



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

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ  
ΤΑΣΗΣ ΣΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ  
ΑΝΤΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΔΑΠΕΔΩΝ.**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΙΩΑΝΝΗ Γ. ΒΛΑΧΟΥ

**Επιβλέπων :** Π.ΤΣΑΡΑΜΠΑΡΗΣ  
ΛΕΚΤΟΡΑΣ Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2010





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

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ  
ΤΑΣΗΣ ΣΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ  
ΑΝΤΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΔΑΠΕΔΩΝ.**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΙΩΑΝΝΗ Γ. ΒΛΑΧΟΥ

**Επιβλέπων :** Π. ΤΣΑΡΑΜΠΑΡΗΣ  
ΛΕΚΤΟΡΑΣ Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή την <sup>η</sup> Ιουλίου 2010

.....  
Π. Τσαραμπάρης  
Λέκτορας Ε.Μ.Π

.....  
Ν. Θεοδώρου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

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

Αθήνα , Ιούλιος 2010

.....  
**ΙΩΑΝΝΗΣ Γ. ΒΛΑΧΟΣ**

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

Copyright © Ιωάννης Γ. Βλάχος, 2010

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.  
All rights reserved.

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

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

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης του χρόνου εφαρμογής της τάσης στη μέτρηση της αντίστασης αντιστατικών δαπέδων.

Ο έλεγχος των αντιστατικών δαπέδων γίνεται με στόχο την διαπίστωση της ικανότητάς τους να απάγουν το ηλεκτροστατικό φορτίο και γίνεται μέσω της μέτρησης της αντίστασής τους, σύμφωνα με διάφορες μεθόδους μέτρησης.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εισαγωγή της διπλωματικής εργασίας. Περιλαμβάνει το θεωρητικό υπόβαθρο σχετικά με τα διάφορα είδη δαπέδων που χρησιμοποιούνται, τους μηχανισμούς δημιουργίας ηλεκτροστατικού φορτίου, την πόλωση ηλεκτρικού φορτίου, την εκδήλωση ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων. Ακόμα, περιγράφονται τρόποι αντιμετώπισης των κινδύνων που μπορεί να δημιουργήσουν οι ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφερόμαστε στα αντιστατικά δάπεδα, τους χώρους χρησιμοποίησής τους, τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους, τον τρόπο εγκατάστασης και γειώσεώς τους, καθώς και τις μεθόδους συντήρησής τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη και ο τρόπος διεξαγωγής των εργαστηριακών μετρήσεων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε πίνακες.

Το πέμπτο κεφάλαιο περιέχει τα σχόλια επί των αποτελεσμάτων και τα συμπεράσματα που εξάγονται από τις συγκρίσεις μεταξύ των μετρήσεων.

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Δάπεδο, Αντιστατικό δάπεδο, Ηλεκτροστατικό φορτίο, Ηλεκτροστατική εκκένωση, Πόλωση, Ηλεκτροστατική εκφόρτιση, Ηλεκτρόδια, Επιφανειακή αντίσταση, Αντίσταση όγκου, Αντίσταση μόνωσης

## ABSTRACT

The purpose of the present project is the study of the way the time of application of voltage affects the resistance measurements of anti-static floorings.

The control of anti-static floorings becomes aims to the ascertainment of their faculty to abduct the electric charge and it becomes via the measurement of their resistance.

The first chapter includes the project's theoretical background. It refers to the kind of floors usually used, the methods electrostatic charge is formed, polarization, and finally how electrostatic discharges are formed and how static electricity is eliminated.

The second chapter refers to antistatic floors, the applications they are used, their construction materials, and their installation, grounding and maintenance methods.

The third chapter describes the measurement circuit in detail, the measuring procedure and the general equipment experimentally used.

In the fourth chapter the results of the measurements are presented in tables.

The fifth chapter contains the comments on the results and the conclusions that are exported from the comparisons between the measurements.

## Keywords

**Floor, Flooring, Antistatic, Static Dissipative, Conductive, Isolative, Antistatic flooring, Electric charge, Electrostatic discharge, ESD, Electrodes, Surface resistance, Volume resistance, Insulation resistance.**

## **Ευχαριστήριο σημείωμα**

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στη σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π. και το θέμα της αφορά στο επιστημονικό πεδίο του τομέα ηλεκτρικών βιομηχανικών διατάξεων και συστημάτων αποφάσεων.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Λέκτορα του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου και επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας κ. Παναγιώτη Τσαραμπάρη για την ανάθεση της διπλωματικής αυτής εργασίας, και το ενδιαφέρον που επέδειξε και τις πολύτιμες γνώσεις που μου έδωσε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Επιπλέον, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για τις γνώσεις που μου προσέφερε μέσω των επισημάνσεών του στα οποία, οι οποίες με βοήθησαν να επιτύχω μια μερική, αλλά σημαντική, ολοκλήρωση του απαραίτητου θεωρητικού υποβάθρου ενός Ηλεκτρολόγου Μηχανικού.

Αφιερώνω τη διπλωματική μου εργασία στην οικογένειά μου η οποία μου στάθηκε όπου τη χρειαζόμουν από τα μαθητικά μου χρόνια μέχρι σήμερα, το ΕΜΠ και συγκεκριμένα τη σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ, που μου προσέφερε χρήσιμες γνώσεις πάνω στο αντικείμενο που με ενδιαφέρει και τα υπόλοιπα πρόσωπα που με στήριξαν τις περιόδους όπου το είχα ανάγκη.

## Περιεχόμενα

<b>1. Εισαγωγή</b> .....	11
1.1 Γενική αναφορά για δάπεδα και είδη δαπέδων .....	11
1.1.1 Υποστρώματα Δαπέδων.....	11
1.1.2 Συνήθειες Κατηγορίες Καλυμμάτων.....	12
1.2 Γενικά περί Στατικού Ηλεκτρισμού.....	15
1.2.1 Τρόποι Δημιουργίας Στατικού Ηλεκτρισμού.....	15
1.2.1.1 Τριβηηλεκτρισμός.....	15
1.2.1.2 Φόρτιση μέσω μπαταρίας (πηγής τάσης) .....	20
1.2.1.3 Φόρτιση εξ επαγωγής .....	20
1.2.1.4 Φόρτιση μέσω του φαινομένου Corona .....	23
1.2.1.5 Η μικροσκοπική προσέγγιση της πόλωσης των διηλεκτρικών υλικών .....	24
1.2.2 Κατηγοριοποίηση των Ηλεκτροστατικών Εκφορτίσεων.....	30
1.2.3 Αγωγιμότητα υλικών .....	34
1.2.4 Συνέπειες της Ηλεκτροστατικής Εκκένωσης(ESD) .....	36
1.2.5 Μέθοδοι προστασίας από τις ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις .....	37
1.3.Αντιστατικά δάπεδα .....	38
1.3.1 Κατάταξη των δαπέδων βάσει της ηλεκτρικής τους αντίστασης.....	39
1.3.2 Είδη αντιστατικών δαπέδων.....	41
1.3.3 Γείωση αντιστατικών δαπέδων .....	47
1.3.4 Φροντίδα και συντήρηση αντιστατικών δαπέδων .....	48
<b>2. Διάταξη και η διαδικασία των μετρήσεων</b> .....	50
2.1 Γενικά.....	50
2.2 Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν .....	50
2.3 Η Διάταξη των μετρήσεων .....	50
2.4 Η Διαδικασία των μετρήσεων .....	52



<b>3. Αποτελέσματα μετρήσεων.....</b>	<b>54</b>
<b>4. Σχόλια επί των αποτελεσμάτων των μετρήσεων.....</b>	<b>64</b>
<b>5. Βιβλιογραφία.....</b>	<b>77</b>
<b>Παράρτημα Α.....</b>	<b>81</b>



## **Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο αυτό δίδονται πληροφορίες για τη δομή των δαπέδων, τα οποία χρησιμοποιούνται στις διάφορες εγκαταστάσεις. Επίσης, δίδονται πληροφορίες για τα αντιστατικά δάπεδα, καθώς και για τους τρόπους δημιουργίας και εκκένωσης του στατικού ηλεκτρισμού και για τα φαινόμενα απομάκρυνσής του από την επιφάνεια των αντιστατικών και μη δαπέδων.

### **1.1 Γενική αναφορά για δάπεδα και είδη δαπέδων**

Τα δάπεδα (πατώματα) ποικίλλουν από μια απλή στρώση χώματος έως επιφάνειες που αποτελούνται από πολλά επίπεδα υλικών τελευταίας τεχνολογίας. Το δάπεδο μπορεί να είναι πέτρινο, ξύλινο, από μπαμπού, μεταλλικό ή κατασκευασμένο από οποιοδήποτε υλικό που μπορεί να συγκρατήσει το βάρος του ανθρώπου και ακόμα περισσότερο το βάρος των εργασιών που πραγματοποιούνται σε έναν χώρο.

Τα δάπεδα αποτελούνται ουσιαστικά από το υπόστρωμα (χαμηλότερο επίπεδο) για την υποστήριξη του δαπέδου και από το κάλυμμα δαπέδου, το οποίο έχει ως σκοπό να προσφέρει εκτός των άλλων μια καλή επιφάνεια αφενός από αισθητικής πλευράς και αφετέρου για περπάτημα και γενικά για κίνηση πάνω σε αυτά. Στα μοντέρνα κτήρια, το υπόστρωμα συχνά περιλαμβάνει ηλεκτρική καλωδίωση, υδραυλικά συστήματα και άλλες κατασκευές, τα οποία έχουν τοποθετηθεί μέσα στον όγκο του.

#### **1.1.1 Υποστρώματα Δαπέδων**

Το υπόστρωμα παρέχει την σταθερότητα ενός δαπέδου. Πολλά δάπεδα δεν έχουν ξεχωριστό κάλυμμα στο πάνω μέρος τους, δηλαδή το υλικό του υποστρώματος αποτελεί και το υλικό του πάνω μέρους του πατώματος. Το υπόστρωμα μπορεί επίσης να παρέχει υπηρεσίες, όπως είναι θέρμανση μέσω αγωγών που το διαπερνούν ή να χρησιμοποιηθεί για την διέλευση των αεραγωγών για τον κλιματισμό του χώρου. Τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται τα υποστρώματα είναι διαφορετικά στις εξής δύο περιπτώσεις

- Όταν το υπόστρωμα βρίσκεται στο επίπεδο της γης
- Όταν το υπόστρωμα κατασκευάζεται σε επίπεδο ψηλότερο από αυτό της επιφάνειας της γης, όπως είναι αυτό των ορόφων ενός κτηρίου.

Στην πρώτη περίπτωση αναφέρεται ότι το δάπεδο μπορεί να είναι η ίδια η γη, δηλαδή το χώμα, ή να είναι στέρεες πλάκες από μπετόν. Το μπετόν για την διαμόρφωση των πλακών τοποθετείται αφού πρώτα το υλικό της βάσης γίνει ίσιο και καλυφθεί από μια στρώση άμμου και γαρμπιλίου. Σε πολλές περιπτώσεις για την ενίσχυση του μπετόν χρησιμοποιούνται και μεταλλικές βέργες, κυρίως αν χρειάζεται η ενίσχυση μέρος του κτηρίου υπό κατασκευή.

Στην δεύτερη περίπτωση τα δάπεδα μπορούν να κατασκευαστούν πάνω σε μεταλλικές δοκούς στήριξης ή σε πατοδόκαρα από ξύλο, ατσάλι ή τσιμέντο.

Τα καλύμματα των πατωμάτων είναι εκείνα που ουσιαστικά έρχονται σε άμεση επαφή με τον ανθρώπινο παράγοντα και περιγράφουν κάθε υλικό που χρησιμοποιείται για την τελική διαμόρφωση του δαπέδου.

### **1.1.2 Συνήθεις Κατηγορίες Καλυμμάτων**

Τα καλύμματα δαπέδων τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως στις διάφορες εγκαταστάσεις, μπορούν να διαχωριστούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Μαλακά καλύμματα
- Ξύλινη επένδυση
- Ελαστικά καλύμματα
- Σκληρά καλύμματα
- Μονοκόμματα χημικά καλύμματα
- PVC πλαστικά δάπεδα

#### **Μαλακά καλύμματα**

Τα χαλιά αποτελούν ένα είδος καλύμματος δαπέδου, υφαντό, κατασκευασμένο από φυσικές ή τεχνητές ίνες. Αυτά προσκολλώνται στην δομή του δαπέδου, εκτείνονται συνήθως σε όλη την έκταση του χώρου και δεν μπορούν να μετακινηθούν από μέρος σε μέρος. Για την επέκταση της διάρκειας ζωής και της άνεσης του χαλιού, τοποθετείται πολλές φορές στην κάτω πλευρά ένα μονωτικό ή προστατευτικό υπόστρωμα, κατασκευασμένο από μαλακό, σπογγώδες ελαστικό.

## Ξύλινη επένδυση

Πολλά διαφορετικά είδη ξύλου επεξεργάζονται με σκοπό να αποτελέσουν επένδυση για τα πατώματα και αποκτούν δύο αρχικές μορφές: χοντρή σανίδα και παρκέ. Τα σκληρά ξύλα είναι ουσιαστικά πιο ανθεκτικά από τα μαλακά ξύλα.

Ένα είδος ξύλινης επένδυσης πατώματος είναι τα **αντικολλητά φύλλα ξύλου**. Μοιάζουν πολύ με την επένδυση σκληρού ξύλου αλλά στην πραγματικότητα κατασκευάζονται με κόντρα-πλακέ ή από μεσαίας πυκνότητας σύνολο ξύλινων ινών (MDF) με ένα ανώτερο στρώμα αντικολλητών φύλλων πλαστικού. Τα **αντικολλητά φύλλα ξύλου HDF** αποτελούνται από μια βάση ξύλινων ινών πολύ μεγάλης πυκνότητας, με ανώτερο στρώμα ένα ή περισσότερα επίπεδα από διακοσμητικό χαρτί και ένα διαφανές προστατευτικό στρώμα. Το είδος αυτό της επένδυσης δαπέδων μπορεί να είναι πιο ανθεκτικό από το απλό, σκληρό ξύλο. Διατίθεται σε πολλές διαφορετικές πατέντες, οι οποίες μπορούν να συνδυάσουν διαφορετικά είδη ξύλου ή ακόμα και κεραμικά πλακίδια.

Η επένδυση από μπαμπού κατασκευάζεται από το φυτό μπαμπού και θεωρείται ένα είδος επίστρωσης σκληρού ξύλου, παρ' ότι τεχνικά δεν είναι ξύλο. Το μπαμπού είναι γνωστό για την ανθεκτικότητά του και την φιλικότητα προς το περιβάλλον.

Η **φελλώδης** επένδυση είναι ένα υλικό, το οποίο και κατασκευάζεται ως υποπροϊόν της βελανιδιάς. Τα πατώματα από φελλό θεωρούνται οικολογικά και η επένδυση των δαπέδων μπορεί να γίνει είτε σε πλακίδια είτε σε σανίδες και μπορούν να εγκατασταθούν με ή και χωρίς την χρήση κόλλας. Είναι πολύ ανθεκτικά χάρη στην κυψελωτή δομή-μορφή τους, η οποία και επιτρέπει την παραμόρφωσή τους έως και 40% και εν συνεχεία την επαναφορά στην αρχική τους μορφή.

## Ελαστικά καλύμματα

Η ελαστική επένδυση δαπέδων κατασκευάζεται από υλικά τα οποία έχουν κάποια ελαστικότητα. Περιλαμβάνει πολλά διαφορετικά τελικά προϊόντα, συμπεριλαμβάνοντας τον μουσαμά, τους λινόταπητες, τα φύλλα βινυλίου, τα πλακάκια βινυλίου (VTC), τον φελλό (πλακίδια ή φύλλα), το καουτσούκ και άλλα. Το βινύλιο είναι το υλικό που χρησιμοποιείται συχνότερα από τα ελαστικά καλύμματα και κατασκευάζεται με τον συνδυασμό πολυβινυλοχλωριδίου (PVC), πλαστικοποιητών και άλλων συνθετικών και σταθεροποιητών. Εφαρμόζεται συνήθως πάνω από ξύλινο υπόστρωμα, με την χρήση κόλλας. Οι τύποι της κόλλας που χρησιμοποιούνται ποικίλλουν από αυτές που έχουν μεγάλη συγκέντρωση πτητικών

οργανικών συνθετικών(VOC's), έως αυτές που έχουν ως βάση το νερό και με χαμηλή συγκέντρωση συνθετικών.

### Σκληρά καλύμματα

Τα **κεραμικά πλακίδια** περιλαμβάνουν μία ευρεία ποικιλία από πήλινα προϊόντα, τα οποία προκύπτουν από θερμική επεξεργασία με τελική μορφή μικρά κομμάτια τα οποία τοποθετούνται μέσα σε σοβά (υλικό πλήρωσης από ασβέστη και άμμο ή τσιμέντο), με τους συνδέσμους μεταξύ των πλακιδίων να πληρώνονται με τσιμέντο.

Πολλές διαφορετικές φυσικές πέτρες κόβονται σε διάφορα μεγέθη, σχήματα και πάχη με σκοπό την χρήση τους σε δάπεδα. Για παράδειγμα, ένα μωσαϊκό αποτελείται από πολλά μικρά κομμάτια πέτρας διατεταγμένα έτσι ώστε να δημιουργήσουν ένα σχέδιο ή μια εικόνα, και χρησιμοποιείται κυρίως σε πολιτιστικά και θρησκευτικά κέντρα. Ακόμα, αναφέρουμε το τεράτσο, το οποίο αποτελείται από μάρμαρα ή από ένα σύνολο άλλων πετρών τοποθετημένων μέσα σε σοβά και χόμα και γυαλισμένων μέχρι να γίνουν μια λεία επιφάνεια. Τα καλύμματα αυτής της κατηγορίας λειτουργούν ως μονώσεις, με αποτέλεσμα να μην προτιμούνται σε χώρους όπου είναι αναγκαία η απομάκρυνση δημιουργούμενου στατικού ηλεκτρισμού.

### Μονοκόμματα χημικά καλύμματα

Υπάρχουν πολλά διαθέσιμα υλικά σε αυτή την κατηγορία επένδυσης δαπέδων. Αυτά είναι κυρίως λατέξ, πολυεστέρες, ουραιθάνιο ή διάφορα εποξειδικά στοιχεία, τα οποία και εφαρμόζονται σε υγρή μορφή σε ολόκληρη την έκταση της επιφάνειας που μας ενδιαφέρει. Τέτοια καλύμματα δαπέδων χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιοχές με πιθανή παρουσία υγρασίας, όπως είναι τα εργαστήρια ή τα εργοστάσια επεξεργασίας και παρασκευής τροφίμων. Μπορεί επίσης να περιλαμβάνουν κοκκώδη ή πλαστικοποιημένα στοιχεία με σκοπό την επίτευξη καλύτερης πρόσφυσης στο έδαφος, καθώς και ρητινοκονιάματα, στρώσεις και βαφές προστασίας για σκοπούς κανονικής ή μεσαίας καταπόνησης φορτίων.

### PVC πλαστικά δάπεδα

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι δαπέδων από PVC, τα ομοιογενή και τα ετερογενή. Για επαγγελματική και βιομηχανική χρήση, τα κυριότερα δάπεδα από PVC που χρησιμοποιούνται είναι τα ομοιογενή με αυξανόμενη έμφαση σε

αντιστατικούς και αγώγιμους τύπους. Η έννοια των αγώγιμων και των αντιστατικών υλικών και δαπέδων θα εξηγηθεί στη συνέχεια.

### Ομοιογενή δάπεδα

Αυτά τα δάπεδα μπορούν να κατασκευαστούν από ένα ή περισσότερα φύλλα με εντελώς ίδιο υλικό και σύνθεση. Αυτό σημαίνει ότι όλα τα φύλλα πρέπει να είναι ίδιου χρώματος και σχεδίου προς την ίδια κατεύθυνση, με το πάχος του δαπέδου να είναι το πάχος όλων των φύλλων. Υπάρχουν δύο είδη ομοιογενών δαπέδων:

1. Σε ρολό, όπου τα φύλλα κατασκευάζονται με κυλίνδρους και μετά επικολλούνται με θερμό πρεσάρισμα και
2. Πρεσαρισμένα, όπου τα δάπεδα πρεσάρονται σε ακατέργαστα κομμάτια και μετά κόβονται στα απαιτούμενα πάχη.

### Ετερογενή δάπεδα

Αυτά τα δάπεδα σε ρολό αποτελούνται από πολλά φύλλα με διαφορετική σύνθεση, αλλά από τα ίδια βασικά υλικά. Είναι φθηνότερα από τα ομοιογενή, αλλά δεν ενδείκνυνται για βαριά επαγγελματική χρήση. Εφαρμόζεται πάνω σε λείες, στεγνές και στεγανοποιημένες επιφάνειες με χρήση ειδικής κόλλας και κορδόνι.

## **1.2 Γενικά περί Στατικού Ηλεκτρισμού**

Ως στατικό ηλεκτρισμό, ορίζουμε την ηλεκτρική φόρτιση που προκαλείται από ανισορροπία ηλεκτρονίων στην επιφάνεια ενός υλικού. Η ανισορροπία αυτή παράγει ένα ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο μπορεί να προσδιοριστεί και να επηρεάσει άλλα αντικείμενα σε απόσταση.

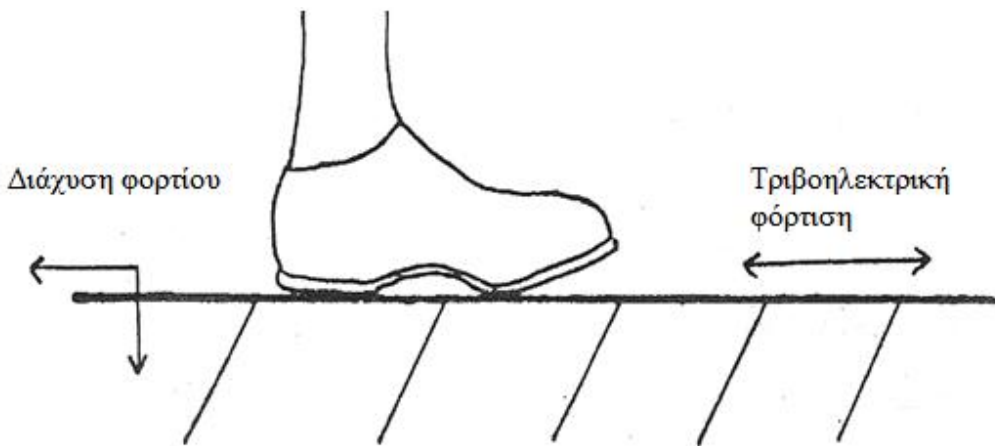
### **1.2.1 Τρόποι Δημιουργίας Στατικού Ηλεκτρισμού**

Οι πιο διαδεδομένοι τρόποι δημιουργίας στατικού ηλεκτρισμού, οι οποίοι και αναλύονται παρακάτω, είναι η φόρτιση ενός σώματος μέσω της τριβής (τριβοηλεκτρική φόρτιση), η επαγωγή, ο βομβαρδισμός ενός υλικού με φορτισμένα ιόντα και η επαφή με ένα άλλο φορτισμένο υλικό.

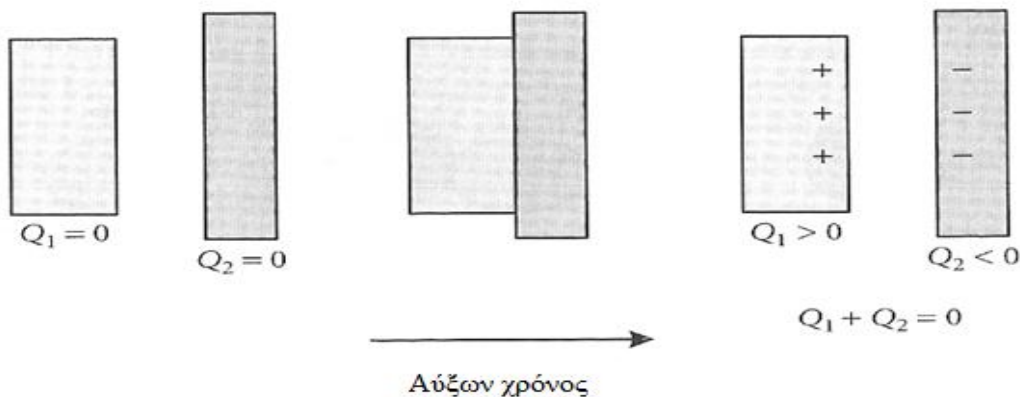
### 1.2.1.1. Τριβοηλεκτρισμός

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος δημιουργίας στατικού ηλεκτρισμού είναι η επαφή και ο διαχωρισμός δύο υλικών, ο λεγόμενος τριβοηλεκτρισμός (τριβοηλεκτρική φόρτιση), κατά τον οποίο παρατηρείται μεταφορά ηλεκτρονίων μεταξύ των υλικών.

Τα άτομα των αφόρτιστων αρχικά υλικών έχουν τον ίδιο αριθμό πρωτονίων και ηλεκτρονίων. Όταν τα δύο υλικά όμως έρχονται ακόμα και σε απλή επαφή μεταξύ τους και διαχωρίζονται, ηλεκτρόνια μεταφέρονται από την επιφάνεια του ενός υλικού στην επιφάνεια του άλλου. Το ποιο υλικό δέχεται και το ποιο δίνει ηλεκτρόνια εξαρτάται από την φύση των δύο υλικών. Αυτό που θα δώσει ηλεκτρόνια θα γίνει αυτόματα θετικά φορτισμένο υλικό, ενώ το άλλο που θα τα δεχτεί θα γίνει αρνητικά φορτισμένο. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται σε πολλές περιπτώσεις, όπως είναι κατά το βάδισμα ενός ατόμου πάνω σε ένα δάπεδο ή κατά την επαφή μιας ηλεκτρονικής συσκευής με κάποιο ύφασμα κάλυψης (Εικόνα 1.2.1.1-1).



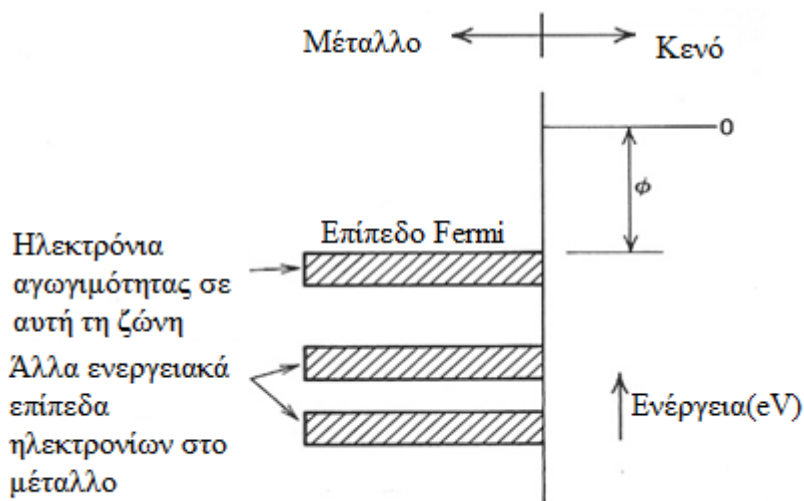
Εικόνα 1.2.1.1-1 : Φόρτιση επιφάνειας μέσω βάδισης



Εικόνα 1.2.1.1-2: Φόρτιση ουδέτερων αντικειμένων μέσω τριβής



Ένα ενεργειακό διάγραμμα για τα ηλεκτρόνια στο εσωτερικό ενός μετάλλου (αγώγιμου υλικού) παρουσιάζει τις ενεργειακές τους στάθμες στο υλικό, σε σχέση με ένα ενεργειακό επίπεδο αναφοράς εκτός του μετάλλου, όπως είναι το κενό. Ένα τυπικό ενεργειακό διάγραμμα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 1.2.1.1-1).



