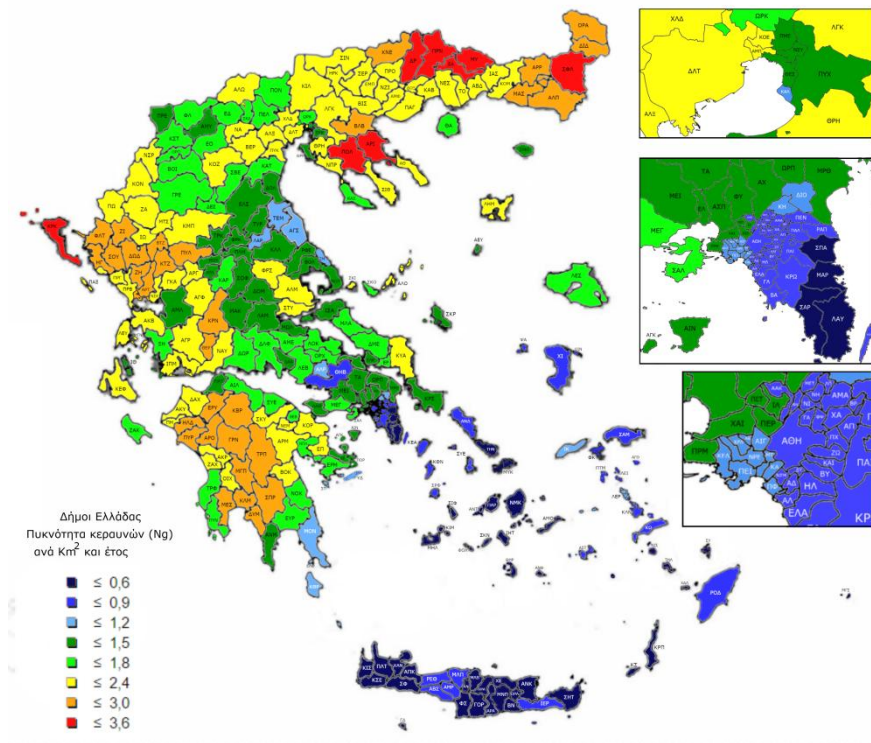




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑΣ
UNIVERSITY OF PIRAEUS

**ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΖΕΥΣ
ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΣΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ
ΕΝΗΜΕΡΩΣΕΩΝ ΒΑΣΕΩΝ ΚΕΡΑΥΝΟΠΛΗΞΙΑΣ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΤΟΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΕΡΑΥΝΟΠΛΗΞΙΑΣ**



**Επιβλέπων Καθηγητής:
Φοιτητής:**

**Δρ. Κωνσταντίνος Ψωμόπουλος, Καθηγητής
Κωνσταντίνος Κουτρούλης**

ΑΜ: 37255

Αιγάλεω

Ιούλιος 2017

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	4
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	6
Περίληψη	8
Synopsis	8
Πρόλογος	10
1 Εισαγωγή	11
2 Κεραυνικά χαρακτηριστικά	13
2.1 Η φυσική του κεραυνού	13
2.1.1 Συνθήκες δημιουργίας ηλεκτρικής εκκένωσης	13
2.1.2. Συνθήκες σχηματισμού κεραυνού	14
2.2 Μηχανισμός δημιουργίας κεραυνών	15
2.2.1 Απαραίτητες συνθήκες για τη δημιουργία ηλεκτρικών εκκενώσεων	15
2.2.2 Κατηγορίες κεραυνικών εκκενώσεων	16
2.2.3 Φάσεις δημιουργίας κεραυνικών εκκενώσεων	17
2.2.4 Πολικότητα κεραυνικών εκκενώσεων	20
2.3 Παράμετροι κεραυνού	21
2.3.1. Καθορισμός των επιπέδων προστασίας με βάση τα κεραυνικά χαρακτηριστικά	23
2.3.2. Μέγιστες καθορισμένες τιμές των κεραυνικών παραμέτρων	23
2.3.3. Καθορισμένες τιμές ελάχιστων τιμών κεραυνικών παραμέτρων	24
2.4 Ισοκεραυνικές καμπύλες	25
3 Εκτίμηση κινδύνου στην αντικεραυνική προστασία	28
3.1 Βλάβες στα κτίρια και τις εγκαταστάσεις από κεραυνούς	28
3.1.1 Πηγές βλαβών	28
3.1.2 Τύποι βλαβών	29
3.1.3. Τύποι απωλειών	29
3.2 Κίνδυνοι και συνιστώσες κινδύνου κεραυνοπληξιών	30
3.2.1 Συνιστώσες κινδύνου σε κτίριο	31
3.2.2 Σύνθεση και ομαδοποίηση συνιστωσών κινδύνου	32
3.3 Βασική εξίσωση Υπολογισμού κινδύνου	33
3.3.1 Καθορισμός των παραγόντων μέσου ετήσιου αριθμού επικίνδυνων περιστατικών N	34

3.3.2 Υπολογισμός της πιθανότητας βλάβης P_x σε κτίριο	38
3.3.3 Υπολογισμός της απώλειας L_x σε ένα κτίριο	42
3.4 Διαδικασία για την αξιολόγηση της ανάγκης προστασίας	45
3.5 Πρότυπα αντικεραυνικής προστασίας	48
4 Συστήματα αντικεραυνικής προστασίας κτιρίων και εγκαταστάσεων	51
4.1 Γενική περιγραφή συστημάτων αντικεραυνικής προστασίας	51
4.2 Το συλλεκτήριο σύστημα και μέθοδοι προσδιορισμού προστατευμένης περιοχής	54
4.2.1 Γενικά	54
4.2.2 Μέθοδος γωνίας προστασίας	55
4.2.3 Μέθοδος του κλωβού ανοίγματος	56
4.2.4 Μέθοδος κυλιόμενης σφαίρας	58
5 Συστήματα εντοπισμού κεραυνοπτώσεων	60
5.1 Γενικά	60
5.2 Συστήματα εντοπισμού κεραυνοπτώσεων ανά τον κόσμο	60
6 Γεωχωρικός χάρτης κεραυνοπτώσεων «ΚΑΛΛΙΚΡΑΤΗΣ»	70
6.1 Γενικά	70
6.2 Παραδοχές και δεδομένα υπολογισμού	71
6.3 Χάρτες και Πίνακες	75
6.3.1 Χάρτης Κεραυνοπτώσεων Ελλάδα	75
6.3.2 Πίνακας πυκνότητας κεραυνών Δήμων Ελλάδα	76
6.4 Σύγκριση με πρότυπα και διαφορετικές βάσεις δεδομένων	104
7 Συμπεράσματα	113
Βιβλιογραφικές αναφορές	116
Διαδικτυακές βάσεις δεδομένων	117

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1 : Τα είδη των κεραυνών και η κατανομή του φορτίου στα νέφη κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας.....	16
Σχήμα 2.2 : Οι τρεις φάσεις κεραυνικής εκκένωσης κατά την διάρκεια μιας καταιγίδας.....	18
Σχήμα 2.3 : Σχηματική παράσταση βραχέως κρουστικού κεραυνικού ρεύματος σύμφωνα με το IEC-62305-1.....	22
Σχήμα 2.4 : Σχηματική παράσταση μακρού κεραυνικού ρεύματος.....	22
Σχήμα 2.5 : Ισοκεραυνικές καμπύλες στον ελλαδικό χώρο.....	26
Σχήμα 2.6 : Ισοκεραυνικές καμπύλες της υφελίου.....	27
Σχήμα 3.1 : Κτίρια στα άκρα μιας γραμμής υπηρεσίας.....	34
Σχήμα 3.2 : Επιφάνεια συλλογής απομονωμένου τετραγωνικού κτιρίου.....	36
Σχήμα 3.3 : Υπολογισμός επιφάνειας συλλογής σε σύνθετα κτίρια.....	37
Σχήμα 3.4 : Διαδικασία αξιολόγησης ανάγκης προστασίας.....	45
Σχήμα 3.5 : Διαδικασία για την επιλογή προστατευτικών μέτρων στα κτίρια.....	47
Σχήμα 4.1 : Γωνία προστασίας ανάλογα με την κλάση του ΣΑΠ και το ύψος της ακίδας.....	55
Σχήμα 4.2 : Γωνία προστασίας θεωρούμενη για διαφορετικά ύψη επιπέδων προστασίας.....	56
Σχήμα 4.3 : Προστασία κτιρίου με τη μέθοδο του κλωβού ανοίγματος.....	57
Σχήμα 4.4 : Εφαρμογή της μεθόδου της κυλιόμενης σφαίρας ακτίνας r σε κατασκευή με παρακείμενη υψηλή καμινάδα.....	59
Σχήμα 5.1 : Χάρτης πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Ευρώπης.....	62
Σχήμα 5.2 : Χάρτης πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Γερμανίας.....	63
Σχήμα 5.3 : Παγκόσμιος χάρτης πυκνότητας κεραυνοπτώσεων NASA.....	65
Σχήμα 5.4 : Παγκόσμιος χάρτης πυκνότητας κεραυνοπτώσεων VAISALA	66
Σχήμα 5.5 : Δίκτυο αισθητήρων ΖΕΥΣ.....	68
Σχήμα 6.1 : Εικόνα περιοχής που καλύπτει το σύστημα ΖΕΥΣ.....	72
Σχήμα 6.2 : Εικόνα μιας περιοχής με δεδομένα από το σύστημα ΖΕΥΣ.....	73
Σχήμα 6.3 : Χάρτης “ΚΑΛΛΙΚΡΑΤΗΣ” πυκνότητας κεραυνών (Ng), κεραυνοί ανά Km ² και έτος (2005-2014).....	75
Σχήμα 6.4 : Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης.....	77
Σχήμα 6.5 : Περιφέρεια Αττικής.....	79
Σχήμα 6.6 : Ευρύτερη περιοχή Αθηνών.....	80
Σχήμα 6.7 : Περιφέρεια Βορείου Αιγαίου.....	83
Σχήμα 6.8 : Περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας.....	85
Σχήμα 6.9 : Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας.....	87
Σχήμα 6.10 : Περιφέρεια Ηπείρου.....	88
Σχήμα 6.11 : Περιφέρεια Θεσσαλίας.....	90
Σχήμα 6.12 : Περιφέρεια Ιόνιων Νήσων.....	92
Σχήμα 6.13 : Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας.....	94
Σχήμα 6.14 : Ευρύτερη περιοχή Θεσσαλονίκης.....	94
Σχήμα 6.15 : Περιφέρεια Κρήτης.....	96
Σχήμα 6.16 : Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου.....	98
Σχήμα 6.17 : Περιφέρεια Πελοποννήσου.....	100
Σχήμα 6.18 : Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας.....	102

Σχήμα 6.19 : Μέσος ετήσιος αριθμός ημερών καταιγίδας 1975-2004 ΓΕΩΚΛΙΜΑ...	105
Σχήμα 6.20 : Πυκνότητα κεραυνών από σύστημα ΖΕΥΣ.....	107
Σχήμα 6.21 : Ευρώπη, τμήμα από τον Παγκόσμιο χάρτη κατανομής κεραυνικής δραστηριότητας σε $fl / km^2 / yr$	111
Σχήμα 6.22 : Χάρτης πυκνότητας κεραυνικής δραστηριότητας στην Ευρώπη σε $fl / km^2 / yr$	112

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 : Καθορισμός μεγίστων τιμών κεραυνικών παραμέτρων ανάλογα με το LPL σύμφωνα με το IEC 62305 – 1.....	24
Πίνακας 2.2 : Καθορισμός ελαχίστων τιμών κεραυνικού ρεύματος και ακτίνα μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας ανάλογα με το LPL σύμφωνα με το IEC 62305 – 1.....	25
Πίνακας 2.3 : Πιθανότητα υπέρβασης των κεραυνικών παραμέτρων ανάλογα με το LPL σύμφωνα με το IEC 62305 – 1.....	25
Πίνακας 3.1 : Πηγές - τύποι βλαβών και τύποι απωλειών στα κτίρια.....	30
Πίνακας 3.2 : Τυπικές τιμές ανεκτού κινδύνου.....	31
Πίνακας 3.3 : Συνιστώσες κινδύνου στην εκτίμηση κινδύνου κτιρίου.....	34
Πίνακας 3.4 : Διαφορετικές τιμές επιφάνειας συλλογής σε σύνθετα κτίρια.....	37
Πίνακας 3.5: Συντελεστής τοποθεσίας C_d	37
Πίνακας 3.6 : Συντελεστής διόρθωσης από την παρουσία $M/\Sigma C_t$	38
Πίνακας 3.7 : Τιμές της πιθανότητας P_A συναρτήσει των μέτρων προστασίας.....	39
Πίνακας 3.8 : Τιμές της πιθανότητας P_B συναρτήσει του LPL.....	39
Πίνακας 3.9 : Τιμές της πιθανότητας P_{SPD} συναρτήσει του LPL.....	39
Πίνακας 3.10 : Τιμές της πιθανότητας P_{MS} συναρτήσει του παράγοντα K_{MS}	40
Πίνακας 3.11 : Τιμές του συντελεστή K_{S3} συναρτήσει της εσωτερικής καλωδίωσης.....	41
Πίνακας 3.12 : Τυπικές μέσες τιμές των οντοτήτων απωλειών L_t , L_f , L_o	42
Πίνακας 3.13 : Τιμές των συντελεστών μείωσης της απώλειας r_a και r_u συναρτήσει του τύπου του εδάφους και του πατώματος.....	43
Πίνακας 3.14 : Τιμές των συντελεστών μείωσης της απώλειας r_a και r_u συναρτήσει του τύπου του εδάφους και του πατώματος.....	43
Πίνακας 3.15 : Τιμές του συντελεστή μείωσης της απώλειας r_f συναρτήσει του κινδύνου φωτιάς.....	44
Πίνακας 3.16 : Τιμές του συντελεστή αύξησης της απώλειας h_z συναρτήσει ειδικών κινδύνων.....	44
Πίνακας 3.17 : Παράγοντες που επηρεάζουν τις συνιστώσες κινδύνου σε ένα κτίριο.....	46
Πίνακας 3.18 : Ειδικές απαιτήσεις αντικεραυνικής προστασίας στην ελληνική νομοθεσία.....	48
Πίνακας 3.19 : Πρότυπα αντικεραυνικής προστασίας.....	49
Πίνακας 4.1 : Μέγιστες τιμές της ακτίνας της κυλιόμενης σφαίρας, το άνοιγμα του πλέγματος του κλωβού και της γωνίας προστασίας αντιστοίχως με την κλάση του ΣΑΠ.....	54
Πίνακας 6.1 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης.....	78
Πίνακας 6.2 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Αττικής.....	81
Πίνακας 6.3 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Βορείου Αιγαίου.....	84
Πίνακας 6.4 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Δυτικής Ελλάδας.....	86
Πίνακας 6.5 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Δυτικής Μακεδονίας.....	87
Πίνακας 6.6 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Ηπείρου.....	89
Πίνακας 6.7 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Θεσσαλίας.....	91
Πίνακας 6.8 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Ιόνιων Νήσων.....	93
Πίνακας 6.9 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Κεντρικής Μακεδονίας.....	95
Πίνακας 6.10 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Κρήτης.....	97

Πίνακας 6.11 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Νοτίου Αιγαίου.....	99
Πίνακας 6.12 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Πελοποννήσου.....	101
Πίνακας 6.13 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Στερεάς Ελλάδας.....	103
Πίνακας 6.14 : Πίνακας σύγκρισης στάθμης κεραυνικής πυκνότητας Ng δήμων Ελλάδας.....	108
Πίνακας 6.15 : Σύγκριση κεραυνικής πυκνότητας με το σύστημα ZEYΣ [2 ^η στήλη] και κεραυνικής πυκνότητας με βάση τον αριθμό ημερών καταιγίδας σύμφωνα με το πρότυπο EN ΕΛΟΤ 62305.....	109

Περίληψη

Η πτυχιακή εργασία έχει ως αντικείμενο την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων των συστημάτων εντοπισμού κεραυνοπτώσεων και τη δημιουργία βάσεων δεδομένων για χρήση στον υπολογισμό του κινδύνου κεραυνοπληξίας. Παράλληλα, γίνεται αναφορά στο φαινόμενο του κεραυνού καθώς και στις μεθοδολογίες εκτίμησης κινδύνου με βάση την πυκνότητα κεραυνοπτώσεων, σε συσχέτισμό με τα συστήματα αντικεραυνικής προστασίας κτιρίων και εγκαταστάσεων, σύμφωνα με τα ισχύοντα Πρότυπα και τις ελληνικές τεχνικές προδιαγραφές.

Η εργασία παρουσιάζει τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος εντοπισμού κεραυνών ZEYΣ και γίνεται αναλυτική επεξεργασία των δεδομένων του συστήματος. Με τα αποτελέσματα της επεξεργασίας δημιουργείται ο πρωτότυπος χάρτης κεραυνοπτώσεων «ΚΑΛΛΙΚΡΑΤΗΣ» ανά δήμο της ελληνικής επικράτειας και αντίστοιχη βάση δεδομένων.

Λέξεις κλειδιά: κεραυνός, Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας, κεραυνική δραστηριότητα, κεραυνική πυκνότητα, ΕΛΟΤ EN IEC 62305, σύστημα εντοπισμού κεραυνών, Σύστημα ZEYΣ, χάρτης κεραυνοπτώσεων, Ελλάδα, ισοκεραυνικός χάρτης

Synopsis

The thesis aims at exploiting the results of the lightning detection systems and creating databases for use in calculating the risk of lightning stroke. At the same time, reference is made to the phenomenon of lightning as well as to risk assessment methodologies based on the density of lightning, in conjunction with lightning protection systems of buildings and installations, according to the current Standards and the Greek technical specifications.

The thesis presents the basic features of the ZEUS lightning detection system and analyzes system data. The results of the treatment create the original "KALLIKRATIS" lightning map per municipality of the Greek territory and a corresponding database.

Key words: lightning, lightning protection system, lightning flash density, ELOT EN IEC 62305, lightning detection system, ZEUS system, map of lightning, Greece, keraunic level, isokeraunic map

Πρόλογος

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε με σκοπό τη δημιουργία βάσης δεδομένων πυκνότητας κεραυνοπτώσεων στην Ελλάδα για τη χρησιμοποίηση της στον υπολογισμό του κινδύνου κεραυνοπληξίας κτιρίων και εγκαταστάσεων, σύμφωνα με τα αντίστοιχα Πρότυπα και Κανονισμούς.

Η συλλογή των δεδομένων έγινε με τη χρήση ανοικτών ηλεκτρονικών βάσεων δεδομένων, απ' όπου έγινε η άντληση των απαραίτητων στοιχείων. Στην συνέχεια ακολούθησε η επεξεργασία τους και η δημιουργία χαρτών και βάσης δεδομένων πυκνότητας κεραυνοπληξιών ανά δημοτική περιοχή.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Ψωμόπουλο που μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ μ' ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Ακόμη οφείλω να αποδώσω τις ευχαριστίες μου στην ομάδα του Αστεροσκοπείου Αθηνών για την δημιουργία του συστήματος ZEYS.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πατέρα μου, για την συμπαράσταση του, καθώς και για την πολύτιμη βοήθεια και συμβολή του στην εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, για την εμπιστοσύνη και την υποστήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια.

1 Εισαγωγή

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως αντικείμενο την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων των συστημάτων εντοπισμού κεραυνοπτώσεων στη δημιουργία βάσεων κεραυνοπληξίας για χρήση στον υπολογισμό του κινδύνου κεραυνοπληξίας. Πιο συγκεκριμένα γίνεται χρήση του συστήματος ΖΕΥΣ για τη συλλογή των πρωτογενώνδεδομένων.

Η εργασία αποτελείται από δύο μέρη. Στο μέρος Α, παρουσιάζεται η φυσική του κεραυνικού φαινομένου και τα συστήματα αντικεραυνικής προστασίας. Στο μέρος Β, γίνεται επεξεργασία και παρουσίαση των ψηφιακών βάσεων δεδομένων κεραυνών.

Ξεκινώντας στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται το φαινόμενο του κεραυνού σε ότι αφορά την φυσική του κεραυνού και τον μηχανισμό δημιουργίας των κεραυνών. Αναπτύσσονται τα κεραυνικά χαρακτηριστικά και παρουσιάζονται οι παράμετροι του κεραυνού.

Στο κεφάλαιο 3 δίνεται η μεθοδολογία για την εκτίμηση κινδύνου στην αντικεραυνική προστασία. Γίνεται παρουσίαση στις βλάβες στα κτίρια και στις εγκαταστάσεις από κεραυνούς. Αναλύονται οι κίνδυνοι και συνιστώσες κινδύνου κεραυνοπληξιών. Στη συνέχεια παρουσιάζεται και αναλύεται η μέθοδος υπολογισμού κινδύνου. Τέλος γίνεται αναφορά στα πρότυπα αντικεραυνικής προστασίας και στις ελληνικές τεχνικές προδιαγραφές.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα συστήματα αντικεραυνικής προστασίας κτιρίων και εγκαταστάσεων που αφορούν στον περιορισμό του κινδύνου έναντι της ανθρώπινης ζωής. Το εξωτερικό Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ) έχει ως σκοπό να συλλέγει τους άμεσους κεραυνούς και στην συνέχεια να διοχετεύει το ρεύμα του κεραυνού στο έδαφος χωρίς να προκαλέσει ζημιές στην κατασκευή και επικίνδυνες υπερτάσεις για τον άνθρωπο. Στη συνέχεια γίνεται περιγραφή του εσωτερικού ΣΑΠ το οποίο έχει ως σκοπό την αποτροπή των εισερχόμενων κεραυνικώνυπερτάσεων μέσα σε μια κτιριακή εγκατάσταση καθώς και στην θωράκιση από την ανάπτυξη επαγωγικών τάσεων.

Στο Β μέρος της εργασίας, στο κεφάλαιο 5, παρουσιάζονται τα ψηφιακά συστήματα εντοπισμού κεραυνοπτώσεων. Γίνεται ανάλυση του τρόπου με τον οποίο εντοπίζονται οι κεραυνοί και τα βασικά χαρακτηριστικά αυτών των συστημάτων. Στη συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά το σύστημα ΖΕΥΣ και αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί.

Στο κεφάλαιο 6 που αποτελεί το βασικό μέρος της εργασίας, γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί από το σύστημα ΖΕΥΣ και αναλύεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία της βάσης δεδομένων. Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας παρουσιάζεται στον πρωτότυπο

γεωχωρικό χάρτη κεραυνοπτώσεων «ΚΑΛΛΙΚΡΑΤΗΣ». Τέλος γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων με πρότυπα και διάφορες βάσεις δεδομένων.

Η εργασία ολοκληρώνεται με το 7^ο κεφάλαιο, στο οποίο συνοψίζονται τα συμπεράσματα από την ανάλυση των δεδομένων του συστήματος ΖΕΥΣ και προτείνονται τρόποι για την αξιοποίησή τους.

2 Κεραυνικά χαρακτηριστικά

2.1 Η φυσική του κεραυνού

Οι κεραυνοί πέφταν στη Γη πριν ακόμα ο άνθρωπος πατήσει το πόδι του σ' αυτή. Σε κάθε δεδομένη στιγμή περίπου 2000 κεραυνικές καταιγίδες περιβάλουν την ατμόσφαιρα της Γης και περίπου 100 κεραυνοί το δευτερόλεπτο πέφτουν στο έδαφος. Μια αστραπή μπορεί να προκαλέσει τις πρώτες χημικές αντιδράσεις που οδήγησαν στη δημιουργία των πρώτων δομικών στοιχείων ζωής στην ατμόσφαιρα της αρχέγονης Γης, τα οποία μετά την επεξεργασία και επανεπεξεργασία από τις αρχές της εξέλιξης, οδήγησαν στη μετατροπή της άγονης γης σε ζωντανό πλανήτη. Επίσης οι κεραυνοί έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην εξελικτική διαδικασία που έθεσε τον άνθρωπο πάνω από τα υπόλοιπα ζώα δίνοντας του το πρώτο του εργαλείο, την φωτιά [12].

Τα κύρια συστατικά του αέρα στην ατμόσφαιρα της Γης είναι το άζωτο (78%) και το οξυγόνο (20%). Υπάρχουν, ακόμη, σε μικρότερες ποσότητες ευγενή αέρια (1%), διοξείδιο του άνθρακα (0,97%), υδρατμοί (0,03%) κλπ. Λόγω του ιονισμού του αέρα από την ακτινοβολία υψηλής ενέργειας των κοσμικών ακτίνων και των ραδιενεργών αερίων που παράγονται από τη Γη, κάθε κυβικό εκατοστό αέρα στο επίπεδο του εδάφους περιέχει περίπου δέκα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Σε γενικές γραμμές, ο αέρας είναι ένα καλό μονωτικό υλικό και μπορεί να διατηρεί τις μονωτικές του ιδιότητες μέχρι το ηλεκτρικό πεδίο στο οποίο εκτίθεται να υπερβεί τα 21 kV/cm υπό κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας (δηλαδή 293 K και 1 atm). Όταν το ηλεκτρικό πεδίο υπερβαίνει αυτή την κρίσιμη τιμή, τότε ο αέρας μετατρέπεται πολύ γρήγορα σε ένα αγωγίμο μέσο, καθιστώντας δυνατή τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από αυτόν με τη μορφή σπινθήρα [12].

2.1.1 Συνθήκες δημιουργίας ηλεκτρικής εκκένωσης

Όπως αναφέρεται παραπάνω υπάρχουν περίπου 10 ελεύθερα ηλεκτρόνια ανά κυβικό εκατοστό αέρα στο επίπεδο του εδάφους σε οποιαδήποτε στιγμή. Τα οποία ηλεκτρόνια παράγονται συνεχώς. Όπως παράγονται παραμένουν ελεύθερα για μια πολύ μικρή χρονική στιγμή (κάποια δέκατα του νανοσεκόντ) καθώς συνδέονται με τα μόρια του οξυγόνου στον αέρα. Όταν ένα ηλεκτρικό πεδίο εφαρμόζεται στον αέρα, όλα τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και ιόντα δέχονται μια δύναμη εξ αιτίας του πεδίου αυτού. Λόγω της μικρής μάζας τους, τα ηλεκτρόνια επιταχύνονται γρήγορα αποκτώντας ενέργεια. Όπως επιταχύνονται συγκρούονται με άλλα άτομα και μόρια και μέρος της ενέργειας που έχουν αποκτήσει μεταφέρεται σε αυτά. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας ορισμένα ηλεκτρόνια συλλαμβάνονται από άτομα οξυγόνου. Αν το ηλεκτρικό πεδίο διατηρείται σταθερό τότε τα ηλεκτρόνια σύντομα φτάνουν μια σταθερή ταχύτητα, η οποία καλείται ταχύτητα προώθησης. Για ένα δεδομένο τύπο φορτισμένου σωματιδίου, η ταχύτητα προώθησης είναι συνάρτηση του ηλεκτρικού πεδίου. Η ταχύτητα προώθησης αυξάνεται όσο αυξάνεται το εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό πεδίο. Καθώς η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου αυξάνεται, η

ενέργεια που έχει αποκτηθεί από τα ηλεκτρόνια αυξάνεται έως ότου φτάνουν σ' ένα στάδιο όπου τα ηλεκτρόνια έχουν αποκτήσει τόση πολλή ενέργεια που μπορούν να ιονίσουν άλλα ηλεκτρόνια κατά τη διάρκεια των συγκρούσεων με άλλα άτομα [12].

Για παράδειγμα για να εξαχθεί ένα ηλεκτρόνιο από ένα άτομο οξυγόνου χρειάζεται περίπου 13 eV. Ας ξεκινήσουμε με ένα ηλεκτρόνιο που έχει αρκετή ενέργεια για να εκτοπίσει ένα άλλο ηλεκτρόνιο από ένα άτομο. Κατά τη διάρκεια της σύγκρουσης το ηλεκτρόνιο αυτό παράγει ένα άλλο ηλεκτρόνιο. Τώρα και τα δύο αυτά ηλεκτρόνια αρχίζουν να επιταχύνονται μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο. Όταν αποκτήσουν επαρκή ενέργεια από το πεδίο δημιουργούν με τη σειρά τους ακόμη δύο ηλεκτρόνια ανεβάζοντας το συνολικό αριθμό ηλεκτρονίων στα τέσσερα. Αυτή η διαδικασία οδηγεί στη δημιουργία μιας ροής ηλεκτρονίων που κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου, (τα ηλεκτρόνια εξαιτίας του αρνητικού ηλεκτρικού τους φορτίο κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου). Ενώ συμβαίνει αυτή η διαδικασία της συσσώρευσης των ηλεκτρονίων, συμβαίνει παράλληλα και η διαδικασία προσκόλλησης των ηλεκτρονίων σε μόρια οξυγόνου. Η προσκόλληση αυτή μπορεί να θεωρηθεί και ως μια διαδικασία που εμποδίζει την αύξηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων στον αέρα επειδή συντελεί στην αργή κίνηση αρνητικών ιόντων τα οποία δεν είναι ικανά να ιονιστούν όπως τα ηλεκτρόνια [12].

2.1.2. Συνθήκες σχηματισμού κεραυνού

Ένα ηλεκτρισμένο σύννεφο περιέχει ηλεκτρικά φορτία και των δύο προσήμων σε ίσες ποσότητες. Φορτία του κάθε πρόσημου καταλαμβάνουν διακεκριμένες περιοχές του νέφους. Με λίγα λόγια η φόρτιση ενός νέφους στην πραγματικότητα δεν είναι τίποτα άλλο παρά ένας διαχωρισμός φορτίων. Τα σύννεφα παρουσιάζουν, κατά κανόνα, στο κάτω μέρος τους ένα σημαντικό φορτίο αρνητικής πολικότητας που κυμαίνεται από μερικές δεκάδες έως μερικές εκατοντάδες coulomb και ένα φορτίο θετικής πολικότητας στο άνω μέρος τους. Έτσι στο χώρο μεταξύ σύννεφου και γής αναπτύσσεται ένα ηλεκτρικό πεδίο, του οποίου οι δυναμικές γραμμές καταλήγουν στη γη πάνω σε επαγόμενα φορτία, αντίθετης πολικότητας από αυτή που έχουν τα φορτία του σύννεφου [12].

2.2 Μηχανισμός δημιουργίας κεραυνών

2.2.1 Απαραίτητες συνθήκες για τη δημιουργία ηλεκτρικών εκκενώσεων

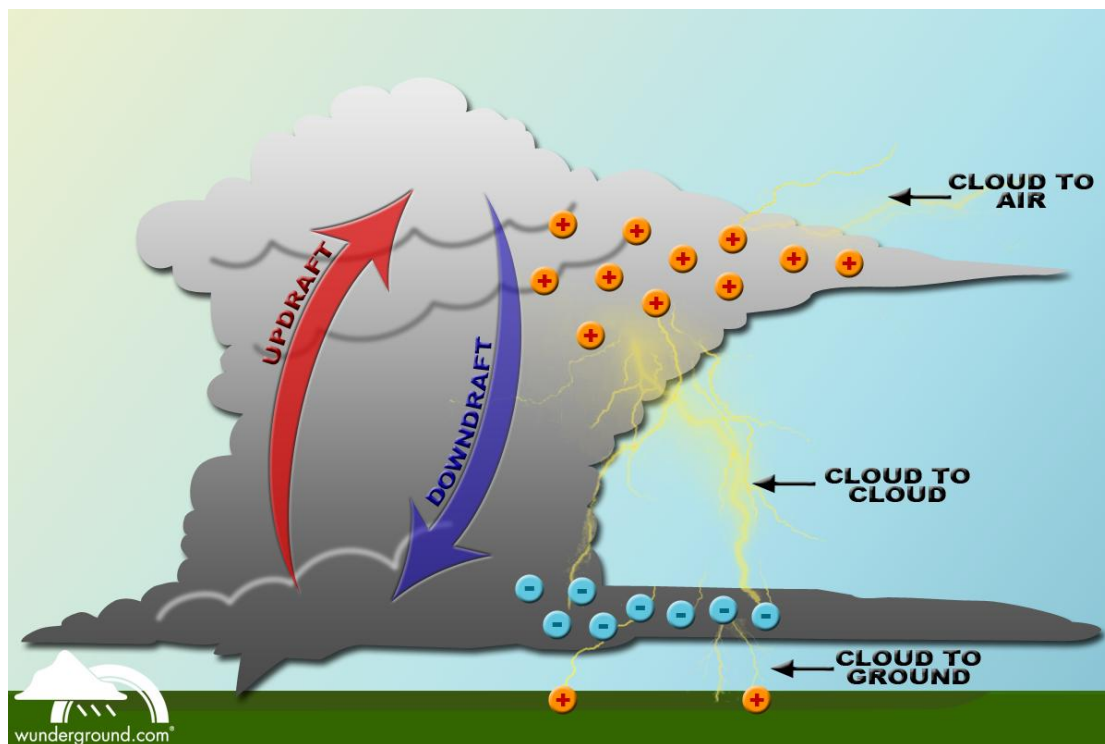
Η ατμόσφαιρα της γης σε συνθήκες καλοκαιρίας χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη ηλεκτρικού πεδίου, μεταξύ της επιφάνειας του εδάφους και ενός στρώματος της ιονόσφαιρας κατειλημμένου με θετικά ηλεκτρικά φορτία, γνωστού και ως στρώματος Heavyside, ευρισκομένου σε μια μέση απόσταση περί τα 100 km από την επιφάνεια του εδάφους. Έχουν διατυπωθεί διάφορες θεωρίες όσον αφορά τους μηχανισμούς διαχωρισμού των ηλεκτρικών φορτίων στο εσωτερικό των νεφών, αλλά δεν υπάρχει μέχρι σήμερα γενική συμφωνία μεταξύ τους [7].

Υπάρχουν δυο βασικές θεωρήσεις: εκείνη που βασίζεται στην φόρτιση σταγονιδίων του νέφους, που συμβαίνει μόλις αρχίσει η πτώση τους προς τη γη, και σε εκείνη που βασίζεται στη μεταφορά φορτίων σε ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας με ανοδικά ρεύματα που οφείλονται σε θερμοκρασιακές διαφορές. Μπορεί να αναγνωριστούν τρία φυσικά φαινόμενα τα οποία παίζουν κάποιο ρόλο κατά το διαχωρισμό των ηλεκτρικών φορτίων. Είναι το φαινόμενο της διασποράς, το φαινόμενο της ισχυρής ψύξεως και το φαινόμενο της διαρρήξεως. Σύμφωνα με τα φαινόμενα αυτά και συνοψίζοντας τα πειραματικά επιβεβαιωμένα χαρακτηριστικά ενός ηλεκτρισμένου νέφους μπορούν να εξαχθούν οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

- Ένα ηλεκτρισμένο σύννεφο περιέχει ηλεκτρικά φορτία και των δύο προσήμων σε ίσες ποσότητες που καταλαμβάνουν διακεκριμένες περιοχές του νέφους. Δηλαδή η φόρτιση ενός νέφους δεν είναι τίποτα άλλο παρά ένας διαχωρισμός φορτίων. Τα σύννεφα παρουσιάζουν κατά κανόνα στο κάτω μέρος τους ένα σημαντικό φορτίο αρνητικής πολικότητας, που κυμαίνεται από μερικές δεκάδες έως μερικές εκατοντάδες C και στο πάνω μέρος τους ένα φορτίο θετικής πολικότητας. Έτσι, στο χώρο μεταξύ σύννεφου και γης αναπτύσσεται ένα ηλεκτρικό πεδίο, του οποίου οι δυναμικές γραμμές καταλήγουν στη γη πάνω σε επαγόμενα φορτία, αντίθετης πολικότητας από αυτή που έχουν τα φορτία του σύννεφου.
- Η πυκνότητα και η διασπορά των φορτίων και των προσήμων δημιουργούν μια συγκεχυμένη εικόνα μέσα στο σύννεφο, που διαρκώς μεταβάλλεται, γεγονός που εμποδίζει τη συστηματική ταξινόμηση των ηλεκτρικών καταστάσεων που μπορούν να επικρατούν μέσα σ' ένα ηλεκτρισμένο σύννεφο.
- Ο διαχωρισμός των φορτίων μέσα στο σύννεφο συμβαίνει μέσα σε μικρό σχετικά χρονικό διάστημα (από μερικά πρώτα λεπτά της ώρας ως μισή ώρα περίπου) [7].

2.2.2 Κατηγορίες κεραυνικών εκκενώσεων

Οι ατμοσφαιρικές εκκενώσεις διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες όπως βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1 : Τα είδη των κεραυνών και η κατανομή του φορτίου στα νέφη κατά την διάρκεια μίας καταιγίδας [28].

1. Μεταξύ σύννεφου και γης ή και αντίστροφα

Οι κεραυνοί αυτοί παρατηρούνται όταν το ηλεκτρικό πεδίο πάρει την κρίσιμη τιμή πλησίον του νέφους, οπότε έχουμε εκκένωση κατερχόμενη, ή πλησίον της γης, οπότε έχουμε εκκένωση ανερχόμενη. Σαν πολικότητα της εκκένωσης μεταξύ σύννεφου και γης λαμβάνεται εκείνη του φορτίου του κάτω μέρους του νέφους, που την προκάλεσε. Οι κεραυνοί μεταξύ νέφους και γης είναι η πιο καταστροφική και παράλληλα επικίνδυνη μορφή κεραυνού. Αν και δεν είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος, είναι αυτός ο οποίος κατανοείται καλύτερα. Οι περισσότεροι κεραυνοί εκδηλώνονται κοντά στην αρνητική περιοχή του νέφους. Όμως, μια σημαντική μειονότητα από κεραυνούς μεταφέρει θετικό φορτίο στην γη. Αυτοί οι θετικοί κεραυνοί συχνά συμβαίνουν κατά την διάρκεια της καταιγίδας. Οι θετικοί κεραυνοί είναι επίσης περισσότερο γνωστοί σαν ποσοστό προσκρούσεων στο έδαφος κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών.

2. Κεραυνοί μέσα στα σύννεφα

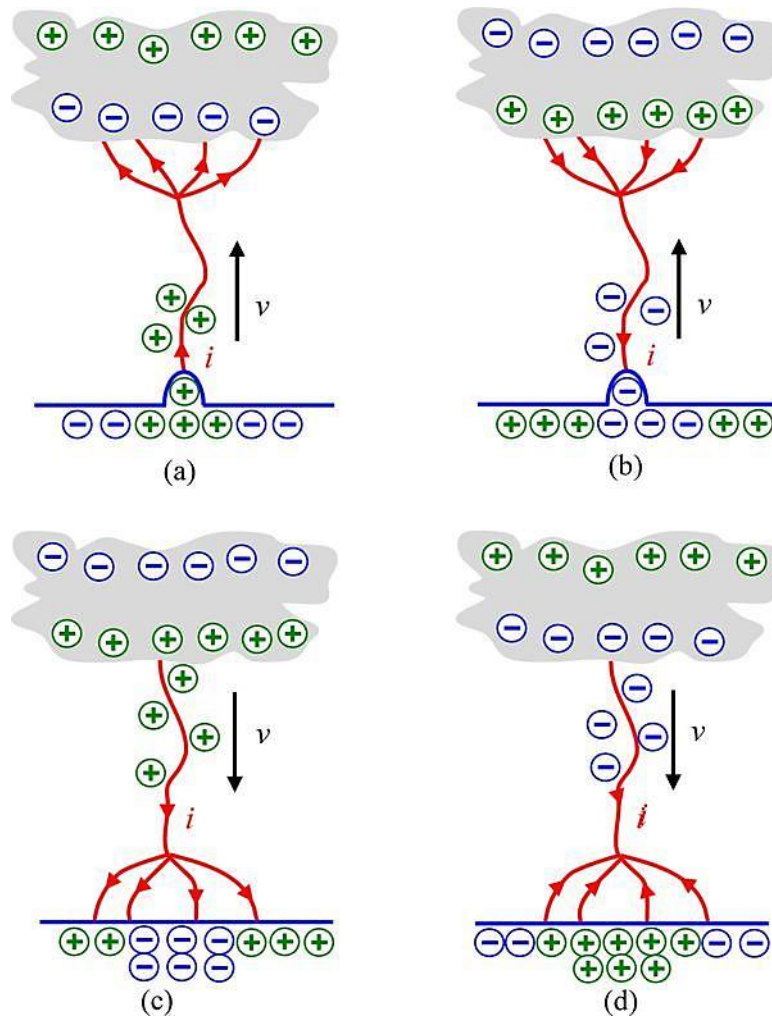
Οι κεραυνοί μέσα στα νέφη είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος εκφορτίσεως. Στην περίπτωση αυτή, η εκκένωση λαμβάνει χώρα ανάμεσα στο ανώτερο θετικό και κατώτερο αρνητικό κέντρο του χωρικού φορτίου. Η διάρκεια της εκκένωσης είναι μεγάλη και το ρεύμα της έχει τιμές από μερικές εκατοντάδες έως 1000 Amperes. Η διαδικασία συμβαίνει μέσα στο νέφος και έξω από το νέφος φαίνεται σαν διαχέουσα λαμπρότητα που τρεμοσβήνει.

3. Κεραυνοί ανάμεσα στα σύννεφα

Κεραυνοί αυτού του τύπου εκδηλώνονται σε ύψος μεγαλύτερο του 1 km και μικρότερο των 12 km. Οι κεραυνοί αυτοί έχουν μεγάλο μήκος κεραυνικού τόξου, έως και 40 km [7].

2.2.3 Φάσεις δημιουργίας κεραυνικών εκκενώσεων

Κάτα τη διάρκεια μιας καταιγίδας διακρίνουμε τις τρεις ακόλουθες φάσεις κεραυνικής εκκένωσης (σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2 : Οι τρεις φάσεις κεραυνικής εκκένωσης κατά την διάρκεια μιας καταιγίδας [10].

