ένα κριτήριο για την αξιολόγηση των μονωτικών υλικών.

☞ Μηχανική αντοχή: σε αρκετές κατασκευές ενδιαφέρουν και οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών εκτός από τις ηλεκτρικές τους. Στις περιπτώσεις αυτές, θεωρείται το στερεό μονωτικό υλικό ως ένα μηχανολογικό εξάρτημα όποτε ισχύουν για τον υπολογισμό του οι κανόνες της μηχανικής αντοχής των υλικών. Κατά το βραχυκύκλωμα, η μηχανική σε πλήρεις κατασκευές ενδέχεται να επηρεάσει την διηλεκτρική αντοχή τους από την εξάσκηση μεγάλων δυνάμεων ηλεκτρικής προέλευσης. Οι δυνάμεις αυτές μπορούν να μειώσουν τις αποστάσεις μόνωσης και να γίνουν αίτια καταστροφής της κατασκευής, όταν δεν υπάρχει η απαιτούμενη μηχανική αντοχή.

1.3 ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΠΡΟ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΤΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα φαινόμενα που εκδηλώνονται προ της διάσπασης των στερεών μονωτικών καθώς και εκείνα κατά την επιφανειακή διάσπαση, προκαλούν συνήθως μόνιμες βλάβες σε βάρος της διηλεκτρικής αντοχής των στερεών διηλεκτρικών. Αυτή ακριβώς η ιδιότητα των στερεών μονωτικών υλικών, να μην επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση, αλλά να καταστρέφονται κατά την διάσπαση ή να αποκτούν συνήθως μόνιμες βλάβες, είναι η βασική δυσκολία για την μελέτη του μηχανισμού της γήρανσης της διάσπασής τους.

1.3.1 ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ

Από μετρήσεις που έχουν γίνει σε διάφορα στερεά μονωτικά, οι οποίες έχουν συνδυαστεί με παρατηρήσεις σχετικά με την αλλαγή της μοριακής δομής, που προκαλείται στα υλικά αυτά, θεωρείται ότι υπάρχουν οι κάτωθι βασικοί παράγοντες μείωσης της σταθερότητας των μορίων τους:

- ☞ απώλειες Joule
- ☞ δυνάμεις Coulomb
- ☞ μερικές εκκενώσεις
- ☞ θερμοκρασία περιβάλλοντος.

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

- ☞ θερμική διάτρηση
- ☞ ηλεκτρική διάτρηση
- ☞ ηλεκτροχημική διάτρηση
- ☞ θερμοχημική διάτρηση.

1.3.1.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ

Η μειωμένη αγωγιμότητα των μονωτικών μέσων συνεπάγεται ότι εντός του στερεού θα εκλύεται θερμότητα $\sigma \cdot E^2$. Ιδιαίτερα στις υψηλές συχνότητες, οι διηλεκτρικές απώλειες, $V^2 \cdot \omega \cdot \epsilon \cdot \rho$, θα είναι αρκετά σημαντικές. Επομένως, η μεταφορά φορτίου αλλά και οι διηλεκτρικές απώλειες παράγουν θερμότητα μέσα στο διηλεκτρικό. Αν η θερμότητα αυτή δεν απομακρυνθεί γρήγορα, τότε η θερμοκρασία του διηλεκτρικού θα ανέβει και ως αποτέλεσμα, λόγω της ανομοιογένειας του δείγματος, ορισμένα σημεία του υπερθεμαίνονται ανεξέλεγκτα και πραγματοποιείται

έτσι τοπική τήξη του υλικού που οδηγεί στη φυσική και τεχνητή του διάβρωση.

Ο σχετός διάτρησης δημιουργείται, όταν η ειδική αγωγιμότητα σε κάποια θέση του υλικού έχει αποκτήσει την απαιτούμενη για την διάτρηση οριακή τιμή σ_1 , οπότε έχουμε:

$$\sigma_1 = \sigma_0 e^{\beta\theta} \quad (1.3.1.1-1)$$

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

β : ένας συντελεστής του υλικού.

Με την προϋπόθεση σταθερής διατομής (A) του σχετού διάτρησης και ειδικής αγωγιμότητας σ_1 , η θερμική ισχύς που παράγεται είναι:

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{V^2 \sigma_0 e^{\beta\theta} A}{d} \quad (1.3.1.1-$$

2)

όπου V η ενδεικνύμενη τιμή της εφαρμοζόμενης τάσης στα ηλεκτρόδια.

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

$$P_\alpha = 2\pi r d \kappa \theta \quad (1.3.1.1-3)$$

όπου κ ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας.

Στην θερμική διάτρηση ισχύει ότι η θερμική ισχύς που παράγεται είναι ίση με εκείνη που απάγεται. Σύμφωνα με αυτό έχουμε τον τύπο:

$$V_\theta = d \sqrt{\frac{2\kappa}{e\beta\sigma_0 r}} \quad (1.3.1.1-4)$$

1.3.1.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ

Όταν η σταθερή ενεργός τιμή της τάσης που εφαρμόζεται στο δοκίμιο, είναι αρκετά μεγαλύτερη από εκείνη για την 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 αποδίδεται κυρίως στις δυνάμεις Coulomb και ονομάζεται ηλεκτρική διάτρηση. Η ηλεκτρική διάτρηση διακρίνεται ανάλογα με την εικόνα που παρουσιάζει το ηλεκτρικό τόξο κατά την διάτρηση, στην δενδροειδή και εκείνη υπό μορφή οχετού κατά την διεύθυνση του πεδίου.

Στη δενδροειδή διάτρηση, η εικόνα του υλικού σχετίζεται με την θερμική καταπόνηση στα ίχνη του δενδρίτη. Η διάτρηση συμβαίνει όταν μια διακλάδωση του δενδρίτη ολοκληρώνει την πλήρη αγωγή σύνδεση των ηλεκτροδίων. Η διάτρηση υπό μορφή οχετού (ή ηλεκτρομηχανική διάτρηση) οφείλεται στην πολύ μεγαλύτερη τιμή της πεδιακής έντασης από ότι κατά την δενδροειδή διάτρηση. Αυτό συμβαίνει κυρίως από τις δυνάμεις Coulomb που εξασκούνται μεταξύ ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων και ηλεκτροδίων. Η εικόνα του υλικού είναι το αποτέλεσμα μιας ακαριαίας εξάσκησης δυνάμεων, στην περιοχή όπου η πεδιακή ένταση είναι σημαντικά μεγάλη.

Στα οργανικά στερεά μονωτικά έχει διαπιστωθεί ότι πάνω από μια μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης U_{kmin} που εφαρμόζεται στο δοκίμιο, συμβαίνει η διάτρηση με μία κρούση υπό μορφή οχετού, αν και η τιμή της πεδιακής έντασης είναι πολύ μικρότερη από εκείνη κατά την ηλεκτρομηχανική διάτρηση υπό εναλλασσόμενη τάση καταπόνησης. Η μορφή της διάτρησης αυτής χαρακτηρίζεται επίσης και 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.

d (mm)	Μορφή [μ s]	Πολικότητα	U_k 50% [kV]	Περιοχή τιμών U_k για την διάσπαση [kV]
1	1,2/50	θετική	80	78...90
	1,2/50	αρνητική	86	81...95
	10/200	θετική	74	69...78
	10/200	αρνητική	77	71...79
	250/2500	θετική	66	63...69
	250/2500	αρνητική	68	65...70
2	1,2/50	θετική	135	126...151
	1,2/50	αρνητική	148	132...165
	10/200	θετική	74	69...80
	10/200	αρνητική	70	67,5...71

Πίνακας 1.3.1.2: Τιμές της τάσης διάσπασης του στερεού μονωτικού Pertinax H1270 κατά την καταπόνηση του με διάφορες μορφές κρουστικών τάσεων σε περιβάλλον μονωτικού ελαίου μετασχηματιστών.

1.3.1.3 ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗ

Από την 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. Συγκριτικά με τις άλλες μορφές διάσπασης, η διάσπαση λόγω μερικών εκκενώσεων (ή ηλεκτροχημική διάσπαση) προκαλεί βαθμιαία μείωση της ηλεκτρικής αντοχής ανάλογα με τον ρυθμό αύξησης της χημικής μεταβολής.

Ένα κριτήριο αξιολόγησης βασισμένο στην έναρξη της τεχνητής γήρανσης, είναι ο φαινόμενος συντελεστής ανομοιογενειών και ορίζεται ως το πηλίκο της τάσης έναρξης των μερικών εκκενώσεων προς την τάση της διηλεκτρικής δοκιμής που προβλέπεται στις προδιαγραφές, ανάλογα

με την ονομαστική τάση και την μορφή της εφαρμοζόμενης τάσης. Κατά την καταπόνηση με κρουστικές τάσεις ισχύει:

$$\mu_0 = \frac{\hat{U}_{k\varepsilon}}{\hat{U}_k} \quad (1.3.1.3-1)$$

1.3.1.4 ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ

Η διάτρηση που προκαλείται μόνο από την θερμότητα του περιβάλλοντος του στερεού μονωτικού μέσου, ονομάζεται θερμοχημική. Έχει διαπιστωθεί πειραματικά ότι, μετά από μία τιμή τάσης, η θερμοχημική διάτρηση δεν αντιμετωπίζεται με την αύξηση του πάχους της μόνωσης. Η τάση αυτή ονομάζεται θερμική τάση ανατροπής και δίνεται από την σχέση:

$$U_a = \sqrt{\alpha \frac{k\theta}{\sigma_0}} \quad (1.3.1.4-1)$$

όπου α σταθερά του υλικού που εξαρτάται από την μορφή της τάσης.

Η θερμική τάση ανατροπής αποτελεί το κριτήριο για το τεχνικοοικονομικό πάχος των στερεών μονωτικών στις πρακτικές εφαρμογές τους όπως στους μετασχηματιστές και τα καλώδια. Η αύξηση της θερμοκρασίας στο περιβάλλον μέσο του στερεού μονωτικού υλικού ενισχύει τις μερικές εκκενώσεις με αποτέλεσμα την μείωση της διηλεκτρικής αντοχής. Έχει διαπιστωθεί ότι οι μερικές εκκενώσεις εκδηλώνονται, λόγω της θερμότητας του περιβάλλοντος σε μικρότερες τιμές της τάσης από ότι σε κανονική θερμοκρασία (20 °C), με αποτέλεσμα να συμβαίνει ο ιονισμός δια κρούσεως σε αρκετά μικρότερες τιμές του πεδίου από ότι στην καταπόνηση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 20 °C.

1.3.1.5 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ

Έχει διαπιστωθεί ότι όταν συντρέχουν λόγοι μείωσης της διηλεκτρικής αντοχής ενός στερεού μονωτικού υλικού από άλλους παράγοντες, η θερμότητα του περιβάλλοντος μέσου ενισχύει συνήθως το ρόλο τους γιατί:

- ☞ αυξάνει η ειδική αγωγιμότητα,
- ☞ διευκολύνεται η εξάσκηση των δυνάμεων Coulomb γιατί οι δεσμοί στο πλέγμα των μορίων των πολυμερών υλικών γίνονται ασθενέστεροι,
- ☞ ενισχύεται ο ρόλος των μερικών εκκενώσεων, λόγω μεγαλύτερης ευκινησίας των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων, κυρίως στις φυσαλίδες αερίου.

Πρόσφατες μετρήσεις με κρουστικές τάσεις σε στερεά μονωτικά, κατά την καταπόνηση τους σε διάφορες θερμοκρασίες (20 °C, 40 °C και 80 °C), οδηγούν επίσης στο συμπέρασμα ότι η αύξηση της ειδικής αγωγιμότητας (και επομένως η μείωση της διηλεκτρικής αντοχής) είναι δεδομένη, όσο αυξάνει η θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Ένας άλλος παράγοντας που θεωρείται ότι είναι ο κυρίαρχος παράγοντας γήρανσης και διάσπασης των μονωτικών είναι οι μερικές εκκενώσεις. Μεταξύ των εξωτερικών και εσωτερικών εκκενώσεων πιο σημαντικές είναι οι τελευταίες, γιατί σχετίζονται με χημικές μεταβολές στον όγκο του υλικού. Λόγω της σπουδαιότητας των μερικών εκκενώσεων, εξετάζονται παρακάτω ξεχωριστά με κάθε παράγοντα μείωσης της διηλεκτρικής αντοχής.

1) ΜΕΡΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΩΛΕΙΕΣ JOULE

Η θερμική διάτρηση αρχίζει σε μια θέση του μονωτικού υλικού, όπου αρχικά, λόγω κάποιας ανομοιογένειας, υπάρχει η αιτία για τοπική αύξηση της αγωγιμότητας. Σε αυτές τις θέσεις παρατηρούνται

μεγαλύτερες τιμές της πεδιακής έντασης από ότι αν δεν υπήρχαν ανομοιογένειες. Συνεπώς, μειώνεται η διηλεκτρική αντοχή και μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι πρόκειται για αύξηση της ειδικής αγωγιμότητας του υπολοίπου “υγιούς τμήματος” του μονωτικού από την πεδιακή ένταση. Για το ανομοιογενές στερεό μονωτικό έχουμε στην περίπτωση της διάτρησης:

$$\Delta U_1 = V_\theta - U_{\theta\varepsilon} = \delta E d \sqrt{\frac{2\kappa}{e\beta\sigma_0 r}} \quad (1.3.1.5-$$

1)

2) ΜΕΡΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΙΩΣΗ ΤΑΣΗΣ

Με την παραδοχή ότι η απαγόμενη θερμικά ισχύς είναι πρακτικά μηδενική, ισχύει:

$$\frac{u^2 \sigma A}{(1 - \delta E)^2 d} = C_0 \frac{d\theta}{dt} \quad (1.3.1.5-2)$$

Στην περίπτωση της διάτρησης ισχύει:

$$U_{n\varepsilon} = (1 - \delta E) \sqrt{d} \sqrt{\frac{C_0 \theta}{\sigma A T_s}} \quad (1.3.1.5-3)$$

Η διαφορά τάσης που ουσιαστικά συνεπάγεται την μείωση της τάσης διάτρησης δίνεται από τον τύπο:

$$\Delta U_2 = U_n - U_{n\varepsilon} = \delta E \sqrt{d} \sqrt{\frac{C_0 \theta}{\sigma A T_s}} \quad (1.3.1.5-4)$$

3) ΜΕΡΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗ ΤΑΣΗ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ

Η θερμική τάση ανατροπής λόγω του συνδυασμού του περιβάλλοντος με τις μερικές εκκενώσεις δίνεται από τον τύπο:

$$U_{x\varepsilon} = (1 - \delta E) \sqrt{\frac{\alpha k \theta}{\sigma_0}} \quad (1.3.1.5-5)$$

Λόγω μερικών εκκενώσεων η διαφορά τάσης ή αλλιώς η μείωση της τιμής της θερμικής τάσης ανατροπής είναι:

$$\Delta U_3 = U_x - U_{x\varepsilon} = \delta E \sqrt{\frac{\alpha k \theta}{\sigma_0}} \quad (1.3.1.5-6)$$

4) ΜΕΡΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΡΟΥΣΕΩΝ

Ο συνδυασμός των παραγόντων γήρανσης και διάτρησης, κατά την καταπόνηση πολυμερών μονωτικών υλικών (εντός μονωτικού ελαίου) με έναν αριθμό κρούσεων m που έχουν αρκετά μικρότερη τιμή από εκείνη για την διάτρηση με μια μέγιστη κρούση, έχει αποδοθεί σε δύο φαινόμενα:

- ☞ Το θερμικό φαινόμενο
- ☞ Την ηλεκτρομηχανική διάτρηση κατά την τελευταία κρούση (m)

Το θερμικό φαινόμενο θεωρείται ότι είναι μια τεχνητή γήρανση μέχρι πριν την εφαρμογή της τελευταίας κρούσης, λόγω του οποίου το υλικό απέκτησε σε μια περιοχή του μεγαλύτερη ειδική αγωγιμότητα. Στην περιοχή, δηλαδή, όπου συμβαίνουν οι μερικές εκκενώσεις, το υλικό άλλαξε, λόγω των χημικών διεργασιών, τις φυσικές του ιδιότητες σε βάρος της διηλεκτρικής του αντοχής, ώστε τελικά να πρόκειται για ένα άλλο μονωτικό, το οποίο πλέον διασπάται ηλεκτρομηχανικά στην $m^{\text{α}}$ κρούση.

Επομένως η μείωση της μέγιστης τιμής της κρουστικής τάσης για την διάτρηση δίνεται από τον τύπο:

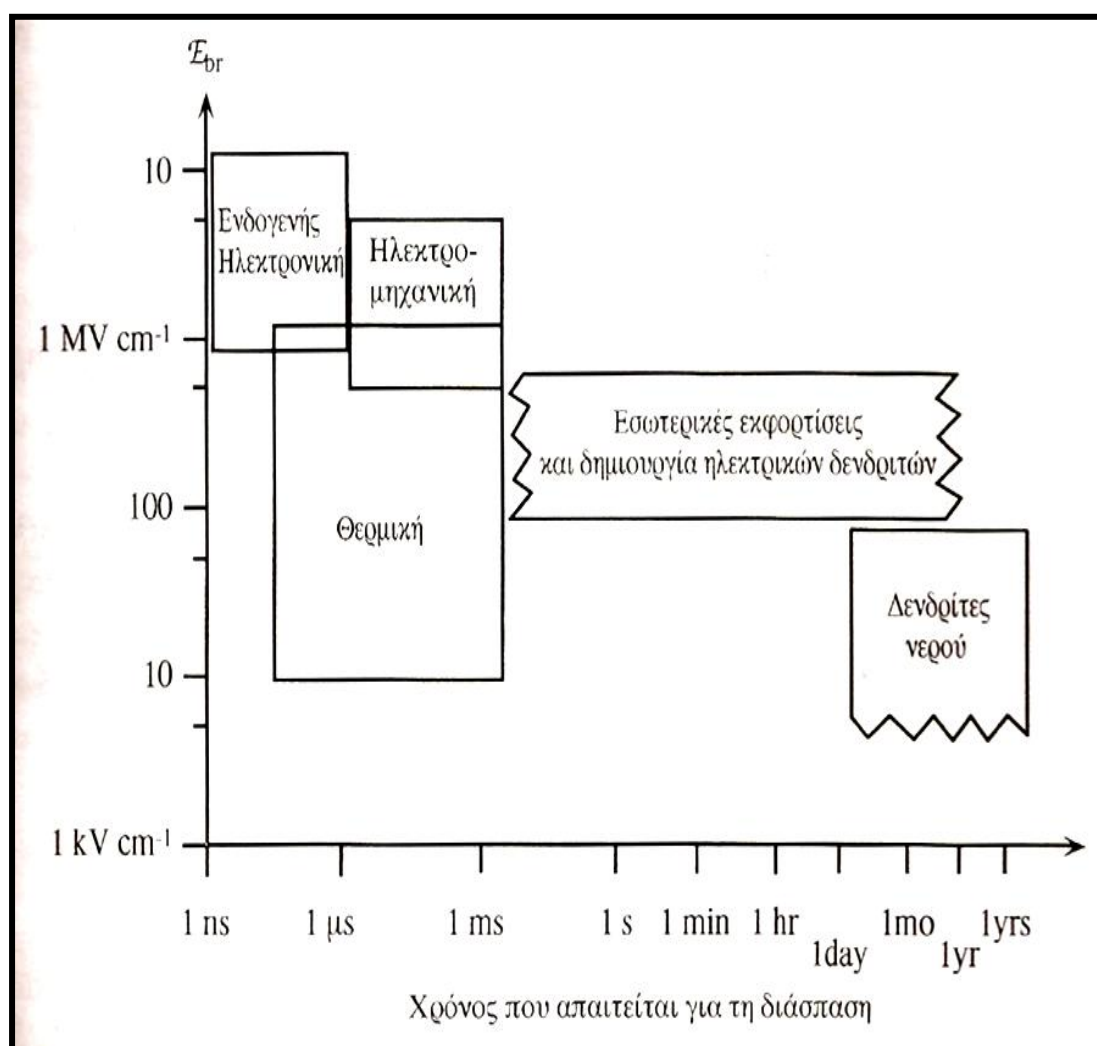
$$\Delta u = \delta E \sqrt{d \frac{C_m \theta_m}{\sigma A T_s}} \quad (1.3.1.5-7)$$

Εύκολα διαπιστώνεται ότι μέχρι την (m-1) κρούση η ενέργεια, που παρέχεται στο στερεό μονωτικό, μετατρέπεται στην θερμότητα που παραμένει στην θέση της προσεχούς διάτρησης και σε εκείνη που μεταδίδεται στο υπόλοιπο υλικό ανάλογα με την συχνότητα των κρούσεων. Έτσι, συμπεραίνουμε ότι κατά την εφαρμογή της τελευταίας κρούσης (m) η θερμοκρασία στην συγκεκριμένη θέση του υλικού έχει αποκτήσει την κρίσιμη για την διάτρηση τιμή. Από πειράματα που έχουν γίνει με κρουστικές τάσεις της μορφής 1,2/50 μs και 10/200 μs σε τιμές κοντά στην περιοχή διάτρησης, έχει διαπιστωθεί ότι εκτός από την θερμική καταπόνηση δημιουργούνται μικρά θραύσματα στην θέση προσεχούς διάσπασης. Σε αυτήν την περίπτωση, στην τεχνητή γήρανση συμμετέχουν και οι δυνάμεις Coulomb. Όταν τελικά συμβεί η διάτρηση μετά από m κρούσεις, τότε παρατηρείται μια μικρή τρύπα διάτρησης (με διάμετρο μικρότερη από 0,1 mm).

1.3.1.6 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΜΕΡΙΚΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ ΜΕ ΑΛΛΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ

Αν συνδυάσουμε μαζί τις απώλειες Joule, τις μερικές εκκενώσεις, τις δυνάμεις Coulomb και την θερμότητα περιβάλλοντος, τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται ανάλογα με το πώς αυτοί οι παράγοντες εκδηλώνονται διαχρονικά. Με την γήρανση καθορίζεται ο χρόνος ζωής ενός υλικού καθώς περιγράφεται η γενικότερη υποβάθμιση των ιδιοτήτων του μονωτικού. Επίσης, οι ιδιότητες μόνωσης υφίστανται και ηλεκτρική γήρανση λόγω της επίδρασης του πεδίου και ως αποτέλεσμα προκαλείται η ανάπτυξη ηλεκτρικών δενδριτών. Είναι επίσης πιθανό η επιφάνεια του

μονωτικού στρώματος να μολύνεται από το περιβάλλον είτε από υγρασία είτε από επικάλυψη αιωρούμενων σωματιδίων. Η μολυσμένη επιφάνεια αναπτύσσει σταδιακά επαρκώς μεγάλη αγωγιμότητα ώστε να επιτρέψει την πραγματοποίηση εκφόρτισης ανάμεσα στα ηλεκτρόδια σε πεδίο μικρότερο του πεδίου διάσπασης του διηλεκτρικού. Είναι επομένως φανερό ότι δεν μπορούμε να αποδώσουμε την διάσπαση ενός συγκεκριμένου διηλεκτρικού με βεβαιότητα σε κάποιον μεμονωμένο μηχανισμό. Δίνεται το παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 1.3.1.6-1: Ο χρόνος που απαιτείται για την διάσπαση και το πεδίο διάσπασης E_{br} σχετίζονται και εξαρτώνται από τον μηχανισμό που προκαλεί την διάσπαση του διηλεκτρικού. Δεν έχουν συμπεριληφθεί οι εξωτερικές εκφορτίσεις.

1.3.1.7 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΡΙΚΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ

Ένα σημαντικό αποτέλεσμα των στατιστικών μετρήσεων των μερικών εκκενώσεων είναι ο διαχωρισμός μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών μερικών εκκενώσεων στο διάγραμμα της χρονικής μεταβολής της εφαρμοζόμενης τάσης στο στερεό μονωτικό. Έχει παρατηρηθεί ότι οι εσωτερικές μερικές εκκενώσεις εμφανίζονται στην περιοχή μηδενισμού της τάσης ή γενικότερα στην περιοχή της μέγιστης χρονικής μεταβολής τους. Αντίθετα, οι εξωτερικές μερικές εκκενώσεις εμφανίζονται στην περιοχή όπου δεν μηδενίζεται η τάση.

1.3.2 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΚΑΙ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗ

Η εκδήλωση των εξωτερικών μερικών εκκενώσεων στη διαχωριστική επιφάνεια του συνδυασμού “στερεό μονωτικό - αέριο μονωτικό” θα οδηγήσει σε επιφανειακή διάσπαση όταν μια ομάδα ελεύθερων ηλεκτρονίων θα προκαλέσει μείωση της απόστασης μεταξύ των ηλεκτροδίων, ώστε τελικά να συμβεί ένας οχετός διάσπασης στην επιφάνεια του στερεού (επιφανειακή διάσπαση), ή στο περιβάλλον μέσο του (υπερπήδηση). Πειράματα έχουν δείξει ότι κατά την διάρκεια των φαινομένων παραγωγής ελεύθερων ηλεκτρονίων στην επιφάνεια των στερεών μονωτικών συμμετέχει και η ίδια η επιφάνεια σε βάθος μέχρι 30 Å. Εξάγουμε λοιπόν το συμπέρασμα ότι παρατηρούνται και άλλοι παράγοντες πέρα από τις εξωτερικές μερικές εκκενώσεις. Διάφορες έρευνες πάνω στο θέμα των στερεών μονωτικών και ειδικότερα στην επιβολή κρουστικών τάσεων αποκαλύπτουν ότι τα παλμογραφήματα της διάτρησης και της επιφανειακής υπερπήδησης ομοιάζουν με την μικρή διαφορά ότι η επιφανειακή διάσπαση εκδηλώνεται στην ουρά της κρουστική τάσης.

1.3.3 ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ

Μέχρι στιγμής αναλύσαμε τους βασικούς παράγοντες που οφείλονται η γήρανση και η διάσπαση των στερεών μονωτικών. Μέσα σε αυτούς, ωστόσο, δεν περιλαμβάνονται πληροφορίες για φαινόμενα όπως:

- ☞ ιονισμός με κρούσεις,
- ☞ μη ορατό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Ο ιονισμός με κρούσεις πιστεύεται ότι εκδηλώνεται στα στερεά μονωτικά. Όσον αφορά το μη ορατό φάσμα, αυτό σχετίζεται με την μείωση της διηλεκτρικής αντοχής του μονωτικού και σε συνδυασμό με τα φωτεινά φαινόμενα και τις καταπονήσεις που παρατηρούνται στο υλικό (κυρίως θερμικές και μηχανικές) θα μπορούσε να δώσει περισσότερες πληροφορίες για αυτό.

Όλα τα παραπάνω επιτυγχάνονται με την εφαρμογή της κβαντομηχανικής θεωρίας, την οποία ενδιαφέρει κυρίως η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων και πιο συγκεκριμένα των ηλεκτρονίων. Όταν η ενέργεια αυτή ξεπεράσει την στάθμη Fermi, τότε είναι δυνατόν να εξάγουμε τα παρακάτω συμπεράσματα:

- ☞ το φάσμα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας κατά την γήρανση μπορεί να είναι από ακουστικά κύματα έως υπεριώδης ακτινοβολία και είναι δυνατό να επεκταθεί σε τιμές της ιονίζουσας περιοχής του.
- ☞ η τιμή του πεδίου παίζει καθοριστικό ρόλο στην δημιουργία ελεύθερων ηλεκτρονίων και έχει διαπιστωθεί ότι οι μερικές εκκενώσεις υπό κρουστικές τάσεις ξεκινούν από τιμή πεδίου 0,2 MV/cm.
- ☞ 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 επιβράδυνση τους στα ηλεκτρόδια.

1.3.3.1 ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΠΡΟ ΤΗΣ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ ΤΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ

Έχει διαπιστωθεί ότι κατά την καταπόνηση ενός υλικού με κρουστικές τάσεις 1,2/50 μs εκδηλώνεται επιφανειακός δενδρίτης και έχει ως αποτέλεσμα την μόνιμη αλλαγή της μοριακής δομής του μονωτικού. Κατά την κβαντομηχανική θεωρία, όταν η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων ξεπεράσει την τιμή της στάθμης Fermi, αυτή μπορεί να υπολογιστεί από την ενέργεια στον πυκνωτή μέτρησης C_m ανά άλμα δυναμικού σύμφωνα με την σχέση:

$$W = (0,5\Delta u) / (1 - e^{-t/(RC_m)}) \quad (1.3.3.1-1)$$

Περισσότερες πληροφορίες για το μηχανισμό γήρανσης έχουν δοθεί από παλμογραφήματα των κρούσεων φορτίου. Εκεί φαίνεται ότι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια συλλέγονται από την άνοδο υπό μορφή ομάδων, οι οποίες μπορεί να αποδοθούν σε ιονισμό με κρούσεις. Επίσης διαπιστώνεται ότι ο ιονισμός με κρούσεις συμβάλλει στο φαινόμενο κατά το οποίο κατά την αύξηση της τιμής της τάσης μειώνεται η τιμή του ρεύματος (αρνητική διαφορική αντίσταση). Με αυτόν τον τρόπο, μια διαδρομή της δενδροειδούς μορφής εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, αντιστοιχεί σε μια κρούση φορτίου, η οποία περιλαμβάνει ελεύθερα ηλεκτρόνια, που είχαν την ίδια ενεργειακή στάθμη.

1.3.3.2 ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΤΗΣ ΕΚΠΙΕΜΠΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗ

Από διάφορα πειράματα μπορούμε να υποθέσουμε ότι η διάτρηση σχετίζεται με την εκπομπή μαλακών ακτινών X. Ο αριθμός των κρούσεων περιορίζεται σημαντικά σε σχέση με εκείνον κατά την γήρανση, όμως η τιμή του ρεύματος αυξάνεται σημαντικά. Ο μηχανισμός λοιπόν της διάτρησης έχει ως επί το πλείστον τα ίδια γνωρίσματα με αυτόν της γήρανσης. Όσον αφορά την επιφανειακή διάσπαση, διαπιστώνεται ότι και αυτή σχετίζεται με την εκπομπή μαλακών ακτινών X. Αν τελικά συμβαίνει εκπομπή ακτινών X κατά την επιφανειακή διάσπαση όπως και κατά την διάτρηση τότε θα πρέπει να προσβάλλεται το φωτογραφικό φιλμ και να απεικονίζονται αντικείμενα όπως και βιολογικοί οργανισμοί. Μπορεί επίσης να συμπεράνει κανείς ότι ο φωτεινός δενδρίτης καθώς και ο σχετός διάσπασης που παρατηρούνται κατά την καταπόνηση ενός στερεού μονωτικού αφορούν το ορατό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που παράγεται στο υλικό.

1.3.4 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗΣ ΚΑΙ ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ

Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα, μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι η κβαντομηχανική θεωρία δίνει πληροφορίες για το μη ορατό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας γεγονός το οποίο δεν εξάγεται κατά της μελέτη της μακροσκοπικής θεωρίας. Όμως η τελευταία πλεονεκτεί στο γεγονός ότι παρατηρείται διαχωρισμός μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών εκκενώσεων στο διάγραμμα της χρονικής μεταβολής της εφαρμοζόμενης τάσης. Επομένως για την ερμηνεία των φαινομένων προ και κατά την διάσπαση των στερεών μονωτικών χρειάζεται να συνδυαστούν και οι δύο θεωρίες, για να δοθούν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο
ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των μερικών εκκενώσεων στο στερεό μονωτικό υλικό Pertinax σε πάχη 1 mm και 2 mm κατά την καταπόνησή του υπό κρουστικές τάσεις μορφής $\pm 250/2500$ μs . Πιο συγκεκριμένα, κύριος στόχος της εργασίας αυτής είναι η ανάλυση των στατιστικών μεγεθών που αναφέρονται αφενός σε μεγέθη που ελήφθησαν κατευθείαν από μετρήσεις, όπως τα φορτία προ και μετά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων και η κρουστική τάση και αφετέρου σε μεγέθη που υπολογίστηκαν όπως η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κ.ά.

Προκειμένου να αναλυθούν στατιστικά οι μερικές εκκενώσεις χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις στο υλικό αυτό, που είχαν πραγματοποιηθεί στο εργαστήριο Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων στα πλαίσια παλαιότερης έρευνας.

Η πειραματική διάταξη αποτελούνταν από ακίδα-πλάκα πάνω στην οποία εφαρμόστηκε κρουστική τάση της μορφής 250/2500 μs πολικότητας θετικής και αρνητικής σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C. Η ακτίνα καμπυλότητας της ακίδας ήταν 0,9 mm.

Τα αποτελέσματα από την ανάλυση και επεξεργασία των μετρήσεων οδηγούν σε συμπεράσματα που αφορούν την συμπεριφορά των ηλεκτρομονωτικών υλικών και ειδικότερα του στερεού μονωτικού Pertinax.

Συγκεντρωτικά, τα ζητήματα αυτής της εργασίας αναλύονται στις παρακάτω ενέργειες:

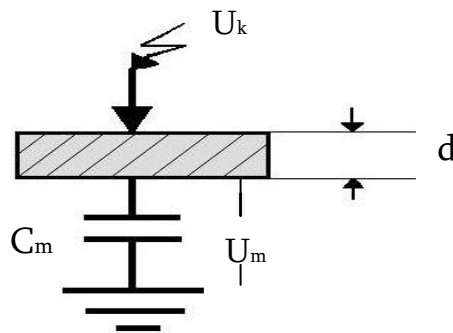
- ☞ συμπλήρωση πινάκων για όλα τα μεγέθη που μετρήθηκαν και υπολογίστηκαν ανάλογα με το πάχος του υλικού (1 mm και 2 mm) και την πολικότητα της επιβαλλόμενης τάσης (θετική ή αρνητική).
- ☞ χάραξη γραφικών παραστάσεων για τα παραπάνω μεγέθη με βάση τους πίνακες
- ☞ εξαγωγή συμπερασμάτων και σχόλια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Η στατιστική ανάλυση βασίζεται σε μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων σε προηγούμενες εργασίες στο στερεό μονωτικό υλικό Pertinax και σε πάχη 1 mm και 2 mm. Οι μετρήσεις αφορούν τη μέγιστη στιγμιαία τιμή της εφαρμοζόμενης τάσης, τη στιγμιαία τιμή της τάσης έναρξης των μερικών εκκενώσεων, τη στιγμιαία τάση του χρόνου έναρξης και περαίωσης των μερικών εκκενώσεων και το φορτίο έναρξης και περαίωσης των μερικών εκκενώσεων. Η διάταξη που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις ήταν ακίδα-πλάκα με ακτίνα καμπυλότητας της ακίδας 0,9 mm. Το στερεό μονωτικό Pertinax καταπονήθηκε υπό κρουστικές τάσεις μορφής $\pm 250/2500$ μs σε ανομοιογενές πεδίο εντός ηλεκτρομονωτικού ελαίου θερμοκρασίας 20°C. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε πυκνωτής μέτρησης χωρητικότητας 1000 nF. Το σχήμα της διάταξης δίνεται παρακάτω:



Σχήμα 3-1: Πειραματική διάταξη που αφορά την επιβολή κρουστικών τάσεων στο στερεό μονωτικό Pertinax σε ανομοιογενές πεδίο εντός ηλεκτρομονωτικού ελαίου σε θερμοκρασία 20°C.