Σχήμα 1.2.1.1-1: Τυπικό ενεργειακό διάγραμμα μετάλλου

Το διάγραμμα αυτό δείχνει πως είναι απαραίτητο να δώσουμε στα ηλεκτρόνια του μετάλλου μια ποσότητα ενέργειας ίση με  $\phi$  (έργο εξόδου), με σκοπό αυτά να αποκολληθούν από το μέταλλο και να περάσουν στο κενό με μηδενική κινητική ενέργεια. Αυτό μπορεί να γίνει κυρίως μέσω θέρμανσης (θερμιονική εκπομπή), μέσω ενός ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου ή μέσω αλληλεπίδρασης με άλλα ηλεκτρόνια.

Εάν δύο ανόμοια υλικά έρθουν σε επαφή μεταξύ τους, θα υπάρξει μια μεταφορά ηλεκτρονίων από το ένα μέταλλο στο άλλο, μέχρις ότου τα δυναμικά των μετάλλων να είναι τέτοια ώστε οι στάθμες Fermi ( $E_F$ ) να εξισωθούν, όπως φαίνεται για δύο υλικά στο σχήμα 1.2.1.1-2 (βολφράμιο και καίσιο). Η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο μετάλλων, αγνοώντας την ύπαρξη αρχικών φορτίων και ενεργειακών σταθμών, είναι

$$eV = \phi_{Cs} - \phi_w, \quad (1.2.1.1-1)$$

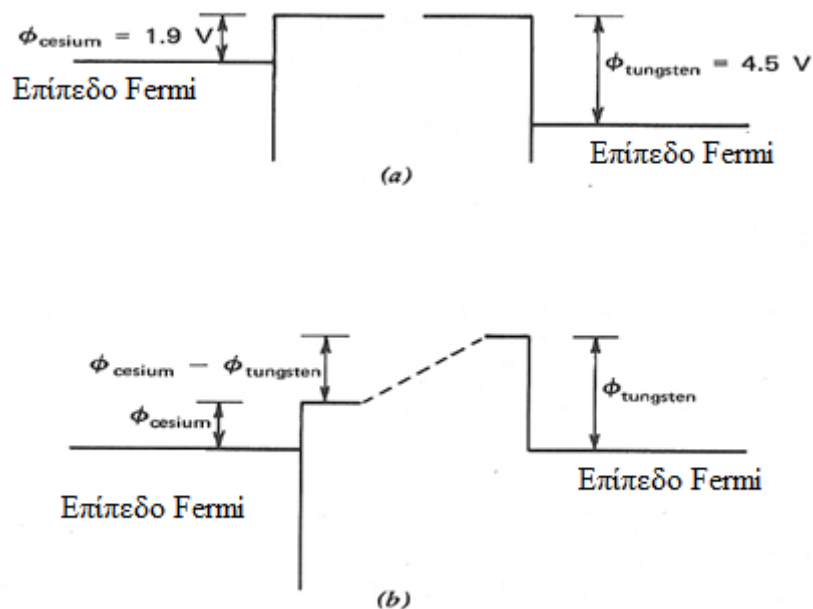
ενώ το φορτίο που έχει αναπτυχθεί λόγω της επαφής δίνεται από τη σχέση:

$$Q_{επαφής} = V * C_{επαφής} = \frac{\phi_{Cs} - \phi_w}{e} * C_{επαφής} = |Q^{(+)}_{Cs}| = |Q^{(-)}_w|, \quad (1.2.1.1-2)$$

Όπου

- $Q^{(+)}_{Cs}$  είναι το πλεονάζον θετικό φορτίο του ενός μετάλλου( καισίου)
- $Q^{(-)}_W$  είναι το πλεονάζον αρνητικό φορτίο του άλλου μετάλλου( βολφραμίου)
- $V$  είναι η μέγιστη τάση που αναπτύσσεται μεταξύ των δύο μετάλλων
- $C_{επαφής}$  είναι η χωρητικότητα μεταξύ των δύο μετάλλων σε επαφή, και η οποία εξαρτάται από το σχήμα των μετάλλων και την ύπαρξη ή μη στρώματος οξειδίου μεταξύ τους.

Η στάθμη Fermi συνήθως ορίζεται από το υψηλότερο ενεργειακό επίπεδο που καταλαμβάνεται από ηλεκτρόνιο στην δεσμική θεμελιώδη κατάσταση, και η μεταφορά των ηλεκτρονίων γίνεται από το υλικό με την υψηλότερη στάθμη Fermi προς το υλικό με την χαμηλότερη στάθμη Fermi. Στην περίπτωσή μας ηλεκτρόνια μεταφέρονται από το καίσιο στο βολφράμιο, μέχρι τα επίπεδα Fermi τους,  $E_{F-Cs}$  και  $E_{F-W}$ , να εξισωθούν. Έτσι, το βολφράμιο γίνεται αρνητικά φορτισμένο, ενώ το καίσιο θετικά φορτισμένο. Τα ηλεκτρόνια κατανέμονται σε πολύ μικρό βάθος από την επιφάνεια των δύο μετάλλων, που αναφέρεται σαν απόσταση “ Thomas-Fermi”(Thomas-Fermi screening distance). Λόγω των αντιθέτων φορτίων των δύο επιφανειών, δημιουργείται ηλεκτροστατικό πεδίο .



**Σχήμα 1.2.1.1-2:** Ενεργειακό διάγραμμα για το ζεύγος καισίου(cesium)-βολφραμίου(tungsten): (α) Το καίσιο και το βολφράμιο δεν βρίσκονται σε επαφή και έτσι τα ενεργειακά επίπεδα “κενού” πρέπει να ταιριάζουν αν και τα δύο βρίσκονται στο ίδιο δυναμικό. (β) Τα δύο υλικά έχουν έρθει σε επαφή και ηλεκτρόνια έχουν μεταφερθεί από το καίσιο στο βολφράμιο, έως ότου οι στάθμες Fermi να

ισοσταθμιστούν. Έτσι, το βολφράμιο γίνεται αρνητικά φορτισμένο και το καίσιο θετικά φορτισμένο. Η διαφορά στα έργα εξόδου είναι ίση με 2.6 eV.

Το σχήμα 1.2.1.1-2α δείχνει το διάγραμμα δυναμικής ενέργειας για τα ηλεκτρόνια των δύο μετάλλων πριν από την επαφή, ενώ το σχήμα 1.2.1.1-2β δείχνει το διάγραμμα της δυναμικής ενέργειας μετά την επαφή και αποκατάσταση της θερμοδυναμικής ισορροπίας.

Όσον αφορά τα μονωτικά υλικά, τα ηλεκτρόνια τα οποία συμμετέχουν στην μεταφορά αυτή μεταξύ υλικών είναι κυρίως τα επιφανειακά ηλεκτρόνια.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας γενικός πίνακας τριβοηλεκτρισμού, ο οποίος ουσιαστικά δείχνει το πώς φορτίζονται κατά την τριβή διάφορα υλικά. Αυτά που απέχουν περισσότερο μεταξύ τους σε αυτόν τον πίνακα δημιουργούν προϋποθέσεις ισχυρότερης ηλεκτρικής φόρτισης σε σχέση με αυτά που απέχουν λιγότερο μεταξύ τους.

### **Τυπική τριβοηλεκτρική σειρά**

#### **Περισσότερο θετικό φορτίο(+)**

- Γούνα κουνελιού
- Γυαλί
- Μίκα
- Μαλλιά ανθρώπου
- Νάilon
- Μαλλί ζώου
- Τρίχωμα
- Μόλυβδος
- Μετάξι
- Αλουμίνιο
- Χαρτί
- Βαμβάκι
- Ατσάλι
- Ξύλο
- Ήλεκτρο
- Κερί
- Νικέλιο, χαλκός, ορείχαλκος, ασήμι
- Χρυσός, πλατίνα
- Θείο
- Συνθετικό ελαστικό

- Πολυεστέρας
- Ζελατίνη
- Πυρίτιο
- Τεφλόν

### **Περισσότερο αρνητικό φορτίο(-)**

Αυτή η διαδικασία της επαφής, της μεταφοράς ηλεκτρονίων και του διαχωρισμού των υλικών δημιουργεί ηλεκτρική φόρτιση, η ένταση και η ποσότητα της οποίας εξαρτάται και από τους εξής παράγοντες:

- Το σημείο της επαφής των δύο υλικών
- Την ταχύτητα του διαχωρισμού
- Την σχετική υγρασία περιβάλλοντος (ΣΥ)

#### **1.2.1.2 Φόρτιση μέσω μπαταρίας (πηγής τάσης)**

Συνδέοντας μια μπαταρία (πηγή τάσης) μεταξύ δύο αντικειμένων, η φόρτιση μεταφέρεται μεταξύ τους. Η μπαταρία παρέχει την ενέργεια που απαιτείται για την μεταφορά, και όχι την δημιουργία, αυτής της φόρτισης. Η ποσότητα της μεταφερόμενης φόρτισης είναι συνάρτηση της χωρητικότητας ,C, και της τάσης, V, μεταξύ των δύο αντικειμένων και παριστάνεται από την σχέση  $Q=CV$ .

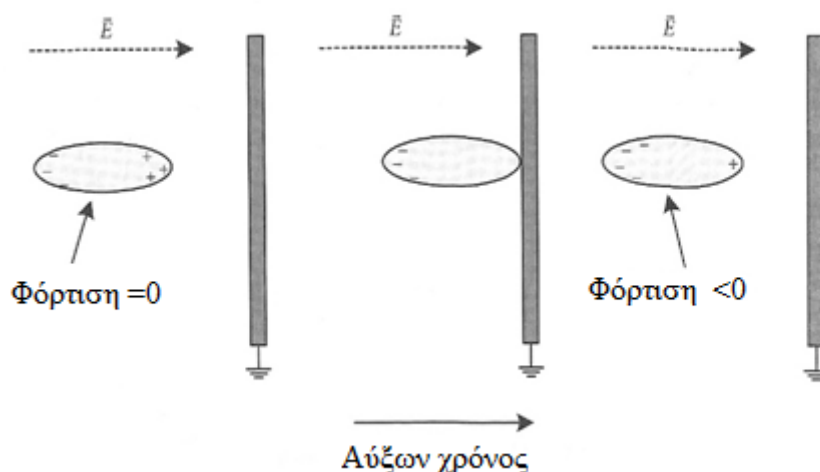
Εάν αυτά, εκ των οποίων το ένα είναι φορτισμένο, έρθουν σε ηλεκτρική επαφή, η φόρτιση μεταφέρεται μεταξύ των αντικειμένων, μέχρι η διαφορά δυναμικού τους να μηδενιστεί. Η μεταφερόμενη φόρτιση είναι μια συνάρτηση της γεωμετρίας των δύο αντικειμένων. Ακόμα και αν αυτά δεν είναι αγωγία, αλλά έχουν μονωτικές ιδιότητες, έχουν πεπερασμένη αντίσταση και φορτία θα μεταφερθούν ακόμα και μεταξύ των μονωτικών αντικειμένων. Ο χρόνος που απαιτείται για την μεταφορά ηλεκτρικών φορτίων δίνεται από την παρακάτω σχέση

$$\tau = \frac{\epsilon_r \epsilon_0}{\sigma} \quad (1.2.1.2-1)$$

,όπου  $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$  F/m,  $\epsilon_r$  είναι η σχετική διηλεκτρική σταθερά του υλικού, και  $\sigma$  είναι η αγωγιμότητα του ενδιάμεσου διαστήματος μεταξύ των αντικειμένων.

### 1.2.1.3 Φόρτιση εξ επαγωγής

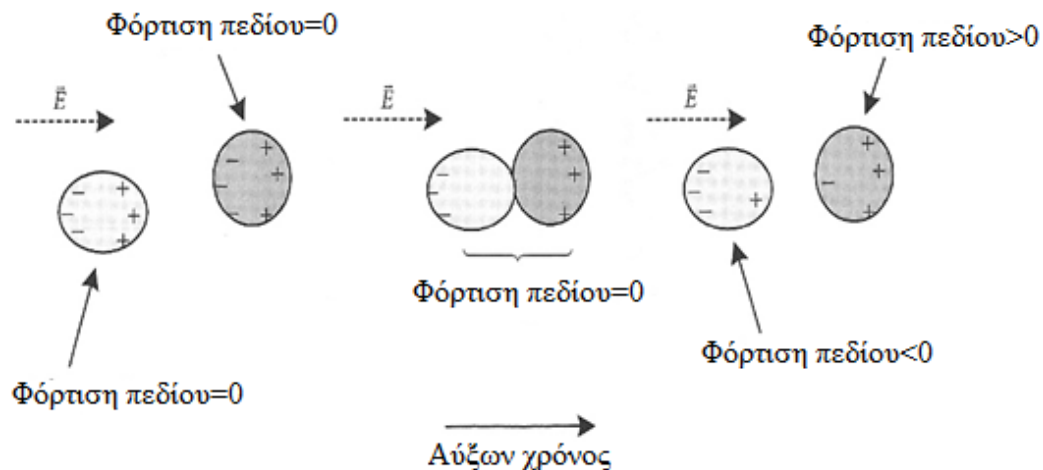
Όταν ένα αγώγιμο αντικείμενο βρεθεί μέσα σε ένα ηλεκτρικό πεδίο, τότε αυτό πολώνεται, και τα ηλεκτρικά του φορτία, θετικά και αρνητικά, διαχωρίζονται. Η έννοια της πόλωσης θα επεξηγηθεί περιληπτικά παρακάτω. Εάν το αντικείμενο είναι αρχικά απομονωμένο και ουδέτερο ηλεκτρικά, θα παραμείνει ηλεκτρικά ουδέτερο μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο πολώσεως. Παρόλα αυτά, εάν έρθει σε άμεση επαφή με διάφορα μεταλλικά υλικά ή ακόμα και τον άνθρωπο, μπορεί να φορτιστεί ηλεκτρικά. Η διαδικασία της φορτίσεως εξ επαγωγής παρουσιάζεται στην εικόνα 1.2.1.3-1.



**Εικόνα 1.2.1.3-1:** Φόρτιση αντικειμένου μέσω επαγωγής και επαφή με γειωμένη μεταλλική βέργα

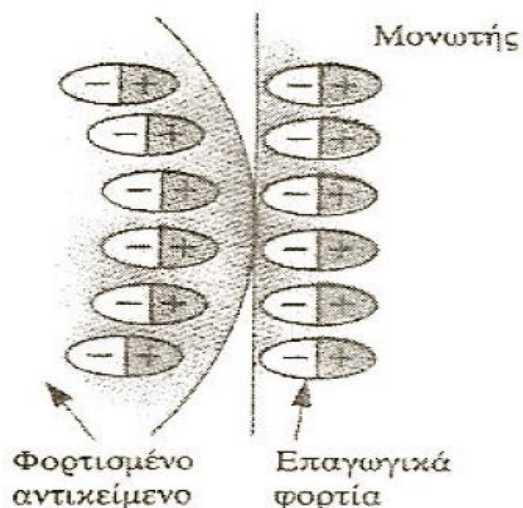
Για την εξ επαγωγής φόρτιση, είναι απαραίτητο ένα εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο, ενώ το αντικείμενο πρέπει να έχει μικρή χρονική σταθερά σε σχέση με την περίοδο επιβολής του ηλεκτρικού πεδίου και την χρονική διάρκεια επαφής με το άλλο μεταλλικό υλικό. Η φυσική επαφή μεταξύ της πηγής του ηλεκτρικού πεδίου και του αντικειμένου δεν είναι απαραίτητη κατά την φόρτιση εξ επαγωγής.

Φόρτιση εξ επαγωγής μπορεί ακόμα να συμβεί όταν δύο απομονωμένα ουδέτερα μεταλλικά αντικείμενα έρθουν σε επαφή στο εσωτερικό ενός ηλεκτρικού πεδίου πολώσεως. Μετά την επαφή, τα δύο αντικείμενα εμφανίζονται σαν ένα στο ηλεκτρικό πεδίο, και το μεγαλύτερο από αυτά πολώνεται. Εάν τα δύο αντικείμενα χωριστούν, τότε και τα δύο φορτίζονται όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.2.1.3-2.



**Εικόνα 1.2.1.3-2:** Φόρτιση αντικειμένου μέσω επαγωγής και επαφή με περιφερόμενο μεταλλικό αντικείμενο

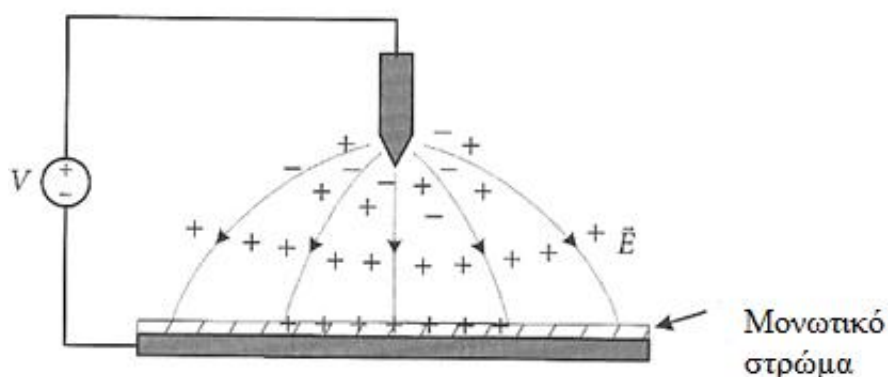
Όσον αφορά την εξ επαγωγής φόρτιση των μονωτικών υλικών, η διαδικασία μοιάζει πολύ με αυτή της φόρτισης των μετάλλων, που μόλις περιγράφηκε, με την μόνη διαφορά πως, αν ένα εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο ή ένα φορτισμένο σώμα πλησιάσει κοντά στην επιφάνεια του υλικού, τότε τα ατομικά φορτία πολώνονται. Η πόλωση αυτή των ατομικών φορτίων δημιουργεί ένα φορτίο εξ επαγωγής, που βρίσκεται όμως μόνο στην επιφάνεια του μονωτή, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4.1.3-3, και το οποίο λόγω της μονωτικής αυτής ιδιότητας δεν είναι ελεύθερο να κινηθεί, όπως στα μέταλλα.



**Εικόνα 1.2.1.3-3:** Επαφή φορτισμένου αντικειμένου με την επιφάνεια μονωτικού υλικού

#### 1.2.1.4 Φόρτιση μέσω του φαινομένου Corona

Γενικά, αυτό το είδος φόρτισης χρησιμοποιείται με σκοπό την ουδετεροποίηση φορτισμένων επιφανειών που μπορεί να κινδυνεύουν από το φαινόμενο ESD (ηλεκτροστατική εκφόρτιση). Το επόμενο σχήμα δείχνει την εφαρμογή θετικής, συνεχούς (DC) τάσης σε ένα αιχμηρό ηλεκτρόδιο. Θετικά ιόντα κατακάθονται σε μια μονωτική επιφάνεια και δημιουργούν το δικό τους ηλεκτρικό πεδίο. Αυτό το ηλεκτρικό πεδίο μπορεί να διασπάσει το μέσο γύρω από αυτό, συμπεριλαμβανομένου και του μονωτικού επιπέδου, και τελικά δημιουργείται ιονισμός. Αυτό το πεδίο και τα ιόντα που ενεργοποιούνται από τον ιονισμό θα περιορίσουν την δημιουργία φόρτισης πάνω στην μονωτική επιφάνεια.



**Εικόνα 1.2.1.4-1:** Φόρτιση ενός μονωτικού επιπέδου μέσω του φαινομένου Corona

Αρνητικές, συνεχείς τάσεις χρησιμοποιούνται με σκοπό την ενεργοποίηση αρνητικών ιόντων, ενώ εναλλασσόμενες τάσεις (AC) χρησιμοποιούνται για την ενεργοποίηση και των δύο ειδών ιόντων.

Εκτός των προαναφερθέντων, υπάρχουν και άλλες μέθοδοι δημιουργίας ηλεκτροστατικής φόρτισης, όπως είναι μέσω ακτινών ψύξης, ιόντων και ηλεκτρονίων, μέσω θερμιονικής εκπομπής, μέσω του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, της ραδιενεργού αποσύνθεσης, της πεδιακής εκπομπής και της μηχανικής διάσπασης.

Ηλεκτροστατική φόρτιση μπορεί να δημιουργηθεί ακόμα και σε υγρά τα οποία διέρχονται μέσω μηχανισμών ψεκασμού, παρά την έλλειψη εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου.

### 1.2.1.5 Η μικροσκοπική προσέγγιση της πόλωσης των διηλεκτρικών υλικών

Μια ηλεκτρική διπολική ροπή είναι ο συνδυασμός ενός θετικού φορτίου  $+Q$  και ενός ίσου σε μέτρο αρνητικού φορτίου  $-Q$ . Αν  $\mathbf{a}$  είναι το διάνυσμα από το αρνητικό στο θετικό φορτίο, τότε η **ηλεκτρική διπολική ροπή** ορίζεται διανυσματικά ως

$$\mathbf{p} = Q\mathbf{a} \quad (1.2.1.5-1)$$

Τα υλικά, αγωγά και μη, αν και είναι ηλεκτρικά ουδέτερα ( $Q_{\text{συνολικό}}=0$ ), αποτελούνται από μόρια, τα οποία με τη σειρά τους αποτελούνται από φορτισμένα σωματίδια (θετικά φορτισμένους πυρήνες και αρνητικά ηλεκτρονικά νέφη). Όταν δεν εφαρμόζεται εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο, συμπίπτουν τα στατιστικά κέντρα των θετικών και αρνητικών φορτίων. Το ίδιο ισχύει και για κάθε άτομο ξεχωριστά.

Τα φορτισμένα σωματίδια επηρεάζονται από την επίδραση κάποιου εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου, το οποίο ασκεί αντίθετες δράσεις στα θετικά και αρνητικά φορτισμένα τμήματα του μορίου, προκαλώντας αντίθετες μετατοπίσεις σχετικά με τις θέσεις ισορροπίας τους και, έτσι, **πολώνει** το μόριο.

Για τα διηλεκτρικά (μονωτικά) υλικά κυρίως, αυτές οι μετατοπίσεις περιορίζονται από ισχυρές δυνάμεις αποκατάστασης, οι οποίες προκαλούνται από την νέα κατανομή φορτίων μέσα στα άτομα και στα μόρια, έτσι ώστε σπάνια να ξεπερνούν ένα μικρό κλάσμα της διαμέτρου του μορίου. Όσο μικρότερες μονωτικές ιδιότητες έχει ένα υλικό, τόσο μεγαλύτερες είναι οι μετατοπίσεις μεταξύ των θετικών και αρνητικών φορτίων.

Η διπολική συμπεριφορά ενός μορίου προκύπτει από κυρίως τρεις διαφορετικές αιτίες. Η πρώτη είναι ότι το ηλεκτρονικό νέφος κάθε ατόμου μετακινείται σχετικά με τον πυρήνα του, λόγω της παρουσίας κάποιου ηλεκτρικού πεδίου, με αποτέλεσμα τη δημιουργία διπολικής ροπής. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ηλεκτρονική πόλωση** ( $\alpha_e$ ). Η δεύτερη αιτία είναι ότι το μόριο μπορεί να σχηματιστεί από αντίθετα φορτισμένα ιόντα, τα οποία μπορούν να μετακινηθούν από τις θέσεις ισορροπίας τους υπό την επίδραση ενός ηλεκτρικού πεδίου, με αποτέλεσμα την **ιοντική ή μοριακή πόλωση** ( $\alpha_i$ ). Η τρίτη αιτία είναι ότι το μόριο μπορεί να αποτελείται από διάταξη ατόμων, τα οποία, ακόμη και κατά την απουσία ηλεκτρικού πεδίου, δημιουργούν διπολικές ροπές τυχαία προσανατολισμένες στο χώρο. Η παρουσία ηλεκτρικού πεδίου στη συνέχεια προκαλεί μερικό προσανατολισμό των διπολικών ροπών προς την κατεύθυνσή του, με αποτέλεσμα την **πόλωση λόγω προσανατολισμού** ( $\alpha_d$ ). Οι τρεις αυτές αιτίες μπορεί να υπάρχουν ταυτόχρονα σε κάποιο υλικό. Όταν συνυπάρχουν οι μηχανισμοί της ηλεκτρονικής πόλωσης, της ιοντικής πόλωσης και της πόλωσης προσανατολισμού, τότε η μέση επαγόμενη



διπολική ροπή ανά μόριο θα είναι το άθροισμα όλων των συνιστωσών με όρους τοπικού ηλεκτρικού πεδίου  $\vec{E}$ ,

$$\mathbf{p}_{\text{μέση}} = \alpha_e \mathbf{E} + \alpha_i \mathbf{E} + \alpha_d \mathbf{E} = (\alpha_e + \alpha_i + \alpha_d) \mathbf{E} \quad (1.2.1.5-2)$$

Υπάρχει και η λεγόμενη **διεπιφανειακή πόλωση** ( $\alpha_{if}$ ), η οποία όμως δεν μπορεί να προστεθεί στην παραπάνω εξίσωση, αφού εμφανίζεται στις διεπιφάνειες. Λίγα λόγια και για αυτή την μορφή πόλωσης θα διατυπωθούν παρακάτω.

### Ηλεκτρονική πόλωση

Το μοντέλο ενός ατόμου αποτελείται από τον θετικά φορτισμένο πυρήνα, με φορτίο έστω  $+q$ , και ένα σφαιρικά συμμετρικό ηλεκτρονικό νέφος, με συνολικό φορτίο έστω  $-q$  και σταθερή πυκνότητα, το οποίο τον περιβάλλει.

Ο πυρήνας θεωρείται ως σημειακό φορτίο, με πολύ μικρή ακτίνα σε σχέση με την ακτίνα  $R$  του ηλεκτρονικού νέφους. Χωρίς την επίδραση εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου, η διπολική ροπή του ατόμου είναι μηδενική. Με την παρουσία ηλεκτρικού πεδίου  $\vec{E}$ , ο πυρήνας μετακινείται προς την κατεύθυνσή του και το ηλεκτρονικό νέφος αντίθετα, προκαλώντας παραμόρφωση στο άτομο. Επειδή τα ηλεκτρόνια έχουν πολύ μικρή μάζα, χαρακτηρίζονται από πολύ γρήγορη αντίδραση στις μεταβολές του επιβαλλόμενου ηλεκτρικού πεδίου.

