

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ  
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ ΤΡΥΦΩΝΑΣ  
ΒΑΣΙΛΗΣ ΖΗΚΟΣ

Εποπτεύων καθηγητής:

ΗΛΙΑΣ ΣΤΑΘΑΤΟΣ

ΠΑΤΡΑ – ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2013

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>5</b>
<b>1. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ</b>	
1.1 Ηλιακή ενέργεια	6
1.2 Φωτοβολταϊκά Συστήματα	8
1.2.1. Λειτουργία φωτοβολταϊκού κυττάρου	8
1.2.2. Ποσοστά παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά	10
1.2.3. Κατηγορίες Φ/Β Συστημάτων	13
1.2.4. Λόγοι ανάπτυξης της Φ/Β τεχνολογίας στην Ελλάδα	14
1.3 Συμπεράσματα	15
<b>2. Ο ΚΕΡΑΥΝΟΣ,ΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΤΟΥ ΚΕΡΑΥΝΟΥ ΚΑΙ Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ</b>	
2.1 Το φαινόμενο του κεραυνού	16
2.2 Ο μηχανισμός των ατμοσφαιρικών εκκενώσεων	17
2.3 Κεραυνοί μεταξύ νέφους – γης και αντίστροφα	20
2.4 Παράμετροι κεραυνού	21
2.5 Ισοκεραυνικές καμπύλες	23
2.6 Υπολογισμός της μέσης ετήσιας πυκνότητας πληγμάτων κεραυνού στο έδαφος (Ng)	25
2.7 Συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων σε μια κατασκευή	26
2.8 Εναλλακτική μέθοδος υπολογισμού του	26
2.9 Ισοδύναμη συλλέκτρια επιφάνεια της κατασκευής	27
2.10 Αποδεκτή συχνότητα κεραυνικών πληγμάτων σε μια κατασκευή	28
2.11 Αποτίμηση κινδύνου από κεραυνό	31
2.12 Επίπεδα προστασίας	32
2.13 Αναγκαιότητα του ΣΑΠ και επιλογή της στάθμης προστασίας	33

2.14	Κίνδυνοι	34
2.15	Η έννοια της ζημιάς και της απώλειας	37
2.16	Η έννοια του κινδύνου (Risk)	38
2.17	Σύνθεση και ομαδοποίηση συντελεστών κινδύνου	41
<b>3.</b>	<b>ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ</b>	
3.1	Εισαγωγή στα Συστήματα Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ),(LPS)	43
3.2	Εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας	44
3.2.1.	Συλλεκτήριο σύστημα	45
3.2.1.α.	Η μέθοδος της γωνίας προστασίας	46
3.2.1.β.	Μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας	48
3.2.1.γ.	Μέθοδος των βρόχων	49
3.2.1.1.	Χρήση Φυσικών στοιχείων	50
3.2.2.	Σύστημα αγωγών καθόδου	51
3.2.2.1.	Χρήση φυσικών στοιχείων	55
3.2.2.2.	Σύνδεσμος Ελέγχου	57
3.2.2.3.	Κατασκευαστικές οδηγίες	58
3.2.3.	Σύστημα γείωσης	61
3.2.3.1.	Γενικές διατάξεις γειώσεων	61
3.2.3.1.α.	Διάταξη τύπου Α	61
3.2.3.1.β.	Διάταξη τύπου Β	62
3.2.3.2.	Σύγκριση διάταξης τύπου Α και τύπου Β	65
3.2.3.3.	Εγκατάσταση ηλεκτροδίων γείωσης	65
3.2.4.	Υλικά και ελάχιστες διαστάσεις δομικών στοιχείων του ΣΑΠ	66
3.3.	Εσωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας	67
3.3.1.	Ζώνες Αντικεραυνικής Προστασίας	67
3.3.2.	Ισοδυναμικές συνδέσεις	68
3.3.3.	Μαγνητική θωράκιση	69

3.3.4. Δρομολόγηση καλωδίων	70
3.3.5. Εκτροπείς Υπέρτασης (SPD)	70
3.3.5.1. Κατηγορίες Υπερτάσεων	71
3.3.5.2. Κλάσεις εκτροπέων υπέρτασης	71
3.3.5.3. Λειτουργία εκτροπέων υπέρτασης	72
3.3.5.4. Κατηγορίες εκτροπέων υπέρτασης (SPD)	72
3.3.5.5. Συντονισμός εκτροπέων υπέρτασης	75
3.3.6. Υπολογισμός ρεύματος κεραυνού που ρέει σε εξωτερικά αγωγία τμήματα και στα καλώδια εισερχόμενων παροχών της κατασκευής	75
3.4 Απαιτήσεις για προστασία ενάντια στην ηλεκτροπληξία στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις	77
3.4.1. Προστασία ενάντια στην άμεση επαφή	78
3.4.2. Προστασία ενάντια στην έμμεση επαφή(προστασία σφάλματος)	78
<b>4. Εφαρμογές αντικεραυνικής προστασίας σε Φωτοβολταϊκά</b>	
4.1. Αντικεραυνική προστασία φωτοβολταϊκών εγκατεστημένα σε οροφές	
Κτιρίων	80
4.1.1. Κτίρια με φωτοβολταϊκά συστήματα στην οροφή χωρίς εξωτερική αντικεραυνική προστασία	80
4.1.2. Κτίρια με φωτοβολταϊκά συστήματα στην οροφή με εξωτερική αντικεραυνική προστασία (ΣΑΠ) και τηρείτε η απόσταση ασφαλείας μεταξύ των μεταλλικών μερών των Φ/Β και του ΣΑΠ	82
4.1.3. Κτίρια με εξωτερικό ΣΑΠ αλλά δεν τηρείται η απόσταση ασφαλείας μεταξύ μεταλλικών μερών των Φ/Β και του ΣΑΠ	84
4.1.4. Διασυνδεδεμένη Φ/Β γεννήτρια στο δίκτυο διανομής ισχύος	87
4.1.5. Απομονωμένη Φ/Β γεννήτρια	89
4.2. Γείωση φωτοβολταϊκής γεννήτριας που είναι τοποθετημένη στη στέγη μιας κατασκευής	90
4.3. Η έννοια της απόστασης ασφαλείας	91
4.3.1. Ηλεκτρική απομόνωση του εξωτερικού ΣΑΠ - απόσταση ασφαλείας	91
4.3.2. Υπολογισμός του συντελεστή kc για την εύρεση της απόστασης s	92

4.3.3. Υπολογισμός του συντελεστή $kC$ σε συστήματα με γείωση τύπου A	95
4.3.4. Θεώρηση του μήκους $l$ για τον υπολογισμό της απόστασης ασφαλείας S	97
4.4. Αντικεραυνική προστασία φωτοβολταϊκών πάρκων.	100
4.4.1. Το συλλεκτήριο σύστημα και οι αγωγοί καθόδου	100
4.4.2. Σύστημα γείωσης	100
4.4.3. Σύστημα γείωσης κτιρίου ελέγχου φωτοβολταϊκής εγκατάστασης	103
4.4.4. Μέτρα προστασίας έναντι υπερτάσεων στις φωτοβολταϊκές Συστοιχίες	104
4.4.5. Μέτρα προστασίας έναντι υπερτάσεων στον αντιστροφέα	104
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>106</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας βρίσκονται σε διαρκή ανάπτυξη και ειδικότερα τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα, με αποτέλεσμα να συναντά κανείς αρκετές τέτοιες εγκαταστάσεις στη χώρα μας.

Οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις τόσο λόγω της θέσης τους (στις στέγες των σπιτιών, στις προσόψεις των κτιρίων ή σαν ανεξάρτητες μονάδες) καθώς επίσης και εξαιτίας της μεγάλης έκτασης που αυτές καλύπτουν είναι περισσότερο ευάλωτες στα άμεσα κεραυνικά πλήγματα. Για το λόγο αυτό και η μελέτη της αντικεραυνικής προστασίας στις εγκαταστάσεις αυτές είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Στη μεγάλη τους πλειοψηφία οι εγκαταστάσεις αυτές είναι σε απομονωμένες περιοχές, καταλαμβάνοντας μεγάλες εκτάσεις, με τους Φ/Β συλλέκτες εγκατεστημένους στην ύπαιθρο. Κάτω από τις συνθήκες αυτές τα Φ/Β συστήματα είναι εκτεθειμένα σε άμεσα κεραυνικά πλήγματα και επιρρεπή σε κρουστικές υπερτάσεις που δημιουργούνται από τον κεραυνό. Ο κίνδυνος εστιάζεται στην ολική απώλεια του εξοπλισμού όταν δεχτεί άμεσο κεραυνικό πλήγμα η εγκατάσταση ή το ηλεκτρικό δίκτυο που τροφοδοτεί, καθώς και εκτεταμένες ζημιές των ηλεκτρικών και των ηλεκτρονικών συστημάτων τους όταν κεραυνός πλήξει θέσεις πλησίον της εγκατάστασης ή του δικτύου που τροφοδοτεί. Σε όλες τις περιπτώσεις οι οικονομικές απώλειες, αντικατάσταση εξοπλισμού και απώλεια παραγωγής ενέργειας, είναι τόσο σημαντικές και μεγάλες που το κόστος εγκατάστασης ενός πλήρους Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ) να συμφέρει οικονομικά.

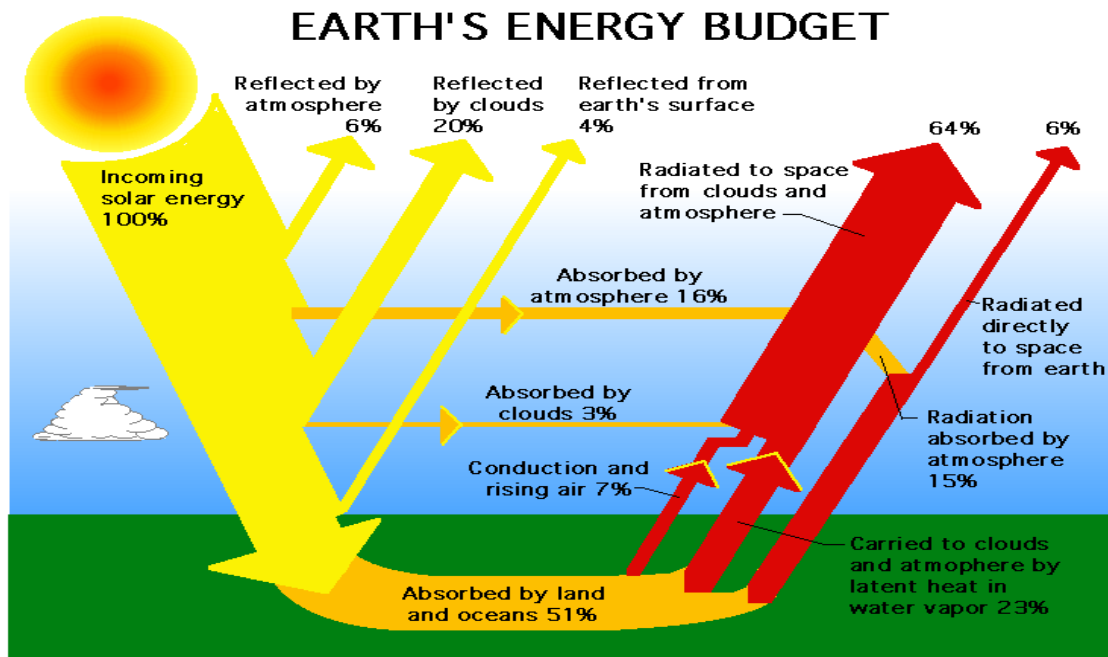
Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με την ανάλυση των μεθόδων αντικεραυνικής προστασίας και των μεθόδων προστασίας υπέρτασης στα Φωτοβολταϊκά.

# 1. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

## 1.1 Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που παράγεται από τον ήλιο. Φτάνει σχεδόν αμετάβλητη στο ανώτατο στρώμα της ατμόσφαιρας του πλανήτη μας, διαμέσου του διαστήματος, και στη συνέχεια κατά την διέλευση της από την ατμόσφαιρα υπόκειται σε σημαντικές αλλαγές που οφείλονται στην σύσταση της ατμόσφαιρας. Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε ένα σημείο στην επιφάνεια της γης για μια δεδομένη χρονική στιγμή χαρακτηρίζεται από την ένταση και την διεύθυνση πρόσπτωσης. Στην επιφάνεια της γης φτάνει μόνο ένα μέρος της ακτινοβολίας που προέρχεται άμεσα από τον ήλιο (άμεση ηλιακή ακτινοβολία), ενώ το υπόλοιπο είτε απορροφάται από τα συστατικά της ατμόσφαιρας είτε ανακλάται πάλι προς το διάστημα ή προς την επιφάνεια της γης. Η ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης έπειτα από διαδοχικές ανακλάσεις δεν έχει συγκεκριμένη διεύθυνση και καλείτε διάχυτη ακτινοβολία.

Η γη δέχεται ετήσια ηλιακή ακτινοβολία της τάξης του  $173 \cdot 10^{15}$  W. Σε ένα 24ωρο κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας της γης δέχεται κατά μέσο όρο 4-6 KWh ηλιακής ενέργειας με ακτινοβολία 800-2500 KWh/m<sup>3</sup> ετησίως. Η ποσότητα αυτή είναι περίπου η διπλάσια από αυτή που θα μπορούσε ποτέ να ληφθεί από το σύνολο των μη ανανεώσιμων πηγών της Γης (Φυσικό αέριο , άνθρακα κ.τ.λ.) και περισσότερη από αυτή που καταναλώνει σήμερα ο άνθρωπος σε ένα χρόνο. Γι' αυτό κρίνεται σκόπιμη η πρακτική εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας.



*Εικόνα 1.1*

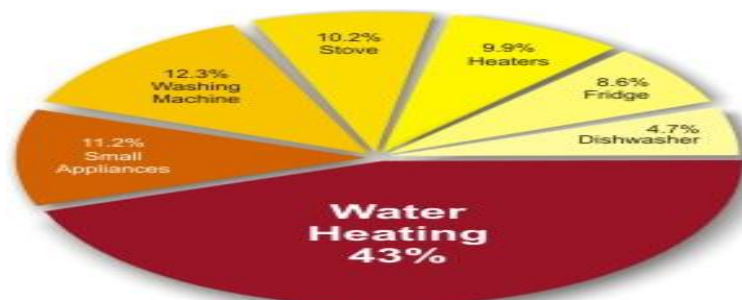
Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για :

1. Την άμεση παραγωγή θερμότητας , με ενεργητικά και παθητικά ηλιακά συστήματα. Αν η παραγόμενη θερμότητα είναι υψηλής θερμοκρασίας , τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη παραγωγή ατμού και στην συνέχεια σε παραγωγή μηχανικής ενέργειας (με ατμοστρόβιλους). Η μηχανική ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια. Σε αυτή τη περίπτωση αναφερόμαστε σε θερμική παραγωγή ηλεκτρισμού από την ηλιακή ενέργεια.
2. Την άμεση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την εκμετάλλευση του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

Πλεονεκτήματα χρήσης της ηλιακής ενέργειας :

- Αποτρέπεται η κατανάλωση ενέργειας από ορυκτά καύσιμα και κατά συνέπεια οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (co2) που προκαλούν τις παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές.
- Το φως του ήλιου είναι δωρεάν και διαθέσιμο σε όλο τον πλανήτη. Είναι ανανεώσιμη πηγή και δεν πρόκειται να εξαντληθεί.
- Η ηλιακή θερμική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί και να απελευθερώνεται αργά και σταδιακά.
- Η τοποθέτηση ενός ηλιακού συστήματος είναι απλή. Η δε συντήρηση που απαιτεί είναι ελάχιστη ενώ η ανθεκτικότητά τους φτάνει τα 25 και άνω έτη λειτουργίας.
- Πρόκειται για μια απλή και συμφέρουσα λύση καθώς με τη πάροδο του χρόνου τα ηλιακά συστήματα τείνουν να “πληρώνονται μόνα τους” (μέσος χρόνος αποπληρωμής 4 ετών)

- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε μηχανήματα μικρής κλίμακας όσο και μεγάλης.
- Είναι εναλλακτική ενέργεια που φαίνεται ότι μπορεί να ανταποκριθεί καλύτερα στις ανάγκες του μέλλοντος.
- Τα συστήματα ηλιακής ενέργειας είναι γενικός αθόρυβα.
- Τα black-out είναι σπάνια.
- Πλεονάζουσα ενέργεια μπορεί να ανατροφοδοτήσει το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.
- Το κόστος δεν μεταβάλλεται με τη πάροδο του χρόνου όπως συμβαίνει π.χ. στα ορυκτά καύσιμα.
- Η ηλιακή τεχνολογία είναι μια καθ'όλα ώριμη, δοκιμασμένη αξιόπιστη τεχνολογία.
- Είναι ιδανική για απομονωμένες περιοχές μακριά από γεννήτριες.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ακόμα και όταν έχει συννεφιά.
- Η ενέργεια δε χάνεται κατά τη μεταφορά από τα κεντρικά σημεία όταν τα καταναμημένα συστήματα βρίσκονται σε λειτουργία.
- Το πυρίτιο το οποίο χρησιμοποιείτε για ημιαγωγούς είναι το δεύτερο σε αφθονία ορυκτό στο πλανήτη.



Εικόνα 1.2

## 1.2 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Η άμεση μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική πραγματοποιείται με τα φωτοβολταϊκά κύτταρα των οποίων η λειτουργία βασίζεται στο “φωτοβολταϊκό φαινόμενο”. Η συγκεκριμένη τεχνολογία εμφανίστηκε το 1838 από ένα ζευγάρι Γάλλων επιστημόνων που εργαζόντουσαν για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Το 1954 τα εργαστήρια Bell ανακοίνωσαν τις εξελίξεις που μετέφεραν τη φωτοβολταϊκή τεχνολογία από τα εργαστήρια στην καθημερινή πρακτική αξιοποίησης, την κατασκευή μιας μονής φωτοβολταϊκής κυψέλης από σιλικόνη. Πρώτη φορά εφαρμόστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1970 στα διαστημικά προγράμματα των ΗΠΑ. Η εξέλιξη της επέτρεψε τη μείωση του κόστους (4% το χρόνο) στη παραγωγή ηλεκτρισμού από \$300 σε \$4 ανά Watt. Λόγω της σχετικά χαμηλής απόδοσης τους και του συνεπαγόμενου υψηλού συνολικού κόστους, τα φωτοβολταϊκά συστήματα βρίσκουν κυρίως εφαρμογή ως μονάδες μικρής δυναμικότητας σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές όπου η σύνδεση με το δίκτυο είναι πολύ ακριβή.



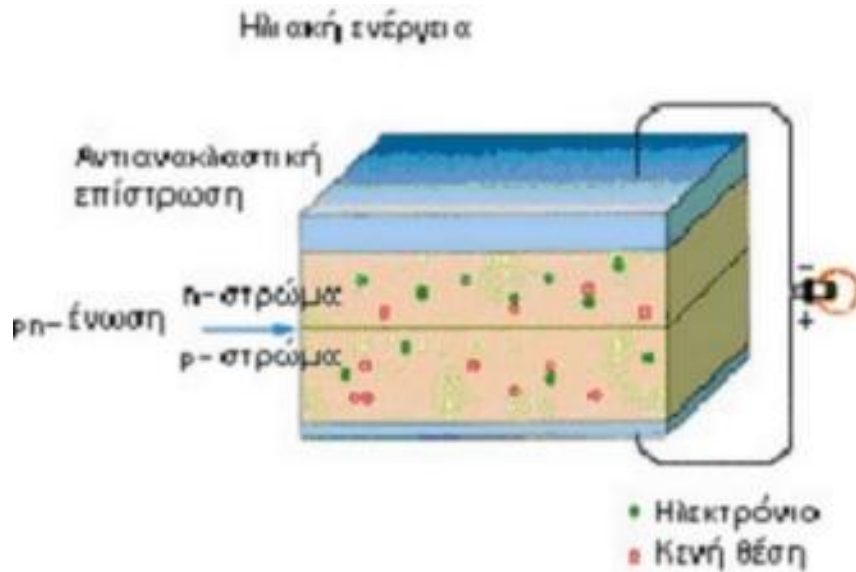
### 1.2.1 Λειτουργία φωτοβολταϊκού κυττάρου.

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα ή φωτοβολταϊκές κυψέλες είναι κρυσταλλοδιόδοι οι οποίοι αποτελούνται από ημιαγωγούς (φτιαγμένους από ημιαγώγιμα υλικά τα οποία τα οποία έχουν την ιδιότητα να απορροφούν δηλαδή φωτόνια και μεταδίδουν την ενέργεια τους αυτή σε χωριστά ηλεκτρόνια). Το πυρίτιο είναι το πιο διαδεδομένο υλικό που χρησιμοποιείται στη κατασκευή ημιαγωγών για οικονομικούς και τεχνικούς λόγους.

Ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο δημιουργείτε με την τοποθέτηση ενός λεπτού στρώματος πυριτίου ενισχυμένο με φώσφορο, σε επαφή με ένα στρώμα από πυρίτιο ενισχυμένο με Βόριο. Όταν το ηλιακό φως προσπίπτει στο φωτοβολταϊκό κύτταρο, μέρος της ακτινοβολίας διεγείρει τα ηλεκτρόνια τα οποία μπορούν να κινηθούν σχετικά ελεύθερα μέσα στον ημιαγωγό. Η εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου υποχρεώνει τα ελεύθερα ηλεκτρόνια να κινηθούν προς συγκεκριμένη κατεύθυνση, παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα του οποίου η ισχύς καθορίζεται από τη ροή των ηλεκτρονίων και την εφαρμοζόμενη τάση στο φωτοβολταϊκό κύτταρο.

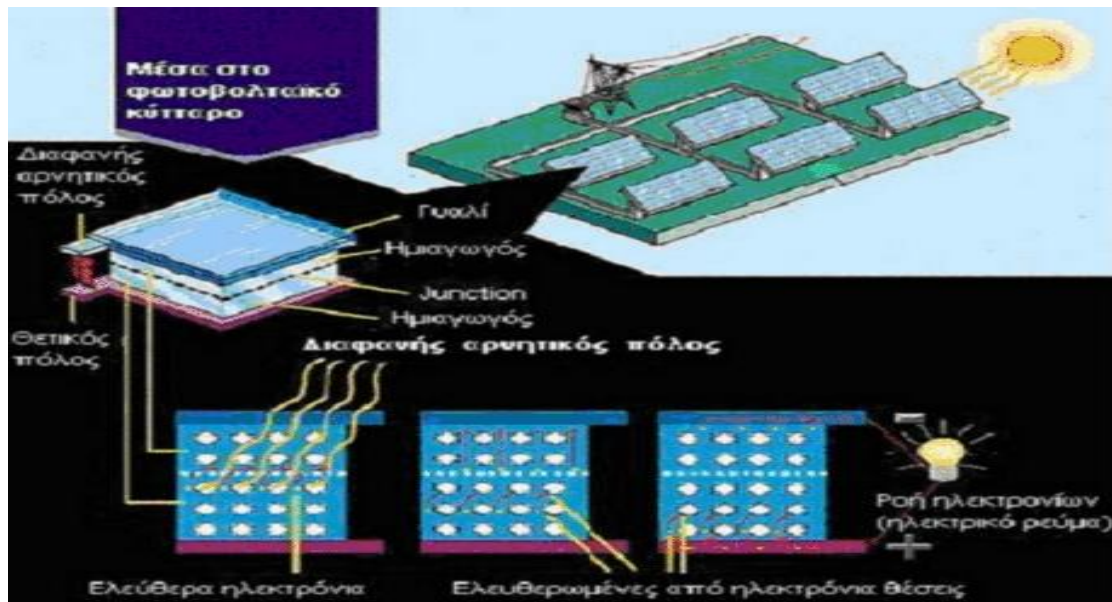
Κάθε άτομο πυριτίου έχει 14 ηλεκτρόνια κατανομημένα σε τρεις διαφορετικές στοιβάδες. Οι δυο πρώτες είναι κατανομημένες με 2 και 8 άτομα αντίστοιχα. Η εξωτερική στοιβάδα περιλαμβάνει τα υπολειπόμενα 4 ηλεκτρόνια που συμμετέχουν σε δεσμούς με τα γειτονικά άτομα πυριτίου σχηματίζοντας την κρυσταλλική δομή του καθαρού πυριτίου. Το καθαρό κρυσταλλικό πυρίτιο είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού καθώς δεν υπάρχουν ελεύθερα κινούμενα ηλεκτρόνια όπως στην περίπτωση του μεταλλικού πλέγματος. Όταν διοχετεύεται ενέργεια στο κρυσταλλικό πυρίτιο, κάποια ηλεκτρόνια διεγείρονται σπάνε τους δεσμούς τους και απομακρύνονται προς γειτονικά τους άτομα δημιουργώντας διαθέσιμες θετικά φορτισμένες "οπές" στη δομή του υλικού. Οι θέσεις αυτές καταλαμβάνονται από ηλεκτρόνια γειτονικών ατόμων και με τον τρόπο αυτό δημιουργείτε ροή ηλεκτρονίων μέσα στο υλικό. Ο αριθμός όμως των ηλεκτρονίων που μπορούν να κινηθούν είναι σημαντικά περιορισμένος για να χρησιμεύσει στην παραγωγή ηλεκτρισμού. Για αυτό το λόγο εισάγονται ετεροάτομα στην κρυσταλλική δομή όπως π.χ. του φωσφόρου. Η εξωτερική στοιβάδα φωσφόρου έχει 5 ηλεκτρόνια εκ των οποίων τα 4 συμμετέχουν σε δεσμούς με τα γειτονικά άτομα πυριτίου, ενώ το πέμπτο συγκρατείται ηλεκτροστατικά από τα πρωτόνια του πυρήνα. Το συγκεκριμένο ηλεκτρόνιο απαιτεί σημαντικά χαμηλότερη ενέργεια ενεργοποίησης για να κινηθεί στο κρυσταλλικό πλέγμα. Σαν αποτέλεσμα τα περισσότερα από αυτά τα ηλεκτρόνια ελευθερώνονται και γίνονται φορείς ηλεκτρικού ρεύματος που είναι πολύ περισσότεροι από αυτούς του κρυσταλλικού πυριτίου. Η πρόσμιξη του κρυσταλλικού πυριτίου με άτομα φωσφόρου δημιουργεί ημιαγωγό τύπου N.

Όταν προστίθεται στο κρυσταλλικό πυρίτιο βόριο προκύπτουν ημιαγωγοί τύπου P. Το βόριο έχει στην εξωτερική του στοιβάδα 3 ηλεκτρόνια που συμμετέχουν σε δεσμούς με άτομα πυριτίου. Επειδή σε κάθε άτομο απαιτούνται 8 ηλεκτρόνια για τη συμπλήρωση της εξωτερικής τους στοιβάδας, στην εξωτερική στοιβάδα του βορίου υπάρχουν διαθέσιμες 2 ελεύθερες θέσεις ηλεκτρονίων, δημιουργώντας αντίστοιχες θετικά φορτισμένες "οπές" στη δομή του υλικού. Η κατάληψη των οπών από ηλεκτρόνια γειτονικών ατόμων δίνει την εικόνα διάδοσής τους στο υλικό ή μεταφοράς θετικών φορτίων στην κρυσταλλική δομή του ημιαγωγού.



*Εικόνα 1.3*

Φέρνοντας σε επαφή τους ημιαγωγούς τύπου N και P σχηματίζεται ηλεκτρικό πεδίο. Τα ηλεκτρόνια του πυριτίου τύπου N κινούνται προς τις κενές θέσεις του πυριτίου τύπου P για να τις καλύψουν. Στην ένωση των δύο υλικών επιτυγχάνεται ισορροπία και δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο ανάμεσα στις δύο πλευρές. Το ηλεκτρικό πεδίο λειτουργεί σαν ηλεκτρόδιο, επιτρέποντας τα ηλεκτρόνια να περάσουν από το πυρίτιο P στο N αλλά όχι αντίστροφα. Όταν φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας, κατάλληλου μήκους κύματος, προσπίπτουν σε ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο διεγείρουν ηλεκτρόνια και τα ελευθερώνουν δημιουργώντας παράλληλα αντίστοιχες οπές. Κάθε φωτόνιο με αρκετή ενέργεια θα ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο και θα δημιουργήσει μια οπή. Αν αυτό συμβεί κοντά στο ηλεκτρικό πεδίο ή αν ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο και μια οπή βρεθούν κοντά στην ένωση P-N ημιαγωγών, το πεδίο θα εξαναγκάσει το ηλεκτρόνιο να πάει στον ημιαγωγό N και θα οδηγήσει την οπή στο πυρίτιο P. Αυτό προκαλεί μεγαλύτερη ανισορροπία στην ηλεκτρική ουδετερότητα και αν χρησιμοποιηθεί μία εξωτερική αγωγίμη οδός τα ηλεκτρόνια θα περάσουν μέσα από αυτή για να πάνε στην αρχική τους θέση από όπου το ηλεκτρικό πεδίο τα απομάκρυνε. Η ροή αυτή των ηλεκτρονίων δημιουργεί το ρεύμα, και το ηλεκτρικό πεδίο δημιουργεί την τάση του ρεύματος.



Εικόνα 1.4

### 1.2.2. Ποσοστά παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά

Το μέγιστο θεωρητικό ποσό ενέργειας που μπορεί να απορροφήσει ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο είναι περίπου το 25% της ενέργειας που δέχεται, αλλά το πιο συνηθισμένο ποσοστό είναι λιγότερο από 15%. Καθώς η ηλιακή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία δεν είναι μονοχρωματική, αποτελείται από φάσμα διαφορετικών μηκών κυμάτων, άρα από φωτόνια διαφορετικών επιπέδων ενέργειας. Τα φωτόνια χαμηλού ενεργειακού περιεχομένου δεν μπορούν να διεγείρουν ηλεκτρόνια του ημιαγωγού και απλώς διέρχονται μέσα από το φωτοβολταϊκό κύτταρο. Μόνο τα φωτόνια που μεταφέρουν μεγαλύτερη ή ίση ενέργεια από ένα συγκεκριμένο ποσό που εξαρτάται από το υλικό που είναι κατασκευασμένο το κύτταρο μπορούν να ελευθερώσουν ηλεκτρόνια. Η τεχνολογία των ημιαγωγικών υλικών επέτρεψε την αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας στην παραγωγή ηλεκτρισμού, καθώς ενδεχόμενη χρήση αγωγικών υλικών, όπως τα μέταλλα, θα οδηγούσε μεν σε μεγαλύτερη ροή ηλεκτρονίων αλλά θα παρουσίαζε πολύ χαμηλή τάση πεδίου. Η μέγιστη πραγματική απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων, ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους, κυμαίνεται από 7% (ηλιακά στοιχεία άμορφου πυριτίου), 12-15% (ηλιακά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου). Η απόδοση επίσης εξαρτάται από τη τοποθεσία, το προσανατολισμό και τη κλίση. Τα φωτοβολταϊκά έχουν μέγιστη απόδοση όταν έχουν νότιο προσανατολισμό.

**Ενδεικτική απόδοση  
ανάλογα με τον προσανατολισμό και την κλίση**



Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο	Προσανατολισμός		
	Νότιος	Νοτιοανατολικός Νοτιοδυτικός	Ανατολικός Δυτικός
0° 	90%	90%	90%
15° 	98%	95%	88%
30° 	100%	95%	85%
90° 	60%	60%	50%

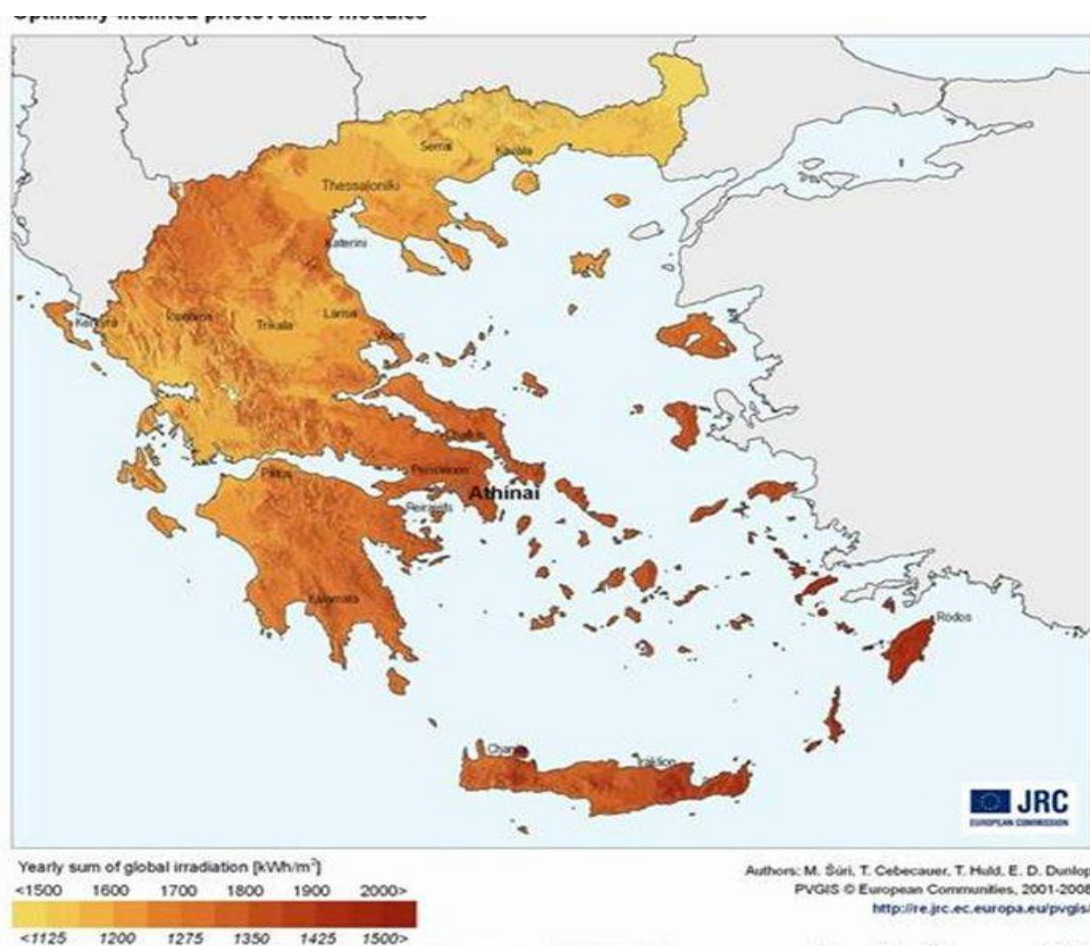
*Πίνακας 1.1*

	Μονοκρυσταλλικά	Πολυκρυσταλλικά	CIGS
Απόδοση	14 - 20 %	12 - 16 %	13 - 15 %
Με χαμηλή ακτινοβολία	Σημαντική μείωση της απόδοσης	Σημαντική μείωση της απόδοσης	Πολύ μικρή μείωση της απόδοσης
Με υψηλή θερμοκρασία	Μείωση της απόδοσης	Μείωση της απόδοσης	Πολύ μικρή μείωση της απόδοσης
Κόστος	Ακριβότερα από πολυκρυσταλλικά	Φτηνότερα από μονοκρυσταλλικά και CIGS	Ακριβά
Διάρκεια ζωής	Μικρές απώλειες της απόδοσης με την πάροδο του χρόνου, υψηλή διάρκεια ζωής	Απώλειες της απόδοσης με την πάροδο του χρόνου, υψηλή διάρκεια ζωής	Νέα τεχνολογία, χωρίς πληροφορίες για διάρκεια ζωής
Βάρος	Υψηλό	Υψηλό	Χαμηλό

*Πίνακας 1.2*



Ας σημειωθεί ότι 1kWp (ισχύος αιχμής του Φ/Β συστοιχίας σε κατάσταση πλήρους ηλιοφάνειας 1000W/m<sup>2</sup> και θερμοκρασία 25<sup>0</sup>C) Φ/Β κρυσταλλικού πυριτίου ανάλογα με την απόδοση που διαθέτει παράγει κατά μέσο όρο 1.350KWh AC το χρόνο (με ηλιοφάνεια Αττικής), πάνω σε σταθερή βάση στήριξης. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι τα Φ/Β συστήματα παρακολούθησης του ηλίου σε 2 άξονες αποδίδουν περίπου 25 με 30% επιπλέον ενέργεια στην Ελλάδα ενώ το κόστος τους είναι 10 με 15% υψηλότερο από αυτό των Φ/Β συστημάτων σε σταθερές βάσεις. Ένα Φ/Β σύστημα 100 KW παράγει ετησίως ενέργεια 13.500 KWh. Μελέτες σε περιοχές με αντίστοιχες κλιματικές συνθήκες με την Ελλάδα έδειξαν ότι κάθε μεγαβάτ (MW) φωτοβολταϊκών υποκαθιστά έως και 0.8 MW συμβατικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής τις καλοκαιρινές ώρες αιχμής. Ο μέσος συντελεστής εγγυημένης ισχύος (capacity credit) των φωτοβολταϊκών σε ετήσια βάση είναι για περιοχές σαν την δική μας 64% και ανέρχεται σε 80% τις καλοκαιρινές ώρες αιχμής.



**Εικόνα 1.5:** Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (κιλοβατώρες ανά m<sup>2</sup> από φωτοβολταϊκά κρυσταλλικού πυριτίου στη βέλτιστη κλίση)

### 1.2.3. Κατηγορίες Φ/Β Συστημάτων

Σαν κυριότερες κατηγορίες εφαρμογών Φ/Β συστημάτων μπορούν να θεωρηθούν οι εξής:

#### Καταναλωτικά προϊόντα (1 Wp-100 Wp)

Τα συστήματα της κατηγορίας αυτής χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μικρής κλίμακας ισχύος όπως τροχόσπιτα, σκάφη αναψυχής, εξωτερικός φωτισμός κήπων, ψύξη και προϊόντα όπως μικροί φορητοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές, φανοί κ.α.

#### Αυτόνομα ή απομονωμένα συστήματα (100 Wp-200kWp)

Στην κατηγορία αυτή συγκαταλέγονται συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για κατοικίες και μικρούς οικισμούς που δεν είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Ακόμη χρησιμοποιούνται για:

- Ηλεκτροδότηση Ιερών Μονών.
- Ασφάλτωση/άντληση/καθαρισμό νερού.
- Συστήματα εξωτερικού φωτισμού δρόμων, πάρκων, αεροδρομίων κλπ.
- Συστήματα τηλεπικοινωνιών, τηλεμετρήσεων και συναγερμού.
- Συστήματα σηματοδότησης οδικής κυκλοφορίας, ναυτιλίας, αεροναυτιλίας κλπ.
- Αγροτικές εφαρμογές όπως άντληση νερού, ιχθυοκαλλιέργειες, ψύξη αγροτικών προϊόντων, φαρμάκων κ.τ.λ.

#### Μεγάλα Διασυνδεδεμένα στο Δίκτυο Φ/Β Συστήματα

Η κατηγορία αυτή αφορά Φ/Β σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μεγέθους 50kWp έως μερικά MWp, στους οποίους η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο.

#### Διασυνδεδεμένα Φ/Β Συστήματα- Οικιακός τομέας

Στην κατηγορία αυτή εμπίπτουν Φ/Β συστήματα τυπικού μεγέθους 1.5 KWp έως 20 KWp, τα οποία έχουν εγκατασταθεί σε στέγες ή προσόψεις κατοικιών και τροφοδοτούν άμεσα τις καταναλώσεις του κτιρίου, η δε πλεονάζουσα ενέργεια διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η κατηγορία αυτή αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας αγοράς Φ/Β συστημάτων.

### 1.2.4. Λόγοι ανάπτυξης της Φ/Β τεχνολογίας στην Ελλάδα

Η Ελλάδα παρουσιάζει αξιοσημείωτες προϋποθέσεις για ανάπτυξη και εφαρμογή των Φ/Β συστημάτων. Οι λόγοι για την προώθηση της Φ/Β τεχνολογίας, της έρευνας και των εφαρμογών στην Ελλάδα συνοψίζονται ως ακολούθως:

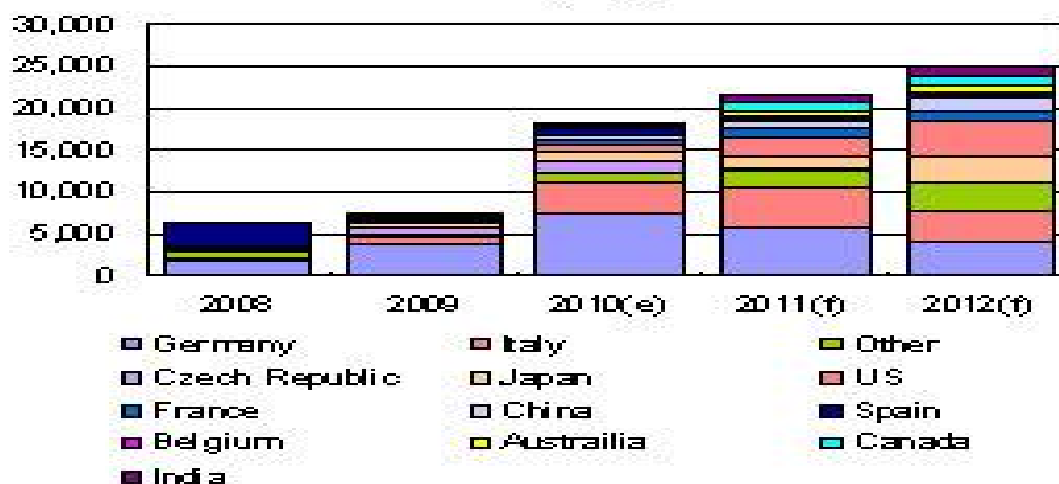
- Αξιοποίηση μιας εγχώριας ανανεώσιμης πηγής ενέργειας που είναι σε αφθονία με συμβολή στην ασφάλεια στην παροχή ενέργειας.
- Υποστήριξη του τουριστικού τομέα για ανάπτυξη φιλική προς το περιβάλλον και οικολογικό τουρισμό, ιδιαίτερα στα νησιά. Η ενεργειακή εξάρτηση των νησιωτικών σταθμών παραγωγής από το πετρέλαιο και το τεράστιο κόστος μεταφοράς της, έχουν άμεσο αρνητικό αντίκτυπο στην ποιότητα ζωής των κατοίκων, στη τουριστική ανάπτυξη και στο κόστος παραγωγής ενέργειας, το οποίο τελικά το χρεώνετε η ΔΕΗ.

