

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΡΟΥΣΤΙΚΕΣ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ



Σπουδαστές
Παριανός Εμμανουήλ
Βικάτος Γεράσιμος
Σκιαδάς Άγγελος

Εποπτεύων καθηγητής
Σχοινάς Νικόλαος

ΠΑΤΡΑ 2017

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε από τους φοιτητές του τμήματος ηλεκτρολογίας, του ΤΕΙ δυτικής Ελλάδας, Παριανό Εμμανουήλ ,Βικάτο Γεράσιμο και Σκιαδά Άγγελο , κατά το ακαδημαϊκό έτος 2016-2017. Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον καθηγητή μας Σχοινά Νικόλαο για την ανάθεση της πτυχιακής εργασίας και την πολύτιμη βοήθειά του κατά την διεξαγωγή της. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα επιθυμούσαμε να αποδώσουμε στους γονείς μας, οι οποίοι μας στήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μας.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε με σκοπό την παρουσίαση των φαινομένων που αφορούν τις ατμοσφαιρικές κρουστικές υπερτάσεις καθώς και τα συστήματα αντικεραυνικής προστασίας που έχουν αναπτυχθεί ανά τα χρόνια για την επίτευξη της μέγιστης δυνατής προστασίας έναντι των πληγμάτων των κεραυνών.

Οι ατμοσφαιρικές εκκενώσεις είναι ένα σύνθετο φαινόμενο, το οποίο παρουσιάζεται πρώτο στην εργασία, έτσι ώστε ο αναγνώστης να αποκτήσει εικόνα της δημιουργίας του κεραυνού, των παραμέτρων του καθώς και των κινδύνων που απορρέουν από ένα κεραυνικό πλήγμα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα συστήματα αντικεραυνικής προστασίας, όπου αναφέρονται οι βασικοί σχετικά με αυτά καθώς και οι τρόποι με τους οποίους γίνεται η επιλογή του εκάστοτε συστήματος αναλογικά της κατασκευής. Ακολουθώντας της επιλογής περιγράφονται αναλυτικά τα μέρη που αποτελούν ένα σύστημα αντικεραυνικής προστασίας τόσο εξωτερικά όσο και εσωτερικά της κατασκευής.

Στα τελευταία δύο κεφάλαια γίνεται αναλυτική περιγραφή των αλεξικέραυνων που χρησιμοποιούνται στα διάφορα είδη κατασκευών αλλά και τα μέτρα αντικεραυνικής προστασίας που λαμβάνονται στις περιπτώσεις ειδικών κατασκευών.

Σκοπός της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι η περιεκτική αλλά και πλήρης παρουσίαση του κεραυνικού φαινομένου και των μέτρων προστασίας που δύναται να ληφθούν εναντίον του, για την απόκτηση γενικής γνώσης ή για την κατεύθυνση του αναγνώστη σε περαιτέρω ειδικότερη βιβλιογραφική έρευνα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	II
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	III
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	4
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ.....	4
2.1 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	4
2.2 ΓΕΝΕΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΤΑ ΝΕΦΗ.....	5
2.3	
ΚΕΡΑΥΝΟΣ.....	6
2.3.1 Διάκριση κεραυνικών εκκενώσεων.....	7
2.3.2 Φάσεις ηλεκτρικών κεραυνικών.....	10
2.3.3 Παράμετροι του κεραυνού εκκενώσεων.....	12
2.3.4 Συχνότητα κεραυνικών πληγμάτων.....	15
2.3.5 Επιπτώσεις από κεραυνικά πλήγματα.....	20
2.3.5.1 Επιπτώσεις στον άνθρωπο.....	21
2.3.5.2 Επιπτώσεις στις κατασκευές.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	27
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.....	27
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	27
3.2 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΑΠΟ ΚΕΡΑΥΝΙΚΟ ΠΛΗΓΜΑ.....	27
3.2.1 Στάθμες αντικεραυνικής προστασίας.....	27
3.2.2 Παράγοντες επιλογής κατάλληλης στάθμης προστασίας.....	28

3.3 ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΖΗΜΙΩΝ ΑΠΟ ΚΕΡΑΥΝΙΚΑ ΠΛΗΓΜΑΤΑ ΣΕ ΜΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ.....	31
3.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΟΥ ΣΑΠ.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	37
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.....	37
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	37
4.2 ΖΩΝΕΣ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΖΑΠ.....	37
4.3 ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΕΑΠ.....	38
4.3.1 Συλλεκτήριο σύστημα.....	38
4.3.1.1 Ζώνη προστασίας συλλεκτήριου συστήματος ΖΑΠ.....	41
4.3.1.2 Επιλογή των στοιχείων του συλλεκτήριου συστήματος.....	46
4.3.1.3 Φυσικά συλλεκτήρια στοιχεία ΣΑΠ.....	46
4.3.2 Σύστημα αγωγών καθόδου.....	47
4.3.2.1 Εγκατάσταση αγωγών καθόδου σε μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ.....	48
4.3.2.2 Εγκατάσταση αγωγών καθόδου σε μη μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ.....	49
4.3.2.3 Φυσικοί αγωγοί καθόδου ΣΑΠ.....	50
4.3.2.4 Στερέωση αγωγών καθόδου.....	51
4.3.2.5 Σύνδεσμοι ελέγχου.....	52
4.3.3 Συστήματα γείωσης	52
4.3.3.1 Ηλεκτρόδια γείωσης ΣΑΠ.....	52
4.3.3.2 Φυσικά ηλεκτρόδια γείωσης ΣΑΠ.....	56
4.3.3.3 Επιλογή κατάλληλης γείωσης.....	57
4.4 ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.....	60
4.4.1 Ισοδυναμικές συνδέσεις.....	60

4.4.2 Υπολογισμός ρεύματος κεραυνού που ρέει σε εξωτερικά αγωγήματα τμήματα και στα καλώδια παροχών της κατασκευής.....	63
4.4.3 Απαγωγικοί κρουστικών υπερτάσεων.....	65
4.4.3.1 Είδη απαγωγών κρουστικών υπερτάσεων.....	68
4.4.3.2 Κατηγορίες εκτροπέων υπέρτασης χαμηλής τάσης.....	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	73
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	73
5.2 ΑΛΕΞΙΚΕΡΑΥΝΟ FRANKLIN (Ακίδος)	76
5.3 ΑΛΕΞΙΚΕΡΑΥΝΑ ΠΡΩΙΜΟΥ ΟΧΕΤΟΥ / ΙΟΝΙΣΜΟΥ.....	78
5.3.1 Ραδιενεργά ESE.....	79
5.3.2 Μη ραδιενεργά ESE – SPECIAL SHAPES AND SPARKINGS ESE.....	80
5.3.3 ESE παλμικής τάσης (PULSAR).....	82
5.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΛΩΒΟΥ FARADAY.....	85
5.5 ΑΛΕΞΙΚΕΡΑΥΝΑ ΑΠΩΘΗΤΕΣ ΚΕΡΑΥΝΩΝ.....	88
5.5.1 Κατασκευή και λειτουργία Lightning Repellers.....	93
5.5.2 Τύποι αλεξικέραυνων απωθητών Lightning Repellers.....	95
5.6 ΠΙΕΖΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΑΛΕΞΙΚΕΡΑΥΝΟ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΝ ΤΙΤΑΝΙΟΥ ΖΙΡΚΟΝΙΟΥ.....	99
5.6.1 Μηχανισμός μεθόδου Lightning Diverter.....	101
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	103
ΕΙΔΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ.....	103
6.1 ΚΤΙΡΙΑ ΜΕΓΑΛΟΥ ΥΨΟΥΣ.....	103
6.2 ΕΚΚΛΗΣΙΕΣ ΚΑΙ ΜΝΗΜΕΙΑ.....	107
6.3 ΓΗΠΕΔΑ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΟΙ ΔΕΩΦΟΡΟΙ.....	109
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	113

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο κεραυνός είναι ένα βίαιο ατμοσφαιρικό φαινόμενο που από την αρχαιότητα κίνησε το ενδιαφέρον του ανθρώπου, ενώ παράλληλα προκαλούσε φόβο και δέος. Στους περισσότερους από τους αρχαίους πολιτισμούς συναντάται η περιγραφή του κεραυνού ως ένα υπερφυσικό φαινόμενο, αποτέλεσμα κυρίως της οργής των θεών. Για τους αρχαίους Έλληνες ο κεραυνός παραγόταν στο εργαστήριο του Ηφαίστου και αποτελούσε το ισχυρό όπλο του Δία με το οποίο τιμωρούσε τους ατακτούντες. Οι Βίκινγκς απέδιδαν την αστραπή στο χτύπημα του σφυριού του Θορ πάνω σε ένα αμόνι, ενώ οι Γαλάτες πίστευαν ότι ο κεραυνός ήταν απόρροια της κακής διάθεσης του θεού Τάρανις. Αναφορές για τον κεραυνό βλέπουμε και σε ινδιάνικες φυλές που πίστευαν ότι ο κεραυνός προερχόταν από το χτύπημα των φτερών κάποιου μυθικού πουλιού. Στον πίνακα που ακολουθεί καταγράφονται θεότητες που έχουν συσχετιστεί με τον κεραυνό σε παγκόσμια κλίμακα.

Θεότητες της παγκόσμιας ιστορίας που σχετίζονται με το φαινόμενο του κεραυνού

Eurasia		America
<ul style="list-style-type: none"> ü <u>Tarhunt</u> (Hittite/Luwian mythology) ü <u>Zeus</u> (Greek Mythology) ü <u>Brontes</u> (Greek mythology) ü <u>Jupiter, Summanus</u> (Roman mythology) ü <u>Taranis</u> (Pan-Celtic); ü <u>Ambisagrus, Loucetios</u> (Gaulish mythology) ü <u>punraz</u> (Germanic mythology) ü <u>Thor</u> (Norse mythology) ü <u>Perun</u> (Slavic mythology) 	<ul style="list-style-type: none"> ü <u>Perkūnas</u> (Baltic mythology) ü <u>Perëndi</u> (Albanian mythology) ü <u>Gebeleizis</u> (Dacian mythology) ü <u>Zibelthiurdos</u> (Thracian mythology) ü <u>Ukko or Perkele</u> (Finnish mythology) ü <u>Tharapita or Taara</u> (Estonian mythology) ü <u>Horagalles</u> (Sami mythology) ü <u>Aplu</u> (Etruscan mythology) ü <u>Atämshkai</u> (Moksha mythology) 	<ul style="list-style-type: none"> ü <u>Thunderbird</u> (Native American mythology) ü <u>Xolotl and Tlaloc</u> (Aztec mythology) ü <u>Chaac</u> (Maya mythology) ü <u>Apocatequil</u> (Incan mythology) ü <u>Cocijo</u> (Zapotec mythology) ü <u>Aktzin</u> (Totonac mythology) ü <u>Haokah</u> (Lakota mythology) ü <u>Tupã</u> (Guarani mythology)
Africa	Oceania	Ancient Near East and East
<ul style="list-style-type: none"> ü <u>Set</u> (Egyptian mythology) ü <u>Shango</u> (Yorùbá religion) ü <u>Oya</u> (goddess of hurricanes, consort of Shango in Yorùbá religion) ü <u>Azaka-Tonnerre</u> (West African Vodun/Haitian Vodou) ü <u>Xevioso</u> (alternately: Xewioso, Heviosso. Thunder god of the So region) ü <u>Sango</u> (Nigerian mythology) ü <u>Amadioha</u> (Igbo, Nigeria) ü <u>Alamei</u> (So region) 	<p>Polynesian mythology</p> <ul style="list-style-type: none"> ü <u>Haikili</u> ü <u>Tāwhaki</u> ü <u>Kaha'i</u> ü <u>Te Uira</u> <p>Micronesian mythology: <u>Nan Sapwe</u> (Pohnpeian mythology)</p> <p>Australia: <u>Mamaragan</u> (Aboriginal mythology)</p> <p>New Zealand: <u>Whaitiri</u> (Māori mythology)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ü <u>Teshub</u> (Hurrian mythology) ü <u>Adad, Ishkur, Marduk</u> (Babylonian-Assyrian mythology) ü <u>Hadad</u> (Levantine mythology) ü <u>Wen Zhong</u> (Lei Zu, Ascendant of Thunder) (Chinese mythology) ü <u>Feng Lung</u> (Lei Gong, Lord of Thunder) (Chinese mythology) ü <u>Indra, Parjanya</u> (Hindu mythology) ü <u>Ajisukitakahikone, Raijin</u> (Raiden-sama, Kaminari-sama), <u>Tenjin</u> (kami) (Japanese mythology) ü <u>Susanoo</u> (Japanese mythology)
Chinese mythology		

Thunder Emperors of the Five Regions	Kings of the Five Regions	Thunder Generals of the Five Regions	Marshals of Thunder
Hu Fengya, God of Thunder of the East Bing Jiulu, God of Thunder of the South Rong Yaoling, God of Thunder of the West Lu Xingmeng, God of Thunder of the North Sun Zhener, God of Thunder of the Center Thunder	Yan Fu, Thunder King of the East Zhuo Bin, Thunder King of the South Gao Hui, Thunder King of the West Wu Xi, Thunder King of the North Zhao Jian, Thunder King of the Center	Wu Chong, Thunder General of the East Wang Jian, Thunder General of the South Meng Zhang, Thunder General of the West Sun Heng, Thunder General of the North Guo Zhen, Thunder General of the Center	Deng Zhong Tian Hua Liu Hou Xin Xing Pang Qiao

Πίνακας 1.1 Θεότητες της παγκόσμιας ιστορίας που σχετίζονται με το φαινόμενο του κεραυνού. Πηγή: Σιδεράκης, Κ., Γ, «Αντικεραυνική προστασία και γειώσεις σε φωτοβολταϊκά συστήματα»

Οι δεισιδαιμονικές αντιλήψεις περί της φύσης του κεραυνού διατηρήθηκαν έως και τα μέσα του 18^{ου} αιώνα, όπου έγινε η πρώτη επιστημονική προσέγγιση του φαινομένου. Η καταγραφή των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του κεραυνού αποδίδεται στον Βενιαμίν Φραγκλίνο. Ο Φραγκλίνος το 1749 σχεδίασε ένα πείραμα που επιβεβαίωσε την ηλεκτρική φύση του κεραυνού, την οποία είχαν υποθέσει και άλλοι έως τότε. Στο πείραμα του θεώρησε ότι τα σύννεφα είναι φορτισμένα, επομένως και ο κεραυνός θα πρέπει να είναι ηλεκτρικό φαινόμενο. Θεώρησε ότι κρατώντας μια σιδερένια ράβδο στο ένα χέρι θα δημιουργούσε ηλεκτρική αποφόρτιση μεταξύ του άλλου χεριού και της γης. Στην περίπτωση αυτή θα παρατηρούνταν σπινθήρες μεταξύ της ράβδου και ενός σύρματος τη γη. Το πείραμα του επιβεβαιώθηκε το 1752 από τον Francois D' Alibard όταν κατά την διάρκεια μιας καταιγίδας παρατηρήθηκαν σπινθήρες να ξεπηδούν από μια σιδερένια ράβδο. Ο Φραγκλίνος βελτίωσε τις συνθήκες του πειράματος του με την χρήση ενός χαρταετού. Θεώρησε ότι ο χαρταετός μπορεί να βρεθεί πιο ψηλά απ' ότι μια σιδερένια ράβδος. Κατασκεύασε ένα χαρταετό από μεταξωτό ύφασμα και στον σπάγκο του κρέμασε ένα κλειδί. Κατά την διάρκεια μιας καταιγίδας πέταξε τον αετό ο οποίος προσελκύνοντας αντίθετο φορτίο δημιούργησε ένα αγωγίμο μονοπάτι φορτίων προς τη γη.



Πηγή : <http://cpwv.org/2010/06/15/benjamin-franklin-flies-a-kite/>

Στην συνέχεια αυτού του πειράματος, πραγματοποιήθηκαν πολλά αντίστοιχα πειράματα τα οποία επιβεβαίωσαν την ηλεκτρική φύση του κεραυνού. Αυτά τα πρώτα πειράματα αποτελούν και τη βασική ιδέα της αντικεραυνικής προστασίας κτιρίων με μεγάλου ύψους γειωμένα καλώδια.

Τα χρόνια που ακολούθησαν η εξέλιξη της μελέτης τόσο των ηλεκτρικών ατμοσφαιρικών εκκενώσεων, όσο και της αντικεραυνικής προστασίας είναι συνεχής. Παρακάτω αναφέρονται ενδεικτικά κάποιοι από τους σημαντικότερους επιστήμονες που επικεντρώθηκαν στο φαινόμενο.

- GayLoussac (1823), Preece (1880)

Καθορισμός ζώνης προστασίας ακίδας Franklin.

- Pockels (1897)

Μέτρηση ρευμάτων κεραυνών μέσω της ανάλυσης του μαγνητικού πεδίου.

- C.T.R. Wilson (1956)

Διατύπωση ολοκληρωμένης θεωρίας περί ατμοσφαιρικού ηλεκτρισμού.

- Melsens (1889)

Δημιουργία αλεξικέρανου βασισμένο στη λειτουργία του κλωβού Faraday.

- Dausere (1930)

Ανακάλυψη αλεξικέρανου ιονισμού.

Ιδιαίτερη εξέλιξη στον τομέα μελέτης της κεραυνικής δραστηριότητας σημειώθηκε κατά την δεκαετία του 1960, λόγω της ανάγκης προστασίας των διαστημικών αεροσκαφών από κεραυνικά πλήγματα, ιδιαίτερα κατά την απογείωση τους.

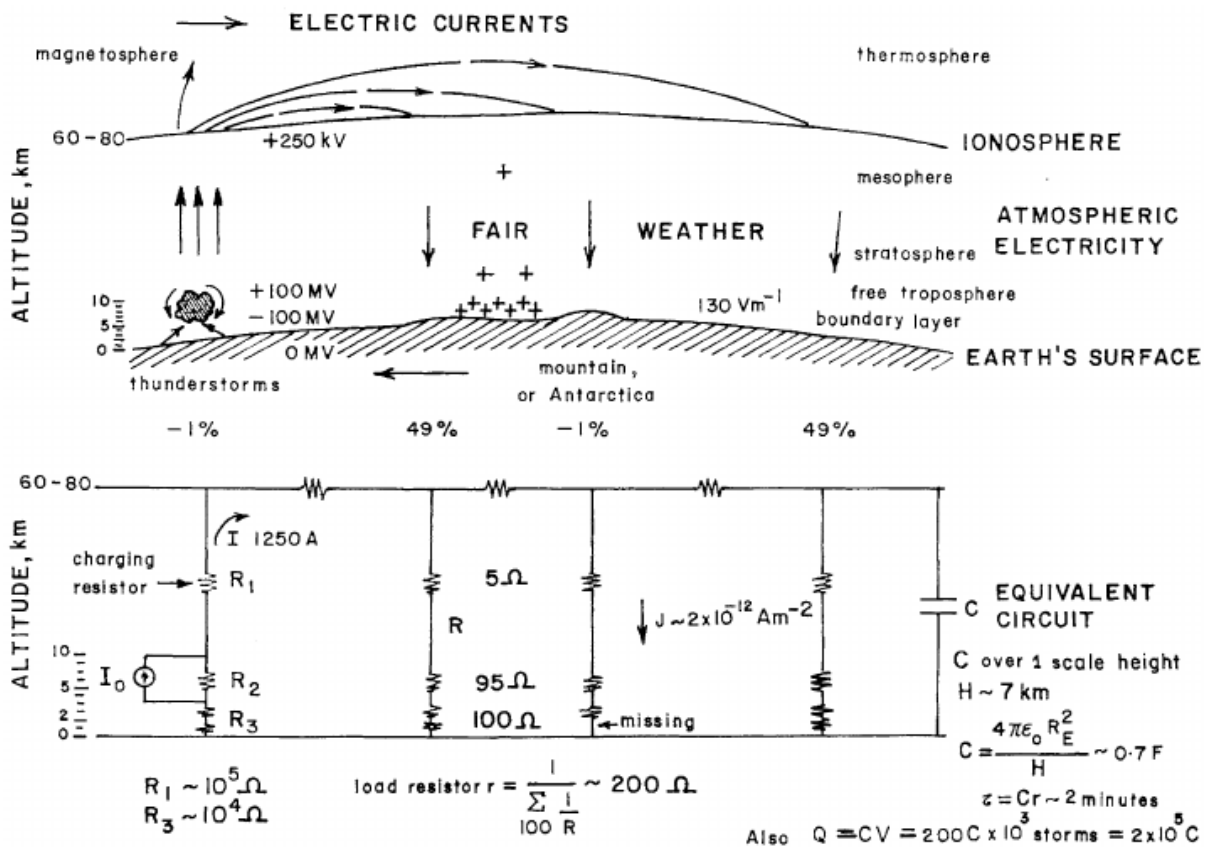
Μέχρι και σήμερα, ο μηχανισμός δημιουργίας ενός κεραυνού δεν έχει γίνει πλήρως κατανοητός ούτε υπάρχουν συσκευές ή επιστημονικές μέθοδοι ικανές να εμποδίσουν τη δημιουργία του κεραυνού ή να τον εμποδίσουν να πλήξει μια κατασκευή. Για το λόγο αυτό σκοπός των συστημάτων αντικεραυνικής προστασίας είναι ο μεγαλύτερος δυνατός περιορισμός των επιζήμιων επιπτώσεων του κεραυνικού πλήγματος.[1],[2]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ

2.1 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ

Στην ατμόσφαιρα εκτός των ουδέτερων συστατικών της υπάρχουν θετικά και αρνητικά φορτία. Παρότι η συγκέντρωση των φορτίων είναι πολύ μικρότερη αυτής των ουδέτερων, είναι ικανή να δημιουργήσει ηλεκτροστατικά φαινόμενα όπως οι κεραυνοί αλλά και ηλεκτρομαγνητικά και οπτικά φαινόμενα. Στην κατώτερη ατμόσφαιρα τα ηλεκτρόνια έχουν πολύ μικρό χρόνο ζωής, οπότε τα ηλεκτρικά φορτία εμφανίζονται με την μορφή μεγαλομορίων και φορτισμένων σωματιδίων αιωρημάτων που ονομάζονται μικρά ή μεγάλα θετικά και αρνητικά φορτία. Από μετρήσεις στον αέρα κοντά στο έδαφος προέκυψε ότι σε συνθήκες καλοκαιρίας (fair weather) υπάρχει ένα δυναμικό της τάξης κατά μέσο όρο των 120V/m που ορίζει ένα ηλεκτροστατικό πεδίο με κατεύθυνση της τη γη. Το ηλεκτρικό πεδίο καλοκαιρίας E_z μειώνεται δραστικά με το ύψος, φτάνοντας τα λίγα V/m στα 10km ενώ τείνει να μηδενιστεί στη στρατόσφαιρα. Η γη είναι μονίμως φορτισμένη αρνητικά με φορτίο της τάξεως των $-5 \times 10^5 \text{C}$, ενώ η κατώτατη ατμόσφαιρα είναι φορτισμένη θετικά με φορτίο της περίπου τάξεως, έτσι ώστε το σύστημα γη – κατώτερη ατμόσφαιρα να είναι πρακτικά ηλεκτρικά ουδέτερο. Η ύπαρξη ελεύθερων φορτίων στην ατμόσφαιρα συνεπάγεται μια ηλεκτρική αγωγιμότητα, πολύ μικρής τάξης (22 τάξεις μικρότερη της αγωγιμότητας ενός αγωγού χαλκού) που κάνει τον αέρα καλό μονωτή. Αυτή η μικρή αγωγιμότητα αρκεί για να δημιουργήσει, παρουσία του ηλεκτρικού πεδίου καλοκαιρίας E_z , ένα ρεύμα αγωγιμότητας που παίρνει κοντά στο έδαφος τιμές μεταξύ 2 και 4 Pa/m². Το ρεύμα αυτό ρέει από την ατμόσφαιρα στη γη με αποτέλεσμα την ουδετεροποίηση του φορτίου της γης σε χρόνο περί τα 30min. Πρακτικά ο μηδενισμός αυτού του φορτίου δεν επαληθεύεται αφού το πεδίο καλοκαιρίας παρά της μεταβολές του διατηρεί μια μέση τιμή περί τα 120V/m. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει την ύπαρξη μηχανισμού φόρτισης της γης με αρνητικό φορτίο, ώστε αυτό και το ηλεκτρικό πεδίο στην ατμόσφαιρα να παραμένουν σταθερά στο χρόνο. Η εξήγηση αυτού του παράδοξου φαινομένου έγκειται στην ύπαρξη μιας παγκόσμιας κεραυνικής ηλεκτρογεννήτριας (global thunderstorm generator) η οποία μεταφέρει ηλεκτρικά φορτία στη γη μέσω των κεραυνών κατά την διάρκεια των κεραυνοκαταιγίδων (thunderstorms). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επαναφόρτιση της γης με αρνητικό φορτίο και την ισοκατανομή του στη γη μετά την εκφόρτιση που επιφέρει το ρεύμα διαρροής. Κατά την διαδικασία αυτή δημιουργείται διαχωρισμός των θετικών και αρνητικών φορτίων μέσα στα κεραυνοφόρα νέφη, ώστε αυτά να ενεργούν ως μια μπαταρία, οι πόλοι την οποίας συνδέονται προς τα κάτω με τη γη και προς τα πάνω με την ανώτερη ατμόσφαιρα. Η παραπάνω απλή περιγραφή αποδίδει τον πολύπλοκο μηχανισμό φόρτισης της γης που ονομάζεται παγκόσμιο ηλεκτρικό σύστημά.[3]



Εικόνα 2.1 : Ισοδύναμο παγκόσμιο ηλεκτρικό κύκλωμα (Rycroft et al, 2000) Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/233996692_fig11 Figure-11-The-equivalent-global-electric-circuit-showing-typical-numerical-values

2.2 ΓΕΝΕΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΤΑ ΝΕΦΗ

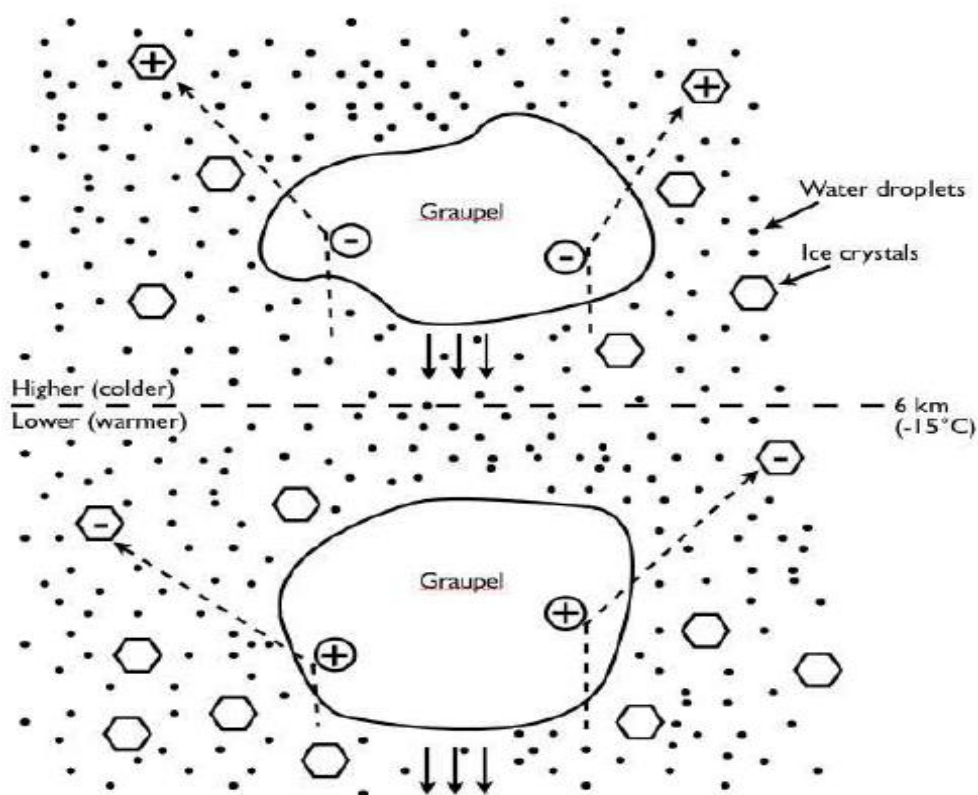
Ο μηχανισμός ηλεκτρίσης ενός νέφους καταιγίδας είναι έως σήμερα υπό διερεύνηση καθώς δεν υπάρχει συμφωνία ως τις θεωρίες που συμβαίνει. Οι δυο επικρατέστερες θεωρίες αφορούν:

α) σε φόρτιση σταγονιδίων του νέφους που συμβαίνει μόλις αρχίσει η πτώση τους στη γη και

β) σε φόρτιση που βασίζεται στη μεταφορά φορτίων σε ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας με ανοδικά ρεύματα που οφείλονται σε θερμοκρασιακές διαφορές.[4]

Τα φαινόμενα που θεωρείται ότι παίζουν ρόλο κατά τον διαχωρισμό των ηλεκτρικών φορτίων είναι το φαινόμενο της διασποράς, το φαινόμενο της ισχυρής τήξεως και το φαινόμενο της διαρρήξεως. Ο πλέον αποδεκτός μηχανισμός δημιουργίας και διαχωρισμού φορτίων είναι ο μηχανισμός πόλωσης και βαρυτικού διαχωρισμού. Σύμφωνα με αυτόν σχετικά μεγάλα παγοσφαιρίδια στα νέφη πολώνονται υπό την επίδραση του πεδίου καλοκαιρίας, έτσι ώστε στο κάτω μέρος τους να αποκτήσουν θετικό φορτίο και στο πάνω αρνητικό. Τα παγοσφαιρίδια πέφτουν λόγω βάρους και έρχονται σε επαφή με πολλά μικρότερα παγοσφαιρίδια με τα οποία αλληλεπιδρούν ηλεκτροστατικά. Αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης είναι η πρόσληψη ηλεκτρονίων των μικρών σταγόνων από το μεγάλο παγοσφαιρίδιο και η δημιουργία μικρών θετικά φορτισμένων σταγόνων και ισχυρά

αρνητικά φορτισμένων μεγάλων σταγόνων. Λόγω της ύπαρξης ισχυρών ανοδικών ρευμάτων τα ελαφριά θετικά παγοσφαιρίδια μεταφέρονται προς τα ανώτερα στρώματα του νέφους, ενώ τα αρνητικά φορτισμένα μεγάλα παγοσφαιρίδια καταλήγουν λόγω βαρύτητας στα κατώτερα νεφικά στρώματα. Αποτέλεσμα αυτής της διεργασίας είναι η δημιουργία ενός στρώματος θετικού φορτίου στο άνω μέρος του νέφους και ενός στρώματος αρνητικού φορτίου στο κάτω μέρος του. Ο μηχανισμός αυτός αυτοενισχύεται λόγω της ύπαρξης αυτών των στρωμάτων καθώς ενισχύεται το αρχικό ηλεκτρικό πεδίο καλοκαιρίας του νέφους, προκαλώντας εντονότερη ηλεκτροστατική πόλωση των σταγόνων. Ο μηχανισμός αυτός φαίνεται να συμφωνεί με τα διάφορα μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης. Φαίνεται ότι το ηλεκτρικό πεδίο του νέφους αυξάνεται αργά στα πρώτα 5min ενώ στα επόμενα 2-3min αυξάνεται ραγδαία και μπορεί να πάρει τιμές της τάξης των 0,3-0,5MV/m, αρκετά ισχυρές ώστε να προκαλέσουν κεραυνό.



Εικόνα 2.2 Γένεση και διαχωρισμός των φορτίων στα νέφη με βάση τη θεωρία του βαρυτικού μηχανισμού. Θεωρείται ότι η θερμοκρασία αναστροφής είναι -15°C σε ύψος 6 χλμ .

Πηγή: (Rakov & Uman (2003). <http://radar.meteo.be/en/3337408-Lightning+detection.html>

2.3 ΚΕΡΑΥΝΟΣ

Το αποτέλεσμα της ύπαρξης ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου και μεγάλων διαφορών δυναμικού μεταξύ του νέφους και του εδάφους είναι η διηλεκτρική κατάρρευση του αέρα (break down) που με την σειρά της οδηγεί στην ηλεκτρική εκκένωση που ονομάζεται κεραυνός. Κεραυνοί δημιουργούνται όταν το ηλεκτρικό πεδίο παίρνει τοπικά τιμές της τάξης των $3 \times 10^6 \text{ V/m}$ (3MV/m) σε ξηρό αέρα και τα 10^6 V/m (1MV/m) σε υγρό αέρα. Το φορτίο που μεταφέρεται κατά μια τέτοια ηλεκτρική εκκένωση είναι τα περί 15-30C, το

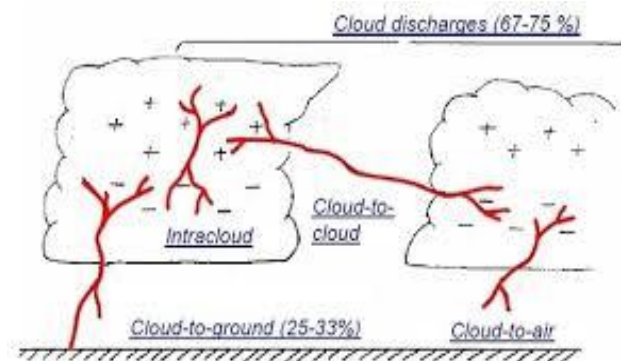
οποίο λόγο του πολύ μικρού χρόνου (λίγα μs) που μεταφέρεται δημιουργεί ρεύματα πολύ μεγάλης έντασης από 10-200kA, τα οποία όμως λόγω του σύντομου χρονικού διαστήματος της εκκένωσης δεν είναι εκμεταλλεύσιμα.

2.3.1 Διάκριση κεραυνικών εκκενώσεων

Οι κεραυνικές εκκενώσεις μπορούν να διακριθούν με βάση τον χώρο που λαμβάνουν χώρα, το φορτίο που μεταφέρεται και την κατεύθυνση που αναπτύσσονται. Η διάκριση αυτή είναι η ακόλουθη:

- a) Με βάση τον χώρο
 - Μεταξύ νεφών (IC – intra cloud)
 - Μεταξύ νέφους και εδάφους (CG – cloud-ground)
 - Μεταξύ δύο νεφών (CC – cloud-cloud)
- b) Με βάση το φορτίο
 - Θετικό
 - Αρνητικό
- c) Με βάση την κατεύθυνση
 - Ανερχόμενες εκκενώσεις
 - Κατερχόμενες εκκενώσεις

Οι γνώσεις μας για τους κεραυνούς εντός του ίδιου του νέφους (IC) αν και είναι οι συχνότεροι είναι περιορισμένες. Η εκκένωση λαμβάνει χώρα ανάμεσα στο θετικό και αρνητικό κέντρο του νέφους, δίνοντας μια μεγάλης διάρκειας εκκένωση που δημιουργεί ρεύμα έντασης έως 1kA. Οι κεραυνοί μεταξύ των δύο νεφών (CC) εμφανίζονται σε ύψος από 1-10km και βασικό τους χαρακτηριστικό είναι το μεγάλο μήκος κεραυνικού τόξου, που φτάνει τα 40km. Οι κεραυνοί μεταξύ νέφους και εδάφους (CG) συμβαίνουν όταν το ηλεκτρικό πεδίο πάρει οριακές τιμές είτε κοντά στο νέφος είτε κοντά στη γη. Αυτού του είδους οι εκκενώσεις μεταφέρουν φορτία μεταξύ νέφους και γης και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη φόρτιση της γης.



Εικόνα 2.3 Διάκριση κεραυνών με βάση την περιοχή που λαμβάνουν χώρα Πηγή : <https://www.quora.com/Flights-Is-it-possible-for-an-airplane-to-be-struck-by-lightning-when-flying-over-the-clouds>

Η διάκριση ως προς το φορτίο (πολικότητα) αφορά το φορτίο στο κάτω μέρος του νέφους που προκαλεί τον κεραυνό. Έτσι στην πλειονότητα τους (90%) οι κεραυνοί είναι αρνητικής πολικότητας ενώ το υπολειπόμενο 10% αφορά θετικούς κεραυνούς, οι οποίοι μεταφέρουν ισχυρότερα ρεύματα, μεγαλύτερη ποσότητα φορτίου και εμφανίζουν μεγαλύτερη κατ' ύψος έκταση. Όσον αφορά την κατεύθυνση του κεραυνού έχει παρατηρηθεί ότι οι ανερχόμενοι σχηματίζονται σε ψηλά αντικείμενα 100m και άνω (υψηλές κατασκευές, πύργοι κ.α.) ή σε αντικείμενα μέσου ύψους που βρίσκονται σε κορυφές βουνών. Όλοι οι υπόλοιποι κεραυνοί είναι κατερχόμενοι. Η κατεύθυνση της εκκένωσης είναι ορατή κατά το φαινόμενο, όπου οι πολλαπλές οδεύσεις εμφανίζονται προς την πλευρά της κατάληξης. [1]

Με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, διακρίνονται τα παρακάτω 8 είδη κεραυνού:



ΤΥΠΟΣ 1α: Αρνητικός, κατερχόμενος πρόδρομος οχετός που ξεκινά από ένα διπολικά φορτισμένο νέφος και καταλήγει στο έδαφος. Σε περίπτωση που ο οχετός δεν φθάσει στο έδαφος, τότε συμβαίνει “νεφική εκκένωση” (αστραπή) και όχι κεραυνός εδάφους. Συμβαίνει πάνω από ανοιχτές περιοχές χωρίς ψηλά κτίρια.



ΤΥΠΟΣ 1β: Ανερχόμενος κυρίως κεραυνός μέσα από τον αγωγίμο δίαυλο που δημιούργησε ο οχετός προεκκένωσης. Μεταφέρει το μεγαλύτερο μέρος του διαχωρισμένου αρνητικού φορτίου από το κάτω άκρο ενός νέφους, και ταυτόχρονα τα εναπομείναντα φορτία κατά την προεκκένωση και κατά μήκος του οχετού στο έδαφος. Αυτό συμβαίνει μια φορά ή και περισσότερες οπότε έχουμε ένα πολλαπλό κεραυνικό φαινόμενο με περισσότερους από ένα κεραυνούς.



ΤΥΠΟΣ 2α: Θετικός, ανερχόμενος πρόδρομος οχετός που ξεκινά από το έδαφος και καταλήγει στην αρνητική βάση ενός διπολικά φορτισμένου νέφους συμβαίνει: Σε περιοχές που υπάρχει ψηλό κτήριο ή ιδιαίτερα ψηλό σημείο του εδάφους.



ΤΥΠΟΣ 2β: Η επόμενη φάση του 2α. Αρνητικός κεραυνός, ακολουθώντας τον δίαυλο του πρόδρομου οχετού, κατέρχεται από την βάση του νέφους



ΤΥΠΟΣ 3α: Θετικός, κατερχόμενος πρόδρομος οχετός που συνήθως δεν φτάνει στο έδαφος και αποτελεί ένα ενδονεφικό βίαιο διαχωρισμό φορτίων που συνοδεύεται από μια βίαιη ενδονεφική “εκκένωση”.



ΤΥΠΟΣ 3β: Εάν η προηγούμενη εκκένωση φτάσει στο έδαφος πυροδοτεί την έναρξη ενός θετικού ανερχόμενου κεραυνού, περίπτωση εξαιρετικά σπάνια.



ΤΥΠΟΣ 4α: Αρνητικός, ανερχόμενος πρόδρομος οχετός, που ξεκινά από ένα ψηλό κτίριο προς τη θετική βάση ενός νέφους. Το φορτίο που μεταφέρεται στο έδαφος είναι θετικό και το αντίστοιχο ρεύμα έχει μεγάλη διάρκεια και συνεχή ένταση.



ΤΥΠΟΣ 4β: Προέρχεται από κεραυνό τύπου 4α, έχει γιγαντιαία ενέργεια και δύναμη καταστροφής. [5]

2.3.2 Φάσεις ηλεκτρικών κεραυνικών εκκενώσεων.

Οι κεραυνοί τύπου νέφους – εδάφους (CG), αν και δεν είναι οι συχνότεροι, είναι αυτοί που έχουν μελετηθεί ως επί το πλείστον. Παρακάτω περιγράφεται η δυναμική εξέλιξη τέτοιου τύπου κεραυνικής εκκένωσης, η οποία εξελίσσεται σε τρία στάδια.

1. Προεκκένωση

Όπως αναφέρθηκε, η έναρξη της κεραυνικής εκκένωσης συμβαίνει με τον ιονισμό των μορίων αέρα. Ιόντα και ηλεκτρόνια επιταχύνονται σε μια περιοχή υψηλού ηλεκτρικού πεδίου (με ένταση πάνω από 5kV/m), το οποίο ασκεί ηλεκτρική δύναμη σε κάθε φορτισμένο σώμα μεταξύ κρούσεων. Οι υψηλές εντάσεις λόγω της πυκνότητας του φορτίου στις παρυφές τους νέφους, σε συνδυασμό με τη μικρή πυκνότητα αέρα προκαλούν πρόσθετη τοπική ενίσχυση του ηλεκτρικού πεδίου, προκαλούν τον ιονισμό των μορίων αέρα λόγω κρούσης των ταχύτατων ηλεκτρονίων. Το επόμενο βήμα είναι ο σχηματισμός ενός οχετού, ο οποίος ακολουθεί τις δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου. Είναι δυνατό ένα νέφος να περιέχει θύλακες ετερόσημων φορτίων. Αν η περιοχή μέγιστων εντάσεων ηλεκτρικού πεδίου κατευθύνεται προς κάποιον θύλακα ετερόσημου φορτίου νέφους, τότε ο οχετός θα ακολουθήσει αυτή την κατεύθυνση προκαλώντας ηλεκτρική σύνδεση και αλληλοεξουδετέρωση των δύο ετερόσημων φορτίων, Συνέπεια αυτής της εξουδετέρωσης φορτίου είναι η έντονη λάμψη (αστραπή) και δυνατός θόρυβος (βροντή). Στο έδαφος, οι συνέπειες εμφανίζονται ως μια παροδική διαταραχή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου η οποία πιθανόν μα γίνει αισθητή σε δέκτες τηλεπικοινωνιών (τηλεόραση, ραδιόφωνο κ.α.). Αν οι γραμμές μέγιστης έντασης ηλεκτρικού πεδίου κατευθύνονται προς το έδαφος, ο οχετός θα κατευθυνθεί προς αυτό. Ο οχετός που δημιουργείται, τροφοδοτείται διαρκώς με ηλεκτρικό φορτίο προερχόμενο από το έδαφος. Έτσι η προεκκένωση αναπτύσσεται από μόνη της στο χώρο ύπαρξης του ηλεκτρικού πεδίου. Ο μηχανισμός με τον οποίο αναπτύσσεται ο οχετός ονομάζεται «οχετός προεκκένωσης». Η πρόοδος του είναι σταδιακή, με βήματα μήκους περί τα 50m και χρονικές παύσεις περίπου 50μs. Κάθε βήμα διαρκεί 1 έως 2μs ενώ η μέση ταχύτητα προόδου του οχετού ανέρχεται περίπου στα 5×10^5 m/s. Κατά την διαδρομή του οχετού υπάρχει περίπτωση να δημιουργηθούν διακλαδώσεις, οι οποίες όμως δεν καταλήγουν σε σύνθεση με το έδαφος, λόγω έλλειψης ικανού αριθμού ηλεκτρικών φορέων.

2. Εκκένωση αντίθετης φοράς (οχετός επιστροφής)

Η διαμήκης πτώση τάσεως κατά μήκος του οχετού προεκκένωσης διαφέρει στις διάφορες θέσεις του, διατηρώντας μια μέση τιμή, τάσης μικρότερης του 0,1kV/m. Σε αυτό το στάδιο ο οχετός εμφανίζεται σαν μια μεταλλική προεξοχή που επεκτείνεται από το νέφος προς το έδαφος. Καθώς ο οχετός προεκκένωσης προχωρά προς το έδαφος, το κανάλι ιονισμού που δημιουργείται μεταφέρει προς τα κάτω το υψηλό δυναμικό του αρνητικού κέντρου του νέφους. Όταν το άκρο του πλησιάσει το έδαφος το ηλεκτρικό φορτίο αυξάνεται δραματικά, λόγω επαγωγικής αύξησης της διαφοράς δυναμικού και μείωση μεταξύ των

ετερώνυμων φορτίων απόστασης, υπερβαίνοντας κατά πολύ την πεδιακή ένταση που απαιτείται (30kV/m) για τον ιονισμό του αέρα από κρούσεις. Για το λόγο αυτό ο οχετός περιβάλλεται διαρκώς από ένα μανδύα στεμματοειδούς εκκένωσης (Corona) που εκτείνεται μερικά μέτρα γύρω από αυτόν, ενώ είναι μεγαλύτερος στο προς το έδαφος άκρο αυξάνοντας όσο η κεφαλή του οχετού πλησιάζει το έδαφος έως ότου η πεδιακή ένταση να αγγίξει την τιμή των 5kV/cm, όπου το υπόλοιπο μήκος γεφυρώνεται από corona ραγδαία (20-30μs) δημιουργώντας νέο οχετό. Με αυτό το τελευταίο βήμα, το φορτίο της περιοχής απ' όπου ο οχετός προεκκένωσης βρίσκεται ημιαγωγίμα συνδεδεμένο με το έδαφος (ενωτική εκκένωση). Μέσω της ενωτικής εκκένωσης δημιουργείται τοπικά μια πολύ υψηλή διαφορά δυναμικού ($10^7 - 10^8$ V) η οποία θέτει σε λειτουργία την κύρια κεραυνική εκκένωση που ονομάζεται κτύπημα επιστροφής (return stroke) που διαδίδεται μέχρι τη βάση του νέφους με ταχύτητες της τάξης των $10^7 - 10^8$ ms. Λόγω της δημιουργίας πολύ ισχυρού ρεύματος της τάξης των 10-100kA, παρατηρείται έντονη φωτεινότητα και έκλυση θερμότητας (30.000 C°). Η θέρμανση του οχετού προεκκένωσης ξεκινά της κατεύθυνσης του και με πολύ μεγάλη ταχύτητα. Το στάδιο με το οποίο συμπληρώνεται η εκκένωση ονομάζεται «οχετός επιστροφής» ενώ η εκκένωση του σύννεφου προς τη γη ονομάζεται «κεραυνός».

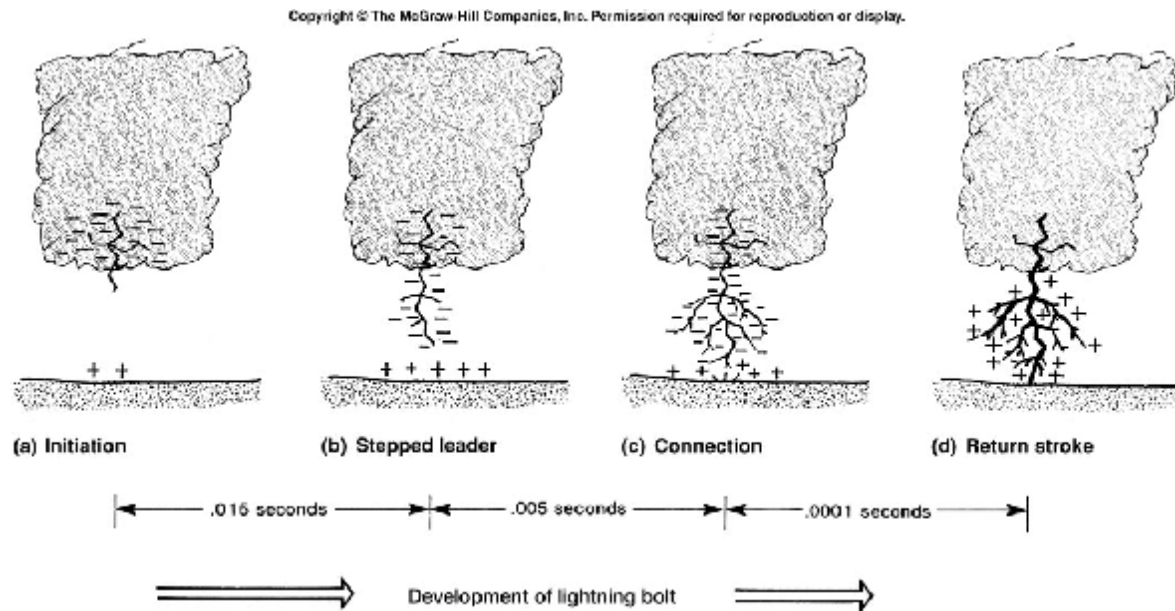
3. Επανάληψη της κεραυνικής εκκένωσης / συνδετικός οχετός

Ενώ σε κάποιες περιπτώσεις (κυρίως όταν το σύννεφο βρεθεί πάνω από το επίπεδο έδαφος ή ήρεμα ύδατα) η κεραυνική εκκένωση τελειώνει μετά το κτύπημα επιστροφής είναι σύνηθες η κεραυνική διαδικασία να συνεχίζεται με επανάληψη των παραπάνω σταδίων αλλά με συνεχώς μειωμένη ένταση. Η πρώτη επανάληψη συμβαίνει 20-40ms μετά το αρχικό χτύπημα επιστροφής, χρόνος που χρειάζεται ώστε να επαναφορτιστεί αρνητικά η βάση του νέφους. Η δεύτερη εκκένωση ακολουθεί τον προυπάρχοντα ιονισμένο δρόμο με ταχύτητα 2×10^6 m/s, 20 φορές μικρότερη του χτυπήματος επιστροφής. Μόλις αυτή η εκκένωση φτάσει στη γη (μετά από 2ms) όπου ξεκινά δεύτερο κτύπημα επιστροφής. Η όλη αυτή διαδικασία μπορεί να συμβεί απο2 έως 10 φορές έως ότου η διαφορά δυναμικού μεταξύ της βάσης του σύννεφου και του εδάφους μειωθεί αρκετά, επέλθει δηλαδή εκφυλισμός της όλης κεραυνικής διαδικασίας. Η επανάληψη της κεραυνικής εκκένωσης συμβαίνει όταν ένα ηλεκτρισμένο σύννεφο βρεθεί πάνω από μια ψηλή και σχετικά προεξοχή του εδάφους, άνω των 100-150m. Στην περίπτωση αυτή, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στο άκρο της προεξοχής γίνεται επαγωγικά αρκετά μεγάλη ώστε να δημιουργηθεί ανερχόμενος οχετός προεκκένωσης από το άκρο αυτό προς το σύννεφο. Όταν οι προεξοχές είναι μικρές, η ένταση του πεδίου δεν είναι αρκετή ώστε να ξεκινήσει ο οχετός προεκκένωσης από αυτές. Ο κατερχόμενος οχετός προεκκένωσης όμως προς αυτές είναι ικανός να ενισχύσει την ένταση αρκετά ώστε να δημιουργηθεί ανερχόμενος οχετός (συνδετικός οχετός) με κατεύθυνση προς την κεφαλή του κατερχόμενου οχετού. Με την συνάντηση των δύο οχετών συμπληρώνεται η ημιαγωγίμη σύνδεση νέφους – εδάφους και ολοκληρώνεται η κεραυνική διαδικασία. Σε αυτό το σημείο γίνεται αντιληπτό ότι τέτοιες προεξοχές του εδάφους συνιστούν σημεία προτίμησης του οχετού παρεκκένωσης. Το σημείο προτίμησης διαφαίνεται μόνο την τελευταία στιγμή, όταν δηλαδή ο οχετός προεκκένωσης βρίσκεται σε τέτοια απόσταση από το έδαφος, ώστε να είναι δυνατή η σύνδεση οχετού – εδάφους. Στο σημείο αυτό η μέση ένταση ηλεκτρικού πεδίου είναι στα 5kV/cm (για οχετό προεκκένωσης προερχόμενο από αρνητικό φορτίο).