U_k : στιγμιαία τιμή της εφαρμοζόμενης κρουστικής τάσης

U_m : στιγμιαία τιμή της τάσης στον πυκνωτή μέτρησης των μερικών εκκενώσεων

d : πάχος του στερεού μονωτικού υλικού

C_m : πυκνωτής μέτρησης

Κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων μετρήθηκαν τα μεγέθη:

- ❖ \hat{U}_k : στιγμιαία τιμή της εφαρμοζόμενης κρουστικής τάσης
- ❖ $u_{εν}$: τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
- ❖ t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων
- ❖ t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων
- ❖ q_1 : στιγμιαία τάση του φορτίου στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
- ❖ q_2 : στιγμιαία τάση του φορτίου στον C_m κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων

Η μέτρηση που καταγράφεται προέρχεται από την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση 50 μετρήσεων. Βάσει των παραπάνω μεγεθών καθορίζονται επίσης οι τιμές των μεγεθών:

- ❖ $u_1 = q_1/C_m$: η στιγμιαία τιμή της τάσης u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
- ❖ $u_2 = q_2/C_m$: η στιγμιαία τιμή της τάσης u_m κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων
- ❖ $\Delta t = t_2 - t_1$: η χρονική διάρκεια των μερικών εκκενώσεων (όπου $\Delta t_{min} = t_{2min} - t_{1max}$, $\Delta t_{max} = t_{2max} - t_{1min}$),
- ❖ $\Delta i = i_2 - i_1$: η μεταβολή του ρεύματος κατά την διάρκεια των μερικών εκκενώσεων (όπου $\Delta i_{min} = i_{2min} - i_{1max}$, $\Delta i_{max} = i_{2max} - i_{1min}$),
- ❖ $\Delta u = u_2 - u_1$: η μεταβολή της τάσης κατά την διάρκεια των μερικών εκκενώσεων (όπου $\Delta u_{min} = u_{2min} - u_{1max}$, $\Delta u_{max} = u_{2max} - u_{1min}$),

- ❖ $\Delta W_e = 0,5 \cdot (u_2 - u_1)$: η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων πάνω από την ενέργεια Fermi (όπου $\Delta W_{e_{\min}} = 0,5 \cdot (u_2 - u_1)_{\min}$, $\Delta W_{e_{\max}} = 0,5 \cdot (u_2 - u_1)_{\max}$)
- ❖ $i_1 = q_1 / t_1$: η στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
- ❖ $i_2 = q_2 / t_2$: η στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων
- ❖ $\Delta i = i_2 - i_1$: η μεταβολή του ρεύματος κατά την διάρκεια των μερικών εκκενώσεων (όπου $\Delta i_{\min} = i_{2\min} - i_{1\max}$, $\Delta i_{\max} = i_{2\max} - i_{1\min}$),
- ❖ $\hat{E}_k = 2\hat{U}_k / R \cdot \ln(4d/R)$: η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης που αντιστοιχεί στην μέγιστη τιμή κρουστικής τάσης U_k
- ❖ $E_{\epsilon v} = 2u_{\epsilon v} / R \cdot \ln(4d/R)$: η τιμή της πεδιακής έντασης που αντιστοιχεί στην $u_{\epsilon v}$

Στις παραγράφους που ακολουθούν παρουσιάζονται αναλυτικά οι πίνακες και οι γραφικές παραστάσεις που αφορούν τα μεγέθη που ορίστηκαν παραπάνω. Οι μετρήσεις αφορούν τα πάχη του υλικού 1 mm και 2 mm. Για κάθε τιμή πάχους, μελετώνται ξεχωριστά οι περιπτώσεις επιβολής θετικής ή αρνητικής κρουστικής τάσης της μορφής 250/2500 μs .

3.1 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΙ ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΓΙΑ ΔΕΙΓΜΑ ΠΑΧΟΥΣ 1 mm ΥΠΟ ΚΡΟΥΣΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ +250/2500 μ s

Στους πίνακες 3.1-1 ως 3.1-3 δίνονται οι μετρήσεις για το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους 1 mm κατά την καταπόνηση του υπό κρουστικές τάσεις της μορφής 250/2500 μ s και θετικής πολικότητας. Στα σχήματα 3.1-1 έως 3.1-14 που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες για τις μετρήσεις αυτές.

U _κ (kV)	U _{εν} (kV)	E _κ (MV/cm)	E _{εν} (MV/cm)	t ₁ (μ s)	t ₂ (μ s)	Δ t (μ s)
13,4	13,1 0,41	0,1996	0,1952	200,9 68,73	260,1 49,71	59,2
16,8	14,6 0,93	0,2503	0,2175	104,6 17,72	190,7 76,61	86,1
20,1	15,2 1,78	0,2994	0,2264	76,9 22,59	272,7 76,32	195,8
23,4	15,8 1,81	0,3486	0,2354	55,4 11,70	251,8 46,37	196,4
26,7	15,6 0,99	0,3978	0,2324	42,2 5,90	268 51,75	225,8
30,2	16,6 2,00	0,4499	0,2473	41,2 6,37	288,2 91,90	247
33,5	18,8 0,00	0,4991	0,2801	36,8 6,12	251,1 74,79	214,3
36,9	18,3 1,43	0,5497	0,2726	32,1 4,05	243,7 50,09	211,6
40,2	20,1 0,00	0,5989	0,2994	30 2,78	215 48,72	185
43,6	18,2 1,60	0,6495	0,2711	24,6 2,65	253,8 49,35	229,2

Πίνακας 3.1-1: Στατιστική ανάλυση της έναρξης των μερικών εκκενώσεων με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν (U_κ, U_{εν}, E_κ, E_{εν}, t₁, t₂, Δ t) και η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους d=1 mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μ s

U_κ: μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_κ: ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_κ

u_{εν}: τιμή της κρουστικής τάσης στην έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{εν}: ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{εν}

t₁: χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t₂: χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

Δ t=t₂ - t₁

Σημείωση: Η δεύτερη τιμή ανά επίπεδο τάσης και χρόνου είναι η τυπική απόκλιση.

q ₁ (μC)	q ₂ (μC)	C _m (nF)	u ₁ (V)	u ₂ (V)	Δu (V)
0,019 0,001	0,028 0,001	1000	0,019	0,028	0,009
0,025 0,002	0,059 0,006	1000	0,025	0,059	0,034
0,024 0,003	0,096 0,01	1000	0,024	0,096	0,072
0,054 0,00	0,33 0,08	1000	0,054	0,33	0,276
0,067 0,00	0,74 0,06	1000	0,067	0,74	0,276
0,067 0,00	1,03 0,12	1000	0,067	1,03	0,673
0,067 0,00	1,51 0,17	1000	0,067	1,51	0,963
0,067 0,00	1,99 0,16	1000	0,067	1,99	1,443
0,13 0,00	3,14 0,50	1000	0,13	3,14	3,01
~0,00 0,00	4,1 0,41	1000	~0,00	4,1	4,1

Πίνακας 3.1-2: Στατιστική ανάλυση της έναρξης των μερικών εκκενώσεων με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν (q₁, q₂, C_m, u₁, u₂, Δu) και η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους d=1 mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μs

C_m: πυκνωτής μέτρησης

u₁: στιγμιαία τάση της u_m (βλ. σχήμα 3-1) κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

u₂: στιγμιαία τάση της u_m (βλ. σχήμα 3-1) κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

q₁: στιγμιαία τάση του φορτίου στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q₂: στιγμιαία τάση του φορτίου στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

Δu=u₂ – u₁

Σημείωση: Η δεύτερη τιμή ανά επίπεδο φορτίου είναι η τυπική απόκλιση.

q ₁ (μC)	q ₂ (μC)	t ₁ (μs)	t ₂ (μs)	i ₁ (μA)	i ₂ (μA)	Δi (μA)	ΔWe (eV)
0,019 0,001	0,028 0,001	200,9 68,73	260,1 49,71	94,5744	107,6509	13,0765	0,0045
0,025 0,002	0,059 0,006	104,6 17,72	190,7 76,61	239,0057	309,3865	70,3808	0,017
0,024 0,003	0,096 0,01	76,9 22,59	272,7 76,32	312,0936	352,0352	39,9416	0,036
0,054 0,00	0,33 0,08	55,4 11,70	251,8 46,37	974,7292	1310,5639	335,8347	0,138
0,067 0,00	0,74 0,06	42,2 5,90	268 51,75	1587,6777	2761,1940	1173,5163	0,3365
0,067 0,00	1,03 0,12	41,2 6,37	288,2 91,90	1626,2136	3573,9070	1947,6934	0,4815
0,067 0,00	1,51 0,17	36,8 6,12	251,1 74,79	1820,6522	6013,5404	4192,8882	0,7215
0,067 0,00	1,99 0,16	32,1 4,05	243,7 50,09	2087,2274	8165,7776	6078,5502	0,9615
0,13 0,00	3,14 0,50	30 2,78	215 48,72	4333,3333	14604,651	10271,3177	1,505
~0,00 0,00	4,1 0,41	24,6 2,65	253,8 49,35	0,00	16154,452	16154,452	2,05

Πίνακας 3.1-3: Στατιστική ανάλυση της έναρξης των μερικών εκκενώσεων με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν (q₁, q₂, t₁, t₂, i₁, i₂, Δi, ΔWe) και η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους d=1 mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μs

q₁: στιγμιαία τάση του φορτίου στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q₂: στιγμιαία τάση του φορτίου στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

t₁: χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t₂: χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

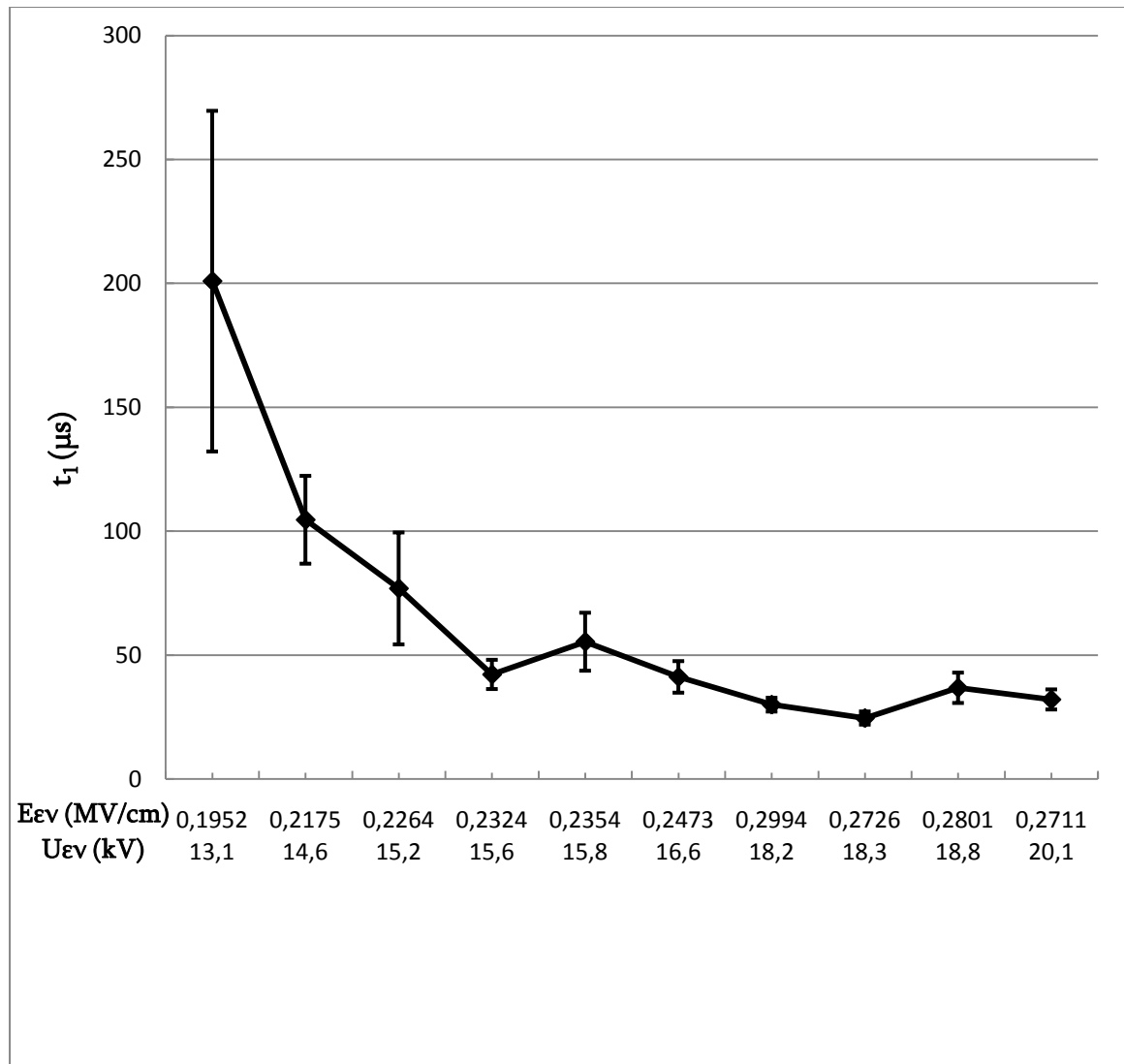
i₁: στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

i₂: στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

Δi=i₁ – i₂

ΔWe=0,5Δu

Σημείωση: Η δεύτερη τιμή ανά επίπεδο φορτίου και χρόνου είναι η τυπική απόκλιση.

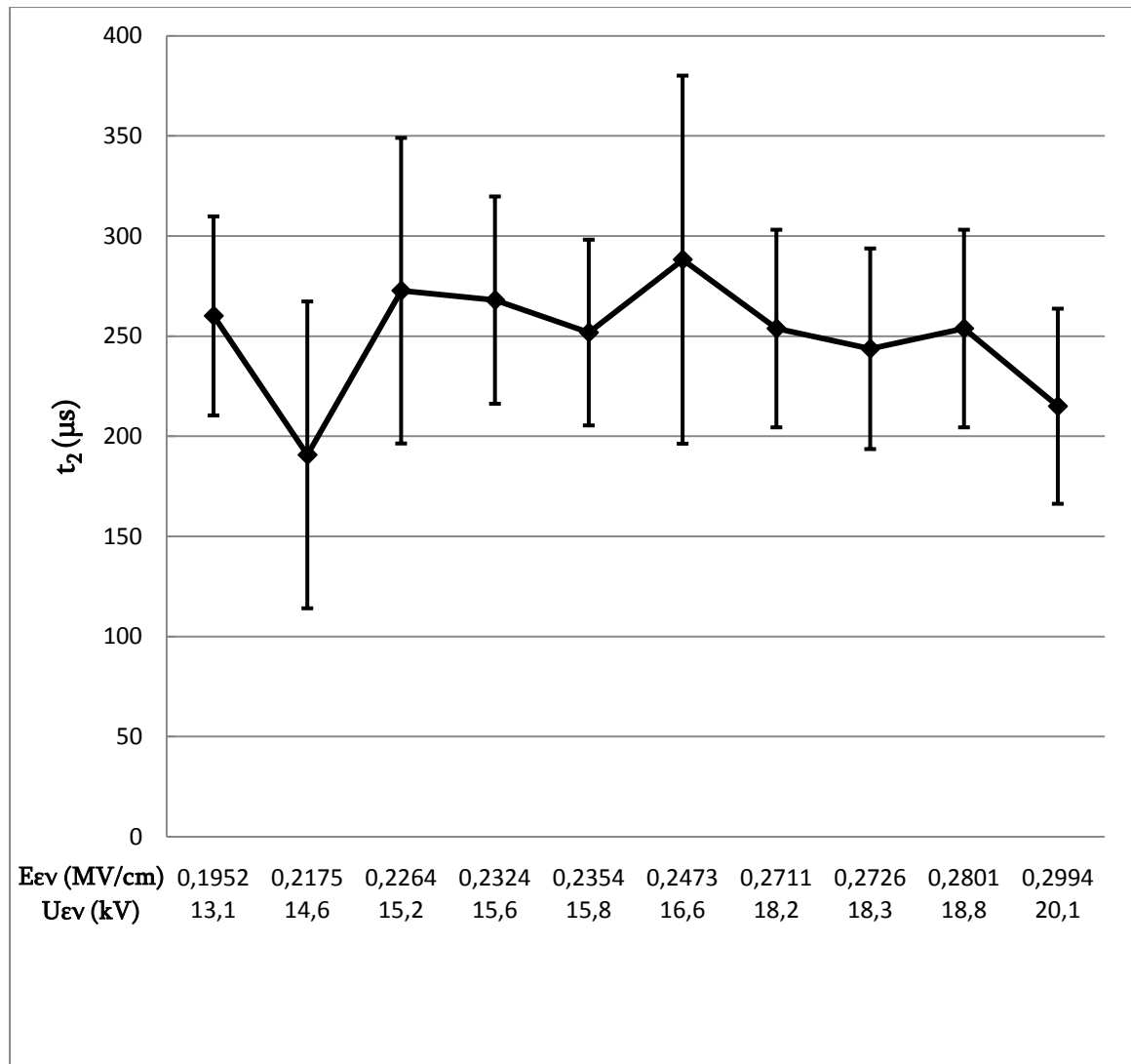


Σχήμα 3.1-1: Χαρακτηριστική $\tau_1 = f(u_{εν}, E_{εν})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μ s

τ_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

$U_{εν}$: στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

$E_{εν}$: ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην $U_{εν}$

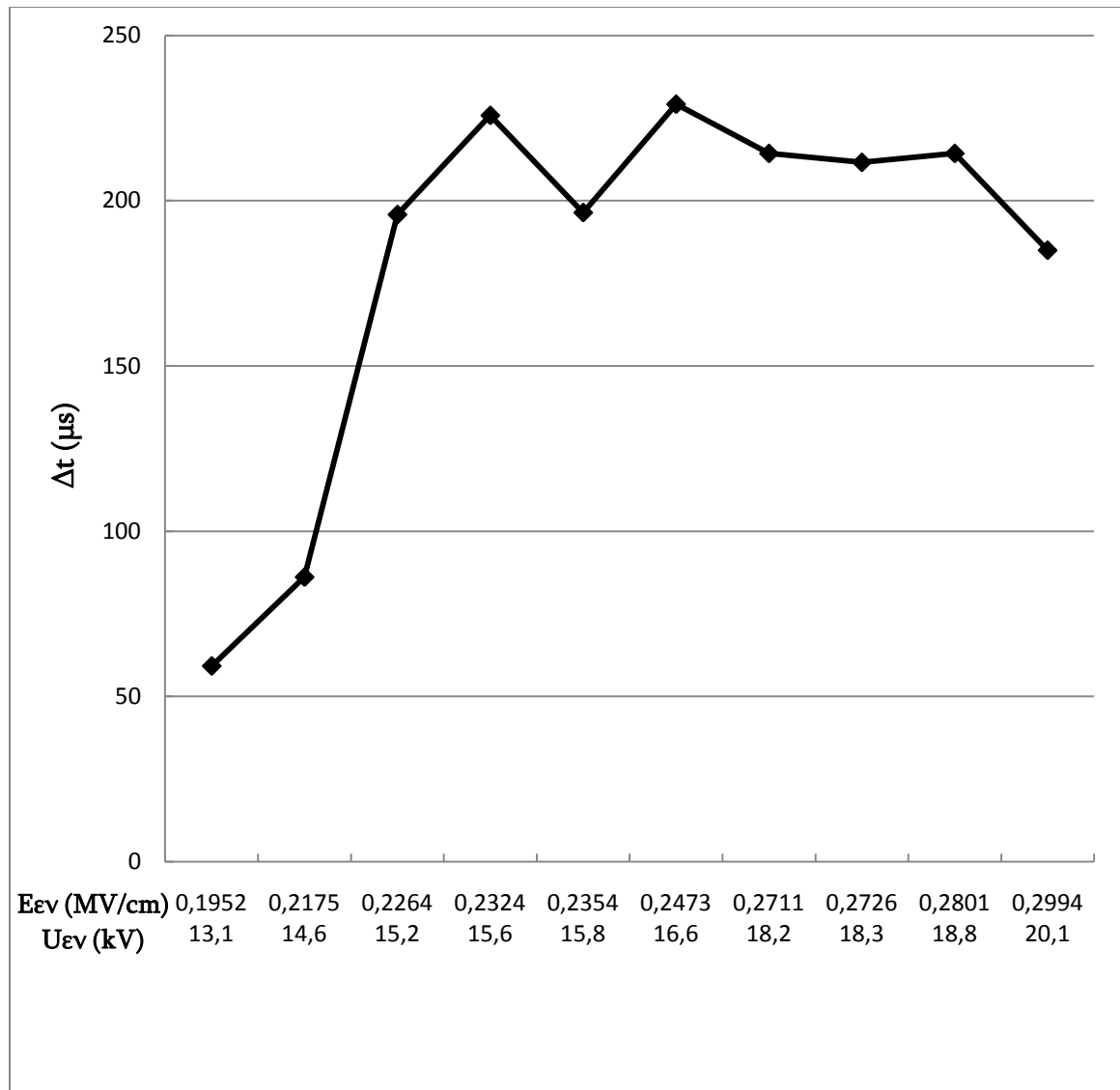


Σχήμα 3.1-2: Χαρακτηριστική $t_2 = f(u_{ev}, E_{ev})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μs

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

U_{ev} : στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{ev} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{ev}

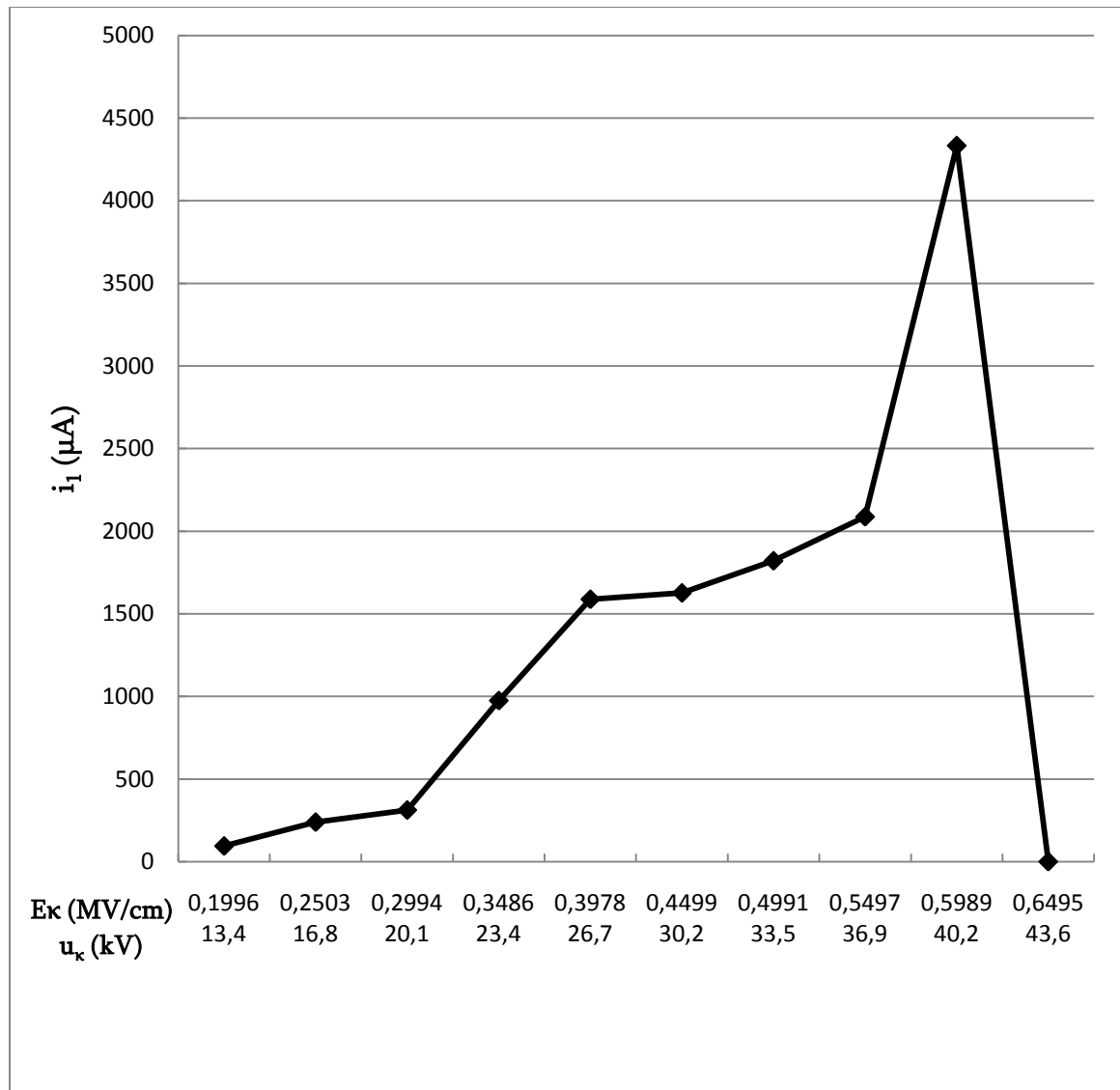


Σχήμα 3.1-3: Χαρακτηριστική $\Delta t = f(u_{\epsilon v}, E_{\epsilon v})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μs

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$U_{\epsilon v}$: στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

$E_{\epsilon v}$: ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην $U_{\epsilon v}$

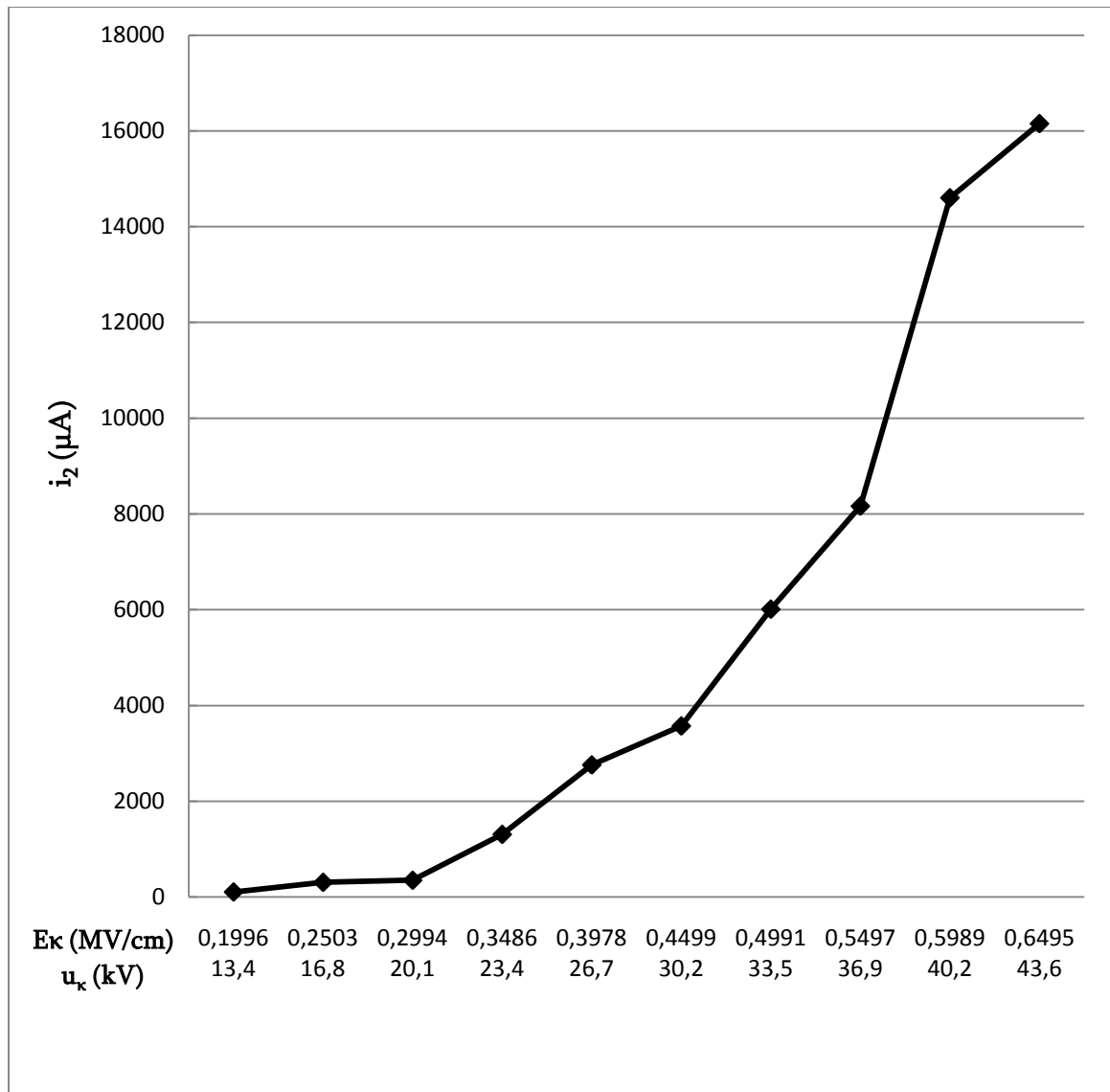


Σχήμα 3.1-4:Χαρακτηριστική $i_1 = f (U_\kappa , E_k)$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1 \text{ mm}$ και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα $0,9 \text{ mm}$ – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις $+250/2500 \mu\text{s}$

i_1 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

U_κ : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_κ

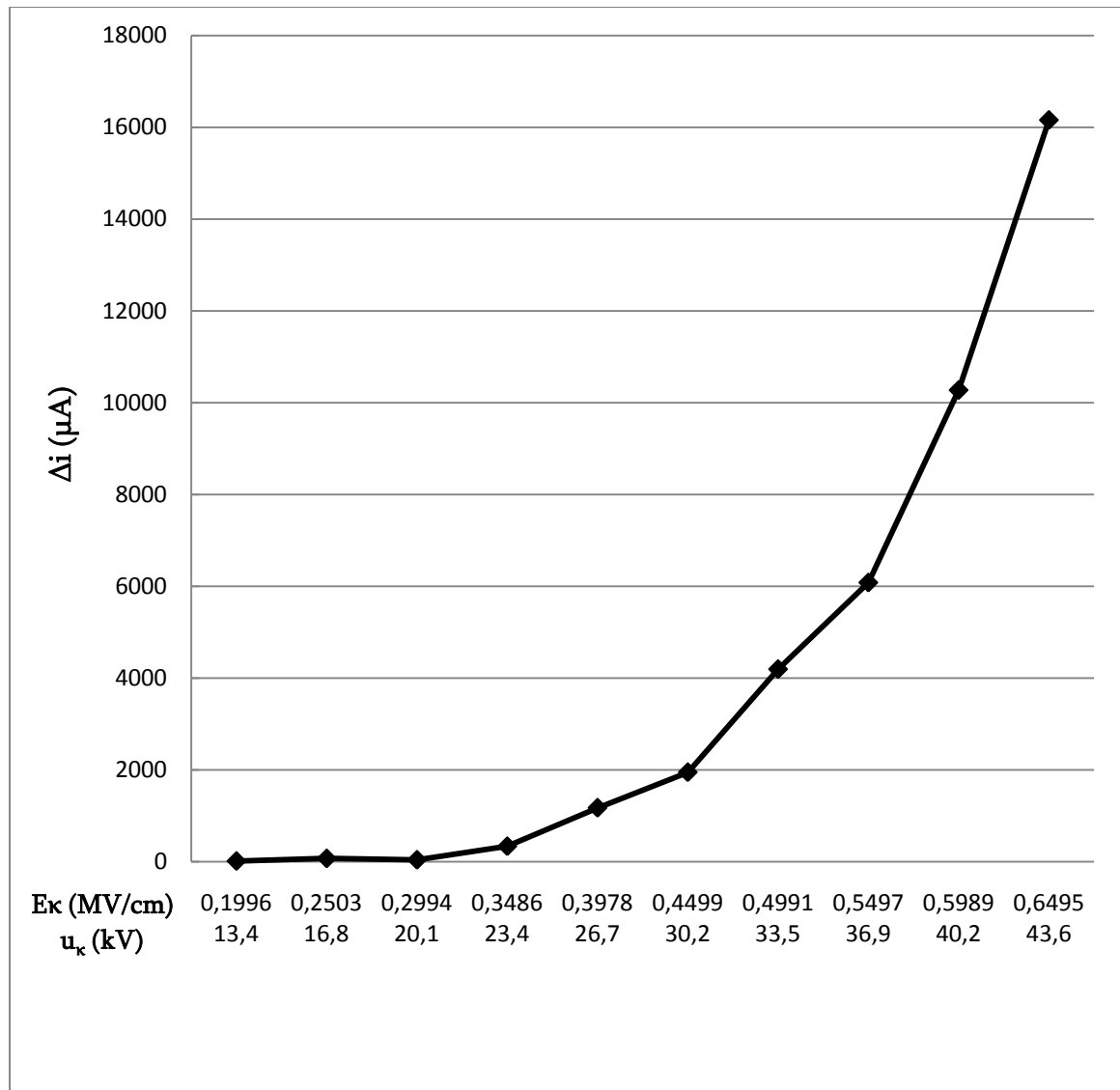


Σχήμα 3.1-5:Χαρακτηριστική $i_2 = f (U_{\kappa} , E_{\kappa})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μ s

i_2 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

U_{κ} : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_{κ} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{κ}

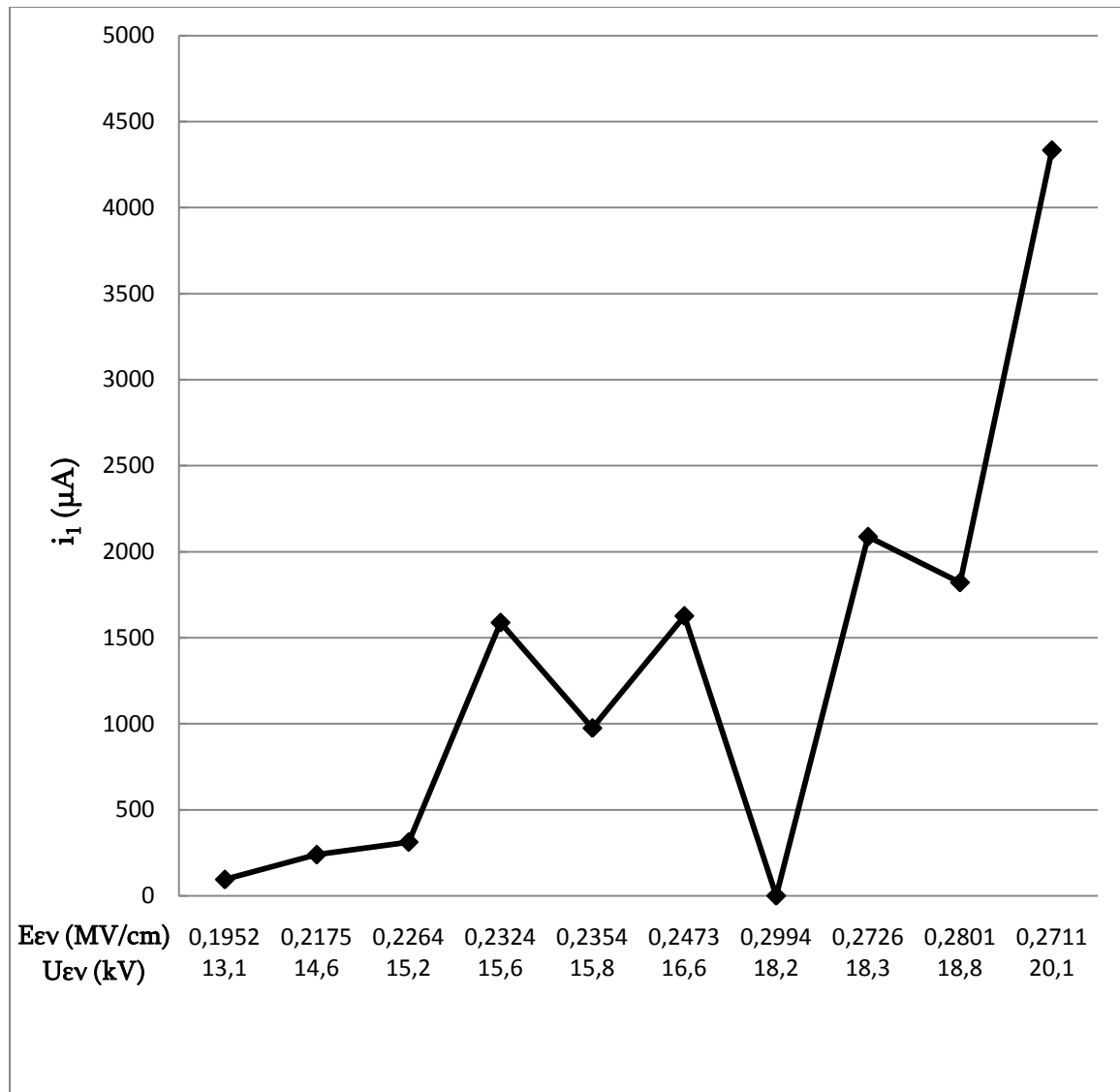


Σχήμα 3.1-6:Χαρακτηριστική $\Delta i = f (U_{\kappa} , E_{\kappa})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1 \text{ mm}$ και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα $0,9 \text{ mm}$ – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις $+250/2500 \mu s$

$$\Delta i = i_2 - i_1$$

U_{κ} : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_{κ} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{κ}