- Ενίσχυση του ηλεκτρικού δικτύου τις ώρες των μεσημβρινών αιχμών, όπου τα Φ/Β παράγουν το μεγάλο μέρος ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα κατά την θερινή περίοδο που παρατηρείται έλλειψη ή πολύ υψηλό κόστος ενέργειας.
- Μείωση των απωλειών δικτύου, με την παραγωγή ενέργειας στον τόπο της κατανάλωσης, ελάφρυνση των γραμμών και χρονική μετάθεση των επενδύσεων στο δίκτυο.
- Περιορισμός του ρυθμού ανάπτυξης νέων κεντρικών σταθμών ισχύος συμβατικής τεχνολογίας. Συμβολή στη μείωση των διακοπών ηλεκτροδότησης λόγω υπερφόρτωσης του δικτύου της ΔΕΗ.
- Σταδιακή απεξάρτηση από το πετρέλαιο και κάθε μορφής εισαγόμενη ενέργεια και εξασφάλιση της παροχής ενέργειας μέσω αποκεντρωμένης παραγωγής.
- Κοινωνική προσφορά του παραγωγού/καταναλωτή και συμβολή στην αειφόρο ανάπτυξη, την ποιότητα ζωής και προστασία του περιβάλλοντος στα αστικά κέντρα και στην περιφέρεια.
- Ανάπτυξη οικονομικών δραστηριοτήτων με σημαντική συμβολή σε αναπτυξιακούς και κοινωνικούς στόχους.
- Ανάπτυξη της Ελληνικής Βιομηχανίας Φ/Β Συστημάτων με άριστες προοπτικές για πλήρη κάλυψη της Ελληνικής αγοράς και εξαγωγικές δραστηριότητες.
- Προώθηση των στόχων της ΕΕ και του Kyoto σχετικά με τη μείωση των αέριων ρύπων και τη διεύθυνση των ΑΠΕ στη συνολική ηλεκτροπαραγωγή.

### **1.3. Συμπεράσματα**

Παρά το γεγονός ότι τα φωτοβολταϊκά φαίνονται σήμερα μια δαπανηρή επιλογή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε σύγκριση με άλλες πηγές ενέργειας, πολλές χώρες υποστηρίζουν αυτή τη τεχνολογία λόγω των πολλών υποσχόμενων μελλοντικών δυνατοτήτων της και τα πρόσθετα οφέλη που έχει εκτός από τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα οφέλη αυτά είναι ήδη αποτελεσματικά και εμφανή. Στο μέλλον θα πρέπει να αλλάξει το ρυθμιστικό πλαίσιο έτσι ώστε η φωτοβολταϊκή τεχνολογία να γίνει ενεργό τμήμα των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας των χωρών. Παράλληλα θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν φωτοβολταϊκά και σε κτίρια λαμβάνοντας υπόψιν τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό ενώ παράλληλα θα προσφέρουν ενεργειακή επάρκεια σε κάθε κτίριο.

Global trends in new PV system installations, 2008-2012 (GWp)



Εικόνα 1.6: Παγκόσμιες τάσεις εγκατάστασης φωτοβολταϊκών την περίοδο 2008-2012



Εικόνα 1.7: Η μεγαλύτερη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση παγκοσμίως ξεκίνησε να κατασκευάζεται στη Πορτογαλία. Το ηλιακό πάρκο λειτουργεί προσφέροντας ισχύ 11 Megawatt αρκετή για να καλύψει της ανάγκες 8000 σπιτιών

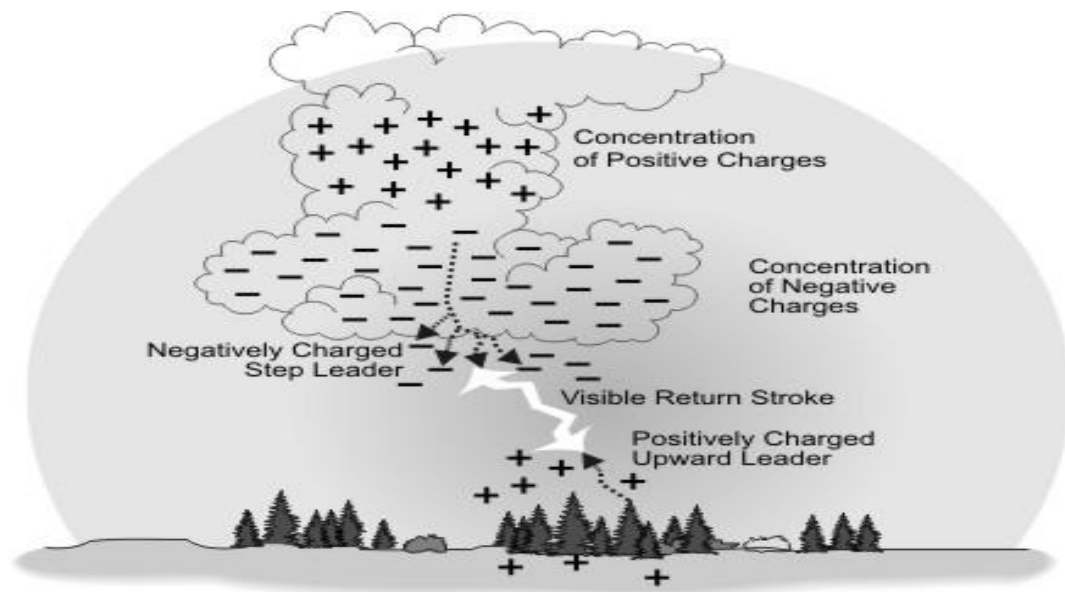
## 2. Ο ΚΕΡΑΥΝΟΣ, ΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΤΟΥ ΚΕΡΑΥΝΟΥ ΚΑΙ Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

### 2.1 Το φαινόμενο του κεραυνού



Ο κεραυνός είναι ένα φυσικό φαινόμενο που αναπτύσσεται όταν η ατμόσφαιρα γίνεται ασταθής λόγω της συγκέντρωσης ζεστού κάθετου αέρα στις άνω ψυχρές αέριες μάζες.

Ο σχηματισμός κεραυνών οφείλεται στη συγκέντρωση σε διαφορετικές περιοχές θετικών και αρνητικών ηλεκτρικών φορτιών. Έτσι δημιουργείτε ηλεκτρικό πεδίο και όταν η ένταση του φτάσει σε μεγάλη τιμή δημιουργείτε κεραυνός με διάτρηση του αέρα και δημιουργία σπινθήρα. Για την αντικεραυνική προστασία μας ενδιαφέρει η ηλεκτρική εκκένωση που πραγματοποιείτε από το σύννεφο προς τη Γη. Αυτή η διαδικασία περιέχει δυο στάδια. Το πρώτο στάδιο περιέχει την διεργασία που προκαλείτε από το σύννεφο ενώ το δεύτερο στάδιο περιέχει τη διεργασία που προκαλείτε από την δομή του εδάφους. Στο κάτω μέρος του σύννεφου πραγματοποιείτε ιονισμός που δημιουργεί το φαινόμενο Corona. Στο αρχικό στάδιο σχηματίζεται μια δίοδος από ηλεκτρόνια και ιόντα, η οποία διαχέεται από τα σύννεφα προς το έδαφος. Το αόρατο για το ανθρώπινο μάτι μονοπάτι καλείτε οδηγός (Leader) αναζητώντας διαδρομή με την μικρότερη διηλεκτρική αντίσταση. Καθώς ο οδηγός προσεγγίζει το έδαφος, το ηλεκτρικό πεδίο αυξάνεται απότομα επιταχύνοντας τον ιονισμό του εδάφους. Σε αυτό το σημείο η διαφορά δυναμικού μεταξύ ηγέτη και εδάφους μπορεί να φτάσει ακόμα και 100 εκατομμύρια βολτ που οδηγεί στην τελική διάτρηση του αέρα. Η εκκένωση του εδάφους αρχίζει να κινείται προς τα πάνω ( ανοδικός οδηγός) προς τον καθοδικό οδηγό σταματώντας σε μερικά δεκάδες ή εκατοντάδες μέτρα πάνω από το έδαφος. Όταν δημιουργηθεί το ιονισμένο κανάλι με την διακλάδωση του ανοδικού και καθοδικού ηγέτη δημιουργείτε επίσης ένα χαμηλής αντίστασης μονοπάτι και το κύριο χτύπημα θα αρχίσει.



*Εικόνα 2.1 : Οι κεραυνοί στην ατμόσφαιρα*

Το χτύπημα αυτό χαρακτηρίζεται από απότομη αύξηση του ηλεκτρικού ρεύματος του οποίου ο ρυθμός αύξησης είναι συνήθως 10 kA/μs. Τα μέγιστα ρεύματα των κεραυνών κατά μέσο όρο φτάνουν περίπου τα 30 kA και τα ελάχιστα είναι της τάξης των μερικών kA. Το μέγιστο ρεύμα κεραυνού που έχει καταγραφεί ξεπερνάει τα 200 kA. Η ενέργεια που απελευθερώνετε κατά τη διάρκεια ενός

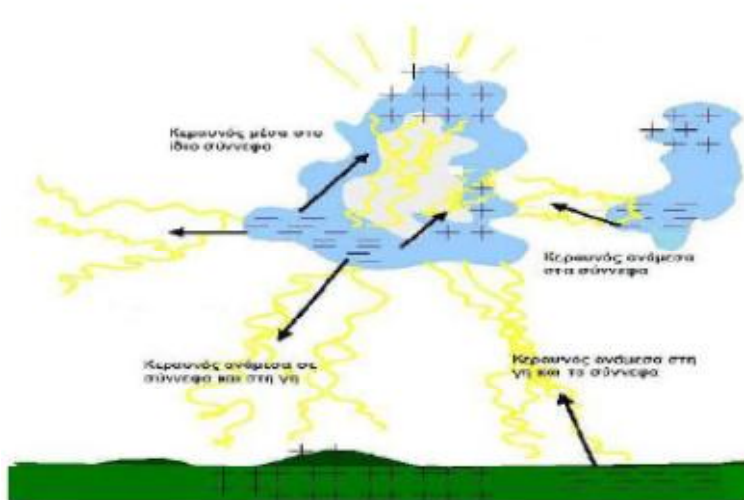
κεραυνού είναι περίπου 55 KWhr. Ο κίνδυνος με το ρεύμα του κεραυνού έγκειται στο γεγονός ότι όλη η ενέργεια εξαντλείτε μόνο σε 100 με 300  $\mu$ S και 1 με 2  $\mu$ S για να φτάσει το μέγιστο ρεύμα του.

## 2.2 Ο μηχανισμός των ατμοσφαιρικών εκκενώσεων

### i. Κατηγορίες κεραυνικών εκκενώσεων

Οι ατμοσφαιρικές εκκενώσεις διακρίνονται σε 3 κατηγορίες :

1. Μεταξύ νέφους και γης και αντίστροφα
2. Εντός του ίδιου του νέφους
3. Μεταξύ των νεφών



*Εικόνα 2.2: Κατηγορίες κεραυνικών εκκενώσεων*

Για την εργασία μας, όπως γίνεται αντιληπτό, μας ενδιαφέρει η πρώτη κατηγορία εκκενώσεων.

### ii. Φάσεις των κεραυνικών εκκενώσεων

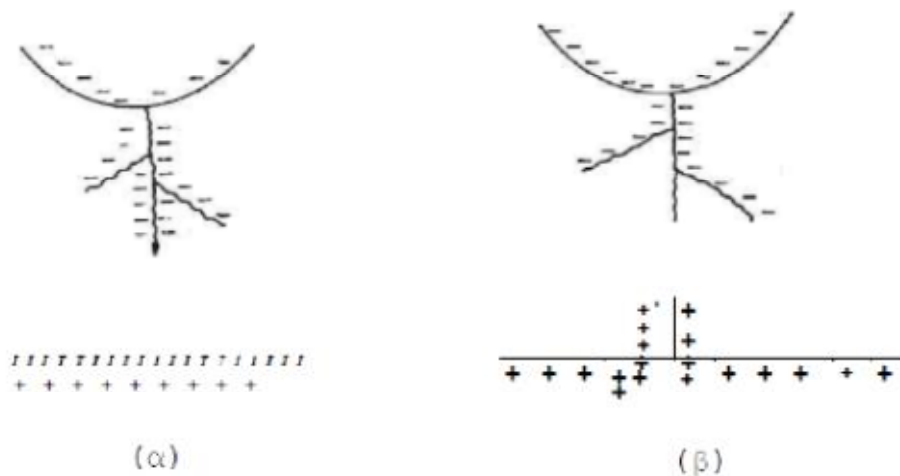
Οι φάσεις της εκκένωσης είναι 3 :

- Προεκκένωση
- Εκκένωση Αντίθετης Φοράς
- Κύρια εκκένωση

#### α )Προεκκένωση

Το ηλεκτρισμένο νέφος λίγο πριν από μια κεραυνική εκκένωση, προερχόμενη απ' αυτό , εμφανίζεται μακροσκοπικά σαν ένα ηλεκτρικό δίπολο, εξαιτίας του οποίου επάγονται στο έδαφος πεδία με ένταση πάνω από 5 kV/m. Στις παρυφές περιοχών του νέφους με μεγάλη πυκνότητα φορτίου , η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μπορεί να πάρει αρκετά μεγάλες τιμές. Οι υψηλές αυτές εντάσεις, συνδυαζόμενες με την μικρή πυκνότητα του αέρα και μερικούς άλλους παράγοντες που προκαλούν πρόσθετη τοπική ενίσχυση του ηλεκτρικού πεδίου , μπορούν να προκαλέσουν έναρξη ιονισμού των μορίων του αέρα από κρούσεις ηλεκτρονίων. Ο ιονισμός αυτός αποτελεί το πρώτο βήμα για την έναρξη μιας ηλεκτρικής εκκένωσης.

Το επόμενο βήμα είναι ο σχηματισμός ενός οχετού ο οποίος ακολουθεί τις δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου. Ο οχετός ακολουθεί την κατεύθυνση που θα προκαλέσει την ηλεκτρική σύνδεση και αλληλεξουδετέρωση των δυο ετερόνυμων φορτίων. Αν οι γραμμές μεγίστης πεδιακής έντασης κατευθύνονται προς το έδαφος , ο οχετός (καλούμενος οχετός προεκκένωσης), θα κατευθυνθεί προς αυτό. Η προεκκένωση ξεκινάει από κάποια περιοχή του σύννεφου όπου το ηλεκτρικό πεδίο θα απέκτησε πολύ μεγάλες τιμές της τάξεως μερικών εκατοντάδων V/m. Δημιουργείται έτσι ένας αγωγίμος δρόμος (οχετός), ο οποίος τροφοδοτείται συνέχεια με φορείς ηλεκτρικού φορτίου από το σύννεφο. Έχουμε, κατά συνέπεια, τη δημιουργία υψηλού ηλεκτρικού πεδίου που σε μια διαδικασία ανακύκλωσης συμβάλλει στην προώθηση του προς την γη. Έτσι η προεκκένωση, αφού ξεκινήσει, αναπτύσσεται από μόνη της στο χώρο του ηλεκτρικού πεδίου, εφ' όσον τροφοδοτείται από την πλευρά του σύννεφου με μεγάλη ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου.



**Εικόνα 2.3:** (α) Προεκκένωση (β) Εκκένωση αντίθετης φοράς

Ενδέχεται να έχουμε και διακλαδώσεις του αγωγίμου οχετού , που δεν απολήγουν όμως σε γεφύρωση του προς τη γη, λόγω του ότι δεν υπάρχει διαθεσιμότητα μεγάλου αριθμού ηλεκτρικών φορέων. Η μέση ταχύτητα προωθήσεως του οχετού προεκκενώσεως είναι περίπου 0,3 m/μs. Η ταχύτητα αυτή όσο μεγάλη και αν φαίνεται , συγκρινόμενη με την ταχύτητα μετάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο κενό (300 m/μs) προκύπτει ίση με το ένα χιλιοστό αυτής περίπου.

### β ) Εκκένωση Αντίθετης Φοράς

Η διαμήκης πτώση τάσης κατά μήκος του οχετού προεκκενώσεως διαφέρει στις διάφορες θέσεις του , η μέση τιμή της όμως είναι μικρότερη από 0,1 kV/cm. Έτσι ο οχετός προεκκενώσεως εμφανίζεται , περίπου σαν μια μεταλλική προεξοχή που επεκτείνεται από το σύννεφο προς το έδαφος. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου γύρω από τον οχετό προεκκενώσεως και ιδίως στο άκρο του προς το έδαφος , είναι πολύ μεγάλη και υπερβαίνει κατά πολύ την πεδιακή ένταση που απαιτείται για τον ιονισμό του αέρα από κρούσεις (γύρω στα 30kV/cm). Αυτός είναι και ο λόγος που ο οχετός περιβάλλεται διαρκώς από ένα μανδύα Corona (στεμματοειδούς εκκενώσεως), που εκτείνεται μερικά μέτρα γύρω από αυτόν. Το πάχος του μανδύα αυτού είναι μεγαλύτερο στο προς το έδαφος άκρο του οχετού και αυξάνει όσο η κεφαλή του οχετού πλησιάζει στο έδαφος. Καθώς τώρα ο οχετός κατέρχεται στη γη αυξάνει το ηλεκτρικό πεδίο της γης . Έτσι είναι δυνατό να δημιουργήσει ένα φαινόμενο τύπου Corona το οποίο καταλήγει σε μια ανερχόμενη εκκένωση , η οποία τείνει να συναντήσει τον κατερχόμενο οχετό , οπότε και έχουμε πλήρη γεφύρωση του διακένου αέρα, με άλλα λόγια, κεραυνικό πλήγμα.

Η απόσταση που θα πρέπει να φτάσει η κεφαλή του κατερχόμενου οχετού για να ξεκινήσει απ' την γη η εκκένωση αντίθετης φοράς χαρακτηρίζεται σαν απόσταση εναύσεως.

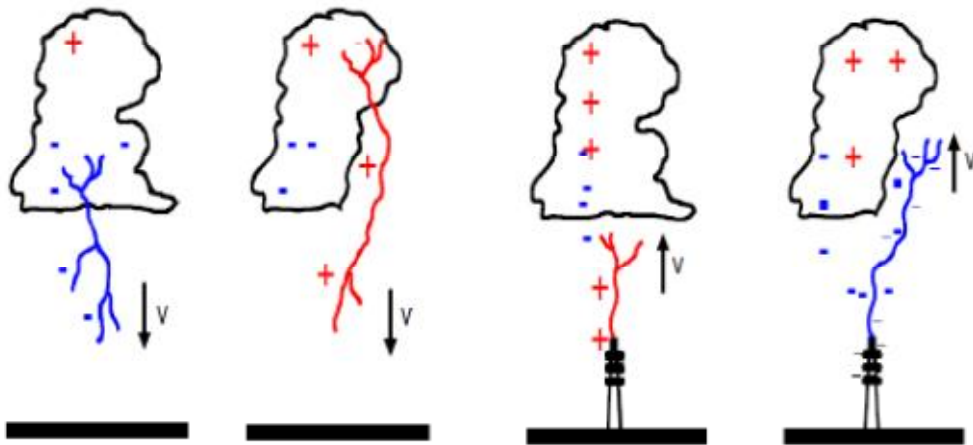
### γ ) Κύρια εκκένωση

Στην τελευταία αυτή φάση , η οποία εξελίσσεται με ιδιαίτερα μεγάλη ταχύτητα, έχουμε γεφύρωση της αποστάσεως μεταξύ νέφους και γης. Ήδη προϋπάρχει αγωγίμος οχετός προεκκενώσεως που παίρνει την μορφή ενός πλήρους οχετού εκκενώσεως. Τα κυκλοφορούντα ρεύματα δια μέσου του οχετού είναι της τάξεως (10...100)kA, με κλίσεις μετώπου της τάξεως (20...100) kA/μs ενώ η διάρκεια ροής των ρευμάτων αυτών είναι της τάξεως μερικών δεκάδων μs.

Το μήκος ενός κεραυνικού οχετού εξαρτάται από το ύψος που βρίσκεται το αντίστοιχο καταιγιδοφόρο νέφος. Η διάμετρος ενός οχετού εκκενώσεως είναι της τάξεως μερικών εκατοστών, γιατί από μόνο του το πλάσμα που αναφέρθηκε προηγουμένως , λόγω του μαγνητικού πεδίου αυτοσυμπιέζεται. Η μεγάλη λαμπρότητα του ηλεκτρικού τόξου εξηγεί τέλος και το γεγονός ότι ο κεραυνικός οχετός συχνά οδηγεί σε παροδικές θαμβώσεις.

## 2.3 Κεραυνοί μεταξύ νέφους – γης και αντίστροφα

Οι κεραυνοί αυτής της κατηγορίας είναι και αυτοί που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον καθώς επηρεάζουν την ανθρώπινη ζωή και δραστηριότητα και παρατηρούνται όταν το ηλεκτρικό πεδίο πάρει την κρίσιμη τιμή πλησίον του νέφους, οπότε έχουμε εκκένωση κατερχόμενη ή πλησίον της γης, οπότε έχουμε εκκένωση ανερχόμενη. Σαν πολικότητα της εκκένωσης μεταξύ σύννεφου-γης, λαμβάνεται εκείνη του φορτίου του κάτω μέρους του σύννεφου που την προκάλεσε.



**Εικόνα 2.4:** Ανάλογα με την φορά τους οι κεραυνοί διακρίνονται σε ανερχόμενους και κατερχόμενους και ανάλογα με την πολικότητά τους σε θετικούς και αρνητικούς σχηματίζοντας έτσι τις 4 παραπάνω περιπτώσεις

Τα πλέον σημαντικά δεδομένα προέρχονται από τα πειράματα του καθηγητή Berger, ο οποίος καταμέτρησε κεραυνικά ρεύματα από το 1943 έως το 1971 σε δυο πύργους τηλεπικοινωνίας στο βουνό Σαν Σαλβατόρε στην Ελβετία. Η κορυφή του βουνού αυτού είναι 915m από την επιφάνεια της θάλασσας και 640 από την λίμνη του Λουκάνο. Οι δυο πύργοι έχουν ύψος 70m συμπεριλαμβανομένης και της ακίδας στην κορυφή τους. Τα ρεύματα που καταγράφηκαν (100 περίπου ανερχόμενοι κεραυνοί και περισσότεροι από 200 κατερχόμενοι) αποτελούν και τη βάση για τον σχεδιασμό της αντικεραυνικής προστασίας σύμφωνα με το πρότυπο IEC 62305.

Σε μια περιοχή με εύκρατο κλίμα τα χαρακτηριστικά του κεραυνού επηρεάζονται από την ορειογραφική κατάσταση της περιοχής. Στις ορεινές περιοχές η ένταση του ρεύματος του κεραυνού όπως και το σχετικό φορτίο είναι μικρά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μικρή απόσταση γης-νέφους προκαλεί εκκενώσεις στη γη πριν ολοκληρωθεί η διαδικασία φορτίσεως του νέφους και στο ότι το μικρό, σχετικά, μήκος του αγωγού του κεραυνού έχει σαν αποτέλεσμα τη συσσώρευση ενός μικρού μόνον φορτίου κατά μήκος αυτού.

Ο αριθμός εκκενώσεων στις ορεινές περιοχές είναι πάντοτε μεγαλύτερος από εκείνον στις πεδινές. Στις πεδινές περιοχές όπου η απόσταση νέφους-γης είναι μεγαλύτερη σημειώνονται λιγότερες εκκενώσεις αλλά με υψηλή ένταση ρεύματος.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι σπάνια , σχετικά, το ηλεκτρικό πεδίο είναι τέτοιο ώστε να επιτρέπει κεραυνό νέφους-γης. Η μεγάλη ένταση ρεύματος οφείλεται στην παρουσία νεφών πολύ φορτισμένων και οχετών εκκενώσεως μεγάλου μήκους.

## 2.4 Παράμετροι κεραυνού

Το κεραυνικό ρεύμα είναι κύρια αιτία όλων των θερμικών και μηχανικών επιπτώσεων και των επαγόμενων υπερτάσεων που προκαλούνται από κεραυνό. Οι παράμετροι του κεραυνικού ρεύματος που έχουν επιπτώσεις ενοχλητικές έως και καταστροφικές για τις ανθρώπινες ζωές και εγκαταστάσεις είναι :

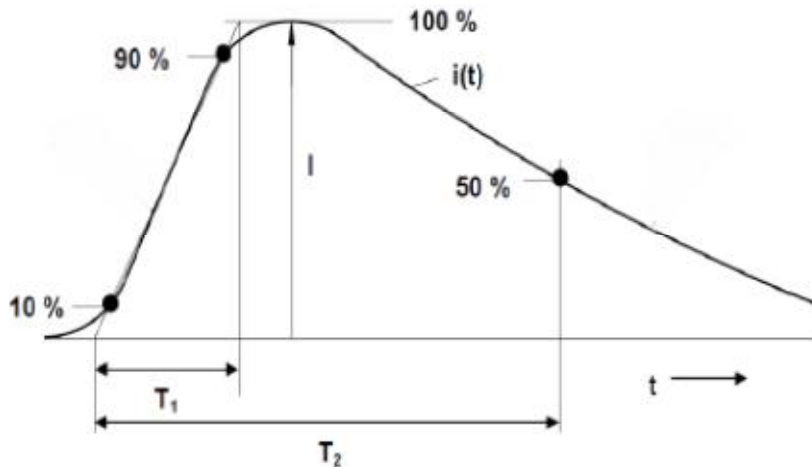
1. Η **μέγιστη τιμή ρεύματος**, η οποία προκαλεί υπερπήδηση μονωτήρων και καταστροφή των μονωτικών υλικών εξαιτίας της ανύψωσης του δυναμικού του σημείου του πλήγματος. Είναι σημαντικός παράγοντας για τη σχεδίαση του συστήματος γείωσης καθώς το κεραυνικό ρεύμα που εισέρχεται στη γη προκαλεί δια μέσου της αντίστασης γης μια πτώση τάσης. Το μέγιστο ρεύμα καθορίζει τη τιμή της τάσης αυτής, η οποία ίσως να οδηγεί σε πλευρικά πλήγματα όταν αγωγίμες γραμμές υπηρεσιών εισέρχονται σε κτήρια.
2. Η **μέγιστη κλίση του κεραυνικού ρεύματος  $(di/dt)_{max}$** , το οποίο καθορίζει τις επαγόμενες τάσεις σε βρόχους κυκλωμάτων , τάσεις που αναπτυσσόμενες σε π.χ. λογικά κυκλώματα ή κυκλώματα που περιλαμβάνουν ευαίσθητα ηλεκτρονικά στοιχεία του συστήματος πλοήγησης ή τηλεπικοινωνίας των αεροσκαφών , μπορούν να έχουν δραματικές συνέπειες.
3. Το **μεταφερόμενο φορτίο  $Q = \int i(t) dt$** , το οποίο ευθύνεται για την τοπική τήξη και τη διάτρηση μεταλλικών επιφανειών μικρού πάχους.
4. Η **ειδική ενέργεια  $W/R = \int i^2(t) dt$** , είναι ανάλογο της εκλυόμενης ενέργειας, η οποία προκαλεί θερμικά φαινόμενα (τήξη μετάλλων , έναυση εύφλεκτων ατμών ή αερίων) όταν το κεραυνικό ρεύμα ρέει δια μέσου μεταλλικών αγωγών.

Οι συνιστώσες που λαμβάνονται υπόψη για τον καθορισμό των κεραυνικών παραμέτρων στο διεθνές πρότυπο είναι:

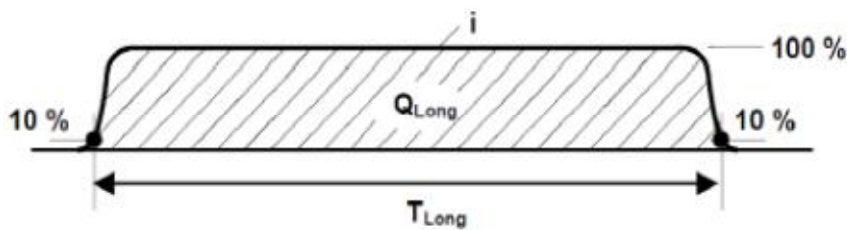
- Το πρώτο βραχύ κρουστικό κεραυνικό ρεύμα
- Το επόμενο βραχύ κρουστικό κεραυνικό ρεύμα
- Το μακρό κεραυνικό ρεύμα.

Το πρώτο βραχύ κεραυνικό ρεύμα λαμβάνει υπόψη τον κίνδυνο από το πρώτο κρουστικό πλήγμα του κατερχόμενου κεραυνού. Ο κίνδυνος επικεντρώνεται στο γεγονός ότι ο θετικός κεραυνός έχει υψηλότερες τιμές μέγιστου ρεύματος

κορυφής , μεγαλύτερο μεταφερόμενο φορτίο και μεγαλύτερες τιμές ειδικής ενέργειας  $W/R$ , σε σύγκριση με τον αρνητικό .Σε ότι αφορά τη μέγιστη κλίση μετώπου παρατηρήθηκε από τις μετρήσεις του Berger ότι είναι πολύ μεγαλύτερη στην περίπτωση του επόμενου βραχέως κρουστικού ρεύματος και ασυσχέτιστη με τις άλλες παραμέτρους και για το λόγο αυτό για τον καθορισμό της μέγιστης τιμής λαμβάνεται υπόψη η τιμή που μπορούν να δώσουν τα επόμενα βραχέα κρουστικά κεραυνικά ρεύματα.



Εικόνα 2.5: Σχηματική παράσταση βραχέως κρουστικού κεραυνικού ρεύματος σύμφωνα με το IEC 62305



Εικόνα 2.6: Σχηματική παράσταση μακρού κεραυνικού ρεύματος κατά IEC 62305

## 2.5 Ισοκεραυνικές καμπύλες

Κεραυνική στάθμη συγκεκριμένου τόπου είναι το πλήθος των ημερών καταιγίδας που αντιστοιχούν στο συγκεκριμένο τόπο μέσα σ'ένα χρόνο. Μέρα καταιγίδας χαρακτηρίζεται εκείνη κατά τη διάρκεια της οποίας ακούγεται μία (τουλάχιστον) βροντή.

Καίτοι ο ορισμός αυτός φαίνεται ελάχιστα επιστημονικός , παρέχει , εν τούτοις, τη δυνατότητα εκτίμησης του κινδύνου κεραυνοπληξίας στο συγκεκριμένο τόπο.

Έτσι το **1/10 της κεραυνικής στάθμης** δίνει το πλήθος των κατ'έτος στατιστικώς αναμενόμενων κεραυνοπληξιών προς γη ανά Km<sup>2</sup> επιφανείας σύμφωνα με το IEC 62305.

Σύνδεση τόπων ίδιας κεραυνικής στάθμης δίνει τις ισοκεραυνικές καμπύλες.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές του μέσου όρου ημερών καταιγίδας ανά έτος (Td) για διάφορες περιοχές της Ελλάδας.

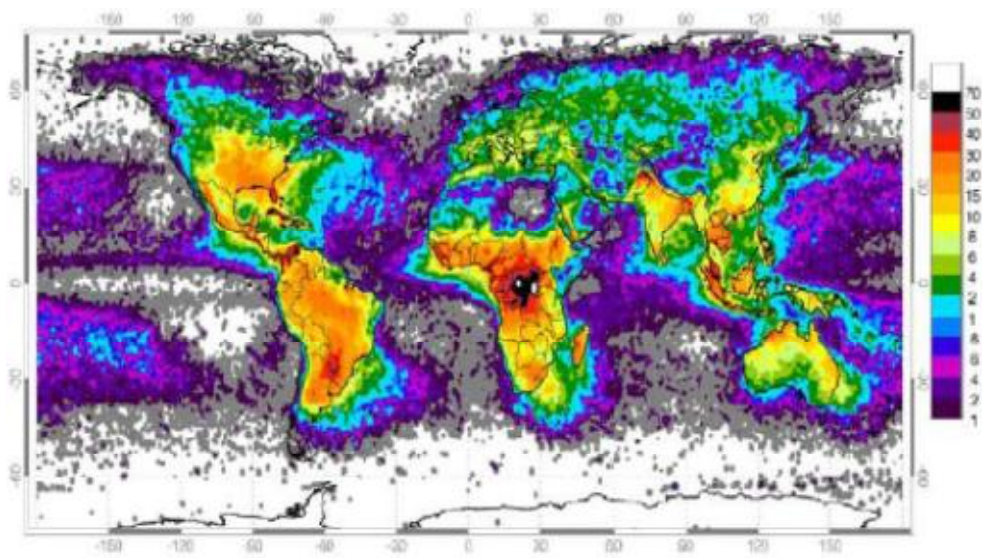
Περιοχή	Μέσος όρος ημερών καταιγίδων ανά έτος T <sub>d</sub>
Ανατολική Πελοπόννησος Ανατολική Στερεά Εύβοια Ανατολική Κρήτη	Μέχρι 25
Κεντρική Πελοπόννησος Κεντρική Μακεδονία Ανατολική Μακεδονία Θράκη Βόρειοι Σπαράδες Κυκλάδες	Μέχρι 35
Δυτική Μακεδονία Κρήτη Ανατολικά Νησιά Αιγαίου Νότια Πελοπόννησος	Μέχρι 45
Νησιά Ιονίου Ήπειρος Δυτική Στερεά Κεντρική Στερεά Δυτική Πελοπόννησος	Μέχρι 55

**Πίνακας 2.1:** Τιμές του μέσου όρου τιμών ημερών καταιγίδας ανά περιοχή της Ελλάδος





*Εικόνα 2.7: Ισοθερμικές καμπύλες στον ελλαδικό χώρο*



*Εικόνα 2.8: Συχνότητα εμφάνισης κεραυνού παγκοσμίως*

## 2.6 Υπολογισμός της μέσης ετήσιας πυκνότητας πληγμάτων κεραυνού στο έδαφος ( $N_g$ )

Η μέση ετήσια πυκνότητα πληγμάτων κεραυνού στο έδαφος καθορίζεται με μετρήσεις μέσω δικτύου καταγραφής κεραυνών, ωστόσο σύμφωνα με την IEC εάν η ακριβής τιμή δεν είναι διαθέσιμη αυτή μπορεί να εκτιμηθεί προσεγγιστικά από την παρακάτω εξίσωση :

$$N_g = 0,04 * T_d^{1,25} \text{ πλήγματα κεραυνού ανά km}^2 \text{ και έτος}$$

Όπου,

$N_g$ : η μέση ετήσια πυκνότητα τοπικής πτώσης κεραυνού ανά  $\text{km}^2$

$T_d$ : ο αριθμός ημερών καταιγίδας ανά έτος (από ισοκεραυνικό πίνακα)

Σημαντικό στοιχείο είναι ότι και η δημοσίευση μετεωρολογικών δεδομένων ωρών καταιγίδας αντί ημερών ανά έτος και η συσχέτισή τους με την πυκνότητα πληγμάτων κεραυνού στο έδαφος:

$$N_g = 0,054 * T_h^{1,1} \text{ πλήγματα κεραυνού ανά km}^2 \text{ και έτος}$$

Έδειξε ότι σε περιοχές μικρής κεραυνικής δραστηριότητας η πυκνότητα πληγμάτων κεραυνού στο έδαφος υπολογισμένη με βάση τις ημέρες καταιγίδας είναι περίπου διπλάσια από την αντίστοιχη υπολογισμένη με βάση τις ώρες καταιγίδας ανά έτος. Γι' αυτό για να έχουμε σωστό υπολογισμό της  $N_g$  θα πρέπει να γνωρίζουμε τη χρονική διάρκεια των καταιγίδων.

## 2.7 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 μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση :

$$N_d = N_g * A_c * 10^{-6} \text{ πλήγματα κεραυνού ανά έτος}$$

Όπου,

$N_g$  : η μέση ετήσια πυκνότητα τοπικής πτώσης κεραυνού ανά  $km^2$

$A_e$ : η ισοδύναμη συλλέκτρια επιφάνεια της κατασκευής

## 2.8 Εναλλακτική μέθοδος υπολογισμού του $N_d$

$N_d = N_g * A_d * C_d * 10^{-6}$  πλήγματα κεραυνού αν έτος

Όπου,

$N_d$  : ο μέσος ετήσιος αριθμός άμεσων πληγμάτων κεραυνού στο έδαφος

$N_g$  : η μέση ετήσια πυκνότητα τοπικής πτώσης κεραυνού ανά  $km^2$

$A_d$  : η ισοδύναμη συλλέκτρια επιφάνεια άμεσων πληγμάτων κεραυνού στην εγκατάσταση

$C_d$  : ο περιβαλλοντικός παράγοντας. Κατάλληλες τιμές είναι  $C_d=1$  σε επίπεδο εδάφους και  $C_d=2$  σε λόφο ή ύψωμα. Στο παρακάτω πίνακα υπάρχουν αναλυτικά οι τιμές που μπορεί να πάρει το  $C_d$ .

Θέση της κατασκευής	$C_d$
Κατασκευή ευρισκόμενη σε περιοχή με άλλες κατασκευές ή δένδρα του ίδιου ή μεγαλύτερου ύψους.	0.25
κατασκευή περιβαλλόμενη από άλλες μικρότερες κατασκευές	0.5
Απομονωμένη κατασκευή (δεν υπάρχουν άλλα κτίσματα σε απόσταση 3H από την κατασκευή)	1
Απομονωμένη κατασκευή στην κορυφή ενός λόφου	2

Πίνακας 2.2: Τιμές που παίρνει το  $C_d$

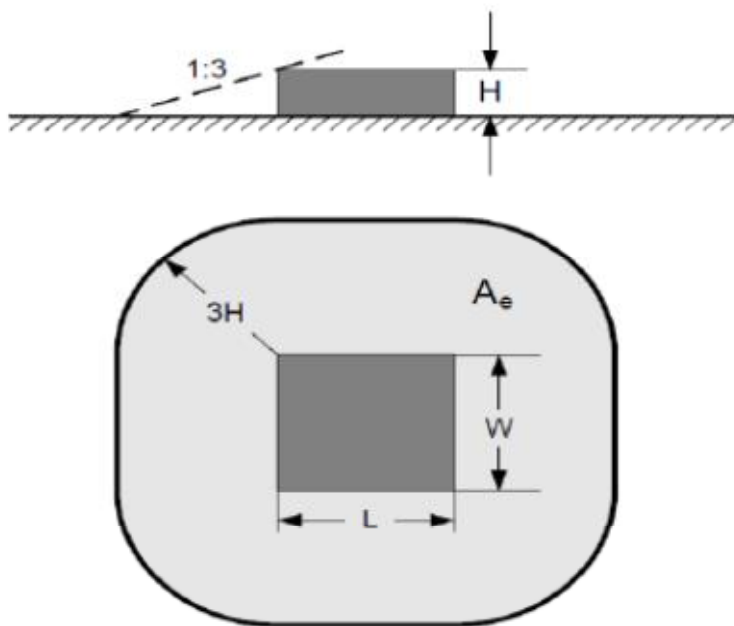
## 2.9 Ισοδύναμη συλλέκτρια επιφάνεια της κατασκευής

Για απομονωμένες περιοχές η ισοδύναμη συλλέκτρια επιφάνεια είναι η επιφάνεια που περικλείεται από το περίγραμμα που προκύπτει από τη τομή της επιφάνειας του εδάφους και μιας ευθείας γραμμής με κλίση 1/3 η οποία διέρχεται από τα ψηλότερα τμήματα της κατασκευής και περιστρεφόμενη γύρω από αυτή. Για μια

απομονωμένη ορθογώνια κατασκευή μήκους  $L$ , πλάτους  $W$  και ύψους  $H$  η ισοδύναμη συλλέκτρια επιφάνεια υπολογίζεται από τη παρακάτω σχέση :

$$A_e = LW + 6H(L+W) + 9\pi H^2, \text{ σε } m^2$$

Καλό είναι να αναφέρουμε ότι η ελάχιστη τιμή της ισοδύναμης συλλέκτριας επιφάνειας σε κάθε περίπτωση δε μπορεί να είναι μικρότερη από το εμβαδόν της κάτωψης της κατασκευής.



