

Πτυχιακή Εργασία

των Φοιτητών του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, του ΤΕΙ
Δυτικής Ελλάδος:

ΛΕΤΣΙΟΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ

Αριθμός Μητρώου: 6199

ΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Θέμα:

**ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ ΓΕΙΩΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ
ΤΥΠΟΥ ΡΑΒΔΟΥ**

Επιβλέπουσα:

ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ ΠΥΡΓΙΩΤΗ
Επίκουρη Καθηγήτρια

Πάτρα: 2017

Ευχαριστίες:

Ευχαριστούμε θερμά την καθηγήτριά μας και επιβλέπουσα της διπλωματικής εργασίας κ. Ελευθερία Πυργιώτη για την καθοδήγησή και τις συμβουλές όσον αφορά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες και τους φίλους μας για την στήριξή τους κατά την διάρκεια των φοιτητικών μας χρόνων.

Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας: 1580

Τίτλος: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ ΓΕΙΩΣΗΣ ΗΛΕΚΤΟΔΙΩΝ
ΤΥΠΟΥ ΡΑΒΔΟΥ

Φοιτητές: ΛΕΤΣΙΟΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ
ΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως θέμα τις μετρήσεις αντιστάσεων γείωσης σε πειραματικές εγκαταστάσεις. Γείωση είναι η ένωση ενός σημείου ενός κυκλώματος ή ενός ξένου προς το κύκλωμα μεταλλικού αντικειμένου, με μια εγκατάσταση γείωσης. Εγκατάσταση γείωσης είναι ένα ή περισσότερα συνδεδεμένα ηλεκτρόδια γείωσης, τα οποία εξασφαλίζουν την απευθείας σύνδεση με τη γη.

Σκοπός της γείωσης είναι να κάνει δυνατή την εκφόρτιση ρευμάτων προερχόμενων από σφάλμα ή από πλήγμα κεραυνού διαμέσου των ηλεκτροδίων γείωσης, τα οποία βρίσκονται θαμμένα στην γη, προστατεύοντας έτσι τον εξοπλισμό αλλά και τα άτομα που βρίσκονται εκείνη την στιγμή στην περιοχή. Αποτελεί απαραίτητο τμήμα των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων για να εξασφαλιστεί η σωστή λειτουργία τους αλλά και τη ποιότητα της παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος. Για να ισχύουν τα παραπάνω η αντίσταση γείωσης πρέπει να είναι πολύ μικρή. Αυτές οι μικρές τιμές ωστόσο δεν είναι πάντα εφικτές.

Στην εν λόγω πτυχιακή εργασία στο κομμάτι της διεξαγωγής της πειραματικής διαδικασίας κάναμε τις εξής ενέργειες. Προβήκαμε στην τοποθέτηση ενός ηλεκτροδίου γείωσης στο χώρο του πανεπιστημίου Πατρών όπου υπήρχαν και άλλα ηλεκτρόδια γείωσης και πήραμε πλήθος μετρήσεων των αντιστάσεων με σκοπό την μελέτη συμπεριφοράς διαφόρων βελτιωτικών υλικών γείωσης σε συνάρτηση με τον χρόνο και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Γίνεται περιγραφή της διεξαγωγής του πειράματος και έπειτα γίνεται επεξεργασία των μετρήσεων με χρήση διαγραμμάτων.

Στο τέλος καταλήγουμε σε συμπεράσματα και γίνονται κάποιες προτάσεις. Στα λοιπά κεφάλαια αναφέρονται και αναλύονται ορολογίες, τα είδη των ηλεκτροδίων γείωσης, περιγράφονται έννοιες και ορισμοί των αντιστάσεων καθώς και τα είδη των βελτιωτικών υλικών γειώσεων.

Τέλος, η πτυχιακή εργασία ολοκληρώνεται με το **Παράρτημα**, στο οποίο δίνονται αναλυτικά οι πίνακες με τα μετεωρολογικά δεδομένα την περίοδο που πάρθηκαν οι μετρήσεις.

ABSTRACT

The subject of this thesis is to experimentally measure the resistance of grounding systems. Grounding is the conductive connection of a circuit's point, or of a non-current carrying metallic object of an installation to the ground, in order to obtain the same potential as the earth, which is, by convention, equal to zero.

The purpose of the grounding connection is to safely transport the current, of lightning or from a circuit error, to the earth. This is an essential part of all electrical facilities; ensuring their proper function and the quality of the electrical power. In order for the grounding system to work, the value of the resistance must be extremely low. This is not always the case, however.

The methodology we developed for this study is as follows: A grounding electrode was placed in the area of the University of Patras. In the same area, other grounding electrodes were already in existence, and we took a number of measurements. The purpose of the measurements was to study the behavior of various materials, ground improvement in relation to time, and environmental conditions. A description of the experimental procedure below is followed by diagrams showing the resulting measurements.

Our conclusions, outlined below, are based on these results and contain our proposals for different approaches to the subject. In the remaining chapters, we explain the terms and the type of the grounding electrodes, we describe the concepts and definitions of the resistors, and the types of the ground improvement materials.

Finally, the **Appendix** contains the meteorological data for the months during which the experiment took place.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	1
1.1 Ορολογία	1
1.2 Ο ρόλος της γείωσης	4
1.3 Μέθοδοι γείωσης	5
1.4 Είδη γειώσεων	8
1.5 Συστήματα σύνδεσης γειώσεων	10
1.6 Είδη ηλεκτροδίων γείωσης.....	13
1.7 Συστήματα Γείωσης	17
1.7.1 Πολυγωνική διάταξη γείωσης	17
1.7.2 Γείωση με πλάκες	18
1.7.3 Περιμετρική γείωση	18
1.7.4 Γείωση με γειωτή τύπου "E"	18
1.8 Διάβρωση γειωτών	22
1.9 Θεμελιακή γείωση	24
1.10 Αντίσταση γείωσης	28
1.10.1 Χοάνη δυναμικού	28
1.10.2 Μέτρηση της αντίστασης γείωσης	31
Κεφάλαιο 2	33
2.1 Η φύση μιας ηλεκτρικής γείωσης	33
2.2 Ειδική αντίσταση εδάφους	34
2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ειδική αντίσταση	35
2.4 Μέτρηση της ειδικής αντίστασης	40
Κεφάλαιο 3	48
3.1 Εισαγωγή	48
3.2 Αρχές που διέπουν τα βελτιωτικά	50
3.3 ΤΕΡΑΦΙΑ	51
Κεφάλαιο 4	53
4.1 Ασφάλεια στην εγκατάσταση	53
4.2 Η ηλεκτρική αντίσταση του ανθρώπινου σώματος	54
4.3 Επίδραση εναλλασσόμενου ρεύματος στον ανθρώπινο οργανισμό	56
4.4 Επίδραση συχνότητας στον ανθρώπινο οργανισμό	58
4.5 Επίδραση συνεχούς ρεύματος στον ανθρώπινο οργανισμό	60
4.6 Επιτρεπτό όριο ρεύματος	64
4.7 Ισοδύναμα κυκλώματα κατά τη διάρκεια σφάλματος	65
4.7.1 Τάση επαφής	66
4.7.2 Βηματική Τάση	68
4.8 Επίδραση του λεπτού στρώματος υλικού επιφανείας	70
4.9 Κριτήρια ανεκτής τάσης	71
4.10 Κριτήρια για τη βηματική τάση και την τάση επαφής	73
Κεφάλαιο 5	75
5.1 Τοποθεσία της εγκατάστασης	75
5.2 Διαδικασία τοποθέτησης	76
5.3 Όργανο μέτρησης	79
5.4 Διαδικασία Μετρήσεων	82
5.5 Επεξεργασία μετρήσεων-Συμπεράσματα	84
5.6 Τελικά συμπεράσματα- Η επόμενη μέρα	94
5.6.1 Τελικά συμπεράσματα	94
5.6.2 Επόμενη μέρα	94
Βιβλιογραφία	96
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	97

Κεφάλαιο 1

Συστήματα γείωσης

1.1 Ορολογία

Γείωση: Η αγώγιμη σύνδεση, σκόπιμη ή τυχαία, μέσω της οποίας ένα ηλεκτρικό κύκλωμα ή μια συσκευή συνδέεται με τη γη ή με αγώγιμο σώμα τέτοιας έκτασης που να θεωρείται γη[1].

Γειωμένο: ονομάζουμε ένα σύστημα ,ένα κύκλωμα, ή μια συσκευή στο οποίο παρέχεται μια γείωση με σκοπό την διατήρηση του δυναμικού του κοντά στο δυναμικό της γης[1].

Άπειρη γη: Ένα σημείο στην επιφάνεια του εδάφους σε “άπειρη απόσταση” από το γειωτή το οποίο λαμβάνεται ως σημείο αναφοράς των δυναμικών. Η τάση της άπειρης γης θεωρείται ίση με το μηδέν . Για πρακτικούς λόγους η “άπειρη απόσταση” είναι 5-10 φορές μεγαλύτερη από τη μέγιστη διάσταση του γειωτή[2].

Ηλεκτρόδιο γείωσης: Το τοποθετημένο μέσα στο έδαφος ηλεκτρόδιο μέσω του οποίου γίνεται συλλογή και διάχυση των ηλεκτρικών ρευμάτων σφάλματος στη γη[1].

Ρεύμα γης (Ground current): Το ρεύμα που ρέει από ή προς τη γη, ή το ισοδύναμο γης[1].

Κύριο Ηλεκτρόδιο γείωσης : είναι το ηλεκτρόδιο γείωσης ειδικά σχεδιασμένο ή προσαρμοσμένο να εκφορτίζει το ρεύμα σφάλματος στην γη , συχνά με συγκεκριμένο τρόπο εκφόρτισης , όπως απαιτείται από το σχεδιασμό του συστήματος γείωσης[2].

Βοηθητικό Ηλεκτρόδιο γείωσης : ένα ηλεκτρόδιο γείωσης με συγκεκριμένο σχεδιασμό και λειτουργικούς περιορισμούς. Η βασική λειτουργία του μπορεί να είναι άλλη από το να άγει το ρεύμα σφάλματος στην γη[2].

Ισοδυναμική σύνδεση : Ηλεκτρική σύνδεση που διατηρεί στο ίδιο ή περίπου στο ίδιο δυναμικό τα εκτεθειμένα αγώγιμα μέρη και τα ξένα αγώγιμα στοιχεία[3].

Ηλεκτρικό δυναμικό : Η διαφορά δυναμικού μεταξύ ενός σημείου και μιας ισοδυναμικής επιφάνεια, συνήθως την επιφάνεια της γης, η οποία αυθαίρετα έχει επιλεγεί να έχει δυναμικό ίσο με το μηδέν[1].

Πλέγμα Γείωσης :Ένα σύστημα οριζόντιων ηλεκτροδίων τοποθετημένο συνήθως σε ένα συγκεκριμένο χώρο, που αποτελείται από έναν αριθμό διασυνδεδεμένων, γυμνών αγωγών θαμμένων στη γη, παρέχοντας μια κοινή γείωση για τις ηλεκτρικές συσκευές ή τις μεταλλικές κατασκευές [2].

Αγωγός προστασίας (PE): Χρησιμοποιείται για την εφαρμογή μέτρων προστασίας και προορίζεται για την ηλεκτρική σύνδεση των εκτεθειμένων αγωγίμων μερών, που περιλαμβάνονται σε μια εγκατάσταση, με σημεία όπως: τον κύριο ακροδέκτη γείωσης, ξένα αγωγίμα στοιχεία, το ηλεκτρόδιο γείωσης, το γειωμένο σημείο της πηγής τροφοδοσίας ή ένα γειωμένο τεχνητό ουδέτερο κόμβο[3].

Λόγος X/R: Ο λόγος της αντίδρασης προς την αντίσταση του συστήματος. Είναι ενδεικτικός του βαθμού εξασθένησης της dc συνιστώσας. Αυτό σημαίνει ότι μεγάλος λόγος X/R αντιστοιχεί σε μεγάλη χρονική σταθερά και αργή εξασθένηση της dc συνιστώσας[2].

Μέγιστο Δυναμικό Γείωσης (Ground Potential Rise, GPR) : Το μέγιστο ηλεκτρικό δυναμικό που αποκτά το σύστημα γείωσης σε σχέση με ένα απομακρυσμένο σημείο, θεωρούμενο ως άπειρη γη. Το δυναμικό αυτό ισούται με το γινόμενο του μέγιστου ρεύματος γείωσης επί την αντίσταση γείωσης. Σε κανονικές συνθήκες το δυναμικό του συστήματος γείωσης είναι σχεδόν ίσο με το μηδέν. Κατά τη διάρκεια ενός σφάλματος προς γη το ρεύμα σφάλματος που άγεται μέσω της γείωσης στο έδαφος προκαλεί την αύξηση του εν λόγω δυναμικού[2].

Μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα (ικανότητα μεταφοράς ρεύματος) ενός αγωγού : Το μεγαλύτερο ρεύμα που μπορεί να διαρρέει συνεχώς και υπό δεδομένες συνθήκες έναν αγωγό χωρίς η θερμοκρασία του να υπερβεί μια προδιαγεγραμμένη τιμή[3].

Υπερένταση: Κάθε ρεύμα που υπερβαίνει μια προκαθορισμένη τιμή. Για τους αγωγούς προκαθορισμένη τιμή του ρεύματος είναι το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα[3].

Ρεύμα υπερφόρτισης : Μια υπερένταση που εμφανίζεται σε ένα κύκλωμα, χωρίς να υπάρχει σφάλμα μόνωσης[3].

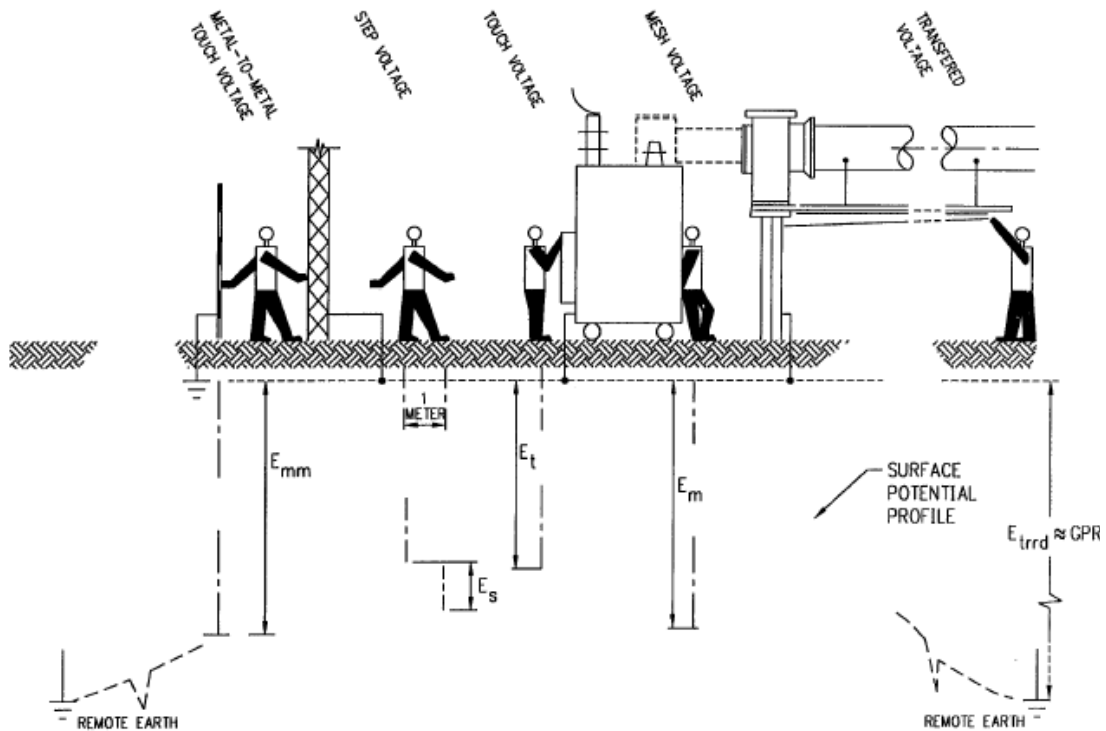
Ρεύμα (στερεού) βραχυκυκλώματος : Μια υπερένταση που εμφανίζεται σε ένα κύκλωμα στην περίπτωση σφάλματος μόνωσης με αμελητέα σύνθετη αντίσταση , μεταξύ ενεργών αγωγών οι οποίοι υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας έχουν μια διαφορά δυναμικού[3].

Ουδέτερωση: Η αγωγή σύνδεση των μεταλλικών τμημάτων των συσκευών ή των στοιχείων του δικτύου με τον ουδέτερο αγωγό[2].

Τάση πλέγματος (Mesh voltage): Η μέγιστη τάση επαφής μέσα στο βρόχο ενός πλέγματος γείωσης[2].

Τάση επαφής (Touch voltage): Η διαφορά δυναμικού ανάμεσα στην ανύψωση δυναμικού γης (GPR) και στο δυναμικό επιφανείας στο σημείο όπου ένα άτομο στέκεται, ενώ συγχρόνως έχει ένα χέρι σε επαφή με μια γειωμένη μεταλλική δομή. Το υψηλότερο δυναμικό προκύπτει όταν υπάρχει μια μεταλλική δομή στην άκρη της περιοχής υψηλού δυναμικού και το άτομο στέκεται σε απόσταση 1m,

ακουμπώντας σε αυτήν τη δομή. Ο κίνδυνος από αυτόν τον τύπο της επαφής είναι μεγαλύτερος από τον κίνδυνο που σχετίζεται με τη βηματική τάση, διότι η τάση εφαρμόζεται κατά μήκος του σώματος και δύναται να επηρεάσει τους μύες της καρδιάς. Στην Εικόνα 1 παρακάτω μπορούμε να δούμε την τάση επαφής[2].



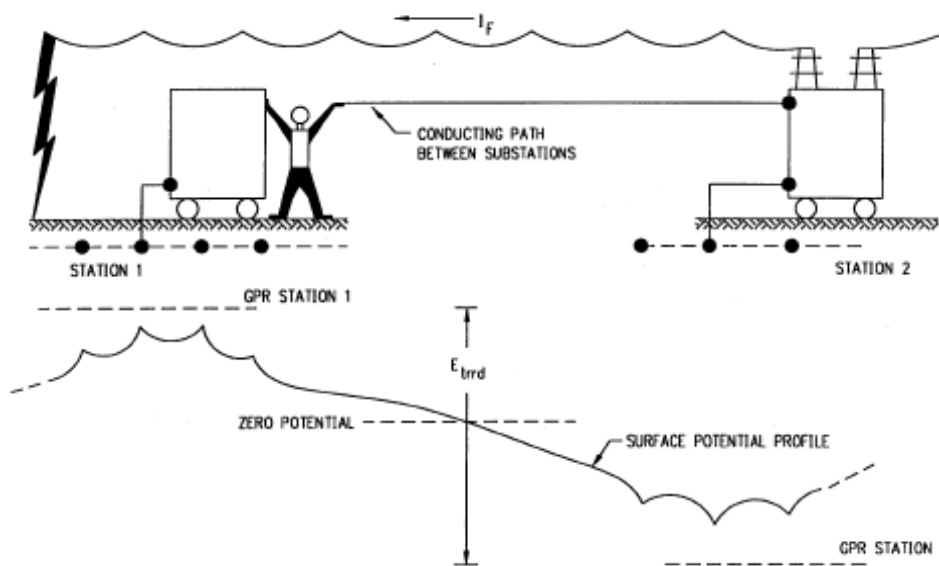
Εικόνα 1.1 Τάση επαφής μετάλλου προς μέταλλο, βηματική τάση, τάση επαφής, τάση πλέγματος, μεταφερόμενη τάση [2]

Βηματική τάση (Step voltage): Η διαφορά δυναμικού στην επιφάνεια του εδάφους που εφαρμόζεται μεταξύ των ποδιών ενός ατόμου, το οποίο κάνει βήμα ανοίγματος $1m$, και δεν έρχεται σε επαφή με άλλο γειωμένο αντικείμενο. Εφόσον το δυναμικό στη γη είναι μεγαλύτερο στην περιοχή που γειτνιάζει με το ηλεκτρόδιο, συνεπάγεται ότι το μέγιστο βηματικό δυναμικό, υπό συνθήκες σφάλματος προς γη, θα προκύπτει όταν το άτομο έχει ένα πόδι στην περιοχή της μέγιστης δυναμικής ανύψωσης και το άλλο πόδι κατά ένα βήμα προς τη γη[2].

Τάση επαφής μετάλλου προς μέταλλο (Metal-to-metal touch voltage): Η διαφορά δυναμικού ανάμεσα στα μεταλλικά αντικείμενα ή δομές που υπάρχουν μέσα στην τοποθεσία του υποσταθμού που μπορεί να γεφυρωθεί με άμεση επαφή χέρι-με-χέρι ή χέρι-με-πόδι. Η τάση επαφής μετάλλου προς μέταλλο, ανάμεσα σε μεταλλικά αντικείμενα ή δομές που συνδέονται στο πλέγμα γείωσης, θεωρείται ότι είναι αμελητέα σε συμβατικούς υποσταθμούς. Ωστόσο, η τάση επαφής μετάλλου προς μέταλλο ανάμεσα σε μεταλλικά αντικείμενα ή δομές που συνδέονται στο μεταλλικό πλέγμα και σε μεταλλικά αντικείμενα που υπάρχουν στην τοποθεσία του υποσταθμού, όπως ένας μονωμένος φράκτης, αλλά μη

συνδεδεμένα στο πλέγμα γείωσης, μπορεί να είναι ουσιαστική. Σε έναν τυπικό υποσταθμό, η χειρότερη τάση επαφής συνήθως είναι η διαφορά δυναμικού ανάμεσα σε ένα χέρι και τα πόδια ενός ατόμου, όταν αυτά απέχουν τη μέγιστη δυνατή απόσταση

Μεταφερόμενη τάση (Transferred voltage): Ειδική περίπτωση της τάσης επαφής, όπου μια τάση μεταφέρεται προς ή από τον υποσταθμό ή σε ένα απόμακρο σημείο εξωτερικό της τοποθεσίας του υποσταθμού. Τα μεταφερόμενα δυναμικά θεωρείται ότι είναι τα πιο επικίνδυνα, διότι η τάση που εφαρμόζεται στο άτομο δύναται να είναι ίση με την πλήρη ανύψωση δυναμικού και όχι με κλάσμα της, όπως στην περίπτωση της βηματικής τάσης και της τάσης επαφής [2].



Εικόνα 1.2 Μεταφερόμενη τάση [2]

Υλικό επιφανείας (surface material): πρόκειται ένα υλικό που τοποθετείται πάνω από το έδαφος και μπορεί να είναι πέτρα, χαλίκι, άσφαλτος, ή άλλα τεχνητά υλικά. Ανάλογα με το πόσο καλή είναι η ειδική αντίστασή του υλικού επιφάνειας, επηρεάζεται σημαντικά το ρεύμα που διαρρέει το ανθρώπινο σώμα για την τάση επαφής και τη βηματική τάση που αφορούν τα πόδια του ανθρώπου

1.2 Ο ρόλος της γείωσης

Σκοπός της γείωσης είναι να εξασφαλίζει την ακεραιότητα του εξοπλισμού και τη συνέχεια της λειτουργίας του, σε περίπτωση εμφάνισης οποιουδήποτε σφάλματος, παρέχοντας διαδρομή απαγωγής του ρεύματος και εκτόνωσής του στη γη, καθώς και να προστατεύει από ηλεκτροπληξία άτομα που είτε δουλεύουν, είτε κινούνται στον περιβάλλοντα χώρο. Δηλαδή να μειώνει τις πιθανότητες ανάπτυξης επικίνδυνων βηματικών τάσεων ή τάσεων επαφής, καθορίζοντας ένα δυναμικό αναφοράς. Ακόμη συμβάλει στην μείωση του

ηλεκτρικού θορύβου, στην εξασφάλιση ελάχιστης διαφοράς δυναμικού μεταξύ των διασυνδεδεμένων συσκευών και στον περιορισμό ηλεκτρικών και μαγνητικών ζεύξεων.

Παράγοντες που επηρεάζουν τη μεταβατική συμπεριφορά των συστημάτων γείωσης είναι [2] :

- 1) Οι διαστάσεις και το σχήμα του συστήματος γείωσης
- 2) Η ειδική αντίσταση του εδάφους στο οποίο είναι τοποθετημένο το πλέγμα γείωσης.
- 3) Η ανάπτυξη ή όχι ιονισμού του εδάφους
- 4) Η κυματομορφή του εγγεόμενου ρεύματος
- 5) Το σημείο έγχυσης του ρεύματος.

Ουσιαστικά με την βοήθεια την γείωσης θέλουμε να περιορίσουμε την τιμή του ρεύματος σφάλματος για τους εξής λόγους [11] :

- 1) Να περιορισθούν τα φαινόμενα καψίματος και λωσίματος του ηλεκτρικού εξοπλισμού υπό σφάλμα όπως διακόπτες, μετασχηματιστές καλώδια και στρεφόμενες μηχανές.
- 2) Να μειωθεί η μηχανική καταπόνηση των κυκλωμάτων και των συσκευών από τα οποία περνάει το ρεύμα σφάλματος.
- 3) Να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος ηλεκτροσόκ στους ανθρώπους.
- 4) Να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος εμφάνισης ηλεκτρικού τόξου.
- 5) Να μειωθούν οι πιθανότητες εμφάνισης στιγμιαίας βύθισης της τάσης στην γραμμή κατά την εκκαθάριση του σφάλματος.
- 6) Να εξασφαλίσει τον έλεγχο παροδικών υπερτάσεων.

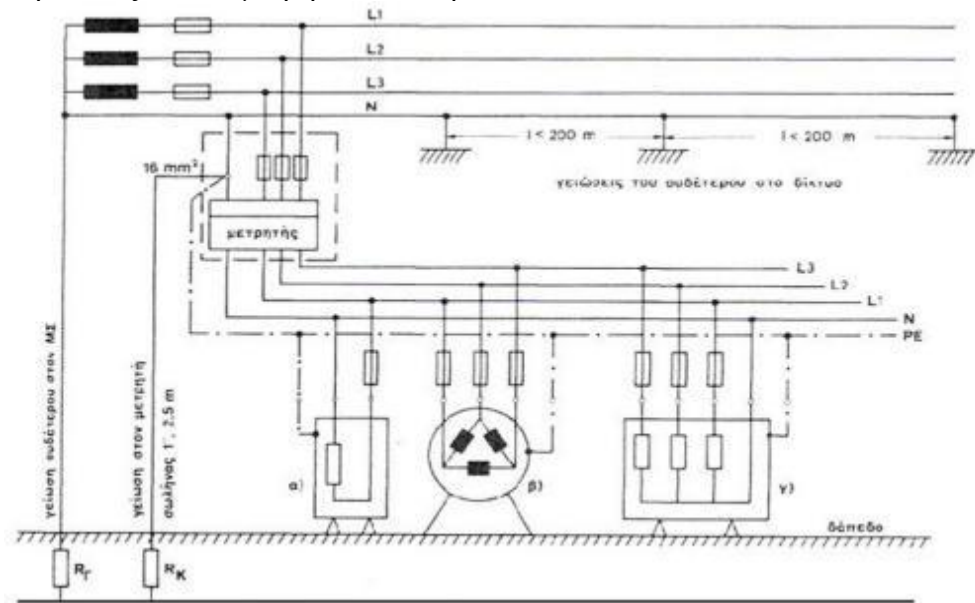
Σύμφωνα με το πρότυπο ANSI/IEEE Std 80-2000 [2], όλα τα εκτεθειμένα αγωγία μέρη μιας εγκατάστασης, θα πρέπει να συνδέονται προς τη γη μέσω ειδικών αγωγών προστασίας και κάτω από κατάλληλες συνθήκες, όπως αυτές επιβάλλονται από το σύστημα σύνδεσης των γειώσεων του δικτύου τροφοδοσίας. Τα διαφορετικά μεταξύ τους αγωγία μέρη, με τα οποία είναι δυνατό να υπάρξει ταυτόχρονη επαφή, θα πρέπει να γειώνονται μέσω του ίδιου ηλεκτροδίου γείωσης. Οι διατάξεις γείωσης μπορούν να χρησιμοποιούνται είτε συγχρόνως για την προστασία και τη λειτουργία μια ηλεκτρικής εγκατάστασης, είτε μόνο για σκοπούς προστασίας ή λειτουργίας της εν λόγω εγκατάστασης. Σε περιπτώσεις που μια διάταξη γείωσης προορίζεται για προστατευτικό και λειτουργικό σκοπό, προτεραιότητα πρέπει να δοθεί στις απαιτήσεις που αφορούν τη χρήση της για προστασία.

1.3 Μέθοδοι γείωσης

Οι μέθοδοι γείωσης που χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις είναι οι παρακάτω :

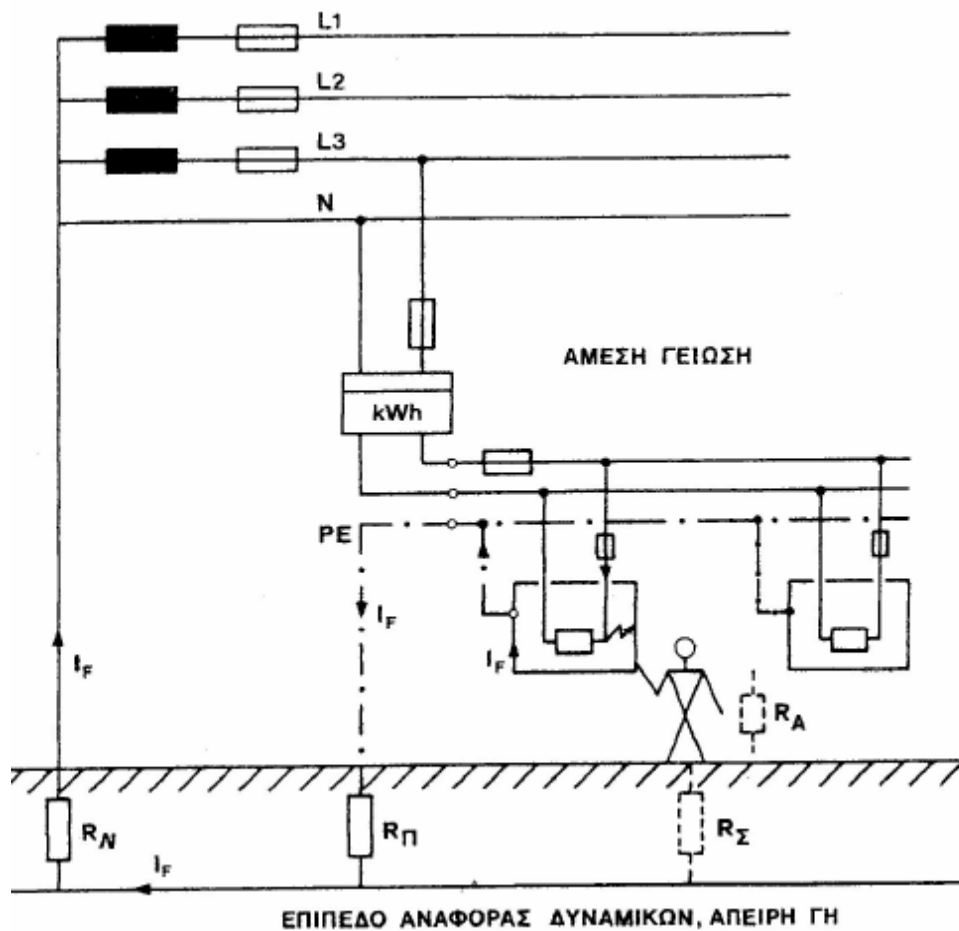
- Η ουδετέρωση, δηλαδή η αγωγή σύνδεση των μεταλλικών μερών των συσκευών με αγωγό προστασίας που συνδέεται με τον ουδέτερο αγωγό. Η σύνδεση του αγωγού γείωσης με τον ουδέτερο γίνεται μέσα στο κιβώτιο του μετρητή της ΔΕΗ, όπως μπορούμε να δούμε παρακάτω στην εικόνα. Η ουδετέρωση είναι η κατά κανόνα μέθοδος προστασίας σε καταναλωτές του δημοσίου δικτύου ΧΤ, αφού είναι ασφαλέστερη σαν μέθοδος από την άμεση

γείωση, όταν βέβαια ο ουδέτερος αγωγός μαζί με τις γειώσεις του, παρουσιάζει πολύ μικρή αντίσταση.



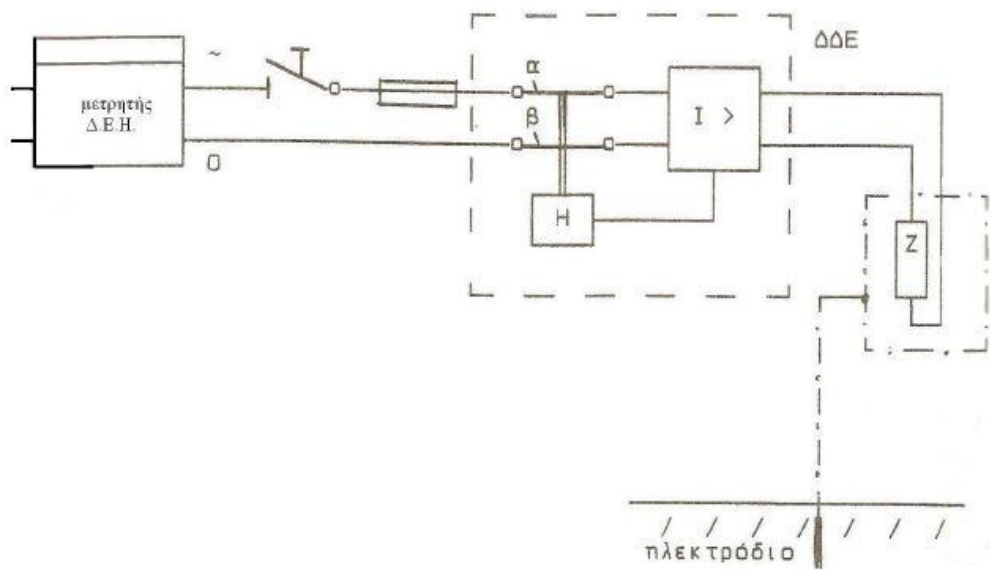
Εικόνα 1.3 Προστασία συστήματος με ουδετέρωση [5]

· Η άμεση γείωση, με απευθείας αγωγική σύνδεση με το σύστημα γείωσης αγωγού γης με κάποιο γειωτή (πλάκα γείωσης, ηλεκτρόδιο, τρίγωνο, κλπ). Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε ένα σύστημα γείωσης με άμεση γείωση.



Εικόνα 1.4 Προστασία με άμεση γείωση. Ο αγωγός προστασίας συνδέεται με τον γειωτή, όχι όμως και με τον ουδέτερο.

· Μέσω διακόπτη διαφυγής για την αυτόματη απομόνωση του προβληματικού μέρους της εγκατάστασης. Η γείωση αυτού του είδους αποτελεί μια γενική μέθοδο γείωσης προστασίας, όταν είναι αδύνατη η εφαρμογή άλλης μεθόδου. Υπάρχουν ο αποζεύκτης διαφυγής τάσης και ο αποζεύκτης διαφυγής έντασης.



Εικόνα 1.5 Σύστημα προστασίας με διακόπτη διαφυγής έντασης, σε εγκατάσταση που έχει ηλεκτρόδιο γείωσης.

Πάντως και στις τρεις αυτές περιπτώσεις θα πρέπει να επιτυγχάνεται η απόζευξη της εγκατάστασης το πολύ σε 5 δευτερόλεπτα, αν η τάση κάποιου τμήματος αυτής σε σχέση με τη γη εξακολουθεί να είναι μεγαλύτερη των 50 V.

Γείωση είναι η ένωση ενός σημείου ενός κυκλώματος ή ενός ξένου προς το κύκλωμα μεταλλικού αντικειμένου με μια εγκατάσταση γείωσης. Εγκατάσταση γείωσης είναι ένα ή περισσότερα συνδεδεμένα ηλεκτρόδια γείωσης. Η γείωση μπορεί να είναι συνεχής ή να διακόπτεται παρεμβάλλοντας ένα διάκενο σπινθηριστή. Η ανοιχτή γείωση συναντάται, όχι όμως κατά κανόνα, σε εγκαταστάσεις αλεξικέραυνων. [1]

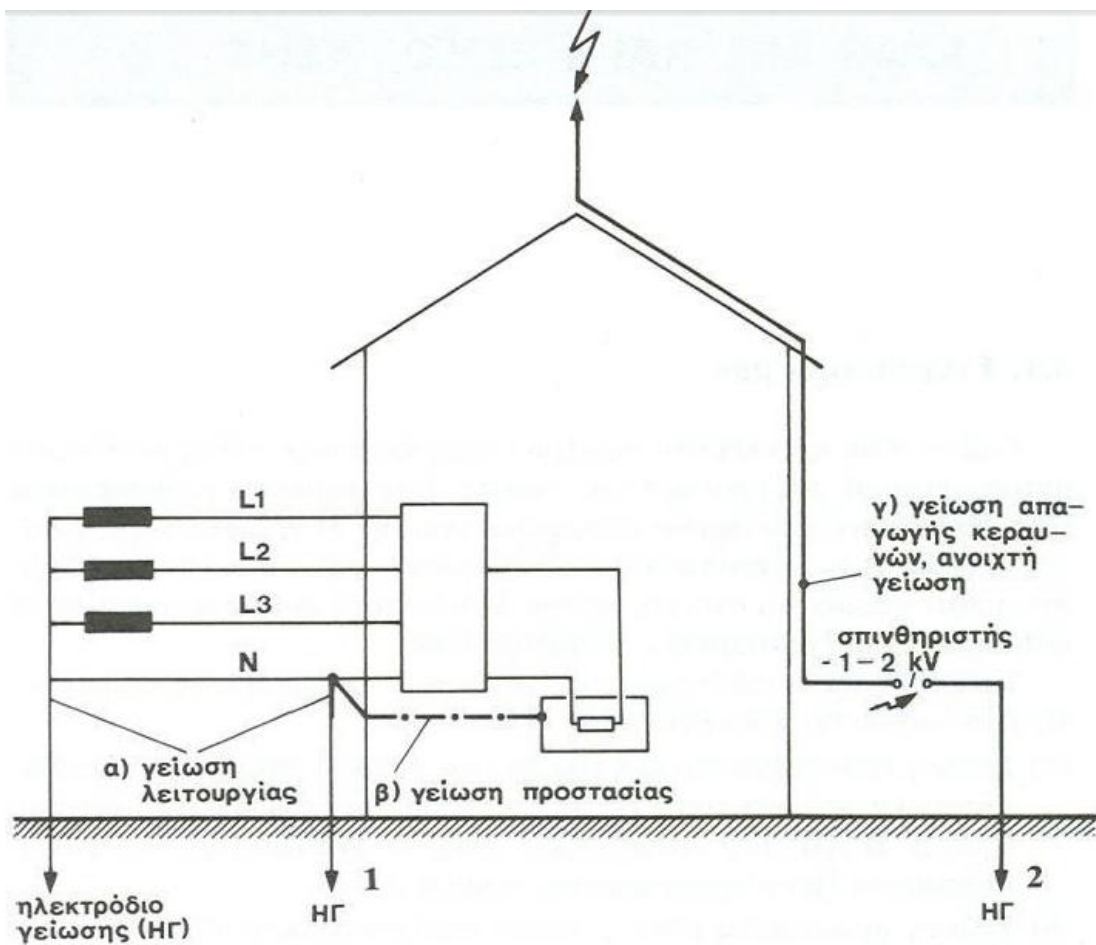
1.4 Είδη γειώσεων

Οι γειώσεις ανάλογα με την χρήση τους χωρίζονται σε τρία είδη

- Γείωση λειτουργίας* είναι η γείωση ενός σημείου ενός ενεργού κυκλώματος, π.χ. η γείωση του ουδετέρου ενός μετασχηματιστή και η γείωση του ουδετέρου αγωγού του συστήματος. Στις περιπτώσεις αυτές δηλαδή, η γείωση αποτελεί μέρος του κυκλώματος λειτουργίας της εγκατάστασης. Η γραμμή γείωσης μπορεί να έχει αυτεπαγωγές ή αντιστάσεις στα δίκτυα ή να είναι ένας συνεχής αγωγός.
- Γείωση προστασίας* είναι η αγωγή σύνδεση ενός μεταλλικού μέρους που δεν είναι στοιχείο ενεργού κυκλώματος με την γη, π.χ. η γείωση του κελύφους μιας ηλεκτρικής συσκευής. Η γείωση προστασίας μειώνει τις τάσεις επαφής γι' αυτό και υπάρχει σε όλες τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Είναι πάντα συνεχής, δηλαδή δεν παρεμβάλλονται αντιστάσεις ή διάκενα.

- c) Γείωση του συστήματος της αντικεραυνικής προστασίας είναι η ανοικτή ή η συνεχής γείωση του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας και χρησιμεύει για τη μεταφορά στατικών ηλεκτρικών φορτίων στη γη. Αυτές οι γειώσεις διοχετεύουν το ρεύμα των κεραυνών προς τη γη. Ανοικτές γειώσεις μειώνουν την ηλεκτροχημική διάβρωση.

Αυτά τα τρία είδη γειώσεων συνυπάρχουν συνήθως στις εγκαταστάσεις. Προτείνεται να γίνεται κάθε δυνατή προσπάθεια, οι γειώσεις α,β,γ να απολήξουν στο ίδιο ηλεκτρόδιο ή στην ίδια εγκατάσταση γείωσης σε ένα κτήριο. Αυτό εξάλλου επιβάλουν και οι κανονισμοί άλλων χωρών.



Εικόνα 1.6 Γειώσεις οικιακής εγκατάστασης [6]

Όσο αφορά τις γειώσεις υπάρχουν κάποια σημεία που πρέπει να προσεχθούν. Ορισμένα βασικά θέματα είναι τα εξής :

- Το βάθος έμπηξης του γειωτή πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο (>0,5m) για να έχουμε υγρό αγωγίμο έδαφος και να αποφεύγεται το πάγωμα του εδάφους το οποίο οδηγεί σε μεγάλη αντίσταση.

