ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

ΤΟΜΕΑΣ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία

του φοιτητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών

ΣΠΗΛΙΩΤΟΠΟΥΛΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ του ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥΣ

Αριθμός Μητρώου: 6376

Θέμα

«Μελέτη σφαλμάτων σε δίκτυα μέσης τάσης της νήσου Λευκάδας»

Επιβλέπουσα

ΠΥΡΓΙΩΤΗ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ
Επίκουρη Καθηγήτρια

Αριθμός Διπλωματικής Εργασίας:

Πάτρα, Μάϊος 2015

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή τη Διπλωματική Εργασία εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνεύεται ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών.

ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Πιστοποιείται ότι η Διπλωματική Εργασία με θέμα

«Μελέτη σφαλμάτων σε δίκτυα μέσης τάσης της νήσου Λευκάδας»

Του φοιτητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών

ΣΠΗΛΙΩΤΟΠΟΥΛΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ του ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥΣ

Αριθμός Μητρώου: 6376

Παρουσιάστηκε δημόσια και εξετάστηκε στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών στις
……../……../……

Η Επιβλέπουσα	Ο Διευθυντής του Τομέα
ΠΥΡΓΙΩΤΗ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ	**ΑΛΕΞΑΝΔΡΙΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ**
Επίκουρη Καθηγήτρια	Καθηγητής

Αριθμός Διπλωματικής Εργασίας:

Θέμα: «Μελέτη σφαλμάτων σε δίκτυα μέσης τάσης της νήσου Λευκάδας»

Φοιτητής:
Σπηλιωτόπουλος Αθανάσιος
του Χαραλάμπους

Επιβλέπουσα:
Πυργιώτη Ελευθερία
Επίκουρη Καθηγήτρια

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε με στόχο την μελέτη και την καταγραφή των σφαλμάτων που έχουν προκληθεί από κεραυνικά πλήγματα στο εναέριο δίκτυο μέσης τάσης της ΔΕΔΔΗΕ στη νήσο της Λευκάδας. Γι' αυτό το λόγο γίνεται αναλυτικός υπολογισμός των θεωρητικών σφαλμάτων από κεραυνούς σε κάθε μία από τις πέντε γραμμές διανομής ξεχωριστά. Επίσης παρατίθενται και επεξεργάζονται τα πραγματικά σφάλματα που έχουν καταγραφεί στη βάση δεδομένων της ΔΕΔΔΗΕ με σκοπό την ανάλυση και το συσχετισμό τους με τα αντίστοιχα θεωρητικά.

Αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται η δομή ενός τυπικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας με ιδιαίτερη έμφαση στα τμήματα από τα οποία αποτελείται και τα χαρακτηριστικά τους. Επίσης γίνεται αναφορά και στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας ενώ παρουσιάζονται κάποιοι πίνακες με χαρακτηριστικά μεγέθη του.

Κατόπιν, στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται το φυσικό φαινόμενου του κεραυνού και τα βασικά χαρακτηριστικά του. Εξετάζονται τα είδη των κεραυνών και ο μηχανισμός των ατμοσφαιρικών εκκενώσεων.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η οδηγία της IEEE η οποία αναλύει την συμπεριφορά των εναέριων γραμμών διανομής ηλεκτρικής ενέργειας έναντι των κεραυνών. Αντικείμενο της είναι η εύρεση λύσεων για την μείωση των προκληθέντων βραχυκυκλωμάτων στις γραμμές. Συγκεκριμένα, προσδιορίζεται η συμπεριφορά των εναέριων γραμμών διανομής σε περίπτωση πτώσης κεραυνού (πλήγματα κεραυνών και βραχυκυκλώματα από επαγόμενη τάση), το επίπεδο μόνωσης των γραμμών διανομής, η προστασία των γραμμών διανομής με προστατευτικό αγωγό, καθώς και η προστασία των γραμμών με αλεξικέραυνα.

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται ο αναλυτικός υπολογισμός των θεωρητικών σφαλμάτων από κεραυνούς για κάθε μία γραμμή. Επιπρόσθετα, σε μορφή πινάκων γίνεται η καταγραφή των πραγματικών σφαλμάτων για τα έτη 2004 - 2013 και η σύγκριση με τα αντίστοιχα θεωρητικά με σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

SUMMARY

This diploma thesis has been prepared with a view to study and analyze faults caused by lightning strikes in medium voltage overhead network of Lefkada. For this reason, an analytical calculation of theoretical faults has been made in each one of the five distribution lines separately. In addition, the actual faults, that are recorded in the database of HEDNO (Hellenic Electricity Distribution Network Operator), are listed in order to analyze and compare them with the corresponding theory.

To begin with, the first chapter of this paper describes the form of a typical electric power system with particular attention to its parts and their characteristics. Reference is also made in the power system of Greece while presented some tables with typical sizes.

The second chapter presents the natural phenomenon of the lightning and its main features. The types of lightning are reviewed here as well as the mechanism of atmospheric discharges.

The third chapter is a reference to the directive of the Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE), regarding to the behavior of air distribution lines in case of lightning. The purpose here is to present alternative solutions for the decrease of short-circuit occurrences caused by lightning on overhead lines. Specifically, the behavior of the overhead distribution lines in the event of lightning strikes is determined (meaning both direct lightning strikes and short-circuits arising from the induced voltage), as well as the level of insulation of distribution lines, the protection of distribution lines by employing a protective tube, and the protection of the lines using lightning rods.

Finally, the fourth chapter contains the detailed calculation of the theoretical faults of lightning strikes on each line. Furthermore the recording of factual errors during years 2004 – 2013 and the comparison with the corresponding theoretically has been made, so as to deduce useful conclusions.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτριά μου κα. Πυργιώτη Ελευθερία που μου ανέθεσε την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας, ανέλαβε την επίβλεψή της και με βοήθησε να την ολοκληρώσω. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τον κ. Κωσταρά από τη ΔΕΔΔΗΕ Λευκάδας για τις πολύτιμες πληροφορίες που μου παρείχε. Ακόμη, ευχαριστώ την οικογένειά μου για την υλική και ηθική στήριξη όλα αυτά τα χρόνια. Τέλος θέλω να ευχαριστήσω τη φίλη μου Νικόλ που με τον τρόπο της με βοήθησε να μπορώ να κοιτάζω λίγο ψηλότερα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.Εισαγωγή.....11
1.1 Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.....11
1.2 Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας.....13
2. Το φυσικό φαινόμενο του κεραυνού.....15
2.1 Ηλεκτρική κατάσταση της γής.....15
2.2 Ορισμοί σχετικοί με τα μεγέθη του κεραυνού.....15
2.3 Είδη κεραυνών.....16
2.4 Ο μηχανισμός των ατμοσφαιρικών εκκενώσεων.....17
2.4.1 Έναρξη της εκκένωσης του κεραυνού.....17
2.4.2 Η φάση του οχετού επιστροφής.....18
2.4.3 Συνδετικός οχετός, απόσταση διάσπασης, αρχή λειτουργίας των αλεξικέραυνων.....19
3. Οδηγία της IEEE για τη βελτίωση της συμπεριφοράς των εναέριων γραμμών διανομής ηλεκτρικής ενέργειας έναντι των κεραυνών.....21
3.1 Εισαγωγή.....21
3.2 Σκοπός και αναφορές.....21
3.3 Ορισμοί.....22
3.4 Παράμετροι κεραυνών.....24
3.4.1 Πτώση κεραυνών.....24
3.4.2 Κατανομές μέγιστου ρεύματος κεραυνών.....27
3.5 Συμπεριφορά εναέριων γραμμών διανομής σε περίπτωση κεραυνού.....28
3.5.1 Πλήγματα κεραυνών σε εναέριες γραμμές.....29
3.5.2 Βραχυκύκλωμα από επαγόμενη τάση.....32
3.6 Επίπεδο μόνωσης γραμμών διανομής.....34
3.6.1 CFO τάση της συνδυασμένης μόνωσης.....35
3.6.2 Προσδιορισμός της CFO τάσης για κατασκευές με μονώσεις σειράς.....36
3.6.3 Τεχνικά ζητήματα.....39
3.6.4 Ικανότητα ξύλου για διακοπή του τόξου.....41
3.6.5 Καταστροφή του ξύλου λόγω κεραυνού.....42
3.7 Προστασία γραμμών διανομής με προστατευτικούς αγωγούς.....43
3.7.1 Γωνία προστασίας.....44
3.7.2 Απαιτήσεις μόνωσεις.....44
3.7.3 Αποτελεσματικότητα της γείωσης και επίπεδο μόνωσης.....45
3.7.4 Αγωγοί προστασίας και αλεξικέραυνα.....46
3.8 Προστασία γραμμών με αλεξικέραυνα.....46
3.8.1 Μήκος αγωγών σύνδεσης αλεξικέραυνων.....47
3.8.2 Βραχυκυκλώματα από έμμεσα πλήγματα.....47
3.8.3 Βραχυκυκλώματα από άμεσα πλήγματα.....48
3.8.3.1 Προστασία αλεξικέραυνου άνω φάσης.....49
3.8.3.2 Ικανότητα αλεξικέραυνου σε άμεσο πλήγμα.....49
3.9 Υποδείγματα χρήσης οδηγού.....50

3.9.1 Υπόδειγμα 1^{ο} – Σχέδιο ξύλινου πυλώνα 15 kV.....50
3.9.2 Υπόδειγμα 2^{ο} – Γραμμή διανομής 35 kV με αγωγό προστασίας.....52
4. Υπολογισμοί και μετρήσεις.....56
4.1 Εισαγωγή.....56
4.2 Μεθοδολογία μελέτης.....56
4.3 Θεωρητικός υπολογισμός των σφαλμάτων στις γραμμές.....62
4.3.1 Γραμμή R-23.....62
4.3.2 Γραμμή R-24.....65
4.3.3 Γραμμή R-27.....67
4.3.4 Γραμμή R-28.....70
4.3.5 Γραμμή R-29.....73
4.4 Παρουσίαση των πραγματικών σφαλμάτων για τα έτη 2004-2013.....75
4.5 Σύγκριση θεωρητικών – πραγματικών σφαλμάτων 79
4.6 Συμπεράσματα.....84

Βιβλιογραφία.....85

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1[1]

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας

Ως Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) ορίζεται το σύνολο των εγκαταστάσεων (γεννήτριες, μετασχηματιστές, γραμμές μεταφοράς, διακόπτες, διατάξεις αντιστάθμισης) που χρησιμοποιούνται για να τροφοδοτηθεί με ηλεκτρική ενέργεια ένα σύνολο καταναλωτών. Για να φέρει σε πέρας αυτήν την αποστολή, το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας διαθέτει:

- *Σταθμούς παραγωγής*, εγκατεστημένους στις πιο πρόσφορες προς τούτο περιοχές, όπου παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια σε επαρκείς ποσότητες.

- *Γραμμές μεταφοράς*, που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας από τους σταθμούς παραγωγής στα κέντρα κατανάλωσης.

- *Δίκτυο διανομής*, για τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στους επιμέρους καταναλωτές, ώστε να χρησιμοποιηθεί από αυτούς μετατρεπόμενη σε άλλες πιο εξυπηρετικές μορφές, όπως φως, θερμότητα, κίνηση, ήχο κ.λ.π.

Για να είναι πρακτικό ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να σχεδιαστεί και να λειτουργεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ασφαλές, αξιόπιστο, φιλικό προς το περιβάλλον και να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια καλής ποιότητας στην χαμηλότερη κατά το δυνατόν τιμή. Παραδοσιακά τρείς είναι οι βασικές λειτουργίες που συνιστούν τη συνολική λειτουργία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργεια: η παραγωγή, η μεταφορά και η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Και το μικρότερο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένα δίκτυο με πολύ μεγάλη πολυπλοκότητα. Ο παράγοντας που καθορίζει κυρίως τη δομή του είναι το μέγεθός του. Γενικά τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, με βάση την τάση λειτουργίας τους, διαιρούνται σε τρία υποσυστήματα. Ξεκινώντας από το χαμηλότερο επίπεδο τάσης, διακρίνουμε τα εξής υποσυστήματα :

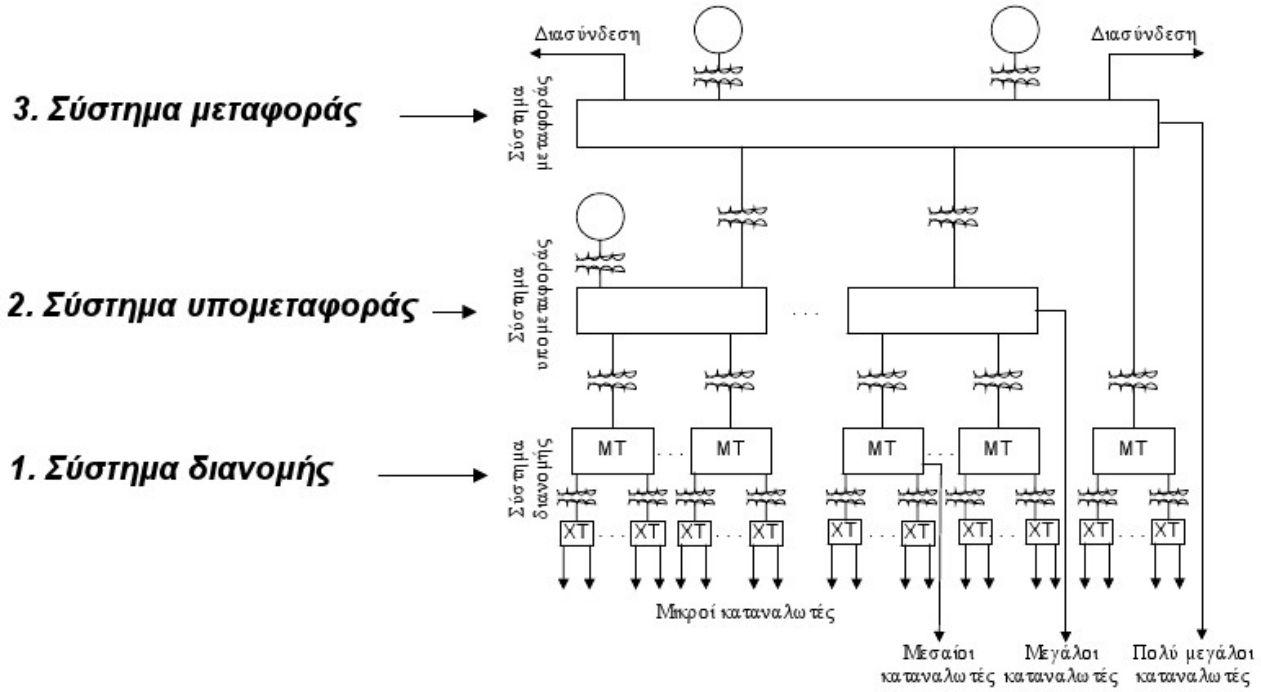
1. Σύστημα διανομής
2. Σύστημα υπομεταφοράς
3. Σύστημα μεταφοράς

Στο σύστημα διανομής χρησιμοποιούνται δύο επίπεδα τάσης διανομής:

- Η πρωτεύουσα τάση ή τάση τροφοδοσίας (π.χ. 15 kV) που χαρακτηρίζεται και μέση τάση (ΜΤ).
- Η δευτερεύουσα τάση ή τάση κατανάλωσης (π.χ. 220 V) που χαρακτηρίζεται και χαμηλή τάση (ΧΤ).

Το σύστημα διανομής περιλαμβάνει τα δίκτυα διανομής μέσης τάσης και χαμηλής τάσης και τους μετασχηματιστές διανομής με τους οποίους η μέση τάση υποβιβάζεται σε χαμηλή τάση. Το σύστημα διανομής τροφοδοτείται από τους υποσταθμούς διανομής (όπου η τάση υποβιβάζεται στην τιμή της μέσης τάσης διανομής) και παρέχει ηλεκτρική ενέργεια σε μικρούς οικιακούς καταναλωτές (υπό τη χαμηλή τάση διανομής) και σε μεσαίου μεγέθους καταναλωτές (υπό τη μέση τάση διανομής). Τα δίκτυα διανομής μέσης και χαμηλής τάσης στις αστικές πυκνοκατοικημένες περιοχές είναι υπόγεια, ενώ στις άλλες περιοχές είναι εναέρια. Η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται σε μια τεχνολογία που καλύπτει ποικίλα και σημαντικά τεχνικά προβλήματα, όπως εγκατάσταση και συντήρηση εναέριων γραμμών και υπογείων καλωδίων, μετρητικές διατάξεις, διακόπτες, ασφάλειες κ.λ.π.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο τρόπος που δομείται ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 1:1 Δομή συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. [1]

1.2 Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας

Στην Ελλάδα το αποκλειστικό δικαίωμα της παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας έχει εκχωρηθεί από το 1950 στη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), που καλύπτει τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια του συνόλου σχεδόν του πληθυσμού της χώρας.

Οι μονάδες παραγωγής της ΔΕΗ είναι λιγνιτικές, υδροηλεκτρικές, πετρελαϊκές και φυσικού αερίου στην ηπειρωτική χώρα και σχεδόν εξ' ολοκλήρου πετρελαϊκές στην Κρήτη, Ρόδο και στα υπόλοιπα νησιά. Τελευταία χρησιμοποιούνται και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), κυρίως αιολική ενέργεια, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα νησιά του Αιγαίου. Περίπου το 10% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας χάνεται υπό τη μορφή απωλειών στο δίκτυο μεταφοράς και το υπόλοιπο πωλείται στους διάφορους καταναλωτές. Από αυτές τις πωλήσεις το 55% γίνεται υπό χαμηλή τάση, το 20% υπό μέση τάση και το υπόλοιπο 25% υπό υψηλή τάση. Σύμφωνα με στοιχεία του έτους 2005 η συνολική εγκατεστημένη ισχύς και η καθαρή παραγωγή του ελληνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1:2 Εγκατεστημένη ισχύς και καθαρή παραγωγή Ελληνικού συστήματος έτους 2005 [1]

Είδος σταθμών Παραγωγής	***Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)***	***Ποσοστό (%)***	***Καθαρή Παραγωγή (Gwh)***	***Ποσοστό (%)***
Λιγνιτικοί	5288	43,1	32798	62
Υδροηλεκτρικοί	3061	24,9	6189	11,7
Πετρελαϊκοί	2309	18,8	9046	17,1
Φυσικού Αερίου	1581	12,9	4761	9
Α.Π.Ε	37	0,3	106	0,2
ΣΥΝΟΛΟ	12276	100	52900	100

Το δίκτυο μεταφοράς της ΔΕΗ λειτουργεί υπό τάσεις 400kV, 150kV και 66kV. Τη σπονδυλική στήλη του διασυνδεδεμένου συστήματος μεταφοράς αποτελούν οι τρείς γραμμές διπλού κυκλώματος των 400 kV, που μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια κυρίως από το σπουδαιότερο για την χώρα ενεργειακό κέντρο παραγωγής της Δυτικής Μακεδονίας. Στην περιοχή αυτή παράγεται περίπου το 70% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής της χώρας που στη συνέχεια μεταφέρεται στα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης της κεντρικής και νότιας Ελλάδας, όπου καταναλώνεται περίπου το 65% της ηλεκτρικής ενέργειας. Εκτός από τις γραμμές των 400 kV, το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς διαθέτει επίσης εναέριες και υπόγειες γραμμές των 150 kV που συνδέουν τα νησιά της Δυτικής Ελλάδας (Κέρκυρα, Λευκάδα, Κεφαλονιά, Ζάκυνθο) με το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς, καθώς και μια υποβρύχια διασύνδεση της Κέρκυρας με την Ηγουμενίτσα στα 66 kV. Επίσης, το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς είναι συνδεδεμένο με τα γειτονικά ηλεκτρικά συστήματα των Βαλκανικών χωρών καθώς και με το ηλεκτρικό σύστημα της Ιταλίας.

Το δίκτυο διανομής της ΔΕΗ παρέχει ηλεκτρική ενέργεια σε 6,8 εκατομμύρια

περίπου καταναλωτές με γραμμές μέσης τάσης (22 kV, 20 kV, 15, kV και 6,6kV) και χαμηλής τάσης (380/220 kV).

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται τα μήκη σε km των δικτύων μεταφοράς και διανομής ανά τάση λειτουργίας και είδος δικτύου, σύμφωνα με στοιχεία του 2005.

Πίνακας 1:3 Δίκτυο μεταφοράς (km) [1]

Δίκτυο	***400 kV***	***150 kV***	***DC 400 kV***	***66 kV***	***ΣΥΝΟΛΟ***
Εναέριο	2309	7874	107	39	10329
Υπόγειο	4	29	-	-	33
Υποθαλάσσιο	-	123	-	15	138
ΣΥΝΟΛΟ	2313	8026	107	54	10500

Πίνακας 1:4 Δίκτυο Διανομής (km) [1]

Δίκτυο	***22 kV,20 kV,15 kV,6.6 kV***	***220 V***	***ΣΥΝΟΛΟ***
Εναέριο	89706	98738	188444
Υπόγειο	7715	10082	17797
Υποθαλάσσιο	1056	2	1058
ΣΥΝΟΛΟ	98477	108822	207299

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 [2]

ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΚΕΡΑΥΝΟΥ

2.1 Ηλεκτρική κατάσταση της γης

Η γη εμφανίζεται μόνιμα φορτισμένη με αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο της τάξης των $5*10^5$ C. Ισοδύναμη ποσότητα θετικού φορτίου παραμένει κατανεμημένη στην ατμόσφαιρα με μεγαλύτερη πυκνότητα στα χαμηλότερα στρώματα. Η παρουσία του κατανεμημένου θετικού φορτίου έχει σαν αποτέλεσμα την προοδευτική μείωση του πεδίου της γης με το ύψος. Εξαιτίας αυτού του κατακόρυφου πεδίου η γη βρίσκεται συνεχώς σε τάση 300 kV σε σχέση με τα ανώτερα τμήματα της ατμόσφαιρας.

Είναι γνωστό πως ιονισμένα σωματίδια και των δύο προσήμων που παράγονται από κοσμική ακτινοβολία, γήινη ραδιενέργεια και από άλλες αιτίες προσδίδουν στον αέρα ορισμένη αγωγιμότητα. Εξ αιτίας αυτής της αγωγιμότητας και του ηλεκτρικού πεδίου της ατμόσφαιρας, ιόντα και των δύο προσήμων κινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις. Αυτό θα είχε σαν αποτέλεσμα την εξομάλυνση του γήινου πεδίου και κατά συνέπεια την εκφόρτιση της γης. Το γεγονός ότι αυτό δεν συμβαίνει οφείλεται στο ότι η γη δέχεται ταυτόχρονα αρνητικό φορτίο ισοδύναμο με αυτό του ρεύματος των θετικών ιόντων. Πιστεύεται πως η κύρια αιτία (πηγή) που τροφοδοτεί τη γη με αρνητικό φορτίο είναι τα ηλεκτρισμένα σύννεφα και οι κεραυνοί.

2.2 Ορισμοί σχετικοί με τα μεγέθη του κεραυνού

Πιο κάτω δίνονται μερικοί ορισμοί για τις διάφορες παραμέτρους του κεραυνού:

Πολικότητα του κεραυνού: Η εκκένωση ενός "αρνητικού νέφους" προς τη γη γίνεται με ένα "αρνητικό κεραυνό" και ενός θετικού νέφους με ένα "θετικό κεραυνό".

Πολικότητα του ρεύματος κεραυνού: Κατά την εκκένωση ενός "αρνητικού νέφους" ρέει προς τη γη ένα αρνητικό ρεύμα και αντίθετα.

Κατεύθυνση οχετού προεκκένωσης: Ένας "κατερχόμενος οχετός προεκκένωσης" (που συχνά ονομάζεται και οδηγός οχετός) προχωρεί από το σύννεφο προς το έδαφος, ένας "ανερχόμενος οχετός προεκκένωσης" προχωρεί από το έδαφος προς το σύννεφο. Ένας "ανερχόμενος οχετός σύνδεσης" είναι μια εκκένωση που ξεκινά από το έδαφος και συναντά, σε μια ενδιάμεση θέση μεταξύ σύννεφου και εδάφους, έναν κατερχόμενο οχετό.

Πολικότητα του οχετού προεκκένωσης: Η πολικότητα ενός οχετού προεκκένωσης ταυτίζεται με την πολικότητα του φορτίου της θέσης από την οποία ξεκινά. Έτσι από

ένα θετικό σύννεφο, ξεκινά ένας "θετικός οχετός προεκκένωσης" και αντίθετα. Από μια προεξοχή του εδάφους κάτω από ένα θετικό σύννεφο ξεκινά ένας "αρνητικός οχετός προεκκένωσης".

Πολικότητα του πεδίου: Το ηλεκτρικό πεδίο κάτω από ένα "αρνητικό σύννεφο" ορίζεται σαν "αρνητικό" και το αντίθετο. Σύμφωνα μ' αυτόν τον ορισμό, το πεδίο καλοκαιρίας του εδάφους έχει "θετική κατεύθυνση".

2.3 Είδη κεραυνών

Ο κεραυνός ξεκινά από σημεία υψηλής πεδιακής έντασης. Δύο ετερόσημα φορτία μέσα στο ίδιο σύννεφο ή δύο γειτονικά σύννεφα δημιουργούν στο διάστημα που παρεμβάλλεται μεταξύ τους υψηλές πεδιακές εντάσεις που μπορούν να προκαλέσουν μία εκκένωση εσωτερική του νέφους ή ανάμεσα σε δύο σύννεφα. Συγκέντρωση φορτίου ενός προσήμου σε μία θέση του νέφους και το φορτίο αντίθετου προσήμου, που επάγεται εξαιτίας του, στο έδαφος, δημιουργούν ανάμεσα στο νέφος και το έδαφος μία ζώνη αυξημένων πεδιακών εντάσεων. Οι υψηλότερες εντάσεις μέσα στη ζώνη αυτή μπορεί να αναπτύσσονται είτε κοντά στο νέφος είτε σε περίπτωση που το έδαφος παρουσιάζει μία σημαντική προεξοχή στην πλευρά του εδάφους. Στην πρώτη περίπτωση, η ενδεχόμενη εκκένωση που θα επακολουθήσει θα αρχίσει από το νέφος (με ένα κατερχόμενο οχετό προεκκένωσης) ενώ στη δεύτερη περίπτωση από το έδαφος (με έναν ανερχόμενο οχετό προεκκένωσης).

Έτσι διακρίνονται τέσσερις περιπτώσεις έναρξης του οχετού προεκκένωσης του κεραυνού.

- Κατερχόμενος αρνητικός οχετός προεκκένωσης που αρχίζει από ένα αρνητικό σύννεφο (περίπτωση 1α).

- Ανερχόμενος θετικός οχετός προεκκένωσης που αρχίζει από μια προεξοχή του εδάφους κάτω από ένα αρνητικό σύννεφο (περίπτωση 2α).

- Κατερχόμενος θετικός οχετός προεκκένωσης που αρχίζει από ένα θετικό σύννεφο (περίπτωση 3α).

- Ανερχόμενος αρνητικός οχετός προεκκένωσης που αρχίζει από μία προεξοχή του εδάφους κάτω από ένα θετικό σύννεφο (περίπτωση 4α).

Αν ο οχετός προεκκένωσης που αναπτύσσεται με έναν από τους τέσσερις πιο πάνω τρόπους γεφυρώσει ολόκληρο το διάκενο σύννεφο-γη, επακολουθεί ο οχετός επιστροφής και έτσι ολοκληρώνεται ένας από τους τέσσερις τύπους κεραυνού στους οποίους διακρίνονται οι πιο κάτω ορισμοί.

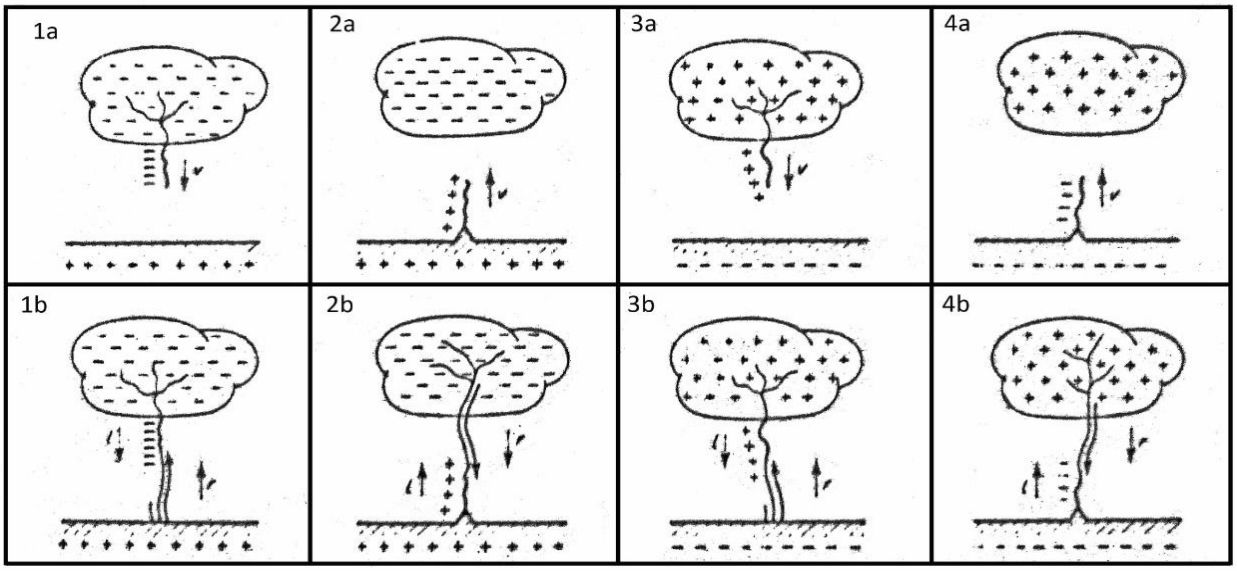
- Κατερχόμενη αρνητική εκκένωση: πηγάζει από ένα αρνητικό σύννεφο με έναν κατερχόμενο οχετό προεκκένωσης και αποτελεί τον πιο συνηθισμένο τύπο κεραυνού που παρατηρείται στο 90% περίπου των περιπτώσεων (περίπτωση

1β).

- Ανερχόμενος θετικός οχετός/αρνητική εκκένωση: πηγάζει από μία προεξοχή του εδάφους κάτω από ένα αρνητικό σύννεφο (περίπτωση 2β).

- Κατερχόμενη θετική εκκένωση: πηγάζει από ένα θετικό σύννεφο (πολύ σπάνια περίπτωση) (περίπτωση 3β).

- Ανερχόμενος αρνητικός οχετός/θετική εκκένωση: πηγάζει από μια προεξοχή του εδάφους κάτω από ένα θετικό σύννεφο (περίπτωση 4β).



Εικόνα 2:1 Είδη κεραυνών: "a" ανάπτυξη οχετού προεκκένωσης, "b" συμπλήρωση του αντίστοιχου είδους κεραυνού με οχετό επιστροφής. "l" οχετός προεκκένωσης, "r" οχετός επιστροφής, "v" κατεύθυνση μετάδοσης.[2]

Η πιο πάνω εικόνα των κεραυνών είναι απλοποιημένη. Στην πραγματικότητα, πριν ο οχετός προεκκένωσης συναντήσει το έδαφος (ή το νέφος) ένας αντίθετος οχετός αναπτύσσεται από την αντίθετη πλευρά που έρχεται να προϋπαντήσει τον κύριο οχετό προεκκένωσης.

2.4 Ο μηχανισμός των ατμοσφαιρικών εκκενώσεων

2.4.1 Έναρξη της εκκένωσης του κεραυνού

Σε περιοχές του νέφους με μεγάλη πυκνότητα φορτίου, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μπορεί να πάρει αρκετά μεγάλες τιμές. Οι ψηλές εντάσεις συνδυαζόμενες με την μικρή πυκνότητα του αέρα (λόγω του ύψους) και μερικούς άλλου παράγοντες που προκαλούν πρόσθετη τοπική ενίσχυση του ηλεκτρικού πεδίου, μπορούν να προκαλέσουν έναρξη ιονισμού των μορίων του αέρα από κρούσεις ηλεκτρονίων. Ο ιονισμός αυτός αποτελεί το πρώτο βήμα για την έναρξη

μιας ηλεκτρικής εκκένωσης. Το επόμενο βήμα είναι ο σχηματισμός ενός οχετού ο οποίος ακολουθεί (με μεγάλες όμως αποκλίσεις) τις γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου.

Όπως ειπώθηκε και προηγουμένως η εικόνα που δόθηκε για το σύννεφο είναι πολύ γενική, το ίδιο σύννεφο μπορεί να περιέχει θύλακες ετερόσημων φορτίων. Έτσι, είναι δυνατόν η περιοχή μέγιστων εντάσεων του ηλεκτρικού πεδίου να κατευθύνεται προς κάποιο άλλο θύλακα ετερόσημου φορτίου ή ακόμα και προς κάποια περιοχή ενός γειτονικού νέφους με επίσης ετερόσημο φορτίο. Ένας οχετός ακολουθώντας αυτή την κατεύθυνση θα προκαλέσει ηλεκτρική σύνδεση και αλληλεξουδετέρωση των δύο ετερόσημων φορτίων. Η εξουδετέρωση αυτή συνοδεύεται από έντονη λάμψη (αστραπή) και δυνατό θόρυβο (βροντή). Οι συνέπειές της όμως στο έδαφος περιορίζονται σε μία παροδική διαταραχή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που μπορεί να γίνει αισθητή σε δέκτες ραδιοφώνου και τηλεοράσεως, τηλεπικοινωνίες κλπ.