1. Προεκκένωση (stepped leader)

Το ηλεκτρισμένο νέφος λίγο πριν από μια κεραυνική εκκένωση εμφανίζεται μακροσκοπικά σαν ένα ηλεκτρικό δίπολο, εξαιτίας του οποίου επάγονται στο έδαφος πεδία με ένταση πάνω από 5 kV/m. Στις παρυφές περιοχών του νέφους με μεγάλη πυκνότητα φορτίου, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μπορεί να πάρει αρκετά μεγάλες τιμές. Οι υψηλές αυτές εντάσεις, συνδυαζόμενες με τη μικρή πυκνότητα του αέρα και μερικούς άλλους παράγοντες που προκαλούν πρόσθετη τοπική ενίσχυση του ηλεκτρικού πεδίου, μπορούν να προκαλέσουν έναρξη ιονισμού των μορίων του αέρα από κρούσεις ηλεκτρονίων. Ο ιονισμός αυτός αποτελεί το πρώτο βήμα για την έναρξη μιας ηλεκτρικής εκκένωσης. Το επόμενο βήμα είναι ο σχηματισμός ενός οχετού, ο οποίος ακολουθεί τις δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου. Ο οχετός ακολουθεί την κατεύθυνση που θα προκαλέσει την ηλεκτρική σύνδεση και αλληλεξουδετέρωση των δύο ετερόσημων φορτίων. Αν οι γραμμές μέγιστης πεδιακής έντασης κατευθύνονται προς το έδαφος, ο οχετός θα κατευθυνθεί προς αυτό. Η προεκκένωση ξεκινάει από κάποια περιοχή του σύννεφου όπου το ηλεκτρικό πεδίο θα αποκτήσει πολύ μεγάλες

τιμές, της τάξεως των μερικών εκατοντάδων V/m. Δημιουργείται έτσι ένας αγώγιμος δρόμος (οχετός), ο οποίος τροφοδοτείται συνέχεια με φορείς ηλεκτρικού φορτίου από το σύννεφο. Έχουμε, κατά συνέπεια, τη δημιουργία υψηλού ηλεκτρικού πεδίου που σε μια διαδικασία ανακύκλωσης συμβάλλει στην προώθησή του προς τη γη. Έτσι, η προεκκένωση, αφού ξεκινήσει, αναπτύσσεται από μόνη της στο χώρο του ηλεκτρικού πεδίου, εφόσον τροφοδοτείται από την πλευρά του σύννεφου με μεγάλη ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου. Ενδέχεται να υπάρχουν και διακλαδώσεις του αγώγιμου οχετού, οι οποίες, όμως, δεν απολήγουν σε γεφύρωση του προς τη γη, λόγω του ότι δεν υπάρχει διαθεσιμότητα μεγάλου αριθμού ηλεκτρικών φορέων [7].

2. Εκκένωση αντίθετης φοράς (connectingdischarge)

Η διαμήκης πτώση τάσεως κατά μήκος του οχετού προεκκένωσης διαφέρει στις διάφορες θέσεις του. Έτσι, ο οχετός προεκκένωσης εμφανίζεται σαν μια μεταλλική προεξοχή που επεκτείνεται από το σύννεφο προς το έδαφος. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου γύρω από τον οχετό προεκκένωσης και ιδίως στο άκρο του προς το έδαφος, είναι πολύ μεγάλη και υπερβαίνει κατά πολύ την πεδιακή ένταση που απαιτείται για τον ιονισμό του αέρα από κρούσεις (γύρω στα 30 kV/cm). Για αυτό το λόγο, ο οχετός περιβάλλεται διαρκώς από ένα μανδύα Corona (στεμματοειδούς εκκενώσεως), που εκτείνεται μερικά μέτρα γύρω από αυτόν. Το πάχος του μανδύα αυτού είναι μεγαλύτερο στο προς το έδαφος άκρο του οχετού και αυξάνει όσο η κεφαλή του οχετού πλησιάζει προς το έδαφος. Καθώς τώρα ο οχετός κατέρχεται στη γη, αυξάνει το ηλεκτρικό πεδίο της γης. Έτσι, είναι δυνατό να δημιουργήσει ένα φαινόμενο τύπου Corona, το οποίο καταλήγει σε μια ανερχόμενη εκκένωση, η οποία τείνει να συναντήσει τον κατερχόμενο οχετό, οπότε και έχουμε πλήρη γεφύρωση του διακένου αέρα, δηλαδή κεραυνικό πλήγμα. Η απόσταση που θα πρέπει να φτάσει η κεφαλή του κατερχόμενου οχετού για να ξεκινήσει από τη γη η εκκένωση αντίθετης φοράς χαρακτηρίζεται σαν απόσταση διάσπασης [7].

3. Κύρια εκκένωση (returnstroke)

Στην τελευταία αυτή φάση, η οποία εξελίσσεται με ιδιαίτερα μεγάλη ταχύτητα, έχουμε γεφύρωση της αποστάσεως μεταξύ νέφους και γης. Ήδη προϋπάρχει αγώγιμος οχετός προεκκενώσεως που παίρνει τη μορφή ενός πλήρους οχετού εκκενώσεως. Τα κυκλοφορούντα ρεύματα δια μέσου του οχετού είναι της τάξεως των 10-100 kA, με κλίσεις μετώπου της τάξεως των 20-100 kA/μs, ενώ η διάρκεια ροής των ρευμάτων αυτών είναι της τάξεως των μερικών δεκάδων μs. Το μήκος του κεραυνικού οχετού εξαρτάται από το ύψος που βρίσκεται το αντίστοιχο καταιγιδοφόρο νέφος, ενώ όταν πρόκειται για κεραυνό που λαμβάνει χώρα μεταξύ δύο νεφών, εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των αντιστοίχων νεφών. Σε περίπτωση που έχουμε κεραυνοπληξία προς γη, το μήκος των κεραυνικών οχετών είναι της τάξεως λίγων χιλιομέτρων το πολύ. Η διάμετρος ενός οχετού εκκενώσεως είναι της τάξης των μερικών εκατοστών, γιατί από μόνο του το πλάσμα, λόγω του μαγνητικού πεδίου, αποσυμπιέζεται. Η μεγάλη λαμπρότητα

του ηλεκτρικού τόξου εξηγεί και το γεγονός ότι ο κεραυνικός οχετός συχνά οδηγεί σε παροδικές θαμβώσεις [7].

2.2.4 Πολικότητα κεραυνικών εκκενώσεων

Σαν πολικότητα εκκενώσεως λαμβάνεται η πολικότητα φορτίου του κάτω μέρους του σύννεφου που προκάλεσε την εκκένωση. Οι κεραυνικές εκκενώσεις μπορούν να διακριθούν αναλόγως της πολικότητας των σε:

- Θετικές εκκενώσεις, που αποτελούνται από μία μόνο εκφόρτιση διάρκειας από 0.1 έως 2 ms. Η διάρκεια μετώπου αυτών κυμαίνεται μεταξύ 20 και 50 ms, το δε εύρος του ρεύματος εκφορτίσεως που αντιπροσωπεύουν μπορεί να υπερβεί τα 100 kA, ενώ η μέση κλίση μετώπου είναι 2 kA/μs.
- Αρνητικές εκκενώσεις, που αποτελούνται συνήθως από τρεις ή και περισσότερες διαδοχικές εκφορτίσεις. Η διάρκεια όλου του φαινομένου, κυμαίνεται μεταξύ 0.2 και 1 ms. Η διάρκεια μετώπου και το εύρος της πρώτης εκφορτίσεως είναι μικρότερα σε σύγκριση με τα αντίστοιχα μεγέθη για θετικές εκκενώσεις (διάρκεια μετώπου 10 έως 15 μs). Για τις μετά την πρώτη εκφορτίσεις το μεν εύρος είναι λίγο μικρότερο από αυτό της πρώτης, η δε διάρκεια μετώπου είναι σημαντικά μικρότερη κυμαινόμενη μεταξύ 0.5 και 1 μs. Η κλίση μετώπου για την πρώτη εκφόρτιση υπερβαίνει τα 20 kA/μs, ενώ για τις επόμενες είναι πολύ μεγαλύτερη (τάξεως 40 kA/μs) [7].

Στον ελλαδικό χώρο, όπου το κλίμα είναι εύκρατο, το 80 έως 90 % των ατμοσφαιρικών εκκενώσεων είναι αρνητικές.

Οι ατμοσφαιρικές εκκενώσεις, ανάλογα με την πορεία της προεκκενώσεως διακρίνονται σε :

- Ανερχόμενες, όταν η προεκκένωση αρχίζει από το έδαφος και κατευθύνεται προς το νέφος
- Κατερχόμενες, όταν η προεκκένωση αρχίζει από το νέφος.

Σε μέρη επίπεδα, χωρίς ιδιαίτερες προεξοχές, πλειοψηφούν οι κατερχόμενες εκκενώσεις. Αντίθετα ανερχόμενες εκκενώσεις δημιουργούνται εκεί που υπάρχουν υψηλά και αιχμηρά αντικείμενα [7].

2.3 Παράμετροι κεραυνού

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

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

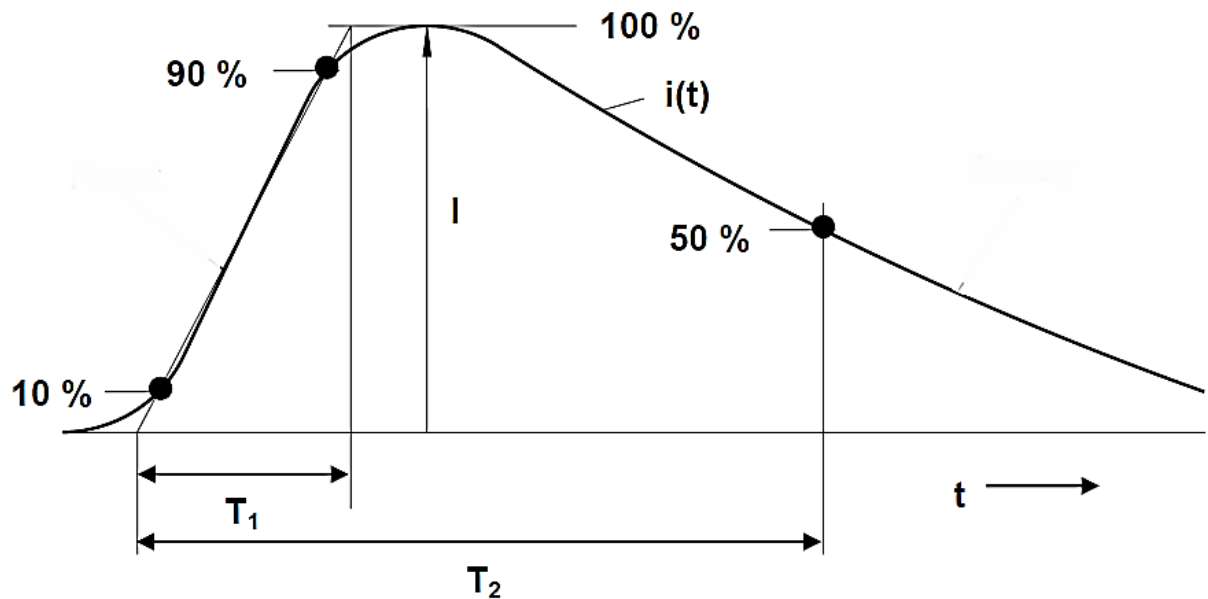
Μετρήσεις αποκάλυψαν ότι οι κεραυνικές παράμετροι των ανερχόμενων κεραυνών δεν υπερβαίνουν τις αντίστοιχες των κατερχομένων. Για το λόγο αυτό οι κεραυνικές παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη στο IEC-62305 βασίζονται στις παραμέτρους του κατερχόμενου κεραυνού. Οι συνιστώσες που λαμβάνονται υπόψη για τον καθορισμό των κεραυνικών παραμέτρων στο διεθνές πρότυπο είναι οι εξής:

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

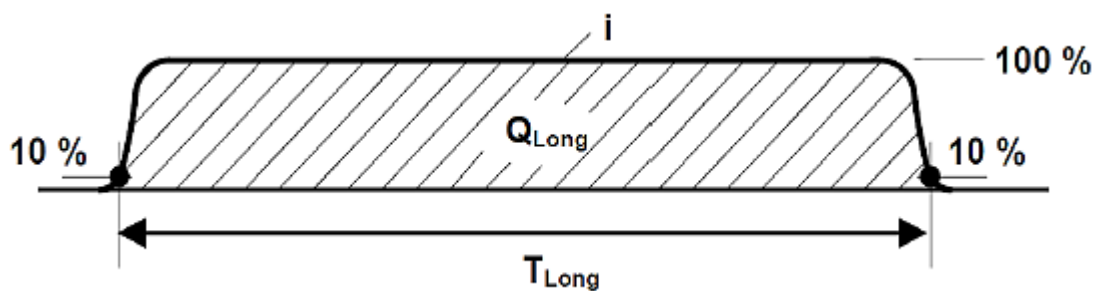
Το πρώτο βραχύ κεραυνικό ρεύμα λαμβάνει υπόψη τον κίνδυνο από το πρώτο κρουστικό πλήγμα του κατερχόμενου κεραυνού. Ο κίνδυνος επικεντρώνεται στο γεγονός ότι ο θετικός κεραυνός έχει υψηλότερες τιμές μέγιστου ρεύματος κορυφής, μεγαλύτερο μεταφερόμενο φορτίο και μεγαλύτερες τιμές ειδικής ενέργειας W/R , σε σύγκριση με τον αρνητικό. Σε ότι αφορά τη μέγιστη κλίση μετώπου παρατηρήθηκε από τις μετρήσεις του Berger ότι είναι πολύ μεγαλύτερη στην περίπτωση του

επόμενου βραχέως κρουστικού ρεύματος και ασυσχέτιστη με τις άλλες παραμέτρους και για το λόγο αυτό για τον καθορισμό της μέγιστης τιμής λαμβάνεται υπόψη η τιμή που μπορούν να δώσουν τα επόμενα βραχέα κρουστικά κεραυνικά ρεύματα [3].

Τα επόμενα σχήματα παριστούν τη μορφή του βραχέως και μακρού κεραυνικού ρεύματος σύμφωνα με το πρότυπο IEC 62305-1. Το βραχύ κρουστικό ρεύμα (πρώτο ή επόμενο) έχει κλίση μετώπου T_1 και χρόνο ημίσειας εύρους T_2 . Το μακρό κεραυνικό ρεύμα λαμβάνει υπόψη τη μεταφορά φορτίου των συνεχών κεραυνικών ρευμάτων [3].



Σχήμα 2.3 : Σχηματική παράσταση βραχέως κρουστικού κεραυνικού ρεύματος σύμφωνα με το IEC-62305-1 [3].



Σχήμα 2.4 : Σχηματική παράσταση μακρού κεραυνικού ρεύματος κατά IEC-62305-1 [3].

2.3.1. Καθορισμός των επιπέδων προστασίας με βάση τα κεραυνικά χαρακτηριστικά

Το διεθνές πρότυπο IEC 62305-1 καθορίζει τέσσερις στάθμες αντικεραυνικής προστασίας (LPL-Lighting ProtectionLevel) προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες προστασίας διαφόρων κατασκευών. Για παράδειγμα ένα κτίριο κατοικίας μέσα στην πόλη απαιτεί μικρότερο επίπεδο προστασίας από ένα εργοστάσιο παραγωγής εκρηκτικών ή εύφλεκτων υλικών. Για αξιόπιστη προστασία έναντι θερμικών - μηχανικών φαινομένων που προκαλεί ο κεραυνός και οι επαγόμενες υπερτάσεις, ελήφθησαν υπόψη οι μέγιστες τιμές των κεραυνικών παραμέτρων όπως προκύπτουν από στατιστικές κατανομές κεραυνικών ρευμάτων. Έτσι καθορίστηκε για αντικεραυνική προστασία κλάσης I (LPL I) κεραυνικές παράμετροι οι οποίες δεν θα υπερβαίνουν τους πραγματικά συμβαίνοντες κεραυνούς με πιθανότητα 99 %. Για προστασία LPL II οι παράμετροι μειώνονται στο 75 % και για επίπεδα III και IV στο 50 % του επιπέδου I . Από την άλλη πλευρά για την προστασία των κατασκευών θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και τα ελάχιστα παρατηρούμενα μέγιστα πλάτη του κεραυνικού ρεύματος τα οποία μπορούν να πλήξουν τις εγκαταστάσεις και να παρακάμψουν τα μέτρα προστασίας [3].

2.3.2. Μέγιστες καθορισμένες τιμές των κεραυνικών παραμέτρων

Για τον καθορισμό των παραπάνω επιπέδων δεν θα μπορούσε να παραληφθεί ότι οι θετικοί κεραυνοί διαφέρουν κατά την εποχή και τη γεωγραφική κατάσταση της περιοχής και ότι αποτελούν το 10 % των κεραυνών μεταξύ νέφους γης. Επίσης το υπόλοιπο 90 % είναι αρνητικοί κεραυνοί. Όπως προαναφέρθηκε ο καθορισμός των παραμέτρων βασίστηκε στις μετρήσεις του Berger και εκδόθηκαν από το περιοδικό της CIGRE ElectraNo. 41 και No. 69. Με βάση αυτές τις μετρήσεις τα επιθυμητά επίπεδα προστασίας και τις στατιστικές κατανομές καθορίστηκαν οι παρακάτω τιμές κεραυνικών παραμέτρων ανάλογα με το επίπεδο προστασίας (πίνακας 2.1) [3].

Πρώτο βραχύ κεραυνικό ρεύμα			LPL		
Ρευματικές Παράμετροι	Σύμβολο	Μονάδα	I	II	III/IV
Μέγιστο ρεύμα	I_{max}	kA	200	150	100
Φορτίο	Q_{short}	C	100	75	50
Ειδική Ενέργεια	W/R	MJ/ Ω	10	5,6	2,5
Μορφή Κύματος	T_1/T_2	$\mu s/\mu s$	10/350		
Επακόλουθο βραχύ κεραυνικό ρεύμα			LPL		
Ρευματικές Παράμετροι	Σύμβολο	Μονάδα	I	II	III/IV
Μέγιστο ρεύμα	I_{max}	kA	50	37,5	25
Μέση κλίση μετώπου	di/dt	kA/ μs	200	150	100
Μορφή Κύματος	T_1/T_2	$\mu s/\mu s$	0,25/100		
Μακρό κεραυνικό ρεύμα			LPL		
Ρευματικές Παράμετροι	Σύμβολο	Μονάδα	I	II	III/IV
Φορτίο	Q_{long}	C	200	150	100
Διάρκεια	T_{long}	s	0,5		
Κεραυνός			LPL		
Ρευματικές Παράμετροι	Σύμβολο	Μονάδα	I	II	III/IV
Συνολικό Φορτίο	Q_{flash}	C	300	225	150

Πίνακας 2.1 : Καθορισμός μεγίστων τιμών κεραυνικών παραμέτρων ανάλογα με το LPL σύμφωνα με το IEC 62305 – 1 [3].

Στον παραπάνω πίνακα οι τιμές I, Q και W/R καθορίζονται από τους θετικούς κεραυνούς (επειδή το 10 % των τιμών τους είναι πολύ υψηλότερο από τις ανώτερες τιμές του 1 % των αρνητικών κεραυνών). Επίσης φαίνεται η μορφή του κεραυνού 10/350 μs για (τυπική τιμή) για το πρώτο κρουστικό πλήγμα και 0,25/100 μs για το επόμενο κρουστικό πλήγμα καθώς και ότι λαμβάνεται υπόψη ως μέγιστη τιμή κλίσης μετώπου αυτή του επόμενου βραχέως κρουστικού ρεύματος. Για τον υπολογισμό του μέγιστου μεταφερόμενου φορτίου προστίθενται το μεταφερόμενο φορτίο του πρώτου βραχέως κεραυνικού ρεύματος και του μακρού κεραυνικού ρεύματος το οποίο λόγω φύσεως μεταφέρει μεγάλες τιμές φορτίου αλλά παρουσιάζει αμελητέα ειδική ενέργεια W/R [3].

2.3.3. Καθορισμένες τιμές ελάχιστων τιμών κεραυνικών παραμέτρων

Η ικανότητα υποδοχής του κεραυνικού ρεύματος συνδέεται με τις ελάχιστες τιμές κεραυνικών παραμέτρων και την σχετιζόμενη με αυτά ακτίνα της κυλιόμενης σφαίρας. Τα γεωμετρικά όρια της περιοχής που προστατεύεται έναντι πληγμάτων καθορίζεται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρα, η οποία ακολουθεί το ηλεκτρογεωμετρικό μοντέλο και αναλύεται ενδελεχέστερα στο κεφάλαιο της προστασίας των εγκαταστάσεων. Η ακτίνα αυτή που στην ουσία μας δίνει και την απόσταση έναυσης στο πρότυπο IEC 62305-1 καθορίζεται ως $r = 10 I^{0,65}$. Για δεδομένες τιμές της ακτίνας θεωρείται ότι όλοι οι κεραυνοί με μέγιστες τιμές υψηλότερες από τις καθορισμένες ελάχιστες τιμές του μέγιστου πλάτους ρεύματος I

θα συλλαμβάνονται από τις απολήξεις της προστασίας. Για το λόγο αυτό τα ελάχιστα παρατηρούμενα πλάτη αρνητικών και θετικών κεραυνών καθορίζουν και τη πιθανότητα της πιθανότητας σύλληψης του κεραυνού. Σύμφωνα με τη συχνότητα των κεραυνών και την πιθανότητα σύλληψης τους από ένα σύστημα προστασίας καθορίζονται οι παρακάτω τιμές ελάχιστων πλάτωνκεραυνικού ρεύματος ανάλογα με το LPL [3].

Κριτήρια Υποδοχής			LPL			
	Σύμβολο	Μονάδα	I	II	III	IV
Ελάχιστο κεραυνικό ρεύμα κορυφής	I	kA	3	5	10	16
Ακτίνα κυλιόμενης σφαίρας	r	m	20	30	45	60

Πίνακας 2.2 : Καθορισμός ελαχίστων τιμών κεραυνικού ρεύματος και ακτίνα μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας ανάλογα με το LPL σύμφωνα με το IEC 62305 – 1 [3].

Οι παραπάνω μέγιστες και ελάχιστες τιμές των παραμέτρων καθορίστηκαν στο πρότυπο μετά από τη μελέτη στατιστικών κατανομών μετρήσεων κεραυνών και με αντίστοιχο καθορισμό των απαιτήσεων ανάλογα με το LPL.. Συνοπτικά οι πιθανότητες που καθορίζονται στο πρότυπο ανάλογα με το LPL φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 2.3) [3].

Πιθανότητα ότι οι ρευματικές παράμετροι του κεραυνού	LPL			
	I	II	III	IV
Να είναι μικρότερες από τις μέγιστες τιμές του Πίνακα 2.1	0,99	0,98	0,97	0,97
Να είναι μεγαλύτερες από τις μέγιστες τιμές του Πίνακα 2.2	0,99	0,97	0,91	0,84

Πίνακας 2.3 : Πιθανότητα υπέρβασης των κεραυνικών παραμέτρων ανάλογα με το LPL σύμφωνα με το IEC 62305 – 1 [3].

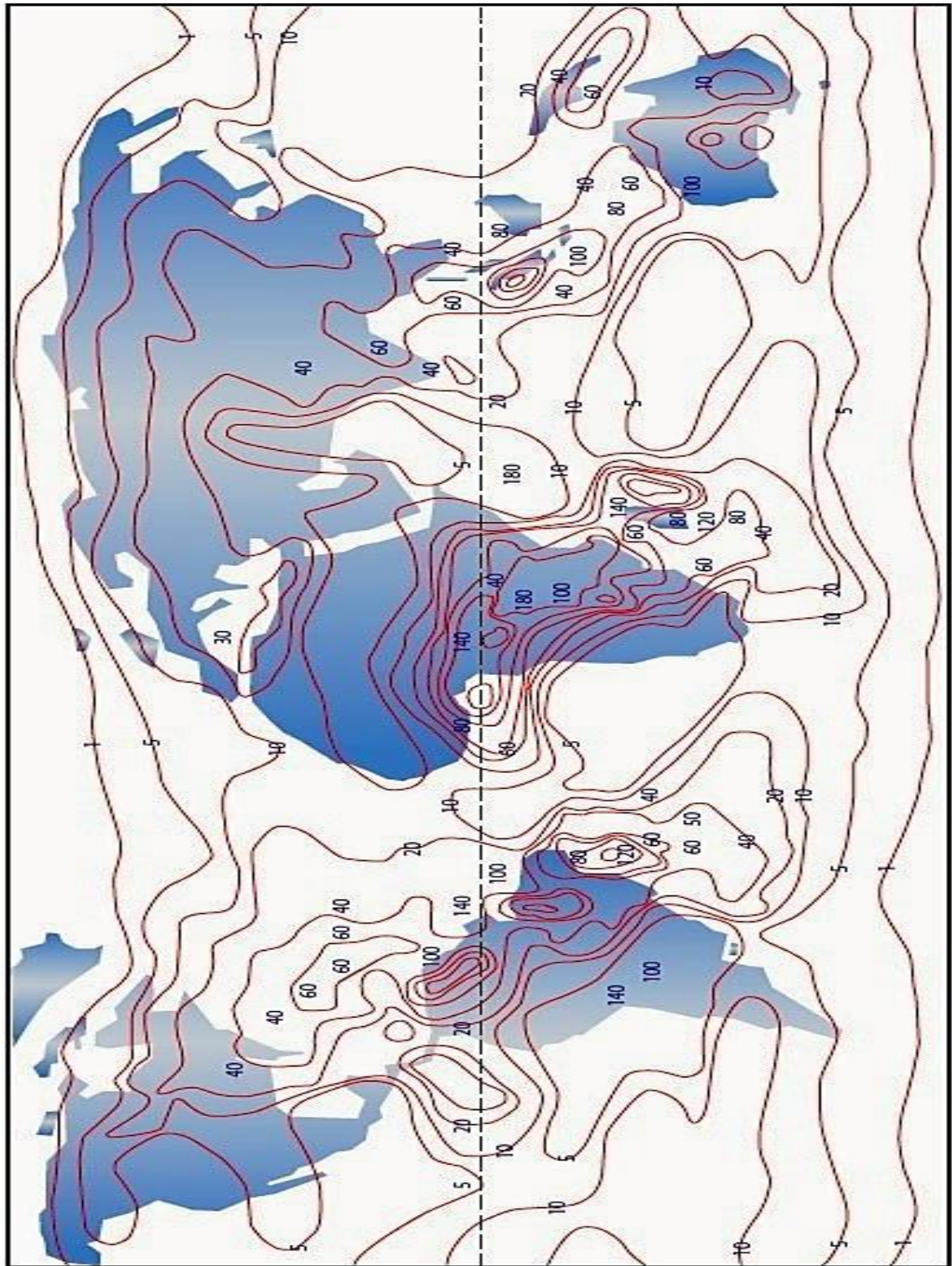
2.4 Ισοκεραυνικές καμπύλες

Κεραυνική στάθμη συγκεκριμένου τόπου είναι το πλήθος των ημερών καταιγίδος που αντιστοιχούν στο συγκεκριμένο τόπο μέσα σ' ένα χρόνο. Μέρα καταιγίδας χαρακτηρίζεται εκείνη κατά τη διάρκεια της οποίας ακούγεται μία (τουλάχιστον) βροντή.Μολονότι ο ορισμός αυτός φαίνεται ελάχιστα επιστημονικός, παρέχει, εν τούτοις, τη δυνατότητα εκτίμησης του κινδύνου κεραυνοπληξίας στο συγκεκριμένο τόπο. Έτσι το 1/10 της κεραυνικής στάθμης δίνει το πλήθος των κατ' έτος στατιστικώς αναμενόμενων κεραυνοπληξιών προς γη ανά km² επιφάνειας σύμφωνα με το IEC 62305 [2].

Η σύνδεση των τόπων ίδιας κεραυνικής στάθμης δίνει τις ισοκεραυνικές καμπύλες. Στις παρακάτω εικόνες (σχήμα 2.5 και 2.6) παρατίθενται ο ελληνικός χάρτης με τις ισοκεραυνικές καμπύλες και ο παγκόσμιος αντίστοιχα.



Σχήμα 2.5 : Ισοκεραυνικές καμπύλες στον ελλαδικό χώρο [3].



Σχήμα 2.6 : Ισοθερμικές καμπύλες της ηφελίου [24].

3 Εκτίμηση κινδύνου στην αντικεραυνική προστασία

3.1 Βλάβες στα κτίρια και τις εγκαταστάσεις από κεραυνούς

3.1.1 Πηγές βλαβών

Το κεραυνικό ρεύμα αποτελεί την αιτία όλων των βλαβών που προκύπτουν από το φαινόμενο του κεραυνού. Ανάλογα με το σημείο της κεραυνοπληξίας διακρίνουμε τις παρακάτω πηγές βλαβών στα κτίρια :

S1: Κεραυνοπληξία στο κτίριο.

Στην περίπτωση αυτή ενδεχομένως να προκληθούν:

- Άμεσες μηχανικές ζημιές, φωτιά ή/και έκρηξη εξαιτίας του ίδιου του καυτού κεραυνικού τόξου πλάσματος, εξαιτίας του ρεύματος που προκαλεί ωμική θέρμανση στους αγωγούς, ή εξαιτίας του κεραυνικού φορτίου που προκαλεί λιώσιμο μετάλλων.
- Φωτιά ή/και έκρηξη από σπινθήρες που προκαλούνται από υπερτάσεις εξαιτίας της ωμικής και επαγωγικής συμπεριφοράς των αγωγών.
- Τραυματισμοί σε ανθρώπους από βηματικές τάσεις και τάσεις επαφής.
- Καταστροφή ή δυσλειτουργία των εσωτερικών συστημάτων λόγω του κεραυνικού ηλεκτρομαγνητικού παλμού (LEMP) που προκαλεί ανάπτυξη επαγωγικών τάσεων σε κλειστούς βρόχους καθώς και απευθείας επίδραση του εκπεμπόμενου μαγνητικού πεδίου.

S2: Κεραυνοπληξία κοντά στο κτίριο.

Στην περίπτωση αυτή ενδεχομένως να προκληθεί καταστροφή ή δυσλειτουργία των εσωτερικών συστημάτων λόγω του κεραυνικού ηλεκτρομαγνητικού παλμού (LEMP).

S3: Κεραυνοπληξία στην γραμμή μεταφοράς που συνδέεται το κτίριο.

Στην περίπτωση αυτή ενδεχομένως να προκληθούν:

- Φωτιά ή/και έκρηξη προερχόμενη από σπινθήρες εξαιτίας των υπερτάσεων και του κεραυνικού ρεύματος που μεταδίδονται δια μέσου της γραμμής της συνδεδεμένης υπηρεσίας
- Τραυματισμό σε ανθρώπους εξαιτίας των τάσεων επαφής και μέσα στο κτίριο εξαιτίας του κεραυνικού ρεύματος που μεταδίδονται δια μέσου της γραμμής της συνδεδεμένης υπηρεσίας.
- Καταστροφή ή δυσλειτουργία των εσωτερικών συστημάτων λόγω των υπερτάσεων που εμφανίζονται στις συνδεδεμένες γραμμές και μεταδίδονται στο κτίριο.

S4: Κεραυνοπληξία κοντά στην γραμμή μεταφοράς που συνδέεται το κτίριο.

Στην περίπτωση αυτή ενδεχομένως να προκληθεί καταστροφή ή δυσλειτουργία των εσωτερικών συστημάτων λόγω των επαγόμενων υπερτάσεων στις συνδεδεμένες γραμμές και μεταδίδονται στο κτίριο [13].

3.1.2 Τύποι βλαβών

Αποτελέσματα του κεραυνικού ρεύματος αποτελούν οι τρεις παρακάτω τύποι βλαβών :

D1 : Τραυματισμοί σε έμβια όντα (άνθρωπο - ζώα) λόγω βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής.

D2 : Φυσική καταστροφή (φωτιά, έκρηξη, μηχανική καταστροφή) εξαιτίας των επιδράσεων του κεραυνικού ρεύματος συμπεριλαμβανομένων των σπινθήρων.

D3 : Καταστροφή των εσωτερικών συστημάτων (ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών) λόγω του ηλεκτρομαγνητικού παλμού LEMP [13].

3.1.3. Τύποι απωλειών

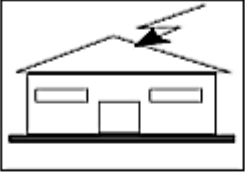
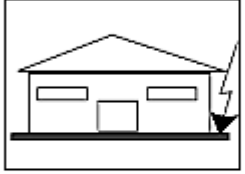
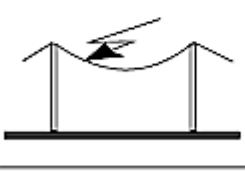
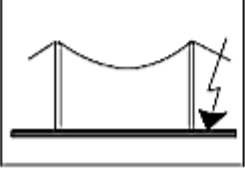
Κάθε τύπος βλάβης μόνος ή σε συνδυασμό με άλλους, προκαλεί διαφορετικού τύπου απώλειας μέσα στο κτίριο που εξαρτάται από τον τύπο κατασκευής, την δομή και την χρήση του κτιρίου. Τύποι απωλειών που εμφανίζονται στα κτίρια είναι οι εξής [13]:

L1 : Απώλεια της ανθρώπινης ζωής.

L2 : Απώλεια της υπηρεσίας στο κοινό.

L3 : Απώλεια της πολιτιστικής κληρονομιάς.

L4 : Απώλεια της οικονομικής αξίας

Σημείο Πλήγματος	Πηγή Βλάβης	Κτίριο	
		Τύπος Βλάβης	Τύπος Απώλειας
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 ²⁾ L1, L2, L3, L4 L1 ¹⁾ , L2, L4
	S2	D3	L1 ¹⁾ , L2, L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 ²⁾ L1, L2, L3, L4 L1 ¹⁾ , L2, L4
	S4	D3	L1 ¹⁾ , L2, L4

1. Μόνο για κτίρια με κίνδυνο έκρηξης και για νοσοκομεία ή άλλα κτίρια όπου καταστροφή των εσωτερικών συστημάτων θέτει άμεσα σε κίνδυνο την ανθρώπινη ζωή.
2. Μόνο για ιδιοκτησίες όπου ζώα μπορεί να θανατωθούν.

Πίνακας 3.1 : Πηγές - τύποι βλαβών και τύποι απωλειών στα κτίρια [3].

3.2 Κίνδυνοι και συνιστώσες κινδύνου κεραυνοπληξιών

Κίνδυνος R (Risk) είναι η τιμή της πιθανής μέσης ετήσιας απώλειας. Για κάθε τύπο απώλειας που μπορεί να εμφανιστεί σε ένα κτίριο, υπολογίζεται ανάλογα και ο σχετικός κίνδυνος. Κατ' αυτόν τον τρόπο διακρίνουμε ανάλογα με τον τύπο της απώλειας και τον αντίστοιχο κίνδυνο όπως παρακάτω :

R1 : Κίνδυνος της απώλειας της ανθρώπινης ζωής.

R2 : Κίνδυνος της απώλειας της υπηρεσίας στο κοινό.

R3 : Κίνδυνος απώλειας της πολιτιστικής κληρονομιάς.

R4 : Κίνδυνος της απώλειας της οικονομικής αξίας

Η ανάγκη για αντικεραυνική προστασία είναι απαραίτητη εάν ο κίνδυνος R (R1 έως R3) προκύπτει από την εκτίμηση κινδύνου να είναι μεγαλύτερος από ένα προκαθορισμένο επίπεδο κινδύνου R_T (tolerablerisk) όπως παρακάτω [13].

Τύποι Απώλειας	$R_T (y^{-1})$
Απώλεια της ανθρώπινης ζωής ή μόνιμος τραυματισμός	10^{-5}
Απώλεια της υπηρεσίας στο κοινό	10^{-3}
Απώλεια της πολιτιστικής κληρονομιάς	10^{-3}

Πίνακας 3.2 : Τυπικές τιμές ανεκτού κινδύνου [3].

Εάν ο εκτιμώμενος κίνδυνος είναι $R > R_T$ τότε απαιτείται η λήψη μέτρων τέτοιων που να μειώνουν τον κίνδυνο (R1 έως R4) κάτω από το ανεκτό επίπεδο κινδύνου [13].

3.2.1 Συνιστώσες κινδύνου σε κτίριο

Προκειμένου να εκτιμηθεί ο κίνδυνος σε ένα κτίριο, ορίζονται επιμέρους συνιστώσες κινδύνου [13]:

Εξαιτίας κεραυνών στο κτίριο

R_A : Συνιστώσα κινδύνου σχετιζόμενη με τραυματισμό σε ζώντες οργανισμούς από βηματικές τάσεις και τάσεις επαφής σε ζώνες έως και 3m έξω από το κτίριο. Απώλεια τύπου L1 και στην περίπτωση κτιρίων σταυλισμού ζώων απώλεια τύπου L4.

R_B : Συνιστώσα σχετιζόμενη με φυσική καταστροφή που προκαλείται από επικίνδυνο σπινθήρα μέσα στο κτίριο προκαλώντας φωτιά ή έκρηξη. Όλοι οι τύποι απωλειών δύνανται να εμφανιστούν.

R_C : Συνιστώσα σχετιζόμενη με καταστροφή εσωτερικών συστημάτων λόγω του LEMP. Στην περίπτωση αυτή εμφανίζεται απώλεια τύπου L2 και L4 και στην περίπτωση κτιρίων με κίνδυνο έκρηξης και νοσοκομείων ή άλλων κτιρίων όπου καταστροφή των εσωτερικών συστημάτων συνεπάγεται κίνδυνο της ανθρώπινης ζωής έχουμε απώλεια τύπου L1.

Εξαιτίας κεραυνών κοντά στο κτίριο

R_M : Συνιστώσα σχετιζόμενη με καταστροφή των εσωτερικών συστημάτων εξαιτίας του LEMP. Εμφανίζεται απώλεια L2 και L4 και στην περίπτωση κτιρίων με κίνδυνο έκρηξης και νοσοκομείων ή άλλων κτιρίων όπου καταστροφή των εσωτερικών συστημάτων συνεπάγεται κίνδυνο της ανθρώπινης ζωής έχουμε απώλεια τύπου L1.

Εξαιτίας κεραυνών στην υπηρεσία που συνδέεται στο κτίριο

R_U : Συνιστώσα κινδύνου σχετιζόμενη με τραυματισμό σε ζώντες οργανισμούς από τάσεις επαφής μέσα στο κτίριο, εξαιτίας του κεραυνικού ρεύματος που εισέρχεται στο κτίριο δια μέσου της γραμμής. Τύπος απώλειας L1 και στη στην περίπτωση κτηνοτροφικών μονάδων έχουμε απώλειες τύπου L4.

R_V : Συνιστώσα κινδύνου σχετιζόμενη με φυσική καταστροφή (φωτιά ή έκρηξη από σπινθήρες μεταξύ εξωτερικών κατασκευών και μεταλλικών μερών γενικά τοποθετημένων στο σημείο εισόδου της γραμμής στο κτίριο) εξαιτίας του εισερχόμενου, λόγω της γραμμής, ρεύματος. Όλοι οι τύποι απωλειών μπορεί να εμφανιστούν.

R_W : Συνιστώσα σχετιζόμενη με καταστροφή των εσωτερικών συστημάτων εξαιτίας επαγόμενων υπερτάσεων σε εισερχόμενες γραμμές. Απώλεια L2 και L4 εμφανίζονται και τύπος L1 στην περίπτωση κτιρίων με κίνδυνο έκρηξης και νοσοκομείων ή άλλων κτιρίων όπου καταστροφή των εσωτερικών συστημάτων συνεπάγεται με κίνδυνο της ανθρώπινης ζωής.

Εξαιτίας κεραυνών κοντά στην υπηρεσία που συνδέεται στο κτίριο

R_Z : Συνιστώσα σχετιζόμενη με καταστροφή των εσωτερικών συστημάτων εξαιτίας επαγόμενων υπερτάσεων σε εισερχόμενες γραμμές. Απώλεια L2 και L4 εμφανίζονται και τύπος L1 στην περίπτωση κτιρίων με κίνδυνο έκρηξης και νοσοκομείων ή άλλων κτιρίων όπου καταστροφή των εσωτερικών συστημάτων συνεπάγεται με κίνδυνο της ανθρώπινης ζωής.

3.2.2 Σύνθεση και ομαδοποίηση συνιστωσών κινδύνου

Ανάλογα με τον κίνδυνο που προκαλούν σε ένα κτίριο οι συνιστώσες κινδύνου συντίθενται ανάλογα [13]:

- Κίνδυνος για την ανθρώπινη ζωή R1

$$R1 = R_A + R_B + R_C^1 + R_M^1 + R_U + R_V + R_W^1 + R_Z^1 \text{ (Εξίσωση 3.1)}$$

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

- Κίνδυνος για απώλεια υπηρεσίας στο κοινό R2

$$R2 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z \text{ (Εξίσωση 3.2)}$$

- Κίνδυνος για απώλεια πολιτιστικής κληρονομιάς R3

$$R3 = R_B + R_V \text{ (Εξίσωση 3.3)}$$

- Κίνδυνος για απώλεια οικονομικής αξίας R4

$$R_4 = R_A^2 + R_B + R_C + R_M + R_U^2 + R_V + R_W + R_Z \text{ (Εξίσωση 3.4)}$$

2. Μόνο στην περίπτωση κτιρίων όπου ζώα μπορεί να χαθούν.

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

$$R = R_D + R_I \text{ (Εξίσωση 3.5)}$$

Όπου, R_D κίνδυνος λόγω κεραυνοπληξίας στο κτίριο (πηγή S1) : $R_D = R_A + R_B + R_C$ (Εξίσωση 3.6) και R_I κίνδυνος λόγω όλων των υπολοίπων πηγών (S2, S3, S4) : $R_I = R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z$ (Εξίσωση 3.7).