*Εικόνα 2.9: Ισοδύναμη συλλέκτρια επιφάνεια για κατασκευή σε επίπεδο έδαφος*

## 2.10 Αποδεκτή συχνότητα κεραυνικών πληγμάτων σε μια κατασκευή

Η αποδεκτή συχνότητα κεραυνικών πληγμάτων για μια κατασκευή  $N_c$  εκφράζει τη μέγιστη αποδεκτή τιμή του αριθμού άμεσων κεραυνικών πληγμάτων που μπορούν να συμβούν σε μια κατασκευή ανα έτος και μπορούν να προκαλέσουν ζημιά. Η τιμή του  $N_c$  μπορεί να εκτιμηθεί μέσω μελέτης αποτίμησης κινδύνου από πλήγμα κεραυνού λαμβάνοντας υπόψη κατάλληλους συντελεστές όπως είναι ο τύπος δόμησης, η παρουσία εύφλεκτων και εκρηκτικών ουσιών, ληφθέντα μέτρα για μείωση των επιπτώσεων του πλήγματος, πλήθος ανθρώπων που επηρεάζονται από την καταστροφή, τύπος και σπουδαιότητα υπηρεσιών εξυπηρέτησης του κοινού που επηρεάζονται, αξία των αγαθών που ενδεχομένως καταστραφούν, άλλους συντελεστές. Η συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων σε μια

κατασκευή πολλαπλασιάζεται με ένα συντελεστή K που βγαίνει από το γινόμενο των συντελεστών που λαμβάνουν υπόψη τους 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). Παρακάτω αναφέρονται οι τιμές που παίρνουν οι παραπάνω συντελεστές.

Συντελεστής A: χρήση του κτιρίου	
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
σχολεία, νοσοκομεία, φυλακές, οικότροφεία	1.7

Πίνακας 2.3: Συντελεστής A

Συντελεστής B: υλικά κατασκευής του κτιρίου	
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 2.4: Συντελεστής B

Συντελεστής C: περιεχόμενο του κτιρίου	
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, οικότροφεία, κτίρια με κόσμο	1.7

Πίνακας 2.5: Συντελεστής C

Συντελεστής D: βαθμός απομόνωσης του κτιρίου	
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 2.6:** Συντελεστής D

Συντελεστής E: μορφολογία του εδάφους	
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

**Πίνακας 2.7:** Συντελεστής E

Δηλαδή για το  $N_d'$  έχουμε :

$$N_d' = N_d * A * B * C * D * E$$

Για το  $N_c$  ισχύει ο παρακάτω πίνακας



ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	ΤΥΠΟΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΚΕΡΑΥΝΩΝ	$N_c$
ΚΟΙΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	Κατοικίες	Καταστροφή των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, πυρκαγιά και διάβες υλικών. Ζημιές περιοριζόμενες στα αντικείμενα που βρίσκονται στο σημείο του πλήγματος ή του δρόμου του κεραυνού.	$5.10^{-3}$
	Αγροκτήματα	Πρωταρχικός κίνδυνος πυρκαγιάς και επικίνδυνες θερμοκρασίες. Δευτερευόντων κίνδυνος λόγω διακοπής ηλεκτρικού ρεύματος και κίνδυνος της ζωής των ζώων λόγω απώλειας του ηλεκτρονικού ελέγχου, εξαερισμού, συστήματος τροφοδοσίας κλπ.	$1.10^{-3}$
	Θέατρο-Υχολείο-Κατάστημα-Γυμναστήριο	Ελάτωση στην ηλεκτρική τροφοδότηση και ενδεχόμενη απώλεια πληροφοριών. Απώλεια της σημασίας πυρκαγιάς με καθυστερημένη αντίδραση	$5.10^{-4}$
	Τράπεζα-Εμπορική ή ασφαλιστική εταιρεία-Νοσοκομείο-Φυσικοθεραπευτήριο-Φυλακές	Όπως πιο πάνω και επιπλέον προβλήματα από την απώλεια επικοινωνίας στοιχεία υπολογιστών και απώλεια δεδομένων. Όπως πιο πάνω και επιπλέον προβλήματα εντατικής φροντίδας και δυσκολίας κινήσεων ασθενών.	$5.10^{-4}$
	Βιομηχανικά Συγκροτήματα Μουσεία και αρχαιολογικοί χώροι.	Επιπρόσθετα αποτελέσματα εξαρτώμενα από τα περιεχόμενα στις βιομηχανίες, μεταβάλλοντας τις διαβές 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. Συνεπικολούθοι κίνδυνοι στο γενικό περιβάλλον προκαλούμενοι από πυρκαγιά κλπ.	$5.10^{-5}$
Κατασκευές επικίνδυνες για το γενικό περιβάλλον	Διυλιστήρια-αποθήκες καυσίμων, εργοστάσια τεχνολογιών, τελειοφορέων.	Συνεπικολούθοι πυρκαγιάς και εκρήξη στο εργοστάσιο και τον περιβάλλοντα χώρο.	$1.10^{-6}$
Κατασκευές επικίνδυνες για το περιβάλλον	Χημικά ή Πυρηνικά Εργοστάσια, Βιοχημικά εργαστήρια ή εργοστάσια	Πυρκαγιά και ανεξέλεγκτη λειτουργία του εργοστασίου με διαβερές συνέπειες στο τοπικό και γενικό περιβάλλον.	$1.10^{-7}$

Πίνακας 2.8: Τιμές που μπορεί να πάρει το  $N_c$

## 2.11 Αποτίμηση κινδύνου από κεραυνό.

Κανένα σύστημα προστασίας δεν είναι 100% αποδοτικό. Η αντικεραυνική προστασία είναι ένα θέμα που συνδυάζει τα στατιστικά ενδεχόμενα και διαχείριση κινδύνου. Ένα αποδοτικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να είναι σε θέση να διαχειριστεί μια ποικιλία κινδύνων. Επίσης το ρεύμα του κεραυνού δημιουργεί ηλεκτρικούς, θερμικούς και μηχανικούς κινδύνους που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Στόχος των κεραυνών είναι ουσιαστικά όλη η επιφάνεια της Γης. Αποτέλεσμα αυτής της δυνατότητας είναι να προκαλείται μια σειρά ατυχημάτων που μπορεί να πλήττουν:

- Ανθρώπους και ζώα
- Πυρκαγιές σε δάση
- Κτίρια
- Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις
- Τηλεπικοινωνίες
- Υπολογιστές με σύνθετα ηλεκτρονικά συστήματα

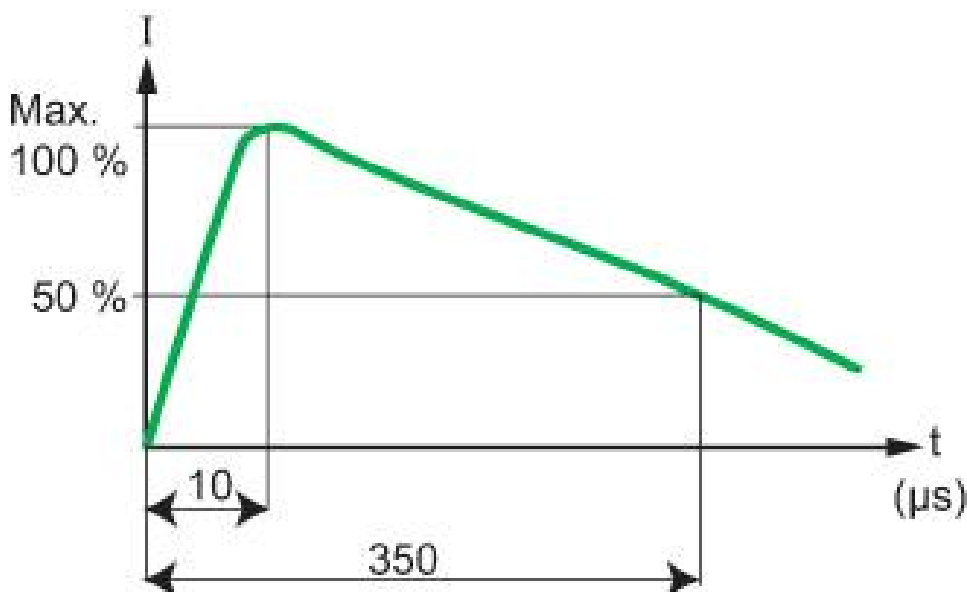
## 2.12 Επίπεδα προστασίας

Σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο IEC 62305 υπάρχουν τέσσερα επίπεδα προστασίας. Οι σχεδιαστικοί κανόνες τους βασίζονται στη δυνατότητα να μπορεί το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας να είναι σε θέση να προστατεύει από μέγιστες και ελάχιστες τιμές κεραυνικού ρεύματος. Το επίπεδο προστασίας 1 (ΕΠ1) προσφέρει τον υψηλότερο δείκτη προστασίας ενώ το επίπεδο προστασίας 4 (ΕΠ4) προσφέρει τον μικρότερο δείκτη προστασίας

Ο παρακάτω πίνακας για κάθε επίπεδο προστασίας δείχνει το μέγιστο ρεύμα που αναμένεται και την πιθανότητα αυτού να είναι μεγαλύτερο. Το πρότυπο διασφαλίζει ότι μεγέθη του αλεξικέραυνου, του αγωγού και του συστήματος τερματισμού της Γης θα μπορέσουν να αντέξουν το αναμενόμενο μέγιστο ρεύμα.

	ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ 1	ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ 2	ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ 3	ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ 4
ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΙΧΜΗ ΨΕΥΝΑΤΟΣ(kA .0/350 μS)	200	150	100	100
ΠΘΑΝΟΤΗΤΑ ΤΟ ΨΕΥΜΑ ΝΑ ΕΙΝΑΙ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ(%)	1	2	3	3

Πίνακας 2.9





**Εικόνα 2.10:** Όπως φαίνεται στην κυματομορφή ο χρόνος που φτάνει στο μέγιστό του το κεραυνικό ρεύμα είναι 10  $\mu$ S(διάρκεια μετώπου) και διάρκεια ημίσεως εύρους 350  $\mu$ S.

### 2.13 Αναγκαιότητα του ΣΑΠ και επιλογή της στάθμης προστασίας

Για να μπορέσουμε να ελέγξουμε αν μια εγκατάσταση χρήζει κάποιου συστήματος αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να γίνει σύγκριση κάποιων δεδομένων. Αυτά τα δεδομένα είναι η σύγκριση της συχνότητας άμεσων κεραυνικών πληγμάτων της κατασκευής  $N_d$  καθώς και της αποδεκτής συχνότητας κεραυνικών πληγμάτων της κατασκευής από κεραυνούς  $N_c$ .

Συνοπτικότερα έχουμε:

Στη περίπτωση που έχουμε  $N_d' \leq N_c$  τότε δεν χρειάζεται ΣΑΠ.

Στη περίπτωση που έχουμε  $N_d' > N_c$  τότε πρέπει να εγκατασταθεί ΣΑΠ αποτελεσματικότητας :

$$E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d'}$$

Και να επιλεγεί η αποδεκτή στάθμη προστασίας σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα

Αποτελεσματικότητα ΣΑΠ	Στάθμη Προστασίας ΣΑΠ
$E > 0.98$	I + επιπλέον μέσα προστασίας
$0.95 < E \leq 0.98$	I
$0.90 < E \leq 0.95$	II
$0.80 < E \leq 0.90$	III
$0 < E \leq 0.80$	IV

**Πίνακας 2.10:** Αποτελεσματικότητα στάθμων προστασίας ΣΑΠ

Ουσιαστικά η αποτελεσματικότητα ενός ΣΑΠ πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του πίνακα, όμως αν εγκατασταθεί ΣΑΠ αποτελεσματικότητας  $E > 0.98$  ή  $E' < E$  απαιτείται να ληφθούν επιπλέον μέτρα προστασίας όπως μέτρα περιορισμού των βηματικών τάσεων και των τάσεων επαφής, μέτρα περιορισμού της διάδοσης της

φωτιάς και μέτρα μείωσης των επαγόμενων τάσεων λόγω κεραυνών σε ευαίσθητες συσκευές.

## 2.14 Κίνδυνοι

Για να καταλάβουμε καλύτερα γιατί τα συστήματα αντικεραυνικής προστασίας απαιτούν ισοδυναμικές συνδέσεις και γειώσεις είναι σημαντικό να καταλάβουμε πως προκύπτει ο κίνδυνος τραυματισμού από την τάση επαφής, την βηματική τάση και από το έμμεσο κεραυνικό πλήγμα.

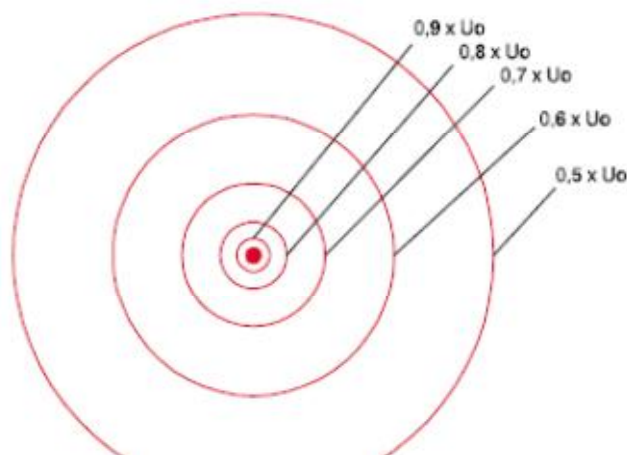
### 1) Βηματική τάση(step voltage)

Οι ισοδυναμικές γραμμές, στην επιφάνεια της γης γύρω από ένα ηλεκτρόδιο γείωσης που βρίσκετε υπό τάση λόγω σφάλματος είναι ομόκεντροι κύκλοι με κέντρο το σημείο που έχουμε καρφώσει το ηλεκτρόδιο (εικόνα 2.11). Αν σχεδιάσουμε ένα σύστημα αξόνων, με κάθετο άξονα τις τιμές του δυναμικού των ισοδυναμικών κύκλων και οριζόντιο άξονα την απόσταση τους από το σημείο που είναι καρφωμένο το ηλεκτρόδιο, θα προκύψει η μια καμπύλη (εικόνα 2.12) που ονομάζετε **προφίλ δυναμικού**.

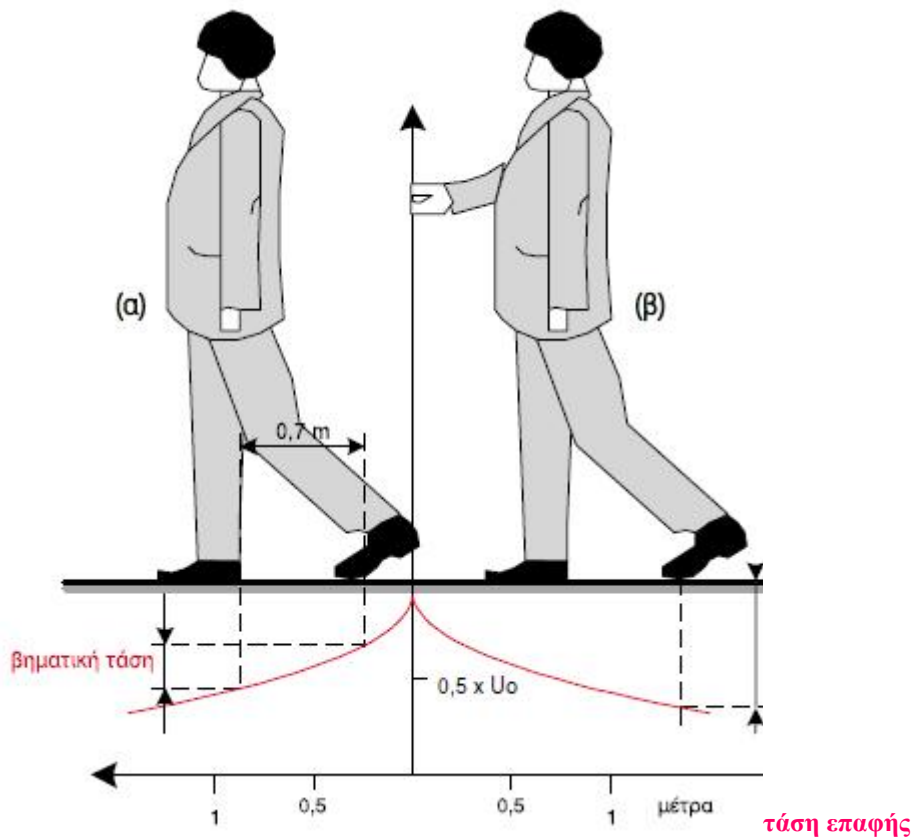
Ένας άνθρωπος που τα δυο του πόδια βρίσκονται σε επαφή με δυο από αυτούς τους κύκλους θα βρεθεί σε τάση που είναι η διαφορά δυναμικών των δυο κύκλων. Θεωρώντας ότι απόσταση μεταξύ των ποδιών όταν βαδίζουμε είναι 0,7 m, η τάση που υπάρχει μεταξύ δυο κύκλων με απόσταση 0,7 m ονομάζεται **βηματική τάση**. Όσο απομακρυνόμαστε από το ηλεκτρόδιο τόσο η βηματική τάση ελαττώνεται.

### 2) Τάση επαφής(touch voltage)

Αν ο άνθρωπος ακουμπά το χέρι στο ηλεκτρόδιο - ή σε κάποιο μεταλλικό αντικείμενο που συνδέεται με το ηλεκτρόδιο- τότε θα βρεθεί σε τάση που είναι διαφορά δυναμικού μεταξύ του ηλεκτροδίου και του ισοδυναμικού κύκλου που βρίσκεται το πόδι του. Η τάση αυτή λέγεται **τάση επαφής**.

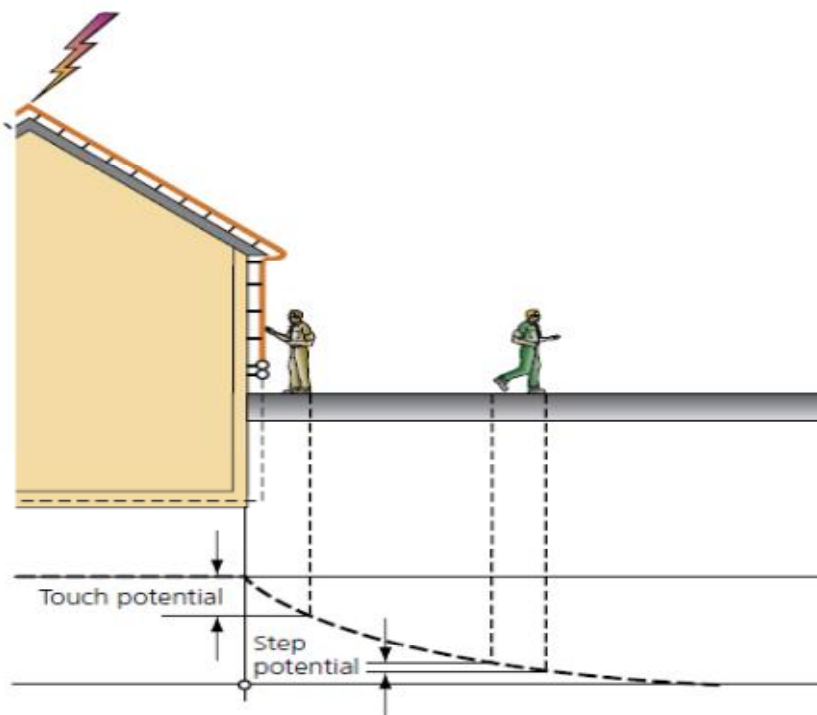


Εικόνα 2.11



**Εικόνα 2.12:** Καμπύλη προφίλ δυναμικού συνάρτηση της απόστασης  
 α) βηματική τάση  
 β) τάση επαφής

Αν κάποια από τις δυο τάσεις (βηματική ή επαφής) υπερβεί τα 50 V για χρόνο μεγαλύτερο των 0,2 sec τότε ο άνθρωπος κινδυνεύει από ηλεκτροπληξία. Η τάση επαφής είναι πιο επικίνδυνη γιατί το ρεύμα στη διαδρομή του από το χέρι στο πόδι περνά από το θώρακα του ανθρώπου.

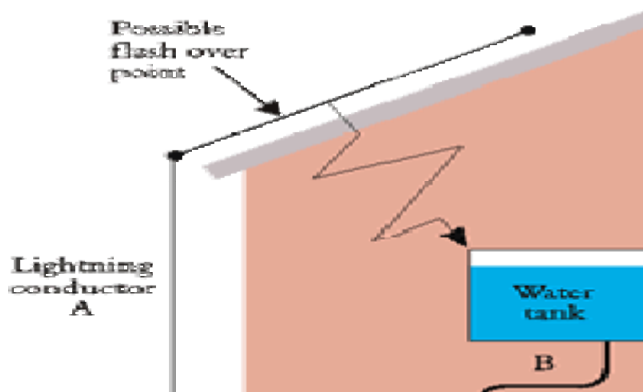


Εικόνα 2.13

3) Έμμεσο κεραυνικό πλήγμα (sideflasing)

Όλοι οι αγωγοί έχουνε ωμική συμπεριφορά αλλά έχουνε επίσης και επαγωγική συμπεριφορά. Κατά τη διάρκεια ενός χτυπήματος η απότομη αύξηση του ρεύματος οδηγεί σε μια αύξηση τάσης εξ' επαγωγής στον αγωγό, όπου το μέγεθος της μπορεί να φτάσει σε τέτοια τιμή ώστε να μεταφερθεί σε γειτονικούς αγωγούς και γειωμένα αντικείμενα.

Έμμεσο κεραυνικό πλήγμα

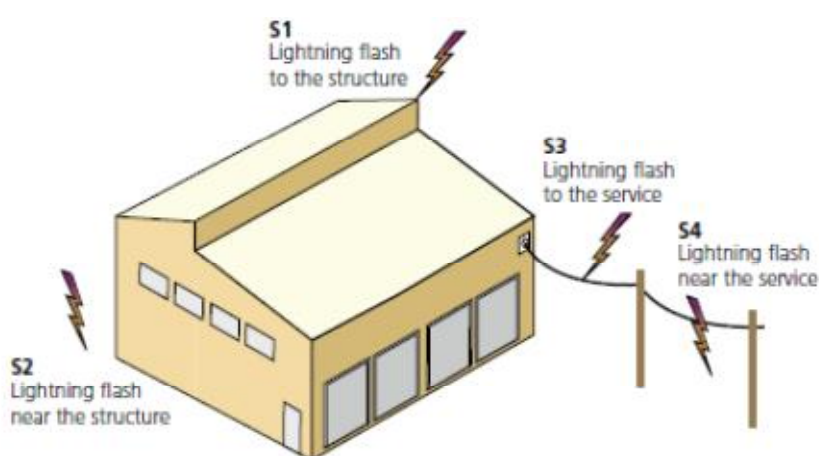


Εικόνα 2.14

## 2.15 Η έννοια της ζημιάς και της απώλειας

Η πρωταρχική αιτία ζημιάς από ένα κεραυνικό πλήγμα είναι το ρεύμα το κεραυνού. Όλα τα υπόλοιπα αποτελούν παρενέργειες του μεγάλου κρουστικού ρεύματος. Σύμφωνα με το σημείο πλήγματος διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες ζημιών :

- S1 : Λόγω πλήγματος επί της κατασκευής
- S2 : Λόγω πλήγματος πλησίον της κατασκευής
- S3 : Λόγω πλήγματος σε μια υπηρεσία (γραμμή ισχύος ή τηλεφωνική γραμμή)
- S4: Λόγω πλήγματος πλησίον μιας υπηρεσίας



Εικόνα 2.15: Κατηγορίες ζημιών

Αν θέλουμε να οργανώσουμε την μελέτη μας σύμφωνα με τα είδη της καθαυτής ζημιάς ( η οποία εξαρτάτε από το περιεχόμενο της κατασκευής) μπορούμε να διακρίνουμε της εξής περιπτώσεις:

- D1 : Τραυματισμός έμβιων όντων
- D2 : Φυσική καταστροφή ( φωτιά, έκρηξη, μηχανική καταστροφή)
- D3 : Ζημιά σε ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα

Απώλεια καλείτε το τελικό αποτέλεσμα της ζημιάς. Οι απώλειες που προκαλεί ένας κεραυνός έχουν να κάνουν με τις ιδιότητες και τα περιεχόμενα της κατασκευής ( τόσο από ποιοτική όσο και από ποσοτική άποψη) και έχουν τις εξής κατηγορίες :

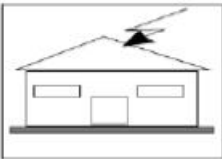
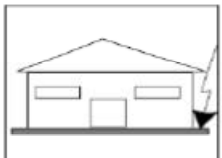
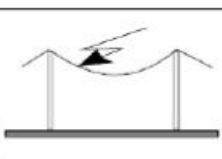
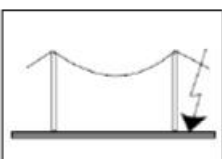
### Τύποι απωλειών στα κτήρια

- L1: Απώλεια ανθρώπινης ζωής

- L2: Απώλεια παροχής υπηρεσιών στο κοινό (π.χ. διακοπή γραμμής παραγωγής ενός εργοστασίου)
- L3: Απώλεια πολιτιστικής κληρονομιάς (π.χ. καταστροφή μνημείου)
- L4: Οικονομική απώλεια (π.χ. καταστροφή εμπορεύματος)

#### Τύποι απωλειών στις υπηρεσίες

- L'2: Απώλεια παροχής υπηρεσιών στο κοινό
- L'4: Οικονομική απώλεια

Σημείο Πλήγματος	Πηγή Βλάβης	Κτίριο		Υπηρεσία	
		Τύπος Βλάβης	Τύπος Απώλειας	Τύπος Βλάβης	Τύπος Απώλειας
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 <sup>2)</sup> L1, L2, L3, L4 L1 <sup>1)</sup> , L2, L4	D2 D3	L'2, L'4 L'2, L'4
	S2	D3	L1 <sup>1)</sup> , L2, L4		
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 <sup>2)</sup> L1, L2, L3, L4 L1 <sup>1)</sup> , L2, L4	D2 D3	L'2, L'4 L'2, L'4
	S4	D3	L1 <sup>1)</sup> , L2, L4	D3	L'2, L'4

1) Μόνο για κτίρια με κίνδυνο έκρηξης και για νοσοκομεία ή αλλά κτίρια όπου καταστροφή των εσωτερικών συστημάτων θέτει άμεσα σε κίνδυνο την ανθρώπινη ζωή.

2) Μόνο για ιδιοκτησίες όπου ζώα μπορεί να θανατωθούν.

*Πίνακας 2.11*

#### **2.16 Η έννοια του κινδύνου (Risk)**

Ο κίνδυνος αποτελεί στατιστικό μέγεθος και εκφράζει την πιθανότητα σε ετήσια βάση να έχουμε μια από της παραπάνω απώλειες. Ο κίνδυνος χωρίζεται στις αντίστοιχες κατηγορίες με την απώλεια R1-R4. Προφανώς ο κίνδυνος που σχετίζεται με την απώλεια ζωής R1 είναι ο σημαντικότερος στη κατασκευές κτηρίων.

R1: Κίνδυνος της απώλειας της ανθρώπινης ζωής

R2: Κίνδυνος της απώλειας της παροχής υπηρεσιών στο κοινό

R3: Κίνδυνος της απώλειας πολιτιστικής κληρονομιάς

R4: Κίνδυνος της οικονομικής απώλειας

Ο κίνδυνος στην περίπτωση υπηρεσίας μπορεί να διακριθεί ως ακολούθως:

R'2: Κίνδυνος της απώλειας της παροχής υπηρεσιών στο κοινό

R'4: Κίνδυνος της οικονομικής απώλειας

i. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΕ ΚΤΗΡΙΟ

Για να υπολογίσουμε τον κίνδυνο για οποιαδήποτε από τις παραπάνω κατηγορίες πρέπει πρώτα να υπολογίσουμε μια σειρά συντελεστών κινδύνου, το άθροισμα των οποίων μας δίνει τη τελική τιμή του κινδύνου. Οι συντελεστές αυτοί έχουν ως εξής :

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΛΟΓΩ ΠΛΗΓΜΑΤΟΣ ΕΠΙ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

- **R<sub>A</sub>** : Συντελεστής σχετικός με το τραυματισμό ανθρώπων λόγω επικίνδυνης τάσης επαφής
- **R<sub>B</sub>**: Συντελεστής σχετικός με φυσική καταστροφή λόγω σπινθήρα εντός της κατασκευής που προκαλεί φωτιά ή έκρηξη
- **R<sub>C</sub>**: Συντελεστής σχετικός με βλάβες εσωτερικών συστημάτων λόγω επαγωγικών υπερτάσεων

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΛΟΓΩ ΠΛΗΓΜΑΤΟΣ ΠΛΗΣΙΟΝ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

- **R<sub>M</sub>**: Συντελεστής σχετικός με βλάβες εσωτερικών συστημάτων λόγω επαγωγικών υπερτάσεων

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΛΟΓΩ ΠΛΗΓΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

- **R<sub>U</sub>**: Συντελεστής σχετικός με τον τραυματισμό ανθρώπων λόγω επικίνδυνης τάσης επαφής προερχόμενης από κύμα ρεύματος εισερχόμενης γραμμής
- **R<sub>V</sub>**: Συντελεστής σχετικός με φυσική καταστροφή λόγω σπινθήρα προερχόμενο από κύμα ρεύματος εισερχόμενης γραμμής
- **R<sub>W</sub>**: Συντελεστής σχετικός με βλάβες εσωτερικών συστημάτων λόγω επαγόμενων υπερτάσεων επί των γραμμών ισχύος ή τηλεπικοινωνιών

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΛΟΓΩ ΠΛΗΓΜΑΤΟΣ ΠΛΗΣΙΟΝ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

- $R_z$  : Συντελεστής σχετικός με βλάβες εσωτερικών συστημάτων λόγω επαγωγικών υπερτάσεων

ii. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΕ ΥΠΗΡΕΣΙΑ

Αντίστοιχα, για να εκτιμηθεί ο κίνδυνος σε μια υπηρεσία, ορίζονται επιμέρους συντελεστές κινδύνου:

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΛΟΓΩ ΠΛΗΓΜΑΤΟΣ ΠΑΝΩ ΣΤΙΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

- $R'_v$ : Συντελεστής σχετικός με φυσική καταστροφή λόγω των θερμικών και μηχανικών επιδράσεων του κεραυνικού ρεύματος
- $R'_w$ : Συντελεστής σχετικός με καταστροφή εξοπλισμού λόγω υπερτάσεων

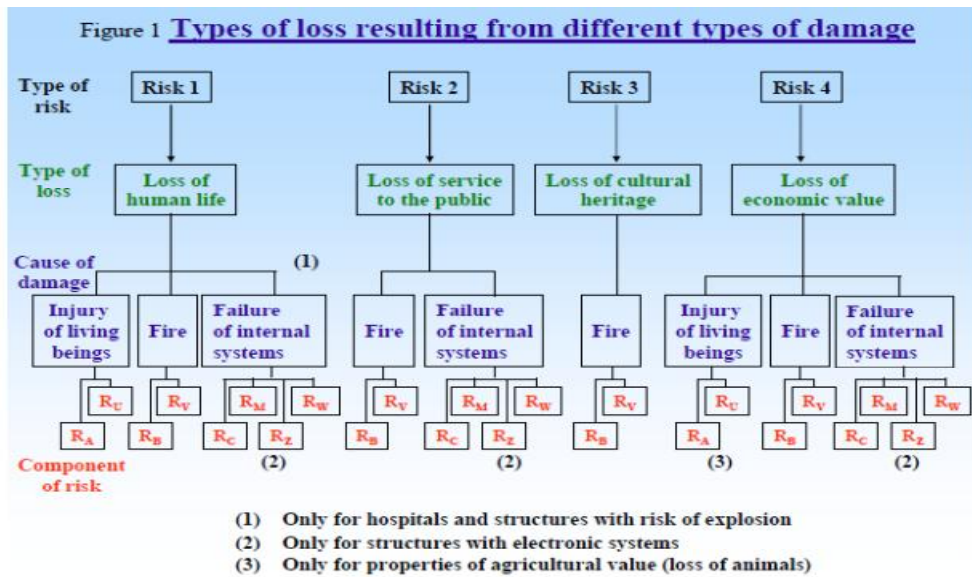
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΛΟΓΩ ΠΛΗΓΜΑΤΟΣ ΠΛΗΣΙΟΝ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

- $R'_z$  : Συντελεστής σχετικός με καταστροφή των γραμμών και του εξοπλισμού εσωτερικών συστημάτων λόγω επαγόμενων υπερτάσεων που υπάγονται στις γραμμές

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΛΟΓΩ ΠΛΗΓΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΚΤΗΡΙΟ ΠΟΥ ΣΥΝΔΕΕΤΑΙ Η ΥΠΗΡΕΣΙΑ

- $R'_B$ : Συντελεστής σχετικός με φυσική καταστροφή λόγω των θερμικών και μηχανικών επιδράσεων του κεραυνικού ρεύματος
- $R'_C$ : Συντελεστής σχετικός με καταστροφή εξοπλισμού λόγω υπερτάσεων





Εικόνα 2.16: Απώλειες που προκύπτουν από διαφορετικές κατηγορίες ζημιών

## 2.17 Σύνθεση και ομαδοποίηση συντελεστών κινδύνου

### i. Σύνθεση και ομαδοποίηση συντελεστών κινδύνου στην περίπτωση κτηρίου

Ανάλογα με τον κίνδυνο που προκαλούν σε ένα κτήριο οι συντελεστές κινδύνου συντίθενται ανάλογα:

- Κίνδυνος για την ανθρώπινη ζωή R1

$$R1 = R_A + R_B + R_C^{1)} + R_M^{1)} + R_U + R_V + R_W^{1)} + R_Z^{1)}$$

- 1) Μόνο στην περίπτωση κτηρίων με κίνδυνο έκρηξης και νοσοκομείων ή άλλων κτηρίων όπου καταστροφή των εσωτερικών συστημάτων συνεπάγεται κίνδυνο της ανθρώπινης ζωής

- Κίνδυνος για απώλεια υπηρεσίας στο κοινό R2

$$R2 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z$$

- Κίνδυνος για απώλεια πολιτιστικής κληρονομιάς R3

$$R3 = R_B + R_V$$

- Κίνδυνος για απώλεια οικονομικής αξίας R4

$$R_4 = R_A^{2)} + R_B + R_C + R_M + R_U^{2)} + R_V + R_W + R_Z$$

- 2) Μόνο στην περίπτωση κτηρίων όπου ζώα μπορεί να χαθούν

Ανάλογα με την πηγή που προκαλεί τις ζημιές οι συντελεστές ομαδοποιούνται όπως παρακάτω:

$$R = R_D + R_I$$

όπου  $R_D$  ο κίνδυνος λόγω ρευματοπληξίας στο κτήριο (πηγή S1) :  $R_D = R_A + R_B + R_C$   
και  $R_I$  ο κίνδυνος λόγω όλων των υπόλοιπων πηγών (S2,S3,S4) :  $R_I = R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z$

Ανάλογα με τα είδη των ζημιών έχουμε:

$$R = R_S + R_F + R_O$$

όπου  $R_S$  ο κίνδυνος λόγω τραυματισμών κατά της ανθρώπινης ζωής (D1) ο οποίος και ορίζεται ως το άθροισμα

$$R_S = R_A + R_U$$

$R_F$  ο κίνδυνος λόγω υλικής καταστροφής (D2) που ορίζεται

$$R_F = R_B + R_V$$

$R_O$  ο κίνδυνος λόγω καταστροφής των εσωτερικών συστημάτων (D3) που ορίζεται

$$R_O = R_C + R_M + R_W + R_Z$$

ii. **Σύνθεση και ομαδοποίηση συντελεστών κινδύνου στην περίπτωση υπηρεσίας**

Ανάλογα με την κατηγορία απώλειας διακρίνουμε:

- Κίνδυνος για απώλεια υπηρεσίας στο κοινό  $R'2$

$$R'2 = R'_V + R'_W + R'_Z + R'_B + R'_C$$

- Κίνδυνος για απώλεια οικονομικής αξίας  $R'4$

$$R'_4 = R'_V + R'_W + R'_Z + R'_B + R'_C$$

Ανάλογα με την πηγή που τις προκαλεί οι συντελεστές ομαδοποιούνται όπως παρακάτω

$$R' = R'_D + R'_I$$

Όπου  $R'_D$  ο κίνδυνος λόγω ρευματοπληξίας στην υπηρεσία (πηγή S3) :  $R'_D = R'_V + R'_W$  και  $R'_I$  ο κίνδυνος λόγω όλων των υπολοίπων πηγών (S1 και S4) :  $R'_I = R'_B + R'_C + R'_Z$

Ανάλογα με τα είδη των ζημιών έχουμε :

$$R' = R'_F + R'_O$$

Όπου  $R'_F$  ο κίνδυνος λόγω φυσικής καταστροφής (D2) που ορίζεται

$$R'_F = R'_B + R'_V$$

$R'_O$  ο κίνδυνος λόγω καταστροφής των εσωτερικών συστημάτων (D3) που ορίζεται

$$R'_O = R'_W + R'_Z + R'_C$$

### **3. ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ**

#### **3.1 Εισαγωγή στα Συστήματα Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ),(LPS)**

Το πρότυπο BSEN 62305-1 έχει καθορίσει τέσσερα επίπεδα προστασίας (ΕΑΠ) (LPL) όπως είδαμε και προηγουμένως τα οποία καθορίζονται από τα μέγιστα και ελάχιστα πιθανά ρεύματα που προκύπτουν από κεραυνικά πλήγματα. Αυτά τα επίπεδα προστασίας αντιστοιχούν άμεσα με την στάθμη των συστημάτων αντικεραυνικής προστασίας. Όπως φαίνεται και από τον πίνακα όσο μεγαλύτερο είναι το επίπεδο προστασίας τόσο μεγαλύτερη στάθμη αντικεραυνικής προστασίας απαιτείτε.

