



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Τομέας Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ  
ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ  
ΑΝΤΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΔΑΠΕΔΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

**ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΠΑΥΛΟΠΟΥΛΟΥ**

**Επιβλέπων :** Παναγιώτης Τσαραμπάρης  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2010





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

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ  
ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ  
ΑΝΤΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΔΑΠΕΔΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

**ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΠΑΥΛΟΠΟΥΛΟΥ**

**Επιβλέπων :** Παναγιώτης Τσαραμπάρης  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 14<sup>η</sup> Ιουλίου 2010.

.....  
Π.ΤΣΑΡΑΜΠΑΡΗΣ  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

.....  
Κ.ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Ν.ΘΕΟΔΩΡΟΥ  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2010

.....

## **ΓΕΩΡΓΙΑ ΠΑΥΛΟΠΟΥΛΟΥ**

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

© 2010 – 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 παρών μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη 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 ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνίου.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική αυτή εργασία πραγματοποιήθηκε στον τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων υπό την επίβλεψη του Λέκτορα Παναγιώτη Τσαραμπάρη και αφορά στην μελέτη της επίδρασης του βάρους των ηλεκτροδίων και της εφαρμοζόμενης τάσης στη μετρούμενη αντίσταση αντιστατικών δαπέδων.

Πιο συγκεκριμένα στο εργαστήριο του τομέα πραγματοποιήθηκαν μία σειρά από μετρήσεις με σκοπό την μέτρηση της αντίστασης σε δοκίμια ηλεκτροστατικών δαπέδων. Στόχος της προσπάθειας αυτής είναι αφενός να μπορεί ο αναγνώστης να έχει άμεση εποπτική εικόνα της μεταβολής της αντίστασης των δαπέδων ανάλογα με τον τύπο του ηλεκτροδίου που χρησιμοποιείται, την μεταβολή του βάρους του ηλεκτροδίου και τη μεταβολή της τιμής της εφαρμοζόμενης τάσης και αφετέρου να εξαχθούν συμπεράσματα που θα βοηθήσουν ακόμη περισσότερο στην κατανόηση της ηλεκτρικής συμπεριφοράς των αντιστατικών δαπέδων.

Τα συμπεράσματα που θα προκύψουν από την μελέτη θα βοηθήσουν στην περαιτέρω κατανόηση των ιδιοτήτων των διαφόρων υλικών που χρησιμοποιούνται στα αντιστατικά δάπεδα. Συνεπώς η επιλογή των υλικών θα γίνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια όπως και η αξιολόγηση τους για τη χρησιμοποίησή τους σε διάφορες εφαρμογές, ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε εγκατάστασης.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Λέκτορα Παναγιώτη Τσαραμπάρη για την πολύτιμη βοήθεια του για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....</b>	<b>8</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΒΑΣΙΚΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ.....</b>	<b>11</b>
1.1 <i>ΙΣΤΟΡΙΚΟ.....</i>	<i>11</i>
1.2 <i>ΣΤΑΤΙΚΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ.....</i>	<i>12</i>
1.3 <i>ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ.....</i>	<i>13</i>
1.3.1 <i>ΤΡΙΒΟΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ.....</i>	<i>14</i>
1.3.2 <i>ΕΠΑΓΩΓΗ.....</i>	<i>17</i>
1.3.3 <i>ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΟΡΤΙΟΥ ΜΕ ΕΠΑΦΗ.....</i>	<i>18</i>
1.4 <i>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΩΝ – ΠΩΣ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΣΤΑΤΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ.....</i>	<i>18</i>
1.5 <i>ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ – ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ.....</i>	<i>23</i>
1.6 <i>ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΕΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΕΙΣ.....</i>	<i>26</i>
1.6.1 <i>ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ (HBM – HUMAN BODY MODEL).....</i>	<i>26</i>
1.6.2 <i>ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΗΧΑΝΗΣ (MM – MACHINE MODEL).....</i>	<i>27</i>
1.6.3 <i>ΜΟΝΤΕΛΟ ΦΟΡΤΙΣΜΕΝΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ (CDM – CHARGED DEVICE MODEL).....</i>	<i>28</i>
1.7 <i>ΒΛΑΒΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ.....</i>	<i>30</i>
1.7.1 <i>ΑΣΤΟΧΙΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ.....</i>	<i>30</i>
1.7.2 <i>ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΑΣΤΟΧΙΑ.....</i>	<i>30</i>
1.7.3 <i>ΛΑΝΘΑΝΟΝ ΕΛΑΤΤΩΜΑ.....</i>	<i>31</i>
1.8 <i>ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΒΛΑΒΩΝ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΕΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΕΙΣ.....</i>	<i>31</i>
1.8.1 <i>ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ ΟΞΕΙΔΙΟΥ.....</i>	<i>31</i>
1.8.2 <i>ΚΑΡΦΩΜΑ ΣΥΝΕΝΩΣΗΣ (JUNCTION SPIKING).....</i>	<i>32</i>
1.8.3 <i>ΜΑΝΔΑΛΩΣΗ (LATCH UP FAILURE).....</i>	<i>33</i>
1.9 <i>ΕΛΕΓΧΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΩΝ ΕΚΦΟΡΤΙΣΕΩΝ.....</i>	<i>33</i>
1.9.1 <i>ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΑΠΑΛΛΑΓΗ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΕΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΕΙΣ.....</i>	<i>34</i>
1.9.2 <i>ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΕΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΕΙΣ.....</i>	<i>34</i>
1.9.3 <i>ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....</i>	<i>35</i>
1.9.4 <i>ΜΕΙΩΝΟΝΤΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΒΑΛΛΟΝΤΑΣ ΤΟ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ ΦΟΡΤΙΩΝ.....</i>	<i>36</i>
1.9.5 <i>ΔΙΑΣΚΟΡΠΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΟΥΔΕΤΕΡΟΠΟΙΗΣΗ.....</i>	<i>36</i>
1.9.6 <i>ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΕΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΕΙΣ (ESD).....</i>	<i>37</i>
1.10 <i>ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ.....</i>	<i>37</i>
1.10.1 <i>ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ.....</i>	<i>39</i>
1.11 <i>ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ ΣΕ ΕΚΡΗΚΤΙΚΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΕΣ – ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ.....</i>	<i>41</i>
1.11.1 <i>ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΣΠΙΝΘΗΡΙΣΜΟΣ.....</i>	<i>41</i>

1.11.2 ΘΥΣΑΝΟΕΙΔΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΚΚΕΝΩΣΗ .....	42
1.11.3 ΜΕΤΑΔΙΔΟΜΕΝΗ ΘΥΣΑΝΟΕΙΔΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΚΚΕΝΩΣΗ.....	42
1.11.4 ΕΚΚΕΝΩΣΗ ΚΩΝΟΥ .....	43
<i>1.12 ΓΕΙΩΣΗ.....</i>	<i>43</i>
<i>1.13 ΔΑΠΕΔΑ – ΠΡΩΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....</i>	<i>47</i>
<i>1.14 ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΔΑΠΕΔΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ .....</i>	<i>49</i>
<i>1.15 ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΑΠΕΔΟΥ.....</i>	<i>54</i>
<i>1.16 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΔΑΠΕΔΩΝ.....</i>	<i>56</i>
<i>1.17 ΕΠΙΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ .....</i>	<i>57</i>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Η ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....</b>	<b>58</b>
<i>2.1 Η ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....</i>	<i>58</i>
<i>2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....</i>	<i>59</i>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....</b>	<b>61</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΣΧΟΛΙΑ ΕΠΙ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ....</b>	<b>82</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>103</b>

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διπλωματική αυτή εργασία αφορά στην μελέτη της επίδρασης του βάρους των ηλεκτροδίων και της εφαρμοζόμενης τάσης στη μετρούμενη αντίσταση αντιστατικών δαπέδων.

Πιο συγκεκριμένα στο εργαστήριο του τομέα πραγματοποιήθηκαν μία σειρά από μετρήσεις με σκοπό την μέτρηση της αντίστασης σε δοκίμια ηλεκτροστατικών δαπέδων. Στόχος της προσπάθειας αυτής είναι αφενός να μπορεί ο αναγνώστης να έχει άμεση εποπτική εικόνα της μεταβολής της αντίστασης των δαπέδων ανάλογα με τον τύπο του ηλεκτροδίου που χρησιμοποιείται, την μεταβολή του βάρους του ηλεκτροδίου και τη μεταβολή της τιμής της εφαρμοζόμενης τάσης και αφετέρου να εξαχθούν συμπεράσματα που θα βοηθήσουν ακόμη περισσότερο στην κατανόηση της ηλεκτρικής συμπεριφοράς των αντιστατικών δαπέδων.

Αρχικά γίνεται μία αναφορά για τα στατικά φορτία και για τους μηχανισμούς σχηματισμού στατικών φορτίων. Στη συνέχεια περιγράφονται τα προβλήματα και οι κίνδυνοι που προκύπτουν στους διάφορους χώρους εγκαταστάσεων λόγω των ανεπιθύμητων στατικών φορτίων και η ανάγκη απομάκρυνσης και ελέγχου αυτών των φορτίων κυρίως μέσω δαπέδων ελέγχου στατικών φορτίων. Ακολουθεί περιγραφή της διάταξης και διαδικασίας που ακολουθήθηκε στο εργαστήριο για την πραγματοποίηση των μετρήσεων. Τέλος παρουσιάζονται όλες οι τιμές και οι χαρακτηριστικές της μετρούμενης αντίστασης και γίνεται μία προσπάθεια για την εξήγησή τους και την εξαγωγή συμπερασμάτων.



## **SUMMARY**

This thesis concerns in the study of the effect of the weight of the electrodes and the applied voltage on the measured electric resistance of the antistatic floor.

A number of measurements were made aiming at the measurement of the electrical resistance of ESD control floor samples. The objective of this work is on one side can the reader have a direct view of the change of the electrical resistance depending on the type of the electrode, the change of weight of the electrodes and the change of the applied voltage, moreover conclusions are exported that they will help in the comprehension of the electrical properties of ESD control flooring.

Initially becomes a report of the mechanisms generating electrostatic charge, the problems static electricity causes in several facilities and the need there is to control the accumulated static charges most effectively through static control flooring. Then follows a description of the circuit topology that has been used and the whole process that was followed in the laboratory for the implementation of the measurements. Finally all the measured sizes and the corresponding diagrams are presented and becomes an effort for their explanation and the export of conclusions.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### **1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ**

Η δεκαετία του '90, μπορεί να θεωρηθεί σαν η δεκαετία της Ποιότητας στη βιομηχανική παραγωγή ηλεκτρονικών. Ο αυξημένος ανταγωνισμός και ο κανονισμός ISO 9000, έχουν υποχρεώσει σε συμμόρφωση στην ποιότητα ακόμα κι εκείνες τις εταιρείες, οι οποίες μπορεί να μην το είχαν κάνει τόσο πρόθυμα. Καθώς εξετάζουμε το περιβάλλον μας για τομείς όπου μπορεί να βελτιωθεί η ποιότητα, η ηλεκτροστατική εκφόρτιση (ESD – electrostatic discharge) παραμένει ένας στόχος – κλειδί.

Ο στατικός ηλεκτρισμός είναι ένα τεχνικό πρόβλημα για αιώνες τώρα. Ήδη από τον 15<sup>ο</sup> αιώνα, στα οχυρά της Ευρώπης και της Καραϊβικής χρησιμοποιούνταν διαδικασίες και διατάξεις για έλεγχο του στατικού ηλεκτρισμού, προκειμένου να παρεμποδίσουν την ανάφλεξη των αποθηκών πυρίτιδας, εξαιτίας της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης. Από το 1860, τα εργοστάσια χαρτοποιίας στις ΗΠΑ χρησιμοποιούσαν τεχνικές γείωσης, ιονισμού και ατμό για να διασκορπίσουν τον στατικό ηλεκτρισμό από τα ρολλά χαρτιού κατά τη διαδικασία στέγνωσης. Με την εποχή της ηλεκτρονικής ανέκυψαν νέα προβλήματα σχετικά με τον στατικό ηλεκτρισμό και την ηλεκτροστατική εκφόρτιση. Και καθώς οι ηλεκτρονικές διατάξεις γινόταν ταχύτερες και μικρότερες, η ευαισθησία τους στην ηλεκτροστατική εκφόρτιση μεγάλωνε.

Σήμερα η ηλεκτροστατική εκφόρτιση επιδρά στην παραγωγικότητα και την αξιοπιστία των προϊόντων, ουσιαστικά σε κάθε τομέα των ηλεκτρονικών. Πολλές πλευρές του ηλεκτροστατικού ελέγχου στη βιομηχανία ηλεκτρονικών βρίσκουν εφαρμογή και σε άλλους τομείς, όπως οι καθαροί θάλαμοι και οι γραφικές τέχνες.

Παρά την μεγάλη προσπάθεια της τελευταία δεκαετίας, η ηλεκτροστατική εκφόρτιση εξακολουθεί να επιδρά στην απόδοση της παραγωγής, την ποιότητα την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα των προϊόντων. Στις βιομηχανίες, οι ειδικοί έχουν υπολογίσει το μέσο όρο της παραγωγής, που χάνεται εξαιτίας του στατικού ηλεκτρισμού, από 8 – 33%. Άλλοι εκτιμούν ότι το κόστος από τις βλάβες ηλεκτροστατικής εκφόρτισης στην ηλεκτρονική βιομηχανία, αγγίζει τα 2 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως. Το κόστος των κατεστραμμένων μηχανημάτων κοστίζει, από λίγα σεντς για μια απλή δίοδο, σε αρκετές εκατοντάδες δολάρια για σύνθετα τσιπς.

## **1.2 ΣΤΑΤΙΚΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ**

Ο στατικός ηλεκτρισμός ορίζεται ως ηλεκτρικό φορτίο, που προκαλείται από τη μετατόπιση των ηλεκτρονίων στην επιφάνεια των υλικών, που είτε πλησιάζουν αρκετά μεταξύ τους είτε έρχονται σε επαφή και στη συνέχεια διαχωρίζονται. Αυτή η μεταφορά και συνεπώς ανισοκατανομή των ηλεκτρονίων μεταξύ των υλικών παράγει ένα ηλεκτρικό πεδίο το οποίο μπορεί να μετρηθεί και να προκαλέσει ηλεκτροστατική εκφόρτιση μεταξύ σωμάτων που βρίσκονται σε διαφορετικό ηλεκτρικό δυναμικό. Η ροή των ηλεκτρονίων διαρκεί μέχρι τα στατικά φορτία να εξισωθούν ανάμεσα στα δύο σώματα.

Ρεύματα τόσο μικρής διάρκειας, όσο αυτά που συνήθως προκαλούνται από ηλεκτροστατική εκφόρτιση (ηλεκτροστατική εκκένωση) σπάνια είναι επικίνδυνα για τον άνθρωπο, ενώ χρειάζονται παραπάνω από 3500 volts στατικού ηλεκτρισμού ώστε να μπορέσουμε

να αισθανθούμε ή να αντιληφθούμε τις συνέπειες μιας αποφόρτισης. Με άλλα λόγια ο άνθρωπος δεν μπορεί να δει, να αισθανθεί ή να ακούσει μια ηλεκτροστατική εκκένωση κάτω των 3500 volts.

Αντίθετα όμως μια ηλεκτροστατική εκφόρτιση μερικών εκατοντάδων volts ακόμη και πολύ μικρής διάρκειας, μπορεί να αλλάξει τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μιας ημιαγώγιμης διάταξης, υποβαθμίζοντας ή καταστρέφοντας τη. Μπορεί επίσης να ανατρέψει την κανονική λειτουργία ενός ευαίσθητου ηλεκτρονικού συστήματος προκαλώντας δυσλειτουργία ή και αστοχία του οργάνου. Μια ηλεκτροστατική εκφόρτιση μπορεί πολλές φορές να συνοδεύεται από τη δημιουργία κάποιου σπινθηρισμού, ικανού να προκαλέσει φωτιά ή έκρηξη ιδιαίτερα σε χώρους που υπάρχουν εύφλεκτα υλικά.

Τέλος ένα άλλο πρόβλημα που προκαλείται από τον στατικό ηλεκτρισμό εμφανίζεται στους καθαρούς θαλάμους, δηλαδή σε χώρους με υψηλές απαιτήσεις καθαριότητας. Οι φορτισμένες επιφάνειες έλκουν και συγκρατούν σκόνη και βρωμιές κάνοντας δύσκολο τον καθαρισμό του περιβάλλοντος. Όταν οι ακαθαρσίες έλκονται από την επιφάνεια του πυριτίου ή από το ηλεκτρικό κύκλωμα μιας ημιαγώγιμης διάταξης, προκαλούν τυχαία σφάλματα που μειώνουν την απόδοση παραγωγής.

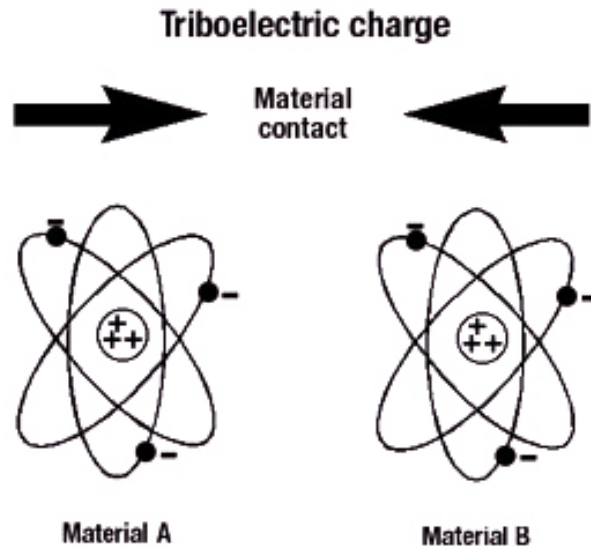
### **1.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ**

Ο έλεγχος της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης, αρχίζει με την κατανόηση της δημιουργίας μιας ηλεκτροστατικής εκφόρτισης. Η ηλεκτροστατική εκφόρτιση προκαλείται από τη μεταφορά ηλεκτρονίων ανάμεσα σε δυο αντικείμενα. Υπάρχουν τρεις βασικοί μηχανισμοί δημιουργίας ηλεκτροστατικού φορτίου και αυτοί είναι: 1) ο τριβοηλεκτρισμός (δηλαδή η επαφή και στη συνέχεια διαχωρισμός δύο αντικειμένων), 2) η επαγωγή και 3) η απευθείας μεταβίβαση φορτίου με επαφή. Και στις τρεις περιπτώσεις, τα αντικείμενα αποκτούν και

διατηρούν για αρκετό διάστημα στατική φόρτιση στις επιφάνειές τους που κυμαίνεται συνήθως από 5 έως και περισσότερα από 50,000 volts.

### **1.3.1 ΤΡΙΒΟΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ**

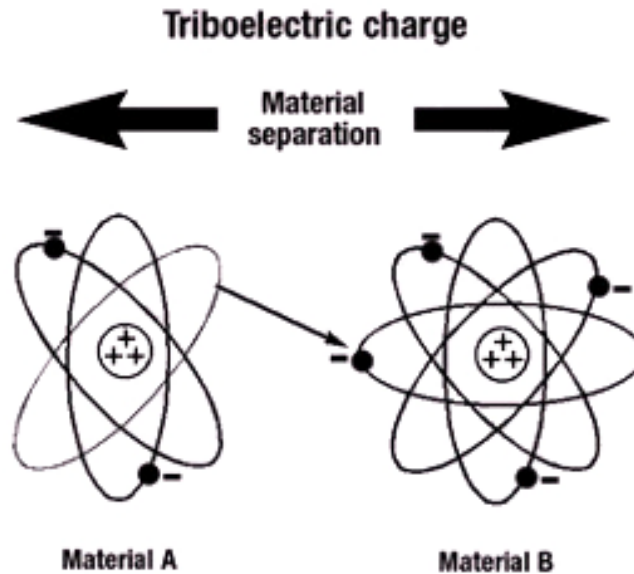
Ο τριβοηλεκτρισμός είναι η πιο συνηθισμένη διαδικασία δημιουργίας στατικού ηλεκτρισμού σε εργαστηριακά περιβάλλοντα και σε βιομηχανικούς και κατασκευαστικούς χώρους εργασίας. Η ηλεκτροστατική φόρτιση αντικειμένων με τριβή εμπλέκει τη μεταφορά ηλεκτρονίων μέσω φυσικής επαφής μεταξύ των υλικών. Τα άτομα ενός υλικού, που δεν έχει κάποιο στατικό φορτίο, έχουν ίσο αριθμό πρωτονίων (θετικά φορτισμένα σωματίδια στον πυρήνα του ατόμου) και ηλεκτρονίων (αρνητικά φορτισμένα σωματίδια γύρω από τον πυρήνα). Τα ηλεκτρόνια δεν καταλαμβάνουν όλο το χώρο γύρω από τον πυρήνα με τυχαίο τρόπο αλλά βρίσκονται σε καθορισμένα ενεργειακά τροχιακά, κατανέμονται σε διάφορες στιβάδες και υποστιβάδες σύμφωνα με συγκεκριμένους κανόνες, δηλαδή σε περιοχές γύρω από τον πυρήνα στις οποίες είναι πιθανότερη η παρουσία των ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια τα οποία καταλαμβάνουν τις εξωτερικές υποστιβάδες διαδραματίζουν και τον πιο σημαντικό ρόλο καθώς είναι τα πιο απομακρυσμένα ή (για να γίνει πιο κατανοητό) τα πιο ασθενώς συνδεδεμένα με τον θετικά φορτισμένο πυρήνα. Έτσι χρειάζονται μικρότερη ενέργεια για να μπορέσουν να απομακρυνθούν απ' αυτόν. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί πως όταν αλληλοσυνδέονται μεγάλες ομάδες ατόμων για τον σχηματισμό ενός υλικού, οι ενδοατομικές αποστάσεις μεταξύ των ατόμων γίνονται πάρα πολύ μικρές και αυτό το γεγονός υποχρεώνει της ηλεκτρονιακές καταστάσεις των γειτονικών ατόμων να διαταραχθούν, επιτρέποντας στα ηλεκτρόνια τους να απελευθερωθούν και να περιφερθούν ελεύθερα μέσα στο υλικό μεταβάλλοντας την ενέργειά τους.



**Σχήμα 1.3.1-1:** Επαφή Υλικών – Αρχή Σχηματισμού Τριβοηλεκτρικού Φορτίου.

Ένας τρόπος να διεγείρουμε τα ηλεκτρόνια σθένους των εξωτερικών υποστιβάδων που κινούνται ελεύθερα στη μάζα των υλικών (κυρίως μετάλλων) είναι και η τριβή (σχήμα 1.3.1-1). Με την τριβή τα δύο εμπλεκόμενα υλικά που αρχικά είναι ηλεκτρικά ουδέτερα φορτίζονται. Αυτό που συμβαίνει ακριβώς είναι ότι τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια μεταφέρονται από την επιφάνεια του ενός υλικού στην επιφάνεια του άλλου υλικού και παραμένουν στις νέες τους θέσεις για αρκετό διάστημα (σχήμα 1.3.1-2). Όσο πιο πολύ τρίβονται τα αντικείμενα μεταξύ τους τόσο πιο εύκολα κινούνται τα ηλεκτρόνια και ανάλογα αυξάνεται η ηλεκτρισή τους. Θα πρέπει να τονιστεί ότι αν κατά τη διαδικασία της τριβής και τα δύο υλικά που εμπλέκονται είναι αγωγοί τότε τα ελεύθερα ηλεκτρόνια θα επανακατανομηθούν και θα ισορροπήσουν ξανά στα δύο υλικά, δηλαδή δεν θα υπάρξει φόρτιση σε αυτή την περίπτωση. Αν όμως ένα από τα δύο υλικά είναι μονωτής ή αν και τα δύο είναι μονωτές τότε ένα υπολειμματικό φορτίο θα παραμείνει στο μονωτικό υλικό. Αυτό το πλεονάζον φορτίο δημιουργεί τη διαφορά δυναμικού που μπορεί στη συνέχεια να οδηγήσει σε κάποια ηλεκτροστατική εκφόρτιση. Κατά την ανταλλαγή των ηλεκτρονίων μεταξύ

των δυο υλικών το ένα θα χάσει ηλεκτρόνια και θα γίνει θετικά φορτισμένο και το άλλο θα πάρει ηλεκτρόνια και θα γίνει αρνητικά φορτισμένο.



**Σχήμα 1.3.1-2:** Μεταφορά Ηλεκτρονίων – Διαχωρισμός Υλικών

Το ποιο υλικό θα χάσει και ποιο θα πάρει ηλεκτρόνια εξαρτάται από την φύση των δύο υλικών. Το ποσό του φορτίου που δημιουργείται με τριβοηλεκτρισμό επηρεάζεται, εκτός από τη φύση των υλικών και από άλλους παράγοντες όπως η επιφάνεια τριβής των αντικειμένων, η ταχύτητα διαχωρισμού, η πίεση που ασκείται καθώς και η σχετική υγρασία του χώρου όπως φαίνεται και στον πίνακα που ακολουθεί.

**Πίνακας 1.3.1-1:** Συνήθης Τιμές Εμφανιζόμενης Τάσης Συναρτήσεως της Υγρασίας.

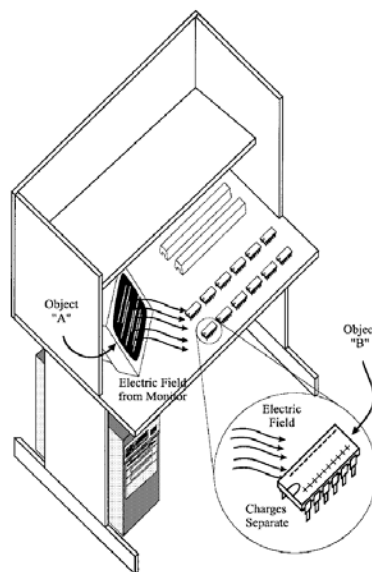


## COMMON STATIC VOLTAGES

Static Voltages as a Function of Relative Humidity (RH)	20% RH (kV)	80% RH (kV)
Walking across a vinyl floor	12	0.25
Walking across a synthetic carpet	35	1.5
Arising from a foam cushion	18	1.5
Picking up a polyethylene bag	20	0.6
Sliding a styrene box on a carpet	18	1.5
Removing mylar tape from a PC board	12	1.5
Shrinkable film on a PC board	16	3.0
Triggering a vacuum solder remover	8	1.0
Aerosol circuit freeze spray	15	5.0

### 1.3.2 ΕΠΑΓΩΓΗ

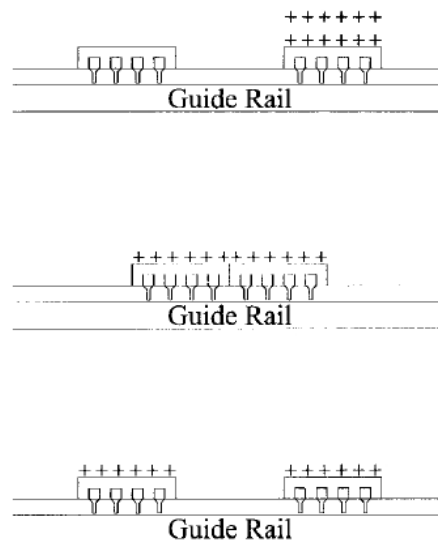
Στατικός ηλεκτρισμός με επαγωγή δημιουργείται όταν ένα αγώγιμο υλικό "B" βρεθεί πολύ κοντά ή αλλιώς εντός του πεδίου που προέρχεται από ένα φορτισμένο υλικό "A". Όταν συμβεί αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εσωτερική απομάκρυνση και τον διαχωρισμό των θετικών και αρνητικών φορτίων στο αγώγιμο υλικό "B". Αν προς στιγμή γειωθεί το υλικό "B" και το πολωμένο φορτίο πάει στη γη τότε το υλικό "B" θα αποκτήσει φορτίο αντίθετο με το φορτίο που είχε το φορτισμένο υλικό "A".



**Σχήμα 1.3.2-1:** Σχηματισμός Στατικών Φορτίων με Επαγωγή

### 1.3.3 ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΟΡΤΙΟΥ ΜΕ ΕΠΑΦΗ

Η τελευταία διαδικασία ηλεκτροστατικής φόρτισης είναι αυτή της απευθείας μεταφοράς φορτίου. Αυτή συμβαίνει με άμεση φυσική επαφή δύο υλικών και εξισορρόπηση των φορτίων μεταξύ τους. Ένα φορτισμένο αντικείμενο έρχεται σε φυσική επαφή με ένα απομονωμένο αντικείμενο χαμηλότερου δυναμικού. Κατά τη διάρκεια της επαφής, φορτίο μεταφέρεται στο αντικείμενο με το χαμηλότερο δυναμικό μέχρι τα δυναμικά των δύο αντικειμένων να έρθουν σε ισορροπία. Όταν χωριστούν ξανά τα δύο αντικείμενα τότε και τα δύο έχουν φορτίο της ίδιας πολικότητας με αυτή του αρχικά φορτισμένου αντικειμένου και το ίδιο δυναμικό, ενώ το καθένα θα έχει φορτίο που θα εξαρτάται από τη χωρητικότητα του κάθε υλικού.



**Σχήμα 1.3.3-1:** Μεταφορά Στατικού Φορτίου με Φυσική Επαφή.

### 1.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΩΝ – ΠΩΣ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΣΤΑΤΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ

Ένα ηλεκτροστατικό φορτίο μπορεί να δημιουργηθεί σε ένα υλικό με έναν από τους τρεις τρόπους που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Εν

τούτοις η φόρτιση με τριβή είναι ο πιο συχνός μηχανισμός γέννησης ηλεκτροστατικών φορτίων στους χώρους εργασίας καθώς είναι δύσκολος ο έλεγχος και ο περιορισμός του. Ουσιαστικά, όλα τα υλικά μπορούν να φορτιστούν με τριβή. Η πολικότητα του φορτίου που δημιουργείται σε κάθε υλικό υποδεικνύονται από τη θέση των υλικών στην τριβοηλεκτρική σειρά ενώ το μέγεθος του φορτίου και το πόσο καλά εξυπηρετείται η κίνησή του μέσα στα υλικά είναι συνάρτηση της ηλεκτρικής τους αγωγιμότητας. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα εκφράζει την ευκολία με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα περνά μέσα από κάποιο υλικό και αποτελεί δυαδικό μέγεθος της ηλεκτρικής αντίστασης.