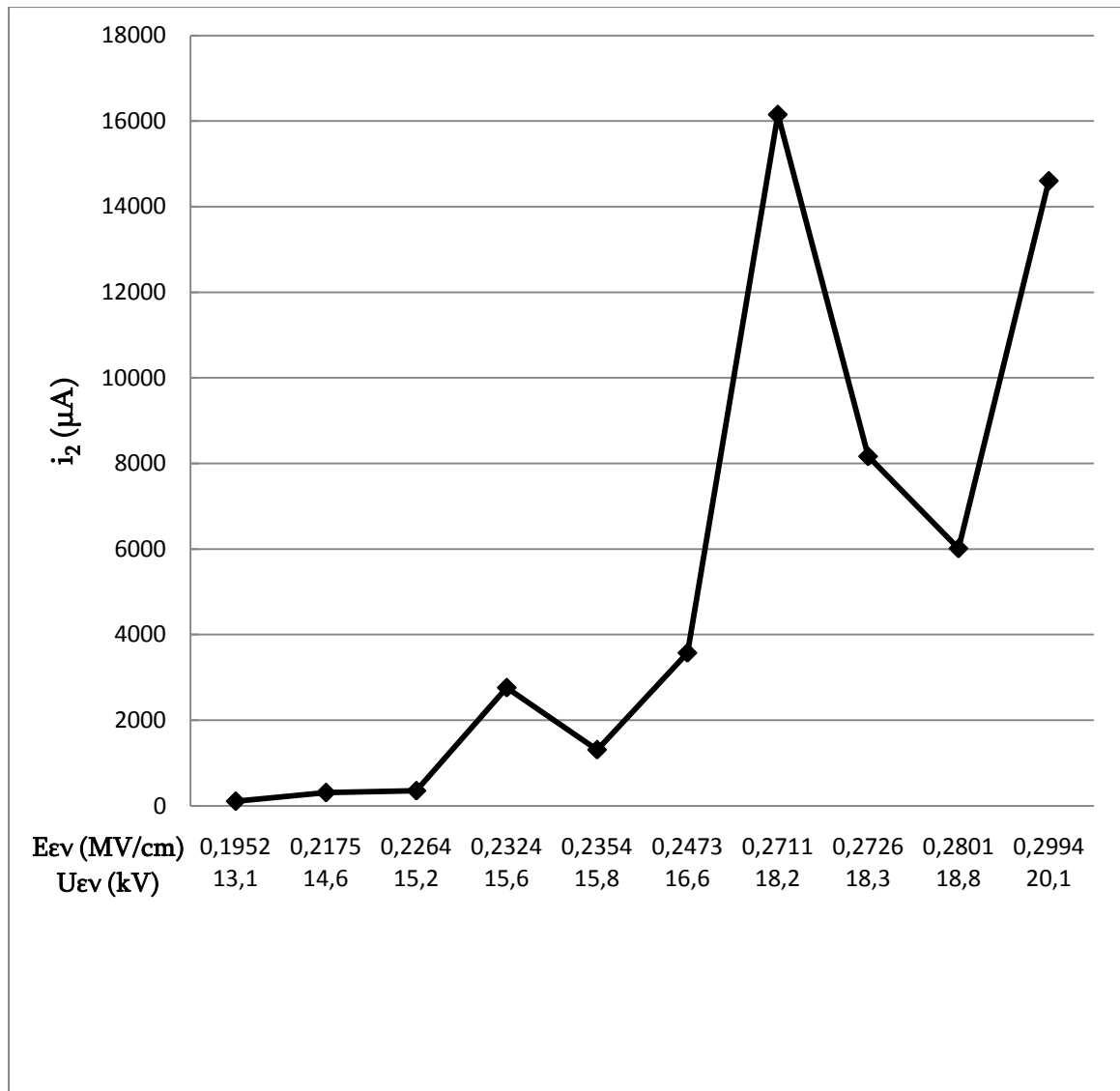


Σχήμα 3.1-7: Χαρακτηριστική $i_1 = f(u_{ev}, E_{ev})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μs

i_1 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

U_{ev} : στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{ev} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{ev}

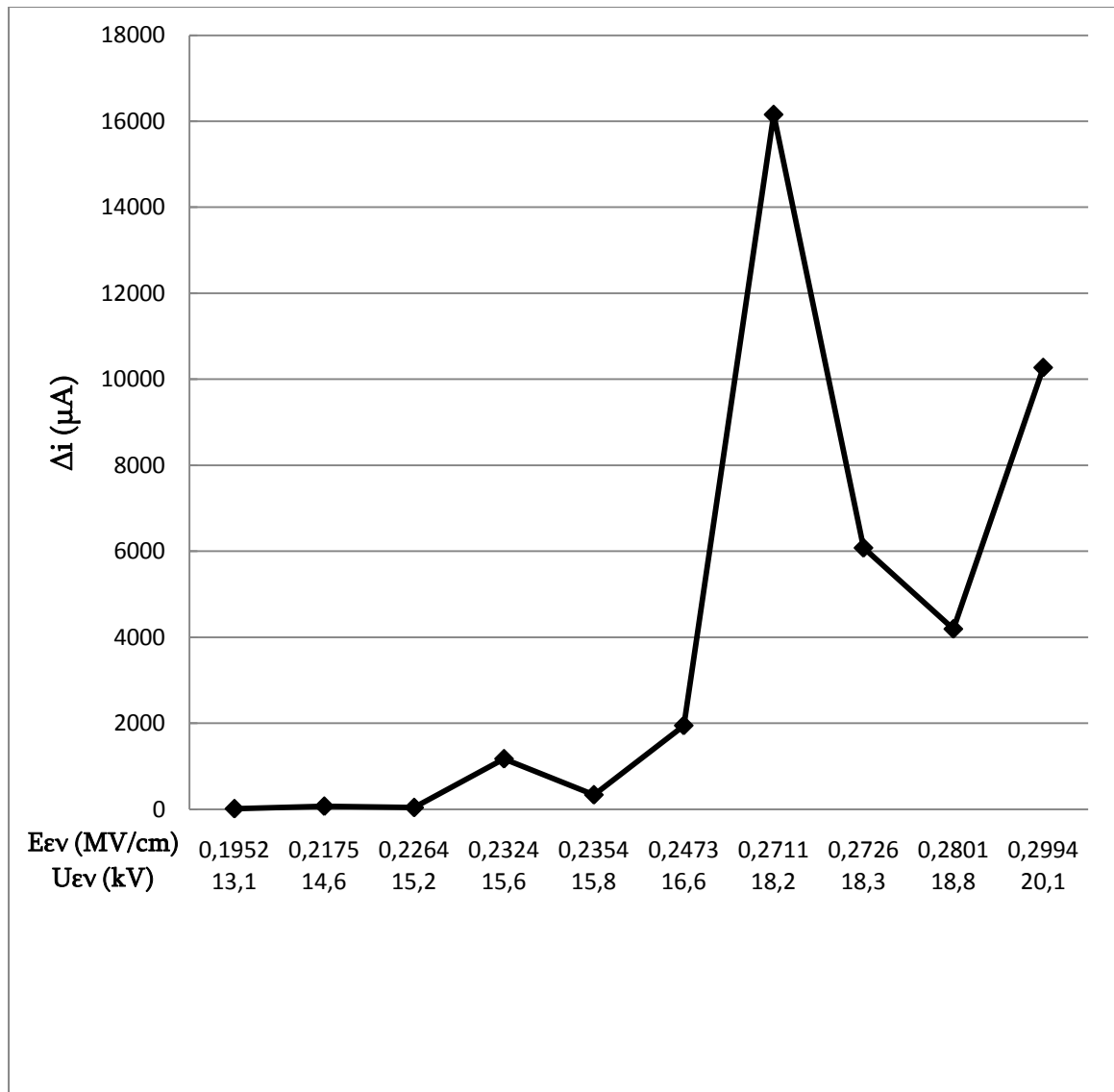


Σχήμα 3.1-8: Χαρακτηριστική $i_2 = f(u_{ev}, E_{ev})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μs

i_2 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

U_{ev} : στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{ev} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{ev}

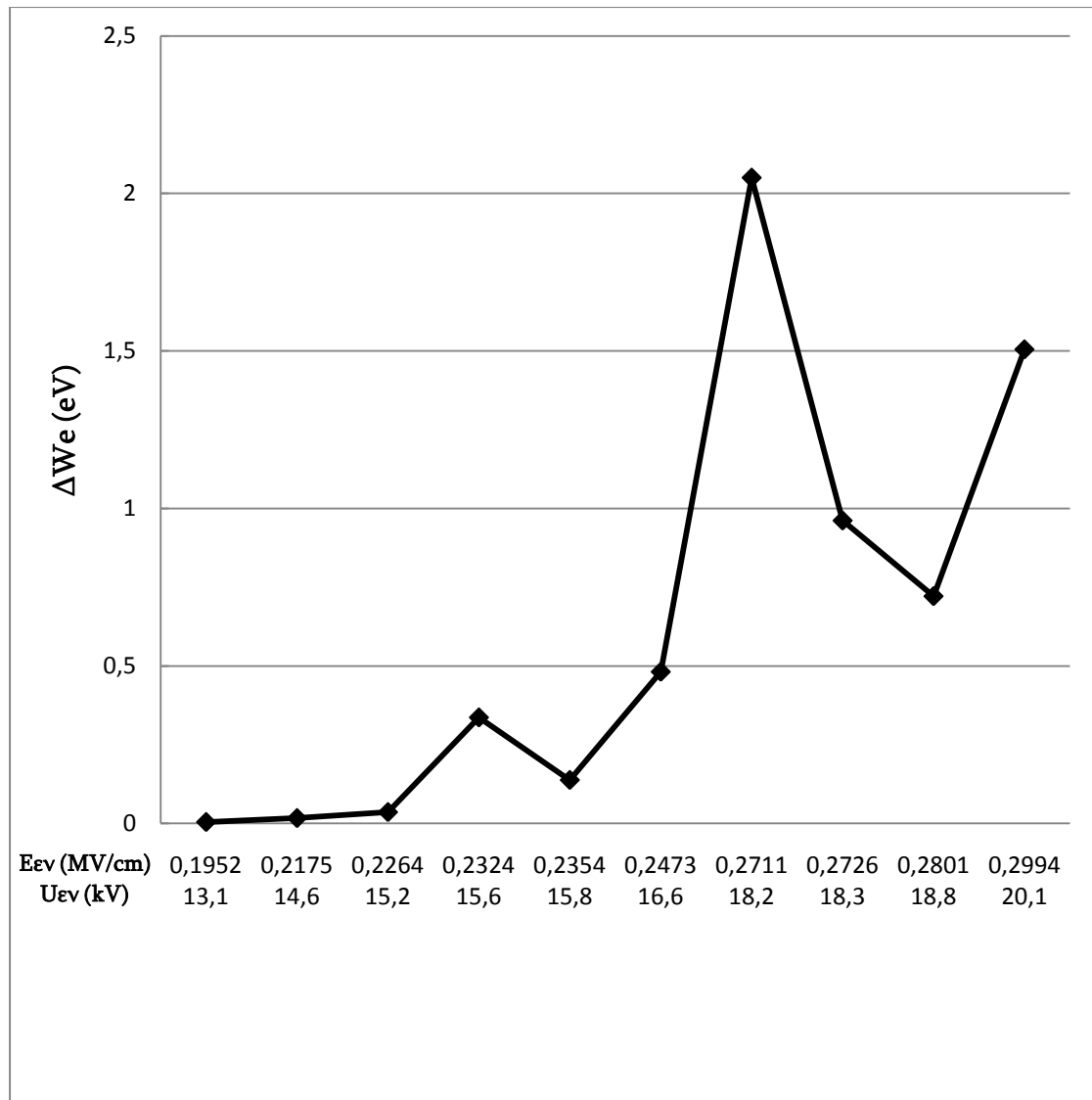


Σχήμα 3.1-9:Χαρακτηριστική $\Delta i = f(u_{ev}, E_{ev})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μs

$$\Delta i = i_2 - i_1$$

U_{ev}: στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{ev}: ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{ev}

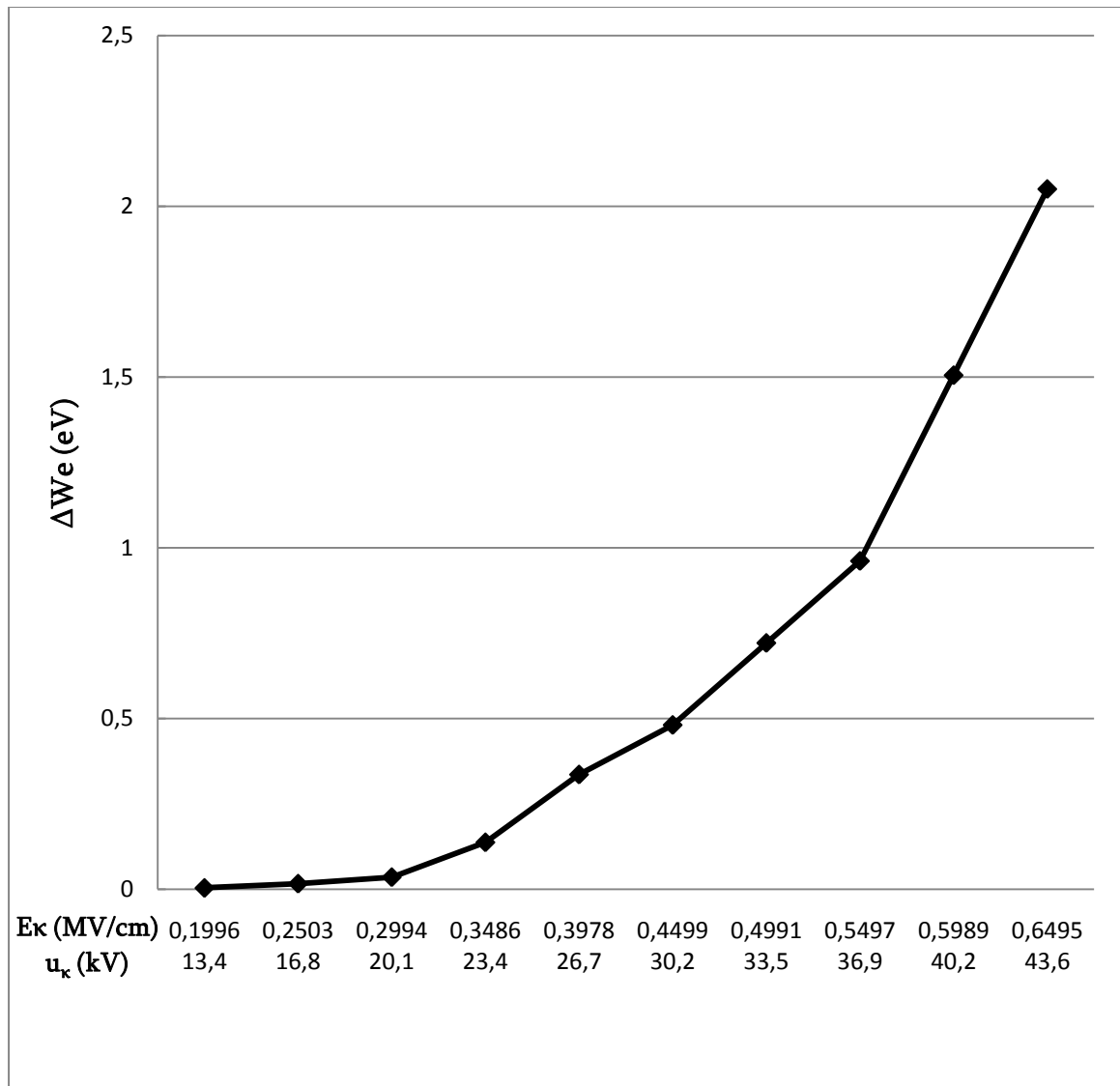


Σχήμα 3.1-10:Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(u_{ev}, E_{ev})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μs

$$\Delta W_e = 0,5 \Delta u$$

U_{ev} : στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{ev} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{ev}

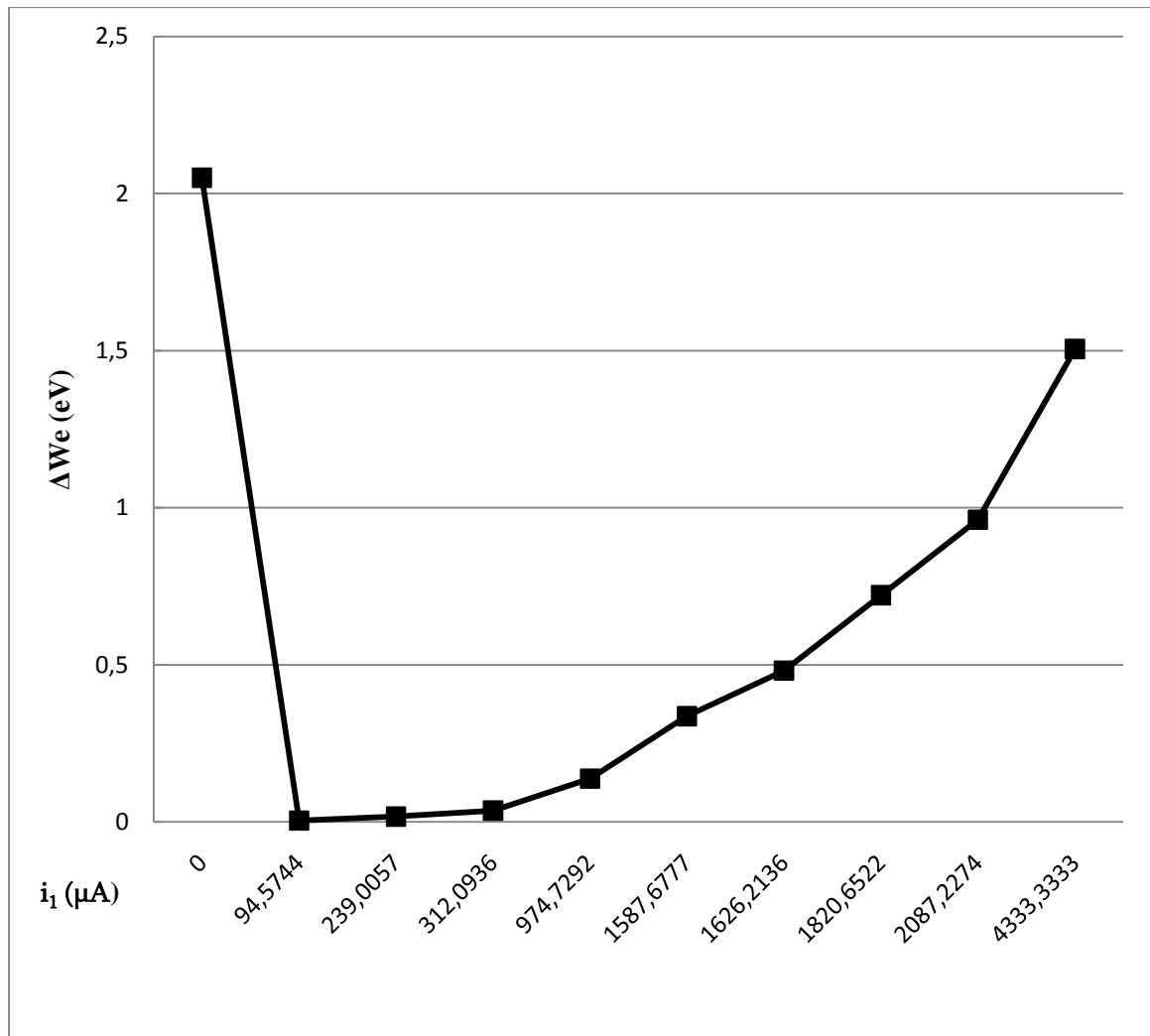


Σχήμα 3.1-11:Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(U_{\kappa}, E_{\kappa})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μ s

$$\Delta W_e = 0,5 \Delta u$$

U_{κ} : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

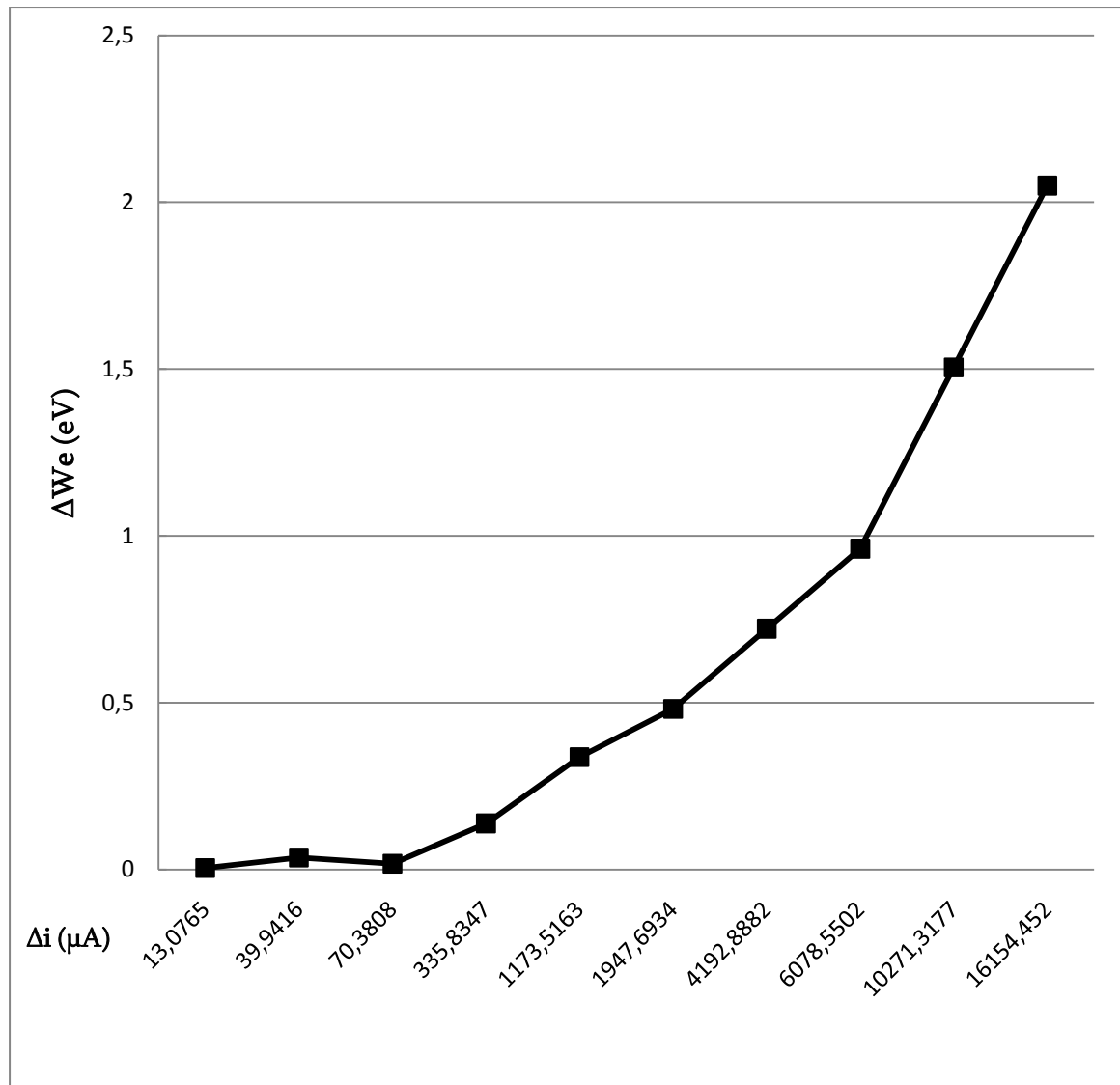
E_{κ} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{κ}



Σχήμα 3.1-12:Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(i_1)$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μs

$$\Delta W_e = 0,5 \Delta u$$

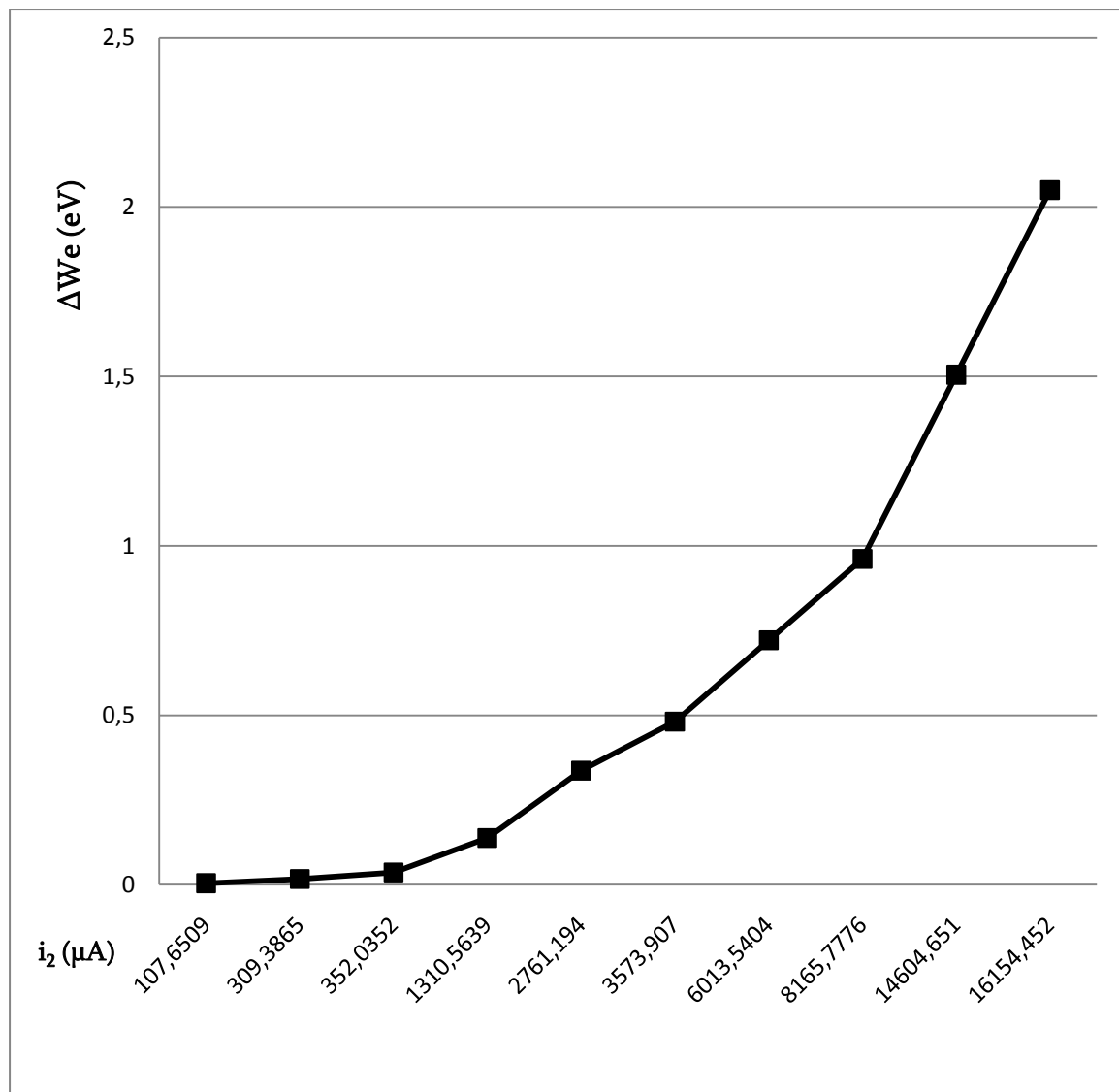
i_1 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων



Σχήμα 3.1-13:Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(\Delta i)$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μs

$$\Delta W_e = 0,5 \Delta u$$

$$\Delta i = i_2 - i_1$$



Σχήμα 3.1-14: Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(i_2)$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1 \text{ mm}$ και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα $0,9 \text{ mm}$ – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις $+250/2500 \mu\text{s}$

$$\Delta W_e = 0,5 \Delta u$$

i_2 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

3.2 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΙ ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΓΙΑ ΔΕΙΓΜΑ ΠΑΧΟΥΣ 1 mm ΥΠΟ ΚΡΟΥΣΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ -250/2500 μs

Στους πίνακες 3.2-1 ως 3.2-3 δίνονται οι μετρήσεις για το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους 1 mm κατά την καταπόνηση του υπό κρουστικές τάσεις της μορφής 250/2500 μs και αρνητικής πολικότητας. Στα σχήματα 3.2-1 έως 3.2-14 που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες για τις μετρήσεις αυτές.

U_k (kV)	$U_{εν}$ (kV)	E_k (MV/cm)	$E_{εν}$ (MV/cm)	t_1 (μs)	t_2 (μs)	Δt (μs)
20,7	15,4 1,58	0,3084	0,2294	110,9 25,6	129,6 20,43	18,7
24,2	17,7 1,54	0,3605	0,2637	87,1 13,64	142,4 65,19	55,3
27,6	18,3 0,00	0,4112	0,2726	76,3 15,92	113,1 26,09	36,8
31,1	17,5 0,72	0,4633	0,2608	54,5 7,59	128,2 63,94	73,7
34,5	17,3 0,00	0,5140	0,2577	50,9 5,32	163,7 105,11	112,8
37,9	18,2 0,45	0,5646	0,2711	44,2 5,73	217 104,25	172,8
41,4	18,8 0,00	0,6168	0,2801	41,8 4,04	187,6 72,69	145,8
44,8	19,6 0,00	0,6674	0,2920	37,1 3,04	145,1 63,61	108

Πίνακας 3.2-1: Στατιστική ανάλυση της έναρξης των μερικών εκκενώσεων με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν (U_k , $U_{εν}$, E_k , $E_{εν}$, t_1 , t_2 , Δt) και η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k

$u_{εν}$: τιμή της κρουστικής τάσης στην έναρξη των μερικών εκκενώσεων

$E_{εν}$: ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην $u_{εν}$

t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

$\Delta t = t_2 - t_1$

Σημείωση: Η δεύτερη τιμή ανά επίπεδο τάσης και χρόνου είναι η τυπική απόκλιση.

q ₁ (μC)	q ₂ (μC)	C _m (nF)	u ₁ (V)	u ₂ (V)	Δu (V)
0,079 0,009	0,13 0,02	1000	0,079	0,13	0,051
0,083 0,008	0,24 0,07	1000	0,083	0,24	0,157
0,067 0,00	0,38 0,09	1000	0,067	0,38	0,313
0,1 0,00	0,48 0,14	1000	0,1	0,48	0,38
0,067 0,00	0,82 0,32	1000	0,067	0,82	0,753
0,067 0,00	1,89 0,55	1000	0,067	1,89	1,823
~0,00 0,00	2,29 0,51	1000	~0,00	2,29	2,29
~0,00 0,00	2,24 0,57	1000	~0,00	2,24	2,24

Πίνακας 3.2-2: Στατιστική ανάλυση της έναρξης των μερικών εκκενώσεων με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν (q₁, q₂, C_m, u₁, u₂, Δu) και η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους d=1 mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

C_m: πυκνωτής μέτρησης

u₁: στιγμιαία τάση της u_m (βλ. σχήμα 3-1) κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

u₂: στιγμιαία τάση της u_m (βλ. σχήμα 3-1) κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

q₁: στιγμιαία τάση του φορτίου στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q₂: στιγμιαία τάση του φορτίου στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

Δu=u₂ – u₁

Σημείωση: Η δεύτερη τιμή ανά επίπεδο φορτίου είναι η τυπική απόκλιση.

q ₁ (μC)	q ₂ (μC)	t ₁ (μs)	t ₂ (μs)	i ₁ (μA)	i ₂ (μA)	Δi (μA)	ΔWe (eV)
0,079 0,009	0,13 0,02	110,9 25,6	129,6 20,43	712,3535	1003,0864	290,7329	0,0255
0,083 0,008	0,24 0,07	87,1 13,64	142,4 65,19	952,9277	1685,3933	732,4656	0,0785
0,067 0,00	0,38 0,09	76,3 15,92	113,1 26,09	878,1127	3359,8585	2481,7458	0,1565
0,1 0,00	0,48 0,14	54,5 7,59	128,2 63,94	1834,8624	3744,1498	1909,2874	0,19
0,067 0,00	0,82 0,32	50,9 5,32	163,7 105,11	1515,8371	5009,1631	3493,326	0,3765
0,067 0,00	1,89 0,55	44,2 5,73	217 104,25	1316,3065	8709,6774	7393,3709	0,9115
~0,00 0,00	2,29 0,51	41,8 4,04	187,6 72,69	0	12206,823	12206,823	1,145
~0,00 0,00	2,24 0,57	37,1 3,04	145,1 63,61	0	15437,629	15437,629	1,12

Πίνακας 3.2-3: Στατιστική ανάλυση της έναρξης των μερικών εκκενώσεων με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν (q₁, q₂, t₁, t₂, i₁, i₂, Δi, ΔWe) και η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους d=1 mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

q₁: στιγμιαία τάση του φορτίου στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q₂: στιγμιαία τάση του φορτίου στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

t₁: χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t₂: χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

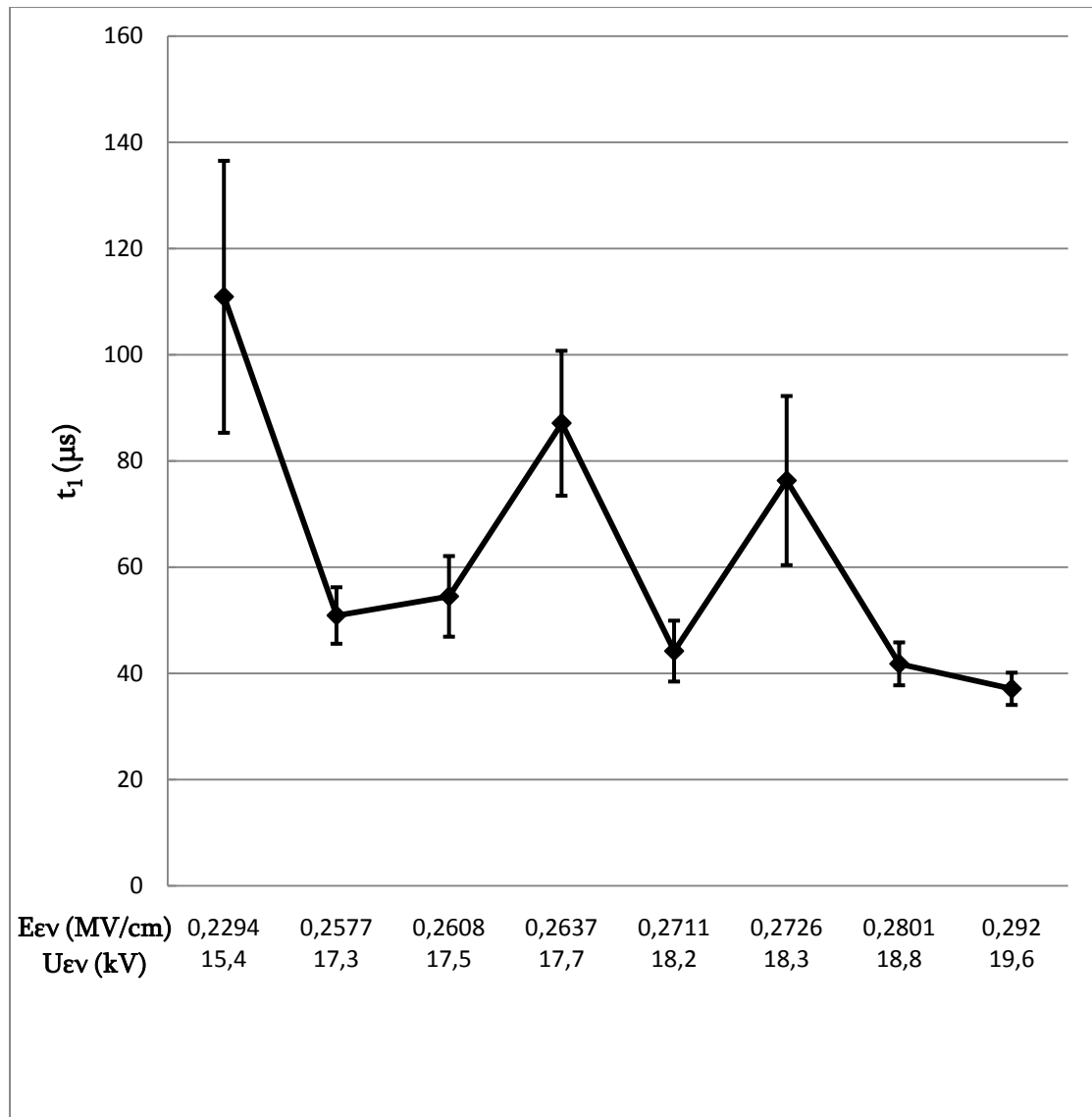
i₁: στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

i₂: στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

Δi=i₁ – i₂

ΔWe=0,5Δui

Σημείωση: Η δεύτερη τιμή ανά επίπεδο φορτίου και χρόνου είναι η τυπική απόκλιση.