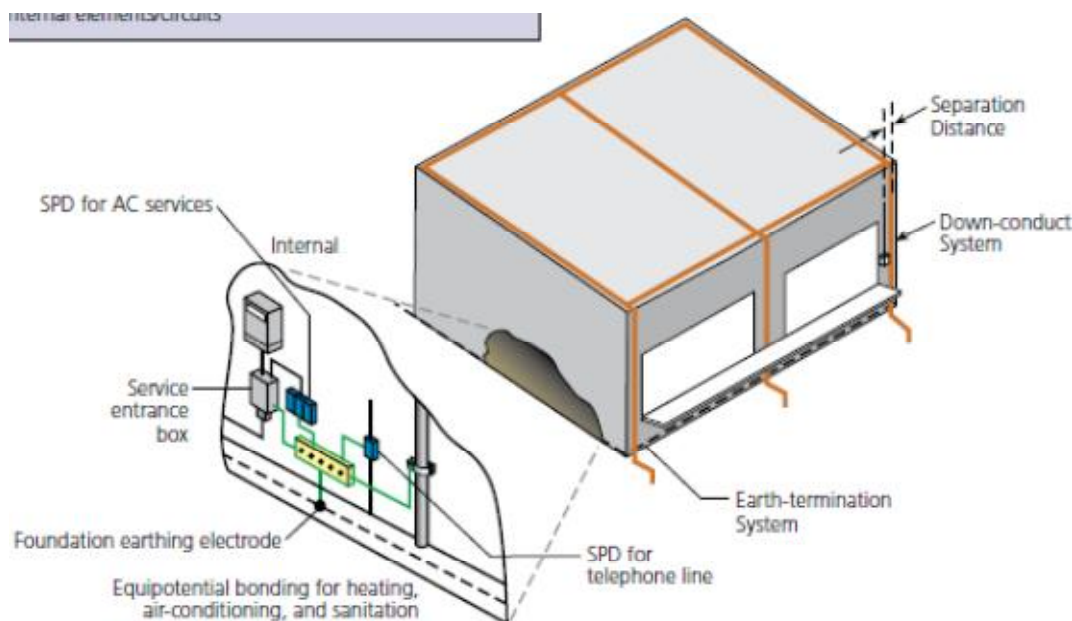
LPL	LPS
I	I
II	II
III	III
IV	IV

Πίνακας 3.1

Γενικά ένα σύστημα αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να είναι σε θέση να:

- Να συλλάβει τον κεραυνό πριν αυτός πλήξει την υπό προστασία συσκευή
- Να διοχετεύσει το ρεύμα του πλήγματος προς τη Γη χωρίς να προκαλέσει θερμικές και μηχανικές ζημιές στην κατασκευή και επικίνδυνες υπερτάσεις για ανθρώπους και υλικό
- Να διαχέει το ρεύμα του κεραυνού στο έδαφος

Γενικά το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας αποτελείται από δυο μέρη. Το εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας συλλαμβάνει διοχετεύει και διαχέει το ρεύμα του κεραυνού στη γη. Το εσωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας αποτρέπει την δημιουργία επικίνδυνων αιχμών ρεύματος και υπερτάσεων που θα μπορούσαν να βλάψουμε ηλεκτρολογικά και ηλεκτρονικά συστήματα (χρησιμοποιώντας ισοδυναμικές συνδέσεις αποστάσεις ασφαλείας και περιοριστές κρουστικών υπερτάσεων)



Εικόνα 3.1: Εξωτερικό και εσωτερικό αντικεραυνικό σύστημα προστασίας

### 3.2 Εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας

Ένα εξωτερικό αντικεραυνικό σύστημα προστασίας αποτελείται από

- Το συλλεκτήριο σύστημα που προορίζεται να δέχεται τους κεραυνούς

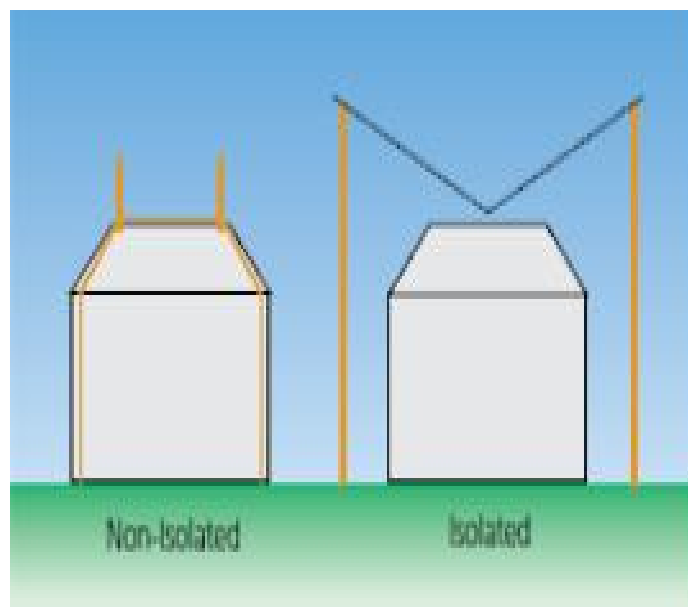
- Το σύστημα αγωγών καθόδου το οποίο εξασφαλίζει την όδευση του ρεύματος του κεραυνού από το συλλεκτήριο σύστημα στη προς τη γη
- Το σύστημα γείωσης που άγει και διαχέει το ρεύμα του κεραυνού στο έδαφος

Ο υπολογισμός και η κατασκευή των εγκαταστάσεων αλεξικέραυνων πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω απαιτήσεις:

- Ø Ηλεκτρική ασφάλεια
- Ø Μηχανική αντοχή
- Ø Προστασία έναντι σκωριάσεως
- Ø Αποφυγή υπερθερμάνσεως των αγωγών
- Ø Προσαρμογή στις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις
- Ø Οικονομία δαπανών εγκαταστάσεως και συντηρήσεως

Ανάλογα με τον τρόπο εγκατάστασης του συλλεκτήριου συστήματος το εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας διακρίνεται σε δυο τύπους:

- Το μονωμένο εξωτερικό ΣΑΠ, όπου το συλλεκτήριο σύστημα και το σύστημα αγωγών καθόδου είναι τοποθετημένα έτσι ώστε η οδός ροής του ρεύματος του κεραυνού να μην έρχεται σε επαφή με την κατασκευή
- Το μη μονωμένο εξωτερικό ΣΑΠ, όπου συλλεκτήριο σύστημα και το σύστημα αγωγών καθόδου είναι τοποθετημένα έτσι ώστε η οδός ροής του ρεύματος να μπορεί να έρχεται σε επαφή με την κατασκευή.



Εικόνα 3.2

### 3.2.1. Συλλεκτήριο σύστημα

Γενικά διακρίνουμε συλλεκτήρια συστήματα αποτελούμενα από:

- Ø Ακίδες
- Ø Τεταμένα σύρματα
- Ø Από κλωβούς συλλογής

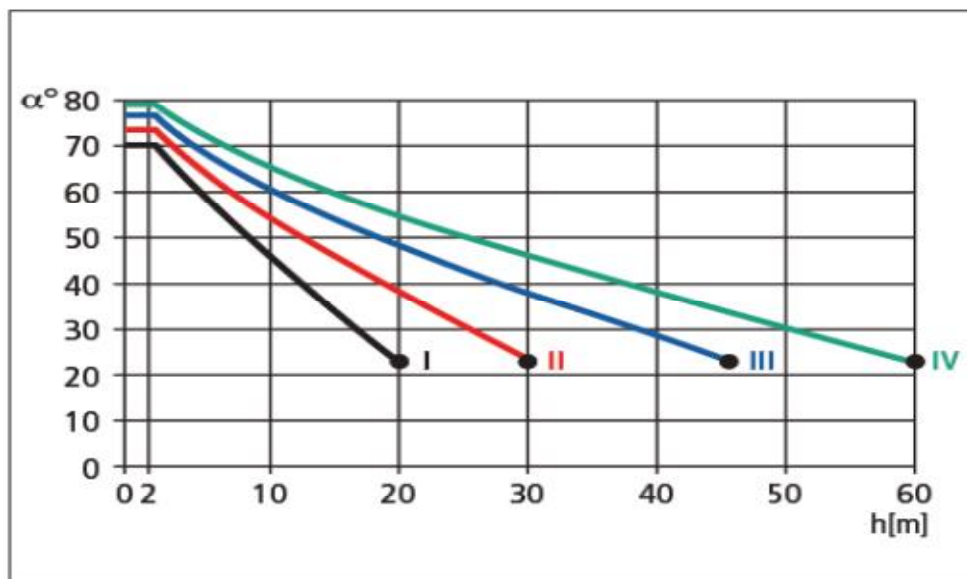
Το συλλεκτήριο σύστημα ενός συστήματος προστασίας από κεραυνούς έχει σκοπό να συλλαμβάνει τα πλήγματα και να διοχετεύει το ρεύμα του κεραυνού με ασφάλεια προς τη γη. Η σχεδίαση του συλλεκτήριου συστήματος εξαρτάται από τη γεωμετρία και το μέγεθος καθώς και από την απαιτούμενη στάθμη προστασίας της κατασκευής που χρίζει προστασίας. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της ζώνης προστασίας που παρέχει το συλλεκτήριο σύστημα είναι:

- α) Η μέθοδος της γωνίας προστασίας
- β) Η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας
- γ) Η μέθοδος των βρόχων

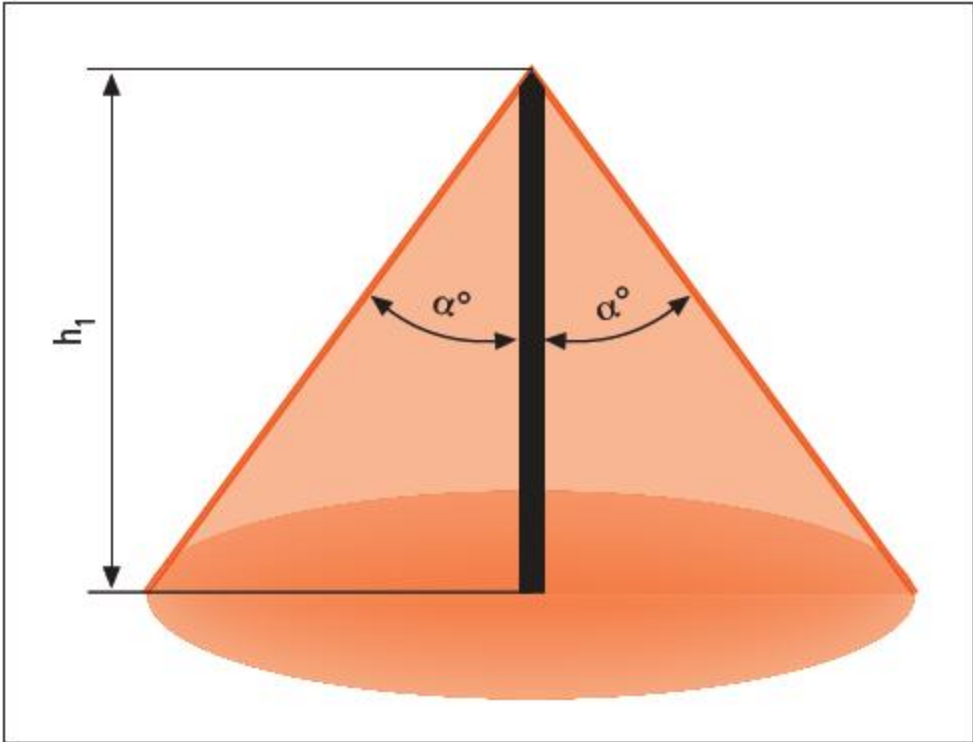
### 3.2.1.α. Η μέθοδος της γωνίας προστασίας

Η μέθοδος της γωνίας προστασίας εφαρμόζεται στις περιπτώσεις όπου η υπό προστασία κατασκευή είναι απλή και είναι μια μαθηματική απλούστευση της κυλιόμενης σφαίρας που θα δούμε αμέσως μετά. Επιπλέον το ύψος της κατασκευής  $h$  δεν πρέπει να ξεπερνάει την ακτίνα της κυλιόμενης σφαίρας.

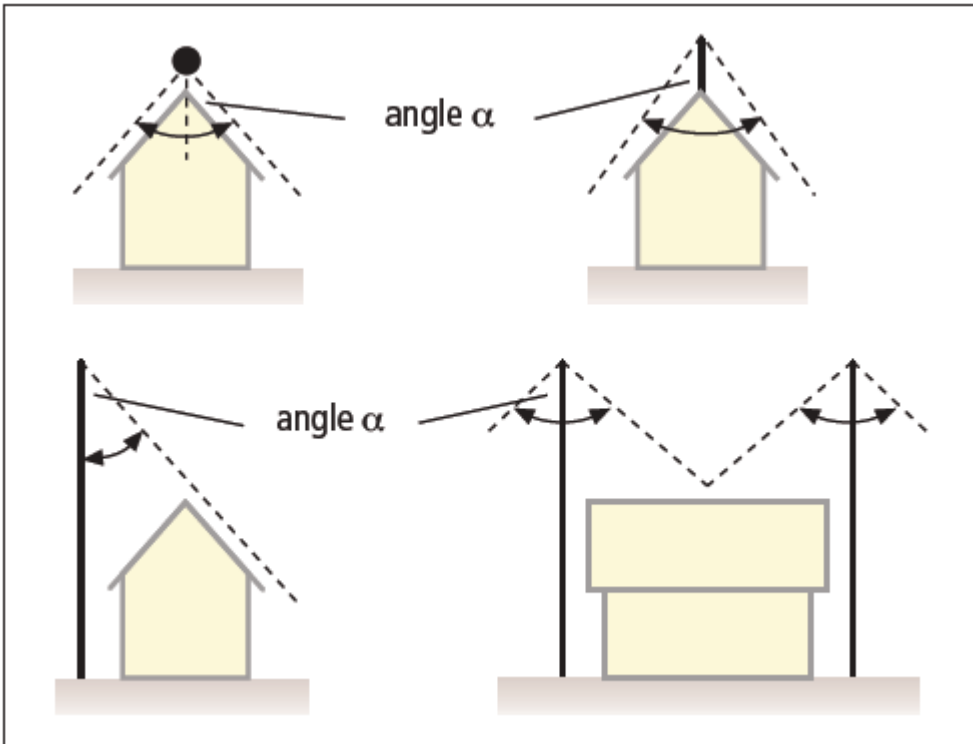
Η τιμή της ημιγώνιας προστασίας εξαρτάτε από την στάθμη του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας και από το ύψος  $h$  πάνω από την κατασκευή που χρίζει προστασίας όπως φαίνεται και στην εικόνα.



Εικόνα 3.3: Ημιγώνια προστασίας σε σχέση με το ύψος h ανάλογα με τη στάθμη προστασίας



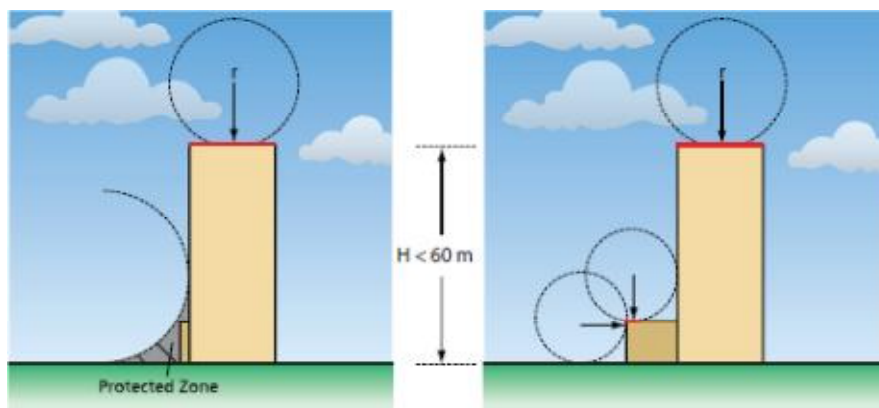
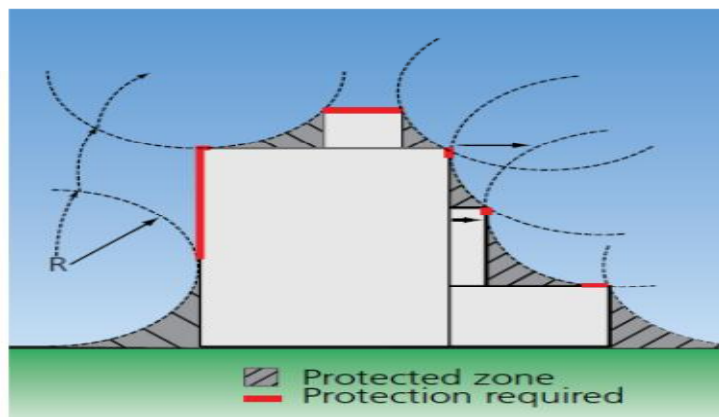
Εικόνα 3.4: Κωνική ζώνη προστασίας



Εικόνα 3.5: Παραδείγματα συλλεκτήριων συστημάτων με γωνία προστασίας

### 3.2.1.β. Μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας

Όταν η κατασκευή είναι πολύπλοκη και η περίπτωση αποκλείει την εφαρμογή της μεθόδου γωνίας προστασίας τότε χρησιμοποιείται η 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 την στάθμη προστασίας που κυλιέται στο έδαφος, γύρω και στην κορυφή της κατασκευής προς όλες της διευθύνσεις. Η σφαίρα πρέπει να εφάπτεται μόνο με το έδαφος ή μόνο με το συλλεκτήριο σύστημα ή και τα δύο. Στα οποιαδήποτε υπόλοιπα σημεία της κατασκευής η κυλιόμενη σφαίρα έρχεται σε επαφή είναι απροστάτευτα και πρέπει να εγκατασταθούν συλλεκτήριοι αγωγοί.



*Εικόνα 3.6: Μέθοδος κυλιόμενης σφαίρας, η κόκκινη γραμμή δείχνει το σημείο όπου απαιτείται προστασία, ενώ η γραμμοσκιασμένη περιοχή την περιοχή που βρίσκεται υπό προστασία.*

Όταν χρησιμοποιούμε αλεξικέραυνα σαν συλλέκτηρια συστήματα για αυτήν προστασία επίπεδων επιφανειών τότε ο ακόλουθος τύπος είναι χρήσιμος:

$$d=2\sqrt{2rh-h^2}$$

Όπου d=απόσταση μεταξύ δυο αλεξικέραυνων



$r$ = ακτίνα της κυλιόμενης σφαίρας

$h$ =ύψος των αλεξικέραυνων

Στο παρακάτω πίνακα φαίνονται διάφορα παραδείγματα αποστάσεων μεταξύ συλλεκτήριων συστημάτων για τη μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας.

ΥΨΟΣ ΑΛΕΞΙΚΕΡΑΥΝΟΥ (m)	Απόσταση μεταξύ συλλεκτήριων συστημάτων (m)			
	LPL I r=20 m	LPL II r=30m	LPL III r=45m	LPL IV r=60m
0.5	8.8	10.9	13.3	15.4
1	12.4	15.3	18.8	21.8
1.5	15.2	18.7	23.0	26.6
2	17.4	21.5	26.5	30.7

*Πίνακας 3.2:*

### 3.2.1.γ. Μέθοδος των βρόχων

Για την προστασία μιας επίπεδης επιφάνειας η μέθοδος των βρόχων είναι ικανή να προστατεύσει ολόκληρη την επιφάνεια εάν οι αγωγοί του πλέγματος είναι:

- Τοποθετημένοι στη περίμετρο της επιφάνειας
- Το μέγεθος του πλέγματος συμβαδίζει με τον ακόλουθο πίνακα

LPL	Μέγεθος βρόχου (πλέγματος)
I	5m x 5m
II	10m x 10m
III	15m x 15 m
IV	20m x 20 m

*Πίνακας 3.3*

- Δεν προεξέχουνε μεταλλικές κατασκευές έξω από τον προστατευόμενο χώρο

- Από κάθε σημείο να υπάρχουνε τουλάχιστον δυο ξεχωριστά μονοπάτια που να οδηγούνε στη γη και είναι δυνατόν αυτά τα μονοπάτια να ακολουθούνε τον πιο σύντομο δρόμο

Η μέθοδος βρόχων συνιστάτε για ταράτσες με πλατιές επιφάνειες και ψηλά κτήρια που χρήζουνε προστασίας από πλευρικά πλήγματα.

### 3.2.1.1. Χρήση Φυσικών στοιχείων

Φυσικά στοιχεία της υπό προστασία κατασκευής μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέρος του ΣΑΠ εφόσον βέβαια τηρούν κάποιες προϋποθέσεις, σύμφωνα με τα παρακάτω:

#### 1. Μεταλλική στέγη

Για την μεταλλική στέγη, πρέπει να εξασφαλίζεται ισχυρή ηλεκτρική συνέχεια μεταξύ των διαφόρων τμημάτων (π.χ. με μπροτζοκόλληση, ηλεκτροσυγκόλληση, αναδίπλωση με συμπίεση, βίδωμα).

Εάν η στέγη είναι μεταλλική (π.χ. λαμαρίνα) και όχι μονωμένη και έχει εκτεταμένα μεταλλικά πλαίσια γυμνά ή απλώς βαμμένα (μια ελαφριά επικάλυψη προστατευτικής βαφής δεν θεωρείται μόνωση), αυτά μπορούν να αντικαταστήσουν την εγκατάσταση αρκεί να έχουν πάχος τουλάχιστον  $t'$  σύμφωνα με τις τιμές του παρακάτω πίνακα .

Κλάση ΣΑΠ	Υλικό	Πάχος $a$ $t$ mm	Πάχος $\beta$ $t'$ mm
I έως IV	Μόλυβδος	-	2,0
	Χάλυβας (ανοξειδωτος, γαλβανισμένος)	4	0,5
	Τιτάνιο	4	0,5
	Χαλκός	5	0,5
	Αλουμίνιο	7	0,65
	Ψευδάργυρος	-	0,7
<sup>a</sup> t αποτρέπει διάτρηση, τοπική τήξη ή ανάφλεξη <sup>\beta</sup> t' μόνο για μεταλλικά φύλλα εάν δεν είναι σημαντικό να αποτραπεί διάτρηση, τοπική τήξη ή ανάφλεξη			

**Πίνακας 3.4 :** Ελάχιστο πάχος των υλικών με τα οποία είναι κατασκευασμένη η μεταλλική στέγη, στην οποία επιθυμούμε ή όχι να αποφύγουμε τοπικές τήξεις και διατρήσεις.

Εάν το περιεχόμενο της υπό προστασία κατασκευής είναι τέτοιο (όπως καύσιμα και πυρομαχικά ) ώστε να είναι ανεπιθύμητη η διάτρηση και τήξη τότε τα υλικά της μεταλλικής στέγης πρέπει να έχουν τις διαστάσεις  $t$  που ορίζονται επίσης στον πιο πάνω πίνακα.

Εάν η μεταλλική σκέπη είναι καλυμμένη με μονωτικά τότε χρειάζεται συλλεκτήρια εγκατάσταση και σύνδεση της σκέπης κάθε 10 m με την συλλεκτήρια εγκατάσταση.

2. Μεταλλικά στοιχεία της κατασκευής της οροφής (στηρίγματα, ενδοσυνδεδεμένος χαλύβδινος οπλισμός κ.τ.λ.) που βρίσκονται κάτω από μη μεταλλική οροφή υπό την προϋπόθεση ότι το υπερκείμενο τμήμα μπορεί να εξαιρεθεί από την κατασκευή που χρήζει προστασίας.
3. 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.
4. Μεταλλικοί σωλήνες και δεξαμενές , υπό την προϋπόθεση ότι είναι κατασκευασμένα από υλικά που τηρούν τις προδιαγραφές του παραπάνω πίνακα και ότι δεν θα προκληθεί κίνδυνος ή οποιαδήποτε ανεπιθύμητη κατάσταση αν διατρηθούν.
5. Μεταλλικοί σωλήνες και δεξαμενές γενικώς, υπό την προϋπόθεση ότι είναι κατασκευασμένα από υλικά πάχους τουλάχιστον ίσου με την τιμή που δίνεται στον παραπάνω πίνακα και ότι η άνοδος της θερμοκρασίας στην εσωτερική επιφάνεια στο σημείο του πλήγματος δεν συνεπάγεται κίνδυνο.

Εάν οι όροι για το πάχος δεν τηρούνται ,οι σωλήνες και οι δεξαμενές θα ενσωματωθούν στη δομή που προστατεύεται.

### 3.2.2. Σύστημα αγωγών καθόδου

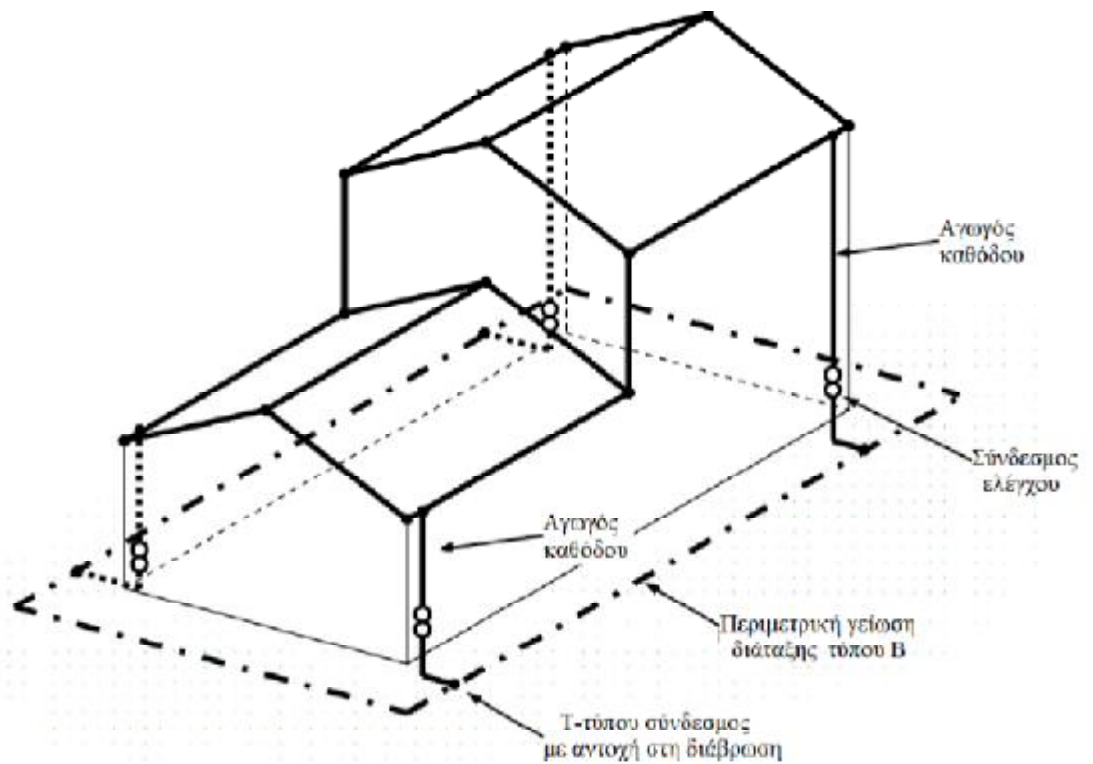
Οι αγωγοί καθόδου αποτελούν την απευθείας συνέχεια των στοιχείων του συλλεκτήριου συστήματος. Ένα σύστημα αγωγών καθόδου πρέπει να παρέχει πολλαπλά παράλληλα μονοπάτια διοχέτευσης της ενέργειας προς τη γη. Το γεγονός αυτό μειώνει την πυκνότητα του ρεύματος άρα και τον κίνδυνο εμφάνισης δευτερογενών υπερπηδήσεων και τις ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις στο εσωτερικό της κατασκευής.

Γενικά το σύστημα αγωγών καθόδου πρέπει :

- Να παρέχει πολλαπλά μονοπάτια προς τη γη
- Να είναι όσο το δυνατό σύντομο και πρακτικό
- Να είναι άμεση συνέχεια του συλλεκτήριου συστήματος
- Να έχει ειδική εξωτερική προστασία ώστε να μειωθεί η έκθεση του σε ζημιές από ατυχήματα ή από βανδαλισμό
- Γενικά πρέπει να στερεώνονται καλά ώστε οι μηχανικές επιδράσεις του ρεύματος του κεραυνού να μη προκαλούν θραύση ή χαλάρωση των αγωγών
- Να γίνονται ισοδυναμικές συνδέσεις και να τηρούνται αποστάσεις ανάλογα με την στάθμη του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας (LPS)

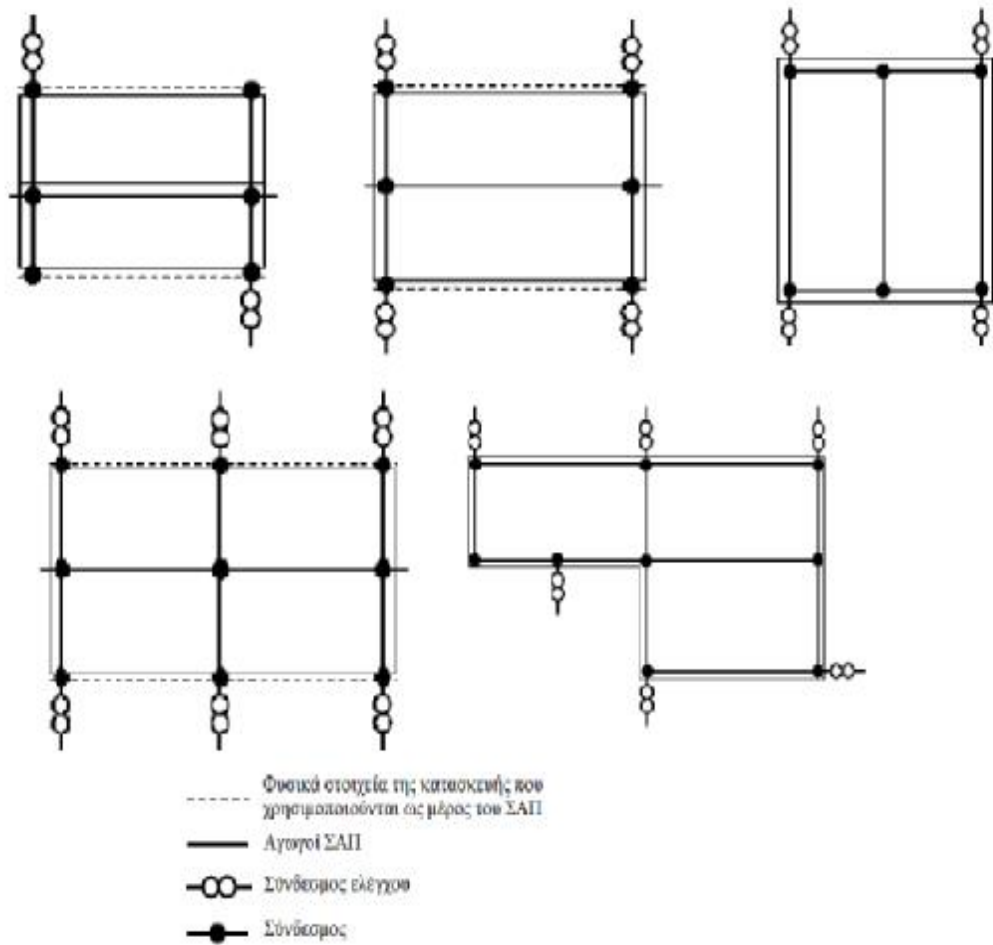
Class of LPS	Typical distance
I	10 m
II	10 m
III	15 m
IV	20 m

**Πίνακας 3.5:** Αποστάσεις μεταξύ αγωγών καθόδου ανάλογα με την στάθμη του ΣΑΠ



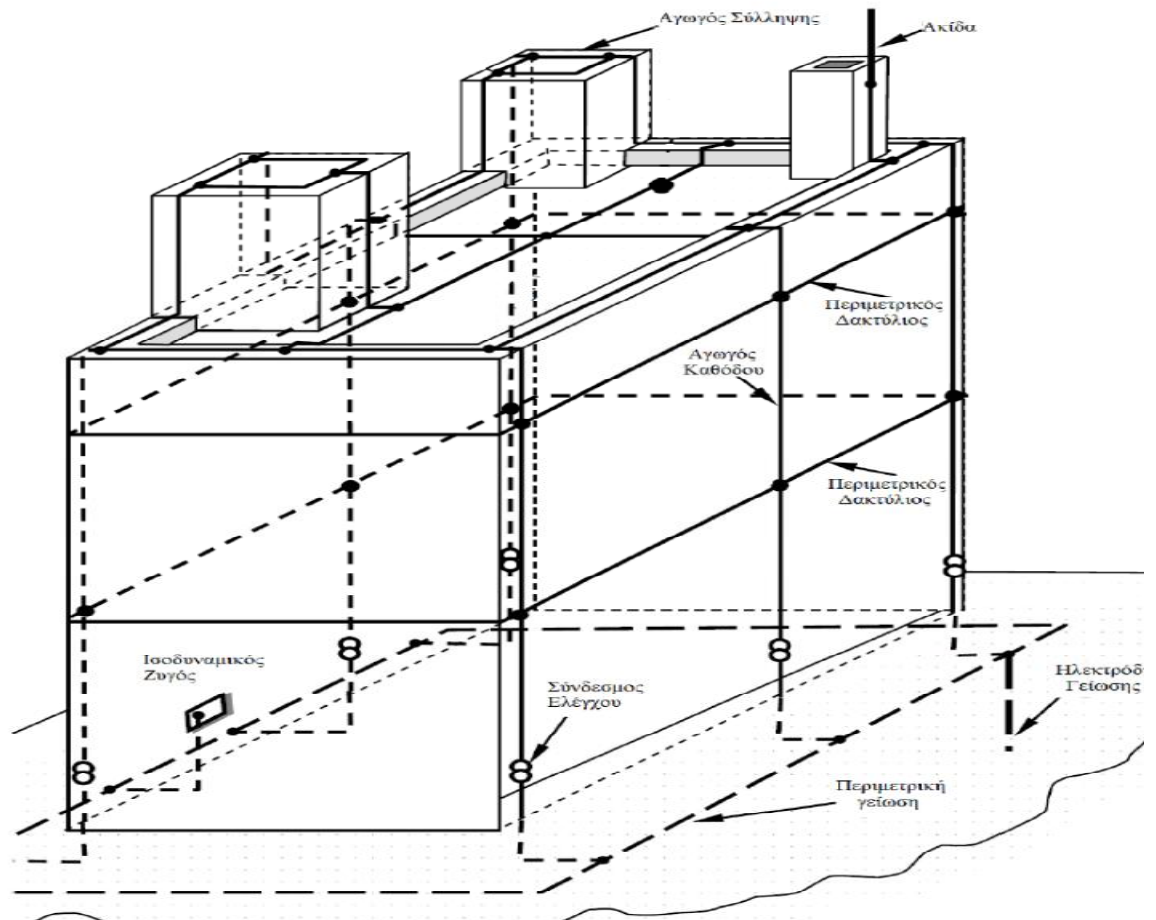
**Εικόνα 3.7:** Παράδειγμα σχεδίασης ΣΑΠ (LPS) σε κτίριο με διαφορετικά επίπεδα οροφής. Οι αγωγοί καθόδου στερεώνονται εξωτερικά πάνω στους τοίχους σε αποστάσεις που καθορίζονται από τον πίνακα 3.5 ενώ όσο το δυνατόν είναι συνεχείς.

Οι αποστάσεις του πίνακα 3.5 πρέπει να διατηρούνται όσο το δυνατό γίνεται σταθερές, σε περίπτωση που αυτό δεν είναι δυνατόν μια μεταβολή στην τοποθέτηση  $\pm 20\%$  είναι ανεκτή εφόσον ο μέσος όρος είναι αυτός του πίνακα.



**Εικόνα 3.8:** Παραδείγματα διάταξης αγωγών καθόδου με χρήση και φυσικών στοιχείων ως μέρος του ΣΑΠ. Με τοποθέτηση κυρίως σε γωνίες και σε ίσες αποστάσεις (όσο το δυνατόν)

Η όδευση του κεραυνικού ρεύματος βελτιώνεται τόσο αυξάνοντας τον αριθμό των αγωγών καθόδου όσο και με την ισοδυναμική διασύνδεση των αγωγών καθόδου. Η διασύνδεση με δακτύλιους αγωγούς θα πρέπει να γίνεται για υψηλά κτίρια και σε αποστάσεις σύμφωνα με τον πίνακα 3.5 .



**Εικόνα 3.9:** Περιμετρικοί δακτύλιοι διασύνδεσης των αγωγών καθόδου σε υψηλό κτίριο με εξωτερικό ΣΑΠ κλωβού που συμπληρώνεται με ακίδες όπου απαιτείται. Διακρίνεται ακόμα το σύστημα γείωσης διάταξης τύπου Β (περιμετρικός δακτύλιος) και Α (ηλεκτρόδιο γείωσης) και ο ισοδυναμικός ζυγός, μέρος του εσωτερικού ΣΑΠ

Η χωροθέτηση των αγωγών καθόδου σε ένα μη απομονωμένο ΣΑΠ γίνεται ανάλογα με τον τρόπο που είναι εγκατεστημένο στο συλλεκτήριο σύστημα, ως εξής:

∅ Το συλλεκτήριο Σύστημα αποτελείται από ράβδους

Αν το συλλεκτήριο σύστημα αποτελείται από μια ράβδο απαιτείται τουλάχιστον ένας αγωγός καθόδου. Αν το συλλεκτήριο σύστημα αποτελείται από ανεξάρτητες ράβδους απαιτείται τουλάχιστον ένας αγωγός καθόδου για κάθε ράβδο.

∅ Το συλλεκτήριο σύστημα αποτελείται από τεταμένα σύρματα

Απαιτείται τουλάχιστον ένας αγωγός καθόδου για κάθε άκρο συρμάτων.

∅ Το συλλεκτήριο σύστημα αποτελείται από πλέγμα αγωγών

Απαιτούνται τουλάχιστον δύο αγωγοί καθόδου κατανεμημένοι στην περίμετρο της συσκευής που χρήζει προστασίας. Η χρησιμοποίηση τουλάχιστον δυο αγωγών καθόδου επιβάλλεται γιατί υπάρχει πάντοτε η πιθανότητα ένας εκ των δύο αγωγών καθόδου να καταστραφεί, οπότε θα υπάρχει ο δεύτερος μέσω του οποίου θα γίνει η εκφόρτιση.

### 3.2.2.1. Χρήση φυσικών στοιχείων

Η χρήση φυσικών στοιχείων της κατασκευής ως αγωγών καθόδου, για μεγιστοποίηση του αριθμού των παράλληλων αγωγίμων διαδρομών, συνιστάται, αφού όχι μόνο περιορίζει την πτώση τάσης στο σύστημα των αγωγών καθόδου, αλλά μειώνει και τις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές στο χώρο της υπο προστασίας κατασκευής. Ως φυσικοί αγωγοί καθόδου μπορούν να θεωρηθούν τα ακόλουθα τμήματα των κατασκευών:

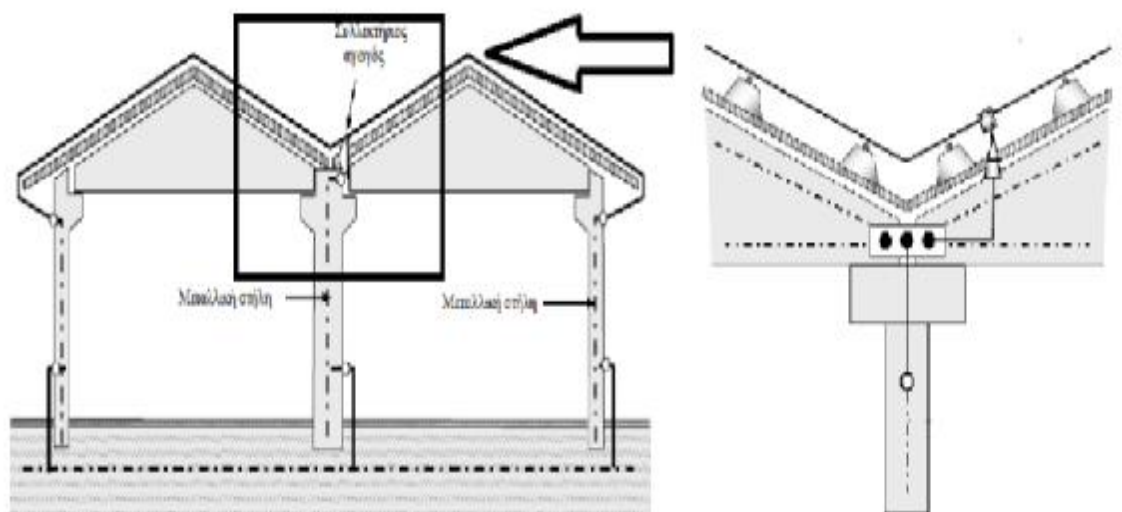
a) Μεταλλικές εγκαταστάσεις με την προϋπόθεση ότι:

Η ηλεκτρική συνέχεια μεταξύ των διαφόρων τμημάτων τους είναι αξιόπιστη (Όταν δηλαδή ο αριθμός των συνδέσεων κατά μήκος των αγωγών είναι ο ελάχιστος δυνατός και οι συνδέσεις εξασφαλίζονται με μπρουτζοκόλληση, ηλεκτροσυγκόλληση, συμπίεση ή βίδωμα).

Οι διαστάσεις τους είναι τουλάχιστον ίσες με αυτές που καθορίζονται για τους τυποποιημένους αγωγούς καθόδου.

Οι μεταλλικές εγκαταστάσεις μπορούν να επικαλύπτονται με μονωτικό υλικό. Εάν οι σωληνώσεις μεταφέρουν κάποιο εύφλεκτο υλικό, τότε δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φυσικοί αγωγοί καθόδου.

b) Ο μεταλλικός σκελετός της κατασκευής



*Εικόνα 3.10: Διασύνδεση του μεταλλικού σκελετού βιομηχανικής κατασκευής με το εξωτερικό ΣΑΠ και χρήση ως αγωγός καθόδου*

Για να θεωρηθούν αυτοί οι αγωγοί σαν φυσικοί αγωγοί καθόδου θα πρέπει οπωσδήποτε ο οπλισμός των στηλών να συνδεθεί, τόσο με το συλλεκτήριο σύστημα όσο και με το σύστημα γείωσης (εικόνα 3.11). Αποφεύγεται με τον τρόπο αυτό και η δημιουργία επικίνδυνου σπινθήρα μεταξύ διαφορετικών αγωγίμων μερών της κατασκευής αφού, ένα μέρος του κεραυνικού ρεύματος θα διατρέξει και τους εσωτερικούς αυτούς αγωγούς καθόδου.



