



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ  
& ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ**

**Συμβολή στη Μελέτη Συστήματος Γείωσης  
Υποσταθμών Υψηλής Τάσης**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Δημήτριος Σ. Γαλανής**

**Επιβλέπων : Ιωάννης Φ. Γκόνος**

Επίκουρος Καθηγητής

Αθήνα, Οκτώβριος 2016





# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ  
& ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

## Συμβολή στη Μελέτη Συστήματος Γείωσης Υποσταθμών Υψηλής Τάσης

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Σ. Γαλανής

**Επιβλέπων :** Ιωάννης Φ. Γκόνοσ

Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

Αθήνα, Οκτώβριος 2016

.....  
Ιωάννης Φ. Γκόνοσ  
Επίκουρος Καθηγητής

.....  
Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος  
Καθηγητής

.....  
Φραγκίσκος Β. Τοπαλής  
Καθηγητής

.....

Δημήτριος Σ. Γαλανής

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

Copyright © Δημήτριος Σ. Γαλανής, 2016.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

## Περίληψη

Τα συστήματα γείωσης σχεδιάζονται με σκοπό να παρέχουν την απαραίτητη ασφάλεια σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας και σε περίπτωση σφάλματος τόσο στον εξοπλισμό όσο και στο προσωπικό. Στην παρούσα διπλωματική γίνεται προσπάθεια μια ευρύτερης προσέγγισης στα θέματα γειώσεων Υποσταθμών Υψηλής Τάσης. Η μεθοδολογική προσέγγιση των θεμάτων γειώσεων των Υποσταθμών έχει ως αφετηρία το πρότυπο IEEE Std 80-2013 και συνεχίζει με τις απαιτήσεις του Ανεξάρτητου Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ) αναφορικά με τις απαιτήσεις γειώσεων Υποσταθμών. Η δομή, ο εξοπλισμός και η λειτουργία ενός Υποσταθμού Υψηλής Τάσης περιγράφονται συνοπτικά ώστε να είναι κατανοητές οι ειδικές συνθήκες των υπό μελέτη συστημάτων γείωσης. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η μεθοδολογική προσέγγιση καθώς και μελέτες εφαρμογής συστημάτων γείωσης Υποσταθμών. Στις μελέτες αυτές εξετάζονται τόσο περιπτώσεις μονοστρωματικού όσο και διστρωματικού μοντέλου εδάφους καθώς και διαφορετικά συστήματα γείωσης αναφορικά με την έκταση και την τοπολογία του κάθε Υποσταθμού. Τέλος καταγράφονται τα κύρια συμπεράσματα από τις διεξαχθείσες προσομοιώσεις, ώστε ένας μελετητής να σχεδιάζει ασφαλή και αξιόπιστα συστήματα γείωσης σε Υποσταθμούς Υψηλής Τάσης. Οι προσομοιώσεις συστημάτων γείωσης που παρατίθενται στην παρούσα διπλωματική εργασία έγιναν με χρήση του λογισμικού πακέτου CYMGrd v.6.3 Revision 7 της εταιρίας CYME

**Λέξεις Κλειδιά:** Σύστημα γείωσης, μελέτη γείωσης, πλέγμα γείωσης, ειδική αντίσταση εδάφους, μοντέλο εδάφους, Υποσταθμός Υψηλής Τάσης

## Abstract

In this diploma thesis presented the structure and the power system plant of substations according to IEEE Std. 80-2013. Next is presented the technical specification of the earthing system, studies are elaborated and finally technical solutions put forward.

Earthing system in High Voltage or Extra High Voltage Substations is designed to provide safety under normal and fault conditions.

In this diploma thesis there is an approach to the issues of grounding High Voltage Substations. The methodological approach to the issues earthing of substations starts from the standard IEEE Std 80-2013 and continues with the requirements of the Independent Power Transmission Operator (IPTO) with respect to the substation earthing requirements. The structure, equipment and operation of a HV substation outlined that it is understood the specific conditions of the studied grounding systems. Then the methodological approach is presented and studies application substation grounding systems. These studies examined both cases single layer and two layer terrain model and different earthing systems with respect to the size and topology of each substation.

Finally, reported the main findings from the simulations were carried out, in order to design safe and reliable grounding systems in HV Substations. Simulations earthing systems presented in this thesis were using CYMGrd software package v.6.3 Revision 7 CYME.

**Keywords:** Earthing, grid, Rod, Resistivity, soil model, grid model, IEEE Std 80-2013, High Voltage Substation

# Πρόλογος

Η εργασία αυτή αποτελεί τη διπλωματική εργασία του φοιτητή Δημήτριου Γαλανή για την απόκτηση διπλώματος του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Μηχανικού Ηλεκτρονικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι Μελέτη Συστήματος Γείωσης σε Υποσταθμό Υψηλής Τάσης.

Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των θεμάτων που καλύπτονται σε κάθε κεφάλαιο.

Στο κεφάλαιο 1 αναλύεται ο όρος της γείωσης, αναφέρονται τα είδη και οι διάφοροι μέθοδοι γειώσεων καθώς και οι τύποι και οι μορφές διαφόρων γειωτών. Στη συνέχεια δίνονται οι αντιστάσεις διαφόρων γειωτών αναφέρονται κάποια βελτιωτικά υλικά γειώσεων και γίνεται μια σύντομη περιγραφή στην ειδική αντίσταση εδάφους.

Στο κεφάλαιο 2 δίνονται χαρακτηριστικά παραδείγματα από εγκαταστάσεις ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και τα στοιχεία αυτά που συνθέτουν τον Υποσταθμό Υψηλής Τάσης του Ανεξάρτητου Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ).

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφεται η τεχνική βάση των προδιαγραφών του συστήματος γείωσης όπως αυτή προδιαγράφεται από τον ΑΔΜΗΕ. Επίσης παρουσιάζονται οι παράμετροι που θα πρέπει να λάβει υπόψη του ο μελετητής κατά τη διάρκεια της μελέτης.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται προσομοίωση μελετών δικτύου γείωσης με την εφαρμογή CYMGrd v.6.3 Revision 7 της εταιρίας CYME σε χαρακτηριστικά παραδείγματα Υποσταθμών όπου μεταβάλλεται η ειδική αντίσταση εδάφους, η πυκνότητα του πλέγματος και η επίδραση του βάρους του ανθρώπου.

Στο κεφάλαιο 5 περιγράφεται βήμα προς βήμα η διαδικασία των μετρήσεων του δικτύου γείωσης πριν την ηλεκτρίση του Υ/Σ σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς και τη σχετική προδιαγραφή που ισχύει στο Εθνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Στο κεφάλαιο 6 προτείνονται μέτρα αντιμετώπισης προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν σε χαρακτηριστικά συστήματα γείωσης Υποσταθμών.

*Στα παιδιά μου  
Σεραφείμ και Μαρία*

...



Ευχαριστίες

Θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή ΕΜΠ κ. Γκόνο για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας καθώς και για τη στήριξη, την καθοδήγηση και τον προσωπικό χρόνο που μου αφιέρωσε.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αγαπητό συνάδελφο κ. Βασίλειο Πασχαλίδη, Ηλεκτρολόγο – Μηχανολόγο Μηχανικό ΕΜΠ, στον οποίο οφείλω τις πρώτες γνώσεις σε Υποσταθμούς Υψηλής Τάσης.

Τον κ. Γ. Μάνο Διδάκτορα Ηλεκτρολόγο Μηχανικό ΕΜΠ για τις πολύτιμες συμβουλές του και την καθοδήγησή του για την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος τη σύζυγό μου Ιωάννα για την υπόμονή της και τη στήριξή της σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου καθώς και τους γονείς μου Σεραφείμ και Ευαγγελία.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1 - Σχηματική παρουσίαση της τάσης επαφής $U_b$ , της τάσης σφάλματος $U_f$ και της βηματικής τάσης $U_s$ [5].....	18
Σχήμα 1.2 - Σχηματική παρουσίαση συστήματος προστασίας με ουδετέρωση [9].....	19
Σχήμα 1.3 - Σχηματική παρουσίαση συστήματος προστασίας με άμεση γείωση [9].....	20
Σχήμα 1.4 - Σχηματική παρουσίαση συστήματος προστασίας με διακόπτη διαφυγής έντασης σε εγκατάσταση που έχει ηλεκτρόδιο γείωσης [9].....	20
Σχήμα 1.5 - Ηλεκτρόδια γειωτών [29].....	21
Σχήμα 1.6 - Αντίσταση γείωσης κατακόρυφων πασάλων στο έδαφος. Το ενεργό μήκος ισούται με το πραγματικό μήκος μείον μισό μέτρο, δηλαδή $l_{ef} = l - 0.5$ m [10].....	25
Σχήμα 1.7 - Θεμελιακές γειώσεις. Δείχνονται δύο κατόψεις με και χωρίς ενδιάμεση σύνδεση [10]......	28
Σχήμα 1.8 - Λεπτομέρειες θεμελιακής γείωσης [10].....	29
Σχήμα 1.9 - Στηρίγματα θεμελιακής γείωσης [10].....	29
Σχήμα 1.10 - Χοάνη δυναμικού ενός γειωτή [10].....	30
Σχήμα 1.11 - Χοάνες δυναμικού για πασσαλογειωτές [10].....	31
Σχήμα 1.12 - Χοάνες δυναμικού για γειωτές ταινίας και βρόγχου [10]......	31
Σχήμα 1.13 - Μεταβολή της ειδικής αντίστασης του εδάφους συναρτήσει.....	32
Σχήμα 2.1 - Σχηματική παράσταση απλού $Y/\Sigma$ Υποβιβασμού ή Ανυψώσεως τάσεως [12].....	34
Σχήμα 2.2 - Σχηματική παράσταση μεγάλου διασυνδετικού $Y/\Sigma$ [12].....	35
Σχήμα 2.3 - Κάτοψη ΚΥΤ.....	37
Σχήμα 2.4 - Αλεξικέραυνο $YT$ και εσωτερική δομή του [12].....	43
Σχήμα 2.5 - Κυματοπαγίδα, Πυκνωτής Ζεύξεως και σχηματική παράσταση [12].....	44
Σχήμα 2.6 - Κατασκευή μεταλλοενδεδυμένου διακόπτου $MT$ [21].....	45
Σχήμα 2.7 - Σύνδεσμοι χρησιμοποιούμενοι στους $Y/\Sigma$ [12].....	50
Σχήμα 2.8 - Ικριώματα που χρησιμοποιοιεί στους $Y/\Sigma$ ο ΑΔΜΗΕ [12].....	52
Σχήμα 2.9 - Πλήρης πύλη $GM$ $YT$ [12].....	54
Σχήμα 2.10 - Παράσταση πλήρους πύλης $GM$ 150 kV [12].....	55
Σχήμα 2.11 - Πύλη Διασυνδέσεως Ζυγών $YT$ [12].....	56
Σχήμα 2.12 - Πύλη $YT$ $M/\Sigma$ [12].....	57
Σχήμα 2.13 - $M/\Sigma$ Ισχύος [12].....	57
Σχήμα 2.14 - Βοηθητικά του $M/\Sigma$ [12].....	58
Σχήμα 2.15 - Παράσταση πύλης $YT$ , $MT$ και Βοηθητικών $M/\Sigma$ [12].....	58
Σχήμα 2.16 - Αντίσταση γείωσης ουδετέρου κόμβου $M/\Sigma$ [12].....	59
Σχήμα 2.17 - Πύλη εισόδου $MT$ $M/\Sigma$ [12].....	60
Σχήμα 2.18 - Πύλη Αναχωρήσεως $ΓΔ$ [12].....	60
Σχήμα 2.19 - Πύλη Διασυνδέσεως Ζυγών $MT$ [12].....	61
Σχήμα 4.1 - Μέθοδος Wenner τεσσάρων ηλεκτροδίων [16].....	70
Σχήμα 4.2 - Μέθοδος των τριών ηλεκτροδίων [16].....	71
Σχήμα 4.3 - Κάτοψη $Y/\Sigma$ .....	73
Σχήμα 4.4 - Αξονες για διερεύνηση Βηματικών τάσεων.....	75
Σχήμα 4.5 - Αξονες για διερεύνηση τάσεων Επαφής.....	75
Σχήμα 4.6 - Περιοχή Βηματικών Τάσεων εκτός ορίων για άνθρωπο 50 κιλών.....	80
Σχήμα 4.7 - Περιοχή Βηματικών Τάσεων εκτός ορίων για άνθρωπο 70 κιλών.....	91
Σχήμα 4.8 - Περιοχή Βηματικών Τάσεων εκτός ορίων για άνθρωπο 50 κιλών - Διστρωματικό.....	104
Σχήμα 4.9 - Περιοχή Βηματικών Τάσεων εκτός ορίων για άνθρωπο 70 κιλών - Διστρωματικό.....	115
Σχήμα 5.1 - Μέθοδος Έγχυσης Ισχυρού Ρεύματος [14].....	148

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1 - Τύποι υπολογισμού αντιστάσεων ηλεκτροδίων γείωσης [10].....	22
Πίνακας 1.2 - Ελάχιστες διατομές ηλεκτροδίων γειωτών κατά VDE 0141 [10].....	24
Πίνακας 1.3 - Ειδικές αντιστάσεις εδαφών, ενδεικτικές μέσες τιμές [30].....	33
Πίνακας 4.1 - Όρια Βηματικών τάσεων και τάσεων Επαφής 50 Ωm, 50 kgr, 0,5 sec.....	76
Πίνακας 4.2 - Όρια Βηματικών τάσεων και τάσεων Επαφής 50 Ωm, 70 kgr, 0,5 sec.....	87
Πίνακας 4.3 - Όρια Βηματικών τάσεων και τάσεων Επαφής για $\rho_1=140$ , $\rho_2=580$ , $h=10$ και 50 kgr, 0,5 sec.....	100
Πίνακας 4.4 - Όρια Βηματικών τάσεων και τάσεων Επαφής για $\rho_1=140$ , $\rho_2=580$ , $h=10$ και 70 kgr, 0,5 sec.....	111
Πίνακας 4.5 - Όρια Βηματικών τάσεων και τάσεων Επαφής για $\rho_1=140$ , $\rho_2=580$ , $h=10$ και 70 kgr, 0,5 sec.....	131
Πίνακας 4.6 - Συγκριτικός Πίνακας Τιμών.....	146

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

Φωτογραφία 2.1 - Υποσταθμός [12].....	35
Φωτογραφία 2.2 - Διάταξη Ζυγών YYT KYT [12].....	36
Φωτογραφία 2.3 - Ο Μ/Σ Ισχύος [12].....	38
Φωτογραφία 2.4 - Διακόπτης YT [12].....	39
Φωτογραφία 2.5 - Αποζεύκτης YT διπλής αποζεύξεως, με γειωτή (A).....	40
και Α/Ζ απλής αποζεύξεως (B) [12].....	40
Φωτογραφία 2.6 - Μετασχηματιστές.....	41
Εντάσεως (CT) και τάσεως (VT) [12].....	41
Φωτογραφία 2.7 - Μ/Σ Βοηθητικών[12].....	44
Φωτογραφία 2.8 - Ανάρτηση εναερίων ζυγών [12].....	46
Φωτογραφία 2.9 - Μονωτήρες στηρίξεως 150 kV [12].....	47
Φωτογραφία 2.10 - Μονωτήρας αναρτήσεως [12].....	48
Φωτογραφία 2.11 - Αντίσταση με τους αποζεύκτες [12].....	48
Φωτογραφία 2.12 - Καλώδια YT, MT και XT [12].....	49
Φωτογραφία 2.13 - Ακροκιβώτια καλωδίων [12].....	49
Φωτογραφία 2.14 - Σύνδεσμοι αγωγών MT [12].....	50
Φωτογραφία 3.1 - Πλέγμα γείωσης Y/Σ, θα πληρωθεί με χώμα πάχους 60 cm.....	65
Φωτογραφία 3.2 - Θεμελιακή γείωση κτιρίου ελέγχου Υποσταθμού.....	66
Φωτογραφία 6.1 - Τοποθέτηση ράβδων γείωσης στην περιφραγή του Υποσταθμού για την βελτίωση των επικίνδυνων Βηματικών Τάσεων ή Τάσεων Επαφής.....	150
Φωτογραφία 6.2 - Επίστρωση Υποσταθμού με χαλίκι κατάλληλης διαμέτρου και με άσφαλτο για την εξάλειψη των επικίνδυνων βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής στην περιοχή εγκατάστασης του Η/Μ εξοπλισμού.....	151
Φωτογραφία 6.3 - Γείωση εξοπλισμού του Υποσταθμού σε τουλάχιστον δύο σημεία για την εξάλειψη των επικίνδυνων τάσεων επαφής.....	151
Φωτογραφία 6.4 - Τοποθέτηση χαλικιού πλάτους σε μια ζώνη 2 μέτρων εξωτερικά της περιφραγής του Y/Σ για την εξάλειψη των επικίνδυνων βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής.....	152
Φωτογραφία 6.5 - Τοποθέτηση χαλικιού και ασφάλτου εξωτερικά της περιφραγής του Υποσταθμού για την εξάλειψη των επικίνδυνων βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής.....	153
Φωτογραφία 6.6 - Εγκατάσταση πολυκαρμπονικού υλικού στην περιφραγή του Υποσταθμού για την αποφυγή επαφής με μεταλλικά μέρη της περιφραγής.....	153
Φωτογραφία 6.7 - Εγκατάσταση ξύλινης περιφραγής για αποκλεισμό πρόσβασης σε περιοχές του Y/Σ όπου εμφανίζονται επικίνδυνες βηματικές τάσεις και τάσεις επαφής.....	154





# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1.</b>	<b>ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΓΕΙΩΣΕΩΝ .....</b>	<b>16</b>
1.1.	ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ .....	16
1.2.	ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ .....	16
1.3.	ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΙΩΣΗΣ .....	18
1.4.	ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ ΓΕΙΩΣΗΣ .....	20
1.5.	ΓΕΙΩΤΗΣ ΡΑΒΔΟΥ .....	25
1.6.	ΓΕΙΩΤΗΣ ΤΑΙΝΙΑΣ Η ΣΥΡΜΑΤΟΣΧΟΙΝΟΥ .....	25
1.7.	ΓΕΙΩΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ .....	26
1.8.	ΓΕΙΩΤΗΣ ΑΚΤΙΝΙΚΟΣ .....	26
1.9.	ΓΕΙΩΤΗΣ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ .....	26
1.10.	ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΣΑΝ ΓΕΙΩΤΗΣ .....	26
1.11.	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΙ ΚΑΙ ΒΑΘΕΙΣ ΓΕΙΩΤΕΣ .....	26
1.12.	ΑΠΟΛΗΞΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ ΓΕΙΩΣΗΣ .....	27
1.13.	ΘΕΜΕΛΙΑΚΗ ΓΕΙΩΣΗ .....	27
1.14.	Η ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΓΕΙΩΣΗΣ .....	30
1.15.	ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ .....	32
<b>2.</b>	<b>ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ .....</b>	<b>34</b>
2.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	34
2.2.	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ .....	38
2.2.1.	ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ .....	38
2.2.2.	ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΥΤ .....	38
2.2.3.	ΑΠΟΖΕΥΚΤΗΣ .....	40
2.2.4.	ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΕΝΤΑΣΕΩΣ ΚΑΙ ΤΑΣΕΩΣ .....	41
2.2.5.	ΑΛΕΞΙΚΕΡΑΥΝΑ .....	42
2.2.6.	ΠΥΚΝΩΤΗΣ ΖΕΥΞΗΣ - ΚΥΜΑΤΟΠΑΓΙΔΑ .....	43
2.2.7.	ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΒΟΗΘΗΤΙΚΩΝ .....	44
2.2.8.	ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ ΜΤ .....	44
2.2.9.	ΠΥΚΝΩΤΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ .....	46
2.2.10.	ΖΥΓΟΙ ΥΤ .....	46
2.2.11.	ΜΟΝΩΤΗΡΕΣ 150 kV .....	47
2.2.12.	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΟΥΔΕΤΕΡΟΥ ΚΟΜΒΟΥ Μ/Σ ΙΣΧΥΟΣ .....	48
2.2.13.	ΑΓΩΓΟΙ - ΚΑΛΩΔΙΑ .....	49
2.2.14.	ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ .....	49
2.2.15.	ΙΚΡΙΩΜΑΤΑ .....	51
2.3.	ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΟΥ Υ/Σ .....	53
2.3.1.	ΠΥΛΗ ΓΜ ΥΤ .....	54
2.3.2.	ΠΥΛΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΩΣ ΖΥΓΩΝ 150 kV. ....	55
2.3.3.	ΠΥΛΗ Μ/Σ 150 kV .....	56
2.3.4.	Μ/Σ ΙΣΧΥΟΣ ΥΤ/ΜΤ .....	57
2.4.	ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΤΟΥ Μ/Σ ΙΣΧΥΟΣ .....	58
2.4.1.	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΓΕΙΩΣΗΣ ΟΥΔΕΤΑΙΡΟΥ ΚΟΜΒΟΥ ΤΟΥ Μ/Σ ΙΣΧΥΟΣ .....	58
2.4.2.	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΤ .....	59
<b>3.</b>	<b>ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΙΩΣΗΣ Υ/Σ .....</b>	<b>62</b>
3.1.	ΓΕΝΙΚΑ .....	62
3.2.	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ .....	62
3.3.	ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΓΕΙΩΣΗΣ .....	63
3.4.	ΘΕΜΕΛΙΑΚΗ ΓΕΙΩΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ .....	65
3.5.	ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ .....	66
3.6.	ΔΟΚΙΜΕΣ .....	68
<b>4.</b>	<b>ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ .....</b>	<b>70</b>
4.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	70
	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ .....	72
4.2.	ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΟΣΤΡΩΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ .....	73

	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	98
4.3.	ΜΕΛΕΤΗ ΠΟΛΥΣΤΡΩΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ (5 Χ 5 ΠΛΕΓΜΑ).....	99
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	128
4.4.	ΜΕΛΕΤΗ ΠΟΛΥΣΤΡΩΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ (3 Χ 3 ΠΛΕΓΜΑ).....	130
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	145
	ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ.....	146
<b>5.</b>	<b>ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ ΓΕΙΩΣΗΣ Υ/Σ ..</b>	<b>147</b>
<b>6.</b>	<b>ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ .....</b>	<b>150</b>
<b>7.</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>156</b>

# 1. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΓΕΙΩΣΕΩΝ

## 1.1. Γενικές έννοιες

Γείωση είναι η αγώγιμος σύνδεση ενός σημείου κάποιου κυκλώματος ή ενός μεταλλικού αντικειμένου με το έδαφος, προκειμένου να αποκτήσουν το ίδιο δυναμικό με τη γη, πού ως γνωστό κατά σύμβαση, το δυναμικό της γης θεωρείται μηδέν.

Τα συστήματα γειώσεων, που χρησιμοποιούμε διακρίνονται σε τρία (3) είδη ανάλογα με τη προστασία που υποχρεούμαστε να παρέχουμε κάθε φορά. Αυτά είναι [10]:

α) Γείωση λειτουργίας, η οποία γίνεται για λειτουργικούς λόγους ή για την αποφυγή υπερτάσεων και η οποία διακρίνεται σε:

- Άμεση εφόσον δεν περιλαμβάνει άλλη αντίσταση πλην της αντίστασης γείωσης
- Έμμεση εφόσον εκτός από την αντίσταση γείωσης περιλαμβάνει και ωμικές, επαγωγικές και χωρητικές αντιστάσεις.

Στις γειώσεις λειτουργίας δεν συμπεριλαμβάνονται οι ανοικτές γειώσεις.

β) Γείωση προστασίας, η οποία είναι η αγώγιμη σύνδεση με τη γη των μεταλλικών τμημάτων μιας εγκατάστασης που κανονικά δεν ανήκουν στο κύκλωμα λειτουργίας και εξασφαλίζει την προστασία των ανθρώπων που μπορεί να έρθουν σε επαφή με τα μεταλλικά τμήματα συσκευών όπου εμφανίστηκε επικίνδυνη τάση.

γ) Γείωση αντικεραυνικής προστασίας, είναι η ανοικτή ή συνεχής γείωση της αντικεραυνικής προστασίας. Αυτές οι γειώσεις διοχετεύουν το ρεύμα των κεραυνών προς τη γη.

Τα παραπάνω είδη γειώσεως συνυπάρχουν συνήθως στις εγκαταστάσεις και μπορεί να είναι ταυτόσημα έχοντας κοινά ηλεκτρόδια γείωσης.

## 1.2. Βασικοί ορισμοί

### Μεταλλικά αντικείμενα.

Ονομάζονται τα αγώγιμα εξαρτήματα των εγκαταστάσεων ή συσκευών, που δεν είναι μονωμένα προς το περιβάλλον και που σε κανονική κατάσταση λειτουργίας δεν έχουν τάση προς τη γη [5], [15].

### Άπειρη γη.

Είναι ένα σημείο στην επιφάνεια σε άπειρη απόσταση από τον γειωτή. Λαμβάνεται σαν σημείο αναφοράς των δυναμικών. Λέμε ότι, η τάση της άπειρης γης είναι μηδέν. Για πρακτικούς σκοπούς η «άπειρη απόσταση» είναι 5-10 φορές επί την μεγαλύτερη διάσταση του γειωτή [15].



### Πολυστρωματική δομή εδάφους.

Ανομοιογενές έδαφος που προς μοντελοποίησή του το χωρίζουμε σε πολλά οριζόντια στρώματα, όπου κάθε στρώμα έχει την ίδια ειδική αντίσταση [6], [15].

### Ουδέτερωση.

Είναι η αγωγήμη σύνδεση των μεταλλικών τμημάτων των συσκευών ή των στοιχείων του δικτύου με τον ουδέτερο αγωγό [5], [15].

### Αποτελεσματική γείωση.

Ονομάζεται μια γείωση με την οποία δεν είναι δυνατόν να εμφανιστούν στην περιοχή που καλύπτει η γείωση αυτή επικίνδυνες τάσεις επαφής ή επικίνδυνες βηματικές τάσεις [5], [15].

### Αντίσταση γειώσεως.

Για ένα ηλεκτρόδιο ή σύστημα γείωσης είναι η αντίσταση προς την άπειρη γη [5].

### Ηλεκτρόδιο γείωσης.

Πρόκειται για έναν αγωγό τοποθετημένο μέσα στη γη, ο οποίος συλλέγει και διαχέει το ρεύμα μέσα στη γη [5], [15].

### Πλέγμα γείωσης.

Ονομάζεται ένα σύνολο από συνδεδεμένα μεταξύ τους αγωγήμα σώματα, που είναι τοποθετημένα μέσα στο έδαφος και είναι έτσι διαρρυθμισμένα, ώστε να εξασφαλίζεται «αποτελεσματική γείωση» [5], [15].

### Τάση ηλεκτροδίου γείωσης.

Είναι η τάση μεταξύ του ηλεκτροδίου γείωσης και κάποιου σημείου της γης επαρκώς απομακρυσμένου, όταν ρέει ρεύμα μέσω του ηλεκτροδίου [4].

### Ισοδυναμικές επιφάνειες.

Αποτελούν τρόπο αναπαράστασης του ηλεκτρικού πεδίου. Αν  $\Phi$  είναι η συνάρτηση δυναμικού τότε ισοδυναμικές επιφάνειες ορίζονται οι επιφάνειες εκείνες που περιγράφονται από την εξίσωση:  $\Phi(x, y, z) = c$  (όπου  $c$  είναι μια σταθερά) [5].

### Τάση σφάλματος ή Δυναμικό προς άπειρη γη $U_f$ .

Είναι η τάση που εμφανίζεται μεταξύ των προσιτών αγωγήμων στοιχείων, τα οποία δεν αποτελούν τμήμα του κυκλώματος αλλά είναι δυνατόν να βρεθούν υπό τάση λόγω βλάβης της μόνωσης, και κάποιου σημείου της γης επαρκώς απομακρυσμένου [7], [15].

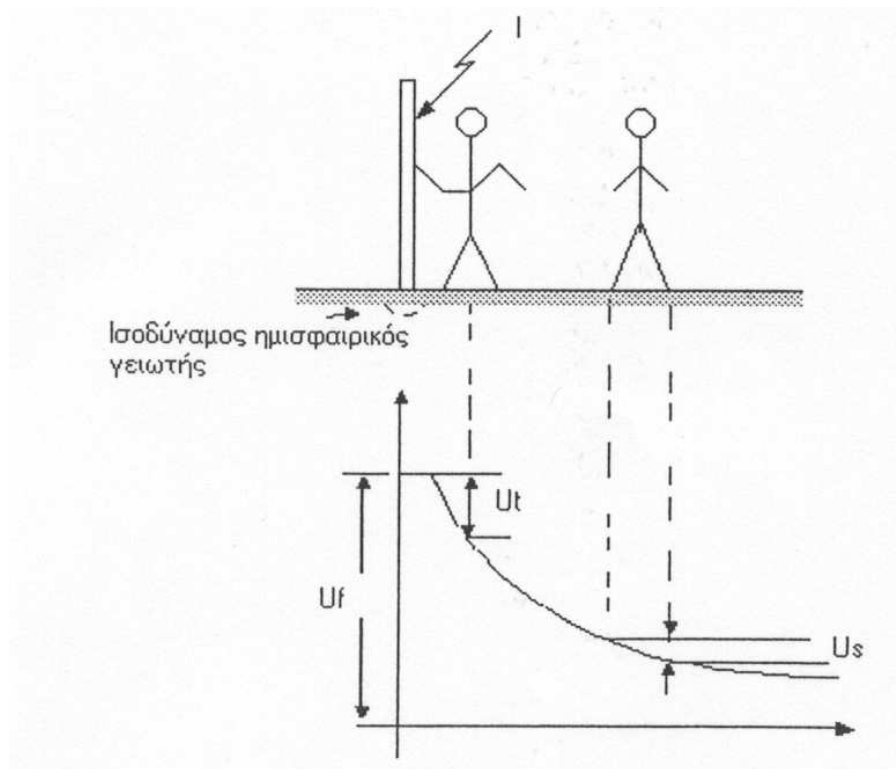
### Τάση επαφής $U_t$ .

Είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ μεταλλικού γειωμένου ικριώματος και σημείου σε απόσταση 1m που στέκεται άνθρωπος και ακουμπά με τα χέρια του το ικρίωμα [7], [15].

### Βηματική τάση $U_S$ .

Είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων του εδάφους σε απόσταση 1m και δηλώνει την καταπόνηση ατόμου, χωρίς να βρίσκεται σε επαφή με μεταλλικά αντικείμενα, λόγω ανοικτού βηματισμού [8].

Οι παραπάνω ορισμοί των δυναμικών, που μπορεί να αναπτυχθούν κατά τη διάρκεια σφάλματος γίνονται καλύτερα κατανοητοί με τη βοήθεια του Σχήματος 1.1. Οι τάσεις που υφίσταται τότε το άτομο φαίνονται στο Σχήμα 1.1 [5]. Συγκεκριμένα, κάτω από τη συσκευή διαμορφώνεται ένα "πεδίο ροής" ρεύματος και το άτομο τίθεται μεταξύ χεριού και ποδιών και μεταξύ ποδιών σε μια διαφορά δυναμικού - "τάση επαφής"-  $U_t$  και μια διαφορά δυναμικού  $U_S$  αντίστοιχα. Η  $U_t$  και η  $U_S$  αποτελούν προφανές μέρος της συνολικής ανύψωσης του δυναμικού του μεταλλικού στοιχείου του κυκλώματος - "τάση σφάλματος"-  $U_f$ .

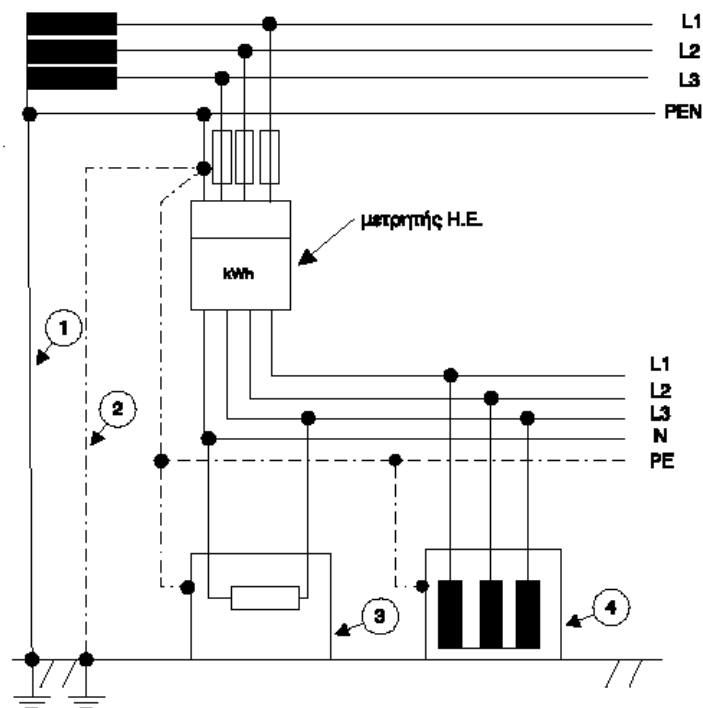


Σχήμα 1.1 - Σχηματική παρουσίαση της τάσης επαφής  $U_t$ , της τάσης σφάλματος  $U_f$  και της βηματικής τάσης  $U_S$  [5].

### 1.3. Μέθοδοι γείωσης

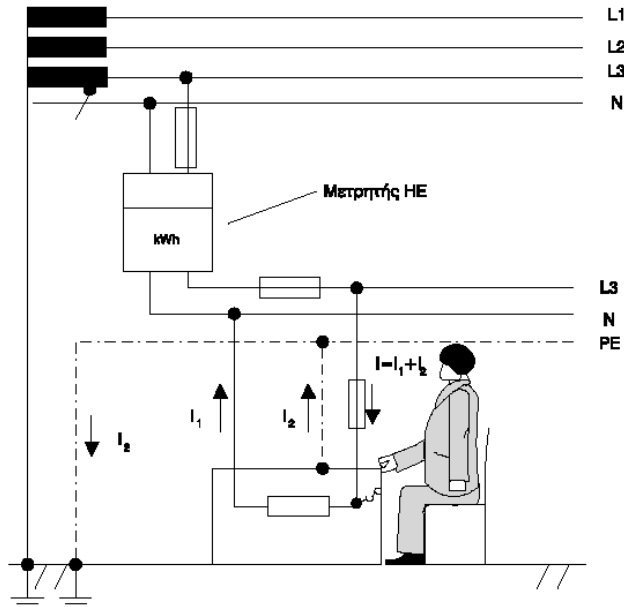
Οι μέθοδοι γείωσης που χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις είναι οι παρακάτω:

- Η ουδετέρωση, δηλαδή η αγώγιμη σύνδεση με τον ουδέτερο αγωγό του αγωγού γης ο οποίος είναι συνδεδεμένος με το ηλεκτρόδιο γείωσης, ενώ από το σημείο σύνδεσής τους αναχωρεί ο αγωγός γείωσης του συστήματος που ενώνεται με τα μεταλλικά αντικείμενα της εγκατάστασης που σε κανονική λειτουργία δε βρίσκονται υπό τάση. Στο Σχήμα 1.2 φαίνεται το σχέδιο ενός συστήματος γείωσης με ουδετέρωση [9].



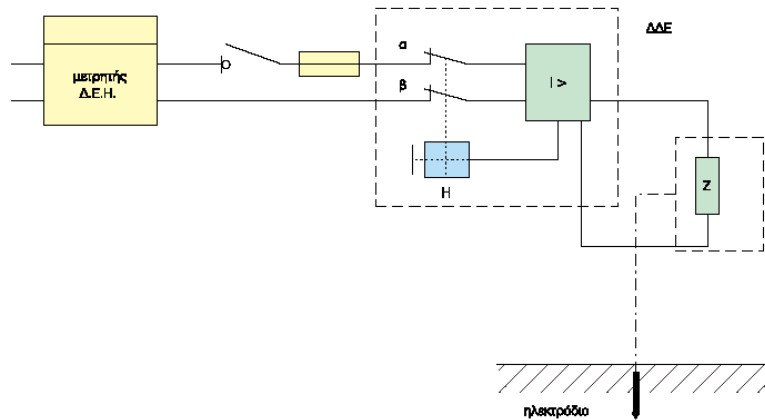
Σχήμα 1.2 - Σχηματική παρουσίαση συστήματος προστασίας με ουδετέρωση [9]

- Η άμεση γείωση, δηλαδή η απ' ευθείας αγώγιμη σύνδεση με το σύστημα γείωσης του αγωγού γης που είναι συνδεδεμένος με κάποιο αγώγιμο υλικό που είναι τοποθετημένο μέσα στη γη όπως πλάκα γείωσης, ηλεκτρόδιο, τρίγωνο, κλπ. Στο παρακάτω Σχήμα 1.3 φαίνεται το σχέδιο ενός συστήματος άμεσης γείωσης [9].



Σχήμα 1.3 - Σχηματική παρουσίαση συστήματος προστασίας με άμεση γείωση [9].

και μέσω διακόπτη διαφυγής για την αυτόματη απομόνωση του προβληματικού μέρους της εγκατάστασης όπως βλέπουμε στο Σχήμα 1.4.



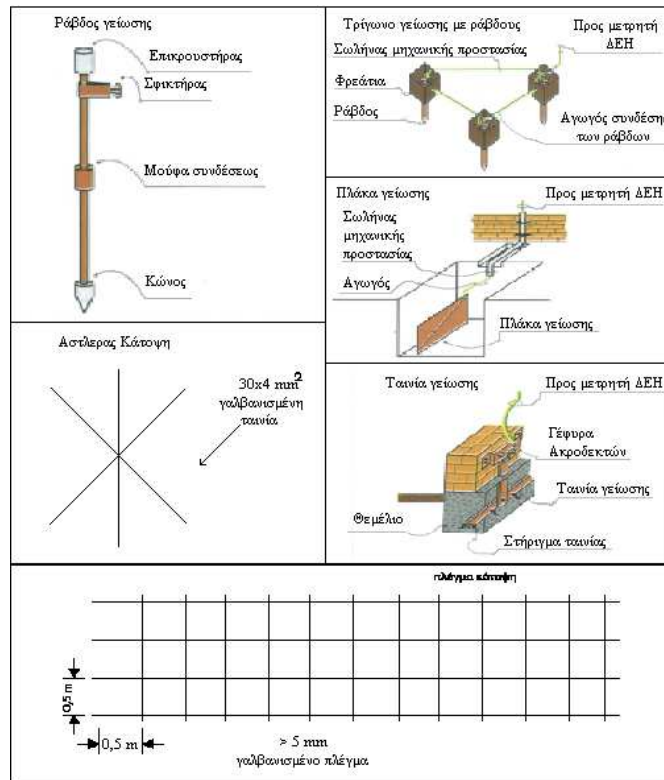
Σχήμα 1.4 - Σχηματική παρουσίαση συστήματος προστασίας με διακόπτη διαφυγής έντασης σε εγκατάσταση που έχει ηλεκτρόδιο γείωσης [9].

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

#### 1.4. Είδη ηλεκτροδίων γείωσης



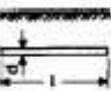
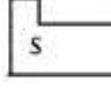
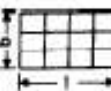
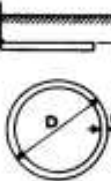
Τα ηλεκτρόδια γείωσης (γειωτές) έχουν τις μορφές που παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.5 [9]. Οι τύποι που δίνουν τις αντιστάσεις τους φαίνονται στον Πίνακα 1.1. Οι

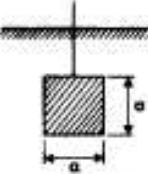
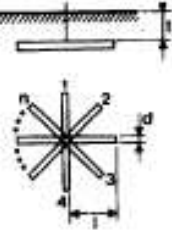
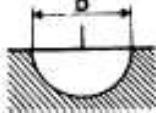
ελάχιστες διαστάσεις των ηλεκτροδίων γείωσης δίνονται στον Πίνακα 1.2. Οι ειδικές αντιστάσεις των διαφόρων εδαφών φαίνονται στον Πίνακα 1.3.



Σχήμα 1.5 - Ηλεκτρόδια γειωτών [29]

Πίνακας 1.1 - Τύποι υπολογισμού αντιστάσεων ηλεκτροδίων γείωσης [10]

	Γειωτής	Τύπος	Προσεγγιστικός τύπος
	Πάσσαλος (πλάγια όψη)	$R_{A1} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l_{eff}} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot l_{eff}}{d}\right)$ $l_{eff} \approx l - 0.5 \text{ m}^*$	$R_A \approx \frac{\rho}{l_{eff}}$
	Πολύγωνο Πασάλων $a \geq 1$ (κάτοψη)	$R_A \approx k \cdot \frac{1}{n} \cdot R_{A1}$ $\frac{a}{l} = 3 : n = 5 : k \approx 1.2$ $R_{A1} = \text{αντίσταση ενός πασάλου}$	$K = (1 \dots 1.5) \text{ για } n = 10 : k \approx 1.25$
	Ταινία γείωσης ή επιφανειακός γειωτής, βάθος $h = 0.5 \dots 1.0 \text{ m}$ (πλάγια όψη)	$R_A = \frac{\rho}{\pi \cdot l} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot l}{d}\right)$	$R_A \approx \frac{2 \cdot \rho}{l}$
	Θεμελιακή γείωση $D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot S}$		$R_A = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\rho}{D}$
	Πλέγμα σε βάθος $0.5 - 1.0 \text{ m}$ $D = \sqrt{\frac{4 \cdot b \cdot l}{\pi}}$ (κάτοψη)	$R_A \approx \frac{\rho}{2 \cdot d} + \frac{\rho}{l \cdot g}$ $l \cdot g = \text{συνολικό μήκος αγωγού}$	$R_A \approx \frac{\rho}{2 \cdot D}$
	Κυκλικός γειωτής (κάτοψη)	$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi^2 \cdot D} \cdot \ln\left(\frac{8 \cdot D}{d}\right)$	$R = \frac{2 \cdot \rho}{\pi \cdot D}^{**}$

		$\left( 1 + \frac{\ln \frac{2 \cdot D}{t}}{\ln \frac{8 \cdot D}{d}} \right)$	
	Γειωτής πλάκας, πλάγια όψη S [m <sup>2</sup> ]		$R = \frac{\rho}{4.5 \cdot \alpha} \text{ ***}$
	n=2  n=3  n=4  n=5	$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \left( \frac{l^2}{0.27 \cdot t \cdot d} \right)$ $R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \left( \frac{l^2}{0.25 \cdot t \cdot d} \right)$ $R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \left( \frac{l^2}{0.22 \cdot t \cdot d} \right)$ $R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \left( \frac{l^2}{0.09 \cdot t \cdot d} \right)$	
	Ημισφαιρικός γειωτής	$R = \frac{\rho}{\pi \cdot D} \text{ ****}$	
<p>* Όπου εμφανίζεται το πάχος του αγωγού d, αυτό είναι το ισοδύναμο πάχος <math>d = \sqrt{4(A/\pi)}</math>, όπου A η διατομή του αγωγού.</p> <p>** Για ακανόνιστους βρόχους μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ισοδύναμη διάμετρος <math>D = 0,33 \cdot U</math>, U το μήκος αγωγού.</p> <p>*** Για πλάκες που δεν είναι τετράγωνες θέτουμε: <math>\alpha = \sqrt{S}</math>, όπου S η επιφάνεια.</p> <p>**** Για ένα γειωτή όγκου V ακανόνιστου σχήματος, εφαρμόζεται ο τύπος του σφαιρικού γειωτή με <math>D = 1,57 \cdot \sqrt[3]{V}</math>.</p>			

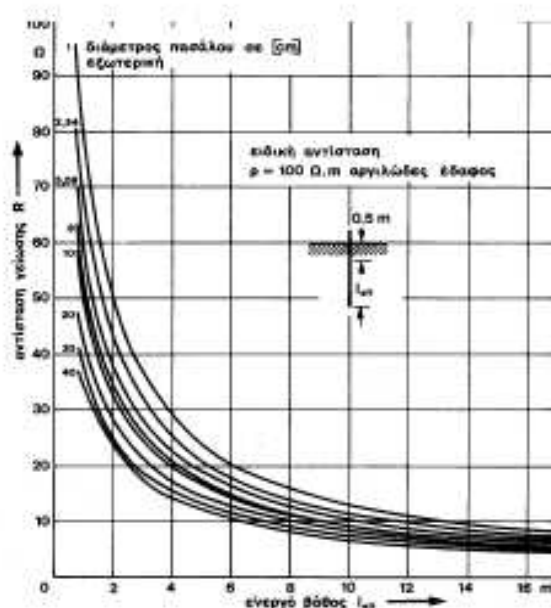
Πίνακας 1.2 - Ελάχιστες διατομές ηλεκτροδίων γειωτών κατά VDE 0141 [10]

Μορφή γειωτή	Υλικό		
	Χάλυβας γαλβανισμένος (με 70 μm στρώμα)	Χάλυβας επιχαλκωμένος	Χαλκός
Ταινία	100 mm <sup>2</sup> ελάχιστο πάχος 3 mm	50 mm <sup>2</sup> ελάχιστο πάχος 2 mm	50 mm <sup>2</sup> ελάχιστο πάχος 2 mm
Ράβδος στρογγυλή	78 mm <sup>2</sup> =10 φ	50 mm <sup>2</sup> χάλυβα 35 mm <sup>2</sup> χαλκός	35 mm <sup>2</sup>
Συρματό- σχοινο	95 mm <sup>2</sup> χονδρόκλωνο (δεν χρησιμοποιείται)		35 mm <sup>2</sup> χονδρόκλωνο (ελάχιστο πάχος κλώνων 1.8 mm)
Σωλήνας για πάσσαλο- γειώσεις	Ονομαστική διάμετρος 1' (εσωτερική διάμετρος), ελάχιστο πάχος 2 mm		Εσωτερική διάμετρος 20mm, ελάχιστο πάχος 2 mm
Ράβδος L, U, T, I για πάσσαλο- γειώσεις	Σύμφωνα με τη ΔΕΗ, συνήθως όμως 100 mm <sup>2</sup> , ελάχιστο πάχος 3 mm.	50 mm <sup>2</sup> στρογγυλή ράβδος	Σύμφωνα με τη ΔΕΗ, συνήθως όμως 35 mm <sup>2</sup> , ελάχιστο πάχος 3 mm.
Πλάκα	Ελάχιστο πάχος 3 mm		Ελάχιστο πάχος 2 mm



## 1.5. Γειωτής ράβδου

Είναι σωλήνας ονομαστικής διαμέτρου μεγαλύτερης της μίας ίντσας ή μία ράβδος στρογγυλή ή προφίλ από γαλβανισμένο χάλυβα, π.χ. U, L, T ή I-προφίλ. Η ράβδος τοποθετείται κατακόρυφα ή λοξά (π.χ. 200) 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. Η αντίσταση γείωσης είναι περίπου αντιστρόφως ανάλογη του βάθους Πίνακας 1.1 και Σχήμα 1.6. Η αντίσταση δεν εξαρτάται σημαντικά από το πάχος ή τη διάμετρο της ράβδου. Εφ' όσον το επιτρέπει η μηχανική αντοχή, προτείνονται ηλεκτρόδια χαλκού ή επιμολυβδωμένα ηλεκτρόδια, γιατί αντέχουν στη διάβρωση.



Σχήμα 1.6 - Αντίσταση γείωσης κατακόρυφων πασσάλων στο έδαφος. Το ενεργό μήκος ισούται με το πραγματικό μήκος μείον μισό μέτρο, δηλαδή  $l_{ef} = l - 0.5 m$  [10].

## 1.6. Γειωτής ταινίας ή συρματόσχοινο

Ταινία ή συρματόσχοινο που τοποθετείται σε χαντάκι βάθους 0.7-1.0 m, για να υπάρχει υγρό έδαφος. Η ταινία μπορεί να είναι χάλυβας γαλβανισμένος ή επιμολυβδωμένος ή επιχαλκωμένος διαστάσεων  $40 \times 4 \text{ mm}^2$ . 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. Για το ίδιο μήκος ταινίας ο ευθύγραμμος γειωτής έχει μικρότερη αντίσταση από τον κυκλικό. Δεν συνιστάται συρματόσχοινο αντί ταινίας σαν ηλεκτρόδιο γείωσης γιατί διαβρώνεται σχετικά

γρήγορα. Χάλκινα ή επιχαλκωμένα ηλεκτρόδια αποφεύγονται όπου στην περιοχή υπάρχουν χαλύβδινοι σωλήνες γιατί προκαλούνται διαβρώσεις [10].

### **1.7. Γειωτής πλάκας**

Είναι πλάκα παραλληλόγραμμης μορφής, π.χ. 0.5x0.5 m<sup>2</sup>, η οποία ενταφιάζεται στο έδαφος με την επιφάνειά της κατακόρυφη. Το πάνω μέρος της βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο του 1.0 m. Το υλικό κατασκευής μπορεί να είναι γαλβανισμένος, επιχαλκωμένος ή επιμολυβδομένος χάλυβας με πάχους τουλάχιστον 3 mm ή χαλκός ή μόλυβδος με πάχους τουλάχιστον 2 mm.

### **1.8. Γειωτής ακτινικός.**

Είναι ταινίες ή ράβδοι που διαμορφώνονται υπό μορφή αστερά με πολλές ακτίνες *Πίνακας 1.1*. Ο αστέρας βρίσκεται σε οριζόντια θέση, ενταφιασμένος σε βάθος τουλάχιστον 0.8 m. Χρησιμοποιούνται υλικά όπως και στον γειωτή ταινίας.

### **1.9. Γειωτής πλέγματος**

Είναι πλέγμα από ταινίες ή αγωγός κυκλικής ή άλλης διατομής με τετραγωνικά ανοίγματα πλάτους 0.7-2.0 m και τοποθετείται οριζόντια σε βάθος 0.5-1.0 m *Πίνακας 1.1*. Τα ελάχιστα πάχη είναι όπως στους γειωτές ταινίας. Το μεγάλο πλεονέκτημα τους είναι ότι οι βηματικές τάσεις στο έδαφος, επάνω από το πλέγμα, είναι αμελητέες. Ανοίγματα μεγαλύτερα από 0.7 m έχουν μεγαλύτερες βηματικές τάσεις απ' ότι πλέγματα με ανοίγματα 0.5 m.

### **1.10. Το δίκτυο ύδρευσης σαν γειωτής**

Γενικά επιτρέπεται η χρησιμοποίηση μεταλλικών δικτύων ύδρευσης ως γειωτών για εγκαταστάσεις με τάσεις ως προς γη μικρότερες των 250 V, εφ' όσον υπάρχει η συγκατάθεση του Οργανισμού Ύδρευσης. Για μεγαλύτερες τάσεις χρειάζεται ειδική άδεια από τον Οργανισμό Ύδρευσης. Η γραμμή γείωσης συνδέεται κατά προτίμηση πριν από τον μετρητή. Αν συνδεθεί μετά τον μετρητή, πρέπει βραχυκυκλωθεί μόνιμως ο μετρητής με χάλκινο σύρμα H03V-U και διατομή τουλάχιστον 6 mm<sup>2</sup>.

*Κατά VDE 100 δεν επιτρέπεται η παράλληλη σύνδεση γειωτών από χαλκό με το δίκτυο ύδρευσης. Σχηματίζονται ηλεκτροχημικά στοιχεία με αποτέλεσμα τη διάβρωση του σιδήρου [10].*

### **1.11. Επιφανειακοί και βαθείς γειωτές**

Ανάλογα με το βάθος τους διακρίνονται σε:

- επιφανειακούς γειωτές όπως γειωτές ταινίας, πλέγματος και ακτινικούς γειωτές,
- βαθείς γειωτές, όπως γειωτές ράβδου.

### 1.12. Απολήξεις και συνδέσεις των ηλεκτροδίων γείωσης

Το μέρος του γειωτή ή της σύνδεσης που προεξέχει από το έδαφος μονώνεται κατά της υγρασίας με πίσσα ή άλλα μονωτικά και μάλιστα 30 cm μέσα και 30 cm έξω από το έδαφος. Οι συνδέσεις των ηλεκτροδίων γείωσης γίνονται σε γειώσεις ουδέτερου με Cu, ελάχιστης διατομής ίσης με τη διατομή του ουδέτερου, όχι όμως μικρότερη των 16 mm<sup>2</sup> (H07V-U), μονόκλιωνα. Σε εγκαταστάσεις αλεξικέραυνου η ελάχιστη διατομή για χαλκό είναι 50 mm<sup>2</sup>. Η σύνδεση του ουδέτερου του Μ/Σ με τον γειωτή γίνεται με καλώδια H07-R (πριν NYA) 25 mm<sup>2</sup> τουλάχιστον.

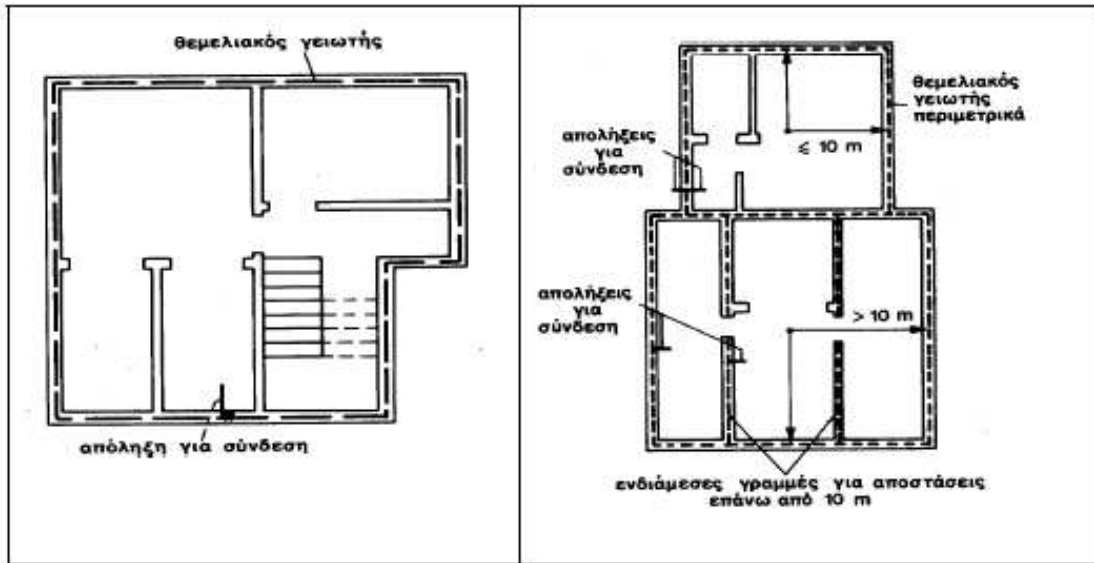
### 1.13. Θεμελιακή γείωση

Η θεμελιακή γείωση είναι ένας γειωτής ταινίας που τοποθετείται στο κάτω μέρος των θεμελίων των κτιρίων, μέσα στο σκυρόδεμα. Η τοποθέτηση γίνεται στη βάση των εξωτερικών τοίχων *Σχήμα 1.7* και είναι ένας κλειστός βρόγχος. 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.

Ο αγωγός του γειωτή μπορεί να είναι:

- ταινίες γαλβανισμένου χάλυβα ελάχιστων διαστάσεων 30 mm x 3.5 mm ή 25 mm x 4 mm. Συνιστάται οι διαστάσεις να είναι 40x5 mm ή 50x4 mm.
- βέργα γαλβανισμένου χάλυβα ελάχιστης διαμέτρου 10 mm. Συνιστάται διάμετρος 12 mm.

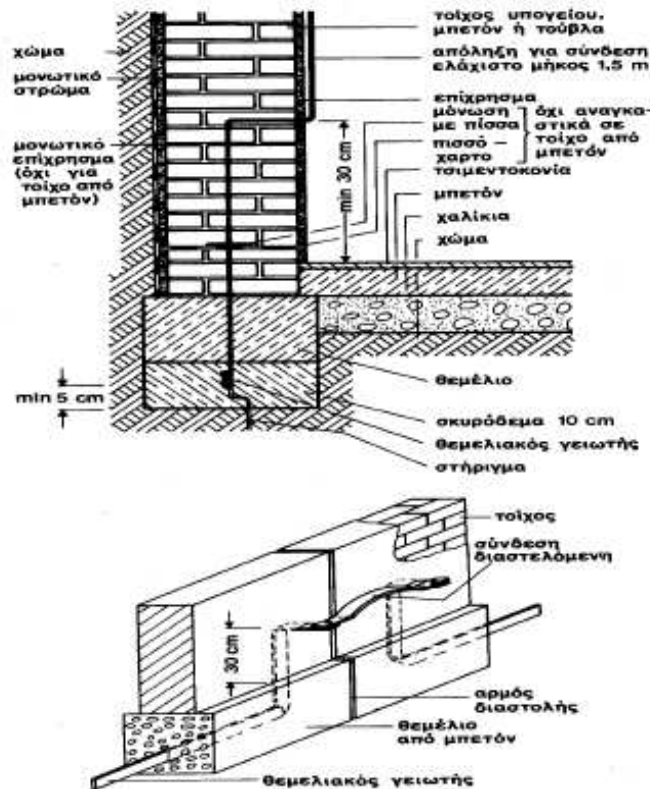
Το χαλύβδινο ηλεκτρόδιο τοποθετείται στο περιμετρικό θεμέλιο του κτιρίου. Σε περιπτώσεις που υπάρχει μόνωση κατά της υγρασίας, πρέπει το ηλεκτρόδιο να



Σχήμα 1.7 - Θεμελιακές γειώσεις. Δείχνονται δύο κατόψεις με και χωρίς ενδιάμεση σύνδεση [10].

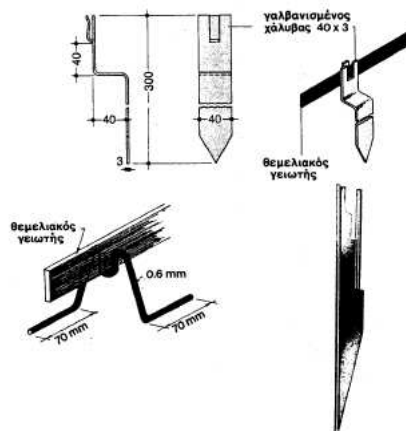
τοποθετηθεί προς την πλευρά του εδάφους. Για μεγάλες διαστάσεις των κτιρίων (>10m), συνιστώνται και εγκάρσιες συνδέσεις του περιμετρικού γειωτή, όπως στο Σχήμα 1.7, έτσι ώστε κανένα σημείο του υπογείου να μην απέχει πάνω από 10 m από τον γειωτή. Ο γειωτής πρέπει να περιβάλλεται παντού από δονημένο σκυρόδεμα. Τοποθετείται σε ένα στρώμα πάχους τουλάχιστον 5 cm (συνήθως 6-10 cm), γιατί αλλιώς διαβρώνεται.

Μετά από την εκσκαφή των θεμελίων κατασκευάζεται μία στρώση από σκυρόδεμα πάχους 6-10 cm Σχήμα 1.8. Εκεί μέσα τοποθετείται ή μία ταινία με την πλατιά της πλευρά όρθια ή μία χαλύβδινη βέργα κυκλικής διατομής. Το Σχήμα 1.9 δείχνει διάφορες διατάξεις για να κρατηθεί η ταινία στη θέση της. Ακολούθως τοποθετείται ο οπλισμός των θεμελίων και χύνεται όλο το θεμέλιο. Η όρθια τοποθέτηση της ταινίας εξασφαλίζει μία άνεση στην τοποθέτηση. Η ταινία λυγίζει καλύτερα στις γωνίες του κτιρίου. Το σκυρόδεμα πρέπει να είναι αντοχής B 225 ή περιεκτικότητας 300 kg τσιμέντου ανά  $m^3$ . Η τοποθέτηση του γειωτή μέσα στο σκυρόδεμα στη βάση των θεμελίων εξασφαλίζει αντοχή στη διάβρωση και στις μηχανικές καταπονήσεις. Επιπλέον, ο γειωτής είναι σε υγρό έδαφος όπου η αγωγιμότητα είναι μεγάλη. Συνιστάται να συνδέεται στον γειωτή ο οπλισμός του σκυροδέματος του κτιρίου. Οι απολήξεις του γειωτή έχουν την ίδια διατομή με το ηλεκτρόδιο του γειωτή. Το μήκος τους είναι 1,5 m κατά VDE 100 και τοποθετούνται στον τοίχο του κτιρίου εσωτερικά. Η απόληξη απέχει στο κάτω μέρος της στην έξοδο της από τον τοίχο, 30 cm από το έδαφος. Η σύνδεση με την λοιπή εγκατάσταση γίνεται με χάλκινο αγωγό διατομής 16  $mm^2$  τουλάχιστον ή καλύτερα 25  $mm^2$ . Στην περίπτωση των θεμελιακών γειώσεων συνδέονται στη θεμελιακή γείωση και τα αλεξικέραυνα, ενδεχομένως μέσω σπινθηριστών.



Σχήμα 1.8 - Λεπτομέρειες θεμελιακής γείωσης [10]

Για τον υπολογισμό της αντίστασης του θεμελιακού γειωτή χρησιμοποιείται ο τύπος του γειωτή ταινίας ή προσεγγιστικά ο τύπος του θεμελιακού γειωτή Πίνακας 1.1. Αυτός παίρνει τον γειωτή σαν κυκλικό γειωτή διαμέτρου  $D$ , επιφάνειας ίσης με το εμβαδόν κάτοψης των θεμελίων. Σαν αντίσταση εδάφους θα ληφθεί, κατά VDE 0141 ή DIN 57141, η ειδική ηλεκτρική αντίσταση όχι του σκυροδέματος, αλλά του περιβάλλοντος εδάφους [10]. Ο κανονισμός DIN 18015/Teil 1 την επιβάλλει σε όλα τα νέα κτίρια



Σχήμα 1.9 - Στήριγματα θεμελιακής γείωσης [10]

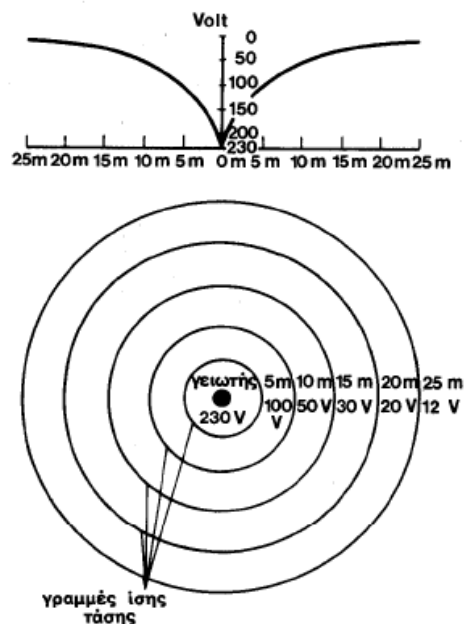
### 1.14. Η αντίσταση γείωσης

Αντίσταση γείωσης είναι η αντίσταση από το ηλεκτρόδιο γείωσης μέχρι την άπειρη γη, όταν δεν υπάρχουν άλλα ηλεκτρόδια στο έδαφος. Άπειρη γη είναι ένα σημείο στην επιφάνεια σε άπειρη απόσταση από τον γειωτή. Λαμβάνεται σαν σημείο αναφοράς των δυναμικών. Λέμε ότι, η τάση της άπειρης γης είναι μηδέν. Για πρακτικούς σκοπούς η "άπειρη απόσταση" είναι 5-10 φορές επί τη μεγαλύτερη απόσταση από το γειωτή. Για γειωτές πάσσαλους με 3 m βάθος, η απόσταση της άπειρης γης είναι 20 m. Σε αυτή την απόσταση το δυναμικό αποτελεί το 2% του δυναμικού του πασάλου [10].

Η αντίσταση γείωσης του ηλεκτροδίου, για μία δοσμένη εκφόρτιση ρεύματος είναι ο λόγος, της τάσης V(σε Volts) μεταξύ του σημείου σύνδεσης του ηλεκτροδίου και ενός πιο μακρινού σημείου της γης, και της εκφόρτισης ρεύματος I (σε Amperes), και επομένως έχουμε

$$R = \frac{V}{I} \quad (1.1)$$

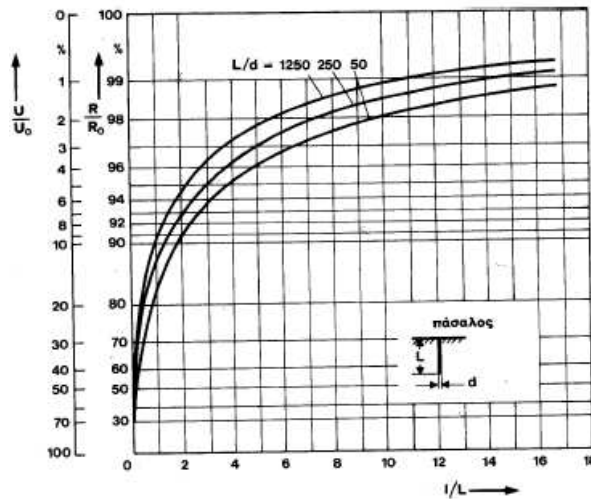
Αν ένας γειωτής τεθεί υπό τάση U (=100%) ως προς την άπειρη γη, δημιουργείται ένα πεδίο ροής και δυναμικού γύρω από τον γειωτή. Όσο περισσότερο απομακρυνόμαστε από τον γειωτή, τόσο μειώνεται η τάση. Το διάγραμμα τάσης-απόστασης ονομάζεται χοάνη δυναμικού του γειωτή *Σχήμα 1.10, 1.11 και 1.12.*



*Σχήμα 1.10 - Χοάνη δυναμικού ενός γειωτή [10].*

Η χοάνη δυναμικού δίνει επίσης την περιοχή επίδρασης του γειωτή ή την απόσταση της άπειρης γης. Έστω π.χ., γειωτής με 60 mm διάμετρο και 3 m βάθος. Αν θέσουμε

σαν αμελητέα τάση το 5% της τάσης του γειωτή, τότε βλέπουμε από το διάγραμμα στο Σχήμα 1.12 ότι αυτή η τάση αντιστοιχεί σε απόσταση τετραπλάσια από το βάθος του γειωτή. Δηλαδή, η άπειρη γη είναι  $3 \times 4 = 12$  m μακριά από τον γειωτή ή το πεδίο επηρεασμού του γειωτή είναι κύκλος με ακτίνα 12 m. Η χοάνη δυναμικού χρησιμοποιείται επίσης για να εκτιμήσουμε το σφάλμα στη μέτρηση της αντίστασης γειωτών. Αν π.χ. μετρηθεί η αντίσταση στον παραπάνω γειωτή από το ηλεκτρόδιο μέχρι και 12 m μακριά, τότε η μετρούμενη αντίσταση είναι το 95% της πραγματικής.



