



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

«ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΙ ΓΕΙΩΣΕΙΣ ΣΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

Κυριάκος Γ. Σιδεράκης
Επίκουρος Καθηγητής ΤΕΙ Κρήτης

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΠΙΚΑΙΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΝΩΣΕΩΝ ΑΠΟΦΟΙΤΩΝ

«ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

Το πρόγραμμα συνδιοργανώνεται από:

Το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του Τ.Ε.Ι. Κρήτης

Το Τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Κρήτης



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Η ΠΡΑΞΗ ΥΛΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΕΙΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ (ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ – ΕΚΤ) ΚΑΙ ΑΠΟ ΕΘΝΙΚΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ ΕΣΠΑ 2007-2013

Στοιχεία επικοινωνίας*Εισηγητής:*

Κυριάκος Γ. Σιδεράκης

Επίκουρος Καθηγητής

Εργαστήριο

Ενεργειακών και Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Ίδρυμα:

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε.*Τηλ:*

+30 2810379231

Fax:

+30 2810379222

Email:

ksiderakis@staff.teicrete.gr

Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| Κεφάλαιο 4. | 4 |
| 4.1 Εισαγωγή | 4 |
| 4.2 Το φαινόμενο του κεραυνού..... | 4 |
| 4.3 Διάκριση κεραυνικών εκκενώσεων | 7 |
| 4.4 Παράμετροι κεραυνικών εκκενώσεων | 9 |
| 4.5 Επιπτώσεις κεραυνικών πληγμάτων | 11 |
| 4.6 Συστήματα αντικεραυνικής προστασίας..... | 12 |
| 4.7 Αποτίμηση κινδύνου κεραυνικού πλήγματος..... | 13 |
| 4.7.1 Μεθοδολογία αποτίμησης κεραυνικού κινδύνου. | 14 |
| 4.8 Εγκατάσταση συστήματος αντικεραυνικής προστασίας | 19 |
| 4.9 Συστήματα γείωσης..... | 19 |
| 4.10 Βιβλιογραφία..... | 22 |

Κεφάλαιο 4.

4.1 Εισαγωγή

Τα συστήματα αντικεραυνικής προστασίας στοχεύουν στην προστασία των εγκαταστάσεων από πλήγματα κεραυνών, εξασφαλίζοντας την απρόσκοπτη διοχέτευση του φορτίου του κεραυνού στο έδαφος. Η λειτουργία αυτή εξασφαλίζει την ασφαλή λειτουργία των εγκαταστάσεων και του προσωπικού και ως εκ τούτου πρέπει να προβλέπεται τόσο κατά το στάδιο της σχεδίασης όσο και της κατασκευής, κάθε τύπου ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και μεταξύ αυτών και των φωτοβολταϊκών σταθμών. Πρέπει να σημειωθεί ότι η παρουσία ενός φωτοβολταϊκού σταθμού, τόσο στην ύπαιθρο όσο και σε κτίρια, δεν αναμένεται να αυξήσει την πιθανότητα κεραυνικού πλήγματος. Όμως ένα τέτοιο ενδεχόμενο μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην λειτουργία των σταθμών, αλλά και γειτνιαζόντων εγκαταστάσεων. Η μελέτη αντικεραυνικής προστασίας ξεκινάει από την αποτίμηση κινδύνου πλήγματος από κεραυνό και στην συνέχεια εστιάζει στον καθορισμό των περιοχών προστασίας ανάλογα με το επίπεδο κινδύνου και καταλήγει στην επιλογή των συνιστωσών του συστήματος. Η παραπάνω διαδικασία υλοποιείται με βάση τα ισχύοντα πρότυπα σε κάθε χώρα, όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση, εφαρμόζεται η σειρά IEC 62305, καθώς και πρότυπα που εκδίδει ο ΕΛΟΤ. Σε συνέχεια της εγκατάστασης αντικεραυνικής προστασίας, κατασκευάζεται η εγκατάσταση γείωσης, η οποία έχει κρίσιμο ρόλο καθώς αναλαμβάνει την διοχέτευση του φορτίου στο έδαφος. Τα χαρακτηριστικά του εδάφους, των ηλεκτροδίων γείωσης καθώς και του τρόπου ανάπτυξης αυτών, καθορίζουν την αποτελεσματικότητα του συστήματος. Στο παρόν κεφάλαιο, καταρχήν καταγράφονται τα βασικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός κεραυνού και στην συνέχεια εστιάζει στην μεθοδολογία σχεδίασης των συστημάτων αντικεραυνικής προστασίας ειδικά σε φωτοβολταϊκά συστήματα.

4.2 Το φαινόμενο του κεραυνού

Η εμφάνιση ηλεκτρικών εκκενώσεων στην ατμόσφαιρα, μεταξύ νεφών ή νεφών και εδάφους, είναι ένα φυσικό φαινόμενο, αρκετά έντονο και εντυπωσιακό. Γενεσιουργός αιτία είναι ο σχηματισμός κατανομών ηλεκτρικού φορτίου στα νέφη, ως αποτέλεσμα μηχανισμών διαχωρισμού φορτίου, που επιδρούν σε σταγόνες νερού ή σε κρυστάλλους πάγου. Αποτέλεσμα η ανάπτυξη ηλεκτρικού πεδίου, του οποίου η ένταση, όταν υπερβεί τα 100kV/m, μπορεί να υποστηρίξει την εμφάνιση ηλεκτρικών εκκενώσεων. Τέτοιες εκκενώσεις αφορούν την εξουδετέρωση φορτίου και εμφανίζονται είτε εντός των νεφών, οπότε μπορούν να επιδράσουν επίγειες κατασκευές μέσω ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών (Electro Magnetic Pulse, EMP), είτε μεταξύ των νεφών και του εδάφους, οπότε παρατηρούνται άμεσα πλήγματα στο έδαφος και άρα και σε κατασκευές, λόγω της μετακίνησης του ηλεκτρικού φορτίου. Στην εικόνα του σχήματος 4.1 φαίνονται τυπικές μορφές τέτοιων εκκενώσεων. Στην περίπτωση του σχήματος 4.1α πρόκειται για εκκενώσεις μεταξύ νεφών ενώ στο σχήμα 4.1β για εκκενώσεις μεταξύ νεφών και του εδάφους.

Παράλληλα με την οπτική παρατήρηση των ηλεκτρικών εκκενώσεων, το φαινόμενο συνοδεύεται και από έντονο ήχο (βροντή) δεδομένων των μεταβολών πίεσης του ατμοσφαιρικού αέρα. Έτσι ήδη από την αρχαιότητα, προκαλούσε δέος, με αποτέλεσμα σε πάρα πολλούς πολιτισμούς να συσχετισθεί με την θρησκεία και να του αποδοθούν θεϊκές ιδιότητες. Ενδεικτικά, καταγράφονται στον πίνακα 4.1, θεότητες σε διάφορους πολιτισμούς σε παγκόσμια κλίμακα που συσχετίστηκαν με τον κεραυνό.

Η πρώτη επιστημονική προσέγγιση του φαινομένου και ιδιαίτερα η καταγραφή των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών αυτού, καταγράφεται στα μέσα του 18^{ου} αιώνα και αποδίδεται αφενός στον Thomas Francois Dalibard και αφετέρου στο Βενιαμίν Φραγκλίνο, οι οποίοι εργαζόμενοι ανεξάρτητα

κατάφεραν να διεγείρουν ηλεκτρικές εκκενώσεις σε νέφη, χρησιμοποιώντας αγώγιμα αντικείμενα μονωμένα από το έδαφος. Σε συνέχεια αυτών των πειραμάτων, πραγματοποιήθηκαν πολλά αντίστοιχα πειράματα και από άλλους επιστήμονες της εποχής, σε διάφορες περιοχές της Ευρώπης, τα οποία επιβεβαίωσαν τα ευρήματα των παραπάνω. Περαιτέρω, ήδη από τα πρώτα πειράματα, προέκυψε η βασική ιδέα της αντικεραυνικής, η οποία διατυπώθηκε από τον Φραγκλίνο και περιγράφει την δυνατότητα προστασίας κτιρίων από κεραυνούς, με μεγάλου ύψους γειωμένα ηλεκτρόδια. Έκτοτε, η εξέλιξη τόσο της κατανόησης του φαινομένου του κεραυνού όσο και της δυνατότητας προστασίας είναι συνεχής. Ενδεικτικά καταγράφονται, ο καθορισμός της ζώνης προστασίας της ακίδας Franklin από τους Gay Loussac (1823) και Preece (1880), η μέτρηση ρευμάτων κεραυνών δια της ανάλυσης του μαγνητικού πεδίου από τον Rockels (1880) κ.α.. Σημαντική εξέλιξη όμως καταγράφεται, όταν την δεκαετία του 1960, διαπιστώνεται η σημασία του κεραυνικού κινδύνου, για τα διαστημικά οχήματα, ιδιαίτερα κατά την φάση της εκτόξευσης.