Αν οι γραμμές μέγιστης πεδιακής έντασης κατευθύνονται προς το έδαφος ο οχετός θα κατευθυνθεί προς αυτό. Ο μηχανισμός με τον οποίο προχωρεί ο οχετός αυτός που ονομάζεται ‘’οχετός προεκκένωσης’’ έχει διερευνηθεί αρκετά καλά τόσο από άμεσες παρατηρήσεις κεραυνών όσο και στο εργαστήριο. Η πρόοδός του πραγματοποιείται όπως ειπώθηκε με διαδοχικά βήματα, με μήκος το καθένα μερικά μέτρα ή δεκάδες μέτρα. Η μέση ταχύτητα προόδου του οχετού προεκκένωσης είναι τα 0.15m/μs. Η ταχύτητα αυτή όσο και αν φαίνεται τεράστια είναι μικρή σε σύγκριση με την ταχύτητα μετάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (και του φωτός) στο κενό που είναι τα 300m/μs.

2.4.2 Η φάση του οχετού επιστροφής

Η διαμήκης πτώση τάσης κατά μήκος του οχετού (πριν αυτός συναντήσει το έδαφος) ποικίλει στις διάφορες θέσεις του (μικρότερη προς το σημείο έναρξης του οχετού), η μέση τιμή της όμως είναι μικρότερη από 0.1 kV/cm. Έτσι ο οχετός προεκκένωσης εμφανίζεται περίπου αν μία μεταλλική προεξοχή που επεκτείνεται από το σύννεφο προς το έδαφος.

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου γύρω από τον οχετό προεκκένωσης και ιδίως στο προς το έδαφος άκρο του είναι μεγάλη και υπερβαίνει κατά πολύ την πεδιακή ένταση που απαιτείται για ιονισμό από κρούσεις (30kV/cm). Γι’ αυτό το λόγο, ο οχετός περιβάλλεται διαρκώς από ένα μανδύα κορώνα που εκτείνεται μερικά μέτρα γύρω από αυτόν. Το πάχος του μανδύα αυτού είναι μεγαλύτερο στο προς το έδαφος άκρο του οχετού και αυξάνει, όσο η κεφαλή του οχετού πλησιάζει το έδαφος. Όταν η κεφαλή του οχετού φτάσει σε μια απόσταση από το έδαφος τέτοια που η μέση πεδιακή ένταση να είναι περί τα 5kV/cm, το τελευταίο αυτό μήκος γεφυρώνεται ολόκληρο από κορώνα και μετατρέπεται ταχύτατα (20-30μs) επίσης σε οχετό. Με αυτό το τελευταίο βήμα, που ορίζεται σαν το ‘‘τελικό πήδημα’’, το φορτίο της περιοχής του νέφους από όπου άρχισε ο οχετός προεκκένωσης βρίσκεται, μέσω του οχετού προεκκένωσης, ημιαγώγιμα συνδεδεμένο με το έδαφος. Μέσα από την ημιαγώγιμη αυτή σύνδεση εκκενώνεται το φορτίο του νέφους με ένα μεγάλο ρεύμα (πολλές δεκάδες ή εκατοντάδες kA). Από το ρεύμα αυτό ο οχετός προεκκένωσης θερμαίνεται και αποκτά πολύ μεγαλύτερη λαμπρότητα.

Η θέρμανση του οχετού προεκκένωσης αρχίζει από το άκρο που αυτός συναντά το έδαφος και προχωρεί προς το σημείο εκκίνησής του με ταχύτητα μερικά δέκατα της ταχύτητας του φωτός, δηλαδή πολύ μεγαλύτερη από αυτή με την οποία προχωρεί ο οχετός προεκκένωσης. Η φάση αυτή με την οποία συμπληρώνεται η εκκένωση ονομάζεται ‘’οχετός επιστροφής’’ και η εκκένωση του σύννεφου προς τη γη ‘’κεραυνός’’.

2.4.3 Συνδετικός οχετός, απόσταση διάσπασης, αρχή λειτουργίας των αλεξικέραυνων

Η πιο πάνω περιγραφή του κεραυνού είναι εξιδανικευμένη και αφορά την περίπτωση που ένα σύννεφο βρίσκεται πάνω από ένα απόλυτα επίπεδο έδαφος ή μια επιφάνεια ήρεμου ύδατος. Αν ένα ηλεκτρισμένο σύννεφο βρεθεί πάνω από μία πολύ υψηλή και σχετικά αιχμηρή προεξοχή του εδάφους (πάνω από 100 ή 150m) η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στο άκρο της προεξοχής αυτής μπορεί να γίνει, εξ επαγωγής, τόσο μεγάλη ώστε ο οχετός προεκκένωσης να αρχίσει από το άκρο της προεξοχής και να κατευθυνθεί προς το σύννεφο. Προκύπτει έτσι ένας ανερχόμενος οχετός προεκκένωσης. Αν οι προεξοχές του εδάφους έχουν σχετικά μικρό ύψος, μερικά ή δεκάδες μέτρα, η ενίσχυση του ηλεκτρικού πεδίου στο άκρο τους που προκαλείται από την απλή παρουσία του νέφους πάνω από το έδαφος, δεν είναι αρκετή να αρχίσει οχετός προεκκένωσης από αυτές. Ο κατερχόμενος όμως οχετός προεκκένωσης, καθώς πλησιάζει το έδαφος, επάγει ένα ηλεκτρικό πεδίο. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι μεγαλύτερη σε προεξοχές του εδάφους. Όταν στο άκρο μιας από αυτές τις προεξοχές η ένταση ενισχυθεί αρκετά, θα αρχίσει από αυτή ένας ανερχόμενος οχετός προεκκένωσης (συνδετικός οχετός) που θα κατευθυνθεί προς την κεφαλή του κατερχόμενου οχετού προεκκένωσης. Με την συνάντηση των δύο οχετών συμπληρώνεται η ημιαγώγιμη σύνδεση νέφους-εδάφους και επακολουθεί ο οχετός επιστροφής με τον οποίο συμπληρώνεται ο κεραυνός. Μια τέτοια λοιπόν προεξοχή δημιουργεί ένα ‘‘σημείο προτίμησης’’ για την περάτωση του οχετού προεκκένωσης. Σε αυτήν ακριβώς την αρχή στηρίζεται η προστασία μιας περιοχής με την γειωμένη μεταλλική ράβδο του αλεξικέραυνου του Franklin.

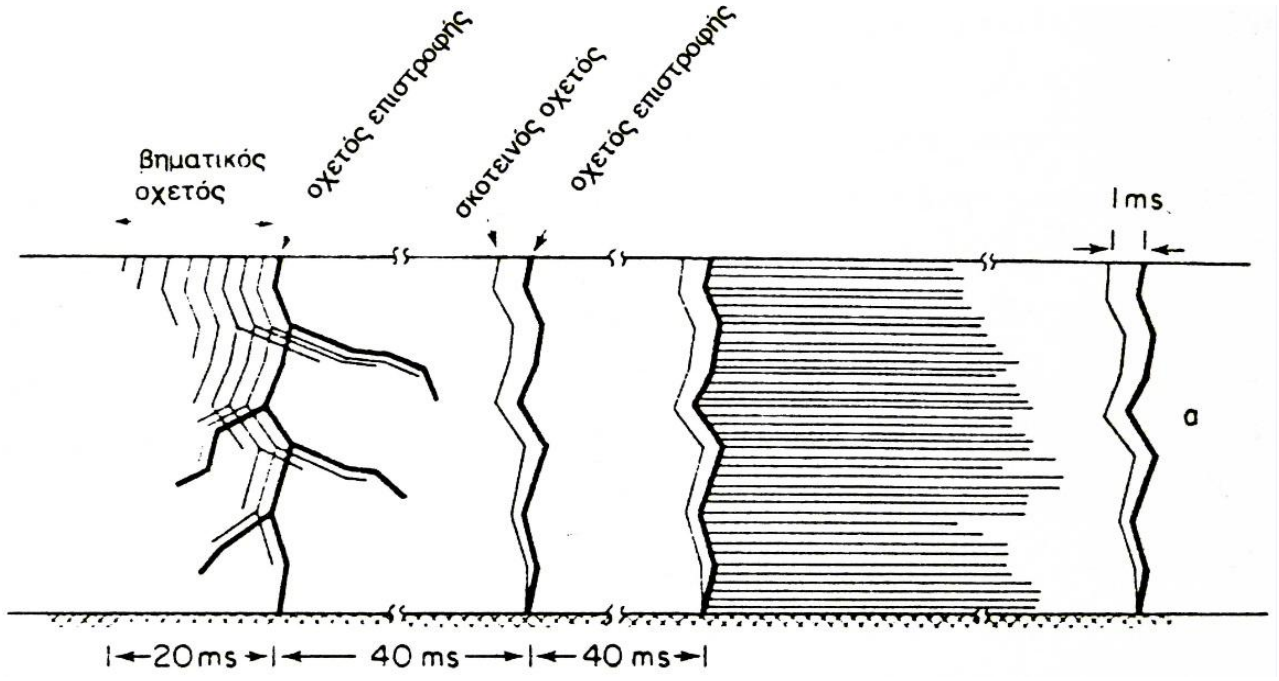
Από τα πιο πάνω γίνεται φανερό πως το ‘‘σημείο προτίμησης’’ για την περάτωση του κεραυνού αποφασίζεται μόνο την τελευταία στιγμή, όταν δηλαδή, ο οχετός προεκκένωσης πλησιάζει σε τέτοια απόσταση από το έδαφος ώστε να υπάρξουν συνθήκες σύνδεσης του κατερχόμενου οχετού με κάποιο σημείο του εδάφους. Οι συνθήκες σύνδεσης πληρούνται όταν η μέση πεδιακή ένταση ανάμεσα στην κεφαλή του κατερχόμενου οχετού και του ‘‘σημείου προτίμησης’’ πέσει στα 5kV/cm (με την προϋπόθεση πως ο οχετός προεκκένωσης ξεκινά από περιοχή αρνητικού φορτίου). Η απόσταση στην οποία η πεδιακή ένταση πέφτει στην πιο πάνω τιμή ονομάζεται ‘‘απόσταση διάσπασης’’ (Α.Δ.) (striking distance) και προφανώς εξαρτάται από την τάση που πλησιάζει η κεφαλή του κατερχόμενου οχετού προεκκένωσης προς το έδαφος. Η τάση αυτή εξαρτάται με τη σειρά της από το μέγεθος του φορτίου του θύλακα του νέφους από τον οποίο ξεκινά ο οχετός προεκκένωσης. Όσο μεγαλύτερο είναι το φορτίο αυτό τόσο μεγαλύτερη η απόσταση διάσπασης. Οι συνήθεις τιμές της απόστασης διάσπασης ποικίλουν από μερικές

δεκάδες μέχρι 150 ή και 200m. Η Α.Δ. συνδέεται με το ρεύμα με τις σχέσεις:

$$r_s = 6,7*I_o^{0,8} \quad \text{και} \quad r_s = 8*I_o^{0,65}$$

Αυτό το σημείο μας αποκαλύπτει και την αρχή της λειτουργίας των συστημάτων προστασίας από κεραυνούς. Έτσι σύμφωνα με τους πιο πάνω συλλογισμούς, αν ένα κτίσμα, είναι εφοδιασμένο με μεταλλικές γειωμένες προεξοχές για τις οποίες η απόσταση διάσπασης προκύπτει πριν από οποιοδήποτε άλλο σημείο του κτίσματος, οι κεραυνοί θα διοχετεύονται κατά προτίμηση στις προεξοχές αυτές και μέσω αυτών στο έδαφος χωρίς να προξενούν ζημιά.

Η αρχική εκκένωση του κεραυνού ακολουθείται από επόμενες εκκενώσεις όπως φαίνεται και στην εικόνα 2:2. Οι εκκενώσεις αυτές διαδέχονται η μία την άλλη σε μικρά χρονικά διαστήματα και η κάθε μία περιλαμβάνει δικό της συνδετικό οχετό και οχετό επιστροφής. Συνήθως οι διαδοχικές αυτές εκκενώσεις ακολουθούν την ίδια όδευση που χαράζει η αρχική εκκένωση χωρίς όμως να αποκλείεται και το αντίθετο. Έχει γενικά παρατηρηθεί πως πολλαπλές εκκενώσεις παρουσιάζουν συνήθως οι κατερχόμενοι αρνητικοί κεραυνοί που αποτελούν και το μεγαλύτερο ποσοστό των κεραυνών, ενώ πολλαπλοί θετικοί κεραυνοί είναι σπανιότατοι.



Εικόνα 2:2 Δημιουργία ενός κεραυνού (πολλαπλού), όπως φαίνεται από μια φωτογραφική μηχανή κινούμενη προς τα δεξιά. [2]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 [3]

ΟΔΗΓΙΑ ΤΗΣ ΙΕΕΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΕΝΑΕΡΙΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΕΝΑΝΤΙ ΤΩΝ ΚΕΡΑΥΝΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Αυτή η οδηγία μας παρέχει πληροφορίες για τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στη βελτίωση της συμπεριφοράς μιας εναέριας γραμμής μεταφοράς σε πτώση κεραυνού, και απευθύνεται στον σχεδιαστή/μελετητή των γραμμών διανομής. Σύμφωνα με την οδηγία αυτή, δεν είναι δυνατόν να υπάρξει σχεδιασμός της τέλειας γραμμής διανομής. Για αυτόν τον λόγο μια σειρά από συμβιβασμούς πρέπει να ληφθούν από τους σχεδιαστές των γραμμών. Ενώ κάποιες παράμετροι όπως η τάση, η όδευση και η χωρητικότητα μπορούν να προκαθοριστούν, άλλες αποφάσεις λαμβάνονται κατά το δοκούν του μελετητή. Μπορεί δηλαδή να εξετάσει την δομή/γεωμετρία των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν, την τυχόν προστασία της γραμμής από παράπλευρες κατασκευές, το επίπεδο της μόνωσης, την γείωση, και την τοποθέτηση των αλεξικέραυνων. Αυτή η οδηγία θα βοηθήσει τον σχεδιαστή γραμμών διανομής να βελτιστοποιήσει τον σχεδιασμό των γραμμών και οικονομικοτεχνικά.

3.2 Σκοπός και αναφορές

Σκοπός: Η παρούσα οδηγία θα προσδιορίσει τους παράγοντες που συνεισφέρουν στις βλάβες από κεραυνό στις εναέριες γραμμές διανομής, και θα προτείνει βελτιώσεις για τις υπάρχουσες αλλά και τις νέες κατασκευές. Η οδηγία προορίζεται για την προστασία της μόνωσης των γραμμών διανομής συστημάτων με τάση κάτω από 69kV. Θέματα προστασίας του εξοπλισμού αναφέρονται στο IEEE Std C62.22-1991. Σε αυτά τα πλαίσια, βασικός σκοπός αυτής της οδηγίας είναι να παρουσιάσει εναλλακτικές λύσεις για την μείωση των βραχυκυκλωμάτων που προκαλούνται από κεραυνό στις εναέριες γραμμές διανομής Μέσης Τάσης.

Αναφορές: Αυτή η οδηγία θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε συνάρτηση με τους ακόλουθους κανονισμούς. Όταν οι ακόλουθοι κανονισμοί έχουν δεχτεί κάποιες εγκεκριμένες αναθεωρήσεις, τότε θα ισχύουν αυτές. IEEE Std C62.22-1991, IEEE Οδηγία για την Εφαρμογή Αλεξικέραυνων από Μεταλλικά Οξείδια για τα Συστήματα Εναλλασσόμενου Ρεύματος (ANSI).

3.3 Ορισμοί

Παρακάτω παρατίθενται οι βασικοί ορισμοί των εννοιών και των μεγεθών που θα χρησιμοποιηθούν για την πλήρη κατανόηση του αντικειμένου.

Ανάστροφο βραχυκύκλωμα κεραυνού (back flashover lightning): Ορίζεται ως το βραχυκύκλωμα στη μόνωση λόγω πλήγματος από κεραυνό σε κάποιο μέρος ενός δικτύου ή μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης που συνήθως βρίσκεται στο δυναμικό του εδάφους.

Βασικό επίπεδο μόνωσης έναντι κεραυνών (basic impulse insulation level, BIL ή bil) (rated impulse withstand voltage) (surge arresters): Αντοχή σε κρουστική τάση κεραυνού.

Κρίσιμη κρουστική τάση κεραυνών, μονωτές (critical impulse flashover voltage, CFO) (insulators): Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης που, υπό συγκεκριμένες συνθήκες, προκαλεί βραχυκύκλωμα στο μέσο που την περιβάλει, στο 50% των περιπτώσεων.

Άμεσο πλήγμα (direct stroke): Ένα απευθείας χτύπημα κεραυνού σε οποιοδήποτε μέρος ενός δικτύου ή μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης.

Γραμμή διανομής (distribution line): Γραμμές ηλεκτρικής ισχύος που διανέμουν ισχύ από έναν κύριο υποσταθμό στους καταναλωτές, συνήθως με τάση 34.5 kV ή λιγότερο. Τονίζεται ότι αυτή η οδηγία αφορά τάσεις έως και 69 kV.

Βραχυκύκλωμα (γενικά) (flashover): Μια ανεπιθύμητη εκκένωση μέσω του αέρα ή στην επιφάνεια μιας στερεής ή υγρής μόνωσης που οδηγεί σε διάσπαση, ανάμεσα σε μέρη διαφορετικού δυναμικού ή πολικότητας. Παράγεται από εφαρμογή μιας τάσης που το μονοπάτι της διάσπασης έχει ιονιστεί επαρκώς ώστε να διατηρεί ένα ηλεκτρικό τόξο.

Ηλεκτρόδιο γείωσης (ground electrode): Ένας αγωγός ή μια ομάδα αγωγών, σε στενή επαφή με το έδαφος με σκοπό να παρέχουν συνεχή σύνδεση με το έδαφος.

Πυκνότητα κεραυνών (ground flash density, GFD, Ng): Ο μέσος αριθμός των πληγμάτων από κεραυνό ανά μονάδα χώρου και ανά μονάδα χρόνου σε μια συγκεκριμένη περιοχή (κεραυνοί/ km^2/ έτος).

Μονωτήρας επιτόνων (guy insulator): Ένα μονωτικό στοιχείο, συνήθως επιμηκυμένης μορφής με εγκάρσιες τρύπες ή σχισμές, με σκοπό την μόνωση δύο μερών ενός επιτόνου ή την παροχή μόνωσης ανάμεσα στην κατασκευή και το στήριγμα. Επίσης παρέχει προστασία σε περίπτωση σπασμένων καλωδίων. Οι πορσελάνινοι μονωτήρες καλωδίων γενικά, είναι σχεδιασμένοι να αντέχουν στην

πίεση αλλά συνήθως χρησιμοποιούνται ξύλινοι μονωτήρες κατάλληλα εξοπλισμένοι γι' αυτό το σκοπό.

Επίτονο (guy wire): Ένα απομονωμένο καλώδιο που χρησιμοποιείται για υποστήριξη έντασης ημιελαστικού χαρακτήρα ανάμεσα στον πόλο ή την κατασκευή και την ράβδο στήριξης, ή ανάμεσα στις κατασκευές.

Έμμεσο πλήγμα (indirect stroke): Ένα χτύπημα κεραυνού που δεν χτυπά απευθείας κάποιο μέρος ενός δικτύου, αλλά μπορεί να προκαλέσει υπέρταση σε αυτό.

Επαγόμενη τάση, πλήγματα κεραυνού (induced voltage, lightning stroke): Η τάση που επάγεται σε ένα δίκτυο ή μια ηλεκτρική εγκατάσταση από ένα έμμεσο πλήγμα.

Πρώτο πλήγμα κεραυνού (lightning first stroke): Η ηλεκτρική εκκένωση στο έδαφος που συμβαίνει όταν η άκρη ενός κατερχόμενου οχετού συναντηθεί με έναν ανερχόμενο από το έδαφος.

Ακόλουθο πλήγμα κεραυνού (lightning subsequent stroke): Μία εκκένωση κεραυνού που μπορεί να ακολουθήσει μία πορεία που έχει ήδη προδιαγράψει το πρώτο πλήγμα.

Κεραυνός (lightning flash): Η πλήρης εκκένωση κεραυνού, που συνήθως δημιουργείται από αγωγούς ενός σύννεφου ακολουθούμενοι από ένα ή περισσότερα πλήγματα επιστροφής.

Σφάλμα λόγω κεραυνού (lightning outage): Είναι η διακοπή ρεύματος, που οφείλεται σε πτώση κεραυνού και προκαλεί ένα ρεύμα σφάλματος στο σύστημα, απαιτώντας την λειτουργία μιας συσκευής διακοπής για τον καθαρισμό του σφάλματος.

Συμπεριφορά γραμμών σε κεραυνούς (line lightning performance): Η απόδοση μιας γραμμής που εκφράζεται ως ο ετήσιος αριθμός των βραχυκυκλωμάτων από κεραυνούς σε βάση ενός μιλίου του κυκλώματος ή πύργου γραμμών μιλίου.

Αλεξικέραυνο μεταλλικών οξειδίων (ή απαγωγέας υπερτάσεων) (metal-oxide surge arrester, MOSA): Ένα αλεξικέραυνο που χρησιμοποιεί βαλβίδες κατασκευασμένες από υλικά μεταλλικών οξειδίων μη γραμμικής αντίστασης.

Εναέριος αγωγός προστασίας (overhead groundwire, OHGW): Είναι το τοποθετημένο καλώδιο (ένα ή περισσότερα) πάνω από τους αγωγούς με σκοπό να διακόπτουν τα άμεσα πλήγματα από κεραυνούς. Μπορεί να συνδέονται στο σύστημα γείωσης άμεσα ή έμμεσα μέσω μικρών διακένων.

Γωνία προστασίας (shielding angle): Η γωνία ανάμεσα στην κατακόρυφη γραμμή μέσω του εναέριου αγωγού γείωσης και στη γραμμή που συνδέει τον εναέριο αγωγό γείωσης με τον προστατευτικό αγωγό.

Αγωγός προστασίας (shield wire): Είναι αγωγοί τοποθετημένοι κοντά στους αγωγούς φάσεων και εξυπηρετούν τους σκοπούς:

1. Προστασία των αγωγών φάσης από άμεσα πλήγματα κεραυνών.
2. Μείωση των επαγόμενων τάσεων που προκαλούνται από εξωτερικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία.
3. Μείωση της κυματικής αντίστασης ενός συστήματος OHGW.
4. Αύξηση της αμοιβαίας κυματικής αντίστασης ενός συστήματος OHGW στους προστατευμένους αγωγούς φάσης.

Μπορούν να είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένοι απευθείας στην κατασκευή ή έμμεσα μέσω μικρών διακένων.

Προστατευτικό διάκενο (spark gap): Οποιοδήποτε διάστημα αέρα ανάμεσα σε δύο αγωγούς που είναι ηλεκτρικά μονωμένοι μεταξύ τους ή συνδέονται ηλεκτρικά σε κάποια απόσταση.

Αλεξικέραυνο (surge arrester): Μία προστατευτική συσκευή που περιορίζει τις υπερτάσεις στον εξοπλισμό παρεκκλίνοντας το ρεύμα και διατηρώντας έτσι την συσκευή στην αρχική της κατάσταση.

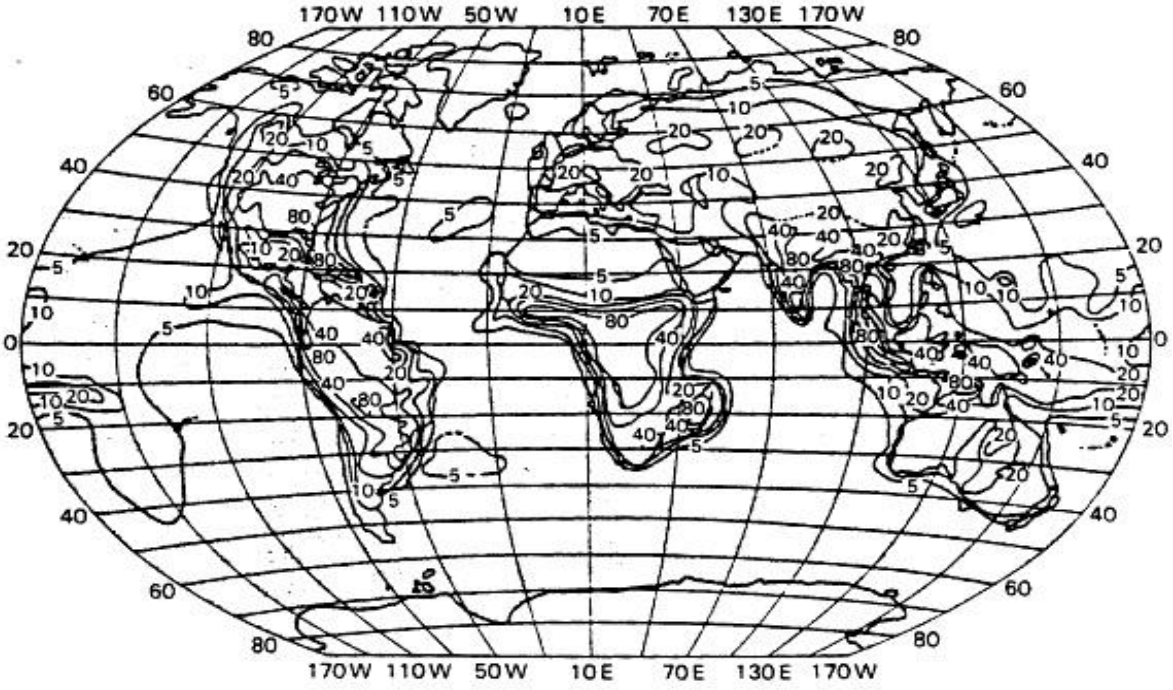
3.4 Παράμετροι κεραυνών

3.4.1 Πτώση Κεραυνών

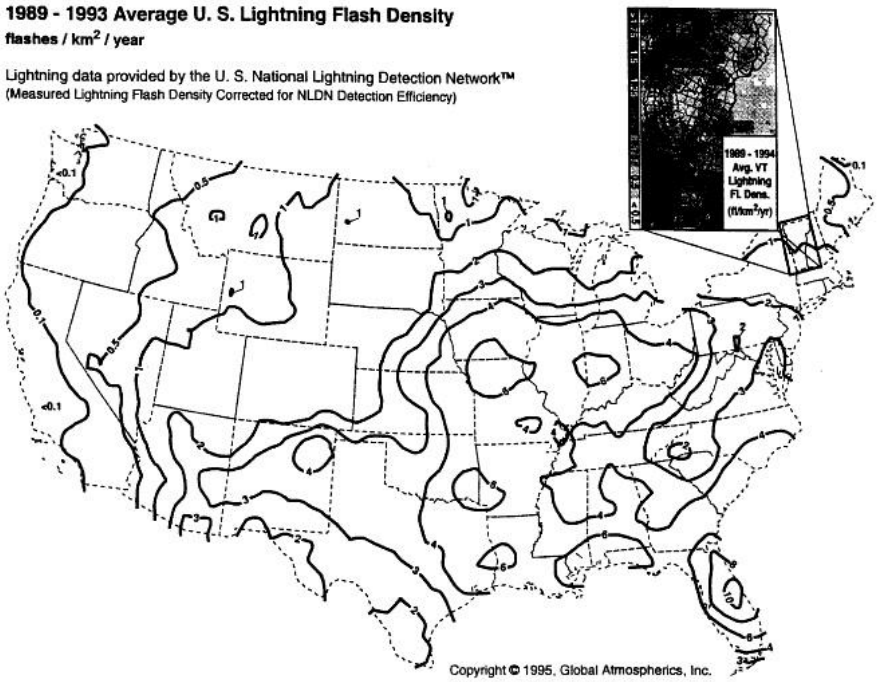
Η πιο συχνά εμφανιζόμενη μορφή είναι ο κεραυνός μέσα σε ένα σύννεφο, αλλά αυτή που επηρεάζει περισσότερο τις εναέριες γραμμές διανομής είναι ο κεραυνός μεταξύ σύννεφου και Γης. Κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας, είναι πιθανόν να συμβούν διακοπές ρεύματος, λόγω των κεραυνών και των ανέμων. Έτσι κάποιες διακοπές που συμβαίνουν λόγω ανέμου, πτώσεις δέντρων ή ελαττωματικού εξοπλισμού είναι πιθανόν να θεωρηθεί ότι συνέβησαν από κεραυνό, κάτι που θα έκανε τον αριθμό των σφαλμάτων λόγο κεραυνού να φαίνεται πλαστά υψηλός.

Στις περισσότερες περιοχές του κόσμου, μια ένδειξη της κεραυνικής δραστηριότητας μπορεί να αποκτηθεί από τα κεραυνικά δεδομένα της περιοχής (ημέρες καταιγίδας ανά έτος). Στο Σχήμα 3:1, φαίνεται ο παγκόσμιος ισοκεραυνικός χάρτης. Το κεραυνικό επίπεδο είναι μια ένδειξη της κατά τόπους κεραυνικής δραστηριότητας που βασίζεται σε μέσες τιμές των ποσοτήτων και προκύπτουν από ιστορικά διαθέσιμες παρατηρήσεις. Ωστόσο, για συγκεκριμένες περιοχές είναι διαθέσιμα και περισσότερο λεπτομερή κεραυνικά δεδομένα. Έτσι μια λεπτομερέστερη απεικόνιση της κεραυνικής δραστηριότητας μπορεί να αποκτηθεί από χάρτες που απεικονίζουν την πυκνότητα κεραυνών στο έδαφος (GFD maps), οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι από τις πληροφορίες που μας παρέχουν τα δίκτυα

εντοπισμού κεραυνών. Στο Σχήμα 3:2 απεικονίζεται ένα δείγμα ενός τέτοιου χάρτη για τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.



Εικόνα 3:1 Παγκόσμιος ισοκεραυνικός χάρτης [3]



Εικόνα 3:2 Χάρτης GFD (Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής) [3]

Συστήματα εντοπισμού κεραυνών, καθώς και δίκτυα μέτρησης κεραυνών έχουν τοποθετηθεί στη βόρεια Αμερική και σε άλλα μέρη του πλανήτη. Έχοντας αρκετή εμπειρία, αυτά τα δίκτυα μπορούν να παρέχουν λεπτομερείς GFD χάρτες. Οι χάρτες GFD είναι πολύ πιο λεπτομερείς και ακριβείς απ' ότι τα κεραυνικά δεδομένα. Τα συστήματα θέσης παρέχουν επίσης κάποιες χρήσιμες και λεπτομερείς μετρήσεις. Εκτός του ότι παρέχουν την συχνότητα των κεραυνών, τα δίκτυα μπορούν επίσης να μας πληροφορήσουν για την ώρα, την ημερομηνία, την τοποθεσία, τον αριθμό των κεραυνών, το εκτιμώμενο ρεύμα του μεγίστου πλήγματος και την πολικότητα.

Σε ορισμένες περιοχές του πλανήτη, αυτά τα συστήματα έχουν ή είναι κοντά στο να έχουν επαρκή στοιχεία (το λιγότερο επτά χρόνων) για να χρησιμοποιηθούν σε σχεδιαστικούς σκοπούς. Αυτή τη στιγμή, οι χάρτες GFD χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό γραμμών διανομής, εκτιμώντας τον αριθμό των βραχυκυκλωμάτων λόγω κεραυνού, καθώς επίσης και σε πολλούς άλλους τύπους ανάλυσης λόγω κεραυνών.

Η αξιοπιστία μιας γραμμής διανομής εξαρτάται από την έκθεσή της η όχι σε περιπτώσεις κεραυνών. Για να προσδιορισθεί αυτό ο σχεδιαστής πρέπει να γνωρίζει τον ετήσιο αριθμό κεραυνών ανά μονάδα περιοχής και ανά μονάδα χρόνου (GFD). Το GFD μπορεί να υπολογιστεί με διάφορους τρόπους.

Ένας πρώτος τρόπος να προσδιοριστεί είναι από το κεραυνικό επίπεδο της περιοχής, σύμφωνα με την εξίσωση (3:1).

$$N_g = 0{,}04 * T^{1{,}25} \text{ [κεραυνοί/km/έτος]} \qquad (3:1)$$

Όπου :
T_d ο αριθμός των ημερών καταιγίδας ανά χρόνο (το κεραυνικό επίπεδο).

Ένας άλλος τρόπος υπολογισμού για το GFD μπορεί να προκύψει από τα αρχεία των ωρών καταιγίδας ως εξής:

$$N_g = 0{,}054 * T^{1{,}1} \qquad (3:2)$$

Εκτιμήσεις για μια μέση τιμή του GFD μπορούν επίσης να γίνουν από τα δίκτυα εντοπισμού κεραυνών ή από τους μετρητές/καταγραφείς των κεραυνών. Αν έχουμε δεδομένα αρκετών ετών, έχουμε το πλεονέκτημα του εντοπισμού των διαφοροποιήσεων σε μια περιοχή.