Ανάλογα με τον τύπο των βλαβών έχουμε :

$$R = R_S + R_F + R_O \text{ (Εξίσωση 3.8)}$$

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

$$R_S = R_A + R_U \text{ (Εξίσωση 3.9)}$$

R_F ο κίνδυνος λόγω φυσικής καταστροφής (D2), που ορίζεται

$$R_F = R_B + R_V \text{ (Εξίσωση 3.10)}$$

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

$$R_O = R_C + R_M + R_W + R_Z \text{ (Εξίσωση 3.11)}$$

3.3 Βασική εξίσωση Υπολογισμού κινδύνου

Προκειμένου στη συνέχεια να υπολογίσουμε αριθμητικά κάθε συνιστώσα κινδύνου θα χρησιμοποιήσουμε την παρακάτω βασική εξίσωση προσαρμοσμένη σε κάθε περίπτωση με παράγοντες αυξομείωσης ανάλογα με τη συνιστώσα

$$R_x = N_x \times P_x \times L_x \text{ (Εξίσωση 3.12),}$$

Όπου, N_x , είναι ο αριθμός των επικίνδυνων γεγονότων ανά έτος και εξαρτάται από την κεραυνική πυκνότητα N_g , τα φυσικά χαρακτηριστικά του προς προστασία κτιρίου, τα παρακείμενα κτίρια και το έδαφος.

P_x , είναι η πιθανότητα της βλάβης σε ένα κτίριο και επηρεάζεται γενικά από τα χαρακτηριστικά του κτιρίου και τα λαμβανόμενα μέτρα.

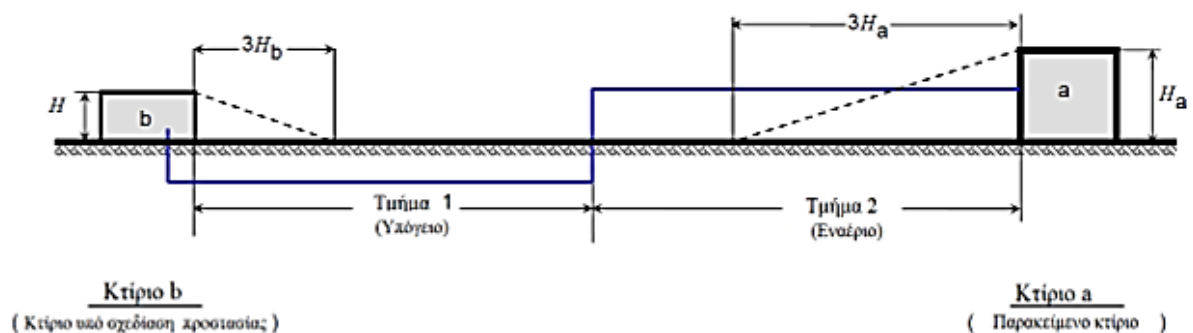
L_x , είναι η συνεπακόλουθη απώλεια και επηρεάζεται γενικά από την προοριζόμενη χρήση του κτιρίου την παρουσία ανθρώπων, την αξία των αγαθών που υπόκεινται στην βλάβη και τα λαμβανόμενα μέτρα [13].

Πηγή της Βλάβης Βλάβη	S1 Κεραυνός στο κτίριο	S2 Κεραυνός κοντά στο κτίριο	S3 Κεραυνός σε μία εισερχόμενη γραμμή	S4 Κεραυνός κοντά σε μια εισερχόμενη γραμμή	Κίνδυνος σύμφωνα με τον τύπο της Βλάβης
D1 Τραυματισμός ζωντανών οργανισμών	$R_A = N_D \times P_A \times r_A \times L_1$		$R_U = (N_L + N_{Da}) \times P_U \times r_U \times L_1$		$R_S = R_A + R_U$
D2 Φυσική Καταστροφή	$R_B = N_D \times P_B \times r_B \times h_Z \times r_f \times L_f$		$R_V = (N_L + N_{Da}) \times P_V \times r_B \times h_Z \times r_f \times L_f$		$R_F = R_B + R_V$
D3 Καταστροφή Ηλεκτρικών και Ηλεκτρονικών Συστημάτων	$R_C = N_D \times P_C \times L_0$	$R_M = N_M \times P_M \times L_0$	$R_W = (N_L + N_{Da}) \times P_W \times L_0$	$R_Z = (N_I - N_L) \times P_Z \times L_0$	$R_D = R_C + R_M + R_W + R_Z$
Κίνδυνος σύμφωνα με την πηγή της Βλάβης	$R_D = R_A + R_B + R_C$		$R_I = R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z$		

Πίνακας 3.3 : Συνιστώσες κινδύνου στην εκτίμηση κινδύνου κτιρίου [3].

3.3.1 Καθορισμός των παραγόντων μέσω ετήσιου αριθμού επικίνδυνων περιστατικών N

- Αριθμός επικίνδυνων περιστατικών N_D για ένα κτίριο ('b' κατάληξη μιας γραμμής)



Σχήμα 3.1 : Κτίρια στα άκρα μιας γραμμής υπηρεσίας: στο 'b' άκρο βρίσκεται το προς προστασία κτίριο (κτίριο b) και στο 'a' άκρο ένα παρακείμενο κτίριο (κτίριο a) [3].

Για ένα κτίριο το οποίο είναι υπό εκτίμηση κινδύνου και βρίσκεται στο άκρο 'b' μιας γραμμής όπως αυτό ορίζεται στο σχήμα 3.1 παρατηρείται ετησίως μέσος ετήσιος αριθμός επικίνδυνων περιστατικών [13]:

$$N_D = N_g \times A_{d/b} \times C_{d/b} \times 10^{-6} \text{ (Εξίσωση 3.13)}$$

Όπου : N_g είναι η κεραυνική πυκνότητα ($1/\text{Km}^2/\text{έτος}$)

$A_{d/b}$ είναι η επιφάνεια συλλογής του απομονωμένου κτιρίου (m^2)

$C_{d/b}$ είναι ο συντελεστής τοποθεσίας (Πίνακας 3.5)

- Κεραυνική πυκνότητα

Η κεραυνική πυκνότητα N_g είναι ο αριθμός των κεραυνών στο έδαφος ανά Km^2 και ανά έτος. Η τιμή αυτή διατίθεται από τον Γεωχωρικό Χάρτη Κεραυνοπτώσεων "Καλλικράτης".

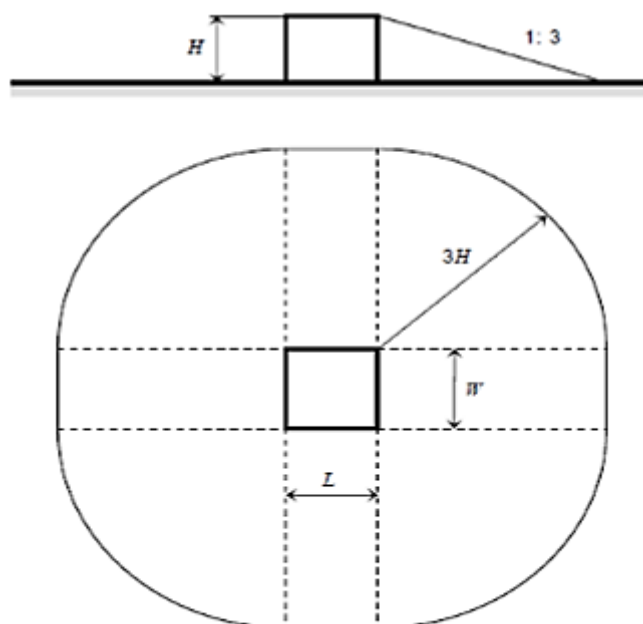
- Επιφάνεια συλλογής κτιρίου $A_{d/b}$

Για απομονωμένα κτίρια σε επίπεδο έδαφος η επιφάνεια συλλογής είναι η περιοχή που ορίζεται από την τομή μεταξύ του εδάφους και μιας γραμμής με κλίση $\frac{1}{3}$ η οποία περνά τα ανώτερα μέρη της κατασκευής και περιστρέφεται γύρω από αυτήν. Καθορισμός της επιφάνειας πραγματοποιείται γραφικά ή από υπολογισμό.

- Τετραγωνικό κτίριο

Για ένα απομονωμένο κτίριο με μήκος L , πλάτος W και ύψος H σε επίπεδο έδαφος η επιφάνεια συλλογής είναι :

$$A_d = L \times W + 6 \times H \times (L + W) + 9 \times \pi \times H^2 \text{ (Εξίσωση 3.14)}$$



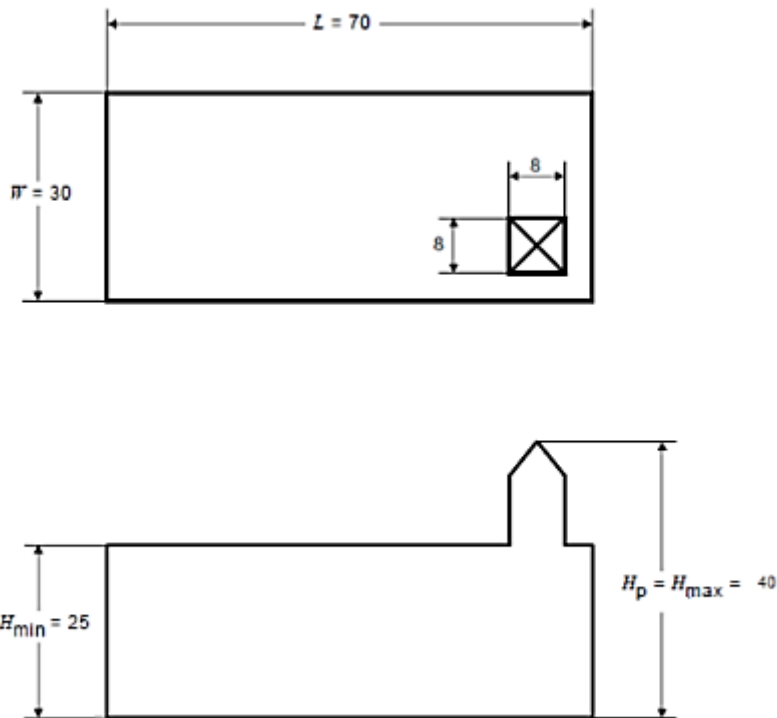
Σχήμα 3.2 : Επιφάνεια συλλογής απομονωμένου τετραγωνικού κτιρίου [3].

- Κτίρια σύνθετου σχήματος

Εάν η κατασκευή έχει μια σύνθετη μορφή όπως οι ανυψωμένες προεξοχές στεγών (σχήμα 3.3), μια γραφική μέθοδος πρέπει να χρησιμοποιηθεί για να προσδιορίσει την συλλέτρια επιφάνεια. Επειδή οι διαφορές μπορούν να είναι πάρα πολύ μεγάλες, αναλόγως με το εάν χρησιμοποιείται η μέγιστη επιφάνεια A_{dmax} ή η ελάχιστη επιφάνεια A_{dmin} , μια αποδεκτή κατά προσέγγιση εκτίμηση της περιοχής συλλογής είναι το μέγιστο μεταξύ της ελάχιστης επιφάνειας A_{dmin} και της περιοχής συλλογής που αποδίδεται στην ανυψωμένη προεξοχή A_d' . Η περιοχή συλλογής που αποδίδεται στην προεξοχή μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο :

$$A_d' = 9 \pi \times (H_p)^2 \text{ (Εξίσωση 3.15),}$$

Όπου H_p είναι το ύψος της προεξοχής.



Σχήμα 3.3 : Υπολογισμός επιφάνειας συλλογής σε σύνθετα κτίρια [3].

Οι διαφορετικές τιμές της επιφάνειας συλλογής σύμφωνα με τις παραπάνω μεθόδους δίδονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 3.4)

	Γραφική μέθοδος	Κτίριο (max διαστάσεις)	Κτίριο (min διαστάσεις)	Προεξοχή
Διαστάσεις κτιρίου (m) L,W,H		70×30×40	70×30×25	40
m ²	A _{dr} = 47700	A _{dmax} = 71316	A _{dmin} = 34770	A' _d = 45240

Πίνακας 3.4 Διαφορετικές τιμές επιφάνειας συλλογής σε σύνθετα κτίρια [13].

- Συντελεστής τοποθεσίας C_{d/b}

Τοποθεσία	C _d
Κατασκευή που περιβάλλεται από υψηλότερες κατασκευές ή δέντρα	0,25
Κατασκευή που περιβάλλεται από άλλες κατασκευές ή δέντρα με το ίδιο ύψος ή μικρότερο	0,5
Απομονωμένη κατασκευή χωρίς άλλες κατασκευές στην περιοχή	1
Απομονωμένη κατασκευή στην κορυφή λόφου	2

Πίνακας 3.5 Συντελεστής τοποθεσίας C_d [3].

- Αριθμός επικίνδυνων περιστατικών N_{Da} για ένα κτίριο ('α' κατάληξη μιας γραμμής)

Ο μέσος ετήσιος αριθμός των επικίνδυνων περιστατικών εξαιτίας κεραυνών σε ένα κτίριο στο 'α' άκρο μιας γραμμής (σχήμα 3.1), υπολογίζεται από το γινόμενο :

$$N_{Da} = N_g \times A_{d/a} \times C_{d/a} \times C_t \times 10^{-6} \text{ (Εξίσωση 3.16),}$$

Όπου, N_g είναι η κεραυνική πυκνότητα (1/Km²/έτος)

$A_{d/a}$ είναι η επιφάνεια συλλογής του απομονωμένου παρακείμενου κτιρίου(m²)

$C_{d/a}$ είναι ο συντελεστής τοποθεσίας του παρακείμενου κτιρίου

C_t είναι ο συντελεστής διόρθωσης από την παρουσίας Μ/Σ ΜΤ/ΧΤ στην γραμμή η οποία συνδέεται στο κτίριο και βρίσκεται μεταξύ του σημείου κεραυνοπληξίας και του κτιρίου (Πίνακας 3.6) [13].

Μετασχηματιστής	C_t
Γραμμή υπηρεσίας με μετασχηματιστή δύο περιελίξεων	0,2
Μόνο γραμμή υπηρεσίας	1

Πίνακας 3.6 : Συντελεστής διόρθωσης από την παρουσία Μ/Σ C_t [3].

- Αριθμός επικίνδυνων περιστατικών N_M εξαιτίας κεραυνών κοντά στο κτίριο

Ο μέσος ετήσιος αριθμός των επικίνδυνων περιστατικών εξαιτίας κεραυνών κοντά στο κτίριο, υπολογίζεται από το γινόμενο [13]:

$$N_M = N_g \times (A_m - A_{d/b} C_{d/b}) \times 10^{-6} \text{ (Εξίσωση 3.17)}$$

Όπου, N_g είναι η κεραυνική πυκνότητα (1/Km²/έτος)

A_m είναι η επιφάνεια συλλογής κεραυνών που συμβαίνουν σε μια περιοχή κοντά στο κτίριο και η οποία εκτείνεται σε μια ζώνη με απόσταση 250 m από την περίμετρο του κτιρίου (m²)

Εάν $N_M < 0$, τότε θεωρούμε $N_M = 0$.

3.3.2 Υπολογισμός της πιθανότητας βλάβης P_x σε κτίριο

- Πιθανότητα P_A κεραυνού σε κτίριο να προκαλέσει τραυματισμό

Η πιθανότητα P_A αφορά τραυματισμό λόγω βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής, και δίνεται στον παρακάτω πίνακα συναρτήσεως των μέτρων προστασίας [13] (πίνακας 3.7).

Μέτρο Προστασίας	P_A
Χωρίς μέτρα προστασίας	1
Ηλεκτρική μόνωση των εκτεθειμένων αγωγών καθόδου (π.χ. 3mm πάχους πολυαιθυλένιο)	10^{-2}
Αποτελεσματική ισοδυναμική γείωση του εδάφους	10^{-2}
Προειδοποιητικές Πινακίδες	10^{-1}

Πίνακας 3.7 : Τιμές της πιθανότητας P_A συναρτήσει των μέτρων προστασίας [3].

- Πιθανότητα P_B κεραυνού σε κτίριο να προκαλέσει φυσική καταστροφή
 Η τιμή της πιθανότητας δίδεται συναρτήσει του επιπέδου προστασίας (LPL), σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα (πίνακας 3.8)

Χαρακτηριστικά του κτιρίου	Κλάση του ΣΑΠ	P_B
Κτίριο χωρίς ΣΑΠ	-	1
Κτίριο με ΣΑΠ	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Κτίριο με συλλεκτήριο σύστημα που αντιστοιχεί σε κλάση I και συνεχές μεταλλικό ή οπλισμένου σκυροδέματος σκελετό που λειτουργεί ως φυσικό σύστημα αγωγών καθόδου		0,01
Κτίριο με μεταλλική οροφή ή συλλεκτήριο σύστημα, πιθανώς και με φυσικά στοιχεία της οροφής, με πλήρη προστασία έναντι απευθείας κεραυνοπληξίας των στοιχείων της οροφής και συνεχές μεταλλικό ή οπλισμένου σκυροδέματος σκελετό που λειτουργεί ως φυσικό σύστημα αγωγών καθόδου		0,001

Πίνακας 3.8 : Τιμές της πιθανότητας P_B συναρτήσει του LPL [3].

- Πιθανότητα P_C κεραυνού σε κτίριο να προκαλέσει καταστροφή των εσωτερικών συστημάτων
 Η πιθανότητα P_C εξαρτάται από την εφαρμοσμένη προστασία απαγωγής υπερτάσεων με ανάλογες συσκευές SPD (SurgeProtectiveDevice) σε συντονισμό. Είναι δηλαδή :
 $P_C = P_{SPD}$ (Εξίσωση 3.18)

Οι τιμές της P_{SPD} , συναρτήσει του LPL για το οποίο είναι σχεδιασμένες οι συσκευές SPD δίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3.9)

Κλάση Προστασίας	P_{SPD}
-	1
IV-III	0,03
II	0,02
I	0,01
Σημείωση α)	0,005-0,001

Πίνακας 3.9 : Τιμές της πιθανότητας P_{SPD} συναρτήσει του LPL [3].

Για να είναι αποτελεσματική η προστασία των SPD, θα πρέπει οι συσκευές να βρίσκονται σε σωστή διάταξη [13].

- Πιθανότητα P_M κεραυνού κοντά στο κτίριο να προκαλέσει καταστροφή των εσωτερικών συστημάτων

Η πιθανότητα P_M , εξαρτάται από τα εφαρμοσμένα μέτρα αντικεραυνικής προστασίας, σύμφωνα με τον παράγοντα K_{MS} (περιγράφεται παρακάτω). Όταν δεν λαμβάνονται μέτρα με SPD σε συντεταγμένη σειρά, η τιμή της πιθανότητας P_{MS} συναρτήσει του παράγοντα K_{MS} , ο οποίος είναι παράγοντας που σχετίζεται με τα λαμβανόμενα μέτρα, δίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3.10). Στην περίπτωση που λαμβάνονται μέτρα με SPD σε συντονισμό, η τιμή της P_M είναι η μικρότερη μεταξύ P_{SPD} (πίνακας 3.9) και P_{MS} [13].

K_{MS}	P_{MS}
$\geq 0,4$	1
0,15	0,9
0,07	0,5
0,035	0,1
0,021	0,01
0,016	0,005
0,015	0,003
0,014	0,001
$\leq 0,013$	0,000 1

Πίνακας 3.10 : Τιμές της πιθανότητας P_{MS} συναρτήσει του παράγοντα K_{MS} [3].

Για εσωτερικά συστήματα με εξοπλισμό του οποίου η τάση μόνωσης δεν συμφωνεί με τα σχετικά στάνταρ που αφορούν τον τύπο τους, τότε $P_{MS} = 1$.

Οι τιμές του συντελεστή K_{MS} εξάγονται από το γινόμενο :

$$K_{MS} = K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3} \times K_{S4} \text{ (Εξίσωση 3.19)}$$

Όπου, K_{S1} : λαμβάνει υπόψη την αποτελεσματικότητα της προστασίας του κτιρίου, το ΣΑΠ ή άλλες θωρακίσεις στα όρια μεταξύ στα όρια της ζώνης αντικεραυνικής προστασίας (LightningProtectionZone) LPZ 0/1.

K_{S2} : λαμβάνει υπόψη την αποτελεσματικότητα της προστασίας των θωρακίσεων των εσωτερικών συστημάτων του κτιρίου στα όρια των LPZ X/Y ($X > 0$, $Y > 1$).

K_{S3} : λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά της εσωτερικής καλωδίωσης (Πίνακας 3.11)

K_{S4} : λαμβάνει υπόψη την αντίσταση μόνωσης του υπό προστασία συστήματος

Μέσα σε μία LPZ, σε απόσταση ασφαλείας από τα όρια της δικτυωτής προστασίας με πλάτος πλέγματος w , οι συντελεστές K_{S1} και K_{S2} για ΣΑΠ ή χωρική τύπου δικτύου θωρακίσεις αξιολογούνται ως :

$$K_{S1} = K_{S2} = 0,12 \times w \text{ (Εξίσωση 3.20)}$$

Όπου w (m), είναι το πλάτος του τύπου δικτύου χωρικής θωράκισης, ή τύπου πλέγματος αγωγών καθόδου ή η απόσταση μεταξύ του κτιρίου και των μεταλλικών κολόνων, ή η απόσταση μεταξύ των κολόνων οπλισμένου σκυροδέματος που λειτουργούν ως φυσικό ΣΑΠ. Για συνεχής μεταλλικές θωρακίσεις με πάχος από 0,1 έως 0,5 mm, τότε $K_{S1} = K_{S2} = 10^{-4}$ έως 10^{-5} .

Όπου βρόχοι επαγωγής υπάρχουν κοντά στα όρια της προστασίας μιας LPZ μικρότερες από την απόσταση ασφαλείας οι τιμές K_{S1} και K_{S2} είναι μεγαλύτερες. Για παράδειγμα οι τιμές διπλασιάζονται όπου η απόσταση από την θωράκιση κυμαίνεται μεταξύ 0,1 και 0,2 w. Μέγιστη τιμή για $K_{S1} = 1$.

Τύπος Εσωτερικής Καλωδίωσης	K_{S3}
Αθωράκιση καλωδίωση-καμία προφύλαξη αλοφυγής βρόχων ¹⁾	1
Αθωράκιση καλωδίωση - προφύλαξη αλοφυγής μεγάλων βρόχων ²⁾	0,2
Αθωράκιση καλωδίωση - προφύλαξη αλοφυγής βρόχων ³⁾	0,02
Θωρακισμένη καλωδίωση με αντίσταση ⁴⁾ $5 < R_S \leq 20 \Omega/\text{km}$	0,001
Θωρακισμένη καλωδίωση με αντίσταση ⁴⁾ $1 < R_S \leq 5 \Omega/\text{km}$	0,0002
Θωρακισμένη καλωδίωση με αντίσταση ⁴⁾ $R_S \leq 1 \Omega/\text{km}$	0,0001

¹⁾ Αγωγοί βρόχων με διαφορετική δρομολόγηση σε μεγάλα κτίρια (επιφάνεια βρόχων της τάξης 50m^2)
²⁾ Αγωγοί βρόχων με δρομολόγηση στο ίδιο κανάλι ή αγωγοί βρόχων σε διαφορετική δρομολόγηση σε μικρά κτίρια (επιφάνεια βρόχων της τάξης 10m^2)
³⁾ Αγωγοί βρόχων με δρομολόγηση στο ίδιο καλώδιο (επιφάνεια βρόχων της τάξης $0,5\text{m}^2$)
⁴⁾ Καλώδιο με θωράκιση αντίστασης $R_S(\Omega/\text{km})$ συνδεδεμένο στον ισοδυναμικό ζυγό και στα δύο άκρα και εξοπλισμό συνδεδεμένο στον ίδιο ζυγό

Πίνακας 3.11 : Τιμές του συντελεστή K_{S3} συναρτήσει της εσωτερικής καλωδίωσης [3].

Για καλωδίωση μέσα σε συνεχή ξειωμένα στα άκρα τους (ισοδυναμικά) μεταλλικά κανάλια, οι τιμές του συντελεστή K_{S3} υποδεκαπλασιάζεται.

Ο συντελεστής K_{S4} αποτιμάται ως :

$$K_{S4} = 1,5/U_w \text{ (Εξίσωση 3.21)}$$

Όπου, U_w είναι η τάξη της αντίστασης μόνωσης σε κρουστική τάση του υπό προστασία συστήματος σε kV. Σε περίπτωση ύπαρξης διαφόρων τάξεων μόνωσης λαμβάνεται η μικρότερη [13].

3.3.3 Υπολογισμός της απώλειας L_x σε ένα κτίριο

Η απώλεια L_x αναφέρεται στην μέση σχετική ποσότητα κάθε ενός τύπου βλάβης το οποίο μπορεί να προκληθεί από κεραυνό. Η τιμή της εξαρτάται από τον αριθμό των ατόμων που βρίσκονται μέσα σε επικίνδυνη περιοχή, τον τύπο και την σημασία της υπηρεσίας και τον αριθμό των αγαθών που βλάπτονται. Διαφέρει ανάλογα με τον τύπο της απώλειας και με τον τύπο βλάβης που προκαλεί την απώλεια. Έτσι διακρίνουμε [13]:

L_t : την απώλεια εξαιτίας του τραυματισμού από τάσεις επαφής και βηματικές

L_f : την απώλεια λόγω φυσικής καταστροφής

L_o : την απώλεια λόγω καταστροφής των εσωτερικών συστημάτων

➤ Απώλεια της ανθρώπινης ζωής

Η τιμή των L_t , L_f , L_o καθορίζονται σε όρους του σχετικού αριθμού θυμάτων από την ακόλουθη σχέση :

$$L_x = (n_p / n_t) \times (t_p / 8\ 760) \text{ (Εξίσωση 3.22)}$$

όπου, n_p / n_t , ο λόγος του αριθμού των πιθανών θυμάτων / τον λόγο του συνολικού αριθμού ατόμων στο κτίριο.

t_p : ο χρόνος σε ώρες ανά χρόνο για τον οποίο άτομα είναι παρόντα στην επικίνδυνη περιοχή, εξωτερικά του κτιρίου (μόνο L_t) ή εσωτερικά του κτιρίου (L_t , L_f και L_o).

Όταν δεν μπορούμε να καθορίσουμε τις παραπάνω τιμές, χρησιμοποιούμε τις τυπικές τιμές του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3.12) [13].

Τύπος Κτιρίου	L_t
Όλοι οι τύποι – (άτομα μέσα στο κτίριο)	10^{-4}
Όλοι οι τύποι – (άτομα εκτός του κτιρίου)	10^{-2}
Τύπος Κτιρίου	L_f
Νοσοκομεία, Ξενοδοχεία, δημόσια κτίρια	10^{-1}
Βιομηχανικά, εμπορικά, σχολεία	5×10^{-2}
Δημόσιοι χώροι διασκέδασης, εκκλησίες, μουσεία	2×10^{-2}
Άλλα	10^{-2}
Τύπος Κτιρίου	L_o
Κτίριο με κίνδυνο έκρηξης	10^{-1}
Νοσοκομεία	10^{-3}

Πίνακας 3.12 : Τυπικές μέσες τιμές των οντοτήτων απωλειών L_t , L_f , L_o [3].

➤ Καθορισμός των συντελεστών απώλειας

Η απώλεια της ανθρώπινης ζωής σε ένα κτίριο, επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά του κτιρίου. Αυτά λαμβάνονται υπόψη ως συντελεστές αύξησης και μείωσης της συνεπακόλουθης απώλειας της εξίσωσης 3.12.

Αυτοί είναι :

- r_a ο συντελεστής μείωσης της απώλειας της ανθρώπινης ζωής που εξαρτάται από τον τύπο του χώματος (Πίνακας 3.13)
- r_u ο συντελεστής μείωσης της απώλειας της ανθρώπινης ζωής που εξαρτάται από τον τύπο του πατώματος (Πίνακας 3.13)

Τύπος Επιφάνειας	Αντίσταση επαφής $k\Omega^1$	r_a και r_u
Αγροτικός, τσιμέντο	≤ 1	10^{-2}
Μάρμαρο, πλακάκι	1-10	10^{-3}
Χαλί, μοκέτα, χαλί	10-100	10^{-4}
Ασφαλτος, ξύλο, μουσαμάς	≥ 100	10^{-5}

¹⁾ Τιμές μετρηθείσες μεταξύ ενός 400 cm^2 ηλεκτροδίου πιεσμένο με δύναμη 500N στο σημείο άπειρης γής

Πίνακας 3.13 : Τιμές των συντελεστών μείωσης της απώλειας r_a και r_u συναρτήσει του τύπου του εδάφους και του πατώματος [3].

- r_p ο συντελεστής μείωσης της απώλειας εξαιτίας της φυσικής καταστροφής εξαρτάται από τις προφυλάξεις έναντι των συνεπειών φωτιάς (Πίνακας 3.14).

Εξοπλισμός πυροπροστασίας	r_p
Καθόλου εξοπλισμός	1
Ένα από τα ακόλουθα: πυροσβεστήρες, χειροκίνητοι μόνιμα τοποθετημένοι πυροσβεστήρες, εγκαταστάσεις συναγερμού πυροπροστασίας, πυροσβεστικές κάνουλες, πυρίμαχα διαχωριστικά, προστατευμένες οδοί διαφυγής	0,5
Ένα από τα ακόλουθα: αυτόματοι μόνιμα τοποθετημένοι πυροσβεστήρες, αυτόματες εγκαταστάσεις συναγερμού πυροπροστασίας ¹⁾	0,2

¹⁾ Μόνο εάν προστατεύονται από υπερτάσεις και άλλες καταστροφές και πυροσβέστες μπορούν να αφιχθούν σε λιγότερο από 10 λεπτά.

Πίνακας 3.14 : Τιμές των συντελεστών μείωσης της απώλειας r_a και r_u συναρτήσει του τύπου του εδάφους και του πατώματος [3].

Εάν λαμβάνονται περισσότερες της μιας προφυλάξεις, η τιμή της r_p λαμβάνεται η μικρότερη αντίστοιχη από αυτές. Σε κτίρια με κίνδυνο έκρηξης $r_p = 1$ [13].

- r_f ο συντελεστής μείωσης της απώλειας εξαιτίας της φυσικής καταστροφής εξαρτάται από τον κίνδυνο φωτιάς στο κτίριο (Πίνακας 3.15)

Κίνδυνος Φωτιάς	r_f
Έκρηξη	1
Υψηλός	10^{-1}
Κοινός	10^{-2}
Χαμηλός	10^{-3}
Όχι	0

Πίνακας 3.15 : Τιμές του συντελεστή μείωσης της απώλειας r_f συναρτήσει του κινδύνου φωτιάς [3].

Σημείωση : Σε περίπτωση κτιρίων με κίνδυνο έκρηξης και κτιρίων που περιέχουν εκρηκτικά απαιτείται μια πιο λεπτομερής αξιολόγηση του συντελεστή r_f . Κτίρια με Υψηλό κίνδυνο φωτιάς θεωρούνται κτίρια κατασκευασμένα από εύφλεκτα υλικά, κτίσματα με οροφές από εύφλεκτα υλικά, ή κτίρια με ειδικό φορτίο φωτιάς μεγαλύτερο από 800 MJ/m^2 . Με χαμηλό κίνδυνο κτίρια που περιέχουν σπάνια εύφλεκτα υλικά και έχουν ειδικό φορτίο φωτιάς μικρότερο από MJ/m^2 . Ειδικό φορτίο φωτιάς είναι ο λόγος της ενέργειας του συνολικού ποσού των εύφλεκτων υλικών προς τη συνολική έκταση του κτιρίου.

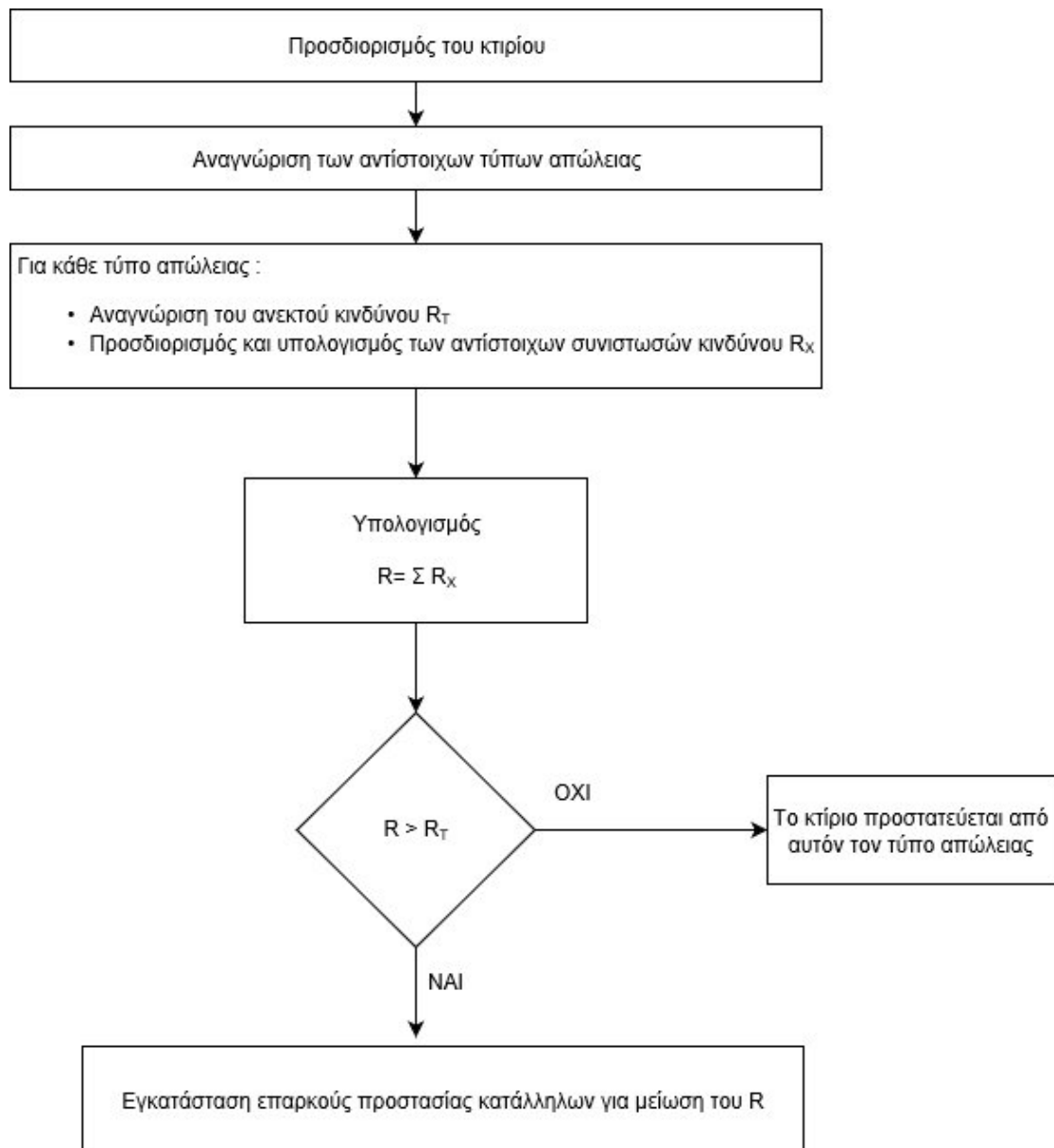
- h_z ο συντελεστής αύξησης της απώλειας εξαιτίας της φυσικής καταστροφής όταν ένας ειδικός κίνδυνος εμφανίζεται (Πίνακας 3.16)

Είδος ειδικού κινδύνου	h_z
Κανένας κίνδυνος	1
Χαμηλό επίπεδο πανικού (π.χ. ένα διάδροφο κτίριο και αριθμός ατόμων πάνω από 100)	2
Μέσο επίπεδο πανικού (π.χ. κτίρια σχεδιασμένα για πολιτιστικά ή αθλητικά γεγονότα με παρόντα άτομα από 100 έως 1000)	5
Δυσκολία εκκένωσης (π.χ. κτίρια με ακινητοποιημένα άτομα, νοσοκομεία)	5
Υψηλό επίπεδο πανικού (π.χ. κτίρια σχεδιασμένα για πολιτιστικά ή αθλητικά γεγονότα με παρόντα άτομα πάνω από 1000)	10
Κίνδυνος για τα περιβάλλοντα κτίρια ή το περιβάλλον	20
Μόλυνση για τα περιβάλλοντα κτίρια ή το περιβάλλον	50

Πίνακας 3.16 : Τιμές του συντελεστή αύξησης της απώλειας h_z συναρτήσει ειδικών κινδύνων [3].

3.4 Διαδικασία για την αξιολόγηση της ανάγκης προστασίας

Για την αξιολόγηση της αντικεραυνικής προστασίας λαμβάνονται υπόψη οι τρεις βασικές συνιστώσες κινδύνου (R_1 , R_2 , R_3) ανάλογα με τη φύση του κτιρίου, ενώ η συνιστώσα R_4 λαμβάνεται υπόψη για την οικονομική αποτίμηση της προστασίας. Στη συνέχεια ακολουθούν τα παρακάτω βήματα τα οποία τα βλέπουμε σχηματικά (σχήμα 3.4) [13].



Σχήμα 3.4 : Διαδικασία αξιολόγησης ανάγκης προστασίας.

Στη συνέχεια λαμβάνονται προστατευτικά μέτρα προκειμένου να μειωθεί ο κίνδυνος σύμφωνα με τον τύπο της βλάβης. Τα μέτρα αυτά λαμβάνονται σύμφωνα με τα επόμενα κεφάλαια και αφορούν σε προστασία

- Για την ανθρώπινη ζωή και τη φυσική καταστροφή
- Για την καταστροφή των εσωτερικών συστημάτων

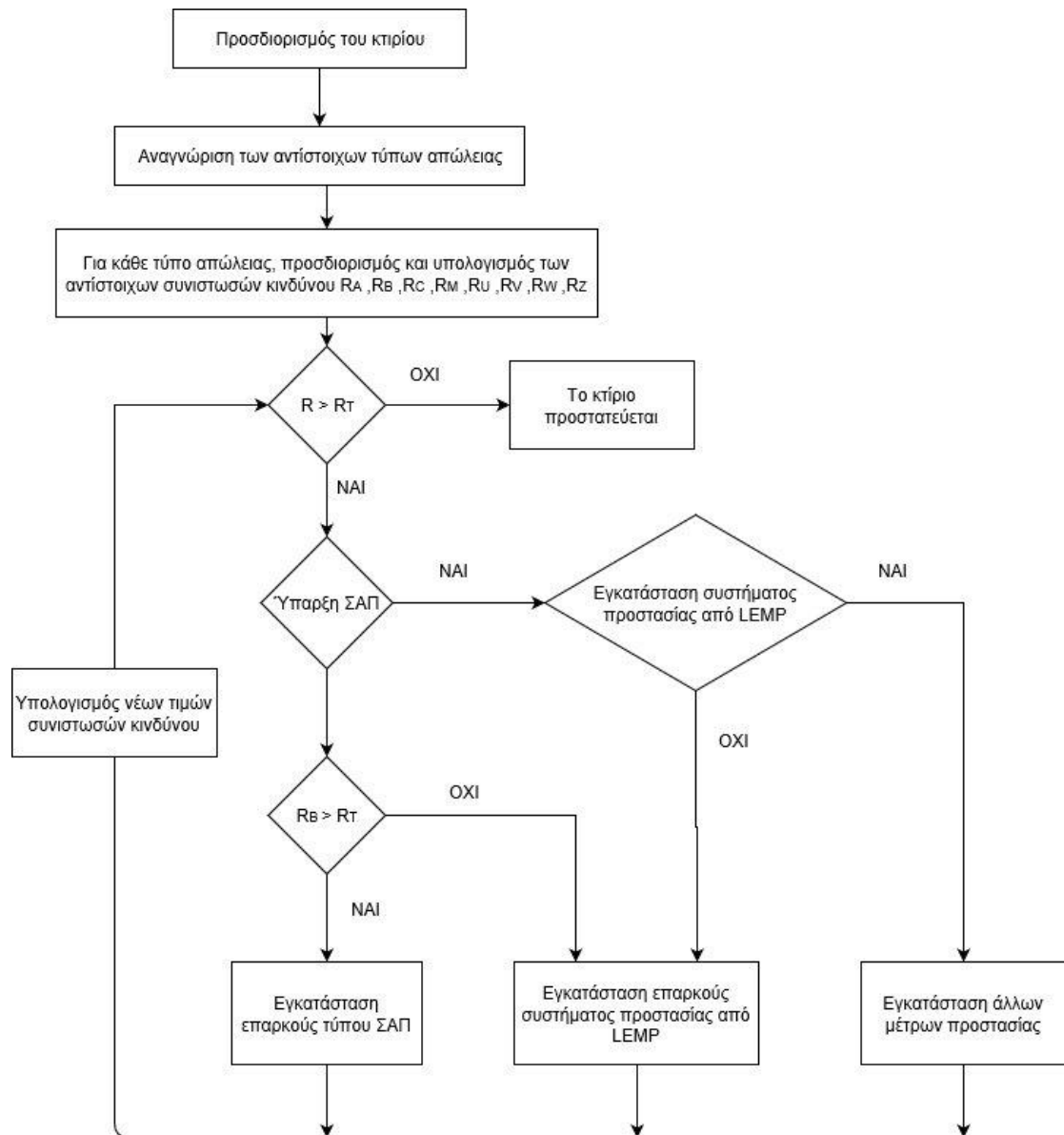
Λαμβάνονται δηλαδή μέτρα για την εξωτερική και εσωτερική αντικεραυνική προστασία καθώς και για την προστασία των συστημάτων από τον ηλεκτρομαγνητικό παλμό (LEMP), δηλαδή τις εισερχόμενες και επαγόμενες υπερτάσεις και την απευθείας εκπεμπόμενη ακτινοβολία [13].

Τα μέτρα λαμβάνονται ανάλογα με τον εκτιμώμενο κίνδυνο και προκειμένου να μειώσουν κατά κύριο λόγο τις συνιστώσες που φέρουν την κύρια ευθύνη του κινδύνου. Παρακάτω καταδεικνύεται η επίδραση των εξωτερικών παραγόντων στις συνιστώσες κινδύνου (Πίνακας 3.17). Επιπλέον για την βέλτιστη λύση που μπορεί να προκύπτει θα πρέπει να διενεργείται τεχνικοοικονομικός έλεγχος της λύσης με γνώμονα το γεγονός ότι η κατάλληλη λύση θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν συμφέρουσα [13].

