



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ  
ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (ΣΑΠ) ΜΕ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΣΑΠ ΜΕ  
ΖΩΝΕΣ ΑΝΤΙΚΕΡΑΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (ΖΑΠ) ΣΕ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΠΕ –  
ΜΕΛΕΤΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΖΗΜΙΩΝ ΑΠΟ ΚΕΡΑΥΝΟΥΣ –  
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΥΠΑΙΘΡΙΑ Φ/Β ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΓΑΛΗΣ ΙΣΧΥΟΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΤΣΟΝΤΖΟΡΑΣ (ΑΜ:1900)**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΕΡΑΤΖΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΙΟΥΝΙΟΣ 2022**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

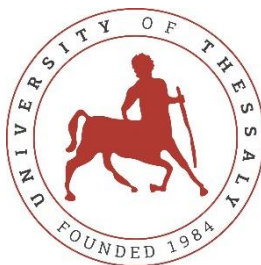
**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ  
ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (ΣΑΠ) ΜΕ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΣΑΠ ΜΕ  
ΖΩΝΕΣ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (ΖΑΠ) ΣΕ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΠΕ –  
ΜΕΛΕΤΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΖΗΜΙΩΝ ΑΠΟ ΚΕΡΑΥΝΟΥΣ –  
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΥΠΑΙΘΡΙΑ Φ/Β ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΓΑΛΗΣ ΙΣΧΥΟΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΤΣΟΝΤΖΟΡΑΣ (ΑΜ:1900)**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΕΡΑΤΖΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΙΟΥΝΙΟΣ 2022**



**UNIVERSITY OF THESSALY**

**SCHOOL OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING**

**STUDY AND DESIGN OF A LIGHTNING PROTECTION SYSTEM  
(LPS) WITH EXTERNAL AND INTERNAL LPS, WITH LIGHTNING  
PROTECTION ZONES (LPZ) INTO UNITS OF RENEWABLE ENERGY  
SOURCES- STUDY AND ESTIMATE THE DANGER OF DAMAGES  
FROM LIGHTNING PROTECTION– APPLY TO OUTDOOR  
PHOTOVOLTAIC INSTALLATION OF EXTERNAL POWER**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**GEORGIOS TSONTZORAS (AM:1900)**

**Supervisor: GEORGIOS PERANTZAKIS**

**ΙΟΥΝΙΟΣ 2022**

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπων

**ΠΕΡΑΤΖΑΚΙΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών  
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

**ΛΟΥΤΡΙΑΔΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ**

Αναπληρωτής καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και  
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

**ΙΩΑΝΝΗΣ ΠΑΝΑΠΑΚΙΔΗΣ**

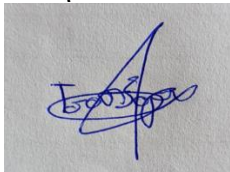
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και  
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ημερομηνία έγκρισης: 21-10-2020

## ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο Δηλών



(Υπογραφή)

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΤΣΟΝΤΖΟΡΑΣ

Ημερομηνία 17/06/2022

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Διπλωματική εργασία, αναλύει σε βάθος τη μελέτη και σχεδιασμό ενός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας (ΣΑΠ) με εσωτερικό και εξωτερικό ΣΑΠ, με ζώνες αντικεραυνικής προστασίας (ΖΑΠ) πάνω σε φωτοβολταϊκή μονάδα. Επίσης, πραγματοποιείται μελέτη εκτίμησης κινδύνου ζημιών από κεραυνούς, όσο και η εφαρμογή του σε υπαίθρια μονάδα. Αρχικά παρουσιάζονται οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τους λόγους τους οποίους καθιστούν απαραίτητη τη χρήση τους και ολοκληρώνεται με εκτενή αναφορά στην ηλιακή ενέργεια. Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται μια παρουσίαση των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Αναλύεται, κυρίως η δομή τους, τα φωτοβολταϊκά κύτταρα, οι συσσωρευτές, οι μετατροπείς και οι αντιστροφεείς. Στο τρίτο κεφάλαιο, καταπιανόμαστε με τις ατμοσφαιρικές εκκενώσεις. Πραγματοποιείται ανάλυση του φαινομένου του κεραυνού και οι επιπτώσεις του στις κατασκευές. Γίνεται λόγος, επίσης, για τη συχνότητα των πληγμάτων από ατμοσφαιρικές εκκενώσεις. Στο τέταρτο κεφάλαιο, επιχειρείται η περιγραφή της εγκατάστασης του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας. Αρχικά αναφέρεται η αρχή λειτουργίας των αλεξικέραυνων, ενώ έπειτα στις ζώνες ΖΑΠ και την εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας. Επιπροσθέτως, αναλύουμε σε βάθος το συλλεκτήριο σύστημα, και κυρίως την περιοχή προστασίας που εξασφαλίζεται από το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας, όσο και την επιλογή των στοιχείων του. Υπολογίζεται ακόμη το ρεύμα που ρέει σε αγωγούς εξωτερικού συστήματος αντικεραυνικής προστασίας. Στο πέμπτο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας γίνεται μελέτη εφαρμογής του αντικεραυνικού συστήματος σε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση στην Στυλίδα Φθιώτιδος. Παρουσιάζονται τα επι μέρους τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης και γίνεται μελέτη εκτίμησης ζημιών από κεραυνούς. Τέλος στο έκτο κεφάλαιο εξετάζονται τα αποτελέσματα που έγιναν εμφανή από την εφαρμογή του αντικεραυνικού συστήματος που μελετήθηκε στην φωτοβολταϊκή εγκατάσταση.

## ABSTRACT

The present dissertation analyzes in depth the study and design of a lightning protection system (LPS) with external and internal LPS, with lightning protection zones (LPZ) on a photovoltaic installation. Also, a study is conducted to assess the risk of lightning damage, as well as its application in an outdoor photovoltaic installation. In the first chapter, a reference to renewable energy sources is presented, the reasons which make their use necessary and concludes with an extensive reference to solar photovoltaic installation. In the second chapter, a presentation of photovoltaic systems is made. The structure and operation of main equipment used in photovoltaic installation, such as photovoltaic cells, batteries, converters and inverters, are analyzed and presented. In the third sub-chapter, we deal with atmospheric lightning strokes. An analysis of the lightning phenomenon and its effects on the constructions is carried out. In the fourth chapter, a description of the installation of the lightning protection system is presented. First the principle of operation of the lightning rods is mentioned, while then in the LPZ zones and the external installation of lightning protection. The current flowing in conductors of an external lightning protection system is also calculated. In the fifth chapter of this dissertation, a study of the application of the lightning system in a photovoltaic installation in Stylida, Fthiotida, is carried out. The individual technical characteristics of the installation are presented and a lightning damage assessment study is performed. The sixth and last chapter analyzes the conclusions that emerged from the application of the lightning system studied in the photovoltaic installation.

## Πίνακας Περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	III
ABSTRACT .....	IV
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Γιατί είναι αναγκαίες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Ηλιακή ενέργεια .....</b>	<b>3</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Δομή φωτοβολταϊκού συστήματος.....</b>	<b>6</b>
2.2.1 Συσσωρευτές .....	6
2.2.2 Μετατροπείς, ρυθμιστές και αντιστροφείς .....	7
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1. Ατμοσφαιρικός ηλεκτρισμός .....</b>	<b>8</b>
<b>3.2. Κεραυνικό Φαινόμενο .....</b>	<b>8</b>
3.2.1 Συχνότητα κεραυνικών εκκενώσεων .....	9
3.2.2 Επιπτώσεις από κεραυνικά πλήγματα.....	9
3.2.3. Επιπτώσεις στις κατασκευές .....	10
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.....</b>	<b>14</b>
<b>4.1 Αρχή λειτουργίας των αλεξικέραυνων .....</b>	<b>14</b>
<b>4.2 Ζώνες αντικεραυνικής προστασίας ΖΑΠ .....</b>	<b>14</b>
<b>4.3 Εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας.....</b>	<b>16</b>
4.3.1 Συλλεκτήριο σύστημα .....	17
4.3.1.1 Περιοχή προστασίας συλλεκτήριου συστήματος εξωτερικού ΣΑΠ .....	18
4.3.1.2 Επιλογή της δομής του συλλεκτήριου συστήματος.....	21
4.3.2 Σύστημα αγωγών καθόδου.....	22
4.3.2.1 Τοποθέτηση αγωγών καθόδου σε μονωμένη εξωτερική αντικεραυνική προστασία.....	22
4.3.2.3 Φυσικοί αγωγοί καθόδου .....	24
4.3.3 Σύστημα γείωσης .....	24
<b>4.4 Εσωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας(εσωτερικό ΣΑΠ). .....</b>	<b>26</b>
4.4.1 Ισοδυναμικές συνδέσεις .....	28
4.4.2 Υπολογισμός κεραυνικού ρεύματος που ρέει σε αγωγούς εξωτερικού ΣΑΠ και στα καλώδια εισερχόμενων παροχών της κατασκευής.....	29



<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5° ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΕ ΥΠΑΙΘΡΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΜΟΝΑΔΑ</b>	
<b>ΙΣΧΥΟΣ [17]</b> .....	32
<b>5.1 Εκτίμηση ζημιών από κεραυνούς</b> .....	32
<b>5.2 Τεχνικά στοιχεία φωτοβολταϊκής εγκατάστασης</b> .....	37
<b>5.3 Επιλογή στάθμης αντικεραυνικής προστασίας</b> .....	38
<b>5.4 Εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας</b> .....	42
<b>5.5 Αγωγοί καθόδου</b> .....	44
<b>5.6 Γείωση</b> .....	46
<b>5.7 Υπολογισμός αντίστασης γείωσης</b> .....	48
<b>5.8 Προστασία έναντι υπερτάσεων</b> .....	49
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6° ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	55
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	57

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η ενέργεια, ως έννοια, περιεχόμενο και χρηστικότητα, διαδραματίζει αξιοσημείωτο ρόλο στην σύγχρονη εποχή. Η αναγκαιότητα που προκύπτει αναφορικά με την εξασφάλιση ενεργειακών πόρων, οι οποίοι είναι απολύτως χρήσιμοι προκειμένου οι άνθρωποι να καλύπτουν τις βασικές τους καθημερινές ανάγκες, όπως για παράδειγμα θέρμανση, φωτισμός και άλλα τόσα, συντελούν στο να δημιουργείται μία τάση για την φροντίδα των μορφών ενέργειας μέσω της βέλτιστης και οικονομικής αξιοποίησης αυτών, όσο και στην διεύρυνση των πηγών ενέργειας κλασικών και εναλλακτικών. Τα τελευταία χρόνια, ανά τον κόσμο, οι σύγχρονες κοινωνίες βασίζονται κυρίως στο φυσικό αέριο, την πυρηνική ενέργεια και το πετρέλαιο. Από την καθημερινότητά μας μπορούμε να διαπιστώσουμε εύκολα ένα σύνολο αιτιών που έχουν οδηγήσει την ελληνική κοινωνία να στραφεί προς τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), η αναφορά των οποίων θα γίνει ακολούθως. Συνοπτικά, οι κυριότεροι εξ αυτών εντοπίζονται στα εξής [Καγκαράκης]:

- Ελάττωση των αποθεμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου.
- Περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως ρύπανση της ατμόσφαιρας και των υδάτων, κλιματικές αλλαγές, φαινόμενο του θερμοκηπίου κ.ά., τα οποία οφείλονται σε εκτεταμένη καύση υδρογονανθράκων.
- Εξάρτηση για καύσιμα από άλλες χώρες.
- Αυξανόμενο κόστος για τον καταναλωτή, στοιχείο που οδηγεί σε συνεχή αναζήτηση οικονομικότερων λύσεων.

### 1.1 Γιατί είναι αναγκαίες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Όπως προαναφέρθηκε, οι κοινωνίες του σήμερα εμφανίζουν ολοένα και αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες, καθώς η ζωή των πολιτών διαμορφώνεται μεν περισσότερο εύκολη και με ταχείς ρυθμούς, πιο εξαρτημένη δε από συσκευές, μηχανές και μηχανήματα τα οποία χρησιμοποιούν ενεργειακές πηγές για τη λειτουργία τους, με τέτοιους τρόπους ώστε οι ενεργειακές ανάγκες είναι απολύτως συνυφασμένες και αναγκαίες για την κάλυψη βασικών καθημερινών δραστηριοτήτων. Η κίνηση των οχημάτων, η ηλεκτρική ενέργεια, η βιομηχανία, η θέρμανση είναι μερικά μόνο από τα αμέτρητα παραδείγματα αυτής της γιγαντιαίας εξάρτησης. Αυτά τα δεδομένα καθιστούν την εύρεση εναλλακτικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εξαιρετικά επιτακτική. Εντούτοις, στις

μέρες μας, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας προέρχεται από τη χρήση συμβατικών πηγών, επί της ουσίας μη ανανεώσιμες μορφές ενέργειας που στο άμεσο μέλλον θα εξαντληθούν.

Αδιαμφισβήτητα, ο 20<sup>ος</sup> αιώνας χαρακτηρίζεται ως ο δεύτερος αιώνας του ηλεκτρισμού. Αναλύοντας την προέλευση του χαρακτηρισμού αυτού, κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα παρατηρήθηκε μία τεράστια αύξηση στην χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά τον 21<sup>ο</sup> αιώνα και σύμφωνα με τις πρώτες εκτιμήσεις, διαφαίνεται ότι αυτά τα μεγέθη θα πολλαπλασιαστούν. Πιο συγκεκριμένα, είχε υπολογιστεί ότι έως το 2020, η παγκόσμια κατανάλωση αναφορικά με την ηλεκτρική ενέργεια, θα έχει αυξηθεί κατά τα 3/4 σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές το 1997, αύξηση που χαρακτηρίζεται ραγδαία. Τα ποσοστά θα μπορούσαν να είναι ακόμη πιο ακραία, αν σε αυτά συνυπολογίσουμε την ανάγκη κάλυψης με ηλεκτρισμό σε πληθυσμούς ή πληθυσμιακές ομάδες οι οποίες δεν έχουν αποκτήσει μέχρι και σήμερα πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια. Το ποσοστό των πληθυσμών αυτών υπολογίζεται περί τα 1,5 δισεκατομμύρια ανθρώπους. Σύμφωνα με δεδομένα του διεθνούς οργανισμού ενέργειας, αναφορικά με την παραγωγή ηλεκτρισμού, για το 2015 διαπιστώνεται ότι [Koroneos]:

- Στην διαδικασία της παραγωγής χρησιμοποιούν το φυσικό αέριο με 24%, το πετρέλαιο με 33% και τον άνθρακα με ποσοστό 30% .
- Χρησιμοποιούν τη υδροηλεκτρική με 7%, ενώ με 2% τη βιομάζα, τη γεωθερμική, την ηλιακή και την αιολική .
- Σαν σύνολο οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εξυπηρετούν μόνο το 1/10 της συνολικής παραγωγής.
- Αντίστοιχα, η πυρηνική ενέργεια εξυπηρετεί το 4% της συνολικής παραγωγής.

Η ενέργεια η οποία καταναλώνεται ετησίως σε παγκόσμια κλίμακα, υπολογίζεται περίπου στα 450 δις GJ, μέγεθος το οποίο αντιστοιχεί περίπου σε 10 εκατομμύρια τόνους πετρελαίου. Με αυτόν τον υπολογισμό, συμπεραίνουμε ότι τα επόμενα 50 χρόνια, τα αποθέματα πετρελαίου θα εξαντληθούν. Στρεφόμενοι σε δεδομένα που αφορούν τη χώρα μας, μπορούμε να εντοπίσουμε πως το 62% του ηλεκτρισμού προέρχεται από τον λιγνίτη. Στην ελληνική επικράτεια υπάρχουν άφθονα κοιτάσματα λιγνίτη, στοιχείο το οποίο έχει αναγάγει τη χώρα μας στη δεύτερη θέση σε αποθέματα λιγνίτη ανάμεσα στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Παρόλα αυτά, υπολογίζεται ότι τα αποθέματα του λιγνίτη θα εξαντληθούν μετά το πέρας των επόμενων 40 ετών. Έτσι, είναι

απαραίτητο να αξιοποιηθούν εναλλακτικές μορφές ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Στη χώρα μας λόγω και του κλίματός της, αξιοποιείται κυρίως αιολική ηλιακή ενέργεια [Καγκαράκης].

## 1.2 Ηλιακή ενέργεια

Μία από τις βασικότερες μορφές ανανεώσιμης πηγής ενέργειας είναι η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, η οποία προέρχεται από τον ζωοδότη ήλιο. Η ηλιακή ενέργεια προκύπτει κατά την διαδικασία απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή του διαχέοντος φωτός, απορρόφησης και ένωσης στην επιφάνεια του πλανήτη. Ακόμη και στη σύγχρονη εποχή, η υφιστάμενη τεχνολογία μπορεί να αξιοποιήσει ένα ελάχιστο ποσοστό αυτής της ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί τρία ειδικά συστήματα. Τα συστήματα αυτά είναι τα φωτοβολταϊκά, τα παθητικά ηλιακά, και τα θερμικά ηλιακά [Κορονεός].

Το θερμικό ηλιακό σύστημα θεωρείται ο πιο απλοϊκός τρόπος με τον οποίο μπορούμε να εκμεταλλευτούμε την ηλιακή ενέργεια. Η εναλλακτική τους ονομασία που είναι και ευρέως διαδεδομένη είναι «ηλιακοί θερμοσίφωνες». Πρακτικά, τέτοιες συσκευές απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία, μέσω ενός ενσωματωμένου κατόπτρου. Εν συνεχεία, η απορροφούμενη ενέργεια μεταφέρεται με τη μορφή θερμότητας, σε ένα υγρό. Το υγρό αυτό στις περισσότερες περιπτώσεις είναι νερό. Το ζεστό νερό το οποίο παράγεται από αυτήν την διαδικασία, χρησιμοποιείται για πληθώρα χρήσεων, όπως απλές καθημερινές οικιακές, αλλά και για βιομηχανική αξιοποίηση. Αξίζει ακόμη να αναφερθεί, πως τα τελευταία χρόνια το νερό αυτό χρησιμοποιείται και για τη θέρμανση χώρων.

Αναφορικά με τα παθητικά ηλιακά συστήματα, αυτά χρησιμοποιούνται στον τομέα της εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας, αναφορικά με την εξασφάλιση φωτισμού κτηρίων είτε για τη διαμόρφωση και διατήρηση της θερμοκρασίας αυτών. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι ειδικά σχεδιασμένα ώστε να αποδίδουν για αυτόν τον σκοπό [Καγκαράκης].

Σχετικά με τα φωτοβολταϊκά συστήματα, αυτά είναι ειδικά σχεδιασμένα ώστε να μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Χρησιμοποιούνται εκτεταμένα κυρίως στην ηλεκτροδότηση δομών οι οποίες δεν είναι συνδεδεμένες σε ένα επίσημο ηλεκτρικό δίκτυο. Παρόλα αυτά υπάρχουν και διασυνδεδεμένα- εξαρτώμενα φωτοβολταϊκά συστήματα. Διερευνώντας τα αυτόνομα

φωτοβολταϊκά συστήματα, η ενέργεια η οποία παράγεται σε αυτά καταναλώνεται επιτόπου, ενώ στα διασυνδεδεμένα, η ενέργεια η οποία παράγεται διοχετεύεται μέσω κατάλληλων διασυνδέσεων στο επίσημο ηλεκτρικό δίκτυο, και με αυτό τον τρόπο μεταφέρεται και καταναλώνεται σε διαφορετική περιοχή και πεδίο, όπου αυτή είναι απαραίτητη [Koroneos].