### **ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ**

Μονωτής ονομάζεται κάθε υλικό που παρουσιάζει υψηλή ηλεκτρική αντίσταση. Αυτό σημαίνει πως δεν επιτρέπει ή περιορίζει την κίνηση των ηλεκτρονίων στην επιφάνεια του. Μια σημαντική ποσότητα φορτίου μπορεί να παραχθεί στην επιφάνεια ενός μονωτή. Επειδή όμως ένα μονωτικό υλικό δεν επιτρέπει εύκολα την κίνηση των ηλεκτρονίων, στην επιφάνειά του μπορεί να υπάρχουν ταυτόχρονα και θετικά και αρνητικά φορτία αν και σε διαφορετικές τοποθεσίες. Το πλεόνασμα ηλεκτρονίων που υπάρχει στην αρνητικά φορτισμένη περιοχή ίσως να επαρκεί για να καλύψει την έλλειψη ηλεκτρονίων στη θετικά φορτισμένη περιοχή. Εν τούτοις τα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να κινηθούν εύκολα πάνω στην επιφάνεια του μονωτικού υλικού, και τα δύο είδη φορτίων μπορεί να παραμείνουν στην ίδια θέση για πολλή ώρα.

### **ΑΓΩΓΙΜΑ ΥΛΙΚΑ**

Ένα αγώγιμο υλικό, επειδή έχει μικρή ηλεκτρική αντίσταση, επιτρέπει στα ηλεκτρόνια να κινούνται εύκολα στην επιφάνεια του ή διαμέσου του όγκου του. Όταν ένα αγώγιμο υλικό φορτίζεται, το φορτίο

(είτε έλλειψη είτε περίσσεια ηλεκτρονίων) θα διασκορπιστεί ομοιόμορφα μέσα στο υλικό. Αν ένα φορτισμένο αγώγιμο υλικό έρθει σε επαφή με ένα άλλο υλικό τότε το φορτίο θα μοιραστεί ανάμεσα στα δύο υλικά. Το ποσό του φορτίου που θα μετακινηθεί προς το δεύτερο υλικό εξαρτάται από την ειδική αγωγιμότητά του, δηλαδή την ευκολία ή δυσκολία με την οποία άγεται το ηλεκτρικό ρεύμα δια μέσω του υλικού. Έτσι όταν απομακρύνουμε πάλι τα δύο υλικά, το ποσό του φορτίου που έχει παραμείνει στο δεύτερο υλικό μπορεί να είναι μηδενικό αν πρόκειται για κάποιο μονωτή ή να είναι μεγαλύτερο από το φορτίο που παρέμεινε στο αρχικά φορτισμένο αγώγιμο υλικό εάν το δεύτερο υλικό είναι επίσης αγώγιμο με μεγαλύτερη ειδική αγωγιμότητα από το πρώτο. Εφόσον λοιπόν ένας αγωγός είναι μονωμένος από άλλους αγωγούς ή το έδαφος το στατικό φορτίο που μπορεί να δημιουργηθεί σ' αυτόν θα παραμείνει στον αγωγό. Αν ο αγωγός είναι γειωμένος τότε το στατικό φορτίο εύκολα θα πάει στη γη λόγω της διαφοράς δυναμικού (ιδανικά, το δυναμικό της γης είναι μηδενικό).

### **ΥΛΙΚΑ ΔΙΑΣΚΟΡΠΙΣΜΟΥ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ (Static Dissipative)**

Τα υλικά διασκορπισμού στατικών φορτίων έχουν ηλεκτρική αντίσταση μεταξύ των μονωτικών και αγώγιμων υλικών. Σε αυτά τα υλικά μπορεί να υπάρξει ροή ηλεκτρονίων στην επιφάνεια ή διαμέσου του υλικού, αλλά αυτή ελέγχεται από την αντίσταση επιφάνειας ή την αντίσταση όγκου του υλικού. Όπως το αγώγιμο υλικό, το υλικό διασκορπισμού στατικών φορτίων θα επιτρέψει την μετακίνηση του φορτίου που έχει συσσωρευτεί σε αυτό προς τη γη ή προς άλλα αγώγιμα υλικά. Ωστόσο η μετακίνηση αυτή θα είναι γενικά πιο αργή και ελεγχόμενη απ' ότι σε ένα αγώγιμο υλικό με ισοδύναμο μέγεθος. Η ροή φορτίων σε ένα υλικό διασκορπισμού στατικών φορτίων είναι πιο αργή σε σύγκριση με αγωγούς και σημαντικά ταχύτερη σε σύγκριση με μονωτές.

## ΤΡΙΒΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΣΕΙΡΑ

Η διαδικασία μεταφοράς ηλεκτρονίων ως αποτέλεσμα δυο αντικειμένων που έρχονται σε επαφή το ένα με το άλλο και στη συνέχεια διαχωρίζονται είναι γνωστή ως τριβοηλεκτρική φόρτιση. Η τριβοηλεκτρική φόρτιση έχει σαν αποτέλεσμα το ένα αντικείμενο να κερδίζει ηλεκτρόνια και έτσι να φορτίζεται αρνητικά και το άλλο αντικείμενο να χάνει ηλεκτρόνια και έτσι να φορτίζεται θετικά. Ποιο υλικό θα αποκτήσει αρνητικό και ποιο θετικό φορτίο εξαρτάται από τη φύση των εμπλεκόμενων υλικών. Κάποια έχουν την τάση να κερδίζουν ηλεκτρόνια σε σχέση με άλλα υλικά και κάποια να χάνουν ηλεκτρόνια. Η τριβοηλεκτρική σειρά είναι μια λίστα κατάταξης των υλικών με βάση τα χαρακτηριστικά τριβοηλεκτρικής φόρτισης. Συνήθως κατατάσσει τα υλικά σε σειρά μειούμενης τάσης να φορτίζονται θετικά. Δηλαδή τα υλικά με τάση να χάνουν εύκολα ηλεκτρόνια και να φορτίζονται θετικά βρίσκονται ψηλά στην κατάταξη ενώ υλικά με τάση να κερδίζουν ηλεκτρόνια και να φορτίζονται αρνητικά βρίσκονται χαμηλά στην κατάταξη. Στη μέση της κατάταξης βρίσκονται υλικά που δεν εμφανίζουν κάποια ισχυρή τάση να συμπεριφερθούν με κάποιον από τους δύο τρόπους. Όταν δύο υλικά ενώνονται και χωρίζουν, το υλικό που βρίσκεται κοντύτερα στην κορυφή της σειράς θα πάρει θετικό φορτίο και το άλλο αρνητικό. Τα υλικά που βρίσκονται μακριά μεταξύ τους, τυπικά θα δημιουργήσουν μεγαλύτερο φορτίο απ' ό,τι άλλα που βρίσκονται κοντύτερα. Πρέπει να επισημανθεί ότι τα τριβοηλεκτρικά χαρακτηριστικά των υλικών δεν σχετίζονται με την αγωγιμότητα που παρουσιάζουν.

**Πίνακας 1.4-1: Τριβοηλεκτρική Σειρά**

<b>Most Positive (+)</b>		
Air	+++	
Human Hands, Skin		
Asbestos		
Rabbit Fur		
Glass		
Human Hair		
Mica		
Nylon		
Wool		
Lead		
Cat Fur		+
Silk		
Aluminum		
Paper		
<b>Cotton</b>		
Steel	-	
Wood		
Lucite		
Sealing Wax		
Amber		
Rubber Balloon		
Hard Rubber		
Mylar		
Nickel		
Copper		
Silver		
uv Resist		
Brass		
Synthetic Rubber		
Gold, Platinum		
Sulfur		
Acetate, Rayon		
Polyester		
Celluloid		
Polystyrene		
Orlon, Acrylic		
Cellophane Tape		
Polyvinylidene chloride (Saran)		
Polyurethane		
Polyethylene		
Polypropylene		
Polyvinylchloride (Vinyl)		---
Kel-F (PCTFE)		
Silicon		
Teflon		
Silicone Rubber		
<b>Most Negative (-)</b>		

## **1.5 ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ – ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ**

Η βλάβη σε μια ημιαγώγιμη διάταξη ευαίσθητη σε ηλεκτροστατική εκφόρτιση από ένα περιστατικό ηλεκτροστατικής εκφόρτισης καθορίζεται από την ικανότητα της διάταξης να απορροφήσει την ενέργεια εκφόρτισης ή να αντέξει τα επίπεδα ρεύματος που θα δημιουργηθούν. Οι διαδικασίες δοκιμών, που βασίζονται σε μοντέλα περιστατικών ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων, βοηθούν στον ορισμό της ευαισθησίας των διατάξεων στην ηλεκτροστατική εκφόρτιση. Μερικές διατάξεις μπορεί πιο εύκολα να παθαίνουν βλάβες από εκφορτίσεις που συμβαίνουν σε αυτόματες μηχανές, ενώ άλλες μπορεί να είναι περισσότερο επιρρεπείς σε βλάβες από εκφόρτιση κατά τη διαχείριση από το προσωπικό. Ο προσδιορισμός της ευαισθησίας ηλεκτροστατικής εκφόρτισης είναι το πρώτο βήμα για τον καθορισμό του βαθμού της απαιτούμενης προστασίας από ηλεκτροστατική εκφόρτιση.

Πολλά ηλεκτρονικά εξαρτήματα είναι ευαίσθητα σε βλάβη ηλεκτροστατικής εκφόρτισης σε σχετικά χαμηλές τάσεις. Πολλά είναι ευαίσθητα σε λιγότερα από 100 volts ενώ πολλά εξαρτήματα οδηγών δίσκων έχουν ευαισθησία κάτω από 10 volts. Οι σύγχρονες τάσεις στη σχεδίαση και ανάπτυξη προϊόντων είναι να περιληφθούν περισσότερα κυκλώματα σε μικρών διαστάσεων εξαρτήματα, γεγονός που μεγαλώνει ακόμη περισσότερο την ευαισθησία τους στην ηλεκτροστατική εκφόρτιση. Ο ακόλουθος πίνακας υποδεικνύει την ESD ευαισθησία σε ποικίλους τύπους εξαρτημάτων.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.5-1:** Ευαισθησία Μικροηλεκτρονικών Συσκευών.

ΤΥΠΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ (Volt)
VMOS	30 – 1,800
MOSFET	100 – 200
GaAsFET	100 – 300
EPROM	100 – 2,500
JFET	140 – 10,000
OP AMP	190 – 2,500
CMOS	250 – 2,000
Schottky Diodes, TTL	300 – 2,500
Film Resistors (Thick, Thin)	300 – 3,000
BIPOLAR Translators	300 – 7,000
ECL (PC Board Level)	500 – 1,500
SCR	600 – 1,000
Schottky TTL	1,000 – 2,500

Διαφορετικές διατάξεις έχουν διαφορετικά επίπεδα ευαισθησίας σε ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις (ESD). Γι' αυτό το λόγο, υπάρχει ανάγκη για τον καθορισμό της ευαισθησίας ηλεκτρονικών διατάξεων με τη βοήθεια των αντίστοιχων μοντέλων καθορισμού και μέτρησης της ευαισθησίας ηλεκτρονικών διατάξεων σε ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις (HBM, MM, CDM). Κάθε ένα από αυτά τα μοντέλα ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων έχει το δικό του σύστημα ταξινόμησης και βαθμολογίας για την κατηγοριοποίηση και τη σύγκριση των διατάξεων βάσει της ευαισθησίας τους σε ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις, ενώ η βαθμολογία μας δίνει μια ένδειξη του επιπέδου ESD προστασίας που απαιτείται για τη διάταξη.



**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.5-2:** Βαθμολογία Ευαισθησίας Υλικού – Human Body Model

<b>ΚΛΑΣΗ</b>	<b>ΤΙΜΗ ΤΑΣΗΣ</b>
Κλάση 0	< 250 volt
Κλάση 1A	250 ως < 500 volt
Κλάση 1B	500 ως < 1000 volt
Κλάση 1C	1000 ως < 2000 volt
Κλάση 2	2000 ως < 4000 volt
Κλάση 3A	4000 ως < 8000 volt
Κλάση 3B	$\geq$ 8000 volt

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.5-3:** Βαθμολογία Ευαισθησίας Υλικού – Machine Model

<b>ΚΛΑΣΗ</b>	<b>ΤΙΜΗ ΤΑΣΗΣ</b>
Κλάση M0	< 25 volt
Κλάση M1	25 ως < 100 volt
Κλάση M2	100 ως < 200 volt
Κλάση M3	200 ως < 400 volt
Κλάση M4	400 ως < 800 volt
Κλάση M5	> 800 volt

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.5-:** Βαθμολογία Ευαισθησίας Υλικού – Charged Device Model

<b>ΚΛΑΣΗ</b>	<b>ΤΙΜΗ ΤΑΣΗΣ</b>
Κλάση C0	< 125 volt
Κλάση C1	125 ως < 250 volt
Κλάση C2	250 ως < 500 volt
Κλάση C3	500 ως < 1000 volt
Κλάση C4	1000 ως < 2000 volt
Κλάση C5	> 2000 volt

Για να θεωρηθεί πλήρως χαρακτηρισμένο ένα υλικό, θα πρέπει να βαθμολογείται χρησιμοποιώντας και τα τρία μοντέλα. Για παράδειγμα

ένα πλήρως χαρακτηρισμένο υλικό θα μπορούσε να ήταν το ακόλουθο: Κλάση 1B (500 ως < 1000 volt, HBM), κλάση 1M (25 ως <100 volt, MM) και κλάση C3 (500 ως < 1000 volt, CDM). Αυτό θα προειδοποιούσε ένα πιθανό χρήστη της διάταξης για την αναγκαιότητα ενός συγκεκριμένου, ελεγχόμενου περιβάλλοντος, που οι συναρμολογήσεις και οι κατασκευές εκτελούνται είτε από ανθρώπους είτε από μηχανές.

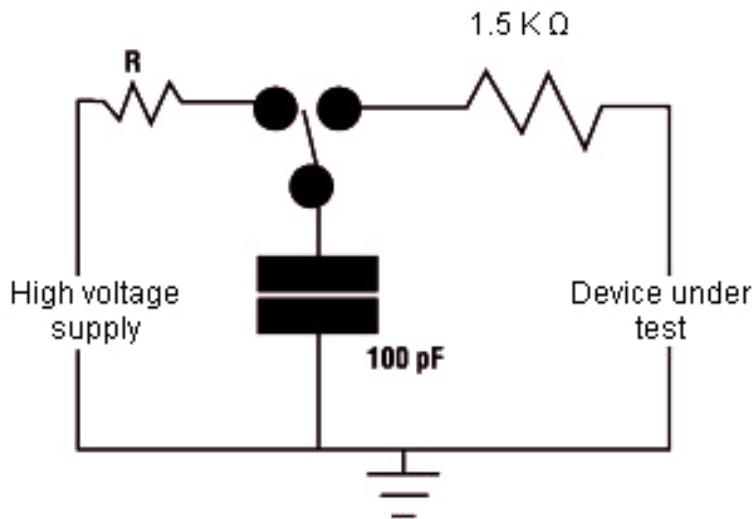
## **1.6 ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΕΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΕΙΣ**

Ηλεκτροστατική εκφόρτιση (ESD) μπορεί να συμβεί με διάφορους τρόπους. Εξαρτάται από το που και πώς έχει συσσωρευτεί ο στατικός ηλεκτρισμός και πώς αυτό το φορτίο έχει “εγκατασταθεί – διασκορπιστεί” πάνω στην επιφάνεια του υλικού. Υπάρχουν τρία βιομηχανικά – πρότυπα μοντέλα ηλεκτροστατικής εκφόρτισης που καθορίζουν πώς μπορεί να εξεταστεί η ευαισθησία ημιαγωγικών υλικών σε ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις, κάτω από διάφορες συνθήκες δημιουργίας ηλεκτροστατικού φορτίου και αποφόρτισης αυτού. Αυτά τα μοντέλα είναι, το Μοντέλο Ανθρώπινου Σώματος (Human Body Model), το Μοντέλο Μηχανής (Machine Model) και το Μοντέλο Φορτισμένης Διάταξης (Charged Device Model).

### **1.6.1 ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ (HBM – HUMAN BODY MODEL)**

Το Μοντέλο Ανθρώπινου Σώματος (HBM) προσομοιάζει την ηλεκτροστατική εκφόρτιση όπου ένα φορτισμένο σώμα μεταφέρει απευθείας το ηλεκτροστατικό φορτίο που έχει συσσωρευτεί σε αυτό στην ευαίσθητη σε ηλεκτροστατική εκφόρτιση διάταξη που βρίσκεται υπό δοκιμή. Ένα σύνηθες παράδειγμα αυτού του φαινομένου, από το οποίο πήρε το όνομά του αυτό το μοντέλο, είναι όταν ένας άνθρωπος συσσωρεύει στατικό ηλεκτρισμό περπατώντας πάνω σε ένα δάπεδο και στη συνέχεια μεταφέρει αυτό το φορτίο σε μια ευαίσθητη σε

ηλεκτροστατική εκφόρτιση διάταξη (ESDs) απλώς με την επαφή ενός δακτύλου πάνω σ' αυτή. Το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο (HBM) κύκλωμα είναι αυτό που καθορίστηκε σύμφωνα με το στρατιωτικό πρότυπο των Ηνωμένων Εθνών MIL – STD – 883, Method 3015.7, Electrostatic Discharge Sensitivity Classification. Αυτή η μέθοδος καθιέρωσε ένα απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα και τις απαραίτητες διαδικασίες δοκιμών που απαιτούνται για να μοντελοποιηθεί ένα HBM ESD συμβάν. Στο πρότυπο MIL – STD -883, το ανθρώπινο σώμα αντικαθίστανται από ένα πυκνωτή 100pF που εκφορτίζεται μέσω ενός διακόπτη και μιας αντίστασης 1500 ohm. Στη διάρκεια του τεστ, ο πυκνωτής, που έχει φορτιστεί σε μια συγκεκριμένη τάση, αποφορτίζεται μέσω της αντίστασης που βρίσκεται συνδεδεμένη σε σειρά με την διάταξη υπό δοκιμή. Στο σχήμα 1.6.1-1 δίδεται το κύκλωμα βάσει του προτύπου MIL – STD – 883.

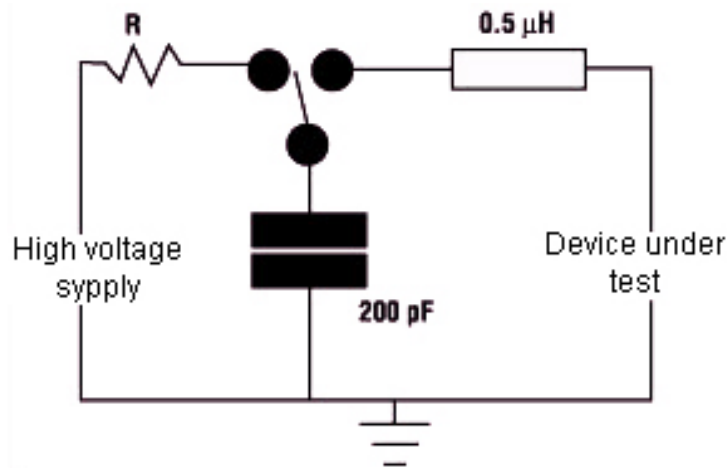


**Σχήμα 1.6.1-1:** Το HBM Κύκλωμα Βάσει Του Προτύπου MIL – STD – 883.

### 1.6.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΗΧΑΝΗΣ (MM – MACHINE MODEL)

Παρόμοια εκφόρτιση με αυτή που περιγράφηκε παραπάνω (HBM) μπορεί να συμβεί από ένα φορτισμένο αγωγίμο αντικείμενο, όπως ένα μεταλλικό εργαλείο ή εξάρτημα. Το μοντέλο που χαρακτηρίζει αυτό το

περιστατικό είναι γνωστό σαν Μοντέλο Μηχανής (MM). Ξεκίνησε στην Ιαπωνία, σαν αποτέλεσμα μιας προσπάθειας για την δημιουργία και έρευνα ενός χείριστου HBM συμβάντος. Σαν μια άσχημη περίπτωση μοντέλου ανθρωπίνου σώματος (HBM), το Μοντέλο Μηχανής μπορεί να είναι κάτι παραπάνω από οδυνηρό, ωστόσο αναπαριστά πραγματικές καταστάσεις που μπορούν να προκύψουν όπως για παράδειγμα μια γρήγορη εκφόρτιση από ένα φορτισμένο εξάρτημα μιας διάταξης ή ένα φορτισμένο καλώδιο κάποιας αυτόματης μηχανής. Το κύκλωμα ενός Μοντέλου Μηχανής (σχήμα 1.6.2-1) δεν διαφέρει πολύ από αυτό του Μοντέλου Ανθρώπινου Σώματος. Συγκεκριμένα αποτελείται από ένα πυκνωτή 200pF ο οποίος φορτίζεται σε κάποια τάση και στη συνέχεια αποφορτίζεται απευθείας στην ευαίσθητη σε ηλεκτροστατική εκφόρτιση διάταξη που βρίσκεται υπό δοκιμή, μέσω ενός επαγωγέα 500 nH χωρίς να παρεμβάλλεται αντίσταση σε σειρά.



**Σχήμα 1.6.2-1:** Το κύκλωμα Μοντέλου Μηχανής

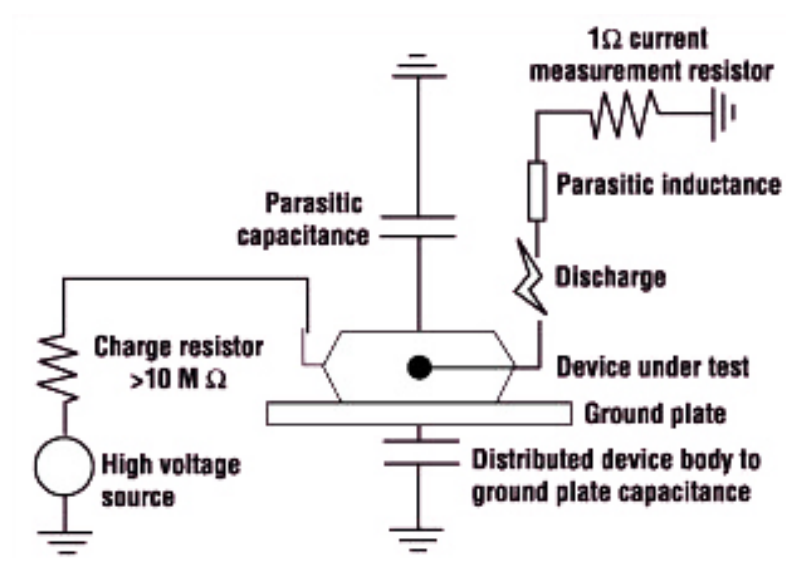
### 1.6.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΦΟΡΤΙΣΜΕΝΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ (CDM – CHARGED DEVICE MODEL)

Η μεταφορά φορτίου από μια ευαίσθητη σε ηλεκτροστατική εκφόρτιση διάταξη είναι επίσης ένα περιστατικό ηλεκτροστατικής εκφόρτισης και μάλιστα πολύ συνηθισμένο. Η τάση για αυτόματη συναρμολόγηση έδειχνε ότι θα μπορούσε να λύσει τα προβλήματα των HBM εκφορτίσεων. Όμως ένα εξάρτημα μπορεί να φορτιστεί όταν κυλά

σε ένα ιμάντα τροφοδοσίας. Αν στη συνέχεια έρθει σε επαφή με μια κεφαλή εισαγωγής ή κάποια άλλη αγώγιμη επιφάνεια, μια γρήγορη εκφόρτιση μπορεί να συμβεί από το εξάρτημα στο μεταλλικό αντικείμενο. Αυτό το περιστατικό είναι γνωστό ως Μοντέλο Φορτισμένη Διάταξης και μπορεί να είναι πιο καταστροφικό απ' ό τι το HBM για ορισμένες διατάξεις. Παρόλο που η διάρκεια εκφόρτισης σε ένα τέτοιο περιστατικό είναι πολύ μικρή – συχνά μικρότερη από ένα nanosecond – η αιχμή του ρεύματος μπορεί να φτάσει αρκετές δεκάδες Amperes. Προς το παρόν υπάρχουν δύο μοντέλα που χρησιμοποιούνται ευρέως για CDM έλεγχο.

1. Το Socketed Discharge Model (SDM). Το εξάρτημα τοποθετείται σε μια υποδοχή που φορτίζεται από μια πηγή υψηλής τάσης και στη συνέχεια αποφορτίζεται μέσω αντίστασης 1ohm.

2. Το Real – World Charged Device Model (RCDM) που αναπαριστά καλύτερα πραγματικά περιστατικά μοντέλου φορτισμένης διάταξης (CDM). Ένα τυπικό RCDM κύκλωμα δίδεται στο σχήμα 1.6.3-1.



**Σχήμα 1.6.3-1:** Τυπικό RCDM Κύκλωμα

## **1.7 ΒΛΑΒΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ**

Βλάβη από ηλεκτροστατικά φορτία μπορεί να συμβεί σε οποιοδήποτε στάδιο, από την κατασκευή ως το σέρβις μιας ηλεκτρονικής διάταξης. Η βλάβη προκύπτει από τη χρήση διατάξεων σε περιβάλλον που δεν υπάρχει επαρκές σύστημα ελέγχου ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων. Η πιο συνηθισμένη αιτία ηλεκτροστατικής εκφόρτισης είναι η απευθείας μεταφορά ηλεκτρικού φορτίου είτε από το ανθρώπινο σώμα είτε από κάποιο φορτισμένο αντικείμενο σε κάποια ESD – ευαίσθητη διάταξη (HBM και MM). Γενικά οι βλάβες από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες.

### **1.7.1 ΑΣΤΟΧΙΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ**

Σε αυτή τη περίπτωση μια ηλεκτροστατική εκφόρτιση μπορεί να έχει άμεση επίδραση σε μια ή και περισσότερες παραμέτρους της ηλεκτρονικής διάταξης και να προκαλέσει έτσι μια μεταβολή της απαιτούμενης ανοχής της. Αυτή η αστοχία δεν αφορά άμεσα τη λειτουργικότητα της διάταξης. Για αυτό ακόμα και αν η διάταξη έχει υποστεί μια αστοχία παραμέτρου λόγω μιας ηλεκτροστατικής εκφόρτισης μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί. Ωστόσο παρότι η διάταξη συνεχίζει να λειτουργεί η αλλαγή αυτών των παραμέτρων δεν την καθιστά κατάλληλη για την αρχική λειτουργία για την οποία και προοριζόταν.

### **1.7.2 ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ ΑΣΤΟΧΙΑ**

Όταν μια διάταξη εκτεθεί σε κάποιο περιστατικό ηλεκτροστατικής εκφόρτισης ή σε μια σειρά τέτοιων περιστατικών ώστε τελικά να πάψει να λειτουργεί τότε πρόκειται για βλάβη καταστροφικής αστοχίας. Αυτή η βλάβη είναι μόνιμη και άμεσα αντιληπτή και μπορεί να οφείλεται σε τήξη

μετάλλου, διάσπαση επαφής ή κατάρρευση κάποιο διηλεκτρικού. Μια τέτοια βλάβη είναι πολύ εύκολο να ανιχνευτεί με τον κατάλληλο εξοπλισμό.

### **1.7.3 ΛΑΝΘΑΝΟΝ ΕΛΑΤΤΩΜΑ**

Σε αυτή την περίπτωση, οι ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις προκαλούν μια αρκετά περιορισμένη βλάβη, με αποτέλεσμα η ηλεκτρονική διάταξη να συνεχίσει να λειτουργεί κανονικά, να εκτελεί δηλαδή την αναμενόμενη λειτουργία της. Όμως ο χρόνος ζωής της μπορεί να μειωθεί δραματικά. Ένα προϊόν ή σύστημα που ενσωματώνει διατάξεις με λανθάνοντα ελαττώματα μπορεί να εμφανίσει πρόωρη αστοχία αφού ο χρήστης το θέσει σε λειτουργία. Αυτό το ελάττωμα αποτελεί και τη μεγαλύτερη ανησυχία καθώς είναι πολύ δύσκολο να ανιχνευτεί με οπτική επιθεώρηση ή επανακαταμέτρηση, ειδικά μετά τη συναρμολόγηση της διάταξης στο τελικό προϊόν.

## **1.8 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΒΛΑΒΩΝ ΑΠΟ ΗΛΕΤΡΟΣΤΑΤΙΚΕΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΕΙΣ**

### **1.8.1 ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ ΟΞΕΙΔΙΟΥ**

Το τρανζίστορ έχει τρεις ακροδέκτες που ονομάζονται Εκπομπός (Emitter), Βάση (Base) και Συλλέκτης (Collector). Η Βάση λειτουργεί σαν ένας μονωτής ανάμεσα στον Εκπομπό και τον Συλλέκτη αφού είναι φορέας φορτίου με διαφορετική πολικότητα (ηλεκτρόνια ή οπές). Η λειτουργία του τρανζίστορ επιτυγχάνεται με κατάλληλη πόλωση ανάμεσα στους ακροδέκτες του τρανζίστορ και συγκεκριμένα εφαρμόζοντας ορθή πόλωση μεταξύ των ακροδεκτών εκπομπού – βάσης και ανάστροφη πόλωση μεταξύ των ακροδεκτών βάση – συλλέκτη. Το συνηθέστερο διηλεκτρικό που χρησιμοποιείται για την βάση είναι το οξείδιο του πυριτίου  $\text{SiO}_2$ . Διηλεκτρική κατάρρευση οξειδίου προκύπτει όταν μέσα στο διηλεκτρικό υλικό της βάσης αρχίζουν να σχηματίζονται αγώγιμα μονοπάτια μεταξύ των κρυστάλλων του

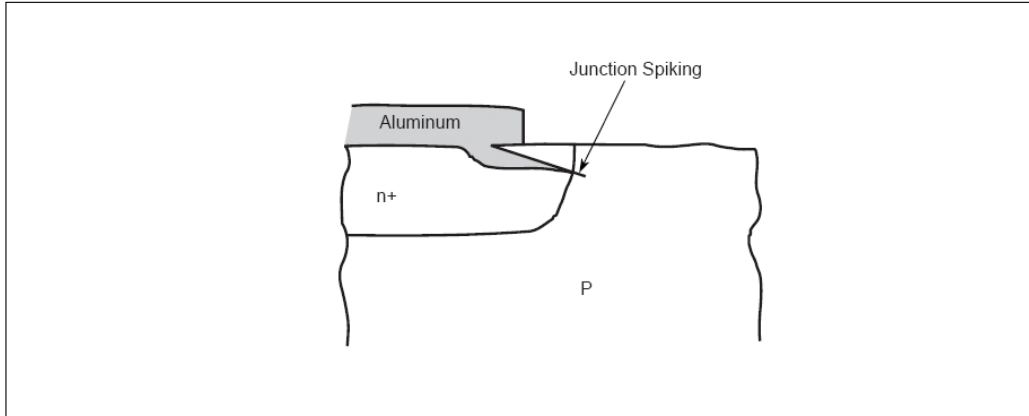
εκπομπού και του συλλέκτη. Ισχυρά ηλεκτρικά πεδία μπορούν να προκαλέσουν ατέλειες στην δομή του διηλεκτρικού υλικού οι οποίες ονομάζονται “παγίδες” και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αυτές οι ατέλειες μπορούν να παγιδεύουν φορτία μέσα στο υλικό. Οι “παγίδες” αρχικά είναι ουδέτερες αλλά σύντομα φορτίζονται θετικά όταν βρίσκονται κοντά στην Άνοδο (Εκπομπός) και αρνητικά κοντά στην κάθοδο (Συλλέκτη). Όσο περισσότερες “παγίδες” αρχίζουν να δημιουργούνται μέσα στο διηλεκτρικό αρχίζουν να σχηματίζονται στήλες από αγώγιμα μονοπάτια μέσα σε αυτό, μεταξύ της Ανόδου και της Καθόδου. Έτσι προκαλείται η κατάρρευση του διηλεκτρικού (Soft Breakdown). Από την στιγμή που υπάρχει αγώγιμη οδός υπάρχει και τοπική αύξηση της θερμοκρασίας στο σημείο της κατάρρευσης. Το διηλεκτρικό υλικό (οξείδιο πυριτίου) αρχίζει να λιώνει, οξυγόνο απελευθερώνεται και τελικά στο σημείο δημιουργείται ένα λεπτό νήμα πυριτίου (Si) (Hard Breakdown). Τότε η ημιαγώγιμη διάταξη (τρανζίστορ) έχει καταστραφεί.