Χαρακτηριστικά κτιρίου και των εσωτερικών συστημάτων	R _A	R _B	R _C	R _M	R _U	R _V	R _W	R _Z
Προστατευτικά μέτρα								
Επιφάνεια συλλογής	X	X	X	X	X	X	X	X
Ειδική αντίσταση εδάφους	X							
Ειδική αντίσταση πατώματος					X			
Μέτρα φυσικού περιορισμού, προειδοποιητικές πινακίδες, ισοδυναμική γείωση εδάφους	X				X			
ΣΑΠ	X ¹⁾	X	X ²⁾	X ²⁾	X ³⁾	X ³⁾		
Συντεταγμένη προστασία με SPD			X	X			X	X
Χωρική δικτυωτή θωράκιση			X	X				
Θωράκιση εξωτερικών καλωδιώσεων					X	X	X	X
Θωράκιση εσωτερικών καλωδιώσεων			X	X				
Πρόβλεψη δρομολόγησης καλωδίωσης			X	X				
Δίκτυο Ισοδυναμικής Διασύνδεσης			X					
Πυροπροστασία		X				X		
Πυρανίχνευση		X				X		
Ειδικοί κίνδυνοι		X				X		
Αντίσταση Μόνωσης			X	X	X	X	X	X
¹⁾ Στην περίπτωση «φυσικών» ή ΣΑΠ σύμφωνα με τα πρότυπα με αποστάσεις αγωγών καθόδου <10m, όπου μέτρα φυσικής απομόνωσης λαμβάνονται, ο κίνδυνος που προκαλείται από βηματικές ή τάσεις επαφής και αφορά την ανθρώπινη ζωή είναι αμελητέος ²⁾ Μόνο για εξωτερικά ΣΑΠ τύπου πλέγματος ³⁾ Λόγω της ισοδυναμικής σύνδεσης								

Πίνακας 3.17 : Παράγοντες που επηρεάζουν τις συνιστώσες κινδύνου σε ένα κτίριο [3].

Τέλος προκειμένου να εγκαταστήσουμε την αντικεραυνική προστασία εξωτερική ή εσωτερική θα ακολουθήσουμε τα παρακάτω βήματα :



Σχήμα 3.5 : Διαδικασία για την επιλογή προστατευτικών μέτρων στα κτίρια.

3.5 Πρότυπα αντικεραυνικής προστασίας

Οι γενικές απαιτήσεις ασφαλείας που πρέπει να πληροί κάθε τεχνική κατασκευή καθορίζονται από τις σχετικές προβλέψεις της νομοθεσίας. Στην ειδική περίπτωση της προστασίας από τους κεραυνούς, το γενικό νομοθετικό πλαίσιο καθορίζεται από το άρθρο 31 του Κτιριοδομικού Κανονισμού [ΥΑ 3046 ΦΕΚ Δ59/1989]. Σύμφωνα με αυτό, σε κάθε κτίριο ή κατασκευή, που βρίσκεται σε έξαρση σε σχέση με το περιβάλλοντα χώρο, επιβάλλεται η εγκατάσταση αλεξικεραύνου. Η εγκατάσταση αυτή γίνεται σύμφωνα με τον Κανονισμό Εγκατάστασης Αλεξικεραύνου [2].

Ωστόσο, τέτοιος Κανονισμός, δεν έχει ακόμη εκδοθεί στη χώρα μας. Σύμφωνα με την ίδια νομοθεσία, μέχρι να εκδοθεί ο Κανονισμός αυτός, η εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας σχεδιάζεται και κατασκευάζεται σύμφωνα με τους κανόνες της τέχνης και της τεχνικής, με την εφαρμογή προτύπων ή τεχνικών προδιαγραφών που εκδίδονται από ευρωπαϊκούς ή διεθνείς οργανισμούς τυποποίησης, με προτεραιότητα αυτά που έχουν υιοθετηθεί στην Ελλάδα από αρμόδιους φορείς [συνήθως τον Ελληνικό Οργανισμό Τυποποίησης, ΕΛΟΤ] [2].

Εκτός, όμως από την παραπάνω γενική νομοθετική απαίτηση, υπάρχουν διάσπαρτες στην ελληνική τεχνική νομοθεσία και ειδικές απαιτήσεις αντικεραυνικής προστασίας για πληθώρα ειδικών κτιρίων ή/και εγκαταστάσεων, όπως ενδεικτικά αναφέρονται στον Πίνακα που ακολουθεί [2]:

Χρήση/Χαρακτηριστικά Κτιρίου/Εγκατάστασης	Νομοθετική Διάταξη
Κατασκηνώσεις	ΦΕΚ Β2712/2016
Ορειβατικά καταφύγια	ΦΕΚ Β2570/2015
Κεραίες	ΦΕΚ Β453/2011
Δεξαμενές Καυσίμων Αερίων	ΦΕΚ Β1221/2009
Κέντρα Φροντίδας Ασθενών	ΦΕΚ Β2277/2008
Εγκαταστάσεις Αποθήκευσης Υγρών Καυσίμων	ΠΔ44/1987
Βιομηχανικές Βιοτεχνικές Εγκαταστάσεις	ΦΕΚ Β283/1978

Εργοστάσια Εκρηκτικών Υλών	ΝΔ35/1968
Διυλιστήρια Βιομηχανίες	ΦΕΚ Β846/1990
Ιδιωτικές κλινικές	ΠΔ517/1991
Πρατήρια Αερίων και Υγρών Καυσίμων	ΦΕΚ Β674/2014

Πίνακας 3.18 : Ειδικές απαιτήσεις αντικεραυνικής προστασίας στην ελληνική νομοθεσία [2].

Προφανώς, ανεξάρτητα από την υποχρεωτική ύπαρξη αντικεραυνικής προστασίας, στις περιπτώσεις που καθορίζεται από την παραπάνω αναφερόμενη νομοθεσία, υπάρχει πάντοτε η δυνατότητα ο ιδιοκτήτης ενός κτιρίου ή μια τεχνικής κατασκευής να απαιτήσει την κατασκευή αντικεραυνικής προστασίας στις περιπτώσεις που η νομοθεσία δεν το επιβάλλει. Σε αυτήν, την δεύτερη περίπτωση, ο ιδιοκτήτης θα ορίσει τις προδιαγραφές [εθνικές, διεθνείς, κατά παραγγελία ή συνδυασμός των προηγούμενων], που θα πρέπει να ακολουθήσει ο μελετητής και ο κατασκευαστής του αλεξικεραύνου [2].

Στις περιπτώσεις υποχρεωτικής εφαρμογής αντικεραυνικής προστασίας, οι ελάχιστες απαιτήσεις ασφάλειας πρέπει να πληρούν τις προβλέψεις της παραπάνω νομοθεσίας. Ο ιδιοκτήτης του κτιρίου ή της εγκατάστασης μπορεί πάντοτε να επιβάλλει αυστηρότερες προδιαγραφές, όχι όμως ελαστικότερες ή να καταργήσει εντελώς την αντικεραυνική προστασία εφόσον απαιτείται [2].

Έχοντας υπόψη τα προηγούμενα, οι βασικές προδιαγραφές που αφορούν την αντικεραυνική προστασία στη χώρα μας, με εφαρμογή στις περιπτώσεις που υποχρεώνει σχετικά η νομοθεσία, είναι οι αναφερόμενες στον πίνακα που ακολουθεί:

ΠΡΟΤΥΠΟ	ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
ΕΛΟΤ EN 62305.01	Αντικεραυνική προστασία. Γενικές αρχές	Αντικατέστησε τα πρότυπα ΕΛΟΤ 1197 και 1412
ΕΛΟΤ EN 62305.02	Αντικεραυνική προστασία. Διαχείριση διακινδύνευσης	Αντικατέστησε τα πρότυπα ΕΛΟΤ 1197 και 1412

ΕΛΟΤ EN 62305.03	Αντικεραυνική προστασία. Φυσική βλάβη σε δομές και κίνδυνος για τη ζωή	Αντικατέστησε τα πρότυπα ΕΛΟΤ 1197 και 1412
ΕΛΟΤ EN 62305.04	Αντικεραυνική προστασία. Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα εντός δομών	
ΕΛΟΤ EN 62561	Σειρά προτύπων σχετικών με εξαρτήματα, αγωγούς και ηλεκτρόδια αντικεραυνικής προστασίας	
ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-04-50-ΧΧ	Εθνική Τεχνική Προδιαγραφή για συστήματα αντικεραυνικής προστασίας. Εκδόθηκε το 2009	Υποχρεωτική εφαρμογή στα δημόσια έργα.

Πίνακας 3.19 : Πρότυπα αντικεραυνικής προστασίας [2].

Τα παραπάνω αναφερόμενα Πρότυπα λειτουργούν ως εξής: Η ανάγκη εγκατάστασης συστήματος αντικεραυνικής προστασίας και η επιλογή των κατάλληλων σχεδιαστικών λύσεων γίνεται βάσει του Προτύπου ΕΛΟΤ EN 62305.02 και των υπόλοιπων προτύπων της σειράς. Η κατασκευή του συστήματος γίνεται σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 62305 με τη χρήση υλικών που πρέπει να ικανοποιούν τα πρότυπα ΕΛΟΤ EN 62561. Στις περιπτώσεις μελέτης ή και κατασκευής δημόσιων έργων, εφαρμόζονται υποχρεωτικά και οι Τεχνικές Προδιαγραφές ΕΛΟΤ ΤΠ 1501 [2].

4 Συστήματα αντικεραυνικής προστασίας κτιρίων και εγκαταστάσεων

4.1 Γενική περιγραφή συστημάτων αντικεραυνικής προστασίας

Αφού έχει ολοκληρωθεί η εκτίμηση κινδύνου σε μια κτιριακή εγκατάσταση, έχει προκύψει η ανάγκη προστασίας του καθώς και το επίπεδο της προστασίας αυτής. Στη συνέχεια ο εγκαταστάτης θα πρέπει να προβεί στον σχεδιασμό της αντικεραυνικής προστασίας ακολουθώντας μια σειρά από κανόνες που πηγάζουν από διάφορους παράγοντες. Οι κυριότεροι από αυτούς αφορούν την φάση τοποθέτησης της προστασίας (πριν ή μετά την κατασκευή του κτιρίου), την ίδια την κατασκευή του κτιρίου, τη χρήση του κτιρίου, την σύσταση του εδάφους κ.α.. Έτσι θα επιτύχει την εφαρμογή της κλάσης προστασίας σε ότι αφορά αφενός την ίδια την προστασία της κατασκευής από απευθείας κεραυνοπληξία και αφετέρου την αποφυγή προς αυτή εισερχομένων υπερτάσεων και την ανάπτυξη επαγωγικών τάσεων και άλλων ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων [3].

Το τμήμα εκείνο της σχεδίασης που αφορά την προστασία της κατασκευής από φυσική καταστροφή και ταυτόχρονα τον περιορισμό του κινδύνου έναντι της ανθρώπινης ζωής από κεραυνοπληξία στο κτίριο αποτελεί την εξωτερική αντικεραυνική προστασία μιας εγκατάστασης. Το εξωτερικό Σύστημα Αντικεραυνικής προστασίας (ΣΑΠ) έχει ως σκοπό, να συλλαμβάνει το άμεσο κεραυνικό πλήγμα, και στην συνέχεια, να διοχετεύει το ρεύμα του κεραυνού από το σημείο του πλήγματος και να το διαχέει στο έδαφος χωρίς να προκαλεί θερμικές και μηχανικές ζημιές στην κατασκευή που χρήζει προστασία και επικίνδυνες υπερτάσεις για τους ανθρώπους. Για τον λόγο ακριβώς της προστασίας της ανθρώπινης ζωής χρησιμοποιούνται κάποιες βασικές έννοιες και εφαρμογές της απόστασης ασφαλείας και της εσωτερικής ισοδυναμικής σύνδεσης των μεταλλικών εγκαταστάσεων [3].

Οι κίνδυνοι στα κτίρια οφείλονται κυρίως στην πρόκληση πυρκαγιών αλλά και σε εκρηκτικά φαινόμενα που οφείλονται σε απότομη ατμοποίηση ποσοτήτων νερού. Τέτοιο κίνδυνο διατρέχουν οι στέγες, οι εξώστες και οι κεφαλές των καπνοδόχων. Σκοπός της εγκατάστασης ενός αλεξικέραυνου είναι η προστασία κτιρίων ή υπαίθριων εγκαταστάσεων, κινητών ή ακινήτων, των ενοίκων και του περιεχομένου αυτών [3].

Η θεμελιώδης αρχή για προστασία της ζωής και των κατασκευών έναντι κεραυνοπληξίας είναι να επιτρέπει στην κεραυνική εκκένωση να εισέρχεται στη γη χωρίς να προκαλεί απώλεια ή καταστροφή. Θα πρέπει να επιτευχθεί ένα μονοπάτι χαμηλής σύνθετης αντίστασης, το οποίο θα πρέπει να προτιμηθεί από το κεραυνικό ρεύμα σε σχέση με τα υψηλότερης αντίστασης μονοπάτια που προσφέρονται από τα υλικά κατασκευής του κτιρίου, όπως το ξύλο, το σκυρόδεμα, η πέτρα [3].

Ένα σύστημα αντικεραυνικής προστασίας αποκτά την κλάση του από το αντίστοιχο επίπεδο προστασίας το οποίο καλείται να καλύψει. Έτσι διακρίνουμε σε πρώτη φάση ΣΑΠ I - II -III-IV κλάσης [3].

Η βασική διάκριση του ΣΑΠ αφορά την τοποθέτηση του επί της κατασκευής :

- Απομονωμένο από το κτίριο.
- Μη απομονωμένο από το κτίριο.

Στις πλείστες των περιπτώσεων το εξωτερικό ΣΑΠ, μπορεί να είναι σε επαφή με την κατασκευή που χρήζει προστασίας. Όταν όμως, οι θερμικές επιπτώσεις στο σημείο του πλήγματος ή στους αγωγούς που διαρρέονται από κεραυνικό ρεύμα, μπορούν να προκαλέσουν ζημιά στην κατασκευή που χρήζει προστασίας ή στο περιεχόμενο της, τότε, συνίσταται να υπάρχει απόσταση μεταξύ των αγωγών του ΣΑΠ, και εύφλεκτων επιφανειών, εγκατάσταση δηλαδή απομονωμένου ΣΑΠ [3].

Απομονωμένο ΣΑΠ ορίζεται ως το σύστημα του οποίου τόσο η συλλεκτήρια εγκατάσταση όσο και το σύστημα αγωγών καθόδου είναι τοποθετημένα έτσι ώστε η οδός ροής του κεραυνικού ρεύματος να μην έρχεται σε επαφή με την κατασκευή που χρήζει προστασίας. Τυπικές περιπτώσεις κατασκευών που χρήζουν εγκατάσταση απομονωμένου ΣΑΠ είναι κατασκευές με εύφλεκτη επικάλυψη, εύφλεκτους τοίχους και με κίνδυνο έκρηξης ή πυρκαγιάς. Εγκατάσταση απομονωμένου ΣΑΠ συνίσταται και σε περιπτώσεις όπου ενδέχεται να πραγματοποιηθούν μελλοντικά αλλαγές, είτε στην δομή ή το περιεχόμενο της υπό προστασία κατασκευής, είτε αλλαγή στην χρήση της. Η εγκατάσταση του παρουσιάζει δυσκολίες λόγω της αναγκαιότητας ύπαρξης χώρου. Έτσι η εγκατάσταση τέτοιων ΣΑΠ, περιορίζεται σε κατασκευές με σημαντικούς κινδύνους από πιθανό κεραυνικό πλήγμα, όπως αποθήκες καυσίμων και πυρομαχικών [3].

Τα κύρια μέρη του εξωτερικού ΣΑΠ είναι :

- Το συλλεκτήριο σύστημα
- Το σύστημα αγωγών καθόδου
- Το σύστημα γείωσης

Επίσης μέρος του εξωτερικού ΣΑΠ μπορεί να αποτελούν και φυσικά μεταλλικά στοιχεία του κτιρίου τα οποία εφόσον πληρούν καθορισμένα κριτήρια μπορούν να περιληφθούν στα παραπάνω υποσυστήματα. Η χρήση τέτοιων στοιχείων βελτιώνει την αποτελεσματικότητα του εξωτερικού ΣΑΠ [3].

Ως προς τη φυσική υλοποίηση του συλλεκτήριου συστήματος που αφορά στην υποδοχή του κεραυνικού ρεύματος και κρίνεται, επομένως, ως επιτυχής εάν μπορεί να δώσει “έγκαιρα” συνδετικό οχετό, πριν από οποιοδήποτε σημείο της υπό προστασία κατασκευής, ώστε ο κεραυνός να πλήξει αυτήν (τη διάταξη) και εν συνέχεια το κεραυνικό ρεύμα να οδηγηθεί με ασφάλεια προς τη γη. Ο υπολογισμός

και η κατασκευή των εγκαταστάσεων αλεξικέραυνων πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω απαιτήσεις [3]:

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

Η εξωτερική αντικεραυνική προστασία των εγκαταστάσεων δεν εξασφαλίζει αυτόκλητα από τον κεραυνικό κίνδυνο και πλήγμα. Συνέχεια και συμπλήρωση της εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας αποτελεί η εσωτερική αντικεραυνική προστασία. Ο σχεδιασμός της αφορά αφενός στον σχεδιασμό εντός της κατασκευής μιας σειράς ζωνών προστασίας (LPZ – Lightning Protection Zones) και αφετέρου σε μια σειρά από προστατευτικά μέτρα που ως σκοπό έχουν της αποτροπή δημιουργίας επικίνδυνων σπινθήρων μεταξύ των αγωγών του εξωτερικού ΣΑΠ και των φυσικών μερών αυτού, τα οποία υποδέχονται το κεραυνικό ρεύμα και το διοχετεύουν προς τη γη και των εσωτερικών μεταλλικών μερών και συστημάτων της κτιριακής εγκατάστασης [3].

Για την επιτυχή αποτροπή του παραπάνω φαινομένου θα πρέπει είτε να σχεδιάζεται το εξωτερικό ΣΑΠ κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μειώνεται το ρεύμα που διαρρέει τους αγωγούς καθόδου είτε να εξασφαλίζεται ισοδυναμική σύνδεση ή απομόνωση των μερών υπό μεγάλη διαφορά δυναμικού λόγω κεραυνικού ρεύματος. Για τον λόγο αυτό θα γίνει λόγος και εφαρμογή του περιοριστή κρουστικής (SPD), το οποίο είναι μια συσκευή που έχει σχεδιαστεί για να περιορίζει την κρουστική υπέρταση μεταξύ δύο τμημάτων όπως σπινθηριστής (SG – Spark Gap) και βαρίστορ μετάλλου - οξειδίου (MOV – Metal Oxide Varistor) [3].

Το κεραυνικό ρεύμα από την άλλη ως πηγή κινδύνου είναι ένα φαινόμενο υψηλής ενέργειας. Συγκρινόμενη η ενέργεια που εκλύεται από ένα κεραυνό (πολλές εκατοντάδες MJ) με την ενέργεια των ευαίσθητων εσωτερικών συστημάτων (κυρίως των ηλεκτρονικών της τάξης των mJ), γίνεται αντιληπτό ότι επιπλέον μέτρα για την προστασία αυτών των εσωτερικών συστημάτων θα πρέπει να ληφθούν. Η προστασία αυτή συνίσταται στην αποτροπή εισερχόμενων κεραυνικών υπερτάσεων μέσα σε μια κτιριακή εγκατάσταση και σε κάθε LPZ περαιτέρω, καθώς και στην θωράκιση από την ανάπτυξη επαγωγικών τάσεων και την απευθείας ηλεκτρομαγνητική επίδραση. Τα παραπάνω συνιστούν μέτρα προστασίας από τον κεραυνικό ηλεκτρομαγνητικό παλμό (LEMP – Lightning Electromagnetic Pulse) [3].

4.2 Το συλλεκτήριο σύστημα και μέθοδοι προσδιορισμού προστατευμένης περιοχής

4.2.1 Γενικά

Το συλλεκτήριο σύστημα αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό διάκρισης του τύπου του εξωτερικού ΣΑΠ και διακρίνεται ανάλογα με την υλοποίηση [3]:

- Από ακίδες (και μεμονωμένους ιστούς)
- Τεταμένα σύρματα
- Από κλωβούς συλλογής

Τα στοιχεία του συλλεκτηρίου συστήματος εγκαθίστανται κυρίως στα εκτεθειμένα ανώτερα άκρα ενός κτιρίου με σκοπό την δημιουργία μιας προστατευμένης ζώνης που περιλαμβάνει το κτίριο και τις απόμερους κατασκευές. Οι μέθοδοι που ακολουθούνται για τον προσδιορισμό της θέσης των στοιχείων του συστήματος συλλογής είναι [3]:

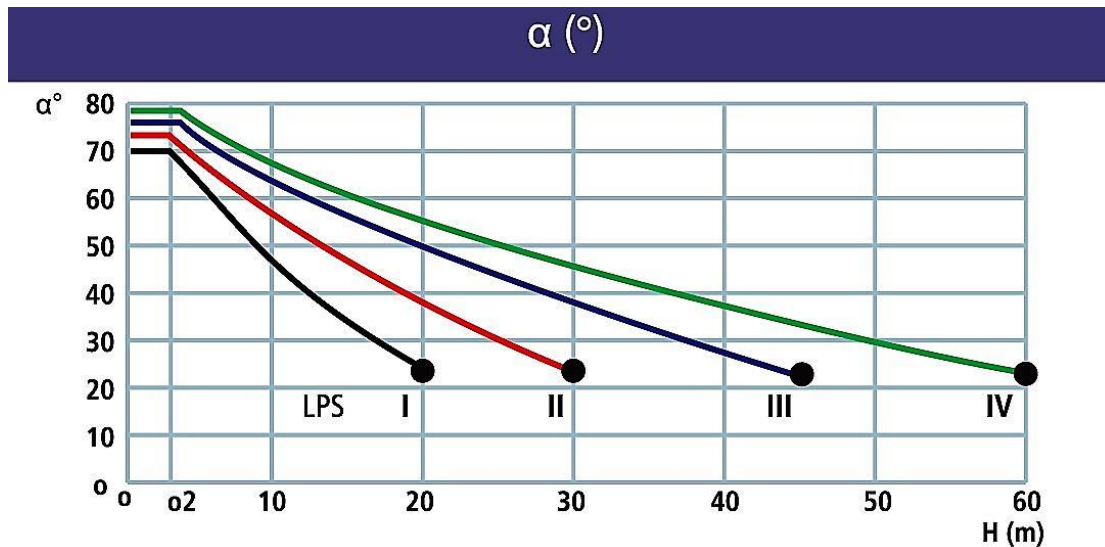
- η μέθοδος της γωνίας προστασίας
- η μέθοδος του κλωβού ανοίγματος
- η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας

Όλες οι μέθοδοι είναι ισοδύναμες. Γενικά όμως η μέθοδος της γωνίας προστασίας είναι κατάλληλη για μικρά κτίρια και κτίρια απλού σχήματος, η μέθοδος του κλωβού ανοίγματος κατάλληλη για κτίρια με επίπεδες επιφάνειες και η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας για σύνθετου σχήματος κτίρια και κατασκευές [3].

Για κάθε κλάση του ΣΑΠ δίνονται και οι απαιτήσεις σύμφωνα με τους παρακάτω πίνακες :

Κλάση ΣΑΠ	Μέθοδος Προστασίας		
	Μέθοδος κυλιόμενης σφαίρας r (m)	Ανοίγμα πλέγματος W (m)	Γωνία Προστασίας α°
I	20	5×5	Όπως στο παρακάτω σχήμα
II	30	10×10	
III	45	15×15	
IV	60	20×20	

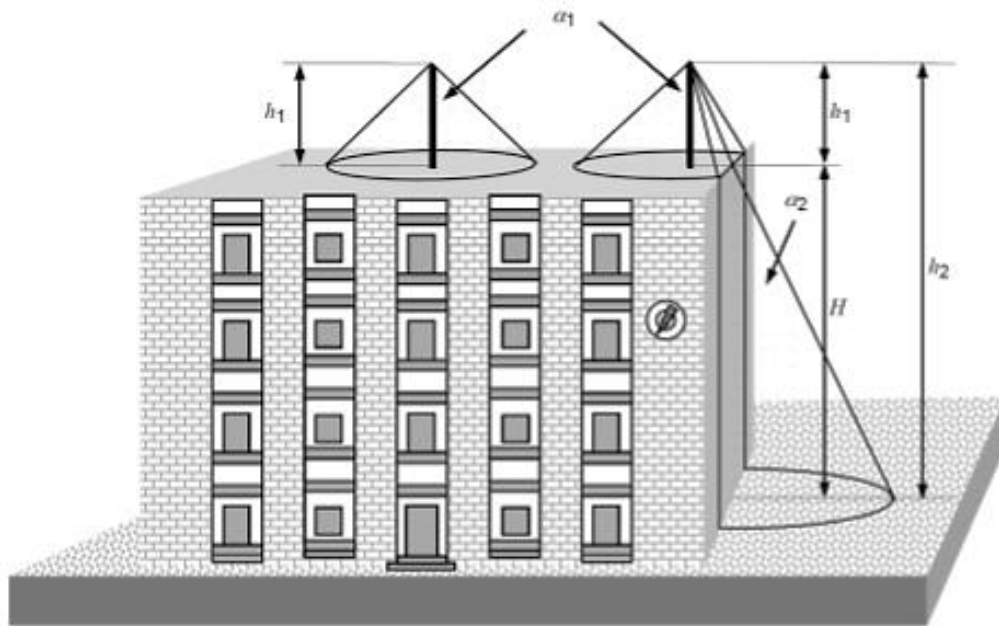
Πίνακας 4.1 : Μέγιστες τιμές της ακτίνας της κυλιόμενης σφαίρας, το άνοιγμα του πλέγματος του κλωβού και της γωνίας προστασίας αντιστοίχως με την κλάση του ΣΑΠ [3].



Σχήμα 4.1 : Γωνία προστασίας ανάλογα με την κλάση του ΣΑΠ και το ύψος της ακίδας [21].

4.2.2 Μέθοδος γωνίας προστασίας

Όλοι οι αγωγοί συλλογής, ακίδες, ιστοί και καλώδια θα πρέπει να τοποθετούνται, ώστε όλα τα σημεία της κατασκευής να περικλείονται στην περιοχή προστασίας που ορίζονται από την γωνία προστασίας. Η γωνία προστασίας δίδεται από το σχήμα 4.1, με ύψος H , το ύψος του σημείου συλλογής πάνω από το επίπεδο της προστατευόμενης επιφάνειας. Ένα μοναδικό σημείο συλλογής (περίπτωση ακίδας) δημιουργεί έναν κώνο προστασίας (σχήμα 4.2), έτσι ανάλογα με το θεωρούμενο αυτό ύψος η γωνία προστασίας μεταβάλλεται [3].



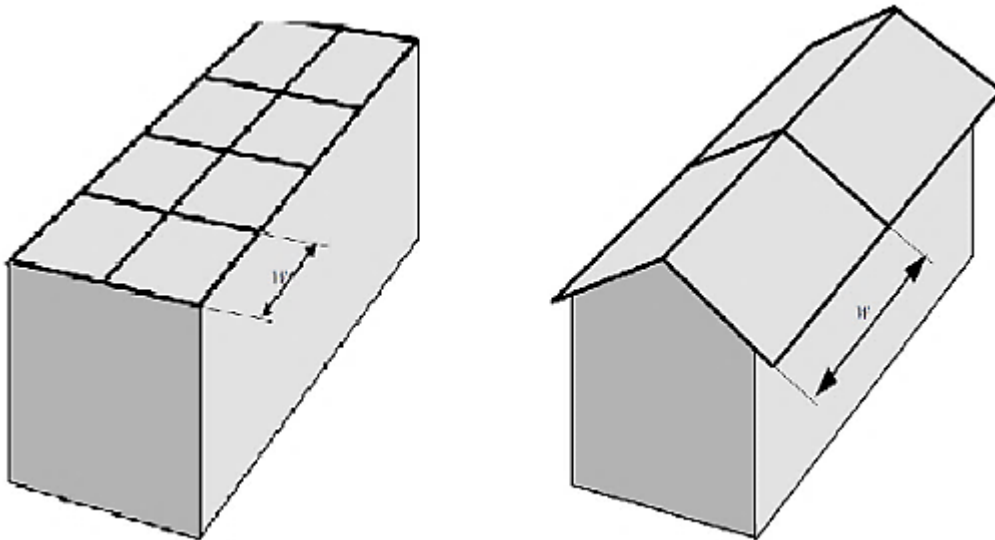
Σχήμα 4.2 : Γωνία προστασίας θεωρούμενη για διαφορετικά ύψη επιπέδων προστασίας [3].

Στην περίπτωση τεταμένων καλωδίων και κλωβών το σχήμα προστασίας μεταβάλλεται ανάλογα, με την ίδια λογική της δημιουργίας του κώνου με την επιδίωξη να παραμένει η περιβάλλουσα του κτιρίου στην προστατευόμενη περιοχή [3].

Η γωνία προστασίας έχει γεωμετρικά όρια και δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε ακίδες που ξεπερνούν το μήκος της αντίστοιχης ακτίνας της κυλιόμενης σφαίρας r [3].

4.2.3 Μέθοδος του κλωβού ανοίγματος

Ένας μεταλλικός κλωβός με ανοίγματα μικρότερης διάστασης w προστατεύει ότι βρίσκεται στο εσωτερικό του. Το w κυμαίνεται από 5m έως 20m, ανάλογα με την στάθμη προστασίας, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.1 (Σχήμα 4.3) [3].



Σχήμα 4.3 : Προστασία κτιρίου με τη μέθοδο του κλωβού ανοίγματος με μήκος w [3].

Ένα κτίριο προστατεύεται με τη μέθοδο αυτή, όταν οι αγωγοί που συνθέτουν τους κλωβούς τοποθετούνται [3]:

- στις ακμές της οροφής
- στις προεξοχές της οροφής
- στις γραμμές της τομής των κεκλιμένων επιφανειών της οροφής εφόσον η κλίση υπερβαίνει το $1/10$.

Η διάσταση του w δεν ξεπερνά τις τιμές που καθορίζονται στον Πίνακα 4.1.

- Το δίκτυο του συλλεκτήριου συστήματος πρέπει να διαμορφώνεται με τέτοιο τρόπο ώστε το ρεύμα του κερανού να συναντά τουλάχιστον δύο χωριστές μεταλλικές οδεύσεις προς το σύστημα γείωσης.
- Καμία μεταλλική εγκατάσταση δεν προεξέχει του προστατευόμενου χώρου από τα συλλεκτήρια συστήματα.
- Οι αγωγοί του συλλεκτήριου συστήματος ακολουθούν όσο το δυνατόν σύντομες και ευθείες οδεύσεις.

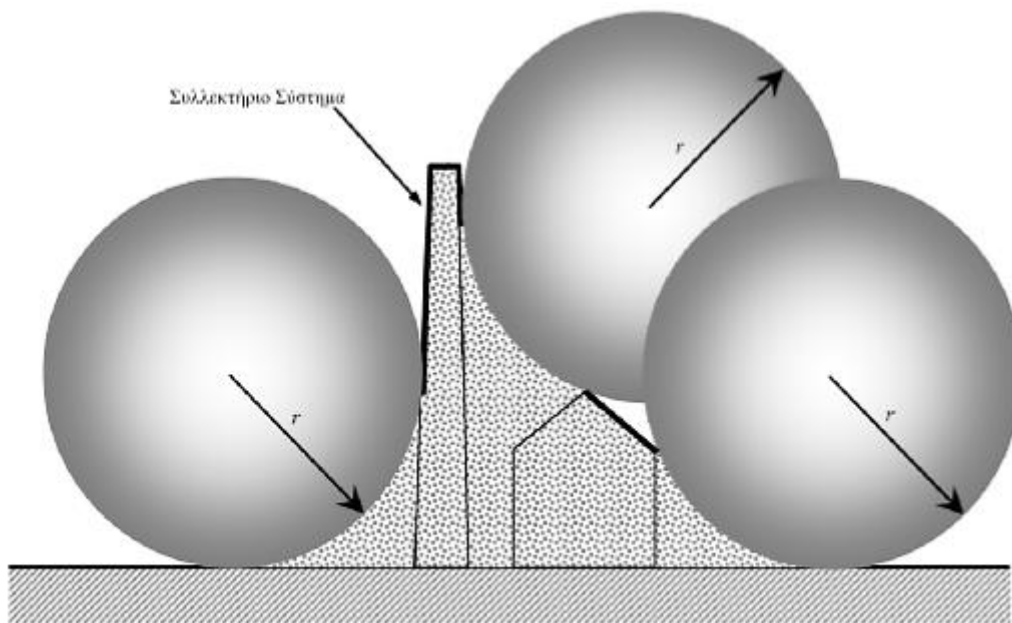
4.2.4 Μέθοδος κυλιόμενης σφαίρας

Με τη μέθοδο αυτή επιδιώκεται η κάλυψη όλων των εκτεθειμένων επιφανειών ενός κτιρίου με αγωγούς σύλληψης σε κλωβό ή ακίδες ως εξής : κατασκευάζεται μοντέλο του κτιρίου (υπό κλίμακα 1:100 έως 1:500). Με την ίδια κλίμακα κατασκευάζεται σφαίρα ακτίνας r που στην ουσία είναι η απόσταση διάσπασης, η απόσταση δηλαδή από την οποία ανερχόμενος κεραυνικός οχετός θα δημιουργηθεί πάνω στην κατασκευή προκειμένου να ενωθεί με τον κατερχόμενο (η τιμή της r λαμβάνεται από τον Πίνακα 4.1) [3].

Στο κέντρο αυτής της σφαίρας θεωρείται ότι βρίσκεται η κεφαλή κατερχόμενου οχετού που έχει πλησιάσει το κτίσμα ή το έδαφος σε απόσταση r . Η σφαίρα κυλιέται σε όλες τις δυνατές διευθύνσεις γύρω και πάνω από το προς προστασία κτίσμα [3].

Εάν κατά την κίνηση της έρχεται σε επαφή μόνο με στοιχεία της διάταξης αντικεραυνικής προστασίας, έχει καλώς. Αντιθέτως, απαιτείται συμπλήρωση της διάταξης αντικεραυνικής προστασίας, εφόσον η σφαίρα έρχεται σε επαφή με τμήματα του υπό προστασία κτίσματος. Ο χώρος ή η περιοχή του κτιρίου που δεν έρχεται σε επαφή με την κυλιόμενη σφαίρα θεωρείται προστατευμένος [3].

Η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας καλύπτει όλες τις περιπτώσεις και ως επί το πλείστον χρησιμοποιείται για την προστασία ειδικών κατασκευών (γέφυρες καλωδιωτές, πύργοι τηλεοράσεως) και συμπλήρωση του ΣΑΠ σε μία σύνθετη κατασκευή (Σχήμα 4.4) [3].



Σχήμα 4.4 : Εφαρμογή της μεθόδου της κυλιόμενης σφαίρας ακτίνας r σε κατασκευή με παρακείμενη υψηλή καμινάδα. Σε όσα σημεία η κυλιόμενη σφαίρα εφάπτεται στην εγκατάσταση τοποθετούνται συλλεκτήριοι αγωγοί. Η σφαίρα κυλίζει σε κάθε δυνατή κατεύθυνση. Το μήκος της ακτίνας r δίνεται στον πίνακα 4.1 [3].

5 Συστήματα εντοπισμού κεραυνοπτώσεων

5.1 Γενικά

Οι μέθοδοι καταγραφής κεραυνοπτώσεων βασίζονται στο γεγονός ότι κατά τη διάρκεια που μία ηλεκτρική εκκένωση έρχεται σε επαφή με το έδαφος εκπέμπεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χαμηλής συχνότητας (στην περιοχή συχνοτήτων 5 - 15 kHz) η οποία και διαδίδεται σφαιρικά από την τοποθεσία του συμβάντος με την ταχύτητα του φωτός. Το σύστημα ΖΕΥΣ εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι η κυματομορφή ("sferic") της ακτινοβολίας σε κάθε ένα συμβάν είναι μοναδική και έτσι εάν διαθέτουμε τουλάχιστον μία κεραία μπορούμε να ξεχωρίσουμε τα σήματα από δύο διαφορετικά συμβάντα. Για να καταγραφεί όμως η ακριβής τοποθεσία μίας ηλεκτρικής εκκένωσης νέφους - εδάφους τελικά χρειάζονται τέσσερις σταθμοί. Όταν ένας κεραυνός χτυπήσει το έδαφος η κυματομορφή που εκπέμπεται καταγράφεται από όλους τους επίγειους σταθμούς του συστήματος σε διαφορετικούς χρόνους. Έτσι δύο διαφορετικοί σταθμοί καταγράφουν την κυματομορφή σε χρονική στιγμή η οποία εξαρτάται από την απόστασή τους από το σημείο του συμβάντος. Τότε το κέντρο ελέγχου του συστήματος θέτει έναν σταθμό ως «σταθμό αναφοράς» και του αποδίδει μηδενική διαφορά χρόνου άφιξης του σήματος ενώ παράλληλα υπολογίζει τις αντίστοιχες διαφορές του χρόνου άφιξης των υπολοίπων σταθμών με βάση το σταθμό αναφοράς. Στη συνέχεια υπολογίζει τον κοινό γεωμετρικό τόπο των σημείων για τα οποία η διαφορά άφιξης του σήματος μεταξύ του σταθμού αναφοράς και ενός άλλου σταθμού του δικτύου είναι ο ίδιος. Τα σημεία αυτά βρίσκονται πάνω σε μία υπερβολή. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε σταθμό και τελικά το σημείο που σημειώθηκε η ηλεκτρική εκκένωση ταυτίζεται με το σημείο τομής όλων των υπερβολών. Βέβαια, η θέση του σημείου κεραυνόπτωσης, επειδή υπεισέρχονται διάφορα σφάλματα, προσδιορίζεται με κάποια ανακρίβεια, και το σημείο πτώσης του κεραυνού βρίσκεται στο εσωτερικό μιας κυκλικής περιοχής με ακτίνα περίπου 2-3 χλμ [19].

5.2 Συστήματα εντοπισμού κεραυνοπτώσεων ανά τον κόσμο

Οι ηλεκτρικές εκκενώσεις καταγράφονται από αρκετούς κρατικούς ή διεθνείς συνήθως οργανισμούς. Η συλλογή και η επεξεργασία αυτών των πληροφοριών πέρα από την επιστημονική έρευνα, είναι χρήσιμη και απαραίτητη στην αεροναυτιλία, στον σχεδιασμό αντικεραυνικής προστασίας, στις τηλεπικοινωνίες κλπ.

Στη συνέχεια της εργασίας παρουσιάζονται τα σημαντικότερα συστήματα εντοπισμού κεραυνοπτώσεων και γίνεται παράθεση των χαρακτηριστικών τους.

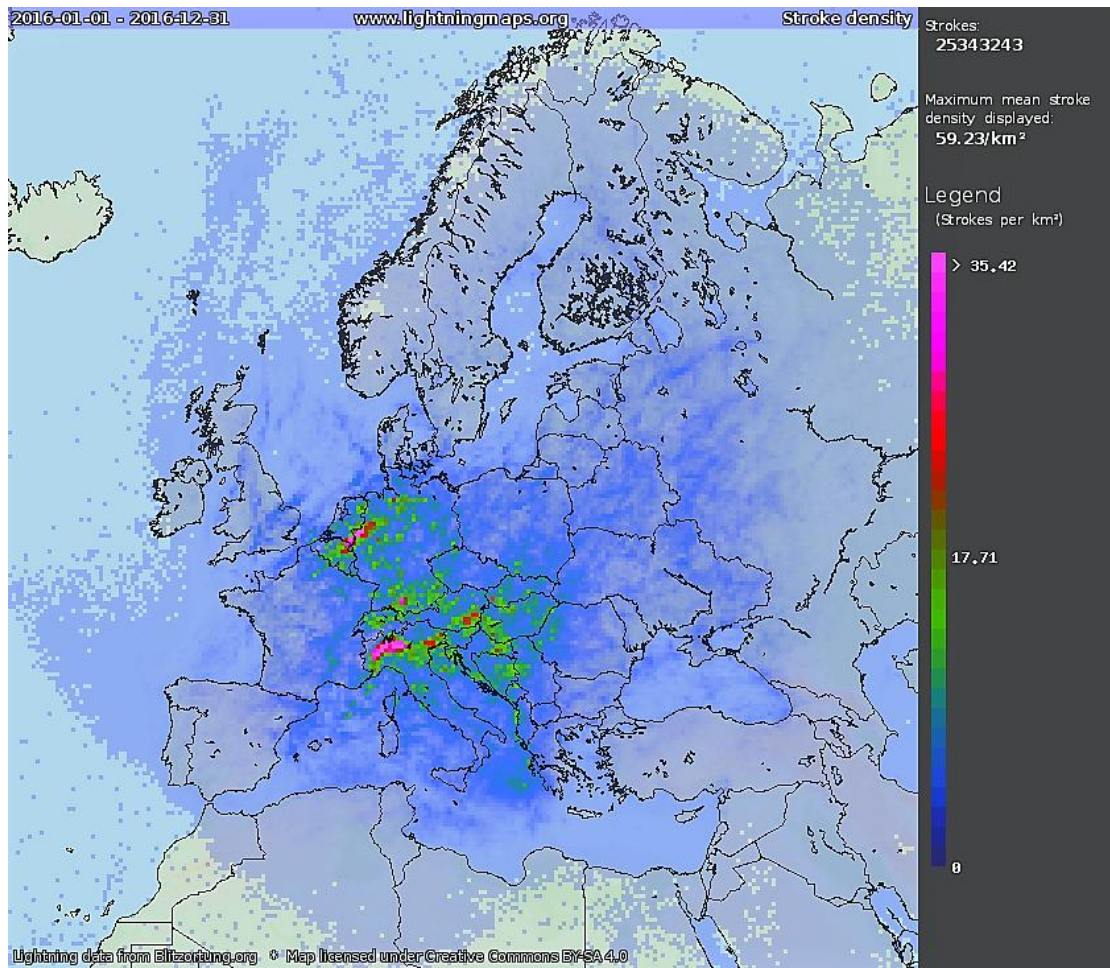
1. European Cooperation for Lightning Detection – EUCLID

Το σύστημα EUCLID είναι μια συνεργασία μεταξύ εθνικών δικτύων ανίχνευσης κεραυνοπτώσεων, με στόχο να εντοπίσουν και να ανιχνεύσουν τους κεραυνούς σε όλο σχεδόν τον Ευρωπαϊκό χώρο. Οι χώρες οι οποίες συμμετέχουν είναι η Ισπανία, η Αυστρία, το Λουξεμβούργο, το Βέλγιο, η Ολλανδία, η Γερμανία, η Ελβετία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ιρλανδία, η Τσεχία, η Πολωνία, η Ουγγαρία, η Ιταλία, η Σλοβενία, η Κροατία, η Σερβία, η Βοσνία, το Μαυροβούνιο, η Πορτογαλία, η Γαλλία, η Νορβηγία, η Σουηδία, η Φινλανδία, η Λιθουανία, η Σλοβακία και η Δανία. Αυτή τη στιγμή το πλήρες δίκτυο αποτελείται από περίπου 147 αισθητήρες σε αυτές τις 27 χώρες, συμβάλλοντας στον εντοπισμό των κεραυνών. Δεν παρέχονται δεδομένα για την Ελλάδα μέσω του συστήματος EUCLID [26].