Τα ποσοστά των κεραυνών καθώς και οι διακοπές που προκαλούνται λόγω κεραυνού έχουν σημαντικές διακυμάνσεις χρόνο με το χρόνο. Συνήθως, αυτές οι ετήσιες διακυμάνσεις της κεραυνικής δραστηριότητας έχουν μια απόκλιση της τάξης του 20% με 50% από την μέση τιμή τους. Αν περιοριστούμε σε μια μικρή περιοχή, π.χ. 10 km^2, τότε εκτιμάται ότι αυξάνεται αυτή η απόκλιση 30% με 50% από το μέσο όρο. Αντιθέτως, σε μια περιοχή μεγαλύτερης έκτασης, π.χ. 500 km^2 η απόκλιση είναι μικρότερη, της τάξης του 20% με 25% από το μέσο όρο. Σε περιοχές με χαμηλά επίπεδα κεραυνικής δραστηριότητας, η σχετικά σταθερή απόκλιση είναι μεγαλύτερη.

Έτσι λοιπόν, με τέτοιες μεγάλες διακυμάνσεις, χρειαζόμαστε δεδομένα πολλών ετών για να υπολογίσουμε με ακρίβεια το μέσο όρο. Αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό σε δύο περιπτώσεις :

- Όταν γίνεται χρήση εδαφικών κεραυνικών δεδομένων μια περιοχής
- Όταν γίνεται εκτίμηση του ποσοστού διακοπών από κεραυνούς από τα στοιχεία διακοπής λειτουργίας.

3.4.2 Κατανομές μέγιστου ρεύματος κεραυνών

Στον Πίνακα 3:1(CIGRE Working Group 33.01) παρουσιάζονται οι παράμετροι των κεραυνών, σύμφωνα με τον οποίο η διακύμανση που εμφανίζεται στο μέγιστο ρεύμα κεραυνού I_o μπορεί να προσεγγισθεί με μια λογαριθμική/κανονική κατανομή. Προκειμένου να διαχειριστούμε την πιθανολογική κατανομή των κορυφαίων τιμών ρεύματος με έναν πιο απλό τρόπο, υιοθετείται η ακόλουθη έκφραση.

$$P(I_o \geq i_o) = 1/[1+(i_o/31)^{2,6}] \qquad (3:3)$$

Η παραπάνω εξίσωση μας δίνει την πιθανότητα το μέγιστο ρεύμα του κεραυνού I_o να είναι ίσο ή μεγαλύτερο από μια συγκεκριμένη τιμή i_o [kA].

Πίνακας 3:1 CIGRE παράμετροι του ρεύματος κεραυνού [3]

Parameters of log-normal distribution for negative downward flashes				
Parameter	First stroke		Subsequent stroke	
	Median	β, logarithmic standard deviation	Median	β, logarithmic standard deviation
FRONT, μs	—	—	—	—
$t_{d10/90}$ = T10/90/0.8	5.63	0.576	0.75	0.921
$t_{d30/90} = T_{30/90}/0.6$	3.83	0.553	0.67	1.013
$t_m=I_F/S_m$	1.28	0.611	0.308	0.708
STEEPNESS kA/μs	—	—	—	—
S_m, Maximum	24.3	0.599	39.9	0.852
S_{10}, at 10%	2.6	0.921	18.9	1.404
$S_{10/90}$, 10-90%	5.0	0.645	15.4	0.944
$S_{30/90}$, 30-90%	7.2	0.622	20.1	0.967
CREST CURRENT, kA	—	—	—	—
I_I, initial	27.7	0.461	11.8	0.530
I_F, final	31.1	0.484	12.3	0.530
Initial/final	0.9	0.230	0.9	0.207
TAIL, t_n, μs	77.5	0.577	30.2	0.933
CHARGE, Q_I, C	4.65	0.882	0.938	0.882
$\int I^2dt$, $(kA)^2s$	0.057	1.373	0.0055	1.366
Inter stroke interval, ms	—	—	35	1.066

Description of waveshape parameters (see Figure 3)

I_{10}	=	10% intercept along the stroke current waveshape
I_{30}	=	30% intercept along the stroke current waveshape
I_{90}	=	90% intercept along the stroke current waveshape
$T_{10/90}$	=	time between I_{10} and I_{90} intercepts on the wavefront
$T_{30/90}$	=	time between I_{30} and I_{90} intercepts on the wavefront
Sm	=	tan G, maximum rate-of-rise of current along wavefront
S_{10}	=	instantaneous rate-of-rise of current at I_{10}
$S_{10/90}$	=	average steepness (through I_{10} and I_{90} intercepts)
$S_{30/90}$	=	average steepness (through I_{30} and I_{90} intercepts)
Q_1	=	impulse charge in stroke current waveshape

3.5 Συμπεριφορά εναέριων γραμμών διανομής σε περίπτωση κεραυνού

Εδώ περιγράφεται μια μέθοδος θεωρητικού υπολογισμού των άμεσων και έμμεσων πληγμάτων από κεραυνό στα δίκτυα διανομής. Οι κεραυνοί είναι υπεύθυνοι για έναν μεγάλο αριθμό διακοπών ρεύματος στις γραμμές διανομής. Οι κεραυνοί μπορεί να προκαλέσουν βραχυκύκλωμα από:

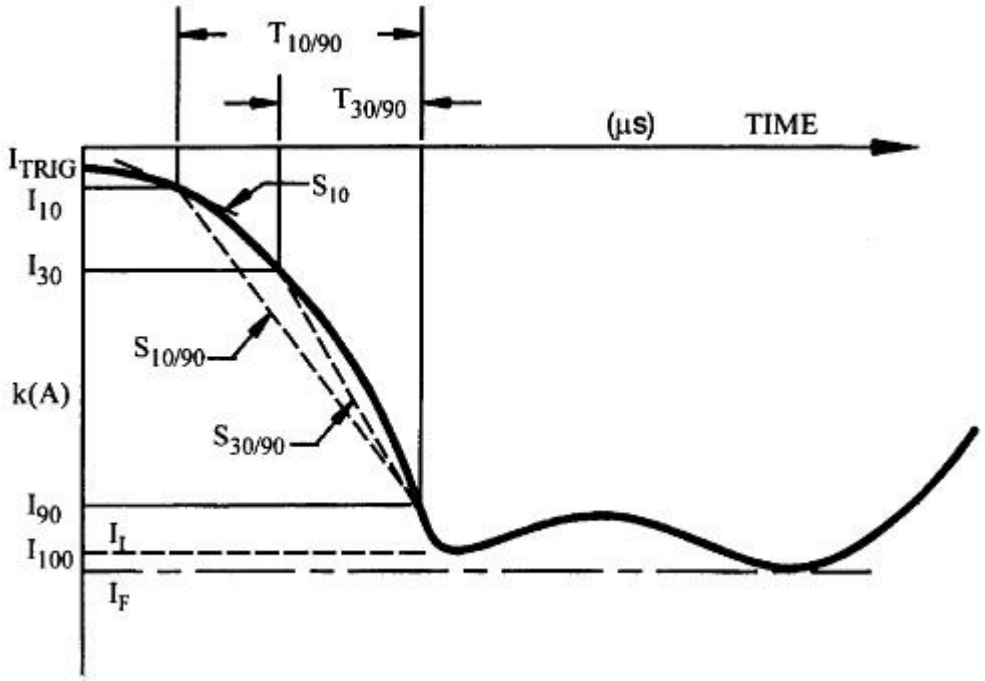
1. *Άμεσα πλήγματα*: Όταν ένας κεραυνός πλήττει τον αγωγό φάσης της γραμμής, το συνολικό ρεύμα Io, διασπάται σε δύο τμήματα που διαρρέουν τη γραμμή από το σημείο του πλήγματος, Μ, προς αντίθετες κατευθύνσεις. Κάθε ένα από τα ρεύματα Io/2, πολλαπλασιασμένο με την κυματική αντίσταση Zo, δίνει με τον τρόπο αυτό την παραγόμενη υπέρταση.

$$V = (I_o /2)*Z_o$$

2. *Επαγόμενες τάσεις από κοντινά πλήγματα:* Καθώς οδηγός οχετός του κεραυνού κατέρχεται προς το έδαφος, κοντά σε μια γραμμή, το φορτίο Φ με πρόσημο αντίθετο από αυτό του οχετού, συσσωρεύεται στην περιοχή της γραμμής που πρόσκειται στον οχετό. Αν ο οχετός δεν πλήξει τη γραμμή, αλλά ένα άλλο σημείο, Μ, του εδάφους σε απόσταση δ από τον άξονα xx' της γραμμής, τότε με την απότομη εξουδετέρωση του φορτίου που θα συμβεί θα πάψει να υπάρχει ο λόγος συσσώρευσης του φορτίου Φ και αυτό θα διαχυθεί με τη μορφή δύο αντίθετων κυμάτων ρεύματος, Ι, προς τις απομακρυσμένες περιοχές τις γραμμής, απ' όπου είχε νωρίτερα προέλθει. Κάθε ένα από τα ρεύματα Ι, πολλαπλασιασμένο με την κυματική αντίσταση Z_o της γραμμής παράγει σε μια τάση.

$$V = I*Z_o$$

Απευθείας πλήγμα σε γραμμές διανομής προκαλεί βραχυκυκλώματα στις μονώσεις στην πλειοψηφία των περιπτώσεων. Για παράδειγμα, ένα πλήγμα 10 kA θα μπορούσε να παράγει μια υπέρταση περίπου 2000 kV, πέρα από τα επίπεδα μόνωσης των εναέριων γραμμών διανομής ονομαστικής τάσης 69 kV. Παρόλα αυτά, η εμπειρία και οι παρατηρήσεις δείχνουν ότι πολλές από τις διακοπές λειτουργίας, που σχετίζονται με κεραυνούς, σε γραμμές με μικρή μόνωση οφείλονται σε κεραυνούς που πέφτουν στο έδαφος κοντά στην γραμμή. Οι περισσότερες τάσεις που επάγονται σε μια γραμμή διανομής από εκκενώσεις κεραυνών που καταλήγουν κοντά στην γραμμή είναι μικρότερες από 300 kV. Οι κεραυνοί μπορούν να συλλεχθούν από ψηλότερα αντικείμενα, και επομένως το ύψος και η απόσταση των προστατευτικών αντικειμένων από τη γραμμή διανομής, όπως τα δέντρα και τα κτίρια, επηρεάζουν την συμπεριφορά της γραμμής σε περίπτωση κεραυνού.



Εικόνα 3:3 Περιγραφή των παραμέτρων των κεραυνών [3]

3.5.1 Πλήγματα κεραυνών σε εναέριες γραμμές

Α. Ύψος κατασκευής

Οι κεραυνοί μπορεί να έχουν πολύ σημαντική επίδραση στην αξιοπιστία μιας γραμμής, ειδικότερα αν οι πόλοι της βρίσκονται σε ψηλότερο επίπεδο από τον περιβάλλοντα χώρο. Οι περισσότεροι κεραυνοί απορροφούνται από υψηλότερες κατασκευές. Ο ρυθμός απορρόφησης κεραυνών N, σε ανοιχτό έδαφος (μη ύπαρξη δέντρων ή κτιρίων), προσδιορίζεται από την εξίσωση του Eriksson.

$$N = N_g*[(28*h^{0,6}+b)/10] \qquad (3:4)$$

Όπου:

h: είναι το ύψος του στύλου (m)
b: το πλάτος της κατασκευής (m)
N_g: η πυκνότητα των κεραυνών (κεραυνοί/km^2/έτος)
N: ο αριθμός των κεραυνών/100 km/ έτος

Για τις περισσότερες γραμμές διανομής, ο κατασκευαστικός παράγοντας πλάτος (b) είναι σχεδόν αμελητέος.

Από την εξίσωση (3:4), εάν το ύψος του πόλου αυξηθεί κατά 20%, ο ρυθμός απορρόφησης των κεραυνών σε μια εναέρια γραμμή διανομής θα αυξηθεί κατά 12%. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι μια γραμμή μπορεί να απορροφήσει πολύ περισσότερους κεραυνούς απ' ότι προβλεπόταν αρχικά από το μοντέλο 4×H , που χρησιμοποιείτο για χρόνια. Σύμφωνα με το μοντέλο 4×H ο αριθμός των κεραυνών στην γραμμή διανομής υπολογιζόταν για ένα πλάτος διπλάσιο του ύψους της γραμμής και στις δύο πλευρές της γραμμής.

Η έκθεση της γραμμής διανομής στον κεραυνό εξαρτάται από το πόσο προεξέχουν οι κατασκευές πάνω από την γύρω περιοχή. Οι κατασκευές που βρίσκονται σε κορυφές βουνών, οροσειρών, ή λόφων είναι πιο πιθανοί στόχοι κεραυνών από αυτές που είναι προστατευμένες από φυσικά στοιχεία.

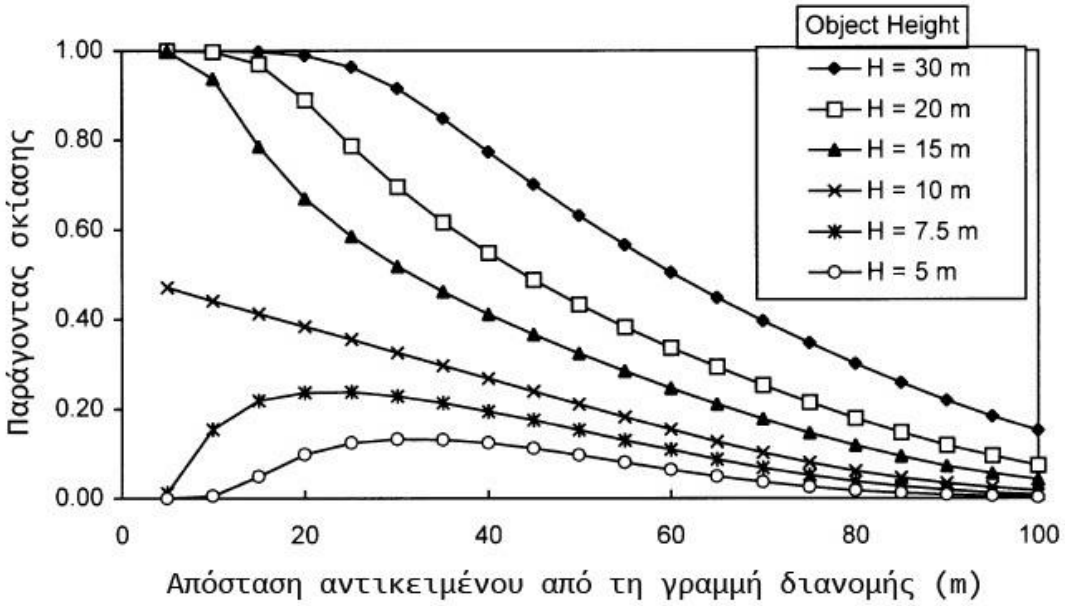
Β. Προστασία από παραπλήσιες κατασκευές και δέντρα

Δέντρα και κτίρια που βρίσκονται παράπλευρα των γραμμών διανομής παίζουν σημαντικό ρόλο στην συμπεριφορά τους σε περίπτωση κεραυνού. Έτσι οι παράπλευρες κατασκευές μπορούν να τραβήξουν πολλούς κεραυνούς που σε διαφορετική περίπτωση θα έπληττα την γραμμή. Εδώ εισέρχεται ο παράγοντας σκίασης, S_f, και ορίζεται το τμήμα ανά μονάδα γραμμών διανομής που προστατεύεται από κοντινά αντικείμενα. Ο αριθμός των πληγμάτων στη γραμμή τότε γίνεται:

$$N_s = N^*(1-S_f) \qquad (3:5)$$

Ένας μηδενικός παράγοντας σκίασης (0.0) σημαίνει ότι η γραμμή βρίσκεται σε ανοιχτό έδαφος χωρίς προστασία από παράπλευρες κατασκευές, ενώ ο παράγοντας σκίασης ένα (1.0) σημαίνει ότι η γραμμή είναι πλήρως καλυμμένη από άμεσα πλήγματα κεραυνών.

Το Σχήμα 3:4 δείχνει έναν τρόπο υπολογισμού του παράγοντα σκίασης (προστασίας) για μια γραμμή διανομής ύψους 10m, με παράπλευρες κατασκευές διαφόρων υψών. Τα αντικείμενα υποτίθεται ότι είναι τοποθετημένα σε μια ευθεία γραμμή παράλληλα στην γραμμή διανομής. Αυτό μπορεί να αντιπροσωπεύει μια σειρά δέντρων ή σπιτιών.



Εικόνα 3:4 Παράγοντες προστασίας λόγω κοντινών αντικειμένων σε διαφορετικά ύψη για μια γραμμή διανομής ύψους 10m [3]

Το Σχήμα 3:4 μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και για τις δύο πλευρές της γραμμής διανομής, αν απλά προστεθούν οι παράγοντες προστασίας της δεξιάς και της αριστερής πλευράς (αν το άθροισμα ξεπερνά το 1, τότε ο ολικός παράγοντας προστασίας ισούται με 1). Για παράδειγμα, θεωρούμε ένα μια εναέρια γραμμή διανομής ύψους 10m με τις ακόλουθες σειρές κτιρίων σε κάθε πλευρά:

1. Μια σειρά από κτίρια ύψους 7.5m, 30m από την αριστερή πλευρά της γραμμής διανομής (Sf_{left} = 0.23).
2. Μια σειρά ύψους 15m, 40m από την δεξιά πλευρά της γραμμής διανομής (Sf_{right} = 0.4).

Εάν ο GFD μιας περιοχής είναι 1 κεραυνός/km^2/έτος, ο αριθμός των άμεσων πληγμάτων σε μία εναέρια γραμμή σε ανοιχτό έδαφος θα είναι 11.15 κεραυνοί/100 km/έτος, από την Εξίσωση (3:4). Όταν η γραμμή περνάει δίπλα από σειρά κτιρίων, ο αριθμός των άμεσων πληγμάτων μειώνεται σε:

$$N_S = N[1-(Sf_{left}+Sf_{right})] =$$
$$(11.15 \text{ κεραυνοί/100km/έτος})[1-(0.23+0.4)]$$
$$=4.12 \text{ κεραυνοί/100 km/έτος} \qquad (3:6)$$

Όλα τα άμεσα πλήγματα κεραυνών θα προκαλέσουν βραχυκύκλωμα ανεξάρτητα από το επίπεδο μόνωσης, τα διαστήματα των αγωγών, ή της γείωσης άμα η μόνωση της γραμμής διανομής δεν προστατεύεται από αγωγό προστασίας ή αλεξικέραυνα. Γι' αυτό για να εκτιμήσουμε τον αριθμό των άμεσων πληγμάτων χρησιμοποιούμε την εξίσωση (3:4) για ανοιχτό έδαφος ή την (3:4) και (3:5) για μερικώς προστατευμένη γραμμή. Στη θεωρητική ανάλυση, θεωρούμε ότι κάθε πλήγμα θα προκαλέσει βραχυκύκλωμα στο δίκτυο διανομής.

3.5.2 Βραχυκύκλωμα από επαγόμενη τάση

Σύμφωνα με τη θεωρία του Rusck, η μέγιστη τάση που επάγεται στο κοντινότερο, στο πλήγμα, σημείο μιας γραμμής μεταφοράς δίνεται από:

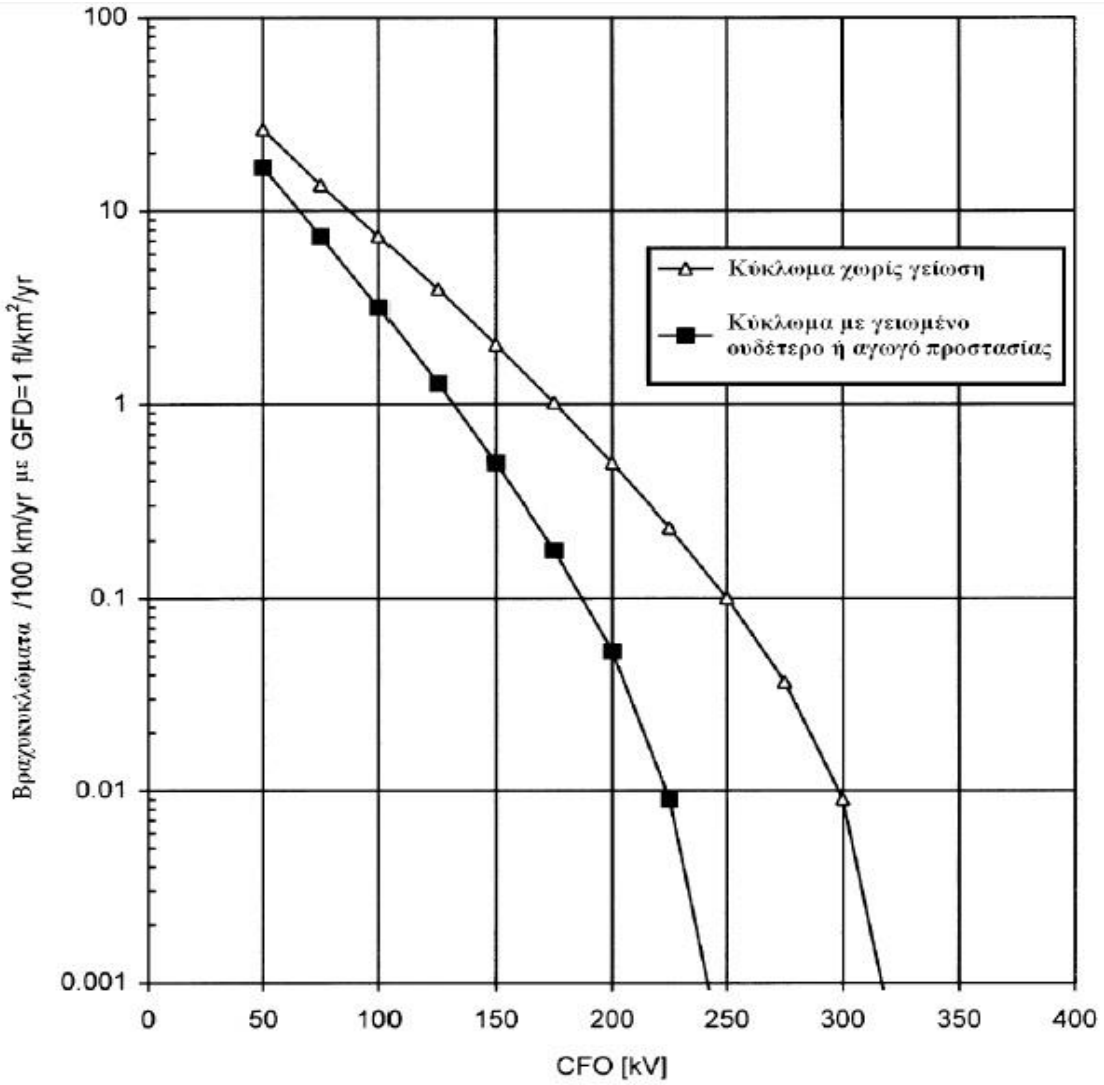
$$V_{max} = 38,8*(I_o*h_a)/y \qquad (3:7)$$

Όπου :

I_o: είναι η μέγιστη τιμή ρεύματος του κεραυνού
h_a: είναι το μέσο ύψος της γραμμής πάνω από το επίπεδο του εδάφους
y: είναι η πλησιέστερη απόσταση ανάμεσα στη γραμμή και το πλήγμα του κεραυνού

Η εξίσωση (3:7) χρησιμοποιείται για έναν απείρως μακρύ αγωγό, μίας φάσης, πάνω από ένα τέλεια αγώγιμο έδαφος. Ένας γειωμένος ουδέτερος αγωγός ή ένας εναέριος αγωγός προστασίας θα μείωνε την τάση κατά μήκος της μόνωσης κατά έναν παράγοντα ο οποίος εξαρτάται από τη γείωση και την απόσταση του γειωμένου αγωγού από τους αγωγούς φάσης. Αυτός ο παράγοντας κυμαίνεται μεταξύ 0.6 και 0.9.

Η συχνότητα των βραχυκυκλωμάτων από επαγόμενη τάση μπορεί να αυξηθεί δραματικά για γραμμές με μικρά επίπεδα μόνωσης. Στο Σχήμα 3:5 φαίνεται η συχνότητα των βραχυκυκλωμάτων ως συνάρτηση της κρίσιμης τιμής τάσης διάσπασης (CFO) στη γραμμή. Τα αποτελέσματα φαίνονται για δύο διαφορετικές διατάξεις γείωσης. Το μη-γειωμένο κύκλωμα δεν έχει ούτε ουδέτερο ούτε αγωγό προστασίας, όπως είναι ένα κύκλωμα με τρεις αγωγούς μη γειωμένους ή ένα κύκλωμα με τέσσερις αγωγούς με κοινή γείωση. Τα αποτελέσματα για ένα γειωμένο κύκλωμα αναφέρονται σε ένα κύκλωμα με γειωμένο ουδέτερο αγωγό ή εναέριο αγωγό προστασίας. Ένα γειωμένο κύκλωμα εμφανίζει λιγότερα βραχυκυκλώματα, για μια δεδομένη τιμή CFO, γιατί ο γειωμένος αγωγός μειώνει την τάση που εμφανίζεται πάνω στη μόνωση. Ωστόσο οι μη γειωμένες και οι κοινής γείωσης κατασκευές, έχουν συνήθως μεγαλύτερη CFO από τη φάση στη γείωση, από μία αντίστοιχη κατασκευή κυκλώματος πολλαπλής γείωσης, λόγω της απουσίας του γειωμένου ουδέτερου αγωγού. Οι τιμές είναι κανονικοποιημένες για GFD 1 κεραυνό/km^2/έτος και ύψος γραμμής 10m. Τα αποτελέσματα μπορούν να θεωρηθούν γραμμικά ανάλογα με το μήκος της γραμμής και τον GFD.



Εικόνα 3:5 Αριθμός βραχυκυκλωμάτων από επαγόμενη τάση έναντι του επιπέδου μόνωσης της γραμμής διανομής [3]

Τα αποτελέσματα που φαίνονται στο παραπάνω σχήμα αναφέρονται σε γραμμή σε ανοιχτό έδαφος χωρίς να υπάρχουν κοντά σε αυτήν δέντρα ή κτίρια. Ο αριθμός των επαγόμενων βραχυκυκλωμάτων εξαρτάται από την παρουσία ή όχι γειτονικών αντικειμένων στη γραμμή, που όμως μπορεί να προστατεύουν τη γραμμή από άμεσα πλήγματα κεραυνών. Αυτό μπορεί να αυξήσει την επαγόμενη τάση, επειδή αυξάνεται ο αριθμός των πληγμάτων κοντά στη γραμμή.

Ως σημείο αναφοράς, μια γραμμή διανομής ύψους 10m σε ανοιχτό έδαφος με GFD=1 κεραυνό/km^2/έτος θα έχει κατά προσέγγιση 11 κεραυνούς/100km/έτος λόγω των άμεσων πληγμάτων, σύμφωνα με την εξίσωση (3:4). Σε ανοιχτό έδαφος, οι επαγόμενες τάσεις θα είναι πρόβλημα μόνο για τις γραμμές με χαμηλά επίπεδα μόνωσης. Για παράδειγμα, σε ένα μη γειωμένο δίκτυο, ο αριθμός των επαγόμενων βραχυκυκλωμάτων θα ξεπερνά τον αριθμό των άμεσων βραχυκυκλωμάτων μόνο αν η CFO είναι λιγότερο από 75 kV (όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3:5). Σε προστατευμένες περιοχές, τα επαγόμενα βραχυκυκλώματα είναι μεγαλύτερου ενδιαφέροντος. Γενικά, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι αν η κρίσιμη τάση διάσπασης (CFO) είναι μεγαλύτερη των 300kV, τα επαγόμενα βραχυκυκλώματα θα είναι σχεδόν

μηδενικά. Σχεδόν όλες οι μετρήσεις που αφορούν επαγόμενες τάσεις από κεραυνούς είναι λιγότερες από 300kV, όπως φαίνεται και από το Σχήμα 3:5.

Ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν είναι ότι οι περισσότερες γραμμές διανομής έχουν αλεξικέραυνα στους μετασχηματιστές, τα οποία παρέχουν ως ένα βαθμό μείωση της επαγόμενης τάσης από κεραυνό. Ωστόσο αυτή η μείωση μπορεί να είναι μικρή σε αγροτικά και προαστιακά κέντρα.

3.6 Επίπεδο μόνωσης γραμμών διανομής

Η παρούσα οδηγία, είναι μια προσπάθεια βοηθείας του σχεδιαστή/μελετητή γραμμών διανομής ώστε να βελτιωθούν οι δυνατότητες μόνωσης των εναέριων γραμμών. Στις περισσότερες περιπτώσεις, εναέριων γραμμών διανομής, χρησιμοποιούνται περισσότεροι του ενός τύποι μονωτικών υλικών για προστασία έναντι των κεραυνών.

Τα πιο διαδεδομένα συστατικά που χρησιμοποιούνται γι αυτό το σκοπό είναι η πορσελάνη, ο αέρας, το ξύλο, τα πολυμερή και το fiberglass (υαλονήματα). Καθένα απ' αυτά έχει και τη δική του μονωτική ισχύ. Όταν τα μονωτικά υλικά χρησιμοποιούνται σε σειρά, το συνολικό αποτέλεσμα δεν είναι το άθροισμά τους, αλλά μια λίγο χαμηλότερη τιμή.

Οι ακόλουθοι παράγοντες επηρεάζουν τα επίπεδα των βραχυκυκλωμάτων λόγω κεραυνών στις γραμμές διανομής και κάνουν δύσκολο τον υπολογισμό τις ολικής στάθμης μόνωσης:

1. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, όπως η πυκνότητα του αέρα, η υγρασία, οι βροχοπτώσεις και ατμοσφαιρική μόλυνση.
2. Η πολικότητα και ο ρυθμός αύξησης της τάσης.
3. Κάποιοι φυσικοί παράγοντες όπως το σχήμα των μονωτήρων, το σχήμα του μεταλλικού υλικού, και η διάταξη του μονωτήρα (που τοποθετείται κάθετα, οριζόντια ή με κάποια γωνία).

Εάν το ξύλο παρεμβάλλεται στην πορεία εκφόρτισης του κεραυνικού πλήγματος, τότε το αποτέλεσμα του κεραυνού μπορεί να ποικίλει, εξαρτώμενο κυρίως από την υγρασία στην επιφάνια του ξύλου.

Παρόλο που ο σχεδιαστής μηχανικός μπορεί να είναι περισσότερο εξοικειωμένος με το βασικό επίπεδο μόνωσης έναντι κεραυνών (BIL) ενός δεδομένου συνδυασμού μονωτικών υλικών, τα αποτελέσματα της οδηγίας αυτής δίνονται με βάση την CFO των συνδυασμών αυτών. Η CFO προσδιορίζεται ως εκείνο το επίπεδο της τάσης στο οποίο υπάρχει 50% πιθανότητα να συμβεί βραχυκύκλωμα και 50% πιθανότητα να αντέξει η μόνωση. Αυτή η τιμή είναι πειραματική και λαμβάνεται μόνο στο εργαστήριο. Αν υποτεθεί ότι τα δεδομένα από τα βραχυκυκλώματα ακολουθούν μια Γκαουσιανή κατανομή, τότε κάθε

συγκεκριμένη πιθανότητα να αντέξει η μόνωση μπορεί να υπολογιστεί στατιστικά από την τιμή της CFO και την κανονική κατανομή.

Καθώς τα εργαστηριακά δεδομένα είναι πλέον διαθέσιμα, μελετούνται διάφοροι τρόποι σε μια προσπάθεια να καθοριστεί η εκτιμώμενη CFO για έναν δεδομένο συνδυασμό μονωτικών υλικών. Η προσέγγιση της «επιπρόσθετης αντοχής μόνωσης» μπορεί να είναι η πιο πρακτική.

Αυτή η μέθοδος υιοθετήθηκε από μια παρόμοια διαδικασία που χρησιμοποιούταν και νωρίτερα στο σχεδιασμό των γραμμών μεταφοράς, αλλά επέκτεινε την εφαρμογή της σε πολλά μονωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή γραμμών διανομής. Αυτή χρησιμοποιεί την CFO ως πρωταρχικό μονωτικό στοιχείο και προσθέτει σ' αυτήν την τιμή, την αύξηση της CFO που προσφέρεται από ένα επιπλέον υλικό (έχοντας πάντα υπόψη ότι η επιπλέον μονωτική ισχύς είναι πάντα μικρότερη από αυτή που έχει μόνο του το στοιχείο που προστίθεται).

3.6.1 CFO τάση της συνδυασμένης μόνωσης

Από τις απαρχές του σχεδιασμού και της κατασκευής των ηλεκτρικών δικτύων, οι μηχανικοί κατασκεύαζαν τις γραμμές διανομής από ξύλινους βραχίονες και συνέδεαν τους στύλους σε σειρά με τους βασικούς μονωτήρες για να αυξήσουν την αντοχή της γραμμής έναντι των κρουστικών πληγμάτων από κεραυνούς. Στις αρχές του 1930, σε μια σειρά δημοσιεύσεων παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα που προέκυψαν όταν μονωτήρες δοκιμάστηκαν σε συνδυασμό με ξύλο. Μια ερώτηση που γεννάται είναι το κατά πόσο αυξήθηκε η αντοχή της μόνωσης, σε περίπτωση κεραυνού, της ήδη υπάρχουσας μόνωσης. Μια μερική απάντηση δόθηκε μετά από χρόνια ερευνών σε πολλά εργαστήρια, και τα αποτελέσματα δημοσιεύτηκαν την δεκαετία του 40' και του 50'. Μια γενική περίληψη προηγούμενων εργασιών πάνω στην CFO παρουσιάστηκε στην AIEE Committe Report του 1950, και μια εκτενής αναφορά το 1956. Όμως, αυτά τα αποτελέσματα εφαρμόζονταν κυρίως στην κατασκευή γραμμών μεταφοράς και όχι σε γραμμές διανομής. Στις εναέριες γραμμές διανομής, το σημείο με την πιο ασθενή μόνωση είναι συνήθως σε στύλο παρά μεταξύ των αγωγών στον αέρα.