Το μέγεθος του φορτίου του θύλακα νέφους όπου ξεκινά ο οχετός προεκκένωσης καθορίζει την τάση που παρουσιάζει η κεφαλή του κατερχόμενου οχετού. Από αυτήν εξαρτάται η απόσταση στην οποία η πεδιακή ένταση πέφτει στην τιμή των 5kV/cm η

οποία ονομάζεται «απόσταση διάσπασης» (striking distance). Οι συνήθεις τιμές της απόστασης διάσπασης κυμαίνονται από μερικές δεκάδες μέχρι 150-200m. Οι σχέσεις που συνδέει την απόσταση διάσπασης με την ένταση του ρεύματος είναι οι εξής:

$$r_s = 6,7 \times I_0^{0,8} \qquad r_s = 8 \times I_0^{0,65}$$



Εικόνα 2.4 : Φάσεις εξέλιξης κεραυνικού χτυπήματος. Από αριστερά προς τα δεξιά διακρίνεται η προεκκένωση (b) ,ο συνδετικός οχετός (c) και ο οχετός επιστροφής (d) Πηγή : <https://www.aldis.at/en/lightning-research/lightning-physics/lightning-discharge/>

Αρχή λειτουργίας των αλεξικεράνων

Ενώ στην ύπαρξη του σημείου προτίμησης στηρίζεται η λειτουργία του απλού αλεξικέρανου του Franklin με την γειωμένη ράβδο, η απόσταση διάσπασης σε συνδυασμό με το σημείο προτίμησης αποκαλύπτει την αρχή της λειτουργίας των αντικεραυνικών συστημάτων προστασίας. Σύμφωνα με τα παραπάνω, αν ένα κτίσμα είναι εφοδιασμένο με μεταλλικές γωνιακές προεξοχές, των οποίων η απόσταση διάσπασης προκύπτει πριν από οποιαδήποτε άλλο σημείο του κτίσματος, τότε οι κεραυνικές εκκενώσεις θα πραγματοποιούνται στα σημεία αυτά και θα διοχετεύονται στο έδαφος χωρίς να προξενούν ζημιά. [6]

2.3.3 Παράμετροι κερανού

Οι κεραυνικές εκκενώσεις χαρακτηρίζονται από παραμέτρους που σχετίζονται με την πολικότητα, την κατεύθυνση αλλά κυρίως το ρεύμα και το φορτίο που δημιουργούνται κατά το φαινόμενο. Αναλυτικά οι παράμετροι αυτοί είναι:

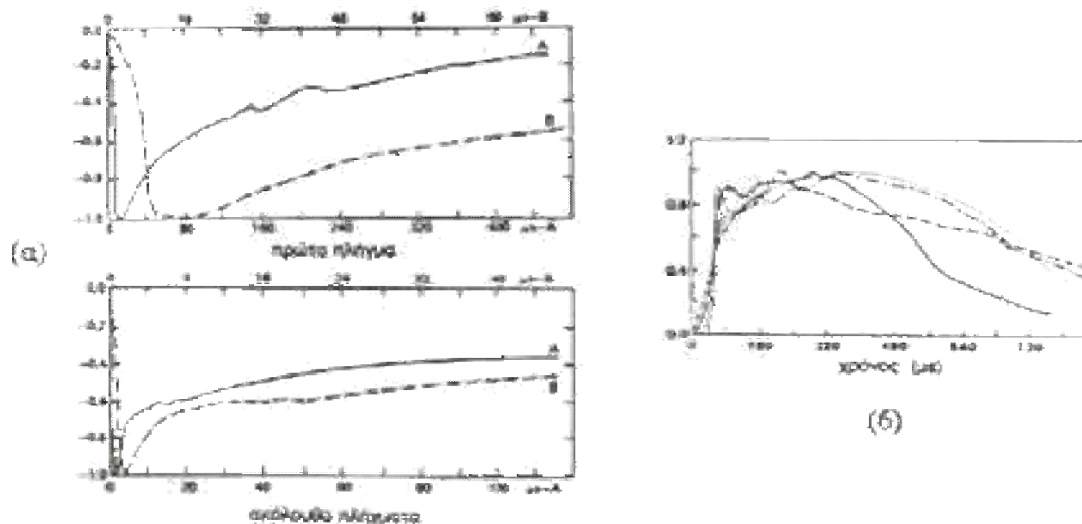
- a. Πολικότητα: Η πολικότητα αναφέρεται στο πρόσημο του φορτίου που μεταφέρεται, διαχωρίζεται σε θετικό ή αρνητικό και εξαρτάται από την

γεωγραφική θέση. Η πλειονότητα των κεραυνών φέρουν αρνητικό φορτίο (90%).

- b. Κατεύθυνση: Η κατεύθυνση αφορά το σημείο εκκίνησης της εκκένωσης και διακρίνεται σε ανερχόμενο και κατερχόμενο. Σε έναν κεραυνό που παρουσιάζει και κατερχόμενη και ανερχόμενη εκκένωση, ως κατεύθυνση λαμβάνεται η πρώτη χρονικά η οποία έχει και μεγαλύτερη έκταση.
- c. Το ρεύμα: Αναφέρεται στο ρεύμα που δημιουργείται κατά μια κεραυνική εκκένωση και οφείλεται στον οχετό επιστροφής. Το ρεύμα αποτελεί τη σημαντικότερη παράμετρο, όσον αφορά την αντικεραυνική προστασία, καθώς είναι αυτό που θα πλήξει μια κατασκευή. Το μέγεθος του ρεύματος που αναπτύσσεται εξαρτάται αφενός την ποσότητα του φορτίου και αφ' ετέρου από την ταχύτητα που ο οχετός επιστροφής διανύει τον ήδη ιονισμένο δρόμο που χάραξε ο οχετός προεκκένωσης. Σημαντική επίσης παράμετρος του ρεύματος είναι η διάρκεια ροής του. Για την μέτρηση του ρεύματος μια κεραυνικής εκκένωσης έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες τεχνικές.

Ενδεικτικά περιγράφονται οι παρακάτω:

- Εκτίμηση του ρεύματος μέσω θερμικών ή μηχανικών αποτελεσμάτων.
Η ενέργεια του κεραυνού μετράται μέσω της τήξης λεπτών μετάλλων ή ίχνη πάνω σε μεταλλικές επιφάνειες, ενώ το εύρος του ρεύματος υπολογίζεται από τη σύσφιξη που προκαλεί η ροή του σε έναν σωλήνα.
- Μέτρηση ρεύματος μέσω μαγνητικής ζεύξης.
Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στη δημιουργία μαγνητικού πεδίου από το ρεύμα που διαρρέει έναν αγωγό. Αν τοποθετηθεί ένα μαγνητικό υλικό (magnetic link) πλησίον του αγωγού, τότε αυτό θα μαγνητιστεί με τη μέγιστη τιμή του πεδίου λόγω του μέγιστου ρεύματος. Η μέθοδος των magnetic links βρίσκει εφαρμογή στους μεταλλικούς πύργους των γραμμών μεταφοράς.
- Μέτρηση ρεύματος με παλμογράφο.
Η μέτρηση αυτή είναι η πιο σύγχρονη και έγκυρη όσον αφορά την μέτρηση του κεραυνικού ρεύματος και των διαχωρισμό των ρευμάτων ενός πολλαπλού κεραυνού. Στο παρακάτω σχήμα παρατίθενται τα παλμογραφήματα ενός αρνητικού πολλαπλού κεραυνού και ενός θετικού.

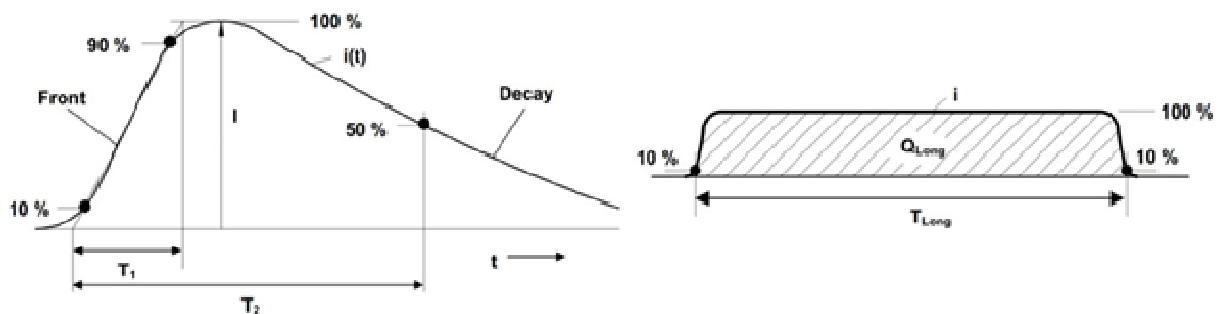


Εικόνα 2.5: Παλμογράφημα του ρεύματος ενός πολλαπλού αρνητικού οχητού(α), και ενός θετικού κεραυνού.

Στο πρώτο παλμογράφημα (α) διακρίνεται ότι το ρεύμα της πρώτης εκκένωσης αυξάνει ραγδαία ώσπου να φτάσει την τιμή της κορυφής μέσα σε 10-15μs. Στη συνέχεια μειώνεται είτε άμεσα είτε μετά από μια πλατιά κορυφή. Μέσα σε 200-300μs το ρεύμα φτάνει σε τιμές 20% της τιμής κορυφής, ενώ σε πολλαπλούς κεραυνούς η τιμή κορυφής επιτυγχάνεται σε 1-2μs, με τιμές ρεύματος κατά κανόνα μικρότερες αυτών της πρώτης εκκένωσης. Οι θετικοί κεραυνοί, όπως προαναφέρθηκε, φαίνονται να δημιουργούν ισχυρότερα ρεύματα, μεγαλύτερης διάρκειας της τάξης των 20-50μs. Η ουρά τους φαίνεται να έχει επίσης μεγαλύτερη διάρκεια, περί τα 1000μs. Από τα σχήματα γίνεται αντιληπτό ότι σημαντική παράμετρο αποτελεί και η διάρκεια ροής του ρεύματος. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερη η διάρκεια ροής, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ενέργεια που συσσωρεύεται, επομένως τόσο μεγαλύτερη η εκλυόμενη θερμότητα, δεδομένου ότι συνδέεται ανάλογα με το ολοκλήρωμα

$$\int i^2 dt.$$

Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι κεραυνοί μεγάλης διάρκειας ρεύματος είναι επικίνδυνοι για εύφλεκτες ή εκρηκτικές ύλες, ενώ οι κεραυνοί υψηλής έντασης και μικρής διάρκειας πλήττουν περισσότερο τα ηλεκτρικά συστήματα. Το κεραυνικό ρεύμα λοιπόν που καταγράφεται σε ένα παλμογράφημα εμφανίζεται ως μια ακολουθία κρουστικών ρευμάτων (διάρκειας έως 2μs) παλμικών ρευμάτων (διάρκεια > 2μ), όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Εικόνα 2.6 κρουστικό (α) και παλμικό ρεύμα (β) κεραυνού

Πηγή: IEC 62305 Lightning protection standard

Οι επιμέρους παράμετροι που εξετάζονται όσον αφορά το ρεύμα είναι:

- i. Το μέγιστο εύρος, το οποίο κυμαίνεται από μερικές δεκάδες έως μερικές εκατοντάδες kA, το οποίο εξαιτίας της ανύψωσης της διαφοράς δυναμικού προκαλεί υπερπήδηση μονωτήρων και καταστροφών μονωτικών υλικών στο σημείο του πλήγματος.
- ii. Τη μέση κλίση μετώπου η οποία υπολογίζεται στο 30% και 90% του μέγιστου ρεύματος και δίνεται από τον τύπο

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_{max} = \frac{(I_{90} - I_{30})}{t_{90} - t_{30}} \text{ kA}/\mu\text{s},$$

και καθορίζει τις επαγόμενες τάσεις σε ηλεκτρικά κυκλώματα που πιθανώς πλήττονται από κεραυνό.

- iii. Την διάρκεια του ρεύματος, η οποία σε συνδυασμό με την αντίσταση καθορίζουν την ενέργεια που εκλύεται.
- iv. Το μεταφερόμενο φορτίο. Το ολικό φορτίο που μεταφέρεται κατά μια κεραυνική εκκένωση είναι αυτό το οποίο ευθύνεται για την τήξη ή διάτρηση μεταλλικών επιφανειών μικρού πάχους. Υπολογίζεται ως το ολοκλήρωμα του ρεύματος του κεραυνού στο χρόνο, καθ' όλη τη διάρκεια του από τον τύπο $\int_0^{\infty} i(t) dt$. Εκτός του ολικού φορτίου, παράμετρο του ρεύματος αποτελεί το κρουστικό φορτίο το οποίο υπολογίζεται με το ολοκλήρωμα της κρουστικής συνιστώσας του ρεύματος στο χρόνο.
- v. Η ειδική ενέργεια. Αφορά την ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη ροή του ρεύματος σε μια μοναδιαία αντίσταση. Εκφράζει την ενέργεια που εκλύεται κατά το κεραυνικό φαινόμενο και είναι υπεύθυνη για την εκλυόμενη θερμότητα, υπεύθυνη για τα θερμικά φαινόμενα του κεραυνού (τήξη μετάλλων, έναυση εύφλεκτων ατμών, κ.α.). Δίνεται από τον τύπο $\int_0^{\infty} i^2(t) dt$.
- vi. Ο αριθμός των διαδοχικών εκκενώσεων. Αφορά τους πολλαπλούς κεραυνούς που εμφανίζονται με κατά μέσο όρο 3-4 εκκενώσεις και μεταξύ τους χρόνο περί τα 50ms. Όπως αναφέρθηκε τα παραγόμενα ρεύματα των υπολοίπων πλην της πρώτης εκκένωσης εκκενώσεων είναι μικρότερα, αποτελούν όμως παράμετρο του ολικού κεραυνικού ρεύματος. (EN62305-1) [1],[6]

2.3.4 Συχνότητα κεραυνικών πληγμάτων

Η συχνότητα με την οποία συμβαίνουν οι κεραυνοί διαφέρει από περιοχή σε περιοχή και επηρεάζεται τόσο από το κλίμα όσο και από την ορογραφική κατάσταση της περιοχής. Έτσι, στις ορεινές περιοχές ενός τύπου με εύκρατο κλίμα, η ένταση και το φορτίο του κεραυνού είναι μικρά, εφόσον η μικρή απόσταση γης – νέφους προκαλεί εκκενώσεις πριν την ολική φόρτιση του νέφους, μεταφέροντας στο μικρό σχετικά μήκος του κεραυνού και μικρότερη ποσότητα φορτίου. Κατά κανόνα οι εκκενώσεις στις ορεινές περιοχές είναι

περισσότερες απ' ότι στις πεδινές. Αντίθετα με τις ορεινές περιοχές, στις πεδινές περιοχές σημειώνονται λιγότερες εκκενώσεις λόγω της μεγαλύτερης απόστασης νέφους – εδάφους, αλλά μεγαλύτερης έντασης εξαιτίας των έντονα φορτισμένων νεφών και των μεγάλων οχετών.

Η συχνότητα των κεραυνών διαφέρει ακόμα ανάμεσα στις εποχές του χρόνου. Κατά κανόνα την καλοκαιρινή περίοδο τα νέφη βρίσκονται σε μεγάλο ύψος από το έδαφος οπότε η εκτόνωση του ηλεκτρικού φορτίου συμβαίνει εντός του νέφους (IC) ή μεταξύ των νεφών (CC). Η απότομη μεταβολή του ηλεκτρικού πεδίου στο έδαφος επιφέρει πολύ περισσότερους ανερχόμενους οχετούς απ' ότι κατερχόμενους. Τις υπόλοιπες εποχές, τα νέφη κινούνται χαμηλότερα, οπότε διευκολύνεται η εκκένωση προς τη γη, περισσότερο απ' ότι μεταξύ νεφών.

Συχνότητα κεραυνικών εκκενώσεων

Η συχνότητα των κεραυνικών εκκενώσεων ανά τη γη είναι περί τους 40-50 κεραυνούς το δευτερόλεπτο ή περίπου 1,4 δισεκατομμύρια κεραυνοί το χρόνο, μέσης διάρκειας 0,2μs. Η κεραυνική δραστηριότητα δεν κατανέμεται ανάλογα σε όλη τη γη. Το 70% των κεραυνών συμβαίνει σε περιοχές τροπικού κλίματος όπου η ατμόσφαιρα παρουσιάζει θερμές και ψυχρές αέριες μάζες, σε συνδυασμό με διαφορετικά ατμοσφαιρικά επίπεδα υγρασίας. Η συνθήκη αυτή εξηγεί τη μεγάλη συχνότητα κεραυνών στην νοτιοανατολική Αμερική και στον Ισημερινό, όπως επίσης και την ελάχιστη κεραυνική δραστηριότητα στους πόλους. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, είναι απαραίτητη προϋπόθεση πριν τη κατασκευή ενός αντικεραυνικού συστήματος, η γνώση της πιθανότητας κεραυνικού πλήγματος στην περιοχή. Ορίζουμε ως κεραυνική στάθμη ενός τόπου το πλήθος των ημερών που αντιστοιχούν σε μέρες καταιγίδες σε ένα χρόνο (t_d). [7]

Επιπλέον τα κεραυνικά πλήγματα σε μια περιοχή ανά έτος συμβολίζονται ως N_g . Στον πίνακα που ακολουθεί (2.1) καταγράφονται οι διάφορες αναλογίες που έχουν προταθεί ανά τα χρόνια, για τη σύνδεση των ημερών καταιγίδας με τη κεραυνική δραστηριότητα.

Χώρα	Κεραυνική πυκνότητα ($\text{Km}^{-2}\text{yr}^{-1}$)	Πηγή
Ινδία	$0,1T_d$	Aiya 1968
Ροδεσία	$0,14T_d$	Anderson and Jenner 1954
Σουηδία	$0,004T_d^2$ (περίπου)	Muller – Hillerbrand 1964
Ην. Βασίλειο	aT_d^b $a = (2,6 \pm 0,2) \times 10^{-3}, b = 1,9 \pm 0,1$	StringFellow 1974
ΗΠΑ (Βόρεια)	$0,11T_d$	Horn – Ramsey 1951
ΗΠΑ (Νότια)	$0,17T_d$	Horn – Ramsey 1951
ΗΠΑ	$0,17T_d$	Anderson et al 1968
Ρωσία	$0,036T_d^{1,3}$	Kolokolov – Pavlova 1972
Παγκόσμια	$0,19T_d$	Brooks 1972
Παγκόσμια (μέσο κλίμα)	$0,15T_d$	Golde 1966

Παγκόσμια (τροπικό κλίμα)	0,13T _d	Brooks 1960
-----------------------------	--------------------	-------------

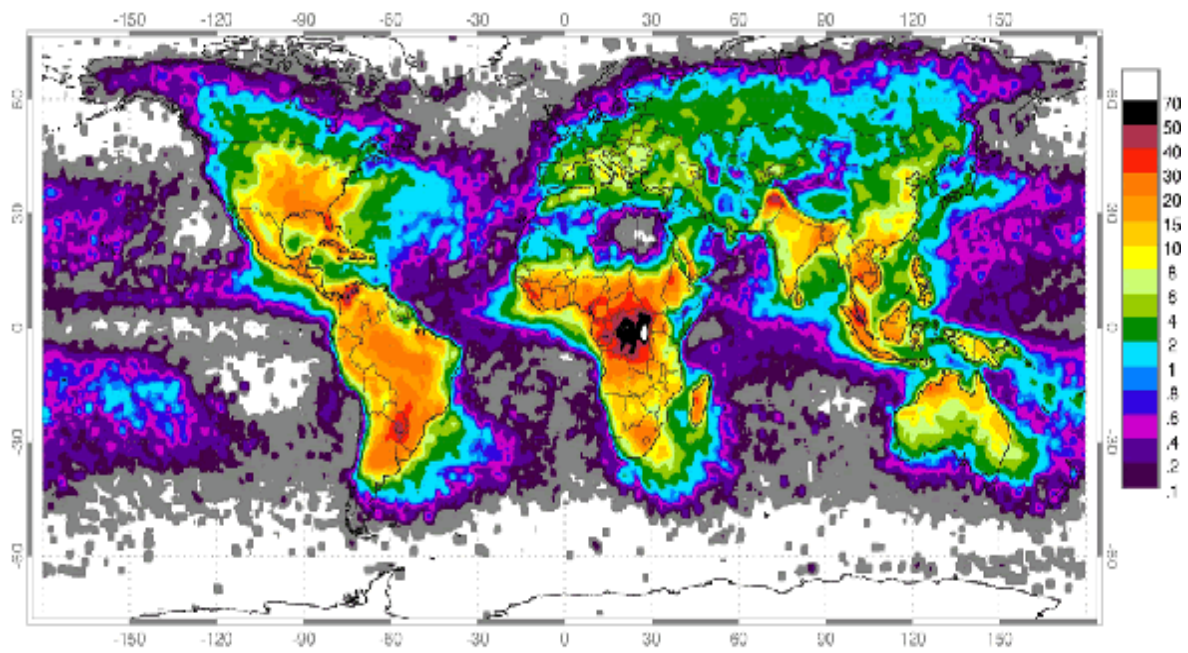
Πίνακας 2.1 : Αντιστοίχιση ημερών καταιγίδας και κεραυνικής δραστηριότητας Πηγή : IEEE Guide for Direct Lightning Stroke Shielding of Substations, τροποποίηση από τους συγγραφείς.

Στην περίπτωση που είναι γνωστός ο συνολικός αριθμός εκκενώσεων (N_g), ταυτόχρονα ο αριθμός CC εκκενώσεων (N_t) και CG εκκενώσεων (N_c) τότε ο λόγος $\frac{N_c}{N_g}$, επηρεάζεται από το γεωγραφικό πλάτος και συσχετίζεται με το κλίμα όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.(2.2)

Κλίμα	Λόγος N _c / N _g	Πηγή
Εύκρατο	1,5	Pierce 1965
Υποτροπικό (α)	3	Mackerras 1976
Υποτροπικό (β)	4	Horner 1965
Τροπικό (α)	9	Aiya et Sonde 1963
Τροπικό (β)	6	Horner 1965
Ξηρό	4	Viemeister 1972

Πίνακας 2.2 : Συσχέτιση κεραυνικής συχνότητας με το κλίμα. Πηγή : Eindhoven University of Technology, De foutkans van de isolatie in hoogspanningslijnen t.g.v. bliksemontladingen, τροποποίηση από τους συγγραφείς.

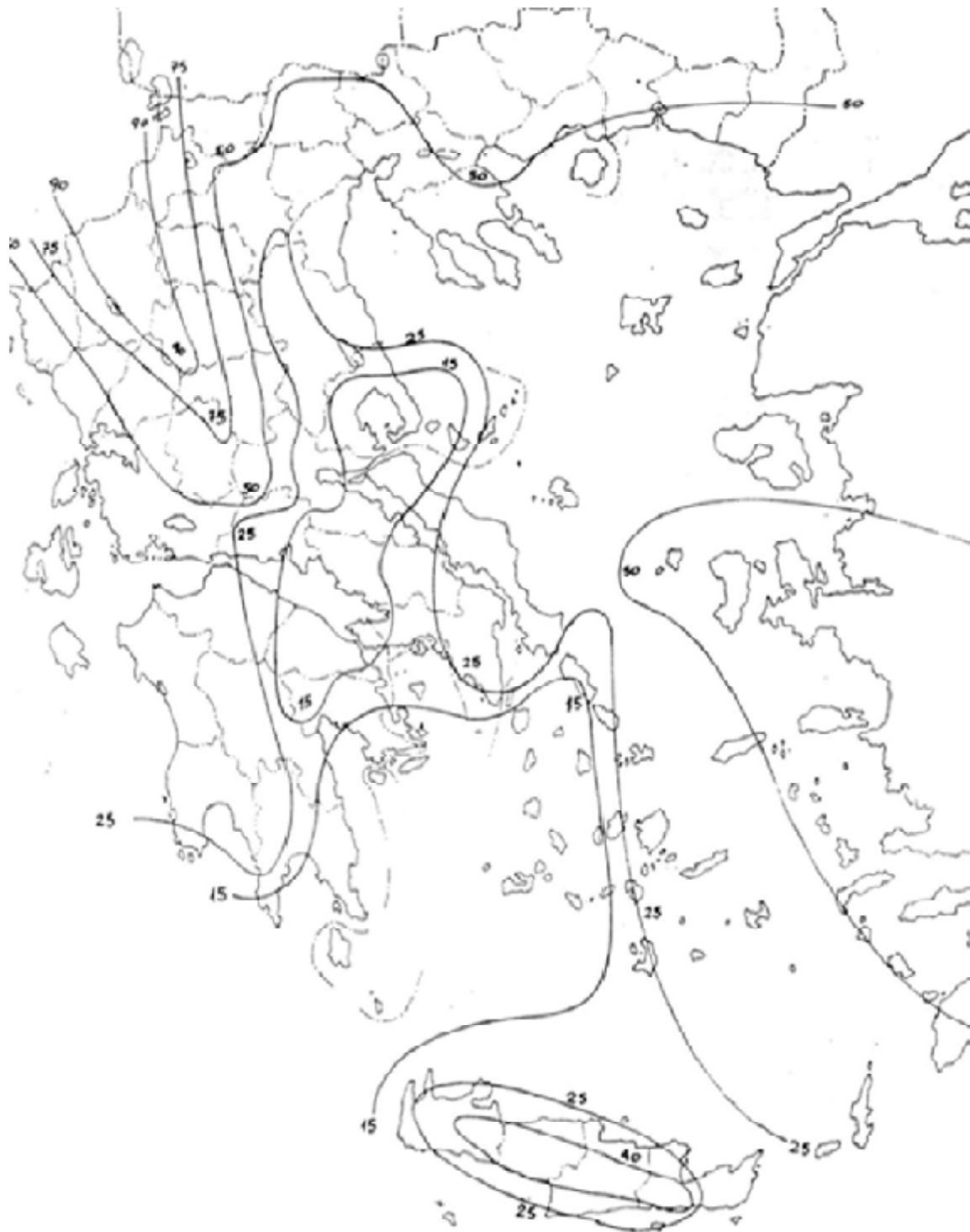
Οι περιοχές οι οποίες εμφανίζονται με ίδιο T_d (ημέρες καταιγίδας) καταγράφονται σχηματίζοντας μια ισοκεραυνική καμπύλη. Στις παρακάτω εικόνες δίνεται ο παγκόσμιος ισοκεραυνικός χάρτης (2.6) και ο χάρτης ισοκεραυνικών καμπυλών της Ελλάδας. (2.7)



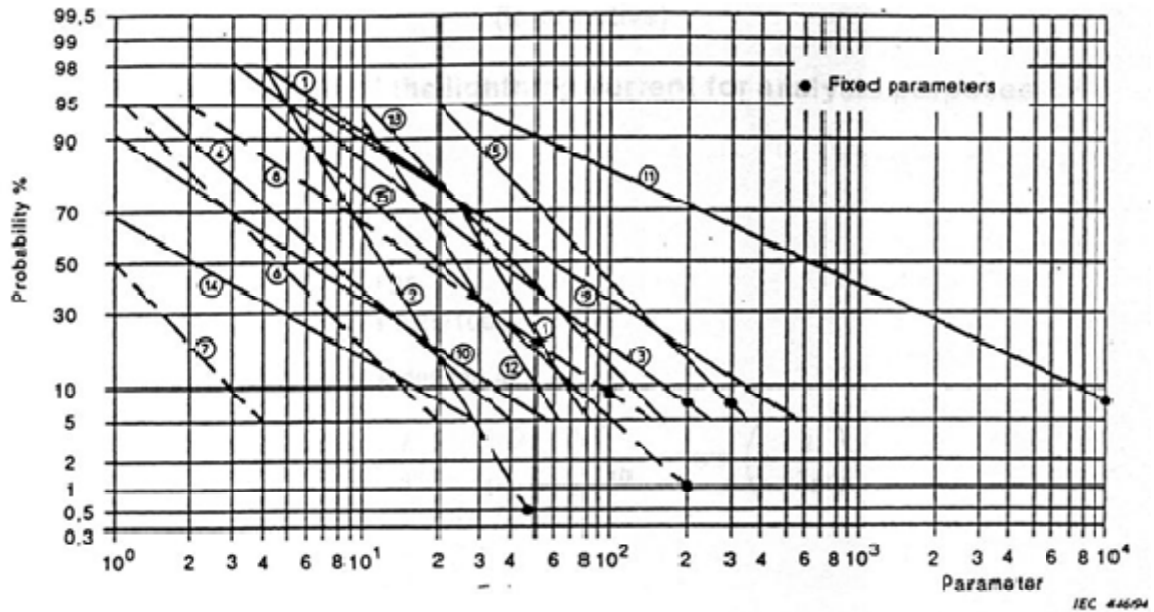
Low Resolution Full Climatology Annual Flash Rate

Global distribution of lightning April 1995-February 2003 from the combined observations of the NASA OTD (4/95-3/00) and LIS (1/98-2/03) instruments.

Εικόνα 2.6 Παγκόσμιος ισοκεραυνικός χάρτης. Πηγή :<http://wdtinc.com/2014/03/05/global-lightning-proximity/>



Εικόνα 2.7 Χάρτης ισοθερμικών καμπυλών Ελλάδας. Πηγή : στοιχεία ΔΕΗ



Parameter	Scale of abscissa	Positive flash	First positive stroke	Negative flash	First negative stroke	Negative subsequent strokes
I	kA		③ •		①	② •
Q	C	⑤ •		④		
Q_s	C		⑧ •		⑥	⑦
W/F	kJ/ Ω		⑪ •		⑨	⑩
$(di/dt)_{max}$	kA/ μ s		⑭		⑫	⑬
$(di/dt)_{30\%/90\%}$	kA/ μ s					⑮ •

Εικόνα 2.8 : Αθροιστική κατανομή χαρακτηριστικών παραμέτρων του κεραυνού. Πηγή: 62305 Standard for lightning protection, ΕΛΟΤ 1197-E2:2002. Προστασία κατασκευών από κεραυνούς.

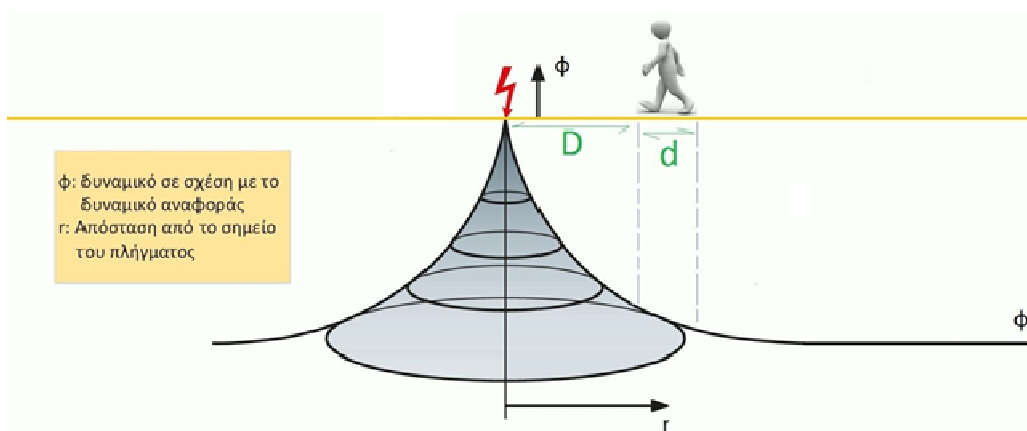
2.3.5 Επιπτώσεις από κεραυνικά πλήγματα

Από το σύνολο των κεραυνών που πέφτουν στη γη το μεγαλύτερο ποσοστό διοχετεύεται στο έδαφος χωρίς κινδύνους. Οι κεραυνοί όμως συχνά προκαλούν πλήγματα σε μια κατασκευή άμεσα ή έμμεσα. Άμεσο πλήγμα στην κατασκευή θεωρείται η περίπτωση όπου ο κεραυνός πλήττει άμεσα την κατασκευή ή το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας της. Ως έμμεσο πλήγμα θεωρείται η περίπτωση κατά την οποία ο κεραυνός πλήττει μια κοντινή περιοχή της κατασκευής και η κατασκευή πλήττεται εξ' επαγωγής ή από δημόσια δίκτυα (ηλεκτρισμού, τηλεπικοινωνιών, ύδρευσης, αερίου). Οι επιπτώσεις των κεραυνικών πληγμάτων περιγράφονται στις ακόλουθες υποενότητες.

2.3.5.1 Επιπτώσεις στον άνθρωπο

Οι συνέπειες ενός κεραυνικού πλήγματος στον άνθρωπο μπορούν να είναι πολύ επιβλαβείς έως και θανατηφόρες. Σημειώνεται ότι στην Ελλάδα μέσα στην δεκαετία 1990 – 2000 υπήρξαν 65 θάνατοι από κεραυνό. Ένας κεραυνός μπορεί να προκαλέσει βλάβες ή θάνατο στον άνθρωπο με τους εξής διαφορετικούς μηχανισμούς:

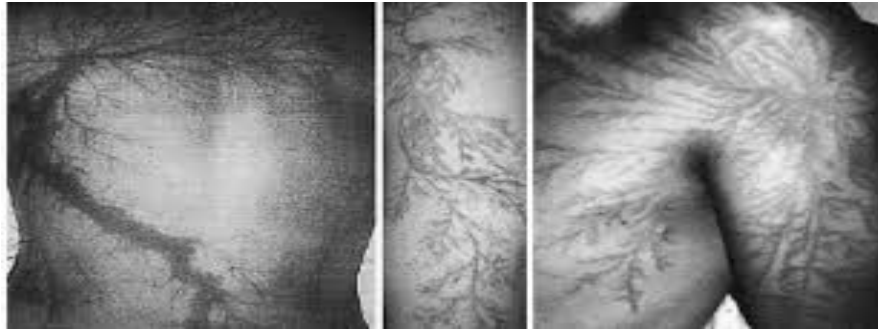
- i. Άμεσο πλήγμα. Αφορά άμεση διέλευση του κεραυνικού ρεύματος μέσα από το ανθρώπινο σώμα. Η περίπτωση αυτή αν και έχει καταγραφεί, αποτελεί πολύ σπάνιο φαινόμενο με πιθανότητα ένα πλήγμα ανά 2000 χρόνια.
- ii. Άμεση επαφή. Συμβαίνει όταν το ανθρώπινο σώμα βρίσκεται σε επαφή με κάποιο αντικείμενο που πλήττεται από κεραυνό.
- iii. Υπερήδηση. Πρόκειται για την περίπτωση όπου το ανθρώπινο σώμα βρίσκεται αρκετά κοντά σε αντικείμενο που πλήττεται από κεραυνό με αποτέλεσμα να παροχετεύει τμήμα της εκκένωσης προς το έδαφος λόγω της ηλεκτρικής διάσπασης του διάκενου αέρα που παρεμβάλλεται μεταξύ τους.
- iv. Βηματική τάση. Αναφέρεται στη διαφορά δυναμικού ενός μέσου ανθρώπινου βήματος, που οφείλεται στη μεταβολή της τάσης ανά μονάδα μήκους λόγω της αντίστασης του εδάφους κατά την ροή του κεραυνικού ρεύματος.



Εικόνα 2.9 Δημιουργία βηματικής τάσης κατά τη ροή ρεύματος στο έδαφος ύστερα από κεραυνικό πλήγμα. Πηγή : Σιδεράκης, Κ., Γ, «Αντικεραυνική προστασία και γειώσεις σε φωτοβολταϊκά συστήματα»

- v. Επιφανειακή διάσπαση του εδάφους. Στην περίπτωση αυτή, το ανθρώπινο σώμα βρίσκεται υπό την επίρεια του ηλεκτρικού τόξου που προκύπτει. Η επιφανειακή διάσπαση του εδάφους δεν παρατηρείται πάντα, είναι όμως οπτικά ανιχνεύσιμη κατά κεραυνικές εκκενώσεις ρεύματος μεγαλύτερου των 15kA, ενώ εξαρτάται επίσης από την μορφολογία του εδάφους, την υγρασία και άλλες κεραυνικές παραμέτρους.
- vi. Τυφλό τραύμα. Αφορά την εκτίναξη του ανθρώπινου σώματος σε απόσταση λόγω έντονων μυϊκών συσπάσεων (οπισθοτονική σύσπαση) που οφείλονται στη ροή του

ρεύματος μέσω του σώματος ή στο κρουστικό κύμα πίεσης που συνοδεύει την εκκένωση. Ο θάνατος στον άνθρωπο επέρχεται λόγω της καρδιακής ανακοπής. Τα συμπτώματα στους επιζήσαντες είναι παρόμοια, ωστόσο ηπιότερα, αυτών της ηλεκτροπληξίας. Από τα κύρια συμπτώματα είναι η διαταραχή ή απώλεια μνήμης, δυσκολία ή ανικανότητα συγκέντρωσης, η διαταραχή ύπνου, ο ίλιγγος, ευερεθιστικότητα ή κεφαλαλγία, η κατάθλιψη, οι μυϊκές συσπάσεις, η ακαμψία στις αρθρώσεις, η απώλεια ακοής, διάφορα επιφανειακά τραύματα, μερική παράλυση κ.α., που οφείλονται στη ροή του κεραυνικού ρεύματος μέσα στο ανθρώπινο σώμα και τη διαταραχή των συστημάτων του ανθρώπου (νευρικό, μυϊκό, καρδιαγγειακό κ.α.). (ΕΛΟΤ 1197),[1]



Εικόνα 2.10 Σημάδια σε ανθρώπινο σώμα ως αποτέλεσμα της διέλευσης του κεραυνικού ρεύματος μέσα από αυτό(σχέδιο τύπου “Lichtenberg”). Πηγή: <http://www.iatropedia.gr/eidiseis/ti-simveni-sto-soma-otan-to-chtipai-keravnos/39652/>

2.3.5.2 Επιπτώσεις στις κατασκευές

Ένας κεραυνός μπορεί να πλήξει άμεσα μια κατασκευή μέσω του ηλεκτρικού τόξου εκκένωσης ή έμμεσα μέσω δευτερογενών φαινομένων που παρατηρούνται κατά την διάρκεια της εκκένωσης. Σε κάθε περίπτωση οι επιπτώσεις του κεραυνού σε ένα κτίσμα μπορούν να διακριθούν στις παρακάτω τρεις κατηγορίες:

- I. Θερμικές επιπτώσεις
- II. Μηχανικές επιπτώσεις
- III. Ηλεκτρομαγνητικές επιπτώσεις

I. Θερμικές επιπτώσεις

Οι σχετιζόμενες με τον κεραυνό επιπτώσεις συσχετίζονται με την αύξηση της θερμοκρασίας λόγω αντίστασης ενός αγωγού εξαιτίας της ροής κεραυνικού ρεύματος μέσα σε αυτή όπως επίσης και στην θερμότητα που μεταφέρεται μέσω του ηλεκτρικού τόξου και του σημείου πλήγματος. Το φαινόμενο Joule (θέρμανση ενός αγωγού λόγω της διέλευσης ηλεκτρικού ρεύματος) εκδηλώνεται έντονα στο σημείο πλήγματος και σε περιοχές μεγάλης ωμικής αντίστασης όπως κακές επαφές ή σημεία μεγάλης ειδικής αντίστασης.

Για να μπορεί να κατασκευαστεί ένα αποτελεσματικό αντικεραυνικό σύστημα προστασίας είναι απαραίτητο να εξετάσουμε τις επιπτώσεις της αύξησης της θερμοκρασίας στους αγωγούς οποιουδήποτε μέρους του συστήματος που μεταφέρει μεγάλο μέρος του κεραυνικού ρεύματος. Για τον υπολογισμό της αύξησης θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται οι εξής παράμετροι:

- Η στιγμιαία ισχύς που διασκορπίζεται ως θερμότητα στον αγωγό δίνεται από τον τύπο: $P(t) = i^2(t)R$
- Η θερμική ενέργεια που παράγεται από ολόκληρο τον κεραυνικό παλμό ισούται με το γινόμενο της ωμικής αντίστασης του αγωγού επί την ειδική ενέργεια του κεραυνού. Μπορεί να εκφραστεί σε J (Joule) ή Wxs (Watt x seconds).

$$W = R \times \int i^2(t) dt$$

Αν θεωρηθεί ότι λόγω της πολύ μικρής διάρκειας της εκκένωσης η ανταλλαγή ενέργειας με το περιβάλλον είναι αμελητέα, τότε όλη η θερμική ενέργεια προκαλεί ανύψωση της θερμοκρασίας του αγωγού και το φαινόμενο είναι αδιαβατικό. Εντούτοις, ο κεραυνός σπάνια παροχετεύεται προς το έδαφος μέσω ενός αγωγού, με αποτέλεσμα η ανύψωση της θερμοκρασίας που παρατηρείται στους αγωγούς να είναι μικρότερη της μέγιστης θερμοκρασίας αντοχής τους.

- Η ανύψωση της θερμοκρασίας του αγωγού περιγράφεται με τον παρακάτω τύπο:

$$\Delta\theta = \frac{1}{\alpha} \left[\exp\left(\frac{W}{R} \times \alpha \times \rho_0\right) - 1 \right] \text{ σε } ^\circ K$$

Όπου:

$\Delta\theta (\theta - \theta_0)$: η ανύψωση θερμοκρασίας του αγωγού σε K (kelvin)

α : ο συντελεστής θερμοκρασίας της αντίστασης (1/K)

W/R : η ειδική ενέργεια του κεραυνού (J/Ω)

ρ_0 : η ειδική ωμική αντίσταση του αγωγού σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (Ωm)

q : η διατομή του αγωγού (m^2)

γ : η πυκνότητα του υλικού (kg/m^3)

C_w : ο συντελεστής θερμοχωρητικότητας (J/kgK)

Με βάση τις παραπάνω πληροφορίες συντάσσεται ο πίνακας όπου φαίνεται η ανύψωση θερμοκρασίας αγωγού σε συνάρτηση με την ειδική ενέργεια του κεραυνού και την διατομή του.

Αύξηση θερμοκρασίας αγωγού συναρτήσει διατομής και ειδικής ενέργειας

Διατομή αγωγού (mm ²)	Υλικό			
		Αλουμίνιο W/R HJ/Ω	Χάλυβας W/R HJ/Ω	Χαλκός W/R HJ/Ω

										W/R HJ/Ω		
	2,5	5,6	10	2,5	5,6	10	2,5	5,6	10	2,5	5,6	10
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	564	-	-	-	-	-	169	542	-	-	-	-
16	146	454	-	1120	-	-	56	143	309	-	-	-
25	52	132	283	211	913	-	22	51	98	940	-	-
50	12	28	52	37	96	21 1	5	12	22	190	460	940
100	3	7	12	9	20	37	1	3	5	45	100	190

Πίνακας 2.3 Αύξηση θερμοκρασίας αγωγού συναρτήσει διατομής και ειδικής ενέργειας. Πηγή: IEC 62305 Standard for lightning protection

Από τον παραπάνω πίνακα γίνεται αντιληπτό ότι σε ένα σύστημα προστασίας αποτελούμενο από αγωγούς αλουμινίου, χάλυβα ή χαλκού οι θερμικές επιπτώσεις δεν επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την διατομή του αγωγού.

Θερμικές επιπτώσεις στο σημείο πλήγματος.

Στο σημείο πλήγματος ενός κεραυνού μπορεί να παρατηρηθεί τήξη έως και διάτρηση των μεταλλικών στοιχείων μιας εγκατάστασης ανάλογα με την φύση και το πάχος του υλικού και τις παραμέτρους του κεραυνού. Η θερμότητα που αναπτύσσεται στο σημείο πλήγματος είναι ανάλογη της τάσης του ηλεκτρικού τόξου και του ολοκληρώματος του τετραγώνου του ρεύματος του κεραυνού στο χρόνο, δηλαδή εξαρτάται από το ολικό φορτίο του κεραυνού.

Η φύση της επιφάνειας του σημείου πλήγματος αποτελεί σημαντικό παράγοντα καθορισμού των θερμικών επιπτώσεων της εκκένωσης. Σε επιφάνειες ινών άνθρακα η θερμότητα που αναπτύσσεται λαμβάνει ιδιαίτερα μεγάλες τιμές λόγω της ειδικής αντίστασης του υλικού και της τάσης του τόξου. Είναι ακόμα δυνατόν να παρατηρηθεί διάτρηση ή ανάφλεξη σε μονωτικά υλικά στο σημείο του πλήγματος λόγω της απότομης θερμοκρασιακής μεταβολής. Σε υλικά που περιέχουν ίχνη υγρασίας η υψηλή πίεση του ατμού που δημιουργείται λόγω της εξάτμισης της υγρασίας προκαλούν εκρηκτικές θραύσεις, ρήγματα ή καταρρεύσεις. Τέλος, η μεταφορά θερμότητας σε επαφές μεγάλης ωμικής αντίστασης μπορεί να προκαλέσει πυρκαγιά, ιδιαίτερα επικίνδυνη εφόσον υπάρχουν εύφλεκτες ή εκρηκτικές ύλες.

II. Μηχανικές επιπτώσεις

Οι μηχανικές επιπτώσεις ενός κεραυνού σχετίζονται με το ρεύμα που μεταφέρεται μέσω των αγωγών και της μηχανικής συμπεριφοράς των αγωγών που διαχέεται. Αυτές μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες.

- Επιπτώσεις που συσχετίζονται με το κρουστικό κύμα του οχητού επιστροφής.
- Επιπτώσεις που αφορούν τις δυνάμεις που αναπτύσσονται σε έναν ή περισσότερους αγωγούς, όταν διαρρέονται από το κεραυνικό ρεύμα.

Οι επιπτώσεις λόγω κρουστικού κύματος παρατηρούνται κυρίως μετα από άμεσο πλήγμα. Η δημιουργία του κρουστικού κύματος πίεσης οφείλεται στη θερμοκρασία του κεραυνού (3000K) που συνεπάγεται την ταχύτερη εξάπλωση του αέρα που περιβάλλει τον οχετό. Το κύμα αυτό, που αρχικά βρίσκεται στην περιοχή των υπέρηχων, εξελίσσεται σε βροντή και είναι συχνά υπεύθυνο για την αποκόλληση στοιχείων οροφής, την εκτίναξη, τμήματος τοιχοποιίας και την θραύση υαλοπινάκων. Στην δεύτερη περίπτωση εξετάζονται οι ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις που αναπτύσσονται σε αγωγούς που διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα. Η ορμή που αναπτύσσεται σε δυο παράλληλους αγωγούς δίνεται από τον τύπο:

$$\int F dt = \frac{10^{-7}}{2D} \int i^2 dt$$

όπου D (m) είναι η απόσταση των αγωγών.

Όταν οι αγωγοί διαρρέονται από ρεύμα ίδιας φοράς έλκονται ενώ όταν το ρεύμα είναι αντίρροπο απωθούνται. Όταν η απόσταση μεταξύ των αγωγών ξεπερνά το 0,5m τότε οι δυνάμεις μεταξύ των αγωγών γίνονται αμελητέες. Όταν το κεραυνικό ρεύμα μεταφέρεται μέσω ενός αγωγού στη γη με οξείες αλλαγές στη πορεία του, τότε οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις τείνουν να τον ισώσουν. Αναλόγως, όταν ο κεραυνός πλήττει έναν αγωγό υπό γωνία, οι δυνάμεις μπορεί να προκαλέσουν μετατόπιση του αγωγού λόγω χαλάρωσης των στηριγμάτων ή και κάμψη του. Οι δυνάμεις δηλαδή που αναπτύσσονται σε έναν οι περισσότερους αγωγούς προκαλούν κυρίως παραμορφώσεις ή μετατοπίσεις σε αυτούς.

III. Ηλεκτρομαγνητικές επιπτώσεις

Οι ηλεκτρομαγνητικές επιπτώσεις μια κεραυνικής εκκένωσης εξαρτώνται από τη κλίση του μετώπου και τη μέγιστη τιμή του ρεύματος. Οι συνέπειες τους οφείλονται στις υπερτάσεις που δημιουργούνται είτε μέσω αγωγίμης ζεύξης, είτε μέσω μαγνητικής ή χωρητικής σύζευξης.

· Αγωγήμη ζεύξη

Η περίπτωση αυτή αφορά άμεσο κεραυνικό πλήγμα σε κάποια εξωτερική επιφάνεια του κτίσματος. Συνέπεια της αγωγήμη ζεύξης είναι η εσωτερική διάσπαση σε αγωγούς του συστήματος προστασίας ή εσωτερικών αγωγήμων στοιχείων του κτίσματος, ακολουθούμενη από ροή του κεραυνικού ρεύματος προς τη γη μέσω των εσωτερικών αγωγών. Η διαφορά δυναμικού που δημιουργείται λόγω της διάχυσης του ρεύματος

δίνεται από την παρακάτω σχέση $U = IR_e + L \frac{di}{dt}$

Όπου

I: Το μέγιστο εύρος του ρεύματος του κεραυνού

Re: Η αντίσταση γείωσης της κατασκευής

L: Η αντεπαγωγή που εμφανίζεται στον αγωγό

di / dt: Η μέση κλίση του μετώπου του ρεύματος

Η ανύψωση του δυναμικού είναι υπεύθυνη για την εμφάνιση βηματικής τάσης στην περιοχή γύρω από την εγκατάσταση γείωσης. Η υπέρταση που μπορεί να δημιουργηθεί δίνεται από το γινόμενο L x di/dt, επομένως διαμορφώνεται κυρίως από τις παραμέτρους αντεπαγωγής όπως το μήκος και η γεωμετρία όδευσης του αγωγού και πολύ λιγότερο από

τη διατομή και την ωμική του αντίσταση. Οι υπερτάσεις λόγω αγωγίμης ζεύξης μπορούν να πάρουν πολύ υψηλές τιμές και να οδηγήσουν σε δευτερογενείς υπερπηδήσεις σε γειωμένα αντικείμενα ή κυκλώματα διαφορετικής τάσης.

- Μαγνητική σύζευξη

Το κεραυνικό ρεύμα κατά την εκκένωση ή την διέλευση του μέσα από έναν αγωγό δημιουργεί μαγνητικό πεδίο που μεταβάλλεται μέχρι τα 100 περίπου μέτρα. Η ένταση του μαγνητικού πεδίου δίνεται από την σχέση :
$$H(t) = \frac{1}{2\pi r} i(t)$$

ενώ στην περίπτωση μαγνητικής σύζευξης η υπέρταση που δημιουργείται περιγράφεται από τον τύπο
$$U(kU) = \frac{\mu_0 A di}{4\pi D dt}$$

όπου

μ_0 : Η μαγνητική διαπερατότητα του κενού

A: Το εμβαδόν της επιφάνειας βρόγχου (m²)

D: Η απόσταση του βρόγχου από το σημείο πλήγματος (m)

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

Οι μαγνητικές συζεύξεις οδηγούν σε μεγάλες υπερτάσεις από τις οποίες κινδυνεύουν ιδιαίτερα ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός μια κατασκευής.

- Χωρητική σύζευξη

Το κεραυνικό ρεύμα αμέσως μετά την εκκένωση παίρνει τιμές της τάξης των 500kV/m (πεδιακή ένταση διάσπασης του αέρα) ενώ αμέσως μετά το ηλεκτρικό πεδίο καταρρέει με ρυθμό 500kV/μs. Η υπέρταση λόγω χωρητικής σύζευξης υπολογίζεται ως εξής:

$$U_2 = U_1 \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

όπου

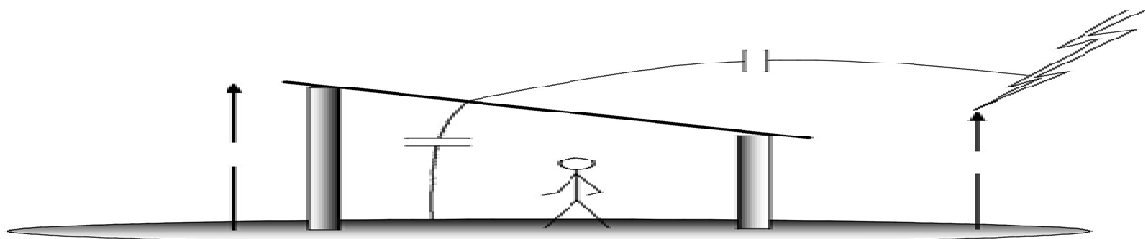
U₂: Υπέρταση

U₁: Δυναμικό κεραυνού προς τη γη

C₁: Χωρητικότητα μεταξύ κεραυνού – κατασκευής

C₂: Χωρητικότητα κατασκευής – εδάφους

Οι ηλεκτρομαγνητικές επιπτώσεις των κεραυνών αφορούν κυρίως βλάβες στα ηλεκτρονικά και υπολογιστικά συστήματα και παρεμβολές στις τηλεπικοινωνίες.



Εικόνα 2.11: Ανάπτυξη υπέρτασης λόγω χωρητικής σύζευξης. Πηγή: Μικρόπουλος, Ν., Π. «Συστήματα αντικεραυνικής προστασίας»

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μέχρι και σήμερα, ο ακριβής τρόπος με τον οποίο δημιουργείται ένας κεραυνός δεν έχει διαλευκανθεί πλήρως. Ομοίως δεν είναι δυνατό να προβλεφθεί ο τόπος ή η χρονική στιγμή που ένας κεραυνός θα συμβεί. Από την στιγμή που θα δημιουργηθεί η ηλεκτρική εκκένωση είναι επίσης αδύνατο να εμποδιστεί το πλήγμα στην περιοχή που θα συμβεί. Για αυτό τον λόγο κατασκευάζονται τα συστήματα αντικεραυνικής προστασίας (ΣΑΠ) τα οποία έχουν σκοπό τη διοχέτευση του ρεύματος της εκκένωσης ελεγχόμενο μέσα από μια κατασκευή έτσι ώστε να περιοριστούν στο ελάχιστο οι επιζήμιες επιπτώσεις του πλήγματος. Όλες οι γνωστές αρχές αντικεραυνικής προστασίας στηρίζονται στην εκφόρτιση του νέφους και διοχέτευση του ρεύματος προς τη γη. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται τα αλεξικέραυνα, τα οποία μέσω της διάταξης τους δίνουν δίοδο στο κεραυνικό ρεύμα προς το έδαφος ώστε να μην προκληθούν υλικές καταστροφές στο κτήριο. Από το 1752 που ο Benjamin Franklin πρότεινε την χρήση αιχμηρών μεταλλικών ράβδων (ακίδες Franklin) ως μια πρώιμη μορφή αντικεραυνικής προστασίας, έως σήμερα τα ΣΑΠ έχουν εξελιχθεί ώστε να προστατεύουν μια κατασκευή λαμβάνοντας υπόψιν και άλλους κεραυνικούς παράγοντες. Βασικό μέλημα στην κατασκευή ενός ΣΑΠ είναι οι παράγοντες προστασίας που αυτή απαιτεί λόγω της θέσης της, της κατασκευαστικής δομής της αλλά και της συχνότητας καταιγίδων στην περιοχή της κατασκευής. Στην Ελλάδα κατά τον σχεδιασμό ενός ΣΑΠ λαμβάνονται υπόψιν το πρότυπο ΕΛΟΤ 1197 / 2002 και ΕΛΟΤ 1412 / 98 που στηρίζονται στα διεθνή πρότυπα IEC αντικεραυνικής προστασίας. Ακόμα και όταν η κατασκευή του ΣΑΠ υπακούει στα πρότυπα αυτά η απόλυτη αντικεραυνική προστασία δεν είναι εγγυημένη, ωστόσο μειώνονται οι επικείμενοι του κεραυνού κίνδυνοι στο ελάχιστο δυνατό.

3.2 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΑΠΟ ΚΕΡΑΥΝΙΚΟ ΠΛΗΓΜΑ

3.2.1 Στάθμες αντικεραυνικής προστασίας

Έχει διατυπωθεί η άποψη ότι η απόλυτη αντικεραυνική προστασία μπορεί να επιτευχθεί μόνον εφόσον η κατασκευή εσωκλειστεί εντός ενός κελύφους με παχιά μεταλλικά τοιχώματα (κλωβός Faraday).