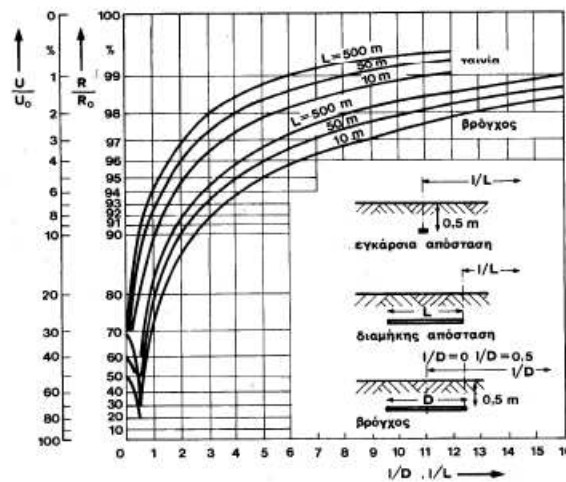
Σχήμα 1.11 - Χοάνες δυναμικού για πασσαλογειωτές [10].

Όπου  $l$ : η απόσταση από τον πάσσαλο.

$R_0$ =αντίσταση γείωσης ( $l \rightarrow \infty$ ),

$R$ =αντίσταση που μετρούμε σε απόσταση  $l$  πάνω στο έδαφος,

$U, U_0$ =τάση σε απόσταση  $l$  και σε απόσταση  $l=0$ .



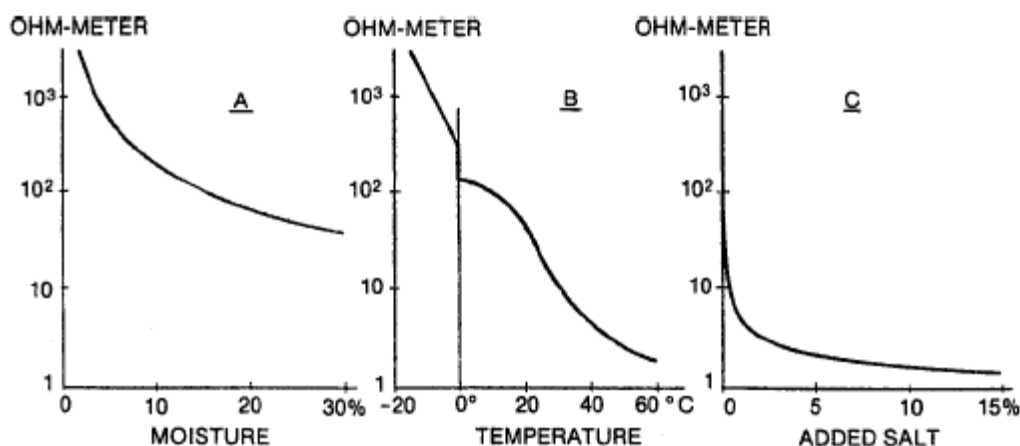
Σχήμα 1.12 - Χοάνες δυναμικού για γειωτές ταινίας και βρόγχου [10].

Στο έδαφος, επάνω από το μέσο του γειωτή ταινίας, οι αντιστάσεις είναι:

$R/R_0=17.5\%$  για  $L=500$  m  $R/R_0=28\%$  για  $L=50$  m  $R/R_0=36\%$  για  $L=10$  m

### 1.15. Ειδική Αντίσταση Εδάφους

Το είδος, το εμβαδόν της επιφάνειας και το βάθος τοποθέτησης του ηλεκτροδίου γειώσεως εξαρτάται από την ειδική αντίσταση του εδάφους και την επιδιωκόμενη τιμή της αντίστασης γείωσης. Η ειδική αντίσταση εδάφους εξαρτάται από την πυκνότητα και την σύστασή του. Υπάρχει ποικιλία εδαφών και ειδικών αντιστάσεων (εδάφη χωματώδη, αμμώδη, βραχώδη, υγρά, ξηρά, ανομοιογενή, κλπ.) με αντίστοιχη ποικιλία τιμών ειδικών αντιστάσεων. Όσο ξηρότερο και περισσότερο πετρώδες είναι το έδαφος, τόσο μεγαλύτερη η ειδική αντίστασή του,  $\rho$ , μετρούμενη συνήθως σε  $\Omega \cdot m$ . Σε ανισότροπα εδάφη η ειδική αντίσταση μεταβάλλεται κατά μήκος του ηλεκτροδίου γειώσεως, και ενδεχομένως με μη γραμμικό τρόπο [11].



Σχήμα 1.13 - Μεταβολή της ειδικής αντίστασης του εδάφους συναρτήσει

A) της υγρασίας B) της θερμοκρασίας και C) της προσθήκης άλατος [11], [15]

Αναλυτικά οι παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά την ειδική αντίσταση του εδάφους περιγράφονται παρακάτω:

- Είδος του εδάφους. Ελώδες έδαφος έχει π.χ. πολύ μικρότερη αντίσταση από ότι ξηρός βράχος. Ο Πίνακας 1.3 παρουσιάζει τις ειδικές αντιστάσεις για διάφορα εδάφη.
- Υγρασία. Έχει σημαντική επίδραση στην ειδική αντίσταση του εδάφους. Αναφέρεται ενδεικτικά, ότι σε αργιλώδες έδαφος με 10% περιεχόμενο υγρασίας (κατά βάρος) η ειδική αντίσταση είναι 30 φορές μεγαλύτερη από το ίδιο έδαφος με περιεχόμενο υγρασίας 20%. Παρατηρούμε ότι η αντίσταση μειώνεται αυξανόμενης της υγρασίας του εδάφους, Σχήμα 1.13.A. Παρόλα αυτά, η υγρασία από μόνη της δεν παίζει πρωτεύοντα ρόλο στην ειδική αντίσταση. Μόνο εάν η υγρασία περιέχει αρκετά φυσικά συστατικά για να αποτελέσει έναν αγωγίμο ηλεκτρολύτη θα συμβάλει σε



σημαντική μείωση της αντίστασης του εδάφους. Η τεχνητή προσθήκη διαλυτών ουσιών στο νερό, όπως χλωριούχο νάτριο (αλάτι), χλωριούχο ασβέστιο ( $\text{CaCl}_2$ ), θειϊκός χαλκός ( $\text{CuSO}_4$ ), ή θειϊκό μαγνήσιο ( $\text{MgSO}_4$ ) είναι ένας πρακτικός τρόπος μείωσης της ειδικής αντίστασης του εδάφους *Σχήμα 1.13.C*. Ανεξάρτητα από αυτά που αναφέραμε προηγουμένως θα πρέπει ακόμα να παρατηρήσουμε ότι το έδαφος μπορεί να ξηραίνεται επιφανειακά, αλλά σε βάθος κάτω του μισού μέτρου (0.5 m) διατηρείται συνήθως υγρό, σε όλες τις εποχές του έτους. Έτσι, σε γειωτές ράβδους 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.

- **Θερμοκρασία.** Οι εποχιακές μεταβολές της θερμοκρασίας οδηγούν σε κάποια διακύμανση της αντίστασης του εδάφους *Σχήμα 1.13.B*, ειδικότερα σε περιοχές όπου σημειώνεται παγετός. Η μεταβολή της αντίστασης του εδάφους με τη θερμοκρασία φθάνει περίπου τα 130% κατά τη διάρκεια του έτους. Η αντίσταση μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Συνεπώς, η τιμή της αντίστασης είναι υψηλότερη τον Ιανουάριο έως τον Φεβρουάριο και χαμηλότερη τον Ιούλιο έως τον Αύγουστο. Μορφή της τάσης. Σε κρουστικές τάσεις και για γειωτές με μήκος μεγαλύτερο από 10 m, έχει παρατηρηθεί άνοδος της αντίστασης. Σε αρνητικές κρουστικές τάσεις 0.3/30  $\mu\text{s}$ , η αντίσταση θεμελιακού γειωτή ανέρχεται από τα 3  $\Omega$  στα 26  $\Omega$ . Η άνοδος της αντίστασης γίνεται στο μέτωπο τάσης. Η αντίσταση σε κρουστικές τάσεις χαρακτηρίζεται και σαν κρουστική αντίσταση. Τέλος, έχει μετρηθεί ότι η επίδραση της υγρασίας και της θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη σε μικρά βάθη (0.5-1 m) παρά σε μεγάλα βάθη. Έτσι, ο γειωτής ράβδου που είναι σε μεγάλο βάθος, σε σύγκριση με ένα επιφανειακό γειωτή, παρουσιάζει το πλεονέκτημα της σταθερότητας της αντίστασης κατά τη διάρκεια του έτους. Η ειδική αντίσταση του εδάφους μετριέται, με γέφυρα 4 ηλεκτροδίων.

**Πίνακας 1.3 - Ειδικές αντιστάσεις εδαφών, ενδεικτικές μέσες τιμές [30]**

Τύπος εδάφους	Ειδική αντίσταση $\rho_E$ ( $\Omega\text{m}$ )
Θαλασσινό νερό	1
Ελώδες έδαφος	10
Υγρό έδαφος	100
Υγρή άμμος	200
Ξηρό έδαφος	1000
Ξηρή άμμος	10000
Βραχώδες έδαφος	$10^7$
Αμμόλιθος	$10^9$

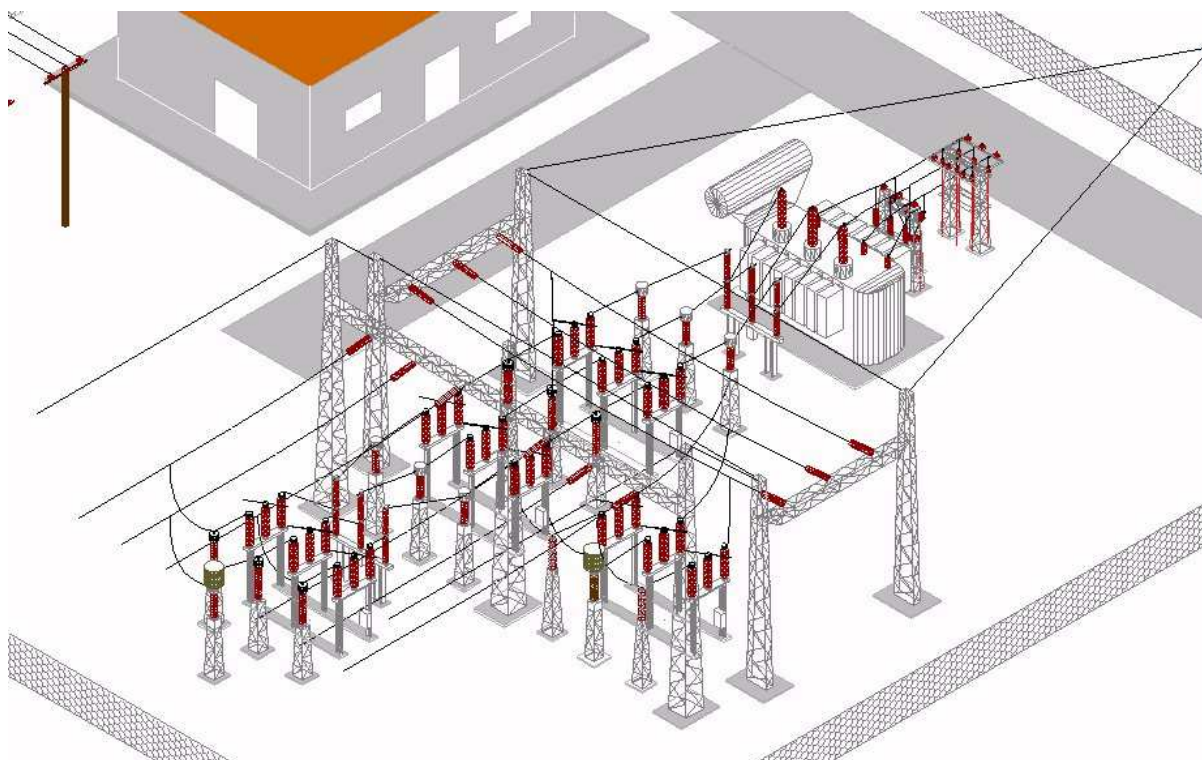
## 2. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ

### 2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με τον Υποσταθμό (Υ/Σ), τη δομή και τον εξοπλισμό του. Όπως γνωρίζουμε, σε ένα Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας, διασυνδεδετικό κρίκο μεταξύ των διαφόρων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας ή επιπέδων τάσεως αποτελεί ο Υ/Σ [12].

Αναλόγως της χρήσεώς του στο Σύστημα Μεταφοράς, ο Υ/Σ διακρίνεται σε Υ/Σ Διανομής 20 kV / 400 V, Υ/Σ Μεταφοράς (150kV/MT ή 400kV/MT) και Υ/Σ Παραγωγής (MT/150kV ή MT/400kV).

Ο ρόλος του Υ/Σ Διανομής είναι ο υποβιβασμός της τάσεως του Συστήματος σε MT, ώστε να διανεμηθεί στην κατανάλωση, μέσω του Δικτύου Διανομής MT.



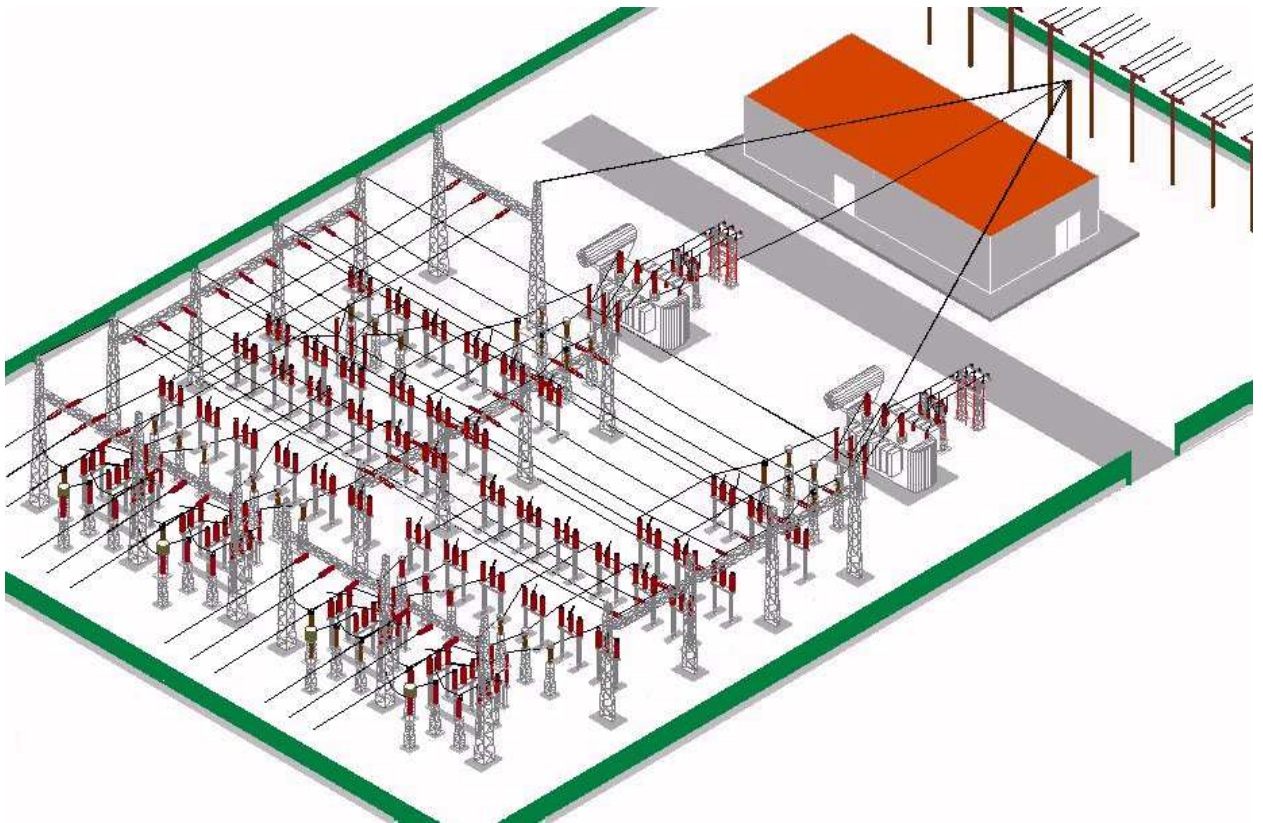
Σχήμα 2.1 - Σχηματική παράσταση απλού Υ/Σ Υποβιβασμού ή Ανυψώσεως τάσεως [12]

Ο Υ/Σ Μεταφοράς χρησιμοποιείται για την διασύνδεση των Γραμμών Μεταφοράς του Συστήματος μεταξύ τους, ώστε να εξασφαλίζεται καλύτερη διαχείρισή τους.

Στον Υ/Σ Μεταφοράς συνήθως υπάρχει ενσωματωμένος και Υ/Σ Διανομής.



*Φωτογραφία 2.1 - Υποσταθμός [12]*



*Σχήμα 2.2 - Σχηματική παράσταση μεγάλου διασυνδετικού Υ/Σ [12]*

Σε ένα Υ/Σ ανυψώσεως ΜΤ/ΥΤ ή υποβιβασμού ΥΤ/ΜΤ, διακρίνουμε τα εξής κύρια τμήματά του:

- Το Τμήμα Υψηλής Τάσεως ή Τμήμα Συνδέσεως με το Σύστημα, το οποίο συνίσταται από τις πύλες των Γραμμών Μεταφοράς ΥΤ, τις πύλες ΥΤ των Μ/Σ ισχύος και τους Ζυγούς ΥΤ.

Το Τμήμα Συνδέσεως αποτελεί πάγιο του Κυρίου του Συστήματος (ΑΔΜΗΕ) και την ευθύνη λειτουργίας του έχει ο Διαχειριστής (ΑΔΜΗΕ).

- Το Τμήμα ΜΤ ή κυρίως Υ/Σ, το οποίο αποτελείται από τους Μ/Σ ισχύος, τις πύλες ΜΤ των Μ/Σ, τις πύλες αναχωρήσεως των Γραμμών Διανομής ΜΤ και τα βοηθητικά του Υ/Σ.

Το τμήμα ΜΤ αποτελεί ιδιοκτησία του Χρήστου του Συστήματος (ΔΕΔΔΗΕ ή Ιδιώτης), αλλά την ευθύνη λειτουργίας του έχει ο Διαχειριστής Δικτύου (ΔΕΔΔΗΕ).

Στους Υ/Σ Μεταφοράς υπάγονται και τα Κέντρα Υπερυψηλής Τάσεως (ΚΥΤ), ως Υ/Σ Υποβιβασμού ή Ανυψώσεως – σε περίπτωση μονάδων Παραγωγής – για τη διασύνδεση μεταξύ των Συστημάτων Μεταφοράς ΥΥΤ (400kV) και ΥΤ (150kV).



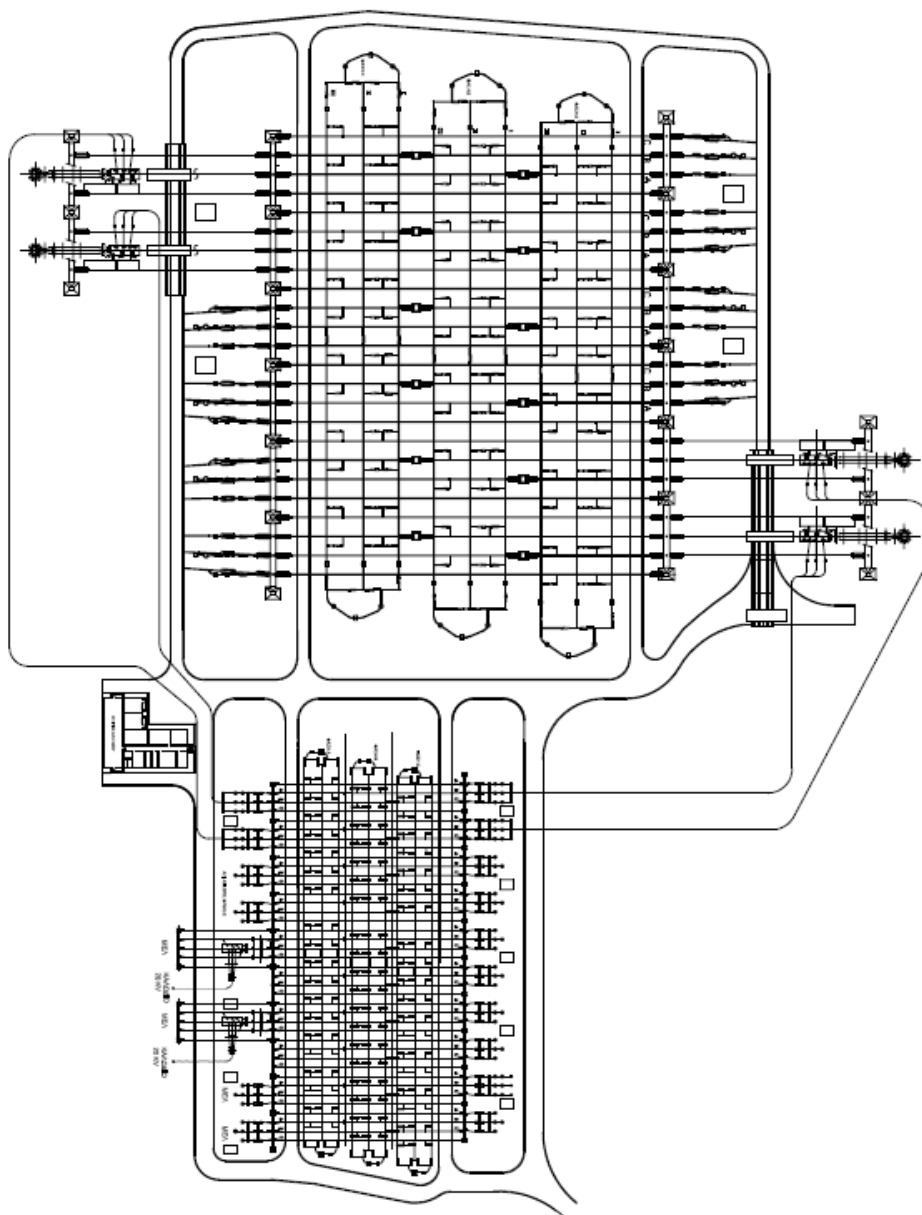
*Φωτογραφία 2.2 - Διάταξη Ζυγών ΥΥΤ ΚΥΤ [12]*

Στα ΚΥΤ διακρίνουμε τα εξής βασικά τμήματα:

- Την πλευρά ΥΥΤ (400 kV), η οποία συνίσταται από τους Ζυγούς ΥΥΤ, συνήθως τριπλούς, όπου συνδέονται οι Γραμμές Μεταφοράς ΥΥΤ, οι πύλες ΥΥΤ των Αυτομετασχηματιστών και οι πύλες ΥΥΤ των Μετασχηματιστών των μονάδων παραγωγής.

- Την πλευρά YT (150 kV), η οποία συνίσταται από τους Ζυγούς YT, συνήθως διπλούς ή τριπλούς, όπου συνδέονται οι πύλες των Γραμμών Μεταφοράς YT και οι πύλες YT των Αυτομετασχηματιστών.
- Οι δύο πλευρές συνδέονται μέσω των Αυτομετασχηματιστών 400/150/30 kV .
- Την πλευρά MT (30 kV), για τα βοηθητικά του KYT.

Συνήθως στους Ζυγούς YT των KYT συνδέονται και πύλες Μετασχηματιστών Υποβιβασμού (150/20 kV), οι οποίοι τροφοδοτούν Γραμμές Διανομής για την εξυπηρέτηση των καταναλωτών.



Σχήμα 2.3 - Κάτοψη KYT

## 2.2. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

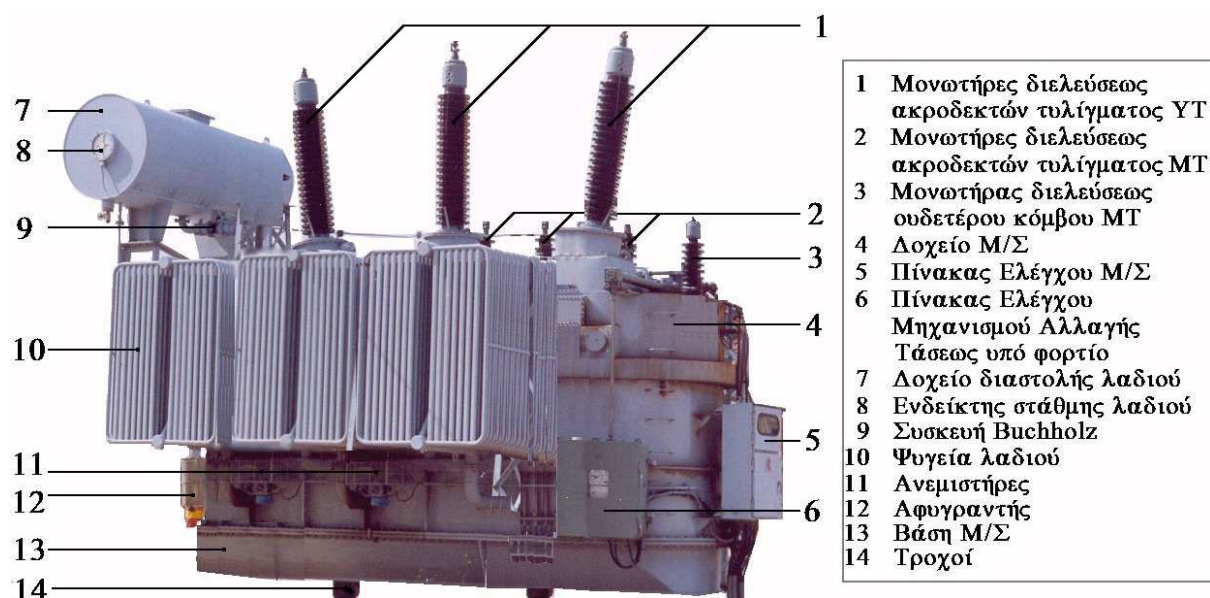
Ο Υποσταθμός κατασκευάζεται με ειδικό ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, βασικά Υψηλής τάσεως (ΥΤ) και Μέσης τάσεως (ΜΤ), αλλά και βοηθητικό Χαμηλής τάσεως (ΧΤ).

Τα κυριότερα στοιχεία του εξοπλισμού του Υ/Σ, περιγράφονται στη συνέχεια. με έμφαση στα βασικότερα χαρακτηριστικά τους.

### 2.2.1. Μετασχηματιστής Ισχύος

Ο Μ/Σ Ισχύος (Μ/Σ) είναι το σπουδαιότερο στοιχείο ενός Υ/Σ Μεταφοράς.

Ο Μ/Σ υλοποιεί το σκοπό για τον οποίο κατασκευάζεται ο Υ/Σ: την αλλαγή της τάσεως του Συστήματος από ΥΤ σε ΜΤ (υποβιβασμός) ή από ΜΤ σε ΥΤ (ανύψωση), αναλόγως της χρήσεως του Υ/Σ.



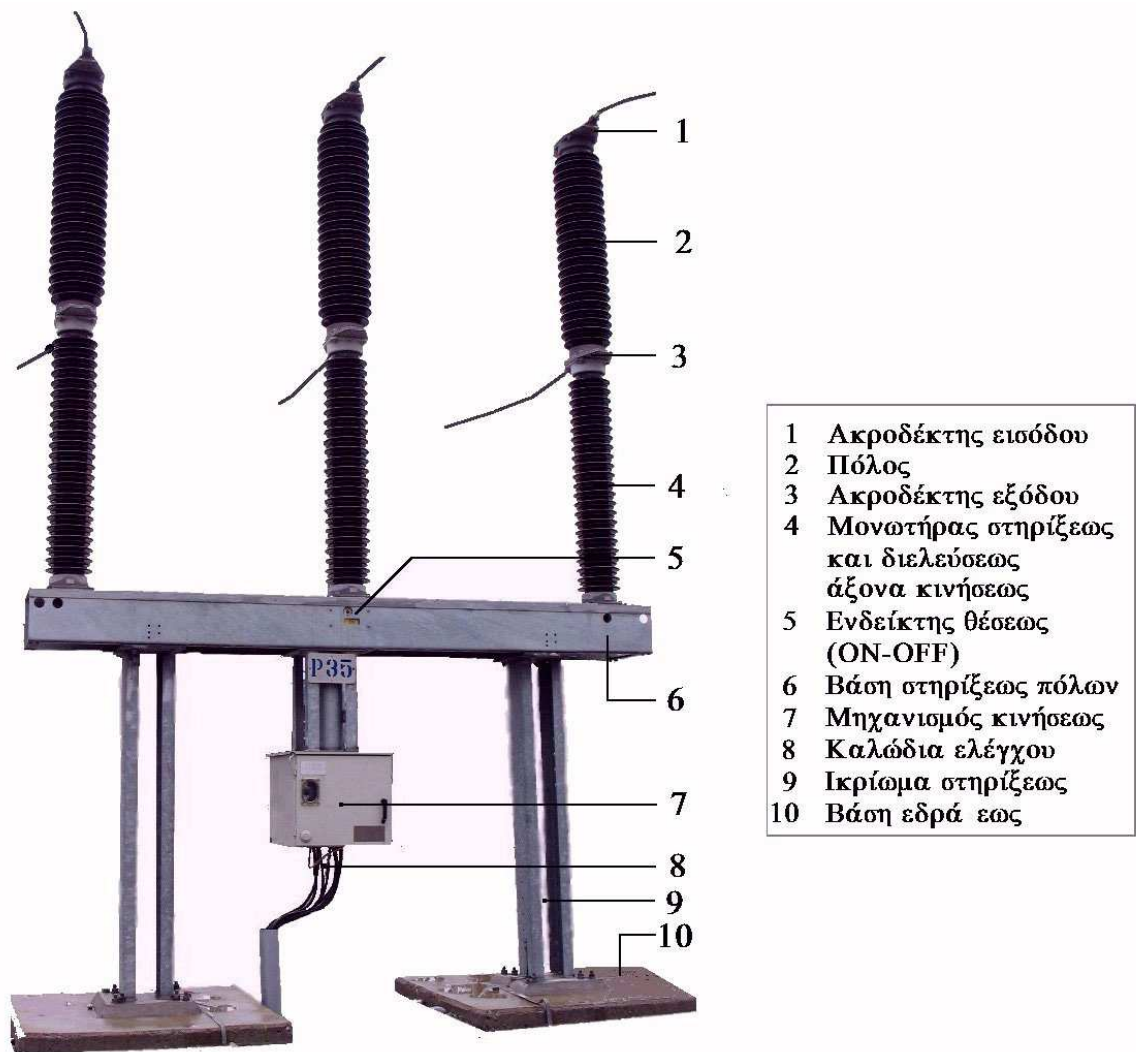
Φωτογραφία 2.3 - Ο Μ/Σ Ισχύος [12]

### 2.2.2. Αυτόματος Διακόπτης ΥΤ

Το κυριώτερο διακοπτικό στοιχείο των κυκλωμάτων ισχύος ΥΤ του Υ/Σ είναι ο Αυτόματος Διακόπτης (ΑΔ).

Ο Διακόπτης έχει δυνατότητα διακοπής τόσο ρευμάτων φορτίων, όσο και ρευμάτων σφαλμάτων (βραχυκύκλωμα).

Χαρακτηριστικά ηλεκτρικά μεγέθη του διακόπτη είναι: η ικανότητα διακοπής ρεύματος φορτίου (π.χ. 2.000 Α), και σφάλματος (π.χ. 31,5 kΑ),



Φωτογραφία 2.4 - Διακόπτης ΥΤ [12]

η ονομαστική τάση λειτουργίας (π.χ. 170kV), αριθμός πόλων (μονοπολικός ή τριπολικός) κ.τ.τ.

Ως προς την κατασκευή τους, οι ΑΔ διακρίνονται σε:

- Ανοικτού (AIS) ή κλειστού (GIS) χώρου,
- Λαδιού, κενού ή αερίου (SF<sub>6</sub>), ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο μέσο πληρώσεως του θαλάμου διακοπής του τόξου,
- Ελατηριωτού ή υδραυλικού μηχανισμού λειτουργίας.

Σήμερα, για την ΥΤ, χρησιμοποιούνται συνήθως ΑΔ τύπου AIS ή GIS, με μόνωση SF<sub>6</sub> και με ελατηριωτό μηχανισμό λειτουργίας

### 2.2.3. Αποζεύκτης

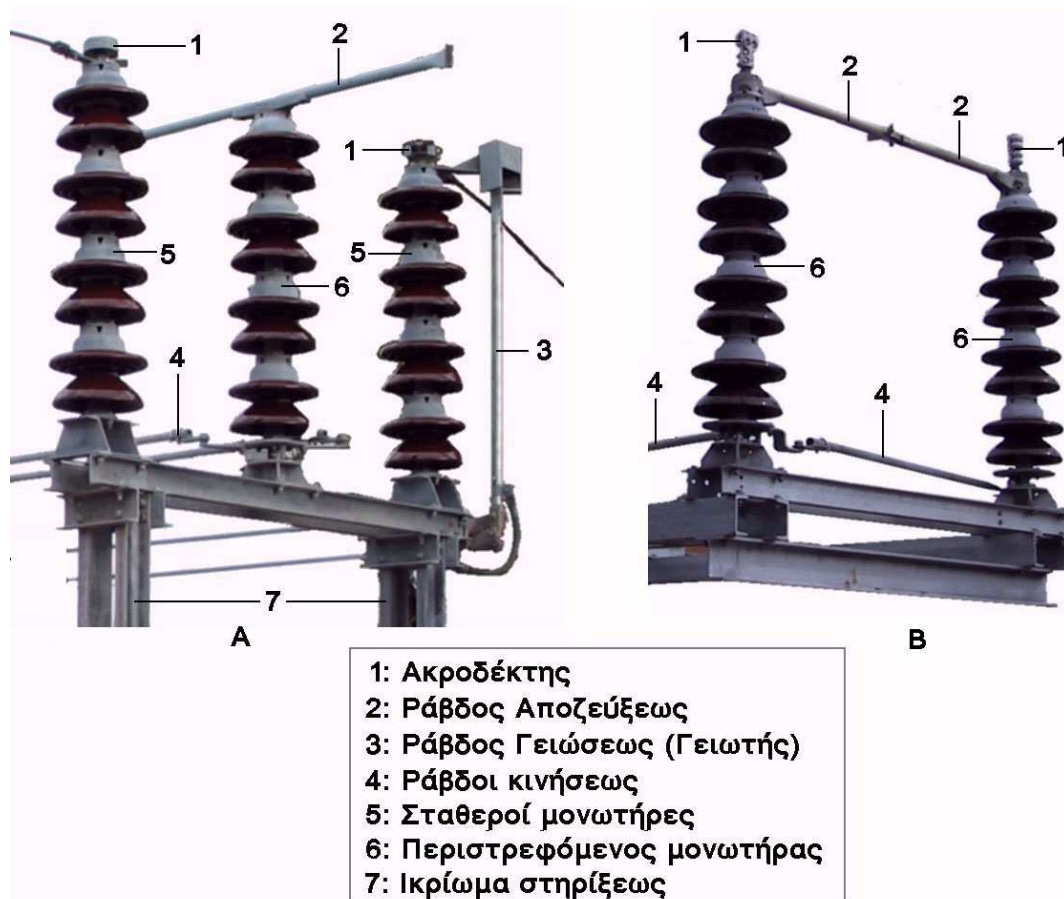
Ο Αποζεύκτης (A/Z) είναι διακοπτικός μηχανισμός, ο οποίος διακόπτει πολύ μικρά ρεύματα, όταν μεταξύ των πόλων του υπάρχει πολύ μικρή διαφορά τάσεως, σχεδόν μηδενική. Δεν έχει δυνατότητα διακοπής φορτίων.

Χρησιμοποιείται για απομόνωση συστημάτων, δημιουργώντας – σε ανοικτή θέση – ένα ορατό μονωτικό διάκενο.

Οι A/Z διακρίνονται σε διπλής ή απλής αποζεύξεως, χειροκίνητο ή ηλεκτροκίνητο.

Ο A/Z διπλής αποζεύξεως αποτελείται από τρεις μονωτήρες:

δύο σταθερούς, που αποτελούν τους ακροδέκτες του και τον μεσαίο που φέρει την ράβδο αποζεύξεως – στρεφόμενο με ηλεκτροκίνητο ή χειροκίνητο μηχανισμό.



Φωτογραφία 2.5 - Αποζεύκτης YT διπλής αποζεύξεως, με γειωτή (A) και A/Z απλής αποζεύξεως (B) [12]

Ο A/Z απλής αποζεύξεως αποτελείται από δύο μονωτήρες, καθένας από τους οποίους φέρει σταθερά συνδεδεμένη ράβδο αποζεύξεως. Οι μονωτήρες περιστρεφόμενοι συνδέουν ή αποσυνδέουν τις δύο ράβδους, μέσω καταλλήλων υποδοχών των άκρων τους



Στον χειροκίνητο A/Z ΓΜ, εφαρμόζεται σύστημα ράβδου, η οποία – στρεφόμενη με ανεξάρτητο μηχανισμό – αποτελεί τον Γειωτή.

Οι τρεις πόλοι εγκαθίστανται επί ενός ικριώματος (A/Z εν παραλλήλω), ή επί τριών διαφορετικών ικριωμάτων (A/Z εν σειρά), αναλόγως του σχεδιασμού του Υ/Σ.

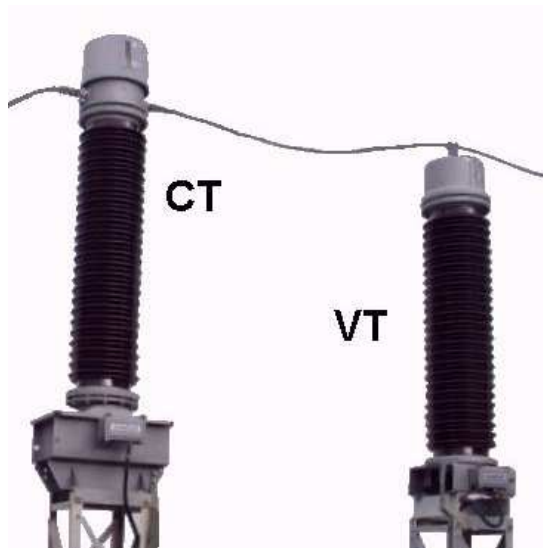
Για την κατασκευή και εγκατάστασή του A/Z εφαρμόζονται οι κανονισμοί IEC 129/1964, 694/1980, 1128, 1129 και DIN/VDE 0670 part 2/9.81 και 1000/8.84.

#### 2.2.4. Μετασχηματιστές Εντάσεως και Τάσεως

Οι Μετασχηματιστές Εντάσεως (ME, CT) και Τάσεως (MT, VT) YT είναι μονοφασικοί Μ/Σ υποβιβασμού, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για μέτρηση και προστασία.

Χαρακτηρίζονται από τα τυλίγματα: το Πρωτεύον τύλιγμα, το οποίο συνδέεται στην YT – εν σειρά των ME, παράλληλα των MT – και το Δευτερεύον τύλιγμα, το οποίο τροφοδοτεί με ένταση ή τάση αντίστοιχα τον εξοπλισμό μετρήσεων ή προστασίας.

Οι ME και MT YT κατασκευάζονται εντός μονωτήρα από πορσελάνη και εγκαθίστανται επί καταλλήλων ικριωμάτων. Οι αντίστοιχοι ME και MT για την μέση τάση, κατασκευάζονται με περίβλημα χυτής ρητίνης, ανεξάρτητα αν προορίζονται για εσωτερική ή εξωτερική χρήση.



*Φωτογραφία 2.6 - Μετασχηματιστές Εντάσεως (CT) και τάσεως (VT) [12]*

Οι ME και MT YT συνήθως φέρουν τρία δευτερεύοντα τυλίγματα, καταλλήλων εντάσεων και τάσεων, με κλάση προστασίας (π.χ. 5P20) ή μετρήσεων (π.χ. 0,5 ή 0,5s ή 0,2), αναλόγως της χρήσεώς τους.

Κύρια ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των ΜΕ και ΜΤ είναι:

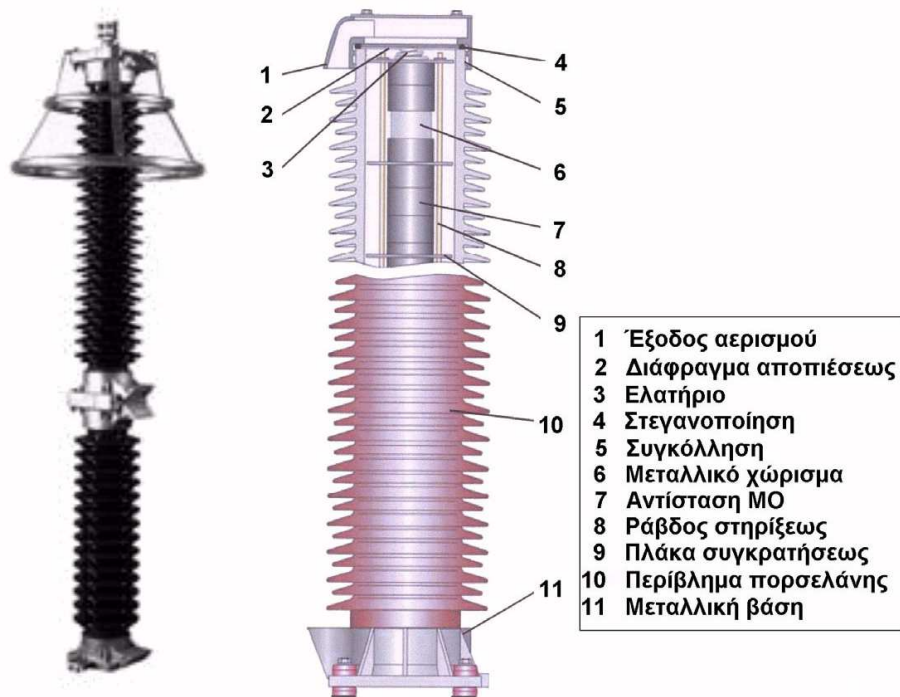
- Η ονομαστική ένταση ή τάση λειτουργίας του πρωτεύοντος τυλίγματος (π.χ. 200Α ή 160 kV).
- Η ονομαστική ένταση ή τάση λειτουργίας του ή των δευτερευόντων τυλιγμάτων (π.χ. 1-1-1Α ή 120-120-120 V).
- Η κλάση ακριβείας – χαρακτηριστικό, που καθορίζει τα όρια σφάλματος του Μετασχηματιστού – του ή των δευτερευόντων τυλιγμάτων (π.χ. cl. 0.5-0.5-5P10 : δύο τυλίγματα κλάσεως 0,5 για μετρήσεις και ένα τύλιγμα κλάσεως 5P10 για προστασία).
- Η συνδεσμολογία των τυλιγμάτων (αστέρας ή τρίγωνο).
- Η επιφόρτιση (burden) – η φαινομένη ισχύς (VA) που απορροφάται υπό το ονομαστικό ρεύμα του ή των δευτερευόντων τυλιγμάτων – (π.χ. 15-15-25 VA: τρία τυλίγματα με την αντίστοιχη επιφόρτιση).

### **2.2.5. Αλεξικέραυνα**

Τα Αλεξικέραυνα (Α/Ξ, LA) προορίζονται για την προστασία του εξοπλισμού έναντι υπερτάσεων, προκαλούμενων είτε από ηλεκτρικά είτε από ατμοσφαιρικά φαινόμενα.

Τοποθετούνται μπροστά από τον εξοπλισμό που πρέπει να προστατευθεί και "απορροφούν" το κρουστικό κύμα της υπερτάσεως ή του σφάλματος, οδηγώντας το προς την γη.

Για τον λόγο αυτόν πρέπει να παρουσιάζουν μεγάλη αντίσταση ως προς γη κατά την κανονική λειτουργία, αλλά πολύ μικρή σε περίπτωση κρουστικού κύματος. Έτσι κατασκευάζονται από πλακίδια υλικού, που έχει μη γραμμική αντίσταση, όπως το SiC ή το ZnO.



Σχήμα 2.4 – Αλεξικέρανο YT και εσωτερική δομή του [12]

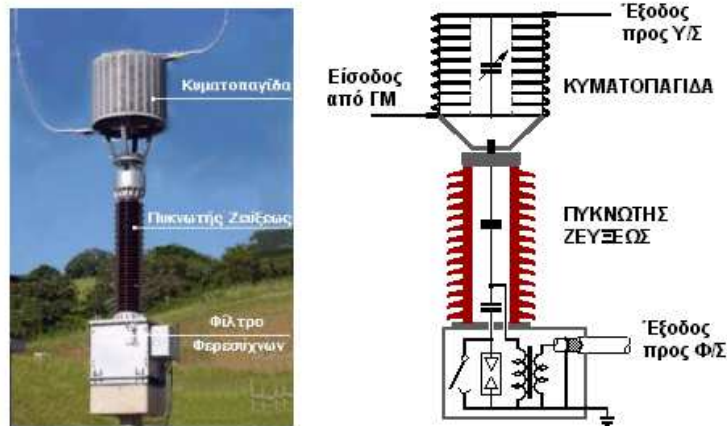
Τελευταία χρησιμοποιούνται τα δεύτερα, χαρακτηριζόμενα ως «ΜΟ» (Metal Oxide), λόγω της απλούστερης κατασκευής τους.

Το οξείδιο του μετάλλου εμπεριέχεται σε κυλινδρικές πλάκες, οι οποίες τοποθετούνται επάλληλα μεταξύ τους και το όλο σύστημα καλύπτεται από μονωτικό υλικό (πορσελάνη ή συνθετικό).

### 2.2.6. Πυκνωτής Ζεύξης - Κυματοπαγίδα

Ο Πυκνωτής Ζεύξεως (CC) και η Κυματοπαγίδα (LT) είναι απαραίτητα εξαρτήματα της Φερεσυχνιακής Ζεύξεως ενός Υ/Σ.

Ο Πυκνωτής Ζεύξεως είναι ένας χωρητικός καταμεριστής τάσεως, μέσω του οποίου γίνεται η έγχυση της υψηλής συχνότητας των Φ/Σ στην YT της ΓΜ και εγκαθίσταται στην αρχή της. Η Κυματοπαγίδα είναι ένα συντονιζόμενο κύκλωμα LC (πηνίο παράλληλα συνδεδεμένο με μεταβλητό πυκνωτή) και χρησιμοποιείται ως μη περατό φίλτρο, για να μη εισέρχεται η υψηλή συχνότητα στα κυκλώματα ισχύος του Υ/Σ, όπου και αποσβεννύεται.



Σχήμα 2.5 - Κυματοπαγίδα, Πυκνωτής Ζεύξεως και σχηματική παράσταση [12]

### 2.2.7. Μετασχηματιστής βοηθητικών

Ο Μ/Σ Βοηθητικών (ΒΜ/Σ, ST) είναι Μ/Σ υποβιβασμού ΜΤ/ΧΤ (20.000/400V), ο οποίος τροφοδοτεί τις εσωτερικές καταναλώσεις του Υ/Σ σε ΕΡ, ανάλογος των οποίων είναι και η ισχύς του. Συνδέεται απ' ευθείας στους ζυγούς ΜΤ, μέσω ασφαλειοαποζευκτών.



Φωτογραφία 2.7 - Μ/Σ Βοηθητικών[12]

### 2.2.8. Διακόπτες ΜΤ

Οι διακόπτες μέσης τάσεως είναι το κυριότερα διακοπτικά στοιχεία των κυκλωμάτων ισχύος ΜΤ.

Η λειτουργία των ΑΔ ΜΤ, βασίζεται στις ίδιες αρχές με του ΑΔ ΥΤ. Φέρουν μόνωση κενού ή SF6 και τοποθετούνται, μαζί με τον υπόλοιπο εξοπλισμό της πύλης ΜΤ, εντός μεταλλικών πινάκων (μεταλλοενδεδυμένοι διακόπτες, metal-clad).

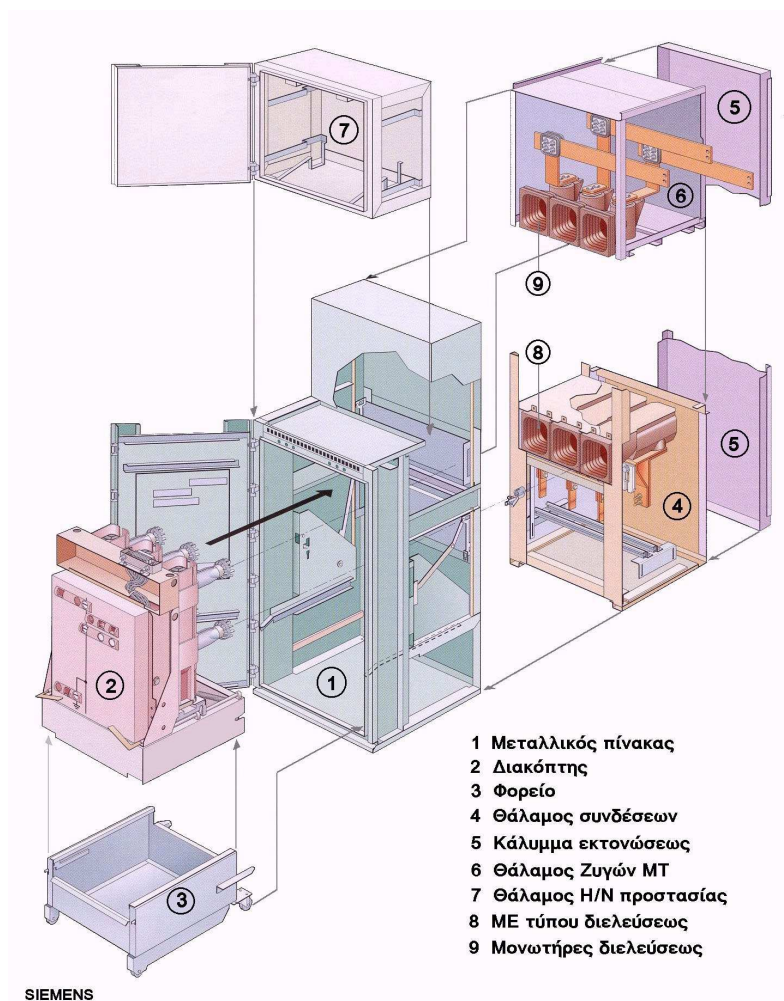
Οι πίνακες τοποθετούνται ο ένας δίπλα στον άλλο και συνδέονται τα αντίστοιχα τμήματα των ζυγών, αποτελώντας έτσι συστοιχία πινάκων διακοπών.

Ο διακόπτης φέρεται επί φορείου, το οποίο εισέρχεται εντός του ειδικού θαλάμου του πίνακα και «κουμπώνει» σε υποδοχές των μονωτήρων διελεύσεως.

Σε ειδικούς θαλάμους του πίνακα τοποθετούνται επίσης οι ΜΕ και ΜΤ, οι ζυγοί ΜΤ, οι Η/Ν προστασίας καθώς και οι υποδοχές συνδέσεως των καλωδίων εισόδου ή εξόδου.

Αναλόγως της χρήσεως, οι μεταλλοενδεδυμένοι διακόπτες ΜΤ διακρίνονται σε πεδία ή πύλες:

- Εισόδου Μ/Σ (TM: Transformer Module),
- Εναερίων αναχωρήσεων ΜΤ (OLM: Overhead Line Module),
- Καλωδιακών αναχωρήσεων ΜΤ (ULM: Underground Line Module),
- Διασυνδέσεως Ζυγών (BSM: Bus Sectionalizing Module)
- Πυκνωτών (CM: Capacitors Module).



Σχήμα 2.6 - Κατασκευή μεταλλοενδεδυμένου διακόπτη ΜΤ [21]

### 2.2.9. Πυκνωτές Αντιστάθμισης

Οι Πυκνωτές ΜΤ χρησιμοποιούνται για την αντιστάθμιση της άεργου ισχύος του Υ/Σ.

Η άεργος ισχύς επιβαρύνει ασκόπως τον εξοπλισμό του Συστήματος Μεταφοράς και Διανομής ΗΕ. Με την εγκατάσταση πυκνωτών, αναλόγου ισχύος, απαλλάσσεται το σύστημα από την άεργο ισχύ και έχει δυνατότητα μεταφοράς μεγαλύτερα ενεργού ισχύος.

Σήμερα, βέβαια, ιδιαίτερα στην ΥΤ, χρησιμοποιούνται συστήματα αντισταθμίσεως, βασιζόμενα σε ηλεκτρονικά ισχύος.

Κατασκευαστικά, τα Συγκροτήματα Πυκνωτών Αντισταθμίσεως αποτελούνται από συστοιχίες πυκνωτών ανά φάση, συνδεδεμένες κατ' αστέρα. Κάθε συστοιχία συνίσταται από στοιχεία πυκνωτών, συνδεδεμένων εν σειρά και παράλληλα μεταξύ τους, ώστε να παρουσιάζουν συνολική χωρητικότητα, κατάλληλη για την παραγωγή της απαιτούμενης αέργου ισχύος.

Η εγκατεστημένη άεργος ισχύς των πυκνωτών ανά Μ/Σ του Υ/Σ είναι συνήθως της τάξεως των 12 ΜVAr.

Το όλο συγκρότημα ελέγχεται από διακόπτη, συνδεδεμένο στους ζυγούς ΜΤ του Υ/Σ. Κατά τη ζεύξη συγκροτήματος πυκνωτών του ανωτέρω μεγέθους, παρατηρούνται υπερτάσεις στους ζυγούς ΜΤ, λόγω των μεταβατικών φαινομένων.

### 2.2.10. Ζυγοί ΥΤ

Οι Ζυγοί ΥΤ είναι διάταξη αγωγών τριών φάσεων, στην οποία συνδέονται οι Πύλες ΥΤ του Υ/Σ.

Αναλόγως της φύσεως και της στηρίξεως των αγωγών, οι Ζυγοί διακρίνονται σε Εναέριους ή Σταθερούς.



Φωτογραφία 2.8 - Ανάρτηση εναερίων ζυγών [12]

Στους Εναέριους, οι ζυγοί αποτελούνται από εύκαμπτους πολύκλωνους αγωγούς από χαλκό (Cu) ή αλουμίνιο (Al), καταλλήλου διατομής, με χαλύβδινη ενίσχυση. Οι αγωγοί αυτοί αναρτώνται μέσω μονωτήρων, από κατάλληλα ικριώματα.

Στους Σταθερούς ζυγούς οι αγωγοί αποτελούνται από σωλήνες χαλκού (Cu) ή αλουμινίου (Al), καταλλήλου διατομής. Οι σωλήνες αυτοί, με καταλλήλους συνδέσμους, στηρίζονται σε μονωτήρες, προσαρμοσμένους επί ικριωμάτων, πακτωμένων σε ειδικές βάσεις από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Η ηλεκτρική και μηχανική επάρκεια των ζυγών, τόσο σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας, όσο και σε συνθήκες σφάλματος, αποδεικνύεται από μελέτη, από την οποία προκύπτουν και τα κατασκευαστικά στοιχεία (ύψος αναρτήσεως, αποστάσεις ασφαλείας, διατομές αγωγών κ.α.).

### 2.2.11. Μονωτήρες 150 kV

Οι μονωτήρες στηρίξεως εξοπλισμού 150 kV (αποζευκτών, ζυγών κ.τ.λ.) είναι τύπου κεφαλής υποδοχής (cap & pin). Συνίστανται από δύο ή τέσσερα στοιχεία, συνδεδεμένα μεταξύ τους, ώστε να αποτελέσουν ενιαίο συγκρότημα.

Κατασκευάζονται από πορσελάνη, η οποία εφυαλώνεται εξωτερικά και στην κορυφή τους φέρουν μεταλλική υποδοχή του συνδέσμου, ενώ στη βάση τους ενσωματώνεται η μεταλλική βάση στηρίξεως.

Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά των μονωτήρων, τα οποία καθορίζει το πρότυπο IEC-273, είναι:

- Τάση λειτουργίας: 150 kV
- Μήκος ερπυσμού: 4200 mm
- Συνολικό ύψος: 1700 mm



Φωτογραφία 2.9 - Μονωτήρες στηρίξεως 150 kV [12]

Μηχανικά χαρακτηριστικά, που καθορίζουν επίσης την επιλογή των μονωτήρων είναι η αντοχή σε κάμψη, εφελκυσμό και στρέψη. Για την ανάρτηση των αγωγών ΥΤ

(γραμμών ή ζυγών) χρησιμοποιούνται δισκοειδείς μονωτήρες αναρτήσεως. Αποτελούνται από δίσκους (πιάτα) υάλου ή πορσελάνης, που συνδέονται μεταξύ τους με ειδικούς συνδέσμους, για να αποτελέσουν τον αλυσοειδή μονωτήρα. Σήμερα, στις περιοχές με αυξημένη ρύπανση ή με έντονη καθαλάτωση, χρησιμοποιούνται συνθετικοί μονωτήρες, λόγω της αντοχής τους στις ανωτέρω συνθήκες.



Φωτογραφία 2.10 - Μονωτήρας αναρτήσεως [12]

#### 2.2.12. Αντίσταση Ουδετέρου Κόμβου Μ/Σ Ισχύος

Ο ουδέτερος κόμβος της συνδεσμολογίας αστέρα, με την οποία συνδέονται τα τυλίγματα μέσης τάσεως του Μ/Σ ισχύος, οδηγείται προς γη, μέσω μιας ωμικής αντιστάσεως, καταλλήλου τιμής.

Η Αντίσταση Γειώσεως Ουδετέρου Κόμβου (ΑΓΟΚ) χρησιμοποιείται για να μειωθεί το

ρεύμα προς γη, σε περίπτωση βραχυκυκλώματος.

Συνδέεται στον αντίστοιχο ακροδέκτη ουδετέρου του Μ/Σ ισχύος με καλώδιο ΜΤ, μέσω αποζεύκτου. Στο συγκρότημα εγκαθίσταται και αποζεύκτης απευθείας γειώσεως του ουδετέρου κόμβου.



Φωτογραφία 2.11 - Αντίσταση με τους αποζεύκτες [12]

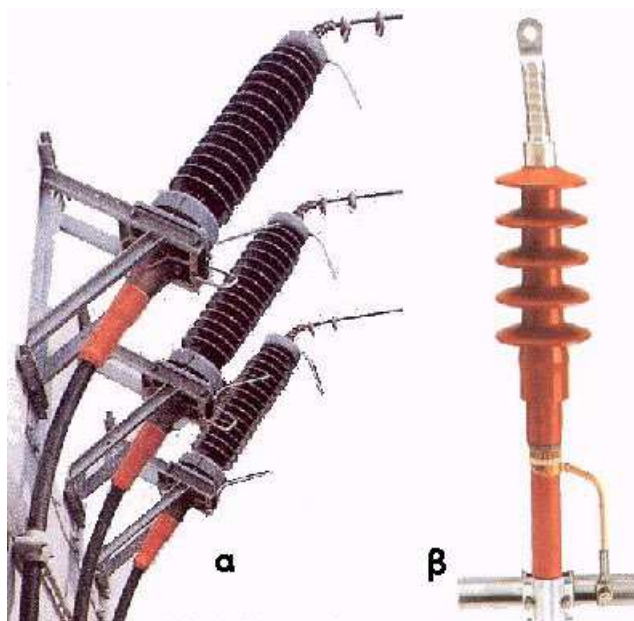


### 2.2.13. Αγωγοί - Καλώδια

Οι ακροδέκτες του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού συνδέονται μεταξύ τους με αγωγούς ή καλώδια.



Φωτογραφία 2.12 - Καλώδια YT, MT και XT [12]  
α, β: 150 kV,  
γ, δ: τριπολικό και μονοπολικό 20kV,  
ε: πολυπολικό καλώδιο ελέγχου

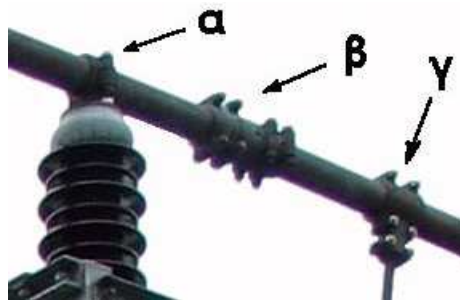


Φωτογραφία 2.13 - Ακροκιβώτια καλωδίων [12]  
α: 150 kV  
β: 20 kV

### 2.2.14. Σύνδεσμοι

Ο σύνδεσμος ή σφιγκτήρας – "μορσέτο" στη γλώσσα των τεχνιτών – είναι εξάρτημα, το οποίο συγκρατεί μηχανικά και συνδέει ηλεκτρικά δύο ροηφόρα τμήματα του εξοπλισμού του Υ/Σ. Κατασκευάζονται από χυτό κράμα χαλκού (ορείχαλκο) για τη

σύνδεση χαλκίνων αγωγών ή αλουμινίου για σύνδεση αγωγών αλουμινίου, σε διάφορα σχήματα και μεγέθη, αναλόγως της χρήσεώς τους.



Φωτογραφία 2.14 - Σύνδεσμοι αγωγών ΜΤ [12]

- α: Στήριξη σωληνωτού αγωγού
- β: Ένωση σωληνωτού αγωγού
- γ: Κάθετη ένωση πολύκλωνου αγωγού με σωληνωτό.

Αποτελούνται από δύο μέρη, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με ορειχάλκινους ή ανοξείδωτους κοχλίες.

Οι σύνδεσμοι διακρίνονται σε σταθερούς, εύκαμπτους και διμεταλλικούς. Οι σταθεροί σύνδεσμοι χρησιμοποιούνται για σταθερή σύνδεση αγωγών και σωλήνων, αλλά και στήριξη αυτών στους μονωτήρες.

Οι εύκαμπτοι σύνδεσμοι αποτελούνται από δύο σταθερά τμήματα, συνδεδεμένα μεταξύ τους με πολλαπλή χάλκινη ταινία. Χρησιμοποιούνται μόνον για σύνδεση σωληνωτών αγωγών, ώστε να αναλαμβάνουν τις συστολές και διαστολές τους.

Οι διμεταλλικοί σύνδεσμοι χρησιμοποιούνται για σταθερή σύνδεση αγωγών χαλκού και αλουμινίου. Στην πλευρά του αγωγού αλουμινίου, ένα διμεταλλικό φύλλο Cu-Al παρεμβάλλεται μεταξύ του ορειχάλκου του συνδέσμου και του αγωγού.

