



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

## Πεδιακή κατανομή πλησίων αλυσοειδών μονωτήρων

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σοφία Κ. Ζυγογιάννη

**Καθηγητής :** Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος

**Επιβλέπουσα:** Βασιλική Θ. Κονταργύρη

Αθήνα, Μάρτιος 2006

Στη μνήμη του πατέρα μου



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

132

## Πεδιακή κατανομή πλησίων αλυσοειδών μονωτήρων

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σοφία Κ. Ζυγογιάννη

**Καθηγητής :** Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος

**Επιβλέπουσα :** Βασιλική Θ. Κονταργύρη

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 21<sup>η</sup> Μαρτίου 2006.

Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος  
Καθηγητής

Περικλής Δ. Μπούρκας  
Καθηγητής

Φραγκίσκος Β. Τοπαλής  
Αναπληρωτής Καθηγητής

Αθήνα, Μάρτιος 2006

Σοφία Κ. Ζυγογιάννη

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

Copyright © Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

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.



## Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	i
Περίληψη	iii
Πρόλογος	v
<b>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή</b>	<b>1</b>
1.1 Ιστορική αναδρομή	1
1.2 Είδη μονωτήρων	6
1.2.1 Κατηγορίες μονωτήρων ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης τους	6
1.2.2 Είδη μονωτήρων ανάλογα με τους χώρους χρήσης	6
1.2.3 Είδη μονωτήρων ανάλογα με το υλικό και το σχήμα τους στους πυλώνες των γραμμών μεταφοράς	7
1.3 Λειτουργίες μονωτήρων	11
1.4 Γενικά περί μονωτικών υλικών	12
1.5 Σημαντικές παράμετροι ενός μονωτήρα	12
1.6 Απώλεια μονωτικής ικανότητας ενός μονωτήρα	18
1.7 Αντοχή μονωτήρων	20
<b>Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση</b>	<b>22</b>
2.1 Εισαγωγή	22
2.2 Ηλεκτρικό φορτίο	23
2.3 Ηλεκτρικό πεδίο	23
2.4 Μέτρηση ηλεκτρικού πεδίου	24
2.5 Ρύπανση	32
2.6 Δοκιμές ρύπανσης	32
2.6.1 Δοκιμές με φυσική ρύπανση	33
2.6.2 Δοκιμές τεχνητής ρύπανσης	34
2.7 Δοκιμές ελέγχου ελαττωματικών μονωτήρων	35
<b>Κεφάλαιο 3: Πειραματική διάταξη</b>	<b>43</b>
3.1 Περιγραφή δοκιμίων	43
3.2 Πειραματική διάταξη	46

3.2.1	Μέτρηση κατανομής επιβαλλόμενης τάσης _____	46
3.2.2	Μέτρηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου _____	48
3.3	Περιγραφή πεδιομέτρου (probe) και αισθητήρα _____	49
<b>Κεφάλαιο 4: Μετρήσεις έντασης ηλεκτρικού πεδίου _____</b>		<b>58</b>
4.1	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου _____	58
4.1.1	Καθαρός πορσελάνινος, αλυσοειδής μονωτήρας, κανονικού τύπου, αποτελούμενος από δώδεκα (12) δισκοειδείς μονωτήρες _____	58
4.1.2	Ρυπασμένος πορσελάνινος αλυσοειδής μονωτήρας, κανονικού τύπου, αποτελούμενος από δώδεκα (12) δισκοειδείς μονωτήρες _____	70
4.1.3	Γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου κανονικού, αποτελούμενος από δέκα (10) δισκοειδείς μονωτήρες _____	82
4.1.4	Γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από δώδεκα (12) δισκοειδείς μονωτήρες _____	94
4.1.5	Ρυπασμένος γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από δώδεκα (12) δισκοειδείς μονωτήρες _____	106
4.1.6	Καθαρός γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από δώδεκα (12) δισκοειδείς μονωτήρες _____	118
4.1.7	Πορσελάνινος αλυσοειδής μονωτήρας, κανονικού τύπου, αποτελούμενος από δέκα (10) δισκοειδείς μονωτήρες _____	130
<b>Κεφάλαιο 5: Κατανομή τάσης σε αλυσοειδείς μονωτήρες _____</b>		<b>142</b>
5.1	Εισαγωγή _____	142
5.2	Πίνακες μετρήσεων _____	143
5.3	Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων _____	150
5.4	Παρατηρήσεις _____	153
<b>Κεφάλαιο 6: Συγκριτική μελέτη των μετρήσεων _____</b>		<b>156</b>
6.1	Συγκριτική παρουσίαση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου _____	156
6.2	Συγκριτική παρουσίαση της κατανομής της τάσης _____	171
<b>Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα - Η επόμενη μέρα _____</b>		<b>174</b>
<b>Βιβλιογραφία _____</b>		<b>177</b>

## *Περίληψη*

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν η μέτρηση αφενός της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου πλησίον αλυσοειδών μονωτήρων, αφετέρου της κατανομής της επιβαλλόμενης τάσης υπό την οποία καταπονούνται οι δισκοειδείς μονωτήρες κάθε αλυσοειδούς μονωτήρα.

Πραγματοποιήσαμε 7 σειρές μετρήσεων σε ρυπασμένους και μη αλυσοειδείς μονωτήρες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την ανάρτηση γραμμών μεταφοράς. Μετρήσαμε τις τρεις συνιστώσες της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και τη μέση τιμή αυτών γύρω από τους αλυσοειδείς μονωτήρες σε 11 συνολικά σημεία του οριζοντίου επιπέδου (δαπέδου). Οι μετρήσεις έγιναν με τη χρήση ενός πεδιομέτρου και ενός αισθητήρα (probe), τα οποία συνδέθηκαν μέσω οπτικής ίνας. Παράλληλα, μετρήσαμε την κατανομή της επιβαλλόμενης τάσης κατά μήκος των αλυσοειδών μονωτήρων. Μελετήσαμε και απεικονίσαμε γραφικά τα πειραματικά αποτελέσματα και καταλήξαμε σε μια σειρά συμπερασμάτων. Έτσι τελικά διαπιστώσαμε ότι τόσο ο τύπος του αλυσοειδή μονωτήρα, όσο και ο αριθμός των δισκοειδών μονωτήρων επηρεάζει το πεδίο γύρω από τους αλυσοειδείς μονωτήρες ενώ, παρατηρήσαμε ότι και οι συνθήκες ρύπανσης επηρεάζουν κατά πολύ το πεδίο γύρω από αυτούς.

### *Λέξεις κλειδιά*

Αλυσοειδής μονωτήρας, δισκοειδής μονωτήρας, ένταση ηλεκτρικού πεδίου, κατανομή επιβαλλόμενης τάσης, πεδιόμετρο, αισθητήρας, ρύπανση.



## ***Abstract***

The aim of this thesis was the measurement of the intensity of electric field along insulator strings, which are stressed under high voltage, and the measurement of the voltage distribution on each insulator of the above mentioned insulator strings.

We made seven series of measurements in polluted and no polluted insulator strings which are used for the suspension of 150kV overhead transmission lines. We measured the three components of intensity of electric field and the average of these measurements in eleven points of the horizontal level (floor). For the measurements we used a probe and a field meter which were connected through an optical fiber. We also measured the distribution of the voltage along insulator strings using an air gap. We studied and represented graphically the experimental results and we came out series of conclusions. So, finally, we ascertained that so the type of the insulator as the number of them affect the field around them. We also observed that the conditions and the level of pollution affect the field around insulator strings.

### ***Key words***

Insulator string, insulator, intensity of electric field, voltage distribution, field meter, probe, pollution

## *Πρόλογος*

Η εργασία αυτή αποτελεί τη διπλωματική μου εργασία για την απόκτηση του διπλώματος του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Μηχανικού Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι η μέτρηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου πλησίον αλυσοειδών μονωτήρων. Παράλληλα όμως θα μετρηθεί και η κατανομή της επιβαλλόμενης τάσης υπό την οποία καταπονούνται οι δισκοειδείς μονωτήρες κάθε αλυσοειδούς μονωτήρα.

Στο **πρώτο** κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή για την εξέλιξη των μονωτήρων. Στη συνέχεια γίνεται μια αναφορά στους διάφορους τύπους μονωτήρων που μπορεί κανείς να συναντήσει στις ηλεκτρολογικές εφαρμογές και τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους.

Στο **δεύτερο** κεφάλαιο ακολουθεί μια ανασκόπηση σημαντικών μελετών σχετικών με τη μέτρηση του ηλεκτρικού πεδίου σε διατάξεις μονωτήρων. Οι μελέτες αυτές διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο μέτρησης του ηλεκτρικού πεδίου. Εν συνεχεία αναλύεται ο παράγοντας ρύπανση και κατά πόσο αυτός επηρεάζει τη μονωτική ικανότητα των μονωτήρων.

Στο **τρίτο** κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη αναφορά στα χαρακτηριστικά των υπό εξέταση δοκιμίων. Επιπλέον, περιγράφεται η πειραματική διάταξη τόσο για τη μέτρηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, όσο και για τη μέτρηση της κατανομής της επιβαλλόμενης τάσης. Αναφέρονται επίσης και τα βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας του πεδιομέτρου και του αισθητήρα (probe).

Στο **τέταρτο** κεφάλαιο παρατίθενται, για τα έντεκα σημεία του επιπέδου και για τους πέντε αλυσοειδείς μονωτήρες, οι μετρήσεις της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου καθώς και η γραφική απεικόνιση των μετρήσεων αυτών.

Στο **πέμπτο** κεφάλαιο παρατίθενται αναλυτικά σε πίνακες τα αποτελέσματα των μετρήσεων της κατανομής της τάσης για τους αλυσοειδείς μονωτήρες και η γραφική απεικόνιση αυτών.

Στο **έκτο** κεφάλαιο παρουσιάζονται γραφικά τα πειραματικά αποτελέσματα τόσο ως προς την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, όσο και ως προς την κατανομή της τάσης του ηλεκτρικού πεδίου και γίνεται μια συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων αυτών.

Τέλος στο **έβδομο** κεφάλαιο παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα που

προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων, τόσο ως προς την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, τόσο και ως προς την κατανομή της τάσης.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους:

Κο. Ιωάννη. Α. Σταθόπουλο, καθηγητή του τομέα Ηλεκτρικής Ισχύος του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου για το ενδιαφέρον και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Κα. Βασιλική Θ. Κονταργύρη, υποψήφια διδάκτορα και μηχανικό του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου για την ουσιαστική και αδιάκοπη καθοδήγηση που μου παρείχε, καθώς και για την υπομονή που έδειξε μέχρι την τελική ολοκλήρωση της εργασίας.

Κο. Ιωάννη. Φ. Γκόνο, διδάκτορα μηχανικό του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου για την υποστήριξη και την συνεργασία που μου παρείχε στην εργασία αυτή, όπως, επίσης, και για τις εύστοχες επισημάνσεις του σε καίρια σημεία της εργασίας.

Κο Νικόλαο Αραβαντινό Διευθυντή Διεύθυνσης Πληροφορικής για την άμεση διαμεσολάβηση στην προμήθεια από τη Διεύθυνση Νέων Έργων Μεταφοράς (Δ.Ν.Ε.Μ) 5696 αποθήκη γραμμών μεταφοράς των επτά αλυσοειδών μονωτήρων, γεγονός που διευκόλυνε την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας. Όπως επίσης και τον Κο Κυριακούλια αλλά και το προσωπικό της Δ.Ν.Ε.Μ για την άψογη συνεργασία και τη γρήγορη μεταφορά των αλυσοειδών μονωτήρων στο εργαστήριο Υψηλών Τάσεων.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους στο εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του Ε.Μ.Π. για την υποστήριξη που μου παρείχαν και την κατανόησή τους όλο αυτό το διάστημα και ιδιαίτερα τον Κο Χρήστο Κ. Ηλία για την πολύτιμη βοήθειά του στην υλοποίηση της πειραματικής διάταξης και στην επίλυση οποιουδήποτε προβλήματος προέκυψε κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω και την οικογένεια μου για την υποστήριξη και την εμπιστοσύνη που έδειξε σε αυτήν μου την προσπάθεια.

# Κεφάλαιο 1

## *Εισαγωγή*

Οι μονωτήρες είναι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την απομόνωση των ηλεκτροφόρων στοιχείων μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης από τα μη ηλεκτροφόρα [3]. Το πιο συνηθισμένο πεδίο εφαρμογής τους είναι τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας όπου χρησιμοποιούνται έτσι ώστε να στηρίζουν, να διαχωρίζουν ή να εμπεριέχουν αγωγούς υψηλής τάσης [2]. Στην παρούσα εργασία θα μελετηθούν οι μονωτήρες Υψηλής Τάσης (High Voltage Insulators), οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως μέσο ανάρτησης των γραμμών μεταφοράς Υψηλής Τάσης σε ένα δίκτυο παροχής ηλεκτρισμού.

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια σύντομη ιστορική αναδρομή, ενώ παράλληλα θα αναφερθούν τα διάφορα είδη μονωτήρων με βάση τον τρόπο σύνδεσης τους, τον τρόπο χρήσης τους, το υλικό και το σχήμα τους. Επιπροσθέτως θα εξεταστούν οι παράμετροι που καθορίζουν τον τρόπο κατασκευής αλλά και την απόδοση ενός μονωτήρα και θα αναφερθούν ενδεικτικά κάποια ακραία φαινόμενα επί αυτών.

### **1.1 Ιστορική αναδρομή**

Οι μονωτήρες είναι παλαιότεροι από τη μεταβίβαση ηλεκτρικής ισχύος: οι μονωτήρες που χρησιμοποιήθηκαν στα πρώτα δίκτυα τηλεγράφων το 1835, είχαν φτάσει σε ικανοποιητικό επίπεδο εξέλιξης μέχρι το 1878, ενώ η πρώτη γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας τέθηκε σε λειτουργία το 1882 [1, 2]. Αυτή η σύντομη γραμμή τάσης 1343V D.C, συνέδεσε το Miesbach με το Μόναχο και σχεδιάστηκε από τους Miller και Dyguez προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ενός τεχνητού καταρράχτη στην ηλεκτρική έκθεση του Μονάχου. Οι ηλεκτρικές και μηχανικές τάσεις στις οποίες έπρεπε να ανθίστανται οι τηλεγραφικοί μονωτήρες ήταν προφανώς αμελητέες σε σύγκριση με εκείνες που προκύπτουν από το φορτίο μιας εναέριας γραμμής μεταφοράς. Οι νέες απαιτήσεις σίγουρα αποκάλυψαν σοβαρές ελλείψεις όχι μόνο στα υλικά, αλλά και στα σχέδια των μονωτήρων τα οποία αρχικά ήταν απλά αντίγραφα των τύπων τηλεγράφων.

Ειδικότερα η διάτρηση από τις ηλεκτρικές τάσεις των κεραμικών που είχαν πόρους ή ελαττώματα, οι ρωγμές που προκαλούνταν από τη θερμική διαστολή ή οι διαβρωτικές συνέπειες στο μέταλλο ή το τσιμέντο και οι υπερπηδήσεις με τόξα που δημιουργούνται από τους επιφανειακούς ρύπους σε συνδυασμό με την υγρασία, επέβαλλαν την εξέλιξη των σχεδιαστικών και κατασκευαστικών κανόνων. Μερικοί από τους μονωτήρες των αρχών του 19<sup>ου</sup> αιώνα αναγνωρίζονται σαν εξελιγμένες κατασκευές των μονωτήρων τηλεγραφικών γραμμών. Όμως το μεγάλο μέγεθος και βάρος των αρχικών μονωτήρων στήριξης αποτέλεσε ανασταλτικό παράγοντα στην κατασκευή, το χειρισμό και την εγκατάστασή τους.

Οι αμερικανικοί μονωτήρες στήριξης αποτελούνταν από λεπτά περιβλήματα πορσελάνης και συνηθισμένο γυαλί που είχε υποστεί ειδική κατεργασία σε υψηλές θερμοκρασίες. Μερικά τμήματα πορσελάνης συνδέονταν μεταξύ τους με γυαλί το οποίο ήταν συνήθως στερεωμένο σε τσιμέντο. Η ευρωπαϊκή τεχνολογία πορσελάνης όμως προηγούνταν της αμερικανικής καθώς επέτρεπε την κατασκευή μεγάλων μονωτήρων ανάρτησης οι οποίοι αποτελούνταν από ένα ή δυο τμήματα πορσελάνης αποφεύγοντας τις πολλαπλές εσωτερικές μεταλλικές ενθέσεις. Σε όλους αυτούς τους μονωτήρες το κεραμικό υλικό ή το γυαλί συμπίεζονταν μηχανικά. Για τους μονωτήρες που είχαν υποστεί διαδικασία μηχανικής προέντασης κατά την κατασκευή η τακτική που ακολουθήθηκε προερχόταν κυρίως από τις εμπειρίες που είχαν αποκτηθεί από τις τηλεγραφικές γραμμές. Ο βασικός μονωτήρας ωειδούς σχήματος (ο οποίος χρησιμοποιείται έως και σήμερα ως ισχυρός διαχωριστής εναέριων γραμμών) οδήγησε το 1907 στην κατασκευή ενός δισκοειδούς μονωτήρα, του «Hewlett». Ο μονωτήρας αυτός χαρακτηρίζεται από ένα μεγάλο μήκος ερπυσμού ανάμεσα στα ηλεκτρόδια, ασφαλή καταστροφική συμπεριφορά σε περίπτωση θραύσης από μηχανική κρούση κατά τη λειτουργία και απουσία συνδετικού τσιμέντου εσωτερικά. Υπήρχε βεβαία μεγάλη δυσκολία στην κατασκευή. Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι ενώ μονωτήρες του τύπου αυτού είναι πρακτικά αδύνατο να στηρίζουν μεγάλα φορτία, ο μονωτήρας αυτός χρησιμοποιήθηκε πολύ και για μεγάλο χρονικό διάστημα και βρίσκεται σε λειτουργία ακόμη και σήμερα σε περιοχές όπου η διάβρωση έχει υπερνικήσει πιο σύγχρονες σχεδιάσεις μονωτήρων ανάρτησης.

Οι μεταλλικές ενθέσεις σε κεραμικούς μονωτήρες, πρωτοπαρουσιάστηκαν στις Η.Π.Α. το 1903, και επέτρεψαν στους μονωτήρες στήριξης να τίθενται σε σταθερούς

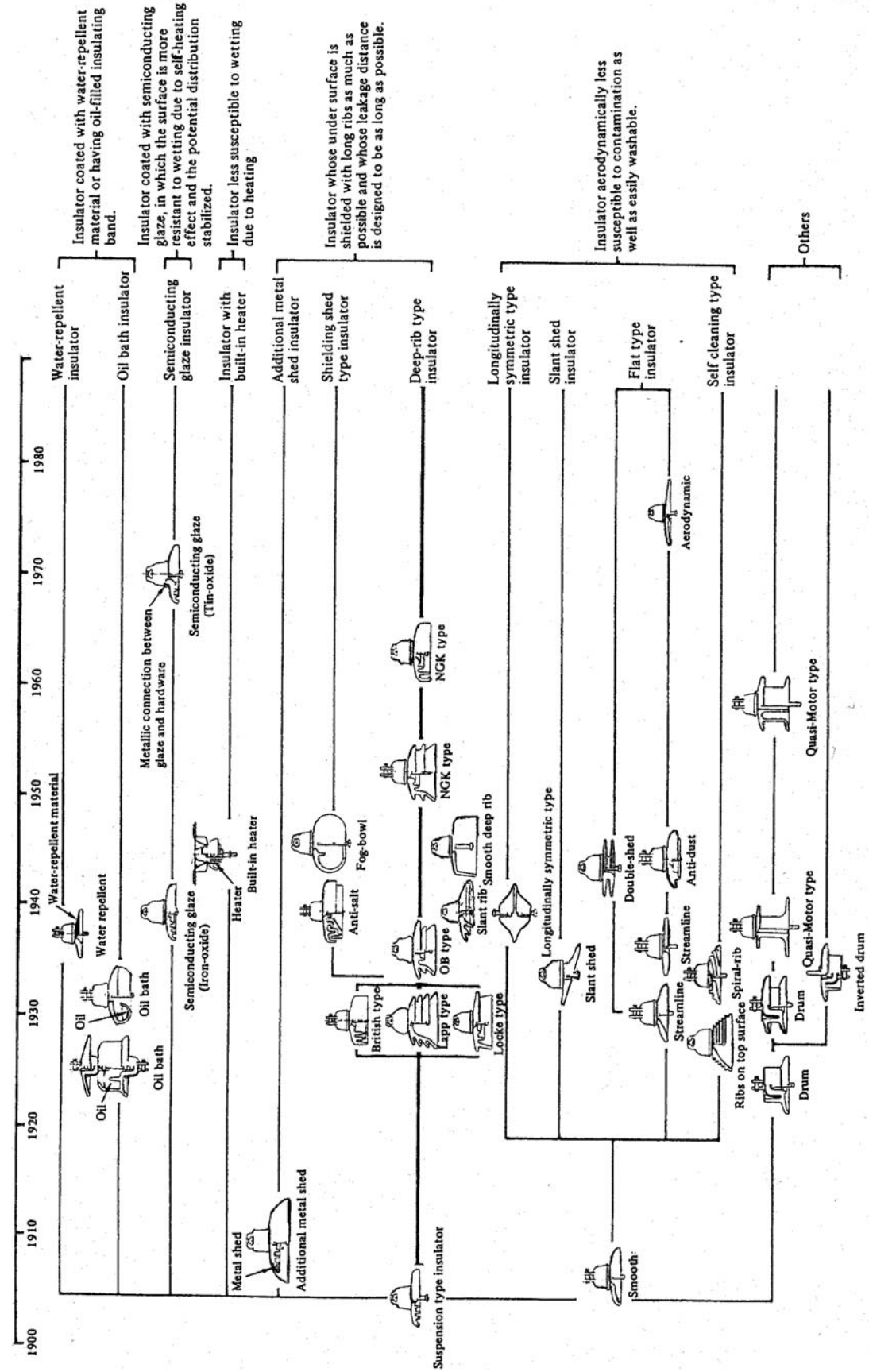
στύλους και να ανθίστανται σε σημαντικά φορτία κάμψης. Αυτό ήταν ένα καθοριστικό βήμα στην ανάπτυξη της τεχνολογίας των μονωτικών υλικών και στους μονωτήρες τύπου αναρτήσεως (cap-and-pin). Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του σχεδίου αυτού είναι ότι μετατρέπει την υφισταμένη καταπόνηση από το εφαρμοσμένο φορτίο σε μια ακτινική τάση θλίψεως στο κεραμικό διηλεκτρικό. Ο Brent Mills παρουσιάζει έναν πολυτμηματικό μονωτήρα τμηματικής καταπόνησης, που χρονολογείται από το 1904. Αυτό είναι αδιαμφισβήτητα ένα σχέδιο κελύφους-πείρου χωρίς όμως να προβλέπεται το σύστημα της ακτινικής συμπίεσης. Πρώτος Austin εφάρμοσε τη γεωμετρική κατασκευή ακτινικής συμπίεσης σε δίσκους πορσελάνης το 1907. Και ενώ η ουσία αυτής της καινοτομίας ήταν θεωρητικά απλή, εντούτοις αποδείχθηκε δύσκολο να επιτευχθεί στην πράξη ένας κατάλληλος συνδυασμός μεταξύ των μεταλλικών συνδέσεων του τσιμέντου και του κεραμικού. Το τσιμέντο αντιμετωπιζόταν ως η αιτία του κακού-ακόμα και σήμερα-και όλες οι εναλλακτικές σχεδιαστικές προτάσεις για την αποφυγή της χρήσης του διερευνήθηκαν ανεπιτυχώς .

Η ευρωπαϊκή πρακτική, όπως παρουσιάστηκε αρχικά στον μονωτήρα Motor, και αργότερα η εισαγωγή μονωτήρων τύπου ράβδου, χρησιμοποίησε δυο εξωτερικά περιβλήματα δισκοειδούς μορφής συγκρατημένα με τσιμέντο ή χυτό μέταλλο προκειμένου να μπορεί να εφαρμοστεί κατά τη λειτουργία το εφελκυστικό φορτίο στο κεντρικό μέρος της πορσελάνης. Αυτή η σχεδίαση εξουδετέρωνε τις βλάβες λόγω διάβρωσης αφού η μοναδική επίπτωση της χρησιμοποίησης τσιμέντου για τη σύνδεση με το μεταλλικό τμήμα ήταν να τοποθετηθεί η πορσελάνη με αυξημένη μηχανική πίεση ακτινικά. Δυστυχώς όμως δεν διατηρούσε το σημαντικό πλεονέκτημα όλων των μορφών κελύφους –πείρου δηλαδή την ικανότητα τους να διατηρούν τη μηχανική τους ακεραιότητα ακόμα και όταν συντριβούν.

Με το σταδιακό πέρασμα σε όλο και υψηλότερες τάσεις και με την εμφάνιση της πυρηνικής ενεργείας η ανάγκη για αξιοπιστία αυξήθηκε. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη των δισκοειδών μονωτήρων με μεγάλο μήκος ερπυσμού θέτοντας τις βάσεις για την κατασκευή μεγάλων μονωτήρων στους υποσταθμούς.

Λίγο πριν το 1962 πραγματοποιηθήκαν δοκιμές με βάση τις οποίες πίστευαν ότι θα μπορούσε να προβλεφθεί επιστημονικά η γεωμετρία και ο όγκος των μονωτήρων. Η σημαντικότερη δοκιμή έγινε σε περιβάλλον ομίχλης και αλάτων βάσει της οποίας απορριφθήκαν πολλά παράδοξα σχήματα μονωτικών (π.χ στύλοι και δίσκοι με

ελικοειδείς ραβδώσεις, που είχαν σχεδιαστεί σύμφωνα με λανθασμένες φυσικές υποθέσεις και ερμηνείες μη έγκυρων δοκιμών, όπως η διαδικασία τεχνίτης βροχής). Ο ανθεκτικός ύαλος ή σταθεροποιημένος μονωτήρας που εμφανίστηκαν αυτή την περίοδο είχαν άριστη απόδοση κατά τη λειτουργία σε τεχνητή και πραγματική ρύπανση, τα προβλήματα διάβρωσης όμως περιόρισαν την πρακτική εφαρμογή τους. Εξαιτίας της αύξησης των τάσεων μεταφοράς και της εισαγωγής πολλαπλών αγωγών ανά φάση, τα μηχανικά φορτία που έπρεπε να στηριχθούν από τους μονωτήρες εναέριων γραμμών υπερέβησαν το κατωφλικό επίπεδο των 40 τόννων, που προξενεί θραύση σε έναν απλό δίσκο πορσελάνης λογικού βάρους και όγκου. Κατασκευές ενισχυμένες με πολλαπλές συνθετικές ίνες χρησιμοποιήθηκαν ευρέως για παράδειγμα στη Βρετανία, είχαν όμως το μειονέκτημα της αντιαισθητικής εμφάνισης και μηχανικής πολυπλοκότητας. Αυτό οδήγησε στην χρήση πολυμερών μονωτικών, τα οποία χρησιμοποιούσαν ινώδη συνθετικά υλικά και εμφάνιζαν υψηλές αναλογίες αντοχής εφελκυσμού ως προς το μέγεθος και το βάρος τους. Τα προβλήματα αξιοπιστίας αποδείχθηκαν, και συνεχίζουν να αποδεικνύονται, δύσκολα να επιλυθούν στην πράξη. Για το λόγο αυτό γίνονται προσπάθειες να αντιμετωπιστούν επιτυχώς οι απαιτήσεις μεταφοράς υψηλής ή υπερυψηλής τάσης καθώς και συνεχούς τάσης. Στο ελληνικό δίκτυο και κατόπιν τριετούς ενθαρρυντικής δοκιμασίας τους σε λίγες θέσεις αναρτήσεως (κατά μήκος 2 ανοιγμάτων της γραμμής μεταφοράς) χρησιμοποιούνται, εδώ και ένα περίπου χρόνο, μονωτήρες αναρτήσεως των οποίων ο πυρήνας αποτελείται από εποξεικές ρητίνες και ύαλου ενώ οι κυματώδεις είναι οργανικής συστάσεως.



Σχήμα 1.1: Χρονολογική κατάταξη των κανόνων σχεδιασμού των μονωτήρων με στόχο την αποφυγή εναπόθεσης ρύπανσης [8].



## 1.2 Είδη μονωτήρων

### 1.2.1 Κατηγορίες μονωτήρων ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης τους

Ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης τους οι μονωτήρες διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες [3]:

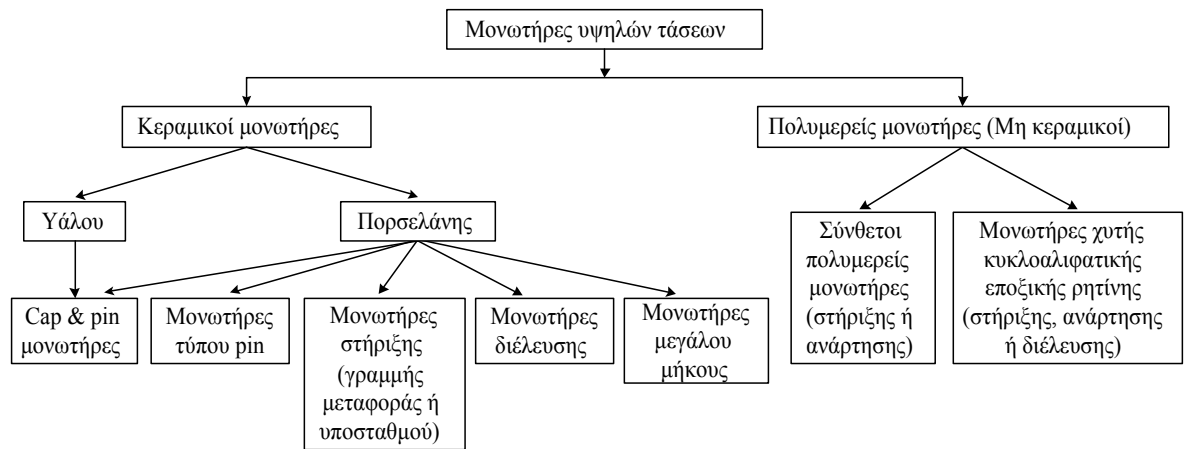
1. **Μονωτήρες αναρτήσεων**, που χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανάρτηση των γραμμών μεταφοράς Υ.Τ. και αποτελούνται από μια ή δυο σειρές δισκοειδών μονωτήρων, διατεταγμένων σε μορφή αλύσου. Το πλήθος των δισκοειδών μονωτήρων σε μια διάταξη αλύσου εξαρτάται προφανώς από την τάση λειτουργίας της γραμμής και από τη διηλεκτρική αντοχή έκαστου δισκοειδούς μονωτήρα.
2. **Μονωτήρες στηρίξεως**, που χρησιμοποιούνται για τη στήριξη των αγωγών υψηλής τάσης και διακρίνονται σε μονωτήρες μεταφοράς και μονωτήρες σταθμών.
3. **Μονωτήρες γραμμής**, που χρησιμοποιούνται στις γραμμές διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι 70kV.
4. **Μονωτήρες διελεύσεως**, που χρησιμοποιούνται στις θέσεις εξόδου των αγωγών από τους μετασχηματιστές.

### 1.2.2 Είδη μονωτήρων ανάλογα με τους χώρους χρήσης

Ανάλογα με τους χώρους χρήσης τους και, κατ' επέκταση, τον ειδικό τρόπο σχεδιάσής τους, έχουμε τους εξής τύπους μονωτήρων [3]:

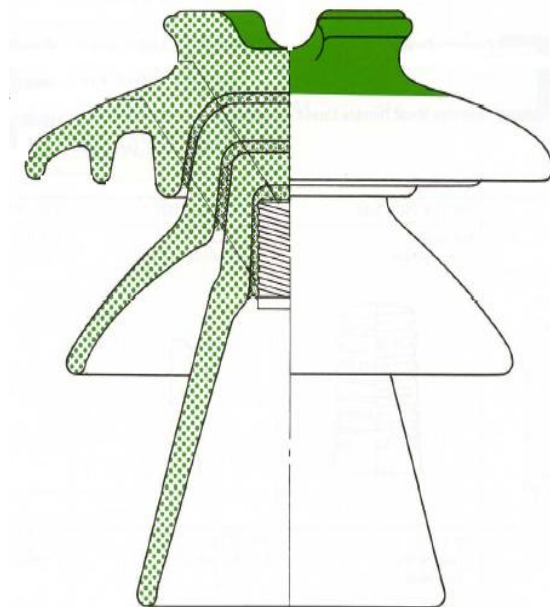
- **Τύπου ομίχλης** Χρησιμοποιούνται σε περιοχές όπου επικρατούν συνθήκες έντονης ρύπανσης (συνήθως, κοντά σε βιομηχανικές ή παραθαλάσσιες περιοχές). Οι μονωτήρες αυτοί έχουν μεγάλο μήκος ερπυσμού και τέτοια διαμόρφωση της εξωτερικής επιφάνειας, ώστε να παρέχεται η καλύτερη δυνατή προστασία έναντι επικάλυψης ακαθαρσιών.
- **Κανονικού τύπου** Αυτοί χρησιμοποιούνται σε σύνηθες περιβάλλον και έχουν μικρότερο μήκος ερπυσμού.
- **Εσωτερικού τύπου** Οι μονωτήρες αυτοί χρησιμοποιούνται σε εσωτερικούς χώρους – κυρίως σε κλειστούς υποσταθμούς.

### 1.2.3 Είδη μονωτήρων ανάλογα με το υλικό και το σχήμα τους στους πυλώνες των γραμμών μεταφοράς [8]



#### Μονωτήρες πορσελάνης τύπου pin (porcelain pin type insulators)

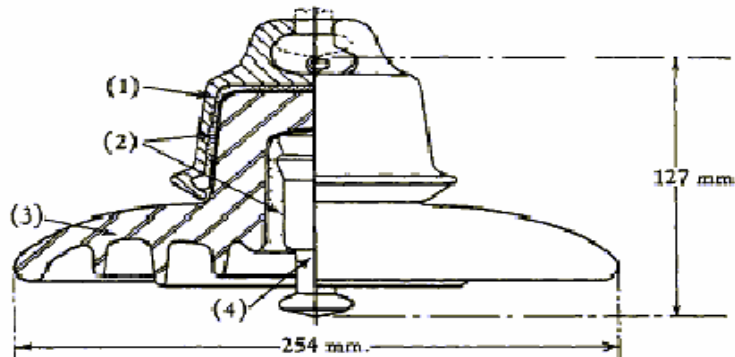
Αυτός ο τύπος μονωτήρων χρησιμοποιήθηκε αρχικά για τις τηλεφωνικές γραμμές και τα αλεξικέραυνα, ενώ στη συνέχεια τροποποιήθηκε για να χρησιμοποιηθεί στις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Μερικές παραλλαγές του είναι ακόμα σε χρήση στα συστήματα μέσης τάσης. Ο μονωτήρας αυτός παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.2.



Σχήμα 1.2: Μονωτήρας τύπου pin.

### Μονωτήρες τύπου cap & pin (cap and pin insulators)

Αυτοί κατασκευάζονται από πορσελάνη ή γυαλί και είναι βασισμένοι στις ίδιες κατασκευαστικές αρχές με τους μονωτήρες τύπου pin. Ένας αριθμός τέτοιων μονάδων συνδέεται μέσω χαλύβδινων καλυμμάτων (caps) και πείρων (pins) σχηματίζοντας μια αλυσίδα μονωτήρων. Αυτές οι αλυσίδες χρησιμοποιούνται ως μονωτήρες ανάρτησης και στήριξης γραμμών μεταφοράς. Τα καλύμματα και ο πείρος είναι στερεωμένα στο γυάλινο ή πορσελάνινο δίσκο με τσιμέντο. Οι κωνικές μορφές των συναρμολογήσεων εξασφαλίζουν υψηλή μηχανική αντοχή κατά την άσκηση δυνάμεων εφελκυσμού. Στους μονωτήρες τύπου pin και τύπου cap & pin η συντομότερη απόσταση μεταξύ των μεταλλικών ηλεκτροδίων μέσω της πορσελάνης ή του γυαλιού είναι λιγότερη από το 50% της συντομότερης απόστασης μεταξύ των ηλεκτροδίων μέσω του αέρα. Συνεπώς η πορσελάνη ή το γυαλί μπορεί να διατηρηθεί κατόπιν μεγάλης ηλεκτρικής καταπόνησης. Η διαδικασία κατασκευής των μονωτήρων υάλου περιλαμβάνει τη θερμική ψύξη, που εξασφαλίζει ότι οι γυάλινοι δίσκοι θρυμματίζονται σε περίπτωση διάτρησης, οπότε ο ελαττωματικός δίσκος είναι εμφανής.



Σχήμα 1.3: Τυπικός cap and pin μονωτήρας (1): Γαλβανισμένη μεταλλική θήκη(cap), (2): Τσιμέντο, (3): Πορσελάνη, (4): μεταλλικός πείρος (pin)

### Μονωτήρες στήριξης (post type insulators)

Αυτοί οι μονωτήρες αποτελούνται από ένα συμπαγή κύλινδρο πορσελάνης με κυματοειδείς πτυχές, για να αυξάνεται το μήκος ερπυσμού, και από μεταλλικά ηλεκτρόδια σε κάθε άκρη. Οι μονωτήρες στήριξης έχουν μεγάλο μήκος. Χρησιμοποιούνται οριζόντια ή κάθετα για να στηρίζουν τον αγωγό υψηλής τάσης και τοποθετούνται στις βάσεις ή στους εγκάρσιους βραχίονες των γραμμών

μεταφοράς (line post insulators). Στους μονωτήρες αυτούς η συντομότερη απόσταση μέσω της πορσελάνης υπερβαίνει το 50% της συντομότερης απόστασης μέσω του αέρα μεταξύ των ηλεκτροδίων, οπότε δεν διαρρηγνύονται εύκολα. Μονωτήρες τύπου post απεικονίζονται στα Σχήματα 1.4 και 1.5.



Σχήμα 1.4: Μονωτήρας τύπου post σε υποσταθμό.



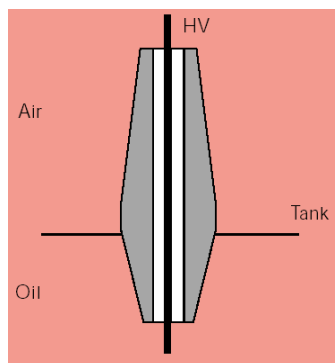
Σχήμα 1.5: Μονωτήρας τύπου post σε γραμμή Υ.Τ.

### **Μονωτήρες πορσελάνης μεγάλου μήκους (longrod insulators)**

Οι μονωτήρες μεγάλου μήκους είναι παρόμοιοι με τους μονωτήρες στήριξης, αλλά είναι ελαφρύτεροι, λεπτότεροι και χρησιμοποιούνται ως μονωτήρες ανάρτησης.

### Μονωτήρες διέλευσης (bushings)

Οι μονωτήρες αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται για να μονώσουν τους αγωγούς των ακροδεκτών υψηλής τάσης κυρίως μετασχηματιστών ή άλλων διατάξεων, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.6. Συνήθως οι μονωτήρες διέλευσης κατασκευάζονται από πορσελάνη.



Σχήμα 1.6: Μονωτήρας διέλευσης [8].

### Σύνθετοι πολυμερείς μονωτήρες (composite polymeric insulators)

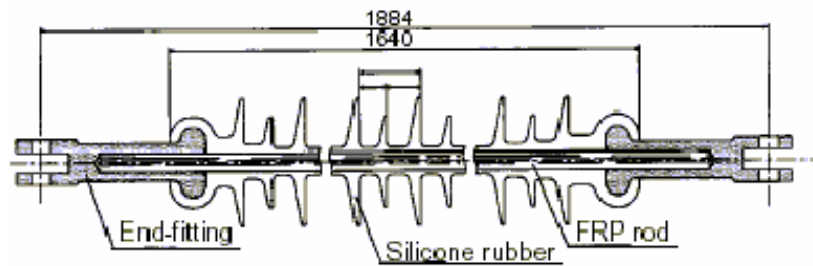
Αυτοί οι μονωτήρες είναι παρόμοιοι με τους πορσελάνινους μονωτήρες μεγάλου μήκους ως προς το σχήμα, αλλά διαφέρουν ως προς τα υλικά κατασκευής, τα οποία είναι τα εξής:

Ένας πυρήνας ρητίνης ενισχυμένος με ίνες γυαλιού, ο οποίος παρέχει μηχανική αντοχή, ενώ ταυτόχρονα ανθίσταται και στην ηλεκτρική καταπόνηση.

Ένα ελαστομερές περίβλημα για να προστατεύει τον πυρήνα από τις καιρικές συνθήκες.

Ελαστομερείς δίσκοι, που αποσκοπούν στην αύξηση του μήκους ερπυσμού, ώστε να ανθίσταται ο μονωτήρας στις εντάσεις που επικρατούν στο σύστημα. Δύο ευρέως χρησιμοποιούμενα υλικά είναι το σιλικονούχο καουτσούκ (silicone rubber) και το αιθυλένιο-προπυλένιο-διένιο μονομερές καουτσούκ (ethylene propylene diene monomer – EDPM).

Οι μεταλλικοί ακροδέκτες αυτών των μονωτήρων είναι συνήθως στερεωμένοι πάνω στην εξωτερική πλευρά της ράβδου του πυρήνα και τα συγκεκριμένα σημεία επαφής μεταξύ του ελαστομερούς και των ακροδεκτών είναι πολύ σημαντικά. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των σύνθετων πολυμερών μονωτήρων είναι η μείωση βάρους μέχρι και 90% σε σύγκριση με τους αντίστοιχους κεραμικούς.



Σχήμα 1.7: Τυπικός συνθετικός μονωτήρας

### **Μονωτήρες κυκλοαλιφατικής εποξικής ρητίνης (Cyclo-alifatic epoxy resin insulators)**

Η κυκλοαλιφατική ρητίνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να χυτευτούν μονωτήρες παρόμοιοι με τους πορσελάνης και τύπου line post για διανομή των τάσεων. Σε περιβάλλον με κακές καιρικές συνθήκες οι επιφάνειες των μονωτήρων αυτών γίνονται τραχιές, γεγονός που μπορεί να έχει επιπτώσεις στην αξιοπιστία του μονωτήρα, αν δεν ληφθεί υπόψη.

### **1.3 Λειτουργίες μονωτήρων**

Όλοι οι μονωτήρες πρέπει να καλύπτουν ηλεκτρικές και μηχανικές λειτουργικές ανάγκες, οι οποίες συνήθως εμφανίζονται στο σχεδιαστή αντιφατικές απαιτήσεις [1, 2]. Ο πιο σημαντικός παράγοντας περιπλοκής είναι η αδυναμία δημιουργίας ενός μη αγώγιμου στοιχείου στην πράξη. Όλοι οι μονωτήρες έχουν εξωτερικές επιφάνειες που θα ρυπανθούν έως ένα βαθμό όσο χρησιμοποιούνται. Μέσω της μόλυνσης θα μεταφέρεται το ρεύμα διαρροής: το επιφανειακό στρώμα, ενός αντιπροσωπευτικά ρυπαρού μονωτήρα, θα περιέχει αδρανή ορυκτή ύλη, ηλεκτρικά αγώγιμη σκόνη, όπως άνθρακα ή οξειδία μέταλλου, διαλυτά άλατα στο νερό και υγρασία. Αυτό το στρώμα θα συμπεριφέρεται σαν ένας μεταβλητός, μη γραμμικός αντιστάτης, ασταθής στις περισσότερες περιπτώσεις στην εμφάνιση ηλεκτρικών πεδίων. Το ρεύμα διαρροής θα προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας, των ηλεκτροχημικών προϊόντων ηλεκτρόλυσης και των ηλεκτρικών μερικών εκκενώσεων. Οι δευτερογενείς επιπτώσεις μπορούν να ποικίλλουν από την ηλεκτροχημική διάβρωση μέχρι τη δημιουργία μερικών εκκενώσεων, οι όποιοι μπορεί να οδηγήσουν στην υπερπήδηση του μονωτήρα και το σχηματισμό ηλεκτρικού τόξου στο περιβάλλον μέσο. Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι το ρεύμα διαρροής και οι επιπτώσεις του

καθορίζουν το σχεδιασμό ενός μονωτήρα, ειδικά στις κατηγορίες των μονωτήρων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε εξωτερικούς χώρους, εκτεθειμένους σε ατμοσφαιρική υγρασία και ρύπανση [1, 2].

#### **1.4 Γενικά περί μονωτικών υλικών**

Ως μονωτικά σώματα ή μονωτές χαρακτηρίζονται τα υλικά που, πρακτικά, δεν εμφανίζουν καθόλου ηλεκτρική αγωγιμότητα όταν εκτίθενται σε σχετικά ασθενή πεδία συνεχούς ρεύματος (συνήθως θεωρούνται ως χαμηλές οι τάσεις που δεν ξεπερνούν τα 1000V) [12]. Η μη δυνατότητα εκδήλωσης ουσιαστικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα παραπάνω σώματα έγκειται στο γεγονός ότι σε αυτά δεν υπάρχουν σε κάποια επαρκή ποσότητα ευκίνητοι φορείς ηλεκτρικού φορτίου, τέτοιοι που να επιτρέπουν τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος από το εσωτερικό τους (σε αντίθεση π.χ. με τα μέταλλα). Πραγματικά, στη χημική τους σύσταση οι μονωτές είναι σώματα ιοντικής, ομοιοπολικής ή μοριακής κατασκευής και, σε κάθε μια από τις περιπτώσεις αυτές, τα σωματίδια από τα οποία αποτελούνται δε μπορούν να διασπασθούν εύκολα σε φορτισμένα ιόντα. Αυτό μπορεί να οφείλεται είτε στο γεγονός ότι τα μεγαλύτερα ιόντα από τα οποία αποτελούνται είναι κατά κανόνα δυσκίνητα, είτε στο ότι η ισχύς των ομοιοπολικών δεσμών που αναπτύσσεται στο εσωτερικό τους είναι μεγάλη, είτε, ακόμα, στο ότι τα μόρια τους παρουσιάζουν ιδιαίτερη σταθερότητα [15].

Στην πραγματικότητα, βέβαια, είναι πρακτικά αναπόφευκτη η ύπαρξη σε κάθε μονωτικό σώμα ενός κάποιου πλήθους προσμίξεων, ακαθαρσιών, διεγέρσεων ή διασπάσεων που δημιουργούν ένα μικρό αριθμό φορέων του ηλεκτρικού ρεύματος στο εσωτερικό τους. Ωστόσο, ο γενικός κανόνας είναι πως, χάρη στην έλλειψη αξιόλογης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, τα μονωτικά σώματα είναι κατάλληλα για να εμποδίζουν τη δημιουργία ηλεκτρικών ρευμάτων διαμέσου της μάζας τους και για να διατηρούν τις διαφορές δυναμικού στα διάφορα τμήματα των ηλεκτροτεχνικών διατάξεων και εγκαταστάσεων [15].

#### **1.5 Σημαντικές παράμετροι ενός μονωτήρα**

Οι τρεις βασικές παράμετροι που καθορίζουν τον τρόπο κατασκευής ενός μονωτήρα αλλά και την απόδοσή του είναι οι εξής: α) οι ιδιότητες των κατασκευαστικών

υλικών β)η ικανότητα τους να λειτουργούν κάτω από δυσμενείς καιρικές συνθήκες και σε περιβάλλον βιομηχανικής ρύπανσης γ)το κόστος τους [1, 2, 8].

#### A) Ιδιότητες μονωτικών υλικών:

Τα τρία βασικά υλικά σε έναν μονωτήρα είναι το διηλεκτρικό, οι ακροδέκτες που συνδέουν το διηλεκτρικό με την υπόλοιπη μηχανολογική δομή και τα ενδιάμεσα υλικά στο εσωτερικό του μονωτήρα όπως τσιμέντο και λιπαντικά. Τα διηλεκτρικά, που είναι συνήθως πορσελάνη, γυαλί ή πολυμερή, απαιτείται να διατηρούν την εφαρμοσμένη διάφορα δυναμικού για αρκετές δεκαετίες χωρίς να αστοχήσουν. Θα πρέπει επίσης να ανθίστανται σε καταπονήσεις κρουστικών τάσεων που προκαλούνται από κεραυνούς ή χειρισμούς διακοπών του δικτύου χωρίς να διασπώνται. Επειδή οι επιφάνειες των διηλεκτρικών είναι ηλεκτρικά αγώγιμες εξαιτίας της υγρασίας και των επικαθίσεων είναι απαραίτητη μια διαχρονική ανθεκτικότητα στις επιφανειακές ηλεκτρικές εκκενώσεις, τα ηλεκτροχημικά προϊόντα και τη διάβρωση. Τα διηλεκτρικά που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στους μονωτήρες είναι τα κεραμικά και τα πολυμερή.

Η **πορσελάνη** αποτελεί το συχνότερα χρησιμοποιούμενο μονωτικό υλικό στις διατάξεις των μονωτήρων. Αποτελείται από τετρασθενή άτομα, τα οποία έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν εκτεταμένες δομές. Το πυρίτιο αποτελεί το κυρίως επαναλαμβανόμενο άτομο στην περίπτωση των κεραμικών. Ενώνεται με το οξυγόνο για το σχηματισμό ενός κρυσταλλικού ορυκτού, του χαλαζία, η δομή του οποίου εξαρτάται από τη θερμοκρασία και αποτελείται από κανονικά τετράεδρα Si-O ή μιας άμορφης κατάστασης, που είναι γνωστή με την ονομασία “fuzzed silica”. Η προφανής διαφορά μεταξύ πολυμερών και κεραμικών υλικών έγκειται στη σταθερότητα. Οι ισχυροί ηλεκτροστατικοί δεσμοί πυριτίου – οξυγόνου που συγκρατούν τα κεραμικά υλικά (πορσελάνη και γυαλί) έχουν σαν αποτέλεσμα το υψηλό σημείο τήξης, τη μεγάλη μηχανική αντοχή (αλλά και το εύθραυστο) και, τέλος, υψηλή αντίσταση διάβρωσης από χημικά μέσα. [1,2]. Όμως, η ύπαρξη των ισχυρών ηλεκτροστατικών χημικών δεσμών κοντά στην επιφάνεια συμβάλλουν στην αύξηση της ελεύθερης ενέργειας, δηλαδή θερμοδυναμικής ιδιότητας που καθορίζει τη συνάφεια ή δύναμη συνάφειας των επιφανειακών προσμίξεων, και αποτελεί την κύρια αιτία για την οποία οι κεραμικοί μονωτήρες υγραίνονται και ρυπαίνονται εύκολα.



Ως βασικότερο μειονέκτημα της πορσελάνης θα μπορούσε να καταγραφεί η δυσκολία και το υψηλό κόστος βιομηχανικής παρασκευής της σε συμπαγή τεμάχια με πάχος μεγαλύτερο από 2cm. Αυτός είναι και ο λόγος που οι μονωτήρες πορσελάνης μέσης και υψηλής τάσης κατασκευάζονται συνήθως από περισσότερα τεμάχια που συγκολλούνται με τσιμέντο [15]. Τέλος, ένα ακόμα σοβαρό μειονέκτημα της πορσελάνης, είναι το ότι η πορσελάνη μπορεί να υποστεί διάτρηση εσωτερικά χωρίς καμία εξωτερική ένδειξη και, έτσι, ο βαθμός της ενδεχόμενης βλάβης δεν είναι γνωστός μέχρι να επέλθει ολική συντριβή του δοκιμίου [1,2].

Οι πρώτες ύλες που, συνήθως, χρησιμοποιούνται για την παρασκευή **γυαλιού** σα μονωτικό υλικό είναι το πυρίτιο (περίπου σε ποσοστό 57%), ο ασβεστόλιθος (9%), το άνυδρο ανθρακικό νάτριο (14%) κ.α.. Η βελτιωμένη μηχανική αντοχή του σκληρυμένου γυαλιού συγκριτικά με την πορσελάνη επιτρέπει τη χρησιμοποίηση λεπτότερων δακτυλίων στις διατάξεις των δισκοειδών μονωτήρων. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται σημαντικά το μήκος του ερπυσμού, ενώ, η ονομαστική τάση λειτουργίας του μονωτήρα μπορεί να αυξηθεί σε ποσοστό μέχρι και 40% [1, 2]. Εξάλλου, ένα βασικό χαρακτηριστικό των μονωτήρων γυαλιού είναι το ότι έχουν την ιδιότητα να αποθηκεύουν σημαντική ενέργεια όταν οι τελευταίοι υπόκεινται σε μηχανικές καταπονήσεις. Όταν αυτή η ενέργεια απελευθερωθεί, όπως συνήθως συμβαίνει κατά την έντονη μηχανική κρούση ή ύστερα από την καθολική διάβρωση ενός στρώματος, τότε ολόκληρο το τεμάχιο διασπάται σε μικροσκοπικά κυβικά θραύσματα, τα οποία εκτοξεύονται με μεγάλη σφοδρότητα. Αυτός είναι ένας σημαντικός λόγος για τον οποίο δεν ενδείκνυται η χρησιμοποίησή τους κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Αξίζει να τονιστεί πως το εύρος της βιομηχανικής εφαρμογής του μονωτήρα από γυαλί είναι περισσότερο περιορισμένο από εκείνο του μονωτήρα πορσελάνης. Στις ηλεκτρολογικές εφαρμογές η χρήση του γυαλιού, το οποίο έχει υποστεί σκλήρυνση, περιορίζεται στους μονωτήρες τύπου “cap and pin” (ανάρτησης) ή σε εκείνους τους τύπους, όπως είναι οι μονωτικοί στύλοι στήριξης των σιδηροδρομικών δικτύων και οι στύλοι πολλαπλών κώνων που αποτελούνται από διακριτές διατάξεις δισκοειδούς μορφής [1, 2].

Τα **πολυμερή** αποτελούνται από τετρασθενή άτομα, τα οποία έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν εκτεταμένες δομές, όπως ακριβώς και η πορσελάνη. Ο άνθρακας αποτελεί το κυρίως επαναλαμβανόμενο άτομο στην περίπτωση των πολυμερών. Ο

άνθρακας ενώνεται με άνθρακα, όπως επίσης και με υδρογόνο, οξυγόνο και πολλά αλλά στοιχεία, για το σχηματισμό αλυσίδων και δακτυλίων που μπορούν να συνδέονται σταυροειδώς σε πολύπλοκες δομές σχηματίζοντας μακρομόρια. Οι δεσμοί των μορίων των πολυμερών είναι ασθενείς και κατά συνέπεια δεν παρατηρείται έντονη επιφανειακή ρύπανση. Το σημαντικότερο μειονέκτημα των πολυμερών πηγάζει από το βασικό στοιχείο του τον άνθρακα ο οποίος αποτελεί καλό ηλεκτρικό αγωγό. Οι πιθανές έρπουσες μερικές εκκενώσεις προκαλούν αύξηση της θερμοκρασίας η οποία με τη σειρά της δημιουργεί αγώγιμες επιφανειακές οδούς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την πρόκληση επιφανειακών διασπάσεων και τη δημιουργία υψηλών πολύ θερμοκρασιών, τα οποία αναπόφευκτα οδηγούν στην καταστροφή του μονωτήρα. Το σημαντικότερο βέβαια πλεονέκτημα τους αποτελούν οι εξαιρετικά χαμηλές τιμές της ελεύθερης επιφανειακής τους ενέργειας. Το γεγονός ότι τα επιφανειακά άτομα υδρογόνου είναι συνδεδεμένα με άτομα άνθρακα, παρέχει τη δυνατότητα στα πολυμερή να ανθίστανται στην υγρασία και την ατμοσφαιρική ρύπανση περισσότερο από τα κεραμικά υλικά. Ελαφρύτερα, αλλά και εξαιρετικά ανθεκτικά στις μηχανικές καταπονήσεις, μονωτικά υλικά είναι, γενικά, τα πολυμερή υλικά. Από αυτά, ιδιαίτερα διαδεδομένες, λόγω του χαμηλού τους κόστους, είναι οι θερμοπλαστικές εποξειδικές ρητίνες με τη διαφορά ότι χρησιμοποιούνται κυρίως σε εσωτερικούς χώρους λόγω του γεγονότος ότι είναι ιδιαίτερα επιρρεπείς σε αλλοίωση της χημικής τους σύστασης υπό την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας (φωτόλυση). Μια άλλη ποιότητα πλαστικού, οι κυκλοαλειφατικές ρητίνες, παρουσιάζει ικανοποιητική αντοχή στη φωτόλυση και πιστεύεται ότι θα αντικαταστήσει μελλοντικά την πορσελάνη και το γυαλί στην κατασκευή των μονωτήρων. Εξάλλου, μια άλλη σημαντική κατηγορία συνθετικών μονωτικών είναι οι ελαστομερείς ρητίνες σιλικόνης, οι οποίες αντέχουν ικανοποιητικά στην καύση και δεν υπόκεινται σε μόνιμες βλάβες από τον ερπυσμό και τις μερικές εκκενώσεις (όπως οι οργανικές ρητίνες) αφού αποτελούνται από σκελετό από πυρίτιο και περιέχουν πολύ λίγο άνθρακα στη χημική τους σύσταση [15].

Η πλέον συνηθισμένη εφαρμογή των συνθετικών μονωτήρων είναι η χρησιμοποίησή τους για την ανάρτηση ή στήριξη των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Στις γραμμές αυτές χρησιμοποιούνται μεγάλες δέσμες αγωγών προκειμένου να περιοριστούν οι ηλεκτρικές απώλειες, οπότε τα μηχανικά φορτία είναι πολύ μεγαλύτερα από εκείνα που έχουν τη δυνατότητα να φέρουν οι συνήθεις μονωτήρες

ανάρτησης, γυαλιού ή πορσελάνης. Πραγματικά, οι συνθετικοί μονωτήρες πολύ δύσκολα προσβάλλονται από τις συνήθεις ηλεκτρικές βλάβες και επιδράσεις χειρισμού, ενώ είναι δυνατό να αντεπεξέλθουν σε συγκράτηση φορτίου που υπερβαίνει τους 100 τόνους. [1, 2]

Από τα πρώτα στάδια της εξελικτικής πορείας των μονωτήρων έχει καταγραφεί η αναγκαιότητα της εκμετάλλευσης των καλών ιδιοτήτων των κεραμικών, με ταυτόχρονη απαίτηση μείωσης:

- Της επιφανειακής τους υγροσκοπικότητας
- Της ανεπιθύμητης έλξης ρύπων

Η έρευνα για να επιτευχθούν οι στόχοι αυτοί συνεχίζεται ακόμα και σήμερα.

Η πορσελάνη, το μονωτικό γυαλί και τα πολυμερή υλικά αποτελούν, λοιπόν, τα διηλεκτρικά εκείνα που συναντώνται συνηθέστερα σε μια διάταξη μονωτήρα. Εκτός από την ικανότητα να διατηρούν την εφαρμοζόμενη διαφορά δυναμικού για μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς να παρουσιάσουν αστοχία, τα υλικά αυτά παρουσιάζουν μηχανικές ιδιότητες τέτοιες που να τα καθιστούν κατάλληλα για την ανάρτηση ή στήριξη μιας σειράς στοιχείων ηλεκτρολογικού εξοπλισμού (όπως είναι π. χ. οι γραμμές μεταφοράς). Στον πίνακα που ακολουθεί μπορεί κανείς να δει τις κυριότερες μηχανικές και ηλεκτρικές ιδιότητες των μονωτικών διηλεκτρικών σε μια συγκεντρωτική μορφή [1,2].

Πίνακας 1.1: Ιδιότητες των μονωτικών διηλεκτρικών [1].

Ιδιότητα	Υαλώδης πορσελάνη	Σκληρυμένο γυαλί	Πολυμερές	Υαλώδεις ίνες συνδεδεμένες με ρητίνη
Ποκνότητα [g/cm]	2.3 – 3.9	2.5	0.9 – 2.5	2.1 – 2.2
Αντοχή σε εφελκυσμό [Mpa]	30 – 100	100 – 120	20 – 35	1300 – 1600
Αντοχή σε θλίψη [Mpa]	240 – 820	210 – 300	80 – 170	700 – 750
Συντελεστής εφελκυσμού [Gra]	50 – 100	7.2	0.6 – 16	43 – 60
Θερμική αγωγιμότητα [W/m °K]	1 – 4	1.0	0.17 – 0.9	0.2 – 1.2
Διασταλτικότητα (20 – 100 °C) [10 <sup>-6</sup> / °K]	3.5 – 9.1	8.0 – 9.5	45 – 200	7.5 – 20
Διηλεκτρική σταθερά (50 – 60 Hz)	5.0 – 7.5	7.3	2.3 – 5.5	2.5 - 6.5
Εφαπτομένη απωλειών (50 – 60 Hz) [10 <sup>-3</sup> ]	20 – 40	15 – 50	0.1 – 5.0	5.0 – 20
Πεδιακή αντοχή [kV/mm]	10 – 20	>25	>25	3.0 – 20
Ειδική αντίσταση [Ω cm]	10 <sup>11</sup> – 10 <sup>13</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>15</sup> – 10 <sup>17</sup>	10 <sup>11</sup> – 10 <sup>14</sup>

Οι ακροδέκτες αποτελούνται από σφυρήλατο χυτό σίδηρο που έχει υποστεί θερμική κατεργασία και έχει γαλβανιστεί εν θερμών. Για ορισμένες εφαρμογές χρησιμοποιούνται μη σιδηρομαγνητικά κράματα που βασίζονται στο χαλκό, ενώ για μικρά φορτία και χαμηλές τάσεις χρησιμοποιούνται χυτά κράματα αλουμινίου ή χυτεύσεις υπό πίεση κραμάτων ψευδαργύρου.

Τα ενδιαμέσα τμήματα που συνδέουν το διηλεκτρικό με τη μεταλλική κατασκευή είναι συνήθως από τσιμέντο, αργιλικό ή πορσελάνη Portland ή σπανιότερα εύτηκτες συγκολλήσεις με βάση το θείο.

#### B) Λειτουργία σε δυσμενείς συνθήκες.

Η ικανότητα λειτουργίας του μονωτήρα (δηλαδή η αποφυγή δημιουργίας τόξων σε δυσμενείς συνθήκες λειτουργίας) καθορίζεται πρωταρχικά από τη γεωμετρία του διηλεκτρικού και δευτερευόντως από τη θέση λειτουργίας του μονωτήρα (κατακόρυφος, κεκλιμένη, οριζόντια) καθώς και από τις ιδιότητες της επιφανείας (υδροφοβία, τραχύτητα) [1, 2].

#### Γ) Το κόστος των μονωτήρων.

Η τιμή πώλησης των μονωτήρων, ιδιαίτερα εκείνων από γυαλί ή πορσελάνη, διαμορφώνεται από τους νομούς της αγοράς και δεν εξαρτάται από την τεχνική σημασία της μόνωσης σε μια γραμμή μεταφοράς ή από το κόστος της αντικατάστασης και τις απώλειες σε περίπτωση αστοχίας. Είναι δυνατόν, μάλιστα να ισχυριστεί κανείς ότι οι μονωτήρες είναι παράλογα φθηνοί.[1, 2].

## **1.6 Απώλεια μονωτικής ικανότητας στους μονωτήρες**

Το φαινόμενο της ηλεκτρικής διάσπασης των στέρεων μονωτικών που βρίσκονται σε αέριο περιβάλλον και κυρίως στον ατμοσφαιρικό αέρα χρίζει ιδιαίτερης προσοχής. Τέτοιες διατάξεις είναι και οι μονωτήρες, στους οποίους η απώλεια της μόνωσης μπορεί να επέλθει με τρεις διαφορετικούς τρόπους.

### ✓ Διάσπαση ή διάτρηση (breakdown)

Ο πρώτος είναι η κανονική ηλεκτρική διάσπαση του μονωτήρα (διάτρηση) και η εκκένωση ρεύματος δια μέσου της μάζας του, φαινόμενο που, όπως είδαμε και πιο πάνω, εκδηλώνεται όταν η διαφορά δυναμικού ξεπεράσει την τάση διάσπασης του υλικού [15]. Η διάτρηση του σώματος, δηλαδή, η μεγάλη θερμοκρασία που δημιουργεί η διέλευση του πολύ έντονου ρεύματος της διάσπασης προκαλεί τοπικά την τήξη, καύση ή εξαέρωση του υλικού και έχει σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό

μιας λεπτής τρύπας στο σώμα κατά μήκος του πεδίου. Προκαλείται, επομένως, καταστροφή του υλικού και μόνιμη απώλεια της μονωτικής του ικανότητας. Αντίθετα, στα αέρια και υγρά μονωτικά η διάσπαση δεν προκαλεί σοβαρή μόνιμη βλάβη αφού αν στη συνέχεια μειωθεί η τάση κάτω από την κρίσιμη τιμή έχουμε αποκατάσταση των μονωτικών συνθηκών. Η διάσπαση ή αλλιώς διάτρηση του μονωτήρα μπορεί να επιτευχθεί υπό πολύ υψηλότερη τάση μόνον όταν ο μονωτήρας βυθιστεί μέσα σε λουτρό μονωτικού λαδιού (τούτο απαιτείται για να αποφευχθεί διάσπαση στον αέρα και για να διατηρηθεί υποχρεωτικά το υλικό κατασκευής του μονωτήρα). Διάτρηση, βέβαια, μπορεί να επιτευχθεί και μέσα σε περιβάλλον ατμοσφαιρικού αέρα, εφόσον, όμως, η επιβαλλόμενη τάση είναι κρουστική, μεγάλης τιμής και μεγάλης κλίσεως μετώπου (π.χ. κεραυνοπληξία) [3].

