

30/10/2013

ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΣΤΕ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε

Η ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΗ ΜΕ
ΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΑΛΕΞΙΚΕΡΑΥΝΩΝ ΠΡΩΙΜΟΥ ΟΧΕΤΟΥ.

Σύγκριση συμβατικής ακίδας Franklin με την ακίδα τύπου ESE

Λιώλης Χρήστος
Αντωνόπουλος Αριστείδης

Επιβλέπων καθηγητής : Χαραλαμπάκος Βασίλειος

Πάτρα 2014

Πρόλογος

Το παρακάτω αρχείο αποτελεί την πτυχιακή μας εργασία, που εκπονήθηκε στα πλαίσια της βιβλιογραφικής μας έρευνας σχετικά με την αντικεραυνική προστασία των κτηρίων και των κτισμάτων. Αυτό το αντικείμενο υπάγεται στον γενικότερο κλάδο των υψηλών τάσεων που έχουμε διδαχτεί στο τμήμα Ηλεκτρολογίας του ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ.

Ο στόχος αυτής της εργασίας είναι να καταγράψει και να επαληθεύσει, (η όχι) τις συγκριτικά περαιτέρω δυνατότητες που υπόσχονται να προσφέρουν οι νέες τεχνολογίες στον κλάδο των αλεξικέραυνων, σε αντίθεση με την συμβατική προστασία τύπου ακίδων FRANKLIN.

Έτσι στο πρώτο κεφάλαιο δίνεται μια εισαγωγή στο ατμοσφαιρικό φαινόμενο του κεραυνού, από τη σκοπιά των βασικών χαρακτηριστικών τους, των μεγεθών που τα ακολουθούν, τον τρόπο που διαδίδονται στο έδαφος, την συχνότητα που πλήττουν περιοχές και κτίσματα καθώς και τις διαφορές ενεργειακές συνέπειες που προκαλούν μετά από κάθε χτύπημα τους κοκ.

Στο δεύτερο κεφάλαιο ασχολούμαστε με την συμβατική αντικεραυνική προστασία που μας παρέχουν οι ακίδες τύπου Franklin, ξεκινώντας από την ανάγκη που υπάρχει να προστατευόμαστε από το εν λόγω φαινόμενο, τον τρόπο που αυτό το σύστημα διαμορφώνεται, την εύρεση της περιοχής προστασίας και της ισοδύναμης επιφάνειας κατασκευής.

Το τρίτο κεφάλαιο μας παρουσιάζει τα Αλεξικέραυνα Πρώιμου Οχετού (ESE) ,όπου βλέπουμε αυτήν την αναζήτηση για αποτελεσματικότερα συστήματα σύλληψης και εκτόνωσης του κεραυνού τα τελευταία χρόνια. Σε αυτό το κεφάλαιο δίνεται μια πρώτη επί της ουσίας γνωριμία με την αρχή λειτουργίας αυτής της τεχνολογίας , τα επί μέρους εξαρτήματα που τα αποτελούν με πλούσιο και αναλυτικό φωτογραφικό υλικό και σχολιασμό. Επίσης προΐδεαζόμαστε για τον τρόπο που οι κατασκευαστές υπόσχονται καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με τις συμβατικές μεθόδους προστασίας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο εισερχόμαστε στην επιστημονική έρευνα μέσω πειραμάτων που έχουν υλοποιηθεί τόσο στα ραδιενεργά αλεξικέραυνα παλιότερα ,όσο και στην αρχή λειτουργίας των αλεξικέραυνων τύπου ESE.

Το πέμπτο κεφάλαιο αποτελεί μεταξύ άλλων κομμάτι της προσωπικής μας επαφής με τα ESE έπειτα από αυτοψία που πραγματοποιήσαμε στην περιοχή της Πάτρας σε μια τέτοια κατασκευή. Επίσης διερευνώντας την σχετική με το αντικείμενο βιβλιογραφία παραθέτουμε μερικές κατασκευές που τα αλεξικέραυνα αυτού του είδους δεν επιβεβαίωσαν την πολύφερνη φήμη τους και συμπεριφέρθηκαν όπως τα συμβατικά.

Στο έκτο κεφάλαιο ασχολούμαστε με την διαμάχη που ξέσπασε στην επιστημονική κοινότητα για το αν όντως είναι χρησιμότερη η τεχνολογία αυτή από την συμβατική, ξεκινώντας με μία μίνι ιστορική αναδρομή στις σχετικές έρευνες και τα πορίσματα γύρω από τα πρότυπα που αναπτύχθηκαν για να τα υποστηρίξουν τις τελευταίες δεκαετίες.

Το έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζει ιδιαίτερη σημασία για την έκβαση του τελικού μας συμπεράσματος στο όγδοο κεφάλαιο, καθώς εμπεριέχει μια εργασία πολύ ενδιαφέρουσα για το εάν όντως τελικά τα αλεξικέραυνα πρώιμου οχετού είναι πιο χρήσιμα η έστω προς τη σωστή κατεύθυνση από την ημέρα που ξεκίνησε η έρευνα και η παραγωγή τους.

Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον επίκουρο καθηγητή της Ηλεκτρολογίας του ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ κύριο Βασίλειο Χαραλαμπάκο , χωρίς την παρουσία του οποίου θα ήταν αδύνατη η περάτωση της πτυχιακής μας εργασίας. Επίσης νιώθουμε ιδιαίτερη ανάγκη να ευχαριστήσουμε εγκάρδια τον Διδάκτορα του ΑΠΘ Τσοβίλη Θωμά για την αδιάλειπτη υποστήριξη που μας παρείχε τόσο στην εύρεση ,όσο και στην αξιολόγηση και ιεράρχηση του υλικού που ήρθε στα χέρια μας καθ' όλη την διάρκεια της έρευνας μας, βοηθώντας μας να παρουσιάσουμε το αποτέλεσμα που κρατάτε στα χέρια σας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Ηλεκτρικά ατμοσφαιρικά φαινόμενα	7
1.1.1. Εισαγωγή στους κεραυνούς.....	7
1.1.2. Ορισμοί γύρω από τα μεγέθη των κεραυνών.....	8
1.1.3. Είδη κεραυνών.....	8
1.1.4. Φυσικά χαρακτηριστικά κεραυνού –Εργαστηριακή εξομοίωση.....	10
1.1.5. Μηχανισμός των ατμοσφαιρικών εκκενώσεων.....	11
1.1.5 (α) Έναρξη εκκένωσης κεραυνού.....	11
1.1.5 (β) Η φάση του οχετού επιστροφής.....	11
1.1.5 (γ) Συνδετικός οχετός, Απόσταση Διάσπασης, Αρχή λειτουργίας Αλεξικέραυνων.....	12
1.1.6 Ρεύμα κεραυνού σχετικοί παράμετροι.....	13
1.1.7 Συχνότητα με την οποία συμβαίνουν κεραυνοί.....	15
1.1.8 Συχνότητα με την οποία συμβαίνουν κεραυνοί σε κτίσματα.....	17
1.2 Συνέπειες πληγμάτων κεραυνών	19
1.2.1 Θερμικές συνέπειες.....	19
1.2.2 Μηχανικές συνέπειες πληγμάτων.....	21
1.2.3 Ηλεκτρικές συνέπειες ενός πλήγματος κεραυνού.....	22
2. Συμβατική Αντικεραυνική Προστασία	23
2.1.1 Η Ανάγκη προστασίας ενός συστήματος προστασίας (ΣΑΠ).....	23
2.1.2 Η διαμόρφωση ενός συστήματος προστασίας, <i>Τεχνική ηλεκτρογεωμετρικής</i>	23
2.2.1 Εισαγωγή στα συμβατικά Αλεξικέραυνα.....	25
2.2.2 Εύρεση περιοχής προστασίας και ισοδύναμη επιφάνειας κατασκευής.....	26
3. Αλεξικέραυνα πρώιμου οχετού	31
3.1 Καταγραφή μεθόδων Αντικεραυνικής Προστασίας.....	31
3.2 Εισαγωγή στα αλεξικέραυνα πρώιμου οχετού.....	31
3.2.1 Τύποι Αλεξικέραυνων ESE.....	32

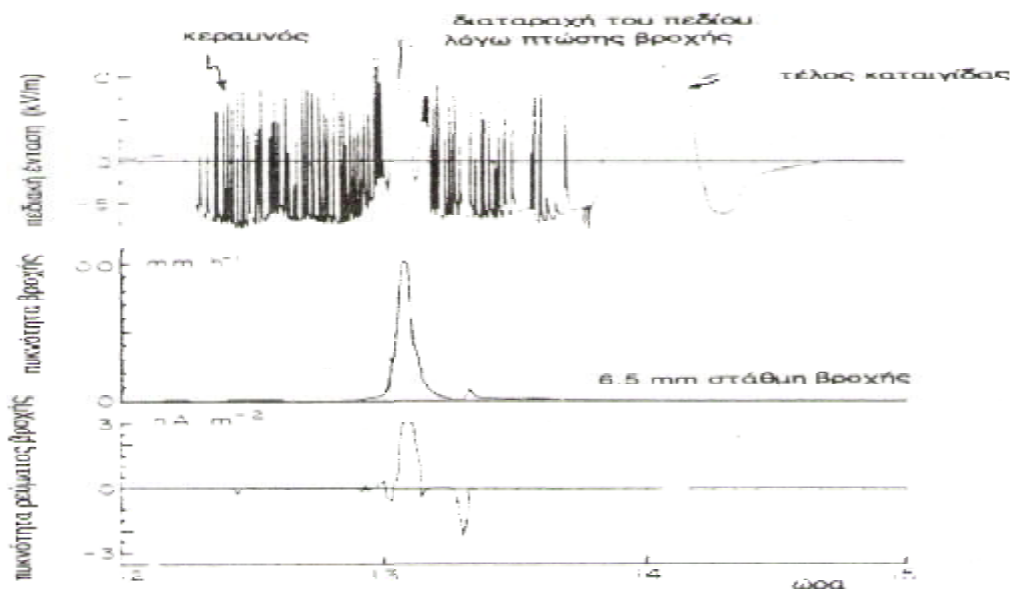
3.2.2	Άποψη εγκατάστασης αλεξικέρανου ESE με τερματικό τύπου Prevelectron.....	34
3.2.3	Ενδεικτικές απόψεις εταιρικών αντιπροσώπων σχετικά με την χρησιμότητα των ESE.....	36
3.3	Συγκριτικό παράδειγμα ESE αλεξικέρανου με αλεξικέρανο ράβδου Franklin..	38
3.4	Θεωρητική προσέγγιση στην αρχή λειτουργίας των αλεξικέρανων ESE	40
4.	Επισκόπηση σε πειράματα που έχουν υλοποιηθεί.....	45
4.1	Πειραματική διερεύνηση στα ραδιενεργά αλεξικέρανα.....	45
4.2	Πειράματα Πάνω στην αρχή λειτουργίας των αλεξικέρανων πρώιμου οχετού...47	
5.	Κατασκευές εξοπλισμένες με ESE.....	53
5.1	Αυτοψία σε κτήριο που προστατεύεται με Αλεξικέρανο πρώιμου οχετού.....	53
5.2	Κεραυνικά πλήγματα σε εξοπλισμένες από ESE κατασκευές.....	55
6.	Η επιστημονική διαμάχη γύρω από τα αλεξικέρανα τύπου ESE...65	
6.1	Πώς ξεκίνησε η διαμάχη.....	65
6.2	Η Ανταπόκριση των οργανισμών προτύπων στη διαμάχη.....	65
6.2.1	Οργανισμός IEEC (1995).....	65
6.2.2	NFPA (1995).....	66
6.2.3	NFPA (2000).....	66
6.2.4	Το Γαλλικό πρότυπο (2001).....	66
7.	Μια εργασία που παρουσιάζει ενδιαφέρον σχετικά με την χρησιμότητα των ESE.....	68
8.	Τελικό συμπέρασμα.....	81
9.	Παράρτημα	82
10.	Βιβλιογραφία και Αναφορές.....	84

Κεφάλαιο 1: Ηλεκτρικά ατμοσφαιρικά φαινόμενα

1.1.1 Εισαγωγή στους κεραυνούς

Η γη είναι ένα σώμα μονίμως φορτισμένο από αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο της τάξεως των $5 \times 10^5 \text{c}$. Σε συνθήκες καλοκαιρίας το εν λόγω φορτίο δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο κατευθυνόμενο από την ατμόσφαιρα προς τη γη, εντάσεως 0.13 kV/m . Στην ατμόσφαιρα βρίσκεται μοιρασμένη μια ισοδύναμη ποσότητα θετικού φορτίου, η οποία είναι μεγαλύτερης πυκνότητας στα χαμηλότερα στρώματα της. Η παρουσία αυτού του φορτίου μειώνει προοδευτικά το πεδίο της γης με το ύψος. Εξαιτίας λοιπόν αυτού του κατακόρυφου πεδίου η γη βρίσκεται διαρκώς σε τάση 300 kV σε σχέση με τα ανώτερα τμήματα της ατμόσφαιρας. Επίσης πιστεύεται ότι η κύρια πηγή που τροφοδοτεί τη γη αρνητικό φορτίο είναι τα **ηλεκτρισμένα σύννεφα** και οι **κεραυνοί**.

Η πιο συνηθισμένη ηλεκτρική εικόνα ενός σύννεφου, είναι ένα ηλεκτρικό δίπολο με αρνητικό πρόσημο προς το μέρος της γης και θετικό στην κορυφή, αυτή όμως η προσομοίωση δεν είναι σωστό να θεωρηθεί ως γενικός κανόνας. Στο παρακάτω σχήμα (σχ.1.1.1) βλέπουμε ένα τυπικό παλμογράφημα, όπου φαίνεται το ηλεκτρικό πεδίο στην επιφάνεια της γης κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας, (οι θετικές τιμές του πεδίου αντιστοιχούν στην κατεύθυνση του πεδίου καλοκαιρίας).



Σχήμα (1) Τυπικό παλμογράφημα ηλεκτρικού πεδίου στην επιφάνεια της γης κατά τη διάρκεια ηλεκτρικής καταιγίδας. Οι θετικές τιμές του πεδίου αντιστοιχούν στην κατεύθυνση του πεδίου καλοκαιρίας.

Όταν το ηλεκτρισμένο σύννεφο προκαλέσει στην επιφάνεια της γης πολύ μεγάλο πεδίο (πάνω από $1,5$ έως 2 kV), ξεκινάει ιονισμός από κρούσεις σε αιχμηρές προεξοχές της επιφάνειας του εδάφους, όπως πχ: πολύ ψηλά κτίσματα, απαγωγείς κεραυνών κλπ, όπου θετικά ιόντα μετακινούνται διαμέσου του αγωγού από τη γη στην ατμόσφαιρα. Το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται από αυτή τη διαδικασία ονομάζεται **ρεύμα ιονισμού της προεξοχής** (point discharge current), και είναι το ρεύμα, όπως και τα φορτία χώρου που

δημιουργούνται, όπου παίζουν σημαντικό ρόλο στην εκκένωση του κεραυνού, κυρίως στα τελευταία στάδια εξέλιξης του. Η τιμή του ρεύματος εξαρτάται από το μέγεθος του ηλεκτρικού πεδίου, το ύψος του αγωγού (αγωγιμής δηλαδή επιφάνειας) που το παράγει και από την ταχύτητα του ανέμου. Για να κατανοήσουμε τα μεγέθη αναφέρουμε πως σε αγωγούς μερικών δεκάδων μέτρων η τιμή του ρεύματος δεν ξεπερνά κάποια μA ενώ σε ορεινά μέρη που έχουμε πιο πυκνά σύννεφα είναι της τάξεως των mA . Στο σχ.1.1.1 επίσης μπορούμε να διακρίνουμε ότι οι εκκενώσεις του σύννεφου προς γη φαίνονται τη στιγμή που η ένταση πεδίου στην επιφάνεια αποκτά τιμές που αγγίζουν τα 3 Kv/m και πάνω.

1.1.2 Ορισμοί γύρω από τα μεγέθη των κεραυνών.

Πολικότητα κεραυνού: Η εκκένωση “αρνητικού νέφους” προς τη γη γίνεται με “**αρνητικό κεραυνό**” και ενός θετικού νέφους με “**θετικό κεραυνό**”.

Πολικότητα ρεύματος κεραυνού: Κατά την εκκένωση του αρνητικού νέφους προς τη γη ρέει προς αυτή αρνητικό ρεύμα και αντιστρόφως.

Κατεύθυνση οχετού προεκκένωσης: Ένας κατερχόμενος οχετός προεκκένωσης ή “**οδηγός οχετός**” κινείται από το σύννεφο προς το έδαφος ,ενώ αντίθετη πορεία ακολουθεί ο “**ανερχόμενος οχετός προεκκένωσης**” με την διαφορά ότι είναι μια εκκένωση που συναντά έναν κατερχόμενο οχετό στην ενδιάμεση θέση μεταξύ εδάφους και σύννεφου.

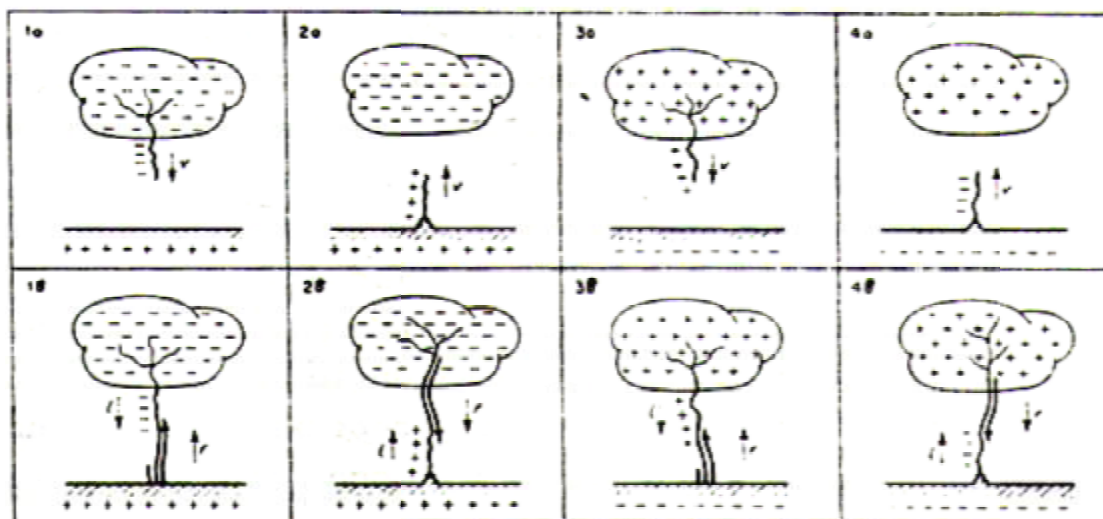
Πολικότητα οχετού προεκκένωσης: Αυτή ταυτίζεται με την πολικότητα του φορτίου της θέσης από όπου ξεκινάει. Έτσι από ένα θετικό σύννεφο ,ξεκινά ο “**θετικός οχετός προεκκένωσης**” ,και αντίθετα, ενώ από μία προεξοχή του εδάφους κάτω από θετικό σύννεφο ξεκινά ο “**αρνητικός οχετός προεκκένωσης**”.

Πολικότητα ηλεκτρικού πεδίου: Κάτω από ένα αρνητικό σύννεφο έχουμε **αρνητικό ηλεκτρικό πεδίο** και το αντίθετο. Βάσει των παραπάνω προκύπτει πως το **πεδίο καλοκαιρίας** στο έδαφος έχει **θετική κατεύθυνση**.

1.1.3 Είδη κεραυνών

Δύο ετερόσημα φορτία στο ίδιο ή σε διπλανά σύννεφα, δημιουργούν στον ενδιάμεσο τους χώρο μεγάλες εντάσεις πεδίου οι οποίες είναι σε θέση πολλές φορές να κάνουν εκκένωση μέσα στο ίδιο νέφος ή στα διπλανά σύννεφα, αντίστοιχα. Ομόσημη συσσώρευση φορτίου σε ένα σημείο του νέφους, και του φορτίου αντίθετου προσήμου που επάγεται εξαιτίας του , στο έδαφος, φτιάχνουν ανάμεσα σε σύννεφο και έδαφος μία ζώνη δυνατών πεδιακών εντάσεων. Οι πιο μεγάλες εντάσεις αυτής της ζώνης μπορούν να αναπτυχθούν είτε κοντά στο νέφος(εκκένωση με κατερχόμενο οχετό προεκκένωσης), είτε στην περίπτωση που το έδαφος παρουσιάζει μια σημαντική προεξοχή σε εκείνο το σημείο του εδάφους (εκκένωση με ανερχόμενο οχετό προεκκένωσης). Σύμφωνα με το σχήμα 1.1.2 έχουμε τέσσερις περιπτώσεις έναρξης του οχετού

προεκκένωσης:



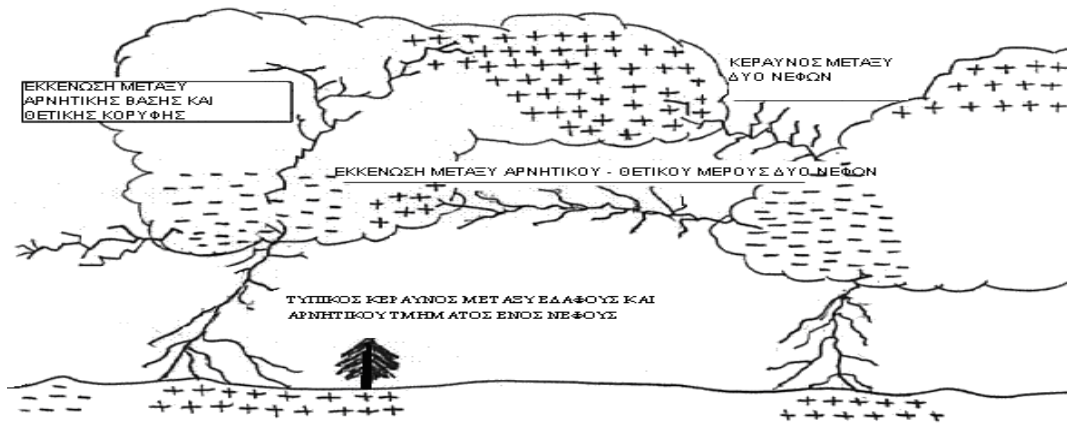
Σχήμα(1.1.2) *Είδη κεραυνών : “α” ανάπτυξη οχετού προεκκένωσης. “β” συμπλήρωση αντίστοιχου είδους κεραυνού με οχετό επιστροφής. I: οχετός προεκκένωσης, r: οχετός επιστροφής, v: κατεύθυνση μετάδοσης.*

- 1.α:Κατερχόμενος αρνητικός οχετός προεκκένωσης, που αρχίζει από αρνητικό σύννεφο.
- 2.α:Ανερχόμενος θετικός οχετός προεκκένωσης, που ξεκινάει από μια προεξοχή της επιφάνειας, κάτω από το αρνητικό σύννεφο.
- 3.α:Κατερχόμενος θετικός οχετός προεκκένωσης, όταν ξεκινά από θετικό σύννεφο.
- 4.α:Ανερχόμενος αρνητικός οχετός προεκκένωσης, που αρχίζει από προεξοχή του εδάφους κάτω από θετικό σύννεφο.

Αν σε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις προεκκένωσης του οχετού γεφυρωθεί το διάκενο μεταξύ γης-σύννεφου, τότε έρχεται ο οχετός επιστροφής και έχουμε ολοκληρωμένο έναν από τους τέσσερις τύπους κεραυνού (κάτω μέρος σχήματος 1.1.2):

- 1.β: **Κατερχόμενη αρνητική εκκένωση.** Ο πιο συνηθισμένος τύπος κεραυνού (90% των περιπτώσεων).
- 2.β: **Ανερχόμενος θετικός οχετός/αρνητική εκκένωση.**
- 3.β: **Κατερχόμενη θετική εκκένωση,**(πολύ σπάνια περίπτωση).
- 4.β: **Ανερχόμενος αρνητικός οχετός/θετική εκκένωση.** Ο 4.β τύπος παρατηρήθηκε πρώτη φορά και μελετήθηκε πρώτη φορά στον σταθμό San Salvatore από τον K. Berger, και αποτελεί τον ισχυρότερο τύπο κεραυνού τον οποίο ακολουθούν ίσως οι μεγαλύτερες εντάσεις ρεύματος που έχουν καταγραφεί. Σύμφωνα με τον K. Berger αυτού του είδους οι κεραυνοί εμφανίζονται μόνο μια φορά στο τέλος της καταιγίδας.

Ø *Η παραπάνω εικόνα κεραυνών είναι απλουστευμένη. Η πραγματικότητα δείχνει πως πριν ο οχετός προεκκένωσης βρει το έδαφος (η αντίστροφα το νέφος), ένας αντίθετος οχετός αναπτύσσεται από την απέναντι πλευρά ούτως ώστε να προϋπαντήσει τον κύριο οχετό προεκκένωσης.*

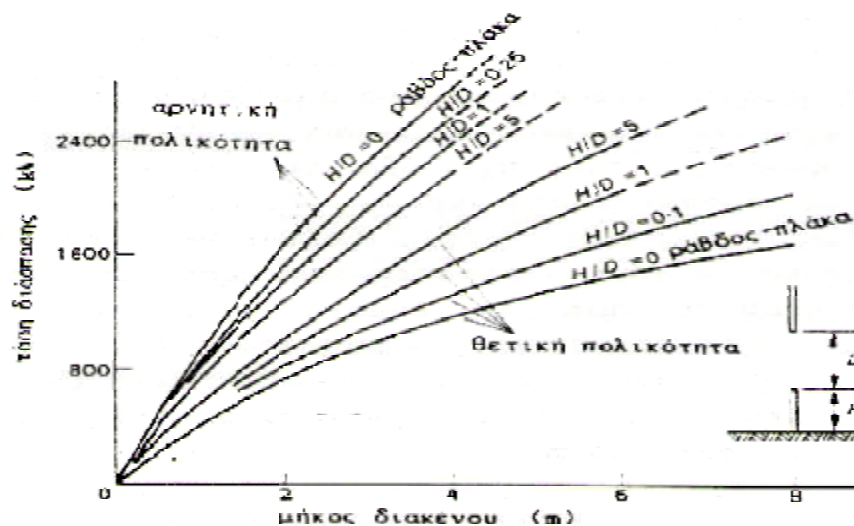


1.1.4 Φυσικά χαρακτηριστικά του κεραυνού-Εργαστηριακή-εξομοίωση

Το σχ.1.1.3 προέρχεται από αποτελέσματα πειραμάτων (Anderson και Tangen, 1968) και δείχνει την μεταβολή της τάσης διάσπασης, σχετικά με το μήκος του διακένου, παίρνοντας ως παράμετρο τον H/D λόγο όπου :

H είναι το ύψος του γειωμένου ηλεκτροδίου. Και,

D είναι το μήκος του διάκενου.



Σχήμα (1.1.3) Κρουστική τάση διάσπασης χειρισμών για διάκενα ράβδου-ράβδου και ράβδου-πλάκας. (Anderson-Tangen, 1968).

Σύμφωνα με το σχήμα βγαίνουν κάποια συμπεράσματα για τα στάδια εκκένωσης ενός κεραυνού:(α): Η τάση διάσπασης στην αρνητική πολικότητα είναι μεγαλύτερη της περιπτώσεως θετικής πολικότητας, δηλαδή υπάρχει μεγαλύτερη καταπόνηση στην επιφάνεια που χτυπούν θετικοί κεραυνοί. (β):Για σταθερό D , η τάση διάσπασης μικραίνει για αρνητική πολικότητα, και αυξάνεται για θετική, όσο το γειωμένο ηλεκτρόδιο γίνεται ψηλότερο. Συνεπώς για εγκαταστάσεις μεγάλου ύψους η τάση διάσπασης θα είναι μικρότερη και άρα το διάκενο εγκατάστασης σύννεφου θα έχει μικρότερη αντοχή. (γ):Όσο το μήκος του διάκενου μεγαλώνει τόσο η κλίση των καμπύλων του σχεδιαγράμματος προσεγγίζουν το ανώτατο όριο.

1.1.5 Ο μηχανισμός των ατμοσφαιρικών εκκενώσεων

1.1.5. (α) Έναρξη εκκένωσης του κεραυνού

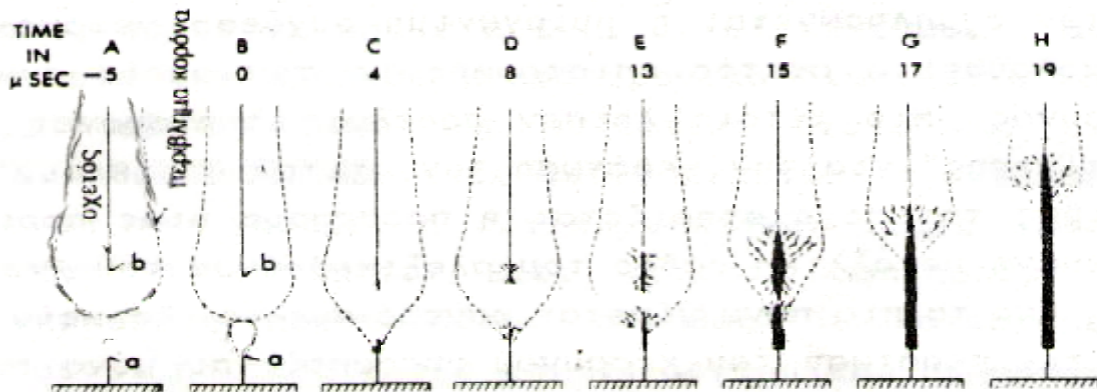
Το πρώτο βήμα για την έναρξη μιας ηλεκτρικής εκκένωσης είναι ο ιονισμός των μορίων του αέρα λόγω κρούσης ηλεκτρονίων, σε περιοχές νέφους με μεγάλη πυκνότητα φορτίου (που δημιουργούν μεγάλη ένταση ηλεκτρικού πεδίου). Το δεύτερο βήμα είναι ο σχηματισμός οχετού, ο οποίος ακολουθεί τις γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου.

Αν η περιοχή μέγιστων εντάσεων ηλεκτρικού πεδίου κατευθύνεται προς άλλο θύλακα ετερόσημου φορτίου, (ή πολλές φορές σε κάποιο γειτονικό νέφος ετερόσημου φορτίου), ο οχετός που ακολουθεί αυτή την κατεύθυνση προκαλεί ηλεκτρική σύνδεση και αλληλεξουδετέρωση των ετερόσημων αυτών φορτίων. Η συνέχεια των παραπάνω είναι έντονη λάμψη (αστραπή) και θόρυβος (βροντή), η οποία για το έδαφος απλά σημαίνει μια παροδική διαταραχή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που επηρεάζει μόνο τις τηλεπικοινωνίες.

Αν όμως οι γραμμές μέγιστης πεδιακής έντασης πηγαίνουν προς το έδαφος ο οχετός ακολουθεί και αυτός με τη σειρά του προς το έδαφος. Ο μηχανισμός με τον οποίο προχωράει αυτός ο οχετός ονομάζεται **οχετός προεκκένωσης**. Η πρόοδος του όπως ειπώθηκε πραγματοποιείται **βηματικά**, με μήκος το καθένα μερικά μέτρα ή δεκάδες μέτρα. Η μέση ταχύτητα προόδου του οχετού προεκκένωσης είναι 0,15 m/μs, που όσο και να φαίνεται ιλιγγιώδης, συγκριτικά με την ταχύτητα μετάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (και του φωτός) στο κενό που είναι 300 m/μs.

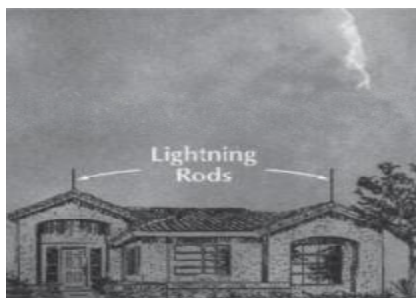
1.1.5 (β) Η φάση του οχετού επιστροφής

Η μέση τιμή της διαμήκης πτώσης τάσεως κατά μήκος του οχετού προεκκένωσης είναι κάτω από 0,1 kV/cm. Ο οχετός προεκκένωσης φαίνεται σαν μεταλλική προεξοχή που προεκτείνεται από το σύννεφο προς το έδαφος. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου γύρω από τον οχετό προεκκένωσης κυρίως προς το άκρο που βρίσκεται στην μεριά του εδάφους, είναι κατά πολύ μεγαλύτερη απ' την πεδιακή ένταση που απαιτείται στον ιονισμό λόγω κρούσεων (30 kV/cm). Για αυτόν το λόγο ο οχετός διαρκώς περιβάλλεται από ένα μανδύα “**corona**”, που εκτείνεται μερικά μέτρα γύρω απ αυτόν και είναι μεγαλύτερος στο προς έδαφος άκρο, αυξάνοντας όσο η κεφαλή του οχετού πλησιάζει το έδαφος, μέχρι που η πεδιακή ένταση προσεγγίζει τα 5 kV/cm, ενώ το υπόλοιπο μήκος γεφυρώνεται από corona δημιουργώντας άμεσα (20-30 μs) νέο οχετό. Μετά από αυτό το βήμα, το φορτίο της περιοχής του νέφους που ξεκίνησε τον οχετό προεκκένωσης βρίσκεται ημιαγώγιμο συνδεδεμένο στο έδαφος. Με αυτόν τον τρόπο εκκενώνεται το φορτίο του νέφους με τεράστιο ρεύμα (εκατοντάδες kA). Έτσι ο οχετός προεκκένωσης θερμαίνεται αποκτώντας πολύ μεγαλύτερη λαμπρότητα(σχ1.1.4). Η θέρμανση του οχετού προεκκένωσης ξεκινάει αντίθετα της κατεύθυνσης του και με πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα. Η φάση αυτή κατά την οποία συμπληρώνεται η εκκένωση ονομάζεται **οχετός επιστροφής** και η εκκένωση του σύννεφου προς τη γη, **κεραυνός**.



Σχήμα (1.1.4) Τα βήματα σχηματισμού του οχετού επιστροφής. Διακρίνεται το κανάλι του οχετού προεκκένωσης και ο σχηματισμός corona γύρω από αυτό.

1.1.5 (γ) Συνδεδετικός Οχετός, Απόσταση Διάσπασης, Αρχή λειτουργίας Αλεξικέραυνων.



(α)



(β)



(γ)

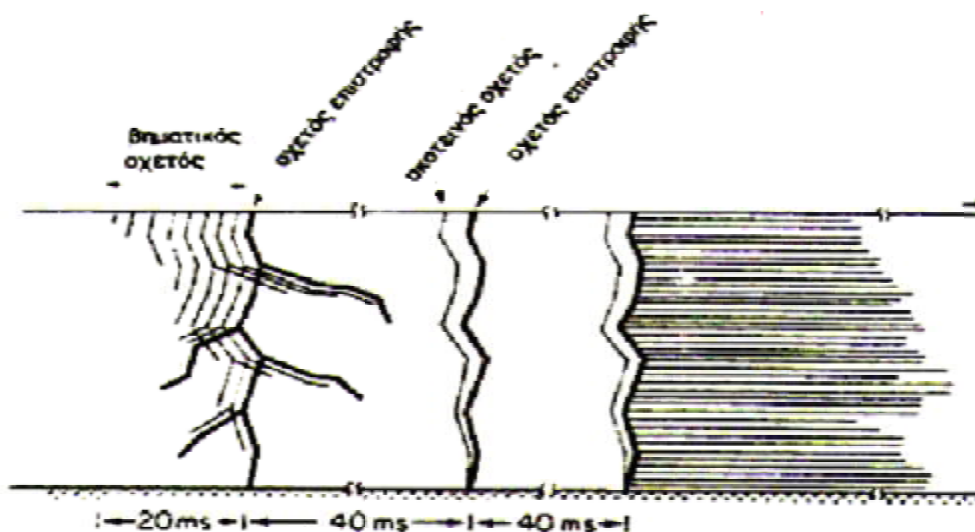
Διαδικασία σύνδεσης κεραυνού. (α) $t=0$. Ο κατερχόμενος οχετός προεκκένωσης πλησιάζει σε μια απόσταση (περίπου 100m) πάνω από το εξοπλισμένο με ακίδες Franklin, σπίτι. (β) $t=500 \mu\text{s}$, ανερχόμενες εκκενώσεις ξεκινούν από τα αλεξικέραυνα και από το διπλανό δέντρο. (γ) $t=505 \mu\text{s}$, γίνεται η σύνδεση μεταξύ μιας διακλάδωσης του κατερχόμενου οχετού προεκκένωσης και της ανερχόμενης εκκένωσης, καθορίζοντας έτσι το μονοπάτι του κεραυνικού ρεύματος.