- Απαιτείται μηχανική στιβαρότητα.
- Να δίνεται προσοχή στις ηλεκτροχημικές δράσεις και στην διάβρωση που οδηγούν σε καταστροφή του γειωτή, ειδικά σε γειώσεις συνεχούς ρεύματος.
- Η εξάρτηση της αντίστασης από την θερμοκρασία και την υγρασία οδηγεί στην μεταβολή της με τον χρόνο.
- Επιτρέπεται η χρήση των σωλήνων ύδρευσης όχι όμως σωλήνων άλλων καυσίμων κ.λ.π. σαν γειωτών.

1.5 Συστήματα σύνδεσης γειώσεων

Στα συστήματα παροχής ηλεκτρισμού, τα συστήματα σύνδεσης των γειώσεων καθορίζουν το ηλεκτρικό δυναμικό μεταξύ των αγωγών και της αγώγιμης γήινης επιφάνειας. Η επιλογή του συστήματος έχει επιπτώσεις στην ασφάλεια και την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα της παροχής ηλεκτρικού ρεύματος.

Ο κώδικας που χρησιμοποιείται για τα συστήματα σύνδεσης των γειώσεων σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 είναι ο ακόλουθος:

- ✓ Το πρώτο γράμμα δείχνει τη σύνδεση μεταξύ της γης και της πηγής ρεύματος (γεννήτρια ή μετασχηματιστής):
T = άμεση σύνδεση ενός σημείου με τη γη
I = κανένα σημείο δεν συνδέεται με τη γη (απομόνωση)

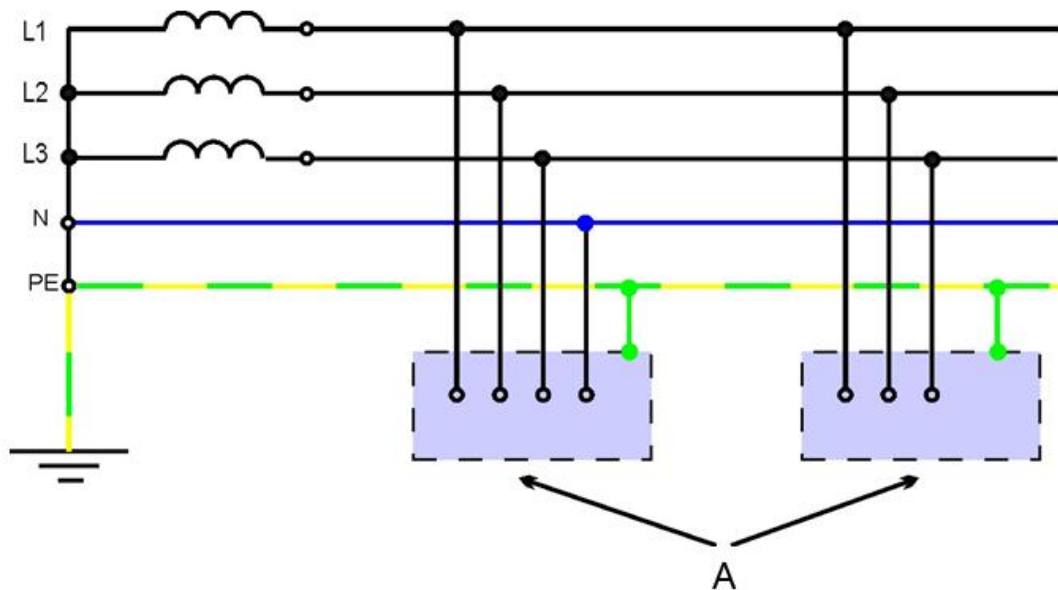
- ✓ Το δεύτερο γράμμα δείχνει τη σύνδεση μεταξύ της γης και της ηλεκτρικής συσκευής - καταναλωτή:
T = άμεση σύνδεση ενός σημείου με τη γη
N = άμεση σύνδεση στον ουδέτερο, ο οποίος συνδέεται με τη γη

- ✓ Τα επόμενα γράμματα (αν υπάρχουν) αφορούν την σχέση του ουδέτερου και του αγωγού προστασίας. S=ύπαρξη αγωγού προστασίας διαφορετικού από τον ουδέτερο για την εξασφάλιση προστασίας C= ο ουδέτερος και ο αγωγός προστασίας συνδυάζονται σε ένα μόνο αγωγό.

Σύστημα σύνδεσης των γειώσεων TN

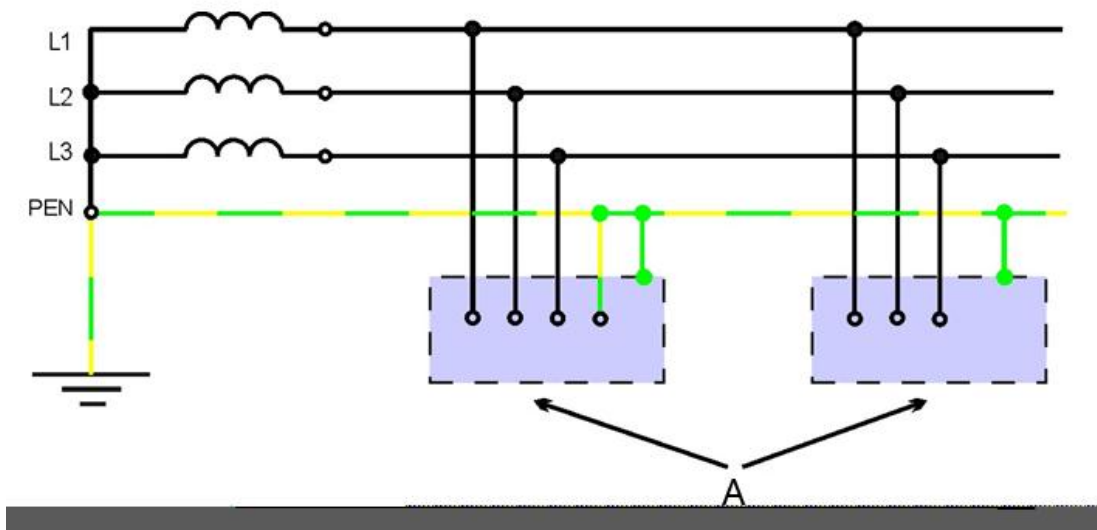
Τα συστήματα τροφοδότησης, στα οποία εφαρμόζεται το σύστημα σύνδεσης των γειώσεων TN, έχουν τον ουδέτερο (ή, αν δεν υπάρχει διαθέσιμος ουδέτερος, ένα άλλο σημείο τους) άμεσα (δηλ. χωρίς ηθελημένη αντίσταση) γειωμένο, ενώ τα εκτεθειμένα αγώγιμα μέρη της εγκατάστασης συνδέονται με τον ουδέτερο (ή με το γειωμένο σημείο) μέσω αγωγών προστασίας. Διακρίνονται τρεις ειδικότερες μορφές συνδεσμολογίας του συστήματος σύνδεσης των γειώσεων TN, ανάλογα με τη σχέση του ουδέτερου και του αγωγού προστασίας, ως εξής:

- Ø **Σύστημα TN-S**, στο οποίο ο ουδέτερος και ο αγωγός προστασίας είναι χωριστοί σε ολόκληρο το σύστημα



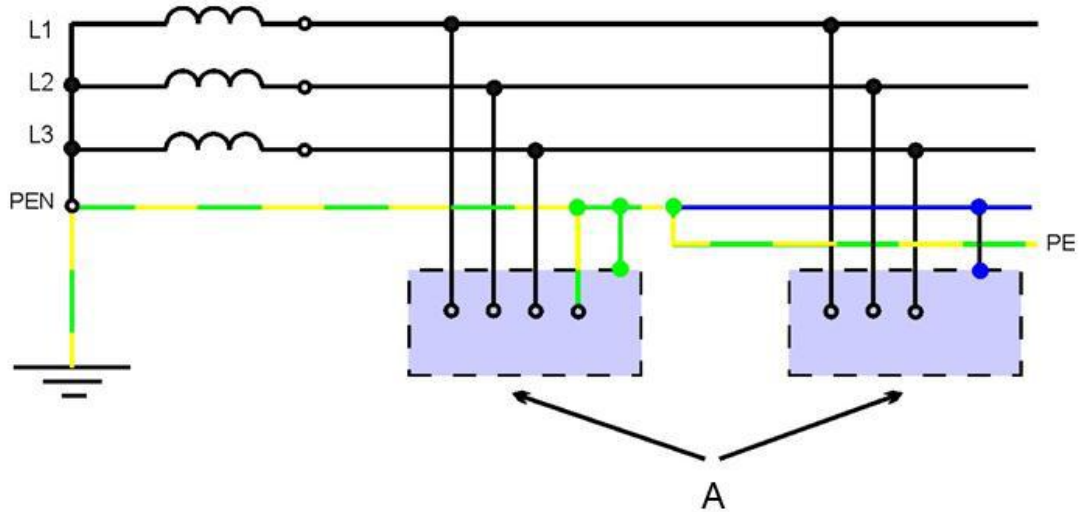
Εικόνα 1.7 Σύστημα TN-S [7]

Ø Σύστημα TN-C, στο οποίο οι λειτουργίες ουδετέρου και αγωγού προστασίας συνδυάζονται σε ένα μόνο αγωγό σε ολόκληρο το σύστημα.



Εικόνα 1.8 Σύστημα TN-C [7]

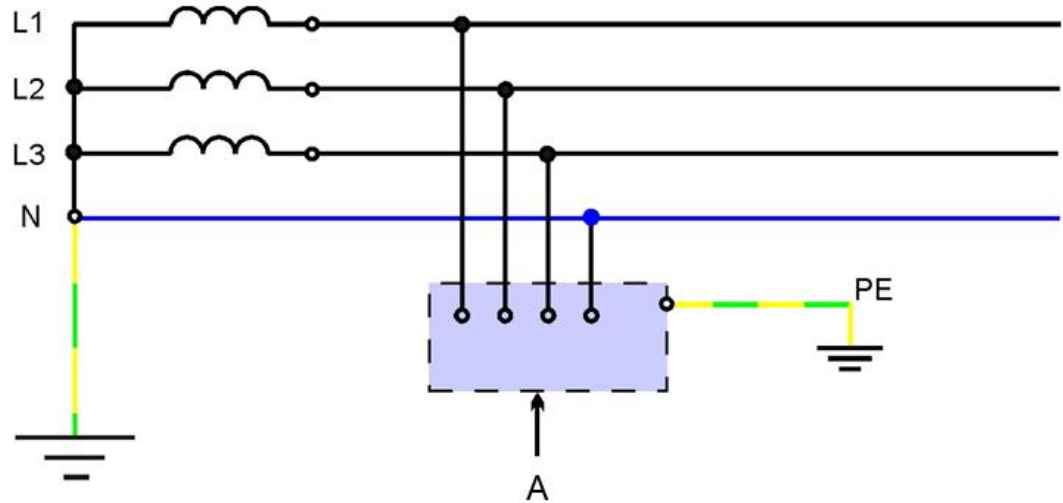
Ø Σύστημα TN-C-S, στο οποίο οι λειτουργίες ουδετέρου και αγωγού προστασίας συνδυάζονται σε ένα μόνο αγωγό σε ένα μέρος του συστήματος.



Εικόνα 1.9 Σύστημα TN-C-S [7]

Σύστημα σύνδεσης των γειώσεων TT

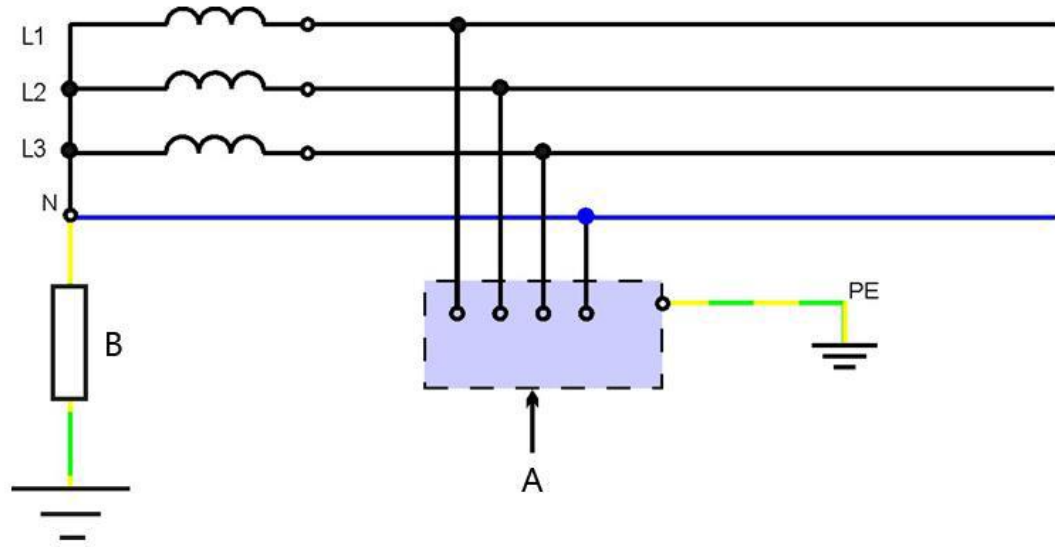
Τα συστήματα τροφοδότησης, στα οποία εφαρμόζεται το σύστημα σύνδεσης των γειώσεων TT, έχουν τον ουδέτερο (ή, στην περίπτωση που δεν υπάρχει διαθέσιμος ουδέτερος, ένα άλλο σημείο τους) άμεσα συνδεδεμένο προς τη γη, ενώ τα εκτεθειμένα αγώγιμα μέρη της εγκατάστασης συνδέονται με ηλεκτρόδια γείωσης ηλεκτρικά ανεξάρτητα από τη γείωση του συστήματος τροφοδότησης.



Εικόνα 1.10 Σύστημα σύνδεσης των γειώσεων TT [7]

Συστήματα σύνδεσης των γειώσεων IT

Στα συστήματα τροφοδότησης, στα οποία εφαρμόζεται το σύστημα σύνδεσης των γειώσεων IT, όλα τα ενεργά μέρη είναι μονωμένα προς τη γη, ή ένα σημείο συνδέεται με τη γη μέσω μιας σύνθετης αντίστασης μεγάλης τιμής (απομόνωση), ενώ τα εκτεθειμένα αγώγιμα μέρη της εγκατάστασης είναι γειωμένα. Αν γειώνεται ένα σημείο του συστήματος τροφοδότησης, αυτό μπορεί να είναι είτε ο ουδέτερος, είτε μία φάση, είτε ένας τεχνητός ουδέτερος. Ο ουδέτερος μπορεί να διανέμεται ή όχι.

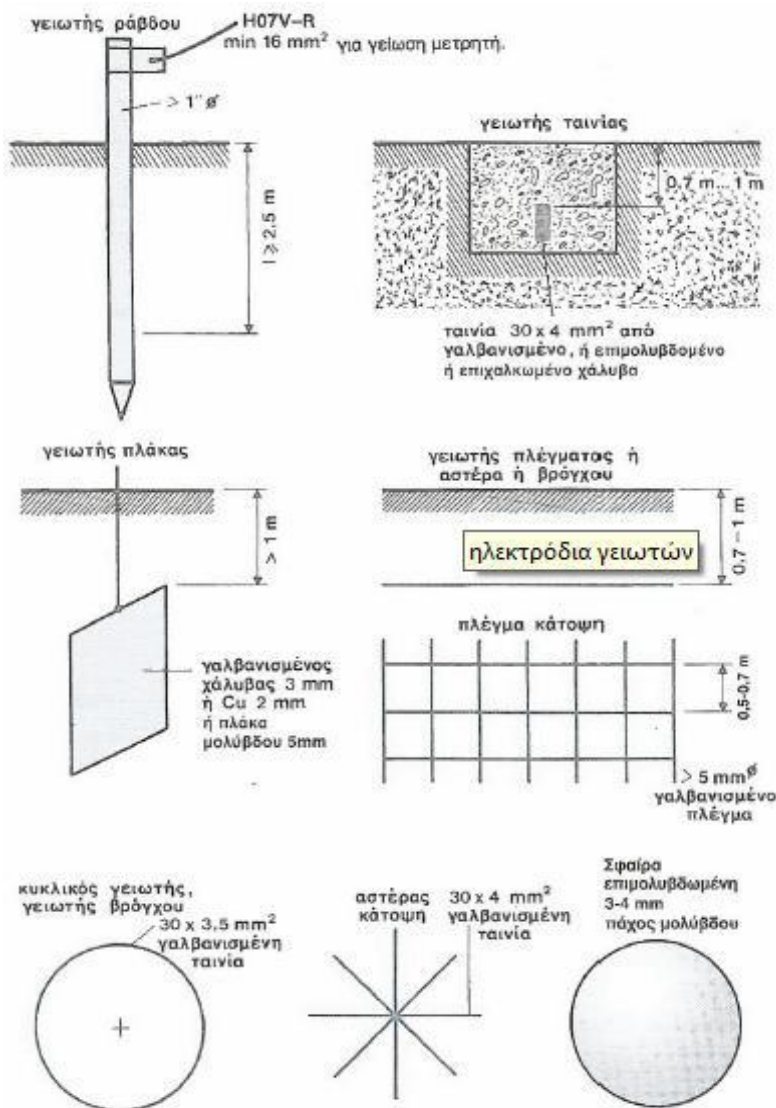


Εικόνα 1.11 Συστήματα σύνδεσης των γειώσεων IT [7]

1.6 Είδη ηλεκτροδίων γείωσης

Ο γειωτής είναι αγωγός ή αγωγοί κάποιου γεωμετρικού σχήματος, ο οποίος ή οι οποίοι τοποθετούνται μέσα στο έδαφος, προκειμένου να εξασφαλίσουν την καλύτερη δυνατή επαφή με την γη και κατά συνέπεια την αποτελεσματικότερη διάχυση του ρέματος σφάλματος στη γη. Ο τύπος και το βάθος έμπηξης ή τοποθέτησης των ηλεκτροδίων μέσα στο έδαφος πρέπει να είναι τέτοια, ώστε η αποξήρανση και το πάγωμα του εδάφους να μην αυξάνουν την αντίσταση γείωσης πέρα από την απαιτούμενη τιμή. Επίσης, τα χρησιμοποιούμενα υλικά και η κατασκευή των ηλεκτροδίων γείωσης πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να αντέχουν σε μηχανικές βλάβες εξαιτίας της διάβρωσης. Κατά το σχεδιασμό των διατάξεων γείωσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ενδεχόμενη αύξηση της αντίστασης γείωσης εξαιτίας της διάβρωσης.[3]

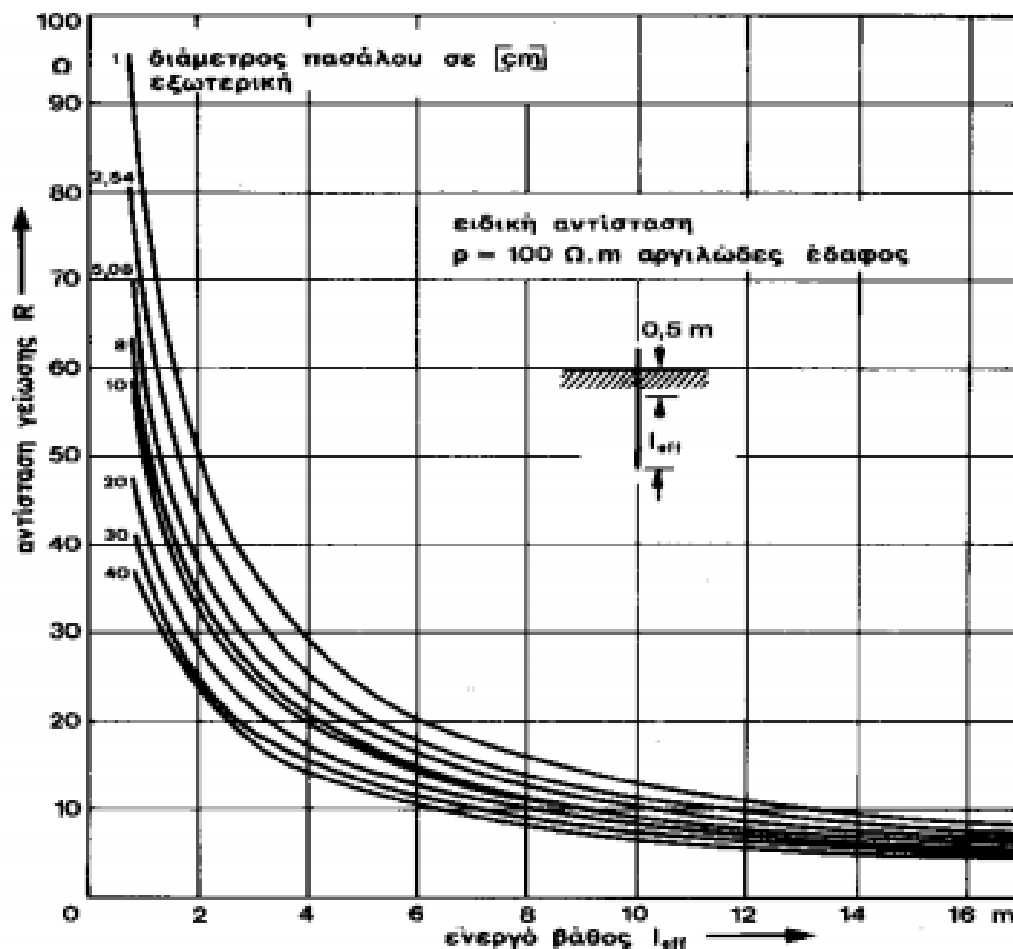
Τα κυριότερα είδη γειωτών παρουσιάζονται παρακάτω και περιγράφονται ακολούθως:



Εικόνα 1.12 Ηλεκτρόδια γειωτών[6]

§ Γειωτής ράβδου

Αυτός ο γειωτής είναι ένας σωλήνας ονομαστικής διαμέτρου μεγαλύτερης της μίας ίντσας ή μια ράβδος στρογγυλή ή προφίλ από γαλβανισμένο χάλυβα, π.χ. U.L.T ή I προφίλ. Η ράβδος καρφώνεται κατακόρυφα ή λοξά (π.χ. 20ο ως προς την κατακόρυφο στο έδαφος) σε βάθος, π.χ. 2,5 m με σφυρί χεριού ή με μηχανικό σφυρί. Το κάτω μέρος διαμορφώνεται σαν ακίδα για να οδηγείται καλύτερα στο έδαφος. Το άνω μέρος τοποθετείται συνήθως σε φρεάτιο έτσι ώστε το σημείο σύνδεσης της με τον αγωγό γείωσης να είναι επισκέψιμο. Η αντίσταση γείωσης είναι περίπου αντιστρόφως ανάλογη του βάθους και δεν εξαρτάται σημαντικά από το πάχος ή την διάμετρο της ράβδου. Εφόσον το επιτρέπει η μηχανική αντοχή, προτείνονται ηλεκτρόδια χαλκού ή επιχαλκωμένου η επιμολυβδωμένου χάλυβα γιατί αντέχουν στη διάβρωση. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε την σχέση αντίστασης γείωσης και ενεργού βάθους, όπου το ενεργό μήκος ισούται με το πραγματικό μήκος της ράβδου μείον μισό μέτρο.



Εικόνα 1.13 Αντίσταση γείωσης κατακόρυφων πασάλων στο έδαφος[6].

§ Γειωτής ταινίας

Ταινία ή συρματόσχοινο, τοποθετείται σε χαντάκι βάθους τουλάχιστον 0,5m. Το βάθος που προτιμάται είναι 0,7-1 m, για να υπάρχει υγρό έδαφος. Η ταινία μπορεί να είναι χάλυβας γαλβανισμένος ή επιμολυβδωμένος ή επιχάλκωμένος διαστάσεων 40x4 mm². Χρησιμοποιούνται επίσης χάλκινες ταινίες. Η ταινία μπορεί να τοποθετηθεί ευθύγραμμα ή κυκλικά γύρω από την εγκατάσταση. Η τελευταία γείωση λέγεται γειωτής βρόγχου. Η αντίσταση είναι περίπου αντιστρόφως ανάλογη του μήκους και ισχύουν οι τύποι του Πίνακα 1.1. Για το ίδιο μήκος ταινίας ο ευθύγραμμος γειωτής έχει μικρότερη αντίσταση από τον κυκλικό. Μια περίπτωση γειωτή ταινίας είναι η θεμελιακή γείωση. Δεν συνιστάται συρματόσχοινο αντί ταινίας σαν ηλεκτρόδιο γείωσης γιατί διαβρώνεται σχετικά γρήγορα. Χάλκινα η επιχάλκωμένα ηλεκτρόδια γενικά αποφεύγονται όπου στην περιοχή υπάρχουν χαλύβδινοι σωλήνες διότι προκαλούνται διαβρώσεις.

§ Γειωτής πλάκας

Πλάκα μορφής παραλληλογράμμου, π.χ. 0,5x0,5m², ενταφιάζεται στο έδαφος με την επιφάνεια της κατακόρυφη. Το πάνω μέρος της βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο του 1,0m. Η τιμή της αντίστασης γείωσης μειώνεται όσο

μεγαλώνουν οι διαστάσεις της πλάκας και όσο βαθύτερα τοποθετείται στο έδαφος. Το υλικό κατασκευής μπορεί να είναι γαλβανισμένος, επιχάλκωμένος ή επιμολυβδωμένος χάλυβας με πάχος μεγαλύτερο των 3mm ή χαλκός ή μόλυβδος με πάχος μεγαλύτερο των 2mm.

§ Γειωτής ακτινικός

Ταινίες ή ράβδοι διαμορφώνονται υπό μορφή αστέρα με πολλές ακτίνες. Ο αστέρας βρίσκεται σε οριζόντια θέση, ενταφιασμένος σε βάθος τουλάχιστον 0,8 m. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι όμοια, όπως στον γειωτή ταινίας.

§ Γειωτής πλέγματος

Πλέγμα από ταινίες ή αγωγός κυκλικής ή άλλης διατομής με τετραγωνικά ανοίγματα πλάτους 0,7-2,0m τοποθετείται οριζόντια σε βάθος 0,5-1,0m. Τα ελάχιστα πάχη είναι όπως στους γειωτές ταινίας. Το πλεονέκτημα των γειωτών πλέγματος είναι ότι, οι βηματικές τάσεις στο έδαφος, επάνω από το πλέγμα, είναι αμελητέες. Προφανώς, ανοίγματα μεγαλύτερα από 0,7m έχουν μεγαλύτερες βηματικές τάσεις από ότι πλέγματα με ανοίγματα 0,5m.

▼ Χημικό ηλεκτρόδιο

Ένα ενεργό χημικό ηλεκτρόδιο γείωσης (*Chemically Activated Grounding Electrode-CAGE*) είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για να επιτευχθεί μια αγωγίμη σύνδεση με τη γη. Ένα χημικό ηλεκτρόδιο γείωσης, επαρκώς συντηρημένο, αποτελεί μια συνεχή πηγή μεταλλικού ορυκτού διαλύματος που διαρρέει στο έδαφος γύρω από το ηλεκτρόδιο. Το ορυκτό διάλυμα προκαλεί τη μείωση της τιμής της ειδικής αντίστασης του εδάφους γύρω από το ηλεκτρόδιο (κυλινδρική περιοχή επιρροής), που οδηγεί σε μια σημαντικά χαμηλότερη τιμή αντίστασης γείωσης απ' ότι ένα συμβατικό ηλεκτρόδιο γείωσης.

Ένα ενεργό χημικό ηλεκτρόδιο γείωσης πρέπει να έχει ορισμένες προδιαγραφές:

- Να κατασκευάζεται από μαλακό χαλκό υψηλής αγωγιμότητας, με ονομαστική διάμετρο 63,5mm και ελάχιστο μήκος 2,4m.
- Να περιέχει στο εσωτερικό του μεταλλικό ορυκτό άλας, μάζας τουλάχιστον 11kg.
- Να απορροφά υγρασία τόσο από τον αέρα όσο και από το έδαφος στο οποίο είναι τοποθετημένο.
- Να ξαναγεμίζεται εύκολα ξεσφίγγοντας έναν κοχλία στο άκρο που προεξέχει του εδάφους.
- Να επιτρέπει τη διήθηση του ορυκτού διαλύματος στο έδαφος που το περιβάλλει, μέσω των διατρήσεων που διαθέτει.
- Να μπορεί να συνδεθεί με τον αγωγό της γείωσης, είτε μέσω αλουμινοθερμικής συγκόλλησης είτε πρεσαριστά.
- Να εγκαθίσταται είτε οριζόντια είτε κατακόρυφα.
- Να καλύπτεται από φρεάτιο έτσι ώστε να είναι προσπελάσιμο.



Εικόνα 1.14 Χημικό ηλεκτρόδιο

1.7 Συστήματα Γείωσης

Τα συστήματα γείωσης είναι συστήματα που αποτελούνται από δύο ή περισσότερους γειωτές διατεταγμένους και συνδεδεμένους με διαφορετικό τρόπο για κάθε περίπτωση.

Η επιλογή του είδους του συστήματος γείωσης εξαρτάται από το είδος του έδαφους (βραχώδες, αμμώδες, κλπ.), τον χώρο που έχουμε στην διάθεσή μας, τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν, το κόστος κλπ. Τα πιο γνωστά είναι: πολυγωνική (τριγωνική κλπ) διάταξη, σύστημα γείωσης με πλάκες, περιμετρική γείωση, θεμελιακή γείωση, γείωση τύπου "Ε" ή και συνδυασμός ορισμένων από αυτά.

1.7.1 Πολυγωνική διάταξη γείωσης

Κατασκευάζεται από ραβδοειδείς γειωτές οι οποίοι τοποθετούνται στις κορυφές ισόπλευρου πολυγώνου συνήθως τριγώνου (τριγωνική γείωση). Οι ράβδοι συνδέονται μεταξύ τους με αγωγό γείωσης αναλόγου διατομής με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης (συνήθως 50mm² Cu). Η απόσταση μεταξύ των ράβδων πρέπει να είναι τουλάχιστον 1,5 φορά του βάθους έμπηξης. Πολλές φορές λόγω έλλειψης χώρου ή ευκολίας, αντί της πολυγωνικής διάταξης οι ράβδοι μπορούν να τοποθετηθούν σε ευθεία διάταξη, σε "Γ" διάταξη, σε κυκλική διάταξη κ.λ.π. πάντα όμως θα πρέπει η απόσταση μεταξύ των να είναι τουλάχιστον 1,5 φορά του βάθους έμπηξης των.

1.7.2 Γείωση με πλάκες

Κατασκευάζεται από πλάκες οι οποίες τοποθετούνται σε τυχαία διάταξη αρκεί η απόσταση μεταξύ των να είναι τουλάχιστον 3m. Οι πλάκες συνδέονται μεταξύ τους με αγωγό γείωσης αναλόγου διατομής με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης (συνήθως 50mm² Cu).

1.7.3 Περιμετρική γείωση

Κατασκευάζεται από γειωτή ταινίας ο οποίος τοποθετείται σε όρυγμα βάθους 50cm έως 70cm συνήθως για να υπάρχει υγρό έδαφος περιμετρικά του κτηρίου, και σε απόσταση από το κτήριο περίπου 2m διότι τα χώματα κοντά στο κτήριο συνήθως δεν είναι αγωγίμα (μπάζα).

1.7.4 Γείωση με γειωτή τύπου "E"

Κατασκευάζεται από ένα στοιχείο "Π" και ένα ή παραπάνω στοιχεία "Γ" και τοποθετείται εντός σκάμματος βάθους τουλάχιστον 1m, πλάτους τουλάχιστον 75cm και μήκος αναλόγως του αριθμού των στοιχείων "Γ" που θα τοποθετηθούν.

Η τιμή της αντίστασης εξαρτάται από το μήκος και την επιφάνεια του ηλεκτροδίου που έρχεται σε επαφή με το υπέδαφος. Πολλές φορές λόγω μεγάλης ειδικής αντίστασης του υπεδάφους (βραχώδες, ξηρή άμμος κ.λ.π.) αλλά και περιορισμένου διαθέσιμου για γείωση χώρου, απαιτείται να γίνει κάποιος συνδυασμός από τα παραπάνω είδη γείωσης τέτοιος ώστε να πετυχαίνουμε μικρότερη αντίσταση του γειωτή χωρίς να απαιτείται επί πλέον χώρος. Το συνηθέστερο παράδειγμα είναι της περιμετρικής γείωσης η οποία συντάσσεται με ράβδους γείωσης κατά μήκους αυτής.

Το δίκτυο ύδρευσης σαν γειωτής

Επιτρέπεται χωρίς ιδιαίτερη άδεια, η χρησιμοποίηση μεταλλικών δικτύων ύδρευσης ως γειωτών για εγκαταστάσεις με τάσεις ως προς γη μικρότερες των 250V, εφόσον υπάρχει απλή συγκατάθεση του οργανισμού ύδρευσης. Πάνω από αυτές τις τάσεις χρειάζεται ειδική άδεια από τον οργανισμό ύδρευσης. Η γραμμή γείωσης συνδέεται κατά προτίμηση πριν από τον μετρητή. Αν η σύνδεση γίνει μετά τον μετρητή, πρέπει να βραχυκυκλωθεί μονίμως ο μετρητής με χάλκινο σύρμα H03V-U και διατομή τουλάχιστον 6mm².

Προσοχή πρέπει να δοθεί καθώς κατά VDE100 δεν επιτρέπεται η παράλληλη σύνδεση γειωτών από χαλκό με το δίκτυο ύδρευσης. Σχηματίζονται ηλεκτροχημικά στοιχεία με αποτέλεσμα τη διάβρωση του σιδήρου.

Επιφανειακοί και βαθείς γειωτές

Γίνεται διάκριση στους γειωτές ανάλογα με το βάθος τους σε:

- Επιφανειακούς γειωτές, π.χ. γειωτές ταινίας, πλέγματος και ακτινικούς γειωτές
- Βαθείς γειωτές, π.χ. γειωτές ράβδου.

Στους βαθείς γειωτές η αντίσταση μεταβάλλεται λιγότερο με τον χρόνο από ότι στους επιφανειακούς, επειδή η θερμοκρασία και η υγρασία του εδάφους δεν μεταβάλλονται πολύ σε μεγάλα βάθη.

Απολήξεις και συνδέσεις των ηλεκτροδίων γείωσης

Στη μέση και χαμηλή τάση οι διατομές που προσδιορίζονται από το ρεύμα είναι ασήμαντες. Πολύ περισσότερο παίζει ρόλο η στιβαρότητα του αγωγού. Το μέρος του γειωτή ή της σύνδεσης που βγαίνει από το έδαφος μονώνεται κατά της υγρασίας με πίσσα ή άλλα μονωτικά και μάλιστα 30cm μέσα και 30cm έξω από το έδαφος. Η συνδέσεις των ηλεκτροδίων γείωσης γίνονται σε γειώσεις ουδετέρου με χάλκινο μονόκλωνο αγωγό (Cu), ελάχιστης διατομής ίσης με την διατομή του ουδετέρου, όχι όμως μικρότερη των 16 mm² (H07V-U). Σε εγκαταστάσεις αλεξικέραυνου η ελάχιστη διατομή για τον χαλκό είναι 50 mm². Η σύνδεση του ουδετέρου του μετασχηματιστή με το γειωτή γίνεται με καλώδια H07-R (πριν NYA) 25mm² τουλάχιστον [6]

Οι ελάχιστες διαστάσεις των ηλεκτροδίων γείωσης δίνονται στον ακόλουθο Πίνακα κατά VDE 0141 με προσθήκες από τους κανονισμούς VDE 0100, Teil 540, DIN 57100 [6].



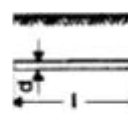
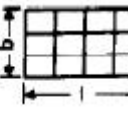
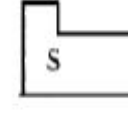
Μορφή γειωτή	Υλικό		
	Χάλυβας γαλβανισμένος (με 70μm στρώμα)	Χάλυβας επιχαλκωμένος	Χαλκός
Ταινία	100mm ² Ελαχ. Πάχος 3mm	50mm ² ελάχ. Πάχος 2mm	50mm ² ελάχ. Πάχος 2mm
Ράβδος στρογγυλή	78mm ² (10Φ)	50mm ² χάλυβα	35mm ²
Σωλήνας	Ονομ. διάμετρος 1" (εσωτ. Διάμετρος) ελαχ. Πάχος 2mm		Εσωτερική διάμετρος 20mm, ελάχ. Πάχος 2mm
Ράβδος L,U,T,I για πασσαλογειώσεις	100mm ² ελάχ. Πάχος 3mm	50mm ² στρογγυλή ράβδος	35mm ² ελάχ. Πάχος 3mm
πλάκα	ελάχ. Πάχος 3mm		ελάχ. Πάχος 2mm

Εικό

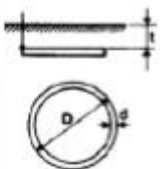
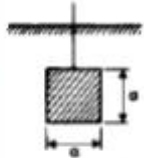
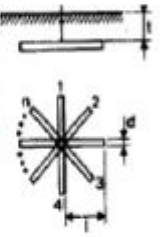
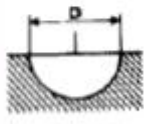
να 1.15 Ελάχιστες διατομές και πάχη γειωτών [6]

Οι γειωτές που αναφέρθηκαν παραπάνω φαίνονται στους επόμενους πίνακες με τύπους που δίνουν τις αντιστάσεις τους ανάλογα την μορφή τους. Όπου

εμφανίζεται το πάχος αγωγού, αυτό είναι το ισοδύναμο πάχος $d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$ όπου Α η διατομή του αγωγού και $\pi = 3,14\dots$

α/ α	Σχήμα	Γειωτής	Τύπος	Προσεγγιστικός τύπος
1		Πάσσαλος (πλάγια όψη)	$R_{A1} = \frac{\rho}{2\pi l_{eff}} \ln \frac{4l_{eff}}{d}$ $l_{eff} \approx 1-0,5m$	$R_A \approx \frac{\rho}{l_{eff}}$
2		Πολύγωνο πασσάλων $\alpha \geq 1$ (κάτοψη)	$R_A \approx k \frac{1}{n} R_{A1}$ $\alpha/l=3:n=5:k \approx 1,2$ R_{A1} = αντίσταση ενός πασσάλου	Μπορεί να τεθεί $k=(1...1,5)$ ειδικά για $n=10$ $k \approx 1,25$
3		Ταινία γείωσης ή επιφανειακός γειωτής, βάθος $h=0,5...1,0m$ (πλάγια όψη)	$R_A = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{2l}{d}$	$R_A \approx \frac{2\rho}{l}$
4		Πλέγμα σε βάθος 0,5- 1,0m $D = \sqrt{\frac{4b \cdot l}{\pi}}$ (κάτοψη)	$R_A \approx \frac{\rho}{2D} + \frac{\rho}{lg}$ lg =συνολικό μήκος αγωγού	$R_A \approx \frac{\rho}{2D}$
5		Θεμελιακή γείωση, $D = \sqrt{\frac{4}{\pi} S}$	-	$R_A = \frac{2\rho}{\pi D}$

Εικόνα 1.16 Τύποι για αντιστάσεις γειωτών[6]

6		Κυκλικός γειωτής (κάτοψη)	$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \ln \frac{8D}{d} \left(1 + \frac{\ln(2D/l)}{\ln(8D/d)} \right)$	$R_A = \frac{2\rho}{\pi D}$ (1)
7		Γειωτής πλάκας, πλάγια όψη S [m ²]	-	$R = \frac{\rho}{4,5\alpha}$ (2)
8		n=5 n=4 n=3 n=2	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{0,27td}$ $R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{0,25td}$ $R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{0,22td}$ $R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{0,09td}$	-- -- -- --
9		Ημισφαιρικός γειωτής	$R = \frac{\rho}{\pi D}$ (3)	--
<p>(1) Για ακανόνιστους βρόγχους μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ισοδύναμη διάμετρος $D=0,33 \cdot U$ όπου U=το μήκος του αγωγού</p> <p>(2) Για πλάκες που δεν είναι τετράγωνες θέτουμε $a=\sqrt{S}$ όπου S=επιφάνεια</p> <p>(3) Για έναν γειωτή όγκου V ακανόνιστου σχήματος εφαρμόζεται ο τύπος του σφαιρικού γειωτή με $D=1,57 \cdot \sqrt[3]{V}$ Όπου εμφανίζεται το πάχος του αγωγού d αυτό είναι ίσο με $d=\sqrt{4 \frac{A}{\pi}}$, όπου A η διατομή του αγωγού.</p>				

Εικόνα 1.17 Τύποι για αντιστάσεις γειωτών (συνέχεια) [6]

1.8 Διάβρωση γειωτών[6,8]

Η διάβρωση που μπορεί να υποστεί ένα ηλεκτρόδιο γειώσεως στη γη είναι δύο ειδών:

1. Ιδιοδιάβρωση, όταν το μέταλλο υφίσταται την επίδραση μόνο του, λόγω του περιβάλλοντος του εδάφους και όχι άλλου μετάλλου γειώσεως.

Η βαθμιαία χημική διάβρωση πχ. οξείδωση που προκαλεί το έδαφος εξαρτάται από το βαθμό pH, την υγρασία και τον αερισμό του χώματος.

Διαπιστώθηκε ότι ηλεκτρόδια γειώσεως από γαλβανισμένο χάλυβα μέσα σε σκυρόδεμα πρακτικά δεν διαβρώνονται, έχουν αντέξει πάνω από 100 έτη χωρίς σοβαρές αλλοιώσεις.

Έχουμε όμως ηλεκτροχημική διάβρωση όταν ηλεκτρόδιο χάλυβα βρίσκεται σε διαφορετικό περιβάλλον πχ. εντός σκυροδέματος και μέσα σε χώμα. Αυτό

διότι ο χάλυβας στο σκυρόδεμα και στο χώμα έχει διαφορετικό δυναμικό Έχουν παρατηρηθεί καταστρεπτικές διαβρώσεις γειωτών στο έδαφος που ήταν βραχυκυκλωμένοι με γειωτές σε σκυρόδεμα.

2. Διάβρωση επαφής ή ηλεκτροχημική διάβρωση ή ηλεκτρολυτική διάβρωση

Όταν δυο μέταλλα είναι ενταφιασμένα σε αγώγιμο περιβάλλον και ενωμένα μεταξύ τους. Κάθε μέταλλο αναπτύσσει ένα ηλεκτροχημικό δυναμικό, μια τάση μεταξύ αυτού και της άπειρης γη, που εξαρτάται από το μέταλλο και το περιβάλλον έδαφος.