(α)



(β)

Σχήμα 4.1 Ατμοσφαιρικές ηλεκτρικές εκκενώσεις
(α) μεταξύ νεφών
(β) μεταξύ νεφών και εδάφους

Πηγή: http://www.meteo.gr/talos/thunders_gallery.cfm

Πίνακας 4.1 Θεότητες της παγκόσμιας ιστορίας που σχετίζονται με το φαινόμενο του κεραυνού

| Eurasia | | America | |
|---|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▫ <u>Tarhunt</u> (Hittite/Luwian mythology) ▫ <u>Zeus</u> (Greek Mythology) ▫ <u>Brontes</u> (Greek mythology) ▫ <u>Jupiter, Summanus</u> (Roman mythology) ▫ <u>Taranis</u> (Pan-Celtic); ▫ <u>Ambisagrus, Loucetios</u> (Gaulish mythology) ▫ <u>Punraz</u> (Germanic mythology) ▫ <u>Thor</u> (Norse mythology) ▫ <u>Perun</u> (Slavic mythology) | <ul style="list-style-type: none"> ▫ <u>Perkūnas</u> (Baltic mythology) ▫ <u>Perëndi</u> (Albanian mythology) ▫ <u>Gebeleizis</u> (Dacian mythology) ▫ <u>Zibelthiurdos</u> (Thracian mythology) ▫ <u>Ukko or Perkele</u> (Finnish mythology) ▫ <u>Tharapita or Taara</u> (Estonian mythology) ▫ <u>Horagalles</u> (Sami mythology) ▫ <u>Aplu</u> (Etruscan mythology) ▫ <u>Atämshkai</u> (Moksha mythology) | <ul style="list-style-type: none"> ▫ <u>Thunderbird</u> (Native American mythology) ▫ <u>Xolotl and Tlaloc</u> (Aztec mythology) ▫ <u>Chaac</u> (Maya mythology) ▫ <u>Apocatequil</u> (Incan mythology) ▫ <u>Cocijo</u> (Zapotec mythology) ▫ <u>Aktzin</u> (Totonac mythology) ▫ <u>Haokah</u> (Lakota mythology) ▫ <u>Tupã</u> (Guarani mythology) | |
| Africa | | Oceania | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▫ <u>Set</u> (Egyptian mythology) ▫ <u>Shango</u> (Yorùbá religion) ▫ <u>Oya</u> (goddess of hurricanes, consort of Shango in Yorùbá religion) ▫ <u>Azaka-Tonnerre</u> (West African Vodun/Haitian Vodou) <ul style="list-style-type: none"> ▫ <u>Xevioso</u> (alternately: Xewioso, Hevioso. Thunder god of the So region) ▫ <u>Sango</u> (Nigerian mythology) ▫ <u>Amadioha</u> (Igbo, Nigeria) ▫ <u>Àlamei</u> (So region) | <p>Polynesian mythology</p> <ul style="list-style-type: none"> ▫ <u>Haikili</u> ▫ <u>Tāwhaki</u> ▫ <u>Kaha'i</u> ▫ <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> | <p>Ancient Near East and East</p> <ul style="list-style-type: none"> ▫ <u>Teshub</u> (Hurrian mythology) ▫ <u>Adad, Ishkur, Marduk</u> (Babylonian-Assyrian mythology) ▫ <u>Hadad</u> (Levantine mythology) ▫ <u>Wen Zhong</u> (Lei Zu, Ascendant of Thunder) (Chinese mythology) ▫ <u>Feng Lung</u> (Lei Gong, Lord of Thunder) (Chinese mythology) ▫ <u>Indra, Parjanya</u> (Hindu mythology) ▫ <u>Ajisukitakahikone, Raijin</u> (Raiden-sama, Kaminari-sama), <u>Tenjin</u> (kami) (Japanese mythology) ▫ <u>Susanoo</u> (Japanese mythology) | |
| Chinese mythology | | | |
| <p>Thunder Emperors of the Five Regions</p> <ul style="list-style-type: none"> ▫ <u>Hu Fengya</u>, God of Thunder of the East ▫ <u>Bing Jiulu</u>, God of Thunder of the South ▫ <u>Rong Yaoling</u>, God of Thunder of the West ▫ <u>Lu Xingmeng</u>, God of Thunder of the North ▫ <u>Sun Zhener</u>, God of Thunder of the Center Thunder | <p>Kings of the Five Regions</p> <ul style="list-style-type: none"> ▫ <u>Yan Fu</u>, Thunder King of the East ▫ <u>Zhuo Bin</u>, Thunder King of the South ▫ <u>Gao Hui</u>, Thunder King of the West ▫ <u>Wu Xi</u>, Thunder King of the North ▫ <u>Zhao Jian</u>, Thunder King of the Center | <p>Thunder Generals of the Five Regions</p> <ul style="list-style-type: none"> ▫ <u>Wu Chong</u>, Thunder General of the East ▫ <u>Wang Jian</u>, Thunder General of the South ▫ <u>Meng Zhang</u>, Thunder General of the West ▫ <u>Sun Heng</u>, Thunder General of the North ▫ <u>Guo Zhen</u>, Thunder General of the Center | <p>Marshals of Thunder</p> <ul style="list-style-type: none"> ▫ <u>Deng Zhong</u> ▫ <u>Tian Hua</u> ▫ <u>Liu Hou</u> ▫ <u>Xin Xing</u> ▫ <u>Pang Qiao</u> |

Ο μηχανισμός του φαινομένου παραμένει ακόμη και σήμερα υπό διερεύνηση. Έχουν όμως σημειωθεί σημαντικά βήματα, ως αποτέλεσμα της χρήσης σύγχρονης τεχνολογίας για την καταγραφή του φαινομένου. Ιδιαίτερης αναφοράς χρήζουν τα συστήματα επιτήρησης και καταγραφής των κεραυνών, τα οποία έχουν τόσο επιστημονική όσο και άμεση πρακτική αξία. Τέτοια συστήματα είναι συνήθως διαθέσιμα από τις κατά τόπους μετεωρολογικές υπηρεσίες ή οργανισμούς που έχουν ενδιαφέρον για το φαινόμενο, όπως η NASA, ενώ καταγράφεται επίσης σημαντική δραστηριότητα από ερασιτέχνες μελετητές και ιδιαίτερα ράδιο ερασιτέχνες. Στον πίνακα 4.2 καταγράφονται παραδείγματα τέτοιων συστημάτων, διαθέσιμα στο διαδίκτυο. Επίσης στην εικόνα του σχήματος 4.2 καταγράφεται στιγμιότυπο κεραυνικής δραστηριότητας στον Ελλαδικό χώρο, από το σύστημα ΤΑΛΩΣ, του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών.

Πίνακας 4.2 Συστήματα εντοπισμού κεραυνικών πληγμάτων

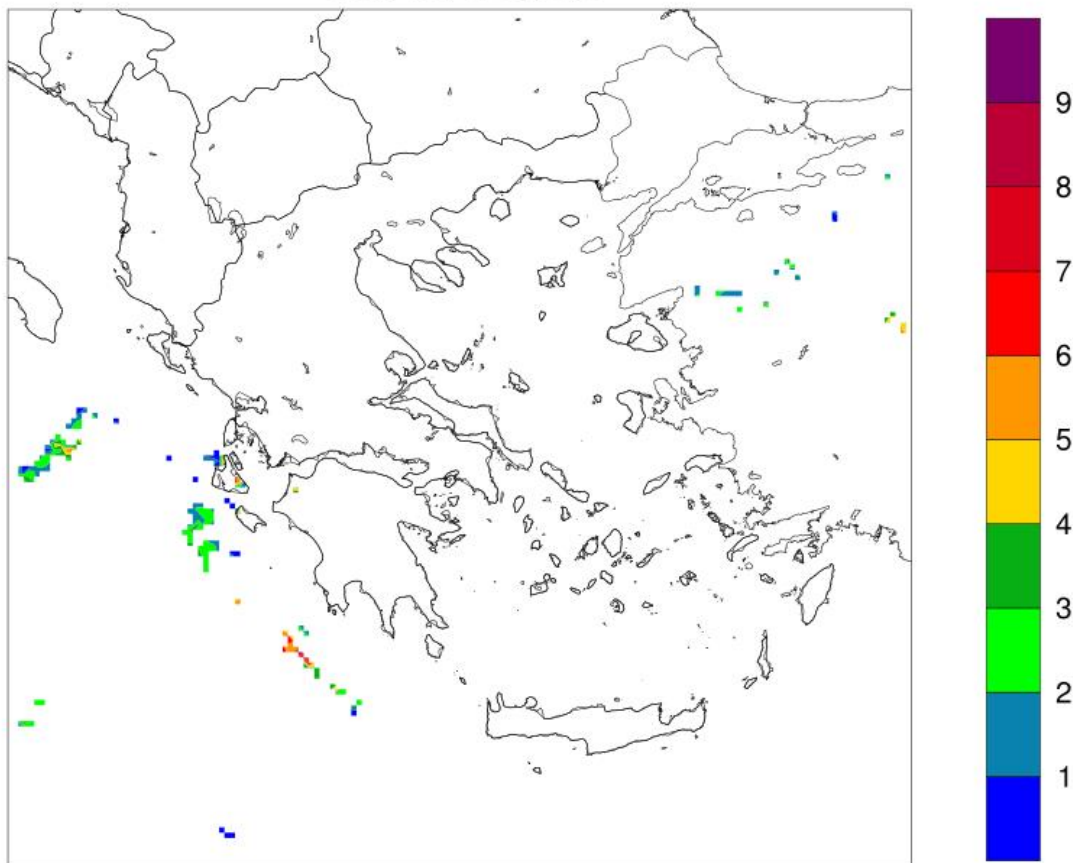
| | Δίκτυο - Σύστημα Ανίχνευσης Κεραυνικής Δραστηριότητας | Σύνδεσμος |
|---|---|---|
| 1 | NASA, Lightning Imaging Sensor | http://thunder.msfc.nasa.gov/index.html |
| 2 | BLIDS | www.blids.de |
| 3 | TALOS | http://www.meteo.gr/talos/index.cfm |
| 4 | Blitzortung.org | http://www.lightningmaps.org/realtime |
| 5 | Ραδιοερασιτέχνες | http://www.sv2bzq.gr/ |