Γίνεται φανερό ότι η μέθοδος αυτή, αν και εφαρμόζεται για την προστασία ευαίσθητων ηλεκτρονικών διατάξεων, είναι αδύνατο να εφαρμοστεί στο σύνολο των κατασκευών. Όταν λοιπόν σχεδιάζεται ένα ΣΑΠ συνυπολογίζονται η αποτελεσματικότητα που θα παρέχει με το κόστος κατασκευής και συντήρησης των μερών που το συνιστούν. Όπως προαναφέρθηκε ένα τέτοιο σύστημα δεν παρέχει την απόλυτη προστασία, είναι όμως

ικανό να περιορίσει τις επιζήμιες επιπτώσεις ενός κεραυνικού πλήγματος σε μια κατασκευή σε αποδεκτό βαθμό. Ένα ΣΑΠ για μια συγκεκριμένη κατασκευή παρουσιάζει μια αποδεκτή στάθμη προστασίας. Η στάθμη προστασίας ενός ΣΑΠ αφορά την πιθανότητα με την οποία αυτό προστατεύει μια κατασκευή, διαμορφώνει τα χαρακτηριστικά του και κατατάσσει το ΣΑΠ σύμφωνα με την αποτελεσματικότητά του. Έχουν οριστεί τέσσερις στάθμες προστασίας. Η αποτελεσματικότητα ενός ΣΑΠ μειώνεται από την στάθμη I προς τη στάθμη IV. Για την επιλογή της κατάλληλης στάθμης προστασίας έχει συνταχθεί ο παρακάτω πίνακας (3.1) που δίνει τη σχέση μεταξύ στάθμης προστασίας και αποτελεσματικότητας.

Στάθμες προστασίας	Αποτελεσματικότητα
P	E
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

Πίνακας 3.1 Αποτελεσματικότητα σε σχέση με την στάθμη προστασίας Πηγή: ΕΛΟΤ 1197-E2:2002. Προστασία κατασκευών από κεραυνούς.

Για κάθε στάθμη προστασίας έχουν οριστεί ανώτατα όρια τιμών των παραμέτρων του κεραυνού οι οποίες έχουν συγκεκριμένη πιθανότητα να μην ξεπεραστούν. Αν θεωρηθεί ότι από το σύνολο των κεραυνικών εκκενώσεων 10% είναι θετικοί και 90% αρνητικοί κεραυνοί, δίνεται 99% πιθανότητες οι τιμές των παραμέτρων της στάθμης προστασίας I να μην ξεπεραστούν.

Παράμετροι κεραυνού	Σύμβολο	Μονάδα Μέτρησης	Στάθμη προστασίας		
			I	II	III-IV
Μέγιστη τιμή ρεύματος	I	kA	200	150	100
Ολικό φορτίο	Q_{total}	C	300	225	150
Κρουστικό φορτίο	$Q_{impulse}$	C	100	75	50
Ειδική ενέργεια	SE	kJ/Ω	10000	5600	2500
Μέση κλίση	di/dt	kA/μs	200	150	100

Πίνακας 3.2 Παράμετροι ρεύματος κεραυνού σε σχέση με την στάθμη προστασίας Πηγή: ΕΛΟΤ 1197-E2:2002. Προστασία κατασκευών από κεραυνούς.

3.2.2 Παράγοντες επιλογής κατάλληλης στάθμης προστασίας

Για να γίνει σωστά η επιλογή ΣΑΠ για μια κατασκευή είναι απαραίτητη η γνώση βασικών παραγόντων που την επηρεάζουν. Οι παράμετροι αυτοί αφορούν την ίδια την κατασκευή, δηλαδή τις διαστάσεις της, τη θέση και το υλικό κατασκευής της, την κατηγορία χρήσης της και τις συνέπειες από ενδεχόμενη καταστροφή της από τον άνθρωπο και το περιβάλλον, αλλά και από κεραυνικούς παράγοντες όπως η συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων σε μια κατασκευή και η αποδεκτή συχνότητα πληγμάτων στην κατασκευή.

- Συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων σε μια κατασκευή

Η συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων σε μια κατασκευή N_d εκφράζει το μέσο αριθμό άμεσων κεραυνικών πληγμάτων που μπορούν να συμβούν σε μια κατασκευή ανά έτος και υπολογίζονται από τη σχέση $N_d = N_g \times A_e \times C_1 \times 10^{-6}$ πλήγματα / ανά έτος.

Όπου

N_g : Η μέση ετήσια πυκνότητα πληγμάτων στο έδαφος

A_e : Η ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια της κατασκευής (m^2)

C_1 : Ο περιβαλλοντικός συντελεστής, η επιλογή του οποίου γίνεται ανάλογα με τη θέση της κατασκευής

Σε σχέση με την θέση κατασκευής	C_1
Κατασκευή σε περιοχή που περιέχει κατασκευές ή δέντρα του ίδιου ύψους ή ψηλότερα	0,25
Κατασκευή περιτριγυριζόμενη από χαμηλότερες κατασκευές	0,5
Απομονωμένη κατασκευή σε πεδιάδα και δεν υπάρχουν άλλες κατασκευές σε απόσταση $3H$	1
Απομονωμένη κατασκευή που δεσπόζει ή πάνω σε κορυφή λόφου ή κάποιας εξοχής σε πεδιάδα	2

Πίνακας 3.3 Περιβαλλοντικός συντελεστής ανάλογα με τη θέση της κατασκευής Πηγή: ΕΛΟΤ 1197-E2:2002. Προστασία κατασκευών από κεραυνούς.

Η μέση ετήσια πυκνότητα πληγμάτων στο έδαφος έχει καταγραφεί στον πίνακα (2.2) της υποενότητας (2.3.4) και σχετίζεται με τον αριθμό των ημερών της καταιγίδας ανά έτος T_d (ημέρες όπου στην περιοχή γίνεται ακουστικά μέσω βροντής ή οπτικά μέσω αστραπής ένας τουλάχιστον κεραυνός). Οι επικρατέστερες εξισώσεις συσχέτισης N_g και T_d είναι:

- $N_g = 0,04 \times T_d^{1,25}$ (IEC)
- $N_g = 0,023 \times T_d^{1,3}$ (Anderson et al 1980)
- $N_g = 0,0086 \times T_d^{1,45}$ (Popolansky 1992)

Η εξίσωση a που προτείνει η IEC είναι δυνατόν να εμφανίζει σφάλματα, με αποκλίσεις που φαίνονται στο διάγραμμα που ακολουθεί σε σχέση με τις πιο πρόσφατες εμπειρικές εξισώσεις που διατυπώθηκαν από τους Anderson et al και Popolansky.

- Ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια της κατασκευής (IEC 62305-2)

Η ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια μια απομονωμένης κατασκευής σε επίπεδο έδαφος είναι η επιφάνεια που περικλείεται από το περίγραμμα της τομής της επιφάνειας του εδάφους και μιας ευθείας με κλίση $1/3$ που εφάπτεται στο κτίριο και περιστρέφεται γύρω από αυτό. Η επιφάνεια αυτή υπολογίζεται από τη σχέση $A_e = L \times W + 6H (L + W) + 9\pi H^2 (m^2)$

Όπου

L: μήκος κτιρίου

W: πλάτος κτιρίου

H: ύψος κτιρίου

Με την ίδια σχέση μπορεί να υπολογιστεί η συλλεκτήρια επιφάνεια κατασκευών σε μη επίπεδο έδαφος με αντικατάσταση στη σχέση του ύψους H με το ισοδύναμο ύψος H_e .

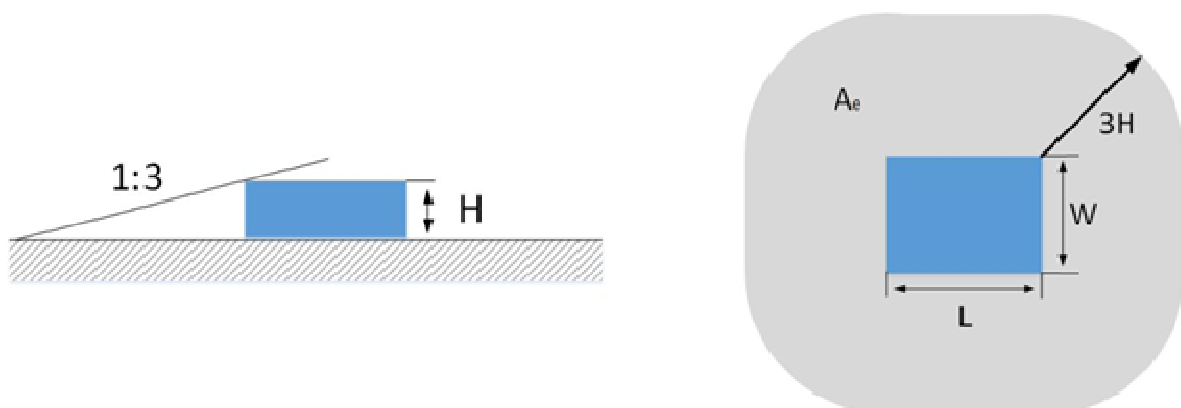
Όταν μια κατασκευή δεν είναι απομονωμένη τότε η συλλεκτήρια επιφάνεια μειώνεται κατά το εμβαδόν $X_s = \frac{d+3(H_s-H)}{2}$ για γειτνιάζοντα κτίρια απόστασης μικρότερης του $3(dH + H_s)$

Όπου

d: απόσταση κτιρίων

H: ύψος κτιρίου

H_s : ύψος γειτονικού κτιρίου



Εικόνα 3.1 Υπολογισμός της ισοδύναμης συλλεκτήριας επιφάνειας A_e απομονωμένης κατασκευής (α) πλάγια όψη και (β) κάτοψη Πηγή: [15] IEC 62305-2 2006, “Protection against lightning – Part 2: Risk management, Assessment of annual number N of dangerous events”.

Για τον σωστό υπολογισμό της ισοδύναμης συλλεκτήριας επιφάνειας λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω προτάσεις :

- i. Όταν η ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια μιας κατασκευής καλύπτει πλήρως την επιφάνεια της άλλης τότε η δεύτερη δεν λαμβάνεται υπόψη.
- ii. Όταν οι ισοδύναμες συλλεκτήριες επιφάνειες διαφόρων κατασκευών αλληλοκαλύπτονται τότε οι κοινές επιφάνειες υπολογίζονται μόνο μια φορά.
- iii. Για τον υπολογισμό λαμβάνονται υπόψη μόνο τα αντικείμενα με διαρκή και επαρκή αντοχή σε κεραυνικά πλήγματα.
- iv. Η ελάχιστη τιμή της ισοδύναμης συλλεκτήριας επιφάνειας δε μπορεί να είναι μικρότερη από το εμβαδόν κάτοψης της κατασκευής.

3.3 ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΖΗΜΙΩΝ ΑΠΟ ΚΕΡΑΥΝΙΚΑ ΠΛΗΓΜΑΤΑ ΣΕ ΜΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ

Η αποδεκτή συχνότητα κεραυνικών πληγμάτων μιας κατασκευής N_c εκφράζει τη μέγιστη αποδεκτή τιμή άμεσων κεραυνικών πληγμάτων που μπορούν να προκαλέσουν ζημιά ανά έτος. Οι τιμές του N_c μπορούν να καθορίζονται μέσω ανάλυσης κινδύνου ζημιών λαμβάνοντας υπόψη κατάλληλους συντελεστές όπως

- Τύπος δόμησης
- Η παρουσία εύφλεκτων και εκρηκτικών ουσιών
- Ληφθέντα μέτρα για μείωση των επιπτώσεων του πλήγματος
- Πλήθος ανθρώπων που επηρεάζονται από την ζημιά
- Τύπος και σπουδαιότητα υπηρεσιών εξυπηρέτησης του κοινού
- Αξία των αγαθών που έχουν ενδεχομένως καταστραφεί

Η τιμή της N_c καθορίζεται από τον ιδιοκτήτη ή τον μελετητή του ΣΑΠ όταν πρόκειται για ιδιωτική κατασκευή, ενώ για την περίπτωση που υπάρχει κίνδυνος ανθρωπίνων πολιτιστικών και κοινωνικών απωλειών καθορίζεται από εθνικές επιτροπές ή τοπικούς κανονισμούς. Με βάση τα παραπάνω ο ΕΛΟΤ έχει συντάξει τον παρακάτω πίνακα (3.4) ταξινόμησης των κατασκευών συναρτήσει των πιθανών ζημιών από άμεσα κεραυνικά πλήγματα.

ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	ΤΥΠΟΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΚΕΡΑΥΝΩΝ	N_c
ΚΟΙΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	Κατοικίες	Καταστροφή των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, πυρκαγιά και βλάβες υλικών. Ζημιές περιορισμένες στα αντικείμενα που βρίσκονται στο σημείο του πλήγματος ή του δρόμου του κεραυνού.	5.10^{-3}
	Αγροκτήματα	Πρωταρχικός κίνδυνος πυρκαγιάς και επικίνδυνες θηματικές τάσεις. Δευτερευόν κίνδυνος λόγω διακοπής ηλεκτρικού ρεύματος και κίνδυνος της ζωής των ζώων λόγω απώλειας του ηλεκτρονικού ελέγχου, εξαερισμού, συστήματος τροφοδοσίας κλπ.	1.10^{-3}
	Θέατρο-Σχολείο-Κατάστημα-Γυμναστήριο	Βλάβη στην ηλεκτρική τροφοδότηση και ενδεχόμενη αιτία πανικού. Απώλεια της σήμανσης πυρκαγιάς με καθυστερημένη αντίδραση	5.10^{-4}
	Τράπεζα-Εμπορική ή ασφαλιστική εταιρία-Νοσοκομείο-Φυσιοθεραπευτήριο-Φυλάκεις.	Όπως πιο πάνω και επαπλέον προβλήματα από την απώλεια επικοινωνίας αστοχία υπολογιστών και απώλεια δεδομένων. Όπως πιο πάνω και επαπλέον προβλήματα εντατικής φροντίδας και δυσκολίας ακίνητων ασθενών.	5.10^{-4}
	Βιομηχανικά Σηλκροτήματα Μουσεία και αρχαιολογικοί χώροι.	Επιπρόσθετα αποτελέσματα εξαρτώμενα από τα περιεχόμενα στις βιομηχανίες, μεταβάλλοντας τις βλάβες σε μη αποδεκτές ή απώλεια παραγωγής. Απώλεια της αναγκαίας πολιτιστικής κληρονομιάς.	1.10^{-4}
Κατασκευές με περιορισμένους κινδύνους	Τηλεπικοινωνίες-εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής ή με κίνδυνο πυρκαγιάς	Μη αποδεκτή απώλεια εξυπηρέτησης του πληθυσμού για μικρή ή μεγάλη χρονική περίοδο. Συνεπακόλουθοι κίνδυνοι στο γειτονικό περιβάλλον προκαλούμενοι από πυρκαγιά κλπ.	5.10^{-5}
Κατασκευές επικίνδυνες για το γειτονικό περιβάλλον	Διυλιστήρια-αποθήκες καυσίμων, εργοστάσια πυροτεχνημάτων, πολεμοφοδίων.	Συνεπακόλουθη πυρκαγιά και έκρηξη στο εργοστάσιο και τον περιβάλλοντα χώρο.	1.10^{-6}
Κατασκευές επικίνδυνες για το περιβάλλον	Χημικά ή Πυρηνικά Εργοστάσια, Βιοχημικά εργοστάσια ή εργοστάσια	Πυρκαγιά και ανεξέλεγκτη λειτουργία του εργοστασίου με διαδερές συνέπειες στο τοπικό και γενικό περιβάλλον.	1.10^{-7}

Πίνακας 3.4 Ενδεικτικές τιμές του N_c για κάποιες κατασκευές Πηγή: ΕΛΟΤ 1197-Ε2:2002. Προστασία κατασκευών από κεραυνούς.

3.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΟΥ ΣΑΠ

Η επιλογή της αναγκαιότητας ή όχι ενός ΣΑΠ αλλά και της στάθμης προστασίας του όταν η ύπαρξη του κρίνεται αναγκαία, γίνεται σύγκριση της συχνότητας άμεσων κεραυνικών πλήγμάτων N_d με την αποδεκτή συχνότητα ζημιών από κεραυνικά πλήγματα N_c .

Συγκεκριμένα ισχύει :

Αν $N_d \leq N_c$ τότε δεν είναι αναγκαίο το ΣΑΠ

Αν $N_d > N_c$ τότε κρίνεται αναγκαία η εγκατάσταση ΣΑΠ το οποίο έχει αποτελεσματικότητα $E \geq 1 - N_c/N_d$ και να επιλεγεί η κατάλληλη στάθμη προστασίας,

σύμφωνα με τον πίνακα 3.1

Περαιτέρω, για την εκτίμηση του N_c μπορούν να χρησιμοποιηθούν η τεχνική οδηγία IEC/TS 61662:1995 ή εναλλακτικά οι Βρετανικοί Κανονισμοί BS 6651:1992. Σύμφωνα με τους τελευταίους, υπολογίζεται ο συντελεστής K , ως γινόμενο πέντε συντελεστών οι οποίοι επιλέγονται από τον πίνακα 3.5 και λαμβάνουν υπόψη:

$$K = A \times B \times C \times D \times E$$

- τη χρήση του κτιρίου και τον αριθμό των ανθρώπων που στεγάζει (συντελεστής A),
- τα υλικά κατασκευής του κτιρίου (συντελεστής B),
- το περιεχόμενο του κτιρίου (συντελεστής C),
- το βαθμό απομόνωσης του κτιρίου (συντελεστής D) και,
- τη μορφολογία του εδάφους (συντελεστής E).

Συντελεστής A είδος κτιρίου και αριθμός ανθρώπων που στεγάζει	
κατοικίες και άλλες κατασκευές συγκρίσιμου μεγέθους	0,3
κατοικίες και άλλες κατασκευές συγκρίσιμου μεγέθους με κεραίες	0,7
εργοστάσια, συνεργεία, εργαστήρια	1,0
κτίρια γραφείων, ξενοδοχεία, πολυκατοικίες	1,2
κτίρια με κόσμο όπως εκκλησίες, θέατρα, μουσεία, εκθεσιακοί χώροι, πολυκαταστήματα, σταθμοί, αεροδρόμια και στάδια	1,3

Συντελεστής B: Υλικά κατασκευής του κτιρίου

Συντελεστής B	
κτίρια χαλύβδινου σκελετού ή οπλισμένου σκυροδέματος ενδοσυνδεδεμένου χαλύβδινου οπλισμού και με μεταλλική σκεπή	0.1
κτίρια χαλύβδινου σκελετού χωρίς μεταλλική σκεπή	0.2
κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος ενδοσυνδεδεμένου χαλύβδινου οπλισμού χωρίς μεταλλική σκεπή	0.4
κτίρια από τούβλα, απλό τσιμέντο, πέτρα χωρίς μεταλλική ή ξύλινη σκεπή	1.0
κτίρια ξύλινου σκελετού χωρίς μεταλλική σκεπή	1.4
κτίρια από τούβλα, τσιμέντο, πέτρα, ξύλινου σκελετού με μεταλλική σκεπή	1.7

κτίρια με ξύλινη σκεπή	2.0
------------------------	-----

Συντελεστής C: Περιεχόμενο του κτιρίου

Συντελεστής C	
κοινές κατοικίες ή κτίρια γραφείων, εργοστάσια και συνεργεία με περιεχόμενο μικρής αξίας ή μη επιρρεπές και ευαίσθητο	0.3
Βιομηχανικά και αγροτικά κτίρια με επιρρεπές, ευαίσθητο περιεχόμενο	0.8
σταθμοί παραγωγής ενέργειας, εγκαταστάσεις φυσικού αερίου, τηλεπικοινωνιακά κέντρα, ραδιοφωνικοί σταθμοί	1.0
βιομηχανικές εγκαταστάσεις ιδιαίτερης σημασίας, αρχαία μνημεία και ιστορικά κτίρια, μουσεία, εκθεσιακοί χώροι τέχνης ή άλλα κτίρια με επιρρεπές, ευαίσθητο περιεχόμενο	1.3
σχολεία, νοσοκομεία, φυλακές, οικοτροφεία, κτίρια με κόσμο	1.7

Συντελεστής D: Βαθμός απομόνωσης του κτιρίου

Συντελεστής D	
κατασκευή σε περιοχή πυκνής δόμησης ή με πολλά δέντρα παρόμοιου ή μεγαλύτερου ύψους όπως σε μεγάλη πόλη ή σε δάσος.	0.4
κατασκευή σε περιοχή αραιής δόμησης ή με λίγα δέντρα παρόμοιου ύψους	1.0
κατασκευή πλήρως απομονωμένη ή ύψους τουλάχιστον διπλάσιου των γειτονικών κατασκευών ή δέντρων	2.0

--	--

Συντελεστής E:Μορφολογία του εδάφους

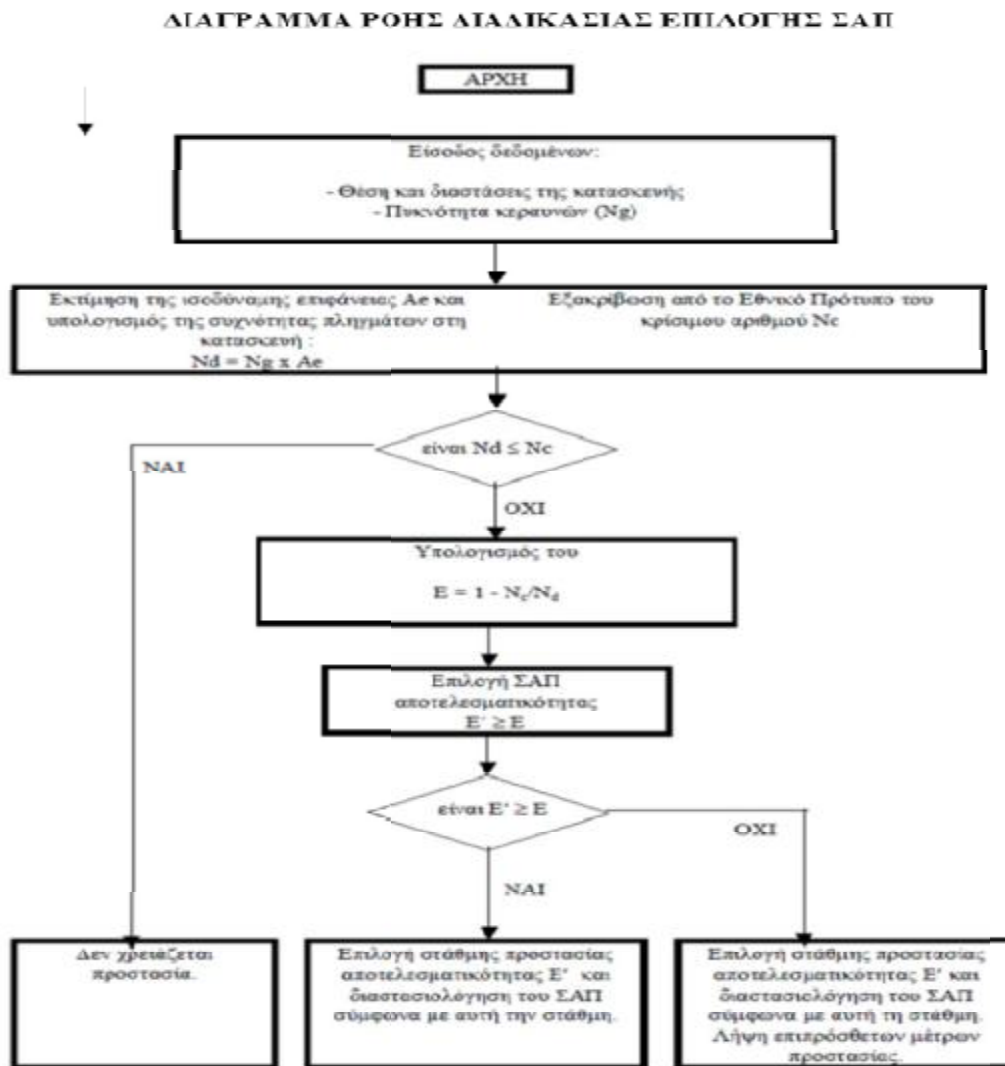
Συντελεστής E	
πεδινή περιοχή ανεξάρτητα του υψομέτρου	0.3
λοφώδης περιοχή	1.0
ορεινή περιοχή μεταξύ 300 m και 900 m	1.3
ορεινή περιοχή μεταξύ 900 m και 1500 m	1.7
ορεινή περιοχή 1500 m και άνω	2.0

Έτσι

$$K = A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E$$

Πίνακας 3.5 Υπολογισμός συντελεστή K για την πρόβλεψη του Nc. Πηγή: Βρετανικοί Κανονισμοί BS 6651:1992

Στο διάγραμμα που ακολουθεί (3.1) παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής επιλογής της κατάλληλης στάθμης προστασίας για μια κατασκευή.



Σχήμα 3.8: Διάγραμμα ροής διαδικασίας επιλογής ΣΑΠ[7].

Διάγραμμα 3.1: Διάγραμμα ροής επιλογής ΣΑΠ Πηγή : ΕΛΟΤ 1197-E2:2002. Προστασία κατασκευών από κερανούς. Ανεκτημένο από Φλωράτος Π.,Γ. «Εφαρμογή ακίδων Franklin στην Αντικεραυνική προστασία γέφυρας Ριου-Αντριου.»

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (ΣΑΠ)

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά τον σχεδιασμό ενός συστήματος προστασίας πρέπει αρχικά να αποφασιστεί αν το ΣΑΠ θα προστατεύει μόνο από καταστροφή ή και από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές των συσκευών. Επειδή τα κεραυνικά πλήγματα είναι σχετικά σπάνια φαινόμενα, κύριο αντικείμενο της αντικεραυνικής προστασίας είναι η προστασία από καταστροφή, ενώ γίνονται αποδεκτές μικρές διακυμάνσεις του σήματος των συσκευών εγκαταστάσεων χαμηλής ισχύος και τηλεπικοινωνιακών κέντρων. Ένα ΣΑΠ χωρίζεται σε εσωτερικό και εξωτερικό. Επειδή όλες οι περιοχές μιας κατασκευής δεν χρήζουν της ίδιας αντικεραυνικής προστασίας, ορίζονται οι ζώνες αντικεραυνικής προστασίας και βάση αυτών σχεδιάζεται η εξωτερική και εσωτερική ΣΑΠ.

4.2 ΖΩΝΕΣ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (ΖΑΠ)

Η επιφάνεια της κατασκευής που θα προστατευτεί από ένα ΣΑΠ μπορεί να χωριστεί σε ζώνες αντικεραυνικής προστασίας έτσι ώστε να περιοριστούν οι κεραυνικές επιπτώσεις στο μέγιστο. Οι ζώνες αντικεραυνικής προστασίας οριοθετούνται από σημαντικές αλλαγές των ηλεκτρομαγνητικών συνθηκών και αποτελούν περιοχές αυξανόμενης απαίτησης ηλεκτρομαγνητικής προστασίας, από το εξωτερικό της κατασκευής που υπάρχει κίνδυνος άμεσου πλήγματος προς το εσωτερικό που υπάρχουν οι εσωτερικές συσκευές. Κατά τον σχεδιασμό ενός ΣΑΠ έναντι ηλεκτρομαγνητικών κρούσεων οριοθετούνται οι παρακάτω ΖΑΠ:

Οι ζώνες αντικεραυνικής προστασίας διακρίνονται ως εξής :

ΖΑΠ 0Α: Ζώνη που περιέχει στοιχεία της κατασκευής εκτεθειμένα σε άμεσο κεραυνικό πλήγμα, οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του κεραυνού είναι μη περιορισμένες.

ΖΑΠ 0Β: Ζώνη που περιέχει στοιχεία της κατασκευής μη εκτεθειμένα σε άμεσο κεραυνικό πλήγμα, οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του κεραυνού είναι μη περιορισμένες.

ΖΑΠ 1: Ζώνη που περιέχει στοιχεία της κατασκευής μη εκτεθειμένα σε άμεσο κεραυνικό πλήγμα και όπου το τμήμα του ρεύματος του κεραυνού που μπορεί να τα διαρρεύσει είναι περιορισμένο σε σχέση με τη ΖΑΠ 0Β. Στη ζώνη αυτή οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του κεραυνού μπορούν να περιοριστούν ανάλογα με τα μέτρα θωράκισης που λαμβάνονται.

Ακόλουθες ζώνες (ΖΑΠ 2, κ.ο.κ.):

Ζώνες όπου απαιτείται περαιτέρω μείωση του τμήματος του ρεύματος του κεραυνού καθώς και περαιτέρω εξασθένιση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου σε σχέση με την αμέσως προηγούμενη ΖΑΠ.[6]

Στα όρια στο εσωτερικό των ΣΑΠ πρέπει να γίνονται ισοδύναμες συνδέσεις οι οποίες θα αναλυθούν στην υποενότητα 4.4.1

4.3 ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (ΕΑΠ)

Η εξωτερική ΕΑΠ έχει κύριο λόγο τη σύλληψη του κεραυνού πριν αυτός πλήξει την υπό προστασία κατασκευή, τη διοχέτευση του ρεύματος του κεραυνού από το σημείο πλήγματος στη γη ώστε να μην προκαλούνται θερμικές ή μηχανικές ζημιές στην κατασκευή αλλά και επικίνδυνες υπερτάσεις για τους ανθρώπους και τα υλικά. Η εξωτερική ΕΑΠ αποτελείται από :

- Το συλλεκτήριο σύστημα
- Το σύστημα αγωγών καθόδων
- Το σύστημα γείωσης

Είναι δυνατό η εξωτερική ΕΑΠ να διακριθεί σε δύο επιμέρους κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο εγκατάστασης του συλλεκτήριου συστήματος και του συστήματος των αγωγών καθόδου σε σχέση με την κατασκευή. Έτσι, η εξωτερική ΕΑΠ διακρίνεται σε:

- Μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ, όπου το συλλεκτήριο σύστημα και οι αγωγοί καθόδου είναι τοποθετημένα ώστε το κεραυνικό ρεύμα να μην έρχεται σε επαφή με την κατασκευή. Αυτός ο τύπος εξωτερικής ΕΑΠ χρησιμοποιείται όταν οι θερμικές επιπτώσεις του κεραυνού μπορούν να προκαλέσουν ζημιές στην κατασκευή ή το περιεχόμενό τους, όπως κατασκευές με εύφλεκτη επικάλυψη, εύφλεκτους τοίχους ή χώρους με κίνδυνο έκρηξης ή πυρκαγιάς.
- Μη μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ, όπου το συλλεκτήριο σύστημα και οι αγωγοί καθόδου είναι τοποθετημένα έτσι ώστε η οδός ροής του ρεύματος να δύναται να έρχεται σε επαφή με την κατασκευή. Αυτός ο τύπος εξωτερικής ΕΑΠ είναι ο συνηθέστερος σε ένα ΣΑΠ.

4.3.1 Συλλεκτήριο Σύστημα

Το συλλεκτήριο σύστημα είναι το τμήμα αυτό της εξωτερικής ΕΑΠ το οποίο προορίζεται να δέχεται τα κεραυνικά πλήγματα. Η σχεδίαση του συστήματος, εξαρτάται από την γεωμετρία της υπό προστασίας κατασκευής, το μέγεθος της αλλά και τη στάθμη προστασίας της κατασκευής. Το συλλεκτήριο σύστημα μπορεί να αποτελείται από οποιοδήποτε συνδυασμό ράβδων, τεταμένων συρμάτων ή πλεγμάτων αγωγών και είναι αυτό που θα καθορίσει την σχεδίαση του υπόλοιπου εξωτερικού και εσωτερικού συστήματος προστασίας.

Το συλλεκτήριο σύστημα μπορεί να αποτελείται από οποιονδήποτε συνδυασμό των παρακάτω στοιχείων [9]

1. Ράβδοι : Η τοποθέτησή τους γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχουν προστασία υπό μία γωνία η οποία εξαρτάται από την υψομετρική διαφορά μεταξύ αυτών και της υπό προστασία επιφάνειας και της στάθμης προστασίας.
2. Τεταμένα σύρματα : Ισχύουν ανάλογα με τα των μεταλλικών ράβδων
3. Πλέγμα αγωγών : Πλέγμα, από αγωγούς συνήθως κυκλικής διατομής, οι οποίοι τοποθετούνται επί του δώματος ή επί της στέγης.

Στον πίνακα 4.1 που ακολουθεί δίδεται η διαστασιολόγηση των αγωγών που χρησιμοποιούνται στο συλλεκτήριο σύστημα (έχει τυποποιηθεί προς διευκόλυνση της εγκατάστασης) και ταυτόχρονα προτείνεται για κάθε περιβάλλον το κατάλληλο υλικό.

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	ΥΛΙΚΟ ΑΓΩΓΩΝ	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΓΩΓΩΝ
Ρυπογόνο Παραθαλάσσιο	Χαλκός (Cu)	Μονόκλωνος Φ8mm
		Πολύκλωνος 50mm ²
Ηπειρωτικά	Χάλυβας επιψευδαργυρωμένος (St/tZn)	Φ8mm
		Φ10mm
	Κράμα Αλουμινίου(AlMgSi) Κράμα Αλουμινίου(ALMgSi)	Φ8mm
		Φ9mm

Πίνακας 4.1: Υλικό και διάσταση αγωγών ανάλογα με το περιβάλλον. Πηγή : ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (ΣΑΠ)
<http://www.elemko.gr/documents/sap.asp>

Ο αγωγός χαλκού έχει εφαρμογή σε όλες τις εγκαταστάσεις αντικεραυνικής προστασίας παρέχοντας μεγαλύτερη μακροζωία στο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας.

Το υλικό, η μορφή και η ελάχιστη διατομή των αγωγών του συλλεκτηρίου συστήματος επιλέγονται με βάση τον Πίνακα 4.2 που ακολουθεί και υπακούει στα ισχύοντα διεθνή πρότυπα.

Υλικό	Μορφή	Ελάχιστη διατομή	Σημειώσεις
Χαλκός	Ταινία	50 mm ²	ελάχιστο πάχος 2 mm
	Στρογγυλός	50 mm ²	διαμέτρου Φ8 mm

	Πολύκλωνος	50mm ²	ελάχιστη διάμετρος συρματιδίου
			1,7 mm
	Στρογγυλός	176 mm ²	διαμέτρου Φ16 mm
	Ταινία	70 mm ²	ελάχιστο πάχος 3 mm
Αλουμίνιο	Στρογγυλός	50 mm ²	διαμέτρου Φ8 mm
	Πολύκλωνος	50 mm ²	ελάχιστη διάμετρος συρματιδίου
			1,7 mm
	Ταινία	50 mm ²	ελάχιστο πάχος 2,5 mm
	Στρογγυλός	50 mm ²	διαμέτρου Φ8 mm
Κράμα Αλουμινίου	Πολύκλωνος	50 mm ²	ελάχιστη διάμετρος συρματιδίου
			1,7 mm
	Στρογγυλός	176 mm ²	διαμέτρου Φ16 mm
	Ταινία	50 mm ²	ελάχιστο πάχος 2,5 mm
Χάλυβας θερμά	Στρογγυλός	50 mm ²	διαμέτρου Φ8 mm
			ελάχιστη διάμετρος συρματιδίου
επιψευδαργυρωμένος	Πολύκλωνος	50 mm ²	1,7 mm
	Στρογγυλός	176 mm ²	διαμέτρου Φ16 mm
Χαλκός	Ταινία	50 mm ²	ελάχιστο πάχος 2 mm
επικασσιτερωμένος	Στρογγυλός	50 mm ²	διαμέτρου Φ8 mm
	Ταινία	50 mm ²	ελάχιστο πάχος 2 mm
	Στρογγυλός	50 mm ²	διαμέτρου Φ8 mm
Ανοξείδωτος Χάλυβας	Πολύκλωνος	70 mm ²	ελάχιστη διάμετρος συρματιδίου
			1,7 mm
	Στρογγυλός	176 mm ²	διαμέτρου Φ16 mm

Πίνακας 4.2 Υλικό, μορφή και ελάχιστη διατομή των αγωγών του συλλεκτηρίου συστήματος. Πηγή : πρότυπο EN 62305-3 Αντικεραυνική προστασία - Μέρος 3: Φυσική βλάβη σε δομές και κίνδυνος για τη ζωή.

Η στήριξη των αγωγών γίνεται με κατάλληλα στηρίγματα ανάλογα με το είδος της στέγης, και οπωσδήποτε σε κάθε αλλαγή κατευθύνσεως του αγωγού, ένα προ της αλλαγής και ένα μετά ανά:

- 1 m για τους μονόκλωνους αγωγούς με ελάχιστη διάμετρο 8 mm,
- 50 cm για τους μονόκλωνους αγωγούς με ελάχιστη διάμετρο 6 mm και
- 30 cm για τους πολύκλωνους αγωγούς.

Τα στηρίγματα επιλέγονται έτσι ώστε να προσαρμόζονται σε κάθε επιφάνεια όπως για παράδειγμα σε μονωμένη τοιχοποιία, κεραμίδια, μεταλλική στέγη, μονωμένο δώμα κ.α, έτσι ώστε να μην προκαλούν φθορές ή αλλοιώσεις. Τα στηρίγματα που τοποθετούνται σε μονωμένο δώμα είναι κατασκευασμένα από υλικό ανθεκτικό στην ηλιακή ακτινοβολία και στον παγετό και θα πληρώνονται εργοστασιακά με σκυρόδεμα υψηλής αντοχής σε παγετό. Κατά την τοποθέτησή τους στο δώμα, αποφεύγεται η διάτρηση της μόνωσης. Εάν αυτό είναι αναπόφευκτο, τότε λαμβάνονται μέτρα για την αποκατάσταση της στεγανότητας στο σημείο όπου τοποθετήθηκε το στηρίγμα. Τα στηρίγματα επιλέγονται να είναι από το ίδιο υλικό με εκείνο των αγωγών του συλλεκτηρίου συστήματος για την αποφυγή ηλεκτροχημικής διάβρωσης (γαλβανικών φαινομένων). Εάν δεν είναι δυνατή η χρήση ιδίου υλικού, τότε παρεμβάλλεται διμεταλλικό εξάρτημα μεταξύ των δύο ανόμοιων υλικών ή χρησιμοποιείται εξάρτημα από υλικό συμβατό με αμφότερα τα υλικά (π.χ. ανοξείδωτα ή πλαστικά παρεμβύσματα κ.λπ.).

Υλικό αγωγού συλλεκτηρίου συστήματος	Υλικό στηρίγματος αγωγού
Χαλκός	Χάλκινο, χάλκινο επικασσιτερωμένο, πλαστικό, ανοξείδωτο
Χαλκός επικασσιτερωμένος	Χάλκινο, χάλκινο επικασσιτερωμένο, πλαστικό, ανοξείδωτο
Χάλυβας θερμά επιψευδαργυρωμένος	Χαλύβδινο θερμά επιψευδαργυρωμένο, ανοξείδωτο, πλαστικό
Αλουμίνιο	Χαλύβδινο θερμά επιψευδαργυρωμένο, ανοξείδωτο, πλαστικό
Ανοξείδωτος χάλυβας	Χαλύβδινο θερμά επιψευδαργυρωμένο, ανοξείδωτο, πλαστικό, χάλκινο

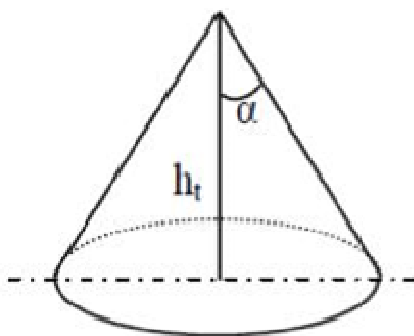
Πίνακας 4.3. Υλικά στηρίγματος αγωγών συλλεκτηρίου συστήματος. Πηγή: ΕΠ.ΕΤΕΠ 04-50-01-00 Σύστημα Σύλληψης Κερανού.

4.3.1.1 Ζώνη προστασίας συλλεκτηρίου συστήματος ΖΑΠ

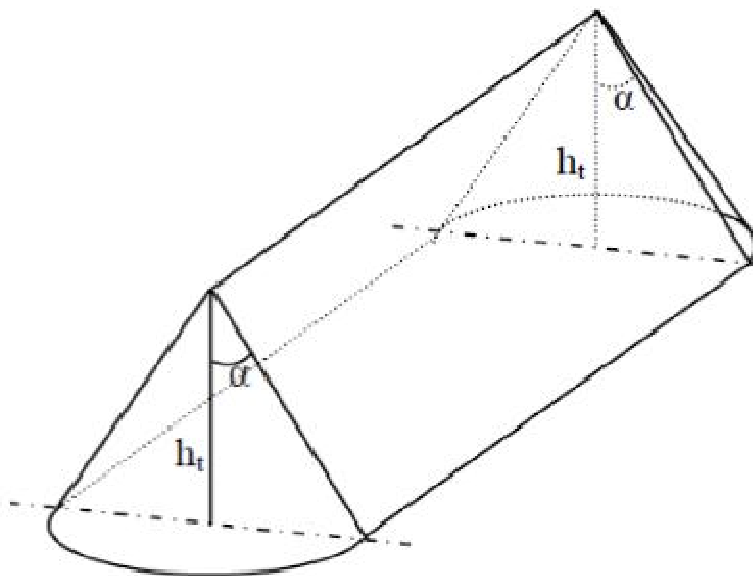
Για τον προσδιορισμό της ζώνης προστασίας που παρέχει το συλλεκτήριο σύστημα ενός ΣΑΠ χρησιμοποιούνται γενικώς δύο μέθοδοι: η μέθοδος της γωνίας προστασίας και η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας. Για τα περισσότερα απλής μορφής κτίρια, η μέθοδος της γωνίας προστασίας είναι πιο εύχρηστη, αλλά για σύνθετες μορφές, χρησιμοποιείται η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας. Στην περίπτωση που πρέπει να προστατευθούν επίπεδες επιφάνειες τότε χρησιμοποιείται μία τρίτη μέθοδος, αυτή του πλέγματος αγωγών.

- Μέθοδος της γωνίας προστασίας

Σύμφωνα με τη μέθοδο της γωνίας προστασίας, η οποία είναι και η πιο απλή μέθοδος, η ζώνη προστασίας μιας κατακόρυφης ράβδου ύψους h_t έχει τη μορφή ενός ορθού κυκλικού κώνου με κορυφή την απόληξη της ράβδου. Παραδείγματα σχεδίασης ζώνης προστασίας συλλεκτήριου συστήματος μιας κατακόρυφου ράβδου και τεταμένου σύρματος δίνονται στις εικόνες 4.1 και 4.2. Στο δεύτερο παράδειγμα ο όγκος προστασίας ορίζεται από τη σύνθεση των όγκων προστασίας των κατακόρυφων ράβδων οι οποίες έχουν για κορυφές τα σημεία του σύρματος [6]



Εικόνα 4.1 Όγκος προστασίας συλλεκτήριου συστήματος μιας κατακόρυφης ράβδου. Πηγή : ΕΛΟΤ 1197-E2:2002. Προστασία κατασκευών από κεραυνούς



Εικόνα 4.2 Όγκος προστασίας συλλεκτήριου συστήματος ενός τεταμένου σύρματος. Πηγή : ΕΛΟΤ 1197-E2:2002. Προστασία κατασκευών από κεραυνούς

Η ημιγωνία κορυφής α του κώνου προστασίας λαμβάνει τιμές σύμφωνα με τον Πίνακα 4.2 και εξαρτάται από την απαιτούμενη στάθμη προστασίας και το ύψος h πάνω από την επιφάνεια που χρήζει προστασίας. Ανάλογα με τη γεωμετρία της κατασκευής, το ύψος h μπορεί να είναι ίσο με το φυσικό μήκος της κατακόρυφης ράβδου (ή το ύψος τοποθέτησης

του τεταμένου σύρματος) ή ίσο με το άθροισμα του προηγούμενου και του ύψους της κατασκευής . Εμπειρικά, εάν D είναι το πλάτος της υπό προστασίας κατασκευής (υποθέτοντας ότι είναι μικρότερο από το μήκος της) και H το ύψος της τότε:

$$h = H + h_t \text{ εάν } D < 2 \cdot h_t \text{ και } h = h_t \text{ εάν } D > 2 \cdot h_t .$$

Η μέθοδος της γωνίας προστασίας προτιμάται για τον προσδιορισμό της ζώνης προστασίας σε κατασκευές απλής σχετικά γεωμετρίας και δεν επιτρέπεται να εφαρμόζεται εάν το ύψος h είναι μεγαλύτερο από την ακτίνα της κυλιόμενης σφαίρας.

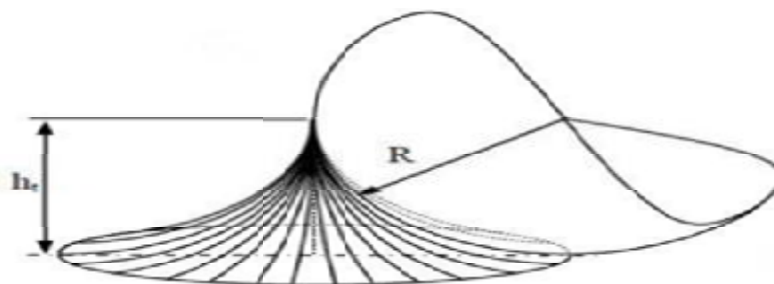
Στάθμη Προστασίας	h(m) R(m)	20	30	45	60	Απόσταση Πλέγματος (m)
		$\alpha^{(0)}$	$A^{(0)}$	$\alpha^{(0)}$	$\alpha^{(0)}$	
I	20	25	*	*	*	5
II	30	35	25	*	*	10
III	45	45	35	25	*	10
IV	60	55	45	35	25	20

* Σ' αυτές τις περιπτώσεις εφαρμόζονται οι μέθοδοι της κυλιόμενης σφαίρας και αλγεbras πλεγμάτων

Πίνακας 4.4: Γωνία προστασίας $\alpha^{(0)}$, ακτίνα κυλιόμενης σφαίρας $R(m)$ και διαστάσεις πλέγματος αγωγών ανάλογα με τη στάθμη προστασίας. Πηγή: ΕΛΟΤ 1197-E2:2002. Προστασία κατασκευών από κεραυνούς

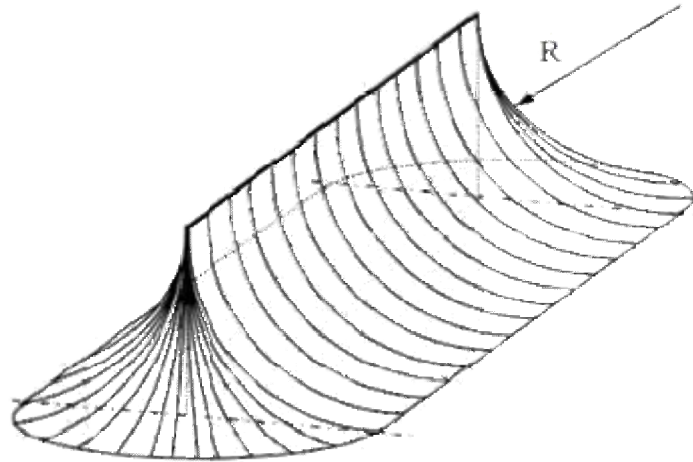
- Μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, ο σχεδιασμός του συλλεκτήριου συστήματος είναι κατάλληλος εάν κανένα σημείο της κατασκευής που χρήζει προστασίας δεν έρχεται σε επαφή με μία σφαίρα ακτίνας R , εξαρτώμενης από τη στάθμη προστασίας, που κυλιέται στο έδαφος, γύρω και στην κορυφή της κατασκευής προς όλες τις διευθύνσεις. Κατά την κύλιση της, η σφαίρα πρέπει να εφάπτεται μόνο στο έδαφος ή μόνο στο συλλεκτήριο σύστημα ή και στα δύο, και τα σημεία που αυτή δεν αγγίζει είναι προστατευμένα. Επομένως, συλλεκτήριοι αγωγοί πρέπει να εγκαθίστανται σε όλα τα σημεία επαφής της κυλιόμενης σφαίρας με την κατασκευή που χρήζει προστασίας. Στο σχήμα 5.3 εάν ο κεραυνός φθάσει εντός της περιοχής γύρω από τη ράβδο που οροθετείται από την διακεκομμένη γραμμή τότε θα καταλήξει σε αυτή.



Εικόνα 4.3 Όγκος προστασίας συλλεκτήριου συστήματος μιας κατακόρυφης ράβδου. Πηγή: Σαρρής Μιχαήλ, “Αντικεραυνική προστασία υπερτάσεων”, Διπλωματική εργασία

Παραδείγματα σχεδίασης ζώνης προστασίας συλλεκτήριου συστήματος με τη μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας δίνονται στις εικόνες 4.3 και 4.4, όπου είναι $R > ht$. Ως επιφάνεια αναφοράς για την κύλιση της σφαίρας θεωρείται το επίπεδο που διέρχεται από την επιφάνεια υπό προστασία π.χ. σκεπή, οροφή, έδαφος.



Εικόνα 4.4 Όγκος προστασίας συλλεκτήριου συστήματος ενός τεταμένου σύρματος. Πηγή: Σαρρής Μιχαήλ, “Αντικεραυνική προστασία υπερτάσεων”, Διπλωματική εργασία.

Στην περίπτωση συλλεκτήριου συστήματος δύο παράλληλων τεταμένων συρμάτων εγκατεστημένων σε ύψος h_t πάνω από την επιφάνεια αναφοράς και σε απόσταση d μεταξύ τους, ή δύο κατακόρυφων ράβδων ύψους h_t κατ’ αναλογία (εικόνα 4.5), η απόσταση εισχώρησης της κυλιόμενης σφαίρας ακτίνας R εντός του χώρου μεταξύ των συρμάτων ή των ράβδων μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

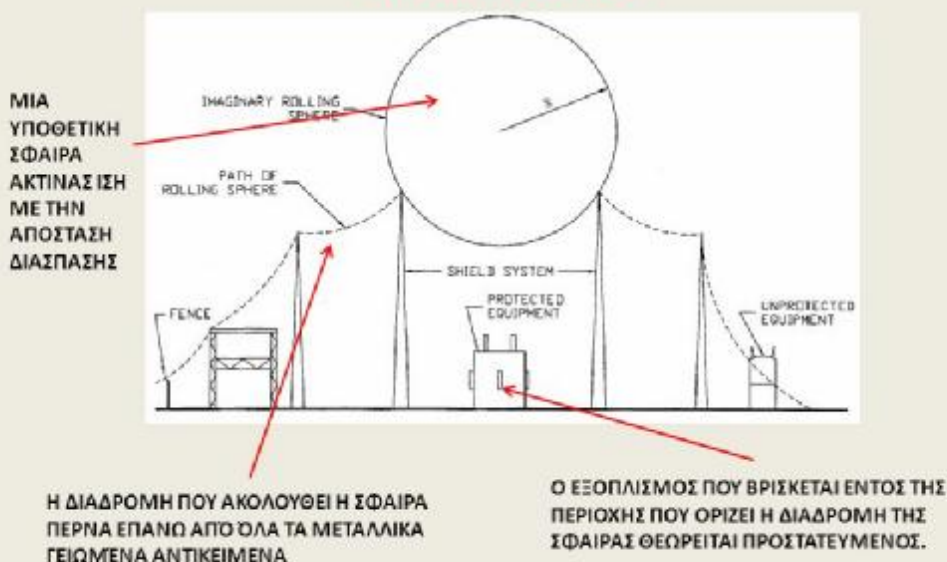
$$p = R - \sqrt{R^2 - (d/2)^2}$$

Εφόσον απαιτείται προστασία όλου του χώρου μεταξύ των διατάξεων σύλληψης του κεραυνού η απόσταση εισχώρησης της κυλιόμενης σφαίρας πρέπει να είναι μικρότερη από το ύψος h_t . Η παραπάνω σχέση ισχύει και στην περίπτωση τεσσάρων κατακόρυφων ράβδων ίσου ύψους τοποθετημένες στις γωνίες μιας τετράγωνης επιφάνειας όπου η απόσταση d είναι ίση με τη διαγώνιο του σχηματιζόμενου τετραγώνου από τις τέσσερις ράβδους.

Η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας εφαρμόζεται στον καθορισμό της ζώνης προστασίας τμημάτων ή και περιοχών μιας κατασκευής πολύπλοκης γεωμετρίας ή στις περιπτώσεις όπου ο Πίνακας 4.3 αποκλείει την εφαρμογή της μεθόδου γωνίας προστασίας. Η παρεχόμενη προστασία αλλά και το κόστος εγκατάστασης του ΣΑΠ αυξάνουν με τη μείωση της ακτίνας της κυλιόμενης σφαίρας.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΚΥΛΙΟΜΕΝΗΣ ΣΦΑΙΡΑΣ



Εικόνα 4.5. Προσδιορισμός της περιοχής προστασίας με την μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας. Πηγή : ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ... - E-Class eclass.teipat.gr/eclass/modules/document/file.php/487163/.../ΤΥΤ%208.ppt

- Μέθοδος πλέγματος αγωγών

Ένα αγώγιμο πλέγμα θεωρείται ότι εξασφαλίζει προστασία ολοκλήρης της επιφάνειας εάν ικανοποιούνται οι ακόλουθες συνθήκες σύμφωνα με τις οδηγίες του ΕΛΟΤ :

1. οι αγωγοί του συλλεκτήριου συστήματος τοποθετούνται πάνω στις ακμές της οροφής ή στις προεξοχές της οροφής ,ή στις γραμμές της τομής των κεκλιμένων επιφανειών της οροφής εφόσον η κλίση υπερβαίνει το 1/10.
2. οι πλευρικές επιφάνειες της κατασκευής σε ύψος μεγαλύτερο από την τιμή της επιλεγείσης ακτίνας της κυλιόμενης σφαίρας, εφοδιάζονται με συλλεκτήρια συστήματα.
3. οι διαστάσεις του πλέγματος δεν είναι μεγαλύτερες από τις τιμές που δίνονται στον Πίνακα 4.4.
4. καμία μεταλλική εγκατάσταση δεν προεξέχει του προστατευόμενου χώρου από τα συλλεκτήρια συστήματα

5. οι αγωγοί του συλλεκτήριου συστήματος ακολουθούν όσο το δυνατόν σύντομες και ευθείες οδεύσεις,
6. το δίκτυο του συλλεκτήριου συστήματος πρέπει να διαμορφώνεται με τέτοιο τρόπο ώστε το ρεύμα του κεραυνού να συναντά τουλάχιστον δύο χωριστές μεταλλικές οδεύσεις προς το σύστημα γείωσης (τουλάχιστον δύο αγωγοί καθόδου).