Πιο πρόσφατα, η έρευνα στράφηκε σε πολυδιηλεκτρικούς συνδυασμούς που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι έρευνες αφορούσαν στις γραμμές διανομής και μεταφοράς και στο βαθμό αντοχής του ξύλου, όταν αυτό εκτίθεται σε κεραυνό, σε κρουστικές τάσεις χειρισμών και σε κρουστικές τάσεις με απότομο μέτωπο. Πρόσφατα, στις γραμμές διανομής χρησιμοποιούνται μονωτήρες πολυμερών και οι βραχίονες από υαλονήματα (fiberglass).

3.6.2 Προσδιορισμός της CFO τάσης για κατασκευές με μονώσεις σειράς

Οι μελέτες έχουν δείξει ότι ένα μέτρο ξύλου ή ένα μέτρο υαλονήματος fiberglass) προσδίδουν περίπου 300-550 kV στην ήδη υπάρχουσα μόνωση έναντι των κεραυνών. Για μεγαλύτερα μήκη, η αντοχή της μόνωσης από κεραυνό για έναν ξύλινο ή από fiberglass βραχίονα, σε συνδυασμό με τους μονωτές καθορίζεται κυρίως μόνο από τον εκάστοτε βραχίονα. Έτσι η μόνωση έναντι της εναλλασσόμενης τάσης λαμβάνεται μόνο από το μονωτήρα, ενώ ο ξύλινος ή από υαλονήματα μονωτήρας θεωρείται ως μια επιπλέον μόνωση σε κρουστική τάση κεραυνών.

Όταν η πορεία του κεραυνού δεν εμπεριέχει κάποιο ξύλινο βραχίονα ή fiberglass βραχίονα, αλλά δύο ή περισσότερους τύπους μονωτήρων συνδεδεμένων σε σειρά, τότε η κρίσιμη τιμή τάσης βραχυκύκλωσης (CFO) δεν προσδιορίζεται απλώς προσθέτοντας τις τιμές των CFO των ξεχωριστών συστατικών. Η κρίσιμη τιμή της τάσης βραχυκύκλωσης αυτών των συνδυασμένων μονωτήρων λαμβάνεται ως συνάρτηση ενός μεγάλου αριθμού διαφορετικών παραγόντων, ο καθένας από τους οποίους απαιτεί ξεχωριστή ανάλυση. Στις μέρες μας, υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί συνδυασμοί και σχηματισμοί που χρησιμοποιούνται από τις επιχειρήσεις ηλεκτρισμού.

Η εκτεταμένη μέθοδος πρόσθετων-CFO μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστεί η συνολική CFO μιας κατασκευής διανομής με το να:

1. Προσδιοριστεί η συμβολή του κάθε ξεχωριστού συστατικού μόνωσης στην συνολική CFO του συνδυασμού.
2. Υπολογιστεί η CFO του ολικού συνδυασμού γνωρίζοντας την CFO των συστατικών μόνωσης.

Αυτό μπορεί να γίνει, είτε χρησιμοποιώντας κάποιους πίνακες είτε γραφικές παραστάσεις που απεικονίζουν τα ήδη υπάρχοντα πειραματικά αποτελέσματα, και χρησιμοποιώντας αυτά να συσχετισθεί η επίδραση ενός μονωτικού υλικού προστιθέμενο στο άλλο. Αυτή η διαδικασία στηρίζεται στα χαρακτηριστικά δεδομένα της CFO της βασικής μόνωσης και σε ένα επιπρόσθετο σύνολο σύνθετων δεδομένων που είναι γνωστό ως η κρίσιμη τάση βραχυκύκλωσης (CFO voltage) που προστίθεται από ένα συγκεκριμένο συστατικό.

Στους υπολογισμούς όπου εμπλέκονται δύο συστατικά, η κρίσιμη τάση βραχυκύκλωσης (CFO) του συνδυασμού τους είναι πολύ χαμηλότερη απ' ότι το άθροισμα των δύο ξεχωριστών CFO τιμών τους. Ο μονωτήρας θεωρείται ως η βασική-πρωταρχική μόνωση. Η CFO που αποκτάται για σχηματισμούς που αποτελούνται από δύο συστατικά υπολογίζεται ως η CFO του βασικού συστατικού συν την CFO του δεύτερου συστατικού.

Η συνολική CFO τάση για δύο συστατικά είναι:

$$CFO_T = CFO_{ins} + CFO_{add.sec} \quad (3:8)$$

Όπου:
CFO_{ins}: είναι η CFO του κύριου συστατικού
$CFO_{add.sec}$: είναι η CFO που προστίθεται από το δεύτερο συστατικό

Η συνολική CFO τάση τριών και πλέον συστατικών είναι:

$$CFO_T = CFO_{ins} + CFO_{add.sec} + CFO_{add.third} + \ldots + CFO_{add.nth} \quad (3:9)$$

Όπου:

$CFO_{add.third}$: είναι η CFO που προστίθεται από το τρίτο συστατικό
$CFO_{add.nth}$: είναι η CFO που προστίθεται από το νιοστό στοιχείο

Η ευρέως χρησιμοποιούμενη τιμή κρίσιμης τάσης βραχυκύκλωσης (CFO), καθώς επίσης και η CFO των προστιθέμενων υλικών δίδεται στους Πίνακες 3:2, 3:3, 3:4.

Πίνακας 3:2 Κύρια μόνωση (CFOins) [3]

Insulators		**kV**
Pin	ANSI 55-4	105
	ANSI 55-5	120
	ANSI 55-6	140
Porcelain Suspension	1–10.2 cm (4 in)	75
	2–10.2 cm (4 in)	165
	3–10.2 cm (4 in)	250
Insulation		**kV/m**
Air		600
Wooden pole		330
Wooden crossarm		360
Fiberglass standoff		500

Πίνακας 3:3 Επιπρόσθετη CFO δευτερευόντων συστατικών (CFOadd.sec) [3]

Second component	With first component of	kV/m
Wooden crossarm	Vertical pin insulator	250
Wooden crossarm	Vertical suspension insulator	160
Wooden crossarm	Horizontal suspension insulator	295
Wooden pole	Vertical pin insulator	235
Wooden pole	Suspension insulator	90
Fiberglass crossarm	Insulator	250
Fiberglass standoff	Insulator	315

Πίνακας 3:4 Τρίτα συστατικά επιπρόσθετης CFO (CFOadd.third) [3]

	kV/m
Wooden pole	65
Fiberglass standoff	200

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ για τους Πίνακες 3:2, 3:3, 3:4:

1. Όλες οι τιμές αναφέρονται σε επίπεδα υγρής CFO.
2. Οι τιμές αναφέρονται στο ελάχιστο των τιμών θετικής και αρνητικής πολικότητας.
3. Οι μονωτήρες αναφέρονται μόνο ως παράδειγμα. Για πιο ακριβείς τιμές ανατρέξτε στις επίσημες τιμές των κατασκευαστών.

Οι τιμές που δίνονται παραπάνω αναφέρονται σε υγρές συνθήκες, κάτι το οποίο συνιστάται για τον υπολογισμό της CFO, καθώς είναι προφανές ότι αναφερόμαστε σε περιπτώσεις καταιγίδων. Αν έχουμε την CFO υπό ξηρές συνθήκες

(συνήθως δίνεται απ' τον κατασκευαστή, ή από εργαστηριακές μετρήσεις) και θέλουμε την CFO υπό υγρές συνθήκες τότε πολλαπλασιάζουμε την CFO υπό ξηρές συνθήκες με ένα συντελεστή 0.8. Γενικά η υγρή τιμή είναι περίπου το 0.7-0.9 της ξηρής. Για συστατικά που δεν αναφέρονται στους παραπάνω πίνακες, η συνολική CFO μπορεί να υπολογιστεί με μειώσεις για το δεύτερο και τρίτο συστατικό, όπως:

$$CFO_{add.sec} = 0,45*CFO_{ins} \qquad (3:10)$$

$$CFO_{add.third} = 0,20*CFO_{ins} \qquad (3:11)$$

Η χρήση της εκτεταμένης μεθόδου πρόσθετων-CFO και των πινάκων που δίνονται σε αυτήν την οδηγία συνήθως δίνει αποτελέσματα με σφάλμα ±20%. Περισσότερο ακριβή αποτελέσματα είναι διαθέσιμα με τις ακόλουθες μεθόδους:

a. Εκτέλεση εργαστηριακών δοκιμών έναντι κεραυνών στην κατασκευή σε υγρές συνθήκες. Αυτή η μέθοδος θα δώσει και τα πιο ακριβή αποτελέσματα.
b. Εκτέλεση δοκιμών έναντι κεραυνών υπό ξηρές συνθήκες, και πολλαπλασιασμός των τιμών με 0.8 για τον υπολογισμό του CFO σε υγρές συνθήκες.
c. Χρήση λεπτομερέστερων τιμών κρίσιμης τάσης βραχυκύκλωσης CFO.

3.6.3 Τεχνικά ζητήματα

Ο εξοπλισμός και τα υλικά υποστήριξης, είναι δυνατόν να μειώσουν την κρίσιμη τάση βραχυκύκλωσης στις δομές διανομής. Αυτοί οι "αδύναμοι σύνδεσμοι" μπορούν να οδηγήσουν σε μεγάλη αύξηση των υπερπηδήσεων από επαγόμενες τάσεις. Μερικές απ' αυτές τις περιπτώσεις περιγράφονται παρακάτω.

Επίτονα: τα επίτονα μπορεί να είναι ένας απ' τους κύριους παράγοντες μείωσης της CFO μιας γραμμής. Αυτό γίνεται γιατί, για να έχουν μηχανικό πλεονέκτημα, τα επίτονα γενικά προσκολλώνται ψηλά στον πόλο σε άμεση γειτονία με τα κύρια μονωτικά υλικά. Επειδή τα επίτονα παρέχουν διαδρομή προς τη γη, η παρουσία τους μειώνει την CFO του ολικού σχηματισμού. Οι μικροί πορσελάνινοι μονωτές επιτόνων που χρησιμοποιούνται συνήθως, δεν παρέχουν σχεδόν καθόλου επιπλέον μόνωση (γενικά λιγότερο από 30kV της CFO). Έτσι για να αποκτήσουμε αξιοσημείωτη αντοχή μόνωσης χρησιμοποιούμε μονωτήρες από fiberglass. Ένας μονωτήρας 50cm από fiberglass παρέχει CFO περίπου 250kV.

Διακόπτες ασφαλείας: η τοποθέτηση διακοπτών ασφαλείας είναι ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα απροστάτευτων εξοπλισμών που μπορεί να μειώσει την CFO ενός πόλου. Για τα δίκτυα των 15 kV, ένας διακόπτης ασφαλείας μπορεί να έχει 95kV BIL. Ανάλογα με τον τρόπο εγκατάστασης του διακόπτη, μπορεί το CFO ολόκληρης της κατασκευής να μειωθεί περίπου στα 95kV (περίπου, επειδή το BIL κάθε μονωτικού συστήματος είναι πάντα μικρότερο από το CFO αυτού του

συστήματος). Σε ξύλινους πόλους, το πρόβλημα των διακοπτών ασφαλείας μπορεί να βελτιωθεί με την διευθέτηση της διακοπής έτσι ώστε το υποστήριγμα της σύνδεσης να τοποθετείται στον πόλο μακριά από τους γειωμένους αγωγούς (επίτονα, γειωμένοι αγωγοί, και ουδέτεροι αγωγοί). Τα ίδια ισχύουν και για άλλους διακόπτες και άλλα μέρη του εξοπλισμού που δεν προστατεύονται από αλεξικέραυνα.

Ύψος ουδέτερου αγωγού: το ύψος του ουδέτερου αγωγού μπορεί να διαφέρει από γραμμή σε γραμμή, καθότι εξαρτώμενο από το μηχανισμό στήριξης. Στους ξύλινους πόλους, όσο πιο κοντά ο ουδέτερος αγωγός είναι στους αγωγούς φάσης, τόσο πιο χαμηλή είναι η κρίσιμη τάση βραχυκύκλωσης.

Αγώγιμα υποστηρίγματα και αγώγιμες κατασκευές: η χρήση τσιμεντένιων και ατσάλινων κατασκευών σε εναέριες γραμμές διανομής αυξάνεται συνεχώς, γεγονός που μειώνει σημαντικά την CFO. Μεταλλικοί βραχίονες και μεταλλικά υλικά χρησιμοποιούνται επίσης σε ξύλινες πολικές κατασκευές. Εάν ένα από αυτά τα υλικά είναι γειωμένο, το αποτέλεσμα είναι το ίδιο με αυτό μιας κατασκευής εξ ολοκλήρου από μέταλλο. Σε τέτοιες κατασκευές, η συνολική CFO παρέχεται από τον μονωτήρα, και μονωτήρες με μεγαλύτερη CFO θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για να αντισταθμίζουν την απώλεια της μόνωσης του ξύλου. Προφανώς, θα πρέπει να υπάρχει ένα ισοζύγιο ανάμεσα στην συμπεριφορά έναντι του κεραυνού και άλλα ζητήματα, όπως ο μηχανικός σχεδιασμός ή η τιμή. Και όντως αυτό το ισοζύγιο υπάρχει και είναι ιδιαίτερα μεγάλης σημασίας. Ο σχεδιαστής θα πρέπει να γνωρίζει τα αρνητικά αποτελέσματα που μπορεί να έχει το μεταλλικό υλικό στην συμπεριφορά της γραμμής έναντι κεραυνού και θα πρέπει να προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει αυτά τα αποτελέσματα. Σε ξύλινους πόλους και βραχίονες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν υποστηρίγματα από ξύλο ή fiberglass για να διατηρηθούν καλά επίπεδα μόνωσης.

Πολλαπλά κυκλώματα: όταν αυτά εμφανίζονται σε έναν πόλο συνήθως προκαλούν εξασθένιση της μόνωσης. Οι αυστηρά καθορισμένες αποστάσεις των φάσεων και λιγότερο ξύλο εν σειρά συνήθως μειώνουν τα επίπεδα μόνωσης. Αυτό πραγματοποιείται κυρίως σε γραμμές διανομής που βρίσκονται κάτω από γραμμές μεταφοράς, σε ξύλινους πόλους. Τα κυκλώματα μεταφοράς έχουν συνήθως αγωγό προστασίας που είναι συνδεδεμένος με τη γείωση σε κάθε πόλο. Ο αγωγός γείωσης μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της μόνωσης. Αυτό μπορεί να βελτιωθεί απομακρύνοντας τον αγωγό γείωσης από τους πόλους με διαχωριστήρες από fiberglass.

Γραμμές με διαχωριστήρες αγωγών: Οι γραμμές αυτές είναι εναέριες γραμμές διανομής με πολύ κοντινά διαστήματα διαχωρισμού. Επικαλυμμένοι αγωγοί και διαχωριστήρες (15-40 cm) που κρέμονται από έναν μεταβιβαστικό αγωγό (messenger wire), παρέχουν στήριξη και ικανότητα μόνωσης. Μια κατασκευή από διαχωρισμένους αγωγούς θα έχει σταθερό CFO, που είναι συνήθως της τάξης των 150-200 kV. Λόγω του σχετικά χαμηλού επιπέδου μόνωσης, η συμπεριφορά των γραμμών αυτών έναντι κεραυνού, μπορεί να είναι μικρότερη από μια παραδοσιακή

ανοιχτή κατασκευή. Δεν μπορούμε να κάνουμε και πολλά για να αυξήσουμε την CFO μιας τέτοιας διάταξης. Αυτές οι κατασκευές έχουν το πλεονέκτημα του μεταβιβαστικού αγωγού, που συνήθως λειτουργεί και ως αγωγός προστασίας. Κάτι το οποίο μπορεί να μειώσει τα άμεσα πλήγματα από κεραυνούς. Ανάστροφα βραχυκυκλώματα έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να συμβούν λόγω του χαμηλού επιπέδου μόνωσης. Βελτιωμένη γείωση θα μπορούσε να βελτιώσει την συμπεριφορά έναντι κεραυνού.

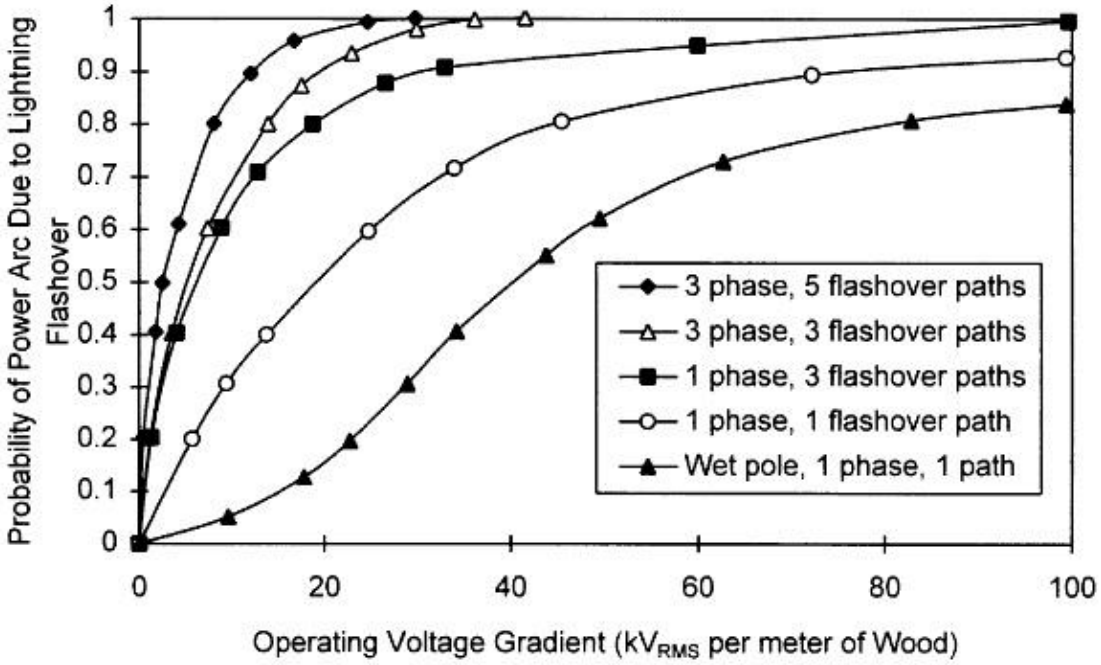
Προστατευτικά διάκενα και σύνδεσμοι μονωτήρων: Η σύνδεση των μονωτήρων συνήθως γίνεται για την πρόληψη της βλάβης που προκαλείται από κεραυνό σε ξύλινους πόλους ή βραχίονες, ή για την πρόληψη φωτιάς στην κορυφή των πόλων. Τα προστατευτικά διάκενα χρησιμοποιούνται επίσης για την πρόληψη καταστροφών από κεραυνούς στα ξύλινα υλικά της κατασκευής (αυτό περιλαμβάνει REA κατασκευές με συγκεκριμένη προστασία πόλων). Σε κάποια σημεία του πλανήτη, τα προστατευτικά διάκενα χρησιμοποιούνται επίσης αντί για αλεξικέραυνα για την προστασία εξοπλισμού. Τα προστατευτικά διάκενα και οι σύνδεσμοι μονωτήρων μειώνουν σημαντικά το CFO μιας κατασκευής. Εάν ήταν δυνατό, τα προστατευτικά διάκενα, οι σύνδεσμοι μονωτήρων και οι κατασκευές προστασίας των πόλων δεν θα χρησιμοποιούνταν για την πρόληψη βλάβης σε ξύλινα τμήματα. Καλύτερες λύσεις για καταστροφές στο ξύλο και για φωτιές στους πόλους είναι οι σύνδεσμοι μονωτήρα-ξύλου στην βάση του μονωτήρα, όπως παρουσιάζεται στο 3.6.5.

3.6.4 Ικανότητα ξύλου για διακοπή του τόξου

Οι ξύλινοι πόλοι και βραχίονες έχουν την ικανότητα της καταστολής του τόξου που προκαλείται από κεραυνό και έτσι προλαμβάνουν την εμφάνιση βλαβών στο δίκτυο. Οι ικανότητες του ξύλου για διακοπή είναι κατά κύριο λόγο μια λειτουργία της στιγμιαίας τάσης στη συχνότητα του ρεύματος την στιγμή που συμβαίνει η υπερπήδηση λόγω του κεραυνού. Εάν η τάση είναι κοντά σε μηδενική τιμή, είναι πολύ πιθανό η διακοπή να μην προκαλέσει βλάβη. Εάν η ονομαστική τάση κατά μήκος του ξύλινου βραχίονα διατηρηθεί κάτω από ένα συγκεκριμένο επίπεδο, η πιθανότητα για την πρόκληση βλάβης μπορεί να μειωθεί κατά πολύ.

Αν έχουμε το φαινόμενο των πολλαπλών υπερπηδήσεων, η ικανότητα διακοπής του τόξου είναι πολύ μικρότερη (όπως φαίνεται στο Σχήμα 3:6). Οι περισσότερες γραμμές διανομής θα υποστούν πολλαπλές υπερπηδήσεις από ένα άμεσο πλήγμα. Στις δομές διανομής που εμφανίζουν κατά μήκος του ξύλου, RMS τάση μεγαλύτερη από 10kV/m ξύλου, η ικανότητα διακοπής του τόξου δεν επιφέρει σημαντικά αποτελέσματα. Για παράδειγμα, μια γραμμή διανομής των 13.2kV με 0.5m ξύλου μεταξύ του μονωτή της φάσης και του ουδέτερου αγωγού έχει μια βάθμωση τάσης RMS κατά μήκος του ξύλου της τάξης των 132kV/3/0.5m =15.2kV/m . Για αυτά τα επίπεδα της τάσης, εάν επιτυγχάνονται κενά 1m ξύλου ανάμεσα σε όλους τους αγωγούς φάσης και όλα τα γειωμένα αντικείμενα στον πόλο, τότε η διακοπή μπορεί να γίνει ένας σημαντικός παράγοντας. Αυτό μπορεί ήδη να

επιτευχθεί στα κυκλώματα με υψηλά επίπεδα μόνωσης και μακρινές αποστάσεις ξύλου. Στα παραπάνω θεωρούμε ότι όλοι οι κεραυνοί θα δημιουργήσουν σφάλματα.



Εικόνα 3:6 Πιθανότητα σχηματισμού τόξου, λόγω βραχυκυκλώματος από κεραυνό σε υγρό [3]

3.6.5 Καταστροφή του ξύλου λόγω κεραυνού

Οι μακροχρόνιες εμπειρίες από τους τεχνικούς και την συντήρηση υποδεικνύουν ότι η καταστροφή σε πόλους ή σε βραχίονες είναι εξαιρετικά σπάνια. Παρόλα αυτά, σε περιοχές με υψηλά ποσοστά πληγμάτων κεραυνών μπορεί να αποτελεί παράγοντα ανησυχίας υπό ορισμένες συνθήκες. Η πιθανότητα καταστροφής λόγω κεραυνού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, ιδιαίτερα από τα επίπεδα υγρασίας καθώς και την ηλικία του ξύλου. Βλάβες και κατακερματισμός του ξύλου συμβαίνουν μόνο όταν η κατάρρευση είναι στο εσωτερικό τμήμα του τόξου και όχι κατά μήκος της επιφανείας του. Εάν το ξύλο είναι χλωρό, τότε είναι πιο πιθανό να εμφανίσει εσωτερική καταστροφή.

Εάν τα ιστορικά δεδομένα αναφέρουν ότι οι καταστροφή του ξύλου είναι πρόβλημα, τότε τα ξύλινα τμήματα πρέπει να προστατεύονται, συνδέοντας τους μονωτήρες. Όμως κάτι τέτοιο οδηγεί σε βραχυκύκλωμα της μόνωσης που προσδίδεται από το ξύλο. Μια καλύτερη λύση θα ήταν να χρησιμοποιηθούν ηλεκτρόδια επιφανείας τοποθετημένα κοντά στην άκρη του μονωτήρα. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν καλύμματα αγωγών, ταινίες ή άλλες μεταλλικές προεκτάσεις προσαρμοσμένες κοντά στον μονωτήρα στην πιθανή κατεύθυνση του βραχυκυκλώματος. Αυτά οδηγούν σε επιφανειακή βλάβη και όχι σε εσωτερική. Τα προληπτικά μέτρα για την καταστροφή του ξύλου από κεραυνούς μειώνουν επίσης την πιθανότητα για την πρόκληση φωτιάς στην κορυφή των πόλων. Αυτές οι φωτιές είναι αποτέλεσμα της διαρροής του ρεύματος στις συνδέσεις μετάλλων με ξύλο. Οι

τοπικοί σύνδεσμοί, ταινίες αγωγών ή καλύμματα, μπορούν να γεφυρώσουν την απόσταση που είναι πολύ πιθανόν να ξεσπάσουν φωτιές, όπως είναι οι ασθενείς μεταλλικές -ξύλινες επαφές. Αυτό είναι προτιμότερο από την ολοκληρωτική σύνδεση των μονωτήρων.

3.7 Προστασία γραμμών διανομής με προστατευτικούς αγωγούς

Οι προστατευτικοί αγωγοί, είναι γειωμένοι αγωγοί που τοποθετούνται πάνω από τους αγωγούς φάσης για να διακόπτουν τα πλήγματα των κεραυνών, που σε διαφορετική περίπτωση θα έπληττα απευθείας στις φάσεις. Το κρουστικό ρεύμα των κεραυνών εκτρέπεται, μ' αυτόν τον τρόπο προς το έδαφος (διαμέσου ενός γειωμένου στύλου). Για να είναι αποτελεσματικό, ο αγωγός προστασίας γειώνεται σε κάθε στύλο.

Τα κρουστικά ρεύματα που δημιουργούνται από κεραυνούς, προκαλούν μια αύξηση του δυναμικού διατρέχοντας την αντίσταση από τον στύλο προς το έδαφος, προκαλώντας μία μεγάλη διαφορά δυναμικού μεταξύ του καθοδικού αγωγού γείωσης και των αγωγών τάσης. Αυτή η διαφορά δυναμικού μπορεί να προκαλέσει ανάστροφα βραχυκυκλώματα κατά μήκος της μόνωσης από τον αγωγό γείωσης προς έναν από τους αγωγούς φάσης. Το φαινόμενο του ανάστροφου βραχυκυκλώματος είναι ένας ουσιώδης περιορισμός στην αποτελεσματικότητα των αγωγών προστασίας στις γραμμές διανομής. Οι προστατευτικοί αγωγοί μπορούν να παρέχουν αποτελεσματική προστασία παρά μόνο αν:

1. Χρησιμοποιηθεί καλός σχεδιασμός μόνωσης που να παρέχει την κατάλληλη CFO μεταξύ του καθοδικού αγωγού εδάφους και των αγωγών φάσης.
2. Επιτευχθούν χαμηλές αντιστάσεις γείωσης.

Για να υπολογίσουμε τον αριθμό των επαγόμενων βραχυκυκλωμάτων σε μια κατασκευή με αγωγό προστασίας χρησιμοποιούμε το Σχήμα 3:5. Αν προσθέταμε αγωγό προστασίας σε γραμμές διανομής τριών αγωγών θα μειωνόταν ο αριθμός των επαγόμενων βραχυκυκλωμάτων. Αφού ο αγωγός προστασίας είναι γειωμένος, θα καταστείλει τις τάσεις στους αγωγούς φάσης μέσω της χωρητικής σύζευξης. Όσο πιο κοντά βρίσκονται οι αγωγοί φάσης στον αγωγό προστασίας, τόσο καλύτερη θα είναι η σύζευξη, και τόσο μικρότερος θα είναι ο αριθμός των επαγόμενων βραχυκυκλωμάτων (παρόλο που αυτό μπορεί να μειώσει το CFO). εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι ακόμα και αν τοποθετήσουμε έναν αγωγό γείωσης κάτω από τους αγωγούς φάσης θα έχουμε σχεδόν το ίδιο αποτέλεσμα με έναν εναέριο αγωγό προστασίας.

Σε ένα σύστημα τεσσάρων αγωγών με πολλαπλή γείωση, αν αντικαταστήσουμε τον ουδέτερο αγωγό που βρίσκεται από κάτω με έναν εναέριο προστατευτικό αγωγό, τότε δεν έχουμε μείωση στον αριθμό των επαγόμενων βραχυκυκλωμάτων. Περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης μπορούμε να έχουμε αν χρησιμοποιήσουμε και αγωγό προστασίας και ουδέτερο αγωγό. Το κόστος της

εγκατάστασης ενός αγωγού προστασίας σε μια γραμμή διανομής είναι ουσιώδες. Επιπροσθέτως του κόστους των αγωγών, της γείωσης των πόλων, της περαιτέρω μόνωσης, το ύψος των στύλων πρέπει να είναι μεγαλύτερο για να στηρίζει τον αγωγό προστασίας, τόσο ώστε να είναι επαρκής η γωνία προστασίας ανάμεσα στον προστατευτικό αγωγό και τους εξωτερικούς αγωγούς φάσης. Το ύψος τον μεγαλύτερων κατασκευών προσελκύει περισσότερα άμεσα πλήγματα, κάτι που αντισταθμίζει ελάχιστα την μείωση του ποσοστού βραχυκυκλωμάτων που παρέχει η προστασία. Παρά το αυξημένο κόστος και τις δυσκολίες σχεδίασης, οι αγωγοί προστασίας έχουν χρησιμοποιηθεί με μεγάλη επιτυχία.

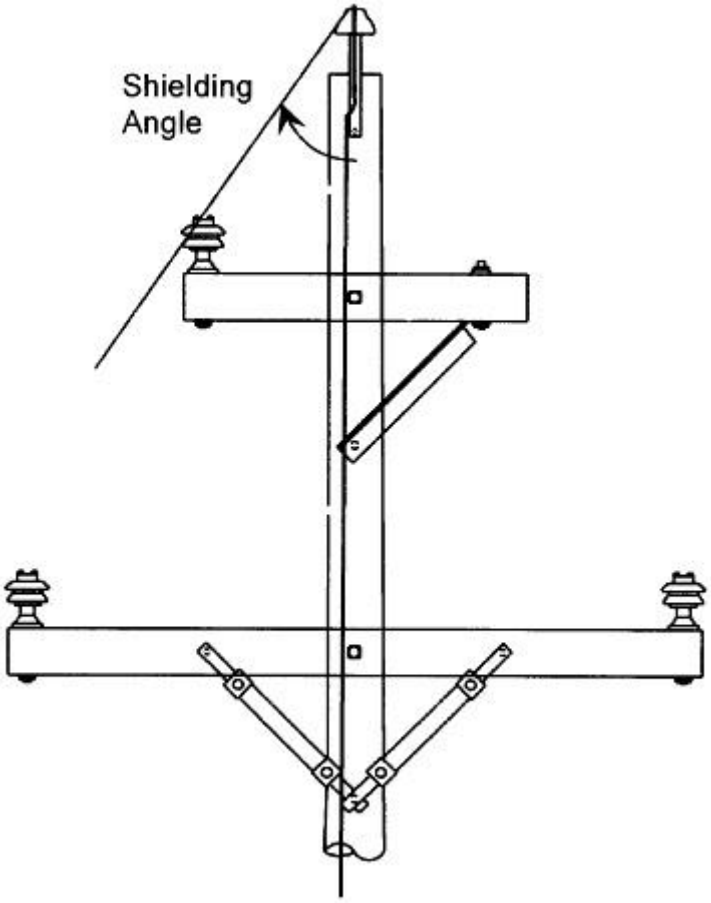
3.7.1 Γωνία προστασίας

Προκειμένου να διασφαλιστεί ότι όλα τα πλήγματα από κεραυνό καταλήγουν στον προστατευτικό αγωγό και όχι στους αγωγούς φάσης, προτείνεται μια γωνία προστασίας 45° ή λιγότερο (όπως φαίνεται στο Σχήμα 3:7). Αυτό ισχύει μόνο για γραμμές με ύψος μικρότερο από 15m με αποστάσεις μεταξύ αγωγών μικρότερες από 2m. Ψηλότερες γραμμές απαιτούν μικρότερη γωνία προστασίας. Βλέπε σχετική οδηγία IEEE Std 1243-1997.