	<table border="1"> <thead> <tr> <th>#</th> <th>φ</th> <th>π</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100</td> <td>240<sup>□</sup></td> <td>90x90</td> </tr> <tr> <td>94</td> <td>φ30</td> <td>50x70</td> </tr> <tr> <td>150</td> <td>φ30</td> <td>100x100</td> </tr> <tr> <td>148</td> <td>φ60</td> <td>100x100</td> </tr> </tbody> </table>	#	φ	π	100	240 <sup>□</sup>	90x90	94	φ30	50x70	150	φ30	100x100	148	φ60	100x100		<table border="1"> <thead> <tr> <th>#</th> <th>φ1</th> <th>φ2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>14</td> <td>φ60</td> <td>φ60</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>φ30</td> <td>φ30</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>φ60</td> <td>φ30</td> </tr> </tbody> </table>	#	φ1	φ2	14	φ60	φ60	15	φ30	φ30	16	φ60	φ30									
#	φ	π																																					
100	240 <sup>□</sup>	90x90																																					
94	φ30	50x70																																					
150	φ30	100x100																																					
148	φ60	100x100																																					
#	φ1	φ2																																					
14	φ60	φ60																																					
15	φ30	φ30																																					
16	φ60	φ30																																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>#</th> <th>φ1</th> <th>φ2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>50</td> <td>240<sup>□</sup></td> <td>240<sup>□</sup></td> </tr> <tr> <td>48</td> <td>φ30</td> <td>240<sup>□</sup></td> </tr> <tr> <td>59</td> <td>φ25,04</td> <td>240<sup>□</sup></td> </tr> <tr> <td>42</td> <td>φ30</td> <td>φ30</td> </tr> <tr> <td>47</td> <td>φ60</td> <td>240<sup>□</sup></td> </tr> <tr> <td>39</td> <td>φ60</td> <td>φ30</td> </tr> </tbody> </table>	#	φ1	φ2	50	240 <sup>□</sup>	240 <sup>□</sup>	48	φ30	240 <sup>□</sup>	59	φ25,04	240 <sup>□</sup>	42	φ30	φ30	47	φ60	240 <sup>□</sup>	39	φ60	φ30		<table border="1"> <thead> <tr> <th>#</th> <th>φ</th> <th>D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>φ30</td> <td>127</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>φ60</td> <td>76.2</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>185<sup>□</sup></td> <td>127</td> </tr> <tr> <td>7A</td> <td>240<sup>□</sup></td> <td>127</td> </tr> </tbody> </table>	#	φ	D	3	φ30	127	1	φ60	76.2	7	185 <sup>□</sup>	127	7A	240 <sup>□</sup>	127
#	φ1	φ2																																					
50	240 <sup>□</sup>	240 <sup>□</sup>																																					
48	φ30	240 <sup>□</sup>																																					
59	φ25,04	240 <sup>□</sup>																																					
42	φ30	φ30																																					
47	φ60	240 <sup>□</sup>																																					
39	φ60	φ30																																					
#	φ	D																																					
3	φ30	127																																					
1	φ60	76.2																																					
7	185 <sup>□</sup>	127																																					
7A	240 <sup>□</sup>	127																																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>#</th> <th>φ1</th> <th>φ2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>35</td> <td>φ30</td> <td>φ30</td> </tr> <tr> <td>34</td> <td>φ60</td> <td>φ60</td> </tr> </tbody> </table>	#	φ1	φ2	35	φ30	φ30	34	φ60	φ60		<table border="1"> <thead> <tr> <th>#</th> <th>φ</th> <th>π</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>105</td> <td>240<sup>□</sup></td> <td>50x70</td> </tr> <tr> <td>104</td> <td>185<sup>□</sup></td> <td>50x70</td> </tr> </tbody> </table>	#	φ	π	105	240 <sup>□</sup>	50x70	104	185 <sup>□</sup>	50x70																		
#	φ1	φ2																																					
35	φ30	φ30																																					
34	φ60	φ60																																					
#	φ	π																																					
105	240 <sup>□</sup>	50x70																																					
104	185 <sup>□</sup>	50x70																																					

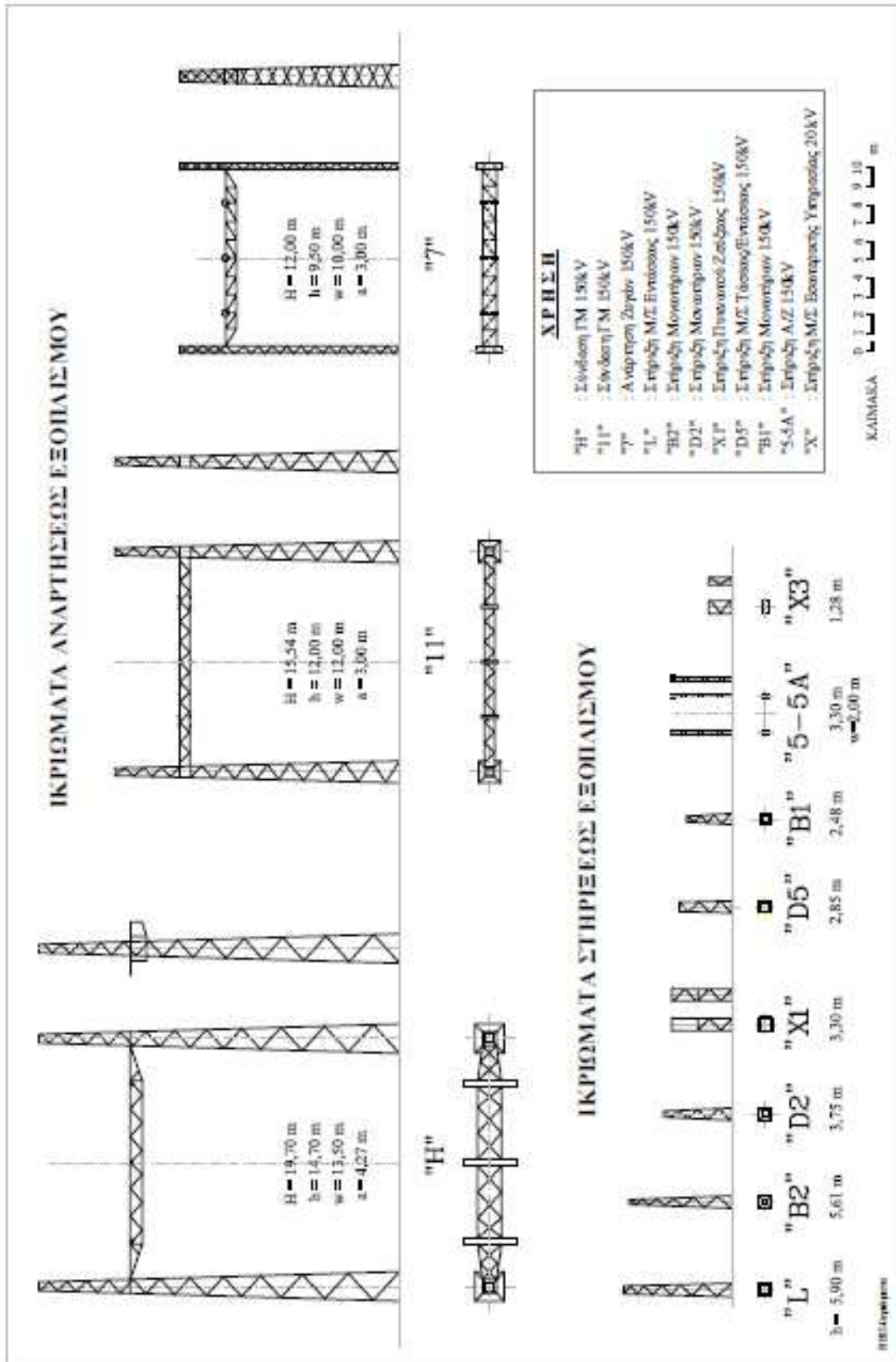
Σχήμα 2.7 - Σύνδεσμοι χρησιμοποιούμενοι στους Υ/Σ [12]

### **2.2.15. Ικριώματα**

Για τη στήριξη του ηλεκτρομηχανικού εξοπλισμού υψηλής τάσεως του υπαιθρίου Υ/Σ (αποζεύκτες, εναέριοι αγωγοί γραμμών και αγωγοί γης, μονωτήρες στηρίξεως ζυγών, πυκνωτές κ.α.) και την εξασφάλιση των απαιτούμενων αποστάσεων ασφαλείας των θερμών μερών του, χρησιμοποιούνται χαλύβδινα ικριώματα.

Τα ικριώματα είναι δικτυωτού τύπου ή από προκατασκευασμένα τυποποιημένα ολόσωμα χαλύβδινα μέλη.

Ο υπολογισμός τους βασίζεται επί των φορτίων κάθε ικριώματος, επί του ίδιου βάρους των ικριωμάτων, καθώς και επί των φορτίων ανεμοπίεσεως. Προκειμένου περί δικτυωτών ικριωμάτων για τον υπολογισμό του φορτίου ανέμου, λαμβάνεται εμβαδόν ίσο προς 1,5 φορές το εμβαδόν της προβαλλόμενης επιφάνειας όλων των μελών μίας όψεως. Ο συντελεστής ασφαλείας των ολοκληρωμένων ικριωμάτων είναι μεγαλύτερος του 2,5 θεωρώντας ότι όλα τα φορτία ενεργούν ταυτόχρονα.



Σχήμα 2.8 - Ικριώματα που χρησιμοποιεί στους Υ/Σ ο ΑΔΜΗΕ [12]

Όλα τα μέλη των ικριωμάτων είναι κατασκευασμένα από χάλυβα τύπου ST37 και ST52, σύμφωνα με τους γερμανικούς κανονισμούς DIN 1028 και DIN 1026 και επιυευδαργυρωμένα εν θερμώ, σύμφωνα με την προδιαγραφή A-153-53 των κανονισμών A.S.T.M.

Τα ικριώματα φέρουν κατάλληλες πλάκες ή πλαίσια προσαρμογής για την ευχερή εγκατάσταση του αντίστοιχου εξοπλισμού και εδράζονται σε βάσεις από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Τα ικριώματα διακρίνονται σε αναρτήσεως και στηρίξεως. Στα ικριώματα αναρτήσεως αναρτάται ο εναέριος εξοπλισμός των ζυγών και των γραμμών μεταφοράς (μονωτήρες, αγωγοί), ενώ στα στηρίξεως εγκαθίσταται ο επίγειος εξοπλισμός (διακόπτες, αποζεύκτες, μετασχηματιστές τάσεως και εντάσεως, μονωτήρες στηρίξεως κ.α.).

### **2.3. ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΟΥ Υ/Σ**

Ο Ηλεκτρομηχανολογικός Εξοπλισμός του Υ/Σ συντίθεται σε Δομικά στοιχεία (modules), τα οποία αποτελούν τις Πύλες ή Κυψέλες του Υ/Σ.

Η σύνθεση κατά διαφόρους τρόπους των δομικών αυτών στοιχείων σε σύνολο, αποτελούν τον Υ/Σ.

Τα κυριότερα σύνολα εξοπλισμού, που απαρτίζουν ένα Υ/Σ, διακρίνονται μεταξύ των πυλών και των Βοηθητικών Συστημάτων:

- Πύλη Γραμμής Μεταφοράς YT
- Πύλη Διασυνδέσεως Ζυγών YT
- Πύλη YT Μ/Σ Ισχύος
- Μ/Σ Ισχύος
- Πύλη MT Μ/Σ Ισχύος
- Πύλη MT Αναχωρήσεως Γραμμής Διανομής
- Πύλη MT Διασυνδέσεως Ζυγών MT
- Πύλη MT Συγκροτήματος Πυκνωτών
- Βοηθητικά Μ/Σ Ισχύος
- Αντίσταση Γειώσεως Ουδετέρου κόμβου Μ/Σ Ισχύος
- Βοηθητικές Παροχές ΕΡ και ΣΡ

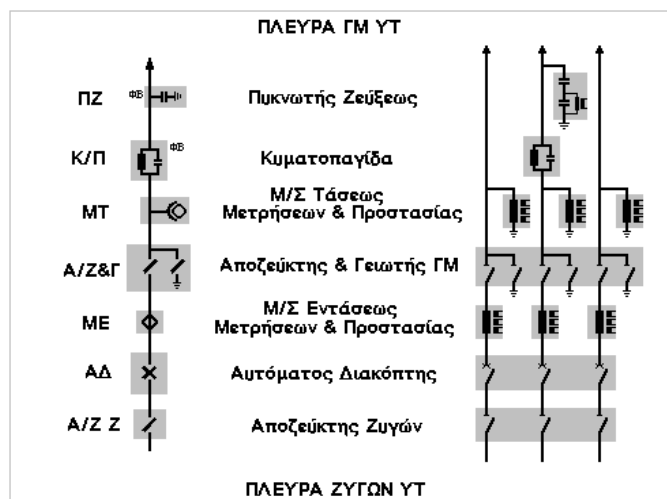
Κατωτέρω περιγράφονται οι Πύλες YT και MT και τα υπόλοιπα βοηθητικά σύνολα, που απαρτίζουν ένα Υ/Σ.

### 2.3.1. Πύλη ΓΜ ΥΤ

Χρησιμοποιείται για τη σύνδεση της Γραμμής Μεταφοράς ΥΤ με τους Ζυγούς του Υ/Σ και διακρίνεται μεταξύ δύο τύπων, ανάλογα με τις απαιτήσεις του Συστήματος Μεταφοράς, κατά το χρόνο κατασκευής του Υ/Σ:

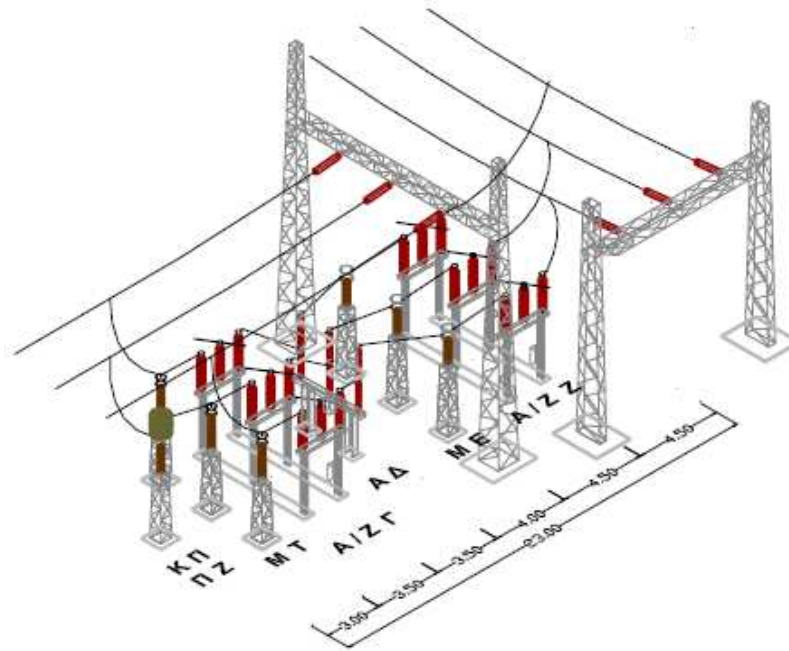
#### Πλήρης Πύλη ΓΜ ΥΤ.

Αποτελείται από τον εξής κύριο εξοπλισμό:



Σχήμα 2.9 - Πλήρης πύλη ΓΜ ΥΤ [12]

- Ένα Χειροκίνητο Τριπολικό Αποζεύκτη με Γειωτή ΓΜ ΥΤ (Χ/Κ 3Ρ Α/Ζ+Γ).
- Ένα Τριπολικό Αυτόματο Διακόπτη ΥΤ (ΑΔ 3Ρ).
- Ένα Ηλεκτροκίνητο Τριπολικό Αποζεύκτη ζυγών (Η/Κ 3Ρ Α/Ζ), όταν πρόκειται για Υ/Σ με ένα ζυγό λειτουργίας, ή δύο προκειμένου για Υ/Σ με δύο ζυγούς ΥΤ.
- Τρεις Μ/Σ Εντάσεως ΥΤ (ΜΕ), διπλής σχέσεως και τριών δευτερευόντων τυλιγμάτων (1000-500/1-1-1 Α). Οι κλάσεις ακρίβειας δευτερευόντων τυλιγμάτων είναι αντίστοιχα του ενός 0,5 για μετρήσεις και των άλλων δύο 5Ρ20 για προστασία.
- Τρεις Μ/Σ Τάσεως (ΜΕ) επαγωγικού τύπου, με τρία δευτερεύοντα τυλίγματα, σχέσεως  $160.000/\sqrt{3}:120/\sqrt{3}-120/\sqrt{3}-120/\sqrt{3}$  V, εκ των οποίων το ένα χρησιμοποιείται για προστασία (κλάση 5Ρ20) και τα άλλα δύο για μετρήσεις (κλάση 0,5).
- Μία Κυματοπαγίδα και ένα Πυκνωτής Ζεύξεως, που συνδέονται συνήθως στην φάση Β. Τα γενικά χαρακτηριστικά τους καθορίζονται μετά από μελέτη συνεργασίας Φερεσύχων (Φ/Σ).
- Συσκευές και συστήματα επιτήρησης, προστασίας, ελέγχου και μετρήσεων, τα οποία εγκαθίστανται σε ανεξάρτητο πίνακα ελέγχου, εντός του κτιρίου ελέγχου.



Σχήμα 2.10 - Παράσταση πλήρους πύλης ΓΜ 150 kV [12]

#### Απλοποιημένη Πύλη ΓΜ ΥΤ.

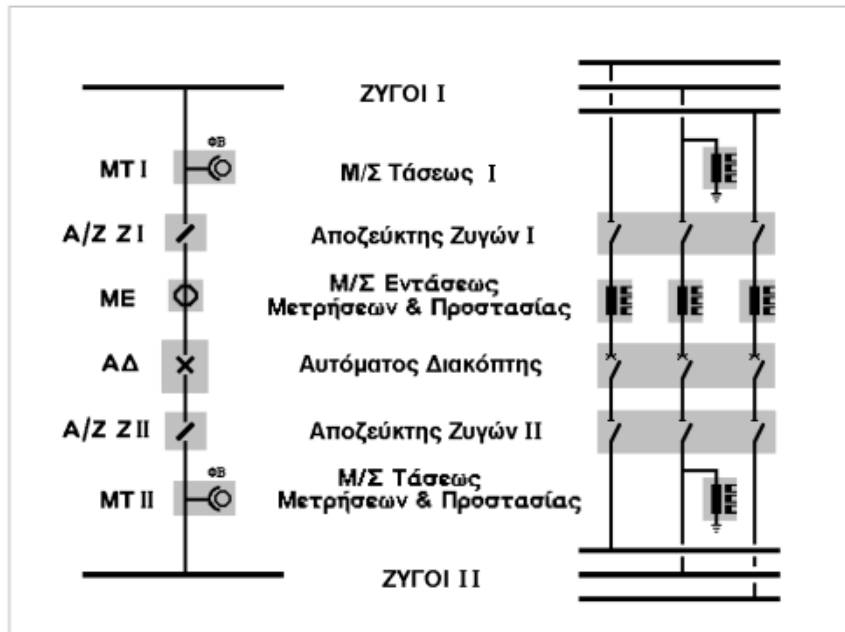
Ο κύριος εξοπλισμός της είναι:

- Ένας Χειροκίνητος Τριπολικός Αποζεύκτης με γειωτή, ΓΜ ΥΤ (Χ/Κ 3Ρ Α/Ζ+Γ).
- Μία Κυματοπαγίδα και ένας Πυκνωτής Ζεύξεως, όπως και προηγούμενα.

#### **2.3.2. Πύλη Διασυνδέσεως Ζυγών 150 kV.**

Χρησιμοποιείται για την διασύνδεση των Ζυγών μεταξύ τους, σε περίπτωση υπάρξεως Διπλών ή Τριπλών Ζυγών και αποτελείται από τον εξής εξοπλισμό:

- Ένα Τριπολικό Αυτόματο Διακόπτη ΥΤ (ΑΔ 3Ρ).
- Ένα Ηλεκτροκίνητο Τριπολικό Αποζεύκτη ζυγών (Η/Κ 3Ρ Α/Ζ), όταν πρόκειται για Υ/Σ με ένα ζυγό λειτουργίας, ή δύο προκειμένου για Υ/Σ με δύο ζυγούς ΥΤ.



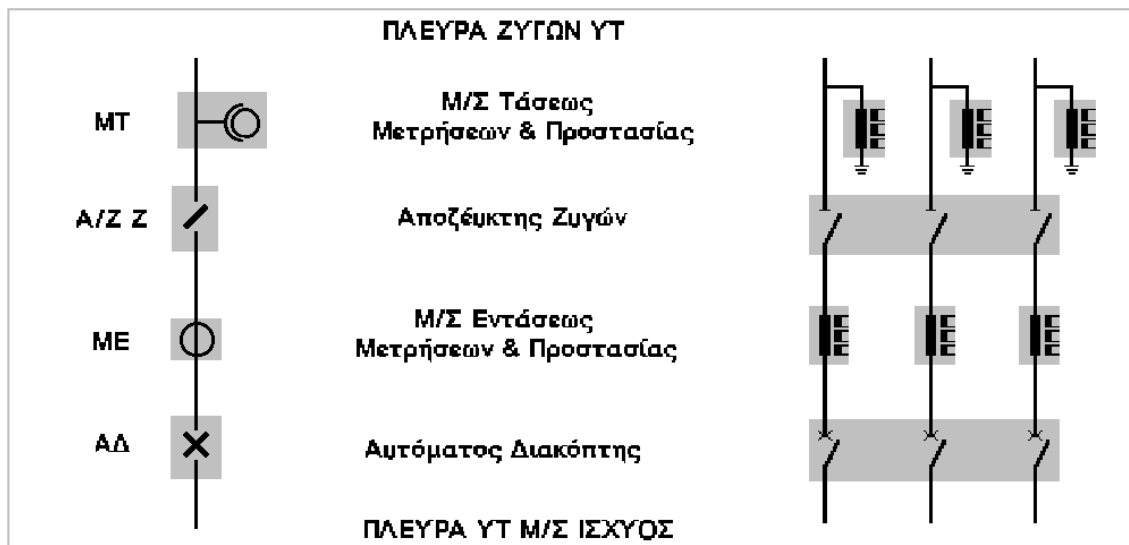
Σχήμα 2.11 - Πύλη Διασυνδέσεως Ζυγών YT [12]

- Τρεις Μ/Σ Εντάσεως YT (ME), διπλής σχέσεως και τριών δευτερευόντων τυλιγμάτων (1000-500/1-1-1 A). Οι κλάσεις ακρίβειας δευτερευόντων τυλιγμάτων είναι αντίστοιχα του ενός 0,5 για μετρήσεις και των άλλων δύο 5P20 για προστασία.
- Δύο Μ/Σ Τάσεως (ME) επαγωγικού τύπου – ένα ανά Ζυγό – με τρία δευτερεύοντα τυλίγματα,  $160.000/\sqrt{3}:120/\sqrt{3}-120/\sqrt{3}-120/\sqrt{3}V$ , εκ των οποίων το ένα χρησιμοποιείται για προστασία (κλάση 5P20) και τα άλλα δύο για μετρήσεις και συγχρονισμό (κλάση 0,5).

### 2.3.3. Πύλη Μ/Σ 150 kV.

Χρησιμοποιείται για τη σύνδεση του Μ/Σ ισχύος με τους Ζυγούς του Υ/Σ και αποτελείται από τον εξής κύριο εξοπλισμό:



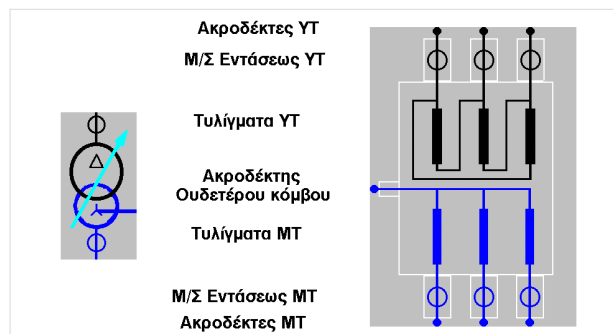


Σχήμα 2.12 - Πύλη ΥΤ Μ/Σ [12]

- Ένα Ηλεκτροκίνητο Τριπολικό Αποζεύκτη (Η/Κ 3Ρ Α/Ζ) ζυγών ΥΤ, όταν πρόκειται για Υ/Σ με ένα ζυγό λειτουργίας, ή δύο προκειμένου για Υ/Σ με δύο ζυγούς ΥΤ
- Τρεις Μ/Σ Τάσεως ΥΤ (Μ/Τ), επαγωγικού τύπου, με δύο δευτερεύοντα, σχέσεως  $160.000/\sqrt{3}V: 120/\sqrt{3} - 120/\sqrt{3}V$ , κλάσεως 0,5S, για μετρήσεις.
- Τρεις Μ/Σ Εντάσεως ΥΤ (Μ/Ε), με τρία δευτερεύοντα τυλίγματα (200/1-1-1 Α), κλάσεως ακριβείας των δύο 0,5S για μετρήσεις και του τρίτου 5Ρ20 για προστασία.
- Ένα Τριπολικό Αυτόματο Διακόπτη ΥΤ, καταλλήλου ικανότητας διακοπής.
- Πίνακα ελέγχου και προστασίας, όπου εγκαθίστανται οι ηλεκτρονόμοι προστασίας και σημάνσεως, τα χειριστήρια ελέγχου του εξοπλισμού και του ρυθμιστή του Μ/Σ κ.α.

### 2.3.4. Μ/Σ Ισχύος ΥΤ/ΜΤ

Μ/Σ Ισχύος ΥΤ/ΜΤ, αναλόγου ισχύος 20/25 ή 40/50 ΜVA, ρυθμιζόμενης τάσεως υπό φορτίο (OLTC), συνδεσμολογίας τρίγωνο-αστέρα (Dyn1), με τις συσκευές και τα συστήματα επιτηρήσεως, προστασίας, ελέγχου και μετρήσεων.

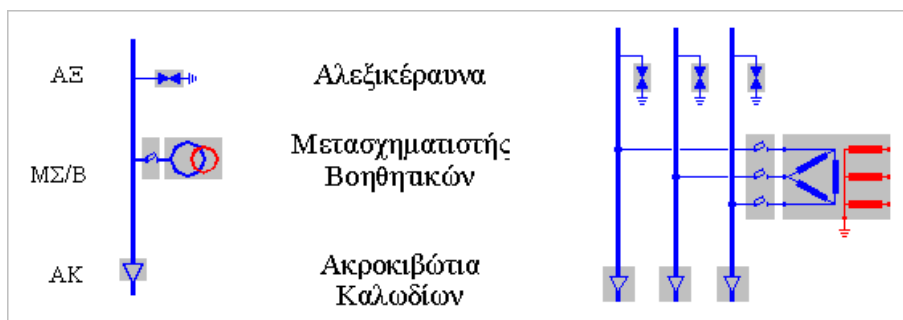


Σχήμα 2.13 - Μ/Σ Ισχύος [12]

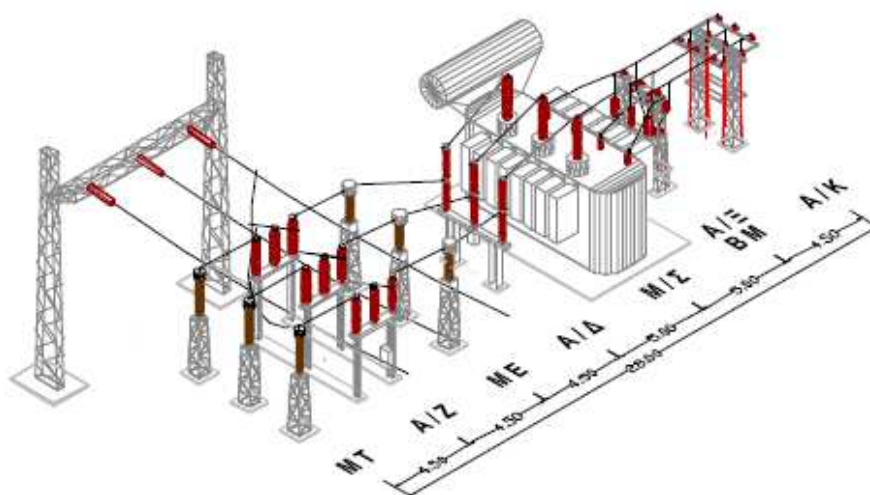
## 2.4. ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΤΟΥ Μ/Σ ΙΣΧΥΟΣ

Ως βοηθητικά του Μ/Σ ισχύος χαρακτηρίζεται ο κάτωθι εξοπλισμός ΜΤ:

- Τρία Αλεξικέραυνα ΜΤ για προστασία του Μ/Σ από την πλευρά ΜΤ.
- Ένας Μ/Σ Τάσεως 20/0.4 kV, για την εξασφάλιση βοηθητικής ισχύος για τις λειτουργίες του Υ/Σ.
- Ένας τριπολικό Ασφαλειοαποζεύκτη ή τρεις τηκτές ασφάλειες.



Σχήμα 2.14 - Βοηθητικά του Μ/Σ [12]



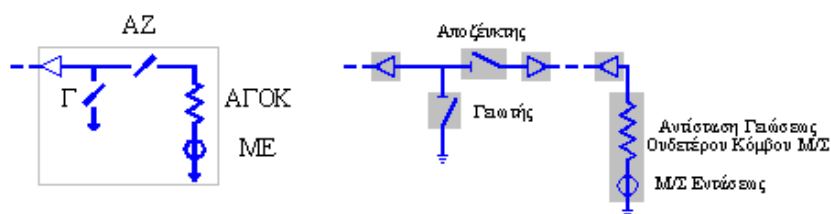
Σχήμα 2.15 - Παράσταση πόλης ΥΤ, ΜΤ και Βοηθητικών Μ/Σ [12]

### 2.4.1. Αντίσταση Γείωσης Ουδεταίρου Κομβου του Μ/Σ Ισχύος

Το συγκρότημα αποτελείται από:

- Μία ωμική Αντίσταση Γείωσης 12Ω, 20kV, για τη γείωση του ουδετέρου κόμβου του Μ/Σ ισχύος.

- Δύο μονοπολικούς αποζεύκτες MT, για γείωση του ουδέτερου του Μ/Σ ισχύος είτε απ' ευθείας, είτε μέσω της αντιστάσεως.
- Τα απαραίτητα για την σύνδεση με το Μ/Σ καλώδια ισχύος.



Σχήμα 2.16 - Αντίσταση γείωσης ουδέτερου κόμβου Μ/Σ [12]

#### 2.4.2. Εξοπλισμός MT

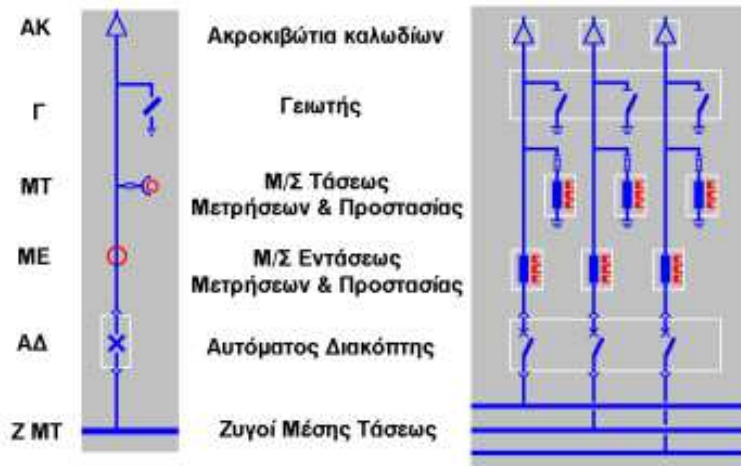
Ο εξοπλισμός MT είναι είτε εξωτερικού τύπου, οπότε εγκαθίσταται σε συγκρότημα Ζυγών MT, που αποτελείται από ικριώματα βαρέως τύπου – κληματαριά στη γλώσσα των τεχνιτών – είτε κλειστού τύπου, οπότε συναρμολογείται εντός μεταλλοενδεδυμένων πινάκων (Metal-clad), που εγκαθίστανται εντός του Κτιρίου Ελέγχου του Υ/Σ.

Η κατωτέρω περιγραφή αντιστοιχεί σε εξοπλισμό εσωτερικού τύπου, ο οποίος χρησιμοποιείται σήμερα στην κατασκευή των Υ/Σ και αναφέρεται σε μεταλλοενδεδυμένους πίνακες.

#### Πύλη εισόδου MT Μ/Σ (TM).

Χρησιμοποιείται για τη σύνδεση του Μ/Σ ισχύος με τους Ζυγούς MT του Υ/Σ και περιλαμβάνει τον εξής κύριο εξοπλισμό:

- Ένα Αυτόματο Διακόπτη MT εισόδου Μ/Σ.
- Τρεις Μ/Ε MT, καταλλήλου σχέσεως και κλάσεως, για μετρήσεις και προστασία.
- Τρεις Μ/Τ MT, καταλλήλου σχέσεως και κλάσεως, για μετρήσεις και προστασία, με τις ασφάλειές τους.
- Συστήματα προστασίας, ελέγχου και μετρήσεων, επί του μεταλλοενδεδυμένου ή ανεξαρτήτου πίνακα ελέγχου.
- Τα απαραίτητα καλώδια ισχύος για την σύνδεση με τον ΜΣ.

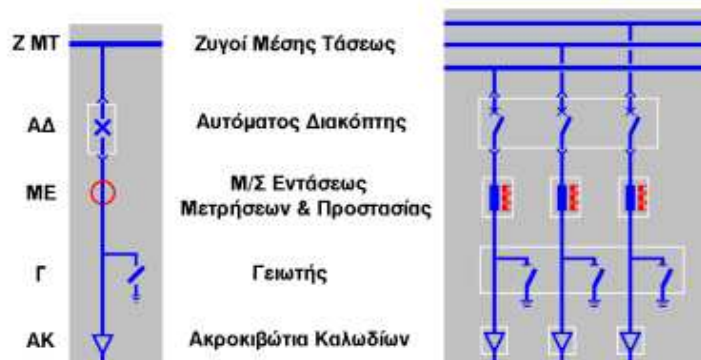


Σχήμα 2.17 - Πύλη εισόδου ΜΤ Μ/Σ [12]

### Πύλη Αναχωρήσεως Γραμμής ΜΤ (ΟΛΜ ή ULM).

Χρησιμοποιείται για τη σύνδεση της Γραμμής Διανομής ΜΤ με τους Ζυγούς ΜΤ του Υ/Σ και ο κύριος εξοπλισμός της αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

- Ένα Αυτόματο Διακόπτη ΜΤ συνδέσεως εναερίου ή καλωδιακής Γραμμής ΜΤ.
- Τρεις Μ/Ε ΜΤ, καταλλήλου σχέσεως και κλάσεως, για μετρήσεις και προστασία.
- Συστήματα προστασίας, ελέγχου και μετρήσεων, επί του μεταλλοενδεδυμένου ή ανεξαρτήτου πίνακα ελέγχου.
- Τα απαραίτητα καλώδια ισχύος για την σύνδεση με την ΓΔ.

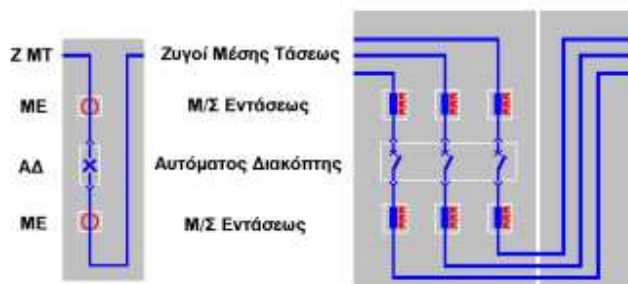


Σχήμα 2.18 - Πύλη Αναχωρήσεως ΓΔ [12]

### Πύλη Διασυνδέσεως Ζυγών ΜΤ (BSM).

Χρησιμοποιείται για τη σύνδεση των Ζυγών ΜΤ του Υ/Σ μεταξύ τους και αποτελείται από τον εξής κύριο εξοπλισμό:

- Ένα Αυτόματο Διακόπτη Διασυνδέσεως Ζυγών ΜΤ.
- Ανά τρεις Μ/Ε ΜΤ, καταλλήλου σχέσεως και κλάσεως, για μετρήσεις και προστασία, εκατέρωθεν του διακόπτη.
- Συστήματα ελέγχου, προστασίας, και μετρήσεων.



Σχήμα 2.19 - Πύλη Διασυνδέσεως Ζυγών ΜΤ [12]

#### Πύλη Πυκνωτών Αντισταθμίσεως ΜΤ (CM).

Χρησιμοποιείται για τη σύνδεση των Πυκνωτών Αντισταθμίσεως με τους Ζυγούς ΜΤ του Υ/Σ και αποτελείται από τον εξής κύριο εξοπλισμό:

- Ένα Αυτόματο Διακόπτη συνδέσεως συγκροτήματος Πυκνωτών Αντισταθμίσεως ΜΤ.
  - Τρεις Μ/Ε ΜΤ, καταλλήλου σχέσεως και κλάσεως, για μετρήσεις και προστασία.
  - Συστήματα προστασίας, ελέγχου και μετρήσεων.
  - Τα απαραίτητα καλώδια ισχύος για την σύνδεση με το συγκρότημα των πυκνωτών.
- Σχηματικά δεν διαφέρει από την Πύλη αναχωρήσεως ΓΔ.

## 3. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΙΩΣΗΣ Υ/Σ

### 3.1. Γενικά

Ο κάθε ενδιαφερόμενος Μελετητής – Κατασκευαστής Υ/Σ, θα μελετήσει, προμηθεύσει και εγκαταστήσει πλήρη συστήματα γείωσης και εξίσωσης του δυναμικού σε κάθε Υ/Σ ή άλλη εγκατάσταση [13]. Στα όρια των υποχρεώσεων του περιλαμβάνονται όλα τα υλικά, οι εργασίες και οι δοκιμές που αφορούν στα ως άνω συστήματα, όπως οι αγωγοί και οι ράβδοι του δικτύου γείωσης, οι εκσκαφές και οι επαναπληρώσεις εδάφους, η μέτρηση της ειδικής αντίστασης εδάφους, οι μετρήσεις της αντίστασης γείωσης, της ανύψωσης δυναμικού του εδάφους, της βηματικής τάσης και της τάσης επαφής μετά την κατασκευή του δικτύου γείωσης κ.λ.π.

Υποβάλεται, προς έγκριση στον ΑΔΜΗΕ, λεπτομερή κατασκευαστικά σχέδια και αναλυτικές υπολογιστικές μελέτες που θα τεκμηριώνουν τις επιλογές του και θα αποδεικνύουν την επάρκεια του σχεδιασμού του, για τα συστήματα γείωσης και εξίσωσης δυναμικού. Η έγκριση των μελετών από τον ΑΔΜΗΕ, δεν απαλλάσσει από την υποχρέωση και την ευθύνη για κατασκευή ικανοποιητικού συστήματος γείωσης σε κάθε επιμέρους εγκατάσταση του Έργου.

Τα συστήματα γείωσης θα μελετηθούν, εγκατασταθούν και δοκιμαστούν σύμφωνα με τους ακόλουθους διεθνείς κανονισμούς [14-16], [20-23].

### 3.2. Δεδομένα Σχεδιασμού

Το σύστημα γείωσης κάθε Υ/Σ ή άλλης εγκατάστασης ΥΤ του Έργου θα συνδυάζει όλα τα είδη των γειώσεων προστασίας και λειτουργίας που απαιτούνται, ώστε να εξασφαλίζεται πλήρης προστασία έναντι των βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής που μπορεί να αναπτυχθούν σε περίπτωση σφάλματος, αλλά και χαμηλή τιμή αντίστασης γείωσης για την ασφαλή διοχέτευση προς γη των ρευμάτων σφάλματος.

Συγκεκριμένα, η μελέτη γείωσης θα εξασφαλίζει τιμή αντίστασης γείωσης,  $R_g < 1 \Omega$  και τιμές για την βηματική τάση και την τάση επαφής μικρότερες από τα επιτρεπτά όρια που προκύπτουν με εφαρμογή των εξισώσεων του κανονισμού, για έναν άνθρωπο μέσου βάρους 70 kg [15].

Στη μελέτη των συστημάτων γείωσης θα λαμβάνονται υπόψη ως δεδομένα [13]:

Διάρκεια σφάλματος για τις πλευρές 150 kV, 400 kV	0,5 s
Διάρκεια σφάλματος για την πλευρά Μέσης Τάσης	1,0 s
Ρεύμα σφάλματος προς γη για την πλευρά 400 kV	40 kA
Ρεύμα σφάλματος προς γη για την πλευρά 150 kV	30 kA
Ρεύμα σφάλματος προς γη για την πλευρά ΜΤ	10 kA

Συντελεστής διαίρεσης ρεύματος, Sf κατά περίπτωση

Για Υ/Σ με μία (1) πύλη ΓΜ 150 kV Sf = 0,9

Για Υ/Σ με δύο (2) πύλες ΓΜ 150 kV Sf = 0,8

Για Υ/Σ με περισσότερες από δύο (2) πύλες ΓΜ 150 kV Sf = 0,7

### 3.3. Κεντρικό δίκτυο γείωσης

Το κεντρικό δίκτυο γείωσης κάθε Υ/Σ ή άλλης εγκατάστασης ΥΤ του Έργου θα σχηματισθεί από αγωγούς γείωσης, τοποθετημένους μέσα στο έδαφος, υπό μορφή οριζοντίου πλέγματος και από ράβδους γείωσης τοποθετημένες κατακόρυφα σε επιλεγμένα σημεία. Το δίκτυο γείωσης θα αναπτυχθεί μέχρι τα όρια του προστατευτικού διαφράγματος εγκαταστάσεων 150 kV του Υ/Σ [13].

Οι αγωγοί γείωσης θα είναι από επικασσιτερωμένο εν θερμώ χαλκό και η διατομή τους θα προκύψει από την υπολογιστική μελέτη του συστήματος γείωσης, με ελάχιστο επιτρεπτό όριο τα 120 mm<sup>2</sup> για δίκτυα 150 kV.

Οι ράβδοι γείωσης θα είναι χαλύβδινοι, επιχαλκωμένοι ηλεκτρολυτικά, διαμέτρου όχι μικρότερης των 17 mm και μήκους τουλάχιστον 3 m. Σε περίπτωση που χρησιμοποιηθούν σύνδεσμοι μεταξύ τμημάτων της ράβδου γείωσης, η σύνδεση μεταξύ των τμημάτων θα είναι αγωγή σε όλο της το μήκος και δεν θα καθίσταται χαλαρή ή μη αποτελεσματική μετά την οδήγηση της ράβδου στο έδαφος. Το επάνω άκρο κάθε ράβδου γείωσης θα φέρει κατάλληλο ακροδέκτη, μέσω του οποίου, θα συνδέονται οι αγωγοί γείωσης. Για την οδήγηση των ράβδων γείωσης στο έδαφος θα διανοιχθούν οπές, κατάλληλης διαμέτρου.

Η λεπτομερής διερεύνηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του εδάφους κάθε Υ/Σ αποτελεί υποχρέωση του Κατασκευαστή. Το βάθος τοποθέτησης των αγωγών γείωσης θα επιλεγεί από τον κατασκευαστή, ανάλογα με τις ανάγκες σχεδιασμού, αλλά οπωσδήποτε δεν θα είναι μικρότερο των 0,60 m. Οι αγωγοί γείωσης δεν επιτρέπεται να έρχονται σε επαφή με καλώδια ελέγχου.

Οι τάφροι τοποθέτησης των αγωγών γείωσης και οι οπές τοποθέτησης των ράβδων γείωσης θα επαναπληρωθούν με το φυσικό χώμα της εκσκαφής, αφού προηγουμένως, αυτό καθαρισθεί από πέτρες και άλλες ακατάλληλες προσμίξεις. Σε περίπτωση που η μελέτη γείωσης δεν οδηγεί στα πλαίσια των κανονισμών, σε ικανοποίηση των απαιτήσεων για τις υπολογιζόμενες τιμές αντίστασης γείωσης, ανύψωσης δυναμικού εδάφους, βηματικής τάσης και τάσης επαφής, ο κατασκευαστής του Υ/Σ προτείνεται να χρησιμοποιήσει τα παρακάτω ειδικά μέτρα, για βελτίωση της συνολικής συμπεριφοράς του δικτύου γείωσης :

Κατασκευή δικτύου γείωσης με βρόχο των ελάχιστων διαστάσεων που επιτρέπουν οι αναφερόμενοι κανονισμοί.

Τοποθέτηση του πλέγματος γείωσης σε βάθος 0,6 m και συμμετρικά εντός στρώματος πάχους 0,4 m από υλικό πολύ καλής αγωγιμότητας (π.χ. μαλακό χώμα, καρβουνόσκονη κ.λ.π.).

Εγκατάσταση ικανοποιητικού πλήθους πασσάλων γείωσης, περιμετρικά του Υ/Σ και κυρίως στις γωνίες του γηπέδου, καθώς επίσης και πλήθους πασσάλων στον χώρο ανάπτυξης του εξοπλισμού ισχύος. Τοποθέτηση των πασσάλων γείωσης εντός οπών διαμέτρου 0,8 m, οι οποίες θα επαναπληρωθούν με το ορυκτό υλικό υψηλής αγωγιμότητας «bentonite».

Επαναπλήρωση των σκαμμάτων που θα ανοικτούν για τα έργα Πολιτικού Μηχανικού ή επανεπίχωση του οικοπέδου με μαλακό χώμα μεγάλης αγωγιμότητας.

Τοποθέτηση επιφανειακά, σε περιοχές χειρισμών εξοπλισμού, γαλβανισμένης σχάρας διαστάσεων 1 m x 1 m τουλάχιστον και στερεάς σύνδεσης της με το δίκτυο γείωσης.

Εγκατάσταση χαλικόστρωσης πάχους 20 cm ή ασφαλτόστρωσης μέχρι το όριο του προστατευτικού διαφράγματος εγκαταστάσεων 150 kV του Υ/Σ.

Τοποθέτηση πινακίδων σήμανσης κινδύνου ηλεκτροπληξίας του ΑΔΜΗΕ, εξωτερικά του προστατευτικού διαφράγματος εγκαταστάσεων 150 kV του Υ/Σ.

Όλες οι συνδέσεις εντός του εδάφους θα είναι χυτές κολλήσεις με την μέθοδο "cadweld". Βιδωτές συνδέσεις εντός του εδάφους, δεν γίνονται αποδεκτές. Θα πρέπει να ληφθεί ειδική μέριμνα για την αντιμετώπιση των προβλημάτων ηλεκτρολυτικής διάβρωσης με έμφαση στα σημεία των συνδέσεων, όπου θα χρησιμοποιούνται κατάλληλοι διμεταλλικοί σύνδεσμοι ή ενώσεις σε κάθε περίπτωση σύνδεσης αγωγών γείωσης Cu με χάλυβα ή άλλα μέταλλα. Ενδείκνυται και η επικάλυψη των συνδέσεων με αντιδιαβρωτικά υλικά.

Σε κάθε περίπτωση κατά την οποία, ο προς κατασκευή Υ/Σ είναι όμορος με άλλον υπάρχοντα Υ/Σ του ΑΔΜΗΕ, ή οποιαδήποτε άλλη εγκατάσταση του ΑΔΜΗΕ που διαθέτει κεντρικό δίκτυο γείωσης (αντίστοιχων παραμέτρων σχεδιασμού), ο κατασκευαστής θα προβλέψει κατάλληλο πλήθος αναμονών (απολήξεων) γείωσης στο δίκτυο που κατασκευάζει, προκειμένου να γίνει μελλοντική σύνδεση των δύο δικτύων από το ΑΔΜΗΕ. Οι αναμονές θα είναι αγωγοί της ίδιας διατομής και τύπου με αυτούς του πλέγματος γείωσης του Υ/Σ και θα καταλήγουν σε φρεάτια που θα κατασκευασθούν, το πλήθος και οι θέσεις των οποίων, θα οριστικοποιηθούν από το ΑΔΜΗΕ κατά την φάση εκπόνησης της σχετικής μελέτης γείωσης του Υ/Σ.





Φωτογραφία 3.1 - Πλέγμα γείωσης Υ/Σ, θα πληρωθεί με χώμα πάχους 60 cm

#### 3.4. Θεμελιακή γείωση κτιρίου

Σε όλα τα κτήρια των Έργων επέκτασης ΕΣΜΗΕ, κατά την κατασκευή των θεμελίων τους, εγκαθίσταται θεμελιακή γείωση [13].

Ως αγωγός της θεμελιακής γείωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ταινία γαλβανισμένου χάλυβα, ελάχιστων διαστάσεων 30 mm x 3.5 mm ή αγωγοί γαλβανισμένου χάλυβα ελάχιστης διαμέτρου 12 mm. Ο αγωγός της θεμελιακής γείωσης θα αναπτυχθεί, μέσω κατάλληλων στηριγμάτων, στη βάση του περιμετρικού θεμελίου του κάθε κτηρίου, περιβαλλόμενος παντού από σκυρόδεμα και κάτω από τον οπλισμό του θεμελίου, σχηματίζοντας έναν κλειστό περιμετρικό βρόχο. Ακόμη, θα αναπτυχθεί και μέσω εγκάρσιων διασυνδέσεων στον περιμετρικό βρόχο για την δημιουργία πεδίων διαστάσεων μικρότερων ή ίσων των 10 m x 10 m. Στις θέσεις αρμών διαστολής του σκυροδέματος, η συνέχεια του αγωγού της θεμελιακής γείωσης θα εξασφαλίζεται μέσω διαστελόμενων συνδέσεων εκτός του σκυροδέματος. Ο μεταλλικός οπλισμός του σκυροδέματος του κτηρίου θα συνδεθεί σε αρκετά σημεία με τη θεμελιακή γείωση, ενώ η τελευταία θα συνδεθεί σε αρκετά σημεία με το κεντρικό δίκτυο γείωσης. Σε κάθε περίπτωση σύνδεσης αγωγών γείωσης, διαφορετικού υλικού (π.χ. χαλκός με χάλυβα) θα χρησιμοποιηθούν κατάλληλοι διμεταλλικοί σύνδεσμοι. Όλες οι διμεταλλικές συνδέσεις θα είναι εμφανείς.

Επίσης, όλες οι συνδέσεις των αγωγών θεμελιακής γείωσης με τον οπλισμό εντός του σκυροδέματος θα γίνονται με κατάλληλους σφικκτήρες (κολλήσεις ή συνδέσεις με απλό σύρμα δεν είναι αποδεκτές). Επίσης, όλες οι απολήξεις θεμελιακής γείωσης που εξέρχονται από το σκυρόδεμα θα είναι από χαλκό.

Απολήξεις της θεμελιακής γείωσης, ίδιας διατομής με τον αγωγό θεμελιακής γείωσης και σε απόσταση 30 cm από τη τελική στάθμη του δαπέδου, θα προβλεφθούν εσωτερικά και εξωτερικά των κτηρίων. Ο αριθμός και οι θέσεις τους στους ειμέρους χώρους των κτηρίων θα καθοριστεί από τις απαιτήσεις γείωσης - εξίσωσης δυναμικού του εξοπλισμού.



Φωτογραφία 3.2 - Θεμελιακή γείωση κτιρίου ελέγχου Υποσταθμού

### 3.5. Ειδικές Απαιτήσεις

Εσωτερικά του κάθε κτηρίου θα εγκατασταθούν ζυγοί γείωσης - εξίσωσης δυναμικού, χάλκινες μπάρες ελάχιστης διάστασης 30 x 5 (mm) και μήκους ανάλογα με τη χρήση τους, τοποθετημένοι σε εσοχές του κτηρίου ή επίτοιχα σε ερμάριο και σε απόσταση 50 cm από τη τελική στάθμη του δαπέδου, συνδεδεμένοι μέσω των εσωτερικών απολήξεων με τη θεμελιακή γείωση. Ιδιαίτερα στις αίθουσες του εξοπλισμού GIS οι συνδέσεις των ζυγών με το δίκτυο γείωσης θα γίνουν σε τουλάχιστον δύο σημεία [13].

Γενικά, κάθε ηλεκτρική συσκευή θα φέρει τουλάχιστον μία διαθέσιμη θέση γείωσης (βίδα ή ακροδέκτης) κατάλληλων διαστάσεων, ενώ δεν είναι αποδεκτή η χρήση βιδών στήριξης για το σκοπό της γείωσης. Οι ίδιες απαιτήσεις ισχύουν και για κάθε αγωγίμο μη ενεργό (μη φέρον τάση) τμήμα του εξοπλισμού. Ειδικότερα, όλες οι μεταλλικές κατασκευές και τα μεταλλικά μέρη του εξοπλισμού του Υ/Σ θα συνδεθούν με βιδωτές συνδέσεις στους ζυγούς γείωσης - εξίσωσης δυναμικού μέσω χάλκινων αγωγών γείωσης (πολύκλωνοί αγωγοί ή ταινία) διατομής σύμφωνα με τους κανονισμούς.

Όλα τα μεταλλικά κριώματα θα συνδεθούν στο δίκτυο γείωσης. Για εξασφάλιση της σύνδεσης θα χρησιμοποιηθούν δύο αγωγοί σύνδεσης σε δύο διαγώνια σκέλη, και οι ενώσεις θα γίνουν σε δύο διαφορετικά σημεία του δικτύου γείωσης. Οι συνδέσεις επί των μεταλλικών κριωμάτων θα είναι βιδωτές και θα γίνονται σε τουλάχιστον δύο διαφορετικά σημεία για κάθε αγωγό σύνδεσης του κριώματος με το δίκτυο γείωσης. Τα μεταλλικά μέρη εξοπλισμού που εγκαθίσταται πάνω σε κριώματα θα συνδεθούν με ιδιαίτερο αγωγό γείωσης στο δίκτυο γείωσης και όχι

μέσω των σκελών των ικριωμάτων στήριξης. Οι αγωγοί γείωσης θα αναπτυχθούν κατά το δυνατόν πλησίον των ικριωμάτων. Οι οδεύσεις των γειώσεων θα γίνονται εντός εγκιβωτισμένων στο σκυρόδεμα των βάσεων, σωλήνων και όχι εξωτερικές.

Ανεξάρτητοι πίνακες καθώς και τμήματα ή διαμερίσματα πινάκων θα γειωθούν ανεξάρτητα, εκτός εάν μεταξύ τους, είναι εξασφαλισμένη μόνιμη σύνδεση. Ο εξοπλισμός των πινάκων θα γειωθεί μέσω του ζυγού γείωσης που θα φέρει ο κάθε πίνακας. Ο ζυγός γείωσης αυτός θα συνδέεται με το δίκτυο γείωσης.

Αναφορικά με τα κανάλια καλωδίων MT ή YT που φέρουν πλάκες επικάλυψης και οδεύουν στο γήπεδο του Υ/Σ, το κεντρικό πλέγμα γείωσης του Υ/Σ θα διέρχεται κάτω από το σκυρόδεμα του πυθμένα των καναλιών αυτών. Τόσο ο οπλισμός του σκυροδέματος των καναλιών όσο και οι φορείς καλωδίων και τα στηρίγματα των καλωδίων στα κανάλια θα συνδεθούν με το δίκτυο γείωσης του Υ/Σ σε επαρκή σημεία και με κατάλληλους διμεταλλικούς συνδέσμους χάλυβα-χαλκού.

Σε περίπτωση σιμωτών καλωδίων YT ή MT που οδεύουν εντός των χώρων εγκαταστάσεων του Έργου, το δίκτυο γείωσης του Υ/Σ θα αναπτυχθεί πάνω από την οροφή τους. Ωστόσο, για λόγους προστασίας των ανθρώπων που θα εργάζονται εντός του οχετού σε περίπτωση σφάλματος, θα κατασκευαστεί και επιπλέον πλέγμα γείωσης (ιδίου τύπου ή πυκνότερο, εάν απαιτηθεί, με το κεντρικό πλέγμα γείωσης) που θα διέρχεται κάτω από το δάπεδο του οχετού. Αυτό το πλέγμα γείωσης θα συνδεθεί σε επαρκή σημεία, με το διερχόμενο, άνωθεν της οροφής του οχετού, κεντρικό πλέγμα γείωσης και επ' αυτού θα συνδεθούν κατάλληλα (με διμεταλλικούς συνδέσμους) ο οπλισμός του οχετού και οι φορείς/στηρίγματα των καλωδίων.

Ο οπλισμός ή η θωράκιση των καλωδίων ισχύος και ελέγχου θα γειωθούν μέσω εύκαμπτης ταινίας γείωσης. Τα καλώδια ισχύος XT θα γειώνονται και στις δύο άκρες τους, ενώ τα ακροκιβώτια των καλωδίων θα γειώνονται μέσω μίας από τις βίδες στήριξής τους. Σε καμιά περίπτωση οι αγωγοί γείωσης δεν επιτρέπεται να έρχονται σε επαφή με καλώδια ελέγχου.

Για λόγους προστασίας έναντι επαφής, το μεταλλικό προστατευτικό διάφραγμα εγκαταστάσεων YT κάθε Υ/Σ ή άλλης εγκατάστασης YT, ανάλογα με τα προβλεπόμενα στην μελέτη γείωσης μπορεί να κατασκευαστεί :

- αγείωτο και με γαλβανική διακοπή της συνέχειας του κάθε 20 m
- γειωμένο σε ανεξάρτητο δίκτυο γείωσης μη συνδεδεμένο με το πλέγμα γείωσης του Υ/Σ, γαλβανικά συνεχές καθ' όλο το μήκος του
- γειωμένο στο πλέγμα γείωσης του Υ/Σ με συνδέσεις κάθε 10 m κατ' ελάχιστον. Στην περίπτωση αυτή, το πλέγμα γείωσης του Υ/Σ θα επεκτείνεται κατά 1 m πέραν του προστατευτικού διαφράγματος. Επομένως το προστατευτικό διάφραγμα θα πρέπει να τοποθετηθεί μέσα από το όριο του οικοπέδου του Υ/Σ σε ανάλογη απόσταση. Εξωτερικά του προστατευτικού διαφράγματος θα τοποθετηθεί ταινία γειώσεως σε βάθος 0.6 m και θα κατασκευαστεί κανάλι από σκυρόδεμα εντός του

οποίου θα διαστρωθεί χαλίκι ίδιας διαμέτρου με αυτό που διαστρώνεται στο υπόλοιπο οικοπέδο του Υ/Σ. Η εξωτερική παρειά του καναλιού θα έχει επαρκές ύψος για τον εγκιβωτισμό του απαιτούμενου πάχους χαλικόστρωσης, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στην μελέτη γείωσης.

Η επιφάνεια εδάφους σε όλον τον χώρο ανάπτυξης του Υ/Σ έως τα όρια του προστατευτικού διαφράγματος εγκαταστάσεων ΥΤ θα καλυφθεί με υλικό υψηλής ειδικής αντίστασης (ασφαλτόστρωση ή σκυρόστρωση), πάχους κατάλληλου για την προστασία του προσωπικού από επικίνδυνες τάσεις, που θα προκύψει από την αναλυτική μελέτη γείωσης του κατασκευαστή και οπωσδήποτε όχι μικρότερου των 10 cm. Σε περίπτωση σκυρόστρωσης θα χρησιμοποιηθούν σκύρα ομοιόμορφης διαμέτρου (2-4 cm περίπου). Εάν προκύψει απαίτηση από την μελέτη γείωσης θα επιστρωθεί με σκύρα ή άσφαλο και μία ζώνη περιμετρικά του προστατευτικού διαφράγματος εγκαταστάσεων ΥΤ (πλάτους ζώνης σύμφωνα με την μελέτη γείωσης), ώστε να παρέχεται επαρκής προστασία σε ανθρώπους ή ζώα κατά την απόσβεση των τάσεων επαφής και των βηματικών τάσεων εκτός του χώρου ανάπτυξης του Υ/Σ.

Στην περίπτωση που μεταλλικοί σωλήνες ύδρευσης ή άλλης χρήσης, εξέρχονται των οικοπέδων των εγκαταστάσεων, προκειμένου να αποφεύγεται η μεταφορά της υπερυψωμένης τάσης του δικτύου γείωσης (συνθήκες εμφάνισης σφάλματος) σε απομακρυσμένες θέσεις εκτός του οικοπέδου, θα διακόπτεται η γαλβανική συνέχειά των σωλήνων αυτών, σε μήκος τουλάχιστον 10 m, απομακρυνόμενο από τα όρια του πλέγματος του κεντρικού δικτύου γείωσης προς τον εξωτερικό χώρο. Αντίστοιχη μέριμνα θα ληφθεί από τον κατασκευαστή και για οποιοδήποτε άλλο μέσο μπορεί να μεταφέρει την υπερυψωμένη τάση του δικτύου γείωσης της κάθε εγκατάστασης του Έργου σε απομακρυσμένες θέσεις εκτός αυτού (δίκτυα διανομής Φυσικού Αερίου, περιφράξεις όμορων χώρων κ.λ.π.).

Για αποφυγή ηλεκτρολυτικής διάβρωσης θα αποφευχθεί η επαφή μεταλλικών κατασκευών

με το έδαφος. Όπου αυτό δεν είναι δυνατόν (π.χ. σωλήνες ύδρευσης) θα εξασφαλίζεται τουλάχιστον η μη άμεση επαφή με το έδαφος των σημείων στα οποία ενώνονται με το δίκτυο γείωσης και των πλησίον τμημάτων τους.

### **3.6. Δοκιμές**

Μετά την εγκατάσταση του δικτύου γείωσης κάθε Υ/Σ ή άλλης εγκατάστασης ΥΤ θα γίνει έλεγχος όλων των συνδέσεων του εξοπλισμού προς το δίκτυο γείωσης και θα εκτελεστούν όλες οι δοκιμές που προβλέπονται [13].

Επίσης θα εκτελεστούν μετρήσεις της αντίστασης γείωσης, της ανύψωσης δυναμικού του εδάφους, της βηματικής τάσης και της τάσης επαφής εντός και εκτός του Υ/Σ σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στους κανονισμούς [14], [15], [16]. Το

πρόγραμμα των μετρήσεων και δοκιμών, θα υποβληθεί έγκαιρα προς έλεγχο και έγκριση στον ΑΔΜΗΕ και θα περιλαμβάνει αναλυτική περιγραφή των μεθόδων μέτρησης και του τρόπου αναγωγής των αποτελεσμάτων των μετρήσεων ανύψωσης δυναμικού εδάφους, βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής. Σε περίπτωση υιοθέτησης από τον κατασκευαστή, μεθόδου που απαιτεί χρησιμοποίηση τμημάτων των δικτύων του ΑΔΜΗΕ αυτό θα μπορεί να γίνει μόνον κατόπιν διαπραγματεύσεων και ειδικής συμφωνίας ως προς το πρόγραμμα των μετρήσεων και ως προς τις ενδεχόμενες οικονομικές επιπτώσεις. Ο ΑΔΜΗΕ καταβάλει κάθε δυνατή προσπάθεια για να διευκολύνει τη διεξαγωγή των μετρήσεων, οπωσδήποτε όμως, αυτό θα εξαρτηθεί από τα τμήματα του δικτύου που θα χρειασθεί να απομονωθούν και την χρονική διάρκεια των μετρήσεων.

Σε κάθε περίπτωση που τα αποτελέσματα των μετρήσεων γείωσης ( $R_g$ , τάση επαφής, βηματική τάση) δεν είναι ικανοποιητικά, ο κατασκευαστής θα προβεί σε όλες τις αναγκαίες βελτιώσεις του δικτύου γείωσης, ώστε να επιτευχθούν τα σύμφωνα με τους κανονισμούς και την παρούσα προδιαγραφή, αποδεκτά επίπεδα ασφάλειας.

## 4. ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

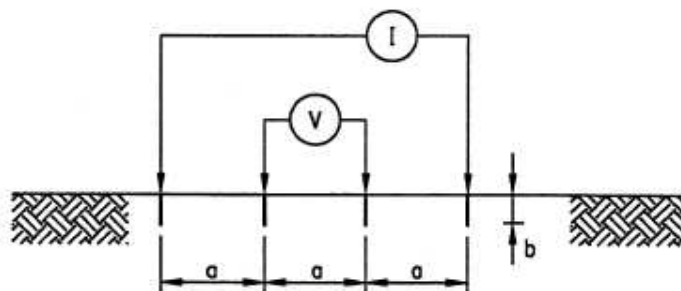
### 4.1. Εισαγωγή

Για την εκπόνηση της μελέτης γείωσης ενός Υ/Σ πρέπει να γνωρίζουμε την ειδική αντίσταση του εδάφους που πρόκειται να κατασκευασθεί σύμφωνα με την προδιαγραφή [13].

Εκτιμήσεις της ειδικής αντίστασης βάσει των χαρακτηριστικών του εδάφους δίνουν προσεγγιστικές τιμές. Επιπλέον η ειδική αντίσταση ποικίλλει ανάλογα με το βάθος χωρίζοντας το έδαφος σε στρώματα διαφορετικής ειδικής αντίστασης το καθένα. Για τον καθορισμό των στρωμάτων και της ειδικής αντίστασης καθενός έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι από τις οποίες αναφέρουμε τη μέθοδο Wenner και των τριών ηλεκτροδίων ή πτώσης δυναμικού [16].

### Μέθοδος Wenner

Η μέθοδος αυτή είναι η πιο συχνά εφαρμοζόμενη. Χρησιμοποιεί τέσσερα ηλεκτρόδια θαμμένα στο έδαφος σε βάθος  $b$ , σε ευθεία και σε ίση απόσταση  $a$  μεταξύ τους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1. Η τάση μεταξύ των δύο μεσαίων ηλεκτροδίων μετριέται με βολτόμετρο και διαιρείται με το ρεύμα που διαρρέει τα δύο εξωτερικά ηλεκτρόδια και το οποίο μετριέται με αμπερόμετρο. Το πηλίκο δίνει την αντίσταση  $R$



Σχήμα 4.1 - Μέθοδος Wenner τεσσάρων ηλεκτροδίων [16]

Η ειδική αντίσταση του εδάφους δίνεται από τον τύπο [16]

$$\rho = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{\alpha^2 + 4\beta^2}} - \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}} \quad (4.1)$$

Όπου  $\rho$  η ειδική αντίσταση εδάφους σε  $\Omega \cdot m$

$R$  η μετρούμενη αντίσταση σε  $\Omega$

$a$  η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών ηλεκτροδίων σε  $m$

b το βάθος όπου φτάνουν τα ηλεκτρόδια σε m

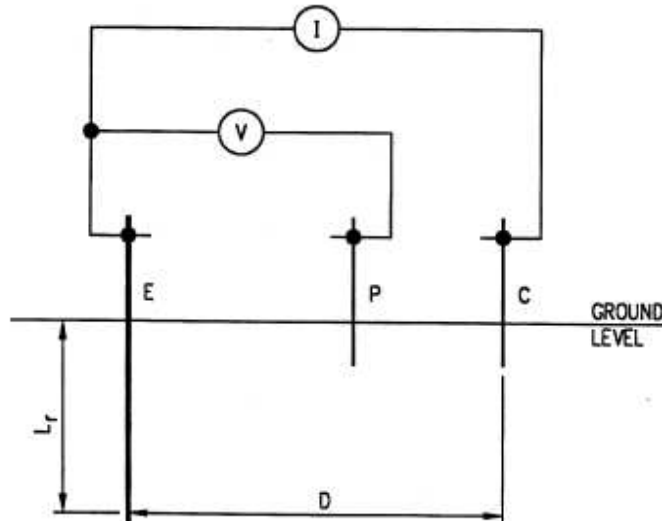
Αν  $b \ll a$  η ειδική αντίσταση δίνεται από τον προσεγγιστικό τύπο

$$\rho = 4\pi a R \quad (4.2)$$

Με τους παραπάνω τύπους υπολογίζουμε την ειδική αντίσταση  $\rho$  σε βάθος  $a$  σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές στην ειδική αντίσταση από στρώμα σε στρώμα.