4.3.1.2 Επιλογή των στοιχείων του συλλεκτήριου συστήματος

Οι διεθνείς κανονισμοί δεν προτείνουν συγκεκριμένα κριτήρια για την επιλογή των στοιχείων που απαρτίζουν το συλλεκτήριο σύστημα. Οι ράβδοι, τα τεταμένα σύρματα και το πλέγμα αγωγών θεωρούνται στοιχεία ισοδύναμά μεταξύ τους. Ο σχεδιασμός του συλλεκτήριου συστήματος του ΣΑΠ, με μόνο οποιοδήποτε από τα παραπάνω στοιχεία ή από συνδυασμό τους, είναι κατάλληλος εάν η κατασκευή που χρήζει προστασίας κείται εξ' ολοκλήρου μέσα στη ζώνη προστασίας που αυτό παρέχει.

Γενικότερα, η χρήση ράβδων προτείνεται σε ΣΑΠ μονωμένης εξωτερικής ΕΑΠ και για την προστασία απλών κατασκευών μικρών διαστάσεων ή μικρών τμημάτων μεγάλων κατασκευών ενώ δεν προτείνεται όταν το ύψος της κατασκευής είναι μεγαλύτερο από την ακτίνα της κυλιόμενης σφαίρας σύμφωνα με την επιλεγείσα στάθμη προστασίας του ΣΑΠ (Πίνακας 4.4). Η χρήση τεταμένων συρμάτων προτείνεται και για τις προηγούμενες περιπτώσεις αλλά και επιπλέον σε κατασκευές όπου ο λόγος μήκους προς πλάτος είναι μεγάλος (> 4). Συλλεκτήρια συστήματα αποτελούμενα από πλέγμα αγωγών προτείνονται για κάθε κατασκευή, ανεξαρτήτου γεωμετρίας

4.3.1.3 Φυσικά συλλεκτήρια στοιχεία ΣΑΠ

Με τον όρο φυσικό στοιχείο ΣΑΠ ορίζεται ένα στοιχείο μη εγκατεστημένο ειδικά για αντικεραυνική προστασία, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιπρόσθετα και ως στοιχείο του ΣΑΠ, ή σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να λειτουργήσει ως ένα ή περισσότερα τμήματα του ΣΑΠ. Μεταλλικά τμήματα μιας κατασκευής που μπορούν να αποτελέσουν φυσικά συλλεκτήρια στοιχεία είναι:

- I. μεταλλικά φύλλα που καλύπτουν την κατασκευή υπό την προϋπόθεση ότι:
 - η ηλεκτρική συνέχεια μεταξύ των διαφόρων τμημάτων είναι στιβαρή π.χ. μπруντζοκόλληση, ηλεκτροσυγκόλληση, αναδίπλωση ή βίδωμά,
 - το πάχος των μεταλλικών φύλλων δεν είναι μικρότερο από την τιμή t που δίνεται στον Πίνακα 4.5, εάν είναι αναγκαίο να ληφθούν προφυλάξεις έναντι διάτρησης και τοπικής υπερθέρμανσης, ή μικρότερο από 0.5 mm εάν δεν είναι σημαντικό να αποτραπεί η διάτρηση των φύλλων επικάλυψης ή δεν υπάρχουν εύφλεκτα υλικά κάτω από τα φύλλα επικάλυψης,

- δεν έχουν επικάλυψη με μονωτικά υλικά, ελαφριά επικάλυψη προστατευτικής βαφής ή 1 mm ασφάλτου ή 0.5 mm PVC δε θεωρείται μόνωση,
 - μη μεταλλικά υλικά σε επαφή με ή πάνω από τα μεταλλικά φύλλα μπορούν να εξαιρεθούν από την απαιτούμενη ζώνη προστασίας.
- II. μεταλλικά στοιχεία της κατασκευής της οροφής (π.χ. στηρίγματα, ενδοσυνδεδεμένος χαλύβδινος οπλισμός) που βρίσκονται κάτω από μη μεταλλική οροφή υπό την προϋπόθεση ότι το υπερκείμενο τμήμα μπορεί να εξαιρεθεί από την κατασκευή που χρήζει προστασίας,
- III. μεταλλικά μέρη όπως υδρορροές, διακοσμητικά στοιχεία, κιγκλιδώματα κτλ, των οποίων η διατομή δεν είναι μικρότερη από αυτήν που καθορίζεται για τα τυποποιημένα στοιχεία του συλλεκτήριου συστήματος,
- IV. μεταλλικοί σωλήνες και δεξαμενές, υπό την προϋπόθεση ότι είναι κατασκευασμένα από υλικά ελαχίστου πάχους 2.5 mm και ότι δε θα προκληθεί κίνδυνος ή οποιαδήποτε ανεπιθύμητη κατάσταση εάν διατηρηθούν,
- V. μεταλλικοί σωλήνες και δεξαμενές γενικώς, υπό την προϋπόθεση ότι είναι κατασκευασμένα από υλικά πάχους τουλάχιστον ίσου με την τιμή t που δίνεται στον Πίνακα 5.2, και ότι η ανύψωση της θερμοκρασίας στην εσωτερική επιφάνεια στο σημείο πλήγματος δε συνεπάγεται κίνδυνο.

Στάθμη Προστασίας	Υλικό	Πάχος t (mm)
I έως IV	Fe	4
	Cu	5
	Al	7

Πίνακας 4.5: Ελάχιστο πάχος μεταλλικών φύλλων ή μεταλλικών σωλήνων σε συλλεκτήρια συστήματα .Πηγή: IEC 61024-1:1990

4.3.2 Σύστημα αγωγών καθόδου

Οι αγωγοί καθόδου αποτελούν την απευθείας συνέχεια των στοιχείων του συλλεκτήριου συστήματος. Κατά την επιλογή του αριθμού και του τρόπου εγκατάστασής τους πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι εάν το ρεύμα του κεραυνού επιμερίζεται σε πολλές οδούς όδευσης μειώνεται η πιθανότητα εμφάνισης δευτερογενών υπερπηδήσεων και περιορίζονται οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του στο εσωτερικό της κατασκευής. Επομένως, οι αγωγοί καθόδου πρέπει να κατανέμονται, κατά το δυνατόν, περιμετρικά της κατασκευής σε συμμετρική διάταξη. Ακόμη, πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε από το σημείο πλήγματος μέχρι τη γη να υπάρχουν αρκετές παράλληλες οδοί ροής του ρεύματος, να εξασφαλίζεται η συντομότερη και συνεχής όδευση του ρεύματος του κεραυνού προς τη γη, κατά το δυνατόν

ευθεία και κατακόρυφη όδευση (περιορίζεται η αυτεπαγωγή κατά μήκος τους), να γίνονται ισοδυναμικές συνδέσεις οπουδήποτε είναι απαραίτητο.

Οι αγωγοί καθόδου, όπως και οι συλλεκτήριοι αγωγοί, θα πρέπει να στερεώνονται καλά ώστε οι μηχανικές επιδράσεις του ρεύματος του κεραυνού ή άλλες καταπονήσεις (π.χ. δονήσεις, μετακινήσεις όγκων χιονιού) να μην προκαλούν θραύση ή χαλάρωση των αγωγών. Ο αριθμός των συνδέσεων κατά μήκος των αγωγών πρέπει να είναι ο ελάχιστος δυνατός. Η στιβαρότητα των συνδέσεων πρέπει να εξασφαλίζεται με μεθόδους όπως μπρουντζοκόλληση, ηλεκτροσυγκόλληση, σύσφιξη, βίδωμα ή με ειδικούς κοχλιωτούς συνδέσμους.



Εικόνα 4.5 Ειδικοί σύνδεσμοι συγκράτησης αγωγών καθόδου Πηγή: Thompson Lighting Protection Inc <http://www.tlpinc.com/>

Η τοποθέτησή τους εξαρτάται από την κατηγορία της εξωτερικής ΕΑΠ του ΣΑΠ σε σχέση με το εάν βρίσκονται σε επαφή ή όχι με την κατασκευή που χρήζει προστασία

4.3.2.1 Εγκατάσταση αγωγών καθόδου σε ΣΑΠ με μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ

Στην περίπτωση αυτή ο αριθμός των αγωγών καθόδου εξαρτάται από τα στοιχεία που συνιστούν το συλλεκτήριο σύστημα:

- Αν το συλλεκτήριο σύστημα αποτελείται από ράβδους σε ανεξάρτητους ιστούς (ή ένα μόνο ιστό), απαιτείται τουλάχιστον ένας αγωγός καθόδου για κάθε ιστό. Στην περίπτωση ιστών από μέταλλο ή από ενδοσυνδεδεμένο χαλύβδινο οπλισμό δεν είναι αναγκαίος επιπρόσθετος αγωγός καθόδου.

- Αν το συλλεκτήριο σύστημα αποτελείται από ανεξάρτητα τεταμένα σύρματα (ή ένα μόνο σύρμα), απαιτείται τουλάχιστον ένας αγωγός καθόδου για κάθε άκρο των συρμάτων.
- Αν το συλλεκτήριο σύστημα συνιστάται από πλέγμα αγωγών, απαιτείται τουλάχιστον ένας αγωγός καθόδου για κάθε κατασκευή στήριξης του πλέγματος.

4.3.2.2 Εγκατάσταση αγωγών καθόδου σε ΣΑΠ με μη μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ

Στην περίπτωση που το συλλεκτήριο σύστημα αποτελείται από ράβδους (ράβδο) ή τεταμένα σύρματα (σύρμα) απαιτείται τουλάχιστον ένας αγωγός καθόδου για κάθε ράβδο ή για κάθε άκρο των συρμάτων. Όταν το συλλεκτήριο σύστημα συνιστάται από πλέγμα αγωγών οι αγωγοί καθόδου, τουλάχιστον δύο, τοποθετούνται περιμετρικά της κατασκευής που χρήζει προστασίας εξασφαλίζοντας ότι η μέση απόσταση μεταξύ τους να μην είναι μεγαλύτερη από τις τιμές που φαίνονται στον Πίνακα 4.6.

Στάθμη Προστασίας	Μέση απόσταση (m)
I	10
II	15
III	20
IV	25

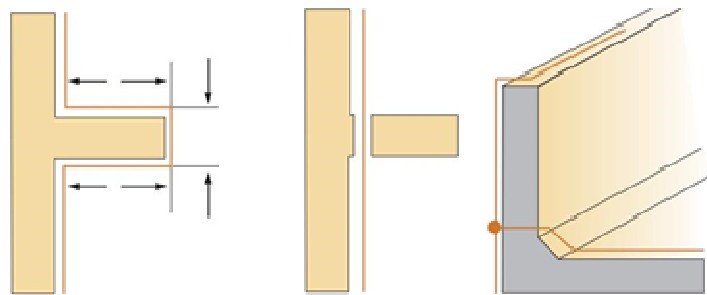
Πίνακας 4.6: Μέση απόσταση μεταξύ των αγωγών καθόδου και μεταξύ των περιμετρικών δακτυλίων ανάλογα με τη στάθμη προστασίας. Πηγή: IEC 61024-1:1990

Ενδείκνυται ισαπέχουσα τοποθέτηση των αγωγών καθόδου επί της περιμέτρου, και όσο το δυνατόν πλησιέστερα στις γωνίες της κατασκευής σε απόσταση έως 30cm. Συνιστάται η εγκατάσταση των αγωγών καθόδου και των περιμετρικών δακτυλίων να προβλέπει κάποια απόσταση μεταξύ αυτών και κάθε πόρτας ή παραθύρου της κατασκευής ώστε να αποφεύγεται η επαφή με ανθρώπους.

Η εγκατάσταση των αγωγών καθόδου επί της κατασκευής εξαρτάται από τα δομικά στοιχεία της. Ειδικότερα, οι αγωγοί καθόδου μπορούν να εγκαθίστανται ως ακολούθως:

- Οι αγωγοί καθόδου πρέπει κατά το δυνατόν να τοποθετούνται κατακόρυφα αλλά γενικά ακολουθώντας το προφίλ του κτηρίου. Οι βρόχοι και οι προεξοχές πρέπει να αποφεύγονται. Όπου οι βρόχοι δεν μπορούν να αποφευχθούν, η απόσταση s , στο διάκενο πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την απόσταση διαχωρισμού για το μήκος l . Αν αυτό δεν είναι εφικτό τότε ο αγωγός θα πρέπει να κατευθύνεται κατευθείαν μέσω της δομής.

- αν ο τοίχος της κατασκευής είναι από μη εύφλεκτο υλικό οι αγωγοί καθόδου μπορούν να εγκαθίστανται στην επιφάνεια ή μέσα στον τοίχο,
- αν ο τοίχος της κατασκευής είναι από εύφλεκτο υλικό οι αγωγοί καθόδου μπορούν να εγκαθίστανται στην επιφάνεια των τοίχων, υπό την προϋπόθεση ότι η ανύψωση της θερμοκρασίας τους λόγω της ροής του ρεύματος του κεραυνού δεν είναι επικίνδυνη για το υλικό του τοίχου,
- αν ο τοίχος της κατασκευής είναι από εύφλεκτο υλικό και η ανύψωση της θερμοκρασίας των αγωγών καθόδου είναι επικίνδυνη, οι αγωγοί καθόδου πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε η απόσταση μεταξύ αυτών και του τοίχου να είναι πάντοτε μεγαλύτερη από 0.1 m. Μεταλλικά εξαρτήματα στήριξης μπορούν να βρίσκονται σε επαφή με τον τοίχο,
- οι αγωγοί καθόδου δεν πρέπει να εγκαθίστανται μέσα σε οριζόντιες ή κατακόρυφες υδρορροές ακόμη και εάν καλύπτονται με μονωτικό υλικό διότι η υγρασία μπορεί να οδηγήσει στη διάβρωσή τους.



Εικόνα 4.6. Βρόχος αγωγού καθόδου και τυπικές λύσεις αποφυγής του. Πηγή :Erico Lightning protection Handbook.Designing to the IEC 62305 series of lightning protection Standards

4.3.2.3 Φυσικοί αγωγοί καθόδου ΣΑΠ

Τμήματα μιας κατασκευής μπορούν να θεωρηθούν ως "φυσικοί" αγωγοί καθόδου, όπως:

- I. μεταλλικές εγκαταστάσεις, οι οποίες μπορούν να επικαλύπτονται με μονωτικό υλικό, υπό την προϋπόθεση ότι η ηλεκτρική συνέχεια μεταξύ των διαφόρων τμημάτων τους είναι αξιόπιστη και στιβαρή και ότι οι διαστάσεις τους είναι τουλάχιστον ίσες με αυτές που καθορίζονται για τους τυποποιημένους αγωγούς καθόδου,
- II. ο μεταλλικός σκελετός ή ο ενδοσυνδεδεμένος χαλύβδινος οπλισμός του σκυροδέματος της κατασκευής, λαμβάνοντας υπ' όψη τον κίνδυνο ανεπιθύμητων μηχανικών επιδράσεων από τη ροή του ρεύματος του κεραυνού, στις περιπτώσεις αυτές δεν είναι απαραίτητοι οριζόντιοι περιμετρικοί δακτύλιοι,

- III. στοιχεία των όψεων, προεξέχοντα κιγκλιδώματα και επιμέρους κατασκευές των μεταλλικών όψεων υπό προϋποθέσεις διαστάσεων και στιβαρούς ηλεκτρικής συνέχειας. [10]

4.3.2.4 Στερέωση αγωγών καθόδου

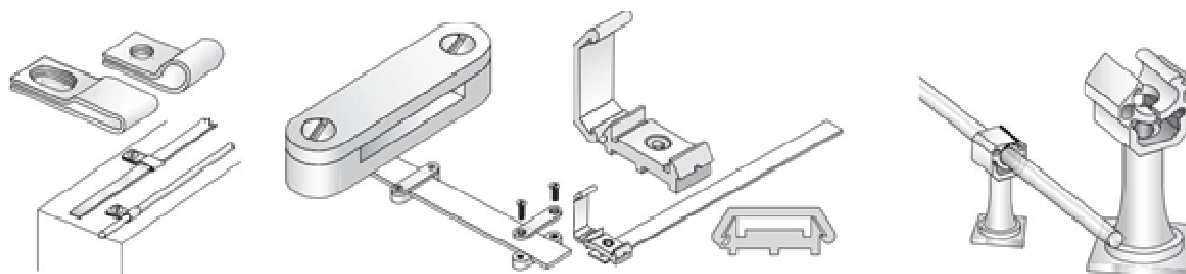
Οι αγωγοί καθόδου μπορούν να στερεώνονται είτε με αγώγιμα ή με μη αγώγιμα εξαρτήματα. Αν το υλικό της επιφάνειας του τοίχου είναι εύφλεκτο, τότε οι αγωγοί δεν πρέπει να στερεώνονται σε επαφή με αυτούς.

Σε μεγάλες επίπεδες δομές όπου υπάρχουν περισσότεροι από τέσσερις αγωγοί καθόδου, οι αγωγοί πρέπει να τοποθετούνται περίπου κάθε 40 μέτρα, ενώ πρέπει να χρησιμοποιηθούν στήλες στήριξης οροφής. Στον πίνακα που ακολουθεί (4.7) δίνονται τα προτεινόμενα κέντρα στερέωσης των αγωγών καθόδου ανάλογα με το είδος τους και την επιφάνεια στερέωσης

	κέντρο στερέωσης αγωγού ταινίας ή νηματώδους αγωγού (mm)	κέντρο στερέωσης κυκλικού συμπαγή αγωγού (mm)
οριζόντιοι αγωγοί σε οριζόντιες επιφάνειες	500	1000
οριζόντιοι αγωγοί σε κάθετες επιφάνειες	500	1000
κάθετοι αγωγοί σε ύψος από το έδαφος έως 20 m	1000	1000
κάθετοι αγωγοί ύψους 20m και άνω	500	1000

Πίνακας 4.7. Κέντρα στερέωσης αγωγών καθόδου σε σχέση με την επιφάνεια στερέωσης Πηγή :Erico Lightning protection Handbook.Designing to the IEC 62305 series of lightning protection Standards, τροποποίηση από τους συγγραφείς

Στην εικόνα που ακολουθεί (4.7) φαίνονται οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες διατάξεις στερέωσης αγωγών καθόδου (αλλά και αγωγών συλλεκτήριου συστήματος)



Εικόνα 4.7. Τυπικά εξαρτήματα στερέωσης αγωγών καθόδου. Πηγή :Erico Lightning protection Handbook.Designing to the IEC 62305 series of lightning protection Standards

4.3.2.5 Σύνδεσμοι ελέγχου

Στο σημείο σύνδεσης κάθε αγωγού καθόδου με το σύστημα γείωσης, εκτός αν αυτός είναι φυσικός αγωγός καθόδου, πρέπει να τοποθετείται ένας σύνδεσμος ελέγχου (λουόμενος) για να υπάρχει η δυνατότητα να ελέγχεται η ηλεκτρική συνέχεια του υπολοίπου κυκλώματος της εξωτερικής ΕΑΠ. Επιπλέον με τον τρόπο αυτό παρέχεται η δυνατότητα μέτρησης της αντίστασης γείωσης των ηλεκτροδίων γείωσης. Ο σύνδεσμος αυτός πρέπει να παραμένει κλειστός.

4.3.3 Σύστημα γείωσης

Σκοπός του συστήματος γείωσης είναι να διαχέεται το ρεύμα του κεραυνού στο έδαφος, μέσω των ηλεκτροδίων γείωσης, χωρίς να αναπτύσσονται επικίνδυνες υπερτάσεις, να συνδέει ισοδυναμικά τους αγωγούς καθόδου όπου είναι εφικτό, να περιορίζει την ανύψωση του δυναμικού του εδάφους στην περιοχή του, καθώς και να αναχαιτίζει τον κεραυνό στην περίπτωση επιφανειακής διάσπασης του εδάφους. Αν και πάντα συνιστάται η όσον το δυνατόν χαμηλότερη τιμή αντίστασης γείωσης έχει περισσότερο σημασία στην αποτελεσματικότητα του συστήματος γείωσης η μορφή και οι διαστάσεις του παρά η τιμή της αντίστασης γείωσης που παρουσιάζει.

Από την άποψη της αντικεραυνικής προστασίας, την καλύτερη λύση αποτελεί μία ενιαία γείωση ενσωματωμένη στο κτίριο, η οποία μπορεί να προσφέρει πλήρη προστασία σε όλες τις εγκαταστάσεις της κατασκευής όπως εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας, ηλεκτρικές εγκαταστάσεις μέσης τάσης, χαμηλής τάσης ισχυρών και ασθενών ρευμάτων

4.3.3.1 Ηλεκτρόδια γείωσης ΣΑΠ

Κατάλληλα ηλεκτρόδια γείωσης αποτελούν: ένα ή περισσότερα περιμετρικά ηλεκτρόδια τύπου δακτυλίου, κατακόρυφα ή κεκλιμένα ηλεκτρόδια (ηλεκτρόδιο που σχηματίζει με την κατακόρυφο γωνία μικρότερη από 45°), ακτινικά ηλεκτρόδια και ηλεκτρόδια θεμελιακής γείωσης. Πλάκες ή μικρά πλέγματα αγωγών μπορούν να χρησιμοποιηθούν αλλά συνιστάται να αποφεύγονται όταν υπάρχει πιθανότητα διάβρωσης, ειδικά στα σημεία σύνδεσης. Συνιστάται γενικότερα η χρήση πολλών ηλεκτροδίων γείωσης, σωστά διατεταγμένων, σε σχέση με ένα ηλεκτρόδιο γείωσης μεγάλου μήκους.

Το ελάχιστο μήκος ενός ηλεκτροδίου γείωσης, A_1 , είναι συνάρτηση της απαιτούμενης στάθμης προστασίας και της ειδικής αντίστασης του εδάφους, ρ . Σύμφωνα με την IEC 61024-1:1990, για ΣΑΠ στάθμης προστασίας II ÷ IV λαμβάνεται ίσο με 5 m ανεξάρτητα από την ειδική αντίσταση του εδάφους. Για ΣΑΠ στάθμης προστασίας I λαμβάνεται ίσο με 5 m για $\rho < 500 \Omega \cdot m$ ενώ για μεγαλύτερες τιμές της ειδικής αντίστασης του εδάφους αυξάνει γραμμικά.

Ο Πίνακας 4.8 συγκεντρώνει τα ελάχιστα μήκη των ηλεκτροδίων γείωσης συναρτήσει της επιλεγθείσας στάθμης προστασίας και της ειδικής αντίστασης του εδάφους

Στάθμη Προστασίας	Ελάχιστο μήκος ηλεκτροδίου γείωσης, A_1
I	5 m για $\rho < 500 \Omega \cdot m$
I	$(m) = 0.03\rho - 10$ για $500 < \rho (\Omega \cdot m) < 3000$
II - IV	5 m

Πίνακας 4.8: Ελάχιστο μήκος ηλεκτροδίου γείωσης συναρτήσει της στάθμης προστασίας ενός ΣΑΠ. Πηγή IEC 61024-1:1990, τροποποίηση από τους συγγραφείς

Στην περίπτωση που ένα ΣΑΠ δεν περιλαμβάνει εξωτερική ΕΑΠ αλλά απαιτείται σύστημα γείωσης για την εξασφάλιση ισοδυναμικών συνδέσεων στο εσωτερικό της κατασκευής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως διάταξη ηλεκτροδίων γείωσης ένα οριζόντιο ηλεκτρόδιο μήκους A_1 ή ένα κατακόρυφο (ή κεκλιμένο) μήκους $0.5A_1$. Για τον ίδιο σκοπό μπορεί να χρησιμοποιηθεί η γείωση της ηλεκτρικής εγκατάστασης χαμηλής τάσης υπό την προϋπόθεση ότι το συνολικό μήκος των ηλεκτροδίων γείωσης είναι σύμφωνα με τα προηγούμενα ανάλογα με τη γεωμετρία των ηλεκτροδίων γείωσης.

Τα ηλεκτρόδια γείωσης πρέπει να ενταφιάζονται εξωτερικά της κατασκευής που χρήζει προστασίας, κατά το δυνατόν ομοιόμορφα κατανεμημένα ώστε να ελαχιστοποιούνται φαινόμενα ηλεκτρικής σύζευξης μέσα στο έδαφος. Ακόμη, πρέπει να εξασφαλίζεται η εύκολη επιθεώρησή τους κατά τη κατασκευή του ΣΑΠ. Ο τύπος των ηλεκτροδίων γείωσης και το βάθος ενταφιασμού τους, τουλάχιστον 0.5m, πρέπει να επιλέγονται με βάση την ελαχιστοποίηση των επιδράσεων της διάβρωσης, ξήρανσης ή παγώματος του εδάφους ώστε να εξασφαλίζεται σταθερή ισοδύναμη ειδική αντίσταση του εδάφους. Ηλεκτρόδια γείωσης που εκτείνονται σε μεγάλο βάθος είναι αποτελεσματικά σε εδάφη που η ειδική τους αντίσταση μειώνεται με το βάθος και όπου τα συνήθη μήκη κατακόρυφων ηλεκτροδίων δεν εξασφαλίζουν επαφή με το υπέδαφος χαμηλής ειδικής αντίστασης.

Οι κανονισμοί κατατάσσουν τις διατάξεις των ηλεκτροδίων γείωσης σε δύο βασικές κατηγορίες, τη διάταξη τύπου Α και τη διάταξη τύπου Β. Ωστόσο, σε μερικές περιπτώσεις απαιτείται συνδυασμός των δύο διατάξεων ή σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να προκύψει σύστημα γείωσης τύπου πλέγματος.

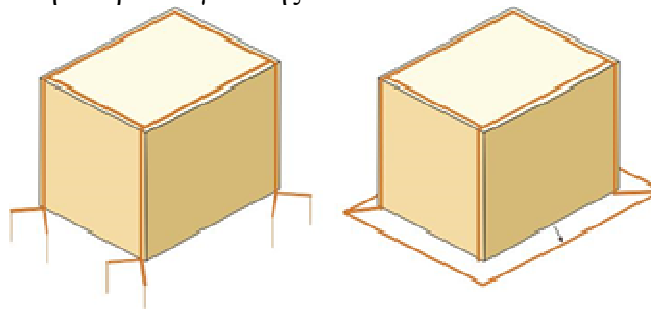
Διάταξη ηλεκτροδίων γείωσης τύπου Α

Η διάταξη αυτού του τύπου περιλαμβάνει ακτινικά οριζόντια ή κατακόρυφα/ κεκλιμένα ηλεκτρόδια γείωσης. Το ελάχιστο μήκος κάθε ηλεκτροδίου καθορίζεται ως A_1 για ακτινικά οριζόντια ηλεκτρόδια ή $0.5A_1$ για κατακόρυφα ή κεκλιμένα ηλεκτρόδια όπου A_1 είναι το ελάχιστο μήκος ακτινικού ηλεκτροδίου. Ωστόσο, τα μήκη αυτά μπορούν να μη ληφθούν υπόψη υπό την προϋπόθεση ότι επιτυγχάνεται αντίσταση γείωσης μικρότερη από 10 Ω. Στην περίπτωση συνδυασμού πολλών ηλεκτροδίων γείωσης λαμβάνεται υπόψη το συνολικό μήκος τους.

Η διάταξη ηλεκτροδίων γείωσης τύπου Α είναι κατάλληλη για εδάφη μικρής τιμής ειδικής αντίστασης και για μικρά κτίσματα. Κάθε αγωγός καθόδου της εξωτερικής ΕΑΠ πρέπει να συνδέεται τουλάχιστον σ' ένα ανεξάρτητο ηλεκτρόδιο γείωσης, ενώ ο ελάχιστος συνολικός αριθμός ηλεκτροδίων γείωσης πρέπει να είναι δύο. Τα ηλεκτρόδια γείωσης πρέπει να αλληλοσυνδέονται μέσω δακτυλίου ισοδυναμικής σύνδεσης ή ισοδυναμικών ζυγών στην

κατασκευή, και εάν η περιοχή εγκατάστασής τους είναι προσβάσιμη από ανθρώπους ή ζώα πρέπει να λαμβάνονται ειδικά μέσα προστασίας. Διάταξη τύπου A θεωρείται και μία διάταξη ηλεκτροδίων γείωσης που επιπρόσθετα περιλαμβάνει περιμετρικό δακτύλιο ισοδυναμικής σύνδεσης των αγωγών καθόδου ο οποίος βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος σε ποσοστό μικρότερο από το 80% του συνολικού του μήκους του.

Τα ακτινικά ηλεκτρόδια γείωσης πρέπει να ενταφιάζονται σε βάθος όχι μικρότερο από 0.5 m. Το βάθος αυτό του ενταφιασμού ελαχιστοποιεί τις επιδράσεις της διάβρωσης, ξήρανσης ή παγώματος του εδάφους εξασφαλίζοντας σχετικά σταθερή ισοδύναμη ειδική αντίσταση του εδάφους και ανεξάρτητη από την εποχή του έτους. Επιπλέον, το μεγαλύτερο βάθος ενταφιασμού οδηγεί σε μικρότερη ανύψωση δυναμικού του εδάφους σε περίπτωση πλήγματος κεραυνού, και επομένως περιορίζει τις επικίνδυνες επιδράσεις του κεραυνού λόγω υψηλών τιμών τάσης επαφής και βηματικής τάσης. Για τους λόγους αυτούς γενικότερα προτιμώνται τα κάθετα ηλεκτρόδια γείωσης.

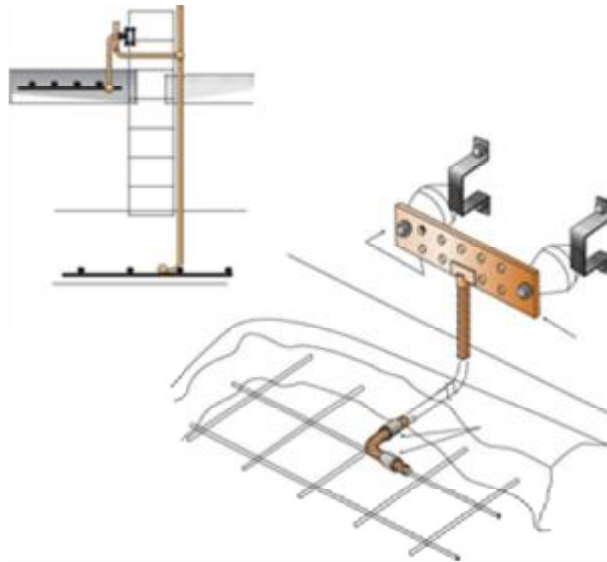


Εικόνα 4.8. Ηλεκτρόδια γείωσης τύπου A (αριστερά) και τύπου B (Δεξιά) Πηγή :Erico Lightning protection Handbook. Designing to the IEC 62305 series of lightning protection Standards

Διάταξη ηλεκτροδίων γείωσης τύπου B

Η διάταξη αυτού του τύπου αποτελείται από ένα περιμετρικό ηλεκτρόδιο γείωσης τύπου δακτυλίου, εξωτερικά της κατασκευής, με τουλάχιστον το 80% του μήκους του σε επαφή με το έδαφος ή από ένα ηλεκτρόδιο θεμελιακής γείωσης.

Το περιμετρικό ηλεκτρόδιο γείωσης τύπου δακτυλίου πρέπει, κατά προτίμηση, να ενταφιάζεται σε βάθος τουλάχιστον 0.5 m και σε απόσταση τουλάχιστον 1 m από τους εξωτερικούς τοίχους της κατασκευής. Η αποτελεσματικότητα του συστήματος γείωσης μειώνεται όταν τμήμα του μήκους του ηλεκτροδίου γείωσης κατανέμεται εκτός εδάφους. Κατά τη θεμελιακή γείωση το ηλεκτρόδιο γείωσης, ταινία ή αγωγός, τοποθετείται μέσα στο σκυρόδεμα, στη βάση των περιμετρικών θεμελίων της κατασκευής καθώς και των εσωτερικών της όταν πρόκειται για κατασκευή μεγάλων διαστάσεων. Δημιουργείται επομένως ένας γειωμένος κλειστός βρόχος ή γειωμένο πλέγμα αγωγών ανάλογα με τις διαστάσεις της κατασκευής, άνοιγμα βρόχου ≤ 10 m, ο τρόπος εγκατάστασης του οποίου εξασφαλίζει ικανοποιητική προστασία έναντι της διάβρωσης και των μηχανικών καταπονήσεων και κατά κανόνα σχετικά μικρή αντίσταση γείωσης. [6],[10]

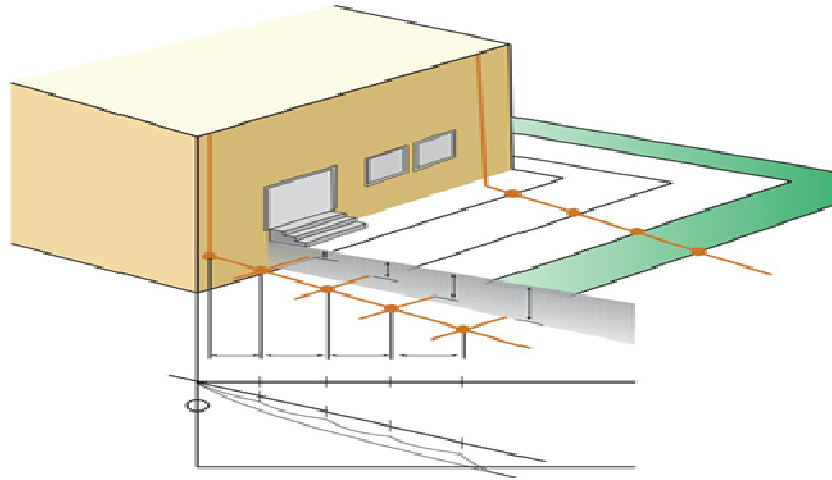


Εικόνα 4.9 Παραδείγματα θεμελιακής γείωσης. Πηγή :Erico Lightning protection Handbook. Designing to the IEC 62305 series of lightning protection Standards

Η μέση ακτίνα r της περιοχής που περικλείεται από το ηλεκτρόδιο γείωσης (περιμετρικό τύπου δακτυλίου ή θεμελιακής γείωσης) δεν πρέπει να είναι μικρότερη από την τιμή $A1$ που ορίζεται στον Πίνακα 4.8. Εάν η απαίτηση αυτή δεν ικανοποιείται πρέπει να εγκατασταθούν επιπρόσθετα ακτινικά ή κατακόρυφα (ή κεκλιμένα) ηλεκτρόδια, τουλάχιστον δύο και όχι λιγότερα από τον αριθμό των αγωγών καθόδου, που τα μήκη τους, A_r και A_v , αντίστοιχα, δίνονται από τις σχέσεις: $A_r = A1 - r$ και $A_v = 0.5(A1 - r)$.

Η διάταξη ηλεκτροδίων γείωσης τύπου Β συνιστάται στις περιπτώσεις όπου ο ενταφιασμός των ηλεκτροδίων είναι πρακτικά δύσκολος έως αδύνατος όπως στην περίπτωση απογυμνωμένου συμπαγή βράχου.

Στην περίπτωση πλήγματος κεραυνού στην εξωτερική ΕΑΠ, στα άκρα των αγωγών καθόδου αναπτύσσονται διαφορετικά δυναμικά λόγω της μη ομοιόμορφης κατανομής του ρεύματος του κεραυνού σε ολόκληρο το δίκτυο των αγωγών καθόδου αλλά και λόγω διαφορών στην τιμή της αντίστασης γείωσης. Τα δυναμικά αυτά εξισώνονται μέσω της διάταξης ηλεκτροδίων γείωσης τύπου Β, εφόσον συνιστά ένα περιμετρικό δακτύλιο ισοδυναμικής σύνδεσης των αγωγών καθόδου, και κατά συνέπεια περιορίζεται η ανύψωση δυναμικού στην περιοχή της εγκατάστασης. Όταν η κατασκευή που χρήζει προστασίας συμπεριλαμβάνει έκταση συνάθροισης μεγάλου πλήθους ανθρώπων πρέπει να λαμβάνονται επιπρόσθετα μέσα ελέγχου της ανύψωσης δυναμικού στην περιοχή της εγκατάστασης του συστήματος γείωσης. Συγκεκριμένα, επιπλέον περιμετρικοί δακτύλιοι πρέπει να ενταφιάζονται εξωτερικά της κατασκευής, ισαπέχοντες κατά 3 m, σε βάθος ενταφιασμού αυξανόμενο κατά 0.5 m από τον προηγούμενο π.χ. ο τέταρτος δακτύλιος πρέπει να ενταφιάζεται σε απόσταση 10 m από τους εξωτερικούς τοίχους της κατασκευής και σε βάθος 2 m. Οι επιπρόσθετοι δακτύλιοι πρέπει να συνδέονται μέσω αγωγών ακτινικά με τον πρώτο δακτύλιο και συνήθως δεν ξεπερνούν σε πλήθος τους έξι που αντιστοιχεί σε απόσταση περίπου 20 m από την κατασκευή.(εικ.4.10)



Εικόνα 4.10 Τοποθέτηση επιπρόσθετων δακτυλίων σε απόσταση 3m και βάθος ενταφιασμού αυξανόμενο κατά 0.5m, σε περιοχή γείωσης προσβάσιμης από ανθρώπους. Πηγή :Erico Lightning protection Handbook. Designing to the IEC 62305 series of lightning protection Standards

Διάταξη ηλεκτροδίων γείωσης τύπου πλέγματος

Σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις που κατά κανόνα συμπεριλαμβάνουν πολλές γειτονικές κατασκευές είναι σημαντικό οι διατάξεις ηλεκτροδίων γείωσης των επιμέρους κατασκευών να αλληλοσυνδέονται σχηματίζοντας ένα σύστημα γείωσης τύπου πλέγματος. Το πλέγμα των αγωγών γείωσης, χωρίς ανοίγματα μεγαλύτερα από 10 x 20 m, πρέπει να επεκτείνεται στα εξωτερικά όρια της βιομηχανικής εγκατάστασης. Το σύστημα γείωσης πλέγματος εξασφαλίζει χαμηλή τιμή αντίστασης γείωσης και περιορίζει δραστικά τις επικίνδυνες επιδράσεις του κεραυνού λόγω υψηλών τιμών τάσης επαφής και βηματικής τάσης.

4.3.3.2 Φυσικά ηλεκτρόδια γείωσης ΣΑΠ

Ως "φυσικά" ηλεκτρόδια γείωσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν ο ενδοσυνδεδεμένος χαλύβδινος οπλισμός του σκυροδέματος των θεμελίων ή άλλες κατάλληλες υπόγειες μεταλλικές κατασκευές των οποίων τα χαρακτηριστικά είναι σύμφωνα με τις απαιτήσεις των υλικών των ηλεκτροδίων γείωσης. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ο οπλισμός του σκυροδέματος των θεμελίων ως ηλεκτρόδιο γείωσης πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στις ενδοσυνδέσεις του ώστε να αποφεύγεται θραύση του σκυροδέματος κατά τη διέλευση του ρεύματος του κεραυνού. Στην περίπτωση χρήσης του οπλισμού του σκυροδέματος ως γειωτή πρέπει να μη χρησιμοποιείται η ίδια η χαλύβδινη ταινία της θεμελιακής γείωσης ή οποιαδήποτε αναμονή από αυτή να εξέρχεται του σκυροδέματος προς τον περιβάλλοντα χώρο (έδαφος) του κτιρίου. Στην περίπτωση αυτή η χαλύβδινη ταινία θα διαβρωθεί σε πολύ σύντομο χρόνο. Σωστή εγκατάσταση είναι τα παραπάνω τμήματα (ταινία, αναμονές) να κατασκευάζονται από ηλεκτρολυτικό χαλκό. Ακόμη, απαγορεύεται η απ' ευθείας σύνδεση υπόγειων παροχών κοινωφελών δικτύων, σωλήνων, κλπ. με τη θεμελιακή γείωση εφ' όσον αυτές είναι χαλύβδινες. Για τον παραπάνω λόγο είναι προφανές ότι ο χαλύβδινος σωλήνας θα διαβρώνεται με μεγάλη ταχύτητα. Το σωστό είναι η σύνδεση, όπου απαιτείται, να γίνεται μέσω σπινθηριστή αμέσως μετά την είσοδο του δικτύου εντός του κτιρίου ή εντός φρεατίου.

4.3.3.3 Επιλογή κατάλληλης γείωσης

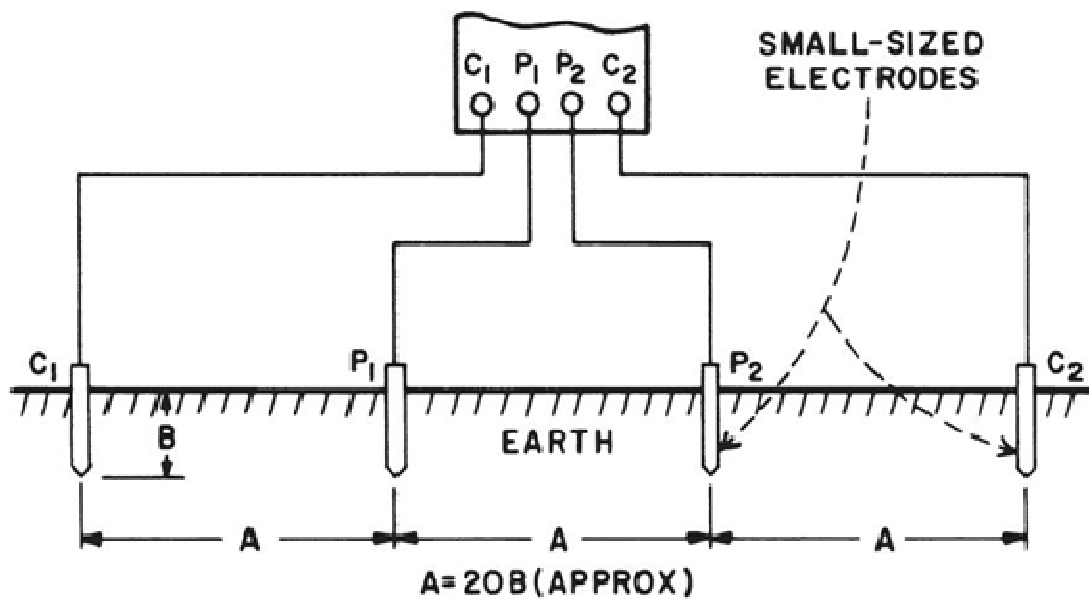
Είναι γνωστό ότι η αντίσταση ενός ηλεκτροδίου γείωσης επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την αντίσταση του εδάφους στο οποίο τοποθετείται και ως εκ τούτου οι μετρήσεις της αντίστασης του εδάφους είναι σημαντικές κατά το σχεδιασμό εγκαταστάσεων γείωσης. Η γνώση της αντίστασης του εδάφους στον προοριζόμενο τόπο και ο τρόπος με τον οποίο ποικίλει ανάλογα με τις παραμέτρους όπως η υγρασία, η θερμοκρασία και το βάθος, παρέχει μια πολύτιμη εικόνα για το πώς μπορεί να επιτευχθεί και να διατηρηθεί η επιθυμητή τιμή αντίστασης γης κατά τη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης με το ελάχιστο κόστος προσπάθειας. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν αρκετές μέθοδοι για τη μέτρηση της αντιστάσεως γης: η μέθοδος των τεσσάρων σημείων, η μέθοδος μεταβολής σε βάθος (μέθοδο τριών σημείων) και η μέθοδος των δύο σημείων. Η πιο ακριβής μέθοδος είναι η μέθοδος των τεσσάρων σημείων. Χρησιμοποιείται ένα ειδικό εργαλείο όπου τέσσερις πάσσαλοι τοποθετούνται στο έδαφος. Το βάθος της τοποθέτησης δεν είναι μεγαλύτερο από το 1/20 της απόστασης μεταξύ των πασσάλων. Αυτή η διαδικασία παρέχει τη μέση αντίσταση του εδάφους σε ένα βάθος ίσο με το διάστημα μεταξύ των διακυμάνσεων. Γενικά, γίνεται μια έρευνα με μια σειρά μετρήσεων από διαφορετικές περιοχές και με διαφορετικό διάκενο για να χαρακτηριστεί η σύνθεση του εδάφους (μέθοδος Wenner). Στον πίνακα που ακολουθεί (4.9) δίνονται οι τυπικές περιπτώσεις ειδικής αντίστασης του εδάφους.

Είδος Εδάφους	Ειδική αντίσταση (Ω/cm)
Χαλίκι, καλά διαβαθμισμένο με μίγμα άμμου-χαλικιού. Λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα.	60000-100000
Χαλίκι κακής διαβάθμισης με μίγμα άμμου-χαλικιού. Λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα	10000-250000
Ιλυώδης άργιλος, μίγμα χαλικιών, άμμου και αργίλου	20000-40000
Ιλυώδης Άμμος	10000-50000
Αργιλώδης Άμμος	5000-20000
Ανόργανη ιλύς, λεπτόκοκκη άμμος, ιλυώδης ή αργιλώδης .	3000-8000
Ανόργανη ιλύς, μαρμαρυγιακά ή λεπτόκοκκα αμμώδη ή ιλυώδη εδάφη, ελαστική ιλύς	8000-30000
Ανόργανη άργιλος μικρής ή μέσης πλαστιμότητας, χαλικώδης άργιλος, αμμώδης άργιλος, ιλυώδης άργιλος, ισχνή άργιλος.	2500-6000
Ανόργανη άργιλος μεγάλης πλαστιμότητας, παχιά άργιλος	1000-5000

Πίνακας 4.9 Ειδική αντίσταση του εδάφους – τυπικές περιπτώσεις Πηγή: Σιδεράκης, Κ., Γ, «Αντικεραυνική προστασία και γειώσεις σε φωτοβολταϊκά συστήματα»



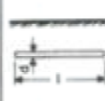
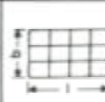





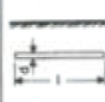
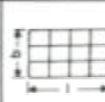

Εικόνα 4.11 Εξοπλισμός δοκιμών Pentair για μετρήσεις ειδικής αντίστασης υλικών . Πηγή :Erico Lightning protection Handbook. Designing to the IEC 62305 series of lightning protection Standards



Εικόνα 4.12.Μέτρηση της ειδικής αντίστασης του εδάφους με την μέθοδο Wenner. Πηγή: Σιδεράκης, Κ., Γ, «Αντικεραυνική προστασία και γειώσεις σε φωτοβολταϊκά συστήματα»

Στην εικόνα 4.13 παρατίθενται οι συνήθεις χρησιμοποιούμενοι τύποι ηλεκτροδίων γείωσης, όπου φαίνεται η χαρακτηριστική τους γεωμετρία και τα ειδικά χαρακτηριστικά τους.

α/α	Γειωτής	Τύπος	Προσεγγιστικός τύπος
1	 Πάσαλος (πλάγια όψη)	$R_{A1} = \frac{\rho}{2\pi l_{eff}} \ln \frac{4l_{eff}}{d}$ $l_{eff} = 1-0,5 \text{ m}$	$R_A \approx \frac{\rho}{l_{eff}}$
2	 Πολύγωνο πασάλων $a \geq 1$ (κάτοψη)	$R_A = k \frac{1}{n} R_{A1}$ $a/l=3; n=5; k \approx 1,2$ R_{A1} = αντίσταση ενός πασάλου	$k=(1 \dots 1,5)$ για $n=10; k=1,25$
3	 Ταινία γείωσης ή επιφανειακός γεωστής, βάθος $h = 0,5 \dots 1,0 \text{ m}$ (πλάγια όψη)	$R_A = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{2l}{d}$	$R_A = \frac{2\rho}{l}$
4	 Πλέγμα σε βάθος $0,5-1,0 \text{ m}$ $D = \sqrt{\frac{4bl}{\pi}}$ (κάτοψη)	$R_A = \frac{\rho}{2D} + \frac{\rho}{lg}$ lg = συνολικό μήκος αγώγου	$R_A = \frac{\rho}{2D}$
5	 Θεμελιακή γείωση, $D = \sqrt{\frac{4}{\pi}} S$	—	$R_4 = \frac{2}{\pi} \frac{\rho}{D}$

α/α	Γειωτής	Τύπος	Προσεγγιστικός τύπος
1	 Πάσαλος (πλάγια όψη)	$R_{A1} = \frac{\rho}{2\pi l_{eff}} \ln \frac{4l_{eff}}{d}$ $l_{eff} = 1-0,5 \text{ m}$	$R_A \approx \frac{\rho}{l_{eff}}$
2	 Πολύγωνο πασάλων $a \geq 1$ (κάτοψη)	$R_A = k \frac{1}{n} R_{A1}$ $a/l=3; n=5; k \approx 1,2$ R_{A1} = αντίσταση ενός πασάλου	$k=(1 \dots 1,5)$ για $n=10; k=1,25$
3	 Ταινία γείωσης ή επιφανειακός γεωστής, βάθος $h = 0,5 \dots 1,0 \text{ m}$ (πλάγια όψη)	$R_A = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{2l}{d}$	$R_A = \frac{2\rho}{l}$
4	 Πλέγμα σε βάθος $0,5-1,0 \text{ m}$ $D = \sqrt{\frac{4bl}{\pi}}$ (κάτοψη)	$R_A = \frac{\rho}{2D} + \frac{\rho}{lg}$ lg = συνολικό μήκος αγώγου	$R_A = \frac{\rho}{2D}$
5	 Θεμελιακή γείωση, $D = \sqrt{\frac{4}{\pi}} S$	—	$R_4 = \frac{2}{\pi} \frac{\rho}{D}$

Εικόνα 4.13 Συνήθειες γεωμετρίες ηλεκτροδίων γείωσης. Πηγή: Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις <http://slideplayer.gr/slide/2560294/>

4.4 ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Η εσωτερική ΕΑΠ περιλαμβάνει όλα τα μέσα προστασίας που πρέπει να ληφθούν ώστε να περιοριστούν σε αποδεκτό βαθμό οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του ρεύματος του κεραυνού στο εσωτερικό και στη γειτονία της κατασκευής που χρήζει προστασίας, ανεξάρτητα από το εάν απαιτείται ή όχι εξωτερική ΕΑΠ. Η αναγκαιότητα ή μη της εσωτερικής ΕΑΠ καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την τοποθέτηση της εξωτερικής ΕΑΠ σε σχέση με τα αγωγικά τμήματα και τις εσωτερικές εγκαταστάσεις της κατασκευής. Ως μέσα προστασίας που συνιστούν την εσωτερική ΕΑΠ θεωρούνται οι ισοδυναμικές συνδέσεις και όπου αυτές δεν είναι πρακτικά εφικτό να υλοποιηθούν, η τήρηση ελαχίστων διαχωριστικών αποστάσεων, μόνωση, μέσω ελέγχου της γειτνίασης μεταξύ της εξωτερικής ΕΑΠ και της κατασκευής γενικότερα.

Η εσωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας συνοψίζοντας έχει ως στόχο την προστασία από ηλεκτροπληξία και την πρόληψη εκδήλωσης πυρκαγιάς.

Δημιουργία ηλεκτρικού τόξου-σπινθήρων μπορεί να εμφανιστεί μεταξύ εξωτερικού συστήματος αντικεραυνικής προστασίας και:

- μεταλλικών εγκαταστάσεων
- ηλεκτρικών, ηλεκτρονικών, τηλεπικοινωνιακών συστημάτων
- εξωτερικών αγωγίων τμημάτων και συνδεδεμένων γραμμών

Επίσης μπορεί να δημιουργηθεί σπινθήρας μεταξύ των πιο πάνω στοιχείων σε περίπτωση που διαρρέονται από μέρος του κεραυνικού ρεύματος

4.4.1 Ισοδυναμικές συνδέσεις

Οι ισοδυναμικές συνδέσεις γενικότερα εξασφαλίζουν εξίσωση του δυναμικού μεταξύ σημείων ενός κυκλώματος ή μεταξύ διαφορετικών κυκλωμάτων. Κατά συνέπεια, περιορίζουν την πιθανότητα εμφάνισης επικίνδυνων υπερτάσεων σε περίπτωση πλήγματος κεραυνού σε μια κατασκευή ή ακόμη, γενικότερα, σφάλματος σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση. Ισοδυναμικές συνδέσεις πρέπει να γίνονται στις περιπτώσεις όπου δεν ικανοποιούνται οι αποστάσεις ασφαλείας μεταξύ της μονωμένης εξωτερικής ΕΑΠ και της ίδιας της κατασκευής ή μεταξύ της μη μονωμένης εξωτερικής ΕΑΠ και γειτνιαζόντων μεταλλικών εγκαταστάσεων (εσωτερικών ή εξωτερικών) καθώς και ηλεκτρικών εγκαταστάσεων (εσωτερικών ή εισερχομένων) της κατασκευής.

Οι ισοδυναμικές συνδέσεις πραγματοποιούνται είτε μέσω συνδετήριων αγωγών, όπου η ηλεκτρική συνέχεια δεν εξασφαλίζεται με φυσικές συνδέσεις, είτε μέσω εκτροπέων υπέρτασης (SPDs) όπου δεν επιτρέπεται η άμεση αγωγή σύνδεση, η με μονωμένο διάκενο σπινθηρισμού (isolating spark gaps ISGs) όπου δεν επιτρέπεται η άμεση γεφύρωση .