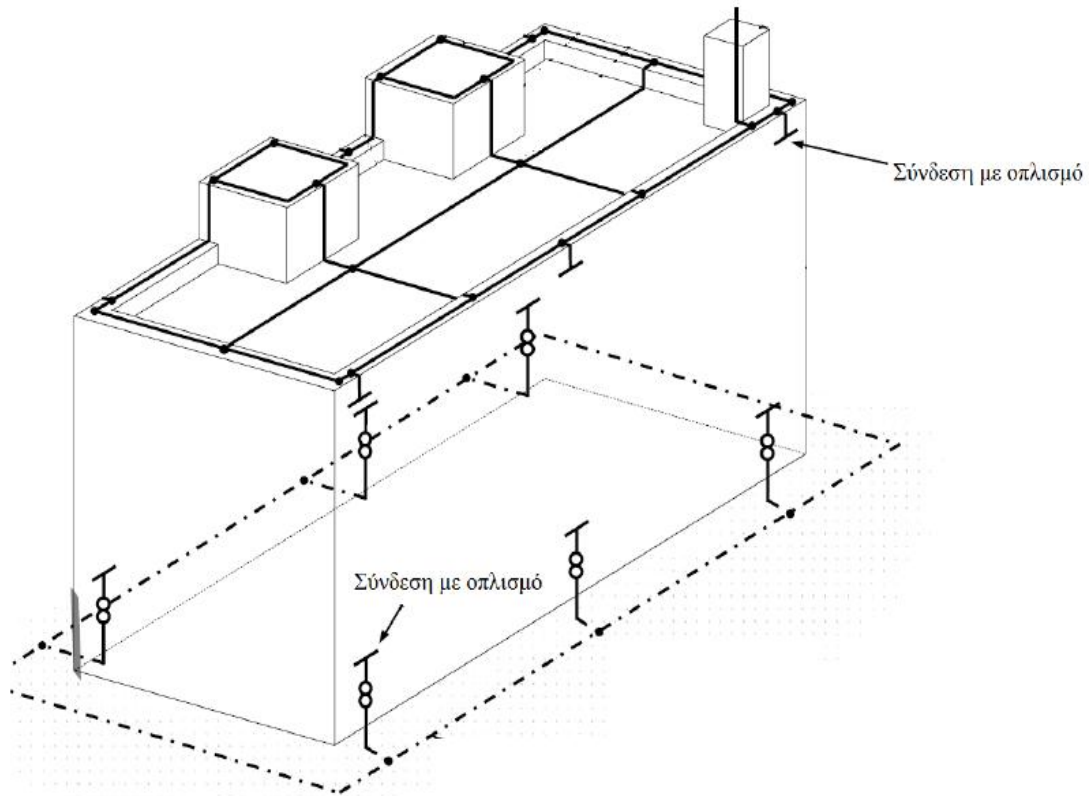
*Εικόνα 3.11: Σύνδεση μεταλλικής στήλης της κατασκευής με το σύστημα γείωσης*

γ) Ο ενδοσυνδεδεμένος χαλύβδινος οπλισμός της κατασκευής

Ο χαλύβδινος οπλισμός κατασκευών σκυροδέματος θεωρείται ότι αποτελεί αγωγή σύνδεση και επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν αγωγός καθόδου όταν πληρεί τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Να έχει επιτευχθεί ηλεκτρική συνέχεια του χαλύβδινου οπλισμού μεταξύ των επιμέρους τμημάτων ενός προκατασκευασμένου στοιχείου από οπλισμένο σκυρόδεμα, όπως επίσης και μεταξύ του συνόλου των προκατασκευασμένων στοιχείων.
- Να συνδέει το συλλεκτήριο σύστημα με το σύστημα γείωσης. Αν δεν εξασφαλίζεται η ηλεκτρική συνέχεια μεταξύ των αγωγών, όπως καθορίζεται παραπάνω, επιπλέον αγωγοί θα πρέπει να εγκατασταθούν. Η εγκατάσταση του ενδοσυνδεδεμένου χαλύβδινου οπλισμού της κατασκευής, σαν μέρος του ΣΑΠ και συγκεκριμένα σαν αγωγός καθόδου, γίνεται όπως φαίνεται στο σχήμα 3.12.





**Εικόνα 3.12:** Διασύνδεση του οπλισμού του μπετόν με το ΣΑΠ.

d) Στοιχεία των όψεων, προεξέχοντα κιγκλιδώματα και επιμέρους κατασκευές των μεταλλικών όψεων με την προϋπόθεση ότι:

- Οι διαστάσεις τους είναι σύμφωνα με τις απαιτήσεις για τους αγωγούς καθόδου και ότι το πάχος τους δεν είναι μεγαλύτερο από 0.5 mm - η ηλεκτρική συνέχεια στη κατακόρυφη διεύθυνση είναι αξιόπιστη. (Όταν δηλαδή ο αριθμός των συνδέσεων κατά μήκος των αγωγών είναι ο ελάχιστος δυνατός και οι συνδέσεις εξασφαλίζονται με μπρουτζοκόλληση, ηλεκτροσυγκόλληση, συμπίεση ή βίδωμα.).
- Η απόσταση μεταξύ των μεταλλικών μερών δεν ξεπερνά το 1 mm και η επιφάνεια επικάλυψης μεταξύ δύο στοιχείων είναι τουλάχιστον 100 cm<sup>2</sup>.

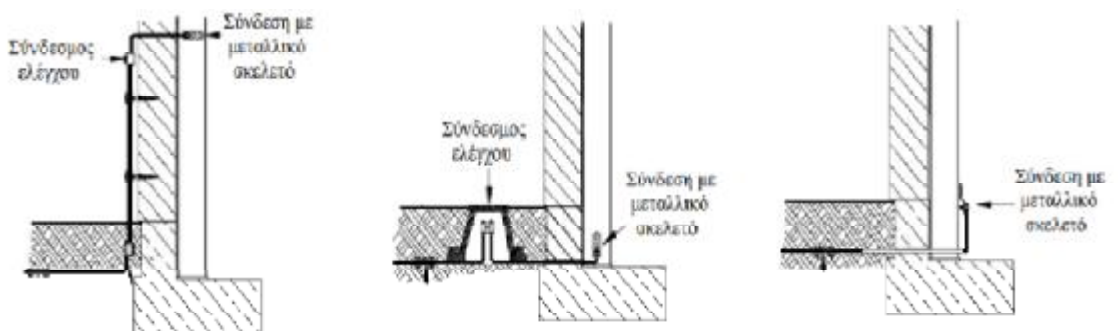
### 3.2.2.2. Σύνδεσμος Ελέγχου

Στο σημείο σύνδεσης με το σύστημα γείωσης πρέπει να τοποθετείται σε κάθε αγωγό καθόδου ένας σύνδεσμος ελέγχου. Οι σύνδεσμοι ελέγχου διευκολύνουν τις μετρήσεις της αντίστασης γης στο σύστημα γείωσης, καθώς επίσης και το ότι ένας επαρκής αριθμός συνδέσεων με το σύστημα γείωσης υπάρχει ακόμα. (Σχήμα 3.13)



*Εικόνα 3.13: Τύπικος σύνδεσμος ελέγχου.*

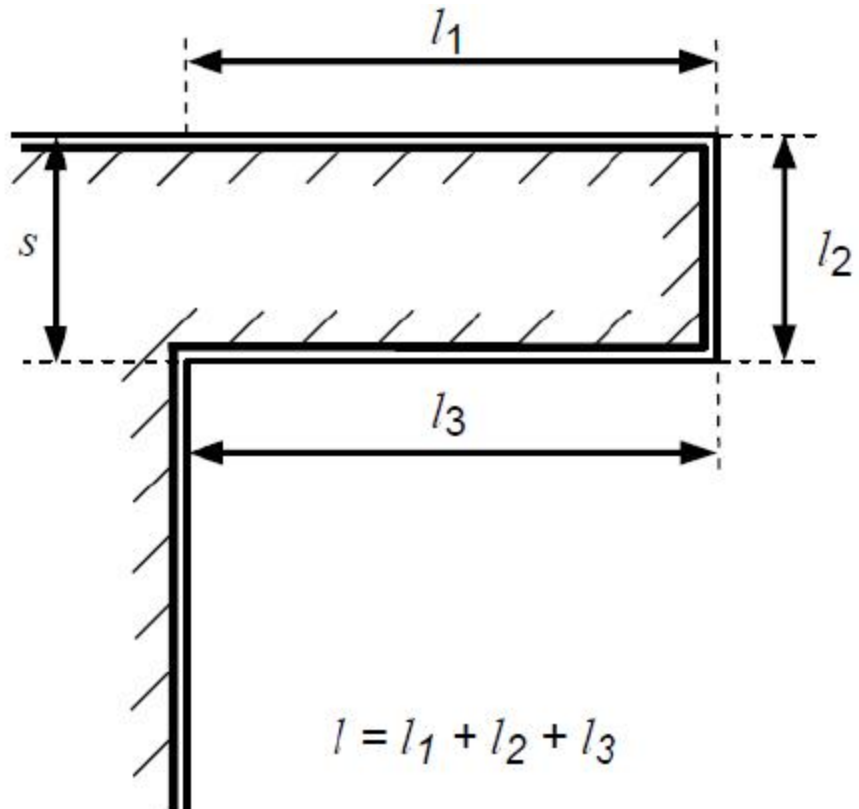
Ο σύνδεσμος πρέπει να ανοίγει με τη βοήθεια ενός εργαλείου, για να υπάρχει δυνατότητα να γίνουν μετρήσεις, αλλά κανονικά πρέπει να είναι κλειστός. Στο πιο κάτω σχήμα φαίνονται περιπτώσεις συνδέσμων ελέγχου, οι οποίοι μπορούν να εγκατασταθούν είτε στο εσωτερικό είτε στο εξωτερικό της κατασκευής, είτε σε κουτί ελέγχου στην γη έξω από την κατασκευή. (Σχήμα 3.14)



*Εικόνα 3.14: Εγκατάσταση συνδέσμου ελέγχου.*

### 3.2.2.3. Κατασκευαστικές οδηγίες

- Ø Οι αγωγοί καθόδου πρέπει να τοποθετούνται ευθείς και κατακόρυφοι ώστε να εξασφαλίζεται η συντομότερη και άμεση όδευση προς τη γη και η τοποθέτησή τους πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να αποτελούν όσον το δυνατόν την απευθείας συνέχεια των συλλεκτήριων αγωγών.
- Ø Πρέπει να αποφεύγεται ο σχηματισμός βρόχων. Όπου αυτό είναι δυνατόν, η απόσταση  $d$  του διακένου που σχηματίζεται μεταξύ δυο σημείων του αγωγού και το μήκος  $l$  του αγωγού μεταξύ αυτών των σημείων πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της απόστασης ασφαλείας. (σχήμα 3.15)



**Εικόνα 3.15:** Δημιουργία βρόχου κατά την εγκατάσταση του εξωτερικού ΣΑΠ. Η απόσταση  $d=l_2$  θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την απόσταση ασφαλείας  $s$ .

∅ Οι αγωγοί καθόδου ενός μη μονωμένου ΣΑΠ από την κατασκευή που χρίζει προστασίας μπορούν να εγκαθίστανται ως ακολούθως:

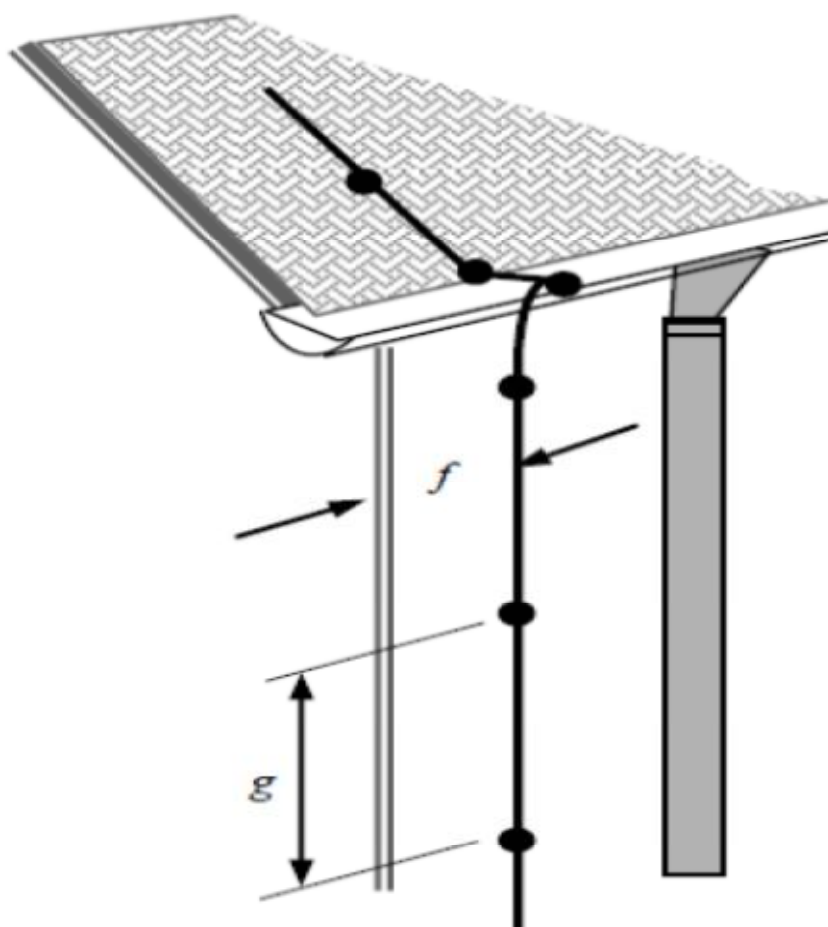
- αν ο τοίχος είναι από μη εύφλεκτο υλικό οι αγωγοί καθόδου μπορούν να εγκαθίστανται στην επιφάνεια ή μέσα στο τοίχο.

- αν ο τοίχος είναι από εύφλεκτο υλικό οι αγωγοί καθόδου μπορούν να εγκαθίστανται στην επιφάνεια των τοίχων με την προϋπόθεση ότι η άνοδος της θερμοκρασίας τους λόγω ροής του ρεύματος του κεραυνού, δεν είναι επικίνδυνη για το υλικό του τοίχου.

- αν ο τοίχος είναι από εύφλεκτο υλικό και η άνοδος της θερμοκρασίας των αγωγών καθόδου είναι επικίνδυνη, τότε οι αγωγοί καθόδου πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε η απόσταση μεταξύ αυτών και του τοίχου να είναι πάντα μεγαλύτερη από 0.1 m.

Όταν η απόσταση του αγωγού καθόδου από ένα εύφλεκτο υλικό, δεν μπορεί να επιβεβαιωθεί, τότε η διατομή του αγωγού δεν μπορεί να είναι μικρότερη από **100 mm<sup>2</sup>**.

∅ Ο αριθμός των συνδέσεων κατά μήκος των αγωγών πρέπει να είναι ο ελάχιστος δυνατός και να εξασφαλίζονται με μπρουτζοκόλληση, ηλεκτροσυγκόλληση, συμπίεση ή βίδωμα.



**Εικόνα 3.16:** Εγκατάσταση αγωγού καθόδου. Τοποθετείται κατά το δυνατόν στην απροστάτευτη ακμή και στερεώνεται ανάλογα με τα καθοριζόμενα του πίνακα 3.6

Διάταξη	Σημεία στερέωσης για αγωγούς ταινίας και πολύκλωνους mm	Σημεία στερέωσης για κυκλικούς συμπαγείς αγωγούς mm
Οριζόντιοι αγωγοί σε οριζόντιες επιφάνειες	500	1000
Οριζόντιοι αγωγοί σε κάθετες επιφάνειες	500	1000
Κάθετοι αγωγοί από το έδαφος έως και 20 m	1000	1000
Κάθετοι αγωγοί από ύψος 20m και πάνω	500	1000

**Πίνακας 3.6:** Αποστάσεις στερέωσης επί τοιχομάτων.

### 3.2.3 Σύστημα γείωσης

Το σύστημα γείωσης είναι η συνέχεια του συλλεκτήριου συστήματος και του συστήματος αγωγών καθόδου ώστε να διαχέεται το ρεύμα του κεραυνού στο έδαφος μέσω των ηλεκτροδίων γείωσης. Επίσης πρέπει να περιορίζει την ανάπτυξη επικίνδυνων υπερτάσεων και να συνδέει ισοδυναμικά τους αγωγούς καθόδου όπου είναι αυτό εφικτό.

Γενικά όλη η αξιοπιστία του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας εξαρτάτε από την αποδοτικότητα του συστήματος γείωσης. Πρέπει να ληφθούν υπόψη :

- Το σύστημα γείωσης να παρέχει ένα χαμηλής αντίστασης δίκτυο ώστε να είναι σε θέση να διασκορπίζει το ρεύμα του κεραυνού
- Να ελαχιστοποιεί την πιθανότητα εμφάνισης τάσης επαφής και βηματικής τάσης
- Μακροπρόθεσμη αξιοπιστία του συστήματος (ποιότητα υλικών και συνδέσεων)

Η βασική προϋπόθεση που πρέπει να τηρεί ένα σύστημα γείωσης για αντικεραυνική προστασία είναι η αντίσταση του να είναι μικρότερη των 10 Ohm.

#### 3.2.3.1. Γενικές διατάξεις γειώσεων

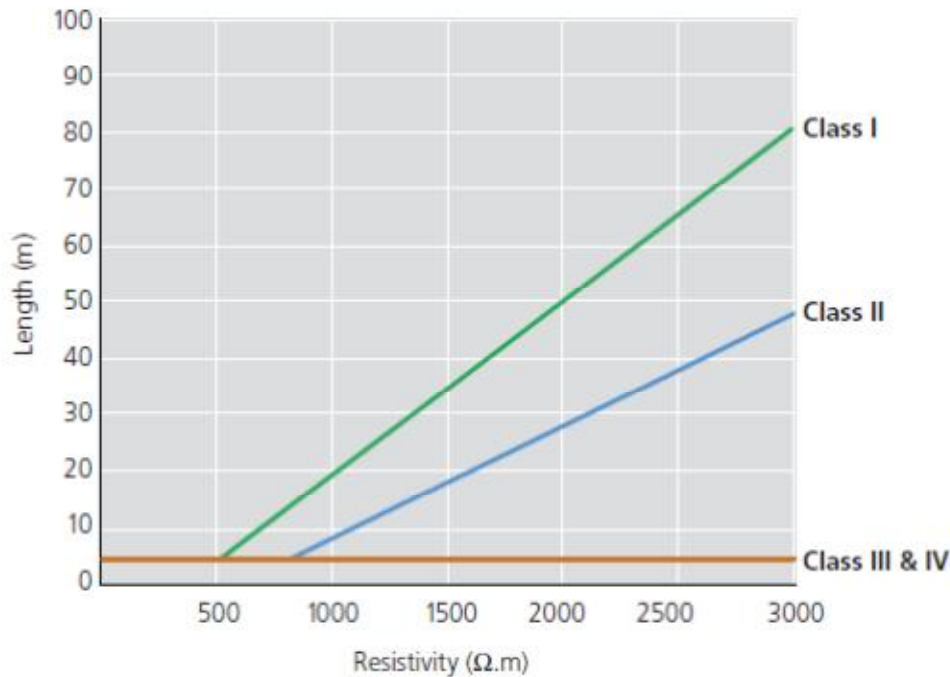
Γενικά δυο είναι οι βασικοί τύποι διατάξεων ηλεκτροδίων γείωσης:

##### 3.2.3.1.a. Διάταξη τύπου A

Η διάταξη αυτού του τύπου περιλαμβάνει οριζόντια ή κατακόρυφα ηλεκτρόδια γείωσης συνδεδεμένα σε κάθε αγωγό καθόδου. Όπου υπάρχει περιμετρικός δακτύλιος που συνδέει τους αγωγούς καθόδου και έρχεται σε επαφή με το έδαφος σε μήκος λιγότερο από το 80% του συνολικού μήκους, η διάταξη της γείωσης αυτής ταξινομείται ως τύπου A. Στη διάταξη τύπου A ο ελάχιστος αριθμός ηλεκτροδίων γείωσης πρέπει να είναι δυο. Το ελάχιστο μήκος κάθε ηλεκτροδίου είναι:

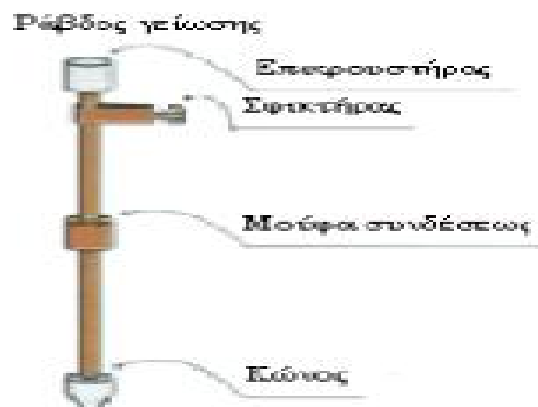
- $L_1$  για ακτινικά οριζόντια καλώδια
- $0.5L_1$  για κατακόρυφα ή κεκλιμένα καλώδια

Όπου  $L_1$  είναι το ελάχιστο μήκος ακτινικού καλωδίου όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. Τα ελάχιστα μήκη μπορούνε να ληφθούν υπόψη με την προϋπόθεση ότι θα ληφθεί αντίσταση γείωσης μικρότερη των 10Ω.



*Εικόνα 3.17: Ελάχιστο μήκος( $L_1$ ) ηλεκτροδίων γείωσης ανάλογα με στάθμη προστασίας*

Είναι σημαντικό να μετριέται η αντίσταση του εδάφους κατά την διάρκεια της εγκατάστασης του συστήματος γείωσης και να εξασφαλισθεί μια μόνιμη αγώγιμη σύνδεση κατά μήκος ολόκληρου του ηλεκτροδίου. Εάν υπάρχει πιθανότητα μίας μελλοντικής αύξησης της αντίστασης κοντά στην επιφάνεια ( για παράδειγμα λόγω ξηρασίας του εδάφους) τότε θα πρέπει τα ηλεκτρόδια να βυθιστούν ακόμη περισσότερο στο έδαφος ή να επιλεγεί μεγαλύτερο μήκος για αυτά.



*Εικόνα 3.18: Ηλεκτρόδιο γείωσης και τα κύρια μέρη του.*

### 3.2.3.1.β. Διάταξη τύπου Β

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

γείωση ή θεμελιακή γείωση, η μέση ακτίνα  $r$  της περιοχής που περικλείεται από την περιμετρική γείωση ή από τη θεμελιακή γείωση δεν πρέπει να είναι μικρότερη από  $r \leq L1$ .

Σε περίπτωση που το μήκος αυτό υπολείπεται θα πρέπει να συμπληρώνεται ανάλογα με ανεξάρτητα ηλεκτρόδια μηκών  $L_v$  για κάθετα και  $L_r$  για οριζόντια όπως παρακάτω :

$$L_v = (L1-r)/2 \quad \text{και} \quad L_r = L1-r$$

Τα επιπλέον ηλεκτρόδια δεν πρέπει να είναι λιγότερα από δύο και θα πρέπει να αποτελούν προέκταση των αγωγών καθόδου, τοποθετημένα σε ίσες αποστάσεις εάν είναι δυνατό.

Η διάταξη τύπου Β προτιμάται σε κατασκευές όπου η μορφολογία της περιοχής αποτελείται κυρίως από συμπαγείς απογυμνωμένους βράχους ,σε κατασκευές όπου το συλλεκτήριο σύστημα αποτελείται από κλωβούς και σε κτήρια όπου υπάρχει μεγάλος αριθμός αγωγών καθόδου. Η γείωση τύπου Β προτιμάται επίσης σε κατασκευές από μονωτικό υλικό, όπως ξύλο ή τούβλο, χωρίς ο σκελετός της κατασκευής να έχει κάποια χαλύβδινη ενίσχυση. Επίσης για κατασκευές με εκτενή ηλεκτρονικά συστήματα ή με υψηλό κίνδυνο πυρκαγιάς.

Η γείωση τύπου Β δίνει επίσης την δυνατότητα ισοδυναμικής σύνδεσης των αγωγών καθόδου στο επίπεδο της γης, δεδομένου ότι οι διάφοροι αγωγοί καθόδου παρουσιάζουν διαφορετικά δυναμικά, λόγω της άνισης κατανομής του κεραυνικού ρεύματος που οφείλεται στην ανομοιομορφία της ειδικής αγωγιμότητας του εδάφους. Τα διαφορετικά δυναμικά , συντελούν στην ροή ισοδύναμων ρευμάτων διαμέσου του περιμετρικού ηλεκτροδίου γείωσης, έτσι ώστε η μέγιστη μεταβολή δυναμικού να περιορίζεται και όλα τα συστήματα εξίσωσης δυναμικού που είναι συνδεδεμένα με το ηλεκτρόδιο στα πλαίσια της υπό προστασία κατασκευής, να αποκτούν τελικώς το ίδιο δυναμικό.

Για βραχώδη εδάφη συνίσταται αποκλειστικά η χρήση γείωσης τύπου Β ,λόγω του ότι τα εδάφη αυτά παρουσιάζουν υψηλότερη αντίσταση. Εάν λόγω της μορφολογίας του εδάφους το ηλεκτρόδιο τύπου Β δεν μπορεί να τοποθετηθεί μέσα στο χώμα , τότε θα τοποθετείται στην επιφάνεια του εδάφους , με την προϋπόθεση ότι θα προστατεύεται από τυχόν μηχανικές ζημιές. Από τυχόν μηχανικές ζημιές , θα πρέπει να προστατεύονται και ακτινικά ηλεκτρόδια γείωσης , τα οποία βρίσκονται πάνω ή κοντά στην επιφάνεια του εδάφους , με την τοποθέτηση τους σε σκυρόδεμα ή καλύπτοντάς τα με πέτρες.

- Το περιμετρικό ηλεκτρόδιο τοποθετείται σε ήδη κατασκευασμένα κτίρια , καθώς σε υπό κατασκευή κτίρια προτιμάται το αποτελεσματικότερο θεμελιακό.
- Το περιμετρικό ηλεκτρόδιο γείωσης πρέπει να τοποθετείται κατά προτίμηση μέσα στο έδαφος σε βάθος τουλάχιστον 0,5 m και σε απόσταση τουλάχιστον 1 m από τους τοίχους.

Η χρήση της θεμελιακής γείωσης είναι υποχρεωτική , πλην όμως μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε νεοαναγειρόμενα κτήρια. Τοποθετείται στο κάτω μέρος των θεμελίων ενός κτηρίου ,είναι ενσωματωμένο στο σκυρόδεμα της κατασκευής και περιλαμβάνει τους αγωγούς, οι οποίοι εγκαθίστανται κάτω από το έδαφος της





Οι ίδιοι τύποι που αφορούν την ελάχιστη ακτίνα γείωσης τύπου Β και τα επιπρόσθετα ηλεκτρόδια ισχύουν και για το ηλεκτρόδιο θεμελιακής γείωσης.

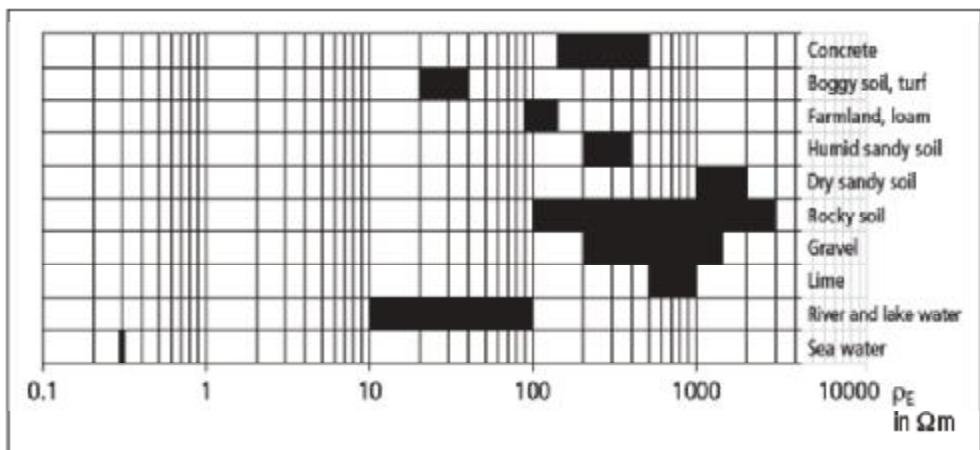
### **3.2.3.2. Σύγκριση διάταξης τύπου Α και τύπου Β**

Γενικά η απόφαση για το αν θα επιλέξουμε οριζόντια ακτινικά ηλεκτρόδια ή κατακόρυφα ηλεκτρόδια εξαρτάτε από τον διαθέσιμο χώρο, τον τύπο του εδάφους και το κόστος των μηχανημάτων σκαψίματος και όδευσης. Ωστόσο μπορούν να γίνουν κάποιες γενικές συγκρίσεις μεταξύ των δυο διατάξεων

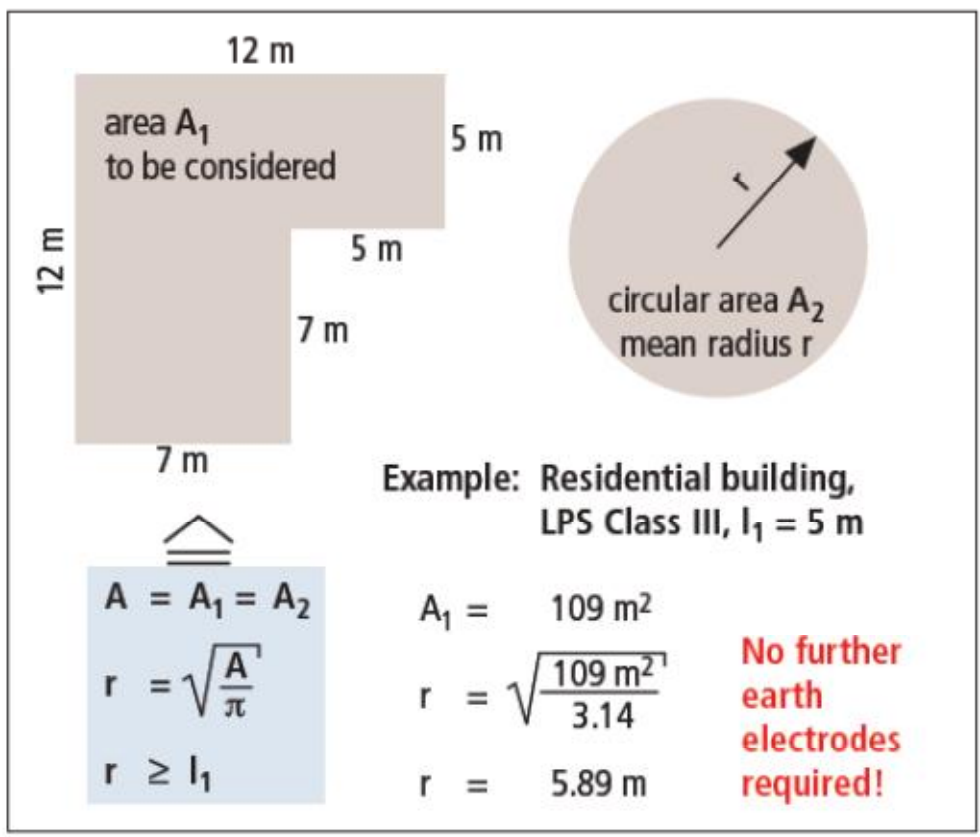
- Τα κατακόρυφα ηλεκτρόδια θεωρούνται δυο φορές πιο αποδοτικά από τα οριζόντια (π.χ. απαιτούν το μισό μήκος)
- Για στάθμες προστασίας ΙΙΙ και ΙV, η διάταξη τύπου Α απαιτεί λιγότερα υλικά
- Για στάθμες προστασίας Ι και ΙV, η διάταξη τύπου Α απαιτεί λιγότερα υλικά για μικρότερη αντίσταση εδάφους, ενώ η διάταξη τύπου Β απαιτεί λιγότερα υλικά για μεγαλύτερη αντίσταση εδάφους.

### **3.2.3.3. Εγκατάσταση ηλεκτροδίων γείωσης**

Ο εξωτερικός δακτύλιος γείωσης πρέπει να τοποθετείτε κατά προτίμηση μέσα στο έδαφος σε βάθος τουλάχιστον 0.5 m και σε τουλάχιστον απόσταση 1.0 m από τους τοίχους. Τα ηλεκτρόδια γείωσης πρέπει να εγκαθίστανται έξω από τον χώρο που χρήζει προστασίας, σε βάθος τουλάχιστον 0.5 m ώστε να ελαχιστοποιούνται τα φαινόμενα ηλεκτρικής σύζευξης μέσα στο έδαφος. Τα θαμμένα ηλεκτρόδια γείωσης πρέπει να εγκαθίστανται έτσι ώστε να επιτρέπεται ο έλεγχος κατά την διάρκεια της κατασκευής του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας.



Εικόνα 3.21: Ειδική αντίσταση εδάφους  $\rho_E$  για διαφορετικά είδη εδάφους



Εικόνα 3.22: Διάταξη τύπου Β –Παράδειγμα υπολογισμού της μέσης ακτίνας ( $r$ ) για στάθμη προστασίας III=5m, στην περίπτωση αυτή δεν απαιτούνται επιπλέον ηλεκτρόδια γείωσης γιατί  $r \geq l_1$

### 3.2.4. Υλικά και ελάχιστες διαστάσεις δομικών στοιχείων του ΣΑΠ

Τα δομικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του ΣΑΠ π.χ. αγωγοί σύνδεσμοι, ηλεκτρόδια γείωσης, πρέπει να αντέχουν τις θερμικές, μηχανικές και ηλεκτρομαγνητικές επιπτώσεις του ρεύματος του κεραυνού καθώς και άλλες τυχαίες μηχανικές καταπονήσεις φυσικής αιτίας. Επιπλέον για την επιλογή τους πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η πιθανότητα διάβρωσης τόσο της προστατευόμενης συσκευής όσο και των ίδιων των στοιχείων ανάλογα με την εφαρμογή τους στο εξωτερικό ΣΑΠ ή με το μέσο το οποίο τοποθετούνται π.χ. μπετό αέρας έδαφος ή σκυρόδεμα. Στο παρακάτω πίνακα φαίνονται τα υλικά που μπορούν να κατασκευαστούν τα δομικά υλικά καθώς και οι ελάχιστες διαστάσεις τους.

Στάθμη προστασίας	Υλικό	Αγωγοί συλλεκτήριου συστήματος	Αγωγοί καθόδου	Αγωγοί συστήματος γείωσης	Αγωγοί ισοδυναμικών συνδέσεων*
I - IV	Cu	35	16	50	16(6)
	Al	70	25	-	25(10)
	Fe	50	50	80	50(16)
*Οι τιμές εντός παρενθέσεων αντιστοιχούν σε αγωγούς ισοδυναμικών συνδέσεων που διαρρέονται από μικρό ποσοστό του ρεύματος του κεραυνού (<25%)					

*Πίνακας 3.7: Υλικά και ελάχιστες διαστάσεις (mm<sup>2</sup>) των υλικών του ΣΑΠ.*

### 3.3 Εσωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας

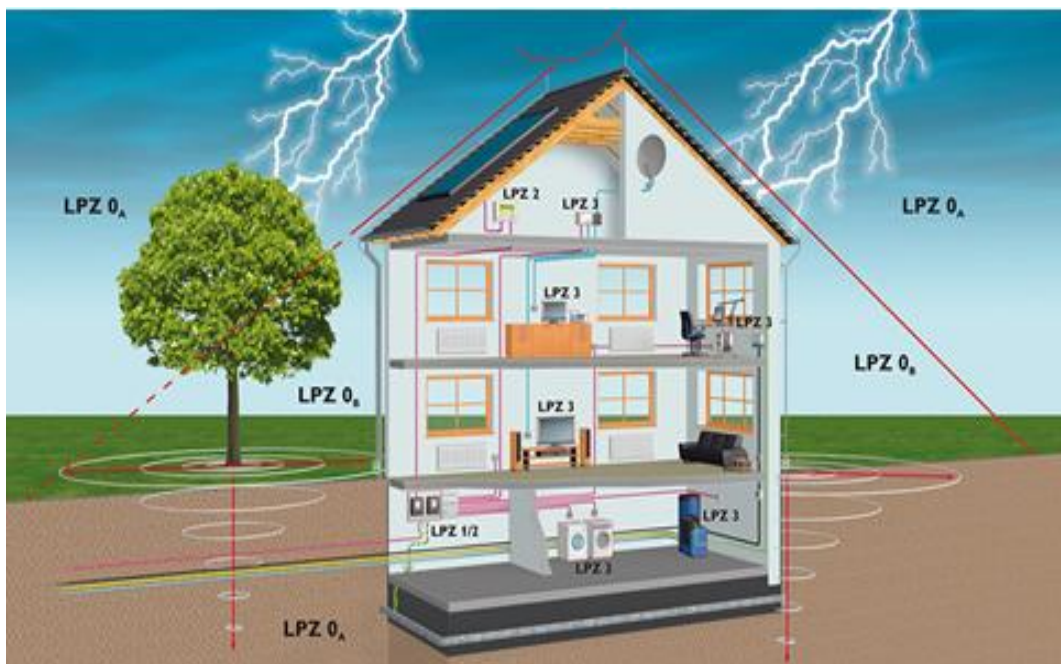
Η εσωτερική αντικεραυνική προστασία περιλαμβάνει όλα τα μέσα προστασίας που πρέπει να ληφθούν ώστε να περιοριστούν σε αποδεκτό βαθμό οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του ρεύματος κεραυνού στην κατασκευή που χρίζει προστασίας.

#### 3.3.1. Ζώνες Αντικεραυνικής Προστασίας

Οι Ζώνες Αντικεραυνικής Προστασίας (ΖΑΠ) είναι περιοχές εντός και εκτός της κατασκευής που χρίζει προστασίας όπου οι αναμενόμενες ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του κεραυνού

είναι καθορισμένες σύμφωνα με την επικινδυνότητα τους, επομένως μπορούν να περιοριστούν.

- **LPZ 0<sub>A</sub>**: Στοιχεία άμεσα εκτεθειμένα σε άμεσο κεραυνικό πλήγμα, οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του κεραυνού είναι μη περιορισμένες
- **LPZ 0<sub>B</sub>**: Στοιχεία προστατευόμενα από άμεσο κεραυνικό πλήγμα, οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του κεραυνού είναι μη περιορισμένες
- **LPZ1**: Ζώνη στην οποία τα στοιχεία μπορούν να προστατευθούν από το ρεύμα του κεραυνού και την ηλεκτρομαγνητική επίδρασή του ανάλογα με τα μέτρα θωράκισης που λαμβάνονται
- **LPZ 2,..., n**: Ζώνες στις οποίες μπορεί να επέλθει περαιτέρω μείωση του ρεύματος του κεραυνού καθώς και περαιτέρω εξασθένιση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, χρησιμοποιώντας πρόσθετα μέτρα θωράκισης σε σχέση με την LPZ<sub>1</sub>



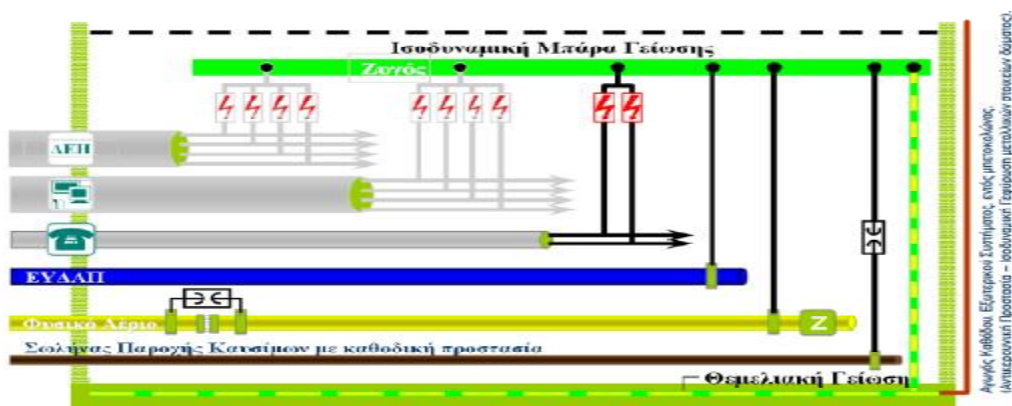
Εικόνα 3.23: Ενδεικτικός διαχωρισμός σε ζώνες

### 3.3.2. Ισοδυναμικές συνδέσεις

Οι ισοδυναμικές συνδέσεις εξασφαλίζουν την εξίσωση του δυναμικού μεταξύ των σημείων ενός κυκλώματος ή διαφορετικών κυκλωμάτων περιορίζοντας κατά συνέπεια την πιθανότητα εμφάνισης επικίνδυνων υπερτάσεων σε περίπτωση πλήγματος κεραυνού ή

σφάλματος σε μια ηλεκτρολογική εγκατάσταση. Οι ισοδυναμικές συνδέσεις υλοποιούνται μέσω συνδετήρων αγωγών και εκτροπέων υπέρτασης όπου δεν επιτρέπεται η άμεση αγωγήμη σύνδεση.

Αυτό το δίκτυο συνδέσεων συνδεδεμένο με το σύστημα γείωσης αποτελεί το ολοκληρωμένο σύστημα γείωσης. Στο υπόγειο ή περίπου στη στάθμη προστασίας του εδάφους θα εγκαταστήσουμε ένα ζυγό εξίσωσης δυναμικών στον οποίο καταλήγουν όλοι οι συνδετήριοι αγωγοί και οι ακροδέκτες γείωσης των εκτροπέων υπέρτασης. Στο ζυγό αυτό συνδέονται μέσω συνδετήριων αγωγών ο ενδοσυνδεδεμένος οπλισμός του σκυροδέματος της κατασκευής, οι εσωτερικές μεταλλικές εγκαταστάσεις της κατασκευής (υδραυλική ή θέρμανσης), τα εξωτερικά αγωγή τμήματα, οι μαγνητικές θωρακίσεις που αποτελούνε το σύνορο κάθε ζώνης προστασίας και οι μεταλλικοί σωλήνες όδευσης των καλωδίων



**Εικόνα 3.24:** Συνδέσεις όλων των αγωγών και των μεταλλικών σωληνώσεων που εισέρχονται στο κτίριο στον ισοδυναμικό ζυγό γείωσης( ισοδυναμική μπάρα γείωσης).