### **1.8.2 ΚΑΡΦΩΜΑ ΣΥΝΕΝΩΣΗΣ (JUNCTION SPIKING)**

Το κάρφωμα συνένωσης (Junction Spiking) αναφέρεται στη διάχυση ατόμων μετάλλου (συνήθως αλουμίνιο – Al) στο υπόστρωμα πυριτίου. Όταν η μεταφορά ατόμων Al έχει γίνει σε τέτοιο βαθμό που να έχει διεισδύσει πολύ βαθιά μέσα στο πυρίτιο και να έχει δημιουργήσει ένα μονοπάτι συντόμευσης μιας  $p-n$  επαφής τότε η διάταξη έχει καταστραφεί.



### Junction Spiking Failure



### 1.8.3 ΜΑΝΔΑΛΩΣΗ (LATCH UP FAILURE)

Η μανδάλωση (Latchup) είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται στο πεδίο των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (ICs) για να περιγράψει ένα ιδιαίτερο είδος βραχυκυκλώματος που μπορεί να συμβεί σε ένα σχεδιασμένο κύκλωμα. Πιο συγκεκριμένα είναι η ακούσια δημιουργία μιας διαδρομής χαμηλής αντίστασης μεταξύ των ακροδεκτών εξόδου ενός MOSFET, προκαλώντας μια παρασιτική δομή, η οποία εμποδίζει την κανονική λειτουργία του κυκλώματος ή ενδεχομένως οδηγεί ακόμη και στην καταστροφή του κυκλώματος λόγω υπερέντασης (ροή μεγάλης ποσότητας ρεύματος). Η παρασιτική δομή είναι συνήθως ισοδύναμη με ένα θυρίστορ, ή αλλιώς μια PNPN δομή η οποία συμπεριφέρεται σαν δυο PNP και NPN τρανζίστορ, στοιβαγμένα το ένα δίπλα στο άλλο. Κατά τη διάρκεια του μανδαλώματος (Latch up) όταν άγει το ένα τρανζίστορ και το άλλο ξεκινά να άγει επίσης. Από τη στιγμή που θα δημιουργηθεί μια μανδάλωση, τότε αυτή τροφοδοτεί το κύκλωμα με μια συνεχή ροή μεγάλης ποσότητας ρεύματος που τελικά θα προκαλέσει βλάβη στην διάταξη.

## 1.9 ΕΛΕΓΧΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΩΝ ΕΚΦΟΡΤΙΣΕΩΝ

Υπάρχουν έξι βασικές αρχές για την ανάπτυξη και την εφαρμογή ενός αποτελεσματικού προγράμματος ελέγχου ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων (ESD control). 1) Σχεδιασμός για απαλλαγή από

ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις (ESD). 2) Καθορισμός του επιθυμητού επιπέδου προστασίας από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις (ESD). 3) Καθορισμός της προστατευόμενης από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις περιοχής (EPAs). 4) Μείωση, ή και εξάλειψη, της δημιουργίας στατικών φορτίων. 5) Διασκορπισμός και εξουδετέρωση του στατικού ηλεκτρισμού και 6) προστασία προϊόντων από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις (ESD).

#### **1.9.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΑΠΑΛΛΑΓΗ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΕΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΕΙΣ**

Ο περιορισμός των προβλημάτων που σχετίζονται με ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις ξεκινά με την ικανότητα να σχεδιάζονται κυρίως ηλεκτρονικές διατάξεις που παρουσιάζουν αντοχή σε περιστικά ηλεκτροστατικής εκφόρτισης. Αυτό επιτυγχάνεται εισάγοντας στις διατάξεις που κατασκευάζονται βοηθητικά εσωτερικά κυκλώματα που θα απομακρύνουν τα φορτία μια πιθανής εκφόρτισης από το ESD ευαίσθητο κυρίως κύκλωμα και θα το οδηγούν στο βοηθητικό κύκλωμα προστασίας. Έτσι οι διατάξεις μπορούν να προστατεύονται σημαντικά από μια ESD βλάβη. Ο σχεδιασμός απαλλαγής ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων αποτελεί πρόκληση για τους σχεδιαστές και τους μηχανικούς σήμερα, αφού η σύγχρονη τεχνολογία προϊόντων απαιτεί μικρότερες και πιο περίπλοκες γεωμετρικές διατάξεων που συχνά είναι πιο ευαίσθητες σε ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις.

#### **1.9.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΕΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΕΙΣ**

Ο καθορισμός του επιπέδου ευαισθησίας σε ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις των ευαίσθητων συσκευών πριν την διάθεσή τους στην παραγωγή είναι ένα ακόμη ζητούμενο. Ο καθορισμός αυτός επιτυγχάνεται υποβάλλοντας αντιπροσωπευτικά δείγματα των νέων συσκευών που κατασκευάζονται σε βιομηχανικά – τυποποιημένα

μοντέλα ελέγχου ESD ευαισθησίας, όπως αυτά που έχουν ήδη παρουσιαστεί (HBM, MM, CDM). Είναι καλό οι διατάξεις να δοκιμάζονται χρησιμοποιώντας όλα τα διαθέσιμα τυποποιημένα μοντέλα δοκιμής που υπάρχουν σήμερα ώστε να είναι πλήρως χαρακτηρισμένες.

### **1.9.3 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ**

Ποιες περιοχές πρέπει να προστατεύονται από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις είναι ένα ακόμη ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί ώστε να διασφαλιστεί ένα ηλεκτροστατικά ασφαλές περιβάλλον. Τέτοιες περιοχές είναι μεταξύ άλλων όλες οι περιοχές χειρισμού, μετακίνησης και αποθήκευσης ηλεκτροστατικά ευαίσθητων εξαρτημάτων και εύφλεκτων αερίων. Οι προστατευόμενες περιοχές θα πρέπει να έχουν τα εξής τρία χαρακτηριστικά

**Πρώτον:** Έλεγχος σχηματισμού στατικού ηλεκτρισμού όπου αυτό είναι δυνατό. Απομακρύνονται όλα τα μη αγώγιμα υλικά από τους χώρους εργασίας καθώς δημιουργούν σημαντικά στατικά φορτία τα οποία έχουν την τάση να τα συγκρατούν και όχι να τα στέλνουν στη γη.

**Δεύτερον:** Περιορισμός των φορτίων όπου αυτά υπάρχουν. Το πώς αυτά τα φορτία θα μετακινηθούν εξαρτάται από το αν το υλικό είναι αγωγός ή μονωτής. Τα φορτία σε μονωτικά υλικά θα πρέπει είτε να απομονώνονται και να απομακρύνονται από ηλεκτροστατικά ευαίσθητες διατάξεις και συσκευές, είτε να εξουδετερώνονται με τη χρήση ιονιστών που παρέχουν στο χώρο θετικά και αρνητικά ιόντα.

**Τρίτον:** Γείωση όλων των αγώγιμων υλικών και του προσωπικού, μέσα στο χώρο εργασίας. Η γείωση απομακρύνει με ασφάλεια όλα τα φορτία που μπορεί να έχουν αναπτυχθεί πάνω σε προσωπικό και αντικείμενα.

Τυπικές περιοχές που χρειάζονται προστασία από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις (EPAs) είναι οι χώροι παραλαβής, οι χώροι επιθεώρησης και δοκιμών, τα καταστήματα και οι αποθήκες, οι χώροι συναρμολόγησης, οι χώροι έρευνας και ανάπτυξης, οι χώροι που γίνεται η συσκευασία, οι

χώροι επισκευής (σέρβις) τα γραφεία και τα εργαστήρια καθώς και οι καθαροί θάλαμοι, οι χώροι εύφλεκτων αερίων, τα χειρουργεία κλπ.

#### **1.9.4 ΜΕΙΩΝΟΝΤΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΒΑΛΛΟΝΤΑΣ ΤΟ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ ΦΟΡΤΙΩΝ**

Είναι πολύ σημαντικό να επαλειφθούν ή να περιοριστούν οι διαδικασίες δημιουργίας στατικού ηλεκτρισμού όπως για παράδειγμα η φυσική ένωση και διαχωρισμός υλικών διαφορετικών αγωγιμοτήτων ενώ είναι σημαντική η απομάκρυνση των κοινών πλαστικών από το περιβάλλον εργασίας. Οι υπόλοιπες εργασίες και τα υλικά στους χώρους εργασίας διατηρούνται στο ίδιο ηλεκτρικό δυναμικό. Ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις δεν συμβαίνουν μεταξύ υλικών που βρίσκονται στο ίδιο δυναμικό. Επιπλέον για να περιορίσουμε την δημιουργία και την συγκέντρωση ηλεκτροστατικών φορτίων δημιουργούμε μονοπάτια γείωσης ώστε να μπορούν τα φορτία να φύγουν προς την γη.

#### **1.9.5 ΔΙΑΣΚΟΡΠΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΟΥΔΕΤΕΡΟΠΟΙΗΣΗ**

Επειδή είναι πρακτικά αδύνατο να απομακρυνθεί το σύνολο του στατικού ηλεκτρισμού σε ένα περιβάλλον εργασίας είναι σημαντικό να μπορούν με ασφάλεια να διασκορπιστούν ή και να ουδετεροποιηθούν τα ηλεκτροστατικά φορτία που θα προκύψουν. Η κατάλληλη γείωση και η χρήση υλικών διασκορπισμού ή αλλιώς διάχυσης στατικού ηλεκτρισμού (static dissipative materials) μπορούν να παίξουν σπουδαίο ρόλο. Για παράδειγμα όταν ένας άνθρωπος σε χώρο εργασίας φέρει κάποιο ηλεκτροστατικό φορτίο μπορεί να απαλλαγεί απ' αυτό καθώς περπατά σε ένα αγωγίμο δάπεδο ή δάπεδο διασκορπισμού ηλεκτροστατικού φορτίου. Έτσι αντί να μεταφέρει το φορτίο που κουβαλά σε κάποια ESD ευαίσθητη συσκευή το δάπεδο θα απορροφήσει αυτό το φορτίο και θα το οδηγήσει σταδιακά και με ασφάλεια στο έδαφος μέσω της γείωσης. Ωστόσο για κάποια υλικά

όπως τα κοινά πλαστικά και άλλοι μονωτές, η γείωση δεν απομακρύνει τον στατικό ηλεκτρισμό. Λόγω της φύσης αυτών των υλικών, το στατικό φορτίο που έχει δημιουργηθεί σε αυτά θα παραμείνει δεσμευμένο στην επιφάνεια τους και δεν μπορεί εύκολα να απομακρυνθεί. Με τον ιονισμό αυτό που επιτυγχάνεται είναι να ουδετεροποιήσουμε αυτά τα φορτία. Η διαδικασία ιονισμού δημιουργεί αρνητικά και θετικά ιόντα, τα οποία έλκονται από την επιφάνεια ενός φορτισμένου αντικειμένου, έτσι τελικά ουδετεροποιείται αποτελεσματικά το συσσωρευμένο φορτίο.

#### **1.9.6 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΕΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΕΙΣ (ESD)**

Τέλος για έναν αποτελεσματικό ESD έλεγχο είναι σημαντική η προστασία των προϊόντων από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις. Όπως αναφέρθηκε ένας τρόπος είναι να παρέχεται σε όλα τα εξαρτήματα ένα αγώγιμο μονοπάτι προς τη γη ώστε να μπορούν να απομακρυνθούν τα επικίνδυνα φορτία από τα προϊόντα. Μια δεύτερη μέθοδος είναι να πακετάρονται και να μεταφέρονται τα ευαίσθητα σε ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις εξαρτήματα σε κατάλληλα πακέτα και υλικά διακίνησης προϊόντων. Αυτά τα υλικά μπορούν αποτελεσματικά να προστατέψουν το προϊόν από την φόρτιση και επίσης να μειώσουν την γέννηση στατικών φορτίων, που προκαλείται από κάθε μετατόπιση του προϊόντος, εντός του περιεχομένου.

#### **1.10 ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ**

Από ένα συνηθισμένο χαρτόκουτο γάλακτος ως έναν πολύ εξειδικευμένων απαιτήσεων ηλεκτρονικό εξοπλισμό, τα υλικά από πολυμερή ίσως παρουσιάζουν την μεγαλύτερη ποικιλία εφαρμογών από κάθε άλλο υλικό. Η ευρεία αυτή εφαρμογή των πολυμερών οφείλεται σε δυο σημαντικά πλεονεκτήματα: το εξαιρετικά ευρύ φάσμα

ιδιοτήτων που καλύπτουν τα διάφορα είδη πολυμερών και την απεριόριστη σχεδόν ευελιξία τους στην επεξεργασία. Για παράδειγμα ορισμένες ρητίνες πολυμερών ιδιαίτερα καθαρές και ελαστικές, ιδανικές για την παρασκευή συσκευασιών χαμηλού κόστους, ενώ άλλες παρουσιάζουν εξαιρετική ανθεκτικότητα και ιδιότητες που τις καθιστούν κατάλληλες για χρήση σε ιδιαίτερα απαιτητικές μηχανικές εφαρμογές. Τα πολυμερή μπορούν να τεντωθούν, συμπιεστούν, φορμαριστούν και να πάρουν οποιοδήποτε σχήμα και μέγεθος. Επιπλέον τα πολυμερή είναι η κυρίαρχη επιλογή, όταν το κόστος και το βάρος αποτελούν σημαντικά κριτήρια.

Οι εφαρμογές ελέγχου στατικού ηλεκτρισμού αποτελούν πρόκληση για τους μηχανικούς πολυμερών. Η προστασία ευαίσθητων ηλεκτρονικών διατάξεων απαιτούν ένα περιβάλλον όπου επικίνδυνα ηλεκτρικά φορτία, δυναμικά και ηλεκτρικά πεδία περιορίζονται στο ελάχιστο. Προκειμένου να απομακρυνθούν αυτά τα φορτία και να προστατευθούν οι διατάξεις, τα πολυμερή που χρησιμοποιούνται για την συσκευασία, μεταφορά και την αποθήκευση των ηλεκτρονικών διατάξεων πρέπει να είναι ικανά να άγουν τον ηλεκτρισμό. Ωστόσο, στην φυσική τους κατάσταση, όλα σχεδόν τα εμπορικά διαθέσιμα πολυμερή είναι ηλεκτρικοί μονωτές. Προκειμένου να αποκτήσουν αγωγιμότητα χαρακτηριστικά τα πολυμερή υφίστανται ειδικές τροποποιήσεις είτε μέσω χημικής επεξεργασίας είτε προσθέτοντας σε αυτά αγωγίμους παράγοντες κατά την επεξεργασία τους. Το επίπεδο αγωγιμότητας που απαιτείται για το πολυμερές εξαρτάται από την τελική χρήση για την οποία προορίζεται. Για παράδειγμα πλαστικά υψηλής αγωγιμότητας προορίζονται για κιβώτια και φορτία προστασίας από στατικά φορτία. Συνήθως τέτοια πλαστικά έχουν αντίσταση που δεν ξεπερνά τα  $1 \times 10^4 \Omega$  ενώ πλαστικά που χρησιμοποιούνται για δάπεδα και για επιφάνειες εργασίας έχουν αντίσταση που κυμαίνεται μεταξύ  $1 \times 10^6 \Omega$  ως  $1 \times 10^9 \Omega$ .

### **1.10.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ**

Πολύς χρόνος και έρευνα έχει αφιερωθεί στην ανάπτυξη μεθόδων που είτε καθιστούν τα πολυμερή αγώγιμα είτε τους προσδίδουν ιδιότητες διασκορπισμού στατικών φορτίων. Ακολούθως παρουσιάζονται τρεις από τις δημοφιλέστερες μεθόδους ενίσχυσης της αγωγιμότητας των πολυμερών.

#### **ΧΗΜΙΚΑ ΠΡΟΣΘΕΤΑ (CHEMICAL ADDITIVES)**

Οι ρητίνες μπορούν συχνά να φτάσουν σε εκείνο το φάσμα αντιστάσεων που τους προσδίδουν ιδιότητες διασκορπισμού φορτίων, ενσωματώνοντας χημικά πρόσθετα όπως έναν αντιστατικό παράγοντα (antistatic agent) στο μείγμα. Οι αντιστατικοί παράγοντες μπορούν να τοποθετηθούν είτε εξωτερικά είτε εσωτερικά. Οι εξωτερικοί αντιστατικοί παράγοντες βρίσκονται στην επένδυση της εξωτερικής επιφάνειας του τελικού προϊόντος και οι ιδιότητες που προσδίδουν είναι εντελώς προσωρινές. Αντίθετα οι εσωτερικοί αντιστατικοί παράγοντες διαλύονται μέσα στο λιωμένο πλαστικό κατά την επεξεργασία και προσδίδουν πιο μόνιμα χαρακτηριστικά στο υλικό του τελικού προϊόντος. Όταν το μείγμα αρχίζει να στερεοποιείται οι αντιστατικοί παράγοντες που έχουν ενσωματωθεί σε αυτό αρχίζουν να μετακινούνται προς την εξωτερική επιφάνεια, προσδίδοντας στο προϊόν τα επιθυμητά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά. Οι αντιστατικοί παράγοντες χρησιμοποιούνται ευρέως λόγω του χαμηλού τους κόστους. Ωστόσο η παροδική και σχετικά μικρή αγωγιμότητα που προσδίδουν στα υλικά καθώς και η τάση τους να απορροφούν την υγρασία της ατμόσφαιρας με συνέπεια να μεταβάλλεται σημαντικά η αγωγιμότητα των αντικειμένων τα καθιστά μια όχι ιδιαίτερα ασφαλή επιλογή για αρκετές εφαρμογές.

#### **ΑΓΩΓΙΜΑ ΥΛΙΚΑ ΠΛΗΡΩΣΕΩΣ (CONDUCTIVE FILLERS)**

Ίσως η πιο παλιά και πιο γνωστή μέθοδος ενίσχυσης της αγωγιμότητας ενός πολυμερούς είναι το “γέμισμα” των ρητινών με αγώγιμα υλικά πληρώσεως για να φτιαχτεί ένα συνθετικό υλικό. Υπάρχουν διαθέσιμα πολλά τέτοια υλικά όπως είναι τα σωματίδια μετάλλων και οι ίνες άνθρακα. Πλήθος παραγόντων μπορεί να επηρεάσει τις αγώγιμες ιδιότητες που μπορούν να προσδώσουν τα αγώγιμα υλικά πληρώσεως στο συνθετικό πολυμερές. Ο μηχανικός πολυμερών είναι αυτός που θα επιλέξει το υλικό πληρώσεως, το επίπεδο “γεμίματος” της ρητίνης και το σχήμα της μοριακής δομής, καθορίζοντας έτσι τις ιδιότητες που θα έχει το τελικό προϊόν (συνθετικό πολυμερές).

#### **ΕΓΓΕΝΩΣ ΑΓΩΓΙΜΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΚΑΙ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΔΙΑΣΚΟΡΠΙΣΜΟΥ (INHERENTLY CONDUCTIVE AND DISSIPATIVE POLYMERS)**

Τα εγγενώς αγώγιμα πολυμερή ICP και τα εγγενώς πολυμερή διασκορπισμού IDP αντιπροσωπεύουν δυο νέες κατηγορίες υλικών που παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στις εφαρμογές ελέγχου στατικού ηλεκτρισμού. Αυτά τα δυο υλικά έχουν πολύ διαφορετικές χημικές δομές και πολύ διαφορετικές ιδιότητες. Τα εγγενώς αγώγιμα πολυμερή έχουν αντιστάσεις που πλησιάζουν αυτές των μετάλλων και συχνά αναφέρονται ως “συνθετικά μέταλλα”. Τα εγγενώς πολυμερή διασκορπισμού έχουν αντιστάσεις που κυμαίνονται στα όρια αντιστάσεων των αντιστατικών παραγόντων. Μείγματα ρητινών με αυτά τα πολυμερή μπορούν να δώσουν προϊόντα καθορισμένης αγωγιμότητας.



## **1.11 ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ ΣΕ ΕΚΡΗΚΤΙΚΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΕΣ – ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ**

Η δημιουργία και η συσσώρευση στατικού ηλεκτρισμού είναι εκ φύσεως δύσκολο να ανιχνευτεί αλλά και να ελεγχθεί. Ωστόσο συνδέεται εγγενώς με τις περισσότερες βιομηχανικές διεργασίες. Ο στατικός ηλεκτρισμός είναι μια από τις πιο ύπουλες αιτίες πυρκαγιών και εκρήξεων στη σύγχρονη βιομηχανία, ιδιαίτερα σε τομείς αυτής που είναι υπαρκτή η παρουσία εύφλεκτων υλικών. Η συσσώρευση ηλεκτροστατικών φορτίων αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα για τη βιομηχανία της χημείας των πλαστικών, των χρωμάτων, των τροφίμων, της εκτύπωσης και των φαρμάκων. Αέρια υδρογονανθράκων, ατμοί διαλυτικών μέσων καύσιμα και σκόνες εύφλεκτων στερεών ουσιών είναι μερικά από τα συστατικά εκρηκτικής ατμόσφαιρας σε συνήθεις βιομηχανικές συνθήκες. Υπάρχουν τέσσερις κοινοί τύποι ηλεκτροστατικής εκκένωσης που πρέπει να εξεταστούν για το κίνδυνο ανάφλεξης. Αυτοί είναι ο ηλεκτρικός σπινθήρας, η θυσανοειδής ηλεκτρική εκκένωση, η μεταδιδόμενη θυσανοειδής ηλεκτρική εκκένωση και η κωνοειδής ηλεκτρική εκκένωση.

### **1.11.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΣΠΙΝΘΗΡΙΣΜΟΣ**

Αυτό το είδος ηλεκτρικής εκκένωσης είναι υπεύθυνο για την πλειοψηφία των περιστατικών φωτιάς και εκρήξεων στη βιομηχανία λόγω στατικού ηλεκτρισμού. Οι εκκενώσεις σπινθήρα μπορούν να προκύψουν από αγώγιμα αντικείμενα ή αγώγιμες επιφάνειες και προσωπικό που δεν είναι γειωμένα και έχουν φορτιστεί σε κάποιο ηλεκτροστατικό δυναμικό. Η ενέργεια (E) ενός σπινθήρα εκφράζεται σε Joule (J) ή συνηθέστερα σε milijoules (mJ) και μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση  $E = \frac{1}{2} CV^2$  όπου C είναι η χωρητικότητα του αντικειμένου και V το δυναμικό που έχει αποκτήσει. Με σωστό εξοπλισμό η χωρητικότητα και το δυναμικό μπορούν να μετρηθούν και έτσι να υπολογιστεί η ενέργεια E. Εύφλεκτοι ατμοί υδρογονανθράκων είναι

εξαιρετικά ευαίσθητοι σε εκκενώσεις με σπινθηρισμό. Ένας μεγάλο πλήθος υδρογονανθράκων έχει μικρές ενέργειες ανάφλεξης της τάξης των 0,2 millijoule. Ένας σπινθηρισμός αυτής της ενέργειας είναι συχνά μη αντιληπτός από τις ανθρώπινες αισθήσεις.

### **1.11.2 ΘΥΣΑΝΟΕΙΔΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΚΚΕΝΩΣΗ**

Θυσανοειδής ηλεκτρική εκκένωση προκύπτει από φορτισμένες μη αγώγιμες επιφάνειες όπως αυτές των πλαστικών ή ακόμα και από ισχυρά φορτισμένα μη αγώγιμα υγρά όπως διαλύτες υδρογονανθράκων και καύσιμα. Θεωρητικά η μέγιστη ενέργεια που μπορεί να απελευθερωθεί από μια τέτοια εκκένωση δεν ξεπερνάει τα 4 millijoules. Το ποσό που θα απελευθερωθεί εξαρτάται τόσο από το δυναμικό της επιφάνειας που εκδηλώνει θυσανοειδή ηλεκτρική εκκένωση όσο και από τη μέγεθος/την έκταση της ίδιας επιφάνειας που συμμετέχει στην εκκένωση. Μάλιστα επειδή πρόκειται για μη αγώγιμες επιφάνειες και τα φορτία δεν μετακινούνται εύκολα αλλά παραμένουν στα σημεία που είχαν αρχικά συσσωρευτεί, είναι πιθανό να προκύψουν πολλές μεμονωμένες εκκενώσεις από μια μεγάλη φορτισμένη επιφάνεια. Είναι προφανές ότι η γείωση των μη-αγώγιμων επιφανειών δεν μπορεί να βοηθήσει στην αποφυγή αυτής της μορφής ηλεκτρικής εκκένωσης.

### **1.11.3 ΜΕΤΑΔΙΔΟΜΕΝΗ ΘΥΣΑΝΟΕΙΔΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΚΚΕΝΩΣΗ**

Η μεταδιδόμενη θυσανοειδής ηλεκτρική εκκένωση απελευθερώνει μεγάλη ενέργεια και είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη αφού είναι ικανή να πυροδοτήσει πολλές εκρηκτικές ατμόσφαιρες. Οι εκκενώσεις αυτές αντλούν την μεγάλη τους ενέργεια από το σχηματισμό ενός διπλού στρώματος φορτίου και στις δύο πλευρές μιας επιφάνειας. Αυτό το διπλό στρώμα φορτίων σχηματίζεται όταν το φορτίο στη μια πλευρά μιας μη αγώγιμης επιφάνειας είναι τόσο ισχυρό που επάγει ένα ίσο και αντίθετο φορτίο στην άλλη πλευρά. Μόνο υλικά που διαθέτουν

συγκεκριμένη διηλεκτρική αντοχή μπορούν να αντέξουν το διπλό αυτό στρώμα φορτίου χωρίς να προκληθεί μια μεταδιδόμενη θυσανοειδής εκκένωση. Ένα μέτρο διηλεκτρικής αντοχής είναι το δυναμικό κατάρρευσης, το οποίο αναφέρεται σε εκείνο το κρίσιμο σημείο που οι μονωτικές ιδιότητες ενός υλικού καταρρέουν υπό την εφαρμογή ισχυρού δυναμικού.

#### **1.11.4 ΕΚΚΕΝΩΣΗ ΚΩΝΟΥ**

Η κωνοειδής εκκένωση προκύπτει κατά μήκος του όγκου ενός σωρού φορτισμένων σωματιδίων (σκόνη εύφλεκτων στερεών). Το δυναμικό του φορτίου εξαρτάται από την πυκνότητα του. Τα φορτισμένα σωματίδια μέσα σε ένα σωλήνα σταθερής διαμέτρου δεν μπορούν να παρουσιάσουν σημαντικές διαφορές δυναμικού ανάμεσα στις σχηματιζόμενες επιφάνειες ενώ συνήθως η πυκνότητα του φορτίου είναι μικρή. Όταν όμως αυτά ρίχνονται μέσα σε μια χοάνη καθώς αυτά κατακάθονται η πυκνότητα του φορτίου θα αρχίσει να αυξάνει, από κάτω προς τα πάνω, αυξάνοντας το δυναμικό, συχνά τόσο ώστε να προκληθούν εκκενώσεις κατά μήκος των επιφανειών του κωνικού σωρού. Έτσι προκύπτει και το όνομα αυτής της εκκένωσης. Η υψηλότερη ενέργεια που έχει παρατηρηθεί ποτέ σε κωνοειδείς εκκενώσεις είναι 10 mJ, που είναι ικανά να πυροδοτήσουν εύφλεκτους ατμούς και σκόνη.

#### **1.12 ΓΕΙΩΣΗ**

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενες παραγράφους, τον πιο καθοριστικό ρόλο για την ασφαλή απομάκρυνση του στατικού ηλεκτρισμού τον παίζει η γείωση. Με την γείωση παρέχεται στα ηλεκτροστατικά φορτία, που δημιουργούνται στους χώρους εργασίας, ένας αγωγίμος δρόμος διαφυγής προς ένα σημείο που θεωρητικά έχει μηδενικό δυναμικό, το έδαφος. Η γείωση λειτουργεί σαν καταβόθρα

φορτίου, πρακτικά απείρου. Μπορεί δηλαδή να εξουδετερώσει οποιοδήποτε θετικό ή αρνητικό φορτίο. Βέβαια αυτό δεν είναι απόλυτα ακριβές. Στην πραγματικότητα αυτό που επιδιώκουμε να πετύχουμε με την σωστή γείωση είναι όλες οι αγώγιμες επιφάνειες, ο εξοπλισμός, οι διατάξεις ακόμα και το προσωπικό εργασίας που βρίσκονται σε ένα προστατευόμενο από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις χώρο (EPA – Electrostatic Discharge Protected Area) να βρίσκονται στο ίδιο δυναμικό. Όλα τα σημεία που είναι γειωμένα συμπεριφέρονται σαν να είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους, γιατί το δυναμικό σε κάθε γειωμένο σημείο είναι το ίδιο. Όσο υπάρχει ισορροπία δυναμικού, ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις δεν μπορούν να συμβούν. Πρέπει να επισημανθεί πως οι μονωτές, όπως τα κοινά πλαστικά, δεν μπορούν να γειωθούν και για αυτό πρέπει να αποφεύγονται σε περιοχές προστατευόμενες από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις (EPA's). Για να επιτευχθεί δυναμική ισορροπία θα πρέπει να υπάρχει σε κάθε εγκατάσταση ένα κοινό σημείο γείωσης (common grounding point) με το οποίο θα συνδέονται όλα τα εξαρτήματα, τα εργαλεία και το ίδιο το προσωπικό σε ένα χώρο εργασίας. Το κοινό σημείο γείωσης συχνά αναφέρεται και ως κοινό σημείο γείωσης ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων (ESD common grounding point) γιατί αυτό απορροφά όλα τα επικίνδυνα στατικά φορτία που δημιουργούνται σε μια εγκατάσταση. Το κοινό σημείο γείωσης πρέπει να έχει κατάλληλα ταυτοποιηθεί. Σύμφωνα με το ESD Association Standard, EOS/ESD S8.1 – 1993, προτείνεται ιδιόμορφος συμβολισμός για την ταυτοποίηση του κοινού σημείου γείωσης.