#### ✓ Ρεύμα ερπυσμού

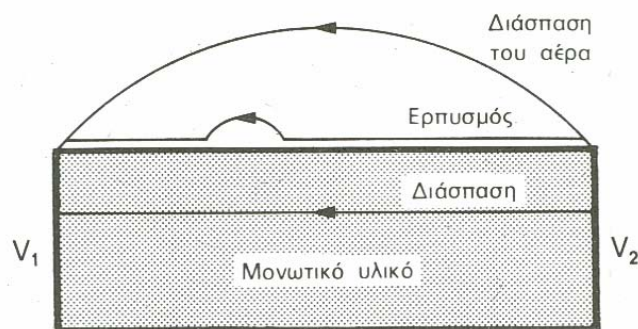
Ο δεύτερος τρόπος με τον οποίο είναι δυνατό να επέλθει απώλεια της μόνωσης σε μια διάταξη μονωτήρα είναι η ανάπτυξη ενός ισχυρού **ρεύματος ερπυσμού** (ερπυσμού διότι έρπει, δηλαδή, σέρνεται πάνω στην επιφάνειά του) πάνω στην επιφάνεια του υλικού. Το ρεύμα ερπυσμού μπορεί να εκτείνεται σε όλο το μήκος της επιφάνειας του μονωτικού ή, συνήθως, σε διάφορα μέρη της που συνδέονται με μικρά ηλεκτρικά τόξα. Μάλιστα, τα δημιουργούμενα κατά την υπερπήδηση ηλεκτρικά τόξα έρχονται σε επαφή με το στερεό μονωτικό καθορίζοντας, ταυτόχρονα, (κατά ένα ποσοστό τουλάχιστο 50%) την “οδό διέλευσης” νέου ηλεκτρικού τόξου που, ενδεχόμενα, θα λάβει χώρα στο μέλλον. Για αυτό το λόγο, συνήθως, εφαρμόζονται στους μονωτήρες προστατευτικοί δακτύλιοι ή κερατίδια με τα οποία “υποδεικνύεται” στο ηλεκτρικό τόξο η οδός διέλευσής του, μακριά από το στερεό μονωτικό [4].

#### ✓ Υπερπήδηση

Όταν η μεταξύ των δυο ακρότατων σημείων του μονωτήρα επιβαλλόμενη τάση υπερβεί μια κρίσιμη τιμή σημειώνεται υπερπήδηση (flashover) του μονωτήρα, δηλαδή γεφύρωση με ηλεκτρικό τόξο που οδεύει δια μέσου του αέρα του διακένου μεταξύ του σημείου προσδέσεως του αγωγού της γραμμής στο μονωτήρα και του προσγειωμένου σημείου στηρίξεως ή αναρτήσεως του μονωτήρα. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι η υπερπήδηση επέρχεται εν μέρει λόγω επιφανειακών εκκενώσεων,

ερπουσών επί της επιφανείας του μονωτήρα και εν μέρει λόγω διαστάσεως στρωμάτων αέρα [3].

Αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι από τα παραπάνω, τα πλέον συνήθη φαινόμενα που εμφανίζονται στην πράξη είναι η υπερπήδηση των μονωτήρων από επιφανειακό ρεύμα ερπυσμού ή μέσω εναέριου ηλεκτρικού τόξου. Και αυτό, διότι η διηλεκτρική αντοχή των υλικών κατασκευής των μονωτήρων είναι μεγαλύτερη από τη διηλεκτρική αντοχή του περιβάλλοντος αέρα. Έτσι, ο τελευταίος αποτελεί προσφορότερο αγωγίμο δρόμο διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος [15].



Σχήμα 1.8: Η απώλεια της μονωτικής δράσης ενός στερεού μονωτικού μπορεί να γίνει με ηλεκτρική διάσπαση του υλικού ή με υπερπήδηση που εκδηλώνεται με ρεύμα ερπυσμού και με διάσπαση στον αέρα [12].

## 1.7 Αντοχή μονωτήρων

Η κατάσταση της επιφανείας των μονωτήρων επηρεάζει σημαντικά τη διηλεκτρική αντοχή τους. Η αντοχή των μονωτήρων υπό βροχή είναι πολύ μικρότερη από την αντοχή τους εν ξηρώ. Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι η αντοχή τους υπό βροχή θα ήταν ακόμη μικρότερη εάν οι μονωτήρες δεν είχαν τη γνωστή κυματοειδή διαμόρφωση της επιφανείας τους, που εξασφαλίζει όπως ένα μέρος της επιφανείας του να μένει αδιάβρεκτο ενώ παράλληλα διακόπτεται η συνέχεια του αγωγίμου στρώματος ύδατος. Η επικάλυψη δροσιάς, ακαθαρσιών ή θαλασσιάς άλμης που επεκτείνεται σε ολόκληρη την επιφάνεια και όχι μόνο στα πάνω τμήματα της επηρεάζουν εξίσου τη διηλεκτρική αντοχή των μονωτήρων. Ως δυσμενέστατη συνθήκη λειτουργίας των μονωτήρων θεωρείται η συνύπαρξη ακαθαρσιών δροσιάς ή ομίχλης η οποία μπορεί να υποβιβάσει τη διηλεκτρική αντοχή τους σε ποσοστό κυμαινόμενο μεταξύ 40% και 80%. Η επικάλυψη θαλάσσιας άλμης μπορεί να

δύναται να προκαλέσει μείωση του μήκους ερπυσμού έως και 38%. Κατόπιν ερευνών διαπιστώθηκε ότι υπό συνθήκες εντόνου ρυπάνσεως οι μονωτήρες εμφανίζουν, ακόμη και υπό την τάση κανονικής λειτουργίας τους, εκκενώσεις ορατές σε ορισμένη απόσταση κατά τη νύχτα και συνοδευόμενες από χαρακτηριστικό τρίξιμο. Τέλος η ύπαρξη διαφόρων επικαθίσεων παρενοχλεί τη λειτουργία των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων [3].



# Κεφάλαιο 2

## **Βιβλιογραφική ανασκόπηση**

### **2.1 Εισαγωγή**

Ένα χρονικά μεταβλητό ηλεκτρικό πεδίο συνοδεύεται πάντα από ένα μαγνητικό και αντίστροφα. Με άλλα λόγια το χρονομεταβλητό ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο συνδέονται δημιουργώντας το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο [10].

Στον ηλεκτρομαγνητισμό υπάρχουν τέσσερα θεμελιώδη ανύσματα με βάση τα οποία περιγράφεται το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Αυτά είναι: α) ένταση ηλεκτρικού πεδίου  $E$  β) πυκνότητα ηλεκτρικής ροής  $D$  γ) πυκνότητα μαγνητικής ροής  $B$  και τέλος δ) ένταση μαγνητικού πεδίου  $H$ . Η ένταση ηλεκτρικού πεδίου είναι το μόνο απαραίτητο ανύσμα στη μελέτη του ηλεκτροστατικού πεδίου στο κενό, όπως και το διάνυσμα  $D$  είναι απαραίτητο για τη μελέτη του ηλεκτροστατικού πεδίου σε υλικό μέσο [10].

Παρακάτω δίνεται ένας πίνακας όπου παρουσιάζονται συνοπτικά τα τέσσερα θεμελιώδη ηλεκτρομαγνητικά μεγέθη.

Πίνακας 2.1: Θεμελιώδεις ηλεκτρομαγνητικές ποσότητες

Σύμβολα και μονάδες μέτρησης πεδιακών ποσοτήτων	Πεδιακές ποσότητες	Σύμβολα	Μονάδες μέτρησης
Ηλεκτρικό	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου	$E$	$V/m$
	Πυκνότητα ηλεκτρικής ροής	$D$	$C/m^2$
Μαγνητικό	Πυκνότητα μαγνητικής ροής	$B$	$T$
	Ένταση μαγνητικού πεδίου	$H$	$A/m$

Υπάρχουν επίσης τρεις παγκόσμιες σταθερές, οι οποίες σχετίζονται με τις ιδιότητες του κενού. Αυτές είναι: α) η ταχύτητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο κενό ( $c=3*10^8m/s$ ), β) η μαγνητική διαπερατότητα του κενού ( $\mu=4*10^{-7}H/m$ ) και γ) η ηλεκτρική διαπερατότητα του κενού ( $\epsilon_0=8,854*10^{-12}F/m$ ).

Όταν δεν υπάρχει χρονική μεταβολή οι ποσότητες ηλεκτρικού πεδίου  $E$  και  $D$  και αυτές του μαγνητικού πεδίου  $H$  και  $B$  αποτελούν δυο αυτόνομα ζεύγη ανυσμάτων.

Αντίθετα, όταν υπάρχει χρονική μεταβολή τα ζεύγη αυτά συνδέονται ηλεκτρικά, με την έννοια ότι μια χρονική μεταβολή στα E και D θα προκαλέσει αύξηση στα B και H και αντίστροφα.

## 2.2 Ηλεκτρικό φορτίο

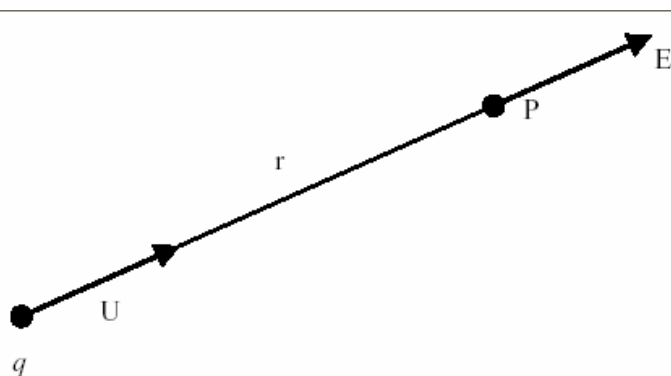
Το ηλεκτρικό φορτίο είναι θεμελιώδους σημασίας για τη μελέτη του ηλεκτρικού πεδίου. Δυο σωματίδια θεωρείται ότι έχουν ηλεκτρικό φορτίο, ή ότι φορτίζονται ηλεκτρικά, αν αλληλεπιδρούν ηλεκτρικά μεταξύ τους. Το φορτίο είναι ιδιότητα στοιχειωδών σωματιδίων, εκ των οποίων τα σημαντικότερα είναι τα πρωτόνια και τα ηλεκτρόνια. Και τα δυο αυτά αποτελούν κομμάτι οποιουδήποτε ατόμου οποιουδήποτε υλικού. Το φορτίο των πρωτονίων είναι θετικό και συμβολίζεται με e, ενώ των ηλεκτρονίων αρνητικό και συμβολίζεται με  $-e$  [10].

## 2.3 Ηλεκτρικό πεδίο

Το ηλεκτρικό πεδίο ορίζεται ως η περιοχή όπου μια δύναμη F ασκείται σε ένα ηλεκτρικό φορτίο q [10]. Η δύναμη F πάνω στο φορτίο q είναι ανάλογη του φορτίου και γράφεται:

$$F = q * E \quad (2.1)$$

Όπου E είναι η ένταση ηλεκτρικού πεδίου και καθορίζεται από το μέγεθος και τη θέση των φορτίων που δρουν πάνω στο q. Το ηλεκτρικό πεδίο σε ένα τυχαίο σημείο εξαρτάται από την κατανομή και την απόσταση του από το φορτίο. Αν η απόσταση του σημείου από το φορτίο είναι πολύ μικρή εν συγκρίσει με το μέγεθος του σημείου, τότε μιλάμε για σημειακό φορτίο.



Σχήμα 2.1 : Δύναμη πεδίου από θετικό σημείο q.

Ένα σημειακό φορτίο θα προκαλέσει στο σημείο P ηλεκτρικό πεδίο που θα δίνεται από τον τύπο:

$$E = \frac{q}{4\epsilon_0 r^2} u \quad (2.2)$$

## 2.4 Μέτρηση ηλεκτρικού πεδίου

Η μέτρηση ηλεκτρικού πεδίου αφ' ενός συμβάλλει στον εντοπισμό βλαβών (ορατών και μη) και αφ' ετέρου μας δίνεται μια πιο λεπτομερή εικόνα για τη μηχανική και ηλεκτρική κατάσταση του μονωτήρα. Για τη μελέτη του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται γύρω από ένα μονωτήρα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε δυο μεθόδους α) την υπολογιστική και β) την πειραματική μέθοδο.

Υπολογιστική μέθοδος [12, 13] : Η δυνατότητα να μπορεί να υπολογιστεί η ένταση ηλεκτρικού πεδίου και το δυναμικό μονωτήρων χωρίς να απαιτείται η εκτέλεση εργαστηριακών πειραμάτων κρίνεται πολύ χρήσιμη. Υπάρχουν διάφορα λογισμικά πακέτα, η λειτουργία των οποίων βασίζεται στο ηλεκτροστατικό πεδίο και στο εναλλασσόμενο ρεύμα. Για τον κατάλληλο σχεδιασμό και την προστασία των διατάξεων που λειτουργούν σε συνθήκες υψηλών τάσεων (π.χ. μονωτήρες) έχει μεγάλη σημασία να μπορεί κανείς να προσδιορίσει την κατανομή του ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό τους, στην επιφάνεια, αλλά και στην ευρύτερη περιοχή που τις περιβάλλει. Γενικά, υπάρχουν δυο κατηγορίες αριθμητικών μεθόδων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μοντελοποίηση του ηλεκτρικού πεδίου στο χώρο [12]. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει μεθόδους πεπερασμένων στοιχείων (*finite element methods*) και μεθόδους πεπερασμένων διαφορών (*finite difference methods*). Το μειονέκτημα, εδώ, είναι το γεγονός ότι για μια ανάλυση πεδίου με ανοιχτές οριακές συνθήκες οι μέθοδοι αυτές χρειάζονται ένα υπερβολικά μεγάλο πλήθος στοιχείων ή γραμμών πλέγματος προκειμένου να μοντελοποιηθεί ο χώρος και οι άπειρης έκτασης περιοχές του. Αυτός είναι και ο λόγος που οι τελευταίες εφαρμόζονται, κυρίως, για τη μοντελοποίηση διατάξεων με περιορισμένες οριακές συνθήκες (*limited boundary conditions*), όπως είναι οι μετασχηματιστές ισχύος ή οι ηλεκτρικές μηχανές.

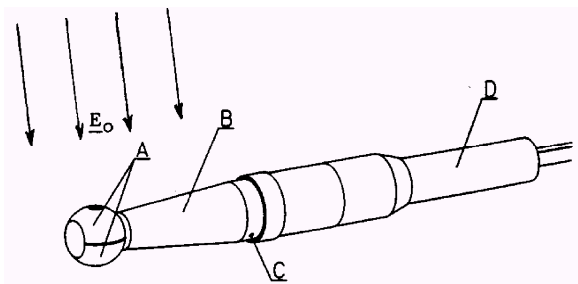
Η δεύτερη κατηγορία των αριθμητικών μεθόδων περιλαμβάνει τη μέθοδο προσομοίωσης φορτίου (*charge simulation method*) και τη μέθοδο συνοριακών στοιχείων (*boundary element method*) ή μέθοδο προσομοίωσης επιφανειακού φορτίου (*surface charge simulation*). Στη μέθοδο προσομοίωσης φορτίου, η συνεχής

πυκνότητα φορτίου στην επιφάνεια των αγωγών με οριακές συνθήκες αντικαθίσταται από πεπερασμένα εικονικά φορτία τα οποία κατανέμονται στον όγκο των τελευταίων. Στη μέθοδο συνοριακών στοιχείων, φορτία τοποθετούνται στις συνοριακές επιφάνειες καθώς και στις κοινές επιφάνειες διαφορετικών υλικών, ενώ οι πηγές των φορτίων αρχικοποιούνται με τις οριακές συνθήκες που είναι γνωστές εκ των προτέρων. Οι δύο αυτές μέθοδοι προτιμούνται σε περιπτώσεις όπου έχουμε προβλήματα «ανοιχτών» συνόρων (*open boundary conditions*) αφού δεν υπάρχει ανάγκη να κατασκευαστεί πλέγμα για το χώρο που περιβάλλει το μοντέλο υπό ανάλυση.

Συγκρίσεις ανάμεσα στις διαφορετικές αριθμητικές μεθόδους έχουν δείξει ότι οι προσεγγίσεις μέσω προσομοίωσης φορτίου και συνοριακών στοιχείων υπερτερούν λόγω χαμηλότερης πολυπλοκότητας και, ως εκ τούτου, μικρότερης χρονικής διάρκειας της φάσης της μοντελοποίησης, εις βάρος, ωστόσο, περισσότερου χρόνου που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια των υπολογισμών. Σε κάθε περίπτωση, πάντως, η γεωμετρία της αναλυόμενης διάταξης είναι εκείνη που καθορίζει το ποια από τις μεθόδους απαιτεί το λιγότερο χρόνο και είναι, συνεπώς, η πιο συμφέρουσα.

Πειραματική μέθοδος: Τα πειράματα κατά κύριο λόγο είναι πιο χρονοβόρα και πιο απαιτητικά. Παρ' όλα αυτά τα πειράματα μπορούν να μας δώσουν σαφώς πιο αξιόπιστα και έγκυρα αποτελέσματα από ότι οι υπολογισμοί σε θεωρητικό επίπεδο. Γνωρίζοντας την κατανομή του ηλεκτρικού πεδίου μπορούμε να κατανοήσουμε εις βάθος τις ηλεκτρικές εκκενώσεις και τη συμπεριφορά του φαινομένου της υπερπήδησης των εξωτερικών μονωτήρων. Για το λόγο αυτό στη βιβλιογραφία έχουν γίνει προσπάθειες που εστιάζουν στη μέτρηση του ηλεκτρικού πεδίου μέσω κατάλληλων αισθητήρων [4, 5, 8]. Παρ' όλα αυτά η επίδραση του ίδιου του μετρητικού εξοπλισμού στις μετρήσεις του πεδίου, ειδικά κοντά στα μεταλλικά άκρα του μονωτήρα, είναι απαραίτητο να εξετάζεται με προσοχή.

Ο Hornfeldt [4, 8] πραγματοποίησε πειράματα μέτρησης ηλεκτρικού πεδίου γύρω από μονωτήρες με τη βοήθεια ενός μεταλλικού περιστρεφόμενου αισθητήρα πεδιομέτρου, ο οποίος αποτελείται από δυο περιστρεφόμενα μεταλλικά ημισφαίρια διαχωρισμένα μεταξύ τους μέσω ενός μικρού διηλεκτρικού διάκενου.



- A: μεταλλικά ημισφαίρια
- B: διηλεκτρικός κυλινδρικός άξονας
- C: αεροστρόβιλος
- D: διηλεκτρικός σωλήνας

Σχήμα 2.2: Περιστρεφόμενος αισθητήρας πεδιομέτρου συνεχούς ρεύματος.

Ένας τέτοιος αισθητήρας δεν είναι ευαίσθητος σε συνιστώσες του πεδίου κατά μήκος του άξονα περιστροφής του. Επομένως μπορεί να θεωρηθεί ότι το πεδίο  $E_0$  είναι κάθετο στον άξονα περιστροφής. Θα πρέπει να αναφερθεί αφ' ενός ότι δεν υπάρχουν αγωγίμες περιοχές γύρω από τα εν λόγω ημισφαίρια και αφ' ετέρου ότι η περιστροφική κίνηση εξασφαλίζεται μέσω ενός μικρού αεροστροβίλου. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του πεδίου στηρίζονται στην παρακάτω βασική αρχή: αν μια μεταλλική σφαίρα με ακτίνα  $R$  βρεθεί σε εξωτερικό ομογενές ηλεκτρικό πεδίο  $E_0$ , τότε η πυκνότητα του επαγόμενου φορτίου  $\sigma$  μεταβάλλεται στην επιφάνεια της σφαίρας σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$\sigma(\theta) = 3 \cdot \epsilon_0 \cdot E_0 \cdot \cos\theta \quad (2.3)$$

το φορτίο  $Q$  σε κάθε ημισφαίριο είναι

$$Q = 3 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot R^2 \cdot E_0 \quad (2.4)$$

με αντίθετη πολικότητα.



Σχήμα 2.3: α) Επαγόμενο φορτίο σε μεταλλική σφαίρα, β) φορτίο δύο στερεών ημισφαιρίων σε εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο.

Εν συνεχεία τα ημισφαίρια διαχωρίζονται με ένα διάκενο  $d \ll R$  και εμφανίζουν μια μικρή εμπέδηση. Όταν η σφαίρα περιστρέφεται με σταθερό ρυθμό γύρω από άξονα κάθετο στο  $E_0$ , το φορτίο  $2Q$  μεταφέρεται μεταξύ των ημισφαιρίων και δημιουργώντας ένα εναλλασσόμενο ρεύμα το οποίο είναι γραμμική συνάρτηση της απολύτου τιμής του περιβάλλοντος πεδίου. Πιο αναλυτικά: αν η εμπέδηση μεταξύ των ημισφαιρίων είναι μικρή, τότε ολόκληρη η σφαίρα αποτελεί μια ισοδυναμική

επιφάνεια. Ο τύπος του πεδίου γύρω από τον αισθητήρα πεδιομέτρου μπορεί εύκολα να υπολογιστεί, αν αυτός τοποθετηθεί σε εξωτερικό ομογενές πεδίο. Το πεδίο δημιουργείται εξαιτίας των τριών εκ των δυο σημείων στα οποία το πεδίο συμπίπτει με τη σφαίρα ακτινικά. Η ποσότητα του φορτίου που πρέπει να μεταφερθεί μεταξύ των ημισφαιρίων ούτως ώστε να διατηρηθεί η ισοδυναμικότητα είναι ανάλογη του τετράγωνου της  $R$  και γραμμική ως προς την απόλυτη τιμή της  $E_0$ . Αυτό το φορτίο είναι ανεξάρτητο του  $d$  εφόσον ισχύει  $d \gg R$ .

Σύμφωνα με μια δεύτερη μέθοδο, η οποία προσδιορίζει την επαγομένη τάση, τα ημισφαίρια θεωρούνται ως στέρεα και διαχωρισμένα με διάκενο άπειρης εμπέδησης. Όταν η τομή των σφαιρών είναι κάθετη στο πεδίο  $E_0$ , τα επαγόμενα φορτία στη σφαιρική επιφάνεια αυξάνουν τη φόρτιση των σφαιρικών επιφανειών. Για μικρά διάκενα  $d$  το φορτίο είναι ίσο με το  $Q$  και το πεδίο στο διάκενο ισούται με:

$$\vec{E}_g = 3 \cdot \vec{E}_0 \quad (2.5)$$

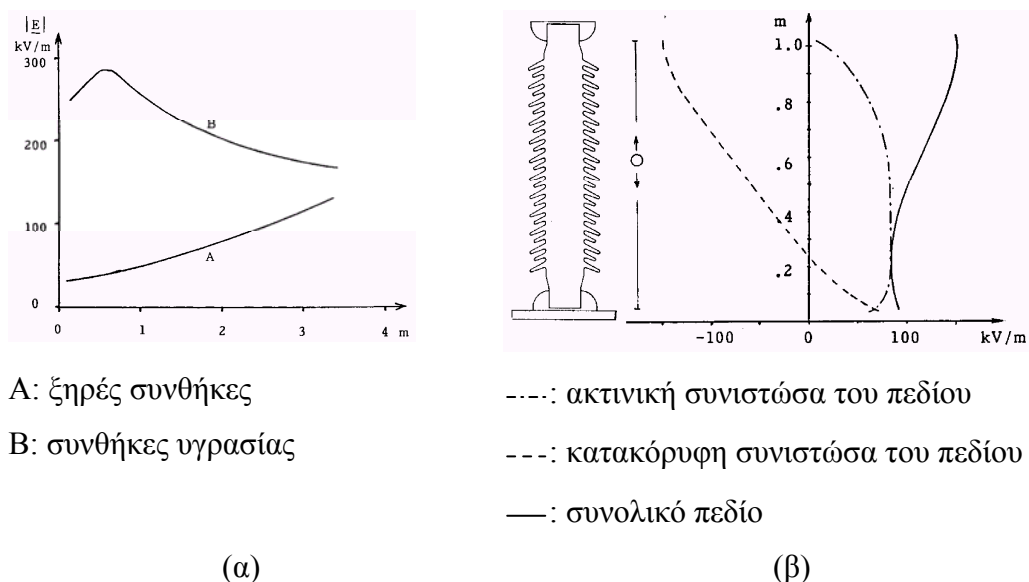
Η τάση μεταξύ των ημισφαιρίων  $V_g$  είναι:

$$V_g = 3 \cdot E_0 \cdot d \quad (2.6)$$

Όταν η σφαίρα περιστρέφεται η παραπάνω τάση  $V_g$  μετατρέπεται σε εναλλασσόμενη η οποία δύναται να μετρηθεί. Αυτή η τάση είναι ημιτονοειδής και ανάλογη του πεδίου  $E_0$ , ακόμα και όταν τα ημισφαίρια είναι κελύφη και έχει προστεθεί ένας ξεχωριστός πυκνωτής για τη χωρητική σύζευξη μεταξύ των ημισφαιρικών ηλεκτροδίων. Πιο αναλυτικά, αν η εμπέδηση μεταξύ των ημισφαιρίων είναι πολύ υψηλή, εμφανίζεται μια διαφορά δυναμικού  $V_g$  μεταξύ των ημισφαιρίων όταν ο αισθητήρας περιστρέφεται σε ένα δοθέν πεδίο DC. Η τάση  $V_g$  παίρνει τη μέγιστη τιμή της όταν η τομή των ημισφαιρίων είναι κάθετη στο πεδίο. Η  $V_g$  είναι γραμμική ως προς το διάκενο  $d$  για  $d \ll R$ . Τέλος, όταν ο αισθητήρας πεδιομέτρου περιστρέφεται σε εξωτερικό πεδίο, η τάση μεταξύ των ημισφαιρίων μεταβάλλεται γραμμικά ως προς την απόλυτη τιμή του  $E_0$ .

Με βάση την τελευταία μέθοδο μέτρησης του πεδίου ο Hornfeldt [4, 8] χρησιμοποίησε ένα ηλεκτρο-οπτικό βολτόμετρο για να προσδιορίσει την επαγόμενη τάση μεταξύ των δυο ημισφαιρίων ενός περιστρεφόμενου αισθητήρα προκειμένου να μετρήσει το ηλεκτρικό πεδίο κατά μήκος ενός μονωτήρα διέλευσης και ενός μονωτήρα στήριξης. Το πεδίο μετρήθηκε στην περίπτωση που οι μονωτήρες είναι

ξηροί και στην περίπτωση που έχουν υποστεί ύγρανση. Στο παρακάτω σχήμα καταγράφονται οι μετρήσεις κατά μήκος ενός μονωτήρα διέλευσης εφαρμόζοντας τάση 600 kV υπό ξηρές συνθήκες και υπό συνθήκες υγρασίας και οι μετρήσεις κατά μήκος ενός μονωτήρα στήριξης εφαρμόζοντας τάση 129 kV υπό ξηρές συνθήκες.

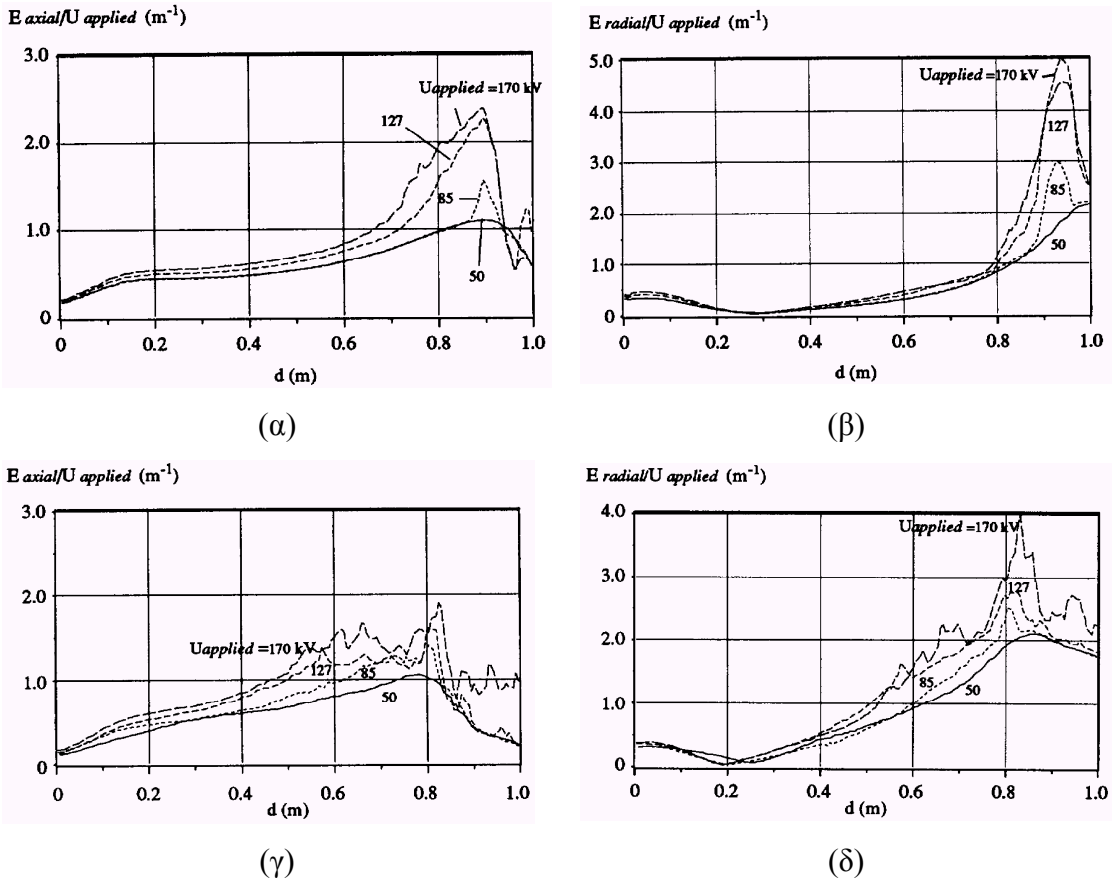


Σχήμα 2.4: α) Μετρήσεις πεδίου σε μονωτήρα διέλευσης, β) μετρήσεις πεδίου σε μονωτήρα στήριξης.

Το πεδίο γύρω από τους υπό εξέταση μονωτήρες διέλευσης είναι της τάξεως των 100 kV/m υπό συνθήκες ξηρασίας, ενώ υπό συνθήκες υγρασίας αυτό αυξάνεται σημαντικά. Η ακρίβεια των μετρήσεων μπορεί να ελεγχθεί αν η ακτινική και η αξονική συνιστώσα μετρηθούν ξεχωριστά. Σε αυτή την περίπτωση η τάση κατά μήκος μιας διαδρομής ολοκλήρωσης μεταξύ των ηλεκτροδίων μπορεί να μετρηθεί και να συγκριθεί με την εφαρμοζόμενη τάση. Από τα αποτελέσματα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο αισθητήρας με το ηλεκτρο-οπτικό βολτόμετρο παρέχει ακρίβεια της τάξεως του 5% για πεδίο >100 και μικρότερη ακρίβεια για μικρότερου μεγέθους πεδίο. Επίσης με χρήση του συστήματος μέτρησης πεδίου που αναφέρθηκε πιο πάνω είναι δυνατόν να μετρηθεί και η κατανομή πεδίου εναλλασσόμενου ρεύματος. Στην περίπτωση όμως αυτή ο αισθητήρας του πεδιομέτρου δεν πρέπει να περιστρέφεται. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων αυτών είναι ίδιας τάξεως με αυτή των μετρήσεων συνεχούς ρεύματος.

Ο Hartings [6, 8] διεξήγαγε πειράματα μέτρησης πεδίου χρησιμοποιώντας παρόμοια μετρητική διάταξη με τον Hornfeldt [4, 8]. Ο αισθητήρας που χρησιμοποίησε ήταν σφαιρικός και μπορούσε να μετράει το πεδίο σε δυο διαστάσεις, δίνοντας την

ακτινική και αξονική συνιστώσα του πεδίου κατά μήκος του μονωτήρα. Ως δοκίμιο χρησιμοποίησε έναν μονωτήρα των 85 kV, τον οποίο υπέβαλε σε εναλλασσόμενη τάση των 50 kV, 85 kV, 127 kV, και 170 kV σε βιομηχανική συχνότητα 50 Hz. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τόσο σε ξηρές συνθήκες όσο και σε συνθήκες υγρασίας. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.5: α) Αξονική συνιστώσα του πεδίου υπό ξηρές συνθήκες, β) ακτινική συνιστώσα του πεδίου υπό ξηρές συνθήκες, γ) αξονική συνιστώσα του πεδίου υπό συνθήκες βροχής, δ) ακτινική συνιστώσα του πεδίου υπό συνθήκες βροχής.

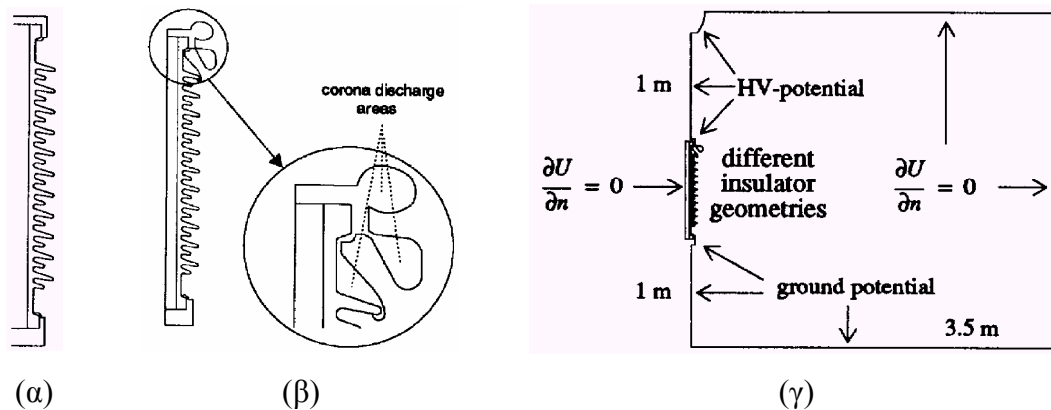
Για την οπτική καταγραφή των εκκενώσεων χρησιμοποιήθηκαν UV φωτογραφικές κάμερες και UV videos. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια των μετρήσεων η επιφάνεια του μονωτήρα (πορσελάνινος) ήταν εντελώς υδρόφιλη. Επίσης παρατηρήθηκε ότι αν ο αισθητήρας του πεδιομέτρου είναι πολύ κοντά στην περιοχή όπου συμβαίνει το εν λόγω φαινόμενο είναι δυνατόν να προκληθεί αύξηση στο φαινομένου Corona. Από τα πειράματα που διεξήχθησαν υπό ξηρές συνθήκες και υπό συνθήκες υγρασίας σε τάση 50 kV δεν παρατηρήθηκε φαινόμενο Corona. Αντίθετα, αυξανόμενης της τάσης οι εκκενώσεις στην περιοχή της ένωσης του ακροδέκτη υψηλής τάσης με το μονωτικό υλικό του μονωτήρα ήταν εμφανείς.



Παράλληλα [6] με τα πειράματα που έγιναν, επιχειρήθηκε και προσομοίωση του πεδίου με τη βοήθεια ενός δισδιάστατου προγράμματος, βασισμένου στη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων. Η σύγκριση των δυο μεθόδων θα δώσει μια πιο σαφή και αντικειμενική εικόνα του πεδίου. Τα τρία διαφορετικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα παρακάτω:

1. Το μοντέλο “χωρίς corona”, το οποίο αποτελείται μόνο από το μονωτήρα
2. Το μοντέλο “με corona”, στο οποίο το ηλεκτρόδιο υψηλής τάσης είναι εκτεταμένο προς την περιοχή όπου εμφανίστηκε το φαινόμενο corona συμπεριλαμβανόμενου και των πρόσθετων εκκενώσεων λόγω της επίδρασης του αισθητήρα του πεδιομέτρου
3. Το μοντέλο αυτό δεν λαμβάνει υπόψη του τις εκκενώσεις που οφείλονται στη μετρητική διάταξη (περιλαμβάνει μόνο τη χαμηλότερη προέκταση του ηλεκτροδίου που φαίνεται στο σχήμα 2.6α).

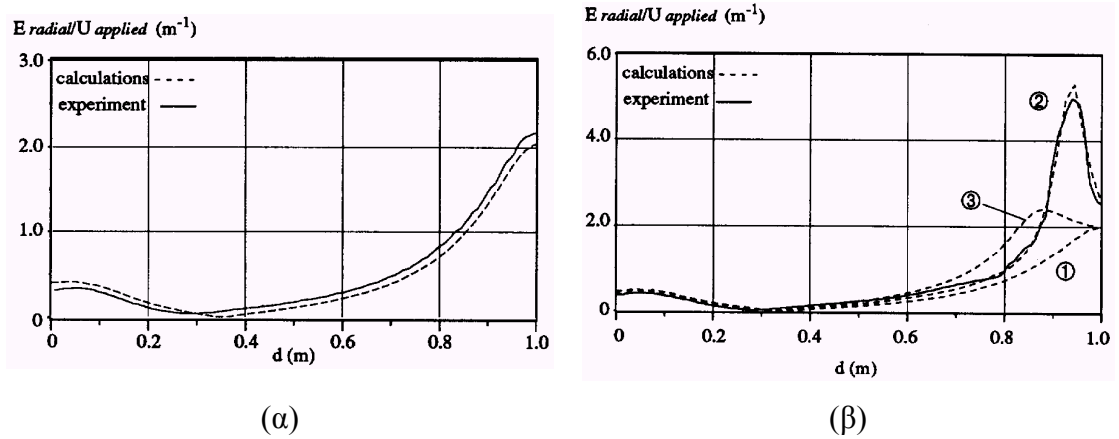
Στο παρακάτω σχήμα δίνεται η βασική γεωμετρία των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν, όπως και οι συνοριακές συνθήκες.



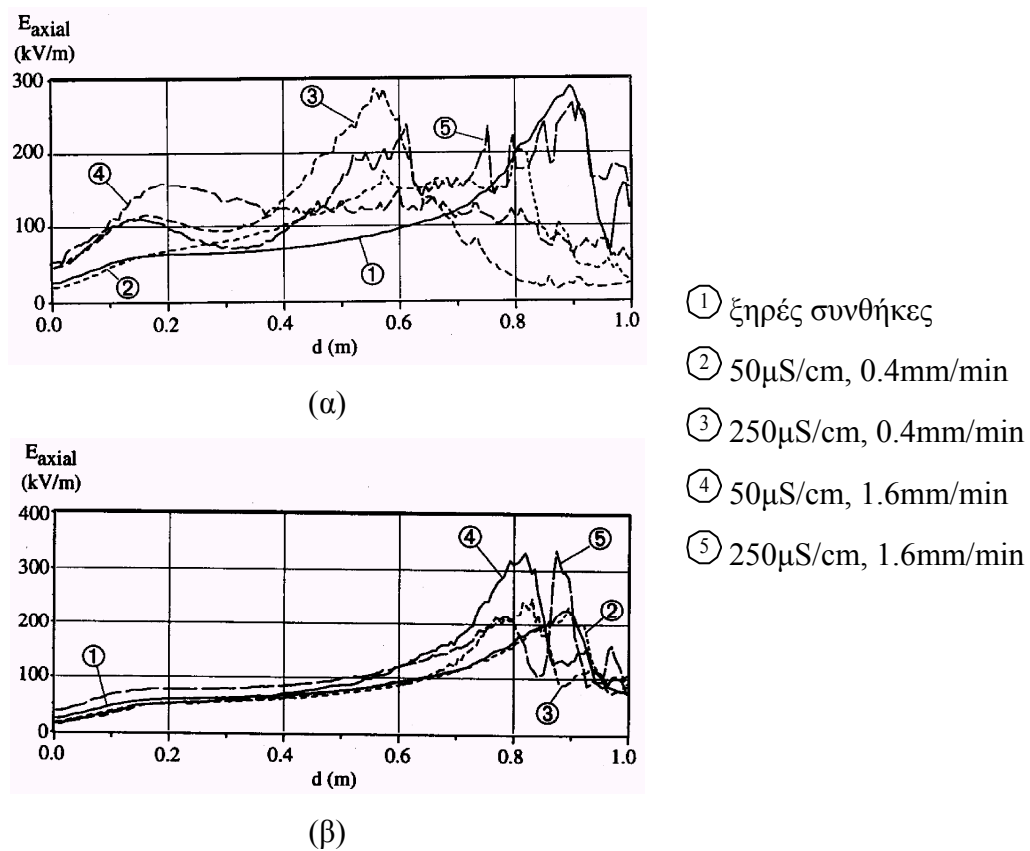
Σχήμα 2.6: α) Το απλό μοντέλο του μονωτήρα, β) το μοντέλο συμπεριλαμβανομένου του φαινομένου Corona και την επίδραση του “probe”, γ) η γεωμετρία των μοντέλων και οι συνοριακές συνθήκες που ορίστηκαν.

Η μετρούμενη ακτινική και αξονική πεδιακή κατανομή στα 50 kV, δεν αποκλίνει από τη αντίστοιχη μετρούμενη, όταν δεν έχουμε το φαινόμενο Corona. Όπως επίσης, με την εφαρμογή των άλλων δυο μοντέλων διαπιστώνουμε ότι οι μετρηθείσες τιμές προσεγγίζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό τις υπολογιζόμενες. Παρατηρήθηκε επίσης ότι αν ο αισθητήρας πεδιομέτρου δεν δημιουργεί φαινόμενο Corona, τότε αυτός δεν φαίνεται να επηρεάζει καθόλου το προς μέτρηση πεδίο. Με αλλά λόγια ο αισθητήρας δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα όταν η τάση έχει κατάλληλη τιμή ώστε

να μην εμφανίζονται εκκενώσεις. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, συγκρίθηκαν με τα πειραματικά δεδομένα, για την ακτινική συνιστώσα και παρουσιάζονται στο σχήμα 2.7.



Σχήμα 2.7: Ακτινική συνιστώσα του πεδίου α) για εφαρμοζόμενη τάση 50kV, απλό μοντέλο μονωτήρα, β) για εφαρμοζόμενη τάση 127kV, ① απλό μοντέλο μονωτήρα, ② μοντέλο φαινομένου Corona και επίδρασης μετρητικής διάταξης, ③ μοντέλο φαινομένου Corona.



Σχήμα 2.8: Αξονική συνιστώσα του πεδίου κατά μήκος α) υδρόφιλου μονωτήρα, β) υδροφοβικού μονωτήρα.

Συνεχίζοντας τα πειράματα ο Hartings [6, 8] διεξήγαγε νέες σειρές μετρήσεων ηλεκτρικού πεδίου σε υδρόφιλο και υδροφοβικό μονωτήρα για διαφορετικές συνθήκες υγρασίας. Προκειμένου ο ένας μονωτήρας να αποκτήσει εντελώς υδρόφοβη επιφάνεια, πλύθηκε προσεκτικά με δυνατό καθαριστικό πριν από κάθε πείραμα. Ο άλλος μονωτήρας ήταν εντελώς υδρόφιλος εξαιτίας ενός καλύμματος RTV. Ως δοκίμιο χρησιμοποίησε μονωτήρες των 85 kV, τους οποίους υπέβαλλε σε εναλλασσόμενη τάση των 50kV, 85 kV, 127 kV, σε βιομηχανική συχνότητα 50 Hz (Σχήμα 2.8). Για την οπτική καταγραφή των εκκενώσεων χρησιμοποίησε, όπως και στα προηγούμενα πειράματα, UV φωτογραφίες και UV video.

## 2.5 Ρύπανση

Ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει τη μονωτική ικανότητα των μονωτικών υλικών, στην περίπτωση που αυτά είναι τοποθετημένα σε εξωτερικούς χώρους, είναι η ρύπανση. Με τον όρο ρύπανση προσδιορίζεται η επικάλυψη ακαθαρσιών που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα ή θαλάσσιας άλμης στην επιφάνεια τους. Η ρύπανση στην επιφάνεια μονωτικού υλικού μπορεί να είναι *θαλάσσια*, η οποία οφείλεται στο γεγονός ότι ο μονωτήρας βρίσκεται σε παραθαλάσσια περιοχή και οι άνεμοι μεταφέρουν θαλασσινό νερό υπό τη μορφή καταιωνισμένου νερού στην επιφάνεια του όπου επικάθεται και σχηματίζεται ένα λεπτό υγρό αλατούχο επίστρωμα, ή *βιομηχανική* η οποία προέρχεται από τα στέρεα κατάλοιπα των βιομηχανιών που απορρίπτονται στην ατμόσφαιρα. Η συνύπαρξη ρύπανσης (θαλάσσια ή βιομηχανικής ή συνδυασμό των δυο αυτών) και δροσιάς, ομίχλης ή σιγανής βροχής αποτελεί δυσμενέστατη συνθήκη λειτουργίας των μονωτικών υλικών και μπορεί να υποβιβάσει τη μονωτική τους ικανότητα σε μεγάλο βαθμό (40% έως 80%) με αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικού τόξου [8].

## 2.6 Δόκιμες ρύπανσης

Ένα από τα σημαντικότερα θέματα που απασχολεί πλέον τους κατασκευαστές μονωτήρων είναι τόσο ο προσδιορισμός της λειτουργίας τους, όσο και η βελτιστοποίηση της απόδοσης τους υπό συνθήκες ρύπανσης. Για αυτό και πολλά ερευνητικά κέντρα έχουν ασχοληθεί και ασχολούνται ακόμα με δόκιμες σε

μονωτήρες υπό συνθήκες ρύπανσης. Αυτές οι δοκιμές μπορούν να χωριστούν σε δυο κατηγορίες: δόκιμες με φυσική ρύπανση και δόκιμες με τεχνητή ρύπανση [8].

### **2.6.1 Δοκιμές με φυσική ρύπανση**

Σε διάφορες περιοχές επιβαρημένες με ρύπανση έχουν κατασκευαστεί σταθμοί δοκιμών, στους οποίους πραγματοποιούνται δοκιμές, είτε υπό τάση, είτε χωρίς, σε μονωτήρες αφήνοντάς τους να ρυπανθούν φυσικά επί σειρά ετών. Οι δοκιμές αυτές είναι πολύ χρήσιμες, καθώς λαμβάνουν υπόψη τους τις φυσικές συνθήκες ρύπανσης, αλλά τα αποτελέσματά τους δίνουν πληροφορίες χρήσιμες ιδιαίτερα για την περιοχή στην οποία διεξάγονται [8].

Στην Ιαπωνία, τη Σαουδική Αραβία αλλά και το Μεξικό κατασκευάστηκαν σταθμοί δοκιμών οι οποίοι εκτέλεσαν πειράματα τόσο υπό όσο και χωρίς τάση σε αλυσίδες πορσελάνινων μονωτήρων [8]. Στους ρυπαντές που συλλέχθηκαν από τους παραπάνω μονωτήρες μετρήθηκε η ισοδύναμη πυκνότητα εναποθέματος αλατιού (ESDD).

Στην Κίνα (Σαγκάη), κάνοντας ένα βήμα παραπάνω, εγκατέστησαν τέσσερις αντιπροσωπευτικούς τύπους πορσελάνινων μονωτήρων σε γραμμή μεταφοράς των 220kV εν λειτουργία για ένα χρόνο και στη συνέχεια τους απεγκατέστησαν προκειμένου να τους υποβάλλουν σε δοκιμές αντοχής σε θάλαμο τεχνητής ρύπανσης [8]. Παρατήρησαν ότι αν προστεθεί μία μικρή ποσότητα αλατιού στους ήδη ρυπασμένους μονωτήρες μειώνεται σε μεγάλο βαθμό η τάση υπερπήδησης, συνεπώς απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή αν η περιοχή είναι ευάλωτη σε ισχυρούς ανέμους προερχόμενους από τη θάλασσα.

Οι Vosloo και Holtzhausen [8], το 2003, παρουσίασαν πειράματα φυσικής ρύπανσης μονωτήρων ίδιου σχήματος, αλλά κατασκευασμένων από διαφορετικά υλικά, τα οποία διήρκεσαν ένα έτος. Η εναπόθεση ρύπανσης ελέγχθηκε στους υπό εξέταση μονωτήρες και συγκρίθηκε με την αντίστοιχη εναπόθεση σε μονωτήρες που βρίσκονταν εκτός τάσης. Τα πειράματα διεξήχθησαν στη Νότια Αφρική, σε περιοχή που συνδυάζει θαλάσσια (Ατλαντικός Ωκεανός), βιομηχανική (καμένο πετρέλαιο, άνθρακας, βαριά σωματίδια καύσιμου λαδιού, εκπομπές διυλιστηρίου κ.α.) και αγροτική (περιστασιακές πυρκαγιές, ψεκασμός φυτειών, θερισμός κ.α.) ρύπανση. Διαπιστώθηκε ότι η ύπαρξη αέρα, αλλά και η κατεύθυνσή του, επηρεάζουν σημαντικά την εναπόθεση ρύπανσης. Παρατηρήθηκε ότι στους μονωτήρες που δεν

βρίσκονταν υπό τάση υπήρχε οπτικά περισσότερη ποσότητα ρύπανσης σε σύγκριση με τους μονωτήρες που βρίσκονταν υπό τάση, αν και οι μετρήσεις αγωγιμότητας στην επιφάνεια των μονωτήρων έδειξαν η αγωγιμότητα της ρύπανσης στους μονωτήρες που δεν βρίσκονταν υπό τάση ήταν μικρότερη σε σχέση με την επιφανειακή αγωγιμότητα των μονωτήρων που βρίσκονταν υπό τάση.

### 2.6.2 Δοκιμές τεχνητής ρύπανσης

Το γεγονός ότι η πραγματοποίηση πειραμάτων φυσικής ρύπανσης απαιτεί πολύ χρόνο σε συνδυασμό με τη διαφοροποίηση των συνθηκών ρύπανσης από περιοχή σε περιοχή, οδήγησε τους επιστήμονες στη πραγματοποίηση διάφορων τεχνικών δοκιμών για την προσομοίωση φυσικών συνθηκών που προκαλούν υπερπήδηση λόγω ρύπανσης [8].

Ο McIlhagger [8], το 1969, διεξήγαγε πειράματα τοποθετώντας το μονωτήρα μέσα σε θάλαμο ρυθμιζόμενων συνθηκών υγρασίας. Με τη διάταξη που χρησιμοποίησε μέτρησε ταυτόχρονα τη θερμοκρασία και την τάση σε πορσελάνινο μονωτήρα δίνοντας ποσοτικές πληροφορίες για τη συμπεριφορά των μονωτήρων πολύπλοκου σχήματος, οι οποίοι λειτουργούν υπό δυσμενείς συνθήκες.

Γενικά οι δοκιμές τεχνητής ρύπανσης μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο ευρείες κατηγορίες:

- i. σε αυτή στην οποία ο μονωτήρας υπόκειται σε καθορισμένες περιβαλλοντικές συνθήκες (π.χ. μέθοδος της αλατομίχλης – Salt fog method) και
- ii. σε αυτή στην οποία ο μονωτήρας είναι καλυμμένος με ένα στρώμα ρύπανσης πριν από την εφαρμογή της τάσης.

Πιο αναλυτικά:

- Η μέθοδος της αλατομίχλης μπορεί να συστηθεί για τους μονωτήρες που υποβάλλονται θαλάσσια ή “λεπτού στρώματος” ρύπανση λόγω της ευρύτητας της αξιοπιστίας της, της ακρίβειάς της και της ευκολίας με την οποία μπορούν να ελεγχθούν οι συνθήκες δοκιμής.
- Η μέθοδος πυριτικού αλεύρου μπορεί να συστηθεί για τους μονωτήρες που υφίστανται βιομηχανική ρύπανση, η οποία χαρακτηρίζεται από τα παχιά στρώματα.
- Η μέθοδος της αντοχής σε ομίχλη και οι μέθοδοι ομίχλης ατμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μονωτήρες που υποβάλλονται τόσο σε θαλάσσια, όσο και

βιομηχανική ρύπανση. Αυτές οι δοκιμές είναι ευέλικτες και μπορούν να προσαρμοστούν στις αναμενόμενες, ανά περίπτωση, φυσικές συνθήκες ρύπανσης.

Οι Gorur et al. [8] διεξήγαγαν μία σειρά πειραμάτων σε θάλαμο ρυθμιζόμενων συνθηκών ρύπανσης εξετάζοντας τη συμπεριφορά πολυμερών μονωτήρων, οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι από διαφορετικά υλικά, όταν υποβάλλονται τόσο σε εναλλασσόμενη, όσο και σε συνεχή τάση [8].

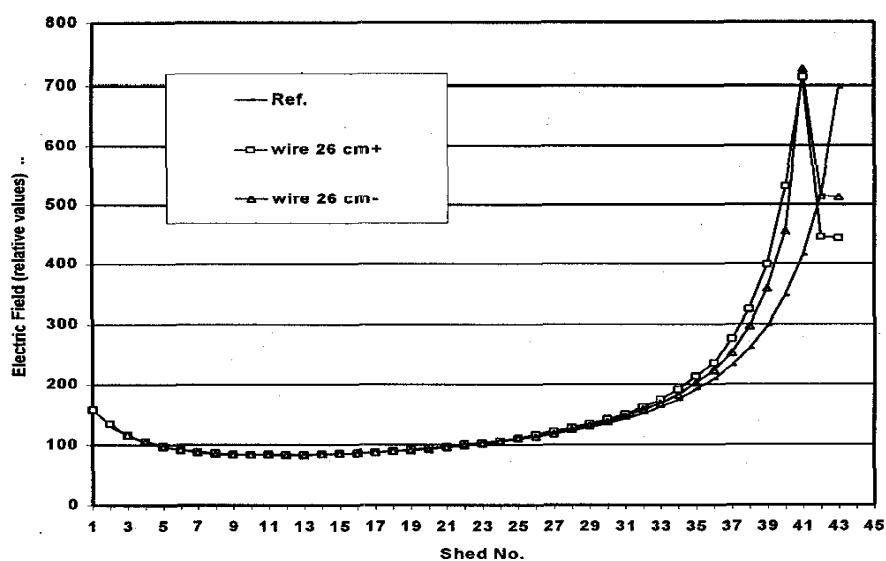
Οι Engelbrecht et al. [8], το 2003, διεξήγαγαν πειράματα χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της αλατομίχλης (salt fog method) και με τη μέθοδο ξηρού στρώματος άλατος (dry-salt-layer method) με στόχο να συγκρίνουν τις δύο μεθόδους και να καταδείξουν την πιο αξιόπιστη μέθοδο για προσομοίωση συνθηκών θαλάσσιας ρύπανσης. Ως δοκίμιο χρησιμοποίησαν έναν πολυμερή μονωτήρα διέλευσης 800kV. Από άλλους ερευνητές έχει αποδειχθεί ότι η μέθοδος αλατομίχλης δίνει έγκυρα αποτελέσματα για τους μονωτήρες γυαλιού και πορσελάνης, που είναι τοποθετημένοι σε παράκτιες περιοχές. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων των Engelbrecht et al. έδειξαν ότι η μέθοδος της αλατομίχλης δεν είναι το ίδιο αξιόπιστη σε πολυμερείς μονωτήρες παράκτιων περιοχών [8].

Οι παραπάνω ερευνητές συνέκριναν τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών που διεξήγαγαν με αποτελέσματα άλλων ερευνητών που προέκυψαν από δοκιμές φυσικής ρύπανσης σε παράκτιες περιοχές. Τα αποτελέσματα της εργαστηριακής δοκιμής δεν βρέθηκαν σε καλή συμφωνία με τα αποτελέσματα των δοκιμών φυσικής ρύπανσης. Μια πιθανή εξήγηση για αυτή τη διαφορά είναι ότι στο εργαστήριο η συνολική δοκιμή γίνεται μόνο μία φορά, γεγονός που δεν προσομοιώνει τα αποτελέσματα μιας μακροπρόθεσμης συγκέντρωσης ρύπανσης.

## **2.7 Δοκιμές ελέγχου ελαττωματικών μονωτήρων**

Εκτός από τις δοκιμές ρύπανσης (φυσικής ή τεχνητής) οι ερευνητές εκτελούν και δοκιμές με βάση τις οποίες διαπιστώνουν την ελαττωματικότητα των μονωτήρων. Μια σειρά τέτοιων δοκιμών πραγματοποιήθηκε στο Quebec του Καναδά [11]. Οι δοκιμές αυτές πραγματοποιήθηκαν σε μονωτήρες οι οποίοι κατεστάθηκαν ελαττωματικοί για τους σκοπούς του πειράματος αλλά και σε μονωτήρες οι οποίοι κατεστάθηκαν ελαττωματικοί λόγω βλάβης κατά τη λειτουργία τους σε εξωτερικό περιβάλλον. Όλοι οι υπό εξέταση μονωτήρες ήταν σχεδιασμένοι για λειτουργία στα

735 kV αλλά για λόγους ασφαλείας τα πειράματα έγιναν υπό τάση 300 kV. Κατά την πρώτη σειρά πειραμάτων μια ρωγμή μήκους 32 cm προκλήθηκε στο μονωτήρα. Στην πρώτη δόκιμη δεν τοποθετήθηκε απολύτως τίποτα στη ρωγμή. Με αυτόν τον τρόπο διαπιστώθηκε ότι η ρωγμή στο σώμα ενός μονωτήρα δεν επηρεάζει καθόλου το πεδίο γύρω από αυτόν. Κατόπιν, ένα λεπτό χάλκινο καλώδιο μήκους 26 cm τοποθετήθηκε στο άκρο της υψηλής τάσης συνδεδεμένο με το άκρο του ηλεκτροδίου. Στην τρίτη δοκιμή το καλώδιο αυτό αποσυνδέθηκε από το άκρο του ηλεκτροδίου. Οι μετρήσεις από τις παραπάνω δοκιμές φαίνονται στο σχήμα 2.9.



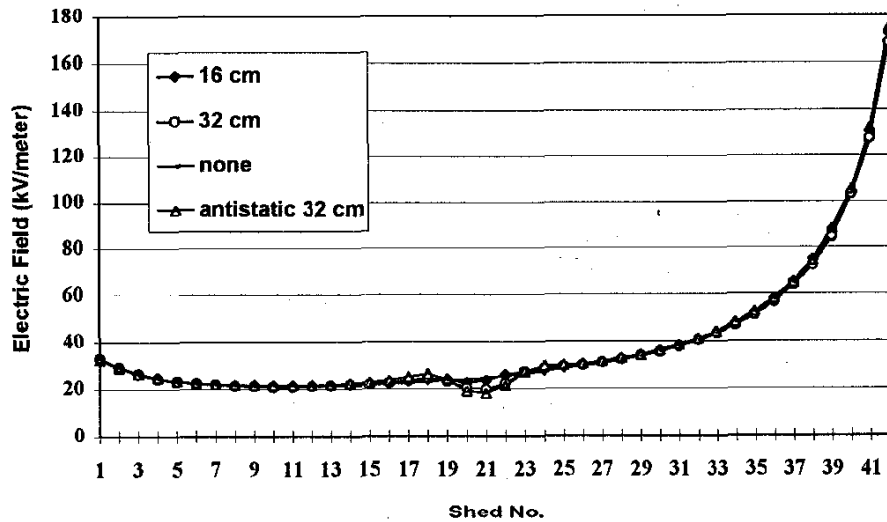
Σχήμα 2.9: Μέτρηση ηλεκτρικού πεδίου υπό τάση 300 kV σε ρωγμή 32 cm.

Στην επόμενη σειρά δοκιμών αγωγία και ημιαγωγία κομμάτια τοποθετήθηκαν στην ρωγμή. Στο σχήμα 2.10 φαίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων και διαπιστώνουμε ότι, ενώ οι τέσσερις γραφικές σχεδόν ταυτίζονται, στο σημείο της ρωγμής υπάρχει μια απόκλιση μεταξύ τους.

Κατά τη διάρκεια της δεύτερης σειράς πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν τρεις ελαττωματικοί μονωτήρες με τομές μήκους 8cm, 16cm, 42cm αντίστοιχα.

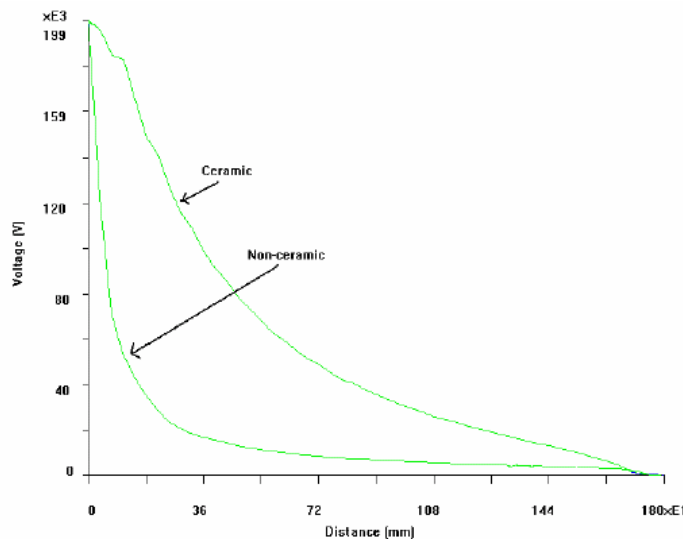
Από το 1993 με τη νέα αυτή μέθοδο εντοπισμού ελαττωματικών μονωτήρων πολλοί μονωτήρες ελέγχθηκαν [11]. Έτσι αναγνωρίστηκαν ελαττωματικοί μονωτήρες που με τις προηγούμενες μεθόδους ελέγχου (κιάλια, οπτικός έλεγχος εξ αποστάσεως κ.τ.λ.) ήταν αδύνατος ο εντοπισμός τους. Στα επόμενα χρόνια η μέτρηση του ηλεκτρικού πεδίου του μονωτήρα αποτέλεσε σπουδαίο εργαλείο αφού έδωσε πολλές πληροφορίες για την κατάσταση των μονωτήρων, δηλώνοντας κάθε φορά επακριβώς την ανάγκη επισκευής, αντικατάστασης ή παράτασης της λειτουργίας του. Η συσκευή ελέγχου αποδείχθηκε πολύ χρήσιμη στο να καθορίζει την αναγκαιότητα

μεσολάβησης συντήρησης τους.



Σχήμα 2.10: Μέτρηση ηλεκτρικού πεδίου υπό τάση 300kV με τοποθέτηση αγώγιμων και ημιαγώγιμων κομματιών στη ρωγμή.

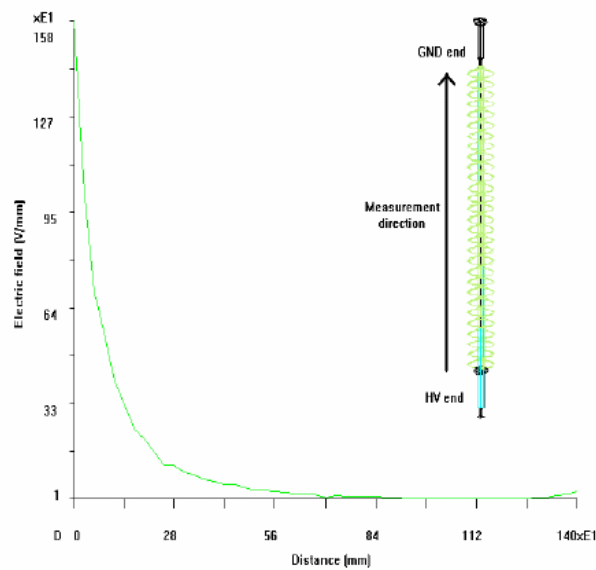
Η κατανόηση της κατανομής του ηλεκτρικού πεδίου είναι θεμελιώδης για το σχεδιασμό των μονωτήρων, αλλά και για τον εντοπισμό των εσωτερικών ελαττωμάτων τους [9]. Στους κεραμικούς μονωτήρες η κατανομή της τάσης είναι σχετικά πιο γραμμική εξαιτίας της παρουσίας των ενδιάμεσων μεταλλικών τμημάτων. Τα υλικά δεν καταστρέφονται με το φαινόμενο Corona. Συνεπώς το φαινόμενο αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα στους κεραμικούς μονωτήρες. Παρ' όλα αυτά στους μη κεραμικούς μονωτήρες, η κατανομή της τάσης είναι πολύ ανομοιόμορφη, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, και μπορεί να προκαλέσει φαινόμενο Corona.



Σχήμα 2.11: Σύγκριση κατανομής τάσης μεταξύ κεραμικών και μη κεραμικών μονωτήρων.