Τώρα το κέντρο του αρνητικού φορτίου δεν συμπίπτει πλέον με τον θετικό πυρήνα και γι' αυτό εμφανίζεται ηλεκτρική διπολική ροπή. Όταν οι τιμές του ηλεκτρικού πεδίου δεν είναι πολύ μεγάλες, η απόσταση μεταξύ των δύο φορτίων και επομένως η διπολική ροπή  $\vec{p}_e$  είναι ανάλογη του πεδίου, ενώ ισχύει η σχέση  $\vec{p}_e = \alpha_e \vec{E}$ , με  $\alpha_e = 4\pi\epsilon_0 R^3$  να ορίζεται ως η ηλεκτρονική πολωσιμότητα του ατόμου και είναι χαρακτηριστικό μέγεθος για κάθε άτομο.

### Ιοντική πόλωση

Η ιοντική πόλωση (ή αλλιώς μοριακή πόλωση) εμφανίζεται στους ιοντικούς κρυστάλλους, όπως το NaCl, το KCl και το LiBr. Οι ιοντικοί κρύσταλλοι αποτελούνται από διακριτά ιόντα που καταλαμβάνουν συγκεκριμένες πλεγματικές θέσεις και κάθε ζεύγος αντίθετα φορτισμένων ιόντων έχει διπολική ροπή. Η διπολική ροπή  $\mathbf{p}_i$  για το κάθε ζεύγος ιόντων του πλέγματος ισούται με  $\mathbf{p}_i = q\mathbf{a}_i$ , όπου  $q$  είναι κατά απόλυτη τιμή το φορτίο των ιόντων του ζεύγους και  $a_i$  είναι η απόσταση μεταξύ των φορτίων  $+q$  και  $-q$ . Απουσία εξωτερικού πεδίου, το στερεό δεν έχει συνολική

πόλωση, αφού οι διπολικές ροπές έχουν ίδια μέτρα και αντίθετους προσανατολισμούς, και έτσι εξουδετερώνονται ανά δύο, δηλαδή ισχύει ότι  $\sum \mathbf{p}_i = \mathbf{0}$ .

Παρουσία ενός πεδίου  $\vec{E}$ , η συνολική ροπή πλέον δεν είναι μηδενική, αλλά εξαρτάται από το ηλεκτρικό πεδίο  $\vec{E}$ . Ισχύει η σχέση  $\mathbf{p}_{\text{μέση}} = \alpha_i \mathbf{E}$ , όπου  $\alpha_i$  η ιοντική πολωσιμότητα που ορίζεται συναρτήσει του πεδίου που επενεργεί σε κάθε ιόν.

### Πόλωση προσανατολισμού

Πόλωση διπολικού προσανατολισμού εμφανίζουν συνήθως τα πολικά υγρά (π.χ. νερό, αλκοόλες, ακετόνες και διάφοροι ηλεκτρολύτες) και τα πολικά αέρια (π.χ. αέριο HCl και ατμός). Μπορεί επίσης να παρουσιαστεί στα στερεά αν αυτά περιέχουν μόνιμα δίπολα εντός της δομής τους (μόνιμη διπολική ροπή  $p_0$ ).

Στην υγρή ή τη στερεά κατάσταση, και απουσία ηλεκτρικού πεδίου, τα μόρια έχουν τυχαίους προσανατολισμούς. Όταν εφαρμοστεί ένα ηλεκτρικό πεδίο, τότε τα δίπολα τείνουν να ευθυγραμμιστούν προς το πεδίο. Τα αντίθετα φορτία υφίστανται δυνάμεις που τα ωθούν προς αντίθετες κατευθύνσεις, όμως ο στερεός δεσμός ανάμεσα στα ιόντα αυτά τα συγκρατεί ενωμένα, γεγονός που συνεπάγεται ότι στο μόριο επενεργεί μια ροπή γύρω από το κέντρο μάζας του. Η ροπή προκαλεί την περιστροφή του μορίου και την ευθυγράμμιση της με το πεδίο  $\vec{E}$ . Αν όλα τα μόρια μπορούσαν να περιστραφούν και να ευθυγραμμιστούν με το εφαρμοζόμενο πεδίο, τότε η πόλωση του στερεού θα ήταν  $P = Np_0$ , όπου  $N$  το πλήθος των μορίων ανά μονάδα όγκου. Εξαιτίας όμως της θερμικής ενέργειας, τα μόρια κινούνται με τυχαίο τρόπο στον χώρο και συγκρούονται μεταξύ τους και με τα τοιχώματα του δοχείου. Οι συγκρούσεις αυτές καταστρέφουν την ευθυγράμμιση των διπόλων. Επομένως, η θερμική ενέργεια καθιστά τον προσανατολισμό των διπολικών ροπών, τυχαίο. Υπάρχει όμως μια μέση διπολική ροπή ανά μόριο,  $p_{\text{μέση}}$ , η οποία δεν είναι μηδενική και είναι προσανατολισμένη σύμφωνα με το πεδίο. Άρα έχουμε ολική πόλωση του υλικού, την **πόλωση προσανατολισμού**.

Η μέση διπολική ροπή στην πόλωση προσανατολισμού, λαμβάνοντας υπόψη ότι η ενέργεια των διπόλων ακολουθεί την κατανομή Boltzmann, ότι δηλαδή η πιθανότητα να έχει ένα δίπολο ενέργεια  $E$  είναι ανάλογη του  $\exp(-E/kT)$ , ισούται με

$$p_{\text{μέση}} = \frac{p_0^2 E}{3kT}, \text{ με } p_0 = \alpha Q \quad (1.2.1.5-5)$$

Η πολωσιμότητα διπολικού προσανατολισμού  $\alpha_d$ , σε αντίθεση με την ηλεκτρονική και ιοντική πολωσιμότητα, εξαρτάται έντονα από τη θερμοκρασία, όπως φαίνεται και από τη σχέση

$$\alpha_d = \frac{p^2_0}{3kT} \quad (1.2.1.5-6)$$

### **Διεπιφανειακή πόλωση**

Η διεπιφανειακή πόλωση λαμβάνει χώρα όταν υπάρχει συσσώρευση φορτίου στην διεπιφάνεια μεταξύ δύο υλικών ή μεταξύ δύο περιοχών του ίδιου υλικού. Το απλούστερο παράδειγμα αυτού του φαινομένου είναι η διεπιφανειακή πόλωση που οφείλεται στη συσσώρευση φορτίου στο διηλεκτρικό στην περιοχή κοντά σε ένα από τα ηλεκτρόδια.

Εάν σε ένα υλικό υπάρχει ίσος αριθμός θετικών και αρνητικών ιόντων, η εφαρμογή ενός ηλεκτρικού πεδίου σε αυτά έχει ως αποτέλεσμα τα θετικά ιόντα να μετακινηθούν προς το αρνητικό ηλεκτρόδιο. Τα θετικά ιόντα όμως δεν μπορούν να εξέλθουν από το διηλεκτρικό και να εισέλθουν στην κρυσταλλική δομή του μεταλλικού ηλεκτροδίου. Έτσι, συσσωρεύονται απλώς στην διεπιφάνεια, δημιουργώντας ένα θετικό, χωρικό, επιφανειακό φορτίο, το οποίο και έλκει όλο και περισσότερα ηλεκτρόνια στο αρνητικό ηλεκτρόδιο.

Ο όρος διεπιφανειακή πόλωση προκύπτει, επειδή τα θετικά φορτία που συσσωρεύονται στην διεπιφάνεια και τα αρνητικά φορτία του διηλεκτρικού δημιουργούν διπολικές ροπές.

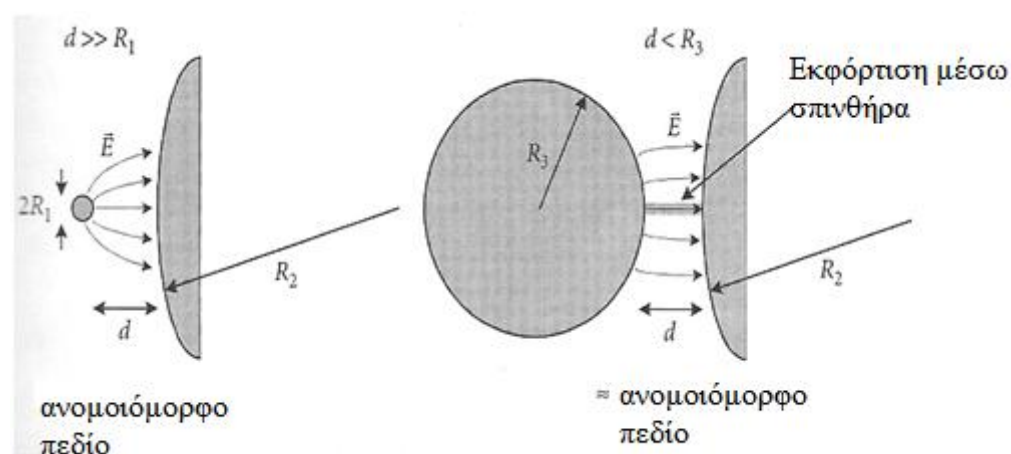
Περισσότερες πληροφορίες περί του φαινομένου της πόλωσης και των κατηγοριών αυτής μπορούν να αναζητηθούν σε σχετική βιβλιογραφία.

### **1.2.2 Κατηγοριοποίηση των Ηλεκτροστατικών Εκφορτίσεων**

Στις περισσότερες των περιπτώσεων δεν είναι αναγκαίο να υπάρχουν δύο αγώγιμα ηλεκτρόδια για να συμβεί εκφόρτιση. Επιπλέον, γειώνοντας ένα αγώγιμο αντικείμενο δεν εξαλείφεται πλήρως ο κίνδυνος εμφάνισης εκφορτίσεων. Εκφόρτιση μπορεί να γίνει και από μια μονωτική επιφάνεια σε ένα γειτονικό αγώγιμο ηλεκτρόδιο.

Ένας γνωστός τρόπος ηλεκτροστατικής εκφόρτισης είναι με την εκδήλωση σπινθήρων, φαινόμενο που συμβαίνει κατά την διάσπαση του αέρα μεταξύ δύο απομονωμένων ηλεκτροδίων ή αγώγιμων αντικειμένων, όταν η διαφορά δυναμικού μεταξύ τους είναι επαρκώς μεγάλη. Για την αποφυγή εκδήλωσης κάθε άλλου είδους

εκφόρτισης, και τα δύο ηλεκτρόδια δεν πρέπει να είναι τόσο αιχμηρά, έτσι ώστε το πεδίο μεταξύ τους να είναι σχετικά ομογενές. Για να είναι το πεδίο ομογενές, η απόσταση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων πρέπει να είναι μικρότερη από την ακτίνα καμπυλότητας της επιφάνειας και των δύο ηλεκτροδίων. Τότε είναι και πιο πιθανό να εμφανιστούν σπινθηρισμοί διάσπασης του αέρα μεταξύ των ηλεκτροδίων. Σε αντίθετη περίπτωση, αν η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων είναι μεγαλύτερη από την ακτίνα ενός έστω ηλεκτροδίου, το ηλεκτρικό πεδίο είναι ανομοιογενές μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.2.2-1:

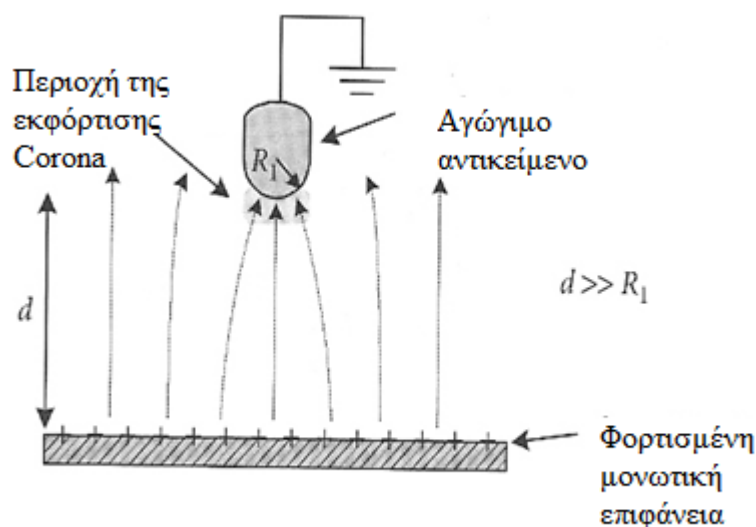


**Εικόνα 1.2.2-1:** Ζεύγη ηλεκτροδίων με διαφορετικές ακτίνες καμπυλότητας

Αυτού του είδους η εκφόρτιση θεωρείται ο πιο συνηθισμένος τρόπος εκφόρτισης σε ηλεκτροστατικούς κινδύνους, όπως είναι κατά το άγγιγμα του πόμολου μιας πόρτας. Η μέγιστη δυνατή ενέργεια που μπορεί να απελευθερωθεί είναι ίση με  $CV^2/2$ , όπου  $C$  είναι η χωρητικότητα μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων και  $V$  είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ τους. Ο μηδενισμός της διαφοράς δυναμικού, γειώνοντας τα δύο ηλεκτρόδια, είναι ένας τρόπος αντιμετώπισης της εκφόρτισης αυτής, που μπορεί να εγκυμονεί κινδύνους.

Ένας άλλος τρόπος ηλεκτροστατικής εκφόρτισης είναι μέσω του φαινομένου Corona, όπου όταν η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, κοντά σε μια αιχμηρή, αγωγική επιφάνεια σε ακτίνα καμπυλότητας μικρότερη από 5mm είναι επαρκώς μεγάλη, παρατηρείται τοπική διάσπαση κοντά στην επιφάνεια. Η τάση εφαρμογής που απαιτείται για την εκδήλωση της διάσπασης εξαρτάται από την πολικότητα της τάσης. Το φαινόμενο Corona κατηγοριοποιείται σε ενεργή και παθητική Corona. Για την ενεργή Corona, το ηλεκτρόδιο συνδέεται απ' ευθείας στην πηγή τάσης. Για την παθητική Corona, το ηλεκτρόδιο είτε γειώνεται, είτε βρίσκεται στον αέρα, και το ηλεκτρόδιο βρίσκεται ολόκληρο ή μόνο ένα τμήμα του μέσα σε ένα εξωτερικά

επιβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο. Στην Εικόνα 1.2.2-2, το ηλεκτρικό πεδίο που απαιτείται για την εκδήλωση του φαινομένου Corona προέρχεται από μια γειτονική μονωτική επιφάνεια:



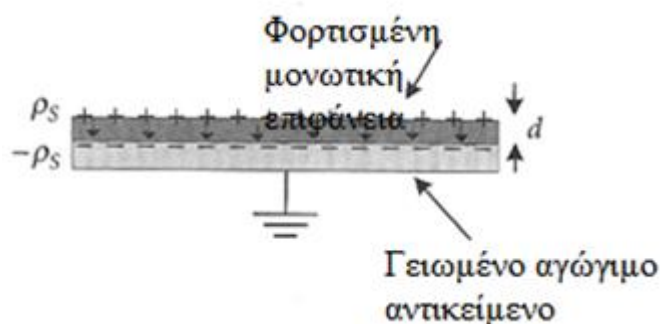
**Εικόνα 1.2.2-2:** Ενεργοποίηση της παθητικής Corona σε ένα γειωμένο αντικείμενο από ηλεκτρικό πεδίο προερχόμενο από γειτονική μονωτική επιφάνεια

Ακόμα, εκφόρτιση Corona μπορεί να συμβεί μεταξύ δύο ηλεκτροδίων, με επαρκή διαφορά δυναμικού μεταξύ τους και ανομοιόμορφο ηλεκτρικό πεδίο.

Όταν το ηλεκτρικό πεδίο κοντά σε ένα ηλεκτρόδιο με ακτίνα καμπυλότητας μεταξύ 5mm και 50mm είναι επαρκώς μεγάλη (περίπου 500kV/m), παρατηρούνται πολλαπλά μονοπάτια εκφόρτισης. Σε κάθε τέτοια διάσπαση, η ποσότητα της ενέργειας που απελευθερώνεται είναι αρκετά μικρότερη σε σχέση με μια διάσπαση Corona. Τυπικά, αυτή η εκφόρτιση είναι μια ηλεκτρική διάσπαση μεταξύ ενός αγώγιμου ηλεκτροδίου και μιας μη-αγώγιμης επιφάνειας. Όταν ένα μεταλλικό εργαλείο ή το ανθρώπινο δάκτυλο, για παράδειγμα, πλησιάζει σε φορτισμένα μονωτικά αντικείμενα, όπως είναι τσάντες ή σωλήνες, μπορεί να εμφανιστεί αυτό το είδος εκφόρτισης. Μπορεί επίσης να παρατηρηθεί, όταν αγώγιμα αντικείμενα εισέρχονται σε μια φορτισμένη περιοχή. Το ηλεκτρικό πεδίο ενεργοποίησης της εκφόρτισης αυτής μπορεί να ενεργοποιηθεί με την φόρτιση του ηλεκτροδίου ή μιας γειτονικής μονωτικής επιφάνειας.

Το είδος της εκφόρτισης που θεωρείται όμως πιο δυναμικό και παρατηρείται σε παραλλαγή κατά την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η

εκφόρτιση Lichtenberg. Θεωρείται ως η πηγή πολλών σοβαρών ηλεκτροστατικών ατυχημάτων. Αυτή παρατηρείται εάν μια μονωτική επιφάνεια έχει πάχος 1mm-8mm με ένα αγώγιμο, γειωμένο υλικό από κάτω, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.2.2-3.



**Εικόνα 1.2.2-3:** Διπλό επίπεδο φόρτισης πάνω σε μονωτική πλάκα

Θετικό φορτίο εμφανίζεται στο πάνω μέρος της επιφάνειας του μονωτικού και αρνητικό φορτίο στο κάτω μέρος της επιφάνειας του αγώγιμου αντικειμένου, το οποίο οφείλεται στην έλξη των ηλεκτρονίων από το θετικό φορτίο. Το πλάτος του ηλεκτρικού πεδίου  $|\vec{E}|$ , στο εσωτερικό της μονωτικής πλάκας, και η διαφορά δυναμικού,  $\Delta\Phi$ , στο πάχος  $d$  είναι ίσα με

$$|\vec{E}| = \frac{\rho_s}{k\varepsilon_0} \Rightarrow \Delta\Phi = \int \vec{E} \cdot d\vec{L} = \frac{\rho_s d}{k\varepsilon_0} \quad (1.2.2-1)$$

Ο γενικός τύπος της ενέργειας που αποθηκεύεται στο ηλεκτροστατικό ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ του διπλού στρώματος ισούται με

$$E = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \left( \frac{k\varepsilon_0 A}{d} \right) \left( \frac{\rho_s d}{k\varepsilon_0} \right)^2 = \frac{\rho_s^2 Ad}{2k\varepsilon_0} \quad (1.2.2-2)$$

,όπου  $A$  είναι το εμβαδόν των επιφανειών. Η αποθηκευμένη ενέργεια αυξάνεται με το πάχος  $d$  της μονωτικής πλάκας και ελαττώνεται με την αύξηση της διηλεκτρικής σταθεράς  $\varepsilon_0$ , υπό κανονικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Σε αντίθετη περίπτωση, η ενέργεια του ηλεκτροστατικού πεδίου επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες εκτός από την γεωμετρία της διάταξης των επιφανειών, όπως είναι η θερμοκρασία ( $\theta$ ), η πίεση ( $P$ ) και η σχετική υγρασία ( $\Sigma Y$ ) του ατμοσφαιρικού αέρα, και δίνεται από μια σχέση της μορφής

$$E = \frac{1}{2} CV^2 * f\left(\frac{\theta}{P, \Sigma Y}\right) = \frac{\rho^2_s Ad}{2k\epsilon_0} * f\left(\frac{\theta}{P, \Sigma Y}\right), \quad (1.2.2-3)$$

όπου

- C είναι η χωρητικότητα του πυκνωτή που συνθέτουν τα υλικά που υπόκεινται την ηλεκτροστατική φόρτιση
- V είναι η τάση λόγω της ηλεκτροστατικής φόρτισης και
- $f\left(\frac{\theta}{P, \Sigma Y}\right)$  είναι μια συνάρτηση, η τιμή της οποίας γίνεται μεγαλύτερη με την αύξηση της θερμοκρασίας ( $\theta$ ), ενώ μειώνεται με την αύξηση της πίεσης (P) και της σχετικής υγρασίας ( $\Sigma Y$ ) του αέρα.

Η εκφόρτιση Lichtenberg (Lichtenberg discharge) μπορεί να αναφλέξει ατμούς, γκάζι και σκόνη. Μονωτικά αντικείμενα, όπου η άλλη εξωτερική επιφάνεια είναι αγωγίμη και γειωμένη (μέσω γειωτικής ταινίας, υγρασίας ή επαφής με το χέρι), πρέπει να αποφεύγονται.

Για την μείωση της πιθανότητας εμφάνισης μιας τέτοιας εκφόρτισης, είτε οι μονωτικές επιφάνειες αντικαθίστανται από πιο αγωγίμη υλικά, έτσι ώστε οποιαδήποτε φόρτιση να μπορέσει να απομακρυνθεί, είτε τα μονωτικά υλικά αντικαθίστανται από άλλα λιγότερο μονωτικά υλικά, με σκοπό η πιθανότητα διάσπασης του υλικού να είναι μεγάλη, πριν εμφανιστεί μεγάλη πυκνότητα φόρτισης στην επιφάνειά του.

### **1.2.3 Αγωγιμότητα υλικών**

Τα διάφορα υλικά κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τις ιδιότητές τους. Ανάλογα με την ικανότητά τους να επιτρέπουν ή όχι την ροή του ηλεκτρικού ρεύματος στην επιφάνειά τους ή στον όγκο τους, μπορούν να τοποθετηθούν σε 3 κατηγορίες:

- Μονωτικά υλικά
- Αγωγίμη υλικά
- Ηλεκτρικά αντιστατικά-διαχυστικά υλικά (static dissipative)

#### **Μονωτικά υλικά**

Ένα υλικό που εμποδίζει ή περιορίζει την ροή των ηλεκτρονίων στην επιφάνειά του ή μέσα στον όγκο του ονομάζεται μονωτικό. Τα μονωτικά υλικά έχουν

εξαιρετικά μεγάλη ειδική ηλεκτρική αντίσταση, γενικά μεγαλύτερη από  $10^{12} \Omega/\text{m}^2$  (επιφανειακή αντίσταση) και  $10^{11} \Omega\text{-cm}$  (αντίσταση όγκου). Μια μεγάλη ποσότητα φόρτισης μπορεί να ενεργοποιηθεί στην επιφάνεια ενός μονωτικού, όπου όμως τα θετικά και τα αρνητικά ηλεκτρικά φορτία μπορούν να βρίσκονται σε διαφορετικά σημεία και να παραμείνουν στην επιφάνεια του υλικού για μεγάλο χρονικό διάστημα.

### **Αγώγιμα υλικά**

Ένα αγώγιμο υλικό, λόγω της χαμηλής του ηλεκτρικής αντίστασης, επιτρέπει στα ηλεκτρόνια να ρέουν με πολύ μεγάλη ευκολία στην επιφάνειά του ή μέσω του όγκου του. Τα αγώγιμα υλικά έχουν χαμηλή ειδική αντίσταση, γενικά χαμηλότερη από  $10^5 \Omega/\text{m}^2$  (ειδική αντίσταση επιφάνειας) και  $10^4 \Omega\text{-cm}$  (ειδική αντίσταση όγκου). Όταν ένα αγώγιμο αντικείμενο φορτίζεται ηλεκτρικά (θετικά ή αρνητικά), η φόρτιση θα διανεμηθεί ομοιόμορφα στην επιφάνειά του. Εάν το αγώγιμο, ηλεκτρικά φορτισμένο υλικό έρθει σε επαφή με ένα άλλο αγώγιμο υλικό, τότε τα ηλεκτρόνια θα μεταφερθούν από το ένα στο άλλο με σχετική ευκολία. Εάν το δεύτερο υλικό γειωθεί με κάποιο τρόπο, τα ηλεκτρόνια θα ρέουν στο έδαφος και το υλικό θα γίνει ηλεκτρικά ουδέτερο. Η ηλεκτροστατική φόρτιση μπορεί να δημιουργηθεί τριβοηλεκτρικά στους αγωγούς, όπως και στα μονωτικά. Όσο ο αγωγός είναι απομονωμένος από άλλους αγωγούς ή από το έδαφος, η φόρτιση θα παραμείνει στον αγωγό. Εάν ο αγωγός γειωθεί, η φόρτιση κατευθύνεται προς το έδαφος, ενώ εάν έρθει σε επαφή με άλλον αγωγό, η φόρτιση θα ρέει μεταξύ των δύο αγωγών.

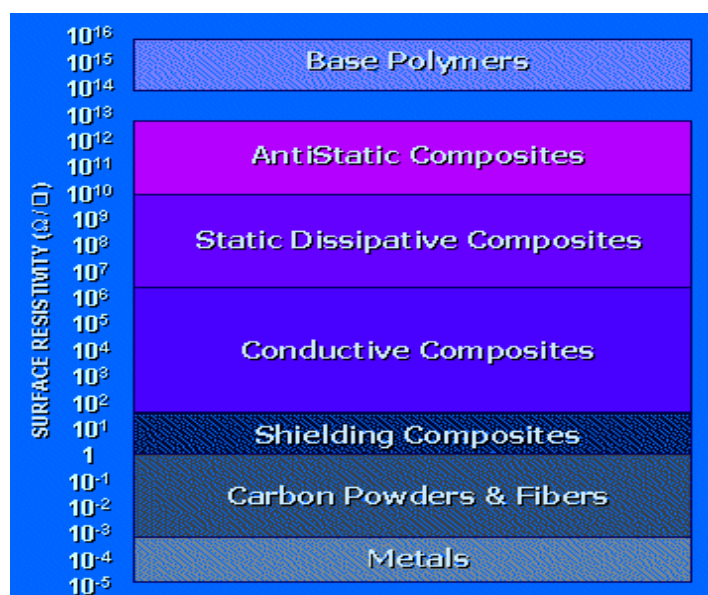
### **Ηλεκτρικά αντιστατικά-διαχυτικά υλικά**

Ένα ηλεκτρικά διαχυτικό υλικό έχει τιμές ειδικής αντίστασης μεταξύ ενός αγώγιμου και ενός μονωτικού υλικού, τόσο επιφανειακής ( $10^5$ -  $10^{12} \Omega/\text{m}^2$ ), όσο και όγκου ( $10^4$ - $10^{11} \Omega\text{-cm}$ ). Μπορεί να υπάρξει ροή ηλεκτρονίων στην επιφάνεια ή διαμέσου του υλικού, αλλά ελέγχεται από την επιφανειακή αντίσταση ή την αντίσταση όγκου του υλικού.

Όπως και με τα αγώγιμα υλικά, το αντιστατικό υλικό μπορεί να επιστρέψει την ροή του φορτίου προς άλλα αγώγιμα αντικείμενα ή προς το έδαφος. Η μεταφορά της ηλεκτρικής φόρτισης από ένα διαχυτικό υλικό αργοπορεί γενικά περισσότερο από ένα αγώγιμο υλικό και είναι γρηγορότερη σε σχέση με ένα μονωτικό υλικό.