2. Blitzortung.org

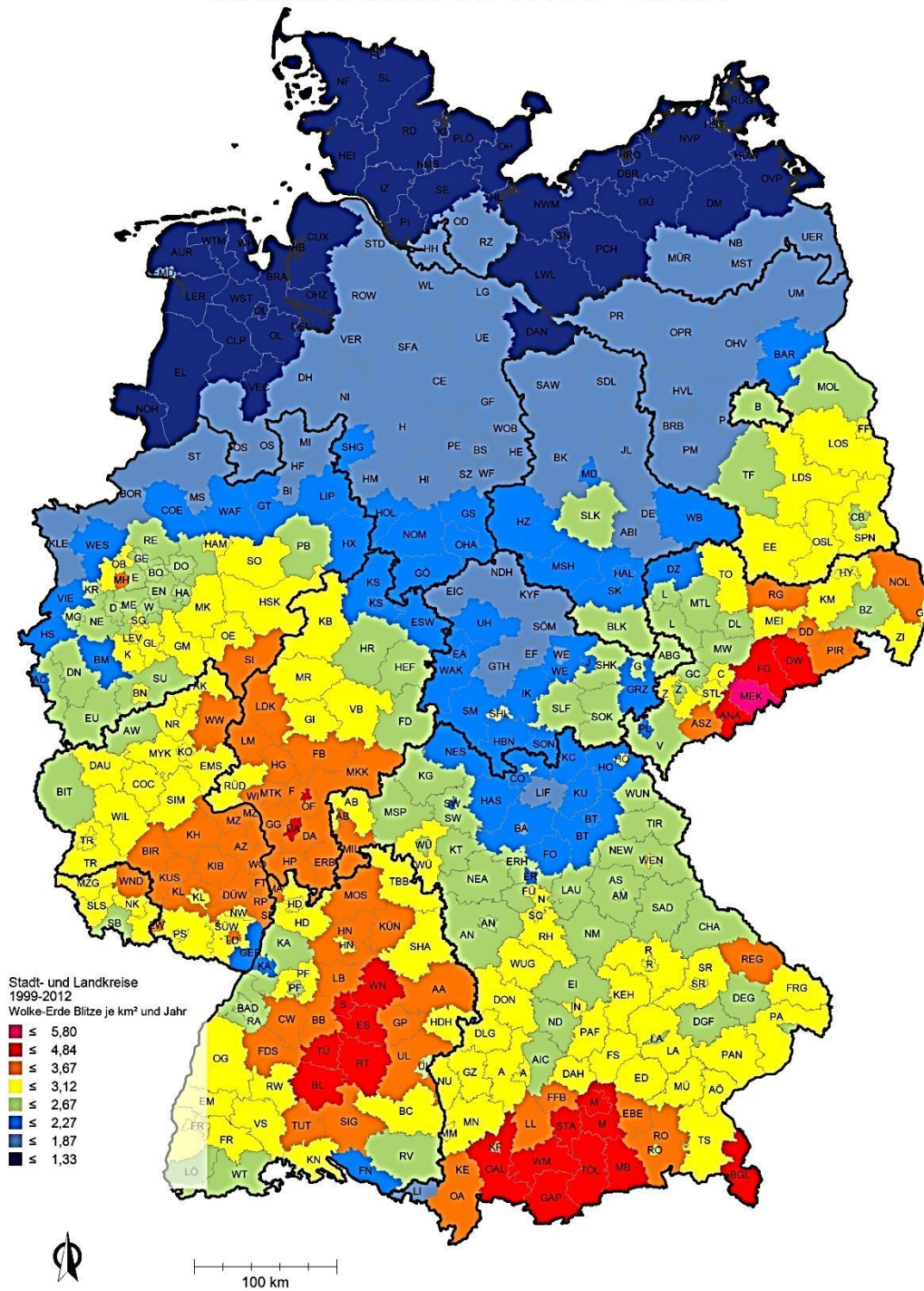
Το “Blitzortung.org” είναι ένα δίκτυο εντοπισμού κεραυνών το οποίο εντοπίζει τις ηλεκτρικές εκκενώσεις με δέκτες VFL. Είναι μία κοινότητα η οποία αποτελείται από, χειριστές μετεωρολογικών σταθμών οι οποίοι στέλνουν τα δεδομένα τους στους διακομιστές υπολογιστών, προγραμματιστές που αναπτύσσουν αλγορίθμους για τον εντοπισμό και την απεικόνιση θέσεων κεραυνόπτωσης και από ανθρώπους που βοηθούν με κάθε τρόπο για να διατηρηθεί η λειτουργία του συστήματος. Το δίκτυο αποτελείται από περισσότερους από 500 αισθητήρες ανίχνευσης κεραυνών. Οι πηγές των σημάτων που εντοπίζονται είναι γενικά ηλεκτρικές εκκενώσεις [25].

Με τον όρο VLF (VeryLowFrequency) αναφέρεται στην περιοχή συχνοτήτων 3 έως 30 kHz. Με την βοήθεια των δεκτών GPS, οι δέκτες καταχωρούν με ακρίβεια μικροδευτερολέπτων και αποστέλλονται μέσω του διαδικτύου στους κεντρικούς επεξεργαστές του δικτύου. Με αυτές τις πληροφορίες από διάφορους σταθμούς αποτυπώνεται με σφάλμα λίγων χιλιομέτρων [2-3 χλμ] η θέση κάθε ηλεκτρικής εκκένωσης. Η περίοδος καταγραφής του προγράμματος είναι συνεχής και διαρκής, από το 2008 έως και σήμερα. Τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα για σύγκριση στην εργασία μας, είναι χρωματικοί χάρτες με σχετικά χαμηλή διακριτική ικανότητα. Επιπλέον, υπάρχει σημαντική ανακρίβεια στα δεδομένα για την χώρα μας, διότι στο χάρτη (σχήμα 5.1) βλέπουμε ότι, ενώ θα έπρεπε η δυτική Ελλάδα να έχει το ίδιο περίπου χρώμα με περιοχές μεγίστου της Γερμανίας (βλ. σχήμα 5.2), παρατηρούμε ότι κάτι τέτοιο δεν ισχύει [25].



Σχήμα 5.1 : Χάρτης πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Ευρώπης [25].

Erdblitzdichte 1999-2012



© Blitz-Informations-Dienst von Siemens 2013

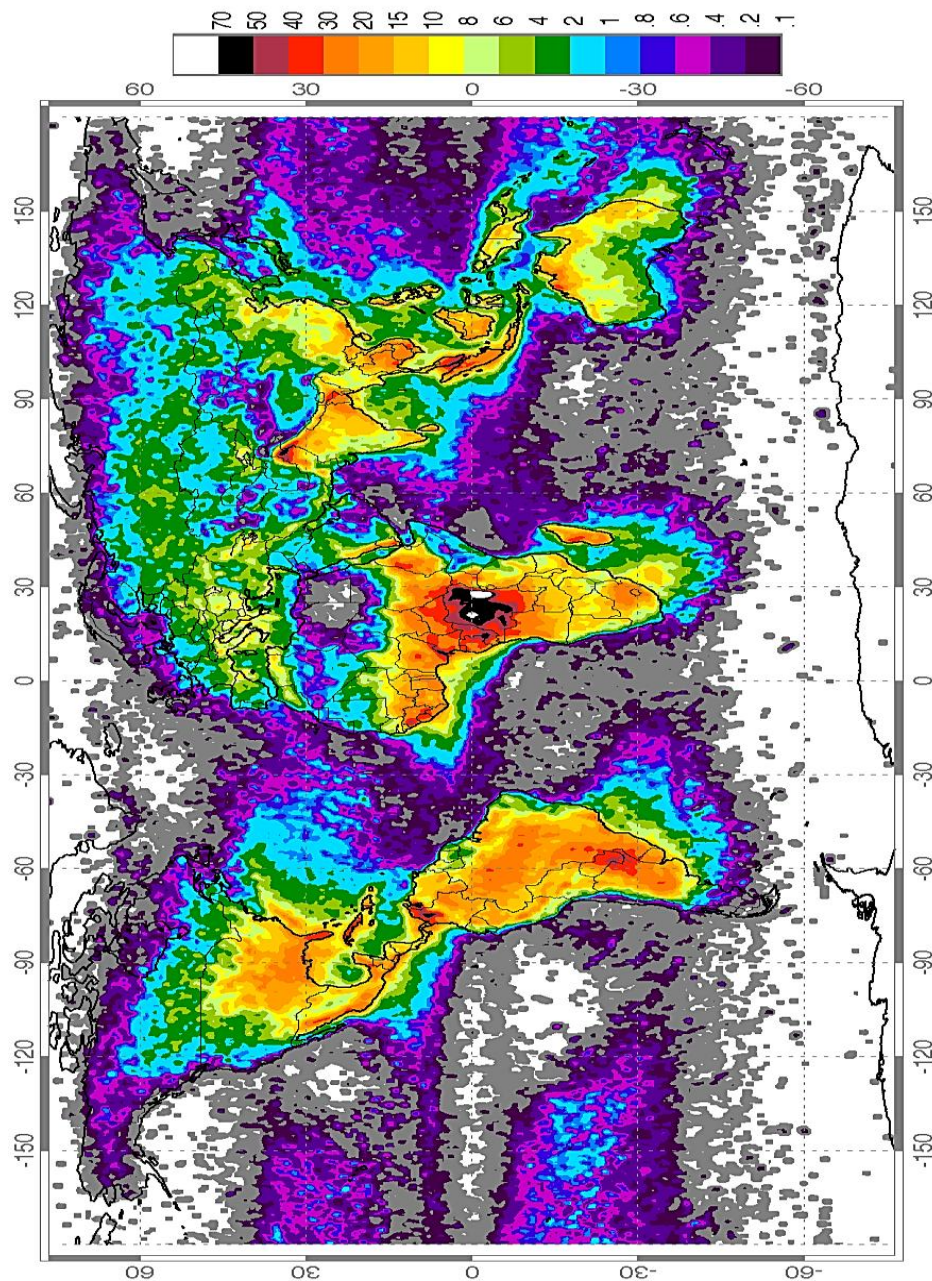
Σχήμα 5.2 : Χάρτης πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Γερμανίας [27]

3. LightningMaps.org

Η συγκεκριμένη ιστοσελίδα οπτικοποιεί και διανέμει τα παραπάνω δεδομένα, που έχουν συγκεντρωθεί από την κοινότητα Blitzortung.org, μέσω του διαδικτύου σε διάφορες παραλλαγές, για παράδειγμα ως επικάλυψη σε δορυφορικές εικόνες ή άλλες γεωγραφικές απεικονίσεις διαφόρων περιοχών ή και κρατών της Γης.

4. Lightning.nsstc.nasa.gov

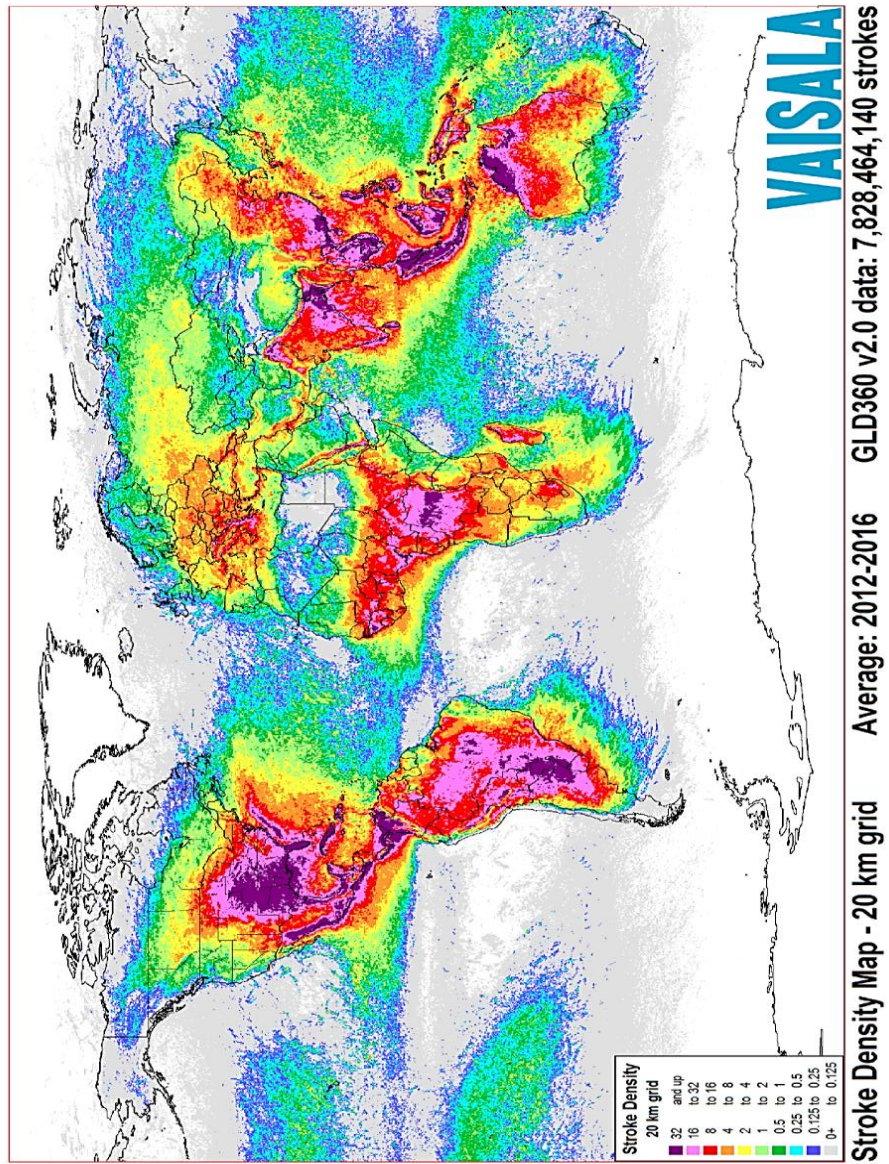
Η συγκεκριμένη ιστοσελίδα είναι δημιουργία μιας ομάδας ερευνητών της NASA, η οποία αποτελείται ως επί των πλείστον από επιστήμονες και μηχανικούς. Στο πλαίσιο των ερευνητικών τους δραστηριοτήτων, τα μέλη της ομάδας ερευνούν τα αίτια και τις συνέπειες των κεραυνών, καθώς και αναλύουν μια ευρεία ποικιλία μετρήσεων που σχετίζονται με ηλεκτρικές εκκενώσεις. Ένας από τους κύριους στόχους αυτής της ομάδας είναι να καθορίσουν τη σχέση μεταξύ των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των καταιγίδων. Για να το επιτύχουν αυτό έχουν σχεδιάσει και κατασκευάσει αρκετούς τύπους επίγειων, εναέριων και διαστημικούς αισθητήρες οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό των κεραυνών και την καταγραφή έτσι της ηλεκτρικής συμπεριφοράς των καταιγίδων. Τα δεδομένα που συλλέγονται έχουν οπτικοποιηθεί σ' ένα παγκόσμιο χάρτη αριθμού κεραυνοπτώσεων. Υπάρχουν δεδομένα και χάρτες με ικανοποιητική διακριτική ικανότητα για όλη την επιφάνεια της Γης [14].



Σχήμα 5.3 : Παγκόσμιος χάρτης πυκνότητας κεραυνοπτώσεων ανά Km² και έτος [14].

5. Vaisala Global Lightning Dataset GLD360

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι μία εφαρμογή της εταιρείας VAISALA.COM που παρέχει με πληρωμή δεδομένα κεραυνοπτώσεων σε πραγματικό χρόνο, για την ακριβή και έγκαιρη ανίχνευση αντίξων καιρικών φαινομένων. Τα δεδομένα που παρέχονται ανήκουν σ' ένα παγκόσμιο δίκτυο αισθητήρων που χρησιμοποιεί η Vaisala. Τα δεδομένα του προγράμματος δεν είναι ελεύθερα διαθέσιμα. Υπάρχουν ελεύθερα διαθέσιμοι παγκόσμιοι χρωματικοί χάρτες, χωρίς ικανοποιητική διακριτική ικανότητα [16].



Σχήμα 5.4 : Παγκόσμιος χάρτης πυκνότητας κεραυνοπτώσεων VAISALA [16].

5.3 Σύστημα ΤΑΛΩΣ

Το πρόγραμμα TALOS (Thunder And Lightning Observing System) του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ) χρηματοδοτείται από τη Δράση Αριστεία II της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας (με συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης) και αποσκοπεί στην αξιοποίηση του δικτύου καταγραφής κεραυνικής δραστηριότητας ZEUS για τη μελέτη των κεραυνικών εκκενώσεων πάνω από την Ελληνική επικράτεια. Στο πλαίσιο του προγράμματος μελετάται η κλιματολογία της κεραυνικής δραστηριότητας, με σκοπό να δημιουργηθεί ένα σύστημα άμεσης βραχυπρόθεσμης πρόγνωσης της κεραυνικής δραστηριότητας καθώς και ένα εργαλείο υπολογισμού και πρόγνωσης της κεραυνικής δραστηριότητας για τις επόμενες 72 ώρες [19].

Το πρόγραμμα υλοποιείται σε πέντε ενότητες εργασίας (ΕΕ) :

- ΕΕ1 Κλιματολογία κεραυνικής δραστηριότητας στην Ελλάδα.
- ΕΕ2 Άμεση και βραχυπρόθεσμη πρόγνωση κεραυνικής δραστηριότητας (nowcasting / very-shorttermforecasting).
- ΕΕ3 Πρόγνωση κεραυνικής δραστηριότητας μέχρι 72 ώρες.
- ΕΕ4 Βελτίωση των προγνώσεων βροχής μέσω αφομοίωσης δεδομένων κεραυνικής δραστηριότητας.
- ΕΕ5 Διάχυση των ερευνητικών αποτελεσμάτων, προϊόντων και υπηρεσιών.

Το πρώτο στάδιο υλοποίησης του προγράμματος TALOS, αφορά στην ανάλυση της κεραυνικής δραστηριότητας πάνω από την Ελλάδα, το οποίο βασίζεται σε δεδομένα που παρέχονται από το δίκτυο εντοπισμού ηλεκτρικών εκκενώσεων ZEUS του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Η ανάλυση περιλαμβάνει την παραγωγή ισοκεραυνικών μηνιαίων καθώς και ημερήσιων χαρτών, αξιοποιώντας ένα πλήρες δεκαετές σύνολο δεδομένων που εκτείνεται από το 2005 ως και το 2014. Στα πλαίσια της ανάλυσης, πραγματοποιείται η συσχέτιση της κεραυνικής δραστηριότητας και των ιδιαίτερων φυσιογραφικών χαρακτηριστικών διαφόρων περιοχών, όπως για παράδειγμα του τύπου της βλάστησης, του υψομέτρου και της κλίση του εδάφους. Παράλληλα θα γίνει συσχέτιση της χωρικής και χρονικής κατανομής της κεραυνικής δραστηριότητας και της συγκέντρωσης αερολυμάτων για την ευρύτερη περιοχή της ανατολικής μεσογείου και της βαλκανικής χερσονήσου, με ιδιαίτερη έμφαση στην Ελλάδα και τις αστικές περιοχές [19].

Ο στόχος της ανάλυσης των δεδομένων ηλεκτρικών εκκενώσεων είναι διττός. Αρχικά είναι η επισκόπηση της τρέχουσας κεραυνικής δραστηριότητας πάνω από περιοχές και αστικά κέντρα, κάνοντας χρήση κλασικών χαρτών ηλεκτρικών εκκενώσεων και πινάκων. Στη συνέχεια, το δίκτυο ανίχνευσης κεραυνών ZEUS και λογισμικό που θα αναπτυχθεί θα χρησιμοποιηθούν από κοινού για τη δημιουργία ενός συστήματος βραχυπρόθεσμης άμεσης πρόγνωσης (nowcasting) των περιοχών που ενδέχεται να πληγούν από κεραυνική δραστηριότητα κατά τα επόμενα 30 ως 60

λεπτά. Απώτερος στόχος είναι η δημιουργία, η στατιστική επαλήθευση και η παροχή ενός επιχειρησιακού εργαλείου πρόβλεψης το οποίο θα προβάλλει τη θέση και κίνηση των καταιγίδων καθώς και τη σχετιζόμενη κεραυνική δραστηριότητα. Στόχος είναι η μέθοδος να μπορεί να εφαρμοστεί όχι μόνο πάνω από τον Ελλαδικό χώρο αλλά και σε άλλες περιοχές [19].

Η δημιουργία του συστήματος βραχυπρόθεσμης πρόγνωσης (nowcasting) των περιοχών που ενδέχεται να παρουσιαστεί κεραυνική δραστηριότητα θα συνοδευτεί με την αναβάθμιση της επιχειρησιακής πρόγνωσης καιρού που ήδη εκτελείται στο ΕΑΑ μέσω της δημιουργία ενός συστήματος πρόβλεψης καταιγίδων και κεραυνικής δραστηριότητας των επομένων 72 ωρών. Αυτό θα επιτευχθεί μέσω του υπολογισμού ενός δείκτη ο οποίος θα βασίζεται σε παραμέτρους μικροφυσικής νεφών όπως αυτοί υπολογίζονται από το προγνωστικό μοντέλο καιρού WRF [19].

Τα δεδομένα τα οποία παρουσιάζονται προέρχονται από το δίκτυο ανίχνευσης αστραπών ΖΕΥΣ το οποίο λειτουργεί το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. Το δίκτυο περιλαμβάνει έξι δέκτες στην Ευρώπη (Chilbolton στην Αγγλία, Roskilde στη Δανία, Ιάσιο στη Ρουμανία, Αλεξάνδρεια στην Αίγυπτο, Λάρνακα στην Κύπρο και Mazagon στην Ισπανία) [19].



Σχήμα 5.5 Δίκτυο αισθητήρων ΖΕΥΣ [19].

Έπειτα από μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με την επικύρωση των δεδομένων που παρέχει το πρόγραμμα ZEYΣ παρουσιάζονται τα εξής συμπεράσματα [17].

Κατά την ανάλυση του σφάλματος της ακριβής τοποθεσίας της κεραυνόπτωσης παρατηρήθηκε ότι υπάρχει σφάλμα της τάξης των 6,8 χλμ. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα είναι αρκετά ικανοποιητικό για ένα σύστημα που αποτελείται από 6 αισθητήρες [17].

Όσον αφορά την ακρίβεια της καταγραφής των κεραυνών τα αποτελέσματα έδειξαν ότι κατά τη διάρκεια της νύχτας το πρόγραμμα παρουσιάζει απώλεια στην καταγραφή της τάξης των 25 %. Ωστόσο το πρόγραμμα ZEYΣ έχει την ικανότητα να ανιχνεύει τις καταιγίδες που αποτελούνται από κεραυνούς σύννεφο – σύννεφο καθώς και σύννεφο – γης [17].

6 Γεωχωρικός χάρτης κεραυνοπτώσεων «ΚΑΛΛΙΚΡΑΤΗΣ»

6.1 Γενικά

Όπως έχει ήδη αναπτυχθεί σε προηγούμενο τμήμα της εργασίας μας, ο σχεδιασμός των συστημάτων αντικεραυνικής προστασίας βασίζεται στην αναμενόμενη συχνότητα πληγμάτων από άμεσους κεραυνούς (Nd), η οποία είναι ανάλογη της πυκνότητας κεραυνών (Ng). Η πυκνότητα κεραυνών (Ng) είναι ο μέσος όρος κεραυνικών πληγμάτων ανά km² και έτος στην περιοχή που βρίσκεται η κατασκευή. Η πυκνότητα κεραυνών Ng προκύπτει από μακροχρόνια παρατηρησιακά δεδομένα έμμεσα είτε άμεσα.

Ο έμμεσος τρόπος σχετίζεται με τον μέσο αριθμό ημερών καταιγίδας ανά έτος, Td, σε μια περιοχή, με τη χρήση κατάλληλων αριθμητικών σχέσεων που δίνονται από σχετικούς κανονισμούς. Ο μέσος όρος ημερών καταιγίδας ανά έτος λαμβάνεται από πίνακες είτε από σχετικούς χάρτες, γνωστούς ως ισοκεραυνικούς χάρτες.

Για την Ελλάδα και για όσο διάστημα βρίσκονταν σε ισχύ το Πρότυπο ΕΛΟΤ 1412, η πυκνότητα των κεραυνών προέκυπτε από την σχέση:

$$Ng = 0,04 Td^{1,25}$$

Μετά τη θέση σε ισχύ του νέου Προτύπου ΕΛΟΤ EN 62305-02, η πυκνότητα κεραυνών δίνεται από τη σχέση:

$$Ng = 0,1 Td.$$

Σημειώνεται ότι οι δυο παραπάνω τρόποι υπολογισμού δίνουν αριθμητικά αποτελέσματα με μικρή απόκλιση μεταξύ τους για αριθμό ημερών καταιγίδας μεταξύ 25-60 [διαφορά μικρότερη από 10%]. Για αριθμό ημερών καταιγίδας μικρότερο από 25, το Πρότυπο ΕΛΟΤ 1412 υποεκτιμά την κεραυνική πυκνότητα. Επίσης, το ίδιο Πρότυπο, υπερεκτιμά την πυκνότητα κεραυνών για αριθμό ημερών καταιγίδας πάνω από 60 ημέρες το έτος.

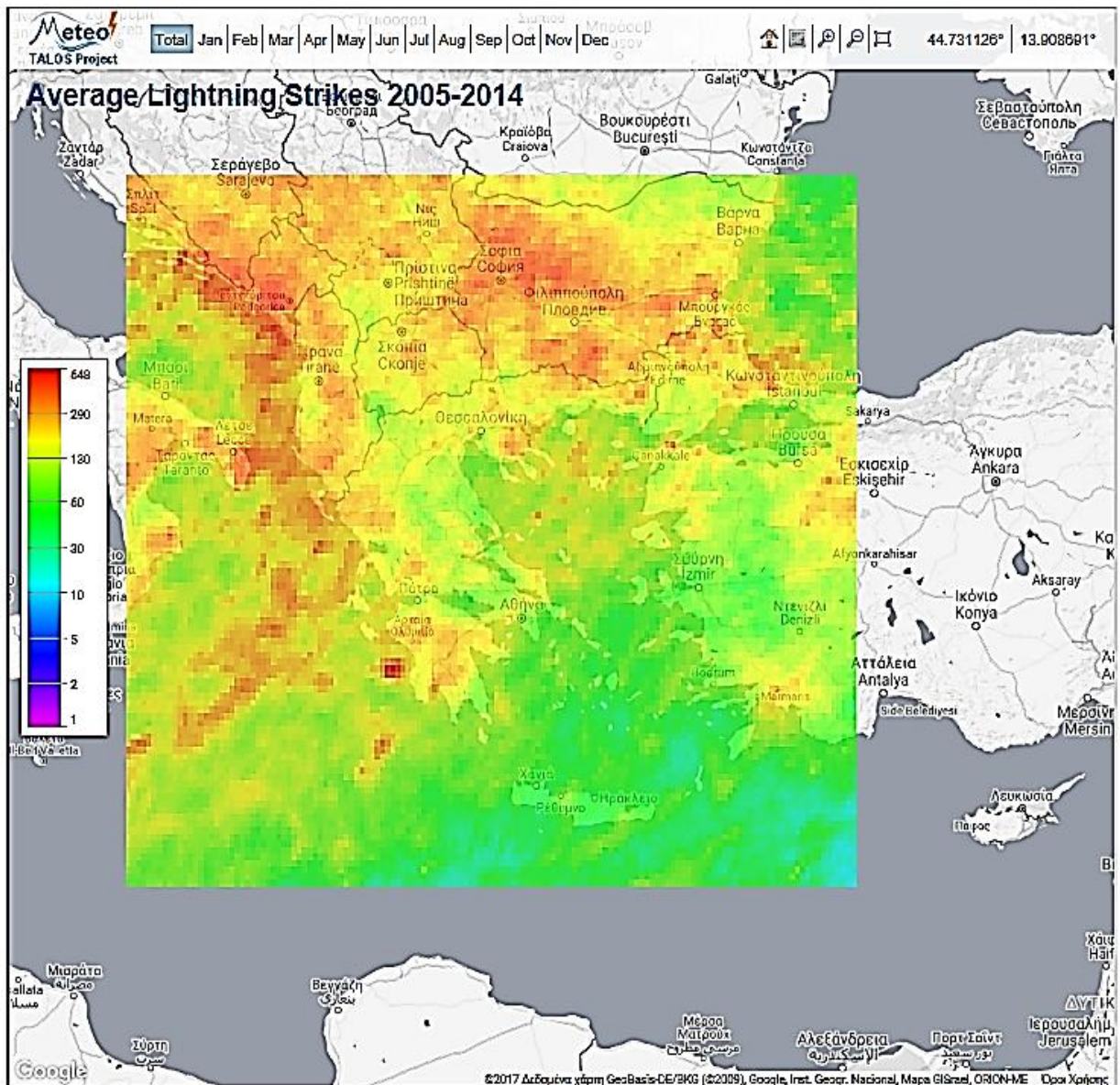
Ο άμεσος τρόπος υπολογισμού προκύπτει από την απευθείας παρατήρηση και καταγραφή της κεραυνικής δραστηριότητας σε μια περιοχή. Οι παρατηρήσεις αυτές μπορεί να γίνονται είτε μέσω δορυφορικών συστημάτων, είτε με επίγεια συστήματα. Με την χρήση των δορυφορικών συστημάτων προκύπτει ο συνολικός αριθμός κεραυνικών εκκενώσεων Nt, στον οποίο συμπεριλαμβάνονται τόσο οι εκκενώσεις μεταξύ των νεφών (Nc), όσο και μεταξύ νέφους και εδάφους Ng [Nt = Nc + Ng]. Η σχέση που συνδέει τον συνολικό αριθμό εκκενώσεων με την πυκνότητα κεραυνών εξαρτάται ισχυρά από τις τοπικές συνθήκες και το γεωγραφικό πλάτος. Μια γενική σχέση που χρησιμοποιείται ενδεικτικά στην διεθνή βιβλιογραφία είναι η εξής:

$N_g / N_t = 0,1 + 0,25 \sin\varphi$, όπου φ : το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.

Ο δεύτερος τρόπος άμεσης παρατήρησης και καταγραφής των κεραυνών, γίνεται με τη χρήση δικτύου επίγειων δεκτών της χαρακτηριστικής και μοναδικής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπει κάθε κεραυνικό πλήγμα στο έδαφος. Ένα από αυτά τα συστήματα στη χώρα μας είναι το ΤΑΛΩΣ, που με την επεξεργασία των στοιχείων του δημιουργήθηκε ο χάρτης πυκνότητας κεραυνών της Ελλάδας που παρουσιάζεται στις επόμενες σελίδες.

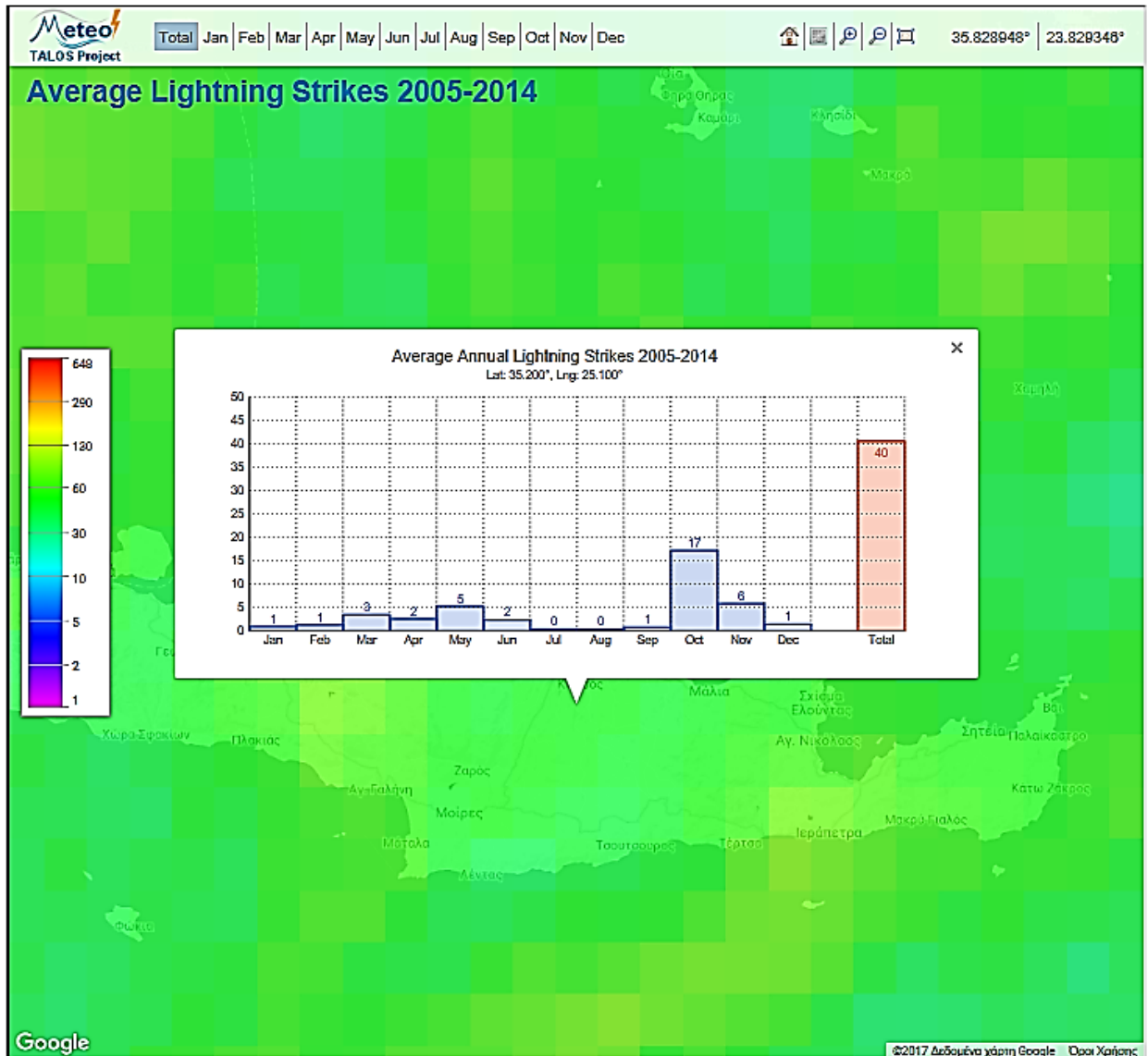
6.2 Παραδοχές και δεδομένα υπολογισμού

Τα δεδομένα για τη δημιουργία του χάρτη κεραυνικής πυκνότητας αντλήθηκαν από τα αρχείο ιστορικών καταγραφών της κεραυνικής δραστηριότητα του συστήματος ΖΕΥΣ. Ειδικότερα το αρχείο καταγραφών περιλαμβάνει το σύνολο των κεραυνοπτώσεων της δεκαετίας 2005-2014 σε μια γεωγραφική περιοχή που καταλαμβάνει το σύνολο της Ελλάδας και εκτείνεται και πέραν αυτής, όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Σχήμα 6.1 : Εικόνα περιοχής που καλύπτει το σύστημα ZEYΣ [23].

Τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα για επεξεργασία, προέρχονται από το διαμερισμό της περιοχής παρατήρησης σε κάναβο, με δίκτυο τετραγωνιδίων πλευράς 1/10 της μοίρας [δηλαδή, μιας επιφάνειας διαστάσεων περίπου $10 \times 10 \text{ Km}^2$]. Σε κάθε τετραγωνίδιο είναι διαθέσιμες οι γεωγραφικές συντεταγμένες της νοτιοδυτικής ακμής του, η μέση ετήσια πυκνότητα κεραυνών στο σύνολο της περιοχής αυτής, καθώς και οι αντίστοιχες μηνιαίες τιμές [βλ. ενδεικτικά το σχήμα που ακολουθεί].



Σχήμα 6.2 : Εικόνα μιας περιοχής με δεδομένα από το σύστημα ZEYΣ [23].

Πρέπει να σημειωθεί, ωστόσο, ότι η μέση ετήσια κεραυνική πυκνότητα σε κάθε τετραγωνίδιο του δικτύου ZEYΣ, N_z , δεν είναι ίση με την ετήσια κεραυνική πυκνότητα N_g . Τα μεγέθη αυτά, συνδέονται όμως μεταξύ τους με την σχέση:

$$N_g = N_z / E_\varphi,$$

όπου E_φ , είναι η επιφάνεια σε km^2 του αντίστοιχου τετραγωνιδίου του δικτύου ZEYΣ.

Η παραπάνω επιφάνεια E_φ , δεν είναι σταθερή, αλλά λόγω του σχήματος της επιφάνειας της Γης, εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος, φ , κάθε τόπου. Η επιφάνεια αυτή, εκφρασμένη σε km^2 , δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$E_\varphi = D_\varphi \times D_\lambda,$$

Όπου, $D\phi$ το μήκος της πλευράς του τετραγωνιδίου του συστήματος ΖΕΥΣ παράλληλα στον μεσημβρινό του τόπου, και $D\lambda$ το μήκος της πλευράς του τετραγωνιδίου πάνω στο αντίστοιχο παράλληλο του τόπου. Τα αντίστοιχα μήκη, εκφρασμένα σε km, δίνονται από τις σχέσεις [15]:

$$D\phi = 11,113209 - 0,056605 \cos(2\phi) + 0,000120 \cos(4\phi) \text{ [km]}$$

$$D\lambda = 11,141513 \cos(\phi) - 0,009455 \cos(3\phi) + 0,000012 \cos(5\phi) \text{ [km]},$$

Αντικαθιστώντας τα προηγούμενα στην παραπάνω σχέση και απαλείφοντας όρους αμελητέους, καταλήγουμε στην ακόλουθη απλοποιημένη έκφραση για την Ελλάδα, η οποία έχει πάρα πολύ καλή ακρίβεια [$R^2 = 0,9996$].

$$E\phi = 147,65 - 1,3251 \times \phi \text{ [km}^2\text{]}, \phi \text{ γεωγραφικό πλάτος σε μοίρες.}$$

Τα δεδομένα, δηλαδή οι κεραυνοπτώσεις, που περιλαμβάνονται σε κάθε τετραγωνίδιο του συστήματος ΖΕΥΣ είναι ιδιαίτερα ακριβή, δεδομένου ότι η ακρίβεια προσδιορισμού κάθε σημείου κεραυνόπτωσης είναι της τάξης μερικών χιλιομέτρων [2-3km]. Η ακρίβεια αυτή έχει επιβεβαιωθεί από σημεία κεραυνόπτωσης σε γνωστά γεωγραφικά και χρονικά σημεία [για παράδειγμα, περιστατικό πτώσης κεραυνού στον αρχαιολογικό χώρο της Κνωσού, στις 29/5/2015, 06.30 UTC, με απόκλιση περίπου 2km].