### 3.3.3. Μαγνητική θωράκιση

Η μαγνητική θωράκιση στόχο έχει να μειώσει το μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του προστατευόμενου χώρου. Η θωράκιση των καλωδίων περιορίζεται στην καλωδίωση με χρήση μεταλλικού καλύμματος ή κλειστούς μεταλλικούς αγωγούς καλωδίων. Η ελάχιστη διατομή που διασφαλίζει την αυτοπροστασία ενός καλωδίου από τις υπερτάσεις, χωρίς να απαιτείται εγκατάσταση εκτροπέα υπέρτασης, δίνεται από τη σχέση:

$$A_{\min} = I_f \cdot \rho_c \cdot L_c \cdot 10^6 / U_c$$

όπου:

- Ø  $I_f$  = το ρεύμα που ρέει στη θωράκιση σε kA
- Ø  $\rho_c$  = ειδική αντίσταση θωράκισης σε  $\Omega m$
- Ø  $L_c$  = μήκος καλωδίου σε m(πίνακας 3.9)
- Ø  $U_c$  = κρουστική τάση διάσπασης καλωδίου σε kV ανάλογα με την τάση λειτουργίας (πίνακας 3.8)

Ονομαστική τάση (kV)	$U_c$ (kV)
$\leq 0.05$	5
0.22	15
10	75
15	95
20	125

*Πίνακας 3.8*

Κατάσταση της θωράκισης	$L_c$
Σε επαφή με το έδαφος με ειδική αγωγιμότητα ( $\Omega m$ )	$L_c \leq 8\sqrt{\rho}$
απομονωμένο από το έδαφος ή στον αέρα	$L_c =$ απόσταση μεταξύ της κατασκευής και του πλησιέστερου σημείου γείωσης της θωράκισης

*Πίνακας 3.9*

Στις Φ/Β εγκαταστάσεις η θωράκιση της μονάδας της Φ/Β συστοιχίας με τη χρήση μεταλλικών πλαισίων και ελασμάτων αλουμινίου στην πίσω πλευρά είναι ιδιαίτερα σημαντική. Επίσης τα μεταλλικά στηρίγματα της Φ/Β συστοιχίας μπορούν να αποτελέσουν μέρος δικτύου συνδέσεων βοηθώντας στην θωράκιση της Φ/Β γεννήτριας.

### 3.3.4. Δρομολόγηση καλωδίων

Η σωστή δρομολόγηση των καλωδίων αποτελεί ένα από τα σπουδαιότερα σημεία για μια εγκατάσταση. Μια σωστή μελετημένη όδευση ελαχιστοποιεί τις περιοχές επαγόμενων τάσεων που δημιουργούνται από τους βρόχους που σχηματίζουν τα καλώδια, περιορίζοντας έτσι τις πιθανές εσωτερικά επαγόμενες υπερτάσεις. Ελαχιστοποίηση των περιοχών των βρόχων μπορεί να επιτευχθεί οδηγώντας τους αγωγούς όσο το δυνατόν πιο κοντά στους προστατευτικούς αγωγούς συνδέσεων ή οδηγώντας τις ηλεκτρικές και τις γραμμές σήματος μαζί. Τα καλώδια σε μια Φ/Β εγκατάσταση πρέπει να εγκαθίστανται με τέτοιο τρόπο, ώστε να ακολουθούν τις μικρότερες δυνατές διαδρομές, τα καλώδια στην DC πλευρά πρέπει να οδεύουν μαζί και τέλος, πρέπει να περιορίζονται κατά το δυνατόν κλειστές περιοχές καλωδίων.

### 3.3.5. Εκτροπείς Υπέρτασης (SPD)

Οι εκτροπείς (ή περιοριστές ή απαγωγείς) υπερτάσεων εγκαθίστανται με σκοπό την προστασία της εγκατάστασης από ανεπιθύμητες υπερτάσεις και η λειτουργία τους βασίζεται

είτε στην αποκοπή της υπέρτασης είτε στον περιορισμό της σε αποδεκτή τιμή. Φυσικά ένας και μόνο εκτροπέας δεν επαρκεί για την πλήρη και αποτελεσματική προστασία της εγκατάστασης καθώς σε διάφορα σημεία της απαιτείτε διαφορετικός βαθμός προστασίας. Έτσι για την σωστή και αποτελεσματική εφαρμογή της απαιτείτε η μελέτη συντονισμού της μόνωσης. Για αυτό το σκοπό ο εξοπλισμός ΧΤ χωρίζεται σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με τις υπερτάσεις που ενδέχεται να τον καταπονήσουν.

### **3.3.5.1. Κατηγορίες Υπερτάσεων**

*Κατηγορία υπερτάσεων I* : Εξοπλισμός μειωμένης απαίτησης προστασίας, όπως για παράδειγμα στοιχεία ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

*Κατηγορία υπερτάσεων II* : Εξοπλισμός στον οποίο δεν αναμένεται υπέρταση λόγω κεραυνού, αλλά μπορεί να υπάρξουν υπερτάσεις άλλων κατηγοριών, όπως οι κοινές ηλεκτρικές συσκευές ή φορητός εξοπλισμός

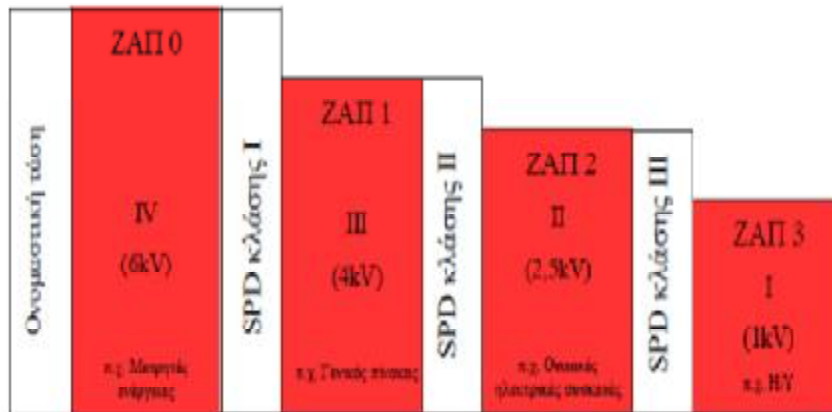
*Κατηγορία υπερτάσεων III*: Εξοπλισμός στον οποίο δεν αναμένεται υπέρταση λόγω κεραυνού, αλλά μπορεί να υπάρξουν υπερτάσεις άλλων κατηγοριών, αλλά με αυξημένη απαίτηση αξιοπιστίας και διαθεσιμότητας του εξοπλισμού, όπως μέσα προστασίας, διακόπτες, ρευματολήπτες.

*Κατηγορία υπερτάσεων IV* : Εξοπλισμός στον οποίο αναμένεται υπέρταση λόγω πλήγματος κεραυνού, όπως τα καλώδια μεταφοράς ισχύος, τα εναέρια δίκτυα, οι διακόπτες ισχύος και οι μετρητές ενέργειας.

### **3.3.5.2. Κλάσεις εκτροπέων υπέρτασης**

Οι εκτροπέις υπέρτασης ανάλογα με το επίπεδο προστασίας που παρέχουν και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους διακρίνονται σε τρεις κλάσεις :

- 1) *Κλάση I* : Συμπεριλαμβάνει διατάξεις προστασίας που ενδέχεται να διαρρέονται από ρεύμα του κεραυνού ή τμήματα του. Εγκαθίσταται σε σημεία που αναμένεται άμεσο πλήγμα κεραυνού
- 2) *Κλάση II* : Συμπεριλαμβάνει διατάξεις προστασίας έναντι υπερτάσεων λόγω έμμεσων πληγμάτων κεραυνού ή από χειρισμούς. Εγκαθίσταται σε σημεία με χαμηλότερες απαιτήσεις προστασίας σε σχέση με την προηγούμενη κλάση όπως στο γενικό πίνακα ΧΤ.
- 3) *Κλάση III* : Σε αυτή τη κλάση υπάγονται διατάξεις στις οποίες απαιτείτε μειωμένη προστασία έναντι υπερτάσεων λόγω χειρισμών, όπως συσκευές εντός της κατασκευής.



**Εικόνα 3.25:** Σχέση ανάμεσα στην κατηγορία υπερτάσεων, τις Ζώνες Αντικεραυνικής Προστασίας και την κλάση των απαιτούμενων εκτροπέων υπέρτασης.

### 3.3.5.3. Λειτουργία εκτροπέων υπέρτασης

Στην ιδεατή κατάσταση λειτουργίας ο εκτροπέας μπορεί να θεωρηθεί σαν διακόπτης συνδεδεμένος παράλληλα με την γραμμή την οποία προστατεύει. Στην κανονική κατάσταση λειτουργίας συμπεριφέρεται σαν ανοικτό κύκλωμα με άπειρη επαγωγική αντίδραση. Σε κατάσταση υπέρτασης όμως η αντίδραση του σχεδόν πέφτει στο μηδέν και έτσι δημιουργείται ένα βραχυκύκλωμα που γειώνει απευθείας το ρεύμα του σφάλματος. Όταν η υπέρταση πάψει να υφίσταται η αντίδραση του εκτροπέα επανέρχεται ακαριαία στην αρχική της τιμή και έτσι το κύκλωμα συνεχίζει να λειτουργεί κανονικά.

### 3.3.5.4. Κατηγορίες εκτροπέων υπέρτασης (SPD)

Υπάρχουν τέσσερις βασικές κατηγορίες εκτροπέων υπέρτασης

- Σπινθηριστές αερίων (sparkgap ,GDT)
- Διατάξεις με βαρύστορες (MOV)
- Δίοδοι περιορισμού υπέρτασης (ABD)
- Θυρίστορ περιορισμού υπέρτασης (TSS)

Παρακάτω αναφέρονται κάποια από τα χαρακτηριστικά των εκτροπέων υπέρτασης (SPD).

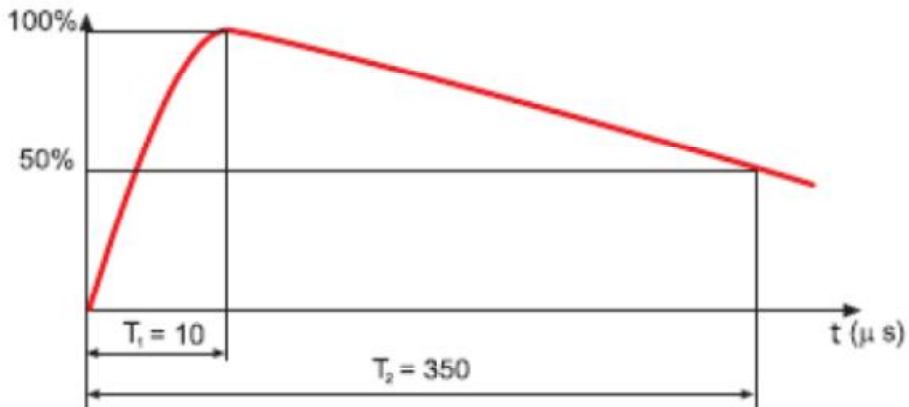
#### 1. Μέγιστη τάση συνεχούς λειτουργίας $V_c$

Η μέγιστη τάση συνεχούς λειτουργίας είναι η rms τιμή της μέγιστης τάσης που μπορεί να εφαρμοστεί στα άκρα του εκτροπέα υπέρτασης κατά την διάρκεια της λειτουργίας. Είναι η μέγιστη τάση στην διάταξη κατά την διάρκεια που δεν άγει, που εξασφαλίζει ότι η διάταξη θα επιστρέψει στην κατάσταση αυτήν ( της μη αγωγιμότητας) μετά την παρέλευση της υπέρτασης. Η τιμή της επιλέγεται να είναι ίση ή μεγαλύτερη από την μέγιστη επιτρεπόμενη τάση λειτουργίας της προστατευόμενης συσκευής.

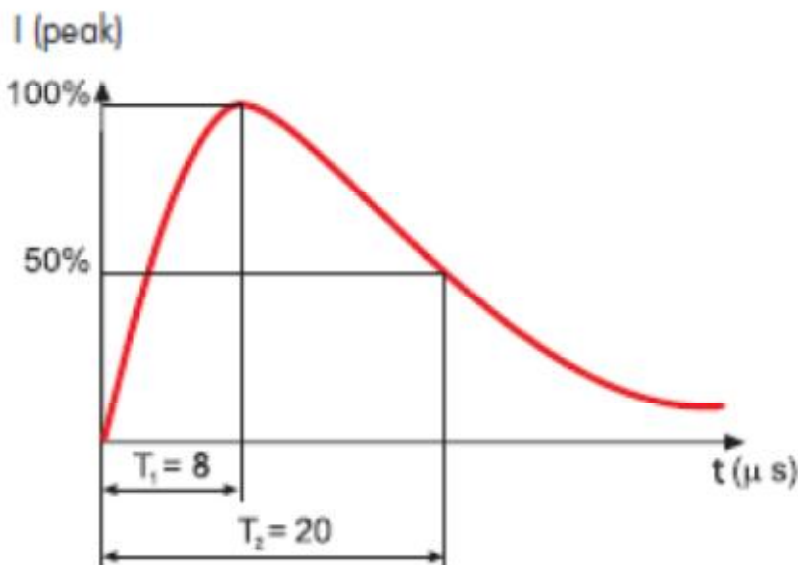
#### 2. Κρουστικό ρεύμα $I_{imp}$



Είναι η μέγιστη τιμή του ρεύματος κυματομορφής 10/350  $\mu\text{s}$  ή 8/20 μσαντίστοιχα που μπορεί να διαρρεύσει τον εκτροπέα χωρίς να καταστραφεί.



Εικόνα 3.26: Κρουστικό ρεύμα κυματομορφής 10/350  $\mu\text{s}$



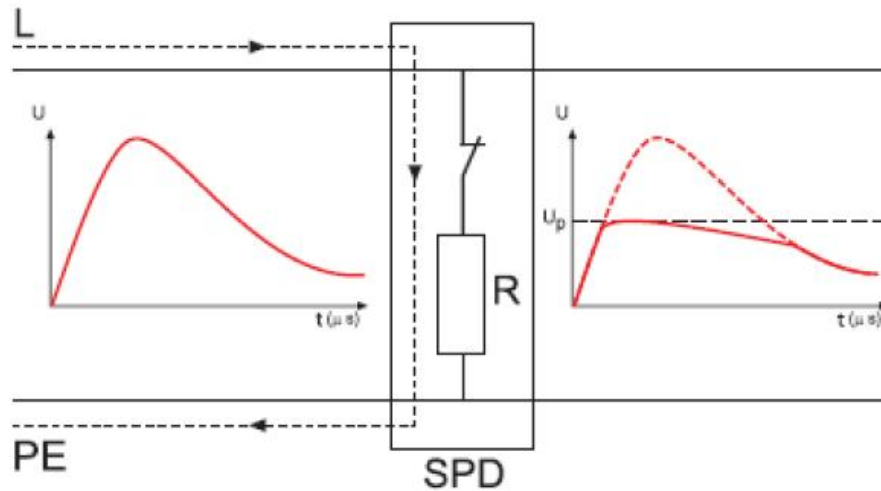
Εικόνα 3.27: Κρουστικό ρεύμα κυματομορφής 8/20  $\mu\text{s}$

### 3. Ονομαστικό ρεύμα $I_n$

Είναι η μέγιστη τιμή του ρεύματος κυματομορφής 8/20  $\mu\text{s}$ . Χρησιμοποιείται για δοκιμές κατάταξης για SPDs κλάσης II και για δοκιμές συντήρησης και βελτίωσης για SPDs κλάσης I και II.

### 4. Επίπεδο προστασίας $V_p$

Είναι η τιμή της κορυφής της τάσης που χαρακτηρίζει την ικανότητα περιορισμού της υπέρτασης στα άκρα της διάταξης. Συνήθως από τους κατασκευαστές δίνεται ο λόγος  $V_p/V_c$  όπου το επίπεδο προστασίας αναφέρεται σε ονομαστικό ρεύμα. Επιλέγεται να είναι μικρότερο από την διαβαθμισμένη κρουστική τάση αντοχής του εξοπλισμού και να ικανοποιεί ένα περιθώριο ασφαλείας τουλάχιστον 20% σε σχέση με την μέγιστη πιθανή υπέρταση που μπορεί να εμφανιστεί στον εξοπλισμό.



*Εικόνα 3.28: Περιορισμός υπέρτασης. Η  $V_p$  προκύπτει εάν φανταστούμε πως ο εκτροπέας είναι στην πραγματικότητα ένας διακόπτης με χαμηλή αντίσταση*

##### 5. Ικανότητα απαγωγής ακόλουθου ρεύματος υπό τάση $V_c$

Πρόκειται για την rms τιμή του ακόλουθου ρεύματος δηλαδή του ρεύματος που διαρρέει την διάταξη μετά την διέλευση του κυρίου ρεύματος που μπορεί αυτόματα να εξαλειφθεί από την διάταξη όταν εφαρμοστεί η τάση  $V_c$ . Η ικανότητα αυτή θα πρέπει να αντιστοιχεί στο μέγιστο αναμενόμενο ρεύμα στην θέση εγκατάστασης του SPD, διαφορετικά πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια ασφάλεια που θα αποτρέπει το ρεύμα να διαρρεύσει το SPD.

##### 6. Προσωρινή υπέρταση $T_{ov}$

Σε περίπτωση σφάλματος στο δίκτυο μέσης τάσης μπορεί να εμφανιστούν προσωρινές υπερτάσεις βιομηχανικής συχνότητας στο δίκτυο χαμηλής τάσης, διάρκειας από μερικά  $\mu s$  μέχρι την παρέλευση του σφάλματος και εύρους μέχρι 1200 V (0.2  $\mu s$ ). Σε κάθε περίπτωση η διάταξη θα πρέπει να μπορεί να αντέχει την μέγιστη τιμή της προσωρινής υπέρτασης που μπορεί να εμφανιστεί στην εγκατάσταση.

##### 7. Η παραμένουσα τάση $U_{res}$

Η μέγιστη τιμή τάσης που αναπτύσσεται στα άκρα της διάταξης κατά τη διαρροή της από το ρεύμα της εκκένωσης, η οποία τελικός καταπονεί τον εξοπλισμό όσο διαρκεί η υπέρταση.

Για την επιλογή της κατάλληλης διάταξης MOV, εκτός των παραπάνω χαρακτηριστικών παραμέτρων επιπρόσθετα λαμβάνονται υπόψη η θέση εγκατάστασης της και κατα συνέπεια οι συνθήκες του περιβάλλοντος στο σημείο της εγκατάστασης, το επίπεδο ρύπανσης και τυχόν απαιτήσεις μηχανικής καταπόνησης. Ως γενικός κανόνας η διάταξη MOV πρέπει να εγκαθίσταται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στον εξοπλισμό που χρήζει προστασίας.

### 3.3.5.5. Συντονισμός εκτροπέων υπέρτασης

Οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες συχνά χρειάζονται δυο ή περισσότερες διατάξεις σε σειρά ώστε να περιορίσουν την ηλεκτρική τάση στον υπό προστασία εξοπλισμό σε ένα αποδεκτό επίπεδο. Για να πετύχουμε τον επιθυμητό καταμερισμό της τάσης στις διατάξεις προστασίας ανάλογα με την ικανότητα απορρόφησης ενέργειας της κάθε διάταξης είναι απαραίτητος ο συντονισμός τους. Σύμφωνα με τις αρχές του συντονισμού απαιτείται γνώση των χαρακτηριστικών των εκτροπέων υπέρτασης και του υπό προστασία φωτοβολταϊκού εξοπλισμού. Λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι σε φωτοβολταϊκές γεννήτριες χρησιμοποιούνται μόνο εκτροπείς περιορισμού τάσης υπάρχουν δυο τρόποι συντονισμού :

- Η παραμένουσα τάση όλων των διατάξεων να είναι ίδια ή
- Να αυξάνει βηματικά από την εξωτερική διάταξη προς την εσωτερική

### 3.3.6. Υπολογισμός ρεύματος κεραυνού που ρέει σε εξωτερικά αγωγίμα τμήματα και στα καλώδια εισερχόμενων παροχών της κατασκευής

Το τμήμα του ρεύματος του κεραυνού που διαρρέει αντίστοιχα κάθε εξωτερικό αγωγίμο τμήμα ή καλώδιο των εισερχομένων παροχών της κατασκευής εξαρτάται από το πλήθος τους, την ισοδύναμη αντίσταση γείωσης τους και από την ισοδύναμη αντίσταση γείωσης του συστήματος γείωσης της κατασκευής. Το ρεύμα αυτό,  $I_f$ , μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με την σχέση:

$$I_f = I \cdot \frac{ze}{nZe + Zi} \quad (3.1)$$

όπου:

Ø  $I$ (kA) το ρεύμα του κεραυνού αντίστοιχο με την επιλεχθείσα στάθμη προστασίας

- Ø  $Z_e(\Omega)$  η ισοδύναμη αντίσταση γείωσης συστήματος γείωσης
- Ø  $Z_i(\Omega)$  η ισοδύναμη αντίσταση γείωσης κάθε εξωτερικού αγωγίμου τμήματος ή καλωδίου των εισερχομένων παροχών της κατασκευής
- Ø  $n$  ο συνολικός αριθμός των εξωτερικών τμημάτων και των καλωδίων των εισερχόμενων παροχών της κατασκευής

Οι ισοδυναμικές αντιστάσεις γείωσης  $Z_e$  και  $Z_i$  εξαρτώνται από την ειδική αντίσταση του εδάφους όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα.

$\rho$ , ( $\Omega, m$ )	$Z_i$ ( $\Omega$ )	$Z_e$ ( $\Omega$ ) ανάλογα με την στάθμη προστασίας		
		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 3.10:** Τιμές ισοδυναμικών αντιστάσεων γείωσης  $Z_e$  και  $Z_i$  ανάλογα με την ειδική αντίσταση του εδάφους

Αντίστοιχα το τμήμα του ρεύματος του κεραυνού που παροχετεύεται στη γη μέσω του συστήματος γείωσης της κατασκευής μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:

$$I_e = I - nI_f \quad (3.2)$$

Ο δεύτερος όρος του γινομένου της εξίσωσης 3.1 μπορεί να παραστεί μέσω ενός συντελεστή  $K_p$  που εκφράζει το ποσοστό του ρεύματος του κεραυνού που διαρρέει αντίστοιχα κάθε εξωτερικό αγωγίμο τμήμα ή καλώδιο των εισερχομένων παροχών της κατασκευής. Λαμβάνοντας υπόψη το Πίνακα 3.10 οι τιμές του συντελεστή  $K_p$  παρουσιάζονται συναρτήσει της ειδικής αντίστασης του εδάφους στον Πίνακα 3.11 σε σχέση με την επιλεγθείσα στάθμη προστασίας και το συνολικό αριθμό εξωτερικών αγωγίμων τμημάτων και των καλωδίων των εισερχομένων παροχών της κατασκευής.

$\rho$ ( $\Omega.m$ )	$K_p$											
	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 3.11:** Συντελεστής κατανομής του ρεύματος του κεραυνού  $K_p$  συναρτήσει της ειδικής αντίστασης εδάφους.

Σύμφωνα με το πίνακα 3.11 το ποσοστό του ρεύματος του κεραυνού που παροχετεύεται στη γη μέσω του συστήματος γείωσης της κατασκευής αυξάνει με τη μείωση του αριθμού των εισερχομένων παροχών καθώς και βαίνοντας από τη στάθμη IV στην στάθμη I.

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

$$I_f = 0.5 I/n \quad (3.3)$$

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

Σε κατοικίες το τηλεφωνικό δίκτυο μπορεί να μην ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό του παράγοντα  $n$  της εξίσωσης 3.1 καθώς θεωρείται ότι δεν επηρεάζει το τμήμα του ρεύματος που διαρρέει τις υπόλοιπες παροχές σε περίπτωση πλήγματος.

Στις περιπτώσεις που στις εισερχόμενες παροχές της κατασκευής χρησιμοποιούνται καλώδια χωρίς θωράκιση ή τα καλώδια δεν οδεύουν σε μεταλλικούς σωλήνες, το τμήμα του ρεύματος του κεραυνού που διαρρέει κάθε αγωγό του καλωδίου  $I_f$  υπολογίζεται απο την παρακάτω εξίσωση:

$$I_f = I_f / m \quad \text{εξίσωση (3.4)}$$

όπου  $m$  ο αριθμός αγωγών του καλωδίου.

### 3.4. Απαιτήσεις για προστασία ενάντια στην ηλεκτροπληξία στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις

Ο βασικός κανόνας προστασίας ενάντια στην ηλεκτροπληξία είναι ο ακόλουθος: τα επικίνδυνα ενεργά μέρη δεν πρέπει να είναι προσιτά και τα εκτεθειμένα αγωγήμια μέρη δεν θα πρέπει να είναι επικίνδυνα ενεργά κάτω από κανονικές συνθήκες είτε κάτω από καταστάσεις μονού σφάλματος.

Σε κανονικές συνθήκες οι αγωγοί ή τα αγωγήμια τμήματα που έχουν την τάση να φέρουν επικίνδυνες τάσεις στην κανονική λειτουργία δεν πρέπει να είναι προσιτά στην επαφή. Σε περίπτωση μονού σφάλματος απαιτείται επίσης προστασία ενάντια στην έμμεση επαφή. Το όριο της συμβατικής τάσης επαφής  $U_L$  είναι τα 60 V dc στις Φ/Β γεννήτριες. Εάν η τάση της Φ/Β γεννήτριας δεν υπερβαίνει τα 30 V dc δεν είναι απαραίτητη η προστασία ενάντια στην άμεση επαφή ενώ για τάσεις μεγαλύτερες από τα 30 V dc μέχρι τα 60 V dc αυτή η προστασία είναι υποχρεωτική.

#### **3.4.1. Προστασία ενάντια στην άμεση επαφή**

Η βασική μέθοδος προστασίας ενάντια στην άμεση επαφή είναι η προστασία μέσω μόνωσης. Σε περίπτωση αποτυχίας ή απροσεξίας των χειριστών μια επιπρόσθετη προστασία είναι η χρήση προστατευτικών συσκευών. Αυτές οι συσκευές αποτελούνται από ένα συνδυασμό συσκευών ελέγχου και διακοπτικών συσκευών εξαιτίας της ειδικής λειτουργικής ικανότητας να διακόπτει τη λειτουργία της Φ/Β γεννήτριας. Θεμιτές συσκευές ελέγχου θα μπορούσαν να είναι:

- σε γειωμένη Φ/Β γεννήτρια ένας διακόπτης διαφυγής έντασης
- σε μη γειωμένα συστήματα μια συσκευή ελέγχου της μόνωσης.

#### **3.4.2. Προστασία ενάντια στην έμμεση επαφή(προστασία σφάλματος)**

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται κυρίως είναι η προστασία με αυτόματη διακοπή της παροχής. Αυτή η μέθοδος εμποδίζει μέσω της αυτόματης διακοπής την επαφή με μια επικίνδυνη τάση στην εγκατάσταση μετά από ένα σφάλμα γείωσης.

Στην μέθοδο αυτή είναι απαραίτητη η συνεργασία της γείωσης της Φ/Β γεννήτριας και των χαρακτηριστικών αγωγών προστασίας και των συσκευών προστασίας. Η dc πλευρά της Φ/Β γεννήτριας μπορεί να γειωθεί με τα ακόλουθα συστήματα γείωσης: α)IT σύστημα (μη γειωμένα αγωγήμια μέρη και γειωμένα εκτεθειμένα αγωγήμια μέρη) β)TN σύστημα (ενεργά μέρη και εκτεθειμένα αγωγήμια μέρη γειώνονται μέσω ενός μόνο ηλεκτροδίου γείωσης γ)TT σύστημα (ενεργά μέρη και εκτεθειμένα αγωγήμια μέρη γειώνονται σε διαφορετικά ηλεκτρόδια γείωσης). Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι :

- Τα εκτεθειμένα αγωγήμια τμήματα πρέπει να συνδέονται στη γείωση υπό τις κατάλληλες συνθήκες για κάθε σύστημα γείωσης.
- Στην περίπτωση σφάλματος ανάμεσα σε ένα ενεργό τμήμα και σε ένα εκτεθειμένο αγωγήμιο τμήμα η συσκευή προστασίας πρέπει να εμποδίζει μια επικίνδυνη τάση για χρόνο ικανό να προκαλέσει κίνδυνο σωματικής βλάβης.

Τα προσαρμοσμένα μέτρα στις Φ/Β γεννήτριες ανάλογα με το σύστημα γείωσης είναι τα ακόλουθα:

α) Φ/Β γεννήτρια με TT σύστημα:

- Όλα τα εκτεθειμένα αγωγίμα τμήματα που προστατεύονται μέσω συσκευών προστασίας πρέπει να συνδέονται μέσω αγωγών προστασίας σε ένα ηλεκτρόδιο γείωσης.
- Αρνητικοί ενεργοί αγωγοί σε άλλο ανεξάρτητο ηλεκτρόδιο γείωσης.
- Πρέπει να πληρείται η ακόλουθη συνθήκη:  $R_A \cdot I_A \leq U_L$  όπου  $R_A$  είναι η σύνθετη αντίσταση του ηλεκτροδίου γείωσης και του αγωγού προστασίας των εκτεθειμένων αγωγίμων τμημάτων,  $I_A$  είναι το ρεύμα που προκάλεσε την αυτόματη ενεργοποίηση της συσκευής προστασίας και  $U_L$  είναι το όριο της συμβατικής τάσης επαφής.
- Όταν χρησιμοποιούμε μια dc συσκευή ελέγχου παραμένουτος ρεύματος ο χρόνος κλεισίματος της Φ/Β γεννήτριας δεν πρέπει να ξεπεράσει το  $I_s$ .

β) Φ/Β γεννήτρια με TN σύστημα:

- Όλα τα εκτεθειμένα αγωγίμα τμήματα πρέπει να γειώνονται.
- Όλοι οι αρνητικοί ενεργοί αγωγοί ή το ουδέτερο σημείο πρέπει να γειώνονται

Στην Φ/Β γεννήτρια σε περίπτωση σφάλματος μονώσεως το δυναμικό που αποκτούν τα εκτεθειμένα αγωγίμα τμήματα είναι χαμηλότερο από την ονομαστική τάση. Η χαμηλή σύνθετη αντίσταση του αγωγού προστασίας μαζί με τη μικρή απόσταση σύνδεσης με τη γη απαιτούν ρεύμα βραχυκύκλωσης μεγαλύτερο από 1650 A για να φτάσουν επικίνδυνες τάσεις επαφής γι' αυτό καμία πρόνοια για τις συσκευές προστασίας δεν είναι απαραίτητη εκτός από το ότι ο μέγιστος χρόνος διακοπής να μην υπερβαίνει τα 5s.

γ) Φ/Β γεννήτρια με IT σύστημα:

- Τα ενεργά τμήματα της γεννήτριας πρέπει να είναι απομονωμένα από τη γη.
- Στην περίπτωση μικρού ρεύματος σφάλματος στα εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη ή σφάλματος γείωσης η αποσύνδεση δεν είναι απαραίτητη σε περίπτωση που ικανοποιείται η ανισότητα:  $R_A \cdot I_d \leq U_L$
- Τα εκτεθειμένα αγωγίμα τμήματα πρέπει να γειώνονται και να ικανοποιείται η ακόλουθη συνθήκη  $R_A \cdot I_d \leq U_L$  όπου  $R_A$  είναι η αντίσταση του ηλεκτροδίου γείωσης και  $I_d$  είναι το ρεύμα σφάλματος του πρώτου σφάλματος ανάμεσα στον αγωγό φάσης και στο αγωγίμο τμήμα.

- Η εγκατάσταση μιας συσκευής ελέγχου μόνωσης είναι υποχρεωτική για να υποδεικνύει την πραγματοποίηση του πρώτου σφάλματος. Η συσκευή αυτή πρέπει να αποσυνδέει τη γεννήτρια ή να παράγει ένα οπτικοακουστικό σήμα.

Τέλος όλος ο ηλεκτρικός εξοπλισμός καθώς και τα στοιχεία της γεννήτριας πρέπει να έχουν διπλή ή ενισχυμένη μόνωση.

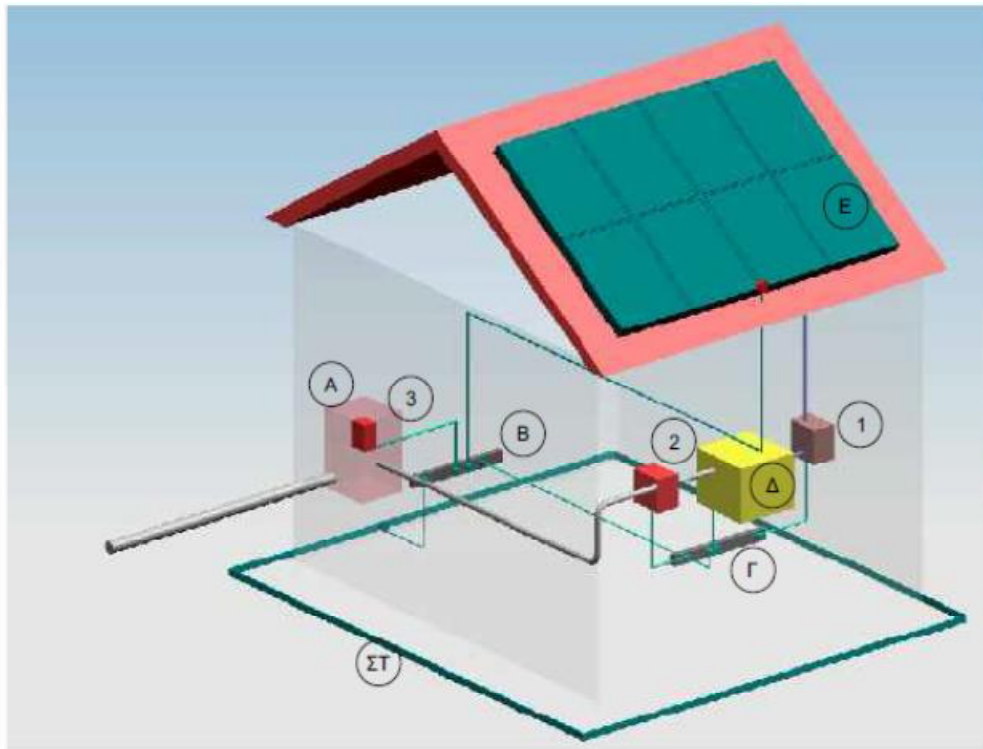
## **4. Εφαρμογές αντικεραυνικής προστασίας σε Φωτοβολταϊκά**

### **4.1 Αντικεραυνική προστασία φωτοβολταϊκών εγκατεστημένα σε οροφές κτιρίων**

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων πάνω σε ταράτσες σπιτιών δεν αυξάνει τον κίνδυνο πλήγματος κεραυνού. Παρόλα αυτά υπάρχει πιθανότητα κινδύνου για της ηλεκτρικές εγκαταστάσεις σε περίπτωση κεραυνικού πλήγματος. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της καλωδίωσης των φωτοβολταϊκών γραμμών μέσα στο κτίριο στις ήδη υπάρχουσες οδεύσεις των καλωδίων διότι το ρεύμα των εκκενώσεων μπορεί να προκαλέσει επιδράσεις στους αγωγούς.

#### **4.1.1 Κτίρια με φωτοβολταϊκά συστήματα στην οροφή χωρίς εξωτερική αντικεραυνική προστασία**





*Εικόνα 4.1 : Ολοκληρωμένο σύστημα προστασίας από υπερτάσεις σε Φ/Β συστήματα επί οροφής σε κατασκευή χωρίς ΣΑΠ*

- A) Κεντρικός ηλεκτρικός πίνακας AC
- B) Κύριος ζυγός γείωσης
- Γ) Ζυγός γείωσης συμπληρωματικών ισοδυναμικών συνδέσεων
- Δ) Μετατροπέας (Inverter DC/AC)
- E) Φ/Β συλλέκτες / πλαίσια
- ΣΤ) Σύστημα γείωσης κατασκευής

1. Απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων για την προστασία της εισόδου DC του Inverter (T2 DC)
2. Απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων για την προστασία της εξόδου AC του Inverter (T2 AC)
3. Απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων για την προστασία του γενικού πίνακα της κατασκευής (T1+T2 AC)



**Εικόνα 4.2: T2 DC:** Διπολικός απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων PV-1000 ειδικά σχεδιασμένος για προστασία διατάξεων (DC/AC) inverter οι οποίοι έχουν εφαρμογή σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Είναι ικανός να δεχτεί κρουστικό ρεύμα 40 kA (8/20 μs) ανά πόλο (120 kA ολικό κρουστικό ρεύμα)

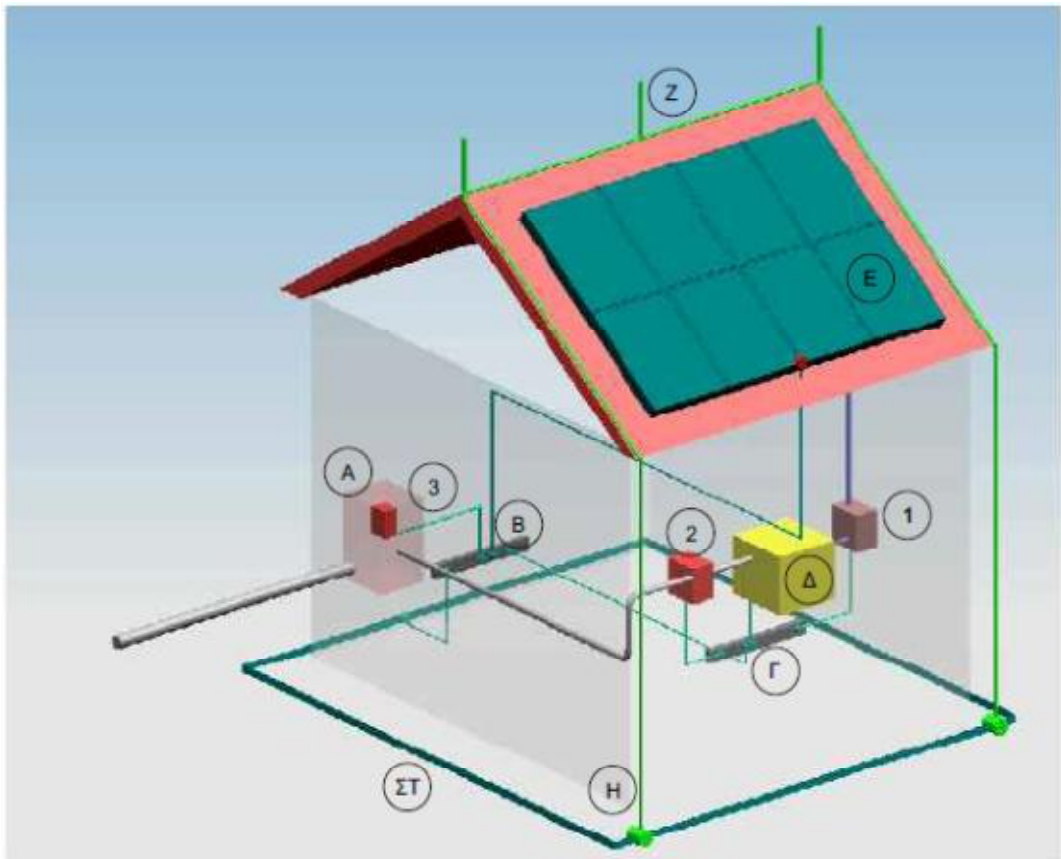


**Εικόνα 4.3: T1+T2 AC:** Τριφασικός απαγωγός κεραμικών ρευμάτων ημιαγωγικού τύπου κατασκευασμένος από βαρέως τύπου ημιαγωγούς οξειδίου του ψευδαργύρου σύνθετης στάθμης προστασίας, παρέχει προστασία τόσο έναντι υψηλών κεραμικών ρευμάτων όσο και κρουστικών υπερτάσεων. Η ικανότητα εκφόρτισης 100 kA 100/350 μs 4 πόλων τον καθιστά κατάλληλο για χρήση πρωτεύουσας και δευτερεύουσας σημασίας.

Εάν η απόσταση μεταξύ του inverter και της τοποθεσίας της εγκατάστασης του εκτροπέα υπέρτασης δεν είναι μεγαλύτερη από 5 m (παροχή χαμηλής τάσης) η ac έξοδος του inverter είναι επαρκώς προστατευμένη. Για μεγαλύτερα μήκη αγωγών επιπλέον συσκευές προστασίας είναι απαραίτητες στην ac έξοδο του inverter.

Στην dc είσοδο του inverter κάθε ένας από τους αγωγούς της φωτοβολταϊκής συστοιχίας πρέπει να προστατεύεται με έναν εκτροπέα μεταξύ του (+) και του (-). Αυτή η εγκατάσταση παρέχει προστασία για φωτοβολταϊκά συστήματα με τάση μέχρι και 1000 V DC. Η τάση λειτουργίας της συσκευής προστασίας πρέπει να είναι 10% υψηλότερη από την αναμενόμενη τάση ανοιχτού κυκλώματος της γεννήτριας κατά την διάρκεια της μέγιστης ηλιοφάνειας μιας κρύας χειμωνιάτικης μέρας.