6km ARW-WRF
GFS 0.5° Init. -- NCEP
RTG SST 0.083° Init. -- NCEP

Init.: 2015-03-07_12:00:00
Valid: Sun 8 Mar 2015 at 15Z

Past 3h level of lightning activity

1: Very low / 9: Very high



Model Info: V3.5.1
(c)-National Observatory of Athens

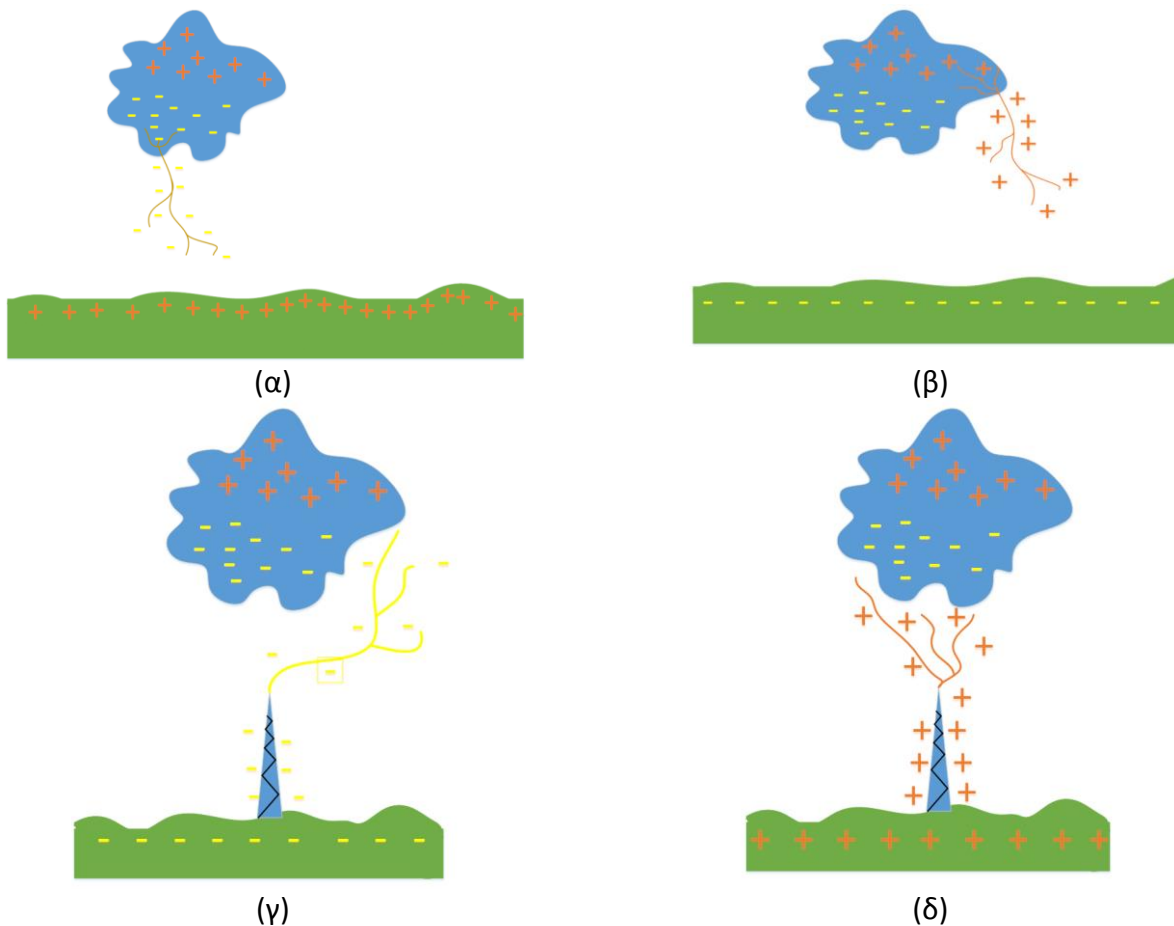
Σχήμα 4.2 Στιγμιότυπο κεραυνικής δραστηριότητας στον Ελλαδικό χώρο, από το σύστημα ΤΑΛΩΣ, του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών

4.3 Διάκριση κεραυνικών εκκενώσεων

Οι κεραυνικές εκκενώσεις διακρίνονται ανάλογα με (α) τον χώρο που λαμβάνουν χώρα, (β) το φορτίο που μεταφέρεται και (γ) την κατεύθυνση ανάπτυξης τους. Στο σχήμα 4.3 καταγράφονται τα είδη κεραυνικών εκκενώσεων, η ύπαρξη των οποίων έχει επιστημονικά παρατηρηθεί. Περαιτέρω, από καταγραφές κεραυνικών πληγμάτων προκύπτει ότι η συνηθέστερη μορφή αφορά αρνητικούς κεραυνούς (ποσοστό εμφάνισης 90%) ενώ οι θετικοί είναι σπανιότεροι. Φέρουν όμως συγκριτικά μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου. Επιπλέον μεταξύ νεφών και εδάφους, εμφανίζονται ανερχόμενοι κεραυνού στην περίπτωση υψηλών κατασκευών, όπως πύργοι κτλ. Διαφορετικά οι κεραυνοί είναι κατερχόμενοι (σχήμα 4.4 α και β). Η διάκριση αυτή φαίνεται και στην μορφή των εκκενώσεων, όπου οι πολλαπλές οδεύσεις εμφανίζονται προς την πλευρά της κατάληξης (σχήμα 4.4 γ και δ).



Σχήμα 4.3 Διάκριση κεραυνικών εκκενώσεων η ύπαρξη των οποίων έχει επιστημονικά παρατηρηθεί.



Σχήμα 4.3 Κατερχόμενη εκκένωση (α) αρνητική και (β) θετική
Ανερχόμενη εκκένωση (γ) αρνητική και (δ) θετική

4.4 Παράμετροι κεραυνικών εκκενώσεων

Οι κεραυνικές εκκενώσεις περιγράφονται με τις παρακάτω παραμέτρους

- **Η πολικότητα**

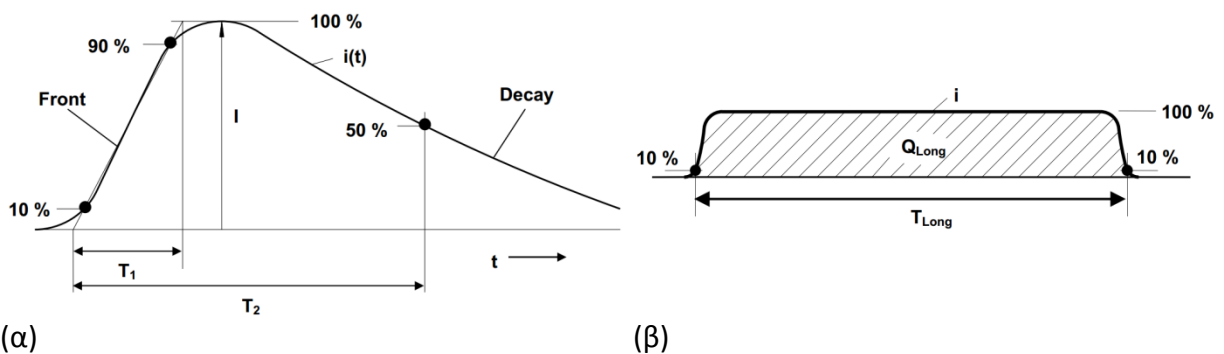
Καθορίζεται από το πρόσημο του φορτίου που μεταφέρεται και εξαρτάται από την γεωγραφική θέση. Στην πλειοψηφία τους (90%) οι κεραυνοί φέρουν αρνητικό φορτίο.

- **Η κατεύθυνση**

Καθορίζεται από το σημείο εκκίνησης του κεραυνού, διακρίνονται σε ανερχόμενους και κατερχόμενους. Σημειώνεται ότι σε κάθε κεραυνό μπορεί να παρατηρηθεί κατερχόμενη και ανερχόμενη εκκένωση, λαμβάνεται υπόψη η πρώτη χρονικά, η οποία έχει και μεγαλύτερη έκταση. Η διαφορά φαίνεται και στην διασπορά της εκκένωσης.