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

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. Η σύνδεσή τους φαίνεται στο Σχήμα 4.2



Σχήμα 4.2 - Μέθοδος των τριών ηλεκτροδίων [16]

Η ειδική αντίσταση του εδάφους δίνεται από τον τύπο [16]

$$\rho = \frac{4\pi L_r R}{\ln\left(\frac{8L_r}{d}\right) - 1} \quad (4.3)$$

Όπου  $\rho$  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  $\Omega$

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 [18]. Αυτό οφείλεται στην 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. Παρά το πλεονέκτημα αυτό, 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 να καταγράφονται εκτός από τις μετρήσεις η θερμοκρασία και η υγρασία του εδάφους [18]. Πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη οποιαδήποτε αγώγιμα αντικείμενα είναι θαμμένα στην περιοχή της μέτρησης, καθώς αυτά επηρεάζουν τη μετρούμενη ένταση ηλεκτρικού ρεύματος. Συγκεκριμένα στην περίπτωση όπου πλέγμα γείωσης έχει ήδη εγκατασταθεί στην περιοχή, οι μετρήσεις ενδείκνυται να γίνονται σε μικρή απόσταση από το πλέγμα και με τέτοιο τρόπο (απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων) ώστε το πλέγμα να μην επιδρά στο μετρούμενο ηλεκτρικό ρεύμα. Οι μετρήσεις αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν προσεγγιστικά για τον προσδιορισμό της ειδικής αντίστασης στην περιοχή του πλέγματος με την προϋπόθεση ότι το έδαφος θεωρείται ομογενές.

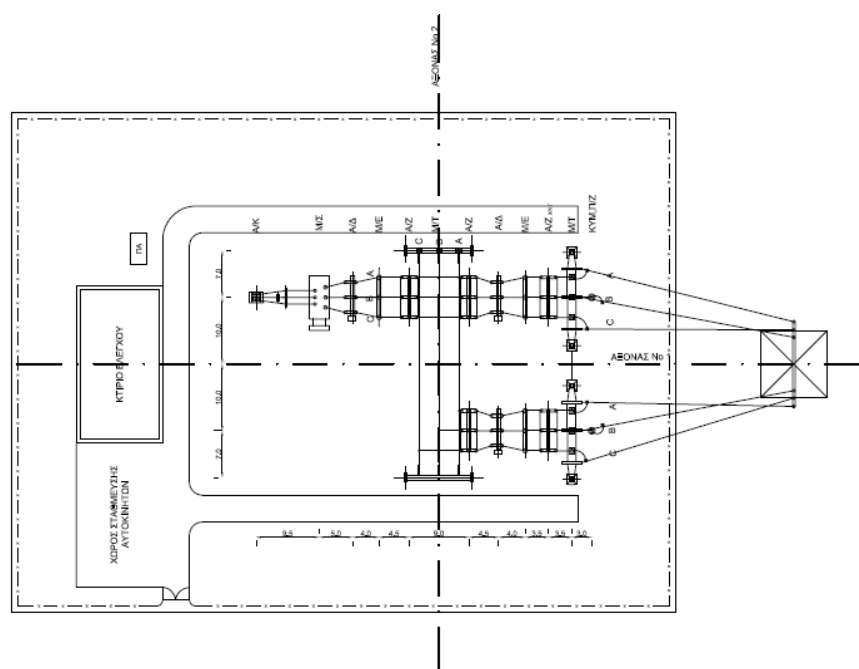


## 4.2. Μελέτη Μονοστρωματικού μοντέλου εδάφους

Στην παρούσα μελέτη εφαρμογής παρουσιάζονται διάφορες περιπτώσεις που μπορεί να τύχουν σε μία μελέτη γείωσης ενός Υ/Σ 150/20 kV. Ο συγκεκριμένος Υ/Σ αποτελείται από:

- 2 ΚΨ Εναέριων ΓΜ 150 kV
- 1 Απλό Ζυγό 150 kV
- 1 Μ/Σ Ισχύος 40/50 MVA
- 1 Συγκρότημα Πυκνωτών Αντιστάθμισης 3 x 4 MVAR
- Κτίριο ελέγχου με πύλες MT 20 kV εσωτερικού τύπου

Ο παραπάνω εξοπλισμός βρίσκεται εντός μεταλλικής περίφραξης σε γήπεδο διαστάσεων 75 x 100 μέτρα όπως δίνεται στη παρακάτω τητυκή Προβλεπόμενη Ανάπτυξη Υ/Σ.



Σχήμα 4.3 – Κάτοψη Υ/Σ

Όπου	ΚΥΜ	Κυματοπαγίδα 150 kV
	Π/Ζ	Πυκνωτής Ζεύξης 150 kV
	Μ/Τ	Μετασχηματιστής Τάσης 150 kV
	Α/Ζ <sub>Χ/Κ Γ</sub>	Αποζεύκτης Χειροκίνητος 150 kV με γειωτή
	Μ/Ε	Μετασχηματιστής Έντασης 150 kV
	Α/Δ	Αεροδιακόπτης 150 kV
	Α/Ζ	Αποζεύκτης Ηλεκτροκίνητος 150kV χωρίς γειωτή
	Μ/Σ	Μετασχηματιστής Ισχύος 150/20 kV
	Α/Κ	Ακροκιβώτια καλωδίου ΜΤ
	Π/Α	Συγκρότημα Πυκνωτή Αντιστάθμισης 3 X 4 MVAR

### **Ειδική αντίσταση εδάφους**

Το μοντέλο του εδάφους είναι μονοστρωματικό με ειδική αντίσταση εδάφους  $\rho = 50 \Omega\text{m}$  η οποία εκτιμήθηκε με τη μέθοδο Wenner η οποία αναφέρθηκε παραπάνω.

### **Υπολογισμός αντίστασης γείωσης**

Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα CYMGrd 6.3 της εταιρίας CYME [17] και για μονοστρωματικό μοντέλο εδάφους υπολογίστηκε η αντίσταση γείωσης του πλέγματος ίση με  $0,26 \Omega$  ακολουθώντας το πρότυπο ANSI/IEEE Std 80-2013 [15].

### **Υπολογισμός ρεύματος βραχυκύκλωσης [13]**

Προκειμένου να υπολογιστούν οι βηματικές τάσεις και οι τάσεις επαφής είναι απαραίτητο να καθοριστεί η τιμή του ρεύματος προς γη για μονοφασικό σφάλμα που τυχόν θα συμβεί στον Υ/Σ. Το ρεύμα μονοφασικού σφάλματος καθορίστηκε ίσο με  $30 \text{ kA}$  ενώ ο συντελεστής διαίρεσης ρεύματος σφάλματος ελήφθη ίσος με  $0,8$  (σύμφωνα με την προδιαγραφή [13]).

### **Υπολογισμός ανύψωσης δυναμικού**

Η ανύψωση δυναμικού GPR (Ground Potential Rise) του Υ/Σ υπολογίστηκε ίση με  $6,171 \text{ kV}$ .

### **Υπολογισμός μέγιστων επιτρεπόμενων ορίων αναπτυσσόμενων τάσεων**

Τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια για βηματικές τάσεις και τάσεις επαφής υπολογίστηκαν με βάση το πρότυπο ANSI/IEEE Std 80-2013 για ανθρώπινο σώμα βάρους  $50\text{kg}$  και  $70\text{kg}$ . Οι υπολογισμοί των επιτρεπόμενων ορίων βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής πραγματοποιήθηκαν για συχνότητα  $50 \text{ Hz}$ , για χρόνο εκκαθάρισης σφάλματος  $0,5 \text{ sec}$ , για τις 3 παρακάτω περιπτώσεις:

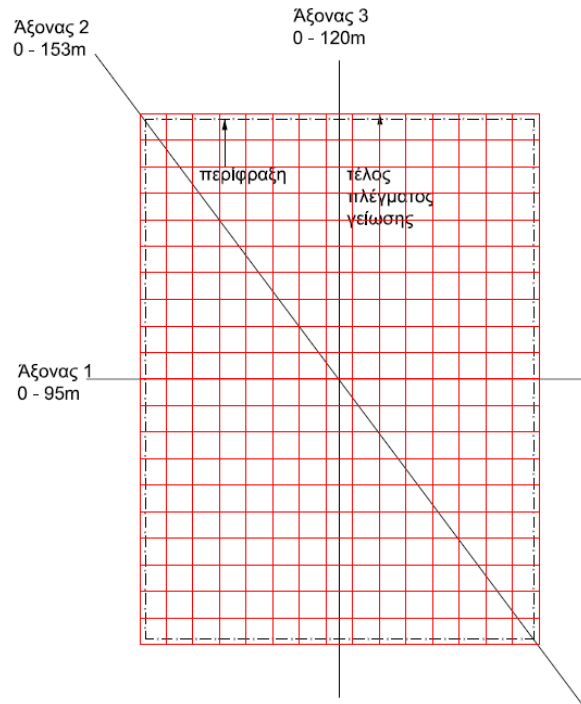
A. Χωρίς επίστρωση υλικού επιφανείας

B. Με υλικό επιφανείας πάχους  $10 \text{ cm}$  και ειδικής αντίστασης  $2.500 \Omega\text{m}$  (χαλίκι)

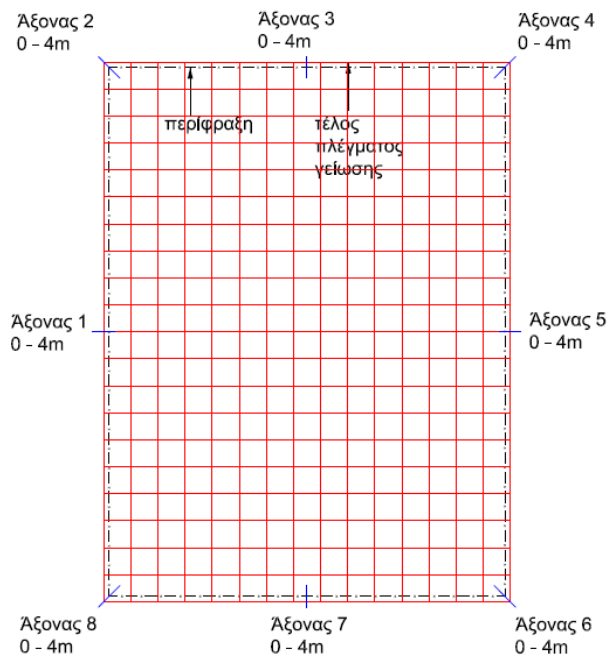
Γ. Με υλικό επιφανείας πάχους  $10 \text{ cm}$  και ειδικής αντίστασης  $10.000 \Omega\text{m}$  (άσφαλτος)

Το πλέγμα γείωσης που θα χρησιμοποιηθεί είναι  $5 \times 5$  και οι παρακάτω άξονες για διερεύνηση

### Άξονες για διερεύνηση Βηματικών τάσεων.



Σχήμα 4.4 – Άξονες για διερεύνηση Βηματικών τάσεων



Σχήμα 4.5 – Άξονες για διερεύνηση τάσεων Επαφής

Λόγω σύμμετρίας του γηπέδου παίρνω μόνο 3 άξονες. Σε πολύγωνα διαφορετικής μορφής, παίρνουμε πολύ περισσότερους άξονες.

Πίνακας 4.1 – Όρια Βηματικών τάσεων και τάσεων Επαφής 50 Ωm, 50 kgr, 0,5 sec

Στοιχεία μελέτης	Όρια για 50 Ωm, 50 kgr, 0,5 sec	
	Βηματική Τάση (Volt)	Τάση Επαφής (Volt)
A. Χωρίς υλικό επιφανείας	213,26	176,35
B. Με υλικό επιφανείας πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 2.500 Ωm (χαλίκι)	1876,38	592,13
Γ. Με υλικό επιφανείας πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 10.000 Ωm (άσφαλτος)	6967,55	1864,92

Με αντίστοιχα δεδομένα και διαγράμματα από το CYMGrd για την Α περίπτωση του Πίνακα 4.1 [17].

#### Soil Analysis

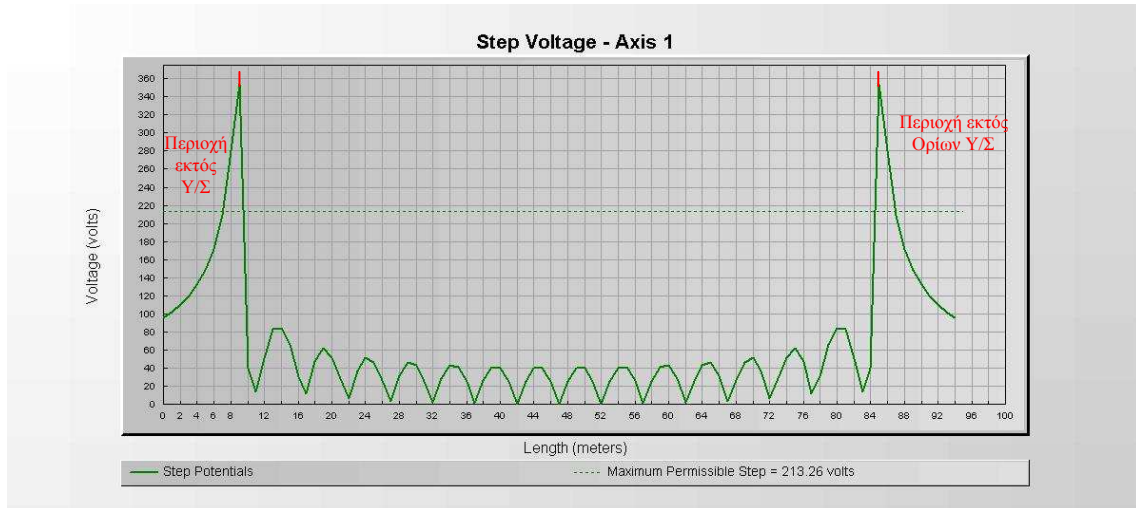
Soil Model	User Defined
Upper Layer Thickness	100 meters
Upper Layer Resistivity	50 ohm-m
Lower Layer Resistivity	50 ohm-m
Safety Model	IEEE Std. 80-2000
Body Weight	50 kg
Surface Layer Thickness	0 meters
Surface Layer Resistivity	0 ohm-m
Shock Duration	0.5 secs

#### Output Results

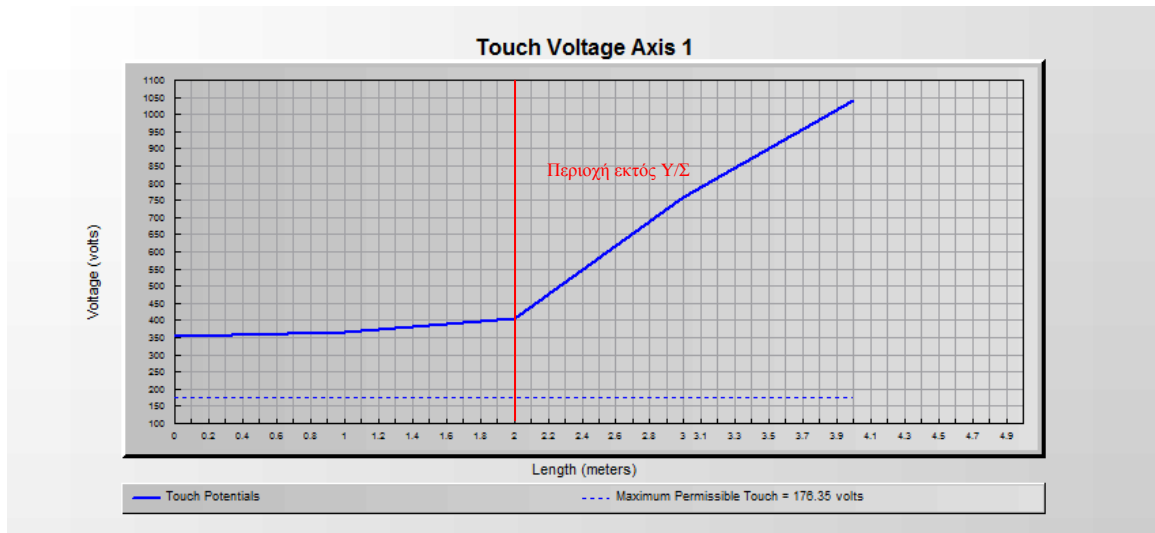
Reduction Factor Cs	1
Maximum Permissible Touch	176.35 volts
Maximum Permissible Step	213.26 volts

#### Grid Analysis

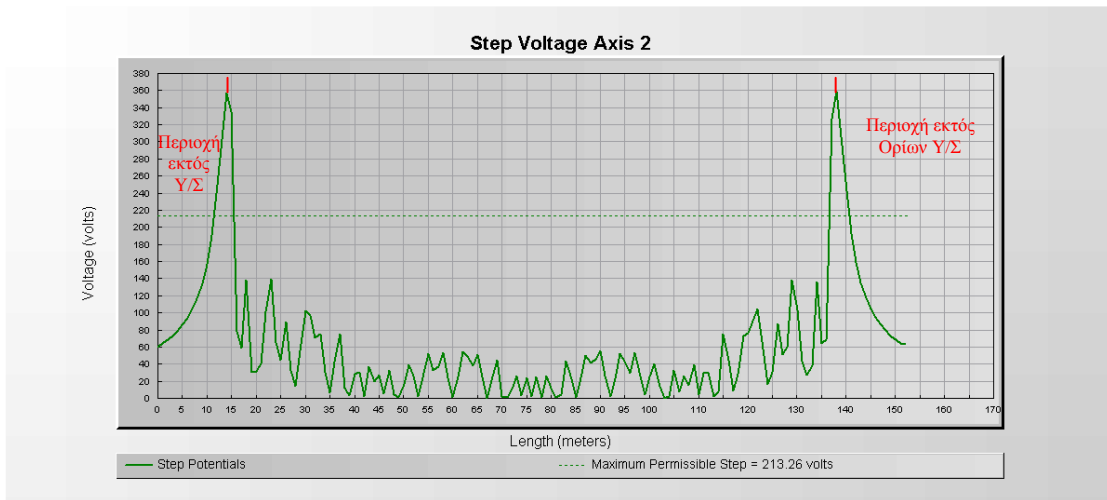
Equivalent Parallel Z Spec.	Infinite Z
Nominal Frequency	50 Hz
Bus ID	1
LG Fault Current	24000 amps
Remote Contribution	100 %
Upper Layer Thickness	100 meters
Upper Layer Resistivity	50 ohm-m
Lower Layer Resistivity	50 ohm-m
Output Results	
Ground Potential Rise	6171.32 volts
Calculated Ground Resistance	0.257145 ohms
Equivalent Impedance	0.257138 ohms
Total Length Of Primary Conductors	3175 meters
Total Number Of Elements	555



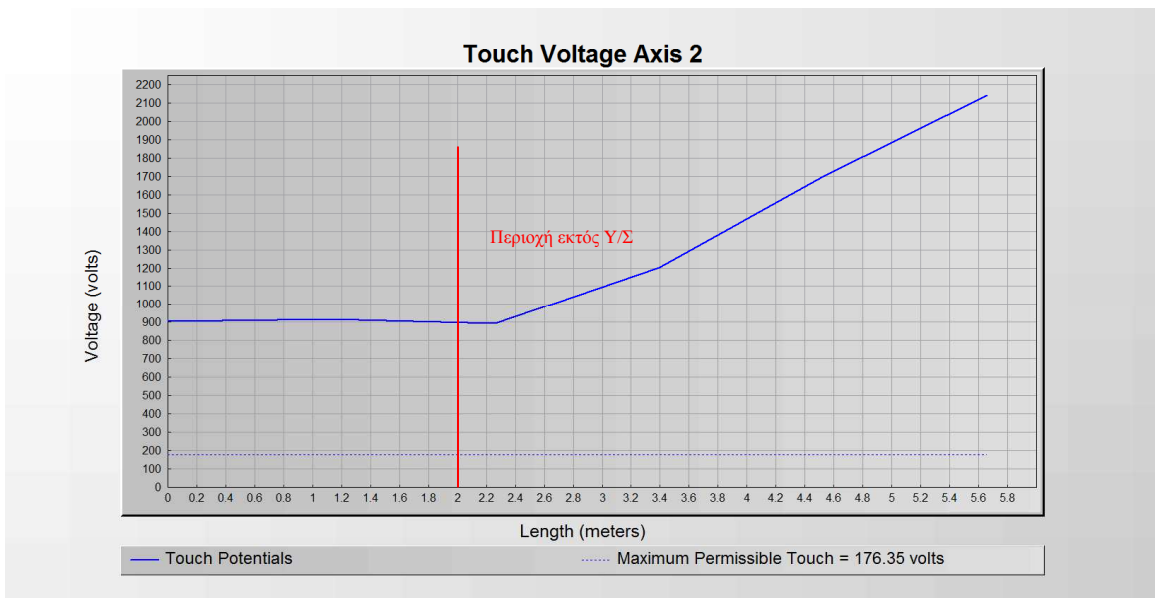
Διάγραμμα 4.1 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 1



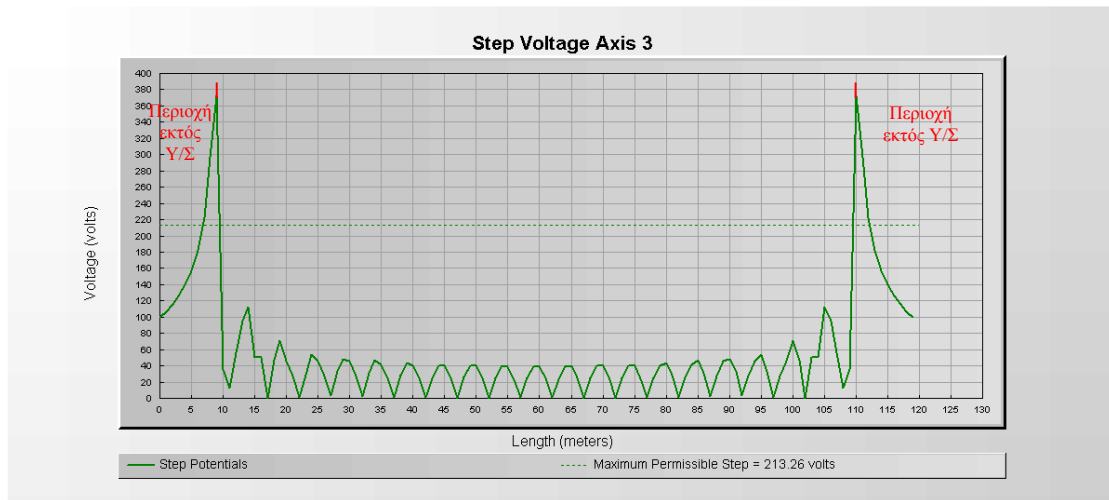
Διάγραμμα 4.2 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 1



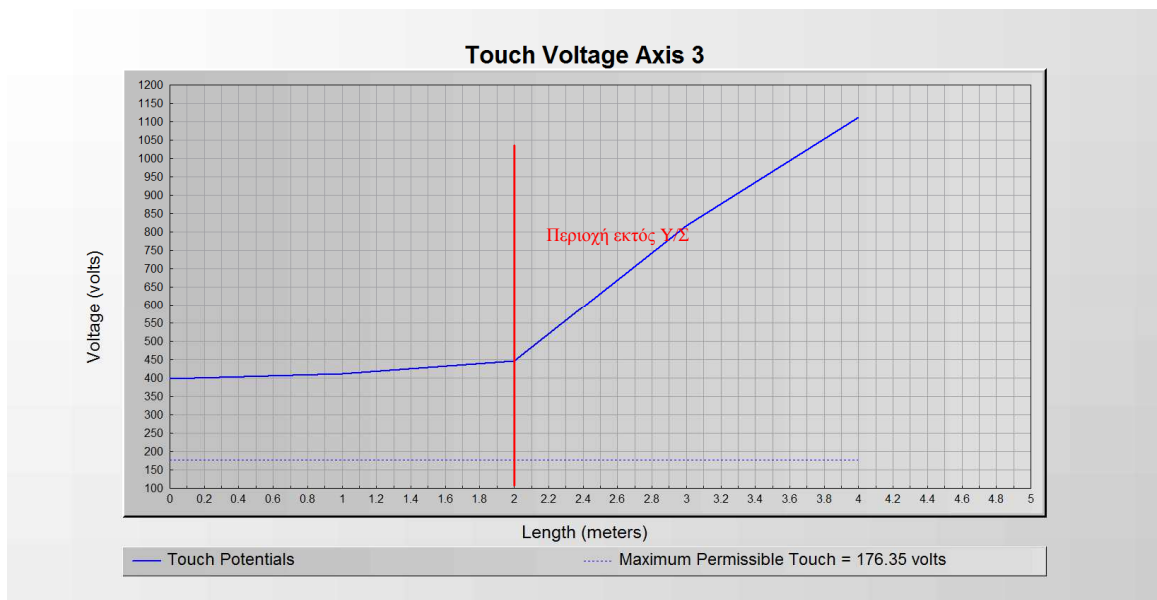
Διάγραμμα 4.3 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 2



Διάγραμμα 4.4 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 2

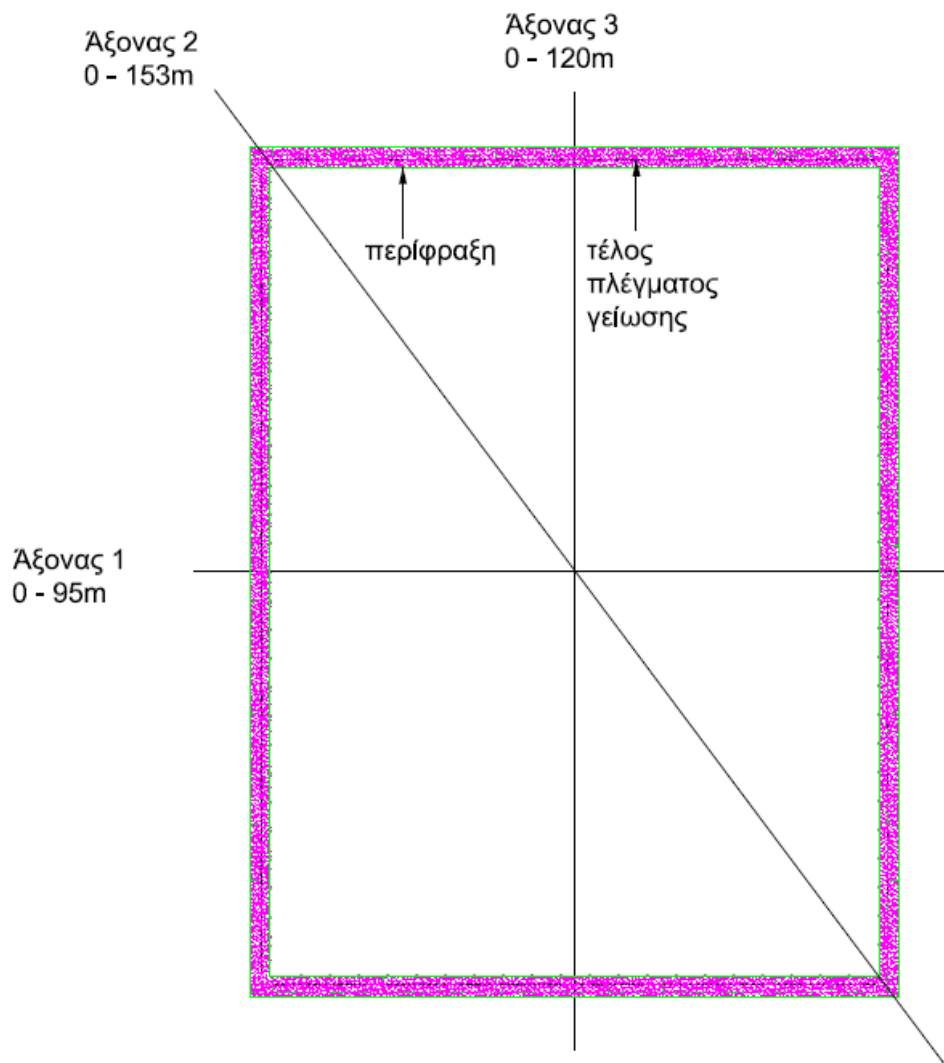


Διάγραμμα 4.5 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 3



Διάγραμμα 4.6 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 3

Λόγω της συμμετρίας του σχήματος του γηπέδου του Υ/Σ δε θα πάρω άλλους άξονες. Όπως μπορούμε να διακρίνουμε από τα παραπάνω διαγράμματα 4.1, 4.3 και 4.5, υπάρχει πρόβλημα από την ανάπτυξη βηματικών τάσεων μεγαλύτερων των επιτρεπτών ορίων στην περίφραξη (βλέπε έγχρωμη περιοχή σχήμα 4.6) ενώ τα διαγράμματα 4.2, 4.4 και 4.6 των τάσεων επαφής μας δείχνουν ότι είμαστε εκτός επιτρεπτών ορίων εντός και εκτός του Υ/Σ.

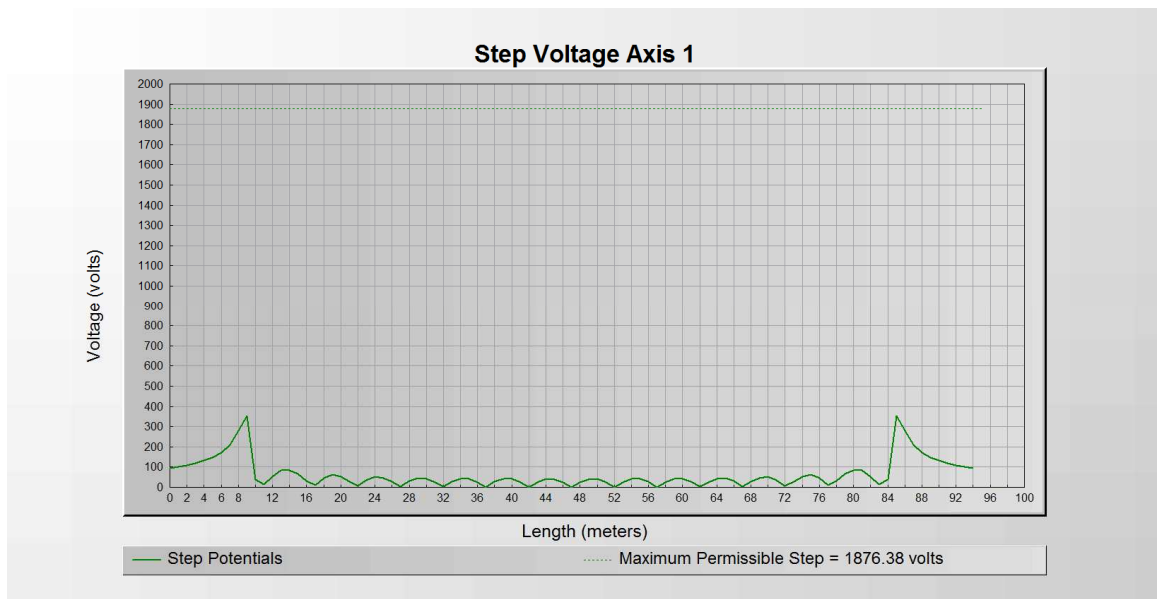


Σχήμα 4.6 – Περιοχή Βηματικών Τάσεων εκτός ορίων για άνθρωπο 50 κιλών

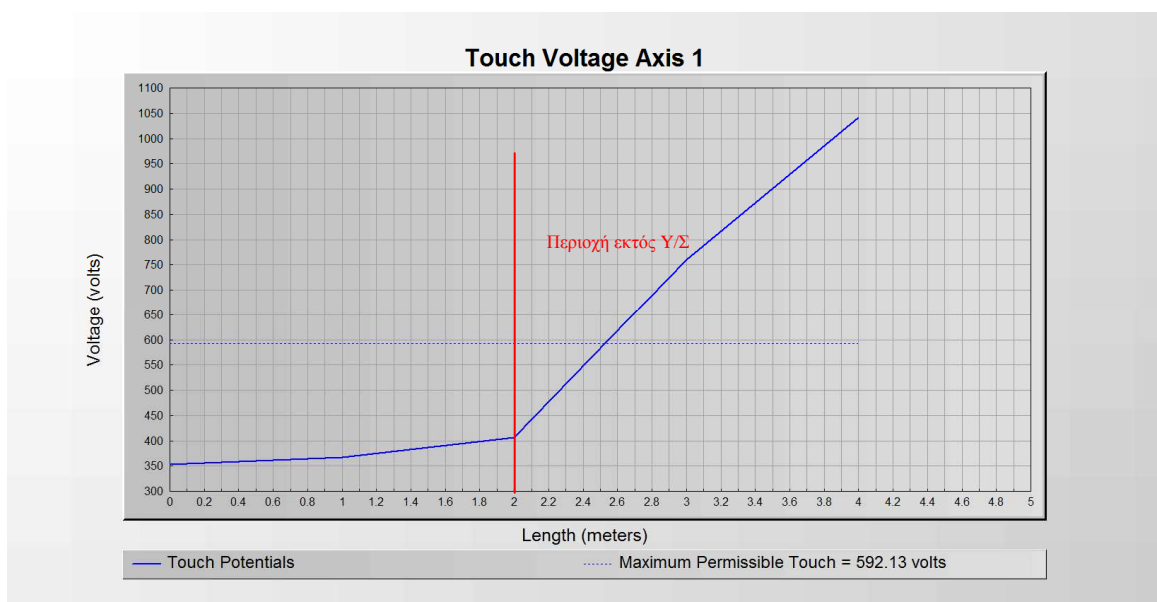
Για λόγους ασφαλείας θα πρέπει να συμπεριλάβουμε στον Υποσταθμό βελτιωτικό υλικό χαλίκι ή άσφαλτο στα τμήματα όπου υπάρχει υπέβαση των ορίων των βηματικών τάσεων.



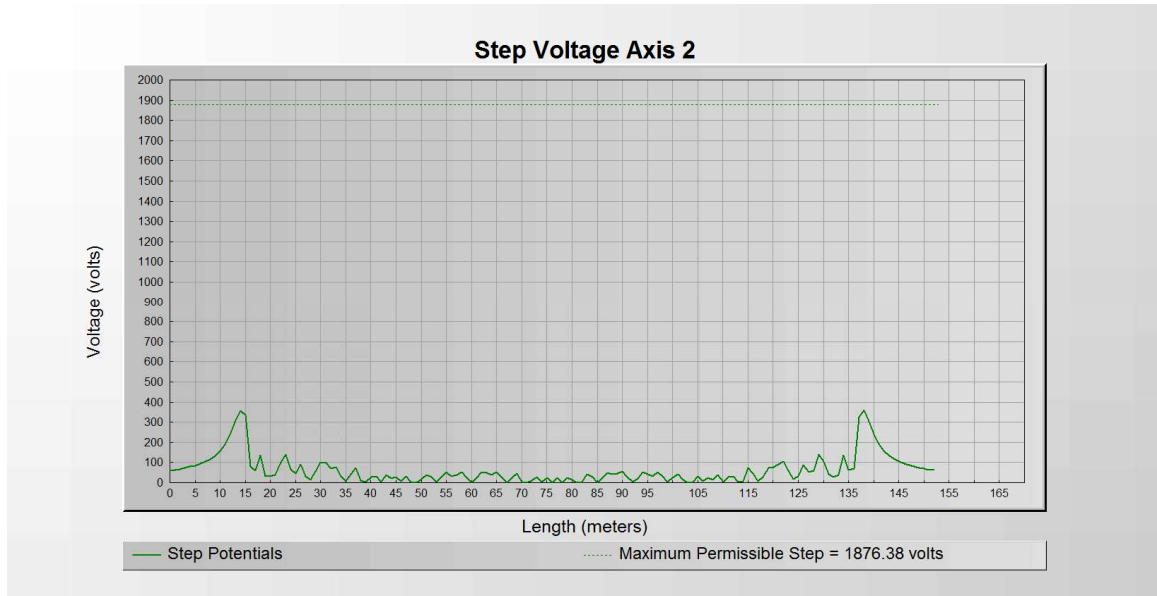
Προσθέτω υλικό πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 2.500 Ωm (χαλίκι) και τα αντίστοιχα διαγράμματα από το CYMGrd είναι:



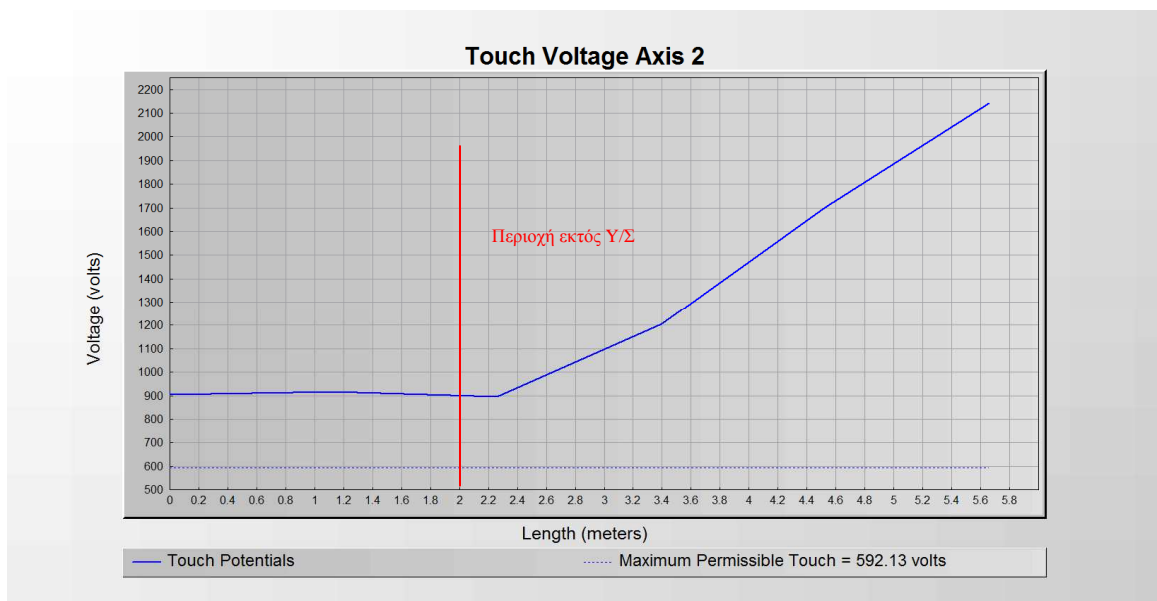
Διάγραμμα 4.7 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 1 (με χαλίκι)



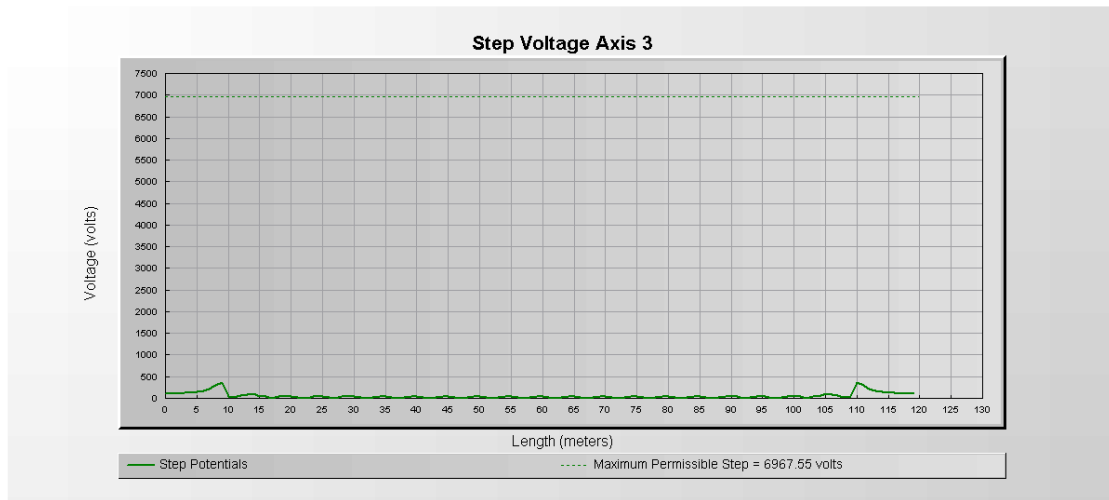
Διάγραμμα 4.8 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 1 (με χαλίκι)



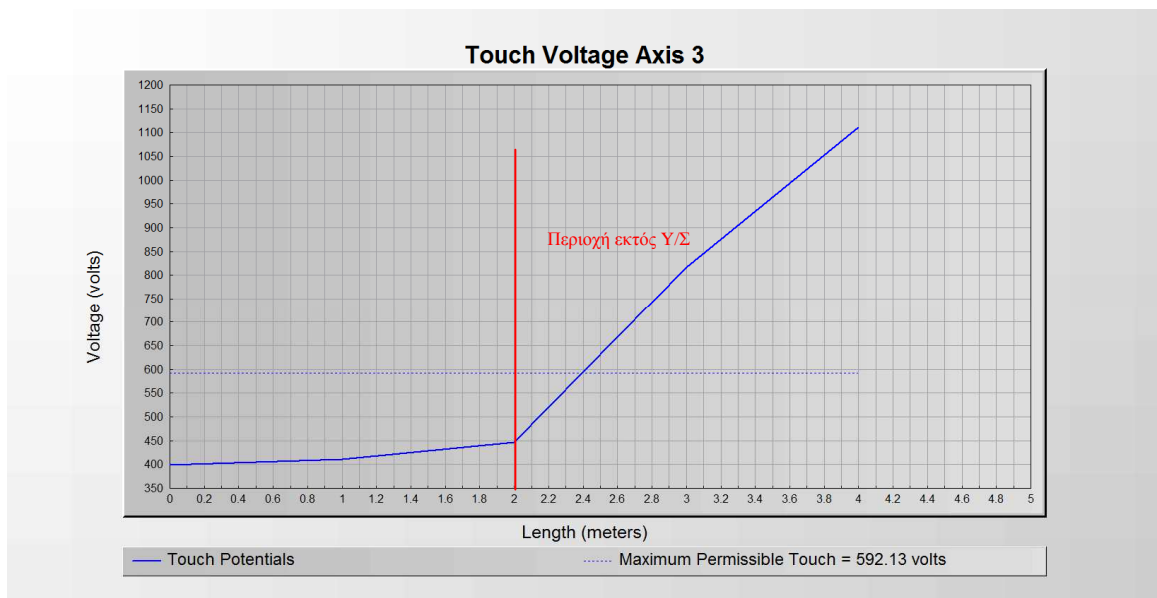
Διάγραμμα 4.9 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 2 (με χαλίκι)



Διάγραμμα 4.10 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 2 (με χαλίκι)



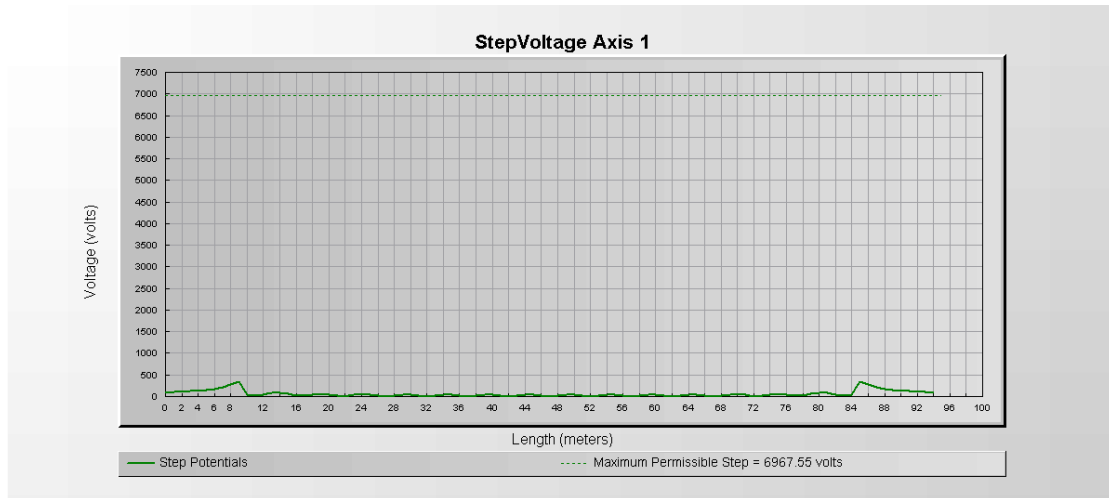
Διάγραμμα 4.11 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 3 (με χαλίκι)



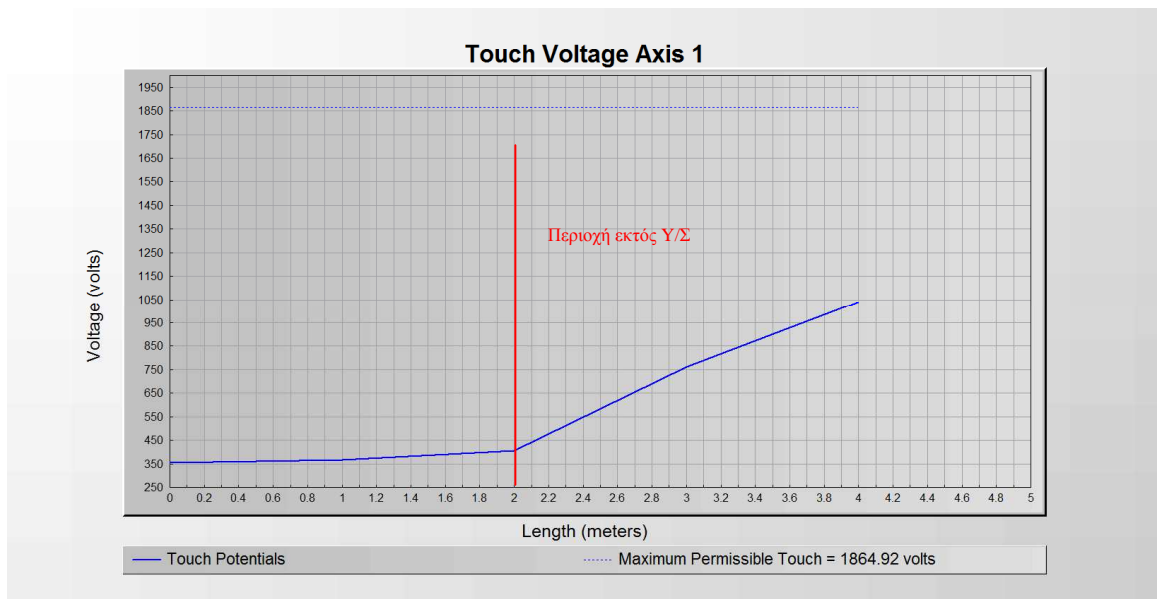
Διάγραμμα 4.12 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 3 (με χαλίκι)

Σύμφωνα με τα παραπάνω Διαγράμματα 4.7, 4.9 και 4.11 οι βηματικές τάσεις είναι εντός ορίων ενώ από τα Διαγράμματα 4.8, 4.10 και 4.12 υπάρχουν επικίνδυνες τάσεις επαφής κοντά στην περίφραξη.

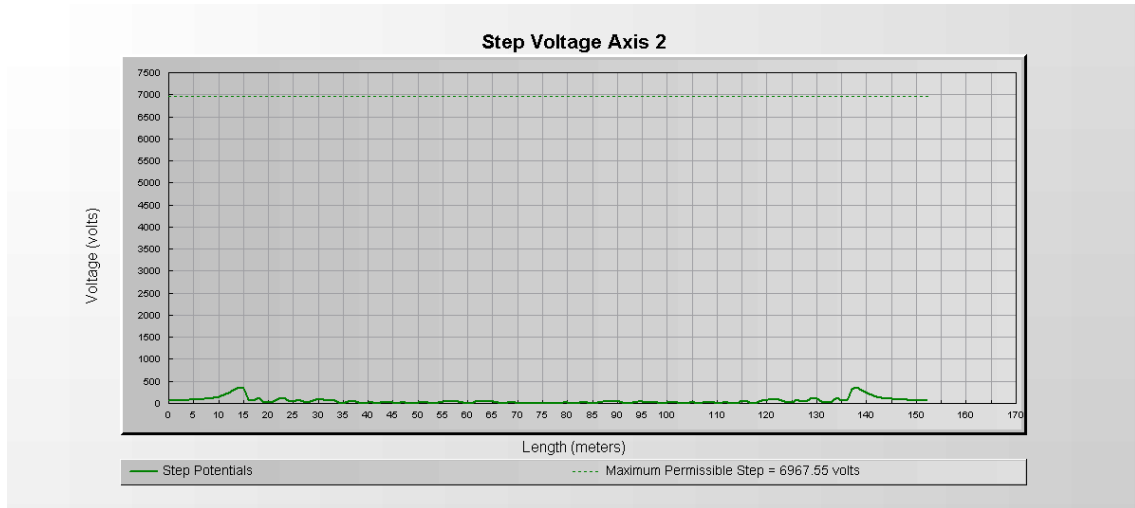
Προσθέτω υλικό πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 10.000 Ωm (άσφαλτος) και τα αντίστοιχα διαγράμματα από το CYMGrd είναι:



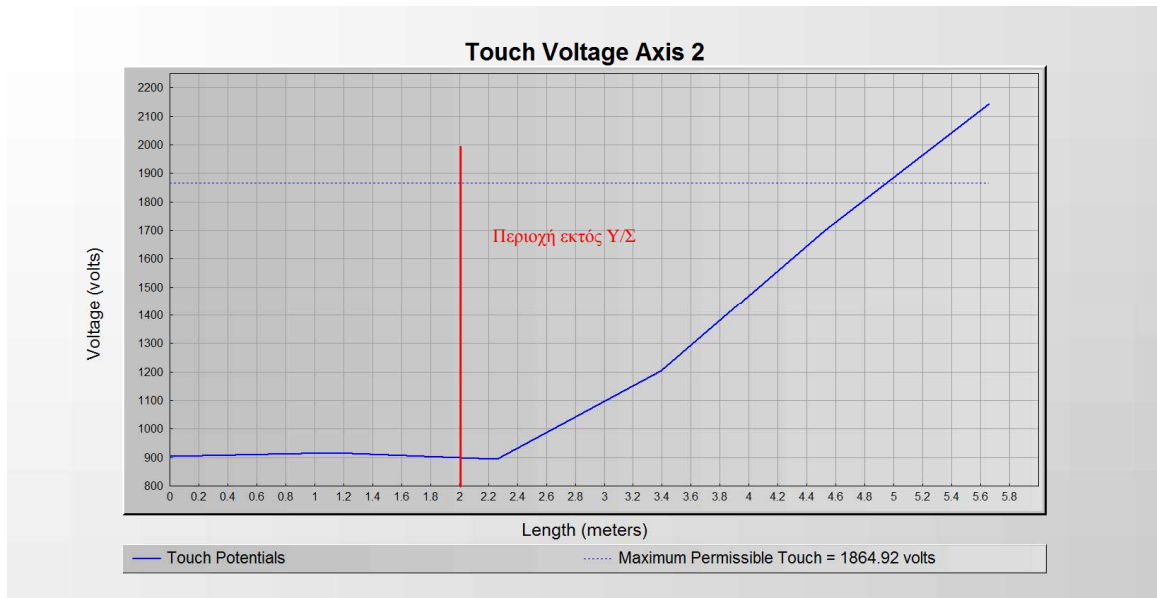
Διάγραμμα 4.13 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 1 (με άσφαλτο)



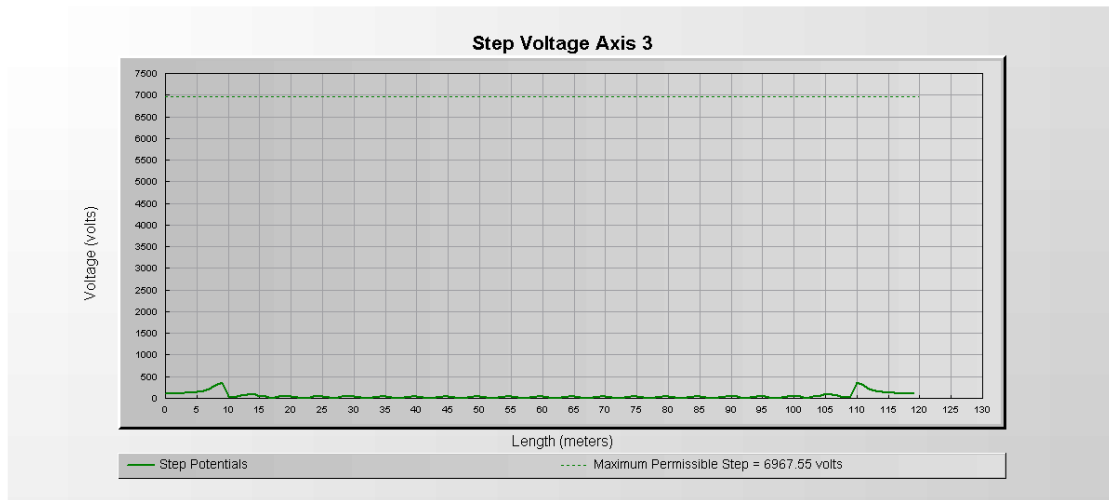
Διάγραμμα 4.14 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 1 (με άσφαλτο)



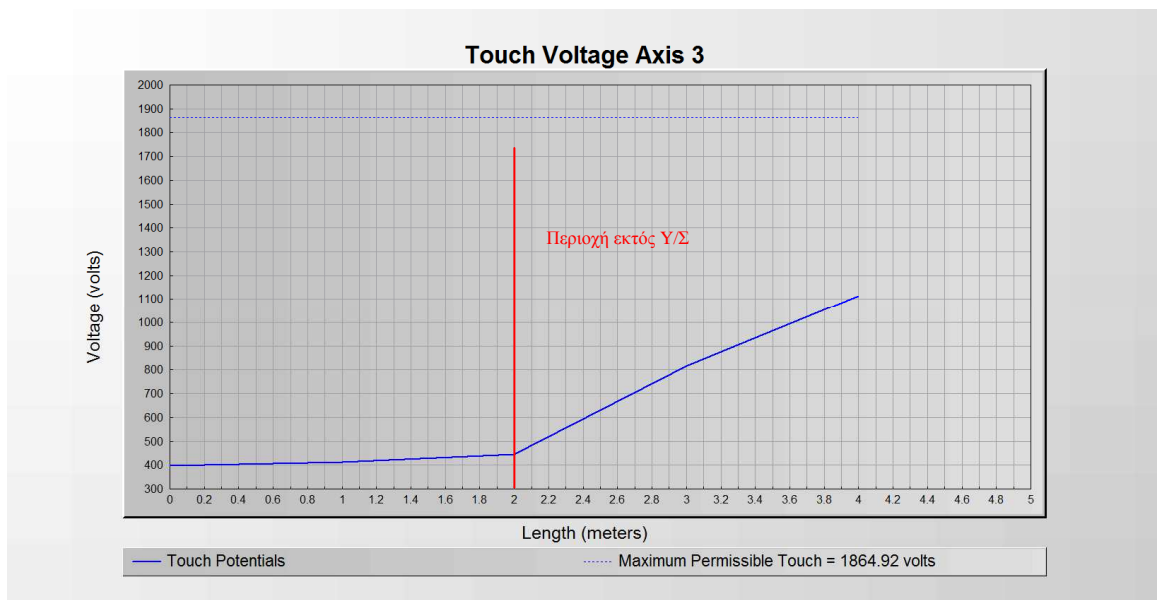
Διάγραμμα 4.15 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 2 (με άσφαλτο)



Διάγραμμα 4.16 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 2 (με άσφαλτο)



Διάγραμμα 4.17 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 3 (με άσφαλτο)



Διάγραμμα 4.18 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 3 (με άσφαλτο)

Βάσει των παραπάνω διαγραμμάτων, τοποθετώντας άσφαλτο στον παραπάνω Υ/Σ συμπεραίνουμε ότι είμαστε εντός ορίων των βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής για τυχόν βραχυκύκλωμα.