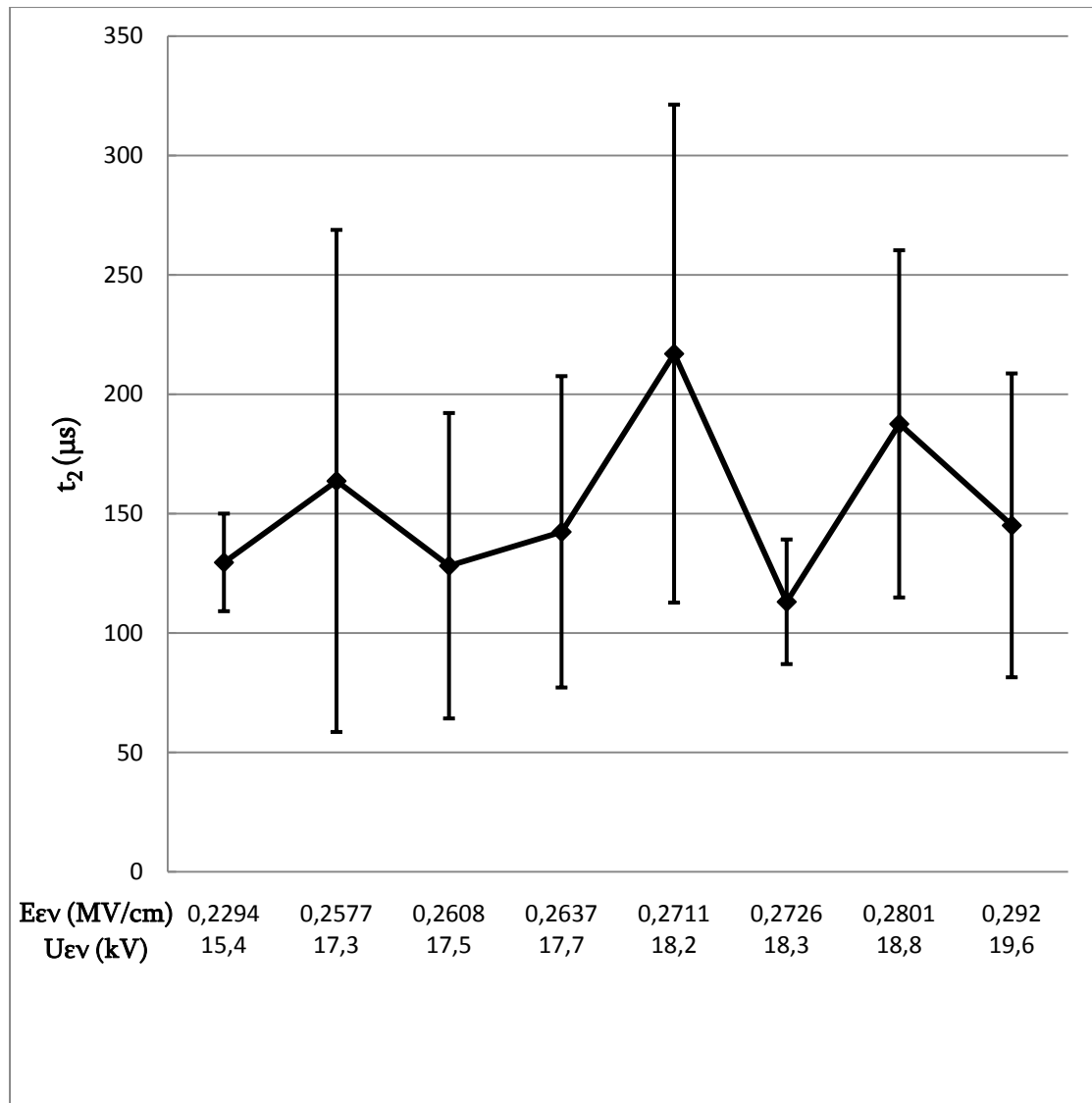


Σχήμα 3.2-1: Χαρακτηριστική $t_1 = f(u_{ev}, E_{ev})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μ s

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

U_{ev} : στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{ev} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{ev}

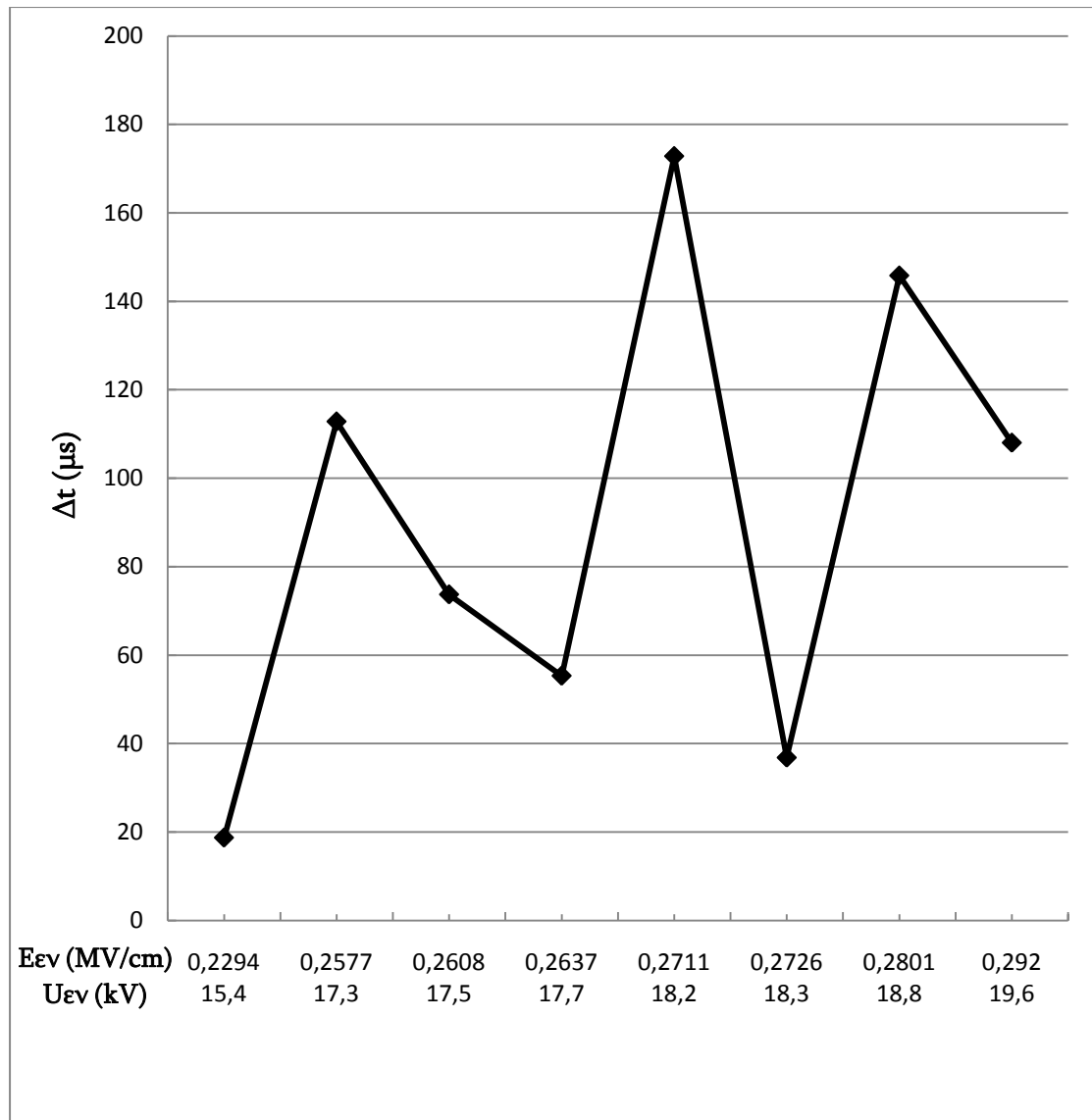


Σχήμα 3.2-2: Χαρακτηριστική $t_2 = f(u_{ev}, E_{ev})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μ s

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

U_{ev} : στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{ev} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{ev}

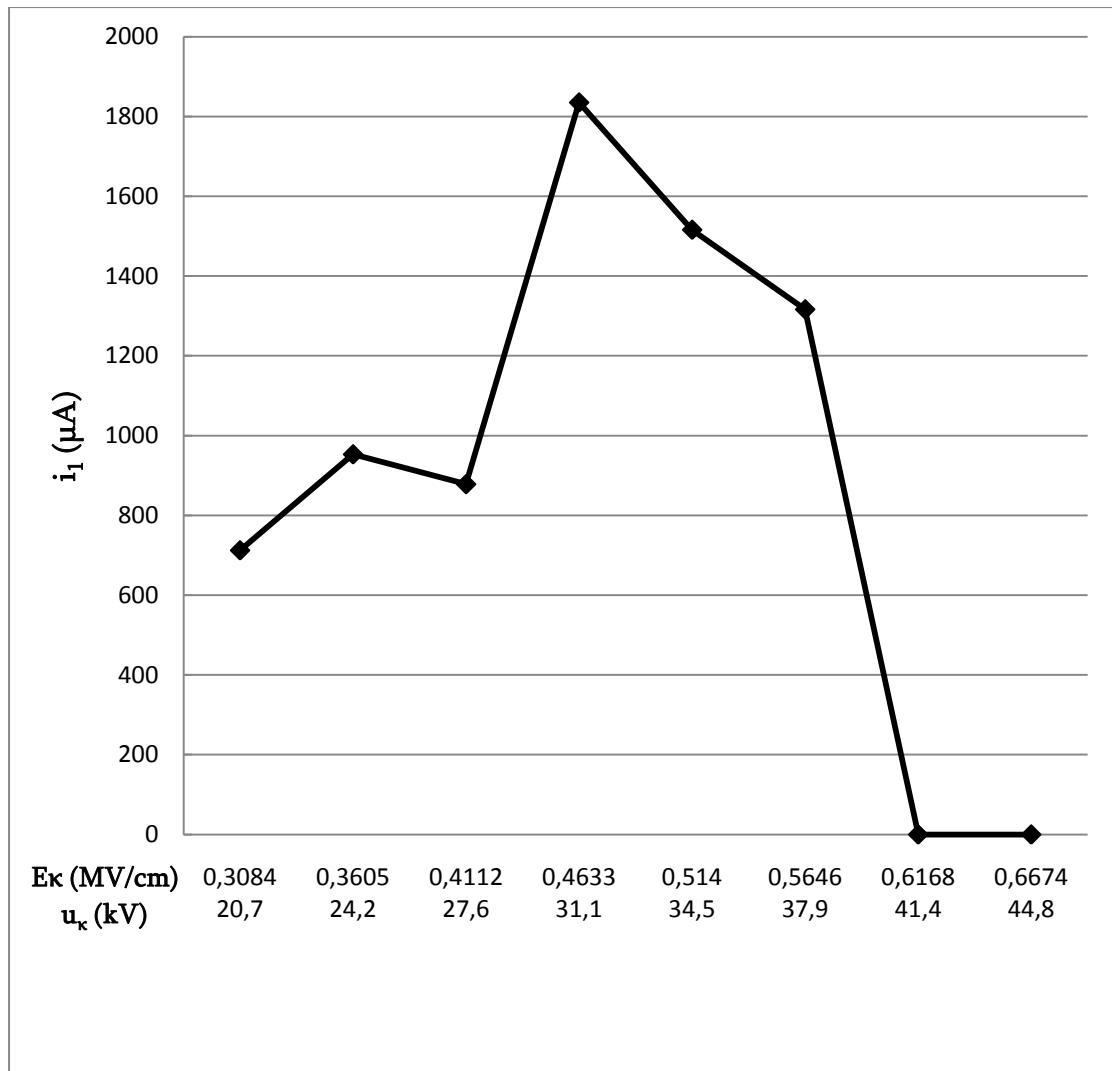


Σχήμα 3.2-3: Χαρακτηριστική $\Delta t = f(u_{ev}, E_{ev})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

U_{ev} : στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{ev} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{ev}

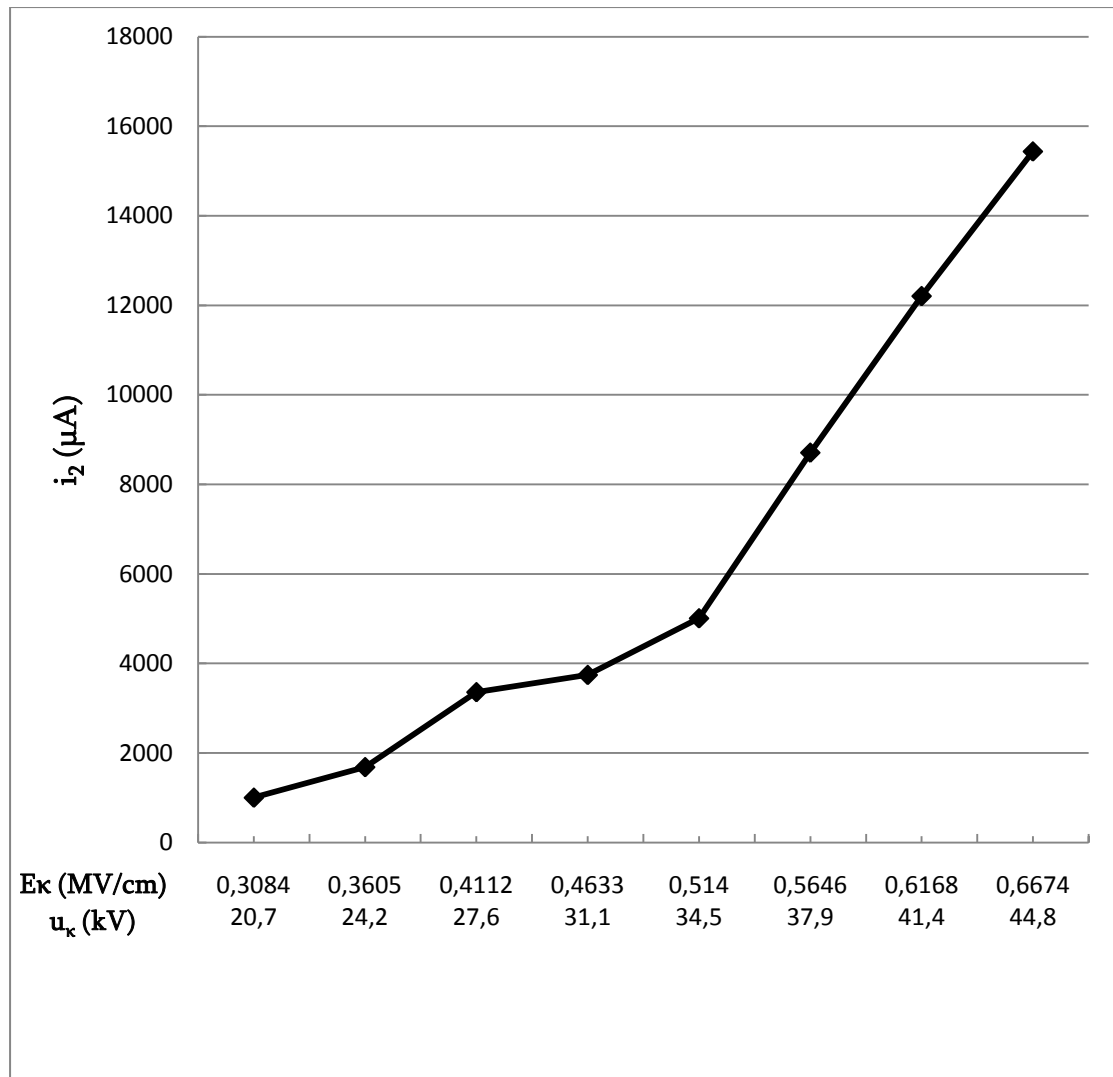


Σχήμα 3.2-4: Χαρακτηριστική $i_1 = f(U_\kappa, E_\kappa)$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

i_1 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

U_κ : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_κ : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_κ

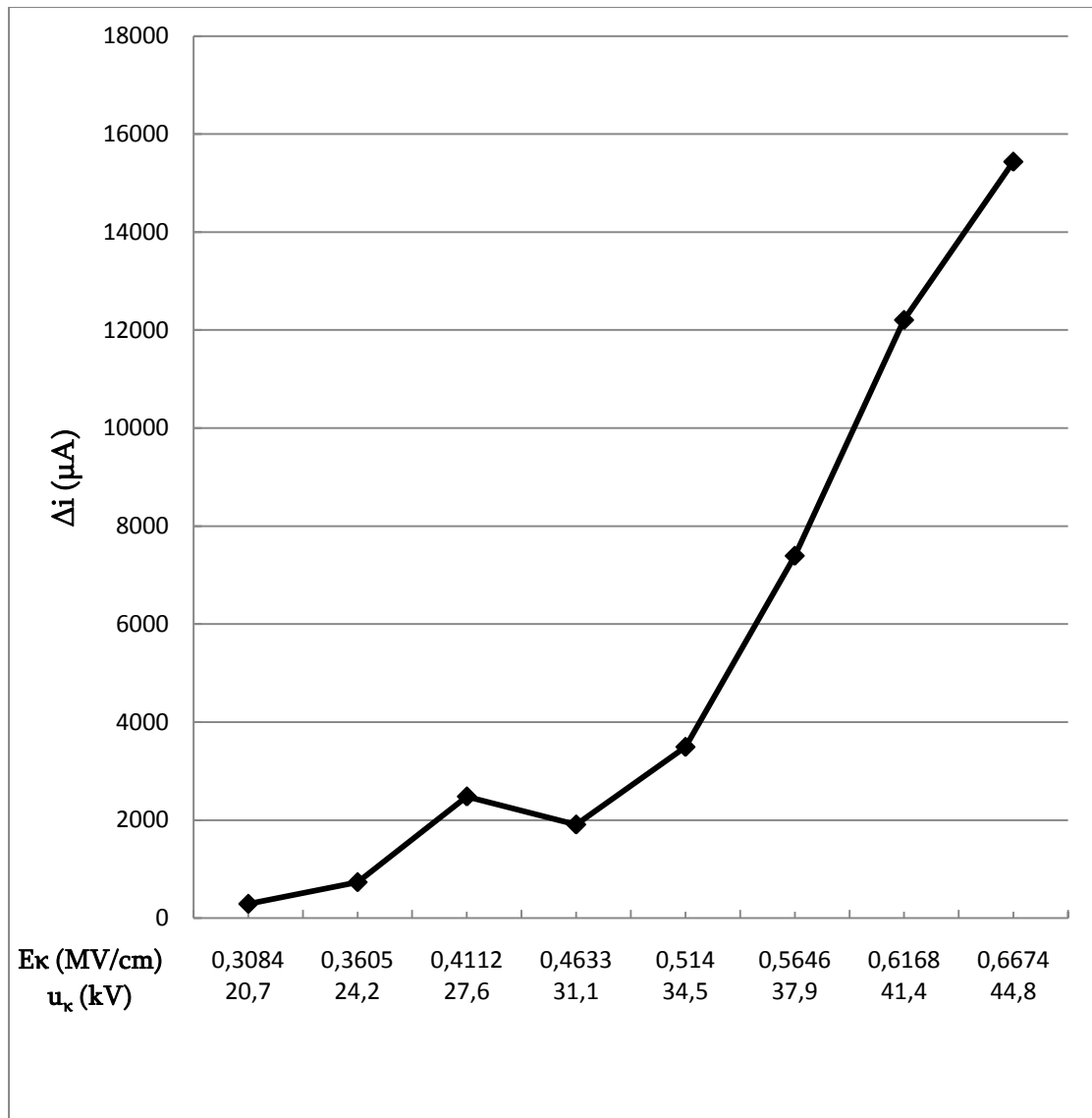


Σχήμα 3.2-5:Χαρακτηριστική $i_2 = f (U_k , E_k)$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

i_2 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k

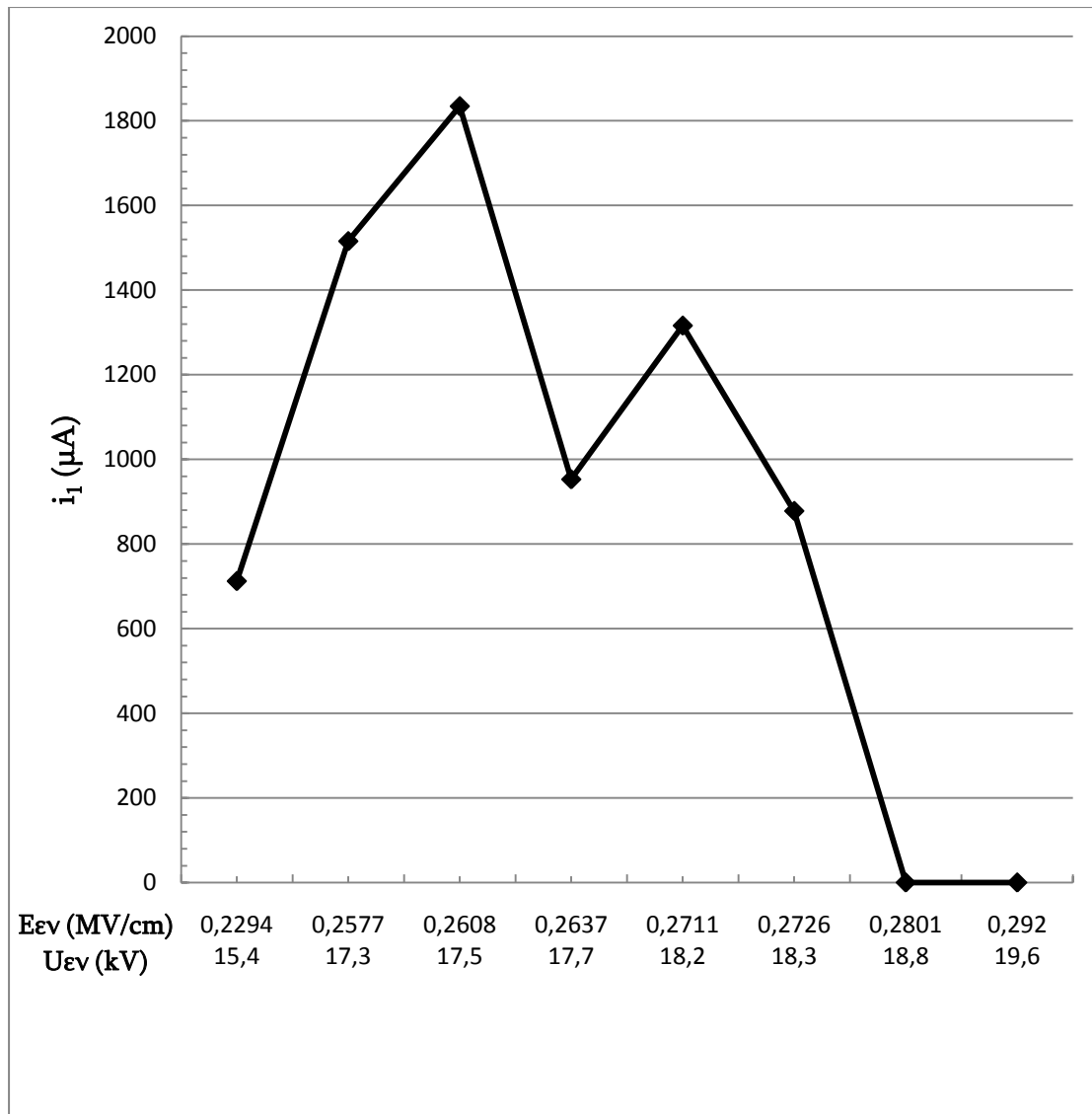


Σχήμα 3.2-6:Χαρακτηριστική $\Delta i = f (U_{\kappa} , E_{\kappa})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

$$\Delta i = i_2 - i_1$$

U_{κ} : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_{κ} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{κ}

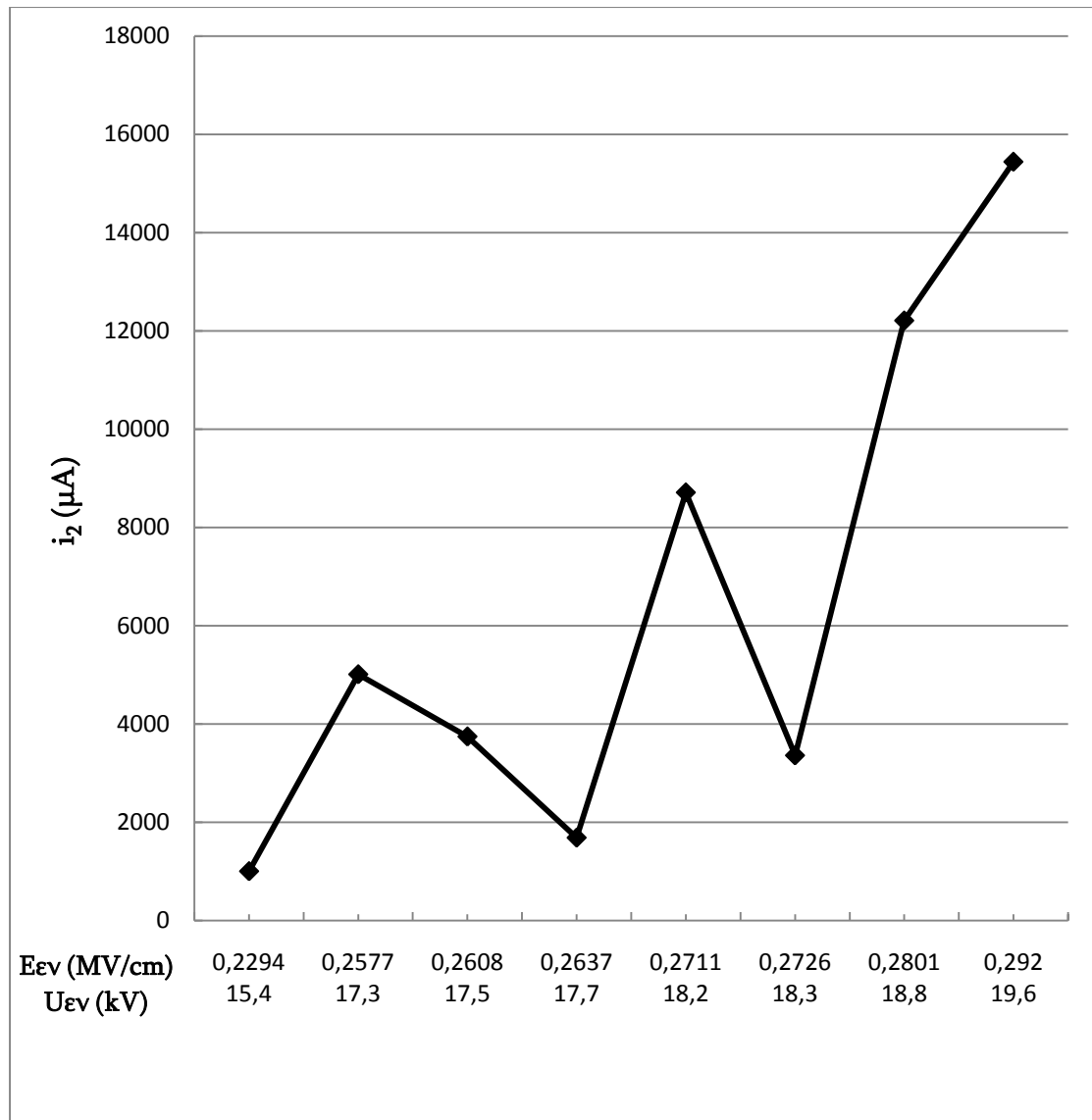


Σχήμα 3.2-7:Χαρακτηριστική $i_1 = f(u_{ev}, E_{ev})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

i_1 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

U_{ev} : στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{ev} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{ev}

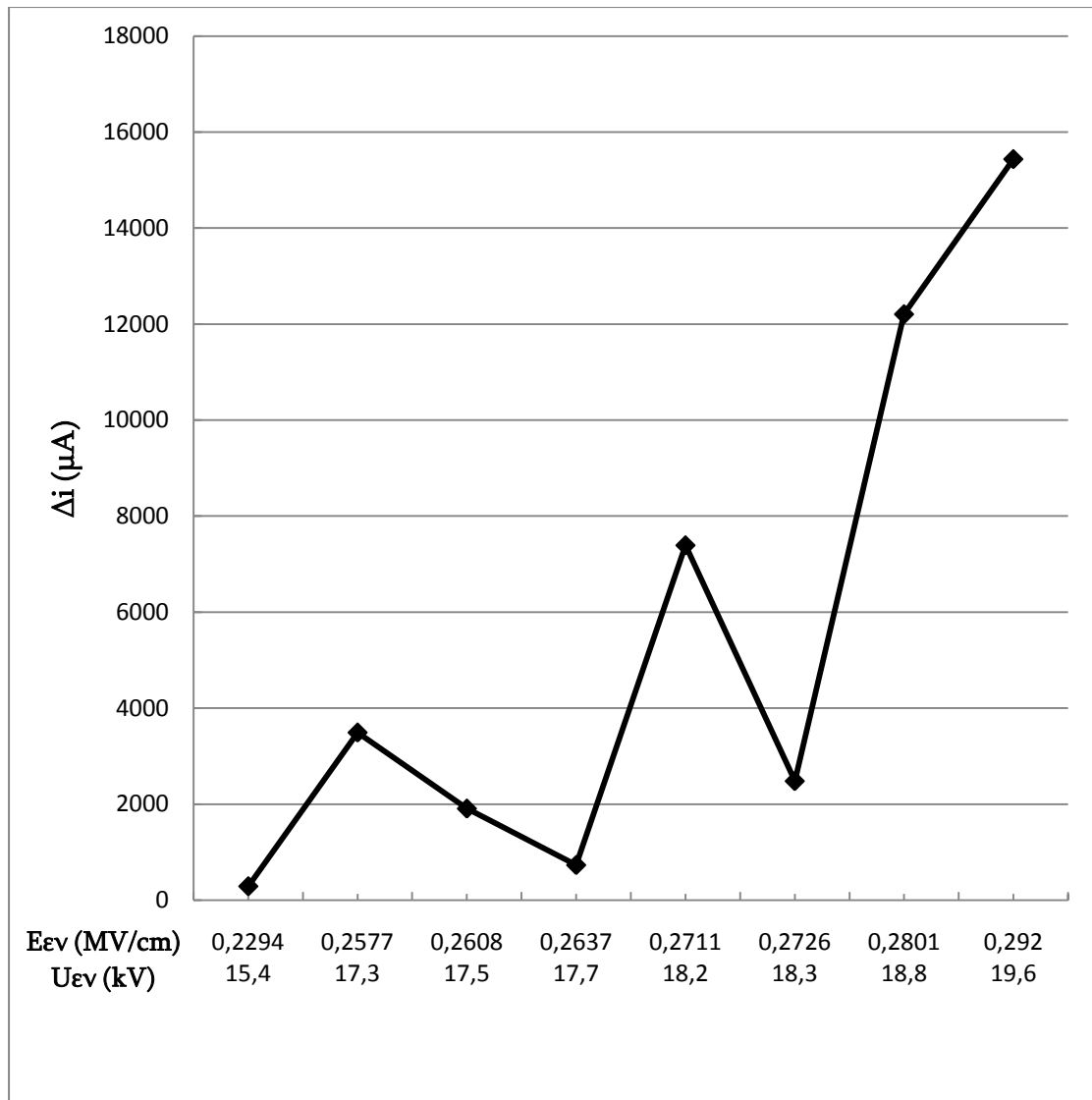


Σχήμα 3.2-8:Χαρακτηριστική $i_2 = f(u_{ev}, E_{ev})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

i_2 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

U_{ev} : στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{ev} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{ev}