- **Το ρεύμα**

Το ρεύμα ενός κεραυνικού πλήγματος συνήθως αποτελείται από μια ακολουθία κρουστικών και παλμικών ρευμάτων, όπου κρουστικό ρεύμα χαρακτηρίζεται ένας παλμός με διάρκεια μικρότερη των 2ms ενώ με τον όρο παλμός περιγράφονται ρεύματα διάρκειας μεγαλύτερης των 2ms (σχήμα 4.4).



Σχήμα 4.4

(α) κρουστικό και (β) παλμικό ρεύμα κεραυνού σύμφωνα με το IEC 62305

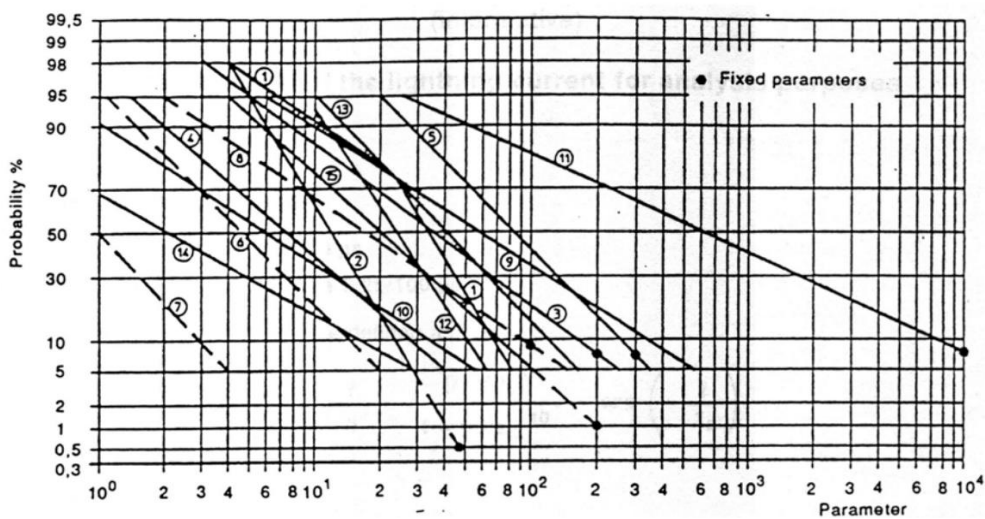
Στα ρεύματα αυτά διακρίνουμε:

- Το μέγιστο εύρος (I)
 - μερικές δεκάδες μέχρι και εκατοντάδες kA.
 - Καθορίζει την ελάχιστη απαιτούμενη αντοχή της ηλεκτρικής μόνωσης (σε συνδυασμό με την κυματική αντίσταση του δικτύου → υπέρταση).
- Την μέση κλίση
 - Υπολογίζεται στο μέτωπο (αύξηση του ρεύματος) λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές στο 30% και 90% του μεγίστου.

$$\frac{di}{dt} = \frac{(I_{90} - I_{30})}{(t_{90} - t_{30})}, kA/\mu s$$
- Την διάρκεια
 - Σε συνδυασμό με την αντίσταση καθορίζουν την ενέργεια που παράγεται, ήτοι την θερμότητα που εκλύεται

- **Το ολικό φορτίο**
Το ολοκλήρωμα του ρεύματος του κεραυνού στον χρόνο, για όλη την διάρκεια του.
- **Το κρουστικό φορτίο**
Το ολοκλήρωμα της κρουστικής συνιστώσας του ρεύματος του κεραυνού στον χρόνο.
- **Η ειδική ενέργεια**
Η ενέργεια που καταναλώνεται κατά την ροή του ρεύματος κεραυνού σε μοναδιαία αντίσταση. Υπολογίζεται ως το ολοκλήρωμα του ρεύματος του κεραυνού στον χρόνο, για όλη την διάρκεια του. Εκφράζει την ενέργεια που συνοδεύει την ηλεκτρική ενέργεια του κεραυνού σε μονάδες A^2s ή ισοδύναμα σε J/Ω .
- **Ο αριθμός των διαδοχικών εκκενώσεων**
Κεραυνός με κατά μέσο όρο 3-4 εκκενώσεις και χρόνο μεταξύ τους 50ms.

Με βάση τις μέχρι σήμερα παρατηρήσεις, περιλαμβάνεται στο πρότυπο IEC61024-1, 1993 το παρακάτω διάγραμμα κατανομής πιθανότητας των χαρακτηριστικών κεραυνικών πληγμάτων (σχήμα 4.5)



| Parameter | Scale of abscissa | Positive flash | First positive stroke | Negative flash | First negative stroke | Negative subsequent strokes |
|-----------------------------------|-------------------|----------------|-----------------------|----------------|-----------------------|-----------------------------|
| I | kA | | 3 • | | 1 | 2 • |
| Q_1 | C | 5 • | | 4 | | |
| Q_+ | C | | 8 • | | 6 | 7 |
| W/F | kJ/Ω | | 11 • | | 9 | 10 |
| $(\Delta i/\Delta t)_{max}$ | $kA/\mu s$ | | 14 | | 12 | 13 |
| $(\Delta i/\Delta t)_{30\%/90\%}$ | $kA/\mu s$ | | | | | 15 • |

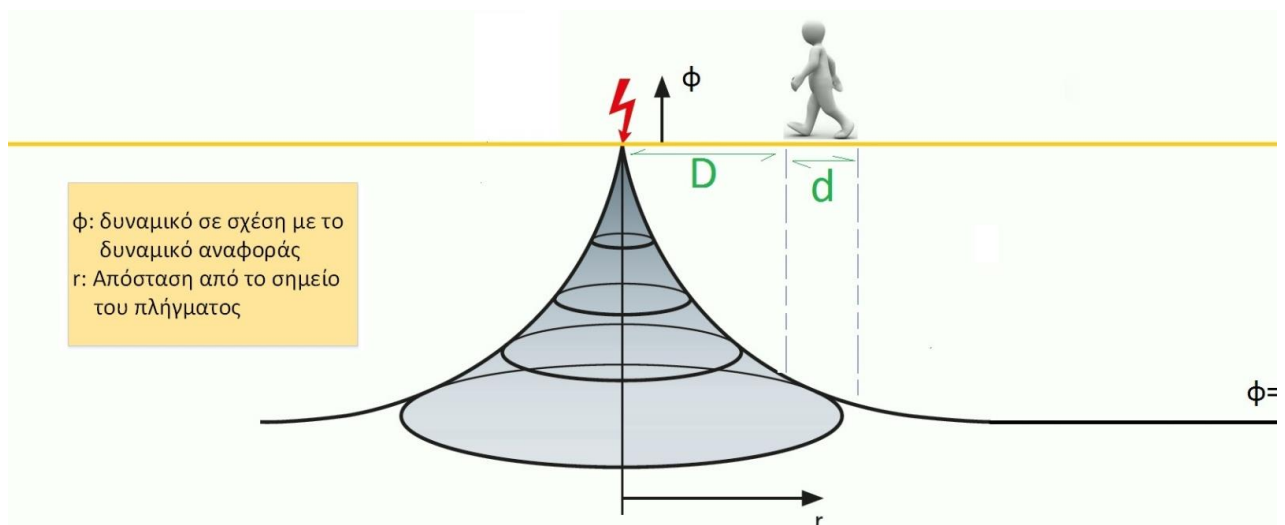
Σχήμα 4.5 Κατανομή πιθανότητας χαρακτηριστικών κεραυνικών πληγμάτων

4.5 Επιπτώσεις κεραυνικών πλήγμάτων

Τα κεραυνικά πλήγματα μπορούν να επιδράσουν σε μια κατασκευή άμεσα ή έμμεσα. Στην πρώτη περίπτωση, παρατηρείται ροή του ηλεκτρικού φορτίου του κεραυνού δια της κατασκευής, ενώ στην δεύτερη η επίδραση προκύπτει εξ επαγωγής ή προέρχεται από τα δημόσια δίκτυα. Σε κάθε περίπτωση προκύπτουν επιπτώσεις τόσο για τον άνθρωπο όσο και για τις κατασκευές, οι σημαντικότερες εκ των οποίων είναι:

Επιπτώσεις στον άνθρωπο:

- Άμεσο πλήγμα
Διέλευση του ρεύματος κεραυνού από το ανθρώπινο σώμα. Εξαιρετικά σπάνια περίπτωση, με πιθανότητα 1 άμεσο πλήγμα ανά 2000 χρόνια, αλλά έχει καταγραφεί.
- Άμεση επαφή
Το ανθρώπινο σώμα σε επαφή με κάποιο αντικείμενο το οποίο πλήττεται από κεραυνό.
- Υπερπήδηση
Το ανθρώπινο σώμα κοντά σε κάποιο αντικείμενο το οποίο πλήττεται από κεραυνό και παροχετεύει παράλληλα τμήμα της εκκένωσης προς γη (ηλεκτρική διάσπαση διακένου)
- Βηματική τάση
Κατά την ροή του ρεύματος κεραυνού στο έδαφος, συναντάει την αντίσταση του εδάφους, άρα υπάρχει μεταβολή της τάσης ανά μονάδα μήκους. Η διαφορά δυναμικού στο άνοιγμα ενός μέσου ανθρώπινου βήματος ονομάζεται βηματική τάση (Σχήμα 4.6)



Σχήμα 4.6 Κώνος δυναμικού στην περίπτωση ροής ρεύματος στο έδαφος ως αποτέλεσμα κεραυνικού πλήγματος

- Επιφανειακή διάσπαση του εδάφους
Στην περίπτωση επιφανειακής διάσπασης του εδάφους, το ανθρώπινο σώμα βρίσκεται υπό την επήρεια του ηλεκτρικού τόξου που προκύπτει. Καταγράφεται πολύ κοντά στο σημείο του πλήγματος, δεν εμφανίζεται πάντα και αφορά κεραυνούς με ρεύμα μεγαλύτερο των 15kA.
- Τυφλό τραύμα
Το σώμα εκτινάσσεται σε απόσταση λόγω έντονων μυϊκών συσπάσεων (οπισθοτονική σύσπαση) που προκαλούνται λόγω της ροής ρεύματος δια αυτού ή εξαιτίας του κρουστικού κύματος πίεσης που συνοδεύει έναν κεραυνό.