**Πίνακας 4.2 – Όρια Βηματικών τάσεων και τάσεων Επαφής 50 Ωm, 70 kgr, 0,5 sec**

Στοιχεία μελέτης	Όρια για 50 Ωm, 70 kgr, 0,5 sec	
	Βηματική Τάση (Volt)	Τάση Επαφής (Volt)
A. Χωρίς υλικό επιφανείας	288,64	238,68
B. Με υλικό επιφανείας πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 2.500 Ωm (χαλίκι)	2539,58	801,42
Γ. Με υλικό επιφανείας πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 10.000 Ωm (άσφαλτος)	9430,21	2524,28

Με αντίστοιχα δεδομένα και διαγράμματα από το CYMGrd για την περίπτωση του Πίνακα 4.2

#### Soil Analysis

Soil Model	User Defined
Upper Layer Thickness	100 meters
Upper Layer Resistivity	50 ohm-m
Lower Layer Resistivity	50 ohm-m
Safety Model	IEEE Std. 80-2000
Body Weight	70 kg
Surface Layer Thickness	0 meters
Surface Layer Resistivity	0 ohm-m
Shock Duration	0.5 secs

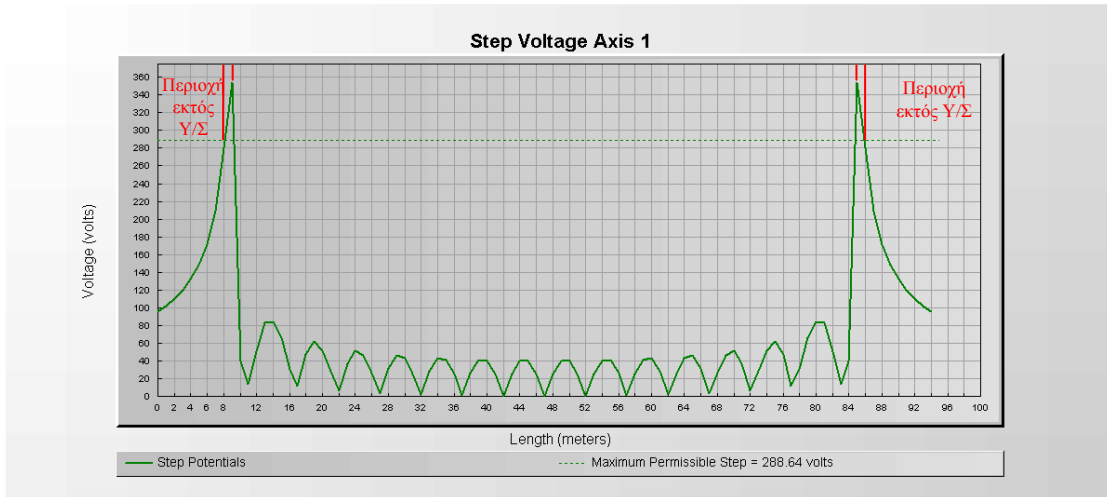
#### Output Results

Reduction Factor Cs	1
Maximum Permissible Touch	238.68 volts
Maximum Permissible Step	288.64 volts

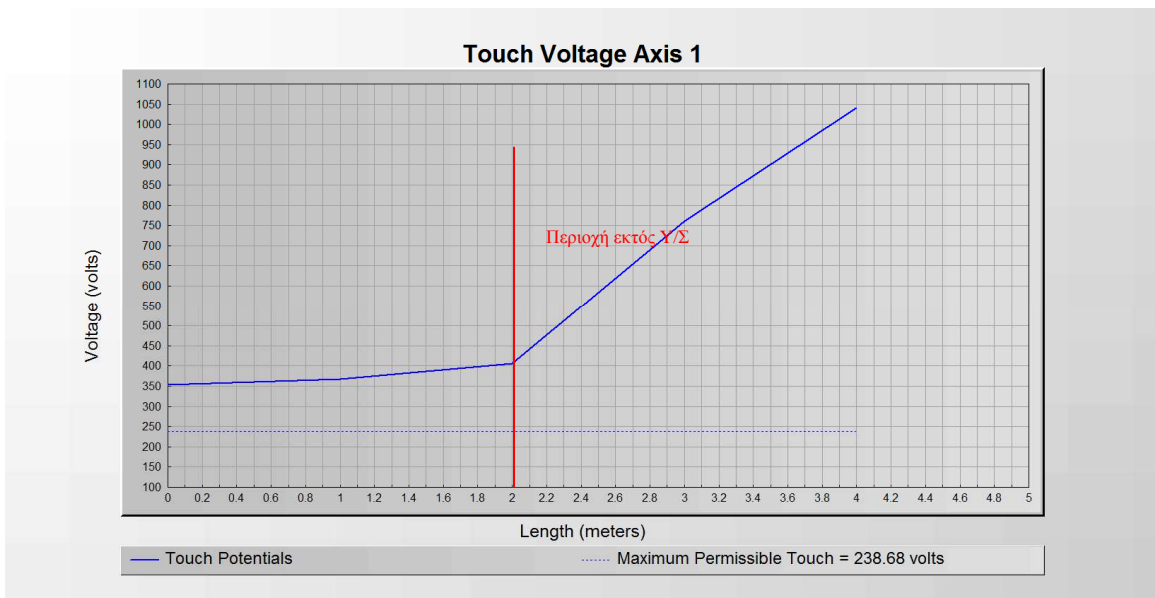
#### Grid Analysis

Equivalent Parallel Z Spec.	Infinite Z
Nominal Frequency	50 Hz
Bus ID	1
LG Fault Current	24000 amps
Remote Contribution	100 %
Upper Layer Thickness	100 meters
Upper Layer Resistivity	50 ohm-m
Lower Layer Resistivity	50 ohm-m
Output Results	
Ground Potential Rise	6171.32 volts
Calculated Ground Resistance	0.257145 ohms
Equivalent Impedance	0.257138 ohms

Total Length Of Primary Conductors	3175 meters
Total Number Of Elements	555

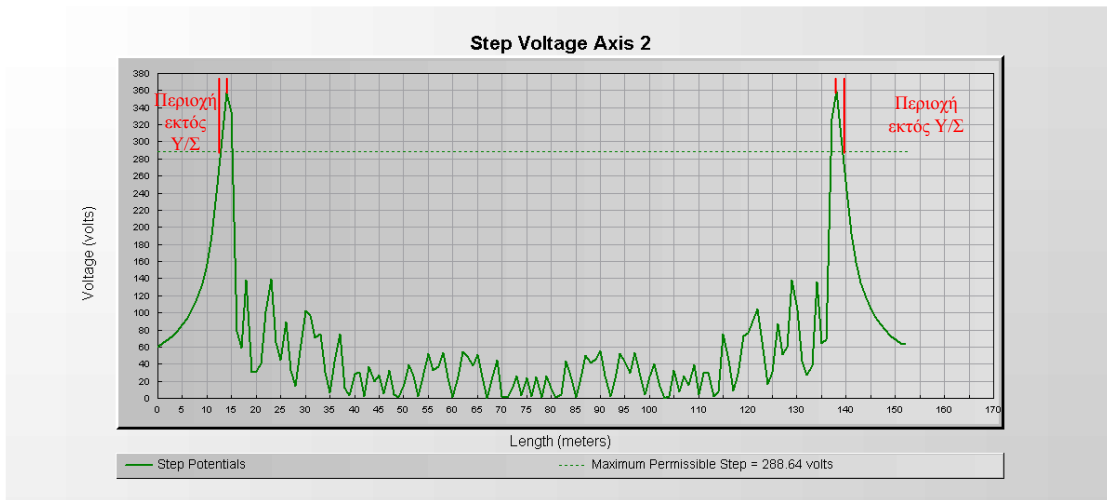


Διάγραμμα 4.19– Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 1

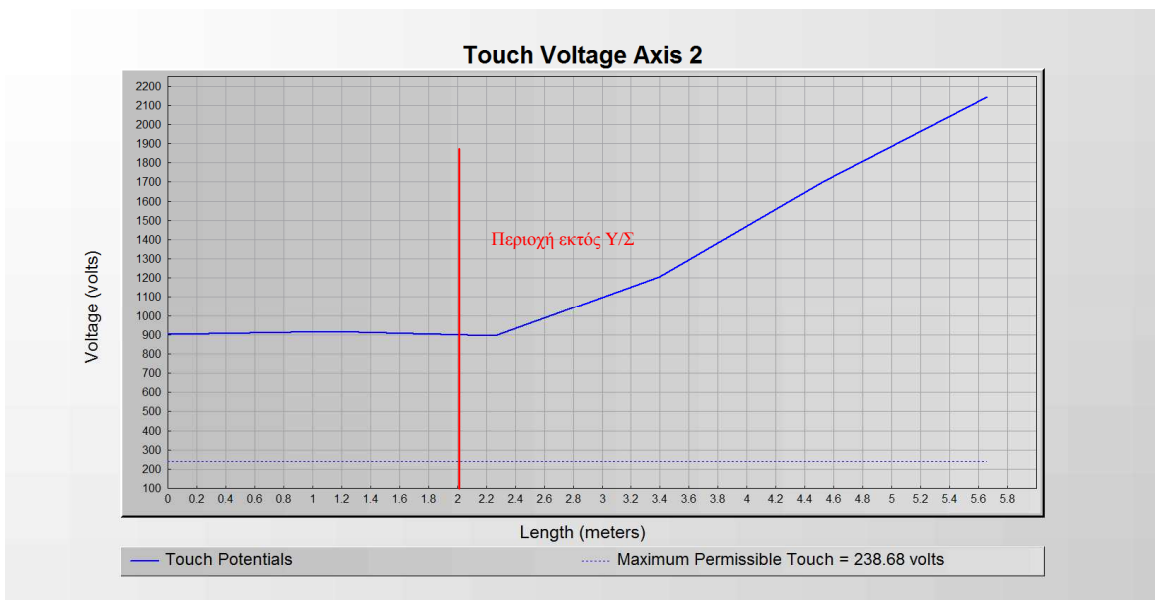


Διάγραμμα 4.20 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 1

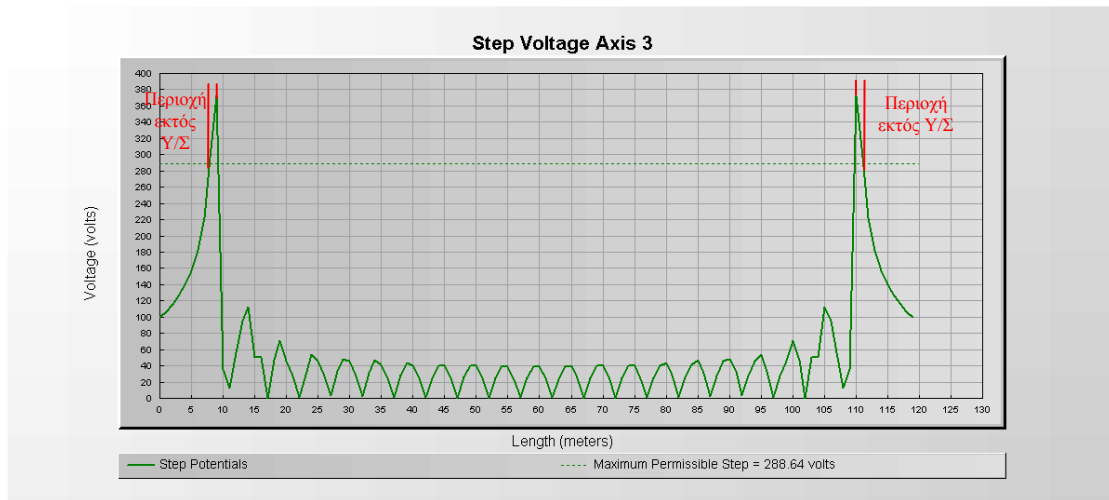




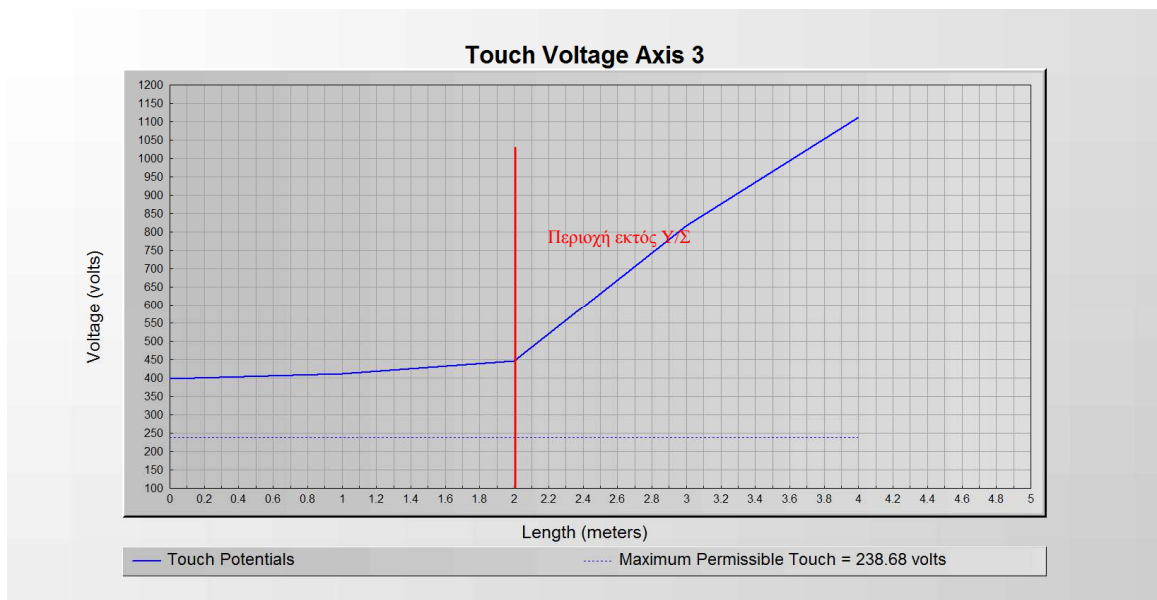
Διάγραμμα 4.21 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 2



Διάγραμμα 4.22 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 2

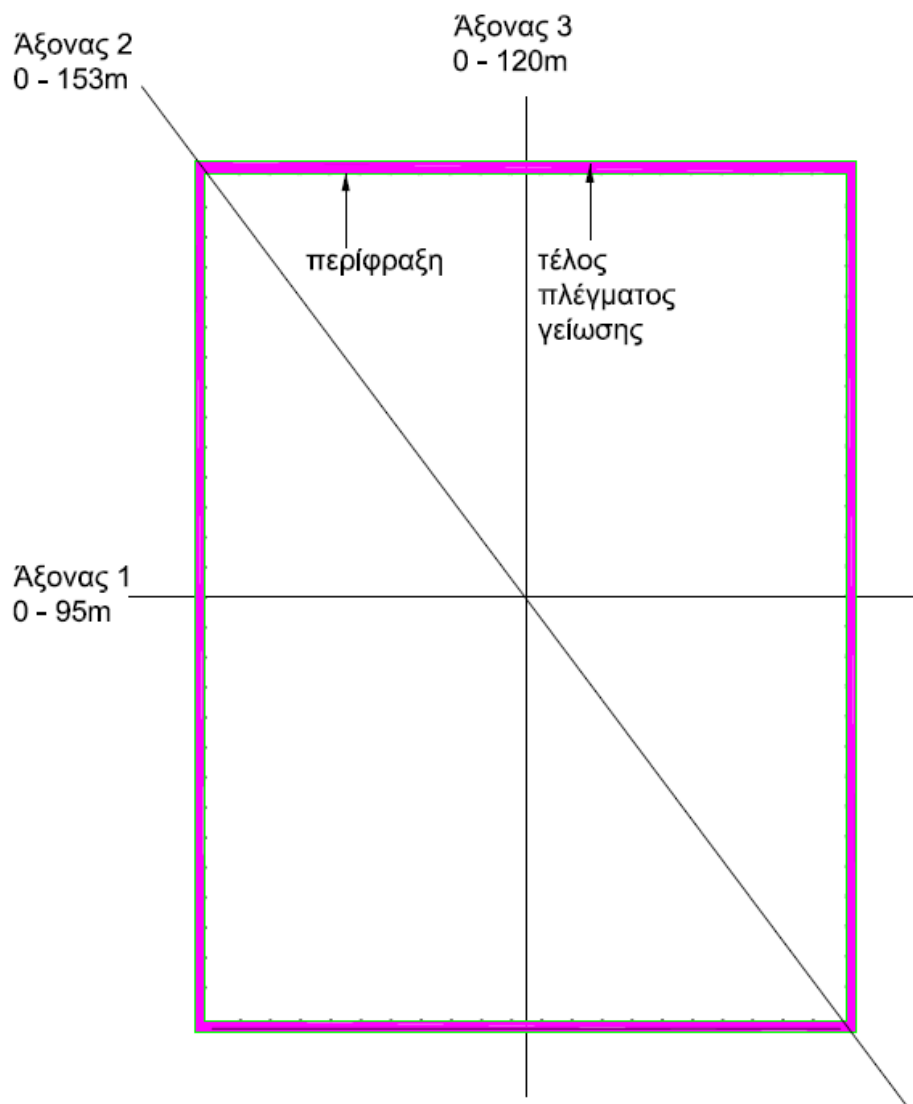


Διάγραμμα 4.23 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 3



Διάγραμμα 4.24 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 3

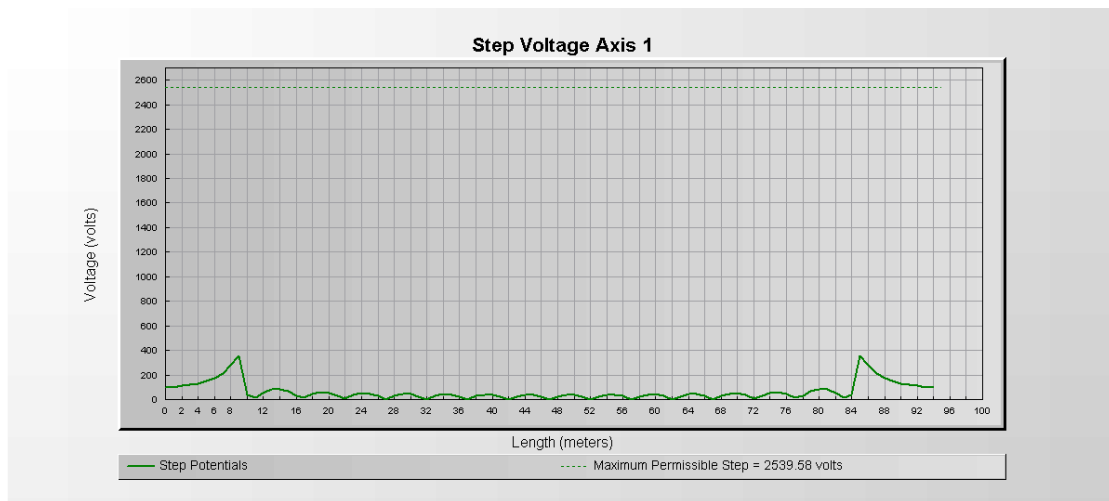
Όπως μπορούμε να διακρίνουμε από τα παραπάνω διαγράμματα 4.19, 4.21 και 4.23, υπάρχει πρόβλημα από την ανάπτυξη βηματικών τάσεων μεγαλύτερων των επιτρεπτών ορίων στην περίφραξη (βλέπε έγχρωμη περιοχή σχήμα 4.7) ενώ τα διαγράμματα 4.20, 4.22 και 4.24 των τάσεων επαφής μας δείχνουν ότι είμαστε εκτός επιτρεπτών ορίων εντός και εκτός του Υ/Σ.



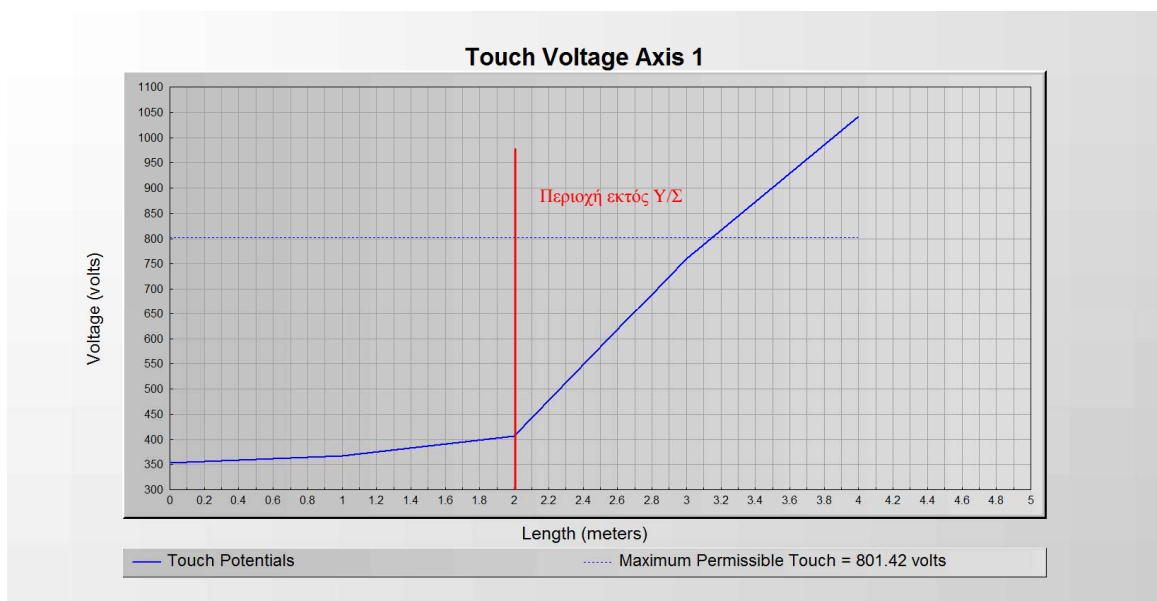
Σχήμα 4.7 – Περιοχή Βηματικών Τάσεων εκτός ορίων για άνθρωπο 70 κιλών

Από το παραπάνω σχήμα, συμπεραίνουμε ότι πρέπει να μπει βελτιωτικό υλικό και να συμπεριλάβουμε τις περιοχές που βρίσκονται εκτός ορίων στο σύστημα γείωσης του Υποσταθμού.

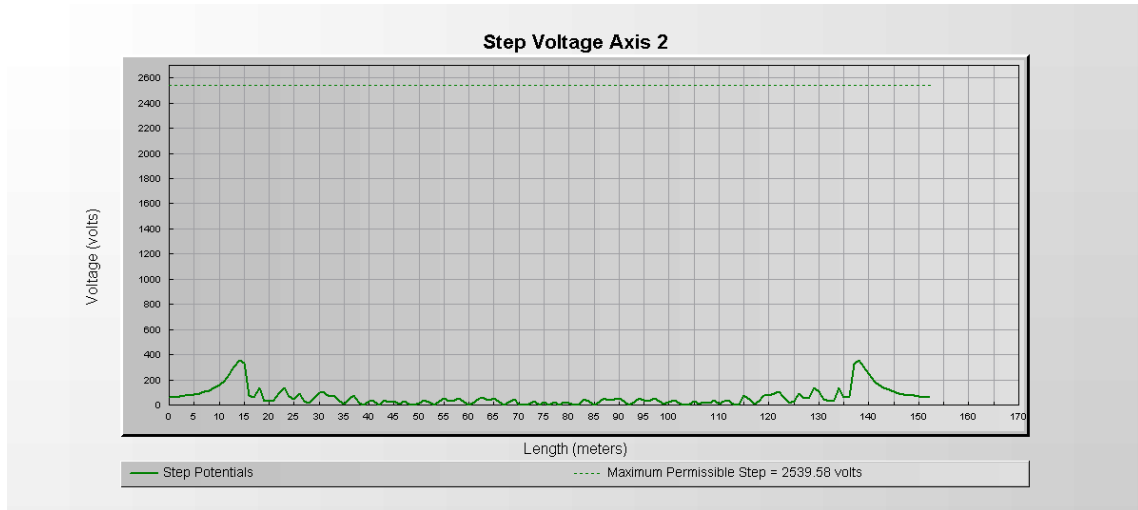
Προσθέτω υλικό πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 2.500 Ωm (χαλίκι) και τα αντίστοιχα διαγράμματα από το CYMGrd είναι:



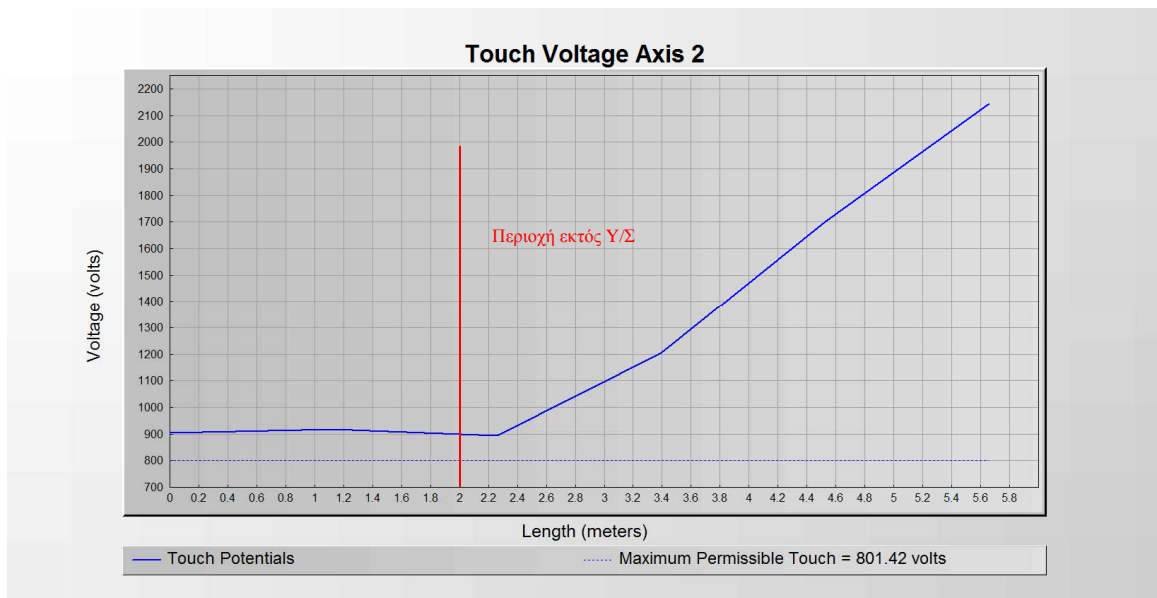
Διάγραμμα 4.25 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 1 (με χαλίκι)



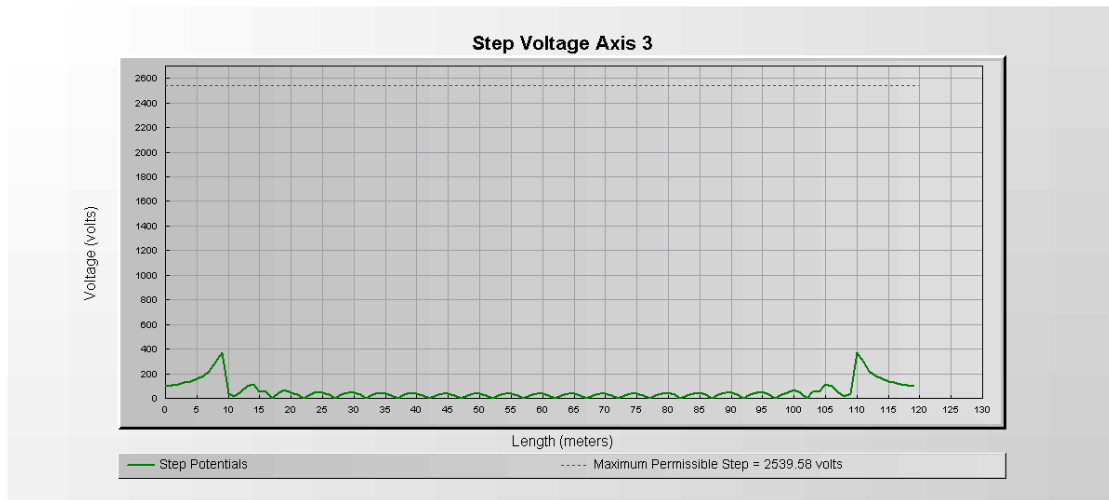
Διάγραμμα 4.26 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 1 (με χαλίκι)



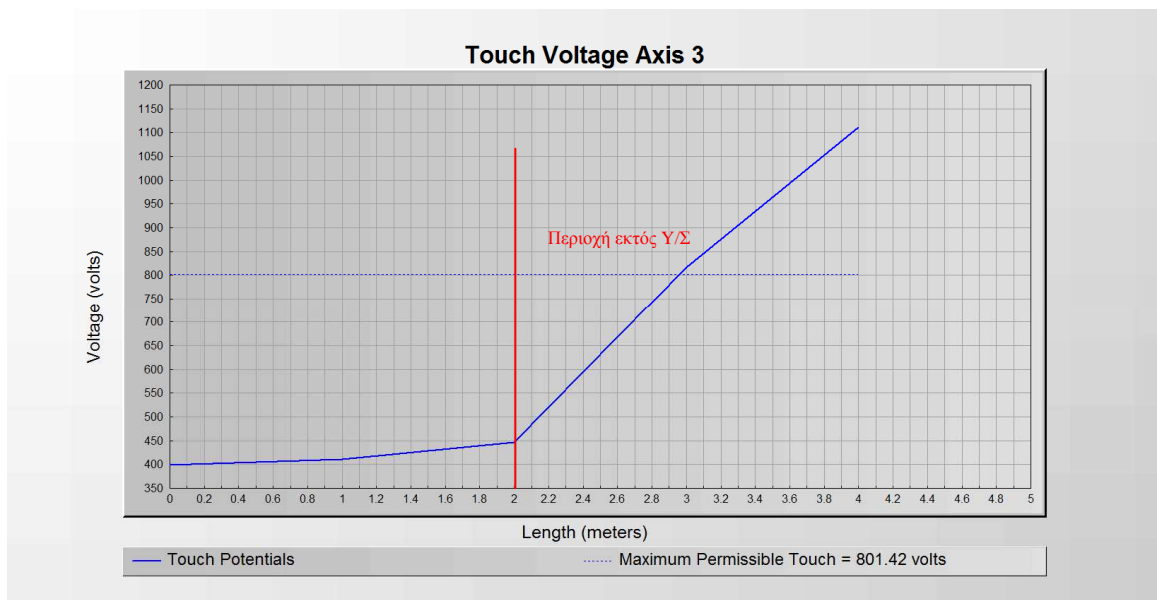
Διάγραμμα 4.27 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 2 (με χαλίκι)



Διάγραμμα 4.28 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 2 (με χαλίκι)



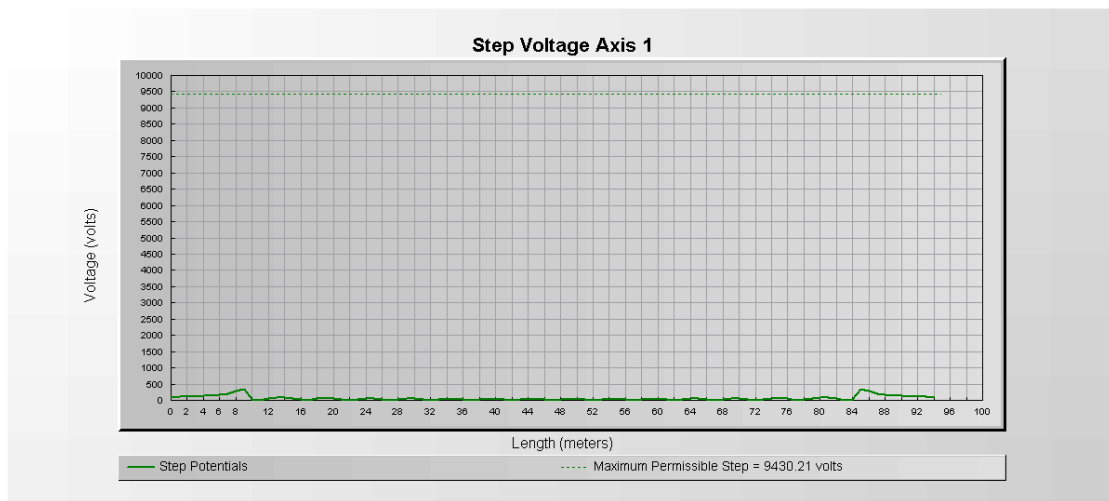
Διάγραμμα 4.29 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 3 (με χαλίκι)



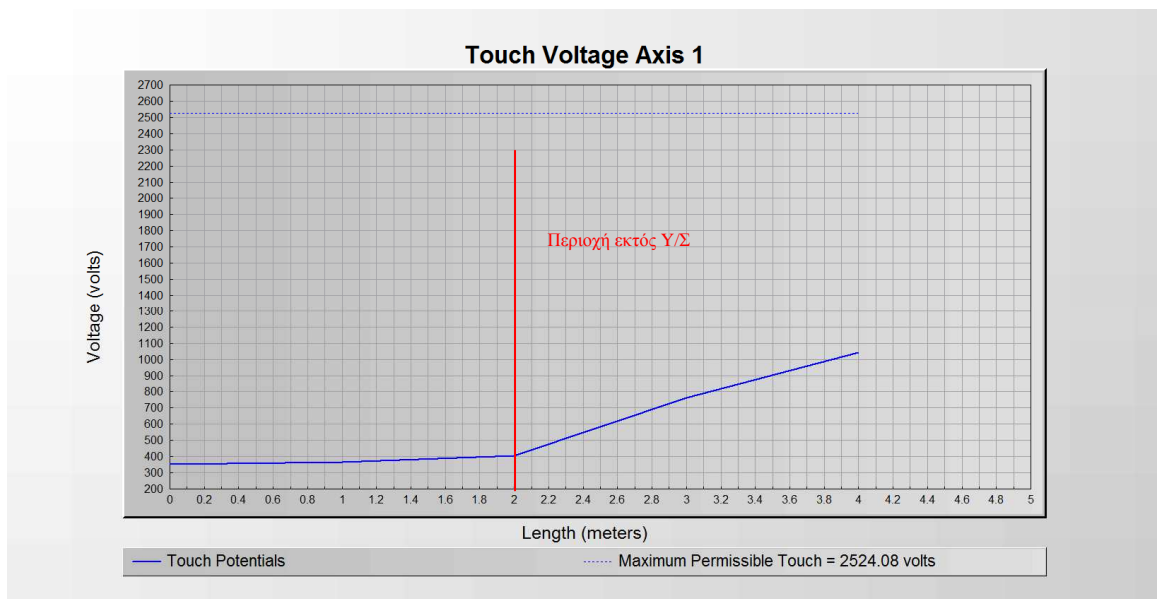
Διάγραμμα 4.30 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 3 (με χαλίκι)

Σύμφωνα με τα παραπάνω Διαγράμματα 4.25, 4.27 και 4.29 οι βηματικές τάσεις είναι εντός των προβλεπόμενων ορίων ενώ από τα Διαγράμματα 4.26 και 4.30 οι τάσεις επαφής είναι εκτός ορίων σε απόσταση ενός (1) μέτρου εκτός της περιφραξης. Το Διάγραμμα 4.28 μας δείχνει ότι είμαστε εκτός ορίων λόγω γωνίας της περιφραξης.

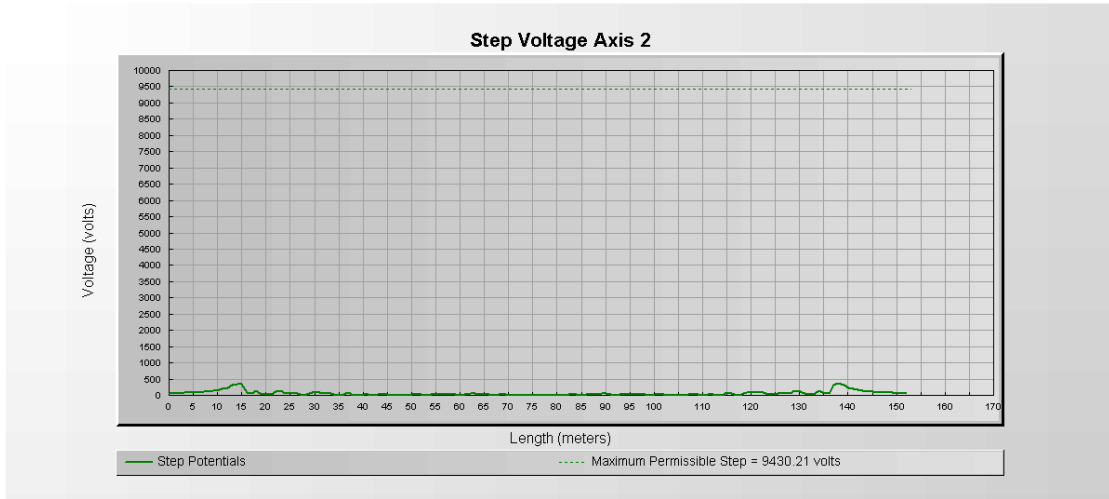
Προσθέτω υλικό πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 10.000 Ωm (άσφαλτος) και τα αντίστοιχα διαγράμματα από το CYMGrd είναι:



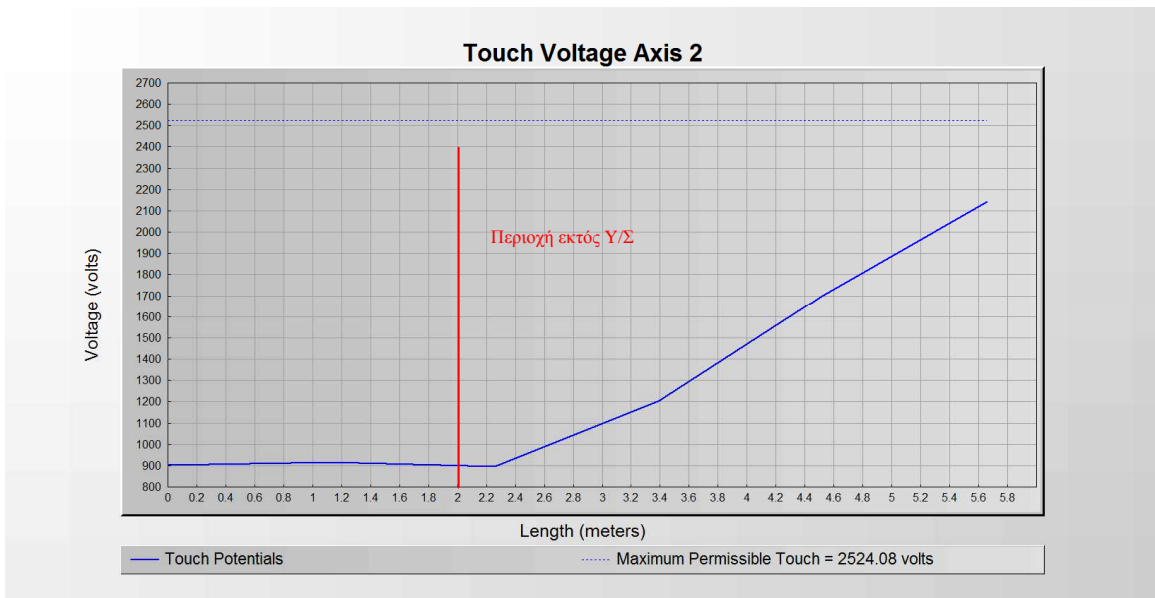
Διάγραμμα 4.31 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 1 (με άσφαλτο)



Διάγραμμα 4.32 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 1 (με άσφαλτο)

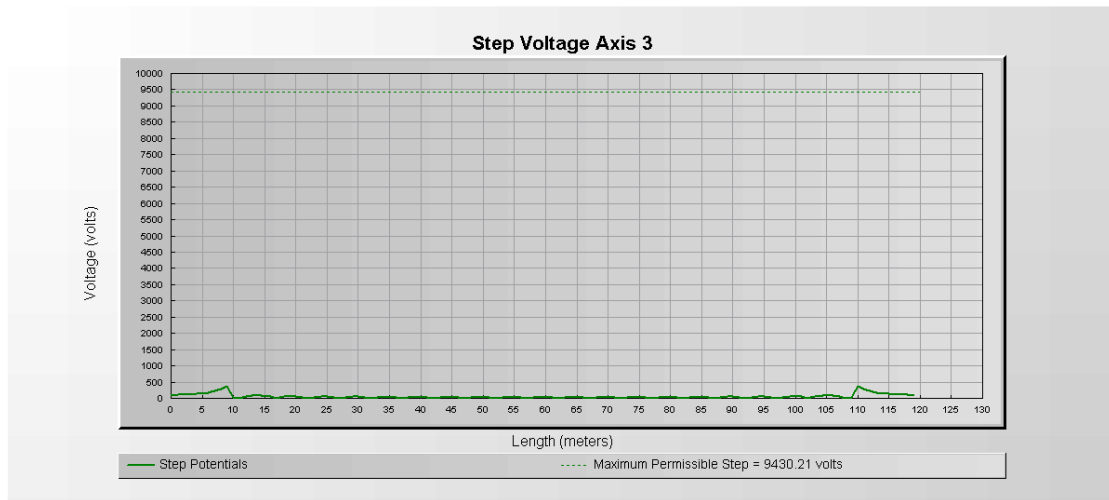


Διάγραμμα 4.33 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 2 (με άσφαλτο)

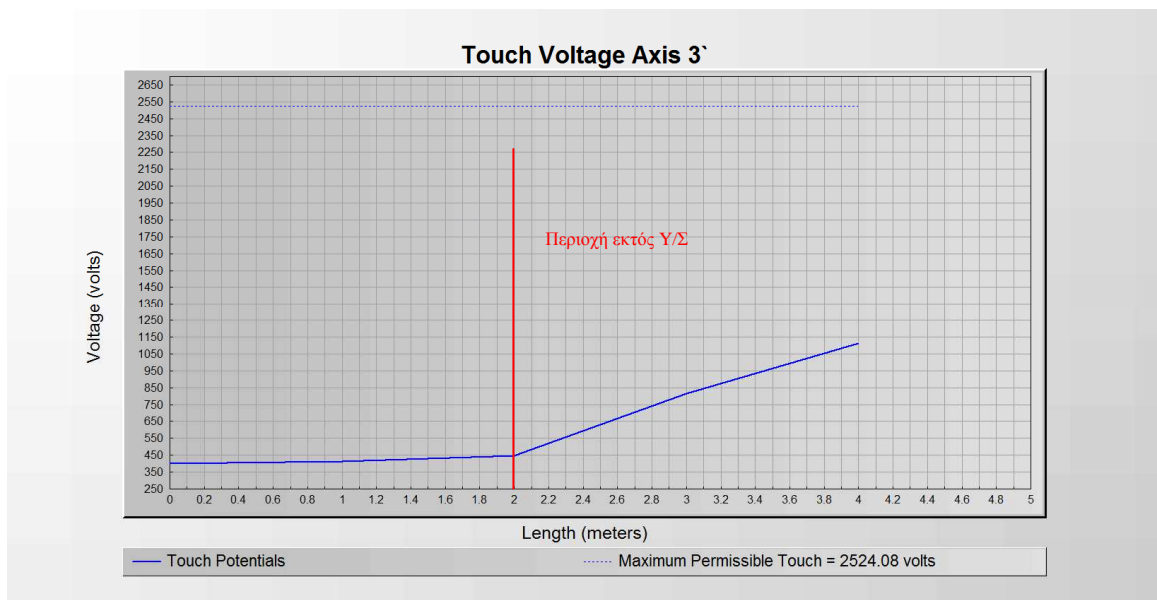


Διάγραμμα 4.34 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 2 (με άσφαλτο)





Διάγραμμα 4.35 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 3 (με άσφαλτο)



Διάγραμμα 4.36 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 3 (με άσφαλτο)

Από τα διαγράμματα συμπεραίνουμε ότι ο Υ/Σ μπορεί να γειωθεί με ασφάλεια και είναι εντός των προδιαγραφών [13], [15].

## **Συμπεράσματα**

### Περίπτωση 1. 50 Kgr, 0,5 sec

Χωρίς υλικό επιφανείας δεν εμφανίζεται πρόβλημα βηματικών τάσεων εντός του χώρου του Υ/Σ παρά μόνο πλησίον της περιφραξης και εκτός του Υ/Σ όπως φαίνεται από τα Διαγράμματα 4.1, 4.3 και 4.5. Από τα Διαγράμματα 4.2, 4.4 και 4.6 προκύπτουν επικίνδυνες τάσεις επαφής εκτός των επιτρεπτών ορίων παντού στο χώρο.

Τοποθετώντας υλικό επιφανείας πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 2.500 Ωm (χαλίκι) οι βηματικές τάσεις είναι εντός ορίων στους τρεις άξονες αλλά δεν εξαλείφονται οι τάσεις επαφής ιδιαίτερα στις γωνίες του Υ/Σ, Διαγράμματα 4.8, 4.10 και 4.12.

Τοποθετώντας υλικό επιφανείας πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 10.000 Ωm (άσφαλτος) είμαστε εντός ορίων των βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής για τυχόν βραχυκύκλωμα βάσει των προδιαγραφών.

### Περίπτωση 2. 70 Kgr, 0,5 sec

Όπως διαπιστώνουμε, στην περίπτωση που αυξάνω το βάρος του ανθρώπου από τα 50 Kgr σε 70 Kgr, όπως αυτό απαιτείται στο [13], προκύπτει αύξηση των ορίων των επιτρεπόμενων βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής.

Χωρίς υλικό επιφανείας δεν εμφανίζεται πρόβλημα βηματικών τάσεων εντός του χώρου του Υ/Σ παρά μόνο πλησίον της περιφραξης και εκτός του Υ/Σ όπως φαίνεται από τα Διαγράμματα 4.19, 4.21 και 4.23. Από τα Διαγράμματα 4.20, 4.22 και 4.24 προκύπτουν επικίνδυνες τάσεις επαφής εκτός των επιτρεπτών ορίων παντού στο χώρο.

Τοποθετώντας υλικό επιφανείας πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 2.500 Ωm (χαλίκι) οι βηματικές τάσεις είναι εντός ορίων και στους τρεις άξονες αλλά παρέμεινε το πρόβλημα των τάσεων επαφής στις γωνίες του Υ/Σ, Διάγραμμα 4.28 και κοντά στην περιφραξη Διαγράμματα 4.26 και 4.30.

Τοποθετώντας υλικό επιφανείας πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 10.000 Ωm (άσφαλτος) είμαστε εντός ορίων των βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής για τυχόν βραχυκύκλωμα βάσει των προδιαγραφών [13], [15].

Σύμφωνα με τα παραπάνω μπορούμε να γειώσουμε με ασφάλεια Υ/Σ μεγέθους 75 X 100 μέτρα με πλέγμα 5 X 5 μέτρα.

Η βέλτιστη τεχνικά και οικονομικότερη μελέτη μας οδηγεί στην επίστρωση με υλικό επιφανείας, πάχους 10 cm και πλάτους 2,5 m, ειδικής αντίστασης 2.500 Ωm (χαλίκι) εντός και εκτός της περιφραξης όπου αναπτύσσονται επικίνδυνες βηματικές τάσεις και τάσεις επαφής. Αν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων προκύψουν επικίνδυνες τάσεις εκτός των επιτρεπτών ορίων τότε επιστρώνονται με υλικό μεγαλύτερης ειδικής αντίστασης (πχ άσφαλτος).

### 4.3. Μελέτη Πολυστρωματικού μοντέλου εδάφους (5 X 5 πλέγμα)

Παρουσιάζεται μελέτη εφαρμογής σε Υ/Σ 150/20 kV ίδιας τάξης μεγέθους με τον προηγούμενο. Δηλαδή αποτελείται από:

- 2 ΚΨ Εναέριων ΓΜ 150 kV
- 1 Απλό Ζυγό 150 kV
- 1 Μ/Σ Ισχύος 40/50 MVA
- 1 Συγκρότημα Πυκνωτών Αντιστάθμισης 3 x 4 MVAR
- Κτίριο ελέγχου με πύλες ΜΤ 20 kV εσωτερικού τύπου

Ο παραπάνω εξοπλισμός βρίσκεται εντός μεταλλικής περιφραξής σε γήπεδο διαστάσεων 75 x 100 μέτρα.

#### Ειδική αντίσταση εδάφους

Πολυστρωματικό μοντέλο εδάφους, δύο στρωμάτων, με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά

$h = 10$  μέτρα

ειδική αντίσταση εδάφους άνω στρώματος  $\rho_1 = 140 \Omega\text{m}$

ειδική αντίσταση εδάφους κάτω στρώματος  $\rho_2 = 580 \Omega\text{m}$

#### Υπολογισμός αντίστασης γείωσης

Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα CYMGrd 6.3 της εταιρίας CYME [17] και για μοντέλο εδάφους δύο στρωμάτων, όπως παραπάνω, υπολογίστηκε η αντίσταση γείωσης του πλέγματος ίση με 1,79  $\Omega$  ακολουθώντας το πρότυπο [15].

#### Υπολογισμός ρεύματος βραχυκύκλωσης

Προκειμένου να υπολογιστούν οι βηματικές τάσεις και οι τάσεις επαφής είναι απαραίτητο να καθοριστεί η τιμή του ρεύματος προς γη για μονοφασικό σφάλμα που τυχόν θα συμβεί στον Υ/Σ. Το ρεύμα μονοφασικού σφάλματος καθορίστηκε ίσο με 30 kA ενώ ο συντελεστής διαίρεσης ρεύματος σφάλματος ελήφθη ίσος με 0,8.

#### Υπολογισμός ανύψωσης δυναμικού

Η ανύψωση δυναμικού GPR (Ground Potential Rise) του Υ/Σ υπολογίστηκε ίση με 42,95 kV.

Υπολογισμός μέγιστων επιτρεπόμενων ορίων αναπτυσσόμενων τάσεων

Τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια για βηματικές τάσεις και τάσεις επαφής υπολογίστηκαν με βάση το πρότυπο ANSI/IEEE Std 80-2013 για ανθρώπινο σώμα βάρους 50kg και 70kg. Οι υπολογισμοί των επιτρεπόμενων ορίων βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής πραγματοποιήθηκαν για συχνότητα 50 Hz, για χρόνο εκκαθάρισης σφάλματος 0,5 sec, για τις 3 παρακάτω περιπτώσεις όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.3:

**Πίνακας 4.3 – Όρια Βηματικών τάσεων και τάσεων Επαφής για  $\rho_1=140$ ,  $\rho_2=580$ ,  $h=10$  και 50 kgr, 0,5 sec.**

Στοιχεία μελέτης	Όρια για $\rho_1=140$ , $\rho_2=580$ , $h=10$ 50 kgr, 0,5 sec	
	Βηματική Τάση (Volt)	Τάση Επαφής (Volt)
A. Χωρίς υλικό επιφανείας	301,85	198,5
B. Με υλικό επιφανείας πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 2.500 $\Omega$ m (χαλίκι)	1903,87	599
Με υλικό επιφανείας πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 10.000 $\Omega$ m (άσφαλτος)	6995,04	1871,8

Με αντίστοιχα δεδομένα και διαγράμματα από το CYMGrd για την περίπτωση του Πίνακα 4.3

#### Soil Analysis

Soil Model	User Defined
Upper Layer Thickness	10 meters
Upper Layer Resistivity	140 ohm-m
Lower Layer Resistivity	580 ohm-m
Safety Model	IEEE Std. 80-2000
Body Weight	50 kg
Surface Layer Thickness	0 meters
Surface Layer Resistivity	0 ohm-m
Shock Duration	0.5 secs

#### Output Results

Reduction Factor Cs	1
Maximum Permissible Touch	198.5 volts
Maximum Permissible Step	301.85 volts

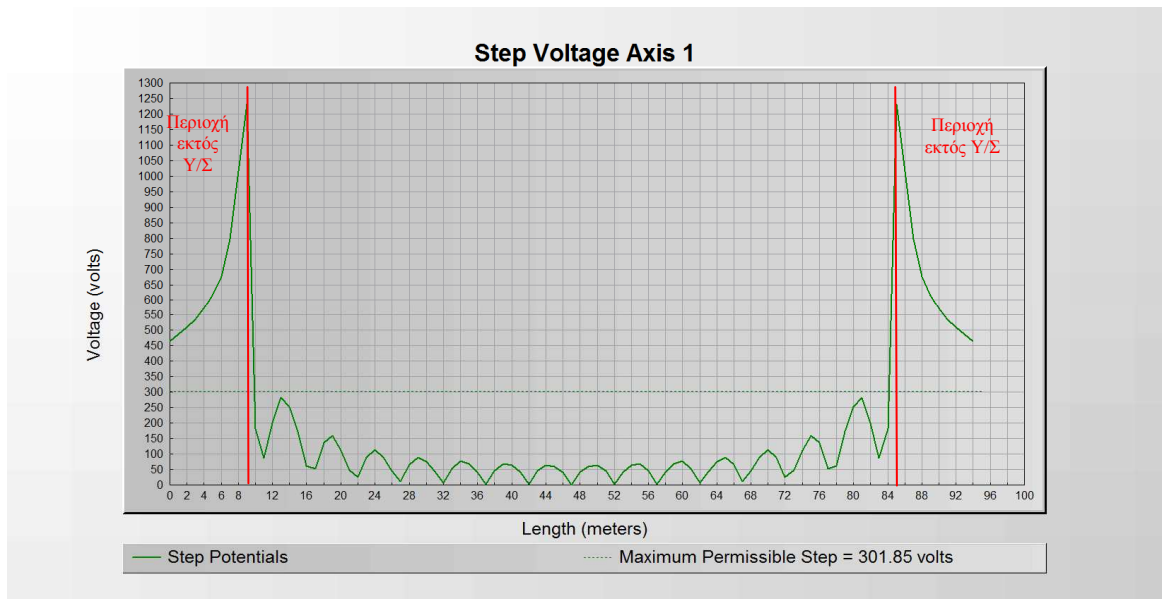
#### Grid Analysis

Equivalent Parallel Z Spec.	Infinite Z
Nominal Frequency	50 Hz
Bus ID	Unknown
LG Fault Current	24000 amps
Remote Contribution	100 %
Upper Layer Thickness	10 meters
Upper Layer Resistivity	140 ohm-m
Lower Layer Resistivity	580 ohm-m

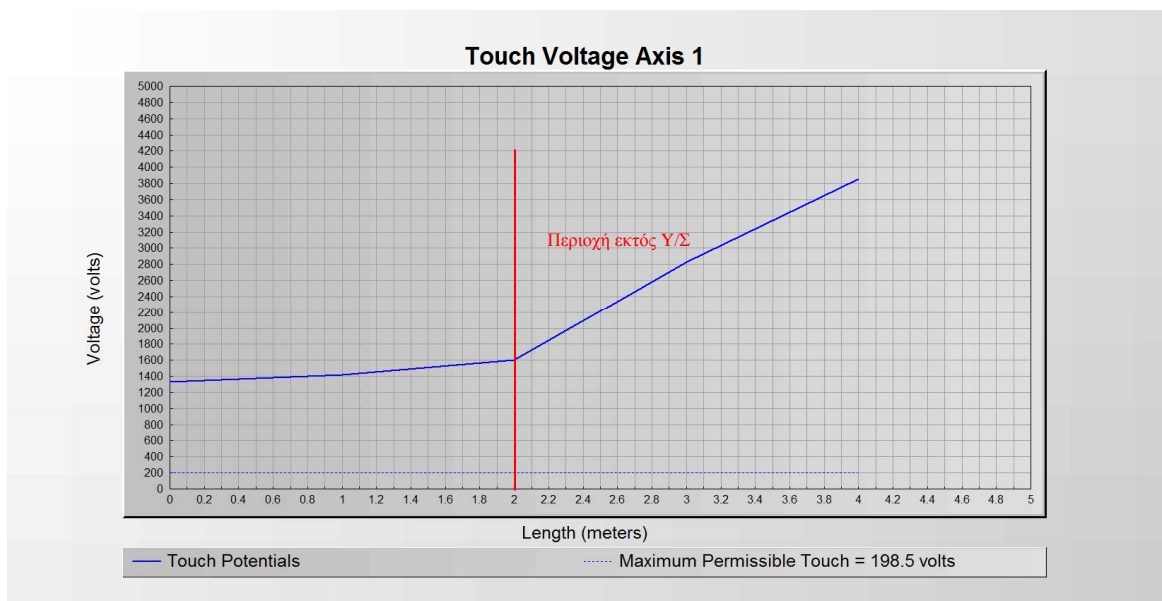
#### Output Results

Ground Potential Rise	42954.7 volts
Calculated Ground Resistance	1.7901 ohms
Equivalent Impedance	1.78978 ohms

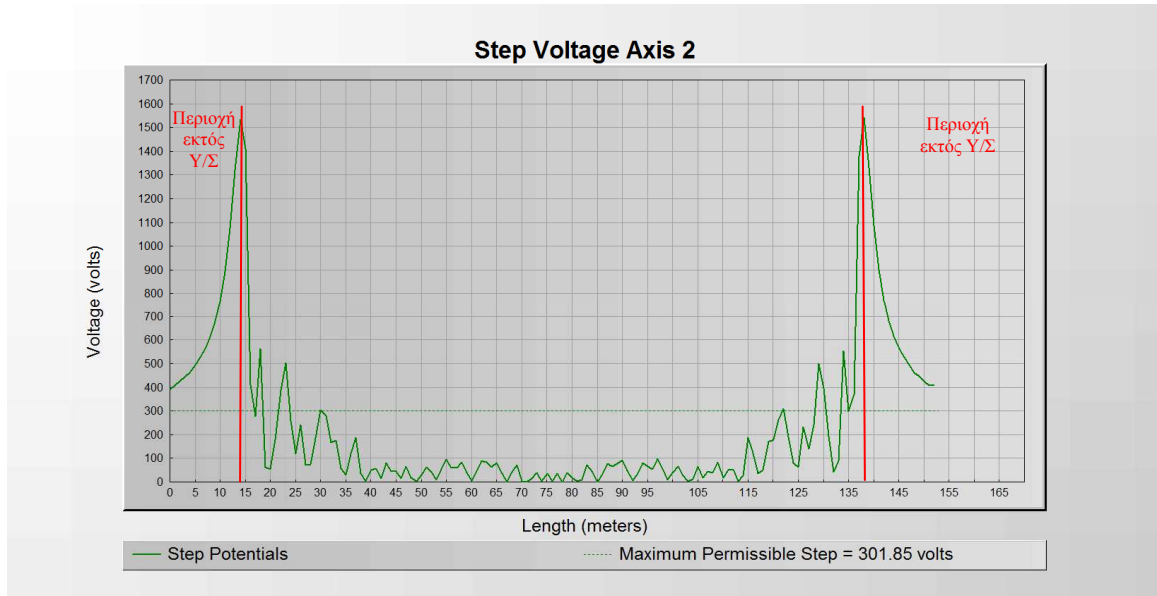
Total Length Of Primary Conductors	3175 meters
Total Number Of Elements	555



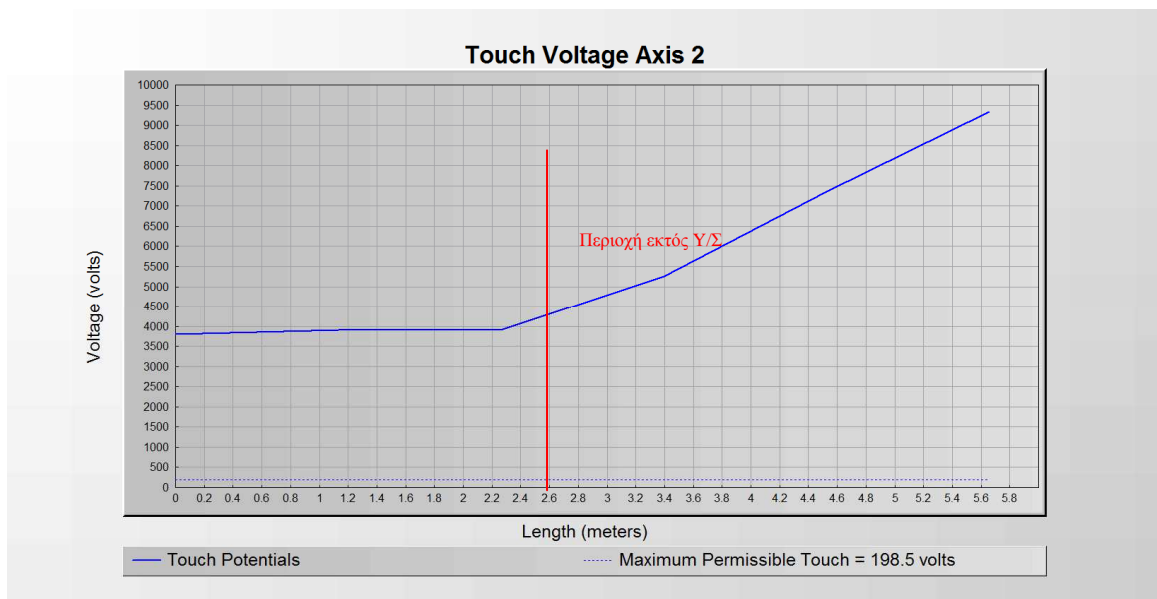
*Διάγραμμα 4.37 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 1*



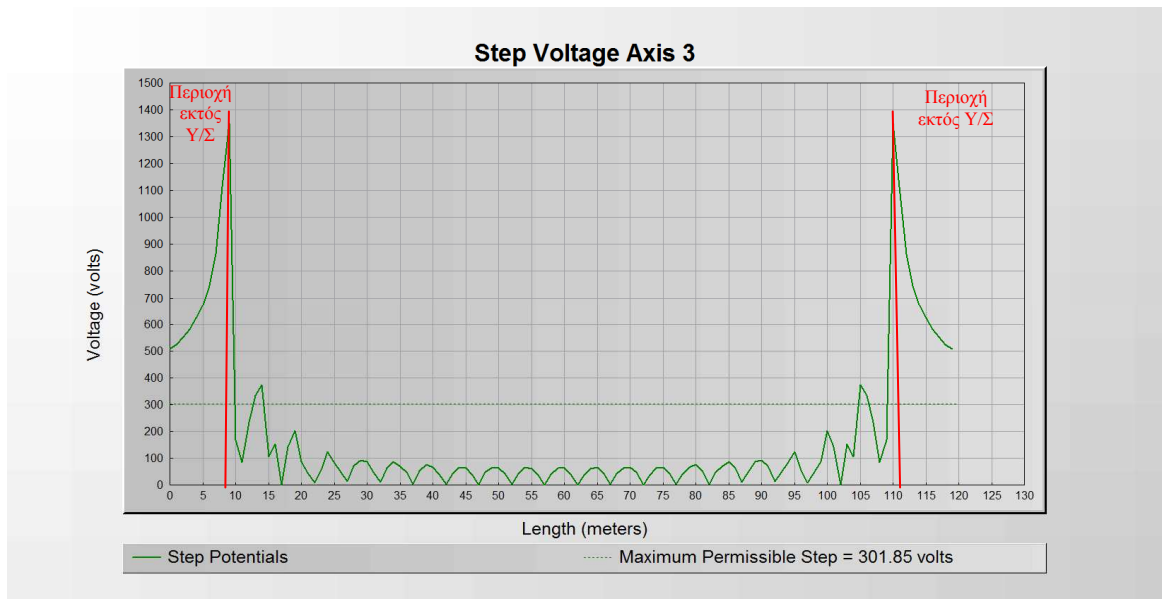
*Διάγραμμα 4.38 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 1*



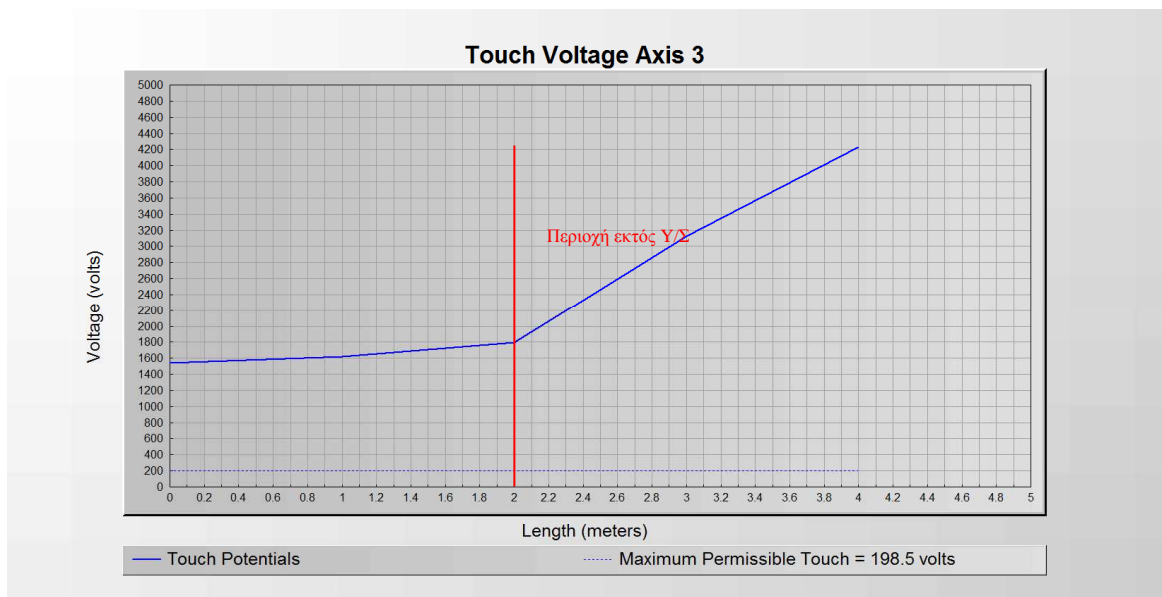
Διάγραμμα 4.39 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 2



Διάγραμμα 4.40 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 2

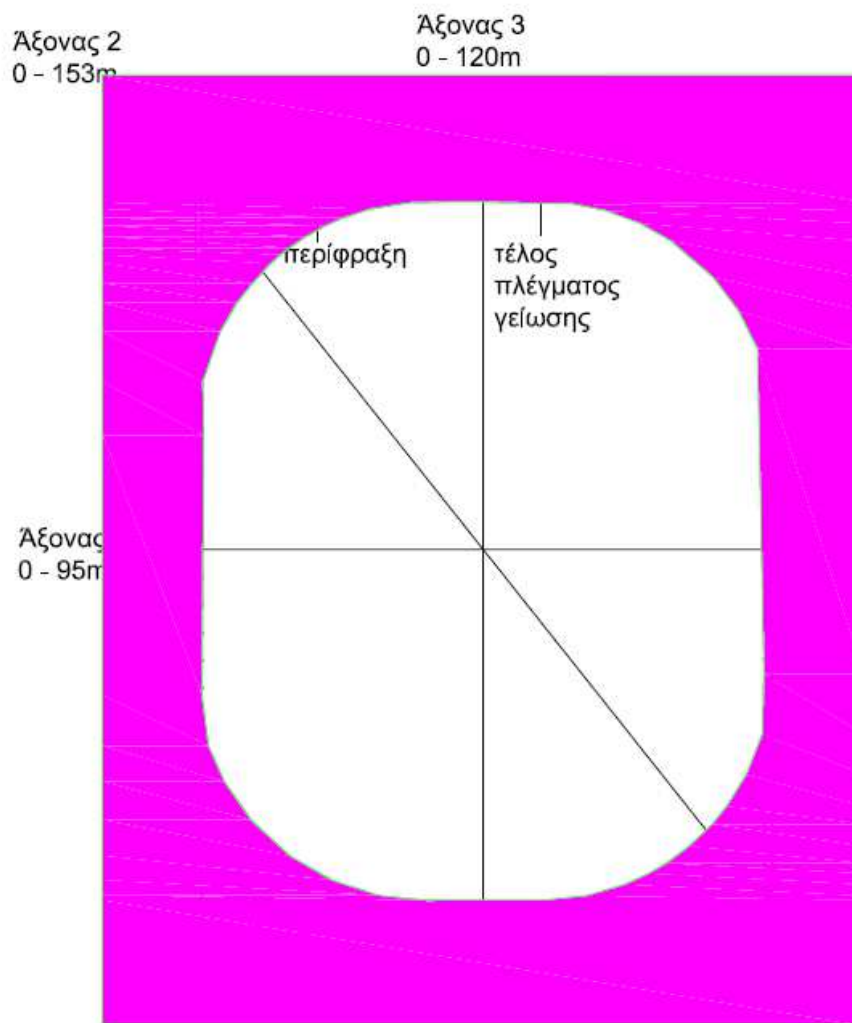


Διάγραμμα 4.41 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 3



Διάγραμμα 4.42 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 3

Όπως μπορούμε να διακρίνουμε από τα παραπάνω διαγράμματα 4.37, 4.39 και 4.41, υπάρχει πρόβλημα από την ανάπτυξη βηματικών τάσεων μεγαλύτερων των επιτρεπτών ορίων στην περίφραξη (βλέπε έγχρωμη περιοχή σχήμα 4.8) ενώ τα διαγράμματα 4.38, 4.40 και 4.42 των τάσεων επαφής μας δείχνουν ότι είμαστε εκτός επιτρεπτών ορίων εντός και εκτός του Υ/Σ.

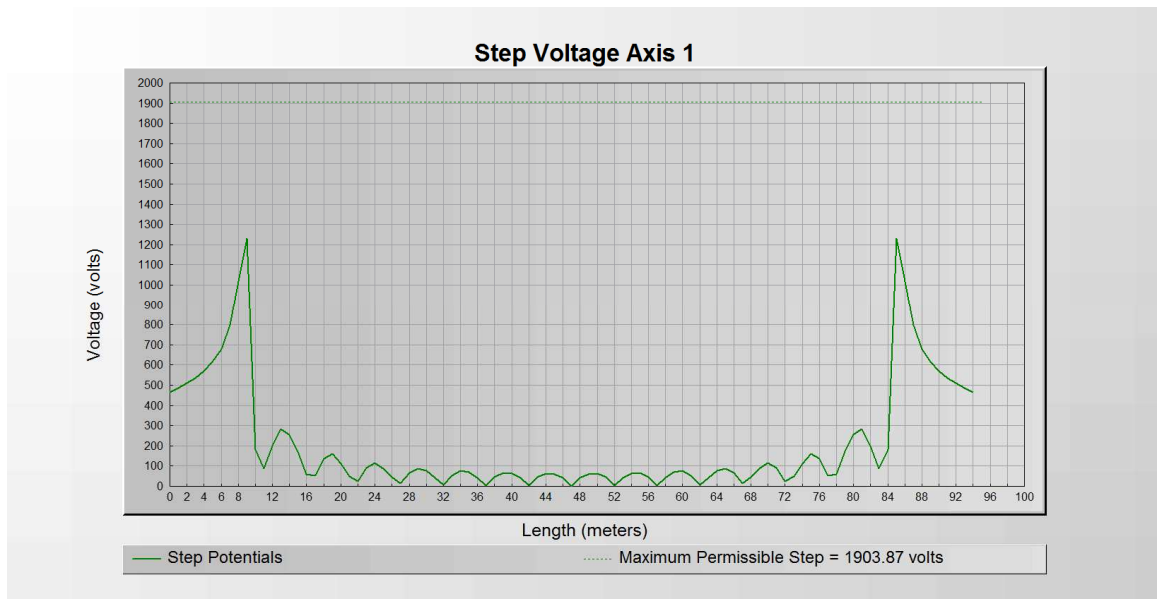


*Σχήμα 4.8 – Περιοχή Βηματικών Τάσεων εκτός ορίων για άνθρωπο 50 κιλών - Διστρωματικό*

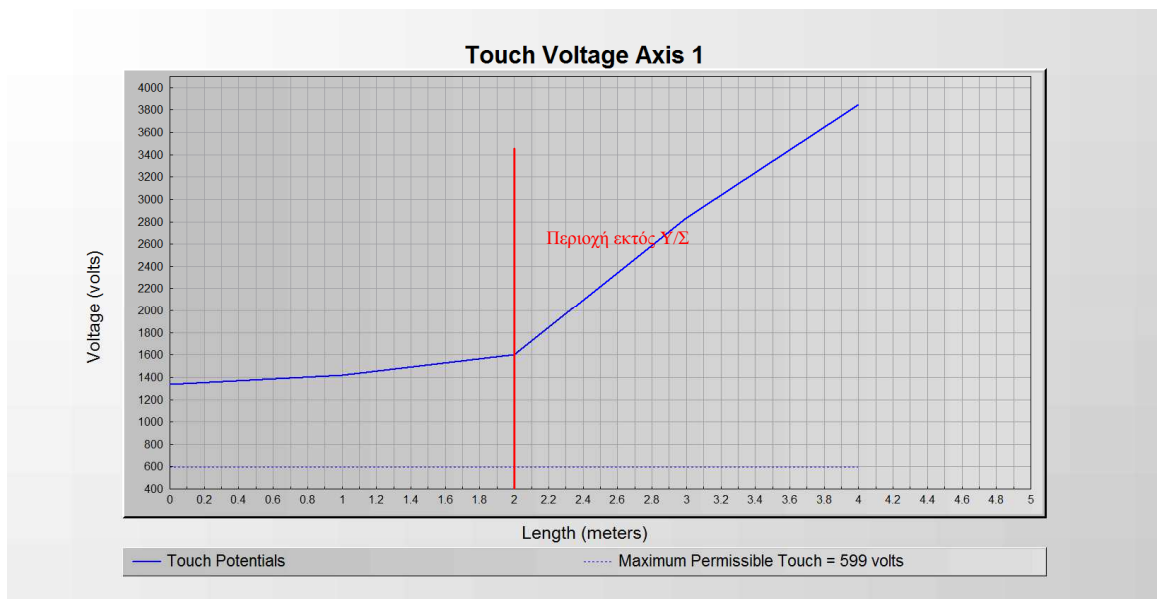
Για λόγους ασφαλείας θα πρέπει να συμπεριλάβουμε στον Υποσταθμό βελτιωτικό υλικό χαλίκι ή άσφαλτο στα τμήματα όπου υπάρχει υπέρβαση των ορίων των βηματικών τάσεων.