3.7.2 Απαιτήσεις μόνωσης

Η αποτελεσματικότητα του αγωγού προστασίας στις γραμμές διανομής εξαρτάται κυρίως από την μόνωση μεταξύ τον καθοδικών αγωγών γείωσης και των αγωγών φάσης. Εάν ο καθοδικός αγωγός γείωσης βρίσκεται σε επαφή με τον στύλο καθ' όλο του το ύψος, είναι δύσκολο να παρασχεθεί επαρκής μόνωση. Σε ξύλινους πυλώνες, είναι συνήθως απαραίτητο να απομονώνουμε τους καθοδικούς αγωγούς γείωσης από τους στύλους στο σημείο άμεσης γειτονίας με τους μονωτήρες των φάσεων και τους βραχίονες. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με ράβδους από fiberglass, ή στηρίγματα που τοποθετούνται οριζόντια στον στύλο για να κρατήσουν τον γειωμένο αγωγό 30-60 cm μακριά από τον στύλο. Η CFO από τον γειωμένο αγωγό προς την κοντινότερη φάση είναι η πιο μικρή τιμή από όλες τις πορείες. Σημαντική μέριμνα θα πρέπει να δοθεί στην μόνωση των επιτόνων προκειμένου να αποκτηθεί η απαραίτητη CFO τιμή.

Μία CFO πάνω από 250-330 kV είναι απαραίτητη για να θεωρηθεί αποτελεσματική η εφαρμογή των προστατευτικών αγωγών. Χρησιμοποιώντας στηρίγματα με γειωμένους πόλους, δεν είναι δύσκολο να επιτευχθεί αυτό το επίπεδο μόνωσης στις γραμμές διανομής.



Εικόνα 3:7 Προστατευτική γωνία προστατευτικού αγωγού [3]

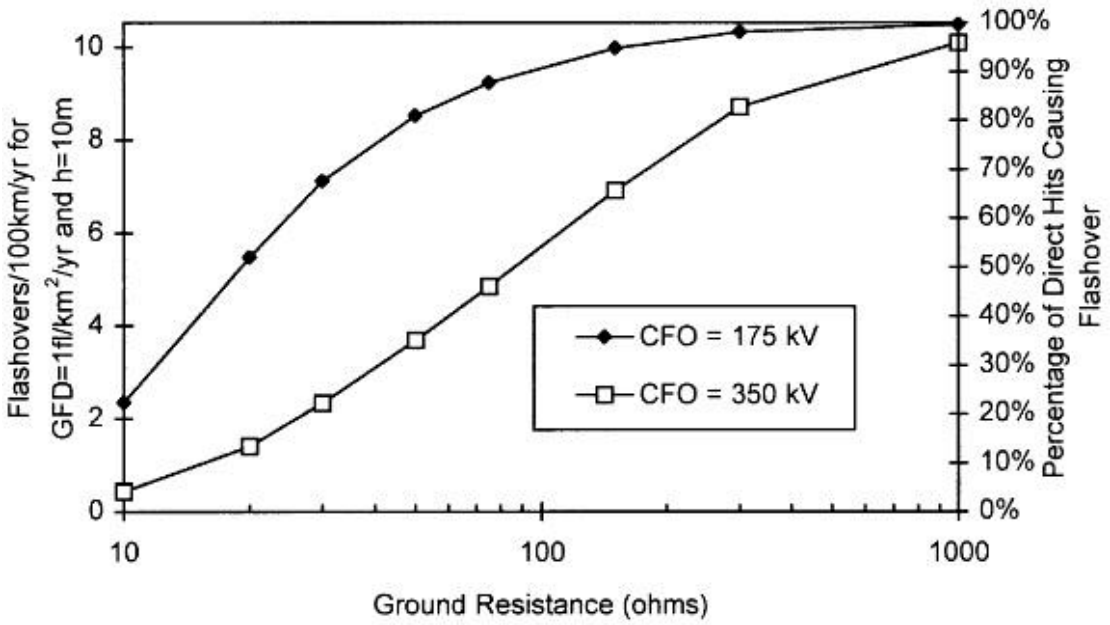
3.7.3 Αποτελεσματικότητα της γείωσης και επίπεδο μόνωσης

Η αποτελεσματικότητα του αγωγού προστασίας είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την γείωση. Για να είναι αποτελεσματική μια κατασκευή που φέρει αγωγό προστασίας, οι αντιστάσεις του εδάφους θα πρέπει να είναι μικρότερες των 10Ω εάν η CFO είναι μικρότερη από 200kV. Εάν δοθεί προσοχή στο επίπεδο μόνωσης και η CFO είναι 300-350kV, μία αντίσταση γείωσης 40Ω θα έχει παρόμοια απόδοση. Ο αγωγός προστασίας πρέπει να είναι γειωμένος σε κάθε πόλο για να έχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Το σχήμα 8 δείχνει την συμπεριφορά σε άμεσο πλήγμα και την επίδραση της γείωσης με ένα παράδειγμα προσομοίωσης από υπολογιστή ενός προστατευτικού αγωγού με CFO 175kV και 350kV.

Γραμμές διανομής εγκατεστημένες κάτω από γραμμές μεταφοράς μπορεί να είναι ιδιαίτερα ευπαθείς σε ανάστροφα βραχυκυκλώματα. Μεγαλύτερο ύψος κατασκευής και εγκαταστάσεις μεγαλύτερου πλάτους θα προκαλέσουν περισσότερα άμεσα πλήγματα στις κατασκευές. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην διατήρηση υψηλών επιπέδων μόνωσης, προκειμένου να αποφευχθούν υπερβολικά μεγάλα ποσοστά βραχυκυκλωμάτων

3.7.4 Αγωγοί προστασίας και αλεξικέραυνα

Για να ελαχιστοποιήσουμε τα βραχυκυκλώματα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αλεξικέραυνα σε κάθε στύλο και για κάθε φάση, σε συνδυασμό με έναν προστατευτικό αγωγό. Τα αλεξικέραυνα προστατεύουν την μόνωση από ανάστροφα βραχυκυκλώματα. Ο αγωγός προστασίας διοχετεύει το μεγαλύτερο ποσοστό του ρεύματος στο έδαφος, έτσι τα αλεξικέραυνα δεν υπόκεινται μεγάλη είσοδο ρεύματος. Τα αλεξικέραυνα καθιστούν τον σχεδιασμό προστατευτικών αγωγών λιγότερο εξαρτημένο από το επίπεδο της μόνωσης και της γείωσης.



Εικόνα 3:8 Αποτέλεσμα της αντίστασης γείωσης στην απόδοση του προστατευτικού αγωγού. [3]

Σημ: Το μήκος του ανοίγματος είναι 75m.

3.8 Προστασία γραμμών με αλεξικέραυνα

Τα αλεξικέραυνα των γραμμών διανομής χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά στην προστασία του εξοπλισμού όπως είναι οι μετασχηματιστές και οι ρυθμιστές. Τα αλεξικέραυνα λειτουργούν ως υψηλές αντιστάσεις σε συνθήκες κανονικών τάσεων ενώ μετατρέπονται σε χαμηλές αντιστάσεις κατά την διάρκεια κρουστικής τάσης κεραυνού. Το αλεξικέραυνο οδηγεί το κρουστικό αυτό ρεύμα στη γη, ενώ παράλληλα περιορίζει την τάση που εμφανίζεται στον εξοπλισμό στο άθροισμα της τάσης εκφόρτισης του αλεξικέραυνου συν το επαγωγικό ρεύμα στις γραμμές του αλεξικέραυνου και των γειωμένων αγωγών.

Τα αλεξικέραυνα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προστασία της μόνωσης σε γραμμές διανομής και για την πρόληψη βραχυκυκλωμάτων και διακοπών του κυκλώματος. Διάφοροι τύποι αλεξικέραυνων είναι διαθέσιμοι (π.χ. με διάκενο από καρβίδιο σιλικόνης, απαγωγείς υπερτάσεων με διάκενο ή χωρίς διάκενο από οξείδιο μετάλλου). Από την πλευρά της προστασίας της μόνωσης των γραμμών

διανομής, όλα συμπεριφέρονται κατά τον ίδιο τρόπο. Κάποιες διαφορές που πιθανόν να υπάρχουν στις χαρακτηριστικές τάσης και ρεύματος μπορεί να προκαλέσουν μόνο μικρή διαφορά στην προστασία της μόνωσης, εφόσον υπάρχει σημαντικό περιθώριο.

Για την επιλογή του κατάλληλου αλεξικέραυνου μπορούμε να ανατρέξουμε στο IEEE Std C62.22-1991 ή στις οδηγίες του κατασκευαστή. Για την προστασία του εξοπλισμού (και ιδιαίτερα μη-γειωμένων γραμμών), είναι συνήθως απαραίτητο να επιλέγουμε αλεξικέραυνο με το χαμηλότερο δυνατό επίπεδο προστασίας. Ωστόσο, για την προστασία της μόνωσης των γραμμών, κάτι τέτοιο δεν είναι απαραίτητο γιατί το επίπεδο προστασίας του αλεξικέραυνου είναι γενικά χαμηλότερο από αυτό της μόνωσης της γραμμής. Όταν εφαρμόζονται αλεξικέραυνα για προστασία, το ποσοστό αποτυχίας των προστιθέμενων αλεξικέραυνων θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψη σε σχέση με την βελτίωση της γραμμής που εξασφαλίζεται από την προσθήκη των αλεξικέραυνων.

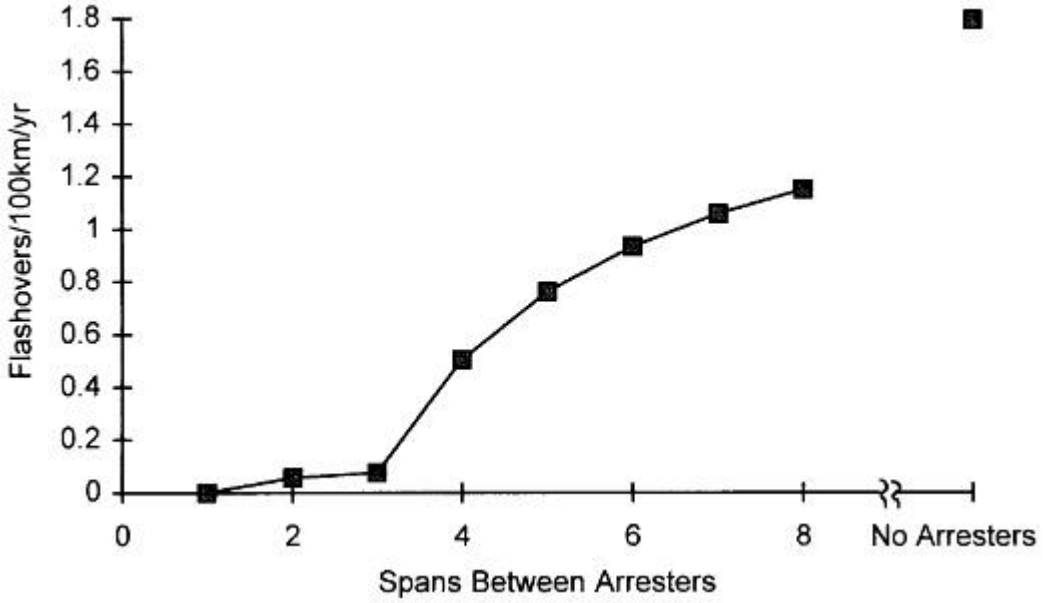
3.8.1 Μήκος αγωγών σύνδεσης αλεξικέραυνων

Οι αγωγοί αλεξικέραυνων, που συνδέουν την γραμμή διανομής με τα τερματικά σημεία της γείωσης των αλεξικέραυνων στην κατασκευή, περιέχουν ένα μικρό ποσοστό εσωτερικής επαγωγής. Αυτή η επαγωγή μπορεί να προκαλέσει πτώσεις τάσης L(di/dt) κατά μήκος του αγωγού που άγει το κρουστικό ρεύμα του κεραυνού. Κάθε πτώση τάσης κατά μήκος του αγωγού του αλεξικέραυνου προστίθεται στην τάση εκφόρτισης του αλεξικέραυνου. Έτσι αυξάνεται η τάση που εμφανίζεται στα άκρα των συσκευών που προστατεύονται από το αλεξικέραυνο.
Το αποτέλεσμα που έχει το μήκος της γραμμής οδήγησης δεν είναι τόσο σημαντικό στη προστασία της μόνωσης των γραμμών διανομής όσο είναι στη προστασία του εξοπλισμού. Γενικά, το περιθώριο για εναέριους εξοπλισμούς είναι αρκετά μεγάλο. Επίσης, η στάθμη της μόνωσης των γραμμών είναι γενικά μεγαλύτερη από αυτή της βασικής στάθμης μόνωσης BIL. Βέβαια, είναι καλό να διατηρούνται οι γραμμές διανομής με αλεξικέραυνο και οι γειωμένοι αγωγοί όσο το δυνατόν πιο κοντοί και ευθείς. Στο IEEE Std C62.22-1991 αναφέρονται περισσότερες πληροφορίες για τις θέσεις τοποθέτησης των αλεξικέραυνων.

3.8.2 Βραχυκυκλώματα από έμμεσα πλήγματα

Τα αλεξικέραυνα μπορούν να μειώσουν κατά πολύ το ποσοστό των επαγόμενων τάσεων από γειτονικά πλήγματα κεραυνών. Στο Σχήμα 3:9 φαίνονται τα αποτελέσματα για επίπεδο μόνωσης των 150 kV ενός κυκλώματος χωρίς γείωση. Αξίζει να σημειωθεί ότι ακόμη και αραιή χρήση αλεξικέραυνων μπορεί να μειώσει σημαντικά τα βραχυκυκλώματα που προκαλούνται από τις επαγόμενες τάσεις (τοποθέτηση αλεξικέραυνων ανά 8 στύλους αποδίδουν τουλάχιστον 25% μείωση στα σφάλματα). Σε πολλά κυκλώματα διανομής με πολλούς μετασχηματιστές, τα αλεξικέραυνα που χρησιμοποιούνται για την προστασία των ίδιων των μετασχηματιστών, παρέχουν σημαντική προστασία έναντι επαγόμενων τάσεων.

Τα αλεξικέραυνα μπορούν να προβούν ακόμα πιο αποτελεσματικά στην μείωση των βραχυκυκλωμάτων, εάν χρησιμοποιηθούν για την προστασία των στύλων με μικρά επίπεδα μόνωσης. Αυτά οι «αδύναμοι κρίκοι» του συστήματος μπορεί να είναι διακόπτες, τερματικοί στύλοι ή στύλοι διασταυρώσεων. Η τοποθέτηση αλεξικέραυνων σε αυτούς τους στύλους μπορεί να είναι περισσότερο συμφέρουσα από οικονομική άποψη από τη βελτίωση του επιπέδου μόνωσης της γραμμής.

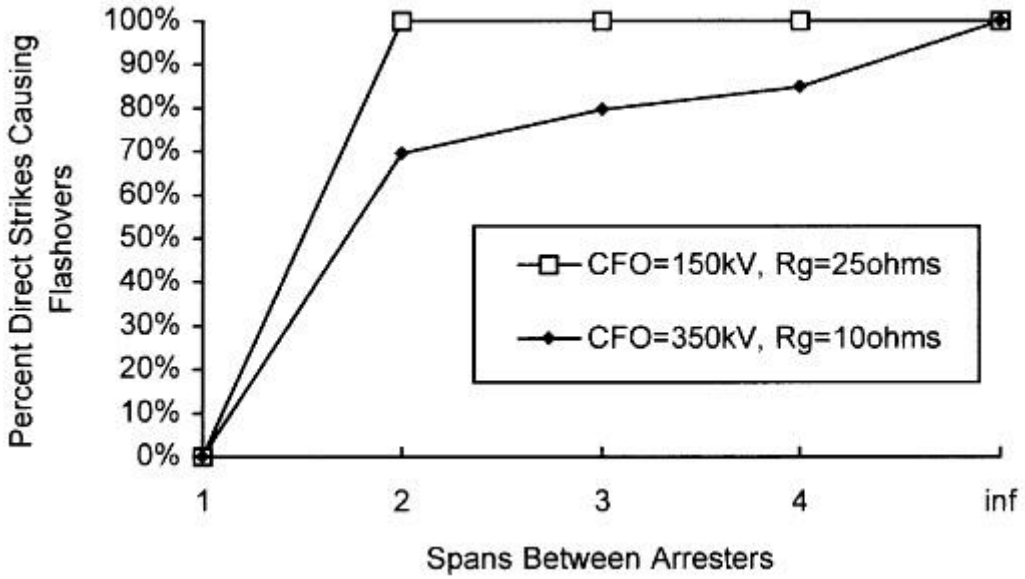


Εικόνα 3:9 Αποστάσεις αλεξικέραυνων για βραχυκυκλώματα από επαγόμενη τάση [3]

Σημ - (CFO=150kV, h=10m, Ng = 1 κεραυνός/km^2/έτος, μήκος ανοίγματος= 75m)

3.8.3 Βραχυκύκλωμα από άμεσα πλήγματα

Η προστασία έναντι άμεσων πληγμάτων κεραυνών είναι δύσκολη υπόθεση λόγω των υψηλών κρουστικών ρευμάτων, των απότομων κλίσεων μετώπου και του μεγάλου ενεργειακού περιεχομένου των κεραυνών. Θεωρητικά, τα αλεξικέραυνα προστατεύουν επαρκώς έναντι άμεσων πληγμάτων, αλλά πρέπει να τοποθετούνται σε πολύ μικρή απόσταση μεταξύ τους (ουσιαστικά σε κάθε στύλο). Το Σχήμα 3:10 δείχνει υπολογισμούς των διαστημάτων των αλεξικέραυνων για την προστασία ενάντια σε άμεσα πλήγματα. Η ανάλυση στο σχήμα 10 υποθέτει ότι ο ουδέτερος αγωγός είναι γειωμένος σε κάθε στύλο. Ο υψηλός αριθμός βραχυκυκλωμάτων μπορεί να είναι παραπλανητικός σύμφωνα με το σχήμα 10, όπου ο ουδέτερος αγωγός δεν είναι γειωμένος, με εξαίρεση τους στύλους όπου τα αλεξικέραυνα εφαρμόζονται σε όλες τις φάσεις και το επίπεδο μόνωσης από το ουδέτερο γειωμένο αγωγό είναι υψηλό.



Εικόνα 3:10 Απόσταση αλεξικέραυνων για προστασία από άμεσα πλήγματα [3]

Σημ: Το μήκος του ανοίγματος είναι 75 m

3.8.3.1 Προστασία αλεξικέραυνου άνω φάσης

Εάν ο αγωγός της άνω φάσης έχει τοποθετηθεί έτσι ώστε να παρεμποδίζει τα πλήγματα των κεραυνών, τα αλεξικέραυνα μπορούν να εφαρμοστούν στην άνω φάση, κάτι που τα κάνει να λειτουργούν ως αγωγοί προστασίας. Κατά το πλήγμα, το αλεξικέραυνο άνω φάσης θα κατευθύνει το κρουστικό ρεύμα στο έδαφος. Το κύκλωμα θεωρείται προστατευμένο αν η αντίσταση γείωσης είναι αρκετά μικρή και η μόνωση των απροστάτευτων φάσεων είναι αρκετά μεγάλη. Όπως σε ένα αγωγό προστασίας, θα πρέπει να δοθεί προσοχή για την διατήρηση υψηλού επιπέδου μόνωσης στις απροστάτευτες φάσεις. Οι καμπύλες ενός αγωγού προστασίας (Σχήμα 3:8) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της αποτελεσματικότητας της σχεδίασης αλεξικέραυνου στην άνω φάση. Τα αλεξικέραυνα θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε σχεδόν κάθε στύλο ή πύργο, προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη προστασία.

3.8.3.2 Ικανότητα αλεξικέραυνου σε άμεσο πλήγμα

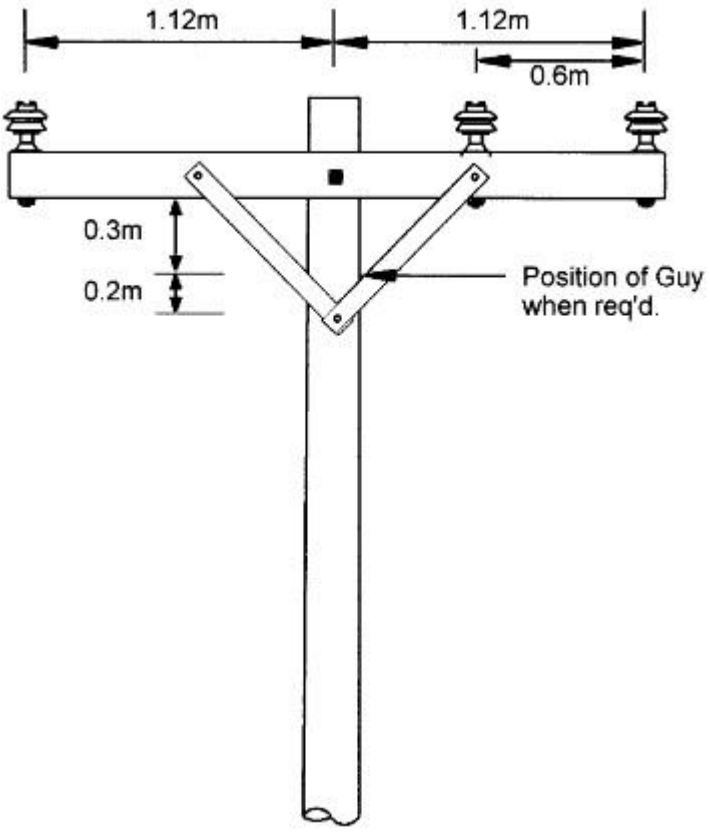
Σε εφαρμογές με συνήθη έκθεση σε κεραυνούς (π.χ. ανοιχτή γραμμή διανομής, χωρίς αγωγό προστασίας), τα αλεξικέραυνα που ανήκουν στις κατηγορίες διανομής και αυτά των μεταλλικών οξειδίων μπορούν να υποστούν περιστασιακές βλάβες λόγω των άμεσων πληγμάτων. Ένα σημαντικό ποσοστό άμεσων πληγμάτων κεραυνών μπορούν να αναγκάσουν τα αλεξικέραυνα να απορροφήσουν ενέργεια πέρα από την ικανότητα που έχει ορίσει ο κατασκευαστής και το 4/10 μs κρουστικό κύμα δοκιμής. Αυτό μετριάζεται από το γεγονός ότι τα αλεξικέραυνα έχουν επιδείξει αρκετά μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης ενέργειας από ότι είναι δημοσιευμένο. Άλλος ένας μηχανισμός αποτυχίας στο σχεδιασμό αλεξικέραυνων από οξείδια του μετάλλου είναι τα περιστατικά βραχυκυκλώματα γύρω από τα εμπόδια, όταν τα αλεξικέραυνα υπόκεινται σε πολλαπλά πλήγματα. Τα επιφανειακά βραχυκυκλώματα

λόγω πολλαπλών πληγμάτων είναι λιγότερο πιθανά για αλεξικέραυνα χωρίς διάκενα, όπως αυτά με περίβλημα από πολυμερή.

3.9 Υποδείγματα χρήσης οδηγού

3.9.1 Υπόδειγμα 1^{ο} - Σχέδιο ξύλινου πυλώνα 15kV

Πρόβλημα: Μία εταιρία πραγματοποιεί αναθεώρηση του σχεδιασμού της για γραμμή διανομής με τρεις αγωγούς, τάξης 15kV (Σχήμα 3:11). Η γραμμή βρίσκεται σε μία περιοχή με μέτρια πρόκληση κεραυνών, με κεραυνικό επίπεδο 40 ημερών με θύελλες και κεραυνούς ανά χρόνο. Οι μονωτήρες είναι ANSI-class 55-4, μονωτήρες με πορσελάνινη κορυφή. Υποθέστε ότι οι βραχίονες είναι αγώγιμοι και χρησιμοποιούνται μονωτικές κορυφές από ατσάλι. Τα επίτονα έχουν μονωτήρες με πορσελάνη (ANSI-class 54-4). Το σταθερό μέγεθος στύλου είναι 12.2m με βάθος στερέωσης στη γη 2m. Σκοπός είναι να υπολογιστεί το επίπεδο συμπεριφοράς έναντι κεραυνού με βάση αυτό το σχέδιο και να διερευνηθούν οι βελτιώσεις.



Εικόνα 3:11 Σχέδιο ξύλινου βραχίονα τάξης 15kV [3]

Επίπεδο μόνωσης: Το CFO για διάφορες πιθανές πορείες βραχυκυκλωμάτων παρουσιάζεται στον Πίνακα 3:5.

Άμεσα πλήγματα: Το GFD μπορεί να υπολογιστεί από το κεραυνικό επίπεδο ως εξής:

$$N_g = 0{,}04*40^{1,25} = 4 \text{ κεραυνοί/100km/έτος}$$

Το ύψος του πάνω αγωγού είναι 10.2 m με πλάτος κατασκευής 2.24 m. Από την εξίσωση (3:6), ο αριθμός των άμεσων πληγμάτων σε ανοιχτό έδαφος είναι:

$$N = 4*[28*(10.2)^{0.6} + 2.24]/10 = 46 \text{ κεραυνοί/100km/έτος}$$

Πίνακας 3:5 Υπολογισμοί CFO για πιθανές πορείες βραχυκυκλώματος για μελέτη στύλου 15kV [3]

From	To	Flashover path	Total CFO [kV]
Middle phase	Guy wire	Insulators (105 kV) to 0.2 m wooden pole (47 kV) to guy insulator (0 kV)	152
Outer phase	Guy wire	Insulator (105 kV) to 0.6 m wooden crossarm (150 kV) to 0.2 m wooden pole (13 kV) to guy insulator (0 kV)	268
Right phase	Middle phase	Insulator (105 kV) 0.6 m wooden crossarm(150 kV) to second insulator (20 kV)	275
Right phase	Middle phase	Air	360

Θεωρώντας έναν προστατευτικό παράγοντα 0.75, και ότι όλα τα άμεσα πλήγματα θα προκαλέσουν βραχυκύκλωμα, ο εκτιμώμενος αριθμός των βραχυκυκλωμάτων από άμεσο πλήγμα θα είναι:

Βραχυκυκλώματα από άμεσα πλήγματα= 11.5 βραχυκυκλώματα/100km/έτος

Επαγόμενα βραχυκυκλώματα: Ο αριθμός των βραχυκυκλωμάτων που προκαλούνται στην ύπαιθρο μπορεί να υπολογιστεί από το Σχήμα 3:5, χρησιμοποιώντας την μικρότερη CFO πορεία των 152kV και πολλαπλασιάζοντας με το GFD:

Επαγόμενα βραχυκυκλώματα (ύπαιθρος) = (4)2κεραυνοί/100km/έτος = 8 βραχυκυκλώματα/100km/έτος

Επειδή το μεγαλύτερο μέρος της γραμμής διανομής είναι προστατευμένο (οριοθετείται από ψηλές κατασκευές, π.χ. Sf= 0.75), μεγαλύτερα σε μέγεθος πλήγματα μπορούν να καταλήξουν κοντά στην γραμμή, χωρίς να χτυπήσουν απευθείας στην γραμμή διανομής. Αυτό θα προκαλέσει περισσότερα επαγόμενα βραχυκυκλώματα. Ο αριθμός των βραχυκυκλωμάτων λόγω τάσης θα πρέπει να βρίσκεται μεταξύ του αριθμού των έμμεσων πληγμάτων στην ύπαιθρο (8 κεραυνοί/100km/έτος σε αυτήν την περίπτωση) και του αριθμού των άμεσων πληγμάτων στην ύπαιθρο (46 κεραυνοί/100km/έτος σε αυτήν την περίπτωση). Ως μια εκτίμηση, θα υποθέσουμε ότι τα βραχυκυκλώματα από επαγόμενη τάση είναι δύο φορές τα βραχυκυκλώματα στην ύπαιθρο.

Προκληθέντα βραχυκυκλώματα = 16 βραχυκυκλώματα/100km/έτος
Όλα τα βραχυκυκλώματα θεωρούνται ότι προκαλούν βλάβες.

Συνολικές βλάβες = άμεσες + επαγόμενων τάσεων = 27.5 σφάλματα/100km/έτος

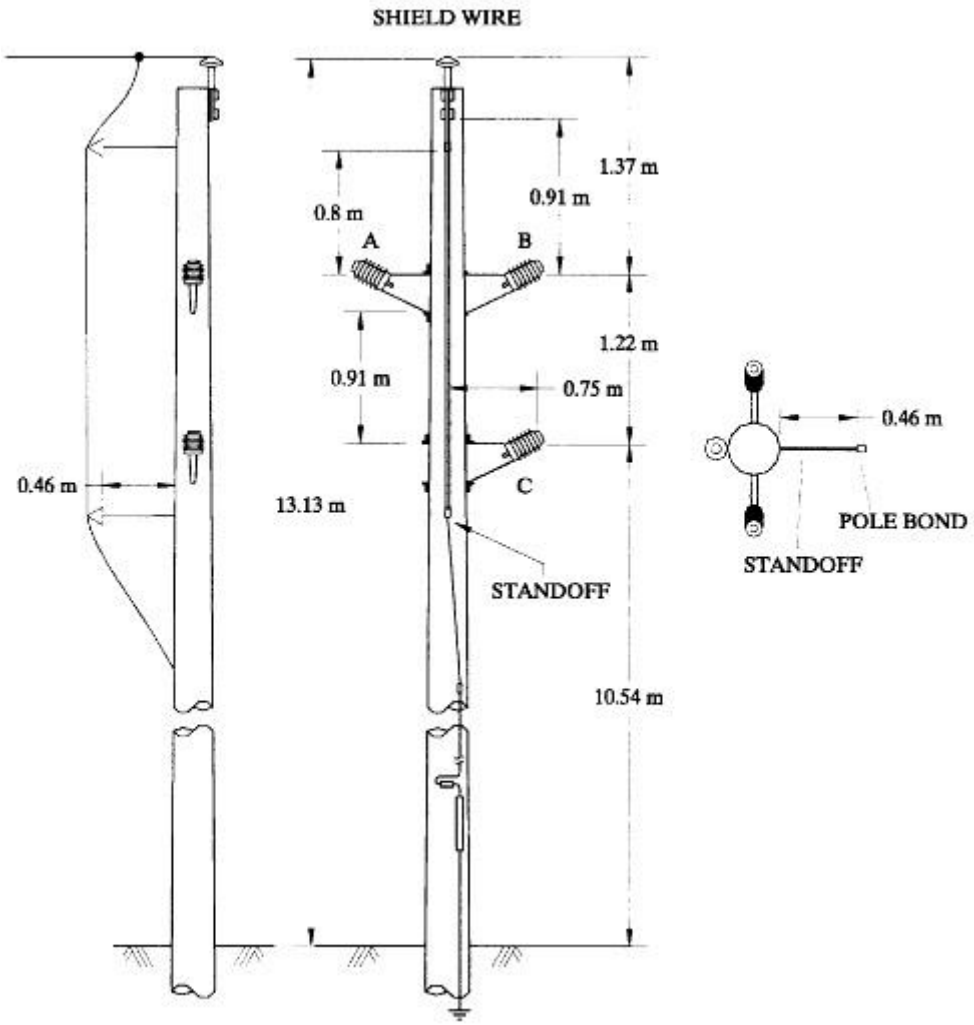
Εκδοχές βελτίωσης προς εξέταση: Έχει αποφασιστεί να εξεταστούν οι αλλαγές που είναι σχετικά οικονομικές και εύκολες στην εφαρμογή. Οι αλλαγές στην μόνωση για την μείωση των βραχυκυκλωμάτων από τάση είναι η κύρια εκδοχή προς εξέταση, με στόχο 300 kV CFO.

1. Χρήση 50 cm από μονωτήρες τύπου αλυσίδας από fiberglass. Αυτό θα αυξήσει την CFO από την μεσαία φάση στο επίτονο σε 310kV [0.5m μονωτήρας από fiberglass τύπου αλυσίδας (250kV) + μονωτήρας (0.45 • 105kV = 47kV) + 0.2m ξύλινου στύλου (0.2m • 65kV/m = 13kV)]. Αυτό κατ' ουσία ελαχιστοποιεί τα βραχυκυκλώματα από επαγόμενη τάση.
2. Χρήση ξύλινων βραχιόνων. Αυτό προσθέτει μια σημαντική ποσότητα ξύλου στην πορεία του βραχυκυκλώματος από την μεσαία φάση στο επίτονο. Η CFO σε αυτή την πορεία θα ήταν περίπου 255kV [μονωτήρας (105kV) + ξύλινος βραχίονας (0.52m • 250kV/m = 130kV) + ξύλινος στύλος (0.3m • 65kV/m = 20kV)]. Αυτό μειώνει τον αριθμό των επαγόμενων βραχυκυκλωμάτων σε λιγότερο από 0.8 βραχυκυκλώματα/100km/έτος.

Άλλα σχέδια κατασκευών, όπως τερματικός στύλος, γωνία και διασταύρωση, μπορούν να εξετασθούν. Οι επιλογές βελτίωσης μπορούν τότε να συγκριθούν από άποψη κόστους με τα υπάρχοντα σχέδια και κατά την αξιόπιστη βελτίωση της επισκευής και της ποιότητας ισχύος.

3.9.2 Υποδειγμα 2^{o} - Γραμμή διανομής 35kV με αγωγό προστασίας

Πρόβλημα: Μία εταιρία σκέφτεται να χρησιμοποιήσει ένα σχέδιο προστατευμένης γραμμής διανομής για το δίκτυο τεσσάρων αγωγών 35kV. Η γραμμή θα τοποθετηθεί σε περιοχή με συντελεστή σκίασης 0.5, που προκύπτει από τα γειτονικά αντικείμενα και κεραυνικό επίπεδο 60 μέρες καταιγίδας ανά έτος. Το σχέδιο ορίζει γωνία προστασίας 24^{o}. Οι μονωτήρες των φάσεων είναι ANSI-class 55-5, με πορσελάνινα άκρα. Η γραμμή διανομής στηρίζεται σε ξύλινους πυλώνες ύψους 15.24m, κάθε πυλώνας είναι γειωμένος με μια αντίσταση γείωσης 10Ω ή λιγότερο.