#### **4.1.2 Κτίρια με φωτοβολταϊκά συστήματα στην οροφή με εξωτερική αντικεραυνική προστασία (ΣΑΠ) και τηρείτε η απόσταση ασφάλειάς μεταξύ των μεταλλικών μερών των Φ/Β και του ΣΑΠ**



**Εικόνα 4.4:** Ολοκληρωμένο σύστημα προστασίας από υπερτάσεις σε Φ/Β συστήματα επί οροφής σε κατασκευή με ΣΑΠ και τηρούνται οι αποστάσεις ασφαλείας

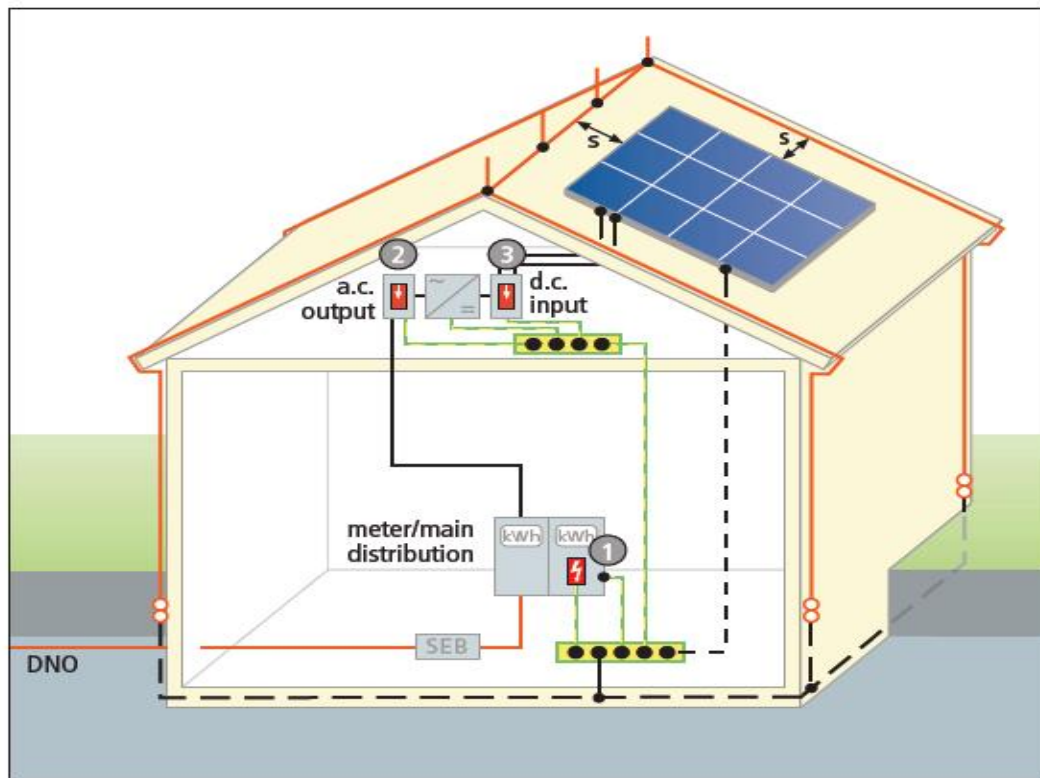
- A) Κεντρικός ηλεκτρικός πίνακας AC
- B) Κύριος ζυγός γείωσης
- Γ) Ζυγός γείωσης συμπληρωματικών ισοδυναμικών συνδέσεων
- Δ) Μετατροπέας (Inverter DC/AC)
- E) Φ/Β συλλέκτες/ πλαίσια
- ΣΤ) Σύστημα γείωσης κατασκευής
- Z) Συλλεκτήριο σύστημα-Εξωτερικό ΣΑΠ
- H) Σύστημα αγωγών καθόδου- Εξωτερικό ΣΑΠ

1. Απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων για την προστασία της εισόδου DC του Inverter (T2 DC)
2. Απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων για την προστασία της εξόδου AC του Inverter (T2 AC)
3. Απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων για την προστασία του γενικού πίνακα της κατασκευής (T1+T2 AC)

Σε αυτή τη περίπτωση το φωτοβολταϊκό σύστημα στην επιφάνεια της σκεπής πρέπει να σχεδιάσει λαμβάνοντας υπόψη το ήδη υπάρχον σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Για αυτό το λόγο το Φ/Β σύστημα πρέπει να εγκατασταθεί μέσα στη ζώνη προστασίας του εξωτερικού ΣΑΠ για να εξασφαλίσει την προστασία του ενάντια στα άμεσα κεραυνικά πλήγματα. Με τη χρήση κατάλληλων συλλεκτήριων

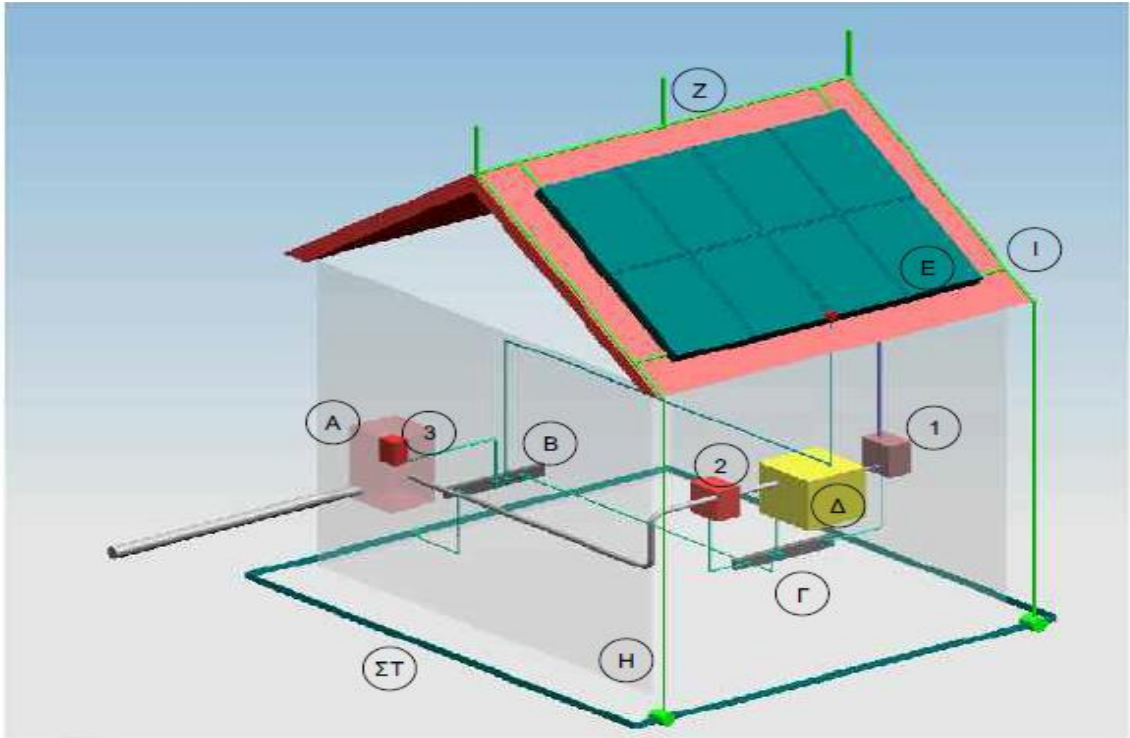
συστημάτων, όπως για παράδειγμα τεταμένα σύρματα, άμεσα κεραυνικά πλήγματα πάνω στα Φ/Β πάνελ μπορούν να αποφευχθούν. Τα επιπλέον τεταμένα σύρματα που πιθανόν να το τοποθετηθούν εκ των υστέρων πρέπει να τοποθετηθούν με τρόπο που να εμποδίζουν τα άμεσα πλήγματα στη γεννήτρια και επιπλέον να μην προκαλούν σκίαση στην επιφάνεια της.

Ακόμα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας ότι απόσταση ασφαλείας(s) πρέπει να διατηρείτε ανάμεσα στα Φ/Β στοιχεία και στα μεταλλικά μέρη όπως το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Στην περίπτωση αυτή ο αγωγός γείωσης πρέπει να είναι μεγαλύτερος από  $6 \text{ mm}^2$ .



*Εικόνα 4.5: Προστασία έναντι υπερτάσεων σε κτίριο με εξωτερικό ΣΑΠ και τήρηση αποστάσεων ασφαλείας*

#### **4.1.3. Κτίρια με εξωτερικό ΣΑΠ αλλά δεν τηρείται η απόσταση ασφαλείας μεταξύ μεταλλικών μερών των Φ/Β και του ΣΑΠ**



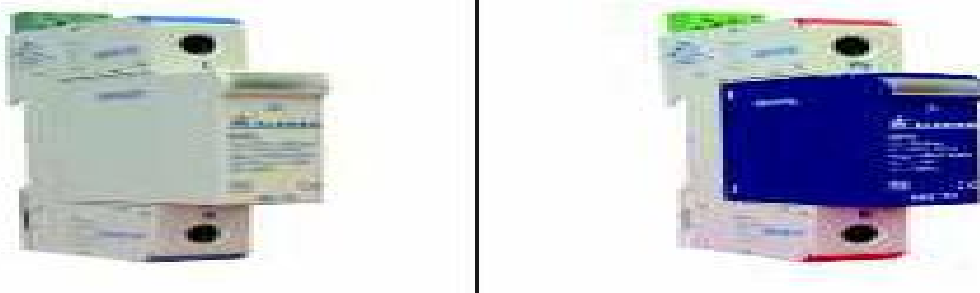
**Εικόνα 4.6:** Ολοκληρωμένο σύστημα προστασίας από υπερτάσεις σε Φ/Β συστήματα επί οροφής σε κατασκευή με ΣΑΠ αλλά δεν τηρούνται οι αποστάσεις ασφαλείας.

- A) Κεντρικός ηλεκτρικός πίνακας AC
- B) Κύριος ζυγός γείωσης
- Γ) Ζυγός γείωσης συμπληρωματικών ισοδυναμικών συνδέσεων
- Δ) Μετατροπέας (Inverter DC/AC)
- E) Φ/Β συλλέκτες/ πλαίσια
- ΣΤ) Σύστημα γείωσης κατασκευής
- Ζ) Συλλεκτήριο σύστημα-Εξωτερικό ΣΑΠ
- Η) Σύστημα αγωγών καθόδου- Εξωτερικό ΣΑΠ
- Ι) Άμεση ισοδυναμική σύνδεση εξωτερικού ΣΑΠ με τα μεταλλικά μέρη των Φ/Β πλαισίων

1. Απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων για την προστασία της εισόδου DC του Inverter (T1+ T2 DC)
2. Απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων για την προστασία της εξόδου AC του Inverter (T1+T2 AC)
3. Απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων για την προστασία του γενικού πίνακα της κατασκευής (T1+T2 AC)



**Εικόνα 4.7:** Διπολικός απαγωγός κεραυνικών ρευμάτων και κρουστικών υπερτάσεων ( T1+T2 DC). Ειδικά σχεδιασμένος για την προστασία διατάξεων DC/AC inverter. Είναι ικανός να δεχτεί κεραυνικό ρεύμα 12.5 kA ( 10/350 μs) και κρουστικό ρεύμα 50 kA (8/20 μs) ανά πόλο (150 kA ολικό κρουστικό ρεύμα). Η εγκατάσταση πραγματοποιείται παράλληλα ή σε σειρά με την κατανάλωση



**Εικόνα 4.8:** Μονοπολικός απαγωγός κρουστικών ρευμάτων ημιαγωγικού τύπου κατάλληλος για εγκατάσταση σε κεντρικό πίνακα παροχής απο το δίκτυο διανομής ή υποπίνακα για δευτερεύουσα προστασία ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Είναι ικανός να δεχτεί κρουστικό ρεύμα 40 kA (8/20 μs).

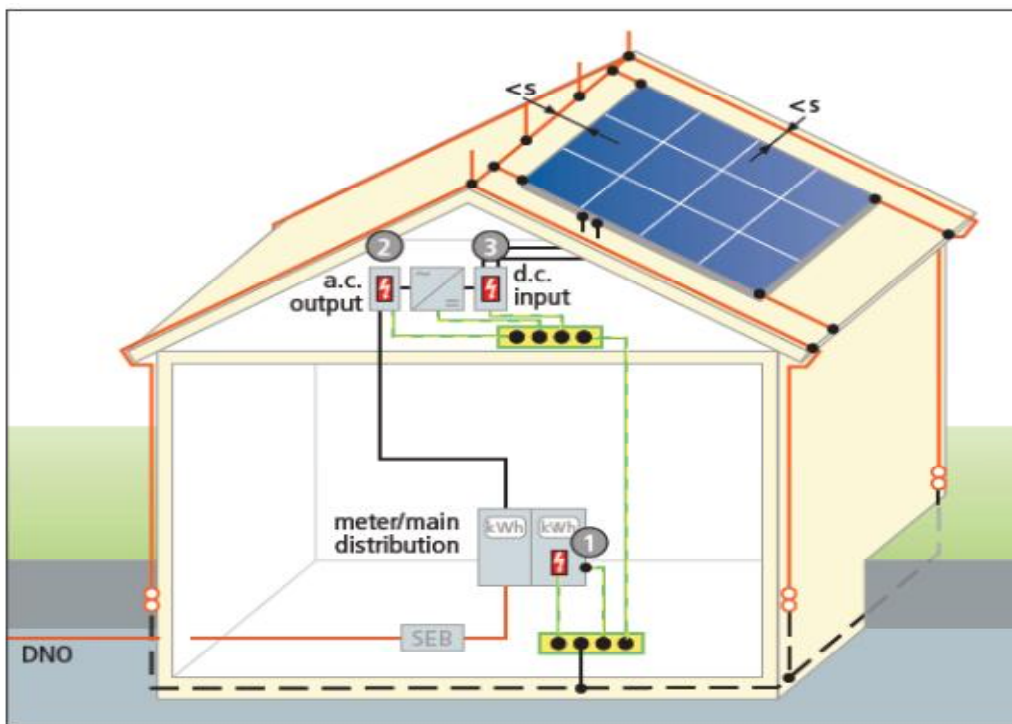


**Εικόνα 4.9:** T1+T2 AC: Τριφασικός απαγωγός κεραυνικών ρευμάτων ημιαγωγικού τύπου κατασκευασμένος από βαρέως τύπου ημιαγωγούς οξειδίου του ψευδαργύρου σύνθετης στάθμης προστασίας, παρέχει προστασία τόσο έναντι υψηλών κεραυνικών ρευμάτων όσο και κρουστικών υπερτάσεων. Η ικανότητα εκφόρτισης 100 kA 100/350 μs 4 πόλων τον καθιστά κατάλληλο για χρήση πρωτεύουσας και δευτερεύουσας σημασίας.

Πολλές φορές όλη η σκεπή του κτιρίου είναι καλυμμένη με φωτοβολταϊκά πλαίσια ώστε να επιτευχθεί το μέγιστο οικονομικό κέρδος. Για αυτό το λόγο είναι πολύ δύσκολο έως και

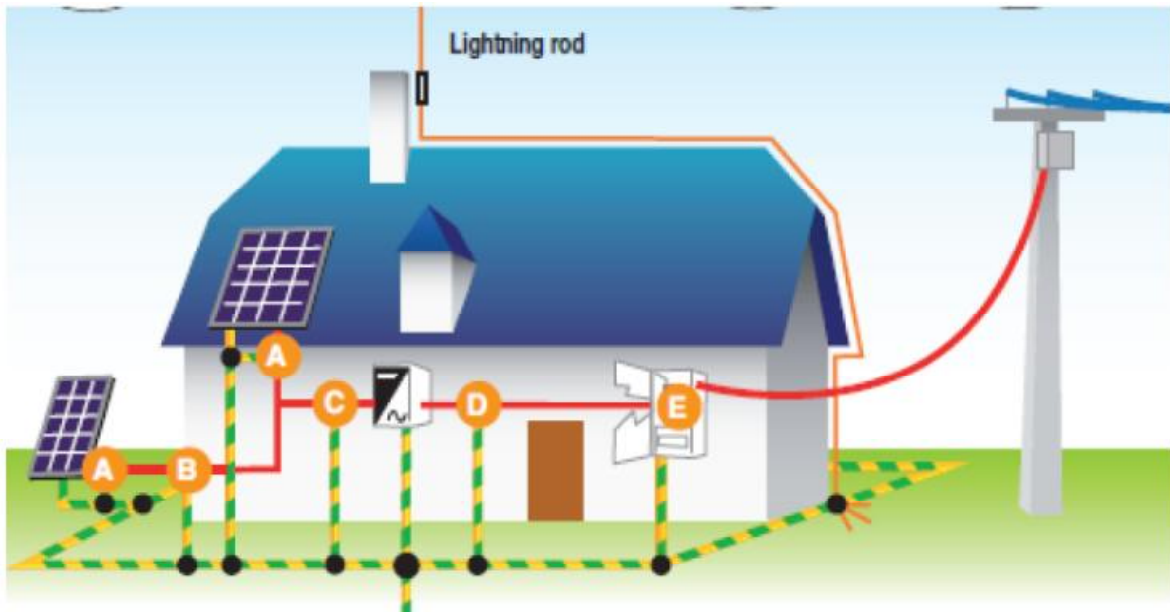


ακατόρθωτο να τηρήσουμε τις αποστάσεις ασφαλείας ανάμεσα στα φωτοβολταϊκά συστήματα και στα μεταλλικά μέρη, όπως το σύστημα αντοκεραμικής προστασίας. Σε αυτά τα σημεία όπου δεν τηρούνται οι αποστάσεις ασφαλείας πρέπει να υπάρξει άμεση ισοδυναμική σύνδεση του εξωτερικού ΣΑΠ με τα μεταλλικά μέρη των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Επίσης σε αυτή τη περίπτωση οι επιδράσεις των ρευμάτων που μεταφέρονται μέσα στο κτίριο μέσω των DC αγωγών πρέπει να ληφθούν και να εξασφαλιστεί η ισοδυναμική τους σύνδεση. Αυτό σημαίνει ότι το ρεύμα του κεραυνού πρέπει να συμπεριληφθεί στην ισοδυναμική σύνδεση και να τοποθετηθούν εκτροπείς υπέρτασης στους DC αγωγούς. Για τον αγωγό των ισοδυναμικών συνδέσεων πρέπει η διατομή του να είναι μεγαλύτερη από 16 mm<sup>2</sup>.



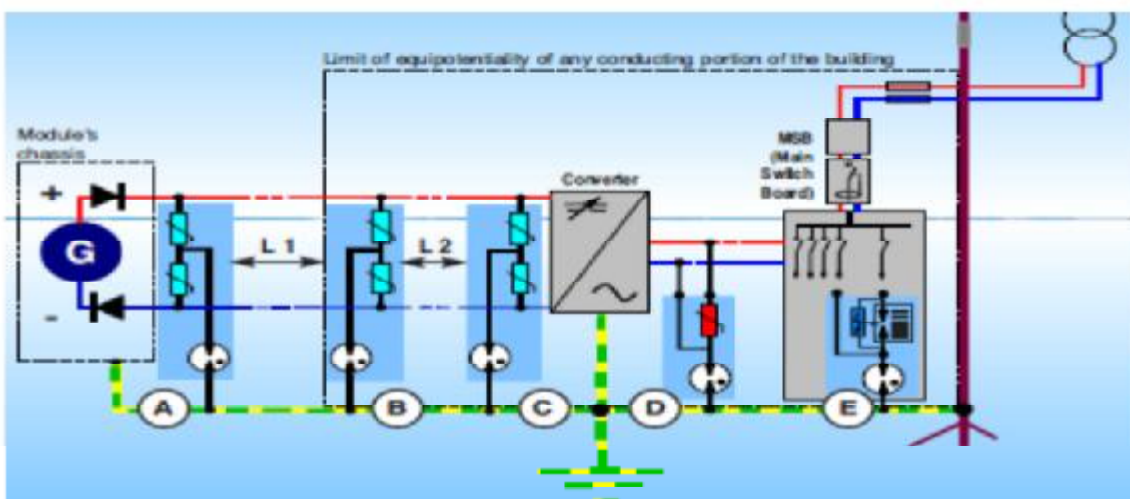
**Εικόνα 4.10:** Προστασία έναντι υπερτάσεων σε κτίριο με εξωτερικό ΣΑΠ χωρίς να τηρούνται οι αποστάσεις ασφαλείας.

#### 4.1.4 Διασυνδεδεμένη Φ/Β γεννήτρια στο δίκτυο διανομής ισχύος



**Εικόνα 4.11** : Διασυνδεδεμένη Φ/Β γεννήτρια

Εδώ θα εξετάσουμε ένα διασυνδεδεμένο με το σύστημα διανομής ισχύος, κτήριο, το οποίο επίσης μπορεί να διαθέτει τόσο υπαίθριο πάνελ όσο και στην οροφή του. Σε αυτή τη περίπτωση όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.12 προτείνεται η εγκατάσταση εκτροπέα στο σημείο B για την προστασία της DC πλευράς του αντιστροφέα καθώς και στα σημεία A αν η απόσταση L1 είναι μεγαλύτερη από την απόσταση προστασίας του εκτροπέα(κατασκευαστής), όπως και στο σημείο C αν η L2 είναι μεγαλύτερη από τη απόσταση προστασίας. Και για τα τρία σημεία προτείνεται εκτροπέας ειδικά κατασκευασμένος για Φ/Β γεννήτριες και αντιστοιχεί σε κλάση II. Επίσης προτείνεται εκτροπέας υπέρτασης κλάσης II στο σημείο D ο οποίος προστατεύει την AC πλευρά του αντιστροφέα από υπερτάσεις που ενδεχομένως προέλθουν από το δίκτυο. Αν η απόσταση στα σημεία E και D είναι μεγαλύτερη από 5 μέτρα επιλέγεται εκτροπέας με  $I_{max}=40A$  αλλιώς ίσο με 15A. Τέλος για το σημείο E για τον ίδιο σκοπό επιλέγεται εκτροπέας κλάσης I ή II. Η όδευση των καλωδίων πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο σύντομη και ευθύγραμμη.

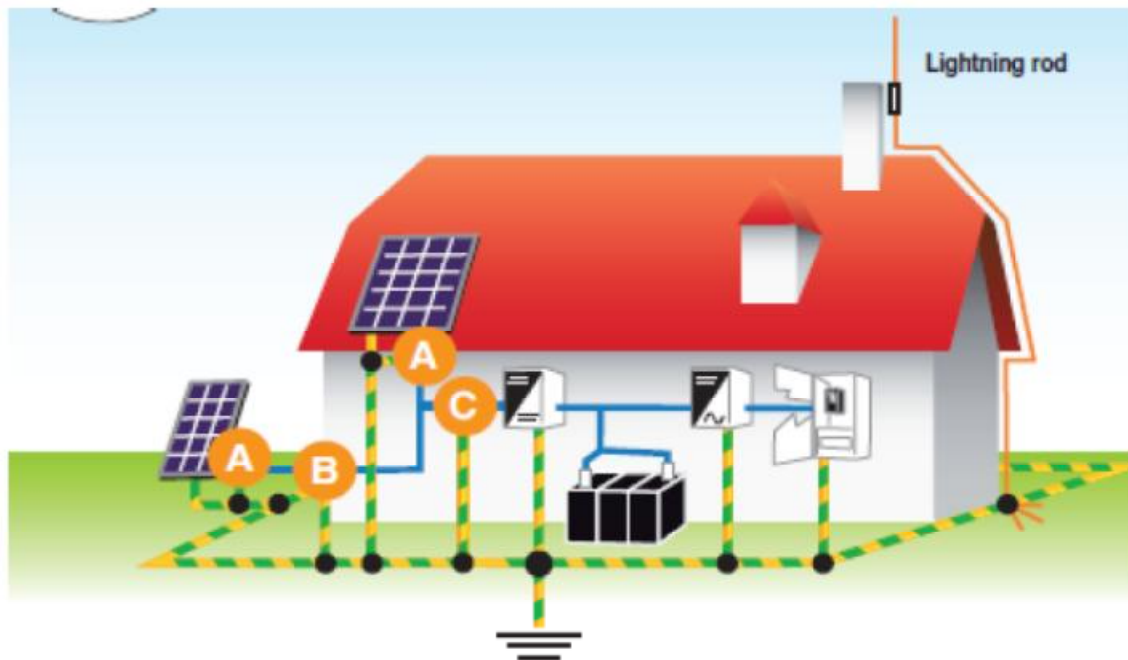


**Εικόνα 4.12**: Κυκλωματικό διάγραμμα διασυνδεδεμένης Φ/Β γεννήτριας



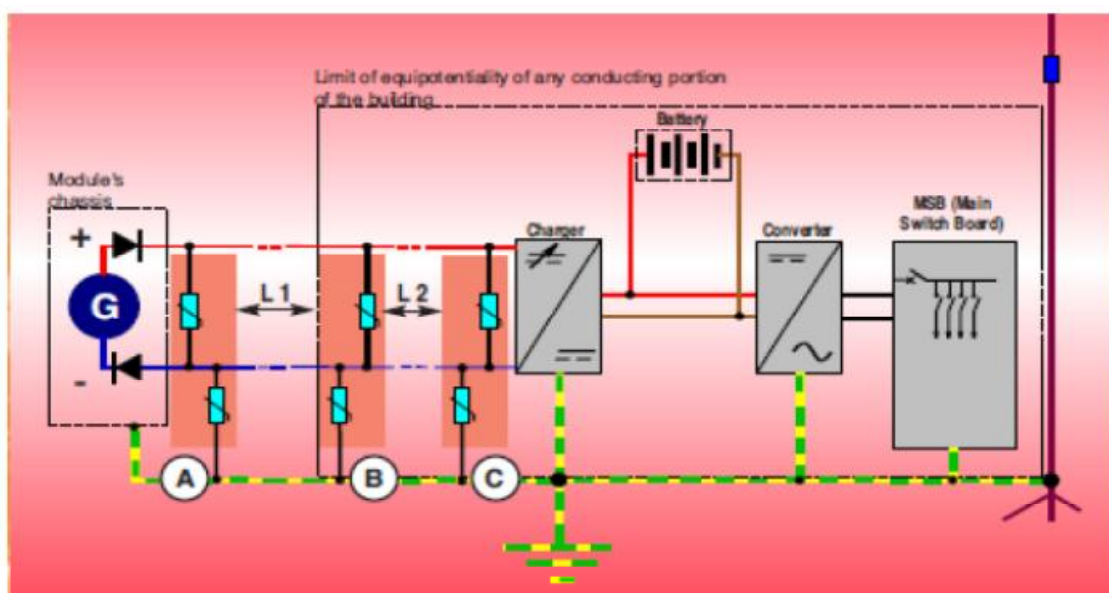
#### 4.1.5 Απομονωμένη Φ/Β γεννήτρια

Σε αυτό το παράδειγμα που φαίνεται στην εικόνα εξετάζεται μια απομονωμένη εγκατάσταση που διαθέτει Φ/Β πάνελ τόσο στην οροφή της όσο και στην ύπαιθρο



*Εικόνα 4.13: Απομονωμένη Φ/Β γεννήτρια*

Με βάση το κυκλωματικό διάγραμμα (εικόνα 4.14 ) στο σημείο B στα όρια των ΖΑΠ 0 και 1 προτείνεται εκτροπέας κλάσης II για την προστασία της DC πλευράς του αντιστροφέα. Στο σημείο A προτείνεται και εδώ προστασία με τον ίδιο εκτροπέα αν η απόσταση  $L1$  είναι μεγαλύτερη από την απόσταση προστασίας του εκτροπέα και τοποθετείται από έναν για κάθε πάνελ .Σε περίπτωση που η απόσταση  $L2$  είναι μεγαλύτερη από την απόσταση προστασίας πρέπει να εγκατασταθεί ένας ακόμα εκτροπέας στο σημείο C.



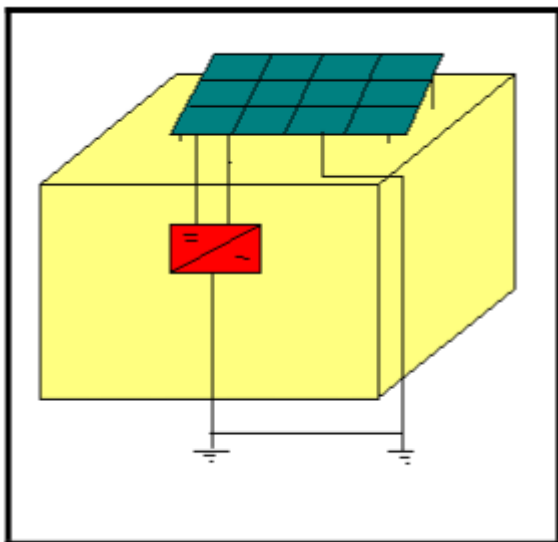
*Εικόνα 4.14: Κυκλωματικό διάγραμμα απομονωμένης Φ/Β εγκατάστασης*

## 4.2 Γείωση φωτοβολταϊκής γεννήτριας που είναι τοποθετημένη στη στέγη μιας κατασκευής

Η γείωση του φωτοβολταϊκού πάνελ με τη γη μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους. Αρχικά μπορούμε να συνδέσουμε το πάνελ μέσω ενός αγωγού σύνδεσης με το ηλεκτρικό σύστημα το οποίο είναι γειωμένο. Η μέθοδος αυτή είναι απλή στην υλοποίηση αλλά σε περίπτωση πλήγματος όλο το ρεύμα του κεραυνού διοχετεύεται στη γη μέσα από το κτήριο. Αυτό είναι εξαιρετικά επικίνδυνο καθώς η αμοιβαία επαγωγή μεταξύ του αγωγού σύνδεσης και των γειτονικών αγωγών σε περίπτωση πλήγματος θα προκαλέσει έντονες υπερτάσεις οδηγώντας σε καταστροφή της μόνωσης και πρόκληση πυρκαγιάς.

Ακόμα μπορούμε να γειώσουμε το πάνελ απευθείας μέσω ενός ηλεκτροδίου γείωσης. Αυτή η απομόνωση των γειώσεων όμως δεν έχει καμία αξία. Η αντίσταση μεταξύ των δυο ηλεκτροδίων γείωσης είναι πιθανό να είναι αρκετά χαμηλή, τόσο ώστε να πραγματοποιηθεί μια σημαντική ροή ρεύματος στο σύστημα. Αυτή η ροή με τη σειρά της θα προκαλέσει μια μεγάλη διαφορά δυναμικού μεταξύ της γείωσης και του ενεργειακού συστήματος οδηγώντας σε εκκένωση μεταξύ των πάνελ και των τερματικών που αυτά τροφοδοτούν.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η μέθοδος που ενδείκνυται περισσότερο όσον αφορά στη γείωση τέτοιων εγκαταστάσεων.



Εικόνα 4.15: Σύνδεση φ/β συστήματος στη γη

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ένα ξεχωριστό ηλεκτρόδιο γείωσης ενώ τα δυο ξεχωριστά ηλεκτρόδια συνδέονται ισοδυναμικά στο επίπεδο της γης. Η μέθοδος αυτή διοχετεύει με ασφάλεια όλο το ρεύμα του κεραυνού στη γη.

### 4.3 Η έννοια της απόστασης ασφαλείας.

Μια συνέπεια όπως είδαμε και παραπάνω του πλήγματος ενός κεραυνού είναι η εσωτερική διάσπαση που μπορεί να συμβεί μεταξύ των αγωγών του ΣΑΠ και των εσωτερικών αγωγίμων στοιχείων της κατασκευής γνωστή και side flash. Αν υποθεθεί ότι ένας συλλεκτήριος αγωγός πλήττεται από έναν κεραυνό ρεύματος  $i$ , το ρεύμα αυτό θα εκφορτιστεί στην γη, μέσω του αγωγού του ΣΑΠ. Ο δρόμος αυτός παρουσιάζει μια αυτεπαγωγή  $L$  και μια αντίσταση γείωσης  $R$ . Η κορυφή λοιπόν του ΣΑΠ παρουσιάζει ως προς τη γη μια διαφορά δυναμικού που δίνεται από τον τύπο:

$$V = iR + L \frac{di}{dt}$$

και ενδεχομένως να αναπτύξει σπινθήρα μεταξύ του αγωγού του ΣΑΠ και μίας εσωτερικής γειωμένης εγκατάστασης π.χ. του δικτύου ύδρευσης

Το παραπάνω φαινόμενο εισάγει την έννοια της **απόστασης ασφαλείας  $s$**  όπως εξετάσαμε και στα παραπάνω παραδείγματα.

#### 4.3.1. Ηλεκτρική απομόνωση του εξωτερικού ΣΑΠ - απόσταση ασφαλείας.

Η απομόνωση του εξωτερικού ΣΑΠ μπορεί να υλοποιηθεί μέσω καταλλήλων διαχωριστικών υλικών ή μέσω κατάλληλης διαχωριστικής απόστασης μεταξύ των τμημάτων. Η διαχωριστική απόσταση  $d$  μεταξύ των αγωγών καθόδου αφενός και των μεταλλικών εγκαταστάσεων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από την απόσταση ασφαλείας ( $d > s$ ).

Η απόσταση ασφαλείας  $s$  η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απόστασης που πρέπει να υπάρχει μεταξύ αγωγίμων μερών της εγκατάστασης αντικεραυνικής προστασίας υπολογίζεται ως εξής:

$$s = k_i * (k_c / k_m) * l \text{ (m)} \text{ (εξίσωση 4.1)}$$

όπου:  $k_i$ : εξαρτάται από την επιλεγόμενη στάθμη προστασίας του ΣΑΠ (πίνακας 4.1)

$k_m$ : εξαρτάται από το διαχωριστικό υλικό (πίνακας 4.2)

$k_c$ : εξαρτάται από το ρεύμα του κεραυνού που ρέει στους αγωγούς καθόδου

$l$  (m): είναι το μήκος του αγωγού καθόδου από το σημείο που πρόκειται να ελεγχθεί η γειτνίαση μέχρι το πλησιέστερο σημείο ισοδυναμικής σύνδεσης

Οι επικίνδυνοι σπινθήρες μεταξύ του εξωτερικού ΣΑΠ και των καλωδίων ή εξωτερικών αγωγίμων τμημάτων που εισέρχονται στην κατασκευή δεν μπορούν να αποφευχθούν μόνο με μόνωση μέσω της απόστασης ασφαλείας. Για αυτό το λόγο η ισοδυναμική σύνδεση είναι απαραίτητο να εξασφαλίζεται ( με απευθείας σύνδεση ή μέσω SPD) στο σημείο εισόδου τούς στην κατασκευή.

Κλάση ΣΑΠ	$K_i$
I	0.08
II	0.06
III -IV	0.04

Πίνακας 4.1: Τιμές για τον συντελεστή  $k_i$  για τον υπολογισμό της απόστασης ασφαλείας

Υλικό	$K_m$
Αέρας	1
Μπετόν, τούβλα	0.5
Όταν υπάρχουν διάφορα μονωτικά υλικά σε σειρά, μια καλή πρακτική είναι να χρησιμοποιείται χαμηλότερη τιμή για τον $k_m$	

Πίνακας 4.2: Τιμές για τον συντελεστή  $k_m$  για τον υπολογισμό της απόστασης ασφαλείας

#### 4.3.2. Υπολογισμός του συντελεστή $k_c$ για την εύρεση της απόστασης s

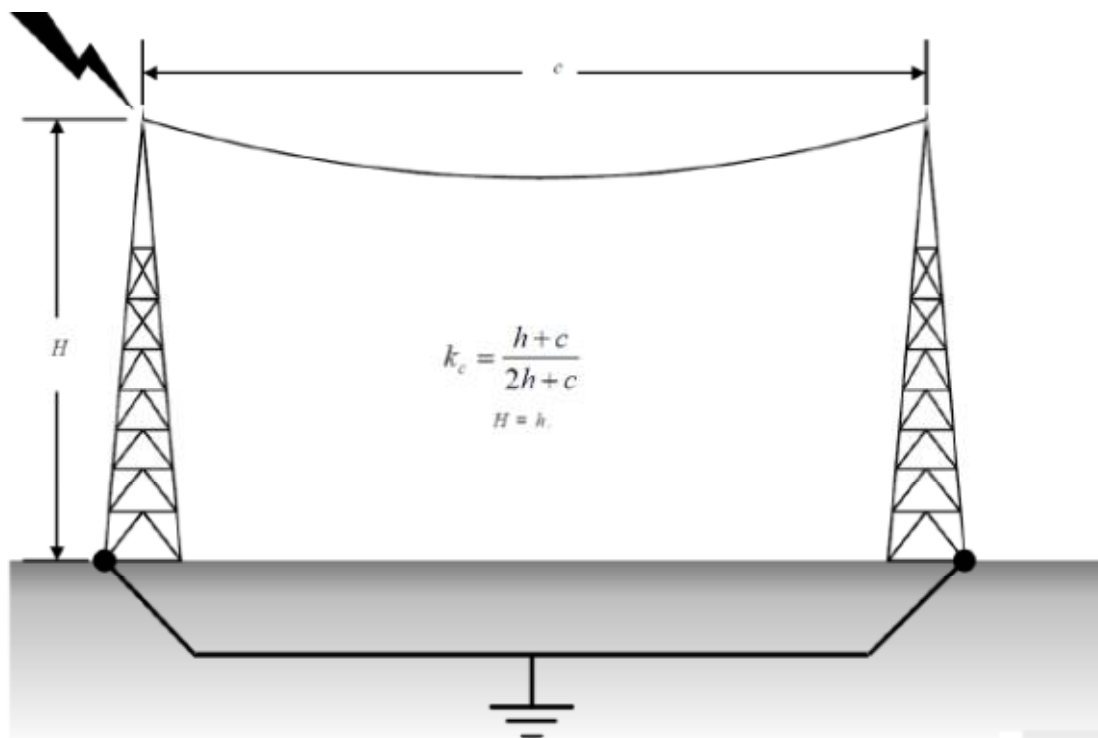
Ο συντελεστής κατανομής  $k_c$  προσδιορίζει την κατανομή του κεραυνικού ρεύματος στους αγωγούς καθόδου και εξαρτάται από τον συνολικό αριθμό  $n$  και τη θέση των αγωγών καθόδου (Πίνακας 4.3)

Τύπος συλλεκτήριου συστήματος	Αριθμός αγωγών καθόδου $n$	$k_c$	
		Γείωση τύπου	Γείωση τύπου
		A	B
Ακίδα	1	1	1
Σύρμα	2	$0.66^{\delta)}$	$0.55 \dots 1$ (Σχήμα 4.16) <sup>α)</sup>
Κλωβού	4 και περισσότεροι	$0.44^{\delta)}$	$0.25 \dots 1$ (Σχήμα 4.17) <sup>β)</sup>
Κλωβού	4 και περισσότεροι ενωμένοι με οριζόντιο περιμετρικό αγωγό	$0.44^{\delta)}$	$1/n \dots 0.5$ (Σχήμα 4.18) <sup>γ)</sup>

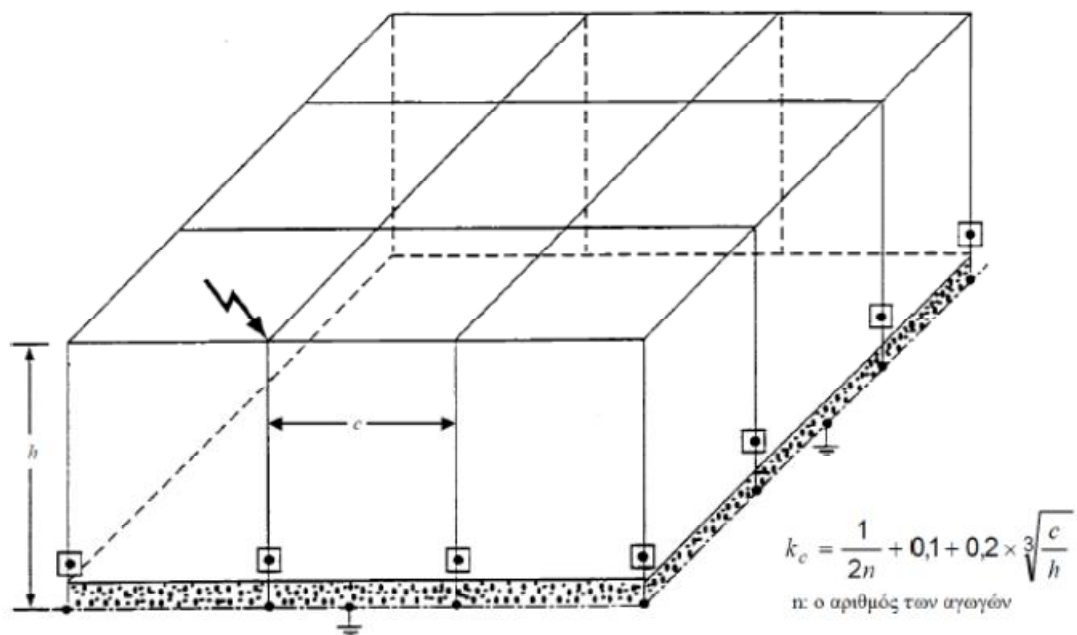
- α) Τιμές κυμαίνονται από 0.5 όπου  $c \ll h$ , έως και 1 με  $h \ll c$  (Σχήμα 4.16)
- β) Η εξίσωση του σχήματος 4.17 είναι προσεγγιστική και αναφέρεται σε κυβικού σχήματος κτίρια με  $n \geq 4$ . Οι τιμές  $h$ ,  $c_s$ ,  $c_d$  κυμαίνονται από 5 έως 20 m
- γ) Όταν υπάρχουν περιμετρικοί αγωγοί η διανομή του ρεύματος είναι περισσότερο ομογενής στα κατώτερα μέρη και ο συντελεστής  $k_c$  μειώνεται. Έγκυρο για ψηλά κτίρια.
- δ) Οι τιμές είναι έγκυρες για μονά ηλεκτρόδια γείωσης με συγκρίσιμες αντιστάσεις γείωσης. Εάν οι αντιστάσεις γείωσης διαφέρουν σημαντικά τότε  $k_c = 1$

**Πίνακας 4.3:** Τιμές για τον συντελεστή  $k_c$  για τον υπολογισμό της απόστασης ασφαλείας συναρτήσει του τύπου του συλλεκτήριου συστήματος και της διάταξης της γείωσης.