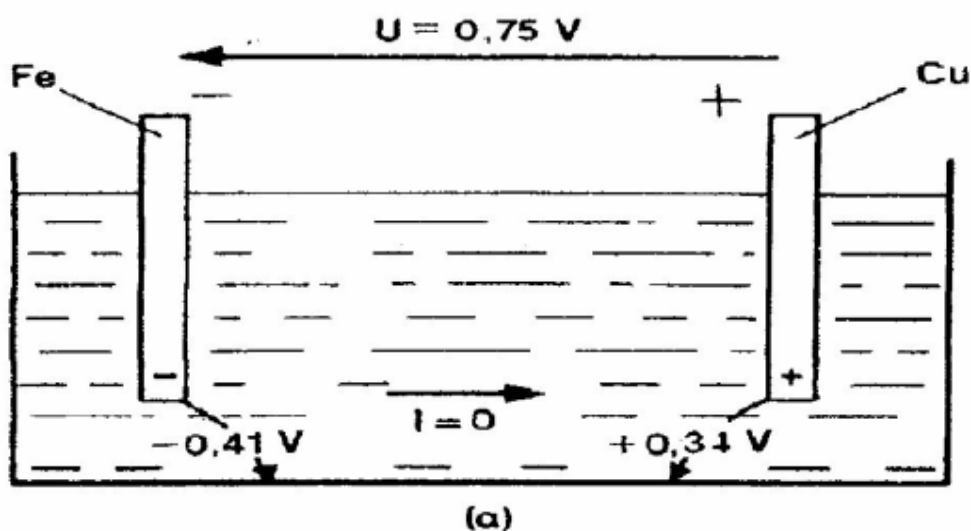
Αν ενωθούν δυο μέταλλα και υπάρχει διαφορά στην ηλεκτροχημική τους τάση, τότε ρέει ένα ρεύμα ιόντων μετάλλου του γειωτή μέσα στο έδαφος από το αρνητικό στο θετικό ηλεκτρόδιο. Στη γραμμική σύνδεση το ρεύμα είναι από το θετικό προς το αρνητικό πόλο.

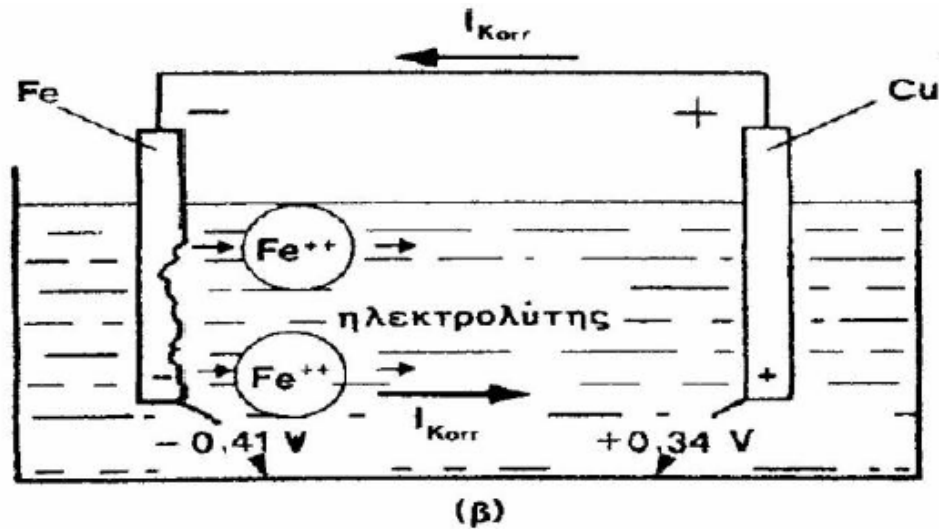
Έτσι αφαιρείται μέταλλο από τον ηλεκτροαρνητικό γειωτή ή τον πλέον ηλεκτροαρνητικό γειωτή. Ακόμα και αν δεν έχουμε σύνδεση των δυο γειωτών μέσω αγωγού, υπάρχει πάντα μια ασθενής σύνδεση μέσω του εδάφους, που προκαλεί καταστροφή του πλέον ηλεκτροαρνητικού γειωτή.

Συνεπώς, ηλεκτροχημική διάβρωση επαφής έχουμε στις περιπτώσεις:

- Όταν υπάρχει βραχυκύκλωμα μεταξύ δυο γειωτών
- Όταν έχουμε ίδια μέταλλα σε διαφορετικό περιβάλλον, πχ σίδηρος σε σκυρόδεμα και έδαφος
- Όταν έχουμε διαφορετικά μέταλλα, π.χ. χαλκός και σίδηρος

Επομένως πρέπει να αποφεύγεται ο παραλληλισμός ηλεκτροδίων ανόμιων υλικών ή ιδίων υλικών αλλά σε διαφορετικά περιβάλλοντα εδάφους.





Εικόνα 1.18 α) Αν δεν υπάρχει σύνδεση σιδήρου-χαλκού, τότε δεν έχουμε διάβρωση λόγω ρεύματος[6]
 β) Αν έχουμε σύνδεση, έχουμε ρεύμα και διαβρώνεται το περισσότερο ηλεκτροαρνητικό ηλεκτρόδιο[6]

1.9 Θεμελιακή γείωση [6,8,10]

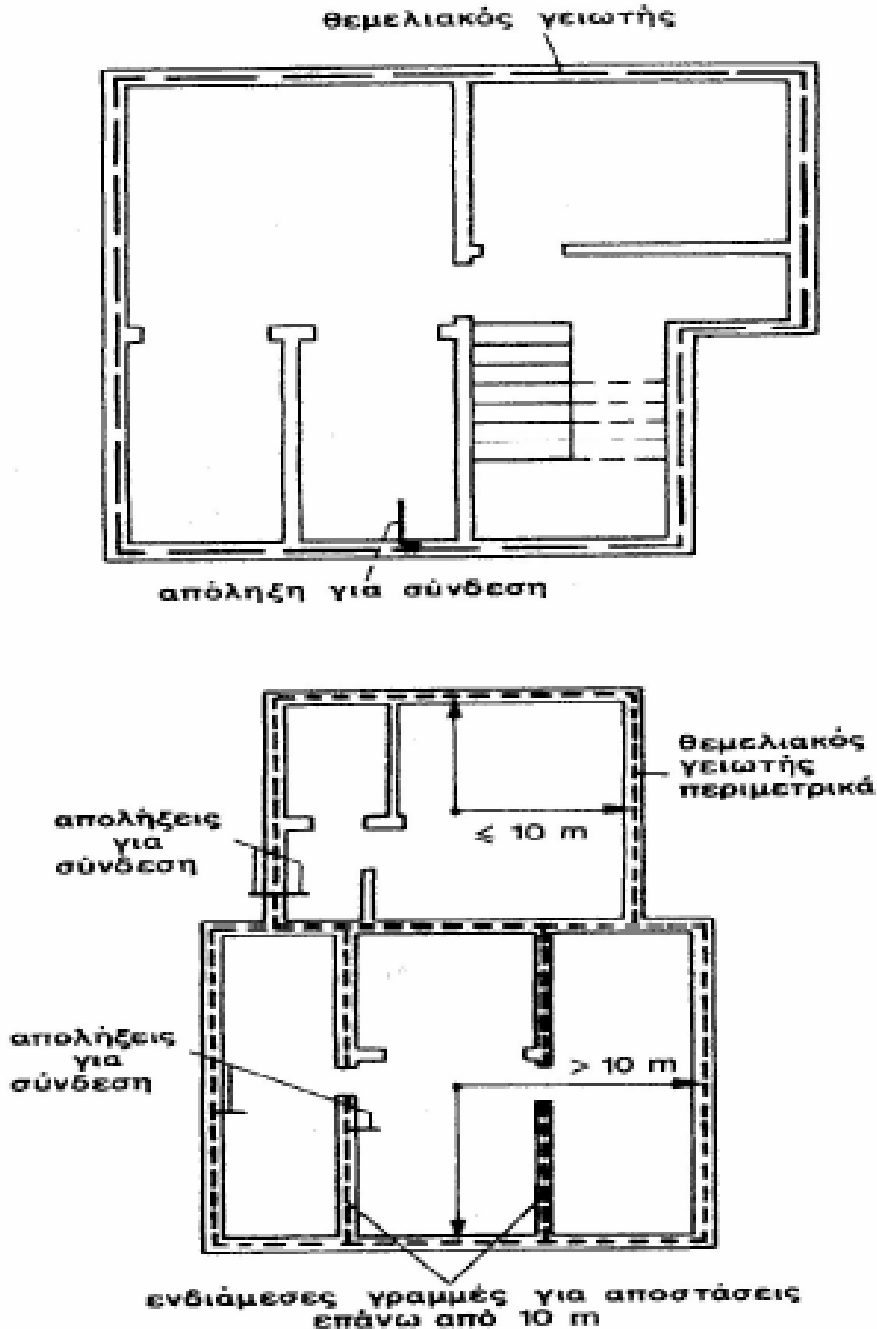
Η θεμελιακή γείωση είναι ένας γειωτής ταινίας που τοποθετείται στο κάτω μέρος των θεμελίων των κτιρίων, μέσα σε σκυρόδεμα. Η τοποθέτηση γίνεται στη βάση των εξωτερικών τοίχων και είναι ένας κλειστός βρόχος, όπως μπορούμε να δούμε στην παρακάτω εικόνα. Επειδή το έδαφος και το σκυρόδεμα των θεμελίων είναι υγρό όλο το έτος συνήθως, ο θεμελιακός γειωτής έχει σχετικά χαμηλή αντίσταση γείωσης. Τιμές των 2 Ω ή μικρότερες δεν είναι σπάνιες, ενώ σε συνήθειες πασαλογειωτές έχουμε περί τα 30 Ω. Η θεμελιακή γείωση όπως λέει και το όνομά της κατασκευάζεται στα θεμέλια του κτιρίου και κυρίως στις περιμετρικές πεδιλοδοκούς. Για αυτόν τον λόγο ο σχεδιασμός της πρέπει να γίνεται πριν αρχίσουν οι οικοδομικές εργασίες, ενώ κατασκευάζεται παράλληλα με αυτές.

Η Ελληνική Πολιτεία επέλεξε και κατέστησε υποχρεωτική την θεμελιακή γείωση βάσει του άρθρου 2 της Υ.Α. Αριθ. Φ. 7.5/1816/88 του ΦΕΚ 470 Β' /5-3-2004, όπου λέει: “ Η θεμελιακή γείωση, όπως αυτή αναφέρεται στο νέο Πρότυπο (ΕΛΟΤ HD 384) πρέπει να εφαρμόζεται ως βασική γείωση προστασίας και λειτουργίας, όπου αυτό απαιτείται, σε όλες τις νέες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Σε περίπτωση που οι απαιτήσεις γείωσης δεν καλύπτονται από τη θεμελιακή γείωση, τότε μπορούν να χρησιμοποιούνται, συμπληρωματικά, και άλλες μέθοδοι γείωσης, όπως αν αναφέρονται στο πρότυπο”.

Το Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 δημιουργεί τις σύγχρονες προδιαγραφές που πρέπει να εφαρμόζονται ώστε να έχουμε ασφαλέστερες και καλύτερες σύγχρονες εγκαταστάσεις. Ορίζει ότι σε κάθε κτίριο πρέπει να γίνεται μία κύρια ισοδυναμική σύνδεση και ότι όλα τα εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη της ηλεκτρικής εγκατάστασης πρέπει να συνδέονται, μέσω αγωγών προστασίας με τη θεμελιακή γείωση.

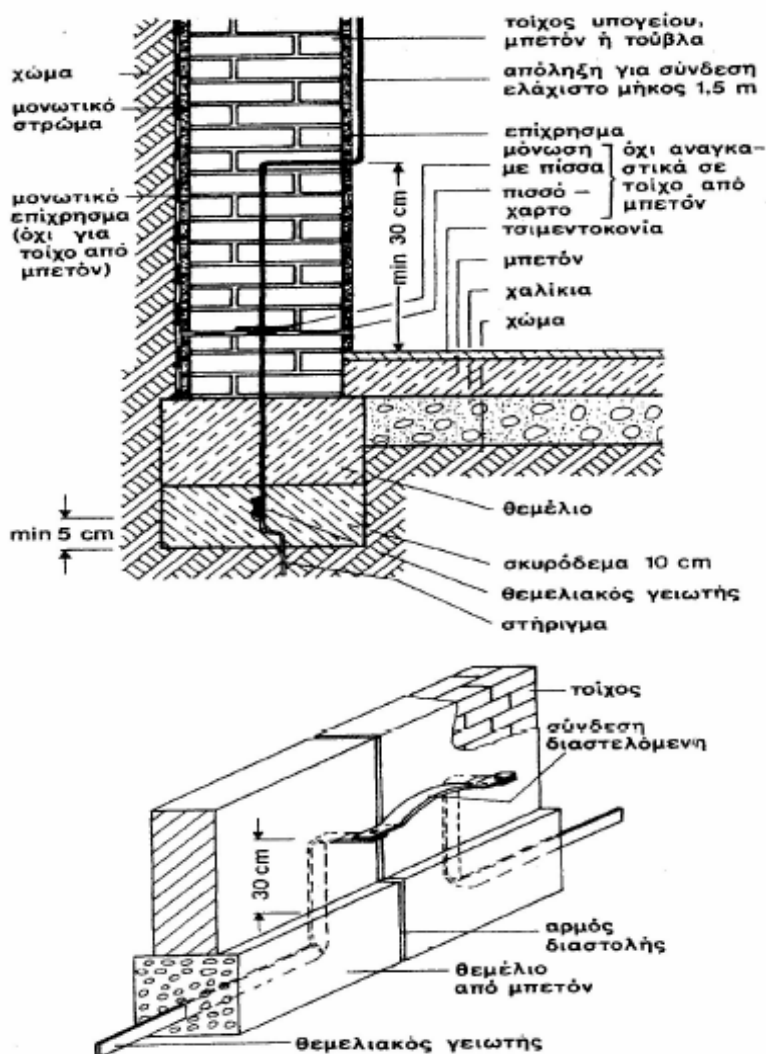
Ο αγωγός που χρησιμοποιείται στην θεμελιακή γείωση είναι ταινία γαλβανισμένου χάλυβα ελάχιστων διαστάσεων 30 mm x 3,5 mm ή 25 mm x 4 mm. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί βέργα γαλβανισμένου χάλυβα ελάχιστης διαμέτρου 10 mm.[6]

Το χαλύβδινο ηλεκτρόδιο τοποθετείται στο περιμετρικό θεμέλιο του κτιρίου. Σε περιπτώσεις που υπάρχει μόνωση κατά της υγρασίας, πρέπει το ηλεκτρόδιο να τοποθετηθεί προς την πλευρά του εδάφους. Για μεγάλες διαστάσεις κτιρίων (> 10 m) , συνιστώνται και εγκάρσιες απολήξεις του περιμετρικού γειωτή, όπως μπορούμε να δούμε στο σχήμα παρακάτω. Με αποτέλεσμα να μην υπάρχει κανένα σημείο να μην απέχει πάνω από 10 m από τον γειωτή.



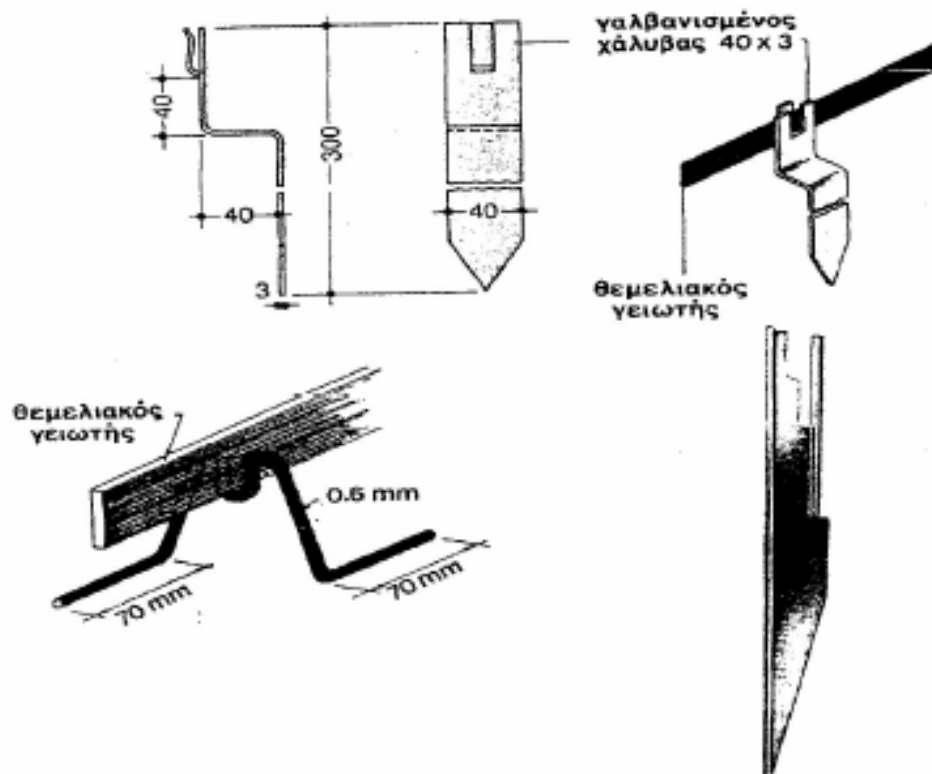
Εικόνα 1.19 Θεμελιακές γειώσεις. Δείχνονται δυο κατόψεις χωρίς και με ενδιάμεση σύνδεση[6]

Ο γειωτής πρέπει να περιβάλλεται παντού από δονημένο σκυρόδεμα. Τοποθετείται σε ένα στρώμα πάχους τουλάχιστον 5 cm (συνήθως 6-10 cm), γιατί αλλιώς θα υποστεί διάβρωση. Μετά από την εκσκαφή των θεμελίων κατασκευάζεται μια στρώση από σκυρόδεμα πάχους 6-10 cm. Εκεί μέσα τοποθετείται ή μια ταινία με την πλατιά της πλευρά όρθια ή μια χαλύβδινη βέργα κυκλικής διατομής. Αν τοποθετηθεί ταινία η όρθια τοποθέτηση της διευκολύνει τον τρόπο εγκατάστασης της, αφού έτσι λυγίζει καλύτερα στις γωνίες του κτηρίου. Στην συνέχεια τοποθετείται ο οπλισμός των θεμελίων και χύνεται όλο το θεμέλιο. Το σκυρόδεμα πρέπει να είναι αντοχής B225 ή περιεκτικότητας 300 kg τσιμέντου ανά m³. Οι απολήξεις του γειωτή έχουν την ίδια διατομή με το ηλεκτρόδιο γειωτή. Το μήκος τους είναι 1,5m κατά VDE 0100 και τοποθετούνται στον τοίχο του κτιρίου εσωτερικά. Η απόληξη στην έξοδο της από τον τοίχο απέχει στο κάτω μέρος της 30 cm από το έδαφος . Η σύνδεση με την υπόλοιπη εγκατάσταση γίνεται με χάλκινο αγωγό διατομής 16 mm² ή καλύτερα 25 mm². Σε περίπτωση αρμού διαστολής τοποθετείται διαστελλόμενη σύνδεση εκτός των θεμελίων. Στα παρακάτω σχήματα μπορούμε να δούμε αυτές τις λεπτομέρειες για την θεμελιακή γείωση



Εικόνα 1.20 Λεπτομέρειες θεμελιακής γείωσης [6]

Όπως αναφέραμε προηγουμένως, η γείωση ταινίας τοποθετείται όρθια. Επομένως χρειάζονται ειδικά στηρίγματα όπως μπορούμε να δούμε παρακάτω



Εικόνα 1.21 Στηρίγματα θεμελιακής γείωσης[6]

Για τον υπολογισμό της αντίστασης του θεμελιακού γειωτή χρησιμοποιείται ο τύπος του γειωτή ταινίας ή προσεγγιστικά ο τύπος του θεμελιακού γειωτή. Αυτός παίρνει τον γειωτή σαν κυκλικό γειωτή διαμέτρου D , επιφάνειας ίσης με το εμβαδόν κάτοψης των θεμελίων. Σαν αντίσταση εδάφους θα χρησιμοποιηθεί, κατά VDE 0141 ή DIN 57141, η ειδική ηλεκτρική αντίσταση όχι του σκυροδέματος αλλά του περιβάλλοντος εδάφους.

Ιδιότητες της θεμελιακής γείωσης

Η θεμελιακή γείωση έχει όλες τις ιδιότητες μιας ιδανικής γείωσης καθώς συνδέεται ηλεκτρικά με τον οπλισμό του κτιρίου αποκτώντας τιμή αντίστασης σχεδόν πάντοτε μικρότερη από την τιμή οποιουδήποτε άλλου τύπου γείωσης. Η ύπαρξη και η συνεχής λειτουργία της θεμελιακής γείωσης είναι εγγυημένη όσο και η ύπαρξη του κτιρίου, παρουσιάζοντας παράλληλα τα εξής πλεονεκτήματα:

1. Έχει σχεδόν πάντοτε χαμηλή τιμή αντίστασης, μικρότερη από οποιοδήποτε άλλο τύπο γείωσης, αποκτώντας έτσι όλες τις ιδιότητες μιας ιδανικής γείωσης. Λόγω του ότι συνδέεται ηλεκτρικά με τον οπλισμό του κτιρίου προστίθεται στο όλο μήκος της το συνολικό μήκος του οπλισμού και διότι εγκαθίσταται σε σχετικά μεγάλο βάθος όπου η συγκέντρωση υγρασίας στο υπέδαφος είναι μεγαλύτερη έχει τέτοιες μικρές τιμές.
2. Παρουσιάζει σταθερή τιμή αντίστασης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους διότι λόγω του βάθους που εγκαθίσταται η συγκέντρωση υγρασίας του υπεδάφους στις διάφορες εποχές του έτους είναι σχεδόν σταθερή.

3. Παρέχει πλήρη μηχανική προστασία από και μακροχρόνια αντοχή σε διάβρωση όσο με εκείνη του οπλισμού του κτιρίου χάρις τον εγκιβωτισμό της μέσα στο παχύ σκυρόδεμα της θεμελίωσης της.
4. Ελαχιστοποίηση των τιμών που έχουν οι τυχόν βηματικές τάσεις που αναπτύσσονται εκτός του κτιρίου χωρίς την ανάγκη λήψης πρόσθετων μέτρων που απαιτούν οι άλλες μορφές γειώσεων, ενώ στο εσωτερικό η εξάλειψη τους είναι πλήρης λόγω της διασύνδεσης της με τον οπλισμό.
5. Δημιουργία ισοδυναμικών επιφανειών οι οποίες δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη επικίνδυνων τάσεων. Η έκτασή της στη θεμελίωση του κτιρίου περιμετρικά και εγκάρσια, καθιστούν την προστασία από τάσεις επαφής εύκολη υπόθεση.
6. Είναι πιο ευέλικτη σε σχέση με άλλους τύπους γειώσεων καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί παράλληλα και για γείωση Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ) μειώνοντας σημαντικά το κόστος της σε μελλοντική εγκατάσταση της.
7. Είναι εύκολη η πρόβλεψη αναμονών για την πραγματοποίηση ισοδυναμικών συνδέσεων και είναι δυνατή η σύνδεση της με πρόσθετα ηλεκτρόδια γείωσης για τυχόν ανάγκες βελτίωσης.
8. Το κόστος είναι χαμηλότερο από εκείνο άλλων τύπων γειώσεων που παρέχουν το ίδιο αποτέλεσμα με τη θεμελιακή γείωση, χωρίς να ληφθεί υπόψη η παράμετρος της διαχρονικότητας της. Για την εγκατάστασή της δεν απαιτείται ιδιαίτερος χώρος ούτε επιπλέον χωματουργικές εργασίες όπως απαιτείται σε άλλους τύπους γειώσεων.

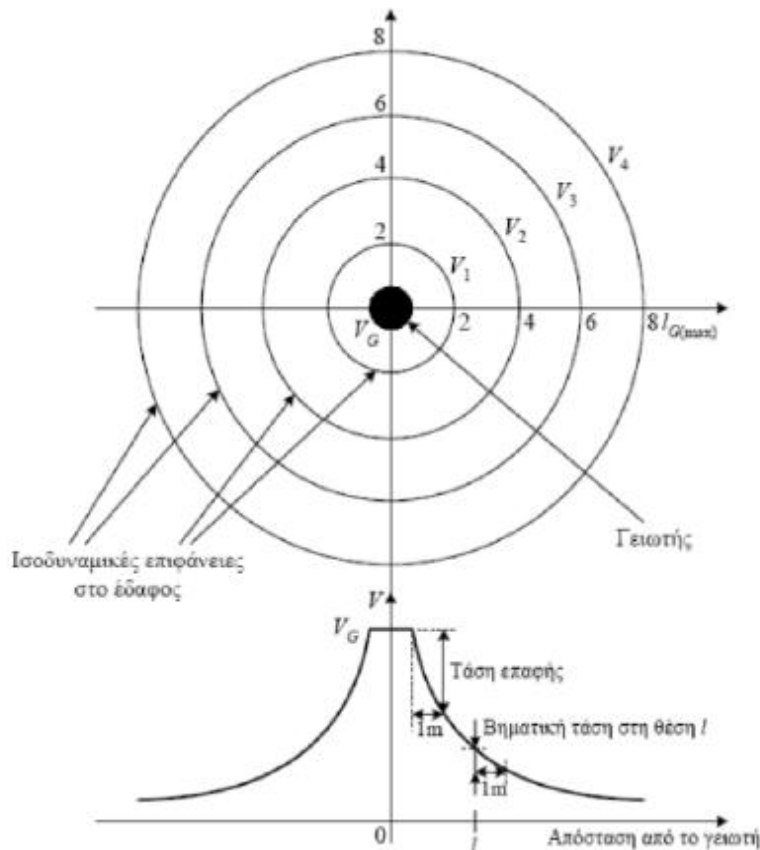
1.10 Αντίσταση γείωσης [6]

Αντίσταση γείωσης είναι η αντίσταση από το ηλεκτρόδιο γείωσης μέχρι την άπειρη γη, όταν δεν υπάρχουν άλλα ηλεκτρόδια στο έδαφος. Όπως έχουμε αναφέρει *άπειρη γη* είναι ένα σημείο στην επιφάνεια σε άπειρη απόσταση από τον γειωτή, το οποίο λαμβάνεται σαν σημείο αναφοράς των δυναμικών και λέμε ότι η τάση της άπειρης γης είναι μηδέν.

1.10.1 Χοάνη δυναμικού

Αν ένας γειωτής τεθεί υπό τάση U (100%) ως προς την άπειρη γη, δημιουργείται ένα πεδίο ροής και δυναμικού γύρω από τον γειωτή. Όσο περισσότερο απομακρυνόμαστε από τον γειωτή, τόσο μειώνεται η τάση. Το διάγραμμα τάσης-απόστασης ονομάζεται *χοάνη δυναμικού του γειωτή*, το βλέπουμε παρακάτω στο **Σχήμα 1.22**. Από την χοάνη δυναμικού μπορεί κανείς να διαπιστώσει την τάση επαφής και την βηματική τάση. Η τάση επαφής είναι ίση με την πτώση τάσης σε απόσταση 1m από τον γειωτή. Η βηματική τάση είναι η μέγιστη πτώση τάσης σε

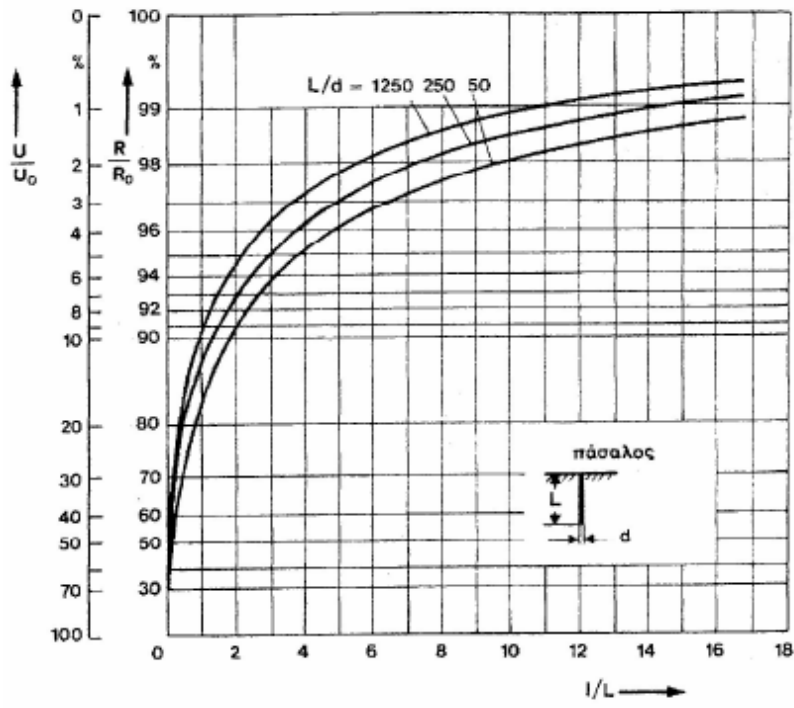
μήκος 1m κατά μήκος του πεδίου ροής του ρεύματος, στην περιοχή του εδάφους που μας ενδιαφέρει.



Εικόνα 1.22 Χοάνη δυναμικού ενός γειωτή[6]

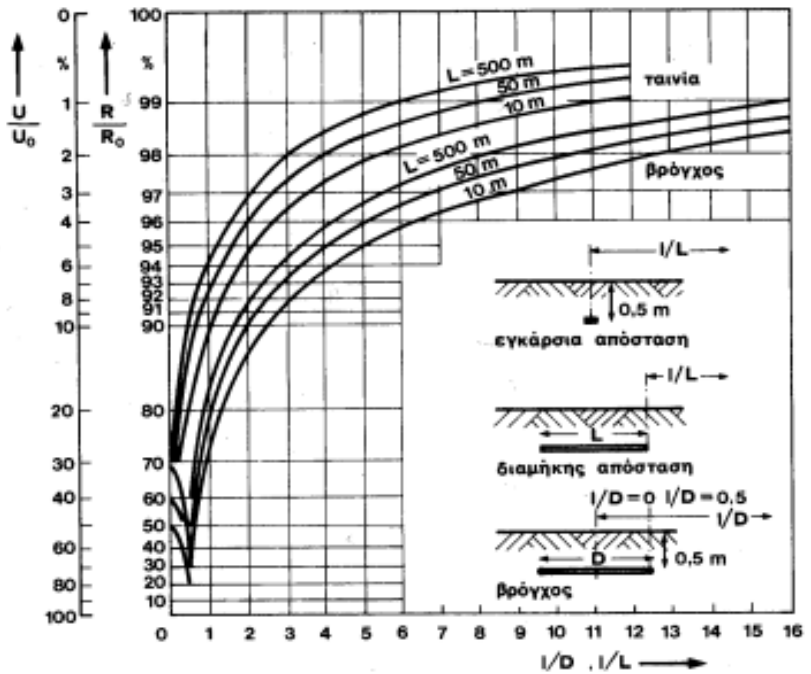
Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η χοάνη δυναμικού δεν εξαρτάται από την ειδική αντίσταση του εδάφους, εφόσον φυσικά το έδαφος είναι ομοιογενές. Εξαρτάται μόνο από τη γεωμετρία του γειωτή.

Με χρήση της χοάνης δυναμικού μπορούμε να βρούμε την περιοχή επίδρασης του γειωτή ή την απόσταση της άπειρης γης. Η χοάνη δυναμικού χρησιμοποιείται επίσης για να εκτιμήσουμε το σφάλμα στη μέτρηση της αντίστασης των γειωτών. Παραδείγματος χάριν, έστω γειωτής με 60 mm διάμετρο και 3 m βάθος. Αν θέσουμε σαν αμελητέα τάση το 5% της τάσης του γειωτή, τότε με την βοήθεια του Σχήματος βλέπουμε ότι η τάση αυτή αντιστοιχεί σε απόσταση 4πλάσια από το βάθος του γειωτή. Η άπειρη γη είναι $3 \times 4 = 12$ m μακριά από το γειωτή δηλαδή το πεδίο επιρροής του γειωτή είναι κύκλος με ακτίνα 12 m. Επίσης αν μετρηθεί η αντίσταση στον παραπάνω γειωτή από το ηλεκτρόδιο μέχρι και 12 m μακριά, τότε η μετρούμενη αντίσταση είναι το 95% της πραγματικής.



Εικόνα 1.23 Χοάνες δυναμικού για πασαλογειωτές [6]

I = απόσταση από τον πάσαλο, R_0 = αντίσταση γείωσης (I τείνει στο άπειρο)
 R = αντίσταση που μετρούμε σε απόσταση πάνω από το έδαφος U , U_0 = τάση σε απόσταση I και σε απόσταση $I=0$.

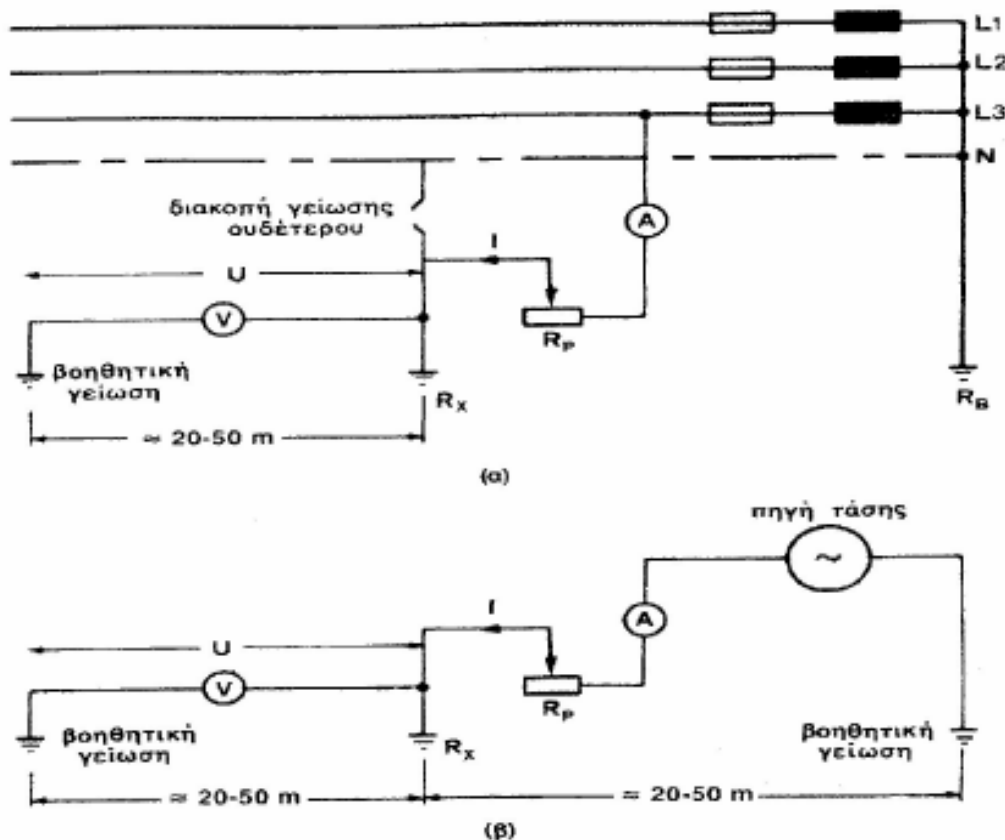


Εικόνα 1.24 Χοάνες δυναμικού για γειωτές ταινίας και βρόχου [6]

1.10.2 Μέτρηση της αντίστασης γείωσης [6]

Η μέτρηση μπορεί να γίνει με δυο τρόπους, μέσω τάσης και έντασης ή με γέφυρα που ονομάζεται γειωσόμετρο. Ωστόσο, δεν υπάρχει συνήθως γη χωρίς παρασιτικά ρεύματα τα οποία επιδρούν στην μέτρηση. Μια λύση για να εκτιμηθεί η παραπάνω επίδραση είναι να μετρηθεί τόσο με την τάση της πηγής που έχει προβλεφθεί για τη μέτρηση όσο και με μηδενική τάση.

Με την μέθοδο της τάσης και έντασης, διοχετεύουμε εναλλασσόμενο ρεύμα στη γη μέσω του άγνωστου γειωτή και μετράμε την πτώση τάσης στο γειωτή. Μια φάση του γειωμένου δικτύου ενώνεται μέσω μια ρυθμιζόμενης αντίστασης 20...100 Ω με το γειωτή. Η ένταση του ρεύματος ρυθμίζεται με την αντίσταση. Η τάση του γειωτή ως προς την άπειρη γη μετριέται με ένα βολτόμετρο. Χρειαζόμαστε για αυτό ένα βοηθητικό ηλεκτρόδιο με δυναμικό την <<άπειρη γη >>. Αυτό είναι ένας γειωτής ράβδου π.χ. ένας πάσαλος καρφωμένος στο έδαφος σε 0,5 m βάθος περίπου, και σε απόσταση 20-50 m μακριά από το γειωτή. Για να γίνει η μέτρηση της τάσης με ικανοποιητική ακρίβεια πρέπει η αντίσταση του βολτομέτρου να είναι τουλάχιστον 50-100 φορές μεγαλύτερη από την αντίσταση του βοηθητικού γειωτή, που είναι περίπου 50-100 Ω. Η τάση του γειωτή πρέπει να είναι κάτω των 50 V, για λόγους προστασίας. Τη μέθοδο τάσης και έντασης την βλέπουμε και στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 1.25 Μέτρηση της αντίστασης γείωσης με τη μέθοδο τάσης-έντασης.[6]

- α) Η τάση προέρχεται από το δίκτυο.
- β) Η τάση προέρχεται από ιδιαίτερη πηγή.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι το ρεύμα γης ανυψώνει το δυναμικό του ουδέτερου και ενδεχομένως του αγωγού προστασίας της εγκατάστασης ως προς την άπειρη γη. Πρέπει να διακοπεί κατά την μέτρηση η σύνδεση του αγωγού προστασίας με τον ουδέτερο. Αντί του δικτύου μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μια οποιαδήποτε άλλη βοηθητική πηγή. Αυτή πρέπει όμως να είναι γειωμένη στο ένα της άκρο.

Η άλλη μέθοδος για την μέτρηση της αντίστασης είναι με γέφυρα. Στην οποία χρησιμοποιείται μια πηγή τάσης 50-500 V και συχνότητας 70-140 Hz. Αυτή γειώνεται μέσω ενός βοηθητικού πασάλου σε βάθος 0,30-0,50 m. Το άλλο άκρο της πηγής οδηγείται στο γειωτή με την άγνωστη αντίσταση. Ένας μετασχηματιστής ρεύματος με λόγο π.χ. 1: n χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει μια γέφυρα.

Το όργανο μηδενισμού συνδέεται με βοηθητικό ηλεκτρόδιο γείωσης. Μηδενίζοντας το ρεύμα στο όργανο έχουμε :

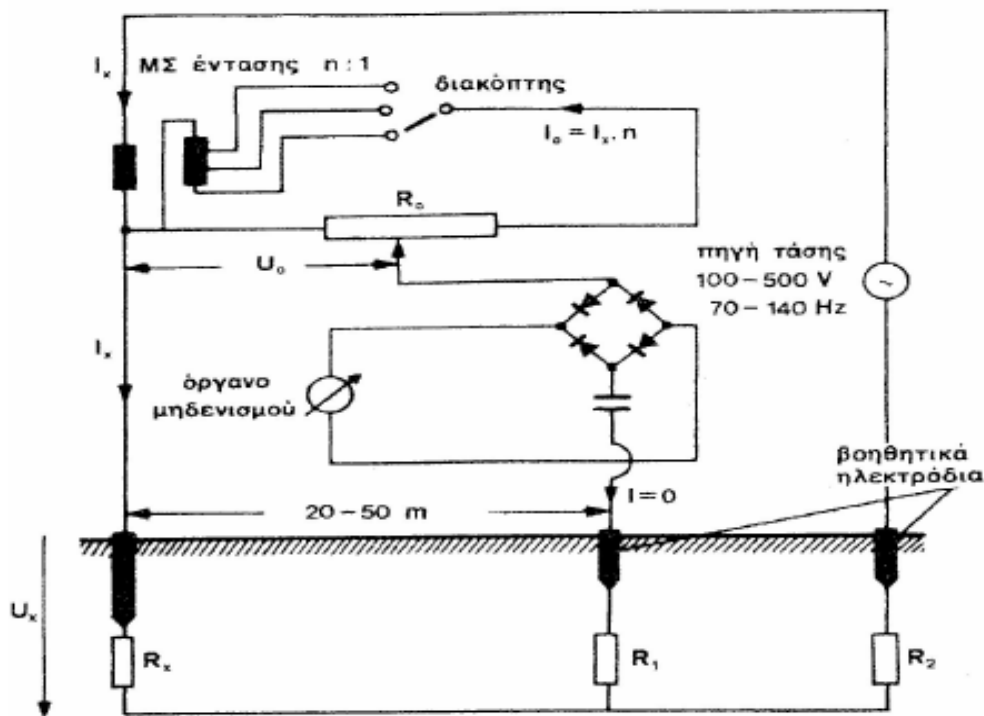
$$U_x = U_o$$

$$R_x \cdot I_x = R_o \cdot I_o$$

Και επειδή $I_o = n \cdot I_x$

Έχουμε $R_x = n \cdot R_o$

Το όργανο μηδενισμού έχει πυκνωτή για την αποφυγή της επίδρασης της συνεχούς συνιστώσας. Το ρεύμα που περνά από την αντίσταση είναι της τάξης μεγέθους 10 mA.