Στην περίπτωση απομονωμένου ΣΑΠ οι ισοδυναμικές συνδέσεις μεταλλικών στοιχείων πρέπει να γίνονται μόνο στο επίπεδο του εδάφους.

Στην περίπτωση μη απομονωμένου ΣΑΠ, οι ισοδυναμικές συνδέσεις μεταλλικών στοιχείων πρέπει να γίνονται στο υπόγειο ή περίπου στο επίπεδο του εδάφους. Οι αγωγοί σύνδεσης πρέπει να συνδέονται σε ένα ζυγό εξίσωσης δυναμικού, ο οποίος θα είναι εύκολα επισκέψιμος και συνδεδεμένος με το σύστημα γείωσης. Σε μεγάλες κατασκευές μπορούν να εγκατασταθούν περισσότεροι από ένας ζυγοί υπό την προϋπόθεση ότι διασυνδέονται.

Σε περιπτώσεις που δεν ικανοποιούνται οι απαιτήσεις μόνωσης, όπως κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος με ενδοσυνδεδεμένο οπλισμό, κατασκευές με μεταλλικό οπλισμό, απομονωμένο εξωτερικό ΣΑΠ κ.ά, οι ισοδυναμικές συνδέσεις πρέπει να γίνονται αποκλειστικά στο επίπεδο του εδάφους όσο πιο άμεσα γίνεται τηρώντας την απόσταση S

Στον πίνακα 4.10 παρουσιάζεται η ελάχιστη διατομή αγωγών ανάλογα με το υλικό του, που πρέπει να τηρείται σε ισοδυναμικές συνδέσεις μεταξύ εσωτερικών μεταλλικών στοιχείων και ισοδυναμικών ζυγών

Στάθμη προστασίας	Υλικό	Διατομή mm ²
I έως IV	Χαλκός	6
I έως IV	Αλουμίνιο	10
I έως IV	Χάλυβας	16

Πίνακας 4.10 . Ελάχιστη διατομή αγωγών ανάλογα με το υλικό του, που πρέπει να τηρείται σε ισοδυναμικές συνδέσεις μεταξύ εσωτερικών μεταλλικών στοιχείων και ισοδυναμικών ζυγών. Πηγή : Δημητρίου Α., Χαραλάμπους, Χ. «Τεχνικό Εγχειρίδιο Αντικεραυνικής Προστασίας & Προστασίας από Υπερτάσεις για Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις Επί Οροφής», Πανεπιστήμιο Κύπρου.

Στον πίνακα 4.11 παρουσιάζεται η ελάχιστη διατομή αγωγών ανάλογα με το υλικό του, που πρέπει να τηρείται σε ισοδυναμικές συνδέσεις μεταξύ διαφορετικών ισοδυναμικών ζυγών ή ισοδυναμικών ζυγών και συστήματος γείωσης.

Στάθμη προστασίας	Υλικό	Διατομή mm ²
I έως IV	Χαλκός	16
I έως IV	Αλουμίνιο	25
I έως IV	Χάλυβας	50

Πίνακας 4.11 Ελάχιστη διατομή αγωγών μεταξύ διαφορετικών ισοδυναμικών ζυγών ή ισοδυναμικών ζυγών και συστήματος γείωσης. Πηγή : Δημητρίου Α., Χαραλάμπους, Χ. «Τεχνικό Εγχειρίδιο Αντικεραυνικής Προστασίας & Προστασίας από Υπερτάσεις για Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις Επί Οροφής», Πανεπιστήμιο Κύπρου.

Αν παρεμβάλλονται μονωτικά τμήματα στους αγωγούς αερίου και νερού μέσα στη κατασκευή που χρήζει προστασίας, αυτά πρέπει να γεφυρώνονται με περιοριστές υπέρτασης με διάκενο σπινθηριστή ISGs ειδικά σχεδιασμένους για αυτή τη χρήση.

Ισοδυναμικές Συνδέσεις Εξωτερικών Αγωγίμων Τμημάτων

Οι ισοδυναμικές συνδέσεις εξωτερικών αγωγίμων τμημάτων πρέπει να γίνονται όσο το δυνατό πιο κοντά στο σημείο εισόδου τους στην υπό προστασία κατασκευή. Επίσης οι συνδετικοί αγωγοί πρέπει να αντέχουν το ποσοστό του κεραυνικού ρεύματος το οποίο ενδέχεται να περάσει από αυτούς. Στην περίπτωση που δεν επιτρέπεται η άμεση γεφύρωση, τότε χρησιμοποιούνται περιοριστές υπέρτασης με διάκενο σπινθηριστή ISGs .

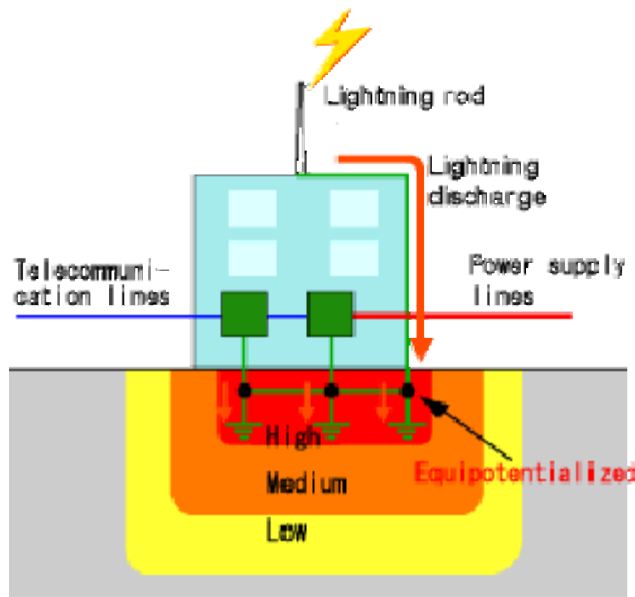
Ισοδυναμικές Συνδέσεις για Εσωτερικά Συστήματα

Οι ισοδυναμικές συνδέσεις εσωτερικών συστημάτων αφορούν ηλεκτρικές και τηλεπικοινωνιακές εγκαταστάσεις που βρίσκονται στο εσωτερικό της κατασκευής. Εάν τα καλώδια ηλεκτρικού ή τηλεπικοινωνιών φέρουν μεταλλική θωράκιση ή είναι τοποθετημένα σε μεταλλικό περίβλημα, τότε η ισοδυναμική σύνδεση με το εσωτερικό ΣΑΠ γίνεται στο περίβλημα ή τη θωράκιση.

Στην περίπτωση που τα καλώδια δεν φέρουν μεταλλική θωράκιση, ούτε υπάρχει μεταλλικό περίβλημα, τότε πρέπει να συνδεθούν μέσω περιοριστών υπέρτασης. Σε συστήματα TN (γειωμένος ουδέτερος) ο αγωγός προστασίας PE ή ο ουδέτερος αγωγός προστασίας PEN, μπορούν να συνδέονται απευθείας στο ΣΑΠ ή μέσω περιοριστή υπέρτασης.

Ισοδυναμικές Συνδέσεις Εισερχομένων Γραμμών στο Κτήριο

Οι αγωγοί ηλεκτρικών και τηλεπικοινωνιακών γραμμών πρέπει να γεφυρώνονται απευθείας ή μέσω περιοριστών υπερτάσεων. Οι ενεργοί αγωγοί πρέπει να συνδέονται στους ζυγούς εξίσωσης δυναμικού αποκλειστικά μέσω περιοριστών υπερτάσεων. Σε συστήματα TN ο αγωγός προστασίας PE ή ο ουδέτερος αγωγός προστασίας PEN, μπορούν να συνδέονται απευθείας στο ΣΑΠ ή μέσω περιοριστή υπέρτασης. Σημαντικό είναι να επιτυγχάνεται σύνδεση της μεταλλικής θωράκισης ή του μεταλλικού περιβλήματος των καλωδίων όσο πιο κοντά γίνεται στο σημείο εισόδου των γραμμών στο κτήριο.[11]



Εικόνα 4.14. Ισοδυναμικές συνδέσεις σε κατασκευή. Επειδή δεν υπάρχει διαφορά δυναμικού στη γείωση, το ρεύμα αποφόρτισης δεν μπορεί να προκαλέσει ζημιά. Πηγή : http://www.sankosha.co.jp/en/technical_data/technical_earthing/touden.html

4.4.2 Υπολογισμός ρεύματος κεραυνού που ρέει σε εξωτερικά αγωγία τμήματα και στα καλώδια εισερχόμενων παροχών της κατασκευής

Οι αγωγοί ισοδυναμικών συνδέσεων πρέπει να αντέχουν το ποσοστό του ρεύματος του κεραυνού που τους διαρρέει. Το ποσοστό αυτό είναι συνήθως μικρό όταν διασυνδέουν ισοδυναμικά μεταλλικές εγκαταστάσεις στο εσωτερικό της κατασκευής ενώ γίνεται σημαντικό όταν διασυνδέουν εξωτερικά αγωγία τμήματα με το ΣΑΠ. Το ποσοστό αυτό του ρεύματος του κεραυνού, καθορίζει τις ελάχιστες διαστάσεις των αγωγών ισοδυναμικών συνδέσεων (Πίνακας 4.10,4.11), μπορεί να υπολογιστεί αναλυτικά σύμφωνα με την IEC 61024-1-2:1998 ως ακολούθως

IEC 61312-1

Το ρεύμα του κεραυνού, κατά τη διαδρομή του προς την γη, μοιράζεται στο σύστημα γείωσης και στα εξωτερικά αγωγία τμήματα καθώς και στα καλώδια των εισερχόμενων παροχών κοινής ωφέλειας της κατασκευής, συνδεδεμένα στο ζυγό εξίσωσης δυναμικών είτε άμεσα μέσω αγωγών ισοδυναμικών συνδέσεων είτε μέσω εκτροπέων υπέρτασης. Το τμήμα του ρεύματος του κεραυνού που διαρρέει αντίστοιχα κάθε εξωτερικό αγωγίο τμήμα ή καλώδιο των εισερχόμενων παροχών της κατασκευής εξαρτάται από το πλήθος τους, την ισοδύναμη αντίσταση γείωσής τους και από την ισοδύναμη αντίσταση γείωσης του συστήματος γείωσης της κατασκευής. Το ρεύμα αυτό, I_f , μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με τη σχέση:

$$I_f = I \times \frac{Z_e}{nZ_e + Z_i}$$

όπου:

I (kA) το ρεύμα του κεραυνού αντίστοιχο με την επιλεγθείσα στάθμη προστασίας, (Πίνακας 4.2),

Z_e (Ω) η ισοδύναμη αντίσταση γείωσης του συστήματος γείωσης,

Z_i (Ω) η ισοδύναμη αντίσταση γείωσης κάθε εξωτερικού αγωγίμου τμήματος ή καλωδίου των εισερχόμενων παροχών της κατασκευής και,

n ο συνολικός αριθμός των εξωτερικών αγωγίμων τμημάτων και των καλωδίων των εισερχόμενων παροχών της κατασκευής.

Οι ισοδύναμες αντιστάσεις γείωσης Z_e και Z_i εξαρτώνται από την ειδική αντίσταση του εδάφους και τιμές τους μπορούν να ληφθούν από τον Πίνακα 4.12

Z_e (Ω) ανάλογα με την στάθμη προστασίας				
ρ , (Ω .m)	Z_i (Ω)	I	II	III και IV
100	8	4	4	4
200	13	6	6	6
500	16	10	10	10
1000	22	10	15	20
2000	28	10	15	40
3000	35	10	15	60

Πίνακας 4.12. Συντελεστής κατανομής του ρεύματος του κεραυνού, K_p , συνάρτησι της ειδικής αντίστασης του εδάφους. Πηγή: ΕΛΟΤ 1197-Ε2:2002. Προστασία κατασκευών από κεραυνούς

Ο συντελεστής K_p , που ισούται με το δεύτερο μέλος της παραπάνω εξίσωσης, εκφράζει το ποσοστό του ρεύματος του κεραυνού που διαρρέει αντίστοιχα κάθε εξωτερικό αγωγίμο τμήμα ή καλώδιο των εισερχόμενων παροχών της κατασκευής. Ο συντελεστής αυτός παρουσιάζεται συναρτήσι της ειδικής αντίστασης και της στάθμης προστασίας στους πίνακες 5.11 και 5.12

K_p												
ρ , (Ω .m)	$n = 1$			$n = 2$			$n = 3$			$n = 4$		
	I	II	III & IV	I	II	III & IV	I	II	III & IV	I	II	III & IV
100	0.33	0.33	0.33	0.25	0.25	0.25	0.20	0.20	0.20	0.17	0.17	0.17
200	0.32	0.32	0.32	0.24	0.24	0.24	0.19	0.19	0.19	0.16	0.16	0.16
500	0.38	0.38	0.38	0.28	0.28	0.28	0.22	0.22	0.22	0.18	0.18	0.18
1000	0.31	0.41	0.48	0.24	0.29	0.32	0.19	0.22	0.24	0.16	0.18	0.20
2000	0.26	0.35	0.59	0.21	0.26	0.37	0.17	0.21	0.27	0.15	0.17	0.21
3000	0.22	0.30	0.63	0.18	0.23	0.39	0.15	0.19	0.28	0.13	0.16	0.22

Πίνακας 4.13: Συντελεστής κατανομής του ρεύματος του κεραυνού, K_p , συνάρτησι της ειδικής αντίστασης του εδάφους. Πηγή: ΕΛΟΤ 1197-Ε2:2002. Προστασία κατασκευών από κεραυνούς

Εάν η ειδική αντίσταση του εδάφους ή η στάθμη προστασίας δεν είναι γνωστές το τμήμα του ρεύματος του κεραυνού που ρέει σε κάθε εξωτερικό αγωγίμο τμήμα ή καλώδιο των εισερχόμενων παροχών της κατασκευής μπορεί προσεγγιστικά να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$I_f = 0.5 nL$$

θεωρώντας ότι το 50% του συνολικού ρεύματος του κεραυνού παροχετεύεται στη γη μέσω του συστήματος γείωσης της κατασκευής.

4.4.3 Απαγωγοί κρουστικών υπερτάσεων

Οι κρουστικές υπερτάσεις μπορούν να περάσουν μέσα στα ηλεκτρικά κυκλώματα είτε μέσα από την ηλεκτρική παροχή, συμπεριλαμβανομένου και του αγωγού γείωσης, είτε μέσα από τις τηλεφωνικές γραμμές, τις γραμμές μεταφοράς δεδομένων και τις γραμμές μεταφοράς αναλογικών σημάτων (από κεραία τηλεόρασης, κάμερα παρακολούθησης κλπ.) και γενικά μέσα από οποιοδήποτε ηλεκτρικό αγωγίμο δίκτυο. Οι απαγωγοί κρουστικών υπερτάσεων (surge protection devices ή SPDs), είναι οι συσκευές αυτές που τοποθετούνται πριν από τα μηχανήματα που θέλουμε να προστατεύσουμε ή σε συγκεκριμένα σημεία μέσα στο δίκτυο, με στόχο να μειώσουν το κρουστικό κύμα άμεσα σε μεγέθη ακίνδυνα.

Η αρχή λειτουργίας τους είναι η εξής: ο κάθε απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων, SPD, χαρακτηρίζεται σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας του, από μία πολύ υψηλή αντίσταση μεταξύ των άκρων του. Όταν στο δίκτυο που είναι συνδεδεμένος εφαρμοστεί μία κρουστική τάση με τιμή μεγαλύτερη από την τάση διάσπασης του SPD, βραχυκυκλώνει τα άκρα του σε χρόνο της τάξης ns, μειώνοντας έτσι τις διαφορές δυναμικού μεταξύ των ηλεκτρικά μονωμένων αγωγών και μεταξύ των γειωμένων μερών, σε στάθμη που πρέπει να είναι χαμηλότερη της διηλεκτρικής αντοχής των μονωτικών της εγκατάστασης, όπως αυτή ορίζεται στο Διεθνές πρότυπο IEC 60664-1 (Πίνακας 4.14). Η τάση αυτή ονομάζεται τάση προστασίας (U_p) και είναι το βασικότερο κριτήριο επιλογής του SPD. Όταν η τάση του δικτύου επανέλθει στα φυσιολογικά επίπεδα, ο απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων, SPD, αυτόματα επανέρχεται στην αρχική φυσιολογική του θέση, χωρίς την ανάγκη διακοπής της παροχής του ηλεκτρικού δικτύου, αντικατάσταση τηκτών, ή επαναοπλισμού αυτόματων διακοπών.

Δυναμικό μεταξύ φάσης και ουδέτερου, εξαγόμενο από τις ονομαστικές τάσεις λειτουργίας a.c. ή d.c. (Volts)	Διηλεκτρική αντοχή συσκευής, U_s (Volts)			
	Κατηγορία Συσκευής (*)			
	I	II	III	IV
50	330	500	800	1500
100	500	800	1500	2500
150	800	1500	2500	4000
300	1500	2500	4000	6000
600	2500	4000	6000	8000
1000	4000	6000	8000	12000

Πίνακας 4.14. Αντοχή των μονωτικών των συσκευών που τροφοδοτούνται από το δίκτυο. Πηγή: IEC 60664-1, Table 1, <http://www.elemko.gr/Documents/arresters.asp>

(*) Οι παραπάνω αναφερόμενες κατηγορίες συσκευής του Πίνακα 4.14 ορίζονται ως εξής:

Κατηγορία IV : υλικά, διατάξεις ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων, όπως καλώδια, τηκτές ασφάλειες, κιλοβατοωρόμετρα.

Κατηγορία III : διατάξεις μόνιμα συνδεδεμένες στην ηλεκτρική εγκατάσταση των οποίων η αξιοπιστία λειτουργίας τους διέπεται από ειδικές απαιτήσεις όπως διακόπτες, κινητήρες και γενικά συσκευές και μηχανήματα βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

Κατηγορία II : διατάξεις και συσκευές οικιακής χρήσης μόνιμα συνδεδεμένες στην ηλεκτρική εγκατάσταση, φορητές συσκευές και εργαλεία.

Κατηγορία I : σε αυτή ανήκουν οι ηλεκτρονικές συσκευές και γενικά κάθε ηλεκτρονικό κύκλωμα.

Βέβαια, υπάρχουν κάποιες βασικές προϋποθέσεις που πρέπει να τηρηθούν για την επιτυχία της προστασίας, και οι σημαντικότερες είναι οι ακόλουθες:

- Συμβατότητα με το σύστημα: να μη προκαλεί λειτουργικά προβλήματα στις συσκευές που προστατεύει, όπως π.χ. να διατηρεί τις ιδιότητές του υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας των συσκευών ώστε να μη γειώνει τους ενεργούς αγωγούς.
- Σωστή επιλογή στάθμης προστασίας: η τάση προστασίας, UP, λειτουργίας του SPD, πρέπει να είναι μικρότερη της στάθμης μόνωσης της συσκευής που προστατεύει. Αν για παράδειγμα πρέπει να προστατευθεί ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα με διηλεκτρική αντοχή 800V, ο απαγωγός κρουστικής υπέρτασης θα πρέπει να χαρακτηρίζεται με UP<800V, ή ακόμη χαμηλότερη, έτσι ώστε να προστατευθεί η συσκευή επαρκώς και να υπάρχει και ένα όριο ασφαλείας.
- Βιωσιμότητα: για αξιόπιστη μακράς διάρκειας λειτουργία, το SPD που θα επιλεγεί πρέπει να μπορεί να αντέξει το μεγαλύτερο κρουστικό ρεύμα I_{imp} ή I_{max} που αναμένεται στο συγκεκριμένο σημείο εγκατάστασής του και υπολογίζεται με βάση την αναγκαία στάθμη προστασίας, όπως αναφέρεται στη συνέχεια.[9]

Χαρακτηριστικοί παράμετροι επιλογής απαγωγών κρουστικών υπερτάσεων

Οι απαγωγοί κρουστικών υπερτάσεων επιλέγονται λαμβάνοντας υπόψη τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και τις ιδιαιτερότητες του συστήματος στο οποίο τοποθετούνται.

Πιο αναλυτικά οι παράμετροι που παίζουν ρόλο στην επιλογή τους είναι οι εξής:

- Χαρακτηριστικά δικτύου: Για να εξασφαλιστεί η συμβατότητα με το δίκτυο είναι αναγκαία η γνώση των τριών επόμενων παραμέτρων. Η Ονομαστική τάση

λειτουργίας (Voltage rating, UN, ή Continuous operating voltage, UC) καθορίζεται με βάση την ονομαστική τάση της ηλεκτρικής γραμμής. Η μέγιστη τάση λειτουργίας σύμφωνα με τις προδιαγραφές κυμαίνεται περίπου στο +15% της ονομαστικής τιμής. Για τα Ελληνικά δεδομένα, όπως και για ολόκληρη την Ευρώπη, σύμφωνα με οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η ονομαστική τάση λειτουργίας για όλα τα δίκτυα χαμηλής τάσης είναι 230/400V. Για τα ασθενή ρεύματα (π.χ. σήματα data) ονομαστική τάση είναι η θετική ή αρνητική τιμή κορυφής του σήματος (Voltage peak value, Upk). Το Ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας, (Continuous operating current, IC), ενδιαφέρει μόνο στην περίπτωση που ο απαγωγός συνδέεται σε σειρά με το δίκτυο. Τέλος, ανάλογα με τη Συχνότητα λειτουργίας, f, του δικτύου, επιλέγεται και ο απαγωγός που λειτουργεί στην ανάλογη συχνότητα.

- Τάση εκφόρτισης ή Παραμένουσα τάση (Residual voltage, Ures): είναι η τάση που αναπτύσσεται στα άκρα του απαγωγού κρουστικών υπερτάσεων κατά τη διάρκεια της διέλευσης του ονομαστικού ρεύματος εκφόρτισης, το οποίο ορίζεται παρακάτω. Η μέγιστη παραμένουσα τάση (Voltage limiting) είναι αυτή που αντιστοιχεί στο μέγιστο ρεύμα εκφόρτισης που μπορεί να αντέξει ο συγκεκριμένος απαγωγός. Στην περίπτωση απαγωγού τύπου σπινθηριστή η παραμένουσα τάση ισούται με την Τάση διάσπασης (Sparkover voltage), την τάση δηλαδή στην οποία έχουμε έναρξη του σπινθήρα. Όπως γίνεται σαφές, όσο μικρότερη είναι η τάση προστασίας ενός απαγωγού τόσο το καλύτερο, και τόσο πιο ευαίσθητες συσκευές μπορεί να προστατεύσει.
- Τάση προστασίας (Voltage protection level, UP): η συγκεκριμένη παράμετρος χαρακτηρίζει τη συμπεριφορά του απαγωγού και πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη παραμένουσα τάση ή την τάση διάσπασης. Η χρησιμότητα της παραμέτρου αυτής είναι ίσως η σημαντικότερη όλων, καθώς μεγαλύτερη τάση προστασίας από αυτή που αντέχει η υπό προστασία συσκευή, θα οδηγήσει σε ανεπαρκή προστασία της και ενδεχόμενη καταστροφή της.
- Μέγιστο ρεύμα εκφόρτισης (Maximum discharge current, I_{max} ή Maximum impulse current, I_{imp}): είναι το μεγαλύτερο ρεύμα εκφόρτισης που διέρχεται μέσα από το αλεξικέραυνο δικτύου τουλάχιστον για μία φορά, χωρίς αυτό να καταστραφεί. Με βάση αυτή τη μεταβλητή εξασφαλίζεται η βιωσιμότητα του απαγωγού. Το μέγιστο ρεύμα εκφόρτισης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη μορφή κρούσης του κύματος. Όταν λέμε μορφή κρούσης (Impulse wave shape) εννοούμε το πηλίκο του χρόνου που φτάνει το ρεύμα στη μέγιστη τιμή του, προς το χρόνο που πέφτει στο μισό της μέγιστης τιμής. Ο λόγος που χρησιμοποιείται είναι το γεγονός ότι κάθε κρουστικό κύμα έχει απρόβλεπτη μορφή κρούσης και συνεπώς τα μεγέθη δεν είναι συγκρίσιμα. Εισάγοντας αυτή την παράμετρο είμαστε πιο ακριβής στον καθορισμό του I_{max} της αντικεραυνικής συσκευής. Για παράδειγμα, ένας απαγωγός στο οποίο εφαρμόζεται κρούση μορφής 8/20μs έχει ικανότητα I_{max}=5kA. Στον ίδιο απαγωγό αν εφαρμοστεί κρούση μορφής 4/10μs για παράδειγμα, έχει ικανότητα I_{max}=65kA. Η μορφή κρούσης καθορίζεται από τα Διεθνή πρότυπα IEC σε 8/20μs, ενώ σε ειδικές περιπτώσεις για τη μέτρηση του I_{max} φτάνει και σε διάρκεια τα 10ms (IEC 61643–2011). Από εδώ και στο εξής ό,τι τιμές έντασης και αν αναφέρονται, ως μορφή κρούσης θα εννοείται η 8/20μs.

- Ονομαστικό ρεύμα εκφόρτισης (Nominal discharge current, I_n): Έτσι ονομάζεται το ρεύμα αυτό που μπορεί να αντιμετωπιστεί από τον απαγωγό για τουλάχιστον είκοσι φορές, χωρίς αυτός να παρουσιάσει δυσλειτουργία. Όταν για παράδειγμα λέμε ότι ο συγκεκριμένος απαγωγός έχει $I_{max}=40kA$ και $I_n=15kA$, ρεύματος $8/20\mu s$ εννοούμε ότι μπορεί να αντεπεξέλθει χωρίς να καταστραφεί σε ρεύμα $40kA$ τουλάχιστον μία φορά και σε ρεύμα $15kA$ τουλάχιστον για είκοσι φορές, πάντα μορφής $8/20\mu s$.
- Υπέρταση μεγάλης διάρκειας του ηλεκτρικού πεδίου διανομής, UTOV: μία σημαντική παράμετρος που πρέπει να συνεκτιμάται κατά την επιλογή του απαγωγού, κυρίως στα ενεργειακά συστήματα, είναι οι υπερτάσεις του συστήματος μακράς διάρκειας UTOV, με χρονική διάρκεια $0,05 < t < 10s$. Οι τάσεις αυτές λόγω της διάρκειάς τους δεν έχουν κρουστική μορφή και ο απαγωγός υπερτάσεων, αν λειτουργήσει για να τις μειώσει υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να καταστραφεί, καθώς καταπονείται για μεγάλη χρονική διάρκεια από το ρεύμα του συστήματος που ρέει μέσα σε αυτόν. Στατιστικά, έχει αποδειχθεί ότι σε απομονωμένα δίκτυα η καταστροφή των απαγωγών κρουστικών υπερτάσεων από αυτό το αίτιο, είναι συνηθέστερη από ότι η καταστροφή τους από ένα κεραυνικό ρεύμα. Το Διεθνές πρότυπο IEC της σειράς 60364 συνιστά στις εταιρείες διανομής ηλεκτρικής ενέργειας να κατασκευάζουν δίκτυα που οι υπερτάσεις μεγάλης διάρκειας να μην υπερβαίνουν την τιμή $1,5xUN+750V$ για χρόνο $0,05 < t < 5s$, και την τιμή $1,5xUNV$ για χρόνο $5 < t < 10s$. Η επιλογή του κατάλληλου απαγωγού κρουστικών υπερτάσεων θα πρέπει να γίνεται με το κριτήριο να λειτουργεί σε τάσεις μεγαλύτερες της U_{TOV} , όπως αυτή ορίζεται από το IEC 60364. Αν και αναφέρθηκε, δηλαδή, ότι όσο μικρότερη είναι η τάση προστασίας τόσο το καλύτερο, οι ελάχιστες τιμές της UP περιορίζονται από την UTOV.
- Χρόνος απόκρισης (Time Response, tR): είναι ο χρόνος που απαιτείται μέχρις ότου να ενεργοποιηθεί η λειτουργία του απαγωγού. Είναι πολύ βασική παράμετρος, καθώς πρέπει να λειτουργήσει πριν περάσει το κύμα και κάνει τη ζημιά και πρέπει να είναι μικρότερος των $25 ns$ (25×10^{-9}). Αυτός είναι και ο λόγος που οι σταθεροποιητές τάσης (UPS) δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αντικεραυνική προστασία, καθώς ο χρόνος απόκρισής τους είναι συγκριτικά πολύ μεγαλύτερος (της τάξης των ms, 10-3). Αντιθέτως, κινδυνεύουν και οι ίδιοι από τα κρουστικά κύματα και χρειάζονται προστασία.

Υπάρχουν και άλλες μεταβλητές που παίζουν ρόλο στην επιλογή του σωστού απαγωγού, όπως η ισχύς λειτουργίας, η θερμοκρασία λειτουργίας, το μέγιστο υψόμετρο λειτουργίας κλπ. που δεν χρήζουν ανάλυσης τη συγκεκριμένη στιγμή, καθώς ο ρόλος τους είναι σημαντικός μεν, πολύ λεπτομερειακός δε.

4.4.3.1. Είδη απαγωγών κρουστικών υπερτάσεων

Ανάλογα με το τι συσκευή θέλουμε να προστατεύσουμε και από ποια σημεία εισόδου του κύματος, υπάρχουν και οι αντίστοιχοι απαγωγοί κρουστικών υπερτάσεων. Οι απαγωγοί που συνηθέστερα συναντώνται είναι οι εξής: Οι απαγωγοί μέσης τάσης έχουν σκοπό να προστατεύσουν έναν υποσταθμό ή γενικότερα ένα δίκτυο μέσης τάσης από κρουστικά κύματα ερχόμενα από το δίκτυο της ΔΕΗ. Η ονομαστική τάση λειτουργίας τους είναι συνήθως για τη χώρα μας 21kV και τοποθετούνται παράλληλα με το δίκτυο, ένας σε κάθε φάση (συνολικά τρεις για τριφασικό ρεύμα). Αποτελούν την πρώτη βαθμίδα προστασίας, και χωρίζονται σε πορσελάνης και πολυμερίου (polymer). Οι απαγωγοί χαμηλής τάσης για συστήματα TN-S, όπως αυτό της ΔΕΗ (εκτός από το ιστορικό κέντρο της Αθήνας που έχει σύστημα TT και στο οποίο χρησιμοποιούνται πάλι οι ίδιοι απαγωγοί), τοποθετούνται στον κεντρικό πίνακα και παράλληλα στην κάθε φάση του ρεύματος αλλά και στον ουδέτερο (συνολικά τέσσερα για τριφασικό ρεύμα, δύο για μονοφασικό). Όποτε κρίνεται σκόπιμο τοποθετούνται απαγωγοί και στους υποπίνακες ως επιπλέον ζώνες προστασίας, αλλά και ακριβώς πριν από μία συσκευή. Επαναλαμβάνεται σε αυτό το σημείο ότι οι συγκεκριμένοι απαγωγοί δεν πρέπει κατά την απαγωγή των κρουστικών υπερτάσεων να διακόπτουν την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο μηδενίζοντας την τάση του δικτύου, αλλά να συνεχίζεται η ομαλή τροφοδοσία του, έστω και με μεγαλύτερη τάση, μέσα στα πλαίσια της αντοχής των μονωτικών των συσκευών που τροφοδοτούνται από το δίκτυο, όπως αυτές ορίζονται στο IEC 60664-1 (insulation coordination for equipment within low-voltage systems) (Πίνακας 1).

Οι απαγωγοί κρουστικών υπερτάσεων τηλεμετρίας και τηλεχειρισμών προστατεύουν ευαίσθητα ηλεκτρονικά κυκλώματα και διατάξεις από κρουστικά ρεύματα που εισέρχονται από τις γραμμές μεταφοράς δεδομένων ή σημάτων. Οι απαγωγοί αυτοί εγκαθίστανται σε σειρά με το δίκτυο και κοντά στις υπό προστασία συσκευές, επιτρέποντας τη διέλευση όλων των σημάτων και δεδομένων. Πρέπει να είναι συμβατοί με το δίκτυο και να μην προκαλούν παρεμβολές, επιδράσεις ή εξασθενίσεις στα σήματα. Σε περίπτωση καταστροφής τους βραχυκυκλώνουν με τη γείωση ώστε να γίνει αντιληπτή η απώλειά τους και να προστατεύσουν το σύστημα μέχρι την αντικατάστασή τους.

Τέλος, για να προστατεύσουμε τηλεφωνικές συσκευές ή ψηφιακά κέντρα από την είσοδο κρουστικών υπερτάσεων διαμέσου του δικτύου του ΟΤΕ, χρησιμοποιούμε ειδικούς απαγωγούς που τοποθετούνται σε σειρά με το τηλεφωνικό δίκτυο και υπάρχουν είτε ημιαγωγικού τύπου, είτε τύπου σπινθηριστή.

Ζώνες προστασίας

Σύμφωνα με το Διεθνές πρότυπο IEC 61312-1, (Protection against lightning electromagnetic impulse) η πληρέστερη προστασία ενός δικτύου από κρουστικές υπερτάσεις επιτυγχάνεται με το διαχωρισμό του σε ζώνες προστασίας. Ως πρώτη ζώνη τοποθετούμε απαγωγούς που έχουν την ικανότητα να αντεπεξέρχονται σε κρουστικά ρεύματα μεγάλης έντασης και ενέργειας. Στις υπόλοιπες ζώνες χρησιμοποιούνται μικρότεροι απαγωγοί, καθώς το κυρίως κρουστικό κύμα έχει ήδη «κοπεί» στην πρώτη ζώνη, που στόχο έχουν να μειώσουν βαθμιαία την παραμένουσα τάση στα επιθυμητά όρια. Ο διαχωρισμός του δικτύου σε αυτές τις ζώνες γίνεται με βάση τις εξής παραμέτρους:

- Τη διηλεκτρική αντοχή των συσκευών που θέλουμε να προστατεύσουμε.

- Το συνολικό μήκος του δικτύου. Ένα κρουστικό κύμα, ανακλώμενο μέσα σε καλωδιώσεις μεγάλου μήκους έχει τη δυνατότητα να μεγαλώσει ξανά (μπορεί να διπλασιαστεί σε απόσταση δέκα μέτρων) και να προκαλέσει καταστροφές ακόμα και με την παρουσία προστασίας στην είσοδο της εγκατάστασης.
- Τη στάθμη προστασίας της κατασκευής. Όσο πιο προβληματική είναι μια ενδεχόμενη διακοπή λειτουργίας και όσο ακριβότερο είναι το κόστος των υπό προστασία συσκευών, τόσο πιο λεπτομερειακή είναι και η προστασία. Για τον υπολογισμό της στάθμης προστασίας μπορούμε να ανατρέξουμε στο Ελληνικό πρότυπο ΕΛΟΤ 1412. Κατόπιν, αποφασίζουμε πιο πρέπει να πάρουμε ως μέγιστο ρεύμα εκφόρτισης στους υπολογισμούς μας για τον υπολογισμό του καταμερισμού του κεραυνικού ρεύματος (Πίνακας 4.15).
- Το αναμενόμενο μέγεθος του κεραυνικού ρεύματος. Υπάρχει η δυνατότητα να υπολογιστεί η τάξη μεγέθους του κεραυνικού ρεύματος σε ένα δεδομένο σημείο του δικτύου. Με δεδομένη τη γνώση του πώς καταμερίζεται το ρεύμα του κεραυνού στις διάφορες καλωδιώσεις και σωληνώσεις του κτιρίου, το υπολογιζόμενο μέγεθος εξαρτάται από κάποιους παράγοντες όπως το αν η περιοχή έχει προϊστορία μεγάλης κεραυνικής δραστηριότητας, αλλά και το αν ένα συγκεκριμένο σημείο του δικτύου κινδυνεύει από άμεσο ή έμμεσο χτύπημα.

Απαιτούμενη στάθμη προστασίας	Μέγιστο ρεύμα κορυφής κεραυνού I(kA)
Στάθμη I	200
Στάθμη II	150
Στάθμη III	100
Στάθμη IV	100

Πίνακας 4.15 Μέγιστο ρεύμα εκφόρτισης ανάλογα με τη στάθμη προστασίας Πηγή: IEC 61024-1-1 (lightning risk assessment)

4.4.3.2 Κατηγορίες εκτροπέων υπέρτασης χαμηλής τάσης

Κάθε απαγωγός υπερτάσεων περιέχει τουλάχιστον ένα μη-γραμμικό στοιχείο προστασίας, που η ηλεκτρική του αντίσταση μεταβάλλεται σε συνάρτηση με την τάση που εφαρμόζεται στα άκρα του. Οι κατηγορίες των εκτροπέων υπερτάσεων διαχωρίζονται ανάλογα με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στις εξής δύο : spark-gaps (σπινθηριστές) και βαρίστορ (MOV – metal oxide varistor).

Απαγωγοί υπερτάσεων με spark-gaps [IEC 61643-311:2001]

Οι απαγωγοί που διαθέτουν διάκενο σπινθήρα (spark gap), ονομάζονται και διακόπτες γιατί σε περίπτωση εμφάνισης κύματος κρουστικής υπέρτασης, διακόπτουν το τμήμα του κυκλώματος που πρόκειται να προστατέψουν. Το διάκενο σπινθήρα είναι ένα εξάρτημα που αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια σε μικρή απόσταση μεταξύ τους που απομονώνουν το τμήμα του υπό

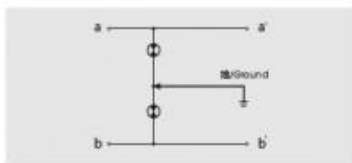
προστασία κυκλώματος όταν η τάση στα άκρα τους ξεπεράσει ένα ορισμένο επίπεδο. Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας του συστήματος (στην ονομαστική τάση), το διάκενο σπινθήρα, δεν άγει ρεύμα μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων. Με την παρουσία ενός κύματος τάσης, η σύνθετη αντίσταση του διάκενου σπινθήρα μειώνεται ταχέως (τυπικός χρόνος ενεργοποίησης:

100 ns) σε 0,1-1 Ω με το σχηματισμό ενός ηλεκτρικού τόξου μεταξύ των ηλεκτροδίων. Το ηλεκτρικό τόξο σβήνει όταν το πλάτος της μεταβατικής υπέρτασης μειώνεται, αποκαθιστώντας έτσι την απομόνωση μεταξύ των ηλεκτροδίων.

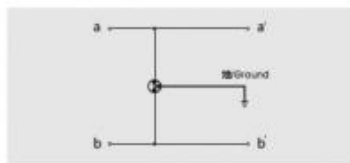
3-point protection

3-point protection circuits are connected between the a/b wires and ground and operate by conducting the voltage surge to ground.

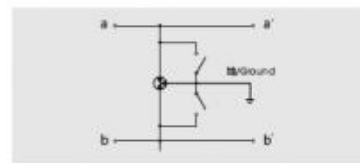
2-electrode GDT overvoltages and overcurrents circuits:



3-electrode GDT overvoltages and overcurrents circuits:



with a failsafe mechanism 3-electrode GDT overvoltages and overcurrents circuits:



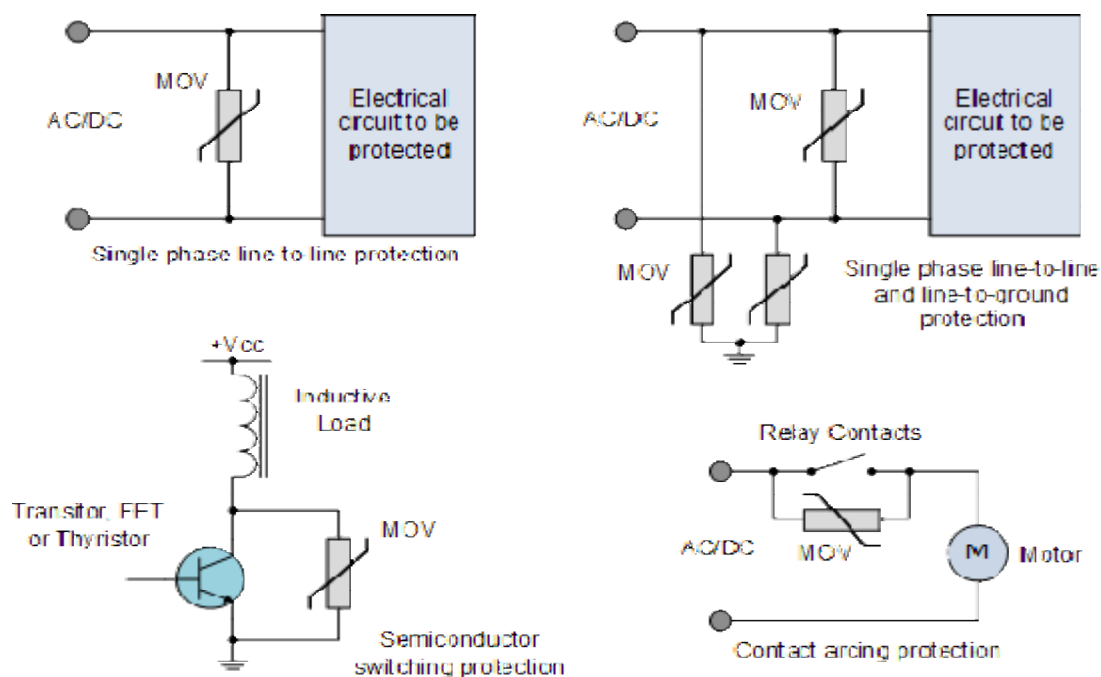
Εικόνα 4.15. Προστασία με σπινθηριστές αερίων κυκλωμάτων ασθενών ρευμάτων. Πηγή: <http://www.easycablings.com/sale-4014773-3-point-gdt-gas-discharge-tube-gas-tube-arrester-tuv-standard-6-8mm-for-surge-protection.html>



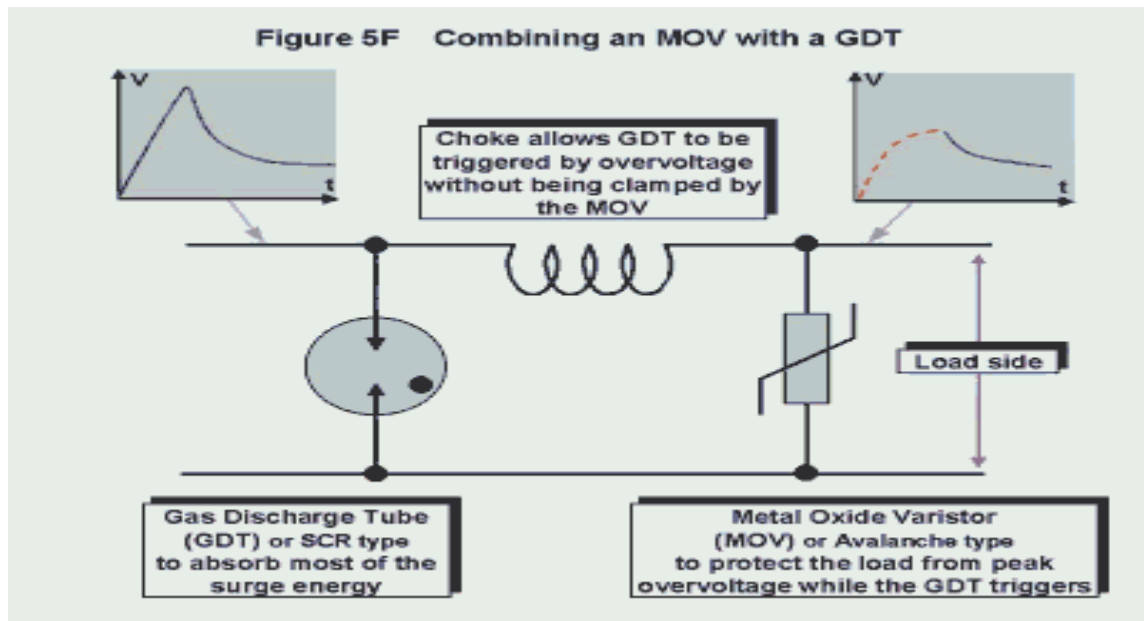
Εικόνα 4.16. Είδη απαγωγών υπερέτασεων Πηγή: <http://www.hakel.cz/wp-content/uploads/2015/02/components-kopie>.

απαγωγί υπερέτασεων με βαρίστορ (varistor) MOV, Metal Oxide Varistors (MOV) [IEC 61643-331:2003]

Τα βαρίστορ είναι ημιαγωγικά στοιχεία τα οποία μεταβάλλουν την αντίστασή τους σύμφωνα με την τάση που εφαρμόζεται στα άκρα τους. Η μεταβολή της αντίστασης αυτής είναι μεν συνεχής αλλά μη γραμμική (Τάση U σε σχέση με το ρεύμα I). Τα βαρίστορ που χρησιμοποιούνται στους απαγωγούς υπερτάσεων έχουν σαν στόχο τον περιορισμό της τάσης που εφαρμόζεται στο τμήμα του υπό προστασία κυκλώματος. Όταν δεν υπάρχει κύμα μεταβατικής υπερτάσης η σύνθετη αντίσταση του βαρίστορ έχει πολύ υψηλή τιμή (συνήθως πάνω από $1\text{ M}\Omega$). Όταν όμως εμφανίζεται ένα κύμα, η σύνθετη αντίσταση του βαρίστορ πέφτει ακαριαία κάτω από $1\ \Omega$ μέσα σε λίγα ns, επιτρέποντας το επερχόμενο ρεύμα να ακολουθήσει τη διαδρομή προς την γείωση της εγκατάστασης και όχι προς τις συσκευές που θέλουμε να προστατέψουμε. Το βαρίστορ ανακτά τις ιδιότητες απομόνωσης του μετά την εκφόρτιση του κύματος. Μια ιδιαιτερότητα των βαρίστορ είναι ότι ένα αμελητέο ρεύμα ρέει πάντοτε μέσα από το σώμα τους γνωστό και ως υπολειπόμενο ή εναπομένον ρεύμα (IPE: 100 έως $200\ \mu\text{A}$).



Εικόνα 4.17. Εγκατάσταση εκτροπέα βάριστορ σε διαφορετικά είδη ηλεκτρικών κυκλωμάτων Πηγή: <http://www.electronics-tutorials.ws/resistor/varistor.html>



Εικόνα 4.18 Συνδυασμός σπινθηριστή αερίων και εκτροπέα βάριστορ για αποτελεσματικότερη προστασία από υπερτάσεις. Πηγή : <http://www.compliance-club.com>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΛΕΞΙΚΕΡΑΥΝΑ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα αλεξικέραυνα είναι οι διατάξεις αυτές που σκοπό έχουν τη σύλληψη του κεραυνού, αποτελούν δηλαδή το συλλεκτήριο σύστημα ενός ολοκληρωμένου συστήματος αντικεραυνικής προστασίας και δεν επιφέρουν μόνα τους πλήρη αντικεραυνική προστασία. Η πιο απλή μορφή αλεξικέραυνου είναι η ακίδα Φράνκλιν, το οποίο είναι και το πρώτο αλεξικέραυνο που εφευρέθηκε το 1752 και χρησιμοποιείται έως σήμερα. Έκτοτε η εξέλιξη της τεχνολογίας σε συνδυασμό με τις αποκτηθείσες γνώσεις περί της ηλεκτρικής φύσης του κεραυνού, έχουν επιτρέψει την κατασκευή πολλών διαφορετικών τύπων αλεξικέραυνων, τα οποία επιλέγονται κατάλληλα ανάλογα με το είδος της κατασκευής που πρέπει να προστατευθεί.

Σε κάθε περίπτωση, σκοπός του αλεξικέραυνου είναι η διοχέτευση του κεραυνικού ρεύματος ασφαλώς προς τη γη, μέσω ενός αγωγίμου μονοπατιού, προς αποφυγήν των επιπτώσεων του κεραυνικού πλήγματος στην κατασκευή.

Τα αλεξικέραυνα μπορούν να καταταχθούν κυρίως στις παρακάτω κατηγορίες :

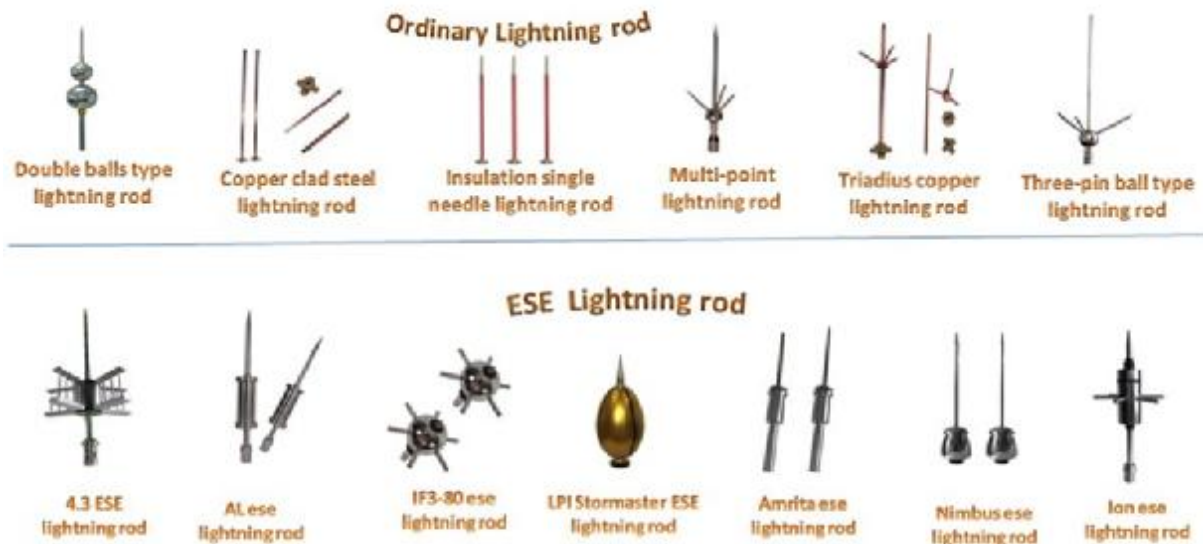
- Αλεξικέραυνα ακίδας
- Αλεξικέραυνα πρώιμου οχετού / Αλεξικέραυνα ιονισμού (ESE)
- Αλεξικέραυνα πολλών ακίδων
- Αλεξικέραυνα κλωβού (Faraday)
- Αλεξικέραυνα αποθητές κεραυνών (lighting Repellers)

Τα πρώτα τέσσερα αλεξικέραυνα βασίζονται κυρίως στην αρχή του Franklin.

Η αξιοπιστία αυτών των πρώτων τεσσάρων ειδών αλεξικέραυνων στην προστασία, κυρίως εγκαταστάσεων υψηλής τεχνολογίας, είναι πολύ μικρή. Αν κάποιος κεραυνός πέσει σε ένα από τα παραπάνω αλεξικέραυνα, τότε η ενέργεια που θα χαθεί είναι πολύ λίγη, διότι η αντίστασή του έχει επιλεγεί να είναι μικρή για να προστατεύσει το αλεξικέραυνο.

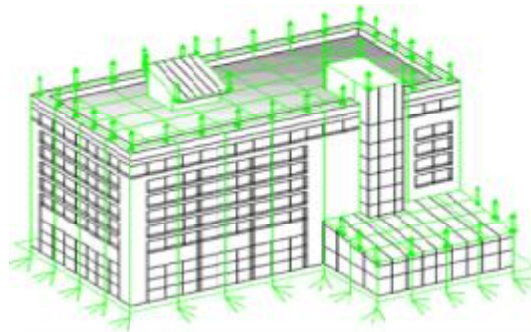
Αντίθετα, γύρω από τον αγωγό ή τους αγωγούς του αντικεραυνικού συστήματος θα αναπτυχθεί ένα ισχυρότατο μαγνητικό πεδίο, που θα επάγει ισχυρές τάσεις σε κάθε αγωγίμο στοιχείο, που θα βρεθεί στην περιοχή του. Δηλαδή κάθε αγωγός του αλεξικέραυνου θα επάγει τάση σε κάθε άλλο γειτονικό αγωγό. Οι επαγόμενες αυτές τάσεις είναι ικανές να καταστρέψουν προϊόντα υψηλής τεχνολογίας που θα βρεθούν στη δράση του μαγνητικού πεδίου, οπότε στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται επιπλέον εκτροπείς υπερτάσεων.

Τα αλεξικέραυνα ιονισμού ιονίζουν τον αέρα γύρω από την ακίδα με φυσικά ραδιενεργά υλικά ή με κάποιο ηλεκτρονικό τρόπο διέγερσης και ιονισμού. Έτσι, επιτείνουν την πρόκληση του κεραυνού στην ακίδα τους. Η πώληση και εγκατάσταση ραδιενεργών αλεξικέραυνων ιονισμού έχει απαγορευτεί, ενώ η χρήση μη ραδιενεργών αλεξικέραυνων ιονισμού επιτρέπεται στη Γαλλία και την Ισπανία για προστασία κατασκευών έως 60m, αλλά δεν προβλέπεται η χρήση τους σύμφωνα με τους ελληνικούς, γερμανικούς και βρετανικούς κανονισμούς.