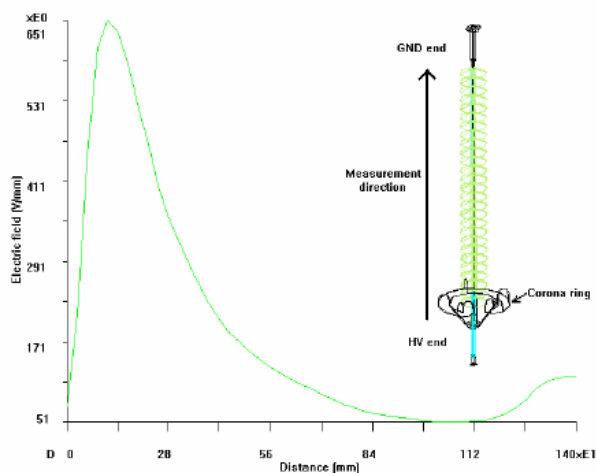


Οι δακτύλιοι Corona κανονικά χρησιμοποιούνται στους μη κεραμικούς μονωτήρες για τάση μεγαλύτερη από 230 kV, με σκοπό να μειωθεί το ηλεκτρικό πεδίο κοντά στο άκρο της γραμμής. Η επίδραση του φαινομένου μπορεί να εξακριβωθεί συγκρίνοντας την κατανομή του πεδίου για μη κεραμικούς μονωτήρες με και χωρίς δακτυλίδι Corona από τα παρακάτω σχήματα. Θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ότι για τους μονωτήρες με δακτυλίδι Corona, η αιχμή της έντασης του πεδίου αρχίζει να μειώνεται σημαντικά και η κατανομή του πεδίου γίνεται πιο ομοιόμορφη.



Σχήμα 2.12: Κατανομή πεδίου κατά μήκος ενός μη κεραμικού μονωτήρα χωρίς δακτύλιο Corona.

Παρατηρούμε ότι η ένταση του πεδίου κοντά στο άκρο υψηλής τάσης είναι σημαντικά μειωμένη. Συστήματα υψηλότερων τάσεων απαιτούν δακτύλιο Corona μεγαλύτερων διαστάσεων.



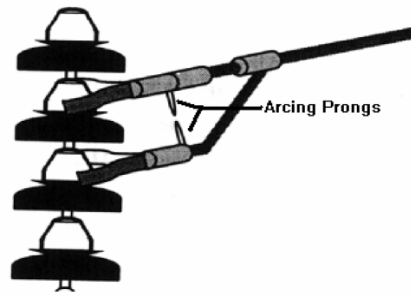
Σχήμα 2.13: Κατανομή πεδίου κατά μήκος ενός μη κεραμικού μονωτήρα με δακτύλιο Corona.

Αποτελεσματικές μέθοδοι χρειάζονται προκειμένου οι ελαττωματικοί μονωτήρες να εντοπιστούν και να αντικατασταθούν εγκαίρως. Διάφορες μέθοδοι έχουν προταθεί για τον εντοπισμό των ελαττωμάτων αυτών, αλλά η μέθοδος του ηλεκτρικού πεδίου (E-field method) είναι η πιο ελπιδοφόρα, επειδή αυτή παρέχει έναν τρόπο εντοπισμού των εσωτερικών ελαττωμάτων. Τα ελαττώματα μπορεί να προκαλέσουν αλλαγές στην ιδιότητα των υλικών, η οποία αντικατοπτρίζεται σαν αλλαγή στο ηλεκτρικό πεδίο. Παρ' όλα αυτά όλα τα ελαττώματα δεν προκαλούν τόσο σημαντική αλλαγή στο ηλεκτρικό πεδίο ικανή να εντοπιστεί. Έτσι, υπάρχει ανάγκη να χαρακτηριστεί η μέθοδος του ηλεκτρικού πεδίου όσον αναφορά το μέγεθος, τις ιδιότητες και τη θέση του ελαττώματος. Τέλος, είναι απαραίτητο να ξέρουμε πόσο σύντομα θα εντοπιστεί ένα ελάττωμα κατά τη διάρκεια μιας συντήρησης ή επισκευής.

Διάφορες μέθοδοι έχουν προσδιοριστεί για τον εντοπισμό ελαττωμάτων σε ηλεκτροφόρες γραμμές (live line) και υπό συνθήκες εργαστηρίου. Μερικές από αυτές είναι : η ακουστική μέθοδος (buzz method), megger-based resistance method, η μέτρηση διηλεκτρικού ρεύματος (Dielectric current measurements), η μέθοδος των μερικών εκκενώσεων (Partial discharge method), οι μετρήσεις RIV (Radio Influence Voltage, ο χρόνος αντοχής (Time withstand), οι δοκιμές αντοχής υπό κρουστική τάση, η υπέρυθρη θερμογραφία (Infrared thermography) και η μέθοδος του ηλεκτρικού πεδίου (Electric field method) [9].

#### **Ακουστική μέθοδος (Buzz method)** (για πορσελάνινους μονωτήρες)

Σε αυτή τη μέθοδο η τάση κατά μήκος του κουδουνιού εφαρμόζεται μεταξύ δυο αιχμηρών σημείων (prongs) στην άκρη μιας καυτής βέργας, όπως δείχνει το παρακάτω σχήμα. Ο υγιής μονωτήρας θα δημιουργήσει ένα ηλεκτρικό τόξο κατά μήκος των αιχμηρών σημείων προκαλώντας ένα σταθερό δυνατό ήχο. Αντιθέτως, ένας ελαττωματικός μονωτήρας δεν θα έχει αρκετό δυναμικό για να δημιουργήσει ένα τέτοιο τόξο [9].



Σχήμα 2.14: Buzz method για τον έλεγχο κεραμικών μονωτήρων.

Αυτή η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε κεραμικούς μονωτήρες εξαιτίας της ύπαρξης των μεταλλικών κομματιών πάνω στα οποία τα ηλεκτρόδια μπορούν να τοποθετηθούν.

### **Megger-based resistance method**

Η αντίδραση μεταξύ δυο οποιονδήποτε σημείων ενός μονωτήρα μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας ένα ωμόμετρο υψηλής τάσης. Η παρουσία χαμηλής αντίδρασης δηλώνει την ύπαρξη ελαττώματος. Αυτή η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί τόσο για κεραμικούς όσο και για μη κεραμικούς μονωτήρες στο εργαστήριο και όχι απαραίτητα μόνο για τη μέτρηση πεδίου. Αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για επιφανειακά ελαττώματα και πολύ μεγάλα αγωγίμα εσωτερικά ελαττώματα. Ίχνη από μικρότερου μήκους ελαττώματα (tracks of smaller lengths) δεν μπορούν να εντοπιστούν με αυτή τη μέθοδο [9].

### **Μέτρηση διηλεκτρικού ρεύματος (Dielectric current measurements)**

Το εναλλασσόμενο διηλεκτρικό ρεύμα ενός ενεργοποιημένου μονωτήρα ρέει τόσο σε ολόκληρη την επιφάνεια όσο και στο σώμα του μονωτήρα. Το ρεύμα αυτό έχει τόσο χωρητική, όσο και ωμική συνιστώσα. Επιπροσθέτως, υπάρχει ένα παράσιτο χωρητικό επιφανειακό ρεύμα, το οποίο ρέει μεταξύ των μεταλλικών ακρών. Προκειμένου να μετρήσουμε το ρεύμα, το οποίο ρέει στο μονωτήρα, η παράσιτη χωρητικότητα του αέρα περιορίζεται χρησιμοποιώντας ένα ηλεκτρόδιο οδηγό και το διηλεκτρικό ρεύμα προκύπτει χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της αντίστασης (shunt resistance method). Η παρουσία υψηλών ρευμάτων υποδηλώνει την παρουσία ελαττώματος. Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο εργαστήριο, προσαρμόζοντας τη στο πεδίο για κεραμικούς και μη μονωτήρες. Παρ' όλα αυτά με αυτή τη μέθοδο εντοπιζόντουσαν μόνο ελαττώματα μεγάλης κλίμακας που θα

μπορούσαν να προκαλέσουν απευθείας αποτυχία και όχι μικρότερου μεγέθους ελαττώματα. Συνεπώς η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να θεωρηθεί ως αξιόπιστη τεχνική [9].

### **Μέθοδος των μερικών εκκενώσεων (Partial discharge method)**

Η παρουσία συγκεντρωμένων σημείων πεδίου (concentrated field locations) μπορεί να προκαλέσει εκκενώσεις και φαινόμενο Corona. Αυτές οι εκκενώσεις δύναται να εντοπιστούν χρησιμοποιώντας μετρήσεις μερικών εκκενώσεων στις οποίες οι μονωτήρες γειώνονται μέσω ενός μηχανισμού μερικής εκκένωσης. Ένα φίλτρο αναγνωρίζει τις εκκενώσεις που συμβαίνουν στο μονωτήρα σε μορφή παλμών ρεύματος (current pulses). Οι ρευματικοί αυτοί παλμοί ενώνονται δημιουργώντας το φορτίο της μερικής εκκένωσης. Οι εκκενώσεις ενός υγιούς μονωτήρα είναι πολύ μικρές, της τάξεως των μερικών pico coulombs. Μεγαλύτερες εκκενώσεις υποδηλώνουν την παρουσία πεδιακών συγκεντρώσεων και φαινομένου Corona. Αυτή η μέθοδος παρ όλο που είναι αποτελεσματική είναι πολύ επιρρεπείς στο θόρυβο και έτσι δεν μπορεί να εφαρμοστεί παρά μόνο σε κλωβό Faraday και όχι στο εξωτερικό περιβάλλον [9].

### **Μετρήσεις RIV (Radio Influence Voltage)**

Με αυτή τη μέθοδο, ένα παραβολικό πιάτο με ένα πολύ ευαίσθητο μικρόφωνο και μεγάλο κέρδος ενισχυτή χρησιμοποιούνται για να ακούσουμε τον παραγόμενο ήχο λόγω του φαινομένου Corona. Η αντήχηση έχει διαπιστωθεί ότι συγκρούεται με την εν λόγω συσκευή. Η παρουσία και μόνο του φαινομένου Corona μπορεί να αποτελέσει πηγή ατέλειας. Παρ όλα αυτά η συγκεκριμένη μέθοδος δεν είναι αρκετά αξιόπιστη στον εντοπισμό ελαττωμάτων αφού η ακριβής θέση του φαινομένου Corona δεν μπορεί να εντοπιστεί.

### **Χρόνος αντοχής (Time withstand)**

Ο συγκεκριμένος είναι ένας εργαστηριακός έλεγχος ο οποίος μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε κεραμικούς όσο και σε μη κεραμικούς μονωτήρες. Οι μονωτήρες υπόκεινται στο 80% της μετρούμενης τάσης εκκένωσης τους για μερικά λεπτά. Κατόπιν, οι μονωτήρες επανενεργοποιούνται και εξετάζονται για γενική και περιορισμένη θερμότητα. Η παρουσία σημείων αυξημένης θερμοκρασίας υποδηλώνει την ύπαρξη

ελαττωμάτων [9].

### **Δοκιμές αντοχής υπό κρουστική τάση**

Η κρουστική μέθοδος λειτουργεί ως εξής, εφαρμόζουμε μια τυπική κρουστική τάση με ένα κατάλληλο μέγεθος και μια αύξηση/πτώση χρονική περίοδο των 1,25/50  $\mu\text{s}$  στο μονωτήρα και ελέγχουμε την τάση κατά μήκος του μονωτήρα. Ένας υγιής μονωτήρας θα έχει μια γραμμική αύξηση της τάσης για 1,25 $\mu\text{s}$  ακολουθούμενη από μια εκθετική μείωση της τάσης για 50 $\mu\text{s}$ . Η παρουσία βραχυκυκλώματος θα οδηγήσει σε κατάρρευση τάσης [9].

### **Υπέρυθρη θερμογραφία (Infrared thermography)**

Αυτή η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε κεραμικούς και μη μονωτήρες για τον εντοπισμό ελαττωμάτων. Ένας υγιής μονωτήρας παράγει θερμότητα κοντά στην περιοχή του μεταλλικού άκρου (pin area) υπό υγρές συνθήκες, όπως π.χ. κατά τη διάρκεια πλυσίματος, αντίθετα με έναν ελαττωματικό μονωτήρα που θα παραμείνει κρύος. Χρησιμοποιώντας θερμοοπτική συσκευή η παρουσία ζεστών και θερμών περιοχών μπορεί να υποδηλώσει την ύπαρξη ή όχι σφάλματος στον μονωτήρα. Στους μη κεραμικούς μονωτήρες η κατανομή της γραμμής από την άκρη της γραμμής έως τη γείωση πρέπει να είναι μέχρι 3 °C με υψηλότερη θερμοκρασία κοντά στα άκρα. Οποιαδήποτε απόκλιση εντοπιστεί στην κλίμακα της θερμοκρασία ή η θέση των καυτών περιοχών είναι μακριά από τα άκρα, υποδηλώνει την παρουσία ελαττωμάτων [9].

### **Μέθοδος του ηλεκτρικού πεδίου (Electric field method)**

Το ηλεκτρικό πεδίο κατά μήκος της επιφάνειας ενός μονωτήρα μετράται, ολισθαίνοντας έναν αισθητήρα πεδιομέτρου ο οποίος είναι προσκολλημένος στο άκρο μιας ζεστής βέργας και οι μετρήσεις του πεδίου αποθηκεύονται σε ένα data logger. Τα δεδομένα αυτά μεταφέρονται σε έναν άλλο υπολογιστή όπου τα μετρούμενα στοιχεία συγκρίνονται με τα αντίστοιχα δεδομένα ενός υγιούς μονωτήρα. Οποιαδήποτε απόκλιση από τις τιμές αναφοράς του πεδίου δηλώνει την ύπαρξη ατελειών. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη στους κεραμικούς αλλά και στους μη κεραμικούς μονωτήρες [9].

Κατόπιν λεπτομερούς ερευνάς, οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει κάποια μεμονωμένη μέθοδος που μπορεί να εντοπίζει όλων των ειδών τα ελαττώματα. Παρ' όλα αυτά η μέθοδος του ηλεκτρικού πεδίου (E-field method) θεωρείται ως η πλέον αξιόπιστη και τις περισσότερες των περιπτώσεων δίνει ακριβή αποτελέσματα.

## Κεφάλαιο 3

### *Πειραματική διάταξη*

#### **3.1 Περιγραφή δοκιμίων**

Στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του Ε.Μ.Π. διεξήχθησαν πειράματα για τη μέτρηση της κατανομής της τάσης και του ηλεκτρικού πεδίου σε αλυσοειδείς μονωτήρες τύπου cap and pin, οι οποίοι χρησιμοποιούνται από τη ΔΕΗ για την ανάρτηση γραμμών μεταφοράς 150kV. Κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν τυποποιημένες αλυσίδες μονωτήρων πορσελάνης ή υάλου, τύπου κανονικού ή ομίχλης. Πιο αναλυτικά μελετήθηκαν οι εξής αλυσίδες:

- ♦ Δώδεκα (12) δισκοειδείς μονωτήρες πορσελάνης για 150 kV, τύπου κανονικού με διάμετρο 254mm, βήμα 146mm, και μήκος ερπυσμού 290mm.



Σχήμα 3.1: Πορσελάνινος δισκοειδής μονωτήρας πορσελάνης, τύπου κανονικού

- ♦ Δέκα (10) δισκοειδείς μονωτήρες γυαλιού για 150 kV, τύπου κανονικού με διάμετρο 254mm, βήμα 146mm, και μήκος ερπυσμού 290mm.



Σχήμα 3.2: Γυάλινος δισκοειδής μονωτήρας, τύπου κανονικού

- ♦ Δώδεκα (12) δισκοειδείς μονωτήρες γυαλιού για 150 kV, τύπου ομίχλης με διάμετρο 280mm, βήμα 146mm, και μήκος ερπυσμού 430mm.



Σχήμα 3.3: Γυάλινος δισκοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης



- ♦ Δώδεκα (12) δισκοειδείς μονωτήρες γυαλιού για 150 kV, τύπου ομίχλης με διάμετρο 255mm, βήμα 127mm, και μήκος ερπυσμού 390mm.



Σχήμα 3.4: Γυάλινος δισκοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης

- ♦ Δώδεκα (10) δισκοειδείς μονωτήρες γυαλιού για 150 kV, τύπου κανονικού με διάμετρο 254mm, βήμα 146mm, και μήκος ερπυσμού 305mm

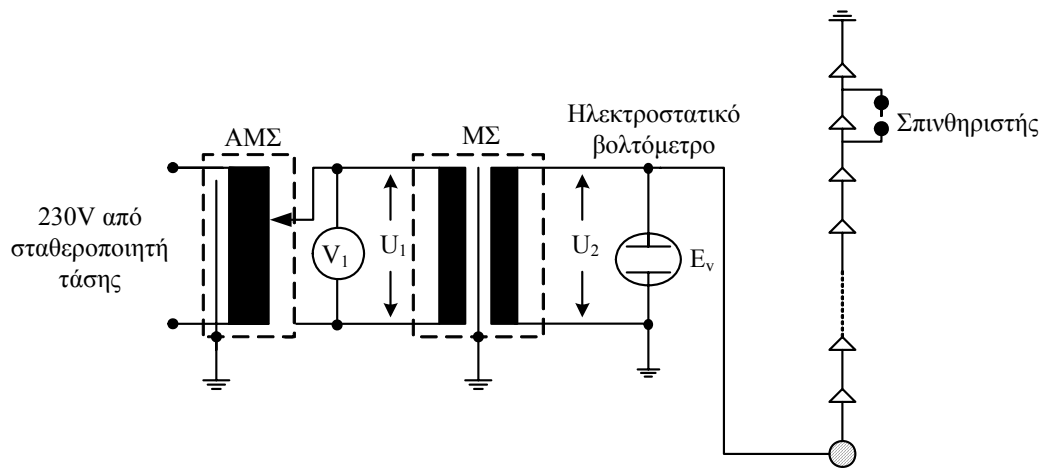


Σχήμα 3.5: Πορσελάνινος δισκοειδής μονωτήρας, τύπου κανονικού

## 3.2 Πειραματική διάταξη

### 3.2.1 Μέτρηση κατανομής επιβαλλόμενης τάσης

Προκειμένου να προσδιοριστεί πειραματικά η κατανομή της επιβαλλόμενης τάσης σε έναν αλυσοειδή μονωτήρα χρησιμοποιήθηκε η διάταξη του Σχήματος 3.6 [3]. Η διάταξη περιλαμβάνει έναν αυτομετασχηματιστή 230V, η είσοδος του οποίου συνδέεται, μέσω ενός σταθεροποιητή, στην παροχή της ΔΕΗ (230V 50Hz) και η έξοδος του τροφοδοτεί ένα μετασχηματιστή 110V/55kV. Η εφαρμοζόμενη τάση στον αλυσοειδή μονωτήρα μετρήθηκε τοποθετώντας ένα βολτόμετρο στο πρωτεύον του μετασχηματιστή και πολλαπλασιάζοντας την ένδειξή του με το λόγο μετασχηματισμού α.[18, 19].



Σχήμα 3.6: Πειραματική διάταξη.

Η επιβαλλόμενη τάση  $U_2$  αυξάνεται έως στον σπινθηριστή, ο οποίος απεικονίζεται στο σχήμα 3.4, να εφαρμοστεί η κρίσιμη τάση του  $U_d$ . Το ποσοστό της τάσης  $P_i$ , το οποίο εφαρμόζεται στον  $i$ -οστό “δίσκο” της αλυσίδας, δίνεται από τη σχέση:

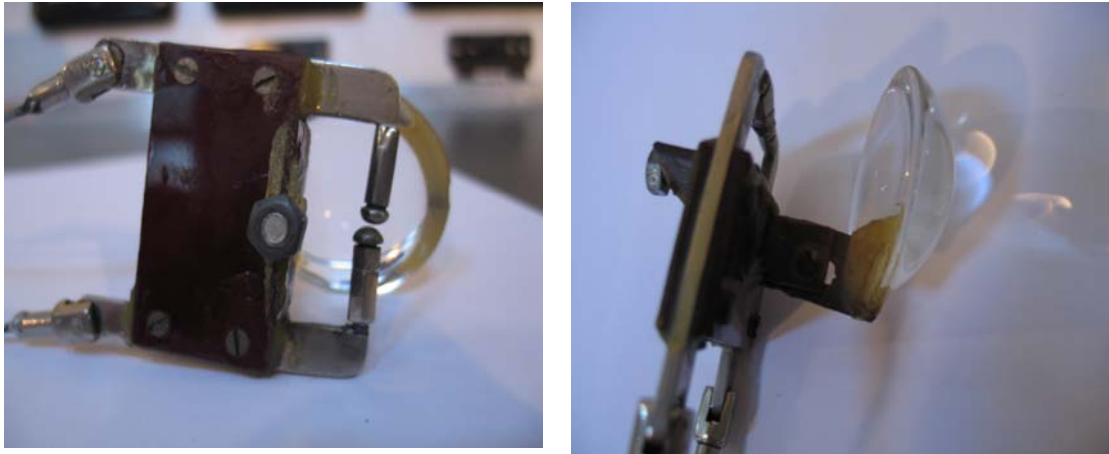
$$P_i = \frac{U_d}{U_{2i}} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

Μετακινώντας τον σπινθηριστή σε κάθε ένα από τους “δίσκους” του μονωτήρα και υπολογίζοντας τα ποσοστά  $P_i$  για κάθε “δίσκο”, μπορεί να υπολογιστεί η κρίσιμη τάση του σπινθηριστή με βάση την εξίσωση:

$$\sum_{i=1}^n P_i = U_d \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{U_{2i}} = 1 \quad (3.2)$$

Συνεπώς, με δεδομένη την τάση  $U_d$  και χρησιμοποιώντας την εξίσωση (3.3) μπορεί να υπολογιστεί η επιβαλλόμενη τάση  $U_{2i}$  σε κάθε “δίσκο” του μονωτήρα.

Παρακάτω φαίνεται ο σπινθηριστής του εργαστηρίου, το διάκενο του οποίου, για την ευκολότερη σύγκριση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων, παρέμεινε σταθερό καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων για κάθε αλυσοειδή μονωτήρα.



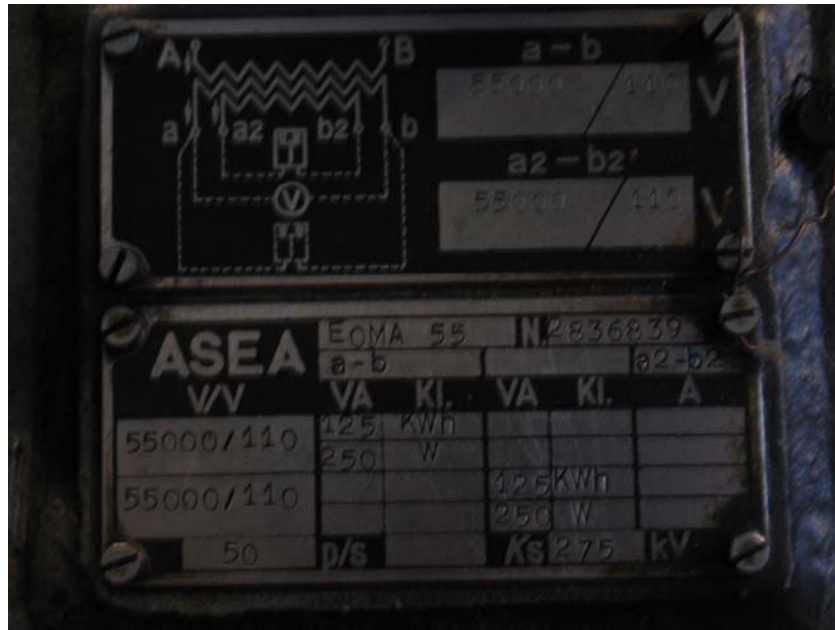
Σχήμα 3.7: Σπινθηριστής

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η τράπεζα χειρισμών του εργαστηρίου από όπου τροφοδοτούσαμε το πρωτεύον του μετασχηματιστή. Ακριβώς πίσω από την τράπεζα χειρισμών βρίσκεται ο μετασχηματιστής.



Σχήμα 3.8: Τράπεζα χειρισμών

Στο σχήμα φαίνονται τα χαρακτηριστικά του μετασχηματιστή.

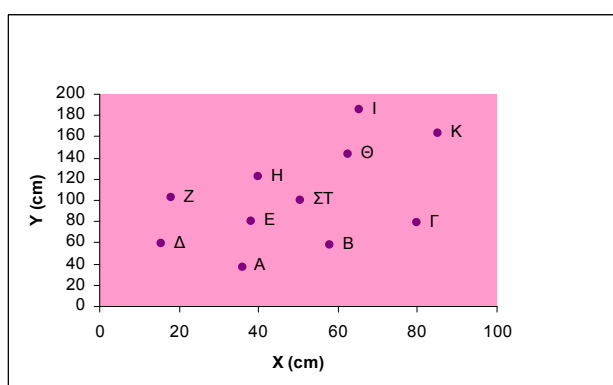


Σχήμα 3.9: Χαρακτηριστικά λειτουργίας Μ/Σ

### 3.2.2 Μέτρηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου

Για τη μέτρηση του ηλεκτρικού πεδίου χρησιμοποιείται το πεδιόμετρο PMM 8053A (Σχήμα 6.13) και ο αισθητήρας (probe) PMM EHP 50B (Σχήμα 3.12), τα οποία συνδέονται μέσω οπτικής ίνας. Το probe τοποθετήθηκε σε διάφορα σημεία του οριζόντιου επιπέδου (δαπέδου), ενώ παράλληλα, με τη βοήθεια επάλληλων σωλήνων, πάνω στους οποίους ενσωματώθηκε ο αισθητήρας, λήφθηκαν μετρήσεις και σε αρκετά σημεία του κατακόρυφου επιπέδου, παράλληλου στον άξονα του αλυσοειδούς μονωτήρα. Στο σχήμα 3.11 παρουσιάζεται αναρτημένος ο προς μέτρηση μονωτήρας καθώς και το πεδιόμετρο τοποθετημένο σε κάποια θέση του χώρου. Σημείο αναφοράς για τις μετρήσεις στο κατακόρυφο επίπεδο θεωρήθηκε το ύψος του αγωγού, για τις αλυσίδες με τους 10 μονωτήρες, ενώ για αυτές με τους 12 μονωτήρες σημείο έναρξης των μετρήσεων ήταν τα 11 cm πάνω από το ύψος του αγωγού. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνονται τα 11 σημεία του επιπέδου στα οποία έγιναν οι μετρήσεις. Στο δισδιάστατο επίπεδο, ως άξονας x θεωρείται ο άξονας που είναι παράλληλος στον αγωγό υψηλής τάσης, ενώ ως άξονας y θεωρείται ο άξονας κάθετος στον αγωγό. Το σημείο (0,0) είναι το σημείο όπου ο κατακόρυφος άξονας του μονωτήρα τέμνει το οριζόντιο πεδίο.

Θέση	X [cm]	Y [cm]
A	36	37,5
B	58	57,5
Γ	80	78,5
Δ	15,5	59,5
E	38	80
ΣΤ	50,5	100,5
Z	18	102
H	40	122,5
Θ	62,5	143
I	85	163,5
K	65,5	185



Σχήμα 3.10: Απεικόνιση σημείων στο δισδιάστατο επίπεδο.

Η εφαρμοζόμενη τάση στο πρωτεύον του Μ/Σ ήταν σταθερή και ίση με 40V, πολλαπλασιαζόμενη με το λόγο μετασχηματισμού  $\alpha$  μας έδινε την εφαρμοζόμενη τάση στον αλυσοειδή μονωτήρα που ήταν ίση με 20 kV.

### 3.3 Περιγραφή πεδιομέτρου (probe) και αισθητήρα



Σχήμα 3.11: Η θέση του πεδιομέτρου γύρω από το μονωτήρα και τον αγωγό Υ.Τ.

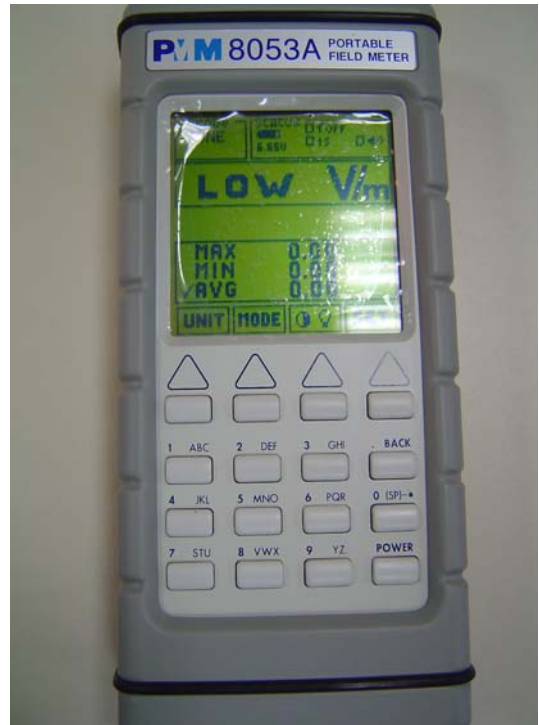
Με τη βοήθεια του πεδιομέτρου μετρήσαμε τις τρεις συνιστώσες του πεδίου (συνιστώσα x, συνιστώσα y, συνιστώσα z), αλλά και το μέσο όρο αυτών κατ' απόλυτη τιμή.

Παρακάτω δίνεται μια σύντομη περιγραφή χειρισμού του συγκεκριμένου πεδιομέτρου αλλά και τα βασικά χαρακτηριστικά του probe.

Χαρακτηριστικά του αναλυτή ηλεκτρομαγνητικού πεδίου EHP-50B		
	ηλεκτρικό πεδίο	μαγνητικό πεδίο
εύρος συχνότητας	5Hz-100kHz	
επίπεδο κλίμακας	0.01V/m-100kV/m	1nT-10mT
υπερφόρτιση	200kV/m (@50Hz)	20mT (@50Hz)
δυναμικό	>140dB	
διάσπαση	0.001V/m	1nT
ευαισθησία	0.01V/m	1nT
απόλυτο σφάλμα	± 0.5dB(50Hz, 1 kV/m)	± 0.5dB(50Hz, 0.1mT)
ομαλότητα (40Hz-10kHz)	± 0.5dB	± 0.5dB
ισοτροπικότητα	± 1dB	
γραμμικότητα	± 0.2dB(1V/m-100kV/m)	± 0.2dB((200nT-10mT)
SPAN	100Hz, 200Hz, 500Hz, 1kHz, 2kHz, 10kHz, 100kHz,	
συχνότητα έναρξης	1.2% του SPAN	
συχνότητα λήξης	ίση με του SPAN	
απόρριψη ηλ. Πεδίου	-	>20dB
απόρριψη μαγν. Πεδίου	>20dB	-
βαθμονόμηση	εσωτερική στα E <sup>2</sup> PROM	
σφάλμα θερμοκρασίας	0.05dB/ °C	
μέγεθος	96*96*115mm	
βάρος	525g	
τρίποδο στήριξης	επαναφορτιζόμενες NiMH μπαταρίες (5*1.2V)	
εσωτερική μπαταρία		
χρόνος λειτουργίας		
χρόνος επαναφόρτισης	<4 hours	
εξωτερική DC τροφοδότηση	DC, 10-15V, I= περίπου 200mA	
σύνδεση οπτικής ίνας	πάνω από 80 μέτρα	
ενημέρωση λογισμικού	μέσω του serial port	
αυτόματος έλεγχος	αυτόματα όταν σβήνει ο μετρητής	
θερμοκρασία λειτουργίας	10oC έως 40oC	
θερμοκρασία αποθήκευσης	20°C έως 70°C	



Σχήμα 3.12: Αισθητήρας (probe)



Σχήμα 3.13: Πεδιόμετρο



Σχήμα 3.14: Σύνδεση πεδιομέτρου με την οπτική ίνα

Εγκατάσταση του EHP-50B στο 8053A: Για να εγκαταστήσουμε το probe τύπου EHP-50B, συνδέουμε α)την οπτική ίνα η οποία παρέχεται με το probe, στην υποδοχή του με την επιγραφή OPTIC LINK, φροντίζοντας το βύσμα να ταιριάζει στην υποδοχή, β)και το άλλο άκρο της οπτικής ίνας στην υποδοχή με την επιγραφή OPTIC LINK του PMM 8053A.

Ο συνδυασμός PMM EHP-50B μπορεί τώρα να ενεργοποιηθεί πατώντας το Κόκκινο κουμπί POWER για ένα δευτερόλεπτο. Τότε το 8053A και το EHP-50B θα ξεκινήσουν να επικοινωνούν. Το EHP-50B θα αρχίσει να φορτώνει όλα τα εσωτερικά δεδομένα στο 8053A και στην οθόνη είναι πιθανό να εμφανιστεί ο τύπος του probe(EHP-50B) που συνδέθηκε και ο εσωτερικός τύπος του λογισμικού του.

Ενεργοποίηση του EHP-50B στο 8053A: Το EHP-50B συνδέεται με το μετρητή PMM 8053A μέσω της οπτικής ίνας. Για να ενεργοποιήσουμε τη σύνδεση, εγκαθιστούμε το PMM 8053A ως εξής:

1. Πιέζουμε το κουμπί SET για να ενεργοποιηθεί ένα παράθυρο από το οποίο οι κύριες παράμετροι και ρυθμίσεις μπορούν να επιλεγούν.
2. Επιλέγουμε την εντολή SERIAL.
3. Επιλέγουμε OPTICAL.

Με βοήθεια όλων αυτών των ρυθμίσεων γίνεται δυνατή μέσω της οπτικής ίνας, η σύνδεση και η αναγνώριση του EHP-50B από το 8053A.



Αφού γίνει η απαραίτητη σύνδεση, ο τύπος του probe, EHP-50B, θα εμφανιστεί στην οθόνη του μετρητή, στο πάνω αριστερό πλαίσιο με την επιγραφή Rep.ter.



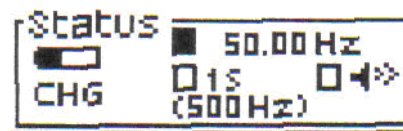
Στο σχήμα 3.15 φαίνεται το κυρίως μενού του πεδιομέτρου.

Στην πρώτη γραμμή του σχ. 3.15 στο αριστερό πλαίσιο απεικονίζεται η ισχύουσα κατάσταση διαφόρων παραμέτρων και ρυθμίσεων του πεδιομέτρου. Φαίνεται ο τύπος του probe που συνδέθηκε, όπως και η τάση της μπαταρίας.



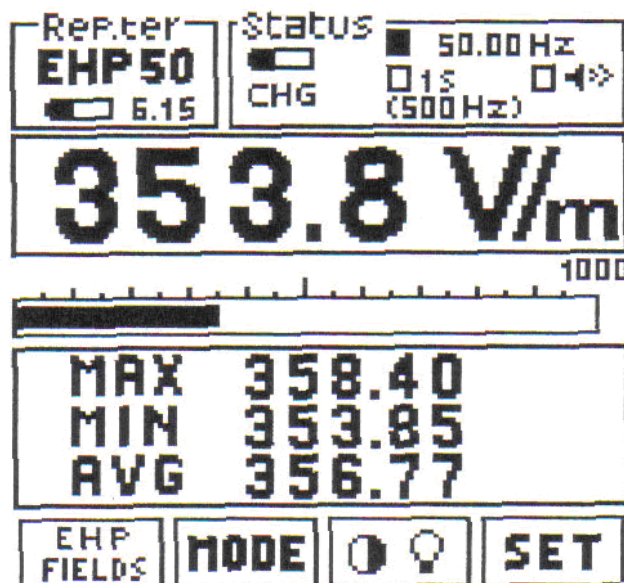


Στην πρώτη γραμμή του σχ. 3.15 στο δεξί πλαίσιο φαίνεται το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας. Υπάρχει μια ένδειξη σήματος κινδύνου και οι σχετικές ρυθμίσεις για αυτό, η συχνότητα στην οποία πραγματοποιούνται οι μετρήσεις και τέλος αναφέρεται και η συχνότητα καταγραφής των μετρήσεων από το πεδίομετρο.



Στη δεύτερη γραμμή του σχήματος 3.15 αναγράφεται η ψηφιακή τιμή της ένδειξης του οργάνου σύμφωνα με την ισχύουσα μονάδα μέτρησης. Αυτή η ένδειξη υπολογίζεται με βάση τον παρακάτω τύπο:  $V / m_{ολικό} = \sqrt{Ex^2 + Ey^2 + Ez^2}$

Στην τρίτη γραμμή του σχήματος 3.15 αναγράφεται η αναλογική τιμή της ένδειξης του οργάνου η οποία μπορεί να είναι γραμμική ή λογαριθμική.



Σχήμα 3.15:Κυρίως μενού πεδιομέτρου

Επίσης μας δίνεται η δυνατότητα να επιλέξουμε τη μονάδα μέτρησης για το ηλεκτρικό πεδίο ή για το μαγνητικό πεδίο με δυο διαφορετικής κλίμακας τιμές μέσω ενός κομβίου που βρίσκεται στην πέμπτη γραμμή του σχήματος 3.15:



Για το ηλεκτρικό πεδίο υπάρχουν:

1k=1000V/m

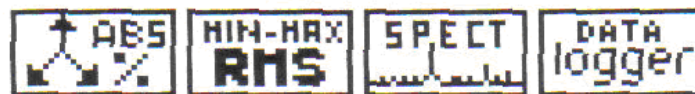
100k=100kV/m

Για το μαγνητικό πεδίο υπάρχουν:

100μ=100μT

10m=10mT

Με την ενεργοποίηση του κουμπιού MODE, οι τέσσερις πιθανές μέθοδοι λειτουργίας είναι οι εξής:



1. ABS %: παρουσιάζονται οι τρεις ανυσματικές συνιστώσες του μετρούμενου πεδίου σε απόλυτες και ποσοστιαίες τιμές.

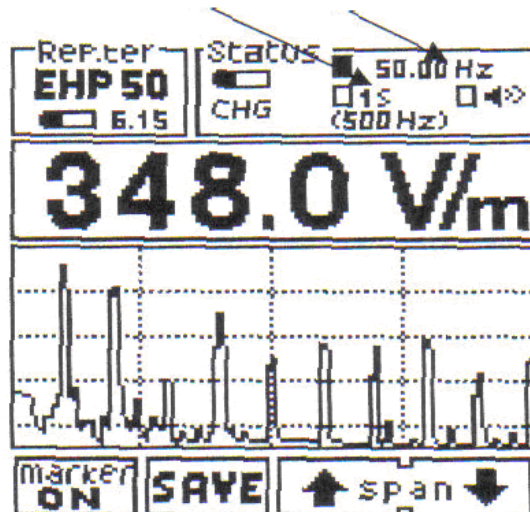
X	274.64	ABS	X	64.0	%
Y	115.75		Y	11.3	
Z	177.97		Z	24.6	

2. MIN-MAX/AVG, MIN-MAX/RMS: οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές εκφράζονται ως αριθμητικοί μεσοί όροι (AVG) ή ως τετραγωνικοί μεσοί όροι (RMS). Παρακάτω δίνονται οι αναλυτικοί τύποι υπολογισμού για τους αριθμητικούς και τετραγωνικούς μέσους όρους.

$$AVG = \frac{1}{T} \int_0^T |E(t)| dt$$



$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T |E(t)|^2 dt}$$

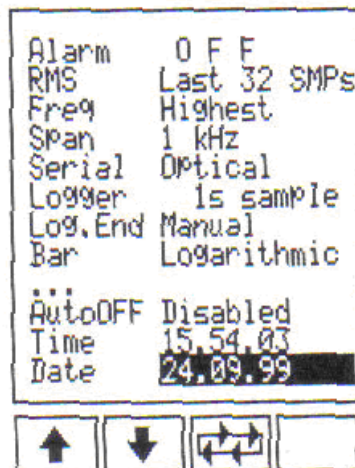
3. SPECT MODE: Σε αυτή τη μέθοδο, το EHP-50B παρουσιάζει μια FFT (γρήγορη σύγκλιση Fourier) ανάλυση μεταξύ των επιλεγμένων SPAN και εμφανίζει τα αποτελέσματα στην οθόνη του 8053A. Η υψηλότερη συχνότητα σήματος παρουσιάζεται στην πρώτη σειρά ενώ το set value του SPAN παρουσιάζεται στις αγκύλες του πλαισίου STATUS.



4. DATA LOGGER: ο χρήστης αποθηκεύει τα δεδομένα των μετρήσεων και τα σώζει σε ένα αρχείο. Όλα τα αρχεία είναι αριθμημένα προοδευτικά και περιλαμβάνουν α) ημερομηνία και ώρα που ξεκίνησαν οι μετρήσεις β) τη μέση τιμή των μετρήσεων γ) την τιμή του κάθε μεμονωμένου δεδομένου δ) τα σχόλια του χρήστη.

Με βάση το σχήμα 3.15, στην πέμπτη γραμμή

- ♦  Το τρίτο κατά σειρά κουμπί μας δίνει τη δυνατότητα να προσαρμόσουμε το φωτισμό της οθόνης με βάση το περιβάλλον φωτισμό έτσι ώστε να βλέπουμε καλύτερα την οθόνη.
- ♦  Το τέταρτο κατά σειρά κουμπί επιτρέπει στο χρήστη να επέμβει και να επιλέξει βασικές παραμέτρους και ρυθμίσεις για τις μετρήσεις. Πατώντας λοιπόν το SET εμφανίζεται στην οθόνη ο παρακάτω πίνακας:



- ✓ Alarm: Με αυτή τη λειτουργία, όταν το μετρούμενο πεδίο υπερβεί την τάση κατωφλίου, ενεργοποιούνται κάποιες διαδικασίες, οι οποίες μας ειδοποιούν για αυτή την υπέρβαση.
- ✓ Μπορούμε να επιλέξουμε RMS ή AVG πατώντας τα βελάκια στο κάτω μέρος της σελίδας. Επίσης, μπορούμε εμείς να θέσουμε το χρονικό εύρος υπολογισμού των δυο παραπάνω μεγεθών.
- ✓ Freq: σε αυτή τη λειτουργία υπάρχουν δυο επιλογές, wideband και highest.
- ✓ Span: Δυνατότητα επιλογής φάσματος
- ✓ Serial: Υπάρχουν δυο επιλογές ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης του πεδιομέτρου με το probe. Αν η σύνδεση είναι καλωδιακή τότε επιλέγουμε 'wired', ενώ αν η σύνδεση έγινε μέσω οπτικής ίνας επιλέγουμε 'optical'.
- ✓ Logger: Καθορισμός δειγματοληψίας για τη λειτουργία απόκτησης και αποθήκευσης μετρήσεων πεδίου για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- ✓ Log.End: αυτή η λειτουργία καθορίζει πόσος χρόνος απαιτείται για την απόκτηση των στοιχείων. Οι πιθανές επιλογές είναι:
  1. χειροκίνητα: η καταγραφή θα σταματήσει χειροκίνητα.
  2. 1 min : η καταγραφή θα σταματήσει μετά από 1 λεπτό.
  3. 2 min: η καταγραφή θα σταματήσει μετά από 2 λεπτά.
  4. 4 min: η καταγραφή θα σταματήσει μετά από 4 λεπτά.
  5. 6 min: η καταγραφή θα σταματήσει μετά από 6 λεπτά.
  6. 12 min: η καταγραφή θα σταματήσει μετά από 12 λεπτά.
  7. 20 min: η καταγραφή θα σταματήσει μετά από 20 λεπτά.
  8. 30 min: η καταγραφή θα σταματήσει μετά από 30 λεπτά.
  9. 60 min: η καταγραφή θα σταματήσει μετά από 60 λεπτά.
- ✓ Bar: σε αυτό το πεδίο επιλέγουμε γραμμική ή λογαριθμική κλίμακα στην αναλογική μπάρα.
- ✓ AutoOFF: το πεδιομετρο μπορεί να σβήσει χειροκίνητα ή αυτόματα, αφού αυτό ήταν ενεργό για μια καθορισμένη χρονική διάρκεια, χωρίς να χρειαστεί να πατήσουμε κάποιο κουμπί. Υπάρχουν τρεις εναλλακτικές
  1. disabled: χειροκίνητο σβήσιμο
  2. 10 min: το PMM 8053A θα σβήσει μετά από 10 λεπτά
  3. 60 min: το PMM 8053A θα σβήσει μετά από 60 λεπτά.

Αυτή η λειτουργία είναι ιδιαίτερα σημαντική στην μείωση κατανάλωσης μπαταρίας.

- ✓ Time: σε αυτό το πεδίο ο χρήστης μπορεί να εισάγει ώρα.
- ✓ Date: σε αυτό το πεδίο ο χρήστης μπορεί να εισάγει ημερομηνία.

## Κεφαλαίο 4

### *Μετρήσεις έντασης ηλεκτρικού πεδίου*

#### 4.1 Ένταση ηλεκτρικού πεδίου

Σε αυτό το κεφαλαίο θα παρατεθούν αναλυτικά οι μετρήσεων που έγιναν στις πέντε (5) αλυσίδες μονωτήρων. Επειδή όμως 2 αλυσίδες ήταν αρκετά ρυπασμένες μετρήσαμε το πεδίο στις ρυπασμένες αλυσίδες και κατόπιν τις καθαρίσαμε και επαναλάβαμε τις μετρήσεις στις καθαρές πια αλυσίδες. Άρα συνολικά πραγματοποιήθηκαν 7 σειρές μετρήσεων και τα αποτελέσματα τους παρουσιάζονται παρακάτω. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφαλαίο 3, για κάθε αλυσίδα μονωτήρων, η ένταση του πεδίου μετρήθηκε σε 11 διαφορετικές θέσεις του οριζόντιου επιπέδου.

Πιο αναλυτικά :

##### **4.1.1 Καθαρός πορσελάνινος, αλυσοειδής μονωτήρας, κανονικού τύπου, αποτελούμενος από δώδεκα (12) δισκοειδείς μονωτήρες.**

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο αλυσοειδής μονωτήρας στο περιβάλλον του εργαστηρίου κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης των μετρήσεων.

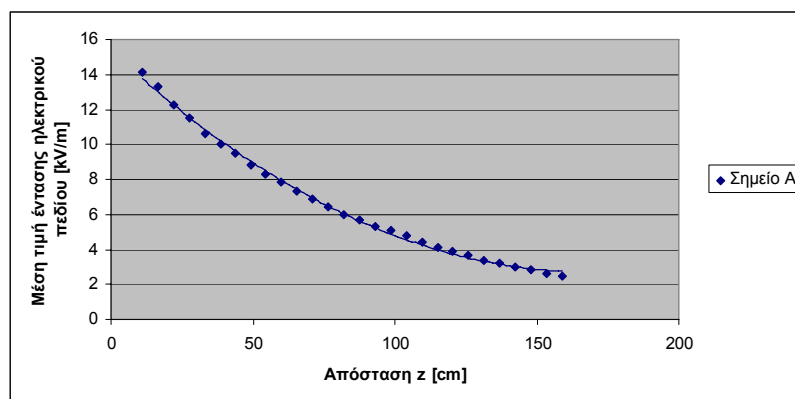


Σχήμα 4.1: Καθαρός πορσελάνινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου κανονικού, αποτελούμενος από δώδεκα (12) δισκοειδείς μονωτήρες,

Για το σημείο Α με συνιστώσες ( $x=36\text{cm}$ ,  $y=37,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.1: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	1,661	14,106	1,264	14,130
2	16,5	2,595	12,768	2,576	13,280
3	22,0	3,394	11,217	3,531	12,270
4	27,5	4,136	9,842	4,281	11,510
5	33,0	4,388	8,440	4,722	10,630
6	38,5	4,305	7,589	5,005	10,040
7	44,0	4,535	6,444	5,198	9,466
8	49,5	4,637	5,400	5,234	8,813
9	54,5	4,796	4,474	5,240	8,271
10	60,0	4,508	3,821	5,141	7,859
11	65,5	4,138	3,427	4,968	7,325
12	71,0	3,821	3,006	4,807	6,858
13	76,5	3,582	2,642	4,633	6,400
14	82,0	3,344	2,225	4,467	6,010
15	87,5	3,064	1,996	4,270	5,648
16	93,0	2,817	1,816	4,166	5,301
17	98,5	2,628	1,612	4,017	5,062
18	104,0	2,387	1,451	3,840	4,750
19	109,5	2,150	1,309	3,664	4,445
20	115,0	1,931	1,154	3,439	4,098
21	120,5	1,704	1,083	3,309	3,880
22	126,0	1,541	0,980	3,191	3,676
23	131,5	1,335	0,876	2,989	3,390
24	137,0	1,184	0,790	2,870	3,203
25	142,5	1,064	0,678	2,746	3,028
26	148,0	0,912	0,591	2,590	2,812
27	153,5	1,791	0,516	2,465	2,646
28	159,0	0,658	0,446	2,305	2,439

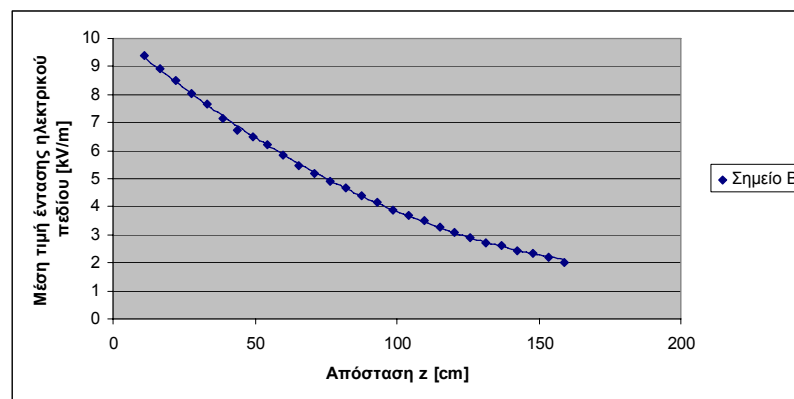


Σχήμα 4.2: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Α

Για το σημείο Β με συνιστώσες ( $x=58\text{cm}$ ,  $y=57,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.2: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	1,417	9,258	0,761	9,397
2	16,5	1,968	8,549	1,412	8,915
3	22,0	2,426	7,960	1,962	8,526
4	27,5	2,971	7,083	2,393	8,051
5	33,0	3,238	6,383	2,756	7,660
6	38,5	3,052	5,770	2,915	7,148
7	44,0	3,214	5,057	3,078	6,729
8	49,5	3,469	4,365	3,266	6,480
9	54,5	3,462	3,909	3,347	6,217
10	60,0	3,286	3,502	3,364	5,863
11	65,5	3,055	3,089	3,304	5,468
12	71,0	2,900	2,805	3,268	5,196
13	76,5	2,799	2,474	3,228	4,925
14	82,0	2,701	2,143	3,165	4,681
15	87,5	2,515	1,855	3,035	4,371
16	93,0	2,355	1,692	2,952	4,137
17	98,5	2,187	1,504	2,860	3,899
18	104,0	2,075	1,320	2,770	3,699
19	109,5	1,884	1,276	2,697	3,528
20	115,0	1,689	1,192	2,552	3,273
21	120,5	1,556	1,078	2,456	3,088
22	126,0	1,418	0,966	2,357	2,916
23	131,5	1,264	0,887	2,226	2,709
24	137,0	1,181	0,817	2,182	2,616
25	142,5	1,086	0,712	2,078	2,451
26	148,0	0,991	0,633	2,001	2,324
27	153,5	0,900	0,570	1,910	2,188
28	159,0	0,804	0,498	1,796	2,019



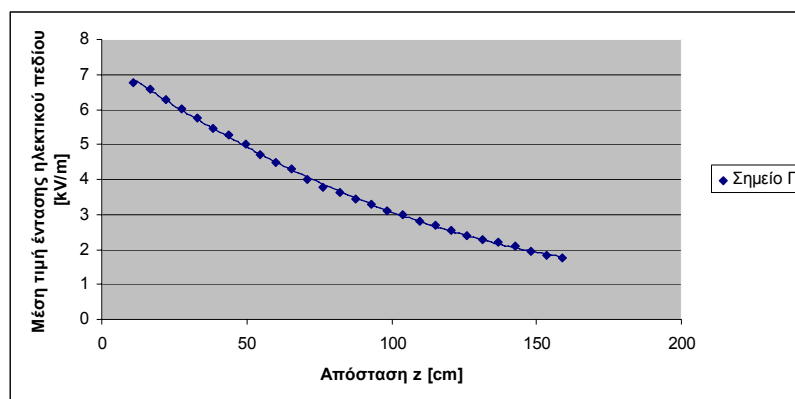
Σχήμα 4.3: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Β



Για το σημείο Γ με συνιστώσες ( $x=80\text{cm}$ ,  $y=78,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.3: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	1,414	6,624	0,456	6,761
2	16,5	1,831	6,274	0,836	6,574
3	22,0	2,176	5,785	1,156	6,289
4	27,5	2,415	5,318	1,418	6,021
5	33,0	2,585	4,829	1,650	5,749
6	38,5	2,552	4,478	1,798	5,469
7	44,0	2,728	4,026	1,977	5,256
8	49,5	2,881	3,505	2,090	4,992
9	54,5	2,857	3,091	2,140	4,722
10	60,0	2,758	2,774	2,169	4,479
11	65,5	2,611	2,578	2,172	4,281
12	71,0	2,466	2,291	2,164	4,001
13	76,5	2,386	2,032	2,146	3,785
14	82,0	2,306	1,815	2,145	3,637
15	87,5	2,161	1,622	2,103	3,436
16	93,0	2,094	1,445	2,084	3,289
17	98,5	1,936	1,340	2,032	3,109
18	104,0	1,856	1,190	2,001	2,978
19	109,5	1,689	1,135	1,929	2,812
20	115,0	1,608	1,006	1,876	2,679
21	120,5	1,449	0,972	1,801	2,526
22	126,0	1,355	0,891	1,762	2,398
23	131,5	1,252	0,822	1,696	2,264
24	137,0	1,205	0,739	1,672	2,189
25	142,5	1,121	0,647	1,617	2,077
26	148,0	1,023	0,606	1,535	1,942
27	153,5	0,958	0,547	1,487	1,849
28	159,0	0,903	0,466	1,430	1,751

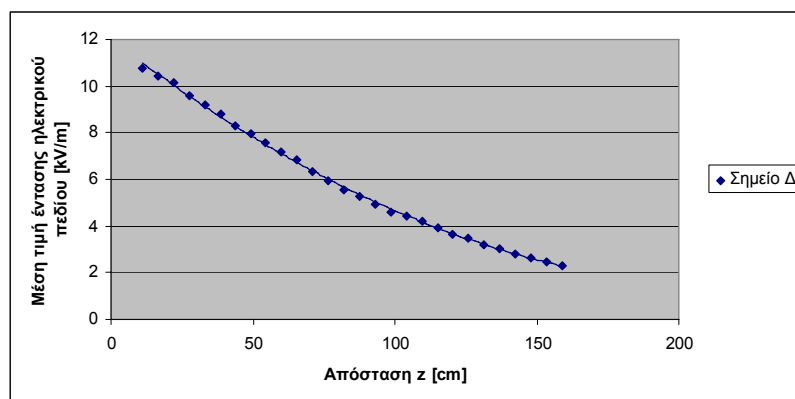


Σχήμα 4.4: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Γ

Για το σημείο Δ με συνιστώσες ( $x=15,5\text{cm}$ ,  $y=59,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.4: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,249	10,731	0,359	10,740
2	16,5	0,410	10,486	0,414	10,450
3	22,0	0,965	10,060	1,106	10,160
4	27,5	1,574	9,347	1,684	9,603
5	33,0	1,819	8,719	2,174	9,170
6	38,5	1,808	8,194	1,541	8,805
7	44,0	2,244	7,472	2,860	8,301
8	49,5	2,900	6,718	3,178	7,973
9	54,5	2,988	6,119	3,327	7,558
10	60,0	2,899	5,614	3,449	7,197
11	65,5	2,696	5,197	3,518	6,846
12	71,0	2,521	4,667	3,481	6,345
13	76,5	2,392	4,237	3,438	5,968
14	82,0	2,258	3,777	3,407	5,557
15	87,5	2,089	3,441	3,345	5,246
16	93,0	1,869	3,139	3,269	4,916
17	98,5	1,787	2,825	3,185	4,617
18	104,0	1,674	2,600	3,155	4,417
19	109,5	1,494	2,398	3,081	4,184
20	115,0	1,346	2,185	2,988	3,934
21	120,5	1,134	1,988	2,861	3,661
22	126,0	1,024	1,795	2,776	3,464
23	131,5	0,859	1,596	2,631	3,197
24	137,0	0,758	1,431	2,529	3,013
25	142,5	0,675	1,259	2,407	2,798
26	148,0	0,596	1,116	2,335	2,656
27	153,5	0,491	0,982	2,212	2,469
28	159,0	0,392	0,854	2,101	2,307

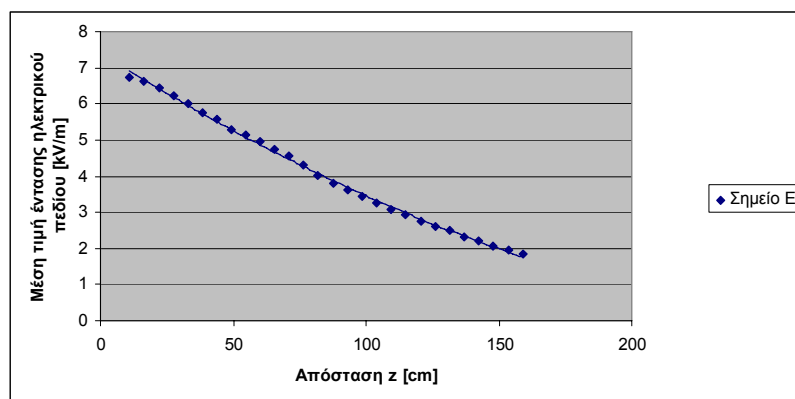


Σχήμα 4.5: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Δ

Για το σημείο E με συνιστώσες ( $x=38\text{cm}$ ,  $y=80\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.5: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,414	6,766	0,111	6,749
2	16,5	0,849	6,546	0,275	6,607
3	22,0	1,156	6,274	0,820	6,434
4	27,5	1,588	5,931	0,937	6,225
5	33,0	1,759	5,610	1,221	6,006
6	38,5	1,851	5,248	1,421	5,745
7	44,0	2,158	4,843	1,648	5,564
8	49,5	2,388	4,367	1,814	5,288
9	54,5	2,431	4,086	1,949	5,136
10	60,0	2,384	3,838	2,075	4,970
11	65,5	2,264	3,594	2,149	4,756
12	71,0	2,187	3,332	2,215	4,561
13	76,5	2,111	3,020	2,231	4,307
14	82,0	2,034	2,685	2,217	4,030
15	87,5	1,920	2,446	2,191	3,814
16	93,0	1,828	2,215	2,163	3,609
17	98,5	1,692	2,070	2,158	3,431
18	104,0	1,625	1,861	2,116	3,256
19	109,5	1,444	1,767	2,066	3,079
20	115,0	1,336	1,619	2,016	2,936
21	120,5	1,191	1,518	1,979	2,760
22	126,0	1,074	1,392	1,917	2,612
23	131,5	0,993	1,292	1,867	2,480
24	137,0	0,893	1,174	1,790	2,319
25	142,5	0,839	1,066	1,745	2,195
26	148,0	0,748	0,955	1,643	2,047
27	153,5	0,696	0,875	1,602	1,962
28	159,0	0,640	0,782	1,544	1,845

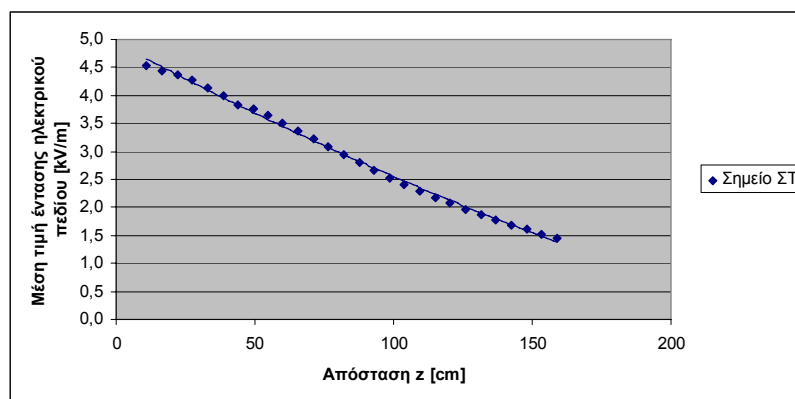


Σχήμα 4.6: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο E

Για το σημείο ΣΤ με συνιστώσες ( $x=50,5\text{cm}$ ,  $y=100,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.6: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,583	4,488	0,031	4,527
2	16,5	0,860	4,350	0,181	4,446
3	22,0	0,995	4,236	0,372	4,367
4	27,5	1,279	4,020	0,551	4,265
5	33,0	1,427	3,793	0,714	4,143
6	38,5	1,408	3,640	0,826	3,993
7	44,0	1,585	3,330	0,953	3,830
8	49,5	1,703	3,185	1,083	3,770
9	54,5	1,897	2,892	1,179	3,654
10	60,0	1,819	2,722	1,243	3,501
11	65,5	1,772	2,541	1,297	3,361
12	71,0	1,705	2,385	1,341	3,224
13	76,5	1,670	2,197	1,373	3,083
14	82,0	1,603	2,035	1,389	2,940
15	87,5	1,549	1,872	1,399	2,810
16	93,0	1,519	1,698	1,405	2,675
17	98,5	1,386	1,611	1,385	2,531
18	104,0	1,332	1,476	1,378	2,417
19	109,5	1,208	1,401	1,353	2,294
20	115,0	1,131	1,291	1,330	2,178
21	120,5	1,039	1,238	1,315	2,082
22	126,0	0,951	1,139	1,278	1,966
23	131,5	0,888	1,066	1,255	1,874
24	137,0	0,843	0,981	1,221	1,785
25	142,5	0,795	0,901	1,192	1,685
26	148,0	0,746	0,833	1,164	1,615
27	153,5	0,698	0,761	1,119	1,523
28	159,0	0,668	0,701	1,098	1,455

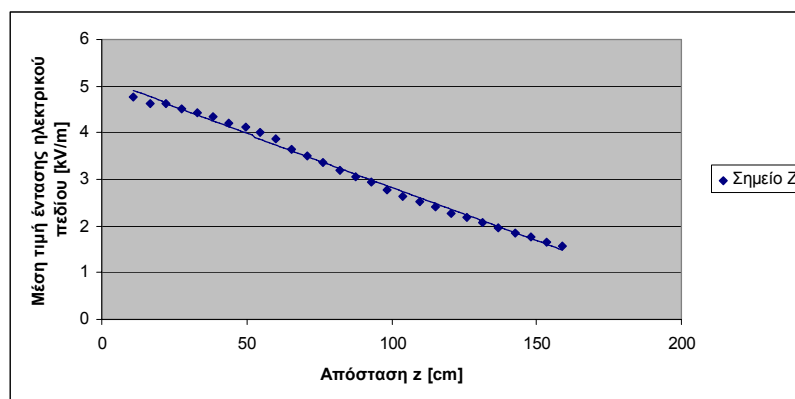


Σχήμα 4.7: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο ΣΤ

Για το σημείο Z με συνιστώσες ( $x=18\text{cm}$ ,  $y=102\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.7: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,113	4,755	0,298	4,766
2	16,5	0,141	4,625	0,068	4,628
3	22,0	0,315	4,615	0,137	4,628
4	27,5	0,695	4,447	0,335	4,513
5	33,0	0,830	4,351	0,526	4,434
6	38,5	0,897	4,207	0,673	4,352
7	44,0	0,124	3,968	0,834	4,218
8	49,5	1,316	3,768	0,979	4,110
9	54,5	1,329	3,618	1,081	4,004
10	60,0	1,367	3,434	1,186	3,862
11	65,5	1,257	3,173	1,232	3,644
12	71,0	1,196	3,011	1,292	3,492
13	76,5	1,205	2,814	1,350	3,352
14	82,0	1,075	2,667	1,391	3,197
15	87,5	1,141	2,441	1,413	3,064
16	93,0	1,125	2,299	1,449	2,952
17	98,5	1,032	2,124	1,435	2,777
18	104,0	0,982	1,978	1,436	2,633
19	109,5	0,877	1,874	1,435	2,528
20	115,0	0,836	1,759	1,435	2,419
21	120,5	0,716	1,639	1,405	2,273
22	126,0	0,639	1,542	1,401	2,180
23	131,5	0,606	1,419	1,369	2,068
24	137,0	0,534	1,325	1,349	1,965
25	142,5	0,533	1,212	1,313	1,859
26	148,0	0,494	1,111	1,281	1,770
27	153,5	0,462	1,012	1,230	1,659
28	159,0	0,441	0,927	1,201	1,577