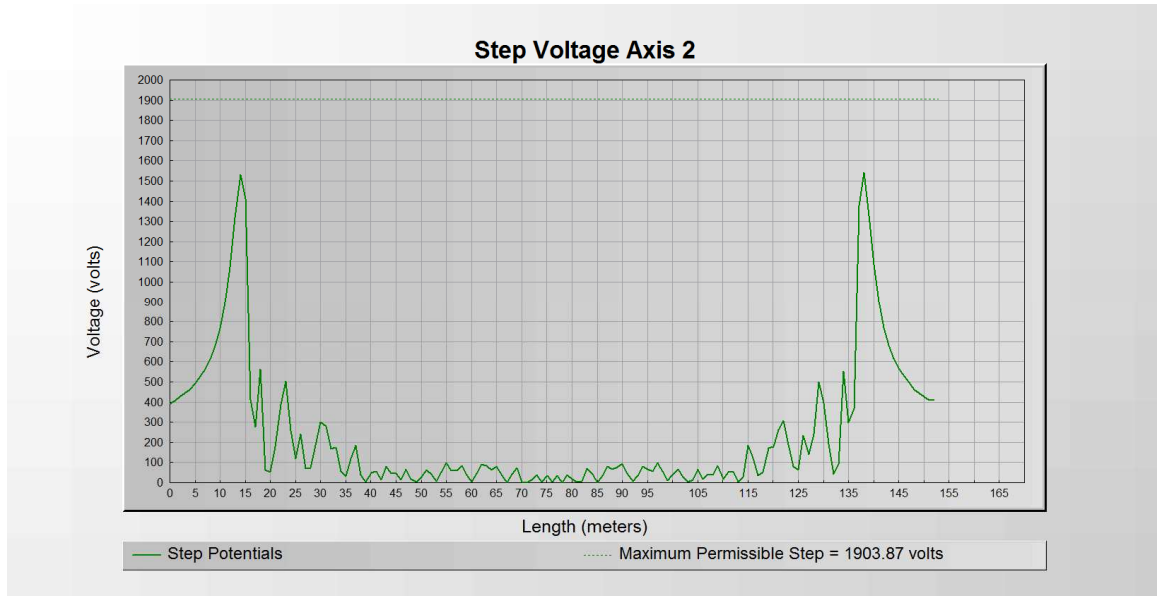
Προσθέτω υλικό πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 2.500 Ωm (χαλίκι) και τα αντίστοιχα διαγράμματα από το CYMGrd είναι:



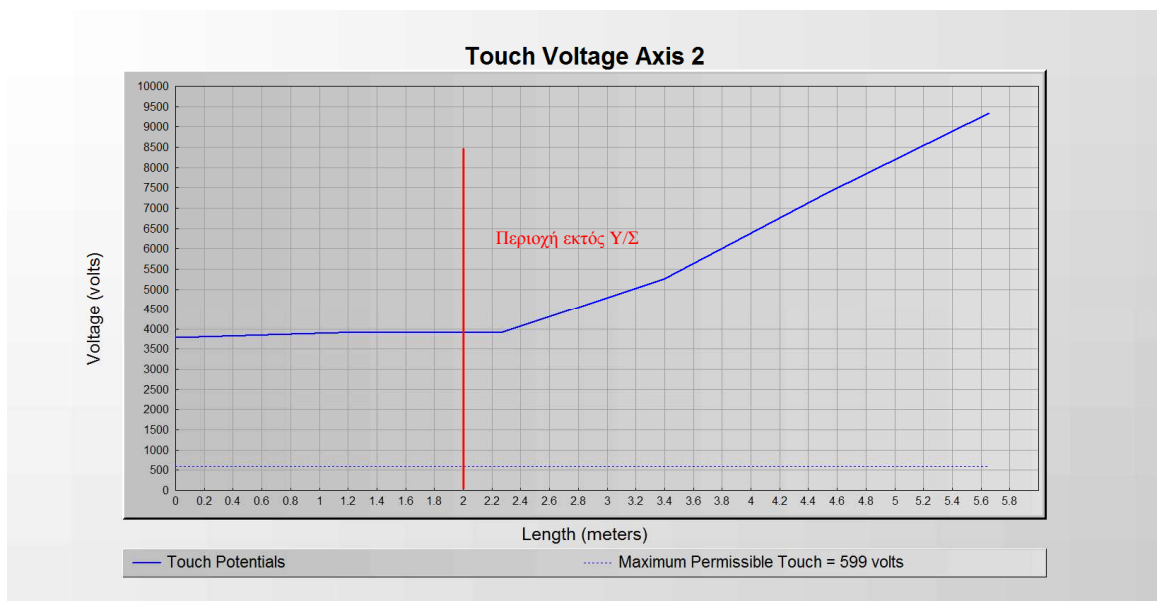
Διάγραμμα 4.43 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 1 (με χαλίκι)



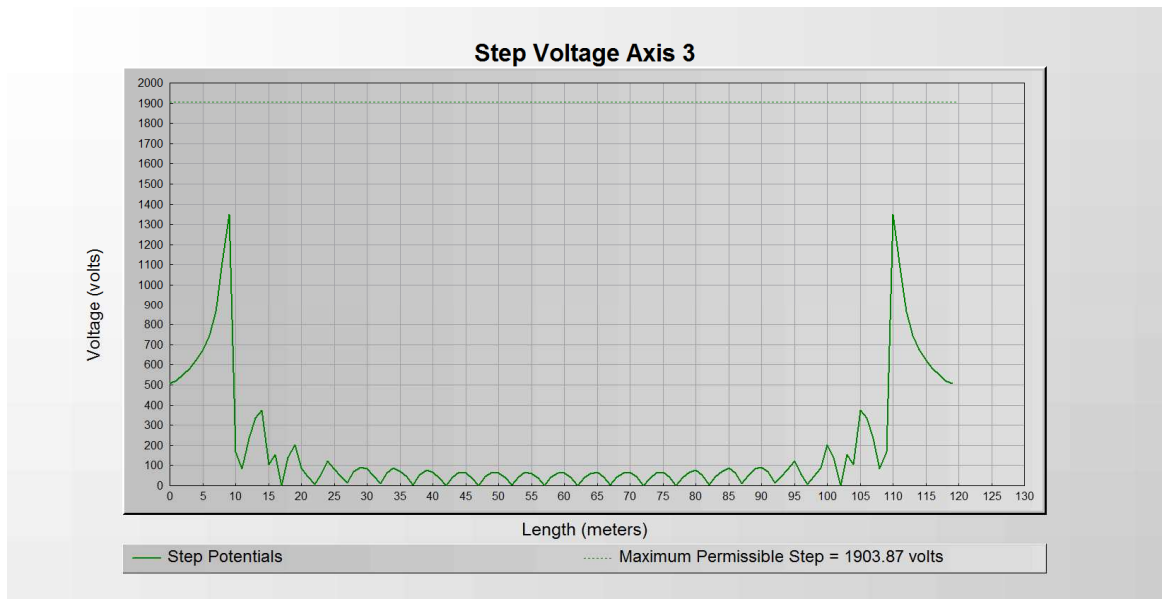
Διάγραμμα 4.44 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 1 (με χαλίκι)



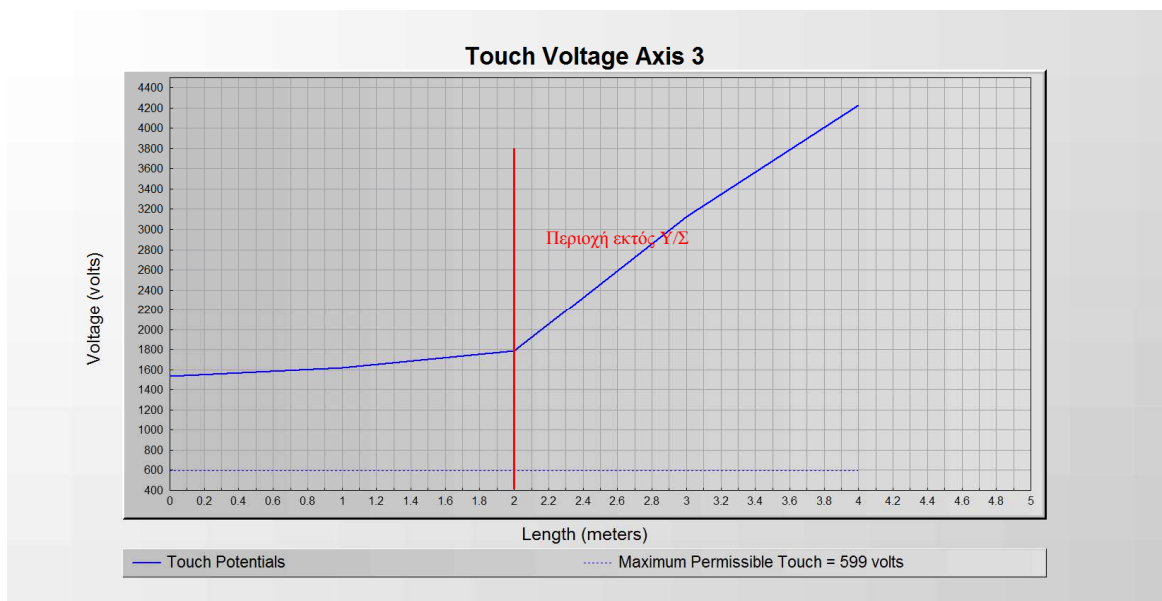
Διάγραμμα 4.45 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 2 (με χαλίκι)



Διάγραμμα 4.46 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 2 (με χαλίκι)



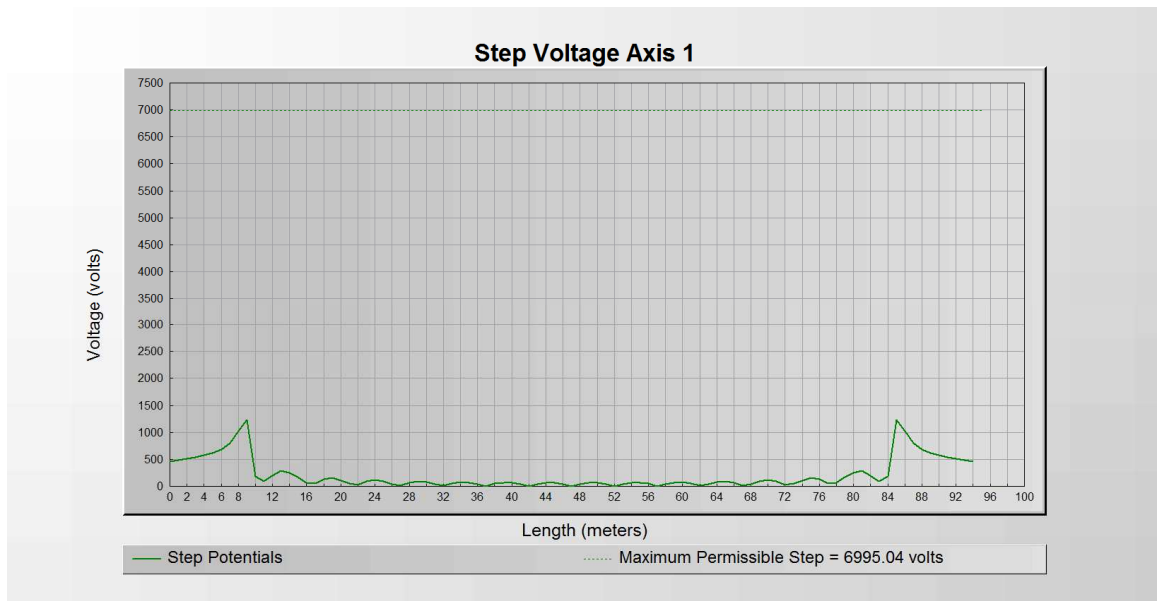
Διάγραμμα 4.47 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 3 (με χαλίκι)



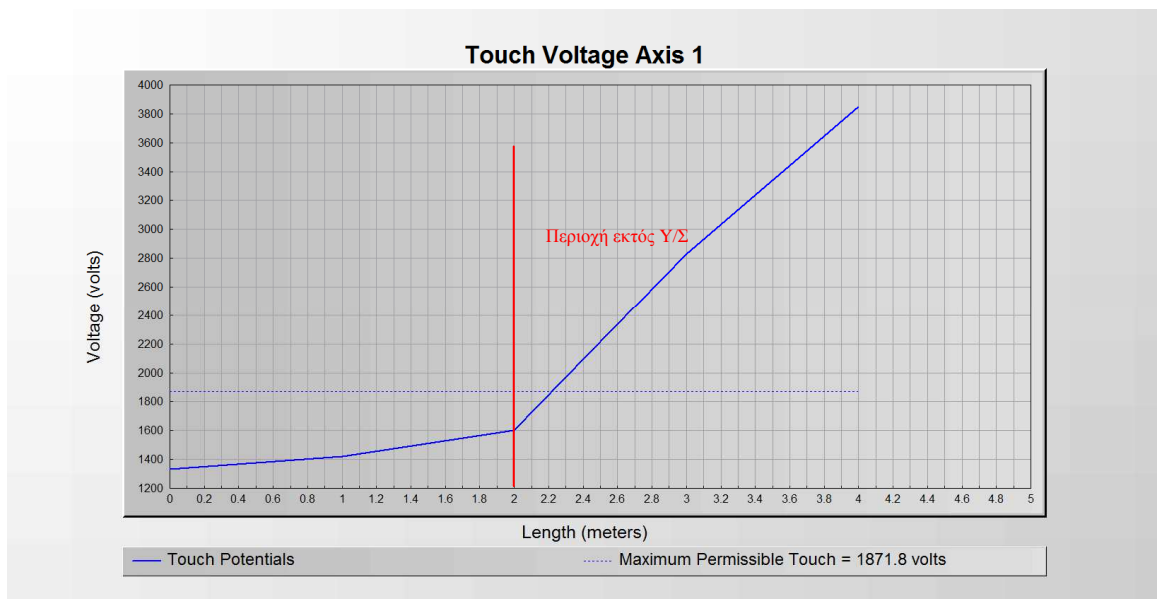
Διάγραμμα 4.48 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 3 (με χαλίκι)

Σύμφωνα με τα παραπάνω Διαγράμματα 4.43, 4.45 και 4.47 οι βηματικές τάσεις είναι εντός ορίων ενώ από τα Διαγράμματα 4.44, 4.46 και 4.48 υπάρχουν επικίνδυνες τάσεις επαφής.

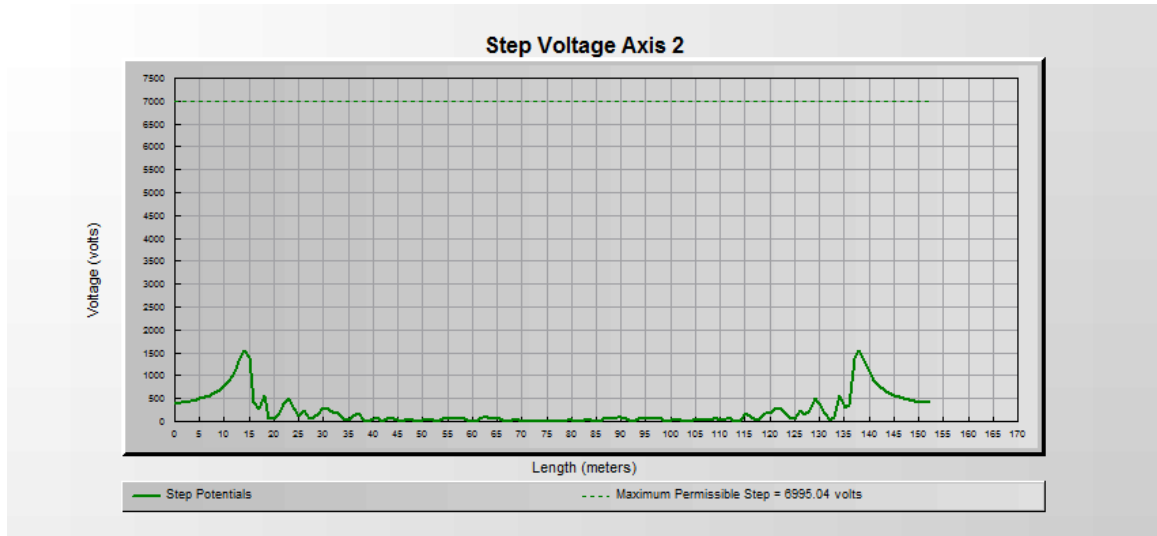
Προσθέτω υλικό πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 10.000 Ωm (άσφαλτος) και τα αντίστοιχα διαγράμματα από το CYMGrd είναι:



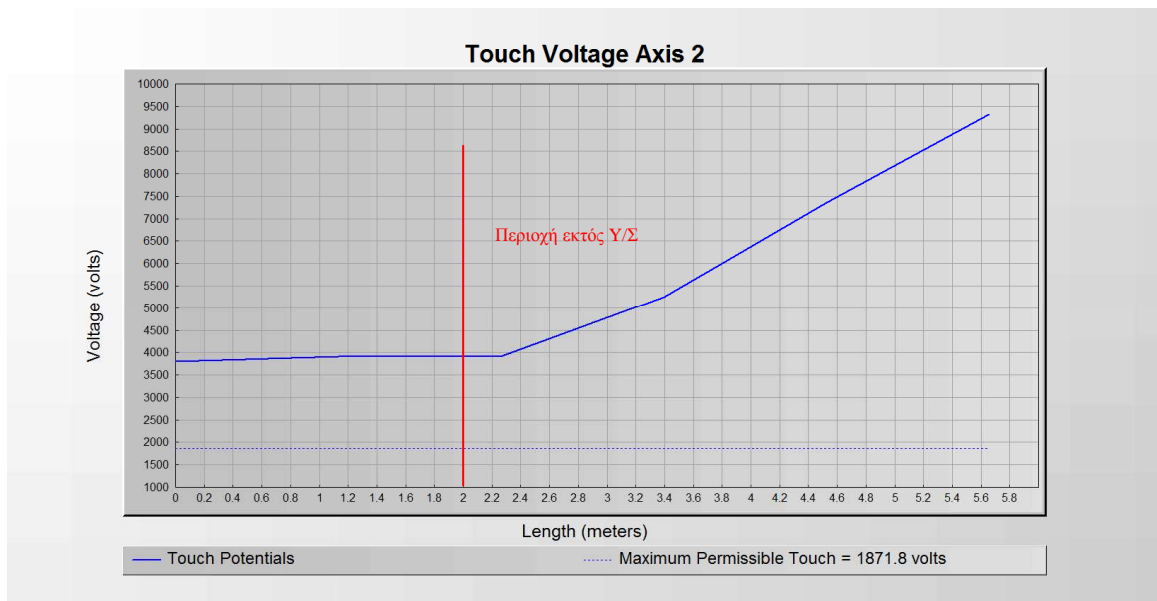
Διάγραμμα 4.49 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 1 (με άσφαλτο)



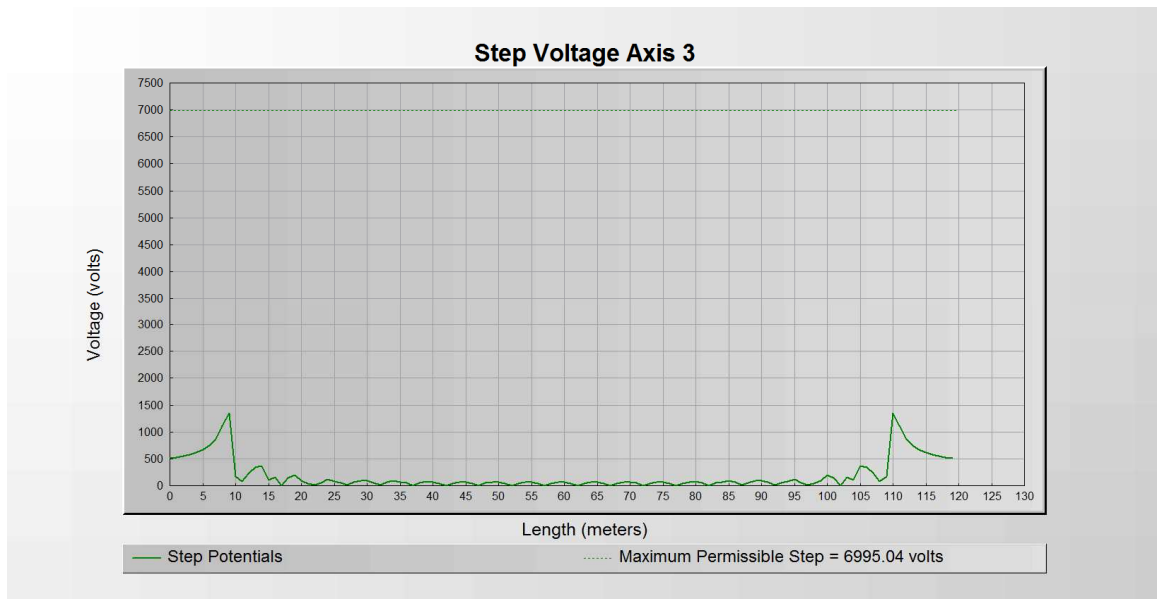
Διάγραμμα 4.50 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 1 (με άσφαλτο)



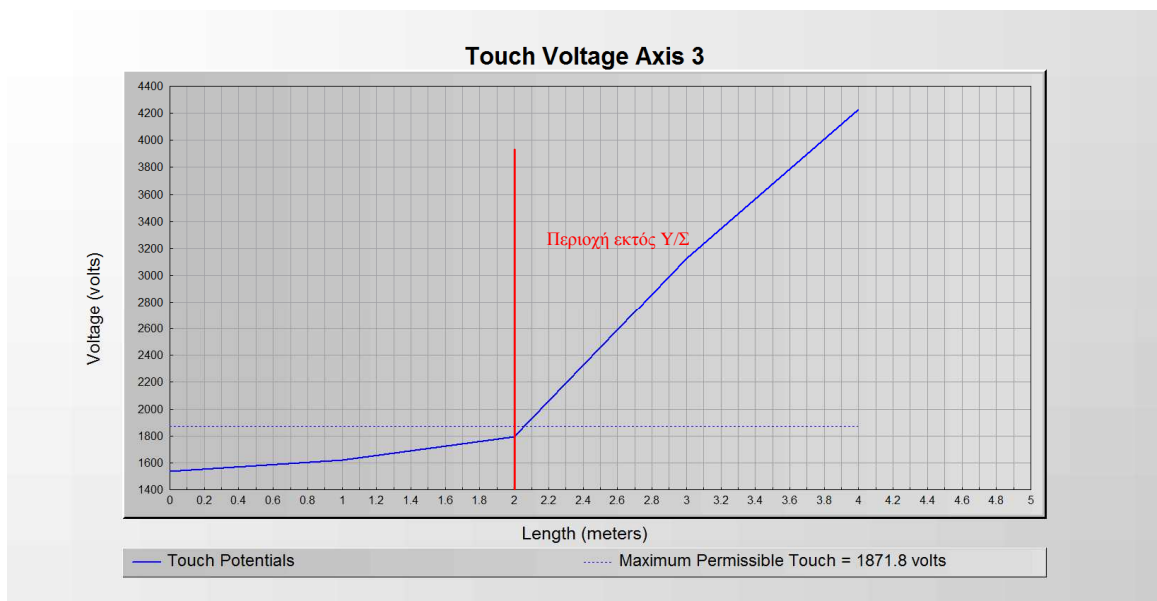
Διάγραμμα 4.51 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 2 (με άσφαλτο)



Διάγραμμα 4.52 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 2 (με άσφαλτο)



Διάγραμμα 4.53 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 3 (με άσφαλτο)



Διάγραμμα 4.54 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 3 (με άσφαλτο)

Βάσει των Διαγραμμάτων 4.49, 4.51 και 4.53 τοποθετώντας άσφαλτο στον παραπάνω Υ/Σ συμπεραίνουμε ότι είμαστε εντός ορίων των βηματικών τάσεων για τυχόν βραχυκύκλωμα ενώ στα Διαγράμματα 4.50 και 4.54 έχουμε επικίνδυνες τάσεις επαφής στην περιφράξη και το Διάγραμμα 4.52 είναι εκτός των επιτρεπτών ορίων. Άρα δεν μπορεί να γειωθεί με ασφάλεια. Σύμφωνα με την προδιαγραφή του Διαχειριστή του Συστήματος [13] η οποία δε ζητά μελέτη για άνθρωπο βάρους 50 kgρ δε θα εφαρμοστεί άλλη μέθοδος βελτίωσης.

**Πίνακας 4.4 – Όρια Βηματικών τάσεων και τάσεων Επαφής για  $\rho_1=140$ ,  $\rho_2=580$ ,  $h=10$  και 70 kgr, 0,5 sec**

Στοιχεία μελέτης	Όρια για $\rho_1=140$ , $\rho_2=580$ , $h=10$ 70 kgr, 0,5 sec	
	Βηματική Τάση (Volt)	Τάση Επαφής (Volt)
A. Χωρίς υλικό επιφανείας	408,54	268,66
B. Με υλικό επιφανείας πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 2.500 $\Omega$ m (χαλίκι)	2576,79	810,72
Γ. Με υλικό επιφανείας πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 10.000 $\Omega$ m (άσφαλτος)	9467,42	2533,38

Με αντίστοιχα δεδομένα και διαγράμματα από το CYMGrd χωρίς υλικό επιφανείας:

#### Soil Analysis

Soil Model	User Defined
Upper Layer Thickness	10 meters
Upper Layer Resistivity	140 ohm-m
Lower Layer Resistivity	580 ohm-m
Safety Model	IEEE Std. 80-2000
Body Weight	70 kg
Surface Layer Thickness	0 meters
Surface Layer Resistivity	0 ohm-m
Shock Duration	0.5 secs

#### Output Results

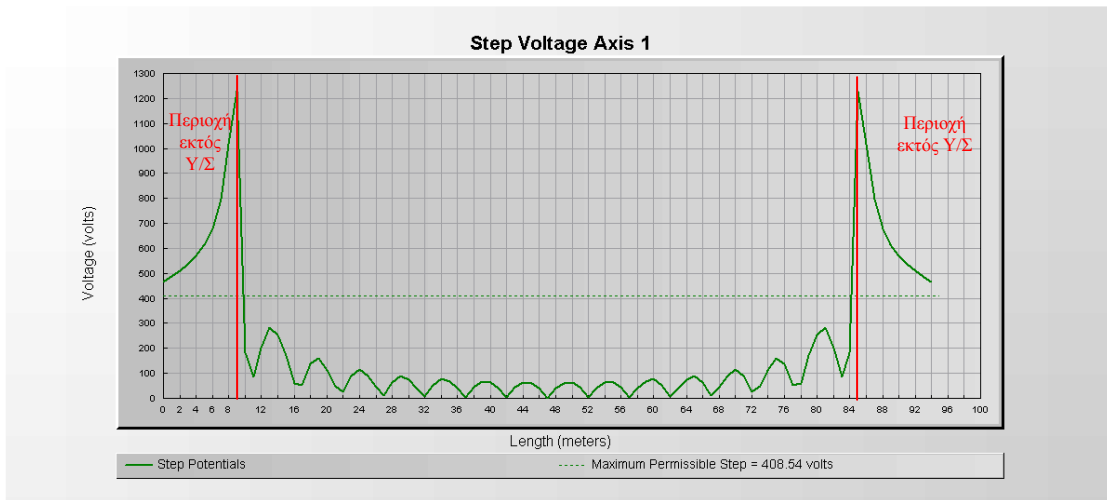
Reduction Factor Cs	1
Maximum Permissible Touch	268.66 volts
Maximum Permissible Step	408.54 volts

#### Grid Analysis

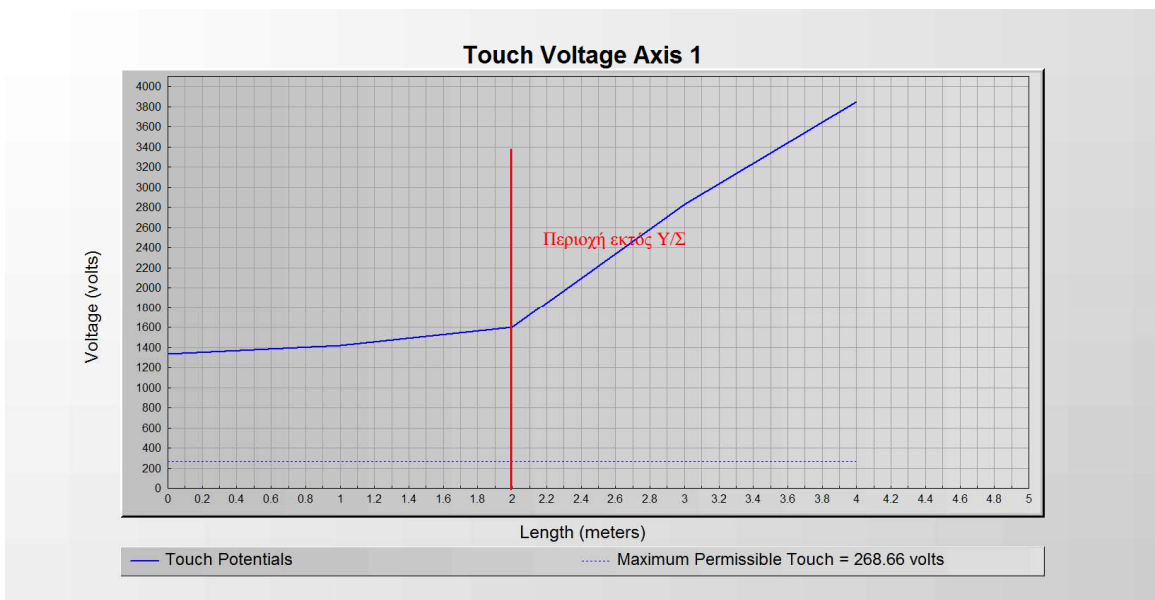
Equivalent Parallel Z Spec.	Infinite Z
Nominal Frequency	50 Hz
Bus ID	Unknown
LG Fault Current	24000 amps
Remote Contribution	100 %
Upper Layer Thickness	10 meters
Upper Layer Resistivity	140 ohm-m
Lower Layer Resistivity	580 ohm-m

#### Output Results

Ground Potential Rise	42954.7 volts
Calculated Ground Resistance	1.7901 ohms
Equivalent Impedance	1.78978 ohms
Total Length Of Primary Conductors	3175 meters
Total Number Of Elements	555

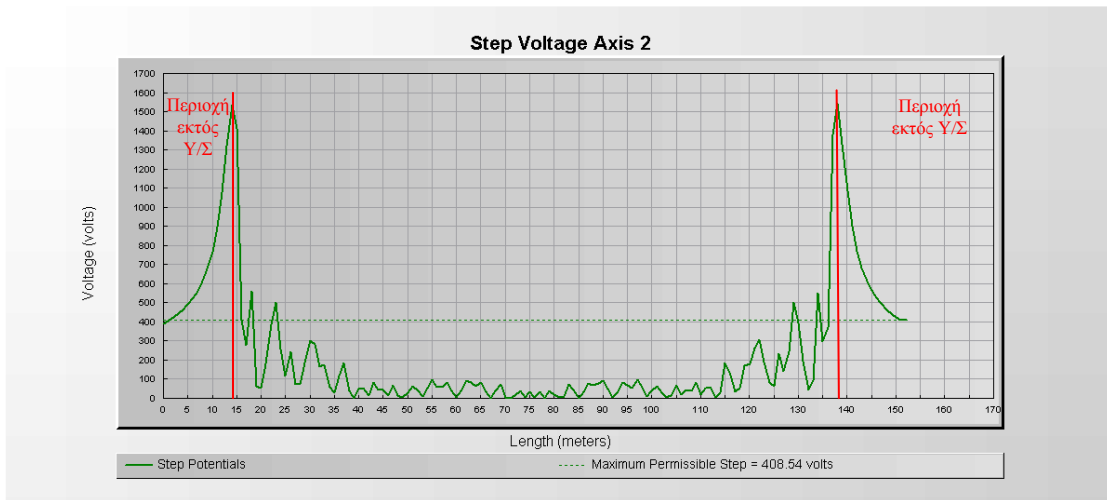


Διάγραμμα 4.55 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 1

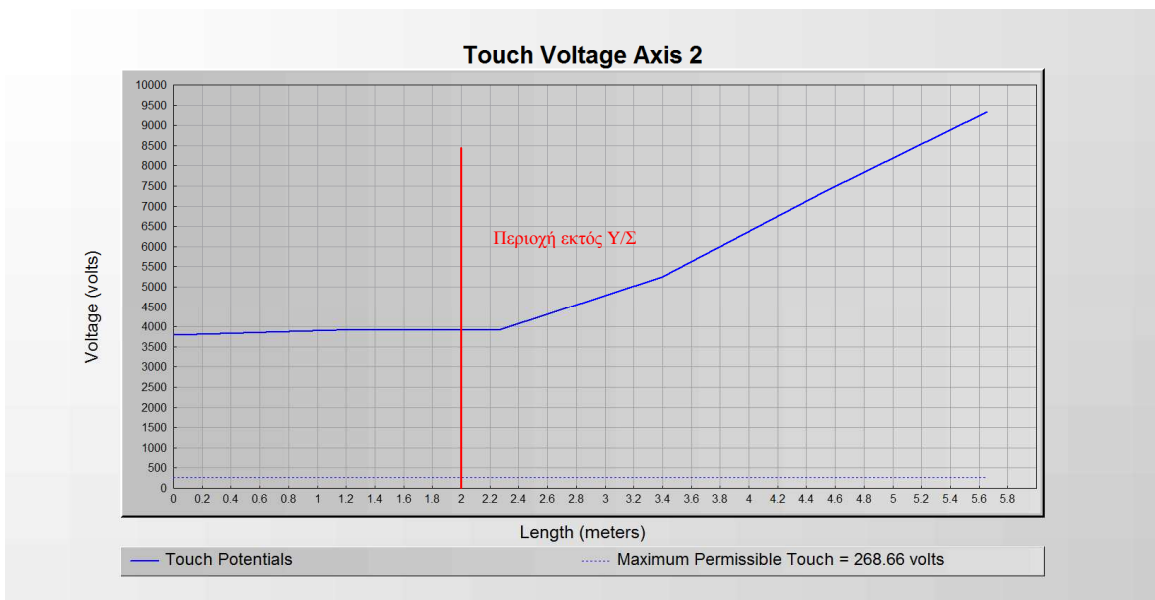


Διάγραμμα 4.56 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 1

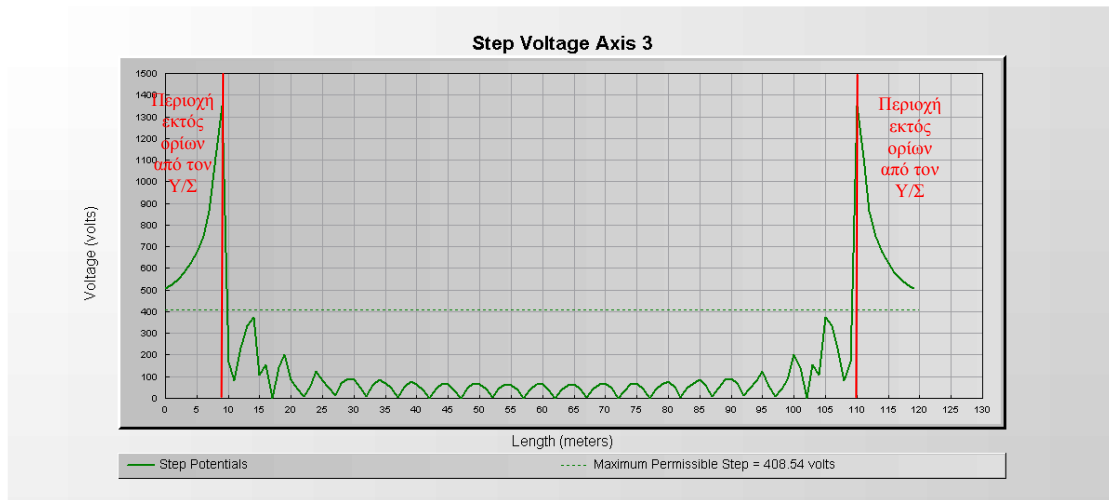




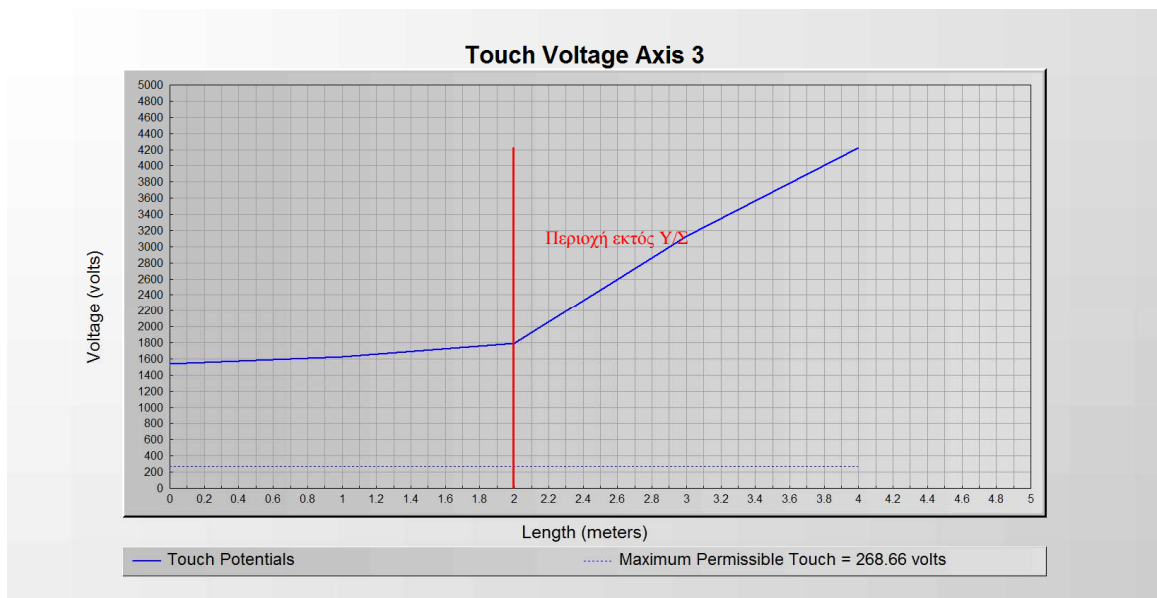
Διάγραμμα 4.57– Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 2



Διάγραμμα 4.58 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 2



Διάγραμμα 4.59 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 3

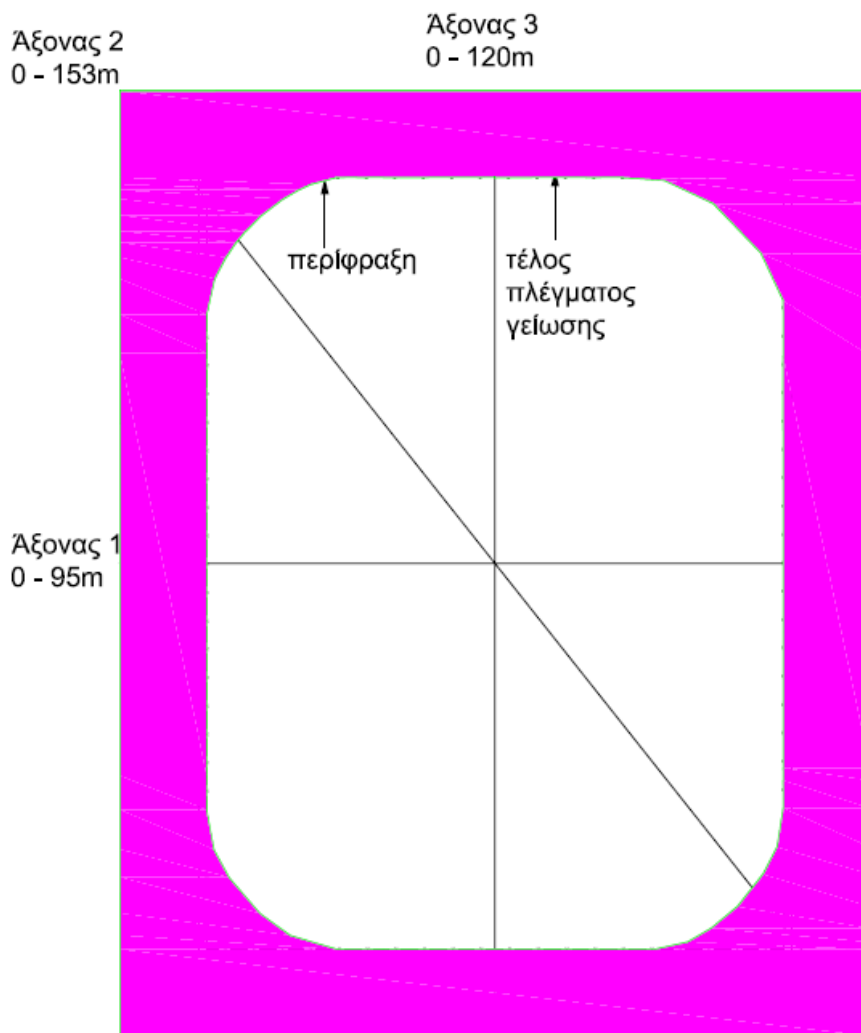


Διάγραμμα 4.60 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 3

Λόγω της συμμετρίας του σχήματος του γηπέδου του Υ/Σ δε θα πάρω άλλους άξονες.

Όπως μπορούμε να διακρίνουμε από τα Διαγράμματα 4.55, 4.57 και 4.59, οι βηματικές τάσεις είναι εκτός ορίων στην περιφραξη ενώ τα Διαγράμματα 4.56, 4.58 και 4.60 των τάσεων επαφής είναι εκτός ορίων εντός και εκτός του Υ/Σ.

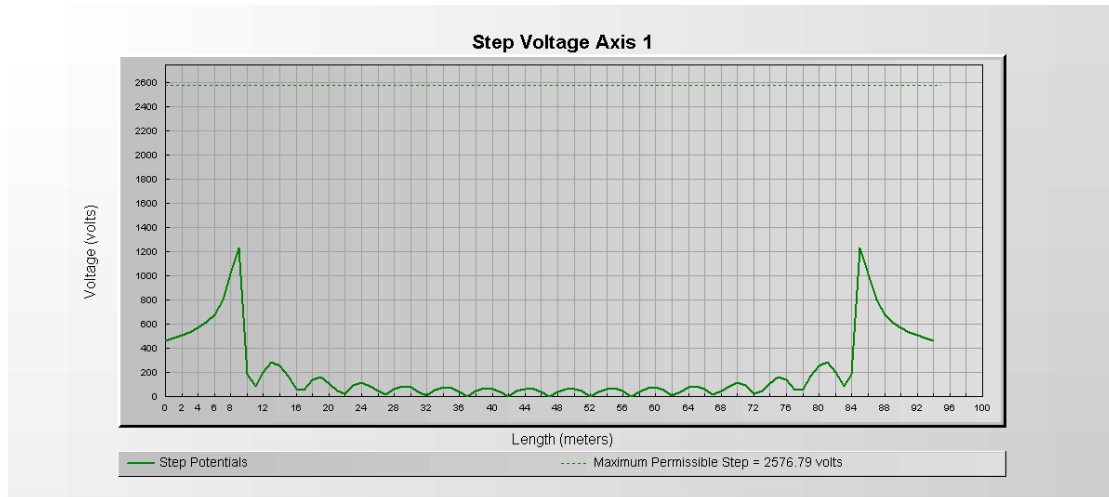
Από την ανάλυση των παραπάνω διαγραμμάτων η περιοχή η οποία βρίσκεται εκτός ορίων βηματικών τάσεων είναι:



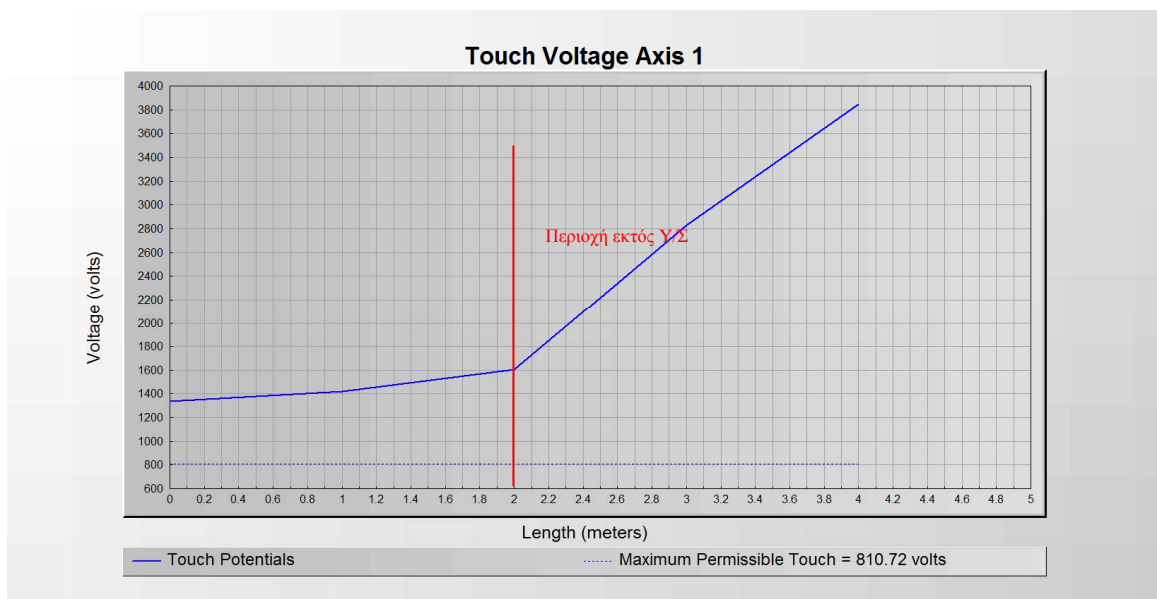
Σχήμα 4.9 – Περιοχή Βηματικών Τάσεων εκτός ορίων για άνθρωπο 70 κιλών – Διστρωματικό

Από τη σύγκριση των Σχημάτων 4.8 και 4.9 βλέπουμε ότι προκύπτει μείωση της περιοχής εκτός ορίων.

Προσθέτω υλικό πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 2.500 Ωm (χαλίκι) και τα αντίστοιχα διαγράμματα από το CYMGrd είναι:

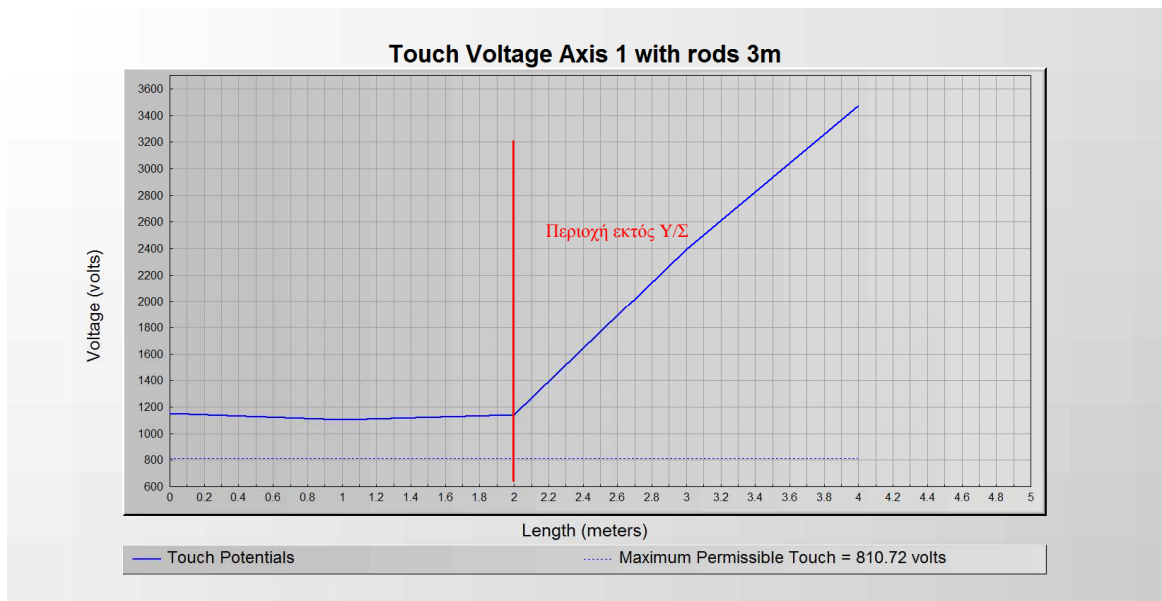


Διάγραμμα 4.61 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 1 (με χαλίκι)



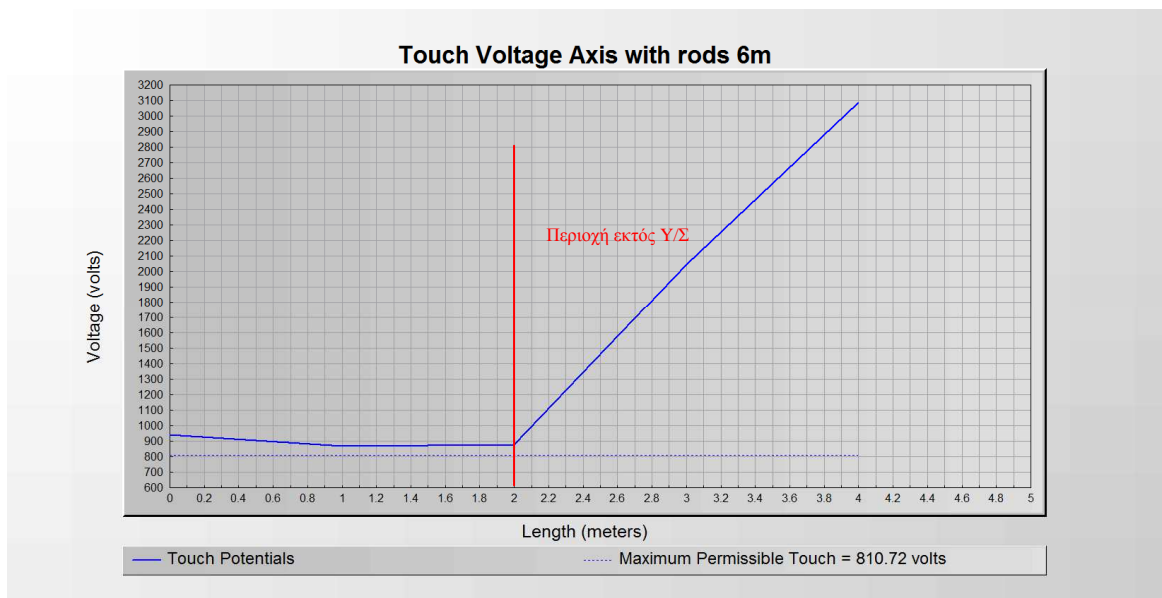
Διάγραμμα 4.62 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 1 (με χαλίκι)

Το Διάγραμμα 4.62 δείχνει τις επικίνδυνες τάσεις επαφής εκτός επιτρεπτών ορίων που αναπτύσσονται εντός και εκτός της περιφράξης. Προσθέτω ηλεκτρόδια μήκους 3 μέτρων τα οποία κατανέμονται ως εξής: 1 σε κάθε γωνία του γηπέδου του Υ/Σ με 2 σε κάθε πλευρά σε απόσταση μεταξύ τους 5 μέτρα και από ένα στο μέσο της κάθε πλευράς και τα εφαρμόζω στο CYMGrd.

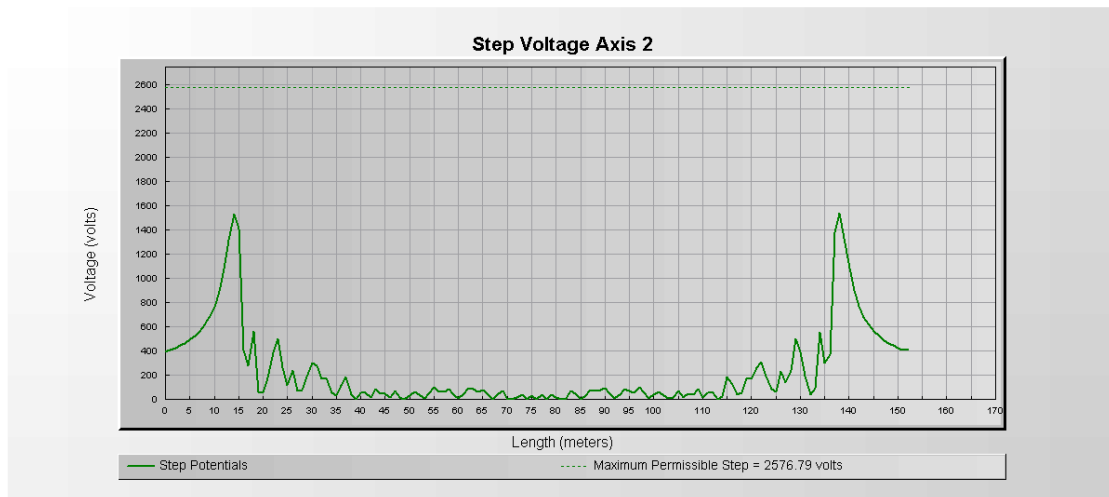


Διάγραμμα 4.63 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 1 με ηλεκτρόδια 3 μέτρων (με χαλίκι)

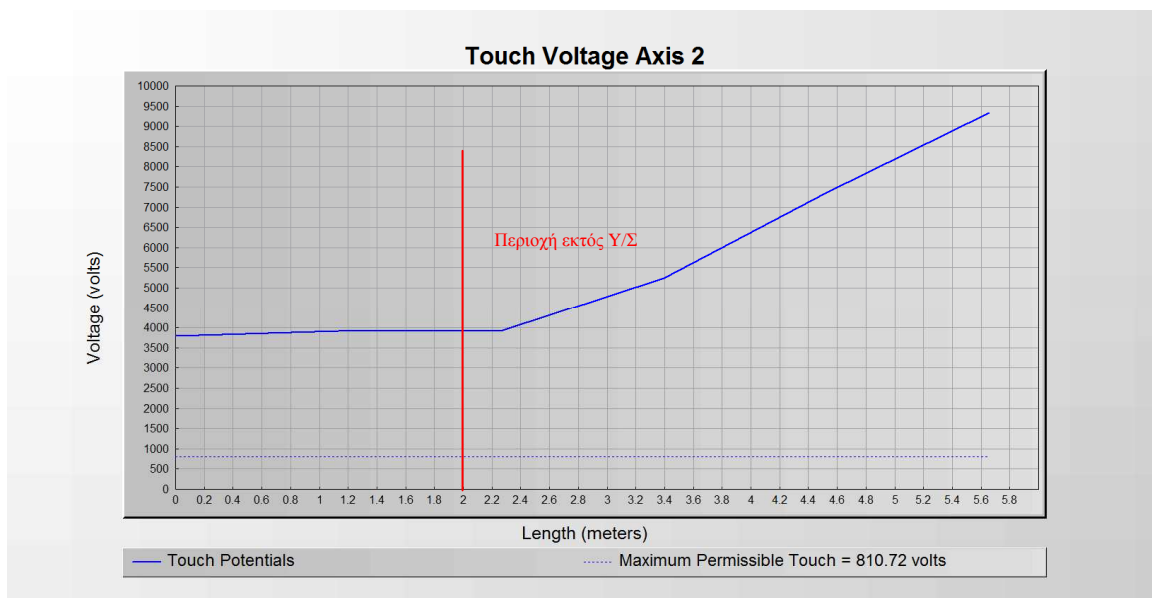
Το Διάγραμμα 4.63 δείχνει τις επικίνδυνες τάσεις επαφής εκτός επιτρεπτών ορίων που αναπτύσσονται εντός και εκτός της περιφράξης. Προσθέτω ηλεκτρόδια μήκους 6 μέτρων τα οποία κατανέμονται ως εξής: 1 σε κάθε γωνία του γηπέδου του Υ/Σ με 2 σε κάθε πλευρά σε απόσταση μεταξύ τους 5 μέτρα και από ένα στο μέσο της κάθε πλευράς και τα εφαρμόζω στο CYMGrd.



Διάγραμμα 4.64 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 1 με ηλεκτρόδια 6 μέτρων (με χαλίκι)

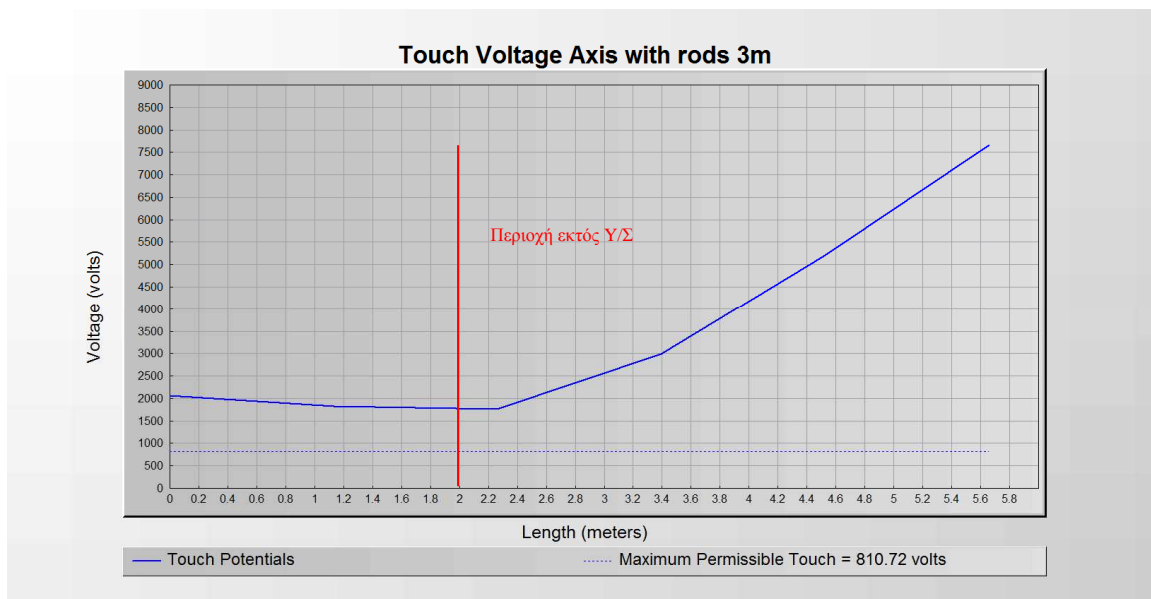


Διάγραμμα 4.65 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 2 (με χαλίκι)



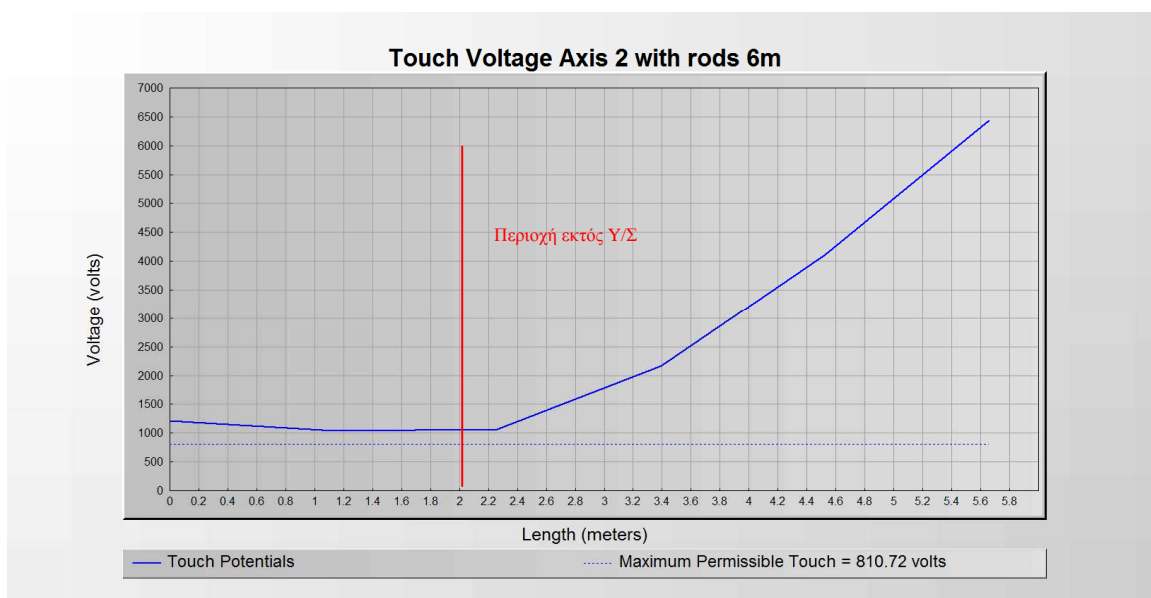
Διάγραμμα 4.66 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 2 (με χαλίκι)

Το Διάγραμμα 4.66 δείχνει τις επικίνδυνες τάσεις επαφής εκτός επιτρεπτών ορίων που αναπτύσσονται εντός και εκτός της περιφράξης. Προσθέτω ηλεκτρόδια μήκους 3 μέτρων τα οποία κατανέμονται ως εξής: 1 σε κάθε γωνία του γηπέδου του Υ/Σ με 2 σε κάθε πλευρά σε απόσταση μεταξύ τους 5 μέτρα και από ένα στο μέσο της κάθε πλευράς και τα εφαρμόζω στο CYMGrd.

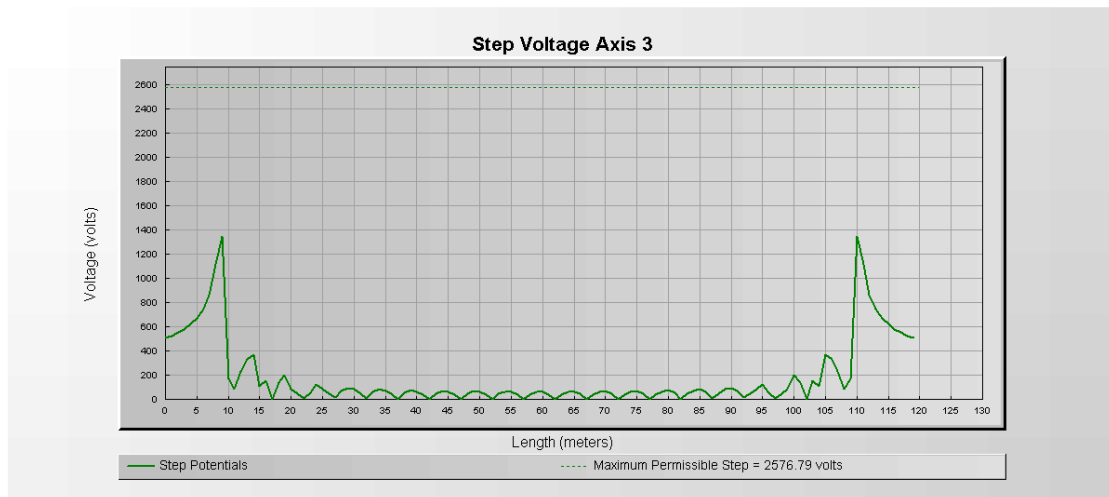


Διάγραμμα 4.67 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 2 με ηλεκτρόδια 3 μέτρων (με χαλίκι)

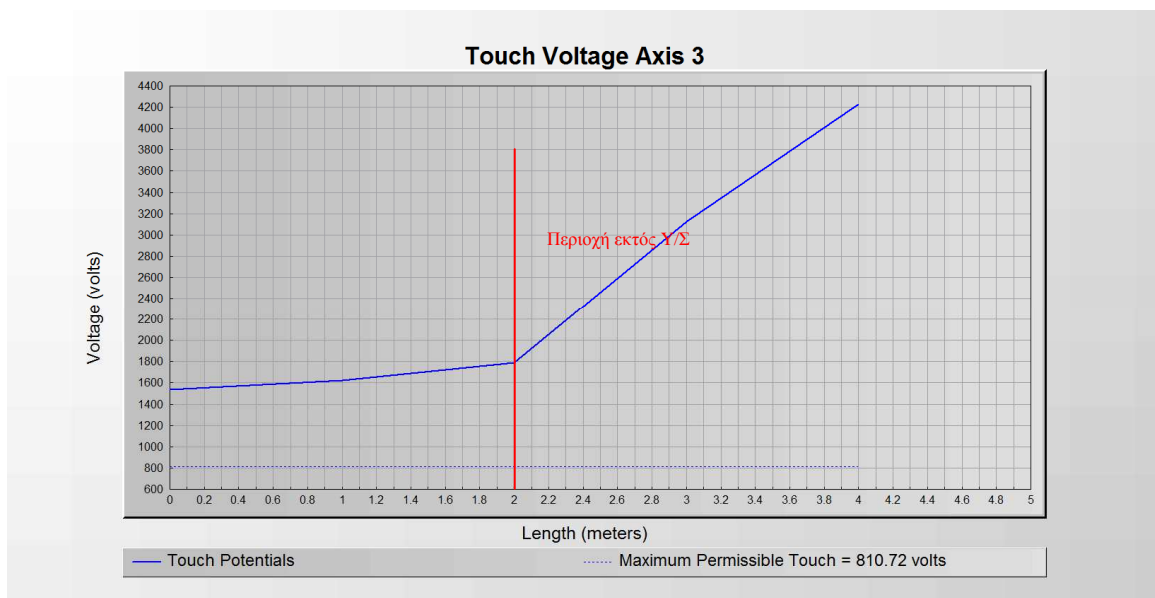
Το Διάγραμμα 4.67 δείχνει τις επικίνδυνες τάσεις επαφής εκτός επιτρεπτών ορίων που αναπτύσσονται εντός και εκτός της περιφράξης. Προσθέτω ηλεκτρόδια μήκους 6 μέτρων τα οποία κατανέμονται ως εξής: 1 σε κάθε γωνία του γηπέδου του Υ/Σ με 2 σε κάθε πλευρά σε απόσταση μεταξύ τους 5 μέτρα και από ένα στο μέσο της κάθε πλευράς και τα εφαρμόζω στο CYMGrd.