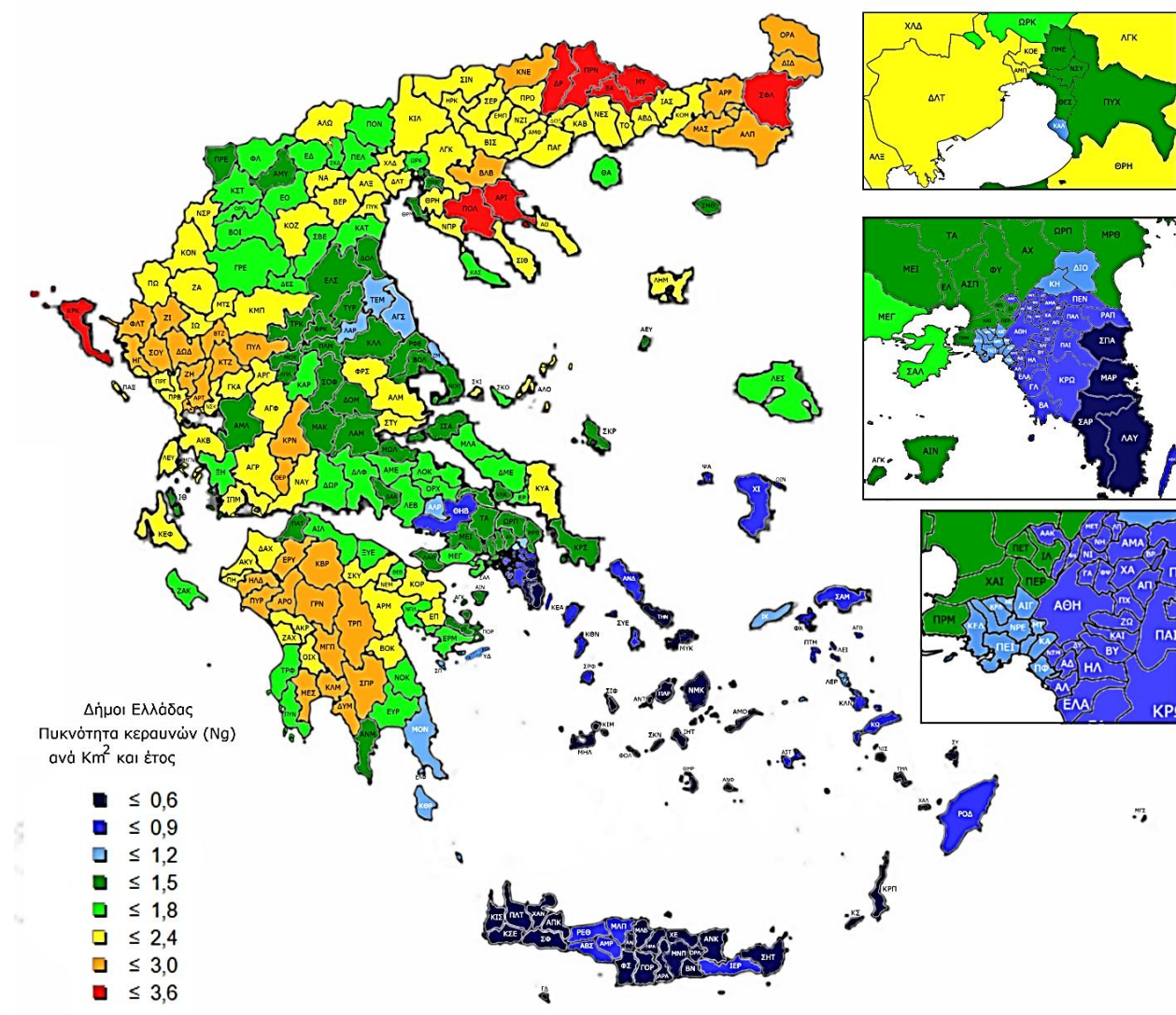
Για τις ανάγκες δημιουργίας του χάρτη κεραυνικής πυκνότητας της Ελλάδας, έγινε λεπτομερής διερεύνηση της αντίστοιχης στάθμης σε κάθε δήμο της χώρας. Για λόγους απλοποίησης των υπολογισμών και προκειμένου να βρισκόμαστε στην πλευρά της ασφάλειας, σε κάθε χωρική περιοχή δήμου αντιστοιχίστηκε η μέγιστη κεραυνική πυκνότητα N_g που εντοπίστηκε στα διοικητικά όρια του δήμου.

Στο σύνολο της χώρας, τα όρια μέγιστης και ελάχιστης κεραυνικής πυκνότητας N_g , κυμαίνονται μεταξύ 3,6 και 0,3 κεραυνών ανά Km^2 και ανά έτος, αντίστοιχα. Τα προηγούμενα όρια αφορούν μόνο περιοχές της ηπειρωτικής και της νησιωτικής χώρας και δεν περιλαμβάνονται οι θαλάσσιες περιοχές. Σημειώνεται, όμως, ότι η μέγιστη κεραυνική στάθμη που κατέγραψε το σύστημα ΖΕΥΣ, εντοπίζεται στο θαλάσσιο χώρο δυτικά των Στροφάδων με $N_g = 6,6 \text{ s / km}^2 / \text{y}$.

6.3 Χάρτες και Πίνακες

6.3.1 Χάρτης Κεραυνοπτώσεων Ελλάδας

Ο χάρτης της Ελλάδας αποτυπώνει τα χωρικά όρια των δήμων σύμφωνα με το πρόγραμμα «ΚΑΛΛΙΚΡΑΤΗΣ». Οι περιοχές του πολεοδομικού συγκροτήματος Αττικής, Αθηνών και Θεσσαλονίκης, παρουσιάζονται ένθετες στον χάρτη σε μεγαλύτερη μεγέθυνση, για λόγους ευκρίνειας. Η πυκνότητα κεραυνών αποτυπώνεται με κατάλληλη χρωματική κλίμακα σε οκτώ επίπεδα, ακολουθώντας το αντίστοιχο παράδειγμα της Γερμανίας (βλ. σχήμα 5.2). Στον χρωματικό χάρτη οι ονομασίες των δήμων έχουν κωδικοποιηθεί με τη χρήση δύο ή τριών γραμμάτων, και η πλήρης ονομασία βρίσκεται στον πίνακα που ακολουθεί.



Σχήμα 6.3 : Χάρτης “ΚΑΛΛΙΚΡΑΤΗΣ” πυκνότητας κεραυνών (Ng), κεραυνοί ανά Km² και έτος (2005-2014)

6.3.2 Πίνακας πυκνότητας κεραυνών Δήμων Ελλάδας

Οι πίνακες που ακολουθούν, ένας ανά περιφέρεια, προήλθαν από την επεξεργασία του συστήματος ZEYΣ για ολόκληρη την περιοχή που καταλαμβάνει κάθε δήμος της ελληνικής επικράτειας. Τα δεδομένα σε κάθε στήλη του παρακάτω πίνακα έχουν την εξής έννοια και χρήση :

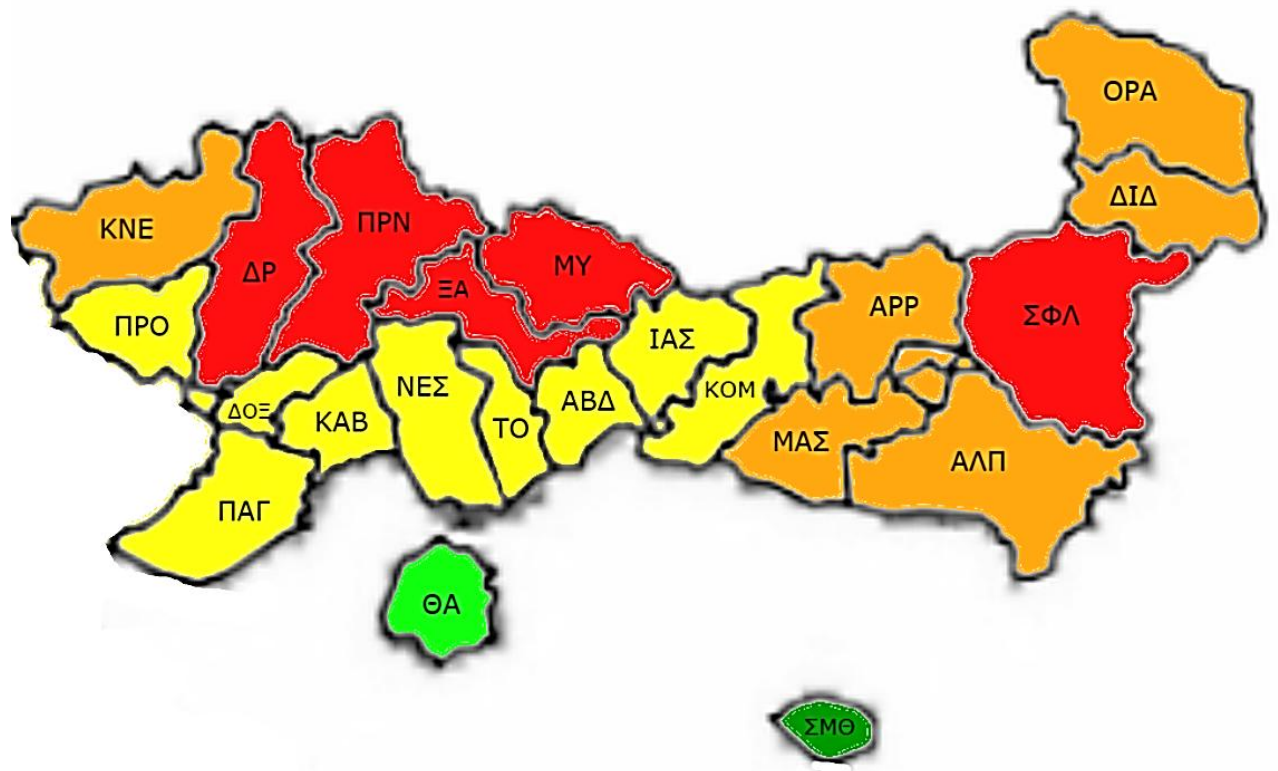
Συντομογραφία : Είναι η συνοπτική αναγραφή (με 2-3 γράμματα) κάθε δήμου, όπως εμφανίζεται στον παραπάνω χάρτη. Τα δεδομένα του πίνακα έχουν ταξινομηθεί αλφαβητικά με βάση αυτόν τον κωδικό.

Δήμος : Η στήλη αυτή περιλαμβάνει την επίσημη ονομασία κάθε δήμου της Ελλάδας. Στη διοικητική διαίρεση της χώρας περιλαμβάνεται και η χερσόνησος του Άθω.

MaxNg : Η μέγιστη κεραυνική πυκνότητα, σε κεραυνούς ανά τετραγωνικό χλμ. και έτος, που καταγράφηκε από το σύστημα ZEYΣ στα χωρικά όρια του αντίστοιχου δήμου.

φ, λ : Οι γεωγραφικές συντεταγμένες (μήκος και πλάτος, σε μοίρες), στις οποίες εντοπίστηκε η μέγιστη κεραυνική πυκνότητα.

Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης

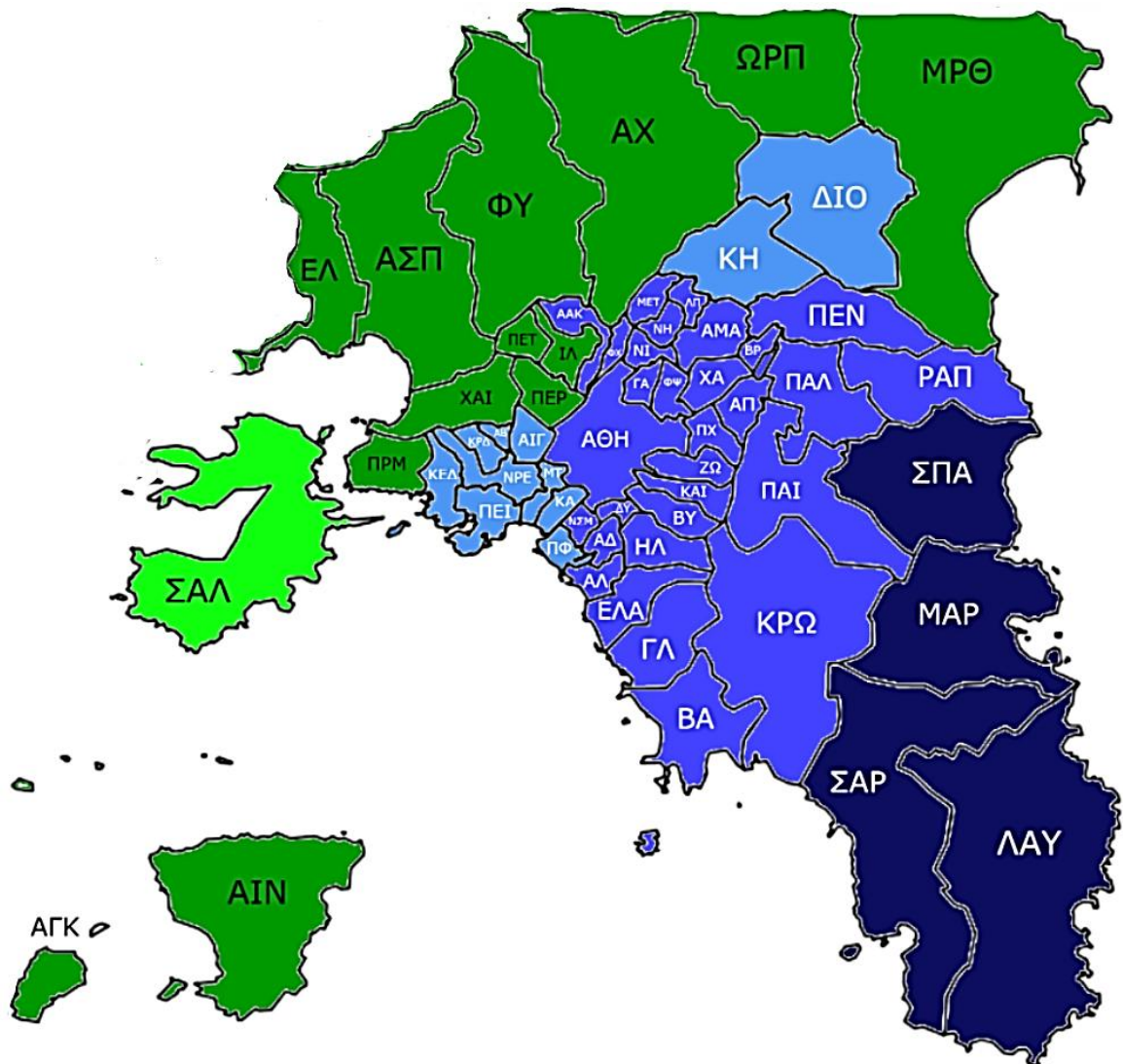


Σχήμα 6.4 : Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης.

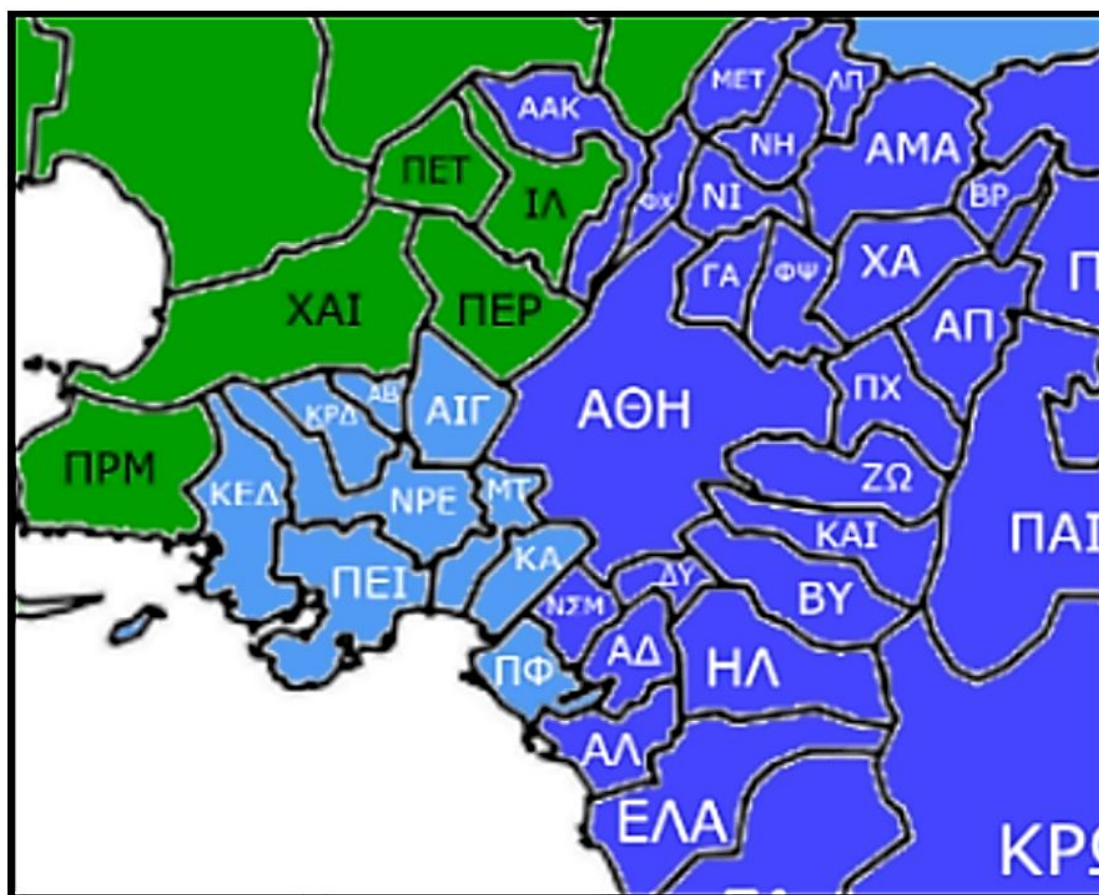
Συντομογραφία	Δήμος	MaxNg	φ°	λ°
ΑΒΔ	Αβδήρων	2,0	41,1	24,9
ΑΛΠ	Αλεξανδρούπολης	2,5	41	25,9
ΑΡΡ	Αρριανών	2,8	41	25,7
ΔΙΔ	Διδυμότειχου	2,6	41,3	26,1
ΔΟΞ	Δοξάτου	2,1	41,1	24,3
ΔΡ	Δράμας	3,4	41,5	24,3
ΘΑ	Θάσου	1,7	40,7	24,7
ΙΑΣ	Ιάσμου	2,3	41,2	25,2
ΚΑΒ	Καβάλας	2,0	41,1	24,4
ΚΝΕ	Κάτω Νευροκοπίου	3,0	41,5	24,1
ΚΟΜ	Κομοτηνής	2,4	41,1	25,5
ΜΑΣ	Μαρωνείας - Σαπών	2,8	41,1	25,6
ΜΥ	Μύκης	3,2	41,3	25
ΝΕΣ	Νέστου	2,3	41,1	24,7
ΞΑ	Ξάνθης	3,2	41,2	24,8
ΟΡΑ	Ορεστιάδας	2,6	41,6	26,3
ΠΑΓ	Παγγαίου	2,4	40,7	24,1
ΠΡΝ	Παρανεστίου	3,6	41,5	24,5
ΠΡΟ	Προσοτσάνης	2,1	41,1	23,8
ΣΜΘ	Σαμοθράκης	1,5	40,4	25,6
ΣΦΛ	Σουφλίου	3,5	41,1	26
ΤΟ	Τοπείρου	2,3	41,1	24,7

Πίνακας 6.1 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης.

Περιφέρεια Αττικής



Σχήμα 6.5 : Περιφέρεια Αττικής.



Σχήμα 6.6 : Ευρύτερη περιοχή Αθηνών.

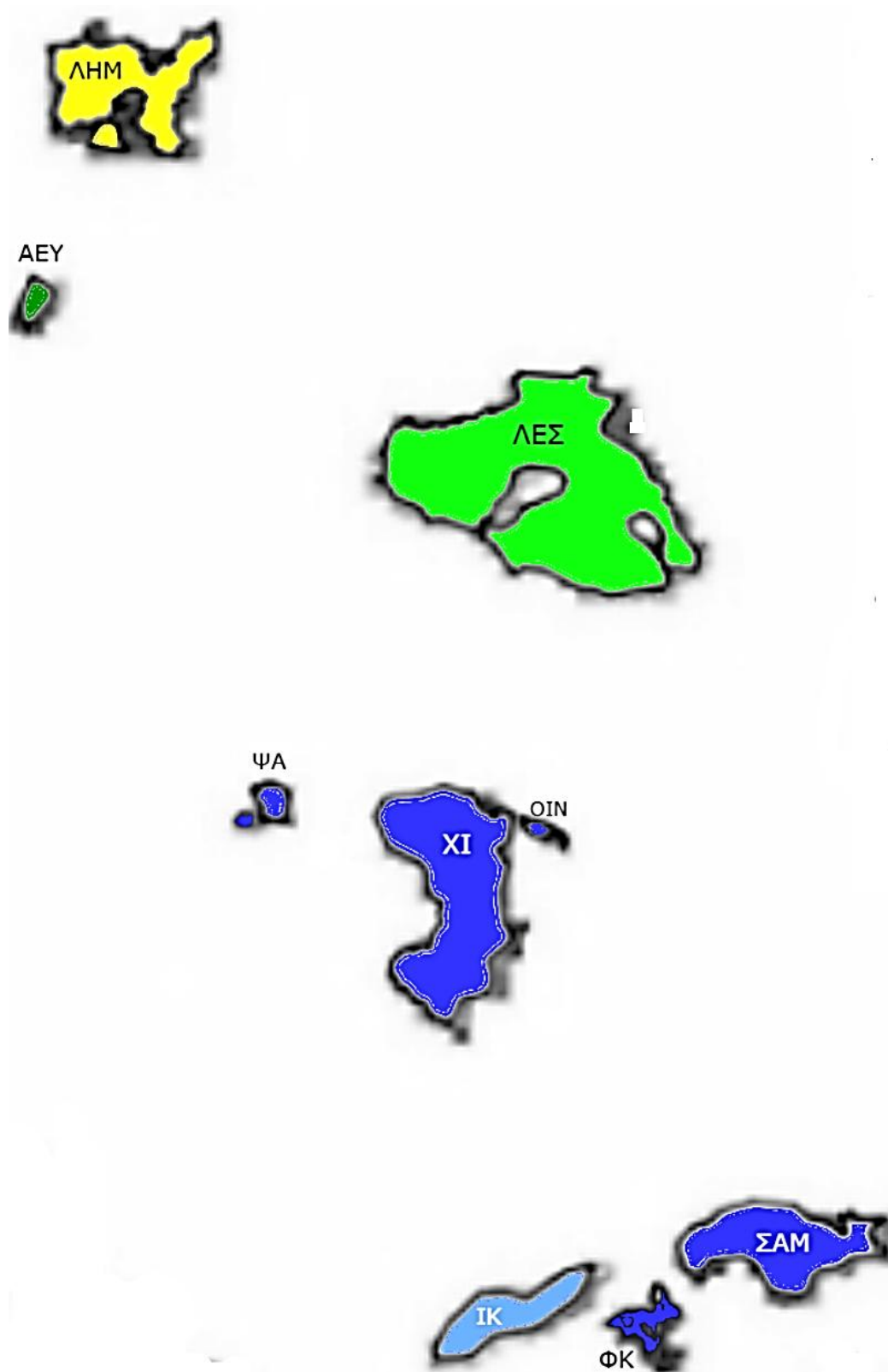
Συντομογραφία	Δήμος	MaxNg	φ°	λ°
ΑΑΚ	Αγίων Αναργύρων - Καματερού	0,9	38	23,7
ΑΒ	Αγίας Βαρβάρας	1,2	37,9	23,6
ΑΓΚ	Αγκιστρίου	1,3	37,7	23,3
ΑΔ	Αγίου Δημητρίου	0,9	37,9	23,7
ΑΘΗ	Αθηναίων	0,9	37,9	23,7
ΑΙΓ	Αιγάλεω	1,2	37,9	23,6
ΑΙΝ	Αίγινας	1,4	37,6	23,4
ΑΛ	Αλίμου	0,9	37,9	23,7
ΑΜΑ	Αμαρουσίου	0,9	38	23,7
ΑΠ	Αγίας Παρασκευής	0,9	38	23,8
ΑΣΠ	Αστροπύργου	1,5	38	23,5
ΑΧ	Αχαρνών	1,3	38,2	23,7
ΒΑ	Βάρης - Βούλας - Βουλιαγμένης	0,8	37,8	23,7
ΒΡ	Βριλησίων	0,9	38	23,8
ΒΥ	Βύρωνος	0,9	37,9	23,7
ΓΑ	Γαλατσίου	0,9	38	23,7
ΓΛ	Γλυφάδας	0,8	37,8	23,7

ΔΙΟ	Διονύσου	1,1	38,1	23,8
ΔΥ	Δάφνης - Υμηπτού	0,9	37,9	23,7
ΕΛ	Ελευσίνας	1,5	38	23,5
ΕΛΑ	Ελληνικού - Αργυρούπολης	0,9	37,9	23,7
ΖΩ	Ζωγράφου	0,9	37,9	23,7
ΗΛ	Ηλιουπόλεως	0,9	37,9	23,7
ΙΛ	Ιλίου	1,3	38	23,6
ΚΑ	Καλλιθέας	1,2	37,9	23,6
ΚΑΙ	Καισαριανής	0,9	37,9	23,7
ΚΕΔ	Κερατσινίου - Δραπετσώνας	1,2	37,9	23,6
ΚΗ	Κηφισιάς	1,1	38,1	23,8
ΚΘΡ	Κυθήρων	1,1	36,3	22,9
ΚΡΔ	Κορυδαλλού	1,2	37,9	23,6
ΚΡΩ	Κρωπίας	0,7	37,8	23,8
ΛΑΥ	Λαυρεωτικής	0,6	37,8	24
ΛΠ	Λυκόβρυσης - Πεύκης	0,9	38	23,7
ΜΑΡ	Μαρκοπούλου - Μεσογαίας	0,6	37,8	23,9
ΜΕΓ	Μεγαρέων	1,6	37,9	23,3
ΜΕΙ	Μάνδρας - Ειδυλλίας	1,5	38	23,5
ΜΕΤ	Μεταμορφώσεως	0,9	38	23,7
ΜΡΘ	Μαραθώνος	1,5	38,2	23,9
ΜΤ	Μοσχάτου - Ταύρου	1,2	37,9	23,6
ΝΗ	Νέου Ηρακλείου	0,9	38	23,7
ΝΙ	Νέας Ιωνίας	0,9	38	23,7
ΝΡΕ	Νίκαιας - Αγίου Ιωάννου Ρέντη	1,2	37,9	23,6
ΝΣΜ	Νέας Σμύρνης	0,9	37,9	23,6
ΠΑΙ	Παιανίας	0,7	37,9	23,8
ΠΑΛ	Παλλήνης	0,9	38	23,8
ΠΕΙ	Πειραιώς	1,2	37,9	23,6
ΠΕΝ	Πεντέλης	0,9	38	23,9
ΠΕΡ	Περιστερίου	1,3	38	23,6
ΠΕΤ	Πειτρούπολης	1,3	38	23,6
ΠΟΡ	Πόρου	1,4	37,5	23,4
ΠΡΜ	Περάματος	1,5	37,9	23,5
ΠΦ	Παλαιού Φαλήρου	1,2	37,9	23,6
ΠΧ	Παπάγου - Χολαργού	0,9	37,9	23,7
ΡΑΠ	Ραφήνας - Πικερμίου	0,9	38	23,9
ΣΑΛ	Σαλαμίνας	1,8	37,9	23,4
ΣΑΡ	Σαρωνικού	0,6	37,7	23,9
ΣΠ	Σπετσών	1,2	37,2	23,1

ΣΠΑ	Σπάτων - Αρτέμιδος	0,6	37,9	23,9
ΤΡ	Τροιζηνίας	1,5	37,5	23,3
ΥΔ	Ύδρας	1,0	37,3	23,3
ΦΥ	Φυλής	1,3	38,1	23,6
ΦΧ	Φιλαδέλφειας - Χαλκηδόνος	0,9	38	23,7
ΦΨ	Φιλοθέης - Ψυχικού	0,9	38	23,7
ΧΑ	Χαλανδρίου	0,9	38	23,7
ΧΑΙ	Χαϊδαρίου	1,3	38	23,6
ΩΡΠ	Ωροπού	1,5	38,2	23,8

Πίνακας 6.2 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Αττικής.

Περιφέρεια Βορείου Αιγαίου

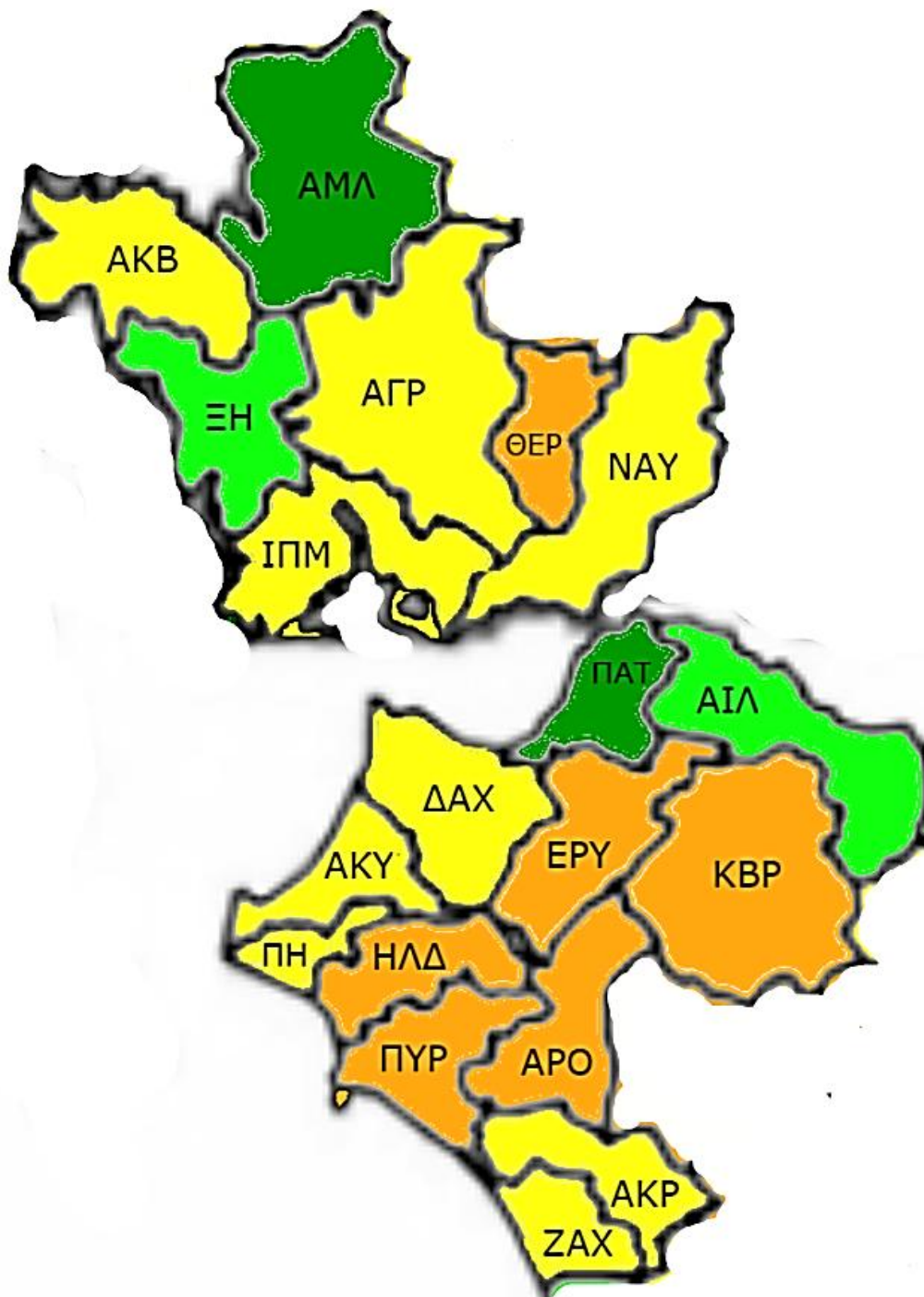


Σχήμα 6.7 : Περιφέρεια Βορείου Αιγαίου.

Συντομογραφία	Δήμος	MaxNg	φ°	λ°
ΑΕΥ	Αγίου Ευστρατίου	1,4	39,4	24,9
ΙΚ	Ικαρίας	1,0	37,6	26,3
ΛΕΣ	Λέσβου	1,6	39,3	26,1
ΛΗΜ	Λήμνου	2,4	40	25,4
ΟΙΝ	Οινουσσών	0,7	38,5	26,1
ΣΑΜ	Σάμου	0,8	37,7	26,5
ΦΚ	Φούρνων Κορσέων	0,8	37,6	26,5
ΧΙ	Χίου	0,8	38,4	26,1
ΨΑ	Ψαρών	0,8	38,5	25,6

Πίνακας 6.3 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Βορείου Αιγαίου.

Περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας

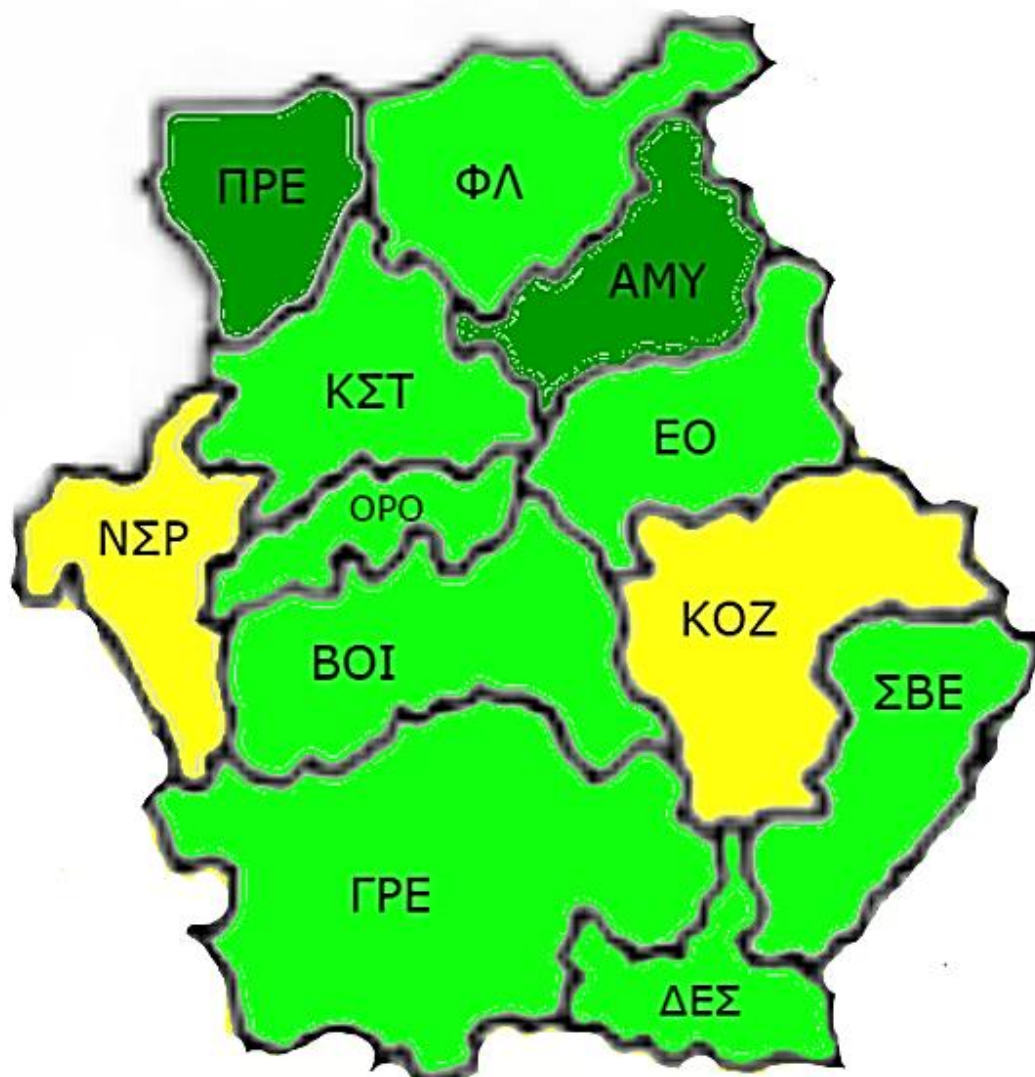


Σχήμα 6.8 : Περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας.

Συντομογραφία	Δήμος	MaxNg	φ°	λ°
ΑΓΡ	Αγρινίου	2,3	38,7	21,5
ΑΙΛ	Αιγιαλείας	1,7	38,1	21,9
ΑΚΒ	Άκτιου - Βόνιτσας	2,1	38,7	20,7
ΑΚΡ	Ανδρίτσαινας - Κρεστένων	2,2	37,5	21,6
ΑΚΥ	Ανδραβίδας - Κυλλήνης	1,9	37,9	21,4
ΑΜΛ	Αμφιλοχίας	1,5	39	21,3
ΑΡΟ	Αρχαίας Ολυμπίας	2,9	37,8	21,8
ΔΑΧ	Δυτικής Αχαΐας	2,1	37,9	21,5
ΕΡΥ	Ερυμάνθου	2,5	37,9	21,6
ΖΑΧ	Ζαχάρως	2,2	37,5	21,6
ΗΛΔ	Ήλιδας	2,8	37,8	21,5
ΘΕΡ	Θέρμου	2,5	38,6	21,6
ΙΠΜ	Ιεράς Πόλης Μεσολογγίου	2,1	38,5	21,3
ΚΒΡ	Καλαβρύτων	2,7	37,8	21,9
ΝΑΥ	Ναυπακτίας	2,0	38,5	21,9
ΞΗ	Ξηρομέρου	1,8	38,7	20,9
ΠΑΤ	Πατρέων	1,4	38,1	21,8
ΠΗ	Πηνειού	2,0	37,8	21,2
ΠΥΡ	Πύργου	2,7	37,7	21,4

Πίνακας 6.4 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Δυτικής Ελλάδας

Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας

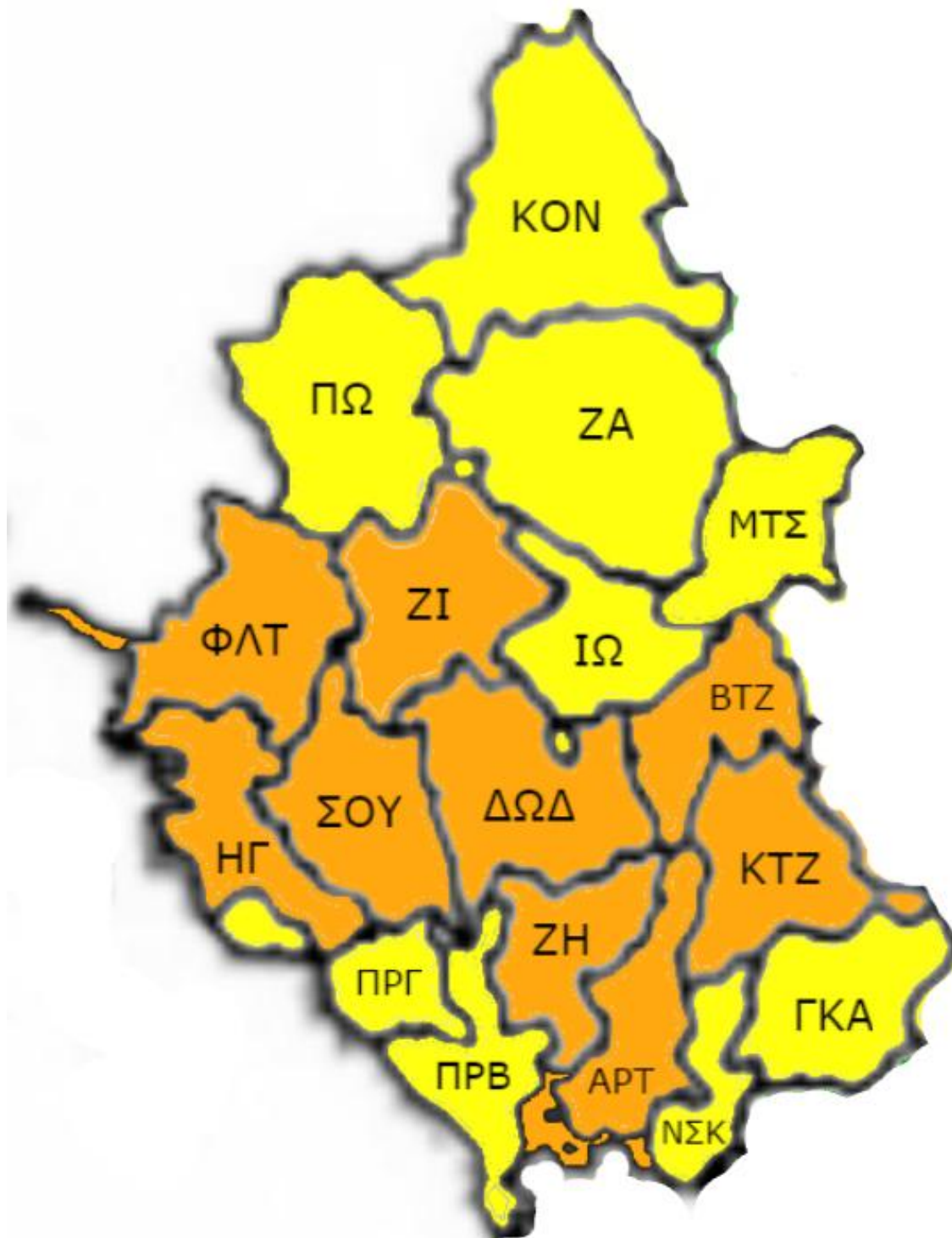


Σχήμα 6.9 : Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας.

Συντομογραφία	Δήμος	MaxNg	φ°	λ°
AMY	Αμυνταίου	1,5	39	21,3
BOI	Βοίου	1,6	40,2	21,6
GRE	Γρεβενών	1,8	39,9	21,2
DES	Δεσκάτης	1,6	39,9	21,5
EO	Εορδαίας	1,7	40,4	21,8
KOZ	Κοζάνης	2,4	40,4	22
KST	Καστοριάς	1,7	40,4	21,1
NSP	Νεστορίου	2,1	40,3	20,9
ORO	Ορέστιδος	1,7	40,4	21,1
PRE	Πρεσπών	1,3	40,6	21
SBE	Σερβίων - Βελβεντού	1,6	40,1	21,7
FL	Φλώρινας	1,7	40,8	21,5

Πίνακας 6.5 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Δυτικής Μακεδονίας.