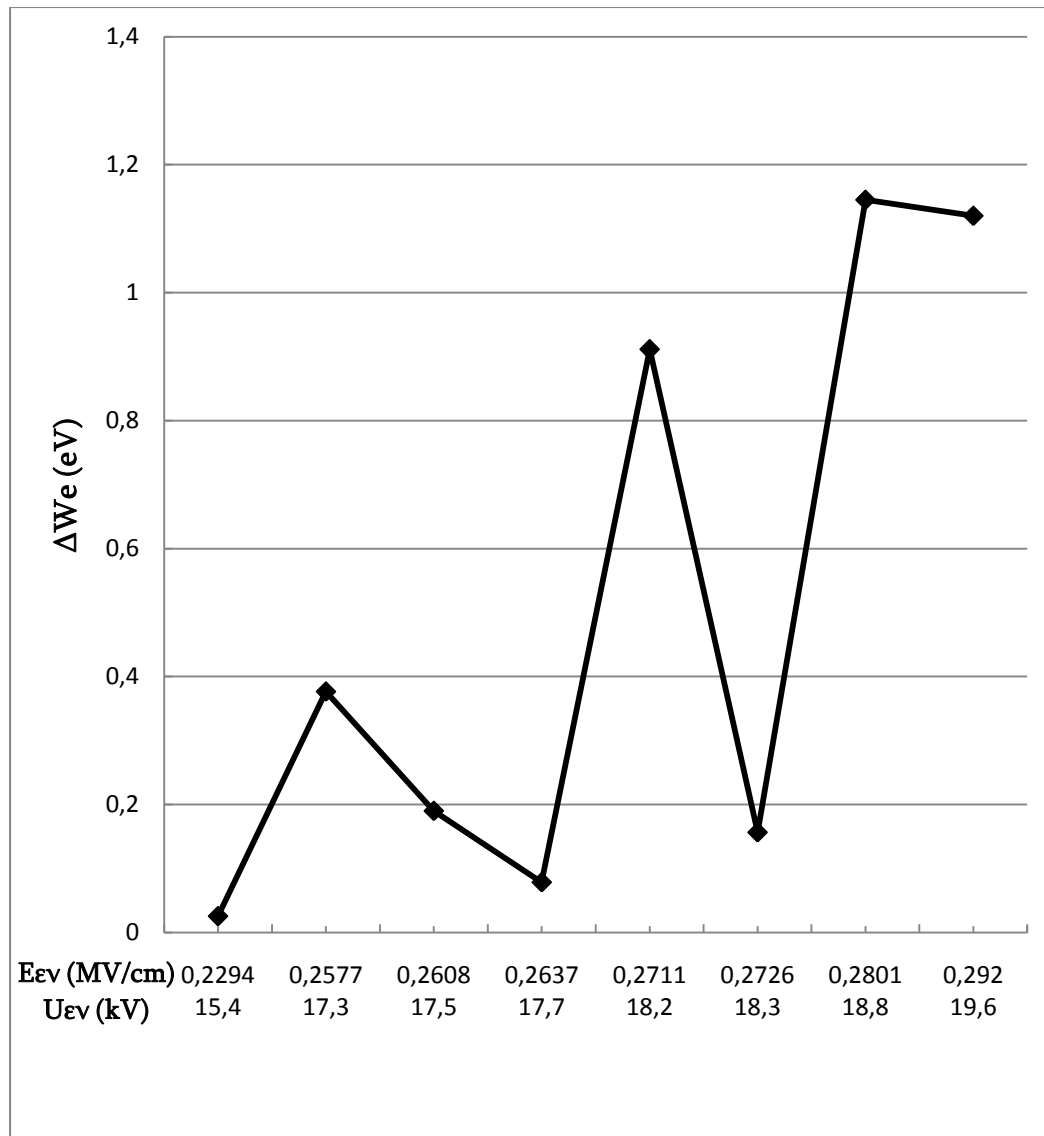


Σχήμα 3.2-9:Χαρακτηριστική $\Delta i = f(u_{εν}, E_{εν})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

$$\Delta i = i_2 - i_1$$

$U_{εν}$: στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

$E_{εν}$: ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην $U_{εν}$

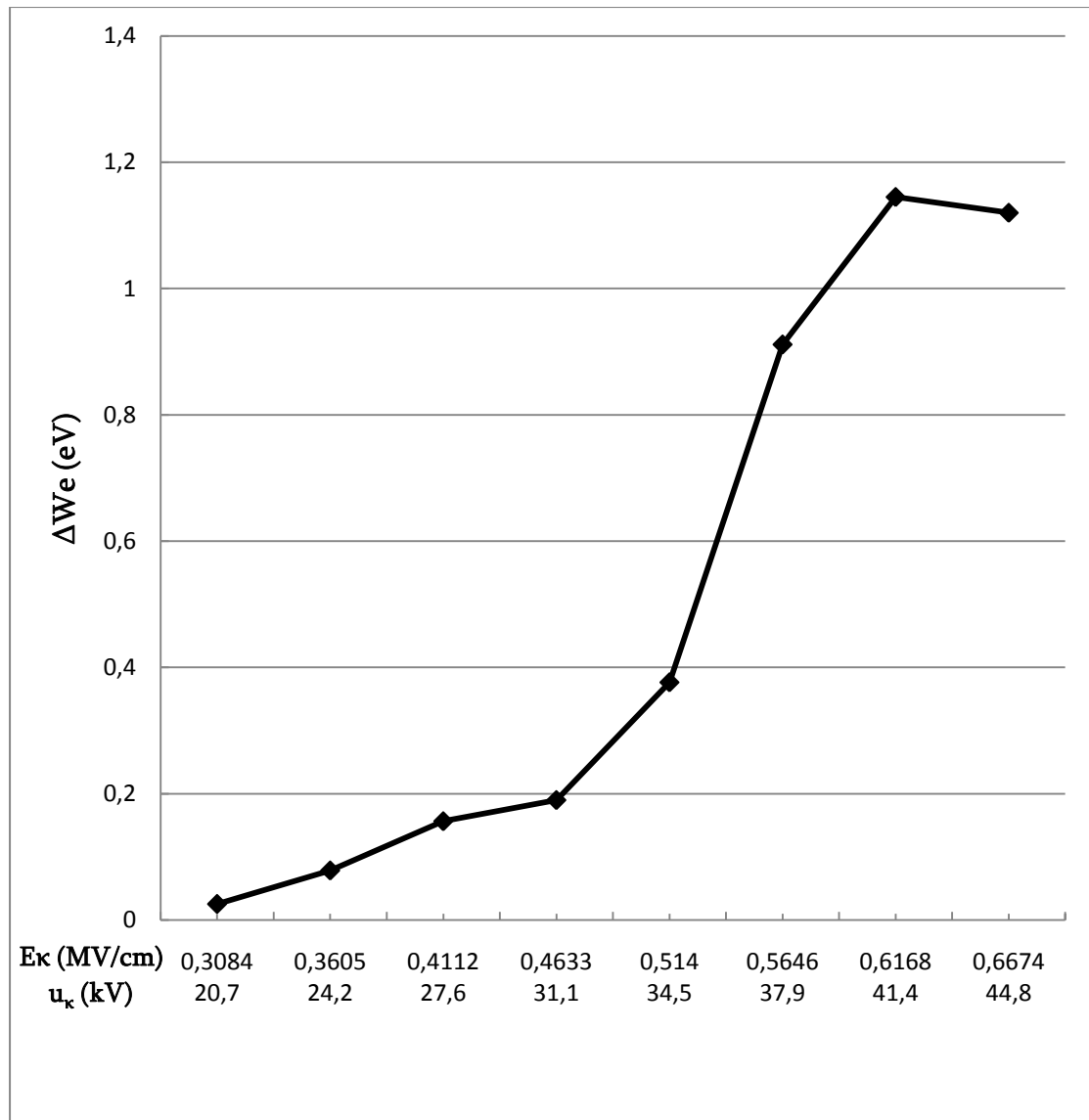


Σχήμα 3.2-10:Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(u_{εν}, E_{εν})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

$$\Delta W_e = 0,5 \Delta u$$

$U_{εν}$: στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

$E_{εν}$: ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην $U_{εν}$

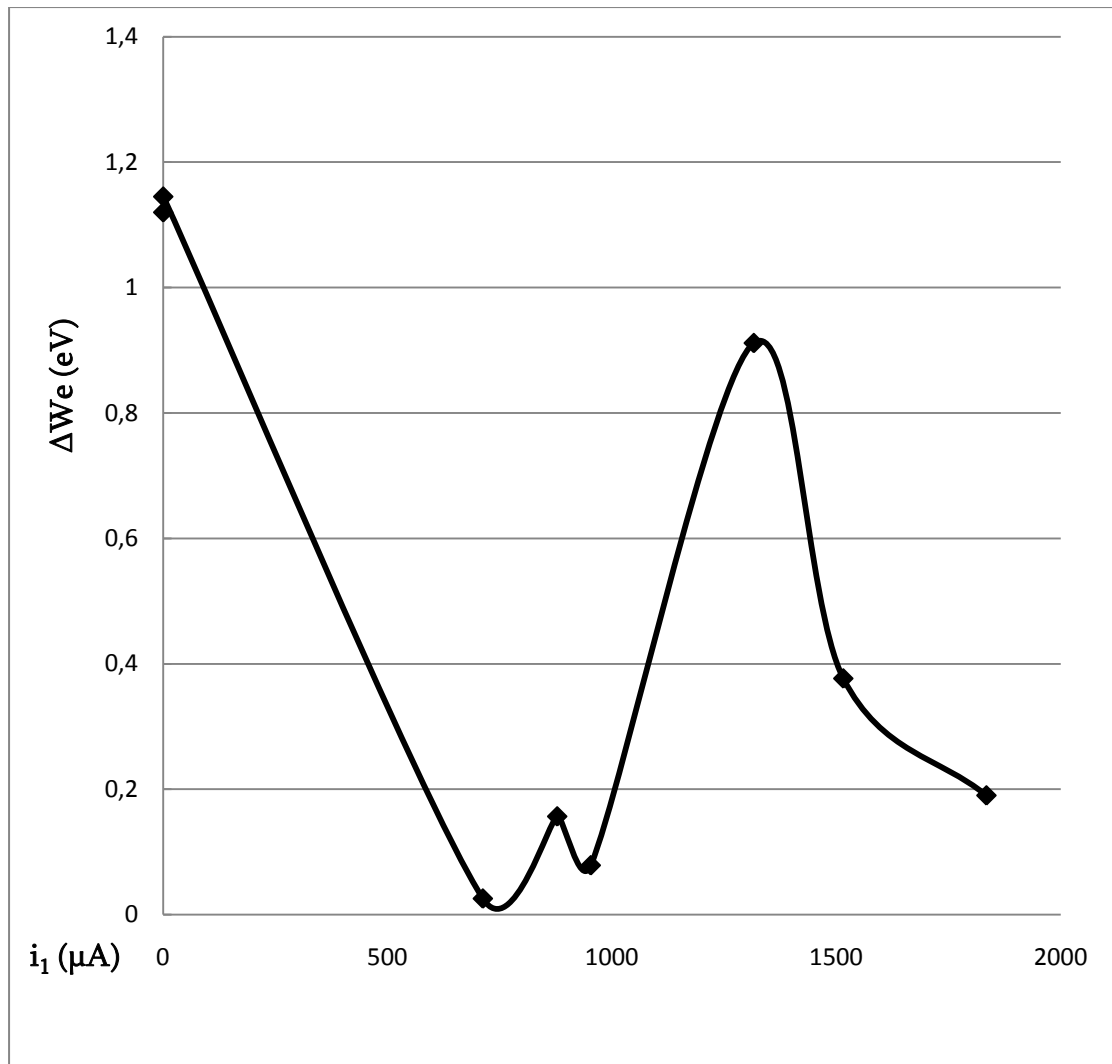


Σχήμα 3.2-11:Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(U_{\kappa}, E_{\kappa})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μ s

$$\Delta W_e = 0,5 \Delta u$$

U_{κ} : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

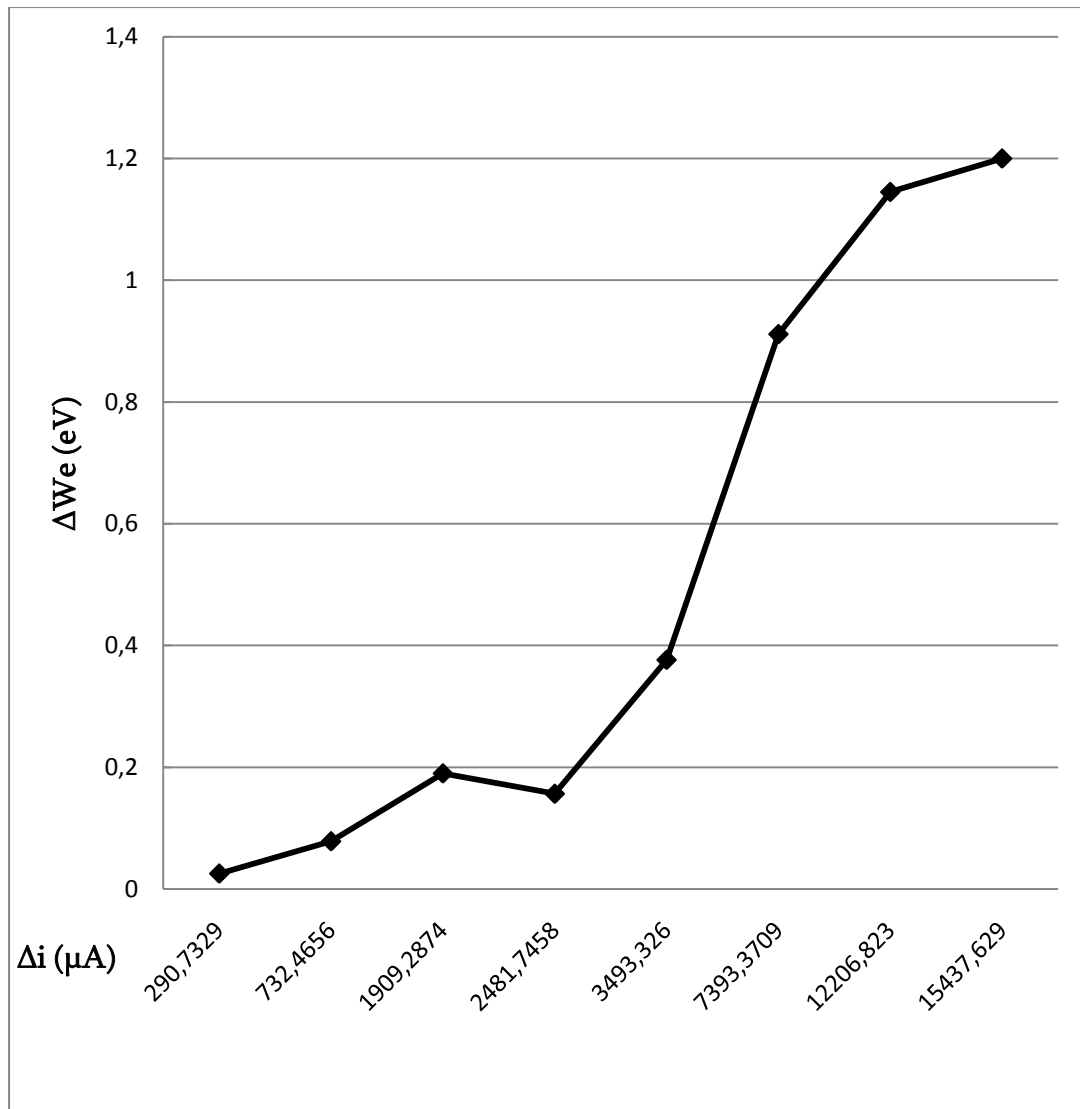
E_{κ} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{κ}



Σχήμα 3.2-12:Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(i_1)$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

$$\Delta W_e = 0,5 \Delta u$$

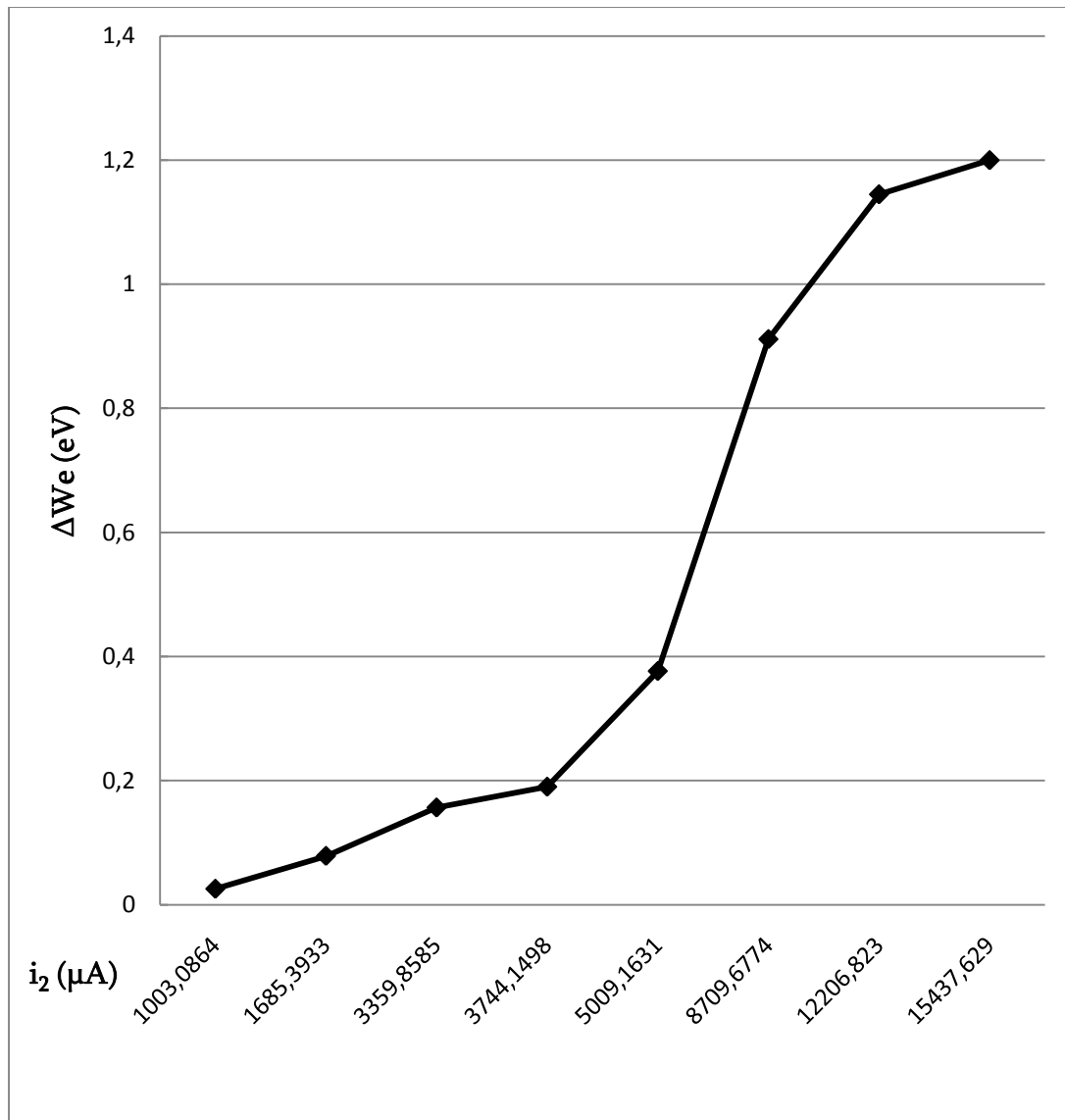
i_1 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων



Σχήμα 3.2-13:Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(\Delta i)$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

$$\Delta W_e = 0,5 \Delta u$$

$$\Delta i = i_2 - i_1$$



Σχήμα 3.2-14:Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(i_2)$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=1$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

$$\Delta W_e = 0,5 \Delta u$$

i_2 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

3.3 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΙ ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΓΙΑ ΔΕΙΓΜΑ ΠΑΧΟΥΣ 2 mm ΥΠΟ ΚΡΟΥΣΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ +250/2500 μs

Στους πίνακες 3.3-1 ως 3.3-3 δίνονται οι μετρήσεις για το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους 2 mm κατά την καταπόνηση του υπό κρουστικές τάσεις της μορφής 250/2500 μs και θετικής πολικότητας. Στα σχήματα 3.3-1 έως 3.3-14 που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες για τις μετρήσεις αυτές.

U_k (kV)	U_{ev} (kV)	E_k (MV/cm)	E_{ev} (MV/cm)	t_1 (μs)	t_2 (μs)	Δt (μs)
20,8	17,8 0,44	0,2116	0,1810	141,7 59,47	186,3 55,33	44,6
24,1	20,4 2,53	0,2451	0,2075	99,6 44,8	173,5 86,87	73,9
27,7	21,9 1,21	0,2817	0,2228	71,5 6,87	157,9 61,96	86,4
31,1	20,5 1,79	0,3163	0,2085	45,2 5,26	235,6 65,88	190,4
34,5	22,1 1,49	0,3509	0,2248	41,5 10,68	185,6 71,05	144,1
37,8	22,6 3,07	0,3845	0,2299	36,4 8,10	233,5 97,16	197,1
41,4	25,3 2,42	0,4211	0,2573	36,4 10,86	199,1 85,34	162,7
44,6	25,9 1,55	0,4536	0,2634	36,1 6,23	201,8 54,53	165,7

Πίνακας 3.3-1: Στατιστική ανάλυση της έναρξης των μερικών εκκενώσεων με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν (U_k , U_{ev} , E_k , E_{ev} , t_1 , t_2 , Δt) και η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μs

U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k

u_{ev} : τιμή της κρουστικής τάσης στην έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{ev} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{ev}

t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

$\Delta t = t_2 - t_1$

Σημείωση: Η δεύτερη τιμή ανά επίπεδο τάσης και χρόνου είναι η τυπική απόκλιση.

q ₁ (μC)	q ₂ (μC)	C _m (nF)	u ₁ (V)	u ₂ (V)	Δu (V)
0,082 0,009	0,13 0,01	1000	0,082	0,13	0,048
0,074 0,01	0,12 0,02	1000	0,074	0,12	0,046
0,081 0,00	0,18 0,05	1000	0,081	0,18	0,099
0,067 0,00	0,34 0,06	1000	0,067	0,34	0,273
0,067 0,00	0,39 0,09	1000	0,067	0,39	0,323
0,067 0,00	0,64 0,14	1000	0,067	0,64	0,573
0,1 0,00	0,78 0,15	1000	0,1	0,78	0,68
0,067 0,00	0,75 0,17	1000	0,067	0,75	0,683

Πίνακας 3.3-2: Στατιστική ανάλυση της έναρξης των μερικών εκκενώσεων με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν (q₁, q₂, C_m, u₁, u₂, Δu) και η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους d=2 mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μs

C_m: πυκνωτής μέτρησης

u₁: στιγμιαία τάση της u_m (βλ. σχήμα 3-1) κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

u₂: στιγμιαία τάση της u_m (βλ. σχήμα 3-1) κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

q₁: στιγμιαία τάση του φορτίου στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q₂: στιγμιαία τάση του φορτίου στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

Δu=u₂ – u₁

Σημείωση: Η δεύτερη τιμή ανά φορτίου είναι η τυπική απόκλιση.

q ₁ (μC)	q ₂ (μC)	t ₁ (μs)	t ₂ (μs)	i ₁ (μA)	i ₂ (μA)	Δi (μA)	ΔWe (eV)
0,082 0,009	0,13 0,01	141,7 59,47	186,3 55,33	571,6302	697,7992	126,169	0,024
0,074 0,01	0,12 0,02	99,6 44,8	173,5 86,87	742,9719	691,6427	-51,3292	0,023
0,081 0,00	0,18 0,05	71,5 6,87	157,9 61,96	1132,8671	1139,9620	7,0949	0,0495
0,067 0,00	0,34 0,06	45,2 5,26	235,6 65,88	1482,3009	1443,1239	-39,177	0,1365
0,067 0,00	0,39 0,09	41,5 10,68	185,6 71,05	1614,4578	2101,2931	486,8353	0,1615
0,067 0,00	0,64 0,14	36,4 8,10	233,5 97,16	1840,6593	2740,8994	900,2401	0,2865
0,1 0,00	0,78 0,15	36,4 10,86	199,1 85,34	2747,2527	3917,6293	1170,3766	0,34
0,067 0,00	0,75 0,17	36,1 6,23	201,8 54,53	1855,9557	3716,5510	1860,5953	0,3415

Πίνακας 3.3-3: Στατιστική ανάλυση της έναρξης των μερικών εκκενώσεων με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν (q₁, q₂, t₁, t₂, i₁, i₂, Δi, ΔWe) και η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους d=2 mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μs

q₁: στιγμιαία τάση του φορτίου στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q₂: στιγμιαία τάση του φορτίου στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

t₁: χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t₂: χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

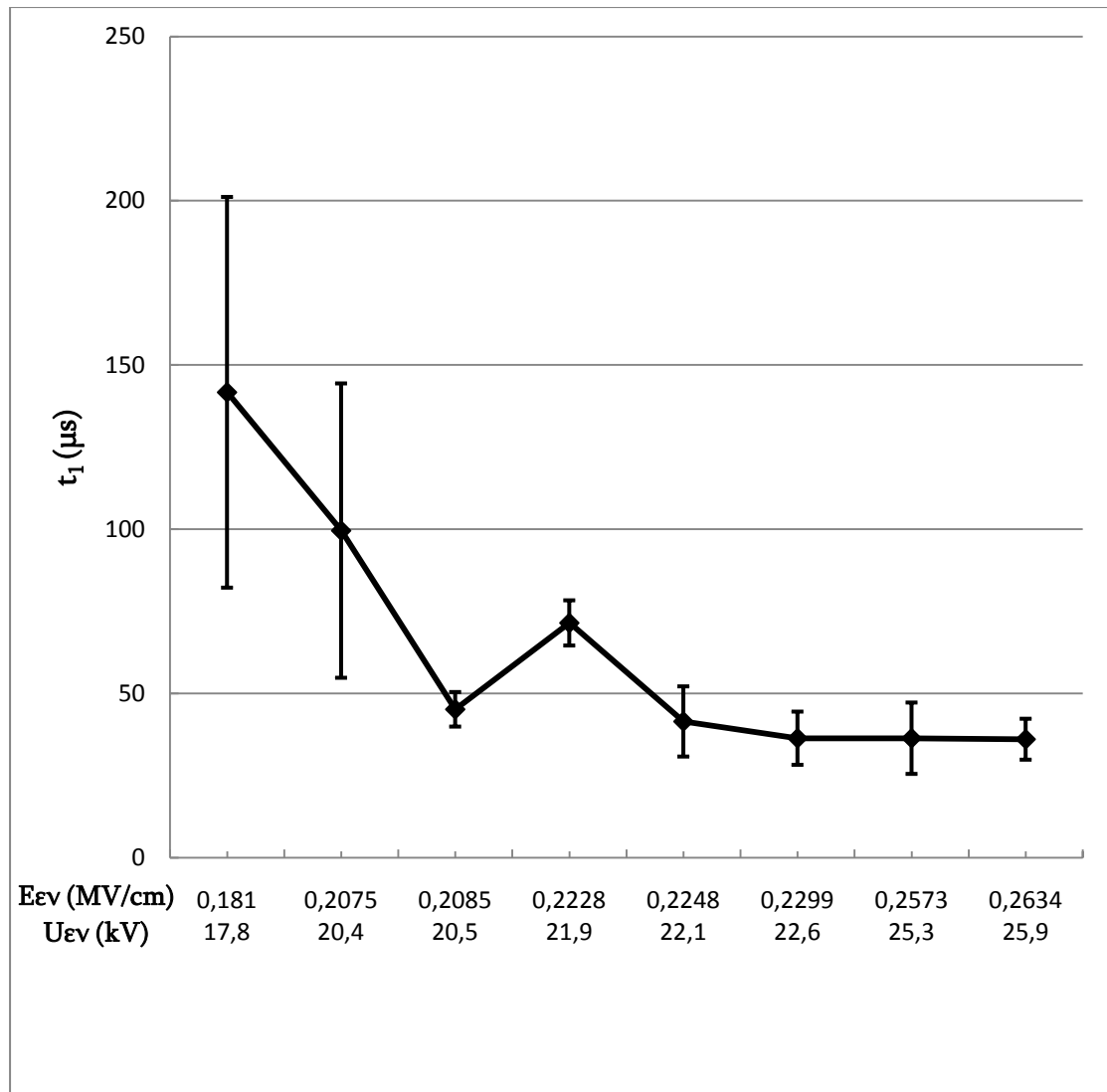
i₁: στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

i₂: στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

Δi=i₁ – i₂

ΔWe=0,5Δu

Σημείωση: Η δεύτερη τιμή ανά επίπεδο φορτίου και χρόνου είναι η τυπική απόκλιση.

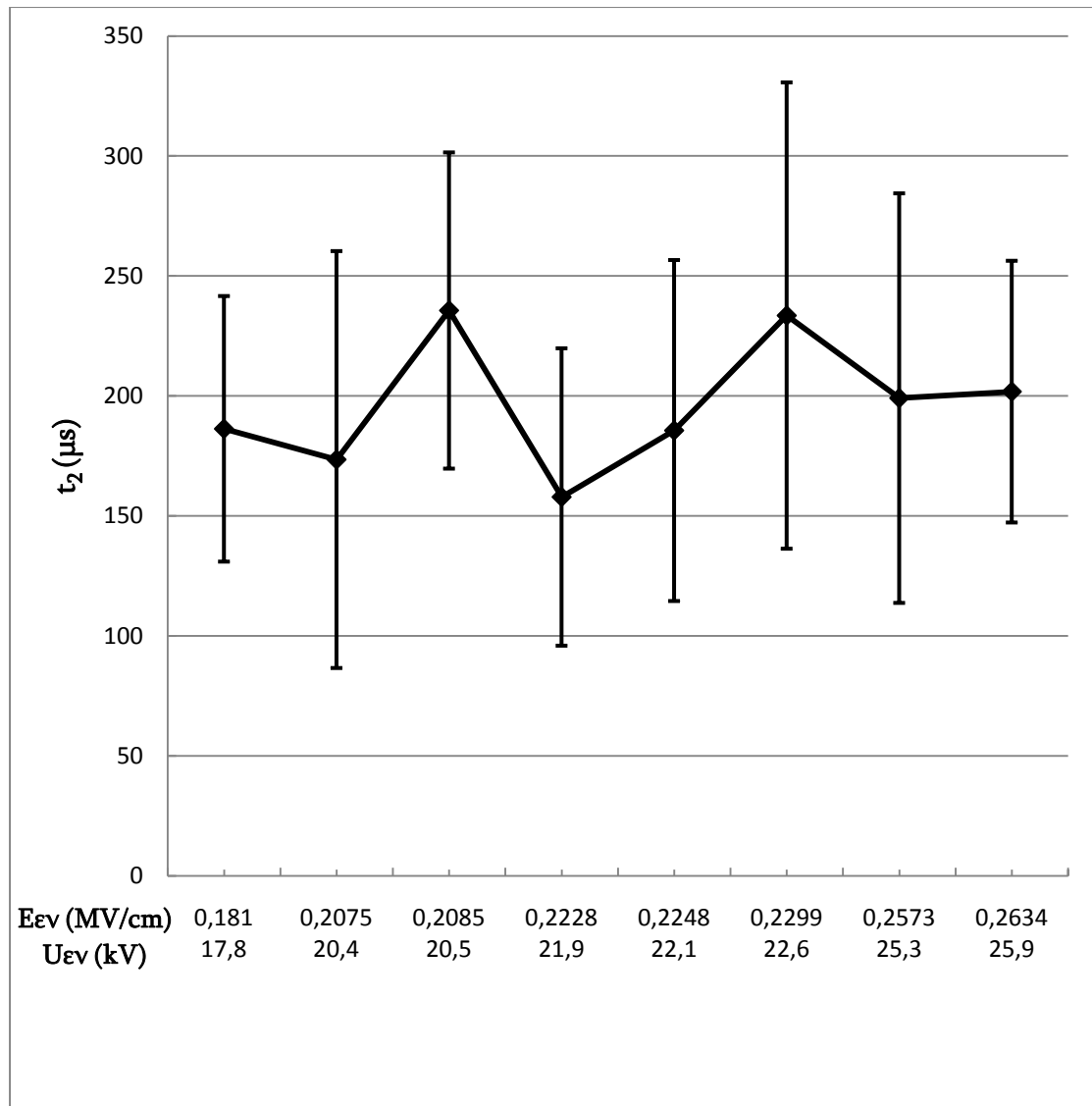


Σχήμα 3.3-1: Χαρακτηριστική $t_1 = f(u_{ev}, E_{ev})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μs

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

U_{ev} : στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{ev} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{ev}

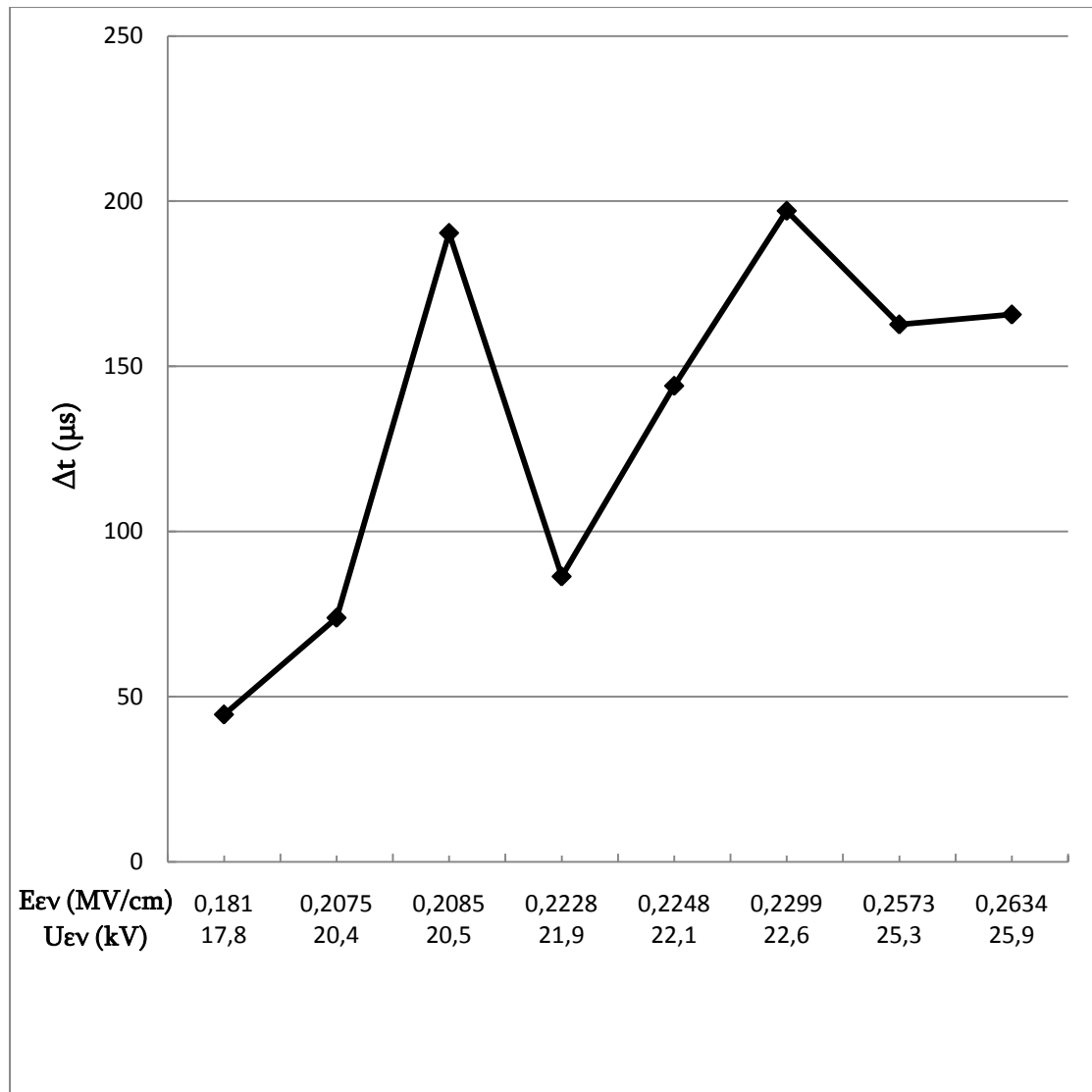


Σχήμα 3.3-2: Χαρακτηριστική $t_2 = f(u_{ev}, E_{ev})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μ s

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

U_{ev} : στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{ev} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{ev}

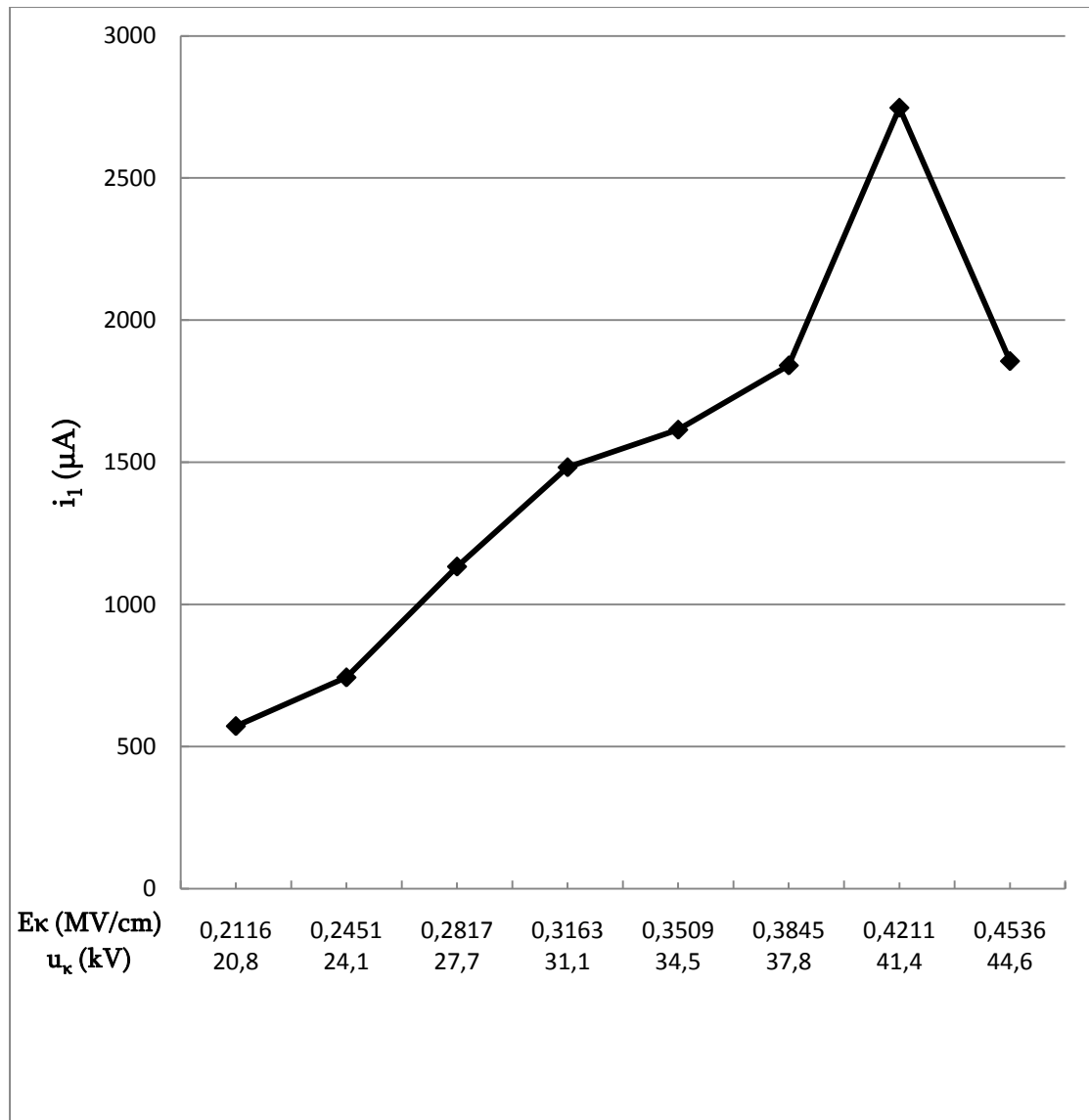


Σχήμα 3.3-3:Χαρακτηριστική $\Delta t = f(u_{ev}, E_{ev})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μs