Η Εικόνα 1.2.3-1 δείχνει την κατάταξη των διαφόρων υλικών ανάλογα με την ικανότητά τους να άγουν τα ελεύθερα ηλεκτρικά φορτία:





**Εικόνα 1.2.3-1** : Η ειδική επιφανειακή αντίσταση διαφόρων κατασκευαστικών και μη υλικών

#### **1.2.4 Συνέπειες της Ηλεκτροστατικής Εκκένωσης(ESD)**

Η ηλεκτροστατική εκκένωση μπορεί να μεταβάλλει τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μιας αγώγιμης ή ημιαγώγιμης συσκευής, ελαττώνοντας την απόδοσή της ή καταστρέφοντάς την. Η εκκένωση αυτή μπορεί ακόμα να διαστρεβλώσει την κανονική λειτουργία ενός ηλεκτρονικού συστήματος, προκαλώντας την δυσλειτουργία του ή την καταστροφή του. Ένα άλλο πρόβλημα που προκαλείται από τον στατικό ηλεκτρισμό συμβαίνει στα καθαρά, λεία δωμάτια. Οι φορτισμένες επιφάνειες μπορούν να έλκουν και να κατακρατούν σωματίδια, κάνοντας την απομάκρυνσή τους από το γύρω περιβάλλον εξαιρετικά δύσκολη.

Τα φορτισμένα υλικά έχουν ένα ηλεκτροστατικό πεδίο και δυνάμεις που σχετίζονται με αυτά. Τα αγώγιμα υλικά που βρίσκονται στην ακτίνα αυτού του ηλεκτρικού πεδίου θα πολωθούν μέσω της διαδικασίας της επαγωγής. Ένα αρνητικό ηλεκτρικό πεδίο θα απωθήσει τα ηλεκτρόνια της επιφάνειας του αγώγιμου αντικειμένου που είναι εκτεθειμένο στο πεδίο. Ένα θετικό ηλεκτρικό πεδίο θα προσελκύσει ηλεκτρόνια της επιφάνειας του υλικού, αφήνοντας έτσι περιοχές θετικά φορτισμένες πάνω στο υλικό. Κατά τη διάρκεια της πόλωσης δεν παρατηρείται καμία ουσιαστική αλλαγή στο ολικό φορτίο του υλικού.

Παρόλα αυτά εάν το υλικό είναι ηλεκτρικά αγώγιμο και έρθει σε επαφή με το έδαφος ενώ είναι πολωμένο, θα πραγματοποιηθεί ροή φορτίων από ή προς το έδαφος με σκοπό την εξισορρόπηση της ασταθούς φόρτισης. Εάν το ηλεκτροστατικό πεδίο

απομακρυνθεί και η γείωση αποσυνδεθεί, η φόρτιση θα παραμείνει εγκλωβισμένη στο υλικό. Εάν ένα μονωτικό αντικείμενο εισέλθει μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο, τα ηλεκτρικά δίπολα θα τείνουν να ευθυγραμμιστούν με το πεδίο, δημιουργώντας έτσι εμφανείς επιφανειακές φορτίσεις. Ένα μονωτικό μπορεί να φορτιστεί εξ επαγωγής μόνο επιφανειακά, όπως έχει ήδη προειπωθεί.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, όταν ένα υλικό, όπως το πλαστικό, έχει μονωτικές ικανότητες, τότε η δημιουργία ηλεκτρικών φορέων(κυρίως από τριβή, ολίσθηση ή διαχωρισμό υλικών) στο σημείο επαφής είναι δύσκολο να απομακρυνθεί και έτσι συσσωρεύονται στην επιφάνειά του. Ένας τρόπος καταπολέμησης αυτού του φαινομένου θα αναφερθεί παρακάτω. Η ηλεκτρική τάση που δημιουργείται δύναται να εκκενωθεί μέσω ενός ηλεκτρικού τόξου ή σπινθήρων, όταν το πλαστικό υλικό έλθει σε επαφή με παράγοντα που βρίσκεται σε διαφορετικό δυναμικό, όπως είναι το ανθρώπινο σώμα ή ένα μικροκύκλωμα. Οι σπινθήρες είναι πολύ επικίνδυνοι σε ένα εύφλεκτο περιβάλλον, όπως είναι τα χειρουργεία των νοσοκομείων ή οι χώροι φύλαξης εύφλεκτων υλικών.

Εάν η ηλεκτροστατική εκκένωση συμβεί στον άνθρωπο, το αποτέλεσμα μπορεί να ποικίλλει από μια μικρή ενόχληση έως σοβαρή ηλεκτροπληξία. Το ανθρώπινο σώμα καταλαβαίνει την ύπαρξη και την επίδραση της τάσης σε μια τιμή γύρω στα 3000 - 4000 V.

Κάποια μικροηλεκτρονικά κυκλώματα μπορούν να καταστραφούν ή να πάθουν ζημιά σε αρκετά χαμηλές τιμές τάσης, όπως είναι τα 20 V. Από τη στιγμή που ο άνθρωπος στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ο κύριος παράγοντας της εμφάνισης ηλεκτροστατικής εκκένωσης, προκαλεί πολύ συχνά ζημιά σε ευαίσθητα ηλεκτρονικά εξαρτήματα, κυρίως κατά την διαδικασία της κατασκευής και της συναρμολόγησής τους. Οι συνέπειες της εκφόρτισης μέσω ενός εξαρτήματος ευαίσθητου σε αυτήν μπορεί να ποικίλλουν από εσφαλμένες μετρήσεις έως την μόνιμη καταστροφή, οδηγώντας έτσι σε οικονομικές συνέπειες για την κατασκευάστρια εταιρία (δαπανηρές επιδιορθώσεις, ολική αντικατάσταση).

### **1.2.5 Μέθοδοι προστασίας από τις ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις**

Η προστασία από τις ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις γίνεται με μεθόδους, που αποσκοπούν στην απαγωγή των ελευθέρων ηλεκτρονίων. Σε πολλές περιπτώσεις, η εγκατάσταση ενός αντιστατικού δαπέδου είναι επαρκής για να παρέχει τον απαραίτητο έλεγχο, αλλά σε χώρους που η εμφάνιση στατικού ηλεκτρισμού είναι σίγουρη, επιπρόσθετες μέθοδοι προστασίας είναι αναγκαίες. Αυτές περιλαμβάνουν:

- την χρήση αντιστατικών παπουτσιών με αντίσταση όχι μεγαλύτερη από 50Ω, και χωρίς μεταλλική επαφή με το δάπεδο. Αυτά χρησιμοποιούνται σε χώρους όπου είναι συχνή η κίνηση των εργαζομένων
- την χρήση κατάλληλου αντιστατικού ρουχισμού
- την χρήση λουριών καρπού και αστραγάλου, που συνδέουν τον ανθρώπινο παράγοντα με την γη. Αυτά αποτελούν μια σχετικά φθηνή μέθοδο διάχυσης της ηλεκτρικής φόρτισης και της μείωσης των εκκενώσεων στο ανθρώπινο σώμα. Το μεταλλικό ηλεκτρόδιο επαφής των λουριών πρέπει να είναι σε άμεση επαφή με το δέρμα και όχι πάνω από τον ρουχισμό
- ειδικούς χώρους εργασίας, με γειωμένες ηλεκτρικές συσκευές χωρίς μεταλλική επαφή με το δάπεδο, και με γειωμένες μεταλλικές επιφάνειες
- αντιστατικές συσκευασίες ηλεκτρονικών συσκευών
- αντιστατικά-αγώγιμα δοχεία φύλαξης εύφλεκτων αερίων, όπου χρειάζονται αυτά
- ελεγκτές υγρασίας, για την επίτευξη του απαιτούμενου κάθε φορά ποσοστού εργασίας
- ειδικούς ιονιστές επιφανειών (κυρίως μονωτικών), οι οποίοι μέσω ψεκασμού εξουδετερώνουν τα υπάρχοντα ιόντα που συσσωρεύονται και δημιουργούν ηλεκτρικά πεδία, τα οποία είναι δύσκολο να απομακρυνθούν από τις επιφάνειες αυτές.

### **1.3 Αντιστατικά δάπεδα**

Κατά το παρελθόν δεν δινόταν η απαιτούμενη προσοχή στον έλεγχο ενός δαπέδου που βρισκόταν σε έναν εργασιακό χώρο γενικά ελεγχόμενο για την δημιουργία ηλεκτρικών εκκενώσεων. Έχει δημιουργηθεί η υπόθεση ότι εάν ένας εργαζόμενος είναι ουσιαστικά γειωμένος μέσω ενός λουριού γειώσεως, τοποθετημένου στον καρπό του, τότε δεν χρειάζεται γειωμένο δάπεδο εργασίας. Παρόλα αυτά, οι επιβλέποντες του χώρου εργασίας και το υπόλοιπο δυναμικό της επιχείρησης, που εισέρχονται στον χώρο αυτό και δεν εργάζονται εκεί και δεν χρησιμοποιούν λουρί γειώσεως, θα αλληλεπιδράσουν με το δάπεδο πάνω στο οποίο κινούνται. Ακόμα, αντικείμενα που κινούνται ή ολισθαίνουν πάνω σε ένα δάπεδο, μπορούν να προκαλέσουν ηλεκτροστατική φόρτιση, χωρίς να υπάρχει κάποιος τρόπος για την διάχυση ή την απορρόφησή της. Η ηλεκτροστατική φόρτιση δημιουργείται μέσω της κίνησης του προσωπικού εργασίας και της μετακίνησης εξοπλισμού του εργασιακού χώρου. Τα συνηθισμένα-συμβατικά δάπεδα δεν παρεμποδίζουν την δημιουργία φόρτισης, ούτε προσφέρουν κάποιο μέσο αφαίρεσης της ηλεκτροστατικής φόρτισης. Για τον λόγο αυτό είναι σήμερα συνηθισμένη η χρήση αντιστατικών δαπέδων σε χώρους όπου υπάρχει ανάγκη. Ο όρος αντιστατικός αναφέρεται σε μια

κατάσταση κατά την οποία η δημιουργία του στατικού ηλεκτρισμού παρεμποδίζεται κατά την επαφή και τον διαχωρισμό με ένα διαφορετικό υλικό.

Τα πιο επιθυμητά χαρακτηριστικά ενός δαπέδου είναι τα εξής:

- ικανότητα αποφόρτισης μιας ηλεκτροστατικής φόρτισης ταχύτατα από τον ανθρώπινο παράγοντα
- η δημιουργία χαμηλής τάσης ικανής για την εμφάνιση φόρτισης σε ένα άτομο που διανύει έναν χώρο, ή σε αντικείμενα που μετακινούνται πάνω στο δάπεδο
- λεία, καθαρή, στιλπνή επιφάνεια, με άριστη αντοχή στο περπάτημα πάνω σε αυτό.

Η σημαντικότερη παράμετρος για την περιγραφή ενός δαπέδου είναι η αντίστασή του προς το έδαφος, η οποία και ανάλογα με την τιμή της ελέγχει την ικανότητα απομάκρυνσης του στατικού ηλεκτρισμού από την περιοχή επαφής. Οι χώροι όπου συνήθως τοποθετούνται τα αντιστατικά δάπεδα είναι οι μονάδες επείγουσας ιατρικής (χειρουργεία, χώροι νάρκωσης, χώροι αξονικής τομογραφίας), χώροι συγκροτημάτων μηχανημάτων υψηλής τεχνολογίας όπου υπάρχει ευαίσθητος ηλεκτρονικός εξοπλισμός, όπως είναι τα τηλεφωνικά κέντρα, τα κέντρα επικοινωνιών, οι αίθουσες υπολογιστών, οι πύργοι εναέριας κυκλοφορίας, καθώς και χώροι όπου υπάρχει κίνδυνος ανάφλεξης εύφλεκτων μειγμάτων, όπως για παράδειγμα στα διυλιστήρια και σε αποθήκες πυρομαχικών.

### **1.3.1 Κατάταξη των δαπέδων βάσει της ηλεκτρικής τους αντίστασης**

Τα αντιστατικά δάπεδα μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες με βάση την ηλεκτρική τους αντίσταση, στα δάπεδα διάχυσης του ηλεκτρισμού (static dissipative flooring), στα αγωγικά δάπεδα (static conductive flooring) και στα ηλεκτρομονωτικά δάπεδα (insulating flooring):

#### **Αγωγικά Δάπεδα**

Σε αντίθεση με τα υπεραγωγικά υλικά, όπως είναι ο χαλκός, το ατσάλι, το αλουμίνιο και ο χρυσός, τα αγωγικά δάπεδα έχουν στην πραγματικότητα συγκεκριμένα όρια ηλεκτρικής αντίστασης και συγκεκριμένα μεταξύ  $2,5 \cdot 10^4$  και  $10^6$  Ω σύμφωνα με το πρότυπο ANSI/ESD STM7.1. Μπορούμε να θεωρήσουμε όμως γενικά πως ένα δάπεδο είναι αγωγικό, όταν η αντίσταση μόνωσής του βρίσκεται στην περιοχή  $10^4$ - $10^6$  Ω.

### Δάπεδα Διάχυσης του Ηλεκτρισμού

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν εκείνα τα δάπεδα που παρουσιάζουν ηλεκτρική αντίσταση προς την γη μεταξύ  $10^6 \Omega$  και  $10^9 \Omega$ .

### Μονωτικά Δάπεδα

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν εκείνα τα δάπεδα που παρουσιάζουν ηλεκτρική αντίσταση προς γη μεγαλύτερη από  $10^9 \Omega$ , και αποφεύγονται για τους χώρους που αναφέρθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου, διότι δεν απάγουν ηλεκτροστατικούς φορείς και συνεπώς φορτίζονται ηλεκτρικά, με αποτέλεσμα να είναι ακατάλληλα.

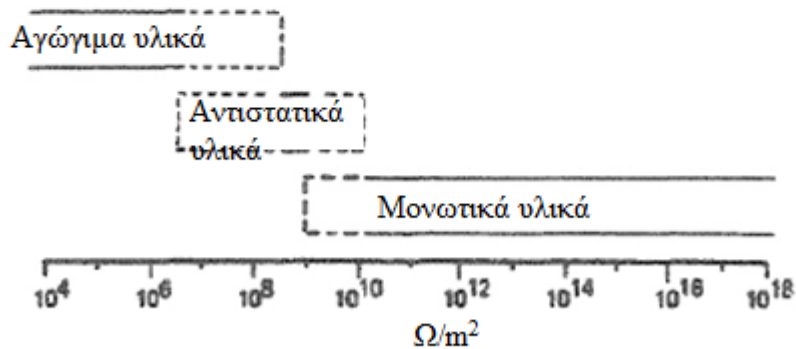
Οι τιμές της αντίστασης που παρουσιάζουν οι παραπάνω κατηγορίες δαπέδων μπορούν να μεταβληθούν και αυτό εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως είναι:

- ο χρόνος, όπου με την πάροδο του χρόνου αυξάνεται η ωμική αντίσταση των αντιστατικών δαπέδων και επιβάλλεται προγραμματισμένος έλεγχος της τιμής της αντίστασής τους και η συντήρηση ή η αλλαγή τους
- τα επίπεδα υγρασίας στον χώρο, όπου όσο πιο «ξηρός» είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας, τόσο πιο φυσιολογικές θα είναι οι τιμές της αντίστασης, ενώ με την άνοδο του επιπέδου της υγρασίας στον χώρο, οι επιφάνειες των δαπέδων θα παρουσιάζουν μεγαλύτερη αγωγιμότητα
- η σκόνη, που όσο περισσότερη στον χώρο είναι, τόσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές της αντίστασης των δαπέδων
- οι κοιλότητες στα δάπεδα, οι οποίες διαστρεβλώνουν τις πραγματικές τιμές της αντίστασης στο σημείο μέτρησής της
- η εφαρμογή κάθε δαπέδου, δηλαδή το υπόστρωμα, πάνω στο οποίο θα τοποθετηθεί το αντιστατικό ή μη δάπεδο.

Στην Εικόνα 1.3.1-1 παρουσιάζεται μια διαφορετική κατηγοριοποίηση των υλικών, βάσει της ειδικής αντίστασης όγκου (Εικόνα 2.1α) και της ειδικής αντίστασης επιφανείας (Εικόνα 2.1β). Παρατηρούμε ότι υπάρχουν περιοχές επικάλυψης στο εύρος των περιοχών της αντίστασης που καθορίζουν κατά πόσο ένα υλικό είναι αγωγίμο, αντιστατικό ή ηλεκτρομονωτικό. Αυτό γίνεται λόγω των παραγόντων που προαναφέρθηκαν. Εάν η τιμή ενός ή και των δύο ανωτέρω ειδών αντίστασης βρίσκεται σε περιοχή επικάλυψης, το υλικό χαρακτηρίζεται ανάλογα με την εφαρμογή στην οποία θα χρησιμοποιηθεί.



(α) Ειδική αντίσταση όγκου



(β) Ειδική επιφανειακή αντίσταση

**Εικόνα 1.3.1-1** : Κατάταξη της συμπεριφοράς των υλικών με βάση (α) την ειδική αντίσταση όγκου και (β) την ειδική αντίσταση επιφανείας

Σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση αυτή, το εκάστοτε υλικό χαρακτηρίζεται ως ηλεκτρομονωτικό, αντιστατικό ή αγώγιμο, ανάλογα με την περιοχή στην οποία εκτείνεται είτε η ειδική αντίσταση επιφανείας (surface resistivity) είτε η ειδική αντίσταση όγκου (volume resistivity).

### 1.3.2 Είδη αντιστατικών δαπέδων

Οι μορφές στις οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα αντιστατικά δάπεδα είναι οι εξής:

- Ρολά, που στρώνονται πάνω στο υπάρχον δάπεδο
- Πλακίδια, τα οποία και τοποθετούνται με την χρήση αγώγιμης κόλλας και εφαρμόζονται στους περισσότερους χώρους
- Χυτά, δηλαδή σε υγρή μορφή, η οποία και στερεοποιείται στην συνέχεια (epoxy)

- Υπερυψωμένα, με πολλά αγωγίμα επίπεδα
- Χαλιά-τάπητες

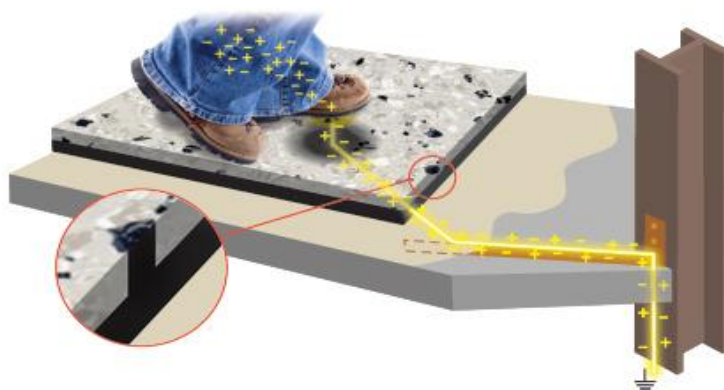
Τα υλικά που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο είναι το βινύλιο, το ελαστικό και το πλαστικό.

Το αγωγίμο (ή αντιστατικό) βινύλιο αντιπροσωπεύει ένα μεγάλο ποσοστό των στατικά ελεγχόμενων δαπέδων σε χρήση. Επιτρέπει πολύ καλή αγωγιμότητα προς το έδαφος, καθώς και κατά μήκος της επιφάνειας. Η αγωγιμότητα του βινυλίου επιτυγχάνεται συνήθως από μωσαϊκά άνθρακα μέσα στον όγκο του υλικού, σε συνδυασμό με ένα αγωγίμο υπόστρωμα ή αγωγίμης κόλλας. Τα πλακάκια βινυλίου βρίσκουν ευρεία εφαρμογή σε χώρους ηλεκτρονικών κατασκευών, σε νοσοκομεία, σε χώρους όπου υπάρχει κίνδυνος χημικών διαρροών, σε κέντρα επικοινωνίας και σε κέντρα όπου υπάρχουν ηλεκτρονικοί υπολογιστές.

Το ελαστικό, αν και κατά βάση δεν έχει αγωγίμες ιδιότητες, μπορεί κάτω από κάποιες συνθήκες να τις αποκτήσει. Διατίθεται τόσο σε ρολά, όσο και σε πλακίδια. Υπάρχουν δύο μέθοδοι με τις οποίες το ελαστικό δάπεδο μπορεί να ελέγξει τον στατικό ηλεκτρισμό:

- **Χημικά πρόσθετα**, τα οποία αλλάζουν την χημική σύσταση του ελαστικού
- **Πρόσθετα μικρά τμήματα άνθρακα**, τα οποία και αναμειγνύονται με άλλα χρωματιστά υλικά στο εσωτερικό του ελαστικού.

Η ανάμειξη μαύρων τμημάτων αγωγίμου άνθρακα στον όγκο του ελαστικού δαπέδου έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία αγωγίμων μονοπατιών στο δάπεδο και την καθοδήγηση του στατικού ηλεκτρισμού μέσω των πλακιδίων, της αγωγίμης κόλλας και του των χάλκινων λωρίδων προς τη γη, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.3.2-1.



**Εικόνα 1.3.2-1:** Ροή του στατικού ηλεκτρισμού από ελαστικό, τεχνητά αγωγίμο δάπεδο προς τη γη

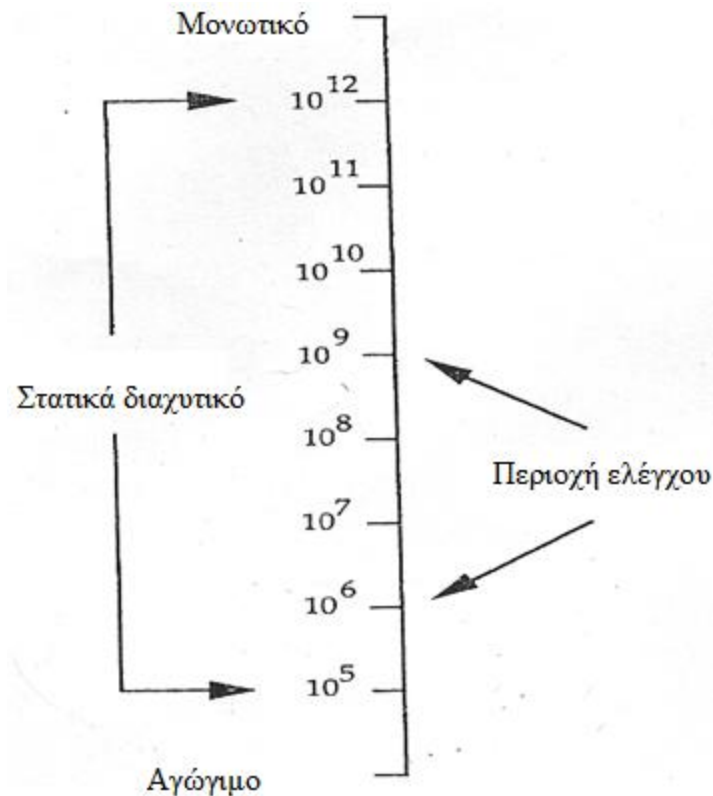
Αξίζει ακόμα να αναφερθεί πως τα ελαστικά αντιστατικά δάπεδα μπορεί να είναι αγώγιμα ή ηλεκτροστατικά διαχυτικά. Ανάμεσα στις δύο αυτές κατηγορίες προτιμούνται τα αγώγιμα δάπεδα, λόγω πολύ περισσότερων πλεονεκτημάτων που έχουν έναντι των διαχυτικών.

Τα χαλιά και οι τάπητες από την άλλη μεριά, με την εξέλιξη της τεχνολογίας μπορούν να αποκτήσουν αγώγιμες ιδιότητες. Η αγωγιμότητά τους αποκτάται με την περιτύλιξη των ινών τους με συνεχόμενα νημάτια από άνθρακα ή νάιλον. Εν συνεχεία, τα συνεχόμενα αυτά νημάτια τυπικά ενισχύονται και θωρακίζονται με αγώγιμο λατέξ, με σκοπό την παροχή όγκου και μεγαλύτερου βαθμού αγωγιμότητας. Οι τάπητες μπορούν επίσης κατασκευάζονται σε πλακάκια, μόνο που στην περίπτωση αυτή, το υπόστρωμά τους είναι βινύλιο, το οποίο προσφέρει σταθερότητα και σωστό σχηματισμό. Το υπόστρωμα αυτό χρησιμοποιείται με σκοπό την αντιστατική συμπεριφορά του τελικού προϊόντος. Σε συνδυασμό ακόμα και με χάλκινες λωρίδες γείωσης, προσφέρονται μέγιστες αντιστατικές δυνατότητες. Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται μεταξύ άλλων σε χώρους, όπως είναι χώροι σημαντικών δεδομένων και τα μεγάλα κέντρα ελέγχου (όπως είναι οι πύργοι ελέγχου και τα νοσοκομεία).

Τα πλαστικά έχουν γίνει σήμερα η πρώτη επιλογή υλικού για τα δάπεδα και για τις επιφάνειες εργασίας, και αυτό λόγω κυρίως του οικονομικού οφέλους τους από την αγορά και εγκατάστασή τους και της μεγαλύτερης ελευθερίας σχεδιασμού σε σχέση με το μέταλλο. Αν και σε πρωταρχική μορφή το πλαστικό θεωρείται μονωτικό υλικό, η προσθήκη στον όγκο του χημικών στοιχείων μπορεί να του προσδώσει, είτε προσωρινά είτε μόνιμα, αντιστατικό χαρακτήρα.

Η τιμή της ειδικής επιφανειακής αντίστασης ( $\Omega/m^2$ ) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση και την κατάταξη την ηλεκτρικής ιδιότητας του πλαστικού και τελικά την εκτίμησή του ως ηλεκτροστατικά διαχυτικού υλικού ή όχι. Το πλαστικό θεωρείται μονωτικό εάν η ειδική επιφανειακή του αντίσταση είναι μεγαλύτερη από  $10^{12} \Omega/m^2$ , αγώγιμο εάν η ειδική αντίσταση επιφάνειας είναι μικρότερη των  $10^5 \Omega/m^2$ , και αντιστατικό εάν η ειδική αντίσταση είναι μεταξύ των  $10^5$  και  $10^{12} \Omega/m^2$ . Στην τελευταία περίπτωση, υπάρχει μεγαλύτερη δυνατότητα για έλεγχο της εκκένωσης-διάχυσης ηλεκτρικού φορτίου, καθώς δεν θα δημιουργείται φόρτιση και δεν θα παραμένει σε ένα συγκεκριμένο σημείο στην επιφάνεια του δαπέδου. Επιπρόσθετα, μέσα σε αυτή την περιοχή, το υλικό είναι ελαφρά αγώγιμο και παρέχει ένα μονοπάτι προς την γη, παρουσία αντίστασης και συνεπώς ελεγχόμενης της εκφόρτισης. Το σύστημα αυτό παρουσιάζεται σχηματικά παρακάτω (Εικόνα 1.3.2-2).