Το προσωπικό είναι η κύρια αιτία σχηματισμού στατιστικού ηλεκτρισμού. Το περπάτημα στους χώρους εργασίας, η διαδικασία επισκευής μιας διάταξης ή απλά ο χειρισμός μιας συσκευής μπορεί να οδηγήσει στην δημιουργία αρκετών χιλιάδων Volts. Αν δεν ελεγχθεί κατάλληλα ή δεν διασκορπιστεί σταδιακά, το συσσωρευμένο στατικό φορτίο που κουβαλάει ένας άνθρωπος μπορεί εύκολα να εκφορτιστεί σε κάποια ηλεκτροστατικά ευαίσθητη διάταξη. Αυτή η εκκένωση είναι

γνωστή ως Μοντέλο Εκφόρτωσης Ανθρώπινου Σώματος (Human Body Model Discharge). Ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους απομάκρυνσης των φορτίων που συσσωρεύονται στο ανθρώπινο σώμα προς το κοινό σημείο γείωσης είναι τα περικάρπια. Όταν έχουν φορεθεί σωστά από το προσωπικό και είναι συνδεδεμένα μέσω λεπτού αγωγίμου ιμάντα με το κοινό σημείο γείωσης, τότε μπορούν να κρατούν το δυναμικό του σώματος κοντά στο δυναμικό της γείωσης. Όσο το δυναμικό του ανθρώπινου σώματος και το δυναμικό των υπόλοιπων γειωμένων αντικειμένων στον χώρο εργασίας είναι το ίδιο ή σχεδόν το ίδιο, δεν μπορούν να υπάρξουν επικίνδυνες εκφορτίσεις ανάμεσα τους. Τα περικάρπια θα απομακρύνουν σύντομα τα στατικά φορτία που σχηματίζονται στο ανθρώπινο σώμα πριν αυτά προλάβουν να συσσωρευτούν.

Μια άλλη μέθοδος ρύθμισης του ηλεκτροστατικού φορτίου στο προσωπικό είναι η χρήση αγωγίμων δαπέδων ή δαπέδων διασκορπισμού φορτίων σε συνδυασμό με αγωγή παπούτσια ή αγωγίμους ιμάντες ποδιών. Κάθε ηλεκτροστατικό φορτίο που πιθανόν να σχηματιστεί σε ένα πρόσωπο που φορά αγωγή παπούτσια εύκολα διαχέεται στο αγωγή δάπεδο που είναι κατάλληλα συνδεδεμένο με το κοινό σημείο γείωσης ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων. Θα πρέπει να αναφερθεί πως υπάρχουν υλικά που προσδίδουν στα δάπεδα την επιπλέον ικανότητα να περιορίζουν την τριβοηλεκτρική φόρτιση, εμποδίζοντας έτσι τον σχηματισμό φορτίων λόγω τριβής. Η χρήση αγωγίμων δαπέδων ή δαπέδων διασκορπισμού είναι απαραίτητη σε χώρους που η αυξημένη κινητικότητα του προσωπικού είναι αναγκαία.

Ο κινούμενος εξοπλισμός σε ένα χώρο εργασίας, (όπως η καρέκλες, τα καροτσάκια, οι ανυψωτές) μπορεί εύκολα να δημιουργήσει στατικά φορτία, για αυτό πρέπει κι αυτός να είναι συνδεδεμένος με το κοινό σημείο γείωσης ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων μέσω του δαπέδου. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι η παροχή στον εν λόγω εξοπλισμό αγωγίμων τροχών ή συρόμενων αγωγίμων αλυσίδων

ή ιμάντων που θα επιτρέπουν την διαφυγή των φορτίων που σχηματίζονται στον κινούμενο εξοπλισμό προς το αγωγίμο δάπεδο ή δάπεδο διασκορπισμού φορτίων που είναι κατάλληλα συνδεδεμένα στο κοινό σημείο γείωσης.

Μια άλλη γείωση απαραίτητη σε κάθε χώρο εργασίας είναι η γείωση εξοπλισμού. Όλος ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός ενός χώρου εργασίας είναι συνδεδεμένος με την γείωση εξοπλισμού (Equipment grounding) ή αλλιώς την ηλεκτρική σύνδεση εξοπλισμού προς τη γη μέσω ενός καλωδίου γείωσης που αναφέρεται ως “τρίτο” καλώδιο (third-wire equipment grounding). Το καλώδιο γείωσης συνήθως έχει πράσινο χρώμα ή πράσινο με κίτρινες ρίγες και προστατεύει το προσωπικό αλλά και τον ίδιο τον εξοπλισμό από τυχόν διαρροές ρευμάτων ή ρεύματα βραχυκυκλώσεων στον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό της εγκατάστασης

Παρότι η ανθρώπινη δραστηριότητα είναι ο κύριος παράγοντας σχηματισμού ηλεκτροστατικών φορτίων στους χώρους εργασίας, σε αρκετά περιβάλλοντα οι αυτοματισμοί στην παραγωγή και διάφοροι εξοπλισμοί δοκιμών μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στον ηλεκτροστατικό έλεγχο. Για παράδειγμα μια διάταξη μπορεί να φορτιστεί καθώς γλιστρά πάνω σε κάποιον ιμάντα τροφοδοσίας. Αν αυτή η διάταξη έρθει σε επαφή με κάποιο γειωμένο μεταλλικό αντικείμενο τότε θα εκδηλωθεί μια ταχεία ηλεκτροστατική εκφόρτιση από τη συσκευή προς το μεταλλικό αντικείμενο. Μια τέτοια εκκένωση είναι γνωστή ως Εκφόρτιση Μοντέλου Φορτισμένης Διάταξης (CDM – Charged Device Model). Για να αποφευχθούν τέτοιες εκφορτίσεις πρέπει ο εξοπλισμός παραγωγής να είναι κατάλληλα συνδεδεμένος με την γείωση εξοπλισμού που ήδη υπάρχει σε μια εγκατάσταση για να προστατεύει το προσωπικό από λανθάνοντα ρεύματα του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού.

### **1.13 ΔΑΠΕΔΑ – ΠΡΩΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

Τη δεκαετία του 1970 και αρχές 1980, ο στατικός ηλεκτρισμός και οι επιδράσεις του άρχισαν σταδιακά να κάνουν την εμφάνιση τους στον τομέα της ηλεκτρονικής καθώς αυτός εξελισσόταν και οδήγησε στον κόσμο υψηλής τεχνολογίας που γνωρίζουμε σήμερα. Τότε οι κατασκευαστές δαπέδων δεν ήταν ακόμα ενήμεροι για τις επιπτώσεις του στατικού ηλεκτρισμού και για την ανάγκη, η οποία αργότερα θα γινόταν επιτακτική, για τον έλεγχο των στατικών φορτίων στους διάφορους χώρους των εγκαταστάσεων υψηλής τεχνολογίας ούτε για τον σπουδαίο ρόλο που θα έπαιζαν τα δάπεδα σε αυτό τον τομέα. Το 1979 όταν οι εργολάβοι στρατού υιοθέτησαν το πρότυπο MIL-STD-1686 (πρόγραμμα Ελέγχου Ηλεκτροστατικών Εκφορτίσεων για την προστασία ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών μερών, διατάξεων και εξοπλισμών) ξεκίνησε και ο αγώνας μεταξύ των κατασκευαστών δαπέδων για την δημιουργία υλικών που μπορούν να άγουν τον στατικό ηλεκτρισμό και να τον απομακρύνουν με ασφάλεια μέσω γειώσεων από τους χώρους όπου βρίσκονταν αντικείμενα ευαίσθητα σε ηλεκτροστατικά φορτία. Όπως σε κάθε αναπτυσσόμενη βιομηχανία, χρειάστηκε χρόνος μέχρι να τελειοποιηθούν τα διάφορα υλικά δαπέδων προστασίας. Στις επόμενες παραγράφους καταγράφονται τα προβλήματα και οι αδυναμίες των πρώτων υλικών που κατασκευάστηκαν.

#### **VINYL (ΒΙΝΥΛΙΟ)**

Επειδή ήταν εύκολο να ενσωματωθούν στη συνηθισμένη τους σύνθεση ιδιότητες που το καθιστούσαν ικανό να συνεισφέρει στον έλεγχο του στατικού ηλεκτρισμού, το βινύλιο ήταν η αρχική επιλογή υλικού για δάπεδα προστασίας. Προσθέτοντας ίνες αγωγίμων υλικών σε ένα τυπικό πλακίδιο βινυλίου οι προμηθευτές μπορούσαν εύκολα να παράγουν ένα αρκετά αποτελεσματικό και αξιόπιστο τύπο δαπέδου με χαρακτηριστικά ηλεκτροστατικής προστασίας.

Ωστόσο, παρότι το βινύλιο ήταν μια αρχή, και μάλιστα καλή, για την κατασκευή δαπέδων ηλεκτροστατικής προστασίας, δεν αποτελούσε πανάκια όπως αρχικά πίστευαν οι κατασκευαστές και οι διαχειριστές χώρων προστασίας. Ορισμένοι τύποι βινυλίου που παρασκευάστηκαν ήταν πολύ μαλακοί ή δεν μπορούσαν να ανταποκριθούν σε μεγάλες καταπονήσεις σε χώρους συνάθροισης και μετακίνησης μεγάλων ηλεκτρονικών εξοπλισμών. Σε περιοχές που υπήρχαν σπινθηρισμοί από μηχανισμούς συγκόλλησης το υλικό του δαπέδου έλιωνε και καταστρεφόταν. Ορισμένα βινύλια περιείχαν πλαστικοποιητές που δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές καθαρών θαλάμων ενώ άλλα περιείχαν επιβραδυντές φωτιάς όπως αλογόνα, τα οποία σε περίπτωση μικρής φωτιάς μπορούσαν να προκαλέσουν επικίνδυνα διαβρωτικά αέρια.

### **ΕΡΟΧΥ (ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΑ)**

Οι πρώτες εκδοχές εποξειδικών υλικών προστασίας, παρότι ανθεκτικά και αρκετά εύκολο να διατηρήσουν τις ιδιότητες τους, συχνά αποτύγγαναν των τεστ αγωγιμότητας. Κατά την διαδικασία ανάμειξης η ατελής διασκόρπιση των αγώγιμων ινών οδηγούσε στην παραγωγή ενός δαπέδου προστασίας που δεν ήταν επαρκώς αγώγιμο. Συνηθισμένη πρακτική των κατασκευαστών για να ενισχύσου την αγωγιμότητα των εποξειδικών δαπέδων ήταν η εφαρμογή πολύ υψηλών τάσεων και συνεπώς πρόκληση διηλεκτρική κατάρρευση κατά μήκος του μονωτικού υλικού ανάμεσα στις αγώγιμες περιοχές. Αυτή η διαδικασία δεν ήταν πάντα αποτελεσματική. Ένα λάθος κατά την διαδικασία ανάμειξης ή ο ελλιπής ποιοτικός έλεγχος από τους χημικούς επιθεωρητές κατασκευής μπορούσε να οδηγήσει στην παραγωγή μιας σύνθεσης που δεν περιείχε ικανό αριθμό αγώγιμων ινών ή σωματιδίων ώστε το δάπεδο να έχει τα επιθυμητά αγώγιμα χαρακτηριστικά.

### **CARPET (ΜΟΚΕΤΕΣ)**



Οι αγώγιμες μοκέτες δεν μπορούσαν να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις χώρων με υψηλή κινητικότητα. Οι αγώγιμες ίνες που περιείχαν μπορούσαν εύκολα να σπάσουν ακόμα και με μικρές καταπονήσεις καθιστώντας τις ιδιότητες ελέγχου στατικού ηλεκτρισμού της μοκέτας αναποτελεσματικές.

## **RUBBER (ΠΛΑΣΤΙΚΑ)**

Παρότι το πλαστικό υπήρξε πάντα το πιο σταθερό και ανθεκτικό υλικό δαπέδων προστασίας, δεν αποτελούσε αρχικά ελκυστική επιλογή για τους σχεδιαστές εγκαταστάσεων. Αυτό συνέβαινε γιατί τα πρώτα πλαστικά δάπεδα ήταν διαθέσιμα μόνο στη φορτωμένη με άνθρακα, μαύρη εκδοχή του υλικού, κάτι που οι περισσότεροι πελάτες έβρισκαν άσχημο για την αισθητική μεγάλων χώρων ή για την εφαρμογή του σε καθαρούς θαλάμους.

### **1.14 ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΔΑΠΕΔΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ**

Στο τέλος της δεκαετίας του 1980 νέες αξιόπιστες επιλογές εισήχθησαν στην βιομηχανία παραγωγής δαπέδων προστασίας και ελέγχου στατικού ηλεκτρισμού. Σήμερα υπάρχουν ελκυστικές εκδοχές υλικών που όλες παρέχουν αποτελεσματική και μεγάλης διάρκειας προστασία από στατικά φορτία. Κάθε προϊόν διαθέτει τα δικά του θετικά γνωρίσματα όπως επίσης και εν δυνάμει μειονεκτήματα τα οποία είναι σημαντικό να γνωρίζουν οι σχεδιαστές χώρων, οι διαχειριστές και οι συντηρητές εγκαταστάσεων.

## **VINYL (ΒΙΝΥΛΙΟ)**

Το βινύλιο είναι το παλαιότερο χρησιμοποιούμενο υλικό αποτελεσματικής προστασίας από ηλεκτροστατικά φορτία. Όταν έχει

διατηρηθεί σωστά το βινύλιο είναι μια πολύ ελκυστική επιλογή και μπορεί να δώσει στην εγκατάσταση μια καθαρή και καλή αισθητικά εμφάνιση. Επιπλέον, επειδή το υλικό αυτό είναι σχετικά φθηνό, το βινύλιο αποτελεί μια χαμηλού κόστους επιλογή προστασίας από το στατικό ηλεκτρισμό.

Οι διαχειριστές χώρων συχνά προτιμούν τα δάπεδα βινυλίου επειδή το βινύλιο έχει την φήμη ενός φθηνού και εύκολου στον καθαρισμό υλικού. Οι κατασκευαστές βινυλίου γνωρίζουν την ανάγκη να περικλείουν το κόστος συντήρησης και καθαρισμού των δαπέδων στο συνολικό κόστος εφαρμογής. Για αυτό συχνά προτείνουν μεθόδους καθαρισμού που απομακρύνονται από τα συνηθισμένα φινιρίσματα γυαλιστικά ή κεριά καθαρισμού.

Η περιοδική υψηλής ταχύτητας στίλβωση (high speed buffing) είναι η μέθοδος που συνήθως προτείνεται για ευκολία για τον καθαρισμό των δαπέδων βινυλίου. Η συσκευή στίλβωσης (buffing equipment) γυαλίζει το δάπεδο χρησιμοποιώντας θερμότητα. Οι αγοραστές θα πρέπει να γνωρίζουν ότι αυτή η διαδικασία δεν παρέχει στο δάπεδο μια επιπλέον στρώση προστασίας, όπως θα συνέβαινε με τη χρήση κεριών καθαρισμού ή άλλων φινιρισμάτων. Ωστόσο, όπως συμβαίνει με κάθε βινύλιο, η επιφάνεια του δαπέδου βινυλίου είναι αρκετά μαλακή και εύκολα λεκιάζεται και γρατζουνιέται. Έτσι σε χώρους μεγάλης κινητικότητας που πιθανόν ο καθαρισμός είναι απαραίτητος καθημερινώς, το κόστος συντήρησης με συσκευές στίλβωσης μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το κόστος συντήρησης με φινιρίσματα (finishes).

## **ΕΡΟΧΥ (ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΑ)**

Τα εποξειδικά δάπεδα έχουν γίνει μια αποτελεσματική, υψηλής ποιότητας ηλεκτροστατικής προστασίας επιλογή. Σήμερα τα εποξειδικά δάπεδα παρουσιάζουν μεγάλη ευκολία στην εγκατάσταση, την συντήρηση και την ανθεκτικότητα ενώ παράλληλα αποτελούν μια ελκυστική επιλογή και από άποψη αισθητικής. Εκτός από τις στερεές έγχρωμες επενδύσεις που συνήθως χρησιμοποιούνται σε χώρους στάθμευσης και σε υπόστεγα αεροπλάνων, η νέα γενιά εποξειδικών δαπέδων είναι διαθέσιμη σε διάφορα πρότυπα σχεδίων όπως επίσης σε μια ποικιλία χρωμάτων και υφών. Η χρήση πολλαπλών στρωμάτων αγώγιμων υλικών ως μέρος του συνολικού πάχους της επένδυσης παρέχει πλεονάζοντα μονοπάτια γείωσης, με αποτέλεσμα, αν γίνει σωστή εγκατάσταση, τα εποξειδικά δάπεδα να είναι εξαιρετικά αποτελεσματικά, καλύπτοντας όλες τις προδιαγραφές ηλεκτροστατικής προστασίας. Σε εγκαταστάσεις όπου βαριά φορτία και αυξημένη κινητικότητα υπάρχουν διαρκώς, τα εποξειδικά δάπεδα να είναι σχεδόν αποκλειστικά η μόνη πρακτική λύση.

### **CARPET (ΜΟΚΕΤΕΣ)**

Παλαιότερα, οι κατασκευαστές μοκετών πίστευαν πως, για να λύσουν τα προβλήματα στατικού ηλεκτρισμού αυτό που έπρεπε να κάνουν ήταν να εμποδίσουν τις εκφορτίσεις από το προσωπικό μιας εγκατάστασης, καθώς αυτό περπατούσε πάνω στη μοκέτα. Πίστευαν πως αν εμπόδιζαν το σχηματισμό στατικού ηλεκτρισμού θα περιορίζονταν και οι ηλεκτροστατικές εκκενώσεις μεταξύ του προσωπικού και των αντικειμένων αυτό ερχόταν σε επαφή. Ως ένα βαθμό πέτυχαν αυτό τους τον στόχο. Χρησιμοποιώντας αντιστατικά πρόσθετα ή ενισχύοντας τις μοκέτες με στοιχεία άνθρακα που στέγαζαν μέσα στον πυρήνα των νημάτων της μοκέτας, μπορούσαν να παρεμποδίσουν τις ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις.

Ωστόσο, επειδή τα συστατικά άνθρακα ήταν απομονωμένα από την εξωτερική επιφάνεια της μοκέτας και δεν έβρισκαν σημεία επαφής, οι

ιδιότητες διασκορπισμού στατικού ηλεκτρισμού του άνθρακα καθίσταντο ανεπαρκείς. Τα προϊόντα που προέκυπταν, αν και ιδανικά για οικιακή χρήση, δεν ανταποκρίνονταν στις απαιτήσεις βιομηχανίας ελέγχου στατικού ηλεκτρισμού.

Σήμερα, στη προσπάθεια ενίσχυσης των μοκετών ώστε να αποκτήσουν αγώγιμες ιδιότητες, βαρύτερες και ανθεκτικότερες αγώγιμες ίνες μπορούν να υφανθούν μέσα στη δέσμη νημάτων της μοκέτας. Έτσι δημιουργείται ένας σχεδόν απεριόριστος αριθμός επαφών παρέχοντας ένα αξιόπιστο και γρήγορο αγώγιμο μονοπάτι προς τη γη. Έτσι η νέα γενιά μοκετών παρουσιάζει αντοχή στις καταπονήσεις που υφίστανται περιοχές υψηλής κινητικότητας.

Επειδή η εγκατάσταση και αντικατάσταση είναι εύκολη, τα κομμάτια μοκέτας (carpet tiles) είναι δημοφιλής επιλογή για τους διαχειριστές εγκαταστάσεων και τους συντηρητές. Η εγκατάσταση των κομματιών μοκέτας γίνεται με την βοήθεια κόλλας ταχείας απελευθέρωσης και ξήρανσης με αγώγιμα χαρακτηριστικά. Επίσης η μοκέτα μπορεί να τοποθετηθεί απευθείας πάνω σε φθαρμένα πλακάκια βινυλίου ή ανισόπεδες επιφάνειες τσιμέντου, γεγονός που μειώνει σημαντικά το κόστος εγκατάστασης. Εάν κάποιο κομμάτι της μοκέτας φθαρεί είναι εύκολη η αντικατάστασή του χωρίς ειδικά εργαλεία ή ακόμη και τη χρήση αγώγιμης κόλλας. Επειδή οι μοκέτες είναι σχετικά ανθεκτικές και εύκολες στον καθαρισμό και την αντικατάσταση σε περίπτωση φθοράς, αποτελούν συνήθως και την πιο φθηνή επιλογή προστασίας από στατικά φορτία ανάμεσα στις υπόλοιπες επιλογές.

Ωστόσο οι μοκέτες, αν και αρκετά ανθεκτικές στις καταπονήσεις χώρων υψηλής κινητικότητας δεν παρουσιάζουν μεγάλες αντοχές σε μηχανικές και χημικές καταπονήσεις.

## **RUBBER (ΕΛΑΣΤΙΚΑ)**

Τα ελαστικά δάπεδα αποτελούν μια καλή επιλογή ανάμεσα στα υπόλοιπα υλικά δαπέδων καθώς συνήθως ανταποκρίνονται σε όλες τις προδιαγραφές που ορίζονται από το πρότυπο ANSI/ESD/ S.20-20 (κανονισμός προδιαγραφών χώρων προστατευόμενων από ESD συμβάντα). Τα ελαστικά δάπεδα μπορούν να είναι το ίδιο αποτελεσματικά στην προστασία όσο ένα εξαιρετικά αγώγιμο δάπεδο βινυλίου. Επιπλέον θεωρούνται από πολλούς ειδικούς ως μια ιδιαίτερα επιθυμητή επιφάνεια δαπέδου καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με αγώγιμα παπούτσια αλλά μπορεί να είναι το ίδιο αποτελεσματικό στον έλεγχο και την απομάκρυνση στατικών φορτίων ακόμα και σε χώρους που τέτοιου είδους προστασίας (αγώγιμα παπούτσια) δεν προβλέπεται ή δεν μπορεί να εφαρμοστεί. Τέτοιοι χώροι είναι τα κέντρα διοίκησης, τα εργοστάσια υπολογιστών και οι πύργοι ελέγχου πτήσεων.

Τα παλαιότερα αισθητικά προβλήματα που παρουσίαζαν αυτά τα δάπεδα έχουν επίσης λυθεί. Εργονομικά τα ελαστικά δάπεδα εμφανίζουν πολύ μεγαλύτερες αντοχές σε καταπονήσεις από τα εποξειδικά δάπεδα και τα δάπεδα βινυλίου, ενώ όπως και οι μοκέτες, τα ελαστικά δάπεδα περιορίζουν το θόρυβο από την μετακίνηση του προσωπικού αλλά και των συρόμενων αντικειμένων και εξοπλισμών..

Τα ελαστικά, επειδή είναι λιγότερο πορώδη από τα δάπεδα βινυλίου είναι ευκολότερος ο καθαρισμός τους και η διατήρησή τους. Συγκεκριμένα, ύστερα από μελέτες, έγινε φανερό πως οι ελαστικές επιφάνειες μπορούν να διατηρηθούν με ουδέτερα καθαριστικά αραιωμένα σε νερό χωρίς να απαιτούνται φινιρίσματα ή μηχανές στίλβωσης. Παρότι το κόστος εγκατάστασης ελαστικών δαπέδων είναι υψηλό σε σχέση με τα υπόλοιπα υλικά, η ανθεκτικότητά αυτών των δαπέδων και το χαμηλό κόστος συντήρησής τους μειώνει το συνολικό κόστος εφαρμογής τους.

## 1.15 ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΑΠΕΔΟΥ

Η βασική λειτουργία των ηλεκτροστατικών δαπέδων είναι να άγουν ή να διασκορπίζουν στατικά φορτία και να βοηθήσουν έτσι το έλεγχο των ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων. Για να εκπληρώσουν αυτή τη βασική λειτουργία, τα ηλεκτροστατικά δάπεδα πρέπει να διατηρούν τα χαρακτηριστικά προστασίας τους στους διάφορους χώρους μιας εγκατάστασης με απαιτήσεις ελέγχου ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων (ESD control).

Η ταξινόμηση των δαπέδων ως προς την ικανότητά τους να ελέγχουν τα στατικά φορτία γίνεται βάσει των ιδιοτήτων τους ως αγωγοί ή ως διασκορπιστές ηλεκτροστατικών φορτίων. Ένα αγώγιμο δάπεδο προτείνεται σε χώρους εργασίας όπου το προσωπικό είναι εφοδιασμένο με παπούτσια ελέγχου στατικού ηλεκτρισμού (static - control footwear) ενώ ένα δάπεδο διασκορπισμού είναι η βέλτιστη πρόταση για ένα χώρο εργασίας που είναι πιθανό να φιλοξενεί ένα μεγαλύτερο σε ποικιλία εύρος χρηστών.

Αφού γίνει αρχικά η επιλογή με βάση την επιθυμητή ηλεκτρική αντίσταση, η χρήση που προβλέπεται και η επιθυμητή εμφάνιση αποτελούν τους καθοριστικότερους παράγοντες για την τελική επιλογή ενός δαπέδου. Κάθε ένας τύπος ηλεκτροστατικού δαπέδου ανταποκρίνεται σε συγκεκριμένες απαιτήσεις προστασίας από ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις που ορίζονται στους διάφορους χώρους μια εγκατάστασης. Ακόμα και όταν η αισθητική του χώρου αποτελεί κριτήριο υπάρχει η δυνατότητα επιλογής ειδικών πλακιδίων ή μοκετών έλεγχου στατικού ηλεκτρισμού σε μια ποικιλία χρωμάτων και προτύπων. Με τόσο μεγάλη ποικιλία δαπέδων έλεγχου στατικού ηλεκτρισμού που υπάρχει σήμερα, η κατάλληλη επιλογή αποτελεί πρόκληση για τους αρχιτέκτονες και τους διαχειριστές εγκαταστάσεων υψηλής τεχνολογίας. Οι ιδικές απαιτήσεις κάθε χώρου μιας εγκατάστασης οδηγούν σε ένα συνδυασμό επιλογών δαπέδων. Τα βασικότερα κριτήρια για την επιλογή ενός δαπέδου πρέπει να είναι:

- 1) η καταλληλότητα του δαπέδου για το συγκεκριμένο χώρο
- 2) η συντήρηση που απαιτεί το δάπεδο
- 3) ηλεκτροστατικές απαιτήσεις που πρέπει να καλύπτει το δάπεδο

Σε χώρους με μεγάλη κινητικότητα, (αποθηκευτικοί χώροι, εγκαταστάσεις παραγωγής, χειρουργεία) απαιτούνται πυκνές επιφάνειες δαπέδων με αντοχή σε τριβή και προσκρούσεις, θλιπτική και εφελκιστική αντοχή καθώς και αντοχή σε χημικά διαλύματα. Τα εποξειδικά δάπεδα (Epoxy Floor) μπορούν να καλύψουν αυτές τις ανάγκες. Τα πλακίδια βινυλίου (Vinyl Tiles) αποτελούν μια βιώσιμη επιλογή για μια τυπική ηλεκτρονική ζώνη παραγωγής που παρουσιάζει έντονη κινητικότητα αλλά όχι σοβαρή μηχανική ή χημική καταπόνηση της επιφάνειας του δαπέδου. Τα δάπεδα καθαρών θαλάμων (Clean Rooms) συχνά δεν χρειάζεται να εμφανίσουν αντοχές σε υψηλή κινητικότητα και μηχανικές καταπονήσεις, για αυτό και τόσο εποξειδικά δάπεδα όσο και ορισμένοι τύποι πλακιδίων βινυλίου είναι κατάλληλοι για αυτούς τους χώρους. Ωστόσο το υλικό του δαπέδου που επιλέγεται για “καθαρούς” θαλάμους δεν μπορεί να περιέχει άνθρακα ή άλλα πτητικά οργανικά συστατικά που σε περίπτωση ανάφλεξης μπορεί να οδηγήσουν στην δημιουργία επικινδύνων διαβρωτικών αερίων.

Στα γραφεία ή σε άλλους χώρους εργασίας που παρουσιάζουν χαμηλή κινητικότητα είναι κατάλληλοι εκτός των άλλων και για μοκέτες που εκτός από την προστασία που παρέχουν από ηλεκτροστατικά φορτία, παράλληλα περιορίζουν τον θόρυβο που μπορεί να προέρχεται από μετακινήσεις προσώπων, καροτσάκια ή συρόμενους μηχανισμούς αυτοματισμού. Τέλος τα ελαστικά δάπεδα (Rubber Floors) καλύπτουν όλες τις απαιτήσεις ηλεκτροστατικής προστασίας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλους σχεδόν τους χώρους μιας εγκατάστασης αφού συνδυάζουν τα περισσότερα από τα πλεονεκτήματα των υπολοίπων υλικών. Ωστόσο λόγω του υψηλού κόστους εγκατάστασης

τους η εφαρμογή τους περιορίζεται στους χώρους όπου κρίνεται απαραίτητη.

### **1.16 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΔΑΠΕΔΩΝ**

Κατά την επιλογή υλικού δαπέδου, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη η σχέση μεταξύ της όσο το δυνατό καλύτερης διατήρησης των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του υλικού που προσδίδουν στο δάπεδο τις κατάλληλες ιδιότητες καθώς και των παραγόντων συντήρησης. Ορισμένα δάπεδα απαιτούν μονάχα περιοδικό σκούπισμα ή σφουγγάρισμα ενώ άλλα, για να μπορέσουν να αποδώσουν τα ηλεκτρικά τους χαρακτηριστικά, πιθανώς να απαιτούν την εγκατάσταση διαφόρων στρωμάτων επένδυσης από ειδικό ESD φινίρισμα. Το κόστος συντήρησης αλλά και η ίδια η συντήρηση των δαπέδων μπορούν εύκολα να ξεφύγουν από τις αρχικές προσδοκίες ή υποσχέσεις των προμηθευτών, για το συνολικό κόστος της εγκατάστασης. Για αυτό το λόγο, καμία απόφαση, που αφορά ειδικά στην επιλογή υλικών για τα δάπεδα, δεν πρέπει να λαμβάνεται χωρίς να έχουν εκτιμηθεί πλήρως οι απαιτήσεις για την συντήρηση.

Αν απαιτούνται ειδικά φινιρίσματα δαπέδου το εκτιμώμενο συνολικό κόστος θα πρέπει να περιλαμβάνει το πρόσθετο κόστος των φινιρισμάτων, το κόστος πιστοποίησης εκπλήρωσης των χαρακτηριστικών του φινιρίσματος αλλά και το κρυφό κόστος που σχετίζεται με τις μετακινήσεις επίπλων και εξοπλισμών και κάθε άλλης ενέργειας που απαιτείται για τις διαδικασίες συντήρησης.