Εικόνα 1.26 Μέτρηση αντίστασης γείωσης με γέφυρα [6]

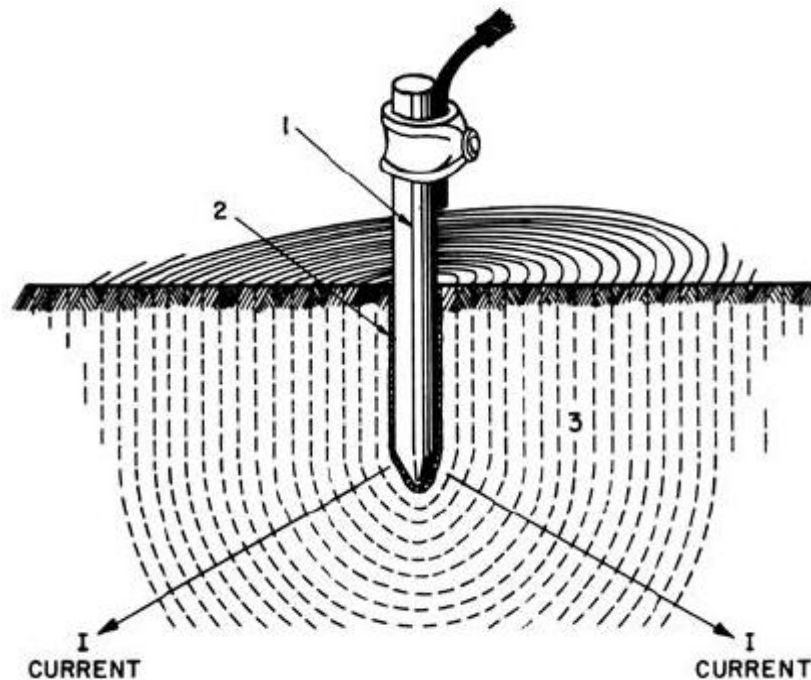
Κεφάλαιο 2

Ειδική αντίσταση εδάφους

2.1 Η φύση μιας ηλεκτρικής γείωσης

Η αντίσταση που θα παρουσιάζει στο ρεύμα ένα ηλεκτρόδιο γείωσης αποτελείται από τρεις συνιστώσες, τις οποίες βλέπουμε παρακάτω στο σχήμα :

1. Η αντίσταση του ηλεκτροδίου και των συνδέσεων που έχει
2. Η αντίσταση επαφής μεταξύ του ηλεκτροδίου και του εδάφους
3. Η αντίσταση του εδάφους που περιβάλλει το ηλεκτρόδιο



Εικόνα 2.1 Τα μέρη μιας γείωσης ενός ηλεκτροδίου γείωσης.[4]

Αντίσταση ηλεκτροδίου : Ράβδοι, σωλήνες και κομμάτια από μεταλλικές κατασκευές χρησιμοποιούνται συχνά στις συνδέσεις του συστήματος γείωσης με την γη, οι οποίες έχουν συνήθως επαρκή μέγεθος και διατομή και οι αντίστασή τους είναι αμελητέο μέρος της συνολικής αντιστάσεως.

Αντίσταση επαφής ηλεκτροδίου και γης : Αν το ηλεκτρόδιο δεν έχει πάνω του μπογιά ή γράσο και είναι σε στενή επαφή με το έδαφος, τότε η αντίστασή είναι αμελητέα. Η σκουριά σε ένα σιδερένιο ηλεκτρόδιο έχει μικρή ή και καθόλου επίδραση.

Αντίσταση του περιβάλλοντος εδάφους : Ένα ηλεκτρόδιο εμβαπτισμένο μέσα στο έδαφος με ομοιόμορφη αντίσταση ακτινοβολεί ρεύμα προς όλες τις κατευθύνσεις. Ουσιαστικά το ηλεκτρόδιο περιβάλλεται από κελύφη γης ίδιου

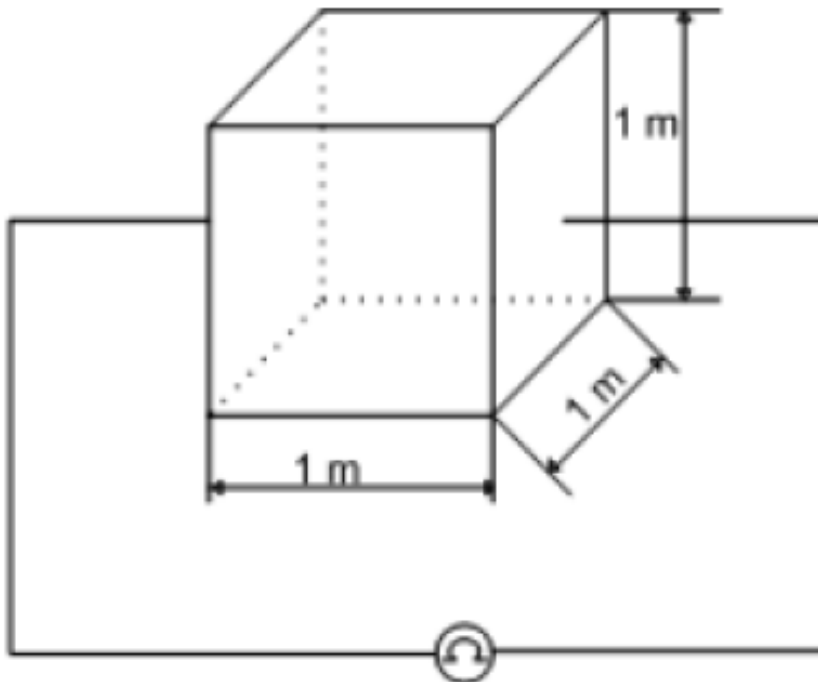
πάχους, όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα. Τα στρώματα τα πιο κοντινά στο ηλεκτρόδιο έχουν μικρότερη επιφάνεια, επομένως έχουν και μεγαλύτερη αντίσταση. Το επόμενο στρώμα έχει μικρότερη αντίσταση από το προηγούμενο. Τελικά, θα υπάρξει μια απόσταση από το ηλεκτρόδιο όπου το επιπλέον στρώμα εδάφους δεν θα έχει επίδραση στην αντίσταση.

Η αντίσταση του εδάφους είναι το μεγαλύτερο μέρος από τις τρεις συνιστώσες της αντίστασης γείωσης. Η αντίσταση του εδάφους δεν έχει καθόλου σταθερό μέγεθος και είναι δύσκολο να προβλεφθεί καθώς η τιμή της έχει πολλές διακυμάνσεις. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αντίσταση του εδάφους θα σχολιασθούν αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο.

2.2 Ειδική αντίσταση εδάφους

Οι ηλεκτρικές ιδιότητες του εδάφους και κυρίως η ειδική αντίσταση (ρ) αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για την τιμή της αντίστασης γείωσης. Επομένως, για να σχεδιαστεί ένα αποτελεσματικό σύστημα γείωσης, είναι απαραίτητη η μελέτη της ειδικής αντίστασης του εδάφους για την επιλογή του καταλληλότερου και οικονομικότερου εξοπλισμού εγκατάστασης.

Η ειδική αντίσταση του εδάφους ορίζεται ως η αντίσταση του υλικού του εδάφους που παρουσιάζει ένας μοναδιαίος κύβος ($1 \times 1 \times 1 \text{ m}^3$), όταν τοποθετηθούν επίπεδα ηλεκτρόδια σε δύο απέναντι πλευρές του, μεταξύ των οποίων εφαρμόζεται διαφορά δυναμικού U , όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.2 Ειδική αντίσταση εδάφους

2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ειδική αντίσταση

Η αντίσταση του εδάφους είναι ο βασικός παράγοντας που θα καθορίσει ποια θα είναι η αντίσταση του ηλεκτροδίου γείωσης και σε ποιο βάθος θα πρέπει να εγκατασταθεί έτσι ώστε να εξασφαλίσουμε την μικρότερη δυνατή αντίσταση. Η πυκνότητα και η σύσταση του εδάφους διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην τιμή της ειδικής αντίστασης του εδάφους. Η τιμή αυτή διαφέρει, ποικίλει ανάλογα με το είδος του εδάφους που μπορεί να είναι αργιλώδες, αμμώδες, βραχώδες, υγρό, ξηρό, ανομοιογενές κ.ά. Η ειδική του αντίσταση ρ μετριέται συνήθως σε Ωm . Επίσης η ειδική αντίσταση σε ανισότροπα εδάφη διαφέρει γύρω από το ηλεκτρόδιο γείωσης και είναι μη-γραμμική. Η υγρασία του εδάφους, εμπλουτισμένη με διάφορα φυσικά συστατικά, μπορεί να αποτελέσει έναν αγωγίμο ηλεκτρολύτη και να συμβάλει έτσι σε σημαντική μείωση της αντίστασης του εδάφους. Τα συστατικά αυτά μπορεί να είναι χλωριούχο νάτριο (NaCl), θεικό μαγνήσιο (MgSO_4), θεικός χαλκός (CuSO_4), ή χλωριούχο ασβέστιο (CaCl_2). Για την απόκτηση μιας ενδεικτικής εικόνας για το πόσο επηρεάζει η υγρασία την ειδική αντίσταση, αναφέρεται ότι σε ένα αργιλώδες έδαφος με 10% περιεχόμενο υγρασίας (κατά βάρος), η ειδική αντίσταση βρέθηκε 30 φορές μεγαλύτερη από την περίπτωση όπου το περιεχόμενο του ίδιου εδάφους σε υγρασία ήταν 20%. Ένας άλλος παράγοντας που προκαλεί διακύμανση στην τιμή της ειδικής αντίστασης του εδάφους, είναι οι εποχιακές θερμοκρασιακές μεταβολές και συγκεκριμένα σε περιοχές όπου σημειώνεται παγετός. Γι' αυτό συνήθίζεται να θάβονται σε μεγάλο βάθος τα ηλεκτρόδια γείωσης, ούτως ώστε να ελαχιστοποιείται η επίδραση των παραπάνω διακυμάνσεων στην αποτελεσματικότητα της γείωσης.

Οι παράγοντες λοιπόν που επηρεάζουν την ειδική αντίσταση του εδάφους είναι :

1) Το είδος του εδάφους:

Το είδος του εδάφους είναι καθοριστικός παράγοντας διαμόρφωσης της τιμής της ειδικής αντίστασης του εδάφους. Σε πολλές τοποθεσίες το έδαφος μπορεί να είναι ομογενές , ενώ σε άλλες να αποτελεί μίγμα από διαφορετικούς τύπους εδάφους σε διάφορες αναλογίες. Για αυτόν τον λόγο δεν είναι δυνατό να ορισθούν καθαρά οι τύποι του εδάφους, καθώς για ίδιους γενικούς τύπους εδάφους η τιμή της ειδικής αντίστασης μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την περιοχή. Για παράδειγμα, με τη λέξη αργιλώδη, μπορεί να καλυφθεί ένα ευρύ φάσμα εδαφών. Ένας αριθμός ερευνητών έχει μετρήσει κατά καιρούς την ειδική αντίσταση διαφορετικών τύπων εδάφους, είτε παίρνοντας δείγματα στο εργαστήριο, είτε επί τόπου. Στον Πίνακα 2.1 παρατίθενται οι προσεγγιστικές τιμές της ειδικής αντίστασης για διάφορους τύπους εδαφών.

Τύπος εδάφους	Ειδική αντίσταση εδάφους ρ ($\Omega\cdot\text{m}$)
Ελώδες έδαφος	30
Αργιλώδες, πηλώδες ή αγρού	100
Υγρή άμμος	200
Υγρά χαλίκια	500
Ξηρή άμμος	1000
Πετρώδες και ξηρά χαλίκια	3000

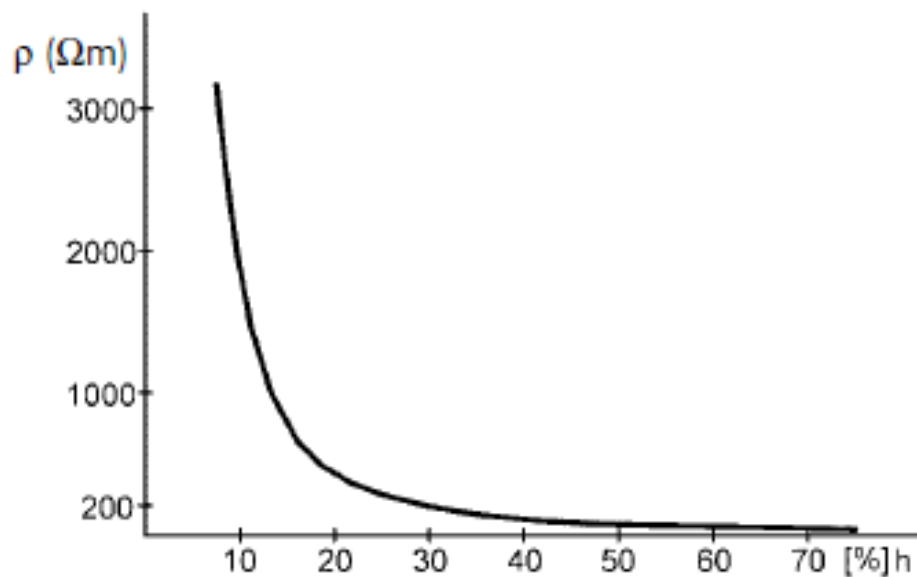
Πίνακας 2.1 Ειδικές αντιστάσεις εδαφών, ενδεικτικές μέσες τιμές κατά το άρθρο 27 των Κ.Ε.Η.Ε. [21]

2) Περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία

Η ειδική αντίσταση του εδάφους επηρεάζεται σημαντικά από την περιεκτικότητα σε υγρασία του εδάφους. Η αγωγιμότητα του ρεύματος είναι σε μεγάλο βαθμό ηλεκτρολυτική, γεγονός που σημαίνει ότι η ποσότητα του νερού και οι ιδιότητές του, καθώς και το ποσό των διαλυμένων σε αυτό αλάτων, παίζουν μεγάλο ρόλο στον καθορισμό της ειδικής αντίστασης. Η περιεκτικότητα σε νερό μεταβάλλεται ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες, την εποχή του χρόνου, τη φύση του υπεδάφους και το βάθος της υπόγειας στάθμης του νερού. Στον πίνακα παρακάτω καταγράφονται ενδεικτικές τιμές της μεταβολής της αντίστασης του εδάφους ανάλογα την περιεκτικότητα υγρασίας.

Περιεκτικότητα σε υγρασία (% κατά βάρος)	Ειδική αντίσταση σε Ωm Άνω στρώμα	Ειδική αντίσταση σε Ωm Κάτω στρώμα
0.0	10000×10^3	10000×10^3
2.5	2500	1500
5.0	1650	430
10.0	530	220
15.0	210	130
20.0	120	100
30.0	100	80

Πίνακας 2.2 Επίδραση της υγρασίας στην ειδική αντίσταση εδάφους[4]



Εικόνα 2.3 Αντίσταση του εδάφους συναρτήσει της υγρασίας [13]

Στο παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε την σχέση μεταξύ αντίστασης εδάφους και υγρασίας σε ένα αργιλώδες έδαφος. Παρατηρούμε ότι για τιμές υγρασίας μεγαλύτερες του 30% η αντίσταση αλλάζει ελάχιστα, ενώ για τιμές μικρότερες του 20% αλλάζει πολύ απότομα. Γενικά η αντίσταση μειώνεται αυξανόμενης της υγρασίας του εδάφους. Έχει παρατηρηθεί ότι το έδαφος ξηραίνεται επιφανειακά, αλλά σε βάθος κάτω του μισού μέτρου (0,5 m) διατηρείται συνήθως υγρό, σε όλες τις εποχές του έτους. Έτσι, σε γειωτές ράβδου πασσαλωμένους λαμβάνεται σαν ενεργό μήκος αυτό που είναι κάτω

από 0,5 m. Για τον ίδιο λόγο τοποθετούμε τους γειωτές ταινίας σε βάθη μεγαλύτερα από 0,5 m .

Επιπλέον, έχει μετρηθεί ότι η επίδραση της υγρασίας και της θερμοκρασίας στην ειδική αντίσταση του εδάφους είναι μεγαλύτερη σε μικρά βάθη (0,5-1 m). Έτσι, ο γειωτής ράβδου που φτάνει σε μεγάλο βάθος, σε σύγκριση με ένα επιφανειακό γειωτή, παρουσιάζει το πλεονέκτημα της σταθερότητας της αντίστασης κατά τη διάρκεια του έτους .

3) Τα διαλυμένα άλατα στο νερό

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως ,η αγωγιμότητα του ρεύματος είναι σε μεγάλο βαθμό ηλεκτρολυτική, γεγονός που σημαίνει ότι η ποσότητα του νερού και οι ιδιότητές του, καθώς και το ποσό των διαλυμένων σε αυτό αλάτων, παίζουν μεγάλο ρόλο στον καθορισμό της ειδικής αντίστασης. Ένα αρκετά μικρό ποσό διαλυμένων αλάτων είναι ικανό να μειώσει αξιοσημείωτα την ειδική αντίσταση σε σχέση με την τιμή που αυτή έχει όταν το νερό είναι απιονισμένο. Διαφορετικά είδη αλάτων επιδρούν με διαφορετικό τρόπο και , πιθανώς, αυτό εξηγεί γιατί η ειδική αντίσταση όμοιων εδαφών από διαφορετικές περιοχές παρουσιάζει σημαντικές διαφορές. Η ειδική αντίσταση μειώνεται όσο μεγαλύτερο είναι το περιεχόμενο σε άλατα.

Προστιθέμενα άλατα % (δια το βάρος υγρασίας)	Ειδική αντίσταση σε Ωm
0.0	107
0.1	18
1.0	4.6
5.0	1.9
10.0	1.3
20.0	1

Πίνακας 2.3 Επίδραση διαλυμένων αλάτων στο νερό [4]

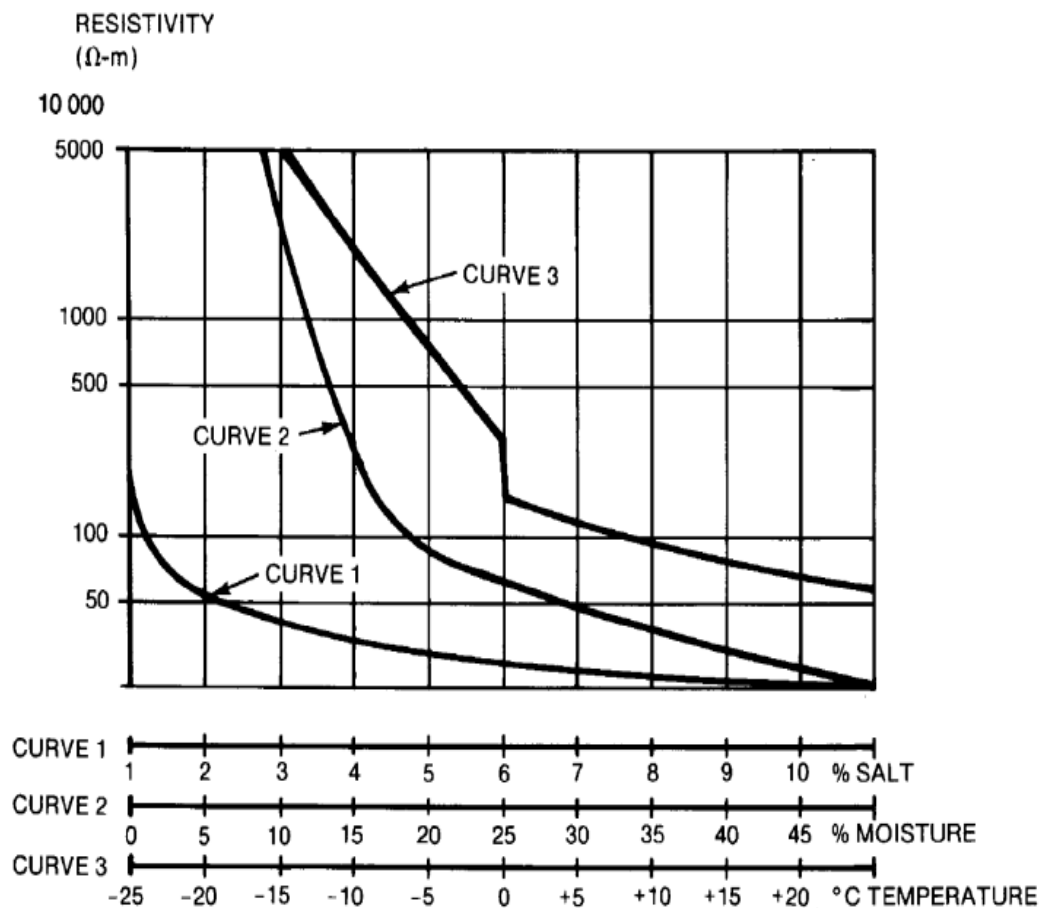
4) Θερμοκρασία

Η ειδική αντίσταση του εδάφους καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την παρουσία νερού. Όπως γνωρίζουμε το νερό έχει μεγάλο θερμοκρασιακό συντελεστή, επομένως η ειδική αντίσταση του εδάφους επηρεάζεται από την θερμοκρασία. Η ειδική αντίσταση μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Στον παρακάτω Πίνακα παρουσιάζεται η μεταβολή του ρ συναρτήσει της θερμοκρασίας.

Θερμοκρασία ($^{\circ}C$)	Ειδική αντίσταση (Ωm)
20	72
10	99
0 (νερό)	138
0 (πάγος)	300
-5	790
-15	3300

Πίνακας 2.4 Επίδραση θερμοκρασίας [4]

Παρατηρούμαι ότι για θερμοκρασίες μεγαλύτερες του μηδενός, η επίδραση είναι σχεδόν αμελητέα, ενώ για υπό του μηδενός θερμοκρασίες, καθώς παγώνει το νερό παρουσιάζεται ραγδαία αύξηση της ειδικής αντίστασης. Γενικά η μεταβολή της αντίστασης του εδάφους με τη θερμοκρασία φθάνει περίπου το 30% κατά τη διάρκεια του έτους. Ιανουάριο με Φεβρουάριο είναι υψηλότερη, ενώ Ιούλιο με Αύγουστο χαμηλότερη. Η αντίσταση μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Ένας τρόπος για να αντιμετωπιστεί αυτή η διακύμανση της αντίστασης είναι να τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια σε μεγάλο βάθος. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε σταθερότητα της αντίστασης κατά τη διάρκεια του έτους.



Εικόνα 2.4 Μεταβολή της ειδικής αντίστασης εδάφους συναρτήσει της περιεκτικότητας σε άλατα (CURVE 1), της υγρασίας (CURVE 2) και της θερμοκρασίας (CURVE 3). [4]

5) Μέγεθος κόκκων

Το μέγεθος των κόκκων, αλλά και η παρουσία κόκκων διαφορετικών μεγεθών, διαδραματίζει πολύ σπουδαίο ρόλο στη διαμόρφωση της τιμής της ειδικής αντίστασης τους εδάφους. Η ειδική αντίσταση μάλιστα φαίνεται να αυξάνεται αναλογικά με το μέγεθος των κόκκων.

Επίσης, το μέγεθος των κόκκων, αλλά και η κατανομή τους μέσα στο έδαφος, επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο κατακρατείται η υγρασία, αφού στην περίπτωση κόκκων μεγάλου μεγέθους η υγρασία κατακρατείται λόγω

της επιφανειακής τάσης. Στην περίπτωση που το μέγεθος των κόκκων ποικίλει, τα κενά που δημιουργούνται μεταξύ των μεγάλων σε μέγεθος κόκκων συμπληρώνονται από τους μικρότερους κόκκους και έτσι η ειδική αντίσταση του εδάφους μειώνεται.

6) Μορφή της τάσης

Σε κρουστικές τάσεις και για γειωτές με μήκος μεγαλύτερο από 10m, έχει παρατηρηθεί ότι μεγαλώνει η αντίσταση. Σε αρνητικές κρουστικές τάσεις 0,3/30μs, η αντίσταση θεμελιακού γειωτή ανέρχεται από 3Ω στα 26Ω. Η άνοδος της αντίστασης γίνεται στο μέτωπο τάσης. Η αντίσταση σε κρουστικές τάσεις χαρακτηρίζεται και σαν κρουστική αντίσταση.

7) Επίδραση της έντασης του πεδίου (voltage gradient)

Η ειδική αντίσταση του εδάφους δεν επηρεάζεται από την ένταση, εκτός εάν η τελευταία υπερβαίνει μια ορισμένη κρίσιμη τιμή. Η τιμή αυτή διαφέρει ανάλογα με το είδος του εδάφους, συνήθως όμως είναι της τάξης μερικών kV/cm. Σε περίπτωση που ξεπεραστεί αυτή η τιμή, τόξα θα δημιουργηθούν στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου, τα οποία οδηγούν στη συνέχεια σε μείωση της ειδικής αντίστασης του εδάφους. Τα τόξα αναπτύσσονται μέσα στη γη, αυξάνουν το ενεργό μήκος του ηλεκτροδίου και εκτείνονται μέχρι το σημείο στο οποίο η πεδιακή ένταση μειώνεται σε τιμές τις οποίες το υλικό του εδάφους μπορεί να αντέξει.

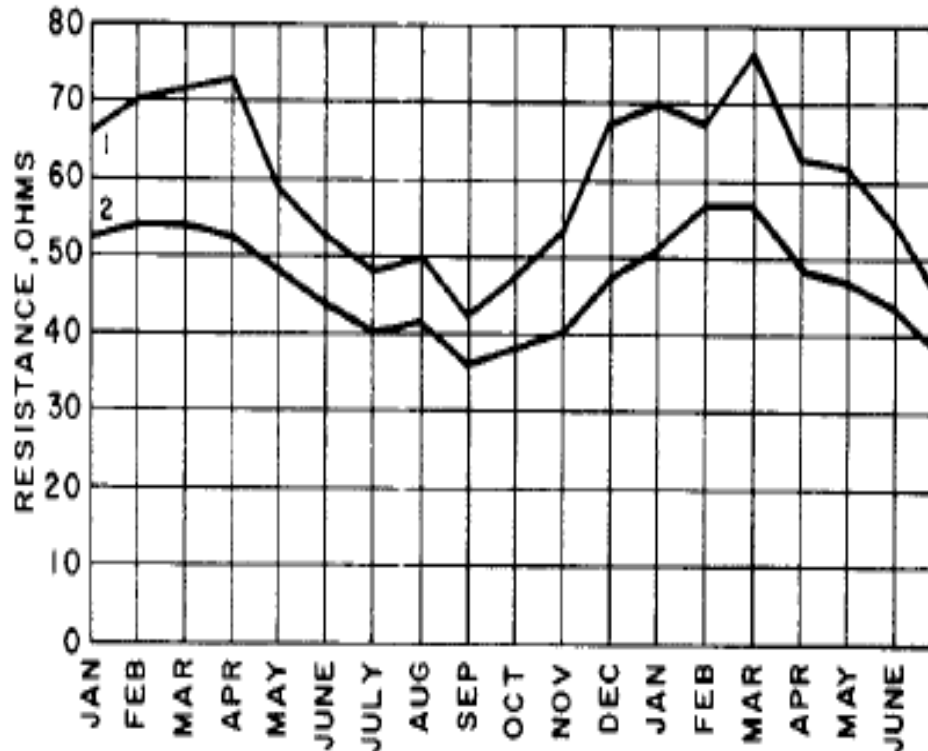
8) Μέγεθος του ρεύματος

Η ειδική αντίσταση στην περιοχή των ηλεκτροδίων γείωσης μπορεί να επηρεαστεί από την ροή ρεύματος από τα ηλεκτρόδια προς το περιβάλλον έδαφος. Η θερμοκρασία του εδάφους και το περιεχόμενο του σε υγρασία θα καθορίσουν εάν ένα ρεύμα συγκεκριμένης έντασης και διάρκειας θα προκαλέσει ξήρανση του εδάφους και επομένως αύξηση της αντίστασης του. Ένα συντηρητικό όριο πυκνότητας ρεύματος που δεν θα πρέπει να ξεπεραστεί είναι 200A/m².

Εποχιακές αλλαγές στην ειδική αντίσταση του εδάφους

Προηγουμένως αναφέραμε πως επηρεάζει η θερμοκρασία, η υγρασία και το ποσοστό των διαλυμένων αλάτων στο έδαφος την ειδική αντίσταση του εδάφους. Επομένως είναι λογικό να παρατηρούνται διακυμάνσεις στην αντίσταση κατά την διάρκεια του χρόνου, ειδικά σε περιοχές με ακραίες θερμοκρασίες, μεγάλες περιόδους βροχοπτώσεως ή μεγάλες περιόδους ξηρασίας. Αν κάποιος θέλει να γνωρίζει την ειδική αντίσταση του εδάφους σε μια συγκεκριμένη περιοχή μια δεδομένη χρονική στιγμή, η καλύτερη λύση είναι να την μετρήσει ο ίδιος, καθώς είναι ένα αρκετά μεταβλητό μέγεθος. Μελέτες και εργασίες που αφορούν τις μετρήσεις της ειδικής αντίστασης του εδάφους και τις αλλαγές που παρουσιάζει μας δίνουν χρήσιμα αποτελέσματα. Ο βασικός λόγος μέτρησης της αντίστασης είναι για τον κατάλληλο σχεδιασμό συστημάτων γείωσης. Οι τιμές της ειδικής αντίστασης του εδάφους χρησιμοποιούνται σε μαθηματικούς τύπους

για να υπολογιστούν παράγοντες όπως ο αριθμός και το βάθος των χρησιμοποιούμενων ηλεκτροδίων για μια δεδομένη τιμή αντίστασης γείωσης. Για αυτόν τον λόγο είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε τους παράγοντες που επηρεάζουν την ειδική αντίσταση του εδάφους.



Εικόνα 2.5 Εποχιακή διακύμανση της αντίστασης[4]

Στον παραπάνω σχήμα παρατηρούμε τις μεταβολές της ειδικής αντίστασης του εδάφους σε μια περίοδο 1,5 χρόνου. Έχουμε δυο ηλεκτρόδια τοποθετημένα σε πετρώδες χώμα αργίλου ένα σε βάθος 1 m και ένα σε 3 m. Τα συμπεράσματα αυτών των μετρήσεων είναι ότι όσο πιο βαθιά βρίσκονται τα ηλεκτρόδια τόσο λιγότερο επηρεάζονται από μεταβολές τις υγρασίας του εδάφους και της θερμοκρασίας.

2.4 Μέτρηση της ειδικής αντίστασης

Οι εκτιμήσεις της ειδικής αντίστασης του εδάφους που βασίζονται στο είδος του εδάφους είναι απλά προσεγγίσεις. Για αυτόν τον λόγο είναι επιτακτική η ανάγκη μέτρησης της ειδικής αντίστασης του εδάφους σε πολλά σημεία της εγκατάστασης. Περιοχές όπου η ειδική αντίσταση του εδάφους μπορεί να είναι ομοιόμορφη σε όλη την περιοχή και σε μεγάλο βάθος βρίσκονται σπάνια. Συνήθως, υπάρχουν αρκετά στρώματα, με το καθένα να έχει διαφορετική αντίσταση. Είναι δυνατόν να υπάρξουν και αλλαγές κατά μήκος του εδάφους, οι οποίες όμως είναι πιο σπάνιες και πραγματοποιούνται σταδιακά σε σχέση με τις κατακόρυφες. Επομένως θα πρέπει να γίνονται μετρήσεις της αντίστασης του εδάφους για να προσδιοριστεί αν υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις της

αντίστασης. Ο αριθμός αυτών των μετρήσεων που λαμβάνονται πρέπει να είναι μεγαλύτερος αν οι διακυμάνσεις είναι μεγάλες.

Οι κυριότερες τεχνικές μέτρησης της ειδικής αντίστασης του εδάφους είναι οι παρακάτω:

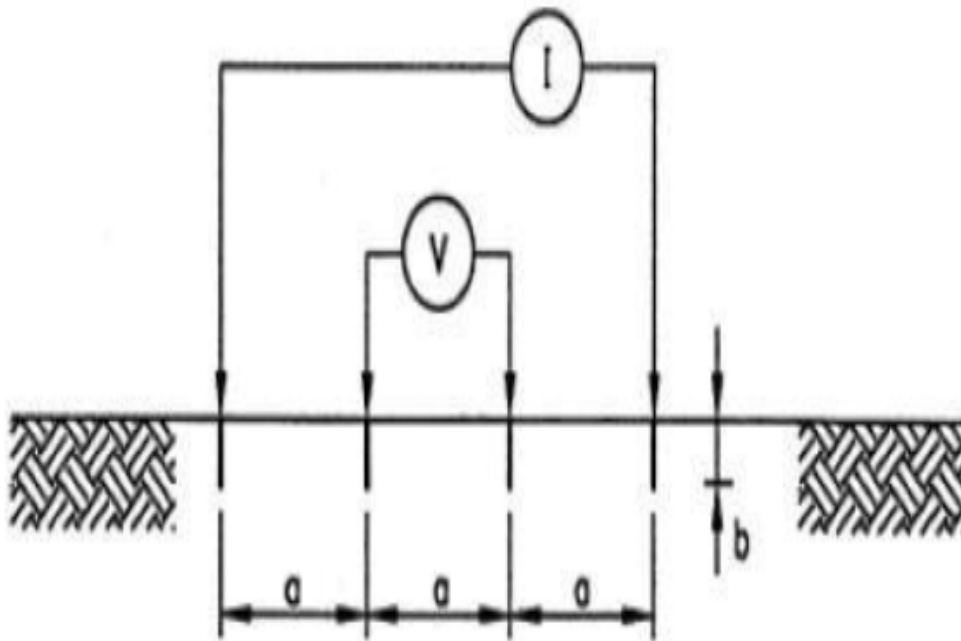
- Μέθοδος των 4 σημείων (Four point method)
- Μέθοδος των 3 σημείων (Three point method ή Variation of Depth Method)
- Μέθοδος των 2 σημείων (Two Point Method).

Έχουν υπάρξει πολλοί τρόποι διάταξης των τεσσάρων ηλεκτροδίων για την μέτρηση της ειδικής αντίστασης. Μερικές από τις τεχνικές μέτρησης είναι :

1. Μέθοδος Wenner
2. Μέθοδος Schlumberger – Palmer
3. Διάταξη κεντρικού ηλεκτροδίου
4. Μέθοδος Lee
5. Μέθοδος διπόλου-διπόλου
6. Τετραγωνική διάταξη

Μέθοδος Wenner

Η μέθοδος των τεσσάρων σημείων (Wenner) θεωρείται η πλέον ακριβής για τη μέτρηση της μέσης ειδικής αντίστασης. Μικρά ηλεκτρόδια (ράβδοι) εμφυτεύονται σε βάθος b σε τέσσερα σημεία του εδάφους, τα οποία βρίσκονται στην ίδια ευθεία γραμμή και απέχουν μεταξύ τους απόσταση a (βλέπε σχήμα). Ρεύμα δοκιμής I επιβάλλεται στα δύο εξωτερικά (ακραία) ηλεκτρόδια και μετρείται το δυναμικό μεταξύ των δύο εσωτερικών (ενδιαμέσων) ηλεκτροδίων. Το πηλίκο V/I δίνει τη φαινόμενη αντίσταση R (σε Ω).



Εικόνα 2.6 Μέθοδος Wenner τεσσάρων ηλεκτροδίων[2]

Η φαινόμενη ειδική αντίσταση του εδάφους ρ δίνεται από τη σχέση:

$$\rho = \frac{4 \cdot \pi \cdot a \cdot R}{1 + \frac{2 \cdot a}{\sqrt{a^2 + 4 \cdot b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}}$$

Όπου

ρ = είναι η φαινόμενη ειδική αντίσταση του εδάφους σε Ωm

R = είναι η μετρούμενη αντίσταση σε Ωm

a = είναι η απόσταση μεταξύ των διαδοχικών ηλεκτροδίων σε m

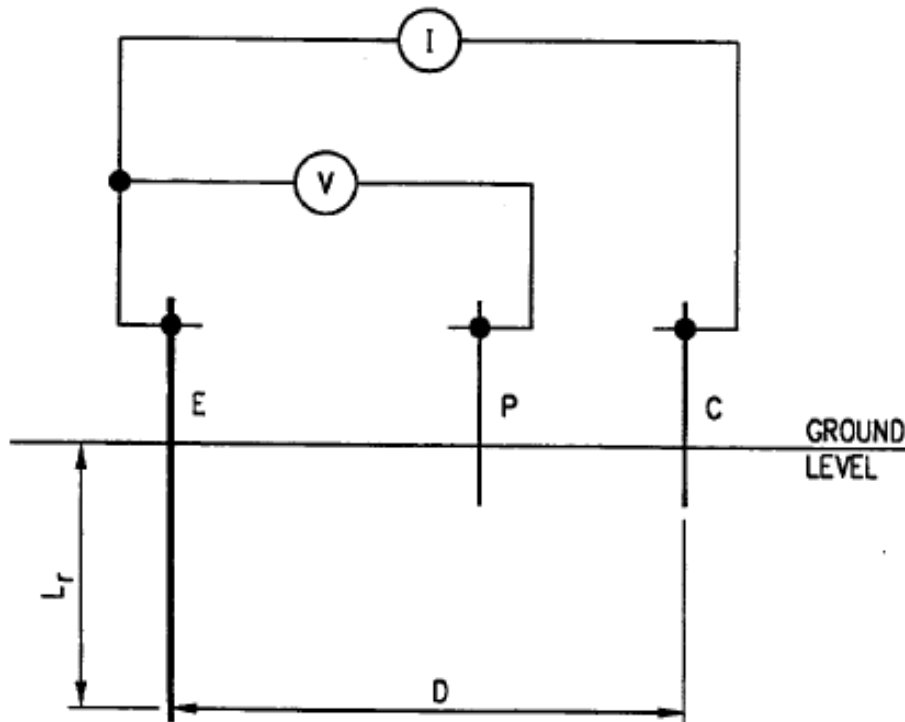
b = είναι το βάθος ηλεκτροδίων σε m

Όταν $a \gg b$ τότε η παραπάνω εξίσωση καταλήγει στην ακόλουθη:

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot a$$

Μέθοδος των τριών ηλεκτροδίων ή πτώσης δυναμικού (fall - of - potential)

Μια άλλη μέθοδος για την μέτρηση της ειδικής αντίστασης του εδάφους, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, είναι μέθοδος πτώσης δυναμικού. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τρία ηλεκτρόδια, εκ των οποίων το ένα είναι θαμμένο σε βάθος L_r , μεταβαλλόμενο. Τα δύο άλλα ηλεκτρόδια, γνωστά ως ηλεκτρόδια αναφοράς, θάβονται σε μικρό βάθος, κατακόρυφα.



Εικόνα 2.7 Μέθοδος των τριών ηλεκτροδίων[2]

Η ειδική αντίσταση δίνεται από τον τύπο:

$$\rho = \frac{2\pi L_r R}{\ln\left(\frac{8L_r}{d}\right) - 1}$$

όπου

ρ = η ειδική αντίσταση εδάφους σε $\Omega \cdot m$

L_r = το βάθος του ηλεκτροδίου E σε m

d = η διάμετρος του σε m

R = η μετρούμενη μέσω των οργάνων αντίσταση σε Ω

Η σχέση αυτή δίνει τη μεταβολή της ειδικής αντίστασης με το βάθος.

Σύγκριση μεθόδων μέτρησης της ειδικής αντίστασης

Η μέθοδος Wenner είναι η πιο δημοφιλής μέθοδος μέτρησης της ειδικής αντίστασης. Χαρακτηρίζεται από απλότητα της εφαρμογής της και του εξοπλισμού καθώς και στο γεγονός ότι δίνει τιμές της ειδικής αντίστασης σε στρώματα μεγάλου βάθους χωρίς την οδήγηση ηλεκτροδίων σε τέτοιο βάθος. Επιπλέον, οι μετρήσεις δεν επηρεάζονται σημαντικά από τις αντιστάσεις των ηλεκτροδίων. Ένα πλεονέκτημα της μεθόδου των τριών ηλεκτροδίων είναι ο προσδιορισμός του βάθους όπου μπορεί να οδηγηθεί το ηλεκτρόδιο. Αυτό καθορίζει το εάν και με ποιον τρόπο είναι δυνατή η εγκατάσταση πλέγματος γείωσης σε αυτό το βάθος. Αν εξαιρέσουμε αυτό το πλεονέκτημα που είναι τεχνικής φύσεως, η εν λόγω μέθοδος αδυνατεί να εφαρμοστεί σε βραχώδη εδάφη και παρουσιάζει σφάλμα στις μετρήσεις της ειδικής αντίστασης όταν το ηλεκτρόδιο οδηγείται σε μεγάλο βάθος. Αυτό οφείλεται στην απώλεια επαφής του ηλεκτροδίου με το έδαφος εξαιτίας δονήσεων και μεγαλύτερης διαμέτρου συνδέσεων που οδηγούν σε μετρήσεις μεγαλύτερες του πραγματικού και επακόλουθα σε εγκατάσταση υπερεκτιμημένης γείωσης

Γενικά, στην εφαρμογή μεθόδου μέτρησης της ειδικής αντίστασης εδάφους πρέπει εκτός από τις μετρήσεις της αντίστασης να καταγράφονται στοιχεία για τη θερμοκρασία και την υγρασία του εδάφους. Πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη οποιαδήποτε αγώγιμα αντικείμενα είναι θαμμένα στην περιοχή της μέτρησης, καθώς αυτά επηρεάζουν τη μετρούμενη ένταση ηλεκτρικού ρεύματος[14].

Πολλές φορές, μάλιστα, είναι πάρα πολύ δύσκολη, ή ακόμα και αδύνατη, η πραγματοποίηση των μετρήσεων, λόγω τοπογραφικών και χωροταξικών περιορισμών που υφίστανται στην περιοχή του έργου. Η έλλειψη των κατάλληλων, σύμφωνα με το Πρότυπο, αποστάσεων για την πραγματοποίηση της μέτρησης της αντίστασης γείωσης σε ένα εκτεταμένο σύστημα γείωσης έχει

δυσμενείς επιπτώσεις στην ακρίβεια της μέτρησης με αποτέλεσμα την εμφάνιση μεγάλου σφάλματος μέτρησης.

Διάγνωση και διορθωτικές ενέργειες για μείωση της αντίστασης γείωσης

Είδαμε παραπάνω ότι μια κακή γείωση είναι επικίνδυνη για ηλεκτροπληξία και βλάβες σε χρησιμοποιούμενο ηλεκτρικό εξοπλισμό. Για αυτό και ο έλεγχος των συστημάτων γείωσης είναι απαραίτητος γιατί με τον καιρό, ιδιαίτερα σε διαβρωτικά εδάφη με μεγάλη υγρασία, με υψηλή περιεκτικότητα σε αλάτι και με υψηλές θερμοκρασίες, που μπορούν να υποβαθμίσουν τις ράβδους γείωσης του εδάφους και τις συνδέσεις τους, ο κίνδυνος είναι μεγαλύτερος. Έτσι, αν και το σύστημα της γείωσης όταν αρχικά είχε εγκατασταθεί, είχε χαμηλή τιμή αντίστασης γείωσης, η τιμή της αντίστασης γείωσης μπορεί να αυξηθεί αν π.χ. οι ράβδοι γείωσης έχουν φθαρεί.