Εικόνα 3:12 Κατασκευή ξύλινου στύλου 35kV με αγωγό προστασίας [3]

Από τους υπολογισμούς της CFO του Πίνακα 3:6 είναι προφανές ότι χρειάζονται στηρίγματα γείωσης-αγωγού από fiberglass. Ο αγωγός γείωσης έχει μία απόσταση 0.46m από τον στύλο, και είναι προσαρτημένος στον στύλο 0.49m κάτω από τον χαμηλότερό αγωγό. Χωρίς τα στήριγμα τα η τιμή της CFO θα ήταν 180kV, πράγμα που θα οδηγούσε σε επαγόμενες υπερτάσεις βραχυκυκλωμάτων. Παρόλο που το χαμηλότερο CFO μονοπάτι είναι 261kV, τα κρισιμότερα μονοπάτια είναι τα βραχυκυκλωμένα μονοπάτια φάσης-γης, λόγω της υπέρτασης από πλήγμα στον αγωγό προστασίας και κατά συνέπεια των επαγόμενων τάσεων προκαλούνται καταπονήσεις στους αγωγούς φάσης. Το χαμηλότερο μονοπάτι βραχυκυκλώματος φάσης-γης είναι 325kV από την φάση C στην γη.

Πίνακας 3:6 CFO προστατευτικού αγωγού 35 kV [3]

From	To	Flashover path	Total CFO (kV)
Ground wire	A, B, C	Post insulator (with no ground-wire standoff)	180
Static	A, B	Post insulator (180 kV) to 0.91 m wooden pole (214 kV) to pin insulator (24 kV)	418
Static	C	Post insulator (180 kV) to 2.13 m wooden pole (501 kV) to pin insulator (24 kV)	705
A	B	First post insulator (180 kV) to second post insulator (81 kV)	261
A, B	C	First post insulator (180 kV) to 0.91 m wooden pole (214 kV) to second post insulator (36 kV)	430
Pole ground lead	C	Post insulator (180 kV) to standoff (145 kV)	325
Pole ground lead	A, B	Post insulator (180 kV) to 0.8 m wooden pole (188 kV) to standoff (92 kV)	460
Pole ground lead	A, B, C	0.75 m air (450 kV)	450

Άμεσα πλήγματα: Η τιμή του GFD υπολογίζεται από το κεραυνικό επίπεδο ως εξής:

$N_g = 0.04*(60)^{1.25} = 6.68$ κεραυνοί/km^2/έτος

Το ύψος του αγωγού προστασίας είναι 1.13m το πλάτος του αγωγού της φάσης είναι 1.22 m. Από την εξίσωση 3:6 ο αριθμός των άμεσων πληγμάτων σε ανοικτό έδαφος είναι:

$N = 6.68*[(28*13.13^{0.6})/10] = 87.7$ κεραυνοί/100km/έτος

Τα εκτιμώμενα πλήγματα με χρήση του συντελεστή σκίασης 0.5 είναι:

Άμεσα πλήγματα στην γραμμή διανομής = 43,8 κεραυνοί/100km/έτος

Επειδή η γραμμή γειώνεται σε κάθε στύλο και η γωνία προστασίας είναι μικρότερη των 45^o, όλοι οι κεραυνοί υποθέτουμε ότι χτυπούν τον αγωγό προστασίας. Ο αριθμός των βραχυκυκλωμάτων μπορεί να υπολογιστεί από το Σχήμα 3:8 με μία αντίσταση γείωσης 10Ω χρησιμοποιώντας την καμπύλη για 350kV CFO.

Βραχυκυκλώματα από άμεσα πλήγματα = (43.8 κεραυνοί/100km/έτος)*(4% ποσοστό βραχυκυκλωμάτων) = 1.8 βραχυκυκλώματα/100km/έτος

Επαγόμενα βραχυκυκλώματα: Με CFO στα 325kV, η διάταξη μπορούμε να παραδεχτούμε ότι είναι απρόσβλητη σε επαγόμενα βραχυκυκλώματα (είναι εκτός καμπύλης στο Σχήμα 3:5). Επομένως ο συνολικός αριθμός των βραχυκυκλωμάτων

οφείλεται σε άμεσα πλήγματα και όλα τα βραχυκυκλώματα υποθέτουμε ότι προκαλούν σφάλματα άρα:

Συνολικές βλάβες = άμεσα = 1.8 σφάλματα/100km/έτος

Εκδοχές βελτίωσης προς εξέταση: Ο σχεδιασμός που υποδεικνύεται στο Σχήμα 3:12 διαθέτει άριστη αντικεραυνική συμπεριφορά. Μία ανησυχία είναι ο στόχος των 10Ω στην αντίσταση γείωσης που μπορεί να είναι δύσκολος να επιτευχθεί στην πραγματικότητα. Το Σχήμα 3:8 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της υποβάθμισης της αντικεραυνικής συμπεριφοράς λόγω της αντίστασης γείωσης. Για παράδειγμα με μια αντίσταση της τάξης των 50Ω, η αναλογία των βραχυκυκλωμάτων θα αυξηθεί στο 35% των άμεσων πληγμάτων (15 σφάλματα/100 km/έτος). Μια επιλογή βελτίωσης θα ήταν η χρήση fiberglass βραχιόνων μόνωσης αντί των μεταλλικών. Αυτό θα αύξανε σημαντικά την CFO φάσης προς φάση και φάσης προς γη.

Κατά την σύγκριση αυτής της διάταξης με την απροστάτευτη, η αύξηση του κόστους της κατασκευής πρέπει να συγκριθεί με την μείωση του κόστους αποκατάστασης των βλαβών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

4.1 Εισαγωγή [4]

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα παρουσιασθεί μια εκτενής μελέτη των σφαλμάτων από κεραυνούς του δικτύου μέσης τάσης στο νομό Λευκάδας.

Η νήσος Λευκάδα αποτελεί διοικητικά ιδιαίτερο νομό της περιφέρειας Ιονίων νήσων. Πρόκειται για τον μικρότερο σε έκταση και πληθυσμό νομό της Ελλάδας στον οποίο ανήκουν επίσης τα παρακείμενα νησιά Μεγανήσι, Κάλαμος, Καστός, Σκορπιός, Σκορπίδι, Σπάρτη, Μαδουρή, Θηλιά και Κυθρός. Ο νομός Λευκάδας περιλαμβάνει πέντε δήμους (Λευκάδος, Σφακιωτών, Καρυάς, Ελομένου, Απολλωνίων), καθώς και τις κοινότητες Καλάμου και Καστού.

Η Λευκάδα σε σχέση με τα υπόλοιπα ιόνια νησιά, διαθέτει έναν ιδιαίτερο χαρακτήρα, ο οποίος προσομοιάζει περισσότερο με αυτόν της ηπειρωτικής χώρας και διαμορφώθηκε αφ' ενός από τη γεωγραφικής της θέση και αφ' ετέρου από την ιστορική της διαδρομή. Πρόκειται για ένα αρκετά ορεινό νησί με το 72.6% περίπου του εδάφους του ορεινό, 17.2% ημιορεινό και μόλις το 10.2% πεδινό. Οι ορεινοί όγκοι κυριαρχούν στο κέντρο του νησιού και διακλαδίζονται σε μικρότερα υψώματα προς τα παράλια. Κυρίαρχος ορεινός όγκος είναι το όρος Σταυρωτάς ή Ελάτη με μεγαλύτερη κορυφή τον Άγιο Ηλία με υψόμετρο 1182 μέτρα. Οι πεδινές εκτάσεις συγκεντρώνονται, είτε γύρω από την πόλη της Λευκάδας στα βόρεια, είτε σε μεγάλες κοιλάδες, με κυριότερη αυτή της Βασιλικής στα νότια. Το πλούσιο ανάγλυφο συμπληρώνουν λεκάνες και οροπέδια μεταξύ των μεγάλων ορεινών όγκων (λόγου χάρη κάμπος Καρυάς, λιβάδι Εγκλουβής).Η περίπλοκη ακτογραμμή του νησιού μήκους 138.2 χιλιομέτρων σχηματίζει κυρίως στα νότια και νοτιοανατολικά του νησιού στενόμακρους κολπίσκους και ακρωτήρια.

Το δίκτυο διανομής μέσης τάσης που χρησιμοποιείται στη Λευκάδα αποτελείται συνολικά από 5 γραμμές μεταφοράς. Οι γραμμές αυτές είναι οι εξής: R-23, R-24, R-27, R-28, R-29. Για τις παραπάνω γραμμές δίνεται αναλυτικά η μεθοδολογία μελέτης τους σύμφωνα με την οδηγία του IEEE Std 1410-1997.

4.2 Μεθοδολογία Μελέτης

Αρχικά θα υπολογίσουμε τον αριθμό των βραχυκυκλωμάτων που μπορούν να προκληθούν από άμεσα πλήγματα στις γραμμές διανομής μέσης τάσης και έπειτα τα βραχυκυκλώματα που προκαλούνται από πλήγματα σε παραπλήσια αντικείμενα με επαγωγή τάσης. Αθροίζοντας αυτούς τους δύο τύπους βραχυκυκλωμάτων θα εξάγουμε το συνολικό αριθμό βραχυκυκλωμάτων στην εκάστοτε γραμμή που μελετάται.

Α. Βραχυκυκλώματα από άμεσα πλήγματα

1) Υπολογισμός GFD (Ground Flash Density)

$$N_g=0.04*T_d^{1.25} \text{ (κεραυνοί/km}^2\text{/έτος)}$$

όπου T_d είναι ο αριθμός των ημερών καταιγίδας ανά έτος (κεραυνικό επίπεδο)

Ο συντελεστής T_d για την περιοχή της Λευκάδας ευρίσκεται από τον ιστότοπο freemeteo.gr από την ενότητα για το μηνιαίο μετεωρολογικό ιστορικό για την νήσο της Λευκάδας. Τα στοιχεία που συλλέγησαν παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4:1 Ημέρες καταιγίδας για την Λευκάδα ανά έτος και μήνα [5]

ΕΤΟΣ **ΜΗΝΑΣ**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**
1	6	8	3	2	3	8	5	4	3	11
2	1	10	6	3	2	4	9	1	5	6
3	4	3	3	4	5	3	0	1	2	2
4	1	3	3	1	3	2	1	0	8	1
5	2	2	1	6	0	3	1	5	3	2
6	1	2	4	2	3	6	2	2	1	3
7	1	0	4	0	1	0	1	0	0	0
8	0	1	3	0	0	3	0	0	1	0
9	4	6	6	3	4	7	2	3	3	3
10	8	5	2	7	4	7	10	4	8	2
11	6	5	3	8	6	7	8	0	4	6
12	4	4	1	5	4	4	3	6	11	1
ΣΥΝΟΛΟ	**41**	**49**	**39**	**41**	**35**	**54**	**42**	**26**	**49**	**37**

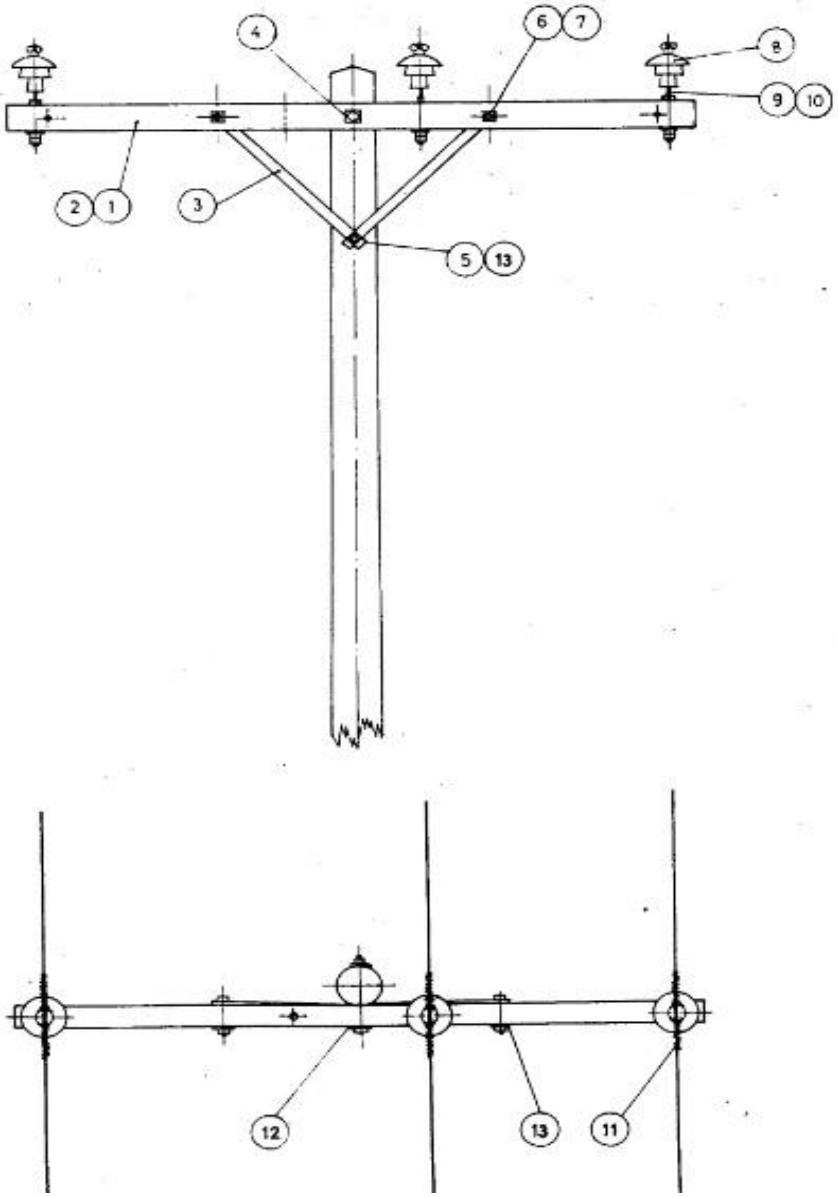
Υπολογίζουμε τον μέσο όρο που προκύπτει:
M.O. = (41+49+39+41+35+54+42+26+49+37)/10 = 41,3 ημέρες καταιγίδας/έτος

2) Ρυθμός απορρόφησης κεραυνών N σε ανοικτό έδαφος (μη ύπαρξη δέντρων ή κτιρίων) σύμφωνα με την εξίσωση του Eriksson:

$$N=N_g*\{(28*h^{0,6} + b)/10\}$$

όπου h : το ύψος του στύλου σε μέτρα
b : το πλάτος της κατασκευής σε μέτρα
N_g : η πυκνότητα των κεραυνών (κεραυνοί/km^2/έτος)
N: ο αριθμός των κεραυνών(κεραυνοί/100km/έτος)

Οι διαστάσεις των γραμμών διανομής μέσης τάσης που είναι ίδιες για όλες τις γραμμές διανομής έχουν βρεθεί από το εγχειρίδιο της ΔΕΗ «Τυποποιημένες κατασκευές διανομής». Έτσι στον παραπάνω τύπο το ύψος του στύλου το θεωρούμε κατά μέσο όρο 12m πάνω από το έδαφος και το πλάτος της κατασκευής περίπου 2,5m. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένας τέτοιος στύλος.



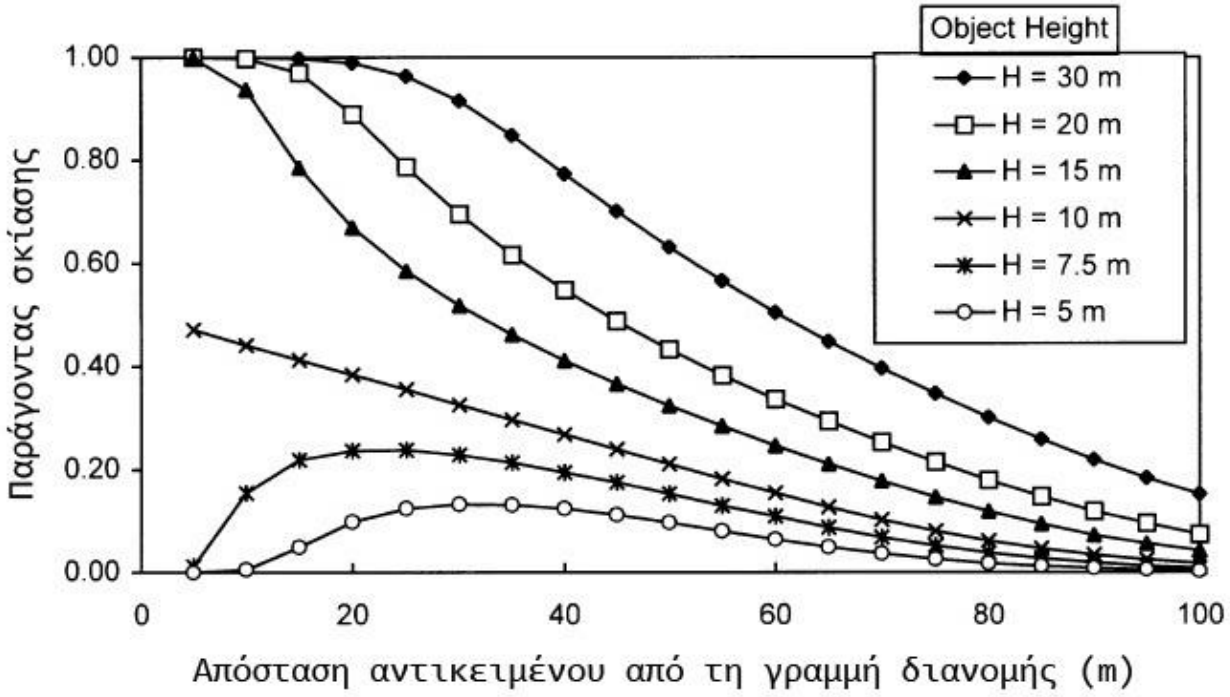
Εικόνα 4:1 Γραμμή Μέσης Τάσης [6]

3) Προστασία από παραπλήσιες κατασκευές και δέντρα η οποία υπολογίζεται από τον τύπο:

$$N_s = N*(1-S_f)$$

όπου S_f : παράγοντας σκίασης και ορίζεται ως το τμήμα ανά μονάδα γραμμών διανομής που προστατεύεται από κοντινά αντικείμενα.

Θεωρούμε ότι τα αντικείμενα που προστατεύουν τη γραμμή διανομής είναι τοποθετημένα σε μια ευθεία γραμμή παράλληλα με τη γραμμή διανομής. Επίσης το κάτωθι σχήμα αναφέρεται σε γραμμή διανομής ύψους 10m. Ακόμα, από το σχήμα μπορούμε να υπολογίσουμε δύο συντελεστές σκίασης, έναν για την αριστερή πλευρά της γραμμής κι έναν για την δεξιά ($S_{f\ left}$, $S_{f\ right}$) και το άθροισμά τους θα μας δώσει τον συνολικό συντελεστή S_f.



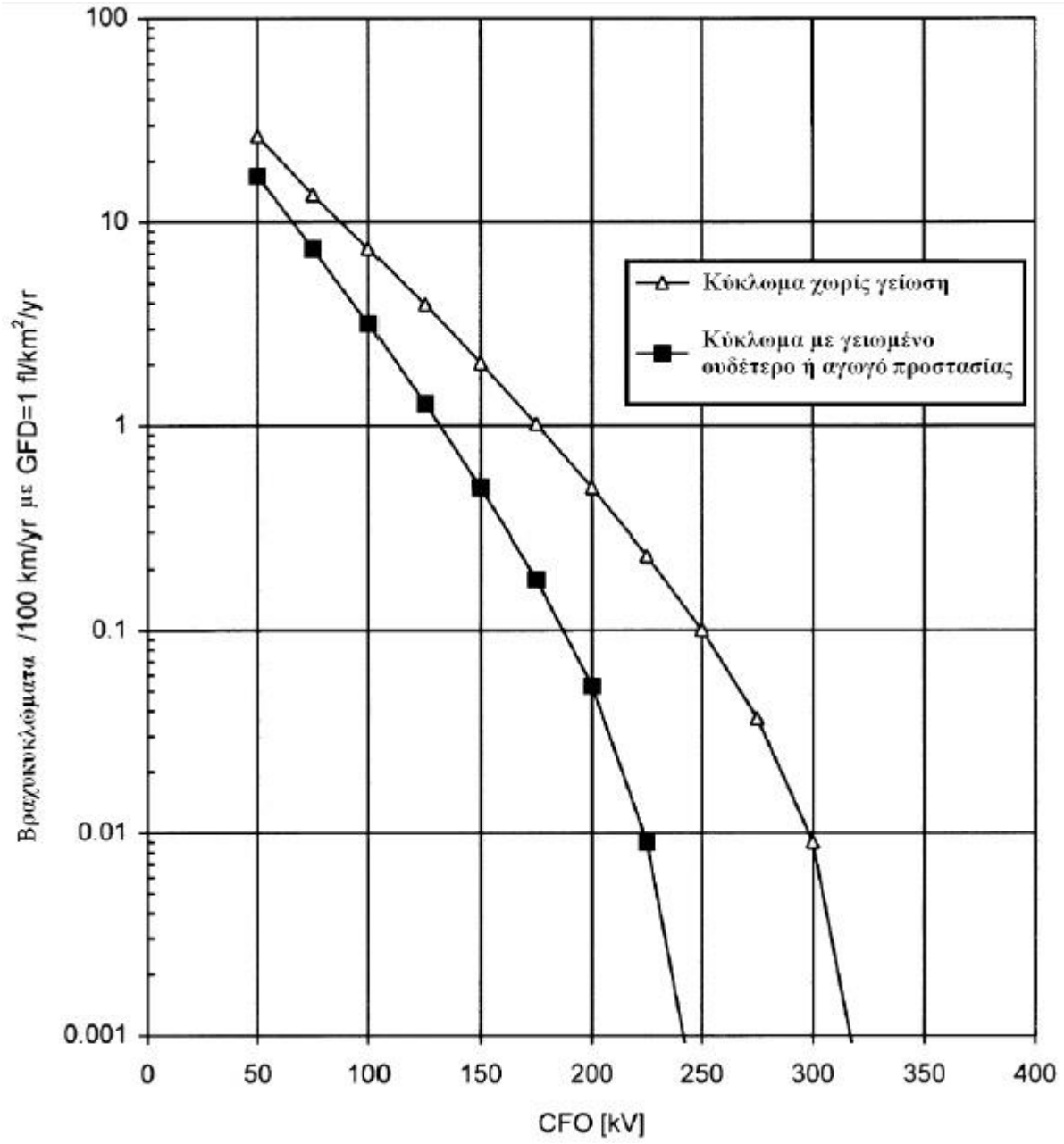
Εικόνα 4:2 Παράγοντας σκίασης για γραμμή διανομής λόγω παραπλήσιων αντικειμένων σε διάφορα ύψη. [3]

Τέλος θεωρούμε ότι τα άμεσα πλήγματα από κεραυνούς που θα υπολογίσουμε προκαλούν όλα βραχυκύκλωμα.

Β. Επαγόμενα βραχυκυκλώματα

1) Υπολογισμός του αριθμού των βραχυκυκλωμάτων που οφείλονται σε έμμεσα πλήγματα στη γραμμή.

Ο αριθμός αυτός υπολογίζεται με τη βοήθεια του παρακάτω σχήματος.



Εικόνα 4:3 Αριθμός βραχυκυκλωμάτων από επαγόμενη τάση έναντι του επιπέδου μόνωσης της γραμμής διανομής. [3]

Θεωρούμε το μικρότερο CFO path (125kV) για την περίπτωσή μας. Αυτό προκύπτει από τους πίνακες που δίνουν την τυπική αντοχή σε κρουστική τάση κεραυνών. Στην παρούσα περίπτωση των γραμμών διανομής 20kV έχουμε τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4:2 Τυπικά επίπεδα μόνωσης για 20KV [7]

Ύψιστη τάση λειτουργίας εξοπλισμού Um(kV), τιμή r.m.s.	**Τυπική αντοχή σε μικρής διάρκειας εναλλασσόμενη τάση (kV), τιμή r.m.s.**	**Τυπική αντοχή σε κρουστική τάση κεραυνών (kV), τιμή peak**
24	50	95
		125
		145

2) Επειδή οι τιμές του σχήματος είναι κανονικοποιημένες για GFD = 1, θα πολλαπλασιάσουμε τον αριθμό των επαγόμενων βραχυκυκλωμάτων του σχήματος με τον συντελεστή GFD που υπολογίσαμε σε προηγούμενο βήμα.

3) Όταν μια γραμμή διανομής προστατεύεται από διάφορες δομές (ψηλά κτίρια, δέντρα) τότε δέχεται λιγότερα άμεσα πλήγματα κεραυνών. Το κέρδος όμως αυτό των δομών προστασίας αντισταθμίζεται από το γεγονός ότι οι δομές αυτές προσελκύουν περισσότερους κεραυνούς με αποτέλεσμα να αυξάνουν τον αριθμό των επαγόμενων βραχυκυκλωμάτων. Δηλαδή μεγάλος συντελεστής σκίασης συνεπάγεται μεγάλο αριθμό επαγόμενων βραχυκυκλωμάτων στη γραμμή διανομής. Σύμφωνα με την οδηγία της IEEE ο αριθμός των επαγόμενων βραχυκυκλωμάτων για μια γραμμή αναμένεται μεταξύ του αριθμού των άμεσων πληγμάτων σε ανοικτό έδαφος και του αριθμού των επαγόμενων βραχυκυκλωμάτων σε ανοικτό έδαφος. Γι' αυτό στους υπολογισμούς των επαγόμενων βραχυκυκλωμάτων θεωρούμε μια προσαύξηση της τάξης του 80%.

Γ. Συνολικά βραχυκυκλώματα

Τα συνολικά βραχυκυκλώματα δίνονται από τον τύπο:

$$N_{ολ} = N_s + N_i + N_p \text{ (κεραυνοί/100km/έτος)}$$

Όπου N_s : ο αριθμός των βραχυκυκλωμάτων από άμεσα πλήγματα
N_i : ο αριθμός των βραχυκυκλωμάτων από έμμεσα πλήγματα
N_p : ο αριθμός των βραχυκυκλωμάτων που αναφέρονται σε σφάλματα λόγω κακής λειτουργίας των προστατευτικών διατάξεων στη γραμμή τα οποία θεωρούμε μηδενικά.

Τελικά κάνοντας αναγωγή στο πραγματικό μήκος της γραμμής που έχουμε υπολογίσει από το μονογραμμικό σχέδιο της γραμμής έχουμε το συνολικό αριθμό βραχυκυκλωμάτων ανά έτος.

4.3 Θεωρητικός υπολογισμός σφαλμάτων στις γραμμές

Ακολουθεί ο θεωρητικός υπολογισμός των σφαλμάτων για κάθε γραμμή ξεχωριστά.

4.3.1 Γραμμή R-23

Η γραμμή R-23 καλύπτει ως επί το πλείστον την ανατολική πλευρά του νησιού. Ξεκινάει από τον υποσταθμό Πλατύστομα και τροφοδοτεί τους οικισμούς Αλέξανδρος, Κολυβάτα, Νικιάνα όπου διακλαδίζεται σε δύο γραμμές. Η μία γραμμή οδεύει προς Περιγιάλι και καταλήγει στο Νυδρί ενώ η άλλη γραμμή οδεύει προς Παράδεισο, Λυγιά, Κατούνα και καταλήγει στους Καρυώτες. Σύμφωνα με το μονογραμμικό διάγραμμα της ΔΕΔΔΗΕ το συνολικό μήκος της γραμμής υπολογίστηκε στα 38km.

Το μεγαλύτερο μέρος της R-23 είναι απροστάτευτο από παραπλήσιες δομές (υψηλά δέντρα, κτίρια) αφού αρχικά οδεύει σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις με λίγα δέντρα, στη συνέχεια διασχίζει τους πρόποδες του όρους Μεγάλη Ράχη και καταλήγει σε παραθαλάσσια περιοχή διασχίζοντας μερικούς οικισμούς.

Παρακάτω ακολουθεί ο χάρτης με την όδευση της γραμμής R-23 όπως σχεδιάστηκε προσεγγιστικά με βάση το μονογραμμικό σχέδιο της ΔΕΔΔΗΕ και το πρόγραμμα google earth.



Εικόνα 4:4 Χάρτης με την όδευση της γραμμής R-23 [8]

Στη συνέχεια ακολουθούμε τη μεθοδολογία που περιγράφηκε παραπάνω για να υπολογίσουμε τον θεωρητικό αριθμό σφαλμάτων λόγω κεραυνών στη συγκεκριμένη γραμμή.

Άμεσα Βραχυκυκλώματα

Εκτιμούμε $T_d = 37$ ημέρες καταιγίδας ανά έτος για την περιοχή της Λευκάδας. Χρησιμοποιούμε τον τύπο $N_g = 0.04*T_d^{1.25}$ και υπολογίζουμε $N_g = 3,65$ κεραυνοί/km^2/έτος.

Από τον τύπο $N = N_g *\{(28*h^{0,6} + b)/10\}$ υπολογίζουμε $N = 46,30$ κεραυνοί/100km/έτος τον ρυθμό απορρόφησης κεραυνών σε ανοικτό έδαφος.

Υπολογίζουμε από προηγούμενο διάγραμμα τον παράγοντα σκίασης $S_f = S_{fright}+S_{f\,left} = 0,25+0,25 = 0,50$.

Άρα ο συνολικός αριθμός άμεσων πληγμάτων προκύπτει $N_s = N*(1-S_f) = 23,15$ κεραυνοί/100km/έτος.

Επαγόμενα Βραχυκυκλώματα

Με βάση το σχήμα 4:3 βρίσκουμε τον αριθμό των επαγόμενων βραχυκυκλωμάτων ίσον με 3 και κάνουμε αναγωγή στην πυκνότητα των κεραυνών ($N_g = 3,65$) που υπολογίσαμε προηγουμένως. Δηλαδή 3*3,65 = 10,95 κεραυνοί/100km/έτος.

Ακόμη θεωρώντας την προσαύξηση της τάξης του 80% όπως εξηγήθηκε παραπάνω προκύπτει $N_i = 10,95*1,8 = 19,71$ κεραυνοί/100km/έτος.

Συνολικά Βραχυκυκλώματα

Τέλος από τον τύπο $N_{ολ} = N_s + N_i + N_p$ και για $N_p = 0$ έχουμε $N_{ολ} = 42,86$ κεραυνοί/100km/έτος.

Κάνοντας αναγωγή στο πραγματικό μήκος της γραμμής που είναι 38km βρίσκουμε $N_{ολ} = 16,29$ κεραυνοί/έτος συνολικά για τη γραμμή.

Παρακάτω συγκεντρώνονται τα αποτελέσματα σε πίνακα.