Όσον αφορά στην συντήρηση, σημαντικό ρόλο παίζουν εκτός των άλλων η λειτουργία της μονάδας, η προβλεπόμενη κίνηση στους χώρους, η εγγύτητα των ESD δαπέδων στις εισόδους, το κλίμα της περιοχής όπως ακόμη και οι υποκειμενικοί παράγοντες που σχετίζονται με την επιθυμητή εμφάνιση και του χώρου μιας εταιρίας. Το αλέκιστο και αστραφτερό δάπεδο βινυλίου ενός καθαρού θαλάμου μπορεί για



κάποιον να μην είναι ιδιαίτερα όμορφο αισθητικά και να έχει αυξημένες απαιτήσεις συντήρησης γύρω από σημεία φόρτωσης. Το πολύ ανθεκτικό και σκληρό εποξειδικό κάλυμμα ίσως μπορεί να αντέξει τις καταπονήσεις χώρων φόρτωσης όμως σε εργοστάσια που η δομή των χώρων πιθανώς να μεταβληθεί μπορεί να προκύψουν προβλήματα σχετικά με την συντήρηση και την εμφάνιση του δαπέδου.

### **1.17 ΕΠΙΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ**

Μια παράμετρος που συχνά παραβλέπεται όταν γίνεται η επιλογή υλικού δαπέδου είναι η ευκολία και το αντίκτυπο των επισκευών. Όποια επιλογή δαπέδου και να γίνει πάντα αναμένεται κάποια μελλοντική επιδιόρθωση ή και αντικατάσταση.

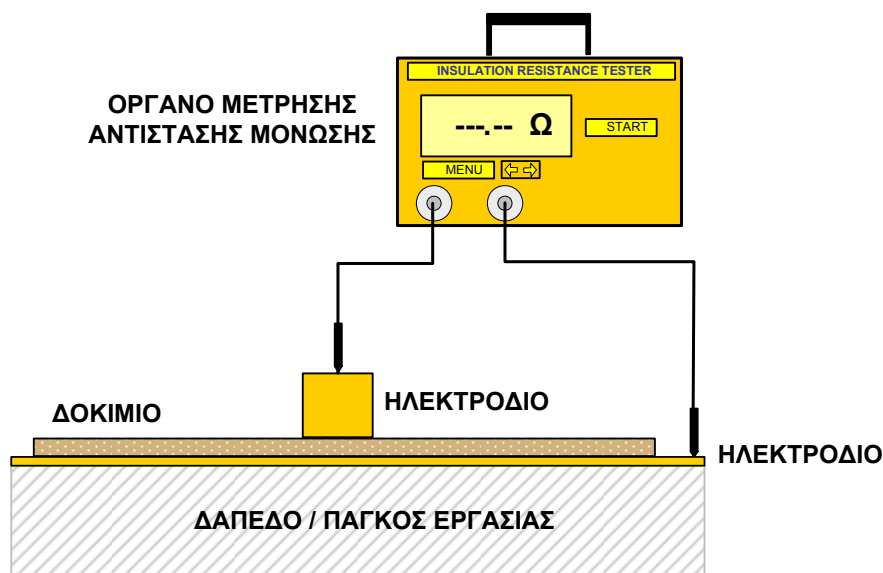
Για να αποφευχθούν λάθη που πιθανώς να έχουν τόσο οικονομικό αντίκτυπο όσο και χρονικές καθυστερήσεις είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη όλα τα σενάρια που σχετίζονται με την λειτουργία των χώρων εγκατάστασης των δαπέδων καθώς και όλες οι μεταβλητές που αφορούν στη χρήση αλλά και στην αναμενόμενη καταπόνηση των δαπέδων. Μια επιδιόρθωση μπορεί να είναι εύκολη υπόθεση σε ένα ανοιχτό χώρο ενώ να είναι πολύ δύσκολη σε ένα χώρο που φιλοξενεί πολυάριθμο προσωπικό και εξοπλισμό για όλες τις ημέρες της εβδομάδας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Η ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα μελετηθεί η επίδραση του βάρους των ηλεκτροδίων και της τιμής της εφαρμοζόμενης τάσης στην μέτρηση της αντίστασης δοκιμίων αντιστατικών δαπέδων σε περιβάλλον εργαστηρίου. Για το σκοπό αυτό τα δοκίμια τοποθετούνται μεταξύ δυο ηλεκτροδίων και μετράται η μεταξύ τους αντίσταση για διάφορες τιμές βάρους ηλεκτροδίων και εφαρμοζόμενης τάσης για τρεις διαφορετικούς τύπους ηλεκτροδίων. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται ανάλυση της διάταξης των μετρήσεων καθώς και της διαδικασίας η οποία ακολουθήθηκε για την πραγματοποίηση των μετρήσεων.

### 2.1 Η ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Το κύκλωμα που χρησιμοποιήθηκε δίδεται σχηματικά στο ακόλουθο σχήμα:



**Σχήμα 2.1-1:** Διάταξη των Μετρήσεων

Το όργανο μέτρησης της αντίστασης μόνωσης παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη να μεταβάλλει την τιμή της εφαρμοζόμενης

τάσης και τον χρόνο εφαρμογής αυτής. Περισσότερες λεπτομέρειες για το όργανο παρατίθενται στο παράρτημα Α.

Ως ηλεκτρόδια χρησιμοποιήθηκαν τρεις τύποι ηλεκτροδίων τα χαρακτηριστικά των οποίων δίνονται στη συνέχεια.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1-1:** Στοιχεία Ηλεκτροδίων

ΤΥΠΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟΥ	ΜΟΡΦΗ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ	ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ
ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	κύλινδρος	διάμετρος: 6.5cm	2.4 kg
ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ισόπλευρο τρίγωνο	πλευρά: 23 cm	0.6 kg
ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3	κύλινδρος	διάμετρος: 7.5 cm	1.0 kg

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν είναι εμπορικά αντιστατικά δάπεδα τεσσάρων διαφορετικών τύπων.

## 2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα.

**ΒΗΜΑ 1:** Μεταβολή της τιμής της εφαρμοζόμενης τάσης από τα 50 Volt ως τα 500 Volt, με βήμα των 50 Volt.

**ΒΗΜΑ 2:** Για τιμές τάσης του βήματος 1 από 50 Volt ως τα 250 Volt χρησιμοποιούνται διαδοχικά οι τρεις τύποι ηλεκτροδίων ενώ για τιμές τάσης άνω των 250 V χρησιμοποιούνται διαδοχικά οι δυο τελευταίοι τύποι ηλεκτροδίων.

**ΒΗΜΑ 3:** Για κάθε τιμή τάσης του βήματος 1 και για κάθε ηλεκτρόδιο χωριστά μεταβάλλεται το βάρος του με αποτέλεσμα το συνολικό βάρος του ηλεκτροδίου να έχει διαδοχικά τις εξής τιμές: 2.4Kg, 2.9Kg, 3.4Kg, 3.9Kg, 4.4Kg, 4.9Kg, 5.4Kg, 5.8Kg, 6.8Kg, 7.8Kg



### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Με βάση την διάταξη του σχήματος 2.1-1 και ακολουθώντας τα βήματα 1, 2 και 3 που περιγράφηκαν προηγουμένως πραγματοποιούνται μετρήσεις της αντίστασης στα δοκίμια που περιγράφηκαν προηγουμένως. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων δίνονται στους πίνακες 3-1 ως 3-40 που ακολουθούν.

**Πίνακας 3-1:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.1 για εφαρμοζόμενη τάση 50 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	240,00 MΩ	190,00 MΩ	156,66 MΩ
2,9	171,81 MΩ	171,81 MΩ	132,85 MΩ
3,4	132,85 MΩ	156,66 MΩ	115,00 MΩ
3,9	107,64 MΩ	123,33 MΩ	101,11 MΩ
4,4	101,11 MΩ	107,64 MΩ	90,00 MΩ
4,9	85,23 MΩ	101,11 MΩ	80,90 MΩ
5,4	80,90 MΩ	101,11 MΩ	73,33 MΩ
5,8	76,95 MΩ	89,00 MΩ	70,00 MΩ
6,8	73,33 MΩ	89,00 MΩ	64,07 MΩ
7,8	70,00 MΩ	89,00 MΩ	61,42 MΩ

**Πίνακας 3-2:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.1 για εφαρμοζόμενη τάση 100 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	116,00 MΩ	171,00 MΩ	118,00 MΩ
2,9	99,30 MΩ	159,00 MΩ	100,00 MΩ
3,4	90,50 MΩ	146,00 MΩ	91,3,00 MΩ
3,9	81,60 MΩ	130,00 MΩ	87,3,00 MΩ
4,4	76,10 MΩ	119,00 MΩ	80,60 MΩ
4,9	73,30 MΩ	105,00 MΩ	75,30 MΩ
5,4	70,10 MΩ	102,00 MΩ	72,40 MΩ
5,8	67,10 MΩ	97,60 MΩ	69,70 MΩ

6,8	61,50 ΜΩ	95,00 ΜΩ	63,20 ΜΩ
7,8	57,40 ΜΩ	87,6,00 ΜΩ	60,20 ΜΩ

**Πίνακας 3-3:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.1 για εφαρμοζόμενη τάση 150 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	105,50 ΜΩ	168,01 ΜΩ	115,99 ΜΩ
2,9	91,51 ΜΩ	160,06 ΜΩ	109,51 ΜΩ
3,4	84,13 ΜΩ	141,13 ΜΩ	96,40 ΜΩ
3,9	78,84 ΜΩ	128,23 ΜΩ	86,97 ΜΩ
4,4	75,19 ΜΩ	120,65 ΜΩ	80,12 ΜΩ
4,9	70,67 ΜΩ	105,50 ΜΩ	74,02 ΜΩ
5,4	68,55 ΜΩ	103,58 ΜΩ	70,67 ΜΩ
5,8	63,63 ΜΩ	98,12 ΜΩ	65,54 ΜΩ
6,8	57,10 ΜΩ	94,73 ΜΩ	62,70 ΜΩ
7,8	54,35 ΜΩ	89,96 ΜΩ	60,03 ΜΩ

**Πίνακας 3-4:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.1 για εφαρμοζόμενη τάση 200 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	92,45 ΜΩ	163,31 ΜΩ	106,40 ΜΩ
2,9	80,91 ΜΩ	156,17 ΜΩ	104,50 ΜΩ
3,4	79,18 ΜΩ	147,40 ΜΩ	99,08 ΜΩ
3,9	73,49 ΜΩ	128,54 ΜΩ	92,45 ΜΩ
4,4	70,47 ΜΩ	123,60 ΜΩ	84,53 ΜΩ
4,9	67,61 ΜΩ	109,01 ΜΩ	78,33 ΜΩ
5,4	64,23 ΜΩ	101,44 ΜΩ	72,72 ΜΩ

5,8	61,05 ΜΩ	97,93 ΜΩ	67,61 ΜΩ
6,8	52,58 ΜΩ	85,94 ΜΩ	61,67 ΜΩ
7,8	49,08 ΜΩ	85,47 ΜΩ	59,83 ΜΩ

**Πίνακας 3-5:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.1 για εφαρμοζόμενη τάση 250 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	87,80 ΜΩ	160,00 ΜΩ	80,20 ΜΩ
2,9	76,40 ΜΩ	142,00 ΜΩ	71,9 ΜΩ
3,4	60,70 ΜΩ	132,00 ΜΩ	71,9 ΜΩ
3,9	60,10 ΜΩ	122,00 ΜΩ	71,9 ΜΩ
4,4	58,10 ΜΩ	112,00 ΜΩ	71,9 ΜΩ
4,9	56,90 ΜΩ	104,00 ΜΩ	71,9 ΜΩ
5,4	56,00 ΜΩ	99,1,00 ΜΩ	71,9 ΜΩ
5,8	54,00 ΜΩ	93,20 ΜΩ	71,9 ΜΩ
6,8	49,65 ΜΩ	86,30 ΜΩ	71,9 ΜΩ
7,8	46,30 ΜΩ	81,60 ΜΩ	71,9 ΜΩ

**Πίνακας 3-6:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.1 για εφαρμοζόμενη τάση 300 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	-	156,31 ΜΩ	77,60 ΜΩ
2,9	-	139,60 ΜΩ	70,67 ΜΩ
3,4	-	120,65 ΜΩ	64,58 ΜΩ
3,9	-	111,60 ΜΩ	59,17 ΜΩ
4,4	-	99,89 ΜΩ	55,11 ΜΩ
4,9	-	95,56 ΜΩ	52,12 ΜΩ

5,4	-	93,10 ΜΩ	50,70 ΜΩ
5,8	-	88,45 ΜΩ	49,33 ΜΩ
6,8	-	82,76 ΜΩ	46,72 ΜΩ
7,8	-	80,12 ΜΩ	46,10 ΜΩ

**Πίνακας 3-7:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.1 για εφαρμοζόμενη τάση 350 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	-	149,37 ΜΩ	77,50 ΜΩ
2,9	-	139,72 ΜΩ	69,42 ΜΩ
3,4	-	116,29 ΜΩ	62,53 ΜΩ
3,9	-	111,44 ΜΩ	57,71 ΜΩ
4,4	-	98,71 ΜΩ	54,43 ΜΩ
4,9	-	93,79 ΜΩ	50,44 ΜΩ
5,4	-	91,48 ΜΩ	49,97 ΜΩ
5,8	-	88,17 ΜΩ	48,60 ΜΩ
6,8	-	82,09 ΜΩ	47,71 ΜΩ
7,8	-	79,29 ΜΩ	46,41 ΜΩ

**Πίνακας 3-8:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.1 για εφαρμοζόμενη τάση 400 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	-	129,39 ΜΩ	71,21 ΜΩ
2,9	-	122,01 ΜΩ	69,02 ΜΩ
3,4	-	102,65 ΜΩ	64,23 ΜΩ
3,9	-	100,25 ΜΩ	58,64 ΜΩ



4,4	-	90,89 ΜΩ	53,10 ΜΩ
4,9	-	86,42 ΜΩ	51,30 ΜΩ
5,4	-	82,70 ΜΩ	49,08 ΜΩ
5,8	-	76,67 ΜΩ	48,61 ΜΩ
6,8	-	72,72 ΜΩ	46,75 ΜΩ
7,8	-	70,47 ΜΩ	46,29 ΜΩ

**Πίνακας 3-9:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.1 για εφαρμοζόμενη τάση 450 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	-	116,89 ΜΩ	69,43 ΜΩ
2,9	-	111,90 ΜΩ	67,62 ΜΩ
3,4	-	102,60 ΜΩ	63,54 ΜΩ
3,9	-	98,26 ΜΩ	59,39 ΜΩ
4,4	-	92,10 ΜΩ	55,97 ΜΩ
4,9	-	86,32 ΜΩ	53,44 ΜΩ
5,4	-	79,16 ΜΩ	51,48 ΜΩ
5,8	-	75,79 ΜΩ	50,52 ΜΩ
6,8	-	72,55 ΜΩ	48,17 ΜΩ
7,8	-	69,43 ΜΩ	46,35 ΜΩ

**Πίνακας 3-10:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.1 για εφαρμοζόμενη τάση 500 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	-	103,00 ΜΩ	68,60 ΜΩ

2,9	-	95,00 ΜΩ	57,30 ΜΩ
3,4	-	89,50 ΜΩ	53,80 ΜΩ
3,9	-	82,50 ΜΩ	52,50 ΜΩ
4,4	-	78,30 ΜΩ	51,50 ΜΩ
4,9	-	73,60 ΜΩ	50,80 ΜΩ
5,4	-	69,40 ΜΩ	49,90 ΜΩ
5,8	-	65,80 ΜΩ	49,50 ΜΩ
6,8	-	62,10 ΜΩ	47,60 ΜΩ
7,8	-	61,00 ΜΩ	46,00 ΜΩ

**Πίνακας 3-11:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.2 για εφαρμοζόμενη τάση 50 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	323,33 ΜΩ	323,33 ΜΩ	360,37 ΜΩ
2,9	275,71 ΜΩ	302,50 ΜΩ	323,33 ΜΩ
3,4	240,00 ΜΩ	253,15 ΜΩ	312,58 ΜΩ
3,9	228,09 ΜΩ	228,09 ΜΩ	275,71 ΜΩ
4,4	202,76 ΜΩ	212,22 ΜΩ	260,27 ΜΩ
4,9	190,00 ΜΩ	190,00 ΜΩ	240,00 ΜΩ
5,4	182,30 ΜΩ	182,30 ΜΩ	212,22 ΜΩ
5,8	168,57 ΜΩ	171,81 ΜΩ	207,39 ΜΩ
6,8	143,84 ΜΩ	156,66 ΜΩ	190,00 ΜΩ
7,8	132,85 ΜΩ	156,66 ΜΩ	190,00 ΜΩ

**Πίνακας 3-12:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.2 για εφαρμοζόμενη τάση 100 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3

2,4	302,00 ΜΩ	303,00 ΜΩ	341,00 ΜΩ
2,9	260,00 ΜΩ	263,00 ΜΩ	318,00 ΜΩ
3,4	237,00 ΜΩ	235,00 ΜΩ	283,00 ΜΩ
3,9	214,00 ΜΩ	214,00 ΜΩ	266,00 ΜΩ
4,4	192,00 ΜΩ	197,00 ΜΩ	248,00 ΜΩ
4,9	177,00 ΜΩ	184,00 ΜΩ	236,00 ΜΩ
5,4	166,00 ΜΩ	175,00 ΜΩ	223,00 ΜΩ
5,8	153,00 ΜΩ	168,00 ΜΩ	210,00 ΜΩ
6,8	132,00 ΜΩ	147,00 ΜΩ	196,00 ΜΩ
7,8	127,00 ΜΩ	138,00 ΜΩ	187,00 ΜΩ

**Πίνακας 3-13:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.2 για εφαρμοζόμενη τάση 150 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	267,47 ΜΩ	267,47 ΜΩ	322,73 ΜΩ
2,9	249,92 ΜΩ	258,43 ΜΩ	310,10 ΜΩ
3,4	234,32 ΜΩ	241,90 ΜΩ	298,34 ΜΩ
3,9	213,92 ΜΩ	227,15 ΜΩ	267,47 ΜΩ
4,4	201,98 ΜΩ	207,80 ΜΩ	227,15 ΜΩ
4,9	176,66 ΜΩ	188,59 ΜΩ	227,15 ΜΩ
5,4	170,11 ΜΩ	174,43 ΜΩ	220,36 ΜΩ
5,8	130,93 ΜΩ	172,25 ΜΩ	207,80 ΜΩ
6,8	130,93 ΜΩ	168,01 ΜΩ	201,98 ΜΩ
7,8	128,23 ΜΩ	152,71 ΜΩ	201,98 ΜΩ

**Πίνακας 3-14:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.2 για εφαρμοζόμενη τάση 200 Volt.

ΤΥΠΟΙ	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
-------	--------------	--------------	--------------

KG			
2,4	201,29 MΩ	219,94 MΩ	256,59 MΩ
2,9	191,32 MΩ	215,98 MΩ	251,46 MΩ
3,4	185,12 MΩ	215,98 MΩ	246,50 MΩ
3,9	179,24 MΩ	215,98 MΩ	241,70 MΩ
4,4	176,42 MΩ	204,80 MΩ	241,70 MΩ
4,9	170,98 MΩ	197,87 MΩ	228,23 MΩ
5,4	149,52 MΩ	185,12 MΩ	224,02 MΩ
5,8	137,47 MΩ	170,98 MΩ	219,94 MΩ
6,8	130,25 MΩ	168,36 MΩ	197,87 MΩ
7,8	106,40 MΩ	137,47 MΩ	191,32 MΩ

**Πίνακας 3-15:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο No.2 για εφαρμοζόμενη τάση 250 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	152,00 MΩ	166,00 MΩ	220,00 MΩ
2,9	131,00 MΩ	147,00 MΩ	213,00 MΩ
3,4	120,00 MΩ	140,00 MΩ	197,00 MΩ
3,9	112,00 MΩ	133,00 MΩ	190,00 MΩ
4,4	105,00 MΩ	129,00 MΩ	183,00 MΩ
4,9	100,00 MΩ	121,00 MΩ	170,00 MΩ
5,4	96,6,00 MΩ	115,00 MΩ	155,00 MΩ
5,8	85,5,00 MΩ	102,00 MΩ	148,00 MΩ
6,8	79,1,00 MΩ	98,3,00 MΩ	139,00 MΩ
7,8	75,5,00 MΩ	92,8,00 MΩ	134,00 MΩ

**Πίνακας 3-16:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο No.2 για εφαρμοζόμενη τάση 300 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	-	163,95 MΩ	191,14 MΩ
2,9	-	149,25 MΩ	181,28 MΩ
3,4	-	136,61 MΩ	181,28 MΩ
3,9	-	130,93 MΩ	172,25 MΩ
4,4	-	125,62 MΩ	168,01 MΩ
4,9	-	118,28 MΩ	168,01 MΩ
5,4	-	115,99 MΩ	160,06 MΩ
5,8	-	109,51 MΩ	149,25 MΩ
6,8	-	99,89 MΩ	136,61 MΩ
7,8	-	96,40 MΩ	130,93 MΩ

**Πίνακας 3-17:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο No.2 για εφαρμοζόμενη τάση 350 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	-	154,63 MΩ	179,31 MΩ
2,9	-	149,37 MΩ	172,53 MΩ
3,4	-	139,72 MΩ	172,53 MΩ
3,9	-	127,10 MΩ	172,53 MΩ
4,4	-	123,32 MΩ	166,18 MΩ
4,9	-	123,32 MΩ	154,63 MΩ
5,4	-	119,72 MΩ	154,63 MΩ
5,8	-	116,29 MΩ	149,37 MΩ
6,8	-	104,06 MΩ	144,41 MΩ
7,8	-	98,71 MΩ	123,32 MΩ

**Πίνακας 3-18:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.2 για εφαρμοζόμενη τάση 400 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	-	147,40 MΩ	170,98 MΩ
2,9	-	145,33 MΩ	170,98 MΩ
3,4	-	133,79 MΩ	168,36 MΩ
3,9	-	130,25 MΩ	168,36 MΩ
4,4	-	128,54 MΩ	168,36 MΩ
4,9	-	120,46 MΩ	163,31 MΩ
5,4	-	117,43 MΩ	160,87 MΩ
5,8	-	111,72 MΩ	158,49 MΩ
6,8	-	111,72 MΩ	149,52 MΩ
7,8	-	109,01 MΩ	149,52 MΩ

**Πίνακας 3-19:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.2 για εφαρμοζόμενη τάση 450 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	-	141,44 MΩ	139,55 MΩ
2,9	-	141,44 MΩ	146,00 MΩ
3,4	-	139,86 MΩ	146,00 MΩ
3,9	-	138,30 MΩ	146,00 MΩ
4,4	-	133,43 MΩ	146,00 MΩ
4,9	-	130,50 MΩ	142,73 MΩ
5,4	-	127,64 MΩ	140,81 MΩ
5,8	-	122,13 MΩ	140,18 MΩ
6,8	-	116,89 MΩ	138,30 MΩ
7,8	-	112,88 MΩ	133,43 MΩ

**Πίνακας 3-20:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο No.2 για εφαρμοζόμενη τάση 500 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	-	138,00 ΜΩ	164,00 ΜΩ
2,9	-	130,00 ΜΩ	160,00 ΜΩ
3,4	-	123,00 ΜΩ	158,00 ΜΩ
3,9	-	116,00 ΜΩ	144,00 ΜΩ
4,4	-	112,00 ΜΩ	134,00 ΜΩ
4,9	-	109,00 ΜΩ	129,00 ΜΩ
5,4	-	105,00 ΜΩ	121,00 ΜΩ
5,8	-	99,5,00 ΜΩ	116,00 ΜΩ
6,8	-	96,1,00 ΜΩ	108,00 ΜΩ
7,8	-	92,6,00 ΜΩ	99,50 ΜΩ

**Πίνακας 3-21:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο No.3 για εφαρμοζόμενη τάση 50 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	190,00 ΜΩ	323,33 ΜΩ	156,66 ΜΩ
2,9	156,66 ΜΩ	390,00 ΜΩ	132,85 ΜΩ
3,4	132,85 ΜΩ	275,71 ΜΩ	115,00 ΜΩ
3,9	107,64 ΜΩ	212,22 ΜΩ	101,11 ΜΩ
4,4	101,11 ΜΩ	156,66 ΜΩ	90,00 ΜΩ
4,9	85,23 ΜΩ	143,84 ΜΩ	80,90 ΜΩ
5,4	80,90 ΜΩ	132,85 ΜΩ	73,33 ΜΩ
5,8	76,95 ΜΩ	123,33 ΜΩ	70,00 ΜΩ
6,8	73,33 ΜΩ	115,00 ΜΩ	64,07 ΜΩ
7,8	70,00 ΜΩ	107,64 ΜΩ	61,42 ΜΩ

**Πίνακας 3-22:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο No.3 για εφαρμοζόμενη τάση 100 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	116,00 MΩ	171,00 MΩ	118,00 MΩ
2,9	99,30 MΩ	159,00 MΩ	100,00 MΩ
3,4	90,50 MΩ	146,00 MΩ	91,30 MΩ
3,9	81,60 MΩ	130,00 MΩ	87,30 MΩ
4,4	76,10 MΩ	119,00 MΩ	80,60 MΩ
4,9	73,30 MΩ	105,00 MΩ	75,30 MΩ
5,4	70,10 MΩ	102,00 MΩ	72,40 MΩ
5,8	67,10 MΩ	97,60 MΩ	69,70 MΩ
6,8	61,50 MΩ	95,00 MΩ	63,20 MΩ
7,8	57,40 MΩ	87,60 MΩ	60,00 MΩ

**Πίνακας 3-23:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο No.3 για εφαρμοζόμενη τάση 150 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	105,50 MΩ	172,25 MΩ	101,71 MΩ
2,9	91,51 MΩ	160,06 MΩ	91,51 MΩ
3,4	84,13 MΩ	141,13 MΩ	85,54 MΩ
3,9	78,84 MΩ	128,23 MΩ	80,12 MΩ
4,4	75,19 MΩ	120,65 MΩ	75,19 MΩ
4,9	70,67 MΩ	113,76 MΩ	71,76 MΩ
5,4	68,55 MΩ	107,47 MΩ	66,52 MΩ
5,8	63,63 MΩ	103,58 MΩ	60,90 MΩ
6,8	57,10 MΩ	93,10 MΩ	56,69 MΩ
7,8	54,35 MΩ	86,97 MΩ	55,11 MΩ



**Πίνακας 3-24:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο No.3 για εφαρμοζόμενη τάση 200 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	103,88 MΩ	173,66 MΩ	94,59 MΩ
2,9	90,38 MΩ	160,87 MΩ	89,37 MΩ
3,4	88,37 MΩ	137,47 MΩ	82,70 MΩ
3,9	81,80 MΩ	126,86 MΩ	80,04 MΩ
4,4	78,33 MΩ	118,18 MΩ	74,27 MΩ
4,9	75,06 MΩ	110,35 MΩ	70,47 MΩ
5,4	71,21 MΩ	103,88 MΩ	65,55 MΩ
5,8	67,61 MΩ	96,24 MΩ	60,44 MΩ
6,8	64,23 MΩ	93,51 MΩ	55,79 MΩ
7,8	59,83 MΩ	87,39 MΩ	54,16 MΩ

**Πίνακας 3-25:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο No.3 για εφαρμοζόμενη τάση 250 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	87,80 MΩ	160,00 MΩ	80,20 MΩ
2,9	70,40 MΩ	142,00 MΩ	71,90 MΩ
3,4	60,70 MΩ	132,00 MΩ	61,50 MΩ
3,9	60,10 MΩ	122,00 MΩ	58,90 MΩ
4,4	58,10 MΩ	112,00 MΩ	56,40 MΩ
4,9	56,90 MΩ	104,00 MΩ	53,80 MΩ
5,4	56,00 MΩ	99,10 MΩ	52,20 MΩ
5,8	54,10 MΩ	93,20 MΩ	50,50 MΩ
6,8	49,65 MΩ	86,30 MΩ	48,40 MΩ
7,8	46,30 MΩ	81,60 MΩ	47,50 MΩ

**Πίνακας 3-26:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.3 για εφαρμοζόμενη τάση 300 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	-	160,06 MΩ	75,19 MΩ
2,9	-	149,25 MΩ	70,67 MΩ
3,4	-	133,72 MΩ	64,58 MΩ
3,9	-	119,46 MΩ	58,33 MΩ
4,4	-	109,51 MΩ	52,85 MΩ
4,9	-	103,58 MΩ	51,41 MΩ
5,4	-	98,12 MΩ	50,01 MΩ
5,8	-	93,10 MΩ	48,66 MΩ
6,8	-	85,54 MΩ	48,00 MΩ
7,8	-	81,43 MΩ	47,36 MΩ

**Πίνακας 3-27:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.3 για εφαρμοζόμενη τάση 350 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	-	149,37 MΩ	72,50 MΩ
2,9	-	139,72 MΩ	70,94 MΩ
3,4	-	129,07 MΩ	61,27 MΩ
3,9	-	116,29 MΩ	56,58 MΩ
4,4	-	102,68 MΩ	50,44 MΩ
4,9	-	90,35 MΩ	50,44 MΩ
5,4	-	84,04 MΩ	50,44 MΩ
5,8	-	81,14 MΩ	49,97 MΩ
6,8	-	80,21 MΩ	49,51 MΩ
7,8	-	79,29 MΩ	48,60 MΩ

**Πίνακας 3-28:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο No.3 για εφαρμοζόμενη τάση 400 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	-	137,47 MΩ	67,61 MΩ
2,9	-	133,79 MΩ	65,22 MΩ
3,4	-	117,43 MΩ	61,05 MΩ
3,9	-	110,35 MΩ	58,64 MΩ
4,4	-	106,40 MΩ	56,91 MΩ
4,9	-	102,65 MΩ	54,70 MΩ
5,4	-	88,37 MΩ	52,58 MΩ
5,8	-	83,61 MΩ	51,55 MΩ
6,8	-	80,04 MΩ	50,55 MΩ
7,8	-	76,67 MΩ	50,06 MΩ

**Πίνακας 3-29:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο No.3 για εφαρμοζόμενη τάση 450 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	-	116,89 MΩ	66,43 MΩ
2,9	-	111,90 MΩ	64,68 MΩ
3,4	-	109,49 MΩ	60,75 MΩ
3,9	-	104,84 MΩ	57,00 MΩ
4,4	-	98,26 MΩ	55,71 MΩ
4,9	-	94,11 MΩ	54,19 MΩ
5,4	-	88,21 MΩ	52,94 MΩ
5,8	-	79,16 MΩ	52,45 MΩ
6,8	-	75,79 MΩ	50,52 MΩ
7,8	-	72,55 MΩ	49,80 MΩ

**Πίνακας 3-30:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.3 για εφαρμοζόμενη τάση 500 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	-	103,00 ΜΩ	68,60 ΜΩ
2,9	-	95,00 ΜΩ	57,30 ΜΩ
3,4	-	89,50 ΜΩ	53,80 ΜΩ
3,9	-	82,50 ΜΩ	52,50 ΜΩ
4,4	-	78,30 ΜΩ	51,50 ΜΩ
4,9	-	73,60 ΜΩ	50,80 ΜΩ
5,4	-	69,40 ΜΩ	49,90 ΜΩ
5,8	-	65,80 ΜΩ	49,50 ΜΩ
6,8	-	62,10 ΜΩ	47,60 ΜΩ
7,8	-	61,00 ΜΩ	46,00 ΜΩ