Η αξιοποίηση και εκμετάλλευση της ηλιακής - θερμικής ενέργειας κατά το 2009 στην Ευρώπη δημιούργησε έσοδα 4,2 δισεκατομμύρια ευρώ. Στην περίπτωση της Ελλάδας αξιοποιούνται 3.500 θέσεις εργασίας κατά μέσο όρο κάθε έτος, από το οποίο μεγάλο μέρος της διοχετεύεται σε κοντινές χώρες [Euroserver].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

### 2.1. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα

Όπως προαναφέρθηκε, η ηλιακή ενέργεια μπορεί να μετατραπεί από την ηλιακή ακτινοβολία, κυρίως κάνοντας χρήση ειδικών συσκευών, δηλαδή ηλιακών κυττάρων, τα οποία βασίζονται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Παρακάτω αναφέρονται τα βασικότερα πλεονεκτήματα των Φ/Β κυττάρων :

- Οι πρώτες ύλες που είναι αναγκαίες όπως το πυρίτιο βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες στην φύση.
- Είναι αθόρυβα και μη ρυπογόνα.
- Δε διαθέτουν κινούμενα μέρη.
- Είναι εξαιρετικά οικονομικά.
- Λειτουργούν με μερική σκίαση ή με νεφελώδη ουρανό λόγω της διάχυτης ακτινοβολίας αλλά με ελαττωμένη απόδοση.
- Έχουν καλή απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες.
- Η διάρκεια ζωής τους κυμαίνεται από 20 έως 30 χρόνια.
- Σε ξαφνικές αλλαγές στην ηλιοφάνεια, παρουσιάζουν γρήγορη απόκριση.
- Είναι λειτουργικό το σύστημα ακόμη και αν κάποιο κύτταρο παρουσιάσει βλάβη.
- Ενδείκνυνται για απομακρυσμένες τοποθεσίες, στις οποίες δεν υφίστανται ή δεν αξίζει οικονομικά η κατασκευή προέκτασης του δικτύου.
- Η ισχύς που παράγεται σε συνάρτηση με το βάρος της διάταξης είναι τέτοια που σε επίπεδο καταναλωτών, κάνει εύκολη την εγκατάσταση τους στις στέγες των σπιτιών όσο και ιδανική για διαστημικές εφαρμογές.

Εκτός των ήδη προαναφερθέντων, κάποια μειονεκτήματα της φωτοβολταϊκής μετατροπής όπου αξίζει να αναφερθούν είναι τα εξής [Koroneos]:

- Υψηλό κόστος κατασκευής.
- Εφόσον η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας είναι απρόβλεπτη, είναι απαραίτητο η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται να αποθηκεύεται για μελλοντική αξιοποίηση όποτε προκύπτει ανάγκη.
- Η αναγκαία χρήση σημαντικών εκτάσεων για την τοποθέτηση ενός Φ/Β πάρκου, ως αποτέλεσμα της περιορισμένης ηλιακής ακτινοβολίας .

Τα στάδια κατασκευής-ομαδοποίησης των ηλιακών κυττάρων είναι διάφορα. Το πλαίσιο (module) είναι ένα σύνολο κυττάρων και αποτελεί τη μικρότερη δομική μονάδα. Στη συνέχεια έχουμε δύο ή περισσότερα πλαίσια ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους τα οποία αποτελούν το πάνελ. Τέλος έχουμε τη συστοιχία (Array) που αποτελείται από τον συνδυασμό πάνελ και βάση στήριξης.

## 2.2 Δομή φωτοβολταϊκού συστήματος

Μία φωτοβολταϊκή συστοιχία (Φ/Β) συνήθως είναι σταθερού τύπου, ο οποίος αφ' ενός έχει αμετακίνητα τμήματα, κάτι ιδιαίτερα θετικό, αφ' ετέρου δεν εκτίθεται απόλυτα στις ηλιακές ακτίνες, δεδομένο το οποίο μειώνει τη συνολική απόδοση για ευνόητους λόγους. Συνήθως, η τοποθέτηση των πλαισίων γίνεται ώστε να είναι στραμμένα σε γωνία η οποία σχετίζεται με την επιφάνεια της γης και προσεγγίζει αυτήν του γεωγραφικού πλάτους της περιοχής όπου γίνεται η τοποθέτηση. Ο επιμήκης άξονας αυτής από την Ανατολή κοιτάει τη Δύση. Τα πλαίσια είθιστα να βρίσκονται στη νότια πλευρά. Χρησιμοποιούνται για ποικίλες οικιακές εφαρμογές, εφόσον είναι εύκολο να κατασκευαστούν, με το βάρος τους να είναι μικρό, ενώ το κόστος κατασκευής να βρίσκεται σε πλαίσια αντίστοιχα με αυτά της κατασκευής άλλων συστημάτων.

### 2.2.1 Συσσωρευτές

Για να θεωρηθεί μία Φ/Β συστοιχία κατάλληλη, πρέπει να παρέχεται η δυνατότητα αποθήκευσης ενός μέρους της παραγόμενης ενέργειας, καθώς το ηλιακό φως φθίνει ή και εξαφανίζεται, κατά τη διάρκεια ημερών όπου ο ουρανός είναι νεφελώδης, ή κατά την διάρκεια της νύχτας. Η πιο αποτελεσματική μέθοδος αποθήκευσης είναι η χημική, μέσω συσσωρευτών. Ο συσσωρευτής απαρτίζεται από έναν ηλεκτρολύτη, εντός του οποίου καταλήγουν δύο ηλεκτρόδια, θετικό και αρνητικό αντίστοιχα. Μάλιστα, πρέπει να προστίθεται τακτικά αποσταγμένο νερό στα υγρά του ηλεκτρολύτη, καθώς αραιώνεται μέσα από την εκφόρτιση. Όσον αφορά στη χωρητικότητα που

μπορεί να εμφανίζει ένας συσσωρευτής, αυτή δεν εμφανίζει ιδιαίτερες διακυμάνσεις, εκτός από το τέλος του χρόνου ζωής του συσσωρευτή. Ο συσσωρευτής πρέπει να μην εκτίθεται σε αρκετά υψηλές θερμοκρασίες, και πρέπει να αποφεύγονται σε βάθος, κυκλικές εκφορτίσεις, καθώς αυτές μειώνουν σημαντικά τον χρόνο ζωής [Καγκαράκης].

### 2.2.2 Μετατροπείς, ρυθμιστές και αντιστροφείς

Για την περαιτέρω υποστήριξη της εύρυθμης λειτουργίας αλλά και για πλέον αυξημένη απόδοση των Φ/Β κυττάρων, χρησιμοποιούνται ορισμένες παράλληλες διατάξεις. Αυτές επεξεργάζονται την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τη γεννήτρια και είναι, ως επί το πλείστον, διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος. Ωστόσο, το κόστος αυτών είναι ιδιαίτερα υψηλό, για αυτό και πολλές φορές δε συμπεριλαμβάνονται στα συστήματα μικρότερης ισχύος [Κορονεός]. Οι διατάξεις αυτές είναι οι εξής:

- Ρυθμιστής ισχύος: Γνωστός και ως Maximum Power Point Tracking (MPPT), αποτελεί διάταξη η οποία παρακολουθεί το σημείο μέγιστης ισχύος, και άρα επιδιώκει να κατευθύνει τη λειτουργία της συστοιχίας στη μέγιστη απόδοση.
- Μετατροπέας καταμητής τάσης (DC- to DC Chopper): Η τάση της Φ/Β γεννήτριας εμφανίζει συχνά ποικίλες διακυμάνσεις, λόγω της αστάθειας της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο μετατροπέας θα μετατρέψει την τάση αυτή στην επιθυμητή τιμή, ώστε να φορτίζονται με τον βέλτιστο τρόπο οι συσσωρευτές, και θα διασφαλίσει ότι αυτή θα παραμείνει στα αντίστοιχα επίπεδα.
- Αντιστροφέας (DC-to AC Inverter): Παρεμβάλλεται στην έξοδο των συστοιχιών, μετατρέποντας το ρεύμα των συσσωρευτών αλλά και της γεννήτριας από συνεχές σε εναλλασσόμενο, στην επιθυμητή ενεργό τιμή της τάσης και της συχνότητας, προκειμένου να είναι δυνατή η διασύνδεση της φωτοβολταϊκής μονάδας με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ

### 3.1. Ατμοσφαιρικός ηλεκτρισμός

Το πεδίο αυτό αφορά ορισμένες ηλεκτρομαγνητικές διαδικασίες, καθώς και ιδιότητες που συχνά μπορούν να παρατηρηθούν στην κατώτερη ατμόσφαιρα (π.χ. κεραυνός). Ο ατμοσφαιρικός ηλεκτρισμός σχετίζεται και με τη μελέτη διαφόρων ηλεκτρικών πεδίων, φορτίων, αλλά και ρευμάτων που αποτελούν τη γενεσιουργό πηγή για τα διάφορα αντίστοιχα ηλεκτρικά φαινόμενα.

Τα ηλεκτρομαγνητικά (ΗΜ) φαινόμενα που συναντώνται στην κατώτερη ατμόσφαιρα είναι κυρίως ηλεκτροστατικής φύσεως, παρά την ύπαρξη του μαγνητικού πεδίου της γης. Αυτό το γεγονός οφείλεται στην υψηλή πυκνότητα του αέρα στο χαμηλό αυτό υψόμετρο, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα την πολύ μεγάλη συχνότητα κρούσεων μεταξύ των ουδέτερων σωματιδίων - σωματιδίων και των φορτίων, το οποίο καθιστά τις μαγνητικές δυνάμεις ικανές ώστε να μην επηρεάζουν σημαντικά τυχόν κινούμενα φορτία. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν και ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα, όπως οι ηλεκτρομαγνητικοί παλμοί (Lightning Electromagnetic Impulses, LEMP). Αυτοί ουσιαστικά εκπέμπονται επειδή τα μεταβατικά ρεύματα που αναπτύσσονται καθ' όλη τη διάρκεια των ηλεκτρικών εκκενώσεων (κεραυνών) μεταβάλλονται χρονικά. Έτσι, οι ηλεκτρομαγνητικοί παλμοί μπορούν να διαδοθούν σε μεγάλες αποστάσεις, μέσω αλληπάλληλων ανακλάσεων στον κυματοδηγό ιονόσφαιρας-γης [Koroneos].

### 3.2. Κεραυνικό Φαινόμενο

Οι κεραυνοί συνδυαστικά με τα διάφορα σύννεφα ηλεκτρικής φύσεως, θεωρούνται ως πηγή φόρτισης της γης, η οποία είναι μονίμως φορτισμένη αρνητικά, με φορτίο που ανέρχεται στα  $5 \cdot 10^5$  C. Εφ' όσον επικρατεί αίθριος καιρός, το φορτίο δημιουργεί πεδίο στην επιφάνεια του πλανήτη, το οποίο κατευθύνεται από την ατμόσφαιρα προς τον πυρήνα της γης. Ένα ηλεκτρικό σύννεφο μπορεί να αναπαρασταθεί ως δίπολο του οποίου ο αρνητικός πόλος βρίσκεται στην πλευρά που είναι στραμμένη προς την γη, ενώ ο θετικός στην πλευρά του νέφους [Καγκαράκης].

Σχετικά με το ηλεκτρικό φορτίο, θεωρείται πως αυτό συγκεντρώνεται στα σύννεφα είτε λόγω της μεταφοράς σε ανώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα διαφόρων φορτίων (μέσω ανοδικών ρευμάτων οφειλόμενων σε διακυμάνσεις της θερμοκρασίας), είτε λόγω της φόρτισης των επιμέρους

σταγονιδίων του σύννεφου, που λαμβάνει χώρα όταν αρχίσουν αυτά να πέφτουν με κατεύθυνση τη γη.

### 3.2.1 Συχνότητα κεραυνικών εκκενώσεων

Η γνώση της συχνότητας που εμφανίζουν οι κεραυνοί θεωρείται πλέον ωφέλιμη για το αποτέλεσμα ενός αντικεραυνικού συστήματος. Επίσης η συχνότητα αυτή καθ' αυτή παρουσιάζει πληθώρα διακυμάνσεων μέσα στο έτος, αλλά και ανάλογα με την εκάστοτε περιοχή στην οποία παρουσιάζονται τα φαινόμενα των ηλεκτρικών εκκενώσεων. Αυτοί οι παράγοντες καθιστούν την εύρεση μίας λύσης για την παρακολούθηση και κατ' εξακολούθηση πρόβλεψη εκκενώσεων μη βιώσιμη, καθώς απαιτεί την εγκατάσταση πολλών συστάδων ειδικών μηχανημάτων σε διάφορες περιοχές. Συνήθως, είναι γνωστές μόνον οι ημέρες καταιγίδας ανά περιοχή, και για τον λόγο αυτό η ίδια η συχνότητα των ηλεκτρικών εκκενώσεων ορίζεται ως το πλήθος των ημερών καταιγίδων ανά έτος [Καγκαράκης].

### 3.2.2 Επιπτώσεις από κεραυνικά πλήγματα

Ο ρόλος ενός ΣΑΠ είναι διττός. Σκοπός του είναι αφ' ενός να μετριάσει τις όποιες φθορές και βλάβες μπορεί να προκληθούν σε εξοπλισμό και κατασκευές, και αφ' ετέρου, να αποφευχθούν τυχόν επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, από πιθανά τραύματα μέχρι και την απώλεια ζωής. Τα πλήγματα ενδέχεται να προκύψουν έμμεσα από μαγνητικά πεδία που επάγονται, αλλά και άμεσα με την έλευση του κεραυνού.

Οι επιπτώσεις που μπορεί να έχει η πρόσπτωση ενός κεραυνού ή μίας καταιγίδας κατηγοριοποιούνται σε ηλεκτρικές, θερμικές και μηχανικές :

- Ηλεκτρικές επιπτώσεις : Συνήθως μετά την πρόσπτωση δημιουργείται μία διάσπαση εσωτερικής φύσεως μεταξύ των αγωγίμων στοιχείων που έχει μία κατασκευή/επιφάνεια και των αγωγών του αντικεραυνικού συστήματος. Παραδείγματος χάριν, εάν υπάρξει πρόσπτωση σε μικρή απόσταση από κάποιο κτήριο που έχει μεταλλική οροφή, το δυναμικό στην επιφάνεια αυτής θα διαφέρει από αυτό της επιφάνειας της γης, μία διαφορά που ενδέχεται να οδηγήσει σε ηλεκτρική διάσπαση εσωτερικά. Τέτοιο συμβάν μπορεί να αποφευχθεί, εφόσον έχει υλοποιηθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα ισοδυναμικών συνδέσεων εξίσωσης δυναμικού και η εγκατάσταση γείωσης εμφανίζει αρκούντως χαμηλή

τιμή αντίστασης γείωσης. Ένας άλλος τρόπος που μπορεί η ηλεκτρική εκκένωση να επιδράσει σε ένα σύστημα είναι μέσω της εκφόρτισης του ρεύματος από τον κεραυνό προς το έδαφος, κάτι που θα προκαλέσει διαφορά δυναμικού στα άκρα κάθε αντικειμένου που βρίσκεται κοντά στο σημείο πρόσπτωσης, καθώς και στην ανάπτυξη επικίνδυνων βηματικών τάσεων στην εγγύς περιοχή του γειωτή .

- Θερμικές επιπτώσεις : Κατά την προεκκένωση σχηματίζεται ένας πυρήνας στο κέντρο του κεραυνού, γύρω του οποίου βρίσκεται ένας σχηματισμός κορώνας. Ο πυρήνας αυτός συγκεντρώνει την πλειοψηφία του ρέοντος ρεύματος, σε θερμοκρασίες της τάξεως των 3000 K. Όποιοι υδρατμοί βρίσκονται στην ατμόσφαιρα μετατρέπονται σε ατμό, κάτι που δημιουργεί ένα ηχητικό κύμα - τη βροντή. Κατά την πρόσπτωση θα αυξηθεί σημαντικά η θερμοκρασία των αγωγών του αντικεραυνικού συστήματος, κάτι που ενδέχεται να προκαλέσει ανάφλεξη μονωτικών υλικών αλλά και διάτρηση υλικών στρωμάτων μικρού πάχους. Η ένταση των θερμοκρασιακών αλλαγών σχετίζεται άμεσα με τη διάρκεια ροής του ρεύματος, καθώς και το εύρος του [Koroneos].
- Μηχανικές επιπτώσεις : Καθώς η θερμότητα αυξάνεται, ο περιβάλλον αέρας διαστέλλεται ραγδαία, δημιουργώντας ένα κύμα το οποίο μπορεί να προκαλέσει υλικές φθορές στις κατασκευές. Παράλληλα, το ρεύμα ρέει μέσα από αγωγούς σε παράλληλη σύνδεση, και ασκούνται σε αυτούς ελκτικές δυνάμεις, οι οποίες ενδέχεται να συνθλίβουν ή να οδηγήσουν σε συγχώνευση κοίλων και πολύκλωνων αγωγών, αντίστοιχα. Τα στοιχεία που απαρτίζουν το εκάστοτε αντικεραυνικό σύστημα πρέπει, ως εκ τούτου, να τοποθετούνται με τρόπο τέτοιο ώστε να υπάρχει επαρκής στήριξη και ικανοποιητική απόσταση μεταξύ τους . Τέλος, εάν ο αγωγός σχηματίζει ορθή γωνία, καθώς τον διαρρέει ρεύμα, του ασκείται μία δύναμη που τείνει να τον φέρει σε ευθεία, και επομένως η ακτίνα καμπυλότητας πρέπει να είναι επαρκής, χωρίς τυχόν απότομες αλλαγές στην κατεύθυνσή του.

### 3.2.3. Επιπτώσεις στις κατασκευές

Η πρόσπτωση ενός οχετού εκκένωσης μπορεί να πλήξει μία κατασκευή με ποικίλους τρόπους, είτε μέσω του ηλεκτρικού τόξου που δημιουργείται κατά την εκκένωση, είτε μέσω φαινομένων δευτερογενούς φύσεως που πραγματοποιούνται κατά τον συνολικό χρόνο της εκκένωσης. Οι επιζήμιες αυτές επιδράσεις δύνανται να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- Ηλεκτρομαγνητικές : Σε αυτού του τύπου τις επιδράσεις, συγκαταλέγονται υπερπηδήσεις δευτερογενούς φύσεως που ενδέχεται να προκαλέσουν πυρκαγιές, εκρήξεις, υψηλής σημασίας βλάβες καθώς και τη θνήση. Επίσης, αναπτύσσονται υπερτάσεις, οι οποίες είναι ικανές να καταλήξουν σε ηλεκτρική διάσπαση είτε μονώσεων ως προς τη γη είτε εν μέσω κυκλωμάτων διαφορετικής τάσης. Οι υπερτάσεις αυτές οφείλονται σε χωρητική ή μαγνητική σύζευξη, καθώς και σε αγωγήμη ζεύξη. Κατά την πρόσπτωση παρατηρείται, ακόμη, η ανάπτυξη πεδίων, τόσο ηλεκτρομαγνητικών όσο και ηλεκτροστατικών, προκαλώντας διάφορες φθορές σε ηλεκτρονικές συσκευές, ή ακόμα και εξουδετερώνοντας ηλεκτρονικά συστήματα. Οι οχετοί εκκένωσης μπορεί να προκαλέσουν σε διάφορες κατασκευές : α) καταστροφή τόσο της θωράκισης που φέρουν υπόγεια καλώδια μέσης τάσης όσο και υπογείων αγωγών που μεταφέρουν φυσικό αέριο, β) δημιουργία πυρκαγιών, γ) πλήρης διακοπή λειτουργίας του δικτύου που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια, δ) παύση της λειτουργίας επιχειρήσεων, ιδρυμάτων κ.λπ., όπως ακόμα και ε) ανεπανόρθωτη φθορά σε πολιτιστική κληρονομιά (μνημεία κ. λπ.) ή στο περιβάλλον (π.χ. πυρκαγιά σε δάσος).

Για την αξιολόγηση των φθορών που προκαλούνται από την πρόσπτωση, συνυπολογίζονται τα χαρακτηριστικά του κεραυνού, καθώς και αυτά της κατασκευής, όπως τα μέτρα που έχουν παρθεί για να προστατευτεί, ή η δομή αλλά και η φύση των διάφορων υλικών που την αποτελούν. Αντίστοιχα, η αξιολόγηση του εν δυνάμει κινδύνου καθορίζεται κυρίως από τις χαρακτηριστικές ιδιότητες, καθώς και τη μορφολογία του εδάφους. Οι προαναφερθείσες γνωματεύσεις για την αξιολόγηση του πιθανού κινδύνου σε συνδυασμό με την εκτίμηση των αρνητικών επιπτώσεων από το πλήγμα χρησιμοποιούνται εις βάθος, ώστε να εξαχθεί πόρισμα όσον αφορά στο εάν χρειάζεται αντικεραυνικό σύστημα και ποια θα είναι τα χαρακτηριστικά που θα το διέπουν.