Περιφέρεια Ηπείρου

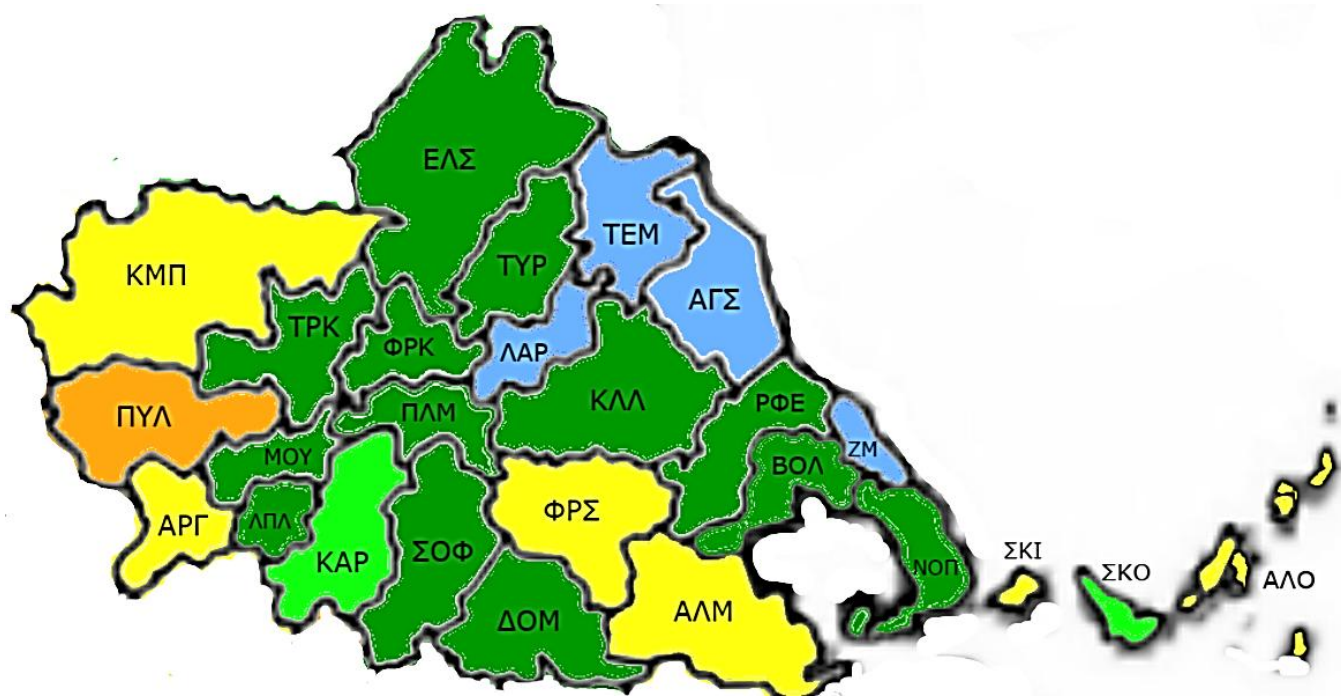


Σχήμα 6.10 : Περιφέρεια Ηπείρου.

Συντομογραφία	Δήμος	MaxNg	φ°	λ°
ΑΡΤ	Αρταίων	2,6	39,3	20,9
ΒΤΖ	Βόρειων Τζουμέρκων	2,6	39,4	20,9
ΓΚΑ	Γεωργίου Καραϊσκάκη	2,3	39,3	21,1
ΔΩΔ	Δωδώνης	2,8	39,4	20,8
ΖΑ	Ζαγορίου	2,3	39,7	20,8
ΖΗ	Ζηρού	2,7	39,3	20,8
ΖΙ	Ζίτσας	2,5	39,6	20,5
ΗΓ	Ηγουμενίτσας	2,6	39,4	20,3
ΙΩ	Ιωαννιτών	2,4	39,5	20,9
ΚΟΝ	Κόνιτσας	2,2	40	20,5
ΚΤΖ	Κεντρικών Τζουμέρκων	2,6	39,4	21,2
ΜΤΣ	Μετσόβου	2,2	39,6	20,9
ΝΣΚ	Νικολάου Σκουφά	2,0	39,2	21
ΠΡΒ	Πρέβεζας	2,2	39,2	20,7
ΠΡΓ	Πάργας	2,4	39,3	20,3
ΠΩ	Πωγωνίου	2,3	40	20,4
ΣΟΥ	Σουλίου	2,5	39,4	20,4
ΦΛΤ	Φιλιατών	2,8	39,6	20

Πίνακας 6.6 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Ηπείρου.

Περιφέρεια Θεσσαλίας

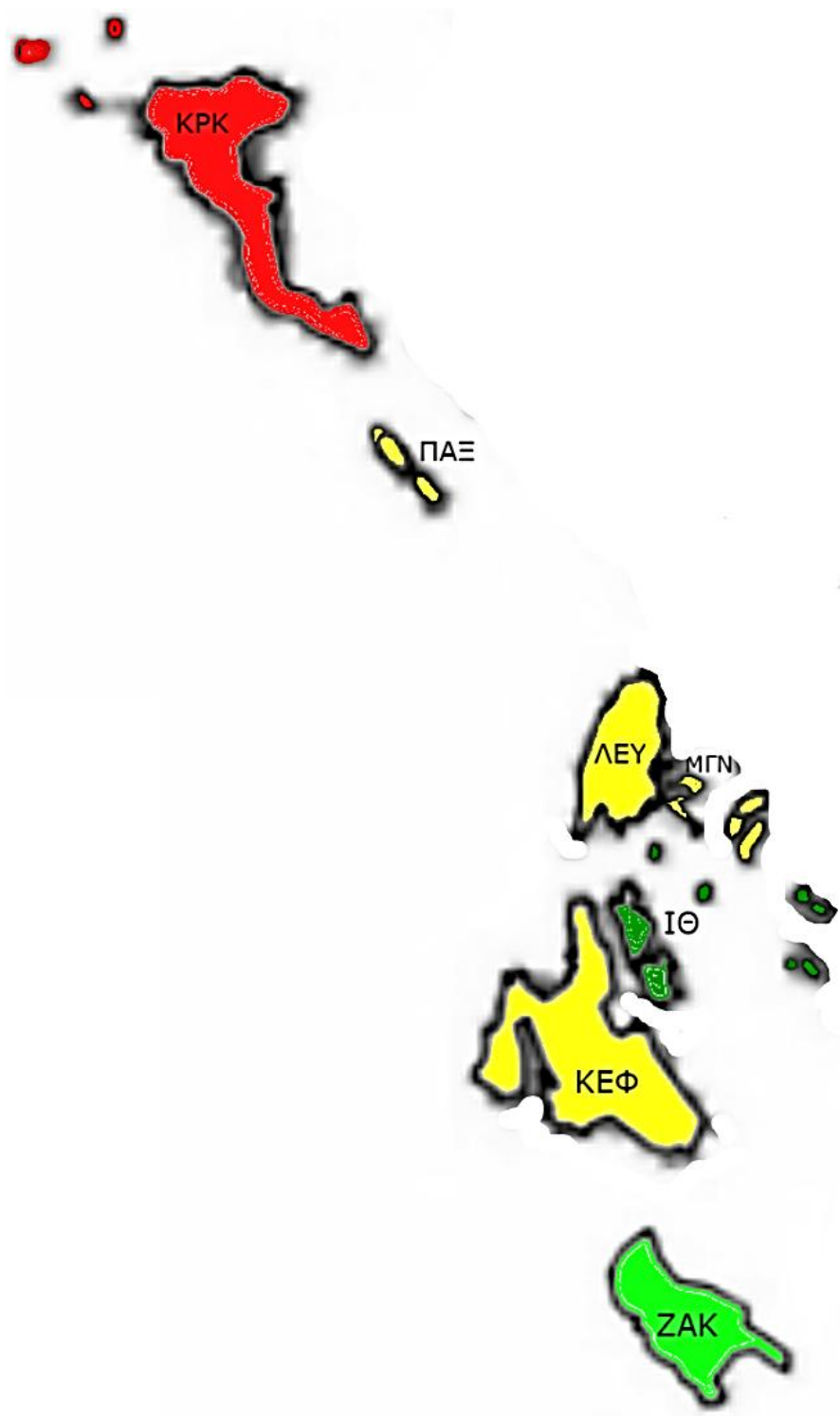


Σχήμα 6.11 : Περιφέρεια Θεσσαλίας.

Συντομογραφία	Δήμος	MaxNg	φ°	λ°
ΑΓΣ	Αγιάς	1,1	39,8	22,8
ΑΛΜ	Αλμυρού	2,1	39	22,6
ΑΛΟ	Αλονήσσου	2,0	39,4	24,1
ΑΡΓ	Αργιθέας	2,0	39,2	21,4
ΒΟΛ	Βόλου	1,3	39,2	22,7
ΕΛΣ	Ελασσόνας	1,5	39,8	22,1
ΖΜ	Ζαγοράς - Μουρεσίου	1,0	39,4	23,1
ΚΑΡ	Καρδίτσας	1,6	39,1	21,7
ΚΛΛ	Κιλελέρ	1,5	39,4	22,3
ΚΜΠ	Καλαμπάκας	2,0	39,5	21,2
ΛΑΡ	Λαρισαίων	1,1	39,5	22,4
ΛΠΛ	Λίμνης Πλαστήρα	1,5	39,2	21,7
ΜΟΥ	Μουζακίου	1,5	39,4	21,5
ΝΟΠ	Νοτίου Πηλίου	1,5	39,1	23,1
ΠΛΜ	Παλαμά	1,5	39,4	22,2
ΠΥΛ	Πύλης	2,6	39,4	21,2
ΡΦΕ	Ρήγα Φεραίου	1,4	39,2	22,6
ΣΚΙ	Σκιάθου	1,9	39,1	23,6
ΣΚΟ	Σκοπέλου	1,7	39,1	23,6
ΣΟΦ	Σοφάδων	1,2	39,3	22,1
ΤΕΜ	Τεμπών	1,1	39,9	22,4
ΤΡΚ	Τρικκαίων	1,3	39,7	21,9
ΤΥΡ	Τυρνάβου	1,4	39,7	22,1
ΦΡΚ	Φαρκαδόνας	1,2	39,6	22
ΦΡΣ	Φαρσάλων	1,9	39,3	22,3

Πίνακας 6.7 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Θεσσαλίας.

Περιφέρεια Ιόνιων Νήσων

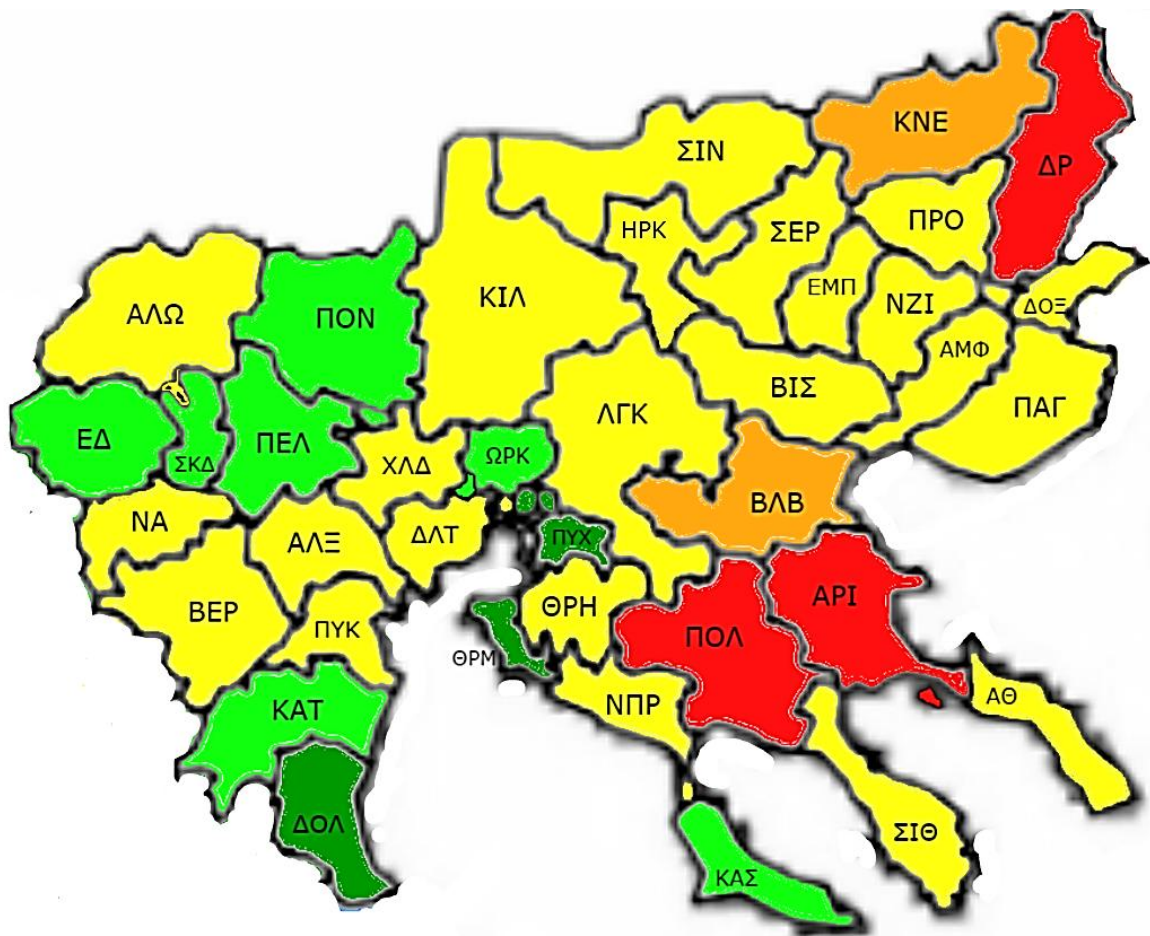


Σχήμα 6.12 : Περιφέρεια Ιόνιων Νήσων.

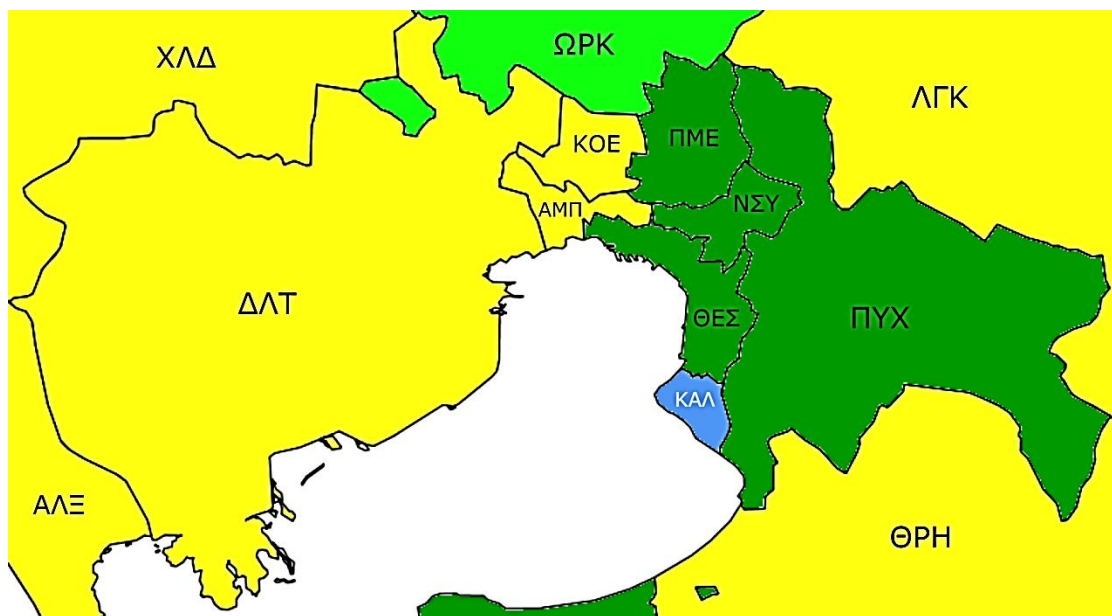
Συντομογραφία	Δήμος	MaxNg	φ°	λ°
ZAK	Ζακύνθου	1,8	37,7	20,9
ΙΘ	Ιθάκης	1,4	38,3	20,6
ΚΕΦ	Κεφαλονιάς	2,3	38,2	20,3
ΚΡΚ	Κέρκυρας	3,4	39,4	19,8
ΛΕΥ	Λευκάδος	2,4	38,8	20,6
ΜΓΝ	Μεγανησίου	1,9	38,6	20,7
ΠΑΞ	Παξών	2,2	39,2	20,1

Πίνακας 6.8 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Ιόνιων Νήσων.

Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας



Σχήμα 6.13 : Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας.



Σχήμα 6.14 : Ευρύτερη περιοχή Θεσσαλονίκης.

Συντομογραφία	Δήμος	MaxNg	φ°	λ°
ΑΘ	Άθως	1,9	40,3	24
ΑΛΞ	Αλεξάνδρειας	2,0	40,5	22,4
ΑΛΩ	Αλμωπίας	2,4	41	22
ΑΜΠ	Αμπελοκήπων - Μενεμένης	1,9	40,6	22,8
ΑΜΦ	Αμφίπολης	2,4	40,7	21,7
ΑΡΙ	Αριστοτέλη	3,3	40,4	23,5
ΒΕΡ	Βέροιας	2,4	40,4	22
ΒΙΣ	Βισαλτίας	2,4	40,7	23,6
ΒΛΒ	Βόλβης	3,0	40,5	23,5
ΔΛΤ	Δέλτα	2,3	40,6	22,7
ΔΟΛ	Δίου - Ολύμπου	1,4	40	22,3
ΕΔ	Έδεσσας	1,8	40,8	21,8
ΕΜΠ	Εμμανουήλ Παππά	2,1	41,1	23,8
ΗΡΚ	Ηρακλείας	2,3	41	23,2
ΘΕΣ	Θεσσαλονίκης	1,3	40,6	22,9
ΘΡΗ	Θέρμης	1,9	40,5	23,2
ΘΡΜ	Θερμαϊκού	1,3	40,5	23,2
ΚΑΛ	Καλαμαριάς	1,0	40,5	22,9
ΚΑΣ	Κασσάνδρας	1,6	39,1	21,7
ΚΑΤ	Κατερίνης	1,8	40,3	22,4
ΚΙΛ	Κιλκίς	2,3	41	23,2
ΚΟΕ	Κορδελιού - Ευόσμου	1,9	40,6	22,8
ΛΓΚ	Λαγκαδά	2,3	40,9	23
ΝΑ	Νάουσας	1,9	40,5	22,1
ΝΖΙ	Νέας Ζίχνης	2,2	41	23,8
ΝΠΡ	Νέας Προποντίδας	2,2	40,3	23,3
ΝΣΥ	Νεάπολης - Συκεών	1,3	40,6	22,9
ΠΕΛ	Πέλλας	1,7	40,8	22,2
ΠΜΕ	Παύλου Μελά	1,5	40,7	22,9
ΠΟΛ	Πολυγύρου	3,4	40,4	23,4
ΠΟΝ	Παιονίας	1,8	41	22,2
ΠΥΚ	Πύδνας - Κολινδρού	2,0	40,5	22,4
ΠΥΧ	Πυλαίας - Χορτιάτη	1,3	40,6	22,9
ΣΕΡ	Σερρών	1,9	41,1	23,3
ΣΙΘ	Σιθωνίας	2,2	40,2	23,6
ΣΙΝ	Σιντικής	2,0	41,2	22,9
ΣΚΔ	Σκύδρας	1,8	40,9	22,1
ΧΛΔ	Χαλκηδόνος	2,3	40,6	22,7
ΩΡΚ	Ωραιοκάστρου	1,8	40,7	22,8

Πίνακας 6.9 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Κεντρικής Μακεδονίας.

Περιφέρεια Κρήτης

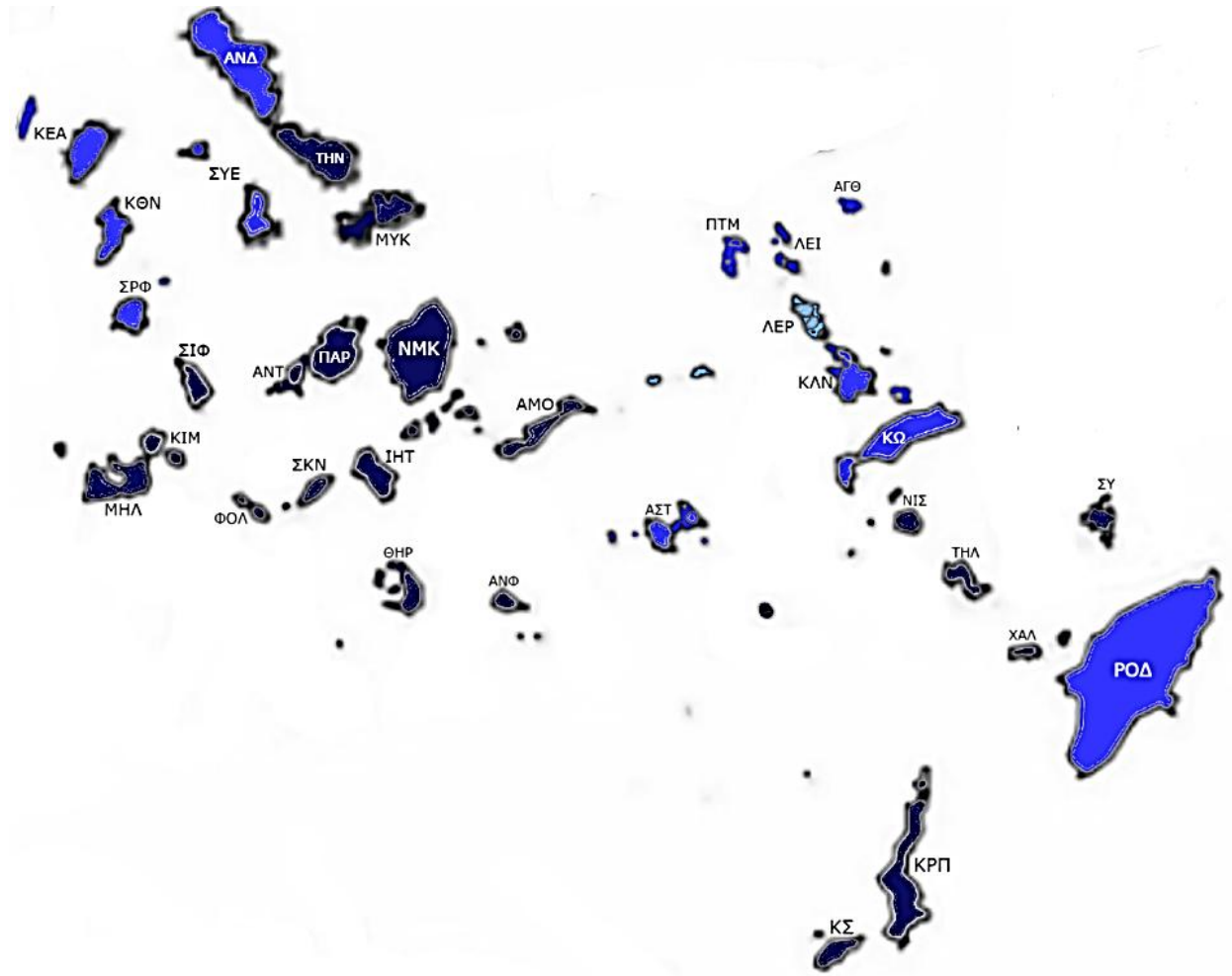


Σχήμα 6.15 : Περιφέρεια Κρήτης.

Συντομογραφία	Δήμος	MaxNg	φ°	λ°
ΑΒΣ	Αγίου Βασιλείου	0,7	35,2	24,5
ΑΜΡ	Αμαρίου	0,7	35,2	24,5
ΑΝ	Ανωγείων	0,4	35,1	24,8
ΑΝΚ	Αγίου Νικολάου	0,5	35,1	25,6
ΑΠΚ	Αποκορώνου	0,5	35,3	24,3
ΑΡΑ	Αρχανών - Αστερουσίων	0,4	35,2	25,2
ΒΝ	Βιάννου	0,6	34,9	25,5
ΓΔ	Γαύδου	0,4	34,8	24,1
ΓΟΡ	Γόρτυνας	0,4	35,1	25
ΗΡΑ	Ηρακλείου	0,4	35,1	25
ΙΕΡ	Ιεράπετρας	0,7	35	25,6
ΚΙΣ	Κισσάμου	0,6	35,6	23,5
ΚΣΕ	Καντάνου - Σελίνου	0,5	35,3	23,6
ΜΛΒ	Μαλεβιζίου	0,4	35,2	25
ΜΛΠ	Μυλοποτάμου	0,8	35,4	24,6
ΜΝΠ	Μίνωα Πεδιάδας	0,4	35,2	25,2
ΟΡΛ	Οροπέδιο Λασιθίου	0,5	35,1	25,5
ΠΛΤ	Πλατανιά	0,6	35,6	23,7
ΡΕΘ	Ρεθύμνης	0,8	35,4	24,6
ΣΗΤ	Σητείας	0,5	35	26
ΣΦ	Σφακίων	0,4	36,6	27,8
ΦΣ	Φαιστού	0,5	34,9	24,7
ΧΑΝ	Χανίων	0,5	35,5	23,9
ΧΕ	Χερσονήσου	0,4	35,2	25,2

Πίνακας 6.10 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Κρήτης.

Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου

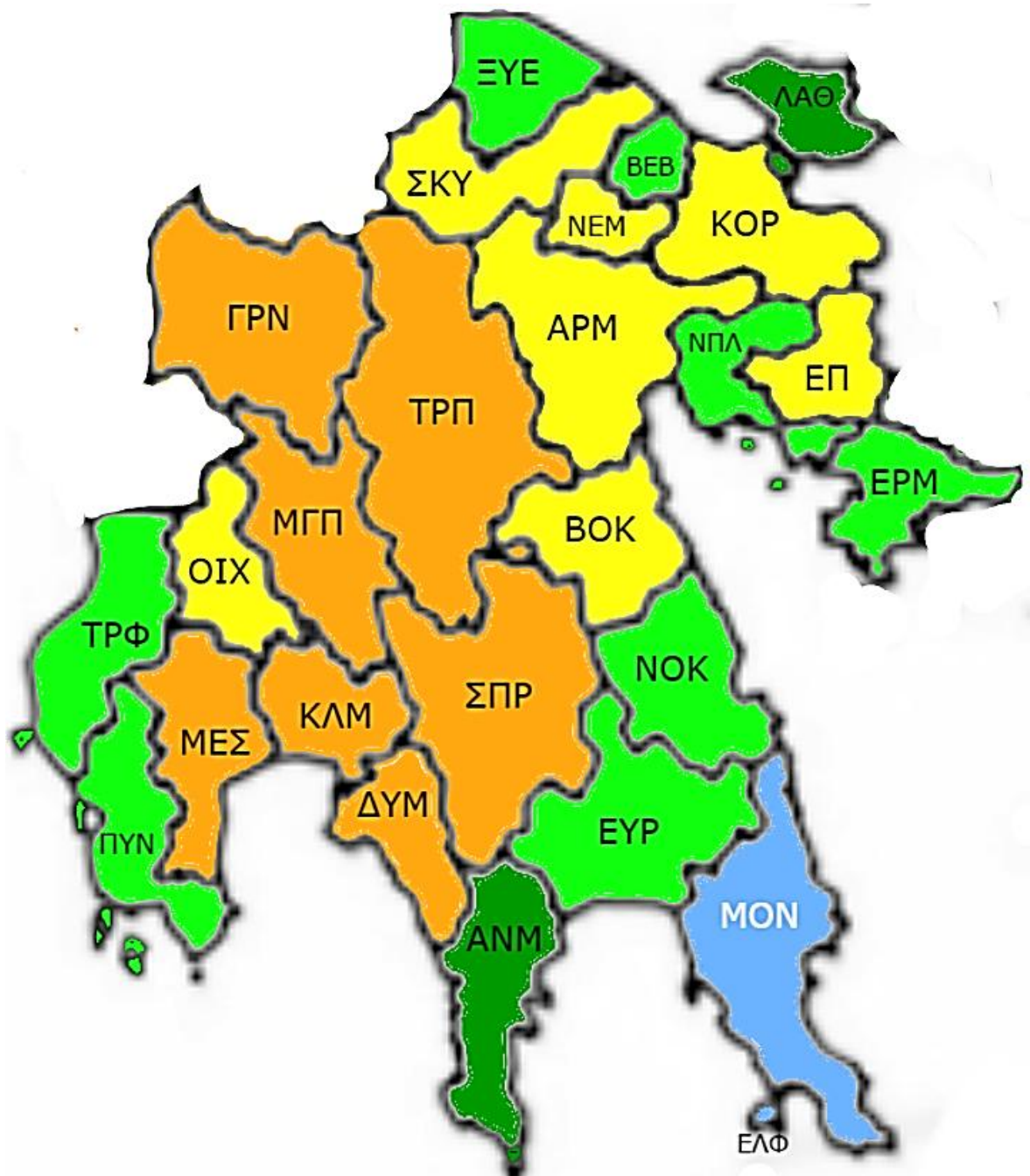


Σχήμα 6.16 : Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου.

Συντομογραφία	Δήμος	MaxNg	φ°	λ°
ΑΓΘ	Αγαθονησίου	0,9	37,4	26,9
ΑΜΟ	Αμοργού	0,5	36,8	25,9
ΑΝΔ	Άνδρου	0,8	37,8	24,9
ΑΝΤ	Αντιπάρου	0,6	36,9	24,9
ΑΝΦ	Ανάφης	0,5	36,3	25,8
ΑΣΤ	Αστυπάλαιας	0,7	36,6	26,4
ΘΗΡ	Θήρας	0,4	36,3	25,3
ΙΗΤ	Ιητών	0,3	36,7	25,2
ΚΕΑ	Κέας	0,9	37,5	24,2
ΚΘΝ	Κύθνου	0,9	37,3	24,3
ΚΙΜ	Κιμώλου	0,5	36,8	24,5
ΚΛΝ	Καλυμνίων	0,9	36,9	27
ΚΡΠ	Καρπάθου	0,4	35,4	27
ΚΣ	Κάσου	0,5	35,4	26,8
ΚΩ	Κω	0,7	36,9	27,2
ΛΕΙ	Λειψών	0,8	37,2	26,7
ΛΕΡ	Λέρου	1,0	37,1	26,7
ΜΓΣ	Μεγίστης	0,5	36,1	29,6
ΜΗΛ	Μήλου	0,5	36,7	24,3
ΜΥΚ	Μυκόνου	0,6	37,4	25,3
ΝΙΣ	Νισύρου	0,4	36,6	27,1
ΝΜΚ	Νάξου & Μικρών Κυκλάδων	0,6	36,9	25,6
ΠΑΡ	Πάρου	0,6	37	25,1
ΠΤΜ	Πάτμου	0,7	37,2	26,5
ΡΟΔ	Ρόδου	0,9	36,3	28,2
ΣΙΦ	Σίφνου	0,6	37	24,7
ΣΚΝ	Σικίνου	0,4	36,6	25
ΣΡΦ	Σερίφου	0,9	37,1	24,5
ΣΥ	Σύμης	0,4	36,6	27,8
ΣΥΕ	Σύρου - Ερμούπολης	0,7	37,6	24,7
ΤΗΛ	Τήλου	0,4	36,3	27,3
ΤΗΝ	Τήνου	0,6	37,6	24,9
ΦΟΛ	Φολεγάνδρου	0,4	36,6	24,9
ΧΑΛ	Χάλκης	0,4	36,2	27,6

Πίνακας 6.11 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Νοτίου Αιγαίου.

Περιφέρεια Πελοποννήσου

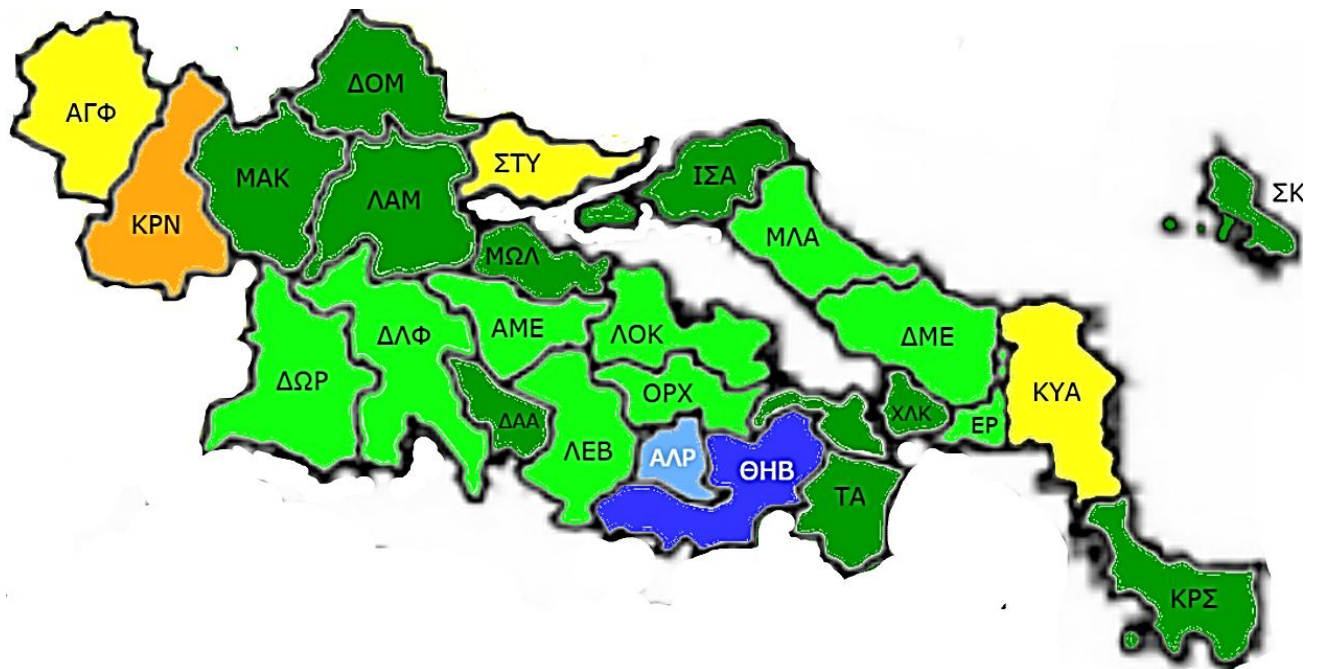


Σχήμα 6.17 : Περιφέρεια Πελοποννήσου.

Συντομογραφία	Δήμος	MaxNg	φ°	λ°
ANM	Ανατολικής Μάνης	1,4	36,8	22,4
APM	Άργους - Μυκηνών	2,2	37,7	22,7
ΒΕΒ	Βέλου - Βόχας	1,8	37,8	22,8
ΒΟΚ	Βόρειας Κυνουρίας	2,0	37,3	22,6
ΓΡΝ	Γορτυνίας	2,9	37,7	21,8
ΔΥΜ	Δυτικής Μάνης	2,6	37	22,2
ΕΛΦ	Ελαφονήσου	1,0	36,4	22,9
ΕΠ	Επιδαύρου	2,0	37,6	23,1
ΕΡΜ	Ερμιονίδας	1,6	37,5	23,1
ΕΥΡ	Ευρώτα	1,7	37	22,6
ΚΛΜ	Καλαμάτας	2,9	37	22,1
ΚΟΡ	Κορινθίων	2,1	37,7	22,9
ΛΑΘ	Λουτρακίου - Αγίων Θεοδώρων	1,4	37,9	23
ΜΓΠ	Μεγαλόπολης	2,7	37,1	22,1
ΜΕΣ	Μεσσήνης	2,7	37	22
ΜΟΝ	Μονεμβασίας	1,1	36,5	23,1
ΝΕΜ	Νεμέας	2,0	37,8	22,5
ΝΟΚ	Νότιας Κυνουρίας	1,8	37,1	22,6
ΝΠΛ	Ναυπλιέων	1,8	37,1	22,6
ΞΥΕ	Ξυλοκάστρου - Ευρωστίνης	1,6	37,9	22,3
ΟΙΧ	Οιχαλίας	1,9	37,3	21,9
ΠΥΝ	Πύλου - Νέστορος	1,6	36,9	21,8
ΣΚΥ	Σικυωνίων	2,2	37,8	22,3
ΣΠΡ	Σπάρτης	2,6	37,1	22,3
ΤΡΠ	Τρίπολης	2,6	37,4	22,3
ΤΡΦ	Τριφυλίας	1,8	37,1	21,5

Πίνακας 6.12 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Πελοποννήσου.

Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας



Σχήμα 6.18 : Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας.

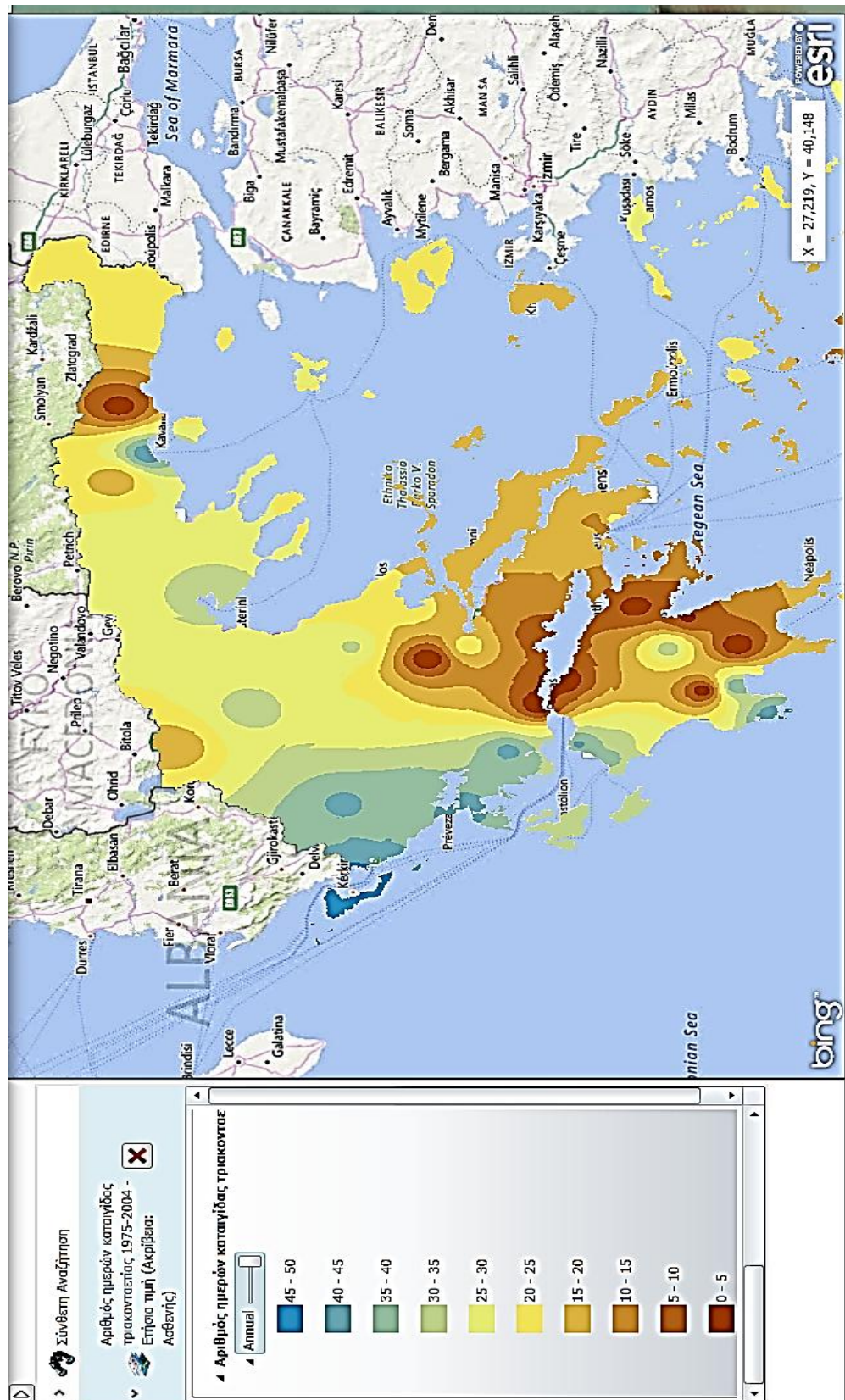
Συντομογραφία	Δήμος	MaxNg	φ°	λ°
ΑΓΦ	Αγράφων	2,0	39,1	21,6
ΑΛΡ	Αλιάρτου	1,1	38,4	23,1
ΑΜΕ	Αμφίκλειας - Ελάτειας	1,6	38,5	22,7
ΔΑΑ	Δίστομου - Αράχοβας - Αντίκυρας	1,5	38,5	22,6
ΔΛΦ	Δελφών	1,8	38,6	22,2
ΔΜΕ	Διρφύων - Μεσσαπίων	1,7	38,7	23,7
ΔΟΜ	Δομοκού	1,3	39,2	22,3
ΔΩΡ	Δωρίδος	1,8	38,5	22
ΕΡ	Ερέτριας	1,8	38,5	23,9
ΘΗΒ	Θηβαίων	0,9	38,2	23,3
ΙΣΑ	Ιστιαίας - Αιδηψού	1,3	38,8	22,8
ΚΡΝ	Καρπενησίου	2,8	38,7	21,6
ΚΡΣ	Καρύστου	1,5	38,2	24,1
ΚΥΑ	Κύμης - Αλιβερίου	2,1	38,5	24
ΛΑΜ	Λαμιέων	1,5	38,7	22,3
ΛΕΒ	Λεβαδέων	1,6	38,5	22,8
ΛΟΚ	Λοκρών	1,6	38,6	22,9
ΜΑΚ	Μακρακώμης	1,5	38,8	21,9
ΜΛΑ	Μαντουδίου - Λίμνης - Αγίας Άννας	1,7	38,7	23,6
ΜΩΛ	Μώλου - Αγίου Κωνσταντίνου	1,5	38,8	22,7
ΟΡΧ	Ορχομενού	1,6	38,5	22,9
ΣΚΡ	Σκύρου	1,4	38,8	24,6
ΣΤΥ	Στυλίδος	2,1	39	22,6
ΤΑ	Τανάγρας	1,3	38,1	23,5
ΧΛΚ	Χαλκιδέων	1,2	38,4	23,7

Πίνακας 6.13 : Πίνακας πυκνότητας κεραυνοπτώσεων Στερεάς Ελλάδας.