Με την συνάντηση δύο οχετών συμπληρώνεται η ημιαγώγιμη σύνδεση νέφους εδάφους και ακολουθεί ο οχετός επιστροφής που συμπληρώνει τον κεραυνό. Μια αιχμηρή προεξοχή του εδάφους δημιουργεί ένα “σημείο προτίμησης” για την περάτωση του οχετού προεκκένωσης. Σ’ αυτήν ακριβώς την αρχή στηρίζεται η προστασία μιας περιοχής με την γειωμένη μεταλλική ράβδο του αλεξικέραυνου του Franklin. Το σημείο προτίμησης αποφασίζεται την τελευταία στιγμή, όταν δηλαδή ο οχετός προεκκένωσης πλησιάζει σε τετοια απόσταση από το έδαφος ώστε να υπάρξουν συνθήκες σύνδεσης του κατερχόμενου

οχετού με κάποιο σημείο του εδάφους. Αυτές οι συνθήκες σύνδεσης πληρούνται όταν η μέση πεδιακή ένταση μεταξύ της κεφαλής του κατερχόμενου οχετού και του σημείου προτίμησης πέσει στα 5 kv/cm, όταν όμως ο οχετός προεκκένωσης προέρχεται από αρνητικό φορτίο. Η απόσταση κατά την οποία τηρούνται οι συνθήκες ονομάζεται “απόσταση διάσπασης” (striking distance) και εξαρτάται από την τάση που παρουσιάζει η κεφαλή του κατερχόμενου οχετού προεκκένωσης προς το έδαφος, η οποία με τη σειρά της επηρεάζεται από το μέγεθος του φορτίου του θύλακα του νέφους, εκεί δηλαδή που ξεκινά ο οχετός προεκκένωσης. Όσο μεγαλύτερο το φορτίο αυτό τόσο μεγαλύτερη η απόσταση διάσπασης. Η απόσταση διάσπασης συνδέεται με το ρεύμα με τις εξής σχέσεις:

$$r_s = 6.7 I_0^{0.8}, r_s = 8 I_0^{0.65}$$

Αυτό το σημείο μας δείχνει και την **Αρχή λειτουργίας των Αλεξικέραυνων**. Έτσι αν ένα κτίσμα είναι εξοπλισμένο με μεταλλικές γειωμένες προεξοχές των οποίων η απόσταση διάσπασης προκύπτει πριν από οποιοδήποτε άλλο σημείο του κτίσματος οι κεραυνοί θα περνούν κατά προτίμηση σε αυτές τις προεξοχές και θα πηγαίνουν προς το έδαφος, δίχως να προξενούν καταστροφές στην εγκατάσταση. Την αρχική εκκένωση του κεραυνού ακολουθούν και άλλες εκκενώσεις όπως μας δείχνει το [Σχήμα 1.1.5] παρακάτω, οι οποίες διαδέχονται η μια την άλλη και περιέχουν κάθε μια τον δικό της συνδετικό οχετό και οχετό επιστροφής. Αυτές οι διαδοχικές εκκενώσεις τις περισσότερες φορές ακολουθούν την πρώτη εκκένωση ως προς την κατεύθυνση, όμως κατι τέτοιο δεν είναι απόλυτο.



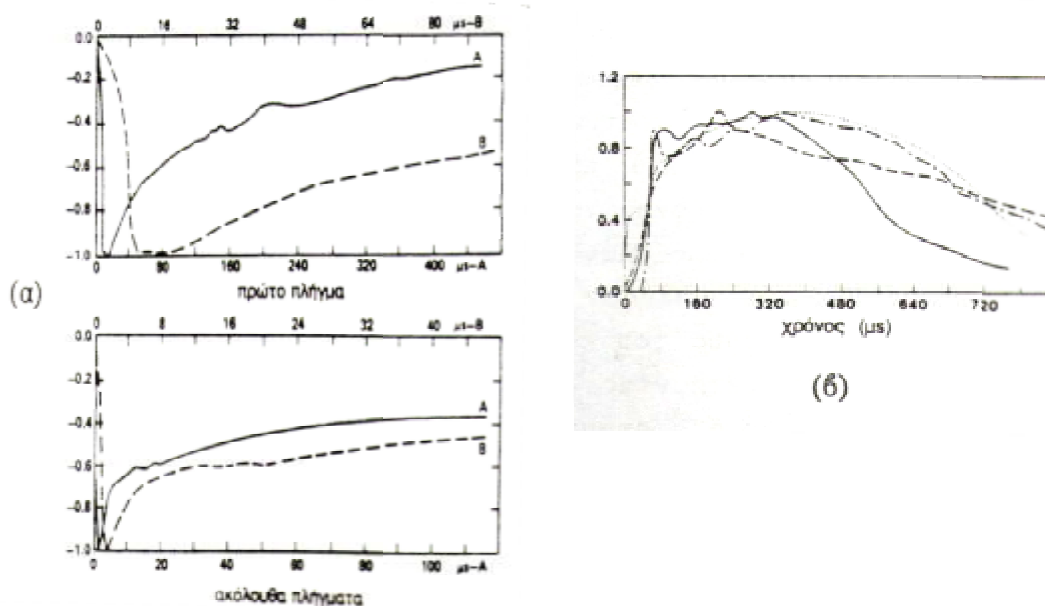
Σχήμα (1.1.5) Δημιουργία ενός κεραυνού (πολλαπλού) όπως φαίνεται από μια φωτογραφική μηχανή κινούμενης προς τα δεξιά

1.1.6 Ρεύμα κεραυνού και σχετικοί παράμετροι

Γενικότερα οι παράμετροι που μας ενδιαφέρουν σχετικά με έναν κεραυνό είναι η ένταση του ρεύματος καθώς και η διάρκεια ροής του ρεύματος. Για την μέτρηση και τον καθορισμό αυτών των παραμέτρων έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες τεχνικές τόσο στο παρελθόν όσο και στο σήμερα. Συνοπτικά αυτές είναι: (α): Οι πιο παλιές στηρίζονται στην εκτίμηση του ρεύματος μέσω των μηχανικών η

θερμικών αποτελεσμάτων, που προκαλεί το πλήγμα ενός κεραυνού. Με λίγα λόγια από την τήξη λεπτών μετάλλων ή από ίχνη επάνω σε λεπτές μεταλλικές επιφάνειες, οι ειδικοί εκτιμούσαν τη συνολική ενέργεια του κεραυνού, ενώ το εύρος του ρεύματος το υπολόγιζαν μέσα από τη σύσφιξη που προκαλεί η ροή του ρεύματος σε έναν σωλήνα. (β): Ακόμη ένας τρόπος, ήταν η μέθοδος της μαγνητικής ζεύξης, που στηρίζεται στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί το ρεύμα του κεραυνού κατά την διέλευση του από έναν αγωγό. Αν κοντά στον αγωγό βάλουμε ένα μαγνητικό υλικό (magnetic link), αυτό θα μαγνητιστεί με την μέγιστη τιμή του πεδίου που εξαρτάται από το μέγιστο ρεύμα που διέρρευσε τον αγωγό. Στην περίπτωση που το υλικό παρουσιάσει μεγάλη υστέρηση ,μπορεί να μεταφερθεί σε εργαστήριο για τις σχετικές μετρήσεις. Τα magnetic links χρησιμοποιούνται συνήθως στα σκέλη των μεταλλικών πύργων των γραμμών μεταφοράς.

Λόγω όμως της ανακρίβειας αυτών των μεθόδων, διότι δεν μπορούν να μετρήσουν όλη την περιοχή επέκτασης του ρεύματος κεραυνού (σχ1.1.6) και αδυναμίας διάκρισης ανάμεσα στο ρεύμα διαφόρων εκκενώσεων ενός πολλαπλού κεραυνού, προτιμάται ο πιο σύγχρονος τρόπος μέτρησης που είναι ο παλμογράφος. Και στον παλμογράφο όμως υπάρχουν προβλήματα που έχουν να κάνουν με τη σπανιότητα του φαινομένου, που συνεπάγεται δυσκολία στην λήψη παλμογραφήματων όπως επίσης και το γεγονός ότι είναι αρκετά δαπανηρή διαδικασία.



Σχήμα (1.1.6) Παλμογραφήματα του ρεύματος ενός πολλαπλού αρνητικού κεραυνού (α), και ενός θετικού κεραυνού (β)

Από τα [Σχ.1.1.6] (α),(β) προκύπτει ότι για την (α) περίπτωση το ρεύμα της πρώτης εκκένωσης αυξάνει γρήγορα και μέσα σε 10-15 μs φθάνει στη μέγιστη τιμή του. Στη συνέχεια αρχίζει να μειώνεται είτε αμέσως είτε μετά από μια πλατιά κορυφή. Η διάρκεια της ουράς, είναι τέτοια ώστε το ρεύμα να φτάσει το 20% της κορυφής του σε 200-300 μs . Σε πολλαπλούς κεραυνούς, οι ακόλουθες εκκενώσεις έχουν πολύ συντομότερο μέτωπο συγκριτικά με την αρχική εκκένωση φτάνοντας στην κορυφή τους μέσα σε 1-2 μs . Αυτό φαίνεται και στα παραπάνω σχήματα. Εκτός της μέγιστης τιμής του ρεύματος στα σχήματα βλέπουμε και τη διάρκεια ροής μιας ορισμένης έντασης του ρεύματος. Δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια αυτή, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ενέργεια που συσσωρεύεται μέσα στην αντίσταση που διαρρέει και κατά συνέπεια τόσο μεγαλύτερη και

η ελκυόμενη θερμότητα, μιας και είναι ανάλογη του ολοκληρώματος: $\int i^2 dt$.

Για αυτό το λόγο η κεραυνοί που έχουν μεγάλη διάρκεια ρεύματος έστω και αν το μέγιστο ρεύμα δεν είναι πολύ μεγάλο ονομάζονται θερμοί και είναι πιο επικίνδυνοι σε εύφλεκτες ή εκρηκτικές ύλες, εν αντιθέσει με τους κεραυνούς μεγάλης έντασης μικρής όμως διάρκειας οι οποίοι είναι πιο καταστροφικοί για τα ηλεκτρικά συστήματα.

1.1.7 Συχνότητα με την οποία συμβαίνουν κεραυνοί

Για να μπορώ να κατασκευάσω ένα αποτελεσματικό σύστημα προστασίας πρέπει οπωσδήποτε να γνωρίζω το N_g , δηλαδή τους κεραυνούς που πλήττουν μια περιοχή (πχ 1 km^2), στην διάρκεια μιας χρονικής περιόδου (πχ 1 έτους). Άλλη μια πληροφορία που χρειάζομαι είναι η γνώση του T , δηλαδή του αριθμού των ημερών της καταιγίδας. Το T διαφέρει σημαντικά από περιοχή σε περιοχή. Γενικά η συχνότητα των καταιγίδων που συνοδεύονται από κεραυνούς είναι μεγαλύτερη στον ισημερινό και μικρότερη στους πόλους της γης. Επειδή είναι δύσκολο από πλευράς διάθεσης εξοπλισμού να ξέρουμε το N_g , σε αντίθεση με το T που γίνεται εύκολα διαθέσιμο, έχουν διατυπωθεί διάφοροι πίνακες αναλογίας όπως ο πιο κάτω (ΠΙΝ.1.1.1):

χώρα	κεραυνική πυκνότητα ($km^{-2} yr^{-1}$)	πηγή
India	0.1T	Aiya (1968)
Rhodesia	0.14T	Anderson and Jenner (1954)
Sweden	0.004T ² (approx.)	Müller-Hillebrand (1964)
U.K.	aT ^b	Stringfellow (1974) ($a = 2.6 \pm 0.2 \times 10^{-2}$; $b = 1.9 \pm 0.1$)
U.S.A. (North)	0.11T	Horn and Ramsey (1951)
U.S.A. (South)	0.17T	Horn and Ramsey (1951)
U.S.A.	0.17	Anderson <i>et al.</i> (1968)
U.S.A.	0.15T	Brown and Whitehead (1969)
U.S.S.R.	0.036T ^{1.3}	Kolokolov and Pavlova (1972)
	0.1T ^{1.3*}	Kolokolov and Pavlova (1972)
World (temperate climate)	0.19T	Brooks (1950)
World (temperate climate)	0.15T	Goide (1966)
World (tropical climate)	0.13T	Brooks (1950)
World	0.25T*	Pierce (1966)

ΠΙΝ (1.1.1) Σχέση που παρατηρείται μεταξύ του αριθμού κεραυνών και τον αριθμό καταιγίδων κάθε έτος.

Στην περίπτωση που είναι γνωστός ο συνολικός αριθμός εκκενώσεων δηλαδή (Σύννεφο-Σύννεφο, Σύννεφο -Γή), ο διαχωρισμός του συνολικού αριθμού (N_t), επίσης των εκκενώσεων (σύννεφο - σύννεφο) (N_c) και (σύννεφου - γης), εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος (λ) Και το κλίμα έχουν διατυπωθεί για το λόγο αυτό κάποιες σχέσεις όπως:

$$\frac{N_c}{N_g} = 1.0 + 0.63T \dots \dots \dots \text{για} \dots \dots (10 < T < 84), \text{ ή}$$

$$\frac{N_c}{N_g} = 4.11 + 2.11 \cos 3\lambda \dots \dots \text{για} \dots (0 < \lambda < 60^\circ)$$

ή πίνακα όπως ΠΙΝ(1.1.2):

Σχέση μεταξύ νέφους- νέφους προς νέφος γη.

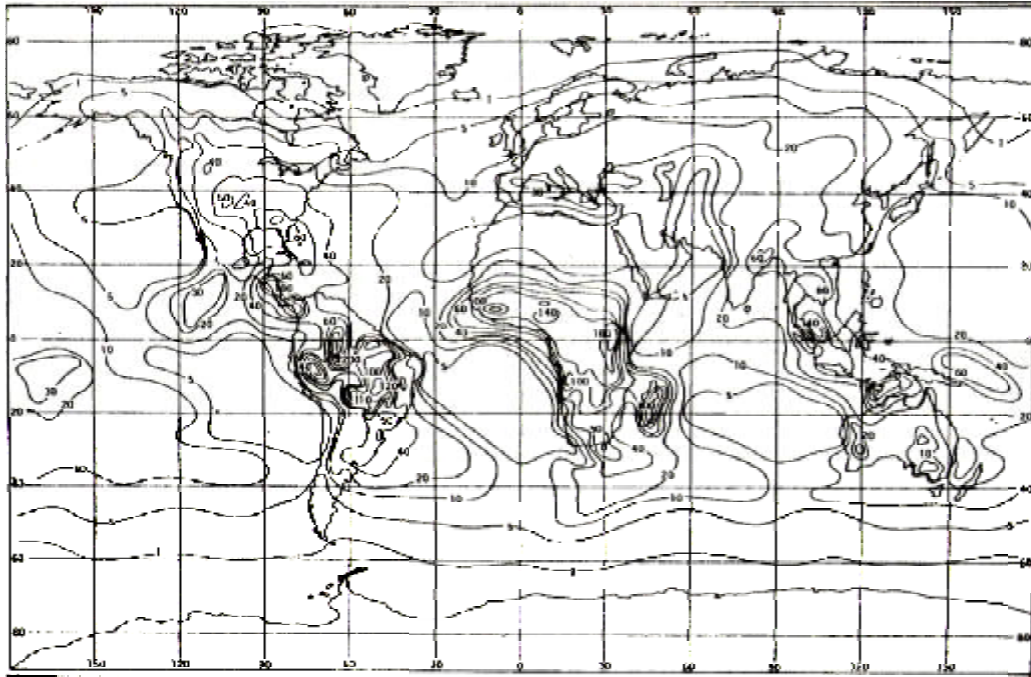
Κλίμα	N_c/N_g	
Ευκραίο	1.5	Pierce (1955)
Υποτροπικό	3	Mackerras (1976)
Υποτροπικό	4	Hörner (1965)
Τροπικό	9	Aiya και Sonde (1963)
Τροπικό	6	Hörner (1965)
Ξηρό	4	Vieneister (1972)

ΠΙΝ (1.1.2)

Ø Ως ισοκεραυνικές καμπύλες ονομάζουμε τις περιοχές που έχουν το ίδιο T . Βλέπουμε παρακάτω τον ισοκεραυνικό χάρτη της Ελλάδας και τον παγκόσμιο ισοκεραυνικό χάρτη.



Ο ισοκεραυνικός χάρτης της Ελλάδας



Ο παγκόσμιος ισοθερμικός χάρτης.

1.1.8 Συχνότητα που συμβαίνουν πλήγματα κεραυνών σε κτίσματα.

Όπως προαναφέραμε όταν γνωρίζουμε την ισοδύναμη επιφάνεια κατασκευής και την συχνότητα των πλήγμάτων του κεραυνού (N_g) στην περιοχή που βρίσκεται το κτίσμα, μπορούμε να εκτιμήσουμε τότε τον αριθμό των πλήγμάτων που θα δεχτεί η κατασκευή. Αν πχ έχουμε: $L=40m$, $W=25m$, και $H=10m$, τότε σύμφωνα με την (Σχέση 2.2.2) προκύπτει η *ισοδύναμη επιφάνεια* = 0.0007 km^2 . Αν η κατασκευή βρίσκεται σε ένα μέρος με $N_g=5$ (κεραυνοί/ km^2) κάθε χρόνο, τότε το κτίσμα αναμένεται να δέχεται έναν κεραυνό κάθε 28 χρόνια.

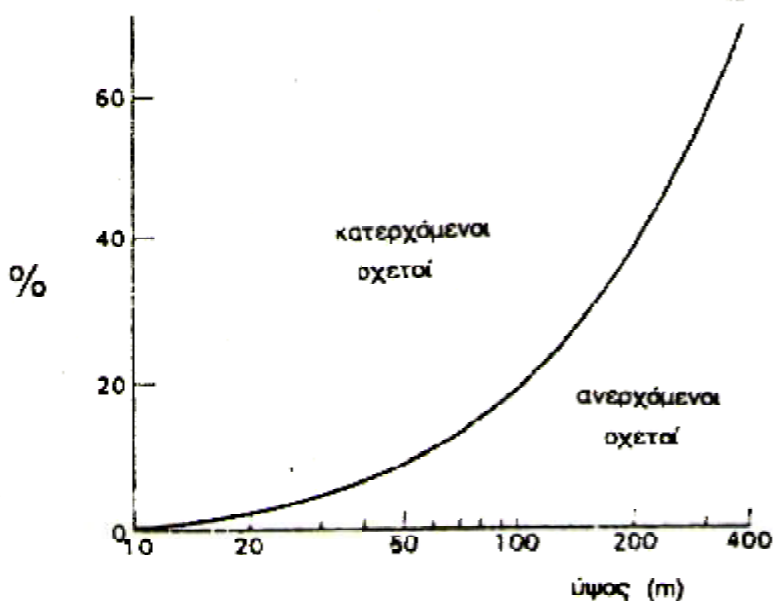
Ο κεραυνός σαν φαινόμενο έχει στατιστική συμπεριφορά, ωστόσο δεν διαθέτουμε στα χέρια μας επαρκείς στατιστικές πληροφορίες, διότι δεν είναι όλα τα πλήγματα από κεραυνό ζημιογόνα. Μια τέτοια απόπειρα έγινε στην Αγγλία σε οικισμό 700 ομοίων σπιτιών και σε 14 χρόνια υπέδειξε 4 πλήγματα. Η υπολογιστική μας μέθοδος στην ίδια περίπτωση μας υπέδειξε 5 πλήγματα σε 14 χρόνια. Πανομοιότυπα αποτελέσματα είχαμε και σε εκπονημένες μελέτες γραμμών ΗΕ. Συνεπώς η παραπάνω μέθοδος υπολογισμού είναι αντιπροσωπευτική σε εύκρατα κλίματα, είναι όμως μέθοδος που θα πρέπει να γίνεται για μακρές χρονικές περιόδους και για πολλά κτήρια, ακριβώς επειδή το πλήγμα του κεραυνού είναι στατιστικό φαινόμενο. Παρακάτω στον [Πίνακα 1.1.8] δείχνει αυτή τη στατιστική συμπεριφορά που αναφέραμε και τις παρατηρήσεις σε δύο γραμμές υψηλής τάσης. Στην πρώτη περίπτωση στις Η.Π.Α σε γραμμές 220 kV (Golde, 1969) και στη Ζιμπάμπουε σε γραμμές 88 kV (Ροδεσία, Anderson, 1969). Τα πλήγματα καθορίστηκαν από magnetic-links (κεφ. 1.1.6) που βάζουμε στους ανεξάρτητους πύργους. Από τον παρακάτω πίνακα βλέπουμε τη σχετική συμφωνία μεταξύ υπολογισμού και παρατήρησης που επιβεβαιώνει τη στατιστική συμπεριφορά του φαινομένου.

Η.Π.Α γραμμές 220 kV		Ζιμπάμπουε γραμμές 88 kV	
Παρατηρημένες	Υπολογισμένες	Παρατηρημένες	Υπολογισμένες
447	477	174	172
362	366.6	138	137
199	204.8	49	55
93	86.5	15	15
22	29.2	6	3
7	8.2	0	0
2	2.1		
0	0.6		
0	0.3		

ΠΙΝ (1.1.8)

Συχνότητα πληγμάτων σε HV πύργους γραμμών μεταφοράς

Ο παραπάνω υπολογισμός δεν εφαρμόζεται σε πολύ υψηλά κτήρια, γιατί το ύψος ενός τέτοιου κτηρίου υπερβαίνει το μήκος του βήματος σ' ένα κατερχόμενο οχετό και επίσης για το λόγο ότι συμβαίνουν ανερχόμενοι οχετοί. Η προηγούμενη εκτίμηση για την Απόσταση Διάσπασης είναι πιο ανεπτυγμένη (Howrath, 1971) και μας έχει οδηγήσει στον υπολογισμό της σχετικής συχνότητας πληγμάτων σε κτήρια διαφορετικού ύψους, που προκαλούνται από κατερχόμενους ή ανερχόμενους οχετούς. Αυτά τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω:



Σχήμα (1.1.8) Σχετική συχνότητα των πληγμάτων από ανερχόμενους ή κατερχόμενους οχετούς σε υψηλές κατασκευές (Howrath, 1971).

Στατιστικές παρατηρήσεις που έγιναν για τη συχνότητα πληγμάτων σε διαφορετικού ύψους κατασκευές, από 25m έως 225 m, σε διαφορετικές χώρες με τη βοήθεια των magnetic links, μας έχουν δείξει ότι η συχνότητα αυξάνεται ανάλογα με το τετράγωνο του ύψους του κτηρίου. Αυτό προσυπογράφει την αντίληψη ότι ένας κατακόρυφος απαγωγέας κεραυνών ή ένα απομονωμένο κτίσμα (καμινάδες, πύργοι κτλ) έλκουν το πλήγμα του κεραυνού σε μια κυκλική ακτίνα ανάλογης του ύψους του κτηρίου.



Κεραυνός που έπληξε πύργο τηλεόρασης στην Αγία Πετρούπολη της Ρωσίας (Μάιος 2013).
 Πηγή: <http://www.econews.gr>

1.2 Συνέπειες πληγμάτων κεραυνών.

1.2.1 Θερμικές συνέπειες.

Όταν ετοιμάζουμε ένα σύστημα προστασίας, εξετάζουμε τις συνέπειες του πλήγματος ενός κεραυνού σχετικά με την αύξηση της θερμοκρασίας των αγωγών του συστήματος, στον κίνδυνο που υπάρχει να τρυπηθεί ένα λεπτό μεταλλικό φύλλο, στη συμπεριφορά των μονωτικών υλικών, κ.λπ. Τα θερμικά αυτά αποτελέσματα του πλήγματος εξαρτώνται, από το εύρος του ρεύματος, αλλά και τη διάρκεια ροής του. Για την αύξηση θερμοκρασίας ενός αγωγού ισχύει ο παρακάτω τύπος:

$$\Delta\theta = \frac{1}{\alpha} \left[\exp \frac{(\int i^2 dt) a \cdot \rho}{q^2 \gamma C_w} - 1 \right] \quad \text{σε } ^\circ K, \text{ όπου:}$$

A : σε 1/°K.

$\int i^2 dt$: σε A² s.

ρ : σε Ωm, (Η ειδική αντίσταση του αγωγού).

q : σε m², (Η διατομή του αγωγού).

γ : σε Kg/m³, (Η πυκνότητα)

C_w : σε J/Kg °K, (Ο συντελεστής θερμοχωρητικότητας).

Στον [πίνακα 1.2.1] δίνονται οι τιμές των παραμέτρων ρ και α για τα στοιχεία Al, Fe, Cu:

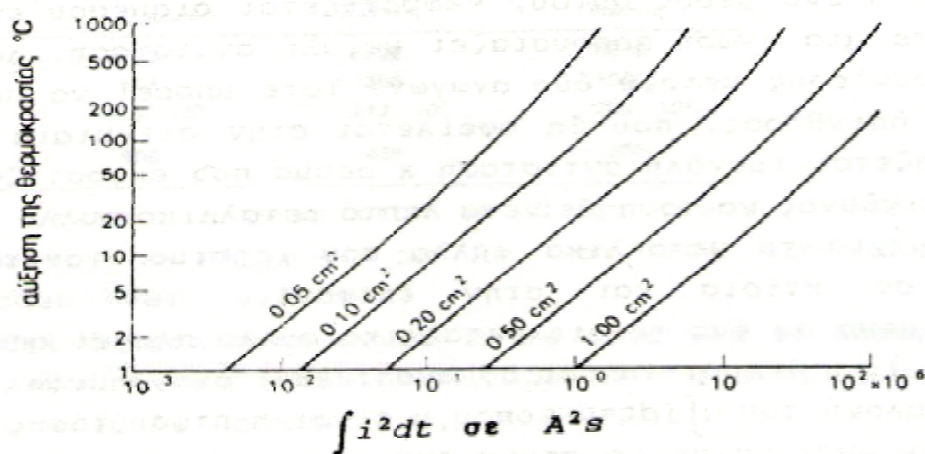
ΠΙΝ (1.2.1)

	Αλουμίνιο	Σίδηρος	Χαλκός
ρ (Ωm)	$29 \cdot 10^{-9}$	$120 \cdot 10^{-9}$	$17,8 \cdot 10^{-9}$
α (1/K)	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$3,92 \cdot 10^{-3}$

Χρησιμοποιώντας τον παραπάνω τύπο για διαφορετικές τιμές του $\int i^2 dt$ προκύπτει ο παρακάτω [Πίνακας 1.2.2]:

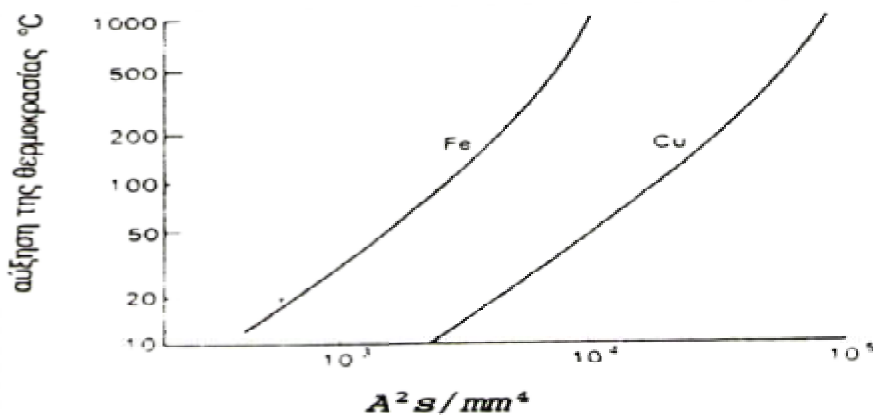
a (mm ²)	Αλουμίνιο $\int i^2 dt$ (A ² s)			Σίδηρος $\int i^2 dt$ (A ² s)			Χαλκός $\int i^2 dt$ (A ² s)		
	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸
4	-	-	-	-	-	-	653	-	-
10	151	-	-	1180	-	-	58	-	-
16	51	-	-	204	-	-	21	309	-
25	20	283	-	64	-	-	8	98	-
50	5	52	-	14	211	-	2	22	320
100	1	12	151	3	37	1180	0,5	5	58

Από τους παραπάνω πίνακες και τύπους προκύπτει ότι, οι θερμικές συνέπειες μετά από χτύπημα κεραυνού σε ένα σύστημα προστασίας εξοπλισμένο από αγωγούς χαλκού η αλουμινίου, είναι σχετικά μικρές, σε βαθμό που να μην επηρεάζουν την εκλογή διατομής που θα χρησιμοποιήσουμε.



Σχήμα (1.2.1) *Αύξηση της θερμοκρασίας σε χάλκινους αγωγούς ως συνάρτηση του $\int i^2 dt$, με παράμετρο την διατομή του.*

Εκτός των άλλων στη προστασία χρησιμοποιούνται και αγωγοί γαλβανισμένου χάλυβα, που επίσης όπως θα δούμε στο [Σχήμα 1.2.2, (α)], δεν επηρεάζεται η εκλογή της διατομής τους, από την αύξηση της θερμοκρασίας η οποία μπορεί να φτάσει το πολύ μέχρι 140°C.



Σχήμα 1.2.2,(α) *Αύξηση της θερμοκρασίας σε χάλκινους και χαλκοβδινους αγωγους.*

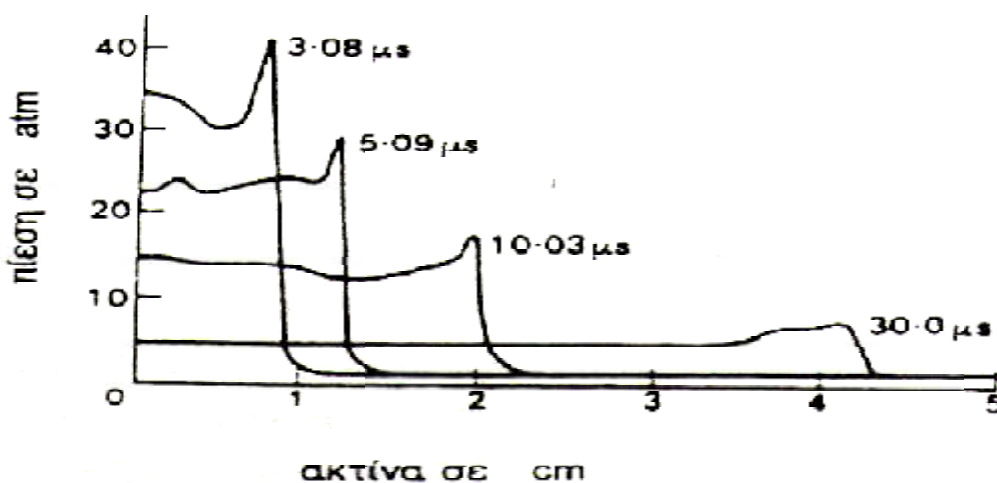
Μέχρι τώρα είδαμε περιπτώσεις που η άνοδος της θερμοκρασίας δεν μπορούσε να προξενήσει ζημιά. Υπάρχει όμως και η περίπτωση που μπορεί κατι τέτοιο να συμβεί, όταν το ρεύμα του κεραυνού ή μέρος του εκφορτιστεί μέσω ενός αγωγού, ο οποίος σε μια ένωση του έχει μεγάλη αντίσταση, π.χ λόγω κακής επαφής στη σύνδεση δύο αγωγών. Εκείνη τη στιγμή είναι πιθανό να δημιουργηθεί ένας ισχυρός σπινθήρας, λόγω της στιγμιαίας υπέρτασης που παρουσιάζεται.

1.2.2 Μηχανικές συνέπειες πληγμάτων.

Οι μηχανικές συνέπειες του πλήγματος ενός κεραυνού είναι δύο κατηγοριών: α) αυτές που αφορούν το κρουστικό κύμα που παράγεται από τον οχετό επιστροφής και,

β) αυτές που σχετίζονται με τις δυνάμεις που αναπτύσσονται σε έναν ή περισσότερους αγωγούς, όταν διαρρέονται από το ρεύμα του κεραυνού.

Η θερμοκρασία του οχετού προεκκένωσης πολλές φορές, μπορεί να φτάσει και τους $30000\text{ }^\circ\text{K}$ μέσα σε λίγα μs . Αυτό συνεπάγεται την ταχύτατη εξάπλωση του αέρα που περιβάλλει τον οχετό, φτιάχνοντας ένα κύμα πίεσης το οποίο βρίσκεται αρχικά στην περιοχή των υπερήχων, και εν συνεχεία εξελίσσεται σε θόρυβο (βροντή). Το παρακάτω [Σχήμα 1.2.2,(β)] μας δείχνει πώς μεταδίδεται αυτό το κύμα από τον πυρήνα του οχετού προεκκένωσης, και είναι το κύμα που φέρει ευθύνη για το κύμα αέρα που σηκώνει κεραμίδια στέγαστρων, και έχουν κινδυνέψει ανθρωπινες ζωές. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται μετά από άμεσο πλήγμα κεραυνού.



Σχήμα 1.2.2,(β) Κατανομή της πίεσης που δημιουργείται από την θερμότητα του οχετού, στο χώρο, με παράμετρο τον χρόνο. (Hill, 1972)

Στην δεύτερη κατηγορία μηχανικών συνεπειών, αυτές οφείλονται στο γεγονός πως δύο παράλληλοι αγωγοί που μοιράζονται την εκφόρτιση του ρεύματος ενός κεραυνού, υπόκεινται σε δυνάμεις έλξης ανάλογες του τετραγώνου της τιμής του ρεύματος και, αντιστρόφως ανάλογες της μεταξύ τους απόστασης. Αυτές οι ελκτικές δυνάμεις είναι υπεύθυνες για τη συγχώνευση πολύκλωνων αγωγών και για την σύνθλιψη κοίλων αγωγών.

1.2.3 Ηλεκτρικές συνέπειες ενός πλήγματος κεραυνού

Μια συνέπεια ενός πλήγματος κεραυνού, είναι η εσωτερική διάσπαση που συχνά συμβαίνει μεταξύ αγωγών του συστήματος προστασίας και εσωτερικών αγωγίμων στοιχείων της κατασκευής (πχ αγωγούς υδρεύσεως), γνωστή και ως επικίνδυνος σπινθήρας (slide flash). Σε αυτή την περίπτωση ένα μεγάλο ρεύμα λόγω της διάσπασης διοχετεύεται μέσω των εσωτερικών στοιχείων προς τη γη, με πολλές φορές καταστροφικά αποτελέσματα. Η διαφορά δυναμικού στη κορυφή ενός συλλεκτήριου συστήματος σε σχέση με τη γη βρίσκεται από τη σχέση (1.2.3):

$$u=iR+L\frac{di}{dt} \quad (1.2.3) \quad \text{όπου:}$$

i: Το ρεύμα του κεραυνού που πλήττει τον συλλεκτήριο αγωγό.

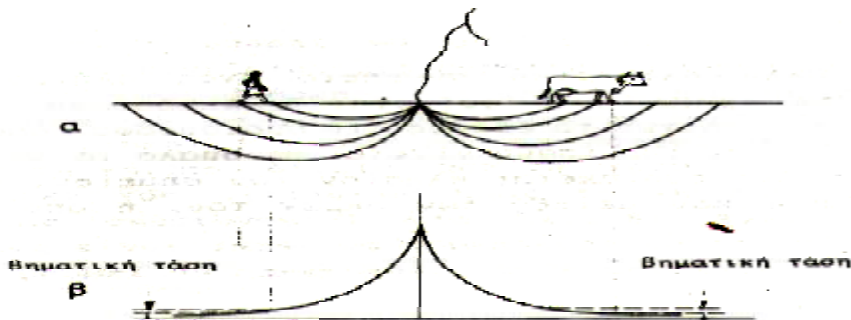
R: Η αντίσταση γείωσης.

L: Η αυτεπαγωγή που παρουσιάζεται στον συλλεκτήριο αγωγό.

di/dt : Η κλίση του μετώπου του ρεύματος κεραυνού.

Ένας τρόπος για να αποφευχθεί όσο το δυνατόν περισσότερο όχι όμως τελείως ο κίνδυνος της εσωτερικής διάσπασης είναι να συνδεθούν αγωγίμα το σύστημα προστασίας με το εσωτερικά αγωγίμα στοιχεία.

Μια άλλη ηλεκτρική συνέπεια ενός πλήγματος φαίνεται στο παρακάτω (σχήμα 1.2.3):



Σχήμα (1.2.3) Κατανομή του ρεύματος (α), και της τάσης (β) κατά τη διάρκεια εκφόρτισης του ρεύματος ενός κεραυνού.

Παραπάνω βλέπουμε την εκφόρτιση του ρεύματος ενός κεραυνού που πλήττει τη γη. Σε πιο λεία εδάφη όπως του σχήματος η κατανομή της τάσης και του ρεύματος γίνεται με ομαλό τρόπο. Στην περίπτωση που ένας άνθρωπος ή ζώο βρίσκεται πλήσιον του σημείου, θα εμφανιστεί μια διαφορά δυναμικού μεταξύ των άκρων του, η οποία δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$u=i\frac{\rho}{2\pi d(d+s)} \quad (1.2.4), \quad \text{όπου:}$$

i: Ευρος ρεύματος κεραυνού (A).

ρ : Ειδική αντίσταση εδάφους (Ωm).

S: Απόσταση μεταξύ των άκρων (m).

d: Απόσταση μεταξύ του σημείου του πλήγματος και του πλησιέστερου άκρου (m).

Ø Αυτή η διαφορά δυναμικού είναι η αιτία του ρεύματος που θα εισέρθει μέσω των άκρων και του χαμηλότερου σημείου του σώματος.