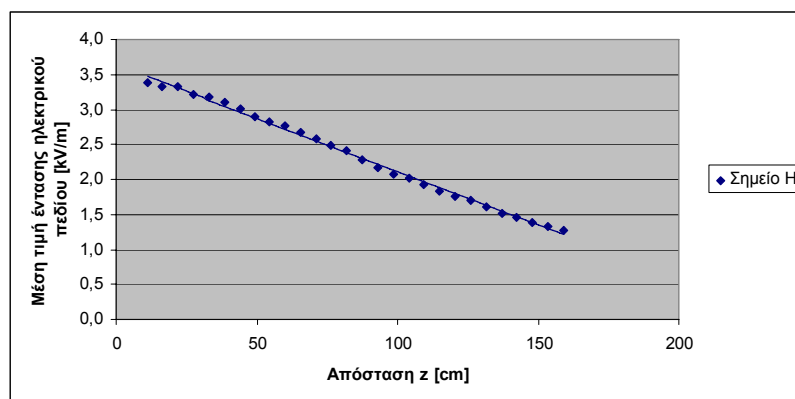


Σχήμα 4.8: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Z

Για το σημείο Η με συνιστώσες ( $x=40\text{cm}$ ,  $y=122,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.8: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,149	3,378	0,200	3,388
2	16,5	0,296	3,308	0,064	3,325
3	22,0	0,503	3,278	0,066	3,318
4	27,5	0,676	3,135	0,187	3,213
5	33,0	0,826	3,058	0,308	3,183
6	38,5	0,830	2,944	0,398	3,095
7	44,0	0,980	2,819	0,498	3,004
8	49,5	1,103	2,610	0,581	2,894
9	54,5	1,227	2,477	0,659	2,829
10	60,0	1,245	2,373	0,730	2,773
11	65,5	1,158	2,264	0,775	2,667
12	71,0	1,136	2,144	0,819	2,571
13	76,5	1,127	2,030	0,864	2,478
14	82,0	1,127	1,920	0,907	2,408
15	87,5	1,087	1,789	0,918	2,286
16	93,0	1,053	1,662	0,934	2,173
17	98,5	0,990	1,566	0,942	2,081
18	104,0	0,965	1,479	0,961	2,011
19	109,5	0,888	1,414	0,961	1,926
20	115,0	0,826	1,327	0,955	1,831
21	120,5	0,751	1,269	0,957	1,766
22	126,0	0,705	1,208	0,952	1,692
23	131,5	0,661	1,114	0,928	1,600
24	137,0	0,597	1,057	0,912	1,519
25	142,5	0,604	0,971	0,901	1,456
26	148,0	0,565	0,903	0,878	1,380
27	153,5	0,547	0,850	0,873	1,336
28	159,0	0,501	0,798	0,854	1,273

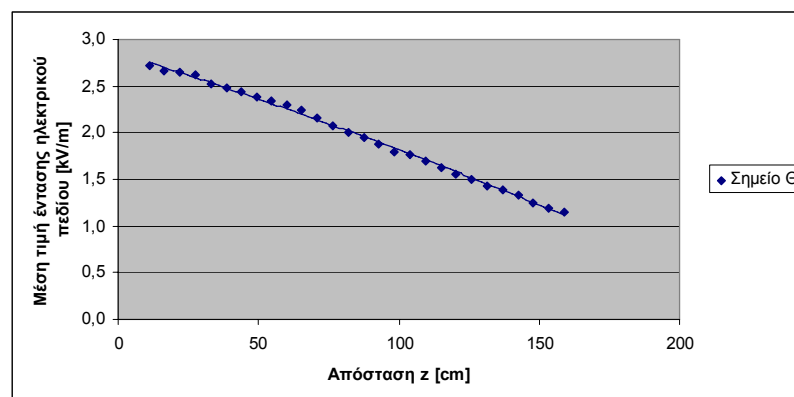


Σχήμα 4.9: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Η

Για το σημείο Θ με συνιστώσες ( $x=62,5\text{cm}$ ,  $y=143\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.9: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,484	2,664	0,213	2,723
2	16,5	0,600	2,586	0,112	2,658
3	22,0	0,739	2,529	0,022	2,644
4	27,5	0,880	2,436	0,065	2,622
5	33,0	0,963	2,332	0,153	2,526
6	38,5	0,930	2,287	0,216	2,475
7	44,0	1,077	2,178	0,297	2,438
8	49,5	1,193	2,035	0,371	2,383
9	54,5	1,139	2,009	0,418	2,346
10	60,0	1,098	1,967	0,466	2,302
11	65,5	1,099	1,876	0,518	2,240
12	71,0	1,074	1,792	0,558	2,162
13	76,5	1,076	1,675	0,601	2,080
14	82,0	1,073	1,596	0,632	2,007
15	87,5	1,047	1,502	0,662	1,946
16	93,0	1,054	1,392	0,688	1,873
17	98,5	0,971	1,338	0,696	1,794
18	104,0	0,975	1,280	0,726	1,762
19	109,5	0,899	1,247	0,738	1,703
20	115,0	0,865	1,168	0,740	1,620
21	120,5	0,778	1,126	0,731	1,556
22	126,0	0,773	1,054	0,744	1,505
23	131,5	0,699	1,011	0,739	1,433
24	137,0	0,683	0,945	0,737	1,381
25	142,5	0,661	0,897	0,739	1,338
26	148,0	0,621	0,821	0,717	1,253
27	153,5	0,590	0,776	0,705	1,192
28	159,0	0,578	0,710	0,695	1,152

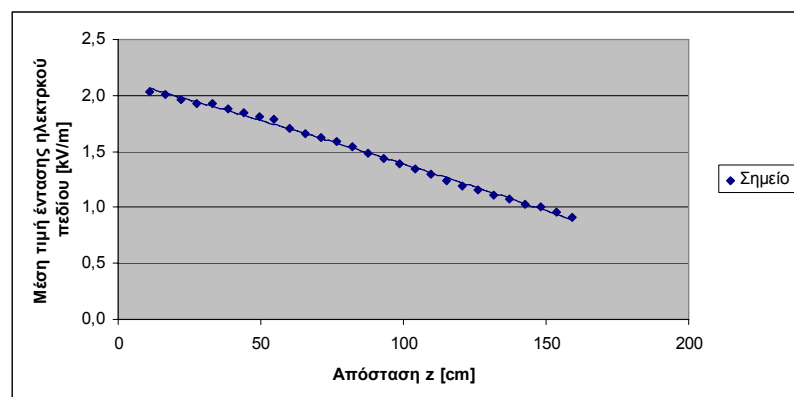


Σχήμα 4.10: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Θ

Για το σημείο I με συνιστώσες ( $x=85\text{cm}$ ,  $y=163,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.10: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,482	1,948	0,196	2,030
2	16,5	0,547	1,924	0,134	2,005
3	22,0	0,657	1,852	0,069	1,968
4	27,5	0,737	1,791	0,011	1,932
5	33,0	0,819	1,744	0,045	1,923
6	38,5	0,820	1,695	0,090	1,884
7	44,0	0,888	1,606	0,144	1,842
8	49,5	0,972	1,519	0,191	1,808
9	54,5	1,005	1,460	0,235	1,788
10	60,0	0,976	1,380	0,271	1,711
11	65,5	0,932	1,332	0,300	1,654
12	71,0	0,929	1,291	0,335	1,618
13	76,5	0,936	1,242	0,370	1,593
14	82,0	0,919	1,169	0,393	1,538
15	87,5	0,891	1,110	0,414	1,483
16	93,0	0,845	1,075	0,426	1,433
17	98,5	0,823	1,029	0,445	1,394
18	104,0	0,819	0,966	0,460	1,345
19	109,5	0,741	0,949	0,469	1,293
20	115,0	0,689	0,921	0,470	1,243
21	120,5	0,654	0,881	0,480	1,195
22	126,0	0,605	0,851	0,485	1,153
23	131,5	0,603	0,800	0,489	1,114
24	137,0	0,582	0,765	0,494	1,080
25	142,5	0,560	0,715	0,492	1,032
26	148,0	0,542	0,687	0,496	1,006
27	153,5	0,521	0,646	0,489	0,963
28	159,0	0,492	0,603	0,485	0,917



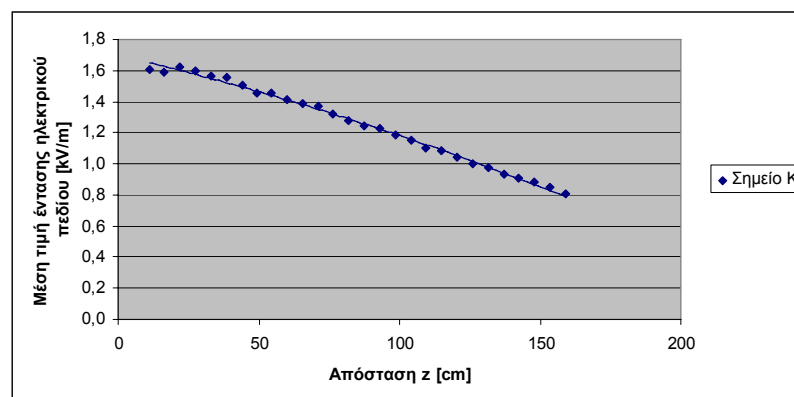
Σχήμα 4.11: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο I



Για το σημείο K με συνιστώσες ( $x=65,5\text{cm}$ ,  $y=185\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.11: Μετρήσεις

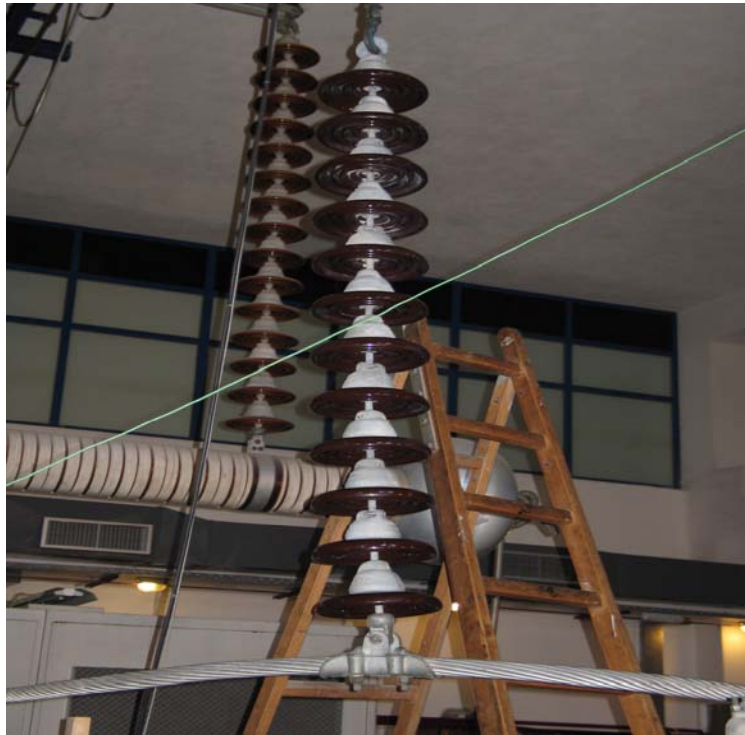
Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,124	1,592	0,229	1,605
2	16,5	0,222	1,568	0,179	1,592
3	22,0	0,291	1,586	0,138	1,621
4	27,5	0,375	1,549	0,091	1,597
5	33,0	0,439	1,509	0,050	1,567
6	38,5	0,430	1,497	0,021	1,558
7	44,0	0,508	1,425	0,021	1,504
8	49,5	0,581	1,334	0,068	1,455
9	54,5	0,632	1,306	0,095	1,454
10	60,0	0,644	1,257	0,132	1,416
11	65,5	0,613	1,228	0,159	1,386
12	71,0	0,602	1,209	0,187	1,368
13	76,5	0,608	1,149	0,215	1,320
14	82,0	0,575	1,121	0,236	1,282
15	87,5	0,611	1,055	0,260	1,248
16	93,0	0,602	1,031	0,276	1,227
17	98,5	0,585	0,985	0,296	1,182
18	104,0	0,577	0,950	0,312	1,155
19	109,5	0,526	0,912	0,314	1,100
20	115,0	0,538	0,885	0,339	1,089
21	120,5	0,481	0,861	0,343	1,041
22	126,0	0,462	0,817	0,349	1,002
23	131,5	0,424	0,808	0,355	0,975
24	137,0	0,401	0,762	0,355	0,932
25	142,5	0,407	0,723	0,363	0,905
26	148,0	0,390	0,696	0,368	0,880
27	153,5	0,388	0,661	0,367	0,851
28	159,0	0,364	0,622	0,361	0,807



Σχήμα 4.12: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο K

**4.1.2 Ρυπασμένος πορσελάνινος αλυσοειδής μονωτήρας, κανονικού τύπου, αποτελούμενος από δώδεκα (12) δισκοειδείς μονωτήρες.**

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο πορσελάνινος αλυσοειδής μονωτήρας, κανονικού τύπου, αποτελούμενος από δώδεκα δισκοειδείς μονωτήρες..

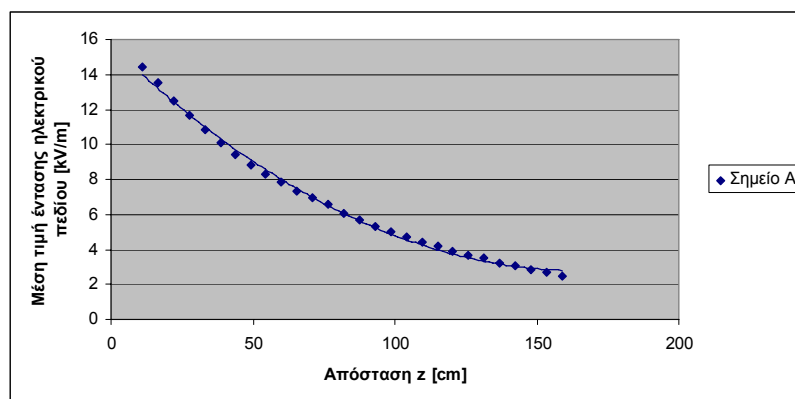


Σχήμα 4.13: Πορσελάνινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου κανονικού, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες

Για το σημείο A με συνιστώσες ( $x=36\text{cm}$ ,  $y=37,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.12: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	1,435	14,289	1,357	14,420
2	16,5	2,249	13,050	2,735	13,520
3	22,0	3,194	11,564	3,776	12,520
4	27,5	3,890	9,994	4,487	11,630
5	33,0	4,702	8,405	5,006	10,820
6	38,5	4,424	7,449	5,149	10,080
7	44,0	4,684	6,157	5,300	9,401
8	49,5	4,783	5,111	5,336	8,788
9	54,5	4,804	4,349	5,373	8,333
10	60,0	4,474	3,737	5,206	7,824
11	65,5	4,121	3,427	5,117	7,360
12	71,0	3,850	3,020	4,952	6,969
13	76,5	3,623	2,587	4,792	6,545
14	82,0	3,365	2,166	4,541	6,059
15	87,5	3,061	1,912	4,385	5,710
16	93,0	2,824	1,706	4,175	5,326
17	98,5	2,595	1,491	4,022	5,012
18	104,0	2,376	1,319	3,845	4,713
19	109,5	2,152	1,222	3,698	4,446
20	115,0	1,953	1,062	3,514	4,156
21	120,5	1,694	1,007	3,323	3,864
22	126,0	1,546	0,865	3,205	3,665
23	131,5	1,357	0,826	3,088	3,484
24	137,0	1,203	0,718	2,934	3,252
25	142,5	1,071	0,614	2,791	3,044
26	148,0	0,919	0,525	2,635	2,840
27	153,5	0,789	0,451	2,495	2,656
28	159,0	0,661	0,379	2,332	2,459

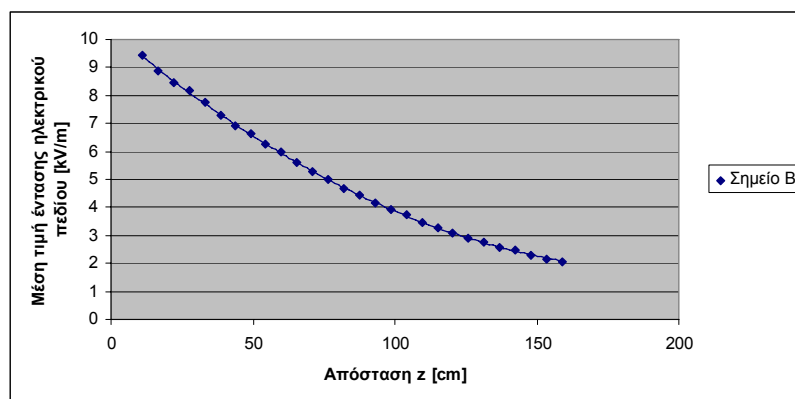


Σχήμα 4.14: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο A

Για το σημείο B με συνιστώσες ( $x=58\text{cm}$ ,  $y=57,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας4.13: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	1,045	9,383	0,789	9,458
2	16,5	0,027	8,776	1,377	8,883
3	22,0	0,562	8,218	1,941	8,442
4	27,5	1,350	7,698	2,426	8,183
5	33,0	1,793	6,992	2,783	7,736
6	38,5	1,652	6,430	2,980	7,278
7	44,0	2,074	5,758	3,177	6,897
8	49,5	3,388	4,591	3,401	6,636
9	54,5	3,544	3,868	3,454	6,284
10	60,0	3,452	3,432	3,482	5,959
11	65,5	3,141	3,102	3,391	5,590
12	71,0	3,020	2,741	3,371	5,291
13	76,5	2,855	2,411	3,297	4,985
14	82,0	2,711	2,094	3,189	4,667
15	87,5	2,522	1,852	3,102	4,418
16	93,0	2,356	1,651	2,991	4,150
17	98,5	2,190	1,475	2,884	3,908
18	104,0	2,088	1,289	2,809	3,731
19	109,5	1,858	1,204	2,671	3,466
20	115,0	1,735	1,072	2,576	3,288
21	120,5	1,535	1,022	2,457	3,073
22	126,0	1,418	0,918	2,358	2,902
23	131,5	1,284	0,849	2,275	2,750
24	137,0	1,184	0,749	2,180	2,592
25	142,5	1,091	0,673	2,099	2,460
26	148,0	0,995	0,577	1,999	2,308
27	153,5	0,893	0,523	1,917	2,171
28	159,0	0,795	0,485	1,840	2,051

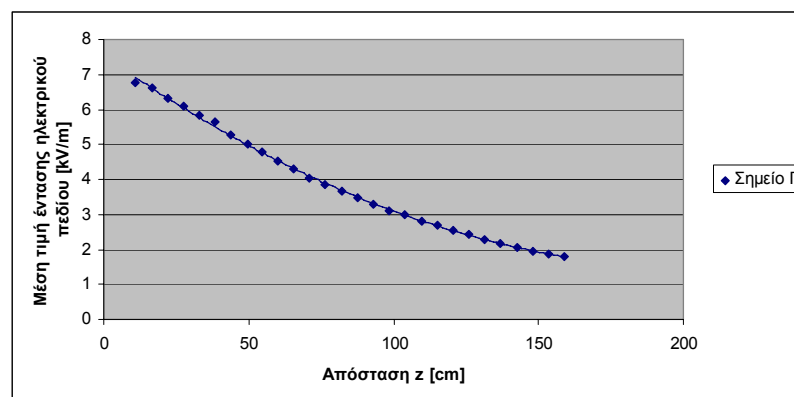


Σχήμα 4.15: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο B

Για το σημείο Γ με συνιστώσες ( $x=80\text{cm}$ ,  $y=78,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.14: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,954	6,683	0,444	6,766
2	16,5	1,291	6,427	0,827	6,608
3	22,0	1,569	5,016	1,145	6,322
4	27,5	2,090	5,525	1,435	6,081
5	33,0	2,304	5,109	1,688	5,832
6	38,5	2,440	4,673	1,859	5,632
7	44,0	2,378	4,259	1,978	5,273
8	49,5	2,509	3,802	2,102	5,024
9	54,5	2,957	3,062	2,185	4,783
10	60,0	2,828	2,767	2,216	4,534
11	65,5	2,648	2,543	2,230	4,298
12	71,0	2,502	2,273	2,207	4,040
13	76,5	2,432	2,013	2,211	3,865
14	82,0	2,324	1,786	2,181	3,648
15	87,5	2,218	1,593	2,148	3,467
16	93,0	2,134	1,397	2,116	3,307
17	98,5	1,960	1,285	2,045	3,108
18	104,0	1,883	1,146	2,027	2,991
19	109,5	1,711	1,084	1,943	2,806
20	115,0	1,616	0,982	1,903	2,677
21	120,5	1,472	0,935	1,833	2,530
22	126,0	1,404	0,841	1,794	2,427
23	131,5	1,268	0,790	1,715	2,271
24	137,0	1,204	0,705	1,675	2,177
25	142,5	1,107	0,630	1,598	2,044
26	148,0	1,043	0,562	1,555	1,959
27	153,5	0,982	0,517	1,518	1,881
28	159,0	0,919	0,463	1,478	1,803

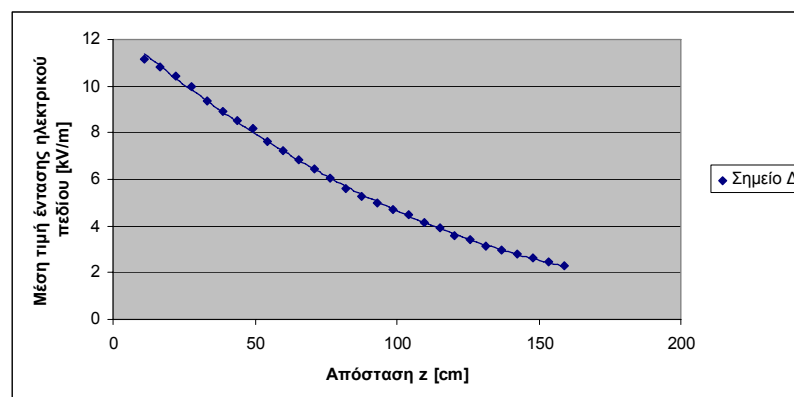


Σχήμα 4.16: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Γ

Για το σημείο Δ με συνιστώσες ( $x=15,5\text{cm}$ ,  $y=59,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.15: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	1,715	11,015	0,475	11,150
2	16,5	0,272	10,845	0,426	10,850
3	22,0	0,622	10,347	1,142	10,430
4	27,5	1,348	9,691	1,764	9,958
5	33,0	1,770	8,911	2,297	9,368
6	38,5	1,758	8,342	2,643	8,926
7	44,0	2,706	7,479	3,034	8,514
8	49,5	3,082	6,786	3,343	8,181
9	54,5	3,043	6,141	3,423	7,625
10	60,0	2,962	5,567	3,557	7,241
11	65,5	2,708	5,129	3,618	6,825
12	71,0	2,548	4,689	3,624	6,449
13	76,5	2,435	4,232	3,592	6,050
14	82,0	2,339	3,697	3,514	5,611
15	87,5	2,152	3,361	3,449	5,275
16	93,0	2,032	3,044	3,384	4,982
17	98,5	1,822	2,774	3,307	4,689
18	104,0	1,746	2,501	3,294	4,460
19	109,5	1,509	2,294	3,122	4,158
20	115,0	1,377	2,061	3,020	3,906
21	120,5	1,152	1,854	2,900	3,599
22	126,0	1,027	1,670	2,775	3,397
23	131,5	0,877	1,488	2,648	3,162
24	137,0	0,762	1,331	2,549	2,975
25	142,5	0,691	1,163	2,448	2,798
26	148,0	0,603	1,017	2,346	2,628
27	153,5	0,502	0,885	2,237	2,458
28	159,0	0,407	0,766	2,122	2,293

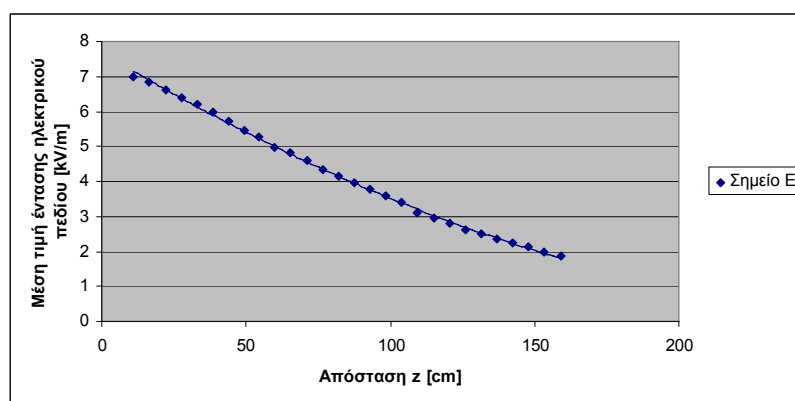


Σχήμα 4.17: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Δ

Για το σημείο E με συνιστώσες ( $x=38\text{cm}$ ,  $y=80\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.16: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	1,022	6,930	0,087	7,005
2	16,5	1,212	6,740	0,298	6,855
3	22,0	1,634	6,391	0,680	6,612
4	27,5	1,957	6,003	1,005	6,402
5	33,0	2,319	5,599	1,319	6,202
6	38,5	2,293	5,270	1,527	5,987
7	44,0	2,551	4,720	1,740	5,703
8	49,5	2,771	4,295	1,932	5,443
9	54,5	2,765	3,990	2,059	5,274
10	60,0	2,688	3,652	2,149	4,983
11	65,5	2,499	3,447	2,220	4,810
12	71,0	2,411	3,163	2,278	4,584
13	76,5	2,324	2,880	2,308	4,338
14	82,0	2,206	2,642	2,317	4,159
15	87,5	2,118	2,402	2,314	3,946
16	93,0	1,989	2,206	2,299	3,759
17	98,5	1,881	2,019	2,278	3,579
18	104,0	1,788	1,817	2,233	3,389
19	109,5	1,557	1,664	2,115	3,110
20	115,0	1,447	1,520	2,066	2,950
21	120,5	1,287	1,441	2,018	2,794
22	126,0	1,166	1,322	1,956	2,633
23	131,5	1,072	1,215	1,894	2,491
24	137,0	0,995	1,096	1,834	2,356
25	142,5	0,911	1,000	1,777	2,231
26	148,0	0,850	0,896	1,719	2,117
27	153,5	0,760	0,813	1,645	1,986
28	159,0	0,693	0,730	1,582	1,875

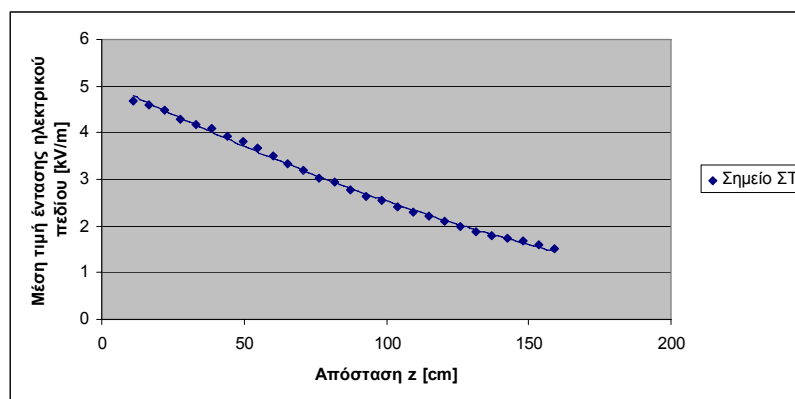


Σχήμα 4.18: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο E

Για το σημείο ΣΤ με συνιστώσες ( $x=50,5\text{cm}$ ,  $y=100,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.17: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,975	4,593	0,015	4,690
2	16,5	1,192	4,400	0,204	4,590
3	22,0	1,354	4,264	0,405	4,492
4	27,5	1,555	3,957	0,578	4,287
5	33,0	1,749	3,615	0,753	4,176
6	38,5	1,733	3,593	0,878	4,084
7	44,0	1,934	3,268	1,015	3,927
8	49,5	2,059	2,993	1,135	3,807
9	54,5	2,061	2,794	1,212	3,682
10	60,0	2,047	0,566	1,281	3,512
11	65,5	1,928	2,398	1,318	3,349
12	71,0	1,858	2,217	1,353	3,195
13	76,5	1,782	2,031	1,370	3,041
14	82,0	1,783	1,864	1,413	2,934
15	87,5	1,680	1,731	1,406	2,778
16	93,0	1,599	1,560	1,401	2,638
17	98,5	1,520	1,483	1,407	2,545
18	104,0	1,445	1,351	1,391	2,413
19	109,5	1,328	1,273	1,372	2,293
20	115,0	1,280	1,191	1,377	2,216
21	120,5	1,149	1,124	1,330	2,092
22	126,0	1,072	1,045	1,301	1,981
23	131,5	1,000	0,981	1,270	1,888
24	137,0	0,942	0,908	1,251	1,806
25	142,5	0,905	0,837	1,232	1,745
26	148,0	0,865	0,764	1,202	1,671
27	153,5	0,799	0,714	1,171	1,589
28	159,0	0,757	0,645	1,134	1,508



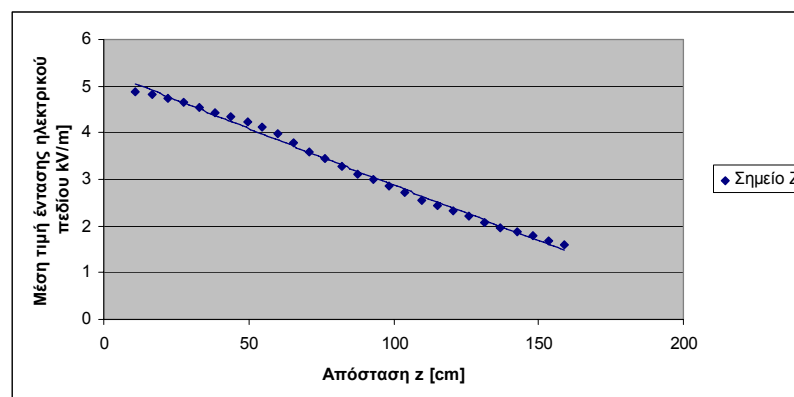
Σχήμα 4.19: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο ΣΤ



Για το σημείο Z με συνιστώσες ( $x=18\text{cm}$ ,  $y=102\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.18: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,041	4,872	0,312	4,882
2	16,5	0,302	4,818	0,074	4,816
3	22,0	0,538	4,708	0,149	4,741
4	27,5	0,743	4,593	0,346	4,666
5	33,0	0,956	4,396	0,547	4,532
6	38,5	0,930	4,265	0,696	4,436
7	44,0	1,221	4,068	0,873	4,336
8	49,5	1,616	3,773	1,041	4,232
9	54,5	1,656	3,611	1,149	4,135
10	60,0	1,517	3,465	1,242	3,980
11	65,5	1,530	3,206	1,314	3,785
12	71,0	1,462	2,955	1,356	3,584
13	76,5	1,437	2,788	1,422	3,435
14	82,0	1,444	2,554	1,464	3,292
15	87,5	1,355	2,383	1,478	3,116
16	93,0	1,290	2,236	1,503	2,989
17	98,5	1,219	2,090	1,505	2,850
18	104,0	1,177	1,922	1,511	2,719
19	109,5	1,053	1,805	1,477	2,555
20	115,0	0,992	1,669	1,467	2,426
21	120,5	0,878	1,578	1,457	2,333
22	126,0	0,814	1,460	1,433	2,202
23	131,5	0,726	1,345	1,391	2,068
24	137,0	0,685	1,237	1,358	1,957
25	142,5	0,652	1,149	1,332	1,876
26	148,0	0,615	1,053	1,301	1,782
27	153,5	0,561	0,975	1,262	1,693
28	159,0	0,534	0,883	1,223	1,601

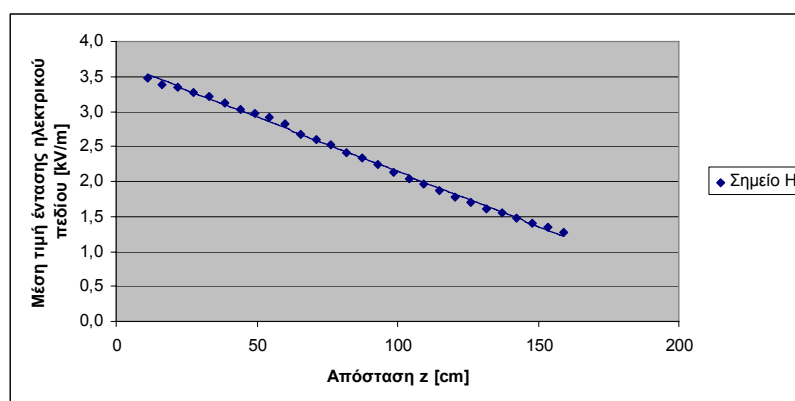


Σχήμα 4.20: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Z

Για το σημείο H με συνιστώσες ( $x=40\text{cm}$ ,  $y=122,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.19: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,034	3,460	0,215	3,469
2	16,5	0,224	3,373	0,071	3,381
3	22,0	0,413	3,312	0,059	3,339
4	27,5	0,567	3,219	0,185	3,274
5	33,0	0,734	3,119	0,309	3,219
6	38,5	0,725	3,034	0,401	3,129
7	44,0	0,902	2,853	0,499	3,033
8	49,5	1,077	2,714	0,602	2,972
9	54,5	1,188	2,585	0,681	2,925
10	60,0	1,224	2,434	0,747	2,823
11	65,5	1,101	2,322	0,782	2,682
12	71,0	1,056	2,217	0,835	2,600
13	76,5	1,083	2,094	0,886	2,522
14	82,0	1,091	1,949	0,919	2,414
15	87,5	1,068	1,840	0,949	2,331
16	93,0	1,043	1,727	0,969	2,236
17	98,5	0,991	1,620	0,976	2,134
18	104,0	0,978	1,485	0,983	2,034
19	109,5	0,873	1,445	0,988	1,956
20	115,0	0,827	1,357	0,983	1,869
21	120,5	0,754	1,290	0,968	1,778
22	126,0	0,697	1,212	0,965	1,700
23	131,5	0,652	1,130	0,948	1,613
24	137,0	0,621	1,072	0,946	1,549
25	142,5	0,606	0,990	0,927	1,484
26	148,0	0,578	0,906	0,905	1,404
27	153,5	0,538	0,852	0,887	1,343
28	159,0	0,517	0,786	0,868	1,277

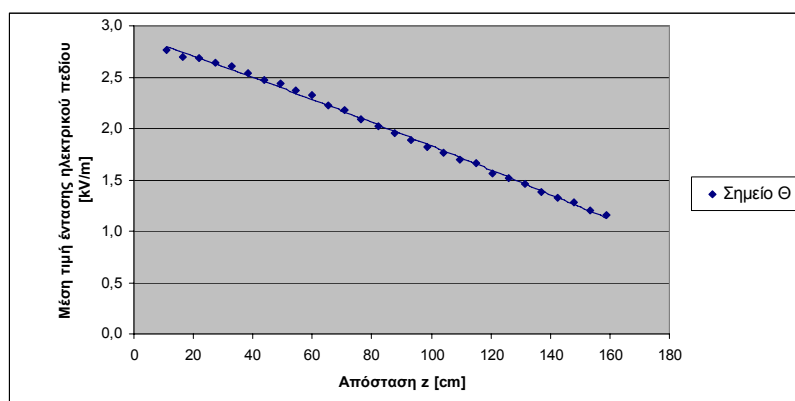


Σχήμα 4.21: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο H

Για το σημείο Θ με συνιστώσες ( $x=62,5\text{cm}$ ,  $y=143\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.20: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,284	2,728	0,236	2,760
2	16,5	0,440	2,662	0,127	2,700
3	22,0	0,509	2,626	0,038	2,681
4	27,5	0,685	2,547	0,055	2,638
5	33,0	0,882	2,452	0,150	2,603
6	38,5	0,864	2,375	0,217	2,536
7	44,0	1,011	2,241	0,297	2,475
8	49,5	1,137	2,119	0,377	2,434
9	54,5	1,189	2,004	0,432	2,369
10	60,0	1,193	1,931	0,490	2,322
11	65,5	1,130	1,845	0,528	2,229
12	71,0	1,109	1,781	0,574	2,176
13	76,5	1,118	1,659	0,612	2,092
14	82,0	1,058	1,616	0,643	2,025
15	87,5	1,086	1,476	0,675	1,955
16	93,0	1,069	1,395	0,702	1,893
17	98,5	1,023	1,326	0,716	1,822
18	104,0	1,011	1,245	0,737	1,766
19	109,5	0,936	1,205	0,741	1,694
20	115,0	0,913	1,157	0,761	1,658
21	120,5	0,822	1,101	0,750	1,566
22	126,0	0,798	1,037	0,757	1,512
23	131,5	0,738	1,001	0,758	1,464
24	137,0	0,704	0,931	0,742	1,382
25	142,5	0,678	0,863	0,735	1,321
26	148,0	0,662	0,816	0,737	1,284
27	153,5	0,612	0,752	0,710	1,202
28	159,0	0,579	0,708	0,703	1,157

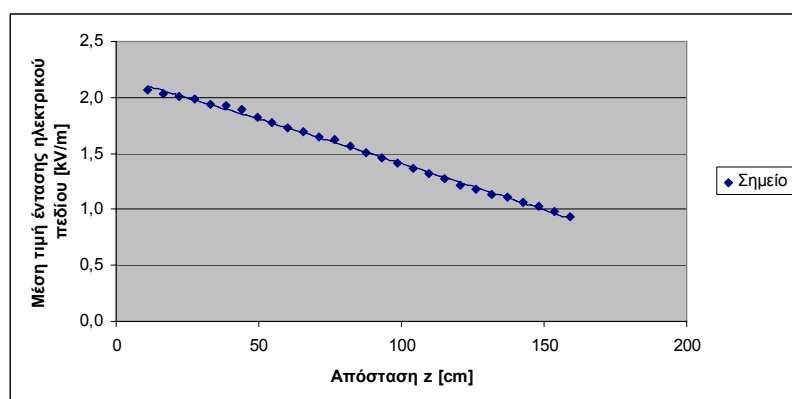


Σχήμα 4.22: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Θ

Για το σημείο I με συνιστώσες ( $x=85\text{cm}$ ,  $y=163,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.21: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,576	1,980	0,194	2,067
2	16,5	0,641	1,932	0,126	2,038
3	22,0	0,694	1,896	0,070	2,011
4	27,5	0,832	1,777	0,005	1,984
5	33,0	0,863	1,740	0,052	1,943
6	38,5	0,880	1,712	0,098	1,927
7	44,0	0,942	1,629	0,153	1,891
8	49,5	1,010	1,495	0,203	1,820
9	54,5	1,006	1,441	0,238	1,772
10	60,0	1,023	1,366	0,278	1,727
11	65,5	0,976	1,353	0,311	1,697
12	71,0	0,912	1,335	0,340	1,651
13	76,5	0,955	1,250	0,379	1,618
14	82,0	0,914	1,206	0,401	1,565
15	87,5	0,918	1,115	0,425	1,507
16	93,0	0,896	1,064	0,445	1,457
17	98,5	0,869	1,016	0,460	1,411
18	104,0	0,849	0,967	0,479	1,371
19	109,5	0,787	0,936	0,480	1,316
20	115,0	0,747	0,897	0,493	1,271
21	120,5	0,693	0,867	0,493	1,215
22	126,0	0,681	0,828	0,502	1,183
23	131,5	0,631	0,796	0,502	1,135
24	137,0	0,617	0,763	0,511	1,105
25	142,5	0,601	0,711	0,510	1,063
26	148,0	0,583	0,675	0,512	1,029
27	153,5	0,546	0,632	0,507	0,985
28	159,0	0,518	0,599	0,499	0,937

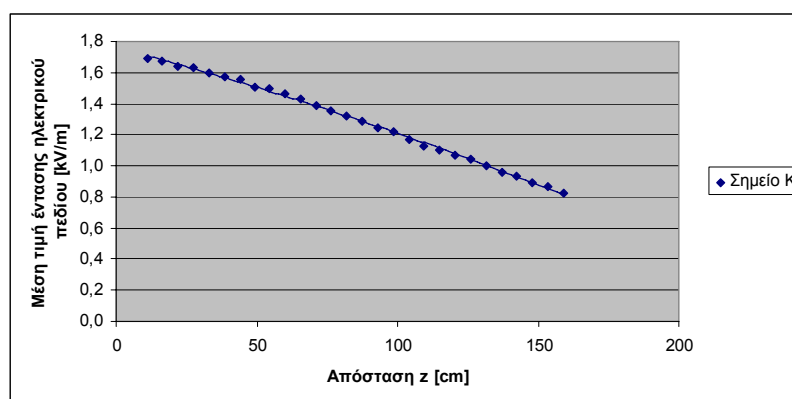


Σχήμα 4.23: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο I

Για το σημείο K με συνιστώσες ( $x=65,5\text{cm}$ ,  $y=185\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.22: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,174	1,666	0,237	1,692
2	16,5	0,261	1,640	0,184	1,671
3	22,0	0,345	1,586	0,134	1,638
4	27,5	0,437	1,567	0,087	1,630
5	33,0	0,488	1,522	0,042	1,599
6	38,5	0,489	1,499	0,005	1,577
7	44,0	0,567	1,453	0,035	1,559
8	49,5	0,639	1,360	0,077	1,505
9	54,5	0,660	1,337	0,109	1,495
10	60,0	0,671	1,292	0,142	1,463
11	65,5	0,650	1,263	0,171	1,433
12	71,0	0,625	1,221	0,196	1,386
13	76,5	0,644	1,170	0,225	1,354
14	82,0	0,642	1,123	0,248	1,320
15	87,5	0,645	1,070	0,271	1,285
16	93,0	0,644	1,033	0,292	1,249
17	98,5	0,626	1,005	0,313	1,217
18	104,0	0,628	0,935	0,324	1,170
19	109,5	0,563	0,925	0,334	1,129
20	115,0	0,553	0,892	0,346	1,105
21	120,5	0,496	0,881	0,356	1,069
22	126,0	0,484	0,864	0,365	1,041
23	131,5	0,462	0,809	0,368	1,003
24	137,0	0,452	0,764	0,372	0,962
25	142,5	0,435	0,732	0,375	0,931
26	148,0	0,423	0,691	0,377	0,890
27	153,5	0,409	0,653	0,377	0,865
28	159,0	0,402	0,613	0,377	0,828



Σχήμα 4.24: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο K

**4.1.3.Γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, κανονικού τύπου, αποτελούμενος από δέκα (10) δισκοειδείς μονωτήρες.**

Στο σχήμα φαίνεται ο γυάλινος μονωτήρας ,κανονικού τύπου ,αποτελούμενος από 10 δίσκους.

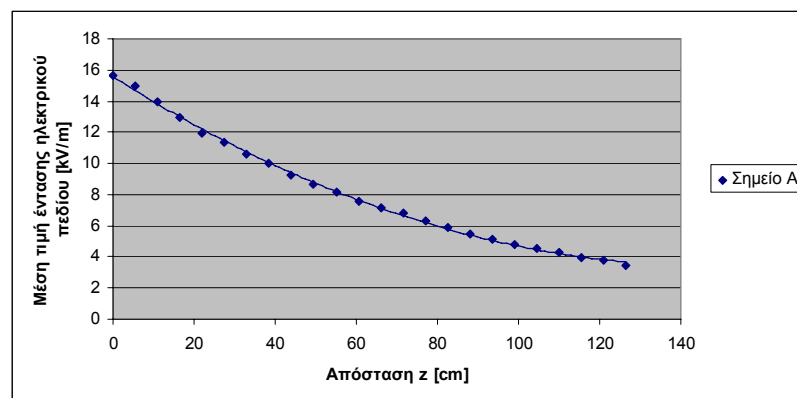


Σχήμα 4.25: Γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, κανονικού τύπου, αποτελούμενος από δέκα (10) δισκοειδείς μονωτήρες

Για το σημείο A με συνιστώσες ( $x=36\text{cm}$ ,  $y=37,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.23: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	0,0	1,138	15,504	1,502	15,610
2	5,5	2,542	14,780	0,239	14,940
3	11,0	3,561	13,439	1,758	13,970
4	16,5	4,222	11,967	2,955	12,960
5	22,0	4,998	10,186	3,844	11,980
6	27,5	4,047	9,615	4,444	11,340
7	33,0	5,064	7,877	4,911	10,590
8	38,5	5,477	6,461	5,235	9,983
9	44,0	4,907	5,809	5,324	9,230
10	49,5	4,668	4,964	5,286	8,638
11	55,0	4,352	4,417	5,287	8,188
12	60,5	4,173	3,753	5,130	7,572
13	66,0	3,830	3,281	5,060	7,126
14	71,5	3,734	2,686	4,962	6,774
15	77,0	3,235	2,605	4,775	6,313
16	82,5	3,045	2,195	4,546	5,919
17	88,0	2,552	2,119	4,332	5,435
18	93,5	2,421	1,775	4,202	5,163
19	99,0	2,084	1,673	4,005	4,814
20	104,5	1,990	1,393	3,883	4,571
21	110,0	1,716	1,271	3,717	4,287
22	115,5	1,575	0,980	3,477	3,937
23	121,0	1,437	0,854	3,387	3,772
24	126,5	1,173	0,736	3,113	3,423

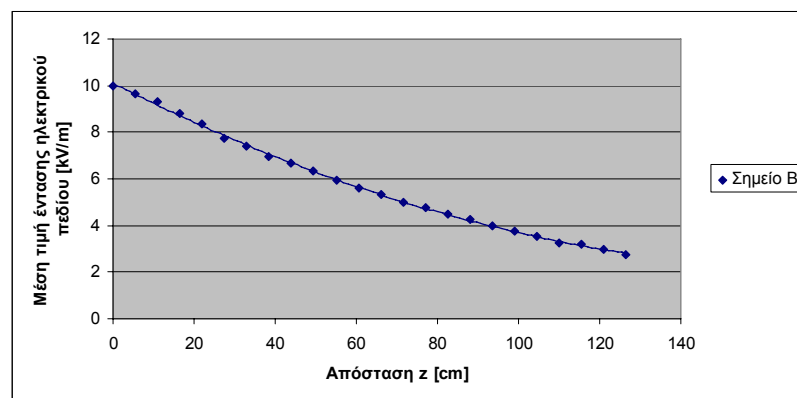


Σχήμα 4.26: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο A

Για το σημείο B με συνιστώσες ( $x=58\text{cm}$ ,  $y=57,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.24: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	0,0	1,255	9,886	0,002	9,984
2	5,5	1,883	9,477	0,397	9,656
3	11,0	2,431	8,888	1,109	9,289
4	16,5	2,643	8,245	1,704	8,776
5	22,0	3,044	7,954	2,211	8,349
6	27,5	2,918	6,822	2,493	7,752
7	33,0	3,112	6,081	2,819	7,397
8	38,5	3,732	5,017	3,090	6,981
9	44,0	3,841	4,340	3,231	6,669
10	49,5	3,516	4,052	3,342	6,309
11	55,0	3,497	3,460	3,371	5,962
12	60,5	3,370	3,034	3,382	5,627
13	66,0	3,170	2,628	3,345	5,304
14	71,5	2,955	2,308	3,285	4,993
15	77,0	2,717	2,169	3,247	4,748
16	82,5	2,598	1,837	3,167	4,488
17	88,0	2,309	1,761	3,079	4,237
18	93,5	2,160	1,533	2,975	3,978
19	99,0	1,981	1,383	2,873	3,764
20	104,5	1,818	1,198	2,776	3,536
21	110,0	1,626	1,074	2,617	3,266
22	115,5	1,561	0,957	2,596	3,181
23	121,0	1,421	0,839	2,468	2,965
24	126,5	1,287	0,713	2,334	2,757



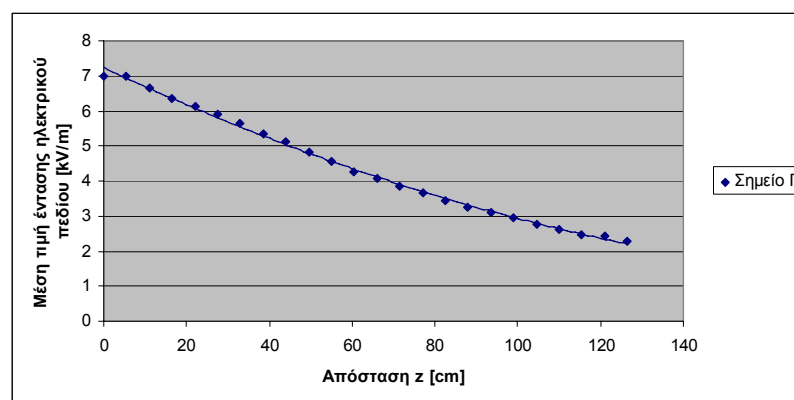
Σχήμα 4.27: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο B



Για το σημείο Γ με συνιστώσες ( $x=80\text{cm}$ ,  $y=78,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.25: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	0,0	1,043	6,887	0,148	6,985
2	5,5	1,634	6,787	0,294	6,982
3	11,0	1,757	6,395	0,675	6,667
4	16,5	2,216	5,868	1,011	6,363
5	22,0	2,526	5,434	1,339	6,141
6	27,5	2,377	5,195	1,557	5,921
7	33,0	2,828	4,993	1,788	5,650
8	38,5	2,916	4,043	1,940	5,351
9	44,0	3,046	3,549	2,071	5,115
10	49,5	2,776	3,328	2,132	4,826
11	55,0	2,855	2,830	2,189	4,578
12	60,5	2,550	2,636	2,180	4,267
13	66,0	2,569	2,252	2,208	4,068
14	71,5	2,338	2,114	2,190	3,838
15	77,0	2,243	1,905	2,179	3,663
16	82,5	2,051	1,755	2,140	3,449
17	88,0	1,926	1,580	2,092	3,254
18	93,5	1,789	1,455	2,057	3,091
19	99,0	1,721	1,274	2,010	2,937
20	104,5	1,583	1,168	1,968	2,783
21	110,0	1,483	1,044	1,894	2,623
22	115,5	1,360	0,962	1,834	2,478
23	121,0	1,415	0,719	1,828	2,421
24	126,5	1,277	0,673	1,757	2,274

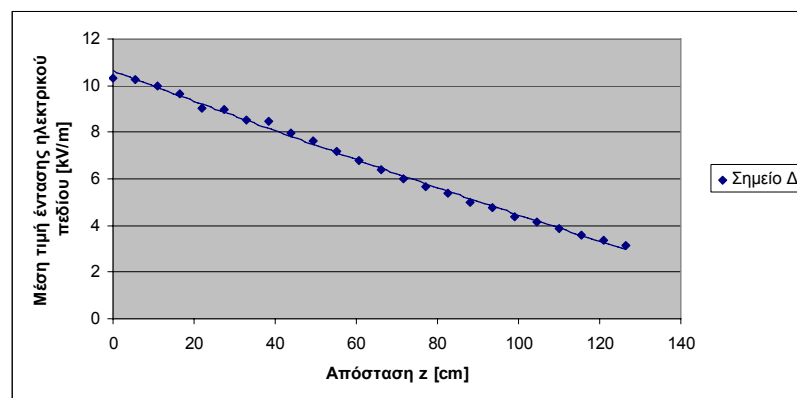


Σχήμα 4.28: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Γ

Για το σημείο Δ με συνιστώσες ( $x=15,5\text{cm}$ ,  $y=59,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.26: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	0,0	2,004	9,904	1,567	10,300
2	5,5	1,341	10,158	0,808	10,270
3	11,0	0,345	9,977	0,019	10,000
4	16,5	0,162	9,645	0,658	9,669
5	22,0	0,719	9,314	1,311	9,044
6	27,5	0,027	8,794	1,763	8,969
7	33,0	1,497	8,185	2,272	8,541
8	38,5	3,216	7,343	2,750	8,478
9	44,0	3,245	6,640	2,967	7,964
10	49,5	3,207	6,079	3,185	7,613
11	55,0	2,995	5,601	3,345	7,178
12	60,5	2,910	5,083	3,455	6,812
13	66,0	2,706	4,649	3,496	6,407
14	71,5	2,647	4,123	3,507	6,016
15	77,0	2,199	3,894	3,489	5,670
16	82,5	2,140	3,494	3,452	5,358
17	88,0	1,737	3,219	3,367	4,972
18	93,5	1,683	2,918	3,343	4,747
19	99,0	1,444	2,607	3,198	4,369
20	104,5	1,433	2,305	3,139	4,175
21	110,0	1,126	2,089	3,032	3,853
22	115,5	1,083	1,811	2,902	3,588
23	121,0	0,969	1,609	2,802	3,373
24	126,5	0,892	1,395	2,698	3,167

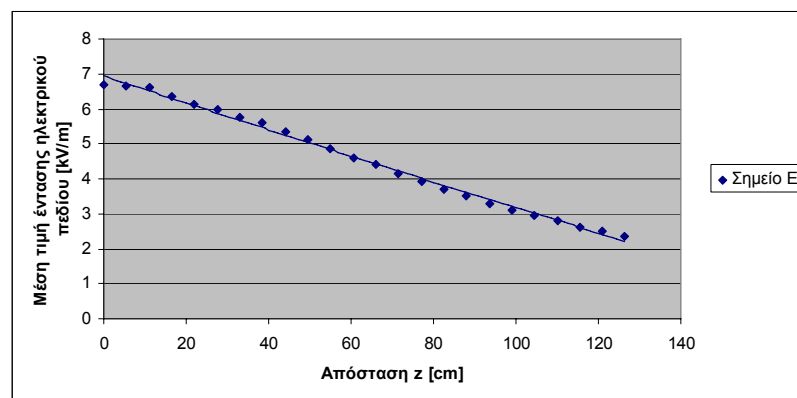


Σχήμα 4.29: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Δ

Για το σημείο E με συνιστώσες ( $x=38\text{cm}$ ,  $y=80\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.27: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	0,0	0,893	6,571	0,751	6,674
2	5,5	0,575	6,654	0,354	6,655
3	11,0	0,168	6,610	0,061	6,612
4	16,5	0,205	6,306	0,408	6,347
5	22,0	0,967	6,012	0,769	6,139
6	27,5	0,632	5,847	1,018	5,968
7	33,0	1,393	5,428	1,314	5,757
8	38,5	1,997	4,995	1,572	5,594
9	44,0	1,977	4,678	1,716	5,356
10	49,5	1,821	4,410	1,874	5,126
11	55,0	1,924	4,443	1,977	4,861
12	60,5	1,725	3,753	2,059	4,615
13	66,0	1,862	3,380	2,134	4,410
14	71,5	1,742	3,083	2,155	4,140
15	77,0	3,946	3,930	3,939	3,939
16	82,5	1,433	2,651	2,169	3,713
17	88,0	1,344	2,438	2,164	3,517
18	93,5	1,217	2,228	2,137	3,305
19	99,0	1,148	2,010	2,085	3,119
20	104,5	1,095	1,840	2,064	2,968
21	110,0	0,995	1,689	2,024	2,821
22	115,5	0,870	1,507	1,938	2,609
23	121,0	0,871	1,367	1,910	2,508
24	126,5	0,805	1,235	1,863	2,373

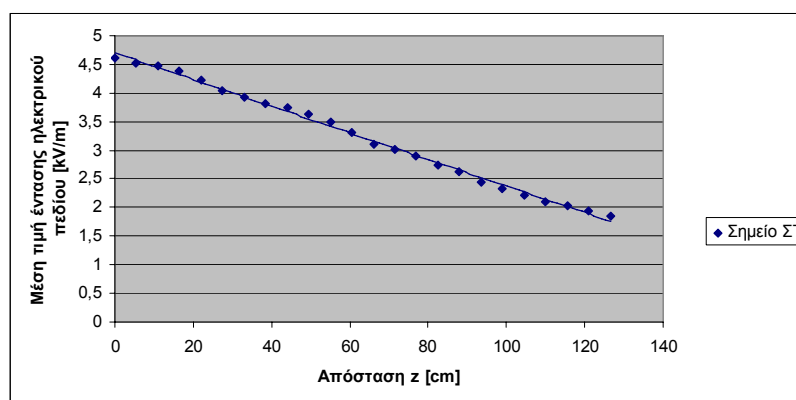


Σχήμα 4.30: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο E

Για το σημείο ΣΤ με συνιστώσες ( $x=50,5\text{cm}$ ,  $y=100,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.28: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	0,0	0,239	4,563	0,356	4,614
2	5,5	0,643	4,475	0,12	4,522
3	11,0	0,864	4,394	0,102	4,473
4	16,5	1,007	4,246	0,296	4,375
5	22,0	1,35	3,958	0,497	4,214
6	27,5	0,862	3,932	0,602	4,044
7	33,0	1,524	3,527	0,792	3,925
8	38,5	1,717	3,274	0,945	3,819
9	44,0	2,101	2,92	1,072	3,754
10	49,5	1,886	2,872	1,152	3,62
11	55,0	1,956	2,604	1,242	3,489
12	60,5	1,777	2,498	1,289	3,313
13	66,0	1,808	2,162	1,318	3,108
14	71,5	1,68	2,08	1,357	3,004
15	77,0	1,616	1,957	1,396	2,91
16	82,5	1,492	1,852	1,383	2,733
17	88,0	1,403	1,717	1,398	2,622
18	93,5	1,247	1,611	1,368	2,45
19	99,0	1,243	1,437	1,363	2,34
20	104,5	1,124	1,346	1,345	2,221
21	110,0	1,077	1,226	1,327	2,111
22	115,5	1,008	1,165	1,333	2,037
23	121,0	1,002	1,036	1,302	1,941
24	126,5	0,952	0,943	1,277	1,852

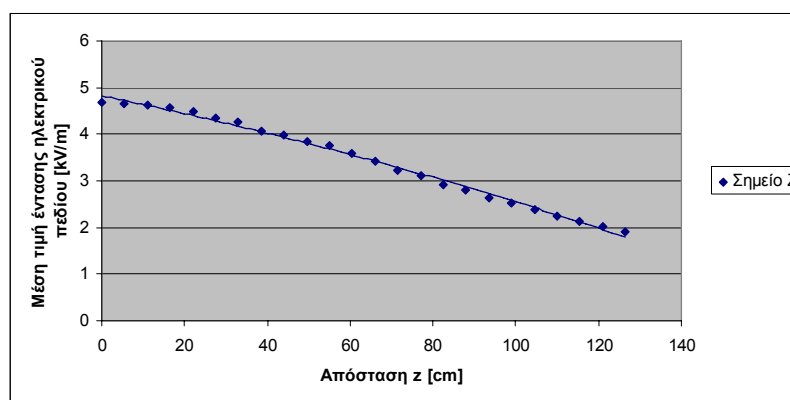


Σχήμα 4.31: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο ΣΤ

Για το σημείο Z με συνιστώσες ( $x=18\text{cm}$ ,  $y=102\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.29: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	0,0	0,889	4,564	0,638	4,693
2	5,5	0,502	4,593	0,409	4,647
3	11,0	0,013	4,614	0,171	4,617
4	16,5	0,171	4,603	0,036	4,57
5	22,0	0,367	4,477	0,243	4,48
6	27,5	0,369	4,32	0,414	4,355
7	33,0	0,862	4,126	0,61	4,258
8	38,5	1,057	3,857	0,777	4,076
9	44,0	1,307	3,638	0,898	3,968
10	49,5	1,275	3,483	1,017	3,835
11	55,0	1,305	3,324	1,125	3,743
12	60,5	1,243	3,138	1,214	3,578
13	66,0	1,289	2,909	1,278	3,432
14	71,5	1,223	2,686	1,322	3,235
15	77,0	1,091	2,586	1,37	3,122
16	82,5	0,999	2,37	1,38	2,919
17	88,0	0,941	2,248	1,408	2,813
18	93,5	0,855	2,064	1,406	2,64
19	99,0	0,836	1,927	1,413	2,522
20	104,5	0,756	1,763	1,395	2,38
21	110,0	0,694	1,633	1,378	2,246
22	115,5	0,61	1,519	1,37	2,135
23	121,0	0,639	1,361	1,339	2,015
24	126,5	0,569	1,252	1,31	1,897

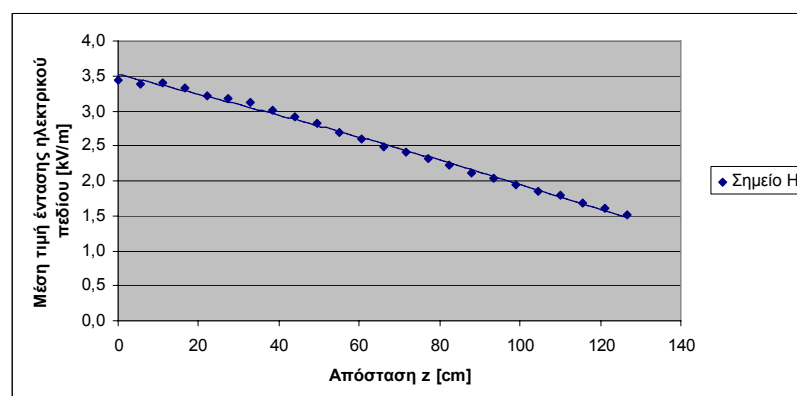


Σχήμα 4.32: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Z

Για το σημείο H με συνιστώσες ( $x=40\text{cm}$ ,  $y=122,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.30: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	0,0	0,317	3,396	0,417	3,436
2	5,5	0,229	3,381	0,276	3,379
3	11,0	0,116	3,393	0,122	3,404
4	16,5	0,180	3,324	0,008	3,329
5	22,0	0,637	3,146	0,151	3,214
6	27,5	0,433	3,129	0,246	3,169
7	33,0	0,869	2,964	0,379	3,113
8	38,5	1,005	2,785	0,490	3,002
9	44,0	1,143	2,615	0,566	2,912
10	49,5	1,042	2,550	0,635	2,827
11	55,0	1,070	2,373	0,699	2,697
12	60,5	0,950	2,297	0,750	2,605
13	66,0	1,077	2,100	0,807	2,494
14	71,5	1,015	2,009	0,854	2,407
15	77,0	1,000	1,908	0,886	2,319
16	82,5	0,935	1,797	0,914	2,223
17	88,0	0,856	1,701	0,924	2,119
18	93,5	0,762	1,633	0,944	2,031
19	99,0	0,785	1,513	0,950	1,951
20	104,5	0,719	1,415	0,953	1,853
21	110,0	0,689	1,340	0,963	1,789
22	115,5	0,599	1,252	0,937	1,674
23	121,0	0,646	1,128	0,931	1,600
24	126,5	0,563	1,058	0,912	1,508

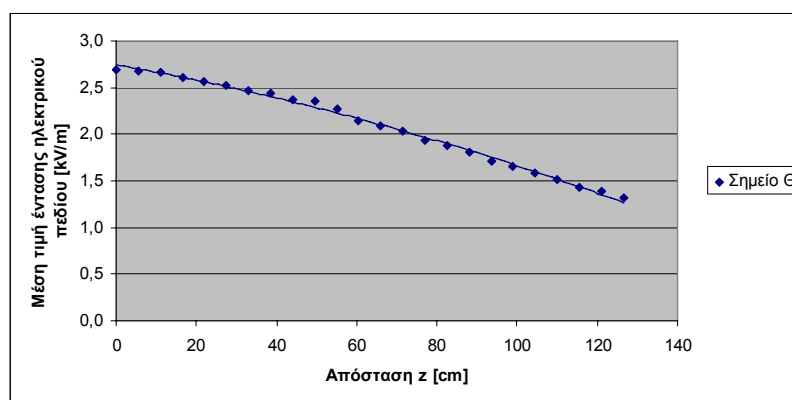


Σχήμα 4.33: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο H

Για το σημείο Θ με συνιστώσες ( $x=62,5\text{cm}$ ,  $y=143\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.31: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	0,0	0,177	2,651	0,365	2,690
2	5,5	0,053	2,673	0,267	2,684
3	11,0	0,253	2,651	0,158	2,667
4	16,5	0,219	2,600	0,065	2,610
5	22,0	0,428	2,536	0,029	2,572
6	27,5	0,296	2,510	0,970	2,523
7	33,0	0,664	2,375	0,198	2,474
8	38,5	0,802	2,291	0,283	2,443
9	44,0	0,897	2,168	0,343	2,371
10	49,5	0,918	2,123	0,409	2,349
11	55,0	0,908	2,023	0,465	2,267
12	60,5	1,056	1,804	0,508	2,146
13	66,0	1,077	1,700	0,553	2,082
14	71,5	1,061	1,617	0,600	2,031
15	77,0	0,963	1,568	0,618	1,935
16	82,5	0,945	1,463	0,644	1,875
17	88,0	0,861	1,440	0,665	1,802
18	93,5	0,770	1,363	0,673	1,705
19	99,0	0,796	1,267	0,691	1,648
20	104,5	0,774	1,196	0,703	1,585
21	110,0	0,698	1,135	0,702	1,508
22	115,5	0,651	1,065	0,701	1,432
23	121,0	0,683	0,984	0,710	1,388
24	126,5	0,629	0,981	0,703	1,319

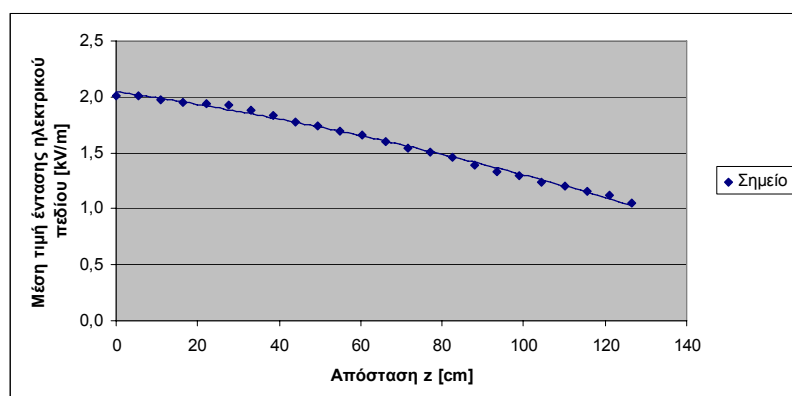


Σχήμα 4.34: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Θ

Για το σημείο I με συνιστώσες ( $x=85\text{cm}$ ,  $y=163,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.32: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	0,0	0,157	1,981	0,285	2,008
2	5,5	0,328	1,965	0,271	2,004
3	11,0	0,318	1,964	0,155	1,978
4	16,5	0,606	1,849	0,075	1,948
5	22,0	0,752	1,794	0,011	1,945
6	27,5	0,659	1,807	0,033	1,924
7	33,0	0,872	1,665	0,099	1,882
8	38,5	0,956	1,554	0,156	1,829
9	44,0	1,029	1,427	0,200	1,774
10	49,5	0,997	1,412	0,241	1,744
11	55,0	1,018	1,324	0,281	1,694
12	60,5	0,933	1,337	0,315	1,664
13	66,0	0,997	1,201	0,349	1,599
14	71,5	0,929	1,170	0,376	1,542
15	77,0	0,921	1,124	0,403	1,508
16	82,5	0,896	1,079	0,429	1,464
17	88,0	0,828	1,034	0,441	1,396
18	93,5	0,756	1,004	0,448	1,327
19	99,0	0,772	0,930	0,463	1,291
20	104,5	0,727	0,882	0,472	1,239
21	110,0	0,708	0,848	0,484	1,205
22	115,5	0,658	0,815	0,491	1,156
23	121,0	0,676	0,738	0,497	1,121
24	126,5	0,635	0,685	0,496	1,057