Διάγραμμα 4.68 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 2 με ηλεκτρόδια 6 μέτρων (με χαλίκι)



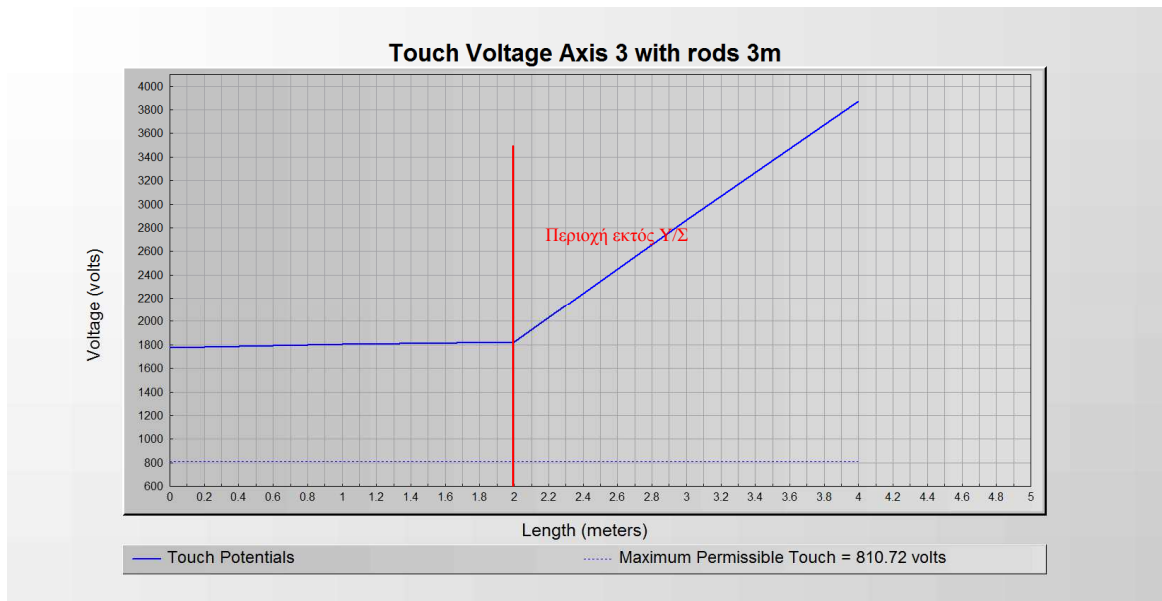
Διάγραμμα 4.69 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 3 (με χαλίκι)



Διάγραμμα 4.70 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 3 (με χαλίκι)

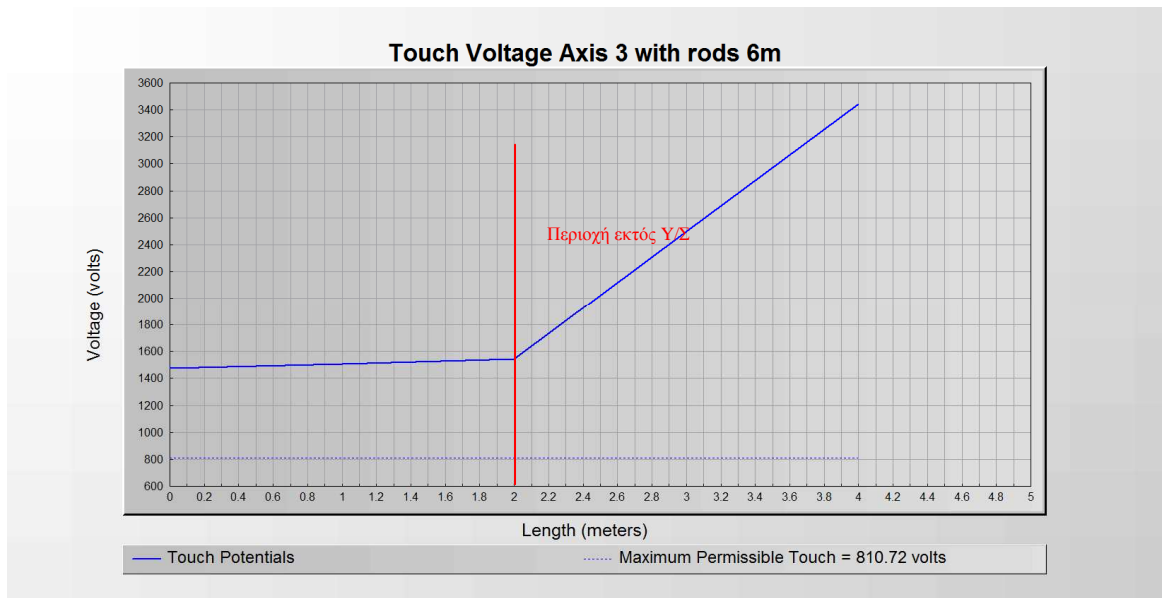
Το Διάγραμμα 4.70 δείχνει τις επικίνδυνες τάσεις επαφής εκτός επιτρεπτών ορίων που αναπτύσσονται εντός και εκτός της περιφράξης. Προσθέτω ηλεκτρόδια μήκους 3 μέτρων τα οποία κατανέμονται ως εξής: 1 σε κάθε γωνία του γηπέδου του Υ/Σ με 2 σε κάθε πλευρά σε απόσταση μεταξύ τους 5 μέτρα και από ένα στο μέσο της κάθε πλευράς και τα εφαρμόζω στο CYMGrd.





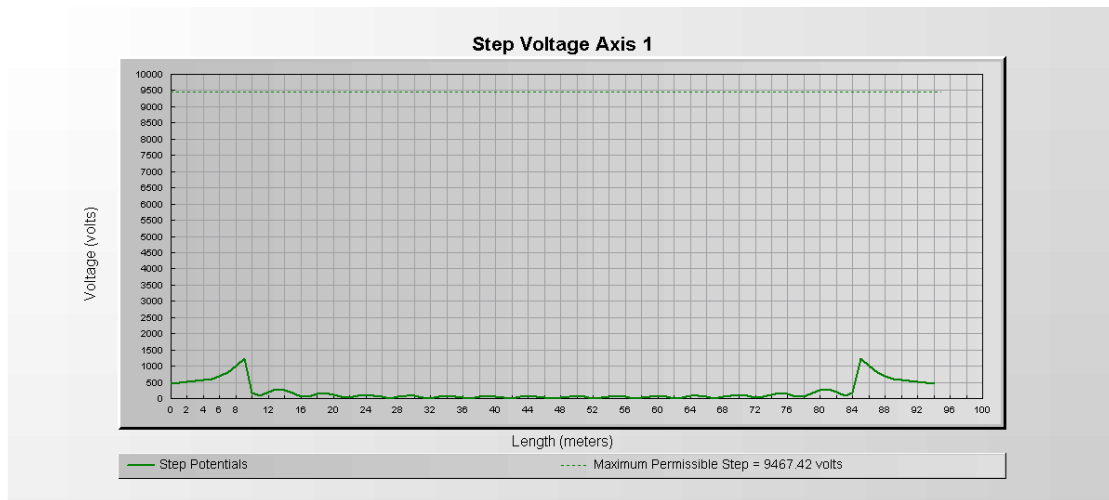
Διάγραμμα 4.71 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 3 με ηλεκτρόδια 3 μέτρων (με χαλίκι)

Το Διάγραμμα 4.71 δείχνει τις επικίνδυνες τάσεις επαφής εκτός επιτρεπτών ορίων που αναπτύσσονται εντός και εκτός της περιφράξης. Προσθέτω ηλεκτρόδια μήκους 6 μέτρων τα οποία κατανέμονται ως εξής: 1 σε κάθε γωνία του γηπέδου του Υ/Σ με 2 σε κάθε πλευρά σε απόσταση μεταξύ τους 5 μέτρα και από ένα στο μέσο της κάθε πλευράς και τα εφαρμόζω στο CYMGrd.

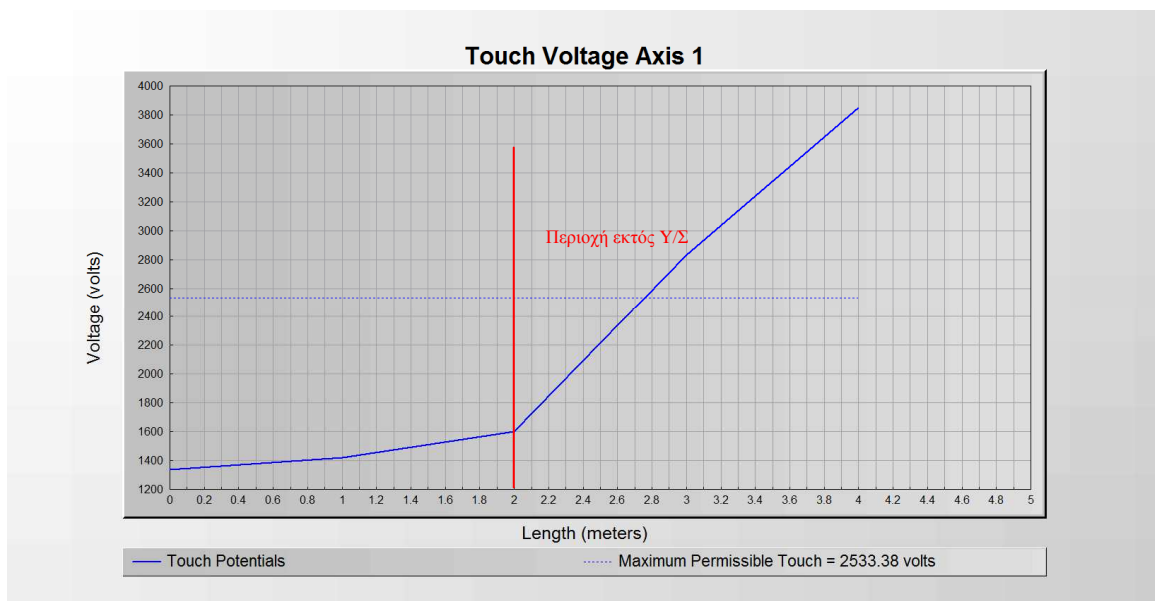


Διάγραμμα 4.72 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 3 με ηλεκτρόδια 6 μέτρων (με χαλίκι)

Με αντίστοιχα διαγράμματα από το CYMGrd με υλικό επιφανείας πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 10.000 Ωm (άσφαλτος):

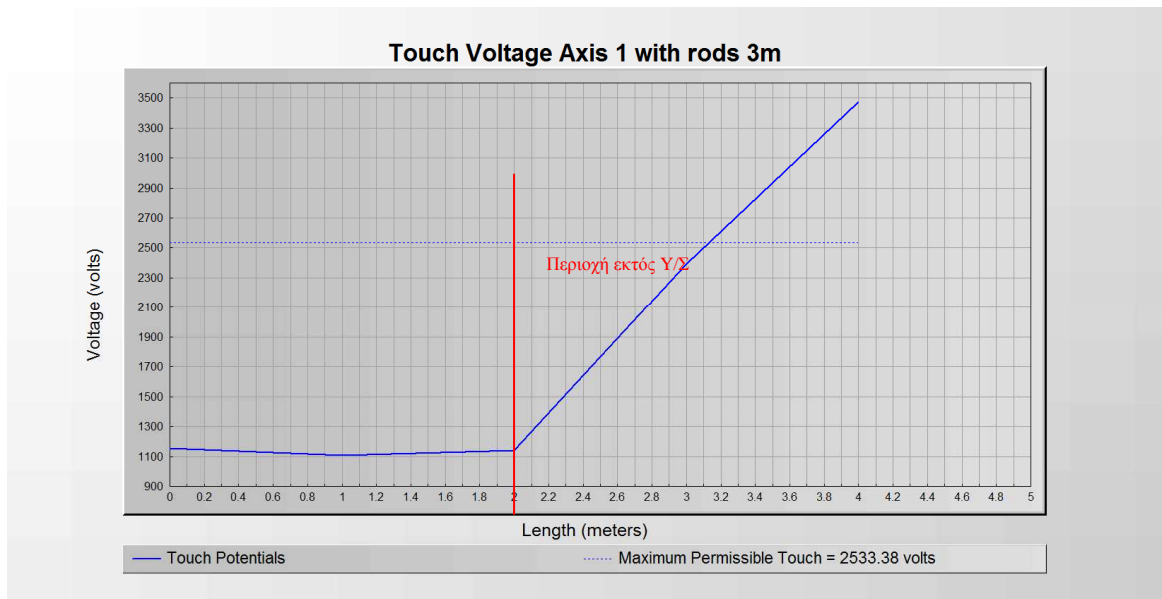


Διάγραμμα 4.73 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 1 (με άσφαλτο)



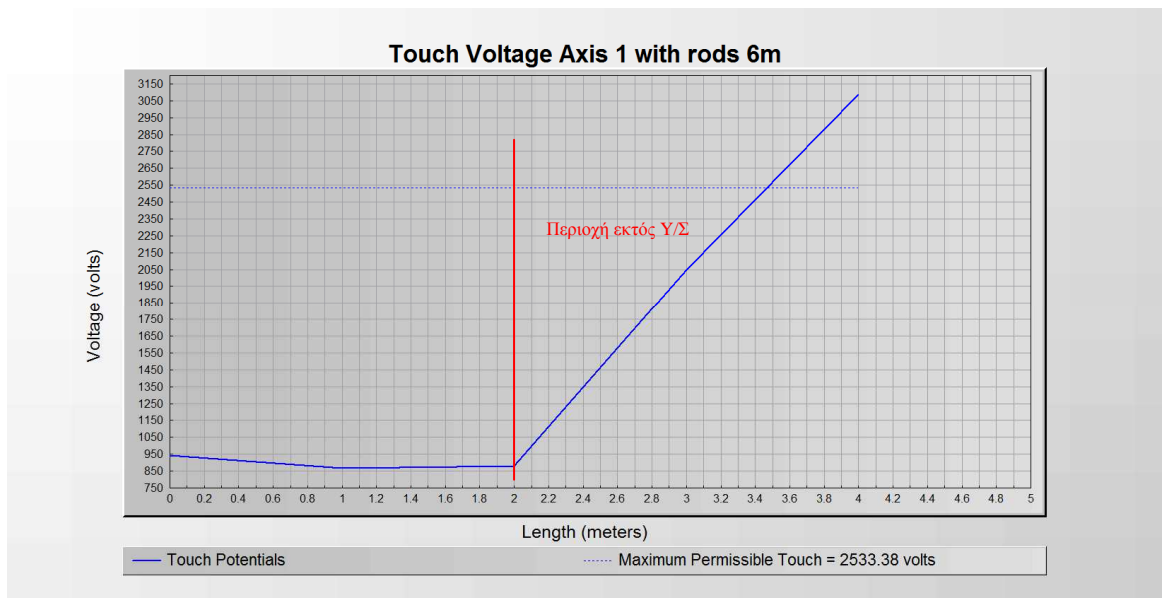
Διάγραμμα 4.74 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 1 (με άσφαλτο)

Το Διάγραμμα 4.74 δείχνει τις επικίνδυνες τάσεις επαφής εκτός επιτρεπτών ορίων που αναπτύσσονται εκτός της περιφραξης και σε απόσταση < 1 μέτρου. Προσθέτω ηλεκτρόδια μήκους 3 μέτρων τα οποία κατανέμονται ως εξής: 1 σε κάθε γωνία του γηπέδου του Υ/Σ με 2 σε κάθε πλευρά σε απόσταση μεταξύ τους 5 μέτρα και από ένα στο μέσο της κάθε πλευράς και τα εφαρμόζω στο CYMGrd.



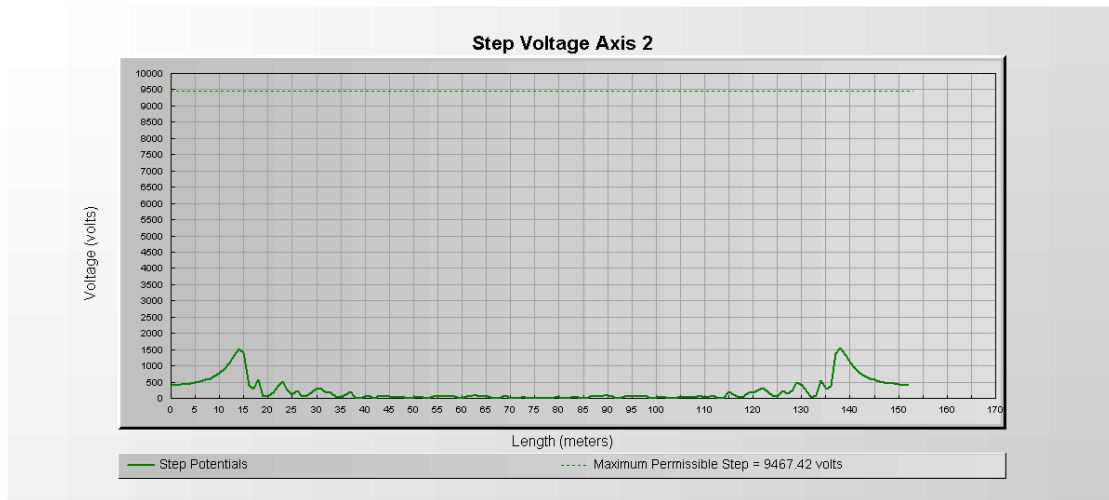
Διάγραμμα 4.75 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 1 με ηλεκτρόδια 3 μέτρων (με άσφαλτο)

Το Διάγραμμα 4.75 δείχνει τις επικίνδυνες τάσεις επαφής εκτός επιτρεπτών ορίων που αναπτύσσονται εκτός της περιφράξης και σε απόσταση περίπου 1,1 μέτρου. Προσθέτω ηλεκτρόδια μήκους 6 μέτρων τα οποία κατανέμονται ως εξής: 1 σε κάθε γωνία του γηπέδου του Υ/Σ με 2 σε κάθε πλευρά σε απόσταση μεταξύ τους 5 μέτρα και από ένα στο μέσο της κάθε πλευράς και τα εφαρμόζω στο CYMGrd.

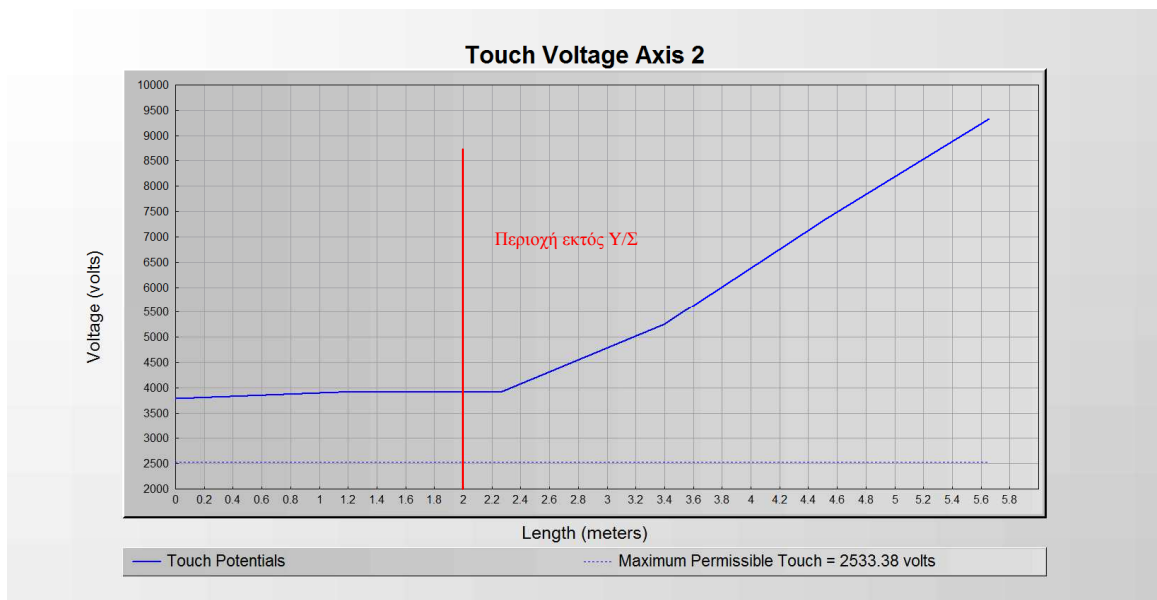


Διάγραμμα 4.76 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 1 με ηλεκτρόδια 6 μέτρων (με άσφαλτο)

Συμπεραίνω ότι αν τοποθετήσω ράβδους 6 μέτρων περιμετρικά της περιφράξης, οι επικίνδυνες τάσεις επαφής μειώνονται και απομακρύνονται από τον Υ/Σ.

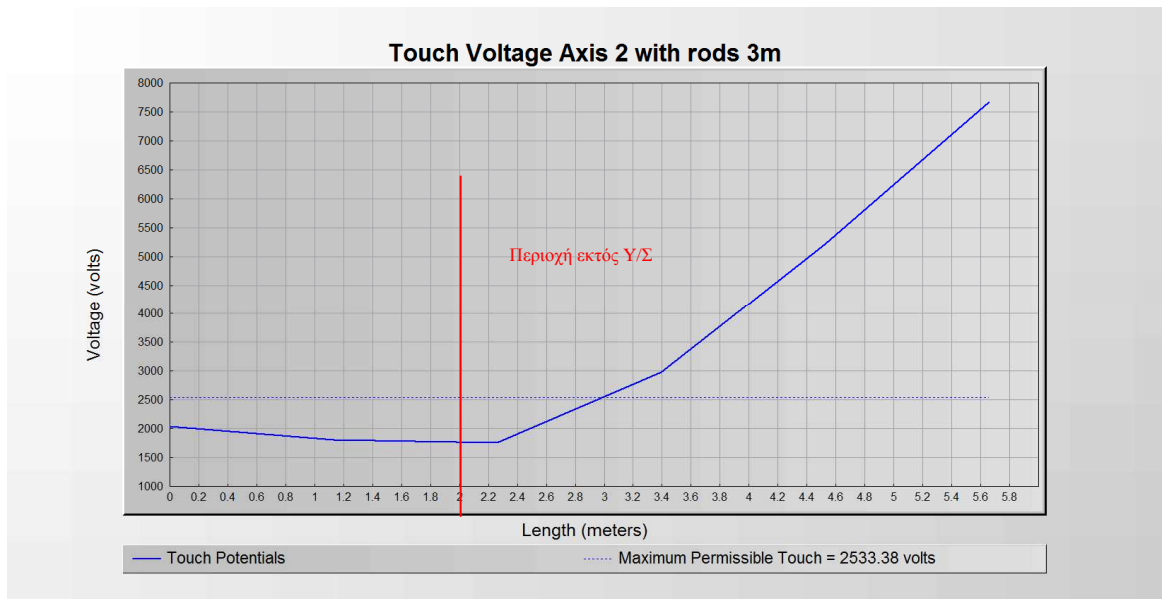


Διάγραμμα 4.77 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 2 (με άσφαλτο)



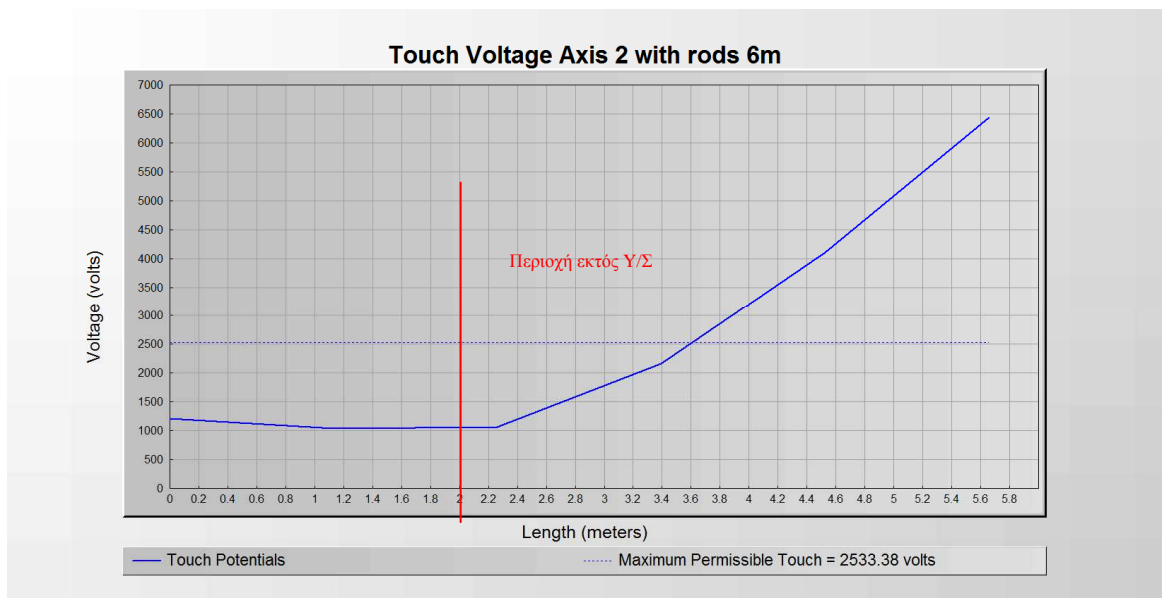
Διάγραμμα 4.78 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 2 (με άσφαλτο)

Το Διάγραμμα 4.78 δείχνει τις επικίνδυνες τάσεις επαφής εκτός επιτρεπτών ορίων που αναπτύσσονται εντός και εκτός της περιφράξης. Προσθέτω ηλεκτρόδια μήκους 3 μέτρων τα οποία κατανέμονται ως εξής: 1 σε κάθε γωνία του γηπέδου του Υ/Σ με 2 σε κάθε πλευρά σε απόσταση μεταξύ τους 5 μέτρα και από ένα στο μέσο της κάθε πλευράς και τα εφαρμόζω στο CYMGrd.



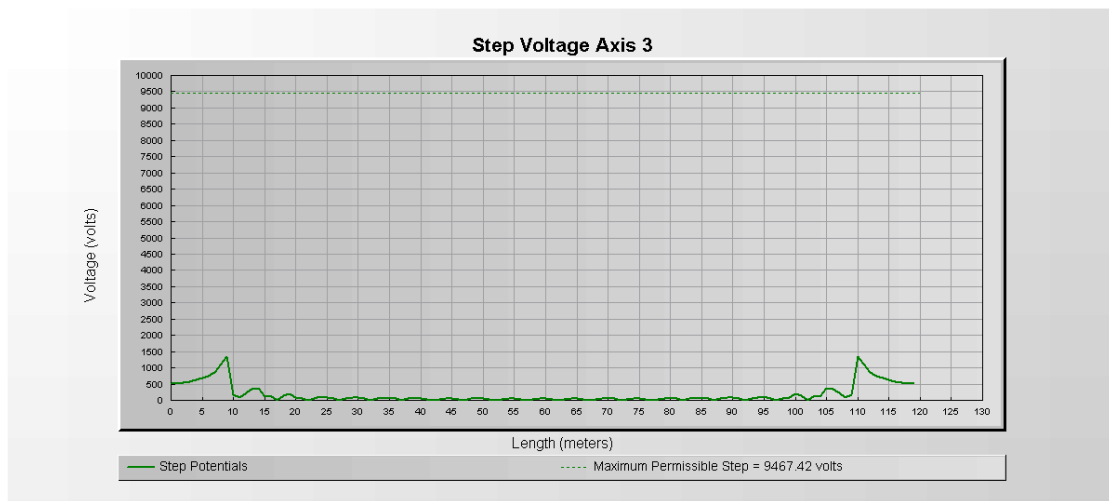
Διάγραμμα 4.79 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 2 με ηλεκτρόδια 3 μέτρων (με άσφαλτο)

Το Διάγραμμα 4.79 δείχνει τις επικίνδυνες τάσεις επαφής εκτός επιτρεπτών ορίων που αναπτύσσονται εκτός της περιφράξης και σε απόσταση < 1 μέτρου. Προσθέτω ηλεκτρόδια μήκους 6 μέτρων τα οποία κατανέμονται ως εξής: 1 σε κάθε γωνία του γηπέδου του Υ/Σ με 2 σε κάθε πλευρά σε απόσταση μεταξύ τους 5 μέτρα και από ένα στο μέσο της κάθε πλευράς και τα εφαρμόζω στο CYMGrd.

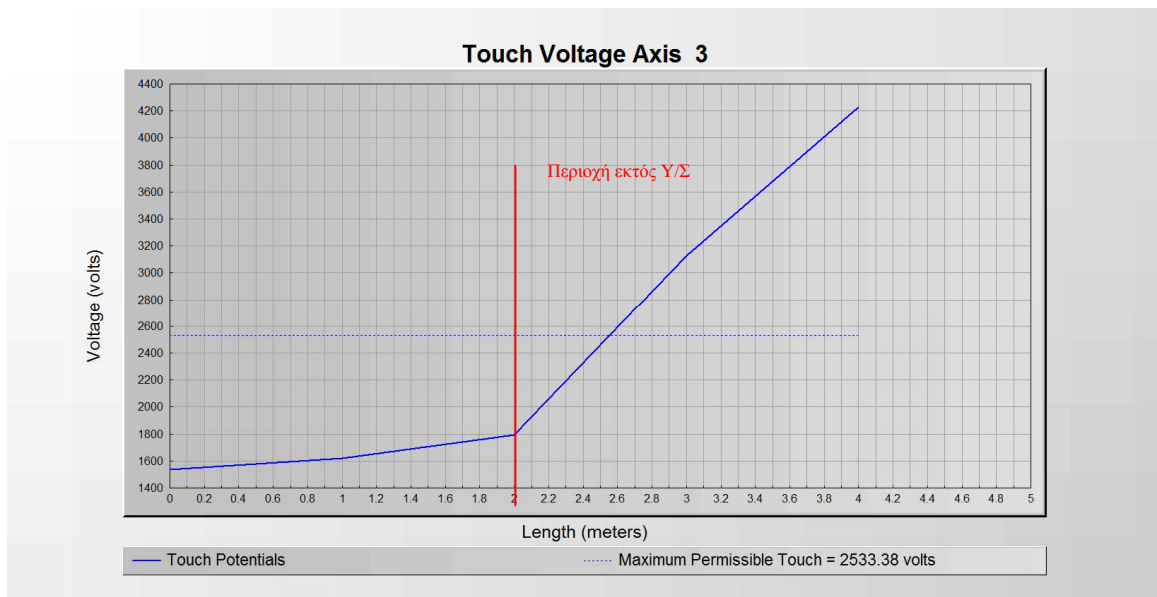


Διάγραμμα 4.80 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 2 με ηλεκτρόδια 6 μέτρων (με άσφαλτο)

Συμπεραίνω ότι αν τοποθετήσω ράβδους 6 μέτρων περιμετρικά της περίφραξης, οι επικίνδυνες τάσεις επαφής μειώνονται και απομακρύνονται από τον Υ/Σ.

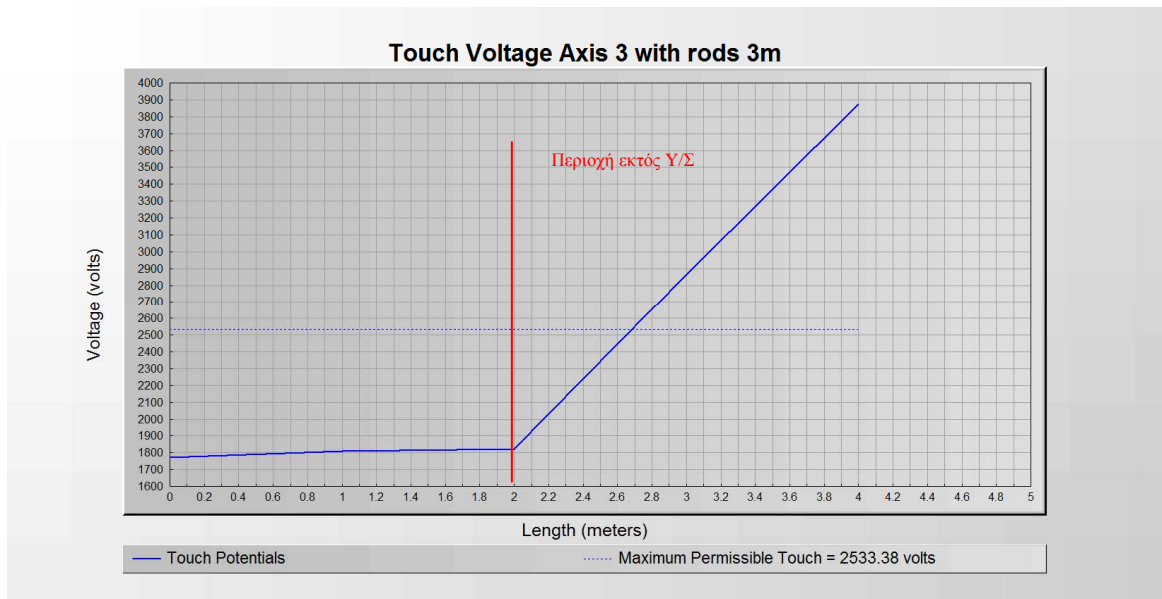


Διάγραμμα 4.81 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 3 (με ασφαλτο)



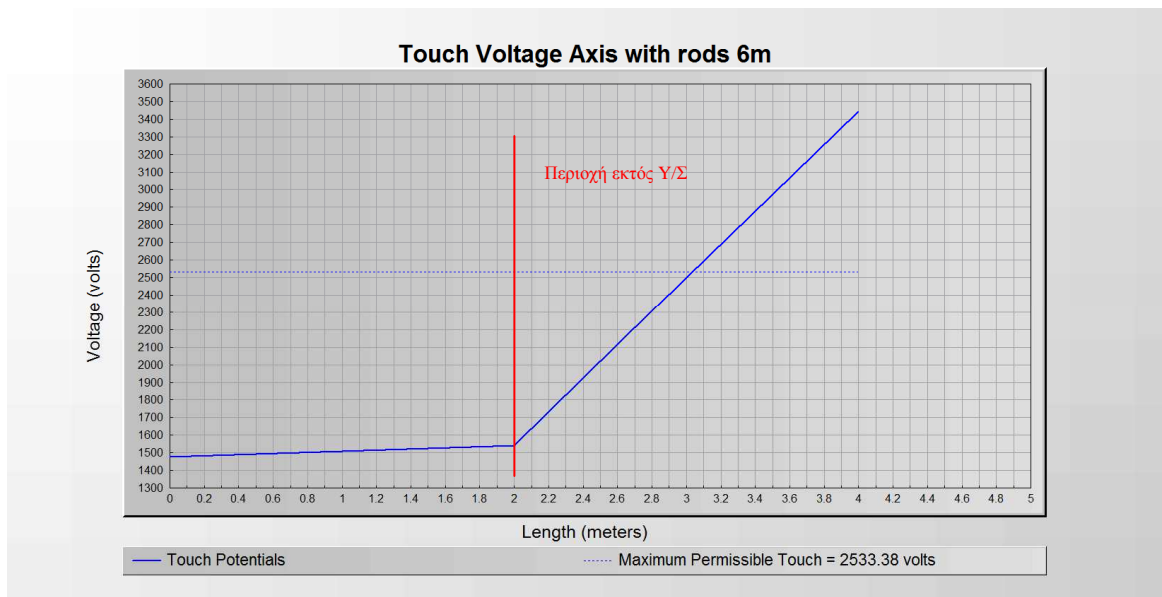
Διάγραμμα 4.82 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 3 (με ασφαλτο)

Το Διάγραμμα 4.82 δείχνει τις επικίνδυνες τάσεις επαφής εκτός επιτρεπτών ορίων που αναπτύσσονται εκτός αλλά πολύ κοντά της περίφραξης. Προσθέτω ηλεκτρόδια μήκους 3 μέτρων τα οποία κατανέμονται ως εξής: 1 σε κάθε γωνία του γηπέδου του Υ/Σ με 2 σε κάθε πλευρά σε απόσταση μεταξύ τους 5 μέτρα και από ένα στο μέσο της κάθε πλευράς και τα εφαρμόζω στο CYMGrd.



Διάγραμμα 4.83 –Τάσεις Επαφής στον Άξονα 3 με ηλεκτρόδια 3 μέτρων (με άσφαλτο)

Το Διάγραμμα 4.83 δείχνει τις επικίνδυνες τάσεις επαφής εκτός επιτρεπτών ορίων που αναπτύσσονται εκτός της περιφραξής και σε απόσταση 70cm περίπου. Προσθέτω ηλεκτρόδια μήκους 6 μέτρων τα οποία κατανέμονται ως εξής: 1 σε κάθε γωνία του γηπέδου του Υ/Σ με 2 σε κάθε πλευρά σε απόσταση μεταξύ τους 5 μέτρα και από ένα στο μέσο της κάθε πλευράς και τα εφαρμόζω στο CYMGrd.



Διάγραμμα 4.84 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 3 με ηλεκτρόδια 6 μέτρων (με άσφαλτο)

Συμπεραίνω ότι αν τοποθετήσω ράβδους 6 μέτρων περιμετρικά της περιφραξής, οι επικίνδυνες τάσεις επαφής μειώνονται και απομακρύνονται από τον Υ/Σ.

## **Συμπεράσματα**

### Περίπτωση 1. 50 Kgr, 0,5 sec

Χωρίς υλικό επιφανείας δεν εμφανίζεται πρόβλημα βηματικών τάσεων εντός του χώρου του Υ/Σ παρά μόνο πλησίον της περιφραξης και εκτός του Υ/Σ όπως φαίνεται από τα *Διαγράμματα 4.37, 4.39 και 4.41*. Από τα *Διαγράμματα 4.38, 4.40 και 4.42* προκύπτουν επικίνδυνες τάσεις επαφής εκτός των επιτρεπτών ορίων παντού στο χώρο.

Τοποθετώντας υλικό επιφανείας πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 2.500 Ωm (χαλίκι) οι βηματικές τάσεις είναι εντός ορίων στους τρεις άξονες αλλά δεν εξαλείφονται οι τάσεις επαφής ιδιαίτερα στις γωνίες του Υ/Σ, *Διαγράμματα 4.44, 4.46 και 4.48*.

Τοποθετώντας υλικό επιφανείας πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 10.000 Ωm (άσφαλτος) είμαστε εντός ορίων των βηματικών τάσεων αλλά δεν εξαλείφονται οι τάσεις επαφής ιδιαίτερα στις γωνίες του Υ/Σ, *Διαγράμματα 4.50, 4.52 και 4.54* για τυχόν βραχυκύκλωμα βάσει των προδιαγραφών.

### Περίπτωση 2. 70 Kgr, 0,5 sec

Χωρίς υλικό επιφανείας δεν εμφανίζεται πρόβλημα βηματικών τάσεων εντός του χώρου του Υ/Σ παρά μόνο πλησίον της περιφραξης και εκτός του Υ/Σ όπως φαίνεται από τα *Διαγράμματα 4.57, 4.58 και 4.59*. Από τα *Διαγράμματα 4.56, 4.58 και 4.60* προκύπτουν επικίνδυνες τάσεις επαφής εκτός των επιτρεπτών ορίων παντού στο χώρο.

Τοποθετώντας υλικό επιφανείας πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 2.500 Ωm (χαλίκι) οι βηματικές τάσεις είναι εντός ορίων και στους τρεις άξονες αλλά παρέμεινε το πρόβλημα των τάσεων επαφής εντός του Υ/Σ, στην περιφραξη και εκτός του Υ/Σ, *Διαγράμματα 4.62, 4.66 και 4.70*.

Αφού προστέθηκαν αρχικά κάθετοι ράβδοι γειώσεων μήκους 3 μέτρων κατανεμένοι ως εξής:

1 σε κάθε γωνία του γηπέδου του Υ/Σ με 2 σε κάθε πλευρά σε απόσταση μεταξύ τους 5 μέτρα και από ένα στο μέσο της κάθε πλευράς βελτιώθηκε το σύστημα γείωσης αλλά δε λύθηκε όπως φαίνεται στα *Διάγραμματα 4.63, 4.67 και 4.71*. Το πρόβλημα δείχνει να βελτιώνεται ακόμη περισσότερο αν τοποθετηθούν κάθετοι ράβδοι γειώσεων μήκους 6 μέτρων *Διάγραμματα 4.64, 4.68 και 4.72*.

Τοποθετώντας υλικό επιφανείας πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 10.000 Ωm (άσφαλτος) είμαστε εντός ορίων των βηματικών τάσεων φαίνεται από τα *Διαγράμματα 4.73, 4.77 και 4.81*. Από τα *Διαγράμματα 4.74 και 4.82* προκύπτουν επικίνδυνες τάσεις επαφής μικρότερες του 1 μέτρου ενώ το *Διαγράμμα 4.76* είναι



εκτός των επιτρεπτών ορίων για τυχόν βραχυκύκλωμα βάσει των προδιαγραφών [13], [15].

Αφού προστέθηκαν αρχικά κάθετοι ράβδοι γειώσεων μήκους 3 μέτρων κατανεμένοι ως εξής:

1 σε κάθε γωνία του γηπέδου του Υ/Σ με 2 σε κάθε πλευρά σε απόσταση μεταξύ τους 5 μέτρα και από ένα στο μέσο της κάθε πλευράς βελτιώθηκε το σύστημα γείωσης αλλά δε λύθηκε όπως φαίνεται στα *Διάγραμματα 4.75, 4.79 και 4.83* μιας και η επικίνδυνη απ'όσταση για επαφή από άνθρωπο εκτός του Υ/Σ είναι ίση ή μικρότερη του 1 μέτρου. Το πρόβλημα δείχνει να βελτιώνεται αν τοποθετηθούν κάθετοι ράβδοι γειώσεων μήκους 6 μέτρων *Διάγραμματα 4.76, 4.80 και 4.84*.

Σύμφωνα με τα παραπάνω μπορούμε να γειώσουμε με ασφάλεια Υ/Σ μεγέθους 75 X 100 μέτρα με πλέγμα 5 X 5 μέτρα και κάθετους ράβδους γείωσης κατάλληλης διατομής και μήκους.

Η βέλτιστη τεχνικά και οικονομικότερη μελέτη μας οδηγεί στην επίστρωση με υλικό επιφανείας, πάχους 10 cm και πλάτους 2,5 m, ειδικής αντίστασης 2.500 Ωm (χαλίκι) εντός και εκτός της περιφράξης όπου αναπτύσσονται επικίνδυνες βηματικές τάσεις και τάσεις επαφής. Περιμετρικά θα πρέπει να τοποθετηθούν κάθετοι ράβδοι γείωσης διατομής 19 mm σε διάταξη όπως αναφέρθηκε νωρίτερα. Δηλαδή, 1 σε κάθε γωνία του γηπέδου του Υ/Σ με 2 σε κάθε πλευρά σε απόσταση μεταξύ τους 5 μέτρα και από ένας στο μέσον της κάθε πλευράς. Επίσης αν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων προκύψουν επικίνδυνες τάσεις εκτός των επιτρεπτών ορίων τότε επιστρώνονται με υλικό μεγαλύτερης ειδικής αντίστασης (πχ άσφαλτος) όπως καθορίζεται από τη σχετική προδιαγραφή της ΔNEM [13].

Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι αν αυξήσουμε το πάχος του βελτιωτικού υλικού αλλάζουν τα όρια και βελτιώνεται η μελέτη. Αυτό όμως μπορεί να επιβαρύνει τον προϋπολογισμό του έργου που έχουμε να εκτελέσουμε. Στη 2<sup>η</sup> περίπτωση θα μπορούσαμε να βάλουμε υλικό επιφανείας πάχους 15 cm και ειδικής αντίστασης 10.000 Ωm (άσφαλτος). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα αύξηση των επιτρεπτών ορίων περίπου 11% ενώ για 20 cm έχουμε αύξηση περίπου 11,8%.

Επίσης, για την επίτευξη ενός ασφαλούς ως προς τη μελέτη γείωσης ενός Υ/Σ, πρέπει να εξετάζονται παράγοντες όπως η έκταση του Υ/Σ, η πυκνότητα του πλέγματος, η χρήση κατάλληλου υλικού επιφανείας και η κατάλληλη περίφραξη [18] και όλα μαζί να μας οδηγήσουν στη βέλτιστη λύση τόσο τεχνικά όσο και οικονομικά.

Τέλος, πρέπει να επισημάνουμε ότι πρέπει σε κάθε περίπτωση να τηρείται πιστά και να ακολουθείται η κατασκευή του δικτύου γείωσης σύμφωνα με την σχετική προδιαγραφή και ακολουθώντας τους κανόνες ασφαλείας. Αν δεν τηρηθεί, μπορεί να προκύψει ένα σύστημα γείωσης επικίνδυνο προς τον άνθρωπο και τον εξοπλισμό.

#### 4.4. Μελέτη Πολυστρωματικού μοντέλου εδάφους (3 X 3 πλέγμα)

Παρουσιάζεται μελέτη εφαρμογής σε Υ/Σ 150/20 kV ίδιας τάξης μεγέθους με τον προηγούμενο. Δηλαδή αποτελείται από:

- 2 ΚΨ Εναέριων ΓΜ 150 kV
- 1 Απλό Ζυγό 150 kV
- 1 Μ/Σ Ισχύος 40/50 MVA
- 1 Συγκρότημα Πυκνωτών Αντιστάθμισης 3 x 4 MVAR
- Κτίριο ελέγχου με πύλες ΜΤ 20 kV εσωτερικού τύπου

Ο παραπάνω εξοπλισμός βρίσκεται εντός μεταλλικής περιφραξης σε γήπεδο διαστάσεων 75 x 100 μέτρα.

##### Ειδική αντίσταση εδάφους

Πολυστρωματικό μοντέλο εδάφους, δύο στρωμάτων, με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά

$h = 10$  μέτρα

ειδική αντίσταση εδάφους άνω στρώματος  $\rho_1 = 140 \Omega\text{m}$

ειδική αντίσταση εδάφους κάτω στρώματος  $\rho_2 = 580 \Omega\text{m}$

##### Υπολογισμός αντίστασης γείωσης

Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα CYMGrd 6.3 της εταιρίας CYME [17] και για μοντέλο εδάφους δύο στρωμάτων, όπως παραπάνω, υπολογίστηκε η αντίσταση γείωσης του πλέγματος ίση με 1,78  $\Omega$  ακολουθώντας το πρότυπο [15].

##### Υπολογισμός ρεύματος βραχυκύκλωσης

Προκειμένου να υπολογιστούν οι βηματικές τάσεις και οι τάσεις επαφής είναι απαραίτητο να καθοριστεί η τιμή του ρεύματος προς γη για μονοφασικό σφάλμα που τυχόν θα συμβεί στον Υ/Σ. Το ρεύμα μονοφασικού σφάλματος καθορίστηκε ίσο με 30 kA ενώ ο συντελεστής διαίρεσης ρεύματος σφάλματος ελήφθη ίσος με 0,8.

##### Υπολογισμός ανύψωσης δυναμικού

Η ανύψωση δυναμικού GPR (Ground Potential Rise) του Υ/Σ υπολογίστηκε ίση με 42,77 kV.

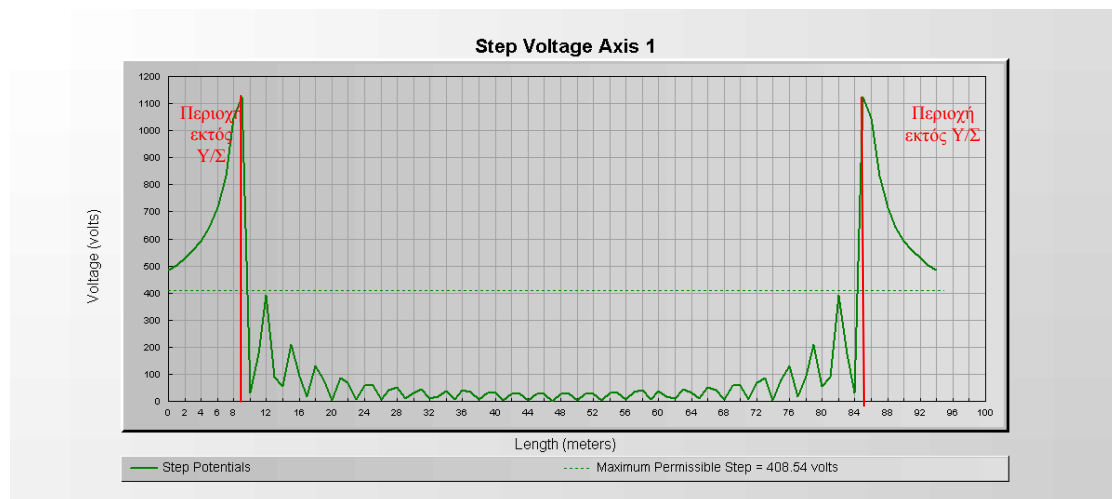
Υπολογισμός μέγιστων επιτρεπόμενων ορίων αναπτυσσόμενων τάσεων

Τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια για βηματικές τάσεις και τάσεις επαφής υπολογίστηκαν με βάση το πρότυπο ANSI/IEEE Std 80-2013 για ανθρώπινο σώμα βάρους 70kg. Οι υπολογισμοί των επιτρεπόμενων ορίων βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής πραγματοποιήθηκαν για συχνότητα 50 Hz, για χρόνο εκκαθάρισης σφάλματος 0,5 sec, για τις 3 παρακάτω περιπτώσεις όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.5:

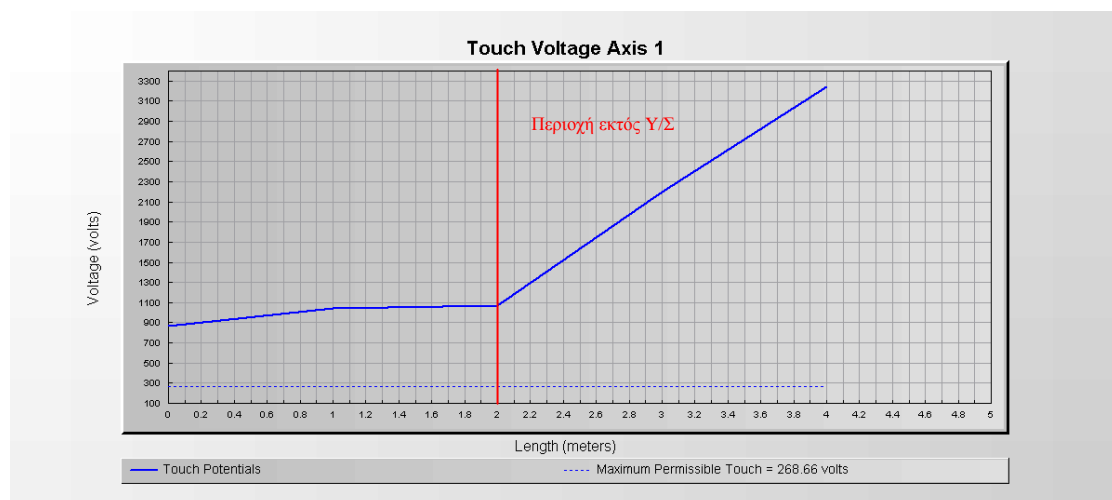
**Πίνακας 4.5 – Όρια Βηματικών τάσεων και τάσεων Επαφής για  $\rho_1=140$ ,  $\rho_2=580$ ,  $h=10$  και 70 kgr, 0,5 sec**

Στοιχεία μελέτης	Όρια για $\rho_1=140$ , $\rho_2=580$ , $h=10$ 70 kgr, 0,5 sec	
	Βηματική Τάση (Volt)	Τάση Επαφής (Volt)
A. Χωρίς υλικό επιφανείας	408,54	268,66
B. Με υλικό επιφανείας πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 2.500 $\Omega\text{m}$ (χαλίκι)	2576,79	810,72
Γ. Με υλικό επιφανείας πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 10.000 $\Omega\text{m}$ (άσφαλτος)	9467,42	2533,38

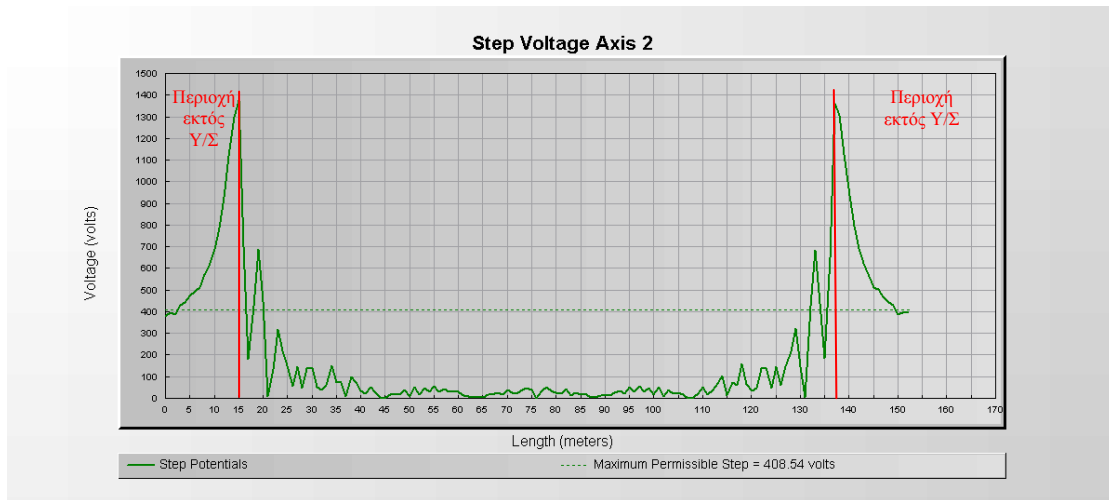
Με αντίστοιχα δεδομένα και διαγράμματα από το CYMGrd και χωρίς υλικό επιφανείας λαμβάνω τα εξής:



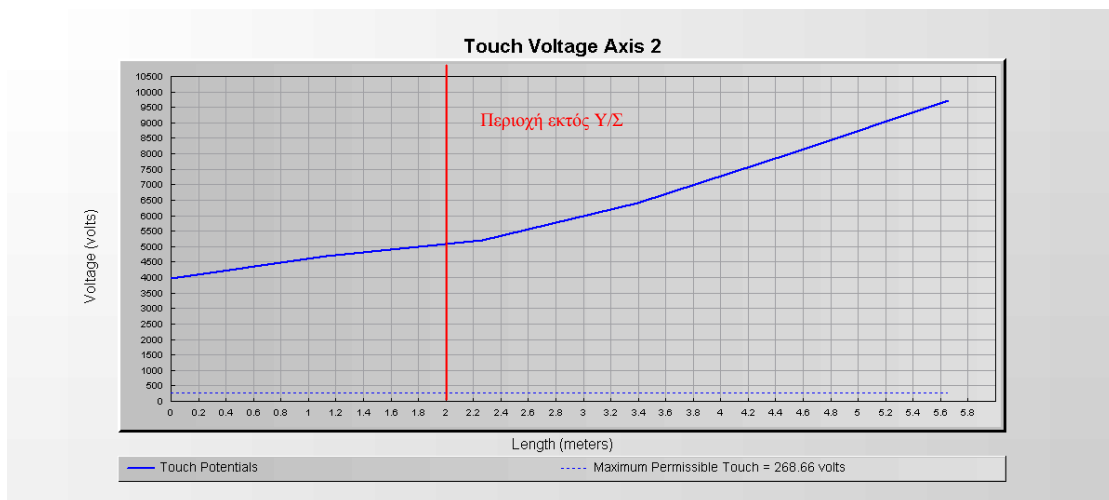
*Διάγραμμα 4.85 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 1*



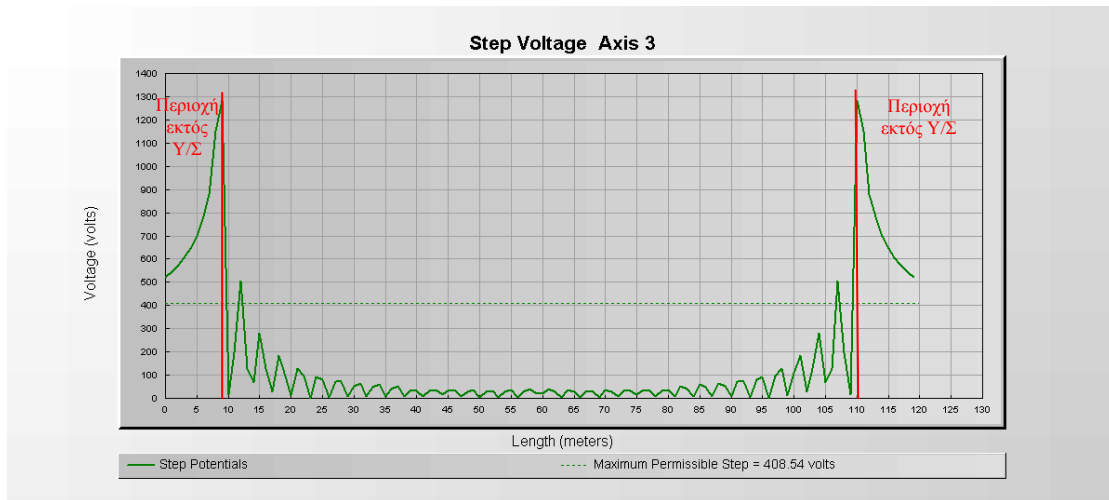
*Διάγραμμα 4.86 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 1*



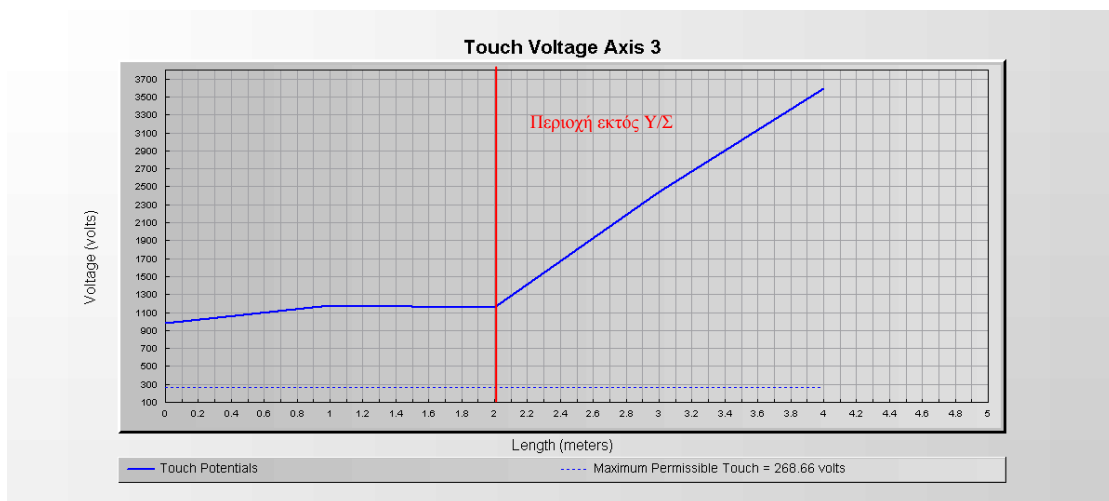
Διάγραμμα 4.87 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 2



Διάγραμμα 4.88 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 2



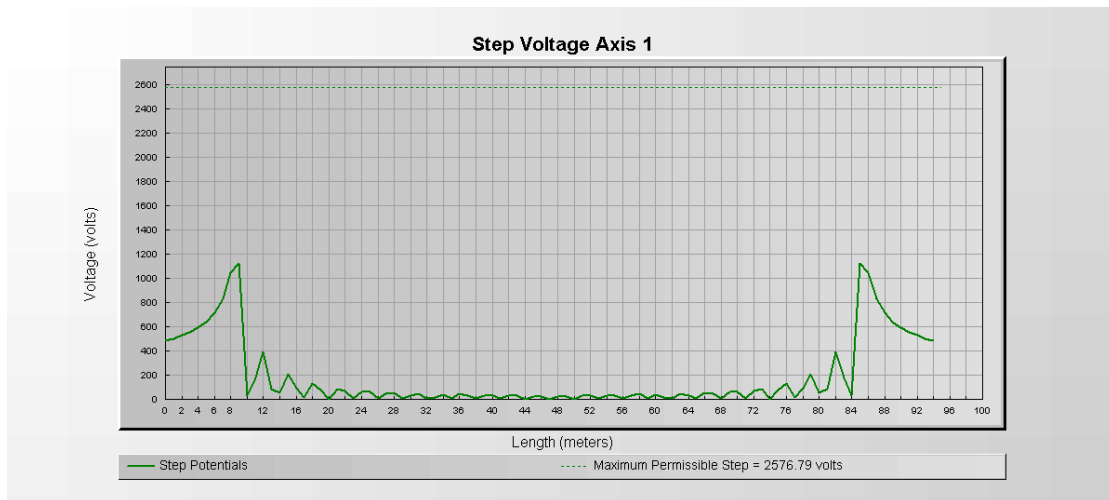
Διάγραμμα 4.89 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 3



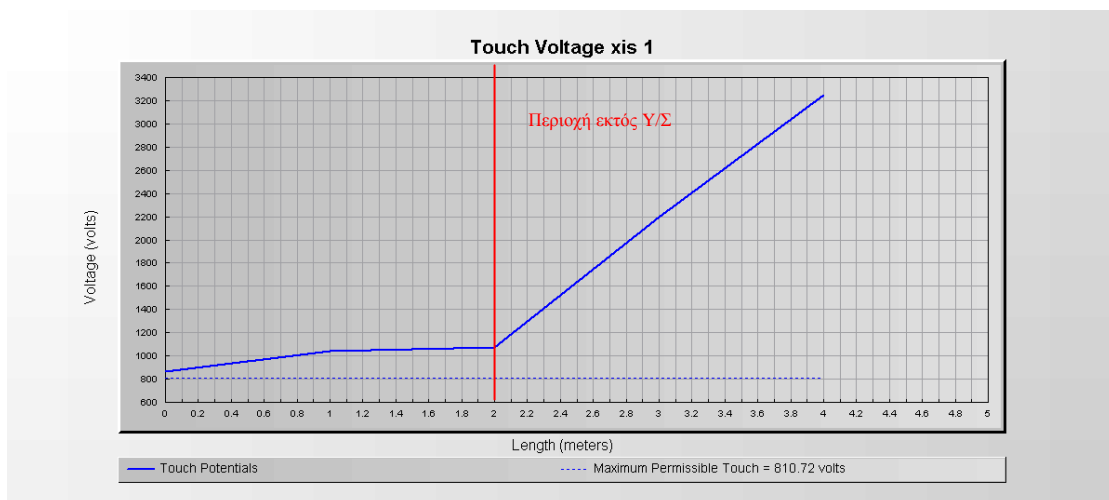
Διάγραμμα 4.90 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 3

Όπως μπορούμε να διακρίνουμε από τα Διαγράμματα 4.85, 4.87 και 4.89, οι βηματικές τάσεις είναι εκτός ορίων στην περιφραξη ενώ τα Διαγράμματα 4.86, 4.88 και 4.90 των τάσεων επαφής είναι εκτός ορίων εντός και εκτός του Υ/Σ.

Προσθέτω υλικό πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 2.500 Ωm (χαλίκι) και τα αντίστοιχα διαγράμματα από το CYMGrd είναι:

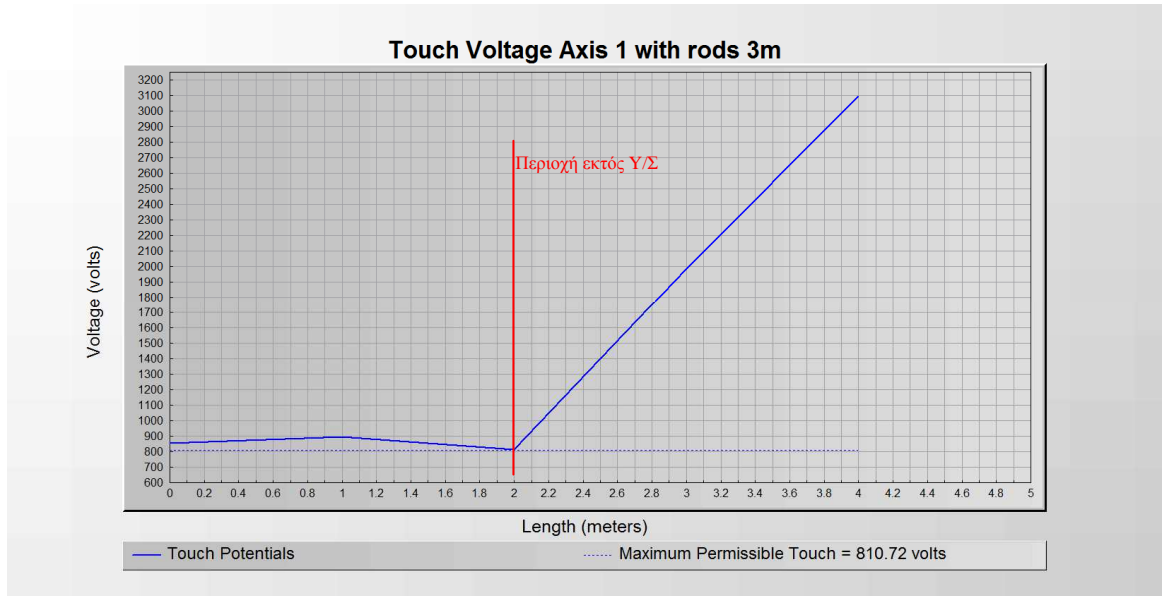


Διάγραμμα 4.91 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 1 (με χαλίκι)



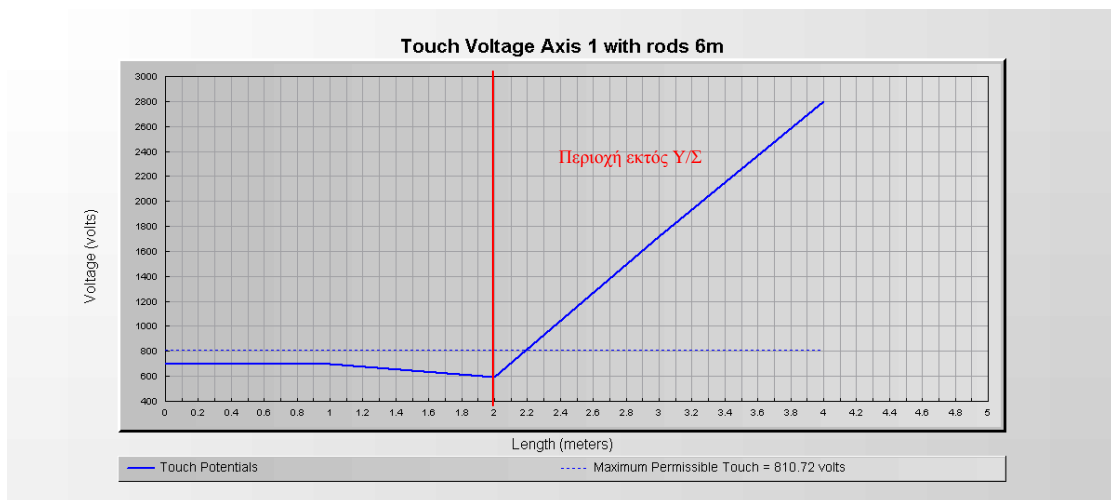
Διάγραμμα 4.92 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 1 (με χαλίκι)

Το Διάγραμμα 4.92 μας δείχνει τις επικίνδυνες τάσεις επαφής εκτός επιτρεπτών ορίων που αναπτύσσονται εντός και εκτός της περιφράξης. Προσθέτω ηλεκτρόδια μήκους 3 μέτρων, 1 σε κάθε γωνία του γηπέδου του Υ/Σ με 2 σε κάθε πλευρά σε απόσταση μεταξύ τους 6 μέτρων και από ένα στο μέσο της κάθε πλευράς και τα εφαρμόζω στο CYMGrd.