**Πίνακας 3-31:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.4 για εφαρμοζόμενη τάση 50 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	656,66 ΜΩ	490,00 ΜΩ	656,66 ΜΩ
2,9	490,00 ΜΩ	390,00 ΜΩ	656,66 ΜΩ
3,4	390,00 ΜΩ	390,00 ΜΩ	545,55 ΜΩ
3,9	323,33 ΜΩ	323,33 ΜΩ	490,00 ΜΩ
4,4	275,71 ΜΩ	323,33 ΜΩ	490,00 ΜΩ
4,9	240,00 ΜΩ	275,71 ΜΩ	444,54 ΜΩ
5,4	212,22 ΜΩ	275,71 ΜΩ	390,00 ΜΩ
5,8	190,00 ΜΩ	275,71 ΜΩ	323,33 ΜΩ
6,8	171,81 ΜΩ	240,00 ΜΩ	323,33 ΜΩ
7,8	171,81 ΜΩ	212,22 ΜΩ	275,71 ΜΩ

**Πίνακας 3-32:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.4 για εφαρμοζόμενη τάση 100 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	308,00 MΩ	385,00 MΩ	600,00 MΩ
2,9	285,00 MΩ	360,00 MΩ	520,00 MΩ
3,4	236,00 MΩ	332,00 MΩ	468,00 MΩ
3,9	223,00 MΩ	298,00 MΩ	407,00 MΩ
4,4	199,50 MΩ	279,00 MΩ	381,00 MΩ
4,9	195,00 MΩ	257,00 MΩ	362,00 MΩ
5,4	188,00 MΩ	248,00 MΩ	327,00 MΩ
5,8	166,00 MΩ	232,00 MΩ	303,00 MΩ
6,8	148,00 MΩ	218,00 MΩ	257,00 MΩ
7,8	138,00 MΩ	199,00 MΩ	220,00 MΩ

**Πίνακας 3-33:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.4 για εφαρμοζόμενη τάση 150 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	234,32 MΩ	322,73 MΩ	565,85 MΩ
2,9	220,36 MΩ	310,10 MΩ	499,55 MΩ
3,4	172,25 MΩ	298,34 MΩ	434,86 MΩ
3,9	163,95 MΩ	277,10 MΩ	366,93 MΩ
4,4	145,91 MΩ	258,43 MΩ	336,33 MΩ
4,9	136,61 MΩ	234,32 MΩ	298,34 MΩ
5,4	130,93 MΩ	220,36 MΩ	277,10 MΩ
5,8	118,28 MΩ	201,98 MΩ	249,92 MΩ
6,8	109,51 MΩ	191,14 MΩ	241,90 MΩ
7,8	103,58 MΩ	186,10 MΩ	213,92 MΩ

**Πίνακας 3-34:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο No.4 για εφαρμοζόμενη τάση 200 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	183,62 MΩ	183,62 MΩ	458,04 MΩ
2,9	163,31 MΩ	163,31 MΩ	362,95 MΩ
3,4	139,37 MΩ	139,37 MΩ	294,26 MΩ
3,9	132,00 MΩ	132,00 MΩ	279,07 MΩ
4,4	118,18 MΩ	118,18 MΩ	276,07 MΩ
4,9	113,81 MΩ	113,81 MΩ	270,25 MΩ
5,4	111,03 MΩ	111,03 MΩ	256,59 MΩ
5,8	104,50 MΩ	104,50 MΩ	228,23 MΩ
6,8	97,93 MΩ	97,93 MΩ	208,42 MΩ
7,8	93,51 MΩ	93,51 MΩ	186,64 MΩ

**Πίνακας 3-35:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο No.4 για εφαρμοζόμενη τάση 250 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	151,50 MΩ	290,00 MΩ	308,00 MΩ
2,9	137,00 MΩ	270,00 MΩ	285,00 MΩ
3,4	127,00 MΩ	254,00 MΩ	276,00 MΩ
3,9	119,50 MΩ	237,00 MΩ	270,00 MΩ
4,4	113,00 MΩ	227,00 MΩ	264,00 MΩ
4,9	108,00 MΩ	201,00 MΩ	248,00 MΩ
5,4	104,00 MΩ	189,00 MΩ	231,00 MΩ
5,8	96,90 MΩ	172,00 MΩ	198,00 MΩ
6,8	90,40 MΩ	167,00 MΩ	179,00 MΩ
7,8	85,90 MΩ	154,00 MΩ	172,00 MΩ

**Πίνακας 3-36:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.4 για εφαρμοζόμενη τάση 300 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	-	254,12 MΩ	277,10 MΩ
2,9	-	249,93 MΩ	254,12 MΩ
3,4	-	220,37 MΩ	220,37 MΩ
3,9	-	207,80 MΩ	213,92 MΩ
4,4	-	191,15 MΩ	213,92 MΩ
4,9	-	181,28 MΩ	207,80 MΩ
5,4	-	176,67 MΩ	201,98 MΩ
5,8	-	160,06 MΩ	191,15 MΩ
6,8	-	142,70 MΩ	183,66 MΩ
7,8	-	141,14 MΩ	165,97 MΩ

**Πίνακας 3-37:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.4 για εφαρμοζόμενη τάση 350 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	-	238,14 MΩ	256,89 MΩ
2,9	-	211,90 MΩ	232,43 MΩ
3,4	-	186,59 MΩ	232,43 MΩ
3,9	-	186,59 MΩ	211,90 MΩ
4,4	-	172,53 MΩ	211,90 MΩ
4,9	-	172,53 MΩ	194,40 MΩ
5,4	-	169,30 MΩ	186,59 MΩ
5,8	-	166,18 MΩ	179,32 MΩ
6,8	-	160,23 MΩ	172,53 MΩ
7,8	-	160,23 MΩ	160,23 MΩ

**Πίνακας 3-38:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.4 για εφαρμοζόμενη τάση 400 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	-	219,94 MΩ	234,81 MΩ
2,9	-	201,29 MΩ	224,03 MΩ
3,4	-	185,13 MΩ	219,94 MΩ
3,9	-	179,25 MΩ	212,15 MΩ
4,4	-	170,98 MΩ	204,81 MΩ
4,9	-	164,55 MΩ	194,56 MΩ
5,4	-	163,31 MΩ	191,33 MΩ
5,8	-	162,09 MΩ	188,18 MΩ
6,8	-	149,52 MΩ	185,13 MΩ
7,8	-	143,30 MΩ	170,98 MΩ

**Πίνακας 3-39:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.4 για εφαρμοζόμενη τάση 450 Volt.

ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	-	187,21 MΩ	220,92 MΩ
2,9	-	187,21 MΩ	219,78 MΩ
3,4	-	185,40 MΩ	217,52 MΩ
3,9	-	178,80 MΩ	214,20 MΩ
4,4	-	172,52 MΩ	203,62 MΩ
4,9	-	166,13 MΩ	204,64 MΩ
5,4	-	160,04 MΩ	201,59 MΩ
5,8	-	156,38 MΩ	198,59 MΩ
6,8	-	152,82 MΩ	197,61 MΩ
7,8	-	152,82 MΩ	195,66 MΩ

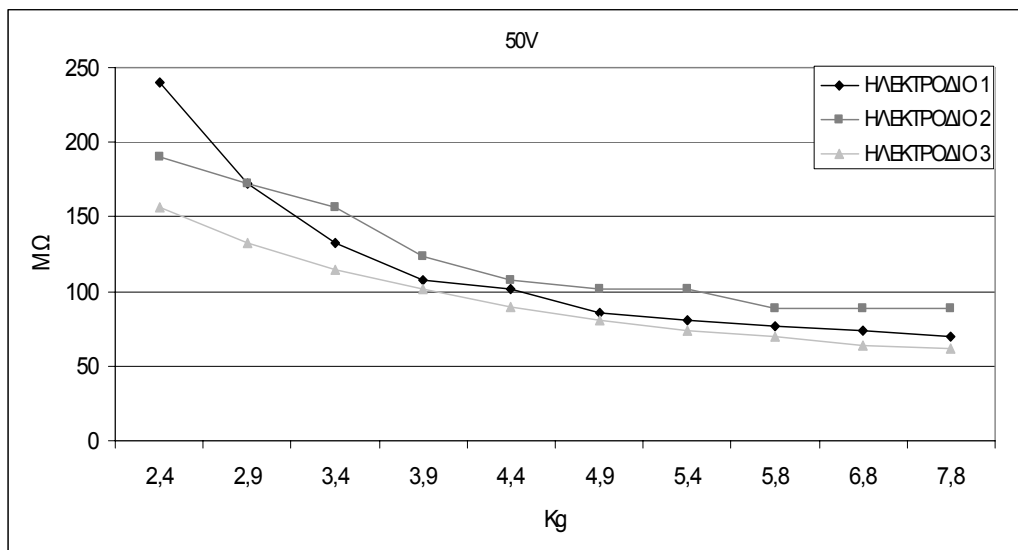


**Πίνακας 3-40:** Τιμές της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.4 για εφαρμοζόμενη τάση 500 Volt.

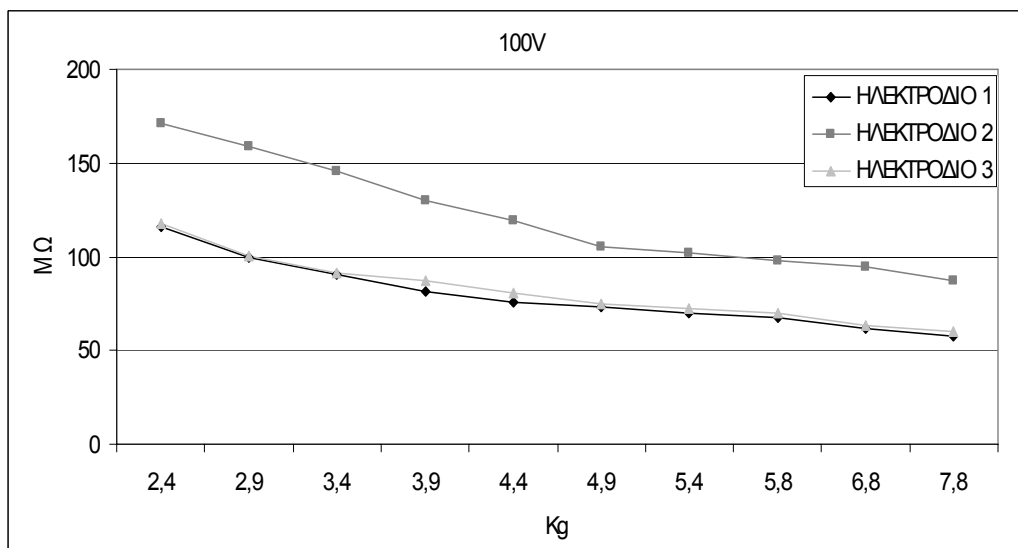
ΤΥΠΟΙ KG	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 1	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ 3
2,4	-	198,00 MΩ	213,00 MΩ
2,9	-	187,00 MΩ	209,00 MΩ
3,4	-	177,00 MΩ	206,00 MΩ
3,9	-	171,00 MΩ	193,00 MΩ
4,4	-	164,00 MΩ	187,00 MΩ
4,9	-	160,00 MΩ	172,00 MΩ
5,4	-	150,00 MΩ	162,00 MΩ
5,8	-	142,00 MΩ	148,00 MΩ
6,8	-	131,00 MΩ	142,00 MΩ
7,8	-	128,00 MΩ	138,00 MΩ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΣΧΟΛΙΑ ΕΠΙ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

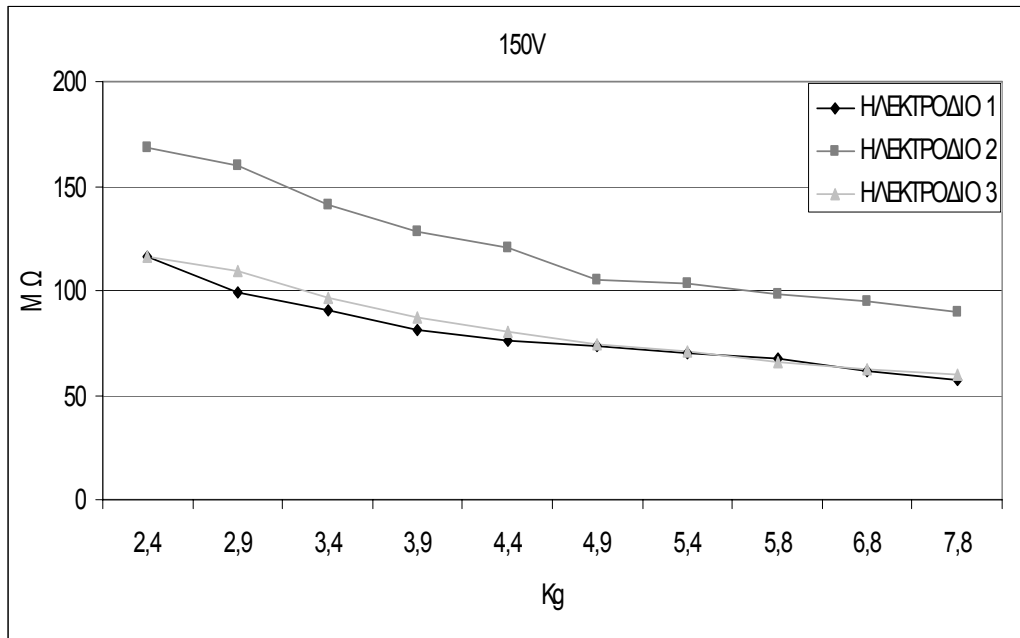
Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων που δίνονται στους πίνακες 3-1 ως 3-40 χαράσσονται οι καμπύλες μεταβολής της τιμής της αντίστασης σε σχέση με το βάρος των ηλεκτροδίων, οι οποίες δίνονται στα σχήματα 4-1 έως 4-40 που ακολουθούν.



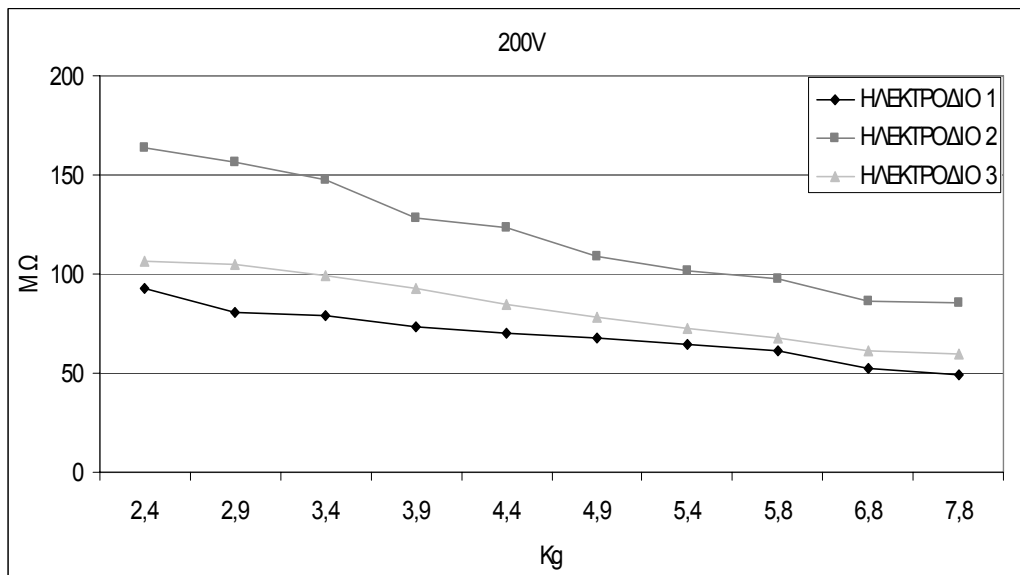
**Σχήμα 4-1:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.1 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 50 Volt.



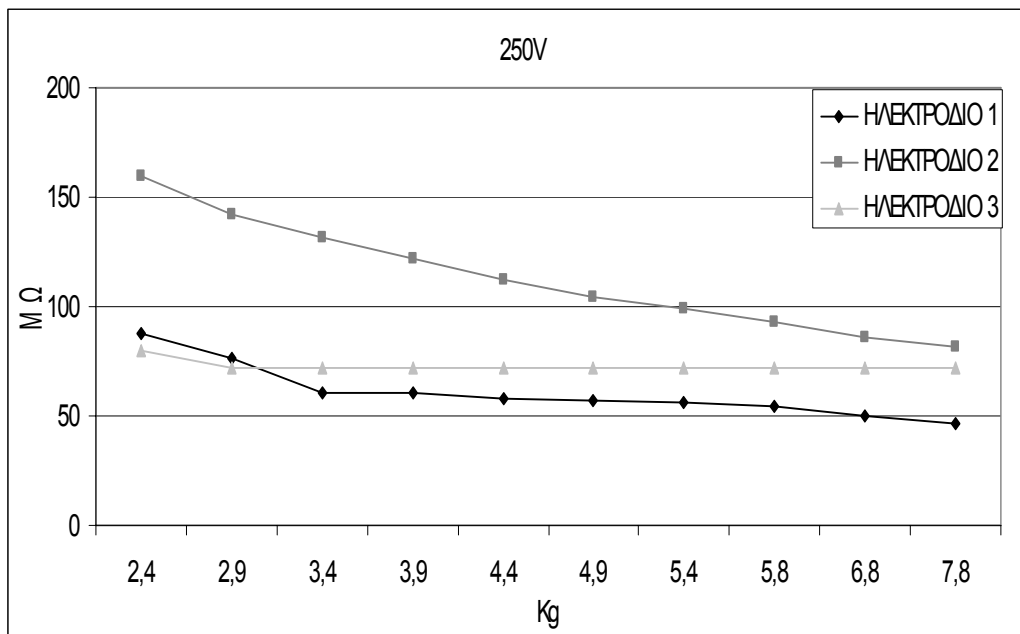
**Σχήμα 4-2:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.1 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 100 Volt.



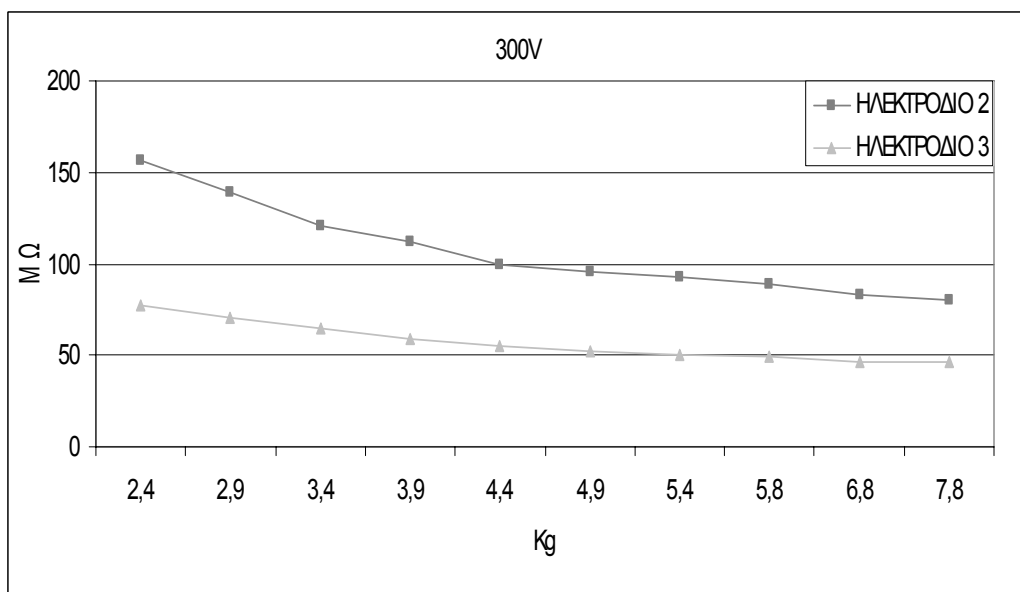
**Σχήμα 4-3:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο No.1 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 150 Volt.



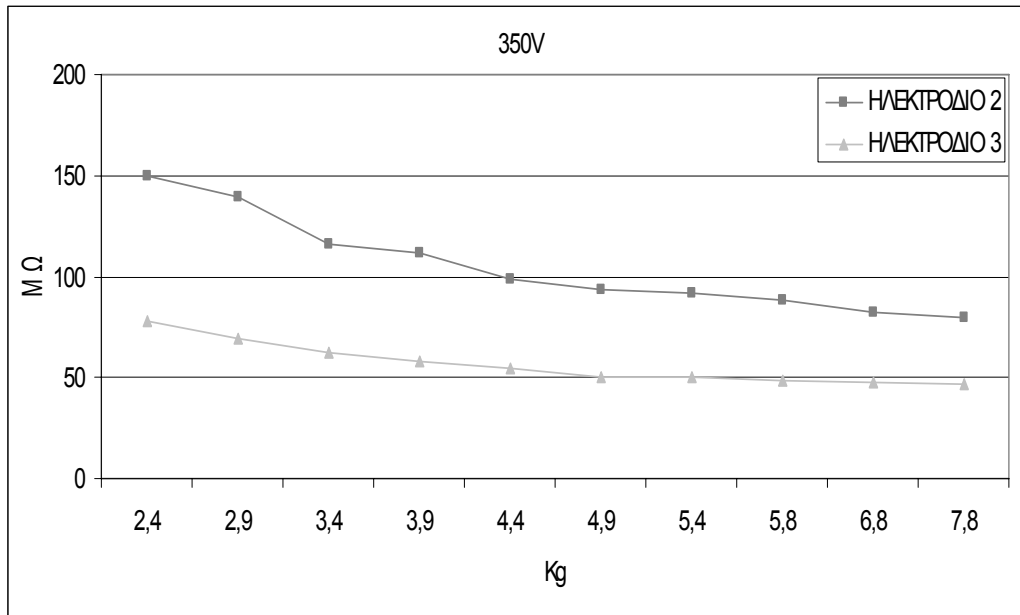
**Σχήμα 4-4:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο No.1 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 200 Volt.



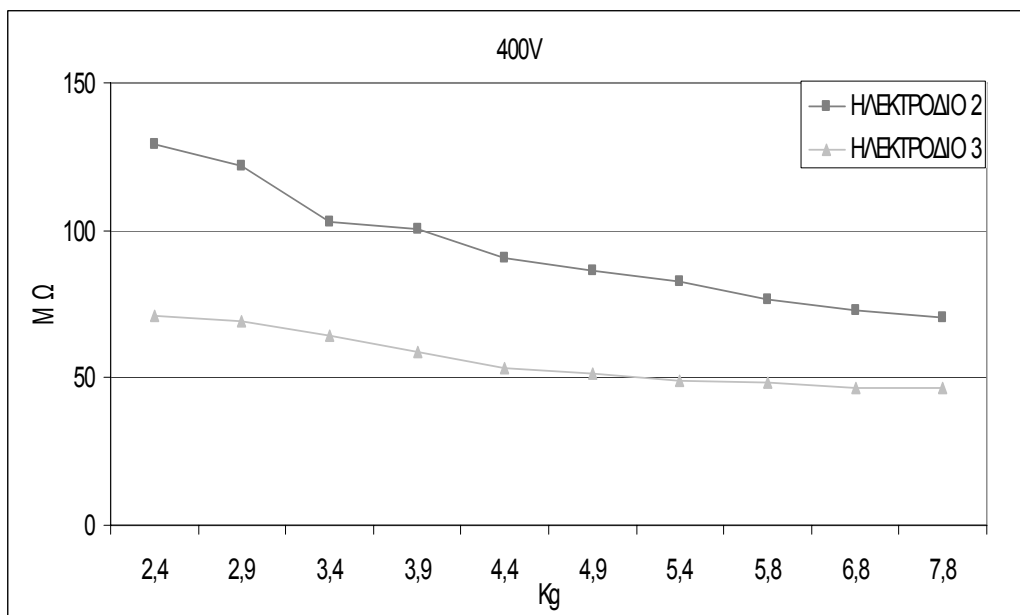
**Σχήμα 4-5:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο No.1 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 250 Volt.



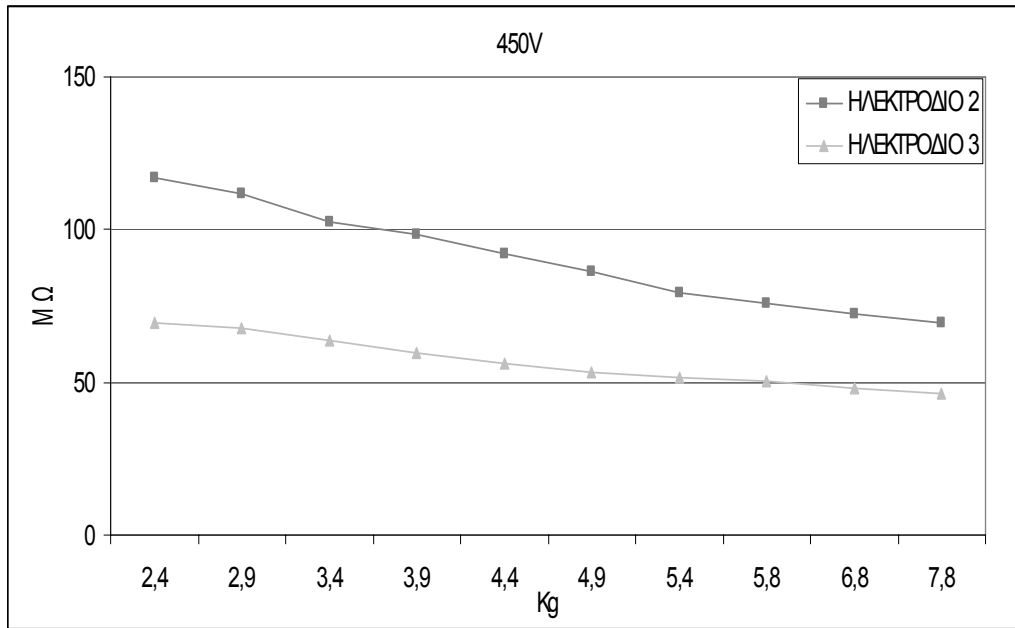
**Σχήμα 4-6:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο No.1 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 300 Volt.



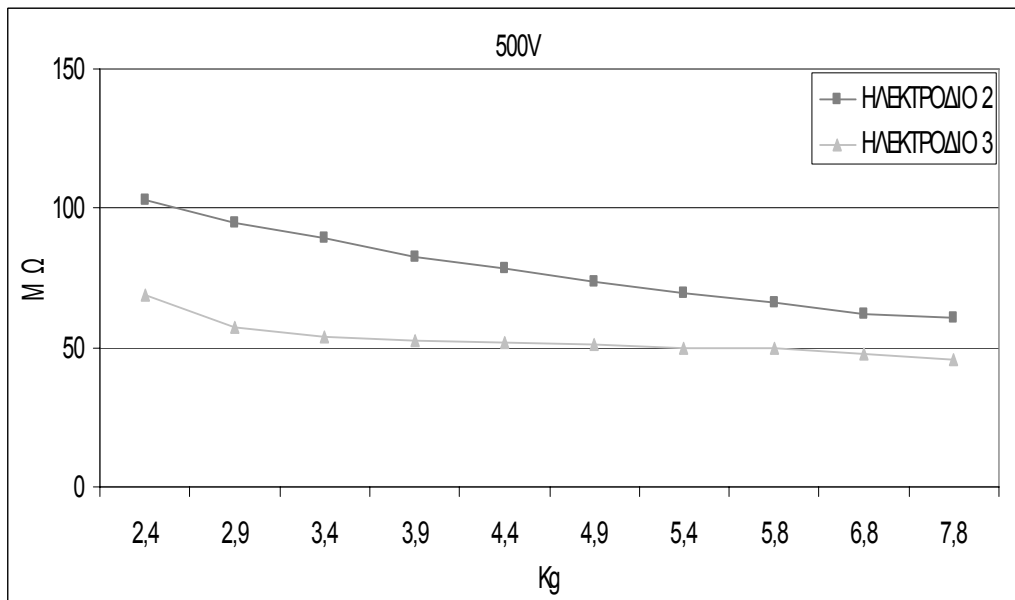
**Σχήμα 4-7:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.1 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 350 Volt.



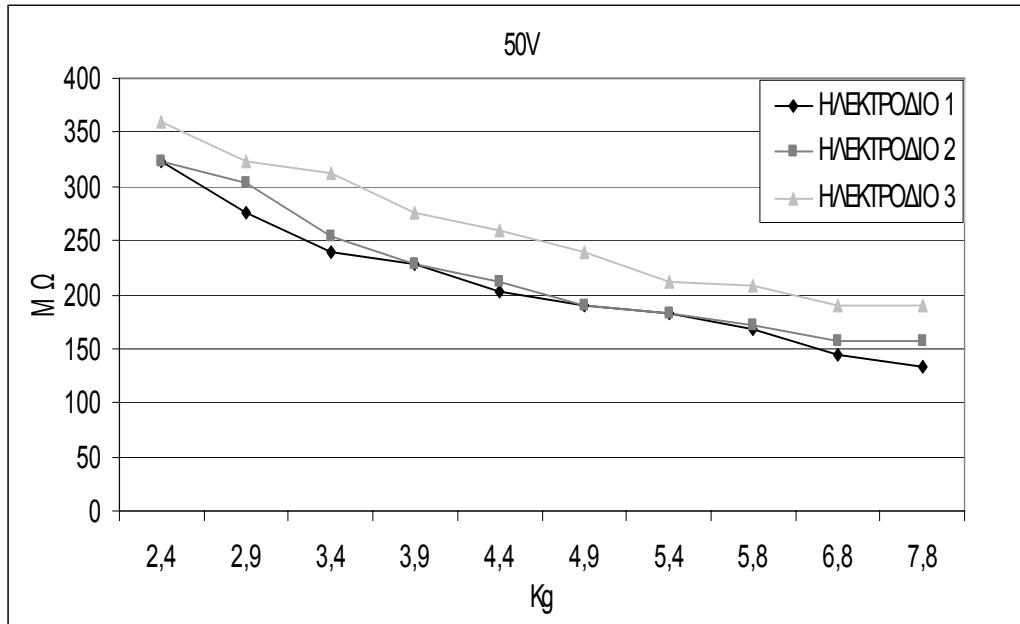
**Σχήμα 4-8:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.1 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 400 Volt.