Για καλύτερη κατανόηση των σημειώσεων του πίνακα παρατίθενται τα παρακάτω σχήματα:



**Εικόνα 4.16:** Υπολογισμός του συντελεστή  $k_c$  στην περίπτωση τεταμένου σύρματος και γείωσης διάταξης τύπου Β



**Εικόνα 4.17:** Υπολογισμός του συντελεστή  $k_c$  στην περίπτωση δικτυωτών τεταμένων συρμάτων και γείωσης τύπου B

$$d_a \geq s_a = \frac{k_f}{k_m} \times k_{c1} \times l_a$$

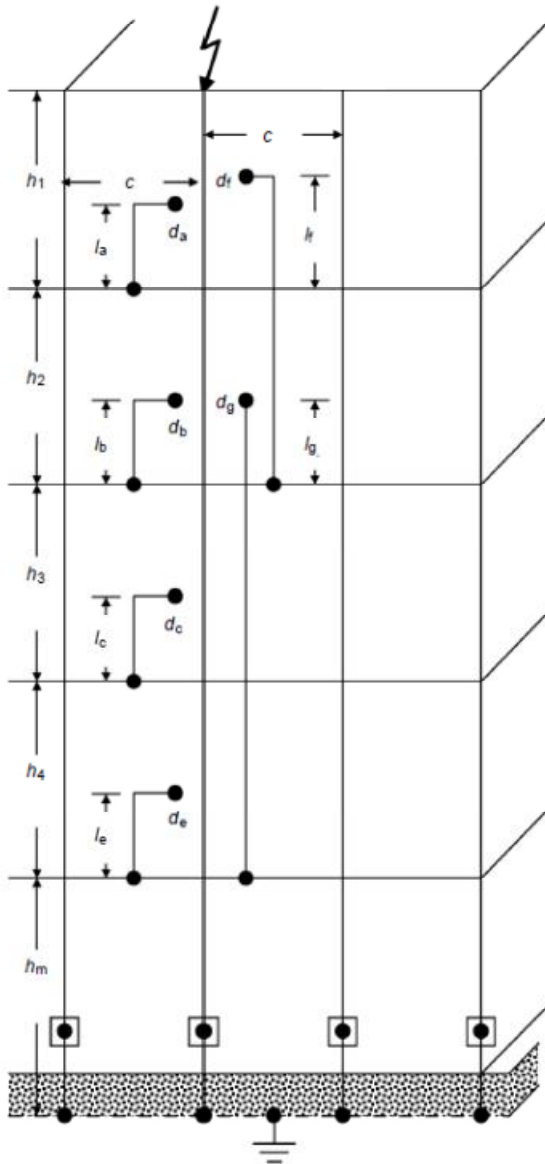
$$d_b \geq s_b = \frac{k_f}{k_m} \times k_{c2} \times l_b$$

$$d_c \geq s_c = \frac{k_f}{k_m} \times k_{c3} \times l_c$$

$$d_e \geq s_e = \frac{k_f}{k_m} \times k_{c4} \times l_e$$

$$d_f \geq s_f = \frac{k_f}{k_m} \times (k_{c1} \times l_f + k_{c2} \times h_2)$$

$$d_g \geq s_g = \frac{k_f}{k_m} \times (k_{c2} \times l_g + k_{c3} \times h_3 + k_{c4} \times h_4)$$



$$k_{c1} = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \times \sqrt[3]{\frac{c}{h_1}}$$

$$k_{c2} = \frac{1}{n} + 0,1$$

$$k_{c3} = \frac{1}{n} + 0,01$$

$$k_{c4} = \frac{1}{n}$$

$$k_{cm} = k_{c4} = \frac{1}{n}$$

**Key**

- n* total number of down-conductors
- c* spacing between down-conductors
- h* spacing (height) between ring conductors
- m* total number of levels
- d* distance to the nearest down-conductor
- l* height above the bonding point

IEC 2657/10

**Εικόνα 4.18:** Παράδειγμα υπολογισμού της απόστασης ασφαλείας σε περίπτωση συλλεκτήριου συστήματος πλέγματος, αγωγών καθόδου ενδοσυνδεδεμένους με δακτύλιους και σύστημα γείωσης τύπου Β. Όπου *m* είναι ο συνολικός αριθμός επιπέδου και η απόσταση ασφαλείας μεταβάλλεται και υπολογίζεται για κάθε επίπεδο.

**4.3.3. Υπολογισμός του συντελεστή *k<sub>c</sub>* σε συστήματα με γείωση τύπου Α**

Στην περίπτωση γείωσης τύπου Α χρησιμοποιούνται τα παρακάτω σχήματα για τον υπολογισμό του συντελεστή  $k_c$  (σχήμα 4.19). Ο συντελεστής εξαρτάται από τον διαχωρισμό του κεραυνικού ρεύματος που εξαρτάται από τον συνολικό αριθμό αγωγών καθόδου, αλλά και την διάταξη της γείωσης. Η απόσταση ασφαλείας εξαρτάται από την πτώση τάσης του συντομότερου σημείου από το οποίο θεωρείται η απόσταση αυτή, στο ηλεκτρόδιο του εδάφους ή στο κοντινότερο σημείο ισοδυναμικής σύνδεσης.

Εάν οι αγωγοί καθόδου διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα καθ'όλο το μήκος τους χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:






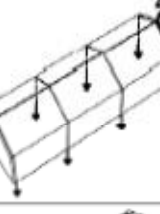


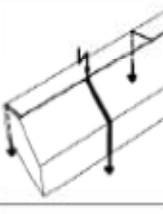



$$s = k_i \times k_c \times l \quad (\text{εξίσωση 4.2})$$

Εάν οι αγωγοί διαρρέονται από διαφορετικό (μειούμενο) ρεύμα κατά μήκος τότε:

$$s = k_i \times (k_{c1} \times l_1 + k_{c2} \times l_2 + \dots + k_{cn} \times l_n) \quad (\text{εξίσωση 4.3})$$

Το σημείο κεραυνοπληξίας απαραίτητο για το  $k_c$  και το σημείο όπου υπολογίζεται η απόσταση ασφαλείας ίσως διαφέρουν.



	$\frac{c}{h}$	0,33	0,50	1,00	2,00		$\frac{c}{h}$	0,33	0,50	1,00	2,00
	$k_0$	0,57	0,60	0,66	0,75		$k_0$	0,31	0,33	0,37	0,41
	$k_0$	0,47	0,52	0,62	0,73		$k_0$	0,20	0,23	0,27	0,41
	$k_0$	0,44	0,50	0,62	0,73		$k_0$	0,27	0,33	0,37	0,41
	$k_0$	0,40	0,43	0,50	0,60		$k_0$	0,23	0,25	0,30	0,35
	$k_0$	0,35	0,39	0,47	0,50		$k_0$	0,21	0,24	0,29	0,35
	$k_0$	0,31	0,35	0,45	0,50		$k_0$	0,20	0,23	0,29	0,35

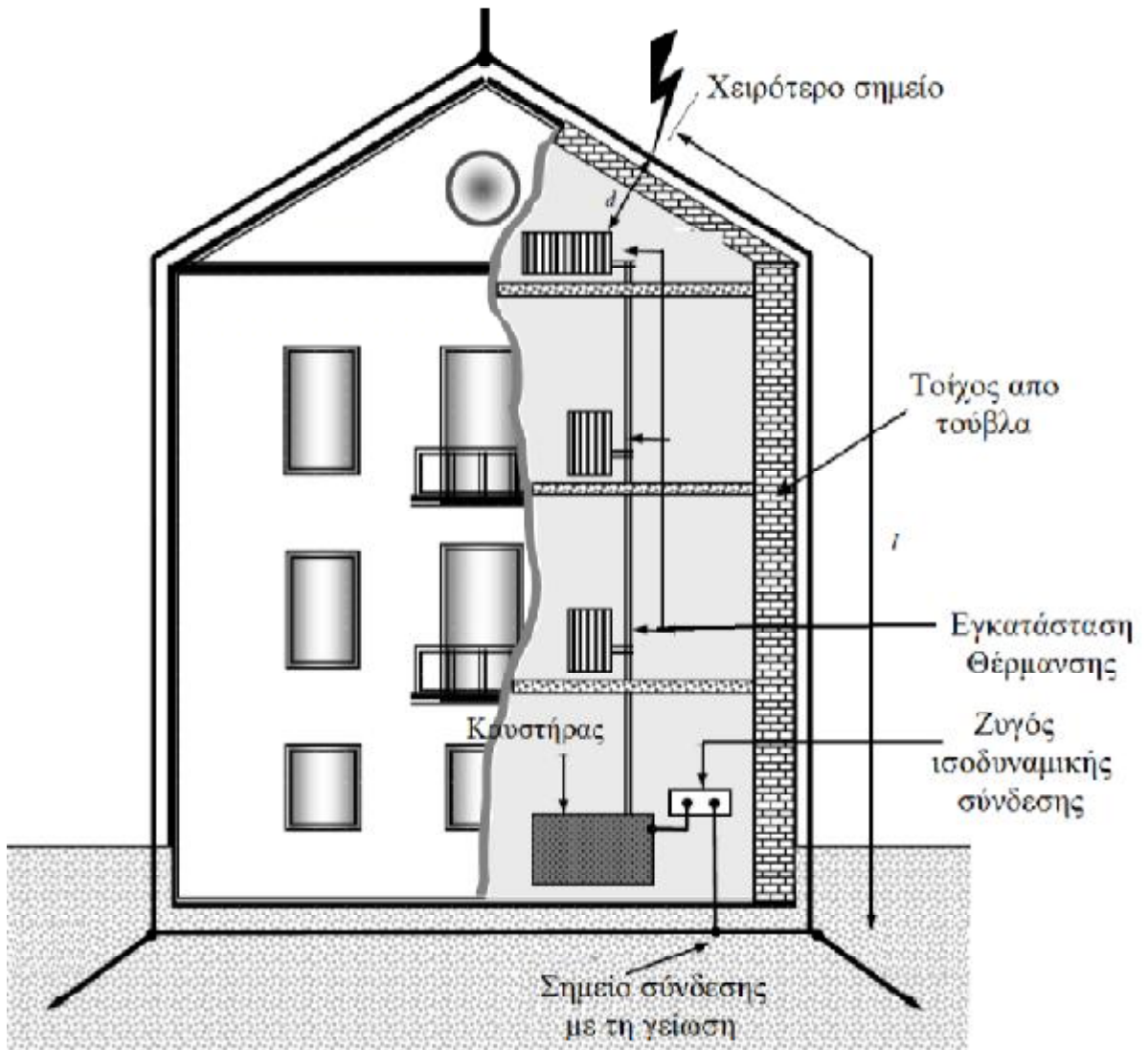
**Εικόνα 4.19:** Υπολογισμός του συντελεστή  $k_c$  για την περίπτωση εγκαταστάσεων με συλλεκτήριο αγωγό στην κορυφοσακμή της στέγης με γείωση τύπου Α. Στην περίπτωση αυτή υπολογίζεται ο λόγος  $c/h$  της απόστασης μεταξύ διαδοχικών αγωγών καθόδου και του ύψους που διατρέχει το ρεύμα έως τη γη.

#### 4.3.4. Θεώρηση του μήκους $l$ για τον υπολογισμό της απόστασης ασφαλείας $s$

Το μήκος  $l$  της εξίσωσης 4.1 για τον υπολογισμό της απόστασης ασφαλείας  $s$ , είναι η απόσταση μεταξύ του σημείου ισοδυναμικής σύνδεσης και του σημείου εγγύτητας κατά μήκος του αγωγού καθόδου.

Το μήκος και η διαδρομή του αγωγού εντός του κτιρίου από το σημείο ισοδυναμικής σύνδεσης στο σημείο εγγύτητας έχει γενικά μικρή επίπτωση στην απόσταση ασφαλείας, αλλά όταν ο αγωγός βρίσκεται κοντά στον αγωγό καθόδου η απόσταση ασφαλείας είναι μικρότερη.

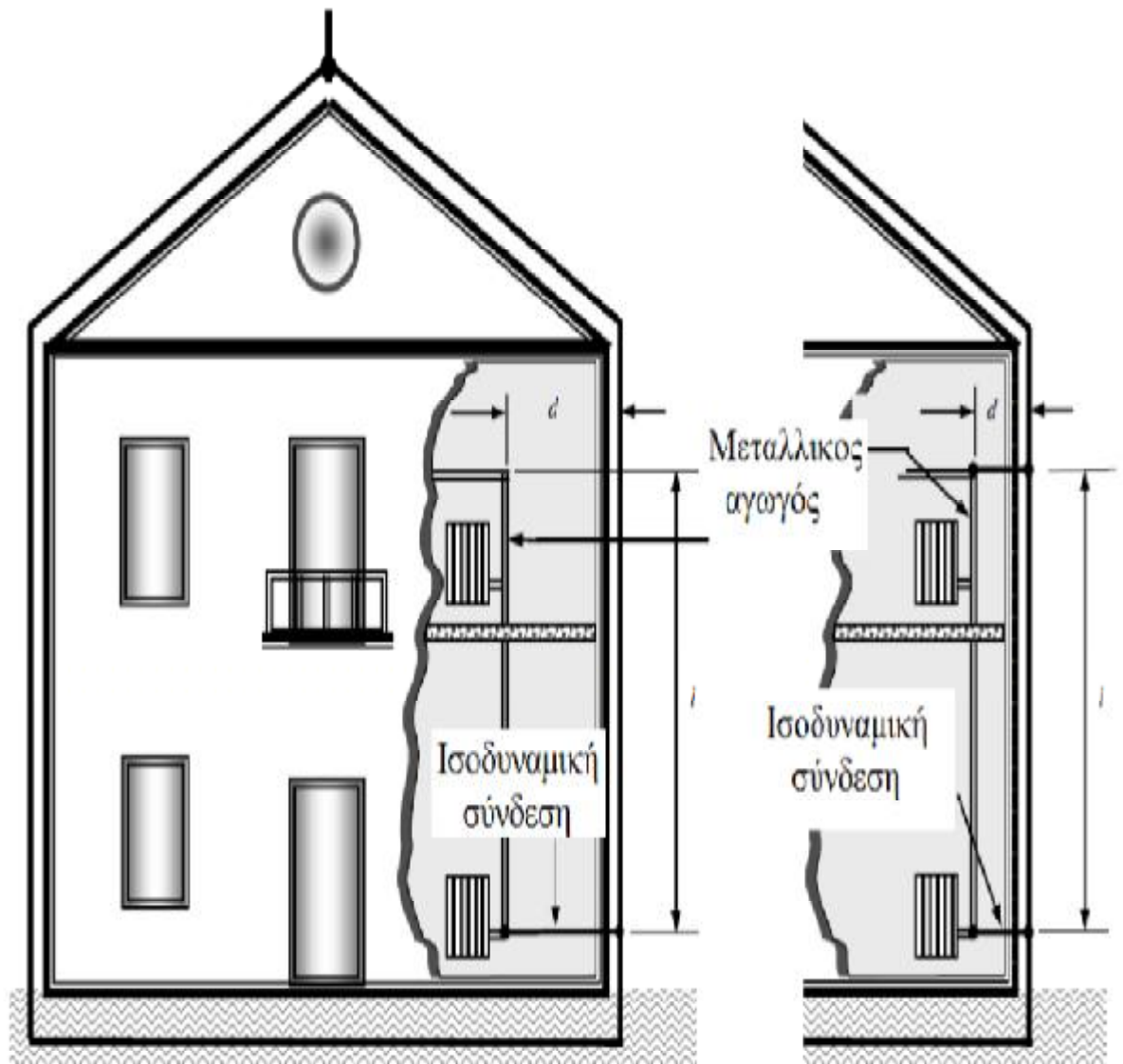
Για κτίρια χωρίς αγωγό υλικά κατασκευής ( τούβλα, ξύλο), η απόσταση  $l$  υπολογίζεται από το πιο απομακρυσμένο ανεπιθύμητο σημείο κεραυνοπληξίας ( σχήμα 4.20) έως το σημείο σύνδεσης του συστήματος ισοδυναμικής σύνδεσης με τον αγωγό καθόδου και τη γείωση.



**Εικόνα 4.20:** Υπολογισμός του μήκους  $l$  σε περίπτωση κεραυνοπληξίας στο χειρότερο δυνατό σημείο. Για την αποφυγή σπινθήρα θα πρέπει  $d > s$ .

Όταν δεν είναι δυνατόν να διατηρηθεί απόσταση  $d$  μεγαλύτερη από την απόσταση ασφαλείας  $s$ , τότε θα πρέπει να συνδέεται το πιο απομακρυσμένο σημείο της εγκατάστασης στο εξωτερικό ΣΑΠ (σχήμα 4.21).

Για τους παραπάνω λόγους θα πρέπει οι ηλεκτρικοί αγωγοί μια εγκατάστασης να σχεδιάζονται με βάση τις απαιτήσεις για την απόσταση ασφαλείας  $s$ , διαφορετικά θα πρέπει να περικλείονται σε αγωγίμες θωρακίσεις, οι οποίες με την σειρά τους διασυνδέονται με το εξωτερικό ΣΑΠ και την γείωση.



**Εικόνα 4.21:** Παραδείγματα απόστασης ασφαλείας με εσωτερικό μεταλλικό σύστημα. Στην δεύτερη περίπτωση όπου  $d < s$  το σύστημα θέρμανσης συνδέεται με το εξωτερικό ΣΑΠ.

Γενικά για την απόσταση ασφαλείας ισχύουν:

- Ø Στην περίπτωση μεγάλων κτιρίων η απόσταση ασφαλείας είναι μεγάλη για να υπερκαλύπτεται. Αυτό συνεπάγεται επιπρόσθετη σύνδεση των μεταλλικών εγκαταστάσεων με το εξωτερικό ΣΑΠ. Κατά συνέπεια μέρος του κεραυνικού ρεύματος θα διαρρέψει τις μεταλλικές αυτές εγκαταστάσεις προς τη γη.
- Ø Ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή συμβαίνει σε αυτές τις περιπτώσεις διασύνδεσης των μεταλλικών εγκαταστάσεων κάτι που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

#### **4.4 Αντικεραυνική προστασία φωτοβολταϊκών πάρκων.**

Σε μία χώρα όπως η Ελλάδα όπου υπάρχει ηλιοφάνεια σχεδόν όλες τις μέρες του έτους ο αριθμός των εγκαταστάσεων φωτοβολταϊκών πάρκων έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια.

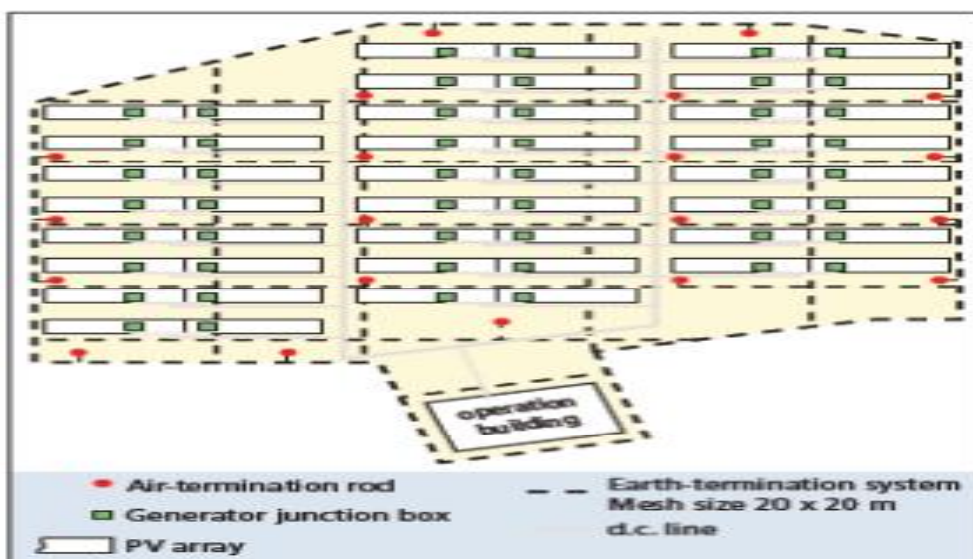
Στην περίπτωση ενός ηλιακού φωτοβολταϊκού πάρκου στόχος είναι η προστασία του κτιρίου ελέγχου και των φωτοβολταϊκής διάταξης από άμεσα κεραυνικά χτυπήματα που μπορούν να προκαλέσουν πυρκαγιά, του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (αντιστροφείς, διαγνωστικά συστήματα κτλ), απο τις παρενέργειες που μπορούν να προκαλέσουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ενός κεραυνικού χτυπήματος.

##### **4.4.1. Το συλλεκτήριο σύστημα και οι αγωγοί καθόδου**

Για προστασία της φωτοβολταϊκής διάταξης από άμεσα κεραυνικά χτυπήματα είναι απαραίτητο τα φωτοβολταϊκά πάνελ να βρίσκονται μέσα στη ζώνη προστασίας ενός απομονωμένου συλλεκτήριου συστήματος. Θα θεωρήσουμε ότι η κλάση του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας είναι III για φωτοβολταϊκά συστήματα μεγαλύτερα των 10 KW. Σύμφωνα με τη κλάση του ΣΑΠ το ύψος και η ποιότητα του συλλεκτήριου συστήματος καθορίζεται από την μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας. Επιπλέον πρέπει να διασφαλιστεί η απαραίτητη απόσταση ασφαλείας  $s$  μεταξύ των μεταλλικών βάσεων των φωτοβολταϊκών πάνελ και των ράβδων σύλληψης. Επίσης το κτίριο ελέγχου πρέπει να είναι εξοπλισμένο με εξωτερικό ΣΑΠ κλάσης προστασίας III. Η σύνδεση των αγωγών καθόδου με το σύστημα γείωσης γίνεται με λυόμενους συνδέσμους. Λόγω του κινδύνου διάβρωσης στο σημείο που γίνεται η σύνδεση, όπου οι σύνδεσμοι βρίσκονται σε χώμα ή μπετό, πρέπει να είναι κατασκευασμένοι από αντιδιαβρωτικό υλικό.

##### **4.4.2. Σύστημα γείωσης**

Γενικά για αυτής της κατηγορίας εγκαταστάσεις, εκτεταμένες μεταλλικές κατασκευές, συνιστάται σύστημα γείωσης B ( περιμετρικής θεμελιακή γείωση ή πλέγμα γείωσης). Το σύστημα γείωσης θα πρέπει να είναι κοινό για κάθε εφαρμογή στην εγκατάσταση.



**Εικόνα 4.22:** Παράδειγμα φωτοβολταϊκού πάρκου .Η κόκκινη κουκκίδα δείχνει την θέση των ακίδων σύλληψης.

Το σύστημα γείωσης του φωτοβολταϊκού συστήματος (εικόνα 4.22) σχεδιάζεται με περιμετρικό ηλεκτρόδιο και με περίμετρο πλέγματος 20m x 20 m. Τα μεταλλικά πλαίσια που τοποθετούνται τα φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδέονται κάθε 10 m με το σύστημα γείωσης. Το σύστημα γείωσης πλέγματος εξασφαλίζει χαμηλή αντίσταση γείωσης και μειώνει δραστικά τις επικίνδυνες επιδράσεις του κεραυνού. Τα επιφανειακά ηλεκτρόδια γείωσης τοποθετούνται σε βάθος τουλάχιστον 0.5 m μέσα στο έδαφος. Τα πλέγματα συνδέονται μεταξύ τους με συνδέσμους τριών και τεσσάρων αγωγών και οι σύνδεσμοι στο έδαφος πρέπει να τυλίγονται με ταινία ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος διάβρωσης εξαιτίας των καιρικών συνθηκών.

Στις παρακάτω εικόνες 4.23 και 4.24 βλέπουμε τις δύο διαφορετικές περιπτώσεις που λαμβάνουμε υπόψιν όταν σχεδιάζουμε ένα ΣΑΠ.



**Εικόνα 4.23:** Διάταξη ηλεκτροδίου γείωσης τύπου Β για μη απομονωμένο ΣΑΠ. Οι ακίδες σύλληψης για δύο συνεχόμενες φωτοβολταϊκές συστοιχίες συνδέονται με ένα ηλεκτρόδιο που είναι εγκαταστημένο ανάμεσα τους.

Στην περίπτωση της εικόνας 4.23 συνίσταται η απόσταση μεταξύ της μεταλλική βάσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου της κάθε σειράς και του ηλεκτροδίου γείωσης να μην ξεπερνάει τα 3 μέτρα.



**Εικόνα 4.24:** Διάταξη ηλεκτροδίου γείωσης τύπου Β για απομονωμένο ΣΑΠ. Κάθε απομονωμένη ακίδα σύλληψης συνδέεται με ξεχωριστό ηλεκτρόδιο και απευθείας στην μεταλλική βάση.

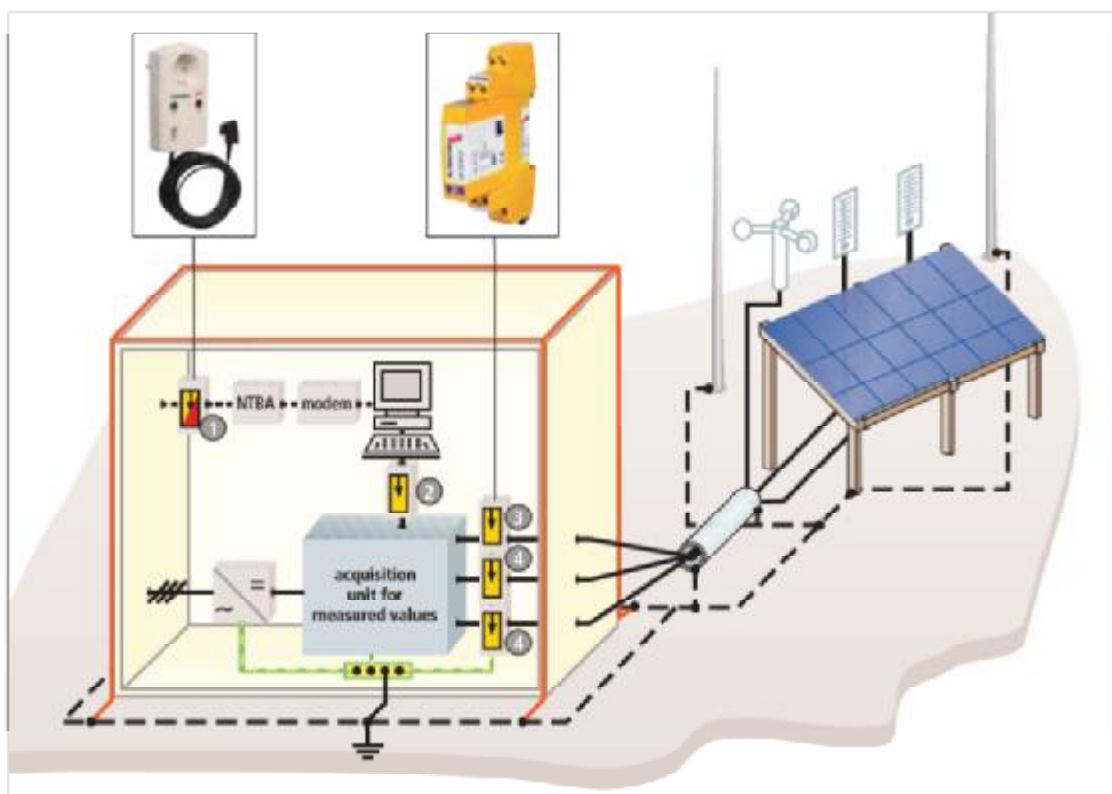
Επίσης στην περίπτωση της εικόνας 4.24 κάθε μεταλλική βάση συνδέεται στο ίδιο ηλεκτρόδιο γείωσης αλλά με ανεξάρτητους αγωγούς σύνδεσης.

#### **4.4.3. Σύστημα γείωσης κτιρίου ελέγχου φωτοβολταϊκής εγκατάστασης**

Η καλύτερη λύση για το κτίριο ελέγχου είναι η ενσωματωμένη γείωση η οποία μπορεί να προσφέρει πλήρη προστασία σε όλες τις εγκαταστάσεις τις κατασκευής. Στην περίπτωση του κτιρίου θα χρησιμοποιήσουμε διάταξη ηλεκτροδίου Β ή αλλιώς θεμελιακή γείωση. Η θεμελιακή γείωση εξασφαλίζει χαμηλή τιμή αντίστασης γείωσης, δημιουργία ισοδυναμικής επιφάνειας, προστασία ηλεκτροδίου από διάβρωση λόγω εγκιβωτισμού του στο μπετό.

Επίσης το κτίριο ελέγχου περιλαμβάνει ένα απομονωμένο διαγνωστικό σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται για ένα απλό γρήγορο έλεγχο λειτουργίας του συστήματος. Όπως φαίνεται και το στο σχήμα 4.25 οι μετρήσεις ταχύτητας του ανέμου, της θερμοκρασίας του Φ/Β στοιχείου και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος πραγματοποιούνται με εξωτερικούς αισθητήρες στο Φ/Β σύστημα. Οι αισθητήρες τοποθετούνται και αυτοί μέσα στη ζώνη αντικεραυνικής προστασίας (ΖΑΠ) όπως τα Φ/Β πάνελ. Παρ'όλα αυτά υπερτάσεις που προέρχονται από επαγωγικά φαινόμενα κατά την πραγματοποίηση ενός πλήγματος κεραυνού μπορεί να επηρεάσουν τα συστήματα μέτρησης. Προκειμένου να διασφαλίσουμε μια συνεχή και χωρίς προβλήματα μεταφορά των δεδομένων στη μονάδα μέτρησης είναι απαραίτητο να συνδέσουμε τα καλώδια των αισθητήρων που εισέρχονται στο κτίριο μέσω εκτροπέων υπέρτασης κλάσης III όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.





Εικόνα 4.25: Σύστημα προστασίας των αισθητήρων με εκτροπείς υπέρτασης.

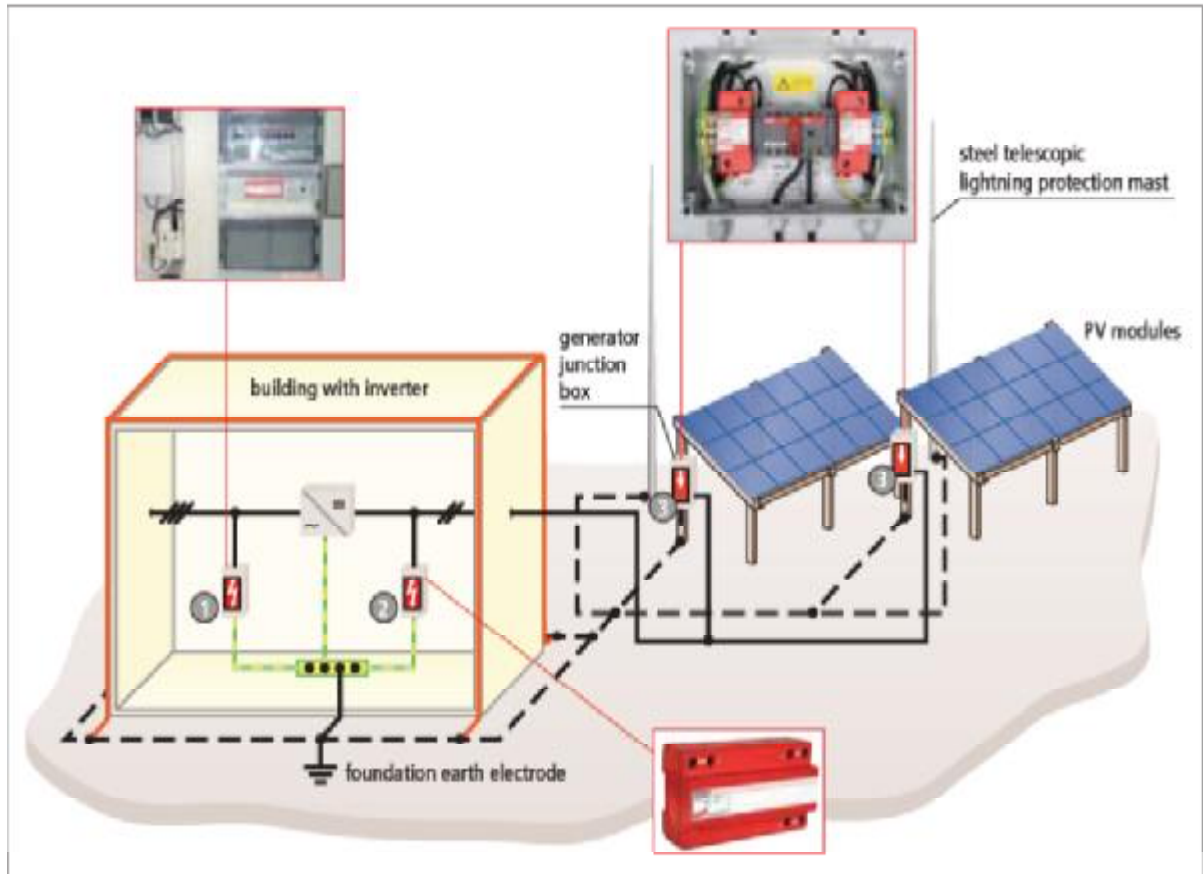
#### 4.4.4. Μέτρα προστασίας έναντι υπερτάσεων στις φωτοβολταϊκές συστοιχίες.

Στα κιβώτια διασύνδεσης, κατά το δυνατόν πλησιέστερα στη Φ/Β γεννήτρια, εγκαθίστανται εκτροπείς υπέρτασης κλάσης I. Οι εκτροπείς υπέρτασης στο κουτί διασύνδεσης της γεννήτριας προστατεύουν τοπικά τα Φ/Β στοιχεία και εμποδίζουν τις υπερπηδησεις εξαιτίας των ηλεκτρομαγνητικών επιδράσεων στα στοιχεία.

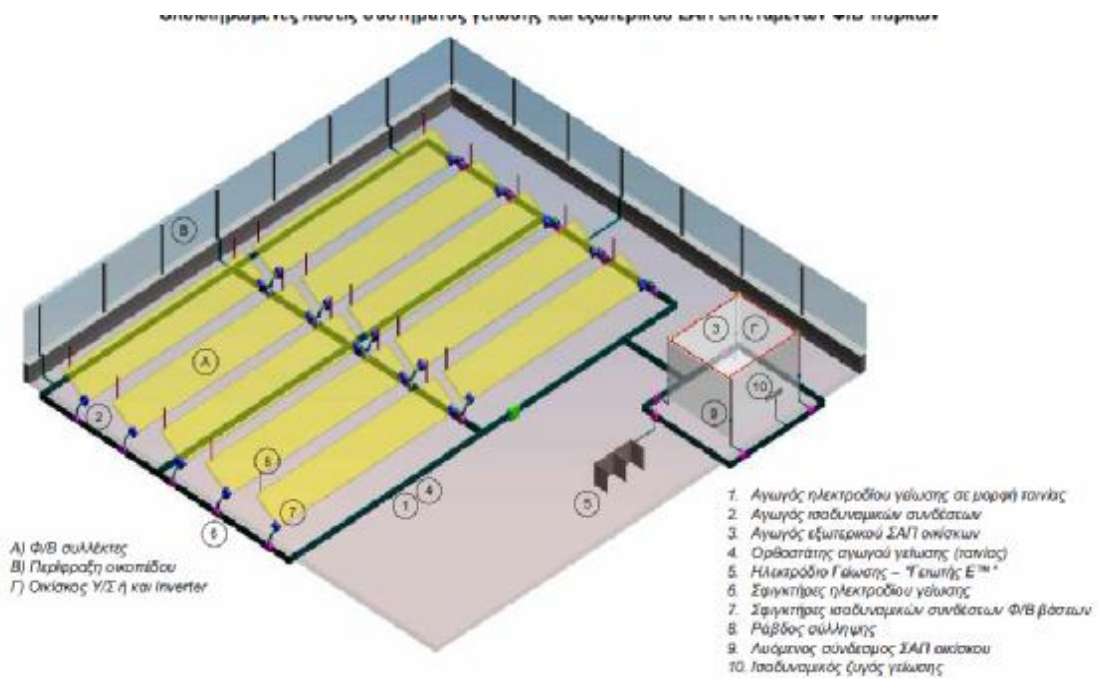
#### 4.4.5. Μέτρα προστασίας έναντι υπερτάσεων στον αντιστροφέα.

Εάν τα dc καλώδια που οδηγούνται από το Φ/Β πάνελ στον αντιστροφέα έχουν μήκος μεγαλύτερο από 10 m τότε η ύπαρξη εκτροπέα υπέρτασης στο κιβώτιο διασύνδεσης δίπλα στην Φ/Β συστοιχία δεν μας καλύπτει. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να τοποθετήσουμε έναν επιπλέον εκτροπέα υπέρτασης κλάσης II στην dc είσοδο του αντιστροφέα. Επίσης στην έξοδο ac του αντιστροφέα θα τοποθετήσουμε εκτροπέα υπέρτασης κλάσης II.





**Εικόνα 4.26:** Βασική κυκλωματική διάταξη προστασίας έναντι υπερτάσεων για τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες και τον αντιστροφέα.



**Εικόνα 4.27:** Ολοκληρωμένη λύση συστήματος γειώσης και εξωτερικού ΣΑΠ εκεταμένων πάρκων

## Συμπεράσματα

Οι Φ/Β γεννήτριες από την θέση τους είτε στην ύπαιθρο είτε σε στέγες κτηρίων είναι εκτεθειμένες σε πιθανά κεραυνικά πλήγματα, όσο και σε ενδεχόμενες υπερτάσεις προερχόμενες από τα εισερχόμενα σε αυτές δίκτυα. Για να προστατευτεί λοιπόν ο εξοπλισμός, όσο και για λόγους ασφαλείας, είναι απαραίτητη η μελέτη και η σχεδίαση ενός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα. Εκτός από την εγκατάσταση του Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας σημαντικό ρόλο παίζει και η ορθή εφαρμογή των εκτροπέων υπέρτασης.

Γενικά στη παρούσα διπλωματική εργασία αρχικά εξετάσαμε θεωρητικά πως αποτιμούμε τον κίνδυνο πλήγματος μια κατασκευής από κεραυνό. Στη συνέχεια αναλύσαμε λεπτομερώς τα μέρη του εξωτερικού και εσωτερικού συστήματος αντικεραυνικής προστασίας.

Στην πράξη όμως υπάρχουν δυσκολίες που είναι συχνά αδύνατο να παρακαμφθούν (όπως το ρεύμα που αναμένουμε να πλήξει μια εγκατάσταση σε περίπτωση υπέρτασης για την επιλογή της κατάλληλης κλάσης εκτροπέα), για αυτό το λόγο εξετάσαμε διάφορους παράγοντες όπως η ύπαρξη ΣΑΠ ή όχι, τη σχεδίαση του, το μέγεθος της εγκατάστασης κτλ.

Η Φ/Β διάταξη χωρίζεται σε Ζώνες Αντικεραυνικής Προστασίας. Εγκαθιστούμε τους εκτροπέις υπέρτασης (κλάση II) στα όρια των ΖΑΠ και μάλιστα όσο πιο κοντά είναι εφικτό.

Επιπλέον έγινε ιδιαίτερη αναφορά στην απόσταση ασφαλείας  $s$ , δηλαδή την απόσταση μεταξύ των μεταλλικών πλαισίων των Φ/Β πάνελ και των αγωγών που μεταφέρουν το κεραυνικό ρεύμα προς τη γη, και στον τρόπο υπολογισμού της.

## Βιβλιογραφία

- 1) Ολοκληρωμένες Λύσεις Αντικεραυνικής Προστασίας Φωτοβολταϊκών Συστημάτων. ΕΛΕΜΚΟ
- 2) Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών, [www.helapco.gr](http://www.helapco.gr)
- 3) Κέντρο ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας
- 4) Παπαπαναγού Παναγιώτης. Προστασία φωτοβολταϊκών γεννητριών έναντι υπερτάσεων. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο
- 5) Παντελής Ν. Μικρόπουλος Επίκουρος Καθηγητής. Συστήματα Αντικεραυνικής Προστασίας Πανεπιστημιακές Παραδόσεις. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο

6) Γεώργιος Μ. Κακούρος. Αντικεραυνική Προστασία σε Στρατιωτικές Εγκαταστάσεις. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

7) Αναστοπούλου Αγγελική. Αντικεραυνική Προστασία φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο

8) Σαρρής Μιχαήλ. Αντικεραυνική προστασία. ΑΠΕ Αττικής Κρήτης

9) Dr Nikolaos Kokkinos Dr Nikolas Christofides Dr Charalambos Charalambous  
Lightning protection practice for large extended photovoltaic installations

10) IEC 62304-3 2010-12 Protection against lightning