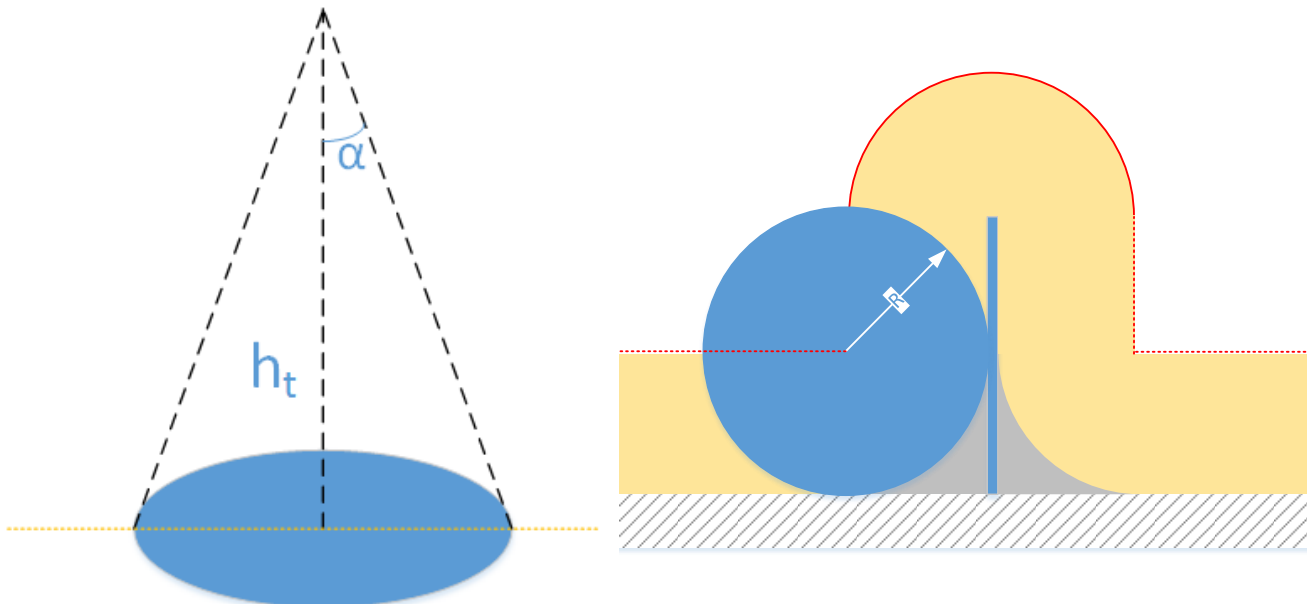
Επιπτώσεις σε κατασκευές:

- Θερμικές επιδράσεις
 - Εξαρτώνται από:
 - Την ειδική ενέργεια στην περίπτωση ωμικής ζεύξης
 - Το ολικό ή κρουστικό φορτίο αν εμφανιστούν τόξα
 - Παρατηρούνται:
 - Ρήγματα σε δομικά στοιχεία
 - Τήξη μετάλλων και αγωγών (Joule)
 - Σε μονωτικά διάτρηση ή ανάφλεξη
 - Σε υλικά που περιέχουν υγρασία εκρηκτικές θραύσεις
 - Επικίνδυνα σημεία
 - Σημεία με αυξημένη πυκνότητα ρεύματος
 - Σημεία με οξείες αλλαγές γεωμετρίας
 - Επαφές μεγάλης ωμικής αντίστασης
- Μηχανικές επιδράσεις
 - Εξαρτώνται από:
 - Την μέγιστη τιμή του ρεύματος
 - Την ειδική ενέργεια
 - Παρατηρούνται:
 - Σε αποστάσεις μεταξύ των αγωγών μικρότερες των 0,5m
 - Παραμορφώσεις υλικών
 - Μετακινήσεις
 - Αποκόλληση στρωμάτων στρωματομόρφων υλικών
 - Αγώγιμοι βρόχοι διαστέλλονται
 - Στα πηνία παρατηρείται συμπίεση της μόνωσης
 - Επικίνδυνα σημεία
 - Σημεία με οξείες αλλαγές γεωμετρίας (τάση ευθυγράμμισης του αγωγού)
 - Πλήγμα υπό γωνία
 - Προκύπτουν και από το κρουστικό κύμα πίεσης
- Ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις
 - Εξαρτώνται από:
 - Την μέγιστη τιμή του ρεύματος
 - Την κλίση του μετώπου του ρεύματος
 - Ανάλογα με την κυματική εμπέδηση δημιουργούν υπερτάσεις
 - Παρατηρούνται:
 - Αγώγιμη ζεύξη: άμεση ροή ρεύματος του κεραυνού
 - Επαγωγική ζεύξη (αποστάσεις μέχρι 100m)
 - Χωρητική ζεύξη (αποστάσεις μέχρι 100m, 500kV/m)

4.6 Συστήματα αντικεραυνικής προστασίας

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ένα σύστημα αντικεραυνικής προστασίας δεν απωθεί έναν κεραυνό αλλά αναλαμβάνει σε περίπτωση κεραυνικού πλήγματος, την ασφαλή διοχέτευση του ρεύματος της εκκένωσης ελεγχόμενα στη γη, περιορίζοντας στον ελάχιστο βαθμό τις επιζήμιες επιπτώσεις του. Βασική παράμετρος είναι η ζώνη προστασίας, η οποία περιγράφει μια περιοχή όπου η πιθανότητα κεραυνικού πλήγματος είναι η ίδια. Έτσι, ορίζοντας την επιθυμητή πιθανότητα κεραυνικού πλήγματος, είναι εφικτή η σχεδίαση ενός συστήματος το οποίο θα εξασφαλίζει την προστασία μιας κατασκευής, υπό την υπόψη πιθανότητα – αποτελεσματικότητα.

Για τον καθορισμό των ζωνών προστασίας έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές, οι οποίες διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες, αυτές όπου η ζώνη προστασίας ορίζεται μόνο με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της υπό προστασία κατασκευής, γνωστές ως γεωμετρικές μέθοδοι και αυτές όπου για τον καθορισμό της ζώνης προστασίας λαμβάνονται υπόψη και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του κεραυνού (ηλεκτρογεωμετρικές μέθοδοι). Για παράδειγμα ο καθορισμός της ζώνης προστασίας μιας ακίδας με βάση την γωνία προστασίας είναι μια γεωμετρική μέθοδος (σχήμα 4.7α), ενώ με την κυλιόμενη σφαίρα μια ηλεκτρογεωμετρική (σχήμα 4.7β).



(α)

(β)

Σχήμα 4.7 Καθορισμός της ζώνης προστασίας θεωρώντας:
 (α) την τεχνική της γωνίας προστασίας και
 (β) την τεχνική της κυλιόμενης σφαίρας

4.7 Αποτίμηση κινδύνου κεραυνικού πλήγματος

Η απόλυτη προστασία έναντι κεραυνικών πληγμάτων είναι εφικτή αν η υπό προστασία κατασκευή καλυφθεί πλήρως από μεταλλικό κέλυφος, με τοιχώματα ορισμένου πάχους, γνωστό και ως κλωβό Faraday. Στις περισσότερες κατασκευές, κάτι τέτοιο είναι τεχνικά ή και οικονομικά μη αποδεκτό. Έτσι, αντ' αυτού είναι δυνατή η κατασκευή συστημάτων ΣΑΠ, συγκριτικά χαμηλότερης αποτελεσματικότητας από τον κλωβό Faraday, αλλά σε επίπεδο τέτοιο ώστε να τεκμηριώνεται τεχνοοικονομικά η επένδυση. Ουσιαστικά ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να μειώσει σε αποδεκτό βαθμό τις επιζήμιες επιπτώσεις ενός κεραυνού σε μια κατασκευή, σε βαθμό που επιλέγεται και περιγράφεται από τις στάθμες προστασίας.

Κάθε στάθμη προστασίας συνδέεται με μια ορισμένη πιθανότητα προστασίας – αποτελεσματικότητας, η οποία περιγράφεται στον πίνακα 4.3. Στην συνέχεια με βάση την επιλεγόμενη στάθμη προστασίας καθορίζονται τόσο τα ανώτατα όρια τιμών των παραμέτρων του του αναμενόμενου κεραυνικού πλήγματος (πίνακας 4.4) όσο και τα χαρακτηριστικά του ΣΑΠ (πίνακας 4.5).