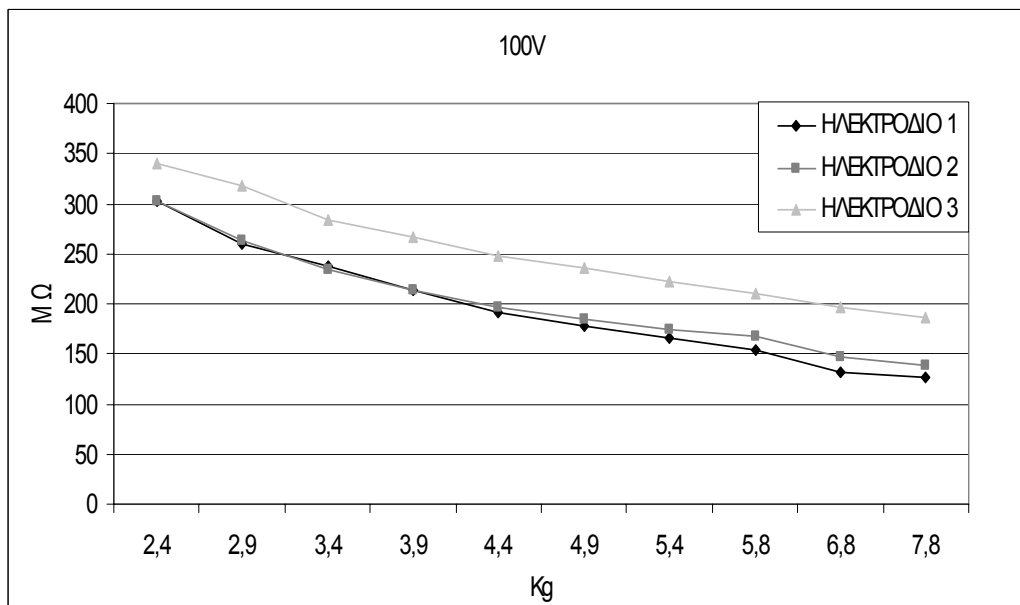
**Σχήμα 4-9:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.1 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 450 Volt.



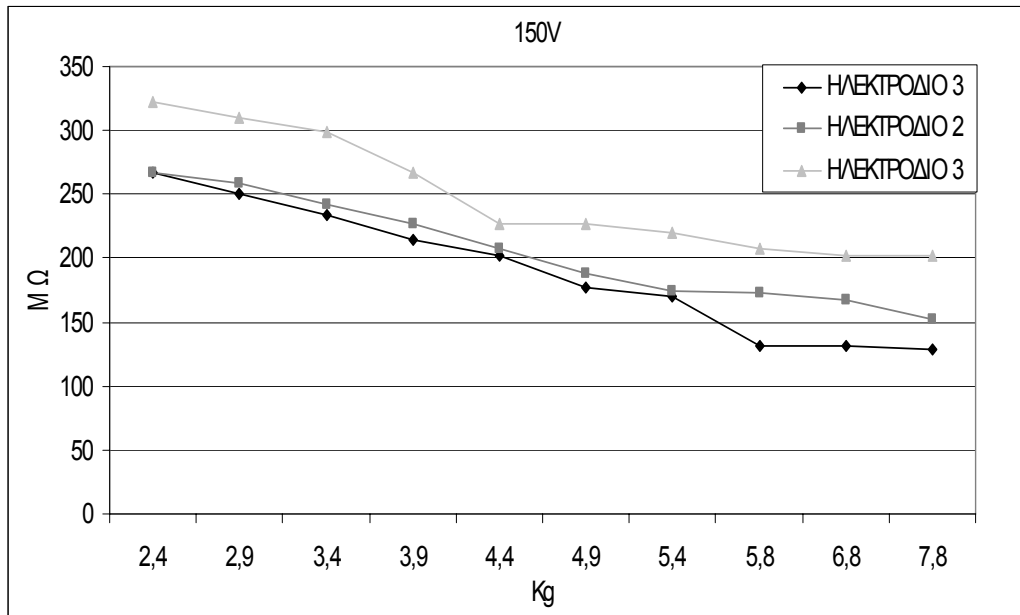
**Σχήμα 4-10:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.1 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 500 Volt.



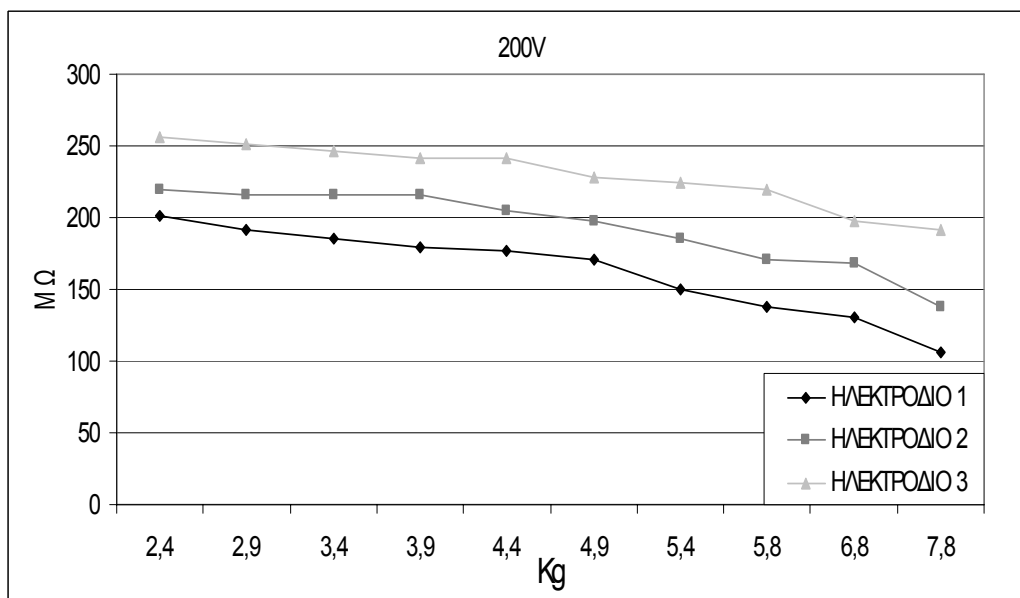
**Σχήμα 4-11:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.2 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 50 Volt.



**Σχήμα 4-12:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.2 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 100 Volt.

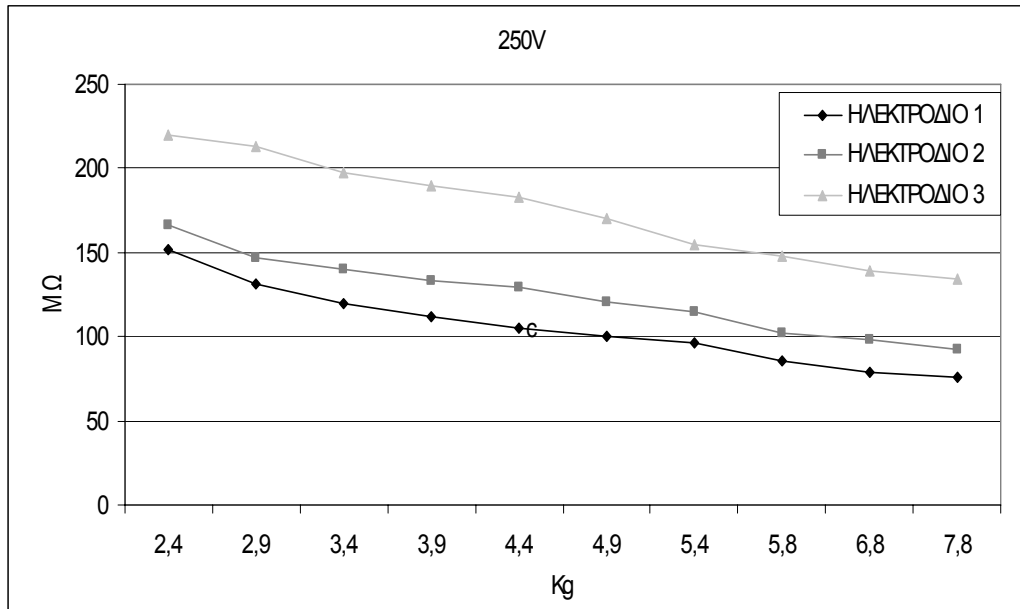


**Σχήμα 4-13:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.2 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 150 Volt.

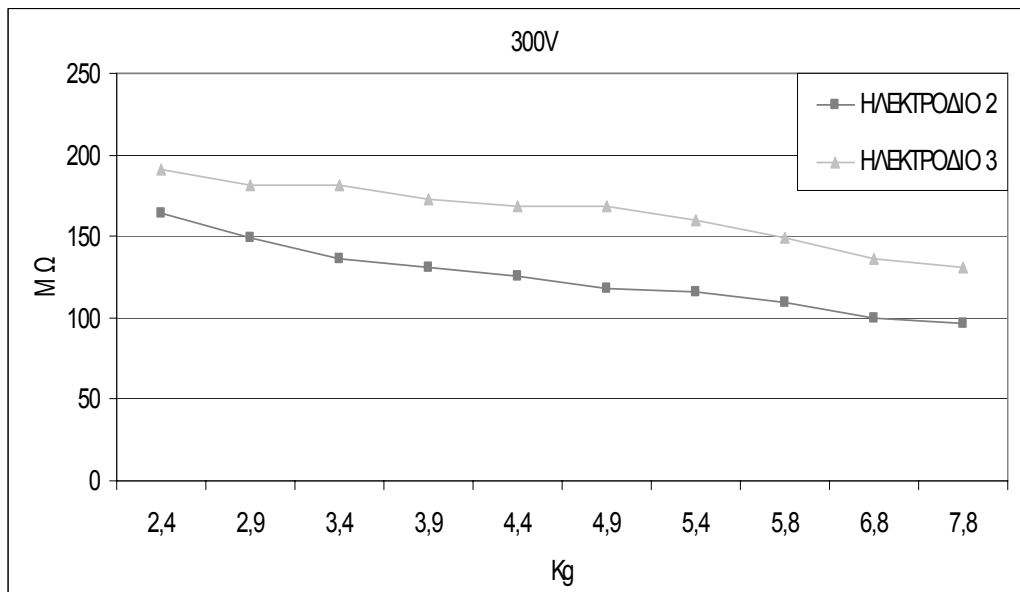


**Σχήμα 4-14:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.2 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 200 Volt.

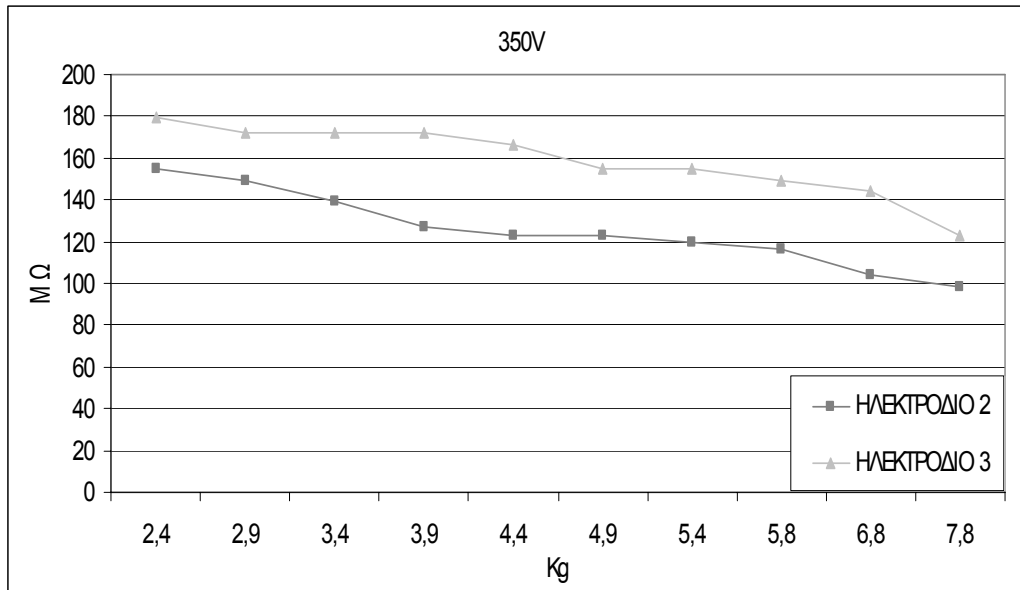




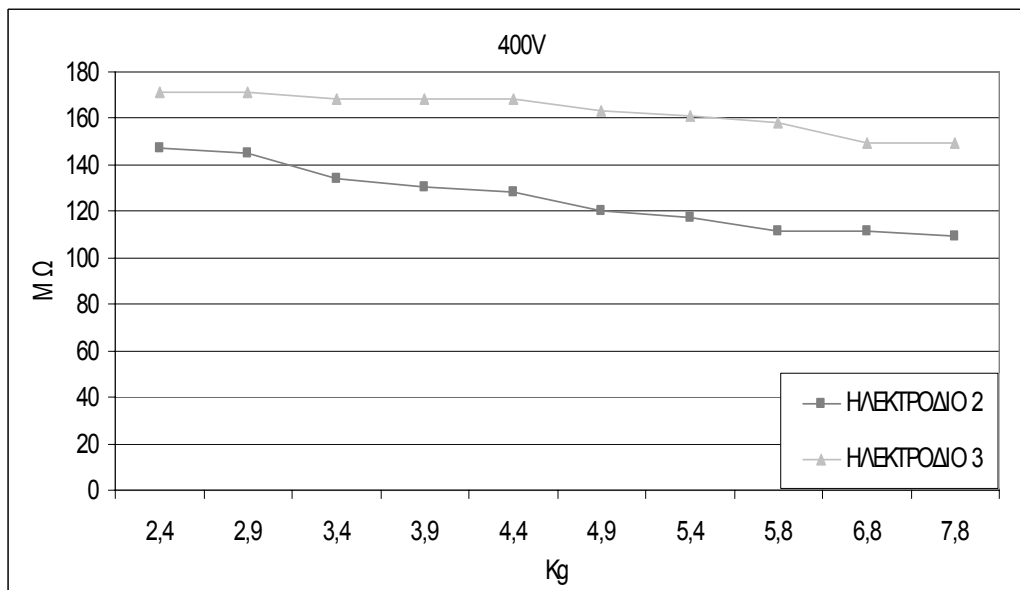
**Σχήμα 4-15:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.2 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 250 Volt.



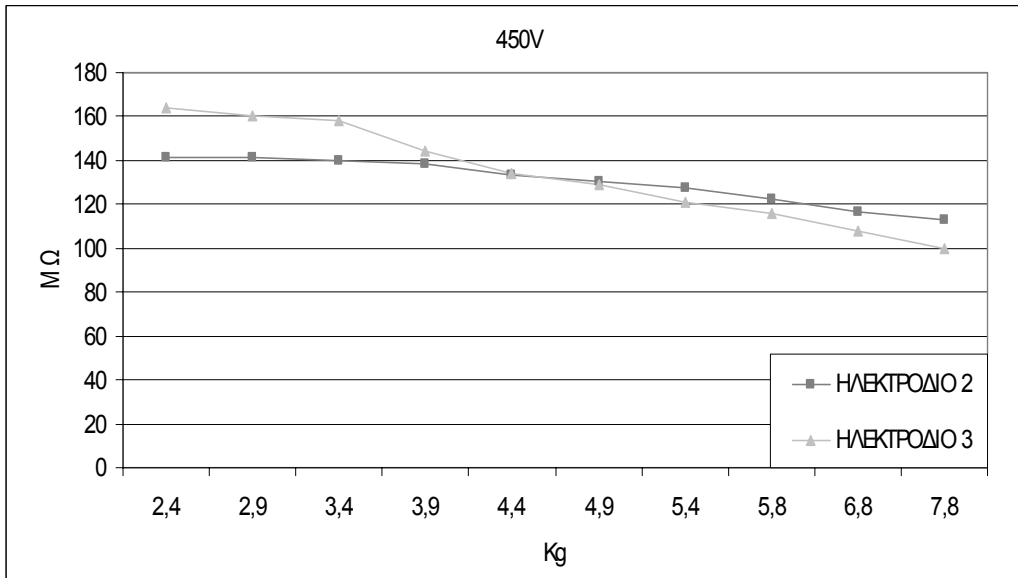
**Σχήμα 4-16:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.2 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 300 Volt.



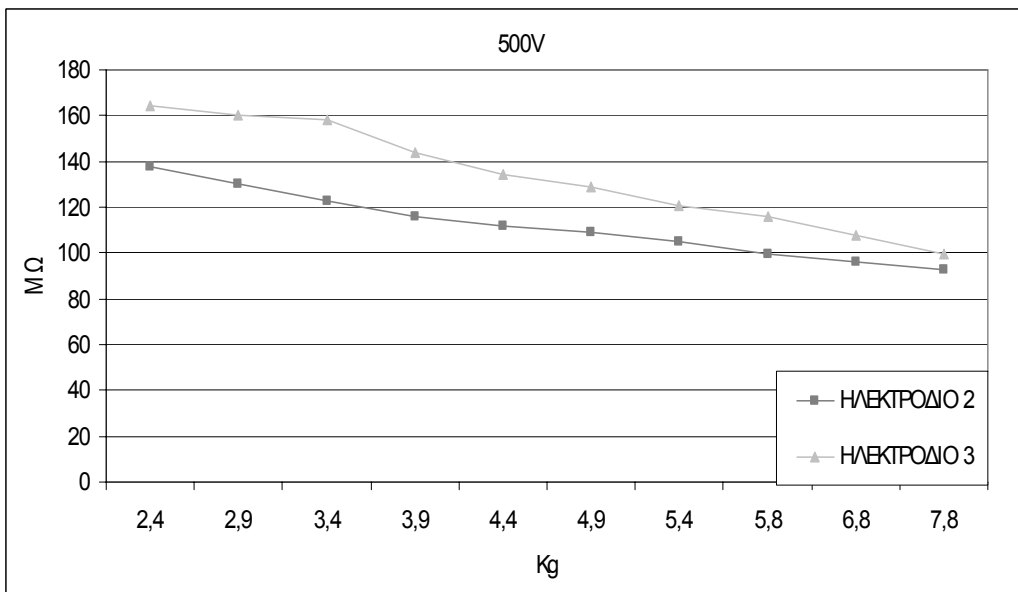
**Σχήμα 4-17:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.2 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 350 Volt.



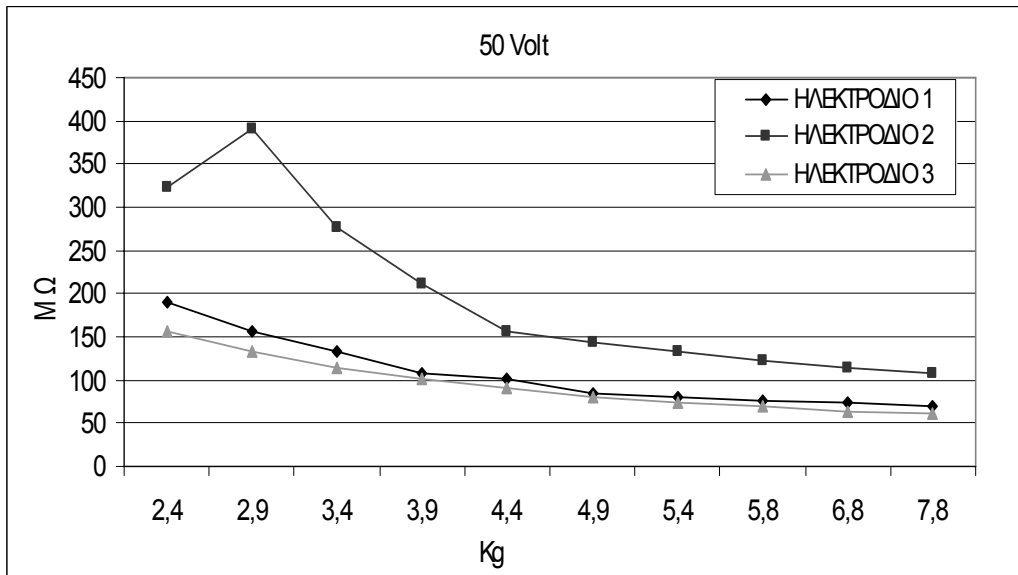
**Σχήμα 4-18:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.2 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 400 Volt.



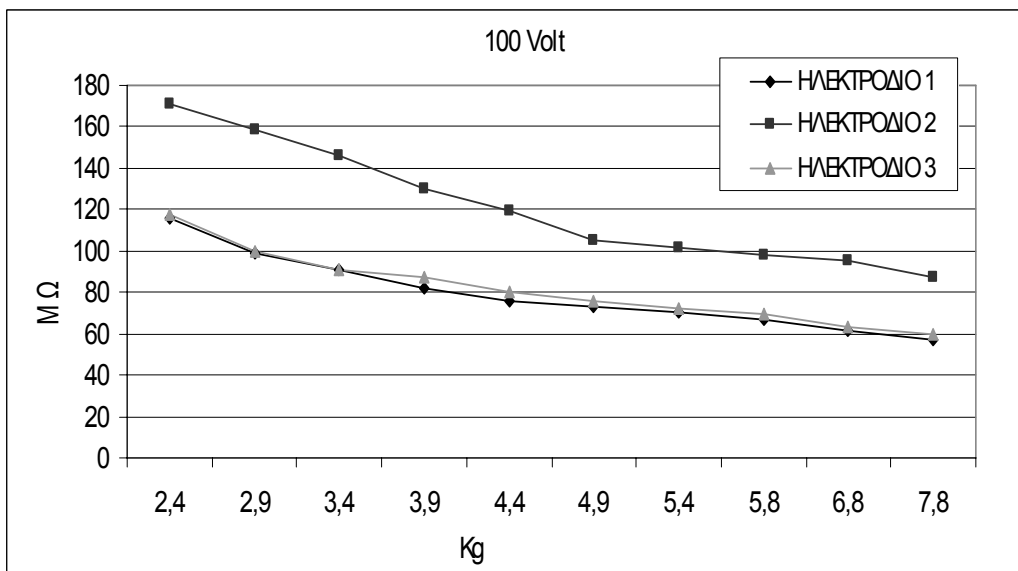
**Σχήμα 4-19:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.2 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 450 Volt.



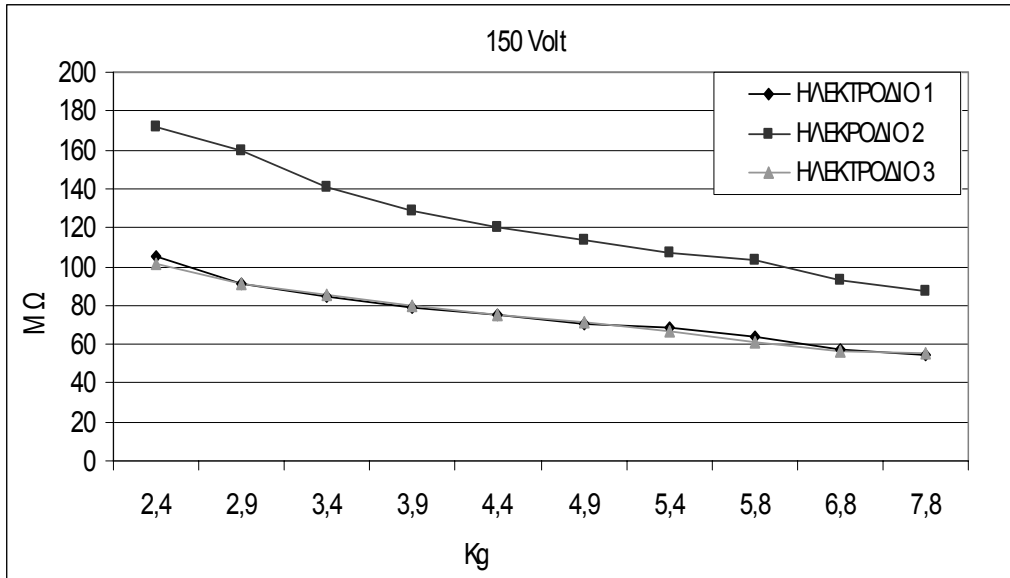
**Σχήμα 4-20:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.2 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 500 Volt.



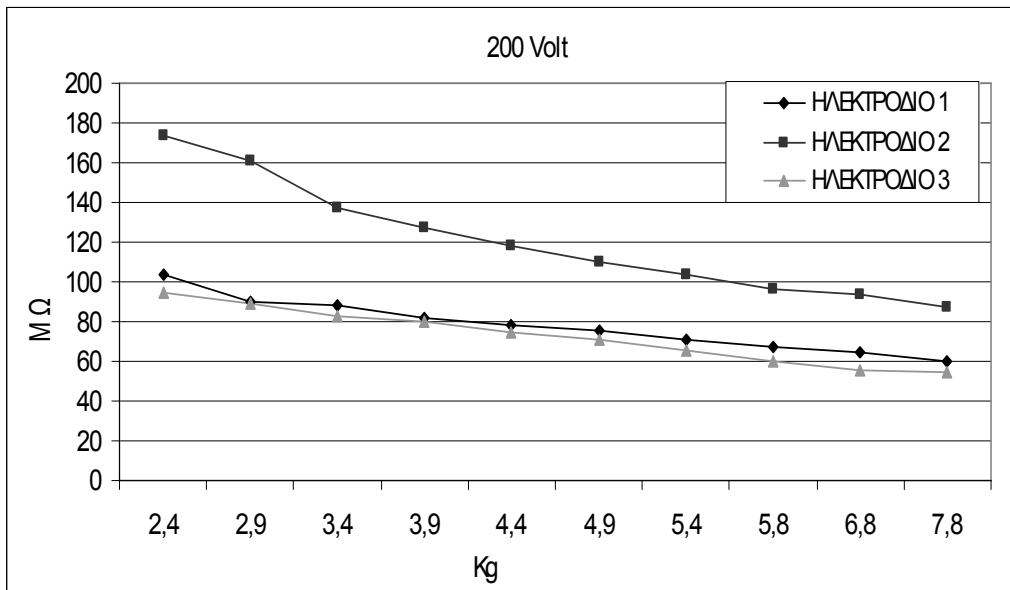
**Σχήμα 4-21:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.3 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 50 Volt.



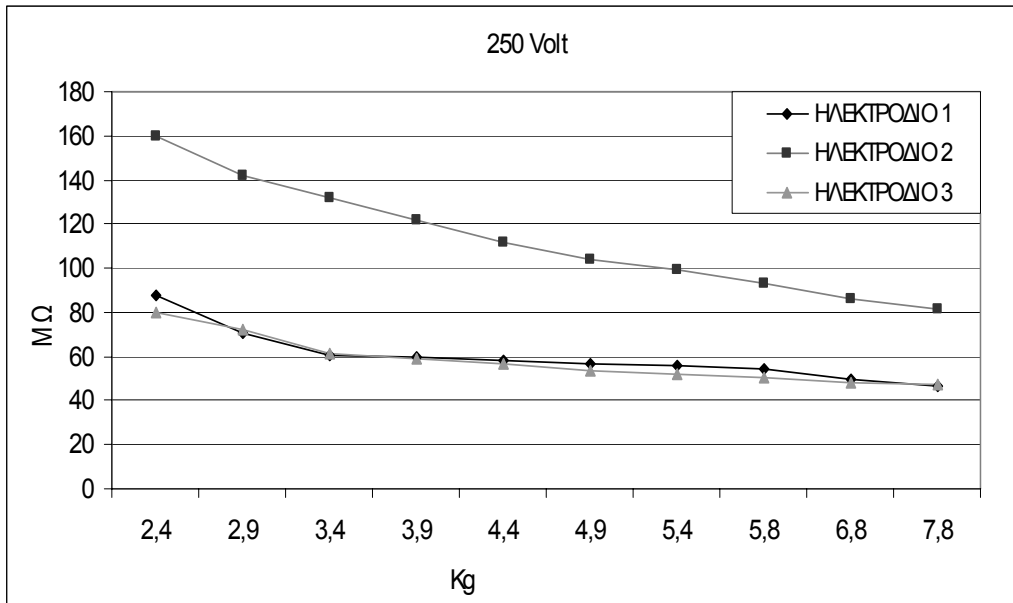
**Σχήμα 4-22:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.3 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 100 Volt.



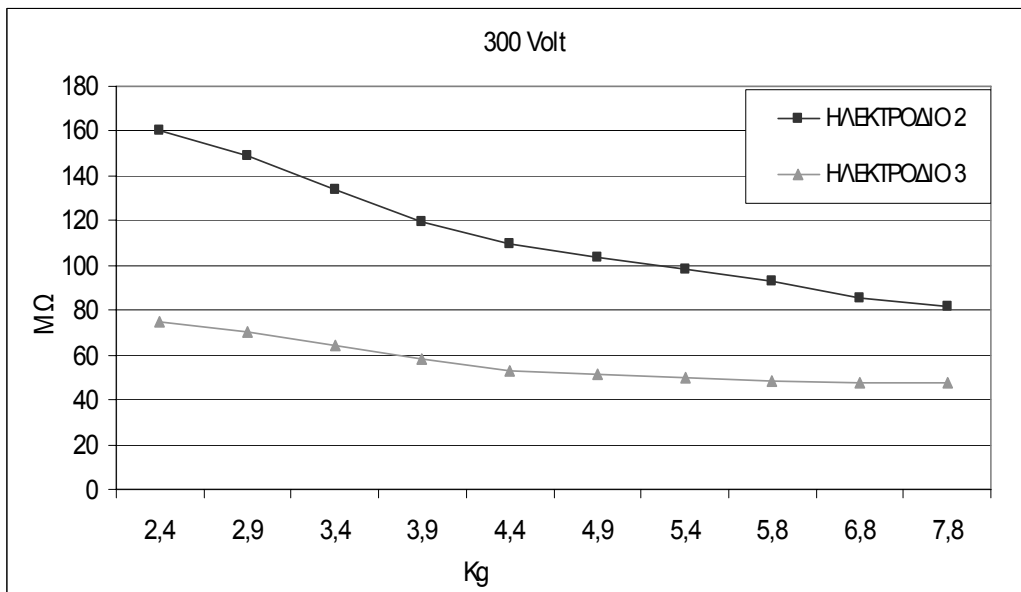
**Σχήμα 4-23:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.3 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 150 Volt.



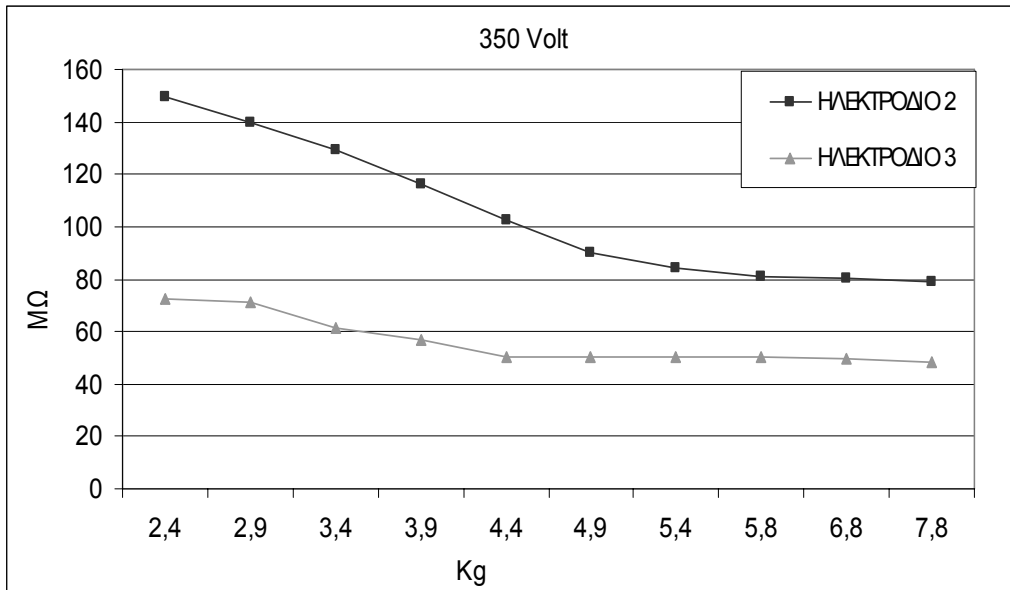
**Σχήμα 4-24:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.3 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 200 Volt.