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

U_{ev} : στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{ev} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{ev}

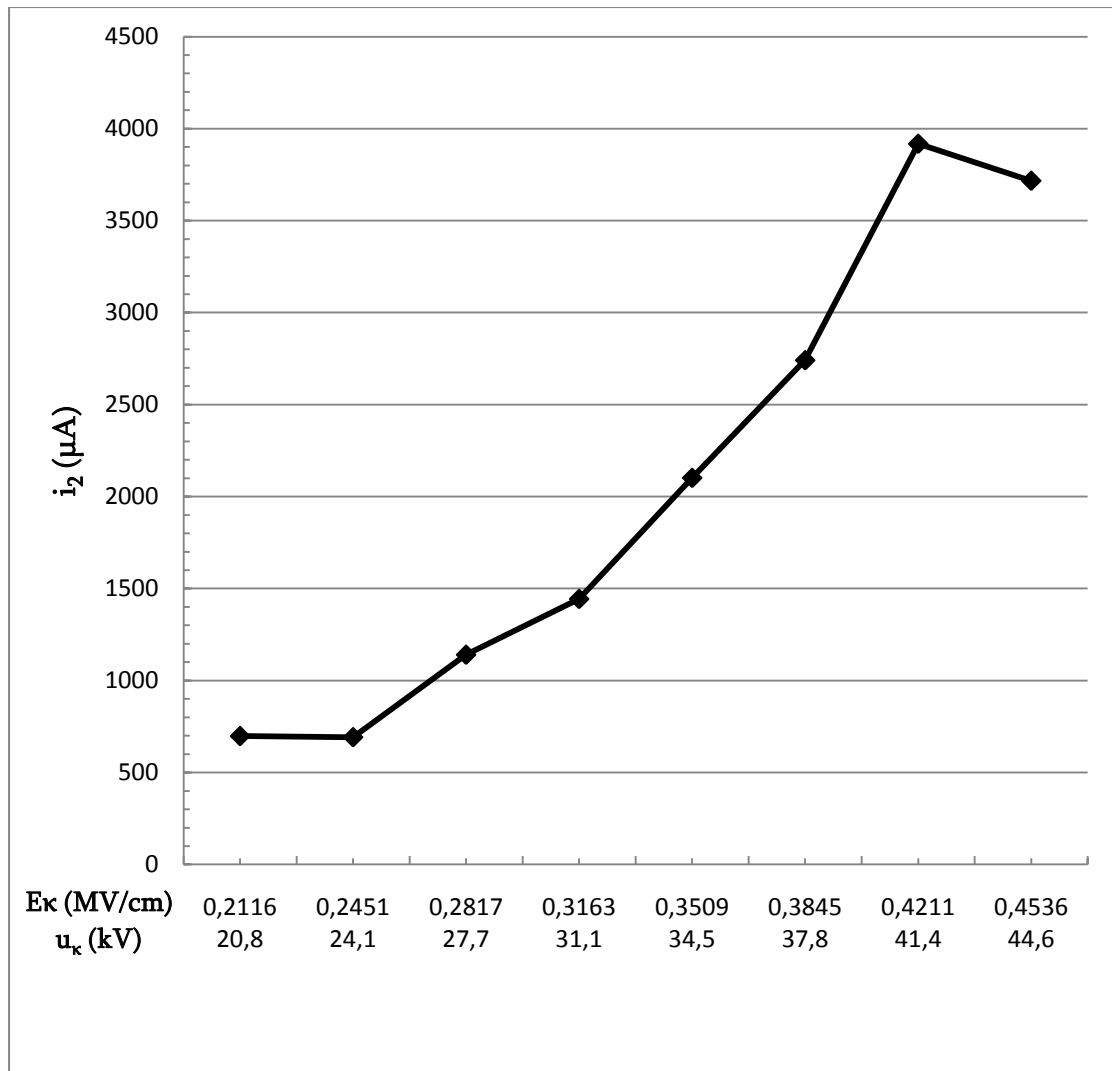


Σχήμα 3.3-4:Χαρακτηριστική $i_1 = f (U_{\kappa} , E_{\kappa})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μ s

i_1 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

U_{κ} : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_{κ} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{κ}

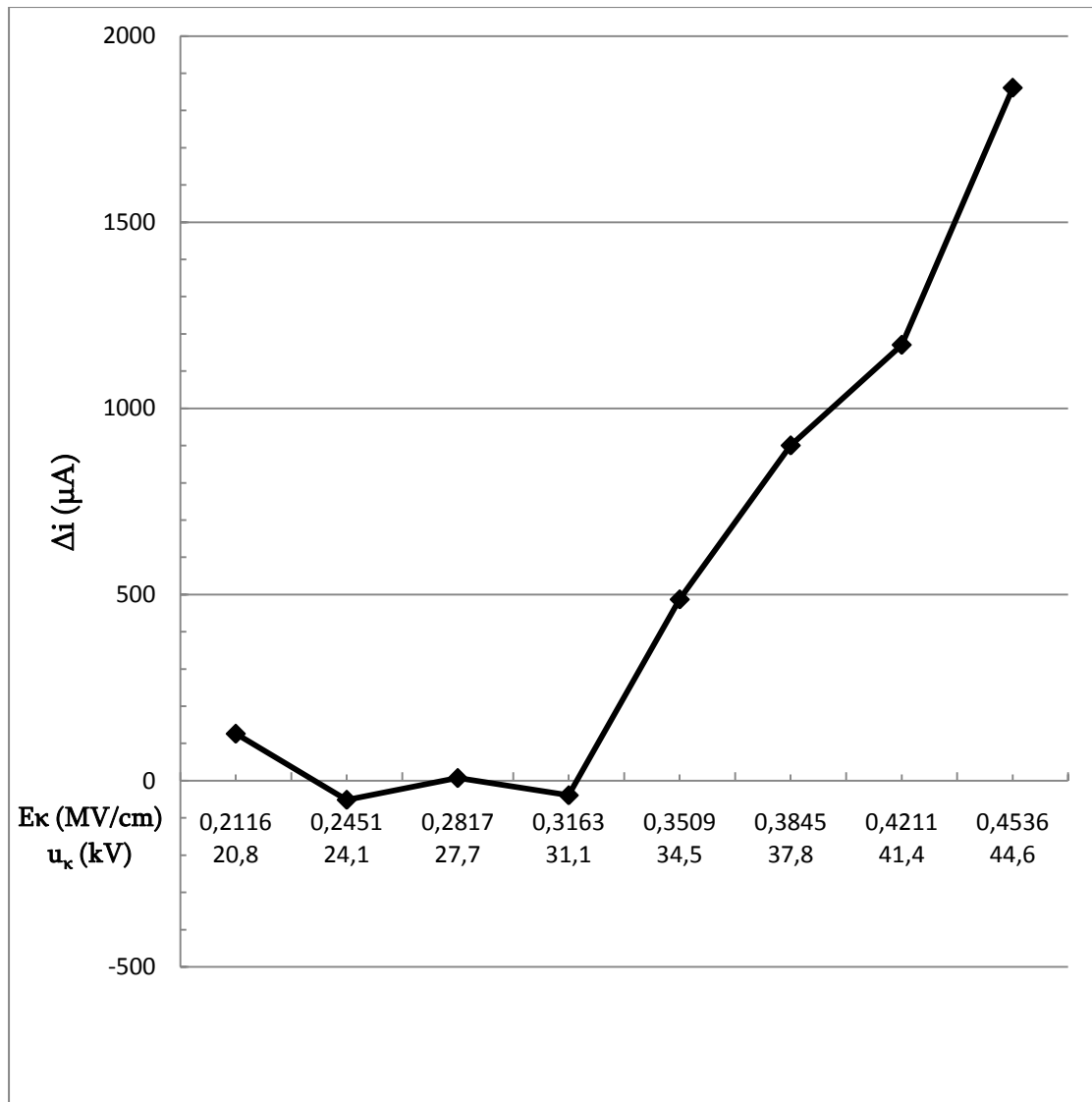


Σχήμα 3.3-5:Χαρακτηριστική $i_2 = f (U_k , E_k)$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μs

i_2 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k

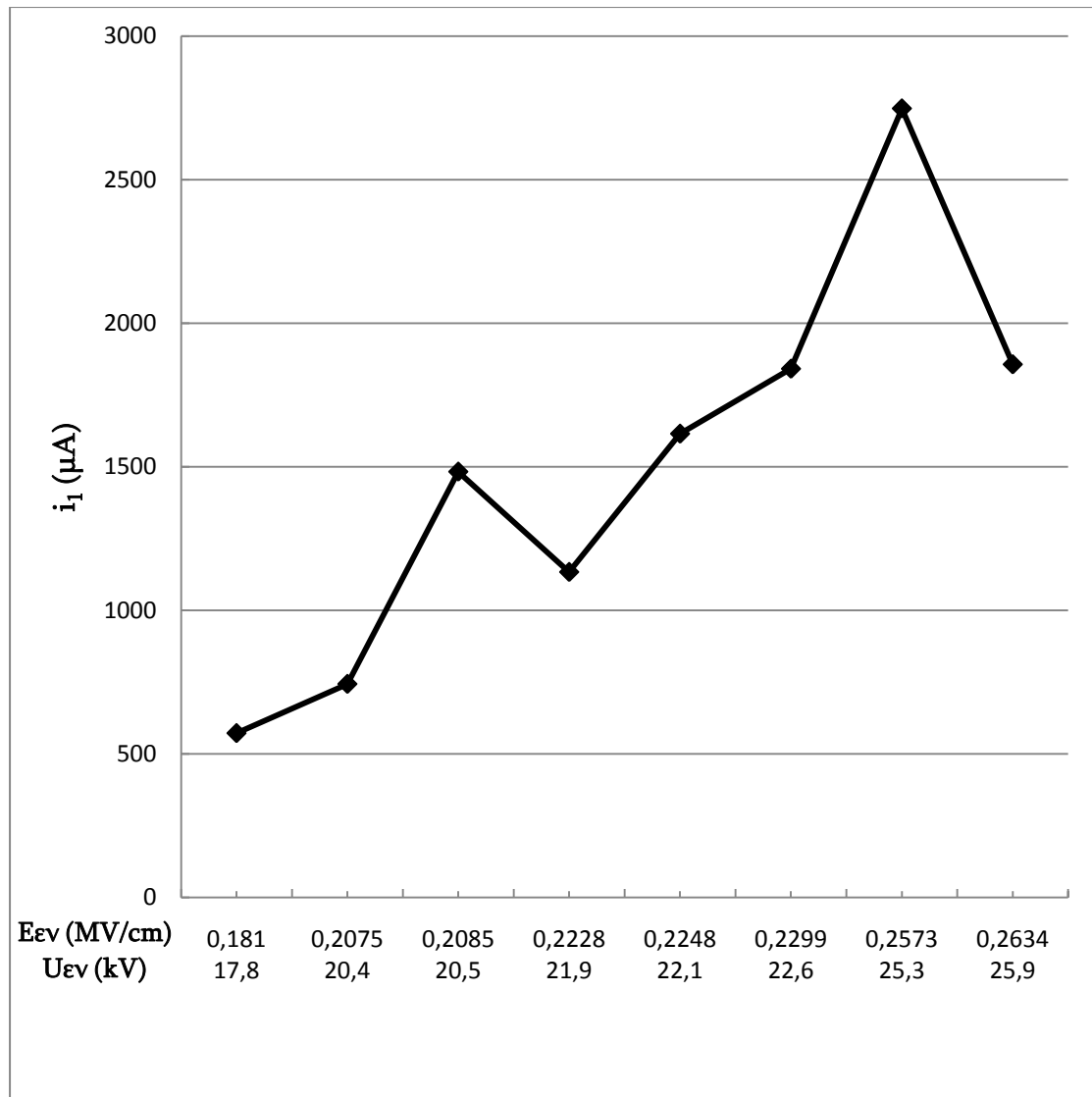


Σχήμα 3.3-6:Χαρακτηριστική $\Delta i = f (U_{\kappa} , \epsilon_{\kappa})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μs

$$\Delta i = i_2 - i_1$$

U_{κ} : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

ϵ_{κ} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{κ}

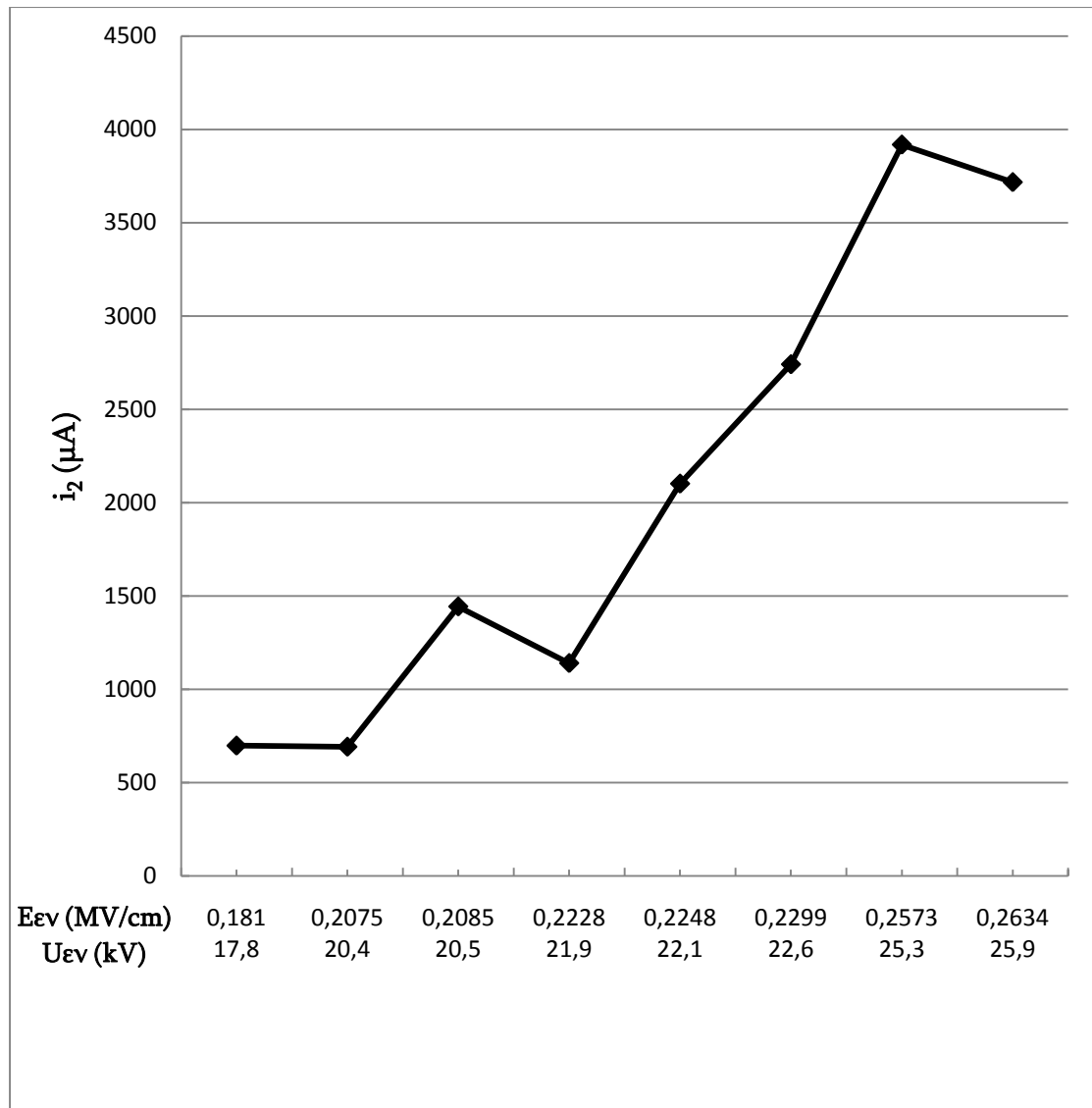


Σχήμα 3.3-7:Χαρακτηριστική $i_1 = f(u_{ev}, E_{ev})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μs

i_1 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

U_{ev} : στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{ev} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{ev}

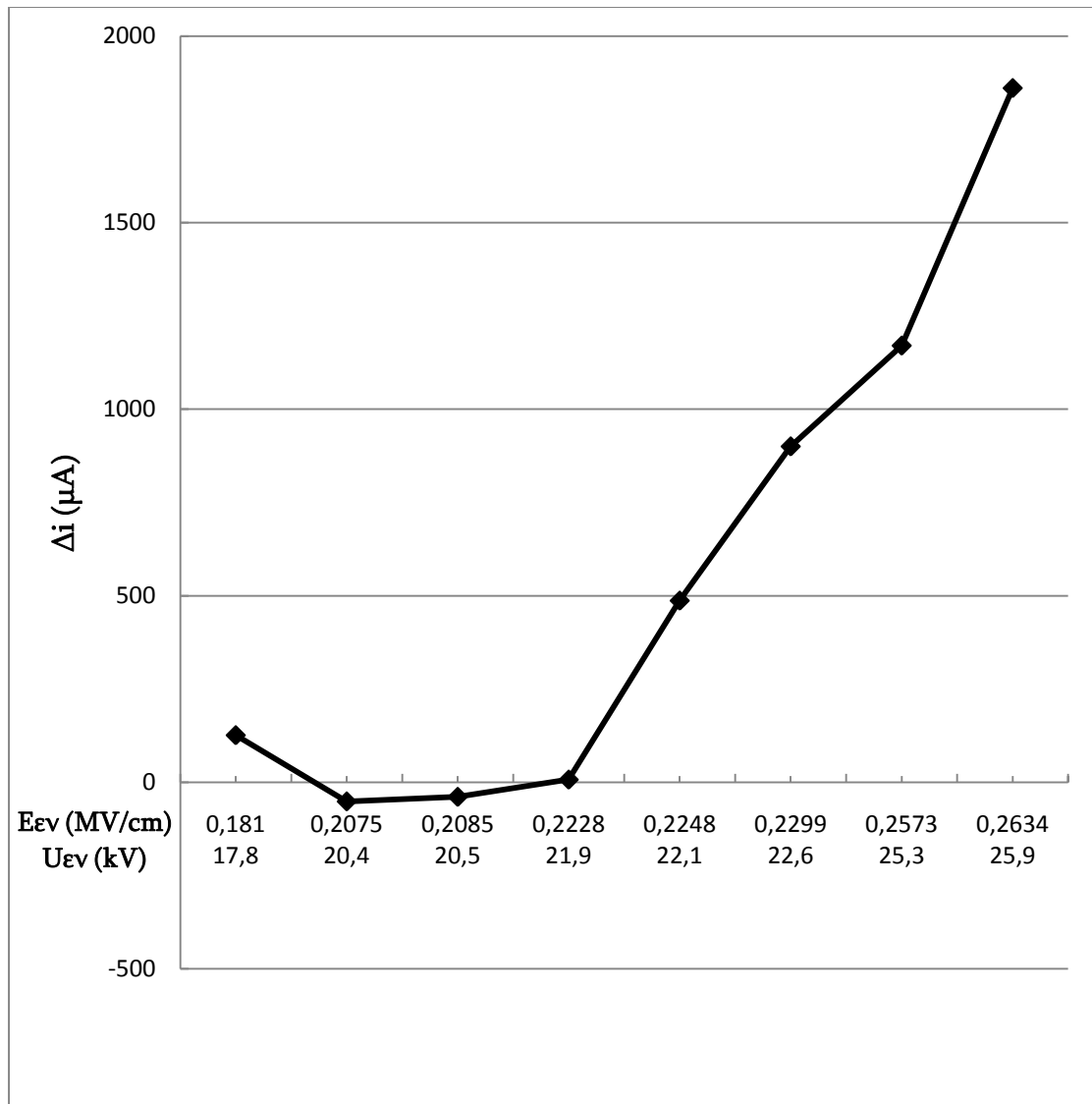


Σχήμα 3.3-8:Χαρακτηριστική $i_2 = f(u_{ev}, E_{ev})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μs

i_2 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

U_{ev} : στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{ev} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{ev}

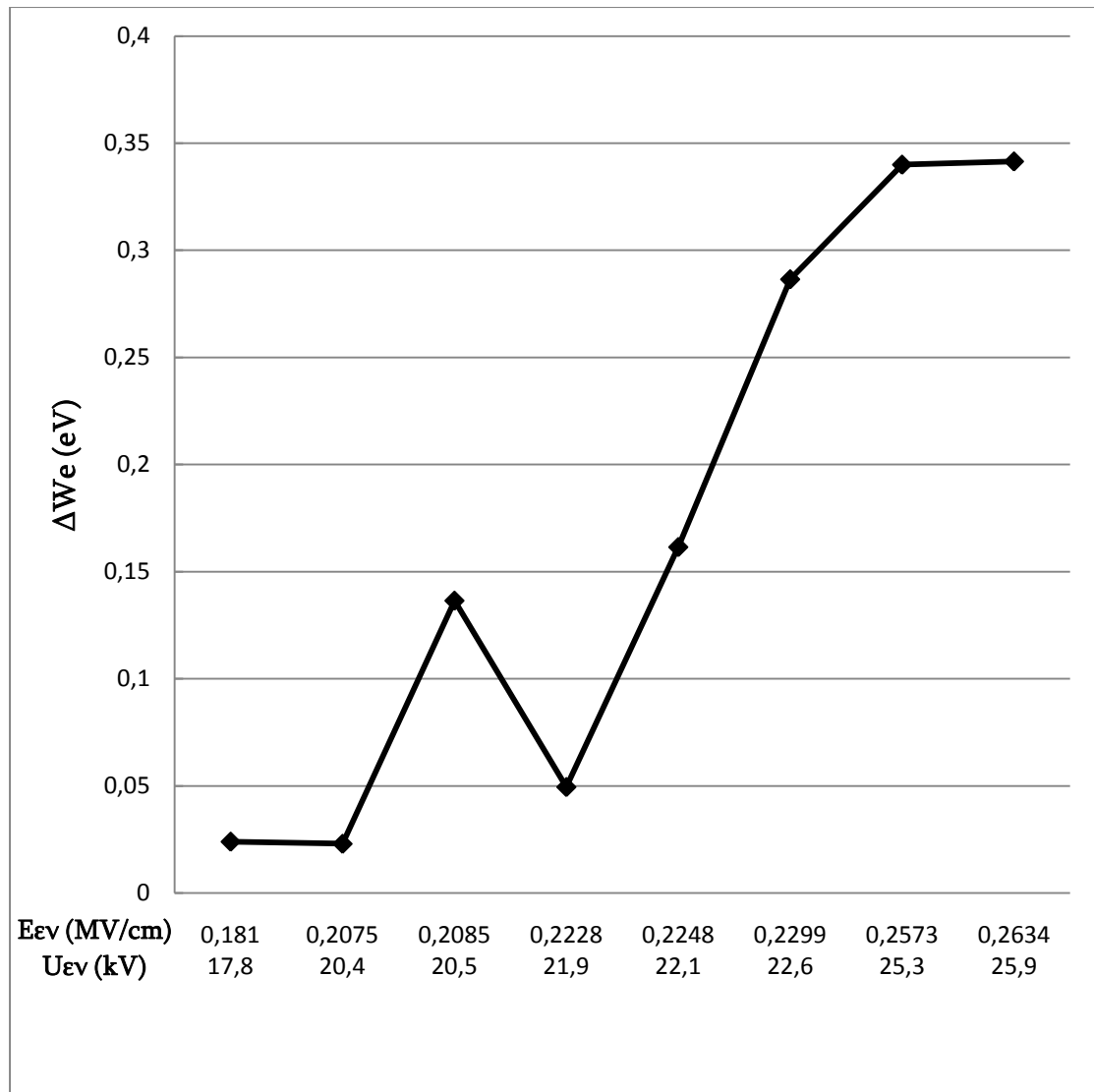


Σχήμα 3.3-9:Χαρακτηριστική $\Delta i = f(u_{ev}, E_{ev})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μs

$$\Delta i = i_2 - i_1$$

U_{ev} : στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{ev} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{ev}

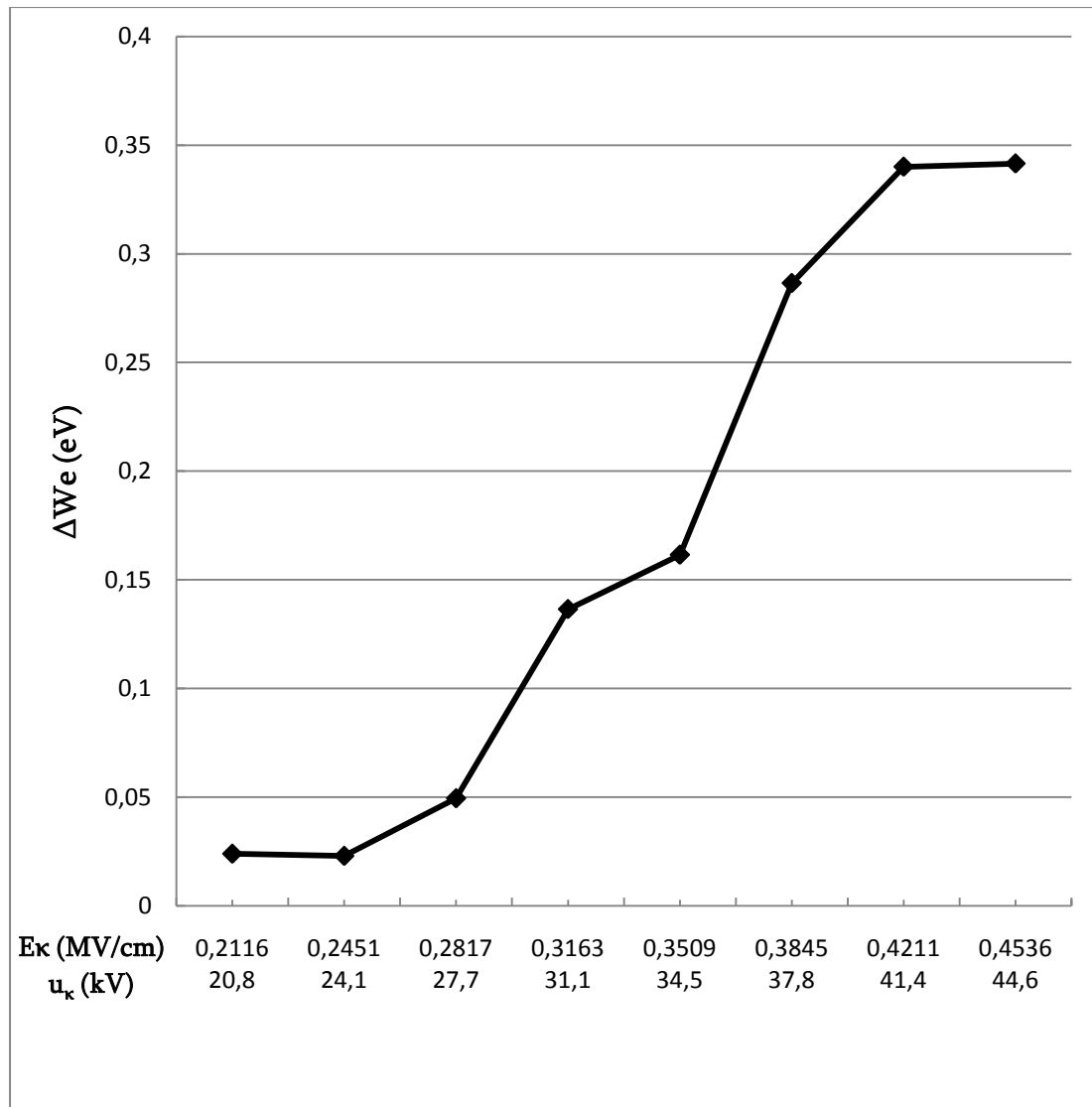


Σχήμα 3.3-10:Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(u_{εν}, E_{εν})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μs

$$\Delta W_e = 0,5 \Delta u$$

$U_{εν}$: στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

$E_{εν}$: ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην $U_{εν}$

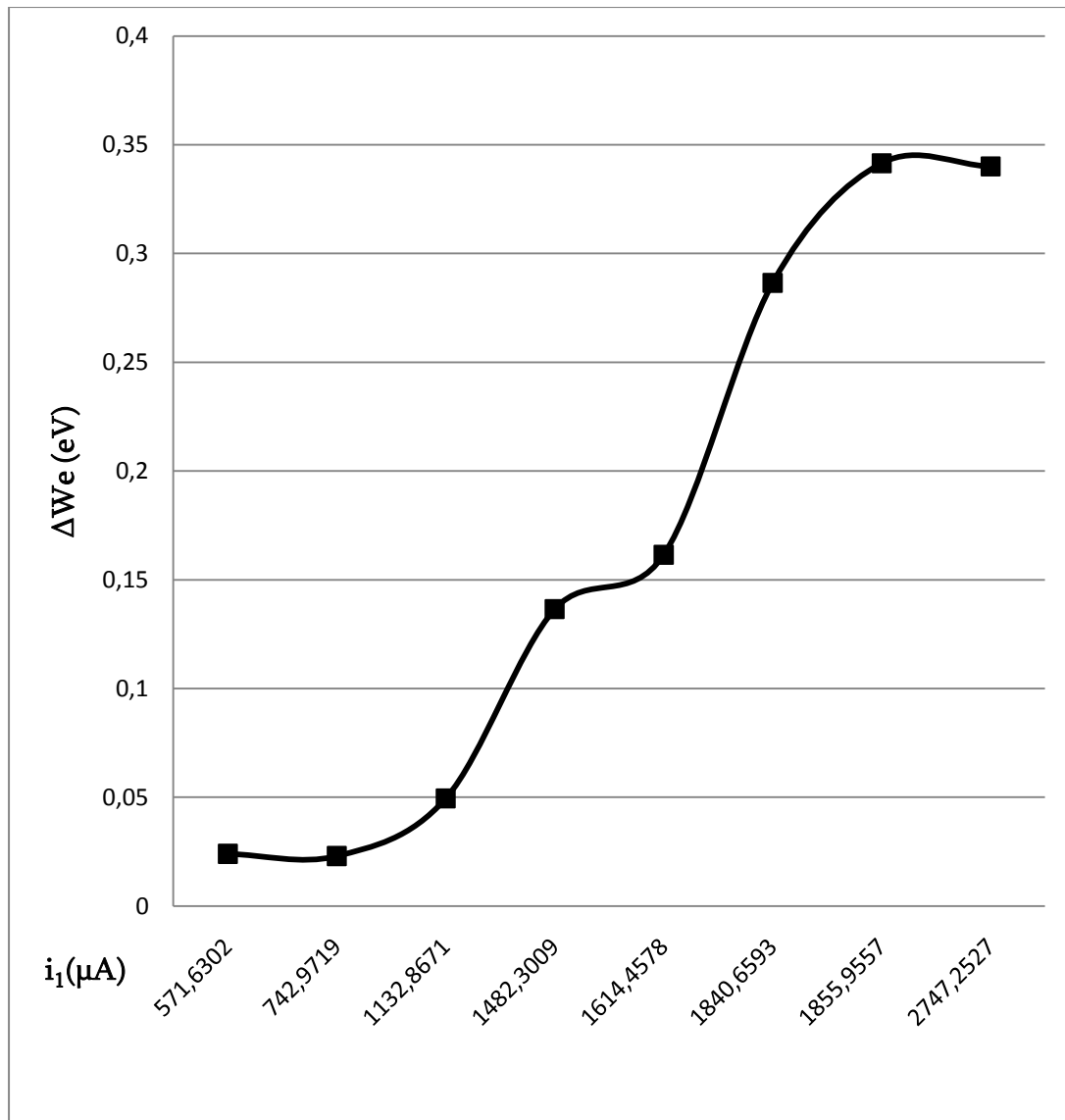


Σχήμα 3.3-11:Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(U_{\kappa}, E_{\kappa})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μs

$$\Delta W_e = 0,5 \Delta u$$

U_{κ} : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

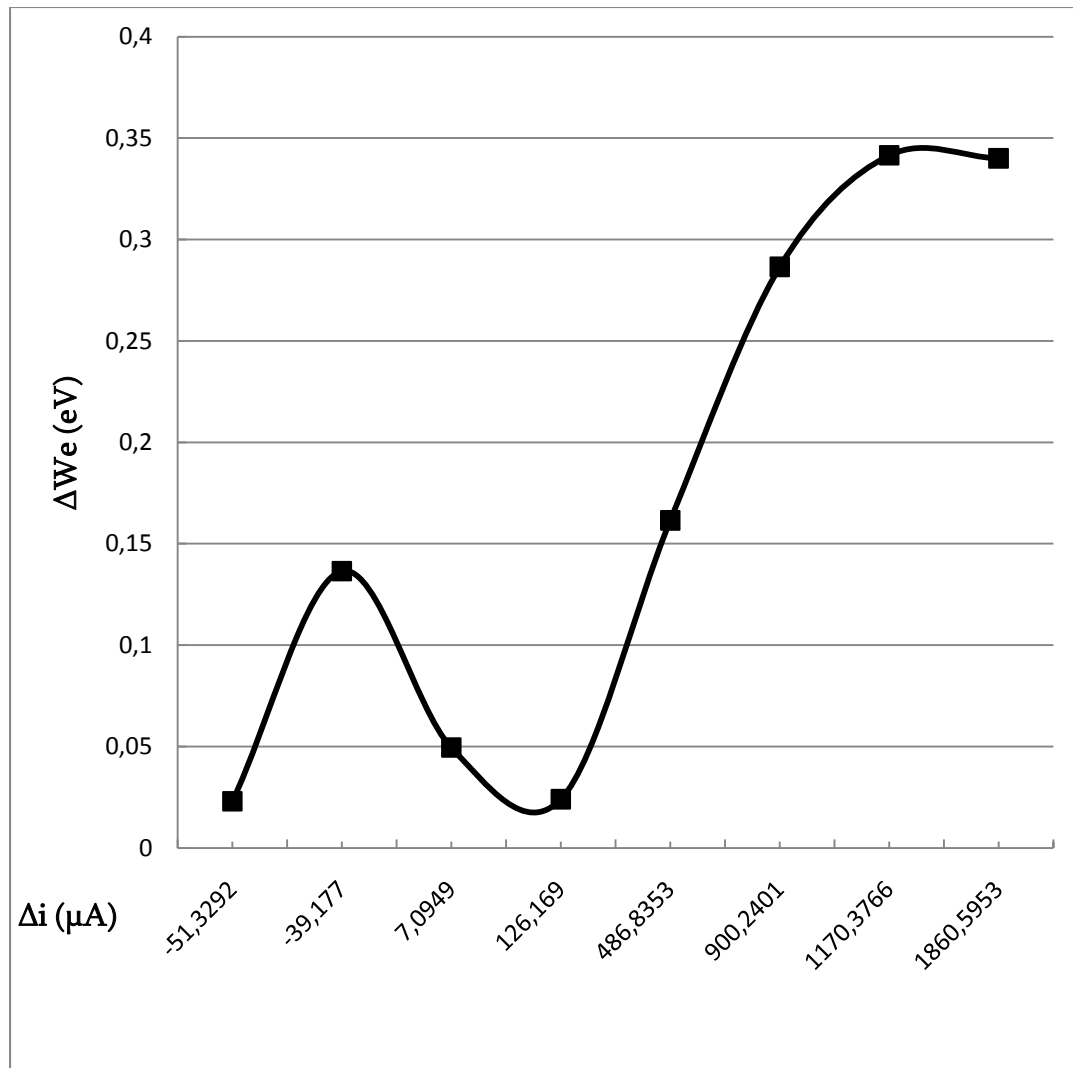
E_{κ} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{κ}



Σχήμα 3.3-12:Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(i_1)$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2 \text{ mm}$ και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα $0,9 \text{ mm}$ – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις $+250/2500 \mu s$

$$\Delta W_e = 0,5 \Delta u$$

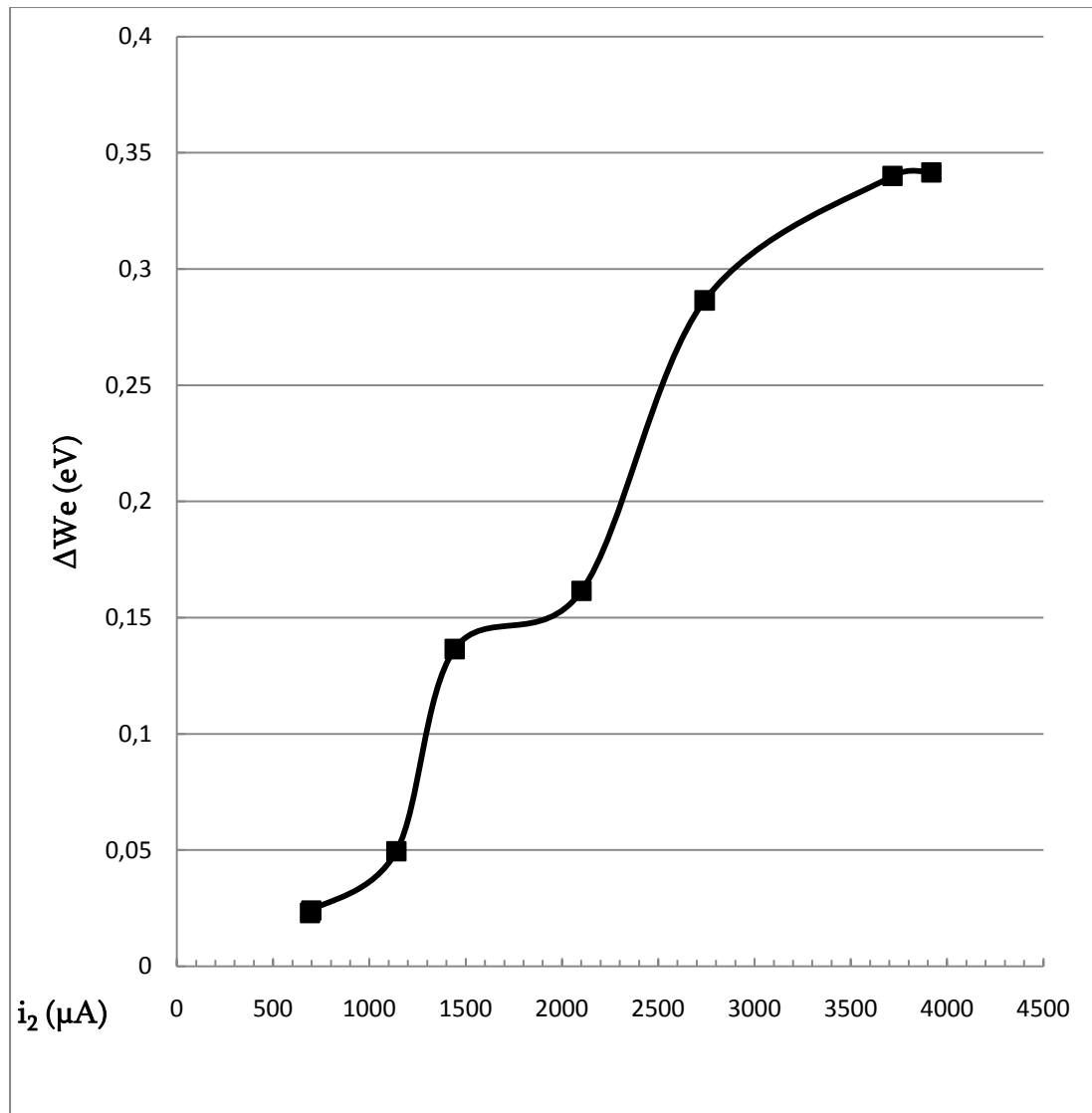
\dot{i}_1 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων



Σχήμα 3.3-13:Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(\Delta i)$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μs

$$\Delta W_e = 0,5 \Delta u$$

$$\Delta i = i_2 - i_1$$



Σχήμα 3.3-14:Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(i_2)$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις +250/2500 μs

$$\Delta W_e = 0,5 \Delta u$$

i_2 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

3.4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΙ ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΓΙΑ ΔΕΙΓΜΑ ΠΑΧΟΥΣ 2 mm ΥΠΟ ΚΡΟΥΣΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ -250/2500 μ s

Στους πίνακες 3.4-1 ως 3.4-3 δίνονται οι μετρήσεις για το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους 2 mm κατά την καταπόνηση του υπό κρουστικές τάσεις της μορφής 250/2500 μ s και αρνητικής πολικότητας. Στα σχήματα 3.4-1 έως 3.4-14 που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες για τις μετρήσεις αυτές.