- Μηχανικές : Σε αυτού του τύπου τις επιδράσεις, συγκαταλέγονται καταπονήσεις μηχανικής φύσεως, παραδείγματος χάριν μετακίνηση των διάφορων υλικών που συνιστούν την όποια κατασκευή, ή ποικίλες παραμορφώσεις. Επίσης, οι ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις που παράγονται μέσω της εκροής του ρεύματος του οχετού εκκένωσης κατά την πρόσπτωση οδηγούν σε αποκόλληση ολόκληρων στρωμάτων από στρωματόμορφα υλικά, όπως και στην ραγδαία μεταφορά ενέργειας από τον οχετό στην εν λόγω κατασκευή. Όταν τα ρεύματα που ρέουν μέσω αγωγών παρουσιάζουν την ίδια

φορά, οι αγωγοί έλκονται μεταξύ τους, ενώ όταν παρουσιάζουν αντίθετη φορά, απωθούνται. Στην περίπτωση πηνίων με μεγάλο αριθμό σπειρών, οι δυνάμεις που αναπτύσσονται λειτουργούν αθροιστικά, και η μόνωσή τους συμπιέζεται. Παράλληλα, εμφανίζεται τάση για διαστολή στην περίπτωση των αγωγίμων βρόγχων. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι δυνάμεις μεταξύ των αγωγίμων σωμάτων μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες για απόσταση μεγαλύτερη των 50 cm [Πυργιώτη]. Όταν το ρεύμα προσπίπτει στην επιφάνεια της γης, καθώς διαρρέει έναν απομονωμένο αγωγό που παρουσιάζει μεγάλες αλλαγές στην κατεύθυνσή του, οι δυνάμεις που δημιουργούνται τείνουν να τον ισιώσουν. Κατά τον ίδιο τρόπο συμπεριφέρεται ο αγωγός όταν βρίσκεται υπό γωνία. Επίσης, κατά την πρόσπτωση δημιουργείται κρουστικό κύμα πίεσης, που συχνά αποκολλά στοιχεία οροφής, διαλύει τοιχώματα κλπ.

- Θερμικές : Σε αυτήν την κατηγορία εμφανίζεται ρήξη στα δομικά στοιχεία, τήξη ή ακόμα και διάτρηση των υλικών. Αυτά τα φαινόμενα οφείλονται στην απότομη μεταβολή της θερμοκρασίας, καθώς και της διοχέτευσης ενέργειας διαμέσου του ηλεκτρικού τόξου προς την περιοχή του σημείου πλήγματος. Συγκεκριμένα, η αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται στο φαινόμενο Joule, και εμφανίζει μέγιστες τιμές τόσο στην περιοχή πρόσπτωσης αλλά και στην περίπτωση όπου το ρεύμα ρέει σε σημεία που χαρακτηρίζονται από σημαντική ωμική αντίσταση. Εάν θεωρήσουμε πως το φαινόμενο κατά το οποίο η ενέργεια που ανταλλάσσεται με το περιβάλλον είναι αμελητέο, υπάρχει αποκλειστική εξάρτηση της θερμικής ενέργειας με τη θερμοκρασία που επικρατεί στον αγωγό. Ακόμα κάτι τέτοιο δεν παρατηρείται συχνά, διότι ο κεραυνός είθισται να διαρρέει τη γη μέσω πολλών διαδρομών, και, επιπροσθέτως, η αύξηση της θερμοκρασίας των αγωγών σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση είναι μικρότερη από τη μέγιστη θερμοκρασία αντοχής τους. Για τον υπολογισμό της αύξησης της θερμοκρασίας του αγωγού, μπορεί αυτή να μοντελοποιηθεί συναρτήσει της ειδικής ενέργειας του ρεύματος του σχετού εκκένωσης. Παρ' όλα αυτά, το ρεύμα είναι ιδιαίτερα μεταβλητό, και τείνει να συγκεντρώνεται στην επιφανειακή περιοχή του αγωγού. Αυτό σημαίνει ότι η μέγιστη αύξηση στη θερμοκρασία της επιφάνειας που ενδέχεται να παρατηρηθεί είναι πιο μεγάλη από αυτή που θα υπολογιστεί, εάν η κατανομή του ρεύματος θεωρηθεί ομοιόμορφη καθ' όλη τη διατομή του αγωγού. Όσο ρέει το ρεύμα, λεπτοί αγωγοί μπορεί να διατρηθούν, ή να επέλθει τήξη. Η αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια ενός μεταλλικού υλικού θεωρείται ότι βρίσκεται σε αναλογία με την τάση του

ηλεκτρικού τόξου, καθώς και του ολοκληρώματος του ρεύματος. Συμπεραίνοντας, η τήξη μεταλλικών στοιχείων θεωρείται ως συνάρτηση του ολικού φορτίου ενός κεραυνού. Ιδιαίτερα υψηλή αύξηση της θερμότητας και της θερμικής ενέργειας που αναπτύσσεται κατά την πρόσπτωση παρατηρείται στην επιφάνεια ινών από άνθρακα, λόγω και της τάσης που χαρακτηρίζει το τόξο αλλά και της ειδικής αντίστασης του υλικού. Επίσης, λόγω των ραγδαίων διακυμάνσεων της θερμοκρασίας, καθώς και λόγω της υψηλής αύξησής της, ενδέχεται να υπάρξει ανάφλεξη ή διάτρηση μονωτικών υλικών. Τέλος, όταν κάποιο υλικό περιέχει ίχνη από υγρασία, παρατηρούνται εκρηκτικές θραύσεις, καταρρεύσεις ή ρήγματα, λόγω της υψηλής στάθμης της πίεσης του ατμού που δημιουργείται εξαιτίας της εξάτμισης της περιεχόμενης υγρασίας. Όταν οι επιδράσεις που οφείλονται σε θερμική ενέργεια είναι αυξημένης ισχύος, η μεταφορά της ενέργειας εντός των υλικών μπορεί να τα εκτινάξει με μεγάλη ταχύτητα, καθώς αναφλέγονται ή είναι πυρακτωμένα, με κίνδυνο να προκληθεί πυρκαγιά. Αυτή η διεργασία είναι πιο πιθανή να συμβεί και έχει πλέον σημαντικές επιπτώσεις στην περίπτωση εκρηκτικών ή εύφλεκτων υλικών. Ως σημεία ιδιαίτερης επικινδυνότητας μπορούμε να θεωρήσουμε απότομες αλλαγές στη γεωμετρία των αγωγών όταν εμφανίζουν υψηλό συντελεστή αυτεπαγωγής και επομένως υψηλής επαγωγικής αντίστασης, καθώς και επαφές που χαρακτηρίζονται από μεγάλη πυκνότητα ρεύματος και υψηλή ωμική αντίσταση [Καγκαράκης].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

### 4.1 Αρχή λειτουργίας των αλεξικέραυνων

Στο τρίτο κεφάλαιο έγινε εκτενής αναφορά για το φαινόμενο του κεραυνού που αποτελεί μια ιδανική εκδοχή του φυσικού φαινομένου και αναφέρεται στη διαδικασία κατά την οποία ένα σύννεφο περνά πάνω από έδαφος απολύτως ευθύ ή από υδάτινη περιοχή σε ηρεμία. Στην περίπτωση όπου το ηλεκτρικά φορτισμένο σύννεφο εντοπιστεί επάνω από μια κορυφογραμμή του εδάφους, περισσότερο από εκατό με εκατό πενήντα μέτρα υψόμετρο, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που θα δημιουργηθεί στην κορυφή της προεξοχής μπορεί να είναι εν δυνάμει τόσο αυξημένη, με αποτέλεσμα ο σχετός προεκκένωσης να έχει αφετηρία το εν λόγω σημείο και να αρχίσει να μετακινείται προς το σύννεφο. Στην περίπτωση όπου οι προεξοχές έχουν ύψος έως και μερικών δεκάδων μέτρων, αυτό δεν επαρκεί για την έναρξη της προεκκένωσης σχετού με πηγή τις προεξοχές αυτές. Καθώς ο σχετός προεκκένωσης ακολουθεί καθοδική πορεία, καταφθάνει στο έδαφος και τότε πραγματοποιείται επαγωγή ηλεκτρικού πεδίου που εμφανίζει αυξημένη ένταση σε περιοχές που εντοπίζονται πάνω στις προεξοχές. Η έντονη ενίσχυση του ηλεκτρικού πεδίου σε μια εδαφική προεξοχή συνεπάγεται την έναρξη ενός ανερχόμενου σχετού προεκκένωσης. Η συνάντηση των δύο προαναφερθέντων σχετών προεκκένωσης έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό ενός σχετού επιστροφής, το οποίο αποτελεί και τη διαδικασία ολοκλήρωσης του κεραυνού. Συνεπώς, είναι φανερό ότι μια εδαφική προεξοχή τουλάχιστον κάποιων εκατοντάδων μέτρων ύψους, αποτελεί ένα «σημείο προτίμησης» ώστε να δημιουργηθεί σχετός προεκκένωσης. Βάσει του φαινομένου που έχει περιγραφεί ως άνω, έχει αναπτυχθεί η μέθοδος προστασίας μιας περιοχής με τη χρήση γειωμένης μεταλλικής ράβδου του αλεξικέραυνου του Franklin [Πυργιώτη].

### 4.2 Ζώνες αντικεραυνικής προστασίας ΖΑΠ

Οι ΖΑΠ αποτελούν περιοχές εκτός και εντός της κατασκευής, οι οποίες βοηθούν στο περιορισμό των αναμενόμενων ηλεκτρομαγνητικών επιδράσεων ενός κεραυνού και των επιπτώσεων του. Οι ΖΑΠ σχεδιάζονται και για έναν πρόσθετο και ουσιαστικό λόγο, τη σταδιακή μείωση της έντασης των ηλεκτρομαγνητικών παλμών καθώς εισερχόμαστε σε πιο εσωτερικές ΖΑΠ. Αυτό επιτυγχάνεται με μαγνητική θωράκιση του κελύφους της ΖΑΠ και με ένα καλώς σχεδιασμένο

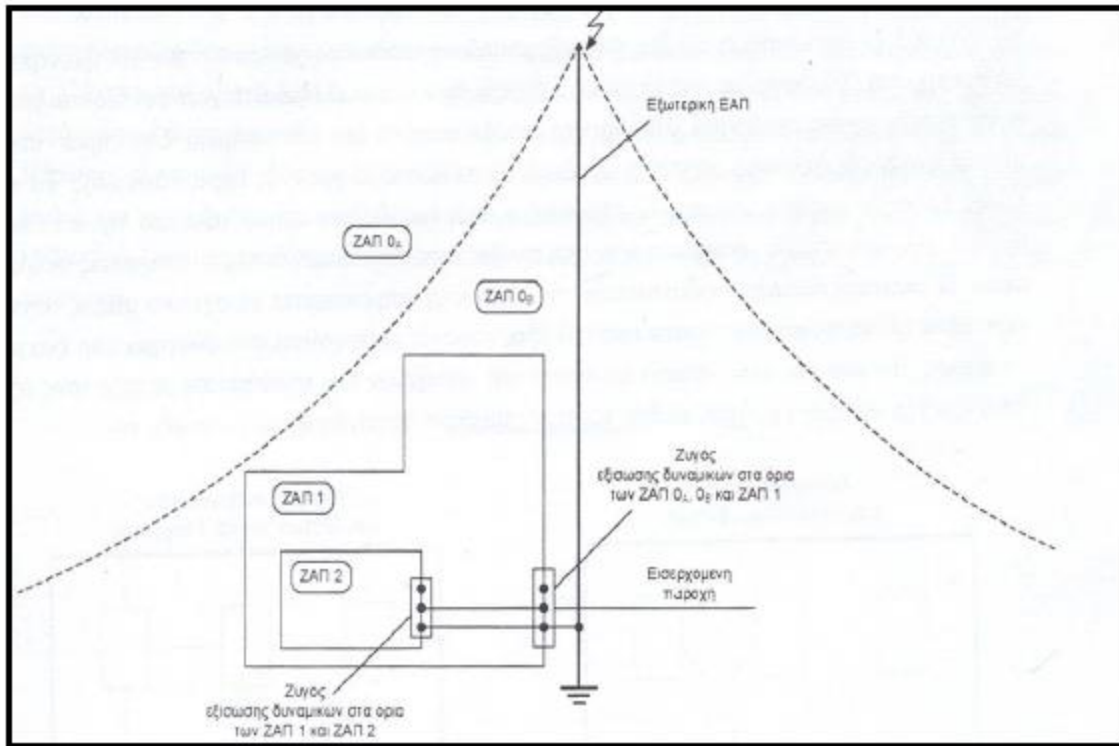
ισοδυναμικό σύστημα, συνδέοντας όλα τα εισερχόμενα μεταλλικά δίκτυα, καθώς και τον μεταλλικό οπλισμό καλωδίων ισχύος και τηλεπικοινωνιών στα όρια της ΖΑΠ. Η σταδιακή μείωση της στάθμης του ρεύματος κεραυνού καθώς εισέρχεται σε εσωτερικές ΖΑΠ οφείλεται ακριβώς στις ισοδυναμικές συνδέσεις στα όρια των ΖΑΠ. Οι ζώνες αντικεραυνικής προστασίας αποτελούν πλέον το σύγχρονο σχεδιασμό προστασίας από το φυσικό φαινόμενο κεραυνού καθώς υπάρχει θωράκιση του εξοπλισμού σε πολλά επίπεδα, κάτι το οποίο πραγματοποιείται με το πλήθος των ζωνών που θα υλοποιηθούν. Το πρώτο βήμα για τον καθορισμό ζωνών αντικεραυνικής προστασίας είναι ο διαχωρισμός και η κατάταξη της περιοχής ενδιαφέροντος σε συγκεκριμένες ζώνες. Οι ζώνες αυτές περιλαμβάνουν σημεία εντός αλλά και εκτός της κατασκευής τα οποία χαρακτηρίζονται από έντονες ηλεκτρομαγνητικές μεταβολές που οφείλονται στην επίδραση του κεραυνικού πλήγματος και για αυτό είναι αναγκαίο να συμβεί κάποιος περιορισμός.

Οι κυριότερες κατατάξεις σε Ζώνες Αντικεραυνικής Προστασίας (ΖΑΠ) είναι οι ακόλουθες:

- ΖΑΠ 0Α: ζώνες της περιοχής ενδιαφέροντος οι οποίες συμπεριλαμβάνουν τμήματα της κατασκευής τα οποία μπορούν να βρεθούν υπό την επήρεια άμεσου κεραυνικού πλήγματος
- ΖΑΠ 0Β: ζώνες της περιοχής ενδιαφέροντος που δεν συμπεριλαμβάνουν τμήματα της κατασκευής τα οποία είναι άμεσα επηρεαζόμενα από κεραυνικό πλήγμα
- ΖΑΠ 0Γ: ζώνες της περιοχής ενδιαφέροντος που συμπεριλαμβάνουν τμήματα της κατασκευής τα οποία δεν επηρεάζονται από άμεσο κεραυνικό πλήγμα, ενώ επιπλέον το ρεύμα το οποίο τα διαπερνά είναι περιορισμένης τιμής σε σχέση με τα στοιχεία των ζωνών ΖΑΠ 0Β
- Ακόλουθες Ζώνες (ΖΑΠ 1,2...): στις οποίες είναι αναγκαία η επιπλέον ελάττωση του ρεύματος του κεραυνού στο οποίο εκτίθενται σε σχέση με τις ζώνες που αναφέρονται παραπάνω

Είναι απαραίτητο να πραγματοποιούνται ισοδυναμικές συνδέσεις μεταξύ των συνδετήριων αγωγών είτε μέσω αποχετευτών υπέρτασης στο εσωτερικό των ΖΑΠ. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται η διαφοροποίηση μεταξύ των ισοδυναμικών συνδέσεων και ΖΑΠ.





Σχήμα 4.11 Ζώνες Αντικεραυνικής Προστασίας (ΖΑΠ)

### 4.3 Εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας

Η εγκατάσταση εξωτερικού συστήματος αντικεραυνικής προστασίας «Εξωτερικό ΣΑΠ», αποσκοπεί στα ακόλουθα:

- Σύλληψη άμεσων κεραυνών πριν αυτοί προκαλέσουν ζημιά στην υπό προστασία κατασκευή.
- Οδήγηση του ρεύματος κεραυνού στους αγωγούς καθόδου και από εκεί την εγκατάσταση γείωσης.
- Διάχυση του ρεύματος που αποτελεί το φορτίο του κεραυνού στο έδαφος με τον κατάλληλο τρόπο ώστε να αποφευχθούν θερμικές και μηχανικές ζημιές στην υπό

προστασία κατασκευή αλλά και στους ανθρώπους που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση [ΕΛΟΤ].

Η κατασκευή εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας αποτελείται από τα παρακάτω τμήματα [ΕΛΟΤ]:

- i. Το σύστημα συλλογής (συλλεκτήριο σύστημα) που αποτελεί τον αποδέκτη των κεραυνών.
- ii. Τους αγωγούς καθόδου, υπεύθυνοι για τη διοχέτευση του ρεύματος που πηγάζει από τον κεραυνό στο σύστημα γείωσης.
- iii. Το σύστημα γείωσης, το οποίο χρησιμεύει ως αποδέκτης του ρεύματος το οποίο εναποθέτει με τον κατάλληλο τρόπο στο έδαφος.

#### 4.3.1 Συλλεκτήριο σύστημα

Το συλλεκτήριο σύστημα αποτελεί το πρώτο κομμάτι του Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας που αποτελεί το πρώτο τμήμα του ΣΑΠ και η λειτουργία του είναι να δεσμεύει το κεραυνικό πλήγμα προστατεύοντας έτσι την υπό προστασία περιοχή από αυτό. Η επιτυχία αυτού του συστήματος κρίνεται με βάση την ικανότητά του να προσδώσει εγκαίρως συνδετικό οχετό αντίθετης φοράς, με αποτέλεσμα ο κεραυνός μπορεί να πλήξει τη διάταξη και ακολούθως το ρεύμα να γειωθεί με ασφάλεια. Ορισμένα χαρακτηριστικά που θα καθορίσουν τον σχεδιασμό του συλλεκτήριου συστήματος είναι το μέγεθος, το σχήμα και η απαιτούμενη στάθμη προστασίας που χρειάζεται να παρέχεται στην υπό προστασία κατασκευή. Στοιχεία που το συγκροτούν είναι, ράβδοι, πλέγμα αγωγών και τεταμένα σύρματα. Κατά την μελέτη για την τοποθέτηση των παραπάνω στοιχείων πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή στην προστασία γωνιών και εκτεθειμένων σημείων της κατασκευής.

Για την ολοκλήρωση της διαδικασίας καθορισμού της υπό προστασίας περιοχής σύμφωνα με τα πρότυπα IEC 1024, υπάρχουν τρεις ισοδύναμες μέθοδοι [ΕΛΟΤ]:

- Μέθοδος γωνίας προστασίας: υπόκειται σε περιορισμούς σε όρια ύψους, κατάλληλη για κατασκευές με απλή γεωμετρία.
- Μέθοδος κυλιόμενης σφαίρας ακτίνας  $rb$ : αποδεκτή στον μεγαλύτερο αριθμό περιπτώσεων.

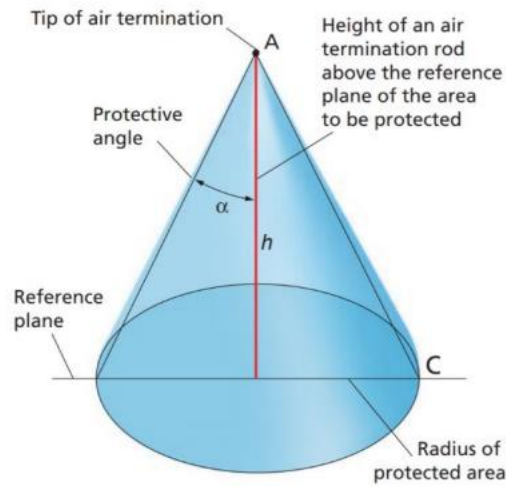
- Μέθοδος πλέγματος αγωγών πλάτους  $a$ : αποδεκτη για επίπεδες επιφάνειες.

Είναι σημαντικό η εγκατάσταση της αντικευρατικής προστασίας να είναι σχεδιασμένη με δεδομένο τις πιο δυσμενείς καιρικές συνθήκες, ώστε να έχει αντοχή στα πλήγματα των κεραυνών. Για το λόγο αυτό θα πρέπει όλα τα υλικά να έχουν αντοχή στη διάβρωση και τις μηχανικές καταπονήσεις.