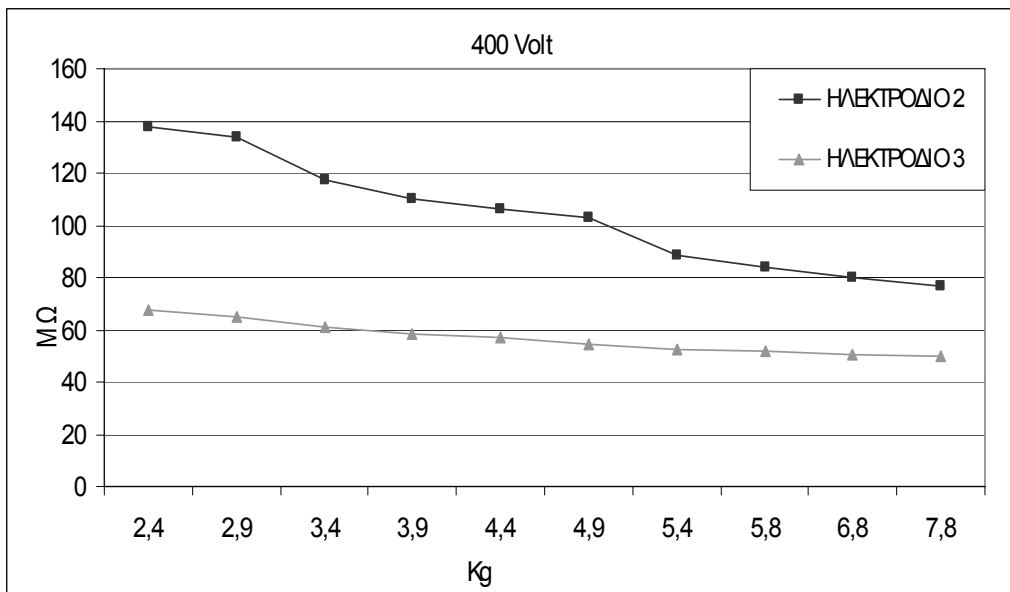
**Σχήμα 4-25:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.3 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 250 Volt.



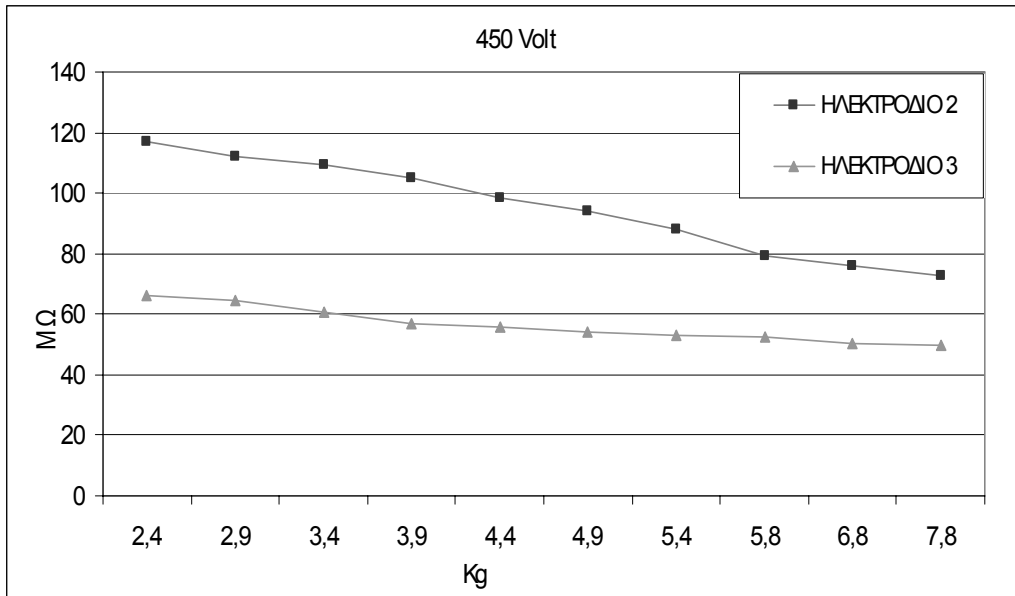
**Σχήμα 4-26:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.3 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 300 Volt.



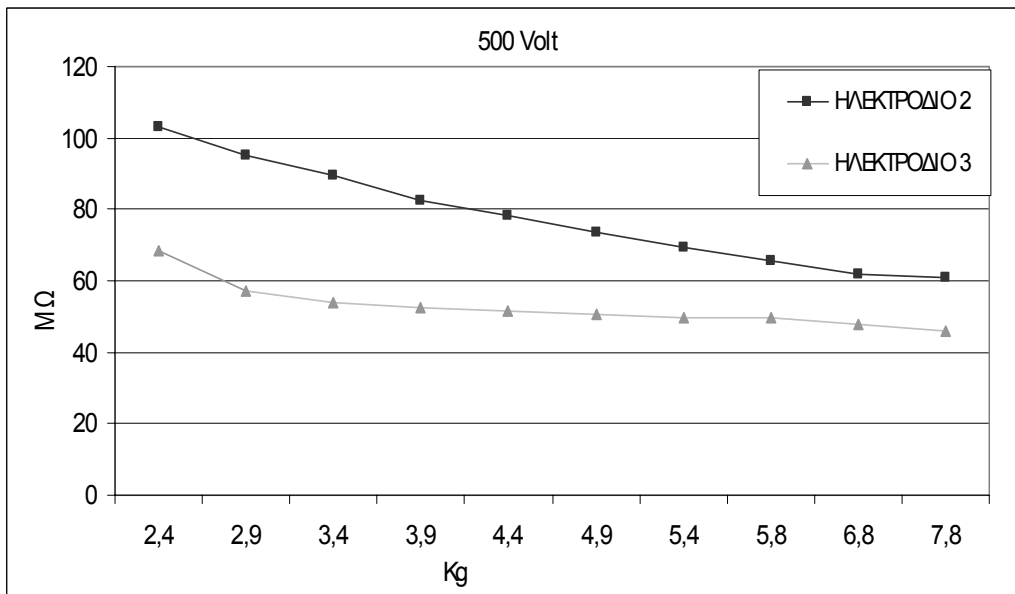
**Σχήμα 4-27:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.3 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 350 Volt.



**Σχήμα 4-28:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.3 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 400 Volt.

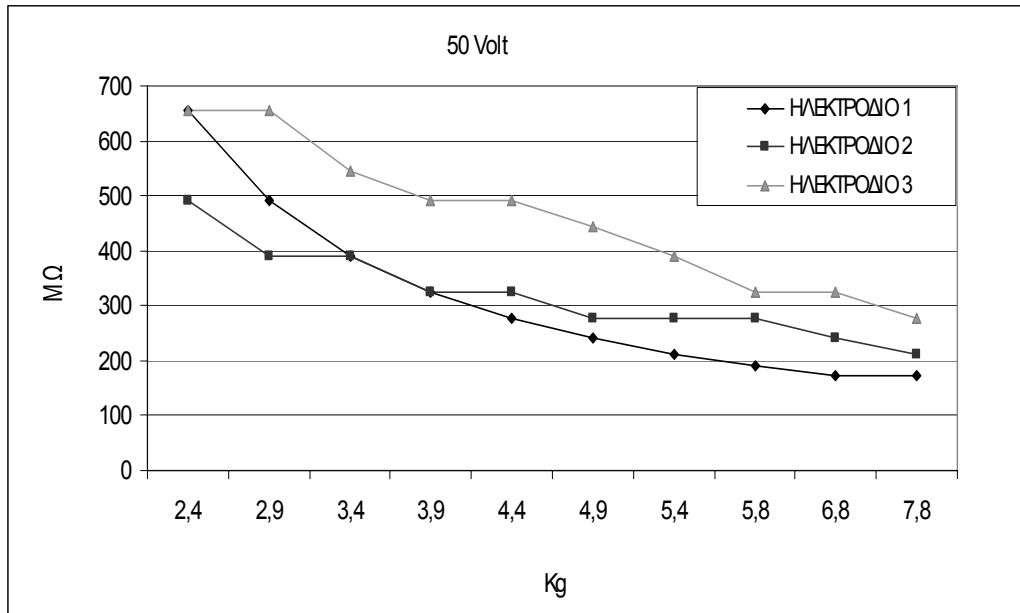


**Σχήμα 4-29:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.3 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 450 Volt.

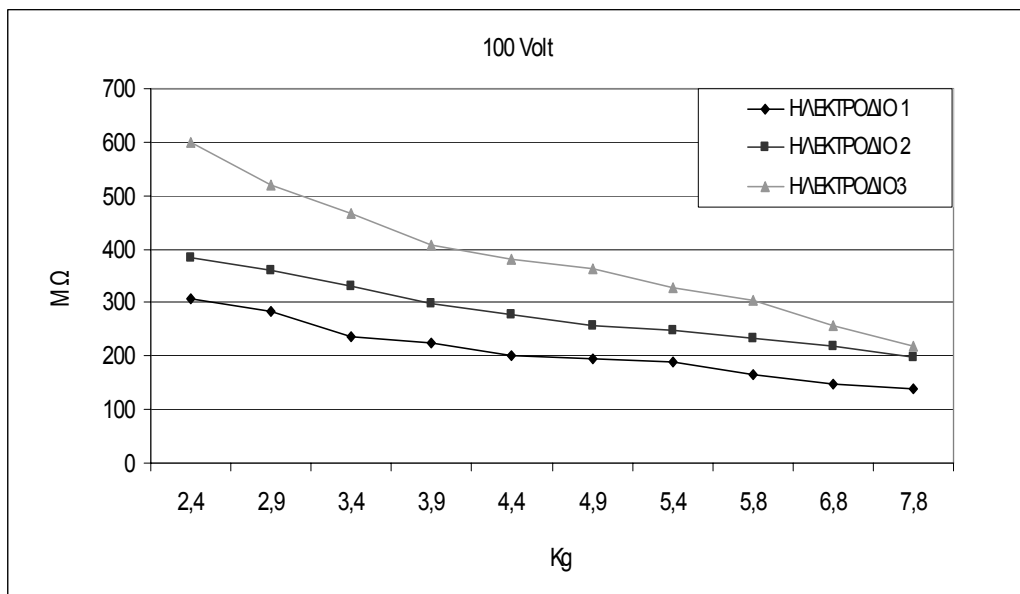


**Σχήμα 4-30:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.3 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 500 Volt.

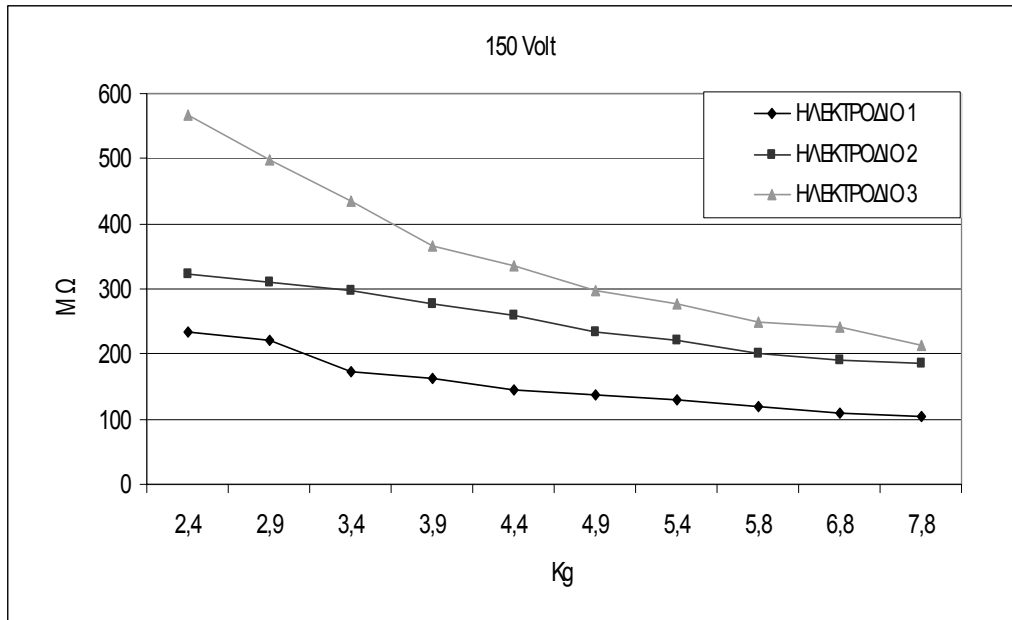




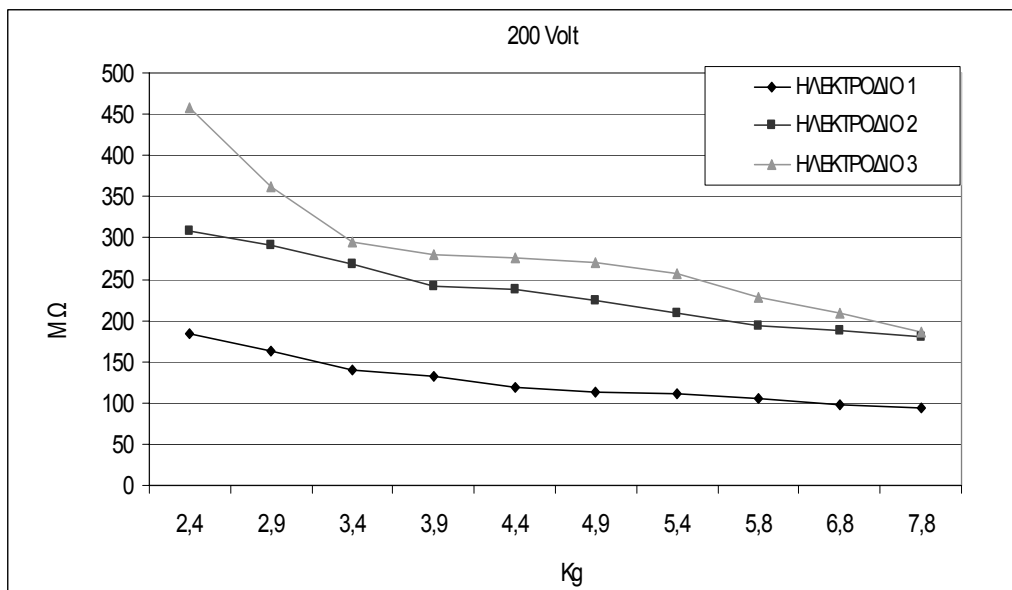
**Σχήμα 4-31:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.4 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 50 Volt.



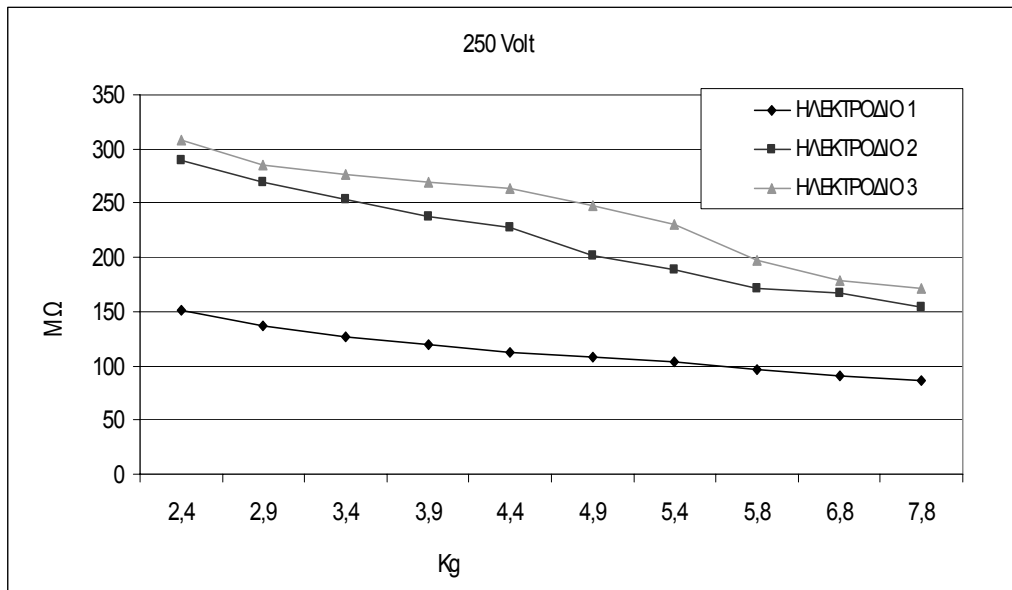
**Σχήμα 4-32:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.4 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 100 Volt.



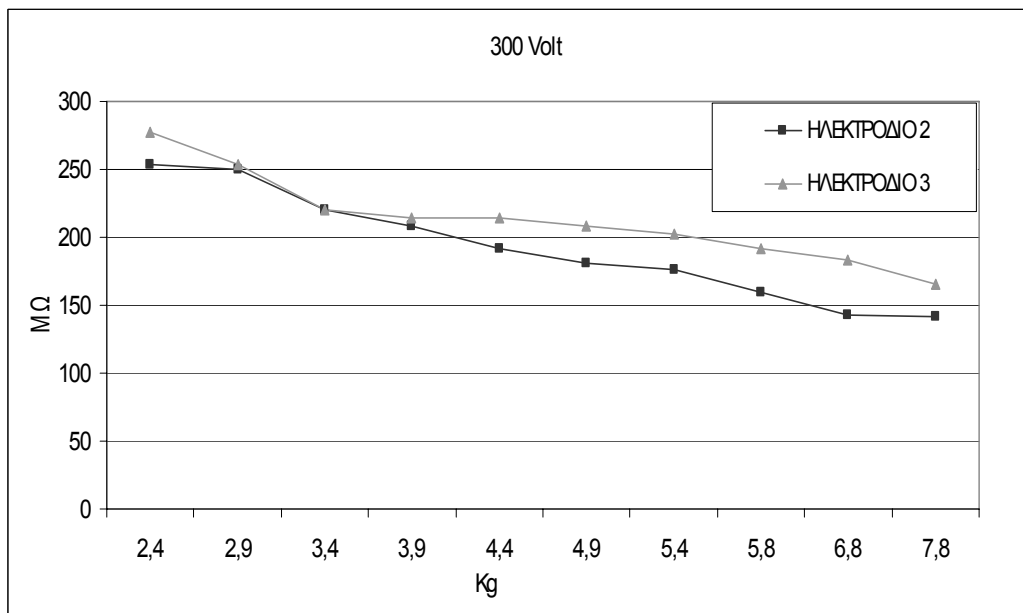
**Σχήμα 4-33:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.4 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 150 Volt.



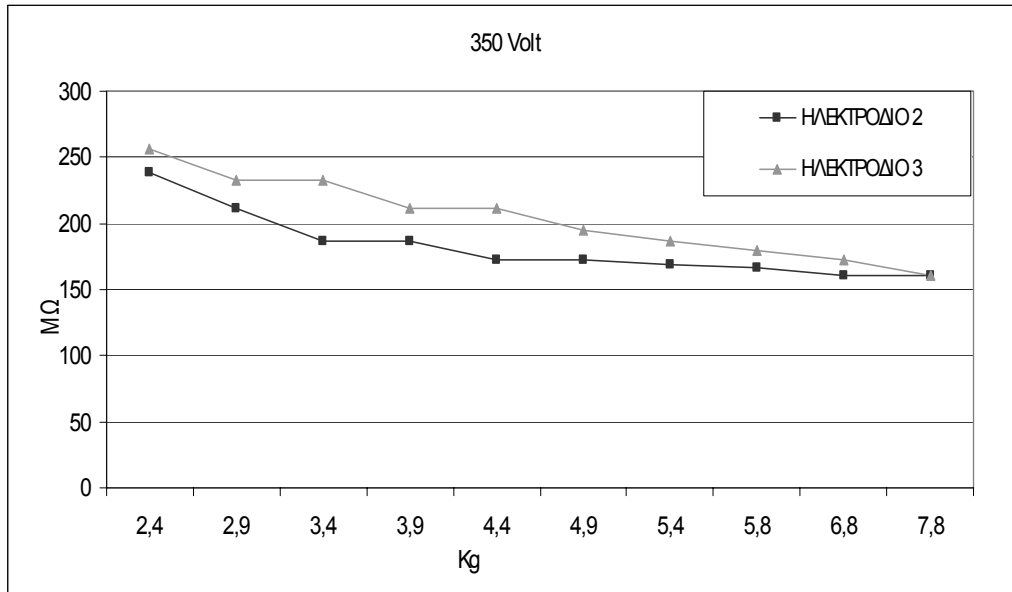
**Σχήμα 4-34:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.4 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 200 Volt.



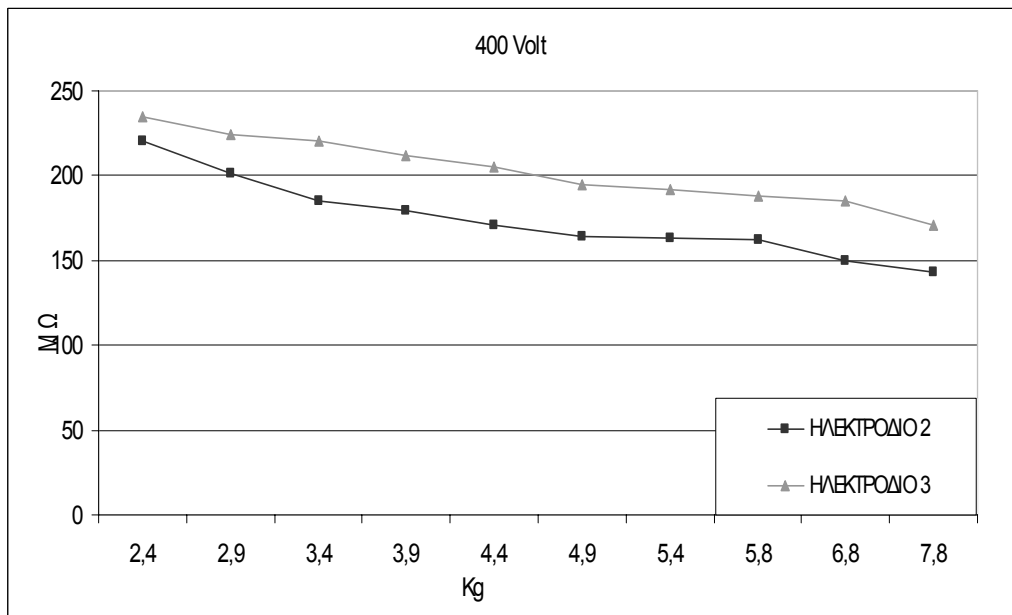
**Σχήμα 4-35:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.4 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 250 Volt.



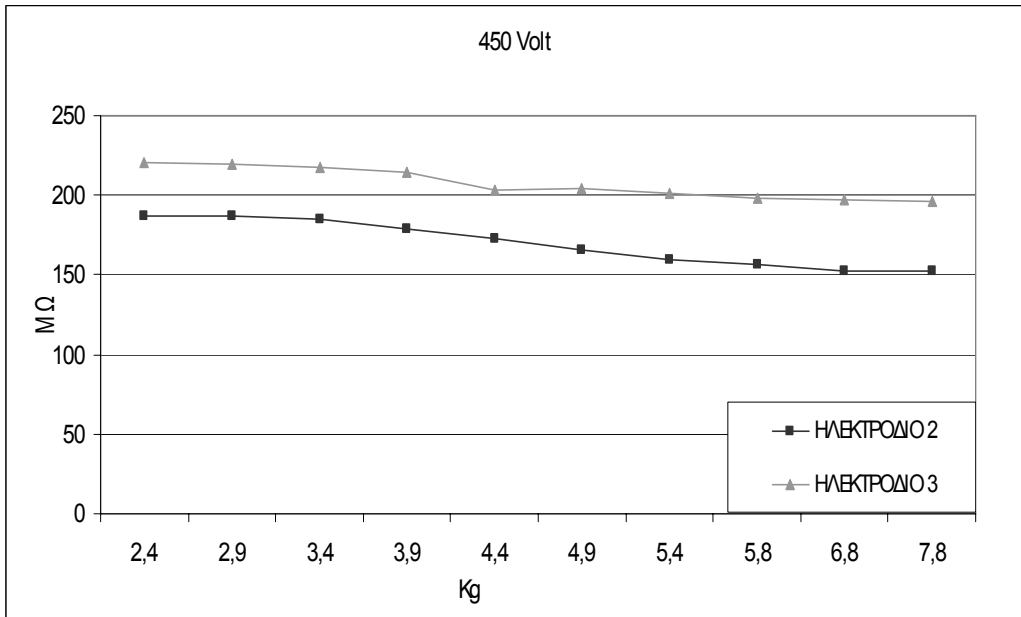
**Σχήμα 4-36:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.4 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 300 Volt.



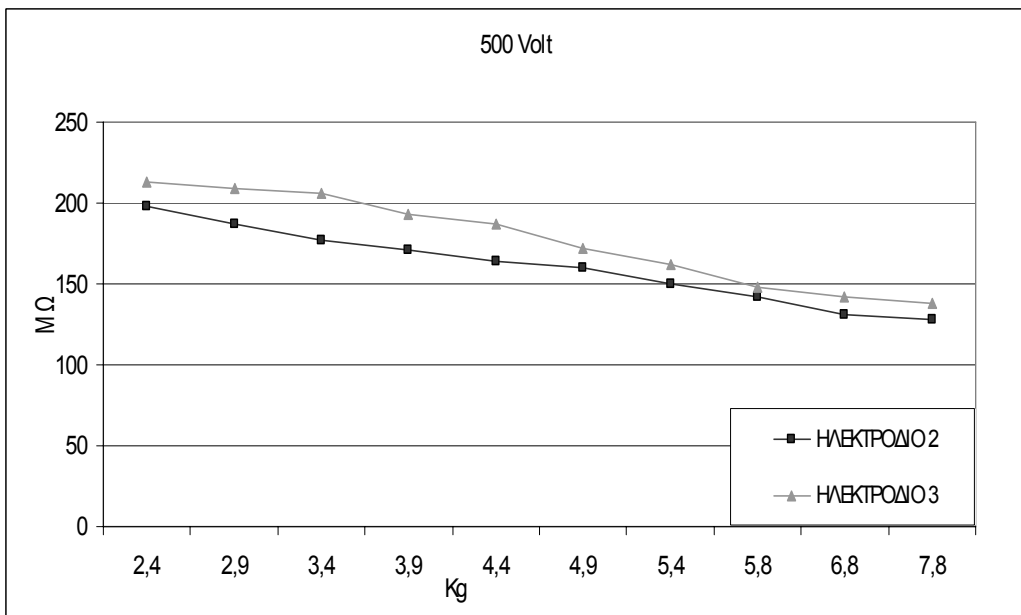
**Σχήμα 4-37:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.4 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 350 Volt.



**Σχήμα 4-38:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.4 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 400 Volt.



**Σχήμα 4-39:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.4 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 450 Volt.



**Σχήμα 4-40:** Καμπύλη μεταβολής της τιμής της αντίστασης για το δοκίμιο Νο.4 σε σχέση με το βάρος για εφαρμοζόμενη τάση 500 Volt.

Από τις καμπύλες των σχημάτων βλέπουμε ότι υπάρχει απόκλιση τιμών της μετρούμενης αντίστασης ανάμεσα στα τρία ηλεκτρόδια. Αυτό πιθανώς οφείλεται στις διαφορετικές γεωμετρίες των ηλεκτροδίων. Επίσης παρατηρείται πως όσο αυξάνεται το βάρος των ηλεκτροδίων μειώνεται η τιμή της μετρούμενης αντίστασης καθώς επίσης μειώνεται και η διαφορά της τιμής της αντίστασης μεταξύ των τριών ηλεκτροδίων. Τέλος, όσο αυξάνεται η τιμή της εφαρμοζόμενης τάσης, παρατηρείται μείωση της αντίστασης των δοκιμίων δαπέδων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] [www.siliconfareast.com](http://www.siliconfareast.com)
- [2] Electrostatic Discharge Association ([www.esda.org](http://www.esda.org))
- [3] Compliance Engineering ([www.ce-mag.com](http://www.ce-mag.com))
- [4] NDT resource center ([www.ndt-ed.org](http://www.ndt-ed.org))
- [5] All about circuits ([www.allaboutcircuits.com](http://www.allaboutcircuits.com))
- [6] Alcatel-Lucent, ESD Handbook, Issue 14.1  
([scportal.alcatel-lucent.com](http://scportal.alcatel-lucent.com))
- [7] [www.electrostatics.com](http://www.electrostatics.com)
- [8] [www-micrel.deis.unido.it](http://www-micrel.deis.unido.it)
- [9] Evaluation Engineering  
([www.evaluationengineering.com](http://www.evaluationengineering.com))
- [10] Controlled Environments Magazine ([www.cemag.us](http://www.cemag.us))
- [11] Innovative Research Technologies ([www.innovative-research.com](http://www.innovative-research.com))
- [12] Robert B. Rosner, "Conductive Materials for ESD Applications: An Overview," IEEE TRANSACTIONS ON DEVICE AND MATERIALS RELIABILITY, VOL. 1, NO. 1, MARCH 2001.
- [13] Dave Long, "A Static-Control Flooring Primer"  
([www.flooringmagazine.com](http://www.flooringmagazine.com))
- [14] INTEL, ESD/EOS, 2000 Packaging Databook  
([www.intel.com](http://www.intel.com))
- [15] Static Smart Environments ([www.staticsmart.com](http://www.staticsmart.com))
- [16] Graham Hearn, "Static Electricity-Guidance for Plant Engineers". ([www.conformity.com](http://www.conformity.com))
- [17] Dave Long, "The Facilities Manager's Guide To ESD Flooring Materials".
- [18] Wolfson Microelectronics ([www.wolfsonmicro.com](http://www.wolfsonmicro.com))
- [19] Διπλωματική Εργασία: «ΑΓΩΓΙΜΑ ΔΑΠΕΔΑ ΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ», ΙΩΑΝΝΗΣ ΓΑΡΑΖΙΩΤΗΣ, Α. Π. Θ. , ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2000.