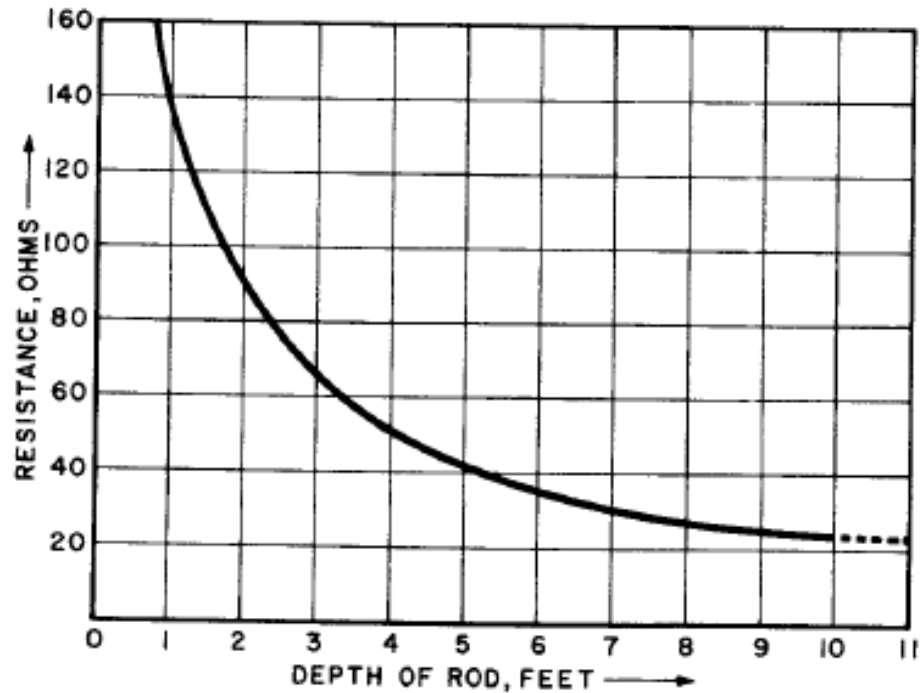
Γι' αυτό και συνιστάται η τιμή της αντίστασης γείωσης να ελέγχεται τουλάχιστον σε ετήσια βάση. Κατά τη διάρκεια των περιοδικών ελέγχων, αν παρατηρηθεί αύξηση της αντίστασης γείωσης πάνω από το 20% , ο τεχνικός θα πρέπει να διερευνήσει την πηγή του προβλήματος και να κάνει τη διόρθωση για τη μείωση της αντίστασης, με αντικατάσταση ή προσθήκη ράβδων στο έδαφος του συστήματος γείωσης.

Υπάρχουν τρεις παράγοντες που επηρεάζουν την αντίσταση του εδάφους ενός συστήματος γείωσης:

1. Το μήκος/βάθος του ηλεκτροδίου γείωσης
2. Η διάμετρος του ηλεκτροδίου γείωσης
3. Ο αριθμός του ηλεκτροδίου γείωσης

Μήκος/Βάθος των ηλεκτροδίων γείωσης

Εξαιτίας του γεγονότος ότι το νερό και το χώμα είναι γενικώς πιο σταθερά σε βαθύτερα στρώματα, προτείνεται οι ράβδοι γείωσης να τοποθετούνται όσο το δυνατόν βαθύτερα στη γη στον πίνακα νερού αν είναι εφικτό. Επίσης οι ράβδοι γείωσης θα πρέπει να τοποθετούνται όπου υπάρχει σταθερή θερμοκρασία π.χ. κάτω από την γραμμή παγετού. Άρα ένας πολύ αποτελεσματικός τρόπος μείωσης της αντίστασης του εδάφους είναι να οδηγεί τα ηλεκτρόδια γείωσης βαθύτερα. Γενικά ισχύει ότι διπλασιάζοντας το μήκος του ηλεκτροδίου , η αντίσταση μειώνεται 40%. Αυτό μπορούμε να το παρατηρήσουμε στο παρακάτω διάγραμμα αντίστασης σε συνάρτηση με το βάθος ηλεκτροδίου[4].



Εικόνα 2.8 Διάγραμμα αντίστασης σε συνάρτηση με το βάθος (σε πόδια)[4]

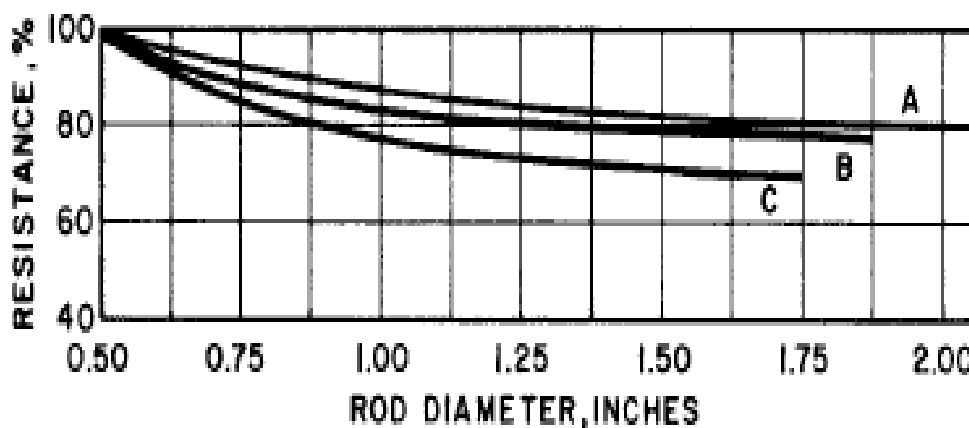
Στον παρακάτω πίνακα μπορούμε να δούμε την αντίσταση γείωσης ανάλογα τον τύπο εδάφους και ανάλογα το βάθος εγκατάστασης του ηλεκτροδίου γείωσης [9].

Τύπος εδάφους	Αντίσταση εδάφους	Αντίσταση γείωσης					
		Βάθος ηλεκτροδίου γείωσης (μέτρα)			Ταινία γείωσης (μέτρα)		
	Ωm	3m	6m	10m	5 m	10m	20m
Πολύ υγρό χώμα	30	10	5	3	12	6	3
Γεωργικό, εύφορο παχύ χώμα και αργιλώδη εδάφη	100	33	17	10	40	20	10
Αμμώδη ή από πύλο χώμα	150	50	25	15	60	30	15
Υγρά αμμώδη εδάφη	300	66	33	20	80	40	20
Μπετό	500	-	-	-	160	80	40
Υγρό χαλίκι	400	160	80	48	200	100	50
Ξηρό αμμώδες έδαφος	1000	330	165	100	400	200	100
Στεγνό χαλίκι	1000	330	165	100	400	200	100
Πετρώδες έδαφος	3000	1000	500	300	1200	600	300

Πίνακας 2.5 επίδραση του τύπου εδάφους και του βάθους εγκατάστασης του ηλεκτροδίου γείωσης [9]

Η διάμετρος του ηλεκτροδίου γείωσης

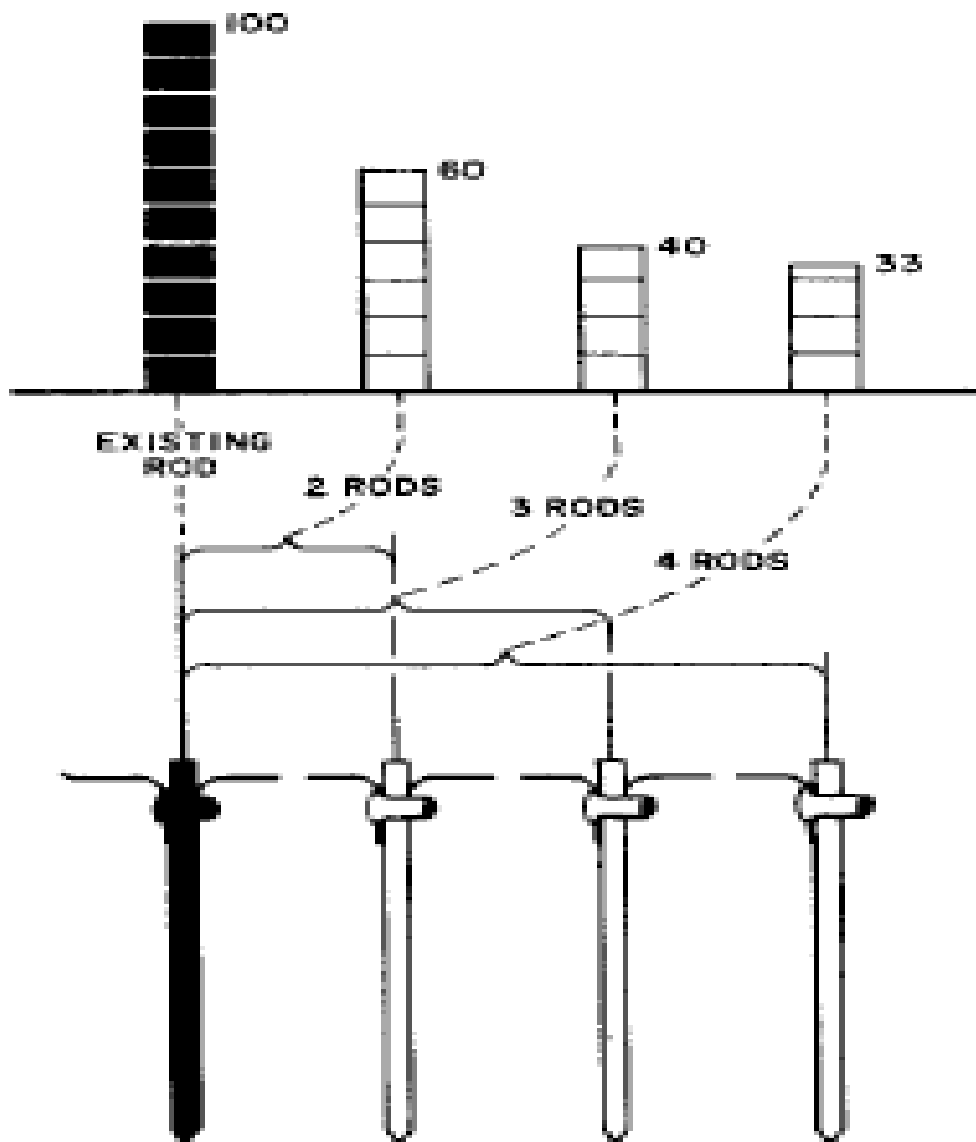
Η αύξηση της διαμέτρου των ηλεκτροδίων γείωσης έχει πολύ μικρή επίδραση στη μείωση της αντίστασης. Για παράδειγμα, αν διπλασιάσετε τη διάμετρο του ηλεκτροδίου γείωσης η τιμή της αντίστασης θα μειωθεί μόνο κατά 10%. Την σχέση αυτή μπορούμε να την δούμε από διάφορες δοκιμές που έχουν γίνει.



Εικόνα 2.9 Διάγραμμα αντίστασης με διάμετρο ηλεκτροδίου[4]

Ο αριθμός των ηλεκτροδίων γείωσης

Ένας άλλος τρόπος για να μειώσετε την αντίσταση του εδάφους είναι η χρήση πολλαπλών ηλεκτροδίων. Περισσότερα από ένα ηλεκτρόδια τοποθετούνται στο έδαφος και συνδέονται παράλληλα ώστε να μειωθεί η αντίσταση γείωσης. Για να είναι αποτελεσματικά τα επιπλέον ηλεκτρόδια, θα πρέπει η απόστασή τους να είναι τουλάχιστον ίση με το βάθος των ράβδων. Χωρίς την κατάλληλη απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων γείωσης, οι σφαίρες επιρροής τους τέμνεται και η μείωση της αντίστασης γείωσης που ήταν το ζητούμενο δεν θα επιτευχθεί.



Εικόνα 2.10 Αριθμός ηλεκτροδίων

Βελτιωτικά υλικά γειώσεων

3.1 Εισαγωγή

Ένα σύστημα γείωσης για να είναι αποτελεσματικό πρέπει η αντίσταση γείωσης που παρέχεται να διατηρείται σε χαμηλές τιμές. Πολλές φορές είναι απαραίτητη η χρήση βελτιωτικών υλικών, αφού αυτό δεν γίνεται εφικτό λόγω διαφόρων αιτιών. Πολλές φορές ο χώρος της εγκατάστασης είναι περιορισμένος, επομένως πρέπει στον δεδομένο χώρο να επιτευχθεί μια συγκεκριμένη τιμή αντίστασης με χρήση βελτιωτικών. Επίσης, σημαντικός παράγοντας είναι το έδαφος στο οποίο θα γίνει η εγκατάσταση. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η αντίσταση του εδάφους είναι πολύ μεγάλη και περιπτώσεις με διαβρωτικά εδάφη που θέλουν ιδιαίτερη προσοχή. Ακόμη οι καιρικές συνθήκες τις τοποθεσίας χρειάζεται να λαμβάνονται υπόψη, καθώς ασταθείς καιρικές συνθήκες οδηγούν σε αυξομείωση της αντίστασης του εδάφους κατά την διάρκεια του ημερολογιακού έτους. Φυσικά ρόλο έχει και η μείωση του κόστους. Η επιλογή του κατάλληλου βελτιωτικού γίνεται σε συνδυασμό με όλους τους παράγοντες που αναφέραμε παραπάνω.

Στην Ελλάδα πολλά εδάφη παρουσιάζουν υψηλές τιμές ειδικής αντίστασης, έχοντας ως κύριο συστατικό συμπαγείς βράχους, επομένως είναι αναγκαίες οι μελέτες που θα έχουν ως στόχο την μείωση της αντίστασης. Βασική και απαραίτητη προϋπόθεση ανεξάρτητα από τη σύσταση του εδάφους είναι το ηλεκτρόδιο γείωσης να είναι θαμμένο μέσα στο φυσικό έδαφος.



Εικόνα 3.1 Βραχώδες έδαφος με ειδική αντίσταση $> 2000 \Omega\text{m}$ [16]

Για παράδειγμα στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε μια περίπτωση όπου το έδαφος ήταν βραχώδες και το κόστος των χωματουργικών έργων για την δημιουργία ορύγματος ώστε να κατασκευαστεί ένα περιμετρικό ηλεκτρόδιο γείωσης από αγωγό ορθογωνικής διατομής ήταν υψηλό. Η λύση του προβλήματος των χωματουργικών εξόδων που πάρθηκε από τον υπεύθυνο κατασκευής ήταν να σκεπαστεί το ηλεκτρόδιο με καλό αγώγιμο χώμα. Αυτή η μέθοδος δεν ήταν αποτελεσματική αφού με τις πρώτες βροχές το καλό αγώγιμο χώμα υποχώρησε και είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση του ηλεκτροδίου στον αέρα.



Εικόνα 3.2 Περιμετρικό ηλεκτρόδιο γείωσης σκεπασμένο με χώμα [16]

Επίσης η χρήση βελτιωτικών ειδικής αντίστασης του εδάφους πολλές φορές συνιστάται ειδικά σε εδάφη όπως αυτό της εικόνας 3.1. Το βελτιωτικό της ειδικής αντίστασης του εδάφους τοποθετείται εντός του ορύγματος όπου θα εγκατασταθεί το ηλεκτρόδιο της γείωσης και αναμιγνύεται με το φυσικό έδαφος, μειώνοντας τοπικά πλησίον του ηλεκτροδίου γείωσης την ειδική αντίσταση του εδάφους που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της αντίστασης της γείωσης. Η σύσταση όμως των βελτιωτικών πρέπει να εξετάζεται διότι μπορεί να αποβεί μοιραία.

Την δεκαετία 1940, υπήρχε η άποψη ότι υπάρχει δυνατότητα μείωσης της ειδικής αντίστασης εδάφους με χρήση χημικών. Το χλωριούχο νάτριο γνωστό ως αλάτι ήταν η πιο οικονομική φυσική χημική ουσία. Αξίζει να αναφέρουμε ότι το θαλασσινό νερό παρουσιάζει ειδική αντίσταση $1 \Omega\text{m}$ ενώ το καθαρό βρόχινο νερό παρουσιάζει τιμές μεγαλύτερες από $1000 \Omega\text{m}$. Όμως, οι περισσότερες χημικές ουσίες διαλύονται στο νερό και αυτό με το πέρασμα του χρόνου οδηγεί, λόγω των βροχών, τις χημικές ουσίες όπως και το αλάτι να διαλύονται ή να παρασύρονται από το νερό. Με αποτέλεσμα το έδαφος να επιστρέφει στην αρχική του μορφή. Στην εικόνα 3.3 βλέπουμε ένα πλέγμα γείωσης εγκιβωτισμένο σε αλάτι. Το οποίο βέβαια είναι άλλος ένας λάθος τρόπος για την βελτίωση της

αντίστασης γείωσης. Καθώς το αλάτι βελτιώνει την αγωγιμότητα του εδάφους, όμως είναι επικίνδυνο για τα ηλεκτρόδια καθώς τα οδηγεί σε διάβρωση.



Εικόνα 3.3 πλέγμα γείωσης εγκιβωτισμένο σε αλάτι [16]

Επίσης ακόμα και στις μέρες μας επικρατεί η λανθασμένη εντύπωση ότι σκόνη άνθρακα (καρβουνόσκονη) χρησιμοποιείται ως βελτιωτικό ειδικής αντίστασης του εδάφους. Πράγματι η ειδική αντίσταση του εδάφους θα μειωθεί όμως η καρβουνόσκονη μπορεί να περιέχει οξείδια του άνθρακα, τιτάνιο, νάτριο, μαγνήσιο, άνθρακα και άλλα στοιχεία τα οποία αναπόφευκτα αντιδρούν και με το χαλκό και με το χάλυβα με αποτέλεσμα τη σίγουρη αλλά και επιταχυνόμενη διάβρωση των ηλεκτροδίων.[16]

3.2 Αρχές που διέπουν τα βελτιωτικά

Με τον όρο βελτιωτικό υλικό γειώσεων, τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα [17] αναφέρονται σε ένα αγώγιμο υλικό που επιφέρει μείωση στην αντίσταση γείωσης ενός συστήματος γείωσης.

Τα κριτήρια με βάση τα οποία πρέπει να γίνεται η αξιολόγηση και ο τελικός χαρακτηρισμός ενός υλικού ως αποτελεσματικού ή μη βελτιωτικού γειώσεων είναι :

- Αγωγιμότητα
- Να είναι ασφαλές στη χρήση του και γενικότερα φιλικό προς το περιβάλλον
- Να είναι μόνιμο και να διατηρεί τις ιδιότητές του
- Να μην είναι διαβρωτικό για το ηλεκτρόδιο γείωσης
- Εύκολο και απλό στην επεξεργασία

Τον Νοέμβριο του 2011 εκδόθηκε το Διεθνές Πρότυπο IEC 62561-7 , που αναφέρεται συστήματα αντικεραυνικής προστασίας με ένα μέρος που αφορά τις απαιτήσεις για τα βελτιωτικά υλικά γειώσεων. Σύμφωνα με αυτό[17] ένα νέο βελτιωτικό υλικό θα πρέπει να υποβάλλεται σε συγκεκριμένους ελέγχους ώστε να αποδειχτεί στην πράξη η ικανοποίηση ή μη των κριτηρίων που αναφέρθηκαν παραπάνω, δηλαδή η αποτελεσματική δράση του.

Ο πρώτος από αυτούς τους ελέγχους είναι η δοκιμή διαρροής (ή έκπλυσης - leaching test). Τα βελτιωτικά υλικά θα πρέπει να είναι φυσικά και χημικά σταθερά. Επίσης θα πρέπει να είναι χημικά αδρανή με το περιβάλλον έδαφος και να μην “στραγγίζουν ” με το πέρασμα του χρόνου. Ο έλεγχος κρίνεται επιτυχής εφόσον τα αποτελέσματα ικανοποιούν τους εθνικούς ή διεθνείς κανονισμούς.

Ο δεύτερος έλεγχος είναι ο προσδιορισμός του θείου στο υπό εξέταση υλικό (sulphur determination) κατά ISO 4689-3 ή ISO 14869-1. Καθώς βελτιωτικά που περιέχουν σημαντική ποσότητα θείου είναι ικανά να διαβρώσουν το ηλεκτρόδιο γείωσης. Επομένως, το υλικό για να περνά επιτυχώς αυτόν τον έλεγχο πρέπει όλες οι μετρούμενες τιμές είναι μικρότερες από 2%.

Ο επόμενος έλεγχος έχει να κάνει με τον καθορισμό της ειδικής αντίστασης του βελτιωτικού υλικού. Η μέτρηση γίνεται με τη μέθοδο των τεσσάρων σημείων (Wenner), όπως αυτή περιγράφεται στο ASTM G57. Η μετρούμενη τιμή θα πρέπει να είναι χαμηλότερη, ή το πολύ ίση, με αυτήν που υπάρχουν στα φυλλάδια του κατασκευαστή.

Τέλος, το υπό εξέταση βελτιωτικό υλικό θα πρέπει να υπόκειται σε δοκιμή διάβρωσης. Ο ρυθμός διάβρωσης προσδιορίζεται με τη χρήση ποτενσιοδυναμικών μεθόδων αντίστασης πόλωσης, όπως περιγράφεται στις προδιαγραφές ASTM G59-97 και ASTM G102-89. Για να περάσει επιτυχώς τον παραπάνω έλεγχο το υλικό θα πρέπει, για ηλεκτρόδια γείωσης από κράμα χαλκού, η αντίσταση πόλωσης να είναι μεγαλύτερη από $4\Omega\cdot m^2$ για μη επιθετικά περιβάλλοντα και από $8\Omega\cdot m^2$ για επιθετικά περιβάλλοντα, ενώ για γαλβανισμένα ηλεκτρόδια γείωσης, οι αντίστοιχες τιμές της αντίστασης πόλωσης πρέπει να είναι $3\Omega\cdot m^2$ και $7,6\Omega\cdot m^2$.

3.3 ΤΕΡΑΦΙΑ

Είναι το βελτιωτικό της αγωγιμότητας του εδάφους, το οποίο με μια απλή μέθοδο, εκεί όπου η ειδική αντίσταση του εδάφους είναι πολύ μεγάλη και οι απαιτήσεις για χαμηλή αντίσταση διαχύσεως είναι πολύ υψηλές επιτυγχάνει να μειώσει ουσιαστικά την αντίσταση του συστήματος γείωσης.

Το TERRAFILL ,σύμφωνα με τους κατασκευαστές του, δημιουργεί μια αξιόπιστη με χαμηλή αντίσταση ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ του συστήματος γείωσης και της γης. Επίσης, είναι συμβατό με συστήματα γείωσης από χαλκό και χρησιμοποιείται στα πλέγματα γείωσης για να ελαχιστοποιήσει τις βηματικές και τάσεις επαφής. Αποτελείται από μια ουδέτερη ουσία αναμειγμένη με νερό, λόγω της πολύ χαμηλής ειδικής αντίστασής του, που οφείλεται κυρίως στην ηλεκτροδιαλυτική διεργασία του νερού και των ορυκτών αλάτων που περιέχει, τα οποία ιονιζόμενα σχηματίζουν ένα ισχυρό ηλεκτρολύτη με PH 8 έως 10, δηλαδή συμπεριφέρεται ουδέτερα και όχι όξινα ώστε να υπάρχει ο κίνδυνος της διάβρωσης του ηλεκτροδίου. Ο ηλεκτρολύτης δεν απορροφάται μιά και γίνεται μέρος του περιβάλλοντος εδάφους . Παράλληλα είναι και φιλικός προς το περιβάλλον καθώς δεν επιδρά αρνητικά στο έδαφος και στο νερό γύρω από τον

χώρο που έχει τοποθετηθεί. Ο ηλεκτρολύτης αυτός προσκολλάται σε οποιαδήποτε επιφάνεια εδάφους πετυχαίνοντας έτσι τέλεια ηλεκτρική επαφή γειωτή με αυτό. Εάν εκτεθεί στον ήλιο τείνει να αυτοπροστατευθεί, με μια κρούστα που δημιουργεί επιφανειακά με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η εξάτμιση του νερού. Ακόμη, μια σειρά πλεονεκτήματα, πάντα σύμφωνα με τους κατασκευαστές, είναι η απόδοση σε όλων των ειδών τα εδάφη και σε περιόδους ξηρασίας, καθώς το TERRAFILL δεν εξαρτάται από την συνεχή παρουσία νερού. Σειρά εκτεταμένων μετρήσεων και πειραμάτων σχετικά με την συμπεριφορά του τεκμηριώνουν ότι η περιεκτικότητά του σε νερό μετά μακρά περίοδο ξηρασίας, φθάνει το 600% του όγκου του ενώ παράλληλα μειώνει την τιμή της αντίστασης της γείωσης μέχρι 14 φορές. Πραγματικά σε μετρήσεις που έγιναν σε πετρώδη εδάφη με τη χρήση του βελτιωτικού γειώσεων TERRAFILL είναι σε επίπεδα τέλεια.

Καθορισμός ορίων ασφαλείας

4.3 Ασφάλεια στην εγκατάσταση [2,20]

Ουσιαστικά, ένα ασφαλής σχεδιασμός γείωσης έχει δυο στόχους. Πρώτον να παρέχει τα μέσα να μεταφερθεί το ηλεκτρικό ρεύμα στην γη κάτω από κανονικές και συνθήκες σφάλματος χωρίς να έχουν υπερβεί τα όρια της λειτουργίας και του εξοπλισμού, δηλαδή να υπάρχει συνέχεια στην λειτουργία της υπηρεσίας. Δεύτερον, να διαβεβαιώσει ότι κανένα πρόσωπο μέσα στην περιοχή των εγκαταστάσεων δεν εκτίθεται σε κίνδυνο. Οι άνθρωποι πιστεύουν ότι μπορούν να έρθουν σε επαφή με ένα γειωμένο σώμα χωρίς να υπάρχει κανένας κίνδυνος, όμως μια εγκατάσταση γείωσης δεν μπορεί να εγγυηθεί από μόνη της την ασφάλεια. Η σχέση μεταξύ της αντίστασης του συστήματος γείωσης και του μέγιστου ηλεκτρικού σοκ που μπορεί να εκτεθεί ένα άνθρωπος δεν μπορεί να καθοριστεί εύκολα. Ως εκ τούτου μια εγκατάσταση με μικρή αντίσταση γείωσης μπορεί να είναι επικίνδυνη, ενώ μια άλλη με υψηλή αντίσταση να είναι ασφαλής.[2]

Ηλεκτροπληξία ονομάζεται η διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από το ανθρώπινο σώμα και συμβαίνει όταν μεταξύ δύο σημείων του σώματος υπάρχει τάση (διαφορά δυναμικού) ικανή, ώστε να επιτευχθεί ροή του ρεύματος που είναι ανάλογη με την ηλεκτρική αντίσταση του σώματος.

Οι **επιπτώσεις της ηλεκτροπληξίας** ενδέχεται να είναι:

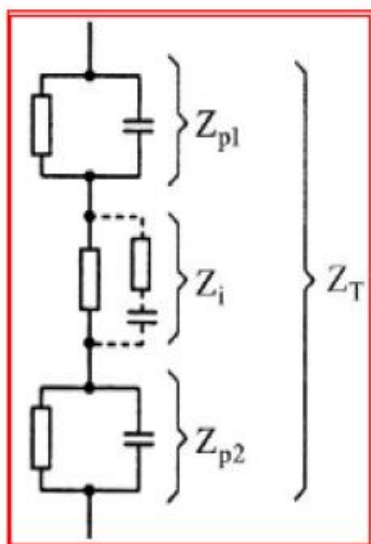
- **Εγκαύματα στο σώμα λόγω επίδρασης του ηλεκτρικού τόξου.** Αυτό εμφανίζεται συνήθως σε ατυχήματα με εγκαταστάσεις ισχύος υψηλής τάσης.
- **Επικίνδυνα ρεύματα που ρέουν μέσα από το ανθρώπινο σώμα.** Αυτά μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές βιολογικές βλάβες, ακόμα και τον θάνατο.
- **Δευτερογενή ατυχήματα** από ασθενή συνήθως ηλεκτρικά ρεύματα που μπορεί να προκαλέσουν π.χ. πτώση ή ολίσθηση λόγω πανικού

Η ηλεκτροπληξία μπορεί να προκληθεί με τους παρακάτω τρόπους:

- Ø Επαφή με ενεργό αγωγό (ακροδέκτη).
- Ø Επαφή με φθαρμένο (λόγω φυσιολογικής φθοράς της μόνωσής του ή χτυπημένο) ηλεκτροφόρο καλώδιο.
- Ø Επαφή με ηλεκτρική συσκευή ή μηχανισμό που έχει βλάβη με αποτέλεσμα τη δημιουργία βραχυκυκλώματος ή διαρροής.
- Ø Εκφόρτωση στατικού ηλεκτρισμού (π.χ. Πυκνωτές ή ακόμα και κεραυνός).

4.2 Η ηλεκτρική αντίσταση του ανθρώπινου σώματος

Στον ανθρώπινο οργανισμό διακρίνουμε καλούς και κακούς αγωγούς του ηλεκτρισμού. Καλοί αγωγοί είναι σχεδόν όλοι οι ιστοί εκτός από το δέρμα και τα οστά. Η ηλεκτρική αντίσταση του ξηρού δέρματος είναι μεγάλη και κυμαίνεται από $10\text{k}\Omega$ - $100\text{k}\Omega$. Μια εναλλασσόμενη τάση 230V , εφαρμοζόμενη στο ξηρό ανθρώπινο δέρμα, θα προκαλέσει δίοδο ρεύματος έντασης $2,2\text{mA}$ έως 22mA , με αποτέλεσμα πρόκληση πόνου, μυϊκές συσπάσεις και αναπνευστική δυσχέρεια. Η επαφή όμως του δέρματος με τον ηλεκτροφόρο αγωγό προκαλεί εφίδρωση. Το υγρό δέρμα έχει πολύ χαμηλότερη αντίσταση από το ξηρό δέρμα. Έτσι η αντίσταση του υγρού δέρματος μπορεί να πέσει στο $1\text{k}\Omega$. Μια τάση 230V , εφαρμοζόμενη στο σώμα, δίνει ρεύμα έντασης 230mA , με αποτέλεσμα πρόκληση ινιδισμού των κοιλιών.[20]



Εικόνα 1: Ισοδύναμο κύκλωμα ανθρώπινου σώματος

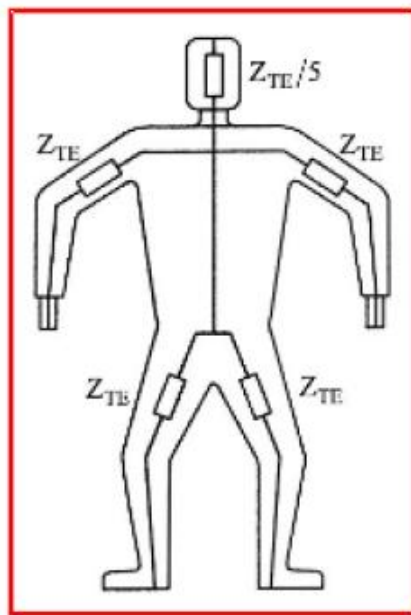
Z_{p1}, Z_{p2} :
σύνθετη αντίσταση δέρματος

Z_i :
σύνθετη εσωτερική αντίσταση

Z_T :
συνολική σύνθετη αντίσταση.

Εικόνα 4.1 Αντίσταση ανθρώπινου σώματος[20]

Σύμφωνα και με την Εικόνα 1 από πάνω, η εσωτερική αντίσταση Z_i μπορεί να ληφθεί ως καθαρά ωμική. Ο παράλληλος κλάδος έχει μικρή μόνο επίδραση. Η σύνθετη αντίσταση δέρματος Z_p μπορεί να παρασταθεί με την παράλληλη σύνθετη αντίσταση μιας ωμικής αντίστασης με μια χωρητική αντίδραση. Στην συχνότητα των 50Hz η ωμική αγωγιμότητα είναι πολύ μεγαλύτερη της χωρητικής. Στην συχνότητα όμως των 500Hz η χωρητική αγωγιμότητα αυξάνει τόσο πολύ, ώστε η σύνθετη αντίσταση του δέρματος να έχει χωρητικό χαρακτήρα και πολύ μικρότερη τιμή έναντι της τιμής στα 50Hz .[20]



Εικόνα 2: Σύνθεση της συνολικής σύνθετης αντίστασης του ανθρωπίνου σώματος από τις επί μέρους αντιστάσεις των χεριών και ποδιών.

Εικόνα 4.2 Σύνθεση συνολικής αντίστασης ανθρωπίνου σώματος[20]

Η τιμή της αντίστασης εξαρτάται από τα εξής:

- ∅ διαδρομή του ρεύματος δια του σώματος
- ∅ δύναμη και επιφάνεια επαφής του σώματος με τον αγωγό (μειώνουν την αντίσταση)
- ∅ τάση επαφής (η αντίσταση του σώματος δεν είναι σταθερή και μειώνεται με την αύξηση της τάσης επαφής)
- ∅ σωματική διάπλαση
- ∅ κατάσταση της επιδερμίδας (το πάχος της επιδερμίδας και η υγρασία παίζουν ένα ρόλο)

Πρακτικός Κανόνας: Υψηλές αντιστάσεις έχουμε όταν το δέρμα είναι χοντρό, ξηρό και η επιφάνεια επαφής είναι μικρή. Χαμηλές τιμές προκύπτουν όταν το δέρμα είναι λεπτό, υγρό και η επιφάνεια επαφής μεγάλη.

Πίνακας 4.1: Προσεγγιστικές τιμές αντίστασης ανθρωπίνου σώματος για διάφορες διαδρομές[20]

Διαδρομή ρεύματος	Τιμή αντίστασης σε Ω
χέρι – χέρι	1000
πόδι – πόδι	1000
χέρι – πόδι	750
χέρια – πόδια	500
χέρι – στήθος	450
χέρια – στήθος	230
χέρι – γλουτός	550
χέρια – γλουτός	300

Πίνακας 4.2 : Χαρακτηριστικές τιμές της αντίστασης επαφής σε διάφορες συνθήκες[20]

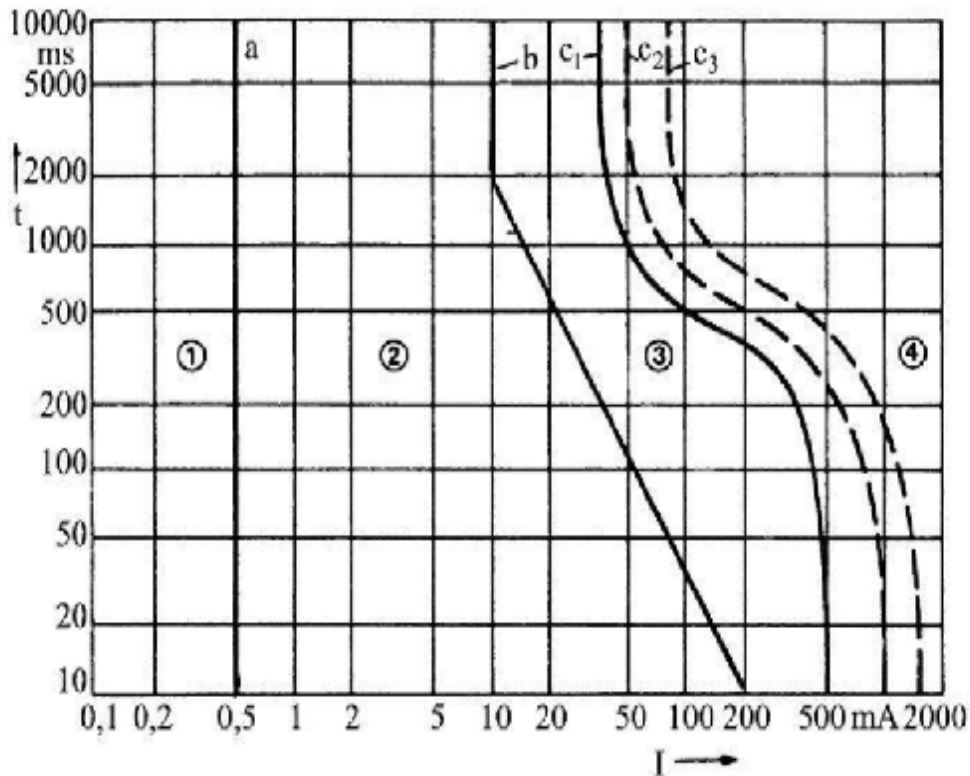
Συνθήκη σωματικής επαφής	Στεγνό (Ω)	Υγρό (Ω)
Επαφή με το δάκτυλο	40.000 – 1x10 ⁶	4.000 – 15.000
Κράτημα αγωγού με το χέρι	15.000 – 50.000	3.000 – 5.000
Σφίξιμο δακτύλου – αντίχειρα	10.000 – 30.000	2.000 – 5.000
Λαβή χεριού σε πένσα	5.000 – 10.000	1.000 – 3.000
Επαφή πλήρους παλάμης	3.000 – 8.000	1.000 – 2.000
Χέρι γύρω από σωλήνα 1,5 ιντσών	1.000 – 3.000	500 – 1500
Δύο χέρια γύρω από σωλήνα 1,5 ιντσών	500 – 1500	250 – 750
Χέρι βυθισμένο στο νερό	–	200 – 500
Πόδι βυθισμένο στο νερό	–	100 - 300

Τα όρια ασφαλείας που πρέπει να ικανοποιεί ένα σύστημα γείωσης μιας εγκατάστασης, καθορίζονται από το συνδυασμό τιμών των διαφόρων παραμέτρων που προκαλούν τραυματισμό στο άτομο. Οι παράμετροι αυτές είναι:

- Ø η τάση και η ένταση του ρεύματος
- Ø η χρονική διάρκεια επαφής με το ρεύμα
- Ø η συχνότητα ή μορφή του ρεύματος, δηλαδή εναλλασσόμενο, συνεχές, κρουστικό ρεύμα
- Ø η διαδρομή του ρεύματος δια του σώματος
- Ø η δεδομένη κατάσταση του οργανισμού (εξασθενημένος, φαγωμένος, ιδρωμένος)
- Ø η υγρασία του χώρου
- Ø η επιφάνεια επαφής και εξόδου του ρεύματος.

4.3 Επίδραση εναλλασσόμενου ρεύματος στον ανθρώπινο οργανισμό[2,20]

Η συνήθης αιτία θανατηφόρων ατυχημάτων λόγω εναλλασσόμενου ρεύματος είναι η διακοπή της κυκλοφορίας του αίματος λόγω καρδιακής μαρμαρυγής ή καρδιακής ανακοπής. Η επίδραση της ροής εναλλασσόμενου ρεύματος διαμέσου του ανθρώπινου σώματος είναι μεγαλύτερη από αυτή του συνεχούς ρεύματος και εξαρτάται από την τιμή της έντασης του ρεύματος και τη συχνότητα. Στο ακόλουθο διάγραμμα ρεύματος και χρόνου παρουσιάζονται 4 περιοχές επιδράσεων του ρεύματος στον οργανισμό :



Εικόνα 4.3 Επίδραση εναλλασσομένου ρεύματος[20]

Επίδραση εναλλασσομένου ρεύματος συχνότητας 15 Hz έως 100 Hz στον ανθρώπινο οργανισμό Ζώνη 1 : Συνήθως καμία αντίδραση οργανισμού. Ζώνη 2 : Συνήθως καμία επιβλαβής φυσιολογική επίδραση. Ζώνη 3 : Συνήθως δεν αναμένεται καμία οργανική βλάβη. Μυϊκή συστολή και δυσκολίες στην αναπνοή. Παροδικές διαταραχές των καρδιακών παλμών. Ζώνη 4 : Πιθανότητα καρδιακής μαρμαρυγής: Κατώφλι μαρμαρυγής καμπύλη c1 αύξηση πιθανότητας μέχρι περίπου 5% καμπύλη c2 , μέχρι 50% καμπύλη c3 και πάνω από 50% πέραν της καμπύλης c3. Με την αύξηση του ρεύματος και του χρόνου μπορούν να εμφανισθούν καρδιακή ανακοπή, αναπνευστική ανακοπή και σοβαρά εγκαύματα.

Η παρατεταμένη επαφή με το εναλλασσόμενο ρεύμα (κάποια δευτερόλεπτα) μπορεί να έχει τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- **έως 0,5 mA**

Το ρεύμα συνήθως δε γίνεται αντιληπτό. Αυτές οι ελαφρές εντάσεις δεν είναι θανατηφόρες. Μπορούν όμως, στην επαφή, να προκαλέσουν μια κίνηση φόβου.

- **από 0,5mA έως 10 mA**

Το χέρι αποκτά μια ελαφρά ακαμψία και αισθανόμαστε μούδιασμα που με αργό ρυθμό εκτείνεται από τον καρπό έως τον αγκώνα. Αν η επαφή συνεχιστεί αισθανόμαστε κράμπα στο χέρι, που φθάνει σε όλο το βραχίονα καθώς αυξάνει η ένταση του ρεύματος. Αυτές οι κράμπες μπορεί να είναι τόσο δυνατές ώστε να είναι αδύνατο να τραβήξουμε το χέρι μας από τον αγωγό.

- **από 10 mA – 25 mA**

Οι γυναίκες δεν μπορούν πλέον να αποσπάσουν τα μέλη τους από τον αγωγό, ενώ οι άνδρες αισθάνονται μερική απώλεια μυϊκού ελέγχου και έντονο πόνο. Δε μπορούν πλέον να αποσπάσουν τα μέλη τους από τον αγωγό.

- **από 25 mA – 45 mA**

Οι μύες συσπώνται δυνατά και επώδυνα. Όταν αυτή η μυϊκή σύσπαση φθάσει ως τους μύες του θώρακα, τότε εμποδίζεται η αναπνοή, πράγμα που μπορεί να οδηγήσει σε θάνατο, από ασφυξία. Στις περιπτώσεις το μόνο μέσο διάσωσης του θύματος είναι η τεχνητή αναπνοή.