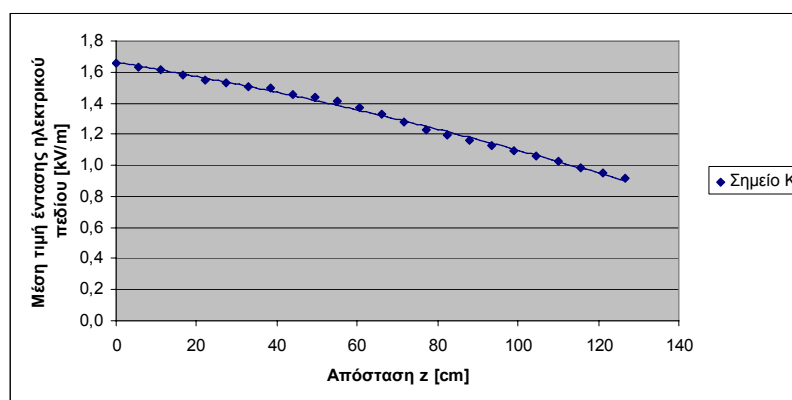
Σχήμα 4.35: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο I



Για το σημείο K με συνιστώσες ( $x=65,5\text{cm}$ ,  $y=185\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

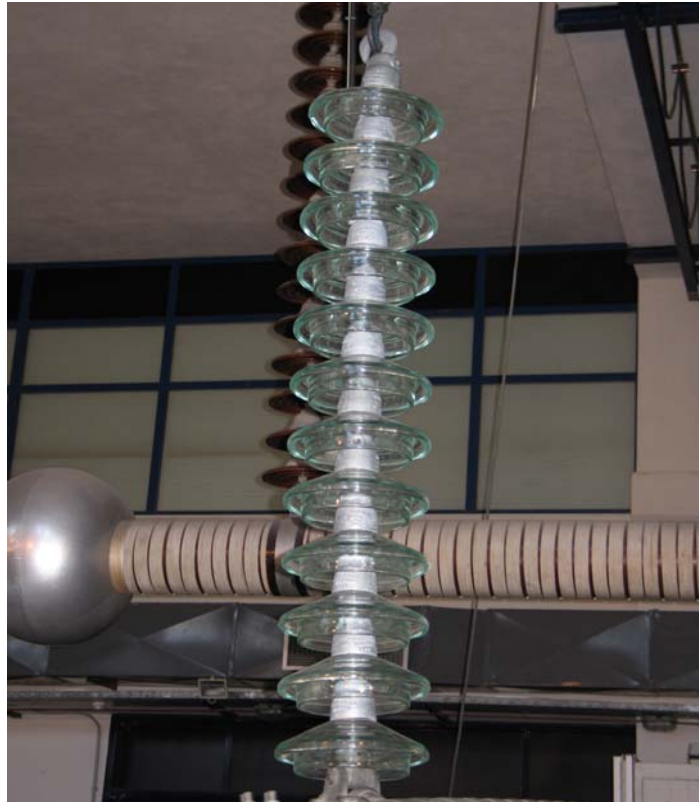
Πίνακας 4.33: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	0,0	0,041	1,630	0,297	1,658
2	5,5	0,159	1,606	0,246	1,632
3	11,0	0,283	1,579	0,190	1,615
4	16,5	0,368	1,534	0,144	1,584
5	22,0	0,454	1,480	0,093	1,551
6	27,5	0,397	1,479	0,060	1,533
7	33,0	0,560	1,397	0,008	1,504
8	38,5	0,616	1,365	0,032	1,498
9	44,0	0,718	1,268	0,074	1,459
10	49,5	0,712	1,242	0,107	1,435
11	55,0	0,716	1,207	0,141	1,411
12	60,5	0,726	1,147	0,172	1,369
13	66,0	0,717	1,086	0,201	1,325
14	71,5	0,684	1,060	0,224	1,281
15	77,0	0,644	1,030	0,420	1,231
16	82,5	0,631	0,978	0,264	1,196
17	88,0	0,583	0,965	0,279	1,163
18	93,5	0,557	0,940	0,295	1,129
19	99,0	0,549	0,896	0,309	1,090
20	104,5	0,487	0,876	0,317	1,057
21	110,0	0,505	0,828	0,334	1,027
22	115,5	0,489	0,785	0,346	0,985
23	121,0	0,488	0,737	0,348	0,950
24	126,5	0,471	0,707	0,361	0,918



Σχήμα 4.36: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο K

**4.1.4. Γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από δώδεκα (12) δισκοειδείς μονωτήρες.**

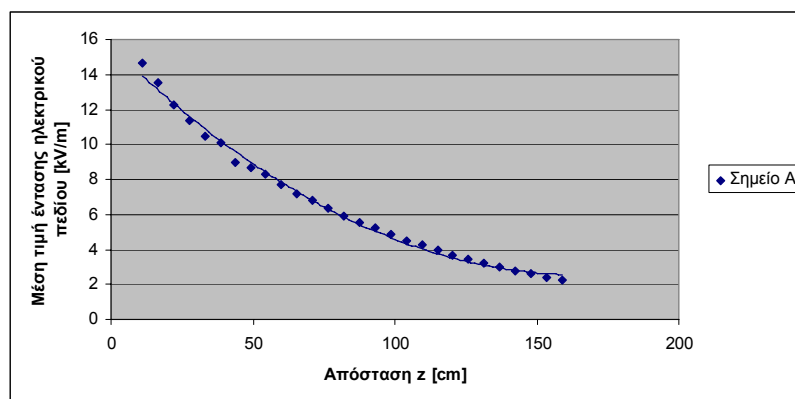


Σχήμα 4.37: Γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από δώδεκα (12) δισκοειδείς μονωτήρες

Για το σημείο A με συνιστώσες ( $x=36\text{cm}$ ,  $y=37,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.34: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	2,699	14,347	1,464	14,670
2	16,5	3,047	12,894	2,752	13,530
3	22,0	3,783	11,102	3,689	12,290
4	27,5	4,216	9,656	4,345	11,390
5	33,0	2,958	8,865	4,700	10,450
6	38,5	4,331	7,554	5,109	10,090
7	44,0	4,407	6,281	5,199	8,998
8	49,5	4,496	5,279	5,256	8,701
9	54,5	4,603	4,360	5,329	8,284
10	60,0	3,998	4,058	5,149	7,676
11	65,5	3,817	3,468	5,008	7,189
12	71,0	3,424	3,259	4,922	6,825
13	76,5	3,271	2,678	4,716	6,334
14	82,0	2,816	2,940	4,512	5,894
15	87,5	2,857	1,959	4,349	5,560
16	93,0	2,464	1,882	4,177	5,202
17	98,5	2,251	1,611	3,968	4,839
18	104,0	2,047	1,375	3,780	4,514
19	109,5	1,832	1,244	3,631	4,254
20	115,0	1,598	1,077	3,433	3,937
21	120,5	1,391	0,964	3,252	3,666
22	126,0	1,168	0,868	3,080	3,407
23	131,5	1,031	0,737	2,944	3,206
24	137,0	0,852	0,638	2,775	2,972
25	142,5	0,735	0,537	2,638	2,791
26	148,0	0,562	0,460	2,486	2,590
27	153,5	0,469	0,372	2,323	2,399
28	159,0	0,366	0,311	2,209	2,261

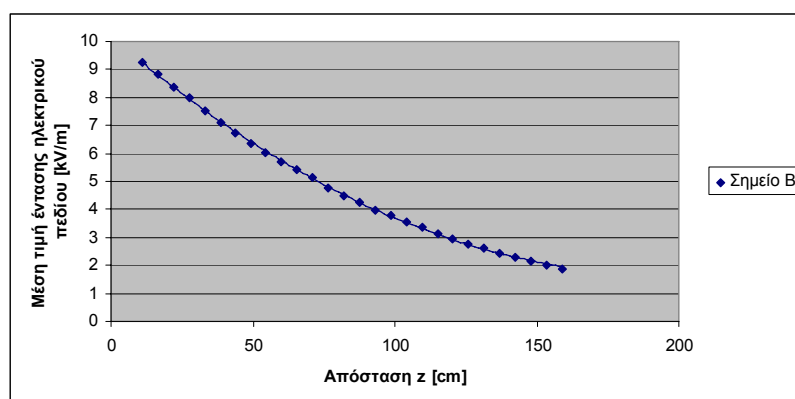


Σχήμα 4.38: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο A

Για το σημείο B με συνιστώσες ( $x=58\text{cm}$ ,  $y=57,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.35: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,800	9,200	0,830	9,273
2	16,5	1,663	8,564	1,487	8,839
3	22,0	2,018	7,886	2,003	8,383
4	27,5	2,476	7,199	2,450	7,998
5	33,0	2,995	6,308	2,783	7,518
6	38,5	2,707	5,849	2,958	7,092
7	44,0	2,951	5,162	3,151	6,730
8	49,5	3,170	4,406	3,264	6,334
9	54,5	3,272	3,817	3,348	6,041
10	60,0	2,928	3,529	3,343	5,688
11	65,5	2,963	3,091	3,359	5,443
12	71,0	2,767	2,811	3,330	5,162
13	76,5	2,607	2,390	3,201	4,770
14	82,0	2,269	2,278	3,104	4,467
15	87,5	2,268	1,883	3,041	4,236
16	93,0	2,070	1,709	2,932	3,976
17	98,5	1,941	1,520	2,861	3,777
18	104,0	1,761	1,313	2,752	3,560
19	109,5	1,619	1,252	2,656	3,354
20	115,0	1,416	1,143	2,525	3,113
21	120,5	1,325	1,019	2,433	2,952
22	126,0	1,159	0,948	2,322	2,763
23	131,5	1,067	0,837	2,231	2,611
24	137,0	0,930	0,767	2,113	2,433
25	142,5	0,862	0,655	2,041	2,310
26	148,0	0,779	0,575	1,943	2,171
27	153,5	0,688	0,512	1,837	2,028
28	159,0	0,581	0,453	1,723	1,874

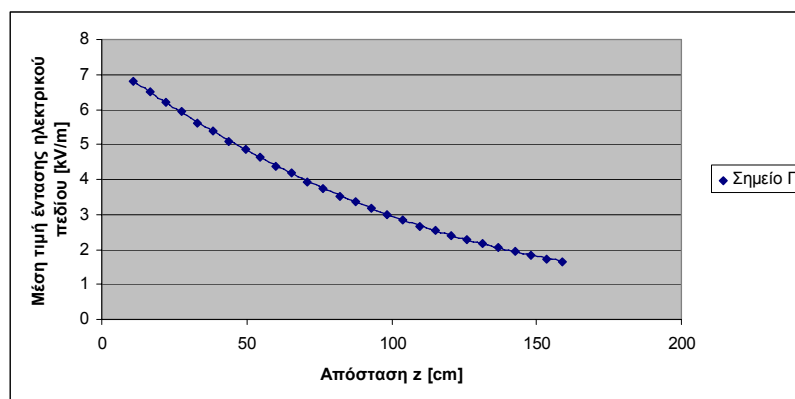


Σχήμα 4.39: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο B

Για το σημείο Γ με συνιστώσες ( $x=80\text{cm}$ ,  $y=78,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.36: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	1,138	6,579	0,503	6,796
2	16,5	1,517	6,254	0,872	6,494
3	22,0	1,884	5,808	1,196	6,222
4	27,5	2,265	5,304	1,473	5,953
5	33,0	2,299	4,851	1,683	5,626
6	38,5	2,152	4,597	1,809	5,389
7	44,0	2,409	4,037	1,970	5,098
8	49,5	2,715	3,419	2,086	4,877
9	54,5	2,709	3,079	2,154	4,628
10	60,0	2,442	2,905	2,172	4,373
11	65,5	2,285	2,749	2,203	4,200
12	71,0	2,097	2,517	2,179	3,935
13	76,5	2,174	2,144	2,187	3,757
14	82,0	2,040	1,918	2,127	3,517
15	87,5	2,047	1,603	2,115	3,352
16	93,0	1,918	1,475	2,083	3,193
17	98,5	1,803	1,300	2,007	2,995
18	104,0	1,538	1,355	1,959	2,836
19	109,5	1,448	1,203	1,895	2,671
20	115,0	1,306	1,155	1,841	2,536
21	120,5	1,251	1,019	1,791	2,411
22	126,0	1,148	0,952	1,744	2,295
23	131,5	1,103	0,825	1,681	2,174
24	137,0	1,003	0,766	1,620	2,054
25	142,5	0,981	0,630	1,564	1,951
26	148,0	0,890	0,588	1,508	1,847
27	153,5	0,831	0,504	1,431	1,730
28	159,0	0,756	0,475	1,388	1,651

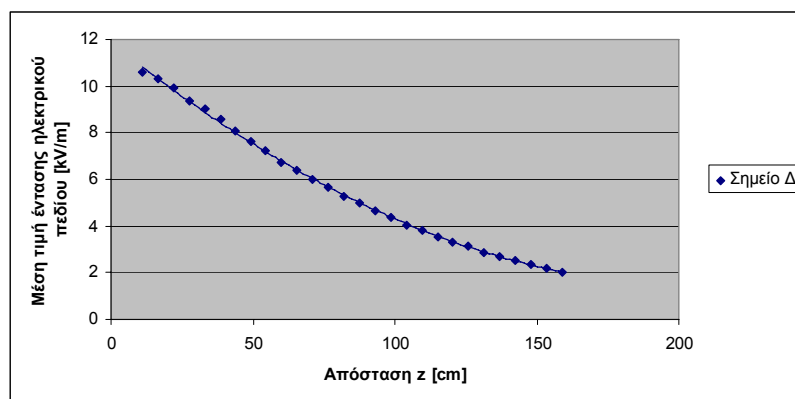


Σχήμα 4.40: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Γ

Για το σημείο Δ με συνιστώσες ( $x=15,5\text{cm}$ ,  $y=59,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.37: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,356	10,573	0,289	10,580
2	16,5	0,554	10,366	0,401	10,290
3	22,0	0,851	9,809	1,156	9,913
4	27,5	1,177	9,255	1,717	9,389
5	33,0	1,785	8,551	2,221	9,014
6	38,5	1,652	8,024	2,556	8,585
7	44,0	2,154	7,201	2,880	8,050
8	49,5	1,974	6,700	3,080	7,641
9	54,5	2,415	5,996	3,244	7,233
10	60,0	2,006	5,514	3,296	6,731
11	65,5	2,207	4,974	3,374	6,403
12	71,0	1,853	4,572	3,373	5,977
13	76,5	2,026	4,017	3,396	5,637
14	82,0	1,655	3,740	3,345	5,283
15	87,5	1,820	3,274	3,313	5,009
16	93,0	1,574	2,972	3,235	4,667
17	98,5	1,503	2,623	3,144	4,362
18	104,0	1,226	2,377	3,023	4,036
19	109,5	1,135	2,129	2,952	3,813
20	115,0	0,889	1,904	2,824	3,519
21	120,5	0,811	1,681	2,736	3,312
22	126,0	0,734	1,482	2,650	3,124
23	131,5	0,633	1,279	2,504	2,882
24	137,0	0,494	1,118	2,410	2,703
25	142,5	0,443	0,961	2,303	2,534
26	148,0	0,310	0,813	2,169	2,337
27	153,5	0,286	0,692	2,043	2,176
28	159,0	0,186	0,583	1,939	2,033

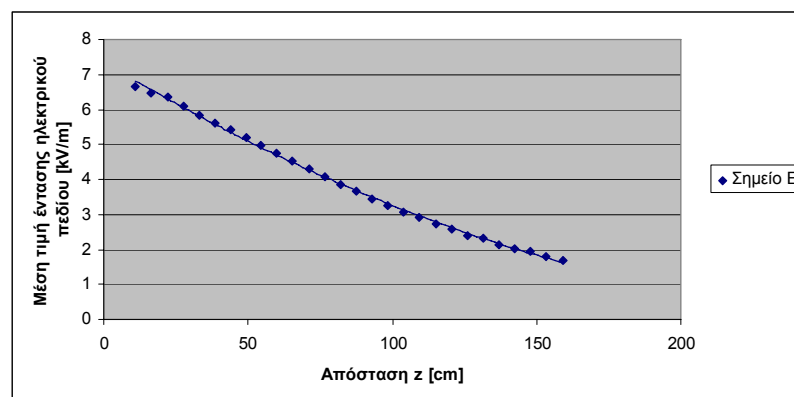


Σχήμα 4.41: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Δ

Για το σημείο E με συνιστώσες ( $x=38\text{cm}$ ,  $y=80\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.38: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,571	6,635	0,052	6,660
2	16,5	0,558	6,424	0,306	6,455
3	22,0	1,107	6,225	0,669	6,358
4	27,5	1,337	5,879	0,969	6,107
5	33,0	1,776	5,400	1,252	5,821
6	38,5	1,577	5,184	1,441	5,607
7	44,0	2,073	4,722	1,680	5,424
8	49,5	2,282	4,280	1,857	5,194
9	54,5	2,352	3,926	1,966	4,982
10	60,0	2,108	3,733	2,069	4,750
11	65,5	2,121	3,400	2,119	4,534
12	71,0	1,915	3,187	2,161	4,301
13	76,5	1,945	2,847	2,197	4,089
14	82,0	1,722	2,645	2,176	3,834
15	87,5	1,730	2,352	2,191	3,651
16	93,0	1,547	2,196	2,143	3,437
17	98,5	1,481	1,988	2,127	3,266
18	104,0	1,380	1,808	2,085	3,080
19	109,5	1,240	1,657	2,028	2,898
20	115,0	1,074	1,533	1,968	2,717
21	120,5	0,999	1,386	1,915	2,567
22	126,0	0,855	1,281	1,849	2,407
23	131,5	0,842	1,159	1,836	2,329
24	137,0	0,680	1,057	1,735	2,142
25	142,5	0,646	0,936	1,670	2,021
26	148,0	0,570	0,868	1,621	1,926
27	153,5	0,598	0,750	1,552	1,812
28	159,0	0,500	0,662	1,472	1,690

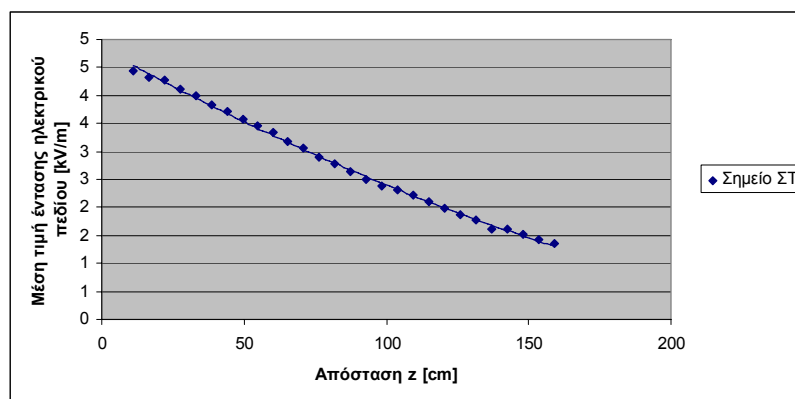


Σχήμα 4.42: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο E

Για το σημείο ΣΤ με συνιστώσες ( $x=50,5\text{cm}$ ,  $y=100,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.39: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,390	4,425	0,014	4,443
2	16,5	0,518	4,292	0,186	4,327
3	22,0	0,816	4,185	0,385	4,281
4	27,5	1,027	3,948	0,558	4,118
5	33,0	1,224	3,744	0,717	4,004
6	38,5	1,160	3,557	0,826	3,832
7	44,0	1,349	3,319	0,949	3,706
8	49,5	1,539	3,040	1,060	3,569
9	54,5	1,763	2,729	1,150	3,447
10	60,0	1,568	2,674	1,214	3,330
11	65,5	1,562	2,464	1,259	3,178
12	71,0	1,491	2,340	1,305	3,066
13	76,5	1,487	2,088	1,330	2,888
14	82,0	1,332	2,030	1,351	2,778
15	87,5	1,440	1,749	1,364	2,645
16	93,0	1,312	1,645	1,351	2,500
17	98,5	1,273	1,504	1,346	2,387
18	104,0	1,190	1,442	1,359	2,312
19	109,5	1,161	1,312	1,344	2,208
20	115,0	1,080	1,213	1,318	2,092
21	120,5	0,982	1,149	1,296	1,992
22	126,0	0,879	1,067	1,243	1,860
23	131,5	0,834	0,970	1,216	1,766
24	137,0	0,792	0,906	1,201	1,601
25	142,5	0,770	0,803	1,163	1,610
26	148,0	0,702	0,730	1,117	1,508
27	153,5	0,653	0,678	1,082	1,435
28	159,0	0,577	0,635	1,039	1,347



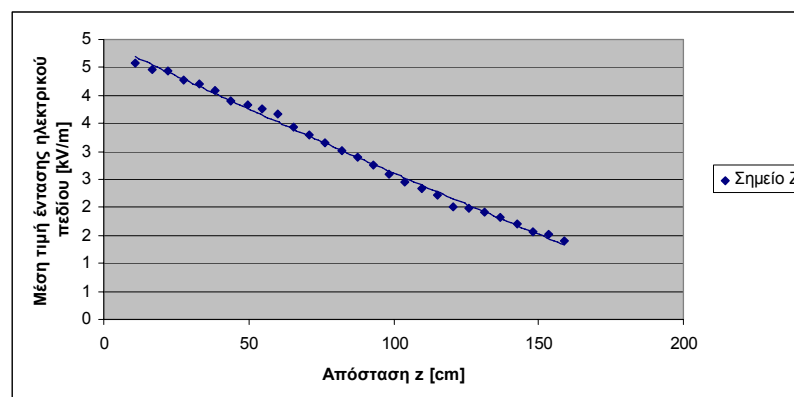
Σχήμα 4.43: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο ΣΤ



Για το σημείο Z με συνιστώσες ( $x=18\text{cm}$ ,  $y=102\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.40: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,176	4,564	0,269	4,576
2	16,5	0,136	4,458	0,052	4,460
3	22,0	0,344	4,412	0,149	4,428
4	27,5	0,482	4,231	0,332	4,275
5	33,0	0,612	4,131	0,515	4,208
6	38,5	0,668	3,980	0,653	4,088
7	44,0	0,900	3,822	0,814	3,911
8	49,5	1,024	3,576	0,934	3,835
9	54,5	1,157	3,425	1,046	3,763
10	60,0	1,011	3,238	1,122	3,673
11	65,5	1,062	3,042	1,197	3,437
12	71,0	0,988	2,873	1,263	3,290
13	76,5	1,043	2,656	1,319	3,144
14	82,0	0,890	2,545	1,362	3,021
15	87,5	1,037	2,304	1,395	2,886
16	93,0	0,960	2,155	1,406	2,748
17	98,5	0,962	1,956	1,498	2,589
18	104,0	0,883	1,812	1,384	2,445
19	109,5	0,856	1,672	1,389	2,337
20	115,0	0,723	1,575	1,377	2,214
21	120,5	0,715	1,445	1,353	2,005
22	126,0	0,645	1,327	1,333	1,989
23	131,5	0,607	1,251	1,330	1,925
24	137,0	0,564	1,150	1,301	1,826
25	142,5	0,544	1,033	1,247	1,708
26	148,0	0,449	0,935	1,174	1,567
27	153,5	0,483	0,846	1,168	1,525
28	159,0	0,416	0,765	1,089	1,395

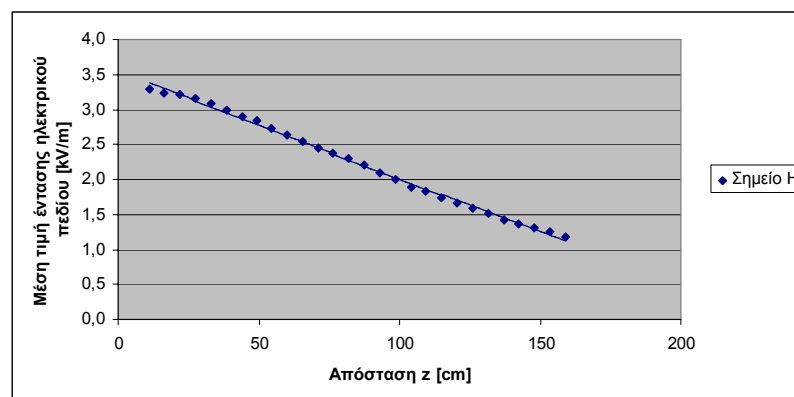


Σχήμα 4.44: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Z

Για το σημείο H με συνιστώσες ( $x=40\text{cm}$ ,  $y=122,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.41: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,008	3,279	0,188	3,284
2	16,5	0,298	3,223	0,048	3,237
3	22,0	0,452	3,182	0,076	3,220
4	27,5	0,601	3,091	0,196	3,155
5	33,0	0,724	2,976	0,311	3,078
6	38,5	0,631	2,904	0,395	2,998
7	44,0	0,835	2,726	0,493	2,894
8	49,5	0,896	2,631	0,579	2,839
9	54,5	1,109	2,404	0,652	2,727
10	60,0	1,077	2,393	0,714	2,632
11	65,5	1,051	2,186	0,764	2,544
12	71,0	1,001	2,079	0,798	2,442
13	76,5	1,063	1,946	0,855	2,377
14	82,0	0,907	1,918	0,886	2,300
15	87,5	0,991	1,742	0,916	2,205
16	93,0	0,917	1,639	0,920	2,092
17	98,5	0,913	1,508	0,931	1,994
18	104,0	0,864	1,401	0,926	1,889
19	109,5	0,825	1,338	0,937	1,830
20	115,0	0,725	1,279	0,939	1,745
21	120,5	0,700	1,192	0,931	1,667
22	126,0	0,624	1,127	0,919	1,582
23	131,5	0,618	1,049	0,909	1,519
24	137,0	0,530	0,985	0,880	1,424
25	142,5	0,563	0,894	0,876	1,373
26	148,0	0,513	0,850	0,863	1,316
27	153,5	0,507	0,770	0,835	1,244
28	159,0	0,452	0,722	0,813	1,178

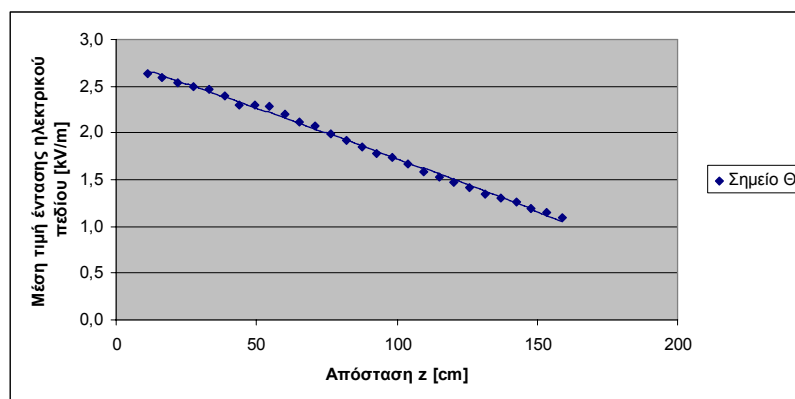


Σχήμα 4.45: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο H

Για το σημείο Θ με συνιστώσες ( $x=62,5\text{cm}$ ,  $y=143\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.42: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,324	2,590	0,211	2,629
2	16,5	0,467	2,553	0,114	2,598
3	22,0	0,479	2,496	0,029	2,536
4	27,5	0,697	2,394	0,063	2,495
5	33,0	0,561	2,405	0,133	2,473
6	38,5	0,408	2,352	0,189	2,394
7	44,0	0,543	2,219	0,263	2,300
8	49,5	1,086	1,991	0,365	2,296
9	54,5	1,116	1,948	0,422	2,282
10	60,0	1,128	1,827	0,473	2,203
11	65,5	1,053	1,768	0,511	2,121
12	71,0	1,042	1,706	0,559	2,078
13	76,5	1,022	1,604	0,588	1,988
14	82,0	1,041	1,505	0,625	1,924
15	87,5	1,001	1,416	0,648	1,852
16	93,0	0,966	1,337	0,668	1,777
17	98,5	0,927	1,290	0,690	1,732
18	104,0	0,937	1,199	0,709	1,672
19	109,5	0,831	1,152	0,705	1,589
20	115,0	0,822	1,082	0,714	1,535
21	120,5	0,735	1,045	0,713	1,465
22	126,0	0,744	0,970	0,719	1,416
23	131,5	0,656	0,939	0,709	1,347
24	137,0	0,632	0,887	0,710	1,301
25	142,5	0,622	0,836	0,714	1,263
26	148,0	0,590	0,768	0,692	1,189
27	153,5	0,553	0,729	0,687	1,143
28	159,0	0,545	0,670	0,677	1,095

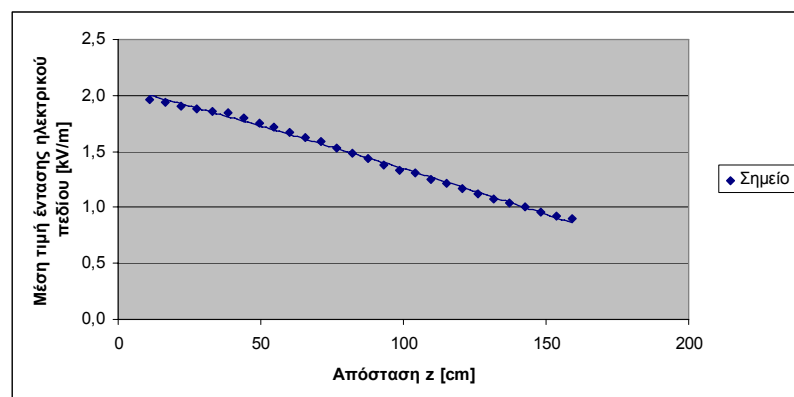


Σχήμα 4.46: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Θ

Για το σημείο I με συνιστώσες ( $x=85\text{cm}$ ,  $y=163,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.43: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,372	1,919	0,187	1,964
2	16,5	0,492	1,874	0,120	1,943
3	22,0	0,541	1,829	0,062	1,909
4	27,5	0,642	1,763	0,030	1,880
5	33,0	0,778	1,679	0,057	1,852
6	38,5	0,752	1,684	0,098	1,847
7	44,0	0,847	1,573	0,152	1,801
8	49,5	0,982	1,440	0,207	1,756
9	54,5	0,969	1,402	0,240	1,721
10	60,0	0,943	1,335	0,274	1,668
11	65,5	0,920	1,299	0,308	1,626
12	71,0	0,909	1,253	0,340	1,585
13	76,5	0,898	1,188	0,369	1,534
14	82,0	0,889	1,127	0,394	1,488
15	87,5	0,872	1,062	0,413	1,433
16	93,0	0,854	0,998	0,431	1,375
17	98,5	0,820	0,955	0,445	1,335
18	104,0	0,807	0,917	0,466	1,304
19	109,5	0,747	0,883	0,469	1,251
20	115,0	0,737	0,836	0,482	1,214
21	120,5	0,666	0,818	0,483	1,163
22	126,0	0,644	0,777	0,485	1,118
23	131,5	0,600	0,752	0,487	1,078
24	137,0	0,579	0,716	0,489	1,041
25	142,5	0,564	0,668	0,491	1,004
26	148,0	0,543	0,628	0,485	0,960
27	153,5	0,524	0,591	0,484	0,928
28	159,0	0,510	0,552	0,484	0,895

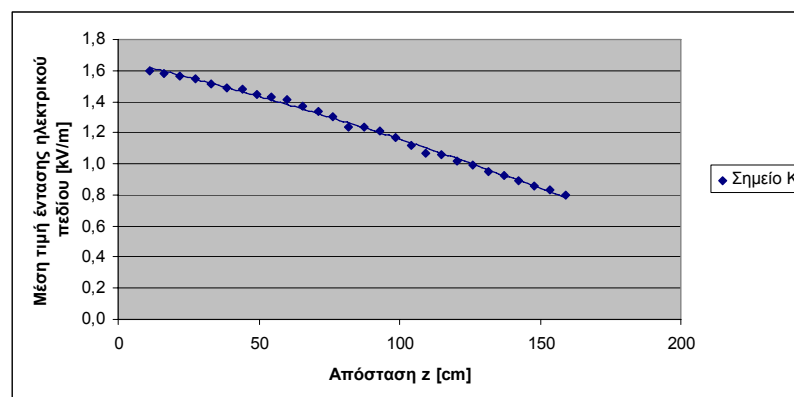


Σχήμα 4.47: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο I

Για το σημείο K με συνιστώσες ( $x=65,5\text{cm}$ ,  $y=185\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

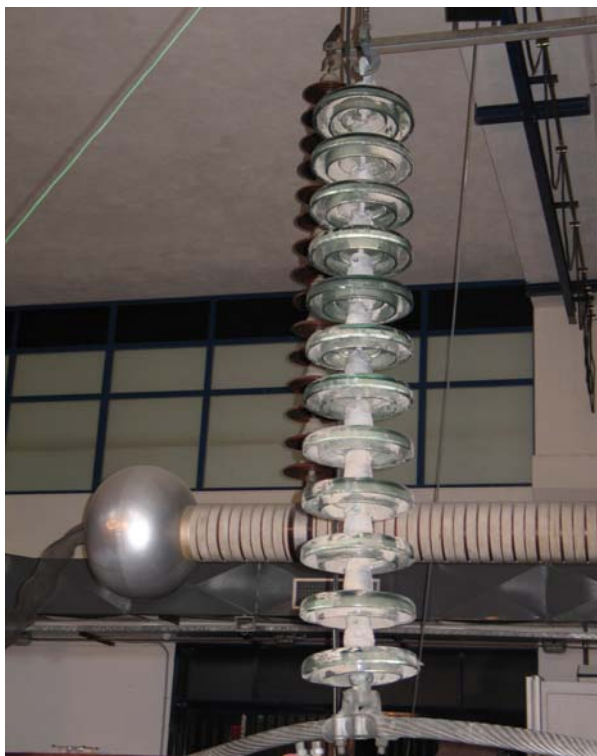
Πίνακας 4.44: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,066	1,587	0,239	1,602
2	16,5	0,156	1,560	0,185	1,579
3	22,0	0,285	1,536	0,135	1,568
4	27,5	0,360	1,492	0,098	1,551
5	33,0	0,430	1,446	0,045	1,510
6	38,5	0,358	1,442	0,014	1,487
7	44,0	0,464	1,406	0,029	1,481
8	49,5	0,543	1,335	0,070	1,443
9	54,5	0,591	1,299	0,102	1,430
10	60,0	0,619	1,262	0,135	1,412
11	65,5	0,578	1,228	0,162	1,370
12	71,0	0,574	1,197	0,190	1,340
13	76,5	0,576	1,146	0,217	1,303
14	82,0	0,559	1,076	0,234	1,236
15	87,5	0,581	1,058	0,262	1,235
16	93,0	0,575	1,021	0,282	1,208
17	98,5	0,563	0,975	0,298	1,165
18	104,0	0,552	0,916	0,309	1,115
19	109,5	0,495	0,889	0,316	1,071
20	115,0	0,503	0,861	0,332	1,056
21	120,5	0,452	0,848	0,339	1,019
22	126,0	0,439	0,816	0,351	0,992
23	131,5	0,408	0,786	0,354	0,954
24	137,0	0,387	0,759	0,359	0,925
25	142,5	0,395	0,717	0,364	0,895
26	148,0	0,380	0,681	0,366	0,861
27	153,5	0,372	0,644	0,366	0,830
28	159,0	0,354	0,613	0,366	0,798



Σχήμα 4.48: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο K

**4.1.5.Ρυπασμένος γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από δώδεκα (12) δισκοειδείς μονωτήρες.**

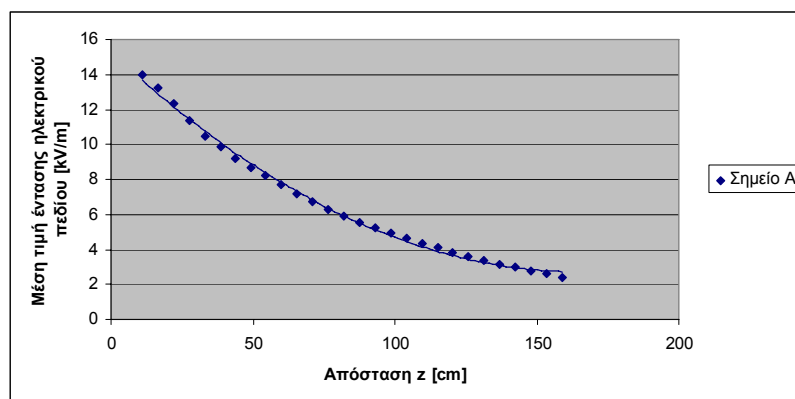


Σχήμα 4.49: Ρυπασμένος γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από δώδεκα (12) δισκοειδείς μονωτήρες

Για το σημείο A με συνιστώσες ( $x=36\text{cm}$ ,  $y=37,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.45: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	1,753	13,876	1,324	14,010
2	16,5	2,643	12,698	2,622	13,230
3	22,0	2,486	11,519	3,538	12,300
4	27,5	3,330	9,975	4,187	11,330
5	33,0	3,688	8,682	4,625	10,500
6	38,5	3,505	7,869	4,864	9,891
7	44,0	3,731	6,776	5,011	9,210
8	49,5	4,059	5,769	5,088	8,649
9	54,5	4,191	4,949	5,093	8,246
10	60,0	3,983	4,298	4,978	7,711
11	65,5	3,657	3,875	4,823	7,182
12	71,0	3,458	3,378	4,700	6,719
13	76,5	3,189	2,992	4,515	6,290
14	82,0	3,029	2,634	4,368	5,925
15	87,5	2,827	2,339	4,203	5,559
16	93,0	2,621	2,076	4,061	5,255
17	98,5	2,391	1,883	3,895	4,950
18	104,0	2,214	1,682	3,731	4,617
19	109,5	1,939	1,525	3,534	4,318
20	115,0	1,809	1,361	3,408	4,091
21	120,5	1,576	1,272	3,250	3,828
22	126,0	1,428	1,111	3,065	3,555
23	131,5	1,251	1,014	2,931	3,342
24	137,0	1,091	0,903	2,793	3,134
25	142,5	0,987	0,791	2,679	2,974
26	148,0	0,872	0,676	2,542	2,773
27	153,5	0,743	0,605	2,430	2,614
28	159,0	0,644	0,505	2,286	2,407

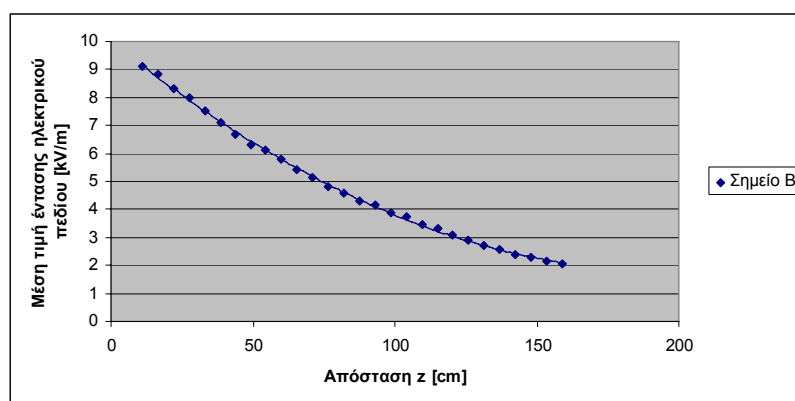


Σχήμα 4.50: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο A

Για το σημείο B με συνιστώσες ( $x=58\text{cm}$ ,  $y=57,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.46: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,523	9,091	0,747	9,100
2	16,5	1,443	8,583	1,412	8,818
3	22,0	1,907	7,870	1,926	8,331
4	27,5	2,415	7,230	2,382	7,983
5	33,0	2,953	6,387	2,721	7,513
6	38,5	2,886	5,847	2,903	7,102
7	44,0	3,189	5,059	3,083	6,696
8	49,5	3,500	4,175	3,199	6,330
9	54,5	3,518	3,748	3,317	6,113
10	60,0	3,317	3,367	3,290	5,798
11	65,5	3,111	3,015	3,263	5,424
12	71,0	2,967	2,712	3,234	5,157
13	76,5	2,814	2,362	3,151	4,832
14	82,0	2,676	2,065	3,069	4,578
15	87,5	2,518	1,836	3,003	4,308
16	93,0	2,424	1,589	2,934	4,150
17	98,5	2,202	1,498	2,821	3,860
18	104,0	2,106	1,322	2,770	3,723
19	109,5	1,871	1,253	2,619	3,453
20	115,0	1,761	1,133	2,551	3,298
21	120,5	1,555	1,061	2,421	3,061
22	126,0	1,413	0,959	2,333	2,899
23	131,5	1,280	0,874	2,222	2,717
24	137,0	1,202	0,794	2,143	2,578
25	142,5	1,098	0,697	2,029	2,405
26	148,0	0,996	0,634	1,959	2,276
27	153,5	0,898	0,563	1,863	2,145
28	159,0	0,832	0,485	1,768	2,033



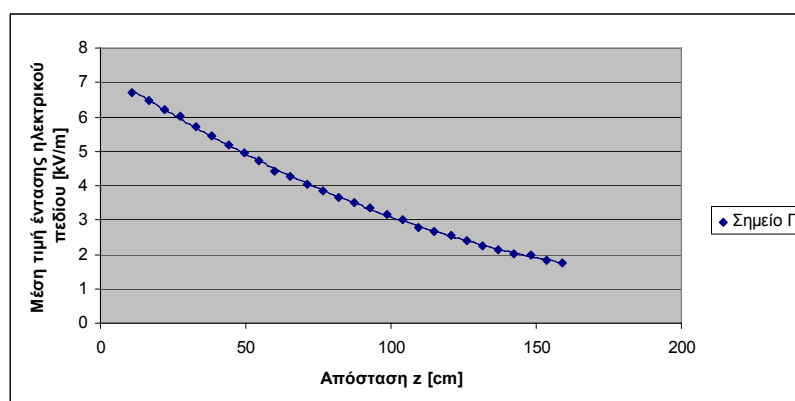
Σχήμα 4.51: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο B



Για το σημείο Γ με συνιστώσες ( $x=80\text{cm}$ ,  $y=78,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.47: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	1,107	6,623	0,457	6,698
2	16,5	1,511	6,248	0,826	6,466
3	22,0	1,856	5,826	1,145	6,211
4	27,5	2,008	5,440	1,410	6,017
5	33,0	1,920	5,088	1,626	5,711
6	38,5	2,655	4,396	1,815	5,433
7	44,0	2,840	3,887	1,970	5,198
8	49,5	2,932	3,360	2,070	4,945
9	54,5	3,030	2,970	2,159	4,717
10	60,0	2,852	2,655	2,163	4,429
11	65,5	2,713	2,459	2,204	4,259
12	71,0	2,574	2,216	2,177	4,047
13	76,5	2,500	1,942	2,181	3,831
14	82,0	2,365	1,714	2,160	3,661
15	87,5	2,290	1,562	2,160	3,519
16	93,0	2,221	1,334	2,128	3,352
17	98,5	2,049	1,257	2,071	3,172
18	104,0	1,950	1,080	2,019	3,001
19	109,5	1,740	1,036	1,902	2,773
20	115,0	1,646	0,928	1,874	2,677
21	120,5	1,515	0,912	1,832	2,546
22	126,0	1,413	0,812	1,754	2,387
23	131,5	1,276	0,770	1,676	2,244
24	137,0	1,211	0,676	1,631	2,141
25	142,5	1,121	0,611	1,572	2,028
26	148,0	1,090	0,545	1,557	1,974
27	153,5	0,973	0,502	1,465	1,829
28	159,0	0,927	0,433	1,428	1,757

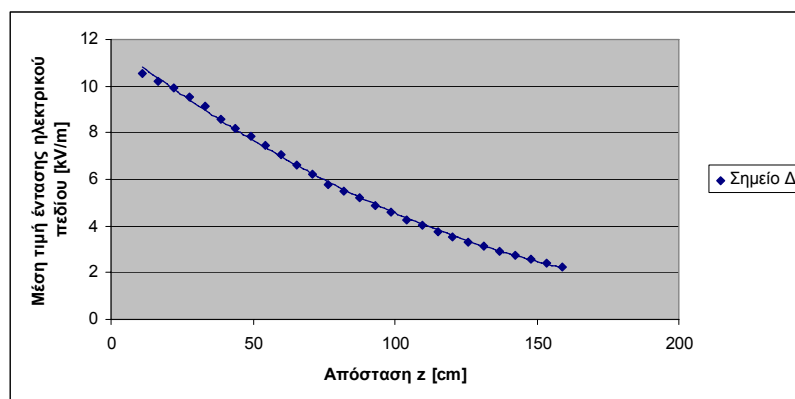


Σχήμα 4.52: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Γ

Για το σημείο Δ με συνιστώσες ( $x=15,5\text{cm}$ ,  $y=59,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.48: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,443	10,500	0,336	10,540
2	16,5	0,475	10,238	0,380	10,220
3	22,0	0,008	9,872	1,049	9,930
4	27,5	0,592	9,401	1,640	9,560
5	33,0	1,507	8,666	2,145	9,126
6	38,5	1,408	8,114	2,461	8,591
7	44,0	1,949	7,468	2,803	8,211
8	49,5	2,591	6,741	3,101	7,851
9	54,5	2,875	6,121	3,244	7,480
10	60,0	2,760	5,567	3,345	7,058
11	65,5	2,464	5,150	3,374	6,632
12	71,0	2,325	4,643	3,359	6,215
13	76,5	2,275	4,161	3,339	5,803
14	82,0	2,166	3,810	3,319	5,494
15	87,5	2,070	3,489	3,303	5,238
16	93,0	1,906	3,119	3,204	4,857
17	98,5	1,726	2,853	3,121	4,574
18	104,0	1,619	2,565	3,010	4,285
19	109,5	1,421	2,407	3,965	4,062
20	115,0	1,297	2,129	2,834	3,763
21	120,5	1,071	1,963	2,707	3,512
22	126,0	0,935	1,786	2,623	3,298
23	131,5	0,867	1,609	2,551	3,128
24	137,0	0,745	1,435	2,436	2,926
25	142,5	0,682	1,274	2,339	2,750
26	148,0	0,600	1,126	2,247	2,586
27	153,5	0,503	1,007	2,155	2,431
28	159,0	0,412	0,871	2,041	2,258

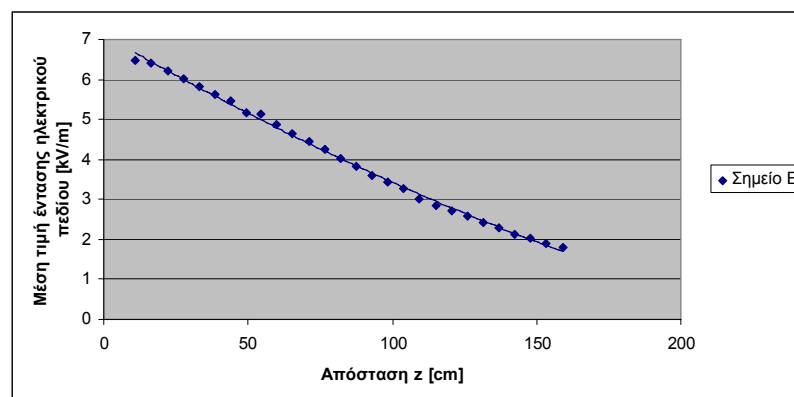


Σχήμα 4.53: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Δ

Για το σημείο E με συνιστώσες ( $x=38\text{cm}$ ,  $y=80\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.49: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,059	6,467	0,099	6,468
2	16,5	0,557	6,377	0,275	6,407
3	22,0	0,785	6,142	0,603	6,220
4	27,5	1,153	5,903	0,907	6,012
5	33,0	1,464	5,525	1,174	5,836
6	38,5	1,738	5,169	1,388	5,626
7	44,0	1,989	4,832	1,607	5,468
8	49,5	2,059	4,447	1,755	5,176
9	54,5	2,334	4,140	1,936	5,122
10	60,0	2,278	3,802	2,029	4,864
11	65,5	2,139	3,575	2,087	4,654
12	71,0	2,012	3,329	2,136	4,441
13	76,5	2,016	3,033	2,189	4,246
14	82,0	1,925	2,788	2,185	4,023
15	87,5	1,855	2,540	2,188	3,838
16	93,0	1,713	2,317	2,142	3,602
17	98,5	1,629	2,154	2,144	3,446
18	104,0	1,538	1,950	2,101	3,255
19	109,5	1,353	1,805	2,012	3,017
20	115,0	1,266	1,631	1,953	2,835
21	120,5	1,119	1,563	1,938	2,731
22	126,0	1,020	1,438	1,881	2,579
23	131,5	0,932	1,321	1,821	2,431
24	137,0	0,849	1,200	1,752	2,288
25	142,5	0,789	1,076	1,673	2,139
26	148,0	0,728	0,983	1,633	2,041
27	153,5	0,669	0,886	1,562	1,913
28	159,0	0,602	0,792	1,491	1,790

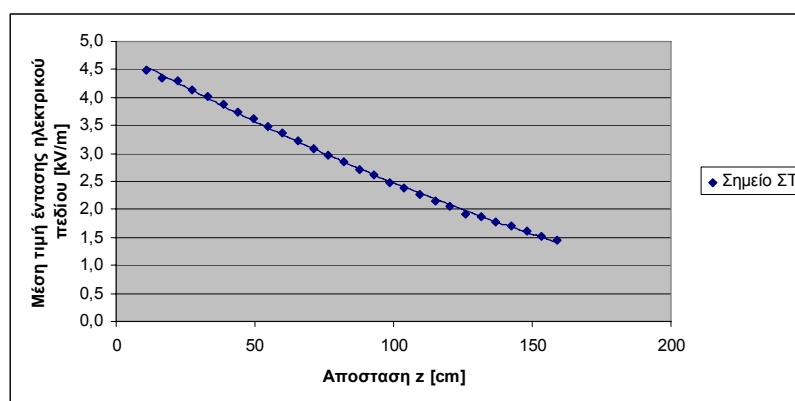


Σχήμα 4.54: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο E

Για το σημείο ΣΤ με συνιστώσες ( $x=50,5\text{cm}$ ,  $y=100,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.50: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,386	4,471	0,036	4,487
2	16,5	0,670	4,295	0,170	4,350
3	22,0	0,867	4,190	0,360	4,294
4	27,5	1,057	3,974	0,529	4,134
5	33,0	1,316	3,728	0,691	4,009
6	38,5	1,269	3,573	0,801	3,876
7	44,0	1,390	3,341	0,920	3,746
8	49,5	1,668	3,041	1,044	3,624
9	54,5	1,760	2,791	1,111	3,484
10	60,0	1,741	2,607	1,181	3,353
11	65,5	1,644	2,459	1,232	3,231
12	71,0	1,578	2,330	1,271	3,083
13	76,5	1,571	2,151	1,309	2,966
14	82,0	1,473	2,036	1,328	2,841
15	87,5	1,477	1,823	1,343	2,704
16	93,0	1,418	1,723	1,357	2,609
17	98,5	1,345	1,584	1,346	2,482
18	104,0	1,313	1,468	1,355	2,392
19	109,5	1,191	1,387	1,324	2,262
20	115,0	1,131	1,293	1,307	2,153
21	120,5	1,032	1,228	1,289	2,056
22	126,0	0,953	1,129	1,263	1,927
23	131,5	0,896	1,078	1,239	1,872
24	137,0	0,844	0,996	1,216	1,786
25	142,5	0,809	0,911	1,185	1,702
26	148,0	0,750	0,837	1,146	1,605
27	153,5	0,647	0,815	1,111	1,522
28	159,0	0,597	0,746	1,070	1,437

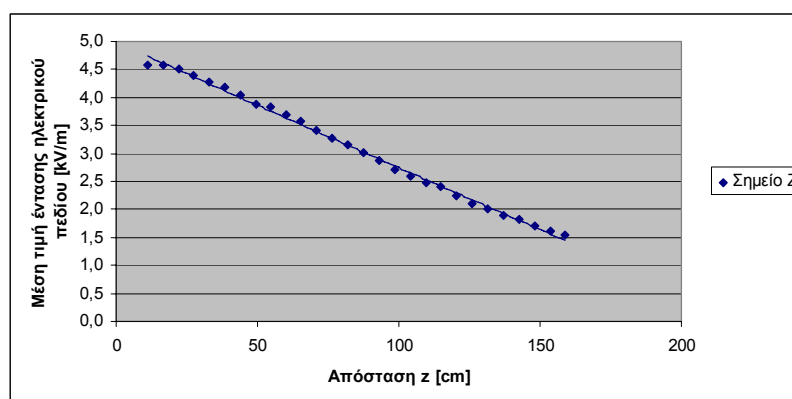


Σχήμα 4.55: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο ΣΤ

Για το σημείο Z με συνιστώσες ( $x=18\text{cm}$ ,  $y=102\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.51: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,031	4,572	0,273	4,580
2	16,5	0,238	4,564	0,060	4,570
3	22,0	0,352	4,489	0,134	4,511
4	27,5	0,669	4,339	0,331	4,403
5	33,0	0,762	4,181	0,502	4,280
6	38,5	0,604	4,097	0,636	4,190
7	44,0	0,851	3,862	0,785	4,034
8	49,5	1,049	3,622	0,907	3,872
9	54,5	1,225	3,472	1,026	3,826
10	60,0	1,227	3,304	1,125	3,703
11	65,5	1,164	3,151	1,193	3,565
12	71,0	1,150	2,960	1,266	3,414
13	76,5	1,134	2,758	1,302	3,274
14	82,0	1,153	2,590	1,349	3,143
15	87,5	1,112	2,430	1,379	3,010
16	93,0	1,050	2,284	1,407	2,879
17	98,5	1,000	2,102	1,396	2,718
18	104,0	0,955	1,964	1,406	2,598
19	109,5	0,868	1,858	1,406	2,487
20	115,0	0,830	1,739	1,412	2,396
21	120,5	0,720	1,609	1,370	2,239
22	126,0	0,654	1,490	1,338	2,100
23	131,5	0,586	1,389	1,318	2,005
24	137,0	0,484	1,297	1,289	1,893
25	142,5	0,528	1,189	1,273	1,827
26	148,0	0,479	1,091	1,222	1,707
27	153,5	0,446	1,003	1,194	1,622
28	159,0	0,409	0,913	1,147	1,531

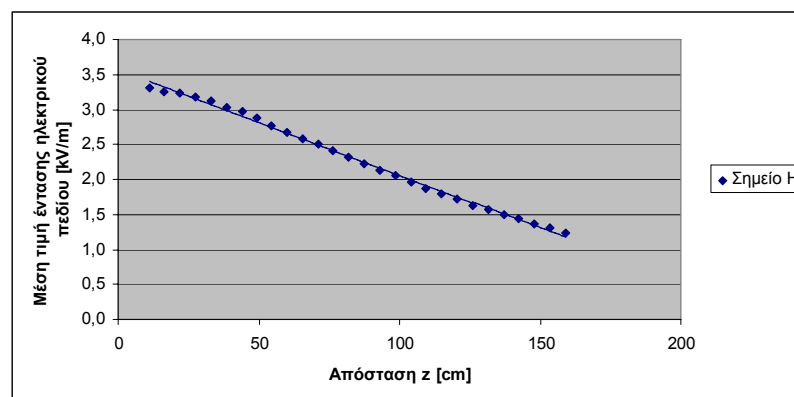


Σχήμα 4.56: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Z

Για το σημείο H με συνιστώσες ( $x=40\text{cm}$ ,  $y=122,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.52: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,130	3,333	0,199	3,316
2	16,5	0,289	3,247	0,066	3,260
3	22,0	0,476	3,189	0,060	3,225
4	27,5	0,640	3,099	0,177	3,169
5	33,0	0,741	3,013	0,290	3,116
6	38,5	0,697	2,933	0,376	3,026
7	44,0	0,849	2,818	0,478	2,981
8	49,5	1,032	2,621	0,568	2,872
9	54,5	1,083	2,468	0,624	2,766
10	60,0	1,056	2,380	0,684	2,671
11	65,5	1,010	2,258	0,733	2,580
12	71,0	0,984	2,167	0,783	2,500
13	76,5	1,008	2,022	0,822	2,406
14	82,0	0,987	1,913	0,857	2,316
15	87,5	1,003	1,786	0,894	2,233
16	93,0	0,959	1,683	0,907	2,139
17	98,5	0,920	1,596	0,923	2,058
18	104,0	0,882	1,495	0,926	1,965
19	109,5	0,817	1,413	0,924	1,875
20	115,0	0,774	1,329	0,926	1,794
21	120,5	0,692	1,271	0,919	1,715
22	126,0	0,653	1,202	0,916	1,635
23	131,5	0,611	1,117	0,898	1,564
24	137,0	0,566	1,056	0,885	1,489
25	142,5	0,564	0,979	0,878	1,431
26	148,0	0,529	0,914	0,858	1,359
27	153,5	0,508	0,856	0,846	1,312
28	159,0	0,476	0,789	0,827	1,239

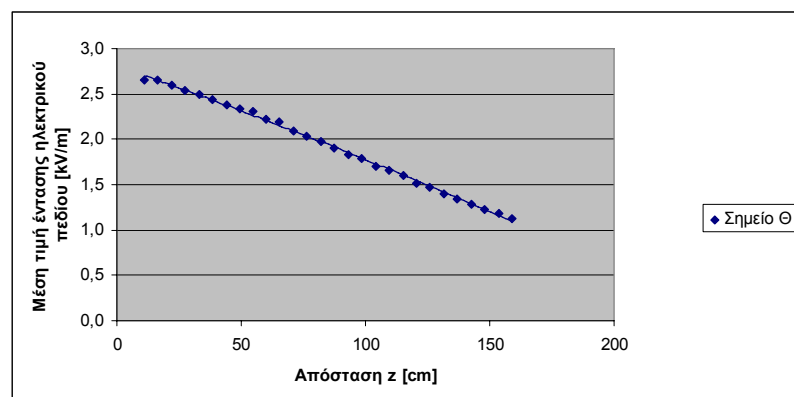


Σχήμα 4.57: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο H

Για το σημείο Θ με συνιστώσες ( $x=62,5\text{cm}$ ,  $y=143\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.53: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,115	2,639	0,239	2,652
2	16,5	0,466	2,604	0,127	2,648
3	22,0	0,539	2,544	0,036	2,595
4	27,5	0,678	2,434	0,052	2,532
5	33,0	0,800	2,355	0,137	2,500
6	38,5	0,791	2,300	0,202	2,441
7	44,0	0,906	2,186	0,280	2,383
8	49,5	1,041	2,067	0,353	2,339
9	54,5	1,086	1,988	0,409	2,303
10	60,0	1,105	1,876	0,461	2,226
11	65,5	1,049	1,863	0,509	2,198
12	71,0	1,031	1,744	0,545	2,097
13	76,5	1,033	1,654	0,586	2,036
14	82,0	1,028	1,571	0,522	1,981
15	87,5	1,001	1,479	0,643	1,899
16	93,0	1,001	1,379	0,667	1,830
17	98,5	0,947	1,349	0,648	1,782
18	104,0	0,929	1,244	0,697	1,702
19	109,5	0,866	1,225	0,715	1,660
20	115,0	0,857	1,150	0,727	1,607
21	120,5	0,744	1,103	0,711	1,512
22	126,0	0,722	1,053	0,719	1,464
23	131,5	0,661	1,000	0,712	1,398
24	137,0	0,636	0,940	0,708	1,338
25	142,5	0,616	0,882	0,707	1,284
26	148,0	0,589	0,830	0,695	1,230
27	153,5	0,561	0,777	0,690	1,183
28	159,0	0,542	0,721	0,673	1,124

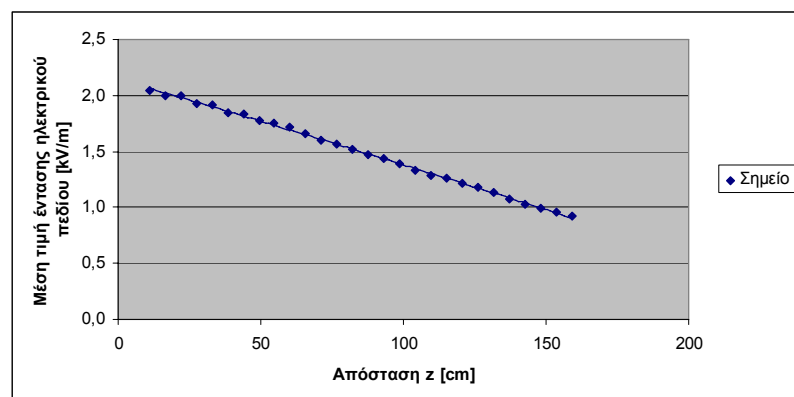


Σχήμα 4.58: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Θ

Για το σημείο I με συνιστώσες ( $x=85\text{cm}$ ,  $y=163,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.54: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,288	2,014	0,211	2,046
2	16,5	0,434	1,946	0,140	1,999
3	22,0	0,511	1,919	0,080	1,998
4	27,5	0,540	1,849	0,024	1,933
5	33,0	0,711	1,782	0,040	1,918
6	38,5	0,761	1,678	0,091	1,846
7	44,0	0,870	1,608	0,146	1,832
8	49,5	1,013	1,442	0,202	1,771
9	54,5	0,890	1,483	0,226	1,751
10	60,0	0,820	1,481	0,261	1,713
11	65,5	0,875	1,379	0,297	1,660
12	71,0	0,848	1,320	0,326	1,603
13	76,5	0,856	1,261	0,359	1,563
14	82,0	0,844	1,207	0,387	1,523
15	87,5	0,839	1,141	0,410	1,476
16	93,0	0,831	1,087	0,431	1,434
17	98,5	0,791	1,047	0,446	1,388
18	104,0	0,754	0,994	0,456	1,329
19	109,5	0,714	0,964	0,466	1,285
20	115,0	0,721	0,920	0,486	1,265
21	120,5	0,650	0,908	0,489	1,219
22	126,0	0,636	0,856	0,496	1,178
23	131,5	0,584	0,829	0,496	1,129
24	137,0	0,562	0,767	0,491	1,070
25	142,5	0,543	0,731	0,490	1,028
26	148,0	0,525	0,691	0,491	0,997
27	153,5	0,504	0,659	0,490	0,962
28	159,0	0,483	0,611	0,484	0,921



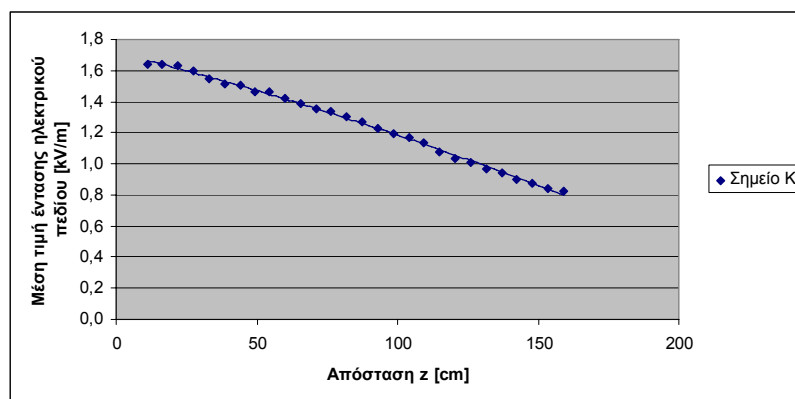
Σχήμα 4.59: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο I



Για το σημείο K με συνιστώσες ( $x=65,5\text{cm}$ ,  $y=185\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.55: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,115	1,621	0,243	1,643
2	16,5	0,223	1,613	0,190	1,640
3	22,0	0,265	1,603	0,148	1,632
4	27,5	0,372	1,548	0,096	1,599
5	33,0	0,453	1,476	0,047	1,545
6	38,5	0,455	1,447	0,013	1,517
7	44,0	0,553	1,391	0,028	1,507
8	49,5	0,709	1,283	0,078	1,463
9	54,5	0,603	1,326	0,098	1,460
10	60,0	0,627	1,266	0,130	1,419
11	65,5	0,588	1,247	0,158	1,388
12	71,0	0,584	1,207	0,184	1,357
13	76,5	0,601	1,177	0,214	1,340
14	82,0	0,594	1,131	0,237	1,300
15	87,5	0,608	1,085	0,262	1,272
16	93,0	0,597	1,038	0,281	1,232
17	98,5	0,581	1,000	0,297	1,195
18	104,0	0,588	0,955	0,317	1,166
19	109,5	0,540	0,938	0,327	1,132
20	115,0	0,526	0,871	0,332	1,080
21	120,5	0,465	0,864	0,338	1,034
22	126,0	0,453	0,830	0,347	1,007
23	131,5	0,422	0,793	0,349	0,964
24	137,0	0,412	0,763	0,356	0,938
25	142,5	0,403	0,718	0,359	0,902
26	148,0	0,397	0,683	0,362	0,874
27	153,5	0,380	0,658	0,366	0,844
28	159,0	0,379	0,633	0,371	0,826