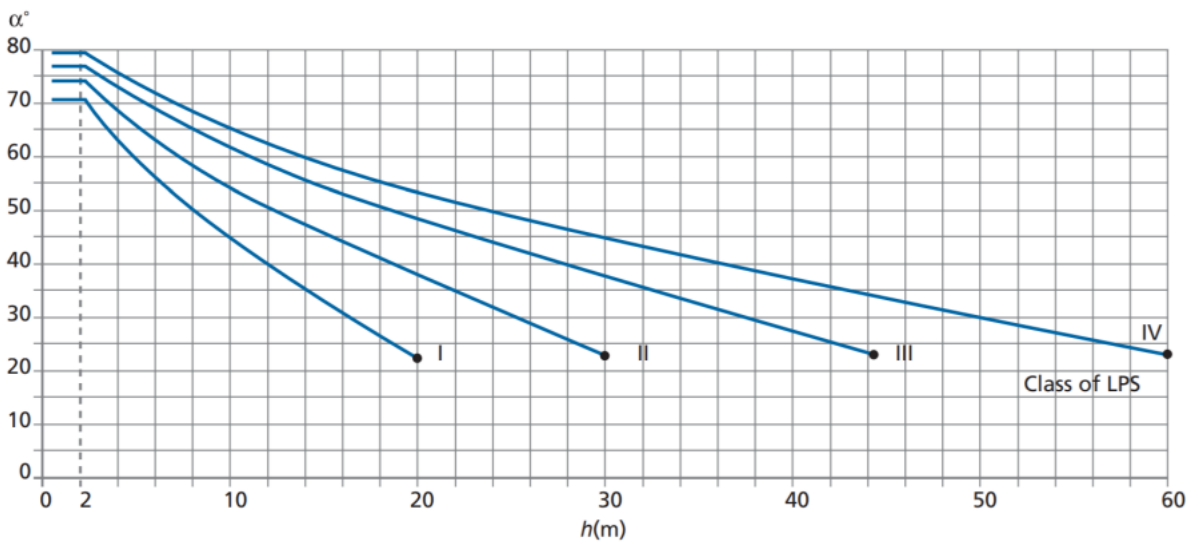
#### 4.3.1.1 Περιοχή προστασίας συλλεκτήριου συστήματος εξωτερικού ΣΑΠ

Με βάση τις προηγούμενες τρεις μεθόδους, ο προσδιορισμός της περιοχής προστασίας συλλεκτήριου συστήματος εξωτερικού ΣΑΠ πραγματοποιείται με μία από τις εξής τρεις μεθόδους, ανάλογα με το μέγεθος του κτηρίου και την απαιτούμενη στάθμη προστασίας :

- Η μέθοδος της γωνίας προστασίας: Αποτελεί την πιο εύκολη και χρήσιμη μέθοδο στην περίπτωση των κτιρίων απλής μορφής. Αντίθετα, όσον αφορά στα κτίρια σύνθετων μορφών η μέθοδος που χρησιμοποιείται κυρίως είναι αυτή της κυλιόμενης σφαίρας. Στην περίπτωση επίπεδων επιφανειών, πιο εύχρηστη είναι η μέθοδος πλέγματος αγωγών. Για την ολοκλήρωση της μεθόδου γωνίας προστασίας, η ζώνη προστασίας σε μια κορυφή ράβδου ύψους  $h$  βρίσκεται υπό τη μορφή ορθού κυκλικού κώνου που έχει ως κορυφαία ακμή την απόληξη της ράβδου(σχήμα 4.2)



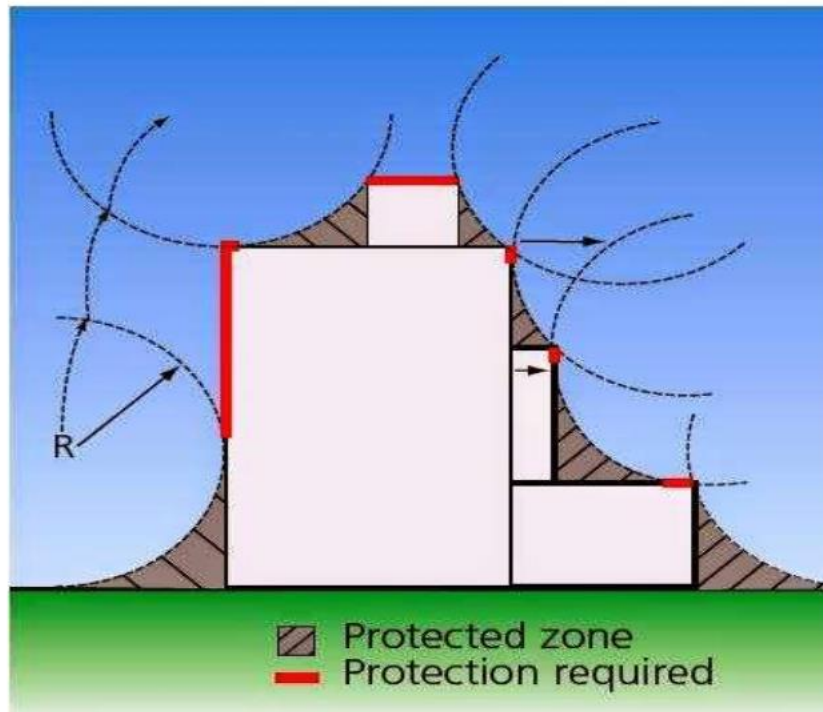
Σχήμα 4.2 Προστατευτική γωνία  $\alpha$  ως συνάρτηση του ύψους  $h$  σχετικά με την Στάθμη προστασίας (IEC 62305-3 TABLE 2).



Σχήμα 4.3 Γραφική παράσταση της προστατευτικής γωνίας  $\alpha$  ως συνάρτηση του ύψους  $h$  σχετικά με την Στάθμη προστασίας (IEC 62305-3 TABLE 2).

Η περιοχή προστασίας από μια ράβδο είναι άμεσα συνυφασμένος με το ύψος και το σημείο αναφοράς (οροφή κατασκευής η έδαφος). Η μέθοδος της γωνίας προστασίας χρησιμοποιείται κυρίως για να μας δείξει αν ένα σύστημα προστασίας είναι αρκετά αποτελεσματικό.

- Η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας: Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή ο σχεδιασμός του συλλεκτήριου συστήματος κρίνεται ορθός όταν δεν υπάρχουν σημεία της κατασκευής που πρέπει να βρίσκονται υπό προστασία να ακουμπάν με μια σφαίρα με ακτίνα R, που κυλιέται στην εδαφική περιοχή που περιβάλλει την κορυφή της υπό προστασία κατασκευής. Κατά την διαδικασία κύλισής της, η σφαίρα είναι αναγκαίο να είναι σε επαφή είτε αποκλειστικά στο έδαφος, είτε αποκλειστικά στο συλλεκτήριο σύστημα, είτε και στα δύο. Τα σημεία τα οποία η σφαίρα δεν αγγίζει κατά την κύλισή της θεωρούνται υπό προστασία. Συνεπώς προκύπτει ότι οι συλλεκτήριοι αγωγοί είναι αναγκαίο να εγκατασταθούν σε σημεία στα οποία η σφαίρα κατά την κύλιση της ακουμπά και βρίσκονται εντός της υπό προστασίας κατασκευής(σχήμα 4.4).



Σχήμα 4.4 Ζώνη προστασίας με τη μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας.

- Η μέθοδος πλέγματος αγωγών: Για να θεωρηθεί ότι ολόκληρη η επιφάνεια ενδιαφέροντος προστατεύεται με τη μέθοδο πλέγματος αγωγών θα πρέπει να ικανοποιούνται οι παρακάτω απαιτήσεις: Οι αγωγοί του συλλεκτήριου συστήματος να έχουν εγκαταστασθεί πάνω στις κορυφές της οροφής, στις προεξοχές που εμφανίζει η οροφή, καθώς και πάνω στα σημεία τομής των κεκλιμένων επιφανειών της οροφής, εάν η κλίση αυτών είναι μεγαλύτερη του 10%. Οι πλευρικές επιφάνειες της κατασκευής που βρίσκονται σε ύψος πιο μεγάλο από

αυτή της ακτίνας που επιλέχθηκε για την κυλιόμενη σφαίρα να εφοδιάζονται με συλλεκτήρια συστήματα. Οι αγωγοί του συλλεκτήριου συστήματος να διαγράφουν όσο το δυνατόν πιο σύντομες και σε ευθεία οδεύσεις. Το συλλεκτήριο σύστημα θα πρέπει να έχει την κατάλληλη δομή, ώστε το ρεύμα του πλήγματος να συναντά το λιγότερο δυο ξεχωριστές μεταλλικές οδεύσεις στην διαδρομή του συστήματος γείωσης.

#### 4.3.1.2 Επιλογή της δομής του συλλεκτήριου συστήματος

Τα φυσικά και τα τεχνικά, είναι τα δυο είδη που αποτελούν το συλλεκτήριο σύστημα. Επίσης, το συλλεκτήριο σύστημα συνθέτετε από ράβδους, τεταμένα σύρματα και πλέγμα αγωγών, τα οποία αποτελούν τα τεχνητά στοιχεία και είναι ισοδύναμα μεταξύ τους. Για τη διαδικασία σχεδιασμού του συλλεκτήριου συστήματος, χρήσιμα μπορούν να φανούν οποιαδήποτε από τα στοιχεία που μόλις προαναφέρθηκαν ακόμα και σε συνδυασμό. Πιο συγκεκριμένα, ο σχεδιασμός των συλλεκτηρίων συστημάτων με τη χρήση της ράβδου προτιμάται για τις ΣΑΠ εξωτερικής εγκατάστασης αντικεραυνικής προστασίας στην προφύλαξη σχετικά απλών κατασκευών με μικρό μέγεθος ή και μικρών τμημάτων μιας μεγάλης κατασκευής. Αντίθετα, η χρήση ράβδου δεν είναι κατάλληλη για κατασκευές με ύψος πιο μεγάλο από αυτό της ακτίνας της κυλιόμενης σφαίρας (ανάλογα με την στάθμη προστασίας που επιλέχθηκε). Η αξιοποίηση των τεταμένων συρμάτων πραγματοποιείται τόσο σε περιπτώσεις όπως αυτές που αναφέρθηκαν προηγουμένως, αλλά και σε κατασκευές που εμφανίζουν λόγω μήκους προς πλάτος μεγαλύτερο του τέσσερα.

Όσον αφορά στα φυσικά στοιχεία όπου συνιστούν το συλλεκτήριο σύστημα, αυτά είναι τα στοιχεία τα οποία δεν έχουν εγκατασταθεί στην κατασκευή αποκλειστικά για αντικεραυνική προστασία αλλά τα υλικά κατασκευής τους τα κάνει κατάλληλα για αυτό τον σκοπό. Ορισμένα μεταλλικά εξαρτήματα μιας κατασκευής που έχουν τη δυνατότητα να λειτουργήσουν ως φυσικά συλλεκτήρια στοιχεία είναι τα εξής:

- Φύλλα μετάλλων τα οποία επικαλύπτουν την κατασκευή με την προϋπόθεση να απουσιάζουν ουσίες οι οποίες καταστρέφουν τι (depassivation, Depassivierung).
- Μεταλλικά εξαρτήματα, όπως για παράδειγμα οι υδρορροές ή διακοσμητικά στοιχεία, κ.ά., αυτά μάλιστα χαρακτηρίζονται από διατομή ίση ή μεγαλύτερη από εκείνη που έχει ένα στάνταρ μέρος που ανήκει στο συλλεκτήριο σύστημα.

- Μεταλλικά στοιχεία που βρίσκονται στην οροφή της κατασκευής και καταλήγουν στο έδαφος χωρίς να έρχονται σε επαφή με άλλα μέρη του εξοπλισμού.
- Δεξαμενές και μεταλλικοί σωλήνες οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι από υλικό με ελάχιστο πάχος 2.5 mm [Πογιατζής].

#### 4.3.2 Σύστημα αγωγών καθόδου

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το ρεύμα ενός πλήγματος το οποίο αποδέχεται το συλλεκτήριο σύστημα θα μπορεί να οδηγηθεί με ασφάλεια μέσω της συντομότερης οδού στο σύστημα γείωσης. Όταν το ρεύμα που συλλέγεται, διαχωρίζεται στη συνέχεια σε πλήθος διακλαδώσεων του αντικεραυνικού συστήματος, η πιθανότητα εμφάνισης επαγόμενων τάσεων και ηλεκτρομαγνητικών αλλαγών εντός της συσκευής μειώνεται, καθώς διαχωρίζονται τα φορτία. Για να είναι αυτό δυνατό, χρειάζονται το λιγότερο δύο αγωγοί καθόδου, οι οποίοι θα βρίσκονται τοποθετημένοι περιμετρικά της κατασκευής. Αυτοί οι συλλεκτήριοι αγωγοί καθώς και οι αγωγοί καθόδου απαιτείται να είναι σταθεροί, για να μην επηρεάζονται σημαντικά από μηχανικές δυνάμεις που ασκεί το ρεύμα του κεραυνικού πλήγματος και να μην κινδυνεύουν επομένως από θραύσεις. Οι διασυνδέσεις με άλλα μέρη του εξοπλισμού κατά μήκος των αγωγών πρέπει να είναι όσο το δυνατόν περισσότεροι ώστε να δημιουργούνται ισοδυναμικές συνδέσεις όποτε κρίνεται απαραίτητο από τον ειδικό. Εδώ μπορεί να σημειωθεί ότι διάφορα μεταλλικά εξαρτήματα της κατασκευής όπως κεραίες και οι καμινάδες που φέρουν μεταλλικό υλικό, μπορούν να θεωρηθούν ως φυσικοί αγωγοί καθόδου.

##### 4.3.2.1 Τοποθέτηση αγωγών καθόδου σε μονωμένη εξωτερική αντικεραυνική προστασία.

Κατά την εγκατάσταση αγωγών καθόδου σε μονωμένη εξωτερική αντικεραυνική προστασία, όπου το σύστημα των αγωγών καθόδου και το συλλεκτήριο σύστημα είναι εγκατεστημένα για να μην έρχεται σε επαφή η οδός ροής του ρεύματος του κεραυνού με την κατασκευή, ο αριθμός των αγωγών καθόδου που θα χρησιμοποιηθούν καθορίζεται από την δομή του συλλεκτήριου συστήματος. Πιο αναλυτικά:

- Στην περίπτωση όπου το συλλεκτήριο σύστημα διαμορφώνεται από ράβδους οι οποίοι απαρτίζονται από ανεξάρτητους ιστούς ή από ένα ιστό χρειάζεται το λιγότερο ένας αγωγός για κάθε ιστό. Εάν όμως ο ιστός είναι κατασκευασμένος από μέταλλο ή

περιλαμβάνει εσωτερικά κάποια εξαρτήματα χάλυβα, τότε ο επιπλέον αγωγός δεν είναι απαραίτητος.

- Στην περίπτωση όπου το συλλεκτήριο σύστημα συνίσταται από συνεχόμενα ανεξάρτητα σύρματα ή από μοναδικό σύρμα, τότε είναι αναγκαίο να τοποθετηθεί τουλάχιστον ένας αγωγός για κάθε ένα από τα άκρα των συρμάτων
- Στην περίπτωση όπου το συλλεκτήριο σύστημα αποτελείται από πλέγμα αγωγών, τότε χρειάζεται το λιγότερο του ενός αγωγού για κάθε κατασκευή στήριξης του πλέγματος.

#### 4.3.2.2 Εγκατάσταση σε μη μονωμένη εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας (ΕΑΠ)

Αναφορικά με την μη μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ και συγκεκριμένα από την εγκατάσταση αγωγών καθόδου, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα το ρεύμα να διαπερνάει την κατασκευή, καθώς οι ράβδοι ή τεταμένα σύρματα αποτελούν το συλλεκτήριο σύστημα, είναι αναγκαία η τοποθέτηση ενός αγωγού καθόδου για κάθε ράβδο ή άκρο σύρματος. Στην περίπτωση όπου το πλέγμα των αγωγών αποτελεί το συλλεκτήριο σύστημα, θα πρέπει τουλάχιστον δύο αγωγοί καθόδου να τοποθετούνται περιμετρικά από την περιοχή προστασίας. Οι αγωγοί καθόδου θα πρέπει να εγκαθίστανται σε ισαπέχουσα θέση από την περίμετρο και να είναι κοντά στις γωνίες της κατασκευής. Οι αγωγοί είναι αναγκαίο να βρίσκονται σε σύνδεση μέσω οριζόντιων περιμετρικών δακτυλίων κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Τέλος, είναι απαραίτητο οι αγωγοί καθόδου και οι δακτύλιοι σύνδεσης να είναι τοποθετημένοι έτσι ώστε να απέχουν μία λειτουργική απόσταση από τις θύρες και τα παράθυρα της υπό προστασίας κατασκευής.

Πίνακας 4.1 Αναλογία στάθμης προστασίας με μέση απόσταση των αγωγών καθόδου.

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



Οι πιθανές θέσεις εγκατάστασης των αγωγών καθόδου είναι οι ακόλουθες:

- Στην περίπτωση όπου η εντοίχιση της κατασκευής έχει γίνει χρησιμοποιώντας εύφλεκτα υλικά, θα είναι επιθυμητό οι αγωγοί καθόδου να εγκατασταθούν στην επιφάνεια των τοιχίων, μόνο εάν είναι βέβαιο ότι η αύξηση της θερμοκρασίας λόγω της αγωγής ρεύματος είναι εντός των επιτρεπτών ορίων για το υλικό εντοιχισμού ώστε να μην πάρει φωτιά.
- Στην περίπτωση που εύφλεκτο υλικό εμπεριέχεται στον τοίχο της κατασκευής είναι επικίνδυνό καθώς μπορεί να αυξηθεί η θερμοκρασία των αγωγών καθόδου, τότε η τοποθέτηση περιορίζεται σε θέσεις όπου η μεταξύ τους απόσταση, του τοίχου και του αγωγού είναι μεγαλύτερη από 0.1 μέτρο. Τα μεταλλικά εξαρτήματα στήριξης παρόλα αυτά επιτρέπεται να είναι σε επαφή με τον τοίχο.
- Σε καμία περίπτωση δεν επιτρέπεται η τοποθέτηση των αγωγών καθόδου εντός υδρορροών, ακόμα και με την επικάλυψη μονωτικών, διότι θα προκληθεί διάβρωση.