Κεφάλαιο 2: Συμβατική Αντικεραυνική προστασία

2.1.1 Η ανάγκη κατασκευής ενός συστήματος προστασίας (ΣΑΠ)

Η απόφαση για την κατασκευή ή όχι ενός συστήματος προστασίας κρίνεται αφενός σε οικονομικά κριτήρια και αφετέρου στον κίνδυνο για τη ζωή των ανθρώπων, όπως επίσης και στο ανεπανόρθωτο της ζημιάς που μπορεί να προκληθεί στις εγκαταστάσεις. Για αυτό το λόγο χρειάζεται οπωσδήποτε προστασία των κτηρίων, όπου παρατηρείται μεγάλη συγκέντρωση κόσμου, ιστορικά μνημεία, δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων, βιομηχανίες εκρηκτικών (δηλαδή κτήρια με μεγάλο κίνδυνο ανάφλεξης), σε πολύ ψηλά και απομονωμένα κτήρια, η ακόμα και σε κτήρια ευρισκόμενα σε περιοχές μεγάλης κεραυνικής δραστηριότητας.

Σε περίπτωση που υπάρχουν αμφιβολίες για την κατασκευή ή μη, συστήματος προστασίας, πρέπει να γίνονται οικονομοτεχνικές μελέτες που να αφορούν τη σύγκριση των χρημάτων που θα χρειαστεί ένα ΣΑΠ, με τα χρήματα που απαιτούνται στην αποκατάσταση τυχών ζημιών.

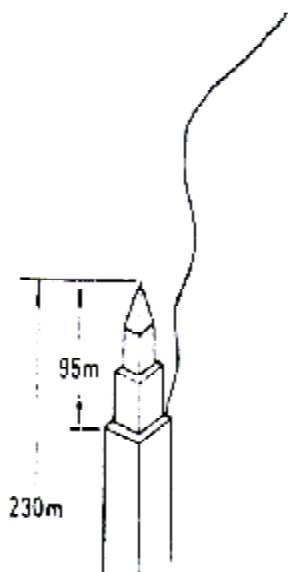
Γενικά πρέπει να τονίζεται ότι υπάρχει έλλειψη πολλών στοιχείων σε μελέτες σχετικά με (θερμικές, ηλεκτρικές, μηχανικές) ζημιές που προκλήθηκαν από χτυπήματα κεραυνών, σε διάφορα μέρη του κόσμου. Τα ελάχιστα διαθέσιμα στοιχεία τα κατέχουν συνήθως ασφαλιστικές εταιρείες, σε προηγμένες τεχνολογικά χώρες επάνω στον τομέα της αντικεραυνικής προστασίας, ενδεικτικά: (Wlasink,1967),στην Πολωνία περίπου 1500 αγροτικά σπίτια καίγονται κάθε χρόνο ύστερα από χτύπημα κεραυνού, αντιστοίχως στις Η.Π.Α γύρω στις 2000. (Uman,1969). Έτσι η επιλογή πρέπει να γίνει με απόλυτη προσοχή σε όλους τους προαναφερθείς παράγοντες.

2.1.2 Η διαμόρφωση ενός συστήματος προστασίας. Τεχνική Ηλεκτρογεωμετρικής.

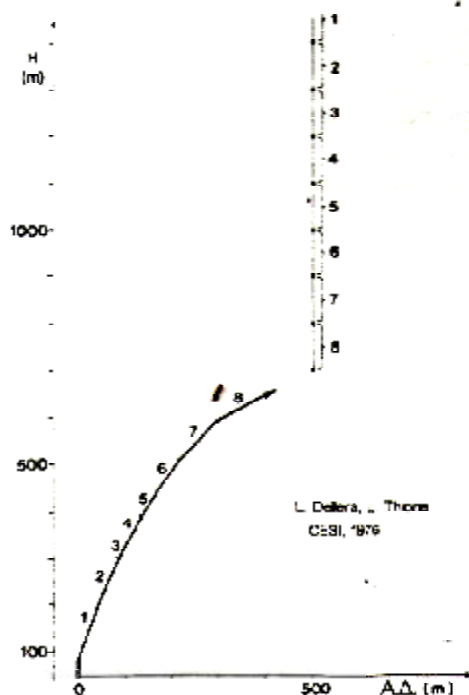
Σύμφωνα με την Απόσταση Διάσπασης που αναλύσαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο (σ.σ κεφάλαιο 1.1.5 παράγραφος γ), μπορούμε να χαράξουμε ένα σφαιρικό τομέα περιμετρικά του κάθε σημείου ενός κτίσματος, ίσης ακτίνας με την Απόσταση Διάσπασης και αυτοί οι τομείς τέμνονται μεταξύ τους. Στην περίπτωση που καταφέρουμε να περιβάλλουμε ευαίσθητα σημεία του κτίσματος από τομείς, οι οποίοι έχουν κέντρο ακίνδυνα σημεία από πλήγμα κεραυνού, τότε έχει επιτευχθεί ο στόχος της απόλυτης προστασίας του κτίσματος μας. Η τεχνική που μόλις περιγράψαμε ονομάζεται “Ηλεκτρογεωμετρική”, και μας χρησιμεύει κυρίως στην προστασία των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως αναφέραμε στη σχετική παράγραφο η Απόσταση Διάσπασης δίνεται από τη σχέση, $r_s=8I_0^{0.65}$, και γίνεται εύκολα κατανοητό πως ο γεωμετρικός χώρος που καταλαμβάνει ο σφαιρικός τομέας εξαρτάται από το ρεύμα του κεραυνού που εκφορτίζεται. Έτσι όμως είναι δυνατόν ένα ικανοποιητικό σύστημα προστασίας, στους κεραυνούς μεγάλης έντασης να παρακάμπτεται από ασθενέστερα πλήγματα.

Η κατεύθυνση ανάπτυξης του οχετού προεκκένωσης (συνεπώς και η πιθανή περιοχή του πλήγματος), καθορίζεται από τη γενική μορφή του ηλεκτρικού πεδίου. Αρχικά το ηλεκτρικό πεδίο διαμορφώνεται σαν να έχουμε εντελώς επίπεδο έδαφος, δεν παίζουν δηλαδή ρόλο οι προεξοχές του εδάφους στην ανάπτυξη του οχετού προεκκένωσης, σχεδόν μέχρι τις τελευταίες του βαθμίδες. Στα τελευταία του στάδια η κατεύθυνση του οχετού

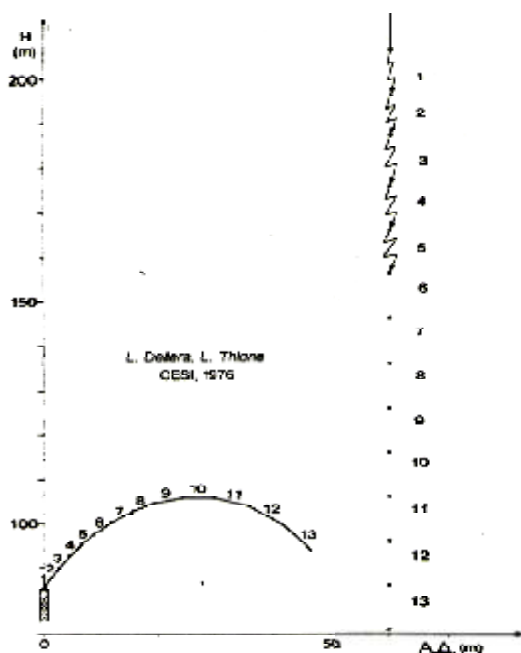
προεκκένωσης επηρεάζεται από τις διάφορες προεξοχές του εδάφους. Η επιρροή αυτή μόνο σε πολύ μεγάλου μήκους προεξοχές επιδρά σημαντικά. Για αυτό το λόγο μια πολύ υψηλή κεραία ή ένας πύργος μπορεί να δημιουργήσει μια απόκλιση του οχετού προς τον πύργο. Το ύψος του πύργου είναι συγκρίσιμο με την Απόσταση Διάσπασης και έτσι ο οχετός μπορεί να εκτραπεί της πορείας του και να πλήξει τη περιοχή γύρω από τη βάση του πύργου αντί για την κορυφή του. Δηλαδή μόνο και μόνο από την παρουσία του πύργου στην περιοχή αυξάνεται η πιθανότητα να χτυπηθεί από κεραυνό η περιοχή αντί να μειώνεται.



Πλήγμα στη πλατφόρμα της Βαρσοβίας του
Palace of culture (1963)
[Εικόνα 2.1.1]



Πλήγμα κεραυνού μεγάλης έντασης ($I=55-100 \text{ kA}$)
[Σχήμα 2.1.1]



Πλήγμα κεραυνού μικρής έντασης ($I<10 \text{ kA}$)
[Σχήμα 2.1.2]

Στα σχήματα (2.1.1),(2.1.2)φαίνονται τα διαδοχικά βήματα του οχető προεκκένωσης και του συνδευτικού οχető από τη στιγμή που ο πρώτος φτάνει την Απόσταση Διάσπασης. Η εικόνα (2.1.1) δείχνει μια περίπτωση πλήγματος σε ενδιάμεσο ύψος ενός ψηλού κτηρίου.

2.2.1 Εισαγωγή στα συμβατικά Αλεξικέραυνα.

Ένα αντικεραυνικό σύστημα αποτελείται από 2 μέρη: την απαγωγή και την γείωση. Και όταν μιλάμε για απαγωγή αναφερόμαστε φυσικά στους αγωγούς καθόδου οι οποίοι αποτελούν τη δίοδο διοχέτευσης του κεραυνού στην γη. Ανάλογα με τις διαστάσεις του κτιρίου που θέλουμε να προστατέψουμε, επιλέγουμε και τον κατάλληλο αριθμό αγωγών καθόδου και τους τοποθετούμε κατακόρυφα στους τοίχους. Τώρα όσον αφορά το σύστημα γείωσης, αυτό αποτελείται από ηλεκτρόδια γείωσης και μεταλλικές ταινίες. Το βασικότερο που θα πρέπει να προσέξουμε σε ένα σύστημα γείωσης είναι η αντίσταση να μην ξεπερνάει τα 2Ω .

Υπάρχουν δυο διαφορετικοί τύποι συμβατικού αλεξικέραυνου: Τύπου ακίδας Franklin, ή τύπου κλωβού Faraday (για μεγάλα κτήρια με πλέγμα αγωγών στην οροφή), όπως θα δούμε και παρακάτω:

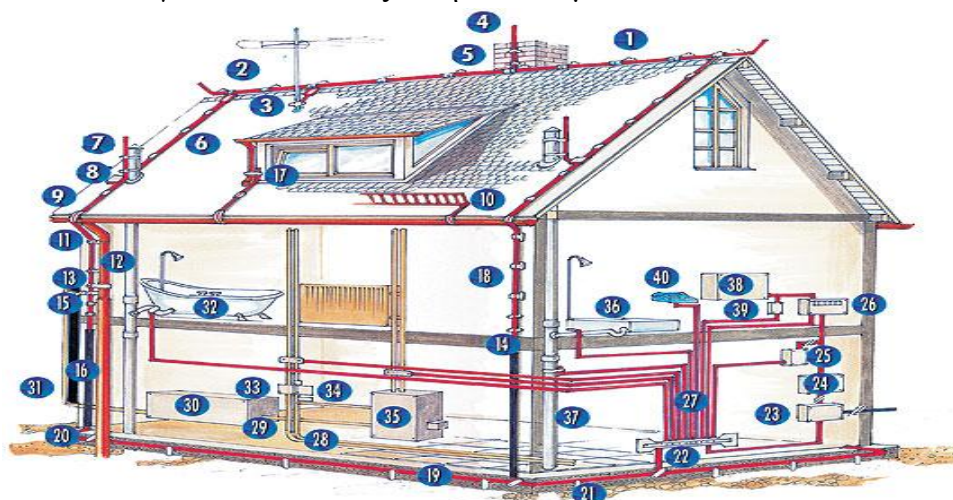
α) Αντικεραυνικές εγκαταστάσεις τύπου ακίδας Franklin σε κτίρια.

Από την εποχή του Franklin (1750) οι ακίδες αντικεραυνικής προστασίας διαπιστώθηκε ότι εξασφαλίζουν τα κτίρια από τους κεραυνούς. Γενικά πιστεύεται ότι δημιουργούν ανερχόμενους οχέτους σε ποικίλες αποστάσεις και χρονικές στιγμές ανάλογα με το σχήμα, ύψος και άλλους παράγοντες. Οι ακίδες αποτελούν τα ακρότατα σημεία αγωγών που ως κάθοδοι οδηγούν το ρεύμα των κεραυνών στη γη. Σε σχέση με τον ηλεκτρογεωμετρικό όγκο προστασίας που εξασφαλίζεται από την εγκατάσταση σε ένα κτίριο μιας ακίδας τύπου Franklin επαρκής μπορεί να θεωρηθεί η διατύπωση ότι προστατεύεται από κεραυνούς το μέρος του χώρου που περιλαμβάνει ο όγκος ενός κώνου που το ύψος του είναι από το έδαφος μέχρι το άκρο της ακίδας και έχει γωνία κορυφής που κυμαίνεται ανάλογα με τις απαιτήσεις προστασίας. Σε συσχέτιση με τις διάφορες απαιτήσεις προστασίας χρησιμοποιούνται διάφορα σχήματα ακίδων. Σε πολλές περιπτώσεις η εγκατάσταση μιας μοναδικής ακίδας δεν είναι επαρκής και κατάλληλη ώστε να εξασφαλίσει πλήρη προστασία (για παράδειγμα σε κτίρια μεγάλης κάτοψης, αποθήκες πυρομαχικών). Ακόμη ο μοναδικός αγωγός καθόδου που συνδέεται με αυτή δεν είναι επαρκής ως μοναδική προστασία σε μοντέρνες εγκαταστάσεις που περικλείουν ηλεκτρονικά μηχανήματα. Σε ισοδύναμα ηλεκτρικά πεδία μια ακίδα με αμβλεία μορφή φαίνεται να έχει διαφορετική συμπεριφορά από μια ακίδα με οξεία αιχμή. Με την πάροδο των ετών διάφοροι κατασκευαστές αντικεραυνικών εγκαταστάσεων προσπάθησαν να δώσουν κατασκευές αντικεραυνικών ακίδων που διαθέτουν διάφορα πρόσθετα στοιχεία που "ενισχύουν" την απόδοσή τους ή με απλά λόγια επιμηκύνουν το ύψος του κώνου προστασίας, όπως θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο.

β) Αντικεραυνική προστασία με σύστημα γειωμένου κλωβού Faraday.

Ο ίδιος ο Franklin διαισθητικά συνιστούσε σε μεγάλα κτίσματα τη χρησιμοποίηση δύο η περισσότερων ακίδων συνδεδεμένων μεταξύ τους. Σε σύγχρονα συστήματα προστασίας λοιπόν οι ράβδοι έχουν αντικατασταθεί με έναν γειωμένο κλωβό αγωγών που περιβάλλει το κτίσμα. Ο κλωβός του Faraday παρέχει ουσιαστική προστασία σε στατικά και σε αργά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά πεδία και σχετικά επαρκή προστασία σε ηλεκτρομαγνητικά

πεδία. Η ονομασία "αντικεραυνική προστασία με κλωβό Faraday" θα έπρεπε ίσως να αντικατασταθεί με την ονομασία "αντικεραυνική προστασία με συνδυασμό ακίδων Franklin". Ταιριάζει όμως με τον όρο «κλωβός Faraday» από την άποψη ότι οι ακίδες Franklin συνδέονται με συλλεκτήριους αγωγούς που δημιουργούν ένα είδος κλωβού Faraday που περιλαμβάνει ακίδες, συλλεκτήριους αγωγούς, καθόδους προς τις γειώσεις και γειώσεις. Το σχήμα αυτό δίνει παρεμφερή αποτελέσματα με τους αγωγούς ηλεκτρικής προστασίας που χρησιμοποιούν οι ηλεκτρικές επιχειρήσεις αντί για ακίδες στις εγκαταστάσεις υποσταθμών υψηλής τάσης, γραμμών μεταφοράς κτλ. Η λειτουργία του κλωβού αυτού βασίζεται στην αρχή ότι για να αναπτυχθεί σε κάποιο σημείο της κατασκευής υψηλή πεδιακή ένταση προκειμένου να εκπηδήσει από αυτή ένας συνδετικός οχετός, είναι απαραίτητο να έχουμε ταχεία μετατόπιση φορτίων από την υπόλοιπη μάζα της κατασκευής προς αυτή τη θέση. Γνωρίζουμε όμως ότι η ταχύτητα μετακίνησης φορτίων μέσα σε ένα σώμα είναι ανάλογη της ειδικής αγωγιμότητας του σώματος αυτού. Ο κλωβός Faraday που περιβάλλει το κτίσμα παρουσιάζει μεγάλη αγωγιμότητα από τα υπόλοιπα τμήματα του κτίσματος, έχει την ικανότητα μεταφοράς φορτίων και αναγκαίου πεδίου για να ξεκινήσει μέσω αυτού συνδετικός οχετός.

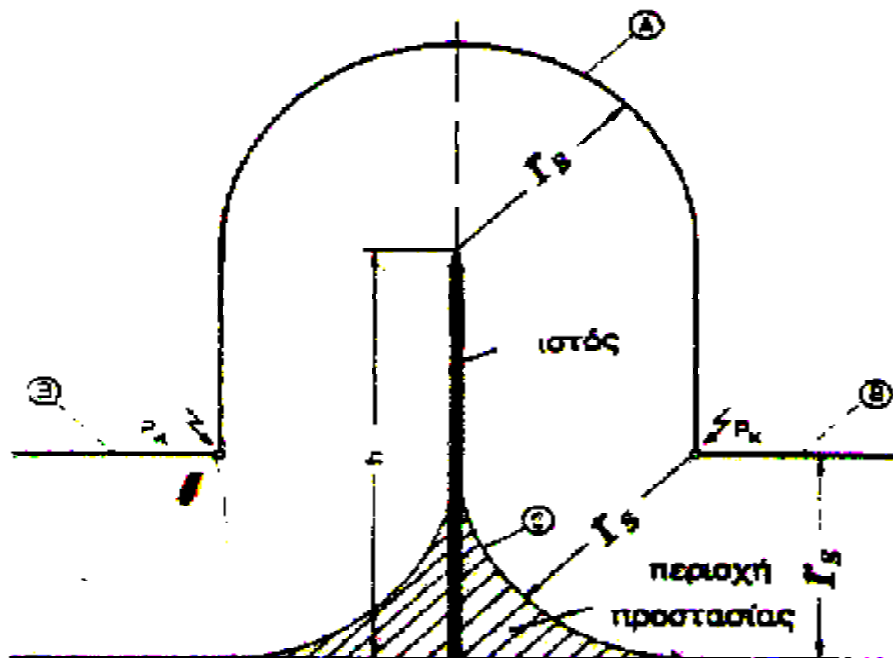


Εικόνα2.2.1 (β) Σύστημα κλωβούFaraday.Η εικόνα προέρχεται από το site: <http://technical-development.gr>

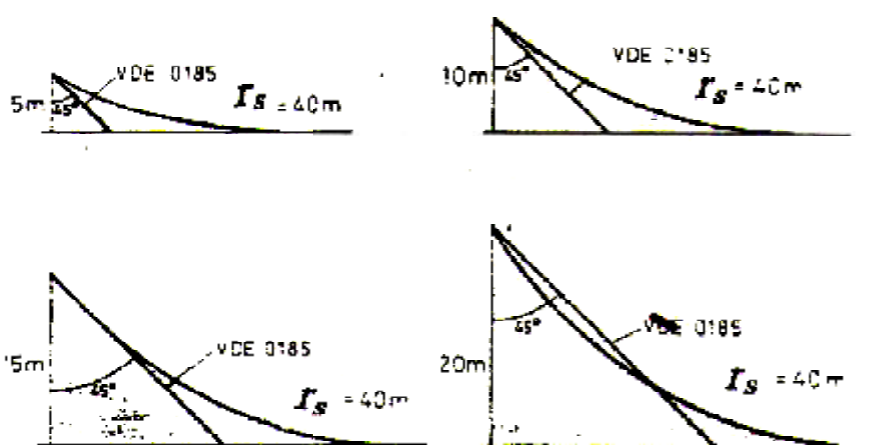
2.2.2 Εύρεση περιοχής προστασίας και Ισοδύναμης επιφάνειας κατασκευής.

Μια ακίδα Franklin δημιουργεί για τον κεραυνό ένα σημείο προτίμησης συγκριτικά με τα γειτονικά της σημεία. Η έκταση του σημείου προτιμήσεως εξαρτάται από το ύψος της ράβδου και την Απόσταση Διάσπασης. Η Απόσταση Διάσπασης με τη σειρά της εξαρτάται από το προς εκφόρτιση μέγεθος του φορτίου που φέρει ο επερχόμενος κεραυνός. Για δεδομένο ύψος ράβδου δηλαδή δεν είναι απόλυτα καθορισμένη η περιοχή προστασίας. Δεχόμαστε όμως πως η περιοχή προστασίας της ακίδας Franklin, βρίσκεται γύρω από τη βάση της, με ακτίνα ίση περίπου με το διπλάσιο του ύψους της. Για να είμαστε όμως απόλυτα ακριβείς στον καθορισμό της περιοχής προστασίας μας, θα πρέπει να συνυπολογίσουμε τη χρησιμότητα της έννοιας της απόστασης διάσπασης και τις στατιστικές τιμές των παραμέτρων των κεραυνών. Έτσι θα καταλήξουμε στο συμπέρασμα πως αν το ύψος μιας ράβδου γίνει πολύ μεγάλο τότε η περιοχή προστασίας περιμετρικά της συρρικνώνεται δραματικά. Για αυτό τον λόγο στην προηγούμενη ενότητα είδαμε κεραυνούς που έπλητταν το μέσο η τη βάση πολύ υψηλών κατασκευών (πάνω από 200 ή 300 μέτρα),όπως πύργοι η κεραίες. (Ενότητα 2.1.2).

Ο πιο ακριβής καθορισμός της περιοχής προστασίας ξεκινά από τον καθορισμό της αντίστοιχης περιοχής προστασίας της ράβδου, Σχήμα[2.2.2(α)]. Επειδή λοιπόν ένα ρεύμα κεραυνού αντιστοιχεί σε μία απόσταση διάσπασης $r_s=f(I)$, τότε ανάλογα τη σχέση μεταξύ του ύψους της γειωμένης ράβδου με την απόσταση διάσπασης οι περιοχές προστασίας της ράβδου φαίνονται παρακάτω στα Σχήματα:[2.2.2 (α)], [2.2.2 (β)].



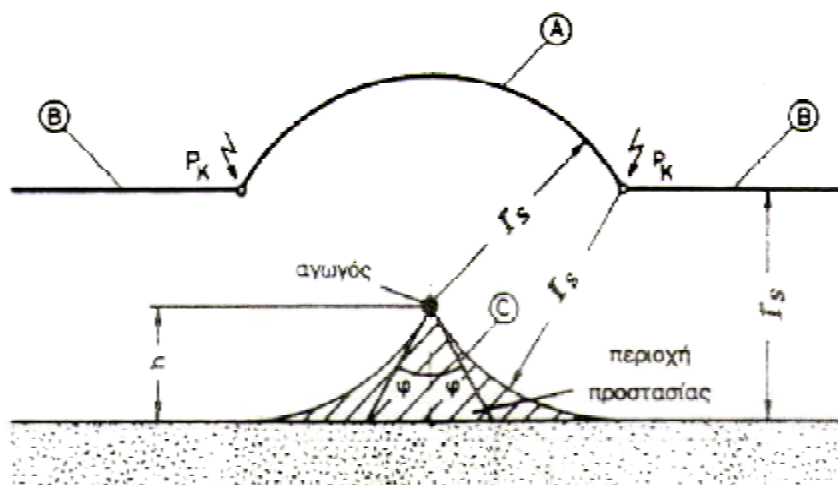
Σχήμα 2.2.2 (α) Περιοχή προστασίας μιας γειωμένης ράβδου.



Σχήμα 2.2.2 (β) Περιοχή προστασίας μιας γειωμένης ράβδου

Από τα παραπάνω γίνεται περισσότερο από σαφές ότι, σε κεραυνούς με μικρότερο ρεύμα η περιοχή προστασίας συρρικνώνεται. Η επιλογή του ύψους της ράβδου γίνεται βάσει της περιοχής που θέλω να προστατέψω και για ποιες τιμές κεραυνού.

Η ίδια αρχή διέπει και τον υπολογισμό της περιοχής προστασίας ενός ή δυο οριζοντίων αγωγών. [Σχήμα 2.2.2 (γ)], [Σχήμα 2.2.2 (δ)]:



Σχήμα 2.2.2 (γ) Περιοχή προστασίας ενός οριζοντίου αγωγού.

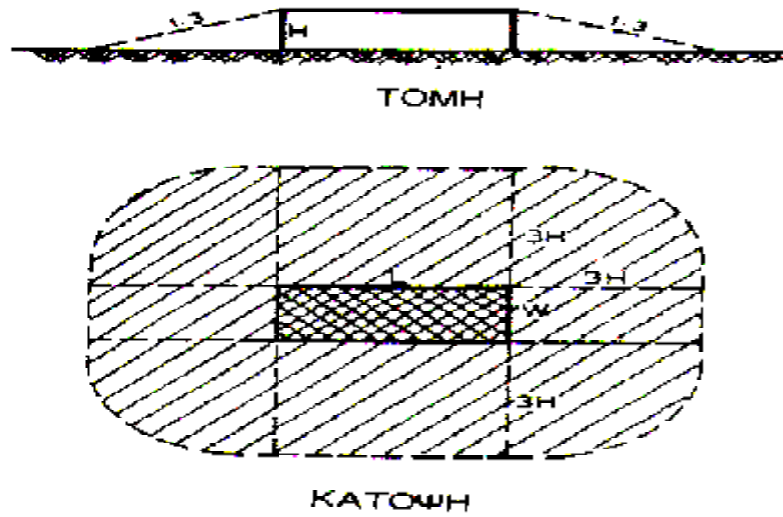


Σχήμα 2.2.2 (δ) Περιοχή προστασίας ενός συστήματος δυο οριζοντίων αγωγών

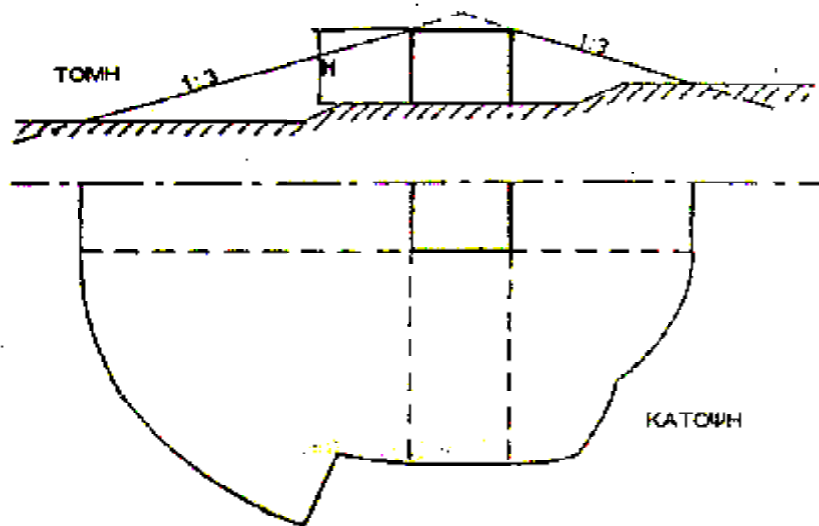
Κάθε γειωμένο σημείο δημιουργεί γύρω του μια σφαίρα ακτίνας, ίσης με την απόσταση διάσπασης, τα σημεία της οποίας φέρουν την ίδια πιθανότητα πλήξης από κεραυνό που αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη απόσταση διάσπασης. Συνεπώς σε κάθε κατασκευή υπάρχει μια ισοδύναμη επιφάνεια με τα σημεία της να έχουν μεταξύ τους ίδια πιθανότητα να χτυπηθούν από κεραυνό. Έτσι κάθε ρεύμα κεραυνού θα δημιουργεί τη δική του ισοδύναμη επιφάνεια κατασκευής. Σε συμβατικές κατασκευές και για μέσο ρεύμα κεραυνού, δεχόμαστε ότι η ισοδύναμη αυτή επιφάνεια προκύπτει με την αύξηση της περιμέτρου της κατασκευής, κατά τρεις φορές το ύψος της. Αν px η κατασκευή είναι ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο, [Σχήμα 2.2.2 (ε)], διαστάσεων L, W, H η ισοδύναμη επιφάνεια δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$LW + 6H(2+W) + 9\pi H^2, \quad (\text{Σχέση 2.2.2})$$

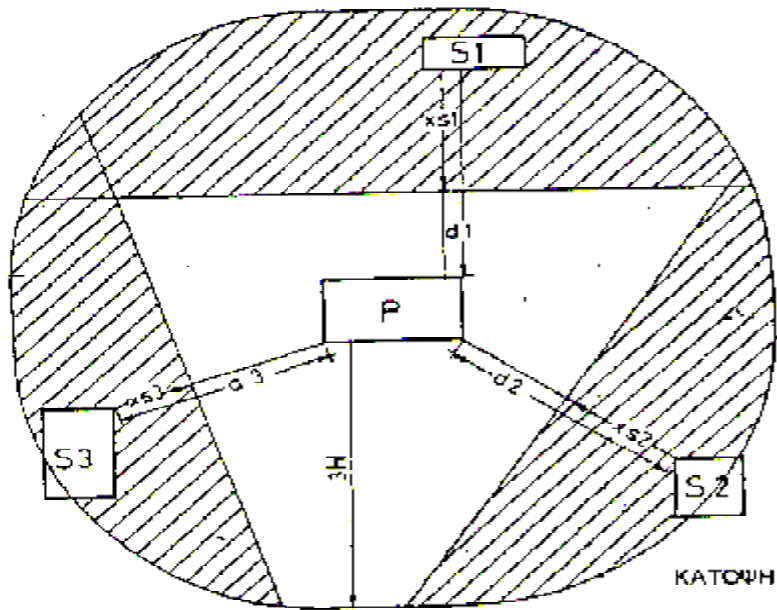
Παρακάτω βλέπουμε μερικές εκ των περιπτώσεων υπολογισμού των ισοδύναμων περιοχών:



Σχήμα 2.2.2 (ε) *Ισοδύναμη επιφάνεια προστασίας μιας απλής κατασκευής*



Σχήμα 2.2.2 (στ') *Ισοδύναμη επιφάνεια προστασίας μιας σύνθετης κατασκευής*



P — προστατευόμενη κατασκευή
 S — γειτονική κατασκευή
 ▨▨▨ αφαιρούμενη επιφάνεια

Σχήμα 2.2.2 (ζ) Ισοδύναμη επιφάνεια προστασίας μιας σύνθετης κατασκευής.

Κεφάλαιο 3: Αλεξικέραυνα πρώιμου οχετού

3.1 Καταγραφή μεθόδων Αντικεραυνικής προστασίας

Στο προηγούμενο κεφάλαιο εξετάσαμε λεπτομερώς την λειτουργία της **συμβατικής αντικεραυνικής προστασίας**, όπου είδαμε ότι έχουν σκοπό να προσελκύσουν τον κεραυνό, χρησιμοποιώντας συνήθως τις λεγόμενες ακίδες Franklin. Η ακίδα Franklin θεωρείται παθητικό στοιχείο που συλλαμβάνει τον κεραυνό κυρίως λόγω της χωροθέτησης της σε σχέση με την κατασκευή που χρήζει προστασίας. Αφού προσελκύσουν τον κεραυνό σκοπός τους είναι να διοχετεύσουν το ηλεκτρικό φορτίο προς την γη μέσω αγωγών ώστε να το καταστήσουν ακίνδυνο για τους ζωντανούς οργανισμούς και την ίδια την κτηριακή εγκατάσταση. Τα συστήματα που χρησιμοποιούν τις ακίδες Franklin είτε αγωγούς προστασίας αναφέρονται στην εργασία αυτή ως συμβατικά.

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν προταθεί καινούργια συστήματα αντικεραυνικής προστασίας τα λεγόμενα **ενεργά**. Τα συστήματα αυτά υποστηρίζονται από μέρος της επιστημονικής κοινότητας και των κατασκευαστών ως αποτελεσματικότερα από τα συμβατικά αφού υποτίθεται πως αυξάνουν την παρεχόμενη ζώνη προστασίας. Τα ενεργά συστήματα διακρίνονται σε δυο κυρίως κατηγορίες, στα συστήματα **απόθησης** κεραυνού και στα συστήματα που χρησιμοποιούν **αλεξικέραυνα πρώιμου οχετού**.

- Ø Τα συστήματα 'απόθησης' κεραυνού αποτελούν συλλεκτήριες διατάξεις τύπου ράβδου αλλά με πολλές ακίδες στην απόληξη της σφαιρικά κατανεμημένες. Υποστηρίζεται ότι οι πολλές ακίδες δημιουργούν χωρικό φορτίο γύρω από την απόληξη της ράβδου που εξουδετερώνει μέρος του φορτίου του σύννεφου που προσεγγίζει την περιοχή της, παρεμποδίζοντας με τον τρόπο αυτό την φάση του οχετού επιστροφής, αυξάνοντας έτσι την προστασία [3]. Δεν θα αναλύσουμε περισσότερο την λειτουργία των συστημάτων 'απόθησης' κεραυνού καθώς ξεφεύγει από το θέμα της εργασίας.

3.2 Εισαγωγή στα Αλεξικέραυνα Πρώιμου Οχετού.

Τα αλεξικέραυνα πρώιμου οχετού εφεξής θα ονομάζονται στην εργασία μας ως **ESE** (*Early Streamer Emission*). Η αντικεραυνική προστασία με την χρήση ese είναι σχετικά καινούργια προσέγγιση στο πρόβλημα της σύλληψης των κεραυνών και υπόσχονται μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα ενάντια στους κεραυνούς.

Τα αλεξικέραυνα τύπου ese θεωρείται ότι προσελκύουν τους κεραυνούς και με αυτή την έννοια ο σκοπός τους είναι ίδιος με των συμβατικών. Τα αλεξικέραυνα τύπου ese παρόλα αυτά διαφέρουν από τα συμβατικά στο ότι είναι εξοπλισμένα με μια συσκευή που υποτίθεται αυξάνει την αποτελεσματικότητα σύλληψης του κεραυνού αυξάνοντας έτσι τη ζώνη προστασίας σε σχέση με τα συμβατικά. Θεωρητικά τα αλεξικέραυνα πρώιμου οχετού αυξάνουν την πιθανότητα να ξεκινήσει ένα ανοδικό **νημάτιο** γρηγορότερα από ότι στα συμβατικά.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι αλεξικέραυνων ese, κοινό χαρακτηριστικό τους είναι η χρήση μιας συσκευής που **ιονίζει** την περιοχή γύρω από την άκρη του αλεξικέραυνου ώστε να αυξηθεί η πιθανότητα να ξεκινήσει μια ανερχόμενη εκκένωση που θα συνδεθεί με τον κατερχόμενο οχετό προεκκένωσης (*leader*). Οι συσκευές αυτές δεν αυξάνουν σημαντικά την αγωγιμότητα του αέρα για περιοχές μεγαλύτερες των 10 cm γύρω από την κορυφή. Εξαιρέση αποτελούν τα συστήματα που χρησιμοποιούν ισχυρές ακτίνες laser για να καθοδηγήσουν την εκφόρτιση leader, όμως αυτά ακόμα είναι πειραματικά. Το κύριο χαρακτηριστικό που προσελκύει τον κεραυνό είναι ο μεταλλικός αγωγός αυτός καθαυτός, που αυξάνει σημαντικά την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου γύρω του που με την σειρά του αυξάνει τον ρυθμό ιονισμού του αέρα γύρω από την κορυφή της ράβδου σε σχέση με άλλα

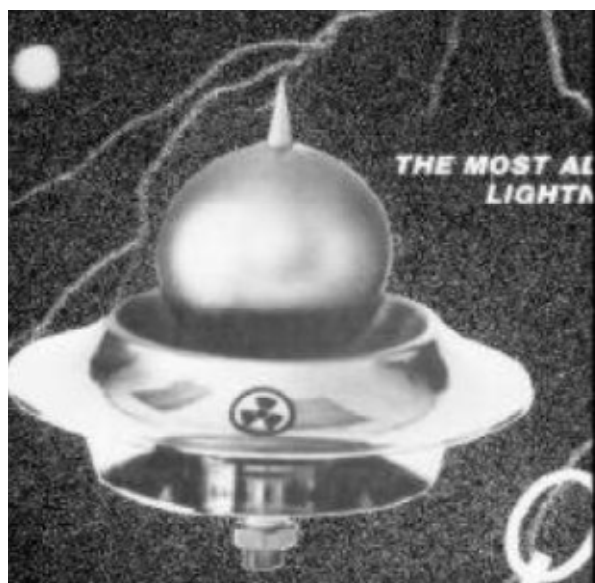
κοντινά σημεία. Με αποτέλεσμα να αυξάνει την πιθανότητα να ξεκινήσει μια εκκένωση και ίσως και την ταχύτητα με την οποία η εκφόρτιση θα διαδοθεί σε σχέση με τις γύρω περιοχές όπου η ένταση του πεδίου είναι μικρότερη. Όπως και στα συμβατικά αλεξικέρανα η ικανότητα προσέλκυσης αυξάνεται με το ύψος πάνω από το έδαφος [2].

3.2.1 Τύποι αλεξικέρανων ESE.

Υπάρχουν τρεις γενικές κατηγορίες που έχουν ξεχωρίσει μέχρι σήμερα:

1) Τα αλεξικέρανα που στην κορυφή τους υπάρχει μια ραδιενεργή πηγή.

Είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος και ίσως ο πιο αμφιλεγόμενος. Αυτές οι συσκευές είναι εξοπλισμένες με μια ραδιενεργή πηγή, που είναι τοποθετημένη στην κορυφή του αλεξικέρανου. Τα ραδιενεργά υλικά είναι συνήθως ασθενείς εκπομποί σωματιδίων άλφα με σχετικά μεγάλους χρόνους ζωής, όπως για παράδειγμα Am , χρόνος ημιζωής 433 χρόνια, άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι τα Po^{210} , Ra^{226} , Kr^{85} , Co^{60} . Τα παράγωγα από την ραδιενεργή αποσύνθεση αυτών των υλικών ιονίζουν τον αέρα σε μια περιοχή γύρω από το αλεξικέρανο με ακτίνα από 1 έως 3 cm [2]. Έχουν αναφερθεί ενδείξεις από εργασίες πως τα ραδιενεργού τύπου αλεξικέρανα υπερέχουν των συμβατικών. Βασισμένες κυρίως αποτελέσματα πειραμάτων σε εξωτερικούς χώρους, με την χρησιμοποίηση παλμών υψηλής κρουστικής τάσης σε διάκενα πλάκας ράβδου. Παράδειγμα στις εργασίες [7,8] οι συγγραφείς συμπεραίνουν πως τα αλεξικέρανα με ραδιενεργή πηγή στην κορυφή τους είναι αποτελεσματικότερα από συμβατικά ως προς την σύλληψη του κεραυνού. Όμως στην συζήτηση που ακλουθούσε τις εργασίες αυτές οι ερευνητές G. Carraca, I. S. Grant, A. C. Liew, C. Menemenlis και A. M. Mousa χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα της εργασίας υποστήριζαν ακριβώς το αντίθετο. Ακόμη έχουν δημοσιευτεί αρκετές εργασίες μέχρι σήμερα που αποδεικνύουν πως τα ραδιενεργού τύπου αλεξικέρανα δεν είναι αποτελεσματικότερα από τα συμβατικά για παράδειγμα οι [9,10]. Πρέπει να πούμε πως η χρησιμοποίηση αυτού του τύπου σήμερα είναι απαγορευμένη σχεδόν σε όλα τα κράτη, εξαιτίας του πιθανού κινδύνου για την ανθρώπινη υγεία από την έκθεση σε βλαβερή ακτινοβολία λόγω των ραδιενεργών υλικών. Όμως παρά την απαγόρευση, επειδή η εξάπλωσή τους τις δεκαετίες '70 και '80 ήταν μεγάλη, παραμένουν ακόμα εγκατεστημένα αρκετά παγκοσμίως.



Σχήμα 1. Αλεξικέρανο ραδιενεργής πηγής.

Government bans import, sale of these lightning rods

New Straits Times Wed 28th June 1989

By ROMLI IBRAHIM

KUALA LUMPUR, Tues. — The Government has banned, with immediate effect, the further import and sale of lightning rods containing radioactive material.

Present users, however, are allowed to retain such rods but are advised to register with the Atomic Energy Licensing Board.

The Government has also allowed the continued use of smoke detectors (ICSD or ionisation chamber smoke detector) containing radioactive matter as the radioactive content in these devices is too small and, therefore, quite harmless.

Announcing this today, the executive secretary of the board, Encik Kasbun Kamal, said: "We have found that such lightning rods have no extra advantages over the conventional ones." Some people think that such lightning rods are more effective because of their radioactive content.

Tall buildings

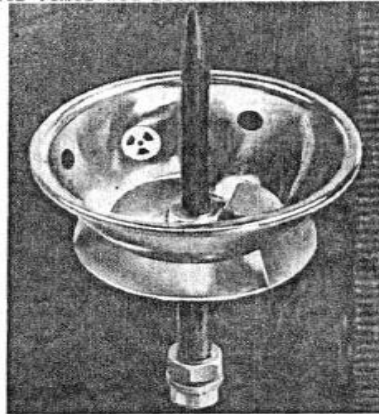
"That is not so. Such lightning rods are not superior to the conventional ones."

He said countries like the United States, Sweden, France, Australia and Argentina, which had produced the radioactive rods, had imposed a ban on their use.

The board also decided to impose the ban because of the problem of disposal that would arise with the wider use of the radioactive rods.

"The Government wants to ensure that Malaysia will not become a dumping ground for radioactive rods."

There are now about 50 radioactive rods in



A lightning rod containing radioactive material.

The ban on the radioactive lightning rods that took effect in June 1989.

Εικόνα 1. Δημοσίευμα της εποχής σχετικά με την απαγόρευση των αλεξικέραυτων ραδιενεργού τύπου.

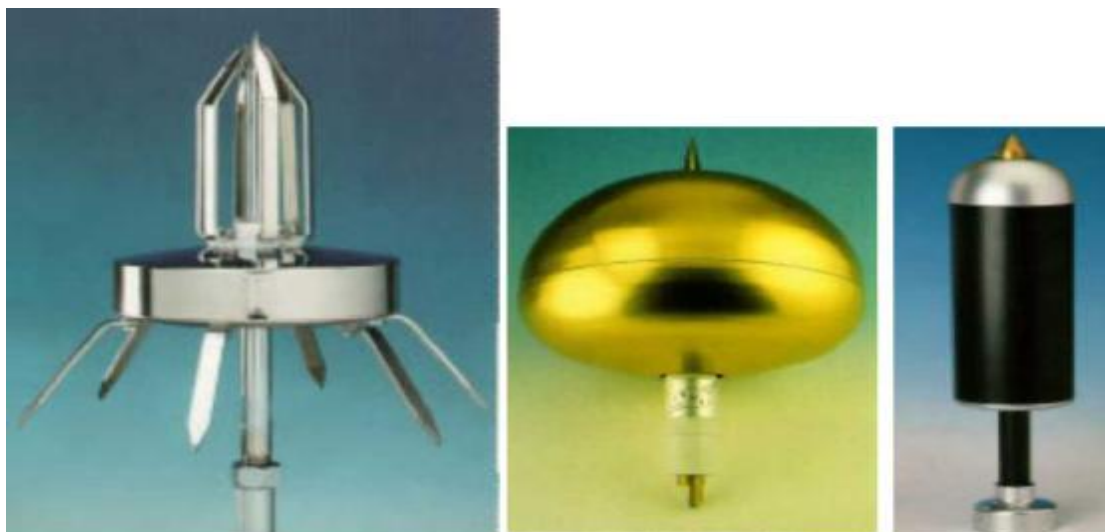
2) Αλεξικέραυνα που χρησιμοποιούν ηλεκτρονικές συσκευές για την ανίχνευση ενός κατερχόμενου οχετού προεκκένωσης και την εφαρμογή ενός παλμού υψηλής τάσης την κατάλληλη στιγμή στην κορυφή του αλεξικέραυτου.

Αυτός ο τύπος είναι ποιο πρόσφατος, ο σκοπός τους όμως παραμένει ίδιος με των ραδιενεργών. Όταν αναφερόμαστε σε αλεξικέραυνα ese από εδώ και πέρα στην εργασία θα εννοούμε αυτόν τον τύπο. Τα αλεξικέραυνα παλμών προσφέρουν ένα πλεονέκτημα σε σχέση με τα ραδιενεργά, τον μεγαλύτερο έλεγχο στην παραγωγή ιόντων στην κορυφή του αλεξικέραυτου με αποτέλεσμα να αποφεύγεται συνεχής εκκένωση τύπου corona πριν το χτύπημα κεραυνού. Ακόμη δεν παρουσιάζουν προβλήματα που έχουν σχέση με την υγεία και το περιβάλλον όπως αυτά του ραδιενεργού τύπου. Χρησιμοποιούν μια συσκευή που ανιχνεύει έναν κατερχόμενο βηματικό οχετό προεκκένωσης (leader) όταν πλησιάζει, παράγοντας ένα ηλεκτρικό σήμα ανάλογο του ηλεκτρικού πεδίου ή του ρυθμού μεταβολής του πεδίου που προκαλείται από τον κατερχόμενο leader. Όταν το σήμα εξόδου του ανιχνευτή φτάσει σε κάποιο επίπεδο, ενεργοποιεί ένα κύκλωμα το οποίο στη συνέχεια εφαρμόζει ακαριαία ένα υψηλής τάσης παλμό ή παλμούς είτε απευθείας στην ράβδο είτε σε μια διάταξη διάκενου σπινθηρισμού που είναι τοποθετημένη στην κορυφή της ράβδου. Με την εφαρμογή του παλμού το ηλεκτρικό πεδίο ενισχύεται αρκετά ώστε να δημιουργηθεί μια τοπική εκφόρτιση ή ιονισμός την πιο κατάλληλη στιγμή για να εκκινήσει μια ανερχόμενη εκκένωση. Σε σχέση με τα ραδιενεργού τύπου τα αλεξικέραυνα παλμών ιονίζουν την περιοχή γύρω από την κορυφή μόνο για μικρά χρονικά διαστήματα πριν το πλήγμα του κεραυνού. Σ' αυτή την κατηγορία ανήκουν και τα αλεξικέραυνα που εφαρμόζουν το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο για την ενεργοποίηση του ηλεκτρικού παλμού, μια τεχνική που έχει αναπτυχθεί πιο πρόσφατα. Παρόλα αυτά οι αρχές λειτουργίας τους είναι ίδιες με των υπολοίπων συσκευών ese, δηλαδή ενίσχυση του ιονισμού για την αύξηση της πιθανότητας εκκίνησης ενός ανοδικού streamer [2].

3) Τα συστήματα που χρησιμοποιούν ακτίνες laser.

Πρόκειται για μια νέα κατηγορία. Αυτές οι συσκευές υποτίθεται πως χρησιμοποιούν ισχυρές ακτίνες laser για να κατευθύνουν τον κεραυνό. Όταν μια ισχυρή ακτίνα laser θστραφεί στον αέρα το μονοπάτι της ακτίνας ιονίζεται σε μεγάλο βαθμό, το φαινόμενο αυτό ονομάζεται οπτική διάσπαση. Αν η ισχύς της ακτίνας είναι αρκετά μεγάλη γίνεται

δυνατή η διάδοση του βηματικού leader στο μονοπάτι της ακτίνας με μικρότερες τιμές του ηλεκτρικού πεδίου [2,11].



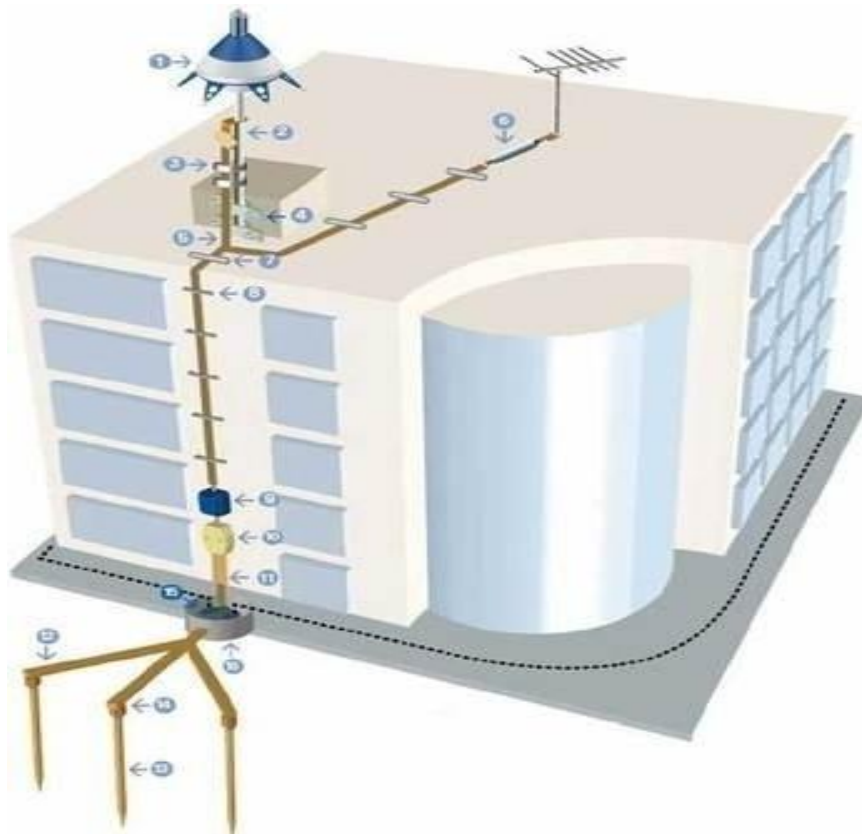
Σχήμα 2 Από αριστερά προς τα δεξιά είναι τα Prevelectron, Dynasphere και Interceptor και είναι αλεξικέρανα ese [12].

3.2.2 Αποψη εγκατάστασης αλεξικέρανου ESE με τερματικό τύπου Prevelectron.

Ø Παρακάτω σας παρουσιάζουμε τον τρόπο σύνδεσης με τα επί μέρους υλικά που χρησιμοποιούνται, στην αντικεραυνική προστασία τύπου ESE, που χρησιμοποιεί ως τερματικό το εξάρτημα της σειράς Prevelectron που προαναφέραμε κατά την παρουσίαση των Αλεξικέρανων Πρώιμου οχετού. Αντίστοιχο τρόπο σύνδεσης έχουν και τα ESE των άλλων 2 σειρών όπως θα δούμε σε επόμενες ενότητες.



Εικόνα (3.3.2): Το τερματικό αέρος τύπου Prevelectron της εταιρείας Indec.



Εικόνα (3.3.2β): Συνολική άποψη μιας θωρακισμένης με *Early streamer emission* εγκατάστασης.

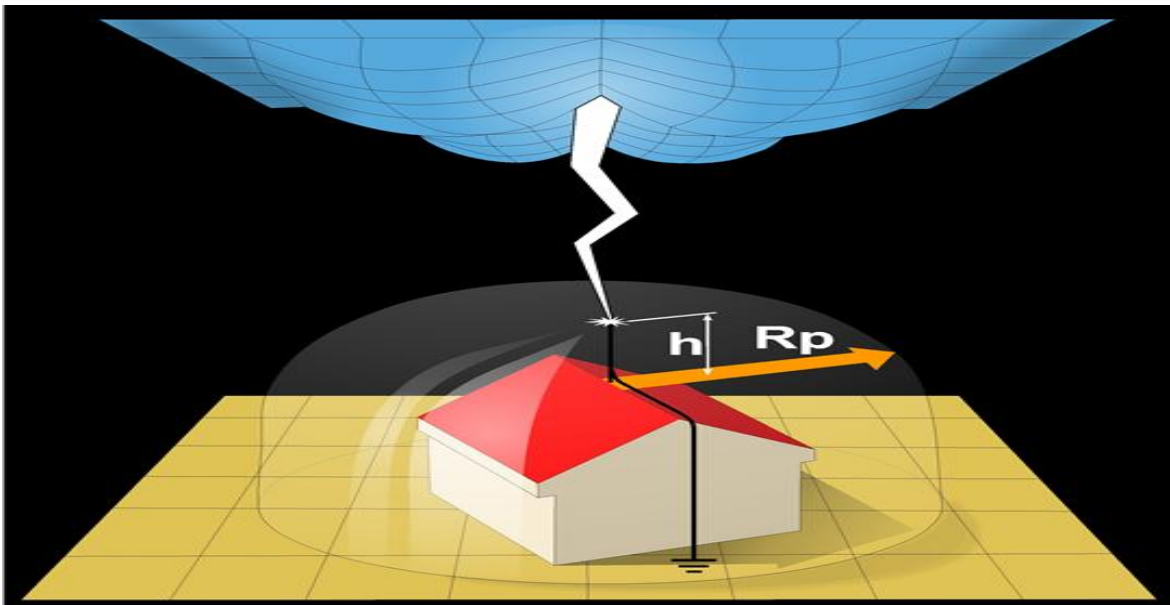
1. Prevelectron 2 s 6. 60 - ref:1243	: Το τερματικό τύπου Prevelectron.
2. Elevation pole -ref: 2023.	: Πόλος ανύψωσης.
3. Clamping collar - ref: 6058.	: Κολάρο σύσφιξης.
4. Side mounting brackets - ref: 3013.	: Πλευρικοί βραχίονες στήριξης.
5. Copper conductor - ref: 5001.	: Χάλκινος αγωγός.
6. Aerial mast diverter - ref: 8760.	: Κεραία εκτροπής ιστού.
7. Waterproofing holdfast -ref: 6031.	: Στεγανοποιητικό υλικό.
8. Galvanized steel hook - ref: 6002.	: Γαλβανισμένο χαλύβδινο γάντζο.
9. Lead plug -ref: 6005.	: Φις.
10. Lighting flash counter - ref: 8010.	: Μετρητής Κεραυνών.
11. Test clamp - ref: 7001b.	: Σφικτήρας Ελέγχου.
12. Production sheath- ref: 7014.	: Περίβλημα Παραγωγής.
13. Copper earthing - ref: 7021.	: Χαλκός γείωσης.
14. Earth rod - ref: 7030.	: Ακίδα γείωσης.
15. Rod-to-conductor clamp - ref: 7039.	: Οδηγός σφικτήρα ακίδων γείωσης.
16. Earth clamp - ref: 8004.	: Σφικτήρας γείωσης.
17. Inspection housing.	: Έλεγχος Περιβλήματος.

<http://www.indiamart.com/value-engineers/indelec-lighting-production.html>

3.2.3 Ενδεικτικές απόψεις εταιρικών αντιπροσώπων σχετικά με την χρησιμότητα των ESE.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφέρουμε τον τρόπο κατά τον οποίο ορισμένες εταιρίες υποστηρίζουν την αποτελεσματικότητα των ese, όπου μεταξύ άλλων αναφέρεται χαρακτηριστικά, τα οποία ακόμη για λόγους έρευνας δεν θα σπεύσουμε να υιοθετήσουμε:

«Το κύριο χαρακτηριστικό του τερματικού τύπου ESE είναι η δημιουργία ενός ανερχόμενου οχetőυ νωρίτερα από ότi άλλα τερματικά δημιουργούν. Αυτά το χαρακτηριστικό ονομάζεται Μέσο Κέρδος (Average Gain), στον χρόνο έναυσης του ανερχόμενου οχetőυ και έχει μετρηθεί εργαστηριακά. Από αυτό το κέρδος εξαρτάται ο προστατευόμενος χώρος κάθε αλεξικέραυνου.»



Ø Η αρχή λειτουργίας στην εκφόρτιση του κεραυνού.

«...Σε συνθήκες αίθριου καιρού χωρίς σύννεφα καταιγίδας, η τιμή του ηλεκτρικού πεδίου στην ατμόσφαιρα είναι πολύ χαμηλή. Ο κεραυνός δημιουργείται αφότου το ηλεκτρικό πεδίο μας ξεπεράσει τα 10 Kv/m^2 . Αυτή η φυσική ενέργεια συσσωρεύεται στον συμπυκνωτή του βρόγχου έναυσης του αλεξικέραυνου ESE όπου μέσω μιας επεξεργασίας δεδομένων ενεργοποιείται αυτόματα.

Όταν πλησιάζει μια εκφόρτιση κεραυνού προκαλείται μια απότομη αύξηση της έντασης του ηλεκτρικού που περιβάλλει την εγκατάσταση, και υπάρχει μεγάλος κίνδυνος πλήγματος της. Εάν αυτή βρίσκεται μέσα στην ακτίνα προστασίας (R_p) (Βλέπε σχήμα), ο βρόγχος ελέγχου του ESE αντιδρά και ενεργοποιεί τον βρόγχο λειτουργίας του. Έτσι έχουμε εκφόρτιση του κατερχόμενου leader και επιτυγχάνουμε μια ασφαλή διέλευση του ρεύματος του κεραυνού προς τη γη. Ο ελεγκτής δεδομένων δεν χρειάζεται καμία επιπλέον συσκευή, αφού η ατμοσφαιρική ηλεκτρική ενέργεια είναι η μοναδική πηγή ενέργειας του. Όλο το σύστημα αποτελείται από το αλεξικέραυνο τύπου ESE Την καλωδίωση και την γείωση...»

Ø Η αποτελεσματικότητα του αλεξικέραυνου πρώιμου οχetőυ.

«... Ο ελεγκτής δεδομένων (DAT-CONTROLLER) δεν έλκει τον κεραυνό αλλά τον γειώνει με ασφάλεια, αφού πρώτα δημιουργεί ένα νημάτιο που επηρεάζει την τροχιά και το σημείο που θα χτυπήσει ο κεραυνός, πράγμα που αποτρέπει την καταστροφή της ιδιοκτησίας σας!... »

(πηγή <http://www.honor.eu/bleskosvody-en.php>)

*το παρόν μεταφράστηκε από τους Λιόλη Χρήστο και Αντωνόπουλο Αριστείδη

Παρακάτω παραθέεται άλλος ένας ισχυρισμός όπως αναρτήθηκε στο παρακάτω site:

«...Τα αλεξικέραυνα πρώιμου οχető είναι μια τεχνολογική εξέλιξη του κλασικής αντικεραυνικής προστασίας ενός κτίσματος, που βασίζεται στο φαινόμενο της εκτόνωσης του κεραυνού σε μία ακίδα Franklin που υψώνεται πάνω από το κτίσμα, φτιάχνοντας ένα κώνο προστασίας του κτίσματος. Θεωρητικά όσο πιο ψηλά υψώσουμε μία ακίδα τόσο μεγαλύτερη η ακτίνα προστασίας. Προφανώς για πρακτικούς λόγους δεν μπορεί η ακίδα να υπερβαίνει κάποια μέτρα μήκους. Η τεχνολογία των αλεξικέραυνων πρώιμου οχető υπόσχεται να ξεπεράσει αυτό το πρόβλημα, ιονίζοντας την περιοχή γύρω από την άκρη της ακίδας, ώστε ο κεραυνός να "έλκεται" από αυτήν. Έτσι έχουμε αισθητά αυξημένη ακτίνα προστασίας χωρίς τους πρακτικούς περιορισμούς της κλασικής ακίδας. Όσον αφορά τα αλεξικέραυνα ιονισμού, αυτά στηρίζονται στην ιδιότητα να διοχετεύουν ιόντα στο χαμηλότερο στρώμα της ατμόσφαιρας. Με αυτόν τον τρόπο καταφέρνουν να δημιουργήσουν μικρότερη ηλεκτρική αντίσταση σε εκείνη την περιοχή. Η ακτίνα δράσης τους κυμαίνεται από μερικές δεκάδες σε μερικές εκατοντάδες μέτρα. Τέλος όταν η επιφάνεια του κτηρίου είναι αρκετά μεγάλη συνήθως επιλέγουμε τους κλωβούς Faraday. Σε αυτήν περίπτωση, γύρω από το κτίσμα τυλίγεται ένα χάλκινο αγωγίμο μεταλλικό πλέγμα, δημιουργώντας έτσι μια περιμετρική αντικεραυνική ασπίδα που διοχετεύει τον κεραυνό στο έδαφος!

Επειδή λοιπόν ο κεραυνός είναι ένα απρόβλεπτο και καταστροφικό φαινόμενο, είναι προτιμότερο να έχουμε μεριμνήσει από πριν για την ασφάλεια μας! Η οικονομική επιβάρυνση για την εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας είναι πραγματικά ασήμαντη, αν αναλογιστούμε πόσο οδυνηρές συνέπειες μπορεί να επιφέρει η απουσία της!...»

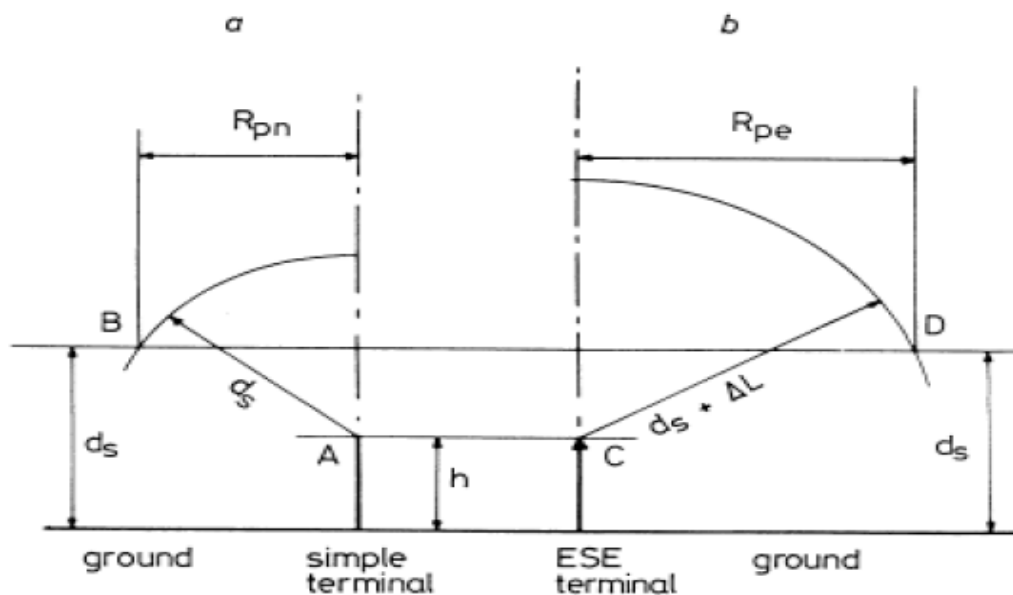
(Πηγή: <http://www.4myhouse.gr>).

Εικόνα (3.2.3) Αντίστοιχη εγκατάσταση ESE (με την Ενότητα 3.2.2) με τερματικό όμως τύπου INTERCEPTOR. Πιο συγκεκριμένα το TERRASTREAMER της ALTEC.



3.3 Συγκριτικό παράδειγμα ESE αλεξικέρανου με αλεξικέρανο ράβδου Franklin.

Σχήμα 3.3 Μια συγκριτική γεωμετρική μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ακτίνας προστασίας για ψηλές και λεπτές κατασκευές, (α) ακίδα Franklin στο σημείο A, (β) αλεξικέρανο ese στο C [10].



Στο παραπάνω (Σχήμα 3.3) έχουμε ένα απλοϊκό παράδειγμα που μας δείχνει την διαφορά μεταξύ ενός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας που χρησιμοποιεί αλεξικέρανα ese σε σχέση με ένα συμβατικό που χρησιμοποιεί ακίδες Franklin.

Στο 'πρότυπο' NFPA 781 καθορίζεται μια μέθοδος για τον υπολογισμό της ακτίνας προστασίας ενός αλεξικέρανου ese. Συνοπτικά η μέθοδος έχει ως εξής, για ένα αλεξικέρανο όπως φαίνεται στο σχήμα 4^α, σχεδιάζεται μια σφαιρική επιφάνεια με κέντρο το A, την κορυφή της κατασκευής, και ακτίνα d_s που είναι η ακτίνα σύλληψης για συγκεκριμένη τιμή κεραυνικού ρεύματος. Το σημείο B στην σφαιρική επιφάνεια απέχει το ίδιο από το σημείο A και το έδαφος. Η απόσταση μεταξύ σημείου B και της κατακόρυφης ευθείας που περνά από το A είναι η R_{pn} και συμβολίζει την ζώνη προστασίας για μια ακίδα Franklin στο σημείο A. Όταν ένας κατερχόμενος leader βρεθεί εντός της ακτίνας R_{pn} θα πλήξει το σημείο A διαφορετικά θα πλήξει το έδαφος. Όσον αφορά τα αλεξικέρανα τύπου ese η ακτίνα σύλληψης τους είναι $d_s + \Delta L$, όπως φαίνεται στο 4β [20], όπου ΔL είναι το κέρδος στην ακτίνα σύλληψης σε σχέση με τα συμβατικά που υπολογίζεται συνήθως από

τον τύπο $AL = 10^6 * AT$. Αναφορικά 10^6 m/s θεωρείται η ταχύτητα του ανερχόμενου leader και ΔT το κέρδος χρόνου από την πρόωρη εκκίνηση της ανερχόμενης εκκένωσης, πιο αναλυτικά θα αναφερθούμε παρακάτω. Οι τιμές της Rpe σε σχέση με το ύψος h και της τιμής TL δίνονται στα διαφημιστικά φυλλάδια των κατασκευαστών ese, όπως παράδειγμα

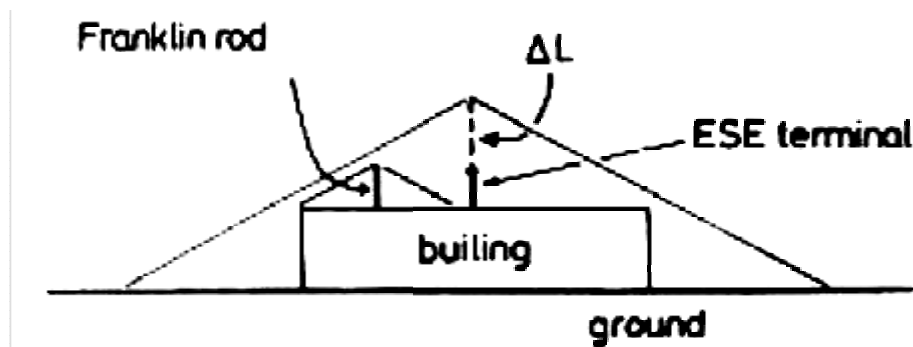
	H(m)	TSE 25 Rp	TSE 40 Rp	TSE 60 Rp
Level I	2	14	23	31
	4	30	46	63
	6	37	58	79
	8	38	59	79
	10	39	59	79
Level II	2	20	30	39
	4	40	60	78
	6	52	76	97
	8	53	77	98
	10	55	77	99
Level III	2	24	34	46
	4	46	68	85
	6	59	84	107
	8	61	85	108
	10	62	87	109

Πίνακας 1. Πίνακας τιμών της ακτίνας προστασίας Rpe για τους διάφορους τύπους του αλεξικέρανου, πρόκειται για το TerraStreamer της Altec. Η τιμή της Rpe δίνεται συναρτήσει του ΔT , του TL, των επιπέδων προστασίας I, II, III και του ύψους πάνω από την κατασκευή όπου βρίσκεται τοποθετημένο το αλεξικέρανο [13].

στον πίνακα 1 παρακάτω. Κατόπιν η παραπάνω μέθοδος γενικεύεται για κτήρια οποιουδήποτε σχήματος όπως δείχνει το σχήμα 5.

Model	Advance Time	Gain in Lead Distance
TSE-25	33 μ s	40.6 m
TSE-40	47 μ s	57.8 m
TSE-60	60 μ s	72.6 m

Πίνακας 2. Οι τιμές στο ΔT (δεύτερη στήλη) και TL+ds (Τρίτη στήλη) για τους διάφορους τύπους του TerraStreamer της εταιρίας Altec [13].



Σχήμα 5. Σύγκριση της ζώνης προστασίας μιας ακίδας Franklin και ενός αλεξικέραυνου ese [20].

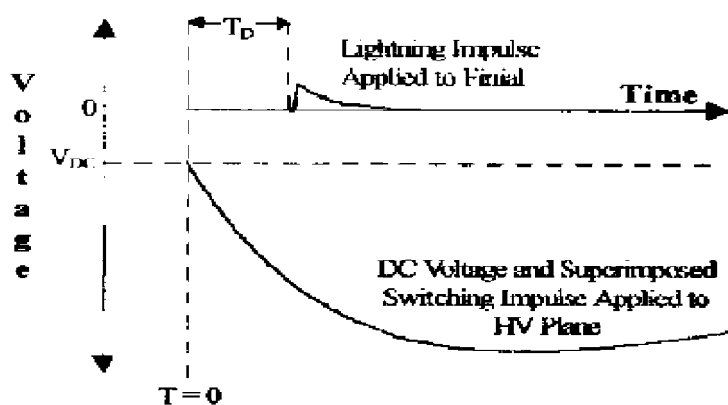
Σύμφωνα με το σχήμα 5 φαίνεται πως με την χρήση ενός μόνο ese είναι δυνατή η προστασία του κτηρίου σε αντίθεση με την περίπτωση που θα χρησιμοποιούσαμε συμβατικά αλεξικέραυνα, κάνοντας έτσι την επιλογή αλεξικέραυνων ese οικονομικότερη. Αφού για την προστασία μιας εγκατάστασης θα χρειαζόμασταν λιγότερα ηλεκτρόδια σύλληψης. Αυτό είναι το βασικό πλεονέκτημα που υποστηρίζουν οι κατασκευαστές των ese. Η οικονομικότερη λύση στο πρόβλημα της αντικεραυνικής προστασίας αφού υποτίθεται ότι επιτυγχάνεται το ίδιο αποτέλεσμα με λιγότερες συσκευές ese από ότι θα χρειαζόταν αν χρησιμοποιούσαμε ακίδες Franklin. Βέβαια αυτό όπως θα δούμε παρακάτω δεν ισχύει.

3.4 Θεωρητική προσέγγιση στην αρχή λειτουργίας των αλεξικέραυνων ese

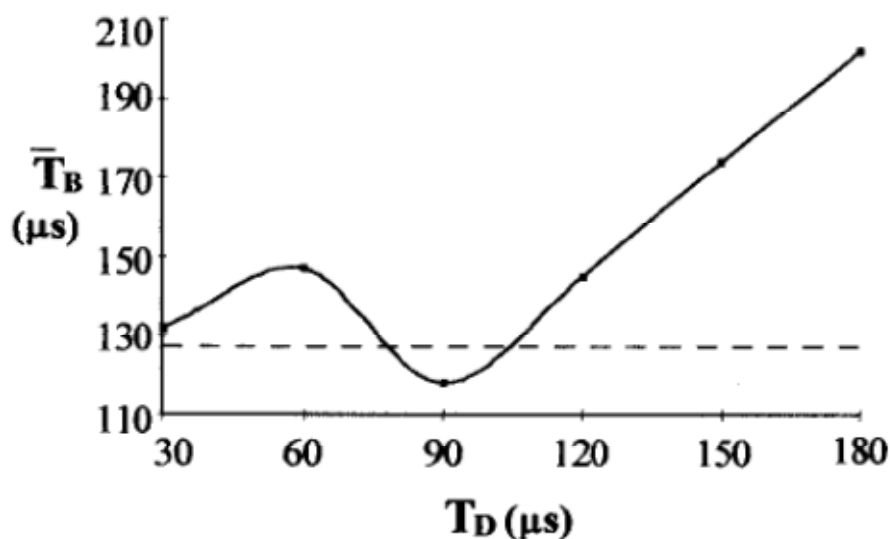
Τα συστήματα που χρησιμοποιούν αλεξικέραυνα ese είναι παρόμοια με τα συμβατικά συστήματα αντικεραυνικής προστασίας με την μόνη διαφορά ότι έχουν μια ειδική συσκευή στην κορυφή του αλεξικέραυνου. Σύμφωνα με τους κατασκευαστές τους, η συσκευή βοηθά στην ταχύτερη δημιουργία ενός ανοδικού leader ώστε να συνδεθεί γρηγορότερα με τον κατερχόμενο leader από ότι θα συνέβαινε με ένα συμβατικό αλεξικέραυνο τοποθετημένο στο ίδιο σημείο [4]. Με αυτόν τον τρόπο υποτίθεται ότι τα ese αλεξικέραυνα προσελκύουν τον κεραυνό από μεγαλύτερη απόσταση και έτσι χρειάζονται λιγότερα ηλεκτρόδια σύλληψης για την προστασία κάποιου κτηρίου ή εγκατάστασης [10].

Όπως αναφέρθηκε υπάρχουν διάφοροι τύποι αλεξικέραυνων ese όμως όλοι έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό, ότι με μια ειδική συσκευή ιονίζουν την περιοχή γύρω από την κορυφή του αλεξικέραυνου [4]. Από εργαστηριακές μετρήσεις και θεωρητική μελέτη έχειδειχθεί πως όντως με την πρόωρη εκπομπή νηματίων είναι δυνατό να επιτευχθεί συντομότερα η δημιουργία και διάδοση ανερχόμενου leader σε διάκενα στο εργαστήριο. Όμως σύμφωνα με τους Becerra και Cooray [14] κάτι τέτοιο δεν μπορεί να γενικευθεί και για τις πραγματικές συνθήκες. Οι Becerra και Cooray χρησιμοποιώντας ένα θεωρητικό μοντέλο [15] δείχνουν πως η παραπάνω γενίκευση είναι λάθος. Χρησιμοποιώντας το παραπάνω μοντέλο στο [14] μελετούν την αρχή λειτουργίας των ese αλεξικέραυνων. Βρίσκουν πως η πρόωρη εκπομπή streamer από το αλεξικέραυνο οδηγεί στην γρηγορότερη δημιουργία leader κάτω από την επίδραση εσωτερικών κρουστικών τάσεων που χρησιμοποιούνται στα εργαστήρια. Αυτό έχει επαληθευτεί από διάφορες μελέτες όπως για παράδειγμα στις [16,17,18,19]. Στις [16,17,18,19] μετρήθηκαν οι χρόνοι διάσπασης για απλές ράβδους και για ράβδους που εφαρμοζόταν παλμοί τάσης στην κορυφή τους. Στις εργασίες αυτές ήταν δυνατό να επιτευχθεί γρηγορότερη διάσπαση όταν στην ράβδο εφαρμοζόταν παλμοί τάσης, το κέρδος κυμαινόταν από 10 έως 70 ks. Εδώ πρέπει να

παρατηρήσουμε πως το κέρδος αυτό ήταν δυνατό για μικρό σχετικά πεδίο τιμών του χρόνου εφαρμογής του παλμού στην ράβδο σε σχέση με την τιμή της τάσης στο πάνω ηλεκτρόδιο, όπως για παράδειγμα φαίνεται στα σχήματα 6 και 7, μάλιστα εκτός του πεδίου τιμών η διάσπαση στην ενεργή ράβδο συνέβαινε αργότερα.