Σχήμα 4.60: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο K

**4.1.6 Καθαρός γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από δώδεκα (12) δισκοειδείς μονωτήρες.**

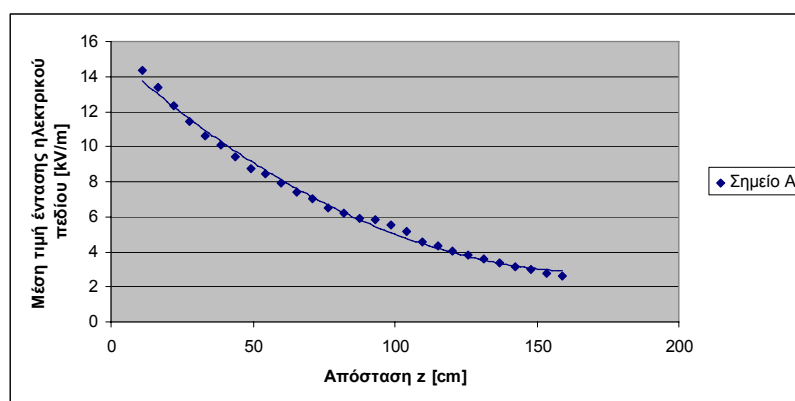


Σχήμα 4.61: Καθαρός γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από δώδεκα (12) δισκοειδείς μονωτήρες

Για το σημείο A με συνιστώσες ( $x=36\text{cm}$ ,  $y=37,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.56: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	3,381	13,873	1,292	14,330
2	16,5	3,235	12,777	2,558	13,420
3	22,0	3,775	11,181	3,495	12,300
4	27,5	4,554	9,680	4,229	11,470
5	33,0	4,770	8,284	4,678	10,630
6	38,5	4,291	7,669	4,926	10,060
7	44,0	4,552	6,449	5,072	9,424
8	49,5	4,543	5,551	5,119	8,782
9	54,5	4,976	4,421	5,203	8,443
10	60,0	4,804	3,716	5,116	7,912
11	65,5	4,347	3,382	4,946	7,415
12	71,0	4,092	2,981	4,810	7,011
13	76,5	3,836	2,533	4,652	6,530
14	82,0	3,591	2,271	4,542	6,225
15	87,5	3,405	1,951	4,421	5,906
16	93,0	3,336	1,917	4,327	5,806
17	98,5	3,120	1,723	4,229	5,526
18	104,0	2,856	1,524	4,047	5,189
19	109,5	2,351	1,253	3,690	4,561
20	115,0	2,174	1,112	3,572	4,337
21	120,5	1,927	1,047	3,390	4,044
22	126,0	1,744	0,969	3,263	3,825
23	131,5	1,571	0,861	3,111	3,590
24	137,0	1,379	0,775	2,952	3,349
25	142,5	1,245	0,650	2,825	3,161
26	148,0	1,104	0,576	2,691	2,965
27	153,5	0,964	0,496	2,559	2,778
28	159,0	0,844	0,429	2,450	2,629

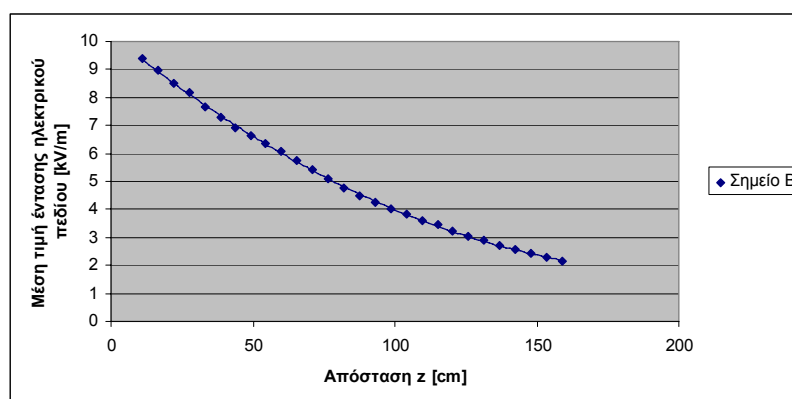


Σχήμα 4.62: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο A

Για το σημείο B με συνιστώσες ( $x=58\text{cm}$ ,  $y=57,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.57: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	1,484	9,243	0,714	9,389
2	16,5	2,184	8,615	1,380	8,995
3	22,0	2,572	7,875	1,915	8,503
4	27,5	3,079	7,203	2,375	8,186
5	33,0	3,352	6,325	2,705	7,652
6	38,5	3,261	5,838	2,926	7,273
7	44,0	3,734	4,883	3,139	6,906
8	49,5	3,945	4,154	3,322	6,623
9	54,5	3,868	3,754	3,399	6,368
10	60,0	3,778	3,291	3,463	6,093
11	65,5	3,503	3,021	3,409	5,740
12	71,0	3,316	2,648	3,363	5,400
13	76,5	3,117	3,320	3,292	5,084
14	82,0	2,931	2,001	3,161	4,787
15	87,5	2,727	1,789	3,058	4,475
16	93,0	2,589	1,604	2,998	4,254
17	98,5	2,394	1,438	2,910	4,035
18	104,0	2,281	1,274	2,839	3,834
19	109,5	2,064	1,193	2,706	3,607
20	115,0	1,920	1,095	2,632	3,439
21	120,5	1,728	1,041	2,510	3,217
22	126,0	1,605	0,934	2,420	3,049
23	131,5	1,458	0,862	2,328	2,877
24	137,0	1,339	0,758	2,222	2,701
25	142,5	1,227	0,679	2,127	2,555
26	148,0	1,125	0,598	2,045	2,411
27	153,5	1,022	0,547	1,963	2,282
28	159,0	0,931	0,487	1,860	2,133

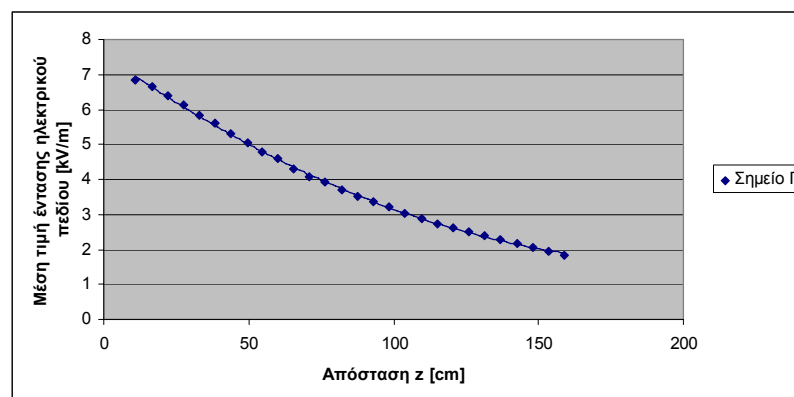


Σχήμα 4.63: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο B

Για το σημείο Γ με συνιστώσες ( $x=80\text{cm}$ ,  $y=78,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.58: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,989	6,740	0,396	6,824
2	16,5	1,525	6,431	0,788	6,657
3	22,0	1,816	6,033	1,117	6,402
4	27,5	2,058	5,594	1,387	6,118
5	33,0	2,400	5,080	1,631	5,847
6	38,5	2,384	4,750	1,791	5,603
7	44,0	2,624	4,177	1,933	5,300
8	49,5	2,855	3,601	2,066	5,051
9	54,5	2,955	3,125	3,128	4,769
10	60,0	2,909	2,800	2,197	4,590
11	65,5	2,699	2,544	2,164	4,296
12	71,0	2,566	2,330	2,173	4,088
13	76,5	2,500	2,077	2,188	3,920
14	82,0	2,362	1,850	2,149	3,694
15	87,5	2,274	1,630	2,119	3,510
16	93,0	2,229	1,438	2,111	3,378
17	98,5	2,053	1,349	2,064	3,206
18	104,0	1,934	1,175	1,992	3,014
19	109,5	1,781	1,137	1,942	2,870
20	115,0	1,698	0,996	1,907	2,740
21	120,5	1,557	0,976	1,850	2,602
22	126,0	1,482	0,890	1,813	2,499
23	131,5	1,359	0,851	1,753	2,375
24	137,0	1,296	0,762	1,718	2,282
25	142,5	1,211	0,689	1,662	2,166
26	148,0	1,140	0,614	1,617	2,074
27	153,5	1,047	0,558	1,545	1,954
28	159,0	0,984	0,489	1,487	1,848

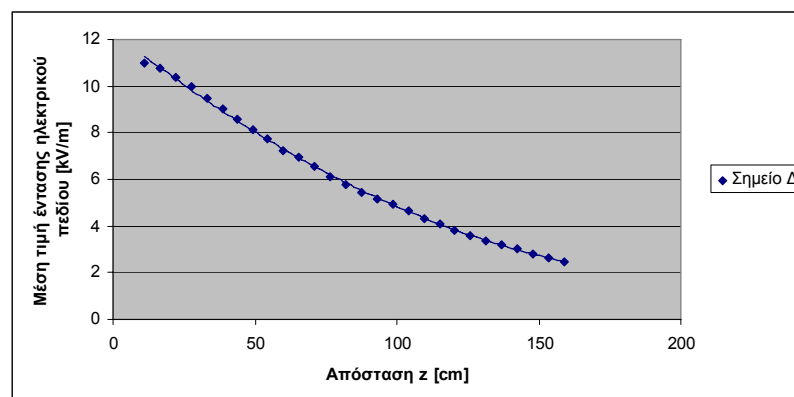


Σχήμα 4.64: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Γ

Για το σημείο Δ με συνιστώσες ( $x=15,5\text{cm}$ ,  $y=59,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.59: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,626	10,910	0,406	11,010
2	16,5	1,300	10,668	0,381	10,750
3	22,0	1,846	10,169	1,093	10,380
4	27,5	2,493	9,531	1,714	10,000
5	33,0	3,059	8,736	2,261	9,499
6	38,5	2,528	8,323	2,593	9,040
7	44,0	3,029	7,457	2,920	8,566
8	49,5	3,676	6,463	3,215	8,106
9	54,5	3,488	6,036	3,346	7,733
10	60,0	3,379	5,420	3,438	7,241
11	65,5	3,116	5,103	3,534	6,943
12	71,0	2,910	4,653	3,552	6,543
13	76,5	2,796	4,161	3,518	6,129
14	82,0	2,672	3,792	3,497	5,789
15	87,5	2,500	3,416	3,436	5,464
16	93,0	2,357	3,142	3,432	5,179
17	98,5	2,195	2,863	3,352	4,909
18	104,0	1,978	2,615	3,252	4,633
19	109,5	1,825	2,386	3,163	4,328
20	115,0	1,669	2,158	3,054	4,109
21	120,5	1,439	1,991	2,954	3,838
22	126,0	1,271	1,812	2,850	3,613
23	131,5	1,110	1,642	2,733	3,380
24	137,0	1,016	1,455	2,616	3,170
25	142,5	0,912	1,305	2,535	3,003
26	148,0	0,813	1,157	2,446	2,811
27	153,5	0,697	1,026	2,324	2,653
28	159,0	0,608	0,902	2,232	2,481

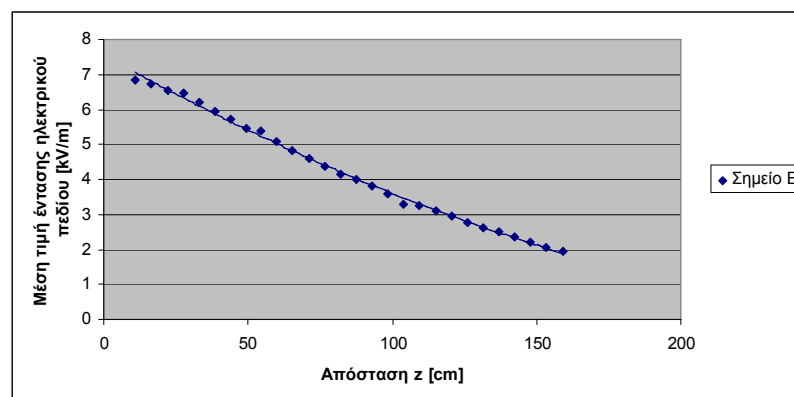


Σχήμα 4.65: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Δ

Για το σημείο E με συνιστώσες ( $x=38\text{cm}$ ,  $y=80\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.60: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,129	6,792	0,177	6,832
2	16,5	0,509	6,713	0,218	6,736
3	22,0	0,880	6,459	0,579	6,545
4	27,5	1,323	6,274	0,916	6,466
5	33,0	1,749	5,794	1,210	6,204
6	38,5	1,729	5,532	1,430	5,934
7	44,0	2,034	5,088	1,648	5,726
8	49,5	2,393	4,587	1,840	5,457
9	54,5	2,402	4,346	1,993	5,370
10	60,0	2,302	4,035	2,081	5,087
11	65,5	2,172	3,755	2,153	4,835
12	71,0	2,119	3,449	2,191	4,614
13	76,5	2,047	3,172	2,237	4,379
14	82,0	2,010	2,872	2,240	4,160
15	87,5	1,919	2,669	2,254	4,001
16	93,0	1,868	2,422	2,260	3,802
17	98,5	1,716	2,257	2,223	3,598
18	104,0	1,615	2,046	2,178	3,292
19	109,5	1,473	1,942	2,156	3,256
20	115,0	1,368	1,810	2,134	3,111
21	120,5	1,246	1,671	2,080	2,945
22	126,0	1,141	1,525	2,009	2,768
23	131,5	1,022	1,418	1,957	2,623
24	137,0	0,958	1,286	1,901	2,490
25	142,5	0,895	1,156	1,831	2,349
26	148,0	0,825	1,039	1,759	2,206
27	153,5	0,717	0,960	1,682	2,067
28	159,0	0,652	0,859	1,609	1,940

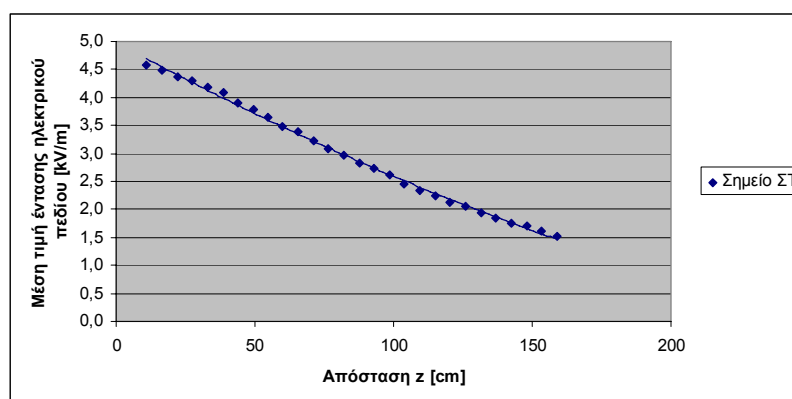


Σχήμα 4.66: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο E

Για το σημείο ΣΤ με συνιστώσες ( $x=50,5\text{cm}$ ,  $y=100,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.61: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,417	4,582	0,074	4,583
2	16,5	0,628	4,425	0,137	4,488
3	22,0	0,764	4,279	0,325	4,359
4	27,5	1,113	4,079	0,515	4,290
5	33,0	1,278	3,932	0,687	4,193
6	38,5	1,274	3,808	0,814	4,079
7	44,0	1,469	3,480	0,933	3,909
8	49,5	1,776	3,172	1,070	3,788
9	54,5	1,844	2,944	1,146	3,642
10	60,0	1,823	2,705	1,207	3,482
11	65,5	1,761	2,590	1,281	3,390
12	71,0	1,677	2,397	1,303	3,219
13	76,5	1,665	2,218	1,348	3,084
14	82,0	1,648	2,049	1,380	2,967
15	87,5	1,577	1,909	1,383	2,837
16	93,0	1,542	1,778	1,411	2,743
17	98,5	1,444	1,666	1,407	2,614
18	104,0	1,355	1,511	1,375	2,458
19	109,5	1,250	1,432	1,351	2,340
20	115,0	1,190	1,325	1,339	2,235
21	120,5	1,089	1,256	1,315	2,120
22	126,0	0,995	1,213	1,313	2,045
23	131,5	0,944	1,108	1,274	1,939
24	137,0	0,872	1,033	1,251	1,845
25	142,5	0,858	0,938	1,224	1,762
26	148,0	0,802	0,885	1,200	1,700
27	153,5	0,757	0,807	1,168	1,612
28	159,0	0,699	0,728	1,118	1,510



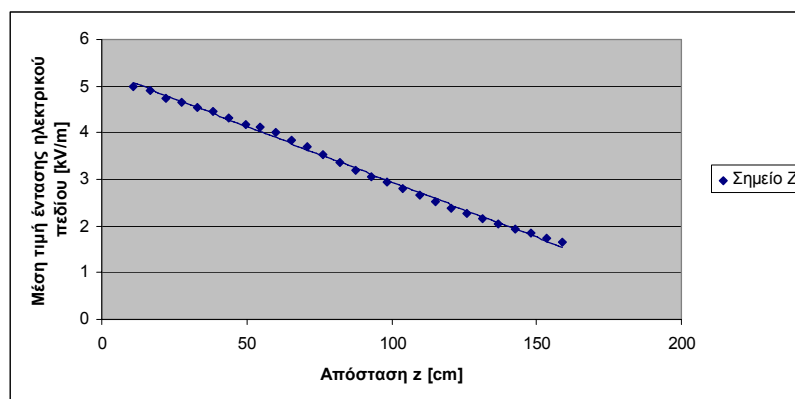
Σχήμα 4.67: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο ΣΤ



Για το σημείο Z με συνιστώσες ( $x=18\text{cm}$ ,  $y=102\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.62: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,108	4,957	0,346	4,993
2	16,5	0,133	4,927	0,107	4,913
3	22,0	0,443	4,750	0,121	4,736
4	27,5	0,673	4,604	0,322	4,652
5	33,0	0,917	4,412	0,521	4,536
6	38,5	0,727	4,327	0,664	4,448
7	44,0	0,955	4,142	0,828	4,328
8	49,5	1,189	3,862	0,967	4,172
9	54,5	1,385	3,710	1,087	4,112
10	60,0	1,392	3,551	1,195	4,012
11	65,5	1,348	3,364	1,277	3,855
12	71,0	1,283	3,192	1,349	3,688
13	76,5	1,306	2,976	1,411	3,538
14	82,0	1,265	2,759	1,444	3,361
15	87,5	1,236	2,573	1,479	3,210
16	93,0	1,166	2,423	1,497	3,069
17	98,5	1,117	2,271	1,510	2,956
18	104,0	0,980	2,147	1,510	2,801
19	109,5	0,923	2,020	1,510	2,654
20	115,0	0,837	1,868	1,479	2,531
21	120,5	0,737	1,732	1,459	2,375
22	126,0	0,690	1,622	1,439	2,275
23	131,5	0,616	1,503	1,409	2,150
24	137,0	0,555	1,404	1,385	2,048
25	142,5	0,547	1,270	1,343	1,930
26	148,0	0,487	1,188	1,323	1,841
27	153,5	0,450	1,080	1,273	1,732
28	159,0	0,424	1,000	1,250	1,660

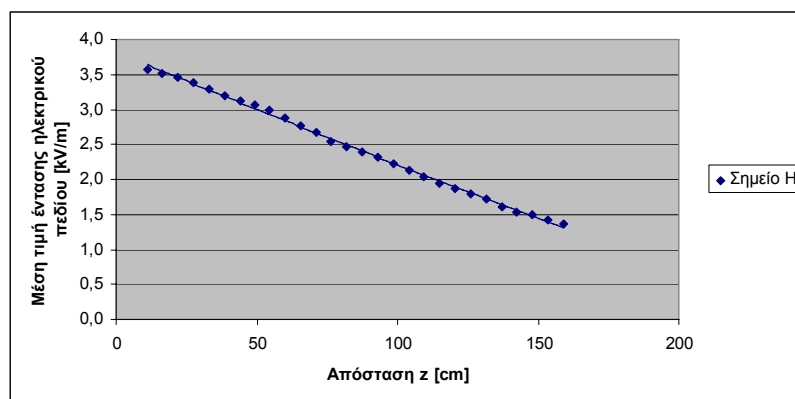


Σχήμα 4.68: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Z

Για το σημείο H με συνιστώσες ( $x=40\text{cm}$ ,  $y=122,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.63: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,216	3,545	0,224	3,563
2	16,5	0,467	3,481	0,075	3,513
3	22,0	0,608	3,410	0,058	3,465
4	27,5	0,810	3,278	0,187	3,382
5	33,0	0,971	3,115	0,307	3,290
6	38,5	0,798	3,061	0,390	3,187
7	44,0	1,015	2,912	0,500	3,127
8	49,5	1,203	2,758	0,602	3,068
9	54,5	1,314	2,583	0,677	2,986
10	60,0	1,336	2,441	0,745	2,879
11	65,5	1,246	2,344	0,790	2,766
12	71,0	1,194	2,240	0,840	2,674
13	76,5	1,198	2,083	0,876	2,544
14	82,0	1,183	1,970	0,919	2,472
15	87,5	1,173	1,857	0,956	2,387
16	93,0	1,129	1,761	0,976	2,309
17	98,5	1,090	1,667	0,999	2,225
18	104,0	1,053	1,568	1,009	2,140
19	109,5	0,963	1,476	0,998	2,030
20	115,0	0,924	1,391	1,004	1,941
21	120,5	0,841	1,342	1,003	1,874
22	126,0	0,788	1,259	0,994	1,789
23	131,5	0,732	1,194	0,982	1,711
24	137,0	0,687	1,106	0,964	1,616
25	142,5	0,665	1,021	0,943	1,540
26	148,0	0,615	0,974	0,939	1,487
27	153,5	0,603	0,901	0,920	1,422
28	159,0	0,571	0,840	0,902	1,357

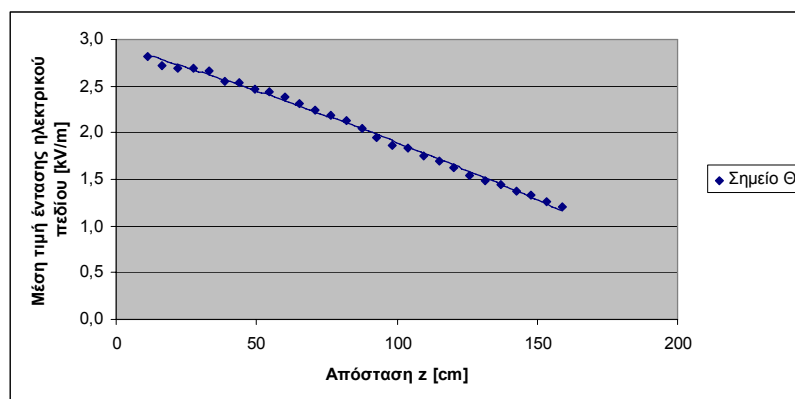


Σχήμα 4.69: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο H

Για το σημείο Θ με συνιστώσες ( $x=62,5\text{cm}$ ,  $y=143\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.64: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,344	2,787	0,252	2,819
2	16,5	0,374	2,683	0,143	2,724
3	22,0	0,487	2,663	0,054	2,694
4	27,5	0,677	2,610	0,038	2,697
5	33,0	0,837	2,511	0,131	2,659
6	38,5	0,723	2,444	0,191	2,558
7	44,0	0,865	2,355	0,273	2,536
8	49,5	0,990	2,231	0,348	2,465
9	54,5	1,178	2,091	0,419	2,437
10	60,0	1,200	1,999	0,479	2,381
11	65,5	1,127	1,945	0,525	2,312
12	71,0	1,092	1,865	0,567	2,238
13	76,5	1,126	1,781	0,617	2,186
14	82,0	1,132	1,682	0,657	2,132
15	87,5	1,096	1,588	0,682	2,049
16	93,0	1,045	1,494	0,698	1,954
17	98,5	1,004	1,403	0,712	1,863
18	104,0	1,009	1,347	0,747	1,842
19	109,5	0,905	1,299	0,744	1,749
20	115,0	0,904	1,212	0,759	1,698
21	120,5	0,798	1,195	0,759	1,628
22	126,0	0,772	1,104	0,753	1,545
23	131,5	0,709	1,063	0,752	1,485
24	137,0	0,713	0,996	0,759	1,441
25	142,5	0,668	0,931	0,744	1,374
26	148,0	0,660	0,879	0,751	1,335
27	153,5	0,611	0,826	0,730	1,262
28	159,0	0,562	0,787	0,718	1,203

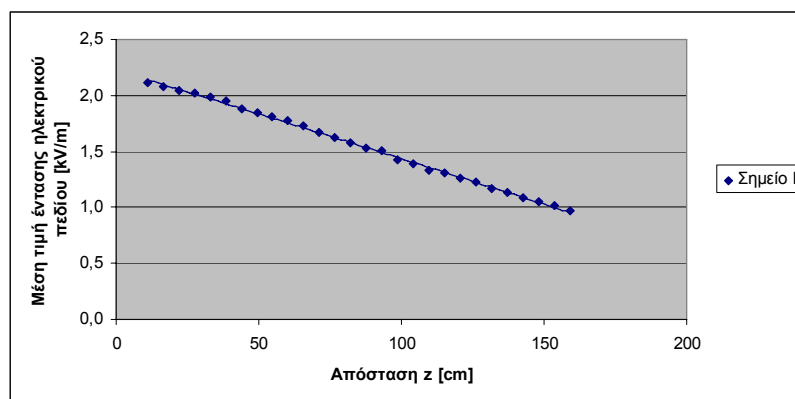


Σχήμα 4.70: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Θ

Για το σημείο I με συνιστώσες ( $x=85\text{cm}$ ,  $y=163,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.65: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,444	2,050	0,226	2,116
2	16,5	0,542	1,999	0,156	2,077
3	22,0	0,633	1,938	0,091	2,041
4	27,5	0,747	1,873	0,029	2,021
5	33,0	0,823	1,811	0,030	1,988
6	38,5	0,793	1,780	0,074	1,950
7	44,0	0,881	1,667	0,130	1,877
8	49,5	0,974	1,555	0,183	1,847
9	54,5	1,012	1,495	0,223	1,814
10	60,0	1,007	1,438	0,262	1,771
11	65,5	0,968	1,389	0,296	1,728
12	71,0	0,970	1,326	0,330	1,676
13	76,5	0,960	1,265	0,361	1,629
14	82,0	0,950	1,203	0,389	1,580
15	87,5	0,937	1,143	0,412	1,527
16	93,0	0,933	1,093	0,443	1,503
17	98,5	0,872	1,034	0,455	1,428
18	104,0	0,870	0,977	0,468	1,388
19	109,5	0,803	0,950	0,477	1,332
20	115,0	0,797	0,909	0,496	1,304
21	120,5	0,722	0,904	0,503	1,265
22	126,0	0,716	0,851	0,512	1,225
23	131,5	0,656	0,816	0,506	1,165
24	137,0	0,634	0,788	0,513	1,129
25	142,5	0,623	0,728	0,515	1,087
26	148,0	0,606	0,691	0,516	1,056
27	153,5	0,581	0,654	0,514	1,018
28	159,0	0,567	0,600	0,503	0,967

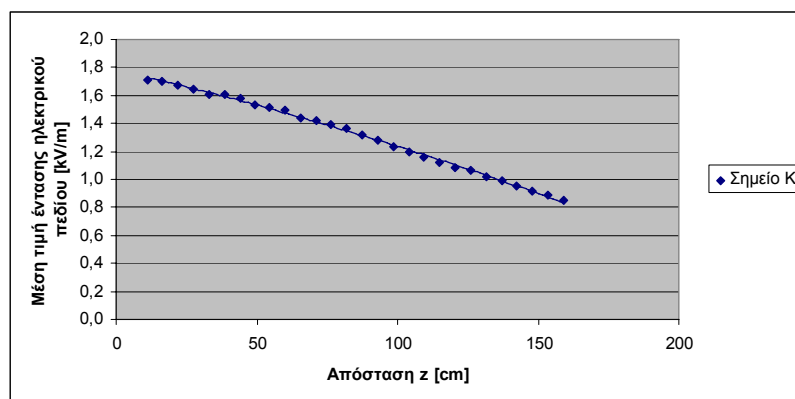


Σχήμα 4.71: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο I

Για το σημείο K με συνιστώσες ( $x=65,5\text{cm}$ ,  $y=185\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.66: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	11,0	0,031	1,696	0,258	1,712
2	16,5	0,093	1,688	0,209	1,703
3	22,0	0,161	1,661	0,160	1,677
4	27,5	0,263	1,612	0,110	1,642
5	33,0	0,361	1,567	0,062	1,609
6	38,5	0,360	1,562	0,027	1,603
7	44,0	0,474	1,502	0,011	1,582
8	49,5	0,510	1,440	0,058	1,529
9	54,5	0,605	1,383	0,096	1,516
10	60,0	0,615	1,355	0,129	1,498
11	65,5	0,570	1,339	0,150	1,436
12	71,0	0,569	1,291	0,179	1,422
13	76,5	0,589	1,246	0,209	1,394
14	82,0	0,598	1,204	0,237	1,365
15	87,5	0,589	1,150	0,258	1,322
16	93,0	0,586	1,105	0,280	1,284
17	98,5	0,559	1,065	0,295	1,236
18	104,0	0,557	1,008	0,310	1,193
19	109,5	0,511	0,978	0,321	1,155
20	115,0	0,502	0,949	0,336	1,124
21	120,5	0,447	0,930	0,345	1,084
22	126,0	0,440	0,899	0,357	1,064
23	131,5	0,410	0,868	0,362	1,021
24	137,0	0,400	0,827	0,368	0,989
25	142,5	0,389	0,784	0,371	0,954
26	148,0	0,381	0,746	0,373	0,918
27	153,5	0,366	0,714	0,374	0,884
28	159,0	0,363	0,668	0,375	0,848



Σχήμα 4.72: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο K

**4.1.7 Πορσελάνινος αλυσοειδής μονωτήρας, κανονικού τύπου, αποτελούμενος από δέκα (10) δισκοειδείς μονωτήρες.**

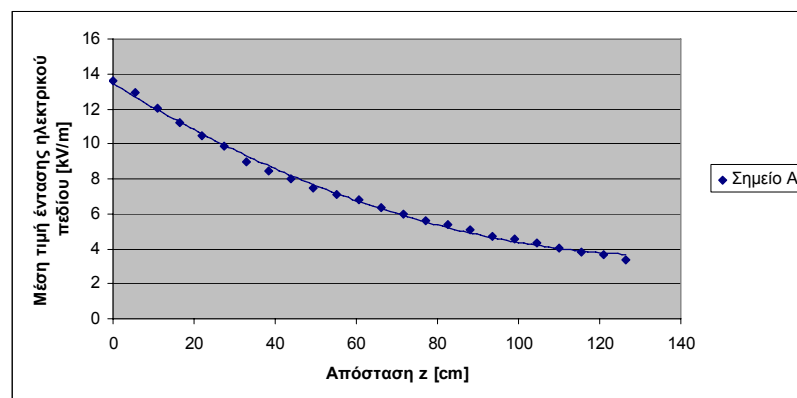


Σχήμα 4.73: Πορσελάνινος αλυσοειδής μονωτήρας, κανονικού τύπου, αποτελούμενος από δέκα (10) δισκοειδείς μονωτήρες

Για το σημείο A με συνιστώσες ( $x=36\text{cm}$ ,  $y=37,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.67: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	0,0	1,685	13,477	1,017	13,630
2	5,5	2,425	12,723	0,634	12,920
3	11,0	3,779	11,296	2,124	12,010
4	16,5	4,178	9,958	3,255	11,220
5	22,0	3,333	9,071	4,019	10,480
6	27,5	4,085	7,674	4,654	9,877
7	33,0	3,895	6,433	4,877	8,966
8	38,5	3,984	5,423	5,186	8,430
9	44,0	3,984	4,574	5,303	8,035
10	49,5	3,471	4,102	5,257	7,514
11	55,0	3,419	3,382	5,256	7,119
12	60,5	3,063	3,035	5,238	6,811
13	66,0	2,894	2,533	5,071	6,365
14	71,5	2,631	2,158	4,915	5,976
15	77,0	2,267	1,996	4,756	5,637
16	82,5	2,042	1,770	4,654	5,375
17	88,0	1,784	1,605	4,498	5,079
18	93,5	1,544	1,386	4,261	4,738
19	99,0	1,365	1,256	4,186	4,578
20	104,5	1,183	1,070	4,000	4,317
21	110,0	0,956	0,949	3,824	4,059
22	115,5	0,820	0,824	3,649	3,847
23	121,0	0,684	0,826	3,513	3,652
24	126,5	0,519	0,613	3,260	3,358

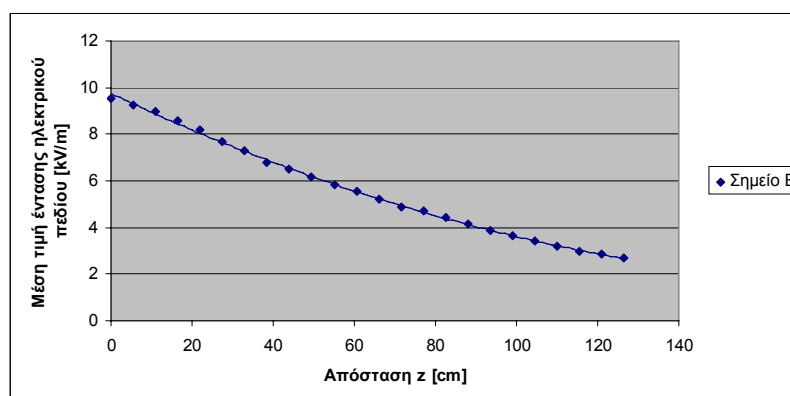


Σχήμα 4.74: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο A

Για το σημείο B με συνιστώσες ( $x=58\text{cm}$ ,  $y=57,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.68: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	0,0	1,010	9,499	0,155	9,536
2	5,5	1,210	9,162	0,581	9,260
3	11,0	2,045	8,633	1,301	8,965
4	16,5	2,535	7,922	1,877	8,580
5	22,0	2,793	7,337	2,390	8,184
6	27,5	2,613	6,675	2,661	7,660
7	33,0	3,388	5,658	3,003	7,271
8	38,5	3,536	4,878	3,160	6,800
9	44,0	3,915	4,037	3,339	6,510
10	49,5	3,693	3,525	3,358	6,142
11	55,0	3,490	3,152	3,422	5,826
12	60,5	3,335	2,793	3,445	5,547
13	66,0	3,179	2,390	3,387	5,232
14	71,5	2,862	2,161	3,278	4,855
15	77,0	2,702	1,948	3,278	4,685
16	82,5	2,443	1,815	3,188	4,407
17	88,0	2,271	1,581	3,061	4,127
18	93,5	2,081	1,422	2,962	3,893
19	99,0	1,939	1,210	2,824	3,637
20	104,5	1,751	1,094	2,716	3,410
21	110,0	1,611	0,958	2,601	3,207
22	115,5	1,442	0,859	2,481	2,997
23	121,0	1,394	0,715	2,417	2,873
24	126,5	1,246	0,611	2,287	2,678



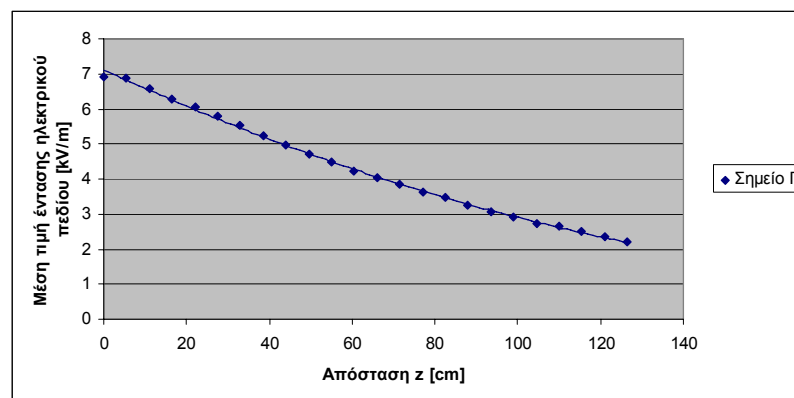
Σχήμα 4.75: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο B



Για το σημείο Γ με συνιστώσες ( $x=80\text{cm}$ ,  $y=78,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.69: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	0,0	0,892	6,868	0,069	6,908
2	5,5	1,292	6,737	0,352	6,864
3	11,0	1,677	6,323	0,752	6,585
4	16,5	1,967	5,897	1,091	6,292
5	22,0	2,518	5,207	1,404	6,045
6	27,5	2,319	5,080	1,605	5,789
7	33,0	2,737	4,442	1,839	5,538
8	38,5	3,014	3,767	1,989	5,218
9	44,0	3,100	3,225	2,101	4,966
10	49,5	2,778	3,114	2,154	4,713
11	55,0	2,894	2,617	2,233	4,489
12	60,5	2,679	2,395	2,229	4,232
13	66,0	2,521	2,099	2,237	4,019
14	71,5	2,531	1,830	2,257	3,851
15	77,0	2,294	1,764	2,201	3,634
16	82,5	2,212	1,525	2,185	3,458
17	88,0	1,969	1,456	2,109	3,240
18	93,5	1,822	1,332	2,074	3,053
19	99,0	1,729	1,177	2,023	2,908
20	104,5	1,605	1,068	1,951	2,738
21	110,0	1,541	0,971	1,936	2,656
22	115,5	1,429	0,865	1,869	2,509
23	121,0	1,343	0,735	1,776	2,339
24	126,5	1,723	0,643	1,243	2,220

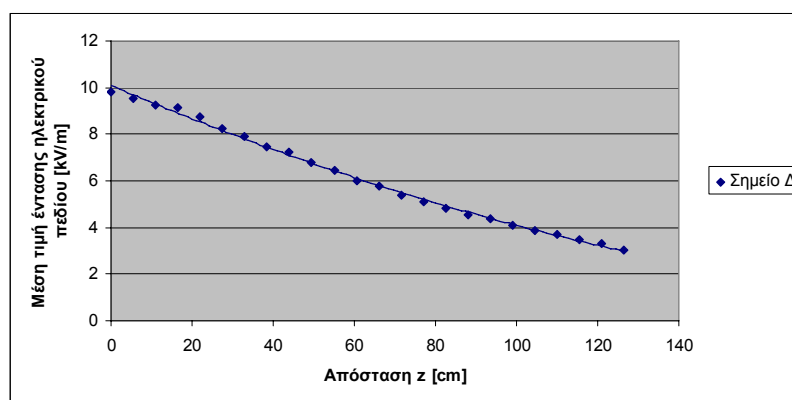


Σχήμα 4.76: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Γ

Για το σημείο Δ με συνιστώσες ( $x=15,5\text{cm}$ ,  $y=59,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.70: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	0,0	0,808	9,684	1,528	9,837
2	5,5	0,448	9,477	0,690	9,539
3	11,0	0,181	9,246	0,084	9,248
4	16,5	0,777	9,066	0,789	9,129
5	22,0	0,919	8,593	1,435	8,760
6	27,5	0,960	7,954	1,922	8,257
7	33,0	1,008	7,519	2,405	7,906
8	38,5	1,279	6,815	2,734	7,435
9	44,0	1,855	6,273	2,070	7,232
10	49,5	1,790	5,685	3,264	6,775
11	55,0	1,673	5,210	3,445	6,466
12	60,5	1,487	4,669	3,480	6,010
13	66,0	1,592	4,253	3,579	5,782
14	71,5	1,449	3,795	3,569	5,408
15	77,0	1,180	3,476	3,571	5,121
16	82,5	1,091	3,124	3,545	4,843
17	88,0	0,862	2,779	3,486	4,541
18	93,5	0,776	2,535	3,455	4,351
19	99,0	0,649	2,245	3,346	4,083
20	104,5	0,574	1,996	3,292	3,893
21	110,0	0,427	1,770	3,207	3,680
22	115,5	0,330	1,547	3,091	3,473
23	121,0	0,323	1,362	2,965	3,282
24	126,5	0,201	1,173	2,825	3,056

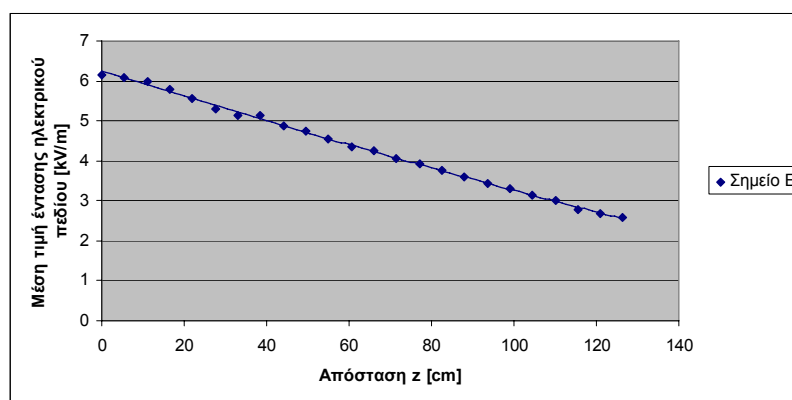


Σχήμα 4.77: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Δ

Για το σημείο E με συνιστώσες ( $x=38\text{cm}$ ,  $y=80\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.71: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	0,0	0,835	6,077	0,388	6,160
2	5,5	0,518	6,038	0,095	6,085
3	11,0	0,009	5,943	0,566	5,970
4	16,5	0,500	5,666	0,984	5,800
5	22,0	0,769	5,338	1,350	5,556
6	27,5	0,228	5,048	1,597	5,300
7	33,0	0,588	4,737	1,905	5,140
8	38,5	1,416	4,396	2,215	5,122
9	44,0	1,542	3,989	2,353	4,886
10	49,5	1,502	3,715	2,508	4,728
11	55,0	1,402	3,433	2,625	4,544
12	60,5	1,337	3,139	2,704	4,342
13	66,0	1,390	2,282	2,794	4,249
14	71,5	1,358	2,610	2,814	4,061
15	77,0	1,139	2,456	2,822	3,911
16	82,5	1,099	2,232	2,841	3,777
17	88,0	0,899	2,058	2,800	3,602
18	93,5	0,874	1,861	2,769	3,450
19	99,0	0,771	1,698	2,727	3,302
20	104,5	0,651	1,526	2,645	3,124
21	110,0	0,591	1,387	2,576	2,996
22	115,5	0,466	1,215	2,447	2,782
23	121,0	0,482	1,107	2,405	2,690
24	126,5	0,426	1,007	2,354	2,594

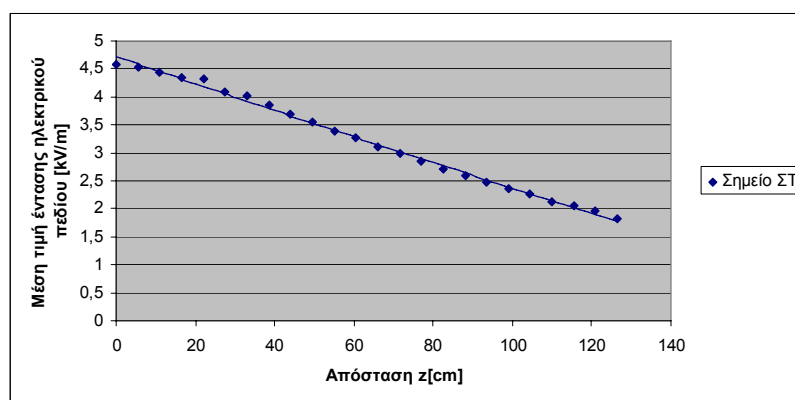


Σχήμα 4.78: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο E

Για το σημείο ΣΤ με συνιστώσες ( $x=50,5\text{cm}$ ,  $y=100,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.72: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	0,0	0,313	4,586	0,297	4,587
2	5,5	0,675	4,493	0,073	4,543
3	11,0	0,682	4,357	0,138	4,43
4	16,5	1,411	4,104	0,374	4,356
5	22,0	1,471	4,017	0,557	4,314
6	27,5	1,154	3,871	0,685	4,100
7	33,0	1,366	3,68	0,843	4,013
8	38,5	1,931	3,155	0,999	3,844
9	44,0	2,038	2,855	1,094	3,68
10	49,5	1,957	2,743	1,19	3,561
11	55,0	1,913	2,491	1,251	3,385
12	60,5	1,892	2,296	1,318	3,262
13	66,0	1,823	2,133	1,353	3,115
14	71,5	1,68	2,037	1,39	2,983
15	77,0	1,616	1,891	1,411	2,861
16	82,5	1,569	1,701	1,422	2,717
17	88,0	1,394	1,664	1,42	2,587
18	93,5	1,328	1,527	1,421	2,476
19	99,0	1,259	1,426	1,408	2,368
20	104,5	1,209	1,294	1,398	2,26
21	110,0	1,117	1,209	1,376	2,132
22	115,5	1,072	1,092	1,358	2,047
23	121,0	1,02	1,005	1,332	1,959
24	126,5	0,936	0,916	1,287	1,834

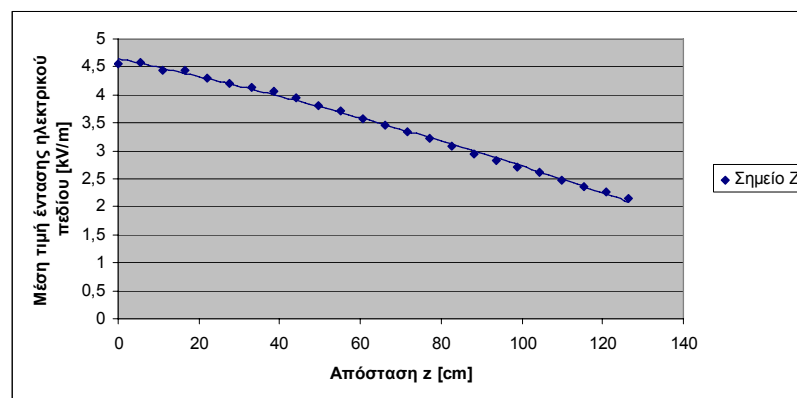


Σχήμα 4.79: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο ΣΤ

Για το σημείο Z με συνιστώσες ( $x=18\text{cm}$ ,  $y=102\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.73: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	0,0	1,725	4,194	0,506	4,561
2	5,5	1,17	4,408	0,22	4,575
3	11,0	0,901	4,36	0,063	4,448
4	16,5	0,348	4,416	0,333	4,437
5	22,0	0,382	4,249	0,57	4,29
6	27,5	0,595	4,106	0,763	4,197
7	33,0	0,386	4,001	0,976	4,147
8	38,5	0,295	3,897	1,198	4,071
9	44,0	0,295	3,716	1,123	3,951
10	49,5	0,309	3,519	1,447	3,818
11	55,0	0,382	3,339	1,563	3,706
12	60,5	0,33	3,15	1,665	3,582
13	66,0	0,447	2,945	1,742	3,45
14	71,5	0,483	2,758	1,801	3,34
15	77,0	0,316	2,614	1,858	3,222
16	82,5	0,299	2,424	1,882	3,088
17	88,0	0,194	2,237	1,903	2,95
18	93,5	0,149	2,082	1,809	2,825
19	99,0	0,161	1,925	1,889	2,707
20	104,5	0,142	1,786	1,893	2,61
21	110,0	0,087	1,642	1,867	2,48
22	115,5	0,074	1,494	1,83	2,355
23	121,0	0,086	1,386	1,788	2,257
24	126,5	0,059	1,269	1,753	2,157

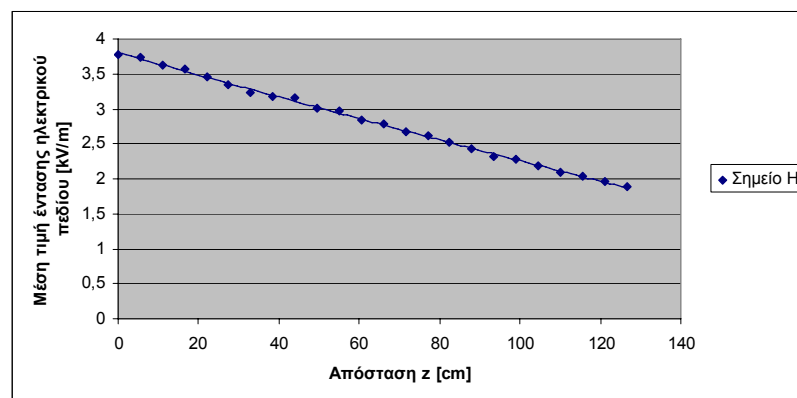


Σχήμα 4.80: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Z

Για το σημείο H με συνιστώσες ( $x=40\text{cm}$ ,  $y=122,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.74: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	0,0	2,543	2,792	0,214	3,772
2	5,5	1,931	3,213	0,028	3,742
3	11,0	1,719	3,175	0,243	3,622
4	16,5	1,432	3,23	0,452	3,563
5	22,0	1,254	3,168	0,639	3,465
6	27,5	1,396	2,932	0,791	3,342
7	33,0	1,042	2,917	0,927	3,233
8	38,5	0,452	2,96	1,077	3,183
9	44,0	0,322	2,911	1,193	3,163
10	49,5	0,355	2,726	1,282	3,013
11	55,0	0,245	2,622	1,374	2,969
12	60,5	0,162	2,455	1,429	2,845
13	66,0	0,077	2,353	1,501	2,78
14	71,5	0,062	2,186	1,531	2,667
15	77,0	0,091	2,094	1,588	2,622
16	82,5	0,084	1,944	1,597	2,519
17	88,0	0,113	1,812	1,608	2,427
18	93,5	0,151	1,676	1,604	2,319
19	99,0	0,07	1,602	1,626	2,283
20	104,5	0,095	1,494	1,624	2,196
21	110,0	0,06	1,367	1,583	2,093
22	115,5	0,045	1,279	1,569	2,039
23	121,0	0,004	1,2	1,542	1,954
24	126,5	0,032	1,107	1,511	1,881

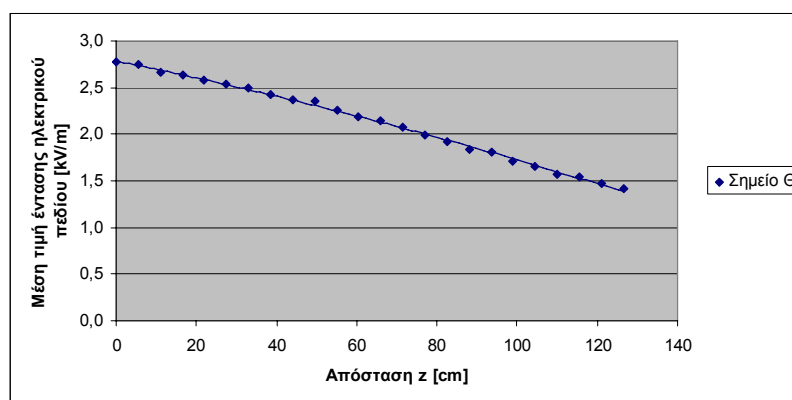


Σχήμα 4.81: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο H

Για το σημείο Θ με συνιστώσες ( $x=62,5\text{cm}$ ,  $y=143\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.75: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	0,0	0,462	2,693	0,334	2,769
2	5,5	0,620	2,668	0,228	2,742
3	11,0	0,659	2,582	0,126	2,669
4	16,5	0,830	2,501	0,028	2,635
5	22,0	0,858	2,434	0,060	2,581
6	27,5	0,906	2,373	0,137	2,544
7	33,0	1,212	2,153	0,231	2,494
8	38,5	1,038	2,168	0,300	2,426
9	44,0	0,995	2,122	0,355	2,374
10	49,5	1,077	2,046	0,423	2,351
11	55,0	0,980	1,978	0,473	2,256
12	60,5	1,032	1,868	0,521	2,188
13	66,0	0,988	1,813	0,569	2,141
14	71,5	1,015	1,701	0,612	2,073
15	77,0	0,896	1,648	0,629	1,992
16	82,5	0,903	1,557	0,662	1,924
17	88,0	0,779	1,511	0,684	1,833
18	93,5	0,828	1,435	0,711	1,802
19	99,0	0,704	1,387	0,724	1,716
20	104,5	0,733	1,286	0,735	1,653
21	110,0	0,619	1,243	0,736	1,573
22	115,5	0,646	1,174	0,751	1,536
23	121,0	0,520	1,141	0,744	1,465
24	126,5	0,526	1,083	0,753	1,421

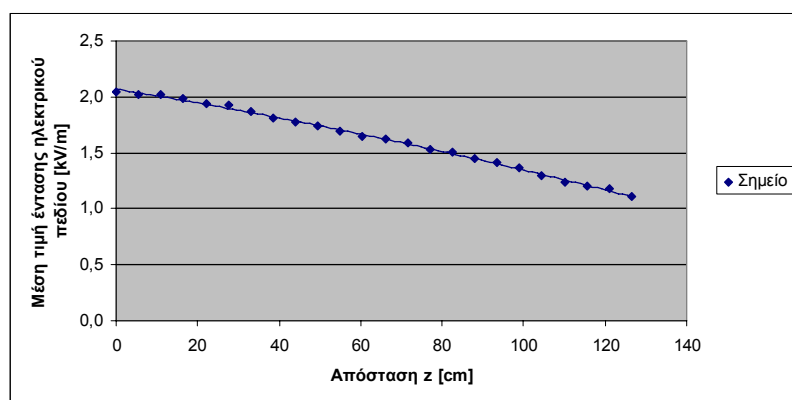


Σχήμα 4.82: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Θ

Για το σημείο I με συνιστώσες ( $x=85\text{cm}$ ,  $y=163,5\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές

Πίνακας 4.76: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	0,0	0,421	1,969	0,270	2,045
2	5,5	0,537	1,929	0,197	2,020
3	11,0	0,688	1,897	0,131	2,024
4	16,5	0,792	1,817	0,066	1,983
5	22,0	0,813	1,756	0,005	1,935
6	27,5	0,877	1,718	0,044	1,929
7	33,0	0,833	1,674	0,094	1,870
8	38,5	0,993	1,513	0,155	1,815
9	44,0	0,943	1,478	0,199	1,775
10	49,5	0,971	1,419	0,237	1,735
11	55,0	0,938	1,379	0,277	1,691
12	60,5	0,961	1,302	0,315	1,648
13	66,0	0,941	1,272	0,352	1,621
14	71,5	0,971	1,187	0,392	1,586
15	77,0	0,878	1,189	0,409	1,532
16	82,5	0,885	1,146	0,431	1,508
17	88,0	0,770	1,134	0,452	1,443
18	93,5	0,815	1,054	0,478	1,416
19	99,0	0,733	1,042	0,484	1,365
20	104,5	0,741	0,943	0,489	1,295
21	110,0	0,671	0,921	0,494	1,243
22	115,5	0,678	0,843	0,510	1,203
23	121,0	0,673	0,808	0,521	1,175
24	126,5	0,661	0,720	0,521	1,111



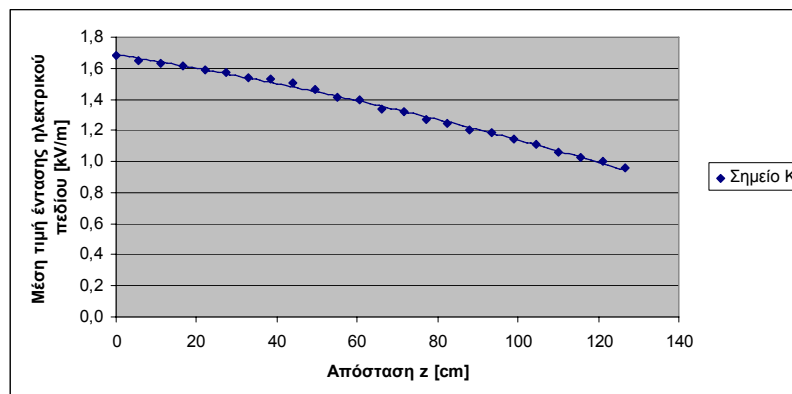
Σχήμα 4.83: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο I



Για το σημείο K με συνιστώσες ( $x=65,5\text{cm}$ ,  $y=185\text{cm}$ ) η ένταση του πεδίου είχε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.77: Μετρήσεις

Θέση probe στον άξονα z	z (cm)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου			
		X [kV/m]	Y [kV/m]	Z [kV/m]	Μέση τιμή [kV/m]
1	0,0	0,027	1,631	0,300	1,685
2	5,5	0,298	1,607	0,236	1,652
3	11,0	0,412	1,570	0,182	1,634
4	16,5	0,496	1,529	0,134	1,611
5	22,0	0,626	1,456	0,081	1,587
6	27,5	0,500	1,483	0,053	1,570
7	33,0	0,668	1,389	0,003	1,541
8	38,5	0,696	1,367	0,039	1,531
9	44,0	0,649	1,356	0,078	1,506
10	49,5	0,700	1,279	0,111	1,466
11	55,0	0,717	1,200	0,145	1,413
12	60,5	0,684	1,206	0,173	1,397
13	66,0	0,657	1,152	0,200	1,341
14	71,5	0,693	1,097	0,230	1,319
15	77,0	0,589	1,102	0,247	1,270
16	82,5	0,612	1,044	0,271	1,241
17	88,0	0,532	1,036	0,287	1,206
18	93,5	0,576	0,986	0,308	1,183
19	99,0	0,520	0,962	0,323	1,140
20	104,5	0,533	0,910	0,340	1,112
21	110,0	0,489	0,877	0,351	1,064
22	115,5	0,499	0,816	0,360	1,022
23	121,0	0,513	0,782	0,372	1,001
24	126,5	0,504	0,722	0,375	0,957



Σχήμα 4.84: Μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο K

## Κεφάλαιο 5

### *Κατανομή τάσης σε αλυσοειδείς μονωτήρες*

#### **5.1 Εισαγωγή**

Στον πίνακα 5.1, 5.3, 5.5, 5.7, 5.9, 5.11 και 5.13 φαίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που έγιναν προκείμενου να βρεθεί η κατανομή της τάσης του αλυσοειδούς μονωτήρα. Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι εμείς καταγράψαμε την τάση πρωτεύοντος του Μ/Σ. Η εφαρμοζόμενη τάση στον αλυσοειδή μονωτήρα προκύπτει πολλαπλασιάζοντας την μετρηθείσα τιμή με το λόγο μετασχηματισμού  $a$ .

Με βάση τις παραπάνω μετρήσεις και τους τύπους 3.1 και 3.2 που δίνονται στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο υπολογίστηκε το ποσοστό της τάσης που εφαρμόστηκε στον  $i$  μονωτήρα. Κατά τη διαδικασία των μετρήσεων λήφθηκαν 15 σειρές μετρήσεων, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα να αφαιρεθούν οι «λανθασμένες» μετρήσεις και να εξαλειφθεί κατά το δυνατό το σφάλμα.

Στους πίνακες 5.2, 5.4, 5.6, 5.8, 5.10, 5.12, 5.14 παρουσιάζεται το ποσοστό της τάσης που εφαρμόζεται σε κάθε δίσκο για τις 15 σειρές μετρήσεων. Στη συνέχεια υπολογίσαμε τη μέση τιμή ( $\mu$ ) και την τυπική απόκλιση ( $\sigma$ ) των ποσοστών αυτών, θεωρώντας ότι οι μετρήσεις ακολουθούν την κανονική κατανομή. Οι τιμές που ήταν εκτός των ορίων  $\mu \pm 2\sigma$  αφαιρέθηκαν και έτσι προέκυψε ο πίνακας 5.2.

Τελικά, ως κατανομή τάσης σε κάθε αλυσοειδή μονωτήρα χρησιμοποιούμε τη μέση τιμή των υπολογισμένων ποσοστών.

Βλέπουμε ότι το άθροισμα των μέσων τιμών, μετά την αφαίρεση των τιμών που ήταν εκτός του διαστήματος  $\mu \pm 2\sigma$ , εξακολουθεί να είναι ίσο με το 100% της τάσης.

## 5.2 Πίνακες μετρήσεων

- Πορσελάνινος αλυσσοειδής μονωτήρας εργαστηρίου, αποτελούμενος από 10 δισκοειδείς μονωτήρες

Πίνακας 5.1: Μετρήσεις

$\alpha/\alpha$	$U_1$ [V]	$U_2$ [V]	$U_3$ [V]	$U_4$ [V]	$U_5$ [V]	$U_6$ [V]	$U_7$ [V]	$U_8$ [V]	$U_9$ [V]	$U_{10}$ [V]	$U_{11}$ [V]	$U_{12}$ [V]	$U_{13}$ [V]	$U_{14}$ [V]	$U_{15}$ [V]
1	53,0	50,0	45,0	60,0	49,5	53,0	50,0	55,0	49,0	45,0	43,0	43,0	55,0	70,0	61,0
2	55,0	55,0	49,0	58,0	52,0	58,0	56,0	61,0	45,0	49,0	50,0	48,0	60,0	79,0	65,0
3	51,0	56,0	46,0	62,0	52,0	59,0	57,0	61,0	47,0	48,0	48,0	47,0	62,0	82,0	66,0
4	50,0	54,0	45,0	58,0	49,0	54,0	49,0	58,0	46,0	46,0	45,0	46,0	58,0	77,0	60,0
5	47,0	46,0	38,0	48,0	45,0	48,0	43,0	49,0	38,0	40,0	38,0	38,0	52,0	67,0	52,5
6	41,0	40,0	32,0	43,0	38,0	40,0	37,0	38,0	30,0	37,5	33,0	35,0	45,0	60,0	45,0
7	32,0	34,0	29,0	36,0	31,0	33,0	31,0	35,0	25,0	32,5	28,0	31,0	38,0	50,0	38,0
8	24,0	28,0	25,0	29,0	25,0	26,0	24,0	30,0	22,0	22,5	23,0	24,0	32,0	40,0	29,0
9	16,0	20,0	18,0	22,0	21,0	22,0	19,5	20,0	16,0	17,5	17,0	18,0	24,4	34,0	23,0
10	10,0	15,0	18,0	17,0	15,0	16,0	16,0	16,0	13,0	13,0	12,0	14,0	18,0	25,0	16,0

Πίνακας 5.2: Ποσοστιαία κατανομή της επιβαλλόμενης τάσης

$\alpha/\alpha$	$P_1\%$	$P_2\%$	$P_3\%$	$P_4\%$	$P_5\%$	$P_6\%$	$P_7\%$	$P_8\%$	$P_9\%$	$P_{10}\%$	$P_{11}\%$	$P_{12}\%$	$P_{13}\%$	$P_{14}\%$	$P_{15}\%$	$\mu\%$	$\sigma\%$
1		6,78	6,84	6,05	6,46	6,43	6,39	6,39		6,36	6,39	6,50			6,22	<b>6,44</b>	<b>0,22</b>
2		6,22	6,29	6,32	6,07	5,98	5,76	5,71	5,80	5,85	5,50	5,84	6,51	6,38	5,88	<b>6,01</b>	<b>0,30</b>
3	5,45	6,00		5,92	6,18	5,83	5,66	5,71	5,52	5,95	5,67	5,92	6,31	6,15	5,84	<b>5,87</b>	<b>0,25</b>
4	5,61	6,28	6,81	6,29	6,37	6,35	6,52	6,01	5,70	6,22	6,11	6,05	6,75	6,55	6,27	<b>6,26</b>	<b>0,34</b>
5		7,21		7,43	7,07	7,10	7,42	7,10	6,96	7,04	7,04	7,41	7,49	7,53	7,12	<b>7,22</b>	<b>0,20</b>
6		8,27		8,45	8,14	8,40	8,60		8,64		8,06	8,01	8,51	8,40	8,25	<b>8,34</b>	<b>0,21</b>
7		9,69	10,55	10,07	10,21	10,15	10,24	9,90	10,30		9,59		10,03	10,19	9,98	<b>10,08</b>	<b>0,27</b>
8	11,69	11,90	12,21	12,47	12,37	12,75	12,91	11,34	11,64	12,31	11,58	11,68	11,94	12,61	12,64	<b>12,14</b>	<b>0,49</b>
9		15,77	16,39	15,99	14,96	16,01	16,34	16,74	16,74	16,47	15,89	15,72	15,22	14,83	15,48	<b>15,89</b>	<b>0,61</b>
10		21,88		21,01	22,18	20,99	20,17	21,97	23,28	23,39	24,17	23,84	20,21	20,17	22,31	<b>21,97</b>	<b>1,41</b>

- Πορσελάνινος καθαρός αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου κανονικού, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες

Πίνακας 5.3: Μετρήσεις.