6.4 Σύγκριση με πρότυπα και διαφορετικές βάσεις δεδομένων

Το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 62305 που βρίσκεται σε ισχύ στη χώρα μας, συσχετίζει άμεσα, με απλή αλγεβρική σχέση, την πυκνότητα κεραυνών σε μια περιοχή με τον μέσο ετήσιο αριθμό ημερών καταιγίδας. Η γεωγραφική κατανομή των καταιγίδων στην Ελλάδα παρουσιάζει ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά. Σε γενικές γραμμές υπάρχουν δυο μηχανισμοί που οδηγούν σε αύξηση των ημερών καταιγίδας. Οι καταιγίδες παρουσιάζουν μια αύξηση όσο ελαττώνεται το γεωγραφικό πλάτος, εξαιτίας της αύξησης των υδρατμών και την αστάθειας, και επομένως περιμένουμε μια αύξηση όσο προχωρούμε από την Βόρεια Ελλάδα προς την Νότια. Παράλληλα, ο αριθμός των ημερών με καταιγίδες αυξάνεται στα παράλια τμήματα, έναντι των ηπειρωτικών περιοχών που μειώνεται. Η συνδυασμένη δράση αυτών των δυο τάσεων, οδηγεί στην Ελλάδα το μέγιστο του μέσου αριθμού ημερών καταιγίδας να σημειώνεται στη ΒΔ Ελλάδα και το ελάχιστο σε μια ζώνη βόρεια της Κρήτης (περιλαμβάνει τις Κυκλάδες, ΝΑ Αττική, Νότια Εύβοια, Αργοσαρωνικός κλπ.]. Ο μέσος ετήσιος αριθμός ημερών καταιγίδας επηρεάζεται από τα γενικά χαρακτηριστικά του τόπου, αλλά σε γενικές γραμμές μπορούν να αναγνωριστούν δυο βασικοί τύποι: ο θαλάσσιος και ο ηπειρωτικός. Στις παραθαλάσσιες περιοχές το μέγιστο του αριθμού καταιγίδων σημειώνεται το Φθινόπωρο και τους πρώτους μήνες του Χειμώνα, και το ελάχιστο τους θερινούς μήνες. Στις ηπειρωτικές περιοχές, το μέγιστο σημειώνεται στο τέλος της Άνοιξης και τους πρώτους μήνες του Καλοκαιριού, και το ελάχιστο σημειώνεται τους τελευταίους μήνες του Χειμώνα.

Γεωγραφικά, η παραπάνω εικόνα στην Ελλάδα παρουσιάζει την εξής μορφή (βλ. και σχήμα 6.19):



Σχήμα 6.19 : Μέσος ετήσιος αριθμός ημερών καταιγίδας 1975-2004 από ΓΕΩΚΛΙΜΑ [20].

ΜΕΓΙΣΤΑ: Ο μέγιστος μέσος ετήσιος αριθμός ημερών καταιγίδας σημειώνεται σε μια τριγωνική περιοχή στην ΒΔ Ελλάδα. Η βάση του τριγώνου ορίζεται από την γραμμή Κέρκυρα - Γράμμος και η κορυφή βρίσκεται στην περιοχή της Αμαλιάδας στην ΒΔ Πελοπόννησο. με μέσο ετήσιο αριθμό ημερών καταιγίδας 30-45, με το απόλυτο μέγιστο να παρουσιάζεται στην Κέρκυρα με 50 ημέρες καταιγίδας το έτος.

Επίσης, υπάρχουν χαρακτηριστικοί θύλακες μεγίστου αριθμού ημερών καταιγίδας με χαρακτηριστικότερες τις εξής:

Θύλακας Καβάλας, με περίπου 44 ημέρες καταιγίδες το έτος

Θύλακες Θεσσαλονίκης, Τρίπολης, Κοζάνης και Λάρισας, με περίπου 32 ημέρες καταιγίδας το έτος.

ΕΛΑΧΙΣΤΑ: Από την άλλη μεριά, παρουσιάζονται χαρακτηριστικές περιοχές με ελαχιστότατο αριθμό ημερών καταιγίδας. Αυτοί οι θύλακες ομβροσκιών είναι οι εξής: Ξάνθης, Δομοκού, Διακοφτού-Ναυπάκτου, Μυκηνών, Ανδανίας Πελοποννήσου και Παλαιόχωρας Χανίων με λιγότερες από 4 ημέρες καταιγίδας το έτος, με την Παλαιόχωρα να παρουσιάζει μέσο ετήσιο αριθμό ημερών καταιγίδας μόλις 0,07!

ΕΠΟΧΙΑΚΑ ΜΕΓΙΣΤΑ: Τα εποχιακά μέγιστα ημερών καταιγίδας διαμορφώνονται ως εξής:

ΧΕΙΜΩΝΑΣ: Ο μέγιστος αριθμός ημερών καταιγίδας αυτήν την εποχή εκδηλώνεται κατά μήκος της Δυτικής πλευρά της Ελλάδας μέχρι το νότιο άκρο της Πελοποννήσου, με περίπου 11 ημέρες καταιγίδας.

ΑΝΟΙΞΗ: Ο μέγιστος αριθμός ημερών καταιγίδας τώρα σημειώνεται πάλι στη Δυτική πλευρά της χώρας, όπως και το Χειμώνα, αλλά η ζώνη μεγίστου τερματίζει νοτιότερα στην Πελοπόννησο, στην Αχαΐα. Επίσης, μια ζώνη μεγίστου εμφανίζεται στην Βόρεια Ελλάδα, από την Κοζάνη μέχρι την Καβάλα. Μέσος αριθμός ημερών καταιγίδας περίπου 10.

ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ: Η ζώνη μεγίστου ημερών αριθμού καταιγίδας περιορίζεται στην Βόρεια Ελλάδα, μεταξύ Κοζάνης και Σερρών, με μέσο αριθμό ημερών καταιγίδας περίπου 17.

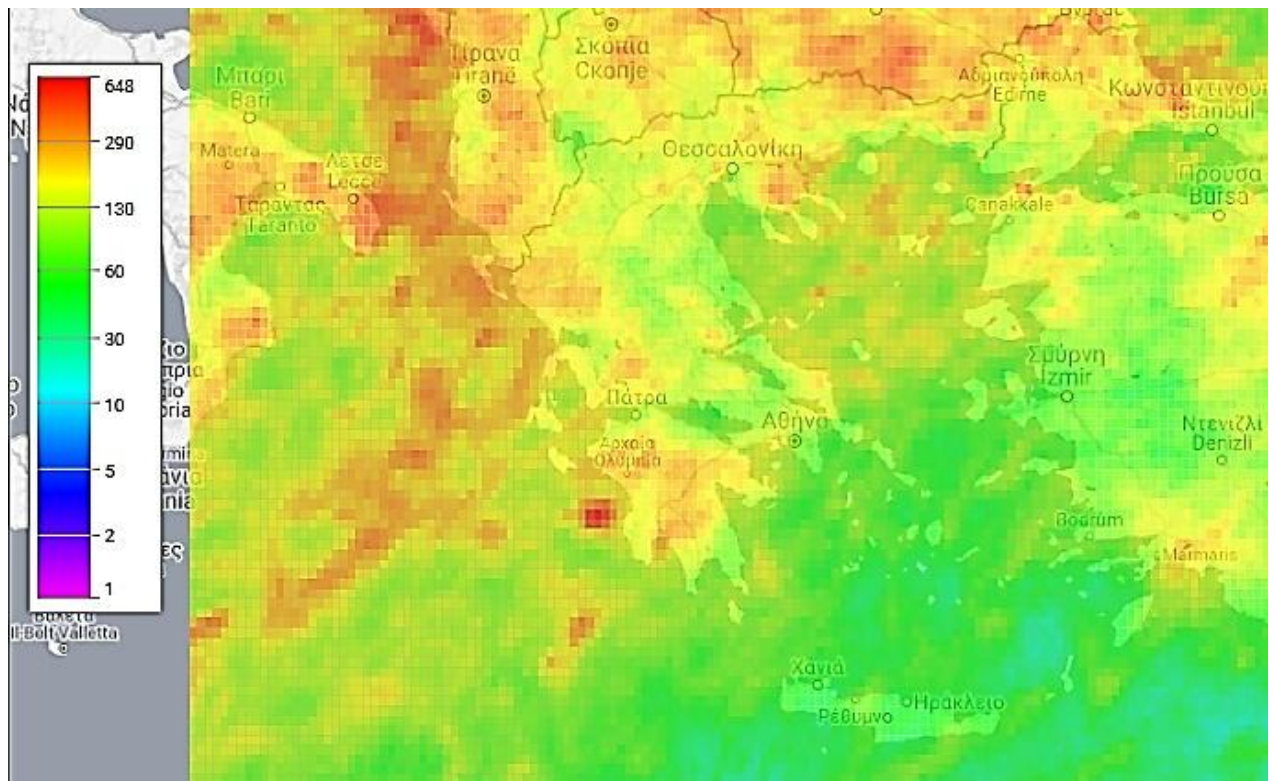
ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ: Ο μέγιστος αριθμός καταιγίδων της Ελλάδας σημειώνεται πάλι στη Δυτική πλευρά της χώρας, στην ίδια περιοχή όπως και το Χειμώνα. Μέγιστο την εποχή αυτή εμφανίζεται και στα Βόρεια παράλια της Κρήτης. Μέσος αριθμός ημερών καταιγίδας περίπου 10. Το απολύτως μέγιστο του Φθινοπώρου εμφανίζεται στη ζώνη Ηγουμενίτσας - Κέρκυρας, με μέσο αριθμό ημερών καταιγίδας περίπου 18.

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΚΕΡΑΥΝΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΛΟΤ EN 62305:

Σύμφωνα με το Πρότυπο EN 62305, η πυκνότητα κεραυνών N_g , είναι απολύτως ανάλογη του αριθμού των ημερών καταιγίδας και ισούται με το 10% αυτών. Επομένως, η γεωγραφική κατανομή της κεραυνικής πυκνότητας ακολουθεί τη χωρική κατανομή που περιγράφηκε στις προηγούμενες παραγράφους.

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΚΕΡΑΥΝΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΖΕΥΣ:

Στο σύστημα ΖΕΥΣ, η κεραυνική πυκνότητα της χώρας παρουσιάζει δυο ζώνες μεγίστων [βλ. σχήμα]. Η πρώτη σχεδόν ταυτίζεται με τη ζώνη καταιγίδων που έχουμε ήδη συναντήσει, δηλαδή η ΒΔ πλευρά της χώρας από την Κέρκυρα μέχρι το νότιο άκρο της Πελοποννήσου, με τα μέγιστα όμως να σημειώνονται στις θαλάσσιες περιοχές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η θαλάσσια περιοχή δυτικά των Στροφάδων, όπου σημειώνεται η απολύτως μέγιστη κεραυνική πυκνότητα στην Ελλάδα [περίπου $N_g=6,1$], με το 95% των κεραυνών να εκδηλώνεται σε ένα μήνα μόνο, τον Σεπτέμβριο!



Σχήμα 6.20 : Πυκνότητα κεραυνών από σύστημα ΖΕΥΣ [23].

Η δεύτερη ζώνη μεγίστου καταλαμβάνει ένα χαρακτηριστικό τραπέζιο στη βόρεια Ελλάδα. Η μικρή βάση του τραπεζίου ορίζεται από την Κερκίνη Λίμνη μέχρι την Νικήτη Χαλκιδικής. Η ανατολική βάση του τραπεζίου εκτείνεται από την Ορεστιάδα Βόρεια, μέχρι την Λήμνο Νότια.

Και στις δυο παραπάνω ζώνες μεγίστου, η μέση κεραυνική πυκνότητα N_g στην στεριά είναι περίπου 2,5 κερ. ανά έτος και ανά τετρ. χλμ.

Ωστόσο, υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις, έναντι της κατανομής των καταιγίδων, στο εσωτερικό της ηπειρωτικής χώρας. Για παράδειγμα, στην Λάρισα παρουσιάζεται κεραυνοσκιά, με $N_g \sim 0.9$ σύμφωνα με το σύστημα ΖΕΥΣ, έναντι $N_g \sim 3$

σύμφωνα με τον αριθμό ημερών καταιγίδας. Αντίστοιχη κεραυνοσκοιά καταγράφεται στην περιοχή της Καβάλας [Ng~1,3].

Αντίστροφα, το σύστημα ΖΕΥΣ εντοπίζει σημαντική κεραυνοσκοιά δραστηριότητα σε περιοχές που η κατανομή ημερών καταιγίδας μας δείχνει ομβροσκοιά. Για παράδειγμα, στην περιοχή της Ξάνθης [Ng~1.8, έναντι 0,4], στην Ναύπακτο [Ng~1.8 έναντι 0,4], στις Μυκήνες [Ng~2.1, έναντι 0,3] αλλά και στην Παλαιόχωρα [Ng~0.5 έναντι 0,1].

Επίσης, προκύπτει ένα πολύ ενδιαφέρον γενικό συμπέρασμα από την επεξεργασία των στοιχείων του συστήματος ΖΕΥΣ, σε συσχέτισμό με την κατανομή ημερών καταιγίδας. Η στάθμη κεραυνοπτώσεων που προκύπτει με το σύστημα ΖΕΥΣ είναι πολύ χαμηλότερη από αυτήν που προκύπτει με βάση τον αριθμό ημερών καταιγίδας. Ο πίνακας που ακολουθεί δείχνει χαρακτηριστικά αυτήν την συμπεριφορά σε διάφορες χαρακτηριστικές πόλεις της Ελλάδας.

ΠΟΛΗ	Γ.Πλ.φ	Ng [1961-1990]	Ng [1975-2004]	Ng [ZEUS]	Δ%
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	40,8	3,1	2,4	0,7	-74,55%
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	40,4	3,5	3,3	1,2	-64,71%
ΛΗΜΝΟΣ	39,9	2,5	2,6	1,6	-37,25%
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	39,6	4,1	4,1	2,3	-43,90%
ΛΑΡΙΣΑ	39,6	3	3,1	0,9	-70,49%
ΚΕΡΚΥΡΑ	39,5	5,6	5	3,4	-35,85%
ΜΥΤΙΛΗΝΗ	39	2,9	2,4	1,5	-43,40%
ΣΚΥΡΟΣ	38,8	2	1,5	0,9	-48,57%
ΠΑΤΡΑ	38,2	2,2	1,9	1,1	-46,34%
ΑΘΗΝΑ	37,9	1	1,3	0,9	-21,74%
ΣΑΜΟΣ	37,7	2,6	2,8	0,7	-74,07%
ΤΡΙΠΟΛΗ	37,5	3,9	3,3	2,4	-33,33%
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	37	4,4	4	2,9	-30,95%

ΝΑΞΟΣ	37	2,4	2,2	0,5	-78,26%
ΜΕΘΩΝΗ	36,8	4,8	4,8	1,4	-70,83%
ΜΗΛΟΣ	36,7	1,8	1,8	0,5	-72,22%
ΚΥΘΗΡΑ	36,2	2,1	1,8	1	-48,72%
ΣΟΥΔΑ	35,5	2,4	2,3	0,4	-82,98%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	35,3	2,7	2,6	0,4	-84,91%

Πίνακας 6.14 :Πίνακας σύγκρισης στάθμης κεραυνικής πυκνότητας Ng δήμων Ελλάδας.

Η τρίτη στήλη του πίνακα προκύπτει από τον μέσο ετήσιο αριθμό καταιγίδας την περίοδο 1961-1990. Η τέταρτη στήλη από τα αντίστοιχα δεδομένα για το χρονικό διάστημα 1975-2004. Η προτελευταία στήλη είναι οι αντίστοιχες καταγραφές του συστήματος ΖΕΥΣ το χρονικό διάστημα 2005-2014. Η τελευταία στήλη παρουσιάζει τη διαφορά ανάμεσα στο σύστημα ΖΕΥΣ και το μέσο όρο των στηλών 3 και 4. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε, η κεραυνική στάθμη από τις καταγραφές του συστήματος ΖΕΥΣ προκύπτει παντού μικρότερη μέχρι και περίπου 85%.

ΠΑΡΑΔΟΞΟ ΠΑΤΡΑΣ: Στην περίπτωση της Πάτρας είναι σημαντικό να γίνει σύγκριση με τα πρώτα χρονολογικά δεδομένα, απευθείας μέτρησης των κεραυνοπτώσεων που έγιναν στην Ελλάδα. Σύμφωνα με αυτά [Μαινεμενλής, 1992], η Πάτρα και η γύρω περιοχή σε αυτήν σε ακτίνα 20 χλμ. παρουσίαζαν, την περίοδο που έγιναν οι μετρήσεις [1985-1991], πυκνότητα κεραυνών $Ng=4,7 \text{ s / km}^2 / \text{y}$. Αυτή η στάθμη κεραυνών δεν επαληθεύεται ούτε από τις πρόσφατες μετρήσεις του συστήματος ΖΕΥΣ, ούτε προσεγγίζεται από τα κλιματολογικά δεδομένα [ημέρες καταιγίδας], παλιότερα και νεότερα.

Στον αντίποδα των παραπάνω, εντοπίζεται σημαντική υποεκτίμηση της κεραυνικής δραστηριότητας με βάση τις ημέρες καταιγίδας σε αρκετές περιοχές της Ελλάδας, όπως βλέπουμε στον πίνακα που ακολουθεί:

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΔΗΜΟΥ	Ng [str / km² / y] ΖΕΥΣ	Ng, EN62305
ΞΑΝΘΗΣ	3,2	0,6
ΑΡΓΟΥΣ-ΜΥΚΗΝΩΝ	2,2	0,4
ΑΒΔΗΡΩΝ	2,0	0,4

ΟΙΧΑΛΙΑΣ	1,9	0,5
ΣΠΑΡΤΗΣ	2,6	0,7
ΚΟΡΙΝΘΙΩΝ	2,1	0,6
ΒΕΛΟΥ-ΒΟΧΑΣ	1,8	0,5
ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΥΝΟΥΡΙΑΣ	2,0	0,6
ΝΕΣΤΟΥ	2,3	0,8
ΤΟΠΕΙΡΟΥ	2,3	0,8
ΜΥΚΗΣ	3,2	1,1
ΑΙΓΙΑΛΕΙΑΣ	1,7	0,7
ΝΑΥΠΑΚΤΙΑΣ	2,0	0,8
ΝΑΥΠΛΙΕΩΝ	1,8	0,8
ΚΑΝΤΑΝΟΥ-ΣΕΛΙΝΟΥ	0,5	0,2
ΔΡΑΜΑΣ	3,4	1,6
ΝΟΤΙΑΣ ΚΥΝΟΥΡΙΑΣ	1,8	0,9
ΕΥΡΩΤΑ	1,7	0,9
ΔΩΡΙΔΟΣ	1,8	1,0
ΙΑΣΜΟΥ	2,3	1,2
ΕΠΙΔΑΥΡΟΥ	2,0	1,1
ΖΗΡΟΥ	2,7	1,5
ΝΕΜΕΑΣ	2,0	1,2
ΚΑΛΑΒΡΥΤΩΝ	2,7	1,6
ΔΟΜΟΚΟΥ	1,3	0,8

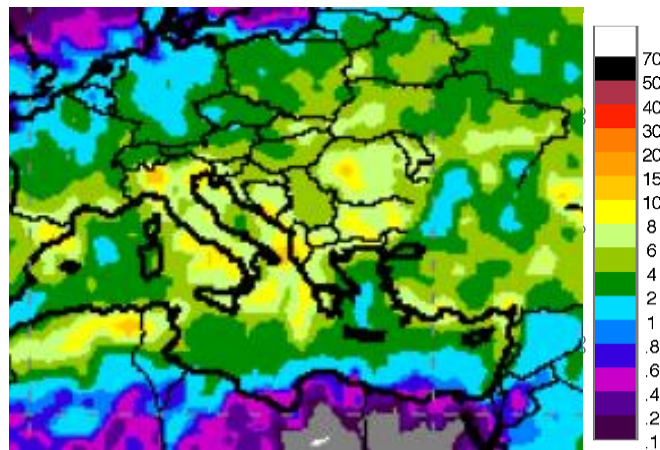
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΝΗΣ	2,6	1,5
ΠΑΡΑΝΕΣΤΙΟΥ	3,6	2,4

Πίνακας 6.15 : Σύγκριση κεραυνικής πυκνότητας με το σύστημα ΖΕΥΣ [2^η στήλη] και κεραυνικής πυκνότητας με βάση τον αριθμό ημερών καταιγίδας σύμφωνα με το πρότυπο EN ΕΛΟΤ 62305.

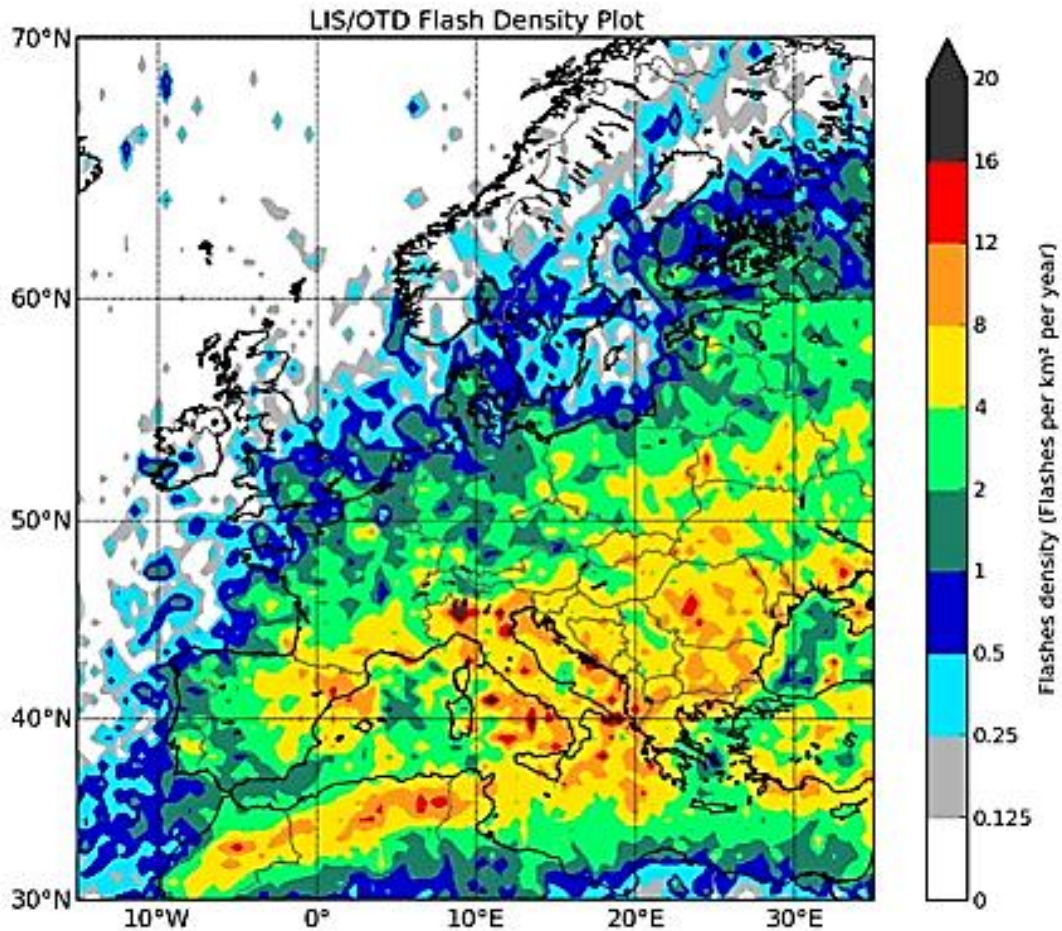
Παρατηρούμε ότι με βάση τον αριθμό ημερών καταιγίδας, προκύπτει υποεκτίμηση του πραγματικού αριθμού κεραυνοπτώσεων μέχρι και 400% [περίπτωση Ξάνθης].

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΖΕΥΣ ΜΕ ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΧΑΡΤΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΚΕΡΑΥΝΩΝ

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται χάρτες κατανομής κεραυνικής δραστηριότητας σε παγκόσμια και ευρωπαϊκή κλίμακα.



Σχήμα 6.21 : Ευρώπη, τμήμα από τον Παγκόσμιο χάρτη κατανομής κεραυνικής δραστηριότητας σε fl / km² / yr, [NASA, 1995-2003].



Σχήμα 6.22 : Χάρτης πυκνότητας κεραυνικής δραστηριότητας στην Ευρώπη σε fl / km² / yr, [ATDnet, 2008-2013].

Οι παραπάνω χάρτες αναφέρονται στην συνολική κεραυνική δραστηριότητα (Nt). Δηλαδή σε κεραυνικά φαινόμενα μεταξύ σύννεφων (Nc), αλλά και ανάμεσα στα σύννεφα και το έδαφος (Ng). Για τα γεωγραφικά δεδομένα της χώρας μας, μια ικανοποιητική σχέση ανάμεσα στα προηγούμενα είναι η εξής: $N_g = 0,25 \times (N_c + N_g)$. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε, και οι δυο χάρτες αναπαράγουν τα βασικά χαρακτηριστικά της κεραυνικής δραστηριότητας που προκύπτει από το σύστημα ΖΕΥΣ. Δηλαδή, έντονη κεραυνική δραστηριότητα στη ΒΔ Ελλάδα καθώς και στο ΒΑ τμήμα της ηπειρωτικής χώρας. Ο χάρτης μάλιστα της Ευρώπης, που έχει παραχθεί με μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα, αναπαράγει ευδιάκριτα το τοπικό μέγιστο στις Στροφάδες, στη θαλάσσια περιοχή δυτικά της Πελοποννήσου.

7 Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή ασχοληθήκαμε με την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων των συστημάτων εντοπισμού κεραυνοπτώσεων, κυρίως του συστήματος ΖΕΥΣ, στη δημιουργία βάσεων κεραυνοπληξίας και στον υπολογισμό του κινδύνου κεραυνοπληξιών σε κτίρια και εγκαταστάσεις.

Στα πλαίσια της εργασίας δημιουργήθηκε ο χάρτης ΚΑΛΛΙΚΡΑΤΗΣ κεραυνικής πυκνότητας στην Ελλάδα, στον οποίο αποτυπώνεται χρωματικά [σε οκτώ επίπεδα] η στάθμη κεραυνοπτώσεων σε όλους τους δήμους του Σχεδίου Καλλικράτης. Επίσης, δημιουργήθηκε η βάση δεδομένων, σε μορφή πίνακα, με τις μέγιστες τιμές κεραυνικής πυκνότητας στους δήμους όλης της χώρας.

Στην σημερινή στάθμη της τεχνικής, με την πρόοδο που έχει επιτευχθεί στην τεχνολογία, στην επιστήμη και στα υλικά, η σχεδίαση των Συστημάτων Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ) γίνεται κατά πολύ ακριβέστερη αλλά και απαιτητική. Ειδικά στην Ελλάδα, μετά την εφαρμογή του νέου Προτύπου ΕΛΟΤ EN 62305, απαιτείται ικανή σχεδιαστική και μελετητική εργασία, με την χρήση ειδικού λογισμικού, για τον σχεδιασμό του αντικεραυνικού συστήματος όπως περιγράψαμε στο κεφ. 3 της εργασίας.

Ο σχεδιασμός αυτός προϋποθέτει επαρκή ακρίβεια και αξιοπιστία στον υπολογισμό της στάθμης κεραυνοπτώσεων, δεδομένου ότι τα συστήματα αντικεραυνικής προστασίας κατασκευάζονται κατά κανόνα μια φορά και υπάρχουν στο κτίριο σε όλη του τη ζωή.

Μέχρι σήμερα, με βάση τα ισχύοντα Πρότυπα Αντικεραυνικής Προστασίας, ο κίνδυνος κεραυνοπληξίας υπολογίζεται με την χρήση του μέσου ετήσιου αριθμού ημερών καταιγίδας κάθε τόπου. Τα δεδομένα αυτά προέκυπταν, είτε από τους γνωστούς ισοκεραυνικούς χάρτες, είτε από σειρές μετεωρολογικών δεδομένων για όσες περιοχές υπήρχαν αντίστοιχα στοιχεία. Και στις δυο περιπτώσεις, τα δεδομένα ήταν με στατιστική επάρκεια γνωστά μόνο στις περιοχές λειτουργίας μετεωρολογικών σταθμών, πράγμα που σημαίνει ότι λίγες περιοχές της χώρας μας διαθέτουν τέτοια στοιχεία. Στις υπόλοιπες περιοχές, γίνεται εκτίμηση των δεδομένων με βάση τους πλησιέστερους γεωγραφικά μετεωρολογικούς σταθμούς. Είναι φανερό ότι μια τέτοια προσέγγιση δεν μπορεί να εκτιμήσει επαρκώς τη συμπεριφορά του μικροκλίματος και τις γεωγραφικές ιδιαιτερότητες κάθε περιοχής. Άρα, υπάρχει το ενδεχόμενο ο κίνδυνος της κεραυνοπληξίας σε μια περιοχή να βρίσκεται στα εξής ακραία όρια:

(α) Υπερεκτίμηση κινδύνου: στην περίπτωση αυτή οδηγούμαστε σε υπερδιαστασιολόγηση των ΣΑΠ, επομένως σε τεχνικά πολύπλοκες και αντιοικονομικές αντικεραυνικές εγκαταστάσεις. Ωστόσο, οι άνθρωποι, τα κτίρια και οι εγκαταστάσεις που προστατεύονται από αυτά τα ΣΑΠ είναι ασφαλή, αφού στην πραγματικότητα προστατεύονται πέραν του αναγκαίου βαθμού.

(β) Υποεκτίμηση κινδύνου: στην περίπτωση αυτή οδηγούμαστε σε υποδιαστασιολόγηση ή και στην παντελή παράλειψη των ΣΑΠ. Στην περίπτωση αυτή, οι άνθρωποι, τα κτίρια και οι εγκαταστάσεις δεν προστατεύονται καθόλου ή δεν προστατεύονται επαρκώς. Η περίπτωση αυτή, μάλιστα, είναι πιο ύπουλη και επικίνδυνη, δεδομένου ότι μπορεί να δημιουργήσει ψευδαίσθηση ασφάλειας σε κτίρια και εγκαταστάσεις ζωτικής σημασίας για την κοινωνία, την οικονομία ή και τον πολιτισμό [σε κτίρια υγείας, παιδείας, μουσεία κλπ.].

Από την διερεύνηση των δεδομένων του συστήματος ΖΕΥΣ, προέκυψαν χρήσιμες πληροφορίες που σχετίζονται και με τα δυο παραπάνω προβληματικά σημεία. Επιπλέον, αναδύθηκαν και αδύναμα σημεία του υπάρχοντος τεχνικού και νομικού πλαισίου που ενδεχομένως να δημιουργήσουν προβλήματα στην μελέτη και κατασκευή των ΣΑΠ.

Ειδικότερα μπορούμε να συνοψίσουμε τα βασικά συμπεράσματα ως εξής:

ΓΕΩΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ: Το σύστημα ZEYΣ αποτυπώνει την πυκνότητα κεραυνών στον ελληνικό χώρο προσδιορίζοντας με επαρκή γεωγραφική ακρίβεια τις περιοχές αυξημένου κινδύνου κεραυνοπληξιών. Το σύστημα μπορεί να προσδιορίσει την περιοχή αυξημένου κινδύνου με γεωχωρική ακρίβεια της τάξης περίπου των 10Χ10 τ.χλμ. Δηλαδή, δυνητικά μπορεί να προσδιοριστεί ο κίνδυνος σε επίπεδο μικρο-περιοχής, όπως στα διοικητικά όρια ενός οικισμού ή και σε επίπεδο γειτονιάς για μεγάλες οικιστικές περιοχές. Ωστόσο, αυτή η μικρο-διαμέριση δεν κρίνεται σκόπιμη να ακολουθηθεί, αφενός για λόγους ασφάλειας [το σύστημα ZEYΣ έχει ένα σφάλμα της τάξης λίγων χλμ.] και αφετέρου για λόγους απλότητας. Θεωρούμε ότι αρκεί ο προσδιορισμός της μέγιστης πυκνότητας κεραυνοπτώσεων στα χωρικά όρια ενός δήμου, με πιθανή περαιτέρω διερεύνηση για μικρότερη διαμέριση όπου οι αυξημένες κεραυνοπτώσεις εντοπίζονται σε μικρή περιοχή ενός δήμου [για παράδειγμα στους δήμους Αριστοτέλη και Πολύγυρου Χαλκιδικής]. Μικρότερη διαμέριση, επίσης, θα πρέπει να υπάρξει στις θαλάσσιες υπεράκτιες περιοχές, όπου υπάρχει ενδεχόμενο να υπάρξουν οικονομικές εκμεταλλεύσεις και εγκαταστάσεις [π.χ., θαλάσσια πεδία ΑΠΕ, πλωτές εξέδρες κλπ.].

ΧΡΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ: Το σύστημα ZEYΣ καταγράφει την κεραυνική δραστηριότητα στην Ελλάδα από το 2005 μέχρι σήμερα. Τα διαθέσιμα συγκεντρωτικά στοιχεία, τα οποία μπορέσαμε να χρησιμοποιήσουμε στην εργασία, αφορούσαν τη δεκαετία 2005-2014. Από το χρονικό βάθος αυτών των δεδομένων, δεν προκύπτει με σαφήνεια ότι υπάρχει επάρκεια, ώστε να χρησιμοποιηθούν απευθείας στον υπολογισμό του κινδύνου κεραυνοπτώσεων. Δυστυχώς, δεν διαθέτουμε στην Ελλάδα ιστορικό αρχείο καταγραφών απευθείας κεραυνοπτώσεων, με μεγάλο χρονικό βάθος και χωρική έκταση, ώστε να γίνουν οι αναγκαίες συγκρίσεις. Στον σχετικό προβληματισμό θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας τα εξής:

[α] Το μοναδικό ιστορικό αρχείο μέτρησης κεραυνοπτώσεων που εντοπίσαμε, στην περιοχή των Πατρών, δείχνει ότι παλιότερα υπήρχε σχεδόν τετραπλάσια πυκνότητα κεραυνοπτώσεων έναντι της καταγραφόμενης από το σύστημα ZEYΣ. Η διαφοροποίηση, ωστόσο, δεν επιβεβαιώνεται από αντίστοιχη μεταβολή στις ημέρες καταιγίδας.

[β] Η κλιματική αλλαγή, η οποία συντελείται στις μέρες μας, ενδέχεται να επηρεάζει, με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, τα κεραυνικά φαινόμενα.

Συμπερασματικά, θα πρέπει να διερευνηθεί ποιο ιστορικό βάθος στατιστικών δεδομένων είναι επαρκές ώστε να χρησιμοποιηθούν τα σχετικά δεδομένα του συστήματος ZEYΣ στην διαστασιολόγηση των ΣΑΠ, και τι συντελεστές ασφάλειας θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ώστε το ΣΑΠ να επιτελεί το σκοπό του στη διάρκεια ζωής του κτιρίου που προστατεύει.

ΑΣΥΜΦΩΝΙΕΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ: Με την ανάλυση των κεραυνικών καταγραφών του συστήματος ZEYΣ έγινε φανερό ότι υπάρχουν ακραίες ασυμφωνίες μεταξύ των δυο μεθόδων προσδιορισμού του κινδύνου κεραυνοπτώσεων. Όπως φαίνεται από τους πίνακες 5.2 και 5.3, συναντούμε στην Ελλάδα και τις δυο προβληματικές περιπτώσεις που αναπτύχθηκαν παραπάνω. Σε σημαντικό αριθμό δήμων της χώρας [βλ. πίνακα 5.2], φαίνεται ότι η χρήση των ημερών καταιγίδας οδηγεί σε υπερδιαστασιολόγηση των ΣΑΠ. Ωστόσο, τα προστατευόμενα έμψυχα και τα άψυχα είναι ασφαλή, αλλά οι εγκαταστάσεις αντισυμβατικές. Αντίθετα, σε πάρα πολλούς δήμους της χώρας [βλ. πίνακα 5.3], τα δεδομένα του συστήματος ZEYΣ υποδεικνύουν ότι τα ΣΑΠ που σχεδιάζονται με βάση τον αριθμό

ημερών καταιγίδας είναι ανασφαλή, και εκθέτουν σε κίνδυνο τα έμψυχα και τα άψυχα που βρίσκονται στα κτίρια που υποτίθεται προστατεύουν.

ΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΛΟΚΕΣ: Το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 62305-02, Παρ. Α1, ορίζει ότι η πυκνότητα κεραυνών λαμβάνεται, είτε άμεσα, από τα δεδομένα δικτύων μέτρησης κεραυνών, είτε έμμεσα, με την χρήση του ετήσιου αριθμού ημερών καταιγίδας. Και στις δυο περιπτώσεις, ωστόσο, στη χώρα μας, δεν εξειδικεύεται από πού θα αντληθούν αυτά τα δεδομένα, ώστε να θεωρούνται έγκυρα. Επομένως, ο σχεδιαστής και ο κατασκευαστής ενός ΣΑΠ είναι εκτεθειμένος σε αστικούς και ποινικούς κινδύνους στην περίπτωση που υπάρχει ασυμφωνία μεταξύ των δυο παραπάνω μεθόδων υπολογισμού. Επίσης, στην περίπτωση που επιβεβαιωθούν οι αποκλίσεις του πίνακα 6.3 [υποδιαστασιολόγηση ΣΑΠ], θα πρέπει να γίνει επανεκτίμηση του βαθμού προστασίας όλων των ΣΑΠ που μελετήθηκαν με τα παλιότερα ελληνικά Πρότυπα ΕΛΟΤ 1197 και ΕΛΟΤ 1412, στα οποία μπορεί μεν να μην υπάρχουν αστικές και ποινικές ευθύνες, γιατί σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν νόμιμα, αλλά, πλέον, θα γνωρίζουμε ότι είναι ανασφαλή.

Βιβλιογραφικές αναφορές

1. Αθανασίου Σταμάτης, Καταγραφή συμβάντων από κεραυνούς στον Ελλαδικό χώρο για την περίοδο 2011-2014, Πάτρα, 2015
2. ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-04-50-01-00:2009, Συλλεκτήριο σύστημα συστημάτων αντικεραυνικής προστασίας, Εφημερίς της κυβέρνησης, Τεύχος 2, 2009
3. Κακούρος Γεώργιος, Αντικεραυνική προστασία σε στρατιωτικές εγκαταστάσεις, Αθήνα, 2010
4. Κουτρούλης Χαράλαμπος, Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις χαμηλής τάσης – Απαιτήσεις ασφαλείας και λειτουργίας, Αθήνα, 2009
5. Μαινεμενλής Χ., Διερεύνηση της κεραυνικής δραστηριότητας στον ελληνικό χώρο, Τεχνικά χρονικά Β, Τόμος 6, Τεύχος 4, 1986
6. Μαινεμενλής Χ., Κώπτης Γ., Καταγραφή της κεραυνικής πυκνότητας περί την περιοχή Πατρών για την περίοδο Φεβρουάριος 1985 – Νοέμβριος 1991, Τεχνικά χρονικά Β, Τόμος 12, Τεύχος 4, 1992
7. Τσιρώνη Ελένη, Εφαρμογή της μεθόδου της κυλιόμενης σφαίρας στην αντικεραυνική προστασία της γέφυρας Ρίου – Αντίρριου με χρήση υπολογιστή, Πάτρα, 2014
8. Χαραλαμπόπουλος Α., Μέτρηση και έλεγχος γειώσεων συστημάτων αντικεραυνικής προστασίας στα κτίρια του πανεπιστημίου πατρών, Πάτρα, 2011
9. Anderson G., Klugmann D., A European lightning density analysis using 6 years of ATDnet data, 2014, [<http://www.vaisala.com/Vaisala Documents/Scientific papers/2014 ILDC ILMC/ILMC-Friday/Anderson and Kluggman-A European lightning density analysis-2014-ILDC-ILMC.pdf> προσπ.: 19/02/2017]
10. Beroual A. Fofana I., Discharge in long air gaps
11. Christian H., Blakeslee R., Boccippio D., Boeck W., Buechler D., Driscoll K., Goodman S., Hall J., Koshak W., Mach D., Stewart M., Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the optical Transient Detector, 2003, [<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2002JD002347/full> προσπ.: 19/02/2017]
12. Cooray V, An introduction to lightning, Springer, 2015
13. DEHN + SOHNE, Lightning protection guide, 3rd edition, 2014
14. Distribution of lightning, [https://en.wikipedia.org/wiki/Distribution_of_lightning προσπ.: 19/02/2017]
15. Geographical distance, [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Geographical_distance&printable=yes προσπ.: 19/02/2017]
16. Global density map, Vaisala GLD 360, [<http://www.vaisala.com/en/products/thunderstormandlightningdetectionsystems/Pages/GLD360.aspx> προσπ.: 19/02/2017]
17. Lagouvardos K., V. Kotroni, H-D Betz and K. Schmidt, 2009: A comparison of lightning data provided by ZEUS and LINET networks over Western Europe. Natural Hazards and Earth System Sciences, 9, 1713-1717

18. Pawel B., Zdislaw D., Wojciech G., The ratio of cloud-to-ground flashes in summer seasons for Poland territory on the basis of data from PERUN system, 2006, [[http://www.vaisala.com/en/events/ildcilmc/Documents/The Ratio of Cloud to Cloud-to-Ground Flashes in Summer Seasons for Poland Territory on the Basis of Data from PERUN System.pdf](http://www.vaisala.com/en/events/ildcilmc/Documents/The%20Ratio%20of%20Cloud%20to%20Cloud-to-Ground%20Flashes%20in%20Summer%20Seasons%20for%20Poland%20Territory%20on%20the%20Basis%20of%20Data%20from%20PERUN%20System.pdf) προσπ.: 19/02/2017]
19. The TALOS project, [<http://www.meteo.gr/talos> προσπ.: 19/02/2017]

Διαδικτυακές βάσεις δεδομένων

20. ΓΕΩΚΛΙΜΑ, <http://www.geoclima.eu/>, (Βάση κλιματικών δεδομένων Ελλάδας)
21. bbnenergysystems.com/lighting.html
22. Geodata, <http://geodata.gov.gr/maps/?locale=el>, (Γεωχωρικά δεδομένα δήμων Ελλάδας με το πρόγραμμα «Καλλικράτης»)
23. TALOS project, <http://www.meteo.gr/talos/index.cfm>, (Βάση δεδομένων κεραυνοπληξιών Ελλάδας)
24. www.electrical-knowhow.com/2014/02/Design-Considerations-for-Dissipation-Array-Systems.html
25. www.blitzortung.org
26. www.euclid.org
27. www.gdv.de/2013/06/blitz-und-ueberspannung-sorgen-fuer-viele-schaeden/
28. www.miro.co.za/lightning-strikes-how-to-protect-your-lattice-mast