Πίνακας 4:3 Θεωρητικοί υπολογισμοί για την γραμμή R-23

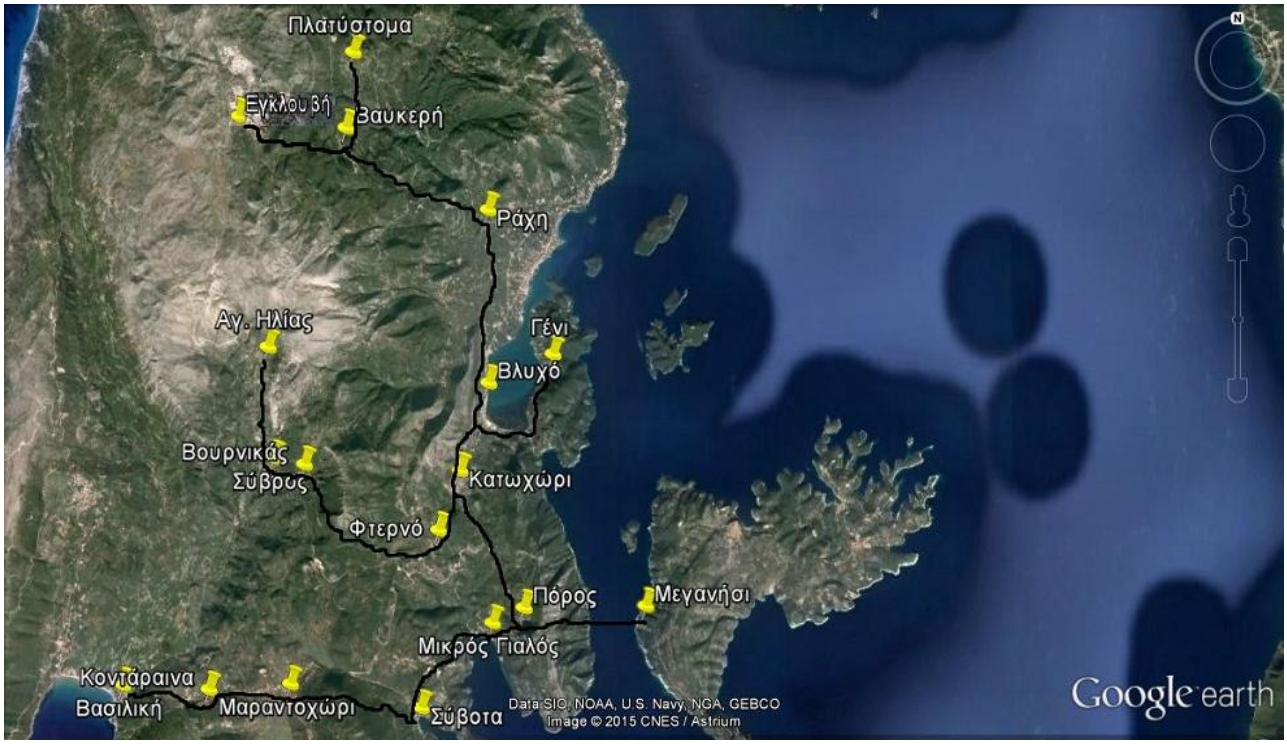
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΡΑΜΜΗ R-23		
Βραχυκυκλώματα από άμεσα πλήγματα	**Td (**ημέρες καταιγίδας/έτος)	37
	Ng (κεραυνοί/km^2/έτος)	3,65
	h (m)	12
	b (m)	2,5
	N	46,3
	S f-left	0,25
	S f-right	0,25
	S f	0,5
	Ns (βραχ/100km/έτος)	23,15
Επαγόμενα βραχυκυκλώματα	**Επαγόμενα**	3
	Αναγωγή στο GFD	10,95
	Ni (βραχ/100km/έτος)	19,71
Λοιπά βραχυκυκλώματα	**Np (**βραχ/100km/έτος)	0
Συνολικά βραχυκυκλώματα	**Νολ (**βραχ/100km/έτος)	42,86
	Συνολικό μήκος (km)	38
Συνολικά βραχυκυκλώματα-αναγωγή στο πραγματικό μήκος	**Νολ (**βραχ/έτος)	16,29

4.3.2 Γραμμή R-24

Η γραμμή R-24 καλύπτει κυρίως το νότιο και ανατολικό μέρος του νησιού. Ξεκινάει από τον υποσταθμό Πλατύστομα και τροφοδοτεί τους οικισμούς Βαυκερή, Εγκλουβή, Ράχη, Βλυχό, Γένι, Κατωχώρι, Πόρος, Μικρός Γιαλός, Μεγανήσι(μέσω υποβρυχίου καλωδίου), Φτερνό, Βουρνικάς, Σύβρος, Άγιος Ηλίας, Σύβοτα, Μαραντοχώρι, Κοντάραινα και τερματίζει έξω απ' τον οικισμό της Βασιλικής.
Σύμφωνα με το μονογραμμικό διάγραμμα της ΔΕΔΔΗΕ το συνολικό μήκος της γραμμής υπολογίστηκε στα 125km.

Το μεγαλύτερο μέρος της R-24 είναι θωρακισμένο από πλήγματα επειδή οδεύει κοντά σε βουνά (Μέγα όρος, Ελάτη) και ένα τμήμα της είναι υποθαλάσσιο ενώ μικρό τμήμα της διασχίζει οροπέδια καθώς επίσης και τους οικισμούς που τροφοδοτεί.

Παρακάτω ακολουθεί ο χάρτης με την όδευση της γραμμής R-24 όπως σχεδιάστηκε προσεγγιστικά με βάση το μονογραμμικό σχέδιο της ΔΕΔΔΗΕ και το πρόγραμμα google earth.



Εικόνα 4:5 Χάρτης με την όδευση της γραμμής R-24 [8]

Στη συνέχεια ακολουθούμε τη μεθοδολογία που περιγράφηκε παραπάνω για να υπολογίσουμε τον θεωρητικό αριθμό σφαλμάτων λόγω κεραυνών στη συγκεκριμένη γραμμή.

Άμεσα Βραχυκυκλώματα

Εκτιμούμε $T_d = 40$ ημέρες καταιγίδας ανά έτος για την περιοχή της Λευκάδας. Χρησιμοποιούμε τον τύπο $N_g = 0.04*T_d^{1.25}$ και υπολογίζουμε $N_g = 4,02$ κεραυνοί/km^2/έτος.

Από τον τύπο $N = N_g *\{(28*h^{0,6} + b)/10\}$ υπολογίζουμε $N = 51,00$ κεραυνοί/100km/έτος τον ρυθμό απορρόφησης κεραυνών σε ανοικτό έδαφος.

Υπολογίζουμε από προηγούμενο διάγραμμα τον παράγοντα σκίασης $S_f = S_{f\ right}+S_{f\ left} = 0,40+0,40 = 0,80$.

Άρα ο συνολικός αριθμός άμεσων πληγμάτων προκύπτει $N_s = N*(1-S_f) = 10,2$ κεραυνοί/100km/έτος.

Επαγόμενα Βραχυκυκλώματα

Με βάση το σχήμα 4:3 βρίσκουμε τον αριθμό των επαγόμενων βραχυκυκλωμάτων ίσον με 3 και κάνουμε αναγωγή στην πυκνότητα των κεραυνών ($N_g = 4,02$) που υπολογίσαμε προηγουμένως. Δηλαδή $3*4,02 = 12,06$ κεραυνοί/100km/έτος.

Ακόμη θεωρώντας την προσαύξηση της τάξης του 80% όπως εξηγήθηκε παραπάνω προκύπτει $N_i = 12,06*1,8 = 21,71$ κεραυνοί/100km/έτος.

Συνολικά Βραχυκυκλώματα

Τέλος από τον τύπο $N_{o\lambda} = N_s + N_i + N_p$ και για $N_p = 0$ έχουμε $N_{o\lambda} = 31,91$ κεραυνοί/100km/έτος.

Κάνοντας αναγωγή στο πραγματικό μήκος της γραμμής που είναι 125km βρίσκουμε $N_{o\lambda} = 39,89$ κεραυνοί/έτος συνολικά για τη γραμμή.

Παρακάτω συγκεντρώνονται τα αποτελέσματα σε πίνακα.

Πίνακας 4:4 Θεωρητικοί υπολογισμοί για την γραμμή R-24

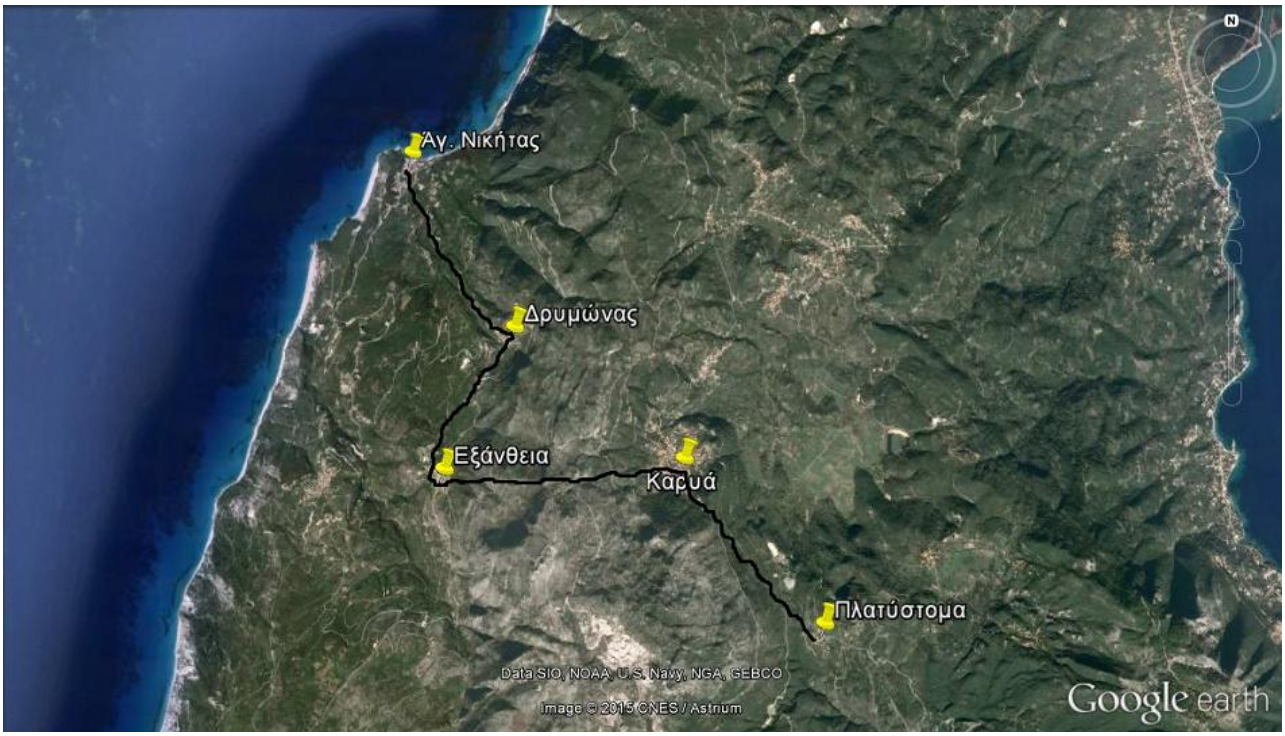
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΡΑΜΜΗ R-24		
Βραχυκυκλώματα από άμεσα πλήγματα	**Td (**ημέρες καταιγίδας/έτος)	40
	Ng (κεραυνοί/km^2/έτος)	4,02
	h (m)	12
	b (m)	2,5
	N	51
	S f-left	0,40
	S f-right	0,40
	S f	0,80
	Ns (βραχ/100km/έτος)	10,2
Επαγόμενα βραχυκυκλώματα	**Επαγόμενα**	3
	Αναγωγή στο GFD	12,06
	Ni (βραχ/100km/έτος)	21,71
Λοιπά βραχυκυκλώματα	**Np (**βραχ/100km/έτος)	0
Συνολικά βραχυκυκλώματα	**Νολ (**βραχ/100km/έτος)	31,91
	Συνολικό μήκος (km)	125
Συνολικά βραχυκυκλώματα-αναγωγή στο πραγματικό μήκος	**Νολ (**βραχ/έτος)	39,89

4.3.3 Γραμμή R-27

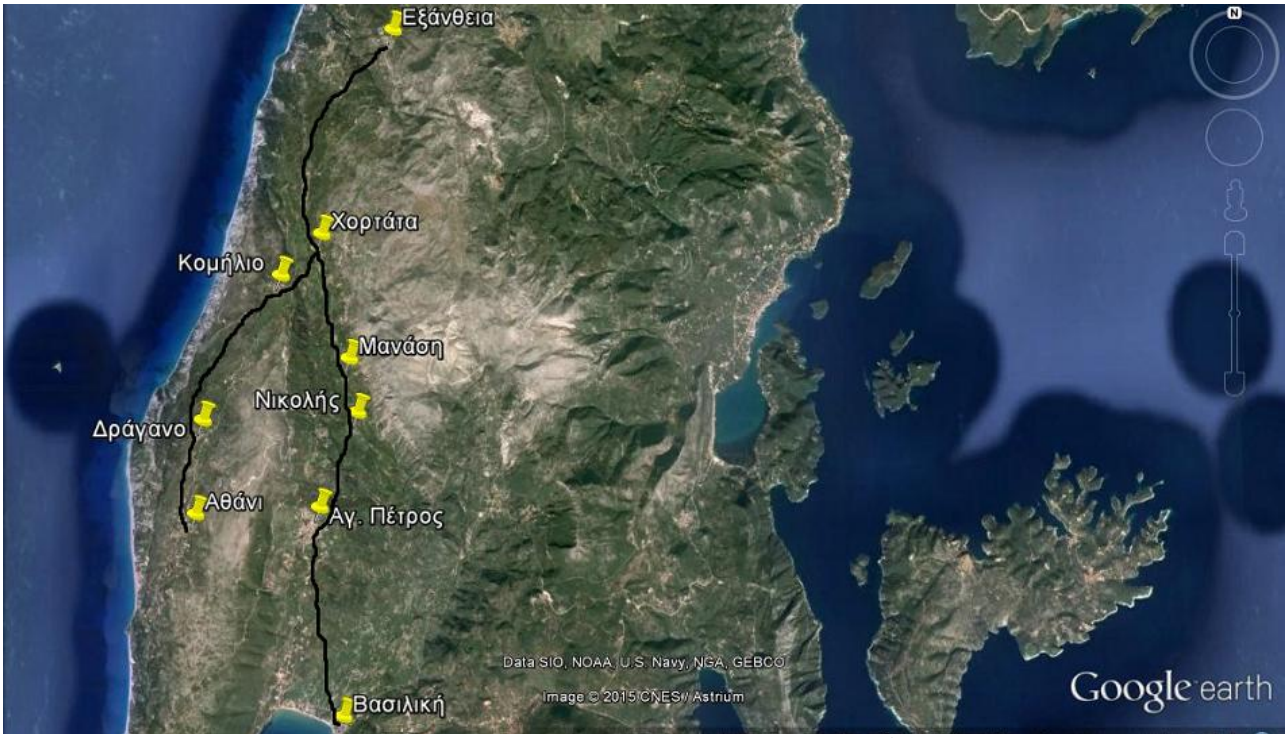
Η γραμμή R-27 καλύπτει ως επί το πλείστον το δυτικό και νότιο τμήμα της Λευκάδας. Ξεκινάει από τον υποσταθμό Πλατύστομα και τροφοδοτεί τους οικισμούς Καρυά, Εξάνθεια όπου διακλαδίζεται προς τα βόρεια του νησιού για τους οικισμούς Δρυμώνας και Άγιος Νικήτας και προς τα νότια τροφοδοτώντας απ' τη μία τους οικισμούς Χορτάτα, Μανάση, Νικολή, Άγιο Πέτρο και Βασιλική και απ' την άλλη τους οικισμούς Κομήλιο, Δράγανο και Αθάνι. Σύμφωνα με το μονογραμμικό διάγραμμα της ΔΕΔΔΗΕ το συνολικό μήκος της γραμμής υπολογίστηκε στα 104km.

Η γραμμή R-27 είναι προστατευμένη στο μεγαλύτερό της μέρος από πλήγματα επειδή οδεύει στους πρόποδες των βουνών Μέγα Όρος, Ελάτη και Μέγας Λάκκος, ενώ μικρό μέρος της διασχίζει καλλιεργήσιμες εκτάσεις και παραθαλάσσια τμήματα του νησιού.

Παρακάτω ακολουθεί ο χάρτης με την όδευση της γραμμής R-27 όπως σχεδιάστηκε προσεγγιστικά με βάση το μονογραμμικό σχέδιο της ΔΕΔΔΗΕ και το πρόγραμμα google earth.



Εικόνα 4:6 Χάρτης με την όδευση της γραμμής R-27 (1^{ο} τμήμα) [8]



Εικόνα 4:7 Χάρτης με την όδευση της γραμμής R-27 (2^{ο} τμήμα) [8]

Στη συνέχεια ακολουθούμε τη μεθοδολογία που περιγράφηκε παραπάνω για να υπολογίσουμε τον θεωρητικό αριθμό σφαλμάτων λόγω κεραυνών στη συγκεκριμένη γραμμή.

Άμεσα Βραχυκυκλώματα

Εκτιμούμε $T_d = 45$ ημέρες καταιγίδας ανά έτος για την περιοχή της Λευκάδας. Χρησιμοποιούμε τον τύπο $N_g = 0.04*T_d^{1.25}$ και υπολογίζουμε $N_g = 4,66$ κεραυνοί/km^2/έτος.

Από τον τύπο $N = N_g *\{(28*h^{0,6} + b)/10\}$ υπολογίζουμε $N = 59,11$ κεραυνοί/100km/έτος τον ρυθμό απορρόφησης κεραυνών σε ανοικτό έδαφος.

Υπολογίζουμε από προηγούμενο διάγραμμα τον παράγοντα σκίασης $S_f = S_{f\ right}+S_{f\ left} = 0,40+0,40 = 0,80$.

Άρα ο συνολικός αριθμός άμεσων πληγμάτων προκύπτει $N_s = N*(1-S_f) = 11,82$ κεραυνοί/100km/έτος.

Επαγόμενα Βραχυκυκλώματα

Με βάση το σχήμα 4:3 βρίσκουμε τον αριθμό των επαγόμενων βραχυκυκλωμάτων ίσον με 3 και κάνουμε αναγωγή στην πυκνότητα των κεραυνών ($N_g = 4,66$) που υπολογίσαμε προηγουμένως. Δηλαδή $3*4,66 = 13,98$ κεραυνοί/100km/έτος.

Ακόμη θεωρώντας την προσαύξηση της τάξης του 80% όπως εξηγήθηκε παραπάνω προκύπτει $N_i = 13,98*1,8 = 25,16$ κεραυνοί/100km/έτος.

Συνολικά Βραχυκυκλώματα

Τέλος από τον τύπο $N_{o\lambda} = N_s + N_i + N_p$ και για $N_p = 0$ έχουμε $N_{o\lambda} = 36,98$ κεραυνοί/100km/έτος.

Κάνοντας αναγωγή στο πραγματικό μήκος της γραμμής που είναι 104km βρίσκουμε $N_{o\lambda} = 38,46$ κεραυνοί/έτος συνολικά για τη γραμμή.

Παρακάτω συγκεντρώνονται τα αποτελέσματα σε πίνακα.

Πίνακας 4:5 Θεωρητικοί υπολογισμοί για την γραμμή R-27

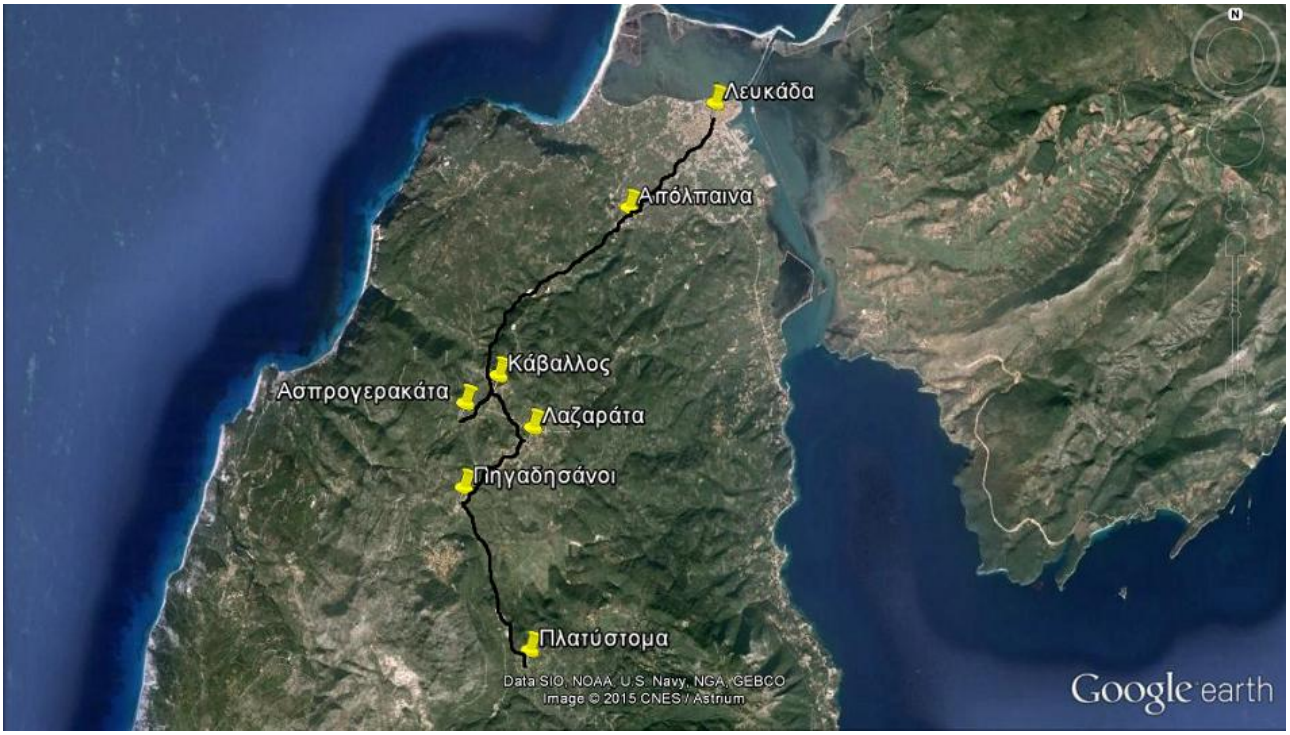
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΡΑΜΜΗ R-27		
Βραχυκυκλώματα από άμεσα πλήγματα	**Td (**ημέρες καταιγίδας/έτος)	45
	Ng (κεραυνοί/km^2/έτος)	4,66
	h (m)	12
	b (m)	2,5
	N	59,11
	S f-left	0,40
	S f-right	0,40
	S f	0,80
	Ns (βραχ/100km/έτος)	11,82
Επαγόμενα βραχυκυκλώματα	**Επαγόμενα**	3
	Αναγωγή στο GFD	13,98
	Ni (βραχ/100km/έτος)	25,16
Λοιπά βραχυκυκλώματα	**Np (**βραχ/100km/έτος)	0
Συνολικά βραχυκυκλώματα	**Νολ (**βραχ/100km/έτος)	36,98
	Συνολικό μήκος (km)	104
Συνολικά βραχυκυκλώματα-αναγωγή στο πραγματικό μήκος	**Νολ (**βραχ/έτος)	38,46

4.3.4 Γραμμή R-28

Η γραμμή R-28 καλύπτει το κεντρικό και βόρειο τμήμα του νησιού. Ξεκινάει από τον υποσταθμό Πλατύστομα και τροφοδοτεί κατά σειρά τα χωριά Πηγαδησάνοι, Λαζαράτα, Κάβαλλος, Ασπρογερακάτα, Απόλπαινα και καταλήγει στην πόλη της Λευκάδας. Σύμφωνα με το μονογραμμικό διάγραμμα της ΔΕΔΔΗΕ το συνολικό μήκος της γραμμής υπολογίστηκε στα 50km.

Η γραμμή R-28 στο μεγαλύτερο μέρος της διασχίζει καλλιεργήσιμες εκτάσεις και οροπέδια με λίγα δέντρα και καταλήγει στην πόλη της Λευκάδας όπου θωρακίζεται από κτίρια.

Παρακάτω ακολουθεί ο χάρτης με την όδευση της γραμμής R-28 όπως σχεδιάστηκε προσεγγιστικά με βάση το μονογραμμικό σχέδιο της ΔΕΔΔΗΕ και το πρόγραμμα google earth.



Εικόνα 4:8 Χάρτης με την όδευση της γραμμής R-28 [8]

Στη συνέχεια ακολουθούμε τη μεθοδολογία που περιγράφηκε παραπάνω για να υπολογίσουμε τον θεωρητικό αριθμό σφαλμάτων λόγω κεραυνών στη συγκεκριμένη γραμμή.

Άμεσα Βραχυκυκλώματα

Εκτιμούμε $T_d = 35$ ημέρες καταιγίδας ανά έτος για την περιοχή της Λευκάδας. Χρησιμοποιούμε τον τύπο $N_g = 0.04*T_d^{1.25}$ και υπολογίζουμε $N_g = 3,41$ κεραυνοί/km^2/έτος.

Από τον τύπο $N = N_g *\{(28*h^{0,6} + b)/10\}$ υπολογίζουμε $N = 43,26$ κεραυνοί/100km/έτος τον ρυθμό απορρόφησης κεραυνών σε ανοικτό έδαφος.

Υπολογίζουμε από προηγούμενο διάγραμμα τον παράγοντα σκίασης $S_f = S_{f\ right}+S_{f\ left} = 0,30+0,30 = 0,60$.

Άρα ο συνολικός αριθμός άμεσων πληγμάτων προκύπτει $N_s = N*(1-S_f) = 17,30$ κεραυνοί/100km/έτος.

Επαγόμενα Βραχυκυκλώματα

Με βάση το σχήμα 4:3 βρίσκουμε τον αριθμό των επαγόμενων βραχυκυκλωμάτων ίσον με 3 και κάνουμε αναγωγή στην πυκνότητα των κεραυνών ($N_g = 3,41$) που υπολογίσαμε προηγουμένως. Δηλαδή 3*3,41 = 10,23 κεραυνοί/100km/έτος.

Ακόμη θεωρώντας την προσαύξηση της τάξης του 80% όπως εξηγήθηκε παραπάνω προκύπτει $N_i = 10,23*1,8 = 18,41$ κεραυνοί/100km/έτος.

Συνολικά Βραχυκυκλώματα

Τέλος από τον τύπο $N_{ολ} = N_s + N_i + N_p$ και για $N_p = 0$ έχουμε $N_{ολ} = 35,71$ κεραυνοί/100km/έτος.

Κάνοντας αναγωγή στο πραγματικό μήκος της γραμμής που είναι 50km βρίσκουμε $N_{ολ} = 17,86$ κεραυνοί/έτος συνολικά για τη γραμμή.

Παρακάτω συγκεντρώνονται τα αποτελέσματα σε πίνακα.

Πίνακας 4:6 Θεωρητικοί υπολογισμοί για την γραμμή R-28

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΡΑΜΜΗ R-28		
Βραχυκυκλώματα από άμεσα πλήγματα	**Td (**ημέρες καταιγίδας/έτος)	35
	Ng (κεραυνοί/km^2/έτος)	3,41
	h (m)	12
	b (m)	2,5
	N	43,26
	S f-left	0,3
	S f-right	0,3
	S f	0,6
	Ns (βραχ/100km/έτος)	17,3
Επαγόμενα βραχυκυκλώματα	**Επαγόμενα**	3
	Αναγωγή στο GFD	10,23
	Ni (βραχ/100km/έτος)	18,41
Λοιπά βραχυκυκλώματα	**Np (**βραχ/100km/έτος)	0
Συνολικά βραχυκυκλώματα	**Νολ (**βραχ/100km/έτος)	35,71
	Συνολικό μήκος (km)	50
Συνολικά βραχυκυκλώματα-αναγωγή στο πραγματικό μήκος	**Νολ (**βραχ/έτος)	17,86

4.3.5 Γραμμή R-29

Η γραμμή R-29 καλύπτει το βόρειο τμήμα της Λευκάδας. Ξεκινάει από τον υποσταθμό Πλατύστομα και τροφοδοτεί κατά σειρά τους οικισμούς Τσουκαλάδες, Φρύνι και καταλήγει στην πόλη της Λευκάδας. Σύμφωνα με το μονογραμμικό διάγραμμα της ΔΕΔΔΗΕ το συνολικό μήκος της γραμμής υπολογίστηκε στα 50km.

Το μεγαλύτερο μέρος της R-29 διασχίζει οροπέδια και καλλιεργήσιμες εκτάσεις, έτσι είναι απροστάτευτη από πλήγματα, ενώ μικρό μέρος της καταλήγει στην πόλη της Λευκάδας όπου θωρακίζεται από κτίρια.

Παρακάτω ακολουθεί ο χάρτης με την όδευση της γραμμής R-29 όπως σχεδιάστηκε προσεγγιστικά με βάση το μονογραμμικό σχέδιο της ΔΕΔΔΗΕ και το πρόγραμμα google earth.



Εικόνα 4:9 Χάρτης με την όδευση της γραμμής R-29 [8]

Στη συνέχεια ακολουθούμε τη μεθοδολογία που περιγράφηκε παραπάνω για να υπολογίσουμε τον θεωρητικό αριθμό σφαλμάτων λόγω κεραυνών στη συγκεκριμένη γραμμή.

Άμεσα Βραχυκυκλώματα

Εκτιμούμε $T_d = 37$ ημέρες καταιγίδας ανά έτος για την περιοχή της Λευκάδας. Χρησιμοποιούμε τον τύπο $N_g = 0.04*T_d^{1.25}$ και υπολογίζουμε $N_g = 3,65$ κεραυνοί/km^2/έτος.

Από τον τύπο $N = N_g *\{(28*h^{0,6} + b)/10\}$ υπολογίζουμε $N = 46,30$ κεραυνοί/100km/έτος τον ρυθμό απορρόφησης κεραυνών σε ανοικτό έδαφος.

Υπολογίζουμε από προηγούμενο διάγραμμα τον παράγοντα σκίασης $S_f = S_{f\ right}+S_{f\ left} = 0,25+0,25 = 0,50$.

Άρα ο συνολικός αριθμός άμεσων πληγμάτων προκύπτει $N_s = N*(1-S_f) = 23,15$ κεραυνοί/100km/έτος.

Επαγόμενα Βραχυκυκλώματα

Με βάση το σχήμα 4:3 βρίσκουμε τον αριθμό των επαγόμενων βραχυκυκλωμάτων ίσον με 3 και κάνουμε αναγωγή στην πυκνότητα των κεραυνών ($N_g = 3,65$) που υπολογίσαμε προηγουμένως. Δηλαδή $3*3,65 = 10,95$ κεραυνοί/100km/έτος.

Ακόμη θεωρώντας την προσαύξηση της τάξης του 80% όπως εξηγήθηκε παραπάνω προκύπτει $N_i = 10,95*1,8 = 19,71$ κεραυνοί/100km/έτος.

Συνολικά Βραχυκυκλώματα

Τέλος από τον τύπο $N_{o\lambda} = N_s + N_i + N_p$ και για $N_p = 0$ έχουμε $N_{o\lambda} = 42,86$ κεραυνοί/100km/έτος.

Κάνοντας αναγωγή στο πραγματικό μήκος της γραμμής που είναι 50km βρίσκουμε $N_{o\lambda} = 21,43$ κεραυνοί/έτος συνολικά για τη γραμμή.

Παρακάτω συγκεντρώνονται τα αποτελέσματα σε πίνακα.

Πίνακας 4:7 Θεωρητικοί υπολογισμοί για την γραμμή R-29

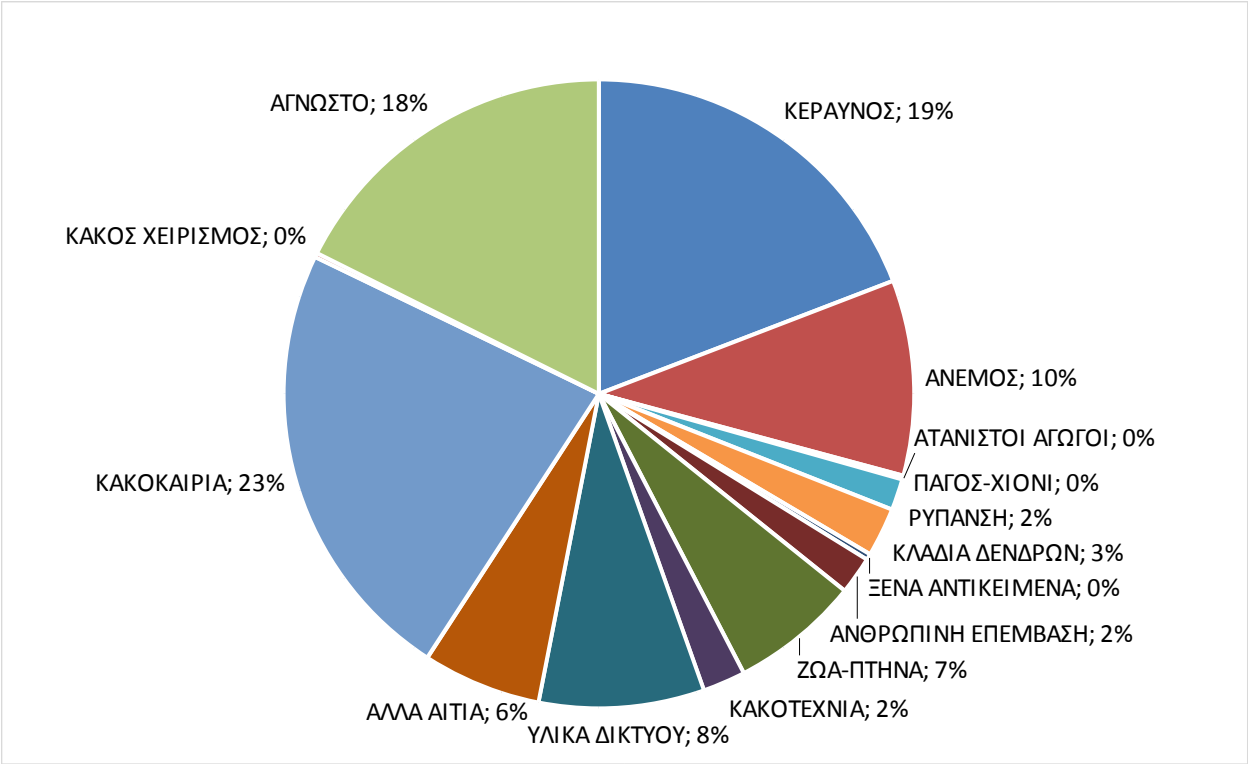
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΡΑΜΜΗ R-29		
Βραχυκυκλώματα από άμεσα πλήγματα	**Td (**ημέρες καταιγίδας/έτος)	37
	Ng (κεραυνοί/km^2/έτος)	3,65
	h (m)	12
	b (m)	2,5
	N	46,30
	S f-left	0,25
	S f-right	0,25
	S f	0,5
	Ns (βραχ/100km/έτος)	23,15
Επαγόμενα βραχυκυκλώματα	**Επαγόμενα**	3
	Αναγωγή στο GFD	10,95
	Ni (βραχ/100km/έτος)	19,71
Λοιπά βραχυκυκλώματα	**Np (**βραχ/100km/έτος)	0
Συνολικά βραχυκυκλώματα	**Νολ (**βραχ/100km/έτος)	42,86
	Συνολικό μήκος (km)	50
Συνολικά βραχυκυκλώματα-αναγωγή στο πραγματικό μήκος	**Νολ (**βραχ/έτος)	21,43

4.4 Παρουσίαση πραγματικών σφαλμάτων για τα έτη 2004-2013

Στο παρακάτω κεφάλαιο θα παρουσιασθούν αναλυτικά τα πραγματικά καταγεγραμμένα σφάλματα από κεραυνούς στο δίκτυο μέσης τάσης της Λευκάδας όπως αυτά έχουν συλλεγεί από τη βάση δεδομένων της ΔΕΔΔΗΕ.