$\alpha/\alpha$	$U_1$ [V]	$U_2$ [V]	$U_3$ [V]	$U_4$ [V]	$U_5$ [V]	$U_6$ [V]	$U_7$ [V]	$U_8$ [V]	$U_9$ [V]	$U_{10}$ [V]	$U_{11}$ [V]	$U_{12}$ [V]	$U_{13}$ [V]	$U_{14}$ [V]	$U_{15}$ [V]
1	77,1	76,1	76,7	77,4	75,9	78,1	76,2	76,8	76,0	76,1	75,9	76,6	76,8	75,9	76,0
2	85,8	85,1	84,1	84,4	83,8	84,3	84,8	84,9	85,1	85,0	83,8	84,4	83,7	83,6	84,1
3	80,9	82,3	82,9	82,8	83,0	83,5	82,6	82,2	81,7	83,7	83,2	82,8	83,0	82,7	83,7
4	78,4	78,2	78,1	79,1	78,5	77,9	78,6	78,4	78,4	78,9	79,1	77,4	80,7	79,5	79,8
5	73,9	72,8	73,4	71,8	72,9	71,7	72,0	73,1	73,3	74,1	74,0	73,8	73,0	72,7	72,2
6	60,1	60,0	60,7	60,3	60,4	59,9	60,9	60,4	60,1	61,4	62,1	61,7	61,4	60,9	61,8
7	51,8	52,1	52,9	53,8	52,2	52,5	52,6	52,5	52,4	53,2	52,0	52,6	51,9	51,1	50,3
8	43,2	42,7	42,0	42,8	41,6	41,8	41,9	42,7	43,0	43,3	43,5	44,0	44,7	43,1	43,6
9	36,8	36,9	35,8	36,5	37,1	35,9	35,2	34,8	35,9	36,3	35,9	35,9	35,2	35,1	35,8
10	32,2	32,3	32,9	32,2	31,7	33,1	33,3	33,6	33,1	32,2	33,0	33,4	34,4	33,4	33,8
11	25,9	25,5	24,6	24,7	25,0	25,1	25,0	24,6	24,7	24,5	24,6	24,9	25,8	25,7	24,9
12	18,95	19,04	19,05	20,4	19,56	19,54	19,49	19,04	19,05	19,03	19,29	19,06	19,47	19,06	19,01

Πίνακας 5.4: Ποσοστιαία κατανομή της επιβαλλόμενης τάσης.

$\alpha/\alpha$	$P_1$ %	$P_2$ %	$P_3$ %	$P_4$ %	$P_5$ %	$P_6$ %	$P_7$ %	$P_8$ %	$P_9$ %	$P_{10}$ %	$P_{11}$ %	$P_{12}$ %	$P_{13}$ %	$P_{14}$ %	$P_{15}$ %	$\mu$ %	$\sigma$ %
1	4,77	4,82	4,76	4,79	4,83		4,81	4,75	4,81	4,81	4,84	4,80	4,847	4,83	4,83	4,81	0,03
2	4,29	4,31	4,34	4,39	4,37	4,36	4,32	4,30	4,30	4,31	4,38	4,36		4,39	4,36	4,34	0,04
3		4,46	4,40	4,47	4,41	4,40	4,44	4,44	4,47	4,37	4,41	4,44	4,49	4,44	4,38	4,43	0,03
4	4,69	4,69	4,67	4,68	4,67	4,72	4,67	4,65	4,66	4,64	4,64		4,61	4,61	4,60	4,66	0,03
5	4,98	5,04	4,97	5,16	5,02	5,12	5,09	4,99	4,99	4,94	4,96	4,98	5,10	5,05	5,08	5,03	0,07
6	6,12	6,11	6,01	6,14	6,06	6,13	6,02	6,040	6,08	5,96	5,91	5,96	6,06	6,02	5,93	6,04	0,07
7	7,10	7,04	6,90	6,89	7,02	7,00	6,97	6,95	6,98	6,88	7,06	6,99	7,17	7,18		7,01	0,10
8	8,51	8,59	8,69	8,66	8,81	8,79	8,75	8,54	8,50	8,45	8,44	8,36	8,328	8,51	8,41	8,56	0,15
9	9,99	9,94	10,19	10,15	9,87	10,23	10,42	10,48	10,18	10,08	10,23	10,25	10,58	10,45	10,24	10,22	0,20
10	11,42	11,36	11,09	11,51	11,56	11,10	11,01	10,86	11,04	11,37	11,13	11,01	10,82	10,98	10,85	11,14	0,24
11	14,2	14,38	14,83	15,00	14,65	14,64	14,67	14,83	14,80	14,94	14,93	14,77	14,43	14,28	14,73	14,67	0,25
12	19,4	19,26	19,15		18,73	18,80	18,82	19,16	19,19	19,24	19,04	19,30	19,12	19,25	19,29	19,13	0,21

- Πορσελάνινος ρυπασμένος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου κανονικού, αποτελούμενος απο 12 δισκοειδείς μονωτήρες

Πίνακας 5.5: Μετρήσεις

$\alpha/\alpha$	$U_1[V]$	$U_2[V]$	$U_3[V]$	$U_4[V]$	$U_5[V]$	$U_6[V]$	$U_7[V]$	$U_8[V]$	$U_9[V]$	$U_{10}[V]$	$U_{11}[V]$	$U_{12}[V]$	$U_{13}[V]$	$U_{14}[V]$	$U_{15}[V]$
1	79,6	78,8	79,9	79,3	78,7	78,8	78,6	79,3	80,1	80,6	80,7	80,2	79,8	80,1	80,2
2	90,0	88,9	87,1	88,4	92,1	91,0	91,4	89,0	88,9	89,8	89,3	89,7	90,6	90,3	91,1
3	89,7	88,4	89,3	90,1	89,5	89,3	91,0	90,5	91,0	90,3	91,2	92,2	90,2	91,1	89,6
4	85,5	85,8	87,2	84,7	86,0	87,5	85,5	86,6	86,2	86,9	85,5	84,0	86,0	85,7	84,8
5	78,0	80,7	78,3	79,9	79,3	80,2	80,1	78,9	78,2	78,0	78,7	78,7	78,3	77,9	76,9
6	69,4	68,9	68,3	68,8	70,6	71,5	70,1	70,9	70,5	68,7	70,4	72,1	71,2	68,7	69,0
7	57,5	58,6	58,2	59,3	58,5	58,6	60,6	60,0	60,0	59,1	60,1	59,0	61,4	61,4	59,1
8	52,3	50,4	49,9	50,4	49,2	49,0	50,0	50,2	50,4	51,1	50,1	50,0	49,1	49,0	49,1
9	40,2	40,0	40,3	39,6	40,2	39,7	40,3	40,5	40,3	40,6	40,3	39,5	39,5	39,4	40,1
10	31,6	32,4	31,7	32,1	31,1	31,8	32,3	32,1	31,7	33,1	33,5	33,1	31,7	32,7	33,0
11	25,1	24,8	26,1	24,7	25,0	26,1	24,8	26,1	25,1	25,5	25,6	25,1	25,8	26,1	25,9
12	19,1	19,03	19,5	19,52	19,4	19,07	19,38	20,5	19,39	19,07	19,04	19,38	19,51	19,1	19,15

Πίνακας 5.6: Ποσοστιαία κατανομή της επιβαλλόμενης τάσης

$\alpha/\alpha$	$P_1\%$	$P_2\%$	$P_3\%$	$P_4\%$	$P_5\%$	$P_6\%$	$P_7\%$	$P_8\%$	$P_9\%$	$P_{10}\%$	$P_{11}\%$	$P_{12}\%$	$P_{13}\%$	$P_{14}\%$	$P_{15}\%$	$\mu\%$	$\sigma\%$
1	4,85	4,89	4,87	4,87	4,90				4,85	4,84	4,84	4,85	4,88	4,86	4,85	<b>4,86</b>	<b>0,02</b>
2	4,29	4,34	4,46	4,37	4,19	4,27	4,25	4,45	4,37	4,34	4,37	4,34	4,30	4,31	4,27	<b>4,33</b>	<b>0,07</b>
3	4,30	4,36	4,35	4,29	4,31	4,35	4,27	4,37	4,27	4,32	4,28		4,32	4,27	4,34	<b>4,31</b>	<b>0,04</b>
4	4,52	4,49	4,46	4,56	4,49	4,44	4,55	4,57	4,50	4,49	4,57		4,53	4,54	4,58	<b>4,52</b>	<b>0,04</b>
5	4,95	4,78	4,97	4,84	4,87	4,84	4,85	5,01	4,96	5,00	4,96	4,95	4,98	5,00	5,05	<b>4,93</b>	<b>0,08</b>
6	5,56	5,59	5,69	5,62	5,47	5,43	5,54	5,58	5,51	5,68	5,55	5,40	5,47	5,67	5,63	<b>5,56</b>	<b>0,09</b>
7	6,72	6,58	6,68	6,52	6,60	6,62	6,41	6,59	6,47	6,60	6,50	6,60	6,35	6,34	6,58	<b>6,54</b>	<b>0,11</b>
8		7,65	7,79	7,67	7,84	7,92	7,77	7,88	7,70	7,63	7,79	7,79	7,94	7,94	7,92	<b>7,80</b>	<b>0,11</b>
9	9,61	9,64	9,65	9,76	9,60	9,78	9,64	9,77	9,63	9,60	9,69	9,86	9,87	9,88	9,69	<b>9,71</b>	<b>0,10</b>
10	12,22	11,90	12,26	12,04	12,41	12,21	12,03	12,33	12,25	11,78	11,66	11,76	12,29	11,90	11,78	<b>12,05</b>	<b>0,24</b>
11	15,38	15,54	14,89	15,65	15,44	14,87	15,67	15,16	15,47	15,29	15,26	15,51	15,10	14,91	15,01	<b>15,28</b>	<b>0,27</b>
12	20,22	20,25	19,93	19,80	19,89	20,35	20,05		20,02	20,44	20,52	20,09	19,97	20,38	20,30	<b>20,16</b>	<b>0,22</b>

- Γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου κανονικού, αποτελούμενος από 10 δισκοειδείς μονωτήρες.

Πίνακας 5.7: Μετρήσεις

$\alpha/\alpha$	$U_1$ [V]	$U_2$ [V]	$U_3$ [V]	$U_4$ [V]	$U_5$ [V]	$U_6$ [V]	$U_7$ [V]	$U_8$ [V]	$U_9$ [V]	$U_{10}$ [V]	$U_{11}$ [V]	$U_{12}$ [V]	$U_{13}$ [V]	$U_{14}$ [V]	$U_{15}$ [V]
1	44,4	43,8	42,1	41,8	43,1	42,0	43,4	43,0	43,3	41,7	43,5	42,2	43,9	42,1	40,3
2	46,7	47,6	46,1	45,3	45,3	46,1	46,0	45,1	43,8	45,3	44,8	45,9	45,2	45,0	42,0
3	45,9	43,9	47,2	43,4	46,3	44,3	45,5	44,8	45,3	44,4	44,5	44,7	45,4	43,9	42,8
4	43,3	40,9	43,3	41,6	43,6	41,6	42,4	43,0	43,3	42,2	42,2	41,9	42,7	42,0	41,6
5	36,6	37,8	37,3	38,8	36,6	36,6	36,9	37,3	36,7	36,8	37,4	36,7	36,2	37,4	38,6
6	32,4	32,3	31,8	32,2	32,5	32,4	32,4	32,5	32,4	32,2	32,1	32,1	32,3	32,5	31,7
7	27,9	27,4	26,0	27,5	25,9	26,6	26,4	26,8	25,7	27,0	25,7	26,9	26,4	27,2	26,5
8	23,3	22,4	23,3	22,5	23,7	22,3	23,2	22,6	23,5	23,2	22,3	22,4	22,8	22,6	23,8
9	18,18	17,42	18,23	17,52	17,72	17,45	18,08	17,38	17,56	17,26	18,18	17,62	17,4	17,59	18,74
10	15,16	14,73	15,0	14,31	14,68	14,09	15,43	14,59	14,72	14,55	14,56	14,75	14,6	14,51	14,66

Πίνακας 5.8 : Ποσοστιαία κατανομή της επιβαλλόμενης τάσης

$\alpha/\alpha$	$P_1$ %	$P_2$ %	$P_3$ %	$P_4$ %	$P_5$ %	$P_6$ %	$P_7$ %	$P_8$ %	$P_9$ %	$P_{10}$ %	$P_{11}$ %	$P_{12}$ %	$P_{13}$ %	$P_{14}$ %	$P_{15}$ %	$\mu$ %	$\sigma$ %
1	6,50	6,43	6,77	6,69	6,57	6,60	6,59	6,53	6,50	6,71	6,44	6,65	6,39	6,656		<b>6,57</b>	<b>0,11</b>
2	6,18		6,18	6,17	6,25		6,22	6,22		6,18	6,26		6,20	6,23		<b>6,21</b>	<b>0,03</b>
3	6,28	6,42		6,44	6,11	6,25	6,29	6,27	6,21	6,30	6,30	6,28	6,18	6,38		<b>6,29</b>	<b>0,09</b>
4	6,66	6,89	6,58	6,72	6,49	6,66	6,75	6,53	6,50	6,63	6,64	6,69	6,57	6,67	6,90	<b>6,66</b>	<b>0,12</b>
5		7,45	7,64		7,73	7,57	7,76	7,53	7,66	7,61	7,49	7,64	7,75	7,49	7,45	<b>7,60</b>	<b>0,11</b>
6		8,72		8,68	8,71			8,64	8,68	8,69	8,73	8,74	8,68	8,62		<b>8,69</b>	<b>0,04</b>
7	10,34	10,28	10,96	10,17	10,93	10,41	10,84	10,47	10,94	10,37	10,91	10,43	10,62	10,30	10,29	<b>10,55</b>	<b>0,29</b>
8	12,38	12,58	12,23	12,43	11,94	12,42	12,34	12,42	11,97	12,06	12,57	12,52	12,30	12,40		<b>12,33</b>	<b>0,21</b>
9	15,86	16,17		15,96	15,98	15,87	15,83	16,15	16,02	16,21		15,92	16,11	15,93		<b>16,00</b>	<b>0,13</b>
10	19,02	19,13	19		19,28			19,24	19,11	19,23	19,25	19,02	19,21	19,31	19,15	<b>19,16</b>	<b>0,11</b>

- Γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας , τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες

Πίνακας 5.9: Μετρήσεις

α/α	U <sub>1</sub> [V]	U <sub>2</sub> [V]	U <sub>3</sub> [V]	U <sub>4</sub> [V]	U <sub>5</sub> [V]	U <sub>6</sub> [V]	U <sub>7</sub> [V]	U <sub>8</sub> [V]	U <sub>9</sub> [V]	U <sub>10</sub> [V]	U <sub>11</sub> [V]	U <sub>12</sub> [V]	U <sub>13</sub> [V]	U <sub>14</sub> [V]	U <sub>15</sub> [V]
1	64,8	64,4	64,7	65,4	64,5	65,5	64,9	64,5	64,1	64,2	64,6	64,4	65,2	64,4	64,9
2	68,9	70,7	70,0	70,9	70,4	70,8	70,9	70,4	70,0	70,6	69,6	70,3	70,4	72,9	70,4
3	70,4	70,4	69,7	68,5	68,6	68,7	70,1	69,0	68,8	70,2	68,9	69,3	68,6	69,8	68,9
4	66,9	66,7	67,8	66,9	69,7	67,5	68,6	68,5	66,9	68,3	69,6	67,5	68,6	68,3	67,8
5	62,2	62,0	61,3	60,2	61,3	60,9	62,7	65,5	61,7	62,3	61,9	64,1	62,1	63,4	61,6
6	56,6	57,6	57,2	56,1	56,2	58,4	58,3	57,1	59,4	58,8	58,3	57,6	59,2	58,2	56,3
7	52,6	51,3	51,3	51,2	51,8	51,4	51,9	52,8	51,3	51,7	50,9	50,2	50,0	49,9	50,2
8	44,6	43,4	44,1	44,2	44,0	45,4	44,8	44,6	43,5	43,1	45,0	44,8	45,7	43,4	44,6
9	36,4	37,2	37,2	37,0	37,5	37,4	37,2	38,1	37,1	36,2	36,5	36,4	36,2	37,3	37,6
10	32,2	32,1	31,6	33,0	33,1	32,5	33,0	33,5	32,3	32,2	33,4	32,2	33,0	33,1	33,3
11	25,8	26,0	26,0	25,8	25,9	26,1	25,7	25,0	25,5	24,9	26,0	25,4	25,9	25,1	25,0
12	21,7	21,4	20,9	21,0	20,9	21,8	20,7	20,8	21,3	21,7	21,2	21,6	21,7	21,1	21,5

Πίνακας 5.10: Ποσοστιαία κατανομή της επιβαλλόμενης τάσης

α/α	P <sub>1</sub> %	P <sub>2</sub> %	P <sub>3</sub> %	P <sub>4</sub> %	P <sub>5</sub> %	P <sub>6</sub> %	P <sub>7</sub> %	P <sub>8</sub> %	P <sub>9</sub> %	P <sub>10</sub> %	P <sub>11</sub> %	P <sub>12</sub> %	P <sub>13</sub> %	P <sub>14</sub> %	P <sub>15</sub> %	μ%	σ%
1	5,56	5,58	5,53		5,57	5,54	5,55	5,59	5,59	5,58	5,59	5,58	5,55	5,58	5,54	<b>5,57</b>	<b>0,02</b>
2		5,09	5,11		5,11	5,13	5,08	5,13	5,12	5,07		5,11	5,14		5,10	<b>5,11</b>	<b>0,02</b>
3	5,12	5,11	5,13	5,23	5,24	5,28	5,14	5,23	5,21	5,10	5,24	5,18	5,28	5,14	5,21	<b>5,19</b>	<b>0,06</b>
4	5,38	5,39	5,27	5,35	5,16	5,38	5,25	5,27	5,36	5,24	5,19	5,32	5,28	5,26	5,30	<b>5,29</b>	<b>0,07</b>
5	5,79	5,80	5,83	5,95	5,87	5,96	5,75		5,81	5,75	5,83		5,83	5,66	5,83	<b>5,82</b>	<b>0,08</b>
6	6,36	6,24	6,25	6,38	6,40	6,22	6,18	6,32	6,03	6,09	6,20	6,24	6,12	6,17	6,38	<b>6,24</b>	<b>0,11</b>
7	6,85	7,01	6,97	6,99	6,94	7,06	6,94	6,83	6,99	6,93	7,10	7,16	7,24	7,20	7,16	<b>7,02</b>	<b>0,12</b>
8	8,08	8,29	8,11	8,10	8,17	7,99	8,05	8,09	8,24	8,31	8,03	8,02	7,92	8,27	8,06	<b>8,11</b>	<b>0,12</b>
9	9,89	9,67	9,61	9,68	9,59	9,71	9,69	9,47	9,66	9,89	9,90	9,87	10,00	9,63	9,56	<b>9,72</b>	<b>0,15</b>
10	11,19	11,20	11,32	10,85	10,86	11,17	10,92	10,77	11,10	11,13	10,81	11,16	10,97	10,85	10,79	<b>11,01</b>	<b>0,18</b>
11	13,96	13,83	13,75	13,88	13,88	13,91	14,02	14,43	14,06	14,39	13,89	14,14	13,98	14,31	14,37	<b>14,05</b>	<b>0,22</b>
12	16,60	16,80	17,11	17,05	17,20	16,65	17,41	17,35	16,83	16,51	17,04	16,63	16,69	17,02	16,71	<b>16,91</b>	<b>0,28</b>

- Γυάλινος ρυπασμένος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες

Πίνακας 5.11: Μετρήσεις

$\alpha/\alpha$	U <sub>1</sub> [V]	U <sub>2</sub> [V]	U <sub>3</sub> [V]	U <sub>4</sub> [V]	U <sub>5</sub> [V]	U <sub>6</sub> [V]	U <sub>7</sub> [V]	U <sub>8</sub> [V]	U <sub>9</sub> [V]	U <sub>10</sub> [V]	U <sub>11</sub> [V]	U <sub>12</sub> [V]	U <sub>13</sub> [V]	U <sub>14</sub> [V]	U <sub>15</sub> [V]
1	95,3	90,8	95,1	94,2	94,2	95,3	91,9	94,4	93,9	97,1	94,5	91,9	91,7	90,9	90,1
2	99,1	100,3	99,8	100,0	100,0	98,9	99,5	99,5	99,1	99,7	103,2	103,9	98,8	98,5	99,8
3	100,2	98,6	98,2	99,2	99,2	97,5	97,7	98,1	97,1	101,3	100,3	97,8	98,1	98,3	97,9
4	93,3	93,6	92,5	92,9	92,6	93,9	94,1	95,1	92,8	94,0	94,3	93,1	96,2	98,0	96,4
5	84,3	84,8	86,4	85,8	84,9	86,6	86,5	86,8	87,3	86,8	86,3	87,0	86,8	86,0	86,1
6	77,2	78,8	77,8	80,0	79,8	79,4	79,9	78,7	78,0	80,1	76,6	77,8	76,5	78,0	78,3
7	67,0	67,2	67,3	66,2	66,3	67,1	68,2	68,4	66,2	67,6	67,2	66,1	67,3	67,0	68,4
8	56,0	56,1	57,4	56,6	57,8	56,7	58,8	57,4	58,3	59,8	60,2	59,5	59,8	56,9	57,5
9	47,1	48,4	47,0	45,3	46,6	46,8	47,1	46,5	47,8	47,8	45,3	47,9	45,4	48,6	45,7
10	37,8	38,4	39,4	38,1	37,9	38,7	36,5	38,6	40,0	40,1	38,1	40,8	37,6	38,7	37,5
11	28,1	29,0	28,4	28,8	30,2	28,2	28,7	28,8	29,1	29,1	29,9	30,8	31,0	31,3	30,7
12	23,6	24,6	23,4	23,2	23,5	23,6	23,8	23,2	23,2	23,3	23,4	23,2	23,3	23,5	23,2

Πίνακας 5.12: Ποσοστιαία κατανομή της επιβαλλόμενης τάσης

$\alpha/\alpha$	P <sub>1</sub> %	P <sub>2</sub> %	P <sub>3</sub> %	P <sub>4</sub> %	P <sub>5</sub> %	P <sub>6</sub> %	P <sub>7</sub> %	P <sub>8</sub> %	P <sub>9</sub> %	P <sub>10</sub> %	P <sub>11</sub> %	P <sub>12</sub> %	P <sub>13</sub> %	P <sub>14</sub> %	P <sub>15</sub> %	$\mu$ %	$\sigma$ %
1	4,67	4,99	4,72	4,73	4,79	4,70	4,88	4,75	4,80	4,69	4,78	4,98	4,921	5,01	4,99	<b>4,83</b>	<b>0,12</b>
2	4,49	4,51	4,50	4,45	4,51	4,53	4,51	4,51	4,55	4,57			4,57		4,51	<b>4,52</b>	<b>0,03</b>
3	4,44	4,59	4,57	4,49	4,55	4,59	4,59	4,57	4,64	4,50	4,50	4,68	4,60	4,64	4,59	<b>4,57</b>	<b>0,06</b>
4	4,77	4,84	4,85	4,79	4,87	4,77	4,76	4,72	4,86	4,85	4,79	4,91	4,69	4,65	4,67	<b>4,79</b>	<b>0,08</b>
5	5,28	5,34	5,19	5,19	5,31	5,17	5,18	5,17	5,17	5,25	5,23	5,26	5,20	5,30	5,22	<b>5,23</b>	<b>0,06</b>
6	5,77	5,75	5,77	5,57	5,65	5,64	5,61	5,70	5,78	5,69	5,89	5,88	5,90	5,84	5,74	<b>5,75</b>	<b>0,10</b>
7	6,65	6,74	6,67	6,73	6,80	6,68	6,57	6,56	6,81	6,74	6,72		6,71	6,80	6,58	<b>6,70</b>	<b>0,08</b>
8	7,95	8,07	7,82	7,87	7,80	7,90	7,63	7,82	7,74	7,62	7,5	7,68	7,55	8,01	7,82	<b>7,79</b>	<b>0,17</b>
9	9,46	9,36	9,55	9,83	9,68	9,57	9,52	9,65	9,44	9,53	9,97	9,55	9,94	9,38	9,84	<b>9,62</b>	<b>0,20</b>
10	11,78	11,79	11,39	11,69	11,90	11,58	12,28	11,62	11,27	11,36	11,85	11,21	12,00	11,78	11,99	<b>11,70</b>	<b>0,30</b>
11	15,85	15,61	15,80	15,46	14,94	15,89	15,62	15,58	15,50	15,66	15,10	14,84	14,56	14,56	14,65	<b>15,31</b>	<b>0,48</b>
12	18,87		19,18	19,20	19,19	18,98	18,84	19,34	19,44	19,55	19,29	19,71	19,37	19,40	19,39	<b>19,27</b>	<b>0,25</b>



- Γυάλινος καθαρός αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος απο 12 δισκοειδείς μονωτήρες

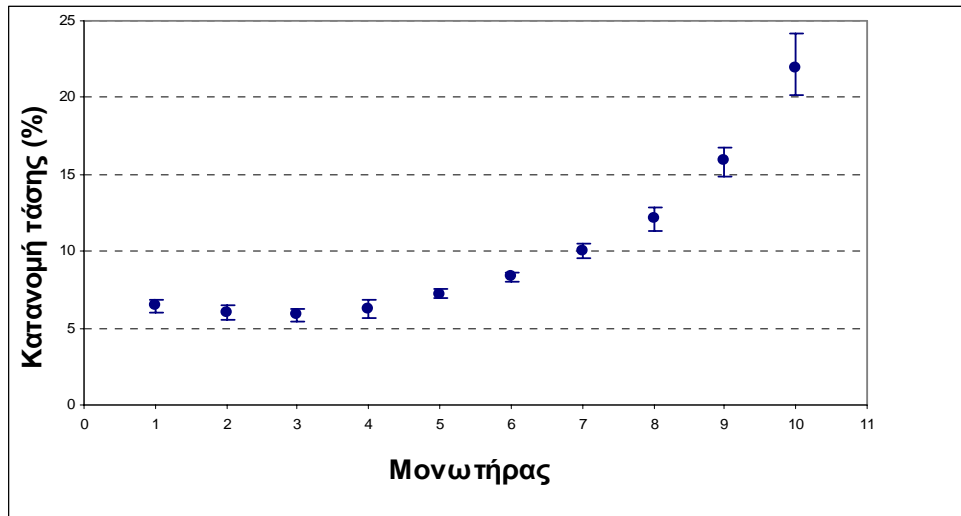
Πίνακας 5.13: Μετρήσεις

$\alpha/\alpha$	$U_1$ [V]	$U_2$ [V]	$U_3$ [V]	$U_4$ [V]	$U_5$ [V]	$U_6$ [V]	$U_7$ [V]	$U_8$ [V]	$U_9$ [V]	$U_{10}$ [V]	$U_{11}$ [V]	$U_{12}$ [V]	$U_{13}$ [V]	$U_{14}$ [V]	$U_{15}$ [V]
1	80,3	79,4	77,8	78,5	81,4	80,5	81,4	82,1	80,1	79,5	80,7	80,4	80,1	80,3	80,5
2	94,6	95,2	95,1	94,6	95,6	95,8	95,4	95,8	95,3	95,2	94,8	95,9	96,9	95,9	95,4
3	92,0	91,2	91,8	91,3	92,0	91,9	91,3	92,6	92,8	92,3	93,2	93,7	93,8	92,8	94,9
4	85,5	84,6	83,7	85,3	85,1	85,4	83,0	84,1	83,7	85,7	86,5	83,8	84,9	84,2	83,7
5	75,5	74,3	73,9	74,3	74,2	79,0	76,9	75,6	74,6	74,8	76,8	77,2	75,6	75,2	74,8
6	66,9	68,2	66,8	66,7	65,9	65,6	65,6	67,0	67,2	66,0	68,3	66,2	67,3	66,4	66,9
7	55,9	54,7	55,3	55,8	55,2	54,3	54,4	54,6	54,8	55,1	55,4	53,9	55,0	54,7	54,4
8	45,6	45,1	46,1	45,8	45,3	46,2	46,0	45,8	46,8	46,1	45,8	45,3	45,8	45,1	46,8
9	36,8	36,6	34,8	35,0	37,3	35,0	35,9	35,8	36,2	35,9	35,8	35,9	36,0	36,2	36,5
10	30,3	28,0	30,1	28,6	28,1	27,8	28,8	28,6	29,0	28,7	29,0	28,8	28,3	29,1	29,2
11	21,7	21,8	21,8	22,1	23,2	21,9	21,5	22,0	22,2	22,4	22,4	22,0	21,8	21,9	22,4
12	17,57	17,56	17,54	17,5	17,86	17,53	17,58	17,54	17,48	17,55	17,4	17,53	17,43	17,5	17,47

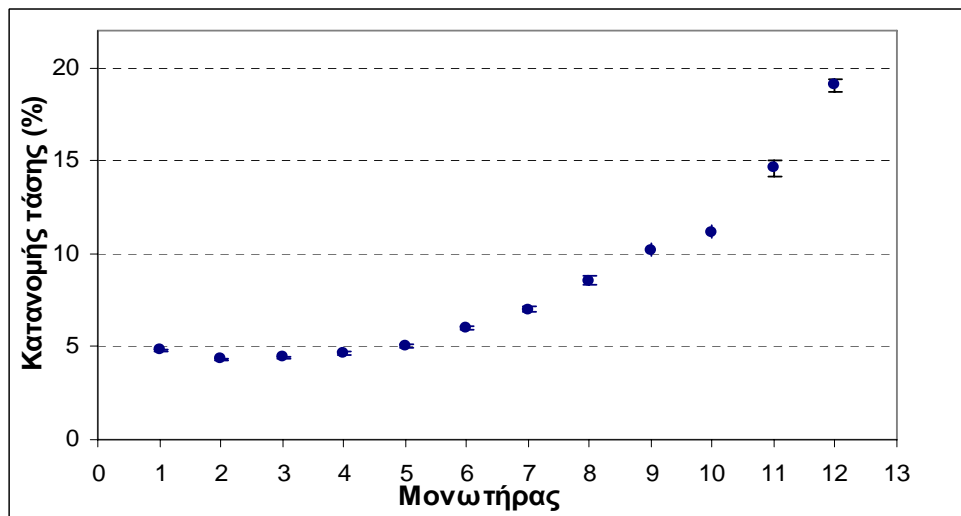
Πίνακας 5.14: Ποσοστιαία κατανομή της επιβαλλόμενης τάσης

$\alpha/\alpha$	$P_1$ %	$P_2$ %	$P_3$ %	$P_4$ %	$P_5$ %	$P_6$ %	$P_7$ %	$P_8$ %	$P_9$ %	$P_{10}$ %	$P_{11}$ %	$P_{12}$ %	$P_{13}$ %	$P_{14}$ %	$P_{15}$ %	$\mu$ %	$\sigma$ %
1	4,50	4,49			4,46	4,43			4,49	4,52	4,47	4,45	4,46	4,46	4,48	<b>4,47</b>	<b>0,03</b>
2	3,82	3,75	3,76	3,77	3,79	3,72	3,74	3,74	3,78	3,77	3,80	3,73		3,74	3,78	<b>3,76</b>	<b>0,03</b>
3	3,93	3,91	3,9	3,91	3,94	3,88	3,91	3,87	3,88	3,89	3,87	3,82	3,81	3,86	3,80	<b>3,88</b>	<b>0,04</b>
4	4,23	4,22	4,28	4,19	4,26	4,17	4,30	4,26	4,30	4,19	4,17	4,27	4,21	4,25	4,31	<b>4,24</b>	<b>0,05</b>
5	4,79	4,80	4,84	4,80	4,89		4,64	4,74	4,82	4,80	4,70	4,64	4,73	4,76	4,83	<b>4,77</b>	<b>0,07</b>
6	5,40		5,36	5,35	5,50	5,43	5,44	5,350	5,35	5,45	5,28	5,41	5,31	5,40	5,40	<b>5,39</b>	<b>0,06</b>
7	6,46	6,52	6,47		6,57	6,56	6,56	6,57	6,56	6,52	6,51	6,64	6,50	6,55	6,64	<b>6,55</b>	<b>0,05</b>
8	7,92	7,91	7,77	7,80	8,01	7,71	7,76	7,83	7,69	7,80	7,87	7,91	7,81	7,94	7,71	<b>7,83</b>	<b>0,10</b>
9	9,82	9,75	10,29	10,2	9,72	10,18	9,94	10,01	9,94	10,01	10,07	9,98	9,93	9,90	9,89	<b>9,98</b>	<b>0,16</b>
10				12,48			12,40	12,53	12,41	12,52	12,43	12,43	12,63	12,31	12,36	<b>12,45</b>	<b>0,09</b>
11	16,65	16,36	16,42	16,15		16,27	16,60	16,29	16,21	16,04	16,10	16,28	16,40	16,36	16,12	<b>16,30</b>	<b>0,18</b>
12	20,56	20,32	20,41	20,40	20,31	20,32	20,31	20,44	20,58	20,48		20,43	20,51	20,47		<b>20,43</b>	<b>0,09</b>

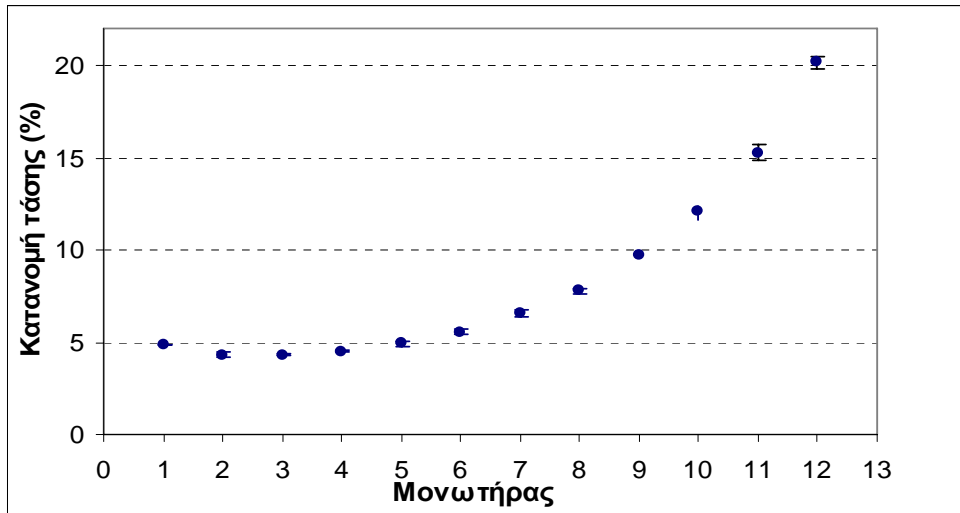
### 5.3 Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων



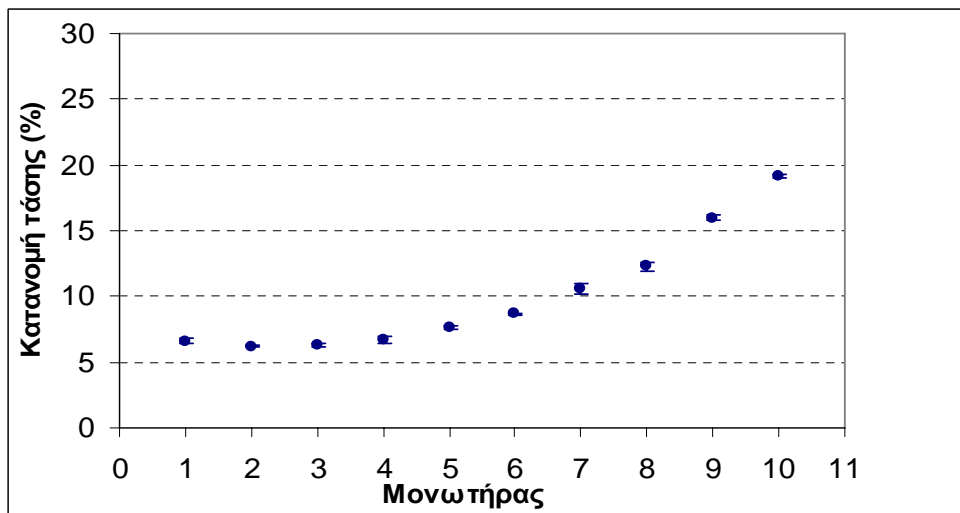
Σχήμα 5.1: Πορσελάνινος αλυσοειδής μονωτήρας εργαστηρίου, αποτελούμενος από 10 δισκοειδείς μονωτήρες



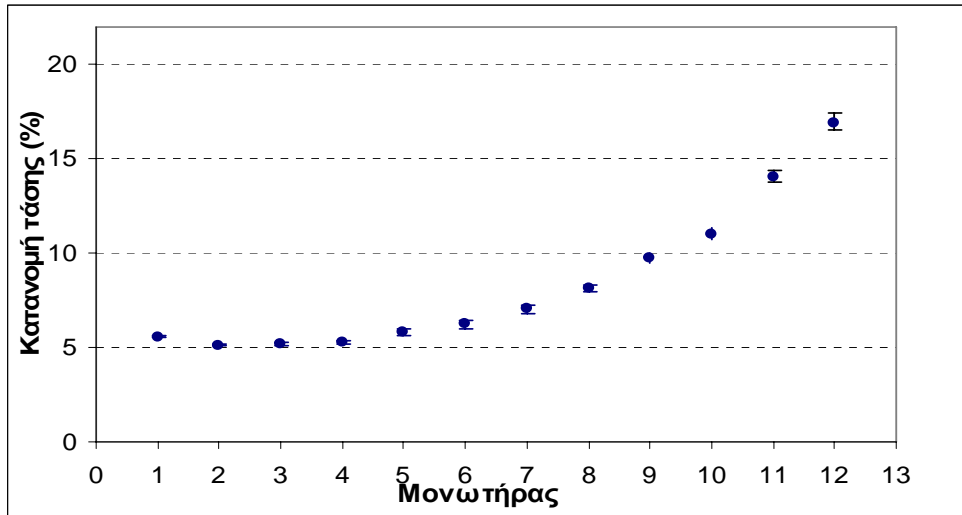
Σχήμα 5.2: Πορσελάνινος καθαρός αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου κανονικού, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες



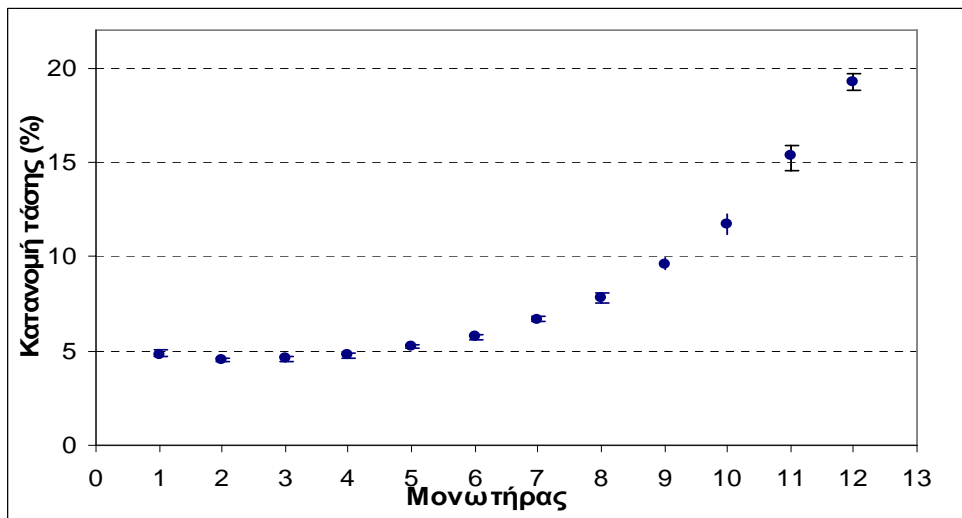
Σχήμα 5.3: Πορσελάνινος ρυπασμένος αλυσσοειδής μονωτήρας, τύπου κανονικού, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες



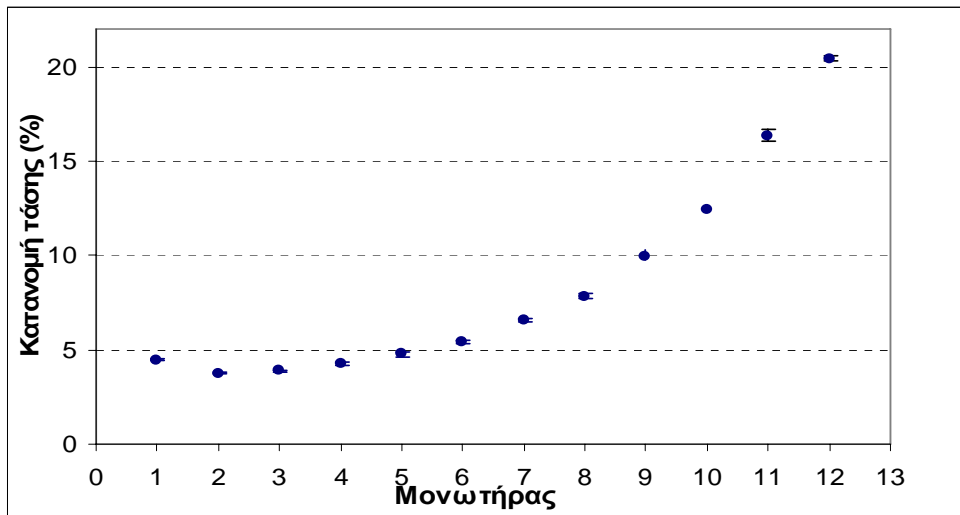
Σχήμα 5.4: Γυάλινος αλυσσοειδής μονωτήρας, τύπου κανονικού, αποτελούμενος από 10 δισκοειδείς μονωτήρες



Σχήμα 5.5: Γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας , τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες



Σχήμα 5.6: Γυάλινος ρυπασμένος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες



Σχήμα 5.7: Γυάλινος καθαρός αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες

#### 5.4 Παρατηρήσεις

Στα σχήματα 5.1 έως και 5.7 παρουσιάζονται γραφικά η κατανομή της τάσης για τους υπό εξέταση μονωτήρες. Παρατηρούμε ότι η μορφή και των 7 γραφημάτων είναι όμοια και ίσως να περιμέναμε να ήταν και ομοιόμορφη, διότι ένας αλυσοειδής μονωτήρας θα μπορούσε να θεωρηθεί σαν μια εν σειρά συνδεσμολογία χωρητικότητων, όποτε ο κάθε απλός δισκοειδής μονωτήρας, από τους 10 ή 12 συνολικά υπό εξέταση μονωτήρες που αποτελούν την άλυσο, θα έπρεπε να καταπονείται με τάση  $\Delta U_i$ , όπου

$$\Delta U_i = \frac{U}{n} \quad (5.1)$$

όπου  $U$  η επιβαλλόμενη τάση στον αλυσοειδή μονωτήρα. Η κατανομή της τάσης θα ήταν τότε ομοιόμορφη και κατά συνέπεια η κατά το δυνατόν πιο συμφέρουσα, διότι τότε θα μπορούσε κανείς να εκμεταλλευτεί πλήρως τη διηλεκτρική αντοχή των δίσκων.

Στην πραγματικότητα όμως βλέπουμε από τα σχήμα 5.1 έως και 5.7, ότι η κατανομή της τάσης για τους υπό εξέταση αλυσοειδείς μονωτήρες διαφέρει σημαντικά από την ομοιόμορφη κατανομή. Αυτό οφείλεται στις παράσιτες χωρητικότητες προς γη και προς τον αγωγό Υ.Τ. που παρουσιάζουν οι μεταλλικοί σπλισμοί του κάθε δισκοειδούς μονωτήρα. Αν ονομάσουμε  $C$  τη χωρητικότητα ενός απλού δίσκου και  $C_e$ ,  $C_h$  τις παράσιτες χωρητικότητες της άρθρωσης μεταξύ δυο γειτονικών δίσκων προς το γειωμένο πυλώνα και προς τον αγωγό Υ.Τ αντίστοιχα, τότε η τάση  $\Delta U_i$  που

επιβάλλεται στον  $i$ -οστό μονωτήρα της αλύσου ανηγμένη στην ολική τάση της αλύσου  $U$  δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\frac{\Delta U_i}{U} \times 100\% = \frac{100}{(C_e + C_h)} \times \frac{1}{\sinh(n \times \gamma)} \times F_i \quad (5.2)$$

$$\text{όπου } \gamma = \sqrt{\frac{C_e + C_h}{C}} \quad (5.3)$$

και

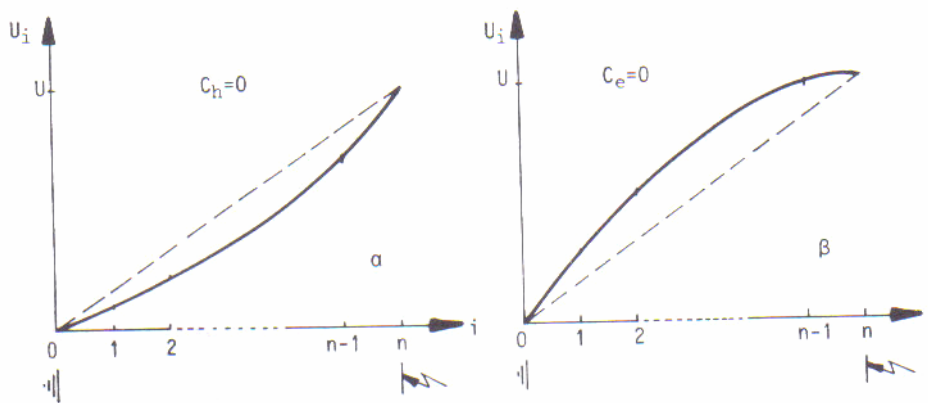
$$F_i = C_e \cdot \{ \sinh(i\gamma) - \sinh|(i-1)\gamma| \} - C_h \cdot \{ \sinh|(n-i)\gamma| - \sinh|(n-i+1)\gamma| \} \quad (5.4)$$

Συνέπεια της (5.2) είναι η (5.5), που δίνει το έναντι γης δυναμικό  $U_i$  της  $i$ -οστής άρθρωσης ανηγμένο στην ολική τάση:

$$\frac{U_i}{U} \cdot 100\% = \frac{100}{1+m} \cdot \left\{ 1 + m \cdot \frac{\sinh(i\gamma)}{\sinh(n\gamma)} - \frac{\sinh[(n-i)\gamma]}{\sinh(n\gamma)} \right\} \quad (5.5)$$

$$\text{όπου } m = \frac{C_e}{C_h} \quad (5.6)$$

Από τη σχέση μεταξύ των τιμών των χωρητικότητων  $C$ ,  $C_e$ ,  $C_h$  εξαρτάται κατά πόσον η ανά δισκοειδή μονωτήρα καταπόνηση αυξάνει όσο πλησιάζουμε στον αγωγό Υ.Τ ή στο γειωμένο πυλώνα: Όταν π.χ. η παράσιτη χωρητικότητα  $C_h$  (προς τον αγωγό Υ.Τ) έχει μηδενική τιμή, τότε η καταπόνηση ανά δισκοειδή μονωτήρα αυξάνει πλησιάζοντας στην πλευρά Υ.Τ. (Σχήμα 5.8α). Μάλιστα η καμπύλη  $U_i=f(i)$  απομακρύνεται τόσο περισσότερο από την ιδανική μορφή της όσο ο λόγος  $(C_e / C)$  αυξάνει. Το αντίθετο συμβαίνει όταν η  $C_e$  είναι ίση προς μηδέν (Σχήμα 5.8β). Μέγιστη είναι η καταπόνηση του πρώτου δίσκου της αλύσου και ελάχιστη η του πλησιέστερου προς τον αγωγό Υ.Τ. Εδώ η απόκλιση από τη γραμμική μεταβολή μεγαλώνει όταν αυξάνει ο λόγος χωρητικότητων  $(C_h/ C)$  [3].



Σχήμα 5.8: Κατανομή τάσης για αλυσοειδή μονωτήρα α)  $C_h=0$  β)  $C_e=0$

Λόγω του ότι η παράσιτη χωρητικότητα προς γη είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την παράσιτη χωρητικότητα προς την πλευρά Υ.Τ, η ανά δισκοειδή μονωτήρα επιβαλλόμενη τάση βαίνει αυξανόμενη όσο πλησιάζουμε προς τον αγωγό Υ.Τ. Η ανομοιομορφία που εμφανίζεται στην κατανομή της τάσης  $U$  μπορεί να εξαλειφθεί είτε με κατάλληλη μείωση της  $C_e$  είτε με αντίστοιχη αύξηση της  $C_h$ . Συχνά στην πράξη επιτυγχάνεται μείωση της ανομοιομορφίας στην κατανομή της τάσης κατά μήκος του αλυσοειδούς μονωτήρα με τη χρησιμοποίηση μεταλλικού τοροειδούς που τοποθετείται πάνω στον αγωγό Υ.Τ, πράγμα που έχει σαν συνέπεια αισθητή αύξηση της παράσιτης χωρητικότητας  $C_h$  [3].

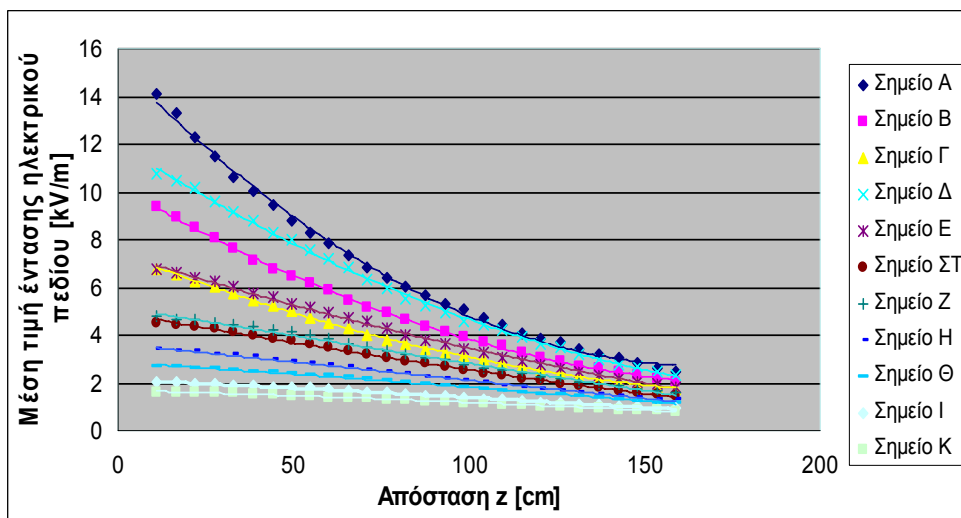
Επίσης παρατηρούμε ότι το ποσοστό της επιβαλλόμενης τάσης με το οποίο καταπονείται ο δισκοειδής μονωτήρας πλησίον του γειωμένου πυλώνα είναι μεγαλύτερο από το ποσοστό της τάσης με το οποίο καταπονείται ο αμέσως προηγούμενος δισκοειδής μονωτήρας. Αυτό οφείλεται στις τιμές που παρουσιάζουν οι παράσιτες χωρητικότητες  $C_e$ ,  $C_h$  στον πλησιέστερο στον πυλώνα δισκοειδή μονωτήρα.

# Κεφάλαιο 6

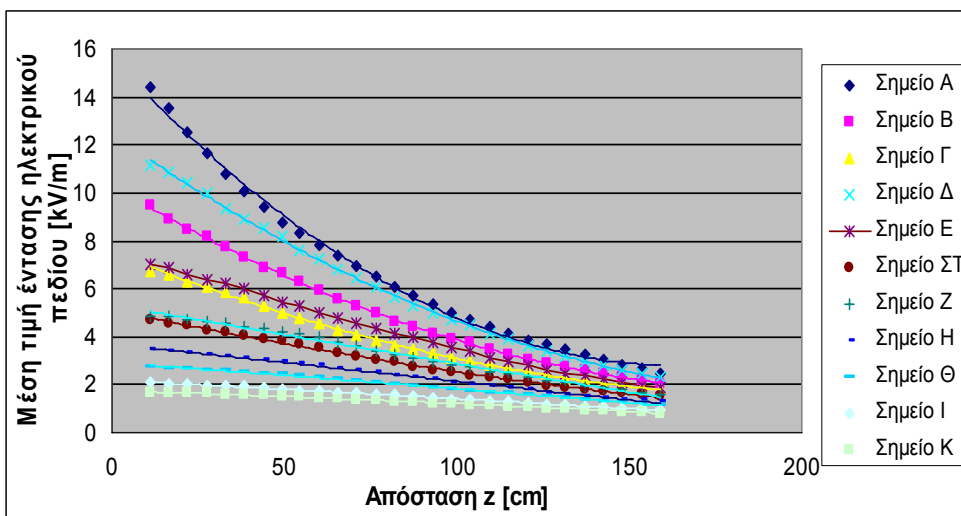
## Συγκριτική μελέτη των μετρήσεων

### 6.1 Συγκριτική παρουσίαση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου

Αρχικά θα παραθέσουμε τις συγκριτικές γραφικές παραστάσεις για κάθε αλυσοειδή μονωτήρα. Κάθε γραφική παράσταση των σχημάτων 6.1-6.7 περιέχει τις μετρήσεις που λήφθηκαν σε κάθε σημείο Α-Κ γύρω από τους αλυσοειδείς μονωτήρες.

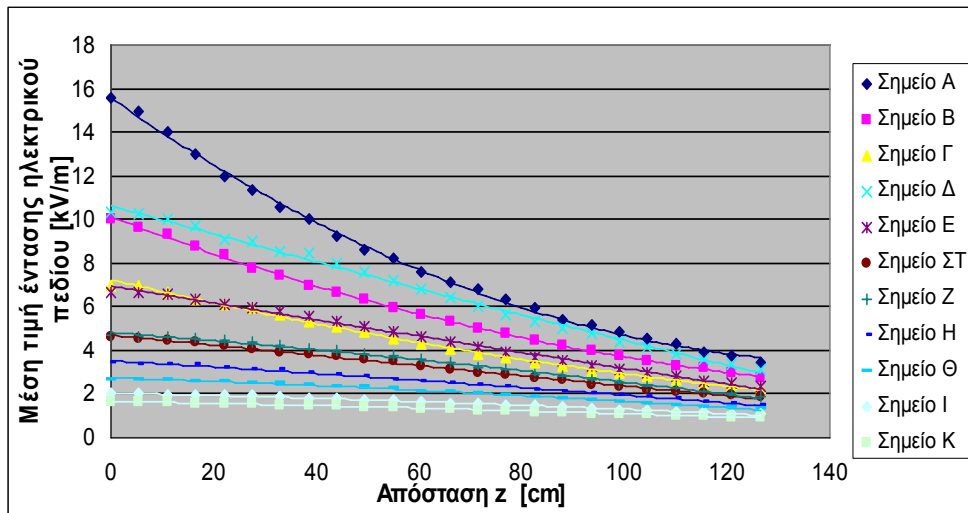


Σχήμα 6.1: Καθαρός πορσελάνινος αλυσοειδής μονωτήρας, κανονικού τύπου, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες

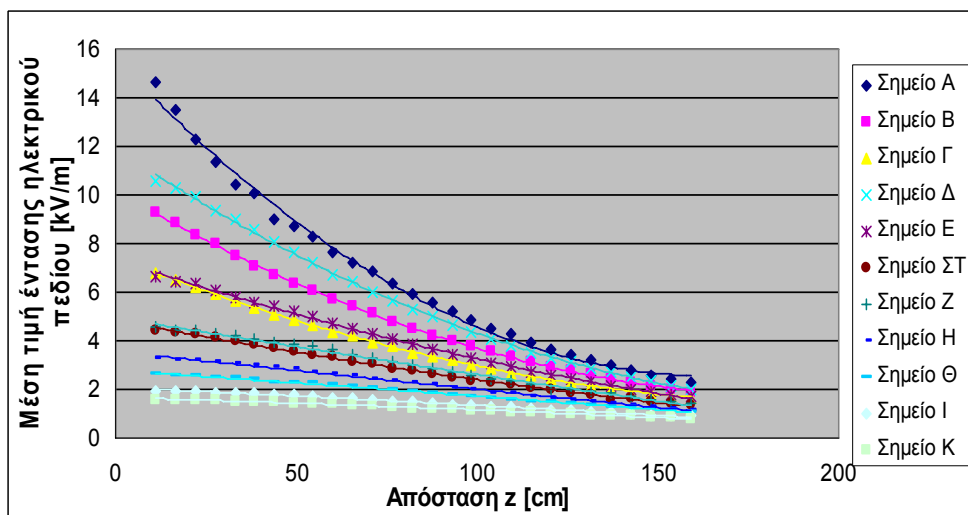


Σχήμα 6.2: Ρυπασμένος πορσελάνινος αλυσοειδής μονωτήρας, κανονικού τύπου, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες

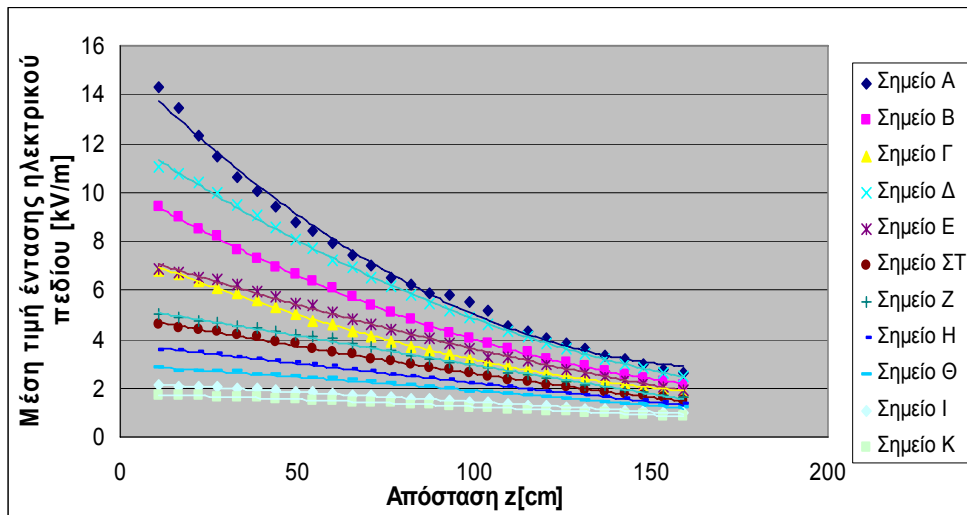




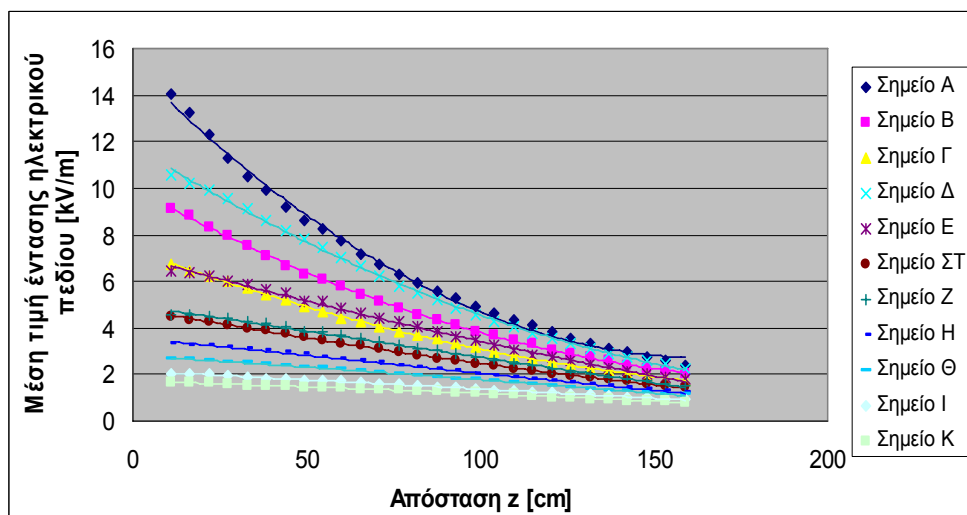
Σχήμα 6.3: Καθαρός γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, κανονικού τύπου, αποτελούμενος από 10 δισκοειδείς μονωτήρες



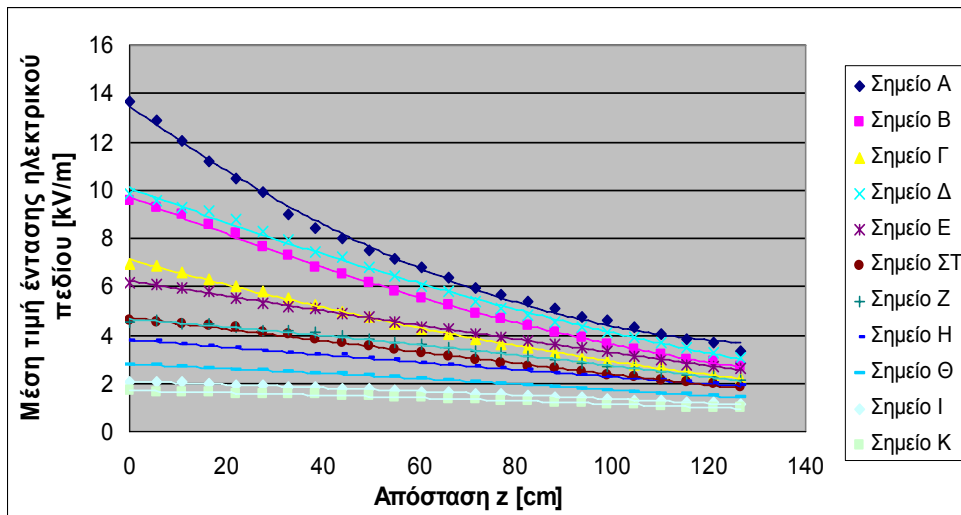
Σχήμα 6.4: Καθαρός γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες



Σχήμα 6.5: Καθαρός γυάλινος αλυσσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες



Σχήμα 6.6: Ρυπασμένος γυάλινος αλυσσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες



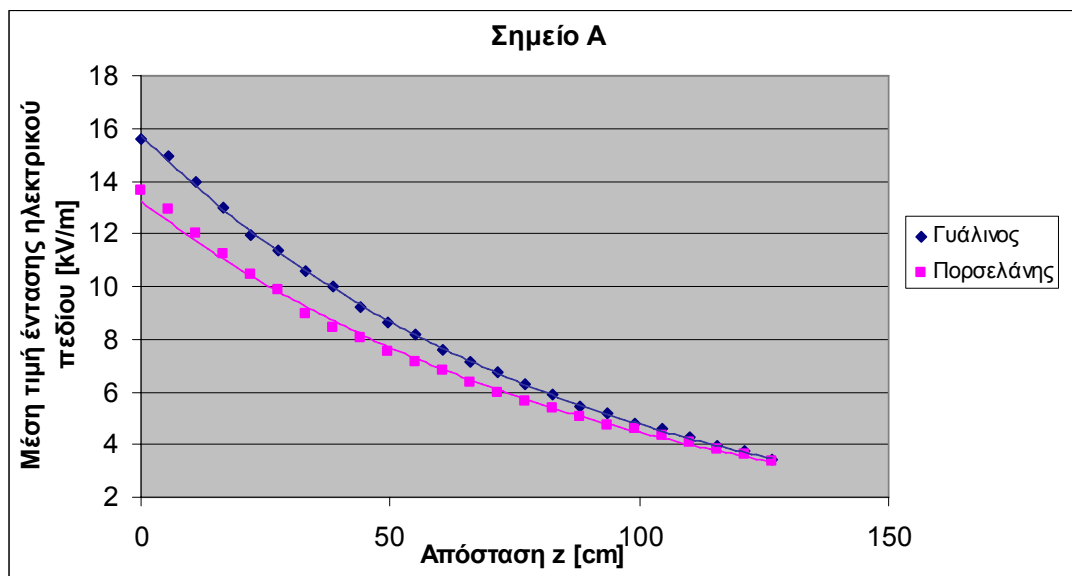
Σχήμα 6.7: Καθαρός πορσελάνινος αλυσσοειδής μονωτήρας, κανονικού τύπου, αποτελούμενος από 10 δισκοειδείς μονωτήρες

Από τις 7 συγκριτικές γραφικές παραστάσεις των σχημάτων 6.1 -6.7 βλέπουμε ότι καθώς απομακρυνόμαστε από τον αγωγό υψηλής τάσης στο κάθετο αλλά και στο οριζόντιο επίπεδο, η ένταση του πεδίου σε κάθε αλυσσοειδή μονωτήρα και για κάθε σημείο ξεχωριστά μειώνεται βαθμιαία. Επίσης έχουμε να παρατηρήσουμε ότι ενώ αρχικά οι αποκλίσεις της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ των σημείων κάθε μονωτήρα είναι σημαντικές, καθώς απομακρυνόμαστε από τον αγωγό Υ.Τ, αυτές οι διαφορές φθίνουν και οι τιμές της έντασης συγκλίνουν. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για απόσταση  $z=0\text{cm}$  η διαφορά της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, μεταξύ των σημείων A και B είναι 36% ενώ για απόσταση  $z=126,5\text{cm}$  είναι 19,5%. Το ίδιο για τα σημεία I και K, όπου για απόσταση  $z=0\text{cm}$  η διαφορά της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου είναι 17,4%, ενώ για απόσταση  $z=126,5\text{cm}$  είναι 13,2%.