#### 4.3.2.3 Φυσικοί αγωγοί καθόδου

Φυσικούς αγωγούς καθόδου μιας κατασκευής, αποτελούν τα ακόλουθα:

- Μεταλλικά εξαρτήματα τα οποία είναι τυχόν καλυμμένα με μονωτικό υλικό, αλλά με την απαίτηση η ηλεκτρική αγωγιμότητα μεταξύ όλων των τμημάτων τους είναι ικανοποιητική, ενώ επιπλέον φέρουν διαστάσεις που είναι τουλάχιστον ίσες με τις κλασικές διαστάσεις που χαρακτηρίζουν έναν αγωγό καθόδου
- Ο σιδερένιος σκελετός ή ο ενδοσκελετός από χάλυβα του τσιμέντου της κατασκευής, αλλά πάντα έχοντας υπόψιν την περίπτωση όπου η ροή ρεύματος από πλήγμα μπορεί να δράσει με μηχανικές πιέσεις
- Μέρη των όψεων ή κιγκλιδώματα που προεξέχουν και κατασκευές των μεταλλικών όψεων υπό απαιτήσεις διαστάσεων και σταθερής ηλεκτρικής συνέχειας

#### 4.3.3 Σύστημα γείωσης

Το σύστημα γείωσης χρησιμεύει για την αποφόρτιση της κατασκευής από το ρεύμα, πάνω στο έδαφος με ασφαλή τρόπο, με τη χρήση ηλεκτροδίων γείωσης τα οποία βρίσκονται θαμμένα στο έδαφος. Το σύστημα γείωσης προστατεύει αφενός τον άνθρωπο από ηλεκτροπληξία, αλλά παράλληλα ελαττώνει τον κίνδυνο ανάπτυξης βηματικών τάσεων ή τάσεων επαφής. Βηματική

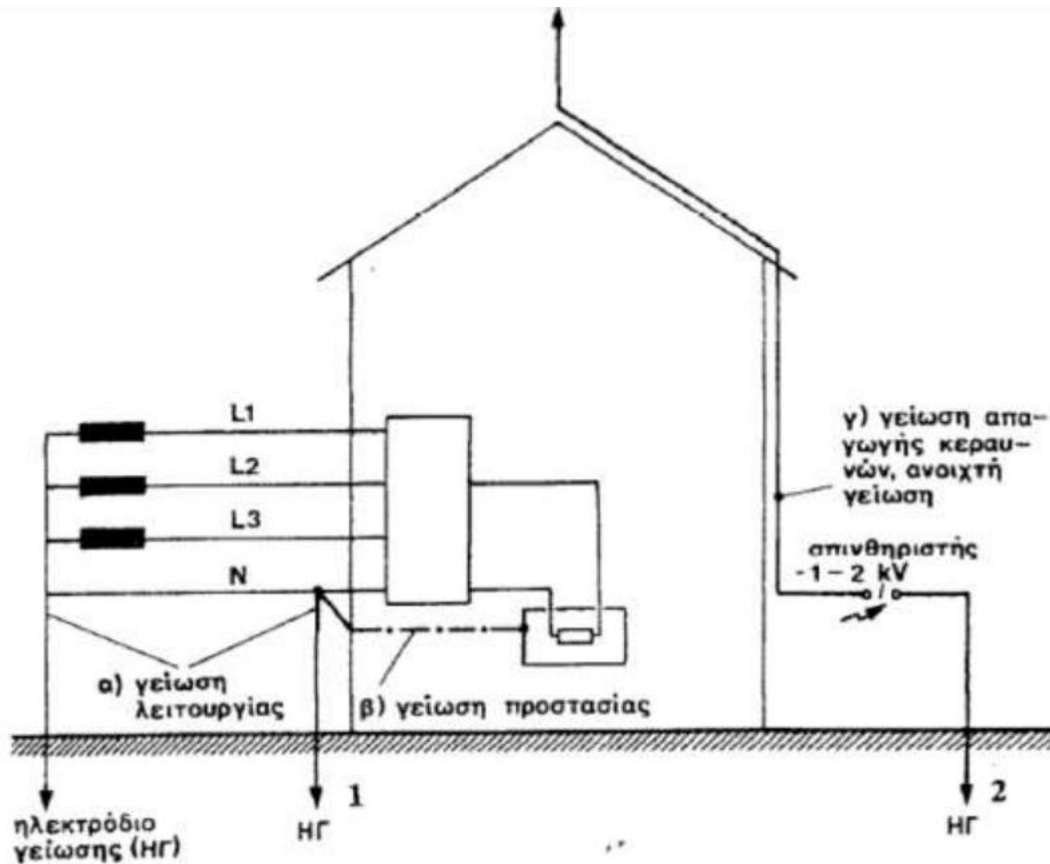
τάση ορίζεται ως η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται μεταξύ των κάτω άκρων, όταν αυτά απέχουν 1 μέτρο μεταξύ τους, τη στιγμή που το ρεύμα εισέρχεται στο έδαφος. Παράλληλα τάση επαφής είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ της ανύψωσης δυναμικού και του δυναμικού όπου στέκεται ένας άνθρωπος, έχοντας ταυτοχρόνως το ένα του χέρι σε επαφή με γειωμένη κατασκευή. Το σχήμα και το μέγεθος και η ειδική αντίσταση του συστήματος γείωσης αποτελούν βασικοί παράγοντες για τη μεταβατική συμπεριφορά του συστήματος γείωσης.

Πίνακας 4.2 Ειδική αντίσταση σε σχέση με τον τύπο εδάφους

Τύπος εδάφους	Ειδική αντίσταση ( $\Omega\text{m}$ )
Ελώδες έδαφος	30
Αργιλώδες, πηλώδες ή αγρού	100
Υγρή άμμος	200
Υγρά χαλίκια	500
Ξηρή άμμος	1000
Πετρώδες και ξηρά χαλίκια	3000

Καθοριστικοί συντελεστές της συμπεριφοράς των συστημάτων γείωσης αποτελούν η κυματομορφή και το σημείο έγχυσης του ρεύματος, ο ιονισμός του εδάφους. Στο σχήμα 4.5 φαίνονται τα τρία είδη συστημάτων γείωσης:

- Γείωση προστασίας.
- Γείωση λειτουργίας.
- Γείωση ασφαλείας.



Σχήμα 4.5 Σύστημα γείωσης.

#### 4.4 Εσωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας(εσωτερικό ΣΑΠ).

Σκοπός του εσωτερικού ΣΑΠ είναι η προστασία της κατασκευής από ανεπιθύμητες ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις που προκαλεί το ρεύμα ενός κεραυνικού πλήγματος στο εσωτερικό της εγκατάστασης. Η ηλεκτρομαγνητική επίδραση και οι υπερτάσεις μπορούν να περιοριστούν με σωστή τοποθέτηση, θωράκιση των καλωδίων, με ισοδυναμικές συνδέσεις, καθώς και με διατάξεις προστασίας (Surge suppression device,SPD). Η σωστή δρομολόγηση των καλωδίων, συντελεί στην μείωση των επαγόμενων τάσεων οι οποίες σχηματίζουν βρόχους. Οι κλειστές περιοχές των καλωδίων είναι αναγκαίο να περιορίζονται και να τοποθετούνται όσο πιο κοντά είναι δυνατόν στους προστατευτικούς αγωγούς συνδέσεων.

Πίνακας 4.3 Λειτουργία εσωτερικού συστήματος αντικεραυνικής προστασίας(εσωτερικό ΣΑΠ)

Η λειτουργία τους περιγράφεται ως εξής:
A. στην περίπτωση απουσίας υπέρτασης στο σύστημα ηλεκτροδότησης οι συσκευές υπερτάσεων δεν επηρεάζουν το σύστημα.
B. στην περίπτωση εμφάνισης υπέρτασης η συσκευή ανταποκρίνεται και μειώνοντας την αντίσταση της αφήνει το ρεύμα να εκτονωθεί διαμέσου της, μέχρι η τάση να φτάσει σε ασφαλή επίπεδο.
Γ. μετά την απόσβεση της υπέρτασης, η αντίσταση της συσκευής ανεβαίνει σε υψηλά επίπεδα ώστε να μην υπάρχει διαρροή ηλεκτρικού ρεύματος.

Οι διατάξεις που είναι κατάλληλες για την προφύλαξη από υπερτάσεις χαμηλών τιμών τάσεων κατηγοριοποιούνται σε σχέση με το επίπεδο προφύλαξης το οποίο εξασφαλίζουν, αλλά και με βάση τα τεχνικά στοιχεία τους.

Οι τύποι συσκευών που χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό υπερτάσεων σε Φ/Β συστήματα με αντικεραυνική προστασία είναι δυο:

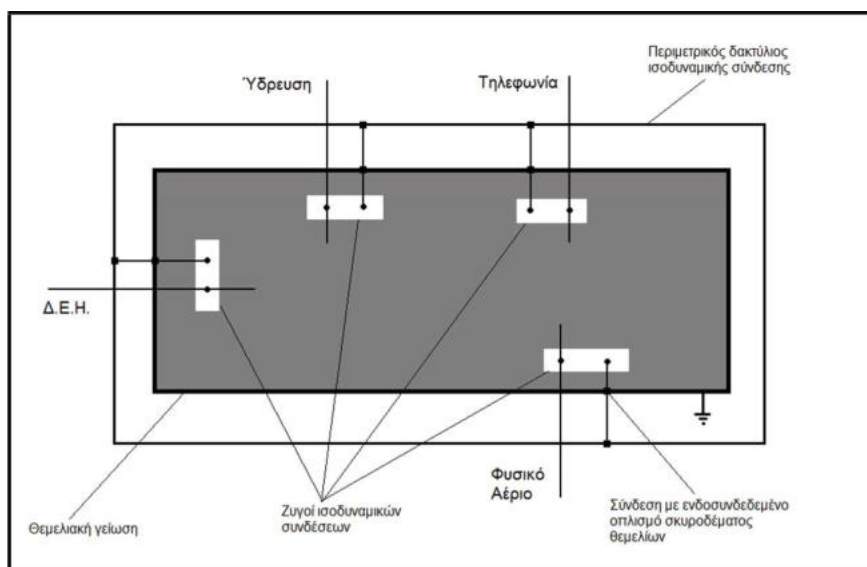
A)Ο τύπος 1[T1] ο οποίος παρέχει την πρώτη προστασία από κεραυνικά πλήγματα, επίσης ανταποκρίνεται σε κυματομορφές ρεύματος 10/350Ms. Ο τύπος T1 προβλέπεται σε θέσεις όπου εισέρχεται το ρεύμα κεραυνού χωρίς προηγούμενη μείωση της έντασής του, όπως στα όρια των ζωνών LPZ0B-LPZ1.

B)Ο τύπος 2[T2] ο οποίος παρέχει τη δεύτερη προστασία από υπερεντάσεις, καθώς και ανταποκρίνεται σε κυματομορφές ρεύματος 8/20 Ms. Ο τύπος αυτός συμβάλει στα σημεία που δέχονται έμμεσα το κεραυνικό πλήγμα, δηλαδή στα σύνορα των ζωνών LPZ1-LPZ2 ή LPZ0B-LPZ2.

Τέλος πολύ σημαντικό για την εγκατάσταση του SPD είναι η απόσταση που έχουν τα καλώδια που δρομολογούνται από τις γενικές ασφάλειες προς το SPD, η οποία πρέπει να έχει συγκεκριμένο μήκος. Επίσης σημαντικό αποτελεί η απόσταση που είναι απαραίτητη να έχει η μπάρα γείωσης από τον απαγωγό. Επίσης, το μήκος αυτό δεν πρέπει να ξεπερνιέται, διότι το καλώδιο απαγωγής και μεταφοράς του κρουστικού ρεύματος, θα δημιουργεί υπέρταση, η οποία μπορεί να μεταφερθεί μέσα στα κυκλώματα μας. Το προτεινόμενο μήκος του καλωδίου δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 50 εκατοστά.

#### 4.4.1 Ισοδυναμικές συνδέσεις

Οι ισοδυναμικές συνδέσεις είναι απαραίτητο να εφαρμόζονται ανάμεσα στα τμήματα της κατασκευής, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει πιθανότητα εμφάνισης μεγάλης διαφοράς δυναμικού μεταξύ των τμημάτων της Φ/Β κατασκευής. Το πρότυπο 62305-3 αναφέρεται στη δημιουργία ισοδυναμικών συνδέσεων σε κτίρια.



Σχήμα 4.6 Πρότυπο 62305-3

Η δημιουργία μιας ισοδυναμικής σύνδεσης είναι η διασύνδεση μέσω αγωγίμης οδού μεταξύ του ΣΑΠ και των ακόλουθων:

- Εσωτερικών συστημάτων.
- Μεταλλικών μερών/εγκαταστάσεων του κτίσματος.
- Εξωτερικών τμημάτων που εμφανίζουν αγωγιμότητα και γραμμών που συνδέονται στο κτίριο.

Οι κύριοι τρόποι για τη δημιουργία αγωγίμης οδού σε ισοδυναμικές συνδέσεις είναι:

- Συνδετικοί αγωγοί στους οποίους η ηλεκτρική συνέχεια δεν προσφέρεται η άμεση αγωγή σύνδεση.

- Συσκευές περιορισμού υπέρτασης (SPDs) σε σημεία που είναι αδύνατο να πραγματοποιηθεί άμεση γεφύρωση.
- Μονωμένο διάκενο σπινθηρισμού (isolating spark gaps ISGs) επίσης σε σημεία που είναι αδύνατη η άμεση γεφύρωση.

#### 4.4.2 Υπολογισμός κεραυνικού ρεύματος που ρέει σε αγωγούς εξωτερικού ΣΑΠ και στα καλώδια εισερχόμενων παροχών της κατασκευής.

Ο καθορισμός του ρεύματος που διαπερνά τα καλώδια μιας κατασκευής αφότου δεχθεί πλήγμα από κεραυνό είναι απαραίτητο στοιχείο για να γίνει η ορθή επιλογή των αποχετευτών υπερτάσεων σε μια Φ/Β γεννήτρια. Το ρεύμα το οποίο προκύπτει από κεραυνό, στην διαδρομή του προς το έδαφος θα διασκορπιστεί στα εξωτερικά αγωγή τμήματα, στο σύστημα γείωσης και στα καλώδια παροχών κοινής ωφελείας της εγκατάστασης τα οποία βρίσκονται σε σύνδεση με τον ζυγό εξίσωσης δυναμικών, είτε μέσω των αποχετευτών υπέρτασης, είτε μέσω των αγωγών των ισοδυναμικών συνδέσεων. Η εξ. (4.1) δίνει το μέρος του ρεύματος που προέκυψε από τον κεραυνό, το οποίο διαρρέει το καλώδιο των εισερχόμενων παροχών της κατασκευής ή κάθε εξωτερικό αγωγή τμήμα :

$$I_f = I * Z_e / (nZ_e + Z_i) \quad (4.1)$$

Όπου:

- $I$  (kA) είναι το κεραυνικό ρεύμα το οποίο αντίστοιχη στην στάθμη αντικεραυνικής προστασίας που θα επιλεγθεί.
- $Z_e$  ( $\Omega$ ) είναι η ισοδύναμη αντίσταση γείωσης του συστήματος γείωσης.
- $Z_i$  ( $\Omega$ ) είναι η ισοδύναμη αντίσταση γείωσης των καλωδίων των εισερχόμενων παροχών της κατασκευής ή κάθε εξωτερικού αγωγίου τμήματος.
- $n$  αποτελεί το συνολικό αριθμό αγωγίων τμημάτων και καλωδίων των εισερχόμενων παροχών της κατασκευής.

Οι αντιστάσεις γείωσης  $Z_e$  και  $Z_i$  συναρτήσεως της ειδικής αντίστασης του εδάφους σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα. (IEC 62305-1 Table E.1)

Πίνακας 4.4 Τιμές ισοδύναμων αντιστάσεων γείωσης  $Z_e$  και  $Z_n$  ανάλογα με την ειδική αντίσταση του εδάφους.

$\rho_s$ ( $\Omega \cdot m$ )	$Z_i$ ( $\Omega$ )	$Z_e$ ( $\Omega$ ) 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

Η ειδική αντίσταση του εδάφους είναι εξαρτημένη από την σύσταση και την πυκνότητα του, συνεπώς επηρεάζεται και η αντίσταση γείωσης η οποία είναι εξαρτημένη από την ειδική αντίσταση του εδάφους.

Η εξ. (4.2), δίνει το μέρος του ρεύματος του κερανού που βρίσκεται στη διαδρομή προς το έδαφος μέσω του συστήματος γείωσης:

$$I_e = I - nI_f \quad (4.2)$$

Ο δεύτερος όρος του γινομένου της εξίσωσής 4.2 είναι δυνατό να παραστεί και ως συντελεστής του ρεύματος  $K_p$  ο οποίος εκφράζει το ποσοστό του ρεύματος ενός κερανού οποίος διαρρέει όλα τα εξωτερικά αγωγία τμήματα ή τα καλώδια των εισερχόμενων παροχών της κατασκευής.

Πίνακας 4.5 Ο συντελεστής κατανομής  $K_p$ , σε σχέση με την ειδική αντίσταση του εδάφους.

$\rho_s$ ( $\Omega \cdot m$ )	$K_p$											
	$n = 1$			$n = 2$			$n = 3$			$n = 4$		
	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

Σε συνέχεια με τον παραπάνω πίνακα, το ποσοστό του ρεύματος του κεραυνού, που στο έδαφος μέσω του συστήματος γειώσεις της κατασκευής, μπορεί να αυξάνει σε σχέση με την μείωση του αριθμού των εισερχόμενων παροχών.

Η εξ (4.3) δίνει σε προσέγγιση το μέρος του κεραυνικού ρεύματος για κάθε εξωτερικό αγωγό τμήμα ή καλώδιο που ανήκει στις εισερχόμενες παροχές στην περίπτωση όπου η στάθμη προστασίας δεν είναι γνωστές ή η ειδική αντίσταση του εδάφους :

$$I_f = 0.5I / n \quad (4.3)$$

Με την αποδοχή ότι το 50% του ρεύματος του κεραυνού μεταφέρεται από το σύστημα γείωσης στη γη. Παρόλα αυτά η διαδικασία καθορισμού της τιμής του κεραυνικού ρεύματος που μπορεί να πλήξει την κατασκευή ενδιαφέροντος είναι δύσκολη διαδικασία και αποδίδει μη ακριβή αποτελέσματα. Συνεπώς, τα κριτήρια για να επιλεγθούν και να εγκατασταθούν σωστά οι αποχετευτών υπέρτασης είναι οι ΖΑΠ της Φ/Β γεννήτριας.

Στις περιπτώσεις που στις εισερχόμενες παροχές χρησιμοποιούνται καλώδια τα οποία δεν περνάνε από μεταλλικούς σωλήνες το ρεύμα του κεραυνού που διαρρέει κάθε αγωγό του καλωδίου,  $I_f$ , με  $m$  τον αριθμό των αγωγών του καλωδίου, υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$I'_f = I_f/m \quad (4.4)$$



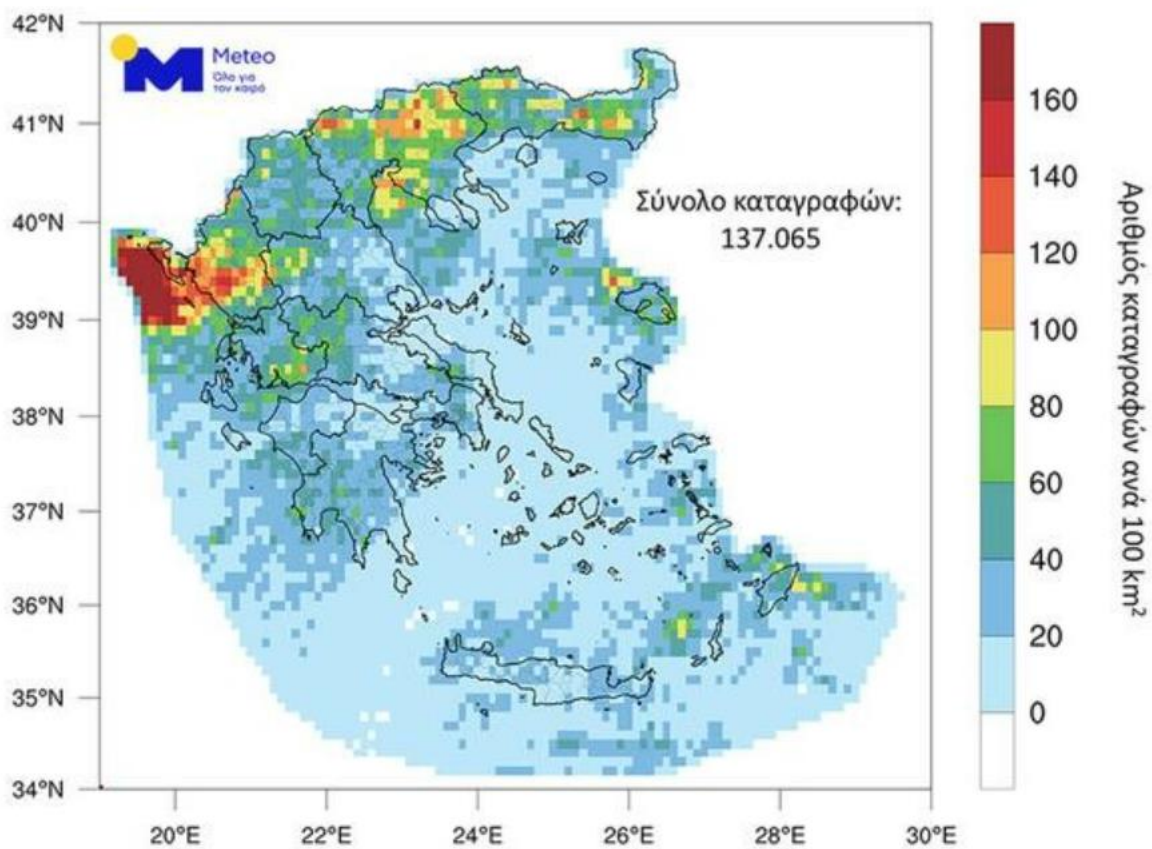
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΕ ΥΠΑΙΘΡΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΙΣΧΥΟΣ [17]

### 5.1 Εκτίμηση ζημιών από κεραυνούς

Η μελέτη εκτίμησης κινδύνου ζημιών από κεραυνούς είναι το μέτρο του ρίσκου ενός κεραυνικού πλήγματος και της πιθανότητας πρόκλησης ζημιών, αξιολογώντας το ρίσκο μίας εγκατάστασης με βάση το πρότυπο IEC 62305 – 2. Οι υπολογισμοί για την αξιολόγηση του ρίσκου βασίζονται στην πυκνότητα των κεραυνών σε μία περιοχή, στον κίνδυνο που υπάρχει για τους ανθρώπους, στον συντελεστή κατοίκησης της κατασκευής, στην σχετική θέση της περιοχής, στον κίνδυνο πυρκαγιάς, στις παρεχόμενες υπηρεσίες της κατασκευής, στο επίπεδο της αντικεραυνικής προστασίας, στις διαστάσεις της κατασκευής και στην ύπαρξη απαγωγών υπερτάσεων .