Γενικά, σφάλματα στο δίκτυο μέσης τάσης συμβαίνουν από διάφορες αιτίες οι οποίες καταγράφονται στο Σημείωμα Αποκατάστασης Βλάβης (Σ.Α.Β.). Αυτές μπορεί να είναι Κεραυνός, Άνεμος, Ατάνυστοι αγωγοί, Πάγος-Χιόνι, Ρύπανση, Κλαδιά δένδρων, Ξένα αντικείμενα, Ανθρώπινη επέμβαση, Ζώα-Πτηνά, Κακοτεχνία, Υλικά δικτύου, Άλλα αίτια, Κακοκαιρία, Κακός χειρισμός και Άγνωστη.

Στο επόμενο γράφημα φαίνεται το ποσοστό όλων των αιτιών βλάβης για όλες της γραμμές μέσης τάσης. Όπως παρατηρούμε ο κεραυνός αποτελεί την δεύτερη πιο συχνή αιτία πρόκλησης βλαβών στο δίκτυο με ποσοστό 19%.



Εικόνα 4:10 Αιτίες πρόκλησης βλαβών σε όλες τις γραμμές μέσης τάσης

Στη συνέχεια παρουσιάζονται σε πίνακες τα πραγματικά σφάλματα μόνο από κεραυνούς για την κάθε γραμμή ξεχωριστά για το σύνολο των ετών 2004-2013.

Πίνακας 4:8 Πραγματικά σφάλματα από κεραυνούς ανά έτος για την γραμμή R-23

ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΑΠΟ ΚΕΡΑΥΝΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΡΑΜΜΗ R-23	
ΕΤΟΣ	*ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ*
2004	6
2005	10
2006	12
2007	6
2008	10
2009	11
2010	4
2011	10
2012	15
2013	18
ΣΥΝΟΛΟ	102
Μ.Ο.	10,2

Πίνακας 4:9 Πραγματικά σφάλματα από κεραυνούς ανά έτος για την γραμμή R-24

ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΑΠΟ ΚΕΡΑΥΝΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΡΑΜΜΗ R-24	
ΕΤΟΣ	*ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ*
2004	27
2005	26
2006	19
2007	33
2008	13
2009	34
2010	19
2011	34
2012	25
2013	31
ΣΥΝΟΛΟ	261
Μ.Ο.	26,1

Πίνακας 4:10 Πραγματικά σφάλματα από κεραυνούς ανά έτος για την γραμμή R-27

ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΑΠΟ ΚΕΡΑΥΝΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΡΑΜΜΗ R-27	
ΕΤΟΣ	*ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ*
2004	31
2005	21
2006	29
2007	36
2008	47
2009	38
2010	38
2011	27
2012	55
2013	40
ΣΥΝΟΛΟ	362
Μ.Ο.	36,2

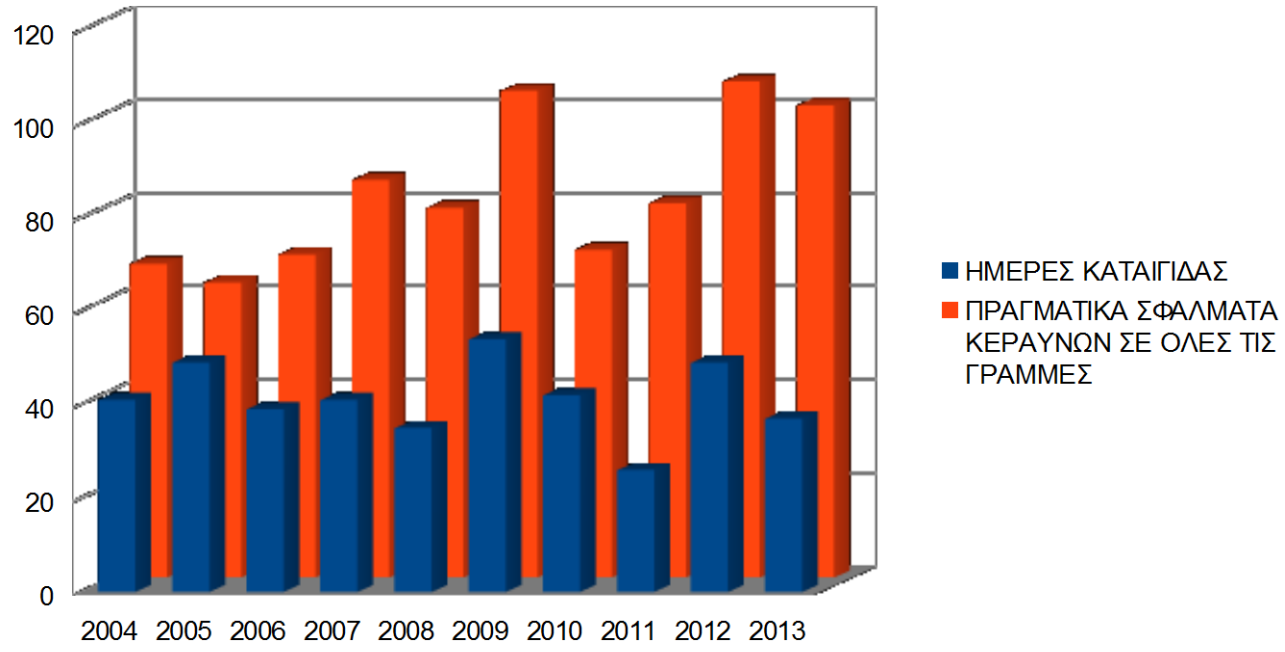
Πίνακας 4:11 Πραγματικά σφάλματα από κεραυνούς ανά έτος για την γραμμή R-28

ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΑΠΟ ΚΕΡΑΥΝΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΡΑΜΜΗ R-28	
ΕΤΟΣ	*ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ*
2004	2
2005	5
2006	5
2007	7
2008	3
2009	9
2010	6
2011	8
2012	4
2013	7
ΣΥΝΟΛΟ	56
Μ.Ο.	5,6

Πίνακας 4:12 Πραγματικά σφάλματα από κεραυνούς ανά έτος για την γραμμή R-29

ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΑΠΟ ΚΕΡΑΥΝΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΡΑΜΜΗ R-29	
ΕΤΟΣ	*ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ*
2004	1
2005	1
2006	4
2007	3
2008	6
2009	12
2010	3
2011	1
2012	7
2013	5
ΣΥΝΟΛΟ	43
Μ.Ο.	4,3

Παρακάτω παρουσιάζεται το γράφημα που συγκρίνει τις ημέρες καταιγίδας στη Λευκάδα με τα πραγματικά σφάλματα από κεραυνούς στις γραμμές μέσης τάσης για τα έτη 2004 – 2013.

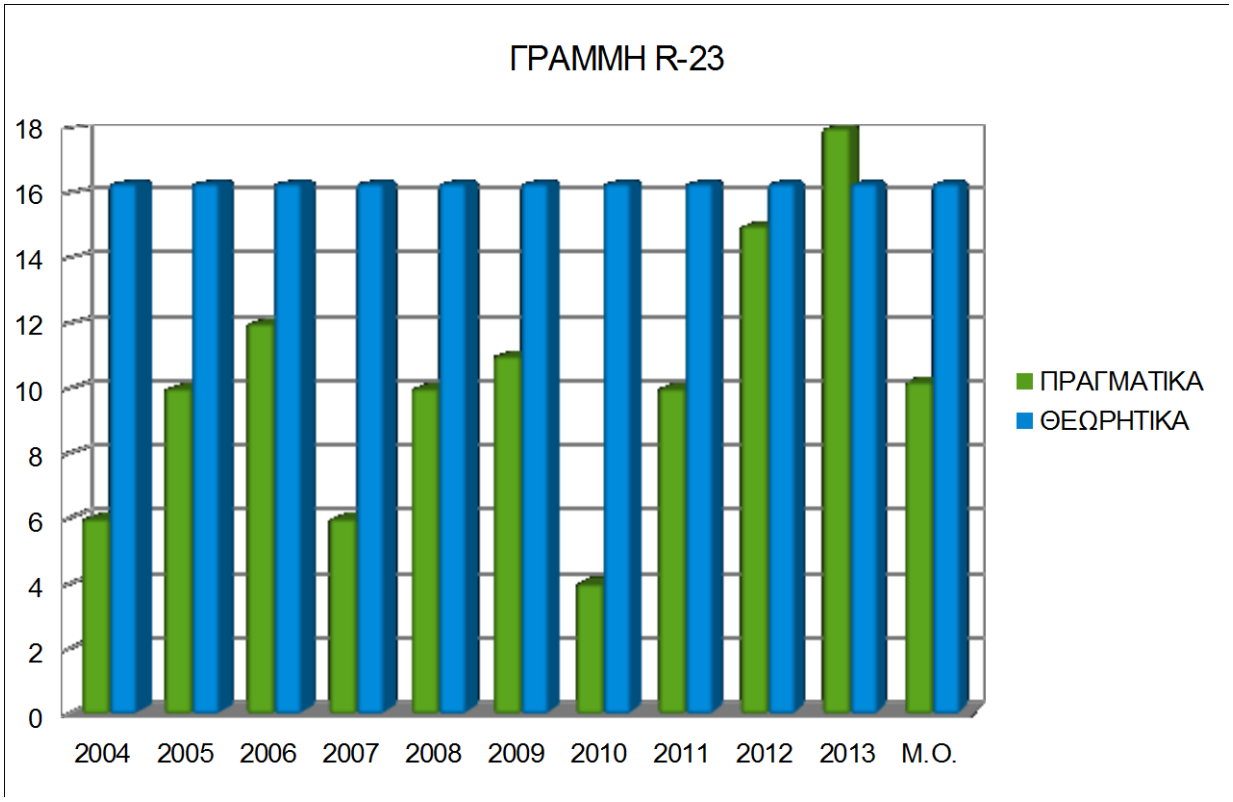


Εικόνα 4:11 Σύγκριση ημερών καταιγίδας και σφαλμάτων από κεραυνούς ανά έτος

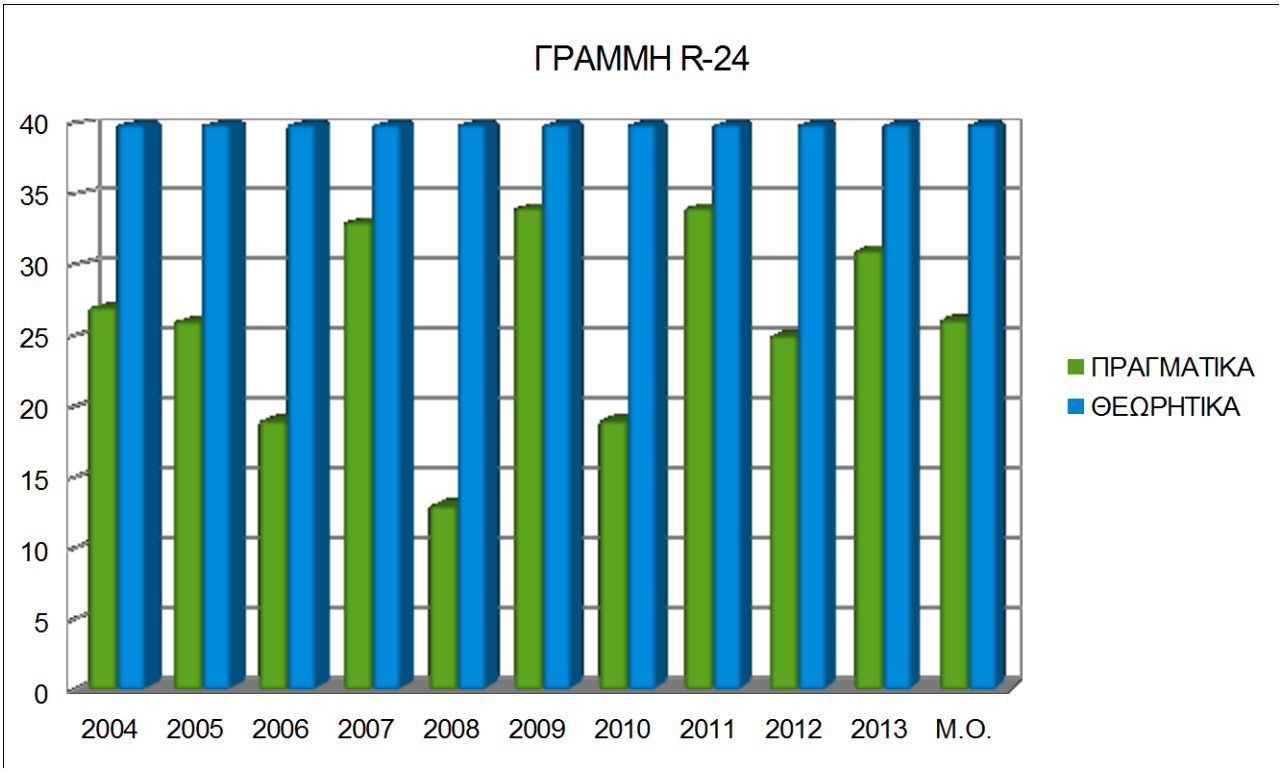
Ως ένα πρώτο σχόλιο, παρατηρούμε ότι στα έτη που έχουμε τις περισσότερες ημέρες καταιγίδας (π.χ. 2009, 2012) έχουμε και μια ανάλογη αύξηση των σφαλμάτων από κεραυνικά πλήγματα, γεγονός που κρίνεται φυσιολογικό αφού κατά τη διάρκεια των καταιγίδων υπάρχει έντονη κεραυνική δραστηριότητα. Βέβαια υπάρχουν και οι εξαιρέσεις (π.χ. 2011, 2013) που ίσως να οφείλονται σε εσφαλμένη καταγραφή των κεραυνικών πληγμάτων από τους υπαλλήλους της ΔΕΔΔΗΕ.

4.5 Σύγκριση θεωρητικών – πραγματικών σφαλμάτων

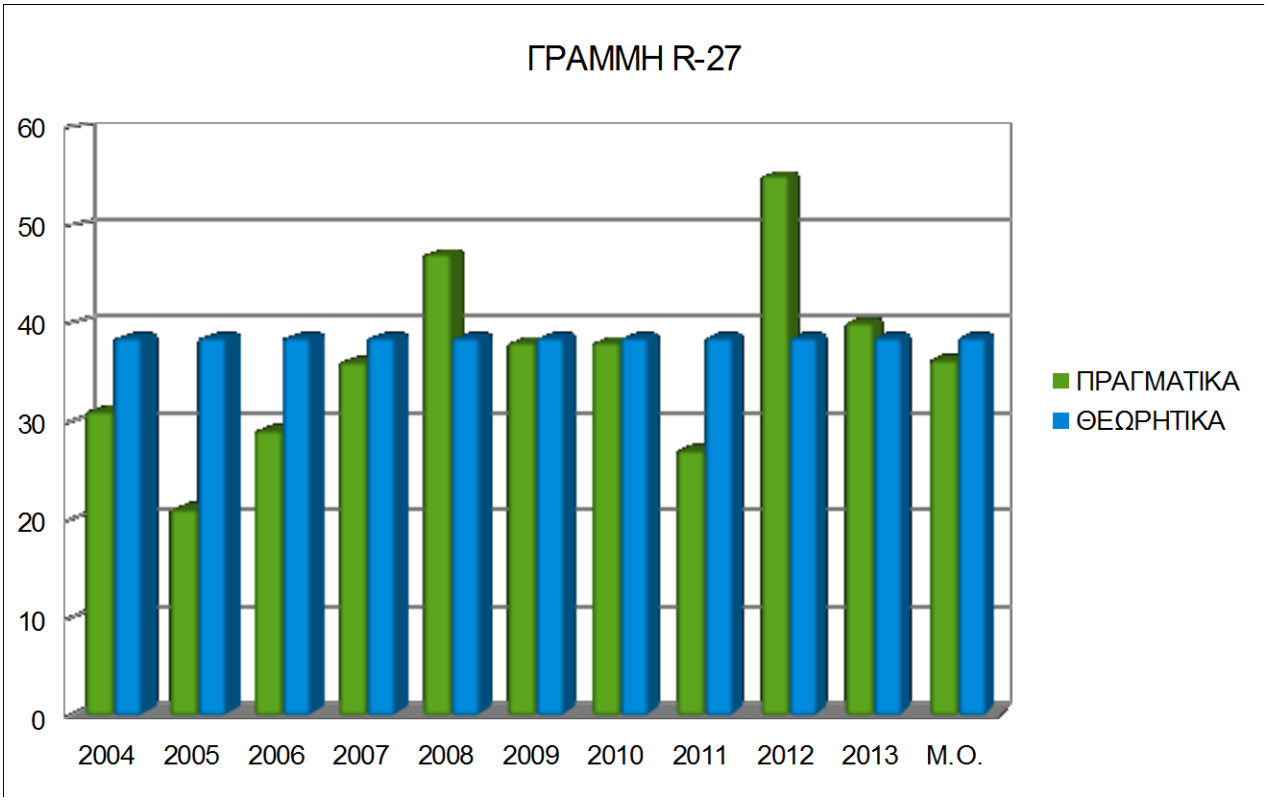
Σ' αυτήν την ενότητα θα συγκρίνουμε τις θεωρητικές τιμές σφαλμάτων από κεραυνούς που υπολογίσαμε πιο πάνω με τις πραγματικές τιμές που παρουσιάσαμε πιο πριν, σε μορφή ραβδογραμμάτων, με σκοπό την μελέτη τους και την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.



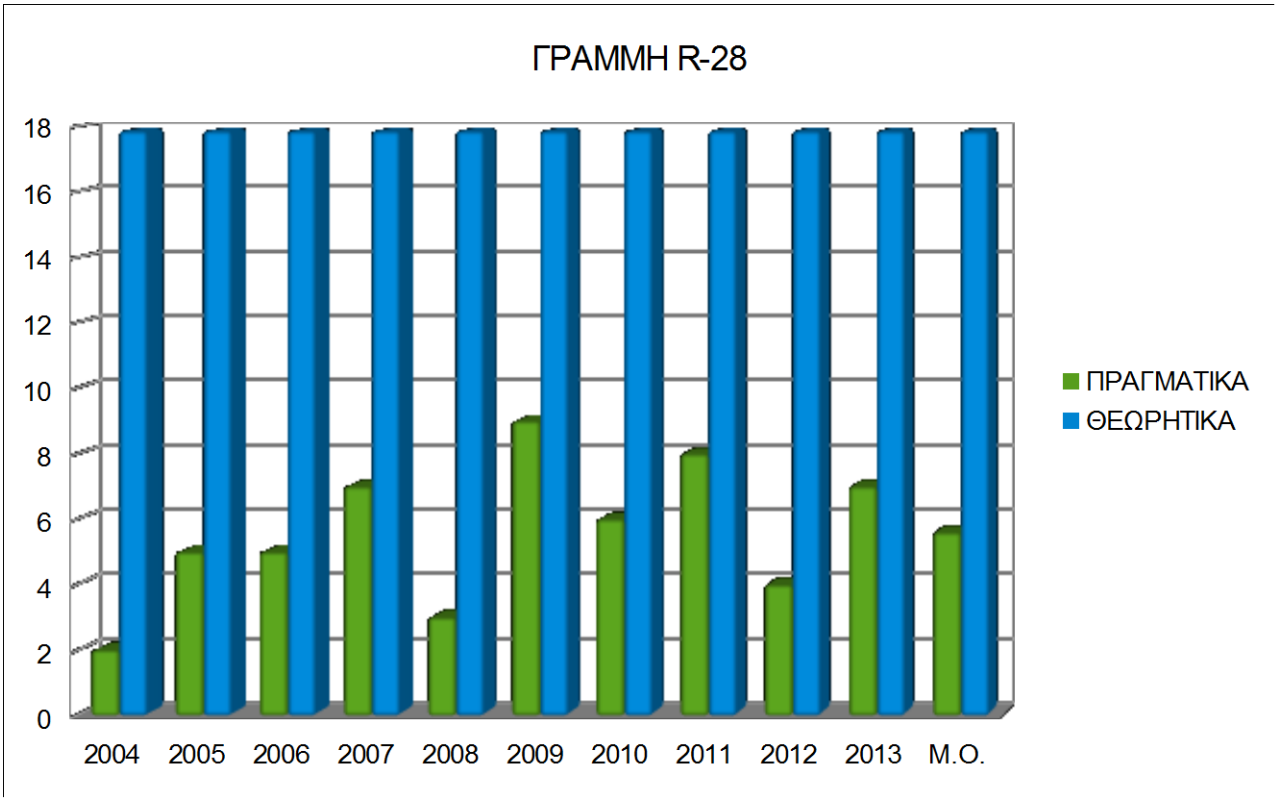
Εικόνα 4:12 Σύγκριση πραγματικών-θεωρητικών σφαλμάτων από κεραυνούς ανά έτος για την γραμμή R-23



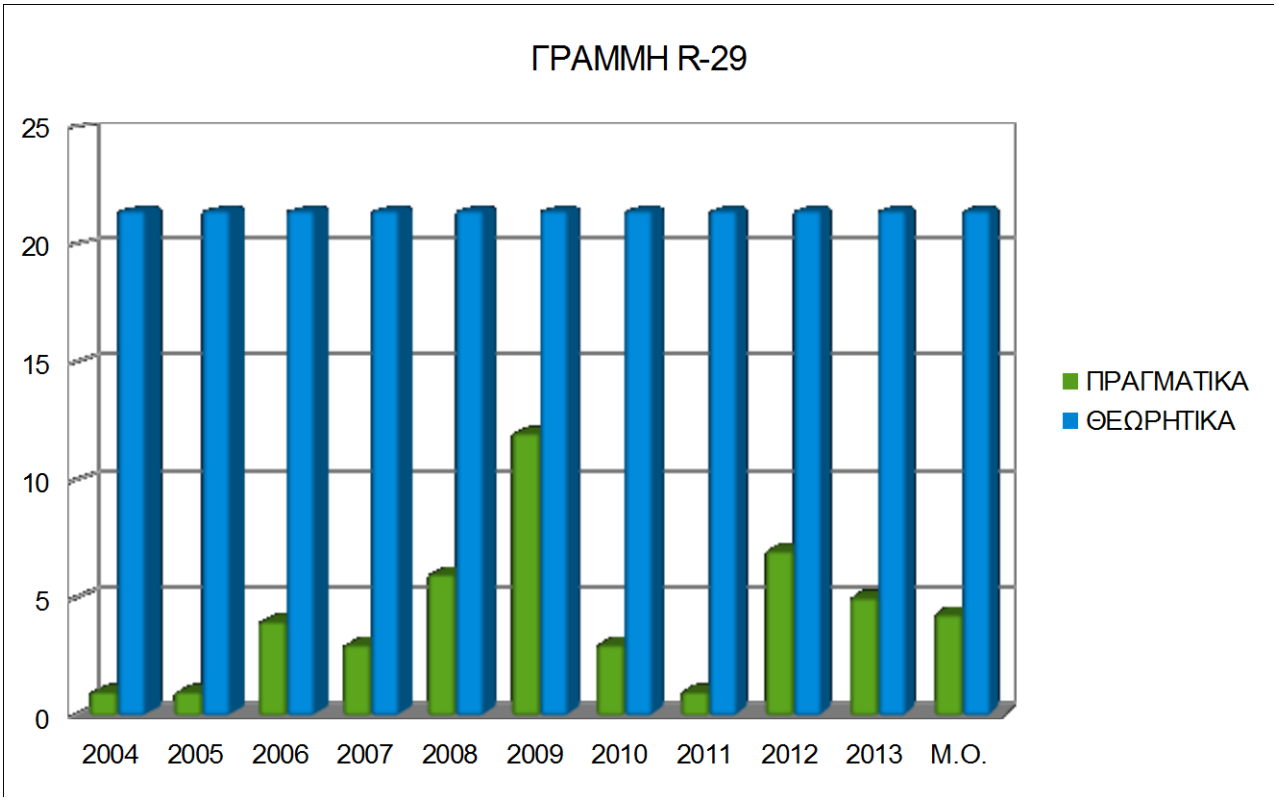
Εικόνα 4:13 Σύγκριση πραγματικών-θεωρητικών σφαλμάτων από κεραυνούς ανά έτος για την γραμμή R-24



Εικόνα 4:14 Σύγκριση πραγματικών-θεωρητικών σφαλμάτων από κεραυνούς ανά έτος για την γραμμή R-27



Εικόνα 4:15 Σύγκριση πραγματικών-θεωρητικών σφαλμάτων από κεραυνούς ανά έτος για την γραμμή R-28



Εικόνα 4:16 Σύγκριση πραγματικών-θεωρητικών σφαλμάτων από κεραυνούς ανά έτος για την γραμμή R-29

Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται και ο παρακάτω πίνακας που δείχνει την ποσοστιαία διαφορά μεταξύ θεωρητικών και πραγματικών πληγμάτων μόνο από κεραυνούς για κάθε γραμμή.

Πίνακας 4:13 Σύγκριση θεωρητικών-πραγματικών σφαλμάτων από κεραυνούς για κάθε γραμμή

ΓΡΑΜΜΗ	ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ	ΔΙΑΦΟΡΑ	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ
R-23	16,29	10,2	6,09	37,38%
R-24	39,89	26,1	13,79	34,57%
R-27	38,46	36,2	2,26	5,88%
R-28	17,86	5,6	12,26	68,65%
R-29	21,43	4,3	17,13	79,93%

Όπως παρατηρούμε στις γραμμές R-24 και R-27 καταγράφονται τα περισσότερα με διαφορά σφάλματα από κεραυνικά πλήγματα σε σχέση με τις υπόλοιπες γραμμές. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι αυτές είναι αφ' ενός μεν οι μεγαλύτερες γραμμές σε μήκος, αφ' ετέρου δε οι περιοχές της Λευκάδας που διασχίζουν έχουν τις περισσότερες ημέρες καταιγίδων με ανάλογη αύξηση των κεραυνικών πληγμάτων. Αντίθετα, οι γραμμές R-28 και R-29 έχουν τα λιγότερα

καταγεγραμμένα σφάλματα αφού είναι γραμμές που οδεύουν στο βόρειο τμήμα του νησιού όπου δέχεται και τις λιγότερες καταιγίδες.

Τέλος, θα προσθέσουμε στα σφάλματα από κεραυνούς και τα σφάλματα από κακοκαιρία, όπως έχουν καταγραφεί στη βάση δεδομένων της ΔΕΔΔΗΕ αφού όμως κρατήσουμε μόνο εκείνα τα σφάλματα για τα οποία η ημέρα καταγραφής τους αναφέρεται από τον μετεωρολογικό ιστότοπο freemeteo.gr ως ημέρα καταιγίδας. Έτσι θα τα συγκρίνουμε με τα θεωρητικά σφάλματα που υπολογίσαμε παραπάνω.

Προκύπτουν λοιπόν ανά έτος για όλες τις γραμμές διανομής συνολικά:

2004: *53* σφάλματα από κακοκαιρία + *67* σφάλματα από κεραυνούς *=120* σφάλματα
2005: *84* σφάλματα από κακοκαιρία + *63* σφάλματα από κεραυνούς *=147* σφάλματα
2006: *52* σφάλματα από κακοκαιρία + *69* σφάλματα από κεραυνούς *=121* σφάλματα
2007: *59* σφάλματα από κακοκαιρία + *85* σφάλματα από κεραυνούς *=144* σφάλματα
2008: *45* σφάλματα από κακοκαιρία + *79* σφάλματα από κεραυνούς *=124* σφάλματα
2009: *66* σφάλματα από κακοκαιρία + *104* σφάλματα από κεραυνούς *=170* σφάλματα
2010: *24* σφάλματα από κακοκαιρία + *70* σφάλματα από κεραυνούς *=94* σφάλματα
2011: *61* σφάλματα από κακοκαιρία + *80* σφάλματα από κεραυνούς *=141* σφάλματα
2012: *51* σφάλματα από κακοκαιρία + *106* σφάλματα από κεραυνούς *=157* σφάλματα
2013: *70* σφάλματα από κακοκαιρία + *101* σφάλματα από κεραυνούς *=171* σφάλματα

Ο μέσος όρος που υπολογίζεται από τα παραπάνω δεδομένα είναι:
M.O. = (120+147+121+144+124+170+94+141+157+171) σφάλματα / 10 έτη
= 1389 / 10
= ***138,9 σφάλματα / έτος***

Τα αντίστοιχα θεωρητικά σφάλματα για όλες τις γραμμές μέσης τάσης είναι:

M.O. = 16,29+39,89+38,46+17,86+21,43 σφάλματα/έτος
= ***133,93 σφάλματα / έτος***

Συγκρίνοντας τους μέσους όρους, πραγματικών σφαλμάτων (από κακοκαιρία και κεραυνούς μαζί) με τα θεωρητικά σφάλματα, παρατηρούμε ότι οι δύο τιμές διαφέρουν πολύ λίγο, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι η θεωρητική ανάλυση των σφαλμάτων που προηγήθηκε ανταποκρίνεται αρκετά καλά στην πραγματικότητα και προσεγγίζει με σχετικά μεγάλη ακρίβεια τα πραγματικά καταγεγραμμένα σφάλματα.

4.6 Συμπεράσματα

Από τις συγκρίσεις που έγιναν στην παραπάνω ενότητα συμπεραίνουμε ότι σε όλες τις γραμμές μέσης τάσης τα θεωρητικά σφάλματα είναι περισσότερα από τα καταγεγραμμένα πραγματικά σφάλματα. Οι αποκλίσεις που παρατηρούνται δικαιολογούνται από τους εξής λόγους:

- Στο θεωρητικό μοντέλο που χρησιμοποιήσαμε για τον υπολογισμό των σφαλμάτων η εκτίμηση του συντελεστή σκίασης S_f έγινε με καθαρά υποκειμενικά κριτήρια με βάση το μονογραμμικό σχέδιο της ΔΕΔΔΗΕ και το πρόγραμμα google earth. Κανονικά θα έπρεπε να εξετάσουμε κάθε περιοχή που οδεύει η γραμμή ξεχωριστά για να εξάγουμε τον συντελεστή σκίασης, πράγμα που κρίνεται δύσκολο λόγω του μεγάλου μήκους των γραμμών αλλά και της μορφολογίας της Λευκάδας και ειδικά στο δυτικό τμήμα του νησιού που είναι ορεινό και δύσβατο.

- Ακόμη, οι κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν είναι ένας αστάθμητος παράγοντας και αυτό έχει ως συνέπεια η εκτίμηση του συντελεστή T_d να γίνει προσεγγιστικά. Από τα δεδομένα που αντλήθηκαν από τον ιστότοπο freemeteo.gr υπολογίστηκε ένας μέσος όρος ημερών καταιγίδας για όλο το νησί, ενώ στους θεωρητικούς υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκαν, κατά προσέγγιση, διαφορετικοί συντελεστές T_d ,κοντά στο μέσο όρο, ανάλογα με την περιοχή που οδεύει κάθε γραμμή.

- Επίσης και ο ανθρώπινος παράγοντας συμβάλλει στην διαφοροποίηση των πραγματικών από τα θεωρητικά σφάλματα, αφού οι τεχνικοί της ΔΕΔΔΗΕ που συμπληρώνουν το Σημείωμα Αποκατάστασης Βλάβης (ΣΑΒ) δεν είναι ποτέ παρόντες την ώρα του σφάλματος για να είναι απόλυτα σίγουροι για το αίτιο που προκάλεσε το σφάλμα, οπότε πολλά κεραυνικά πλήγματα τα καταγράφουν ως Άλλα αίτια, Κακοκαιρία ή Άγνωστο.

- Τέλος ο θεωρητικός υπολογισμός των σφαλμάτων από κεραυνούς έγινε για γραμμές μέσης τάσης που δεν έχουν προστατευτικές διατάξεις που μπορούν να αποτρέψουν τις βλάβες από κεραυνικά πλήγματα. Στην πραγματικότητα όμως οι γραμμές μέσης τάσης είναι καλοσχεδιασμένες και διαθέτουν ως ελάχιστη προστασία εκτροπείς υπερτάσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Βοβός Ν. , Γιαννακόπουλος Γ. (2007) Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών.

[2] Lightning Volume 1: Physics of Lightning, R. H. Golde (1977). Academic Press INC (London) LTD.

[3] IEEE Std 1410-1997, IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines.

[4] Ιστότοπος www.lefkadamap.gr

[5] Ιστότοπος www.freemeteo.gr

[6] ΔΕΗ (Δεκέμβριος 1985) Τυποποιημένες Κατασκευές Διανομής, Έκδοση 1η

[7] Πυργιώτη Ε. (2009) Υψηλές Τάσεις και Υπερτάσεις στα Δίκτυα Ηλεκτρικής Ενέργειας. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών.

[8] Πρόγραμμα γραφικής απεικόνισης της Γης Google Earth.