**Εικόνα 1.3.2-2:** Σύστημα κατηγοριοποίησης αγώγιμων ιδιοτήτων πλαστικού με βάση την τιμή της ειδικής αντίστασής του.

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για να προσδώσουμε αντιστατικό χαρακτήρα στο πλαστικό. Δύο συμβατικές μέθοδοι περιλαμβάνουν την χρήση αγώγιμων βαφών ή επενδύσεων, καθώς και την προσθήκη τεχνητά αγώγιμων, συνθετικών πολυμερών.

Η εφαρμογή των βαφών και των επενδύσεων παρουσιάζει τα δικά της προβλήματα και συγκεκριμένα στο ότι απαιτεί μετά από κάποιο χρόνο συντήρηση και συνεχή έλεγχο για εκπομπές αναθυμιάσεων. Από την άλλη μεριά, η προσθήκη συνθετικών θερμοπλαστικών έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών που απαιτούν έλεγχο ESD.

Στη συνέχεια δίδονται στοιχεία για τους τρόπους δημιουργίας των τεχνητά αγώγιμων πολυμερών.

#### Χημικά συνθετικά

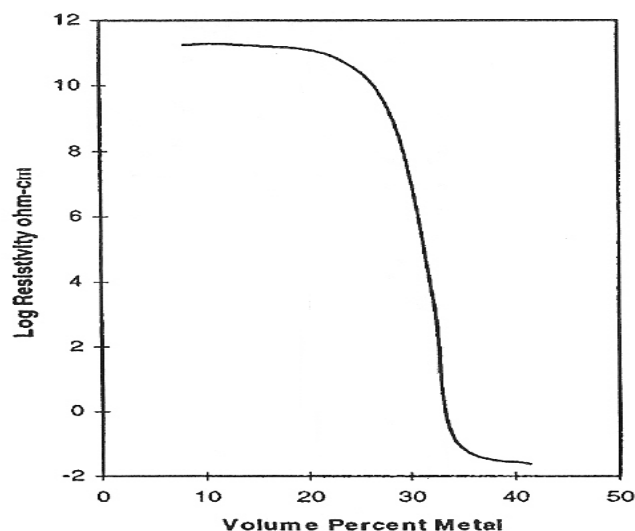
Τα πολυμερή μπορούν να βρεθούν μέσα στην περιοχή διάχυσης του στατικού ηλεκτρισμού ενσωματώνοντας κάποιο χημικό συνθετικό, όπως είναι ένας αντιστατικός παράγοντας, είτε τοπικός είτε εσωτερικός στον όγκο του υλικού. Τα

εσωτερικά αντιστατικά στοιχεία μερικώς διαλύονται στο εσωτερικό των πολυμερών. Μετά την σταθεροποίηση του πλαστικού, ο αντιστατικός παράγοντας σταδιακά μετακινείται προς την επιφάνειά του, όπου γίνεται ηλεκτρικά ενεργό. Με το πέρασμα του χρόνου, η τριβή και ο καθαρισμός της επιφάνειας του πλαστικού μπορούν να μετακινήσουν κάποιους από τους εσωτερικούς αντιστατικούς παράγοντες. Παρόλα αυτά, σε αντίθεση με τους τοπικούς παράγοντες, τα αντιστατικά στοιχεία ανανεώνονται συνεχώς, με την μετακίνηση από το εσωτερικό του υλικού προς την επιφάνεια. Αυτά, έχουν ταυτόχρονα μια αντίθετη χημική φύση. Συγκεκριμένα, αποτελούνται από ένα υδροφιλικό κεφάλι και από μια υδροφοβική ουρά. Και τα δύο τμήματα παίζουν σημαντικό ρόλο στην λειτουργία του αντιστατικού παράγοντα. Η υδροφοβική ουρά αλληλεπιδρά πολύ καλά με τα πολυμερή και για τον λόγο αυτό οι αντιστατικοί παράγοντες διαλύονται μερικώς στον όγκο του πλαστικού. Οι υδροφοβικές ουρές εκτείνονται στο εσωτερικό του πλαστικού. Το υδροφιλικό κεφάλι αλληλεπιδρά πολύ καλά με το νερό, τα άλατα και άλλα ιοντικά χημικά, και αναπαριστά το ηλεκτρικά αγωγίμο τμήμα του αντιστατικού στοιχείου. Η κατεύθυνσή τους τείνει προς την επιφάνεια του πλαστικού, όπου δημιουργούν μια λιπαρή αφή. Πολύ συχνά χρησιμοποιούνται σε επιφάνειες εργασίας από βινύλιο ή ελαστικό.

#### Αγωγήμα συνθετικά

Τα πιο γνωστά αγωγήμα συνθετικά είναι τα μεταλλικά τμήματα, τα κομμάτια γυαλιού με μεταλλική επένδυση και ο άνθρακας, είτε σε μορφή σκόνης, είτε σε μορφή ινών. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αγωγιμότητα ενός υλικού που περιλαμβάνει κάποιο ή κάποια από αυτά τα συνθετικά είναι η αγωγιμότητα των μορίων τους, το ποσοστό χρησιμοποίησής τους και το μοριακό τους σχήμα.

Η επίδραση της χρησιμοποίησης συνθετικών στοιχείων στην συνολική αντίσταση του υλικού του δαπέδου ακολουθεί ένα στάνταρ πρότυπο, ανεξαρτήτως του συνθετικού που χρησιμοποιήθηκε. Σε μικρές ποσότητες συνθετικών στοιχείων, οι ιδιότητες του υλικού παραμένουν ουσιαστικά οι ίδιες, ενώ όταν η ποσότητα αυξάνεται μέχρι ενός κρίσιμου σημείου, η αντίσταση θα αρχίσει ξαφνικά και πολύ απότομα να μειώνεται, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.3.2-3.



**Εικόνα 1.3.2-3:** Επίδραση της χρησιμοποίησης μεταλλικών στοιχείων στην αντίσταση υλικών

Αυτό το σημείο αναπαριστά την στιγμή κατά την οποία υπάρχει αρκετή αγωγή για να μετατρέψει το υλικό από μονωτικό σε αγωγίμο.

Ακόμα, όσο περισσότερα συνθετικά προστίθενται, τα αγωγίμα τμήματα μέσα στον όγκο ενός μονωτικού υλικού πληθαίνουν και είναι όλο και πιο πιθανό να έρθουν σε επαφή μεταξύ τους και τελικώς να δημιουργήσουν μια συνεχή αγωγίμη αλυσίδα ή σύμπλεγμα. Έτσι, η ηλεκτρική φόρτιση μπορεί τώρα να περάσει μέσα από το υλικό μέσω του αγωγίμου συμπλέγματος, χωρίς να αντιμετωπίζει την φυσική, μεγάλη αντίσταση του πολυμερούς. Επιπλέον προσθήκη συνθετικών πέρα από το κρίσιμο σημείο, δεν συμβάλλει ιδιαίτερα στην μείωση της αντίστασης.

Το σχήμα του μορίου παίζει έναν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό του σημείου που συμβαίνει η απότομη αλλαγή της συμπεριφοράς του αρχικά μονωτικού υλικού. Ουσιαστικά, όσο πιο καλά δομημένα είναι τα μόρια του συνθετικού, τόσο πιο πιθανό είναι να έρθουν τα μόρια σε επαφή μεταξύ τους και τελικά να δημιουργήσουν ένα αγωγίμο μονοπάτι.

Πολύ συχνά, χρησιμοποιείται άνθρακας σε ποσοστό 15-30% στα πολυμερή, με σκοπό την τελική χρησιμοποίηση του προϊόντος σε εφαρμογές όπως είναι τα αντιστατικά δάπεδα, τσάντες, επιφάνειες εργασίας και τα λουριά γειώσεως. Τα συνθετικά πολυμερή με τμήματα άνθρακα (σκόνη) παραμένουν μόνιμα αγωγίμα, όμως δεν είναι σωστό να χρησιμοποιούνται σε περιβάλλοντα καθαρού χώρου, όπως είναι τα χειρουργεία, λόγω της μεγάλης πιθανότητας μόλυνσης από την απόσπαση μορίων άνθρακα στον χώρο. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται περισσότερο οι ίνες άνθρακα ως αγωγίμο προσθετικό, οι οποίες και προσδίδουν στο υλικό πιο σταθερή και ανθεκτική στις υψηλές θερμοκρασίες δομή.

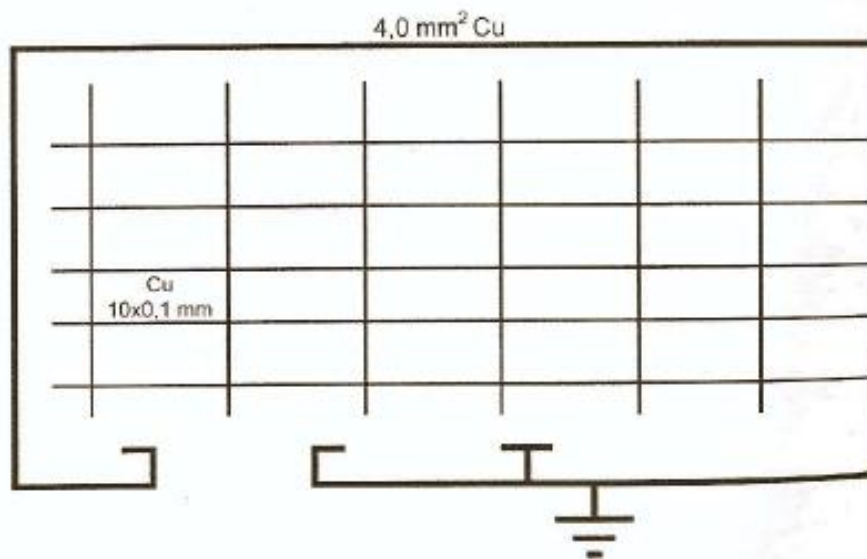
Οι τελικές ηλεκτρικές ιδιότητες εξαρτώνται κυρίως από την φύση και την αναλογία των αγώγιμων προσθέτων. Έχει βρεθεί ότι αυτά τα προσθετικά τείνουν να έχουν καλύτερη απόδοση προς τα άκρα της κλίμακας της διαχυτικής συμπεριφοράς του πλαστικού και πως είναι πολύ δύσκολο να ελεγχθεί η επίδοσή τους προς τα μέσα της κλίμακας.

#### «Κληρονομικά» διαχυτικά και αγώγιμα πολυμερή

Τα «κληρονομικά» διαχυτικά (ICP's) και αγώγιμα (IDP's) πολυμερή, αναπαριστούν μια άλλη οδό προς την προστασία από την ηλεκτροστατική εκκένωση φορτίου. Η πρώτη κατηγορία πολυμερών έχει περισσότερο την συμπεριφορά αντιστατικών παραγόντων όσον αφορά την αντίσταση, ενώ η δεύτερη κατηγορία την συμπεριφορά μετάλλου. Η διαφορά τους είναι ότι τα αγώγιμα πολυμερή παρουσιάζουν περισσότερα ηλεκτρόνια και μεγαλύτερη κινητικότητα στο εσωτερικό τους, ενισχύοντας με αυτόν τον τρόπο την αγώγιμη ιδιότητά τους. Η χρησιμότητά τους στα θερμοπλαστικά δεν ήταν μέχρι σήμερα συχνή εξ αιτίας της δύσκολης διαδικασίας επεξεργασίας τους στο εσωτερικό των ρητινών και της θερμικής αστάθειας των ηλεκτρικών τους ιδιοτήτων. Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει συμβάλλει στο να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα, και συνθετικά που χρησιμοποιούν ICP's έχουν ενσωματωθεί στο πολυπροπυλένιο, στο πολυαιθυλένιο και στο πολυστυρένιο, ενώ συνθετικά που χρησιμοποιούν IDP's ενσωματώνονται κυρίως σε πολυμερή, όπως είναι το πολυπυρόλιο, η πολυθειοφάνη και η πολυανιλίνη. Τα κύρια πλεονεκτήματα αυτών των υλικών είναι η ικανότητά τους να παρέχουν όψιμη και χειριζόμενη προστασία ESD στην κλίμακα  $10^6$ - $10^9$   $\Omega/\text{m}^2$ , με αξιόλογη θερμική σταθερότητα, πρόσθετες χρωματικές επιλογές, ευκολία στην κατεργασία τους, καθώς και μηχανικές ιδιότητες πανομοιότυπες με αυτές της ρητίνης.

#### **1.3.3 Γείωση αντιστατικών δαπέδων**

Πριν την τοποθέτηση του δαπέδου τοποθετείται χάλκινο πλέγμα γείωσης (σε μορφή ταινίας), το οποίο εκτείνεται κάτω από το αντιστατικό δάπεδο, είτε αυτό είναι σε πλακίδια, είτε σε ρολά, είτε χυτό. Στη συνέχεια τοποθετείται χάλκινος αγωγός διατομής τουλάχιστον  $4 \text{ mm}^2$  περιμετρικά του χώρου, ο οποίος συνδέεται με το χάλκινο πλέγμα γείωσης. Στη συνέχεια τα ανωτέρω συνδέονται με την εκάστοτε γείωση. Η τοποθέτηση των αντιστατικών πλακιδίων στον χώρο γίνεται με την χρήση αγώγιμης κόλλας. Στην Εικόνα 1.3.3-1 παρουσιάζεται ένας ενδεικτικός τρόπος εγκατάστασης πλέγματος για την γείωση ενός αντιστατικού δαπέδου.



**Εικόνα 1.3.3-1:** Ενδεικτικός τρόπος εγκατάστασης πλέγματος για την γείωση αντιστατικού δαπέδου.

#### **1.3.4 Φροντίδα και συντήρηση αντιστατικών δαπέδων**

Οι λανθασμένες διαδικασίες συντήρησης των αντιστατικών δαπέδων μπορεί να αποδειχθούν καταστροφικές ως προς αυτά, που δεν είναι άλλος από την απομάκρυνση, διάχυση ή εξάλειψη κάθε δημιουργημένου ηλεκτροστατικού πεδίου στην επιφάνειά τους. Τα συνηθισμένα καθαριστικά, τα οποία δεν προορίζονται για αντιστατικές επιφάνειες, μπορούν να δημιουργήσουν ένα μονωτικό επίπεδο (μεμβράνη) που ευνοεί την εμφάνιση ηλεκτροστατικής φόρτισης. Αυτά περιλαμβάνουν συνήθως αμμωνία ή σιλικόνη. Η αμμωνία μπορεί να δημιουργήσει φθορές στα επιφανειακά μεταλλικά πρόσθετα του δαπέδου και τελικά στην ρήξη του, ενώ η σιλικόνη είναι γνωστό μονωτικό υλικό με αποτέλεσμα οι τιμές της αντίστασης του δαπέδου να παίρνουν ακόμα μεγαλύτερες τιμές, γεγονός που δεν ευνοεί τον έλεγχο της αντιστατικής συμπεριφοράς ενός δαπέδου. Γενικά, μια αντιστατική επιφάνεια δεν πρέπει να μονώνεται από την χρήση υλικών όπως είναι το λάδι ή το κερί, ενώ τα υφάσματα που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό των δαπέδων δεν πρέπει να φθείρουν την επιφάνειά τους και να επηρεάζουν την αγωγιμότητά τους.

Υπάρχουν παγκοσμίως πολλές εταιρίες κατασκευής ειδικών καθαριστικών για αντιστατικές επιφάνειες, που διατηρούν τις αγωγίμες ιδιότητές τους και σε πολλές περιπτώσεις τις ενισχύουν, όταν αυτό είναι αναγκαίο, λόγω της χρησιμότητας του χώρου. Τα περισσότερα παρασκευάζονται με την χρήση αγωγίμων πολυμερών, βοηθώντας έτσι ταυτόχρονα στην μείωση της τριβοηλεκτρικής φόρτισης και στην δημιουργία μιας ηλεκτροστατικά διαχυτικής επιφάνειας. Παρέχουν εξαιρετική

στιλπνότητα σε κάθε επιφάνεια και μπορούν να εφαρμοστούν με την χρήση μαλακών πανιών.

## Κεφάλαιο 2 - Διάταξη και η διαδικασία των μετρήσεων

### 2.1 Γενικά

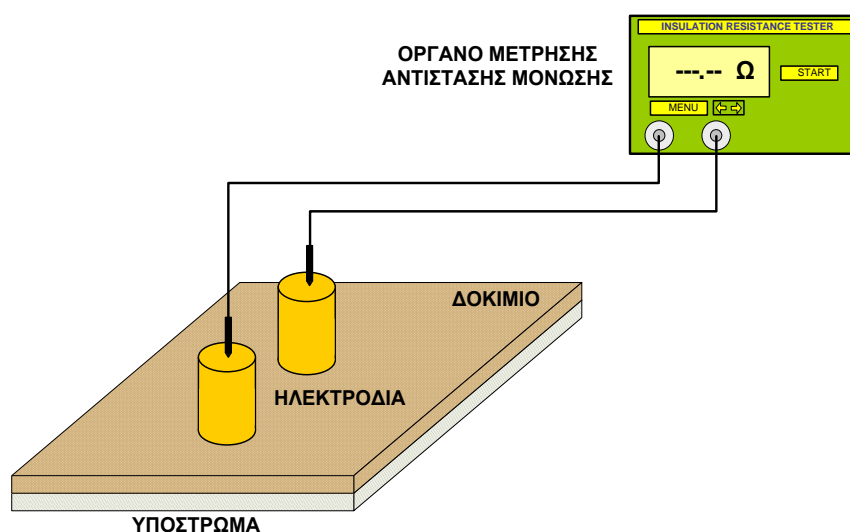
Σκοπός των μετρήσεων είναι ο πειραματικός υπολογισμός της αντίστασης δειγμάτων αντιστατικών δαπέδων, καθώς και η παρατήρηση της μεταβολής της αντίστασης με τη μεταβολή του χρόνου εφαρμογής της τάσης.

### 2.2 Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν

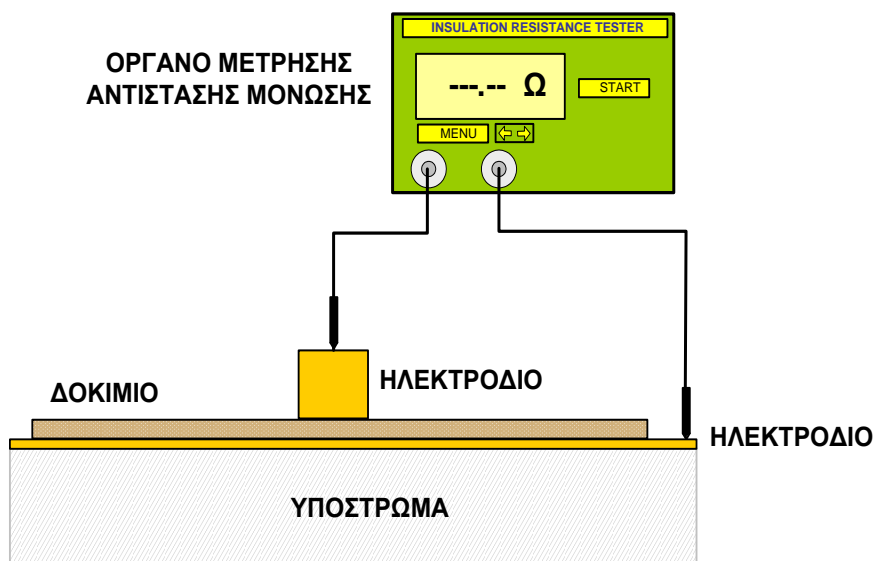
Στην παρούσα εργασία, ως δοκίμια χρησιμοποιήθηκαν 6 διαφορετικά εμπορικά αντιστατικά δάπεδα τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το υλικό, τις διαστάσεις, το πάχος και το χρώμα και παρουσιάζουν διαφορετικές τιμές αντιστάσεων μεταξύ τους.

### 2.3 Η Διάταξη των μετρήσεων

Η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις της επιφανειακής αντίστασης φαίνεται στο σχήμα 2.3-1, ενώ η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις της αντίστασης όγκου φαίνεται στο σχήμα 2.3-2.



Σχήμα 2.3-1: Διάταξη για τη μέτρηση της επιφανειακής αντίστασης.



**Σχήμα 2.3-2:** Διάταξη για τη μέτρηση της αντίστασης μεταξύ δύο ηλεκτροδίων(όγκου).

Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της αντίστασης των δοκιμίων αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

1. Το ψηφιακό όργανο μέτρησης
2. Τα ηλεκτρόδια μέτρησης της αντίστασης
3. Το δείγμα αντιστατικού δαπέδου
4. Το υπόστρωμα του αντιστατικού δαπέδου

#### Ψηφιακό όργανο μέτρησης

Το ψηφιακό όργανο μέτρησης μπορεί να μετρήσει αντίσταση μόνωσης επιτρέποντας την μεταβολή της εφαρμοζόμενης τάσης, καθώς και του χρόνου διάρκειας της μέτρησης. Στο Παράρτημα Α παρατίθεται μια συνοπτική περιγραφή του οργάνου και των λειτουργιών που αυτό μπορεί να επιτελέσει.

#### Ηλεκτρόδια Μέτρησης

Τα ηλεκτρόδια μέτρησης είναι δύο πανομοιότυπα κυλινδρικά ηλεκτρόδια ύψους 8cm, διαμέτρου 7cm και βάρους 2,3kg περίπου το καθένα και χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της αντίστασης των δαπέδων.



Για την μέτρηση της επιφανειακής αντίστασης των δαπέδων, τόσο για αγώγιμο όσο και για μονωτικό υπόστρωμα, τα κυλινδρικά ηλεκτρόδια τοποθετούνται πάνω στο αντιστατικό δάπεδο και το καθένα συνδέεται στους ακροδέκτες του οργάνου μέτρησης της αντίστασης. Η ίδια συνδεσμολογία πραγματοποιείται για κάθε δοκίμιο και για καθένα από τα δύο είδη υποστρώματος. Αξίζει να τονιστεί ότι τα καλώδια-ακροδέκτες που συνδέουν τα ηλεκτρόδια μέτρησης με το όργανο μέτρησης δεν πρέπει να ακουμπούν είτε μεταξύ τους είτε πάνω στο φύλλο του χαλκού.

Για την μέτρηση της αντίστασης όγκου των δαπέδων, χρησιμοποιούμε το ένα από τα δύο κυλινδρικά ηλεκτρόδια. Η διαφορά στις μετρήσεις των αντιστάσεων όγκου είναι πως το ένα ηλεκτρόδιο συνδέεται κανονικά στο όργανο μέτρησης μέσω του ενός ακροδέκτη, ενώ ο άλλος ακροδέκτης, στην περίπτωση του χάλκινου υποστρώματος, ξεκινώντας από το όργανο μέτρησης συνδέεται αρχικά με το χάλκινο αυτό υπόστρωμα μέσω μιας υποδοχής και εν συνεχεία με το ηλεκτρόδιο. Στην περίπτωση που το υπόστρωμα είναι μονωτικό, δεν μπορεί να υπολογιστεί αντίσταση όγκου δαπέδου. Παρόμοια με την επιφανειακή αντίσταση, τα καλώδια-ακροδέκτες που συνδέουν τα ηλεκτρόδια μέτρησης με το όργανο μέτρησης δεν πρέπει να ακουμπούν είτε μεταξύ τους είτε πάνω στο φύλλο του χαλκού. Ομοίως για την περίπτωση του μονωτικού υποστρώματος.

### Υπόστρωμα

Σε κάθε είδους μέτρηση που θα πραγματοποιηθεί εργαστηριακά, θα χρησιμοποιηθούν δύο είδη υποστρώματος, ένα αγώγιμο, κατασκευασμένο από χαλκό, και ένα μονωτικό, κατασκευασμένο από ξύλο και θα παρατηρηθούν τυχόν διαφορές στις τιμές των αντιστάσεων των δαπέδων. Η χρησιμοποίηση των δύο διαφορετικών υποστρωμάτων γίνεται με ουσιαστικό σκοπό να μελετηθεί η επίδραση του υποστρώματος στη μέτρηση της επιφανειακής αντίστασης των δοκιμίων.

## **2.4 Η Διαδικασία των μετρήσεων**

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

Διατηρώντας σταθερή την εφαρμοζόμενη τάση ( $U=100V$ ), την απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ( $d=10cm$ ), και χωρίς την εφαρμογή επιπλέον βάρους επάνω στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων γίνεται μέτρηση της επιφανειακής και της αντίστασης όγκου των δοκιμίων για χρόνο εφαρμογής της τάσης 1sec, 2sec, 5sec,

10sec,15sec, 20sec, 25sec, 30sec, 35sec, 40sec, 60sec 80sec, 100sec και 120sec για τις περιπτώσεις μονωτικού και αγώγιμου υποστρώματος.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί δίδονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

### Κεφάλαιο 3 - Αποτελέσματα μετρήσεων

Χρησιμοποιώντας τη διάταξη του σχήματος 2.3-1 για την μέτρηση της επιφανειακής αντίστασης και τη διάταξη του σχήματος 2.3-2 για την μέτρηση της αντίστασης όγκου και ακολουθώντας τη διαδικασία που περιγράφηκε προηγουμένως, πραγματοποιήθηκαν τρεις μετρήσεις κάθε φορά, τα αποτελέσματα των οποίων καθώς και η μέση τιμή δίδονται στους πίνακες 3-1 έως 3-18 που ακολουθούν.