Ως «πυκνότητα κεραυνικών πληγμάτων» Ng (Lightning Strike Density) ορίζεται ο αριθμός των κεραυνικών πληγμάτων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο τον χρόνο σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Όσο αυξάνεται η πυκνότητα των κεραυνικών πληγμάτων τόσο υψηλότερο είναι το επίπεδο αντικεραυνικής προστασίας που απαιτείται.

## Πυκνότητα καταγραφών ηλεκτρικών εκκενώσεων το 2020



Σχήμα 5.1 Πυκνότητα καταγραφών ηλεκτρικών εκκενώσεων το 2020

Ο παράγοντας του «κινδύνου για τους ανθρώπους» ή (Danger for People) αναφέρεται στην παρουσία και τον πανικό ανθρώπων σε ένα κτίριο κατά την διάρκεια ενός κεραυνικού πλήγματος και δίνεται από τον πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1 Τιμές παράγοντα «κίνδυνος για τους ανθρώπους» για την αξιολόγηση του ρίσκου ενός κεραυνικού πλήγματος σε μία εγκατάσταση

Παράγοντας «κίνδυνος για τους ανθρώπους»	Τιμή
Δεν υπάρχει κίνδυνος	1
Χαμηλό επίπεδο πανικού ( $\leq 2$ όροφοι, $< 100$ άτομα)	2
Μέτριο ρίσκο πανικού ( $< 1000$ άτομα)	5
Δύσκολη εκκένωση (ΑΜΕΑ, νοσοκομεία)	5
Υψηλό ρίσκο πανικού ( $> 1000$ άτομα)	10
Κίνδυνος για το περιβάλλον	20
Μόλυνση του περιβάλλοντος	50

Ο «συντελεστής πληρότητας»  $Lf_1$  (Occupancy Coefficient) εκφράζει την πληρότητα του κτιρίου. Ισούται με 0.1 αν το κτίριο είναι άδειο, ενώ όταν το κτίριο κατοικείται ισούται με 0.01.

Η «σχετική θέση της περιοχής»  $C_d$  (Relative Location of Site) εκφράζει το ρίσκο του κεραυνικού πλήγματος σε σχέση με την τοποθεσία της εγκατάστασης και δίνεται από τον Πίνακα 5.2. Για παράδειγμα, η πιθανότητα του κεραυνικού πλήγματος ελαχιστοποιείται αν το κτίριο βρίσκεται δίπλα σε ένα ψηλό πύργο.

Πίνακας 5.22 Τιμές παράγοντα «σχετική θέση περιοχής» για την αξιολόγηση του ρίσκου ενός κεραυνικού πλήγματος σε μία εγκατάσταση

Σχετική θέση περιοχής	Τιμή
Το κτίριο περιβάλλεται από υψηλότερα αντικείμενα ή δέντρα	0.25
Το κτίριο περιβάλλεται από όμοια ή χαμηλότερα αντικείμενα	0.5
Απομονωμένο κτίριο, δεν υπάρχουν αντικείμενα στην γύρω περιοχή	1
Απομονωμένο κτίριο στην κορυφή ενός λόφου	2

Ο συντελεστής «κίνδυνος πυρκαγιάς»  $if$  (Fire Risk) λαμβάνει υπόψη την ύπαρξη εύφλεκτων υλικών στην εγκατάσταση και δίνεται από τον Πίνακα 5.3. Για παράδειγμα, ο κίνδυνος πυρκαγιάς θα είναι υψηλός αν ο κεραυνός πλήξει ένα πρατήριο καυσίμων.

Πίνακας 5.3 Τιμές παράγοντα «κίνδυνος πυρκαγιάς» για την αξιολόγηση του ρίσκου ενός κεραυνικού πλήγματος σε μία εγκατάσταση

Κίνδυνος πυρκαγιάς	Τιμή
Έκρηξη	1
Υψηλός	0.1
Κανονικός	0.01
Χαμηλός	0.001

Ο παράγοντας «παρεχόμενες υπηρεσίες»  $Lf_2$  (Associated Services) εκφράζει το ρίσκο του κεραυνού σε σχέση με τις υπηρεσίες που προσφέρονται στο κτίριο και δίνεται από τον Πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4 Τιμές παράγοντα «παρεχόμενες υπηρεσίες» για την αξιολόγηση του ρίσκου ενός κεραυνικού πλήγματος σε μία εγκατάσταση

Παρεχόμενες υπηρεσίες	Τιμή
Δεν παρέχονται υπηρεσίες	0
Καύσιμα, νερό	0.1
Τηλεόραση, ραδιόφωνο, ηλεκτρισμός, επικοινωνίες	0.01

Ο παράγοντας «ηλεκτρικές γραμμές»  $A_i$  (Electrical Lines) εκφράζει την αύξηση του ρίσκου του κεραυνού λόγω της παρουσίας γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και δίνεται από τον Πίνακα 5.5.

Πίνακας 5.5 Τιμές παράγοντα «ηλεκτρικές γραμμές» για την αξιολόγηση του ρίσκου ενός κεραυνικού πλήγματος σε μία εγκατάσταση

Ηλεκτρικές γραμμές	Τιμή
Δεν υπάρχουν ηλεκτρικές γραμμές	14400
Εναέρειες	6600
Υπόγειες	0

Ο παράγοντας «προστασία αντικεραυνικής προστασίας»  $P_d$  (Lightning Protection Level) προσδιορίζει την κατηγορία  $K_a$  του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας, την ελάχιστη απόσταση μεταξύ των απαγωγέων υπερτάσεων και την πυκνότητα του πλέγματος προστασίας και δίνεται από τον Πίνακα 5.6.

Πίνακας 5.6 Τιμές παράγοντα «προστασία αντικεραυνικής προστασίας» για την αξιολόγηση του ρίσκου ενός κεραυνικού πλήγματος σε μία εγκατάσταση

Προστασία αντικεραυνικής προστασίας	Τιμή
Δεν υπάρχει προστασία	1
Επίπεδο προστασίας IV	0.2
Επίπεδο προστασίας III	0.1
Επίπεδο προστασίας II	0.05
Επίπεδο προστασίας I	0.02

Ο παράγοντας «απαγωγοί υπερτάσεων»  $P_i$  (Surge Arrestors) σχετίζεται με τους απαγωγούς υπερτάσεων οι οποίοι μπλοκάρουν τις υπερτάσεις και δεν τις επιτρέπουν να εισέλθουν στην εγκατάσταση και δίνεται από τον Πίνακα 5.7.

Πίνακας 5.7 Τιμές παράγοντα «απαγωγοί υπερτάσεων» για την αξιολόγηση του ρίσκου ενός κεραυνικού πλήγματος σε μία εγκατάσταση

Απαγωγοί υπερτάσεων	Τιμή
Κανένας	1
Ρεύμα $\geq 12.5$ kA	0.03
Ρεύμα = $75/(mxn)$	0.02
Ρεύμα = $100/(mxn)$	0.01

Το αποτέλεσμα της μελέτης εκτίμησης των ζημιών από κεραυνούς αξιολογείται με βάση τα «ανεκτά ρίσκα» RT (Tolerable Risks), δηλαδή με βάση τις ανεκτές τιμές αναφορικά με το ρίσκο απώλειας ανθρώπινης ζωής, το ρίσκο απώλειας υπηρεσιών προς το κοινό και το ρίσκο απώλειας πολιτιστικής κληρονομιάς και δίνεται από τον Πίνακα 5.8. Το αποτέλεσμα της μελέτης αποτελεί οδηγό για την επιλογή του κατάλληλου επιπέδου αντικεραυνικής προστασίας έτσι ώστε το κάθε ρίσκο να βρίσκεται εντός ανεκτών ορίων.

Πίνακας 5.8 Ανεκτές τιμές ρίσκων σύμφωνα με το πρότυπο IEC 62305 - 2

Ρίσκο	Τύπος απώλειας	Ανεκτή τιμή
RT1	Απώλεια ανθρώπινης ζωής	1 προς 100000
RT2	Απώλεια υπηρεσιών προς το κοινό	1 προς 1000
RT3	Απώλεια πολιτιστικής κληρονομιάς	1 προς 1000

Τα ρίσκα RT1, RT2 και RT3 δίνονται από τις σχέσεις:

$$RT1 = N_g * A_d * C_d * 0.000001 * P_d * h * r_f * L_{f1} + N_g * C_d * A_i * 0.000001 * P_i * h * r_f * L_{f1}$$

$$RT2 = N_g * A_d * C_d * 0.000001 * P_d * r_f * L_{f2} + N_g * C_d * A_i * 0.000001 * P_i * r_f * L_{f2}$$

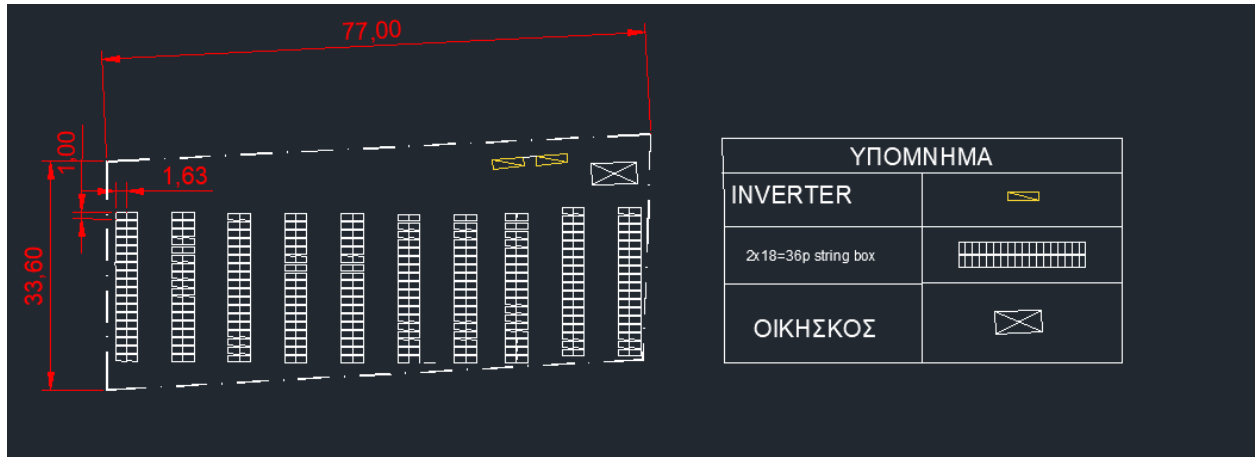
$$RT3 = N_g * A_d * C_d * 0.000001 * P_d * r_f * 0.1 + N_g * C_d * A_i * 0.000001 * P_i * r_f * 0.1$$

Όπου,

$A_d$  = Περιοχή απομονωμένου κτίσματος στην οποία μπορεί να συμβεί πτώση κεραυνού

## 5.2 Τεχνικά στοιχεία φωτοβολταϊκής εγκατάστασης

Η υπαίθρια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση έχει συνολική εγκατεστημένη ισχύ 111.654 kW. Υπάρχουν 18 διπλά πάνελ σε κάθε σειρά και συνολικά 10 σειρές. Τα panels είναι τύπου μονοκρυσταλλικά Sunpower SPR-E19-310-COM 310 W με απόδοση 19% και διαστάσεις 1.63m x 1m. Η εγκατάσταση διαθέτει 2 μετατροπείς SMA America STP 60-US-10 ονομαστικής ισχύος 61.13kWdc/59.86kWac. Η συνολική επιφάνεια της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης είναι 2587,2m<sup>2</sup>. Στη συνέχεια παρατίθενται η κάτοψη της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2 Κάτοψη φωτοβολταϊκής εγκατάστασης

### 5.3 Επιλογή στάθμης αντικεραυνικής προστασίας

Η απόφαση για την κατάλληλη στάθμη αντικεραυνικής προστασίας για την φωτοβολταϊκή εγκατάσταση πραγματοποιείται με την μέθοδο που αναλύθηκε στην ενότητα 5.1 . Οι παράμετροι του μοντέλου για την τεκμηρίωση της στάθμης αντικεραυνικής προστασίας είναι οι εξής (1<sup>ο</sup> σετ παραμέτρων):

- ✓ Διαστάσεις: 77x33x4 m.
- ✓  $N_g = 8$  (κεραυνοί/έτος.km<sup>2</sup>).
- ✓ Δεν υφίσταται ιδιαίτερος κίνδυνος για τους ανθρώπους.
- ✓ Η κατασκευή δεν κατοικείται.
- ✓ Υπόγεια καλωδίωση.
- ✓ Απομονωμένη κατασκευή χωρίς άλλα αντικείμενα σε μικρή απόσταση.
- ✓ Ο κίνδυνος πυρκαγιάς είναι χαμηλός.
- ✓ Η κατασκευή δεν παρέχει υπηρεσίες προς το κοινό.

- ✓ Δεν υφίστανται απαγωγείς υπερτάσεων.

Με αυτές τις παραμέτρους η απαιτούμενη στάθμη προστασίας μπορεί να είναι οποιουδήποτε επιπέδου από I έως IV, διότι κάθε ρίσκο προκύπτει αποδεκτό σύμφωνα με τους υπολογισμούς. Προκειμένου η Φ/Β εγκατάσταση να είναι προστατευμένη σε κάθε περίπτωση, λαμβάνεται υπόψη η χειρότερη περίπτωση, διαμορφώνοντας ένα 2<sup>ο</sup> σετ παραμέτρων:

- ✓ Διαστάσεις: 77x33x4 m.
- ✓  $N_g = 560$ .
- ✓ Δεν υφίσταται ιδιαίτερος κίνδυνος για τους ανθρώπους.
- ✓ Η κατασκευή δεν κατοικείται.
- ✓ Υπόγεια καλωδίωση.
- ✓ Απομονωμένη κατασκευή περιβαλλόμενη από υψηλότερα αντικείμενα ή δέντρα.
- ✓ Ο κίνδυνος πυρκαγιάς είναι κανονικός.
- ✓ Η κατασκευή δεν παρέχει υπηρεσίες προς το κοινό.
- ✓ Διατίθενται απαγωγείς υπερτάσεων για κρουστικά ρεύματα άνω των 12.5 kA στον Γ.Π.Χ.Τ.



Πίνακας 5.9 Υπολογισμός στάθμης αντικεραυνικής προστασίας της Φ/Β εγκατάστασης σύμφωνα με το 1ο σετ παραμέτρων (I-IV αποδεκτές τιμές στάθμης προστασίας)

<b>LIGHTNING DENSITY</b>	Ng=	<input type="text" value="8"/>
<b>STRUCTURE</b>		
	Length L(m)	L= <input type="text" value="77"/>
	Width W(m)	W= <input type="text" value="33"/>
	Height H(m)	Hl= <input type="text" value="4"/>
	Chimney/Tower height (m)	T= <input type="text" value="0"/>
<b>DANGER FOR PEOPLE</b>	h=	<input type="text" value="No particular danger"/>
<b>OCCUPATION OF THE STRUCTURE</b>	Lf1=	<input type="text" value="Structure unoccupied"/>
<b>LIGHTNING CONDUCTOR</b>	Pd=	<input type="text" value="Protection Level IV"/>
<b>Electrical Line</b>	Ai=	<input type="text" value="Underground"/>
<b>RELATIVE LOCATION OF THE STRUCTURE</b>	Cd=	<input type="text" value="Isolated structure-No other objects nearby"/>
<b>FIRE RISK</b>	rf=	<input type="text" value="Low"/>
<b>SERVICE</b>	Lf2=	<input type="text" value="No"/>
<b>SURGE ARRESTOR</b>	Pi=	<input type="text" value="None"/>
<b>RESULTS OF THE RISK ASSESSMENT</b>		
	Risk of human loss	R1= <input type="text" value="ACCEPTABLE"/>
	Risk of loss of service	R2= <input type="text" value="ACCEPTABLE"/>
	Risk of loss of cultural heritage	R3= <input type="text" value="ACCEPTABLE"/>
Notes:		

Από το δεύτερο σετ παραμέτρων προκύπτει ότι η στάθμη αντικεραυνικής προστασίας IV δεν είναι επαρκής καθώς προκύπτει ρίσκο απώλειας ανθρώπινης ζωής, ενώ το πρόβλημα επιλύει η στάθμη αντικεραυνικής προστασίας I.

Πίνακας 5.10 Υπολογισμός ρίσκων Φ/Β εγκατάστασης σύμφωνα με το 2ο σετ παραμέτρων και στάθμη προστασίας IV

<b>LIGHTNING DENSITY</b>	Ng=	<input type="text" value="560"/>
<b>STRUCTURE</b>		
	Length L(m)	L= <input type="text" value="77"/>
	Width W(m)	W= <input type="text" value="33"/>
	Height H(m)	Hi= <input type="text" value="4"/>
	Chimney/Tower height (m)	T= <input type="text" value="0"/>
<b>DANGER FOR PEOPLE</b>	h=	<input type="text" value="No particular danger"/>
<b>OCCUPATION OF THE STRUCTURE</b>	Lf1=	<input type="text" value="Structure unoccupied"/>
<b>LIGHTNING CONDUCTOR</b>	Pd=	<input type="text" value="Protection Level IV"/>
<b>Electrical Line</b>	Ai=	<input type="text" value="Underground"/>
<b>RELATIVE LOCATION OF THE STRUCTURE</b>	Cd=	<input type="text" value="Structure surrounded by higher objects or trees"/>
<b>FIRE RISK</b>	rf=	<input type="text" value="Ordinary"/>
<b>SERVICE</b>	Lf2=	<input type="text" value="No"/>
<b>SURGE ARRESTOR</b>	Pi=	<input type="text" value="Necessary - I imp &gt;= 12.5 kA"/>
<b>RESULTS OF THE RISK ASSESSMENT</b>		
	Risk of human loss	R1= <input type="text" value="NOT ACCEPTABLE"/>
	Risk of loss of service	R2= <input type="text" value="ACCEPTABLE"/>
	Risk of loss of cultural heritage	R3= <input type="text" value="ACCEPTABLE"/>
Notes:		

Πίνακας 5.11 Υπολογισμός ρίσκων Φ/Β εγκατάστασης σύμφωνα με το 2ο σετ παραμέτρων και στάθμη προστασίας I

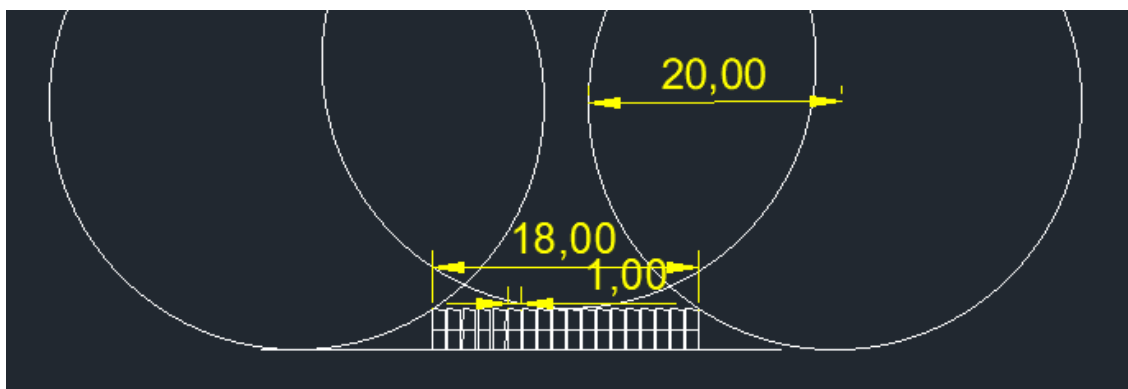
<b>LIGHTNING DENSITY</b>	Ng=	<input type="text" value="560"/>
<b>STRUCTURE</b>		
Length L(m)	L=	<input type="text" value="77"/>
Width W(m)	W=	<input type="text" value="33"/>
Height H(m)	Hi=	<input type="text" value="4"/>
Chimney/Tower height (m)	T=	<input type="text" value="0"/>
<b>DANGER FOR PEOPLE</b>	h=	<input type="text" value="No particular danger"/>
<b>OCCUPATION OF THE STRUCTURE</b>	Lf1=	<input type="text" value="Structure unoccupied"/>
<b>LIGHTNING CONDUCTOR</b>	Pd=	<input type="text" value="Protection Level I"/>
Electrical Line	Ai=	<input type="text" value="Underground"/>
<b>RELATIVE LOCATION OF THE STRUCTURE</b>	Cd=	<input type="text" value="Structure surrounded by higher objects or trees"/>
<b>FIRE RISK</b>	rf=	<input type="text" value="Ordinary"/>
<b>SERVICE</b>	Lf2=	<input type="text" value="No"/>
<b>SURGE ARRESTOR</b>	Pi=	<input type="text" value="Necessary - I imp &gt;= 12.5 kA"/>
<b>RESULTS OF THE RISK ASSESSMENT</b>		
Risk of human loss	R1=	<input type="text" value="ACCEPTABLE"/>
Risk of loss of service	R2=	<input type="text" value="ACCEPTABLE"/>
Risk of loss of cultural heritage	R3=	<input type="text" value="ACCEPTABLE"/>
Notes:		

## 5.4 Εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας

Η σχεδίαση που απαιτείται για το συλλεκτήριους αγωγούς τους εξωτερικού ΣΑΠ γίνεται με βάση την μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας όπως είδαμε στο κεφάλαιο 4.3.1.1. Η ακτίνα της σφαίρας επιλέγεται από την στάθμη προστασίας I, δηλαδή 20 μέτρα και δίνεται από τον Πίνακα 5.12. Οι ράβδοι του συλλεκτήριου συστήματος στερεώνονται στα μεταλλικά πλαίσια στήριξης των πάνελ. Με βάση το Σχήμα 5.3 όπου φαίνεται η εφαρμογή της κυλιόμενης σφαίρας στα πάνελ της κατασκευής μας μήκους 18 μέτρων, τοποθετούνται 3 ράβδοι ανά σειρά.