Εικόνα 5.1 Συνήθεις διατάξεις αλεξικέραυνων ακίδας και αλεξικέραυνων πρώιμου οχετού Πηγή: <http://lightning-protection-devices.sell.everychina.com/p-100218925-abb-60-ese-stainless-steel-lightning-rod-for-high-lightning-protection-radius.html>

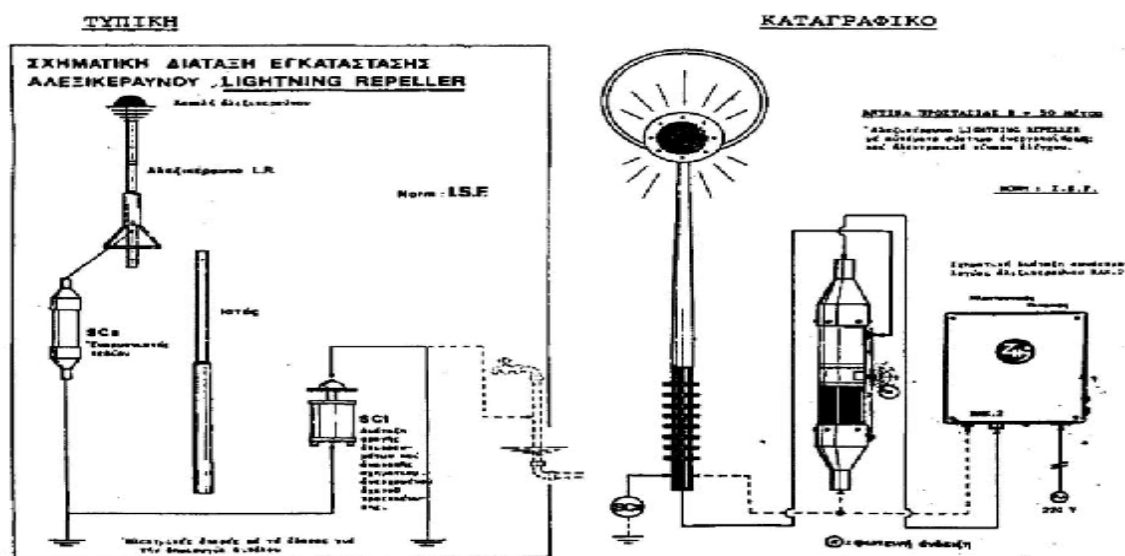
Στους ηλεκτροστατικούς κλωβούς Faraday προκαλείται ο κεραυνός και επιδιώκεται θωράκιση μιας εγκατάστασης. Η θωράκιση που επιτυγχάνεται είναι πολύ καλή στο ηλεκτροστατικό πεδίο, ενώ στο μαγνητικό πεδίο η θωράκιση αυτή είναι ανύπαρκτη. Αν ο κλωβός είναι μαγνητικός, τότε δεν ισχύουν τα παραπάνω. Ένας όμως μαγνητικός κλωβός απαιτεί βαθιά και συμπαγή σιδηροκατασκευή πάχους αρκετών εκατοστών γύρω από μια εγκατάσταση, πρακτικά και οικονομικά αδύνατο να γίνει.



Εικόνα 5.2 Σύστημα κλωβού Faraday. Πηγή: <http://www.earlystreameremission.com/images/catenary-wire.png>

Τα αλεξικέραυνα που είναι γνωστά σαν αποθητές είναι καινούργια προϊόντα και εντάσσονται στα προϊόντα υψηλής τεχνολογίας. Σαν καινούργια και υψηλής τεχνολογίας προϊόντα δεν εμπίπτουν στις σχετικές γνωστές συμβατικές διεθνείς προδιαγραφές. Αντίθετα, διέπονται από προδιαγραφές Ινστιτούτων ή κατασκευαστικών οίκων, που τυγχάνουν αναγνώρισης από τα αντίστοιχα υπουργεία των χωρών αυτών. Η αποτελεσματικότητα των διατάξεων αυτών τίθεται έως σήμερα υπό επιστημονική αμφισβήτηση.[12]

Τρόποι εγκατάστασης αλεξικέραυνων αποθητών Lightning Repellers



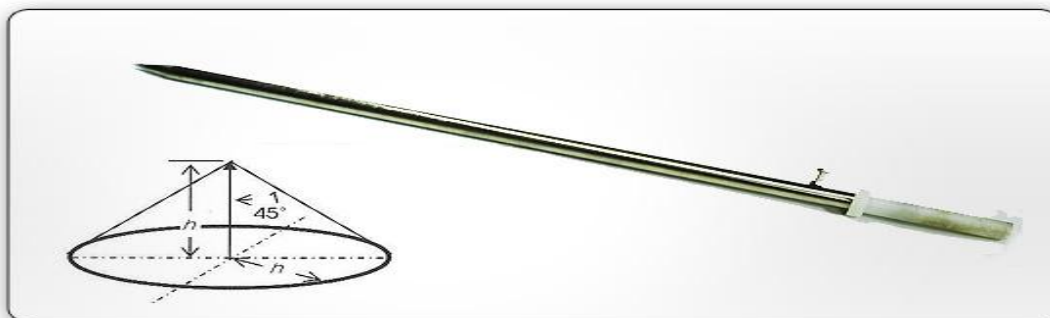
Τυπική εγκατάσταση (απλή) αλεξικέραυνου αποθητή.

Εγκατάσταση καταγραφικού αλεξικέραυνου με ηλεκτρονικό πίνακα ελέγχου.

Εικόνα 5.3 Αλεξικέραυνο αποθητής Πηγή: <http://docplayer.gr/19266305-Thema-alexikerayna-apothites-lightning-repellers.html>

5.2 ΑΛΕΞΙΚΕΡΑΥΝΟ FRANKLIN (ΑΚΙΔΑΣ)

Το αλεξικέραυνο Franklin είναι μια απλή κατασκευή που αποτελείται από μια προσγειωμένη ακίδα που προστατεύει την κωνική περιοχή που έχει κορυφή την κορυφή της ακίδας και γωνία κορυφής τη “γωνία προστασίας” της ακίδας. Έτσι, κατά το μέτρο που η έννοια της γωνίας προστασίας αποδίδει πρακτικά την αποτελεσματικότητα της ακίδας σαν μέσου προστασίας, η ακίδα μπορεί να θεωρηθεί σαν σίγουρο και αποτελεσματικό μέσο προστασίας.



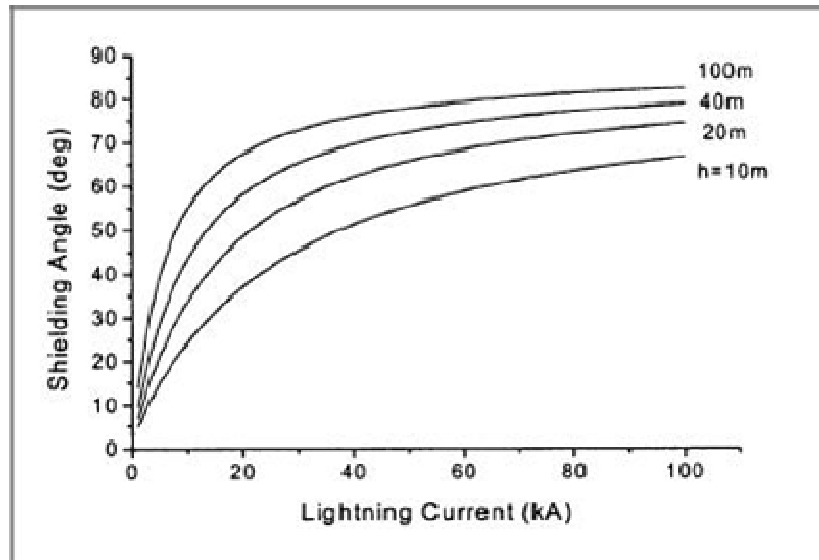
Εικόνα 5.4 Αλεξικέραυνο ακίδας Franklin, όπου φαίνεται η γωνία προστασίας συναρτήσει του ύψους.
 Πηγή: http://www.denta.com.tw/ENGLISH/EN_ProA_02_franklin.html

Ένα ακόμη πλεονέκτημα του αλεξικέραυνου ακίδας είναι και ότι η κατασκευή του είναι απλή, επομένως και σχετικά φθηνή. Το τελευταίο, όμως, αυτό ισχύει μόνο όταν έχουμε να κάνουμε με την προστασία κατασκευών σχετικά μικρού όγκου. Αλλιώς η διάταξη προστασίας καθίσταται πολύ μεγάλη διότι αποκτά πολύ μεγάλο ύψος, με αποτέλεσμα να αυξάνει σημαντικά και το κόστος της σε σημείο που ίσως η όλη κατασκευή της να καθίσταται τεχνικά προβληματική. Στον πίνακα που ακολουθεί (5.1) δίνεται η γωνία προστασίας του αλεξικέραυνου Franklin συναρτήσει του ύψους της ακίδας του.

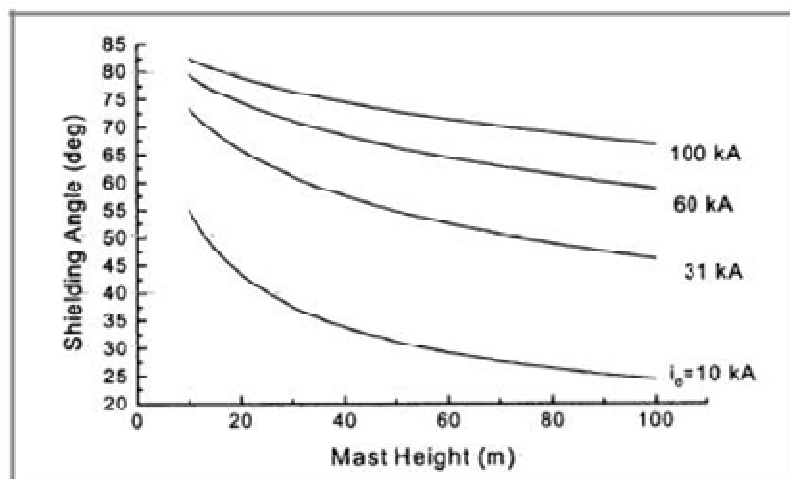
Ύψος ακίδας(m)	Ακτίνα γωνίας προστασίας 45 ⁰ (m)	Ακτίνα γωνίας προστασίας 60 ⁰ (m)
3	3	5,2
5	5	8,66
7	7	12,12
10	10	17,32
15	15	25,98
20	20	34,6

Πίνακας 5.1.Γωνία προστασίας συναρτήσει ύψους ακίδας σύμφωνα με το NFC17-100 Πηγή :
http://www.denta.com.tw/ENGLISH/EN_ProA_02_franklin.html, τροποποίηση από τους συγγραφείς

Η γωνία προστασίας της ακίδας Franklin επηρεάζεται σημαντικά και από την τιμή του κεραυνικού ρεύματος. Η ακίδα είναι δυνατό να αποτύχει να προστατεύσει την κατασκευή εάν το κεραυνικό ρεύμα που την πλήξει είναι χαμηλής έντασης.(σχήματα 5.1 και 5.2)



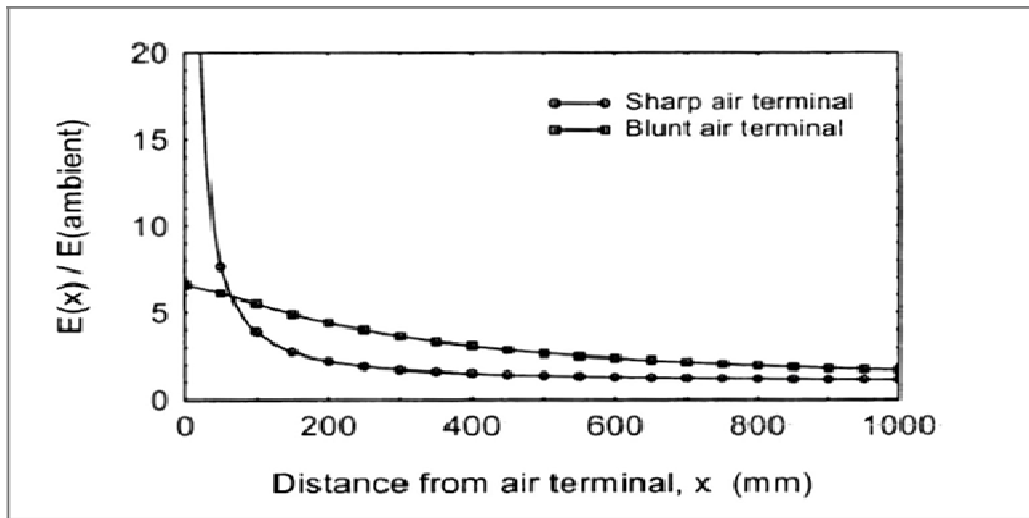
Σχήμα 5.1 Εξάρτηση της γωνίας προστασίας από το κεραυνικό ρεύμα Πηγή :Φλωράτος, Γ. «Εφαρμογή ακίδων Franklin στην αντικεραυνική προστασία της γέφυρας Ρίου και σύγκριση με υποθετική εφαρμογή αλεξικέραυνων τύπου πρόωρης εκπομπής»



Σχήμα 5.2 Εξάρτηση της γωνίας προστασίας από το ύψος. Πηγή :Φλωράτος, Γ. «Εφαρμογή ακίδων Franklin στην αντικεραυνική προστασία της γέφυρας Ρίου και σύγκριση με υποθετική εφαρμογή αλεξικέραυνων τύπου πρόωρης εκπομπής»

Ένας ακόμη παράγοντας που καθορίζει την αποτελεσματικότητα του αλεξικέραυνου ακίδας είναι η γεωμετρία του. Ήδη από την εποχή του Φραγκλίνου υπήρχε διχογνωμία ως προς την μορφολογία της άκρης της ακίδας. Χρησιμοποιήθηκαν ακίδες με μυτερή απόληξη και ακίδες με αμβλύ τελείωμα. Σύμφωνα με μελέτες που διεξήχθησαν τα επόμενα χρόνια διαπιστώθηκε ότι οι μυτερές μεταλλικές ράβδοι αναπτύσσουν κορόνα σε πεδία χαμηλής έντασης της τάξης των 100V/m και σχεδόν αμέσως γύρω από τη μύτη, ενώ ακίδες με αμβλεία απόληξη αναπτύσσουν κορόνα μόνο σε πεδία υψηλής πεδιακής έντασης της τάξης των 10000V/m, αλλά για μια απόσταση σχεδόν διπλάσια από αυτή για τις μυτερές ράβδους. Έτσι, το πεδίο πάνω από το αμβλύ αλεξικέραυνο παραμένει σε μια υψηλότερη τιμή από το πεδίο πάνω από τη μυτερή ακίδα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το κριτήριο της αναχίτισης του οχετού για το αμβλύ αλεξικέραυνο να ικανοποιείται ακόμη και σε χαμηλά περιβάλλοντα ηλεκτρικά πεδία. Από την άλλη μεριά τα αλεξικέραυνα με μυτερή απόληξη παράγουν κορόνα σε χαμηλότερης

έντασης ηλεκτρικά πεδία, οπότε και περιορίζονται στην παραγωγή φορτίων στο χώρο. (εικόνα 5.5)



Σχήμα 5.3 Εξασθένιση του λόγου της πεδιακής φόρτισης προς το ελεύθερο ηλεκτρικό πεδίο στο πρώτο μέτρο πάνω από μια μυτερή και μια αμβλεία μεταλλική ράβδο. Φλωράτος, Γ. «Εφαρμογή ακίδων Franklin στην αντικεραυνική προστασία της γέφυρας Ρίου και σύγκριση με υποθετική εφαρμογή αλεξικέραυνων τύπου πρόωρης εκπομπής»

5.3 ΑΛΕΞΙΚΕΡΑΥΝΑ ΠΡΩΙΜΟΥ ΟΧΕΤΟΥ/ΙΟΝΙΣΜΟΥ

Ένα αλεξικέραυνο ακίδας είναι τόσο αποτελεσματικότερο, όσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα της ακίδας να συλλαμβάνει οδηγούς οχετούς κεραυνών που βρίσκονται στην άμεση γειτονία της. Η ικανότητα αυτή είναι ισοδύναμη προς την ικανότητα της ακίδας να παράγει και αυτή, οδηγούς οχετούς που κατευθύνονται προς τα πάνω. Όσο εντονότερη είναι η δυνατότητα αυτή και όσο ταχύτερα πραγματοποιείται η δημιουργία των ανοδικών στοιχείων, τόσο αποτελεσματικότερη είναι η ακίδα σαν μέσο προστασίας έναντι των κεραυνών.

Οι αναγκαίες συνθήκες για την παραγωγή οδηγών οχετών από ένα αλεξικέραυνο ακίδας είναι οι εξής:

- Η ακίδα πρέπει να έχει την κατάλληλη ακτίνα καμπυλότητας, έτσι ώστε η κατανομή της πεδιακής έντασης στη γειτονία της να είναι η για την περίπτωση επιθυμητή.
- Η πεδιακή ένταση γύρω από την ακίδα πρέπει να υπερβαίνει την πεδιακή ένταση ανάπτυξης των νεφών που έχει τιμή 5KV/cm για θετική και 18KV/cm για αρνητική πολικότητα αντίστοιχα.
- Η χρονική καθυστέρηση σχηματισμού οδηγών οχετών πρέπει να είναι η ελάχιστη δυνατή, πράγμα που πάλι κατά κανόνα σημαίνει υψηλότερα δυναμικά της ακίδας. Για να μειωθεί η καθυστέρηση ιονισμού, αρκεί, όσο το δυνατόν συντομότερα, να δημιουργηθούν στο χώρο ιονισμού ελεύθερα ηλεκτρόνια, κάτι που μπορεί να γίνει και κατ' άλλους τρόπους, εκτός από την ανύψωση του δυναμικού της ακίδας (π.χ. με έκθεση της ακίδας σε μια ισχυρή ακτινοβολία)

- Για να καταστεί δυνατός ο μετασχηματισμός των νεφών σε οδηγό οχετό, απαιτείται το ρεύμα, να έχει αρκετά υψηλή τιμή.

Όσο καλύτερα ικανοποιούνται οι προηγούμενες συνθήκες, τόσο πιο ταχεία και πιο έντονη είναι η δημιουργία οδηγών οχετών στην ακίδα, δηλαδή τόσο αποτελεσματικότερη είναι η από αυτήν παρεχόμενη προστασία και άρα τόσο μεγαλύτερη είναι είτε η τιμή της γωνίας προστασίας είτε η τεχνητή αύξηση του ύψους του αλεξικέραυνου.

Για να εξασφαλιστούν οι αναγκαίες συνθήκες αύξησης της γωνίας προστασίας των αλεξικέραυνων ακίδας εφαρμόζεται στην ακίδα μια υψηλή τάση ως προς γη, αποστολή της οποίας θα είναι η δημιουργία στην γειτονία της ακίδας, την κατάλληλη στιγμή, ενός αρκετά έντονου ηλεκτρικού πεδίου, που να μπορεί να προκαλέσει την παραγωγή ενός οδηγού οχετού.

Πηγές τάσης κατάλληλες για αυτό τον σκοπό είναι σήμερα σχετικά εύκολα πραγματοποιήσιμες. Επομένως, η προσθήκη μιας τέτοιας πηγής σε ένα αλεξικέραυνο ακίδας συνιστά πράγματι μια τεχνική με την οποία είναι δυνατή η αύξηση της αποτελεσματικότητας του. Αλεξικέραυνα ακίδας με πρόσθετη πηγή τάσης ή με άλλο μέσο ενίσχυσης του ιονισμού στην άμεση γειτονία της ακίδας συνήθίζεται να λέγονται αλεξικέραυνα ιονισμού (πρόωρου οχετού). Τα αλεξικέραυνα αυτού του τύπου (ESE) χωρίζονται στις τρεις παρακάτω κατηγορίες:

1. Ραδιενεργά ESE
2. Μη ραδιενεργά ESE – Special shapes and sparking ESE
3. Συστήματα ESE με παλμική τάση

5.3.1 Ραδιενεργά ESE

Το ραδιενεργό ESE διαθέτει μια ραδιενεργή πηγή, που βρίσκεται στην κορυφή της ακίδας. Τα ραδιενεργά σωματίδια, τα οποία εκπέμπονται, είναι ασθενή σωματίδια άλφα με σχετικά μεγάλο χρόνο ζωής. Θεωρείται ότι ιονίζουν τα μόρια του αέρα συνεχώς, σε μια κοντινή περιοχή γύρω από την ακίδα με ή χωρίς την ύπαρξη κάποιου καταγιδοφόρου νέφους. Το ραδιενεργό ισότοπο, που εκπέμπεται, συγκρούεται με ένα άτομο, οπότε και εκτοξεύεται ένα ηλεκτρόνιο, αφήνοντας πίσω ένα θετικό ιόν. Αυτά τα θετικά ιόντα έλκονται από το νέφος, προκαλώντας μια αλυσιδωτή αντίδραση, η οποία, με σύγκρουση, αυξάνει την ποσότητα των ιόντων, που εκτοξεύονται από τη πηγή. Η χρήση ραδιενεργών πηγών στις ακίδες των αλεξικέραυνων εξετάστηκε σε πειράματα που διεξήχθησαν σε αρκετές χώρες. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων έδειξαν ότι τα ραδιενεργά συστήματα πρόωρης εκπομπής δεν παρουσίασαν κανένα πλεονέκτημα έναντι των συμβατικών συστημάτων. Η χρήση τους έχει απαγορευτεί σε πολλές χώρες συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας, ως ενδεχομένως επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία. (Για την Ελλάδα, το 1986 με την υπ' αριθμό 260/030.8 / 27.03.1986 εγκύκλιο της η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας απαγόρευσε πλέον την εγκατάσταση ραδιενεργών αλεξικέραυνων)



Εικόνα 5.5 Τύποι ραδιενεργών ESE που είχαν εγκατασταθεί στην Ελληνική Πολεμική Αεροπορία. Πηγή : <http://www.ekeo.gr>

5.3.2. Μη ραδιενεργά ESE – Special shapes and sparking ESE

Τα μη ραδιενεργά ESE έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να έχουν επαυξημένη περιοχή κάλυψης, λόγω του σχήματος της ακίδας ή λόγω της ικανότητας του τερματικού να απελευθερώνει σπινθήρες από την κορυφή της ακίδας, όταν βρίσκεται κάτω από την επίδραση ενός ηλεκτρικού πεδίου. Αυτοί οι σπινθήρες εκτιμάται ότι προκαλούν αυξημένο ιονισμό στην κορυφή της ακίδας. Δύο χαρακτηριστικοί τύποι τέτοιων αλεξικέραυνων είναι το Prevectron και το Dynasphere.

Το Prevectron λειτουργεί θεωρητικά ως πυκνωτής, ο οποίος συγκεντρώνει φορτίο, καθώς το ηλεκτρικό πεδίο αυξάνεται. Όταν ο κατερχόμενος οχετός προσεγγίζει την προστατευόμενη περιοχή, το ηλεκτρικό πεδίο αυξάνεται σημαντικά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η συσκευή να εκτοξεύει σπινθήρες, δημιουργώντας κορόνα και κατ' επέκταση ένα συνδεδεμένο οχετό. Η περιοχή προστασίας του ποικίλει ανάλογα με το ύψος της ακίδας στην οποία τοποθετείται, το χρόνο ενεργοποίησης και τη στάθμη προστασίας που έχει επιλεγεί. Σύμφωνα με το γαλλικό πρότυπο NF C 17-102-20011, οι περιοχές προστασίας του αλεξικέραυνου Prevectron σε σχέση με το ύψος της ακίδας και τη στάθμη προστασίας δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί. (5.2)

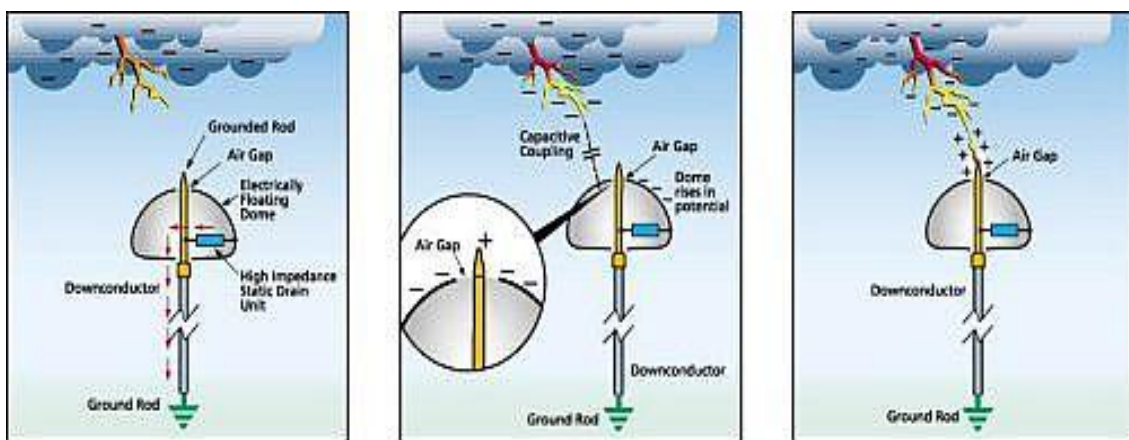
Ύψος (m)	Στάθμη Προστασίας 1	Στάθμη Προστασίας 2	Στάθμη Προστασίας 3
2	31	39	43
3	47	58	64
4	63	78	85
5	79	97	107
10	79	99	109

Πίνακας 5.2 Περιοχές προστασίας του αλεξικέραυνου Prevectron σε σχέση με το ύψος της ακίδας και τη στάθμη προστασίας Πηγή : <http://en.banhay.com/prevectron-2-s6.60-2358>, τροποποίηση από τους συγγραφείς



Εικόνα 5.6 Αλεξικέραυνο Prevelectron. Πηγή : <http://en.banhay.com/prevelectron-2-s6.60-2358>

Το Dynasphere περιγράφεται ως ένα αιωρούμενο σφαιροειδές με μια κεντρική γειωμένη ράβδο, η δε σφαίρα γειώνεται μέσω ενός σωλήνα υψηλής εμπέδησης. Το γεωμετρικό σχήμα της σφαίρας αυξάνει ελάχιστα το περιβάλλον ηλεκτρικό πεδίο, έτσι ώστε να δημιουργείται ελάχιστη κορόνα, η οποία θα το αλλοιώσει. Η συσκευή ενεργοποιείται μερικά μόνο ms πριν ο κατερχόμενος οχετός προσεγγίσει την υπό προστασία κατασκευή. Τη στιγμή εκείνη η τάση της σφαίρας θα ανυψωθεί εξ' αιτίας της χωρητικής ζεύξης με τον κατερχόμενο οχετό και θα δημιουργήσει ένα σπινθήρα εκφόρτισης μεταξύ της σφαίρας και της γειωμένης ράβδου.



Εικόνα 5.7 Τρόπος λειτουργίας αλεξικέραυνο Dynasphere. Πηγή : <http://wapp.com.au/products/eritech-system-3000-dynasphere/>



Εικόνα 5.8. Αλεξικέραυνο Dynasphere. . Πηγή : <http://wapp.com.au/products/eritech-system-3000-dynasphere/>

5.3.3 ESE παλμικής τάσης (PULSAR)

Τα ESE παλμικής τάσης είναι αλεξικέραυνα , τα οποία διαθέτουν μια βοηθητική συσκευή, η οποία παράγει παλμούς τάσης. Αυτοί οι παλμοί τάσης παράγουν στη συνέχεια θετικά ιόντα γύρω από την κορυφή της ακίδας. Η συχνότητα των παλμών είναι σχεδιασμένη, έτσι ώστε να περιορίζει το σχηματισμό του φαινομένου κορόνα γύρω από το εναέριο τερματικό. Τα συστήματα αυτού του τύπου περιέχουν μια κωνική ράβδο εγκατεστημένη σε ένα φρεάτιο, όπου βρίσκεται ο μετασχηματιστής υψηλής τάσης και ένα ηλεκτρονικό εξάρτημα, που ανιχνεύει την αύξηση της έντασης του πεδίου. Αυτές οι μονάδες τροφοδοτούνται από μπαταρίες και φωτοκύτταρα. Η κορόνα, που παράγεται θεωρητικά, παρέχει ένα κανάλι από θετικά ιόντα, πριν ο σκελετός εκπεμφθεί. Χαρακτηριστικός τύπος αλεξικέραυνο παλμικής τάσης είναι το αλεξικέραυνο PULSAR.

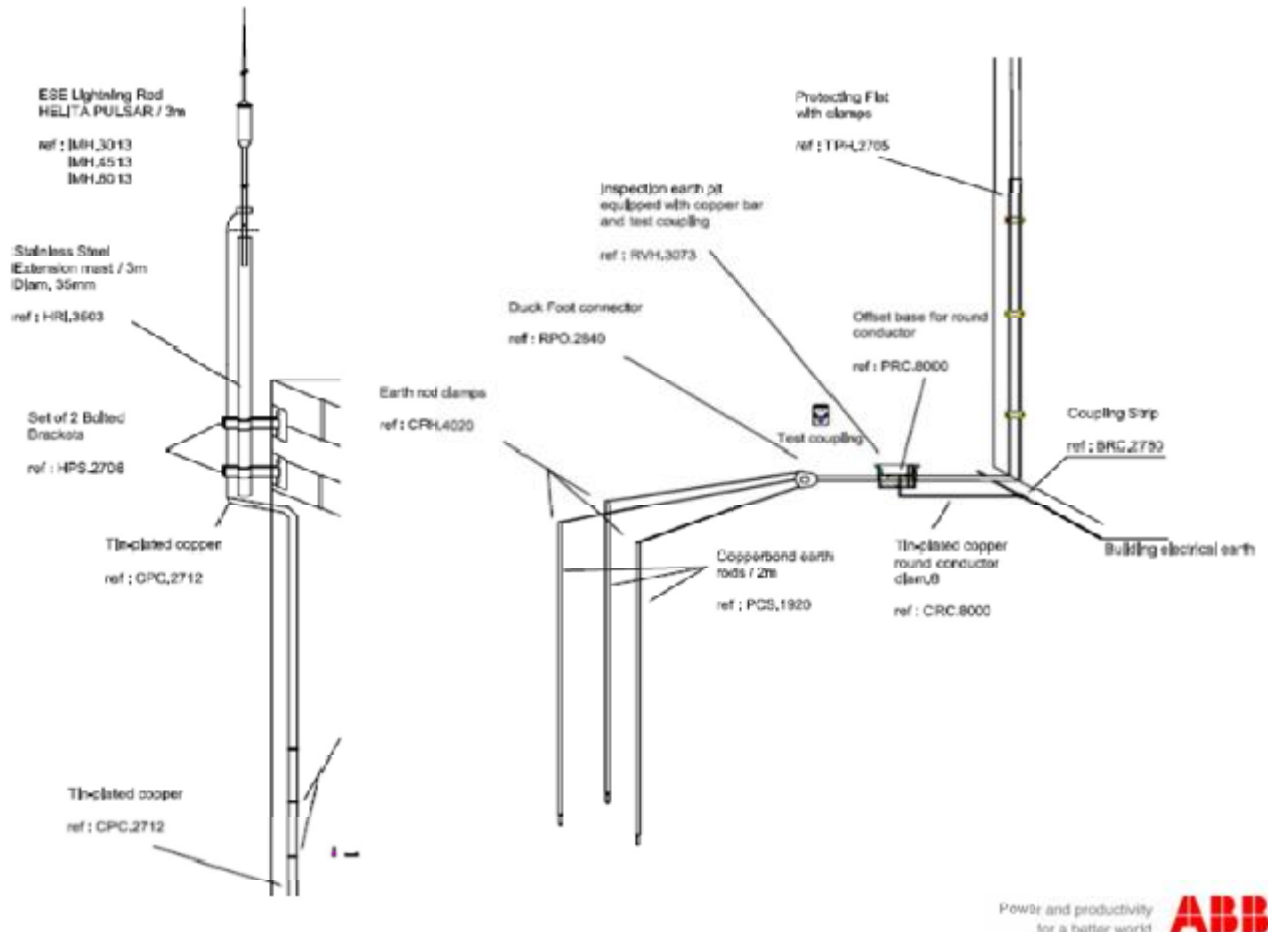
Ο νέος τύπος αλεξικέραυνο PULSAR της HELITA σχεδιάστηκε και μελετήθηκε από το κρατικό ίδρυμα ερευνών της Γαλλίας CNRS (French National Centre for Scientific Research), Κατασκευάζεται από τον οίκο HELITA Γαλλίας και δοκιμάζεται από το ίδρυμα ANVAR (French National Agency for Research Aid and Valorization).

Για τη δοκιμή του συστήματος απαιτήθηκαν ειδικές διατάξεις, εργαστήριο κρουστικών υπερτάσεων, καθώς και παλμογράφος για τον έλεγχο της απόκρισης του συστήματος σ' αυτές.

Τα αλεξικέραυνα PULSAR είναι αυτόνομες μονάδες (δεν χρειάζονται εξωτερική πηγή ενέργειας) και ιονίζουν τον περιβάλλοντα αυτά χώρο. Για τη λειτουργία αυτή εκμεταλλεύονται την ενέργεια του ηλεκτρικού πεδίου που αναπτύσσεται στην ατμόσφαιρα κατά τη φάση δημιουργίας της καταιγίδας.

Ο ιονισμός επιτυγχάνεται με τη δημιουργία ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας (πλάσμα), τα οποία συγκρούμενα με τα μόρια του περιβάλλοντος χώρου, τον ιονίζουν.

Κατ' αυτόν τον τρόπο καθίστανται αποτελεσματικότερα της ακίδας Franklin διότι ο σχετός επιστροφής σύμφωνα με τον παραδεκτό διεθνώς μηχανισμό δημιουργίας της ηλεκτρικής εκκένωσης κεραυνού, αναπτύσσεται σε μικρότερο χρόνο απ' αυτόν της Franklin άρα και πιο κοντά στην εστία εκκίνησης της βηματικής εκκένωσης τόξου από το φορτισμένο νέφος. Αποτέλεσμα αυτής της δυνατότητας είναι ο κεραυνός να συλληφθεί και να οδηγηθεί ακίνδυνα στο έδαφος.



Σχήμα 5.4 Διάταξη εγκατάστασης αλεξικέραυνου παλμικής τάσης. Πηγή :

<https://www.edwardes.co.uk/uploads/files/pdf/GeneralpresentationHlitarange01-2011.pdf>

Το αλεξικέραυνο τύπου PULSAR αποτελείται από τα εξής μέρη (σχήμα 5.4):

1. Ακίδα :Η ακίδα είναι από ειδικό ορειχάλκινο κράμα με διαστάσεις υπολογισμένες θεωρητικά και δοκιμασμένες εργαστηριακά, από τα CNRS και ANVAR.
2. Δίσκος ατμοσφαιρικής τάσεως: Ο δίσκος είναι και αυτός ορειχάλκινος, κατάλληλος ώστε να θέτει υπό ατμοσφαιρική τάση το σύστημα.
3. Διάκενο διασπάσεως τόξου: Είναι διάκενο που αφενός μεν προστατεύει την συσκευή του αλεξικέραυνου, αφετέρου δε διαθέτει στο σύστημα λειτουργίας της μια χωρητική αντίδραση.

4. Στεγανός κύλινδρος με περίβλημα ειδικού κράματος ορείχαλκου: Ο κύλινδρος περικλείει την καρδιά του συστήματος PULSAR. Περιέχει επαγωγικό πηνίο, εναλλάκτη τάσεως, γεννήτρια υψηλής τάσεως, καθώς και διακοπτικό στοιχείο για τη δημιουργία των παλμών υπερτάσεως. Στην ορειχάλκινη εξωτερική επιφάνεια του διοχετεύεται το ρεύμα του κεραυνού μετά τη διάσπαση του τόξου στο διάκενο.

5. Στέλεχος (σωληνωτή ράβδος) ειδικού κράματος ορείχαλκου: Στην άκρη αυτού του σωλήνα τοποθετείται ο κύλινδρος με το δίσκο ατμοσφαιρικής τάσεως και η ακίδα του αλεξικέρανου.

6. Ιστός: Είναι σωληνωτός, από σωλήνα εισαγωγής άνευ ραφής, χαλύβδινος και ανάλογα με το ύψος του, τηλεσκοπικός, φλαντζωτού τύπου και κατακλινόμενος. Βάφεται με δύο στρώσεις ειδικού αντιοξειδωτικού χρώματος. Το αλεξικέρανο PULSAR μπορεί να λειτουργεί και σε μικρά σχετικά ύψη και συνήθως δεν απαιτεί ιστούς βαρέως τύπου.

7. Αγωγός καθόδου: Ο αγωγός συνδέει το αλεξικέρανο με τη γείωση, αποτελείται δε από γυμνό ηλεκτρολυτικό χαλκό διατομής 50 mm^3

8. Γείωση: Η γείωση πρέπει να είναι μέχρι 10Ω και κατασκευάζεται με ηλεκτρόδια γειώσεως χάλυβα-χαλκού επιχαλκωμένα εν θερμώ ή ηλεκτρολυτικά και έτσι αποφεύγονται διμεταλλικά φαινόμενα και διολίσθηση του χαλκού επικάλυψης και άλλα προβλήματα που εμφανίζονται σε ηλεκτρόδια, των οποίων η επικάλυψη με χαλκό γίνεται με εξέλαση και συμπίεση χαλκοσωλήνα.

9. Χάλκινα εξαρτήματα στερεώσεως και συνδέσεως συστήματος γειώσεως :Αυτά είναι χάλκινα στηρίγματα και ειδικά περιλαίμια, τα οποία πληρούν τις προδιαγραφές σύμφωνα με τις οποίες γίνεται όλη η εγκατάσταση του αλεξικέρανου.[19]

Στον πίνακα που ακολουθεί (5.3) αποδίδεται η ακτίνα προστασίας των τριών τύπων αλεξικέρανων PULSAR συναρτήσει του ύψους τοποθέτησης της ακίδας και της επιλεγείσας στάθμης προστασίας.

Niveau de protection	I (D = 20 m)			II (D = 30 m)			III (D = 45 m)			IV (D = 60 m)		
Pulsar	Pulsar 30	Pulsar 45	Pulsar 60	Pulsar 30	Pulsar 45	Pulsar 60	Pulsar 30	Pulsar 45	Pulsar 60	Pulsar 30	Pulsar 45	Pulsar 60
h(m)	Rayons de protection Rp (m)											
2	19	25	32	22	28	35	25	32	40	28	36	44
3	28	38	48	33	42	52	38	48	59	42	57	65
4	38	51	64	44	57	69	50	65	78	57	72	87
5	48	63	79	55	71	86	63	81	97	71	89	107
6	48	63	79	55	71	87	64	81	97	72	90	107
8	49	64	79	56	72	87	65	82	98	73	91	108
10	49	64	79	57	72	88	66	83	99	75	92	109
15	50	65	80	58	73	89	69	85	101	78	95	111
20	50	65	80	59	74	89	71	86	102	81	97	113
45	50	65	80	60	75	90	75	90	105	89	104	119
60	50	65	80	60	75	90	75	90	105	90	105	120



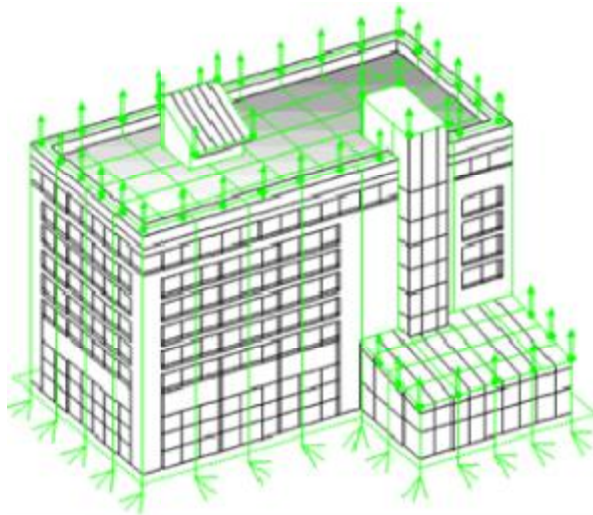
Πίνακας 5.3 Περιοχές προστασίας του αλεξικέραυνου PULSAR σε σχέση με το ύψος της ακίδας και τη στάθμη προστασίας Πηγή :

<https://www.edwardes.co.uk/uploads/files/pdf/GeneralpresentationHlitarange01-2011.pdf>

Η θεωρία ότι τα συστήματα ESE μπορούν να εξουδετερώσουν τον κεραυνό εν τη γενέσει του και να εκτοξεύσουν έναν ανερχόμενο οχετό προεκκένωσης, για να προσελκύσουν τον κατερχόμενο κεραυνικό οχετό, δεν έχει αποδειχθεί επιστημονικά έως σήμερα, ενώ θεωρείται ότι τα συστήματα αυτά στη καλύτερη περίπτωση λειτουργούν όπως και τα συμβατικά συστήματα αντικεραυνικής προστασίας. Μάλιστα σε αρκετές περιπτώσεις έχουν αποτύχει να προστατεύσουν αποτελεσματικά την κατασκευή που είχαν τοποθετηθεί. Για το λόγο αυτό, η χρήση τους δεν περιλαμβάνεται στα πρότυπα αντικεραυνικής προστασίας πολλών χωρών, πλην της Γαλλίας και της Ισπανίας που χρησιμοποιούνται για την προστασία χαμηλών κτηρίων έως 60 m και ανοιχτών χώρων.

5.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΛΩΒΟΥ FARADAY

Ιδεώδης προστασία θα ήταν ο εγκλωβισμός ενός κτιρίου, δηλαδή η τοποθέτηση ενός μεταλλικού κλωβού γύρω από αυτό, ο οποίος θα απομόνωνε το εσωτερικό από κάθε εξωτερική ηλεκτρική επίδραση. Επειδή αυτό δεν είναι δυνατό, και μπορεί μερικά να γίνει μόνο σε κτίρια που έχουν μεταλλική στέγη ή σε περίπτωση μεταλλικών κτιρίων, σχεδιάζεται για εγκατάσταση, η οποία προσφέρει σχετική προστασία πλην όμως επαρκή. Μια πλήρης αντικεραυνική εγκατάσταση με σύστημα κλωβού αποτελείται από την εξωτερική εγκατάσταση προστασίας (που περιλαμβάνει το συλλεκτήριο σύστημα, τους αγωγούς καθόδου και την γείωση) και την εσωτερική εγκατάσταση προστασίας.



Εικόνα 5.5 Προστασία κτιρίου με σύστημα κλωβού. Πηγή :
<http://earlystreameremission.com/en/the-world-of-lightning-protection/protection-against-effects-of-lightning/>

Το αντικεραυνικό σύστημα κλωβού Faraday ουσιαστικά αποτελεί ένα πλέγμα που περιβάλλει την κατασκευή. Το συλλεκτήριο σύστημα αποτελείται από ακίδες μικρότερου μήκους αυτών των ακίδων Φράνκλιν, αλλά μεγαλύτερου αριθμού, οι οποίες τοποθετούνται στα υψηλότερα σημεία του κτηρίου σε καθορισμένες μεταξύ τους αποστάσεις (σχήμα 5.5) Ένα δίκτυο αγωγών ακολουθεί την εξωτερική περίμετρο της οροφής. Αυτό το δίκτυο ολοκληρώνεται με εγκάρσια στοιχεία. Το μέγεθος του σχηματιζόμενου πλέγματος είναι μεταξύ 5 και 20 μέτρων ανάλογα με την απαιτούμενη αποτελεσματικότητα.

Η κορυφή των αγωγών καθόδου που τοποθετούνται στους τοίχους συνδέεται με το πλέγμα οροφής, και ο πυθμένας σε ειδικά συστήματα γείωσης. Η απόσταση μεταξύ δύο κάτω αγωγών είναι μεταξύ 10 και 20 μέτρων ανάλογα με το απαιτούμενο επίπεδο προστασίας της κατασκευής. Τα δομικά στοιχεία καθώς και οι αντίστοιχες διαστάσεις τους υπακούουν στους κανονισμούς που έχουν συνταχθεί για το συλλεκτήριο σύστημα, τους καθόδου και το σύστημα γείωσης οποιασδήποτε εξωτερικής ΕΑΠ. Το μεγαλύτερο μέρος του ρεύματος κεραυνού διεξάγεται και διασκορπίζεται μέσω των αγωγών και των συστημάτων γείωσης που βρίσκονται πλησιέστερα στο σημείο πρόσκρουσης του κεραυνού. Το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας κλωβού ενδείκνυται για προστασία κτιρίων με μεγάλη κάλυψη, όπως εργοστάσια, ξενοδοχεία αποθήκες κ.α.

Γενικές οδηγίες για τη σχεδίαση ενός συστήματος κλωβού

α) Όλοι οι αγωγοί της εγκατάστασης πρέπει να είναι προσιτοί για επιθεώρηση. Μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις, που καθορίζονται από κανονισμούς μπορεί το 50% των κυρίων απαγωγών να σκεπάζονται από επίχρυσμα ή τοιχοποιία. Οι συνδέσεις ελέγχου της εγκατάστασης πρέπει πάντα να είναι προσιτές. Οι αγωγοί στέγης μπορούν να τοποθετηθούν κάτω από τη στέγη μόνο σε περίπτωση χαλύβδινης στέγης και όταν κάτω από αυτή δεν υπάρχουν εύφλεκτες ύλες ή κατοικήσιμος χώρος.

β) Το συλλεκτήριο σύστημα πρέπει να σχεδιαστεί κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να συλλαμβάνει όλους τους κεραυνούς χωρίς κατά το δυνατό, να έρχεται σε επαφή με τα αντικείμενα που προστατεύει, για όσο το δυνατό μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

γ) Οι αγωγοί καθόδου πρέπει να σχεδιάζονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να οδηγούν από την εγκατάσταση συλλήψεως στην εγκατάσταση γειώσεως από τον συντομότερο δρόμο.

δ) Πρέπει να αποφεύγεται η δυνατότητα υπερπηδήσεως μεταξύ των στοιχείων της αντικεραυνικής εγκαταστάσεως και των μεταλλικών μερών του κτιρίου. Η αιτία αυτών των υπερπηδήσεων είναι οι σημαντικές υπερτάσεις που δημιουργούνται εξαιτίας της μεγάλης τιμής του ρεύματος καθώς και από τις μεγάλες ταχύτητες μεταβολής του ρεύματος και ενδεχομένως των σημαντικών τιμών επαγωγικής αντίστασεως. Αν για παράδειγμα μια αντικεραυνική εγκατάσταση έχει ωμική αντίσταση 5Ω (χωρίς την αντίστοιχη γείωση) και αυτεπαγωγή $20\mu\text{H}$, και θεωρήσουμε ότι από την εγκατάσταση αυτή περάσει τυπικό ρεύμα κεραυνού 30KA τότε η τάση μεταξύ των άκρων της εγκατάστασης θα είναι:

$$e = R \times i + L \times \frac{di}{dt} = 5 \times 30 + 20 \times 30 = 750\text{KV}$$

Από το παράδειγμα αυτό φαίνεται ότι η τάση που προέρχεται από την αυτεπαγωγή είναι τετραπλάσια από την τάση που προέρχεται από την ωμική αντίσταση. Για το λόγο αυτό πρέπει να αποφεύγεται η δημιουργία μεγάλων τιμών αυτεπαγωγής.

Υπερπηδήσεις μεταξύ των στοιχείων της αντικεραυνικής εγκαταστάσεως και των μεταλλικών μερών του κτιρίου είτε αυτά είναι γειωμένα ή όχι μπορούν να αποφεύγονται.

- Είτε με τήρηση αρκετής αποστάσεως από τα στοιχεία του ΣΑΠ
- Είτε με γεφύρωση με αυτά




























Μόνο όταν οι συνθήκες αυτές δεν είναι δυνατό να ικανοποιηθούν κάνουμε γεφύρωση, οπότε δεν υπάρχει ανάγκη τηρήσεως των όρων αυτών.

ε) Όσον αφορά την απόσταση μεταξύ αγωγών της αντικεραυνικής εγκαταστάσεως και μεταλλικών μερών ηλεκτρικών συσκευών ισχύουν οι παραπάνω κανόνες, πλην όμως, επειδή η γεφύρωση επιτρέπεται μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις που ορίζουν κανονισμοί, είναι προτιμότερο να τηρείται ο όρος της αρκετής αποστάσεως.

στ) Στην περίπτωση όπου δύο ακίδες εγκαταστάσεως συλλήψεως απέχουν λιγότερο από το $1/10$ του μήκους των αγωγών που τις συνδέουν, πρέπει να γεφυρωθούν. Στην περίπτωση αυτή είναι δυνατή η χρησιμοποίηση ενός ενδιάμεσου κυρίου ή βοηθητικού στοιχείου συλλήψεως υπό τον όρο ότι θα τηρηθούν όλοι οι κανόνες που εξασφαλίζουν την ύπαρξη αρκετά ελαττωμένων επαγωγικών αντιστάσεων [13]

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

ΣΥΛΛΕΚΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

ΜΗΚΟΣ m	ΠΛΑΤΟΣ m	ΠΛΗ- ΘΟΣ ΑΠΑ- ΓΩΓΩΝ	ΜΟΡΦΗ ΣΤΕΓΗΣ		
					
έως 20	έως 10	2			
έως 20	10+20	4			
20+40	10+20	6			
20+40	20+40	8			
40+60	10+20	8			
40+60	20+40	10·1			
40+60	40+60	12·1			
60+80	20+40	12·1			

ΟΙ ΑΓΩΓΟΙ ΤΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗΡΙΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΟΠΟΘΕΤΟΥΝΤΑΙ ΕΠΑΝΩ:

- ✓ ΣΤΙΣ ΑΚΜΕΣ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ.
- ✓ ΣΤΙΣ ΠΡΟΕΞΟΧΕΣ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ.
- ✓ ΣΤΙΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΤΟΜΗΣ ΤΩΝ ΚΕΚΛΙΜΕΝΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ.
- ✓ ΟΙ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΚΑΘΟΡΙΖΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΣΤΑΘΜΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.
- ✓ ΚΑΜΙΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΕΝ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΠΡΟΕΞΕΧΕΙ ΤΟΥ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΜΕΝΟΥ ΧΩΡΟΥ ΑΠΟ ΤΑ ΣΥΛΛΕΚΤΗΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.
- ✓ ΟΙ ΑΓΩΓΟΙ ΤΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗΡΙΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΑΚΟΛΟΥΘΟΥΝ ΟΣΟ ΤΟ ΔΥΝΑΤΟΝ ΣΥΝΤΟΜΕΣ ΔΙΑΔΡΟΜΕΣ.

Σχήμα 5.5. Διάταξη των αγωγών του συλλεκτήριου συστήματος συναρτήσει των διαστάσεων της κατασκευής. Πηγή : <http://slideplayer.gr/slide/11458456/>

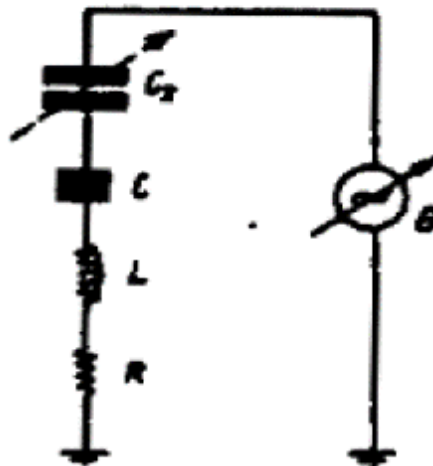
5.5 ΑΛΕΞΙΚΕΡΑΥΝΑ ΑΠΩΘΗΤΕΣ ΚΕΡΑΥΝΩΝ

Τα αλεξικέραυνα τύπου απωθητών είναι προϊόντα νέας τεχνολογίας και στηρίζονται στην υπόθεση ότι είναι δυνατόν να προκληθεί σε ένα εκτεταμένο ατμοσφαιρικό χώρο το ήπιο και πρόδρομο φαινόμενο της κορώνας. Η σύγχρονη αντίληψη συνιστάται στη συγκράτηση του κεραυνικού φαινομένου στις αρχικές διαδικασίες του, που είναι κυρίως η κορώνα και οι σιωπηρές εκκενώσεις κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες, αν χρησιμοποιηθεί η κατάλληλη γεωμετρία στην κεφαλή του αλεξικέραυνου. Στα αλεξικέραυνα απωθητές δεν υπάρχουν ακίδες αλλά σφαιρικές ή ημισφαιρικές επιφάνειες, όπως οι γνωστές κεφαλές των ηλεκτροστατικών γεννητριών Van der Graaff, που αποφεύγουν τη δημιουργία βίαιων ηλεκτρικών εκκενώσεων.

Μέσα στις σφαιρικές αυτές επιφάνειες περικλείονται κρύσταλλοι χαλαζία ειδικής κοπής. Στη πραγματικότητα είναι κράμα κρυστάλλων χαλαζία. Οι παραπάνω κρύσταλλοι βρίσκονται σε

χαλαρή σύζευξη με μια σειρά R-L-C, που έχει τη μορφή μιας κατάλληλης για τον αντίστοιχο σκοπό γέφυρας Thomson.

Μεταξύ φορτισμένου νέφους και γης δημιουργείται ένα μεταβαλλόμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Η συχνότητα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι από μερικές εκατοντάδες Hz μέχρι πολλαπλάσια Mhz. Η παραγόμενη ενέργεια από το μεταβλητό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο αποτελεί το μέσο λειτουργίας των αλεξικέραυνων αποθητών. Με την ενέργεια αυτή αυτοδιεγείρεται το αλεξικέραυνο και απορροφά – αντανακλά μέρος της ενέργειας του προς τα σύννεφα. Το μη σταθερό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο προκαλεί εξαναγκασμένη ταλάντωση στους κρυστάλλους, που φτάνει σε δεκάδες χιλιάδες Hz διότι επέρχεται συντονισμός με το μέγιστο πλάτος ταλάντωσης. Δηλαδή εμφανίζεται σύμπτωση ιδιοσυχνότητας κρυστάλλων και συχνότητας του διεγείροντος ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Οι κρύσταλλοι των αποθητών παίζουν το ρόλο αποταμιευτή-ενισχυτή και απορροφητή ενέργειας με μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων πολύ υψηλής συχνότητας. Ο παραγόμενος συντονισμός εξαρτάται από την απόσβεση της κεφαλής του αλεξικέραυνου, που συνεχώς αναπληρώνεται από το μεταβαλλόμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο κακοκαιρίας. Το αυτό πεδίο απορροφάται συνεχώς από την κεφαλή και έτσι εκτός από σήμα διέγερσης επιτελεί και το ρόλο ανατροφοδότησης, που οδηγεί το όλο κύκλωμα του αλεξικέραυνου σε μια συνεχή και αναλλοίωτη εξαναγκασμένη ταλάντωση μέγιστης δυνατής απόκρισης συχνότητας.