- **από 45 mA– 200mA**

Πρόκληση εγκαυμάτων (καταστροφή ιστών, νεύρων, μυών) που επουλώνονται με εξαιρετικά αργούς ρυθμούς. Πιθανή καρδιακή ανακοπή, σταμάτημα της κυκλοφορίας του αίματος.

- **Πάνω από 200 mA**

Θανατηφόρο ακαριαία, με σταμάτημα της καρδιάς και κάψιμο βασικών οργάνων.

- **Πάνω από 1 A**

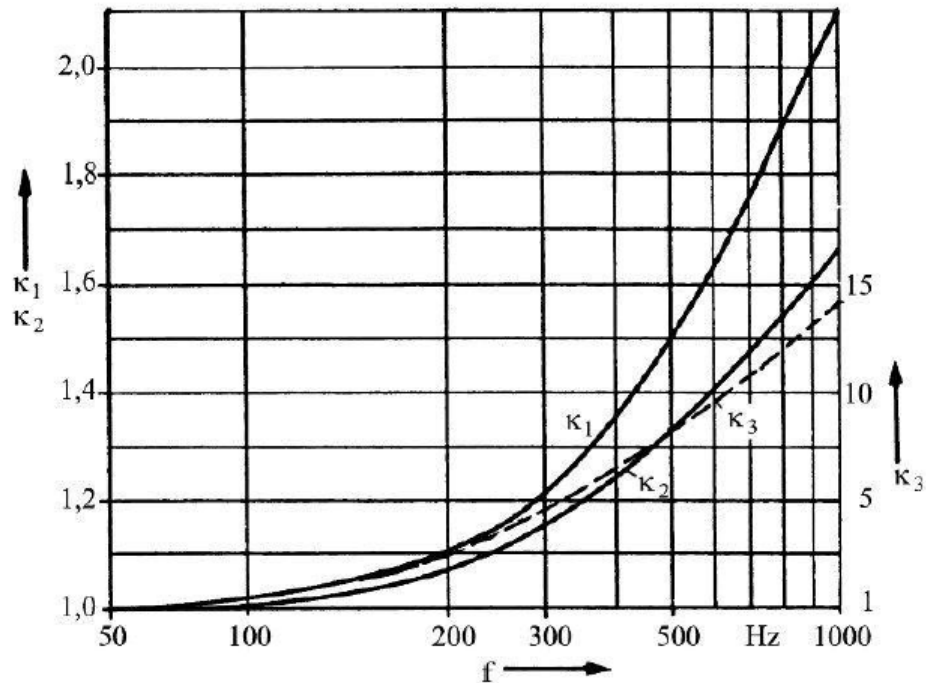
Απελευθερώνεται μεγάλη ποσότητα θερμότητας που κάνει να πήξουν οι πρωτεΐνες του αίματος και βοηθάει την παραγωγή μυοσφαιρίνης, μίας χρωστικής των μυών που για τα νεφρά αποτελεί ισχυρό δηλητήριο.

4.4 Επίδραση συχνότητας στον ανθρώπινο οργανισμό[2,20]

Η επίδραση του ρεύματος στον άνθρωπο γίνεται πιο ακίνδυνη καθώς αυξάνεται η συχνότητα από 50Hz σε υψηλότερες συχνότητες. Φαίνεται ότι η περιοχή γύρω από τα 50Hz είναι η πιο επικίνδυνη. Δηλαδή, στο συνεχές και σε υψηλότερες συχνότητες η δράση του ρεύματος είναι πιο ακίνδυνη.

Οι γνώσεις για τις επιπτώσεις των ρευμάτων συχνότητας $f > 60$ Hz είναι περιορισμένες. Όμως, επειδή υπάρχουν πολλές εφαρμογές με συχνότητα $f > 60$ Hz (όπως στα αεροπλάνα 400 Hz, ηλεκτρικά εργαλεία 450 Hz) χρησιμοποιούνται τα παρακάτω σχήματα. Έχουμε μείωση της επίδρασης ημιτονοειδών εναλλασσόμενων ρευμάτων με αύξηση της συχνότητας. Τα όρια αντίδρασης του οργανισμού, απελευθέρωσης του χεριού που κρατάει τον αγωγό και μαρμαρυγής είναι μεγαλύτερα και προκύπτουν από τον πολλαπλασιασμό των ορίων για τα 50 Hz με τους αντίστοιχους συντελεστές.

Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη αυξάνονται τα ρεύματα που διαρρέουν τον ανθρώπινο οργανισμό με την αύξηση της συχνότητας για την ίδια τάση επαφής.

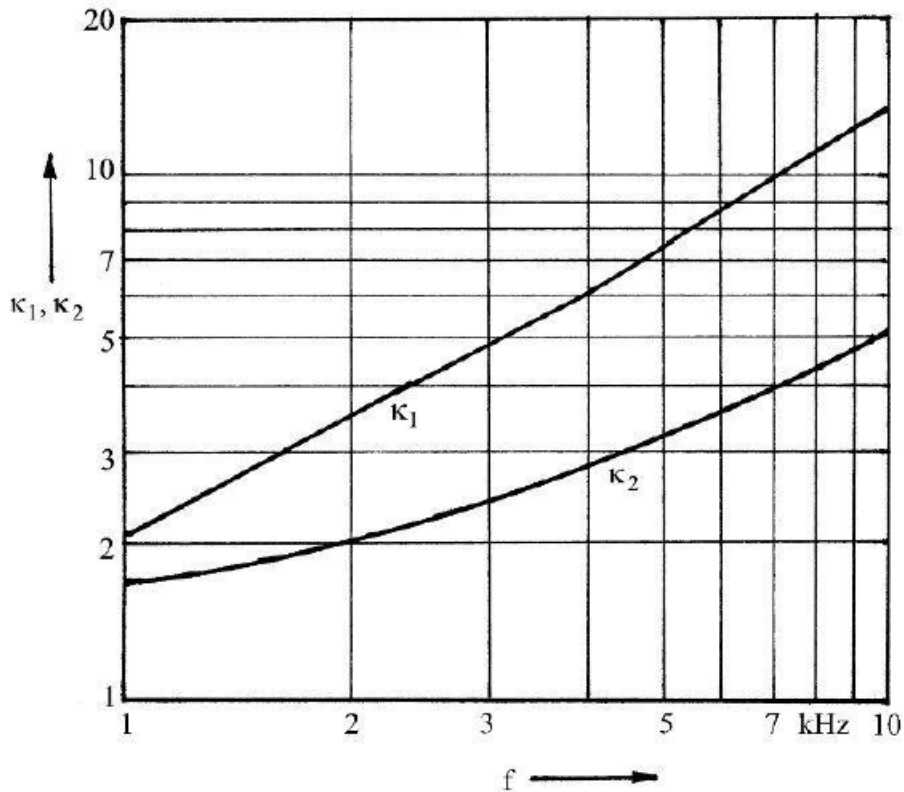


Σχήμα 1 Μείωση των επιδράσεων ρευμάτων συχνότητας $50 \text{ Hz} < f < 1000 \text{ Hz}$ [20]

Για το παραπάνω σχήμα έχουμε τους συντελεστές κ_1 , κ_2 , κ_3 :

- κ_1 συντελεστής αύξησης του ορίου αντίληψης του ρεύματος (0,5 mA)
- κ_2 : συντελεστής αύξησης του ορίου απελευθέρωσης του χεριού που κρατάει τον αγωγό (10 mA)
- κ_3 : συντελεστής αύξησης του ορίου μαρμαρυγής για διάρκεια επαφής μεγαλύτερη από την περίοδο των καρδιακών παλμών (περίπου 0,75s) και ροή ρεύματος κατά μήκος του κορμού.

Το Σχήμα 2 είναι αντίστοιχο του σχήματος 1, αλλά για συχνότητα $1\text{kHz} < f < 10\text{kHz}$. Εδώ δεν υπάρχουν δεδομένα για τον συντελεστή κ_3 .



Σχήμα 2 Μείωση των επιδράσεων ρευμάτων συχνότητας $1\text{kHz} < f < 10\text{kHz}$ [20]

Για την μείωση των επιδράσεων ρευμάτων συχνότητας $1\text{kHz} < f < 10\text{kHz}$ έχουμε τους παρακάτω συντελεστές :

- κ₁: συντελεστής αύξησης του ορίου αντιλήψεως του ρεύματος (0,5 mA)
- κ₂: συντελεστής αύξησης του ορίου απελευθέρωσης του χεριού που κρατάει τον αγωγό (10 mA)

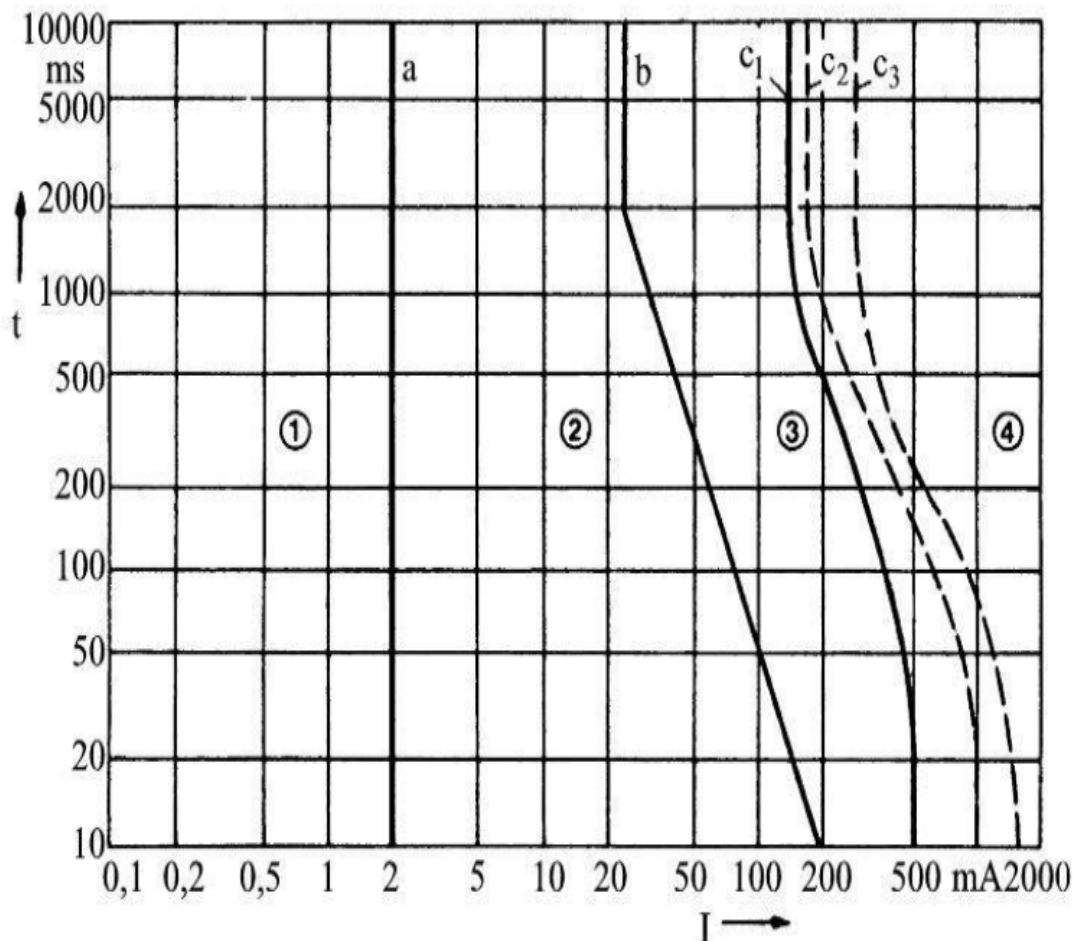
4.5 Επίδραση συνεχούς ρεύματος στον ανθρώπινο οργανισμό

Υπάρχουν 4 περιοχές (ζώνες) επίδρασης του συνεχούς ρεύματος στον άνθρωπο, σύμφωνα με το ακόλουθο σχήμα (αυτές ισχύουν ανεξάρτητα από την ηλικία και το βάρος) :

- Ζώνη 1 : Συνήθως καμία αντίδραση. Το συνεχές ρεύμα γίνεται αντιληπτό σε ένταση άνω των 2 mA.
- Ζώνη 2 : Συνήθως καμία επιβλαβής φυσιολογική επίδραση. Άνω των 2 mA, το ρεύμα προκαλεί συστολή των μυών, όχι όμως οργανική βλάβη, μόνο αν αυτό μεταβληθεί απότομα, δηλαδή κατά την επαφή ή κατά τη διακοπή της επαφής.
- Ζώνη 3 : Συνήθως δεν αναμένεται καμία οργανική βλάβη. Με την αύξηση του ρεύματος και του χρόνου είναι πιθανές παροδικές

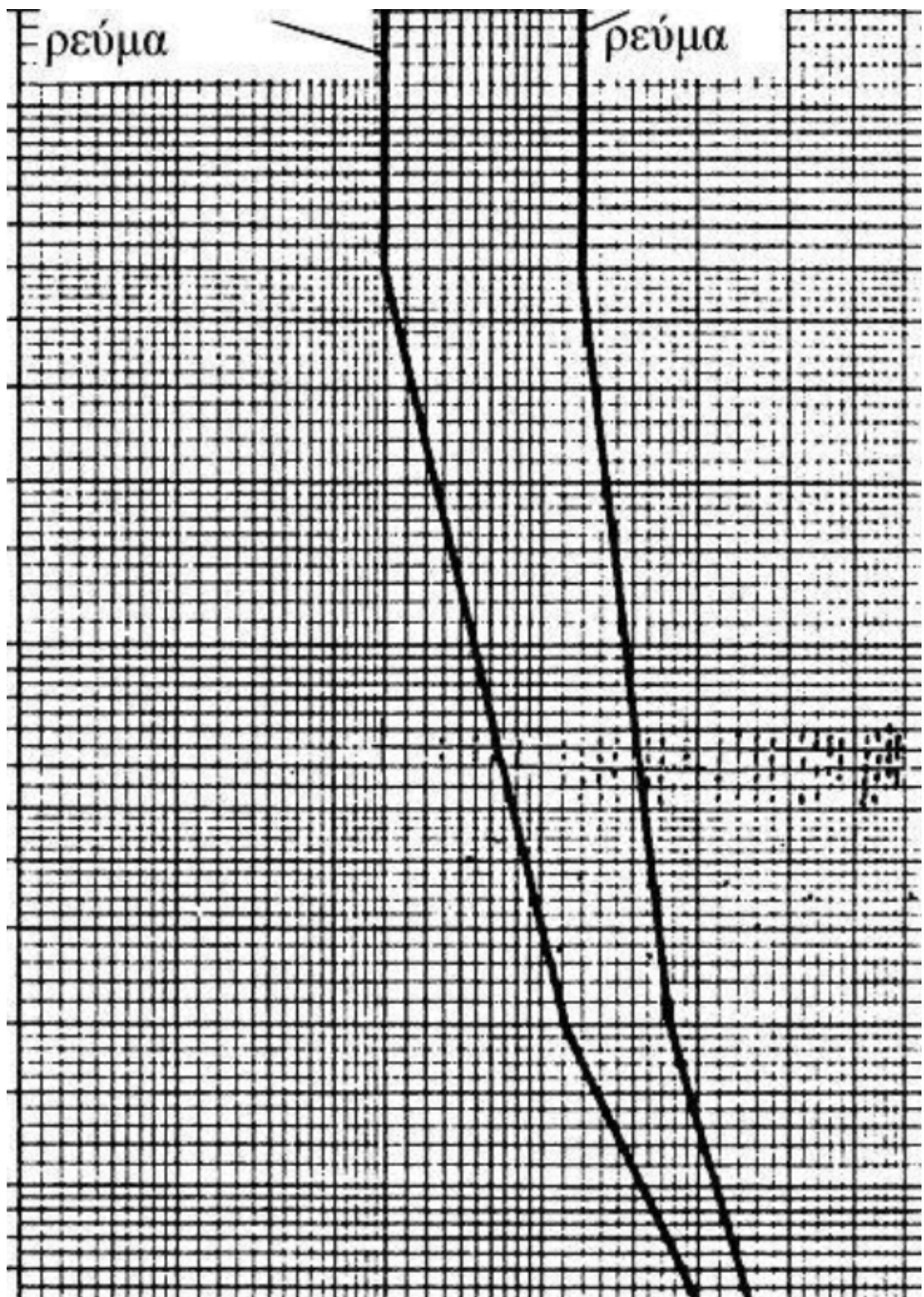
διαταραχές των καρδιακών παλμών. Λόγω έλλειψης δεδομένων τα όρια μεταξύ των περιοχών 2 και 3 είναι ασαφή.

- Ζώνη 4 : Πιθανότητα καρδιακής μαρμαρυγής: Κατώφλι μαρμαρυγής καμπύλη c_1 , αύξηση πιθανότητας μέχρι περίπου 5% καμπύλη c_2 , μέχρι 50% καμπύλη c_3 και πάνω από 50% πέραν της καμπύλης c_3 . Με την αύξηση του ρεύματος και του χρόνου είναι δυνατά σοβαρά εγκαύματα.



Εικόνα 4.4 Επίδραση του συνεχούς ρεύματος [20]

Σύγκριση των αντίστοιχων σχημάτων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, το συνεχές ρεύμα είναι πιο ακίνδυνο απ' ό,τι ένα εναλλασσόμενο ρεύμα, με τιμή μεγίστου ίση με αυτή του συνεχούς. Για το συνεχές ρεύμα προκύπτει το τετραπλάσιο όριο, 2 mA έναντι 0.5 mA για να γίνει το ρεύμα αντιληπτό. Επίσης το όριο μαρμαρυγής είναι και αυτό τετραπλάσιο για χρόνους ροής μεγαλύτερους της περιόδου των καρδιακών παλμών. Για μικρούς χρόνους το όριο είναι το ίδιο πρακτικά και για συνεχές και για εναλλασσόμενο.



U_B →

Μέγιστη επιτρεπό- μενη διάρκεια (s)	Τάση επαφής U_B	
	Εναλλασσόμενο ρεύμα Ενδεικνυόμενη τιμή (V)	Συνεχές ρεύμα V
∞	<50	<120
5	50	120
1	75	140
0,5	90	160
0,2	110	175
0,1	150	200
0,05	220	250
0,03	280	310

Εικόνα 4.5 Μέγιστη επιτρεπόμενη διάρκεια για δεδομένη τάση επαφής [20]

Ενέργειες σε περίπτωση ηλεκτροπληξίας

Η αντιμετώπιση μιας ηλεκτροπληξίας απαιτεί ψυχραιμία και συντονισμό. Οι ενέργειες σε βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν είναι:

- Κατέβασε το Γενικό Διακόπτη
- Απομάκρυνε τον παθόντα από το ρεύμα χρησιμοποιώντας κάποιο μονωτικό υλικό (ξύλο, πλαστικό, ειδικά γάντια)
- Τοποθέτησέ τον σε στάση που διατηρεί ελεύθερη την αναπνευστική οδό
- Εκτίμησε την κλινική κατάσταση και τηλεφώνησε άμεσα στις Α΄ Βοήθειες και την Άμεση Επέμβαση (199) δηλώνοντας:
 - Συμβάν Ηλεκτροπληξίας
 - Πλήρη Διεύθυνση (περιοχή, Οδό, Αριθμό, Τηλέφωνο, Όροφο)
- Κάνε τεχνητή αναπνοή και μασάζ καρδιάς, αν είσαι κατάλληλα εκπαιδευμένος
- Συνέχισε την προσπάθεια διάσωσης μέχρι να αναλάβει κάποιος περισσότερο αρμόδιος

Τα μέτρα που εφαρμόζονται διεθνώς κατά της ηλεκτροπληξίας κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες, Α,Β,Γ.

- A. Αποφυγή της τάσης, δηλαδή μηδενική τάση επαφής, εξασφαλίζεται με τα εξής μέσα : ισχυρή μόνωση, φράγματα ή περιβλήματα, εμπόδια, χωροθέτηση σε απρόσιτη θέση, χώρους με μη αγωγίμο δάπεδο, χώρους με ισοδυναμικές επιφάνειες, αγωγίωτα συστήματα.
- B. Χρήση πολύ χαμηλών τάσεων. Εδώ μιλάμε για τάσεις λειτουργίας με εξασφαλισμένη τιμή αρκετά κάτω από 50V EP ή 120V ΣΡ. Οι τιμές αυτές πρέπει να εξασφαλίζονται και σε ανώμαλες καταστάσεις.
- C. Ταχεία απόζευξη επικίνδυνων τάσεων. Με εφαρμογή σε ουδετερωμένα δίκτυα και σε μη γειωμένα δίκτυα. Η απόζευξη επιτυγχάνεται με ασφάλειες, μικροαυτόματους και διακόπτες διαφορικού ρεύματος.

4.6.1 Επιτρεπτό όριο ρεύματος [2]

Στον σχεδιασμό ενός συστήματος γείωσης πρέπει να εξασφαλίζει ότι η διάρκεια και η ένταση του ρεύματος συχνότητας 50Hz ή 60Hz που διαρρέει το ανθρώπινο σώμα δεν θα υπερβαίνει το κατώφλι πέρα από το οποίο προκαλείται κοιλιακός ινιδισμός. Η διάρκεια ενός ρεύματος το οποίο θα είναι ανεκτό για τον άνθρωπο, σχετίζεται με την ένταση του μέσω του τύπου :

$$S_B = (I_B)^2 \times t_s$$

Όπου

- I_B η rms τιμή του ρεύματος που διαρρέει το σώμα, σε A
- t_s η διάρκεια έκθεσης στο ρεύμα, σε sec
- S_B η εμπειρική σταθερά που σχετίζεται με την ενέργεια που αντέχει ορισμένο ποσοστό του πληθυσμού.

Σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει το 95% των ανθρώπων μπορεί να αντέξει, χωρίς να προκληθεί κοιλιακός ινιδισμός, ένα ρεύμα του οποίου η ένταση και η διάρκεια δίνεται από τους παρακάτω τύπους:

$$I_B = \frac{k}{\sqrt{t_s}}$$

Όπου, σύμφωνα με την προηγούμενη εξίσωση :

$$k = \sqrt{S_B}$$

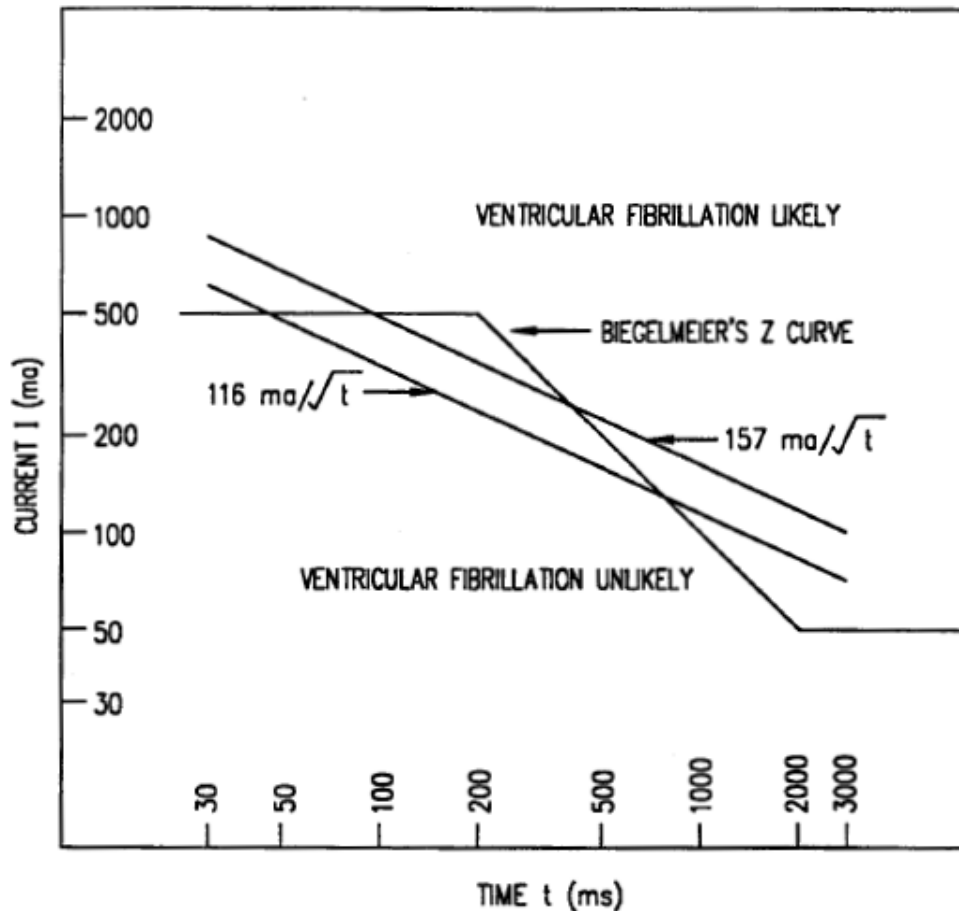
Έρευνες απέδειξαν ότι το 99.5% των ατόμων που ζυγίζουν περίπου 50kg έχουν ως ανώτατο όριο απορροφούμενης ενέργειας από ρεύμα $S_B = 0.0135$. Τότε $k_{50} = 0.116$ και η σχέση για τον υπολογισμό του ανώτατου ορίου για την ένταση του ρεύματος που διαρρέει το σώμα γίνεται :

$$I_{B50} = \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

Αντίστοιχα για άτομα με σωματικό βάρος 50kg έχουμε

$$I_{B70} = \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

Από τα παραπάνω αντλούμε το συμπέρασμα ότι άτομα σωματικού βάρους 70 kg αντέχουν ρεύματα μεγαλύτερης έντασης. Επειδή όμως δουλεύουμε πάντα στην ασφαλή πλευρά επιλέγουμε το όριο που δίνεται για τα άτομα βάρους 50 kg. Τα παραπάνω συμπεράσματα τα βλέπουμε στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Εικόνα 4.6 Ρεύμα που διαρρέει το ανθρώπινο σώμα συναρτήσει του χρόνου [2]

4.7 Ισοδύναμα κυκλώματα κατά τη διάρκεια σφάλματος[2]

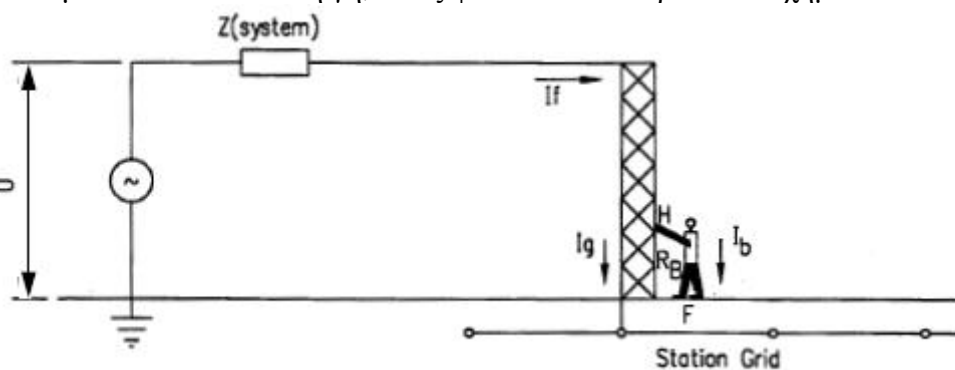
Το ανθρώπινο σώμα προσεγγίζεται με μια αντίσταση, για συνεχή και εναλλασσόμενα ρεύματα, συχνότητας 50Hz ή 60Hz. Το ρεύμα που διαρρέει το ανθρώπινο σώμα ακολουθεί τη διαδρομή από ένα χέρι προς τα δυο πόδια ή από το ένα πόδι στο άλλο. Η εσωτερική αντίσταση του σώματος είναι περίπου 300Ω, ενώ οι τιμές για την αντίσταση του σώματος συμπεριλαμβανομένου του δέρματος κυμαίνονται από 500Ω έως 3000Ω σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει. Η αντίσταση του ανθρώπινου σώματος μειώνεται όταν το δέρμα τρυπηθεί στο σημείο επαφής. Έχουμε θεωρήσει τις αντιστάσεις επαφής του χεριού και του ποδιού καθώς επίσης και τις αντιστάσεις για γάντια και για παπούτσια ίσες με το μηδέν. Λαμβάνεται ως τιμή για την αντίσταση του ανθρώπινου σώματος από χέρι σε πόδι ή από χέρι σε χέρι τα 1000Ω .Πρέπει να σημειωθεί ότι η τιμή των 1000Ω έχει επιλεγεί για την διαδρομή ανάμεσα σε χέρι με πόδι καθώς τότε το ρεύμα περνάει από τα μέρη του σώματος που υπάρχουν τα ζωτικά όργανα. Η περίπτωση ροής του ρεύματος από πόδι σε πόδι είναι λιγότερο επικίνδυνη κι επομένως η ένταση του ρεύματος και συγχρόνως ο κίνδυνος θανάτου μειώνεται όμως προτιμάται η διεξαγωγή της μελέτης από την ασφαλή πλευρά.

Οι παρακάτω παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό του συστήματος γείωσης :

1. Η τάση μεταξύ των ποδιών επιφέρει πόνο και μπορεί να προκαλέσει πτώση του ατόμου, που έρχεται σε επαφή, στο έδαφος.
2. Υπάρχει περίπτωση ένα άτομο να εργάζεται ή να ξεκουράζεται προύμυτα. Άμεσα ο κίνδυνος αυξάνεται καθώς προκαλείται ροή ρεύματος στην περιοχή των ζωτικών οργάνων, έχουν καταγραφεί θάνατοι αυτής της αιτίας. Για αυτόν τον λόγο θεωρείται απαραίτητος ο έλεγχος τόσο της τάσης μεταξύ των ποδιών (βηματική τάση) όσο και της τάσης μεταξύ ποδιού και χεριού σε επαφή με γειωμένο αντικείμενο (τάση επαφής).

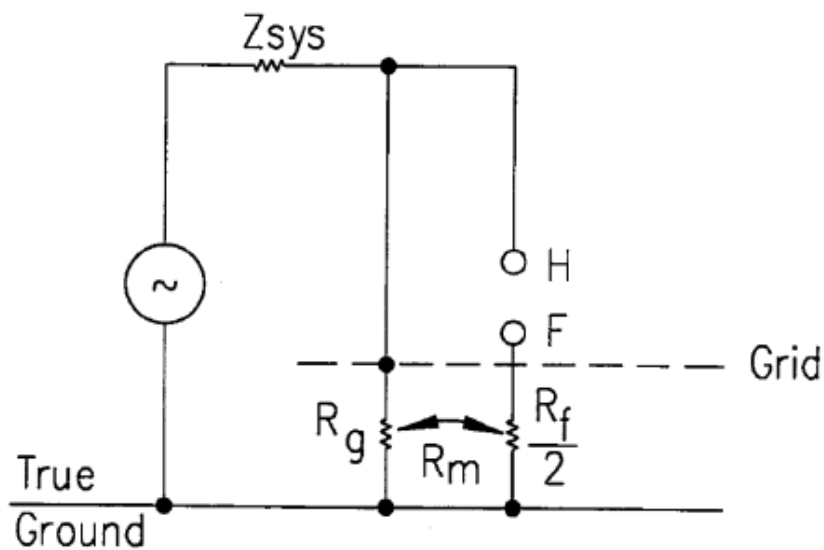
4.7.1 Τάση επαφής

Η τάση επαφής αναπτύσσεται μεταξύ χεριού που έρχεται σε επαφή με γειωμένο αντικείμενο και ποδιού στη γη, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα.



Εικόνα 4.7 Τάση επαφής [2]

Το ρεύμα σφάλματος I_f εκφορτίζεται μέσω του συστήματος γείωσης και του ανθρώπου που ακουμπά την μεταλλική κατασκευή στο σημείο H. Το σημείο επαφής του ανθρώπου με την γη είναι το F και η αντίσταση του ανθρώπου είναι η R_B . Το ρεύμα I_b ρέει από το σημείο H, διαμέσου του ανθρώπινου σώματος, στο σημείο F. Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε τις διάφορες αντιστάσεις.

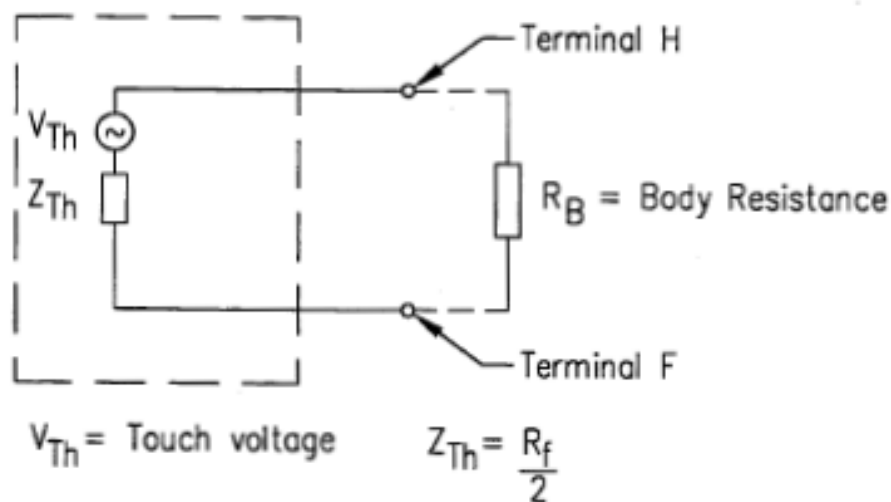


Εικόνα 4.8 Ισοδύναμο κύκλωμα τάσης επαφής [2]

Η συνολική αντίσταση της εγκατάστασης είναι η Z . Τα ρεύμα σφάλματος I_f διαχωρίζεται στο I_g που ρέει μέσω της γείωσης με αντίσταση R_g και το ρεύμα I_b που ρέει μέσω του ανθρώπου. R_f είναι η αντίσταση του ποδιού σε σχέση με την γη.

Εφαρμόζουμε το θεώρημα Thevenin, έχοντας ως τερματικά τα σημεία H και F. Η τάση Thevenin V_{Th} είναι η τάση μεταξύ των σημείων H και F όταν ο άνθρωπος είναι απών. Η αντίσταση Thevenin, Z_{Th} , είναι η αντίσταση του συστήματος όπως φαίνεται από τα σημεία H και F με βραχυκυκλωμένες τις πηγές τάσης. Το ρεύμα I_b που διαρρέει το άτομο σε επαφή δίνεται από τη σχέση:

$$I_b = \frac{V_{Th}}{Z_{Th} + R_B}$$



Εικόνα 4.9 Ισοδύναμο θεώρημα Thevenin για την τάση επαφής [2]

Για την αντίσταση Thevenin έχουμε λόγω παραλληλίας των αντιστάσεων των δυο ποδιών:

$$Z_{Th} = \frac{R_f}{2}$$

Όπου R_f η αντίσταση του ενός ποδιού όπως έχουμε αναφέρει.

Για την κυκλωματική ανάλυση, το ανθρώπινο πόδι παριστάνεται ως ένας αγωγίμος μεταλλικός δίσκος και η επαφή παπουτσιού και κάλτσας αγνοείται.

Η αντίσταση ως προς το έδαφος ενός μεταλλικού δίσκου ακτίνας b [m] στην επιφάνεια ομοιογενούς εδάφους ειδικής αντίστασης ρ [Ωm] δίνεται από τη σχέση:

$$R_f = \frac{\rho}{4b}$$

Συνήθως χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση του ποδιού μεταλλικός δίσκος ακτίνας 0.08m, οπότε η σχέση γίνεται:

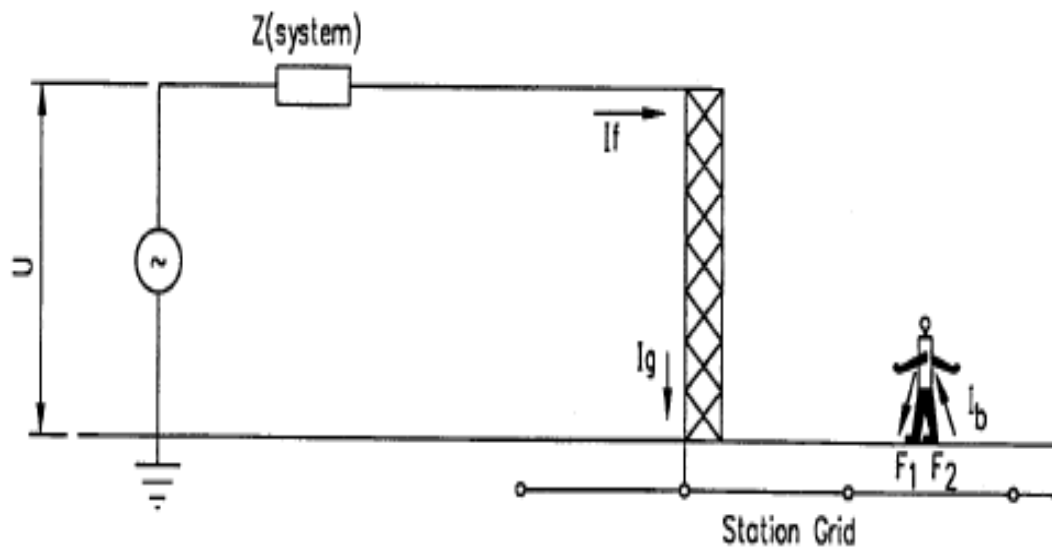
$$Z_{Th} = 1.5\rho$$

Το επιτρεπόμενο όριο τάσης επαφής δίνεται από τον τύπο:

$$E_{touch} = I_B(R_B + 1.5\rho)$$

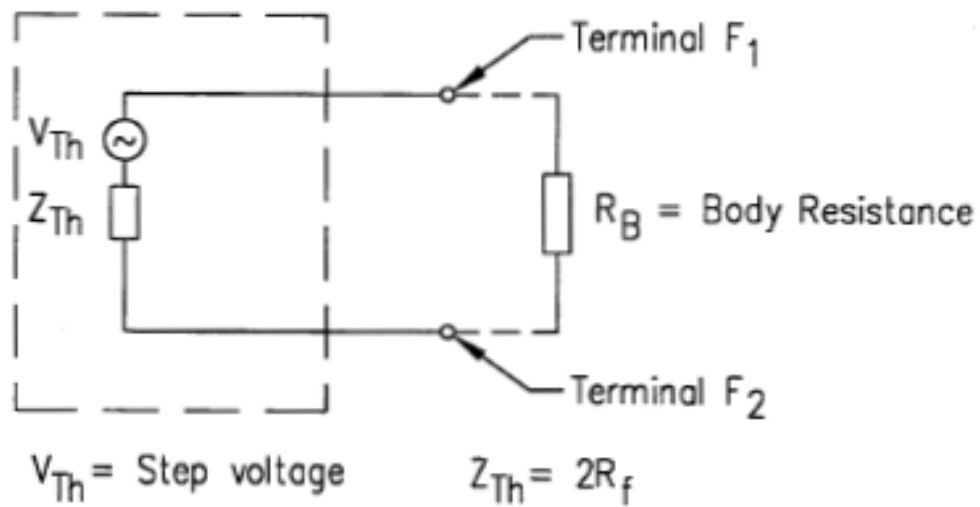
4.7.2 Βηματική Τάση

Η βηματική τάση αναπτύσσεται μεταξύ των δύο ποδιών ανθρώπου που στέκεται στην επιφάνεια της γης, όπως φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα.



Εικόνα 4.10 Βηματική Τάση[2]

Βλέπουμε ότι το ρεύμα I_f ακολουθεί την διαδρομή F_1 από το ένα πόδι, μέσω του σώματος του ανθρώπου και μετά από το δεύτερο πόδι F_2 . Πάλι εφαρμόζουμε το θεώρημα Thevenin, αλλά χρησιμοποιώντας τώρα ως τερματικά σημεία τα σημεία επαφής με το έδαφος F_1, F_2 . Όπως και προηγουμένως, η τάση V_{Th} είναι η τάση στα άκρα που ακουμπά ο άνθρωπος F_1 και F_2 όταν αυτά είναι ανοικτοκυκλωμένα.



Εικόνα 4.11 Ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin για Βηματική Τάση[2].