Σχήμα 6. Εφαρμογή των παλμών στη ράβδο σε σχέση με την τάση στο πάνω ηλεκτρόδιο [16].



Σχήμα 7. Διάγραμμα του μέσου χρόνου διάσπασης T_B συναρτήσει του χρόνου επιβολής παλμών στη γειωμένη ράβδο T_D , η διακεκομμένη γραμμή δείχνει το χρόνο που γίνεται η διάσπαση χωρίς την επιβολή τάσης στη ράβδο [16].

Στην εργασία [18] δοκιμάστηκε και μια συσκευή ese που διατίθεται στο εμπόριο, η Pulsar 7, η σύγκριση της με την παθητική ράβδο έδειξε μικρές διαφορές αν και ήταν δυνατή μια ελάττωση στον χρόνο διάσπασης μέχρι και 40 KS. Είναι φανερό πως προκειμένου να υπάρξει κάποιο κέρδος είτε στον χρόνο διάσπασης είτε στην τάση διάσπασης η στιγμή της εφαρμογής του παλμού στην κορυφή της ράβδου σε σχέση με την τιμή του επιβαλλόμενου πεδίου παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Σε αντίθεση με τις [16,17,18,19] στην εργασία [9] η εφαρμογή παλμών στην κορυφή της ράβδου δεν είχε κανένα αποτέλεσμα ως προς τις τάσεις διάσπασης και ως προς τους χρόνους διάσπασης όπως φαίνεται στους πίνακες 3 και 4.

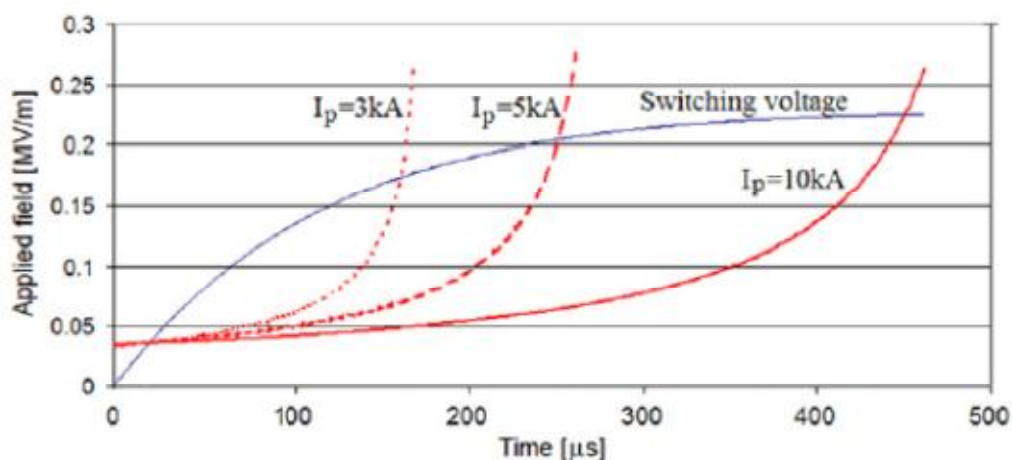
	⊕ SI		⊖ SI	
	U _{0%}	U _{100%}	U _{0%}	U _{100%}
	kV	kV	kV	KV
ESE1	1060	1180	470	530
ESE1s	1060	1180	470	550
ESE2	1150	1180	445	500
ESE2s	1150	1180	460	500
ESE3	1150	1180	460	500
ESE3s	1150	1180	460	500

Πίνακας 3. Αποτελέσματα της τάσης διάσπασης για διάκενα 1 μέτρου ράβδου και ηλεκτροδίου [9].

	⊕ SI			⊖ SI			
	distance			distance			
	0.5 m	1 m	2 m	0,5 m	1 m	2 m	3 m
ESE1		32			9		
ESE2	-122	2	-29	20	-2	19	15
ESE3	-38	1	37	-36	-46	6	-14

Πίνακας 4. Μερικά αποτελέσματα για τη μέση διαφορά στους χρόνους διάσπασης μεταξύ των συμβατικών και αλεξικέραυνων πρώιμου σχετού ATb (σε μs) [9].

Σύμφωνα με την εργασία [14] τα αποτελέσματα των εργαστηριακών μετρήσεων δεν μπορούν να γενικευτούν για τις πραγματικές συνθήκες, κυριότερος λόγος είναι η διαφορά στους ρυθμούς μεταβολής των πεδίων, σχήμα 8, άλλοι λόγοι που αναφέρονται είναι ότι τα διάκενα στα πειράματα κλίμακας είναι τάξης μεγέθους μικρότερα και οι συνθήκες κατά την διάρκεια της καταιγίδας (ταχύτητα ανέμου, βροχή, υγρασία κ.τ.λ.) είναι διαφορετικές από τις συνθήκες που γίνονται οι μετρήσεις στα εργαστήρια [14, 4, 20, 10].



Σχήμα 8. Σύγκριση μεταξύ του παραγόμενου πεδίου από κρουστική υψηλή τάση και του παραγόμενου πεδίου από έναν κατερχόμενο σχετό προεκκένωσης για διάφορες τιμές κεραυνικού ρεύματος.[14]

Παρόλα αυτά οι εργαστηριακές μετρήσεις συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των ese για την προσέλευση των κεραυνών από διάφορα διεθνή πρότυπα όπως το Γαλλικό NF C 17 102 και το Ισπανικό UNE 21186 [14]. Όπως είπαμε τα αλεξικέραυνα τύπου ese υποτίθεται πως έχουν μεγαλύτερη ακτίνα σύλληψης από τα συμβατικά. Το κέρδος στην ακτίνα σύλληψης περιγράφεται συνήθως από τον τύπο $AL = 10^6 * AT(1)$ όπως παράδειγμα αναφέρεται στο Γαλλικό πρότυπο [10]. Ο πρώτος όρος της εξίσωσης (1), 10^6 m/s είναι η μέση ταχύτητα του ανερχόμενου leader που θεωρείται από τους κατασκευαστές και χρησιμοποιείται στα πρότυπα [10]. Αυτό όμως έχει αποδειχθεί θεωρητικά από τους Becerra και Cooray πως είναι λάθος [14]. Επίσης οι Mackerras, Darveniza και Liew από μια έρευνα πάνω σε πειραματικές μετρήσεις [10] και οι Uman και Rakon [4] εξετάζοντας μια σειρά περιπτώσεων όπου μετρήθηκε η ταχύτητα του ανερχόμενου leader κατέληξαν στο συμπέρασμα πως αυτή η υπόθεση για την ταχύτητα είναι λανθασμένη. Πιο σωστό είναι πως η ταχύτητα του leader πλησιάζει την τιμή αυτή 10^6 m/s μόνο κατά το τελευταίο στάδιο δηλαδή 1 -2 KS πριν ολοκληρωθεί η σύνδεση, όπου η ένταση του πεδίου στον κενό χώρο που παραμένει αυξάνεται απότομα [10]. Στην πιο πάνω εξίσωση (1) ο δεύτερος όρος του δεξιού μέρους είναι η διαφορά χρόνου εκκίνησης των ανερχόμενων leader των αλεξικέραυνων ese σε σχέση με τα συμβατικά. $AT = T_{PRANKLIN} - T_{ESE}$. Οι κατασκευαστές των ese χρησιμοποιούν τιμές του ΔT παρμένες από εργαστηριακές μετρήσεις, τυπικές τιμές που χρησιμοποιούνται είναι 50 έως 300 KS δίνοντας έτσι ένα κέρδος στην ακτίνα σύλληψης δεκάδων έως εκατοντάδων μέτρων.

Τα παραπάνω συμπεράσματα, ότι δηλαδή η ταχύτητα 10^6 m/s για τον ανερχόμενο leader είναι λανθασμένη υπόθεση, ότι το κέρδος στο χρόνο διάσπασης που εμφανίζουν τα αλεξικέραυνα ese ως προς τα συμβατικά σε μετρήσεις στα εργαστήρια δεν είναι σημαντικός και ότι επίσης είναι γενικά λάθος τα αποτελέσματα εργαστηριακών μετρήσεων να γενικεύονται για τις πραγματικές συνθήκες, έρχονται σε συμφωνία με πληθώρα κεραυνικών πληγμάτων που έχουν καταγραφεί. Μερικές χαρακτηριστικές περιπτώσεις θα εξετάσουμε αναλυτικότερα παρακάτω, όπου τα αλεξικέραυνα ese απέτυχαν να λειτουργήσουν σύμφωνα με τις προδιαγραφές των κατασκευαστών τους. Συμφωνούν επίσης και με ένα γνωστό πείραμα που αναφέρεται στις εργασίες [21,20]. Το συγκεκριμένο πείραμα έγινε κάτω από πραγματικές συνθήκες στο Νέο Μεξικό των Η.Π.Α. σε υψόμετρο περίπου 3288 μέτρων όπου οι C. B. Moore, G. D. Aulich και W. Rison τοποθέτησαν αλεξικέραυνα όπου οι διάμετροι των κορυφών τους κυμαίνονταν από 9,5 έως 51 χιλιοστά. Χρησιμοποίησαν επίσης δύο διαφορετικά αλεξικέραυνα τύπου ese. Οι μετρήσεις κράτησαν 7 χρόνια και τα αποτελέσματα έδειξαν πως τα ese απέτυχαν αφού δεν χτυπήθηκαν ούτε μια φορά σε όλη την διάρκεια των 7 χρόνων ενώ άλλα αντικείμενα μέσα στην υποτιθέμενη ζώνη προστασίας τους των 100 μέτρων χτυπήθηκαν από κεραυνό. Στην εργασία [20] έγιναν μετρήσεις σε διάφορους τύπους αλεξικέραυνων συμπεριλαμβανομένων και ese για την δημιουργία νηματίων ως αποτέλεσμα της καθόδου ενός leader^ αποτελέσματα έδειξαν πως όλοι οι τύποι που χρησιμοποιήθηκαν εξέπεμψαν νηματία που απέτυχαν να αναπτυχθούν πλήρως πριν την εκπομπή του πετυχημένου δηλαδή αυτού που θα αναπτυχθεί σε ανερχόμενο leader το οποίο θα συνδεθεί με τον κατερχόμενο leader. Οι μετρήσεις έδειξαν πως οι εκπομπές γινόταν σε κανονικά διαστήματα καθώς ο κατερχόμενος leader έφτανε σε απόσταση περίπου 100 μέτρων από το έδαφος, το οποίο συμβαίνει περίπου 100KS πριν την σύνδεση δηλαδή την στιγμή που ολοκληρώνεται το πλήγμα του κεραυνού. Από αυτό ο συγγραφέας συμπεραίνει πως ακόμα και αν μια συσκευή για παράδειγμα ένα ese αλεξικέραυνο εξέπεμπε πρόωρα νηματία μερικές δεκάδες KS πριν ο κατερχόμενος leader μπει στο τελευταίο στάδιο αυτά τα θα αποτύγχαναν να αναπτυχθούν πλήρως σε ανερχόμενες εκκενώσεις και να συνδεθούν με τον κατερχόμενο leader, αφού οι συνθήκες για την δημιουργία και σταθερή διάδοση ανερχόμενων εκκενώσεων δεν θα υπήρχαν. Αυτές οι συνθήκες εξαρτώνται από το πεδίο στο χώρο μεταξύ αλεξικέραυνου και του μετώπου του κατερχόμενου leader και όχι από την δημιουργία πρόωρων νηματίων στην κορυφή του αλεξικέραυνου.

Στην εργασία [10] εξετάζεται το ίδιο ζήτημα, αν είναι δυνατό, ακόμα και αν ξεκινήσει να διαδίδεται πρόωρα από ένα αλεξικέραυνο τύπου ese σε σχέση με ένα συμβατικό και δηλαδή σε χαμηλότερη τιμή του πεδίου, ο ανερχόμενος leader να συνεχίσει να διαδίδεται προς τα πάνω. Σύμφωνα με τους συγγραφείς ακόμα και αν ένα νημάτιο ξεκινήσει πρόωρα από ένα αλεξικέραυνο τύπου ese όταν απομακρυνθεί από την κορυφή υπόκειται στους ίδιους φυσικούς νόμους για την μετατροπή από νημάτιο σε leader και παραπέρα διάδοση του leader όπως σε κάθε περίπτωση. Οι συγγραφείς καταλήγουν στο συμπέρασμα πως θα είναι αδύνατο ο ανερχόμενος leader να ολοκληρώσει την διαδρομή του προς την κορυφή του κατερχόμενου leader αν το πεδίο στον χώρο δεν είναι αρκετά ισχυρό. Έτσι είναι παράλογο να θεωρείται μεγαλύτερη ακτίνα σύλληψης για ένα αλεξικέραυνο τύπου ese από ότι σε ένα συμβατικό ίδιου ύψους τοποθετημένου στο ίδιο σημείο.



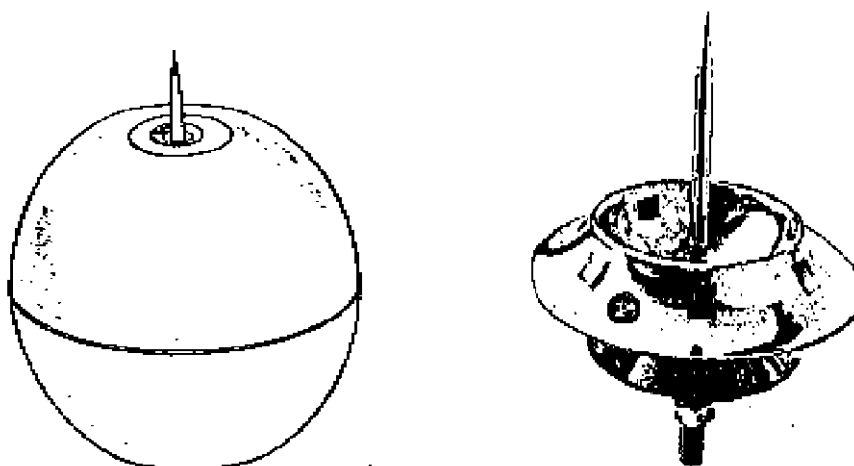
Ακίδα προστασίας ESE σειράς DYNASPHERE στο μοναστήρι του Αγ. Νικολάου στα Μετέωρα
http://en.wikipedia.org/wiki/Lightning_rod

Κεφάλαιο 4 Επισκόπηση σε πειράματα που έχουν υλοποιηθεί.

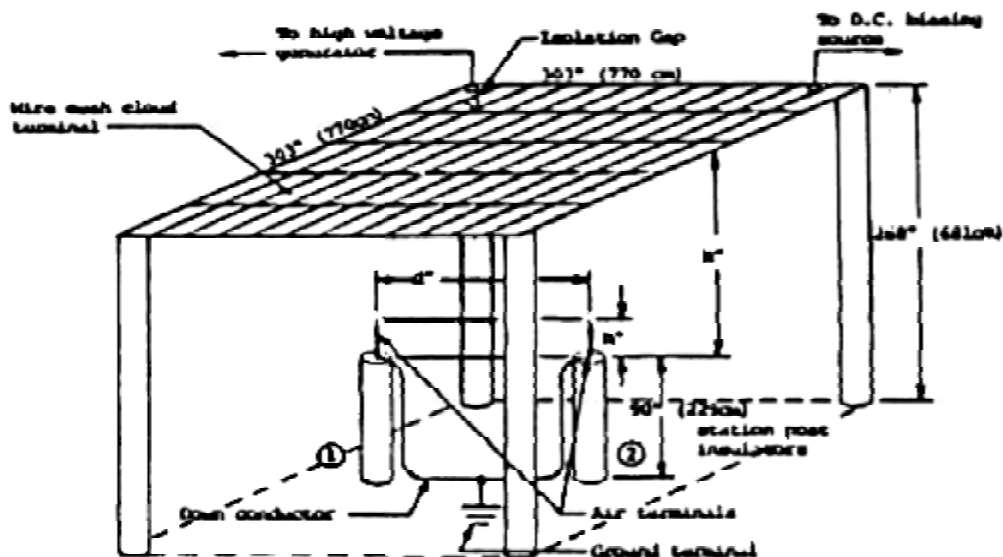
4.1 Πειραματική διερεύνηση στα ραδιενεργά αλεξικέραυνα.

Ø Παρακάτω θα αναλύσουμε τις εργασίες [7,8,9] όπου στις μεν [7,8] προκύπτει ως συμπέρασμα πως τα ραδιενεργού τύπου αλεξικέραυνα υπερτερούν των συμβατικών ενώ στην εργασία [9] πως δεν υπάρχει ουσιαστική διαφορά μεταξύ τους. Έχουμε πει πως τα ραδιενεργού τύπου έχουν καταργηθεί παρόλα αυτά θα παρουσιάσουμε τις εργασίες αφού έχουν κάποια ιστορική σημασία.

Στις εργασίες [7,8] συγκρίθηκε η αποτελεσματικότητα αλεξικέραυνων ιονισμού ως προς των συμβατικών, σαν πηγή ιονισμού χρησιμοποιήθηκαν ραδιενεργά υλικά. Τα πειράματα έγιναν σε εξωτερικό χώρο και για διάφορες καιρικές συνθήκες, τα αλεξικέραυνα είτε τα ραδιενεργά είτε τα συμβατικά είχαν την ίδια γεωμετρία και ήταν τοποθετημένα σε συμμετρικές θέσεις κάτω από την επίπεδη πλάκα που ήταν το ηλεκτρόδιο που εφαρμοζόταν οι παλμοί κρουστικής υψηλής τάσης. Ο σκοπός των πειραμάτων ήταν να μετρηθεί κατά πόσο ο ιονισμός στην άκρη του αλεξικέραυνου σε σχέση με ένα άλλο της ίδιας γεωμετρίας αλλά χωρίς ιονισμό επηρεάζει την σύλληψη του κεραυνού. Η πλειοψηφία των δοκιμών έγινε με την ελάχιστη δυνατή τάση ώστε να επιτευχθεί διάσπαση. Παρακάτω φαίνονται τα δυο είδη αλεξικέραυνων που δοκιμάστηκαν.



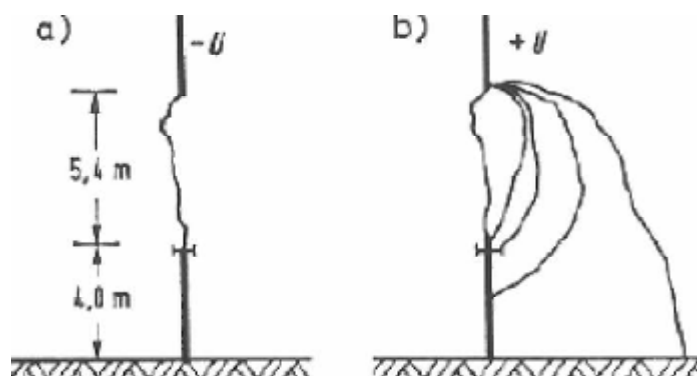
Σχήμα 9. Τα δυο είδη αλεξικέραυνων που εξετάστηκαν, για κάθε ένα από αυτά έγιναν μετρήσεις με και χωρίς ραδιενεργό υλικό αντίστοιχα. Τα ραδιενεργά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ράδιο και θόριο. [7].



Σχήμα 10. Πειραματική διάταξη για τα [7,8].

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω πειράματα οι συγγραφείς έβγαλαν το συμπέρασμα πως τα αλεξικέραυνα με ιονισμό στην κορυφή τους είναι αποτελεσματικότερα στην σύλληψη των κεραυνών και αυτό φαίνεται ακόμα πιο έντονα σε συνθήκες υψηλής σχετικής υγρασίας που είναι και οι συνθήκες που επικρατούν κατά την διάρκεια μιας καταιγίδας. Από το προηγούμενο συμπεραίνουν πως η ζώνη προστασίας των ραδιενεργών αλεξικέραυνων είναι μεγαλύτερη. Στην συζήτηση που ακολούθησε τις εργασίες αυτές οι ερευνητές G. Carraca, I. S. Grant, A. C. Liew, C. Menemenlis και A. M. Mousa χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα της εργασίας υποστήριξαν το αντίθετο.

Η διάταξη του πειράματος της εργασίας [9] φαίνεται στο σχήμα 11 ενώ στον πίνακα 5 τα αποτελέσματα για την 50% τάση διάσπασης που μετρήθηκε για το ραδιενεργό αλεξικέραυνο και το συμβατικό.



Σχήμα 11. Η διάταξη του πειράματος και παράδειγμα των διασπάσεων που σημειώθηκαν [9].

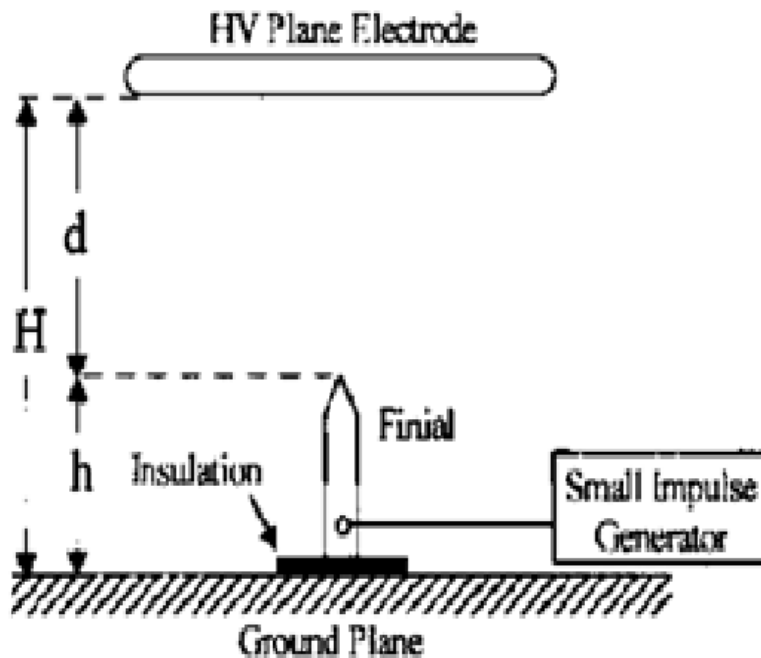
Polarity	Radioactive terminal	Classical terminal
Negative $U_{5(\cdot)\%}$.	3030 kV	3010 kV
Positive $U_{5(\cdot)\%}$ +	1740 kV	1730 kV

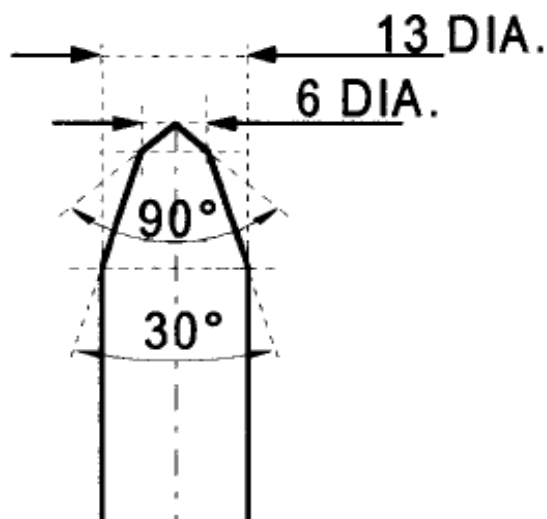
Πίνακας 5. 50% τάση διάσπασης [9].

Όπως φαίνεται η τάση διάσπασης και στις δυο περιπτώσεις είναι παρόμοια και το ραδιενεργό στοιχείο δεν προκαλεί καμιά σημαντική διαφορά. Η ραδιενέργεια που εκπέμπεται από τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται στα αλεξικέραυνα είναι ασθενής και δεν μπορεί να μεταβάλει τον μηχανισμό διάσπασης στο διάκενο σε απόσταση παραπάνω του ενός μέτρου [9].

4.2 Πειράματα πάνω στην αρχή λειτουργίας των Αλεξικέραυνων Πρώιμου Οχετού

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε μερικά πειράματα πάνω στην αρχή λειτουργίας των ese. Σε μερικά από αυτά φαίνεται πως η πρόωγη έναυση νηματίων οδηγεί στην γρηγορότερη δημιουργία ανοδικού leader και γρηγορότερη διάσπαση. Στα σχήματα 12 φαίνεται η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία [16].





Σχήμα 12. Πειραματική διάταξη. $H=2.5\text{ m}$, $h=1.5\text{ m}$ και διαστάσεις της κορυφής της γειωμένης ράβδου, οι διαμέτροι είναι σε mm [16].

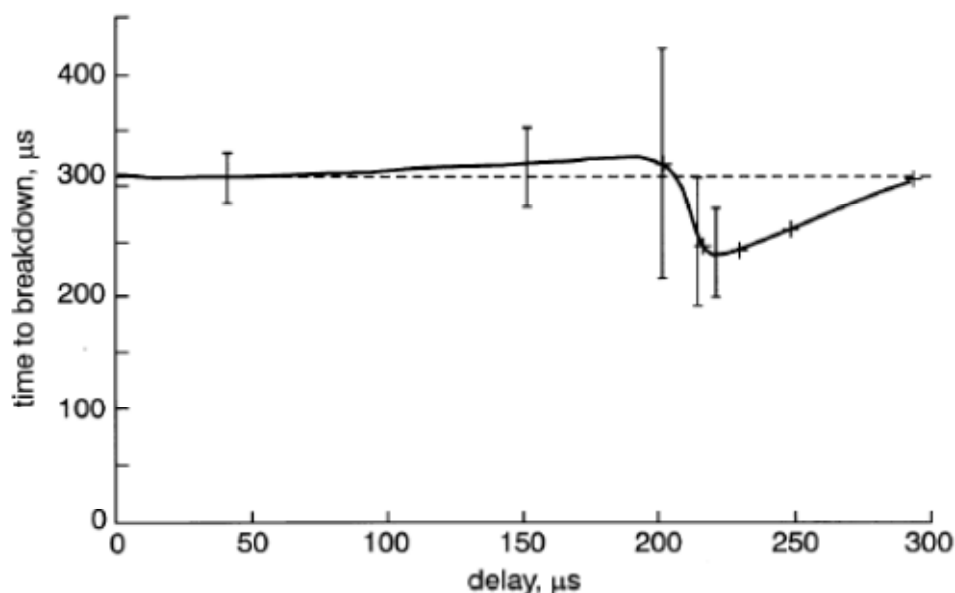
Σε μια άλλη εργασία [17], αντίστοιχη με την [16] οι N.L. Allen και D.C. Faircloth πέτυχαν γρηγορότερη διάσπαση έως και 70 ks την βέλτιστη στιγμή εφαρμογής του παλμού στην ράβδο. Σε αυτό το πείραμα οι κυματομορφές είχαν διαφορετικά χαρακτηριστικά, κυρίως τον χρόνο ανόδου. Παρόλα αυτά όμως είναι φανερό πως είναι δυνατό να επιτευχθεί γρηγορότερη διάσπαση εφαρμόζοντας παλμούς στην κορυφή μιας ράβδου και πως για να έχουμε το μικρότερο χρόνο διάσπασης πρέπει ο παλμός υψηλής τάσης στη ράβδο να εφαρμοστεί την κατάλληλη στιγμή. Στο σχήμα 7 φαίνεται το σχετικό διάγραμμα. Αυτή η στιγμή εφαρμογής του παλμού στην ράβδο επηρεάζεται κυρίως από τον ρυθμό μεταβολής του ηλεκτρικού πεδίου στο οποίο εκτίθεται η ράβδος. Αυτό έχει μεγάλη επίπτωση όσον αφορά τα αλεξικέρανα τύπου ese καθώς ο ρυθμός μεταβολής του πεδίου εξαρτάται από τον leader που πλησιάζει κάθε φορά. Αυτό σημαίνει πως οι συνθήκες δεν είναι ίδιες και πως η συσκευή που ρυθμίζει τους παλμούς τάσης που εφαρμόζονται στην κορυφή του αλεξικέρανου χρειάζεται να είναι καλά ρυθμισμένη για να επιτυγχάνεται η εφαρμογή τους την καλύτερη στιγμή ώστε να επιτευχθεί γρηγορότερη διάσπαση.

Στις εργασίες [18,19] μελετήθηκε η συμπεριφορά τριών συσκευών ως προς τον χρόνο και την τάση διάσπασης. Στην [18] οι παλμοί υψηλής τάσης εφαρμόζονταν σε μια σφαίρα διαμέτρου 0,75 μέτρων η οποία βρισκόταν πάνω από τις συσκευές που εξετάζονταν. Στην σφαίρα εφαρμόζονταν συνεχής DC τάση καθώς και αρνητική κρουστική υψηλή τάση με μέγιστη τιμή 750 kV και χρόνο ανόδου 500 ks. Οι συσκευές που εξετάστηκαν ήταν μια απλή ράβδος ύψους 0.75 μέτρων η οποία ήταν τοποθετημένη στο πάτωμα του εργαστηρίου και στην κορυφή της κατέληγε σε κώνο 20 μοιρών. Μια παρόμοια ράβδος που όμως εφαρμόζονταν θετικοί παλμοί τάσης στην κορυφή της έως και 40 kV οποιαδήποτε χρονική στιγμή μετά από την έναρξη του αρνητικού παλμού στο πάνω ηλεκτρόδιο, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.

Τέλος εξετάστηκε μια συσκευή ese που διατίθεται στο εμπόριο γνωστή με το όνομα Pulsar 7. Για την απλή ράβδο έγιναν δυο σειρές μετρήσεων. Αρχικά δεν εφαρμόστηκε DC τάση όπου μετρήθηκε μέσος χρόνος διάσπασης 310 ks για κρουστική υψηλή τάση 725 kV και $U_{50\%} = -491\text{ kV}$. Στην δεύτερη σειρά μετρήσεων εφαρμόστηκε συνεχής DC τάση -150 kV στην σφαίρα και τα αποτελέσματα ήταν 117 ks για τον μέσο χρόνο διάσπασης, η

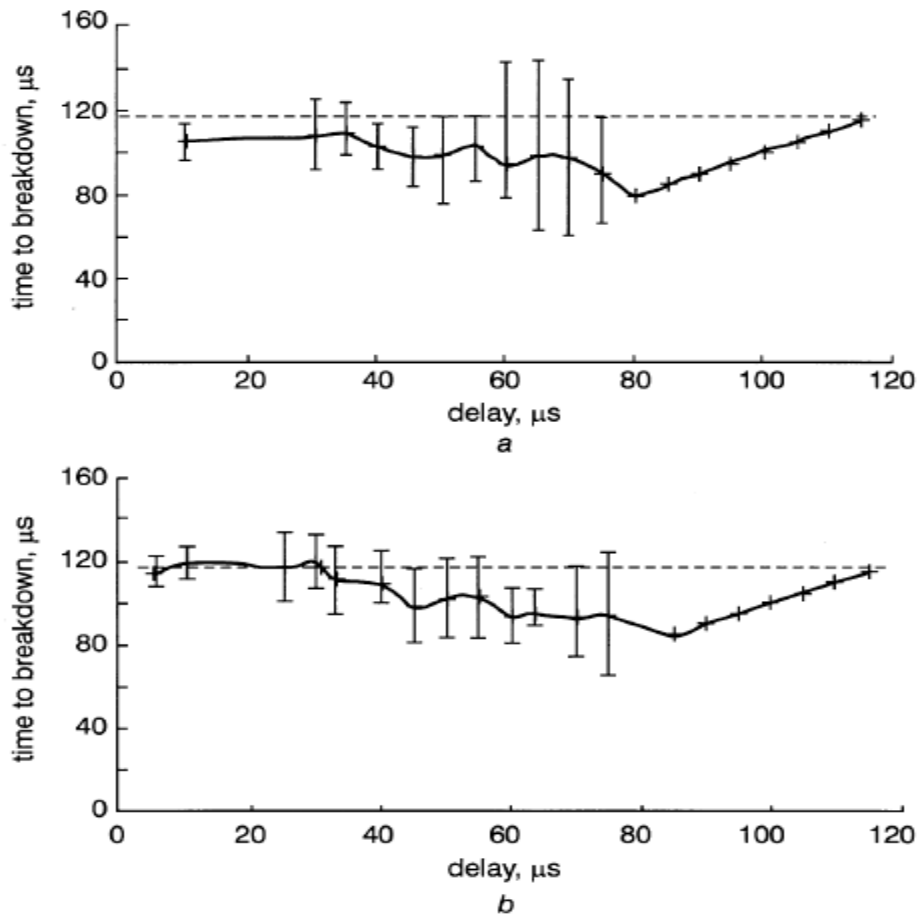
σύνθετη τάση ήταν -535 kV, δηλαδή κρουστική υψηλή τάση -385 kV συνδυασμένη με την σταθερή τάση των -150 kV.

Για την ράβδο στην οποία εφαρμόζοταν παλμοί στη κορυφή της έγιναν επίσης δυο σειρές μετρήσεων στην πρώτη με μηδενική DC τάση και στην δεύτερη με τάση -150 kV. Στην πρώτη περίπτωση εφαρμόστηκε κρουστική υψηλή τάση -725 kV στην σφαίρα και +40 kV στην κορυφή της ράβδου για διάφορους χρόνους καθυστέρησης. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο παρακάτω σχήμα 13.



Σχήμα 13. Χρόνοι διάσπασης μεταξύ της σφαίρας και της ενεργής ράβδου σε σχέση με τον χρόνο καθυστέρησης του παλμού στην κορυφή της ράβδου. Εδώ η συνεχής (DC) είναι μηδέν, η οριζόντια διακεκομμένη γραμμή δίνει τον χρόνο διάσπασης για την σφαίρα και την απλή ράβδο. Οι κατακόρυφες δίνουν τα όρια της διασποράς γύρω από την μέση τιμή [18].

Όπως φαίνεται και από το σχήμα η εφαρμογή του παλμού στην κορυφή της ράβδου δεν επηρέασε το χρόνο διάσπασης μεταξύ σφαίρας και ράβδου για αρκετά μεγάλο πεδίο τιμών του χρόνου καθυστέρησης, όμως για τιμή περίπου 240 μs του χρόνου καθυστέρησης υπήρξε μια ελάττωση στον χρόνο διάσπασης περίπου 70 μs . Στην δεύτερη περίπτωση όπου χρησιμοποιήθηκε συνεχής DC τάση -150 kV έγιναν δυο σειρές μετρήσεων με παλμούς στην άκρη της ράβδου μέγιστης τιμής +10 kV και +20 kV, στην σφαίρα και στις δυο σειρές εφαρμόστηκε κρουστική υψηλή τάση με κορυφή -385 kV που σε συνδυασμό με την συνεχή τάση ήταν -535 kV. Το παρακάτω σχήμα 14 δίνει τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών.



Σχήμα 14. Χρόνοι διάσπασης συναρτήσει του χρόνου καθυστέρησης με την χρησιμοποίηση συνεχούς τάσης -150 kV στην σφαίρα. [a] παλμοί +10 kV στην κορυφή της ράβδου, [b] παλμοί +20 kV στην κορυφή της ράβδου [18]

Όσον αφορά την συσκευή Pulsar 7 έγιναν μετρήσεις για διάκενα 1 και 1,4 μέτρα και η κορυφή της συσκευής βρισκόταν 1 μέτρο πάνω από το πάτωμα, η σύγκριση έγινε με μια απλή ράβδο ίδιου μήκους και ημισφαιρικής κορυφής 10 χιλιοστών. Πριν την εφαρμογή των παλμών αυξήθηκε η DC τάση από το μηδέν μέχρι μια τιμή ώστε να οριστεί πότε ξεκινούσε να λειτουργεί η συσκευή, βρέθηκαν τιμές -50 kV και -60 kV για το 1 μέτρο και 1,4 μέτρα αντίστοιχα και οι παλμοί ξεκίνησαν να εφαρμόζονται στα -204 kV και -206 kV. Μετρήθηκαν οι τάσεις διάσπασης χωρίς την χρήση DC τάσης μόνο με απλούς παλμούς για το διάκενο 1 μέτρου και στην συνέχεια και για τα δυο διάκενα 1 και 1,4 μέτρα χρησιμοποιώντας -250 kV(1 m) και -300 kV (1,4 m) DC τάση. Για κάθε περίπτωση έγιναν ταυτόχρονες μετρήσεις για τον χρόνο δημιουργίας πρώτης κορόνας για το διάκενο 1 μέτρου και του χρόνου διάσπασης και για τα δυο διάκενα, τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 6.