**Πίνακας 3-1:** Τιμές της αντίστασης όγκου για το δοκίμιο 1 με αγώγιμο υπόστρωμα.

Χρόνος μέτρησης(sec)	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέσος όρος(MΩ)
1	0,02MΩ	0,02MΩ	0,02MΩ	0,02
2	0,02MΩ	0,02MΩ	0,02MΩ	0,02
5	0,03MΩ	0,02MΩ	0,02MΩ	0,023
10	0,03MΩ	0,03MΩ	0,02MΩ	0,027
15	0,02MΩ	0,02MΩ	0,03MΩ	0,023
20	0,02MΩ	0,02MΩ	0,02MΩ	0,02
25	0,02MΩ	0,03MΩ	0,02MΩ	0,023
30	0,02MΩ	0,03MΩ	0,025MΩ	0,025
35	0,025MΩ	0,025MΩ	0,03MΩ	0,027
40	0,03MΩ	0,02MΩ	0,03MΩ	0,027
60	0,03MΩ	0,02MΩ	0,02MΩ	0,023
80	0,02MΩ	0,02MΩ	0,02MΩ	0,02
100	0,02MΩ	0,02MΩ	0,02MΩ	0,02
120	0,02MΩ	0,02MΩ	0,02MΩ	0,02

**Πίνακας 3-2:** Τιμές της επιφανειακής αντίστασης για το δοκίμιο 1 με αγώγιμο υπόστρωμα.

Χρόνος μέτρησης(sec)	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέσος όρος(MΩ)
1	0,05MΩ	0,04MΩ	0,05MΩ	0,047
2	0,03MΩ	0,03MΩ	0,03MΩ	0,03
5	0,025MΩ	0,03MΩ	0,02MΩ	0,025
10	0,05MΩ	0,05MΩ	0,05MΩ	0,05
15	0,05MΩ	0,04MΩ	0,04MΩ	0,047
20	0,03MΩ	0,03MΩ	0,03MΩ	0,03
25	0,03MΩ	0,03MΩ	0,035MΩ	0,0317
30	0,03MΩ	0,03MΩ	0,04MΩ	0,033
35	0,04MΩ	0,04MΩ	0,03MΩ	0,037
40	0,04MΩ	0,04MΩ	0,04MΩ	0,04
60	0,035MΩ	0,04MΩ	0,035MΩ	0,037
80	0,03MΩ	0,03MΩ	0,03MΩ	0,03
100	0,04MΩ	0,04MΩ	0,04MΩ	0,04
120	0,05MΩ	0,04MΩ	0,05MΩ	0,047

**Πίνακας 3-3:** Τιμές της επιφανειακής αντίστασης για το δοκίμιο 1 με μονωτικό υπόστρωμα.

Χρόνος μέτρησης(sec)	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέσος όρος(MΩ)
1	0,08MΩ	0,08MΩ	0,08MΩ	0,08
2	0,08MΩ	0,08MΩ	0,08MΩ	0,08
5	0,08MΩ	0,08MΩ	0,08MΩ	0,08
10	0,08MΩ	0,08MΩ	0,08MΩ	0,08
15	0,08MΩ	0,08MΩ	0,08MΩ	0,08
20	0,08MΩ	0,08MΩ	0,08MΩ	0,08
25	0,08MΩ	0,08MΩ	0,08MΩ	0,08
30	0,08MΩ	0,08MΩ	0,085MΩ	0,0817
35	0,085MΩ	0,085MΩ	0,08MΩ	0,083
40	0,09MΩ	0,09MΩ	0,09MΩ	0,09
60	0,09MΩ	0,09MΩ	0,09MΩ	0,09
80	0,095MΩ	0,095MΩ	0,095MΩ	0,095
100	0,095MΩ	0,1MΩ	0,1MΩ	0,0983
120	0,1MΩ	0,1MΩ	0,1MΩ	0,1

**Πίνακας 3-4:** Τιμές της αντίστασης όγκου για το δοκίμιο 2 με αγώγιμο υπόστρωμα.

Χρόνος μέτρησης(sec)	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέσος όρος(MΩ)
1	859MΩ	866MΩ	871MΩ	865,3
2	862MΩ	863MΩ	863MΩ	862,7
5	829MΩ	849MΩ	839MΩ	839
10	836MΩ	837MΩ	837MΩ	836
15	826MΩ	837MΩ	821MΩ	828
20	809MΩ	811MΩ	811MΩ	810,3
25	801MΩ	799MΩ	801MΩ	800,3
30	785MΩ	792MΩ	790MΩ	789
35	780MΩ	774MΩ	776MΩ	776,7
40	772MΩ	775MΩ	776MΩ	774,3
60	760MΩ	763MΩ	763MΩ	762
80	756MΩ	757MΩ	758MΩ	757
100	741MΩ	739MΩ	740MΩ	740
120	736MΩ	739MΩ	738MΩ	737,7

**Πίνακας 3-5:** Τιμές της επιφανειακής αντίστασης για το δοκίμιο 2 με αγώγιμο υπόστρωμα.

Χρόνος μέτρησης(sec)	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέσος όρος(MΩ)
1	258MΩ	363MΩ	298MΩ	306,3
2	843MΩ	909MΩ	867MΩ	873
5	908MΩ	934MΩ	903MΩ	915
10	778MΩ	808MΩ	779MΩ	788,3
15	832MΩ	845MΩ	844MΩ	840,3
20	864MΩ	871MΩ	871MΩ	868,7
25	855MΩ	850MΩ	852MΩ	852,3
30	848MΩ	850MΩ	847MΩ	848,3
35	840MΩ	838MΩ	838MΩ	836,7
40	836MΩ	835MΩ	837MΩ	836
60	811MΩ	818MΩ	815MΩ	814,7
80	795MΩ	799MΩ	798MΩ	797,3
100	792MΩ	790MΩ	787MΩ	789,7
120	789MΩ	788MΩ	788MΩ	788,3

**Πίνακας 3-6:** Τιμές της επιφανειακής αντίστασης για το δοκίμιο 2 με μονωτικό υπόστρωμα.

Χρόνος μέτρησης(sec)	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέσος όρος(GΩ)
1	1,82GΩ	1,84GΩ	1,84GΩ	1,83
2	1,99GΩ	2GΩ	2GΩ	1,997
5	2,12GΩ	2,12GΩ	2,12GΩ	2,12
10	2,13GΩ	2,13GΩ	2,13GΩ	2,13
15	2,13GΩ	2,13GΩ	2,13GΩ	2,13
20	2,14GΩ	2,14GΩ	2,14GΩ	2,14
25	2,14GΩ	2,14GΩ	2,14GΩ	2,14
30	2,14GΩ	2,14GΩ	2,14GΩ	2,14
35	2,14GΩ	2,14GΩ	2,13GΩ	2,137
40	2,14GΩ	2,14GΩ	2,14GΩ	2,14
60	2,14GΩ	2,12GΩ	2,14GΩ	2,133
80	2,14GΩ	2,14GΩ	2,14GΩ	2,14
100	2,14GΩ	2,14GΩ	2,14GΩ	2,14
120	2,14GΩ	2,14GΩ	2,14GΩ	2,14

**Πίνακας 3-7:** Τιμές της αντίστασης όγκου για το δοκίμιο 3 με αγώγιμο υπόστρωμα.

Χρόνος μέτρησης(sec)	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέσος όρος(MΩ)
1	81,6MΩ	81,9MΩ	82MΩ	81,83
2	84,3MΩ	84,4MΩ	85MΩ	84,57
5	85,3MΩ	85,3MΩ	85,4MΩ	85,3
10	87,7MΩ	87,9MΩ	87,6MΩ	87,73
15	88,3MΩ	88,7MΩ	88,1MΩ	88,37
20	90,7MΩ	90MΩ	89,9MΩ	90,2
25	91MΩ	90,6MΩ	90,9MΩ	90,8
30	89MΩ	89,3MΩ	88,9MΩ	89,07
35	88MΩ	87,9MΩ	87,8MΩ	87,9
40	87,3MΩ	87,5MΩ	87,4MΩ	87,4
60	86MΩ	85,3MΩ	85,4MΩ	85,57
80	81,7MΩ	82,5MΩ	82,5MΩ	82,23
100	79,4MΩ	78,6MΩ	78,8MΩ	78,93
120	76,4MΩ	77MΩ	78,4MΩ	72,27

**Πίνακας 3-8:** Τιμές της επιφανειακής αντίστασης για το δοκίμιο 3 με μονωτικό υπόστρωμα.

Χρόνος μέτρησης(sec)	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέσος όρος(MΩ)
1	8,99MΩ	14,6MΩ	10,7MΩ	11,43
2	62,4MΩ	64,6MΩ	67,3MΩ	64,77
5	72,7MΩ	74,1MΩ	74,3MΩ	73,7
10	70,2MΩ	70,5MΩ	70,4MΩ	70,37
15	74,3MΩ	73,9MΩ	74,9MΩ	74,37
20	80,5MΩ	80,5MΩ	80,9MΩ	80,63
25	78,4MΩ	78,5MΩ	78,8MΩ	78,57
30	78,1MΩ	76,4MΩ	76,7MΩ	77,07
35	69,1MΩ	72,3MΩ	71,4MΩ	70,93
40	64,8MΩ	65,3MΩ	64,3MΩ	64,8
60	65,2MΩ	64,5MΩ	64,7MΩ	64,8
80	63,4MΩ	63,6MΩ	63,6MΩ	63,53
100	64,3MΩ	65,1MΩ	64,6MΩ	64,7
120	65,8MΩ	65,9MΩ	65,9MΩ	65,87

**Πίνακας 3-9:** Τιμές της επιφανειακής αντίστασης για το δοκίμιο 3 με μονωτικό υπόστρωμα.

Χρόνος μέτρησης(sec)	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέσος όρος(MΩ)
1	84,6MΩ	84,7MΩ	88,4MΩ	85,9
2	90,5MΩ	93,4MΩ	91,2MΩ	91,7
5	89,6MΩ	89,7MΩ	90,7MΩ	90
10	90,3MΩ	90,4MΩ	90,5MΩ	90,4
15	91MΩ	90,9MΩ	91,3MΩ	91,07
20	91,4MΩ	91,9MΩ	91,6MΩ	91,63
25	91,8MΩ	91,8MΩ	92MΩ	91,87
30	91,8MΩ	91,7MΩ	91,7MΩ	91,76
35	91,4MΩ	91,6MΩ	91,3MΩ	91,43
40	91,1MΩ	91,3MΩ	91,3MΩ	91,23
60	88,2MΩ	89,2MΩ	89MΩ	88,8
80	86,9MΩ	86,8MΩ	86,8MΩ	86,83
100	86,7MΩ	86,6MΩ	86,6MΩ	86,63
120	86,7MΩ	86,7MΩ	86,7MΩ	86,7

**Πίνακας 3-10:** Τιμές της αντίστασης όγκου για το δοκίμιο 4 με αγώγιμο υπόστρωμα.

Χρόνος μέτρησης(sec)	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέσος όρος(MΩ)
1	8,32MΩ	8,30MΩ	8,25MΩ	8,29
2	36MΩ	35,6MΩ	35,3MΩ	35,63
5	36,5MΩ	35,7MΩ	35,6MΩ	35,93
10	35,2MΩ	35MΩ	34,7MΩ	34,97
15	34,2MΩ	34,1MΩ	34,1MΩ	34,17
20	33,7MΩ	33,5MΩ	33,4MΩ	33,53
25	33,2MΩ	32,9MΩ	32,6MΩ	32,9
30	32,2MΩ	32,1MΩ	32,1MΩ	32,17
35	31,8MΩ	31,5MΩ	31,5MΩ	31,6
40	31,4MΩ	31,5MΩ	31,4MΩ	31,47
60	31,3MΩ	31,4MΩ	31,1MΩ	31,27
80	30,8MΩ	30,8MΩ	30,9MΩ	30,87
100	31,1MΩ	31,4MΩ	31,4MΩ	31,3
120	31,5MΩ	31,2MΩ	31,6MΩ	31,43

**Πίνακας 3-11:** Τιμές της επιφανειακής αντίστασης για το δοκίμιο 4 με αγώγιμο υπόστρωμα.

Χρόνος μέτρησης(sec)	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέσος όρος(MΩ)
1	84,7MΩ	84,7MΩ	84,4MΩ	84,6
2	89,9MΩ	90,5MΩ	89,7MΩ	90,03
5	89,1MΩ	90,2MΩ	90,7MΩ	90
10	90,8MΩ	91,9MΩ	92,9MΩ	91,87
15	93,3MΩ	94,1MΩ	95MΩ	94,13
20	96MΩ	96,6MΩ	96,7MΩ	96,43
25	97,7MΩ	99,6MΩ	100MΩ	99,1
30	101MΩ	103MΩ	104MΩ	102,67
35	106MΩ	107MΩ	109MΩ	107,3
40	110MΩ	112MΩ	114MΩ	112
60	117MΩ	120MΩ	122MΩ	119,7
80	126MΩ	131MΩ	135MΩ	130,7
100	139MΩ	145MΩ	150MΩ	144,7
120	154MΩ	155MΩ	156MΩ	155



**Πίνακας 3-12:** Τιμές της επιφανειακής αντίστασης για το δοκίμιο 4 με μονωτικό υπόστρωμα.

Χρόνος μέτρησης(sec)	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέσος όρος(MΩ)
1	246MΩ	244MΩ	245MΩ	245
2	303MΩ	303MΩ	301MΩ	302,3
5	306MΩ	305MΩ	306MΩ	305,3
10	305MΩ	305MΩ	305MΩ	305
15	304MΩ	304MΩ	304MΩ	304
20	303MΩ	303MΩ	301MΩ	302,3
25	302MΩ	302MΩ	299MΩ	301
30	300MΩ	300MΩ	302MΩ	300,7
35	301MΩ	301MΩ	300MΩ	300,7
40	301MΩ	298MΩ	301MΩ	300
60	301MΩ	298MΩ	298MΩ	299
80	298MΩ	299MΩ	298MΩ	298,7
100	299MΩ	298MΩ	298MΩ	298,7
120	298MΩ	298MΩ	298MΩ	298

**Πίνακας 3-13:** Τιμές της αντίστασης όγκου για το δοκίμιο 5 με αγώγιμο υπόστρωμα.

Χρόνος μέτρησης(sec)	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέσος όρος(MΩ)
1	795MΩ	803MΩ	814MΩ	804
2	827MΩ	819MΩ	815MΩ	820,3
5	763MΩ	773MΩ	767MΩ	767,7
10	720MΩ	721MΩ	721MΩ	720,7
15	740,5MΩ	744,2MΩ	745MΩ	743,23
20	804MΩ	806MΩ	803MΩ	804,3
25	805MΩ	804,2MΩ	804,3MΩ	804,5
30	778MΩ	765MΩ	768MΩ	770,3
35	745MΩ	740MΩ	741MΩ	742
40	710MΩ	712MΩ	712MΩ	711,3
60	712MΩ	711,4MΩ	711,6MΩ	711,7
80	720MΩ	721MΩ	723MΩ	721,3
100	722MΩ	725MΩ	726MΩ	724,3
120	730MΩ	730MΩ	730MΩ	730

**Πίνακας 3-14:** Τιμές της επιφανειακής αντίστασης για το δοκίμιο 5 με αγώγιμο υπόστρωμα.

Χρόνος μέτρησης(sec)	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέσος όρος(MΩ)
1	870MΩ	887MΩ	890MΩ	882,3
2	890MΩ	889MΩ	894MΩ	891
5	897MΩ	901MΩ	900MΩ	899,3
10	951MΩ	956MΩ	955MΩ	954
15	923MΩ	927MΩ	928MΩ	926
20	906MΩ	906MΩ	907MΩ	906,3
25	898MΩ	898MΩ	895MΩ	897
30	893MΩ	889MΩ	887MΩ	889,7
35	879MΩ	881MΩ	876MΩ	878,7
40	870MΩ	873MΩ	874MΩ	872,3
60	867MΩ	870MΩ	868MΩ	868,3
80	853MΩ	853MΩ	853MΩ	853
100	869MΩ	875MΩ	877MΩ	873,7
120	891MΩ	891MΩ	891MΩ	891

**Πίνακας 3-15:** Τιμές της επιφανειακής αντίστασης για το δοκίμιο 5 με μονωτικό υπόστρωμα.

Χρόνος μέτρησης(sec)	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέσος όρος(GΩ)
1	2GΩ	2,1GΩ	2GΩ	2,03
2	2,14GΩ	2,13GΩ	2,14GΩ	2,13
5	2,2GΩ	2,2GΩ	2,2GΩ	2,2
10	2,19GΩ	2,21GΩ	2,2GΩ	2,2
15	2,21GΩ	2,2GΩ	2,22GΩ	2,21
20	2,2GΩ	2,2GΩ	2,2GΩ	2,2
25	2,2GΩ	2,2GΩ	2,2GΩ	2,2
30	2,2GΩ	2,2GΩ	2,2GΩ	2,2
35	2,2GΩ	2,2GΩ	2,2GΩ	2,2
40	2,2GΩ	2,2GΩ	2,2GΩ	2,2
60	2,2GΩ	2,197GΩ	2,2GΩ	2,199
80	2,19GΩ	2,2GΩ	2,2GΩ	2,197
100	2,21GΩ	2,2GΩ	2,2GΩ	2,203
120	2,2GΩ	2,2GΩ	2,2GΩ	2,2

**Πίνακας 3-16:** Τιμές της αντίστασης όγκου για το δοκίμιο 6 με αγώγιμο υπόστρωμα.

Χρόνος μέτρησης(sec)	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέσος όρος(MΩ)
1	8,40MΩ	8,41MΩ	8,41MΩ	8,407
2	45,8MΩ	47,1MΩ	45,7MΩ	46,2
5	47,4MΩ	48,3MΩ	48,2MΩ	47,97
10	49,1MΩ	48,2MΩ	48,3MΩ	48,53
15	48,8MΩ	49,7MΩ	49,7MΩ	49,4
20	50,2MΩ	50,3MΩ	49,6MΩ	50,03
25	50,3MΩ	50,9MΩ	52,2MΩ	51,13
30	56MΩ	57,6MΩ	63,2MΩ	58,9
35	68,5MΩ	67,6MΩ	47,8MΩ	61,3
40	48,6MΩ	46,6MΩ	50,3MΩ	48,5
60	46,2MΩ	50,7MΩ	48,3MΩ	48,4
80	46,2MΩ	46,7MΩ	48,9MΩ	47,27
100	67,9MΩ	70,2MΩ	71,7MΩ	69,93
120	72MΩ	75,2MΩ	73,4MΩ	73,53

**Πίνακας 3-17:** Τιμές της επιφανειακής αντίστασης για το δοκίμιο 6 με αγώγιμο υπόστρωμα.

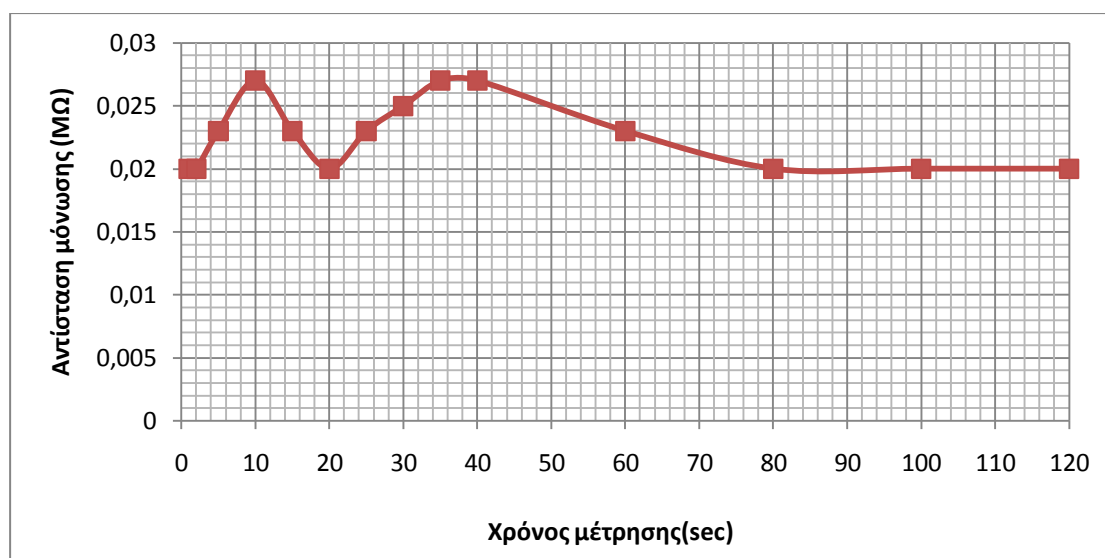
Χρόνος μέτρησης(sec)	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέσος όρος(MΩ)
1	9,09MΩ	16,3MΩ	11,4MΩ	12,26
2	44,9MΩ	45,5MΩ	46MΩ	45,47
5	17,5MΩ	31,8MΩ	31,8MΩ	27,03
10	25,4MΩ	29,5MΩ	35,4MΩ	30,1
15	44,5MΩ	37,7MΩ	38MΩ	40,07
20	46,1MΩ	46,5MΩ	47,1MΩ	46,57
25	47,3MΩ	47,8MΩ	47,3MΩ	47,13
30	47,2MΩ	47,8MΩ	47,1MΩ	47,37
35	46,1MΩ	48,5MΩ	49,1MΩ	47,9
40	48,2MΩ	47,7MΩ	50,5MΩ	48,8
60	49,8MΩ	48,5MΩ	51,1MΩ	49,8
80	51,2MΩ	51MΩ	51,1MΩ	51,1
100	52,9MΩ	52,9MΩ	52,8MΩ	52,87
120	53,2MΩ	53MΩ	53,2MΩ	53,13

**Πίνακας 3-18:** Τιμές της επιφανειακής αντίστασης για το δοκίμιο 6 με μονωτικό υπόστρωμα.

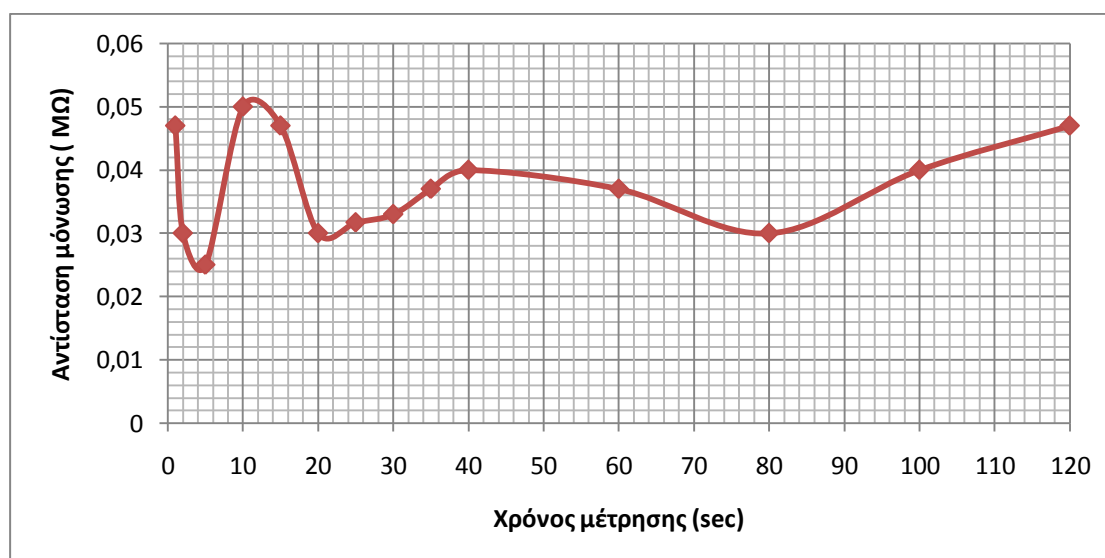
Χρόνος μέτρησης(sec)	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέσος όρος(GΩ)
1	1,6GΩ	1,7GΩ	1,7GΩ	1,67
2	1,76GΩ	1,78GΩ	1,79GΩ	1,77
5	2,08GΩ	2,09GΩ	2,1GΩ	2,09
10	2,07GΩ	2,07GΩ	2,07GΩ	2,07
15	2,07GΩ	2,1GΩ	2,1GΩ	2,09
20	2,22GΩ	2,21GΩ	2,22GΩ	2,217
25	2,22GΩ	2,21GΩ	2,21GΩ	2,217
30	2,21GΩ	2,2GΩ	2,21GΩ	2,207
35	2,2GΩ	2,21GΩ	2,2GΩ	2,203
40	2,12GΩ	2,19GΩ	2,15GΩ	2,153
60	2,1GΩ	2,1GΩ	2,1GΩ	2,1
80	2,09GΩ	2,09GΩ	2,09GΩ	2,09
100	2,09GΩ	2,09GΩ	2,09GΩ	2,09
120	2,09GΩ	2,09GΩ	2,09GΩ	2,09

## Κεφάλαιο 4 - Σχόλια επί των αποτελεσμάτων των μετρήσεων

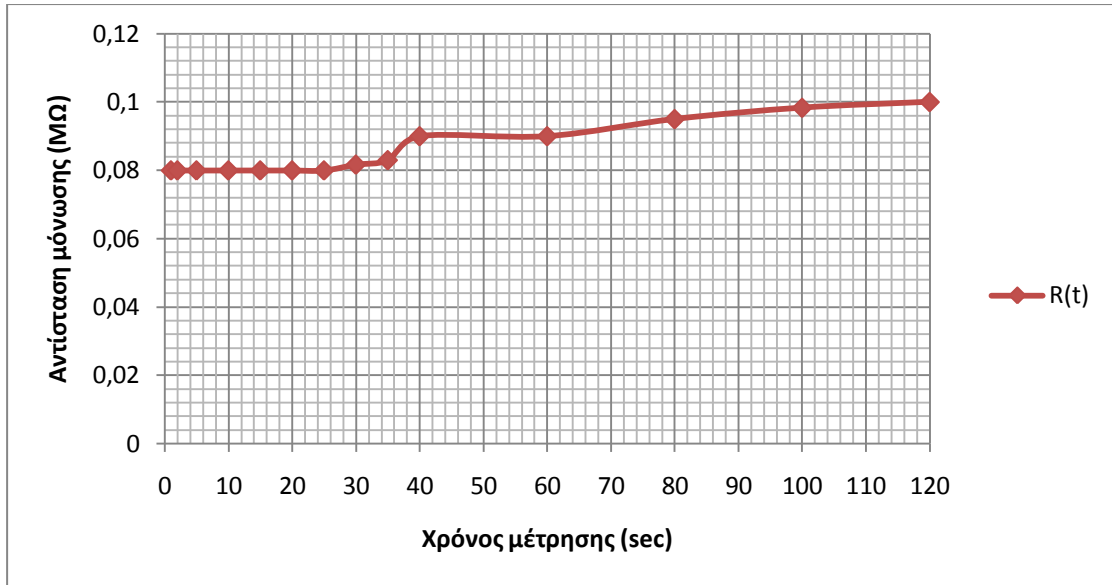
Με βάση τα στοιχεία των Πινάκων 3-1 έως 3-18, προκύπτουν τα διαγράμματα των σχημάτων 4-1 έως 4-18 αντίστοιχα.



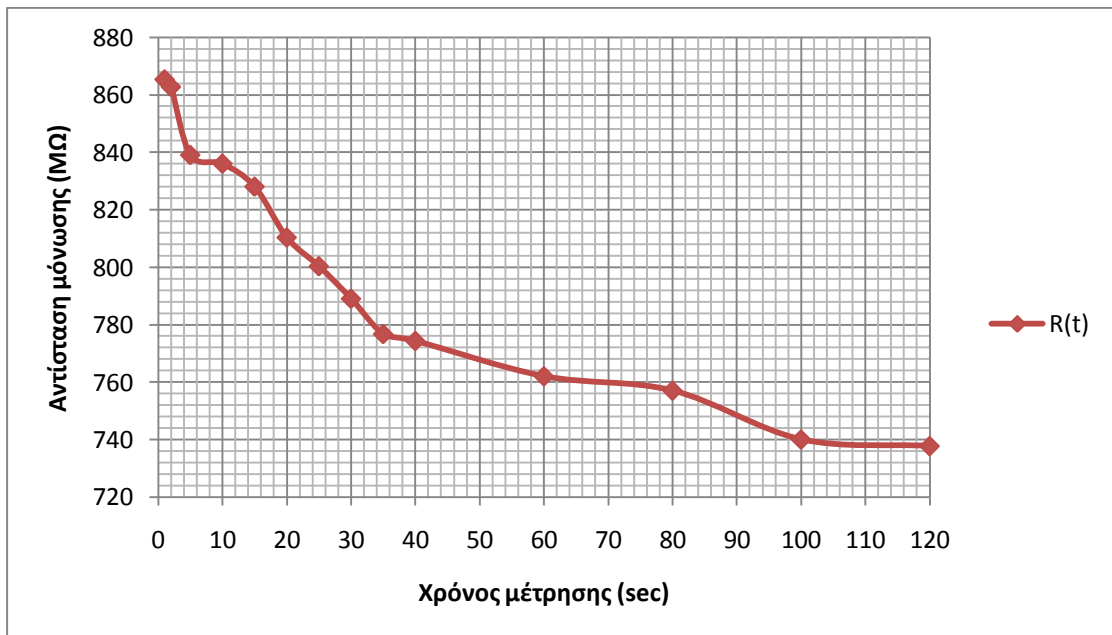
**Σχήμα 4-1:** Διάγραμμα αντίστασης όγκου - χρόνου εφαρμογής της τάσης 100V για το δοκίμιο 1 με αγώγιμο υπόστρωμα.