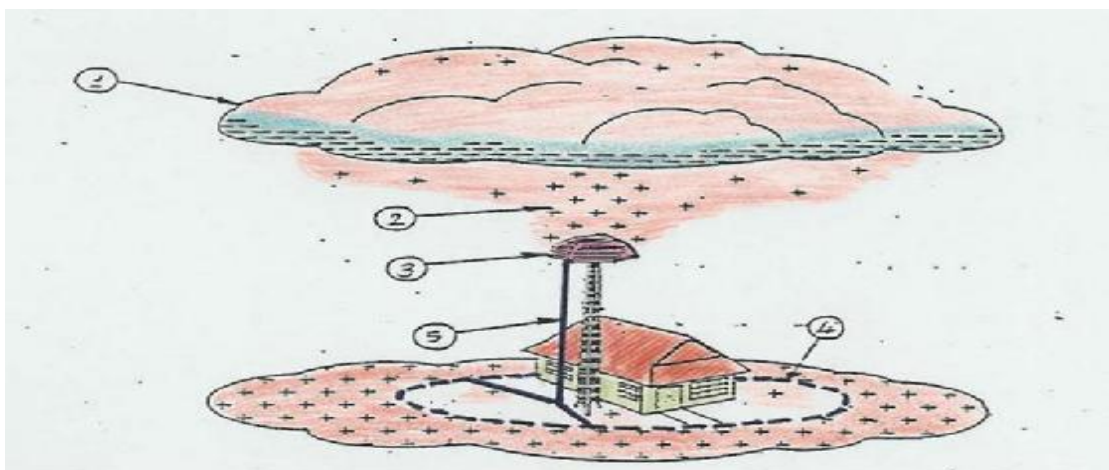
Σχήμα 5.6 Ισοδύναμο λειτουργικό κύκλωμα Thomson αλεξικέραυνου τύπου αποθητή, όπου G: Φυσική γεννήτρια, R, L, C = τσοκ ραδιοσυχνότητας αλεξ/νου C₀: Χωρητικότητα προσομοίωσης της κεφαλής του αλεξικέραυνου, (σφαίρα κρυστάλλων). Πηγή :Τεχνικά χρονικά, Αλεξικέραυνα αποθητές Lightning Repellers, <http://docplayer.gr/19266305-Thema-alexikerayna-apothites-lightning-repellers.html>

Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των αποθητών είναι:

- Η παραμόρφωση των δυναμικών γραμμών των πεδίων πάνω από το αλεξικέραυνο. Αυτή παίρνει τη μορφή της απώλειας φορτίου. Έτσι αποφεύγεται ο κεραυνός στην πρώτη φάση, πριν την πορεία του οχετού που ακολουθεί τις δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου (σχ.42).

- Το απαιτούμενο δυναμικό διάσπασης χώρου αυξάνει σημαντικά και έτσι αποφεύγεται η διάσπαση σε αυτόν.
- Με την απορρόφηση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων επιτυγχάνεται ηλεκτρική αναδιάταξη – άπωση – διάλυση των ηλεκτρικών φορτίων του μανδύα. Έτσι αποφεύγεται η ολοκλήρωση του κεραυνικού φαινομένου.
- Σύμφωνα με τους κατασκευαστές των απωθητών και τη σχετική βιβλιογραφία τα αλεξικέραυνα αυτού του είδους παρουσιάζουν μερικές εκατοντάδες Megaohms αντίσταση συνεχούς ρεύματος. Έτσι δεν έλκουν τον κεραυνό. Με τη βοήθεια συντονιστικού ζεύγους ενεργοποιούν μια σφαιρική περιοχή γύρω τους. Το αλεξικέραυνο ευαισθητοποιείται και διασκορπίζει-απορροφά την ενέργεια του ηλεκτρικού πεδίου, στην παραπάνω σφαιρική περιοχή πριν ακόμη εμφανιστεί κεραυνικό πλήγμα. Αυτό εγγυάται τη μη ύπαρξη κεραυνικού πλήγματος μέσα σε ολόκληρη την παραπάνω σφαιρική περιοχή προστασίας.

Ένα κεραυνικό πλήγμα εμφανίζει φορτίο 18-20 Cb, με 20KA ρεύματος κορυφής. Αυτό αντιστοιχεί σε 333 mA για χρόνο 1min. Αν λοιπόν ένας απωθητής μπορεί να διασκορπιστεί το παραπάνω φορτίο, τότε θα επιτευχθεί ο σκοπός για τον οποίο αυτός έχει εγκατασταθεί. Οι απωθητές κάτω από ένα φορτισμένο νέφος τελικά φορτίζονται θετικά όπως και ο γύρω γήινος χώρος. Με τη βοήθεια κατάλληλου συστήματος το φορτίο συσσωρεύεται στον απωθητή. Αυτή η αύξηση των θετικών φορτίων στους απωθητές δημιουργεί στην κεφαλή του τοπική κορώνα. Αυτή είναι γνωστή σαν εκκένωση κατά σημεία. Τα θετικά φορτία οδηγούνται από τους απωθητές στο γύρω χώρο δημιουργώντας ένα θετικά φορτισμένο χώρο. Το φορτίο αυτό αλλάζει το ηλεκτροστατικό πεδίο του χώρου και η μέση διαφορά δυναμικού στη γη και τους απωθητές μειώνεται ουσιαστικά, προλαβαίνοντας έτσι οποιαδήποτε ανάπτυξη ιονισμού, που θα εμφανιζόταν στον οχετό του. Έτσι η πιθανότητα κεραυνικού πλήγματος στους απωθητές και των προστατευμένων από αυτούς χώρους, εξουδετερώνονται επειδή οι απαραίτητες συνθήκες εμφάνισης αυτού εκλείπουν.



Σχήμα 5.7. Γενική διάταξη απωθητή.1: Φορτισμένο σύννεφο, 2: Εκφόρτιση κορώνας, 3: Κεφαλή απωθητή (τύπου γεννήτριας van De Graaf), 4: Συλλέκτης γήινου ρεύματος, 5: Αγωγός καθόδου.
 Πηγή : Καρουτζίδης, Χ. , «Συστήματα αντικεραυνικής Προστασίας», Πτυχιακή εργασία.

Η λειτουργικότητα του απωθητή στηρίζεται στο φαινόμενο της σταδιακής εκφόρτισης. Το φαινόμενο αυτό είναι καλά μελετημένο σήμερα στη φύση και σε εργαστηριακές εγκαταστάσεις.

Είναι αποδεκτό, ότι η επενέργεια ενός ηλεκτρικού πεδίου είναι ισχυρή κοντά σε αιχμηρά αντικείμενα. Με καλές καιρικές συνθήκες πάνω από όλες τις περιοχές της γης υπάρχει ένα ηλεκτρικό πεδίο. Σε ύψος 50Km ο αέρας έχει τέτοια αγωγιμότητα, που οποιαδήποτε ηλεκτρική φόρτιση φτάσει στο ύψος αυτό θα κατανεμηθεί γρήγορα στο γήινο χώρο. Έτσι η ατμόσφαιρα στο ύψος αυτό και η επιφάνεια της γης αποτελούν τις πλάκες ομόκεντρου σφαιρικού πυκνωτή, που έχει σε καλές καιρικές συνθήκες σαν αποτέλεσμα την αρνητική φόρτιση της γης και τη θετική φόρτιση της ιονόσφαιρας. Επειδή υπάρχει αέρας ιονισμένος, οι πλάκες του πυκνωτή δεν είναι τελείως μονωμένες μεταξύ τους όταν φορτίζονται. Η μέση τιμή της φόρτισης σε καλό καιρό είναι περίπου 130V/cm. Οι γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου νέφους-γης παραμορφώνονται κοντά σε αιχμηρά αντικείμενα και είναι δυνατός ο ιονισμός στο άκρο του αντικειμένου. Έτσι ένα ρεύμα φορτίων ρέει από το άκρο του αγωγού προς τον περιβάλλοντα χώρο. Το ρεύμα αυτό είναι ικανό με κατάλληλη τιμή του ηλεκτρικού πεδίου να διεγείρει σωματίδια του αέρα και να τα κάνει φωτεινά (ορατά) με ακουστικό φαινόμενο. Ο ορατός αυτός ιονισμός είναι το φαινόμενο κορώνα ή φωτιά του Elmo και διακρίνεται σαν μια λάμψη με μπλε απόχρωση. Η πιθανότητα να εμφανιστεί το φαινόμενο κορώνα εξαρτάται από το ύψος του αγωγού, την αιχμηρότητα αυτού, την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και μπορεί να ενισχυθεί με κατάλληλο συντονισμό στους απωθητές.

Αν ο αγωγός είναι γειωμένος έχει το ίδιο δυναμικό παντού με τη γη. Το άκρο του αγωγού και ο αέρας γύρω του έχουν κάποια διαφορά δυναμικού. Όσο υψηλότερος είναι ο αγωγός, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά αυτού του δυναμικού και ένα ασθενέστερο ηλεκτρικό πεδίο είναι ικανό να δημιουργήσει το φαινόμενο κορώνα. Το παλμικό σημειακό ρεύμα εκφόρτισης θα αρχίσει να ρέει στη γη από το άκρο του αγωγού, όταν το ηλεκτρικό πεδίο ξεπεράσει την κρίσιμη τιμή που απαιτείται για να ξεκινήσει ο ιονισμός.

$$I = 2 (e^2 - e^2 k\rho)$$

Όπου:

I = το ρεύμα που ρέει προς τη γη

E = η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στο χώρο του αγωγού

E_{kr} = η κρίσιμη τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που απαιτείται για να ξεκινήσει η εκφόρτιση

Το E_{kr} εξαρτάται από το σχήμα του αγωγού και τις καιρικές συνθήκες. Μια εμπειρική πειραματική σχέση υπολογισμού της E_{kr} δίνεται από τη σχέση:

$$E_{kr} = 24\delta \times \left(1 + \frac{0,638}{r^{0,36} \times \delta^{0,3}} \right)$$

Όπου:

r = ακτίνα κυλινδρικού αγωγού

δ = συντελεστής καιρικών συνθηκών

Η σφαιρική επιφάνεια ενός απωθητή μεταφέρει παλμικά τα θετικά φορτία της γης στον περιβάλλοντα χώρο και έτσι σχηματίζεται ένα φορτίο χώρου, που αλλοιώνει τα ηλεκτρικά φορτία πλησίον της κεφαλής. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να μειωθεί το ηλεκτρικό πεδίο και να εμποδιστεί το φαινόμενο κορώνα. Με την ενέργεια του αέρα το φορτίο χώρου μεταφέρεται μακριά και το παραπάνω φαινόμενο επαναλαμβάνεται. Έτσι το σημειακό ρεύμα εκφόρτισης έχει μια περιοδική μορφή. Στο σχ.44 φαίνεται ένα απλό μοντέλο ενός φορτισμένου νέφους και του θετικά φορτισμένου χώρου που πρόκειται να προστατευτεί.

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στο επίπεδο του εδάφους δίνεται από τη σχέση:

$$E_{\varepsilon} = 2Q \left[\frac{H^1}{(H_1^2 + D^2)^{3/2}} - \frac{H^2}{(H_2^2 + D^2)^{3/2}} \right] + \frac{2P}{H_3^2}$$

Όπου:

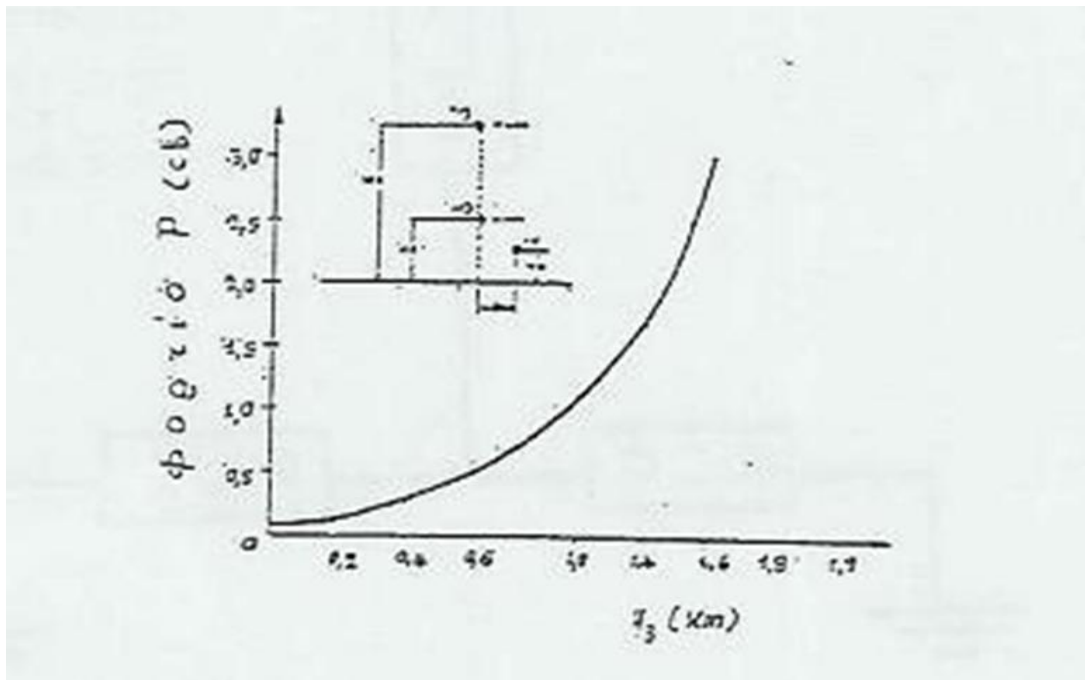
E_{ε} = η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στην επιφάνεια της γης

H_1, H_2, H_3 = ύψη

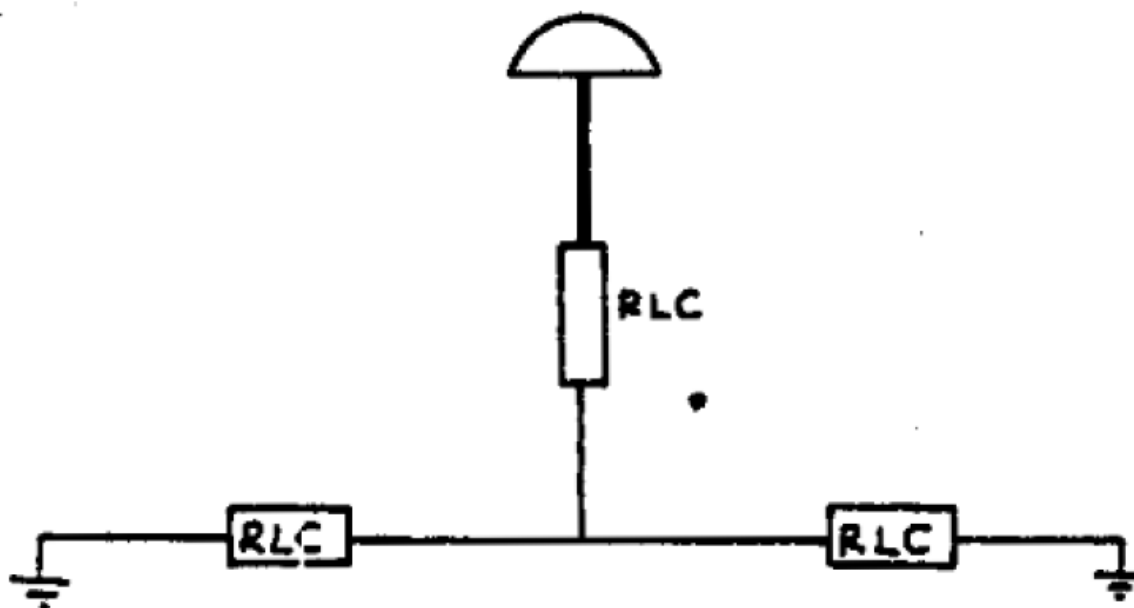
P = θέση φορτισμένου αντικειμένου

D = οριζόντια απόσταση αντικειμένου από το φορτισμένο νέφος

Στο σχήμα 5.8 φαίνεται η μεταβολή του ηλεκτρικού πεδίου κατά μια κεραυνική εκκένωση.



Σχήμα 5.8. Μεταβολή του ηλεκτρικού πεδίου κατά μια κεραυνική εκκένωση. Πηγή : Καρουτζίδης, Χ. , «Συστήματα αντικεραυνικής Προστασίας», Πτυχιακή εργασία.



Σχήμα 5.9. Αλεξικέραυνο αποθητή σε σειρά με σύνθετη αντίσταση). Πηγή :Τεχνικά χρονικά, Αλεξικέραυνα αποθητές Lightning Repellers, <http://docplayer.gr/19266305-Thema-alexikerayna-apothites-lightning-repellers.html>

5.5.1 Κατασκευή και λειτουργία Lightning Repellers

Τα αλεξικέραυνα αυτά, όπως αναφέρθηκε, αποτελούνται από κεφαλή σφαιρικής ή ημισφαιρικής μορφής και δεν είναι οξέα ή αιχμηρά αντικείμενα από ειδικά υλικά, στην οποία περικλείονται στοιχεία κρυστάλλων χαλαζία (με ειδική τιμή γωνίας στην κρυσταλλογραφική τους κοπή), βρισκόμενα σε χαλαρή σύζευξη με μια σειρά R-L-C, με μορφή ενός ιδιότυπου κυκλώματος Thomson.

Κατά την κεραυνοφόρο περίοδο, το ηλεκτροστατικό πεδίο καλοκαιρίας αντιστρέφεται συνεχώς, δηλαδή καθίσταται μεταβαλλόμενο. Αυτό οφείλεται σε ηλεκτρομαγνητικές ταλαντώσεις της ινοσφαιρικής κοιλότητας (ταλαντώσεις Shuman), σε μέγιστες εξάρσεις των οποίων έχουμε κεραυνούς. Η συχνότητα των Η/Μ κυμάτων αυτού του πεδίου, κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες Hz, μέχρι πολλαπλάσια MHz. Η παραγόμενη ενέργεια από το μεταβλητό Η/Μ πεδίο, απορροφάται τοπικά από το αλεξικέραυνο L.R. Με την επίδραση στους κρυστάλλους χαλαζία του μη σταθερού Η/Μ, πεδίου, προκαλείται σ' αυτούς εξαναγκασμένη ταλάντωση που φτάνει σε υψηλές τιμές (δεκάδες χιλιάδες Hz), δεδομένου ότι επέρχεται συντονισμός με το μέγιστο πλάτος ταλάντωσης (σύμπτωση ιδιοσυχνότητας των κρυστάλλων με τη συχνότητα του διεγείροντος πεδίου). Ο δε χαλαζίας παίζει το ρόλο συντονιστή – απορροφητή ενέργειας, από τις Η/Μ ταλαντώσεις πολύ υψηλής συχνότητας που κατά τα μέγιστα τους δίνουν κεραυνούς. Η οξύτητα του παραγόμενου συντονισμού εξαρτάται από την απόσβεση του κυκλώματος της κεφαλής, η οποία συνεχώς αναπληρώνεται από το μεταβαλλόμενο Η/Μ πεδίο κακοκαιρίας, που συνεχώς απορροφάται από την κεφαλή, με τη

μέγιστη δυνατή απόκριση σε συχνότητες. Η επίδραση του αλεξικέραυνου απωθητή πριν τον υποψήφιο κατερχόμενο οχετό προεκκένωσης, επικουρείται και από τις ακόλουθες δευτερεύουσες επιδράσεις:

- Παραμόρφωση των δυναμικών γραμμών του ηλεκτρικού πεδίου στην περιοχή άνω του αλεξικέραυνου L.R., λόγω της ανορθούμενης τάσης που αναπτύσσεται από τη μεγάλη ταχύτητα μεταβολής του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. (Κατά κανόνα δεν εμφανίζεται η ίδια αγωγιμότητα και στις δύο διευθύνσεις του εναλλασσόμενου ρεύματος). Η παραμόρφωση αυτή παίρνει τη μορφή σφαιρικής κατανομής, από στάσιμα φορτία πόλωσης. Συνεπώς, σε αυτή τη φάση, δε διευκολύνεται ο σχηματισμός του οχετού προεκκένωσης, που στην πορεία του, θα ακολουθούσε τις δυναμικές γραμμές του πεδίου.
- Καταργείται η επίσης προϋπόθεση ολοκλήρωσης του κεραυνικού πλήγματος, και τούτο μέσω της μεταβολής της απόστασης διάσπασης. Αυτό επιτυγχάνεται λόγω της μεγάλης τάσης πόλωσης που εξουδετερώνει το αναγκαίο για τη διάσπαση δυναμικό χώρου, το οποίο από την κατάλληλη τιμή των 5KV/m, μειώνεται σημαντικά (ανάλογο φαινόμενο με την πόλωση εκφορτιζόμενου ηλεκτρικού στοιχείου, που δημιουργεί πτώση τάσης).

Κατά κύριο λόγο, όμως, καταναλίσκεται η διαθέσιμη για τον κεραυνό ενέργεια, σε ένα ευρύ σχετικά διάστημα, αποτρέποντας το κύριο κεραυνικό πλήγμα (εξαιρετικά υψηλής ισχύος, σε ένα εξαιρετικά μικρό χρονικό διάστημα)

Ο συνδυασμός όλων των ανωτέρω, καταλήγει στην αποφυγή του σχηματισμού του κεραυνού, δεδομένου ότι τα αλεξικέραυνα Lightning Repellers επιδρούν στα προκαταρκτικά στάδια, πριν από το σχηματισμό του. Λόγω της κατάλληλης γεωμετρίας της κεφαλής τους δημιουργούν το ήπιο φαινόμενο της “κορώνας”, δηλαδή ευρείας περιοχής αραιού ιονισμού, και για τη διασφάλιση της διατήρησης ευρείας κορώνας (δηλαδή αποφυγής της τυχαίας στένωσης του δίαυλου της στον αέρα πάνω από το αλεξικέραυνο), χρησιμοποιούν εν σειρά προς την κάθοδο του αλεξικέραυνου μια σειρά R-L-C η οποία παρουσιάζει υψηλή σύνθετη αντίσταση με μια ευρεία περιοχή συχνοτήτων, που άμεσα σχετίζεται με τη δημιουργία του κεραυνού. Οι κρύσταλλοι παρουσιάζουν άπειρη αντίσταση στο συνεχές, αλλά συντονίζονται στις συχνότητες της κορώνας, με αποτέλεσμα να δημιουργείται συντονισμός του γύρω χώρου, η δε ενεργός σφαιρική επιφάνεια του αλεξικέραυνου επεκτείνεται πολύ περισσότερο από τη γεωμετρική. Η κεφαλή μονώνεται από την κάθοδο του αλεξικέραυνου και παρουσιάζει αντίσταση πολλών MΩ στο συνεχές. Στην περίπτωση αυτή, η κάθοδος δεν απαιτείται να έχει προδιαγραφές ισχύος.

Συνοψίζοντας, με τη λειτουργία των αλεξικέραυνων lighting repellers αποφεύγονται οι μεγάλες πυκνότητες ρεύματος και ιονισμού, που είναι απαραίτητες για την κατάρρευση της αντίστασης του αέρα και την έναρξη του σχηματισμού του κεραυνικού φαινομένου. Τα αλεξικέραυνα απωθητές Lightning Repellers φέρουν και σύστημα συντονισμού στις πρόδρομες ταλαντώσεις του ατμοσφαιρικού πεδίου, το οποίο ενεργοποιείται, καταναλίσκοντας ισχύ από αυτό. Δηλαδή, λειτουργεί σαν σύστημα απορρόφησης ενέργειας του πεδίου, και μετατροπής της σε θερμότητα. Τα αλεξικέραυνα αυτά φέρουν στοιχεία απαγωγής θερμότητας και θερμαίνονται έντονα όσο διαρκεί το πεδίο κακοκαιρίας, χωρίς αυτά ή η περιοχή να πλήττονται από κεραυνούς. Το όλο φαινόμενο διαρκεί περισσότερο από το χρόνο ενός κεραυνικού πλήγματος, που είναι ακαριαίος, και αναπτύσσεται σε ύψος μέχρι και 5.000 μέτρων.

Με την αποφυγή, τελικά, της δημιουργίας του οχετού προεκκένωσης, απαλείφεται πλήρως ο κίνδυνος του κεραυνικού πλήγματος, καθόσον διακόπτεται η ανάπτυξη του φαινομένου, που συνιστάται στη δημιουργία συνδετικού οχετού και οχετού επιστροφής, κατά τη διάρκεια του οποίου παρατηρούνται οι καταστρεπτικές επιπτώσεις του κεραυνού.

Σε τελευταία φάση, κατά τη διάρκεια της παραπάνω διαδικασίας και από την παραγόμενη θερμότητα, σε συνδυασμό με τα μόρια του ατμοσφαιρικού αέρα, παράγεται το Όζον, σε ποσότητα περίπου ίση με το 1% του αέρα, στα σημεία έκσπασης των μικροφορτίων. (το όζον επαναδιασπάται σε οξυγόνο).[14]

5.5.2 Τύποι αλεξικέραυνων απωθητών Lightning Repellers

Στην Ελληνική αγορά διατίθενται οι ακόλουθοι τύποι αλεξικέραυνων απωθητών Lightning Repellers, κατασκευής του Ιταλικού Οίκου Ingelva Parafuimini.

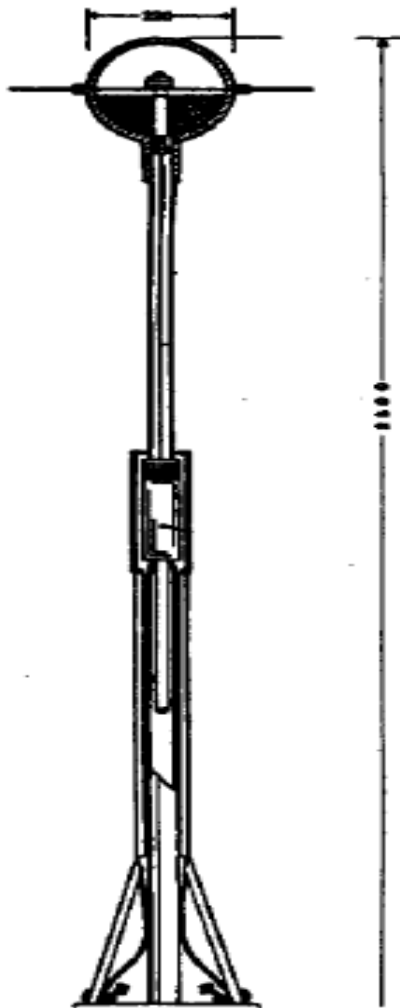
Στον πίνακα 5.4 , οι τύποι των απωθητών αλεξικέραυνων, που σημειώνονται με αστερίσκο, δηλαδή οι: MOD 2, MOD 1 και RAK 2, διατίθενται με ειδική κεφαλή, η οποία κατά τη διάρκεια καταιγίδας, καταδεικνύει με φωτεινή σήμανση το φαινόμενο της “απόθησης” του κεραυνού, και η οποία συνδυάζεται σε λειτουργία με ηλεκτρονικό πίνακα ελέγχου. Νεότερος τύπος αλεξικέραυνου Lightning Repellers του Οίκου Ingelva, που συνδυάζεται με καταγραφικούς πίνακες και ενδεικτική της λειτουργίας του κεφαλή, είναι και ο τύπος Saturno 1, ο οποίος επίσης διατίθεται ετοιμοπαράδοτος στην ελληνική αγορά.

A/A	Τύπος	Ακτίνα προστασίας σε μέτρα	Ένδειξη προστασίας
1	SKY-SCRAPER 1000 KA	2000	Ουρανοξύστες, σταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας, κτιριακά συγκροτήματα, κέντρα πυρηνικής ενέργειας, μεγάλες βιομηχανίες, διυλιστήρια, αεροδρόμια, λιμάνια, στρατιωτικές εγκαταστάσεις, σταθμοί radar κ.ά.
2	SATURNO 2 500 KA	1000	Μεγάλες πολυκατοικίες, βιομηχανίες, αποθήκες ευφλέκτων και εκρηκτικών υλών, αίθια, Νοσοκομεία, εικακήλατες, υποσταθμοί ρεύματος, τηλεφonia, αθλητικά κέντρα κ.ά.
3	SATURNO 1 350 KA	400	Ως SATURNO 2, αλλά μικρότερου μεγέθους
4	MOD. 2 150 KA	* 350	Ως SATURNO 1, και επιπλέον σε μεγάλες μονοκατοικίες, κρώματα γερανών, πυλώνες κ.ά.
5	MOD. 1 30 KA	* 300	Ως MOD. 2, αλλά μικρότερου μεγέθους
6	T.E.P. 50 KA	250	Εχάλας, βίλλες και άλλα που καλύπτονται σε ακτίνα 250 μέτρων
7	T.E. 40 KA T.E. 30 KA	150 100	Ως T.E.P. αλλά αναλογικά μικρότερου, μεγέθους
8	RAK. 2 10 KA	* 50	Ως T.E. αλλά μικρότερου μεγέθους.
9	DRTV	20	Μικρού μεγέθους εγκαταστάσεις και επί πλέον ειδικό αλεξικέραυνο για κεντρικά συστήματα κερακών (πομπών, T.V., C.B. κ.ά.
10	ARA	10	Ειδικό αλεξικέραυνο, και ταυτόχρονα κεραία ραδιοφώνου σε αυτοκίνητα και ιστιοπλοϊκών σκαφών.

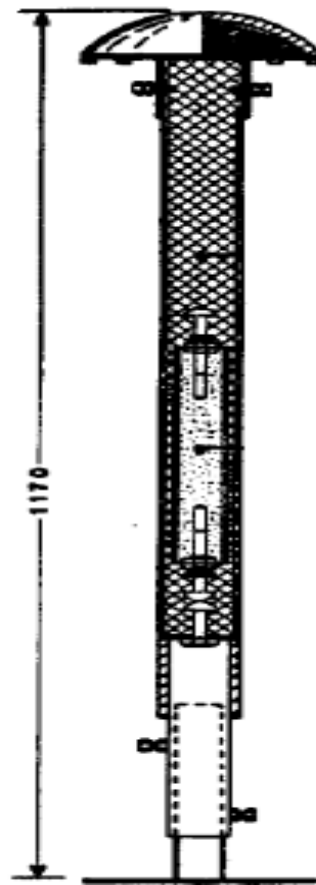
Πίνακας 5.4. Είδη απωθητών κεραυνών που διατίθενται στην Ελληνική αγορά.). Πηγή :Τεχνικά χρονικά, Αλεξικέραυνα απωθητές Lightning Repellers, <http://docplayer.gr/19266305-Thema-alexikerayna-apothites-lightning-repellers.html>

Κάθε εγκατάσταση αλεξικέραυνου αποθητού τύπου Lightning Repellers, περιλαμβάνει τα εξής μέρη :

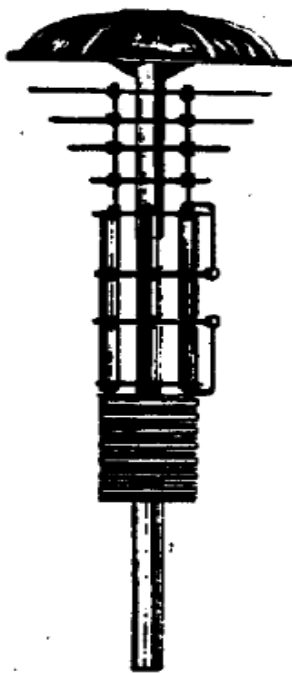
1. Ιστό στήριξης κεφαλής αλεξικέραυνου.
2. Κεφαλή αλεξικέραυνου κάθε τύπου.
3. Διάταξη συντονισμού κεφαλής (ελληνική απόδοση “εναρμονιστής πεδίου”).
4. Διάταξη συντονισμού ηλεκτροδίου (φραγή επιρρευσμάτων και διάταξη – ταυτόχρονα – ανακοπή σχηματισμού ανερχόμενου οχέτου προεκκένωσης).
5. Σύστημα ράβδων γείωσης.
6. Αγωγός καθόδου και
7. Σε μερικές περιπτώσεις αγωγός περιμετρικού βρόγχου.



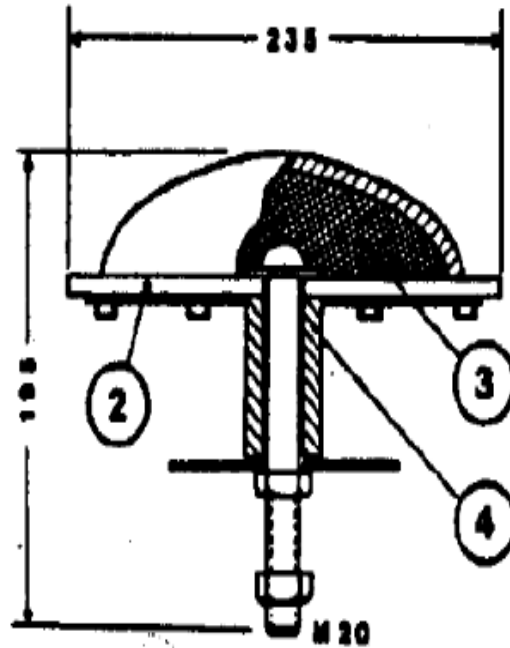
Τύπος: SATURNO 2.



Τύπος: T.E.P.



Τύπος: SKY SCRAPER



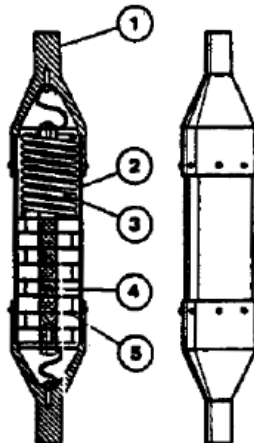
Τύπος: T.E.

Σχήμα 5.9. Κεφαλή αλεξικέρανου Lightning Repeller. Πηγή :Τεχνικά χρονικά, Αλεξικέρανα αποθητές Lightning Repellers, <http://docplayer.gr/19266305-Thema-alexikerayna-apothites-lightning-repellers.html>

Εναρμονιστές πεδίου

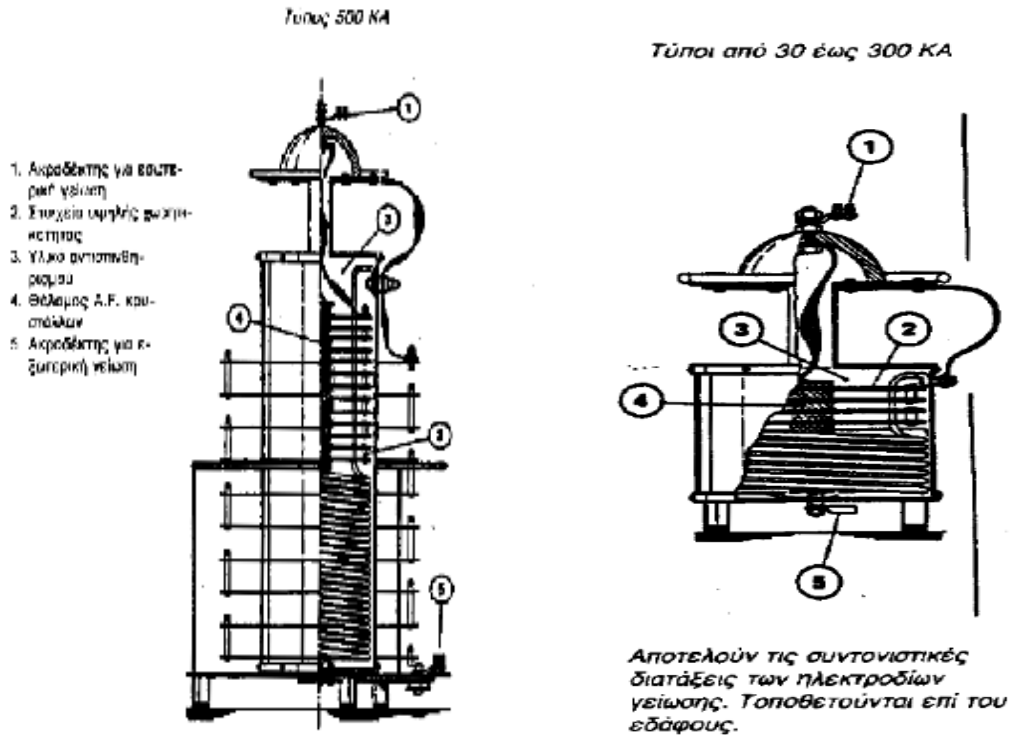
Τύποι από 10 έως 200 KA

1. Ακροδέκτης
2. Μαγνητικό σώμα
3. Στοιχείο (L) 50/60 Hz
4. Θάλαμος AF κρυστάλλων
5. Στοιχείο υψηλής χωρητικότητας



Αποτελούν τις συντονιστικές διατάξεις των κεφαλών των L.Rs. Τοποθετούνται επάνω στους ιστούς ή σε άλλο πρόσφορο σημείο της εγκατάστασης, με τρόπο ώστε να μη βροχικυκλώνονται οι πόλοι τους μέσω αγωγίμων επιφανειών.

Διατάξεις φραγής επιρρευσμάτων και ανακοπής ανερχόμενου οχέτου προεκκένωσης



Σχήμα 5.10. Εναρμονιστές πεδίου και διατάξεις φραγής αλεξικέραννου Lightning Repeller. Πηγή :Τεχνικά χρονικά, Αλεξικέρανα αποθητές Lightning Repellers, <http://docplayer.gr/19266305-Thema-alexikerayna-apothites-lightning-repellers.html>

Ακτίνες προστασίας

Οι ακτίνες προστασίας των αλεξικέρανων αποθητών Lightning Repellers, όπως φαίνεται και στον πίνακα 5.4, κυμαίνονται από 10 (δέκα) μέτρα, έως 2.000 (δύο χιλιάδες) μέτρα.

Τα αλεξικέρανα αποθητών προστατεύουν κάθε είδους εγκατάσταση, οποιασδήποτε μορφής επικινδυνότητας, αρκεί να βρίσκεται απλώς μέσα στα όρια των ακτινών προστασίας τους, οι οποίες ισχύουν ακριβώς όπως δίνονται, χωρίς καμία επιφύλαξη, δεδομένου ότι ήδη έχουν υπολογισθεί (αφαιρετικά), όλοι οι συντελεστές ασφαλείας. Στην πράξη παρατηρούνται σε όλες ανεξαιρέτως τις εγκαταστάσεις πολύ μεγαλύτερες ακτίνες προστασίας από αυτές που αναφέρονται στον πίνακα που δείξαμε (που είναι και οι επίσημες τιμές που δίνει ο κατασκευαστής).

Επιλογή του κατάλληλου τύπου αλεξικέραννου Lightning Repellers

Η επιλογή του κατά περίπτωση κατάλληλου τύπου αλεξικέραννου L.Rs, ανάγεται απλά στην εκτίμηση των γεωμετρικών δεδομένων της υπό προστασία εγκατάστασης. Αν δεν ληφθεί υποψηφν κάθε ηλεκτρογεωμετρικό στοιχείο της περιοχής, ισοκεραυνικό συντελεστή κλπ.,

παρά μόνο οι διαστάσεις της κάτοψης της εγκατάστασης, επιλέγεται ένας τύπος αλεξικέραυνου απωθητή, του οποίου η ακτίνα προστασίας να καλύπτει επαρκώς την εγκατάσταση. Δηλαδή, αν με κέντρο το σημείο που εγκαθίσταται το αλεξικέραυνο L.R., και ακτίνα, την ακτίνα προστασίας του πίνακα, γραφεί (στο χώρο) ένα ημισφαίριο, τότε ότι περικλείεται μέσα στον ημισφαιρικό αυτό χώρο, είναι προστατευμένο 100%. Μετατοπίσεις του σημείου εγκατάστασης διευκολύνουν στην προστασία περιοχών με ιδιομορφίες. Τυχόν υψηλές προεξοχές (πολύ υψηλά δέντρα, καμινάδες από αδρανή υλικά, κλπ.) που βρίσκονται στην προστατευμένη περιοχή, είναι προστατευμένες, αρκεί να βρίσκονται μέσα στον περίπου ημισφαιρικό χώρο προστασίας. Τυχόν πολύ υψηλές μεταλλικές κατασκευές (πυλώνες κλπ.) αντιμετωπίζονται με ειδική μελέτη (έστω κι αν βρίσκονται μέσα στο χώρο προστασίας), για τη διαπίστωση της αναγκαιότητας, ή μη, πρόσθετης προστασίας, σύμφωνα με τις οδηγίες εγκατάστασης του κατασκευαστή. Η τυχόν πρόσθετη προστασία, αναφέρεται σε πιθανή επιλογή ακόμη μεγαλύτερου τύπου απωθητικού αλεξικέραυνου ή σε εγκατάσταση διορθωτικού / βοηθητικού αλεξικέραυνου ή σε εγκατάσταση περισσότερων του ενός, αλλά μικρότερων τύπων αλεξικέραυνων ή – αν προσφέρεται – επέκταση του απωθητικού πεδίου του κυρίως αλεξικέραυνου με ειδικές περιμετρικές συνδέσεις. [15]

5.6 ΠΙΕΖΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΑΛΕΞΙΚΕΡΑΥΝΟ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΝ ΤΙΤΑΝΙΟΥ ΖΙΡΚΟΝΙΟΥ

Η εφαρμογή του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου στην αντικεραυνική προστασία ξεκίνησε πριν αρκετά χρόνια. Πολλά προβλήματα όμως παρέμειναν άλυτα, οφειλόμενα σ' αυτά καθ' αυτά αίτια δημιουργίας του φαινομένου του κεραυνού, στις περιορισμένες δυνατότητες απόκρισης σε ευρύ φάσμα συχνοτήτων των διάφορων χρησιμοποιούμενων κρυστάλλων, καθώς και οι κατασκευαστικές δυσκολίες που εμφανίζονται κατά την επεξεργασία τους. Σήμερα με χρήση κρυστάλλων quartz – Τιτανίου-Ζιρκονίου, ειδικά παραγόμενων για το σκοπό αυτό, ασύμμετρης κατανομής δομικών λίθων επιλύονται ικανοποιητικά τα προκύπτοντα προβλήματα. Είναι γνωστό με τα σημερινά επιστημονικά δεδομένα ότι οι διακυμάνσεις του πεδίου καταιγίδας κατά τη διάρκεια δημιουργίας των πηγών εκκίνησης του φαινομένου κεραυνού δεν έχουν πλήρως καθοριστεί, η ανίχνευση δε ανοδικών – καθοδικών ρευμάτων κεραυνού θετικών ή αρνητικών δημιουργεί ερωτηματικά για την αξιοπιστία προστασίας αλεξικέραυνων, που αναφέρονται μόνο στην απώθηση του κεραυνού.

Γι' αυτό λοιπόν, η μοντέρνα τεχνολογία αντικεραυνικής προστασίας αντιμετωπίζει το φαινόμενο συγχρόνως σαν δυναμικό και στατικό. Η παρεχόμενη προστασία του νέου αλεξικέραυνου είναι δισδιάστατη. Αφενός μεν σκοπό έχει την εξασθένηση – εξουδετέρωση του κεραυνού στη γέννηση του, αφετέρου δρα σαν αποχετευτής, σε τυχόν περίσσειμα ενέργειας, προς τη γη μέσω αγωγού και συστήματος γειώσεως.

Οι ανωτέρω λειτουργίες επιτυγχάνονται με τη χρήση πιεζοηλεκτρικών κρυστάλλων Zircotitanate-quartz με ασύμμετρη κατανομή δομικών λίθων στο κρυσταλλικό πλέγμα, ειδικής βιομηχανικής παραγωγής. Οι κρύσταλλοι Zircotitanate έχουν ευρύτερο φάσμα απόκρισης σε συχνότητα, από φυσικούς κρυστάλλους, ώστε να διεγείρονται και από πεδία καταιγίδας των οποίων η συχνότητα μεταβολής είναι εκτός φάσματος απόκρισης άλλων συνηθισμένων φυσικών κρυστάλλων. Διεθνώς γενικά σήμερα, θεωρείται ξεπερασμένη και επισφαλής η χρήση φυσικών κρυστάλλων, παντού δε σχεδόν στην σύγχρονη τεχνική έχουν επί το πλείστον αντικατασταθεί από βιομηχανικά παραγόμενους κρυστάλλους.

Για τη διέγερση του συστήματος και το συγχρονισμό των δύο λειτουργιών έχει ενσωματωθεί το σύστημα εναρμονιστής με ειδική προστασία από υπερτάσεις.

Στο άνω άκρο του συστήματος υπάρχει κεφαλή ειδικού σχεδιασμού με ακμή και ακτίνα καμπυλότητας, ώστε να εκτείνεται και να ενισχύεται το δημιουργούμενο υπό έλεγχο φαινόμενο corona. Στην κεφαλή προβλέπονται θυρίδες εισροής και εκροής με αποτέλεσμα να συμπεριφέρεται σαν ventouri και το δημιουργούμενο ρεύμα αέρα να αυξάνει τα ιόντα του αέρα από $i/cm^3 - 1100 i/cm^3$ που είναι κανονικά, σε $107 i/cm^3$.



Εικόνα 5.6 Πιεζοηλεκτρικό αλεξικέραυνο κρυστάλλων. Πηγή:
<http://www.onayparatoner.com/en/urun/premium/>

Ο δημιουργούμενος ιονισμός στη λειτουργία του αλεξικέραυνου δρα προσθετικά στο αποτέλεσμα της διάσπασης του κεραυνικού πλήγματος, διότι κατ' αυτόν τον τρόπο διευκολύνει τη διάδοση του πεδίου, εξουδετέρωσης, αφού κάνει αγωγίμο τον προστατευόμενο χώρο και εξοικονομεί ενέργεια στο σύστημα, παράλληλα δε τυχόν περίσσειμα ενέργειας του κεραυνού, έλκεται από τη διάταξη ιονισμού και την οδηγεί με ασφάλεια μέσω του συστήματος στη γείωση.

Η αξιοπιστία του βιομηχανικά παραγόμενου κρυστάλλου zircotitanate φαίνεται και από τη συνέχεια καμπύλης που εκφράζει το μαθηματικό μοντέλο υπολογισμού της ζώνης προστασίας σε συνάρτηση με τη στάθμη έντασης ρεύματος λειτουργίας αλεξικέραυνου χαλαζία. Το αλεξικέραυνο αν και καλύπτει τα μέχρι τώρα γνωστά φάσματα πεδίων καταιγίδας και επειδή πάντοτε μπορεί να υπάρξει στη φύση πεδίο καταιγίδας εκτός φάσματος διέγερσης της συσκευής και ο κεραυνός να μην εξουδετερωθεί πλήρως, το σύστημα οδηγεί αυτόν εξασθενημένο στο έδαφος, μέσω της γείωσης του, πράγμα το οποίο είναι αδύνατον να γίνει στα αλεξικέραυνα που αναφέρονται μόνο σαν απωθητικά. Έτσι αποκλείεται το ενδεχόμενο αστοχίας της κατασκευής διότι αν τελικά ο κεραυνός δεν εξουδετερωθεί πλήρως θα συλληφθεί εξασθενημένος και θα οδηγηθεί αβλαβώς μέσω της γείωσης στο έδαφος.

5.6.1 Μηχανισμός μεθόδου Lightning Diverter

Όπως είναι γνωστό, ο κεραυνός δημιουργείται από έναν βηματικά ολισθαίνοντα κατερχόμενο οχετό που ξεκινά από το νέφος διαγράφει ένα μήκος 40 έως 60m και σταματά. Μετά το χρονικό διάστημα μερικών δευτερολέπτων δημιουργείται ένας νέος κατερχόμενος οχετός από το ίδιο σημείο του νέφους που αναπτύσσεται κατά μήκος του προηγούμενου και διατρέχει ένα επιπλέον μήκος 40 έως 60m.

Το φαινόμενο αυτό έχει πλήρως εξηγηθεί και φωτογραφηθεί, οφείλεται δε στο γεγονός ότι η ενέργεια του οχετού καταναλίσκεται στο να διασπάσει το διηλεκτρικό του ατμοσφαιρικού αέρα κατά το μήκος των 40 έως 60m. Ο δεύτερος οχετός, που χαρακτηρίζεται από το ίδιο ποσό ενέργειας, διαγράφει το μήκος του ατμοσφαιρικού αέρα που ήδη είναι αγωγίμο, λόγω διάσπασης του από τον προηγούμενο οχετό και καταναλίσκει την ενέργεια του στο επιπλέον μήκος που θα διατρέξει. Αυτό επαναλαμβάνεται συνεχώς μέχρι μερικά μέτρα πάνω από τη γη, οπότε τότε ξεπηδά ο οχετός επιστροφής με αντίθετη κατεύθυνση. Τα αλεξικέρανα Zirco – Titan απωθούν το κυρίως κατερχόμενο οχετό διασπώντας - διακλαδώνοντας τον, σε πλήρη ελεγχόμενο χώρο και αριθμό μικρότερων οχετών έτσι συνολικά απορροφούν αρκετή ενέργεια από τον κατερχόμενο οχετό, που τελικά σε κάθε φάση του ολισθαίνει μερικά μόνο μέτρα ή και καθόλου.

Έτσι το φορτίο του νέφους καταναλίσκεται στο μηχανισμό για την ανάπτυξη του κεραυνού και δεν επέρχεται κεραυνικό πλήγμα. Όσο μεγαλύτερο είναι το φορτίο του νέφους τόσο εντονότερο είναι και το ατμοσφαιρικό πεδίο που επιδρά στους κρυστάλλους zircotitanate σε κάθε βηματική ολίσθηση του κατερχόμενου οχετού, ώστε αυτός να διασπάται σε διαφορετικές θέσεις της διαδρομής του και οι μικρότεροι οχετοί να μην διατρέχουν αγωγίμο διασπασμένο ατμοσφαιρικό αέρα, που έχει δημιουργηθεί από προγενέστερους μικρό-οχετούς. Ο ιονισμός επιδρά στο σύστημα προσθετικά προσφέροντας έτσι τη δεύτερη διάσταση προστασίας (συντονισμός-ιονισμός) διότι δημιουργεί εξ αποστάσεως ένα αγωγιμότερο ρεύμα στον κατερχόμενο οχετό, τον κατευθύνει στον ελεγχόμενο από το αλεξικέρανο χώρο παρόμοιο ατομικής έκρηξης ομπρέλας πολλαπλών κεφαλών, που τον διασπά σε κάθε βηματική του ολίσθηση

Χωρίς τον ιονισμό υπάρχει κίνδυνος εξωστρακίσεως του οχετού σε μη ελεγχόμενο από το αλεξικέρανο χώρο, με απρόβλεπτους κινδύνους καταστροφών σε κατοίκους και εγκαταστάσεις που γειτονεύουν με περιοχές που προστατεύονται, όπως φαίνεται ότι συμβαίνει με τα αλεξικέρανα μόνον απώθησης, χωρίς προστασία δύο διαστάσεων. Παράλληλα με τα όσα συμβαίνουν πιο πάνω, στα αλεξικέρανα Zirco – Titan και σε ύψος μερικών εκατοντάδων μέτρων από την κεφαλή του αλεξικέρανου, υπάρχει συγκέντρωση ιόντων, 107 i/cm κάνοντας το χώρο πλήρως αγωγίμο. Κατ' αυτόν τον τρόπο στην όχι απίθανη περίπτωση, που ο κατερχόμενος οχετός δεν εξουδετερωθεί στην προηγούμενη φάση του, εισέρχεται στον αγωγίμο αυτό χώρο και ξεπηδά από την κεφαλή ο οχετός επιστροφής και εξουδετερώνεται με ασφάλεια το περίσσειμα της ενέργειας μέσω της γειώσεως .[16]

Ακτίνα προστασίας

Τα αλεξικέρανα κρυστάλλων ανήκουν στην κατηγορία των ενισχυμένων αλεξικέρανων ιονισμού και η ακτίνα προστασίας στους υπολογίζεται σύμφωνα με το Γαλλικό πρότυπο NF C 17- 102. Σύμφωνα με αυτό η ακτίνα προστασίας των αλεξικέρανων δίνεται από τον πίνακα που ακολουθεί.

N _p H (m)	ΔL= 30 m			ΔL= 60 m		
	I	II	III	I	II	III
2	19	25	28	31	39	43
4	38	51	57	63	78	85
6	48	64	72	79	97	107
8	49	65	73	79	98	108
10	49	66	75	79	99	109
20	50	71	81	80	102	113
30	50	73	85	80	104	116
60	50	75	90	80	105	120

Πίνακας 5.5 Ακτίνα προστασίας πιεζοηλεκτρικού αλεξικέραυνου συναρτήσει του ύψους και της στάθμης προστασίας. Πηγή: Candar Foya, “Protection of structures against Lightning” Diploma thesis,2004

Τα αλεξικέραυνα κρυστάλλων Zirco – Titan προσφέρονται στους πιο κάτω τύπους σε σχέση με την ακτίνα προστασίας τους και τη στάθμη εντάσεως των και την τυποποίηση των μεγεθών των παλαιότερων χαλαζιακών που διατίθενται, τύπος Q.