Για την επιλογή της κατάλληλης στάθμης προστασίας, απαιτείται αρχικά η αποτίμηση του κινδύνου κεραυνικού πλήγματος για μια κατασκευή. Παράμετροι που λαμβάνονται υπ' όψη για την επιλογή της κατάλληλης στάθμης προστασίας είναι οι διαστάσεις, η θέση και το υλικό της κατασκευής, η κατηγορία στην οποία αυτή κατατάσσεται ανάλογα με τη χρήση της και τις συνέπειες τις οποίες θα έχει η καταστροφή της στον άνθρωπο ή το περιβάλλον, καθώς και η κεραυνική δραστηριότητα στην περιοχή της εγκατάστασής της. Αναλυτική μεθοδολογία περιλαμβάνεται στο πρότυπο IEC 62305-2, η

οποία είναι αρκετά αναλυτική και αξιόπιστη. Ο τρόπος υπολογισμού είναι αντίστοιχος με τον κανονισμό BS 6651:1992, ο οποίος περιγράφεται παρακάτω προς χάριν απλότητας.

Πίνακας 4.3 Αποτελεσματικότητα ΣΑΠ

| Στάθμη προστασίας | Αποτελεσματικότητα Σ.Α.Π. |
|-------------------|---------------------------|
| I | 0,98 |
| II | 0,95 |
| III | 0,90 |
| IV | 0,80 |
| | IEC 61024-1-1, 1993 |

Πίνακας 4.4 Ανώτατα όρια τιμών των παραμέτρων κεραυνικού πλήγματος

| Παράμετροι Κεραυνού | I | II | III - IV |
|----------------------------|---------------------|------|----------|
| Μέγιστο εύρος ρεύματος, kA | 200 | 150 | 100 |
| Ολικό φορτίο, C | 300 | 225 | 150 |
| Κρουστικό φορτίο, C | 100 | 75 | 50 |
| Ειδική ενέργεια, kJ/Ω | 10000 | 5600 | 2500 |
| Μέση κλίση, kA/μs | 200 | 150 | 100 |
| | IEC 61024-1-1, 1993 | | |

Πίνακας 4.5 Χαρακτηριστικά ΣΑΠ ανάλογα με την στάθμη προστασίας

| Στάθμη προστασίας | h(m) | 20 | 30 | 45 | 60 | Διάσταση Πλέγματος(m) |
|--|------|----|----|----|----|-----------------------|
| | R(m) | α | α | α | α | |
| I | 20 | 25 | * | * | * | 5 |
| II | 30 | 35 | 25 | * | * | 10 |
| III | 45 | 45 | 35 | 25 | * | 10 |
| IV | 60 | 55 | 45 | 35 | 25 | 20 |
| * Εφαρμόζονται η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας και του πλέγματος αγωγών | | | | | | |

4.7.1 Μεθοδολογία αποτίμησης κεραυνικού κινδύνου.

Η αποτίμηση κεραυνικού κινδύνου περιλαμβάνει δύο παράλληλους υπολογισμούς, αφενός πρέπει να εκτιμηθεί η πιθανότητα κεραυνικού πλήγματος και αφετέρου να επιλεγεί η αποδεκτή συχνότητα κεραυνικών πληγμάτων σε μια κατασκευή. Η σύγκριση των δύο στην συνέχεια υποδεικνύει την απαραίτητη στάθμη προστασίας και ως εκ τούτου τα χαρακτηριστικά του ΣΑΠ.

Υπολογισμός συχνότητας άμεσων κεραυνικών πληγμάτων

Η συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων σε μία κατασκευή, N_d , εκφράζει τον μέσο αριθμό άμεσων κεραυνικών πληγμάτων που μπορούν να συμβούν σε μία κατασκευή ανά έτος και μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση 4.1:

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} \text{ πλήγματα κεραυνού ανά έτος} \quad (4.1)$$

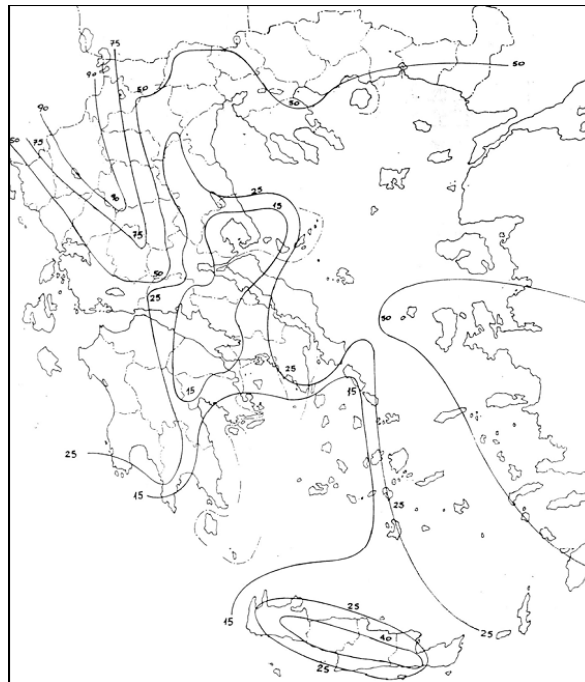
όπου:

- N_g είναι η μέση ετήσια πυκνότητα πληγμάτων κεραυνού στο έδαφος, που εκφράζει τον αναμενόμενο μέσο αριθμό πληγμάτων κεραυνού στο έδαφος ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο και έτος στην περιοχή εγκατάστασης της κατασκευής και,
- A_e , είναι η ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια της κατασκευής (m^2), που ορίζεται ως μία επίπεδη επιφάνεια εδάφους που έχει την ίδια μέση ετήσια συχνότητα πληγμάτων κεραυνού όπως η κατασκευή.

Η μέση ετήσια πυκνότητα πληγμάτων κεραυνού στο έδαφος N_g , μπορεί να καθοριστεί από μετρήσεις με δίκτυα καταγραφής κεραυνών, όπως το σύστημα ΤΑΛΩΣ. Παράλληλα όμως, όταν δεν υπάρχουν τέτοια δεδομένα, η τιμή της N_g μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση 4.2:

$$N_g = 0,04 \cdot T_d^{1,25} \text{ πλήγματα κεραυνού ανά } km^2 \text{ και έτος} \quad (4.2)$$

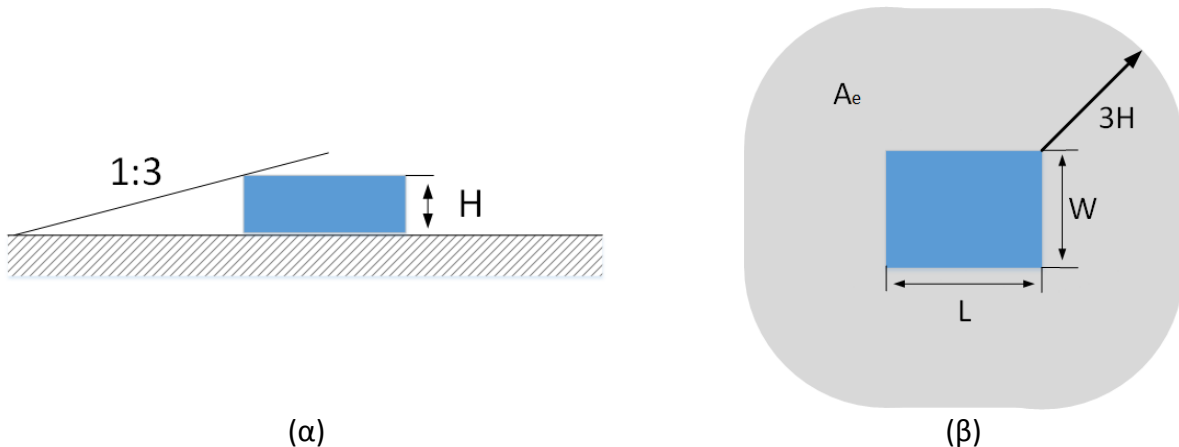
Όπου T_d ο αριθμός των ημερών καταιγίδας ανά έτος, όπου ως ημέρα καταιγίδας ορίζεται η ημέρα για την οποία στην περιοχή αυτή έχει γίνει αντιληπτός ακουστικά (βροντή) ή οπτικά (αστραπή) τουλάχιστον ένας κεραυνός. Οπότε ο αριθμός ημερών καταιγίδας ανά έτος T_d μπορεί να εκτιμηθεί από μετεωρολογικές παρατηρήσεις, ωστόσο επειδή διαφέρει σημαντικά από περιοχή σε περιοχή. Για τον λόγο αυτό, πολλές χώρες έχουν συντάξει χάρτες ισοκεραυνικών καμπυλών, οι οποίοι περιγράφουν περιοχές την ίδια τιμή T_d , όπως φαίνεται στο σχήμα 4.8 για την Ελλάδα.