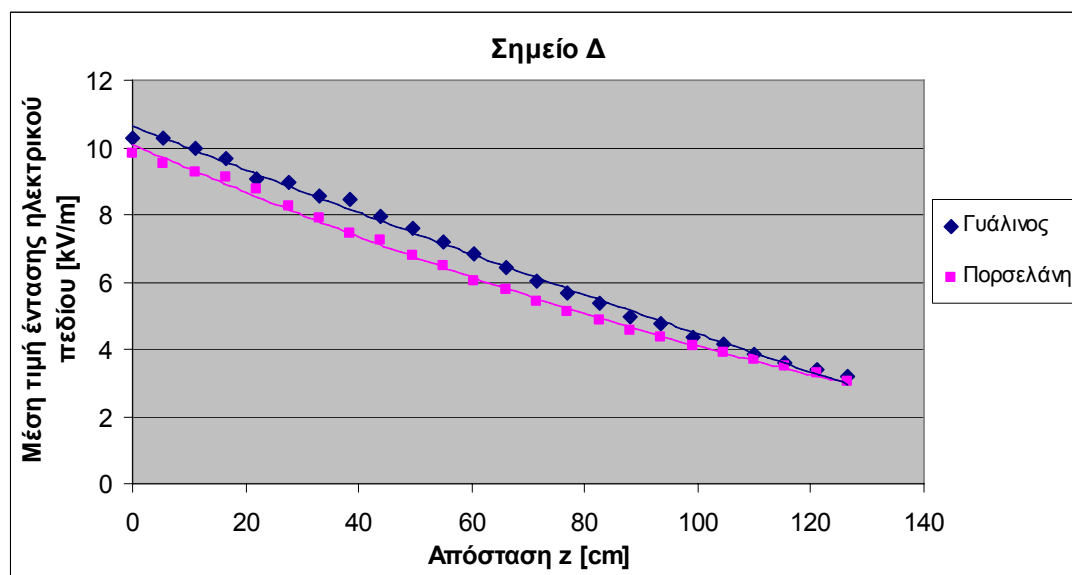
Επιπλέον, βλέπουμε ότι ο τύπος του αλυσσοειδή μονωτήρα όπως και ο αριθμός των δισκοειδών μονωτήρων από τους οποίους αποτελείται επιδρούν στη μέγιστη τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και κατ' επέκταση στην τιμή αυτού στα διάφορα σημεία του επιπέδου. Ενδεικτικά αναφέρουμε την περίπτωση ενός γυάλινου αλυσσοειδή μονωτήρα, κανονικού τύπου, αποτελούμενο από 10 δισκοειδείς μονωτήρες η μέγιστη τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το σημείο A είναι περίπου 16 kV/m, ενώ για ένα πορσελάνινο αλυσσοειδή μονωτήρα, αποτελούμενο από 10 δίσκους, η αντίστοιχη μέγιστη τιμή δεν ξεπερνά τα 14 kV/m.

Παρακάτω δίνεται μια σειρά γραφικών στις οποίες γίνεται σύγκριση της έντασης του πεδίου με βάση τον αριθμό των μονωτήρων κάθε αλυσίδας. Στα πειράματα που

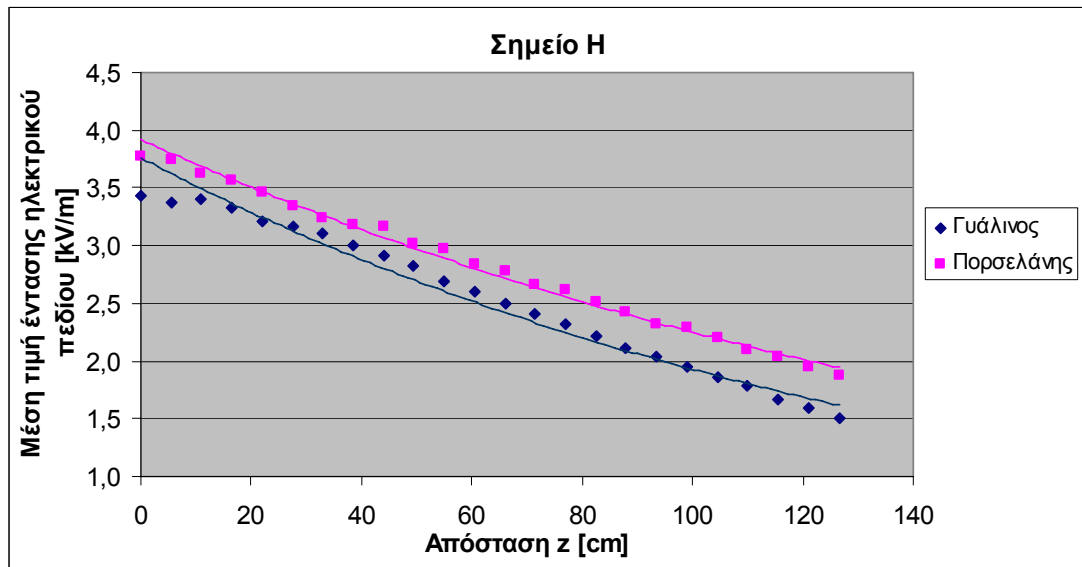
πραγματοποιήσαμε χρησιμοποιήσαμε αλυσίδες των 10 και 12 μονωτήρων. Έτσι θεωρήσαμε 4 τυχαία σημεία του επιπέδου και συγκρίναμε τη συμπεριφορά των δυο τύπων αλυσίδων με την αύξηση της τάσης. Οι τέσσερις πρώτες γραφικές απεικονίζουν το ηλεκτρικό πεδίο των αλυσοειδών μονωτήρων με 10 δίσκους, ενώ οι άλλες τέσσερις απεικονίζουν αλυσοειδείς μονωτήρες αποτελούμενους από 12 δίσκους.



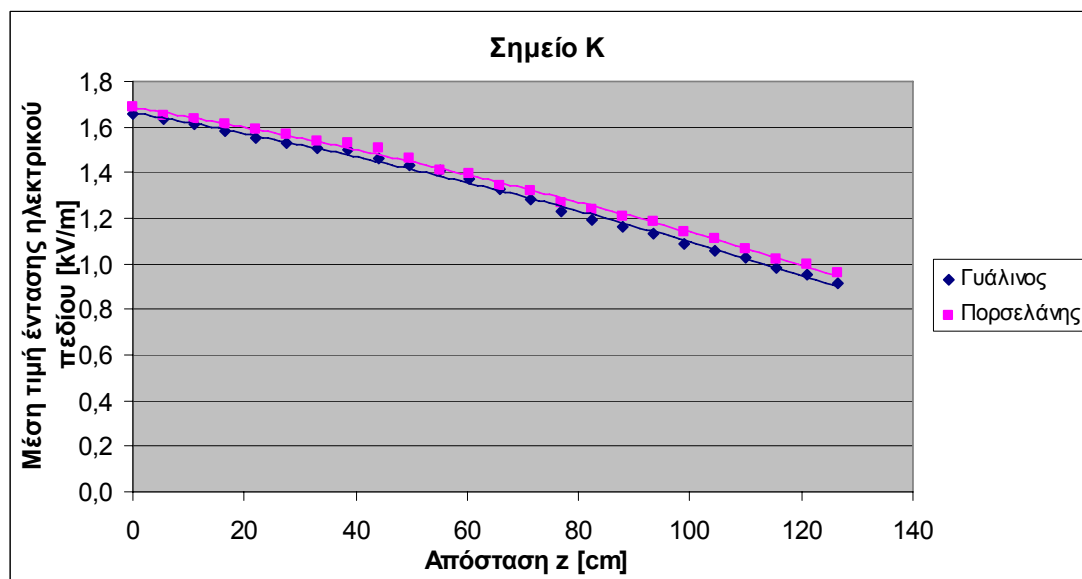
Σχήμα 6.8: Γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, κανονικού τύπου, αποτελούμενος από 10 δισκοειδείς μονωτήρες - Πορσελάνινος αλυσοειδής μονωτήρας, κανονικού τύπου, αποτελούμενος από 10 δισκοειδείς μονωτήρες



Σχήμα 6.9: Γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, κανονικού τύπου, αποτελούμενος από 10 δισκοειδείς μονωτήρες - Πορσελάνινος αλυσοειδής μονωτήρας, κανονικού τύπου, αποτελούμενος από 10 δισκοειδείς μονωτήρες



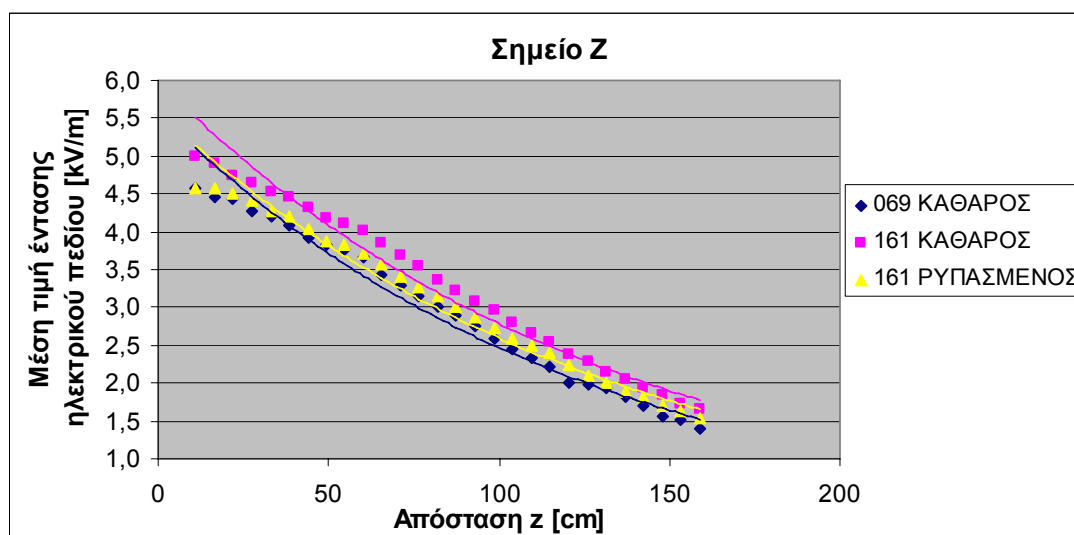
Σχήμα 6.10: Γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, κανονικού τύπου, αποτελούμενος από 10 δισκοειδείς μονωτήρες - Πορσελάνινος αλυσοειδής μονωτήρας, κανονικού τύπου, αποτελούμενος από 10 δισκοειδείς μονωτήρες



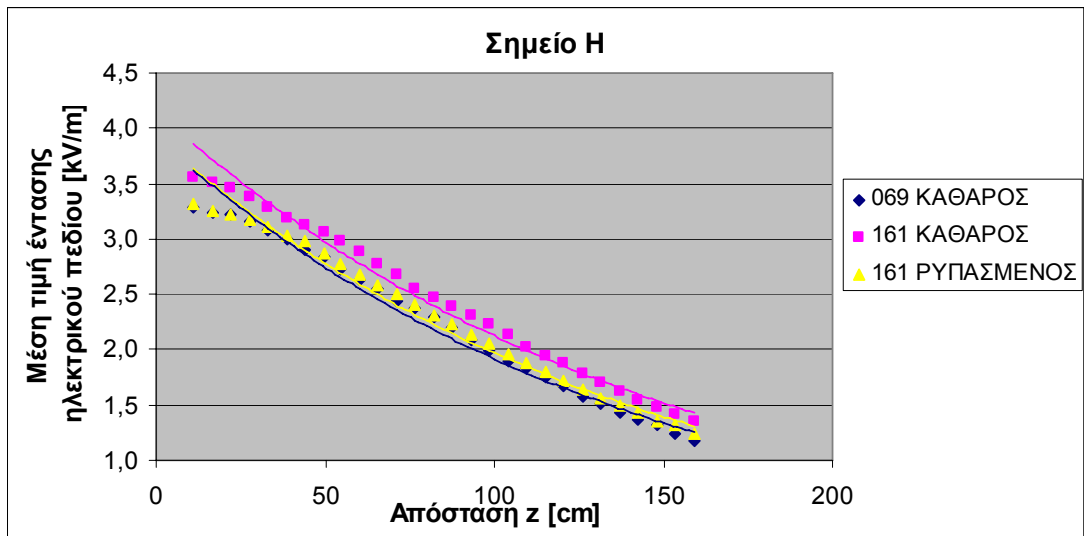
Σχήμα 6.11: Γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, κανονικού τύπου, αποτελούμενος από 10 δισκοειδείς μονωτήρες - Πορσελάνινος αλυσοειδής μονωτήρας, κανονικού τύπου, αποτελούμενος από 10 δισκοειδείς μονωτήρες

Στα σχήματα 6.8 και 6.9 που αναπαριστούν τα σημεία Α και Δ τα οποία είναι κοντά στον αγωγό Υ.Τ παρατηρούμε ότι το πεδίο για τη γυάλινη αλυσίδα είναι μεγαλύτερο από ότι για την πορσελάνινη. Αυτό εξηγείται από το διαφορετικό σχήμα των αλυσοειδών μονωτήρων. Επίσης επειδή η πορσελάνη έχει μικρότερη διηλεκτρική

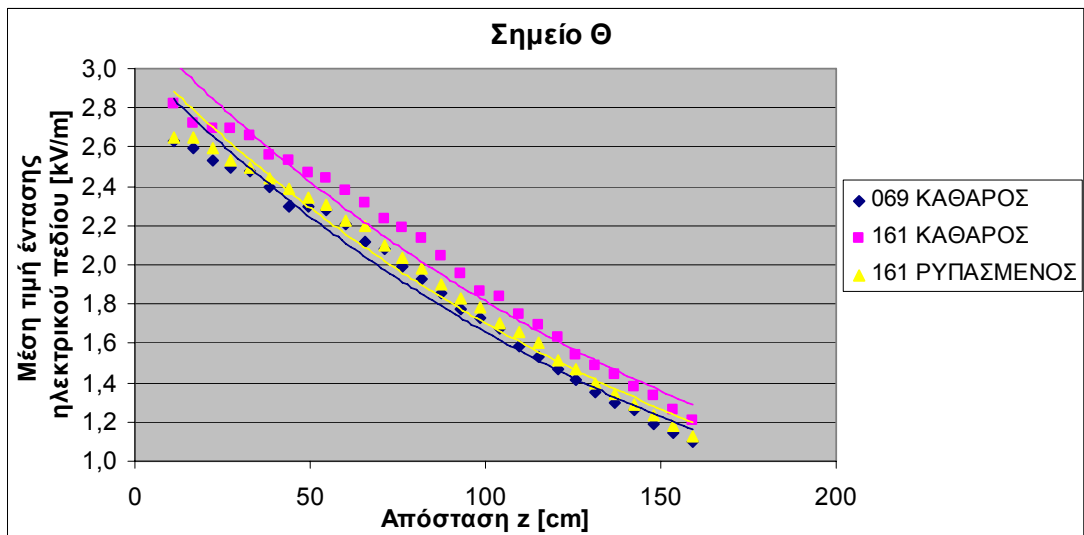
αντοχή από το γυαλί (διηλεκτρική αντοχή πορσελάνης  $4 \cdot 10^6$  V/m, διηλεκτρική αντοχή γυαλιού  $15 \cdot 10^6$  V/m), ο συγκεκριμένος αλυσοειδής μονωτήρας κατασκευάστηκε με τέτοιο σχήμα ώστε να αναπτύσσεται μικρότερη ένταση ηλεκτρικού πεδίου πλησίον αυτού, συγκρινόμενη με την ένταση που εμφανίζεται πλησίον του γυάλινου αλυσοειδούς μονωτήρα. Αντίθετα, στα σχήματα 6.10 και 6.11 που αναπαριστούν τα σημεία Η και Κ, τα οποία είναι πιο μακριά από τον αγωγό Υ.Τ και κατ'επέκταση από τον αλυσοειδή μονωτήρα, το πεδίο του πορσελάνινου μονωτήρα είναι μεγαλύτερο από αυτό του γυάλινου. Παρατηρούμε λοιπόν, για την περίπτωση των αλυσοειδών μονωτήρων αποτελούμενων από 10 δίσκους, ότι στα σημεία πλησίον του αγωγού Υ.Τ το πεδίο στους γυάλινους μονωτήρες είναι μεγαλύτερο από ότι στους πορσελάνινους. Ωστόσο καθώς απομακρυνόμαστε από τον αγωγό Υ.Τ. το πεδίο του πορσελάνινου αλυσοειδή μονωτήρα αυξάνεται και υπερβαίνει αυτό του αντίστοιχου γυάλινου.



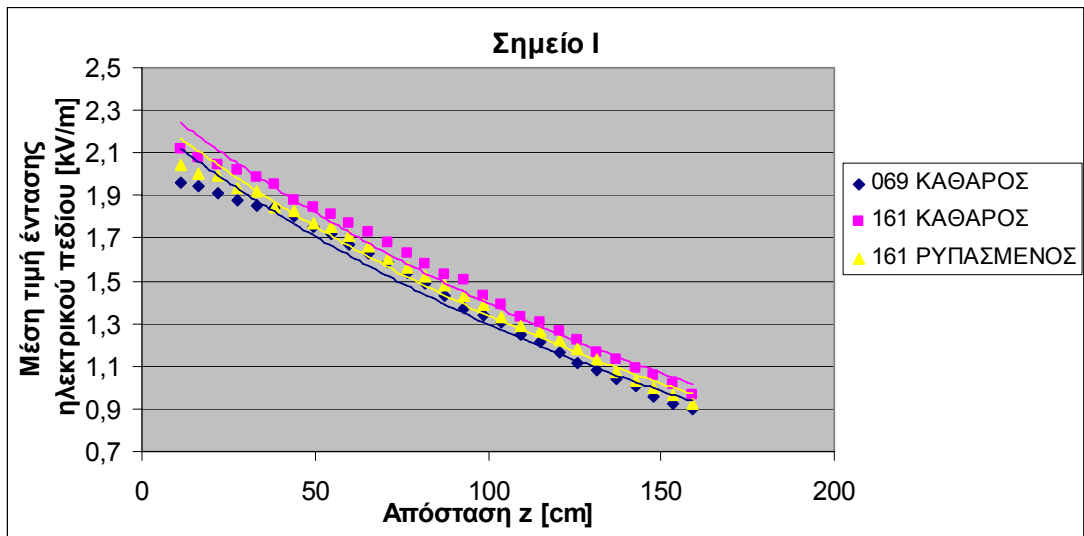
Σχήμα 6.12: Καθαρός γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες - Καθαρός γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες - Ρυπασμένος γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες



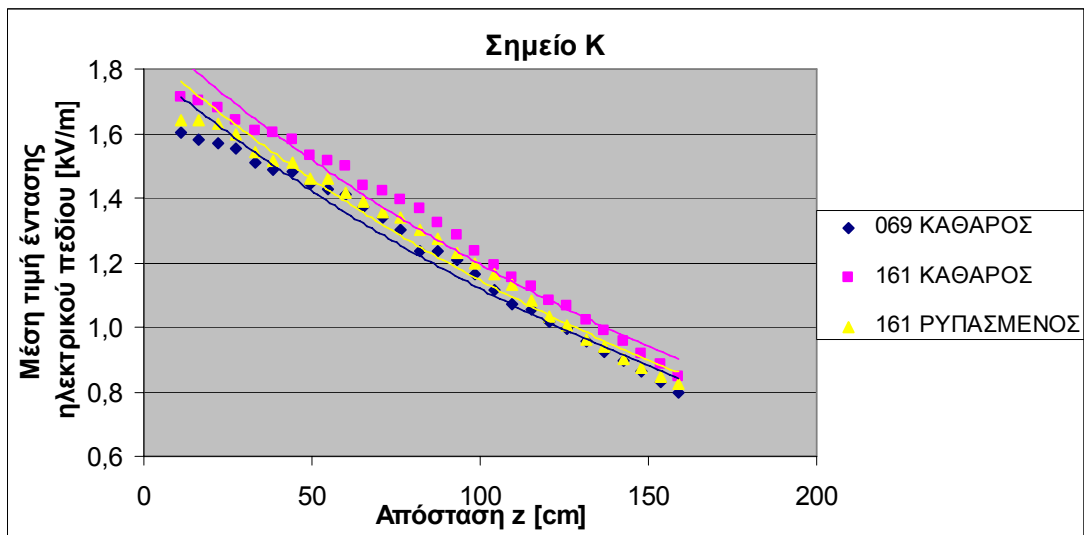
Σχήμα 6.13: Καθαρός γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες - Καθαρός γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες – Ρυπασμένος γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες



Σχήμα 6.14: Καθαρός γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες - Καθαρός γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες – Ρυπασμένος γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες



Σχήμα 6.15: Καθαρός γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες - Καθαρός γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες – Ρυπασμένος γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες



Σχήμα 6.16: Καθαρός γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες- Καθαρός γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες – Ρυπασμένος γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες



Στα σχήματα 6.12 έως και 6.16 γίνεται σύγκριση μεταξύ των αλυσοειδών μονωτήρων αποτελούμενων από 12 δισκοειδείς μονωτήρες. Παρατηρούμε ότι και για τα πέντε (5) σημεία τα οποία είναι κοντά αλλά και πιο απομακρυσμένα από τους αλυσοειδείς μονωτήρες το πεδίο για τον καθαρό γυάλινο αλυσοειδή μονωτήρα τύπου ομίχλης (κωδικός Δ.Ε.Η 161) είναι μεγαλύτερο μεταξύ των εξεταζόμενων. Ακολουθεί ο αντίστοιχος ρυπασμένος και το μικρότερο πεδίο εμφανίζεται στον καθαρό αλυσοειδή μονωτήρα (κωδικός Δ.Ε.Η 069).

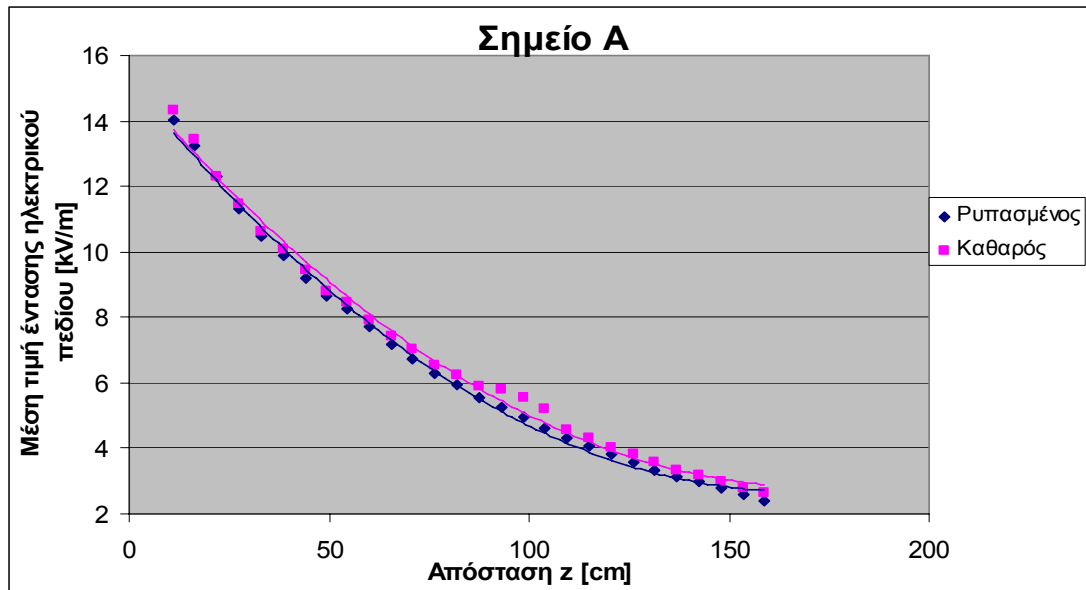
Παρακάτω γίνεται μια σειρά συγκρίσεων μεταξύ ρυπασμένων και καθαρών μονωτήρων. Με τη βοήθεια των γραφικών παραστάσεων συγκρίναμε πως μεταβάλλεται το πεδίο ενός αλυσοειδούς μονωτήρα όταν αυτός είναι ρυπασμένος και όταν αυτός είναι καθαρός. Στα σχήματα 6.17-6.27 παρουσιάζουμε τα συγκριτικά αποτελέσματα για το γυάλινο αλυσοειδή μονωτήρα, τύπου ομίχλης (κωδικός Δ.Ε.Η 161).

Σε κάθε θέση (Α, Β, Γ, Δ, Ε, ΣΤ, Ζ, Η, Θ, Ι, Κ), παρατηρούμε ότι, καθώς απομακρυνόμαστε από τον αγωγό Υ.Τ., αφενός η ένταση του πεδίου μειώνεται, αφετέρου η διάφορα των δυο σειρών μετρήσεων (για καθαρή και για ρυπασμένη αλυσίδα) φθίνει βαθμιαία έως το σημείο όπου αυτές σχεδόν ταυτίζονται. Επιπλέον, παρατηρούμε από τις παρακάτω γραφικές ότι στα σημεία όπου είναι εμφανής η διάφορα αυτή, η ένταση του πεδίου για το ρυπασμένο μονωτήρα είναι μεγαλύτερη από ότι για τον καθαρό.

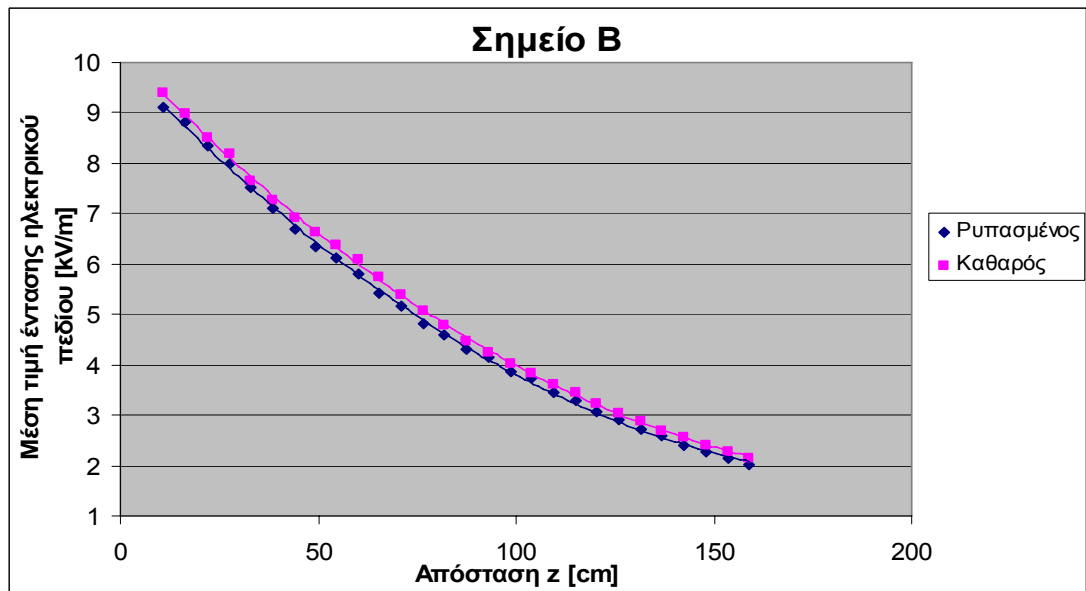
Συγκρίνοντας επίσης την ένταση του πεδίου στις διάφορες θέσεις του οριζόντιου επιπέδου, βλέπουμε, ότι καθώς απομακρυνόμαστε από τον αλυσοειδή μονωτήρα και κατ' επέκταση τον αγωγό, η τιμή αυτής μειώνεται σταδιακά.

Στις παρακάτω γραφικές παραστάσεις (Σχήματα 6.17 - 6.27) γίνεται σύγκριση του γυάλινου αλυσοειδούς μονωτήρα, τύπου ομίχλης, με κριτήριο τη ρύπανση του. Παρατηρούμε λοιπόν, ότι για όλα τα σημεία του επιπέδου, η μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, στην περίπτωση όπου η αλυσίδα ήταν καθαρή, είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη σε ρυπασμένη αλυσίδα. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η ρύπανση περιέχει διάφορα αγώγιμα στοιχεία τα οποία δημιουργούν ένα ρεύμα διαρροής. Αυτό το ρεύμα δημιουργεί μικρότερη διάφορα δυναμικού από ότι θα είχαμε με καθαρή αλυσίδα. Είναι γνωστό επίσης ότι η ένταση του πεδίου ισούται με την παραγωγή της διαφοράς δυναμικού προς την απόσταση. Συνεπώς η

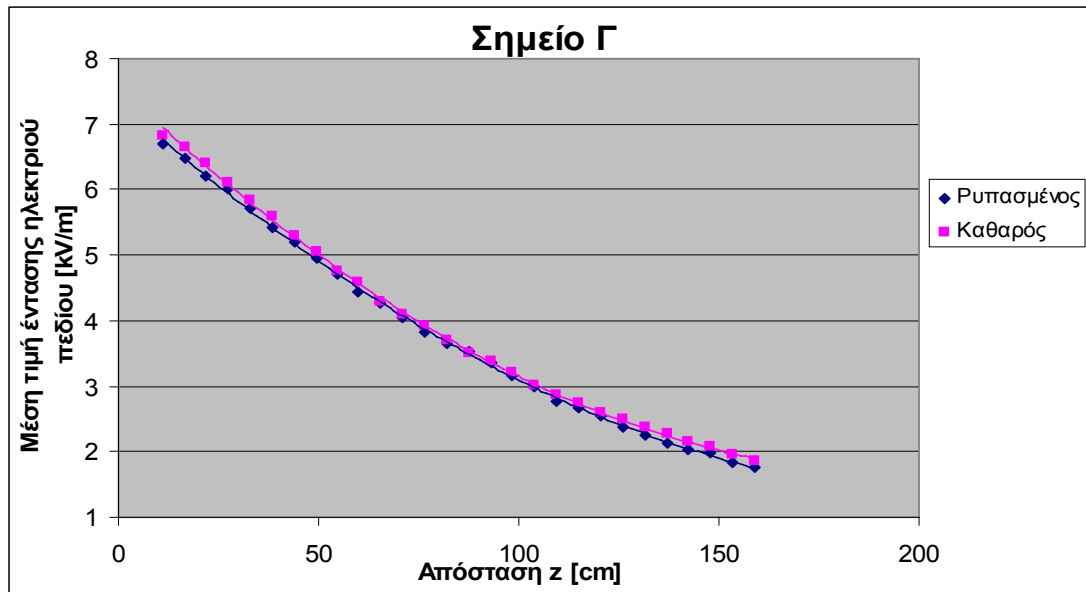
μείωση της διαφοράς δυναμικού, συνεπάγεται τη μείωση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου.



Σχήμα 6.17: Γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες



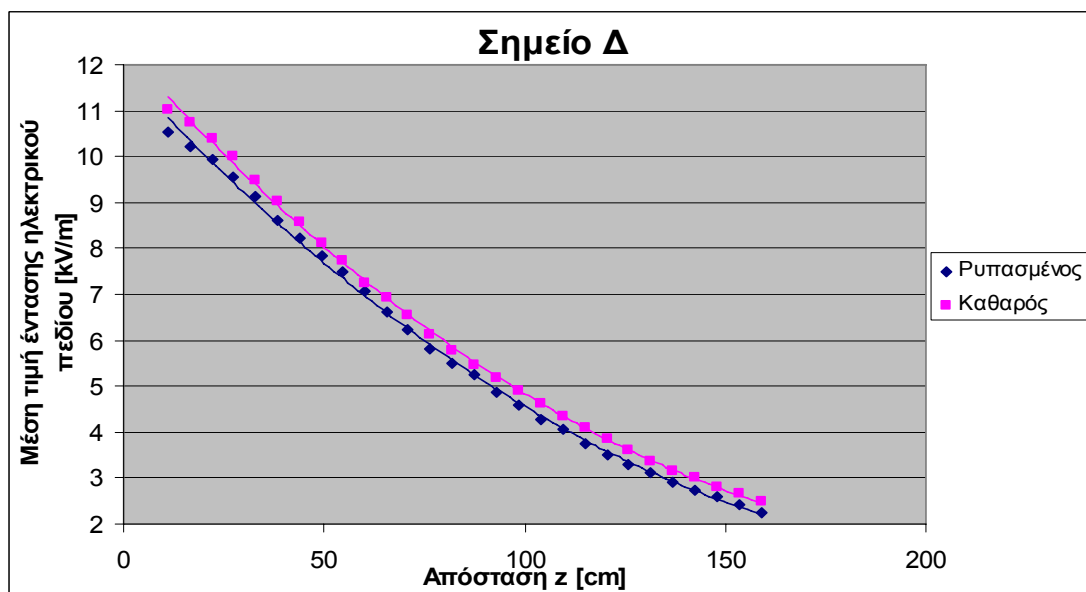
Σχήμα 6.18: Γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες



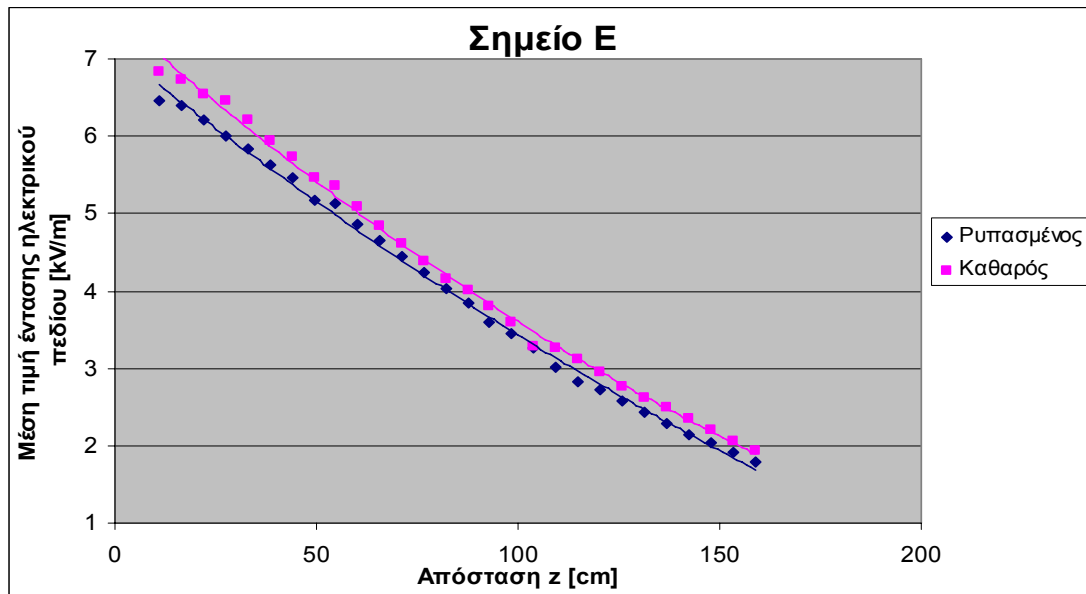
Σχήμα 6.19: Γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες

Παρατηρούμε ότι από το σημείο Δ μέχρι και το σημείο Κ η διάφορα στις τιμές της έντασης του πεδίου μεταξύ ρυπασμένης και καθαρής αλυσίδας είναι εμφανής. Βλέπουμε επίσης στο ρυπασμένο μονωτήρα η ένταση του πεδίου είναι μεγαλύτερη από ότι στον καθαρό. Το γεγονός ότι η διαφορά μεταξύ καθαρού και ρυπασμένου δεν είναι σταθερή, οφείλεται στην ανομοιόμορφη ρύπανση του μονωτήρα.

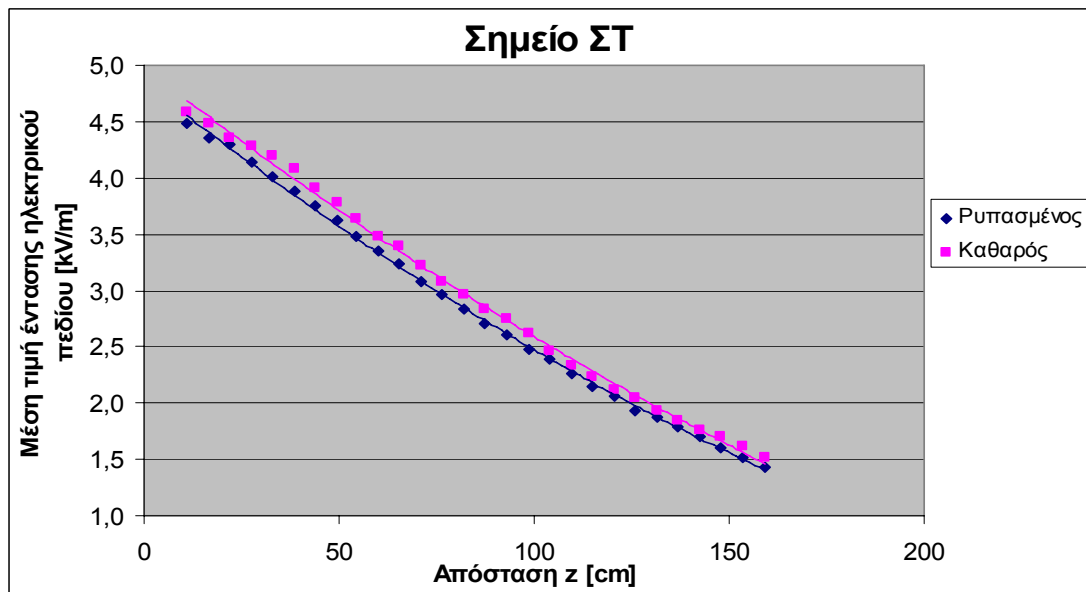
Επιπλέον καθώς απομακρυνόμαστε από τον αγωγό Υ.Τ αλλά και από τον μονωτήρα η ένταση του πεδίου παρατηρούμε ότι μειώνεται βαθμιαία.



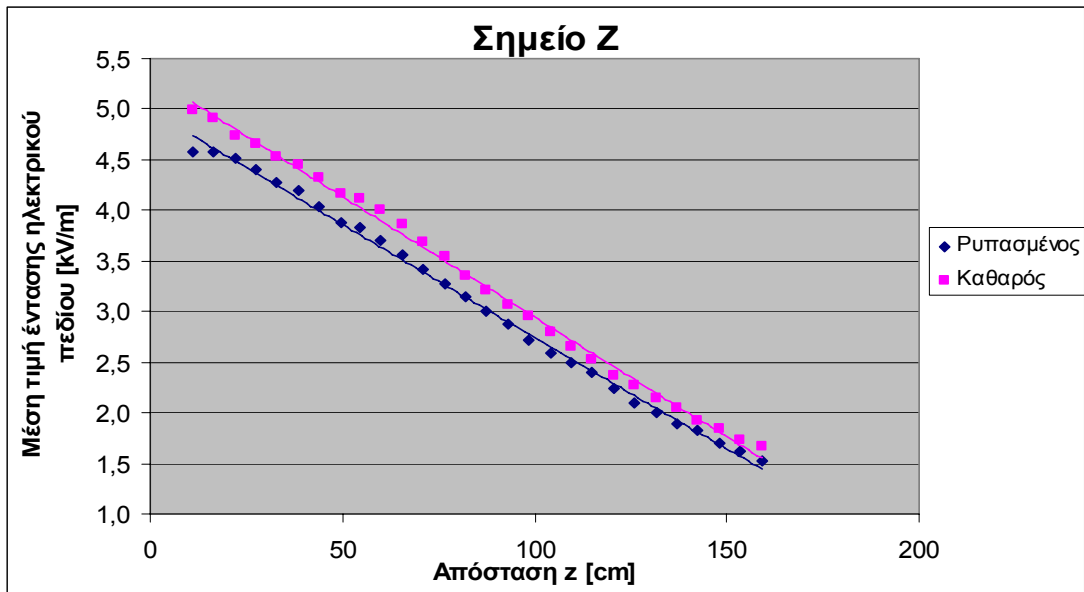
Σχήμα 6.20 Γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες



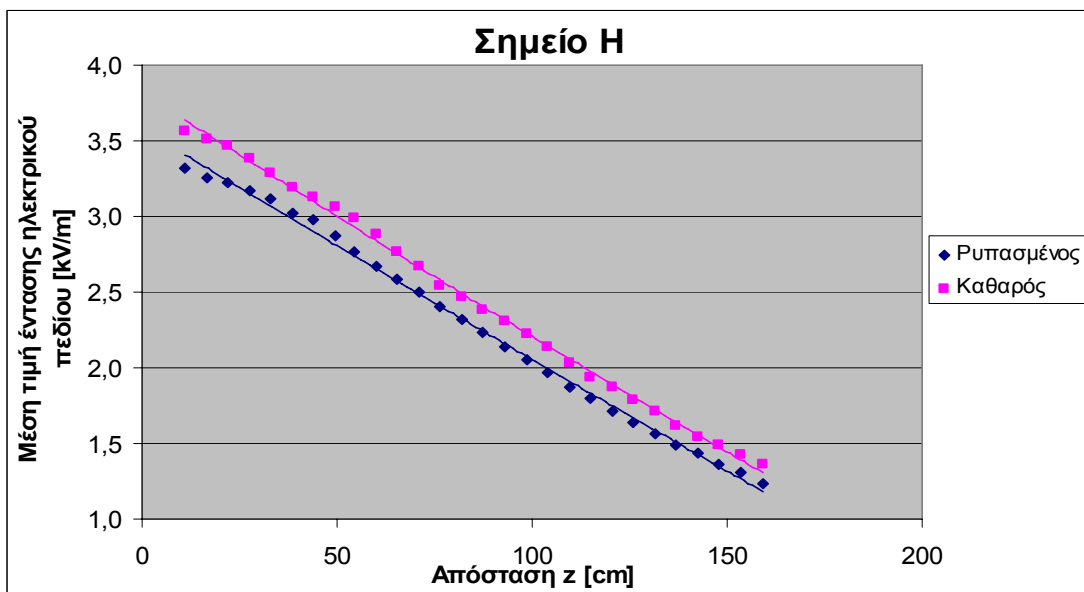
Σχήμα 6.21: : Γυάλινος αλυσσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες



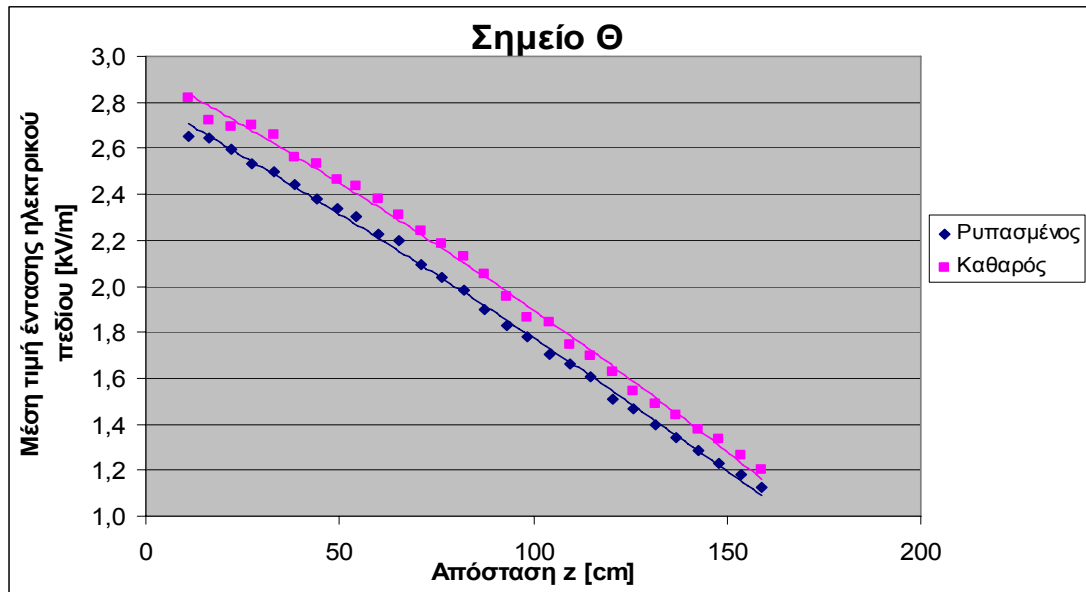
Σχήμα 6.22: : Γυάλινος αλυσσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες



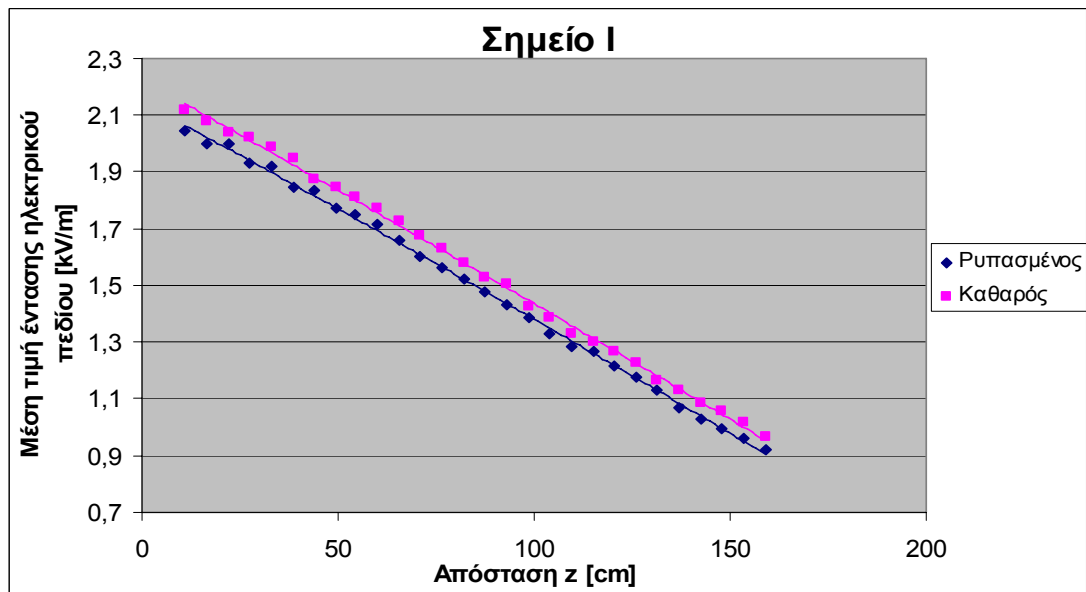
Σχήμα 6.23: : Γυάλινος αλυσσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες



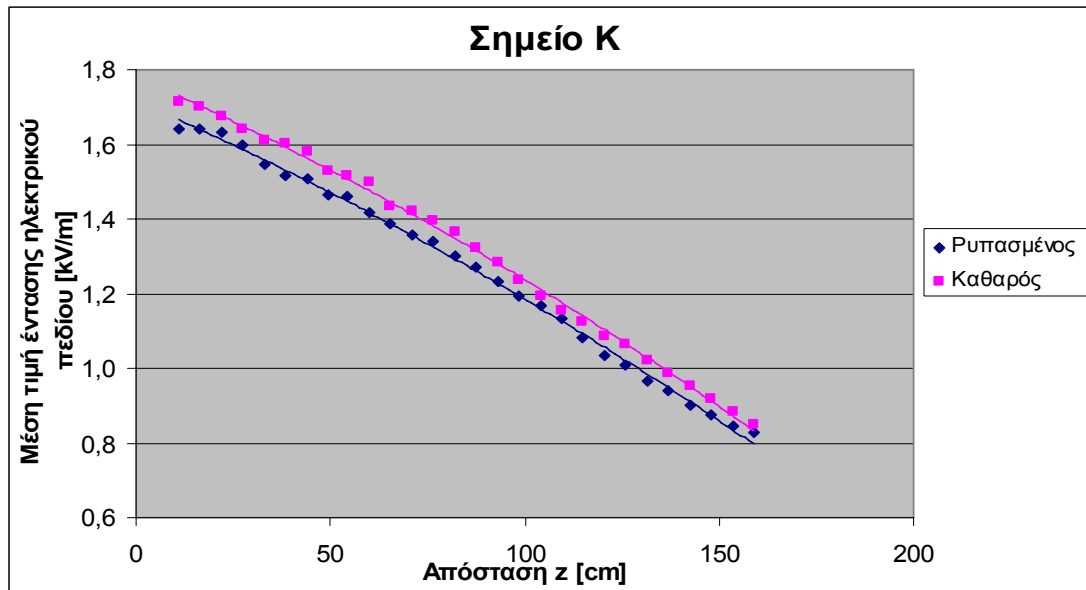
Σχήμα 6.24: : Γυάλινος αλυσσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες



Σχήμα 6.25: : Γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες



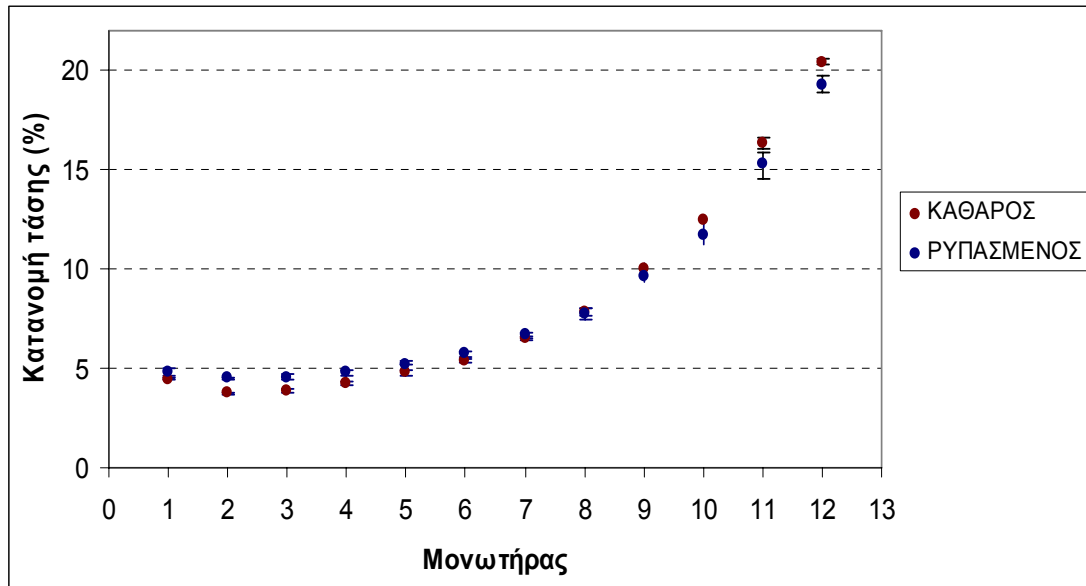
Σχήμα 6.26: : Γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες



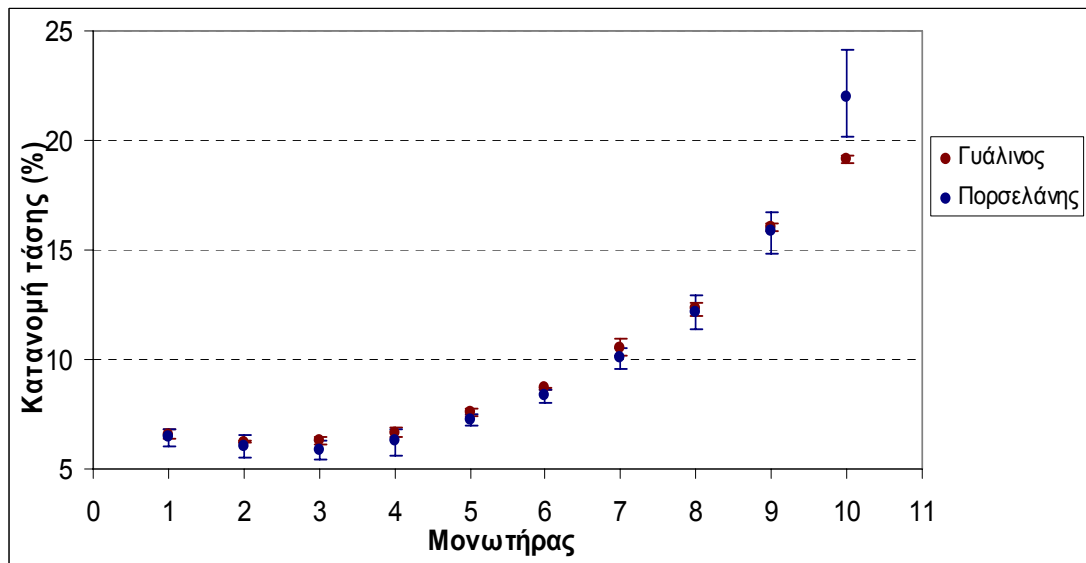
Σχήμα 6.27: : Γυάλινος αλυσοειδής μονωτήρας, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες

## 6.2 Συγκριτική παρουσίαση της κατανομής της τάσης

Στο σχήμα 6.28 φαίνεται η συγκριτική γραφική απεικόνιση της κατανομής της τάσης για τον γυάλινο αλυσοειδή μονωτήρα στην περίπτωση που αυτός ήταν ρυπασμένος και στην περίπτωση που ήταν καθαρός. Παρατηρούμε ότι, ενώ μέχρι και τον 6<sup>ο</sup> μονωτήρα η κατανομή της τάσης για τον ρυπασμένο είναι μεγαλύτερη από ότι για τον καθαρό, στον 7<sup>ο</sup> και 8<sup>ο</sup> μονωτήρα η κατανομή της τάσης και για τις δυο περιπτώσεις είναι σχεδόν ίδια και τέλος από τον 9<sup>ο</sup> μέχρι και τον 12<sup>ο</sup> μονωτήρα η κατανομή της τάσης στην περίπτωση του καθαρού είναι εμφανώς μεγαλύτερη από ότι στην περίπτωση του ρυπασμένου. Η μορφή της κατανομής του δυναμικού οφείλεται στην ύπαρξη των παράσιτων χωρητικοτήτων προς γη και προς τον αγωγό Υ.Τ. που εμφανίζονται οι μεταλλικοί οπλισμοί του κάθε δισκοειδούς μονωτήρα.

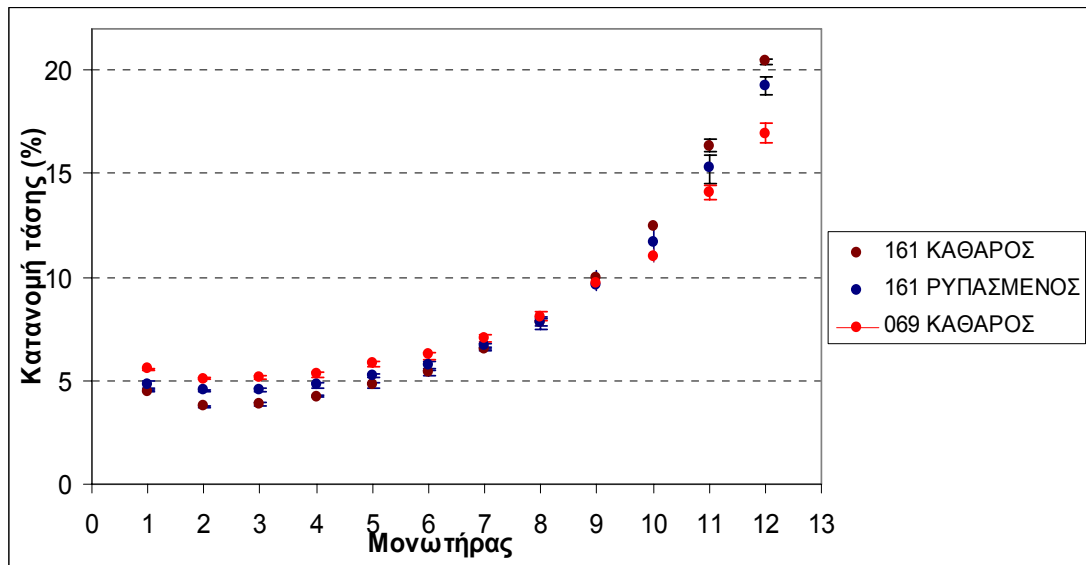


Σχήμα 6.28: Κατανομή τάσης για τον γυάλινο αλυσοειδή μονωτήρα, τύπου ομίχλης, αποτελούμενος από 12 δισκοειδείς μονωτήρες



Σχήμα 6.29: Κατανομή τάσης για γυάλινο και πορσελάνινο αλυσοειδή μονωτήρα, κανονικού τύπου, αποτελούμενοι από 10 δισκοειδείς μονωτήρες





Σχήμα 6.30: Συγκριτική κατανομή τάσης για το γυάλινο αλυσοειδή μονωτήρα καθαρό και ρυπασμένο φάση και το γυάλινο αλυσοειδή μονωτήρα, τύπου ομίχλης, 12 δίσκοι, καθαρός.

## Κεφάλαιο 7

### *Συμπεράσματα - Η επόμενη μέρα*

Αντικείμενο της διπλωματικής μου εργασίας ήταν η μέτρηση α) της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου πλησίον αλυσοειδών μονωτήρων και β) της κατανομής της τάσης στους αλυσοειδείς αυτούς μονωτήρες. Μελετήσαμε συνολικά πέντε αλυσοειδείς μονωτήρες και λάβαμε επτά σειρές μετρήσεων.

Πραγματοποιήσαμε πειράματα για τη μέτρηση της κατανομής της τάσης και του ηλεκτρικού πεδίου σε αλυσοειδείς μονωτήρες τύπου “cap and pin”, οι οποίοι χρησιμοποιούνται από τη ΔΕΗ για την ανάρτηση γραμμών μεταφοράς 150kV. Κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν τυποποιημένες αλυσίδες μονωτήρων πορσελάνης ή υάλου, τύπου κανονικού ή ομίχλης. Για τον προσδιορισμό της επιβαλλόμενης τάσης σε έναν αλυσοειδή μονωτήρα χρησιμοποιήθηκε μια διάταξη η οποία περιλαμβάνει έναν αυτομετασχηματιστή 230V, η είσοδος του οποίου συνδέεται, μέσω ενός σταθεροποιητή, στην παροχή της ΔΕΗ (230V 50Hz) και η έξοδος του τροφοδοτεί ένα μετασχηματιστή 110V/55kV. Η εφαρμοζόμενη τάση στον αλυσοειδή μονωτήρα μετρήθηκε τοποθετώντας ένα βολτόμετρο στο πρωτεύον του μετασχηματιστή και πολλαπλασιάζοντας την ένδειξή του με το λόγο μετασχηματισμού  $a$ . Η επιβαλλόμενη τάση  $U_2$  αυξάνεται έως στον σπινθηριστή να εφαρμοστεί η κρίσιμη τάση του  $U_d$ . Η μέτρηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου έγινε αφενός με τη βοήθεια της παραπάνω διάταξης, αφετέρου με τη βοήθεια ενός πεδιομέτρου και ενός αισθητήρα (probe) τα οποία συνδέθηκαν μέσω μιας οπτικής ίνας. Το probe τοποθετήθηκε σε έντεκα σημεία του οριζόντιου επιπέδου (δαπέδου), ενώ παράλληλα, με τη βοήθεια επάλληλων σωλήνων, πάνω στους οποίους ενσωματώθηκε ο αισθητήρας, λήφθηκαν μετρήσεις σε αρκετά σημεία του κατακόρυφου επιπέδου, παράλληλου στον άξονα του αλυσοειδούς μονωτήρα. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να σημειώσουμε ότι οι δυο από τους πέντε αλυσοειδείς μονωτήρες ήταν φυσικά ρυπασμένοι και έτσι πραγματοποιήσαμε σειρές μετρήσεων υπό αυτές τις συνθήκες. Κατόπιν καθαρίσαμε τους δύο ρυπασμένους αλυσοειδείς μονωτήρες και επαναλάβαμε τις μετρήσεις.

- ✓ Συμπερασματικά, από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία για τη μέτρηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου μπορούμε να πούμε ότι καθώς απομακρυνόμαστε από τον αγωγό Υ.Τ. και κατ' επέκταση από τον αλυσοειδή μονωτήρα η μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου φθίνει. Επίσης έχουμε να παρατηρήσουμε ότι, ενώ αρχικά οι αποκλίσεις της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ των σημείων κάθε μονωτήρα είναι σημαντικές, καθώς απομακρυνόμαστε από τον αγωγό Υ.Τ, αυτές οι διαφορές φθίνουν.

Ο τύπος του αλυσοειδή μονωτήρα όπως και ο αριθμός των δισκοειδών μονωτήρων από τους οποίους αποτελείται επιδρούν στη μέγιστη τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και κατ' επέκταση στην τιμή αυτού στα διάφορα σημεία του επιπέδου.

Επιπλέον παρατηρήσαμε στην περίπτωση των αλυσοειδών μονωτήρων αποτελούμενων από δέκα (10) δίσκους, ότι στα σημεία πλησίον του αγωγού Υ.Τ το πεδίο στους γυάλινους μονωτήρες είναι μεγαλύτερο από ότι στους πορσελάνινους. Ωστόσο καθώς απομακρυνόμαστε από τον αγωγό Υ.Τ. το πεδίο του πορσελάνινου αλυσοειδή μονωτήρα αυξάνεται και υπερβαίνει αυτό του αντίστοιχου γυάλινου.

Διαπιστώσαμε επίσης ότι για όλα τα σημεία του χώρου, στα οποία λήφθηκαν μετρήσεις, η μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, στην περίπτωση ενός καθαρού αλυσοειδή μονωτήρα, αποτελούμενου από δώδεκα (12) δισκοειδείς μονωτήρες, είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του ρυπασμένου.

- ✓ Όσο αφορά τώρα στην κατανομή της τάσης μπορούμε να πούμε ότι και για τις επτά σειρές μετρήσεων η κατανομή της τάσης έχει την ίδια μορφή, η οποία δεν είναι ομοιόμορφη. Η ανομοιομορφία αυτή οφείλεται στην ύπαρξη των παράσιτων χωρητικοτήτων ως προς γη και προς τον αγωγό Υ.Τ.

Μια παραπέρα μελέτη που μπορεί να πραγματοποιηθεί είναι και η μέτρηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και η κατανομή της τάσης για αλυσοειδείς μονωτήρες των 400 kV. Αυτοί οι αλυσοειδείς μονωτήρες αποτελούνται από περισσότερους δισκοειδείς μονωτήρες και η μελέτη τους θα προσθέσει καινούρια στοιχεία στη μελέτη των αλυσοειδών μονωτήρων Υ.Τ.

Επίσης, ενδιαφέροντα αποτελέσματα θα προέκυπταν από τη μελέτη αλυσοειδών μονωτήρων τεχνητά ρυπασμένων σε θάλαμο ρυθμιζομένων συνθηκών. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής θα μας έδιναν μια πιο σαφή και ακριβή εικόνα για

το βαθμό που επηρεάζουν τα διάφορα επίπεδα ρύπανσης το πεδίο και τη μονωτική ικανότητα ενός αλυσοειδούς μονωτήρα.

Αυτό που θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί στο μέλλον είναι η πρόκληση ελαττωμάτων σε υγιείς αλυσοειδείς μονωτήρες και η σύγκριση του πεδίου τους με το αντίστοιχο ενός υγιούς. Επιπλέον η μέτρηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου θα μπορούσε να μας βοηθήσει στον εντοπισμό των ελαττωματικών μονωτήρων απλά και μόνο συγκρίνοντας το πεδίο ενός ελαττωματικού μονωτήρα με ενός υγιή. Οποιαδήποτε απόκλιση από τις τιμές αναφοράς του υγιούς πεδίου θα δήλωνε την ύπαρξη ατελειών.

## *Βιβλιογραφία*

- [1] J.S.T. Looms, “Insulators for high voltages”, Peter Peregrinus Ltd., London, Unighted Kingdom, 1990
- [2] Κ.Θ. Δέρβος, “Μονωτικά υλικά υψηλών τάσεων”, Εκδόσεις Πολυτεχνείου, Αθήνα, 2001
- [3] Ι.Α. Σταθόπουλος, “Υψηλές Τάσεις Ι”, Εκδόσεις Συμμεών, Αθήνα
- [4] S.V. Hörnfeldt, “DC - probes for electric field distribution measurements”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 6, No. 2, April 1991, pp. 524-529
- [5] CIGRE Working Group 03 of Study Committee 22, “Comparative electric field calculations and measurements on high voltage insulators”, Electra, No. 141, April 1992, pp. 69-77
- [6] R. Hartings, “Electric field along a post insulator: AC measurements and calculations”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 9, No. 2, April 1994, pp. 912-918
- [7] R. Hartings, “The AC-Behavior of a hydrophilic and hydrophobic post insulator during rain”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 9, No. 3, July 1994, pp. 1584-1592
- [8] Βασιλική Κονταργύρη, “Ρύπανση μονωτήρων”, Ενδιάμεση Κρίση, ΕΜΠ, 2005
- [9] Power Systems Engineering Research Center (PSERC) “Evaluation of Critical Components of Non-Ceramic Insulators in-service: Role of Defective Interfaces “. Final Project Report, Publication 04-32, August 2004
- [10] University of Queensland, Boon Hai Lim, “Computation of Electric Field in High Voltage Insulators”, Thesis, February 1999
- [11] G.H. Vaillancourt, S.Carignan, C.Jean, ”Experience with the Detection of Faulty Composite Insulators on High-Voltage Power Lines by the Electric Field Measurement Method”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 13, No. 2, April 1998
- [12] Κωνσταντίνος Ε. Κοντομάρης, Φώτιος Α. Σούρτζης, «Μελέτη Κατανομής του Ηλεκτρικού πεδίου», Διπλωματική Εργασία, Αθηνά, Φεβρουάριος 2005
- [13] Tiebin Zhao, Michael G. Comber, “Calculation of electric field and potential distribution along non-ceramic insulators considering the effects of

conductors and transmission towers”, IEEE Transactions on power delivery, Vol 15, no. 1, January 2000

[14] <http://www.idc-online.com/assets/files/highvoltafe.pdf>

[15] <http://www.ngk-locke.com>

[16] Καγκαράκης, “Μαθήματα στα Ηλεκτροτεχνικά Υλικά”, Εκδόσεις Συμμετρία, 1994

[17] User’s manual, PMM 8053A, Document 8053AEN-50632-2.32-Copyright PMM 2004

[18] IEC 60060-1, “High voltage test technique, Part 1: General Definitions and test requirements”, November 1989

[19] IEC 60060-2, “High voltage test technique, Part 2: Measuring systems”, November 1994