ZIRCO-TITAN (ZT)	I (KA)	R ()	ΧΑΛΑΖΙΑ Q	I (KA)
ZT – 12 – 50	Κατ.Παρ.	Κατ.Παρ.	Q – 50	10
ZT – 6 - 100	6	100	Q – 100	30
ZT – 16 – 150	16	150	Q – 150	40
ZT – 35 – 200	35	200	Κατ.Παρ.	Κατ.Παρ.
ZT – 60 – 250	60	250	Q – 250	50
ZT – 90 – 300	90	300	Q – 300	50
ZT – 150 – 350	150	350	Q – 350	150
ZT – 170 – 400	170	400	Q – 400	350
ZT – 1700 – 1000	Κατ.Παρ.	Κατ.Παρ.	Q – 1000	500
ZT – 1000 - 2000	Κατ.Παρ.	Κατ.Παρ.	Q - 2000	1000

Πίνακας 5.6 Διαθέσιμοι τύποι πιεζοηλεκτρικού αλεξικέραυνου συναρτήσει της ακτίνας προστασίας και της στάθμης ρεύματος. Πηγή: Zirco Titanate – Lightning Rod Lightning Diverter Method

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΙΔΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

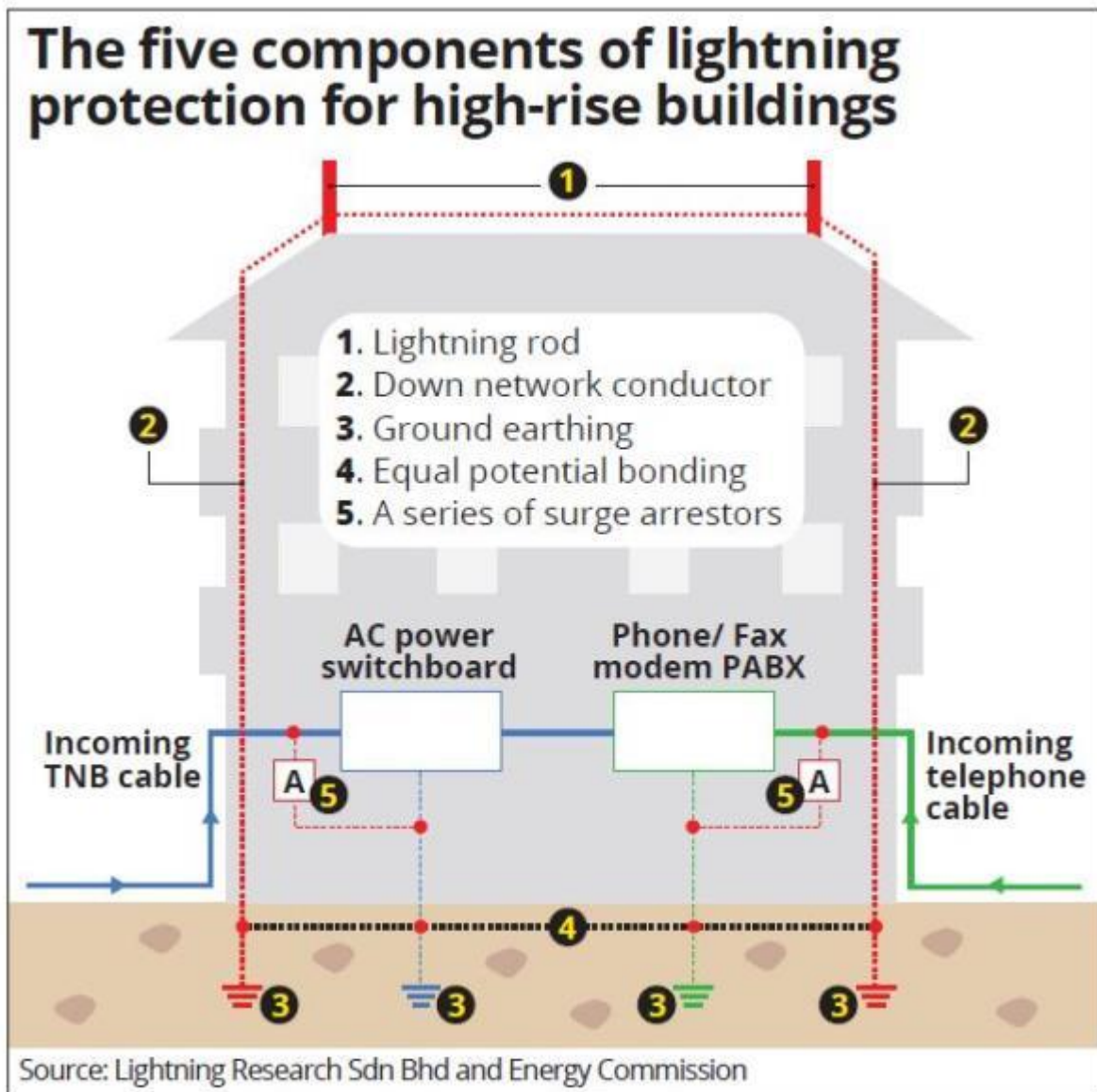
6.1 ΚΤΙΡΙΑ ΜΕΓΑΛΟΥ ΥΨΟΥΣ

Κατά τη διάρκεια του σχηματισμού του, ο κεραυνός κινείται προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, αλλά μέχρι να βρει έναν αγωγίμο δρόμο προς τη γη. Ως εκ τούτου, τα ψηλά κτίρια είναι σημεία προτίμησης εκτόνωσης του κεραυνού, έτσι ώστε τα διεθνή πρότυπα εκτίμησης κινδύνου κεραυνικού πλήγματος να θεωρούν την ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια της κατασκευής 3 φορές μεγαλύτερης του ύψους της δομής. Εξάλλου, σύμφωνα με τα πρότυπα αυτά, για κτίρια μεγαλύτερα των 60 μέτρων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι πλευρικές επιπτώσεις. Οι νέες τεχνικές κατασκευής επέτρεψαν την οικοδομική εξέλιξη και το βελτιστοποιημένο κόστος οικοδόμησης, έτσι ώστε σήμερα οι ουρανοξύστες να είναι όλο και πιο συνηθισμένοι στις πόλεις, ακόμη και σε εκείνες με υψηλή κεραυνική πυκνότητα. Είναι συχνά εμβληματικά κτίρια, τοποθετημένα στα κύρια επιχειρηματικά κέντρα και συνήθως περιέχουν ακριβό και ευαίσθητο εξοπλισμό. Οι συνέπειες ενός ανεξέλεγκτου πλήγματος από κεραυνό μπορεί να είναι επίσης επικίνδυνες για τους ανθρώπους μέσα στο κτίριο, λόγω των δυσκολιών εκκένωσης σε περίπτωση πυρκαγιάς και ακόμη και λόγω των ζημιών που θα μπορούσαν να προκαλέσουν υπερτάσεις στα συστήματα ασφαλείας, για παράδειγμα σε ανελκυστήρες.

Τα διεθνή πρότυπα αντικεραυνικής προστασίας αναφέρουν ότι, εκτός από την οροφή, για τα κτίρια άνω των 60 μέτρων, το 20% του ανώτερου τμήματος πρέπει να προστατεύεται με σύστημα εναέρια τερματικά.. Για κτίρια υψηλού ύψους, όλο το τμήμα του κτιρίου πάνω από τα 120 μέτρα θα πρέπει επίσης να είναι εφοδιασμένο με αυτή την πλευρική προστασία. Τα πρότυπα θεωρούν ότι το Επίπεδο Προστασίας τέταρτης στάθμης είναι αρκετό για το πλευρικό σύστημα εναέρια τερματικού αλλά ακόμη και σε αυτό το επίπεδο είναι σημαντικές οι τεχνικές, οικονομικές και αισθητικές δυσκολίες, ειδικά στην περίπτωση που η προστασία γίνεται με ράβδους Franklin και με αγωγούς πλεγμάτων. Οικονομικές λύσεις οι οποίες, μπορούν κατά καιρούς να προταθούν για να δικαιολογήσουμε την παράλειψη του συστήματος αγωγών οροφής, είναι απίθανο να εφαρμοστούν σε ψηλά κτίρια που αποτελούνται από ορόφους με γραφεία ή διαμερίσματα.

Η προστασία με τα αλεξικέρανα ιονισμού Early Streamer (ESE) έχει πολλά πλεονεκτήματα σε αυτά τα κτίρια, ειδικά όταν υπάρχουν στο πάνω μέρος βεράντες ή ανομοιόμορφες περιοχές. Οι απαραίτητοι τερματικοί σταθμοί αέρα θα πρέπει να εγκατασταθούν έτσι ώστε η στέγη και η πλευρική περιοχή όπου θα μπορούσε να προκληθεί αστραπή να βρίσκονται μέσα στον προστατευμένο όγκο του ΣΑΠ. Σε περίπτωση που ένα τμήμα του απειλούμενου πλευρικού δεν μπορεί να προστατευτεί, τότε ένα πλέγμα 20x20m και οι απαραίτητες ράβδοι θα πρέπει να καλύπτουν εκείνη την πρόσοψη και τα αντικείμενα πάνω του, όπως συμβαίνει με τη συμβατική προστασία. Εκτός αυτού, κάθε τερματικό ESE θα πρέπει να έχει τουλάχιστον 4 αγωγούς καθόδου. Είναι απαραίτητο να διαχωριστεί το κεραυνικό ρεύμα και οι αγωγοί καθόδου να είναι διασυνδεδεμένοι (συνήθως κάθε 20 μέτρα) καθώς η απόσταση

μεταξύ του σημείου πρόσκρουσης και της γείωσης είναι πολύ μεγάλη, συνεπώς οι επαγωγικές και μηχανικές επιδράσεις του ρεύματος κεραυνών είναι σημαντικές.



Εικόνα 6.1. Ολοκληρωμένο σύστημα προστασίας υψηλού κτιρίου, όπου φαίνονται 1) το συλλεκτήριο σύστημα, 2) οι αγωγοί καθόδου 3) το σύστημα γείωσης, 4) οι ισοδυναμικές συνδέσεις και 5) οι εκτροπείς υπερτάσεων. Πηγή :<http://www.thestar.com.my/metro/community/2017/04/11/taking-bolts-too-lightly-houses-and-highrise-buildings-still-using-flawed-lightning-protection-syste/>

Τα κτίρια υψηλού ύψους συχνά κατασκευάζονται με μεταλλικές διασυνδεδεμένες δομές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέρος του συστήματος προστασίας από κεραυνούς, ακόμη και ως πλευρικά τερματικά αέρα. Επιπλέον, οι κατασκευές μεγάλου ύψους κατασκευάζονται με χαλύβδινο σκελετό ή οπλισμένο σκυρόδεμα και αυτά τα τμήματα της κατασκευής θα χρησιμοποιηθούν για την προστασία από κεραυνούς.

Ακόμα κι αν το ψηλότερο τμήμα ενός ψηλού κτιρίου, καλύπτει μόνο ένα τμήμα από την ολική οικοδομημένη περιοχή, οι οριζόντιες διαστάσεις του είναι κυρίως τόσο μεγάλες, ώστε, θα χρειαστεί αρκετός αριθμός αγωγών καθόδου. Αυτό σημαίνει ότι αν χρησιμοποιήσουμε το χαλύβδινο ή οπλισμένο σκελετό, που προτιμάται για κάθε κύριο τοίχωμα ή κολώνα, συνδεδεμένο με το σύστημα αγωγών οροφής, θα έχουμε εξοικονόμηση κόστους και τεχνικά πλεονεκτήματα.

Αν υπάρχουν μεταλλικές επενδύσεις, τοίχοι διαρρύθμισης ή οποιαδήποτε μορφή εκτεταμένης μεταλλικής διακόσμησης, πρέπει να συνδεθούν στο σύστημα προστασίας, για να αποφευχθεί ο κίνδυνος side flash (διάσπαση μεταξύ δύο μεταλλικών επιφανειών όταν η μια είναι σε δυναμικό γης και άλλη σε δυναμικό που οφείλεται σε πλήγμα κεραυνού) στο εσωτερικό μέταλλο.

Σε τέτοιες περιπτώσεις πρέπει να ενσωματωθούν στο σύστημα αγωγών καθόδου. Μ' αυτό τον τρόπο πετυχαίνουμε και την προστασία του σκελετού της οικοδομής από ζημιές, που οφείλονται σε πλήγματα από κεραυνό σε μια από τις όψεις, όταν δεν υπάρχουν αγωγοί καθόδου στην εξωτερική επιφάνεια είναι πιθανή η καταστροφή της κατασκευής από πλάγιο πλήγμα.

Μεταλλικά συστήματα εξυπηρέτησης, που εκτείνονται σ' όλο το ύψος της κατασκευής, πρέπει επίσης να συνδεθούν στο σύστημα αγωγών οροφής και θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν σαν αγωγοί καθόδου. Σε τέτοιες συνδέσεις θα πρέπει να δοθεί προσοχή σε πιθανό πλήγμα στο ηλεκτρικό δίκτυο. Όταν ένα κρουστικό ρεύμα με μικρή διάρκεια μετώπου εφαρμοσθεί στο περιβλήμα ενός μεγάλου καλωδίου κι αν το πιο μακρινό άκρο του περιβλήματος μόνο είναι γειωμένο, διαφορά δυναμικού θα εμφανιστεί μεταξύ του πυρήνα και του περιβλήματος σαν αποτέλεσμα μιας σειράς ανακλάσεων κρουστικής τάσης. Αν η αντοχή διάσπασης σε κρουστική τάση της μόνωσης του καλωδίου είναι μικρή, είναι πιθανό να συμβεί ηλεκτρική διάσπαση. Η εξήγηση πιθανόν να βρίσκεται, μερικώς στη σχετικά μεγάλη αντοχή σε κρουστική τάση των μοντέρνων καλωδίων και μερικώς στο γεγονός ότι το ρεύμα του κεραυνού μοιράζεται σε τόσα πολλά παράλληλα μονοπάτια, ώστε το μέγεθος του ρεύματος που ρέει σε καθένα είναι μικρό μόνο τμήμα του ολικού ρεύματος. Επιπλέον μια τέτοια κατασκευή προσεγγίζει τώρα τη συνθήκη του κλωβού Faraday, έτσι κίνδυνος για side flash δεν υπάρχει.

Στους διεθνείς κανονισμούς προστασίας υψηλών κτιρίων δίνεται έμφαση στην ανάγκη να συνδεθούν όλες οι υπόγειες μεταλλικές εγκαταστάσεις με ανάλογη κατασκευή στο σύστημα γειώσεως. Αυτό μπορεί να αποτελείται είτε από ένα αγωγό με μορφή δακτυλίου ή από ηλεκτρόδια μορφής ράβδου. Αν χρησιμοποιηθούν ράβδοι, πρέπει να τοποθετηθούν γύρω από τη βάση της κατασκευής. Τέτοια ηλεκτρόδια είναι προτιμότερο να οδηγηθούν σε καθαρό έδαφος κάτω από τη στάθμη των θεμελιώσεων και πρέπει τα σημεία τοποθέτησης τους να καθοριστούν, όταν ακόμα σχεδιάζεται η κατασκευή.

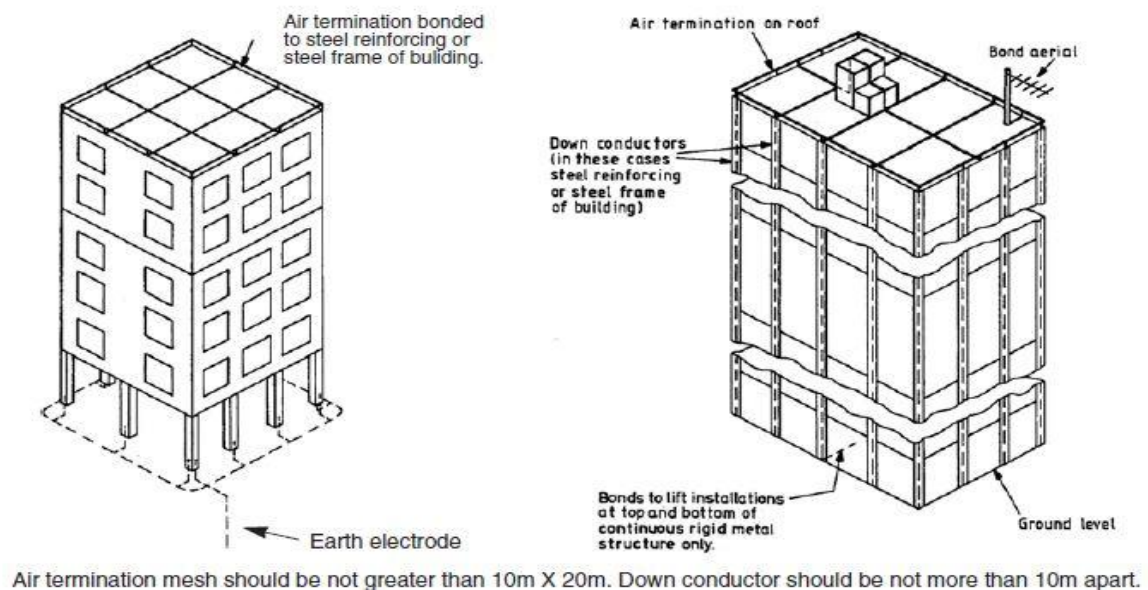
Αν όλες οι μεταλλικές εγκαταστάσεις, που εισέρχονται στο κτίριο κάτω από τη στάθμη του εδάφους, συνδεθούν στα γειωμένα ηλεκτρόδια, η ωμική αντίσταση του υπόγειου συστήματος είναι αμελητέα. Όλες οι σωληνώσεις που οδηγούνται από το έδαφος στην κορυφή του κτιρίου πρέπει να συνδεθούν στους αγωγούς προστασίας όχι μόνο κοντά στο έδαφος, αλλά και στα πιο ψηλά σημεία. Είναι επίσης επιθυμητό, αν είναι δυνατό να γίνουν επιπρόσθετες συνδέσεις σε ενδιάμεσα σημεία. Ωστόσο, πολλά άλλα μεταλλικά τμήματα μικρού μήκους πιθανώς να υπάρχουν σ' ένα ψηλό κτίριο, όπως μεταλλικά κιγκλιδώματα σε μπαλκόνια και πλαίσια παραθύρων

Για κτίρια συνήθους ύψους οι αγωγοί καθόδου μπορούν να αντικατασταθούν από τις επαγωγές τους στον υπολογισμό των ελάχιστων επιτρεπτών διακένων. Σε ψηλά κτίρια το μήκος των αγωγών καθόδου μπορεί να γίνεται συγκρίσιμο με το ισοδύναμο μήκος της διάρκειας μετώπου ενός ρεύματος κεραυνού και τότε πρέπει τέτοιοι αγωγοί να αντικαθίστανται από τις σύνθετες αντιστάσεις τους.

Για ένα κάθετο αγωγό καθόδου, η αριθμητική τιμή της σύνθετης αντίστασης είναι της τάξης των 400Ω και μ' αυτή την τιμή έχει υπολογιστεί η διαφορά δυναμικού που υπάρχει μεταξύ ενός αγωγού οροφής και ενός παρακείμενου μεταλλικού στοιχείου.

Η διάρκεια μετώπου του ρεύματος στο πρώτο πλήγμα είναι της τάξης των 10μs. Υποθέτοντας ότι το ρεύμα του κεραυνού εκφορτίζεται μέσω ενός αγωγού καθόδου με την ταχύτητα του φωτός 3×10^8 m/s, 10μs είναι ισοδύναμα με διάστημα 3.000m. Σ' ένα κτίριο ύψους 300m, το ρεύμα κεραυνού θα πρέπει να ανακλαστεί πάνω-κάτω πέντε φορές σ' όλο το μήκος το κτηρίου, πριν φτάσουμε στην κρίσιμη τιμή του ρεύματος. Κάτω από τέτοιες συνθήκες θα ήταν φρόνιμο, για πρακτικές χρήσεις του υπολογισμού, να αντικαθιστούμε έναν αγωγό καθόδου με την επαγωγή του.

Θεωρώντας ένα ακόλουθο πλήγμα ενός πολλαπλού κεραυνού η διάρκεια του μετώπου του δεν είναι μεγαλύτερη από 1μs που ισοδυναμεί με 300m. Σ' αυτή την περίπτωση πρέπει να χρησιμοποιήσουμε στους υπολογισμούς τη συνολική επαγωγή του αγωγού. Σ' ένα ψηλό κτίριο ολόκληρο το μεταλλικό πλαίσιο ή ο οπλισμός θα έπρεπε, αφού συνδεθούν μεταξύ τους μεταλλικά, να συμμετάσχουν στην εκφόρτιση του ρεύματος κεραυνού, επίσης όλοι οι κάθετοι σωλήνες, οι οποίοι όπως είναι τοποθετημένοι, πρέπει να συνδεθούν στην κορυφή και στο κατώτερο μέρος στους αγωγούς οροφής και στους αγωγούς γειώσεως αντίστοιχα. Υπάρχει ωστόσο ένας μεγάλος αριθμός από παράλληλους αγωγούς καθόδου, έτσι ώστε, όπως είπαμε προηγουμένως ολόκληρο το μεταλλικό πλέγμα αποτελεί ένα κλωβό Faraday, στο οποίο δεν υπάρχει πρόβλημα side flash. Σε τέτοιες περιπτώσεις ο υπολογισμός των δυναμικών οροφής είναι μόνον ακαδημαϊκού ενδιαφέροντος.



Εικόνα 6.2. Χρήση των μεταλλικών στοιχείων της κατασκευής στην ΣΑΠ. Πηγή : <https://electricaltoolbox.wordpress.com/>

Για πρακτικές εφαρμογές μπορεί να γίνει δεκτό ότι μεταλλικά στοιχεία μετρίου μήκους στην επιφάνεια ψηλού κτιρίου μπορούν να μείνουν μονωμένα από σύστημα προστασίας, αν το διάκενο μέσω του αέρα υπερβαίνει το ένα μέτρο. Για εσωτερικά μέταλλα αυτή η απόσταση μπορεί να υποδιπλασιαστεί.

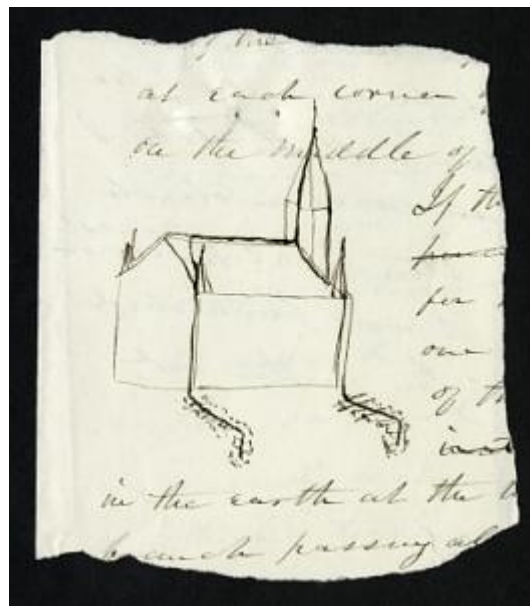
Όταν χρησιμοποιούνται τα μεταλλικά πλαίσια ενός ψηλού κτιρίου και με σωστές συνδέσεις στο σύστημα προστασίας όλων των εσωτερικών εγκαταστάσεων και εξωτερικών

κατασκευαστικών στοιχείων, η εγκατάσταση ειδικών αγωγών καθόδου δεν είναι απαραίτητη. Αλλά ούτως ή άλλως όλα τα στοιχεία στην οροφή θα πρέπει να προστατεύονται και, σε περίπτωση που το ανώτερο μέρος είναι ανοιχτό στο κοινό, θα πρέπει να εγκατασταθεί ένας τοπικός ανιχνευτής θύελλας για να αποφευχθεί η διαμονή των ανθρώπων στην οροφή σε περίπτωση επικείμενου κινδύνου αστραπής.

Ειδική προσοχή πρέπει να δοθεί στην κοινή κεραία τηλεόρασης που εγκαθίσταται στις οροφές ψηλών κτιρίων. Πιθανό να προκληθεί ζημιά στο τμήμα λήψεως και στο σύστημα καλωδίων.[14]

6.2 ΕΚΚΛΗΣΙΕΣ ΚΑΙ ΜΝΗΜΕΙΑ

Μεγάλος αριθμός απροστάτευτων εκκλησιών έχει καταστραφεί από κεραυνούς τον 18ο και μέρος του 19ου αιώνα. Τυχαία, καταστράφηκαν επίσης και προστατευμένες εκκλησίες, αλλά σ' αυτές έχει βρεθεί μετά από εξέταση, ότι ή οι αγωγοί προστασίας είχαν ανεπαρκή διατομή ή οι συνδέσεις ειδικά στο πλαίσιο στήριξης της καμπάνας ή στο μηχανισμό του ρολογιού στο κωδωνοστάσιο είχαν παραλειφθεί.



Εικόνα 6.3. Πρώμο σχέδιο τοποθέτησης ακίδας σε κωδωνοστάσιο εκκλησίας Πηγή : http://lightning.org/wp-content/uploads/2014/11/Church_Brochure.pdf

Η αισθητική θέτει ένα πρόβλημα εξαιρετικής δυσκολίας για τους υπεύθυνους που θέλουν να διαφυλάξουν την αισθητική ομορφιά των αρχαίων μαρμαρινών ή πέτρινων κτισμάτων. Άλλες μνημειακές κατασκευές μπορούν να προστατευθούν πιο εύκολα, αν και μπορεί να κοστίζει αρκετά, όπως η προστασία των πυργίσκων Bodleian συγκρότημα του Παν/μίου Οξφόρδης.

Εκκλησίες και μνημεία με μεταλλικό σκελετό που είναι κτισμένα με οπλισμένο σκυρόδεμα, πρέπει να αντιμετωπιστούν σαν οποιαδήποτε παρόμοια κατασκευή ή σύμφωνα με την προηγούμενη παράγραφο Το κύριο σώμα μιας εκκλησίας ή ενός παρόμοιου μεγάλου οικοδομήματος με πλίνθους πρέπει επίσης να προστατευθεί σύμφωνα με τους γενικούς κανόνες. Πλινθόκτιστα κωδωνοστάσια μπορούν να προστατευθούν μ' ένα μόνο αγωγό

καθόδου, σύμφωνα με τους βρετανικούς κανονισμούς ή με δύο σύμφωνα με άλλους. Οι διαφορετικοί κανόνες δεν είναι τόσο ανάλογοι της τεχνολογίας, όσο εξαρτώνται από την περιοδική επιθεώρηση των εγκαταστάσεων προστασίας. Έτσι δύο διαβρωμένοι ή κατεστραμμένοι αγωγοί καθόδου είναι σαφώς χρήσιμοι από ένα υγιή αγωγό. Δεσμοί μεταξύ αγωγού προστασίας και εσωτερικού μετάλλου ψηλό κωδωνοστάσιο, είναι ουσιώδες ειδικά για τις εγκαταστάσεις φωτισμού και ισχύος. Το σύστημα προστασίας ενός κωδωνοστασίου πρέπει να γειώνεται στη βάση του, αλλά πρέπει επίσης να συνδέεται με το σύστημα προστασίας του κυρίως ναού και με άλλα συνεχόμενα τμήματα του οικοδομήματος. Τετράγωνοι ή ορθογώνιοι πύργοι πρέπει να εφοδιάζονται με ένα αγωγό οροφής που ακολουθεί την περίμετρο της κατασκευής. Αυτό μπορεί να είναι άσχημο, αλλά σε περίπτωση που δεν τον χρησιμοποιήσουμε πρέπει να βάλουμε ένα πλήθος από κάθετα ηλεκτρόδια. Στις απέναντι πλευρές ψηλών πύργων χρειάζονται δύο αγωγοί καθόδου.

Μνημεία που είναι ανοικτά για το κοινό και που βρίσκονται σε εξέχουσα θέση, όπως π.χ. για να προσφέρουν καλή θέα του χώρου που τα περιβάλλει, χρειάζονται προστασία από κεραυνούς ή μόνο να προστατευθεί η ύπαρξή τους, αλλά πολύ περισσότερο για την προστασία των ανθρώπων που ίσως ζητήσουν καταφύγιο σε περίπτωση καταιγίδας. Οποιοδήποτε μεταλλικό αντικείμενο που είναι προσιτό πρέπει να γειώνεται και αυτό ισχύει ειδικά για τις σκάλες, τα κάγκελα και τους ιστούς της σημαίας.[14],[17]

Κωδωνοστάσια εκκλησιών

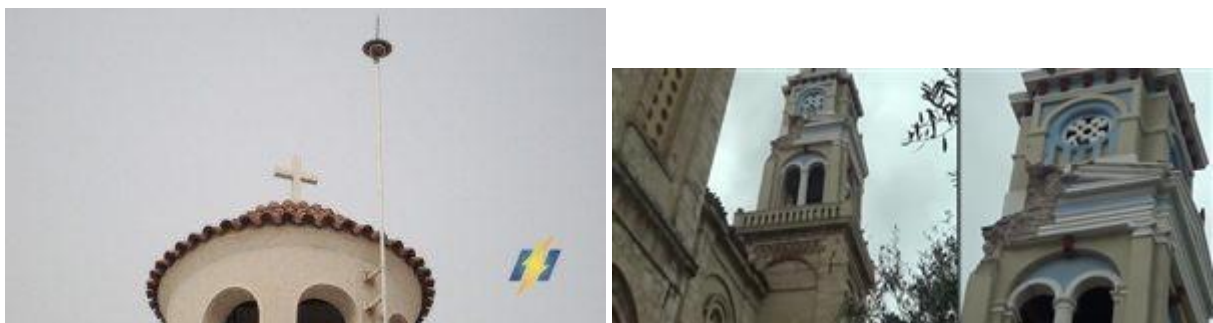
Για ύψη μεγαλύτερα από 20m χρειάζονται δύο εξωτερικοί απαγωγοί. Για μικρότερα ύψη αρκεί ένας κύριος απαγωγός.

Τοποθέτηση απαγωγών μέσα στο κωδωνοστάσιο δεν επιτρέπεται.

Όλα τα μεταλλικά σώματα που βρίσκονται πάνω και μέσα στο κτίσμα συνδέονται με τους απαγωγούς στο κάτω άκρο τους.

Αν μέσα στο κωδωνοστάσιο είναι αναρτημένα σε μεγάλο μήκος μεταλλικά καλώδια, τότε ο απαγωγός πρέπει να τοποθετηθεί έτσι ώστε να γίνει υπερπήδηση να αποκλείονται ζημιές σε πρόσωπα ή αντικείμενα.

Αν το κωδωνοστάσιο εφάπτεται με την εκκλησία, τότε ο απαγωγός πρέπει να συνδεθεί ηλεκτρικά με την αντικεραυνική προστασία της εκκλησίας.



Εικόνα 6.4. Αριστερά: Αλεξικέρανο στο κωδωνοστάσιο της Παναγίας της Καθολικής στην Γαστούνη .Δεξιά: καταστροφή σε κωδωνοστάσιο του ιερού ναού του Αγίου Νικολάου στον όρμο Καρλοβάσου στη Σάμο από πλήγμα κεραυνού. Πηγή : <http://amaliadanews.gr>, <http://www.ant1news.gr/news/LocalNews/article/377870/keraynos-katestrepse-kampanario-stin-samo>

6.3 ΓΗΠΕΔΑ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΟΙ ΛΕΩΦΟΡΟΙ

Γήπεδα

Περιστατικά από πλήγματα κεραυνών σε γήπεδα είναι σχετικά σπάνια επειδή οι αγώνες συνήθως διακόπτονται κατά τη διάρκεια καταιγίδας και οι θεατές τρέχουν να καλυφτούν από τη βροχή. Οι σκεπαστές κερκίδες είναι χώροι που συγκεντρώνονται πολλοί άνθρωποι, γι' αυτό πρέπει να προστατεύονται, αν και πλήρης κάλυψη των ανοικτών κερκίδων δεν είναι πάντοτε πρακτικά εφικτή. Τα μεταλλικά καθίσματα πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους και να γειώνονται, όπως γίνεται για τις μεταλλικές σκαλωσιές. Η αντικεραυνική προστασία ενός γηπέδου πρέπει συνεπώς να περιλαμβάνει:

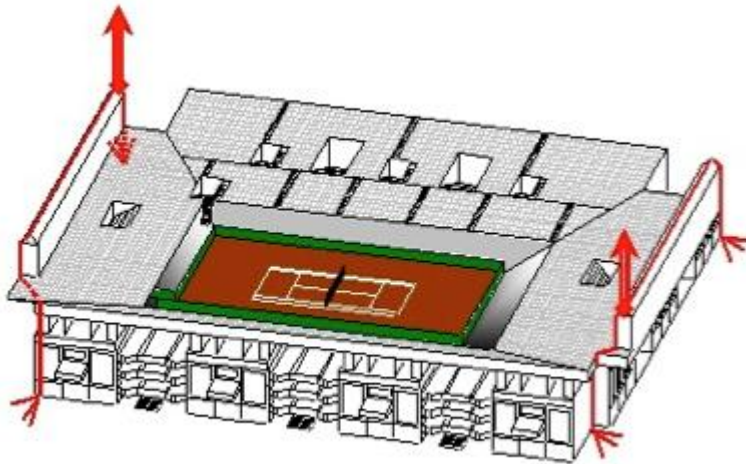
- Τους χώρους του γηπέδου και των θεατών
- Τους ιστούς φωτισμού και των σημαίων
- Σιδηροκατασκευές και φράχτες στις εισόδους και χώρους θεατών
- Άλλα μεγάλα μεταλλικά μέρη όπως πίνακες αναγγελιών, εξέδρες κλπ.

Στους ακάλυπτους χώρους θεατών πρέπει τοποθετούνται συλλεκτήριοι ράβδοι, ώστε να εξέχουν από το ψηλότερο σημείο κατά 5m. Μεταλλικοί ιστοί μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν. Όλα τα μεταλλικά αντικείμενα όπως ιστοί, σιδηροκατασκευές, πίνακες αναγγελιών που βρίσκονται επί του γηπέδου ή στο χώρο των θεατών πρέπει να συνδεθούν με το σύστημα γείωσης του γηπέδου. Στην περίπτωση ιστών με ύψος μεγαλύτερο των 20m χρειάζεται εξίσωση δυναμικού μεταξύ του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας και του συστήματος ηλεκτρικής διανομής ως εξής:

Στη βάση κάθε ιστού και στον κεντρικό πίνακα διανομής τοποθετούνται αλεξικέραυνα μη γραμμικής αντιστάσεως μεταξύ των ηλεκτροφόρων αγωγών και του συστήματος γείωσης. Αν κάθε ιστός φωτισμού έχει στη βάση του τη δική του διανομή, αρκεί η τοποθέτηση των αλεξικέραυνων μη γραμμικής αντιστάσεως στη βάση του ιστού. Μεταλλικοί μανδύες καλωδίων γεφυρώνονται με το σύστημα γείωσης. Στην περίπτωση καλωδίων με πλαστική επένδυση συνιστάται η τοποθέτηση ενός μεταλλικού αγωγού ή μιας χαλυβδοταινίας στο κανάλι καλωδίων μαζί με τα καλώδια και τη γεφύρωση τους με το σύστημα γείωσης

Μεταλλικά στηρίγματα για τις λάμπες φωτισμού ή ιστοί σημαίας που χρησιμοποιούνται σε αθλητικούς χώρους, πρέπει να γειώνονται, όπως επίσης, τα στηρίγματα από χάλυβα ή οπλισμένο σκυρόδεμα. Ξύλινα υποστηρίγματα χρειάζονται αγωγούς καθόδου. Η μεγάλη πλειονότητα των θεατών δεν κινδυνεύουν από ευθείας πλήγματα, αλλά από βηματικές τάσεις. Επικίνδυνες βαθμώσεις δυναμικού δημιουργούνται γύρω από κάθε ψηλό στήριγμα ή ιστό, όταν πληγεί από κεραυνό. Το κοινό πρέπει να κρατηθεί μακριά από τέτοια αντικείμενα και πρέπει να ληφθούν μέτρα για τη μείωση των βηματικών τάσεων. Σε εδάφη με μέτρια ειδική αγωγιμότητα είναι αρκετά επαρκές να περιβληθεί το πάνω μέρος του ηλεκτροδίου γείωσης μ' ένα μη μεταλλικό σωλήνα. Η διαφορά δυναμικού γύρω από ένα αγωγό, όταν υπάρχει ηλεκτρόδιο γείωσης και όταν δεν υπάρχει είναι διαφορετική. Όταν η εγκάρσια ειδική αγωγιμότητα του εδάφους είναι μεγάλη, πρέπει να συνδεθούν αγωγοί στο κάτω μέρος των

ιστών, οι οποίοι πρέπει να συνδεθούν με μερικούς ομοκεντρικούς κυκλικούς αγωγούς των οποίων η διάμετρος σταδιακά αυξάνει. Μια πιο προσεγμένη μέθοδος προτείνεται από τους γερμανικούς κανονισμούς. Αυτοί προτείνουν την κάλυψη του πλέγματος του ιστού μ' ένα μονωτικό υλικό που τον περιβάλλει σε ακτίνα όχι λιγότερη από 5m. Η σύσταση αυτού του περιβλήματος είναι ένα στρώμα με χοντρά χαλίκια και πάνω από αυτά τρία στρώματα ασφάλτου, που διαχωρίζονται με εμποτισμένα στρώματα από φυτικές ή πλαστικές ίνες. Για να αποφευχθούν διασπάσεις προτείνεται να περιβληθεί ο ιστός πάνω από το έδαφος με ξύλο πάχους 10cm και σε ύψος 3m.



Εικόνα 6.5. Αντικεραυνική προστασία σε γήπεδο τένις. Πηγή :
<http://earlystreameremission.com/en/useful-links-faq/specific-studies/>

Προστασία από απευθείας πλήγματα στις μη καλυμμένες θέσεις σ' ένα μεγάλο στάδιο είναι ακατόρθωτη, όπως επίσης στο χώρο που γίνονται οι αγώνες, γιατί δεν συμφέρει οικονομικά. Οι Αμερικάνικοι κανονισμοί υποστηρίζουν, ότι τα πάρκα και τα γήπεδα μπορούν να προστατευθούν μ' ένα υπερκείμενο δίκτυο, που είναι αναρτημένο σε ψηλούς ιστούς σε ύψος περίπου 6m από το έδαφος.

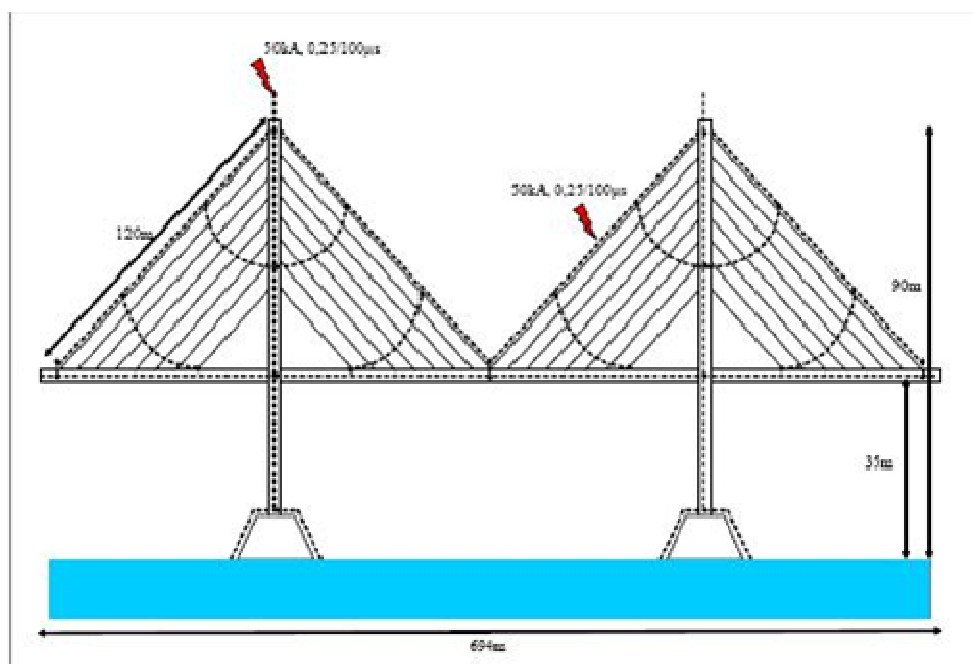
Μεγάλες απώλειες κοπαδιών οφείλονται σε απευθείας πλήγματα σε μεταλλικούς φράχτες. Ένας μεγάλος μεταλλικός φράχτης, που στηρίζεται σε ξύλινους ή πλαστικούς στύλους, συμπεριφέρεται σαν ανοικτή γραμμή και έτσι μπορεί να φτάσει σε μεγάλο δυναμικό σχετικά με τη γη, όταν πληγεί από κεραυνό. Άνθρωποι ή ζώα που έρχονται σε επαφή ή είναι κλεισμένοι σε τέτοιο φράχτη είναι πιθανό να υποστούν side flash. Επιπλέον μεγάλες διαφορές δυναμικού θα αναπτυχθούν στο έδαφος γύρω από κάποιο στύλο, μέσω του οποίου πιθανόν να εκφορτιστεί ένας κεραυνός. Σύμφωνα με τους αμερικάνικους και βρετανικούς, τέτοιοι φράχτες πρέπει να γειώνονται σε κανονικά διαστήματα ή χρησιμοποιώντας μερικούς μεταλλικούς στύλους ή ηλεκτρόδια γείωσης. Όπου το έδαφος είναι ξηρό οι γειώσεις πρέπει να γίνονται το πολύ κάθε 50 με 75m και όπου είναι μόνιμα υγρό κάθε 100 με 150m. Για να περιοριστεί η απόσταση στην οποία μεταφέρεται ένα ρεύμα κεραυνού κατά μήκος του φράχτη, πρέπει να διακόπτεται η συνέχεια του σε διαστήματα 300m με ξύλινες πόρτες ή ανοίγματα τουλάχιστον 60cm πλάτους, τα οποία κλείνονται με αγωγίμα υλικά. Για την προστασία ανθρώπων που περνούν την πόρτα κατά τη διάρκεια καταιγίδας, πρέπει το πιο κοντινό σημείο γείωσης να απέχει μερικά μέτρα από την πόρτα.

Γέφυρες και Λεωφόροι

Η επίδραση ενός κεραυνού σε μια πέτρινη γέφυρα ή ένα δρόμο με οπλισμένο σκυρόδεμα είναι ίδια μ' εκείνη σε οποιαδήποτε κατασκευή από το ίδιο υλικό. Μεγάλα τμήματα από πέτρινες γέφυρες έχουν καταστραφεί από κεραυνούς. Η προστασία τους είναι όμοια με

εκείνη που εφαρμόζεται σε πέτρινα κτίρια. Παρόμοια ισχύουν για ξύλινες γέφυρες, εξ' ολοκλήρου μεταλλικές ή κατασκευασμένες από οπλισμένο σκυρόδεμα. Σε μεγάλες γέφυρες το οριζόντιο μεταλλικό επίπεδο πρέπει να συνδεθεί με εύκαμπτες συνδέσεις στα μεταλλικά τμήματα των κάθετων τοιχιών ή πασσάλων, ώστε να είναι επιτρεπτές θερμικές διαστολές και συστολές ανάμεσα στα στοιχεία που είναι κατασκευασμένα από διαφορετικό υλικό. Σιδηροτροχιές και διάφορες σωληνώσεις που είναι πάνω στη γέφυρα, πρέπει να συνδεθούν στο σύστημα προστασίας. Όταν αυτό δεν είναι επιτρεπτό εξαιτίας των ρευμάτων από σφάλματα που ρέουν στη γη, οι συνδέσεις πρέπει να γίνουν αφού παρεμβληθούν προστατευτικά διάκενα. Τοιχία που είναι θεμελιωμένα μέσα στο νερό δεν χρειάζονται ξεχωριστά ηλεκτρόδια γείωσης.

Πεζοί και ποδηλάτες πρέπει να προστατευθούν, συνδέοντας τις σιδηροτροχιές και ειδικά στις εισόδους με το σύστημα προστασίας και ακόμα τοποθετώντας κοντά στις εισόδους αρκετό τμήμα μονωμένου επιφανειακού οδοστρώματος κατασκευασμένο από στρώματα ασφάλτου, που διαχωρίζονται από στρώματα εμποτισμένου ινώδους υλικού με άσφαλο.



Εικόνα 6.6. Αντικεραυνική προστασία καλωδιωτής γέφυρας. Πηγή:

Φλωρότος Π.,Γ. «Εφαρμογή ακίδων Franklin στην Αντικεραυνική προστασία γέφυρας Ρίου- Αντιρρίου

Έχουν αναφερθεί καταστροφές εθνικών αυτοκινητόδρομων που είναι κατασκευασμένοι από οπλισμένο σκυρόδεμα. Τμήματα του σκυροδέματος θραύστηκαν και όπως αναμένονταν η ζημιά περιορίστηκε στις συνδέσεις διαστολής, όπου το ρεύμα κεραυνού έπρεπε να βραχυκυκλώσει τα διάκενα μεταξύ των ράβδων του οπλισμού και τα παρακείμενα πλαίσια του δρόμου.

Ειδικά προβλήματα στους αυτοκινητόδρομους θα εμφανίζονται συνεχώς. Ένα από αυτά αφορά τρεις επάλληλους αυτοκινητόδρομους, ο ψηλότερος από τους οποίους είναι αρκετά ψηλά από την επιφάνεια του εδάφους.

Ένα πλήγμα στον πιο πάνω δρόμο θα αναγκάσει το ρεύμα κεραυνού να εκφορτιστεί στη γη δια μέσου των κατώτερων αυτοκινητόδρομων. Αν θέλουμε να αποφύγουμε εκτεταμένη ζημιά, πρέπει να ενδοσυνδέσουμε τις επάλληλες μεταλλικές κατασκευές.

Άλλο πρόβλημα παρουσιάζεται με τους προβολείς στους δημόσιους δρόμους. Αν και όλα τα μεταλλικά στοιχεία τέτοιων προβολέων θα πρέπει να γειώνονται, είναι οικονομικά ασύμφορη η εξασφάλιση χαμηλής αντίστασης γειώσεως. Αν πληγεί η κορυφή του προβολέα από κεραυνό, τότε θα δημιουργηθεί διαφορά δυναμικού σχετικά με τους αγωγούς της ηλεκτρικής τροφοδότησης και ίσως συμβεί διάσπαση της μόνωσης των καλωδίων. Αυτό αποφεύγεται, αν προστατευτικές συσκευές από υπερτάσεις, όπως surge diverters, συνδεθούν μεταξύ κάθε ενός πυρήνα του καλωδίου και του περιβλήματος του. Αν και η διάρκεια λειτουργίας ενός surge diverter δεν είναι μεγαλύτερη από κλάσμα του δευτερολέπτου, η απόσταση μεταξύ των προβολέων σε αυτοκινητόδρομους συνήθως είναι αρκετά μεγάλη, έτσι ώστε τα διάκενα που τοποθετούνται στο κουτί σύνδεσης ενός προβολέα θα εξασφαλίζουν μικρή προστασία στους ιστούς που βρίσκονται κοντά. Αυτό σημαίνει, σε θεωρητική βάση, ότι κάθε τέτοιος προβολέας θα πρέπει να εφοδιάζεται με τα δικά του surge diverter. Στην τοποθέτηση αυτών των surge diverters πρέπει να γίνει μια μελέτη του κόστους εγκατάστασης τους, σχετικά με τον κίνδυνο σφάλματος από κεραυνούς σ' ένα αυτοκινητόδρομο κάτω από συνθήκες καταιγίδας. Τα ίδια πρέπει να εφαρμοστούν για όλους τους τρόπους δημόσιου φωτισμού και ειδικά στην τελευταία μέθοδο στην ανάρτηση λαμπτήρων στους δρόμους της πόλης σε καμπύλα σύρματα, που στηρίζονται σε απέναντι πολύροφα κτίρια. Τέτοια καμπύλα σύρματα πρέπει πάντοτε να συνδεθούν στα συστήματα προστασίας των κτιρίων και ανάλογα πρέπει να προστατευθούν τα καλώδια φωτισμού.[18]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΙΣΧΥΟΝΤΑ ΠΡΟΤΥΠΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ

ΕΛΟΤ 1197:2002 Προστασία κατασκευών από κεραυνούς. Μέρος 1 Γενικές αρχές.

ΕΛΟΤ 1412 Προστασία κατασκευών από κεραυνούς. Οδηγία Α. Εκτίμηση κινδύνου κεραυνοπληξίας και επιλογή επιπέδου προστασίας συστήματος αντικεραυνικής προστασίας.

ΕΛΟΤ EN 62561-1 Εξαρτήματα Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας (ΕΣΑΠ) –Μέρος 1: Απαιτήσεις για εξαρτήματα σύνδεσης Εξαρτήματα

ΕΛΟΤ EN 62561-2 Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας (ΕΣΑΠ) – Μέρος 2: Απαιτήσεις για αγωγούς και ηλεκτρόδια γείωσης

ΕΛΟΤ EN 62561-4 Εξαρτήματα Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας (ΕΣΑΠ) – Μέρος 4: Απαιτήσεις για στοιχεία στερέωσης αγωγού

ΕΛΟΤ EN 62305-1 Αντικεραυνική προστασία - Μέρος 1: Γενικές αρχές

ΕΛΟΤ EN 62305- 2 Αντικεραυνική προστασία - Μέρος 2: Διαχείριση διακινδύνευσης

ΕΛΟΤ EN 62305- 3 Αντικεραυνική προστασία - Μέρος 3: Φυσική βλάβη σε δομές και κίνδυνος για τη ζωή

ΕΛΟΤ EN 62305- 4 Αντικεραυνική προστασία - Μέρος 4: Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα εντός δομών

ΕΛΟΤ HD 384 Απαιτήσεις για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις

ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΤΥΠΑ

EN 62305-1: 2010 Protection against lightning -Part1: General Principals

EN 62305-2: 2010 Protection against lightning -Part2: Risk management

EN 62305-3: 2010 Protection against lightning -Part3: Physical Damage to Structure and life hazard

EN 62305-4: 2010 Protection against lightning Part4: Electrical and electronic systems within structures

EN 50539-11: 2013 Low-Voltage surge protective devices-Surge protective devices for specific application

EN 61643-11: 2012 Low-voltage surge protective devices- Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems- Requirements and test methods.

TS 61643-12: 2009 Low-voltage surge protective devices- Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power systems-Selection and application principles

EN 61643-21: 2001 Low-voltage surge protective devices- Part 21: Surge protective devices connected to telecommunications and signaling networks- Performance requirements and test methods

TS 61643-22: 2006 Low-voltage surge protective devices- Part 22: Surge protective devices connected to telecommunications and signaling networks- Selection and application principles

EN 62561-1: 2012 Lightning Protection System Components (LPSC)- Part1: Requirements for connection components

EN 62561-2: 2012 Lightning Protection System Components (LPSC)- Part2: Requirements for conductors and earth electrodes

EN 62561-3: 2012 Lightning Protection System Components (LPSC)- Part3: Requirements for isolating spark gaps.

EN 62561-4: 2012 Lightning Protection System Components (LPSC)- Part4: Re-quirements for conductors fasteners

IEC TS 61662:1995 Standard | Assessment of the risk of damage due to lightning.

IEC 60664-1 2007 Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests

EN 50522: 2010 Earthing of power installations exceeding 1KV a.c

ΒΡΕΤΑΝΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ

BS 6651:1992-Code of practice for protection of structures against lightning

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

[1] Σιδεράκης, Κ., Γ, «Αντικεραυνική προστασία και γειώσεις σε φωτοβολταϊκά συστήματα». Πανεπιστήμιο Κρήτης, Τμήμα Χημείας, Ηράκλειο.

[2] Κοντός, Δ. «Αντικεραυνικός Κώδικας. Τόμος 1 Προστασία κτισμάτων και κατασκευών με την αρχή κλωβού Faraday και ακίδα Franklin.». Εκδόσεις Ελέμκο, 1987

[3] Χαλδούπης, Χ. «Εισαγωγικά στοιχεία Ατμοσφαιρικής Φυσικής», Πανεπιστήμιο Κρήτης, Τμήμα φυσικής, Ηράκλειο Κρήτης,2000

[4] eletaen.gr. Ελληνική επιστημονική ένωση Αιολικής ενέργειας.

[5] pittas.gr/el/faqs/the-lightning-phenomenon/ Το φαινόμενο του κεραυνού.

[6] Μικρόπουλος,Ν.,Π. «Συστήματα αντικεραυνικής προστασίας» Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 2006

[7] Oliver, John E. (2005). Encyclopedia of World Climatology. National Oceanic and Atmospheric Administration. ISBN 978-1-4020-3264-6.

[8] Elemko SA “Global Lightning Protection Solutions for Solar Applications” , First Edition, June 2011

- [9] Elemko SA «Σχεδιασμός και εφαρμογή συστήματος Αντικεραυνικής προστασίας ΣΑΠ» Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο : <http://www.elemko.gr/documents/sap.asp>
- [10] Erico Lightning protection “ Handbook.Designing to the IEC 62305 series of lightning protection Standards”
- [11] Δημητρίου Α., Χαράλαμπος, Χ. «Τεχνικό Εγχειρίδιο Αντικεραυνικής Προστασίας & Προστασίας από Υπερτάσεις για Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις Επί Οροφής», Πανεπιστήμιο Κύπρου, τμήμα ΗΜΜΥ,Λευκωσία
- [12] Πρακτικά ΤΕΕ, Αντικεραυνική προστασία, σελ.46-49
- [13] Ντόκος, Π. «Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις καταναλωτών μέσης και χαμηλής τάσης». Εκδόσεις Ζήτη,1992
- [14] Καρουτζίδης, Π. «Συστήματα Αντικεραυνικής Προστασίας» Πτυχιακή εργασία, Καβάλα, 2012
- [15] Ζερβός, Κ., «Αλεξικέραυνα Αποθητές, Lightning Repelles» Τεχνικά χρονικά,1989
- [16] Candar, F., “Protection of structures against Lightning” Diploma thesis, 2004
- [17] Ecclesiastical insurance group “Lightning protection for churches. A guide to design and installation” English Heritage, 2000
- [18] Φλωράτος Π.,Γ. «Εφαρμογή ακίδων Franklin στην Αντικεραυνική προστασία γέφυρας Ρίου- Αντιρρίου» Πτυχιακή εργασία, Πάτρα, 2011
- [19] Helita range, ‘Pulsar, the atmospheric high pulse Voltage lightning conductor CNRS’ Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο :<https://www.icautomatizados.com/files/pdf/Pulsar.pdf>