Η ισοδύναμη αντίσταση Thevenin είναι η αντίσταση του συστήματος, όπως αυτή φαίνεται από τα σημεία F1 και F2 . Το ρεύμα που διαρρέει το ανθρώπινο σώμα είναι και σε αυτή την περίπτωση:

$$I_b = \frac{V_{Th}}{Z_{Th} + R_B}$$

Η αντίσταση Thevenin είναι ίση με:

$$Z_{Th} = 2R_f$$

Χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$R_f = \frac{\rho}{4b}$$

και για $b=0,08\text{m}$ καταλήγουμε:

$$Z_{Th} = 60\rho$$

Το επιτρεπόμενο όριο βηματικής τάσης δίνεται από τον τύπο:

$$E_{touch} = I_B(R_B + 60\rho)$$

4.8 Επίδραση του λεπτού στρώματος υλικού επιφανείας

Η θεώρηση για την αντίσταση ποδιού R_f έγινε υποθέτοντας ότι το έδαφος έχει συγκεκριμένη ειδική αντίσταση. Ωστόσο, στην επιφάνεια της γης που βρίσκεται πάνω από το πλέγμα γείωσης, συνήθως τοποθετείται ένα στρώμα πάχους 0.08m-0.15m υλικού μεγάλης ειδικής αντίστασης, όπως χαλίκι. Με αυτό τον τρόπο, αυξάνεται η αντίσταση ανάμεσα στο έδαφος και στα πόδια του ανθρώπου. Το σχετικά μικρό βάθος του υλικού επιφανείας συγκρινόμενο με την ακτίνα του μεταλλικού δίσκου που μοντελοποιεί το ανθρώπινο πόδι, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ειδική αντίσταση εδάφους κατά τον κατακόρυφο άξονα είναι ομοιόμορφη. Όμως κατά την οριζόντια διεύθυνση, για ένα άτομο που βρίσκεται στην περιοχή του υποσταθμού, το υλικό επιφανείας θεωρείται ότι εκτείνεται ως το άπειρο.[2]

Εάν το έδαφος κάτω από το υλικό επιφανείας έχει μικρότερη ειδική αντίσταση από το υλικό επιφανείας, τότε μόνο ένα κλάσμα του ρεύματος που διαρρέει το πλέγμα γείωσης θα ανέβει στο λεπτό στρώμα της επιφάνειας του υλικού. Η τάση της επιφάνειας θα διαφέρει ελάχιστα από αυτή στην περίπτωση χωρίς υλικό επιφανείας. Το ρεύμα που θα εισέλθει στο ανθρώπινο σώμα θα μειωθεί αρκετά, διότι θα υπάρχει μεγαλύτερη αντίσταση επαφής των ποδιών του ανθρώπου με τη γη. Ωστόσο, η αντίσταση αυτή μπορεί να θεωρηθεί αρκετά μικρότερη από την περίπτωση που θα είχαμε στρώμα επιφάνειας μεγάλου πάχους θεωρώντας ομογενή ειδική αντίσταση προς όλες τις κατευθύνσεις. Η μείωση εξαρτάται από τις σχετικές τιμές της ειδικής αντίστασης του εδάφους και των υλικών επιφάνειας και από το πάχος του υλικού επιφάνειας.[2]

Στην περίπτωση που το έδαφος έχει μεγαλύτερη ειδική αντίσταση από το υλικό επιφανείας, ένα σημαντικό μέρος του ρεύματος που διαρρέει το πλέγμα γείωσης θα ανέβει στο στρώμα του υλικού επιφάνειας. Εξαιτίας της συγκέντρωσης ρεύματος κοντά στην επιφάνεια, τα δυναμικά επιφανείας τώρα θα είναι διαφορετικά. Επομένως το ρεύμα που διαρρέει το άτομο ή τα δυναμικά επιφανείας επηρεάζονται από τη σχέση της ειδικής αντίστασης του υλικού επιφάνειας και της ειδικής αντίστασης του εδάφους. Βασική παράμετρος που καθορίζει το βαθμό που επηρεάζει το υλικό επιφανείας είναι το πάχος του στρώματος αυτού του υλικού.[2]

Η αντίσταση προς γη του ποδιού πάνω στο υλικό επιφανείας μπορεί να δοθεί από την παρακάτω εξίσωση :

$$R_f = \left[\frac{\rho_s}{4b} \right] C_s$$

$$C_s = 1 + \frac{16b}{\rho_s} \sum_{n=1}^{\infty} K^n R_{m(2nh_s)}$$

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s}$$

Όπου

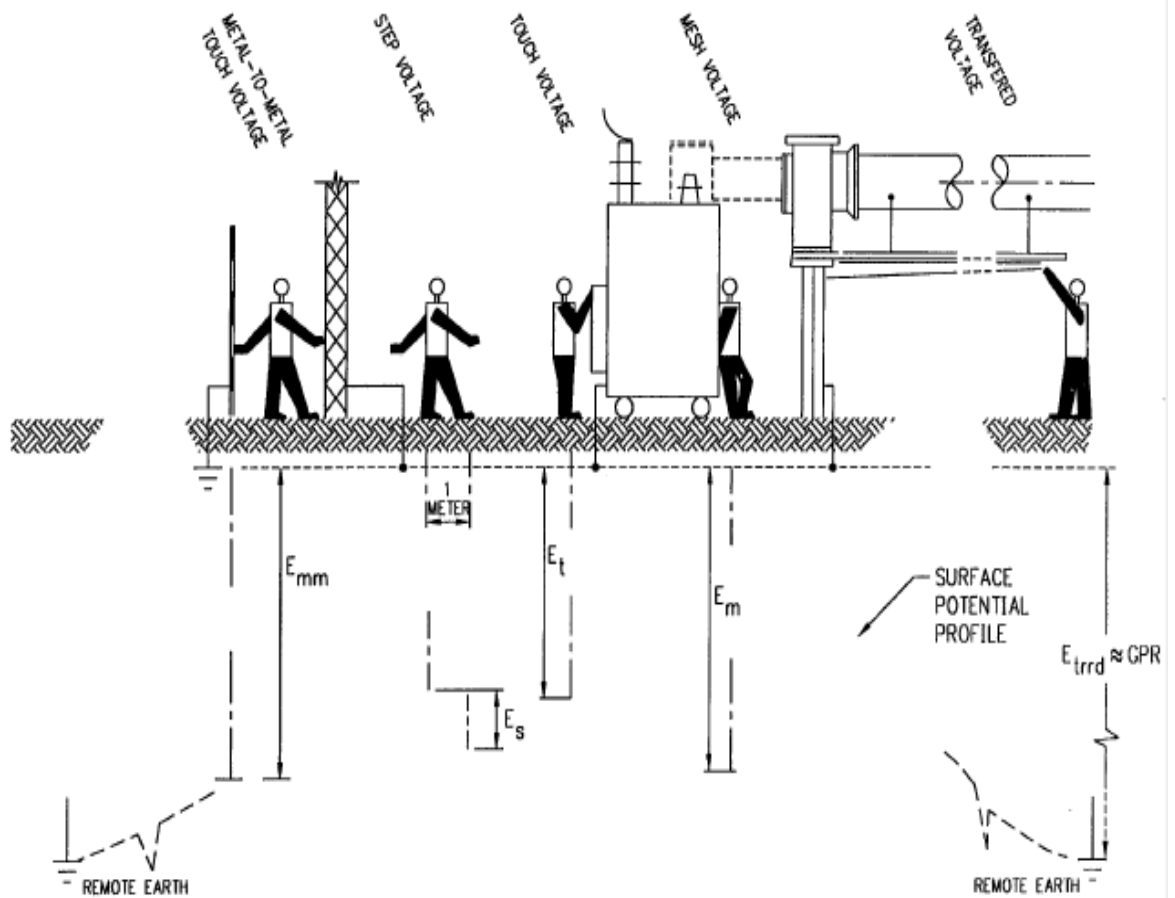
- C_s ο συντελεστής μείωσης του στρώματος επιφανείας
- K ο συντελεστής ανάκλασης ανάμεσα σε υλικά διαφορετικών ειδικών αγωγιμοτήτων
- ρ_s η ειδική αντίσταση του υλικού επιφανείας σε Ωm
- ρ η ειδική αντίσταση της γης υπό το υλικό επιφανείας σε Ωm
- h_s ο πάχος του υλικού επιφανείας σε m
- b η ακτίνα του κυκλικού μεταλλικού δίσκου που μοντελοποιεί το πόδι σε m
- $R_m(2\pi h_s)$ η αμοιβαία αντίσταση γείωσης ανάμεσα σε δυο παρόμοιες, παράλληλες, ομοαξονικές πλάκες, που απέχουν απόσταση , μέσα σε ένα μέσο απείρων διαστάσεων, ειδικής αντίστασης , σε Ωm .

Ο παρακάτω εμπειρικός τύπος δίνει την τιμή του C_s με απόκλιση 5% από τις τιμές που προκύπτουν από την επίλυση της αναλυτικής μεθόδου :

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2h_s + 0.09}$$

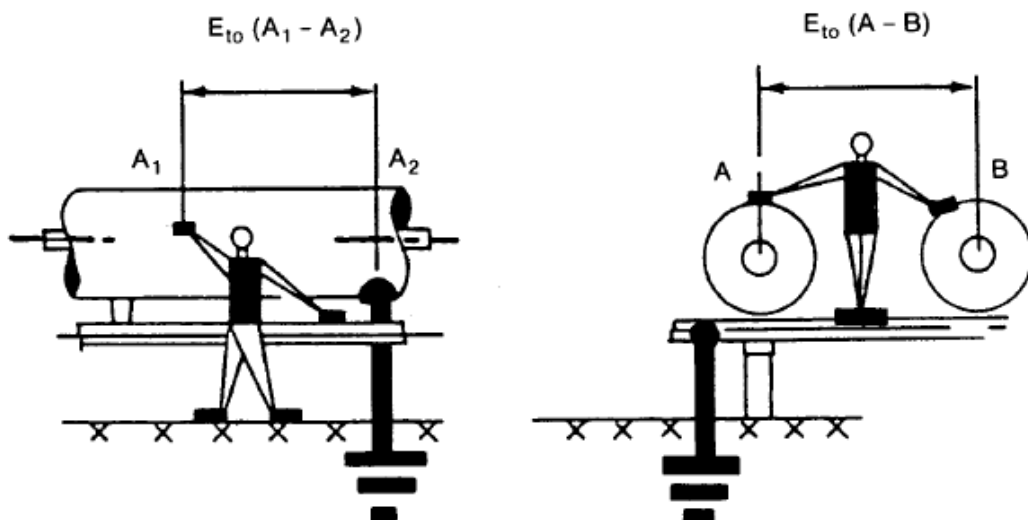
4.9 Κριτήρια ανεκτής τάσης

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε πέντε βασικές περιπτώσεις που αφορούν ένα άτομο και γειωμένες εγκαταστάσεις κατά τη διάρκεια βραχυκυκλώματος. Για επαφή πόδι με πόδι, το ισοδύναμο κύκλωμα είναι αυτό αναλύσαμε παραπάνω, και η τάση είναι ίση με E_s (βηματική τάση). Για τα τρία παραδείγματα επαφής χέρι με πόδια που δίνονται στο σχήμα, η τάση U ισούται με Et (τάση επαφής), Em (τάση πλέγματος) ή $Etrrd$ (μεταφερόμενη τάση) αντίστοιχα.



Εικόνα 4.12 Τάσεις επαφής, βηματική, βρόχου, επαφής, μεταξύ μετάλλων και μεταφοράς [2]

Το κύκλωμα που αφορά την επαφή μέταλλο με μέταλλο, είτε χέρι με χέρι, είτε χέρι με πόδια, δίνεται στο επόμενο σχήμα όπου η U είναι ίση με τη μέταλλο με μέταλλο τάση επαφής E_{mm} .



Εικόνα 4.13 Τυπικές περιπτώσεις επαφής μέταλλο με μέταλλο [2]

Κατά τη διάρκεια ενός σφάλματος, η γη άγει τα ρεύματα που προέρχονται από το πλέγμα και άλλα μόνιμα ηλεκτρόδια γείωσης που είναι θαμμένα κάτω από την επιφάνειά της. Οι προκαλούμενες κλίσεις δυναμικού έχουν ουσιαστική επίδραση στην τιμή του U .

Στην περίπτωση των συμβατικών υποσταθμών, η τυπική περίπτωση της μέταλλο με μέταλλο τάσης επαφής προκύπτει όταν μεταλλικά αντικείμενα ή κατασκευές μέσα στην περιοχή του υποσταθμού δεν είναι συνδεδεμένα με το πλέγμα γείωσης. Αντικείμενα όπως σωλήνες, ράγες, φράκτες που εντοπίζονται μέσα ή κοντά στην περιοχή όπου είναι θαμμένο το πλέγμα γείωσης του υποσταθμού, και που δεν είναι συνδεδεμένα με το πλέγμα γείωσης, ικανοποιούν την παραπάνω συνθήκη. Η ουσιώδης μέταλλο με μέταλλο τάση επαφής μπορεί εμφανίζεται όταν ένα άτομο που στέκεται πάνω ή ακουμπά σε ένα γειωμένο αντικείμενο ή κατασκευή και που έρχεται σε επαφή με μεταλλικό αντικείμενο ή κατασκευή που δεν είναι γειωμένο. Στην πράξη, για να αποφευχθεί ο κίνδυνος από τη μέταλλο με μέταλλο τάση επαφής, συνδέονται τα δυνητικά επικίνδυνα σημεία με το πλέγμα του υποσταθμού.

Η περίπτωση της μεταφερόμενης τάσης προκύπτει όταν ένα άτομο που στέκεται μέσα στην περιοχή του υποσταθμού ακουμπήσει έναν αγωγό γειωμένο σε απόμακρο σημείο, ή όταν ένα άτομο που στέκεται σε απόμακρο σημείο ακουμπήσει αγωγό που συνδέεται με το πλέγμα γείωσης του υποσταθμού. Σε συνθήκες σφάλματος, το προκαλούμενο δυναμικό στη γη μπορεί να είναι ίσο ή και μεγαλύτερο από το GPR (μέγιστο δυναμικό γείωσης) ενός πλέγματος γείωσης που εκφορτίζει το ρεύμα σφάλματος. Είναι πρακτικό να σχεδιάζεται ένα πλέγμα γείωσης βασισμένο στις τάσεις επαφής προκαλούμενες από εξωτερικές μεταφερόμενες τάσεις. Ο κίνδυνος από τις εξωτερικές μεταφερόμενες τάσεις όπως επαγόμενες από κυκλώματα επικοινωνιών, σωλήνες, κτλ θα ήταν καλό να αποφεύγεται χρησιμοποιώντας συσκευές απομόνωσης ή ουδετέρωσης και θεωρώντας τα εν λόγω κυκλώματα, σωλήνες, κτλ, ισοδύναμα με ενεργοποιημένες γραμμές.

4.1 Κριτήρια για τη βηματική τάση και την τάση επαφής [2]

Η ασφάλεια ενός ατόμου βασίζεται στην πρόληψη ενός σημαντικού ποσού ενέργειας από το ηλεκτρικό σοκ που θα απορροφηθεί πριν το σφάλμα καθαριστεί. Το μέγιστο της οδηγούμενης τάσης σε οποιοδήποτε κύκλωμα που θα δημιουργηθεί από ατύχημα δεν πρέπει να ξεπερνάει τα όρια που έχουν οριστεί.

Για την βηματική τάση το όριο είναι :

$$E_{step} = (R_B + 2R_f)I_B$$

Για ένα σωματικό βάρους 50 kg

$$E_{step50} = (1000 + 6C_s\rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

Για ένα σωματικό βάρους 70 kg

$$E_{step70} = (1000 + 6C_s\rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

Παρόμοια, για την τάση επαφής το όριο είναι :

$$E_{touch} = \left(R_B + \frac{R_f}{2} \right) I_B$$

Για ένα σωματικό βάρους 50 kg

$$E_{touch50} = (1000 + 1.5C_s\rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

Για ένα σωματικό βάρους 70 kg

$$E_{touch70} = (1000 + 1.5C_s\rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

Όπου

- $C_s = 1 - \frac{0.09(1-\frac{\rho}{\rho_s})}{2h_s+0.09}$
- E_{step} η βηματική τάση σε V
- E_{touch} η τάση επαφής σε V
- ρ_s η ειδική αντίσταση του υλικού επιφανείας σε Ωm
- t_s η διάρκεια που διαρρέει το ρεύμα το ανθρώπινο σώμα σε sec.

Εάν δεν χρησιμοποιείται υλικό επιφανείας, τότε $C_s = 1$ και $\rho_s = \rho$

Αντικαθιστώντας στις παραπάνω σχέσεις $\rho_s = 0$ βρίσκουμε τα όρια για τη μέταλλο με μέταλλο τάση επαφής:

Για ένα σωματικό βάρους 50 kg

$$E_{mm-touch50} = \frac{116}{\sqrt{t_s}}$$

Για ένα σωματικό βάρους 70 kg

$$E_{mm-touch70} = \frac{157}{\sqrt{t_s}}$$

Όπου E_{mm} είναι μέταλλο με μέταλλο τάση επαφής μετρούμενη σε V.

Στην πράξη οι τιμές της τάσης επαφής, βηματικής τάσης και μέταλλο με μέταλλο τάση επαφής θα είναι μικρότερες από τα μέγιστα επιτρεπτά όρια έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια του συστήματος.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

5.1 Τοποθεσία της εγκατάστασης

Για την πραγματοποίηση των πειραματικών μετρήσεων προβήκαμε στην τοποθέτηση ενός ηλεκτροδίου γείωσης στο χώρο του πανεπιστημίου Πατρών όπου προϋπήρχαν και άλλα πέντε ηλεκτρόδια γείωσης από προηγούμενα πειράματα και πιο συγκεκριμένα στο χώρο απέναντι από τα βαρέα κτήρια των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών. Για καλύτερη κατανόηση του χώρου υπάρχει στην συνέχεια μια φωτογραφία από το Google Maps.



Εικόνα 5.1 Χώρος εγκατάστασης ηλεκτροδίων

Οι συνθήκες για τη τοποθέτηση των ηλεκτροδίων στο συγκεκριμένη τοποθεσία είναι ιδανικές διότι ο χώρος δεν χρησιμοποιείται από καποια σχολή ή υπηρεσία. Η έκταση είναι τόσο ώστε να εξυπηρετεί την τοποθέτηση πλήθος ηλεκτροδίων και σε μεγάλη απόσταση το ένα από το άλλο, με κατά συνέπεια καλύτερα και πιο ακριβή αποτελέσματα.

5.2 Διαδικασία τοποθέτησης 3/06/16

Τοποθετήθηκε χάλκινο ηλεκτρόδιο διαστάσεων 15x1500mm με προσθήκη κοκκινοχώματος στις 14/05/2016.



Εικόνα 5.2 Χάλκινο ηλεκτρόδιο 15x1500mm

Η τοποθέτηση του ηλεκτροδίου έγινε με την βοήθεια χαλύβδινου λοστού. Έγινε αφαίρεση μισού κυβικού μέτρου χώματος, κατά προσέγγιση, με μήκος περί τα 6cm, πλάτος 6cm και ύψος 1,4m.

$$\text{Εμβαδό} = \text{μήκος} \times \text{πλάτος} \times \text{ύψος} = 0,6\text{m} \times 0,6\text{m} \times 1,4\text{m} = 0,504\text{m}^3$$

Στην συνέχεια τοποθετήθηκε το ηλεκτρόδιο με περίπου 10cm να εξέχουν από το έδαφος. Η διαδικασία αυτή ήταν δύσκολη και χρονοβόρα καθώς το έδαφος ήταν σκληρό με αρκετές πέτρες με τη συνοδεία καύσωνος. Για την ορθή διεξαγωγή του πειράματος το νέο ηλεκτρόδιο έμεινε εκτός μετρήσεων μέχρι τις 03/06/16 ώστε το προστηθέμενο κοκκινόχωμα να εναρμονιστεί με το φυσικό περιβάλλον.



Εικόνα 5.3 Ηλεκτρόδια γείωσης



Εικόνα 5.4 Εικόνες από την τοποθεσία των ηλεκτροδίων

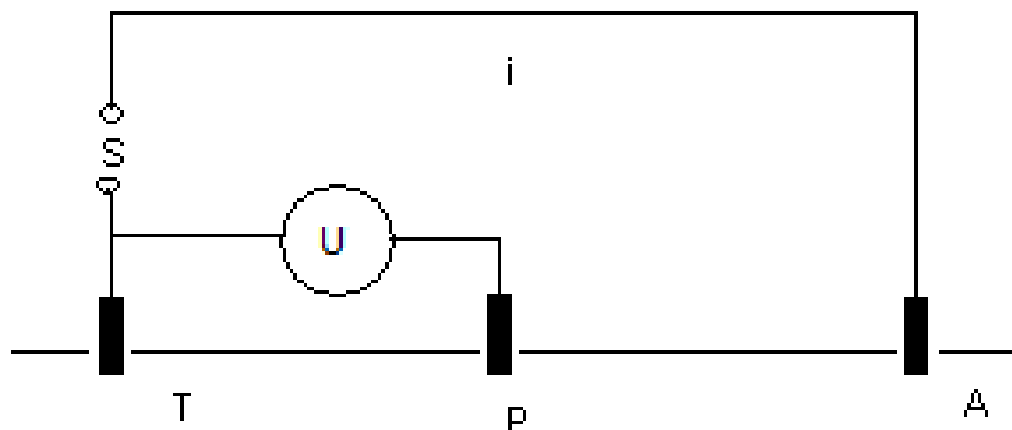
Κάθε ηλεκτρόδιο έχει τοποθετηθεί και καλυφθεί σε διαφορετική βάση χώματος για να παρατηρήσουμε το καλύτερο αποτέλεσμα.

Για την τη λήψη των μετρήσεων δόθηκαν οι εξής ονομασίες στα 6 ηλεκτρόδια:

- **Νέο ηλεκτρόδιο: Μαλακό χώμα κοκκινόχωμα**
- **Ηλεκτρόδιο Α: Ερυθρά ύλη**
- **Ηλεκτρόδιο Β: Μαλακό χώμα κηπουρικής**
- **Ηλεκτρόδιο Γ: Φυσικό έδαφος**
- **Ηλεκτρόδιο Δ: βελτιωτικό Α**
- **Ηλεκτρόδιο Ε: Βελτιωτικό Β**

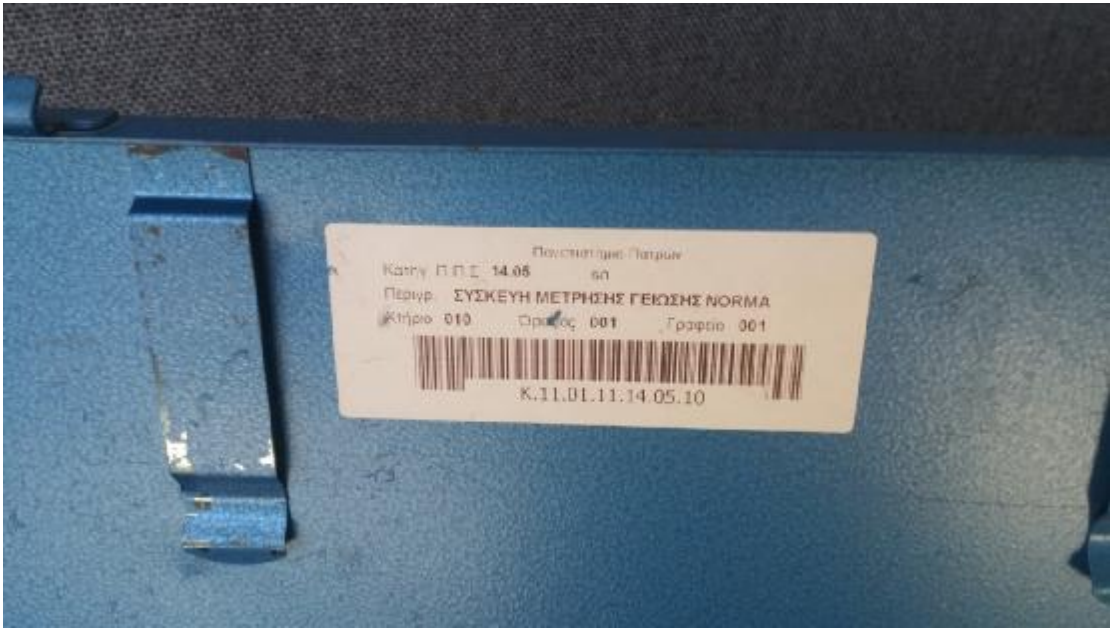
5.3 Όργανο μέτρησης

Οι μετρήσεις έγιναν με χρήση του γειωσόμετρου με την επωνυμία *norma*, που υπάρχει στο εργαστήριο Υψηλών Τάσεων, το οποίο κάνει χρήση της μεθόδου των συγκεντρωμένων ηλεκτροδίων. Παρουσιάζεται παρακάτω η μέθοδος των συγκεντρωμένων ηλεκτροδίων. Τοποθετούνται στο έδαφος τρία ηλεκτρόδια: το ένα είναι αυτό για το οποίο θέλουμε να μετρηθεί η τιμή της αντίστασης γείωσής του και τα άλλα δύο είναι βοηθητικά. Η διάταξη είναι η εξής:



Εικόνα 5.5 Μέτρηση αντίστασης γείωσης ηλεκτροδίου T με βοηθητικά ηλεκτρόδια

Διαμέσου του ηλεκτροδίου T από το οποίο πρόκειται να μετρηθεί η αντίσταση και ενός βοηθητικού ηλεκτροδίου A ρέει ένα ρεύμα I. Η απόσταση T-A είναι μεγάλη συγκρινόμενη με το μήκος του ηλεκτροδίου P. Μετρείται επίσης η τάση U μεταξύ του T και του βοηθητικού ηλεκτροδίου P. Επομένως, η τιμή της αντίστασης που ψάχνουμε είναι U/I . Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιείται εναλλασσόμενο ρεύμα για να αποφεύγονται προβλήματα με την ηλεκτρόλυση του εδάφους. Το γειωσόμετρο που χρησιμοποιήθηκε δίνει απ' ευθείας την τιμή της αντίστασης γείωσης και φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.







Εικόνα 5.6 Όργανο μέτρησης, βοηθητικά ηλεκτρόδια και βοηθητικοί πασάλοι

5.4 Διαδικασία Μετρήσεων

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο διάστημα 13/4/2016 με 1/11/2016 για μεγάλο εύρος μετρήσεων. Έγινε προσπάθεια να πραγματοποιούνται οι μετρήσεις τις ώρες 12:00, 15:00, 18:00, έτσι ώστε να έχουμε τις ίδιες συνθήκες. Υπήρξαν δύο στάδια στα οποία θέλαμε να παρατηρήσουμε τα αποτελέσματα. Το πρώτο στάδιο αφορούσε μετρήσεις που γίνανε τους μήνες Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο, με σκοπό τη παρατήρηση διαφοροποιήσεων ανάλογα με τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες. Το δεύτερο στάδιο αφορούσε δύο ή και τρεις μετρήσεις την ίδια μέρα. Η διαδικασία διαρκούσε γύρω στην μισή ώρα. Ο

εξοπλισμός μεταφερόταν με τα χέρια στο τόπο μετρήσεων και η διαδικασία αποτελούνταν από εναλλαγή στις συνδέσεις των ηλεκτροδίων με διαδρομές που είχαν συνεχόμενα τυλίγματα και απλώματα των καλωδίων.

Στην πορεία υπήρξαν και άλλες δυσκολίες, καθώς οι καιρικές συνθήκες δυσχέραιναν την διαδικασία μέτρησης. Κάποιες μετρήσεις δεν μπόρεσαν να πραγματοποιηθούν λόγω βροχοπτώσεων, ενώ άλλες πραγματοποιήθηκαν σε λασπώδες έδαφος με χαμηλές θερμοκρασίες. Να σημειωθεί ότι η διαδικασία ήταν πιο επίπονη τις ημέρες με μεγάλη ηλιοφάνεια και υψηλές θερμοκρασίες.

Ο πίνακας με τις μετρήσεις καθώς επίσης και με στοιχεία για θερμοκρασία και βροχόπτωση που πάρθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό στο Ρίο παρατίθενται στην συνέχεια.

Να σημειωθεί ότι στην θερμοκρασία χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες θερμοκρασίες από τα δεδομένα, καθώς οι μετρήσεις γίνοντουσαν από τις 12:00 το μεσημέρι έως και 18:00 το απόγευμα.

Νέο (Ω)	A (Ω)	B (Ω)	Γ (Ω)	Δ (Ω)	E (Ω)	Ημερομηνία	Θερμοκρασία (°C)	Βροχόπτωση (mm)	Ώρα
-	115	350	300	300	230	13/04/2016	17.7	0.0	12:00
-	150	305	235	270	210	21/04/2016	20.2	0.0	12:00
-	100	275	260	-	-	19/05/2016	18.2	0.0	12:00
-	125	315	300	-	-	27/05/2016	21.0	0.0	12:00
195	280	850	800	550	735	03/06/2016	21.7	0.0	12:00
285	-	335	235	170	335	11/10/2016	20.6	12.8	12:00
135	-	320	260	150	300	12/10/2016	21.5	8.2	12:00
125	-	320	240	140	285	12/10/2016	21.5	8.2	15:00
405	-	375	305	205	380	12/10/2016	21.5	8.2	18:00
140	-	340	275	155	310	13/10/2016	19.1	0.0	12:00
160	-	340	285	205	315	13/10/2016	19.1	0.0	15:00
210	235	400	320	175	410	18/10/2016	19.7	0.0	12:00
225	235	430	355	195	440	18/10/2016	19.7	0.0	15:00
225	230	420	340	195	425	19/10/2016	18.0	0.0	12:00
225	235	430	355	195	440	19/10/2016	18.0	0.0	15:00
225	235	475	365	250	475	19/10/2016	18.0	0.0	18:00
250	235	475	365	205	455	20/10/2016	19.9	0.0	15:00
115	150	450	335	160	340	01/11/2016	15.6	0.0	12:00
115	150	365	275	175	275	15/11/2016	14.6	0.6	12:00
130	145	415	320	170	300	13/12/2016	13.1	0.2	12:00

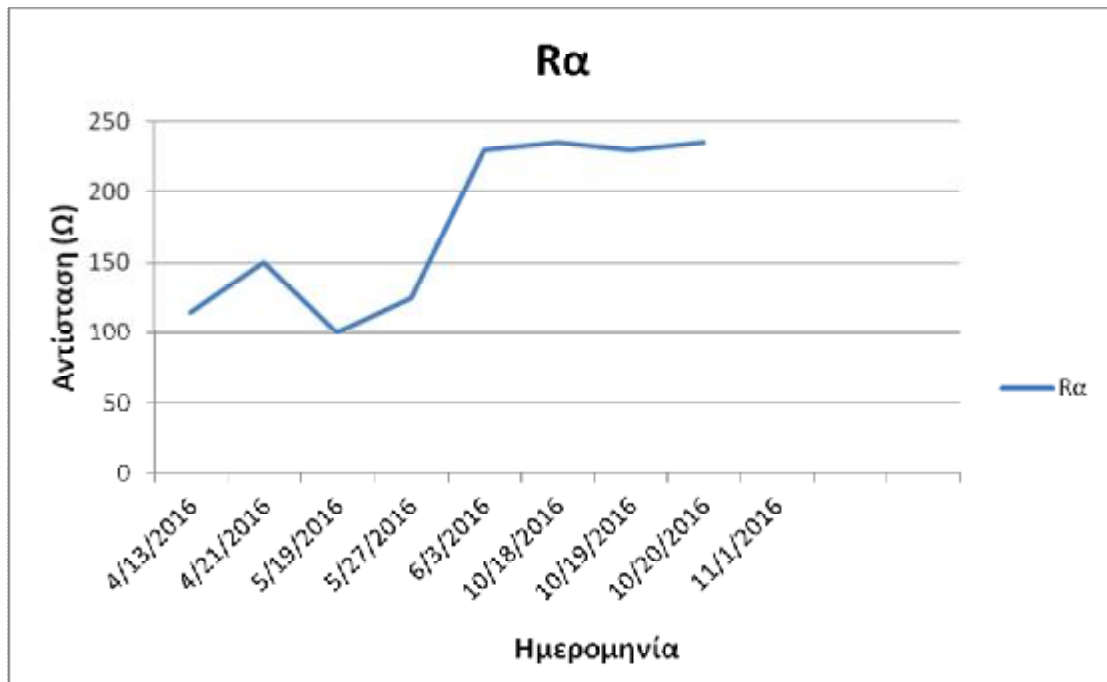
Πίνακας Μετρήσεων

5.5 Επεξεργασία μετρήσεων-Συμπεράσματα

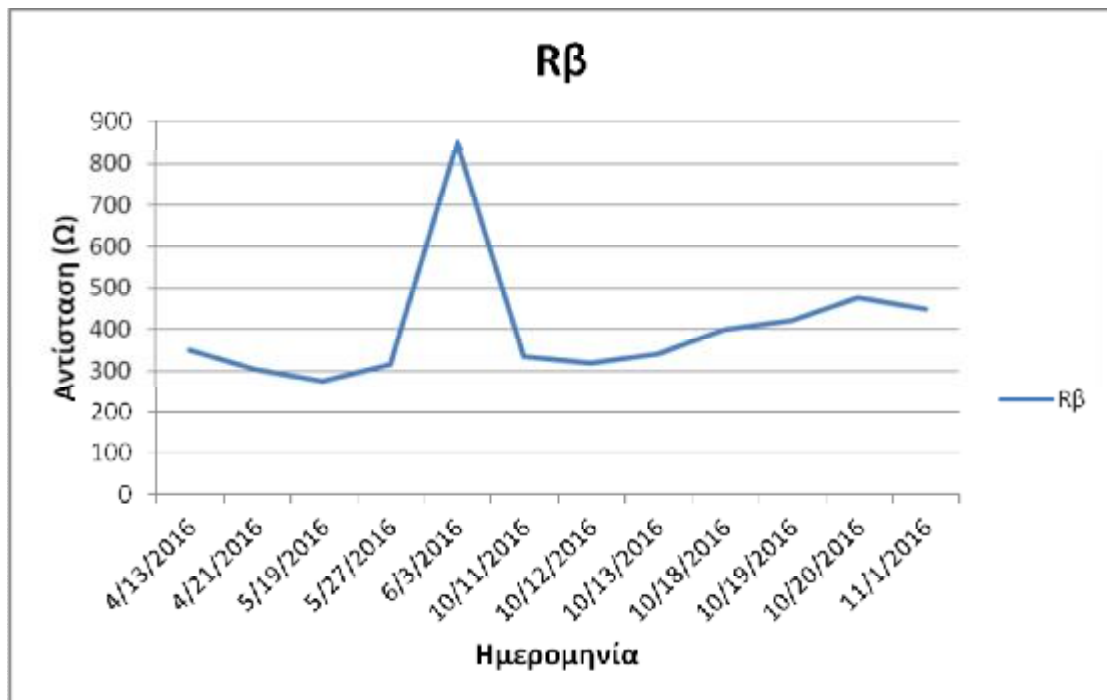
Αρχικά παρατίθενται διαγράμματα των αντιστάσεων Νέο Ηλεκτρόδιο, R_α, R_β, R_γ, R_δ, R_ε σε σχέση με τον χρόνο. Στην συνέχεια υπάρχει ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα όπου μπορούμε να δούμε ποιο ηλεκτρόδιο είχε την χαμηλότερη θερμοκρασία και τις μικρότερες διακυμάνσεις κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Η επεξεργασία έγινε με την χρήση του Microsoft Excel έχοντας ως δεδομένα τις τιμές των μετρήσεων από τα έξι ηλεκτρόδια και τις καιρικές συνθήκες από τον Μετεωρολογικό Σταθμό στο Ρίο.



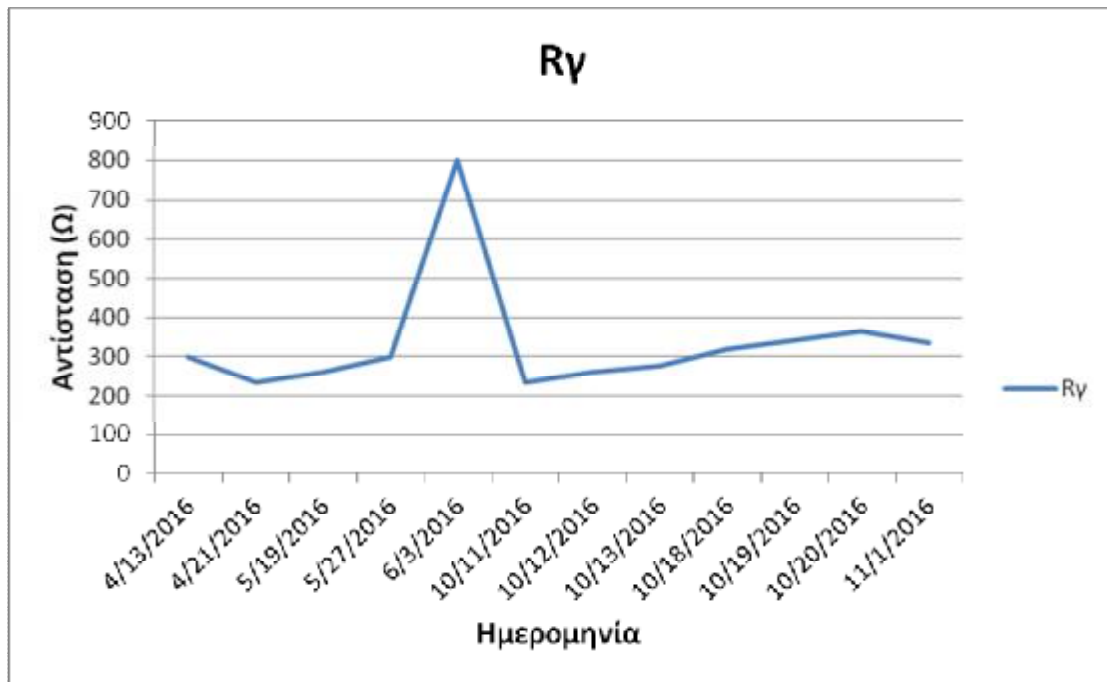
Διάγραμμα 1 Μεταβολή της αντίστασης Νέου Ηλεκτροδίου με τον χρόνο



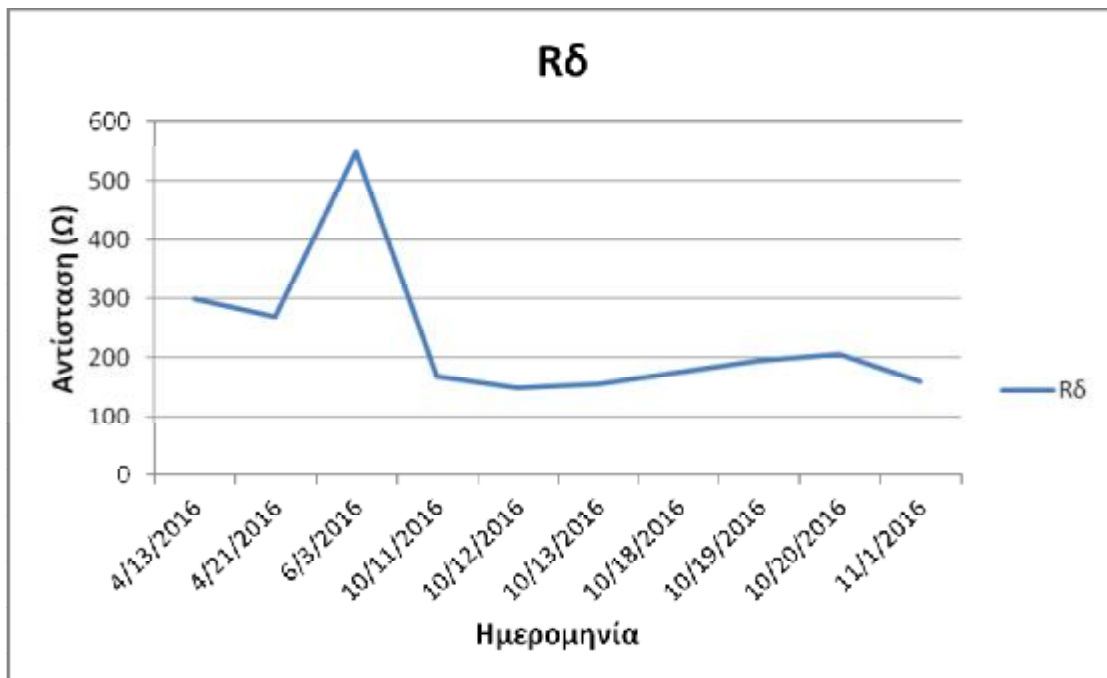
Διάγραμμα 2 Μεταβολή της Rα με τον χρόνο



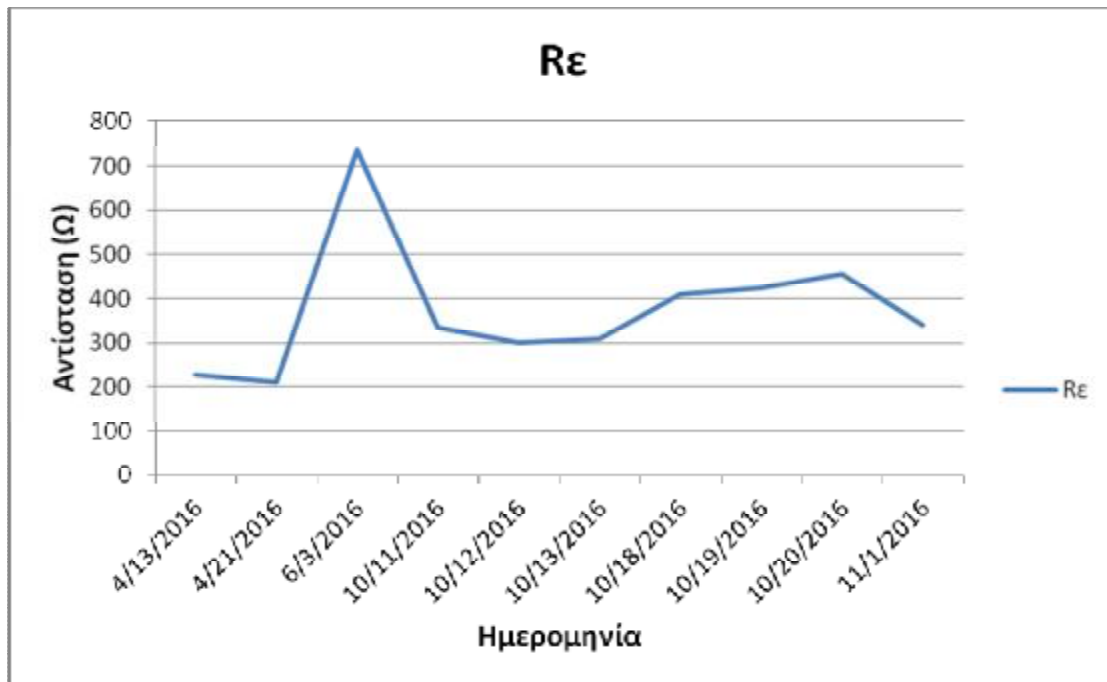
Διάγραμμα 3 Μεταβολή της Rβ με τον χρόνο