Σχήμα 4.8 | Χάρτης ισοκεραυνικών καμπυλών Ελλάδας, στοιχεία ΔΕΗ

Παράλληλα, η ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια A_e , μπορεί να υπολογιστεί για απομονωμένες κατασκευές, ως η επιφάνεια που προκύπτει από την τομή της επιφάνειας του εδάφους και μίας ευθείας γραμμής με κλίση 1/3 η οποία διέρχεται από τα υψηλότερα τμήματα της κατασκευής (εφαπτομένη στην κατασκευή) και περιστρεφόμενη γύρω από αυτή. Για παράδειγμα στην απομονωμένη κατασκευή του σχήματος 4.9, σε επίπεδο έδαφος μήκους L , πλάτους W και ύψους H , η ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση 4.3.

$$A_e = LW + 6H \cdot (L + W) + 9\pi H^2, m^2 \quad (4.3)$$



Σχήμα 4.9 Υπολογισμός της ισοδύναμης συλλεκτήριας επιφάνειας A_e απομονωμένης κατασκευής (α) πλάγια όψη και (β) κάτοψη

Επιλογή της αποδεκτής συχνότητας κεραυνικών πληγμάτων N_c σε μια κατασκευή

Η αποδεκτή συχνότητα κεραυνικών πληγμάτων σε μια κατασκευή, εκφράζει τη μέγιστη αποδεκτή τιμή του αριθμού άμεσων κεραυνικών πληγμάτων που μπορούν να συμβούν ανά έτος και μπορούν να προκαλέσουν ζημία. Επιλέγεται αξιολογώντας τις επιπτώσεις ενός ενδεχόμενου κεραυνικού πλήγματος σε μια κατασκευή. Στην περίπτωση που οι απώλειες από πλήγμα κεραυνού έχουν ιδιωτικό χαρακτήρα, τότε μπορεί να επιλεγεί από τον ιδιοκτήτη της κατασκευής ή από τον μελετητή του ΣΑΠ. Αν όμως υπάρχει κίνδυνος ανθρωπίνων, πολιτιστικών και κοινωνικών απωλειών, η αποδεκτή συχνότητα κεραυνικών πληγμάτων καθορίζεται με ευθύνη των Εθνικών Επιτροπών.

Για την εκτίμηση της αποδεκτής συχνότητας κεραυνικών πληγμάτων λαμβάνονται υπόψη διάφορες παράμετροι που λαμβάνουν υπόψη:

- τον τύπο δόμησης,
- την παρουσία εύφλεκτων και εκρηκτικών ουσιών,
- ειλημμένα μέτρα για μείωση των επιπτώσεων του πλήγματος,
- το πλήθος των ανθρώπων που επηρεάζονται από την καταστροφή,
- τον τύπο και την σπουδαιότητα υπηρεσιών εξυπηρέτησης του κοινού που επηρεάζονται,
- την αξία των αγαθών που ενδεχομένως καταστραφούν ή και άλλους συντελεστές.

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 (εξίσωση 4.4), οι οποίοι επιλέγονται από τους πίνακες 4.6 μέχρι 4.10 και λαμβάνουν υπόψη:

- 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).

Πίνακας 4.6 Συντελεστής A: Χρήση του κτιρίου

| Συντελεστής A | |
|--|-----|
| κατοικίες και άλλες κατασκευές συγκρίσιμου μεγέθους | 0,3 |
| κατοικίες και άλλες κατασκευές συγκρίσιμου μεγέθους με κεραιές | 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 |

Πίνακας 4.7 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 |

Πίνακας 4.8 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 |

Πίνακας 4.9 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 |

Πίνακας 4.10 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

$$K = A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E \quad (4.4)$$

Στην συνέχεια ο συντελεστής K πολλαπλασιάζεται με την συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων σε μία κατασκευή (εξίσωση 4.5) και το αποτέλεσμα συγκρίνεται με μία καθορισμένη τιμή N_c . Από την σύγκριση προκύπτει η αναγκαιότητα (όταν $N_d \geq N_c$) ή μη (όταν $N_d \leq N_c$) κατασκευής ΣΑΠ. Στην περίπτωση που απαιτείται σύστημα ΣΑΠ, υπολογίζεται η παράμετρος E (εξίσωση 4.6) και στην συνέχεια επιλέγεται η στάθμη προστασίας του ΣΑΠ από τον πίνακα 4.11.

Οπότε

$$N'_d = N_d \cdot K = N_d \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E \quad (4.5)$$

και

εάν $N'_d \leq N_c$ τότε δεν χρειάζεται ΣΑΠ.
 εάν $N'_d > N_c$ τότε πρέπει να εγκατασταθεί ΣΑΠ αποτελεσματικότητας

Άρα

$$E = 1 - \frac{N_c}{N'_d} \quad (4.6)$$

και

Πίνακας 4.11 Επιλογή της στάθμης προστασίας ΣΑΠ

| Αποτελεσματικότητα ΣΑΠ | Στάθμη Προστασίας ΣΑΠ |
|------------------------|-------------------------------|
| $E > 0,98$ | I + επιπλέον μέτρα προστασίας |
| $0,95 < E < 0,98$ | I |
| $0,90 < E < 0,95$ | II |
| $0,80 < E < 0,90$ | III |
| $0 < E < 0,80$ | IV |

Όπου τα επιπλέον μέτρα προστασίας αφορούν:

- μέτρα περιορισμού των βηματικών τάσεων και των τάσεων επαφής,
- μέτρα περιορισμού της διάδοσης της φωτιάς,
- μέτρα μείωσης των επαγόμενων τάσεων λόγω κεραυνών σε ευαίσθητες συσκευές

4.8 Εγκατάσταση συστήματος αντικεραυνικής προστασίας

Ένα σύστημα αντικεραυνικής προστασίας (ΣΑΠ) περιλαμβάνει την **Εξωτερική** και την **Εσωτερική** εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας. Η εξωτερική συλλαμβάνει τον κεραυνό πριν πλήξει την υπό προστασία κατασκευή και στην συνέχεια διοχετεύει ασφαλώς το ρεύμα του κεραυνού στη γη, περιορίζοντας στο ελάχιστο τις θερμικές και μηχανικές επιδράσεις του. Παράλληλα η Εσωτερική εγκατάσταση αφορά τις ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του ρεύματος του κεραυνού, στο εσωτερικό της κατασκευής που χρήζει προστασίας.

Τα χαρακτηριστικά τόσο της εσωτερικής όσο και της εξωτερικής εγκατάστασης καθορίζονται σύμφωνα με την στάθμη προστασίας, η οποία επιλέγεται με βάση την διαδικασία της παραγράφου 4.7.

Εξωτερικό ΣΑΠ

Η εξωτερική εγκατάσταση αποτελείται από τρία τμήματα:

- a) **το συλλεκτήριο σύστημα:** δέχεται τους κεραυνούς,
- b) **το σύστημα αγωγών καθόδου:** εξασφαλίζει την όδευση του ρεύματος του κεραυνού από το συλλεκτήριο σύστημα προς τη γη και,
- c) **το σύστημα γείωσης:** άγει και διαχέει το ρεύμα του κεραυνού στο έδαφος.

και διακρίνεται σε:

- a) **μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ:** η οδός ροής του ρεύματος του κεραυνού δεν έρχεται σε επαφή με την κατασκευή,
- b) **μη μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ:** η οδός ροής του ρεύματος του κεραυνού μπορεί να έρχεται σε επαφή με την κατασκευή

4.9 Συστήματα γείωσης

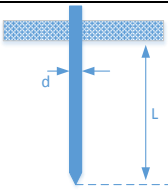
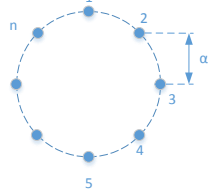
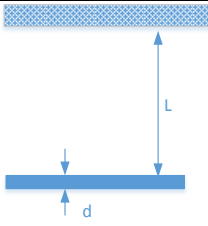
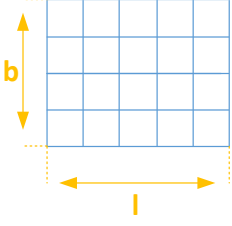
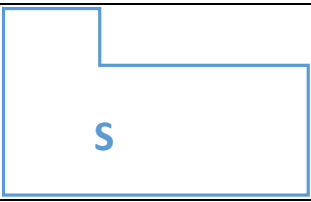
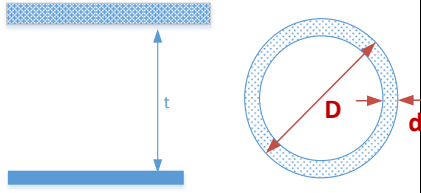
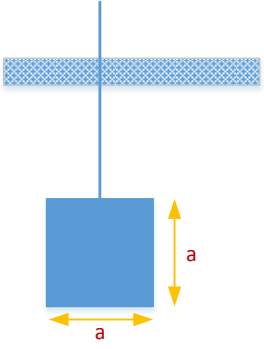
Το σύστημα γείωσης αποτελεί σημαντική συνιστώσα μιας εξωτερικής εγκατάστασης ΣΑΠ, δεδομένου ότι αναλαμβάνει την διάχυση του ρεύματος του κεραυνού στο έδαφος, χωρίς να αναπτύσσονται επικίνδυνες υπερτάσεις. Ένα σύστημα γείωσης αποτελείται από ηλεκτρόδια τοποθετημένα στο έδαφος. Προτείνονται διάφορες κατασκευές, ανάλογα με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Στον πίνακα 4.12 παρουσιάζονται οι συνηθέστερες εξ αυτών και δίνεται παράλληλα και η μαθηματική εξίσωση υπολογισμού της αντίστασης γείωσης.