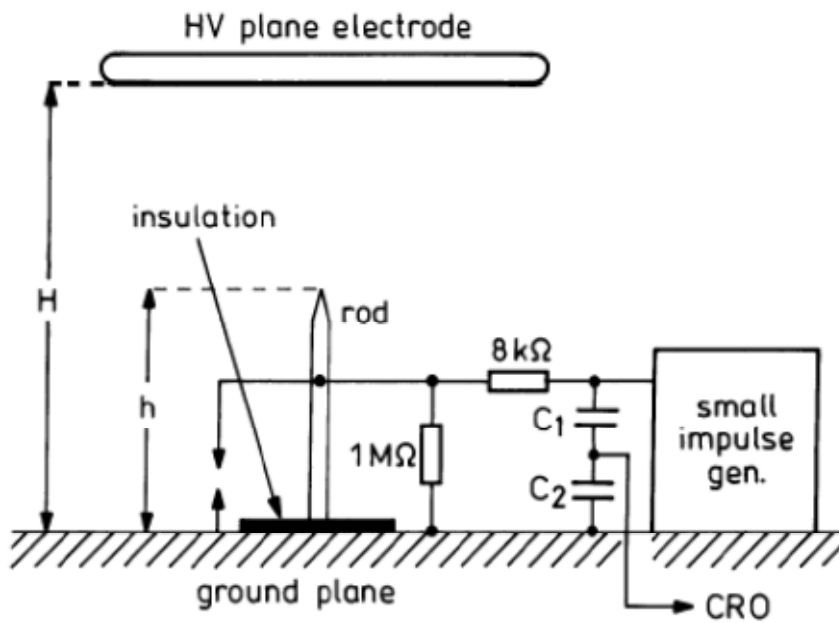
ESE rod	Gap = 1 m	Franklin rod	Gap = 1 m
$V_{DC} = 0$	-250kV	0	-250kV
$V_{50} = -712\text{kV}$	-745	-709	-724
$T_I = 14\mu\text{s}$	9	15.5	11
$T_B = 247\mu\text{s}$	219	219	221
ESE rod	Gap = 1.4m	Franklin rod	Gap = 1.4m
$V_{DC} = 0$	-250kV	0	-250kV
$V_{50} = \text{—}$	-992	—	-985
$T_I = \text{—}$	—	—	—
$T_B = \text{—}$	195	—	233

Πίνακας 6. Τάσεις διάσπασης και μέσοι χρόνοι εμφάνισης κορόνας και διάσπασης [18].

Όπως φαίνεται από τον πίνακα και για τις δυο ράβδους η τάση διάσπασης για διάκενο 1 μέτρου αυξήθηκε αρκετά με την εφαρμογή της σταθερής τάσης, οι χρόνοι εμφάνισης corona ελαττώθηκαν ενώ και για τις δυο ράβδους ο χρόνος διάσπασης δεν μεταβλήθηκε αρκετά με την εφαρμογή ή όχι της σταθερής τάσης. Παρόλα αυτά για την περίπτωση διακένου 1,4 μέτρων ο μέσος χρόνος διάσπασης του Pulsar 7 ήταν 38 Ks μικρότερος από την απλή ράβδο.

Από τα παραπάνω οι συγγραφείς συμπεραίνουν πως με την εφαρμογή παλμών στην κορυφή της ράβδου είναι δυνατό να ελαττωθεί ο χρόνος διάσπασης 40 έως 70 Ks σε σχέση με την απλή ράβδο. Παρόλα αυτά το κέρδος αυτό επιτυγχάνεται για πολύ μικρό εύρος τιμών του χρόνου εφαρμογής του παλμού στην κορυφή της ράβδου και μάλιστα περίπου στα 70 Ks πριν την διάσπαση. Επομένως ο χρόνος που θα εφαρμοστεί ο παλμός στην κορυφή της ράβδου παίζει σημαντικό ρόλο για την ελάττωση του χρόνου διάσπασης. Η σύγκριση της συσκευής Pulsar7 με την παθητική ράβδο έδειξε μικρές διαφορές αν και ήταν δυνατή μια ελάττωση του χρόνου διάσπασης κατά 40 Ks.

Στην εργασία [19], που η διάταξη φαίνεται παρακάτω στο σχήμα 15, βρήκαν πως η εφαρμογή παλμών στην κορυφή της ράβδου σχετικά νωρίς σε σχέση με την εφαρμογή του παλμού στην πάνω πλάκα δεν επηρέαζε σημαντικά τα αποτελέσματα. Όταν οι παλμοί εφαρμοζόταν προς το τέλος και λίγο πριν η τάση στο πάνω ηλεκτρόδιο φτάσει στο μέγιστο η απαιτούμενη τάση διάσπασης ελαττωνόταν ενώ ο χρόνος αυξανόταν. Οι συγγραφείς έβγαλαν το συμπέρασμα από την μελέτη της corona στην κορυφή της ράβδου πως οι παλμοί που εφαρμόζονται στην ράβδο δεν επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα αν δεν βοηθούν στην άμεση δημιουργία leader ή εκτός και αν έχει ήδη σχηματιστεί ο κατερχόμενος leader.



Σχήμα 15. Πειραματική διάταξη $H=2,5m$, $h=1,5m$, $C1=100pF$, $C2=154nF$ [19].

Τα αποτελέσματα στο συγκεκριμένο πείραμα σύμφωνα και με το προηγούμενο πείραμα[18], δείχνουν πως η στιγμή της εφαρμογής του παλμού στην κορυφή της ράβδου σε σχέση με την τιμή του επιβαλλόμενου πεδίου είναι πολύ σημαντική προκειμένου να υπάρξει κάποια επίδραση του παλμού στον χρόνο και την τάση διάσπασης.

Κεφάλαιο 5 Κατασκευές εξοπλισμένες με ΕΣΕ.

5.1 Αυτοψία σε κτήριο που προστατεύεται από αλεξικέραυνο πρώιμου σχετού.

Παρακάτω θα παραθέσουμε φωτογραφικό υλικό πού μας επιτράπηκε από τους υπεύθυνους να πάρουμε σε κτήριο που προστατεύεται αντικεραυνικά από αλεξικέραυνο πρώιμου σχετού. Μεταβήκαμε λοιπόν στο « *ΚΑΡΑΜΑΝΔΑΝΕΙΟ ΓΕΝΙΚΟ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΠΑΙΔΩΝ*» στην πόλη της Πάτρας.



Εικόνα 1. Γενική άποψη του κτηρίου. Διακρίνεται το αλεξικέραυνο τύπου ese που το προστατεύει.



Εικόνα 2. Εστίαση στην *ese* ράβδο. Διακρίνεται ο ιστός που την στηρίζει και στο κάτω μέρος αχνοφαίνεται η αρχή του αγωγού καθόδου.



Εικόνα 3. Πίσω όψη του κτίσματος. Όπως μπορούμε να διακρίνουμε πρόκειται για το τερματικό αέρος της σειράς *Dynasphere*.

Αξίζει σε αυτό το σημείο να σημειώσουμε ότι στο συγκεκριμένο κτήριο δεν έχουν καταγραφεί ζημιές από ενδεχόμενη πτώση κεραυνού, σε αντίθεση με εικόνες από άλλα κτίσματα όπως θα δούμε στην επόμενη ενότητα. Ευχαριστούμε θερμά τους ανθρώπους του νοσοκομείου για την βοήθεια τους.

5.2 Κεραυνικά πλήγματα σε εξοπλισμένες από ESE κατασκευές.

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά παραδείγματα για το πώς λειτούργησαν σε πραγματικές συνθήκες τα αλεξικέραυνα πρώιμου οχετού (ese). Οι φωτογραφίες που παρουσιάζονται είναι από έρευνες και παρατηρήσεις που έγιναν στην Μαλαισία, κυρίως σε κτήρια της πρωτεύουσας Κουάλα Λουμπουρ και σε γύρω περιοχές. Η περιοχή αυτή ενδείκνυται για τέτοιες παρατηρήσεις λόγω της μεγάλης κεραυνικής δραστηριότητας, 200 με 250 καταιγίδες κατά μέσο όρο τον χρόνο. Έτσι δοκιμές σε πραγματικές συνθήκες που θα χρειαζόταν δεκαετίες για να βγουν συμπεράσματα σε άλλες περιοχές εδώ χρειάζεται πολύ λιγότερος χρόνος.

Οι μελέτες έγιναν ως εξής, πάρθηκαν φωτογραφίες από τα κτήρια, που επρόκειτο να εξεταστούν, πριν την εγκατάσταση των αλεξικέραυνων και από όλες τις πλευρές, στη συνέχεια τα κτήρια αυτά εξεταζόταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα κάθε μερικούς μήνες για τυχόν χτυπήματα από κεραυνούς. Φωτογραφίζονταν και εξεταζόταν οποιαδήποτε καινούργια σημεία που χτυπήθηκαν από κεραυνούς και στη συνέχεια οι φωτογραφίες αρχειοθετούνταν.

Τα παρακάτω παραδείγματα είναι φωτογραφίες που πάρθηκαν πριν και μετά από το χτύπημα κεραυνού στα κτήρια, τα οποία ήταν εξοπλισμένα με αλεξικέραυνα τύπου ese. Από αυτά φαίνεται πως σε μερικές περιπτώσεις ο κεραυνός χτύπησε πολύ κοντά στο αλεξικέραυνο δείχνοντας πως η ενισχυμένη προστασία που ισχυρίζονται οι κατασκευαστές του συγκεκριμένου τύπου αλεξικέραυνων δεν ισχύει [22].

Περίπτωση 1^η. Πλήγματα κεραυνού πολύ κοντά στο αλεξικέραυνο.

Αυτές οι περιπτώσεις είναι συχνό φαινόμενο καθώς όλο και ποιο πολλά αλεξικέραυνα τύπου ese χρησιμοποιούνται. Σε περιπτώσεις κτηρίων με πολλές σκεπές το αλεξικέραυνο τοποθετείται συνήθως κεντρικά ή ασύμμετρα στην ψηλότερη σκεπή και οι εκτεθειμένες γωνίες βρίσκονται εντός 10 μέτρων από το αλεξικέραυνο.



Σχήμα 16. Γενική άποψη του κτηρίου που χτύπησε ο κεραυνός [22].



Σχήμα 17. Σημείο της κατασκευής που έπληξε ο κεραυνός, η οποία ήταν εξοπλισμένη με αλεξικέραυνο πρώιμου οχέτου κατά το πρότυπο NFC 17-102 [22].

- Ø Σε αυτή την περίπτωση ο κεραυνός έπληξε κοντά στο αλεξικέραυνο που ήταν κατασκευασμένο και τοποθετημένο σύμφωνα με το **γαλλικό πρότυπο NFC 17-102**. Το NFC 17-102 είναι το γαλλικό 'πρότυπο' για την κατασκευή και τοποθέτηση αλεξικέραυνων τύπου *ese* το οποίο όμως έχει αποκηρυχτεί από διεθνείς οργανισμούς, θα αναφερθούμε αναλυτικότερα παρακάτω, σχήματα 16, 17.
- Ø Στα σχήματα 18 και 19 παρακάτω παρουσιάζεται μια περίπτωση που ο κεραυνός έπληξε κοντά σε ένα αλεξικέραυνο που ήταν τοποθετημένο σύμφωνα με την **μέθοδο συλλεκτήριου όγκου (CVM)**.
Η μέθοδος CVM ή σχεδίαση της αντικεραυνικής προστασίας με βάση τη μέθοδο συλλεκτήριου όγκου είναι μια σχετικά καινούργια μέθοδος με την οποία βρίσκεται η κατάλληλη θέση για να τοποθετηθεί ένα αλεξικέραυνο ώστε να παρέχεται η μέγιστη δυνατή ζώνη προστασίας. Η συγκεκριμένη μέθοδος στηρίχθηκε στις εργασίες του A. J. Eriksson τη δεκαετία του 1970. Αρχικά η μέθοδος CVM αναπτύχθηκε από τον Eriksson για ψηλές κατασκευές και για γραμμές μεταφοράς, στη συνέχεια η μέθοδος τροποποιήθηκε από την ERICO Lighting Technologies και αναφέρεται ως τροποποιημένη CVM ή FIM(Field Intensification Method). Η συγκεκριμένη μέθοδος συνδυάζεται κυρίως με αλεξικέραυνα *ese*. Σύμφωνα με την εργασία [23] η μέθοδος αυτή είναι αναποτελεσματική και οι ακτίνες προστασίας που υπολογίζονται είναι μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερες από αυτές που παρατηρούνται στην πράξη λόγω κριτηρίου έναυσης της ανερχόμενης εκκένωσης που βασίζεται σε υπερβολικά μεγάλες υπολογισμένες τιμές ενίσχυσης του πεδίου στην κορυφή των αλεξικέραυνων, που έρχονται σε αντίθεση με αποτελέσματα πειραμάτων κλίμακας και δεδομένων πεδίου.



Σχήμα 18. Γενική άποψη του κτηρίου εξοπλισμένου με αλεξικέραυνο τύπου ese που είναι τοποθετημένο σύμφωνα με την μέθοδο CVM [22].



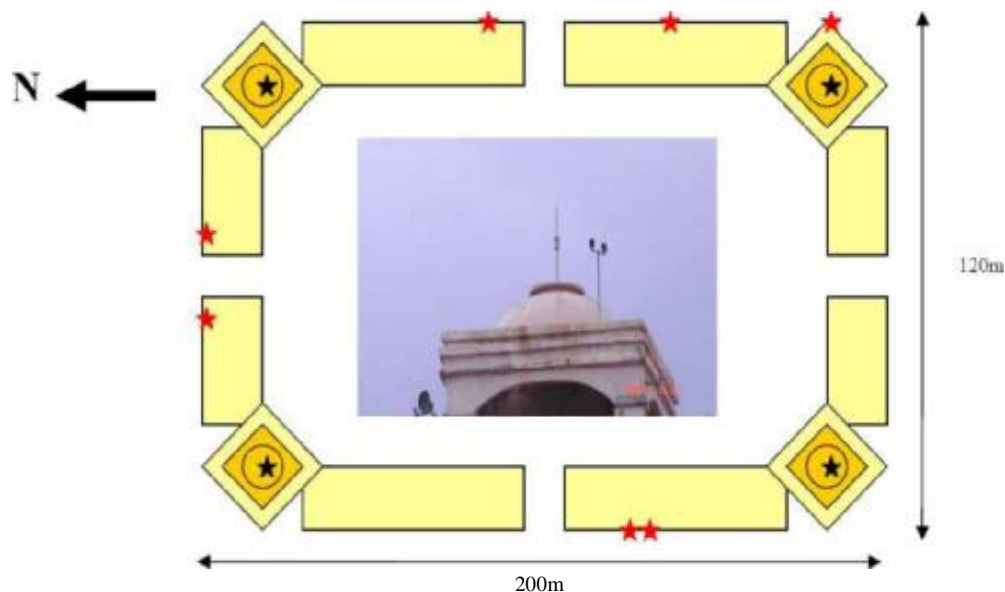
Σχήμα 19. Κοντινή φωτογραφία, εδώ φαίνεται καθαρά ότι το σημείο που χτύπησε ο κεραυνός πού είναι κοντά στο αλεξικέραυνο [22].

Περίπτωση 2^η. Πλήγμα κεραυνού ανάμεσα από δύο αλεξικέραυνα.

Εξαιτίας της αποτυχίας των κεντρικά τοποθετημένων αλεξικέραυνων να προστατέψουν μεγάλα κτήρια από τα απευθείας χτυπήματα των κεραυνών οι κατασκευαστές-προμηθευτές άρχισαν να τα τοποθετούν στις γωνίες των κτηρίων ώστε να παρέχουν καλύτερη προστασία.

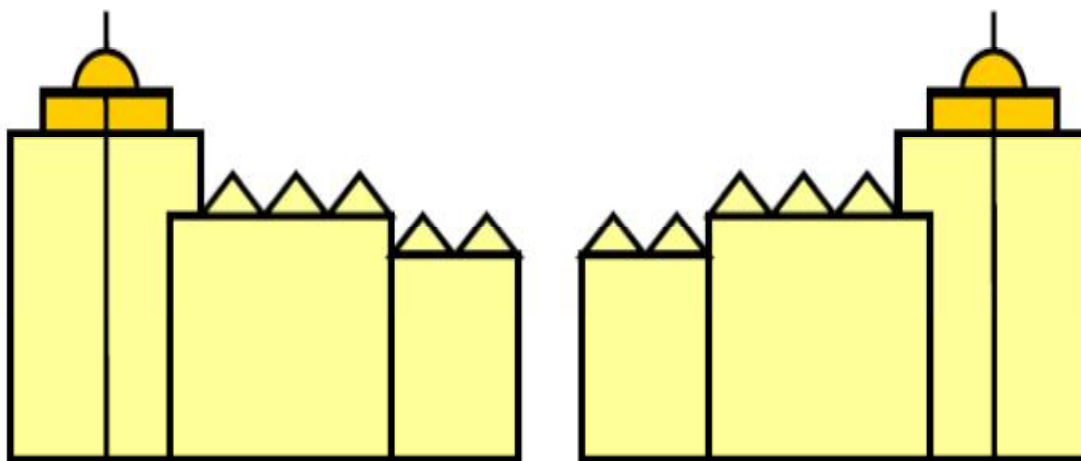
Στις παρακάτω φωτογραφίες φαίνεται το παράδειγμα ενός συγκροτήματος κατοικιών ύψους 80 μέτρων κοντά στη Κουάλα Λουμπούρ όπου αρκετά συγκροτήματα διαμερισμάτων είναι χτισμένα ορθογώνια γύρω από μια κεντρική αυλή. Τα αλεξικέραυνα τοποθετήθηκαν στην κορυφή κάθε γωνιακού συγκροτήματος, οι αποστάσεις μεταξύ τους είναι από 120 έως 200 μέτρα με αποτέλεσμα όλα τα κτήρια να βρίσκονται εντός της ζώνης προστασίας ενός ή και δύο αλεξικέραυνων. Στο σχήμα 20 φαίνεται η κάτοψη του

συγκροτήματος, τα κόκκινα αστεράκια δείχνουν που χτύπησαν οι κερανοί και τα μαύρα που ήταν τοποθετημένα τα αλεξικέραυνα. Η κεντρική φωτογραφία δείχνει μία από τις σκεπές που ήταν τοποθετημένα τα αλεξικέραυνα.

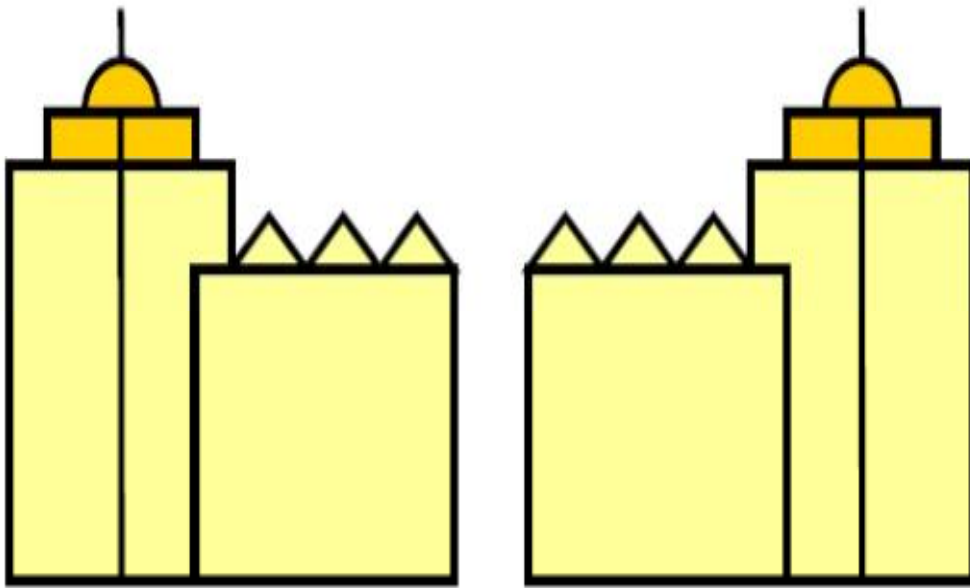


Σχήμα 20. Μια κάτοψη του συγκροτήματος κατοικιών. Τα μαύρα αστεράκια δείχνουν τις θέσεις των αλεξικέραυνων ενώ τα κόκκινα τα σημεία που χτύπησε ο κεραυνός. Η φωτογραφία στο κέντρο δείχνει μια από τις σκεπές που είναι τοποθετημένο το αλεξικέραυνο ese [22].

Στα σχήματα 21 και 22 φαίνονται οι θέσεις εγκατάστασης των αλεξικέραυνων ενώ στο σχήμα 23 φαίνεται το σημείο που έπληξε ο κεραυνός:



Σχήμα 21. Ανατολική και δυτική πρόσοψη [22].



Σχήμα 22. Βόρεια και Νότια πρόσοψη.



Σχήμα 23. Το σημείο πλήξης του κερανού από την νοτιοανατολική πλευρά του κτίσματος[22].



Σχήμα 24. Τα δυο σημεία που γτύπησαν οι κερανοί στη βορεινή πλευρά του συγκροτήματος [22].

Όπως φαίνεται στην παραπάνω περίπτωση η χρήση πολλαπλών αλεξικέραυνων τύπου ese απέτυχε να προστατέψει τα κτήρια από τα χτυπήματα των κεραυνών. Ακόμη δείχνει πως η τοποθέτηση πιο γωνιακά είχε ως αποτέλεσμα να χτυπήσουν κερανοί αυτά τα σημεία λιγότερες φορές. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα είναι αναμενόμενο καθώς τα ψηλότερα προεξέχοντα σημεία των γωνιακών κτηρίων βρίσκονται πολύ κοντά στο αλεξικέραυνο και προστατεύονται με τον ίδιο τρόπο όπως και τα συμβατικά αλεξικέραυνα προστατεύουν σημεία κοντά σε αυτά. Αυτή η μέθοδος τοποθέτησης των αλεξικέραυνων τύπου ese είχε ως αποτέλεσμα να χτυπήσουν κερανοί σε προεξέχοντα σημεία των κτηρίων ανάμεσα στα αλεξικέραυνα. Συνυπολογίζοντας και την περίπτωση του χτυπήματος στο γωνιακό σημείο βγαίνει το συμπέρασμα από το συγκεκριμένο παράδειγμα πως τα αλεξικέραυνα τύπου ese συμπεριφέρθηκαν όπως και τα συμβατικά.

Περίπτωση 3^η. Πλήγματα κεραυνού κάθετα και κάτω από το αλεξικέραυνο.

Κερανοί που πλήττουν πολύ ψηλές κατασκευές συνήθως ουρανοξύστες ή πύργους τηλεπικοινωνιών έχουν παρατηρηθεί αρκετές φορές. Στις περιπτώσεις των τηλεπικοινωνιακών πύργων ή άλλων ψηλών κατασκευών που είναι εξοπλισμένα με αλεξικέραυνα τύπου ese ολόκληρες οι κατασκευές βρίσκονται μέσα στη ζώνη προστασίας του αλεξικέραυνου. Επομένως η πιθανότητα χτυπήματος λεπτών κατασκευών από κεραυνούς είναι πολύ μικρή εάν η αρχή λειτουργίας των αλεξικέραυνων τύπου ese είναι σωστή. Στις φωτογραφίες 25 και 26 έχουμε το παράδειγμα ενός μινιρέ ύψους 116 μέτρων και ακτίνας περίπου 5 μέτρων. Όπως φαίνεται στις φωτογραφίες ο μινιρέ χτυπήθηκε σε μια προεξέχουσα μαρμάρινη κατασκευή και περίπου 30 μέτρα κάτω από το αλεξικέραυνο. Σύμφωνα με το 'πρότυπο' NFC 17-102 αυτό το σημείο βρίσκεται μέσα στη ζώνη προστασίας του αλεξικέραυνου παρόλα αυτά το αλεξικέραυνο απέτυχε να συλλάβει τον κερανό και όπως δείχνει το παράδειγμα το συγκεκριμένο πρότυπο είναι αναποτελεσματικό ακόμα και για κατασκευές μικρών διαστάσεων.



Σχήμα 25. Προστατευμένη από ese κατασκευή. Το βέλος δείχνει το σημείο που χτυπήθηκε από κεραυνό



Σχήμα 26. Εδώ φαίνεται το αλεξικέρανο τύπου ese και το σημείο που ήταν τοποθετημένο [22].



Σχήμα 27. Δεξιά βλέπουμε το σημείο πλήγματος κεραυνού. Αριστερά ένα πιθανό σενάριο για αυτού του είδους τα χτυπήματα.

Στην αριστερή φωτογραφία στο σχήμα 27 φαίνεται το σημείο που έπληξε ο κεραυνός και στην δεξιά είναι το μνημείο Ουάσινγκτον και δείχνει πως μπορεί αυτό να συνέβη. Τέλος παρουσιάζονται ακόμα δυο παραδείγματα, ενός αλεξικέραυνου εγκατεστημένου σύμφωνα με την CVM μέθοδο και ενός με το γαλλικό 'πρότυπο' NF C 17-102 που δείχνουν πως η υπόθεση της μεγαλύτερης ακτίνας σύλληψης των αλεξικέραυνων τύπου ese είναι λανθασμένη. Είναι γενικά αποδεκτό πως το κεραυνικό ρεύμα ακολουθεί το ίδιο μονοπάτι που δημιουργείται όταν ο ανερχόμενος leader συνδεθεί με τον κατερχόμενο. Επομένως όπως έχει προταθεί η πρόωρη εκκένωση που εκπέμπουν τα αλεξικέραυνα αυτού του τύπου μπορεί να επαληθευτεί από φωτογραφία μιας αστραπής σε ένα αλεξικέραυνο. Στις δυο παρακάτω φωτογραφίες φαίνεται πως η υπόθεση των ese είναι εσφαλμένη καθώς και στις δυο περιπτώσεις δεν υπήρξε σχηματισμός πρόωρου νηματίου είτε όταν το αλεξικέραυνο ήταν τοποθετημένο με την μέθοδο CVM είτε κατά το πρότυπο NF C 17-102. Στο σχήμα 28 φαίνεται ένας κεραυνός που αναχαιτίστηκε από ένα αλεξικέραυνο τύπου ese τοποθετημένο με την CVM μέθοδο. Από το οριζόντιο κομμάτι του κεραυνού φαίνεται πως δεν υπήρξε σχηματισμός πρόωρης εκκένωσης, αν υπήρχε το μονοπάτι της θα είχε κατακόρυφη διεύθυνση και όχι οριζόντια.



Σχήμα 28. Αλεξικέρανο τύπου ese τοποθετημένο με την CVM μέθοδο [22].

Στην φωτογραφία του σχήματος 29, φαίνεται ένας κεραυνός που πλήττει ένα αλεξικέρανο τύπου ese τοποθετημένο κατά το 'πρότυπο' NF C 17-102. Όπως και πριν δεν φαίνεται να υπήρξε σχηματισμός πρόωρης εκκένωσης καθώς το κεραυνικό ρεύμα δεν είχε την κατεύθυνση του κατερχόμενου leader και επίσης δεν ήταν γραμμική.



Σχήμα 29. Κεραυνός που πλήττει τύπου ese αλεξικέρανο τοποθετημένο σύμφωνα με το πρότυπο NFC 17-102[22]

Τα παραπάνω είναι μερικά από τα παραδείγματα που έχουν δημοσιευτεί από μελέτες για την λειτουργία των αλεξικέραυνων τύπου ese κάτω από πραγματικές συνθήκες. Από τις έρευνες αυτές βγαίνει το συμπέρασμα πως τα συγκεκριμένα αλεξικέραυνα δεν λειτουργούν καλύτερα από τα συμβατικά και πως η ενισχυμένη προστασία που ισχυρίζονται οι κατασκευαστές τους δεν ευσταθεί. Ακόμα και μετά τις τροποποιήσεις στο σχήμα, στο μέγεθος και στον τρόπο τοποθέτησης τους που εφαρμόστηκαν από τους κατασκευαστές των αλεξικέραυνων τύπου ese ο ισχυρισμός για καλύτερη προστασία από τα συμβατικά αλεξικέραυνα δεν επαληθεύεται.

6 Η επιστημονική διαμάχη γύρω από τα αλεξικέραυνα τύπου ese.

Μια επιστημονική διαμάχη έχει ξεκινήσει από τις αρχές της δεκαετίας του '90 όταν οι κατασκευάστριες εταιρίες των αλεξικέραυνων ese προσπάθησαν να δημιουργήσουν ένα πρότυπο για τα προϊόντα τους. Χωρίς ένα πρότυπο οι πώληση τους θα ήταν παράνομη και θα παραβιαζόταν οι κανονισμοί προστασίας στις χώρες όπου πουλιόταν.

6.1 Πως ξεκίνησε η διαμάχη.

Οι Γάλλοι κατασκευαστές ήταν οι πρώτοι που ανέπτυξαν το δικό τους 'πρότυπο' για τα αλεξικέραυνα τους, το NFC 17-102. Το συγκεκριμένο πρότυπο αναπτύχθηκε μέσω μιας κοινοπραξίας εταιριών γνωστής ως GIMELEC και δεν έγινε μέσω της κανονικής διαδικασίας μέσα από επιστημονική διερεύνηση και τεκμηρίωση όπως γίνεται με όλα τα πρότυπα. Ο σκοπός αυτού του 'προτύπου' ήταν η τυποποίηση της μεθόδου εγκατάστασης των Γαλλικών αλεξικέραυνων ese παρά η συμμόρφωση με το διεθνές πρότυπο του IEC (International Electro technical Commission) για την αντικεραυνική προστασία. Η Γαλλία ήταν ήδη μέλος της IEC και είχε ήδη υιοθετήσει το IEC-61024 πρότυπο για την αντικεραυνική προστασία. Περίπου ταυτόχρονα οι Αυστραλοί κατασκευαστές κατάφεραν να περάσουν την 'μέθοδο σχεδίασης' CVM στο Αυστραλιανό/Νέας Ζηλανδίας πρότυπο για αντικεραυνική προστασία AS/NZS 1768 σαν ενημερωτικό παράρτημα. Το κείμενο του AS/NZS 1768 χωρίζεται στο κυρίως μέρος και στα παραρτήματα. Στο κυρίως μέρος περιγράφονται τα απαιτούμενα τεχνικά χαρακτηριστικά που πρέπει να εκπληρώνονται ώστε το σύστημα να συμμορφώνεται με το πρότυπο. Τα παραρτήματα παρέχουν πρόσθετες πληροφορίες που σχετίζονται με το αντικείμενο του προτύπου όμως δεν αποτελούν μέρος του. Στο κείμενο του AS/NZS 1768 ο αναγνώστης προειδοποιείται για την χρησιμοποίηση της CVM καθώς αυτή η μέθοδος δεν έχει τεκμηριωθεί.

Στην Αμερική, οι κατασκευάστριες εταιρίες βασισμένες στις επιτυχίες των Γαλλικών και Αυστραλιανών κατασκευαστών, πρότειναν επίσης την καθιέρωση ενός προτύπου, το NFPA 781, στην NFPA (National Fire Protection Association) και στην IEC. Αυτή η προσπάθεια όμως δεν κράτησε πολύ γιατί μέχρι τότε οι οργανισμοί αυτοί είχαν την δυνατότητα να διεξάγουν μια ενδελεχή μελέτη πάνω στα αλεξικέραυνα τύπου ese πριν βγάλουν το πόρισμα τους για το προτεινόμενο πρότυπο NFPA 781 [24].

6.2 Η ανταπόκριση των οργανισμών προτύπων στην διαμάχη.

Παρακάτω αναφέρουμε περιληπτικά πως η διαμάχη γύρω από τα αλεξικέραυνα τύπου ese αντιμετώπιστηκε από τους διεθνείς οργανισμούς προτύπων.

6.2.1 Οργανισμός IEC (1995).

Η IEC ανέθεσε στη CIGRE(International Council On Large Electric Systems) να διεξάγει μια έρευνα πάνω στα αλεξικέραυνα τύπου ese καθώς ο οργανισμός είχε την τεχνογνωσία να το κάνει. Τον Μάιο του 1995 η επιτροπή αξιολόγησης της CIGRE απέρριψε τα αλεξικέραυνα τύπου ese βασισμένη σε αρκετές εργασίες και έρευνες που παρέλαβε από όλο τον κόσμο. Ανάμεσα στα συμπεράσματα ήταν και ότι οι ισχυρισμοί των κατασκευαστών για την ταχύτητα του ανερχόμενου leader ήταν τουλάχιστον μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερη από την πραγματικότητα. Αυτή η αστήρικτη υπόθεση για την ταχύτητα έδινε δέκα φορές μεγαλύτερη ακτίνα σύλληψης τουλάχιστον για τα αλεξικέραυνα τύπου ese από την πραγματική τους. Επίσης υπήρχαν σαφείς ενδείξεις πως τα αλεξικέραυνα αυτού του τύπου απέτυχαν να προστατέψουν τα κτήρια στα οποία ήταν

εγκατεστημένα, οι αποδείξεις ήταν με την μορφή φωτογραφιών πριν και μετά όπως αυτές που δείξαμε και στην προηγούμενη ενότητα. Έτσι η IEC βασισμένη στην μελέτη της CIGRE απέρριψε επισήμως τη δημιουργία προτύπου για τα αλεξικέραυνα τύπου ese.[24]

6.2.2 NFPA (1995).

Ομοίως με το Γαλλικό πρότυπο το προτεινόμενο πρότυπο NFPA 781 αναπτύχθηκε από τις κατασκευάστριες εταιρίες και υποβλήθηκε στον NFPA. Κατά συνέπεια η υπεύθυνη επιτροπή για τα πρότυπα του NFPA ανέθεσε στο NIST(The National Institute of Standards and Technology), ο οποίος είναι ο κυρίως επιστημονικός φορέας στην Αμερική που εξετάζει νέες τεχνολογίες. Το NIST δεν κατέληξε σε οριστικό συμπέρασμα μετά από μια μεγάλη έρευνα στην βιβλιογραφία που περιελάμβανε πάνω από 300 εργασίες πάνω στο αντικείμενο που ήταν διαθέσιμες τότε. Τον Αύγουστο του 1995 στην συνεδρίαση της επιτροπής της NFPA εξετάστηκαν τα πορίσματα του NIST και της CIGRE όπου και απορρίφθηκε το προτεινόμενο πρότυπο NFPA 781 αφού σύμφωνα με την επιτροπή '...εξαιτίας της έλλειψης επαρκών δεδομένων πως τα αλεξικέραυνα τύπου ese προσφέρουν μεγαλύτερη ζώνη προστασίας σε σχέση με τα συμβατικά, είναι ξεκάθαρο πως δεν ήταν δυνατό να επιδειχθεί μια πλήρως θεμελιωμένη τεχνολογική βάση για το προτεινόμενο NFPA 781'. Επομένως όπως φαίνεται μέχρι το 1995 τα αλεξικέραυνα ese δεν είχαν καμία επιστημονική 'βάση', παρόλα αυτά το προτεινόμενο NFPA 781 συνεχιζόταν να χρησιμοποιείται από κάποιους κατασκευαστές για την προώθηση των προϊόντων τους ακόμα και μετά το 1995 [24].

6.2.3 NFPA (2000).

Εξαιτίας της απόρριψης του προτεινόμενου προτύπου NFPA 781 όπως αναφέραμε παραπάνω τρεις κατασκευάστριες εταιρίες ese (Heary Bros. Lightning Protection Co., Inc., Lightning Preventor of America, Inc. και National Lightning Protection Corp) από τις οποίες οι δύο πρώτες έχουν συγχωνευτεί, κατέθεσαν αγωγή εναντίον των:

Ø Lightning Protection Institute, Thompson Lightning Protection Inc., and East Coast Lightning Equipment, Inc.

Η εκδίκαση της αγωγής ξεκίνησε το 1996, που μεταξύ άλλων περιείχε κατηγορίες για συνομοσία και δυσφήμιση προϊόντος. Έτσι τον Οκτώβριο του 1998 ο NFPA ανακοίνωσε καινούργια έρευνα πάνω στα αλεξικέραυνα τύπου ese για την διευθέτηση της παραπάνω αγωγής που ακολούθησε την απόρριψη του NFPA 781. Η έρευνα ανατέθηκε σε μια καινούργια ανεξάρτητη επιτροπή, η οποία εξέτασε εργασίες που κατατέθηκαν από όλο τον κόσμο σχετικά με το αντικείμενο και έβγαλε το πόρισμα της τον Σεπτέμβριο του 1999. Έτσι τον Απρίλιο του 2000 το συμβούλιο του NFPA κατέληξε πως υπήρχαν αρκετά δεδομένα πλέον ώστε να βγει το συμπέρασμα πως η υπεροχή των αλεξικέραυνων τύπου ese δεν είχε καμία επιστημονική βάση, και για δεύτερη φορά το προτεινόμενο πρότυπο NFPA 781 απορρίπτεται. Όσον αφορά την δίκη της αγωγής, τον Οκτώβριο του 2003 το ομοσπονδιακό δικαστήριο της Αριζόνας των Η.Π.Α. απέρριψε την μήνυση κυρίως λόγω της αδυναμίας των κατασκευαστών να παρουσιάσουν σαφείς αποδείξεις για την υπεροχή των ese έναντι των συμβατικών αλεξικέραυνων, επιπλέον οι κατασκευάστριες εταιρίες καταδικάστηκαν για παραπλανητική διαφήμιση της υποτιθέμενης αυξημένης απόδοσης των αλεξικέραυνων τύπου ese σε σχέση με τα συμβατικά [24,25].

6.2.4 Το Γαλλικό 'πρότυπο' (2001).