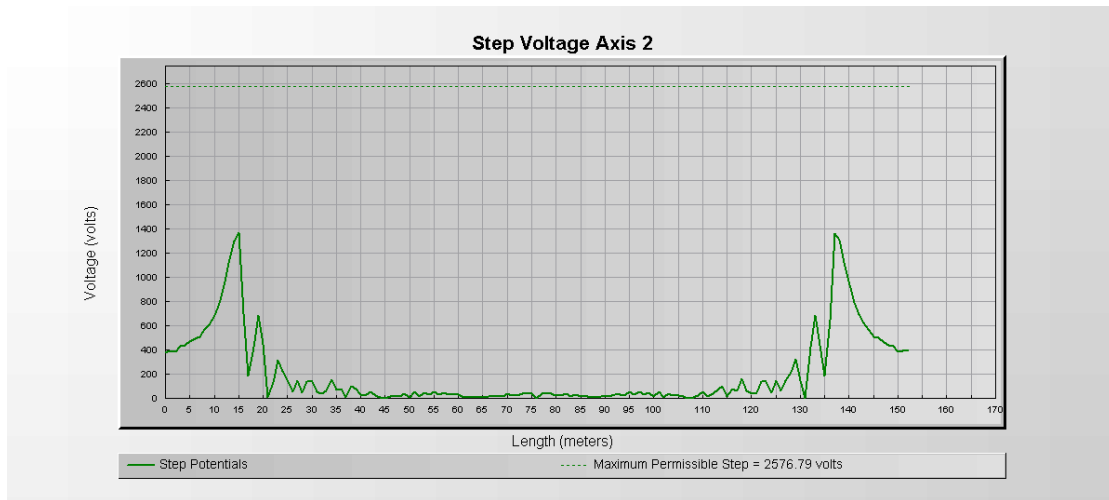
Διάγραμμα 4.93 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 1 με ηλεκτρόδια 3 μέτρων (με χαλίκι)

Το Διάγραμμα 4.93 μας δείχνει τις επικίνδυνες τάσεις επαφής που συνεχίζω να έχω. Προσθέτω ηλεκτρόδια μήκους 6 μέτρων και τα εφαρμόζω στο CYMGrd.

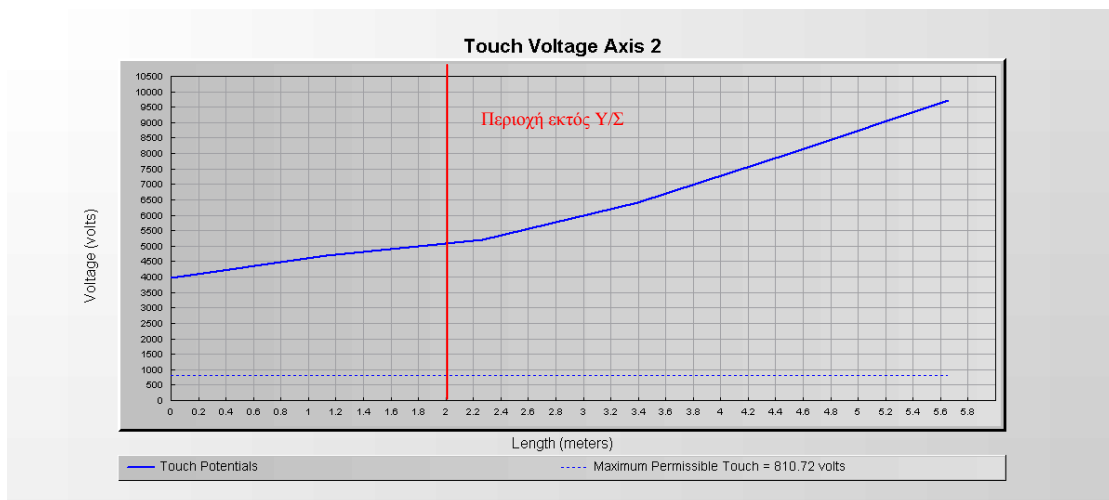


Διάγραμμα 4.94 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 1 με ηλεκτρόδια 6 μέτρων (με χαλίκι)

Παρατηρούμε ότι το πρόβλημα δε λύθηκε διότι υπάρχουν επικίνδυνες τάσεις επαφής εκτός του Υ/Σ αλλά πολύ κοντά στην περιφραγή όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.94.



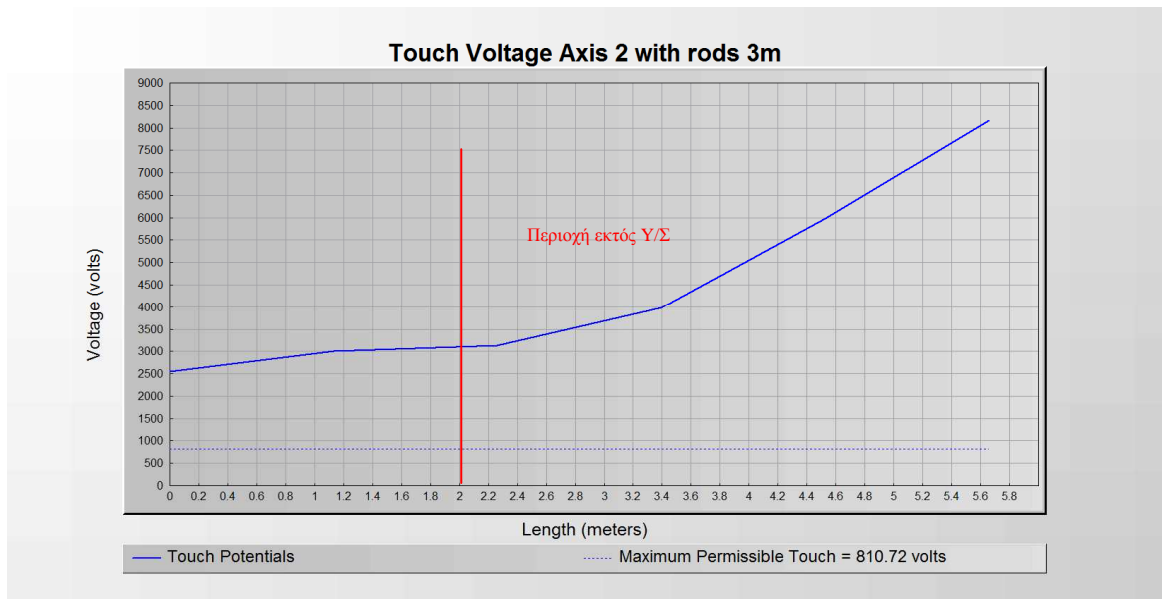
Διάγραμμα 4.95 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 2 (με χαλίκι)



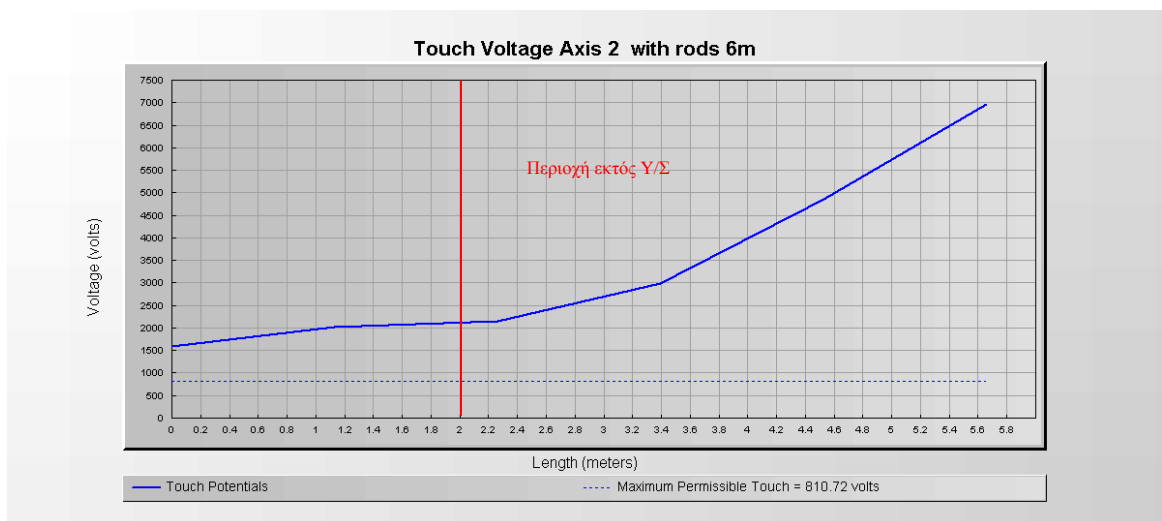
Διάγραμμα 4.96 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 2 (με χαλίκι)

Το Διάγραμμα 4.96 μας δείχνει τις επικίνδυνες τάσεις επαφής που υπάρχουν. Προσθέτω ηλεκτρόδια μήκους 3 μέτρων και τα εφαρμόζω στο CYMGrd.



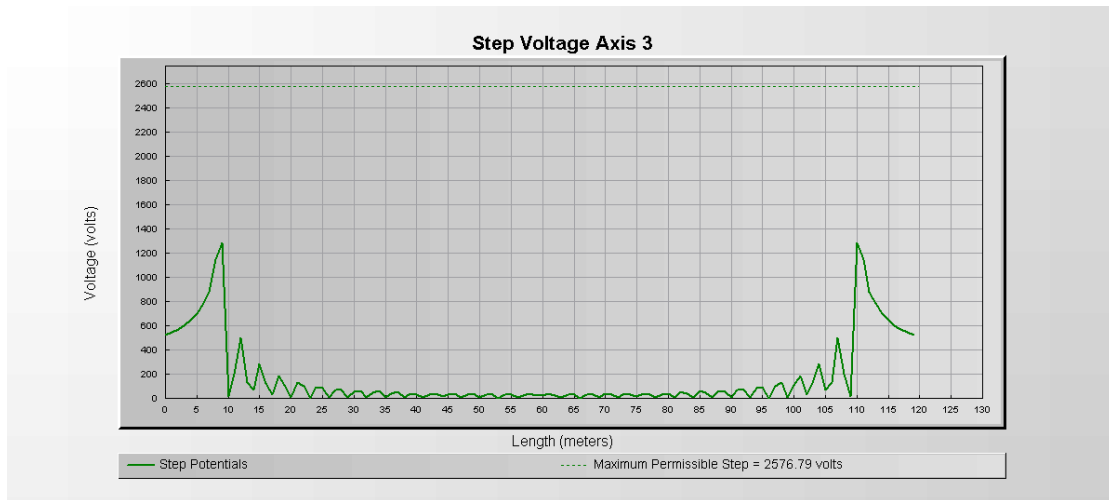


Διάγραμμα 4.97 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 2 με ηλεκτρόδια 3 μέτρων (με χαλίκι)

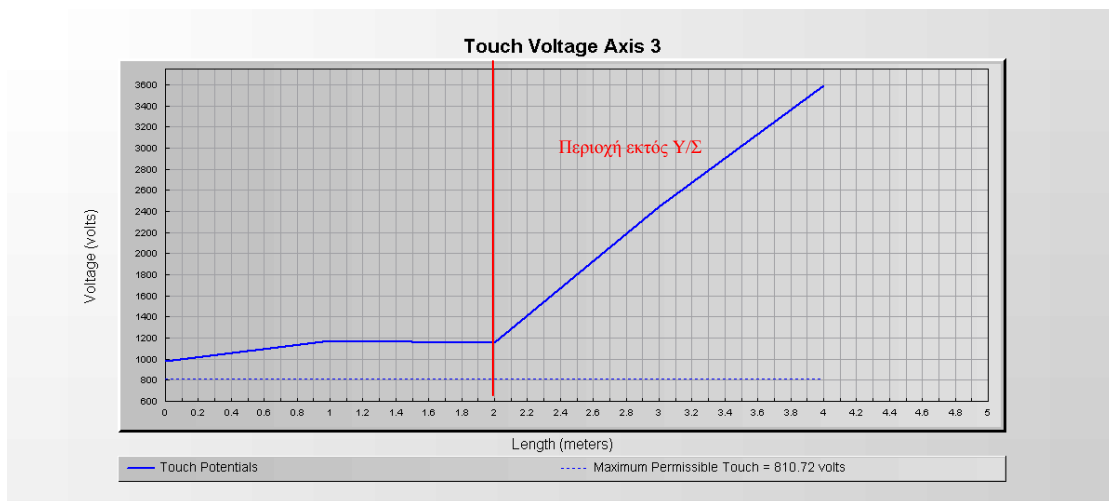


Διάγραμμα 4.98 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 2 με ηλεκτρόδια 6 μέτρων (με χαλίκι)

Από τα Διαγράμματα 4.97 και 4.98 παρατηρούμε ότι υπάρχει πρόβλημα στις τάσεις επαφής ακόμη και με προσθήκη κάθετων ράβδων γείωσης.

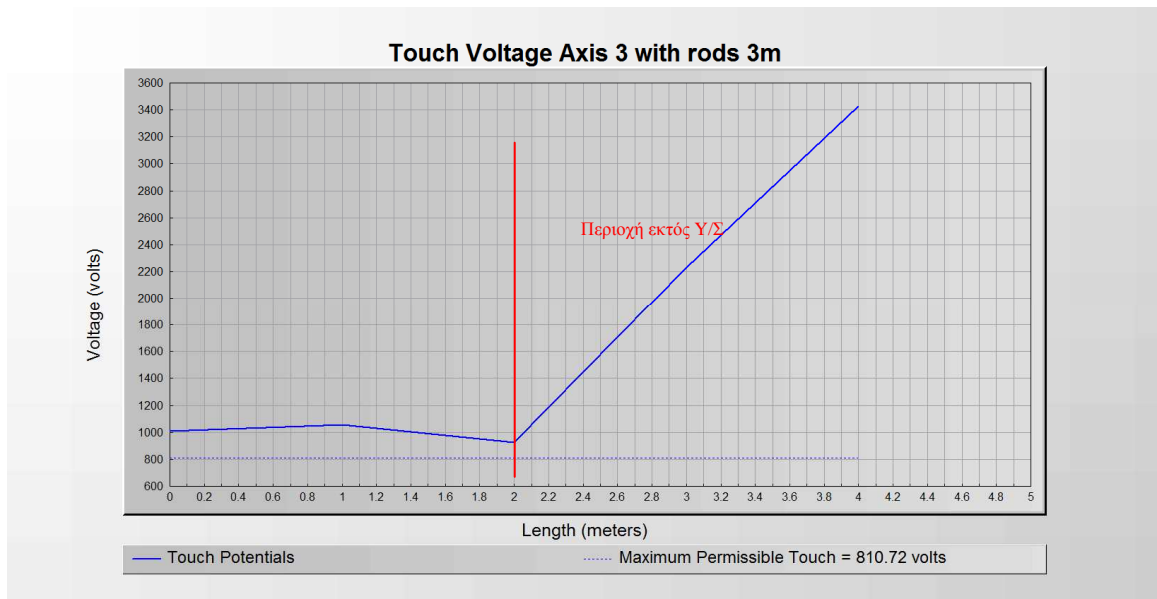


Διάγραμμα 4.99 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 3 (με χαλίκι)

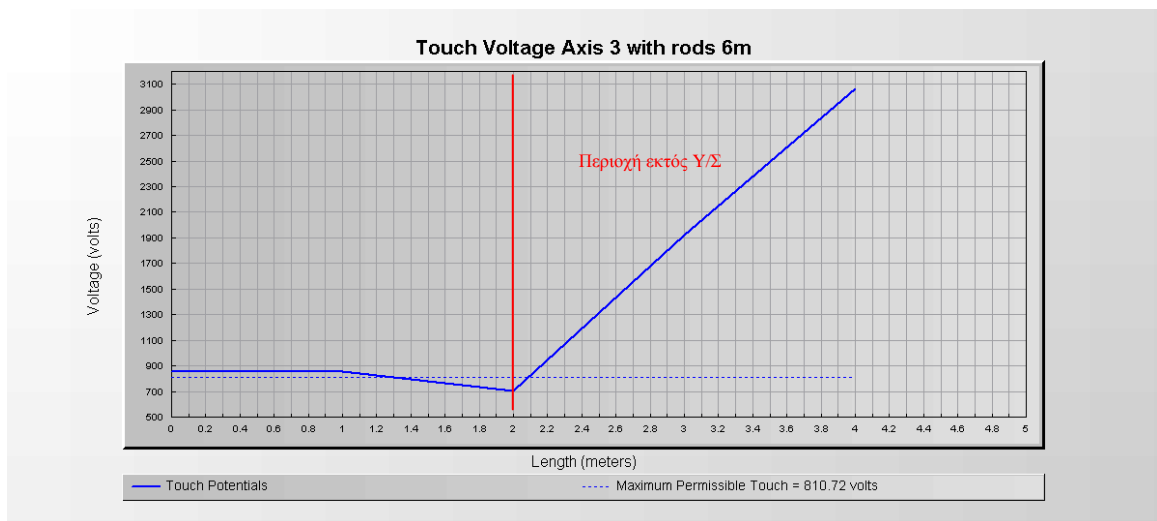


Διάγραμμα 4.100 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 3 (με χαλίκι)

Τα αντίστοιχα διαγράμματα των τάσεων επαφής, όπου έχω και το πρόβλημα, προσθέτοντας ηλεκτρόδια είναι:



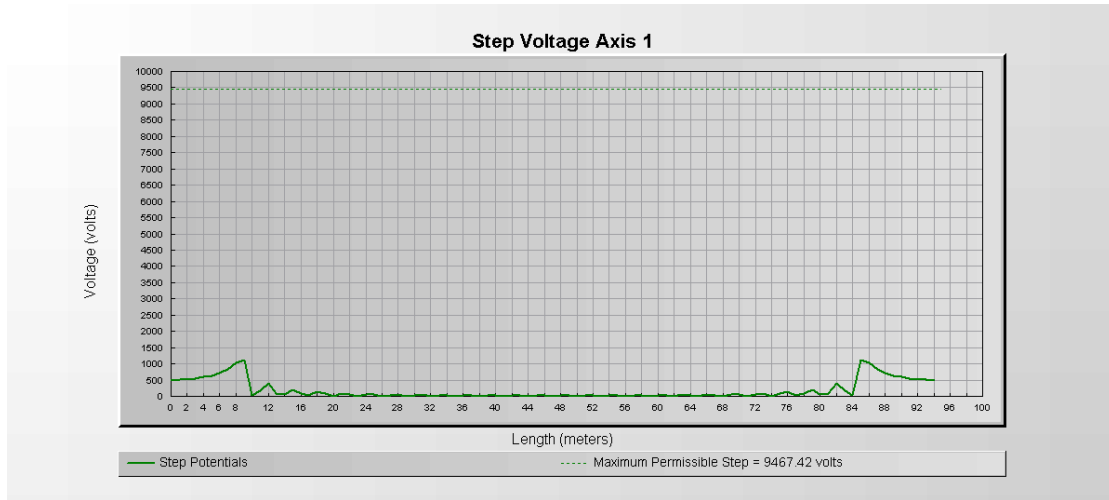
Διάγραμμα 4.101 – Τάσεις Επαφής με στον Άξονα 3 ηλεκτρόδια 3 μέτρων (με χαλίκι)



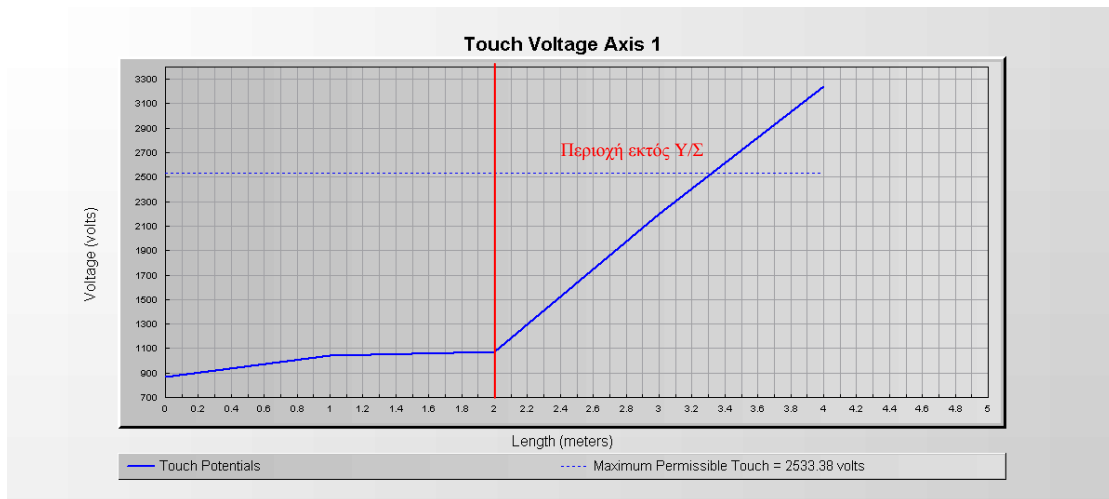
Διάγραμμα 4.102 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 3 με ηλεκτρόδια 6 μέτρων (με χαλίκι)

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω Διαγράμματα Τάσεων Επαφής (4.92 – 4.102) το πρόβλημα με τις τάσεις επαφής να είναι εκτός ορίων στην περίφραξη παραμένει.

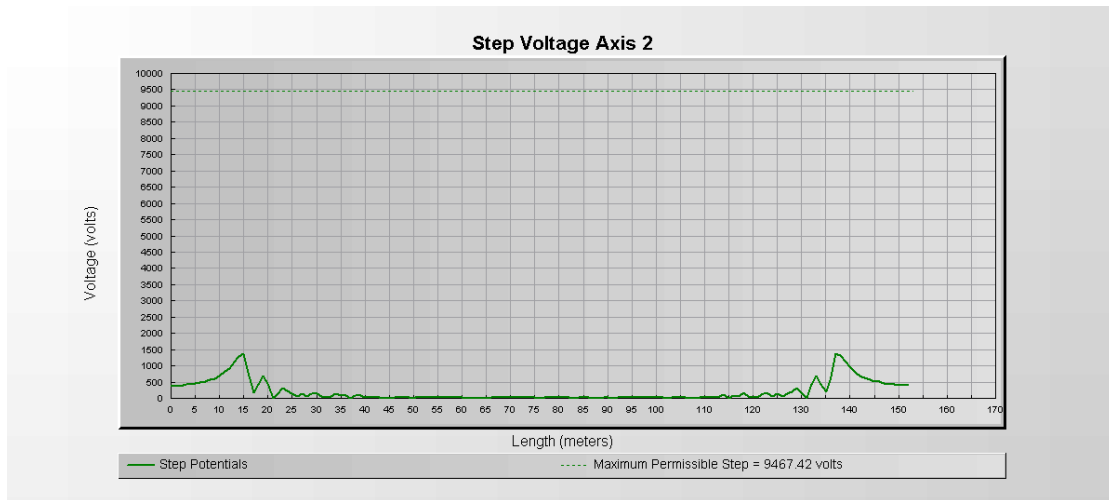
Προσθέτω υλικό επιφανείας πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 10.000 Ωm (άσφαλτος) και λαμβάνω τα διαγράμματα από το CYMGrd:



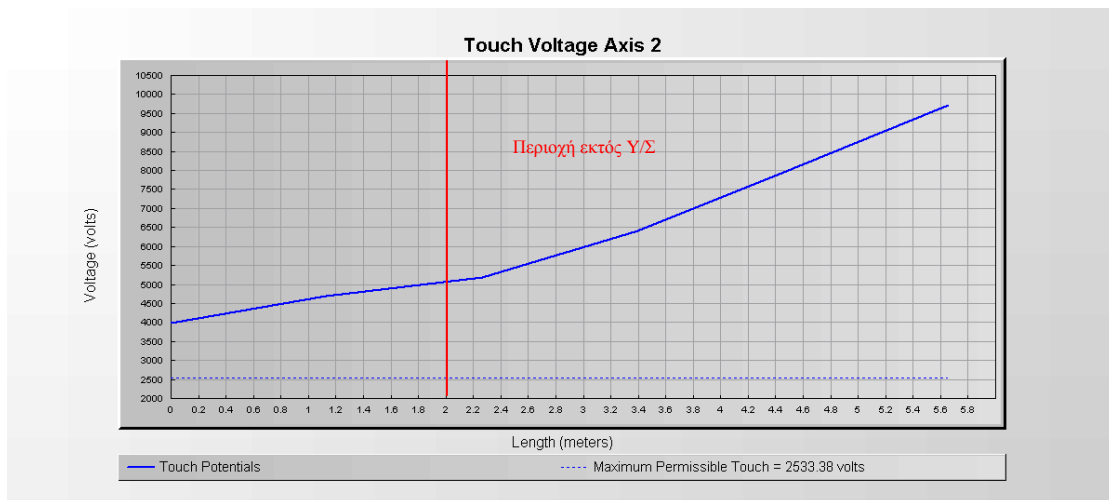
Διάγραμμα 4.103 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 1 (με άσφαλτο)



Διάγραμμα 4.104 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 1 (με άσφαλτο)



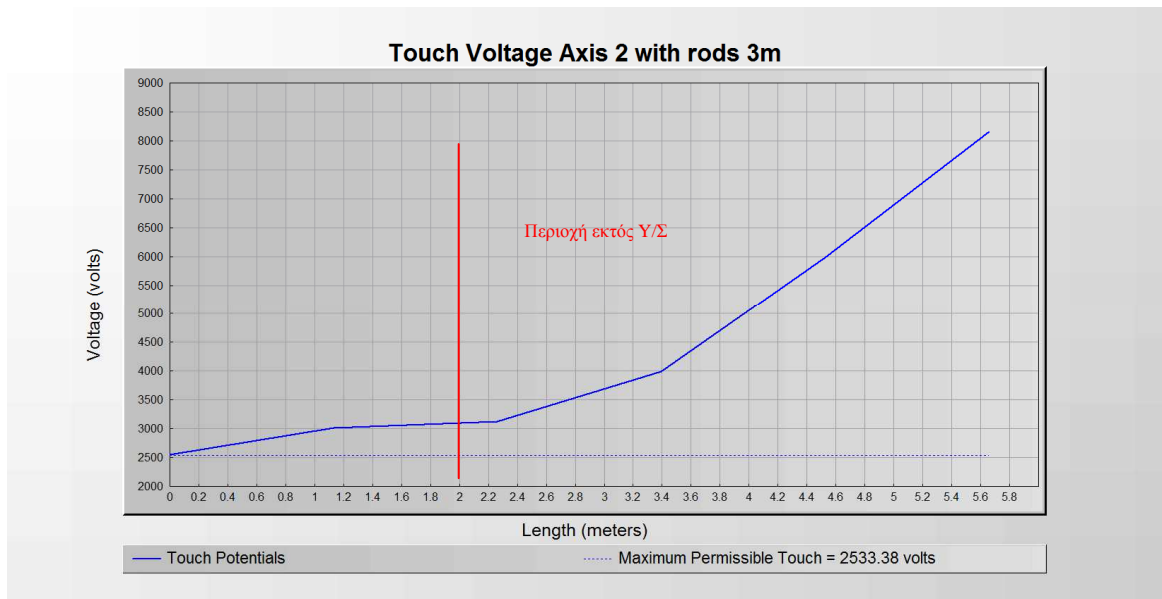
Διάγραμμα 4.105 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 2 (με άσφαλτο)



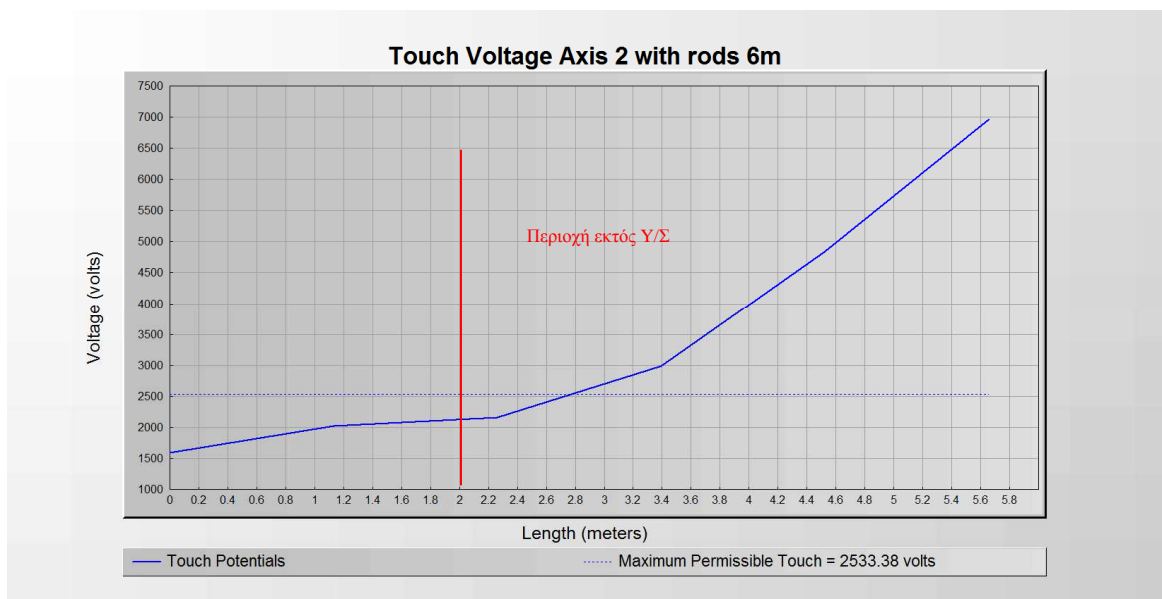
Διάγραμμα 4.106 – Τάσεις Επαφής στον Άξονα 2 (με άσφαλτο)

Το Διάγραμμα 4.106 μας δείχνει τις επικίνδυνες τάσεις επαφής που αναπτύσσονται πλησίον της περιφραξής στις γωνίες του Υ/Σ. Προσθέτω ηλεκτρόδια όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

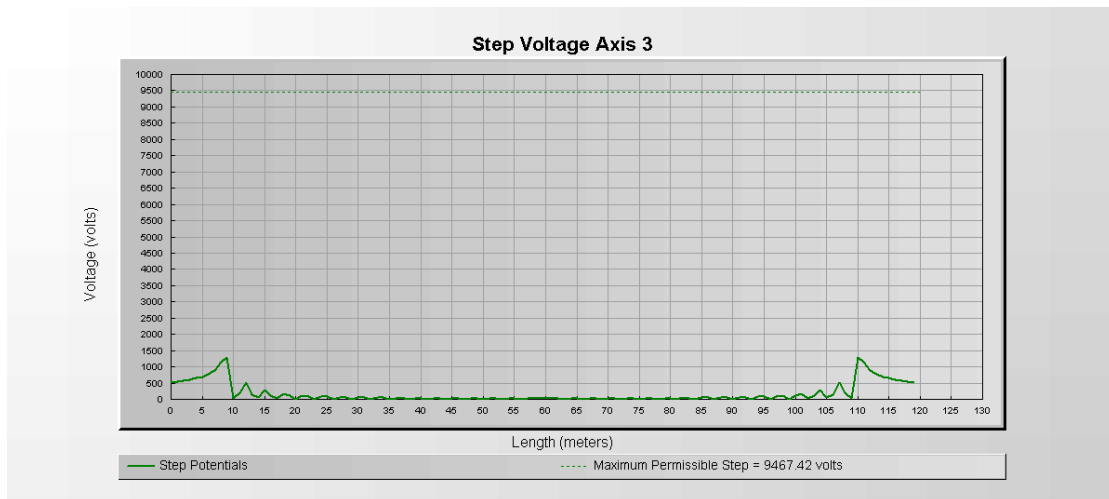
Τα αντίστοιχα διαγράμματα των τάσεων επαφής, όπου έχω και το πρόβλημα, προσθέτοντας ηλεκτρόδια είναι:



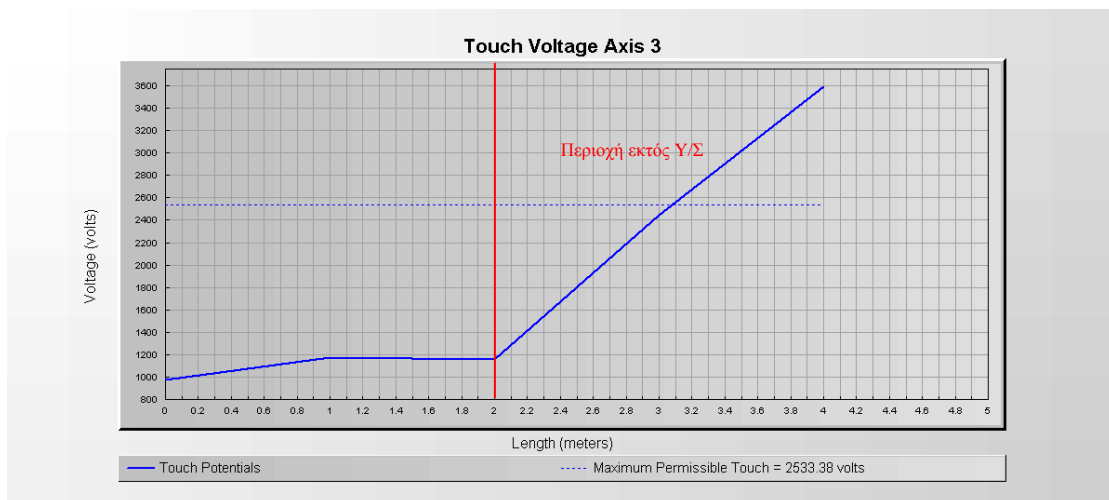
Διάγραμμα 4.107 –Τάσεις Επαφής στον Άξονα 2 με ηλεκτρόδια 3 μέτρων (με άσφαλτο)



Διάγραμμα 4.108 –Τάσεις Επαφής στον Άξονα 2 με ηλεκτρόδια 6 μέτρων (με άσφαλτο)

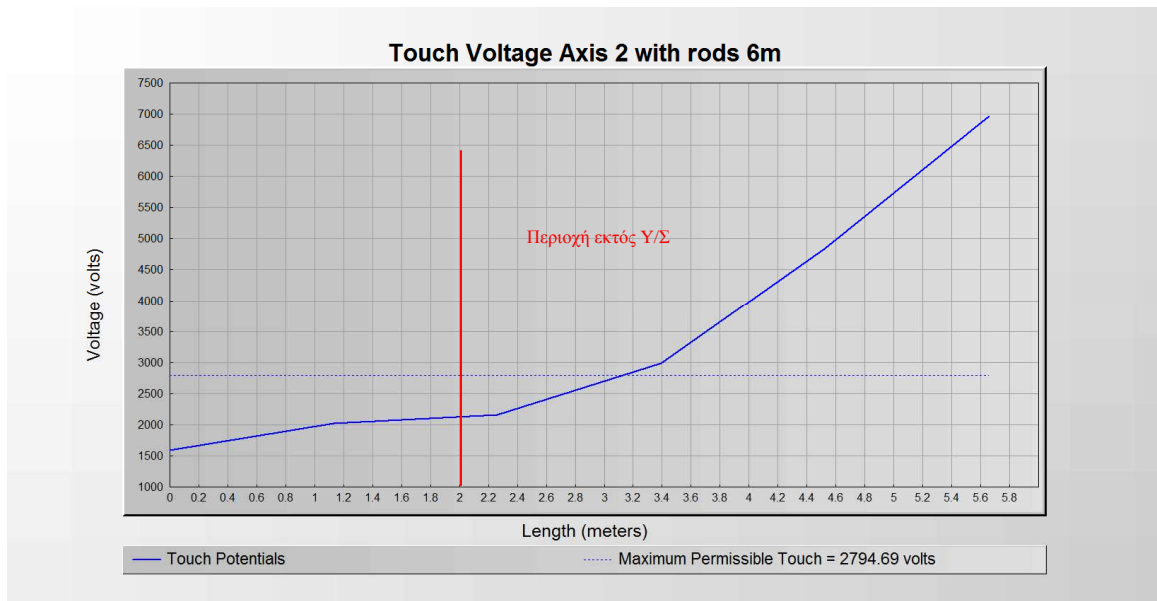


Διάγραμμα 4.109 – Βηματικές Τάσεις στον Άξονα 3



Διάγραμμα 4.110 – Τάσεις επαφής στον Άξονα 3 (με άσφαλτο)

Όπως παρατηρούμε από τα Διαγράμματα 4.106, 4.107 και 4.108 το πρόβλημα με τις επικίνδυνες Τάσεις Επαφής κοντά στην περιφραξη συνεχίζει να υφίσταται ακόμη και μετά την προσθήκη κάθετων ράβδων γείωσης. Προσθέτουμε βελτιωτικό υλικό αντίστασης 10.000 Ωm και πάχους 15 cm και λαμβάνουμε το παρακάτω Διάγραμμα 4.111.



Διάγραμμα 4.111 –Τάσεις επαφής στον Άξονα 2 με ηλεκτρόδια 6 μέτρων (με άσφαλτο πάχους 0,15 μέτρων)

Παρατηρούμε ότι βελτιώθηκε διότι αυξήθηκαν τα όρια των επιτρεπτών τάσεων επαφής.



## Συμπεράσματα

Όπως και στην περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε πλέγμα 5 X 5 μέτρων, χωρίς υλικό επιφανείας δεν εμφανίζεται πρόβλημα βηματικών τάσεων εντός του χώρου του Υ/Σ παρά μόνο πλησίον της περιφράξης και εκτός του Υ/Σ όπως φαίνεται από τα Διαγράμματα 4.85, 4.87 και 4.89. Από όλα τα Διαγράμματα των Τάσεων Επαφής προκύπτουν επικίνδυνες τάσεις επαφής εκτός των επιτρεπτών ορίων παντού στο χώρο.

Τοποθετώντας υλικό επιφανείας πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 2.500 Ωm (χαλίκι) οι βηματικές τάσεις είναι εντός ορίων και στους τρεις άξονες αλλά παρέμεινε το πρόβλημα των τάσεων επαφής εντός του Υ/Σ, στην περιφράξη και εκτός του Υ/Σ, Διάγραμματα 4.92, 4.96 και 4.100.

Αφού προστέθηκαν αρχικά κάθετοι ράβδοι γειώσεων μήκους 3 μέτρων κατανεμένοι ως εξής:

1 σε κάθε γωνία του γηπέδου του Υ/Σ με 2 σε κάθε πλευρά σε απόσταση μεταξύ τους 6 μέτρα και από ένα στο μέσο της κάθε πλευράς βελτιώθηκε το σύστημα γείωσης αλλά δε λύθηκε όπως φαίνεται στα Διάγραμματα 4.93, 4.97 και 4.101. Το πρόβλημα δείχνει να βελτιώνεται ακόμη περισσότερο αν τοποθετηθούν κάθετοι ράβδοι γειώσεων μήκους 6 μέτρων Διάγραμματα 4.94, 4.98 και 4.102.

Τοποθετώντας υλικό επιφανείας πάχους 10 cm και ειδικής αντίστασης 10.000 Ωm (ασφάλτος) είμαστε εντός ορίων των βηματικών τάσεων φαίνεται από τα Διαγράμματα 4.103, 4.105 και 4.109. Από τα Διαγράμματα 4.104 και 4.110 προκύπτουν επικίνδυνες τάσεις επαφής σε απόσταση μεγαλύτερη του 1 μέτρου εκτός του Υ/Σ ενώ το Διαγράμμα 4.106 είναι εκτός των επιτρεπτών ορίων για τυχόν βραχυκύκλωμα βάσει των προδιαγραφών [13], [15].

Αφού προστέθηκαν αρχικά κάθετοι ράβδοι γειώσεων μήκους 3 μέτρων κατανεμένοι ως εξής:

1 σε κάθε γωνία του γηπέδου του Υ/Σ με 2 σε κάθε πλευρά σε απόσταση μεταξύ τους 6 μέτρα και από ένα στο μέσο της κάθε πλευράς βελτιώθηκε το σύστημα γείωσης αλλά δε λύθηκε όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.107.

Επίσης δε λύνετε αλλά βελτιώθηκε τοποθετώντας ράβδους μήκους 6 μέτρων (Διάγραμμα 4.108).

Αυξάνοντας το πάχος της ασφάλτου από 10 σε 15 cm παρατηρούμε ότι αυξάνονται τα επιτραπτά όρια των βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής.

Μια λύση αντιμετώπισης του προβλήματος είναι να αυξήσουμε το πάχος του υλικού επιφανείας στις γωνίες του Υ/Σ και να τοποθετήσουμε ξύλινη περιφράξη στο όριο της ασφάλτου (Φωτογραφία 6.5), να τοποθετήσουμε πινακίδα σήμανσης επικίνδυνης περιοχής και να τοποθετήσουμε πολυκαρμπονικού υλικού εξωτερικά της περιφράξης για την αποφυγή επαφής με τα μεταλλικά μέρη (Φωτογραφία 6.6).

Σύμφωνα με τα παραπάνω μπορούμε να γειώσουμε με ασφάλεια Υ/Σ μεγέθους 75 X 100 μέτρα με πλέγμα 3 X 3 μέτρα και κάθετους ράβδους γείωσης κατάλληλης διατομής και μήκους.

Μετά την κατασκευή του δικτύου γείωσης του Υ/Σ, αν από τις μετρήσεις προκύψει ανεπάρκεια του δικτύου γείωσης θα απαιτηθούν περαιτέρω μέτρα βελτίωσης ώστε να ικανοποιηθούν τα όρια ασφαλείας όσον αφορά στην αντίσταση γείωσης, στις βηματικές τάσεις και στις τάσεις επαφής.

#### ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Για εδάφη με διστρωματικό μοντέλο εδάφους πρέπει να επεκτείνουμε το σύστημα γείωσης προς το στρώμα του εδάφους όπου έχουμε τις χαμηλότερες τιμές της ειδικής αντίστασης. Στο μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε, ειδική αντίσταση εδάφους άνω στρώματος  $\rho_1=140 \Omega\text{m}$  και ειδική αντίσταση εδάφους κάτω στρώματος  $\rho_2=580 \Omega\text{m}$ , είναι εμφανές ότι πρέπει να αυξήσουμε την έκταση του συστήματος γείωσης προς το επάνω στρώμα. Τα ηλεκτρόδια μεγάλου μήκους τείνουν προς στο κάτω στρώμα, με τη μεγαλύτερη τιμή αντίστασης, και δε θα έχουμε τα αποτελέσματα που αναμένουμε, όπως δείχνεται στον Πίνακα 4.6. Η λύση που προτείνεται είναι να επεκτείνουμε το σύστημα γείωσης έτσι ώστε να καταλαμβάνει μεγαλύτερη έκταση το πλέγμα γείωσης, δηλαδή από  $7.500 \text{ m}^2$  σε  $10.000 \text{ m}^2$ .

Τα κατακόρυφα ηλεκτρόδια χρησιμοποιούνται αφενός όταν το κάτω στρώμα έχει χαμηλή τιμή ειδικής αντίστασης και αφετέρου για να μειώσουμε τις αναπτυσσόμενες τάσεις.

Πίνακας 4.6 – Συγκριτικός Πίνακας Τιμών

Πλέγμα (m)	Ηλεκτρόδια (m)	Rg (Ω)	GPR (kV)	Touch 1m (V)
3 X 3		1,782	42,8	6.000
3 X 3	3	1,763	42,3	3.700
3 X 3	6	1,738	41,7	2.650
5 X 5		1,790	42,9	4.750
5 X 5	3	1,777	42,7	2.500
5 X 5	6	1,749	42,0	1.800

Επίσης από τον Πίνακα 4.6, οι τιμές των τάσεων επαφής είναι στον δυσμενέστερο άξονα 2 (γωνία) ένα μέτρο από την περιφραγή εκτός του Υ/Σ, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η τελική τιμή της αντίστασης γείωσης σε ένα πλέγμα εξαρτάται από το εμβαδόν του πλέγματος και όχι από το πόσο πυκνό είναι αυτό. Η πυκνωση του πλέγματος μειώνει τις αναπτυσσόμενες τάσεις και όχι την τιμή της αντίστασης.

## 5. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ ΓΕΙΩΣΗΣ Υ/Σ

Μετά την κατασκευή του Υ/Σ και πριν την ηλεκτρισή του γίνεται η μέτρηση του δικτύου γείωσης. Η μέτρηση της συνολικής αντίστασης γείωσης του δικτύου γείωσης προς γη ενός Υ/Σ γίνεται με τη μέθοδο έγχυσης ισχυρού ρεύματος [14]. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται ιδιαίτερα για τη μέτρηση της εμπέδησης προς γη μεγάλων συστημάτων γείωσης. Ποιο συγκεκριμένα, εφαρμόζοντας μια εναλλασόμενη τάση  $U_{gen}$  συχνότητας 50 Hz μεταξύ του συστήματος γείωσης του Υ/Σ και ενός απομακρυσμένου ηλεκτροδίου γείωσης, ένα ρεύμα  $I_M$  εγχύεται στο σύστημα γείωσης, οδηγώντας σε μία μετρήσιμη ανύψωση δυναμικού του συστήματος γείωσης. Το μέτρο εμπέδησης προς γη δίνεται από την εξίσωση:

$$Z_E = \frac{U_{EM}}{r_E I_M} \quad (5.1)$$

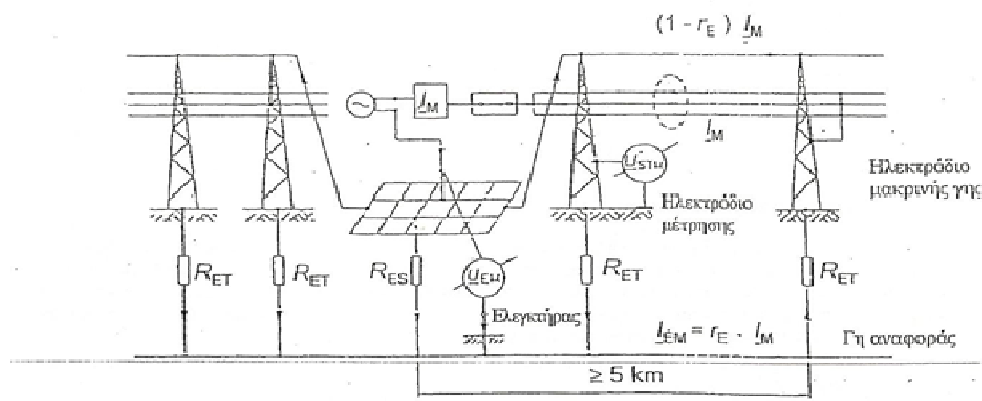
Όπου  $U_{EM}$ : η τάση που μετριέται μεταξύ του συστήματος γείωσης και ενός ελεγκτήρα

στην περιοχή της γης αναφοράς σε Volt

$I_M$ : το ρεύμα δοκιμής σε Ampere

$r_E$ : ο συντελεστής μείωσης της γραμμής προς το ηλεκτρόδιο μακρινής γης. Για εναέριες γραμμές χωρίς σύρματα γης και καλώδια χωρίς μανδύα ή οπλισμό, ο συντελεστής μείωσης είναι 1 ( $r_E = 1$ )

παρακάτω ακολουθεί ένα γενικό σχήμα της μεθόδου έγχυσης ισχυρού ρεύματος



Σχήμα 5.1 - Μέθοδος Έγχυσης Ισχυρού Ρεύματος [14]

$I_M$  Ρεύμα δοκιμής (γενικά προσδιορίζεται μόνο το μέτρο της τάσης και του ρεύματος)

$I_{EM}$  Ρεύμα προς γη κατά τη διάρκεια της μέτρησης (σε αυτή την περίπτωση μη μετρήσιμο άμεσα)

$r_E$  Συντελεστής μείωσης της γραμμής προς το ηλεκτρόδιο μακρινής γης

$R_{ES}$  Αντίσταση προς γη του ηλεκτροδίου γης μορφής πλέγματος

$R_{ET}$  Αντίσταση προς γη του πυλώνα

$U_{EM}$  Ανύψωση δυναμικού γης κατά τη διάρκεια της μέτρησης

$U_{STM}$  Τάση πηγής για επαφή κατά τη διάρκεια της μέτρησης

Για τις τάσεις επαφής μετράμε περιμετρικά της περίφραξης του Υ/Σ εντός και εκτός, και σε επιλεγμένες περιοχές στην περιοχή ανάπτυξης του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού με αναφορά τις μεταλλικές κατασκευές (ικριώματα, στύλοι φωτισμού κλπ.). Οι μετρήσεις λαμβάνονται μεταξύ μεταλλικού τμήματος της περίφραξης και ενός βοηθητικού ηλεκτροδίου εμπηγμένου στο έδαφος σε απόσταση ενός μέτρου εκτός της περίφραξης Στη συνέχεια οι μετρηθείσες τιμές ανήχθησαν στο επίπεδο του

ρεύματος βραχυκυκλώματος βάσει των παραδοχών που είχαν γίνει για την εκπόνηση της αντίστοιχης μελέτης.

Για τις βηματικές τάσεις μετράμε περιμετρικά της περιφραξης του Υ/Σ εντός και εκτός, και σε επιλεγμένες περιοχές στην περιοχή ανάπτυξης του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού. Οι μετρήσεις λαμβάνονται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων εμπηγμένων στο έδαφος σε απόσταση ενός μέτρου μεταξύ τους προσομοιώνοντας έτσι ένα ανθρώπινο βήμα. Στη συνέχεια οι μετρηθείσες τιμές ανήγονται στο επίπεδο του ρεύματος βραχυκυκλώματος βάσει των παραδοχών που είχαν γίνει για την εκπόνηση της αντίστοιχης μελέτης γείωσης.

Εφόσον οι μετρήσεις επαληθεύουν την μελέτη αποτελούν ασφαλές τεκμήριο για την ηλεκτρίση του Υ/Σ.

## 6. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ

Σε αυτό το σημείο θα αναφέρουμε ποια είναι τα προτεινόμενα μέτρα αντιμετώπισης των εμφανιζόμενων βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής σε διάφορα σημεία του Υποσταθμού τα οποία είναι [13]:

- Σε κάθε γωνία του συστήματος γείωσης τοποθετούνται κατακόρυφα, χαλύβδινα, ηλεκτρολυτικά επιχαλωμένα ηλεκτρόδια γείωσης και από ένα στο μέσο κάθε πλευράς διαμέτρου 19 mm και ανάλογου μήκους για την βελτίωση των βηματικών τάσεων ή τάσεων επαφής.



*Φωτογραφία 6.1 - Τοποθέτηση ράβδων γείωσης στην περίφραξη του Υποσταθμού για την βελτίωση των επικίνδυνων Βηματικών Τάσεων ή Τάσεων Επαφής*

- Η τοποθέτηση της περίφραξης να γίνεται σε απόσταση περίπου ενός (1) μέτρου εσωτερικά του συστήματος γείωσης και εντός του ορίου ιδιοκτησίας του γηπέδου.
- Επίστρωση με υλικό επιφανείας πάχους 10cm και ειδικής αντίστασης 2.500Ωm (χαλίκι) ή και άσφαλτου πάχους 10cm και ειδικής αντίστασης 10.000Ωm, το οποίο θα καλύπτει το πλέγμα γείωσης, ώστε οι αναπτυσσόμενες βηματικές τάσεις και τάσεις επαφής να είναι κάτω των επιτρεπομένων ορίων.



Φωτογραφία 6.2 - Επίστρωση Υποσταθμού με χαλίκι κατάλληλης διαμέτρου και με άσφαλτο για την εξάλειψη των επικίνδυνων βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής στην περιοχή εγκατάστασης του Η/Μ εξοπλισμού.



Φωτογραφία 6.3 - Γείωση εξοπλισμού του Υποσταθμού σε τουλάχιστον δύο σημεία για την εξάλειψη των επικίνδυνων τάσεων επαφής

- Καθ' όλο το μήκος εξωτερικά της περίφραξης και σε απόσταση τουλάχιστον 1 m από αυτήν, να κατασκευάζεται μικρό τοιχίο πάχους 15cm και ύψους 20cm πάνω από την τελική στάθμη του εδάφους για να συγκρατεί ένα στρώμα προστασίας από χαλίκι .



*Φωτογραφία 6.4 - Τοποθέτηση χαλικιού πλάτους σε μια ζώνη 2 μέτρων εξωτερικά της περίφραξης του Υ/Σ για την εξάλειψη των επικίνδυνων βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής.*

- Υπερβάσεις των ορίων των βηματικών τάσεων, εκτός των ορίων του γηπέδου του Υ/Σ, που εμφανίζονται αν βρεθούν σημεία εκτός της μεταλλικής περίφραξης όπου αναπτύσσονται επικίνδυνες βηματικές τάσεις, τότε μπορούν να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα αντιμετώπισης (όπως π.χ. περίφραξη με ξύλινο φράχτη, πολυκαρμπονικά φύλλα, εγκατάσταση πρόσθετων ηλεκτροδίων ή/και επέκταση της επίστρωσης με κατάλληλο υλικό επιφανείας όπως χαλίκι ή άσφαλτος κλπ).





*Φωτογραφία 6.5 - Τοποθέτηση χαλικιού και ασφάλτου εξωτερικά της περίφραξης του Υποσταθμού για την εξάλειψη των επικίνδυνων βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής.*



*Φωτογραφία 6.6 - Εγκατάσταση πολυκαρμπονικού υλικού στην περίφραξη του Υποσταθμού για την αποφυγή επαφής με μεταλλικά μέρη της περίφραξης.*

- Κατασκευή μη μεταλλικής (μονωτικής), χτιστής ή ξύλινης, διακοπτόμενης, περίφραξης, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος από τις αναπτυσσόμενες τάσεις επαφής. Ο περιμετρικός αγωγός του θα είναι διακοπτόμενος και θα γειώνεται ανά ~10m.



*Φωτογραφία 6.7 -Εγκατάσταση ξύλινης περίφραξης για αποκλεισμό πρόσβασης σε περιοχές του Υ/Σ όπου εμφανίζονται επικίνδυνες βηματικές τάσεις και τάσεις επαφής.*

- Όπου υπάρχουν αναπτυσσόμενες βηματικές τάσεις εκτός ορίων να τοποθετείται ξύλινη περίφραξη σε απόσταση μεγαλύτερη των ~15m έξω μονωτική (χτιστή) περίφραξη.
- Στις χειρότερες περιπτώσεις όπως «κακού υπέδαφους» δύο (2) γεωτρήσεις κατάλληλου βάθους ώστε να υπάρχει επαφή των ηλεκτροδίων με μόνιμο υδροφόρο ορίζοντα.

Σε περίπτωση που η μελέτη γείωσης δεν οδηγεί στα πλαίσια των κανονισμών, σε ικανοποίηση των απαιτήσεων για τις υπολογιζόμενες τιμές αντίστασης γείωσης, ανύψωσης δυναμικού εδάφους, βηματικής τάσης και τάσης επαφής, προτείνονται τα παρακάτω ειδικά μέτρα, για βελτίωση της συνολικής συμπεριφοράς του δικτύου γείωσης:

Κατασκευή δικτύου γείωσης με βρόγχο των ελάχιστων διαστάσεων που επιτρέπουν οι αναφερόμενοι κανονισμοί.

Τοποθέτηση του πλέγματος γείωσης σε βάθος 0,6 m και συμμετρικά εντός στρώματος πάχους 0,4 m από υλικό πολύ καλής αγωγιμότητας (π.χ. μαλακό χώμα, μπετονίτη, καρβουνόσκονη κ.λ.π.).

Εγκατάσταση ικανοποιητικού πλήθους πασσάλων γείωσης, περιμετρικά του Υποσταθμού και κυρίως στις γωνίες του γηπέδου, καθώς επίσης και πλήθους πασσάλων στον χώρο ανάπτυξης του εξοπλισμού ισχύος. Τοποθέτηση των πασσάλων γείωσης εντός οπών διαμέτρου 0,8 m, οι οποίες θα επαναπληρωθούν με το ορυκτό υλικό υψηλής αγωγιμότητας «bentonite».

Επαναπλήρωση των σκαμμάτων που θα ανοιχτούν για τα έργα Πολιτικού Μηχανικού ή επανεπίχωση του οικοπέδου με μαλακό χώμα μεγάλης αγωγιμότητας.

Τοποθέτηση επιφανειακά, σε περιοχές χειρισμών εξοπλισμού, γαλβανισμένης σχάρας διαστάσεων 1 m x 1 m τουλάχιστον και στερεάς σύνδεσης της με το δίκτυο γείωσης.

Εγκατάσταση χαλκικόστρωσης πάχους 20 cm μέχρι το όριο του Υποσταθμού.

Τοποθέτηση, εξωτερικά της περίφραξης, πινακίδων σήμανσης κινδύνου ηλεκτροπληξίας.

Μετά την εγκατάσταση του δικτύου γείωσης γίνεται έλεγχος όλων των συνδέσεων του εξοπλισμού προς το δίκτυο γείωσης και θα γίνουν οι δοκιμές που προβλέπονται. Η μέθοδος μετρήσεων θα είναι σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στους κανονισμούς [14], [15], [16] . Σε κάθε περίπτωση που τα αποτελέσματα των μετρήσεων γείωσης ( $R_g$ , τάση επαφής, βηματική τάση) δεν είναι ικανοποιητικά, ο κατασκευαστής θα προβεί σε όλες τις αναγκαίες βελτιώσεις του δικτύου γείωσης, ώστε να επιτευχθούν τα σύμφωνα με τους κανονισμούς και την προδιαγραφή, αποδεκτά επίπεδα ασφάλειας.

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Β. Κ. Παπαδιάς: “Εισαγωγή στην Τεχνική των Γειώσεων”, Σεμινάριο: “Γειώσεις και Αντικεραυνική Προστασία Δικτύων και Εγκαταστάσεων”.
- [2] Κ. Βουρνάς, Γ. Κονταξής, “Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Αθήνα 1997.
- [3] Προκόπης Χριστοδούλου, “Συστήματα Γείωσης. Θεωρητική προσέγγιση”, Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2000.
- [4] Περής Γ. Χάλαρης: “Γειώσεις–Νομοθεσία και Κανονισμοί”, Σεμινάριο: “Γειώσεις και Αντικεραυνική Προστασία Δικτύων και Εγκαταστάσεων”.
- [5] Διονύσιος Ρηγάτος, “Μεταβατική Συμπεριφορά Συστημάτων Γείωσης”, Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2001.
- [6] Ηλιάννα-Λαμπρινή Μ. Κουγιουμτζή, “Προσομοίωση Συστημάτων Γείωσης σε Πολυστρωματικό Έδαφος”, Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2002.
- [7] Ν. Χατζηαργυρίου, “Γειώσεις Αιολικών Πάρκων”, Σεμινάριο: “Γειώσεις και Αντικεραυνική Προστασία Δικτύων και Εγκαταστάσεων”.
- [8] Γ. Ι. Γεωργαντζής, “Σχεδίαση και Τεχνικές Γειώσεων Υποσταθμών Υψηλής Τάσης”, Σεμινάριο: “Γειώσεις και Αντικεραυνική Προστασία Δικτύων και Εγκαταστάσεων”.
- [9] Απόστολος Κεμίδης, Δημήτριος Μπαργιώτας, Χρήστος Σανδαλίδης, “Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις Υποσταθμοί”, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο ΥΠΕΠΘ, Αθήνα 2002.
- [10] Πέτρος Ντοκόπουλος, “Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις καταναλωτών μέσης και χαμηλής τάσης”, Εκδόσεις Ζήτη Α΄ Έκδοση, Θεσσαλονίκη 2005.
- [11] Διδακτορική Διατριβή Ι. Φ. Γκόνου, “Μεταβατική Συμπεριφορά Συστημάτων Γείωσης”, Ε.Μ.Π., Αθήνα 2002.
- [12] “Ο Υποσταθμός Μεταφοράς”, Βασίλειος Πασχαλίδης, Αθήνα 2003
- [13] Προδιαγραφή ΑΔΜΗΕ ΑΕ/ΔΝΕΜ-ΥΣ7-1, Τόμος Ι – “ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΠΑΙΘΡΙΟΥ Υ/Σ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ 150kV / ΜΤ για ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΟΥ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ”
- [14] ΕΛΟΤ HD 637S1/2000
- [15] 80-2013 - IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding
- [16] 81-2012 - IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System, 28 Dec. 2012
- [17] CYMGRD 6.5 for Windows User’s Guide and Reference Manual

- [18] “Μεθοδολογία Σχεδίασης, Ανάλυσης και Μέτρησης συστημάτων γείωσης Υ/Σ υψηλής τάσης”, Ι.Φ.Γκόνοσ, Β.Θ.Κονταργύρη, Ι.Α.Σταθόπουλος, Γ.Α.Μάνος
- [19] Ευάγγελος Λεκατσάς, “Θέματα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Αθήνα 1985.
- [20] Δήμητρα Π. Βάρλα, “Υπολογιστική μελέτη συστημάτων γείωσης ”, Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2003.
- [21] Power Engineering Guide, Transmision and Distribution, Siemens, 4<sup>th</sup> Edition
- [22] International Standard IEC 60364
- [23] DIN VDE 0100
- [24] DIN VDE 0101
- [25] DIN VDE 0141
- [26] DIN VDE 0190
- [27] ΕΛΟΤ EN 50522, Γείωση εγκαταστάσεων ισχύος που υπερβαίνουν το 1 kV εναλασσόμενου ρεύματος, 5.11.2010
- [28] Καρακίτσιος Ιωάννης, διπλωματική εργασία, Επίδραση βελτιωτικών υλικών εδάφους, στη χρονική μεταβολή, της αντίστασης γείωσης κατακόρυφων ηλεκτροδίων, Αθήνα, Οκτώβριος 2011, ΕΜΠ.
- [29] Παναγιώτης Κονταξής, διπλωματική εργασία, Μελέτη της πολυστρωματικής δομής του εδάφους, Αθήνα, Οκτώβριος 2002, ΕΜΠ.
- [30] Δέσποινα Μακρίδου, Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Μελέτη συστημάτων γείωσης αιολικών πάρκων και παραμετρική ανάλυση συναρτήσεων της ειδικής αντίστασης εδάφους, Αθήνα, Φεβρουάριος 2002, ΕΜΠ.
- [31] Gonos I.F., Stathopoulos I.A.: «Soil Ionization under Lightning Impulse Voltages», IEE Proceedings Science, Measurement and Technology, Vol. 151, No. 5, pp. 343-346, Sept. 2004.
- [32] Gonos I.F., Stathopoulos I.A.: «Estimation of Multi-Layer Soil Parameters using Genetic Algorithms», IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, No. 1, pp. 100-106, Jan. 2005.
- [33] Androvitsaneas V.P., Gonos I.F., Stathopoulos I.A.: «Artificial neural network methodology for the estimation of ground enhancing compounds resistance», IET Science, Measurement & Technology, Vol. 8, Issue 6, pp. 552-570, November 2014.
- [34] Kontargyri V.T., Gonos I.F., Stathopoulos: «Study on wind farm grounding system», IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 51, Issue 6, pp. 4969-4977, November/December 2015.

- [35] Asimakopoulou F.E., Kontargyri V.T., Tsekouras G.J., Gonos I.F., Stathopoulos: «Estimation of the Earth Resistance by Artificial Neural Network Model», IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 51, Issue 6, pp. 5149-5158, November/December 2015.
- [36] Aravanis J., Tzouvelekis E., Chronopoulos C., Antoniou T., “Computing Method of the Equivalent resistivity of non-uniform Soil for the Design of transmission Substation Grounding Grids”, Proceedings of the 38th International Universities Power Engineering Conference (UPEC 2003), Thessalonica, Greece, September 1-3, 2003, pp. 709-712.
- [37] Del Alamo J.L., “A comparison among eight different techniques to achieve an optimum estimation of electrical grounding parameters in two-layered earth”, IEEE Transactions on Power Delivery, 8, 4, October 1993, pp. 1890-1899.
- [38] Yang H., Yuan J., Zong W., “Determination of three-layer earth model from Wenner four-probe test data”, IEEE Transactions on Magnetics, 37, 5, September 2001, pp. 3684-3687.
- [39] Takahashi T., Kawase T., “Analysis of apparent resistivity in a multi-layer earth structure”, IEEE Transactions on Power Delivery, 5, 2, April 1990, pp. 604-612.
- [40] Βασίλειος Ανδροβιτσάνεας, Διδακτορική Διατριβή, “Συμβολή στη μελέτη της συμπεριφοράς συστημάτων γείωσης με προσθήκη βελτιωτικών υλικών”, Αθήνα, Ιούνιος 2016, ΕΜΠ