U _κ (kV)	U _{εν} (kV)	E _κ (MV/cm)	E _{εν} (MV/cm)	t ₁ (μ s)	t ₂ (μ s)	Δ t (μ s)
21,2	18,3 1,23	0,2156	0,1861	139,7 49,17	159,9 50,85	20,2
24,6	22,4 1,17	0,3665	0,2278	135 22,25	162 26,74	27
28,3	22,4 2,2	0,2878	0,2314	98,2 24,16	152,5 80,34	54,3
31,8	25,8 1,62	0,3234	0,2624	77,6 10,57	130,9 56,82	53,3
35,1	25,2 0,00	0,3570	0,2563	72,2 9,91	111,7 21,68	39,5
38,6	25,5 0,00	0,3926	0,2594	55,3 8,56	100,6 22,00	45,3
42,4	26,9 0,00	0,4313	0,2736	44,2 3,50	140,4 50,67	96,2
44,8	28,4 3,45	0,4557	0,2889	39,8 5,60	136,3 71,67	96,5

Πίνακας 3.4-1: Στατιστική ανάλυση της έναρξης των μερικών εκκενώσεων με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν (U_κ, U_{εν}, E_κ, E_{εν}, t₁, t₂, Δ t) και η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους d=2 mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μ s

U_κ: μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_κ: ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_κ

u_{εν}: τιμή της κρουστικής τάσης στην έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{εν}: ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{εν}

t₁: χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t₂: χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

Δ t=t₂ – t₁

Σημείωση: Η δεύτερη τιμή ανά επίπεδο τάσης και χρόνου είναι η τυπική απόκλιση.

q ₁ (μC)	q ₂ (μC)	C _m (nF)	u ₁ (V)	u ₂ (V)	Δu (V)
0,085 0,004	0,1 0,004	1000	0,085	0,1	0,015
0,089 0,008	0,15 0,01	1000	0,089	0,15	0,061
0,094 0,00	0,16 0,03	1000	0,094	0,16	0,066
0,081 0,00	0,24 0,05	1000	0,081	0,24	0,159
0,087 0,006	0,34 0,08	1000	0,087	0,34	0,253
0,067 0,00	0,42 0,13	1000	0,067	0,42	0,353
0,067 0,00	0,88 0,44	1000	0,067	0,88	0,813
0,067 0,00	0,79 0,32	1000	0,067	0,79	0,723

Πίνακας 3.4-2: Στατιστική ανάλυση της έναρξης των μερικών εκκενώσεων με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν (q₁, q₂, C_m, u₁, u₂, Δu) και η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους d=2 mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

C_m: πυκνωτής μέτρησης

u₁: στιγμιαία τάση της u_m (βλ. σχήμα 3-1) κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

u₂: στιγμιαία τάση της u_m (βλ. σχήμα 3-1) κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

q₁: στιγμιαία τάση του φορτίου στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q₂: στιγμιαία τάση του φορτίου στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

Δu=u₂ – u₁

Σημείωση: Η δεύτερη τιμή ανά επίπεδο φορτίου είναι η τυπική απόκλιση.

q ₁ (μC)	q ₂ (μC)	t ₁ (μs)	t ₂ (μs)	i ₁ (μA)	i ₂ (μA)	Δi (μA)	ΔWe (eV)
0,085 0,004	0,1 0,004	139,7 49,17	159,9 50,85	608,4467	625,3909	16,9442	0,0075
0,089 0,008	0,15 0,01	135 22,25	162 26,74	659,2953	925,9259	266,6666	0,0305
0,094 0,00	0,16 0,03	98,2 24,16	152,5 80,34	957,2301	1049,1803	91,9502	0,033
0,081 0,00	0,24 0,05	77,6 10,57	130,9 56,82	1043,8144	1833,4607	789,6463	0,0795
0,087 0,006	0,34 0,08	72,2 9,91	111,7 21,68	1204,9862	3043,8675	1838,8813	0,1265
0,067 0,00	0,42 0,13	55,3 8,56	100,6 22,00	1211,5732	4174,9503	2963,3771	0,1765
0,067 0,00	0,88 0,44	44,2 3,50	140,4 50,67	1515,8371	6267,8063	4751,9692	0,4065
0,067 0,00	0,79 0,32	39,8 5,60	136,3 71,67	1683,4171	5796,0382	4112,6211	0,3615

Πίνακας 3.4-3: Στατιστική ανάλυση της έναρξης των μερικών εκκενώσεων με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν (q₁, q₂, t₁, t₂, i₁, i₂, Δi, ΔWe) και η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους d=2 mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

q₁: στιγμιαία τάση του φορτίου στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q₂: στιγμιαία τάση του φορτίου στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

t₁: χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t₂: χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

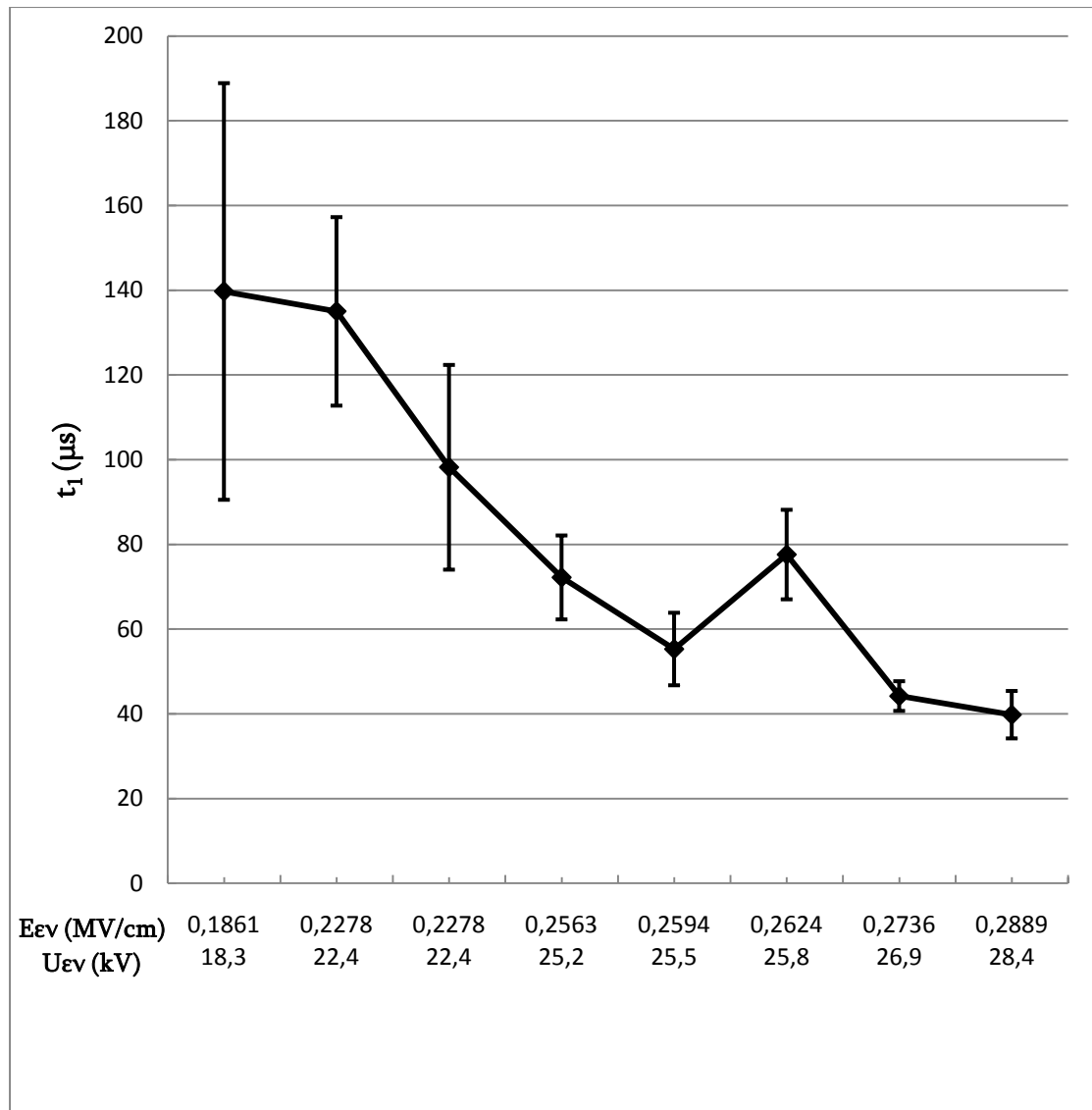
i₁: στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

i₂: στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

Δi=i₂ – i₁

ΔWe=0,5Δui

Σημείωση: Η δεύτερη τιμή ανά επίπεδο φορτίου και χρόνου είναι η τυπική απόκλιση.

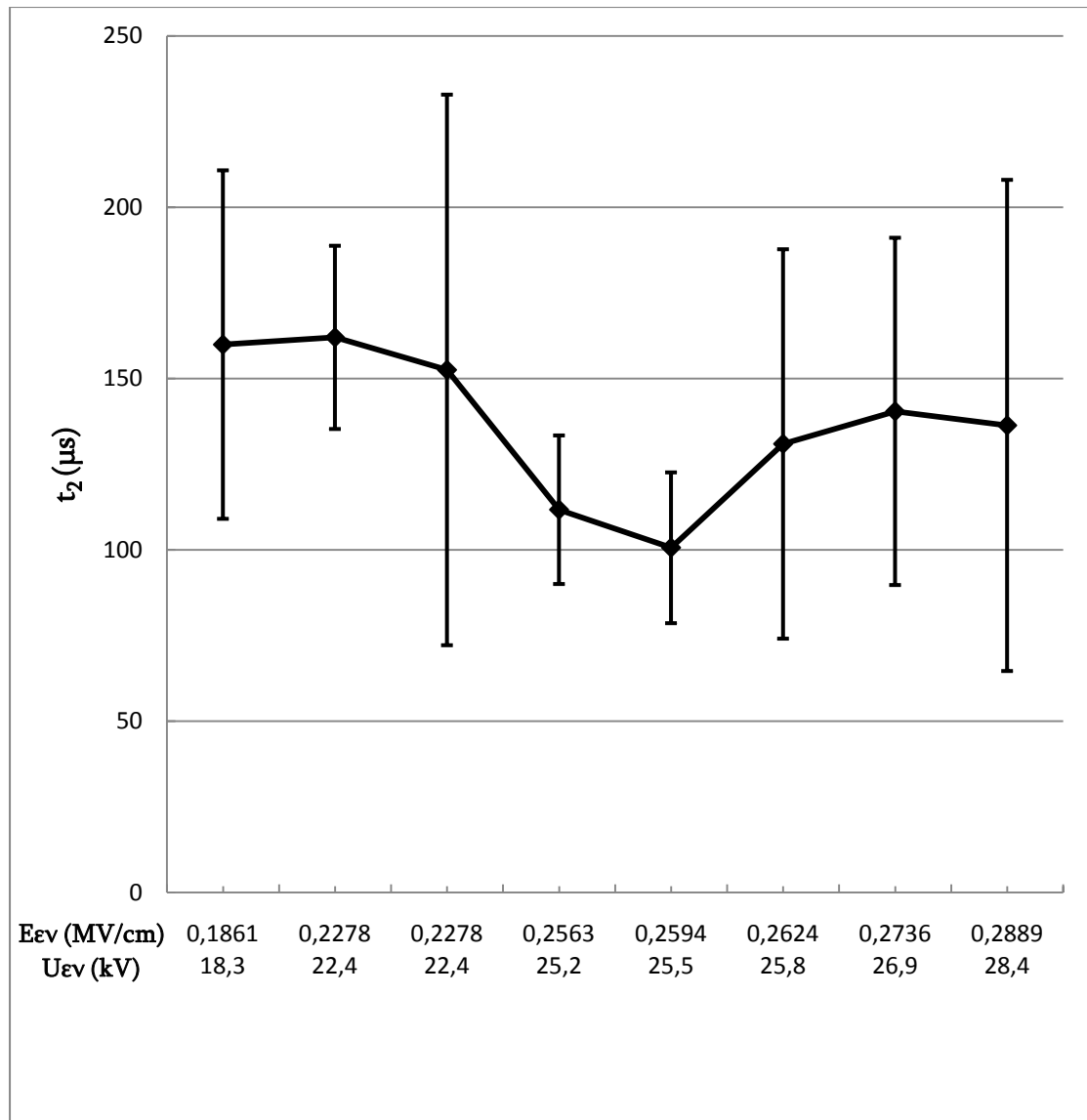


Σχήμα 3.4-1: Χαρακτηριστική $t_1 = f(u_{ev}, E_{ev})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μ s

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

U_{ev} : στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{ev} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{ev}

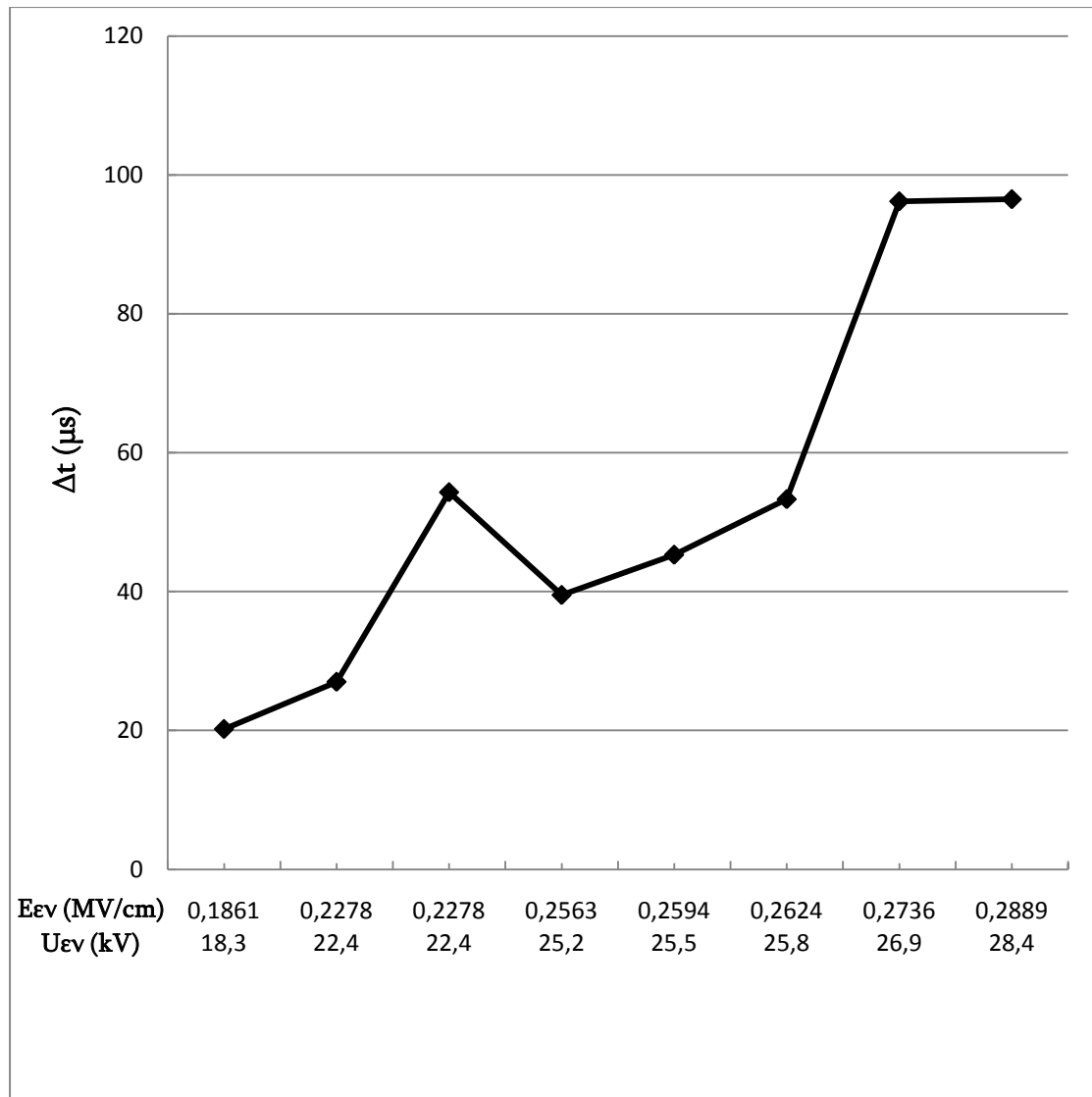


Σχήμα 3.4-2: Χαρακτηριστική $t_2 = f(u_{ev}, E_{ev})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

U_{ev} : στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{ev} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{ev}

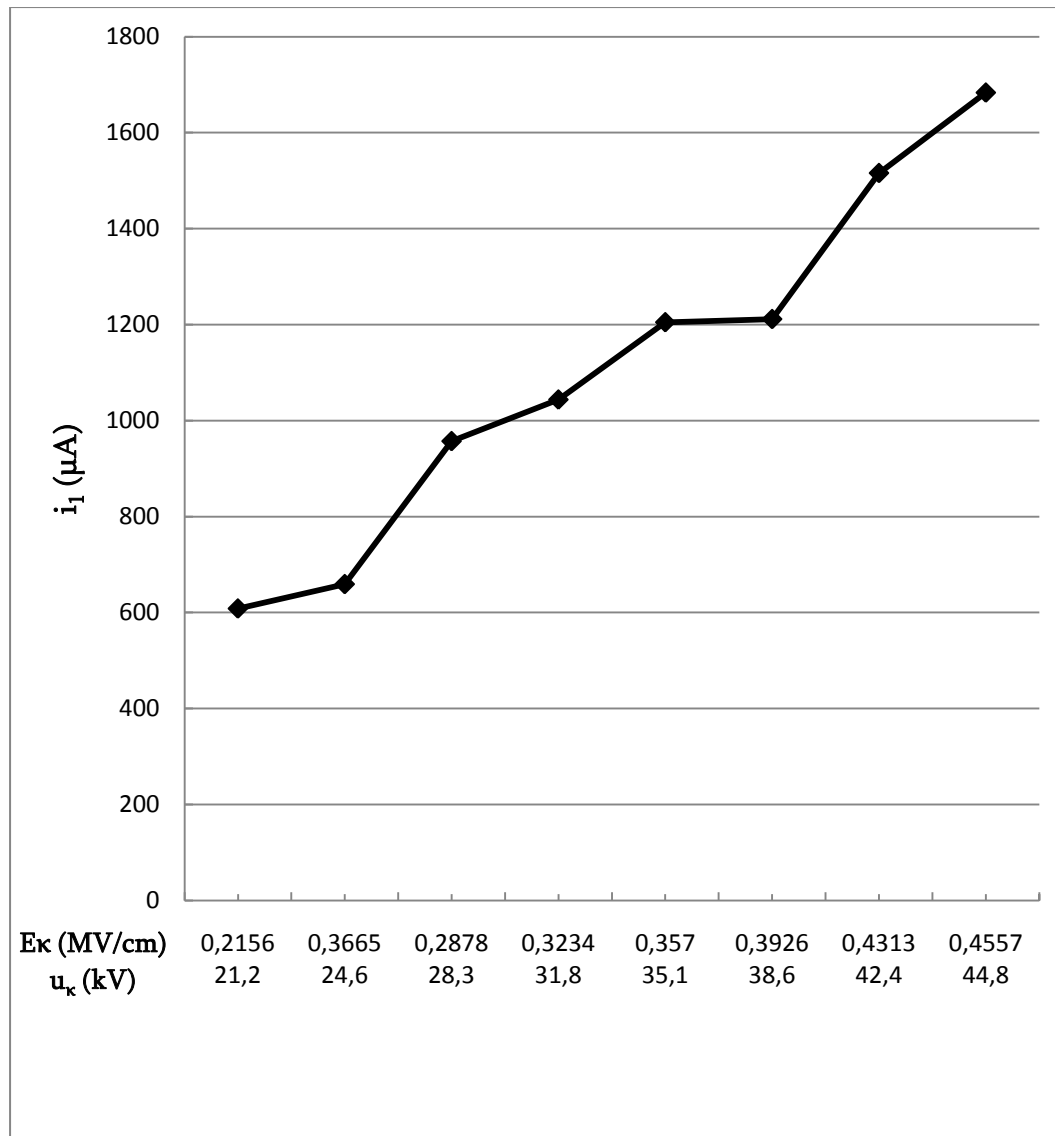


Σχήμα 3.4-3: Χαρακτηριστική $\Delta t = f(u_{εν}, E_{εν})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$U_{εν}$: στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

$E_{εν}$: ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην $U_{εν}$

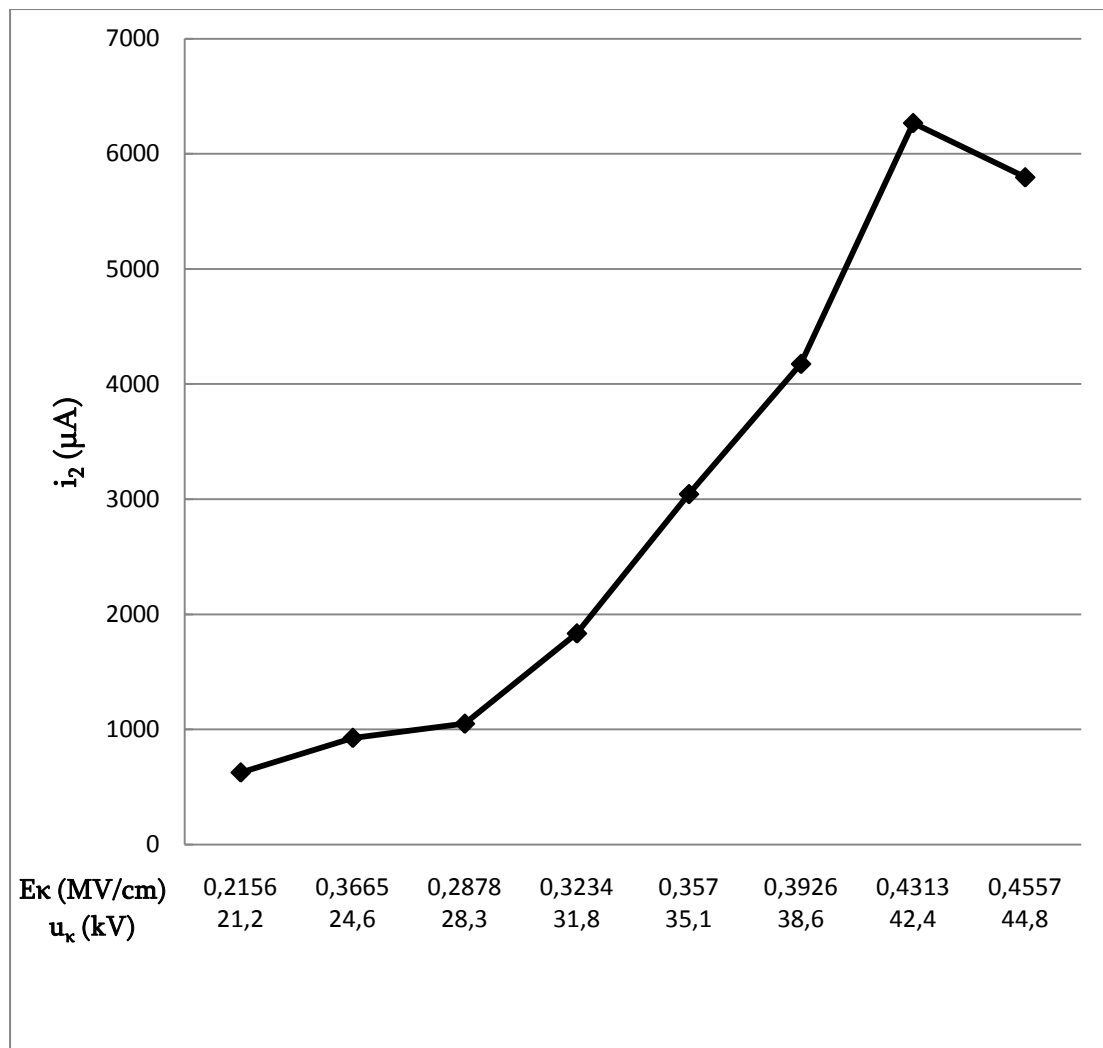


Σχήμα 3.4-4:Χαρακτηριστική $i_1 = f (U_{\kappa} , \epsilon_{\kappa})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μ s

i_1 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

U_{κ} : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

ϵ_{κ} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{κ}

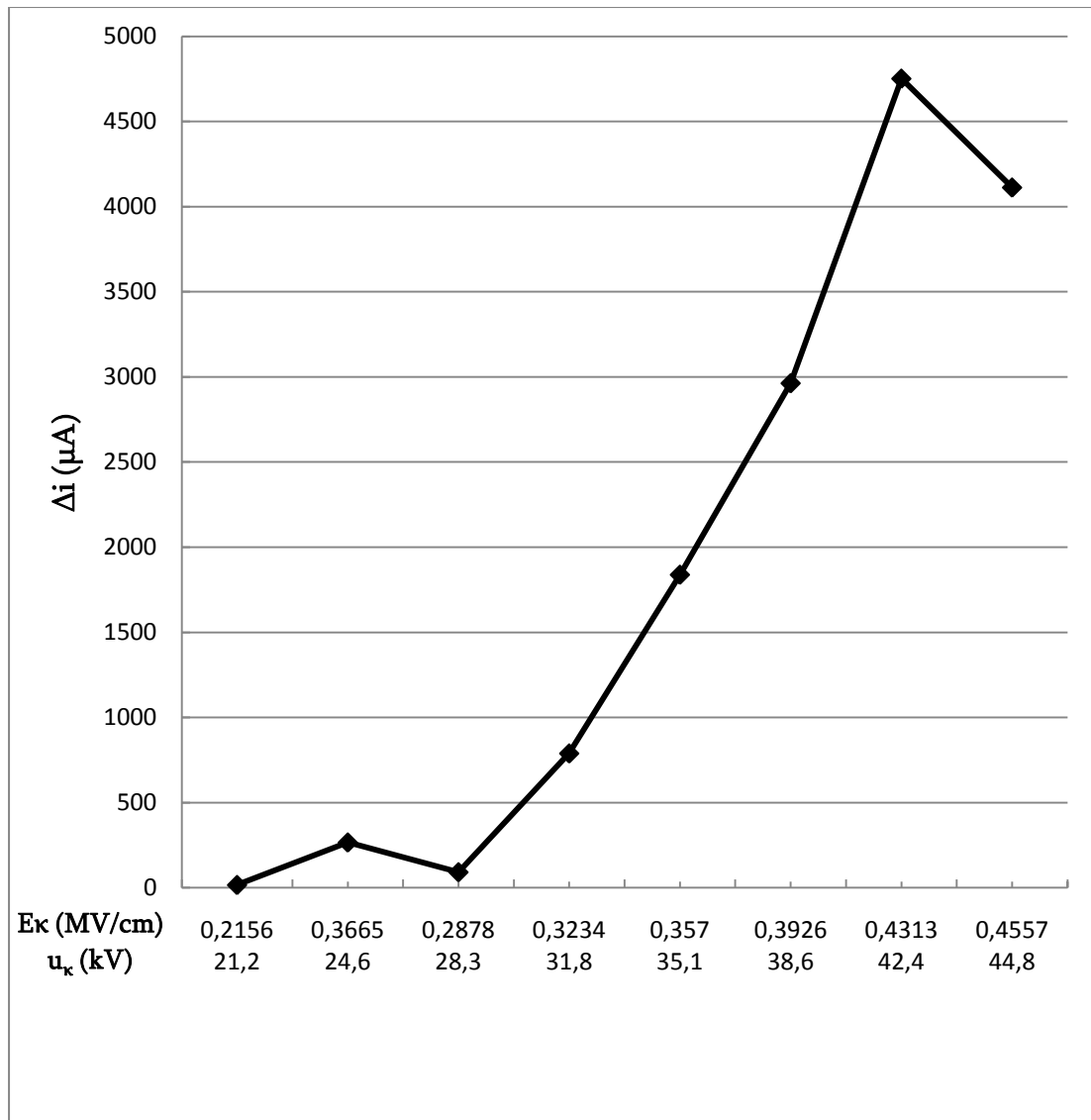


Σχήμα 3.4-5:Χαρακτηριστική $i_2 = f (U_k , E_k)$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

i_2 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k

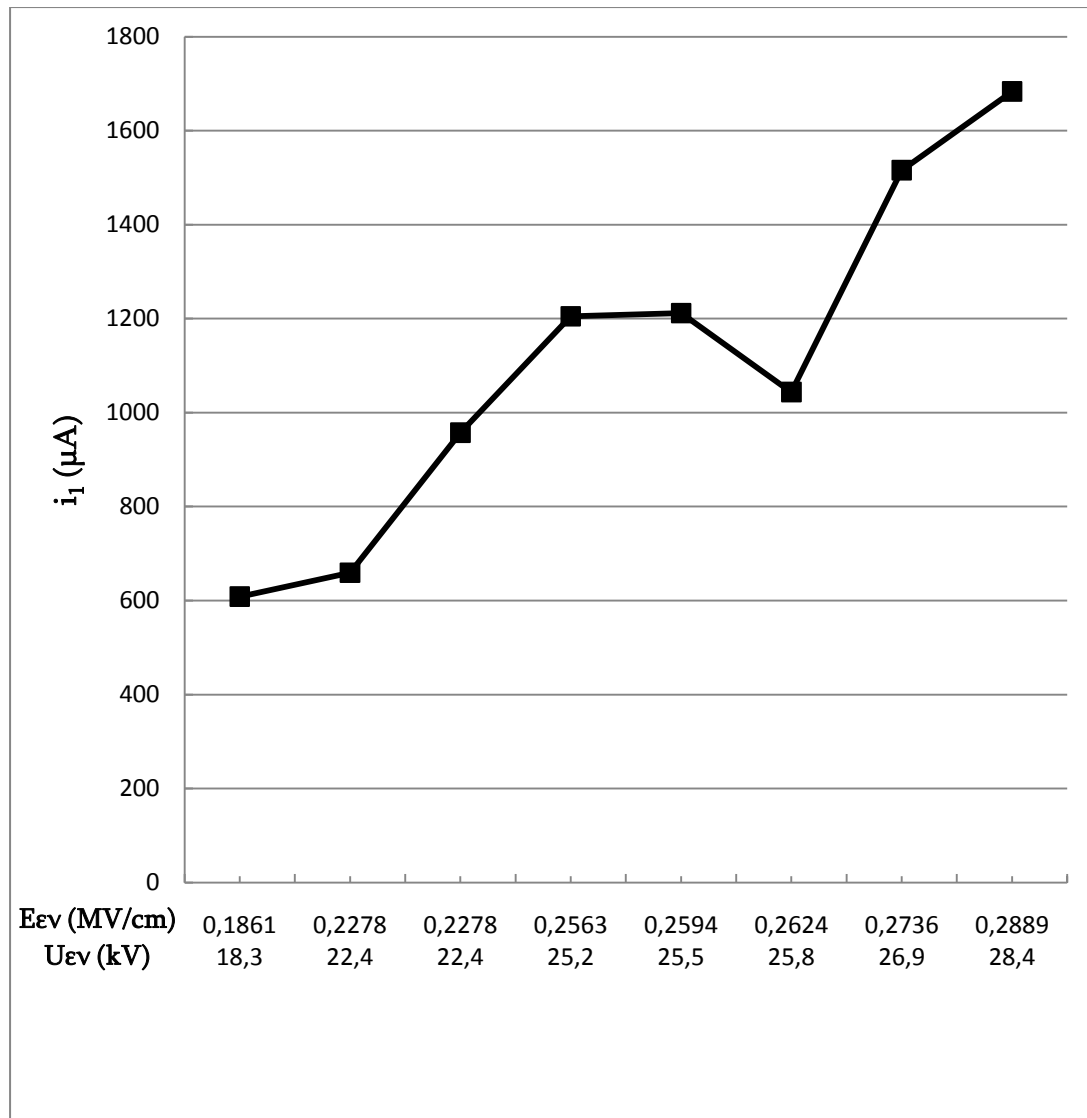


Σχήμα 3.4-6:Χαρακτηριστική $\Delta i = f (U_{\kappa} , E_{\kappa})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

$$\Delta i = i_2 - i_1$$

U_{κ} : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_{κ} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{κ}