Ύστερα από την αποτυχία των Αμερικάνικων εταιριών κατασκευής αλεξικέραυνων τύπου ese να διασφαλίσουν το πρότυπο από τον NFPA, μια Γαλλική κρατική υπηρεσία η INERIS(Institute National de L' Environment Industriel et des Risques), διεξήγαγε μια λεπτομερή έρευνα πάνω στα Γαλλικής προελεύσεως αλεξικέραυνα τύπου ese και στο Γαλλικό 'πρότυπο'. Η έρευνα κατέληξε πως τα περισσότερα αλεξικέραυνα ese δεν είχαν δοκιμαστεί με βάση το 'πρότυπο' NFC 17102 το οποίο είχε αναπτυχθεί από τις ίδιες τις κατασκευάστριες εταιρίες. Τα αποτελέσματα τις έρευνας της INERIS συνοπτικά έδειξαν πως κάποιες συσκευές ese ήταν αδύνατο να δοκιμαστούν στο εργαστήριο παρότι

διαφημίζονταν πως ήταν σε συμφωνία με το NFC 17-102, κάποια συγκεκριμένα μοντέλα δεν είχαν ποτέ δοκιμαστεί για το αν ήταν ικανά να αντέξουν τα κεραυνικά ρεύματα μετά το πλήγμα του κεραυνού, η ακτίνα προστασίας που ισχυριζόταν κάποιοι κατασκευαστές βασισμένη στο NFC 17-102 δεν επαληθευόταν, η υπεροχή των συσκευών ese ως προς τα συμβατικά αλεξικέραυνα δεν αποδείχτηκε. Τέλος το κέρδος στο χρόνο έναυσης, ακόμα και αν υπολογίζεται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες δεν είναι ικανό να δικαιολογήσει τη ζώνη προστασίας που υποστηρίζεται μέσα στο 'πρότυπο' και αυτό γιατί ο τύπος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της υποθέτει μια ταχύτητα για τον ανερχόμενο leader που δεν ισχύει. Σύμφωνα με την INERIS η προσέγγιση του προβλήματος με την μέθοδο ese περιλαμβάνει μια αδικαιολόγητη εμπιστοσύνη στην ζώνη προστασίας που είναι πάνω από αυτή που μπορεί να εγγυηθεί η φυσική του προβλήματος. Όταν τα αποτελέσματα της έκθεσης κοινοποιήθηκαν στην GIMELEC, οι κατασκευάστριες εταιρίες προσφέρθηκαν να αναθεωρήσουν το 'πρότυπο' NFC 17-102 [24].

Η CENELEC (Comite Europeen de Normalisation Electrotechnique) είχε βγάλει μια απόφαση πως μέχρι το 2009-02-01 όλα τα διεθνή πρότυπα που έρχονταν σε σύγκρουση με το Ευρωπαϊκό EN 62305 θα έπρεπε να αποσυρθούν και να καθιερωθεί σαν διεθνές πρότυπο το παραπάνω. Αυτό σύμφωνα με την επιστημονική επιτροπή του ICLP (International Conference on Lightning Protection), η οποία είναι μια ανεξάρτητη ομάδα από επιστήμονες διακεκριμένους πάνω στο αντικείμενο, συνεπάγεται και την απόσυρση των διεθνών προτύπων σχετικά με τα αλεξικέραυνα τύπου ese αφού έρχονται σε αντίθεση με το EN 62305 και είναι βασισμένα σε ασυνεπείς υποθέσεις που δεν επαληθεύονται από την πράξη αλλά ούτε και από την θεωρητική και πειραματική μελέτη. Αυτό όμως δεν συνέβη αφού η CENELEC με καινούργια απόφαση της ανέθεσε στην Γαλλική επιτροπή, ύστερα από προτροπή της ίδιας, να παρουσιάσει μια ανανεωμένη έκδοση του Γαλλικού NFC 17-102, πιο συγκεκριμένα να παρουσιαστεί σαν 'πρότυπο προϊόντος' και όχι σαν πρότυπο για την εγκατάσταση, ώστε να μην έρχεται σε αντίθεση με το EN 62305.

- Ø Σύμφωνα με την UTE (UNION TECHNIQUE DE L'ELECTRICITE) το Γαλλικό πρότυπο NFC 17-102 που ασχολείται με την αντικεραυνική προστασία με συστήματα που χρησιμοποιούν αλεξικέραυνα τύπου ese είναι στην ουσία ένα πρότυπο προϊόντος ενώ το EN 62305 αναφέρεται στον τρόπο εγκατάστασης. Μετά μάλιστα και από την αναθεώρηση του NFC 17-102 κάποιες διατάξεις που ασχολούνταν με το ίδιο αντικείμενο με του EN 62305 αφαιρέθηκαν ώστε να μην υπάρχουν προβλήματα με τους Ευρωπαϊκούς κανονισμούς. Το αναθεωρημένο πρότυπο NFC 17-102 το οποίο προτείνεται από την UTE να καθιερωθεί σαν ένα Ευρωπαϊκό πρότυπο δίνεται σε δυο μέρη, Pr EN 50xxx-1 rev 1 REQUIREMENTS AND TESTS και Pr TS 50xxx-2 THE PROTECTION MODEL. Παρόλα αυτά ακόμα και μετά την αναθεώρηση του NFC 17-102 που έγινε τον Ιανουάριο του 2009, πάλι σύμφωνα με την επιστημονική επιτροπή του ICLP, το συγκεκριμένο 'πρότυπο' έρχεται πάλι σε αντίθεση με το EN 62305 ενώ ο συγκεκριμένος τύπος αλεξικέραυνων είναι αποδεδειγμένα πλέον πως βασίζεται σε ασυνεπείς επιστημονικές υποθέσεις που δεν επαληθεύονται ούτε θεωρητικά ούτε από πειραματικά δεδομένα είτε δεδομένα από παρατηρήσεις σε πραγματικές συνθήκες. Σύμφωνα με την επιστημονική επιτροπή του ICLP οποιουδήποτε είδους πρότυπο αναφερόμενο σε αλεξικέραυνα τύπου ese θα επιτρέψει την παραπλανητική διαφήμιση των προϊόντων αυτών από τις κατασκευάστριες εταιρίες αφού θα υπάρχει δυνατή η αναφορά σε ένα τέτοιο πρότυπο. Μέχρι και σήμερα η παραπάνω διαμάχη δεν έχει λυθεί οριστικά [26]

7 Μια εργασία που παρουσιάζει ενδιαφέρον σχετικά με την χρησιμότητα των ESE.

.... Παρακάτω θα σας παρουσιάσουμε αυτούσια μια εργασία μεταφρασμένη όμως από εμάς η οποία με μαθηματικό τρόπο ισχυρίζεται ότι δεν παρουσιάζεται ουσιαστικά καμία διαφορά μεταξύ της προστασίας των αλεξικέρανων πρώιμου σχετού και της απλής ράβδου Franklin. Είναι μια εργασία η οποία, μας βοηθάει σε μεγάλο βαθμό να καταλήξουμε και εμείς στο συμπέρασμα ότι τα αλεξικέρανα πρώιμου σχετού δεν παρουσιάζουν ουσιαστική διαφορά στην ζώνη προστασίας με την ράβδο Franklin.....

Ακολουθεί αυτούσια η εργασία...

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Παρακάτω θα ασχοληθούμε με μια μεθοδολογία η οποία εισάγεται για τον υπολογισμό της επίδρασης που έχει ο κεραυνός στις ράβδους ESE. Η προτεινόμενη μέθοδος εφαρμόζει μια γενική εξίσωση για την ισοδύναμη ακτίνα προστασίας η οποία εξετάζει το ύψος και το μήκος της ράβδου ESE, το μήκος της ενεργοποίησης του ανερχόμενου leader και την διανομή του υψηλότερου ρεύματος του κεραυνού. Τα αποτελέσματα των επιπτώσεων του πλήγματος από κεραυνό σχολιάζονται και συγκρίνονται με εκείνα που αναφέρονται στις συμβατικές ράβδους σύμφωνα με το μοντέλο του Erickson και από το στατιστικό μοντέλο σύνδεσης του σχετού. Έτσι φαίνεται ότι η **απόδοση** μιας ράβδου ESE ακόμα και αν υποθέσουμε ότι έχει τεθεί σε εφαρμογή μια πρόωρη ανερχόμενη σύνδεση leader, **είναι παρόμοια** με εκείνη μιας **συμβατικής ράβδου** εάν θεωρήσουμε ότι υπάρχει μια **ρεαλιστική** ταχύτητα προόδου της ανερχόμενης σύνδεσης. Η παρούσα εργασία παρέχει τα μέσα για να αξιολογήσουμε εύκολα την αποτελεσματικότητα υφαρπαγής του κεραυνού μέσω της ανερχόμενης ESE σύνδεσης, συγκρινόμενη με την συμβατική ράβδο μέσα από στοιχεία αυτού του πεδίου.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας υπηρετεί στο να προστατεύει με το μικρότερο πιθανό ρίσκο, οποιαδήποτε κατασκευή από χτύπημα κεραυνού μέσω κατάλληλων τοποθετημένων τερματικών, εμποδίζοντας την κάθοδο του κεραυνού. Αυτό το αντικεραυνικό σύστημα μπορεί να σχεδιαστεί εφαρμόζοντας την μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας όπως υιοθετήθηκε από το IEC.

Στην συμβατική τους μορφή, από την εποχή του Benjamin Franklin, τα τερματικά αέρος απαγάγουν την κάθοδο του κεραυνού με φυσικούς τρόπους μέσω μιας ανερχόμενης σύνδεσης που ξεκινάει την αποφόρτιση που εξελίσσεται εξαιτίας του ηλεκτρικού πεδίου που προκαλείται από την κάθοδο του κεραυνού leader. Η σύνδεση με τον κεραυνό συμβαίνει σε μια απόσταση μεταξύ κατερχόμενου leader και του τερματικού, το οποίο τη στιγμή που ξεκινά η αποφόρτιση λέγεται **Απόσταση Διάσπασης** του κεραυνού μέσα σε μια ακτίνα εγκλωβισμού του κεραυνού που λέγεται ακτίνα προστασίας. .

Τα τερματικά ESE σύμφωνα με το σχήμα 2 έχουν μια μεγαλύτερη **Απόσταση Διάσπασης** που οφείλεται σε μια πρώιμη εκκένωση ενός ανερχόμενου leader σε σύγκριση

με εκείνα ενός συμβατικού τερματικού παρόμοιων διαστάσεων. Το σχέδιο του εξωτερικής Αντικεραυνικής προστασίας που χρησιμοποιεί τερματικά ESE μπορεί να επιτευχθεί εφαρμόζοντας το σχετικά καινούριο πρότυπο όμως η απόδοση αυτής της ενισχυμένης παρεμπόδισης κεραυνού των τερματικών ESE και υφίσταται αυστηρή κριτική από την επιστημονική κοινότητα. Στην παρούσα μελέτη εισάγεται η μεθοδολογία για τον υπολογισμό της επίπτωσης του χτυπήματος ενός κεραυνού σε ESE ράβδους. Η προτεινόμενη μέθοδος λαμβάνει υπ' όψιν της το ύψος της ράβδου ESE το σημείο που ξεκινά ο ανερχόμενος leader και την κατανομή του ρεύματος κορυφής του κεραυνού. Η επίπτωση των αποτελεσμάτων ενός κεραυνού σε ESE ράβδους σχολιάζονται και συγκρίνονται με εκείνων που αναφέρονται στις συμβατικές ράβδους, συλλέγονται σύμφωνα με το στατιστικό μοντέλο σύνδεσης κεραυνού και τη μέθοδο του Erickson και ύστερα υιοθετείται από τα πρότυπα του IEEE για τους υπολογισμούς των επιπτώσεων ενός κεραυνού.

2 ΑΚΤΙΝΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΕΡΑΥΝΟΥ

Συμφώνα με το πρότυπο NFC 17-102:2011 ,οι ράβδοι ESE παρεμβαίνουν σε έναν κεραυνό από την **Απόσταση Διάσπασης (S)** η οποία έχει σχέση με το πιθανό ρεύμα κορυφής του κεραυνού και το μήκος του ανερχόμενου leader. Η Απόσταση Διάσπασης σε μια ράβδο ESE μπορεί να εκφραστεί με αναφορά στην **Απόσταση Διάσπασης στην επιφάνεια της γης (D)**,

$$S=D+\Delta L=10I^{2/3} +v\Delta T$$

Όπου:

S, D σε μέτρα,

ΔL είναι η αρχή του μήκους του ανερχόμενου κεραυνού,

I σε(kA) είναι το πιθανό ρεύμα της κορυφής του κεραυνού ,

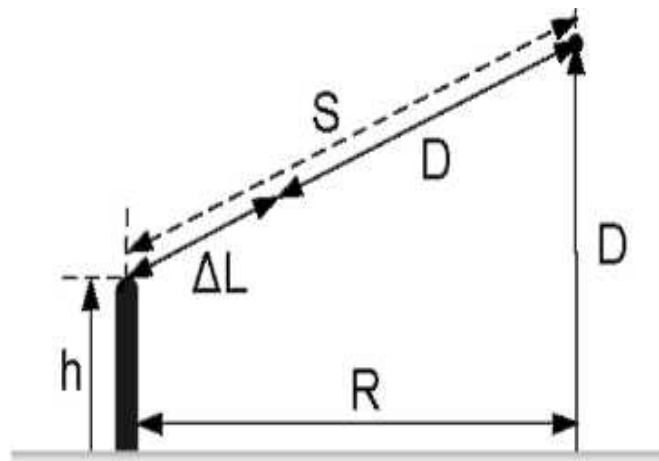
V (m/μs) είναι η ταχύτητας εκκίνησης του ανερχόμενου leader και

ΔT είναι ο χρόνος προόδου της ESE ράβδου.

Η ακτίνα σύνδεσης R της ESE με ύψος h(m) δίνεται βάσει του σχεδίου 1 όπως στο (18).

$$R=\sqrt{S^2 - (D - h)^2}=\sqrt{h(2D - h) + \Delta L(2D + \Delta L)} , h >5(m) \text{ η ισοδύναμα:}$$

$$R=\sqrt{2D(\Delta L + h) + \Delta L^2 - h^2} \quad (2)$$



Σχήμα 1. Σύνδεση κεραυνού σε μια ράβδο τύπου ESE

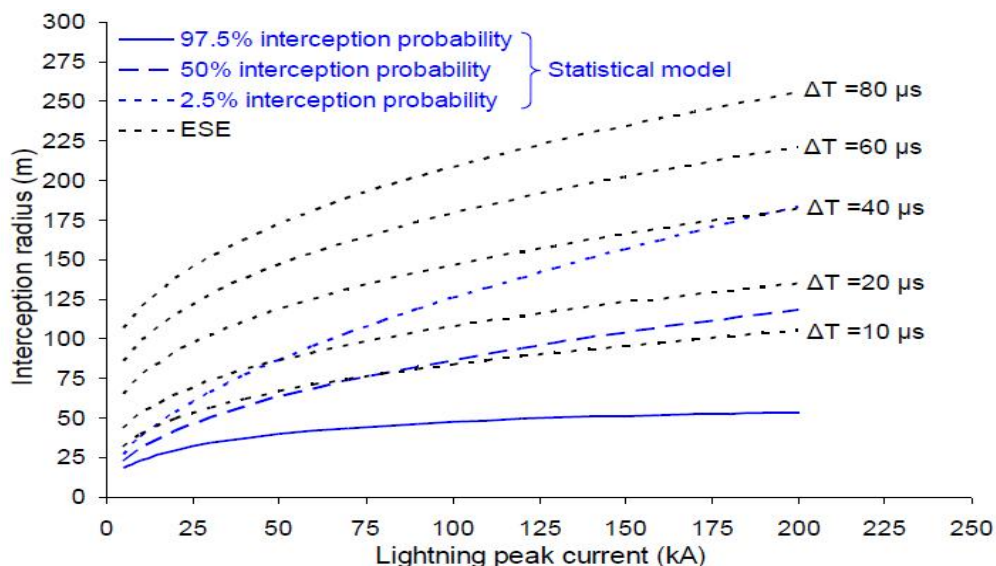
Το σχετικά νέας κυκλοφορίας NFC πρότυπο προϋποθέτει τη χρήση του (2) αντί του D, η ακτίνα της κυλιομένης σφαίρας ανταποκρίνεται στα 4 επίπεδα προστασίας, όπως αυτές ορίζονται στο [1].

Το δεύτερο όμως σχήμα παρακάτω δείχνει την ποικιλία σύνδεσης του κεραυνού εντός μιας ακτίνας 6 μέτρων σε μια ESE ράβδο, με το πιθανό ρεύμα κορυφής του κεραυνού, έχοντας το ΔT σαν παράμετρο και για $v=10^6$ m/s, όπως τελευταία εφαρμόζεται στο [2,18]. Για λογούς σύγκρισης το σχήμα 2 επίσης δείχνει την ποικιλία της ακτίνας σύνδεσης μιας συμβατικής ράβδου, ίδιου ύψους, υπολογισμένη στη βάση ενός πρόσφατου εισαγομένου στατιστικού μοντέλου [11,12] προσάρτησης κεραυνού. Σύμφωνα με τα τελευταία η ακτίνα σύνδεσης του εναέριου τερματικού ακολουθεί μια φυσιολογική κατανομή με μια μέση τιμή R_{ci} και μια απόκλιση από το πρότυπο «σ» όπως δίνεται παρακάτω σαν (3α) και (3β).

$$R_{ci} = 6.2h^{0.3}I^{0.455} \quad (3\alpha)$$

$$\sigma(\%) = 13.5h^{-0.43}I^{0.28} \quad (3\beta).$$

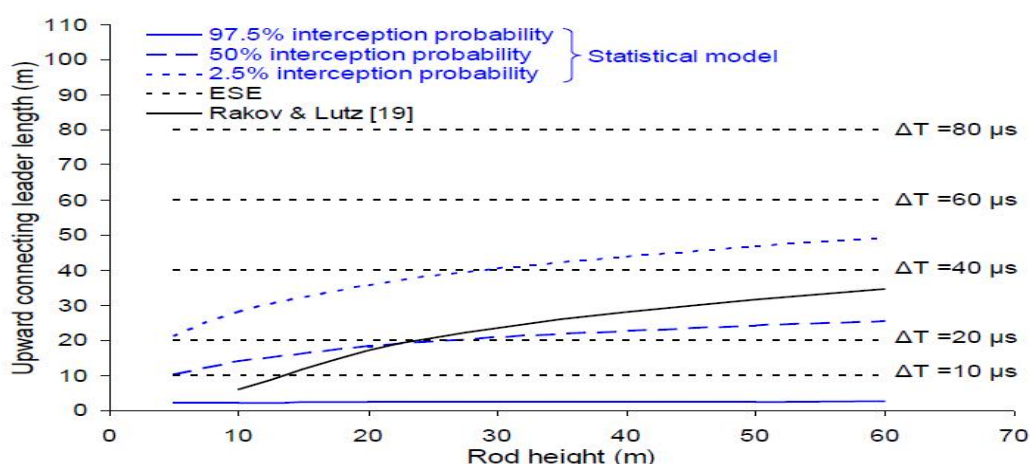
Πρέπει να αναφερθεί ότι οι υπολογισμοί επίπτωσης του κεραυνού βασίζονται σε εκφράσεις που έχουν αποδώσει αποτελέσματα που συμφωνούν με στοιχεία του πεδίου που αναφέρονται στο εξωτερικό Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ) [12].



Σχήμα 2. Ακτίνα σύνδεσης σε ακίδα τύπου ese, ύψους 6 m. Ταχύτητα σύνδεσης $v=10^6$ m/s.[2,18].

Από το σχήμα 2 είναι φανερό ότι η ακτίνα σύνδεσης της ESE ράβδου υπολογισμένη σύμφωνα με το [18] είναι μακρύτερη από εκείνη του στατιστικού μοντέλου ,ακόμα πιο μακρύτερη από εκείνη που ανταποκρίνεται στην πιθανότητα χαμηλότερης προσάρτησης ,ιδιαίτερα για χαμηλά ρεύματα κορυφής του κεραυνού. Αυτό είναι σημαντικό όταν λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι τα χαμηλά ρεύματα κορυφής του κεραυνού παίζουν κυρίαρχο ρόλο στο σχέδιο προστασίας και την απόδοση ενός εξωτερικού ΣΑΠ. Μια αποδεδειγμένα επαυξημένη ακτίνα σύνδεσης πιθανόν να αποτελέσει αποτυχίες στην προστασία.

Η σχετικά μακριά υπολογισμένη ακτίνα σύνδεσης των ESE ράβδων πηγάζει από ένα υπερεκτιμημένο μήκος του ανερχόμενου leader όπως απεικονίζεται στο σχήμα 3. Στην ουσία το μήκος της ανερχόμενα συνδεδεμένης εκκένωσης από μια γειωμένη ράβδο θα πρέπει να εξαρτιέται από το ρεύμα κορυφής του κεραυνού ,το ύψος της ράβδου και την πιθανότητα σύνδεσης με τον κεραυνό. Αυτό φαίνεται και στο σχήμα 3 για το στατιστικό μοντέλο το οποίο δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε συμφωνία με το φυσικό μοντέλο του Rakov και Lutz [19].



Σχήμα 3. Ανερχόμενος συνδετικός σχετός σε λειτουργία ράβδου με μέγιστο ρεύμα κεραυνού 31 kA. Για τις ESE ράβδους $v = 10^6 \text{ m/sec}$.

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΕΝΟΣ ΚΕΡΑΥΝΟΥ.

Ο ρυθμός των απευθείας χτυπημάτων ενός κεραυνού (κεραυνοί/ χρόνο), σε μια ελεύθερη ράβδο δίνεται παρακάτω.

$$N = 10^{-6} N_g \pi R_{eq}^2 \quad (4) \text{ όπου:}$$

N_g (κεραυνοί/ km^2 / χρόνο) όπως ορίζεται στο [12] και:

$$R_{eq} = \sqrt{\int_0^{\infty} R^2(I, h) f(I) dI} \quad (5) \text{ Όπου:}$$

h είναι το ύψος της ράβδου

R είναι η ακτίνα σύνδεσης του κεραυνού στη ράβδο και

f είναι η λειτουργία της πιθανότητας κατανομής του ρεύματος κορυφής του κεραυνού όπως δίνεται από το [20]

$$f(I) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sigma \ln I} \exp \left[-\frac{(\ln I - \ln I(\mu_{\text{έσο}}))^2}{2\sigma \ln^2} \right] (6)$$

Όπου $I(\mu_{\text{έσο}})$ και σ είναι, αντίστοιχα οι μέσες τιμές και η στάνταρ απόκλιση του φυσικού λογάριθμου του ρεύματος κορυφής του κεραυνού.

Συνδυάζοντας το 2 και το 5 η ισοδύναμη ακτίνα σύνδεσης της ESE ράβδου μπορεί να εφαρμοστεί έτσι:

$$R_{\text{eq}} = \sqrt{20(\Delta L + h) \left[\exp \frac{2}{3} (\ln I(\mu_{\text{έσο}}) + 0,21\sigma^2 \ln) \right] + \sqrt{\Delta L^2 - h^2}} (7)$$

Συνδυάζοντας το 2 και το 5 η ισοδύναμη ακτίνα Σύνδεσης της ράβδου βασισμένη στο στατιστικό μοντέλο που ακολουθεί μια κανονική κατανομή με μια μέση τιμή στο R και μια στάνταρ απόκλιση σ , δίνεται έτσι:

$$R_{\text{eqci}} = 6.2 [\exp (0.91 \ln I(\mu_{\text{έσο}}) + 0.41\sigma^2 \ln)]^{0.5} h^{0.3} (8\alpha)$$

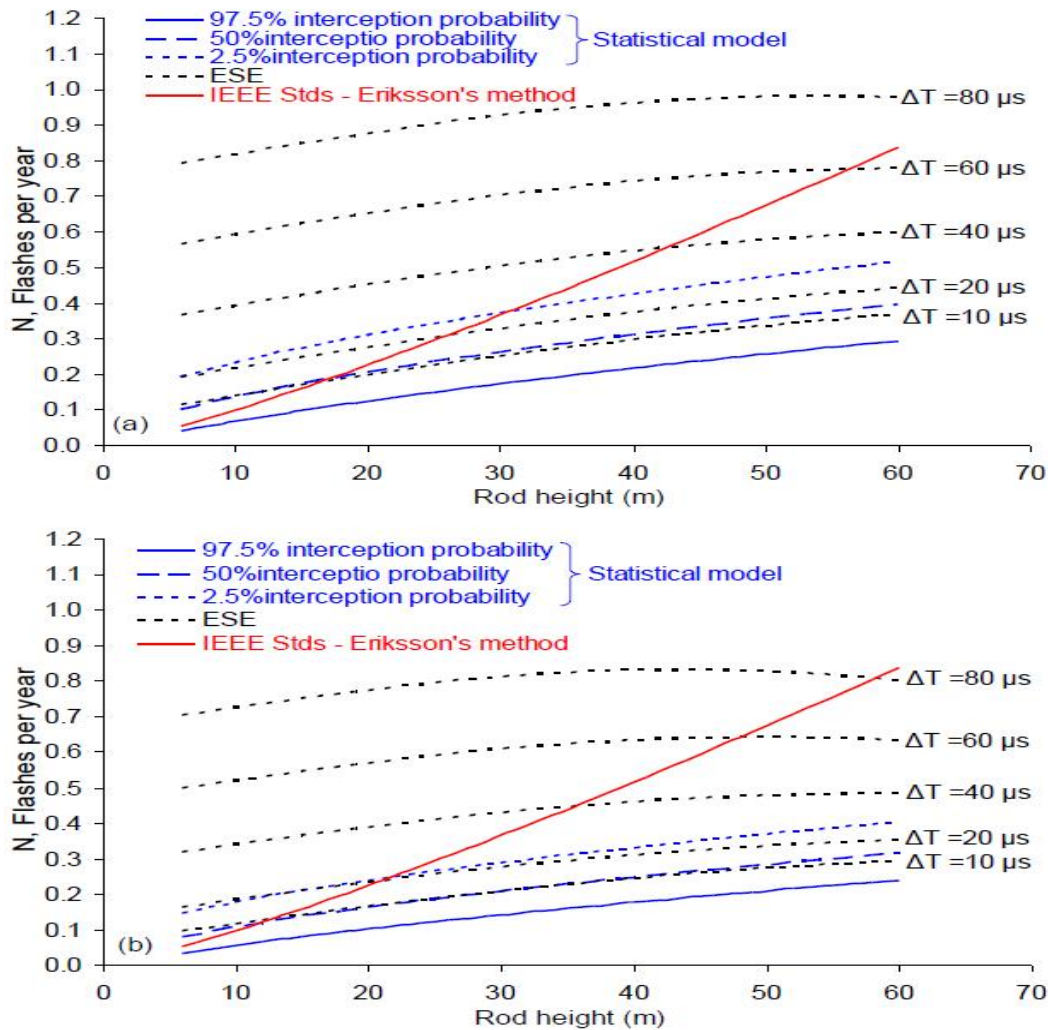
$$\sigma(\%) \cong 12.2 e^{0.34\sigma \ln} I^{0.284} (\mu_{\text{έσο}}) h^{-0.43} (8\beta)$$

Τελικά σύμφωνα με το μοντέλο του Erickson [14] το οποίο έχει υιοθετηθεί από τα IEEE Standards, προκύπτει ότι η ισοδύναμη ακτίνα σύνδεσης ενός εναέριου τερματικού δίνεται από την ακόλουθη σχέση όπου τον αποκλειστικό ρόλο τον έχει το ύψος :

$$R_{\text{eq}} = 14h^{0.6} (9)$$

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΕΡΑΥΝΟΥ.

Το σχήμα 4 δείχνει το ρυθμό των απευθείας χτυπημάτων κεραυνού N , σαν μια λειτουργία ύψους της ESE ράβδου που υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (4) και (7). Για λόγους σύγκρισης του στατιστικού μοντέλου [eq(8)] και της μεθόδου του Erickson [eq(9)]. Είναι φανερό ότι με ανάλογο τρόπο σε ακτίνα σύνδεσης όπως στο σχήμα.2, το ποσοστό συγκέντρωσης του κεραυνού στις ESE ράβδους είναι υψηλότερο από εκείνο που απαιτείται από το στατιστικό μοντέλο και την μέθοδο του Erickson ειδικά για χαμηλού ύψους ράβδους. Σαν αποτέλεσμα μιας σαφούς επίδρασης, συνέπειας του ύψους της ράβδου στο R_{eq} , η μέθοδος του Erickson αποδίδει για ψηλούς ράβδους ένα σχετικά υψηλό ποσοστό συγκέντρωσης κεραυνών. Αυτό είναι πιο φανερό για την κατανομή, ρεύματος κορυφής του κεραυνού με χαμηλότερη της μέσης τιμής στο σχήμα (4b).

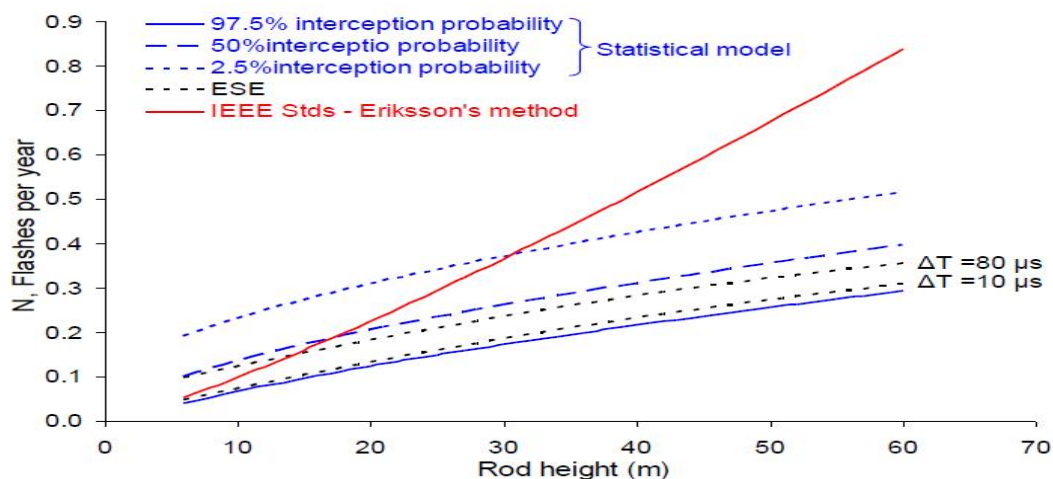


Σχήμα 4(α) , Σχήμα 4(β)

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ

Προγενέστερη εργασία βασισμένη σε κλίμακα μοντέλου που πειραματίζεται στην απαγωγή του κεραυνού έχει δείξει ότι η έναρξη και η διάδοση μιας αποφόρτισης στο τερματικό μιας γειωμένης ράβδου δεν είναι το μόνο κριτήριο για την σύνδεση. Μια προς τα πάνω αποφόρτιση από ένα αντικείμενο που βρίσκεται στο έδαφος δεν είναι πάντοτε μια συνδετική αποφόρτιση. Αυτό μάρτυρα το σχήμα 5 δείχνοντας θετικές αποφορτίσεις προς τα πάνω να αποτυγχάνουν να παρεμποδίσουν την αρνητική αποφόρτιση προς τα κάτω. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν επίσης παρατηρηθεί σε πειράματα μεγάλης κλίμακας [23] και επίσης σε φυσικό κεραυνό όπου οι leaders προς τα πάνω ίσως αποβληθούν. **Επιπλέον, έχει φανεί βασισμένο σε πειραματικές έρευνες ότι η προέναρξη ενός οχετού υποστηριζόμενη από ένα βοηθητικό παλμό σχετικό με τη λειτουργία ESE εμποδίζει πάνω στη δημιουργία ανερχόμενου leader και η ανάπτυξη εξαρτάται από το χρόνο του εφαρμοσμένου παλμού σε σχέση με την αργή αύξηση του εφαρμοσμένου πεδίου που αναφέρεται στον καθοδικό leader.** Μια θετική αλλά μάλλον μικρή επίδραση στην προέκταση της ανερχόμενης αποφόρτισης βρέθηκε στην περίπτωση ενός βοηθητικού παλμού εφαρμοσμένου μετά τον σχηματισμό του leader και την έναρξη της εκκένωσης. Επομένως, στην σύνδεση του κεραυνού η αρχή του προηγούμενου οχετού από

για ESE ράβδο δεν εγγυάται απαραίτητα μια ανερχόμενη προεκκένωση του leader . Επιπρόσθετα ,υπάρχει μια ομοφωνία ανάμεσα στους ερευνητές ότι η ταχύτητα του ανερχόμενου leader είναι σημαντικά χαμηλότερη από την τιμή του 1m/μs που προτείνεται από το [2,18].



Σχήμα 6.

Τελικά όταν το μήκος του ανερχόμενου leader προερχόμενο από ESE ράβδους υπολογίζεται βάσει μιας ρεαλιστικής τιμής της ταχύτητας προόδου [5,25] μιας τάξης μεγέθους μικρότερης από της τιμής του 1m/μs ,τα αποτελέσματα της επίδρασης του κεραυνού των ESE ράβδων είναι ανάμεσα στην αναμενόμενη σειρά της συλλογής λάμψης ποσοστού υπολογισμένου από το στατιστικό μοντέλο. Αυτό απεικονίζεται στην εικόνα 6.Επομένως ,η ικανότητα σύνδεσης του κεραυνού των ESE ράβδων είναι παρόμοια με εκείνη των συμβατικών ράβδων.

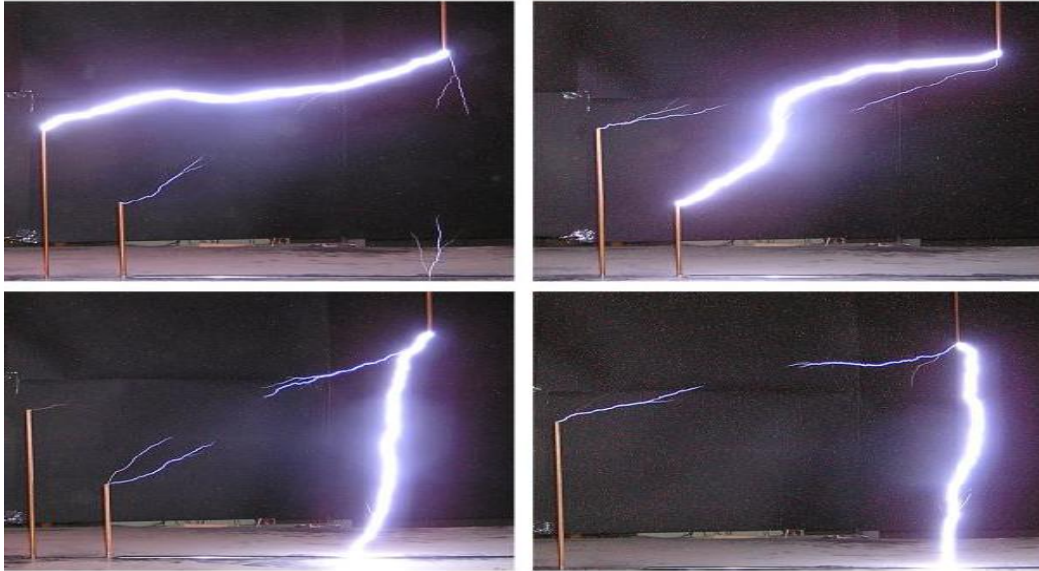


Figure 5: Still photographs of negative discharge interception by competing grounded electrodes

Σχήμα 5.

6 ΣΧΟΛΙΟ

Η μεθοδολογία για τον υπολογισμό της επίδρασης του κεραυνού σε ράβδους ESE έχει προταθεί. Η προτεινόμενη μέθοδος εφαρμόζει μια απλή έκφραση για τον υπολογισμό της ισοδύναμης ακτίνας σύνδεσης που μελετάει το ύψος της ESE ράβδου, το μήκος του συνδεδεμένου leader έχοντας ανοδικό έναυσμα και την διανομή του ρεύματος κορυφής του κεραυνού. Επομένως, η παρούσα εργασία παρέχει τα μέσα να εκτιμήσουμε εύκολα την επίδραση της σύνδεσης του κεραυνού των ESE και των συμβατικών ράβδων μέσω συγκρίσεων με διαθέσιμα του τα στοιχεία του πεδίου. Η επίδραση του κεραυνού στις ESE ράβδους είναι **υπερεκτιμημένη ιδιαίτερα** για χαμηλού ύψους ράβδους. Αυτό αποδίδεται σε μια υπερεκτιμημένη ακτίνα σύνδεσης ιδιαίτερα για τα χαμηλά ρεύματα κορυφής του κεραυνού, πηγάζοντας από ένα υπερβολικό μήκος του ανοδικού leader. Το ποσοστό συλλογής κεραυνών στις ράβδους **όταν εξετάζουμε μια ρεαλιστική τιμή της ταχύτητας προόδου** του ανοδικά συνδεδεμένου leader είναι πολύ κοντά στη συμβατική ράβδο. **Αυτά τα αποτελέσματα είναι μεγάλης σπουδαιότητας για το σχεδιασμό της προστατευόμενης επιφάνειας κατασκευής εναντίον στα απευθείας χτυπήματα κεραυνού.**

7 ΠΡΩΤΟΤΥΠΗ ΜΟΡΦΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.