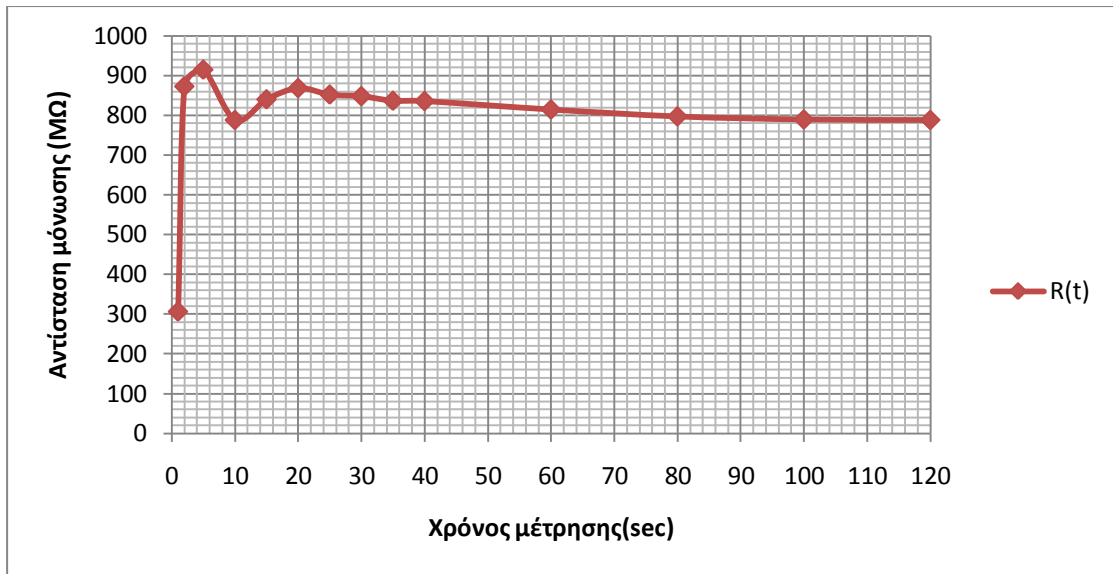
**Σχήμα 4-2:** Διάγραμμα επιφανειακής αντίστασης - χρόνου εφαρμογής της τάσης 100V για το δοκίμιο 1 με αγώγιμο υπόστρωμα.



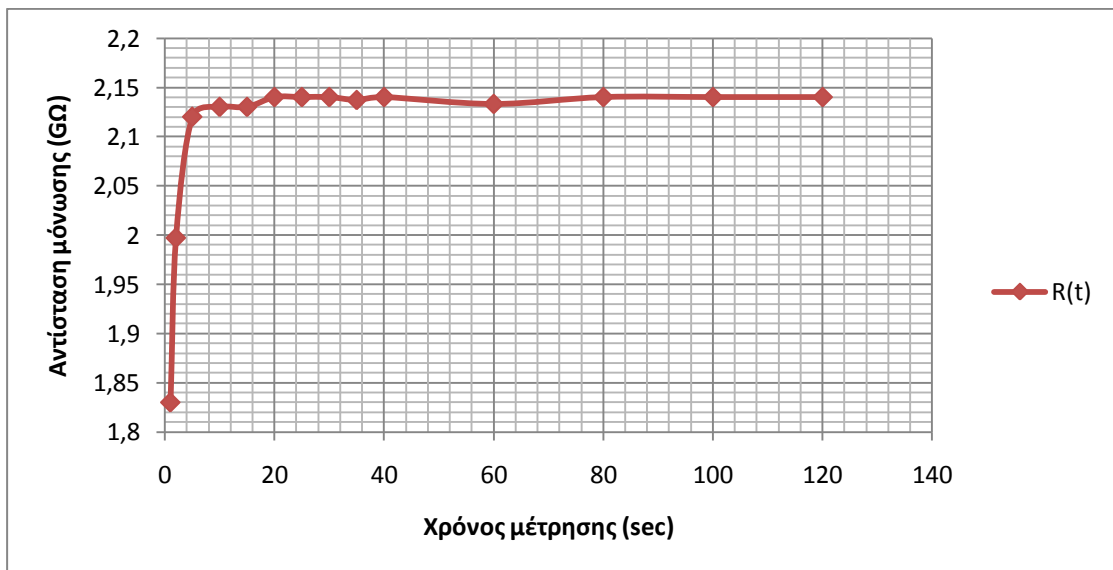
**Σχήμα 4-3:** Διάγραμμα επιφανειακής αντίστασης - χρόνου εφαρμογής της τάσης 100V για το δοκίμιο 1 με μονωτικό υπόστρωμα.



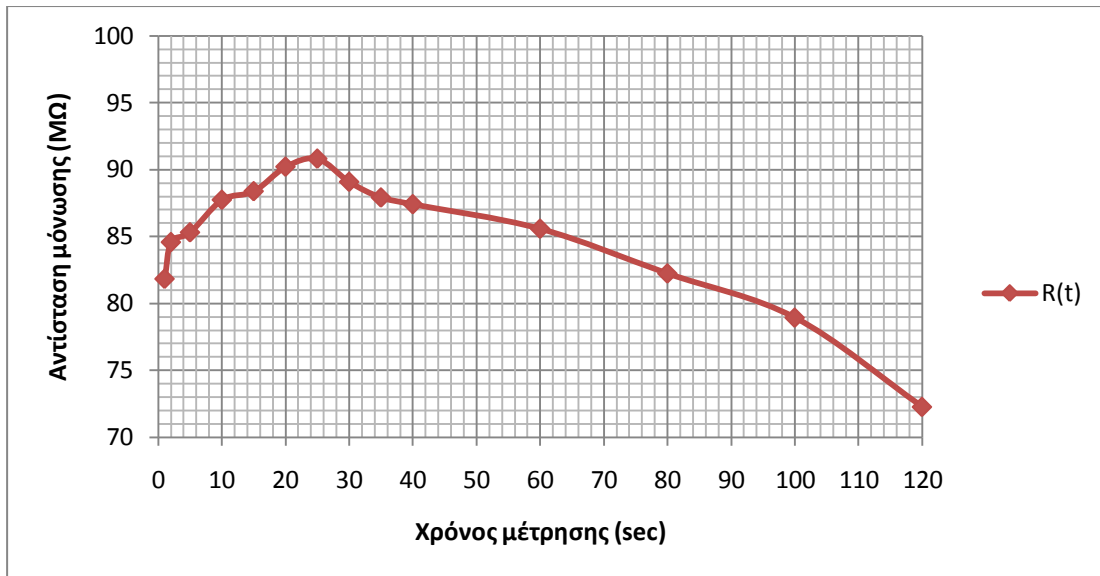
**Σχήμα 4-4:** Διάγραμμα αντίστασης όγκου - χρόνου εφαρμογής της τάσης 100V για το δοκίμιο 2 με αγώγιμο υπόστρωμα.



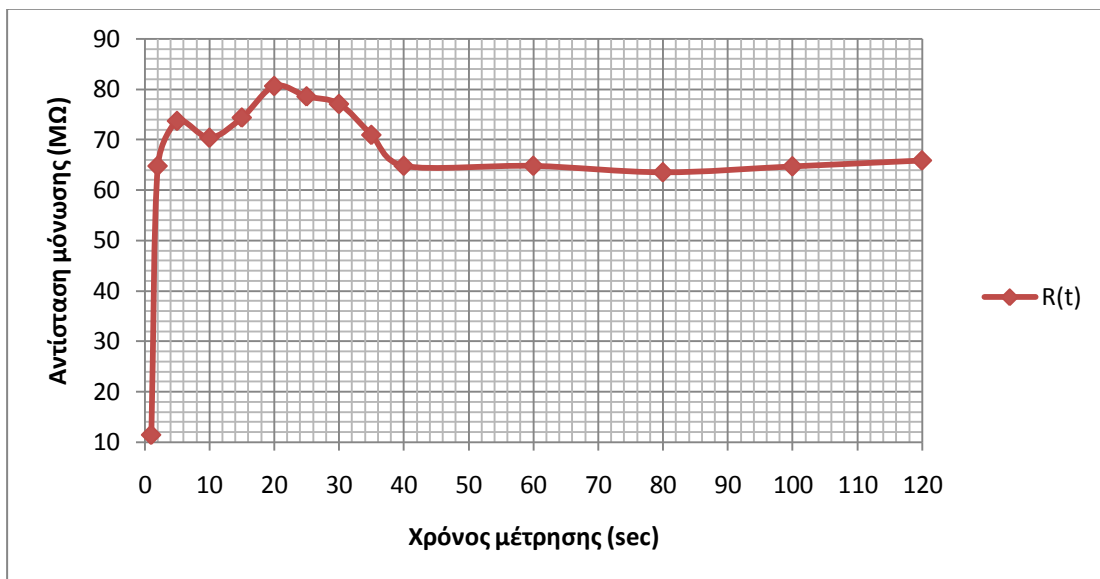
Σχήμα 4-5: Διάγραμμα επιφανειακής αντίστασης - χρόνου εφαρμογής της τάσης 100V για το δοκίμιο 2 με αγώγιμο υπόστρωμα.



Σχήμα 4-6: Διάγραμμα επιφανειακής αντίστασης - χρόνου εφαρμογής της τάσης 100V για το δοκίμιο 2 με μονωτικό υπόστρωμα.

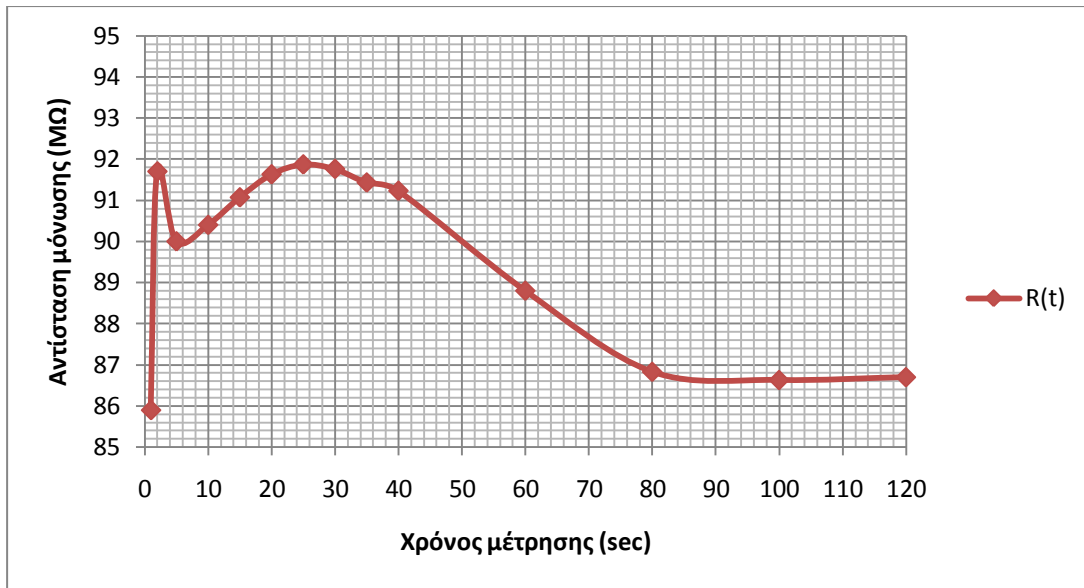


**Σχήμα 4-7:** Διάγραμμα αντίστασης όγκου - χρόνου εφαρμογής της τάσης 100V για το δοκίμιο 3 με αγώγιμο υπόστρωμα.

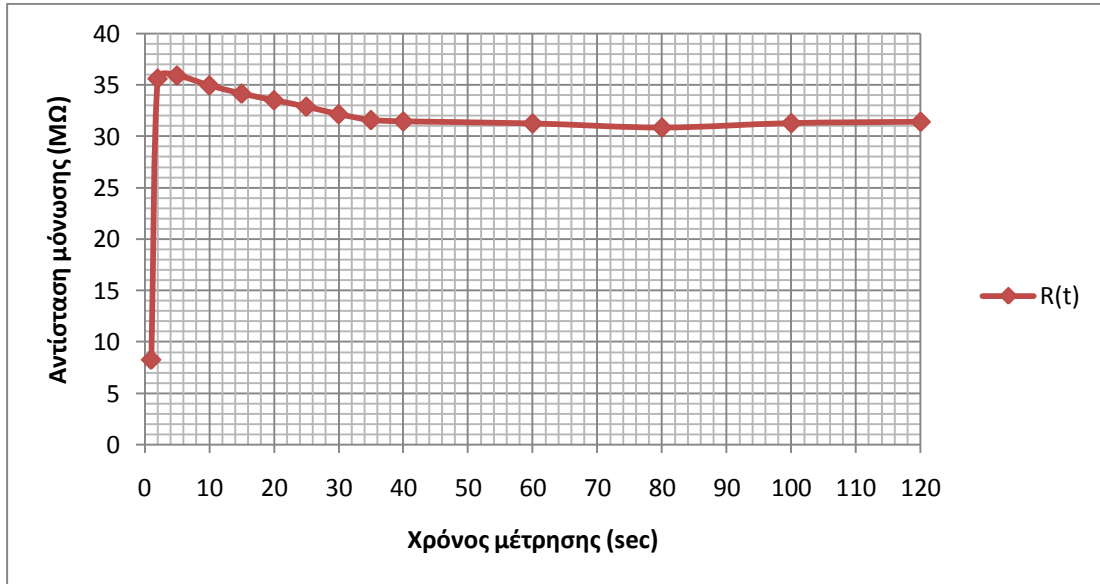


**Σχήμα 4-8:** Διάγραμμα επιφανειακής αντίστασης - χρόνου εφαρμογής της τάσης 100V για το δοκίμιο 3 με αγώγιμο υπόστρωμα.

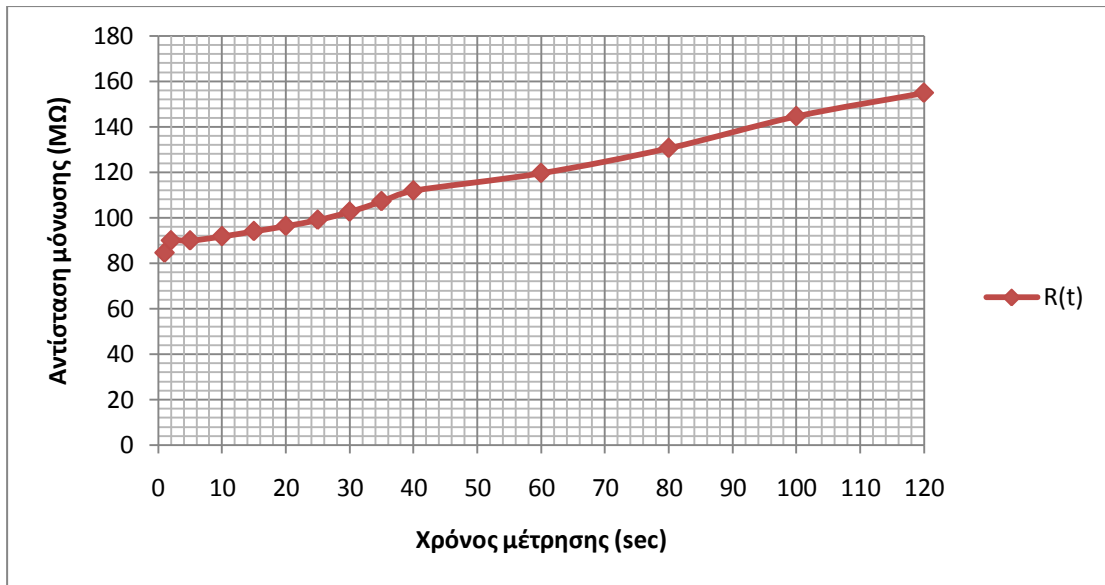




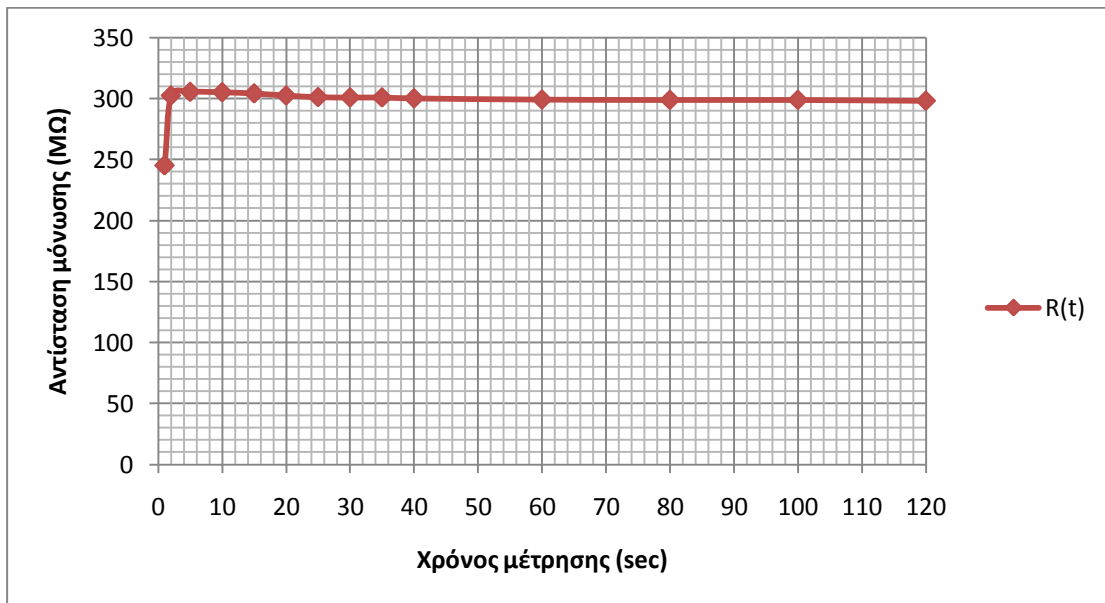
**Σχήμα 4-9:** Διάγραμμα επιφανειακής αντίστασης - χρόνου εφαρμογής της τάσης 100V για το δοκίμιο 3 με μονωτικό υπόστρωμα.



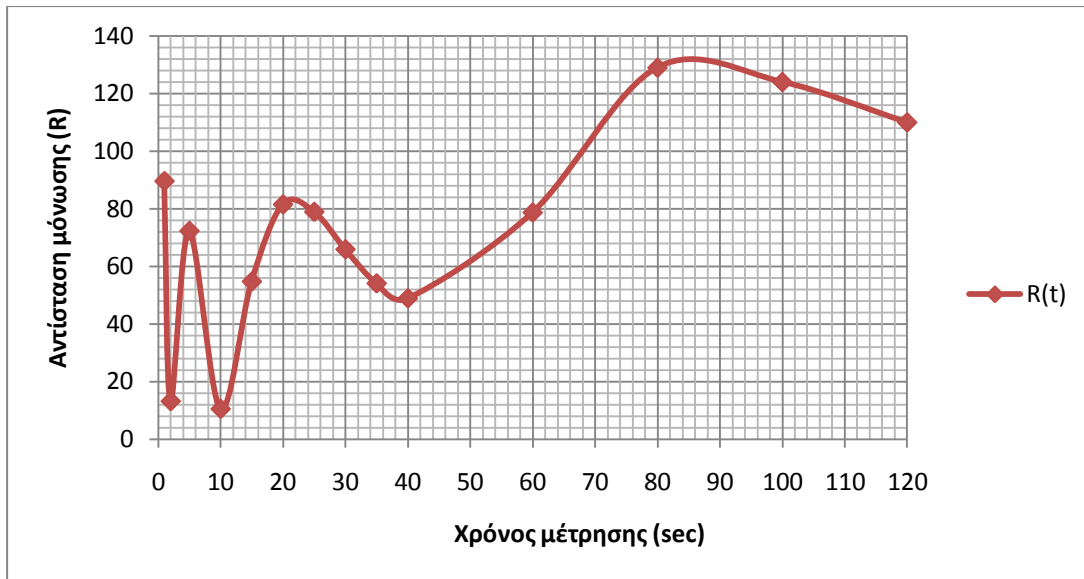
**Σχήμα 4-10:** Διάγραμμα αντίστασης όγκου - χρόνου εφαρμογής της τάσης 100V για το δοκίμιο 4 με αγώγιμο υπόστρωμα.



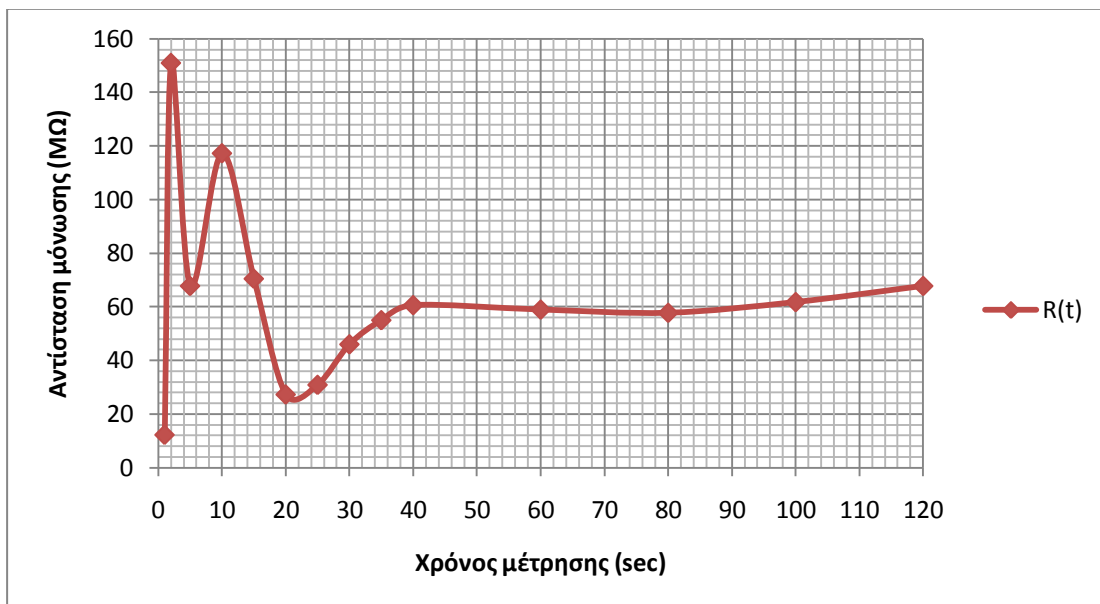
**Σχήμα 4-11:** Διάγραμμα επιφανειακής αντίστασης - χρόνου εφαρμογής της τάσης 100V για το δοκίμιο 4 με αγώγιμο υπόστρωμα.



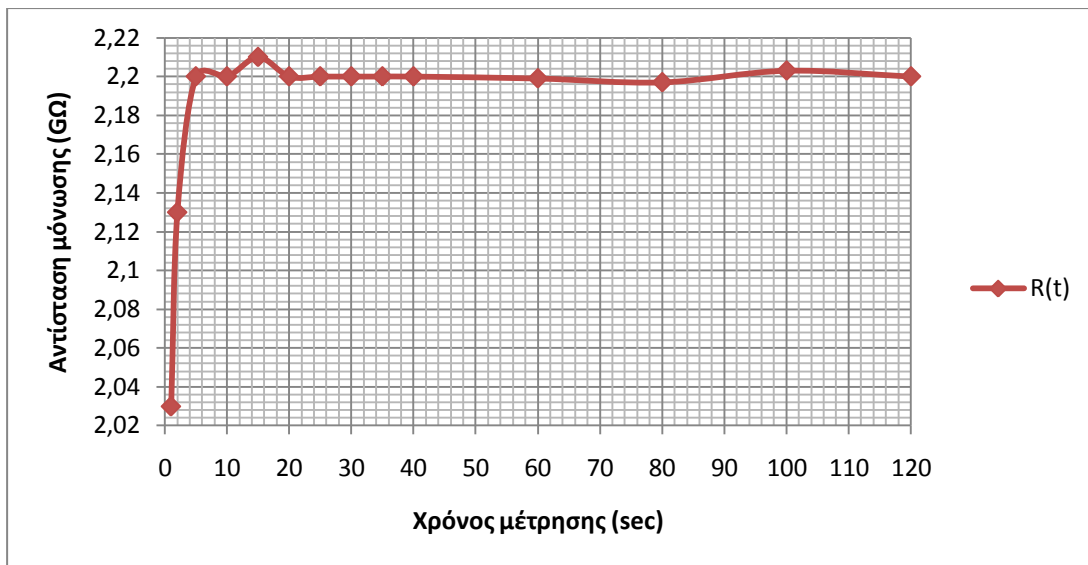
**Σχήμα 4-12:** Διάγραμμα επιφανειακής αντίστασης - χρόνου εφαρμογής της τάσης 100V για το δοκίμιο 4 με μονωτικό υπόστρωμα.



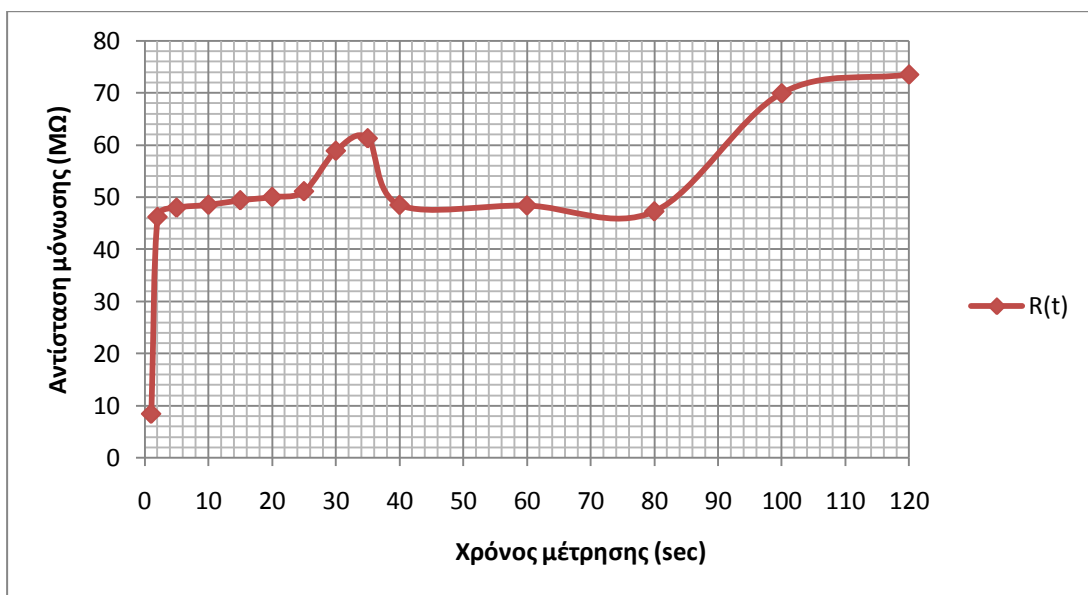
**Σχήμα 4-13:** Διάγραμμα αντίστασης όγκου - χρόνου εφαρμογής της τάσης 100V για το δοκίμιο 5 με αγώγιμο υπόστρωμα.