Πίνακας 5.12 Αναλογία στάθμης προστασίας με μέση απόσταση των αγωγών καθόδου.

Στάθμη Προστασίας	Ακτίνα Κυλιόμενης Σφαίρας R
I	20
II	30
III	45
IV	60



Σχήμα 5.3 Εφαρμογή κυλιόμενης σφαίρας στα πάνελ διαστάσεων 18 μέτρων.

Εγκαθίστανται τρεις ράβδοι ανά σειρά όπως αναφέρεται στην παραπάνω τεχνική απαίτηση και τέσσερις ράβδοι σε κατάλληλες αποστάσεις πλησίον των μετατροπέων και του οικίσκου όπως φαίνεται στην κάτοψη της εγκατάστασης (Σχ 5.4). Συνολικά, το συλλεκτήριο σύστημα διαθέτει 34 μεταλλικές ράβδους.




Σχήμα 5.4 Κάτοψη φωτοβολταϊκής εγκατάστασης με χωροθετημένες τις ράβδους του συλλεκτήριου συστήματος αντικεραυνικής προστασίας

## 5.5 Αγωγοί καθόδου

Τα μεταλλικά στηρίγματα των πάνελς, τα οποία αποτελούν την βάση στήριξης των ράβδων του συλλεκτήριου συστήματος, οφείλουν να συνδέονται με το σύστημα γείωσης με τέτοιο τρόπο που να αποτελούν φυσική δίοδο για το ρεύμα του κεραυνού προς την γη. Όμως, λόγω της στάθμης προστασίας I, εγκαθίστανται αγωγοί καθόδου οι οποίοι έχουν μέση απόσταση μεταξύ τους 10m. Οι αγωγοί καθόδου είναι χάλκινοι πολύκλωνοι  $\Phi 8.9$  διατομής  $50 \text{ mm}^2$ , ενώ στο συλλεκτήριο σύστημα και στο σύστημα γείωσης χρησιμοποιούνται αγωγοί ίδιου τύπου προκειμένου να αποφευχθεί η ηλεκτροχημική διάβρωση των αγωγών.

Πίνακας 5.13 Τεχνικά χαρακτηριστικά αγωγού καθόδου και συλλεκτήριου συστήματος Φ8.9 διατομής 50mm<sup>2</sup> [13]

	Data Sheet	+	Διάμετρος	8,9 mm
	Οδηγία εγκατάστασης	+	Διατομή	50 mm <sup>2</sup>
	Παράδειγμα εφαρμογής	+	Υλικό	Χαλκός (Cu)
	Προδιαγραφή	+	Ειδική ηλεκτρική αντίσταση	≤0,018 μΩm
	Τιμαριθμική ΑΤΗΕ	+	Ηλεκτρική αντίσταση	≤0,391 Ω/km
			Εφελκυσμός (όριο αντοχής)	200 - 450 N/mm <sup>2</sup>
			Θέση εγκατάστασης	Σε εξωτερικό χώρο, εντός εδάφους, εντός σκυροδέματος
			Επιτρεπτή σύνδεση σε εξωτερικό χώρο με	Cu, κράμα χαλκού (Cu-Al), Cu/eSn, ανοξείδωτο χάλυβα (SSt), St/eCu.
			Επιτρεπτή σύνδεση εντός εδάφους με	Cu, κράμα χαλκού (Cu-Al), Cu/eSn, ανοξείδωτο χάλυβα (SSt), St/eCu.
			Επιτρεπτή σύνδεση εντός σκυροδέματος με	Cu, κράμα χαλκού (Cu-Al), Cu/eSn, ανοξ. χάλυβας (SSt), St/eCu, St/tZn.

Πιστοποιητικά

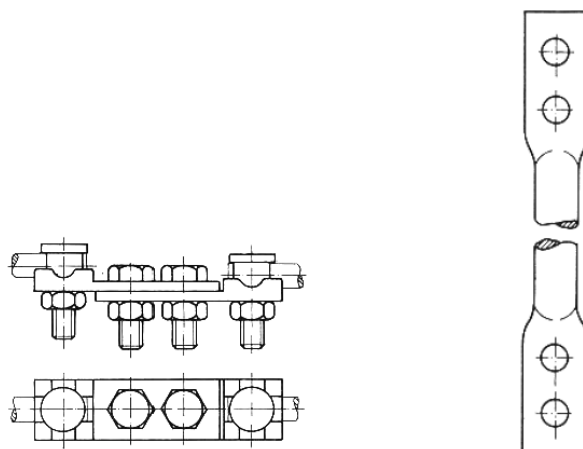


Η στερέωση των αγωγών καθόδου γίνεται προσεκτικά ώστε να υφίστανται επαρκώς τις μηχανικές καταπονήσεις που προκαλούνται από το ρεύμα του κεραυνού. Οι αγωγοί καθόδου χρησιμοποιούνται ως προέκταση των αγωγών του συλλεκτήριου συστήματος ώστε να διαχωρίζονται από αυτούς μέσω λυόμενων συνδέσεων με σκοπό την μέτρηση της αντίστασης γείωσης και την συντήρηση του Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας. Προκειμένου να τηρείται η προδιαγραφή στο πρότυπο ΕΛΟΤ 62305, οι αγωγοί οδεύουν κατακόρυφα και γεφυρώνονται με τα διάφορα μεταλλικά μέρη της εγκατάστασης μέσω σφιγκτήρων διασταύρωσης. Για την περαιτέρω προστασία των αγωγών καθόδου από τις μηχανικές καταπονήσεις, χρησιμοποιούνται μεταλλικοί σφικτήρες, οι οποίοι τοποθετούνται 1m πριν την είσοδο του αγωγού καθόδου στο χώμα και 0.5m πριν του αγωγού καθόδου που βρίσκεται εντός του εδάφους, οι οποίοι συνδέονται με τους αγωγούς του συστήματος γείωσης. Επιπλέον, για να αποφύγουμε την διάβρωση λόγω της μετάβασης του από το τσιμέντο στο έδαφος, τοποθετείται αντιδιαβρωτική ταινία 30cm πριν την είσοδό τους στο έδαφος (Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών).

Προτείνεται η μόνωση όλων των καλωδίων να είναι από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο (XLPE) για να μπορούν να αντέχουν στις αρκετά υψηλές θερμοκρασίες οι οποίες δημιουργούνται από το ρεύμα κεραυνού [Σαρρής].

Το σύστημα των αγωγών καθόδου θεωρείται επαρκές διότι πληροί της προδιαγραφές του προτύπου ΕΛΟΤ 62305 και ταυτόχρονα ενισχύεται από τους φυσικούς αγωγούς καθόδου της

φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Φυσικός αγωγός καθόδου είναι ο μεταλλικός σκελετός που είναι πάνω τα πάνελ.



Σχήμα 5.5 Αυόμενος σύνδεσμος για τον διαχωρισμό των αγωγών καθόδου και των αγωγών του συλλεκτήριου συστήματος

[24]

## 5.6 Γείωση

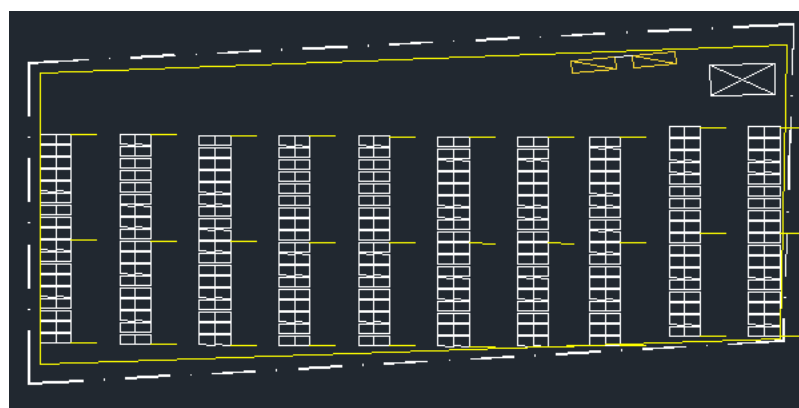
Οι ράβδοι σύλληψης του συλλεκτήριου συστήματος συνδέονται κατακόρυφα μέσω των αγωγών καθόδου με το σύστημα γείωσης διαμορφώνοντας ένα πλέγμα αγωγών που περικλείει την εγκατάσταση. Σε βάθος ενός μέτρου, περιμετρικά και εγκάρσια της εγκατάστασης, τοποθετείται χάλκινη ηλεκτρολυτική ταινία (Cu-E) 30x3mm ούτως ώστε να επιτευχθεί το ισοδυναμικό σύστημα γείωσης είτε μέσω εκτροπών υπέρτασης είτε μέσω συνδετήριων αγωγών, λαμβάνοντας υπόψη και το κόστος εγκατάστασης.

Πίνακας 5.14 Τεχνικά χαρακτηριστικά χάλκινης ηλεκτρολυτικής ταινίας 30x3mm συστήματος γείωσης [25]



Ταινία (λάμα) χάλκινη ηλεκτρολυτική (Cu-E) για χρήση κυρίως σε συστήματα γειώσεων (θεμελιακή - περιμετρική). Επίσης χρησιμοποιείται και σε συστήματα αντικεραυνικής προστασίας για ισοδυναμικές συνδέσεις.

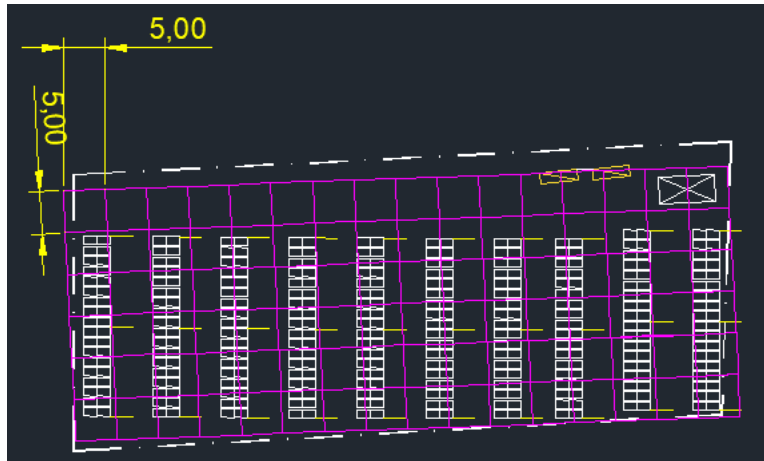
Υλικό	Πλάτος (mm)	Πάχος (mm)	Διατομή (mm <sup>2</sup> )	Βάρος ~ gr/m	Πρότυπο	Κωδικός	Τεχνικά χαρακτηριστικά	Δήλωση συμμόρφωσης
Cu-E	25	3	75	670	EN 62561-2	121113-003		
	30	2	60	530		121113-005		
	30	3	90	800		121113-006		
	40	3	120	1.060		121113-009		
	40	4	160	1.420		121113-010		



Σχήμα 5.6 Κάτοψη της γείωσης του ΣΑΠ της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης

Μία προσθήκη, η οποία βελτιώνει την απόκριση του συστήματος γείωσης και μειώνει την αντίσταση γείωσης αλλά ταυτόχρονα αυξάνει το κόστος, είναι η προσθήκη εγκάρσιων τμημάτων γειωτή ταινίας σχηματίζοντας ένα πλέγμα γείωσης με ανοίγματα περίπου 5x5m (Σχ. 5.7).





Σχήμα 5.7 Κάτοψη της γείωσης του ΣΑΠ της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης με ανοίγματα περίπου 5x5 m

## 5.7 Υπολογισμός αντίστασης γείωσης

Θεωρώντας ότι το έδαφος της εγκατάστασης είναι ξερό και αμμώδες, η ειδική αντίσταση του εδάφους ισούται με 500 Ωm.

Πίνακας 5.15 Τιμές ειδικής αντίστασης εδάφους [22]

Τύπος εδάφους	Ειδική αντίσταση σε Ωm
Χουμώδες έδαφος, βάλτος	30-100
Υγρή άμμος	200
Αμμώδες έδαφος, ξερό	500
Ξερή άμμος	1000
Πετρώδες έδαφος	3000

Η αντίσταση γείωσης δίνεται από την σχέση :

$$R = \rho \left[ \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \quad (5.2)$$

Η ειδική αντίσταση του εδάφους  $\rho$  σε  $\Omega\text{m}$ ,  $L$  το μήκος της ταινίας του γειωτή,  $A$  το εμβαδόν της επιφάνειας που περικλείεται από το πλέγμα γείωσης σε  $\text{m}^2$ ,  $h$  είναι το βάθος εγκατάστασης του γειωτή ταινίας σε  $\text{m}$ . Όπου  $\rho=500\Omega\text{m}$ ,  $L=1049\text{m}$ ,  $A=2311\text{m}^2$ ,  $h=1\text{m}$ .

$$R = 500 \left[ \frac{1}{1049} + \frac{1}{\sqrt{20 * 2311}} \left( 1 + \frac{1}{1 + 1\sqrt{\frac{20}{2311}}} \right) \right]$$

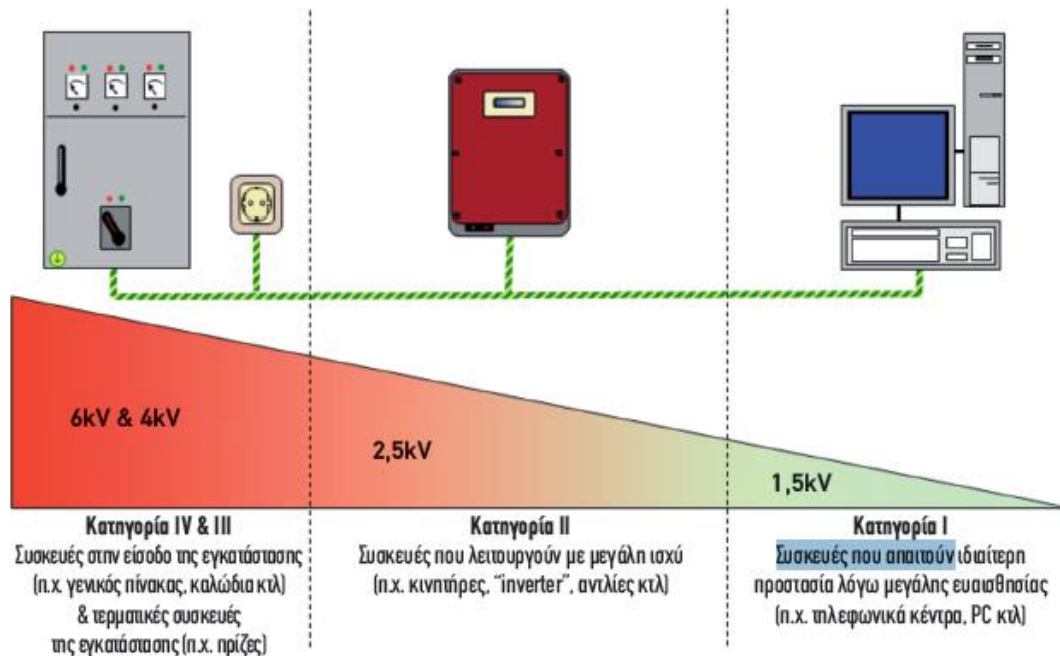
$$R = 500(0.0009 + 0.004 * 1.9) = 4.25 \Omega$$

### 5.8 Προστασία έναντι υπερτάσεων

Συνιστάται στην DC πλευρά της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης να τοποθετούνται απαγωγείς υπερτάσεων κατηγορίας T1 διότι είναι σχεδιασμένα για απευθείας κεραυνικό πλήγμα. Την ίδια επιλογή κάνουμε και στην AC πλευρά της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης να τοποθετούνται απαγωγείς υπερτάσεων κατηγορίας T1 [19]. Επίσης οι απαγωγείς υπερτάσεων κατηγορίας T3 χρησιμοποιούνται για την προστασία του συστήματος ελέγχου και μετρήσεων εντός του οικίσκου [Αναγνωστοπούλου].

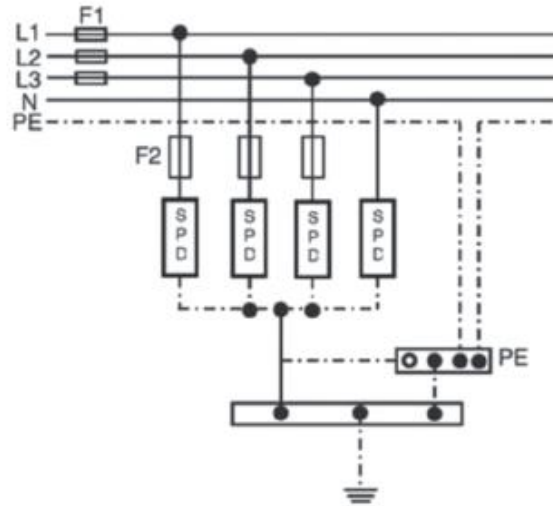
Ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός και τα κυκλώματα της εγκατάστασης κατηγοριοποιούνται έτσι ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη προστασία έναντι υπερτάσεων. Οι αποδεκτές τιμές των Φ/B στα DC κυκλώματα της εγκατάστασης υπολογίζονται βάσει της αντοχής τους στο ρεύμα ανάστροφης πόλωσης. Ανάστροφη πόλωση έχουμε όταν ο αρνητικός και ο θετικός πόλος μιας πηγής αλλάζουν την περιοχή ένωσης με την δίοδο pn, με αποτέλεσμα να μην περνάει ρεύμα [Δημητρίου & Χαραλάμπους].