Παρακάτω ακολουθεί η εργασία που μελετήσαμε παραπάνω, έτσι όπως μας παραδόθηκε πριν την αναγκαία από εμάς μετάφραση για της ανάγκες της πτυχιακής μας :

EVALUATION OF LIGHTNING INCIDENCE TO ESE RODS

P. N. Mikropoulos* and T. E. Tsovilis

High Voltage Laboratory, School of Electrical & Computer Engineering,
Faculty of Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, Greece

*Email: pnm@eng.auth.gr

Abstract: A methodology for the estimation of lightning incidence to free standing Early Streamer Emission (ESE) rods is introduced. The proposed method implements a general expression for the equivalent interception radius, which considers the ESE rod height, length of the triggered upward connecting leader and the lightning peak current distribution. Lightning incidence results are discussed and compared with that referring to conventional rods obtained according to Eriksson's method and the statistical lightning attachment model. It is shown that the lightning interception efficiency of an ESE rod, even assuming an earlier initiated upward connecting leader, is similar to that of a conventional rod when considering a realistic value for the progression velocity of the upward connecting leader. The present work provides the means to easily evaluate the lightning interception efficiency of ESE and conventional rods through comparisons with available field data.

1 INTRODUCTION

An external Lightning Protection System (LPS) serves to protect, at minimum possible risk of damage, any structure against direct lightning flashes through appropriately placed air terminals, intercepting the descending lightning leaders. The air-termination system of an external LPS can be designed by implementing the rolling sphere method, as adopted by IEC [1].

In their conventional form, since Benjamin Franklin's time, air terminals intercept the descending lightning leaders by physical means, that is, through an upward connecting discharge initiating and progressing due to the electric field induced by the descending lightning leader. Lightning interception occurs at a distance between the descending lightning leader and the air terminal, which at the instant of upward connecting discharge initiation is called striking distance, and within a capture radius, called interception radius.

Early Streamer Emission (ESE) terminals have, according to [2], a longer striking distance, due to an earlier inception of a triggered upward connecting leader, compared to that of conventional air terminals having similar dimensions. The design of an external LPS utilizing ESE terminals can be achieved by employing the relevant new released standard [2]. However, the claimed enhanced lightning interception efficiency of ESE terminals has been subject to strong criticism from the scientific community [3-10].

In the present study a methodology for the estimation of lightning incidence to free standing ESE rods is introduced. The proposed method considers the ESE rod height, length of the

triggered upward connecting leader and the lightning peak current distribution. Lightning incidence results of ESE rods are discussed and compared with those referring to conventional rods, obtained according to the statistical lightning attachment model [11-13] and Eriksson's method [14]; the latter is adopted by the IEEE standards for lightning incidence calculations [15-17].

2 LIGHTNING INTERCEPTION RADIUS

According to NF C 17-102:1995 standard [18], ESE rods intercept lightning from a striking distance, S , which is related to the prospective lightning peak current and the triggered upward leader length. Striking distance to an ESE rod can be expressed with reference to the striking distance to earth surface, D , as

$$S = D + \Delta L = 10I^{0.75} + v\Delta T \quad (1)$$

where S , D are in meters, ΔL (m) is the triggered upward leader length, I (kA) is the prospective lightning peak current, v (m/ μ s) is the triggered upward leader velocity and ΔT (μ s) is the time advance of the ESE rod. The interception radius, R , of an ESE rod with height h (m) is given based on Figure 1 as [18]

$$R = \sqrt{S^2 - (D-h)^2} = \sqrt{h(2D-h) + \Delta L(2D+\Delta L)}, \quad h > 5 \text{ m}$$

or equivalently, $R = \sqrt{2D(\Delta L+h) + \Delta L^2 - h^2}$ (2)

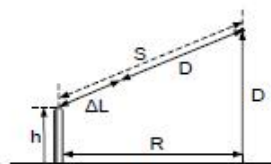


Figure 1: Lightning attachment to an ESE rod [18]

The new released NF C 17-102:2011 standard [2] proposes the use in (2), instead of D , the radius of the rolling sphere corresponding to the four protection levels, the latter as defined in [1].

Figure 2 shows the variation of the interception radius of a 6 m ESE rod with the prospective lightning peak current with ΔT as parameter and for $v = 10^5$ m/s, the later as adopted in [2, 18]. For comparison purposes Figure 2 also shows the variation of the interception radius of a conventional rod of the same height, calculated based on a recently introduced statistical lightning attachment model [11, 12]. According to the latter the interception radius of an air terminal follows a normal distribution with a mean value, R_{ci} , and a standard deviation σ given as

$$R_{ci} = 6.2h^{0.3}I^{0.455} \quad (3a)$$

$$\sigma(\%) = 13.5h^{-0.43}I^{0.28} \quad (3b)$$

It must be mentioned that lightning incidence calculations based on expressions (3) have yielded results in satisfactory agreement with field data referring to external LPS [12].

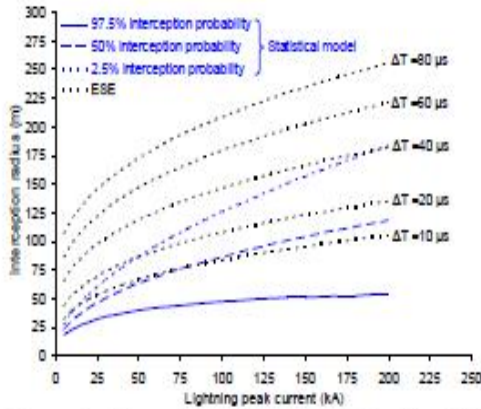


Figure 2: Interception radius of a rod 6 m in height, for ESE rods $v = 10^5$ m/s [2, 18].

From Figure 2 it is obvious that the interception radius of the ESE rod estimated according to [18] is longer than that obtained by the statistical model, even longer than that corresponding to the lowest interception probability, especially for low lightning peak currents. This is important when considering that low lightning peak currents play a dominant role in the shielding design, thus also in the performance of external LPS; an assumed enhanced interception radius may result in shielding failures.

The relatively long estimated interception radius of ESE rods (Figure 2) results from an overestimated length of the upward connecting leader as shown in Figure 3. Actually, the length of the upward connecting discharge from an earthed rod should depend on lightning peak current, rod height, and lightning interception probability. This is shown in Figure 3 for the statistical model, which yields

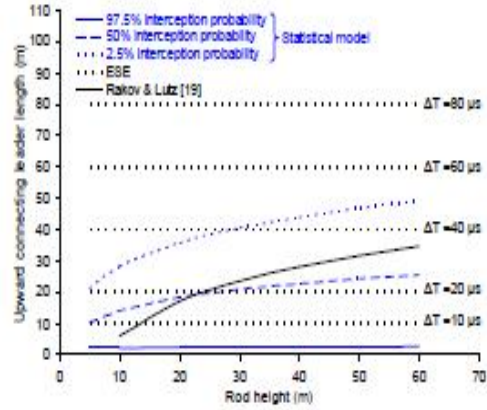


Figure 3: Upward connecting leader length as a function of rod height for a lightning peak current of 31kA; for ESE rods $v = 10^5$ m/s [2, 18].

results in satisfactory agreement with the physical model of Rakov and Lutz [19].

3 LIGHTNING INCIDENCE CALCULATIONS METHODOLOGY

The rate of direct lightning flashes (flashes/yr) to a free standing rod is given as

$$N = 10^{-6} N_g \pi R_{eq}^2 \quad (4)$$

where N_g (flashes/km²/yr) is the ground flash density, R_{eq} (m) is the equivalent interception radius of rod. R_{eq} is defined as [12]

$$R_{eq} = \sqrt{\int_0^{\infty} R^2(I, h) f(I) dI} \quad (5)$$

where h (m) is the rod height, R is the lightning interception radius of the rod and $f(I)$ is the probability density function of the lightning peak current distribution given as [20]

$$f(I) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_n I} \exp\left[-\frac{(\ln I - \ln \bar{I})^2}{2\sigma_n^2}\right] \quad (6)$$

where \bar{I} and σ_n are, respectively, the median value and the standard deviation of the natural logarithm of the lightning peak current. By combining (2) and (5) the equivalent interception radius of an ESE rod can be formulated as

$$R_{eq} = \sqrt{20(\Delta L + h) \left[\exp\left(\frac{2}{3} \ln \bar{I} + 0.21\sigma_n^2\right) \right] + \Delta L^2 - h^2} \quad (7)$$

By combining (3) and (5), the equivalent interception radius of a rod based on the statistical model follows a normal distribution with a mean value R_{eqci} and a standard deviation σ , given as

$$R_{eqci} = 6.2 \left[\exp\left(0.91 \ln \bar{I} + 0.414\sigma_n^2\right) \right]^{0.5} h^{0.3} \quad (8a)$$

$$\sigma(\%) \approx 12.2 e^{0.34\sigma_n} \bar{I}^{0.284} h^{-0.43} \quad (8b)$$

Finally, according to Eriksson's method [14], which has been adopted by IEEE Standards [15-17], the equivalent interception radius of an air terminal is given by the following solely height dependent expression:

$$R_{eq} = 14h^{0.6} \quad (9)$$

4 LIGHTNING INCIDENCE CALCULATIONS RESULTS

Figure 4 shows the rate of direct lightning flashes, N , as a function of ESE rod height estimated by using (4) and (7). For comparison purposes in the same figure N is calculated based on the statistical model [eq. (8)] and Eriksson's method [eq. (9)]. It is obvious that, in analogous way to interception radius (Fig. 2), the flash collection rate of ESE rods is higher than that obtained by the statistical model and Eriksson's method, especially for low height rods. As a result of a pronounced effect of rod height on R_{eq} , Eriksson's method yields for high rods a relatively high flash collection rate; this is more obvious for the lightning peak current distribution with lower median value (Fig. 4b). It must be noted that, as discussed in detail in [22], Eriksson's method yields an overestimated lightning incidence to overhead transmission lines.

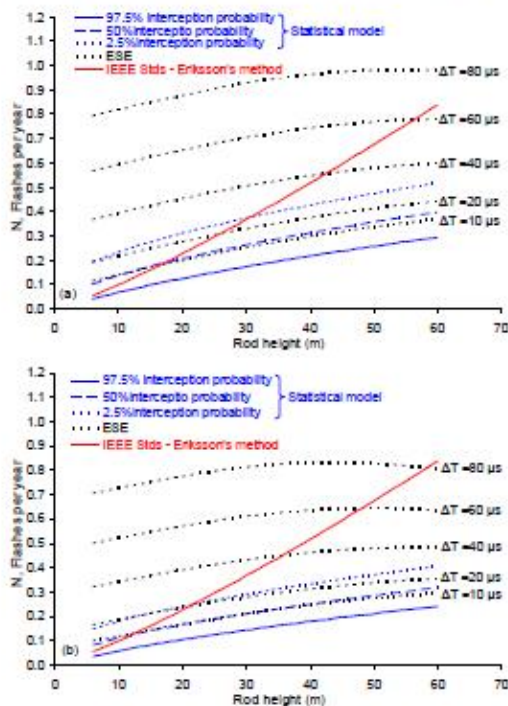


Figure 4: Flash collection rate as a function of rod height; $N_0 = 10$ flashes/km²/yr; lightning peak current distribution with (a) $\bar{I} = 30.1$ kA and $\sigma_{in}=0.76$ [20], (b) $\bar{I} = 24$ kA and $\sigma_{in}=0.72$ [21], for ESE rods $v = 10^5$ m/s [2, 18].

5 DISCUSSION

Previous work based on scale model experiments on lightning attachment [13], has shown that inception and propagation of an upward discharge from an earthed rod is not the sole criterion for interception; an upward discharge from a grounded object is not always a connecting discharge. This is evident in Figure 5 showing positive upward discharges failing to intercept the downward negative discharge; similar results have also been observed in large scale experiments [23] and also in natural lightning where upward leaders may be aborted [24].

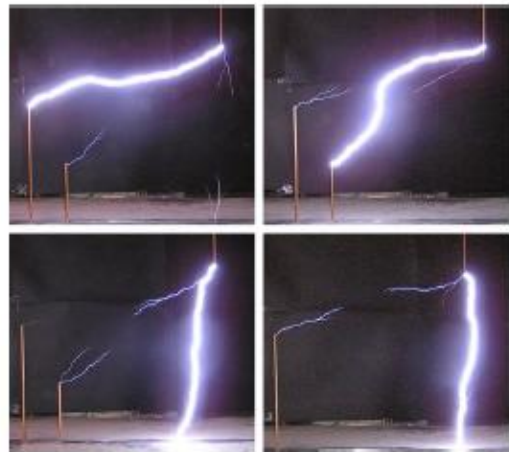


Figure 5: Still photographs of negative discharge interception by competing grounded electrodes

Furthermore, it has been shown, based on experimental investigations [6, 7], that the earlier initiation of a streamer supported by an auxiliary pulse related to ESE operation may have an inhibiting effect on upward leader formation and development depending on the time of the applied pulse with respect to the slowly rising front of the descending leader. A positive, but rather small, effect on elongating the upward discharge was found in case of an auxiliary pulse applied after the leader formation and initiation. Therefore, in lightning attachment, early streamer initiation from an ESE rod does not necessary guarantee an elongation of the upward leader.

In addition, there is a consensus among researchers that the velocity of the upward connecting leader is significantly lower than the value of 1 m/μs suggested by [2, 18]. Actually, when the length of the upward leader initiated from ESE rods is calculated based on a realistic value of progression velocity [5, 25], one order smaller than the value of 1 m/μs, the lightning incidence results of ESE rods are within the expected range of flash collection rate calculated by the statistical model; this is shown in Figure 6. Thus, the lightning

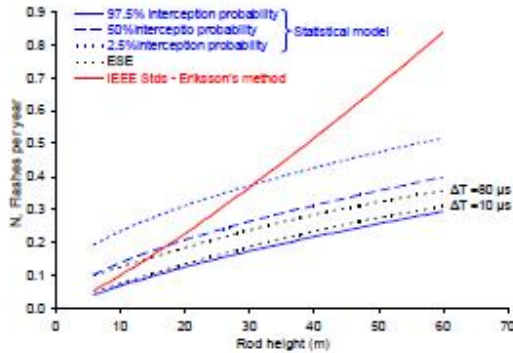


Figure 6: Flash collection rate as a function of rod height; $N_0 = 10$ flashes/km²/yr; lightning peak current distribution with $\bar{i} = 30.1$ kA and $\sigma_m = 0.76$ [20], for ESE rods $v = 10^5$ m/s.

interception efficiency of ESE rods is similar to that of conventional rods, even assuming an earlier initiated upward connecting leader.

6 CONCLUSIONS

A methodology for the estimation of lightning incidence to ESE rods has been introduced. The proposed method implements a simple expression for the estimation of the equivalent interception radius, which considers the ESE rod height, length of the triggered upward connecting leader and the lightning peak current distribution. Thus, the present work provides the means to easily evaluate the lightning interception efficiency of ESE and conventional rods through comparisons with available field data.

Lightning incidence to ESE rods is overestimated especially for relatively low height rods. This is attributed to an overestimated interception radius, especially for low lightning peak currents, resulting from an exaggerated length of the upward connecting leader. The flash collection rate of ESE rods is similar to that of conventional rods when considering a realistic value for the progression velocity of the upward connecting leader. These results are of great importance in the shielding design against direct lightning strokes.

7 REFERENCES

- [1] IEC 62305 series, Protection Against Lightning, Part 3, 2006
- [2] NF C 17-102:2011, Protection against lightning - Early streamer emission lightning protection systems
- [3] R. J. Van Brunt, T. L. Nelson, K. L. Stricklett: "Early streamer emission lightning protection systems: An overview", IEEE Trans. Dielectr.

- [4] M. A. Uman and V. A. Rakov: "A critical review on non conventional approaches to lightning protection", Amer. Meteor. Soc., pp. 1809-1820, 2002
- [5] CIGRE WG C4.405: "Non conventional lightning protection systems", Electra, No.258, pp. 36-41, 2011
- [6] D. C. Faircloth: "Lightning protection of buildings using active finials", M.Sc. Thesis, University of Manchester, 1996
- [7] N. L. Allen and J. C. Evans: "New investigations on the 'early streamer emission' principle", IEE Proc. Sci. Meas. Technol., Vol 147, No. 5, pp. 243-248, 2000
- [8] Cooray, V. and N. Theethayi, "The striking distance of lightning flashes and the early streamer emission hypothesis", Journal of Electrostatics, Vol. 65, Issues 5-6, pp. 336-341, 2007
- [9] Z. A. Hartono and I. Robiah: "Close proximity bypasses to collection volume and early streamer emission air terminals", 7th Asia Pacific Int. Conf. on Lightning, Chengdu, China, 2011, pp. 863-867
- [10] A. M. Mousa: "Failure of the collection volume method and attempts of the ESE lightning rod industry to resurrect it", Journal of Lightning Research, Vol. 4, pp. 118-128, 2012
- [11] P. N. Mikropoulos and T. E. Tsovilis: "Striking distance and interception probability", IEEE Trans. Power Del., Vol. 23, No. 3, pp. 1571-1580, 2008
- [12] P. N. Mikropoulos and T. E. Tsovilis: "Interception probability and shielding against lightning", IEEE Trans. Power Del., Vol. 24, No. 2, pp. 863-873, 2009
- [13] P. N. Mikropoulos and T. E. Tsovilis: "Interception probability and proximity effects: Implications in shielding design against lightning", IEEE Trans. Power Del., Vol. 25, No. 3, pp. 1940-1951, 2010
- [14] A. J. Eriksson: "The incidence of lightning strikes to power lines", IEEE Trans. Power Del., Vol. 2, No. 3, pp. 859-870, 1987
- [15] IEEE Guide for Direct Lightning Stroke Shielding of Substations, IEEE Standard 998, 1996
- [16] IEEE Guide for improving the Lightning performance of Transmission Lines, IEEE Standard 1243-1997, Dec. 1997
- [17] IEEE Guide for improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines, IEEE Standard 1410-2011, Jan. 2011

- [18] NF C 17-102:1995, Protection of structures and open areas against lightning using ESE air terminals
- [19] V. A. Rakov and A. O. Lutz: "A new technique for estimating equivalent attractive radius for downward lightning flashes", 20th Int. Conf. Lightning Protection, Interlaken, Switzerland, 1990, paper 2.2
- [20] Lightning and Insulator Subcommittee of the T&D Committee: "Parameters of lightning strokes: A review", IEEE Trans. Power Del., Vol. 20, No. 1, pp. 346-358, 2005
- [21] A. M. Mousa and K. D. Srivastava: "The implications of the electrogeometric model regarding the effect of height of structure on the median amplitude of collected lightning strokes", IEEE Trans. Power Del., Vol. 4, No. 2, pp. 1450-1460, 1989
- [22] P. N. Mikropoulos and T. E. Tsovilis: "Estimation of lightning incidence to overhead transmission lines", IEEE Trans. Power Del., Vol. 25, No. 3, pp. 1855-1865, 2010
- [23] F. D'Alessandro, C. J. Kossmann, A. S. Gaivoronsky, and A. G. Ovsyannikov: "Experimental study of lightning rods using long sparks in air", IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul. Vol. 11, No. 4, pp. 638-648, 2004.
- [24] G. Lu and W. Waldn-Neuman: "Analysis of the video recordings of an aborted upward leader at daytime from a "bolt-from-the-blue" discharge", Journal of Lightning Research, Vol. 1, pp. 22-27, 2009
- [25] M. Beccera, and V. Cooray, "On the velocity of positive connecting leaders associated with negative downward lightning leaders", Geophys. Res. Lett., Vol. 35, L02801, doi:10.1029/2007GL032506, 2008

8 Τελικό συμπέρασμα

Από τη βιβλιογραφική επισκόπηση γύρω από τα αλεξικέραυνα τύπου ese προκύπτει πως οι κατασκευαστές αυτών στηρίζονται σε λανθασμένες υποθέσεις παρότι η βασική αρχή τους έχει κάποια λογική βάση. Η πρόωρη δημιουργία νηματίων στην απόληξη ενός αλεξικέραυνου με την εφαρμογή παλμών υψηλής τάσης μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την συντομότερη δημιουργία και διάδοση μιας ανερχόμενης εκκένωσης που θα συνδεθεί με τον κατερχόμενο leader, αυξάνοντας έτσι την ζώνη προστασίας. Όμως ενώ αυτό έχει παρατηρηθεί σε πειράματα κλίμακας, σε πολύ μικρότερο βαθμό από τους ισχυρισμούς των κατασκευαστών, αποδεικνύεται ότι δεν συμβαίνει σε πραγματικές συνθήκες. Οι κυριότεροι λόγοι της αποτυχίας να λειτουργήσουν τα αλεξικέραυνα τύπου ese σύμφωνα με τις προδιαγραφές των

κατασκευαστών τους είναι ότι η ταχύτητα 10^6 m/s για τον ανερχόμενο leader, που θεωρείται για τον υπολογισμό του 'κέρδους' AL στην ακτίνα σύλληψης, είναι μεγαλύτερη από τις ταχύτητες που παρατηρούνται στην πραγματικότητα και αναφέρεται στην βιβλιογραφία. Τα μήκη των διακένων στα πειράματα κλίμακας είναι τάξεις μεγέθους μικρότερα από τις πραγματικές συνθήκες πράγμα που μπορεί οδηγήσει σε υπερεκτιμημένες ζώνες προστασίας. Οι συνθήκες κατά την διάρκεια καταιγίδας (ταχύτητα ανέμου, βροχή, υγρασία, μορφή ηλεκτρικού πεδίου κ.τ.λ.) είναι πολύ διαφορετικές από τις συνθήκες όπου γίνονται οι μετρήσεις στα εργαστήρια. Τέλος οι συσκευές των ese επηρεάζουν το πεδίο στο χώρο πάνω από το αλεξικέραυνο για μερικά εκατοστά μόνο, πράγμα που σημαίνει πως ακόμα και αν μια ανερχόμενη εκκένωση νηματίου ξεκινήσει να διαδίδεται πρόωρα θα αποτύχει να μετασχηματιστεί σε leader αν στον διάκενο μεταξύ αλεξικέραυνου και της κεφαλής του κατερχόμενου leader δεν υπάρχει η κατάλληλη πεδιακή ένταση. Πρέπει ακόμα να πούμε πως τα αποτελέσματα που αποδεικνύουν την καλύτερη απόδοση των ese αλεξικέραυνων σε σχέση με τα συμβατικά είναι από έρευνες που χρηματοδοτούνται από κατασκευαστές και χωρίς να δημοσιεύονται λεπτομέρειες για την διεξαγωγή αυτών των πειραμάτων. Αν υπολογίσουμε και τις αποτυχίες των αλεξικέραυνων ese που έχουν παρατηρηθεί σε πραγματικές συνθήκες από τότε που άρχισαν να χρησιμοποιούνται, μερικά τέτοια παραδείγματα παρουσιάσαμε και εδώ, δεν είναι περίεργο γιατί η επιστημονική κοινότητα παραμένει διχασμένη για το αν όντως τα αλεξικέραυνα ese είναι αποτελεσματικότερα από τα συμβατικά. Για αυτόν το λόγο επίσης οι διεθνείς οργανισμοί απορρίπτουν τα αλεξικέραυνα τύπου ese ως μη αποτελεσματικότερα από τα συμβατικά αλεξικέραυνα.

9. Παράρτημα

Ορισμοί ΕΛΟΤ, σχετικοί με ένα ΣΑΠ.

- 1) Κεραυνός: Είναι η ηλεκτρική εκκένωση ατμοσφαιρικής προέλευσης απλή ή πολλαπλή μεταξύ νέφους-γης.
 - 2) Πλήγμα κεραυνού: Κάθε ηλεκτρική εκκένωση που προέρχεται από την πτώση ενός κεραυνού.
 - 3) Σημείο πλήγματος: Το σημείο ή τα σημεία όπου ένας κεραυνός έρχεται σε επαφή με τη γη (την πλήττει), μέσω μιας κατασκευής ή ενός ΣΑΠ.
 - 4) Προστατευόμενος χώρος: Το τμήμα της κατασκευής ή μιας περιοχής για το οποίο απαιτείται προστασία από τις επιπτώσεις κεραυνών.
 - 5) Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ) : Το πλήρες σύστημα που χρησιμοποιείται για να προστατεύσει ένα χώρο από τις επιπτώσεις ενός κεραυνού. Αυτό αποτελείται από:
 - Ø Εξωτερικό ΣΑΠ: Περιλαμβάνει το συλλεκτήριο σύστημα, τους αγωγούς καθόδου και τις αντιστάσεις γείωσης.
 - Ø Εσωτερικό ΣΑΠ: Περιλαμβάνει όλες τις διατάξεις επιπλέον αυτών που απαιτούνται στο εξωτερικό ΣΑΠ με τις οποίες θα μπορούσαν να περιοριστούν οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του ρεύματος του κεραυνού στο εσωτερικό του προστατευόμενου χώρου.
 - 6) Ισοδυναμικές συνδέσεις: Το τμήμα του εσωτερικού ΣΑΠ που μειώνει που μειώνει τις διαφορές δυναμικού που οφείλονται στο ρεύμα ενός κεραυνού.
 - 7) Συλλεκτήριο σύστημα: Το τμήμα του εξωτερικού ΣΑΠ που προορίζεται για να δέχεται τους κεραυνούς.
 - 8) Αγωγοί καθόδου: Το τμήμα του εξωτερικού ΣΑΠ που χρησιμεύει για να οδηγεί το ρεύμα του κεραυνού από το συλλεκτήριο σύστημα στο σύστημα γείωσης.
 - 9) Σύστημα γείωσης: Το τμήμα του εξωτερικού ΣΑΠ που μας χρειάζεται για να διοχετεύει και να διασκορπίζει το ρεύμα του κεραυνού στο έδαφος.

Σε εδάφη με μεγάλη ειδική αντίσταση, το σύστημα γείωσης μπορεί να συλλάβει τα ρεύματα κεραυνών που ρέουν μέσα στο έδαφος και οφείλονται σε εκφορτίσεις γειτονικών περιοχών.
 - Ø Ηλεκτρόδιο γείωσης: Στοιχείο η σύνολο στοιχείων του συστήματος γείωσης που μας εξασφαλίζει απ' ευθείας ηλεκτρική σύνδεση με τη γη και διαχέουν το ρεύμα του κεραυνού στο έδαφος.
 - Ø Περιμετρικό ηλεκτρόδιο γείωσης: Ηλεκτρόδιο γείωσης που σχηματίζει έναν κλειστό βρόγχο γύρω από την κατασκευή, εγκατεστημένο στο σκυρόδεμα θεμελίωσης.
 - Ø Ισοδύναμη αντίσταση γείωσης: Ο λόγος των μέγιστων τιμών της τάσης και του ρεύματος που εμφανίζεται στο σύστημα γείωσης, οι οποίες μέγιστες τιμές γενικώς δεν εμφανίζονται ταυτόχρονα. Αυτός ο λόγος χρησιμοποιείται συμβατικά και χαρακτηρίζει την αποτελεσματικότητα του συστήματος γείωσης.
 - Ø Τάση του συστήματος γείωσης: Η διαφορά δυναμικού μεταξύ συστήματος γείωσης και εδάφους.
- 10) Φυσικό στοιχείο του ΣΑΠ: Στοιχείο το οποίο εξασφαλίζει μια λειτουργία της προστασίας από κεραυνούς χωρίς όμως να έχει εγκατασταθεί για τον σκοπό αυτό.

- 11) Μεταλλικές εγκαταστάσεις: Εκτεταμένα μεταλλικά στοιχεία μέσα στον προστατευόμενο χώρο που πιθανόν να μπορούν να σχηματίσουν οδό ροής του ρεύματος κεραυνού, όπως σωληνώσεις, κιγκλιδώματα, οδηγοί ανελκυστήρων, αεραγωγοί θέρμανσης και κλιματισμού, ενδοσυνδεδεμένος χαλύβδινος οπλισμός.
- 12) Ζυγός εξίσωσης δυναμικών: Ζυγός μέσω του οποίου μπορούν να συνδεθούν στο σύστημα προστασίας τα επί μέρους αγώγιμα μέρη οι μεταλλικές εγκαταστάσεις, καθώς επίσης και τηλεπικοινωνιακές γραμμές.
- 13) Αγωγός εξίσωσης δυναμικών: Αγωγός για συνδέσεις εξίσωσης δυναμικών.
- 14) Ενδοσυνδεδεμένος χαλύβδινος οπλισμός: Ο χαλύβδινος οπλισμός μιας κατασκευής που έχει προβλεφθεί να έχει ηλεκτρική συνέχεια.
- 15) Επικίνδυνος σπινθήρας: Μη αποδεκτή ηλεκτρική εκκένωση εντός του προστατευόμενου χώρου, που προκαλείται από το ρεύμα κεραυνού
- 16) Απόσταση ασφαλείας: Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο αγώγιμων τμημάτων μέσα στον προστατευόμενο χώρο, ώστε να αποκλείεται η εμφάνιση επικίνδυνων σπινθήρων μεταξύ αυτών των τμημάτων.
- 17) Περιοριστής υπέρτασης: Συσκευή σχεδιασμένη να περιορίζει την υπέρταση μεταξύ δύο τμημάτων εντός του προστατευόμενου χώρου, όπως ο σπινθηριστής, ο απαγωγός υπερτάσεων και η διάταξη ημιαγωγών.
- 18) Σύνδεσμος ελέγχου (λυόμενος): Σύνδεσμος που έχει σχεδιαστεί και εγκατασταθεί για να επιτρέπει ηλεκτρικό έλεγχο και μετρήσεις στα στοιχεία του ΣΑΠ.
- 19) Εξωτερικό ΣΑΠ μεμονωμένο από τον προστατευόμενο χώρο: ΣΑΠ του οποίου το συλλεκτήριο σύστημα και το σύστημα των αγωγών καθόδου, έχει τοποθετηθεί έτσι ώστε η οδός του ρεύματος να μπορεί να μην έρχεται σε επαφή με τον προστατευόμενο χώρο.
- 20) Εξωτερικό ΣΑΠ μη μεμονωμένο από τον προστατευόμενο χώρο: ΣΑΠ του οποίου το συλλεκτήριο σύστημα και το σύστημα των αγωγών καθόδου, έχει τοποθετηθεί έτσι ώστε η οδός του ρεύματος να μπορεί να έρχεται σε επαφή με τον προστατευόμενο χώρο.
- 21) Συνήθεις κατασκευές: Οι κατασκευές οι οποίες χρησιμοποιούνται για συνήθεις χρήσεις, όπως εμπορική βιομηχανική, αγροτική, εκπαιδευτική, ή οικιστική χρήση.
- 22) Στάθμη προστασίας: Όρος κατάταξης ενός ΣΑΠ σύμφωνα με την αποτελεσματικότητα του.

10 Βιβλιογραφία και Αναφορές.

1. <http://www.physics4u.gr/articles/2003/airphysics1.html>
2. R. J. Van Brunt, T. L. Nelson, K. L. Stricklett "Early Streamer Emission Lighting Protection Systems: An Overview" IEEE Electrical Insulation Magazine January/February 2000-Vol. 16, No. 1
3. Παντελής Ν. Μικρόπουλος "Συστήματα Αντικεραυνικής Προστασίας"
4. M. A. Uman , V. A. Rakov "A Critical Review Of Nonconventional Approaches To Lighting Protection"
5. J. R. Gumley, G. Berger "A review Of The Lighting Attachment Process And Requirements To Achieve Improved Modeling"
6. Vernon Cooray, Nelson Theetayi "The Striking Distance Of Lighting And The Early Streamer Emission Hypothesis" Journal of Electrostatics 65 (2007) 336-341
7. Heary, K.P., Chaberski, A.Z., Richens, F., and Moran, J.H. "Early Streamer Emission Enhanced Air Terminal Performance and Zone of Protection."
8. Heary, K.P., Chaberski, A.Z., Gumley, S., Gumley, J.R., Richens, F. and Moran, J.H., "An Experiment Study of Ionizing Air Terminal Performance." IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, No. 2, April 1989
9. K. L. Chrzan, Z. A. Hartono "Inefficacy Of Radioactive Terminals And Early Streamer Emission Terminals" XIIIth International Symposium on High Voltage Engineering, Netherlands 2003
10. D. Mackerras, M. Darveniza, A. C. Liew "Review of claimed enhanced lightning protection of buildings by early streamer emission air terminals" IEE Proc.-Sci. Meas. Technol., Vol. 144, No. 1, January 1997
11. Hussein Bin Ahmad "Study On The Early Streamer Emission Mechanisms Aided By Laser Radiation Ionization Process"
12. Scott d. McIvor, Roy B. Carpenter, Mark M. Drabkin "Evaluation Of Early Streamer Emission Air Terminals"
13. Altec, TerraStreamer_Brochure
14. Marley Becerra, Vernon Cooray "Laboratory Experiments Cannot Be Utilized To Justify The Action Of Early Streamer Emission Terminals" J. Phys. D: Appl. Phys. 41 (2008)
15. Becerra M and Cooray V 2006 A simplified physical model to determine the lightning upward connecting leader inception IEEE Trans. Power Delivery
16. N. L. Allen, J. C. Evans, D. C Faircloth, W. H. Siew, I. D. Chalmers "Simulation Of An Early Streamer Emission Air Terminal For Application To Lighting Protection" High Voltage Engineering Symposium, 22-27 August 1999
17. N. L. Allen, D. C. Faircloth "Some Factors Relating To Early Streamer Emission Principle"
18. N. L. Allen, K. J. Cornick, D. C. Faircloth, C. M. Couzis "Tests of the 'early streamer emission' principle for protection against lightning" IEE Proc. -Sci. Meas. Technol., Vol. 145, No. 5, September 1998
19. N. L. Allen, J. C. Evans "New investigations of the "early streamer emission" principle" IEE Proc.-Sci. Meas. Technol., Vol. 147, No. 5, September 2000
20. William Rison "Experimental Validation of Conventional and Non-Conventional Lightning Protection Systems"
21. C. B. Moore, G. D. Aulich, W. Rison "Measurements of Lighting Rod Responses to Nearby Strikes" Geophysical Research Letters, Vol. 27, No. 10, Pages 1487-1490, May 15, 2000

22. Z. A. Hartono, I. Rodiah "Performance Of Non-Standard Lighting Air Terminals Revisited" 20th International Conference on Lighting Protection, June 2008 Uppsala Sweden
23. Abdul M. Musa "Validity Of The Collection Volume Method/Field Intensification Method For The Placement Of Lighting Rods On Buildings" 26th International Conference on Lighting Protection, September 2002, Cracow Poland
24. Hartono Zainal Abidin, Robiah Ibrahim "Conventional and Un-conventional Lighting Air Terminals: An Overview" Forum On Lighting Protection, Hilton Petaling Jaya, 8th January 2004
25. AAGE E PEDERSEN "The result of a court case considering ese devises, sh ort version"
26. <http://www.iclp-centre.org/>
27. Becerra M and Cooray V 2006 Time dependent evaluation of the lightning upward connecting leader inception J. Phys. D: Appl. Phys.
28. Becerra M and Cooray V 2006 A self-consistent upward leader propagation model J. Phys. D: Appl. Phys.
29. Chalmers, I. D., J. C. Evans, and W. H. Siew, 1999: Emission Lightning Protection. IEEE. Proc. Sci. Meas. Technol.
30. GUMLEY, J.R.: 'Non-conventional methods of lightning protection'. Proceedings of symposium on Non-conventional lightning protection, 1986, Sydney, paper 3
31. GUMLEY, J.R.: 'Comparative performance of lightning air terminals under natural storm conditions'. Lightning protection workshop, 1992, Hobart
32. WU, P.-S., TANG, H.-S., JIAN, X.-J., WANG, S.-S., and YAN, Y.-J.: 'Testing research on effectiveness of radioactive lightning conductors'. Proceedings of 6th international symposium on High voltage engineering, 1989, New Orleans, LA, paper 27.19
33. ALEKSANDROV, G.N., BERGER, G., and GARY, C.: 'New investigations in the lightning protection of substations'. Proceedings of CIGRE Paris, 1994, Paper 23/13-14
34. BERGER, G.: 'Testing to show a time advantage in production of a lightning up leader - laboratory simulation of the connecting discharge from a lightning conductor'. Lightning protection workshop, November 1992, Hobart
35. BERGER, G.: 'The application of upward leader initiation time advantage into an electrogeometrical model'. Lightning protection workshop, November 1992, Hobart
36. O. Alcondel and B. Thirion, "Study of a type of early streamer emission lighting conductor" in Workshop on Physics of lighting (Chamonix, France), Feb. 2 1993
37. A. M. Casie, "The effect of a radioactive source on the path of a lightning stroke" tech. rep., Electrical Research Assosiation, Surrey, UK, 1969
38. G. Berger, "Early streamer emission lighting rod conductor", in 1992 International Aerospace and Ground Conference on Lighting and Static Electricity
39. D. M. Leite, "Experience of radioactive lighting aerials in field and laboratories", in Conference Proceedings. ICLP '85: 18th International Conference on Lighting Protection (Munich, Germany)
40. LES RENARDIERES GROUP, : 'Research on long air gap discharges at les Renardieres - 1973 results', Electra, 1974, (35), pp. 49-156
41. LES RENARDIERES GROUP, : 'Positive discharges in long air gap discharges at les Renardieres - 1975 results and conclusions', Electra, 1977, (53), pp. 31-153
42. LES RENARDIERES GROUP, : 'Negative discharges in long air gaps at les Renardieres - 1978 results', Electra, 1981, (74), pp. 67-216
43. Ε.Πυργιώτη "Προστασία κατασκευών από κεραυνούς"
44. P. N. Mikropoulos* and T. E. Tsovilis High Voltage Laboratory, School of Electrical & Computer Engineering,