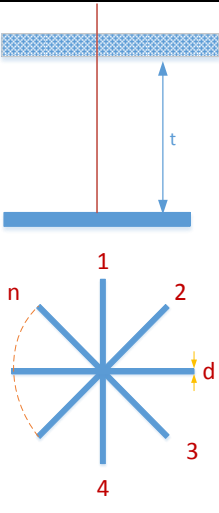
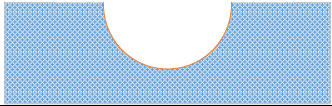
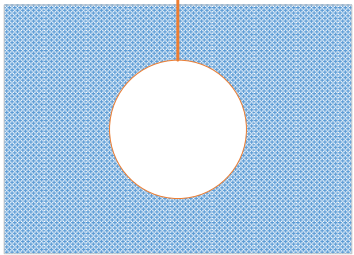
Όπως προκύπτει από τις μαθηματικές σχέσεις του πίνακα 4.12, προκύπτει ότι για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος γείωσης είναι απαραίτητη η γνώση της ειδικής αντίστασης του εδάφους, η οποία μπορεί να εκτιμηθεί από πίνακες, όπως ο πίνακας 4.13 ή να μετρηθεί με κατάλληλες τεχνικές όπως η μέθοδος Wenner. Η αρχή της μεθόδου φαίνεται στο σχήμα 4.10. Ουσιαστικά διαμέσου των ηλεκτροδίων C εγχέεται ρεύμα στο έδαφος και η επίπτωση του ρεύματος αυτού με όρους δυναμικού μετράτε από τα ηλεκτρόδια P. Αν η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων είναι A και R η τιμή που προκύπτει από την διαίρεση του μετρούμενου δυναμικού και το εγχεόμενο ρεύμα, τότε η τιμή της ειδικής αντίστασης του εδάφους δίνεται από την σχέση 4.7.

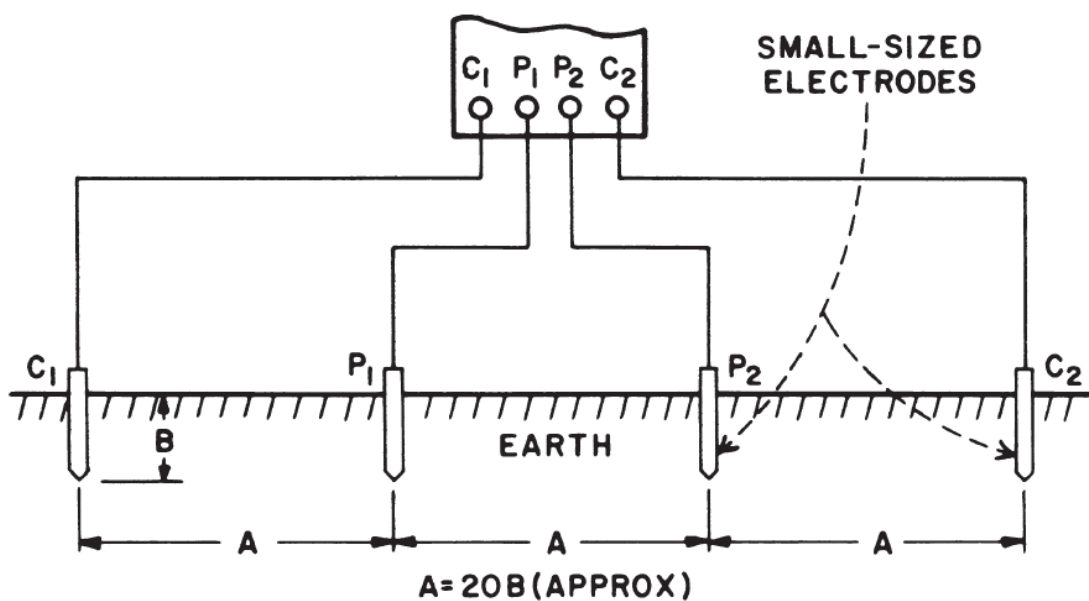
$$\rho = 2\pi AR \quad (4.7)$$

Σημειώνεται ότι στα σύγχρονα όργανα μέτρησης της ειδικής αντίστασης του εδάφους, στην μέτρηση δίνεται απευθείας η τιμή της R. Σημειώνεται ότι το μέγεθος των ηλεκτροδίων είναι μικρό, ενώ η απόσταση A επιλέγεται συνήθως 20πλάσια του μεγέθους των ηλεκτροδίων.

Πίνακας 4.12 Συνήθεις γεωμετρίες ηλεκτροδίων γείωσης

| α/α | Γειωτής | | | |
|-----|--|---|---|--|
| 1 | Πάσσαλος |  | $R_{A1} = \frac{\rho}{2\pi l_{eff}} \cdot \ln \frac{4l_{eff}}{d}$ $l_{eff} \approx 1-0,5 \text{ m}$ | $R_A \equiv \frac{\rho}{l_{eff}}$ |
| 2 | Πολύγωνο πασσάλων $n \geq 1$ |  | $R_A \approx k \frac{1}{n} R_{A1}$ $\alpha/l=3: n=5: k \approx 1,2$ $R_{A1} = \text{αντίσταση ενός πασσάλου}$ | μπορεί να τεθεί $k=(1...1,5)$, ειδικά για $n=10: k=1,25$ |
| 3 | Ταινία γείωσης ή επιφανειακός γειωτής (βάθος 0,5 ...1μ) |  | $R_A = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{2l}{d}$ | $R_A \approx \frac{2\rho}{l}$ |
| 4 | Πλέγμα βάθος 0,5 ...1μ $D = \sqrt{\frac{4b \cdot l}{\pi}}$ (κάτοψη) |  | $R_A \approx \frac{\rho}{2D} + \frac{\rho}{lg}$ $lg = \text{συνολικό μήκος αγωγού}$ | $R_A \approx \frac{\rho}{2D}$ |
| 5 | Θεμελιακή γείωση $D = \sqrt{\frac{4b \cdot l}{\pi}}$ (κάτοψη) |  | $R_A = \frac{2}{\pi} \frac{\rho}{D}$ | |
| 6 | Κυκλικός γειωτής |  | $R_A = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \cdot \ln \frac{8D}{d} \cdot \left(1 + \frac{\ln(2D)/t}{\ln(8D/d)} \right)$ | $R_A = \frac{2}{\pi} \frac{\rho}{D}$ $D=0,33 \cdot U, \text{ όπου } U = \text{μήκος αγωγού.}$ |
| 7 | Γειωτής πλάκας |  | $R = \frac{\rho}{4,5a}$ | Για πλάκες που δεν είναι τετράγωνες $\alpha = \sqrt{S}, \text{ όπου } S = \text{επιφάνεια}$ |

| | | | | |
|----|----------------------|--|---------------------------|---|
| 8 | Ακτινικός |  | $n=5$ $n=4$ $n=3$ $n=2$ | $R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{0,27td}$ $R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{0,25td}$ $R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{0,22td}$ $R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{0,09td}$ |
| 9 | Ημισφαιρικός Γειωτής |  | $R = \frac{\rho}{\pi D}$ | |
| 10 | Σφαιρικός Γειωτής |  | $R = \frac{\rho}{2\pi D}$ | <p>Για γειωτή όγκου V ακανόνιστου σχήματος</p> $D = 1,57 \sqrt[3]{V}$ |



Σχήμα 4.10 Μέτρηση της ειδικής αντίστασης του εδάφους με την μέθοδο Wenner

Πίνακας 4.13 Ειδική αντίσταση του εδάφους – τυπικές περιπτώσεις

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

4.10 Βιβλιογραφία

1. Π. Ν. Μικρόπουλος, Συστήματα αντικεραυνικής προστασίας, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη 2006
2. IEC 62305:2010 Protection against lightning – Part 1: General principles
3. IEC 62305:2010 Protection against lightning – Part 2: Risk management
4. IEC 62305:2010 Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard
5. IEC 62305:2010 Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures
6. Global Lightning Protection Solutions for Solar Applications, ELEMKO SA, 2011
7. Ελευθερία Πυργιώτη, “Προστασία Κατασκευών από Κεραυνούς”, Πάτρα, 2010.
8. Στασινόπουλος Κ.Α., Τεχνολογία των Υψηλών Τάσεων, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., 2004, 4η εκδ., Θεσσαλονίκη
9. V. Cooray, Lightning Protection, IET, 2009
10. Ντοκόπουλος Π., Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις καταναλωτών, Εκδόσεις Ζήτη, 2005
11. Getting down to earth, A practical guide to earth resistance testing, Megger
12. Jinliang He, Rong Zeng and Bo Zhang, Methodology and Technology for Power System Grounding, ISBN: 978-1-118-25495-0, Wiley, 2013
13. R.R.S. Meliopoulos, Power System Grounding and Transients: An Introduction, Marcel Dekker, Inc., 1988,