Πίνακας 5.16 Κατηγορίες ηλεκτρολογικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης βάσει της διηλεκτρικής αντοχής του [12]

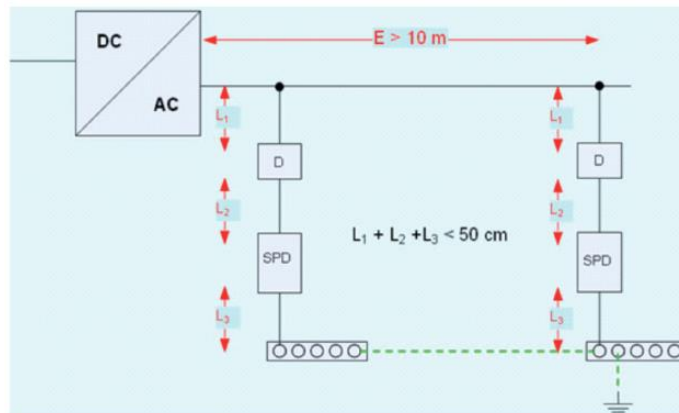


Η αντοχή των μετατροπέων κατατάσσεται στην δεύτερη κατηγορία.

Η εγκατάσταση των απαγωγών υπερτάσεων στην AC πλευρά πραγματοποιείται ως εξής: Τοποθετείται απαγωγέας υπερτάσεων μεταξύ των φάσεων και των γειώσεων, όπως και μεταξύ του ουδετέρου και της γείωσης, στον κεντρικό πίνακα της εγκατάστασης. Επιπλέον, πριν από κάθε απαγωγέα υπερτάσεων υπάρχει ένας διακόπτης απομόνωσης και το συνολικό μήκος των καλωδιώσεων δεν ξεπερνάει το μισό μέτρο όπως είναι εμφανές και στο σχήμα 5.9 [Δημητρίου & Χαραλάμπους].

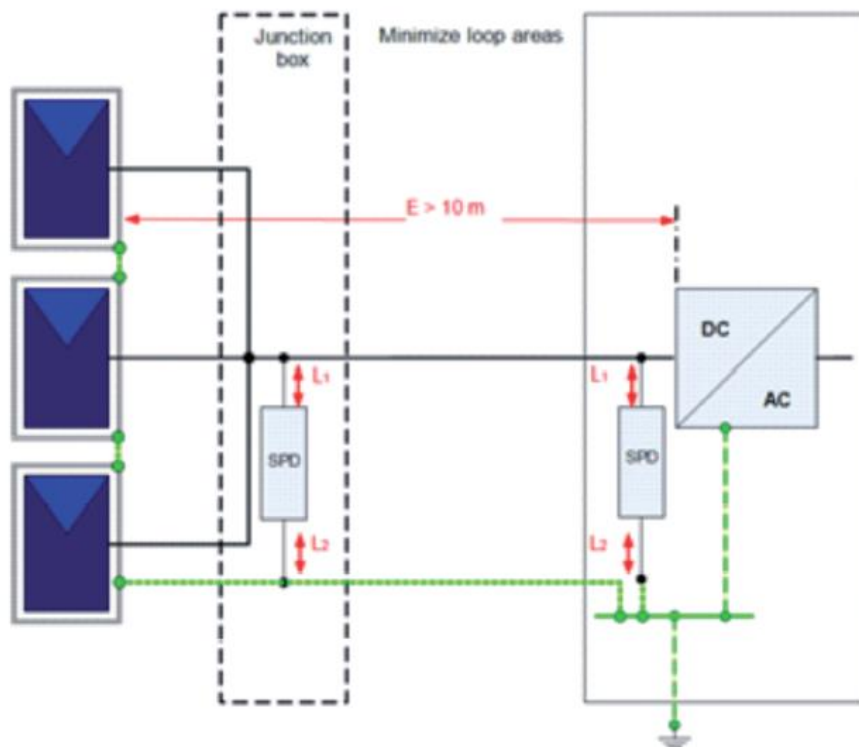


Σχήμα 5.8 Συνδεσμολογία απαγωγών υπερτάσεων στην AC πλευρά της ΦΒ εγκατάστασης [12]



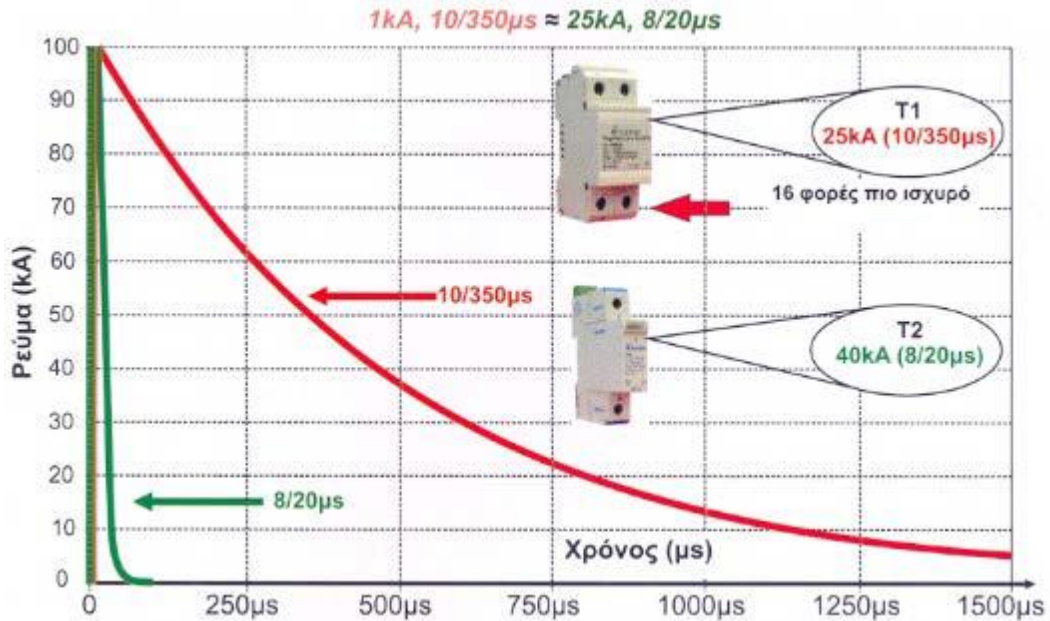
Σχήμα 5.9 Διακόπτες απομόνωσης και μήκος καλωδιώσεων απαγωγών υπερτάσεων στην AC πλευρά της ΦΒ εγκατάστασης [12]

Οι απαγωγείς υπερτάσεων στην DC πλευρά εγκαθίστανται κατά το δυνατόν πιο κοντά στους αντιστροφεείς (Δημητρίου & Χαραλάμπους). Επειδή στην προκειμένη περίπτωση, η απόσταση των πάνελ από τους αντιστροφεείς είναι μεγαλύτερη από 10m, εγκαθίστανται 10 σετ απαγωγών υπερτάσεων κοντά σε κάθε μία σειρά της εγκατάστασης. Τα καλώδια σύνδεσης μεταξύ των απαγωγών υπερτάσεων και του ισοδυναμικού ζυγού έχουν διατομή 16mm<sup>2</sup>.

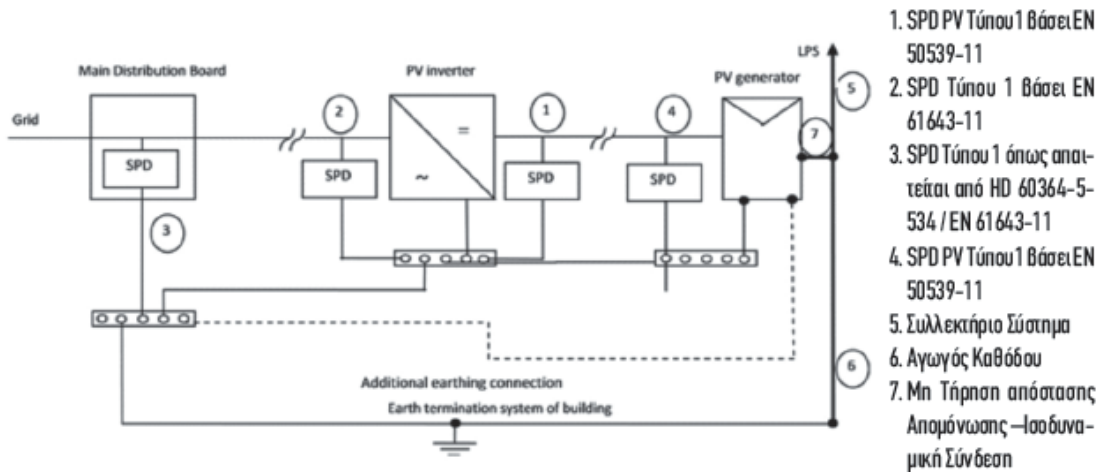


Σχήμα 5.10 Συνδεσμολογία απαγωγών υπερτάσεων στην DC πλευρά της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης [12]

Η διάταξη των απαγωγών υπερτάσεων της εγκατάστασης αποτυπώνεται στο Σχ. 5.11. Οι απαγωγοί υπερτάσεων που χρησιμοποιούνται τόσο στην AC όσο και στην DC πλευρά είναι τύπου T1. Οι απαγωγοί υπερτάσεων τύπου T1 ανταποκρίνονται σε κεραυνικά πλήγματα με ρεύμα τύπου 10/350μs και τοποθετούνται στα σημεία που αναμένεται να επηρεαστούν περισσότερο από το κεραυνικό πλήγμα, δηλαδή στα σύνορα των ζωνών προστασίας LPZ 0A και LPZ 1 [2]. Αναφορικά με την AC πλευρά, τιμή του κρουστικού ρεύματος εκφόρτισης  $I_{mp}$  του απαγωγού υπερτάσεων στον κεντρικό πίνακα είναι 50 kA και το  $I_{mp}$  των απαγωγών υπερτάσεων στους δύο μετατροπείς είναι 12.5 kA 10/350μs. Στην DC πλευρά εγκαθίστανται απαγωγοί υπερτάσεων τύπου T1 με κρουστικό ρεύμα εκφόρτισης  $I_{mp}$  12.5 kA 10/350μs.



Σχήμα 5.11 Χαρακτηριστικές  $i=f(t)$  των αποχετευτών υπερτάσεων T1, T2= T3.



Σχήμα 5.12 Διάταξη απαγωγών υπερτάσεων φωτοβολταϊκής εγκατάστασης [12]

Το επίπεδο προστασίας  $U_p$  των απαγωγών υπερτάσεων προσδιορίζεται από την στάθμη προστασίας των συσκευών της εγκατάστασης [ABB]. Για μια απλή ηλεκτρική εγκατάσταση που διαθέτει έναν μόνο ηλεκτρικό πίνακα, τότε το κομβικό σημείο που απαιτεί προστασία είναι ο μοναδικός πίνακας διανομής με έναν απαγωγό T1 ή T2 με στάθμη προστασίας  $U_p < 1,5\text{kV}$  και ίσως επιλεκτική προστασία πολύ ευαίσθητων συσκευών με απαγωγούς T3. Πρέπει η κρουστική

τάση  $U_w$  των συσκευών, την οποία αντέχει η συσκευή σύμφωνα με τον κατασκευαστή, να τουλάχιστον ίση με την τάση  $U_p$  η οποία επιλέγεται ανάλογα με την στάθμη υπέρτασης την οποία έχει κάθε συσκευή που απαιτεί προστασία [Δημητρίου & Χαραλάμπους]. Έτσι, η  $U_p$  των απαγωγών υπερτάσεων T1 στην DC πλευρά δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 4 kV.

Πίνακας 5.17 Τάσεις αντοχής σε υπερτάσεις εξοπλισμού φωτοβολταϊκής εγκατάστασης στην DC πλευρά

$U_{dc\max}$ (V)	$U_w$ (V)		
	Φ/B-γεννήτρια	Inverter	Υπόλοιπος Εξοπλισμός
100	800	2500 (ελάχιστο απαιτούμενο)	800
150	1500		1500
300	2500		2500
424	4000		4000
600	4000	4000	4000
800	5000		5000
849	6000		6000
1000	6000	6000	6000
1500	8000	8000	8000

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6° ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εικοσαετής εγγύηση καλής λειτουργίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων, οι εκτεθειμένες τοποθεσίες εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων και οι ευαίσθητες ηλεκτρονικές συσκευές των μετατροπέων επιβάλλουν αποτελεσματική προστασία έναντι των άμεσων και έμμεσων κεραυνικών πληγμάτων από τα οποία προκύπτουν μεταξύ των άλλων και επικίνδυνα υψηλές υπερτάσεις. Εξαιτίας της απαίτησης μεγάλου χώρου εγκατάστασης από τα φωτοβολταϊκά πάνελ, τα φωτοβολταϊκά συστήματα απειλούνται σε μεγάλο βαθμό από εκκενώσεις κεραυνών κατά την διάρκεια καταιγίδων. Κεραυνικά πλήγματα σε Φ/Β συστήματα μπορεί να προκαλέσουν ισχυρές υπερτάσεις, λόγω επαγωγικής ή χωρητικής σύζευξης, οι οποίες ενδέχεται να καταστρέψουν επιμέρους τμήματα του Φ/Β εξοπλισμού, π.χ. διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος (inverters, dc-to-dc choppers), Φ/Β πλαίσια κ.λπ. Στην χειρότερη περίπτωση, τίθεται σε κίνδυνο η ανθρώπινη ζωή, η παροχή υπηρεσιών προς το κοινό και η πολιτιστική κληρονομιά.

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα υπαίθριας Φ/Β εγκατάστασης εγκατεστημένης ισχύος 111.654kW, η οποία αποτελείται από 10 σειρές των 18 διπλών πάνελ. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε μελέτη αντικεραυνικής εγκατάστασης της Φ/Β μονάδας, προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι άμεσες και έμμεσες αρνητικές επιδράσεις κεραυνικών πληγμάτων στη λειτουργία την Φ/Β εγκατάστασης.

Εφαρμόστηκε το μοντέλο του προτύπου IEC 62305 – 2 για την εκτίμηση των ζημιών από κεραυνούς ώστε να γίνει η επιλογή της κατάλληλης στάθμης προστασίας. Βρέθηκε ότι η στάθμη προστασίας II,III είναι επαρκής για την φωτοβολταϊκή εγκατάσταση λαμβάνοντας υπόψη ένα αναμενόμενο σετ παραμέτρων. Τέλος, για να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ασφάλεια των ανθρώπων, σε συνθήκες όπου υπάρχει η μέγιστη πιθανή κεραυνική δραστηριότητα και κανονικό ρίσκο εκδήλωσης πυρκαγιάς, επιλέχθηκε η στάθμη προστασίας I.

Με εφαρμογή της μεθόδου της κυλιόμενης σφαίρας, σχεδιάστηκε το συλλεκτήριο σύστημα του ΣΑΠ, το οποίο αποτελείται από 34 χάλκινες πολύκλωνες ράβδους σύλληψης Φ8.9 διατομής 50mm<sup>2</sup>, και χωροθετήθηκε στην εγκατάσταση. Οι αγωγοί καθόδου επιλέχθηκαν να είναι ίδιου



τύπου με τους αγωγούς του συλλεκτήριου συστήματος και για την εγκατάστασή τους εφαρμόζονται όλες οι σχετικές με την μηχανική καταπόνηση και την αποφυγή ηλεκτροχημικής διάβρωσης προδιαγραφές σύμφωνα με τα πρότυπα. Επιπρόσθετα, σχεδιάστηκε το σύστημα γείωσης του ΣΑΠ, το οποίο αποτελείται από χάλκινη ηλεκτρολυτική ταινία 30x3mm, έτσι ώστε να σχηματιστεί ένα ισοδυναμικό σύστημα γείωσης περιμετρικά της εγκατάστασης. Κατόπιν υπολογισμού της αντίστασης γείωσης, προτείνεται, να επιλεγεί τοποθεσία για την εγκατάσταση της Φ/Β μονάδας με ξερό έδαφος. Η μελέτη των απαγωγών υπερτάσεων έδειξε ότι απαιτούνται και στην DC μεριά και στην AC μεριά της εγκατάστασης απαγωγοί υπερτάσεων τύπου T1, κρουστικού ρεύματος εκφόρτισης 50 kA στον κεντρικό πίνακα και 12.5 kA 10/350μs πλησίον των μετατροπέων και των σειρών και με επίπεδο προστασίας  $U_p$  μικρότερο από την στάθμη προστασίας των συσκευών.

Ως περαιτέρω έρευνα προτείνεται, η εφαρμογή Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας και των ζωνών προστασίας σε μικροδίκτυα, τα οποία περιλαμβάνουν αιολικά πάρκα, σταθμούς παραγωγής ενέργειας από βιομάζα, φωτοβολταϊκά συστήματα και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, με σκοπό να εξασφαλίζεται η αδιάλειπτη λειτουργία τους.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Koroneos, C. *Life Cycle Assessment – A Tool for Sustainable Development*.2
- [2] Καγκαράκης, Κ. (1992). Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.3
- [3] Αλεξοπούλου, Ε., Λυχνάρας, Β., Νάματοβ, Ε. και Χρήστου, Μ. (2006). *Ενεργειακές καλλιέργειες στον ευρωπαϊκό και ελληνικό χώρο*. Αθήνα: Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.
- [4] Πυργιώτη, Ε.(2014). *Προστασία κατασκευών από κεραυνούς*. Πάτρα.
- [5] Πυργιώτη, Ε.(2012). *Υψηλές Τάσεις*. Πάτρα.
- [6] Ζαχαρίας, Θ. (2012). *Ήπιες Μορφές Ενέργειας I και II*. Πάτρα.
- [7] Περράκη, Β. (2009). *Φυσική των Φωτοβολταϊκών Στοιχείων*. Πάτρα.
- [8] Σταθόπουλος, Ι. (1989). *Προστασία τεχνικών εγκαταστάσεων έναντι υπερτάσεων*. Εκδόσεις: Συμεών.
- [9] IEC 62305-2 (2006). *Protection against lightning – Part 2: Risk management, Assessment of annual number N of dangerous events*.
- [10] Markvart, T. (1992). *Ηλεκτρισμός από Ηλιακή Ενέργεια*. Επιμ. Παναγιώτης Σκούτζος, Εκδόσεις ΙΩΝ, Μαδρίτη.
- [11] Τοπαλογλου, Ε. (2018). *Μελέτη και προστασία γραμμής μέσης τάσης από κεραυνικό πλήγμα*. Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- [12] Δημητρίου, Α. & Χαραλάμπους, Δ. *Τεχνικό Εγχειρίδιο Αντικεραυνικής Προστασίας & Προστασίας από Υπερτάσεις για Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις Επί Οροφής*. Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου.
- [13] Ντοκόπουλος, Π. (2005). *Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών*. Εκδόσεις: Ζήτη.

- [14] Μικρόπουλος, Π. (2006). *Συστήματα αντικεραυνικής Προστασίας*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- [15] ΠΕΤΕ 04-50-01-00, ΥΠΕΧΩΔΕ. 2006.
- [16] Αναγνωστοπούλου, Α. (2009). *Αντικεραυνική προστασία φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων*. Διπλωματική Εργασία. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- [17] 2022. [Online]. Available: <https://electrical-engineering-portal.com/download-center/electrical-software/lightning-protection-risk-assessment-calculator>.
- [18] "Home - System Advisor Model (SAM)", *Sam.nrel.gov*, 2022. [Online]. Available: <https://sam.nrel.gov/>.
- [19] Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων, (2011). Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας - τμήμα κεντρικής Μακεδονίας.
- [20] Οδηγίες για την εγκατάσταση φ/β συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις (2009). Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας.
- [21] Σιδεράκης, Κ. *Αντικεραυνική προστασία και γειώσεις σε φωτοβολταϊκά συστήματα*. Τεχνολογικό εκπαιδευτικό ίδρυμα Κρήτης σχολή τεχνολογικών εφαρμογών τμήμα ηλεκτρολόγων μηχανικών Τ.Ε..
- [22] Σαρρής, Μ. (2011). *Αντικεραυνική προστασία εγκαταστάσεων ΑΠΕ*. Πτυχιακή εργασία. Τεχνολογικό εκπαιδευτικό ίδρυμα Κρήτης σχολή τεχνολογικών εφαρμογών τμήμα ηλεκτρολογίας.
- [23] Elemko, 2022. *Ολοκληρωμένες Λύσεις Αντικεραυνικής Προστασίας*. [Online]. Available: <http://www.elemko.gr/>.
- [24] ΕΠΕΤΕΠ 04/05/2022, (2022). Υπουργείο μεταφορών και υποδομών.
- [25] Πιττάς, Γ. (2002). *Αλεξικέραυνα & Γειώσεις*. [Online]. Available: <https://pittas.gr/>.

- [26] ABB Group, (2022). *Leading digital technologies for industry*. [Online]. Available: <https://new.abb.com/>.
- [27] IEC 61312-1, (1995). *Protection against lightning electromagnetic impulse*. Part 1: General principles.