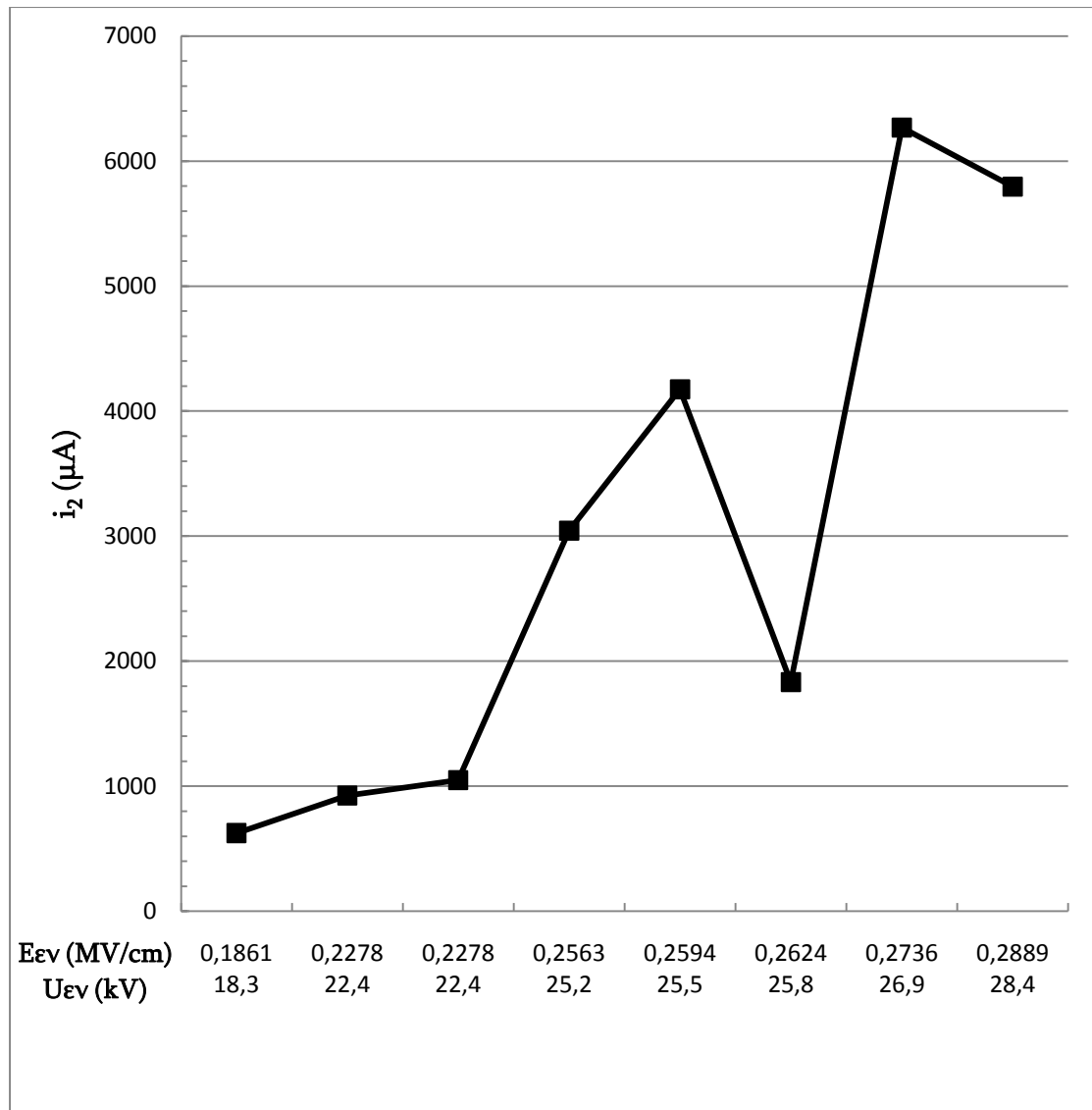


Σχήμα 3.4-7:Χαρακτηριστική $i_1 = f(u_{ev}, E_{ev})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

\dot{i}_1 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

U_{ev} : στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{ev} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{ev}

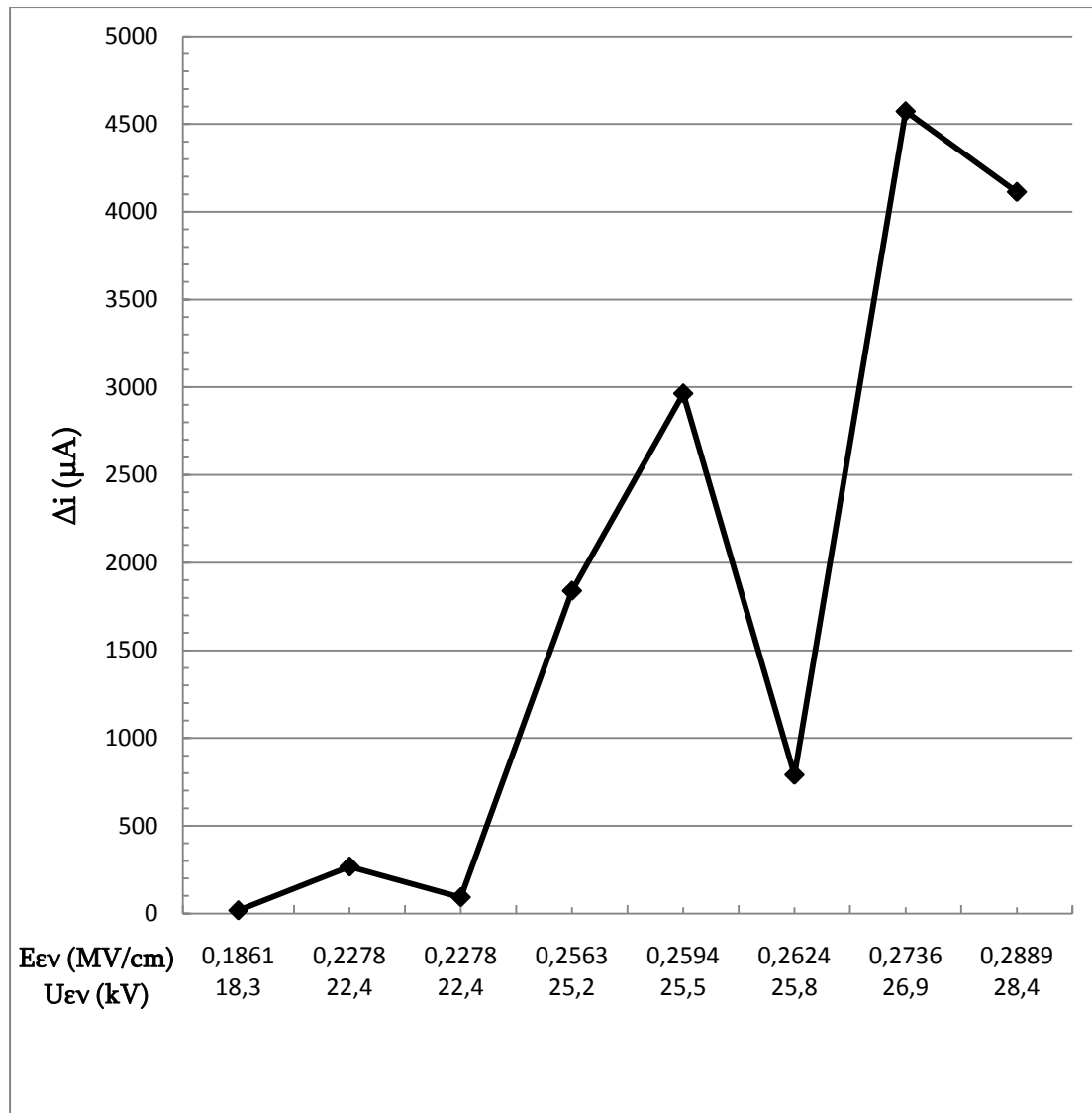


Σχήμα 3.4-8: Χαρακτηριστική $i_2 = f(u_{ev}, E_{ev})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

i_2 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

U_{ev} : στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{ev} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{ev}

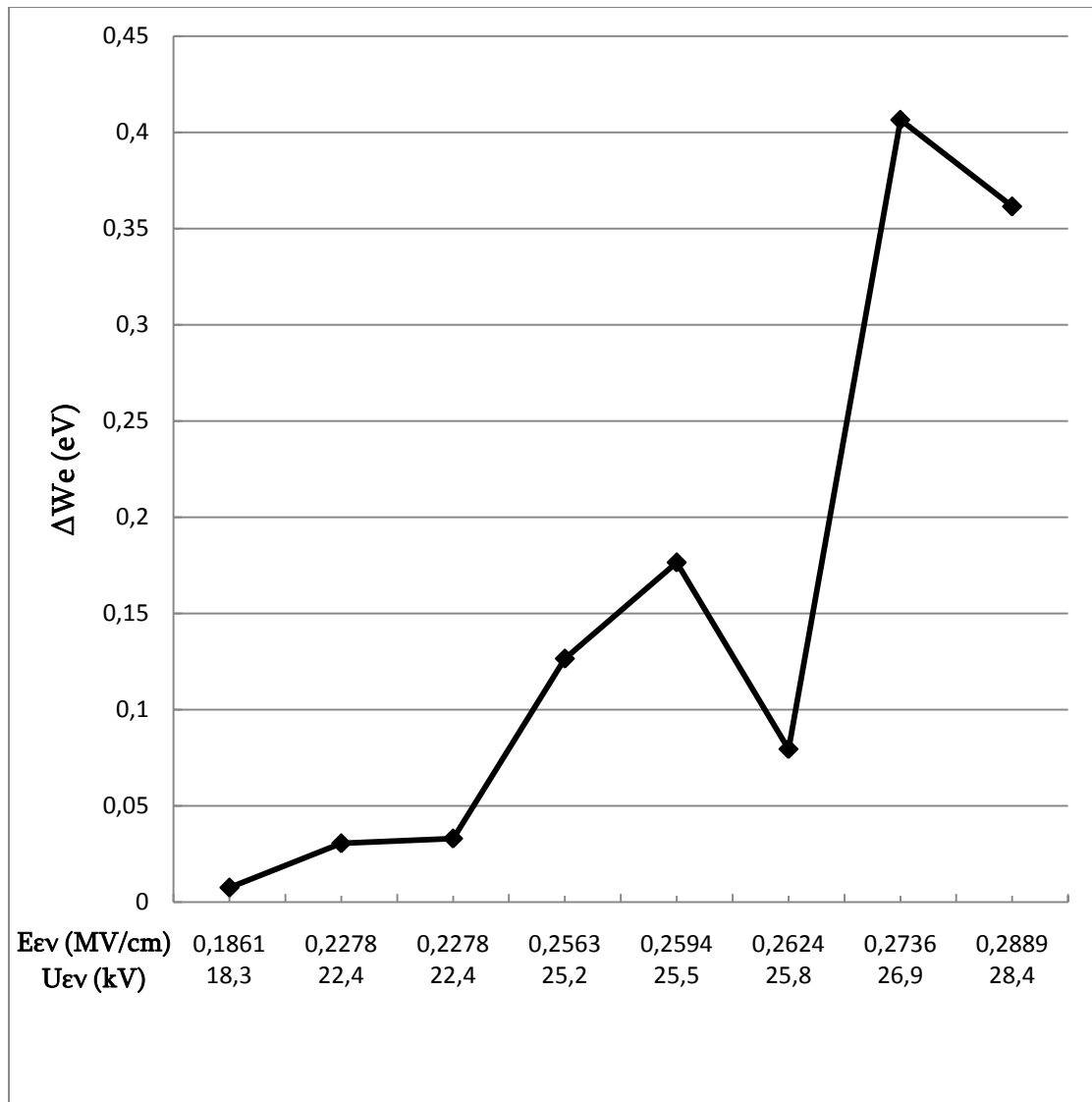


Σχήμα 3.4-9:Χαρακτηριστική $\Delta i = f(u_{ev}, E_{ev})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

$$\Delta i = i_2 - i_1$$

U_{ev} : στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{ev} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{ev}

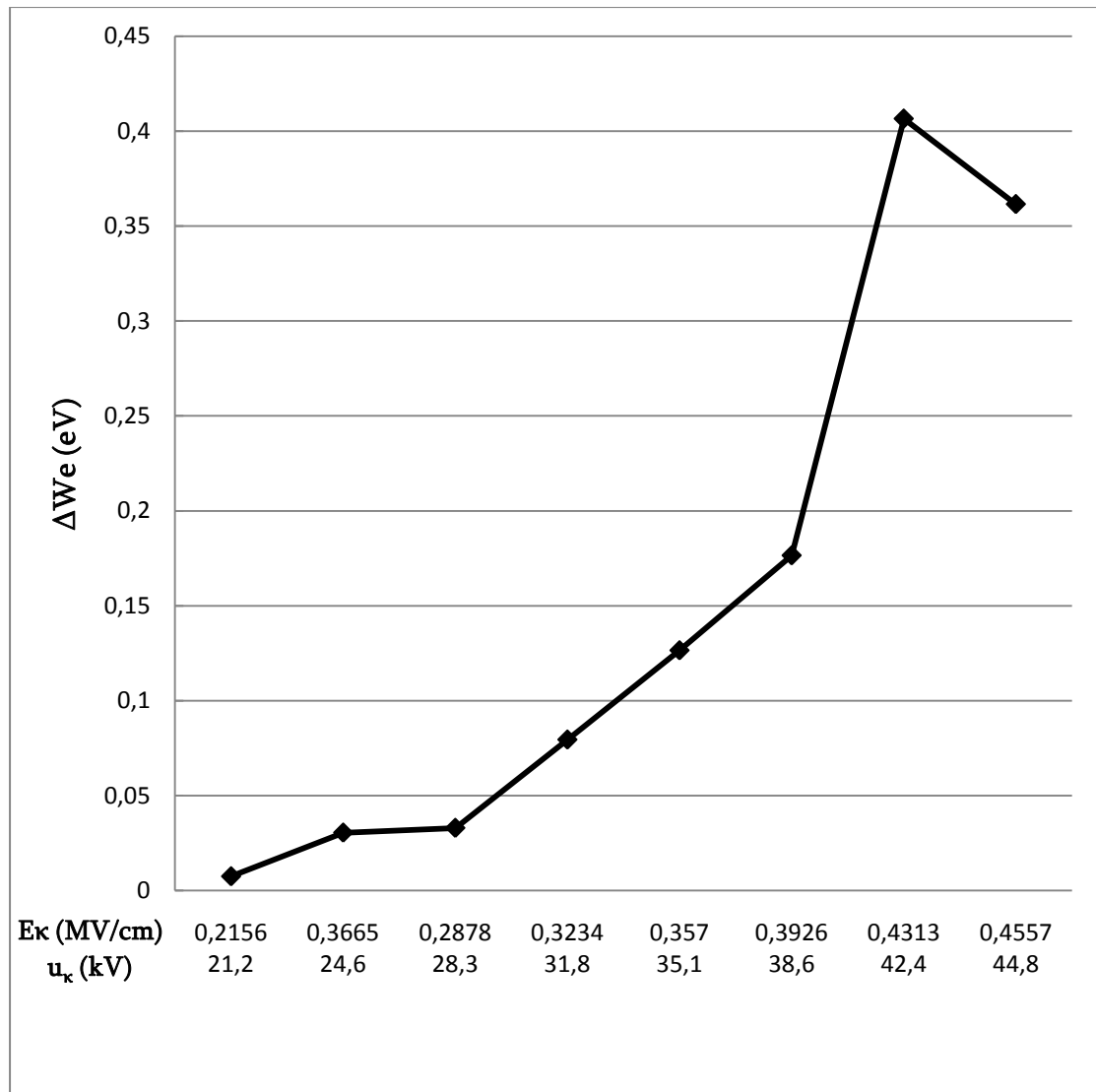


Σχήμα 3.4-10:Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(u_{ev}, E_{ev})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μ s

$$\Delta W_e = 0,5 \Delta u$$

U_{ev} : στιγμιαία τάση της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{ev} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{ev}

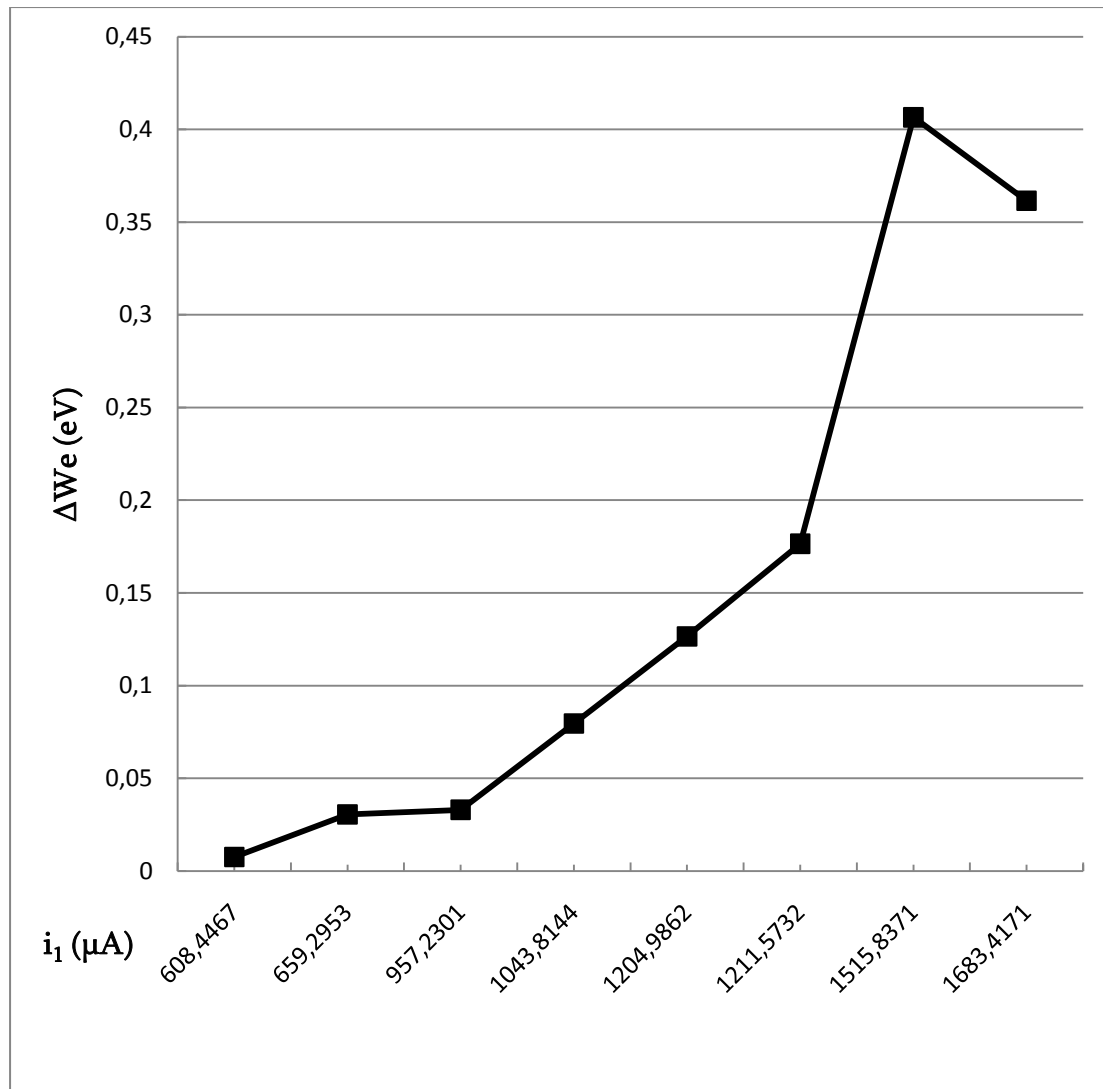


Σχήμα 3.4-11:Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(U_{\kappa}, E_{\kappa})$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μ s

$$\Delta W_e = 0,5 \Delta u$$

U_{κ} : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

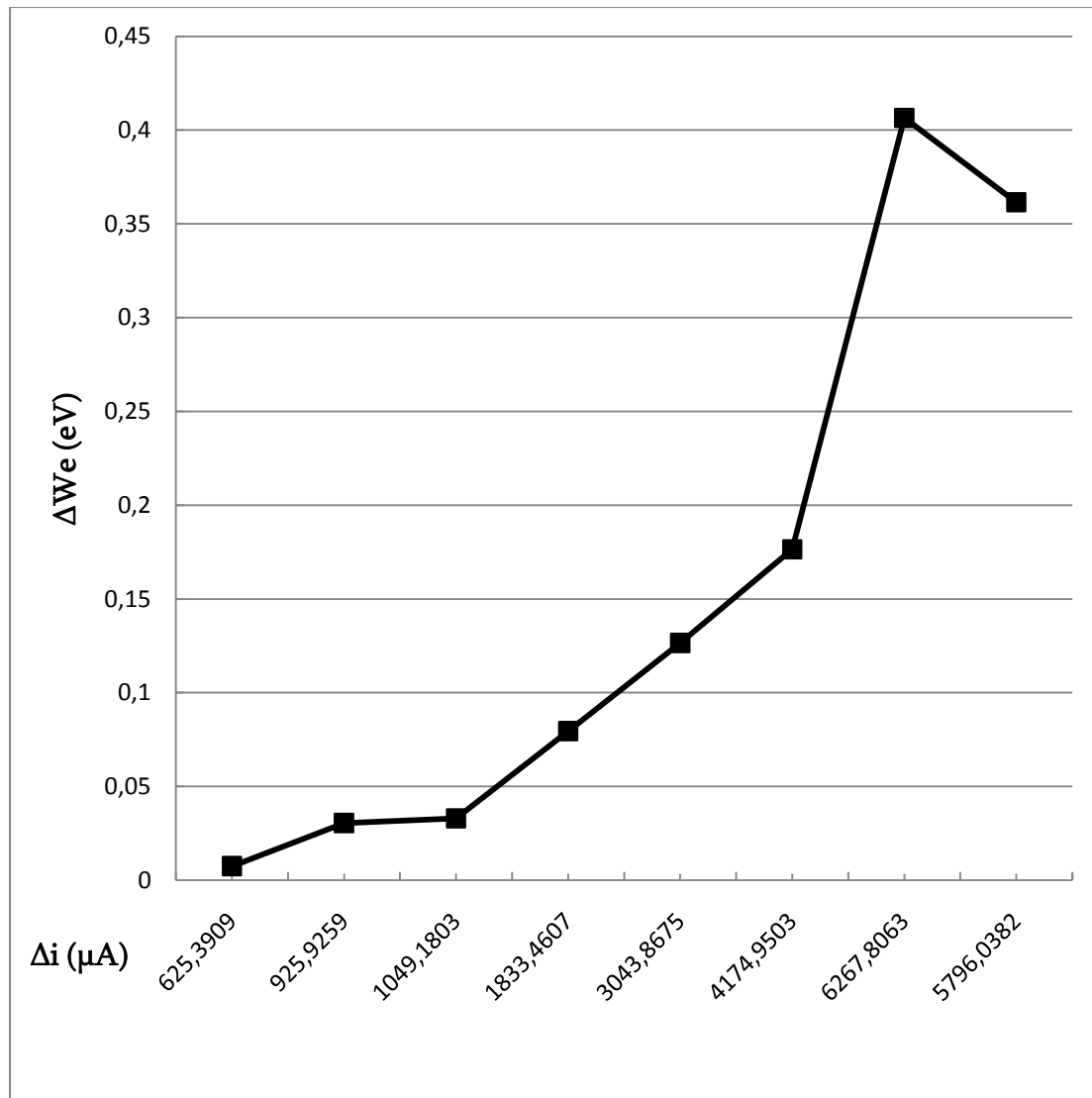
E_{κ} : ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{κ}



Σχήμα 3.4-12:Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(i_1)$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

$$\Delta W_e = 0,5 \Delta u$$

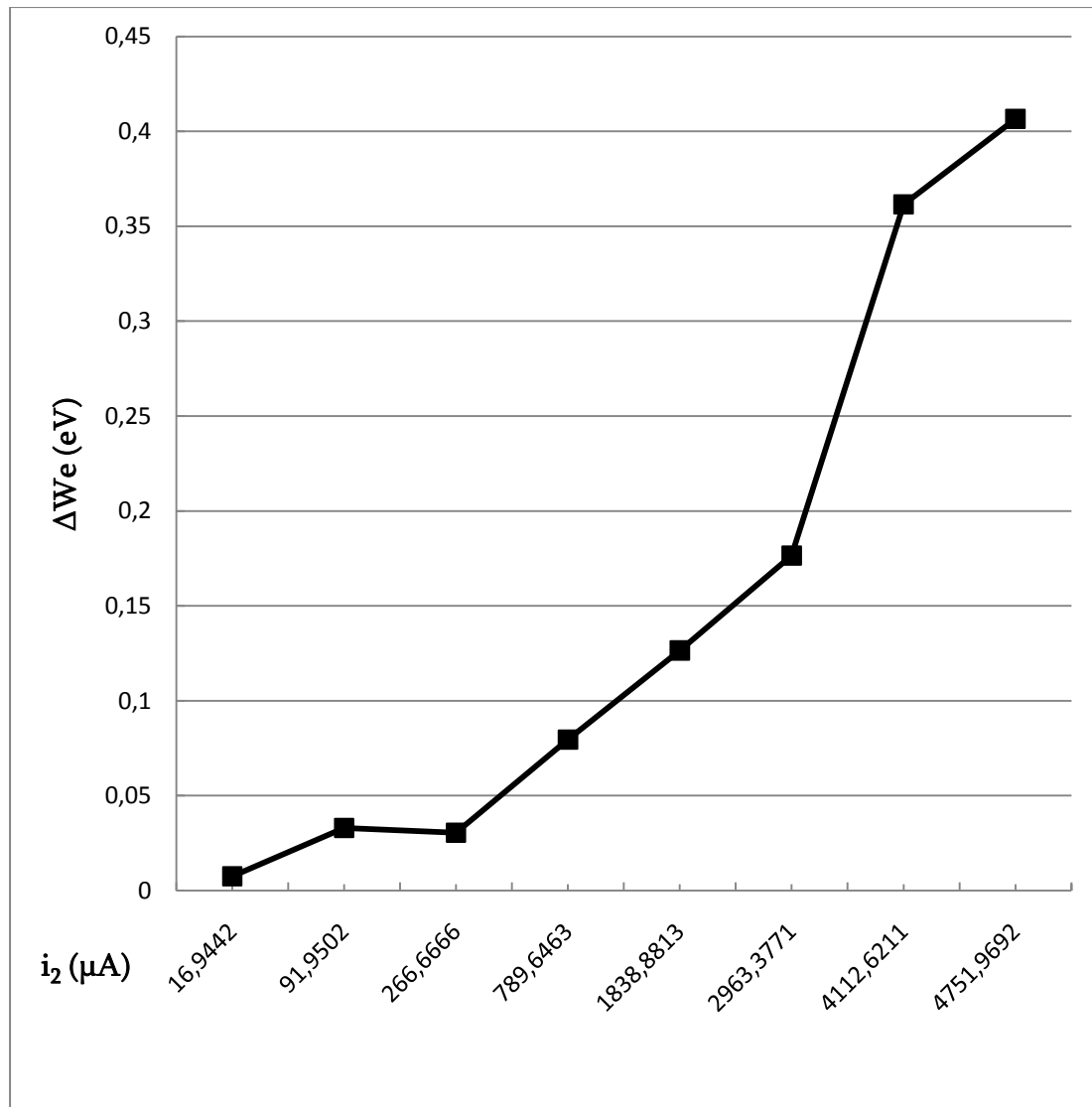
i_1 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων



Σχήμα 3.4-13:Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(\Delta i)$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm – πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

$$\Delta W_e = 0,5 \Delta u$$

$$\Delta i = i_2 - i_1$$



Σχήμα 3.4-14: Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(\Delta i)$ η οποία αφορά το στερεό μονωτικό Pertinax πάχους $d=2$ mm και διαμέτρου 150 mm εντός μονωτικού ελαίου σε ανομοιογενές πεδίο (ακίδα 0,9 mm - πλάκα) υπό κρουστικές τάσεις -250/2500 μs

$$\Delta W_e = 0,5 \Delta u$$

\dot{i}_2 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΧΟΛΙΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΧΟΛΙΑ

Στο 3^ο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν ολοκληρωτικά οι πίνακες και οι χαρακτηριστικές καμπύλες των μεγεθών που υπολογίστηκαν με βάση τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν καθώς και σύμφωνα με τους τύπους που παρατίθενται στην αρχή του ίδιου κεφαλαίου.

Ένας παράγοντας που μπορεί πιθανώς να επηρεάσει την ακρίβεια των μετρήσεων και την ποιότητα ενός πειράματος (όπως είναι οι μερικές εκκενώσεις) είναι οι συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος την ώρα της διεξαγωγής του πειράματος και της λήψης των μετρήσεων.

Στην παρούσα εργασία, αναφέρθηκαν τέσσερις παράγοντες που αφορούν την γήρανση των στερεών μονωτικών υλικών: οι απώλειες Joule, η θερμοκρασία περιβάλλοντος, οι μερικές εκκενώσεις και οι δυνάμεις Coulomb. Οι πρώτοι δύο παράγοντες δεν αφορούν το συγκεκριμένο πείραμα, επειδή αφενός η θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν σταθερή καθ'όλη την διάρκεια του πειράματος και ίση με 20°C και αφετέρου δεν υπήρχαν απώλειες Joule λόγω της πολύ μικρής χρονικής διάρκειας της καταπόνησης του δοκιμίου με κρουστικές τάσεις.

Όσον αφορά τις μερικές εκκενώσεις, αύξηση του φορτίου συνεπάγεται και αύξηση των μερικών εκκενώσεων. Σύμφωνα με την κβαντομηχανική θεωρία που έχει αναπτυχθεί στο κεφάλαιο της εισαγωγής, η ολοένα και μεγαλύτερη αύξηση της τάσης οδηγεί στην αύξηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων με αποτέλεσμα να ενισχύεται το φαινόμενο του ιονισμού με κρούσεις. Από τους συγκεντρωτικούς πίνακες του 3^{ου} κεφαλαίου παρατηρείται ότι για αύξηση του φορτίου υπάρχει και αύξηση στα επίπεδα της τάσης, γεγονός που επιβεβαιώνει την παραπάνω θεωρία.

Οι δυνάμεις Coulomb υπάρχουν αλλά είναι αμελητέες σε σχέση με τις μερικές εκκενώσεις. Αξίζει να σημειωθεί πάντως ότι όταν αναπτύσσονται δυνάμεις Coulomb, παρατηρείται μείωση του φορτίου.

Από τις γραφικές παραστάσεις και τους συγκεντρωτικούς πίνακες στο 3^ο κεφάλαιο, γίνεται εμφανές ότι καθώς αυξάνει η κρουστική τάση που

επιβάλλεται στο δοκίμιο, αυξάνεται και το άλμα δυναμικού Δu γεγονός που οδηγεί στην αύξηση της διαφοράς ενέργειας ΔW_e ($\Delta W_e = 0,5\Delta u$).

Μια άλλη αξιοσημείωτη παρατήρηση που προκύπτει από την μελέτη των γραφικών παραστάσεων του 3^{ου} κεφαλαίου είναι πως με την αύξηση της επιβαλλόμενης κρουστικής τάσης στο δοκίμιο, απαιτείται λιγότερος χρόνος για την έναρξη των μερικών εκκενώσεων ενώ το φαινόμενο διαρκεί περισσότερο. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα από τα σχήματα 3.1-1, 3.1-2, 3.1-3, 3.2-1, 3.2-2, 3.2-3, 3.3-1, 3.3-2, 3.3-3, 3.4-1, 3.4-2 και 3.4-3.

Επίσης, μπορεί να διαπιστώσει κανείς ότι στην περίπτωση της αρνητικής πολικότητας και σε σταθερό πάχος δοκιμίου, απαιτείται μεγαλύτερης μέγιστης τιμής κρουστική τάση από ότι στην περίπτωση της θετικής πολικότητας. Αυτό γίνεται εμφανές αν παρατηρήσουμε τους πίνακες 3.1-1 και 3.2-1 για πάχος δοκιμίου 1 mm και τους πίνακες 3.3-1 και 3.4-1 για πάχος δοκιμίου 2 mm αντίστοιχα.

Τέλος, το πάχος του υλικού συμβάλλει στην διηλεκτρική αντοχή του. Διαπιστώνεται από τις χαρακτηριστικές καμπύλες του 3^{ου} κεφαλαίου, πως για πάχος δοκιμίου 1 mm τα φαινόμενα εκδηλώνονται πιο έντονα, ενώ όταν το πάχος του δοκιμίου είναι 2 mm τα φαινόμενα είναι πιο ήπια και κατ' επέκταση και οι χαρακτηριστικές πιο ομαλές. Αυτό συμβαίνει, διότι όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος ενός υλικού, τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόσταση μόνωσής του καθώς και η διηλεκτρική αντοχή του. Συνεπώς, το φαινόμενο των μερικών εκκενώσεων σε αυτήν την περίπτωση καθυστερεί να εμφανιστεί.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Δέρβος Κ.Θ., “Μονωτικά υλικά υψηλών τάσεων”, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2008.
- [2] Δέρβος Κ.Θ., Μπούρκας Π.Δ., “Εισαγωγή στα ηλεκτρομονωτικά υλικά”, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1991.
- [3] Θεοδώρου Ν., “Ηλεκτρικές μετρήσεις”, Τόμος 1 και 2, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2004.
- [4] Σταθόπουλος Ι.Α., Μπούρκας Π.Δ., Τοπαλής Φ.Β., “Μετρήσεις και δοκιμές υψηλών τάσεων”, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1991.
- [5] Σταθόπουλος Ι.Α., “Υψηλές Τάσεις”, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 1995.
- [6] Κούκουνα Μ.Ι., “Στατιστική ανάλυση της έναρξης των μερικών εκκενώσεων και της προκαλούμενης διαρροής ρεύματος στο συνδυασμό Pertinax-λάδι μετασχηματιστών 80°C υπό κρουστικές τάσεις μορφής 250/2500μs και διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα-πλάκα”, Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2010.
- [7] Παναγιαννάκης Ι.Α., “Μετρήσεις μερικών εκκενώσεων εντός στερεών μονωτικών υπό κρουστικές τάσεις της μορφής 250/2500μs”, Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2009.

- [8] Καραλευθέρης Ε.Α., “Εκπεμπόμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κατά την γήρανση στερεών μονωτικών υπό κρουστικές τάσεις $\pm 250/2500\mu\text{s}$ σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C - 40°C και 80°C ”, Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2009.
- [9] Μπούρκας Π.Δ., “Εφαρμογές Κτιριακών – Βιομηχανικών Μελετών και Εγκαταστάσεων”, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 1990.
- [10] Μπούρκας Π.Δ., Καραγιαννόπουλος Κ.Γ., “Βιομηχανικές ηλεκτρικές διατάξεις και υλικά”, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2003.
- [11] Kasap S.O., “Αρχές ηλεκτρονικών υλικών και διατάξεων”, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2004.
- [12] Dervos C., Bourkas P.D, Kayafas E.A., “Potential profile of dielectrics during impulse application”, *Physica Status Solidi (a)* Vol. 122, 123, p.p 123-130, 1989.