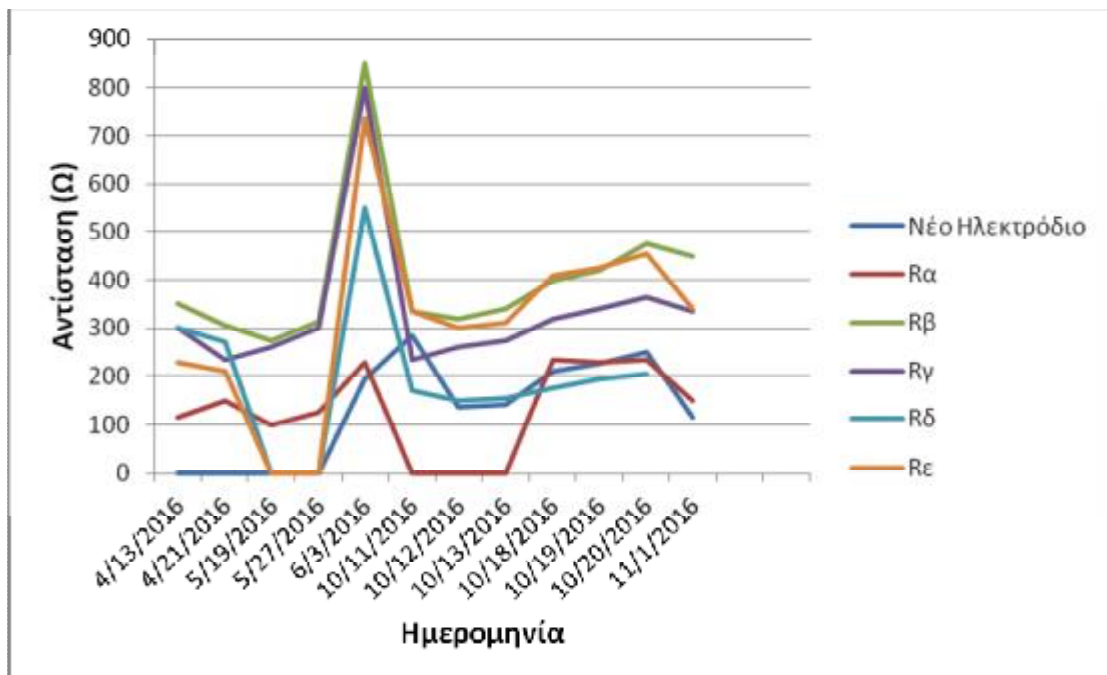
Διάγραμμα 4 Μεταβολή της R_γ με τον χρόνο



Διάγραμμα 5 Μεταβολή της R_δ με τον χρόνο



Διάγραμμα 6 Μεταβολή της Rε με τον χρόνο

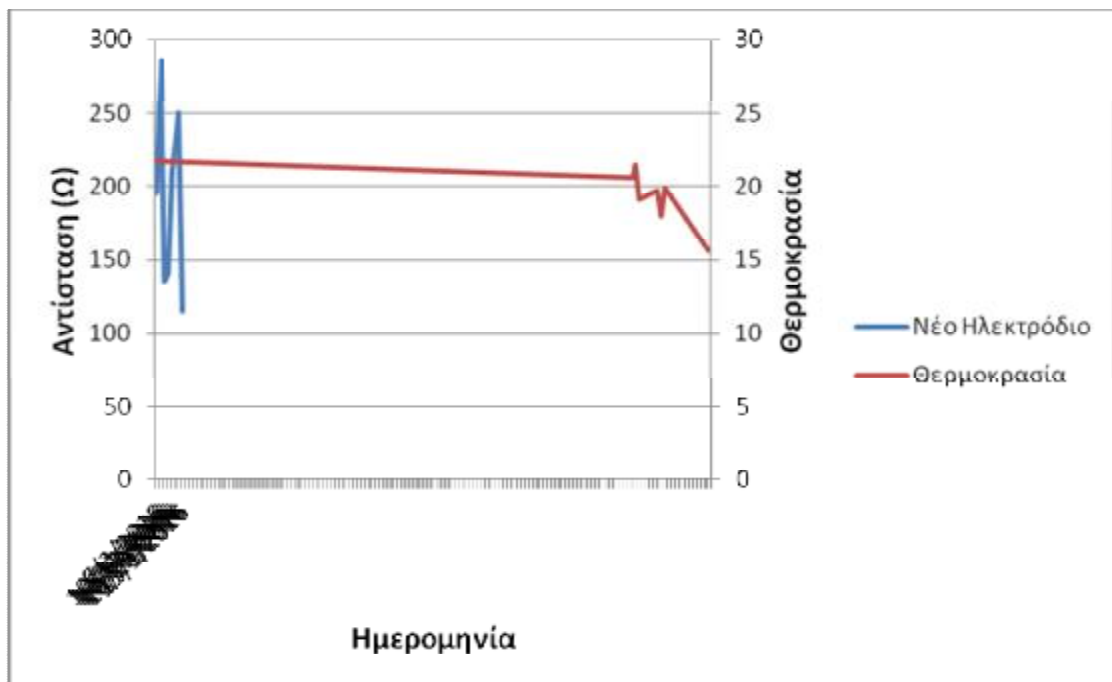


Διάγραμμα 7 Μεταβολή των αντιστάσεων Νέο Ηλεκτρόδιο, Rα, Rβ, Rγ, Rδ, Rε με τον χρόνο

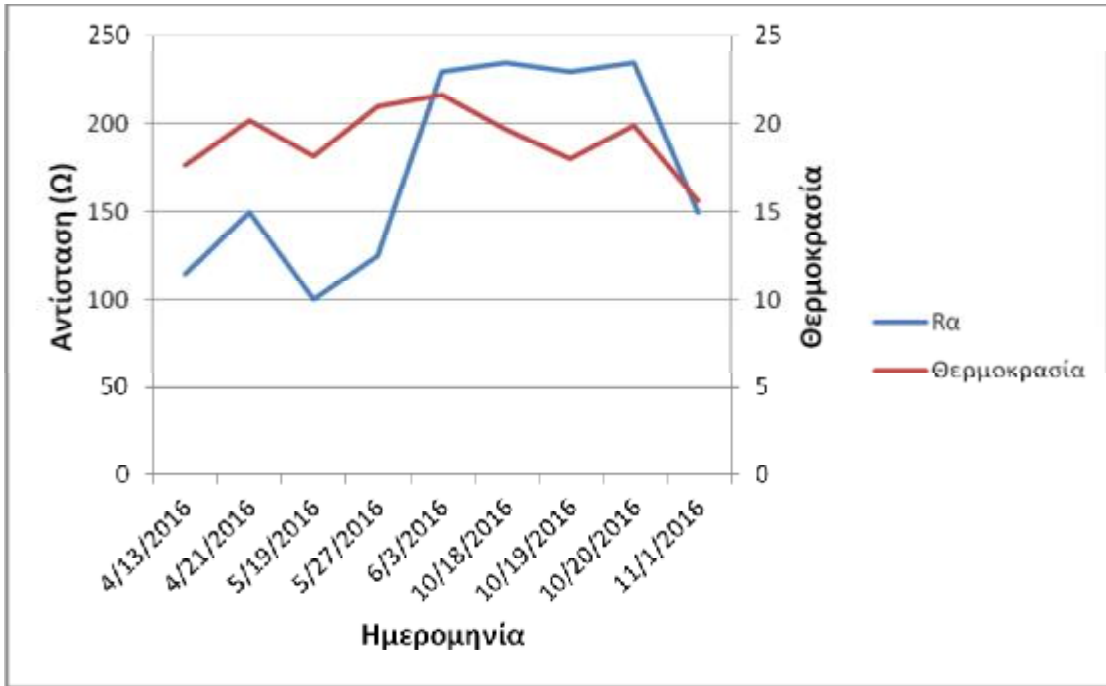
Από το παραπάνω διάγραμμα μπορούμε να εξάγουμε τα εξής συμπεράσματα. Πρώτον διακρίνουμε πολύ εύκολα ότι τις μικρότερες τιμές έχει το Νέο

Ηλεκτρόδιο στο οποίο έχει προστεθεί κοκκινόχωμα. Από τα άλλα ηλεκτρόδια βλέπουμε ότι εκείνο που βρίσκεται σε ερυθρά ύλη, έχει λίγο μικρότερες τιμές από εκείνο στο φυσικό έδαφος ενώ αρκετά χαμηλές τιμές έχει και το Rδ το οποίο περιέχει βελτιωτικό υλικό A. Ακολουθεί το ηλεκτρόδιο Re με λίγο υψηλότερες τιμές. Τέλος τις πιο υψηλές τιμές παρουσιάζει το Rβ που περιέχεται σε μαλακό χόμα κηπουρικής. Για να εξάγουμε καλύτερα συμπεράσματα θα χρειαστεί να δούμε την μεταβολή των αντιστάσεων συναρτήσει των καιρικών συνθηκών.

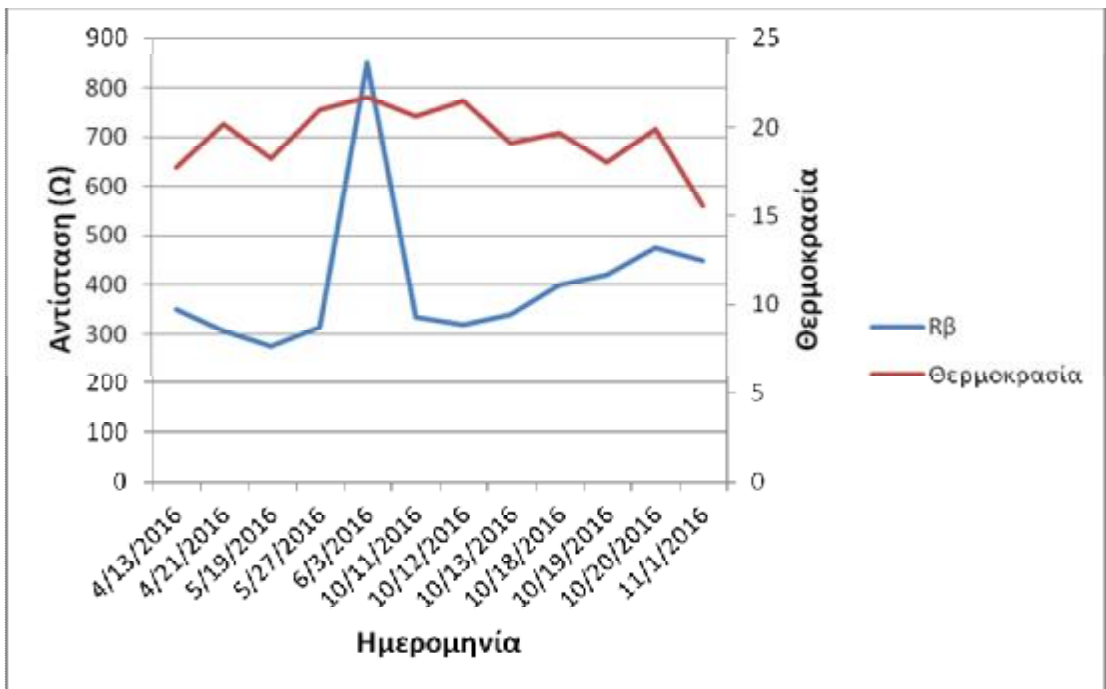
Στην συνέχεια θα δούμε την μεταβολή της αντίστασης του κάθε ηλεκτροδίου και την μεταβολή της θερμοκρασίας με την πάροδο του χρόνου.



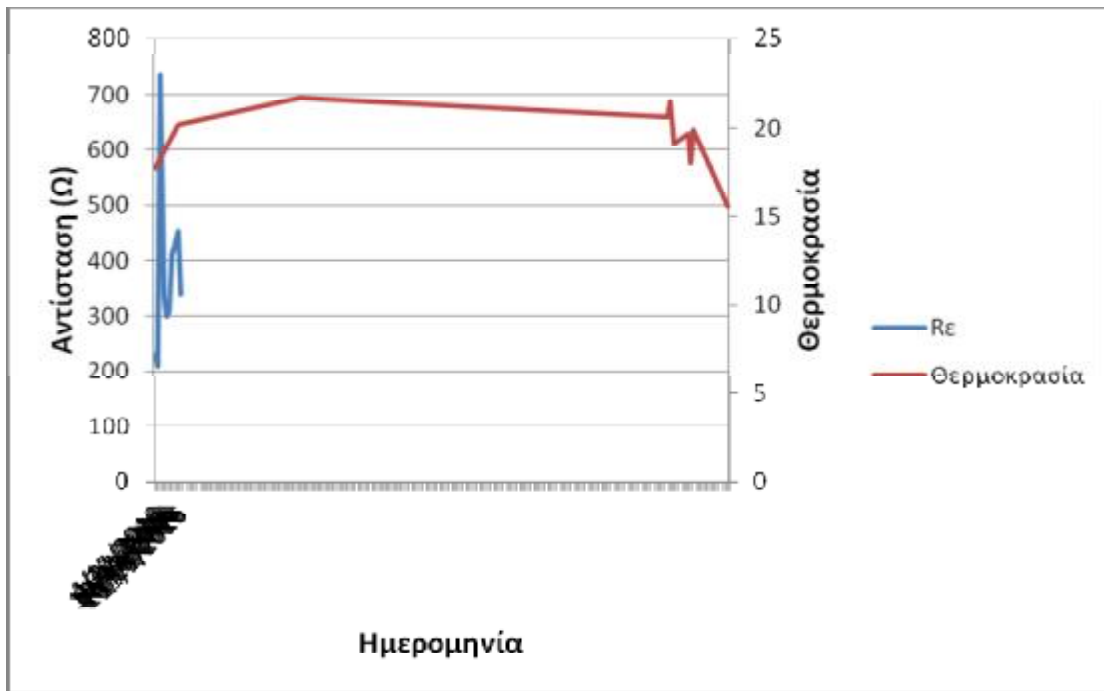
Διάγραμμα 8 Μεταβολή της αντίστασης Νέου Ηλεκτροδίου συναρτήσει της μέσης θερμοκρασίας με την πάροδο του χρόνου



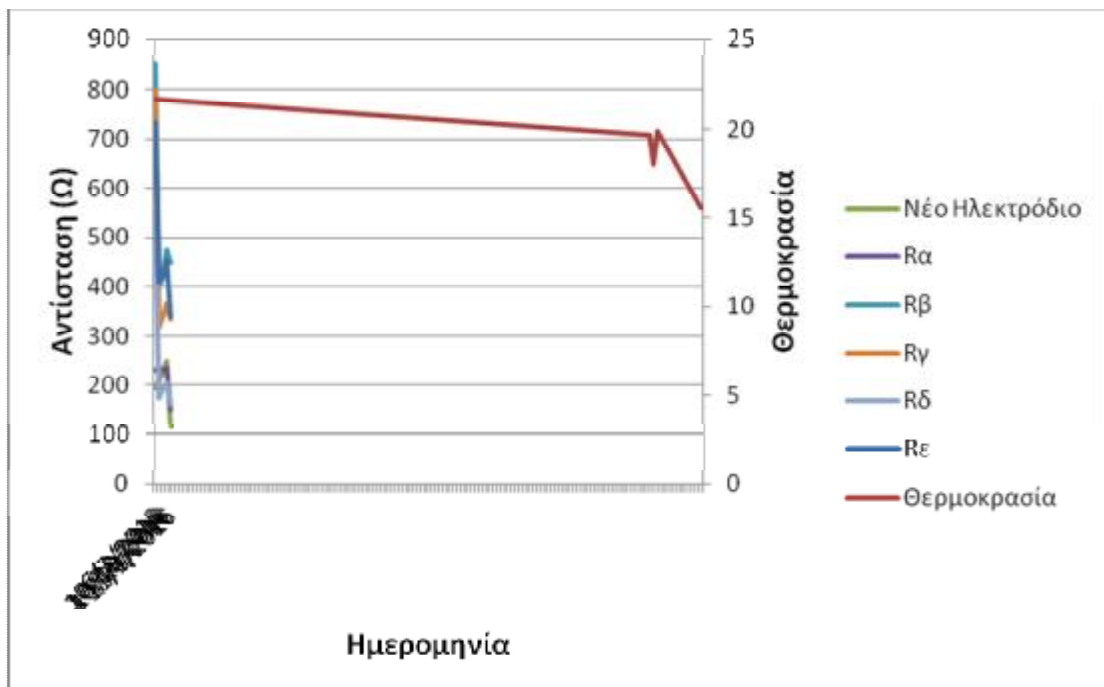
Διάγραμμα 9 Μεταβολή της αντίστασης R_a συναρτήσει της μέσης θερμοκρασίας με την πάροδο του χρόνου



Διάγραμμα 10 Μεταβολή της αντίστασης $R_β$ συναρτήσει της μέσης θερμοκρασίας με την πάροδο του χρόνου



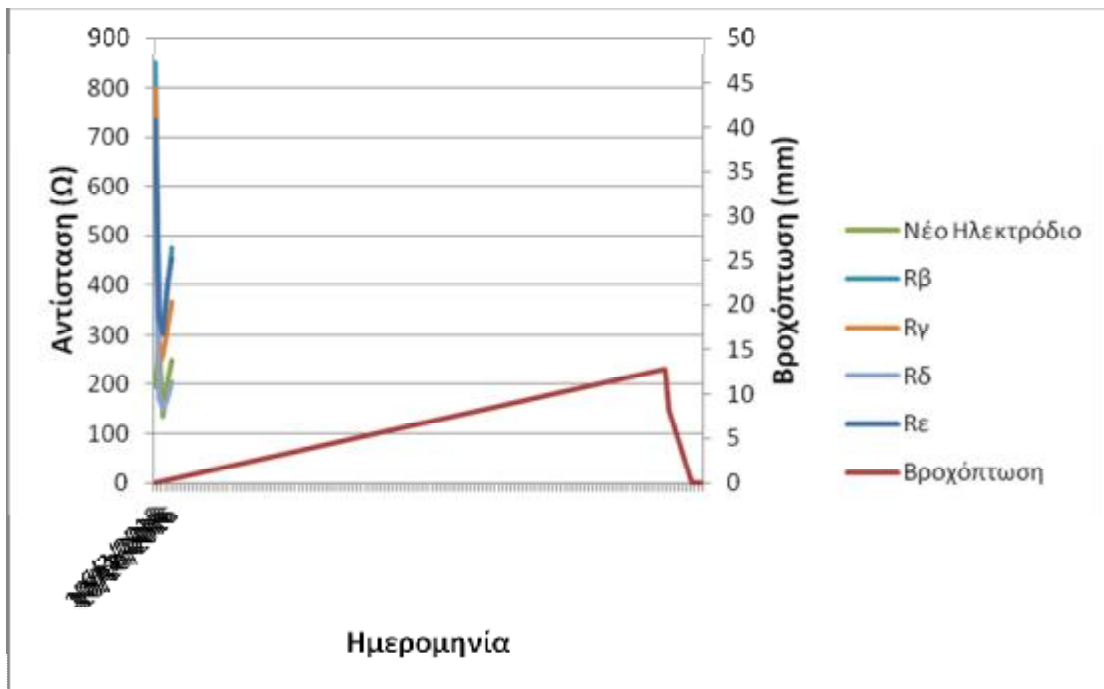
Διάγραμμα 13 Μεταβολή της αντίστασης R_{ϵ} συναρτήσει της μέσης θερμοκρασίας με την πάροδο του χρόνου



Διάγραμμα 14 Μεταβολή των αντιστάσεων Νέο Ηλεκτρόδιο, R_{α} , R_{β} , R_{γ} , R_{δ} , R_{ϵ} συναρτήσει της μέσης θερμοκρασίας με την πάροδο του χρόνου

Όπως αναμενόταν η αντίσταση μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας για τιμές μεγαλύτερες του μηδενός. Όμως η επίδραση αυτή τις θερμοκρασίας είναι πολύ μικρή.

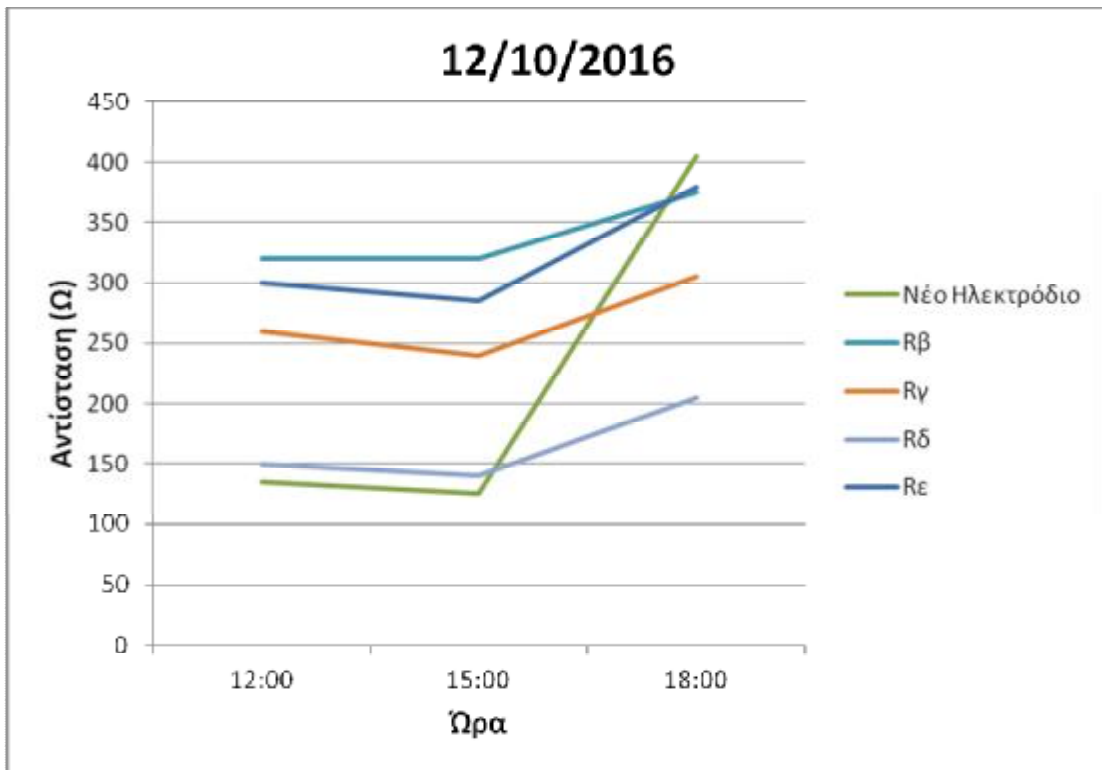
Στην συνέχεια, θα δούμε την επίδραση που έχει η βροχόπτωση στις τιμές των αντιστάσεων σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα.



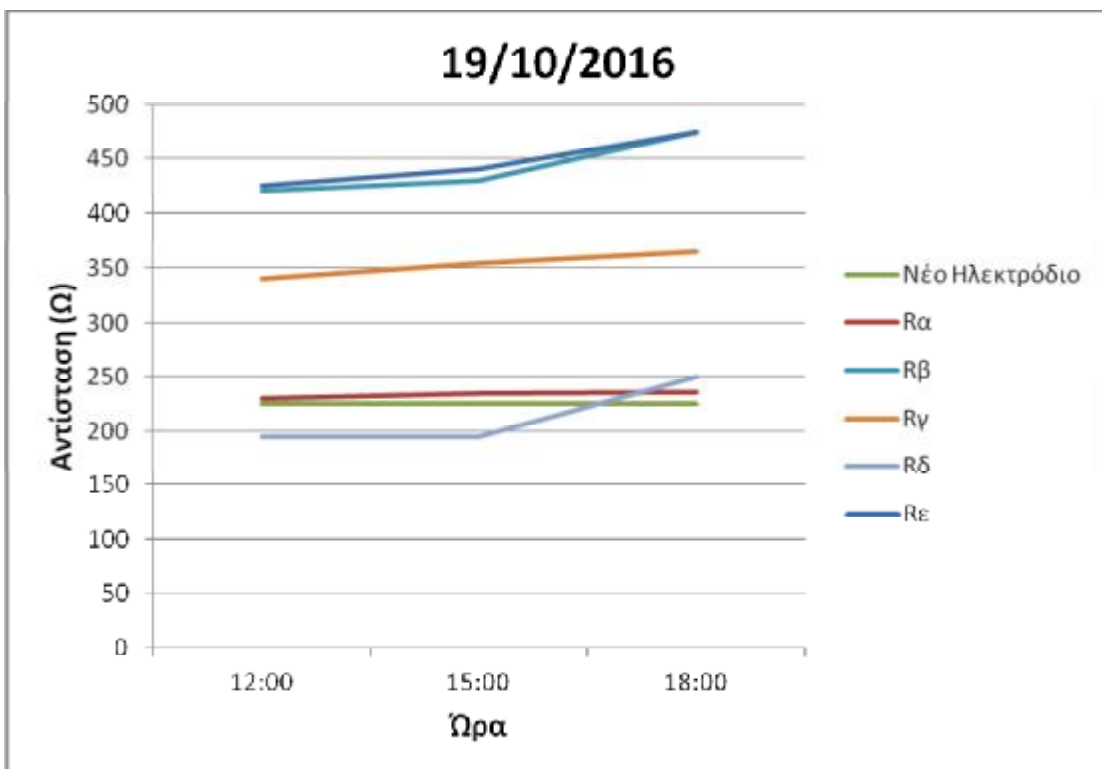
Διάγραμμα 15 Μεταβολή των αντιστάσεων Νέο Ηλεκτρόδιο, Rβ, Rγ, Rδ, Rε συναρτήσει της βροχόπτωσης με την πάροδο του χρόνου

Με την βοήθεια του διαγράμματος μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η βροχόπτωση έχει σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση της αντίστασης. Βλέπουμε ότι σε περιόδους ξηρασίας όλες οι τιμές των αντιστάσεων αυξάνονται, ενώ μετά από έντονη βροχόπτωση παρατηρούμε απότομη μείωση των τιμών των αντιστάσεων.

Τέλος, θα δούμε διαφοροποιήσεις στις τιμές των αντιστάσεων σε μετρήσεις που έγιναν την ίδια μέρα αλλά σε διαφορετικές ώρες.



Διάγραμμα 16 Μεταβολή των αντιστάσεων Νέο Ηλεκτρόδιο, Rβ, Rγ, Rδ, Rε συναρτήσει της μεταβολής της ώρας στις 12/10/2016



**Διάγραμμα 17 Μεταβολή των αντιστάσεων Νέο Ηλεκτρόδιο, R_a, R_β, R_γ, R_δ, R_ε
συναρτήσει της μεταβολής της ώρας στις 19/10/2016**

Όπως αναμενόταν η αντίσταση αυξάνεται με την μείωση της θερμοκρασίας για τιμές μεγαλύτερες του μηδενός. Βλέπουμε πως το μεσημέρι δώδεκα και τρεις που η θερμοκρασία είναι πιο υψηλή σε σχέση με τις έξι το απόγευμα, οι τιμές των αντιστάσεων είναι πιο χαμηλές. Η επίδραση αυτή βέβαια είναι πολύ μικρή.

5.6 Τελικά συμπεράσματα- Η επόμενη μέρα

5.6.1 Τελικά συμπεράσματα

Χρησιμοποιώντας όλα τα δεδομένα που έχουμε και με την βοήθεια των 17 διαγραμμάτων μπορούμε να εξάγουμε τα εξής χρήσιμα συμπεράσματα. Καταρχάς το Νέο Ηλεκτρόδιο σε κοκκινόχωμα ήταν εκείνο που παρουσίασε τις μικρότερες τιμές αντίστασης. Επίσης παρουσίασε και τις μικρότερες διακυμάνσεις στις τιμές της αντίστασης του με την πάροδο του χρόνου. Ακόμη και σε απότομες αλλαγές της θερμοκρασίας αλλά και σε περιόδους ξηρασίας ή έντονων βροχοπτώσεων οι διακυμάνσεις των τιμών είναι μικρές. Ιδιαίτερα σε σχέση με το φυσικό και το μαλακό έδαφος, ακόμη και σε σχέση με τα βελτιωτικά εδάφους αυτό είναι αρκετά σταθερό. Οι μικρές διακυμάνσεις στην αντίσταση γείωσης είναι πολύ σημαντικές, καθώς με πιο σταθερές τιμές θα γίνει καλύτερος σχεδιασμός του συστήματος γείωσης με μεγαλύτερη ασφάλεια στην εγκατάσταση.

Παρατηρούμε ότι οι τιμές διαφέρουν ελάχιστα, το οποίο είναι λογικό καθώς υπάρχουν πάντα πειραματικά και ανθρώπινα σφάλματα.

Σε περιόδους που είχαν σταματήσει οι πολλές βροχοπτώσεις, παρατηρήθηκε μια μεγάλη αύξηση στις τιμές σε όλα τα υλικά. Αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι ηλεκτρόδια που μέχρι πρότινος είχαν υψηλότερες τιμές αντίστασης σε σχέση με άλλα με την πάροδο του χρόνου παρουσίασαν χαμηλότερες τιμές. Αυτό οφείλεται στο ότι το έδαφος μπορεί να υποστεί καθίζηση. Ακόμη παρατηρούμε και μια μικρή απορρόφηση του βελτιωτικού υλικού από το χώμα, το οποίο οδήγησε και αυτό σε αύξηση των τιμών αντίστασης.

5.6.2 Επόμενη μέρα

Τα τελευταία χρόνια πραγματοποιείται συστηματική έρευνα πάνω στα βελτιωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται στις γειώσεις, λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας και της ανάγκης που υπάρχει για φθηνές και αξιόπιστες λύσεις στο πρόβλημα των υψηλών τιμών της αντίστασης γείωσης. Μπορούμε να πούμε ότι

το πεδίο έρευνας σε αυτόν τον τομέα είναι αρκετά μεγάλο. Όπως είδαμε η γείωση είναι από τις πρώτες εργασίες που γίνονται σε μια εγκατάσταση. Ο καλός σχεδιασμός είναι απαραίτητος για την ασφάλεια των ανθρώπων αλλά και για την ομαλή και αδιάλειπτη λειτουργία του ηλεκτρολογικού και μη εξοπλισμού των εγκαταστάσεων.

Επομένως είναι επιτακτική η ανάγκη για συνέχιση και επέκταση των μετρήσεων για μεγάλο χρονικό διάστημα. Με αυτό τον τρόπο θα μπορέσουμε να παρατηρήσουμε καλύτερα την μεταβολή των υλικών σε ένα μεγαλύτερο διάστημα, καθώς και τις μεταβολές ανάλογα τις καιρικές συνθήκες, έτσι ώστε να δούμε ποιοι παράγοντες έχουν την μεγαλύτερη επίδραση. Φυσικά σε αυτή την έρευνα θα ήταν χρήσιμο να υπάρχουν περισσότερα δεδομένα για τις συνθήκες που επικρατούν στην τοποθεσία του συστήματος γείωσης, παραδείγματος χάριν να τοποθετηθούν αισθητήρες οι οποίοι θα δίνουν τιμές για την υγρασία και την θερμοκρασία του εδάφους. Επίσης θα μπορούσε να γίνει εξέταση των βελτιωτικών αυτών υλικών σε μία διαφορετική τοποθεσία, ώστε να δούμε πώς μεταβάλλεται η απόδοσή τους σε έναν διαφορετικό τύπο εδάφους. Ακόμη θα ήταν ενδιαφέρον να λάβει χώρα μια έρευνα με χρήση βελτιωτικών ελληνικής παραγωγής, όπως παράγωγα της επεξεργασίας ελιάς, τα οποία όχι μόνο θα είναι αρκετά φθηνότερα, αλλά και δεν μολύνουν το περιβάλλον. Αρκετές τέτοιες έρευνες έχουν γίνει σε χώρες τις Ασίας με χρήση υλικών όπως τύρφη από κοκοφοίνικα και σκόνη ρυζιού. Επίσης, όπως παρατηρήσαμε και στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, θα πρέπει να γίνει μελέτη σχετική με την απορρόφηση των βελτιωτικών υλικών από το χώμα, με προσπάθεια στην μείωση αυτής της επίδρασης, η οποία έχουμε παρατηρήσει πόσο σημαντική είναι στην διαμόρφωση της τιμής της αντίστασης. Τέλος, θα ήταν εξαιρετικά σημαντικό να γίνει κυκλωματική μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των συστημάτων γείωσης που είναι εγκαθιστημένα σε βελτιωτικά υλικά εδάφους κάτω από μεταβατικά φαινόμενα και στη συνέχεια να προσομοιωθούν τα ισοδύναμα αυτά μοντέλα μέσω κατάλληλου προγράμματος λογισμικό σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Βιβλιογραφία

- [1] IEEE Std 81-1983, “IEEE guide for measuring earth resistivity, ground impedance, and earth surface potentials of a ground system”, 11 March 1983.
- [2] “IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding”, ANSI/IEEE Std 80–2000 (Revision of IEEE Std 80–1986), 2000.
- [3] ΕΛΟΤ HD 384
- [4] Getting down to earth ,MEGGER
- [5] Βασίλειος Π. Ανδροβιτσανέας, «Επίδραση μικροεδάφους σε συστήματα γείωσης εγκαταστάσεων», Μεταπτυχιακή εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα 2011.
- [6] Πέτρος Ντοκόπουλος, “Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις καταναλωτών”, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 2005
- [7] <http://hlektrologia.gr>
- [8] ΘΕΜΕΛΙΑΚΕΣ ΓΕΙΩΣΕΙΣ: νομοθετικό και κανονιστικό πλαίσιο – μέτρηση και υπολογισμός , Τρασανίδης Γεώργιος , ημερίδα ΣΜΗΒΕ
- [9] <http://www.electrologos.gr/>
- [10] «Οδηγός Θεμελιακής Γείωσης & Λοιπών Διατάξεων Γείωσης» με Παράρτημα τις «Διορθωτικές ενέργειες για τη μείωση της αντίστασης γείωσης», που κυκλοφόρησε η εταιρεία ΕΛΒΗΧ ΑΒΕΕ.
- [11] Καρακίτσιος Ιωάννης, Επίδραση βελτιωτικών υλικών εδάφους στη χρονική μεταβολή της αντίστασης γείωσης κατακόρυφων ηλεκτροδίων, Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα 2011.
- [12] IEEE green BOOK, Grounding of Industrial and Commercial Power Systems.
- [13] Power Quality Application Guide, Earthing & EMC Earthing Systems Fundamentals of Calculation and Design, Copper Development Association IEE Endorsed Provider
- [14] ΕΛΟΤ 1197, Προστασία κατασκευών από κεραυνούς- Μέρος 1: Γενικές Αρχές.
- [15] Δήμητρα Π. Βάρλα, Υπολογιστική μελέτη συστημάτων γείωσης, Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2004.
- [16] <http://www.elemko.gr>
- [17] IEC 62561-7 “LIGHTNING PROTECTION SYSTEM COMPONENTS (LPSC), PART 7: REQUIREMENTS FOR EARTHING ENHANCING COMPOUNDS”
- [18] Βασιλειάδης Ιωάννης ,Προστασία ηλεκτροδίων γείωσης από διάβρωση, Διπλωματική εργασία, Θεσσαλονίκη 2013.
- [19] Χρήστος Γ. Κουρέλης, Προσομοίωση Μεταβατικής Συμπεριφοράς Συστημάτων Γείωσης, Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2010.
- [20] Δ. Κ. Τσανάκας, «Ειδικά κεφάλαια ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και δικτύων», Ά Μέρος, Προστασία ανθρώπων και εξοπλισμού, Πάτρα 2008.
- [21] Ειδικές αντιστάσεις εδαφών, ενδεικτικές μέσες τιμές κατά το άρθρο 27 των Κ.Ε.Η.Ε.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Δίνεται η μέση και η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία και το ημερήσιο ύψος βροχόπτωσης, για το χρονικό διάστημα των μετρήσεων, που προέκυψε από τις τιμές που δίνει ο μετεωρολογικός σταθμός του Ρίου:

Ημερομηνία	Μέση Θερμοκρασία (° C)	Βροχόπτωση (mm)
01/04/2016	16.3	0.0
02/04/2016	16.3	0.0
03/04/2016	18.6	0.0
04/04/2016	18.2	0.0
05/04/2016	17.4	0.0
06/04/2016	18.4	0.0
07/04/2016	21.4	0.0
08/04/2016	19.7	0.0
09/04/2016	17.6	0.0
10/04/2016	15.4	8.8
11/04/2016	15.7	0.0
12/04/2016	17.1	0.0
13/04/2016	17.7	0.0
14/04/2016	19.3	0.0
15/04/2016	18.7	0.0
16/04/2016	18.2	0.0
17/04/2016	18.4	0.0
18/04/2016	19.1	0.0
19/04/2016	20.9	0.0
20/04/2016	19.8	0.0
21/04/2016	20.2	0.0
22/04/2016	18.1	0.0
23/04/2016	18.2	0.0
24/04/2016	18.2	2.8
25/04/2016	17.7	1.2
26/04/2016	14.6	5.4
27/04/2016	15.4	0.0
28/04/2016	17.5	0.0
29/04/2016	19.6	0.0
30/04/2016	19.8	0.0

Πίνακας 1 Απρίλιος 2016

Ημερομηνία	Μέση Θερμοκρασία (° C)	Βροχόπτωση (mm)
01/05/2016	19.1	0.0
02/05/2016	18.6	11.4
03/05/2016	15.2	8.8
04/05/2016	15.9	1.4
05/05/2016	17.1	0.0
06/05/2016	17.4	0.0
07/05/2016	17.7	0.0
08/05/2016	18.4	0.0
09/05/2016	19.4	0.0
10/05/2016	19.2	0.0
11/05/2016	20.2	0.0
12/05/2016	20.9	0.4
13/05/2016	20.3	0.0
14/05/2016	19.3	0.0
15/05/2016	19.4	0.0
16/05/2016	19.5	0.0
17/05/2016	19.2	0.0
18/05/2016	19.0	0.0
19/05/2016	18.2	0.0
20/05/2016	18.3	3.4
21/05/2016	18.4	7.2
22/05/2016	19.8	0.0
23/05/2016	19.4	0.0
24/05/2016	20.1	0.0
25/05/2016	19.3	0.0
26/05/2016	19.7	0.0
27/05/2016	21.0	0.0
28/05/2016	21.4	0.0
29/05/2016	22.5	0.0
30/05/2016	23.4	0.0
31/05/2016	22.3	0.0

Πίνακας 2 Μάιος 2016

Ημερομηνία	Μέση Θερμοκρασία (° C)	Βροχόπτωση (mm)
01/06/2016	22.3	0.0
02/06/2016	22.2	0.0
03/06/2016	21.7	0.0
04/06/2016	21.6	0.0
05/06/2016	21.8	0.0
06/06/2016	22.1	0.0
07/06/2016	22.7	0.0
08/06/2016	22.9	0.0
09/06/2016	20.9	0.2
10/06/2016	21.5	0.0
11/06/2016	21.8	0.0
12/06/2016	22.1	0.0
13/06/2016	23.1	0.0
14/06/2016	22.4	0.0
15/06/2016	23.2	0.0
16/06/2016	24.3	0.0
17/06/2016	26.6	0.0
18/06/2016	27.4	0.0
19/06/2016	27.8	0.0
20/06/2016	26.4	0.0
21/06/2016	27.1	0.0
22/06/2016	32.8	0.0
23/06/2016	31.9	0.0
24/06/2016	33.3	0.0
25/06/2016	27.7	14.2
26/05/2016	23.8	0.0
27/06/2016	25.2	0.0
28/06/2016	25.4	0.0
29/06/2016	25.6	0.0
30/06/2016	25.4	0.0

Πίνακας 3 Ιούνιος 2016

Ημερομηνία	Μέση Θερμοκρασία (° C)	Βροχόπτωση (mm)
01/10/2016	21.9	0.0
02/10/2016	22.5	0.0
03/10/2016	23.7	0.0
04/10/2016	23.3	0.0
05/10/2016	22.3	0.0
06/10/2016	20.8	0.0
07/10/2016	19.9	29.0
08/10/2016	20.9	0.0
09/10/2016	20.4	0.0
10/10/2016	19.3	2.6
11/10/2016	20.6	12.8
12/10/2016	21.5	8.2
13/10/2016	19.1	0.0
14/10/2016	19.8	0.0
15/10/2016	21.2	0.0
16/10/2016	21.2	0.0
17/10/2016	22.3	0.0
18/10/2016	19.7	0.0
19/10/2016	18.0	0.0
20/10/2016	19.9	0.0
21/10/2016	17.9	14.4
22/10/2016	18.1	28.6
23/10/2016	19.5	0.2
24/10/2016	21.9	0.0
25/10/2016	21.3	0.0
26/10/2016	20.0	0.0
27/10/2016	20.0	3.0
28/10/2016	18.9	1.0
29/10/2016	17.7	0.4
30/10/2016	18.3	0.6
31/10/2016	17.8	0.0

Πίνακας 4 Οκτώβριος 2016

Ημερομηνία	Μέση Θερμοκρασία (° C)	Βροχόπτωση (mm)
01/11/2016	15.6	0.0
02/11/2016	16.3	0.0
03/11/2016	18.8	0.0
04/11/2016	18.7	8.8
05/11/2016	19.1	0.0
06/11/2016	20.3	0.0
07/11/2016	22.3	0.0
08/11/2016	22.9	1.6
09/11/2016	17.6	36.2
10/11/2016	17.3	13.6
11/11/2016	18.4	1.0
12/11/2016	17.2	45.2
13/11/2016	16.4	0.2
14/11/2016	14.9	0.0
15/11/2016	14.6	0.6
16/11/2016	14.2	0.0
17/11/2016	13.9	0.0
18/11/2016	14.7	0.0
19/11/2016	15.2	0.0
20/11/2016	15.9	0.0
21/11/2016	16.2	0.0
22/11/2016	15.7	0.0
23/11/2016	15.1	0.0
24/11/2016	14.7	0.0
25/11/2016	14.9	0.0
26/11/2016	15.3	6.8
27/11/2016	15.6	29.4
28/11/2016	14.7	18.2
29/11/2016	13.7	4.8
30/11/2016	11.0	0.2

Πίνακας 5 Νοέμβριος 2016

Ημερομηνία	Μέση Θερμοκρασία (° C)	Βροχόπτωση (mm)
01/12/2016	9.4	0.0
02/12/2016	13.8	0.0
03/12/2016	15.6	1.8
04/12/2016	14.8	0.0
05/12/2016	14.4	0.0
06/12/2016	12.3	7.6
07/12/2016	13.8	0.0
08/12/2016	12.3	0.0
09/12/2016	11.8	0.0
10/12/2016	13.3	0.0
11/12/2016	14.6	0.0
12/12/2016	14.7	1.2
13/12/2016	13.1	0.2
14/12/2016	9.6	0.0
15/12/2016	11.9	0.0
16/12/2016	10.9	0.0
17/12/2016	9.4	0.0
18/12/2016	8.5	0.0
19/12/2016	9.9	0.0
20/12/2016	10.2	0.0
21/12/2016	10.6	0.0
22/12/2016	9.4	0.0
23/12/2016	9.8	0.0
24/12/2016	10.8	0.0
25/12/2016	10.9	0.0
26/12/2016	12.2	0.0
27/12/2016	12.7	0.6
28/12/2016	10.3	5.4
29/12/2016	7.8	0.0
30/12/2016	6.9	0.0
31/12/2016	6.3	0.0

Πίνακας 6 Δεκέμβριος 2016