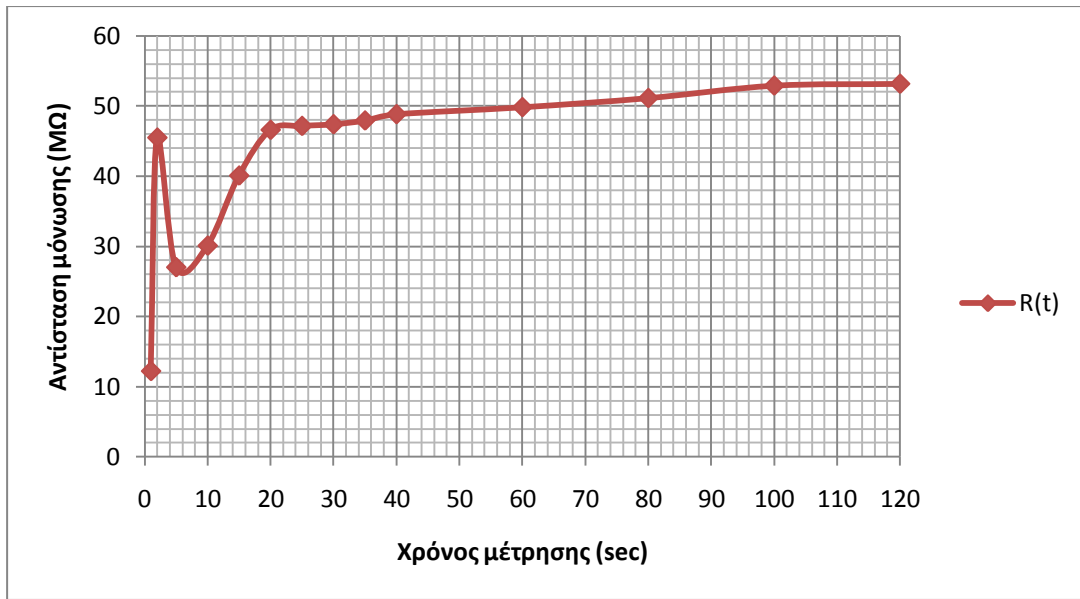
**Σχήμα 4-14:** Διάγραμμα επιφανειακής αντίστασης - χρόνου εφαρμογής της τάσης 100V για το δοκίμιο 5 με αγώγιμο υπόστρωμα.



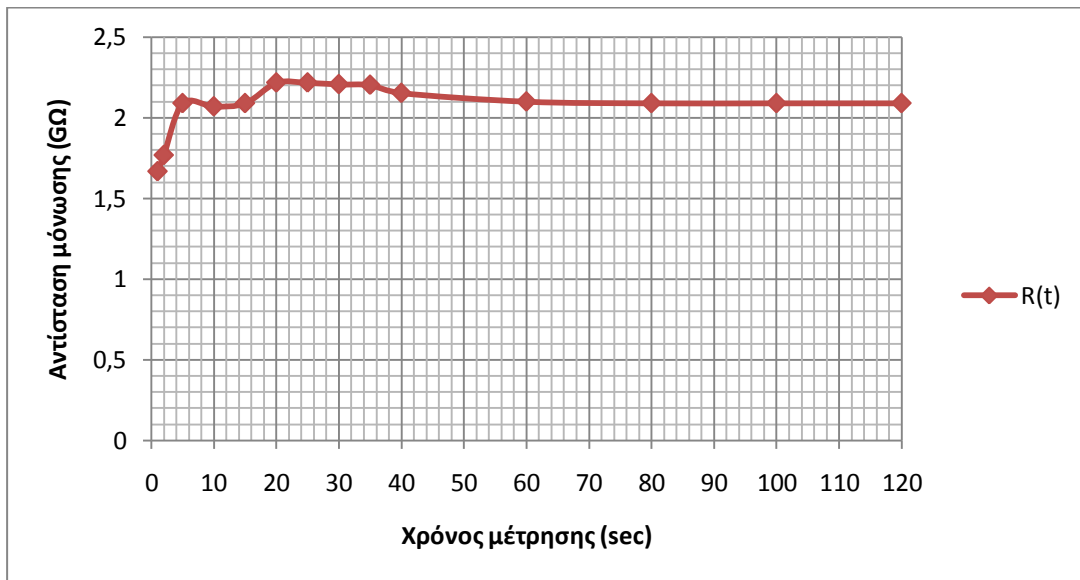
**Σχήμα 4-15:** Διάγραμμα επιφανειακής αντίστασης - χρόνου εφαρμογής της τάσης 100V για το δοκίμιο 5 με μονωτικό υπόστρωμα.



**Σχήμα 4-16:** Διάγραμμα αντίστασης όγκου - χρόνου εφαρμογής της τάσης 100V για το δοκίμιο 6 με αγώγιμο υπόστρωμα.



**Σχήμα 4-17:** Διάγραμμα επιφανειακής αντίστασης - χρόνου εφαρμογής της τάσης 100V για το δοκίμιο 6 με αγώγιμο υπόστρωμα.



**Σχήμα 4-18:** Διάγραμμα επιφανειακής αντίστασης - χρόνου εφαρμογής της τάσης 100V για το δοκίμιο 6 με μονωτικό υπόστρωμα.

Από τα διαγράμματα αυτά, προκύπτει πως για σταθερή τάση εφαρμογής 100V και με τα ηλεκτρόδια μέτρησης τοποθετημένα σε σταθερή απόσταση 10cm, ο χρόνος εφαρμογής της τάσης έχει διαφορετική επίδραση στην μέτρηση της αντίστασης κάθε δοκιμίου, φαινόμενο που πιθανώς εξαρτάται από το υλικό του κάθε δοκιμίου και από το υπόστρωμα που χρησιμοποιείται σε κάθε ένα από αυτά.

Συγκεκριμένα, για το δοκίμιο 1 με αγώγιμο υπόστρωμα, από τα διαγράμματα των σχημάτων 4-1 και 4-2, παρατηρείται μετά από κάποιες μικρές αυξομειώσεις των τιμών της αντίστασης (όγκου και επιφανειακής), μια σταθεροποίησή της, γεγονός που δείχνει την ανεξαρτησία των τιμών της αντίστασης από τον χρόνο μετά από κάποιο χρονικό διάστημα μέτρησης. Τόσο για την αντίσταση όγκου, όσο και για την επιφανειακή αντίσταση, ουσιαστική σταθεροποίηση της τιμής της αντίστασης παρατηρείται μετά τα 40sec. Με το μονωτικό υπόστρωμα, η σχέση χρόνου εφαρμογής της τάσης των 100V με την επιφανειακή αντίσταση είναι σχεδόν σταθερή σε όλες τις μετρήσεις χρόνου, όπως φαίνεται και από το σχήμα 4-3.

Για το δοκίμιο 2 και τις μετρήσεις της αντίστασης όγκου πάνω σε αυτό με αγώγιμο υπόστρωμα όπως φαίνεται από το σχήμα 4-4, με την αύξηση του χρόνου παρατηρείται μια συνεχής μείωση της τιμής της αντίστασης, ενώ τόσο με αγώγιμο, όσο και με μονωτικό υπόστρωμα, η τιμή της επιφανειακής αντίστασης αυξάνεται μέχρι να σταθεροποιηθεί μετά από χρόνο 20sec περίπου, όπως φαίνεται και από τα σχήματα 4-5 και 4-6.

Για το δοκίμιο 3 και από τα διαγράμματα των σχημάτων 4-7, 4-8 και 4-9, παρατηρούνται μικρές αυξομειώσεις των τιμών των αντιστάσεων και για τα δύο είδη υποστρώματος. Με μια πρώτη ματιά μπορεί να ειπωθεί πως υπάρχουν πολλές αυξομειώσεις στις περιπτώσεις που μελετήθηκαν, όμως από την άλλη οι τελικές τιμές δεν ξεφεύγουν πολύ από τις ενδιάμεσες, και συνεπώς το συγκεκριμένο υλικό επιδεικνύει μια σχετική σταθερότητα.

Για το δοκίμιο 4 και από τα διαγράμματα των σχημάτων 4-10 και 4-12, παρατηρείται σταθερότητα των τιμών της αντίστασης μόνωσης σε σχέση με τον χρόνο εφαρμογής της τάσης στο δοκίμιο. Από την άλλη μεριά, για την επιφανειακή αντίσταση του δοκιμίου με αγώγιμο υπόστρωμα και με βάση το σχήμα 4-11, η σχέση αντίστασης-χρόνου εφαρμογής της τάσης είναι ανάλογη. Η συμπεριφορά αυτή της αντίστασης δείχνει πως η τιμή της είναι ανεξάρτητη του χρόνου διάρκειας της μέτρησης, τόσο στην περίπτωση της κατακόρυφης αντίστασης με αγώγιμο υπόστρωμα, όσο και στην περίπτωση της επιφανειακής αντίστασης με μονωτικό υπόστρωμα.

Για το δοκίμιο 5, από το διάγραμμα του σχήματος 4-13 φαίνεται πως η τιμή της αντίστασης όγκου του δαπέδου με αγώγιμο υπόστρωμα δεν σταθεροποιείται,

καθώς αυξομειώνεται συνέχεια μέχρι την τελική τιμή χρόνου των 120sec. Από το σχήμα 4-14, φαίνεται πως η επιφανειακή του αντίσταση με το ίδιο υπόστρωμα παρουσιάζει αυξομειώσεις στις τιμές της μέχρι να σταθεροποιηθεί για χρόνο 40sec περίπου. Για μονωτικό υπόστρωμα, το δοκίμιο για μικρές τιμές του χρόνου εφαρμογής της τάσης παρουσιάζει σταθερή επιφανειακή αντίσταση μόνωσης, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα του σχήματος 4-15.

Παρομοίως για το δοκίμιο 6, παρατηρούνται αυξομειώσεις των τιμών της αντίστασης όγκου γύρω από το χρόνο των 25sec. Παρά την αρχική σταθεροποίηση της τιμής της αντίστασης για χρόνους εφαρμογής της τάσης μεταξύ των 40sec και των 80sec, για τιμές χρόνου μεγαλύτερες των 80sec η τιμή της αντίστασης παρουσιάζει ανοδική συμπεριφορά, γεγονός που οφείλεται πιθανώς σε φαινόμενα πολώσεως (Σχήμα 4-16). Η επιφανειακή αντίσταση με αγώγιμο υπόστρωμα σταθεροποιείται για μικρούς χρόνους μέτρησης (20sec), όπως φαίνεται και από το διάγραμμα του σχήματος 4-17. Από την άλλη μεριά και με βάση το διάγραμμα του σχήματος 4-18, η επιφανειακή αντίσταση του δοκιμίου με μονωτικό υπόστρωμα, παρουσιάζει σταθερότητα με τον χρόνο.

#### ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Το είδος του υποστρώματος που χρησιμοποιείται επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Αυτό φαίνεται στο γεγονός πως οι αντιστάσεις μόνωσης των δοκιμίων με αγώγιμο υπόστρωμα παίρνει τιμές μεγέθους  $M\Omega$ , ενώ η αντίσταση μόνωσης με μονωτικό υπόστρωμα παίρνει τιμές μεγέθους  $G\Omega$ .
- Στη μέτρηση της επιφανειακής αντίστασης με αγώγιμο υπόστρωμα φαίνεται να υπάρχει επίδραση του αγώγιμου υποστρώματος, λόγω ενδεχόμενης δημιουργίας αγώγιμης οδού μέσω του όγκου του δοκιμίου και του υποστρώματος.
- Από τους πίνακες του Κεφαλαίου 3, μπορεί κανείς να παρατηρήσει πως στην περίπτωση του αγώγιμου υποστρώματος, οι τιμές της επιφανειακής αντίστασης ( $R_{επ}$ ) είναι γενικά μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες τιμές της αντίστασης όγκου ( $R_{όγκου}$ ), δείχνοντας έτσι πως η ηλεκτροστατική εκφόρτιση της διάταξης, με το πέρας της κάθε μέτρησης, ακολουθεί ευκολότερα αγώγιμη οδό διαφυγής κατακόρυφα (προς τον γειωμένο χαλκό), παρά επιφανειακά (κατά μήκος του δοκιμίου που χρησιμοποιείται). Οι τιμές των μετρήσεων της επιφανειακής αντίστασης των δοκιμίων με μονωτικό υπόστρωμα είναι

μεγαλύτερες από αυτές με αγώγιμο υπόστρωμα, καθώς τα ηλεκτρόνια δυσκολεύονται περισσότερο για να βρουν διέξοδο διαφυγής.

- Σε πολλές από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακά και στα περισσότερα δοκίμια, εμφανίζονται αποκλίσεις τιμών, πιθανώς σε φαινόμενα πόλωσης. Έντονα φαινόμενα πόλωσης φαίνεται να παρουσιάζουν τα δοκίμια 5 και 6. Η πόλωση εμφανίζεται κυρίως σε μετρήσεις μεγάλης διάρκειας χρόνου, όπου η επιβαλλόμενη τάση είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτροστατικό πεδίο, το οποίο δεν απομακρυνόταν από την επιφάνεια του δοκιμίου υπό τάση μέσα στο χρονικό διάστημα που μεσολαβούσε μεταξύ της κάθε μέτρησης. Οποιοσδήποτε αποκλίσεις ή δυσαναλογίες αποτελεσμάτων μπορεί να οφείλονται και σε φαινόμενα ευαισθησίας του οργάνου μέτρησης, όπως και πιθανώς στον ανθρώπινο παράγοντα.
- Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα 6 δοκίμια, για αγώγιμο υπόστρωμα και μη, παρατηρήθηκε πως το καθένα από αυτά έχει την δική του συμπεριφορά στην μεταβολή της χρονικής διάρκειας εφαρμογής της τάσης.



## Κεφάλαιο 5 – Βιβλιογραφία

Η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρακάτω:

- [1] ELECTROSTATIC DISSIPATIVE (ESD) FLOORCOVERINGS, Polyfloor Technical Information
- [2] Sam J. Dahman, Recent Innovations of Inherently Conducting Polymers for Optimal ( $10^6$ - $10^9$  OHM/SQ) ESD Protection Materials, EOS/ESD SYMPOSIUM 2001
- [3] Standard Test Method for Electrical Resistance of Conductive and Static Dissipative Resilient Flooring, Designation F 150-98
- [4] Static Control Maintenance Products, LEGGE
- [5] Robert B. Rosner, Conductive Materials for ESD Applications: An Overview
- [6] EOS/ESD SYMPOSIUM 1992, Static Phenomena and Test Methods for Static Controlled Floors
- [7] ESD/EOS, Intel, 2000 Packaging Databook
- [8] Sheila L.Jones, Resilient Flooring: A Comparison of Vinyl, Linoleum and Cork, Georgia Tech Research Institute, Fall 1999

- [9] EOS-4 1982, Characterization of ESD safe requirements for floor surfaces
- [10] Ιάσων Α. Κρητικός, Μέτρηση της Αντίστασης Μόνωσης Αντιστατικών Δαπέδων, Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα, Φεβρουάριος 2009
- [11] Ι.Α.Ρουμελιώτης – Ι.Λ.Τσαλαμέγκας, Σημειώσεις Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων, τόμος Β', Αθήνα 2005
- [12] S.O. Kasap, Αρχές Ηλεκτρονικών Υλικών και Διατάξεων, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2004
- [13] Kenneth L. Kaiser, “Electrostatic discharge”, Taylor & Francis Group, 2006
- [14] A.D.Moore, “Electrostatics and its applications”, John Wiley Sons, 1973
- [15] <http://www.esda.org> (Electrostatic Discharge Association)
- [16] <http://en.wikipedia.org>
- [17] <http://www.gossenmetrawatt.com>
- [18] <http://www.boedeker.com/esdmatls.htm>
- [19] [http://www.generalpolymers.com/tech\\_lib/shock\\_proof.asp](http://www.generalpolymers.com/tech_lib/shock_proof.asp)
- [20] <http://www.staticworx.com/>

[21] <http://www.staticworx.com/articles/understand-conductivity.php>

[22] <http://www.xfloor.gr/tech/antistatic/>

[23] <http://www.akasimatis.com.gr>

[24] <http://www.smartsteps.gr>

[25] <http://contract-floor-center.blogspot.com/2008/11/u.html>

[26] <http://www.allfloor.gr/pvc.html>

[27] <http://www.accessfloorsystems.com>

[28] <http://www.staticsmart.com>

[29] <http://www.texnikos.gr>

[30] <http://www.strouboulis.gr>

[31] <http://magodecor.gr>

## Παράρτημα Α

### Όργανο μέτρησης Metriso 5000D-PI®



**Εικόνα 1:** Όργανο μέτρησης Metriso 5000D-PI®

Είναι το όργανο μέτρησης που θα χρησιμοποιηθεί κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, για μετρήσεις επιφανειακής και κατακόρυφης αντίστασης διαφόρων δοκιμίων - αντιστατικών δαπέδων.

Είναι κατασκευασμένο και έχει ελεγχθεί σύμφωνα με τα παρακάτω πρότυπα ασφαλείας:

- DIN EN 61557-1:2007
- DIN EN 61557-2:1998-05
- IEC 61010-1:2004
- EN 61010-1:2002
- VDE 0413 Part 1:2007
- VDE 0413 Part 2:1998-05
- VDE 0411 Part 1:2002

Το METRISO 5000D-PI® μπορεί να πραγματοποιήσει μετρήσεις όπως είναι οι εξής:

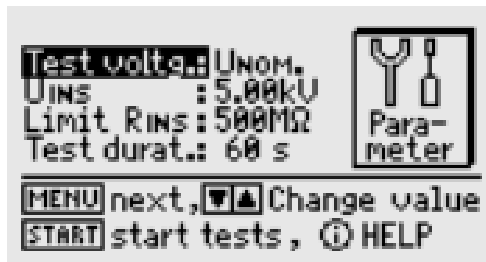
1. Αντίστασης μόνωσης( Insulation Test)
2. Υψηλής τάσης με χαρακτηριστικά B1/B2 (High Voltage Test with Feature B1/B2)
3. Πόλωσης της διάταξης (Polarization Index Measurement)
4. Τάσης διάσπασης του υλικού( Breakdown Voltage)
5. Χωρητικότητας και διηλεκτρικής αποφόρτισης (Capacitance Measurement and Determination of Dielectric Discharge)
6. Τάσης αποφόρτισης (συνεχούς ή εναλλασσόμενης) της συνολικής διάταξης για την προστασία από ηλεκτροπληξία. Στην περίπτωση αυτή, μέσα σε μέγιστο χρόνο 5sec μετά την απενεργοποίηση του οργάνου, πρέπει η τάση που αυτό επιβάλλει στην συνολική πειραματική διάταξη να πέσει στα 60V ή χαμηλότερα.

Η διαδικασία με την οποία έγινε η λήψη των μετρήσεων είναι η ίδια, ανεξαρτήτως της συνδεσμολογίας της πειραματικής διάταξης (επιφανειακή ή κατακόρυφη αντίσταση). Τα βήματα τα οποία ακολουθούνται, αφού πραγματοποιηθεί η κατάλληλη συνδεσμολογία, είναι τα εξής:

- Αρχικά ενεργοποιούμε το όργανο μέτρησης METRISO 5000D-PI®, τοποθετώντας τον επιλογέα στην θέση “TEST”. Η εικόνα που παρουσιάζεται στον οθόνη της συσκευής μέτρησης είναι η παρακάτω και δείχνει τί είδους μετρήσεις μπορεί να πραγματοποιήσει:



- Για να πραγματοποιηθούν μετρήσεις επιφανειακής ή κατακόρυφης αντίστασης πατάμε το πλήκτρο “MENU” της συσκευής όταν το βέλος επιλογής βρίσκεται στην επιλογή “Insulation Test”. Η οθόνη που μας παρουσιάζεται είναι της εξής μορφής:



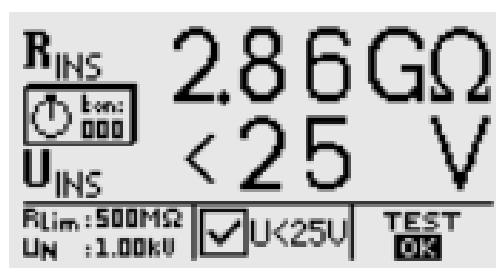
Αξίζει να τονιστεί ότι χρησιμοποιώντας τα βέλη επιλογής (**[down arrow] [up arrow] Change value**), όταν ο επιλογέας είναι στην θέση “Test Voltage”, μπορούμε να επιλέξουμε το είδος της τάσης που θα εφαρμόσουμε στη διάταξή μας. Οι τάσεις που μπορούν να εφαρμοστούν είναι οι εξής:

1.  $U_{nom}$  με τιμές 100/250/500V, 1.00/1.50/2.00/2.50/5.00 kV
2.  $U_{var}$  με τιμές 100V...5kV, με βήμα 50V
3.  $U_{step}$  με τιμές 250V...5kV σε βήματα των 250V.

- Πατώντας το πλήκτρο “MENU” για ακόμα μια φορά, ο επιλογέας μετακινείται στην θέση  $U_{ins}$ , όπου ουσιαστικά μεταβάλλουμε την τάση δοκιμής, δίνοντας τις παραπάνω τρεις τιμές, με την χρήση των βελών επιλογής. Γενικά, πατώντας κάθε φορά το πλήκτρο “MENU”, ο επιλογέας προχωράει μια θέση παρακάτω μέχρι η οθόνη να ξαναβρεθεί στην αρχική οθόνη επιλογών μετρήσεων.
- Η επιλογή “Limit  $R_{ins}$ ” θέτει το κατώτατο όριο αντίστασης μόνωσης( επιφανειακής ή όγκου). Τιμή χαμηλότερη από την τιμή του κατώτατου ορίου, προκαλεί αποτυχία της μέτρησης που παίρνουμε εκείνη τη στιγμή. Αυτό φαίνεται από ένα μικρό λαμπάκι που σε περίπτωση πετυχημένης τελικής μέτρησης μετά τον χρόνο που κρατάει αυτή παίρνει ένα πράσινο χρώμα, ενώ σε αντίθετη περίπτωση παίρνει κόκκινο χρώμα. Στη διπλωματική εργασία αυτή δύο τιμές θα θέσουμε ως κατώτατα όρια αντίστασης μόνωσης, τα 10kΩ και τα 20kΩ.
- Η επιλογή “Test duration” αναφέρεται στον μέγιστο χρόνο διάρκειας της μέτρησης, στην περίπτωσή μας σε δευτερόλεπτα (Time in sec). Κάθε φορά, η τιμή του χρόνου μεταβάλλεται με την χρήση των βελών επιλογής από 1...120 sec. Οι πιο συνηθισμένες τιμές χρόνου είναι τα 10 sec, 30 sec, 60 sec και τα

110 sec, όπου η τιμή της αντίστασης παίρνει σχετικά σταθερές τιμές. Με την επιλογή “Auto”, μια μέτρηση θεωρείται τελική, όσος χρόνος και αν παρέλθει, όταν αυτή σταθεροποιηθεί. Οι πολύ χαμηλές τιμές του χρόνου εφαρμογής τάσης(1-5 sec) επιλέγονται με σκοπό την παρατήρηση της στιγμιαίας τιμής της μετρούμενης αντίστασης σε σχέση με την πάροδο ενός μεγαλύτερου χρονικού διαστήματος και την σταθεροποίησή της.

- Όσο διαρκεί μια μέτρηση, το λαμπάκι ένδειξης του οργάνου έχει κίτρινο χρώμα. Με το πέρας της μέτρησης, το λαμπάκι μπορεί να πάρει χρώμα πράσινο, αν αυτή είναι πετυχημένη, είτε κόκκινο χρώμα, όταν αυτή είναι αποτυχημένη. Στην παρακάτω εικόνα, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα τελικής μέτρησης αντίστασης μόνωσης:

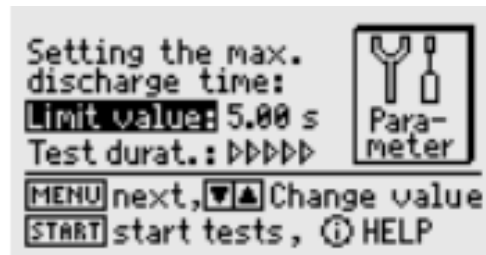


Παρατηρούμε ότι το χρονόμετρο έχει μηδενιστεί, δηλώνοντας έτσι το τέλος της μέτρησης, η οποία και είναι πετυχημένη. Αυτό φαίνεται και από την ένδειξη της οθόνης “TEST OK”. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης, η ένδειξη  $U_{ins}$  δείχνει την τάση που εφαρμόζεται μεταξύ των ηλεκτροδίων και είναι ίση ή λίγο μεγαλύτερη από την ένδειξη  $U_N$ , η οποία στην περίπτωση της εικόνας είναι ίση με 1kV. Όταν η μέτρηση τελειώσει, παρατηρείται πολύ σύντομα μετά στην οθόνη του οργάνου η ένδειξη  $U_{ins} < 25\text{ V}$ , δείχνοντας πως όλη η διάταξη έχει αποφορτιστεί και είναι πλέον ασφαλής για κάθε είδους παρεμβολές. Το κατώτατο όριο της αντίστασης μόνωσης εδώ είναι 500MΩ. Η τιμή που είναι χρήσιμη σε κάθε μέτρηση είναι αυτή της ένδειξης  $R_{INS}$ .

- Εάν είναι επιθυμητή η αλλαγή του χρόνου εκφόρτισης της πειραματικής διάταξης, πριν την μετάβαση σε μια επόμενη μέτρηση, στην αρχική οθόνη του οργάνου μέτρησης, πατάμε το πλήκτρο “MENU”, όταν ο κέρσορας τοποθετηθεί με τα βέλη επιλογής στην επιλογή “Voltage Measurement”



Ο χρόνος που χρειάζεται για την εκφόρτιση ρυθμίζεται στην παρακάτω οθόνη:



Όπως και κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας, ως μέγιστος χρόνος εκφόρτισης θέτονται τα 5sec, μετά την πάροδο των οποίων η τάση που εφαρμόζεται μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων είναι μηδενική.

- Αφού τελειώσουν οι ρυθμίσεις των μετρήσεων, με το πάτημα του πλήκτρου “START”, αρχίζει η μέτρηση της αντίστασης, και διαρκεί όσο διαρκεί ο χρόνος εφαρμογής της τάσης που τέθηκε ως παράμετρος.